第七届
地球系统科学大会

会议手册及摘要集

2023.7.5 - 7 | 上海

CESS 2023

THE 7TH CONFERENCE ON EARTH SYSTEM SCIENCE

PROGRAM VOLUME AND ABSTRACT BOOK

中国大洋发现计划
IODP—China
专家咨询委员会

国家自然科学基金委员会
地球科学部

同济大学
海洋地质
国家重点实验室

Ocean Negative Carbon Emissions
ONCE
海洋负排放
国际大科学计划

学术委员会

主　任　丁仲礼

副主任　陈　骏、侯增谦、翦知湣、朱伟林

委　员　丁　抗、戴民汉、郭正堂、焦念志、金之钧、李家彪、林　间、王成善、汪品先、徐义刚、张人禾、周忠和

主办单位

中国大洋发现计划（IODP-China）专家咨询委员会
国家自然科学基金委员会地球科学部
同济大学海洋地质国家重点实验室
海洋负排放国际大科学计划

会议秘书处

秘书长　刘志飞　同济大学海洋地质国家重点实验室
手机 | 13816101893　　邮箱 | lzhifei@tongji.edu.cn

有关会议各类信息及需求，请随时联系会议秘书，联系方式：

拓守廷	会务协调	手机	13601872997	邮箱	shouting@tongji.edu.cn
俞　恂	会议宣传	手机	15850572880	邮箱	yuxun@tongji.edu.cn
党皓文	科普活动	手机	13764424977	邮箱	hwdang@tongji.edu.cn
李阳阳	学术日程	手机	18810404284	邮箱	cess@tongji.edu.cn
高小丰	会议注册	手机	15021055616	邮箱	cess@tongji.edu.cn
温廷宇	会议展览	手机	13817664860	邮箱	cess@tongji.edu.cn
张　钊	后勤支持	手机	18817759802	邮箱	cess@tongji.edu.cn
刘鹏飞	会场支持	手机	15004110093	邮箱	cess@tongji.edu.cn
潘柏夷	嘉宾接待	手机	18817759791	邮箱	cess@tongji.edu.cn

联系地址 | 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海市四平路 1239 号
大会网站 | http://www.cess.org.cn/

目录

I **会场酒店及交通枢纽、会场位置图**

V **欢迎辞**

VI **会议基本信息**

会议注册

会议地点

会议就餐

交通指南

口头报告

日程速查

沪上游览

X **展板报告及须知**

XI **大会特邀报告**

XII **地球系统战略研究成果汇报**

XIII **科研与科普系列活动**

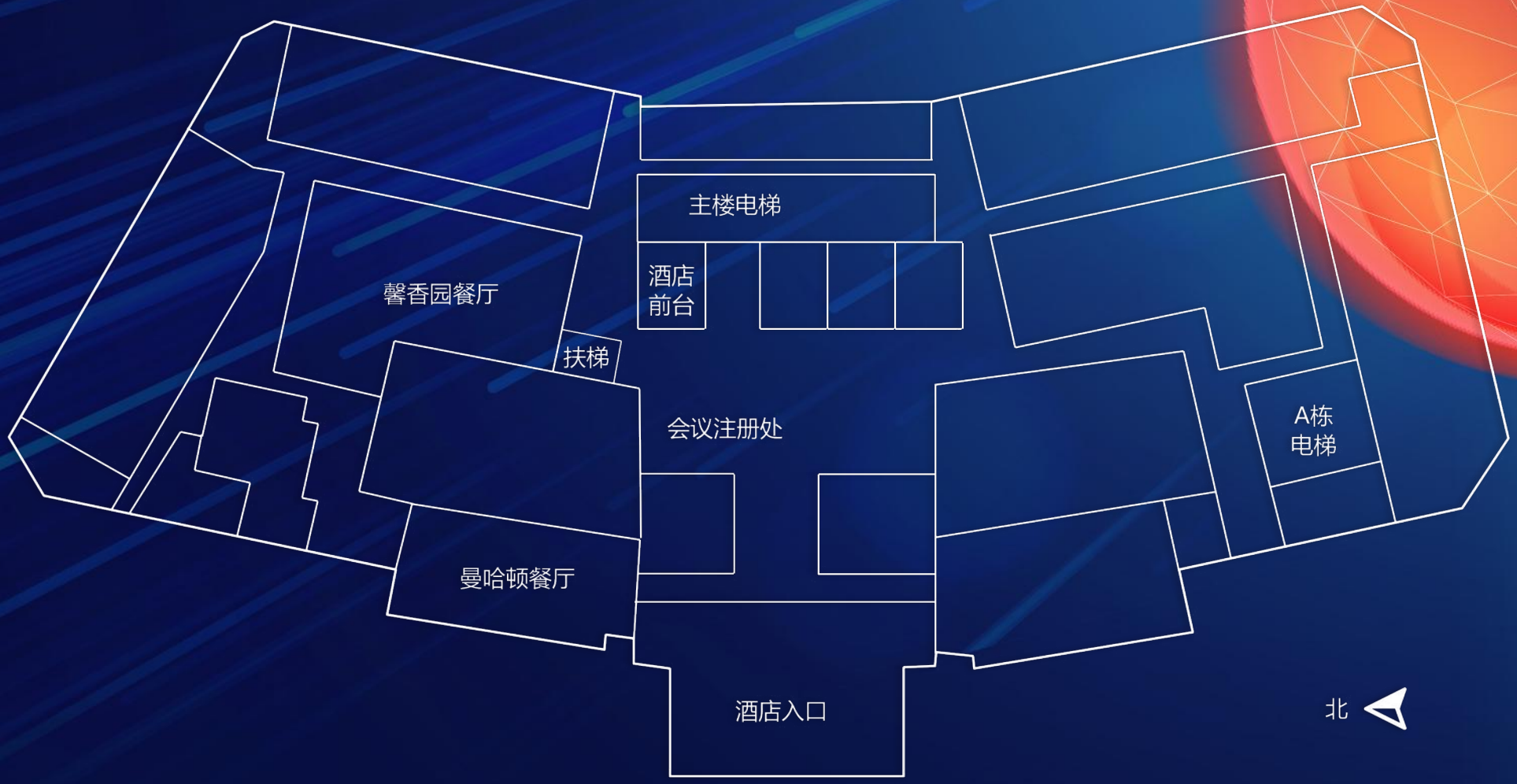
XIV **日程目录**

学术日程索引

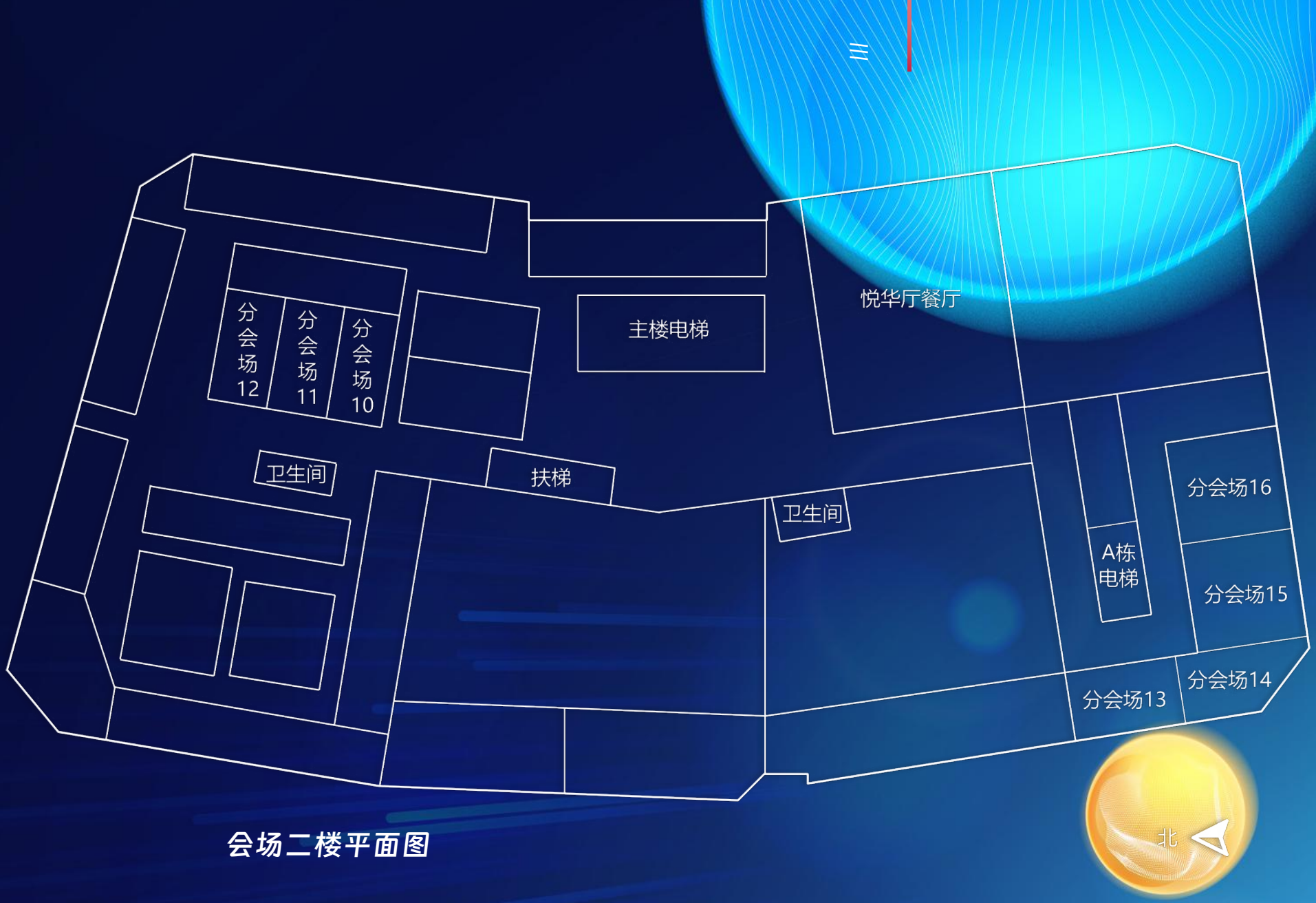
会议日程

XXI **展商信息**

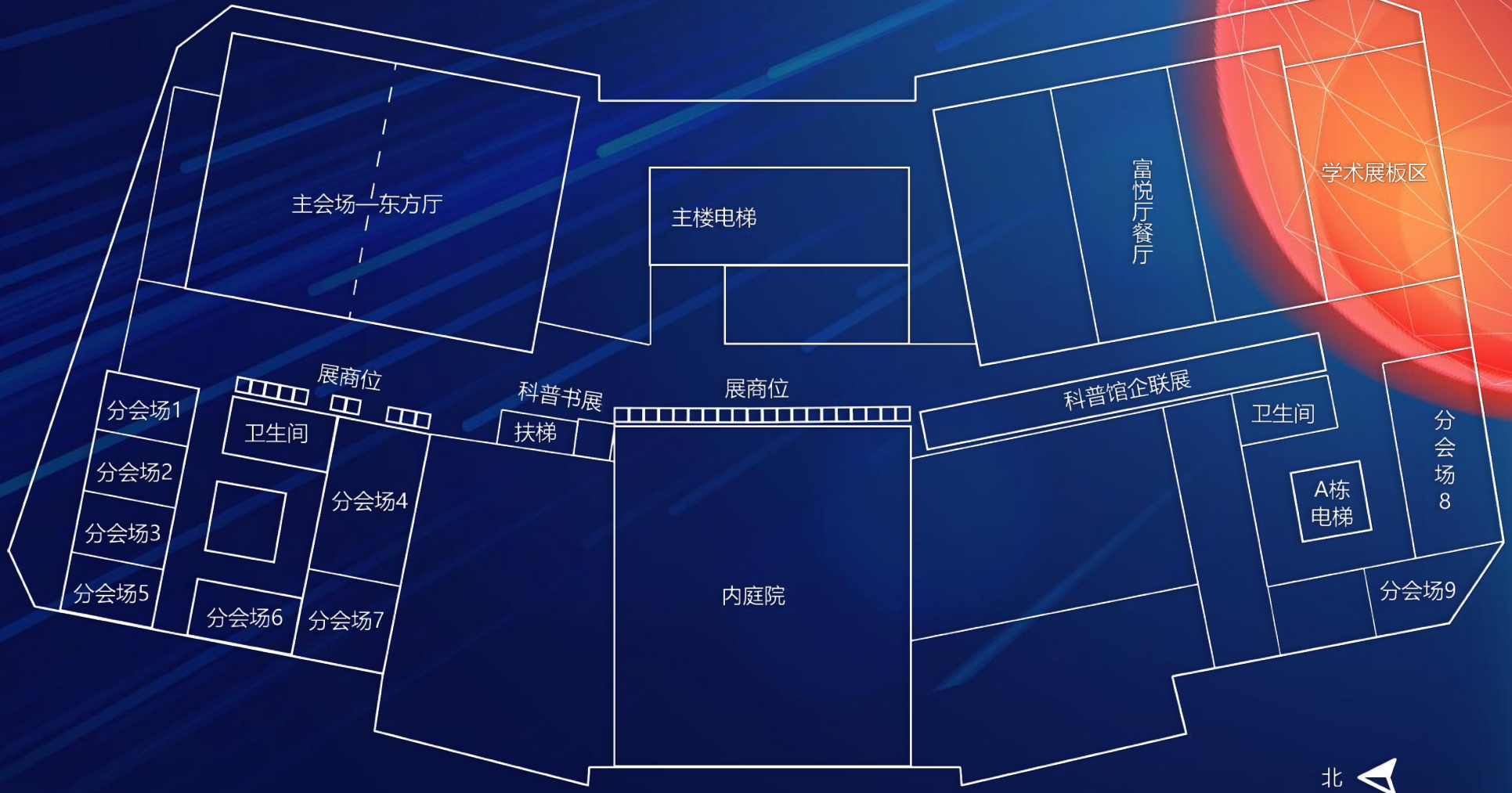
沪嘉高速
Hujia Highway
中环路
Middle Ring
公交地铁
~8元 1.5h
出租车
~125元 1h
上海火车站
同济大学
沪宁高速
Huning Highway
外滩
南北高架
外环路
Outer Ring
中环路
Middle Ring
内环路
Inner Ring
延安西路
Yan'an Road Viaduct
South-North Viaduct
黄浦江
虹桥火车站
公交地铁
~8元 1.5h
出租车
~70元 40min
虹桥机场
公交地铁
~12元 2.5h
出租车
~200元 1h
浦东国际机场
沪渝高速
Huyu Highway
公交地铁
~7元 1.5h
出租车
~70元 50min
上海南站
会场所在地
上海富悦大酒店



会场一楼平面图


分会场12
分会场11
分会场10
主楼电梯
悦华厅餐厅
卫生间
扶梯
卫生间
A栋电梯
分会场16
分会场15
分会场14
分会场13
北

会场二楼平面图


主会场—东方厅
主楼电梯
富悦厅餐厅
学术展板区
展商位
科普书展
展商位
科普馆企联展
分会场1
卫生间
扶梯
卫生间
分会场8
分会场2
分会场4
A栋
电梯
分会场3
内庭院
分会场5
分会场6
分会场7
分会场9
北

会场三楼平面图

欢迎词

“地球系统科学大会”（Conference on Earth System Science, CESS）是以学科交叉为特色、两年一度的学术盛会。其目标在于促进学科交叉，横跨圈层、穿越时空，推动海陆结合、古今结合、生命科学与地球科学结合、以及科学与技术的结合。在当前我国地球科学、尤其是海洋科学高速发展的背景下，大会的宗旨在于提供“陆地走向海洋、海洋结合陆地”的交流平台。

大会自 2010 年至今已成功举办六届，会议的规模逐届增大，从第一届的 500 余人，至第六届已逾 2200 余人。学科交叉的深度和广度也在不断加强，跨越地球圈层的同时，也提倡科学与技术的结合，积极推动中国地球科学的转型。经过多年来地学界同仁的共同努力，地球系统科学大会已经成为中国地球科学的一张靓丽名片。为了保持这一高层次的中文学术交流平台，不断促进华语世界地球科学领域不同学科之间的深度交流，中国大洋发现计划（IODP-China）专家咨询委员会决定与国家自然科学基金委员会地球科学部、同济大学海洋地质国家重点实验室以及海洋负排放国际大科学计划继续共同举办“第七届地球系统科学大会”。第七届大会将顺应我国地球科学蓬勃发展的形势，以更加前沿的主题、更为丰富的信息量和更具新意的形式，欢迎来自海内外的华人学者。

秉承前六届会议的优秀传统，会议将继续使用汉语为主要交流语言。会议最大的特点在于高度的跨学科性、强调并着重讨论，内容丰富，日程紧凑，有大会报告、专题报告和展板报告等多种形式，还有晚上另外组织的讨论及信息交流。“第七届地球系统科学大会”除了一贯的科学主题，还将突出科学与文化结合的精神，组织“科研与科普”圆桌会议、科普馆企联展和科普书展等特色科普活动。

希望大家在这次会议中有所收获！

第七届地球系统科学大会学术委员会

2023 年 6 月 19 日

会议基本信息

会议注册

7 月 4 日 12:00~21:00 —— 会议现场注册地点在“ 上海富悦大酒店 ”（上海松江区茸悦路 208 弄）一楼大厅。已成功缴纳注册费的参会人员请前往签到并领取会议资料。未缴纳注册费的参会人员请现场付费，接受微信、支付宝及刷卡支付。

7 月 5~6 日 8:00~17:00 —— 会议现场注册地点在“ 上海富悦大酒店 ” 一楼大厅，接受办理已缴费和现场付费的各类注册。

7 月 7 日 8:00~12:00 —— 会议现场注册地点在“ 上海富悦大酒店 ” 一楼大厅，接受办理已缴费和现场付费的各类注册。

注册费发票

2023 年 6 月 5 日及以前缴纳注册费的参会代表，秘书处已经开具发票并上传至会议网站，参会代表可以登录大会网站用户中心下载电子发票。

2023 年 6 月 5 日后以及现场缴费的参会代表，可在大会结束 10 个工作日后登录大会网站用户中心下载电子发票，大会不再提供纸质发票。所有会议注册费发票均由同济大学出具。

“地球系统科学大会”
微信公众号

“地球系统大会 e 起来”
微信小程序

会议现场签到流程

已注册已缴费

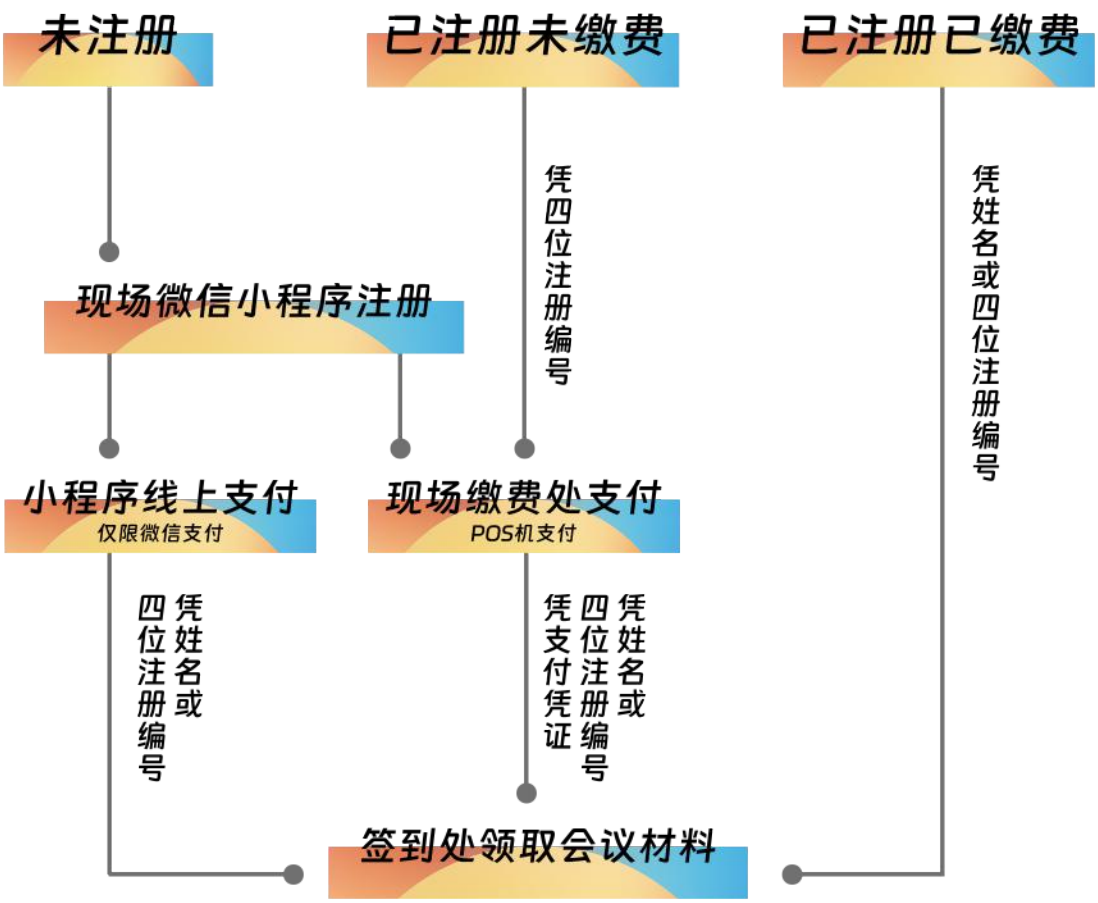
已在会议网站注册并缴费的人员，请您至“ 已注册已缴费 ” 窗口报您的姓名或注册编号进行签到并领取胸卡等会议资料。

已注册未缴费

凡在会议网站注册但未缴费的人员，请您先到“ 现场缴费处 ” 进行付费。之后请到“ 已注册已缴费 ” 窗口出示付款凭证，报您的姓名或注册编号签到并领取胸卡等会议资料。

现场报名注册

未在会议网站注册过的人员，请您先到“ 现场报名 ” 窗口，扫码关注会议微信公众号“ 地球系统科学大会 ”，点击下方“ 注册参会 ”（也可以搜索微信小程序“ 地球系统大会 e 起来 ” 或直接扫描二维码），进入小程序后，请在新的页面点击右下角“ 我的 ” 栏目进行注册，请先点击微信授权使用小程序，根据页面提示完善个人信息、选择代表类型、缴费方式，填写发票信息后提交注册信息，完成会议注册。选择微信支付的参会代表可以在新的缴费页面直接缴纳注册费，支付成功后请前往“ 已注册已缴费 ” 窗口报姓名或注册编号签到领取会议资料。如受单位限制等必须刷卡，选择 POS 机支付的参会代表在提交注册信息后，前往“ 现场缴费处 ” 刷卡付费，付费后请至“ 已注册已缴费 ” 窗口出示付款凭证，报您的姓名或者注册编号签到并领取胸卡等会议资料。



现场注册费

会议代表 2500 元，学生代表 1800 元。费用包括：会议资料，会场租用，会议工作午餐（7 月 5~7 日），茶歇（7 月 5~7 日）；不包括：住宿费和交通费等。

注册编号：即 CESS- 注册编号（四位数字），是您注册地球系统科学大会后，系统分配的唯一编号，可以在大会网站用户中心处查得，也可以登录“地球系统大会 e 起来”微信小程序，点击右下角“我的”登录后查得。

会议住宿

由于参会人员较多，会议秘书处不提供酒店代订服务。会场所在的上海富悦大酒店是一家大型商务会议酒店，特别为本次会议提供了优惠价格，可满足多数参会代表的需求。前期已成功预定酒店房间的参会代表请直接至酒店前台办理入住。目前，会场所在的上海富悦大酒店已经满房，会场周边还有其他酒店，如：上海三迪华美达酒店、上海松江世茂睿选酒店等，请参会代表自行预订。会议不承担现场预订宾馆工作。会议住宿费用由参会代表与宾馆直接结算，领取发票。

会议地点

会议地点在“上海富悦大酒店”（上海松江区茸悦路 208 弄），具体位置见附图。主会场设在三楼东方厅，分会场 1-9 分布在三楼各会议室，分会场 10-16 分布在二楼悦贵厅和悦泰厅，学术展板安排在三楼明珠厅、主题展览和仪器厂商展览安排在三楼展厅。

会议就餐

会议工作午餐（7 月 5~7 日 12:00-13:30），安排在“上海富悦大酒店”一楼馨香园、曼哈顿；二楼悦华厅；三楼富悦厅。会议用餐均凭有效餐券就餐（现场注册时领取），请按照餐券上标识的地点用餐，以免造成人流过于集中。由于就餐时间集中，预计将出现排队情况，请大家谅解和配合。

交通指南

会场及宾馆周边交通较为方便，从虹桥国际机场、浦东国际机场、上海火车站、上海南站等交通枢纽均有多种交通方式到达，具体请参考附图。

注：会议不提供接站服务。

会场周边美食推荐

1. 松江万达广场（距离会场约 500 米）：自地下一层至五层，每层均有众多不同价位的中式、日式、韩式、快餐、甜品等 130 多家门店的各种美食，可以满足参会代表用餐。推荐小杨生煎、陈香贵兰州牛肉面、西塔老太太泥炉烤肉、楠火锅、老肥猫江浙菜、潮界、松料理、丰收日、萨莉亚意式餐厅等。

2. 松江大学城（距离会场约 1.5 公里）：

樱花广场：位于上海视觉艺术学院对面，有众多餐饮小店，推荐啊臻新疆炒米粉、翔仔好味馆、芝根芝底 PIZZA、香港新发烧腊 · 煲仔饭、E68 土耳其烤肉饭、麦兜饭宝等。

起源生活广场：位于樱花广场旁边，广场有一个窄窄的楼底能够通向 2 楼，楼上有众多美食。推荐李先生的首尔小馆、湘遇 · 杯莫停湘菜小酒馆。

开元地中海商业广场：位于松江新城中心，离松江大学城不远，商场内美食众多。推荐喜来稀肉、青花椒砂锅鱼、牛小新烧肉。

“地球系统大会 e 起来”
微信小程序

口头报告

大会特邀报告

每个报告 30 分钟，包括约 27 分钟演讲和 3 分钟答疑。

青年学者论坛报告

每个报告 10 分钟，包括 8 分钟演讲和 2 分钟答疑。

专题口头报告

每个报告 15 分钟，包括演讲和答疑。

请于 7 月 4 日将 PPT 文件拷贝至会议注册处专用计算机内。

大会开始后，也可在 8:00-8:20 及 13:30-13:50 至所属分会场将 PPT 拷至分会场专用计算机内。所有会场 PPT 显示比例均为 16:9，请各位报告人提前做好准备。

日程速查

“ 地球系统大会 e 起来 ” 微信小程序的核心功能是方便参会代表快速查阅学术日程，在进入小程序首页后，点击“学术日程”，打开新的页面:

（1）可通过报告人、关键词直接搜索感兴趣的学术报告；

（2）亦可根据大会主题、专题、时间单元报告、具体报告、报告摘要，一路筛选您感兴趣的学术报告；

（3）还可锁定日期、会场，查询此时此刻正在进行的学术报告；

会议展览供您了解科研、科普、展商的介绍、展位点，方便您一“ 键 ” 直达，更多功能等您来解锁!

沪上游览

“乐游上海”是上海市文化和旅游局、上海市广播电视局、上海市文物局联合推出的官方微信号，并配有“乐游上海”小程序。介绍上海旅游、文化休闲、各种福利活动，是本市各旅游景点、酒店、航空、商业单位等共同为上海游客提供服务的旅游平台。让您在四季上海，发现更多，体验更多。

展板报告及须知

展板报告时间

7 月 5~7 日，每天中午 12:30-14:00

展板报告地点

上海富悦大酒店—明珠厅（三楼）

展板报告须知

作为本会议重要的学术交流形式，展板报告将提供报告人与参会人员直接互动的平台。在本专题指定展板报告时间（请参照大会学术日程安排），报告人须站在各自展板前参加讨论和交流。展板报告期间专题召集人将逐一浏览展板。

会议期间展板区将一直开放，但展板报告每日更换，请各位报告人注意更换时间：

每天上午 8:00-10:00 期间，请报告人按照会议手册展板专题时间要求自行张贴当天海报至展板区指定位置（按照展板编号贴在相应位置）。

每天下午 16:00-18:00 期间，请报告人将展板报告自行撤回，逾期将会被工作人员摘除，以便安排次日的展板报告。全部展板于 7 月 7 日 18:00 撤离。

展板规格：A0 幅面，竖版（宽 × 高 = 841 mm × 1189 mm），报告人请自行打印海报（建议不带背胶）。大会秘书处将为报告人提供布基胶带，避免海报背胶残留展板，请尽量采用较为轻便的纸张打印，以免海报滑落；展板上请勿刀刻、涂写及钻孔，不能使用破坏性强的胶带或胶水张贴。

“优秀学生展板”评选

按照大会惯例，会议将评选优秀学生展板并给予奖励，请所有学生展板报告人关注并参与。学生展板辨识：展板编号以 “S” 结尾者为学生展板。

“ 优秀学生展板评审委员会 ” 将在会议期间参观学生展板展位，评选出 “ 优秀学生展板 ”，并在 7 月 7 日下午的 “ 大会闭幕式 ” 中颁奖。评选基本要求：展板使用中文制作，在指定的展板时间内等候在展板前参与讨论，出席全程会议（包括颁奖仪式）。

大会特邀报告

主会场 | 东方厅

嫦娥五号月球样品揭示月球最年轻火山活动

李献华 | 中国科学院地质与地球物理研究所

7月5日 15:50~16:20

夏季青藏高原中东部表面感热通量对东亚夏季风年代际变化的影响

张人禾 | 复旦大学

7月5日 16:20–16:50

古亚洲洋演化及其对潘吉亚超大陆形成的制约

肖文交 | 中国科学院新疆生态与地理研究所

7月5日 16:50–17:20

从生物碳泵的地史演化看微生物的地质作用

谢树成 | 中国地质大学（武汉）

7月5日 17:20–17:50

俯冲带及其地震过程

王克林 | 加拿大维多利亚大学

7月7日 15:50–16:20

现代地球—生命系统的崛起

朱茂炎 | 中国科学院南京地质古生物研究所

7月7日 16:20–16:50

地球系统战略研究成果汇报

《中国地球系统科学 2035 发展战略》编委会

组长 | **汪品先**

副组长 | **郭正堂　焦念志　金之钧　王成善**

方向一　**重新认识海洋碳泵**　负责人：焦念志

报告题目一：海洋溶解有机碳与冰期旋回（报告人：翦知湣）
报告题目二：有机碳与矿物—从海水到岩层（报告人：董海良）
报告题目三：生物泵的地质演化（报告人：谢树成）

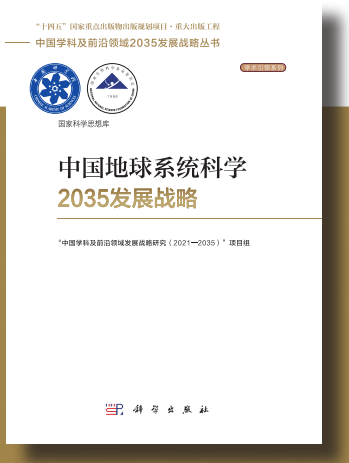
方向二　**水循环及其轨道驱动**　负责人：郭正堂

报告题目四：40 万年偏心率长周期的破坏（报告人：田军）
报告题目五：水循环的地质演变（报告人：朱茂炎）
报告题目六：气候系统演变中的两半球和高低纬相互作用（报告人：郭正堂）

方向三　**东亚 — 西太的海陆衔接**　负责人：金之钧

报告题目七：太平洋板块俯冲和东亚大地幔楔（报告人：徐义刚）
报告题目八：西太平洋边缘海盆地的形成与演化（报告人：黄奇瑜）
报告题目九：横向不均一性对大洋板块俯冲的影响（报告人：孟庆任）
报告题目十：中新生代盆地流体活动及资源环境效应（报告人：金之钧）

项目秘书 | **田军**



— 出版中 —

7月6日
19:30—21:10
东方厅 1 号 | 三楼

“科研与科普”系列活动

地球系统科学研究，本身就是多学科的交叉合作，迫切需要学术界内跨学科的“科普”，促进相互理解；地球系统科学研究的内容和成果，又具有天生的趣味性和吸引力，通过横跨“天、地、生”的系统性视野开展科普工作，可以取得巨大的影响。近年来新媒体科普平台的涌现，又为地球系统科学的普及，开拓了新天地。面对当前多学科交叉和创新性教育的新趋势，本届大会特邀各位与会代表参加由中国科普作家协会、科普出版联盟以及上海科技馆（天文馆、自然博物馆）等单位共同组织的“科研与科普”系列活动，一起来探讨科研与科普之间的链接。

科研与科普：地球系统科学的启示
圆桌会

召集人
周忠和 院士
中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

“圆桌会”将邀请科研和科普领域的嘉宾代表，与参会代表一道，召开圆桌讨论会，围绕“科学家做科普”这一核心议题，研讨科研与科普的关系；以地球系统科学为例，分析科普对科研的意义。主要议题包括：利与弊——科普与科研的相互关系，专与俗——专业与通俗的平衡，科普工作所需的能力、时间分配、职业阶段，地球系统科学思维与地学科普的需求和形式等。

7月5日
14:00–15:30
分会场 8 | 三楼

天地有生机
科普书展

参展单位
新发现·科普出版联盟

7月5–7日
会议全程
3 楼东侧扶梯旁

科普新途径
馆企联展

参展单位
上海科技馆，中国古动物馆，中国科学院南京古生物博物馆，中国科学院深海科学与工程研究所，“深海明灯”科普团队；利亚德（上海）数字科技有限公司，上海宽创国际文化科技股份有限公司，时空色彩（苏州）信息科技股份有限公司

7月5–7日
会议全程
3 楼西侧富悦厅外

日程目录

同一专题的不同时间单元对应页码，用顿号分隔

主题一 | 宜居地球与生命演化

主题一	召集人	页码	
专题 01 中生代陆地生态系统重大变革及环境背景	王博、高远、沈俊	口头 展板	40 17
专题 02 植物登陆的环境资源效应	沈冰、薛进庄、王怿、鲁静	口头 展板	13、42 17
专题 03 蛇纹石化过程与效应	刘传周、张宇、林红磊、黄瑞芳	口头 展板	14、42 18
专题 04 华北克拉通破坏与燕辽 / 热河生物群的演化	周忠和、徐义刚、孟庆任	口头 展板	11 19
专题 05 温室地球气候—环境演变	胡修棉、王永栋、吴怀春、高远	口头 展板	91、91 20
专题 06 丝路文明演化与生存环境变化	董广辉、马敏敏、贾鑫	口头 展板	58 20
专题 07 南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程	余克服、颜文、许莉佳	口头 展板	7、7、39、51 21
专题 08 青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟	方小敏、潘保田、苗运法	口头 展板	1、1、36 24
专题 09 氧气的生物地球化学循环	颜余真、李院生、李向应、胡焕婷	口头 展板	57 25
专题 10 地球关键带与生态保护修复	张万益、王军	口头 展板	103、132 26
专题 11 海洋极端环境微生物及其地质效应	李江涛、张锐、张晓华、王风平	口头 展板	100、100、131 26
专题 12 南极生态系统与气候变化	周朦、王汝建、何剑锋	口头 展板	57、86 28

主题二 | 深部过程与行星循环

主题二	召集人	页码	
专题 13 地外海洋与比较行星学	杨军、刘慧根、吴兆朋；丁悉、郝记华、杨军	口头 展板	9、9 28
专题 15 俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制	高翔、张帆、周志远	口头 展板	58、86 28
专题 16 地球与行星内部结构和性质	徐义刚、陈凌、刘锦	口头 展板	50、50 29
专题 17 特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成	李家彪、吴福元、高锐、丁巍伟	口头 展板	45、80、90、126 30
专题 18 花东海盆与西太边缘海地质演化	钟广法、黄奇瑜、赵明辉、张国良	口头 展板	92、92 31
专题 19 大洋 / 海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用	田丽艳、张国良、余梦明、孙珍	口头 展板	4、4、37 31
专题 20 西太海陆深部过程与浅部响应	于有强、曾罡、廖杰、钱生平	口头 展板	94、94 32
专题 21 地球深部流体及其资源环境效应	金之钧、刘全有、罗群	口头 展板	60、60、87 33
专题 22 俯冲带流体性质与行为	张运迎、李洪颜、徐敏	口头 展板	101、101 33

主题三 | 水循环的时空变化

主题三	召集人		页码
专题 23 海洋内部热量演变和气候效应	成里京、杨海军、王跃、党皓文	口头 展板	11、41 34
专题 24 重大气候演变期的陆表地质过程和海—陆物质循环	杨江海、聂军胜、韩喜彬、刘志飞	口头 展板	131 35
专题 26 季风系统：海陆记录与模拟综合对比	张海伟、石正国、赵德博	口头 展板	59、87 61
专题 27 亚洲河系演化：源汇过程与环境记录	杨守业、颜茂都、万世明、马金龙	口头 展板	2、36、46、80 61
专题 28 季风—干旱系统演变与大陆演化	郭正堂、吴福元、胡永云、肖文交	口头 展板	16、16、43 63
专题 29 石笋古气候记录与气候模拟	李廷勇、谭亮成、张海伟、程军	口头 展板	14 64
专题 30 水循环的地质演变	朱茂炎、郭正堂、汪品先	口头 展板	54、84 65
专题 31 亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化	晏宏、谭亮成、程军；姚强、杨阳、范代读	口头 展板	54、99 65
专题 32 海陆气相互作用与极端天气气候事件	张人禾、李建平、刘屹岷	口头 展板	40 66
专题 33 热带和极地海洋海气相互作用"海—空—天"协同观测	王东晓、王天星、唐世林、王天霖	口头 展板	38 67
专题 34 北极海洋与气候变化	陈显尧、程晓、雷瑞波	口头 展板	105 67
专题 35 冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用	刘永岗、李熙晨、李大玮	口头 展板	6、6 68

主题四 | 地球气候系统的碳循环

主题四	召集人	页码	
专题 36 长周期地球轨道力驱动的地球系统演变	吴怀春、田军、黄春菊、 李明松 马超	口头 展板	83 68
专题 37 地球变暖时期的古环境重建	姚炜琪、李明松、罗一鸣	口头 展板	12 69
专题 38 地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟	田军、俞永强、柳中晖、 杜金龙	口头 展板	49、49 70
专题 39 碳 -14 生物地球化学循环	包锐、周卫健、徐胜	口头 展板	38 71
专题 40 巽他陆架海平面、流域和碳循环过程与演变	刘志飞、石学法、万世明	口头 展板	53、84 72
专题 41 基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究	杜梦然、邓龙辉、董良	口头 展板	83、129 72
专题 42 大气气溶胶碳循环	章炎麟、鲍红艳、罗笠	口头 展板	132 73
专题 43 陆海关键带氮循环	杨进宇、郑立伟、谭萼辉	口头 展板	59 73
专题 44 大陆边缘碳循环过程、演变与记录	赵宁、包锐	口头 展板	96 74
专题 45 大陆风化与地球物质循环	陈骏、金章东、李高军	口头 展板	8、8 74

主题五 | 碳中和与海洋负排放

主题五	召集人	页码	
专题 46 海洋负排放理论探索	焦念志、翦知湣、张锐、汤凯	口头 展板	52 75
专题 47 海洋碳汇的地质演化与驱动机制	谢树成、王风平	口头 展板	5、5 75
专题 49 水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应	汤凯、王建军、李猛、李倩	口头 展板	104、104、133 76
专题 50 海洋生物碳汇	孙军、林强、张永雨	口头 展板	53 77
专题 51 三泵集成驱动的极地碳汇过程与机制	汪岷、祁第、金海燕、张瑞峰	口头 展板	130 78
专题 52 海水养殖环境负排放科学发展	杨宇峰、樊炜、朱陈霸、张继红	口头 展板	37 78
专题 53 “双碳”背景下的海洋新能源技术	刘延俊、王宁、赵云鹏	口头 展板	51、96 79
专题 54 海洋碳汇的观测技术与数值试验	陈大可、杨清华	口头 展板	82 106
专题 55 海洋负排放科学平台与系统应用	周朦、翦知湣、刘延俊、李富超	口头 展板	90 106
专题 57 海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层	王凡、吴锜	口头 展板	102、102 107
专题 58 海洋碱化增汇技术与环境效应	刘纪化、张传伦、王晓雪、潘依雯；类彦立、王凡、李铁刚、翦知湣	口头 展板	45 107
专题 59 气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策	叶思源、王法明、刘东艳	口头 展板	81、127 108
专题 61 海洋地质碳封存与碳中和	陈建文、刘强、谢明英	口头 展板	2、46 109

主题六 | 深海探测：资源与灾害

主题六	召集人	页码	
专题 62 海洋地质灾害案例、形成过程与机制	孙启良、李伟、李琳琳	口头 展板	15、43 109
专题 63 地震孕震、地震活动与地震灾害	罗纲、柳畅、许才军、 李玉江	口头 展板	98、98 110
专题 64 海洋工程地质灾害与海底地貌演化	刘晓磊、苏明、王大伟； 贾永刚、吴时国、陈家旺	口头 展板	105、133 111
专题 65 海底流体活动的现代过程与沉积记录	冯东、李超伦、张鑫	口头 展板	82、128 112
专题 66 深渊探索—俯冲带海沟之谜	彭晓彤、罗敏、张海滨	口头 展板	15 113
专题 67 南海深水深层油气系统形成机制与分布预测	朱伟林、徐长贵、高阳东、 耿建华	口头 展板	55、55、85 114
专题 68 深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律	朱光有、高山林、韩剑发、 周慧	口头 展板	95、95、128 115
专题 69 深水沉积的源汇过程及其能源环境效应	龚承林、林畅松、解习农	口头 展板	13 116
专题 70 主动源海底地震技术应用与发展	刘玉柱、徐敏、耿建华	口头 展板	41 117
专题 72 深海矿产与多圈层相互作用	石学法、孙晓明、范宏瑞、 何高文	口头 展板	99、130 117
专题 73 南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟	孙珍、丁巍伟、姚永坚、 李春峰	口头 展板	48、48 118
专题 74 地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟	薛梅、林建民、王涛、周勇	口头 展板	126 119
专题 75 深时气候对金属成矿和有机质富集的控制作用	蔡春芳、温汉捷、王庆飞	口头 展板	12 119

主题七 | 地球系统过程与演变

主题七	召集人	页码	
专题 76 特提斯地球系统演化与油气富集效应	何治亮、朱伟林、刘可禹	口头 展板	3、3 119
专题 77 事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理	卢银、孙启良、刘志飞	口头 展板	93、93 120
专题 78 数字驱动下的深时地球科学研究	胡修棉、胡永云、杜震洪、王新兵	口头 展板	47、47 121
专题 79 重大环境演变与能源资源富集	姜磊、赵明宇、张飞飞、高远	口头 展板	103 122
专题 80 海岸带动力地貌过程与演变机制	胡湛、周曾、汪亚平	口头 展板	56、56、85 122
专题 81 印太边缘海极端热力事件及其生态和气候效应	肖福安、王东晓、王鑫、周文	口头 展板	81、127 —
专题 82 古亚洲洋演化及其环境效应	肖文交、毛启贵、敖松坚、宋东方	口头 展板	97、97 124
专题 83 中国大洋钻探科学执行计划	翦知湣、周力平、林间、王风平	口头 展板	10、10 —

圆桌会及科普专题

专题	召集人	页码
专题 84 华夏山水的由来	郭正堂、汪品先	52

圆桌会	召集人	页码
科研与科普：地球系统科学的启示	周忠和	39

学术日程索引

7 月 4 日	时间	会场	7 月 5 日	7 月 6 日	7 月 7 日
		分会场 1 三楼 1 号会议室	专题 08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟 （1）	专题 17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成 （1）	专题 17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成 （3）
		分会场 2 三楼 2 号会议室	专题 61：海洋地质碳封存与碳中和 (1)	专题 61：海洋地质碳封存与碳中和 (2)	专题 05：温室地球气候—环境演变 （1）
		分会场 3 三楼 3 号会议室	专题 76：特提斯地球系统演化与油气富集效应 （1）	专题 78：数字驱动下的深时地球科学研究 （1）	专题 18：花东海盆与西太边缘海地质演化 （1）
		分会场 4 三楼上海厅	专题 19：大洋 / 海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用 （1）	专题 73：南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟 （1）	专题 77：事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理 （1）
		分会场 5 三楼 5 号会议室	专题 47：海洋碳汇的地质演化与驱动机制 （1）	专题 38：地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟 (1)	专题 20：西太海陆深部过程与浅部响应 （1）
		分会场 6 三楼 6 号会议室	专题 35：冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用 （1）	专题 16：地球与行星内部结构和性质 (1)	专题 68：深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律 （1）
		分会场 7 三楼 7 号会议室	专题 07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程 （1）	专题 07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程 （4）	专题 44：大陆边缘碳循环过程、演变与记录
	08:30-10:00	分会场 8 三楼 8 号会议室	专题 45: 大陆风化与地球物质循环（1）	专题 46：海洋负排放理论探索	专题 82：古亚洲洋演化及其环境效应 (1)
		分会场 9 三楼 9 号会议室	专题 13：地外海洋与比较行星学 （1）	专题 40：跨地陆架海平面、流域和碳循环过程与演变 （1）	专题 63：地震孕震、地震活动与地震灾害 （1）
		分会场 10 二楼悦泰厅 1 号	专题 83：中国大洋钻探科学执行计划 (1)	专题 30：水循环的地质演变 （1）	专题 72：深海矿产与多圈层相互作用 (1)
		分会场 11 二楼悦泰厅 2 号	专题 04：华北克拉通破坏与燕辽 / 热河生物群的演化	专题 67：南海深水深层油气系统形成机制与分布预测 （1）	专题 11：海洋极端环境微生物及其地质效应 （1）
		分会场 12 二楼悦泰厅 3 号	专题 75：深时气候对金属成矿和有机质富集的控制作用	专题 80：海岸带动力地貌过程与演变机制 （1）	专题 22：俯冲带流体性质与行为 （1）
		分会场 13 二楼悦泰厅 1 号	专题 02: 植物登陆的环境资源效应 (1)	专题 09：氧气的生物地球化学循环	专题 57：海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层 （1）
		分会场 14 二楼悦泰厅 2 号	专题 03：蛇纹石化过程与效应 （1）	专题 06：丝路文明演化与生存环境变化	专题 10：地球关键带与生态保护修复 (1)
		分会场 15 二楼悦泰厅 3 号	专题 62：海洋地质灾害案例、形成过程与机制 （1）	专题 43：陆海关键带氮循环	专题 49：水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应 （1）
		分会场 16 二楼悦泰厅 5 号	专题 28：季风—干旱系统演变与大陆演化 （1）	专题 21：地球深部流体及其资源环境效应 (1)	专题 34：北极海洋与气候变化
	10:00-10:20	茶 歇			
		分会场 1 三楼 1 号会议室	专题 08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟 （2）	专题 58：海洋碱化增汇技术与环境效应	专题 55：海洋负排放科学平台与系统应用
		分会场 2 三楼 2 号会议室	专题 27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录 （1）	专题 27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录 （3）	专题 05：温室地球气候—环境演变 (2)
		分会场 3 三楼 3 号会议室	专题 76：特提斯地球系统演化与油气富集效应 （2）	专题 78：数字驱动下的深时地球科学研究 （2）	专题 18：花东海盆与西太边缘海地质演化 （2）
		分会场 4 三楼上海厅	专题 19：大洋 / 海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用 （2）	专题 73：南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟 （2）	专题 77：事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理 （2）
		分会场 5 三楼 5 号会议室	专题 47：海洋碳汇的地质演化与驱动机制 （2）	专题 38：地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟 (2)	专题 20：西太海陆深部过程与浅部响应 （2）
		分会场 6 三楼 6 号会议室	专题 35：冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用 （2）	专题 16：地球与行星内部结构和性质 (2)	专题 68：深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律 （2）
		分会场 7 三楼 7 号会议室	专题 07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程 （2）	专题 53：“双碳”背景下的海洋新能源技术 （1）	专题 53：“双碳”背景下的海洋新能源技术 （2）
		分会场 8 三楼 8 号会议室	专题 45: 大陆风化与地球物质循环（2）	专题 84：华夏山水的由来	专题 82：古亚洲洋演化及其环境效应 (2)
会议报到 12:00-21:00	10:20-11:50	分会场 9 三楼 9 号会议室	专题 13：地外海洋与比较行星学 （2）	专题 50：海洋生物碳汇	专题 63：地震孕震、地震活动与地震灾害 （2）
		分会场 10 二楼悦泰厅 1 号	专题 83：中国大洋钻探科学执行计划 (2)	专题 31：亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化 （1）	专题 31：亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化 （2）
		分会场 11 二楼悦泰厅 2 号	专题 23：海洋内部热量演变和气候效应 （1）	专题 67：南海深水深层油气系统形成机制与分布预测 （2）	专题 11：海洋极端环境微生物及其地质效应 （2）
		分会场 12 二楼悦泰厅 3 号	专题 37：地球变暖时期的古环境重建	专题 80：海岸带动力地貌过程与演变机制 （2）	专题 22：俯冲带流体性质与行为 （2）
		分会场 13 二楼悦泰厅 1 号	专题 69：深水沉积的源汇过程及其能源环境效应	专题 12: 南极生态系统与气候变化 (1)	专题 57：海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层 （2）
		分会场 14 二楼悦泰厅 2 号	专题 29：石笋古气候记录与气候模拟	专题 15：俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制 （1）	专题 79：重大环境演变与能源资源富集
		分会场 15 二楼悦泰厅 3 号	专题 66：深渊探索—俯冲带海沟之谜	专题 26：季风系统：海陆记录与模拟综合对比 （1）	专题 49：水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应 （2）
		分会场 16 二楼悦泰厅 5 号	专题 28：季风—干旱系统演变与大陆演化 （2）	专题 21：地球深部流体及其资源环境效应 （2）	专题 64：海洋工程地质灾害与海底地貌演化 （1）
	12:00-14:00	午餐 12:00~13:30； 展板报告 12:30~14:00	展板：专题 01、02、03、04、05、06、07、08、09、10、11、12、13、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24	展板：专题 26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、49、50、51、52、53	展板：专题 54、55、57、58、59、61、62、63、64、65、66、67、68、69、70、72、73、74、75、76、77、78、79、80、81、82、83
		分会场 1 三楼 1 号会议室	专题 08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟 （3）	专题 17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成 （2）	专题 17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成 （4）
		分会场 2 三楼 2 号会议室	专题 27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录 （2）	专题 27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录 （4）	专题 74：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟
		分会场 3 三楼 3 号会议室	专题 52：海水养殖环境负排放科学发展	专题 81：印太边缘海极端热力事件及其生态和气候效应 （1）	专题 81：印太边缘海极端热力事件及其生态和气候效应 （2）
		分会场 4 三楼上海厅	专题 19：大洋 / 海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用 （3）	专题 59：气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策 （1）	专题 59：气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策 （2）
		分会场 5 三楼 5 号会议室	专题 39：碳 -14 生物地球化学循环	专题 65：海底流体活动的现代过程与沉积记录 （1）	专题 65：海底流体活动的现代过程与沉积记录 （2）
		分会场 6 三楼 6 号会议室	专题 33：热带和极地海洋海气相互作用 “海—空—天” 协同观测	专题 54：海洋碳汇的观测技术与数值试验	专题 68：深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律 （3）
		分会场 7 三楼 7 号会议室	专题 07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程 （3）	专题 41：基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究 （1）	专题 41：基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究 （2）
		分会场 8 三楼 8 号会议室	“科研与科普：地球系统科学的启示” 圆桌会	专题 36：长周期地球轨道力驱动的地球系统演变	专题 82：古亚洲洋演化及其环境效应 (3)
		分会场 9 三楼 9 号会议室	专题 32：海陆气相互作用与极端天气气候事件	专题 40：跨地陆架海平面、流域和碳循环过程与演变 （2）	专题 51：三泵集成驱动的极地碳汇过程与机制
	14:00-15:30	分会场 10 二楼悦泰厅 1 号	专题 01：中生代陆地生态系统重大变革及环境背景	专题 30：水循环的地质演变 （2）	专题 72：深海矿产与多圈层相互作用 (2)
		分会场 11 二楼悦泰厅 2 号	专题 23：海洋内部热量演变和气候效应 （2）	专题 67：南海深水深层油气系统形成机制与分布预测 （3）	专题 11：海洋极端环境微生物及其地质效应 （3）
		分会场 12 二楼悦泰厅 3 号	专题 70：主动源海底地震技术应用与发展	专题 80：海岸带动力地貌过程与演变机制 （3）	专题 24：重大气候演变期的陆表地质过程和海—陆物质循环
		分会场 13 二楼悦泰厅 1 号	专题 02: 植物登陆的环境资源效应 (2)	专题 12: 南极生态系统与气候变化 (2)	专题 42：大气气溶胶碳循环
		分会场 14 二楼悦泰厅 2 号	专题 03：蛇纹石化过程与效应 （2）	专题 15：俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制 （2）	专题 10：地球关键带与生态保护修复 (2)
		分会场 15 二楼悦泰厅 3 号	专题 62：海洋地质灾害案例、形成过程与机制 （2）	专题 26：季风系统：海陆记录与模拟综合对比 （2）	专题 49：水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应 （3）
		分会场 16 二楼悦泰厅 5 号	专题 28：季风—干旱系统演变与大陆演化 （3）	专题 21：地球深部流体及其资源环境效应 （3）	专题 64：海洋工程地质灾害与海底地貌演化 （2）
	15:30-15:50	茶 歇			
学术委员和召集人预备会 三楼 8 号会议室 19:00-20:00	15:50-17:50	主会场 三楼东方厅	**大会特邀报告（4 人）120 分钟**	**青年学者论坛（110 分钟）**	**大会特邀报告（2 人）60 分钟** **大会闭幕式 40 分钟**
	19:30-21:30		**信息交流时光** **“《中国科学》杂志社期刊编辑面对面” 活动** 19:30-20:30 三楼 10 号会议室	**地球系统战略研究成果汇报** **主会场：三楼东方厅 1 号**	

图例注释

主题一：宜居地球与生命演化　专题 01~12	主题四：地球气候系统的碳循环　专题 36~45	主题七：地球系统过程与演变　专题 76~83
主题二：深部过程与行星循环　专题 13~22	主题五：碳中和与海洋负排放　专题 46~61	圆桌会及科普专题
主题三：水循环的时空变化　专题 23~35	主题六：深海探测：资源与灾害　专题 62~75	

1、每个展板只展示一天，当天有展板报告的作者请务必于 12:30-14:00 期间在本人展板前交流。（1）、（2）、（3）：时间单元序号，分别指该专题第一个、第二个、第三个时间单元；每个时间单元 90 分钟。只有一个时间单元的专题未标时间单元序号。
2、信息交流时光：宣讲研究计划、研究项目、科研单位、出版机构等进展介绍、交流与讨论的非正式推介会议，可由主题报告、若干进展报告和讨论组成，会前或会间可含冷餐或茶点，形式不拘一格，以增强推介和互动交流为主要目标。

第七届地球系统科学大会日程

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月5日上午
专题08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟（1） 主持人：方小敏				
08:30-08:45	S08-O-1	渭河盆地沉积物源指示的青藏高原东北部渭河流域新生代地貌演化	张瀚之	南京大学
08:45-09:00	S08-O-2	中中新世全球变冷和特提斯海道闭合对北非和南亚气候影响的模拟研究	张健	北京大学
09:00-09:15	S08-O-3	晚上新世以来青藏高原东北缘干旱气候环境演化及其与盐类资源的耦合关系研究	韩文霞	临沂大学
09:15-09:30	S08-O-4	青藏高原隆升驱动亚洲气候重组	吴福莉	中科院青藏高原所
09:30-09:45	S08-O-5	伦坡拉盆地火山碎屑岩的源区及其对应的深部地球动力学过程探讨	毛子强	中国科学院大学重庆学院
09:45-10:00	S08-O-6	35Ma之前亚热带北部无季风而是西风摆动和副高控制：来自青藏高原东部囊谦盆地的记录和数值模拟结果	方小敏	中科院青藏高原所
10:00-10:20	茶歇			
专题08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟（2） 主持人：方小敏				
10:20-10:35	S08-O-7	黄河阶地记录的晚更新世青藏高原东北缘构造隆升与气候变化	李梦昊	兰州大学
10:35-10:50	S08-O-8	地貌生长诱发青藏高原东北缘中新世晚期水文系统重组	张涛	兰州大学
10:50-11:05	S08-O-9	西宁盆地及祁连山东段低温热年代学记录的中－新生代构造事件	陈立豪	兰州大学
11:05-11:20	S08-O-10	柴达木盆地早新生代化学风化强度持续降低：来自粘土矿物及其元素地球化学指标的证据	叶程程	上海师范大学
11:20-11:35	S08-O-11	裂变径迹的新发现和新方法：裂变事件发生点径迹直径较窄	李伟星	中科院青藏高原所
11:35-11:50	S08-O-12	晚上新世至早更新世期间亚洲季风的轨道和千年尺度气候变化	敖红	中科院地球环境所

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 2：三楼2号会议室				7月5日上午
专题61： 海洋地质碳封存与碳中和（1） 主持人：陈建文				
08:30-08:45	S61-O-1	中国海域沉积盆地二氧化碳地质封存潜力及其评价方法	陈建文	中国地调局青岛海洋地质所
08:45-09:00	S61-O-2	北部湾盆地深部咸水层二氧化碳地质封存基本地质条件及适宜性评价	王建强	中国地调局青岛海洋地质所
09:00-09:15	S61-O-3	海相沉积咸水层CO_2封存机理定量表征及运移规律研究	孙晓娜	中海油（中国）有限公司深圳分公司
09:15-09:30	S61-O-4	南黄海盆地新生界咸水层二氧化碳封存潜力	袁勇	中国地调局青岛海洋地质所
09:30-09:45	S61-O-5	二氧化碳海洋地质封存监测技术研究	李琦	中科院武汉岩土力学所
09:45-10:00	S61-O-6	海上CO_2封存水层筛选技术研究与启示	柴愈坤	中海油（中国）有限公司深圳分公司
10:00-10:20	茶歇			
专题27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录（1） 主持人：杨守业				
10:20-10:35	S27-O-1	南亚四大河流沉积物源汇对比研究及最新进展（邀请报告）	刘敬圃	美国北卡州立大学
10:35-10:50	S27-O-2	全新世以来南黄海中部泥质区沉积物活性铁源汇过程	刘喜停	中国海洋大学
10:50-11:05	S27-O-3	晚第四纪冰期－间冰期旋回东海“沉积汇”周期性转换与触发机制	窦衍光	中国地调局青岛海洋地质所
11:05-11:20	S27-O-4	陆源物质离岸输运通量变化的沉积记录及其可能控制机制	石勇	南京大学
11:20-11:35	S27-O-5	渤海晚第四纪钻孔年代学对比及其对海侵模式重建的意义	王中波	汕头大学
11:35-11:50	S27-O-6	我国东南不同类型山溪性流域地貌特征差异及其对沉积物地球化学组成的控制作用	李亚龙	上海师范大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月5日上午
专题76： 特提斯地球系统演化与油气富集效应（1） 主持人：何治亮				
08:30-08:45	S76-O-1	新特提斯洋活动与中东成岩－成储－成藏的耦合关系——以美索不达米亚盆地东南部油田为例	王欢	中国石油勘探开发研究院
08:45-09:00	S76-O-2	北非地区构造演化及油气富集规律	冯志强	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
09:00-09:15	S76-O-3	特提斯域南带油气差异富集主要因素分析	白国平	北京大学
09:15-09:30	S76-O-4	阿拉伯板块基底构造继承性活动与油气大规模聚集	殷进垠	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
09:30-09:45	S76-O-5	古、新特提斯洋盆闭合阶段的地质响应 ——以波斯湾超级含油气盆地为例	罗贝维	中国石油勘探开发研究院
09:45-10:00	S76-O-6	从全球原型盆地演化看中东地区油气富集	张光亚	北京大学
10:00-10:20	茶歇			
专题76： 特提斯地球系统演化与油气富集效应（2） 主持人：刘可禹				
10:20-10:35	S76-O-7	特提斯东段含油气盆地特征及油气潜力	朱伟林	同济大学
10:35-10:50	S76-O-8	100Ma东南亚构造转折与特提斯东段演化	栾锡武	山东科技大学
10:50-11:05	S76-O-9	四川盆地克拉通内裂陷形成演化及其与原、古特提斯洋开合的关系	李双建	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
11:05-11:20	S76-O-10	特提斯构造域中段盆－山耦合过程控制下的储层时空分布研究——以塔西南坳陷白垩纪为例	常嘉	中国石油大学（华东）
11:20-11:35	S76-O-11	以固碳视角探讨黑色页岩的沉积环境	毛小平	中国地质大学（北京）
11:35-11:50	S76-O-12	特提斯演化控制下的油气差异富集效应——基于波斯湾盆地与四川盆地的比较分析	何治亮	中石化股份有限公司

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 4：三楼上海厅				7月5日上午
专题19：大洋/海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用（1） 主持人：张国良				
08:30-08:45	S19-O-1	太平洋板块重建：来自太平洋和中国东部的制约（邀请报告）	孙卫东	中科院海洋所
08:45-09:00	S19-O-2	南大西洋中脊（18–21°S）玄武岩成因和地幔不均一性浅析	刘维亮	中山大学
09:00-09:15	S19-O-3	超慢速扩张洋中脊岩浆构造活动的远震指示	闫凯暄	自然资源部第二海洋所
09:15-09:30	S19-O-4	洋脊－地幔柱相互作用的岩石地球化学记录及其地质意义	郭鹏远	中科院海洋所
09:30-09:45	S19-O-5	西北太平洋Shatsky海隆深部岩浆演化过程： 来自矿物学的启示	朱恒睿	浙江大学
09:45-10:00	S19-O-6	剪切型火山型被动陆缘的发育演化过程	关慧心	中科院南海海洋所
10:00-10:20	茶歇			
专题19：大洋/海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用（2） 主持人：余梦明				
10:20-10:35	S19-O-7	南海陆缘－海盆演化过程中的岩浆作用	孙珍	中科院南海海洋所
10:35-10:50	S19-O-8	刚性地块对洋中脊渐进式传播的影响	卿佳容	中山大学
10:50-11:05	S19-O-9	发育大洋斜长花岗岩的南海管事平顶海山研究进展及下一步调查建议	张伙带	中国地调局广州海洋地质调查局
11:05-11:20	S19-O-10	西太平洋雅浦岛的OIB型变质底板记录卡洛琳板块的起始俯冲过程	张吉	中科院海洋所
11:20-11:35	S19-O-11	东北太平洋不成熟的转换边界：来自海底地震学的约束	任昱	GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel
11:35-11:50	S19-O-12	IODP U1502B钻孔高温蚀变玄武岩的锂同位素特征及对南海初始扩张期热液流体循环的指示	田丽艳	中科院深海科学与工程所

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月5日上午
专题47： 海洋碳汇的地质演化与驱动机制（1） 主持人：谢树成				
08:30-08:45	S47-O-1	趋磁细菌利用地磁场驱动元素生物地球化学循环新模式（邀请报告）	李金华	中科院地质与地球物理所
08:45-09:00	S47-O-2	从地质时期来看海洋铁施肥促进生物碳泵和气候变化关键机制	姜海波	宁波大学
09:00-09:15	S47-O-3	埃迪卡拉纪－寒武纪转折期海洋初级生产力结构重组及其环境与生态效应	王瑞敏	北京大学
09:15-09:30	S47-O-4	深古菌的物种代谢分化及其与早期地球表层环境的共演化历史	侯佳林	上海交通大学
09:30-09:45	S47-O-5	病毒在深海碳氮循环中的作用探究	蹇华哗	上海交通大学
09:45-10:00	S47-O-6	始新世－渐新世钙质超微浮游植物形态演化的模式与驱动机制	马瑞罡	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题47： 海洋碳汇的地质演化与驱动机制（2） 主持人：王风平				
10:20-10:35	S47-O-7	太平洋深处发现自生碳酸钙（邀请报告）	蔡平河	厦门大学
10:35-10:50	S47-O-8	自生碳酸盐岩与海洋碳－钙循环：基于华南下寒武统钙质结核的研究与启示	周锡强	中科院地质与地球物理所
10:50-11:05	S47-O-9	矿物促进的有机碳埋藏与大气和海洋的氧化	赵明宇	中科院地质与地球物理所
11:05-11:20	S47-O-10	颗粒有机碳保存方式的微观研究——以吕宋和台湾河流沉积物为例	张乃予	同济大学
11:20-11:35	S47-O-11	碳酸盐矿物CE异常的形成机制及其对DOC的响应	余茜倩	中国地质大学（武汉）
11:35-11:50	S47-O-12	机器学习深时之旅：显生宙海洋氧化还原状态与地球内部过程和复杂生命系统协同演化	王相力	中科院地质与地球物理所

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 6：三楼6号会议室				7月5日上午
专题35：冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用（1） 主持人：刘永岗				
08:30-08:45	S35-O-1	极地冰－气相互作用的观测及模拟（邀请报告）	丁明虎	中国气象科学研究院
08:45-09:00	S35-O-2	Evaluating Different Geothermal Heat Flow Maps as Basal Boundary Conditions During Both Transient and Nudged Spin Up of the Greenl and Ice Sheet	张通	北京师范大学
09:00-09:15	S35-O-3	东南极冰盖的冰下结构及其不稳定性	唐学远	中国极地研究中心
09:15-09:30	S35-O-4	气候变率作为近期南极冰盖质量变化的重要驱动	吕柯伟	厦门大学
09:30-09:45	S35-O-5	海洋热强迫对冰川退缩影响的研究	安璐	同济大学
09:45-10:00	S35-O-6	末次冰盛期大气层结对冰冻圈变化的响应	谢志昂	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题35：冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用（2） 主持人：李大玮				
10:20-10:35	S35-O-7	东南极地形调控的绕极深层水跨陆坡输送（邀请报告）	刘成彦	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
10:35-10:50	S35-O-8	利用东南极地区冰芯记录约束西南极冰盖的崩解历史	颜余真	同济大学
10:50-11:05	S35-O-9	晚上新世以来罗斯冰架演化历史的环境磁学重建	赵翔宇	上海交通大学
11:05-11:20	S35-O-10	南极罗斯海地区晚全新世水循环过程和影响机制	陈新	上海交通大学
11:20-11:35	S35-O-11	利用冰芯资料重建过去500年青藏高原西北部年代际温度变化	张王滨	南京大学
11:35-11:50	S35-O-12	青藏高原东北部轨道尺度的山岳冰川活动和荒漠化	肖国桥	中国地质大学（武汉）

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月5日上午
专题07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程（1） 主持人：余克服				
08:30-08:45	S07-O-1	通过对白化不均的珊瑚进行分子生态学研究揭示白化和抗白化机制（邀请报告）	林森杰	厦门大学
08:45-09:00	S07-O-2	海洋酸化、升温对珊瑚全功能体影响的分子机制	李志勇	上海交通大学
09:00-09:15	S07-O-3	虫黄藻系群变动对其共生珊瑚宿主营养可塑性的影响	王启芳	自然资源部第三海洋所
09:15-09:30	S07-O-4	相对高纬度造礁石珊瑚对热胁迫的适应性研究	许莉佳	生态环境部华南环境科学所
09:30-09:45	S07-O-5	海南岛东部岸礁中鹿角杯形珊瑚的潜在热适应机理	周智	海南大学
09:45-10:00	S07-O-6	涠洲岛十字牡丹珊瑚响应高温胁迫的代谢机制研究	裴继影	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
10:00-10:20	茶歇			
专题07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程（2） 主持人：许莉佳				
10:20-10:35	S07-O-7	广西涠洲岛海域造礁石珊瑚的有性繁殖生物学研究（邀请报告）	韦芬	广西大学
10:35-10:50	S07-O-8	基于环境DNA耦合电化学生物传感技术的珊瑚致病菌快速检测	王丽伟	广西大学
10:50-11:05	S07-O-9	典型热带岛屿生态系统演化过程中土壤有机碳和磷的循环特征	席祥龙	中国科学技术大学
11:05-11:20	S07-O-10	南海珊瑚汞同位素组成及其海洋汞循环指示意义	张睿	天津大学
11:20-11:35	S07-O-11	新兴污染物有机磷酸三酯（OPES）在西沙珊瑚礁食物网中的污染特征、营养动力学和风险评估	康亚茹	广西大学
11:35-11:50	S07-O-12	珊瑚礁遥感高新技术集成监测研究及实践	李明杰	国家海洋局南海规划与环境研究院

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 8：三楼8号会议室				7月5日上午
专题45：大陆风化与地球物质循环（1） 主持人：李高军				
08:30-08:45	S45-O-1	镁同位素示踪地球表层系统碳循环（邀请报告）	黄康俊	西北大学
08:45-09:00	S45-O-2	藏南察隅河流域水化学和冈底斯花岗岩基化学风化	阮笑白	中科院青藏高原所
09:00-09:15	S45-O-3	青藏高原流域硫酸盐来源及循环过程探究	钟君	天津大学
09:15-09:30	S45-O-4	澜沧江流域风化过程钾和锂同位素分馏行为对比研究	李晓强	中国地质大学（北京）
09:30-09:45	S45-O-5	青藏高原山地小河流锂同位素行为	张俊文	长安大学
09:45-10:00	S45-O-6	青藏高原冰冻圈地区地表土壤样品中Fe同位素组成分布	董志文	中科院西北生态环境资源研究院
10:00-10:20	茶歇			
专题45：大陆风化与地球物质循环（2） 主持人：金章东				
10:20-10:35	S45-O-7	地下水蕴含的化学风化信息——基于多种非传统同位素的认识（邀请报告）	蒋小伟	中国地质大学（北京）
10:35-10:50	S45-O-8	真菌风化的机制及其调控的元素生物地球化学循环	李子波	中科院南京地质古生物所
10:50-11:05	S45-O-9	用$^{224}Ra/^{228}Th$不平衡法解析瓯江口风化与反风化反应	程艺琳	厦门大学
11:05-11:20	S45-O-10	海水钕同位素示踪剥蚀通量演化	于兆杰	中科院海洋所
11:20-11:35	S45-O-11	岩石风化碳汇与气候变化	白晓永	中科院地球化学所
11:35-11:50	S45-O-12	250百万年以来的硅酸盐风化通量模拟研究	左浩悦	北京大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月5日上午
专题13：地外海洋与比较行星学（1）　主持人：丁忞				
08:30-08:45	S13-O-1	冰盖模式的发展和挑战	张通	北京师范大学
08:45-09:00	S13-O-2	Enceladus冰壳的热结构	周游	成都理工大学
09:00-09:15	S13-O-3	冰盖淡水通量的气候反馈效应	李大玮	上海交通大学
09:15-09:30	S13-O-4	冰雪地球冰消应该如何开始	伍家成	北京大学
09:30-09:45	S13-O-5	木星和土星冰卫星上的撞击坑分布及其对外太阳系撞击体来源的指示意义	徐璐媛	澳门科技大学
09:45-10:00	S13-O-6	洋壳玄武岩中铁质微体化石的超微结构特征及其对探索地外海洋潜在生命的启示	屈原皋	中科院深海科学与工程所
10:00-10:20	茶歇			
专题13：地外海洋与比较行星学（2）　主持人：杨军				
10:20-10:35	S13-O-7	月表水循环的证据和启示	胡森	中科院地质与地球物理所
10:35-10:50	S13-O-8	P波接收函数揭示地球、火星和月球浅层地壳散射特性的差异	石静	南京大学
10:50-11:05	S13-O-9	基于GAIA协同探测技术的系外行星普查研究	冯发波	上海交通大学
11:05-11:20	S13-O-10	Evidence of Hot Giant Exoplanets Formation Timescales in Star Clusters	戴远哲	南京大学
11:20-11:35	S13-O-11	潮汐锁相岩浆行星海洋环流模式的开发与应用	赖燕红	北京大学
11:35-11:50	S13-O-12	恒星连续性耀发对类地行星大气臭氧的影响	祝展翼	南京大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月5日上午
专题83： 中国大洋钻探科学执行计划（1） 主持人：刘志飞				
08:30-08:45	S83-O-1	气候演变与低纬驱动钻探计划总体思路	周力平	北京大学
08:45-09:00	S83-O-2	南北两极互动中的低纬过程	熊志方	自然资源部第一海洋所
09:00-09:15	S83-O-3	低纬水热循环	党皓文	同济大学
09:15-09:30	S83-O-4	跨越冰期旋回的水碳循环	田军	同济大学
09:30-09:45	S83-O-5	大洋俯冲带板块运动钻探计划总体思路	林间	南方科技大学
09:45-10:00	S83-O-6	俯冲动力过程科学问题与钻探建议	张帆	中科院南海海洋所
10:00-10:20	茶歇			
专题83： 中国大洋钻探科学执行计划（2） 主持人：翦知湣				
10:20-10:35	S83-O-7	西太平洋板块俯冲和物质循环对大地幔楔成因的启示	张国良	中科院海洋所
10:35-10:50	S83-O-8	板缘张裂的多样性与发育机制	孙珍	中科院南海海洋所
10:50-11:05	S83-O-9	海洋深部生物圈与碳循环	王风平	上海交通大学
11:05-11:20	S83-O-10	俯冲带深部生物圈碳循环	李季伟	中科院深海科学与工程所
11:20-11:35	S83-O-11	海底深部流体观测	吴自军	同济大学
11:35-11:50	S83-O-12	海洋沉积物中黑暗固碳研究进展	董良	上海交通大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月5日上午
专题04：华北克拉通破坏与燕辽/热河生物群的演化 主持人：周忠和				
08:30-08:45	S04-O-1	热河生物群羽毛的化石化过程研究	洋燕红	南京大学
08:45-09:00	S04-O-2	华北晚中生代高分辨率年代地层序列及其对克拉通破坏深部过程与浅表系统联系的制约	马强	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S04-O-3	火山作用驱动的湖泊氧化还原波动控制了热河Lagerstätten的形成	蔡士玺	中科院广州地球化学所
09:15-09:30	S04-O-4	地质年代框架与华北克拉通北缘早白垩世地质“穿时”现象	俞志强	中科院古脊椎动物与古人类所
09:30-09:45	S04-O-5	燕山科学钻探第一阶段进展	徐义刚	中科院广州地球化学所
09:45-10:00	S04-O-6	东北亚晚侏罗世火山－盆地演化与古太平洋板块俯冲	孟庆任	中科院地球与地球物理所
10:00-10:20	茶歇			
专题23：海洋内部热量演变和气候效应（1） 主持人：王跃				
10:20-10:35	S23-O-1	现代海洋热含量变化：概念和多尺度变化过程（邀请报告）	成里京	中科院大气物理所
10:35-10:50	S23-O-2	印太电容器效应的驱动机制与特征	杜岩	中科院南海海洋所
10:50-11:05	S23-O-3	南大洋快速增暖在不同时期的驱动因素	吕柯伟	厦门大学
11:05-11:20	S23-O-4	关于2018/19中部型厄尔尼诺事件动力过程的研究	王鑫	中科院南海海洋所
11:20-11:35	S23-O-5	海洋环流及其变化在赤道太平洋SST对全球变暖响应中的作用	罗义勇	中国海洋大学
11:35-11:50	S23-O-6	热带中北太平洋海洋次表层对厄尔尼诺期间热带气旋生成的意外限制	高聪	上海交通大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月5日上午
专题75： 深时气候对金属成矿和有机质富集的控制作用 主持人：蔡春芳				
08:30-08:45	S75-O-1	量化铝土矿和高岭土矿的形成与温度和降水的关系（邀请报告）	包秀娟	北京大学
08:45-09:00	S75-O-2	中元古代营养元素循环与有机质富集	王晓梅	中国石油勘探开发研究院
09:00-09:15	S75-O-3	黑色岩系型锰矿床的成矿模式	董志国	中科院地质与地球物理所
09:15-09:30	S75-O-4	Sturtian冰期后大陆边缘海的深水动态氧化——来自我国南华盆地水文重建的启示	董飞羽	中科院广州地球化学所
09:30-09:45	S75-O-5	大塘坡间冰期汞富集的控制因素	杨若飞	中科院地球化学所
09:45-10:00	S75-O-6	雪球地球消融促进大规模成锰作用与超重黄铁矿形成	蔡春芳	中科院地质与地球物理所
10:00-10:20	茶歇			
专题37：地球变暖时期的古环境重建 主持人：姚炜琪				
10:20-10:35	S37-O-1	晚上新世以来菲律宾海盆风尘沉积记录	胡邦琦	中国地调局青岛海洋地质所
10:35-10:50	S37-O-2	中新世中亚地区C_4植被扩张与印度季风加强有关	王建	中国科学院大学
10:50-11:05	S37-O-3	白垩纪海洋缺氧事件2的氮和硫循环响应	曾芝郁	南方科技大学
11:05-11:20	S37-O-4	古气候数据同化重建早始新世气候适宜期温室气候状态	张昊勋	北京大学
11:20-11:35	S37-O-5	古新世－始新世极热事件期间来自北海盆地的汞同位素证据	金思敏	中国地质大学
11:35-11:50	S37-O-6	PETM期间海洋沉积物质的时空演化及控制因素	蒋璟鑫	南京大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月5日上午
专题02：植物登陆的环境资源效应（1） 主持人：沈冰				
08:30-08:45	S02-O-1	中国扬子区早古生代最晚期地层的时空分布及其意义（邀请报告）	王怿	中科院南京地质古生物所
08:45-09:00	S02-O-2	华南早泥盆世古土壤的矿物学特征及其对古环境的指示	马龙	西北大学
09:00-09:15	S02-O-3	上泥盆统五通组的乔木石松类繁殖生物学特征新认识	刘乐	中国矿业大学（北京）
09:15-09:30	S02-O-4	喀斯特型铝土矿成矿作用及主控因素研究	杨淑娟	中国地质大学（北京）
09:30-09:45	S02-O-5	中－古生代生物造迹作用对陆地化进程的贡献	张立军	河南理工大学
09:45-10:00	S02-O-6	黔中－桂北地区石炭纪岩相古地理特征	谯文浪	贵州大学
10:00-10:20	茶歇			
专题69： 深水沉积的源汇过程及其能源环境效应 主持人：龚承林				
10:20-10:35	S69-O-1	陆架瀑布流向超临界浊流的转换过程研究	吴南	同济大学
10:35-10:50	S69-O-2	渤中凹陷石臼坨凸起南部陡坡带东段古地貌控砂机制及源－汇分析	纪友亮	中国石油大学（北京）
10:50-11:05	S69-O-3	琼东南盆地陵水凹陷中中新世海底扇“源－汇”体系及其形成机制	姚兴宗	西北大学
11:05-11:20	S69-O-4	南海北部水下沙丘的沉积动力观测（邀请报告）	赵玉龙	同济大学
11:20-11:35	S69-O-5	莺歌海盆地晚中新世海底水道沉积过程研究	田冬梅	浙江海洋大学
11:35-11:50	S69-O-6	底流与重力流交互作用下朵叶体沉积特征——以东非鲁武马盆地中新统为例	陈宇航	西安石油大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月5日上午
专题03：蛇纹石化过程与效应（1） 主持人：黄瑞芳				
08:30-08:45	S03-O-1	橄榄岩蛇纹石化与蛇纹岩变质脱水过程中的非传统稳定同位素地球化学行为（邀请报告）	陈伊翔	中国科学技术大学
08:45-09:00	S03-O-2	贫岩浆型裂谷边缘洋－陆过渡带地幔蛇纹岩化与氢气通量	刘仲兰	吉林大学
09:00-09:15	S03-O-3	地幔楔蛇纹石化过程铁同位素分馏及其对岛弧岩浆成因的启示	邓江洪	中科院海洋所
09:15-09:30	S03-O-4	贫铁叶蛇纹石与俯冲带的硼，砷，锑循环	吴凯	西北大学
09:30-09:45	S03-O-5	高度蛇纹石化橄榄岩的岩石磁学特征：以伊比利亚深海平原ODP 1070A孔为例	章钰桢	中国海洋大学
09:45-10:00	S03-O-6	流体包裹体内的蛇纹石化、碳矿化和甲烷合成	张龙	中科院广州地球化学所
10:00-10:20	茶歇			
专题29：石笋古气候记录与气候模拟 主持人：李廷勇				
10:20-10:35	S29-O-1	岁差尺度石笋$\Delta^{18}O$信号时空模式（邀请报告）	刘殿兵	南京师范大学
10:35-10:50	S29-O-2	末次冰消期亚洲夏季风演化的精细结构	赵景耀	西安交通大学
10:50-11:05	S29-O-3	新疆天山石笋记录的间冰期内部轨道和千年尺度水文气候变化特征	刘小康	天津师范大学
11:05-11:20	S29-O-4	末次冰期太阳辐射和冰量驱动的中国西南地区水文环境的变化	吴尧	Heidelberg University
11:20-11:35	S29-O-5	鄂西石笋微量元素记录的Heinrich4期间季节性干湿古气候变化特征	薛书雨	中国地质大学（武汉）
11:35-11:50	S29-O-6	祥龙洞石笋团簇同位素重建16－10.9ka BP温度变化	唐慧茹	中科院地球环境所

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月5日上午
专题62： 海洋地质灾害案例、形成过程与机制（1） 主持人：李伟				
08:30-08:45	S62-O-1	古地形和海平面变化对海底滑坡致灾的影响（邀请报告）	孙启良	中国地质大学（武汉）
08:45-09:00	S62-O-2	海底滑坡内部流动单元的成因机理研究	吴南	同济大学
09:00-09:15	S62-O-3	2018年Java俯冲带龙目岛地震序列的成因机制与区域灾害风险	杨晓东	中科院南海海洋所
09:15-09:30	S62-O-4	海底滑塌的特征、规模、成因机制及其地质灾害	许小勇	中国石油天然气股份有限公司杭州地质研究院
09:30-09:45	S62-O-5	块体搬运沉积物的不稳定性及再活化机制研究	敬嵩	中科院南海海洋所
09:45-10:00	S62-O-6	全球火山海啸源时空分布特征	张坎	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题66： 深渊探索—俯冲带海沟之谜 主持人：彭晓彤				
10:20-10:35	S66-O-1	深海鱼类的起源: 深渊的适应与入侵（邀请报告）	何舜平	中科院水生生物所
10:35-10:50	S66-O-2	大数据时代的深渊微生物研究	肖湘	上海交通大学
10:50-11:05	S66-O-3	基于环境DNA分析揭示马里亚纳海沟底栖生物多样性	张海滨	中科院深海科学与工程所
11:05-11:20	S66-O-4	横穿“挑战者深渊”的深部地壳结构：构造变形和强烈的蛇纹石化地幔层	贺恩远	中科院南海海洋所
11:20-11:35	S66-O-5	挑战者深渊玄武岩揭示沿马里亚纳海沟最南端俯冲的太平洋MORB具有印度洋型同位素特征	徐文景	中科院深海科学与工程所
11:35-11:50	S66-O-6	深渊持久性有机污染物赋存及来源	谢婧倩	上海海洋大学

口头报告				
7月5日上午08:30~~11:50				
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月5日上午
专题28：季风—干旱系统演变与大陆演化（1） 主持人：肖文交				
08:30-08:45	S28-O-1	地球初始活性氧的起源（邀请报告）	何宏平	中科院广州地球化学所
08:45-09:00	S28-O-2	Pangea以来陆地干旱的演化	李智博	北京大学
09:00-09:15	S28-O-3	古生代时期的全球海洋经向翻转环流	袁帅	北京大学
09:15-09:30	S28-O-4	过去2.5亿年哈德雷环流的变化：大陆和气候演化的作用	张诗妍	北京大学
09:30-09:45	S28-O-5	中生代早期盘古大陆的低纬气候研究	包秀娟	北京大学
09:45-10:00	S28-O-6	炎热和干旱的潘吉亚超大陆时代：显生宙全球水循环的一个特例	胡永云	北京大学
10:00-10:20	茶歇			
专题28：季风—干旱系统演变与大陆演化（2） 主持人：胡永云				
10:20-10:35	S28-O-7	亚洲地貌格局与景观的形成演变（邀请报告）	鹿化煜	南京大学
10:35-10:50	S28-O-8	晚白垩世东亚海岸山脉气候效应模拟研究及对其古高程的约束	张健	北京大学
10:50-11:05	S28-O-9	青藏高原东南缘新生代沉积盆地地层年代框架	李仕虎	中科院地质与地球物理所
11:05-11:20	S28-O-10	中中新世东阿拉伯海上层水体结构重建 ——对南亚季风演化的启示	邹世娴	厦门大学
11:20-11:35	S28-O-11	渭河盆地中一晚始新世气候变化的碳酸盐碳氧同位素记录	王可欣	南京大学
11:35-11:50	S28-O-12	新生代青藏高原隆升和全球变冷对东亚气候变化的差异影响	张冉	中科院大气物理所

7月5日			
展板报告：12:30~14:00			
专题01：中生代陆地生态系统重大变革及环境背景			
S01-P-1S	二叠－三叠纪灭绝事件的植被模拟研究	刘悦	北京大学
S01-P-2	真水龙类的起源时间——基于贝叶斯支端定年法分析	李春香	中科院南京地质古生物所
S01-P-3S	华北地区中生代非海相双壳类费尔干蚌研究及其古气候意义	黎家豪	中科院南京地质古生物所
S01-P-4S	鄂尔多斯盆地中侏罗统延安组植物与昆虫相互作用研究	李婷	中科院南京地质古生物所
S01-P-5S	豫西白湾盆地热河生物群的年代及意义	宋思雨	中科院南京地质古生物所
S01-P-6S	从白垩纪到新生代线虫寄主的演变	罗慈航	中科院南京地质古生物所
S01-P-7	中生代陆地生态系统重大变革	王博	中科院南京地质古生物所
S01-P-8S	白垩纪末期至古近纪初期东亚中纬度陆地温室气候变化对降水的 影响	陈积权	中国地质大学（北京）
S01-P-9	Holocene vegetation and climate in the Anavilhanas Archipelago - Negro River, Amazonia.	Erika Rodrigues	Institute of Geosciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil
S01-P-10S	晚三叠世卡尼期湿润幕在准噶尔盆地的陆相响应	赵向东	中科院南京地质古生物所
S01-P-11	德干火山活动驱动马斯特里赫特期末期变暖事件的汞证据和湖泊植物群响应	李莎	中科院南京地质古生物所
S01-P-12	三叠纪－侏罗纪之交高纬度准噶尔盆地高分辨率的气候和环境变化	房亚男	中科院南京地质古生物所
S01-P-13	内蒙古特异埋藏化石解密被子植物起源之谜	史恭乐	中科院南京地质古生物所
专题02：植物登陆的环境资源效应			
S02-P-1	华南中下扬子区志留纪“上红层”沉积古地理特征和成因背景	张小乐	中科院南京地质古生物所
S02-P-2	华南板块早泥盆世古地理变迁与腕足动物演化	郭文	中科院南京地质古生物所

S02-P-3S	新疆北部泥盆系古油藏的地质年代与植物化石研究	刘炳材	中科院南京地质古生物所
S02-P-4S	维管植物陆地扩张对古土壤中磷的形态及富集机制的影响	鞠鹏程	西北大学
S02-P-5S	早期种子植物扩张导致了早石炭世全球变冷吗？	李炳鑫	北京大学
S02-P-6S	植物登陆前后风化壳结构转变	贾天依	北京大学
S02-P-7S	深时镁同位素风化指标的验证与新解释	黄天正	北京大学
S02-P-8S	2.5亿年以来典型时期的沙尘活动模拟研究	林琪凡	北京大学
S02-P-9S	早期陆生植物的微体化石证据	王凯	中科院南京地质古生物所
S02-P-10S	云南下泥盆统下西山村组岩相以及遗迹化石组合	王嘉树	北京大学
S02-P-11	云南曲靖海口组成煤植物的初步研究	黄璞	中科院南京地质古生物所
S02-P-13	珠江口盆地珠一坳陷文昌组烃源岩孢粉相特征及其石油地质意义	时翠	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S02-P-14S	不同沉积环境下控制的过渡相页岩孔隙结构	彭雪	中国矿业大学（北京）
S02-P-15S	黔北旦坪铝土矿床黏胶球形成时间研究	成龙	中国地质大学（武汉）
S02-P-16S	特提斯域铝土矿物源及其构造背景转变：基于随机森林和逻辑回归的分析	周锦涛	中国地质大学（武汉）
S02-P-17	石炭－二叠纪时期海平面变化和植被演化对黔北铝土矿发育的促进作用	魏巍	中国地质大学（武汉）
S02-P-18	贵州早石炭世锂资源分布特征及富集规律研究	马义波	贵州省地质矿产勘查开发局
S02-P-19S	HG和C同位素证实的火山和野火与亚丁斯克期深时冰川消融的联系	王野	中国矿业大学（北京）
S02-P-20S	早侏罗世普林斯巴赫期泥炭沼泽古环境恢复与重建	尹露生	中国矿业大学（北京）
专题03：蛇纹石化过程与效应			
S03-P-1	“挑战者深渊”中蛇纹石化的橄榄岩	他开文	中科院深海科学与工程所
S03-P-2S	“人造蛇纹石化生态系统”—— 超碱性亚铁钢渣渗滤液创造了与某些陆地蛇纹石化生态系统类似的环境和微生物群落	何宇	中国地质大学（武汉）

S03-P-3	洋脊与俯冲带相互作用过程中蛇绿岩就位机制与俯冲再起始过程探究	孙宝璐	中科院地质与地球物理所
S03-P-4S	马里亚纳弧前地幔楔蛇纹岩镁同位素研究	王宜然	中科院海洋所
S03-P-5S	不同环境下形成的蛇纹岩在可见－短波红外光谱特征中的差异	洪德翔	中科院地质与地球物理所
S03-P-6S	蛇纹岩氢氧同位素组成特征及其影响因素研究进展	谭文汐	上海海洋大学
S03-P-7	地质流体化学成分对橄榄岩蛇纹石化速率和氢气形成的影响	黄瑞芳	南方科技大学
S03-P-8S	地幔楔橄榄岩蛇纹石化与脱蛇纹石化及其地球化学效应	尹壮壮	中国科学技术大学
S03-P-9	CO_2氢化反应过程的拉曼原位定量监测－甲酸的生成及转化	席世川	中科院海洋所
S03-P-10S	“Man-Made Serpentinization Ecosystem”- Ultrabasic Ferrous Slag Leachate Creates the Environments and Microbial Communities Analogous to Some Terrestrial Serpentinite-Hosted Ecosystems	何宇	中国地质大学（武汉）
S03-P-11	蛇纹石化过程中铁的丢失	陈晨	中科院海洋所
S03-P-12	火星蛇纹石化及其指示的地下宜居环境	林红磊	中科院地质与地球物理所
S03-P-13	蛇纹岩：多圈层相互作用的“信使”	刘传周	中科院地质与地球物理所
S03-P-14S	蛇纹岩流体交代俯冲大陆板片的电气石原位B同位素记录	熊家伟	中国科学技术大学
S03-P-15	蛇纹石化过程中的元素迁移和Mg同位素分馏	赵梅善	中国科学技术大学
专题04：华北克拉通破坏与燕辽/热河生物群的演化			
S04-P-1	早白垩世湖泊生态系统的变化对热河生物群演化的影响	刘翚嗣	中科院广州地球化学所
S04-P-2S	华北克拉通早白垩世火山爆炸式喷发的沉积记录 —— 来自燕山科学钻探九佛堂组岩芯的证据	林钦	中科院广州地球化学所
S04-P-3	燕辽生物群中松柏类红豆杉科植物多样性及演化意义	董重	中科院南京地质古生物所
S04-P-4	广义热河生物群的地层框架	郑大燃	中科院南京地质古生物所
S04-P-5	晚中生代中国东北及其邻区盆地演化过程及其动力机制探讨	郭知鑫	南华大学
S04-P-6S	华北克拉通沉积汞记录示踪早白垩世火山活动及环境效应	卢峥安	中科院广州地球化学所

S04-P-7S	晚侏罗世－早白垩世古环境温度和恐龙体温重建：来自化石的稳定同位素研究	卢畅	中科院广州地球化学所
专题05：温室地球气候—环境演变			
S05-P-1S	藏南早白垩世Aptian期菱铁矿及其对低硫酸盐浓度海洋的启示	孟凡	成都理工大学
S05-P-2S	气候变化对东海赤潮优势藻的影响	高梦妮	华东师范大学
S05-P-3S	华南陆块吉泰盆地白垩纪晚期半干旱风成系统研究	石宇翔	成都理工大学
S05-P-4	西藏伦坡拉盆地牛堡组二段冰成沉积与古环境意义	夏国清	成都理工大学
S05-P-5S	白垩纪海侵对湖泊有机质富集的影响	杨汉卿	中科院广州地球化学所
S05-P-6S	松科3井泉头组赛诺曼－土伦界线层水循环的加速及斜率驱动	姚宁	中国地质大学（北京）
S05-P-7S	晚白垩世温室气候下北太平洋－中纬度陆地气候的ENSO遥相关	秦健铭	中国地质大学（北京）
S05-P-8S	中新生代全球古柯本气候带的时空分布	余晨旻	中国地质大学（北京）
S05-P-10	冰室－(超)温室气候动荡期湖平面演化及天文轨道气候作用	李猛	河南理工大学
S05-P-11	基于海洋沉积物中孢粉记录探讨全新世以来南非植被和气候演变	赵雪琴	上海海洋大学
S05-P-12	东特提斯域晚三叠世诺瑞晚期十～千年尺度潮汐周期与小尺度气候波动的耦合机制	张喜	西南石油大学
S05-P-13S	高频海平面波动对短偏心率周期调制下气候变化的滞后响应——以四川盆地须家河组为例	卢腾辉	西南石油大学
S05-P-14S	重庆市云阳县中侏罗世蜥脚类恐龙牙齿的稳定同位素证据	周羽漩	成都理工大学
S05-P-15S	松辽盆地所记录的白垩纪末期全球气候波动： 来自定量递归分析（RQA）结果的初步报导	罗力铭	中国地质大学（北京）
S05-P-16	显生宙极热事件下温度驱动的微生物代谢增强对海洋碳循环的影响	吴玉样	中国地质大学（武汉）
S05-P-17	温室－热室古气候背景驱动下抚顺盆地始新统水陆环境系统演化规律	孙平昌	吉林大学
专题06：丝路文明演化与生存环境变化			
S06-P-1	融汇西东：西北地区青铜时代的生业格局及影响因素	董广辉	兰州大学

S06-P-2S	中国北方草原区青铜时代农牧业的交流融合	张雅平	中科院古脊椎动物与古人类所
S06-P-3	2000BC以前的欧洲遗址出土黍遗存研究	安婷	浙江大学
S06-P-4	新石器时代晚期－青铜时代中国与南亚及东南亚交流路网复杂性的初步探索	马敏敏	兰州大学
S06-P-5	青铜时代畜牧业传播对欧亚大陆东段古人群饮食影响研究	王伟	南京信息工程大学
S06-P-6S	吐谷浑王族成员后裔的生活方式：中国西北地区岔山村墓葬埋藏植物的鉴定和化学分析	芦永秀	兰州大学
S06-P-7S	同位素视角下的晚商时期老牛坡遗址动物管理方式研究	董佳佳	兰州大学
S06-P-8	中国北方史前人类木材利用的时空差异及其影响因素研究	刘峰文	云南大学
S06-P-9S	全新世早期青藏高原腹地史前人类的占据与适应	金孙梅	青海师范大学
S06-P-10	全新世早期的环境积累促使北方农牧交错带地区农业起源	贾鑫	南京师范大学
S06-P-11S	杭州湾南岸宁奉平原水文环境变化与新石器文明的羁绊	王惠敏	华东师范大学
S06-P-12S	江苏如东掘港国清寺遗址区六千年来环境变迁与人地关系研究	杜镇瀚	南京大学
S06-P-13	《文化遗产赋存环境的地图学表达——以丝绸之路世界文化遗产赋存环境图为例》	杨慧慧	西安地图出版社有限公司
专题07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程			
S07-P-1	南海北部珊瑚钒的高分辨率记录及其对热带气旋和人类活动的响应	姜伟	广西大学
S07-P-2S	高分辨率珊瑚记录揭示的自然和人为因素对涠洲岛表层海水钡的复合影响	冯春梅	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-3S	高温实验模拟MG/CA浓度对文石质生物碎屑白云石化过程的影响	吴松烨	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-4S	广西涠洲岛造礁石珊瑚系统发育关系研究	曾心茹	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-5S	珠江口万山群岛造礁珊瑚对“南方暴雨”导致的低盐事件差异响应机制研究	陈俊伶	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-6S	五氯酚对澄黄滨珊瑚的胁迫响应机制	罗兰	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-7S	西沙群岛永乐环礁珊瑚礁生态退化对鱼类的影响	雷明凤	广西南海珊瑚礁研究重点实验室

S07-P-8S	珊瑚共附生细菌中羟基喹啉类活性物质拮抗珊瑚弧菌的研究	胡思雨	广西大学
S07-P-9S	滨珊瑚对急性和慢性低温胁迫的响应	韦雪露	广西大学南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-10S	南海北部海底地下水排泄和上升流驱动的表层钒年际变化历史：来自一个137年的珊瑚证据	郭宁	广西南海珊瑚礁重点研究实验室
S07-P-11S	西沙群岛琛科2井“背景白云石”的锶同位素年龄及其指示意义	刘春彤	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-12S	南海西沙群岛永乐环礁沉积物中有机碳的含量与来源	高洁	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-13S	中国南海珊瑚生态系统中原核微生物组的多样性、组装机制和共现模式研究	赵玟傧	中国海洋大学
S07-P-14	热白化对珊瑚共附生微生物群落结构和生态环境的影响效应	桑石磊	生态环境部华南环境科学研究所
S07-P-15	全氟化合物在典型珊瑚礁生态系统中污染特征、季节变化和种间差异研究	许莉佳	生态环境部华南环境科学研究所
S07-P-16S	珊瑚共生虫黄藻和自由生活虫黄藻群落的多样性分布、驱动因素和组装机制	林思彤	厦门大学
S07-P-17S	南海珊瑚月分辨率年龄模式的改进与启示	党少华	同济大学
S07-P-18	西沙海域深海沉没碳酸盐台地的成因机制研究	陈万利	中国科学院深海科学与工程研究所
S07-P-19S	利用BEAMFORMING分析南海岛礁噪声场变化特征	赵涛	中国科学院南海海洋研究所
S07-P-20	南海北部造礁石珊瑚种类的生理差异及其生态指示意义	黄柏强	生态环境部华南环境科学研究所
S07-P-21	南海珊瑚礁灰岩的声学特征及地质稳态应用研究	田雨杭	中国科学院南海海洋研究所
S07-P-22S	南海北部造礁石珊瑚共生藻光合特征空间异同性与环境影响效应	张舒琪	中国科学院南海海洋研究所
S07-P-23S	基于有孔虫指数评估西沙群岛羚羊礁过去2600年的生态环境状况	梁日升	广西大学
S07-P-24S	珊瑚益生菌筛选及其抗病机制研究	王姝颖	广西大学
S07-P-25	西沙珊瑚年际变化反映的小冰期早期气候带收缩	韩韬	广西大学
S07-P-26	珊瑚–草皮海藻竞争作用的季节性差异及其微生物影响机制	廖芝衡	南宁师范大学
S07-P-27S	涠洲岛海域表层海水稀土元素的珊瑚记录及其环境气候意义	顾庭舞	广西南海珊瑚礁研究重点实验室

S07-P-28S	全球变化背景下热带气旋变化特征及珊瑚对其记录潜力	韩岩松	广西大学
S07-P-29S	造礁珊瑚中脂类化合物对温度变化的响应及其古环境意义	黄建容	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-30S	微塑料对离体培养的不同种珊瑚共生虫黄藻毒性研究	杨雅婷	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-31S	两种分离自造礁石珊瑚的虫黄藻（CLADOCOPIUM SP.和DURUSDINIUM SP.）对高温胁迫的响应机理与环境耐受性	张丽	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-32	南海珊瑚礁区有机紫外线吸收剂的污染水平、生物富集和生态风险	张瑞杰	广西大学
S07-P-33S	进化辐射与细菌群落动态对南海南部石芝珊瑚热适应潜力的塑造作用	韦雨鑫	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-34	南海南部岛礁晚中新统白云岩化特征及成因模式	罗云	中国科学院南海海洋研究所
S07-P-35	南海陵水冷水珊瑚丘的载人深潜观测	陈端新	中国科学院海洋研究所
S07-P-36S	无机防晒剂（纳米氧化锌）对丛生盔形珊瑚（GALAXEA FASCICULARIS）的毒性效应及其作用机理	陈健	广西大学
S07-P-37S	晚第四纪以来南沙永暑岛礁珊瑚发育与海平面变化探讨	周婉秋	中国科学院南海海洋研究所
S07-P-38	基于ICESAT-2与WV-2的珊瑚礁高分辨率遥感水深反演优化方法	滕君灿	广西大学
S07-P-39S	珊瑚礁中人工放射性核素的记录对比及其在人类世研究中的应用探索	张帆	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-40S	基于环境DNA耦合电化学生物传感技术的长棘海星快速检测	陈英展	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-41	造礁石珊瑚共生体对弱光胁迫的生理响应	王永智	生态环境部华南环境科学研究所
S07-P-42S	涠洲岛不同干露生境下十字牡丹珊瑚的适应性比较研究	黄珊	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-43S	中全新世海南潭门滨珊瑚的生长率特征及其气候意义	李悦儿	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-44S	南海西部海域多环芳烃：气粒分配、分布特征、垂直输运及颗粒物驱动效应	韩民伟	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-45S	涠洲岛澄黄滨珊瑚共生功能体对高温胁迫的适应性研究	王永刚	广西大学
S07-P-46S	微塑料（PS）对珊瑚共生虫黄藻CLADOCOPIUM GOREAUI的影响	牛天祎	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
S07-P-47	南沙海域中新世碳酸盐台地与生物礁发育特征及油气成藏	鄢伟	中国地质调查局广州海洋地质调查局

S07-P-48	南海岛礁活珊瑚与竞争性藻类分布面积近25年变化的遥感反演及其生态指示意义研究	黄荣永	广西大学
S07-P-49	晚新生代海水Mg/Ca比值变化之谜：来自南海岛礁白云岩镁同位素证据	胡忠亚	同济大学
专题08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟			
S08-P-1	舟曲高分辨率黄土记录揭示的青藏高原东缘末次冰期以来季风变化历史	杨胜利	兰州大学
S08-P-2	黄土高原黄土上粉砂层L9古地磁结果的空间差异及机制	高新勃	中国地震局地质所
S08-P-3S	欧亚大陆黄土碎屑磁化率记录的中更新世转型后物理侵蚀增强	宁文晓	中科院青藏高原所
S08-P-4S	微体炭屑记录的黄土高原全新世植被演化历史	王梓莎	中科院西北生态环境资源研究院
S08-P-5	晚中新世－更新世黄土高原物源空间分异逐步增大	彭文彬	枣庄学院
S08-P-6S	青藏高原色林错介形类碳氧同位素反映的全新世以来的气候变化	何志兴	云南师范大学
S08-P-7	青藏高原东北部晚新生代粘土矿物化学风化记录	鲍晶	东华理工大学
S08-P-8	青藏高原东部晚始新世－中中新世气候演化记录	孟庆泉	兰州大学
S08-P-9S	柴达木盆地西部中新世湖泊演化：来自水生植物花粉的证据	王海涛	中科院青藏高原所
S08-P-10	青藏高原隆升与全球变化：来自高原东北部的记录	杨一博	中科院青藏高原所
S08-P-11	青藏高原东南缘剑川盆地始新世地层及多指标记录的41 Ma区域古环境转变	申苗苗	中科院青藏高原所
S08-P-12	临夏盆地晚新生代三趾马动物群生存时限及其环境意义	张伟林	中科院青藏高原所
S08-P-13S	基于孢粉的晚新生代降水定量重建研究进展与展望	牛改红	中科院西北生态环境资源研究院
S08-P-14	青藏高原东北缘循化盆地中－晚中新世增湿事件及其驱动机制	宋博文	中国地质大学（武汉）
S08-P-15	孢粉证据揭示江南从荒漠到森林的演变过程	谢宇龙	中科院青藏高原所
S08-P-16S	中晚中新世祁连山的形成—来自祁连山西部腹地的孢粉学证据	杨永恒	中科院西北生态环境资源研究院
S08-P-17	青藏高原东北部中中新世植物多样性及昆虫－植物共生作用研究	王雪莲	中科院西北生态环境资源研究院

S08-P-18S	东昆仑冰缘环境石英砂表面特征及环境意义—以玉珠峰冰川为例	申茂华	中科院青藏高原所
S08-P-19S	青藏高原东南部典型海洋性冰川冰碛物粒度特征及影响因素——以23K、24K冰川为例	张延广	中科院青藏高原所
S08-P-20S	青藏高原东南缘玉龙雪山表土多环芳烃的分布特征及来源分析	李仰状	中科院青藏高原所
S08-P-21S	变质体系剥露风化对新生代海水$^{87}Sr/^{86}Sr$演化的调控：来自现代过程和古水文记录的约束	刘玉东	中科院青藏高原所
S08-P-22	青藏高原东北缘临夏盆地古近系及其构造地貌演化意义	冯展涛	中科院青藏高原所
S08-P-23	祁连山新生代早期构造变形：低温热年代证据	何鹏举	兰州大学
S08-P-24	GDGTs与青藏高原古高度重建	陈炽皓	中科院青藏高原所
S08-P-25S	上覆岩石圈强度影响大陆碰撞模式选择和俯冲跃迁：对大印度－亚洲汇聚体系的影响	李倩	中国科学院大学
S08-P-26	同沉积构造和磷灰石裂变径迹热年代学对古长江演化的约束	王亚东	中科院西北生态环境资源研究院
S08-P-27S	岩石圈地幔的俯冲控制地壳变形的结构：青藏高原北缘数值模拟、地质观测结果的综合解释	陈启志	中国科学院大学
S08-P-28S	青藏东南缘岩石圈拆沉诱发高原地形隆升	罗芸	中国地质大学（北京）
S08-P-29S	芒康盆地晚始新世后50°古地磁顺时针旋转及其构造意义	徐万龙	中科院青藏高原所
S08-P-30	古地磁旋转变形限定的阿尔金断裂渐新世以来两阶段走滑活动	栗兵帅	东华理工大学
S08-P-31S	不同规模河流响应气候波动敏感程度的差异性研究	莫钦鸿	兰州大学
S08-P-32S	青藏高原中部伦坡拉盆地晚渐新世季风气候：来自古土壤记录的证据	郭增光	中科院青藏高原所
S08-P-33	西藏尼玛盆地北部坳陷物源分析及其构造意义	密文天	内蒙古工业大学
S08-P-34S	念青唐古拉地区基岩河道岩石抬升速率对气候变化的响应	刘伯蓉	中国地质大学（北京）
S08-P-35	青藏高原湖泊微生物的生态与演化研究	冯晓远	中科院南京地理与湖泊所
S08-P-36	泥河湾盆地—猛犸象－披毛犀动物群的摇篮	同号文	中科院古脊椎动物与古人类所
专题09：氧气的生物地球化学循环			

S09-P-1	大气氧气浓度自中更新世以来的变化	颜余真	同济大学
S09-P-2S	通过氧同位素方法量化沉积物耗氧量对浅水区总耗氧量的贡献	张志浩	华东师范大学
S09-P-3S	利用溶解氧同位素揭示长江口低氧的动态变化过程	周君	上海交通大学
S09-P-4	两极冰芯硝酸记录约束冰期－间冰期大气氮氧化物变化	蒋壮	中国科学技术大学
S09-P-5S	元古宙至显生宙微生物碳酸盐激光剥蚀U-Pb年代学应用实例	蒋宇翔	同济大学
专题10：地球关键带与生态保护修复			
S10-P-1	Excessive Consumption of Deep Soil Water Makes Giant Trees Unsuitable for Widespread Planting in Arid Areas	张荣飞	重庆大学
S10-P-2	山水林田湖草沙生态保护修复信息监管系统研究	李敬敏	中国自然资源航空物探遥感中心
S10-P-3	近70年辽东湾重金属和多环芳烃沉积记录：典型重工业基地的阶段性发展	陈彬	中国地调局青岛海洋地质所
S10-P-4S	自然资源－社会经济－生态环境的关联演化认知	杨智威	北京大学
S10-P-5S	东南海保护区间连通性及连通廊道预测	赵峰	上海交通大学
S10-P-6S	小龙虾壳生物炭对水溶液中NI（II）的吸附及机理探究	许小淇	南京大学
S10-P-7	华北克拉通鲁西地区花岗质岩石成因和地壳氧化状态	胡雅璐	中国地调局发展研究中心
S10-P-8	地表基质：内涵、分层、填图与支撑服务	殷志强	中国地调局
S10-P-9	海南岛东部热带滨海界面土壤重金属多重残留：分布、来源、生态风险及其与土地利用类型的关系	傅开哲	中国地调局海口海洋地质调查中心
专题11：海洋极端环境微生物及其地质效应			
S11-P-1S	对Asgard古菌在真核生物起源和其生态功能的新认识	解瑞泽	上海交通大学
S11-P-2S	南海F冷泉水体与沉积物微生物垂直分布特征及其生物地球化学功能研究	金剑	中国海洋大学
S11-P-3S	冲绳海槽南部热液区柱状沉积物微生物垂直分布多样性及其对环境因子的响应	邓兴渝	山东科技大学
S11-P-4S	热液沉积物中微生物群落对热梯度的响应及不同环境下微生物功能的冗余	宿蕾	同济大学

S11-P-5S	利用HCR－FISH检测和定量冷泉甲烷代谢微生物的活性	何茂雨	上海交通大学
S11-P-6S	南海冷泉微型真核生物网络互作与群落构建机制	黄丹玥	上海交通大学
S11-P-7S	南海含天然气水合物赋存区沉积物古菌群落结构与多样性	刘思炜	北京大学
S11-P-8S	Draft Genome of Desulfosarcina Sp. Camv-1 in Seep-Srb1 Clade: A Sulfate-Reducing Bacterium Forms Cell Aggregate with Methanotrophic Archaea	姬翔	上海交通大学
S11-P-9S	深海热液区和三沙永乐龙洞中嗜热水弧菌的环境适应机制研究	岳丽	中国海洋大学
S11-P-10S	冲绳海槽热液羽流对上层水体微生物群落的影响及其生物地球化学意义	李佳柯	中国海洋大学
S11-P-11	深海冷泉沉积物中砷循环的遗传和微生物多样性	章楚雯	自然资源部第三海洋所
S11-P-12S	挑战者深渊深部沉积物中微生物驱动的烃类降解过程研究	何新新	中国海洋大学
S11-P-13S	卡尔斯伯格脊天休热液区沉积物微生物群落多样性及构建过程研究	李方如	中国地质大学（北京）
S11-P-14S	多金属结核区结核内部和外周沉积物微生物类群多样性研究	丁志豪	自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室
S11-P-15S	深海冷泉微生物及其病毒的生态适应与进化机制	彭用一	自然资源部第三海洋所
S11-P-16	西太平洋弱光层微型生物群落构建机制与共现模式	孙萍	厦门大学
S11-P-17	南海北部蛟龙活动冷泉区一个隐秘的甲烷循环过程	李海洲	中国水产科学研究院东海水产所
S11-P-18	海洋深部生物圈病毒生存策略及生态功能	蔡兰兰	香港科技大学
S11-P-19	深海海山：一个被忽视的生命“绿洲”	李海洲	中国水产科学研究院东海水产所
S11-P-20	冷泉环境变化的生物响应——海马冷泉的贝壳地球化学研究	李文静	中国地调局广州海洋地质调查局
S11-P-21S	海底热液硫化物生物成因富铁显微结构的次生变化	沈玥	同济大学
S11-P-22S	南海北部陆坡区与中央海盆区有机颗粒沉降对水柱微生物群落分布特征的影响	马忠霖	同济大学
S11-P-23S	西南印度洋海底热液硫化物烟囱体中微生物对环境梯度的响应机制	骈泽宇	同济大学
S11-P-24	一个深部分支的嗜热细菌类群的发现揭示了嗜热细菌的早期演化	冷浩	上海交通大学

S11-P-27	深海热液区混合营养型微生物多样性及其代谢特征	曾湘	自然资源部第三海洋所
专题12：南极生态系统与气候变化			
S12-P-1	2022年夏季阿蒙森海晶磷虾资源密度空间分布及环境影响因子研究	李帅	中国水产科学研究院东海水产所
S12-P-2	阿蒙森海冰间湖区晶磷虾资源密度对环境变化的响应	杨嘉樑	中国水产科学研究院东海水产所
S12-P-3S	南极不同区域降水中硝酸盐来源及其氧化生成机制的季节变化特征	李一兰	华东师范大学
S12-P-4S	大气河在南极海冰变化中的作用	梁凯昕	中山大学
S12-P-5S	东南极奥茨海岸外沉积岩芯第四纪以来的年代重建及其指示的WSB冰盖演化	聂森艳	同济大学
S12-P-6S	80万年以来南大洋南极区生产力与气候系统的协同演变	黄冰玥	海南大学
S12-P-7	南大洋斯科舍海千年尺度初级生产力变化及对气候的响应	卢丽娟	中山大学
S12-P-8S	早－中上新世西南极阿蒙森海底流速率－气候耦合的沉积记录	李隆威	广东海洋大学
S12-P-9S	晚更新世阿蒙森海生产力和冰筏输入的变化对海洋环境和西南极冰盖演化的指示	张静渊	同济大学
S12-P-10S	南极沿海地区沉积物中脂类生物标志物的环境指标意义研究	Aamir Ali	同济大学
专题13：地外海洋与比较行星学			
S13-P-1S	耀发恒星周围宜居带的估计	高东洋	南京大学
S13-P-2S	高分辨率云模拟与暗弱太阳问题	闫明羽	北京大学
S13-P-3S	Source to Sink: an Abiotic Lunar Carbon Cycle Model	Kit-Hung Mark Lee	University College London
S13-P-4	冰星体的气候演变：从冰雪世界跳变到失控温室	杨军	北京大学
S13-P-5	月球早期的内外动力学相互作用	丁恣	澳门科技大学
S13-P-6S	火星极地冰盖结构与CO_2沉积的三维模式模拟	万智翔	北京大学
专题15：俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制			

S15-P-1	新西兰北岛西南弧后地区上地幔变形	曹令敏	中科院南海海洋所
S15-P-2S	克马德克－汤加俯冲热液体系与地震构造变化	朱叶	中科院青藏高原所
S15-P-3S	先存构造对阿拉斯加俯冲带挠曲形变及地震活动性的影响	郭宗林	中科院南海海洋所
S15-P-4	北苏拉威西俯冲带差异演化的数值模拟研究	宋陶然	海南热带海洋学院
S15-P-5	没有火山弧的俯冲起始:西太平洋两个年轻俯冲带的对比	董淼	中科院地质与地球物理所
S15-P-6S	晚古生代－早中生代牡丹江洋俯冲历史：来自黑龙江杂岩绿片岩年代学与地球化学证据	王锶淼	吉林大学
S15-P-7S	汤加－克马德克俯冲带重力异常及非均衡地形研究	李卫东	中科院南海海洋所
S15-P-8S	洪阿汤加－洪阿哈阿帕伊火山附近的垂直补偿线性矢量偶极地震的物理机制	刘彧奇	中科院南海海洋所
S15-P-9S	岷江断裂带北段流体地球化学特征	石宏宇	兰州大学
S15-P-10S	南沙海槽构造－地层格架及其动力学意义	高圆圆	中国地质大学（武汉）
S15-P-11S	基于迁移学习的海底地震仪数据震相自动拾取方法——以卡斯卡迪亚俯冲带为例	成章宝	中科院南海海洋所
S15-P-12	海沟附近俯冲板块地幔蛇纹石化程度的控制因素研究	张江阳	中科院南海海洋所
S15-P-13	马里亚纳俯冲起始条件下的弧后扩张：以动力学模拟为例	程子华	中科院南海海洋所
S15-P-14	俯冲地幔内中源地震的热－岩石学机理	桂州	中科院海洋所
S15-P-15	走滑挤压环境下的俯冲起始数值模拟	钟辛易	中国科学院大学
S15-P-16	汤加俯冲带和火山的地震学研究	周鹏程	中科院南海海洋所
专题16：地球与行星内部结构和性质			
S16-P-1	行星内部物质高温高压热导率研究	刘锦	燕山大学
S16-P-2	云南金平马鞍底石英二长岩和花岗岩：对峨眉山地幔柱和古特提斯俯冲带相互作用的启示	刘潇	桂林理工大学
S16-P-3	大陆深俯冲与俯冲终止：碰撞造山带的命运	王杨	中国科学院大学

S16-P-4S	地幔流推动岩石圈：印度－亚洲新生代碰撞的驱动力	李衍冲	University of Illinois Urbana-Champaign
S16-P-5	中国大陆上地幔间断面起伏及地球动力学意义	沈旭章	中山大学
S16-P-6	俯冲板片界面地震学成像	王新	中科院地质与地球物理所
S16-P-7S	下地幔条件下石英高压相的状态方程和相边界	李果戈	中科院地质与地球物理所
S16-P-8S	Kamchatka Anomaly揭示太平洋下方的LLSVP正在聚合	张杰	南方科技大学
S16-P-9S	基于机器学习的月震数据去噪及事件分类方法	于智瀚	南京大学
S16-P-10S	利用接收函数和视剪切波速度联合反演的火星地壳模型	代明伟	中国科学技术大学
S16-P-11	基于变参数极化分析的INSIGHT低频火星震重定位研究	王旭	中科院地质与地球物理所
专题17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成			
S17-P-1	东南亚岩石圈有效弹性厚度空间分布及其影响因素分析	陆哲哲	自然资源部第二海洋所
S17-P-2	小洋盆角落处的俯冲起始	董淼	中科院地质与地球物理所
S17-P-3S	早三叠世古特提斯洋岩石圈板块回撤: 来自凭祥地区火成岩的启示	黄雯敏	桂林理工大学
S17-P-4S	北祁连原特提斯寒武系弧后盆地：来自玉石沟蛇绿岩的约束	田昊	桂林理工大学
S17-P-5	东南亚Banda地区弧形俯冲的形成及深部地球动力学过程：来自数值模拟研究的约束	孙宝璐	中科院地质与地球物理所
S17-P-6S	藏北羌塘－可可西里地体三维电性结构及其动力学意义	康建强	吉林大学
S17-P-7	南海西北缘构造演化: 来自晚二叠世西沙花岗岩地质年代学、地球化学和Sr–Nd–Pb同位素的制约	李秋环	中山大学
S17-P-8	基于机器学习方法的高精度地震目录指示的马里亚纳海沟南部的深切外缘隆起断层	陈瀚	中山大学
S17-P-9	古特提斯洋晚泥盆世北向俯冲及其支洋盆(弧后)的东部延伸	张新昌	中科院广州地球化学所
S17-P-10S	爪哇海沟区板片断离数值模拟	梁丹	上海交通大学
S17-P-11S	爪哇俯冲带高分辨率速度结构与火山地震的联系	谢樊	中山大学

S17-P-12S	东印尼班达弧ARU海槽的断裂活动特征与地球动力学成因机制	张志文	中科院南海海洋所
S17-P-13S	特提斯喜马拉雅带地壳尺度穹隆变形的深部成因——深地震反射剖面的揭露	师卓璇	中山大学
S17-P-14	土耳其西北部蓝片岩时空分布及其对新特提斯洋俯冲侵蚀的构造意义	辛光耀	重庆大学
S17-P-15S	利用Mo同位素示踪南海洋中脊玄武岩地幔源区中的再循环洋壳组分	蔡雨馨	中科院广州地球化学所
S17-P-16	海底地震仪深部结构层析成像揭示南海海盆非对称扩张成因	牛雄伟	自然资源部第二海洋所
S17-P-17S	桂西南崇左中晚三叠纪火山岩年代学、地球化学研究：对华南与印支陆块造山带构造过程的指示	李政林	桂林理工大学
S17-P-18S	双俯冲系统重构板块运动	张魁第	中山大学
S17-P-19S	班公湖－怒江中特提斯洋双向俯冲的电性证据	杨振	中山大学
S17-P-20S	叠前深度偏移剖面揭示藏北库木库里盆地高分辨率结构	邓小凡	中山大学
S17-P-21	P波方位各向异性揭示汤加俯冲带深部地幔和热点的相互作用	于志腾	自然资源部第二海洋所
专题18：花东海盆与西太边缘海地质演化			
S18-P-1	晚中生代花东海盆的岩石圈交代与回春作用	余梦明	同济大学
S18-P-2	南琉球海沟地震地层结构与沉积充填特征	黄蝌	同济大学
S18-P-3	马尼拉俯冲带北段输入板块的三维OBS速度结构建模	张佳政	中科院南海海洋所
S18-P-4S	马尼拉海沟北段增生楔地震速度特征初探	王星月	中科院南海海洋所
S18-P-5	南海北部陆缘深部速度结构与洋陆转换带张裂－破裂机制探讨	袁野	中国地调局广州海洋地质调查局
S18-P-6	多道地震数据揭示了智利北部平行海沟方向的缩短	马波	同济大学
专题19：大洋/海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用			
S19-P-1	赤道区域慢速扩张的大西洋中脊处均一地壳生成的地震学证据	王志凯	University of Southampton
S19-P-2	大洋转换断层的深层水合化和岩石圈减薄	王志凯	University of Southampton

S19-P-3	深海橄榄岩中的俯冲信号及其启示	王纪昕	中科院海洋所
S19-P-4S	超慢速贫岩浆型扩张洋中脊形成断层的数值模拟研究	龚姝天	中国海洋大学
S19-P-5	基于海底地震观测的北极加克洋中脊东段软流圈动力过程研究	贾琰	自然资源部第二海洋所
S19-P-6	东南印度洋脊－双热点相互作用三维地球动力学模拟研究	罗怡鸣	南方科技大学
S19-P-7S	南海盆地形成的地球动力学过程研究	柳晨	北京大学
S19-P-8	西太平洋麦哲伦海山链海山玄武岩矿物化学特征及其对岩浆过程的指示意义	陈思	中国地调局广州海洋地质调查局
S19-P-9	超慢速俯冲形成贫岩浆雅浦岛弧：岩石学和矿物学制约	姚俊华	中科院海洋所
S19-P-10S	Parece Vela 盆地西侧地形起伏区域的多道地震成像及地形成因的新认识	陈昌亮	中科院南海海洋所
S19-P-11S	北部湾盆地涠西南凹陷的断裂生长发育模式	胡晨	中国地质大学（武汉）
S19-P-12S	南海北部陆缘变质核杂岩构造及其对裂谷盆地演化过程的影响	许延成	中国地质大学（武汉）
S19-P-13S	南海中央次海盆残余扩张脊横波速度结构研究	姜辉	中科院南海海洋所
S19-P-14S	南沙地块礼乐西海槽横波速度和VP/VS结构特征	郭建	中科院南海海洋所
专题20：西太海陆深部过程与浅部响应			
S20-P-1S	马里亚纳岛弧下俯冲板块温度结构、岩石相变和地震活动	瞿睿	中科院青藏高原所
S20-P-2	中国东部地壳各向异性及其动力学意义	郑拓	南京工业大学
S20-P-3	西太板缘裂谷起始演化动力学机制的一点认识	于有强	同济大学
S20-P-4	越南福隆地区中新世板内碱性－拉斑玄武岩的成因与构造意义	俞恂	同济大学
S20-P-5S	南海洋中脊俯冲诱发板片撕裂的三维地球动力学数值模拟	廖林峰	中山大学
S20-P-6S	霞石岩中橄榄石斑晶组成揭示中国东部地幔中的碳酸盐化榴辉岩组分	张慧丽	南京大学
S20-P-7S	南海及周边地区上地幔与转换带构造特征及解释	明怡斌	同济大学

S20-P-8	洋中脊俯冲的动力学过程	廖杰	中山大学
S20-P-9	南海幔源岩浆成分多样性与成因机制	钱生平	同济大学
S20-P-10	钾质玄武岩Fe同位素示踪地壳再循环过程	曾罡	南京大学
S20-P-11S	东北新生代玄武岩的地球化学组成揭示大地幔楔中的地幔侧向流动	周中彪	南京大学
专题21：地球深部流体及其资源环境效应			
S21-P-1	非生物成因烃类气研究进展及其资源前景	刘佳宜	页岩油气富集机理与有效开发全国重点实验室
S21-P-2	锇(IV)在富氯流体中的络合行为及其在海底热液中的迁移机制实验研究	严海波	中科院广州地球化学所
S21-P-3	华北克拉通中元古界串岭沟组黑色页岩古海洋环境与有机质富集机制	石巨业	中国地质大学（北京）
S21-P-4	不同类型流体－碳酸盐岩相互作用过程和机制研究——以塔里木盆地一间房组为例	丁茜	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S21-P-5	火山地质事件对页岩层系成源－成储影响探讨——以鄂尔多斯盆地长7段为例	李鹏	页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室
S21-P-6	上震旦统微生物岩储层流体差异对比研究—以灯影组和奇格布拉克组为例	王静彬	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S21-P-7S	四川盆地蓬莱地区埃迪卡拉纪灯影组二段微生物岩储层古流体演化	金鑫	成都理工大学
S21-P-8	深部流体影响下非生物气形成与富集差异性研究—以中国东部裂谷盆地为例	朱东亚	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S21-P-9S	一种基于孔隙－表面关系的泥页岩储层分类新方法——以渤海湾盆地济阳坳陷沙河街组为例	刘顺宇	同济大学
S21-P-10	锆石水与磷灰石挥发分组成变化特征指示斑岩矿床规模	黄文婷	中科院广州地球化学所
专题22：俯冲带流体性质与行为			
S22-P-1S	海底扩张过程中洋壳氮的富集机制：以南海为例	孙李恒	中科院南海海洋所
S22-P-2	俯冲方向反转控制深部物质折返的数值模拟研究	李付成	中科院南海海洋所
S22-P-3S	软流圈与大洋岩石圈地幔的相互作用：来自玉荣果富Nb玄武岩的制约	张城磊	中山大学
S22-P-4S	在150℃、200℃和饱和蒸汽压条件下 NB_2O_5在含F水溶液中的溶解度和存在形式的实验研究	刘浩天	长安大学

S22-P-5	南海南部三叠纪弧岩浆体系与古太平洋俯冲机制研究	王婵	中科院南海海洋所
专题23：海洋内部热量演变和气候效应			
S23-P-1S	用冷水竹节珊瑚重建工业革命以来南海中部海区中层水温度变化	惠鑫如	同济大学
S23-P-2	早－中中新世南海北部上层海洋水文变化指示的东亚季风演变	杨策	西北大学
S23-P-3S	南海北部IODP U1505站15－13 Ma上层水体结构及东亚季风演变	卢亚敏	北京大学
S23-P-4S	重建过去1500年东澳大利亚暖流的热量传输	陈安然	厦门大学
S23-P-5S	印度洋偶极子驱动的上层海洋热含量与台风关系研究	武道宇	同济大学
S23-P-6S	2Ma以来太平洋经－纬向温度梯度演变的BOX模拟	季翔宇	同济大学
S23-P-7S	末次冰盛期以来海平面上升引起赤道东西太平洋温度梯度增强	马雅楠	南京师范大学
S23-P-8	西太暖池次表层水文演化对中更新世以来气候变化的响应	贾奇	自然资源部第一海洋所
S23-P-9	西太平洋暖池及其在气候演化中扮演的角色	姜玉涵	中国地调局广州海洋地质调查局
S23-P-10	全球变暖背景下热带太平洋海表盐度对类厄尔尼诺型海温增暖的响应	孙启伟	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
S23-P-11	冲绳海槽的高低纬相互作用印记	向荣	中科院南海海洋所
S23-P-12S	末次冰盛期黑潮变化的数值模拟	赵子荟	自然资源部第二海洋所
S23-P-13	大西洋为什么快速增暖	任秋萍	中科院海洋研究所
S23-P-14	南大洋亚南极模态水的结构与变率	洪宇	中科院南海海洋所
S23-P-15	Beta效应引起的孤立海洋涡旋垂向速度偶极子	高山	中科院海洋所
S23-P-16	基于四维变分同化方法的南海中尺度涡后报实验	赵军	中科院海洋所
S23-P-17S	过去千年海表面温度和海洋上层热容量同化	胡文庆	南京师范大学
S23-P-18	大西洋－太平洋长期热盐变化差异	李元龙	中科院海洋所

S23-P-19S	全球变暖下印度洋混合层深度变化研究	高臻	河海大学
专题24：重大气候演变期的陆表地质过程和海—陆物质循环			
S24-P-1S	赞比西河和林波波河现代沉积物来源对比研究及对IODP U1478钻孔岩芯物源变化的启示	杨婧	兰州大学
S24-P-2	地层叠置样式转换的自成因机制	王俊辉	中国石油大学（北京）
S24-P-3	菲律宾海中四国盆地沉积物磁学特征与黑潮演化的早期记录	时美楠	中国地质大学（北京）
S24-P-4S	东亚季风调控的末次冰期以来台湾风化产物向南海深海输运	谢巍	同济大学
S24-P-5S	基于ROV高清视频资料探究九龙峡谷头部支谷波痕的特征和控制因素	周昕	同济大学
S24-P-6S	Early-Middle Miocene Deep-Water Circulation intensity in the South China Sea: Evidence from Sortable Silt Record of Oceanic Red Beds (IODP Expedition 367 Site U1500)	Jirawat Deemuenwai	同济大学
S24-P-7S	第四纪黄土高原粉尘来源空间变化	张浩博	兰州大学
S24-P-8S	南海北部早－中中新世沉积物地球化学特征与源区古气候浅析	耿力	北京大学
S24-P-9S	全新世地中海陆源碎屑沉积地球化学分析记录及其水文气候环境意义	姚胜男	中山大学
S24-P-10S	东海内陆架泥质区颗粒铁对末次冰消期以来沉积环境演化的响应	孔凡兴	中国海洋大学
S24-P-11S	LGM以来南极宇航员海古生产力和氧化还原环境变迁对大气CO_2的影响	胡良明	自然资源部第二海洋所
S24-P-12	滨海沉积环境古盐度变化对天文节律的响应：以渤海湾盆地沙三下亚段为例	魏巍	中国地质大学（武汉）

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月5日下午
专题08：青藏高原隆升与古高度—地貌水系及季风—干旱和生物多样性演化：记录与模拟（3） 主持人：方小敏				
14:00-14:15	S08-O-13	榆木山抬升扩展与河流演化	胡小飞	兰州大学
14:15-14:30	S08-O-14	晚始新世青藏高原中央谷地开阔林地的形成及其成因	苏涛	中科院西双版纳热带植物园
14:30-14:45	S08-O-15	孢粉古高度计揭示晚中新世青藏高原东北部的快速隆升	苗运法	中科院西北生态环境资源研究院
14:45-15:00	S08-O-16	晚新生代黄河中上游区域地貌与环境变化	聂军胜	兰州大学
15:00-15:15	S08-O-17	亚洲粉尘中更新世铁化学形态转型及其对太平洋生物生产力的影响	昝金波	中科院青藏高原所
15:15-15:30	S08-O-18	塔吉克斯坦晚更新世黄土沉积记录的中亚古粉尘过程和气候梯度	康健	中科院青藏高原所
15:30-15:50	茶歇			
分会场 2：三楼2号会议室				7月5日下午
专题27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录（2） 主持人：颜茂都				
14:00-14:15	S27-O-7	青藏高原东南缘水系发育与区域抬升的关系（邀请报告）	刘静	天津大学
14:15-14:30	S27-O-8	祁连山中段晚中新世以来地貌演化过程研究－来自水系演化和古侵蚀速率的证据	张建	兰州大学
14:30-14:45	S27-O-9	中始新世东亚边缘大型水系的发现及其地质意义	付晓伟	同济大学
14:45-15:00	S27-O-10	青藏高原东南缘新生早期是否存在一条流向南海的古红河？	李仕虎	中科院地质与地球物理所
15:00-15:15	S27-O-11	长江水系流域风化与地形地貌及气候特征的关系	李超	同济大学
15:15-15:30	S27-O-12	晚始新世以来印度洋长期增强的南亚风化输入	宋泽华	中科院海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月5日下午
专题52： 海水养殖环境负排放科学发展 主持人：杨宇峰				
14:00-14:15	S52-O-1	我国近海贝藻养殖的生态修复及碳汇效益	何培民	上海海洋大学
14:15-14:30	S52-O-2	贝藻碳汇初步研究	汤坤贤	自然资源部第三海洋所
14:30-14:45	S52-O-3	海带养殖的溶解态碳汇效应研究	李鸿妹	中科院青岛生物能源与过程所
14:45-15:00	S52-O-4	微藻海上大规模培养技术支撑海洋碳汇及渔业发展	迟占有	大连理工大学
15:00-15:15	S52-O-5	微藻固碳及其资源化关键技术	傅维琦	浙江大学
15:15-15:30	S52-O-6	广西岛礁马尾藻场的资源养护作用和固碳潜力研究	孙显	中山大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 4：三楼上海厅				7月5日下午
专题19：大洋/海盆岩石圈形成演化与地球圈层相互作用（3） 主持人：田丽艳				
14:00-14:15	S19-O-13	南海的温度场、莫霍面深度与岩石圈有效弹性厚度（邀请报告）	李春峰	浙江大学
14:15-14:30	S19-O-14	北冰洋超慢速Mohns洋脊的地形与洋壳结构变化及其影响因素	张一诺	中科院南海海洋所
14:30-14:45	S19-O-15	大西洋赤道区域Romanche转换断层岩石圈的低波速比异常研究	于志腾	法国Geo-Ocean实验室
14:45-15:00	S19-O-16	南海洋中脊玄武岩镁同位素地球化学特征及其指示意义	洪一荻	浙江大学
15:00-15:15	S19-O-17	南海西南次海盆跨龙门海山地壳结构：对张－破裂机制、慢速扩张脊和地幔活动的启示	江文彬	中国地调局广州海洋地质调查局
15:15-15:30	S19-O-18	南海西南次海盆扩张年龄和扩张岩浆供应特征	邱宁	中科院南海海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月5日下午
专题39：碳-14生物地球化学循环 主持人：包锐				
14:00-14:15	S39-O-1	我国城市大气化石源CO_2的^{14}C示踪研究（邀请报告）	周卫健	中科院地球环境所
14:15-14:30	S39-O-2	地震促进超深海沟中的溶解碳循环	褚梦凡	中国海洋大学
14:30-14:45	S39-O-3	天然单体烃放射性碳同位素示踪多环芳烃的来源和迁移过程	押淼磊	华东师范大学
14:45-15:00	S39-O-4	人为扰动促进青藏高原溶解性老碳向河流释放	能惠	天津大学
15:00-15:15	S39-O-5	基于放射性碳同位素的岩溶大深型水库碳增汇研究	王万发	贵州大学
15:15-15:30	S39-O-6	二元羧酸单体放射性碳同位素示踪我国二次有机气溶胶碳源和生成机制	徐步青	中科院广州地球化学所
15:30-15:50	茶歇			
分会场 6：三楼6号会议室				7月5日下午
专题33：热带和极地海洋海气相互作用“海—空—天”协同观测 主持人：唐世林				
14:00-14:15	S33-O-1	西北太平洋上层海洋结构对台风影响的决定作用	王云涛	自然资源部第二海洋所
14:15-14:30	S33-O-2	Mechanisms of Fast Walker Circulation Responses to CO_2 Forcing	卢柯舟	Georgia Institute of Technology
14:30-14:45	S33-O-3	吕宋岛北部暖涡的CPIES阵列观测研究	赵瑞祥	自然资源部第二海洋所
14:45-15:00	S33-O-4	基于观测的南海亚中尺度过程能量转化研究	邱春华	中山大学
15:00-15:15	S33-O-5	台风对西北太平洋海表pCO_2及海－气CO_2通量的影响——基于浮标观测资料的研究	叶海军	中科院南海海洋所
15:15-15:30	S33-O-6	旋转层结情况下对流不稳定过程的三维流场特征的研究	曹茜	南京信息工程大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月5日下午
专题07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程（3） 主持人：余克服				
14:00-14:15	S07-O-13	近千年南海北部造礁石珊瑚钙化及其对气候变化的响应	邓广超	中科院广州地球化学所
14:15-14:30	S07-O-14	南海西沙群岛滨珊瑚记录之过去2000年特征时期的ENSO活动（邀请报告）	江蕾蕾	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
14:30-14:45	S07-O-15	4.2ka气候事件的高纬强迫－来自西沙珊瑚的证据	党少华	同济大学
14:45-15:00	S07-O-16	Walker环流驱动的南海百年尺度半米级海平面波动	颜廷礼	华东师范大学
15:00-15:15	S07-O-17	南沙群岛全新世造礁石珊瑚群落演变特征及其对礁体发育的生物调控	赵美霞	中科院南海海洋所
15:15-15:30	S07-O-18	南海冷水珊瑚钙化机制与古环境重建意义	曾治惟	同济大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 8：三楼8号会议室				7月5日下午
“科研与科普：地球系统科学的启示”圆桌会 主持人：周忠和				
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月5日下午
专题32：海陆气相互作用与极端天气气候事件 主持人：周磊				
14:00-14:15	S32-O-1	极端天气气候事件形成的协同作用理论（邀请报告）	李建平	中国海洋大学
14:15-14:30	S32-O-2	赤道太平洋海洋热浪与极低盐度共生事件的因果	刘浩	齐鲁工业大学（山东省科学院）
14:30-14:45	S32-O-3	气候变暖背景下夏季北半球中纬度湿热浪空间不均一变化的机理研究	袁嘉灿	复旦大学
14:45-15:00	S32-O-4	中东增温导致南亚季风边缘半干旱区异常降水增强	周磊	上海交通大学
15:00-15:15	S32-O-5	西北太平洋暖池区超强台风的早期过程	刘世东	中国海洋大学
15:15-15:30	S32-O-6	印度洋海温对中亚夏季降水年际变化的影响	魏韵	中国地质大学（武汉）
15:30-15:50	茶歇			
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月5日下午
专题01：中生代陆地生态系统重大变革及环境背景 主持人：高远				
14:00-14:15	S01-O-1	辽西四合屯地区早白垩世火山活动与生物灾难事件	陈树旺	中国地调局沈阳地质调查中心
14:15-14:30	S01-O-2	三叠纪与侏罗纪之交火山作用对陆地生态系统影响	沈俊	中国地质大学（武汉）
14:30-14:45	S01-O-3	羊膜卵起源于延长胚胎保留或者胎生	姜宝玉	南京大学
14:45-15:00	S01-O-4	三叠纪卡尼期湿润幕：来自地球系统数值模拟的启示	杨虎	南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
15:00-15:15	S01-O-5	松辽盆地青山口组湖相白云岩——海侵事件岩矿学新证据	柳宇柯	中国石油勘探开发研究院
15:15-15:30	S01-O-6	宏演化分析揭示翼龙复杂的兴亡史	余逸伦	中科院古脊椎动物与古人类所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月5日下午
专题23：海洋内部热量演变和气候效应（2） 主持人：宁亮				
14:00-14:15	S23-O-7	全球变暖“停滞” 与海洋热含量分布（邀请报告）	林霄沛	中国海洋大学
14:15-14:30	S23-O-8	海洋亚中尺度过程如何影响大洋经向热输运？	张志伟	中国海洋大学
14:30-14:45	S23-O-9	始新世大洋环流及气候效应	张彧瑞	厦门大学
14:45-15:00	S23-O-10	过去千年火山对海洋环流及热容量的影响及机制	宁亮	南京师范大学
15:00-15:15	S23-O-11	三万年来印太暖池热盐演化及其强迫机制	张帅	河海大学
15:15-15:30	S23-O-12	印度洋上层海洋热含量调控亚洲夏季风	王跃	同济大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月5日下午
专题70： 主动源海底地震技术应用与发展 主持人：刘玉柱				
14:00-14:15	S70-O-1	超深水海底飞行节点地震仪与高精度弹性波成像技术（邀请报告）	耿建华	同济大学
14:15-14:30	S70-O-2	深水海底稀疏节点地震数据弹性波成像方法	于鹏飞	河海大学
14:30-14:45	S70-O-3	东海OBS多分量地震数据波场分离与波形反演成像	王腾飞	同济大学
14:45-15:00	S70-O-4	拖缆与OBS反射地震数据融合	张宝金	中国地调局广州海洋地质调查局
15:00-15:15	S70-O-5	海底地震仪探测西南印度洋中脊50°E横波速度结构与岩性特征	牛雄伟	自然资源部第二海洋所
15:15-15:30	S70-O-6	大量岩浆作用下南海岩石圈的两阶段破裂模式	张江阳	中科院南海海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月5日下午
专题02：植物登陆的环境资源效应（2） 主持人：鲁静				
14:00-14:15	S02-O-7	中国铝土矿成矿作用的物质来源与深时环境因素：进展与讨论（邀请报告）	余文超	中国地质大学（武汉）
14:15-14:30	S02-O-8	汞同位素显示志留纪早期维管植物在陆地已广泛分布	刘牧	中科院地质与地球物理所
14:30-14:45	S02-O-9	古土壤中成壤碳酸盐的矿物学特征及其指示意义	甯濛	成都理工大学
14:45-15:00	S02-O-10	我国泥盆系海陆过渡相烃源岩分布、地化特征及油气潜力评价	王兴喆	中国矿业大学（北京）
15:00-15:15	S02-O-11	中国华北克拉通二叠纪孢粉组合的时空对比及其古地理学意义	刘锋	中科院南京地质古生物所
15:15-15:30	S02-O-12	植物登陆以来植被与气候的相互作用	郭佳琦	北京大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月5日下午
专题03：蛇纹石化过程与效应（2） 主持人：林红磊				
14:00-14:15	S03-O-7	以分子动力学模拟技术揭示蛇纹石/水相互作用对流体运移的影响	陈锰	中科院广州地球化学所
14:15-14:30	S03-O-8	蛇纹石化过程与地外生命探测（邀请报告）	申建勋	中科院地质与地球物理所
14:30-14:45	S03-O-9	蛇纹石化合成氨及其对生命起源的启示	商修齐	中科院海洋所
14:45-15:00	S03-O-10	火星蛇纹石高光谱目标探测算法研究	吴兴	中科院国家空间科学中心
15:00-15:15	S03-O-11	富铁橄榄石的蛇纹石化过程及产物：对火星的启示	王夕予	中科院地球化学所
15:15-15:30	S03-O-12	茫崖蛇纹石化和碳酸盐化系统的多尺度光谱学研究——对火星气候的指示	叶斌龙	香港大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月5日下午14:00~15:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月5日下午
专题62： 海洋地质灾害案例、形成过程与机制（2） 主持人：孙启良				
14:00-14:15	S62-O-7	珠江口盆地海底蠕变的形成机理与控制因素研究（邀请报告）	李伟	中科院南海海洋所
14:15-14:30	S62-O-8	火山喷发引发海啸的致灾机理	任智源	西北工业大学
14:30-14:45	S62-O-9	海底碎屑流运动过程的数值模拟及其对海底管线的冲击作用	钱学生	南方科技大学
14:45-15:00	S62-O-10	埋藏滑坡诱发流体活动	陈端新	中科院海洋所
15:00-15:15	S62-O-11	南海北部琼东南盆地斜交斜坡水道控制的块体搬运沉积体分布	李俞锋	西南科技大学
15:15-15:30	S62-O-12	琼东南海域第四纪薄层块体流的识别及侵蚀作用研究	任金锋	中国地调局广州海洋地质调查局
15:30-15:50	茶歇			
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月5日下午
专题28：季风—干旱系统演变与大陆演化（3） 主持人：鹿化煜				
14:00-14:15	S28-O-13	全球增温对亚澳季风关系的影响（邀请报告）	许晨曦	中科院地质与地球物理所
14:15-14:30	S28-O-14	过去四个冰期－间冰期旋回东亚地区温度和降水周期的模拟研究	戴高文	中国地质大学（武汉）
14:30-14:45	S28-O-15	末次间冰期亚洲季风加强和早期现代人迁徙到东亚	敖红	中科院地球环境所
14:45-15:00	S28-O-16	过去500年东亚夏季风环流变化重建与模拟同化	史锋	中科院地质与地球物理所
15:00-15:15	S28-O-17	全球平均海平面上升对海洋性大陆和东亚夏季降水的影响	董曹沂	中国地质大学（武汉）
15:15-15:30	S28-O-18	蜗牛壳体高分辨率的稳定氧同位素记录与亚洲古季风的季节干湿变化	王鑫	兰州大学
15:30-15:50	茶歇			

大会特邀报告			
7月5日下午15:50~17:50			
主会场：三楼东方厅			7月5日下午
大会特邀报告			
15:50-16:20	嫦娥五号月球样品揭示月球最年轻火山活动	李献华	中科院地质与地球物理所
16:20-16:50	夏季青藏高原中东部表面感热通量对东亚夏季风年代际变化的影响	张人禾	复旦大学
16:50-17:20	古亚洲洋演化及其对潘吉亚超大陆形成的制约	肖文交	中科院新疆生态与地理所
17:20-17:50	从生物碳泵的地史演化看微生物的地质作用	谢树成	中国地质大学（武汉）

信息交流时光	
7月5日下午19:30~20:30	
《中国科学》杂志社期刊编辑面对面”活动，三楼十号会议室	7月5日下午

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月6日上午
专题17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成（1） 主持人：丁巍伟				
08:30-08:45	S17-O-1	东南亚环形俯冲体系的进展与展望	李家彪	自然资源部第二海洋所
08:45-09:00	S17-O-2	新特提斯洋演化与动力学机制（邀请报告）	赵盼	中科院地质与地球物理所
09:00-09:15	S17-O-3	桂东南印支期火山作用及其对古特提斯演化的约束	覃悦	桂林理工大学
09:15-09:30	S17-O-4	远震层析成像揭示的东南亚特提斯构造遗迹	李桐林	吉林大学
09:30-09:45	S17-O-5	马蹄形班达弧下方的复杂地幔流场：来自层状地震各向异性的约束	李斯佳	自然资源部第二海洋所
09:45-10:00	S17-O-6	深反射地震图像揭示的莺歌海盆地莫霍面与红河断裂精细结构	李伦	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题58： 海洋碱化增汇技术与环境效应 主持人：刘纪化				
10:20-10:35	S58-O-1	矿物－微生物相互作用的碳中和对策	董海良	中国地质大学（北京）
10:35-10:50	S58-O-2	微生物诱导碳酸盐沉淀储碳研究初探	王誉泽	南方科技大学
10:50-11:05	S58-O-3	常温常压下利用粉煤灰和海水高效矿化封存 CO_2	潘依雯	浙江大学
11:05-11:20	S58-O-4	海岸带橄榄石添加增汇潜力评估	胡玉斌	山东大学
11:20-11:35	S58-O-5	基于海洋碱度强化的航运业碳减排应用	东思嘉	南京大学
11:35-11:50	S58-O-6	碱化土壤中微生物对碳汇的逆向调控	余茜倩	中国地质大学（武汉）

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 2：三楼2号会议室				7月6日上午
专题61： 海洋地质碳封存与碳中和（2） 主持人：李琦				
08:30-08:45	S61-O-7	海上咸水层CO_2封存中盖层和断层的封闭性及稳定性评价研究——以珠江口盆地A油田为例	汪生好	中海油（中国）有限公司深圳分公司
08:45-09:00	S61-O-8	海上CO_2回注封存井低密度防腐固井水泥浆体系研究及应用	饶志华	中国海洋石油集团有限公司
09:00-09:15	S61-O-9	基于近海地质碳封存的中国CCUS源－汇匹配研究进展	姚悦	同济大学
09:15-09:30	S61-O-10	海上CO_2地质封存组合盖层破坏机理研究	鲁建荣	中海油研究总院有限责任公司
09:30-09:45	S61-O-11	海洋CCUS典型项目地质特征与我国近海盆地咸水层碳封存地质评价	李磊	西安石油大学
09:45-10:00	S61-O-12	海底二氧化碳地质封存监测的地球物理与数字孪生技术	邱宁	中科院南海海洋所
10:00-10:20	茶歇			
专题27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录（3） 主持人：万世明				
10:20-10:35	S27-O-13	我国主要河流－河口－边缘海系统颗粒态有机碳来源、年龄和组成的演化模式及控制机制（邀请报告）	姚鹏	中国海洋大学
10:35-10:50	S27-O-14	运用稀土元素及锶钕同位素示踪台湾河流沉积物铁锰氢氧化物的组成和来源	苏妮	同济大学
10:50-11:05	S27-O-15	偏心率驱动曲流河沉积环境变化：来自中中新世柴达木盆地地层的证据	聂军胜	兰州大学
11:05-11:20	S27-O-16	玄武岩风化过程中的镁同位素分馏及其对风化通量和CO_2消耗速率的约束	雒恺	中科院广州地球化学所
11:20-11:35	S27-O-17	上新世以来东亚陆缘沉积源汇系统演变的特征及意义	李芳亮	青岛海洋科技中心
11:35-11:50	S27-O-18	文昌玄武岩风化剖面的锂－镁－铁－锶同位素特征及指示意义	朱冠虹	中科院广州地球化学所

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月6日上午
专题78： 数字驱动下的深时地球科学研究（1） 主持人：王新兵				
08:30-08:45	S78-O-1	量化了显生宙煤和蒸发岩的形成与温度和降水的关系	胡永云	北京大学
08:45-09:00	S78-O-2	造山运动控制了32亿年以来的全球剥蚀作用	李高军	南京大学
09:00-09:15	S78-O-3	板块运动驱动热带辐合带迁移	韩晶	北京大学
09:15-09:30	S78-O-4	一站式地学学术文献平台 DDE Scholar	王海文	上海交通大学
09:30-09:45	S78-O-5	Dataexpo：面向地学开放科学研究的数据巡航系统	卢彬	上海交通大学
09:45-10:00	S78-O-6	DDE Report：AI驱动的地球科学研究报告	亓杰星	上海交通大学
10:00-10:20	茶歇			
专题78： 数字驱动下的深时地球科学研究（2） 主持人：胡永云				
10:20-10:35	S78-O-7	面向知识和数据共享的大洋沉积物数据库建设	胡修棉	南京大学
10:35-10:50	S78-O-8	大洋钻探沉积地层时间数据库	马超	成都理工大学
10:50-11:05	S78-O-9	高温地球化学数据库——高质量的细分领域数据库	吕洋	浙江大学
11:05-11:20	S78-O-10	Geochemistry π: 自动调参的机器学习Python工具	何灿	浙江大学
11:20-11:35	S78-O-11	古生物化石标本多模态数据集的建设与应用	徐洪河	中科院南京地质古生物所
11:35-11:50	S78-O-12	地球系统数值模拟装置简介及开放共享方案	张木兰	中科院大气物理所

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 4：三楼上海厅				7月6日上午
专题73： 南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟（1） 主持人：李春峰				
08:30-08:45	S73-O-1	基于OBS2021测线的西南次海盆深部结构初探	姚永坚	中国地调局广州海洋地质调查局
08:45-09:00	S73-O-2	南海西北次海盆共轭陆缘张－破裂特征与机制	曾程辉	中科院南海海洋所
09:00-09:15	S73-O-3	矿物颗粒动态演化对贫岩浆型裂谷边缘洋－陆过渡带地幔岩出露的控制作用（邀请报告）	刘仲兰	吉林大学
09:15-09:30	S73-O-4	南海中央海盆渐新世末洋脊跃迁前后洋壳结构特征及构造意义	王利杰	中国地调局广州海洋地质调查局
09:30-09:45	S73-O-5	不对称大陆张裂控制不对称的洋脊扩张	卓木林	中山大学
09:45-10:00	S73-O-6	南大西洋中段桑托斯盆地构造、地壳结构与岩浆活动——一种新类型的中间型被动陆缘	高金尉	中科院深海科学与工程所
10:00-10:20	茶歇			
专题73： 南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟（2） 主持人：丁巍伟				
10:20-10:35	S73-O-7	南海后扩张期大陆边缘闭合过程及成因机制	解习农	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S73-O-8	南海高铝玄武岩的岩石学成因及其对南海打开相关岩浆过程的启示	王巍	中国地质科学院
10:50-11:05	S73-O-9	南海大陆边缘同张裂期岩浆活动的数值模拟研究（邀请报告）	李付成	中科院南海海洋所
11:05-11:20	S73-O-10	我国自主研发“海豚”漂浮式海洋地震仪首次海上试验结果分析	刘博文	自然资源部第二海洋所
11:20-11:35	S73-O-11	南海北部陆缘岩浆侵入沉积地层的热模拟研究	赵芳	中科院南海海洋所
11:35-11:50	S73-O-12	琼东南盆地岩石圈非均一伸展破裂过程的热－流变学响应	李朝阳	山东科技大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月6日上午
专题38：地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟（1） 主持人：田军				
08:30-08:45	S38-O-1	南海溶解有机碳的来源、分布、传输和动态循环过程（邀请报告）	李骁麟	厦门大学
08:45-09:00	S38-O-2	海洋气候环境演变的brGDGTs示踪与重建	王梦媛	中山大学
09:00-09:15	S38-O-3	北太平洋副热带流涡区溶解铁输送的模式诊断	马文涛	自然资源部第二海洋所
09:15-09:30	S38-O-4	更新世钙化藻类与碳循环、气候的协同演化	金晓波	同济大学
09:30-09:45	S38-O-5	中布容气候转型期南大洋深部环流与碳循环	马小林	中科院地球环境所
09:45-10:00	S38-O-6	南大洋主导的全球洋流重组促使了中更新世冰期增强与气候转型	李科	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题38：地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟（2） 主持人：柳中晖				
10:20-10:35	S38-O-7	IAP海洋环流模式和海洋生物地球化学模式的研制和应用（邀请报告）	俞永强	中科院大气物理所
10:35-10:50	S38-O-8	冰期大气二氧化碳分阶段下降的机理研究：基于两半球高纬协同储碳作用的理论框架	杜金龙	同济大学
10:50-11:05	S38-O-9	上新世以来太平洋深海碳储库演化	秦秉斌	自然资源部第一海洋所
11:05-11:20	S38-O-10	晚始新世以来印度洋表层海水有色溶解有机质演化历史的重建	胡超涌	中国地质大学（武汉）
11:20-11:35	S38-O-11	OAE2期间碳排放与碳埋藏的定量模拟	崔琪	北京大学
11:35-11:50	S38-O-12	白垩纪－古近纪界限（K－Pg）小行星撞击和德干火山脱气的不同气候响应	陈一晖	北京大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 6：三楼6号会议室				7月6日上午
专题16：地球与行星内部结构和性质（1） 主持人：徐义刚				
08:30-08:45	S16-O-1	地球早期核幔元素分配与地核中的氧	张志刚	中科院地质与地球物理所
08:45-09:00	S16-O-2	大碰撞事件生热及其对长期热演化的影响	周游	成都理工大学
09:00-09:15	S16-O-3	水诱导的地幔反转与大陆起源	吴忠庆	中国科学技术大学
09:15-09:30	S16-O-4	利用散射波研究地球内核增长	王巍	中科院地质与地球物理所
09:30-09:45	S16-O-5	脱水引起的D”层内的剪切波速异常	韩松松	中科院精密测量科学与技术创新研究院
09:45-10:00	S16-O-6	卡罗琳热点附近下方核幔边界的富铁超低速区（邀请报告）	孙道远	中国科学技术大学
10:00-10:20	茶歇			
专题16：地球与行星内部结构和性质（2） 主持人：陈凌				
10:20-10:35	S16-O-7	早新生代太平洋下地幔流场的残余	范建柯	中科院海洋所
10:35-10:50	S16-O-8	全球地幔过渡带结构和物质成分反射地震学研究	俞春泉	南方科技大学
10:50-11:05	S16-O-9	岩石圈中部不连续面及其对克拉通稳定性的影响	付荟颖	中国科学院大学
11:05-11:20	S16-O-10	玄武岩冷却裂缝的模拟	陈甜甜	东北大学
11:20-11:35	S16-O-11	月球散射性质的研究	陈涵	南京大学
11:35-11:50	S16-O-12	行星浅表结构探测关键技术研究进展（邀请报告）	张金海	中科院地质与地球物理所

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月6日上午
专题07：南海珊瑚礁：形成演化历史与生态环境过程（4） 主持人：颜文				
08:30-08:45	S07-O-19	晚中新世以来南沙群岛珊瑚礁的演化及天文驱动力	饶诗怡	中科院南海海洋所
08:45-09:00	S07-O-20	南海南沙珊瑚礁深钻（南科一井）生物标志物组成分布及其环境指示	陈芬	中科院南海海洋所
09:00-09:15	S07-O-21	新近纪南沙岛礁发育演化：来自钙质微体化石的证据（邀请报告）	苏翔	中科院南海海洋所
09:15-09:30	S07-O-22	西沙群岛琛科 2 井晚中新世黄流组白云石晶体主量元素分布特征	沈若夏	广西南海珊瑚礁研究重点实验室
09:30-09:45	S07-O-23	珊瑚礁岩地层暴露面岩石和地球化学特征	杨洋	桂林理工大学
09:45-10:00	S07-O-24	西沙海域甘泉海台侧坡样品记录的中新世以来构造尺度相对海平面变化及其揭示的台地演化阶段	张江勇	中国地调局广州海洋地质调查局
10:00-10:20	茶歇			
专题53：“双碳”背景下的海洋新能源技术（1） 主持人：宁德志				
10:20-10:35	S53-O-1	海洋能装置的试验与测试 ——双碳背景下的海洋新能源技术	史宏达	中国海洋大学
10:35-10:50	S53-O-2	海洋温差能热力循环及其综合利用综述	刘伟民	自然资源部第一海洋所
10:50-11:05	S53-O-3	海洋清洁能源支撑“碳中和”目标的发展展望	崔琳	国家海洋技术中心
11:05-11:20	S53-O-4	波浪能装置与海洋工程装备集成利用关键技术	周斌珍	华南理工大学
11:20-11:35	S53-O-5	基于浮式防波堤的海流能装置水动力性能研究	孙科	哈尔滨工程大学
11:35-11:50	S53-O-6	致力于人工上升流的海洋能自供给技术机理与关键技术研究	张大海	浙江大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:35				
分会场 8：三楼8号会议室				7月6日上午
专题46： 海洋负排放理论探索 主持人：张锐				
08:30-08:45	S46-O-1	碳酸盐泵演变及其在海洋碳循环中的作用	刘传联	同济大学
08:45-09:00	S46-O-2	铁铝假说理论基础及海洋铝施肥负排放技术探讨	周林滨	中科院南海海洋所
09:00-09:15	S46-O-3	大型海藻负排放理论技术与应用展望	杨宇峰	暨南大学
09:15-09:30	S46-O-4	近海贝－藻蓝碳偶联效应机制	何培民	上海海洋大学
09:30-09:45	S46-O-5	“矿物增效的生物泵”策略及其研究进展	刘冬	中科院广州地球化学所
09:45-10:00	S46-O-6	卫星遥感追溯全球近海藻华时空动态过程	冯炼	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题84：华夏山水的由来 主持人：郭正堂				
10:20-10:35	S84-O-1	巍巍祁连，漫漫丝路	张培震	中山大学
10:35-10:50	S84-O-2	三晋大地	莫多闻	北京大学
10:50-11:05	S84-O-3	天府之国	孟庆任	中科院地质与地球物理所
11:05-11:20	S84-O-4	罗布泊与楼兰	秦小光	中科院地质与地球物理所
11:20-11:35	S84-O-5	西湖掌故	汪品先	同济大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月6日上午
专题40：巽他陆架海平面、流域和碳循环过程与演变（1） 主持人：石学法				
08:30-08:45	S40-O-1	揭开上新－更新世全球气候变化之谜：巽他陆架大洋钻探建议	刘志飞	同济大学
08:45-09:00	S40-O-2	14万年以来东南亚岛弧风化历史（邀请报告）	于兆杰	中科院海洋所
09:00-09:15	S40-O-3	末次冰消期以来海平面和东亚季风演化对巽他陆架沉积物输运的影响	吴凯凯	自然资源部第一海洋所
09:15-09:30	S40-O-4	马六甲海峡现代沉积环境特征及其沉积物输运机制研究	艾丽娜	自然资源部第一海洋所
09:30-09:45	S40-O-5	末次冰盛期以来南海西北部陆架风化的沉积记录	万世明	中科院海洋所
09:45-10:00	S40-O-6	南海沉积物分布特征和变化规律	乔淑卿	自然资源部第一海洋所
10:00-10:20	茶歇			
专题50： 海洋生物碳汇 主持人：孙军				
10:20-10:35	S50-O-1	深海共生动物系统演化及碳循环生理过程研究	李远宁	山东大学
10:35-10:50	S50-O-2	海洋聚球藻－细菌间互作及其对海洋碳汇的潜在影响	张增虎	中科院青岛生物能源与过程所
10:50-11:05	S50-O-3	利用C-14标记法测定海洋初级生产力的争议问题和探讨	裴绍峰	中国地调局青岛海洋地质所
11:05-11:20	S50-O-4	藻菌互利共生关系加速硅藻赤潮在新水域的重建	马骁	中科院南海海洋所
11:20-11:35	S50-O-5	贝藻养殖系统沉积有机碳来源、再矿化和埋藏过程的研究	潘哲	河北农业大学
11:35-11:50	S50-O-6	现代南海浮游有孔虫钙化强度对人类活动导致的大气二氧化碳浓度上升的响应	宋婉婷	北京大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月6日上午
专题30：水循环的地质演变（1） 主持人：朱茂炎				
08:30-08:45	S30-O-1	马里诺“雪球地球”晚期中纬度地区存在开阔水域（邀请报告）	宋虎跃	中国地质大学（武汉）
08:45-09:00	S30-O-2	晚泥盆世－密西西比亚纪植物水循环与生物礁耦合演化	要乐	中科院南京地质古生物所
09:00-09:15	S30-O-3	被子植物演化和水循环	史恭乐	中科院南京地质古生物所
09:15-09:30	S30-O-4	晚古生代冰室气候碳－水循环研究进展	陈吉涛	中科院南京地质古生物所
09:30-09:45	S30-O-5	古生代－中生代之交的气候带、降水和季风演变	宋汉宸	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S30-O-6	新生代青藏高原生长对东亚水循环及生态系统的影响	李树峰	中科院西双版纳热带植物园
10:00-10:20	茶歇			
专题31：亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化（1） 主持人：晏宏				
10:20-10:35	S31-O-1	西江下游中－晚全新世洪水记录与ENSO驱动的极端气候事件（邀请报告）	郑卓	中山大学
10:35-10:50	S31-O-2	Vegetation and Rainfall Changes in the Western Pacific Warm Pool: Implications for the Evolution of ENSO over the Last 15.000 Years	Lázár Boitond	厦门大学
10:50-11:05	S31-O-3	中国东海岸过去2千年台风强度的状态转换	杨阳	南京师范大学
11:05-11:20	S31-O-4	珊瑚古气候重建支持低纬度强迫对4.2Ka事件的影响	陈雪霏	中科院广州地球化学所
11:20-11:35	S31-O-5	18世纪中期以来PDO调制的全球温度变化速率	韩韬	中科院地球环境所
11:35-11:50	S31-O-6	基于Hgaoenkf对过去两千年温度和降水的重建	吴芬	南京师范大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月6日上午
专题67： 南海深水深层油气系统形成机制与分布预测（1） 主持人：徐长贵				
08:30-08:45	S67-O-1	珠江口盆地构造演化旋回及其新生代沉积环境变迁	郑金云	中海油（中国）有限公司深圳分公司
08:45-09:00	S67-O-2	基于多源数据与物理模型联合驱动的深层高分辨率处理技术	耿建华	同济大学
09:00-09:15	S67-O-3	南海大型油气田形成条件分析	张强	中国石油杭州地质研究院
09:15-09:30	S67-O-4	珠江口盆地珠一坳陷古近系油气差异富集规律及勘探潜力	陈维涛	中海油（中国）有限公司深圳分公司
09:30-09:45	S67-O-5	南海东北部潮汕坳陷晚侏罗世海底扇发育特征及油气地质意义	孙鸣	中国地调局广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S67-O-6	珠江口盆地陆丰凹陷古近纪张扭应力背景下断裂结构样式及控藏机制	邱欣卫	中海油（中国）有限公司深圳分公司
10:00-10:20	茶歇			
专题67： 南海深水深层油气系统形成机制与分布预测（2） 主持人：高阳东				
10:20-10:35	S67-O-7	珠江口盆地古潜山成山演化及构造控储机制认识	吴哲	中海油（中国）有限公司深圳分公司
10:35-10:50	S67-O-8	惠西南断拗转换期复合沉积体系研究	向巧维	中海油（中国）有限公司深圳分公司
10:50-11:05	S67-O-9	海域盆地深层优质储层主控地质因素分析	傅强	同济大学
11:05-11:20	S67-O-10	珠江口盆地番禺4洼古近系储层特征及展布研究	张晓钊	中海油（中国）有限公司深圳分公司
11:20-11:35	S67-O-11	小型源－汇系统砂体定量表征技术在油气勘探中的应用——以珠江口盆地惠陆低凸起为例	吴琼玲	中海油（中国）有限公司
11:35-11:50	S67-O-12	西湖凹陷平北地区断裂差异控藏特征	李坤	成都理工大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月6日上午
专题80： 海岸带动力地貌过程与演变机制（1） 主持人：吴晓				
08:30-08:45	S80-O-1	台风对滨海盐沼－光滩过渡带沉积物有机碳累积过程的影响（邀请报告）	陈一宁	自然资源部第二海洋所
08:45-09:00	S80-O-2	海岸生物膜－泥沙系统对潮流和波浪动力作用的响应机制	陈欣迪	河海大学
09:00-09:15	S80-O-3	波浪事件对于潮滩水沙动力及地貌演变的影响机制研究	杨刚	南京信息工程大学
09:15-09:30	S80-O-4	潮滩地形坡度和植被对潮沟系统的影响	耿亮	河海大学
09:30-09:45	S80-O-5	盐沼前缘陡坎的形态特征与演变趋势的Meta分析	张晓天	河海大学
09:45-10:00	S80-O-6	海岸植被水动力开源模型研究进展	胡湛	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题80： 海岸带动力地貌过程与演变机制（2） 主持人：陈欣迪				
10:20-10:35	S80-O-7	河口海岸底边界层湍流混合与细颗粒泥沙相互作用过程与机制（邀请报告）	涂俊彪	同济大学
10:35-10:50	S80-O-8	黄河三角洲潮间带盐沼湿地对水沙调控和风暴事件的地貌响应	王柯萌	中国海洋大学
10:50-11:05	S80-O-9	石炭纪末华北陆表海西岸冰川海平面升降的动力地貌过程响应	刘金城	中南大学
11:05-11:20	S80-O-10	基于高频地波雷达观测的近岸海流预测研究	任磊	中山大学
11:20-11:35	S80-O-11	潮沟网络的基准形态	徐凡	华东师范大学
11:35-11:50	S80-O-12	风暴作用下苏北废弃黄河三角洲浮泥层形成机制与运动特征研究	余和雨	中国海洋大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月6日上午
专题09：氧气的生物地球化学循环 主持人：颜余真				
08:30-08:45	S09-O-1	氧循环演变与吸氧的地球（邀请报告）	黄建平	兰州大学
08:45-09:00	S09-O-2	大陆化学风化作用加强可能引发了古元古代大氧化事件	马星宇	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S09-O-3	大气氧化进程中大陆风化作用的地球化学研究	刘孟南	南京大学
09:15-09:30	S09-O-4	用底栖有孔虫I/CA重建中中新世太平洋中深层海水氧含量变化	周晓理	同济大学
09:30-09:45	S09-O-5	碳酸盐岩铀同位素指示古海洋缺氧—全球VS.局部	陈新明	上海交通大学
09:45-10:00	S09-O-6	影响高纬度深对流过程中海表氧气通量的主要因素	孙道勋	青岛海洋科技中心
10:00-10:20	茶歇			
专题12：南极生态系统与气候变化（1） 主持人：王汝建				
10:20-10:35	S12-O-1	南极磷虾资源开发利用趋势分析（邀请报告）	黄洪亮	中国水产科学研究院东海水产所
10:35-10:50	S12-O-2	生态位和海景相互作用塑造了共存物种南极磷虾（*Euphausia Superba*）和端足目长脚 （*Themisto Gaudichaudii*）的摄食模式	薛梅	上海海洋大学
10:50-11:05	S12-O-3	南极罗斯海浮游植物分布和光合特性的环境控制	费淑怡	上海交通大学
11:05-11:20	S12-O-4	阿蒙森海冰间湖及其邻近海域浮游植物及碳库特征：对水环境的响应	李栋	自然资源部第二海洋所
11:20-11:35	S12-O-5	南极绕极流经向弯曲处显著增强的涡旋行阻应力	李宏	复旦大学
11:35-11:50	S12-O-6	从北半球中部到南半球高纬度地区的大气非海盐硫酸盐和甲基磺酸质量浓度的空间分布特征及其主要影响因素	张博	华东师范大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月6日上午
专题06：丝路文明演化与生存环境变化 主持人：贾鑫				
08:30-08:45	S06-O-1	尼罗河三角洲全新世环境演变与早期农业活动适应性研究（邀请报告）	赵小双	华东师范大学
08:45-09:00	S06-O-2	伊朗纳德利土丘遗址的人类活动和环境变化	张良仁	南京大学
09:00-09:15	S06-O-3	山前水利与亚洲内陆山地丝绸之路的联通	李宇奇	南开大学
09:15-09:30	S06-O-4	新疆青铜早期先民的生业模式与季节性活动	屈亚婷	陕西师范大学
09:30-09:45	S06-O-5	稳定同位素视角下北魏平城地区的生业变迁与人群融合研究	侯亮亮	山西大学
09:45-10:00	S06-O-6	嵩山地区新石器－青铜时代聚落形式演变及其环境机制	鲁鹏	河南省科学院地理所
10:00-10:20	茶歇			
专题15：俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制（1） 主持人：周志远				
10:20-10:35	S15-O-1	基于OBS观测研究马里亚纳南部俯冲带地震和水化特征（邀请报告）	朱高华	中科院海洋所
10:35-10:50	S15-O-2	马里亚纳俯冲带弧－盆岩浆体系揭示了有限的板片蛇纹岩贡献	赵思宇	中科院广州地球化学所
10:50-11:05	S15-O-3	卡罗琳洋底高原－海沟俯冲碰撞系统的研究进展与展望	董冬冬	中科院海洋所
11:05-11:20	S15-O-4	构造板块之下低速体成因之谜	杨建锋	中科院地质与地球物理所
11:20-11:35	S15-O-5	北印度洋莫克兰俯冲带构造特征与极端海洋灾害	杨晓东	中科院南海海洋所
11:35-11:50	S15-O-6	中美洲俯冲带精细结构逆时偏移成像	邹鹏	同济大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月6日上午
专题43：陆海关键带氮循环 主持人：杨进宇				
08:30-08:45	S43-O-1	长江口近岸氮素的转化过程、归宿及对陆海统筹的启示（邀请报告）	侯立军	华东师范大学
08:45-09:00	S43-O-2	海洋牧场表层沉积物硝酸盐还原过程对轻度缺氧的响应研究	张晓黎	中科院烟台海岸带所
09:00-09:15	S43-O-3	亚硝酸盐的消耗抑制温室气体氧化亚氮的排放－以典型养殖区三沙湾为例	郑珍珍	海南大学
09:15-09:30	S43-O-4	黄海悬浮颗粒物氮稳定同位素同位素组成的环境指示意义	刘倩倩	厦门大学
09:30-09:45	S43-O-5	晚第四纪赤道西太平洋固氮作用的岁差周期变化及其调控机制	李琛	同济大学
09:45-10:00	S43-O-6	全新世东亚夏季风和人类活动调控南海北部陆架区氮循环的沉积记录	王利伟	中科院广州地球化学所
10:00-10:20	茶歇			
专题26：季风系统：海陆记录与模拟综合对比（1） 主持人：张海伟				
10:20-10:35	S26-O-1	亚洲季风区和干旱区降水氧同位素轨道尺度变化机制的数值模拟研究（邀请报告）	刘晓东	中科院地球环境所
10:35-10:50	S26-O-2	黄土高原石笋记录的轨道和千年尺度季风气候变化及其意义	蔡演军	西安交通大学
10:50-11:05	S26-O-3	两极冰盖控制的12 Ma以来南亚夏季风演化	姚政权	自然资源部第一海洋所
11:05-11:20	S26-O-4	晚第四纪东亚降水演化轨道周期的南北差异	赵德博	中科院海洋所
11:20-11:35	S26-O-5	太阳辐射和冰盖驱动的间冰期－冰期转换东亚季风突变	李涛	中科院南京地质古生物所
11:35-11:50	S26-O-6	兰州黄土记录的26万年以来东亚季风降水变化	郭本泓	兰州大学

口头报告				
7月6日上午08:30~~11:50				
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月6日上午
专题21：地球深部流体及其资源环境效应（1） 主持人：金之钧				
08:30-08:45	S21-O-1	深部地质过程与碳氢氦资源前景（邀请报告）	刘全有	北京大学
08:45-09:00	S21-O-2	走滑断裂的内部结构单元、渗透差异特征及其输导遮挡控藏模式	罗群	中国石油大学（北京）
09:00-09:15	S21-O-3	中国东部幔源氦气资源富集成藏机理	王晓锋	西北大学
09:15-09:30	S21-O-4	沉积盆地深层高含量氢气来源及地质意义：以松辽盆地为例	韩双彪	中国矿业大学（北京）
09:30-09:45	S21-O-5	深源氢气运移过程的数值模拟	孟庆强	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
09:45-10:00	S21-O-6	中国含油气盆地岩浆活动及其对油气成藏的影响：裂陷盆地 VS. 压陷/克拉通盆地	张晨	成都理工大学
10:00-10:20	茶歇			
专题21：地球深部流体及其资源环境效应（2） 主持人：刘全有				
10:20-10:35	S21-O-7	盆地及地壳深部CH_4-CO_2转化机制及其资源环境效应（邀请报告）	胡文瑄	南京大学
10:35-10:50	S21-O-8	非生物甲烷在冷俯冲板片中的命运及其通量研究	张丽娟	北京大学
10:50-11:05	S21-O-9	深部流体作用下“金属－原油”耦合成藏系统初探	许汇源	页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室
11:05-11:20	S21-O-10	深部流体环境下金属离子对无机氢气和烃类生成机制影响研究	黄晓伟	北京大学
11:20-11:35	S21-O-11	超深层凝析油气藏形成机制与富集主控因素——以塔里木盆地顺北4号断裂带为例	彭威龙	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
11:35-11:50	S21-O-12	西澳伊尔冈克拉通太古代深海沉积黄铁矿记录的大气和热液硫同位素特征	陈咪咪	北京大学

7月6日			
展板报告：12:30~14:00			
专题26：季风系统：海陆记录与模拟综合对比			
S26-P-1S	新仙女木事件开始阶段亚洲季风缓变转型的气候机制初探	董西瑀	西安交通大学
S26-P-2S	上新世中期海洋性大陆水循环及贯穿流的模拟研究	任鑫	Univeristy of Bristol
S26-P-3S	石笋中文石向方解石转化的两种不同过程及对古气候重建的意义——以江西神农宫洞穴石笋为例	张瑞	西安交通大学
S26-P-4	强东亚冬季风驱动西北太平洋地区末次冰期北极物种的南移	张鹏辉	河海大学
S26-P-5S	南海北部末次冰盛期以来古生产力记录指示的东亚冬季风强度变化	高健祺	同济大学
S26-P-6	中国北方全新世降水长期趋势及其受植被动态演变驱动的瞬变模拟	李新周	中科院地球环境所
S26-P-7	全新世亚洲季风百年尺度变率的模拟研究	孙炜毅	南京师范大学
S26-P-8S	石笋多指标记录和气候模拟揭示全新世阿曼南部气候变化特征	田野	西安交通大学
S26-P-9	斜率在季风对岁差响应中的调制作用	雷婧	西安地球环境创新研究院
S26-P-10S	东亚季风区北部中晚第四纪降水演化历史及其生态效应的孢粉记录	杨家兴	兰州大学
专题27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录			
S27-P-1S	Temporal Variations in the Cu Isotopic Compositions of Changjiang's Dissolved and Suspended Loads	Ana Cristina Vasquez	同济大学
S27-P-2S	燃烧促进文明：从气候控制到人类主导	郝强	同济大学
S27-P-3	渤海沉积动力过程对冬季风场高频振荡的响应及其响应机制	王爱美	中国海洋大学
S27-P-4	近70年来长江口外沉积记录及其对台风和人类活动的响应	卢健	中科院海洋所
S27-P-5	晚第四纪东海外陆架地层格架及沉积环境演化	丛静艺	中国地调局青岛海洋地质所

S27-P-6S	长江中下游晚第四纪低地再风化记录与碳汇效应	韩雪	同济大学
S27-P-7S	长江三角洲硬土层记录的低地再风化及其环境效应	杨博	同济大学
S27-P-8S	红河流域末次冰消期以来的降水和化学风化重建	孙启顺	中国海洋大学
S27-P-9	基于Xgboost机器学习法预测中国东部海域碎屑锆石的物源及其意义	黄湘通	同济大学
S27-P-10S	U系“粉碎年龄”方法对青藏高原东北部冰川活动历史的新指示	段知非	同济大学
S27-P-11S	长江口－东海内陆架悬浮重矿物组成与颗粒特征	刘梦佳	同济大学
S27-P-12S	不同沉积物中硅酸盐碎屑组分$^{234}U/^{238}U$测试前处理方法的比较与改进	赖伟波	同济大学
S27-P-13S	全新世以来南黄海沉积物的物源分布及其环境记录	潘子锐	中科院南海海洋所
S27-P-14	山东青州晚第四纪黄土物源的碎屑锆石证据及其对黄河贯通的指示	梁美艳	中国地质大学（武汉）
S27-P-15	渤海海峡钻孔记录的第四纪以来沉积环境变化研究	路晶芳	中国地调局青岛海洋地质所
S27-P-16	渤海北部辽东湾晚第四纪沉积和新构造运动	王忠蕾	中国地调局青岛海洋地质所
S27-P-17	长江全流域悬浮物与溶解态铁同位素组成的空间变化：对大陆风化的响应	贺治伟	同济大学
S27-P-18	大河纵剖面形态控制沉积物物源模式	刘方斌	兰州大学
S27-P-19	南黄海中西部全新世地层沉积特征	仇建东	中国地调局青岛海洋地质所
S27-P-20S	长江入海沉积物稀土元素在河口区的再释放机制	郭俊杰	同济大学
S27-P-21S	基于放射性核素指纹技术的沉积物源识别应用探索	张帆	广西大学
S27-P-22	早新生代古红河演化	颜茂都	中科院青藏高原所
S27-P-23	Hydrogeochemistry and Stable Isotopes Characteristics of Surface Water Across the Indus River Basin, Nw Himalayas	Mohd Aadil Bhat	同济大学
S27-P-24S	华南流域细粒沉积物的化学风化强度影响因素：以珠江片流域为例	杨梦林	中科院南海海洋所
S27-P-25	近千年来黄河南迁对长江三角洲北部形成的定量贡献	王峰	汕头大学

S27-P-26S	15万年以来孟加拉湾沉积物磁学性质对南亚源－汇过程中环境变迁的响应	官玉龙	中国海洋大学
S27-P-27S	末次冰期以来巽他陆架陆坡沉积环境对海平面变化的响应	王辉	同济大学
S27-P-28S	末次间冰期以来鄂霍次克海西南部陆源物质演化及意义：Sr－Nd同位素的证据	王安琪	自然资源部第一海洋所
S27-P-29S	北极地区晚第四纪以来的大陆风化记录及对气候变化的响应	陈金牛	同济大学
S27-P-30	河流输运过程铷同位素分馏特征与控制机制探讨	张卓盈	中科院广州地球化学所
S27-P-31	中全新世以来长江口外水团相互作用模式及泥沙源汇动力意义	赵宝成	上海市地质调查研究院
S27-P-32	亚洲河系演化：源汇过程与环境记录	杨守业	同济大学
S27-P-33	关键带过程中的镁同位素分馏	蔡迪	同济大学
S27-P-34S	沉积物贯穿雅鲁藏布江—布拉马普特拉—恒河流域的搬运效率	于名扬	同济大学
S27-P-35	长江流域近2000年来颗粒态物质入海通量重建与主控因素分析	高建华	南京大学
S27-P-36	末次冰期黄河变为内流河	范念念	四川大学
S27-P-37S	碳酸盐Sr－硅酸盐Nd同位素揭示晚中新世祁连山的快速隆升	严忠义	中科院青藏高原所
专题28：季风—干旱系统演变与大陆演化			
S28-P-1S	NAO的起源与演化	宋治宏	北京大学
S28-P-2S	大陆漂移促进另一半球夏季风提前爆发	殷子涵	北京大学
S28-P-3S	540百万年以来沃克环流的演化	蓝佳雯静	北京大学
S28-P-4	大陆伸展构造下储存沉积碳释放的数值模拟研究	王欣欣	中科院地质与地球物理所
S28-P-5	特提斯喜马拉雅白垩纪大洋红层的古地磁学结果揭示了小规模的大印度	袁杰	中科院地质与地球物理所
S28-P-6S	印度－欧亚碰撞的岩浆作用驱动EECO事件	邓林培	中国石油大学（北京）
S28-P-7S	20万年以来阿拉伯半岛的干旱记录：来自西赤道印度洋沉积物环境磁学的证据	周良	中国海洋大学

S28-P-8	渐新世时期青藏高原东北缘气候湿润:来自黏土矿物学和元素地球化学的证据	张春霞	中科院地质与地球物理所
S28-P-9	喜马拉雅－印缅山脉Argoland微陆块及其对东特提斯新生代构造演化的制约	张继恩	中科院地质与地球物理所
S28-P-10S	晚中新世的全球变冷驱动亚洲内陆干旱化和黄土高原的向东扩张	李欣霞	中国地质大学（武汉）
S28-P-11S	黄土高原靖边剖面岩石磁学研究及其对东亚季风演化的指示意义	董良	中科院地质与地球物理所
S28-P-12S	基于TRACE21Ka和PMIP4－CMIP6模拟的末次盛冰期以来全球陆地季风演变	王菁菁	南京大学
S28-P-13S	末次间冰期ENSO对全球海平面上升响应的模拟研究	徐天澳	中国地质大学（武汉）
S28-P-14S	中亚西风区与亚洲季风区陆生蜗牛壳体稳定碳同位素组成及古气候意义	王蜜	兰州大学
S28-P-15	高分辨率石笋古地磁研究	沈中山	中科院地质与地球物理所
S28-P-16S	追溯东亚夏季风的百年际变化：来自三个关键时期的证据	付恒	中科院地质与地球物理所
S28-P-17S	全球沙漠面积和粉尘排放量的新估算	吴会娟	南京大学
S28-P-18S	C型陆地在亚洲夏季风形成中的作用	梅隽毓	北京大学
S28-P-19	全球增暖背景下西北太平洋异常反气旋预估不确定性的来源	巫明娜	中国地质大学（武汉）
专题29：石笋古气候记录与气候模拟			
S29-P-1S	中国东南中晚全新世温度记录	梁泽源	西安交通大学
S29-P-2S	Precisely Constrained 134-Ka Strong Monsoon Event in the Penultimate Deglaciation By an Annually Laminated Speleothem from the Asian Monsoon Domain	崔佳辉	西安交通大学
S29-P-3S	基于石笋氧同位素揭示过去千年亚洲－澳大利亚季风演变与厄尔尼诺－南方涛动的联系	梁明强	Université catholique de Louvain
S29-P-4S	一项限制石笋初始钍的综合研究及其意义	黄守毅	西安交通大学
S29-P-5S	基于中国西南地区10年监测数据的雨水同位素来源效应量化研究	薛艳霞	云南师范大学
S29-P-6S	藏东南地区末次冰消期和倒二次冰消期气候变化对比	王曦谦	中科院地球环境所
S29-P-7	Climatic and Cultural Changes in Late Ice Age Europe	Pérez-Mejías, Carlos	西安交通大学

S29-P-8S	中更新世转型期前后亚洲季风区高分辨率石笋记录	牛晓雯	西安交通大学
S29-P-9S	基于石笋氧同位素揭示过去千年亚洲－澳大利亚季风演变与厄尔尼诺－南方涛动的联系	张键	云南师范大学
S29-P-10	东亚夏季风区石笋高精度多指标记录的4.2 Ka 事件	陈朝军	云南师范大学
S29-P-11S	石笋流体包裹体水同位素记录重建亚－非季风区22000年以来温度变化	田野	西安交通大学
S29-P-12S	青藏高原东南部MIS7D与Termination－III时期气候与生态水文变化：以青海日格洞石笋记录为例	雷世豪	西安交通大学
S29-P-13S	同一季风动量下的南北热力学差异：以7.2和8.2 Ka 干旱事件为例	潘良康	西安交通大学
S29-P-14S	碳酸盐激光和稀释剂法U－Pb定年及其在洞穴次生碳酸盐中的应用	王健	西安交通大学
S29-P-15S	黄土高原东缘倒二冰期石笋高分辨率记录研究	翟相坤	西安交通大学
专题30：水循环的地质演变			
S30-P-1S	潮汐影响下的滨海化工园区地下水动力参数解析估算	郭静	大连海事大学
S30-P-2	水循环的地质演变：研究现状与关键问题	朱茂炎	中科院南京地质古生物所
S30-P-3	中生代温室期水循环变化及其驱动因素	王博	中科院南京地质古生物所
S30-P-4S	晚第四纪二十五万以来东地中海海水Nd同位素记录	张延	中山大学
S30-P-5	沉积盆地深部流体的循环流动	刘静江	中国石油勘探开发研究院
S30-P-6S	碳酸盐U－Pb定年约束的MPT前东亚石笋记录岁差周期	康乐	西安交通大学
S30-P-7S	华南早泥盆世降雨量重建	钟涛	北京大学
专题31：亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化			
S31-P-1S	短时强风影响下杭州湾北岸潮间带沉积动力过程和泥沙输运	孟令鹏	同济大学
S31-P-2S	东海北缘近海事件沉积辨析与分析	黄雨菡	同济大学
S31-P-3S	天山及周边地区表土花粉与植被覆盖度定量模型的构建及对比	李雪银	中国科学院大学

S31-P-4S	4.2ka气候事件期间亚洲夏季风减弱与ENSO活动的关系	党少华	广西大学
S31-P-5S	台风影响下黄河三角洲沉积动力过程响应——以台风“利奇马”（2019）为例	刘彦昊	中国海洋大学
S31-P-6S	近1400年以来印度洋偶极子和ENSO的关系变化	周泽宇	厦门大学
S31-P-7S	钙华记录的藏西北龙木错中晚全新世水位演化历史	林旭	中科院地球环境所
S31-P-8S	水热平衡模型的新算法定量重建全新世流域降水与覆被——以达里湖流域为例	周玉文	南京大学
S31-P-9S	台风“灿鸿”（2015）对浙闽泥质区水沙输运过程的事件性影响	林云鹏	南方科技大学
S31-P-10S	近两千年东亚夏季风与ENSO关系的变化	骆金锋	厦门大学
S31-P-11S	利用稳定氧同位素确定珊瑚海海域翼足类钙化深度	黄梓荣	厦门大学
S31-P-12	台风驱动下东海内陆架混合锋面的间歇性迁移及其效应	丛帅	中国海洋大学
S31-P-13	加利福尼亚州南部沿海的飓风、海啸和扰动后生态系统变化的多重指标记录	Erika Rodrigues	Louisiana State University
专题32：海陆气相互作用与极端天气气候事件			
S32-P-1S	渤海湾西岸4.2 Ka BP 气候事件年代际尺度变化特征—以沧州南大港地区为例	由翰飞	河北师范大学
S32-P-2	冬季东亚大槽调制下乌拉尔阻塞对次季节尺度西伯利亚冷异常的影响	宋元元	中国科学院海洋研究所
S32-P-3S	黑潮入侵台湾海峡的季节变化特征及其机制	梅志国	厦门大学
S32-P-4S	黄土高原地区1980－2018年极端降水与海温异常的联系	杨轲	西安交通大学
S32-P-5	巴伦支－喀拉海海冰与乌拉尔山月平均大气环流之间的非线性关系	李冬冬	复旦大学
S32-P-6S	新跨洋盆遥相关气候模态的发现：澳大利亚边界流偶极子	韩杰鸿	中国海洋大学
S32-P-7	气候模式模拟热带太平洋年代际气候变率的挑战	赵莹莹	青岛海洋科技中心
S32-P-8S	北半球冬季中高纬定常波变化的机理分析	孙婉莹	复旦大学
S32-P-9S	250百万年以来地球大气的超级旋转现象	蓝佳雯静	北京大学

专题33：热带和极地海洋海气相互作用“海—空—天”协同观测			
S33-P-1S	卫星观测海表盐度偏差的区域分布及其主导因素	欧阳雅婷	中科院南海海洋所
S33-P-2	便携式荧光监测仪在海水水质监测中的应用——基于主成分分析评价	陈际雨	自然资源部南海局
S33-P-3S	基于多源观测的南海中尺度涡三维结构反演研究	庄志远	同济大学
S33-P-4	海洋内孤立波监测与预警在海洋工程建设中的应用——以我国海域天然气水合物第二轮试采为例	苏丹仪	中国地调局广州海洋地质调查局
S33-P-5	A Strong Internal Solitary Wave With Extreme Velocity Captured Northeast of Dong-Sha Atoll in the Northern South China Sea	许安迪	中国地调局广州海洋地质调查局
S33-P-6	the Wave Coherent Flux and Turbulent Structure During the Interaction between Surface Waves and Marine Atmosphere Boundary Layer	邹仲水	中山大学
S33-P-7	海洋中尺度－亚中尺度过程生态效应的遥感研究	刘汾汾	中山大学
S33-P-8S	海洋对台风海鸥（2014）的热力学及动力学响应	陆晓婕	南京信息工程大学
专题34：北极海洋与气候变化			
S34-P-1S	对比中晚更新世北冰洋加拿大海盆与马卡洛夫海盆沉积物搬运动力	石端平	同济大学
S34-P-2S	基于MOSAIC观测的北极大气边界层高度特征研究	彭诗杰	中山大学
S34-P-3S	北冰洋西部中尺度涡旋周围增强的湍流混合：反射地震观测	杨顺	同济大学
S34-P-4	MIS 5.5以来西北冰洋IRD岩矿组成指示的北极冰盖崩塌与表层洋流演化历史	章陶亮	上海交通大学
S34-P-5S	基于深度学习模型的北极海冰月度预测	郇小荷	同济大学
S34-P-6	楚科奇海冬季温盐特征分析	李敏	广东海洋大学
S34-P-7S	基于GLORYS12V1再分析数据的楚科奇陆架区流场时空特征分析	施旭东	广东海洋大学
S34-P-8S	波弗特流涡自旋加速和摆动背景下北冰洋大西洋水在楚科奇边陲区域的变化	龚亚平	中国海洋大学
S34-P-9	北极放大效应季节性差异及可能机制	戴海璠	国防科技大学
S34-P-10	北极地区春季大气环流主模态对夏季海冰减少的影响	毕海波	中科院海洋所

S34-P-11S	中国HY－2B雷达高度计在北极海冰厚度反演的可行性研究	董昭顷	河海大学
S34-P-12	楚科奇海中有色溶解有机物的粒径分布表征	林辉	中国极地研究中心
S34-P-13	北冰洋冬春季固定冰断裂对天气的影响	高慧君	中国海洋大学
S34-P-14	北冰洋楚克奇边缘在过去两个冰期旋回中的冰盖和洋流演化	肖文申	同济大学
S34-P-15	Recent State Transition of the Arctic Ocean'S Beaufort Gyre	林培根	上海交通大学
S34-P-16	北冰洋西部涡旋及其旋臂的地震海洋学研究	宋海斌	同济大学
专题35：冰雪圈演化及其与其它圈层的相互作用			
S35-P-1	冬季巴伦支－喀拉海海冰减少加剧青藏高原增温及其解释机制	彭玉琢	厦门大学
S35-P-2	唐古拉山西段格拉丹东峰地区晚第四纪冰川演化	刘金花	东华理工大学
S35-P-3S	新生代南极冰盖演化的模拟研究 – 气候场不确定性的影响	满凯	中科院大气物理所
S35-P-4S	气候变暖背景下北冰洋海盆区海－冰－气相互作用的变化	潘蓉蓉	自然资源部第一海洋所
S35-P-5S	东南极沿海冰芯记录的过去四百年大气环流变化	李喆	华东师范大学
S35-P-6	LGM时期青藏高原及其周边区域的冰川－气候相互作用	魏强	北京大学
S35-P-7S	冬季向极大气潜热能量输送模态及与北极海冰流失的关系	梁钰	中国科学院海洋研究所
S35-P-8S	欧亚－北美冬季表面温度偶极模态及北极海冰的驱动作用	侯雨蓉	中科院大气物理所
S35-P-9S	青藏高原东部冰川流域多环芳烃和多氯联苯的组成、分布和风险评价	刘小莉	中科院西北生态环境资源研究院
S35-P-10S	基于深度学习方法的两极海冰密集度的月预报与季节性预报	宋晨涛	中科院大气物理所
S35-P-11S	冰山漂流的数值模拟	石佳伟	上海交通大学
S35-P-12S	轨道强迫促进冰雪地球冰消	伍家成	北京大学
专题36：长周期地球轨道力驱动的地球系统演变			

S36-P-1S	气候指标受日照调制的分析	金真平	浙江海洋大学
S36-P-2S	过去4百万年轨道尺度全球海洋温度与冰冻圈和碳循环的耦合	张泽	中国地质大学（武汉）
S36-P-3S	晚新生代超长轨道周期，大气二氧化碳和气候变化之间的耦合	张翼飞	中国地质大学（北京）
S36-P-4	温室时期地下水储库与海平面长期变化的天文驱动机制	李明松	北京大学
S36-P-5	细粒混积岩天文旋回识别及其在精细地层划分对比的应用－以西部凹陷雷家地区雷14井区沙四段为例	李阳	中国石油辽河油田分公司
S36-P-6S	天文旋回控制下的气候和海平面变化对煤层发育的影响——以西湖凹陷始新世－渐新世煤系地层为例	岳上	中国地质大学（武汉）
S36-P-7S	珠江口盆地惠陆地区晚始新世湖平面变化序列及水深波动速率重建	李洪乾	中国地质大学（武汉）
S36-P-8S	天文驱动贡觉盆地早始新世的水文循环	张瑞尧	中国地质大学（武汉）
S36-P-9S	1.2百万年斜率周期驱动的早三叠世气候变化	张皓天	北京大学
S36-P-10	晚三叠世古水文演变的沉积记录及古气候模拟证据	王蒙	北京大学
S36-P-11	天文气候变化诱发了华南晚泥盆世生物－环境事件	马坤元	太原理工大学
S36-P-12	寒武纪早期轨道驱动的气候变化及其对太阳系演化的启示	张坦	成都理工大学
S36-P-13	四川盆地下寒武笕竹寺组页岩天文驱动下的有机质富集机制	金思丁	成都理工大学
专题37：地球变暖时期的古环境重建			
S37-P-1	松辽盆地南部晚白垩世暖期古气候与海侵事件对湖相黑色页岩有机质富集的影响	徐川	成都理工大学
S37-P-2	大洋缺氧事件2期间南半球高纬度地区大陆硅酸盐风化增强的Nd－Hf同位素证据	陈红瑾	中国地调局广州海洋地质调查局
S37-P-3S	用底栖有孔虫壳体的Mg/Ca指示中中新世太平洋中深层海水温度变化	杨淳渝	同济大学
S37-P-4S	基于海洋重晶石的晚中新世东北印度洋古环境研究	吴欣莹	南方科技大学
S37-P-5	海洋沉积物中重晶石Sr对相关物源研究的影响	吴家望	中山大学
S37-P-6S	上新世气候生态演变：来自南海的生物标志物重建记录	赵蔓	同济大学

S37-P-7S	泥河湾盆地上新世中期温暖期气候与环境变化特征	张振	河北师范大学
S37-P-8	早全新世白令海绿带区沉积环境快速变化	邹建军	自然资源部第一海洋所
S37-P-9S	末次冰消期以来冲绳海槽水团结构的演变及其驱动机制	常虎	中科院南海海洋所
S37-P-10S	南极冰期增强的深海呼吸碳储库：来自生物化石磁小体的证据	王敦繁	南方科技大学
S37-P-11	浑善达克沙地西北缘古水文重建及其气候与环境意义	李鸿威	浙江大学
S37-P-12S	南海沉积3－羟基脂肪酸的温度记录及其古气候重建	席寅微	上海海洋大学
S37-P-13	淡水湖Group1长链烯酮在冷季节温度重建中的应用	姚远	西安交通大学
S37-P-14	珠江口盆地阳江东凹烃源岩发育古环境重建及新区勘探潜力分析	石创	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S37-P-15	准噶尔盆地早三叠统米兰科维奇旋回的识别：对层序地层学的意义	马永平	中国石油勘探开发研究院西北分院
S37-P-16S	二叠纪－三叠纪之交碳酸盐团簇同位素（Δ_{47}）研究初探	曾召雨	中国地质大学（武汉）
S37-P-17S	浮游有孔虫壳体质量测量前处理方法的探究	李佳洋	河海大学
S37-P-18S	有机生物标志物长链烯酮分离纯化方法的优化：基于一种新型的硅胶键合相	王路	西安交通大学
专题38：地球表层系统中碳循环的气候效应与反馈：记录整合与数值模拟			
S38-P-1S	晚中新世以来印尼海道以及印尼贯穿流的协同演化及其气候效应	丁奕凡	同济大学
S38-P-2S	利用鱼牙化石钕同位素重建中中新世气候转型期太平洋深水环流变化	何志	同济大学
S38-P-3S	晚中新世低大气PCO_2下暖室气候成因机制的数值模拟	魏思华	同济大学
S38-P-4	始新世－渐新世颗石藻的形态演化及混合营养模式	马瑞罡	同济大学
S38-P-5S	中新世气候适宜期低纬气候调控的碳循环偏心率周期	刘丰豪	同济大学
S38-P-6S	末次冰盛期以来热带太平洋单颗粒有孔虫同位素特征及古气候意义——以MD3340钻孔为例	袁子杰	同济大学
S38-P-7	晚中新世至早上新世太平洋深部环流演变	冯华	同济大学

S38-P-8S	探讨晚上新世北半球冰盖扩张（INHG）后4万年冰期旋回的形成机制	马悦	同济大学
S38-P-9S	海洋沉积物中正烷基脂类的提取方法比较	周佳鸣	上海交通大学
S38-P-10	末次冰期以来东印度洋深层环流的通风变化及碳循环意义	万随	中科院南海海洋所
S38-P-11S	海洋R_{DOC}的表观降解时间估算	刘舒薇	同济大学
S38-P-12	中元古代地球时期的碳循环：以华北地区下马岭组的一次碳扰动事件为例	吕怡潼	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S38-P-13	白垩纪大洋缺氧事件OAE2期间东特提斯洋 古海洋氧化还原条件及层化状态研究	梁钰	中国地质大学(武汉)
S38-P-14S	中更新世转换期间澳大利亚季风的演化（IODP U1483）	巩利	Kiel University
S38-P-15S	末次冰期赤道西太平洋硅藻席勃发的机制探讨	蔡雯沁	同济大学
S38-P-16	晚第四纪热带降水季节性演变的数值模拟研究	黄恩清	同济大学
S38-P-17	Refining the Alkenone－pCO_2 Method Iii: Constraining Algal Physiology Using a Bayesian inference	刘小庆	Purdue University
专题39：碳-14生物地球化学循环			
S39-P-1	全新世以来冲绳海槽有机碳埋藏特征及其对8.2Ka气候冷事件的响应	张洋	中国海洋大学
S39-P-2S	天然单体烃放射性碳同位素揭示城市河口多环芳烃的来源和陆海传输	付瑜	华东师范大学
S39-P-3	核爆时期我国大气$^{14}CO_2$的树轮记录	熊晓虎	中科院地球环境所
S39-P-4S	化石源多环芳烃在夏季台湾海峡海－气界面的传输通量	张瑞	华东师范大学
S39-P-5S	九州－帕劳海脊对深海沉积物有机碳埋藏的影响	董丽华	中国海洋大学
S39-P-6	水分对古菌脂类与矿物相互作用的影响	裴宏业	河南大学
S39-P-7S	黄河口表层沉积物有机质碳同位素特征研究	马海悦	中国海洋大学
S39-P-8	南海北部现代沉积有机碳成分特征的空间变化	林宝治	同济大学
S39-P-9S	末次冰期海底甲烷的释放与转化：以南海东北部水合物区域为例	马玲	中国海洋大学

S39-P-10S	长白山火山区流域河流水化学和同位素组成的时间变化	王丽楠	天津大学
S39-P-11S	沉积物再悬浮驱动浅海颗粒有机碳向溶解有机转化和再平衡	刘晓晴	中国海洋大学
S39-P-12S	喀斯特小流域溶解无机碳的来源：基于稳定和放射性碳同位素的评估	郑玥	天津大学
S39-P-13S	南海北部Site F冷泉区水体剖面溶解无机碳同位素特性	车阳丽	中国海洋大学
S39-P-14S	西北太平洋黑潮－亲潮交汇区有机碳的来源及埋藏记录	王益鹏	中国海洋大学
专题40：巽他陆架海平面、流域和碳循环过程与演变			
S40-P-1	过去4万年以来西北婆罗海槽的陆源沉积记录及其控制因素	黄杰	中科院海洋所
S40-P-2S	巽他陆坡末次冰期低海平面时期潮汐驱动的粗粒沉积物搬运过程	赵宏超	同济大学
S40-P-3S	晚更新世以来南海中部东向急流演变特征及其控制因素	张应威	中科院南海海洋所
S40-P-4S	末次冰盛期以来南沙台地北坡海洋环境变化研究	唐一麟	中科院南海海洋所
S40-P-5	晚更新世婆罗洲植被演变对古人类基因型分化的影响	杨再宝	中科院海洋所
S40-P-6S	深海冷泉甲烷渗漏强度变化引发的生物地球化学过程驱动群落演替	张卉	广东工业大学
S40-P-7S	全新世安达曼海深海沉积物炭屑记录及其古环境意义	梁诗晴	中科院南海海洋所
S40-P-8S	近四万年以来喜马拉雅系统化学风化过程对印度季风演化的响应	谭龙	中科院南海海洋所
S40-P-9S	MIS3以来东北印度洋90°E海岭孢粉记录的古环境演化历史	孙玉慧	中科院南海海洋所
S40-P-10S	在福建琅岐岛利用遥感影像校正孢粉、植硅体与植被数量关系的研究对定量重建南海周边陆地气候的启示	刘茜	宁波大学
S40-P-11S	基于栎属花粉属内分类的古气候重建对南海南部陆缘古气候定量分析的启示	唐银宁	宁波大学
专题41：基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究			
S41-P-3	基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究进展	董良	上海交通大学
S41-P-4S	小型化沉积物孔隙水原位提取系统初探	钟一鸣	上海交通大学

S41-P-5S	海洋沉积物碳转换和通量检测原位试验技术研究	林锐	上海交通大学
S41-P-6	西北太平洋海山区底栖生境主控环境因素分析与智能分类方案研究	杜然然	中国地调局广州海洋地质调查局
专题42：大气气溶胶碳循环			
S42-P-1	北京市北部蒿属花粉的致敏特征及潜在源区	孙爱芝	中国科学院大学
S42-P-2S	利用碳同位素分析方法探究大气中VOCs的来源	王名斌	海南大学
S42-P-3S	1990－2020年中国人为源甲烷排放	王茜	海南大学
S42-P-4	气溶胶有机碳的分子组成的时空差异	鲍红艳	厦门大学
S42-P-5	海南热带雨林公园碳气溶胶的稳定同位素特征	罗笠	海南大学
专题43：陆海关键带氮循环			
S43-P-1S	热带海湾沉积物－水界面营养盐源汇结构及时空特征	钟嘉森	海南大学
S43-P-2S	水文条件和生物地球化学过程对九龙江下游氮动力过程的影响	郭小岚	汕头大学
S43-P-3S	夏季珠江口不同形态氮吸收与初级生产力的关系	王玥	汕头大学
S43-P-4	日夜节律对珠江口多形态无机氮过程及相应氧气变化的动力学调控	徐敏	海南大学
S43-P-5S	福建近岸海域东海原甲藻赤潮期生源要素动态与响应	岳新利	厦门大学
S43-P-6S	南海北部典型河口海湾溶解有机氮的关键迁移转化过程研究：基于现场培养实验	石雪松	中科院广州地球化学所
S43-P-7S	潟湖生态系统中的氨氧化和亚硝氧化——以万宁小海为例	马归宜	海南大学
S43-P-8S	比较沉积物中粘土键结无机氮及其同位素的几种实验方法	冯茜	海南大学
S43-P-9S	富营养化浅水湖泊温室气体排放昼夜变化特征	符春蔚	海南大学
S43-P-10	沉积物硝酸盐呼吸过程潜在抵消边缘海部分碳汇红利	谭萼辉	海南大学
S43-P-11S	海洋酸化对浮游植物吸收硝酸盐的同位素分馏的影响	陈雅文	厦门大学

S43-P-12S	富营养化河口铵和尿素氮的生物转化：以冬季九龙江河口为例	汤锦铭	厦门大学
S43-P-13S	海南典型河口水域活性氮吸收过程研究	石彭兰	海南大学
S43-P-14S	珊瑚骨骼金属元素重建过去百年海南岛富营养化历史	陆安帅	海南大学
S43-P-15	江苏近海无机氮时空特征研究	姜龙	河海大学
S43-P-16S	珠江口及邻近海域夏季温室气体(CO_2、CH_4和N_2O)的内外部源汇格局	陈斌	厦门大学
专题44：大陆边缘碳循环过程、演变与记录			
S44-P-1S	早更新世中晚期帝汶海碳酸盐埋藏记录及其古海洋学意义	王启炜	西北大学
S44-P-2	南海北部沉积物中不同有机组分的转化与选择性保存	王福强	青岛海洋科技中心
S44-P-3S	百年来渤海中部泥质区粗化背景下有机碳埋藏演变的沉积响应	蒋莉	中国海洋大学
S44-P-4S	基于火山灰地层学的全球海表碳库年龄集成研究	汤芮	华东师范大学
S44-P-5S	中全新世以来黄河水下三角洲有机碳埋藏规律及其控制因素	王秀行	华东师范大学
S44-P-6S	基于分子动力学研究陆源有机碳在海洋输运过程中的降解机制	赵思琪	中国海洋大学
S44-P-7S	末次冰消期以来长江口湿地沉积有机碳的埋藏及其受活性铁影响的研究	陈佳琪	上海海洋大学
S44-P-8S	近8600年来南海西北陆坡有机质埋藏的高分辨率历史变化	仝港	中国地质大学（北京）
S44-P-9	南海深海氮同位素组成与高纬度变冷事件的响应	吴保金	中国海洋大学
S44-P-10S	晚第四纪南海北部陆坡环流演变与有机碳埋藏	王明敏	中科院南海海洋所
S44-P-11S	冲绳海槽中部水体氧化还原状态对有机碳埋藏的调控	朱犇	上海交通大学
专题45：大陆风化与地球物质循环			
S45-P-1	风化停留时间及风化带深度的铀同位素限定	李乐	南京大学
S45-P-2S	流通式时间分辨分析系统（FT－TRA）在反风化研究中的应用潜力	许心宁	同济大学

S45-P-3S	柴达木西南部湖相碳酸盐岩地球化学：青藏高原隆升引发的硅酸盐风化和碳埋藏意义	王涛	中科院西北生态环境资源研究院
S45-P-4S	化学蚀变指数（CIA）计算过程中硅酸盐组分CaO*的校正及其影响	赵周平	同济大学
S45-P-5S	早渐新世以来华南硅酸盐风化及其碳循环演化历史	靳华龙	中科院海洋所
S45-P-6	提取流域沉积物风化程度信号	郭玉龙	同济大学
S45-P-7S	ICP－MS 精确测量深海沉积物^{226}RA－^{230}TH不平衡体系	袁柳婷	厦门大学
S45-P-8S	九龙江口－厦门湾海域中溶解态痕量金属的时空分布特征与影响机制	刘文美	厦门大学
S45-P-9S	应用单颗粒白云母化学组成示踪中国黄土的来源	朱晓雨	南京大学
S45-P-10S	青藏高原北部典型冰川流域化学风化研究	李铮	天津大学
S45-P-11S	基于CIA等风化指标探究全新世以来东地中海碎屑沉积物的物源与风化控制	姚胜男	中山大学
S45-P-12	土壤与其成土母岩物质组分的关联与变化特征——低山丘陵区大陆风化过程的地质记录	陈树旺	中国地调局沈阳地质调查中心
S45-P-13S	铁氧化物活性的暴露年龄控制	欧阳盛辉	南京大学
专题46： 海洋负排放理论探索			
S46-P-1S	从橄榄石溶解看海洋碳负排放	王一雯	厦门大学
S46-P-2S	近海缺氧下减弱的海源有机物激发效应与有机碳的埋藏	陈泉睿	厦门大学
S46-P-3	陆源有机碳向海洋运输过程中会发生何种改变？从分子组成和极性层面重新审视这一经典问题	易沅壁	香港科技大学
S46-P-4S	DNA修复基因是石珊瑚祖先在强紫外线下幸存的关键	吴田振	中科院海洋所
S46-P-5	东海泥质区沉积有机碳来源估算及其时空变化的新制约	李艳	山东大学
专题47： 海洋碳汇的地质演化与驱动机制			
S47-P-1	近2000年南海北部海域沉积有机碳的来源及其埋藏记录	叶丰	中科院广州地球化学所
S47-P-2S	海洋沉积物中锰耦合的甲烷厌氧氧化研究综述	薛媛	北京大学

S47-P-3S	东海沿岸地区初级生产力对PDO的响应	余飞	中国地质大学（武汉）
S47-P-4S	东海内陆架区水体缺氧重建及其对有机碳埋藏的影响	苑霖	上海交通大学
S47-P-5	中国东黄海海岸带沉积物垂向FE、P分布特征及其与有机碳赋存相关性	高磊	南京师范大学
S47-P-6	模型再解读显生宙第一次冰期与大灭绝期间的碳循环波动	张俊鹏	中科院南京地质古生物所
S47-P-7	海洋风尘沉积碳汇潜力与应用	杜恕环	中科院南海海洋所
S47-P-8S	长江口—东海陆架沉积物中铁结合有机碳分布特征及其物源分析	李敬雯	中国地质大学（武汉）
专题49： 水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应			
S49-P-1S	南海浮游病毒对微微型浮游植物群落的调控作用研究	李长林	厦门大学
S49-P-2	宏组学解析低氧海水的微生物碳氮循环机理	韩昱	海南大学
S49-P-3S	气温上升，南极微生物命运几何？——主动升温对于南极表层活性土壤微生物组的影响	刘忆思	中国极地研究中心
S49-P-4	近海菌群在陆源有机碳代谢中的作用	林璐	山东大学
S49-P-5S	长江口海域有机硫特征及其源汇	董昌杰	厦门大学
S49-P-6S	基于单细胞分选和测序技术的高通量混合营养型真核藻类物种鉴定	王莹	上海交通大学
S49-P-7	Community Dynamics of Free-Living and Particle-attached Bacteria over Sequential Blooms of Heterotrophic Dinoflagellate Noctiluca Scintillans and Mixotrophic Ciliate Mesodinium Rubrum	张淑雯	华南师范大学
S49-P-8S	中国南海微生物源蝶呤有机小分子的真光层分布及调控因素研究	梅康	厦门大学
S49-P-9S	渤黄海表层沉积物碳酸盐矿物（碳酸钙和白云石）分布研究	史文婷	山东大学
S49-P-10S	基于轨道离子阱质谱仪的南汇海滩沉积微生物代谢产物分布及组成特征	徐可	上海海洋大学
S49-P-11S	长江口沉积物中一种新型纤维素降解菌功能研究	高于欣	同济大学
S49-P-12S	河口生态系统的蓝细菌噬菌体多样性及病毒-宿主共同进化特征	谭依莎	香港科技大学
S49-P-13S	钙化颗石藻对温度波动变化的株间差异性响应	叶嘉杨	上海交通大学

S49-P-14	龙须菜养殖环境中脲酶产生菌的多样性及其生态功能	裴鹏兵	汕头大学
S49-P-15S	海洋表层沉积物微生物介导的产甲烷过程及环境意义	刘俏	中国海洋大学
S49-P-16	铁限制下非编码RNA对束毛藻基因表达调控的分子机制	陈梦	山东大学
S49-P-17S	束毛藻对可利用铁适应的转录组重塑机制	钟昕	山东大学
S49-P-18S	海洋升温对颗石藻与硅藻竞争关系的影响	王佳伟	上海交通大学
专题50： 海洋生物碳汇			
S50-P-1S	东海陆架海水和沉积物中藻类生物标志物的分布特征与比较	王婷男	同济大学
S50-P-2	海洋浮游纤毛虫细胞大小的纬度分布模式--伯格曼法则的运用	刘凯琳	厦门大学
S50-P-3	陆源颗粒物输入对海洋生态系统影响	张连宝	山东大学
S50-P-4	磷限制和膦酸盐的利用促进颗石藻的碳输出效率	王聪	厦门大学
S50-P-5	水团混合对黑潮-亲潮混合区溶解有机碳年际变化的影响	王亚松	上海海洋大学
S50-P-6	浮游生物在线成像与分类系统（CPICS）在东海水体浮游生物和海雪原位观测中的应用研究	高航	同济大学
S50-P-7S	海洋低氧化对浮游植物生理及生化组分的影响	陈博堃	山东大学
S50-P-8S	海洋颗粒相关微生物多样性和稳定性的演替	谷挺	中国地质大学（武汉）
S50-P-9	海洋生物碳汇	孙军	中国地质大学（武汉）
S50-P-10S	黑潮延伸体－亲潮交汇区对海水中溶解甲烷的影响机制	李晓军	中国海洋大学
S50-P-11S	南海北部浮游动物粪粒的沉降通量及其对深海有机碳输出的贡献	王含笑	同济大学
S50-P-12S	南海西部浮游动物粪粒沉降通量及其深海有机碳输出的时间序列变化	曹君元	同济大学
S50-P-13	大型海藻对近海无机碳库的短期和长期影响	熊天琦	中科院青岛生物能源与过程所
S50-P-14S	南海南部浮游动物粪粒通量的季节性变化及其对深海有机碳输出的贡献	李嘉盈	同济大学

专题51： 三泵集成驱动的极地碳汇过程与机制			
S51-P-1	从海湾河看冰川融水对北极海洋有机碳循环的影响	朱卓毅	上海交通大学
S51-P-2S	Interannual Variability of the Phytoplankton Community Structure in the Summer Season of Kongsfjorden, Svalbard, during 2007-2018: Linkage with Atlantic Water Inflow	张扬	自然资源部第二海洋所
S51-P-3S	海洋假交替单胞菌噬菌体的基因组多样性及生物地理分布	郑凯阳	中国海洋大学
S51-P-4S	一株大洋螺菌噬菌体的分离, 基因组学分析和全球生物地理分布	张文静	中国海洋大学
S51-P-5	Rapid Changes of Surface Carbonate System Under Complex Mixing Schemes across the Bering Sea: A Comparative Study Between the Forward Voyage in July and Return Voyage in September 2018	杨威	集美大学
S51-P-6S	化学风化和极地绿化对冰川融水中痕量金属的影响	沈展	上海交通大学
专题52： 海水养殖环境负排放科学发展			
S52-P-1	大型海藻作为饲料添加剂降低反刍动物甲烷排放	闵力	南方海洋科学与工程广东省实验室（ 珠海）
S52-P-2S	大型海藻对海洋负排放的贡献	徐丽丽	暨南大学
S52-P-3	基于大型海藻生物修复与资源养护的海洋负排放战略	邹立功	暨南大学
S52-P-4	桑沟湾养殖区CO_2、CH_4、N_2O和DMS的释放	高旭旭	山东大学
S52-P-5	大型海藻规模栽培的碳汇潜力及其凋落物分解对水环境的影响	罗洪添	海南大学
S52-P-6S	基于生命周期评价和环境损益分析的大型海藻胶产业的环境和经济潜力研究	张睿敏	暨南大学
S52-P-7	大型藻类负排放方法学	张继红	中国水产科学研究院黄海水产所
S52-P-8	微藻碳中和技术的思考与展望	朱陈霸	厦门大学
S52-P-9	中国近海养殖贝藻碳汇能力评估模型研究与应用	聂红涛	天津大学
S52-P-10	中国海带产业化养殖环境绩效评价的比较研究	李纪	上海交通大学
S52-P-11S	营养盐调控大型海藻龙须菜固碳储碳能力对海洋热浪的响应	蒋美佳	厦门大学
S52-P-12S	基于文献计量学的蓝碳研究概述、趋势和全球视角（2003−2021）	钟崇铭	汕头大学

S52-P-13	海洋牧场建设对“海洋负排放”的贡献研究——以烟台为例	李佳霖	中国科学院大学
S52-P-14S	一种新型喷泉式薄层光生物反应器的开发与放大研究	王嘉麟	厦门大学
专题53：“双碳”背景下的海洋新能源技术			
S53-P-1	基于浮子阵列的漂浮式风电平台获能与减摇特性研究	黄淑亭	山东大学
S53-P-2S	浅海区域波浪能装置系泊系统研究	魏长栋	山东大学
S53-P-3S	抗极端海况波能装置阵列系泊研究	魏长栋	山东大学
S53-P-4S	基于年均功率预测模型的波浪能发电装置浮子形状优化	刘铁生	山东大学
S53-P-5S	基于机器学习技术的风－浪联合发电系统耦合优化	刘铁生	山东大学
S53-P-6	海洋温差能向心透平优化设计及效率提升机理研究	陈云	山东大学
S53-P-7S	非线性多稳态波浪能转换器能量捕获性能研究	秦健	山东大学
S53-P-8S	具有非线性刚度机构的内置式波浪能转换器	秦健	山东大学
S53-P-9S	适用于锚泊浮台的波浪能供电装置液压系统设计	王登帅	山东大学
S53-P-10S	阵列波浪能发电装置布局优化研究	王登帅	山东大学
S53-P-11S	“X30型”浮式风机多点系泊定位特性分析	袁朝骏	江苏科技大学
S53-P-12S	海洋温差能发电技术实验及应用研究	路北辰	山东大学
S53-P-13	振荡浮子式波浪能发电技术及其供能场景探索	薛钢	山东大学
S53-P-14	深海边界层矿产资源环境效应原位探测技术研究	郭磊	山东大学
S53-P-15	海水提铀与海洋碳汇	王宁	海南大学
S53-P-16	海洋光伏与海洋碳汇	刘涛	海南大学
S53-P-17	波浪能装置与海洋工程装备集成利用关键技术	周斌珍	华南理工大学

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月6日下午
专题17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成（2） 主持人：郭晓玉				
14:00-14:15	S17-O-7	大洋板块的形成和消亡机制：特提斯与西太的对比（邀请报告）	李忠海	中国科学院大学
14:15-14:30	S17-O-8	印度－欧亚板块持续汇聚的驱动力来源——基于全球高分辨率地幔对流数值模拟	郑群凡	南方科技大学
14:30-14:45	S17-O-9	伊朗东北缘新生代构造演化与高原隆升过程	褚杨	中科院地质与地球物理所
14:45-15:00	S17-O-10	俯冲带壳幔物质循环差异性研究	于洋	中科院广州地球化学所
15:00-15:15	S17-O-11	潘吉亚拼合末期（三叠纪）东南亚特提斯花岗质岩浆作用及大陆增生	李舢	中国科学院大学
15:15-15:30	S17-O-12	地幔柱与滞留板片相互作用：来自东南亚新生代玄武岩地幔不均一性的证据	杨帆	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
15:30-15:50	茶歇			
分会场 2：三楼2号会议室				7月6日下午
专题27：亚洲河系演化：源汇过程与环境记录（4） 主持人：马金龙				
14:00-14:15	S27-O-19	利用沉积物硅酸盐风化强度指标重建风化壳大气二氧化碳消耗（邀请报告）	杨一博	中科院青藏高原所
14:15-14:30	S27-O-20	盐源盆地新生代沉积物物源研究对雅砻江演化的约束	孙习林	湖北大学
14:30-14:45	S27-O-21	临夏盆地生物磁性地层年代学新进展	郑妍	中科院古脊椎动物与古人类所
14:45-15:00	S27-O-22	古金沙江水系演化历史——来自剑川盆地古近纪沉积中的记录	何梦颖	南京师范大学
15:00-15:15	S27-O-23	古近纪冈底斯山脉风化可能导致海水Sr同位素比值升高	阮笑白	中科院青藏高原所
15:15-15:30	S27-O-24	东海和南海记录的东亚大河物源与演化	曹立成	中国地质大学（武汉）
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月6日下午
专题81： 印太边缘海极端热力事件及其生态和气候效应（1） 主持人：王东晓				
14:00-14:15	S81-O-1	极端印度洋偶极子调节东南印度洋三维水体交换规律（邀请报告）	陈更新	中科院南海海洋所
14:15-14:30	S81-O-2	超强厄尔尼诺影响下的南海极端海温事件：特征及机制差异对比	肖福安	广州大学
14:30-14:45	S81-O-3	孟加拉湾海洋热浪年际变化特征及其与ENSO及IOD事件的联系	林新宇	自然资源部第三海洋所
14:45-15:00	S81-O-4	热带南印度洋偶极子事件强度的年代际变化	张广隶	中山大学
15:00-15:15	S81-O-5	夏/秋型印度洋偶极子的动力机制及其与ENSO的关系	陶雨琪	中山大学
15:15-15:30	S81-O-6	印度夏季风降水对El Niño多样性的不同响应特征	张茜娅	中科院南海海洋所
15:30-15:50	茶歇			
分会场 4：三楼上海厅				7月6日下午
专题59： 气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策（1） 主持人：王法明				
14:00-14:15	S59-O-1	珊瑚礁碳汇机制、增汇对策及其全球变化响应（邀请报告）	石拓	山东大学
14:15-14:30	S59-O-2	珠江河口海域自工业革命以来有机碳埋藏特征	胡建芳	中科院广州地球化学所
14:30-14:45	S59-O-3	红树林湿地球囊蛋白相关土壤蛋白的化学组成空间异质性及固碳机制	郭桢丽	厦门大学
14:45-15:00	S59-O-4	全球红树林生态系统的土壤碳来源及其土壤碳汇功能的时空变化	张靖凡	中国科学院大学
15:00-15:15	S59-O-5	红树林树干甲烷排放机理研究	覃国铭	中科院华南植物园
15:15-15:30	S59-O-6	潮汐限制对滨海湿地碳汇的影响可能大于气候变暖和植物入侵	周攀	中国地质大学(武汉)
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月6日下午
专题65： 海底流体活动的现代过程与沉积记录（1） 主持人：冯东				
14:00-14:15	S65-O-1	南海北部海底碳、硫循环格局及其全球指示意义（邀请报告）	胡钰	上海海洋大学
14:15-14:30	S65-O-2	气烟囱幕式发育与热效应控制的水合物多期动态成藏	罗钧升	中山大学
14:30-14:45	S65-O-3	原位观测数据表明热液系统低温溢流流体的物质通量被严重低估	李连福	中科院海洋所
14:45-15:00	S65-O-4	天然气水合物与冷泉生态系统协同演化过程的原位实验研究	张雄	中科院海洋所
15:00-15:15	S65-O-5	深海岩浆－热液系统的原位探测及对生物群落能量来源的启示	席世川	中科院海洋所
15:15-15:30	S65-O-6	冷泉碳酸盐岩记录的钼迁移转化过程及同位素分馏效应	贾子策	上海海洋大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 6：三楼6号会议室				7月6日下午
专题54： 海洋碳汇的观测技术与数值试验 主持人：杨清华				
14:00-14:15	S54-O-1	黄东海跨陆架环流输运及其储碳效应（邀请报告）	袁东亮	自然资源部第一海洋所
14:15-14:30	S54-O-2	珠江冲淡水调制广东近海海－气二氧化碳通量时空变化的高分辨观测	翟惟东	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
14:30-14:45	S54-O-3	全球海洋中尺度涡旋海－气－生多参数数据库及其应用	董昌明	南京信息工程大学
14:45-15:00	S54-O-4	厄尔尼诺遥相关驱动的印度洋海气碳通量2015－2016极端异常	廖恩惠	上海交通大学
15:00-15:15	S54-O-5	北冰洋碳汇对海冰和风况变化响应的数值模拟研究	金梅兵	南京信息工程大学
15:15-15:30	S54-O-6	极区海洋甲烷循环与收支研究	詹力扬	自然资源部第三海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月6日下午
专题41：基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究（1） 主持人：邓龙辉				
08:30-08:45	S41-O-1	基于 CORK 的流体观测探究海底深部碳循环	吴自军	同济大学
08:45-09:00	S41-O-2	深海生物地球化学传感器研究进展（邀请报告）	马剑	厦门大学
09:00-09:15	S41-O-3	深海表层沉积物－水界面原位观测系统研制	潘彬彬	上海海洋大学
09:15-09:30	S41-O-4	深海原位电极技术的发展	沈蕴文	浙江大学
09:30-09:45	S41-O-5	海底碳输运通量三维时序观测及取样技术研究	郭磊	山东大学
09:45-10:00	S41-O-6	深海水体采样技术	吴世军	浙江大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 8：三楼8号会议室				7月6日下午
专题36：长周期地球轨道力驱动的地球系统演变 主持人：吴怀春				
14:00-14:15	S36-O-1	青藏高原东北缘新生代地球轨道节拍器周期的保存与解译	姚旭	兰州大学
14:15-14:30	S36-O-2	青藏高原东北部湖相藻灰岩沉积的轨道驱动	唐闻强	成都理工大学
14:30-14:45	S36-O-3	轨道周期变化驱动的有机碳埋藏机制探讨	刘娟	中国地质大学（武汉）
14:45-15:00	S36-O-4	地球轨道力驱动的中三叠世特提斯地区水文演化（邀请报告）	褚润健	中国地质大学（北京）
15:00-15:15	S36-O-5	斜率驱动的晚古生代冰期大陆储水库变化和有机碳埋藏	魏韧	北京大学
15:15-15:30	S36-O-6	埃迪卡拉纪高分辨率天文年代标尺和全球地层对比	薛乃华	比利时布鲁塞尔自由大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月6日下午
专题40：巽他陆架海平面、流域和碳循环过程与演变（2） 主持人：万世明				
14:00-14:15	S40-O-7	巽他陆架沉积有机碳的成分和来源（邀请报告）	林宝治	同济大学
14:15-14:30	S40-O-8	末次冰消期以来泰国湾沉积有机质的埋藏记录及对气候变化的响应	白亚之	自然资源部第一海洋所
14:30-14:45	S40-O-9	巽他陆架融水脉冲事件中红树林沉积侵蚀及其对全球气候的影响	李丽	同济大学
14:45-15:00	S40-O-10	海洋孢粉记录揭示末次冰盛期巽他陆架上同时分布雨林和草原	程仲景	同济大学
15:00-15:15	S40-O-11	基于孢粉数据的南海西部古环境重建	Mudiyanselage Dileep Bandara Herath	中科院南海海洋所
15:15-15:30	S40-O-12	使用植硅体和孢粉指标定量重建南海南部陆地古环境的初步研究	戴璐	同济大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月6日下午
专题30：水循环的地质演变（2） 主持人：郭正堂				
14:00-14:15	S30-O-7	青藏高原水、汽、冰循环与脊椎动物演化模式	邓涛	中科院古脊椎动物与古人类所
14:15-14:30	S30-O-8	中中新世的陆地水循环—高分辨率定年和沉积大数据支撑下的粘土矿物学研究	马鹏飞	同济大学
14:30-14:45	S30-O-9	轨道驱动对高低纬水循环的影响特征：海冰和降水	吴志鹏	中科院地质与地球物理所
14:45-15:00	S30-O-10	氧同位素在古温度重建及水循环研究中的应用	陈波	中科院南京地质古生物所
15:00-15:15	S30-O-11	显生宙长时间尺度碳循环演变的模拟：现状与展望	张莹刚	中科院南京地质古生物所
15:15-15:30	S30-O-12	低估了大气储水在全球水循环中的作用（邀请报告）	唐春安	大连理工大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月6日下午
专题67： 南海深水深层油气系统形成机制与分布预测（3） 主持人：耿建华				
14:00-14:15	S67-O-13	被动大陆边缘深水盆地油气—进展与潜力	朱伟林	同济大学
14:15-14:30	S67-O-14	南海北部深水区烃源岩发育分布及油气成藏规律研究	龙祖烈	中海油（中国）有限公司深圳分公司
14:30-14:45	S67-O-15	南海北部白云深水区高变地温梯度砂岩渗透率定量预测	陈淑慧	中海油（中国）有限公司深圳分公司
14:45-15:00	S67-O-16	白云凹陷西南断阶带沉积体系研究——地震相变精细刻画对深水区源汇体系的揭示作用	赵世杰	同济大学
15:00-15:15	S67-O-17	开平凹陷拆离演化模式控烃控藏作用研究及勘探实践	蔡嵩	中海油深海开发有限公司
15:15-15:30	S67-O-18	辫状河薄层致密砂岩沉积特征及地震预测方法 —以鄂尔多斯盆地代家坪地区延长组长81段为例	娄仝阳	西北大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月6日下午
专题80： 海岸带动力地貌过程与演变机制（3） 主持人：张荷悦				
14:00-14:15	S80-O-13	东海陆架与台湾海峡海流及沉积物动态交换过程新探（邀请报告）	刘敬圃	北卡州立大学
14:15-14:30	S80-O-14	黄河人工洪水的增沙效应及其对三角洲沉积演化的意义	吴晓	中国海洋大学
14:30-14:45	S80-O-15	强非线性波作用下的小尺度砂质海岸动力地貌演变过程研究	李硕	澳门大学
14:45-15:00	S80-O-16	物源供给减少背景下潮滩系统响应过程及演变趋势	朱士兵	南京大学
15:00-15:15	S80-O-17	东非高原气候波动对尼罗河三角洲全新世地貌环境演变的意义	王艳娜	华东师范大学
15:15-15:30	S80-O-18	基于GEE的钦州湾与马尼拉湾海岸线时空变化比较分析	张文良	自然资源部第二海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月6日下午
专题12：南极生态系统与气候变化（2） 主持人：何剑锋				
14:00-14:15	S12-O-7	南极罗斯海扇区过去540 Ka以来的古海洋与古气候变化历史	王汝建	同济大学
14:15-14:30	S12-O-8	南大洋生产力与南极气候千年尺度一对一协同演变	郑旭峰	海南大学
14:30-14:45	S12-O-9	南塔斯曼海近2Ma以来生物标志物演变记录及环境响应	李文宝	内蒙古农业大学
14:45-15:00	S12-O-10	东南级普里兹湾晚第四纪沉积物元素地球化学组成的冰川动力学指示意义	武力	广东海洋大学
15:00-15:15	S12-O-11	中更新世以来罗斯海陆坡区 表层海洋环境演化历史	李青苗	同济大学
15:15-15:30	S12-O-12	末次冰消期以来南极罗斯海陆架边缘的海冰演变及冰－海相互作用机制	崔超	中国海洋大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月6日下午
专题15：俯冲带变形、地震与流体活动过程的动力学机制（2） 主持人：高翔				
14:00-14:15	S15-O-7	2021年Kermadec俯冲界面深部8.1级地震序列（邀请报告）	叶玲玲	南方科技大学
14:15-14:30	S15-O-8	联合地震成像与破裂模型反演分析2021年2月日本俯冲带M7.1级地震孕震环境与发震机理	谭玉阳	中国海洋大学
14:30-14:45	S15-O-9	海山与多边形断层体系的俯冲对希库朗伊增生楔构造变形与地震活动的影响	王毛毛	河海大学
14:45-15:00	S15-O-10	俯冲大地震震后和震间期能持续多久？	李绍阳	中科院地质与地球物理所
15:00-15:15	S15-O-11	智利俯冲带南－北地区逆冲断层有效强度与温度差异对大地震事件的控制作用	夏越洋	中国地震局地球物理所
15:15-15:30	S15-O-12	流体对俯冲带地震破裂过程影响的数值模拟研究	高艺	南京大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月6日下午14:00~15:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月6日下午
专题26：季风系统：海陆记录与模拟综合对比（2） 主持人：石正国				
14:00-14:15	S26-O-7	亚洲季风与大西洋经向翻转流（邀请报告）	程海	西安交通大学
14:15-14:30	S26-O-8	轨道尺度亚澳季风演变的模拟研究	严蜜	南京师范大学
14:30-14:45	S26-O-9	全新世中期中国气候和东亚季风：PMIP4模式结果	田芝平	中科院大气物理所
14:45-15:00	S26-O-10	亚洲石笋氧同位素记录在4.2千年事件中是否一致变化？	胡俊	厦门大学
15:00-15:15	S26-O-11	中全新世印太暖池大气对流强度变化及其对南亚降雨的影响	周辛全	同济大学
15:15-15:30	S26-O-12	LGM (Last Glacial Maxmuim) 以来的印度夏季风降水东西向偶极子结构	张恒	中科院地球环境所
15:30-15:50	茶歇			
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月6日下午
专题21：地球深部流体及其资源环境效应（3） 主持人：罗群				
14:00-14:15	S21-O-13	全球油气系统与常规和非常规油气资源联合定量评价（邀请报告）	庞雄奇	中国石油大学（北京）
14:15-14:30	S21-O-14	中国地球各圈层资源链条整合的战略意义	李梅	大庆油田有限责任公司新疆分公司
14:30-14:45	S21-O-15	火山活动对淡水湖盆铁化与硫化环境形成的影响－以鄂尔多斯盆地长7段为例	高嘉洪	北京大学
14:45-15:00	S21-O-16	泥页岩成岩演化过程中润湿性的转变与页岩油赋存	李旭	同济大学
15:00-15:15	S21-O-17	吉木萨尔凹陷不同岩相页岩油储层CO_2吞吐提产潜力及其控因研究	贺小标	中国石油大学（北京）
15:15-15:30	S21-O-18	气体稳定同位素联合稀有气体示踪沁水盆地二氧化碳封存能力	陈碧莹	天津大学
15:30-15:50	茶歇			

青年学者论坛			
7月6日下午15:50~17:50			
主会场：三楼东方厅			7月6日下午
青年学者论坛			
15:50-16:00	构建昆虫生命之树——分子和化石证据的整合	蔡晨阳	中科院南京地质古生物所
16:00-16:10	海底碳封存的科学机理与工程难题	李姜辉	厦门大学
16:10-16:20	天文年代学与数据同化重建始新世碳循环的时空演化	李明松	北京大学
16:20-16:30	海水碱化负排放技术——应对气候变化的关键抓手	刘纪化	山东大学
16:30-16:40	动力学模拟与观测联合揭示古新世以来印度北侧消亡的“喜马兰蒂亚”块体	刘亮	中科院广州地球化学所
16:40-16:50	中国陆域航磁地壳探测揭示大陆显生宙克拉通化过程	徐曦	中国自然资源航空物探遥感中心
16:50-17:00	洋中脊微地震与岩石圈结构	于志腾	自然资源部第二海洋所
17:00-17:10	海洋板块的多幕次水化作用	张帆	中科院南海海洋所
17:10-17:20	晚中生代中国“东高”地貌古高程及其陆地气候响应	张来明	中国地质大学（北京）
17:20-17:30	全球磷循环的驱动因素	赵明宇	中科院地质与地球物理所
17:30-17:40	岁差驱动的西太暖池海水热量及其水文气候效应	党皓文	同济大学

地球系统战略研究成果汇报			
7月6日晚上19:30~21:10			
主会场：三楼东方厅1号			7月6日晚上
地球系统战略研究成果汇报 主持人：焦念志			
19:30-19:40	海洋溶解有机碳与冰期旋回	翦知湣	同济大学
19:40-19:50	有机碳与矿物—从海水到岩层	董海良	中国地质大学（北京）
19:50-20:00	生物泵的地质演化	谢树成	中国地质大学（武汉）
20:00-20:10	40万年偏心率长周期的破坏	田军	同济大学
20:10-20:20	水循环的地质演变	朱茂炎	中科院南京地质古生物所
20:20-20:30	气候系统演变中的两半球和高低纬相互作用	郭正堂	中科院地质与地球物理所
20:30-20:40	太平洋板块俯冲和东亚大地幔楔	徐义刚	中科院广州地球化学所
20:40-20:50	西太平洋边缘海盆地的形成与演化	黄奇瑜	同济大学
20:50-21:00	横向不均一性对大洋板块俯冲的影响	孟庆任	中科院地质与地球物理所
21:00-21:10	中新生代盆地流体活动及资源环境效应	金之钧	北京大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月7日上午
专题17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成（3） 主持人：孔凡圣				
08:30-08:45	S17-O-13	东南亚深部结构及对新特提斯动力过程的启示	丁巍伟	自然资源部第二海洋所
08:45-09:00	S17-O-14	巽他－班达俯冲黑洞：东半球南部多板块汇聚的复合与叠加（邀请报告）	刘俊来	中国地质大学（北京）
09:00-09:15	S17-O-15	九州－帕劳海脊中段和南段的深部地壳结构及其对洋内弧演化的启示	卫小冬	自然资源部第二海洋所
09:15-09:30	S17-O-16	菲律宾吕宋弧巴丹埃达克岩的重MO同位素组成——弧前地壳俯冲侵蚀的证据？	刘海泉	中科院广州地球化学所
09:30-09:45	S17-O-17	西菲律宾海盆慢速扩张过程中的构造—岩浆作用	赵阳慧	自然资源部第二海洋所
09:45-10:00	S17-O-18	伊豆－小笠原俯冲带的冷鼻范围与板幔解耦深度	朱伟龄	中科院青藏高原所
10:00-10:20	茶歇			
专题55： 海洋负排放科学平台与系统应用 主持人：翦知湣				
10:20-10:35	S55-O-1	福建台湾海峡海洋生态系统国家野外站海－气碳通量长期观测科学平台	朱旭东	厦门大学
10:35-10:50	S55-O-2	二氧化碳地质封存野外试验平台建设	胡晓农	济南大学
10:50-11:05	S55-O-3	盐沼湿地碳汇监测与碳汇数据库建设	王晓杰	中科院烟台海岸带所
11:05-11:20	S55-O-4	海洋垂直剖面生态环境模拟实验体系研发	刘延俊	山东大学
11:20-11:35	S55-O-5	粤港澳大湾区海洋数字孪生平台构建与设想	刘健	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
11:35-11:50	S55-O-6	面向全球气候变化研究的海洋环境数据系列产品	张斌	中科院海洋所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 2：三楼2号会议室				7月7日上午
专题05：温室地球气候—环境演变（1） 主持人：王永栋				
08:30-08:45	S05-O-1	中新生代极热事件与人类世全球变暖（邀请报告）	胡修棉	南京大学
08:45-09:00	S05-O-2	晚三叠世早期地球环境宜居性演化 —以上扬子板块卡尼期为例	张廷山	西南石油大学
09:00-09:15	S05-O-3	华北早三叠世陆地高温的沉积学记录：风暴岩	纪开宣	中国地质大学（武汉）
09:15-09:30	S05-O-4	三叠纪末大灭绝期间欧洲陆缘海的氧化还原状态演变	何天辰	河海大学
09:30-09:45	S05-O-5	汞同位素示踪三叠纪末生物大灭绝期间火山活动演变及其对生物危机的影响	华夏	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S05-O-6	早侏罗世PLIENSBACHIAN晚期至TOARCIAN早期泛大洋深水碳－硫－铁循环与氧化还原条件研究	陈文汉	成都理工大学
10:00-10:20	茶歇			
专题05：温室地球气候—环境演变（2） 主持人：吴怀春				
10:20-10:35	S05-O-7	早三叠世极热事件与贵阳生物群（邀请报告）	宋海军	中国地质大学(武汉)
10:35-10:50	S05-O-8	早侏罗世Toarcian期大洋缺氧事件在西藏特提斯喜马拉雅的响应	韩中	成都理工大学
10:50-11:05	S05-O-9	405 Kyr长偏心率周期调控中侏罗世中纬度陆地野火活动	张之辉	山东科技大学
11:05-11:20	S05-O-10	白垩纪大洋缺氧事件1A期间全球海平面变化过程	许艺炜	中科院南京地质古生物所
11:20-11:35	S05-O-11	白垩纪－古近纪界线时期的陆地气候重建进展	顾雪	中国地质大学（北京）
11:35-11:50	S05-O-12	近海环境对古新－始新世极热事件(PETM)的响应及其终结机制	王亚苏	河海大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月7日上午
专题18：花东海盆与西太边缘海地质演化（1） 主持人：钟广法				
08:30-08:45	S18-O-1	晚中生代以来华夏造山带和东侧海洋板块间三阶段构造演变（邀请报告）	黄奇瑜	同济大学
08:45-09:00	S18-O-2	花东海盆的身世之谜	赵明辉	中科院南海海洋所
09:00-09:15	S18-O-3	加瓜海脊成因与西太平洋地幔组成演化	张国良	中科院海洋所
09:15-09:30	S18-O-4	花东海盆与西菲律宾盆地的关系	钟广法	同济大学
09:30-09:45	S18-O-5	花东海盆盆地属性新认识及其与西菲律宾海盆关系探讨	高红芳	中国地调局广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S18-O-6	东亚冬季风向海洋的物质输送：加瓜海脊铁锰结壳的记录	董彦辉	自然资源部第二海洋所
10:00-10:20	茶歇			
专题18：花东海盆与西太边缘海地质演化（2） 主持人：赵明辉				
10:20-10:35	S18-O-7	南海东南缘弧陆碰撞开始的时限：来自巴拉望中南部Isugod盆地的约束	陈文煌	中科院广州地球化学所
10:35-10:50	S18-O-8	南海洋盆中南断裂带的特征及成因：多波束测深和深反射地震资料的综合解释	邹松	同济大学
10:50-11:05	S18-O-9	华南－巽他大陆东缘晚白垩世古地理：来自东北婆罗洲大洋板块地层的研究	曹立成	中国地质大学（武汉）
11:05-11:20	S18-O-10	深海盆区莫霍面特分布特征与南海形成演化的关系研究	耿明会	中国地调局广州海洋地质调查局
11:20-11:35	S18-O-11	被动陆缘陆隆区裂后埋藏火山及其岩浆运移系统特征：来自南海西北部西沙地块的启示	王利杰	中国地调局广州海洋地质调查局
11:35-11:50	S18-O-12	T1测线纵横波速度结构研究	程锦辉	中科院南海海洋所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 4：三楼上海厅				7月7日上午
专题77： 事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理（1） 主持人：孙启良				
08:30-08:45	S77-O-1	震积岩：断裂带活动的记录仪	卢银	同济大学
08:45-09:00	S77-O-2	过去~1630年九寨沟钙华沉积记录的青藏高原东缘高频的地震丛集	时伟	中国地震局地质所
09:00-09:15	S77-O-3	阳宗海湖泊沉积对小江断裂带历史地震的响应过程及机制	范佳伟	中国地震局地质所
09:15-09:30	S77-O-4	细粒泥质风暴沉积物识别及其还原硫同位素地球化学特征	江凯禧	中山大学
09:30-09:45	S77-O-5	中国东南部福建沿海全新世晚期复合洪水事件的地球化学证据	余风玲	厦门大学
09:45-10:00	S77-O-6	河口海岸高能事件沉积过程及记录	涂俊彪	同济大学
10:00-10:20	茶歇			
专题77： 事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理（2） 主持人：卢银				
10:20-10:35	S77-O-7	沉积汞记录示踪二叠纪与三叠纪之交火山活动（邀请报告）	沈俊	中国地质大学（武汉）
10:35-10:50	S77-O-8	硫化物是沉积汞的主要宿主？——来自澳大利亚苏拉特盆地下侏罗纪地层的案例研究和全球回顾	朱玉晴	中国地质大学（武汉）
10:50-11:05	S77-O-9	华北克拉通新太古代被动陆缘沉积序列指示太古宙－元古宙大氧化事件受控于岛弧拼贴的快速生长和稳定	彭雅莹	中国地质大学（武汉）
11:05-11:20	S77-O-10	东北印度洋晚中新世生物勃发事件记录与机制研究	胡玥	南方科技大学
11:20-11:35	S77-O-11	马尼拉海沟不同模态浊流观测研究	刘猛	南方科技大学
11:35-11:50	S77-O-12	马尼拉海沟S02柱状样浊流沉积特征、物源及其环境效应	任晰熙	中国海洋大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月7日上午
专题20：西太海陆深部过程与浅部响应（1） 主持人：廖杰				
08:30-08:45	S20-O-1	大地幔楔形成机制与挥发分循环的数值模拟（邀请报告）	李忠海	中国科学院大学
08:45-09:00	S20-O-2	岛弧岩浆高氧逸度成因：全球俯冲带玄武岩FE同位素的制约	陈祖兴	中科院海洋所
09:00-09:15	S20-O-3	日本西南部俯冲带精细结构三维逆时偏移成像	邹鹏	同济大学
09:15-09:30	S20-O-4	探究年轻海洋板块俯冲引起的大陆地幔动力响应机制	巴凯伦	中国石油大学（华东）
09:30-09:45	S20-O-5	海陆构造岩浆对比：晚中生代华夏大陆边缘演变	邓玉玲	同济大学
09:45-10:00	S20-O-6	南海西南次海盆残留水引起的地幔非均一性研究	田晋雨	南方科技大学
10:00-10:20	茶歇			
专题20：西太海陆深部过程与浅部响应（2） 主持人：曾罡				
10:20-10:35	S20-O-7	东亚陆缘深部水平板片俯冲及其地表动力地形响应（邀请报告）	刘少峰	中国地质大学（北京）
10:35-10:50	S20-O-8	两阶段地幔熔融过程导致大陆板内玄武岩Zn−Sr−Nd同位素解耦	徐荣	中科院地球化学所
10:50-11:05	S20-O-9	浅部克拉通地幔存在太古代高非放射性成因铅	张军波	中国地质大学（武汉）
11:05-11:20	S20-O-10	地体碰撞诱发的俯冲起始：模式选择与对西太平洋俯冲系统的影响	崔峰源	中国科学院大学
11:20-11:35	S20-O-11	西太平洋麦哲伦海山区海山玄武岩岩石成因及其构造指示	张立敏	中国地调局广州海洋地质调查局
11:35-11:50	S20-O-12	西太平洋麦哲伦海山链成因：地幔柱－岩石圈相互作用	位荀	自然资源部第一海洋所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 6：三楼6号会议室				7月7日上午
专题68： 深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律（1） 主持人：高山林				
08:30-08:45	S68-O-1	轻烃组成影响因素及其在天然气成藏地球化学中的应用	黄士鹏	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
08:45-09:00	S68-O-2	泥岩中可溶有机质非烃组分的演化及地球化学意义	都鹏燕	延安大学
09:00-09:15	S68-O-3	深大坳陷对超深层油气资源富集成藏的重要作用性研究	李梅	大庆油田有限责任公司新疆分公司
09:15-09:30	S68-O-4	深层油气运移成藏过程评价技术及其应用	史玉玲	中海油（中国）有限公司深圳分公司
09:30-09:45	S68-O-5	中国海相油气成藏理论新进展（邀请报告）	朱光有	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
10:00-10:20	茶歇			
专题68： 深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律（2） 主持人：周慧				
10:20-10:35	S68-O-7	塔里木盆地上埃迪卡拉统微生物白云岩储层特征及成因 ——以盆地西北缘露头区为例	郑剑锋	中国石油天然气集团公司
10:35-10:50	S68-O-8	深部碳酸盐岩储层形成过程模拟实验技术及应用	佘敏	中国石油天然气股份有限公司杭州地质研究院
10:50-11:05	S68-O-9	激光原位碳酸盐U－Pb定年实验方法改进与石油地质应用	陈玮岩	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
11:05-11:20	S68-O-10	局部白云岩化作用研究－以阿克苏地区蓬莱坝剖面鹰山组为例	谭聪	中国石油勘探开发研究院
11:20-11:35	S68-O-11	基于层次分析法的塔河地区岩溶输导体系性能评价	高济元	中国地质大学（武汉）
11:35-11:50	S68-O-12	准噶尔盆地西部坳陷二叠系含油气系统与天然气勘探潜力	龚德瑜	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月7日上午
专题44：大陆边缘碳循环过程、演变与记录 主持人：赵宁				
08:30-08:45	S44-O-1	浊水溪三角洲晚第四纪沉积记录的HEINRICH事件对河流有机碳源汇过程的调控作用（邀请报告）	范代读	同济大学
08:45-09:00	S44-O-2	沉积再悬浮－再搬运作用驱动下陆源颗粒态有机碳在河口的再循环: 以长江河口为例	孙学诗	中国海洋大学
09:00-09:15	S44-O-3	长江口及其邻近海域主要浮游植物种群的重建及其近几十年来的群落变化：从观测到模拟	方富韬	华东师范大学
09:15-09:30	S44-O-4	东海沉积物－水界面Re和U通量的季节变化及其对沉积有机碳分解和海洋Re源汇的指示	洪清泉	南京大学
09:30-09:45	S44-O-5	利用异形胞糖脂重建南海陆源输入的应用	康曼玉	同济大学
09:45-10:00	S44-O-6	南海北部陆坡区沉积物有机碳的埋藏与降解机制	赖洪飞	中国地调局广州海洋地质调查局
10:00-10:20	茶歇			
专题53：“双碳”背景下的海洋新能源技术（2） 主持人：史宏达				
10:20-10:35	S53-O-7	一种与抛物型防波堤相结合的新型超高效OWC波浪能量转换器	宁德志	大连理工大学
10:35-10:50	S53-O-8	潮流能发电产业化关键技术及发展趋势	刘宏伟	浙江大学
10:50-11:05	S53-O-9	100Kw气动式波浪能发电装置实海况水动力性能研究	张永良	清华大学
11:05-11:20	S53-O-10	二氧化碳地质封存野外试验及模拟研究	胡晓农	济南大学
11:20-11:35	S53-O-11	近海漂浮式光伏发电系统机械与电气故障预警与智慧运维技术	吴晟	哈尔滨工程大学
11:35-11:50	S53-O-12	兆瓦级Φ型海上浮式垂直轴风机耦合动力特性研究	郑雄波	哈尔滨工程大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 8：三楼8号会议室				7月7日上午
专题82： 古亚洲洋演化及其环境效应（1） 主持人：肖文交				
08:30-08:45	S82-O-1	中亚造山带东段古生代山弯构造（邀请报告）	刘永江	中国海洋大学
08:45-09:00	S82-O-2	古亚洲洋与古太平洋构造叠加与转换：来自吉黑东部佳木斯地块晚古生代－中生代岛弧岩浆记录与增生杂岩的制约	李功宇	吉林大学
09:00-09:15	S82-O-3	燕山褶皱冲断带东部晚三叠世缩短变形：对华北克拉通与蒙古拼贴体最终聚合时间的约束	陈虹	中国地质科学院地质力学所
09:15-09:30	S82-O-4	准噶尔盆地二叠系富有机质页岩沉积古环境与有机质富集因素	陶辉飞	中科院西北生态环境资源研究院
09:30-09:45	S82-O-5	白乃庙弧性质及其与华北克拉通的构造亲缘关系	张琪琪	中国地质科学院地质力学所
09:45-10:00	S82-O-6	中天山地块何时并如何卷入中亚造山带地理格局	黄宗莹	中科院广州地球化学所
10:00-10:20	茶歇			
专题82： 古亚洲洋演化及其环境效应（2） 主持人：刘永江				
10:20-10:35	S82-O-7	中亚造山带东段构造重建：地质记录与深地震反射信息（邀请报告）	周建波	吉林大学
10:35-10:50	S82-O-8	塔里木克拉通北缘志留－泥盆纪岩石圈构造减薄与热软化—来自构造变形、岩石学及年代学的制约	宁俊	中科院广州地球化学所
10:50-11:05	S82-O-9	深地震反射剖面约束古亚洲洋的消亡方式	谭晓淼	中山大学
11:05-11:20	S82-O-10	西准噶尔蛇绿岩:古大洋俯冲增生过程的记录	杨高学	长安大学
11:20-11:35	S82-O-11	西准噶尔南部早－中泥盆世埃达克质岩浆作用的识别及其对哈萨克斯坦山弯构造演化的意义	刘博	东北大学
11:35-11:50	S82-O-12	华北克拉通北部晚古生代地幔交代作用与深部碳循环：早二叠世超镁铁质岩的制约	王志伟	河北地质大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月7日上午
专题63： 地震孕震、地震活动与地震灾害（1） 主持人：罗纲				
08:30-08:45	S63-O-1	利用震前断层应力变化探讨预报地震孕震区的可能性（邀请报告）	蔡永恩	北京大学
08:45-09:00	S63-O-2	实验室地震机器学习预测研究及展望	高科	南方科技大学
09:00-09:15	S63-O-3	2021年青海门源地震震前和同震变形特征研究	郝明	中国地震局第二监测中心
09:15-09:30	S63-O-4	溪洛渡－向家坝库区应力场时空演化与地震活动性分析	缪淼	南方科技大学
09:30-09:45	S63-O-5	鲜水河断层的震间应力率反演	赵文涛	武汉大学
09:45-10:00	S63-O-6	Shallow Serpentinization Promoted the Up-Dip High-Frequency Seismic Wave Radiation During the 2021 Mw8.1 Kermadec Megathrust Earthquake	韦生吉	NTU-EOS/ASE
10:00-10:20	茶歇			
专题63： 地震孕震、地震活动与地震灾害（2） 主持人：柳畅				
10:20-10:35	S63-O-7	小地震的统计信息帮助预测大地震：机器学习的视角（邀请报告）	贾科	西北工业大学
10:35-10:50	S63-O-8	基于GNSS密集台阵观测的青藏高原东南部大凉山现今地壳形变	李煜航	中国地震局第二监测中心
10:50-11:05	S63-O-9	2021年南黄海地区盐城Mw5.0地震发震构造与孕震机制研究	户盼盼	同济大学
11:05-11:20	S63-O-10	2023年土耳其双震的震源参数和应力场分布	詹慧丽	中科院青藏高原所
11:20-11:35	S63-O-11	板内断层系统中断层相互作用对大地震时间模式的影响探究	靳锡波	武汉大学
11:35-11:50	S63-O-12	虎牙断裂带南北段强震活动类型的差异性机理：来自数值模拟的约束	刘皓晴	应急管理部国家自然灾害防治研究院

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月7日上午
专题72： 深海矿产与多圈层相互作用（1） 主持人：石学法				
08:30-08:45	S72-O-1	深海富稀土沉积物中REE赋存物相分步淋滤定量研究（邀请报告）	孙晓明	中山大学
08:45-09:00	S72-O-2	深海成矿系统与成矿作用	石学法	自然资源部第一海洋所
09:00-09:15	S72-O-3	深海沉积物中稀土元素的LIBS原位探测方法研究	张鑫	中科院海洋所
09:15-09:30	S72-O-4	深海稀土成矿年代学研究	李登峰	中山大学
09:30-09:45	S72-O-5	深海富稀土沉积物地球化学分类及其成因指示	王樱静	自然资源部第一海洋所
09:45-10:00	S72-O-6	西太平洋深海沉积物中稀土元素的迁移机制及控制因素	黄菲	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题31：亚太地区中晚全新世高分辨率气候变化：重建、集成、模拟与数据同化（2） 主持人：杨阳				
10:20-10:35	S31-O-7	外部驱动力调控中晚全新世琼东上升流的变化	黄超	广东海洋大学
10:35-10:50	S31-O-8	海岛海岸沉积见证南海北部台风的前世今生	周亮	江苏师范大学
10:50-11:05	S31-O-9	三角洲及邻近陆架沉积物粒度敏感组分分析问题探讨	范代读	同济大学
11:05-11:20	S31-O-10	现代台风风暴在华南沿岸沙质泻湖环境中的沉积学及微体化石记录	陈敏	自然资源部第三海洋所
11:20-11:35	S31-O-11	微生物四醚膜脂在石笋中的研究进展	臧婧杰	中科院地球环境所
11:35-11:50				

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月7日上午
专题11：海洋极端环境微生物及其地质效应（1） 主持人：张锐				
08:30-08:45	S11-O-1	深海热液区优势化能自养菌*Sulfurimonnas* 和 *Sulfurovum* 硫代谢机制研究（邀请报告）	邵宗泽	自然资源部第三海洋所
08:45-09:00	S11-O-2	嗜酸热古菌硫化叶菌及其病毒因子调控细胞分裂与细胞周期研究	申玉龙	山东大学
09:00-09:15	S11-O-3	深海冷泉微生物和病毒——几个意想不到的发现	董西洋	自然资源部第三海洋所
09:15-09:30	S11-O-4	南海冷泉微生物介导的生物地球化学过程及碳硫循环机制	庄光超	中国海洋大学
09:30-09:45	S11-O-5	相邻冷泉和热液生境中深海贻贝组织相关微生物群落特征及适应机制研究	林根妹	中山大学
09:45-10:00	S11-O-6	冲绳海槽冷泉沉积物微生物群落的生物地球化学过程	陈烨	中国地调局青岛海洋地质所
10:00-10:20	茶歇			
专题11：海洋极端环境微生物及其地质效应（2） 主持人：张晓华				
10:20-10:35	S11-O-7	深海沉积物微生物对重金属的转化和输运（邀请报告）	王勇	清华大学
10:35-10:50	S11-O-8	深渊拟杆菌门细菌的有机碳代谢特性研究	刘吉文	中国海洋大学
10:50-11:05	S11-O-9	深海沉积物中细菌多样性及代谢潜力研究	宫先哲	山东大学
11:05-11:20	S11-O-10	马里亚纳海沟深渊沉积微生物降解卤代有机物的潜力及活性研究	刘如龙	上海海洋大学
11:20-11:35	S11-O-11	海洋沉积物微生物利用甲硫醇产DMS的过程和机制研究	郭子华	中国海洋大学
11:35-11:50	S11-O-12	马里亚纳海沟原核微生物群落的驱动机制	齐琪	上海交通大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月7日上午
专题22：俯冲带流体性质与行为（1） 主持人：张运迎				
08:30-08:45	S22-O-1	俯冲板片释放的流体性质：以榴辉岩相脉体为例（邀请报告）	李继磊	中科院地质与地球物理所
08:45-09:00	S22-O-2	洋内初始俯冲过程发育多样化岩浆作用的原因	张鹏飞	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S22-O-3	马里亚纳俯冲带岩石MO同位素组成及其指示意义	李晓辉	中国海洋大学
09:15-09:30	S22-O-4	钙同位素对示踪俯冲带物质循环的启示	祝红丽	中科院海洋所
09:30-09:45	S22-O-5	岩浆“点火”引发俯冲起始	杨建锋	中科院地质与地球物理所
09:45-10:00	S22-O-6	俯冲带深部释水延长岛弧岩浆活动	谌永强	中山大学
10:00-10:20	茶歇			
专题22：俯冲带流体性质与行为（2） 主持人：张运迎				
10:20-10:35	S22-O-7	K同位素揭示东北亚地幔过渡带中水的来源（邀请报告）	王枫	吉林大学
10:35-10:50	S22-O-8	古大洋俯冲带物质循环的Mélange模型	郝露露	中科院广州地球化学所
10:50-11:05	S22-O-9	锌－铁同位素示踪陆下岩石圈中含碳酸盐沉积物熔体活动	张岗岚	中国地调局广州海洋地质调查局
11:05-11:20	S22-O-10	磷灰石氢同位素指示华北板内花岗岩中水来源于不同深度的板片	杨传茂	中科院广州地球化学所
11:20-11:35	S22-O-11	俯冲蛇纹岩流体对弧岩浆氧逸度的控制作用	张玉祥	中科院海洋所
11:35-11:50	S22-O-12	俯冲带弯曲断层内蛇纹岩碳酸盐化对深部碳循环的重要性	黄永胜	中科院广州地球化学所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月7日上午
专题57： 海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层（1） 主持人：王凡				
08:30-08:45	S57-O-1	基于BGC－ARGO的海洋碳观测（邀请报告）	邢小罡	自然资源部第二海洋所
08:45-09:00	S57-O-2	夏季黄海水温对台风过境三维响应的在线监测与机制研究	翟方国	中国海洋大学
09:00-09:15	S57-O-3	基于“科学”号的半潜无人船海洋CO_2剖面自主观测系统研制	张祥光	中科院海洋所
09:15-09:30	S57-O-4	基于高频观测资料的海表pCO_2日内变化及其对碳通量估算的影响	叶海军	中科院南海海洋所
09:30-09:45	S57-O-5	海洋微型颗粒物原位分类仪：从上层到深层	廖然	清华大学
09:45-10:00	S57-O-6	量化生物过程对CO_2海气交换的驱动	高咏卉	上海交通大学
10:00-10:20	茶歇			
专题57： 海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层（2） 主持人：吴锜				
10:20-10:35	S57-O-7	6000米级深海原位二氧化碳和甲烷分压传感器研制（邀请报告）	关亚风	中科院大连化学物理所
10:35-10:50	S57-O-8	南海深海区叶绿素变化的物理驱动	张文舟	厦门大学
10:50-11:05	S57-O-9	台风具有生物固碳能力吗？	卢著敏	中科院南海海洋所
11:05-11:20	S57-O-10	基于遥感观测资料的海洋碳循环耦合分析——南海为例	李腾	自然资源部第二海洋所
11:20-11:35	S57-O-11	海洋中溶解有机物的光学检测技术— 紫外可见吸收光谱和荧光光谱	张永	山东大学
11:35-11:50	S57-O-12	Changes in Surface Sediment Carbon Compositions in Response to Tropical Seagrass Meadow Restoration	刘松林	中科院南海海洋所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月7日上午
专题10：地球关键带与生态保护修复（1） 主持人：王军				
08:30-08:45	S10-O-1	岩溶关键带理论及应用（邀请报告）	蒋忠诚	中国地质科学院岩溶地质所
08:45-09:00	S10-O-2	黄河中游地球关键带地下水水文过程监测、模拟与调控研究	王文科	长安大学
09:00-09:15	S10-O-3	地球系统科学主要理论与发展展望	张万益	中国地调局发展研究中心
09:15-09:30	S10-O-4	城郊地球关键带土壤抗生素迁移过程与模拟	杨磊	中科院生态环境研究中心
09:30-09:45	S10-O-5	黑土地关键带硒元素环境地球化学特征	戴慧敏	中国地调局沈阳地质调查中心
09:45-10:00	S10-O-6	从地球关键带的视角解析迟滞效应在生态恢复中的应用	郝彦宾	中国科学院大学
10:00-10:20	茶歇			
专题79： 重大环境演变与能源资源富集 主持人：姜磊				
10:20-10:35	S79-O-1	中国南海北部20万年来冷泉活动演化历史研究（邀请报告）	邓义楠	中国地调局广州海洋地质调查局
10:35-10:50	S79-O-2	Ba和U同位素示踪古新世－始新世之交极热事件（PETM）期间海洋生产力和氧化还原状态演化	熊国林	南京大学
10:50-11:05	S79-O-3	松辽盆地青山口组页岩的微生物贡献及其页岩油地质意义	王华建	中国石油勘探开发研究院
11:05-11:20	S79-O-4	晚白垩世海侵事件诱发的巨量湖泊有机碳埋藏	秦政	中国地质大学（北京）
11:20-11:35	S79-O-5	奥陶纪－志留纪转折期重大地质事件与页岩气富集	邱振	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
11:35-11:50	S79-O-6	华北中元古碳酸盐岩裂隙型热储成因及其资源与环境意义	姜磊	中科院地质与地球物理所

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月7日上午
专题49： 水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应（1） 主持人：王建军				
08:30-08:45	S49-O-1	中国滨海盐沼蓝碳的潜力与挑战	聂明	复旦大学
08:45-09:00	S49-O-2	青藏高原湖泊碳循环微生物作用	蒋宏忱	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S49-O-3	溶解性有机碳组成的跨生境分布特征及驱动因素	胡盎	中科院南京地理与湖泊所
09:15-09:30	S49-O-4	海陆交互作用下砂质沉积物中的碳－铁循环	周哲	同济大学
09:30-09:45	S49-O-5	沉积物耗氧与水柱耗氧在河口近海氧亏损中的演替机制与验证	朱卓毅	上海交通大学
09:45-10:00	S49-O-6	渤海生态系统呼吸研究进展：耗氧有机物来源、缺氧酸化效应、海－气二氧化碳通量	翟惟东	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
10:00-10:20	茶歇			
专题49： 水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应（2） 主持人：李猛				
10:20-10:35	S49-O-7	一套全海深微生物胞外酶活性原位条件测定装置及在马里亚纳海沟应用的结果分析	方家松	上海海洋大学
10:35-10:50	S49-O-8	微生物驱动元素循环功能基因组数据库研发与应用	屠奇超	山东大学
10:50-11:05	S49-O-9	基于机器学习揭示溶解有机物分子丰度与稳定碳同位素值之间的关联	易沅壁	香港科技大学
11:05-11:20	S49-O-10	滨海甲烷生物汇的关键过程和机制	郑越	厦门大学
11:20-11:35	S49-O-11	全球海洋碱性磷酸酶活性的环境影响因子研究	苏贝	山东大学
11:35-11:50	S49-O-12	近海沉积物中微生物介导的硫氧化途径研究	宫先哲	山东大学

口头报告				
7月7日上午08:30~~11:50				
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月7日上午
专题34：北极海洋与气候变化 主持人：陈显尧				
08:30-08:45	S34-O-1	北极海冰消融及其大气强迫机制（邀请报告）	刘忠方	同济大学
08:45-09:00	S34-O-2	基于FIO－ESM和FESOM的北冰洋动力降尺度模拟和预估	舒启	自然资源部第一海洋所
09:00-09:15	S34-O-3	北极夏季海冰极值事件中热力及动力机制分析研究	吕国坤	上海交通大学
09:15-09:30	S34-O-4	海浪对北极海冰模拟的影响	王艺智	中国海洋大学
09:30-09:45	S34-O-5	楚科奇海陆架碳输出的调控机理	罗晓凡	天津大学
09:45-10:00	S34-O-6	Rapid Sea Ice Loss Enhanced Wind Mixing Effects on the Upper Ocean Dynamics in the Pacific Arctic Ocean	冯志轩	华东师范大学
10:00-10:20	茶歇			
专题64： 海洋工程地质灾害与海底地貌演化（1） 主持人：刘晓磊				
10:20-10:35	S64-O-1	深海开发地质环境观测关键技术与装备（邀请报告）	贾永刚	中国海洋大学
10:35-10:50	S64-O-2	南海北部神狐海域海底峡谷群的地貌－沉积空间差异性分析	苏明	中山大学
10:50-11:05	S64-O-3	基于MEMS传感网络的海底地形及浅地层形变原位监测技术	葛勇强	浙江大学
11:05-11:20	S64-O-4	近海海底沙丘场的演化、相互作用及其环境意义	马小川	中科院海洋所
11:20-11:35	S64-O-5	高分辨率水深数据揭示了海底峡谷内部沉积物输送通道的细节	曾凡长	中科院深海科学与工程所
11:35-11:50	S64-O-6	海底浊流演化过程及其冲击管线的大涡模拟	郭兴森	伦敦大学学院

7月7日			
展板报告：12:30~14:00			
专题54： 海洋碳汇的观测技术与数值试验			
S54-P-1S	广东博贺夏季大气甲烷和二氧化碳的日变化特征分析	程阳艳	自然资源部第一海洋所
S54-P-2S	永兴岛大气 CH_4浓度变化特征及影响因子研究	吕洪刚	国家海洋环境预报中心
S54-P-3	我国近海局部海域的酸化和低氧耦合现象	王丹	自然资源部海洋减灾中心
S54-P-4S	2000－2016年东海海表二氧化碳分压和海气二氧化碳通量的遥感估算	刘静	华东师范大学
S54-P-5S	基于差示光谱的硝酸盐检测浊度影响及补偿技术研究	董晶	中科院西安光学精密机械所
S54-P-6	走航式海洋碳通量智能监测系统研究	李明杰	国家海洋局南海规划与环境研究院
S54-P-7S	南海夏季海表风场评估和其对碳汇计算的影响	朱玮婷	中山大学
S54-P-8S	南大洋海冰区域的CO_2通量走航观测研究	何泓锣	中山大学
S54-P-9	Sea Ice Modulates Air–Sea Methane Flux in the Southern Ocean	张功	中山大学
S54-P-10S	海山上升流的识别技术和其对海表PCO_2的影响	王小婧	中山大学
S54-P-11S	不同光伏阵列布置方式下海上漂浮式光伏平台风载荷数值研究	贾广臣	大连理工大学
S54-P-12	Seamounts Enhance the Local CO_2 Emission in the Northern South China Sea	张功	中山大学
S54-P-13S	长江口群落净生产力的高分辨率剖面观测	吴迪	浙江大学
S54-P-14	船载无人机在海洋碳汇观测中的运用	韩博	中山大学
S54-P-15	黑潮区域人为增碱的海洋负排放数值模拟评估初步研究	张守文	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
专题55： 海洋负排放科学平台与系统应用			

S55-P-1	河口海岸大数据中心建设与应用	田波	华东师范大学
S55-P-2	海洋大数据服务平台和系统应用建设	任焕萍	中科院海洋所
S55-P-3	中国大陆海岸带蓝碳生境碳储量时空分布格局与评估	李远	中科院烟台海岸带所
S55-P-4	基于组件化的海洋大数据交互式应用系统	王彦俊	中科院海洋所
专题57： 海洋碳吸收的检测、监测与分析：从上层到深层			
S57-P-1	海洋碳吸收检测技术及标准浅析	吴济舟	国检测试控股集团京诚检测有限公司
S57-P-2	印度洋南赤道海域悬浮体分布特征及成因	陈亮	自然资源部南海调查中心
S57-P-3S	大型海藻养殖生态系统CO_2源汇研究	吴琪	近海海洋环境科学国家重点实验室
S57-P-4S	海表二氧化碳分压的高频时间序列观测：控制过程和海气二氧化碳通量	罗遥华	厦门大学
S57-P-5S	北太平洋碳汇的季节和年代际变化	高瑛	厦门大学
S57-P-6S	基于机器学习算法的全球大洋碳源汇强度与海水酸化进程研究	钟国荣	中科院海洋所
S57-P-7S	南大洋近惯性混合对碳的垂直输送和初级生产力调节的影响	黄淑旖	自然资源部第二海洋所
S57-P-8	基于电化学传感的海洋二氧化碳在线监测系统	廖志博	中科院烟台海岸带所
S57-P-9S	连续台风事件在日本南部气旋涡内引起的浮游植物爆发现象及其背后的生地化过程	郑辉	厦门大学
S57-P-10S	浮游植物细胞死亡对海洋可沉降颗粒有机物的贡献——以东海为例	王妍妍	山东大学
S57-P-11S	高灵敏度光学折射仪在海水溶解有机物测量中的应用	张聪	山东大学
S57-P-12	基于注意力机制和卷积神经网络的印度洋三维温盐场反演研究	齐继峰	中科院海洋所
S57-P-13	从近岸水域到南海溶解有机质（DOM）提取富集和化学组成特征	宋桂雪	山东大学
专题58： 海洋碱化增汇技术与环境效应			
S58-P-1S	污水好氧处理在海洋负排放中的工程应用潜力研究	陈倩颖	山东大学

S58-P-2	再生水碱度提升技术在粤港澳大湾区海洋负排放中的应用潜力分析	陈柯伟	南方科技大学
S58-P-3S	生物诱导碳酸钙析出削弱加碱增汇效应的研究	陈麒先	浙江大学
S58-P-4	滨海湿地微生物驱动的碳转化机制	董宏坡	华东师范大学
S58-P-5	海洋负排放国际标准的技术体系和组织申报流程	类彦立	中科院海洋所
S58-P-6	海洋细菌生物膜诱导矿化膜的形成机制及应用研究	王伟权	中科院南海海洋所
专题59： 气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策			
S59-P-1	我国盐沼湿地甲烷排放潜力及关键控制过程	肖雷雷	中科院烟台海岸带所
S59-P-2S	不同纬度、不同生长阶段芦苇光合特征对增温的响应—以黄渤海滨海湿地为例	陈洋洋	山东科技大学
S59-P-3	海洋碳负排放：来自辽河三角洲滨海盐沼湿地生态修复和增汇示范的案例解析	何磊	中国地调局青岛海洋地质所
S59-P-4S	湛江湖光岩玛珥湖沿岸植物正构烷烃分布特征及其氢同位素组成	陈静怡	广东海洋大学
S59-P-5	美国加州Elkhorn Slough 湿地土壤早期成岩过程的地化特征对气候及高程的响应研究	杨娟	中国地质大学（北京）
S59-P-6S	热带河口海－气CO_2通量研究	王洋	海南大学
S59-P-7S	万宁小海的碳酸盐体系研究	庄雅	海南大学
S59-P-8S	植物和微生物途径驱动互花米草入侵对滨海盐沼湿地土壤有机碳积累的影响	廖启杭	南京大学
S59-P-9S	海草床系统表层海水二氧化碳分压的变化	张敏	厦门大学
S59-P-10S	热带红树林伴生河口温室气体排放特征	全鑫	海南大学
S59-P-11	晚全新世上升流变化对珊瑚礁固碳作用的影响	王宁	中科院广州地球化学所
S59-P-12	养殖活动对滨海湿地沉积物中微生物群落结构和温室气体排放的影响研究	林根妹	中山大学
S59-P-13	红树植物叶蜡正构烷烃氢同位素的古盐度校准研究	王遥平	广东海洋大学
S59-P-14S	海岸带潮滩底栖微藻生物量遥感定量估算	张婷	华东师范大学

S59-P-15S	潮间带底栖有孔虫*Cribrononion Gnythosuturatum* 对盐度变化的响应机制	曹一飞	中科院海洋所
S59-P-16S	植物入侵获得的蓝碳增汇弥补了土地利用造成的碳损失	周金戈	中科院华南植物园
S59-P-17	黄渤海滨海湿地土壤微生物群落结构对碳循环的影响及其对增温响应	裴理鑫	中国地调局青岛海洋地质所
S59-P-18	我国海岸带蓝碳生境中黑碳的研究进展	方引	华东师范大学
专题61： 海洋地质碳封存与碳中和			
S61-P-1	东海陆架盆地新生界咸水层地质碳封存条件与前景分析	孙晶	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-2	东海陆架盆地CO_2地质封存研究	龚建明	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-3	“双碳”背景下海域二氧化碳地质封存中的多介质耦合关系与适宜性评价	杨长清	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-4	印度洋沉积物钙质生物碎屑的埋藏特征	唐盟	自然资源部南海调查中心
S61-P-5	地球物理技术在海洋地质碳封存的应用及展望	骆迪	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-6S	杭州湾南岸长河盆地CO_2地质封存潜力分析	李雪	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-7	产业视角下的CCUS研究进展和展望	曹珂	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-8	海洋储层环境下CO_2水合物动力学研究	蒋兰兰	大连理工大学
S61-P-9	南黄海盆地崂山断隆带海相下古生界构造稳定性与油气保存	张鹏辉	河海大学
S61-P-10	喜山期以来构造运动对CO_2地质封存条件的控制作用	张银国	中国地调局青岛海洋地质所
S61-P-11	粤港澳大湾区岸碳入海发展策略探析	彭辉界	中海油（中国）有限公司
专题62： 海洋地质灾害案例、形成过程与机制			
S62-P-1	北黄海及邻域灾害地质类型及分布特征	陈珊珊	中国地调局青岛海洋地质所
S62-P-2S	珠江口滨海断裂带构造特征及其活动性研究	黄嘉宪	中科院南海海洋所
S62-P-3S	新西兰大南盆地多边形断层系统的几何特征及生长过程	王锦怡	中国地质大学（武汉）

S62-P-4S	the Characteristics of the Multi-Stacked Mass-Transport Complexes (Mtcs) in the Deepwater Taranaki Basin, Nw New Zealand	Abi Dzikri Alghifari	同济大学
S62-P-5S	海底滑坡的退积式滑动及其触发海啸评估	王庆	中国地质大学（武汉）
S62-P-6S	南海西沙海域海底滑坡触发海啸及波间相互作用研究	沈奥	中国地质大学（武汉）
S62-P-7S	北印度洋莫克兰俯冲带1945年MW8.2级大型俯冲带地震海啸产生机理研究	Irfan Ahmed Soomro	中科院边缘海与大洋地质重点实验室
S62-P-8S	断层和海底地形是如何影响气烟囱内部结构和分布特征的？	张伯达	中山大学
S62-P-9S	珠江口盆地深水区天然气水合物的潜在空间分布及其与海底滑坡的响应关系	潘荟	广东海洋大学
S62-P-10S	海啸与风暴潮泥沙输运过程的数值模拟对比研究：以海南陵水双潟湖为例	李发淳	中山大学
S62-P-11S	人类活动对中国南部沿海泄湖地区海啸风险的影响评估	张意林	中山大学
S62-P-12S	滑坡海啸波特征分析：以南海典型海底滑坡为例	潘晓仪	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S62-P-13S	印马菲多岛弧海域历史海啸事件模拟分析	崔家莹	中山大学
专题63： 地震孕震、地震活动与地震灾害			
S63-P-1	态矢量的模M在强震前的异常表现	张小涛	中国地震台网中心
S63-P-2	基于时序GNSS和时序INSAR数据厘定老虎山断裂的蠕滑运动	庄文泉	中国地震局第二监测中心
S63-P-3S	2023年土耳其双震的同震破裂过程和断层结构	刘超亚	中科院青藏高原所
S63-P-4	GNSS实时卫星钟差估计在地震监测中的应用	王浩浩	中国地震局第二监测中心
S63-P-5	日本MW9.0地震对首都圈地区地壳形变场的影响	马一方	北京市地震局
S63-P-6	构造转换区强震间相互作用机制的数值模拟研究：以2008~2020年4次MS＞6.0于田地震为例	刘雷	中国地震局第二监测中心
S63-P-7	2021年玛多MW7.4 地震破裂带西段同震位移和弥散变形	邵延秀	天津大学
S63-P-8S	尼泊尔地震空区断层相互作用及对区域地震活动性的影响	张航	同济大学
S63-P-9	鲜水河－安宁河－龙门山断层系统的强震活动与未来危险性分析	陈建全	同济大学

S63-P-10	巴颜喀拉块体边界现今强震活动特征分析	李宁	中国地震局第二监测中心
S63-P-11S	青藏高原北部断层形变与地震群集活动关联研究	李媛	中国地震局第一监测中心
S63-P-12	对圣安德烈斯断层Parkfield附近低频地震的震源性质研究	黄晖	同济大学
S63-P-13	2008年汶川地震和2015年尼泊尔地震的同震地表变形的差异及其成因：有限元数值模拟	胡才博	中国科学院大学
S63-P-14	龙门山断裂带大邑地震空区地应力状态与地震危险性	李兵	应急管理部国家自然灾害防治研究院
S63-P-15	近断层地应力状态与断层发震能力评估	李兵	应急管理部国家自然灾害防治研究院
S63-P-16S	基于GNSS和INSAR数据约束的2021年青海玛多Mw7.4地震同震滑移分布特征研究	肖奎霖	中科院南海海洋所
专题64： 海洋工程地质灾害与海底地貌演化			
S64-P-1	西沙宣德台地周缘多期次海底滑坡分布规律及演化特征	伊善堂	中国地调局广州海洋地质调查局
S64-P-2	基于垂直剖面观测系统的海洋立体观测技术研究	董一飞	中国地调局广州海洋地质调查局
S64-P-3S	结合深度学习的海底麻坑的自动识别及边界检测	刘志豪	上海交通大学
S64-P-4S	南海东沙海底沙波/沙纹共存特征及迁移机制研究	张腾龙	中国海洋大学
S64-P-5S	基于自然电位法的海床内部渗流响应特征试验研究	吴若愚	中国海洋大学
S64-P-6	地球系统科学时代的海洋地质调查展望	韦成龙	同济大学
S64-P-7S	孟加拉湾北部若开海域深水水道演化	魏慧	中山大学
S64-P-8	遥感技术在海洋区域地质调查中的应用——以岛礁区调查为例	韩艳飞	中国地调局广州海洋地质调查局
S64-P-9	一种长期原位监测海底界面演变的新方法：自电位探杆	范智涵	中国海洋大学
S64-P-10S	南海北部大陆边缘非线性内波对雾状层发育的影响	陈天	中国海洋大学
S64-P-11S	粘土含量对波浪作用下海底边坡失稳影响的水槽试验研究	毕研栋	同济大学
S64-P-12S	黏土含量对海底滑坡流动过程影响的水槽实验研究：从流变学角度解释海底滑坡超远流动性	周书	同济大学

S64-P-13S	南海南部北康盆地海山相关的底流沉积特征	梁子君	中山大学
S64-P-14S	南海东北部河流－峡谷－海沟系统对沉积过程的影响	曾乐田	中山大学
S64-P-15S	等深流影响下浊流运动及沉积过程数值模拟分析	孙均楷	中国海洋大学
S64-P-16	风暴过程中滩浅海海床垂向变形高精度压力监测研究	胡聪	中国海洋大学
S64-P-17	深海采矿机履带与海床浅表层沉积物相互作用及地质环境影响的试验研究发展现状及进展	刘媛媛	华北科技学院
S64-P-18S	基于CFD－DEM耦合模拟与室内坍塌试验的海底滑坡运动特性研究	谭小林	同济大学
S64-P-19	海平面振荡、气候变化和海洋学过程协同控制下的深水异重流沉积发育	苏明	中山大学
S64-P-20	内外荷载与地形耦合下海底斜坡失稳研究	马林伟	哈尔滨工程大学
S64-P-21S	流体活动过程对陆坡失稳的控制作用探讨：以南海北部白云陆坡为例	王智娜	中山大学
专题65： 海底流体活动的现代过程与沉积记录			
S65-P-1	渤海湾近海底流体逃逸活动特征研究	陈江欣	中国地调局青岛海洋地质所
S65-P-2	南海北部自生重晶石记录的甲烷渗漏与天然气水合物动态演化的可能联系	冯俊熙	中国地调局广州海洋地质调查局
S65-P-3	墨西哥湾北部冷泉重晶石钡同位素组成特征及控制机理	冯东	上海海洋大学
S65-P-4S	南海南部冷泉渗漏活动沉积物和孔隙水的地球化学响应特征	吴学万	中山大学
S65-P-5S	南海冷泉孔隙水地球化学研究	朱金玉	中国海洋大学
S65-P-6	Elevated Nutrients and Surface Chlorophyll-Ɑ associated With Natural Methane Seeps in the Haima Cold Seep Area of the Qiongdongnan Basin, Northern South China Sea	邸鹏飞	中科院南海海洋所
S65-P-7S	东海冲绳海槽北部硫酸盐和金属驱动的甲烷厌氧氧化作用：来自碳酸盐岩的证据	刘磊	中国海洋大学
S65-P-8	冰期旋回中的南海冷泉活动	李牛	中科院南海海洋所
S65-P-9S	海底冷泉系统中镁钙同位素组成研究进展	黄永诗	上海海洋大学
S65-P-10S	南海北部陆坡九龙甲烷礁烟囱状冷泉碳酸盐岩AS富集机制	陈子恒	上海海洋大学

S65-P-11	南海北部神狐海域天然气水合物富集区浅层沉积物地球化学特征及年代学框架	郭睿波	中国地调局广州海洋地质调查局
S65-P-12	冷泉宏生物的碳利用和营养策略	管红香	中国海洋大学
S65-P-13	中元古代黑色页岩有机质成熟度参数演化特征	马巳翊	中国石油勘探开发研究院
S65-P-14	海底冷泉流体活动对沉积有机碳的贡献：基于ROV的探测设想	冯东	上海海洋大学
S65-P-15	基于拉曼光谱技术获取高温热液喷口流体的原位PH值	李连福	中科院海洋所
S65-P-16S	冷泉环境对甲烷水合物生成动力学的影响	张怡童	中科院海洋所
S65-P-17S	自然界中天然气水合物的结构转变:来自原位实验的证据	马良	中科院海洋所
S65-P-18	海马冷泉碳酸盐岩形成环境及触发机制研究	杨威	天然气水合物勘查开发国家工程研究中心
S65-P-19S	冷泉羽状流声学特征数值模拟	彭文睿	海底科学与探测技术教育部重点实验室
S65-P-20S	南海北部陆坡海底表层沉积物黄铁矿硫同位素组成及其对海洋硫循环的启示	姜新宇	上海海洋大学
S65-P-21	南海北部多类型天然气水合物成藏机制调查研究	孙治雷	中国地调局青岛海洋地质所
专题66： 深渊探索—俯冲带海沟之谜			
S66-P-1S	新不列颠海沟沉积物水提溶解有机质性质及其控制因素	孙琦	上海海洋大学
S66-P-2S	深渊海沟沉积物中活性铁氧化物对有机碳的保存作用	姜伟华	上海海洋大学
S66-P-3	马里亚纳海沟南端俯冲板片上的热液锰沉积	许恒超	中科院深海科学与工程所
S66-P-4S	马里亚纳海沟深渊沉积物中芽单胞菌和绿弯菌的代谢潜力和互作机理研究	杜江涛	上海海洋大学
S66-P-5	基于深渊和全球海洋沉积物研究海表温度和水深对OH－GDGTs指标的影响	肖文杰	上海海洋大学
S66-P-6	日本海沟沉积物有机质降解和甲烷循环	罗敏	上海海洋大学
S66-P-7	马里亚纳海沟挑战者深渊区岩石中一种新的微生物矿化方式研究	柳双权	中科院深海科学与工程所
S66-P-8	Fe Isotopes and Rare Earth Elements Variations in Marine Ferromanganese Deposits	陈顺	中科院深海科学与工程所

S66-P-9S	适用于蛇纹岩化区域甲烷－氢气水合物的热力学稳定性的模型	朱志伟	上海海洋大学
S66-P-10S	海底基岩风化环境砷的生物地球化学循环研究：以菲律宾海盆中央裂谷区为例	杨亚丽	中国科学院大学
S66-P-11S	海沟沉积物中黑碳的来源、分布和埋藏通量	张曦	上海海洋大学
S66-P-12S	马里亚纳海沟深渊硅藻沉积物孔隙水DOM光性和分子特征	郑可心	上海海洋大学
专题67： 南海深水深层油气系统形成机制与分布预测			
S67-P-1	陆丰14－4油区微古地貌研究助力古近系油气开发	向巧维	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-2	珠江口盆地陆丰凹陷深层储层发育控制因素与压裂改造	赵鹏	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-3	珠一坳陷古近系文昌组烃源岩差异发育规律及主控因素	于飒	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-4	先存体系控制下低角度型凹陷深层陡坡带优质储层发育展布特征 ——以珠江口盆地恩平17洼为例	何金海	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-5	珠江口盆地阳江凹陷始新统古湖泊环境、湖盆充填类型与优质烃源岩发育模式	蔡国富	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-6	珠江口盆地A洼陷恩平组岩性圈闭识别方法	贾连凯	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-7	陆丰南地区古近纪幕式裂陷构造转换及其对沉积体系的控制	沈梦蓉	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-8S	珠江口盆地白云凹陷泥岩物源与沉积环境特征及其对有机质富集的影响	陈玥	同济大学
S67-P-9	致密砂岩储层成岩差异演化对油气成藏影响研究 ——以陆丰凹陷陆丰A地区文三段为例	阙晓铭	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-10	珠江口盆地开平主洼南部斜坡带古近系原油成因来源及成藏特征	马宁	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-11	珠江口盆地深水区白云凹陷超压底辟成藏作用及其勘探意义	柳保军	中海油深海开发有限公司
S67-P-12	南海北部深水区烃源岩发育条件及主力气源岩研究	陈聪	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-13	珠江口盆地渐新世古水深恢复及其意义	舒梁锋	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-14	珠江口盆地首个潜山油气田惠6－6成藏特征和富集机理	牛胜利	中海油深海开发有限公司
S67-P-15	珠江口盆地西江33洼深层有利储层发育主控因素	马永坤	中海油（中国）有限公司深圳分公司

S67-P-16	流体体积模量反演方法研究及其在南海深水区应用	朱焱辉	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-17	珠江口盆地惠西南地区凝析油气差异成藏模式分析	杨兴业	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-18	珠江口盆地西江凹陷恩平组物源转换与沉积充填演化	汪晓萌	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-19	断陷盆地缓坡带源－断－砂耦合控藏研究	贺勇	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-20	基于深度学习的储层定量预测技术及其在南海北部的应用	孟昶	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S67-P-21	珠江口盆地白云凹陷古近纪构造变形特征及勘探意义	王福国	中海油（中国）有限公司深圳分公司
专题68： 深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律			
S68-P-1	准噶尔盆地阜康凹陷东部天然气成因类型及成因——对低成熟煤成气勘探的启示	袁苗	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-2	柴达木盆地英雄岭地区页岩油富集规律与成藏机理研究	贾鹏	中国石油勘探开发研究院
S68-P-3	岩石物理驱动的烃源岩TOC含量地震反演方法	肖张波	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S68-P-4	准噶尔盆地上三叠统白碱滩组烃源岩生烃潜力研究	王瑞菊	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-5S	川中古隆起北斜坡下寒武统沧浪铺组沉积储层特征	邓豪爽	成都理工大学
S68-P-6	三氧同位素指标在古老地层碳酸盐岩中的初步应用	段鹏珍	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-7	四川盆地震旦－寒武系天然气成因探讨	齐雪宁	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-8	基于KNN分类算法常规测井与电成像测井综合识别微生物碳酸盐岩岩相	李昌	中国石油杭州地质研究院
S68-P-9	四川盆地九龙山地区构造演化及其对震旦系灯影组成藏的控制作用	姜华	中国石油股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-10	鄂尔多斯盆地中生代构造沉积响应及矿产资源效应	李元昊	西安石油大学
S68-P-12	四川盆地灯影组二段葡萄花边白云岩成因与成储机理研究	翟秀芬	中国石油勘探开发研究院
S68-P-13	深层碳酸盐岩储层地震预测技术研究	张明	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S68-P-14	甲烷团簇同位素在天然气水合物气源研究的应用	宁子杰	中国地调局广州海洋地质调查局

S68-P-15	南海北部恩平凹陷断裂体系对油气富集的控制作用	朱定伟	中海油(中国)有限公司深圳分公司
S68-P-16	川中古隆起受断裂控制的多期热流体活动及其储层改造效应	潘立银	中国石油杭州地质研究院
S68-P-17	一种陆相深层页岩油地质甜点地震预测方法——以中国东部南堡凹陷为例	刘玲利	中国石油杭州地质研究院
S68-P-18S	数值模拟车镇凹陷生烃作用导致的孔压变化及对油气成藏的影响	王明文	武汉大学
专题69： 深水沉积的源汇过程及其能源环境效应			
S69-P-1S	冲绳海槽中中新世以来沉积通量研究	王海芹	自然资源部第二海洋所
S69-P-2	珠江口盆地西江主洼地区构造转换背景下的层序地层与沉积充填特征	黄鑫	中海油（中国）有限公司深圳分公司
S69-P-3	拆离断层在珠江口盆地白云凹陷断坳演化阶段的作用及其沉积响应	聂鑫	中国地调局广州海洋地质调查局
S69-P-4S	南海琼东南盆地深水区沉积物物源特征及输运机制	华苑君	中山大学
S69-P-5S	沉积物碎屑锆石在恢复盆地母岩类型中的作用——以东沙隆起为例	赵晓逸	同济大学
S69-P-6S	峡谷地形下浊流输运微塑料过程及其沉积控制因素研究	谢晓天	中国海洋大学
S69-P-7S	南海东北部非线性内波及其沉积物输运通量的季节差异性	阮威涵	同济大学
S69-P-8S	南海琼东南盆地早渐新世锆石U－Pb年龄及其对物源限定和构造响应	杨允柳	中国地质大学（武汉）
S69-P-9S	裂谷萎缩期的深水沉积特征及意义：来自中国东部灵山岛的记录	张济东	中国石油大学（华东）
S69-P-10	琼东南盆地向上游方向单项迁移水道的结构、控制因素及演化历史	李俞锋	西南科技大学
S69-P-11	转换构造作用与深水沉积体系－以西非科特迪瓦盆地研究为例	李全	中海油国际公司
S69-P-12	珠江口盆地物源转换过程与成因机制：对古珠江形成演化的启示	龚承林	中国石油大学（北京）
S69-P-13	应用沉积正演和地震正演研究浊流和滑坡在深水沉积中的作用及其地震识别标志	万力	中国石油勘探开发研究院
S69-P-14	南海东北部陆坡脚至深海平原的超临界浊流底形	王毕文	同济大学
S69-P-15	南海北部深水区古近系沉积物源汇过程及古地理意义	向绪洪	中海油（中国）有限公司

专题70： 主动源海底地震技术应用与发展			
S70-P-1	不稳定环境下基于十字交叉定位的OBS时钟漂移校正方法	李丽青	中国地调局广州海洋地质调查局
S70-P-2	角度域四分量主动源OBS数据高斯束偏移成像	石星辰	中科院精密测量科学与技术创新研究院
S70-P-3S	南海荔湾凹陷OBS测线速度建模与成像	刘雯	同济大学
S70-P-4S	OBS多分量数据与拖缆数据联合全波形反演方法与其在南海深水区的应用	杨涛	同济大学
S70-P-5S	基于Scholte波频散特性的海底横波速度反演	江佳萌	河海大学
S70-P-6S	基于SIMSIAM和RNN的海底地震数据重构	张嘉玮	河海大学
S70-P-7S	基于多层级的SWIN TRANSFORMER的海洋地震数据去噪方法	陈金新	浙江大学
专题72： 深海矿产与多圈层相互作用			
S72-P-1	西太平洋嘉偕平顶山群海岛演化沉积环境特征	韦振权	中国地调局广州海洋地质调查局
S72-P-2	浅地层剖面数据在海底稀土矿产资源勘查中的应用	马金凤	中国地调局广州海洋地质调查局
S72-P-3	西菲律宾海中央裂谷带铁锰结核、结壳地球化学特征及成因	周娇	中国地调局广州海洋地质调查局
S72-P-4	面向多金属结核资源评价的大数据挖掘与融合技术探索	李维禄	国家海洋信息中心
S72-P-5	基于聚类分析的西太平洋粘土矿物分布特征研究	舒雨婷	国家海洋信息中心
S72-P-6	西太平洋麦哲伦海山群富钴结壳微区年代地层学及古海洋学	刘实佳	中国地调局广州海洋地质调查局
S72-P-7	西南印度洋中脊#26段区域地质特征及其对超慢速扩张脊超热液活动的启示	董振	自然资源部南海调查中心
S72-P-8	南大西洋中脊洵美矿化区微构造识别及对成矿的制约	李兵	自然资源部第一海洋所
S72-P-9	西太平洋深海富稀土沉积年代学研究	毕东杰	自然资源部第一海洋所
S72-P-10S	印度洋沃顿海盆深海沉积物中稀土元素的迁移和富集机制	李佳	自然资源部第一海洋所
S72-P-11	鱼牙核心结核中的稀土元素迁移及其对深海稀土成矿的指示	沈芳宇	自然资源部第一海洋所

S72-P-12	西太平洋中中新世气候转型的沉积记录	王海峰	中国地调局广州海洋地质调查局
S72-P-13S	海底铁锰结壳对铂族元素超常富集机制	李政坤	中山大学
专题73： 南海多圈层地质动力学过程：观测与模拟			
S73-P-1	南海北部洋－陆边界深部结构与大陆岩石圈破裂	李春峰	浙江大学
S73-P-2S	南海洋脊跃迁深部速度结构特征与机制探讨	全余杰	中科院南海海洋所
S73-P-3S	南海海盆区沉积过程 以及 现代湄公河沉积物的输入对南海的影响	王菲	上海交通大学
S73-P-4	南海中央海盆后扩张期岩浆活动特征与活动期次分析	杜文波	中国地调局广州海洋地质调查局
S73-P-5S	南海北部珠江口盆地裂后期正断层三维空间特征与几何学研究	刘远航	中科院深海科学与工程所
S73-P-6	北部湾盆地海中凹陷渐新世末的反转构造特征及其动力学机制	吴婵	中国地调局广州海洋地质调查局
S73-P-7	中建南盆地后扩张期T5和T3不整合面的发育特征及晚中新世以来的构造动力学研究	殷征欣	自然资源部南海调查中心
S73-P-8	南海西沙群岛宣德环礁断裂时空展布及成因机制	徐子英	中国地调局广州海洋地质调查局
S73-P-9S	多幕拉伸过程诱发被动陆缘超伸展结构形成、废弃和迁移的数值模拟研究：以南海边缘海盆地为例	李瑞隆	中科院南海海洋所
S73-P-10S	琼东南盆地－珠江口盆地新生代构造沉降特征及成因	赵学婷	浙江大学
S73-P-11	南海初始破裂方式的地球物理、钻探和实验证据	孙珍	中科院南海海洋所
S73-P-12S	微板块内受拆离断裂控制的裂后岩浆活动：以西沙隆起为例	望畅	中国地质大学（武汉）
S73-P-13S	莺歌海盆地新生代构造沉积演化及动力学机制分析	蒋国忠	广东海洋大学
S73-P-14S	岩浆作用对转换断层演化的影响研究：以大西洋脊21.5°N区域为例	陈占营	中科院南海海洋所
S73-P-15S	湛江硇洲岛新生代玄武岩对南海西北部陆缘岩浆活动的启示	徐进	广东海洋大学
S73-P-16S	南海洋壳结构与岩浆动态增生过程	曾程辉	中科院南海海洋所
专题74： 地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟			

S74-P-1S	利用地震次声波约束震源属性的可行性研究	杨明翰	南京大学
S74-P-2S	基于地震台阵及海底光缆分布式声学观测的台风激发地脉动特征研究	方孙珂	浙江大学
S74-P-3S	由涌浪激发的地脉动信号的识别与定位研究	陈永焱	中国科学技术大学
S74-P-4S	日本西南部深海单频微地动能量特征及激发机制研究	黄斌	同济大学
S74-P-5	基于多源观测数据的大陆边缘单频和双频微地震激发机理研究	郭桢	同济大学
S74-P-6S	基于海底电缆分布式声学传感的流场反演研究	何润敬	浙江大学
S74-P-7	反射地震揭示复杂地形所致海洋混合增强	唐群署	浙江大学
S74-P-8	南海深层全日内潮参数亚谐频不稳定的观测研究	胡倩文	中国海洋大学
S74-P-9S	高层建筑中地震波速与共振频率对地震动响应的异同	秦林鹏	中国地质大学（北京）
专题75： 深时气候对金属成矿和有机质富集的控制作用			
S75-P-1S	冰融期气候控制中国主要烃源岩有机碳富集	梅晓敏	中科院地质与地球物理所
S75-P-2	热液驱动下硅硼钠石碱性矿物成因富集及其对储层的影响	杨磊磊	中国石油大学（北京）
S75-P-3S	大洋缺氧事件对钼成矿的贡献	吴思璠	中科院海洋所
S75-P-4	全球气候环境控制下的陆相湖盆有机质富集机理——以中国渤海湾盆地东濮凹陷为例	姜福杰	油气资源与探测国家重点实验室
S75-P-5	寒武纪黑色岩系型磷成矿作用研究进展	左鹏飞	河南理工大学
S75-P-6S	贵州松林剖面下寒武富多金属黑色页岩的地球化学特征及其对镍钼富集成矿的指示	杨柳	南京大学
S75-P-7S	中元古代早期海洋铁化缺氧上升流系统控制了海洋氧化条件的时空非均质性	冶明泽	中国石油勘探开发研究院
专题76： 特提斯地球系统演化与油气富集效应			
S76-P-1	利用古地磁学方法恢复钻孔岩芯原始方位可靠性的探讨——以塔里木盆地钻井为例	谌微微	同济大学
S76-P-2S	天然气充注时间和烃源岩生烃演化对天然气成因的指示——以四川盆地东部中二叠统为例	朱彦先	中国地质大学（武汉）

S76-P-3S	基于CNN－BIATTENTION－BILSTM算法的四川盆地东部嘉陵江组储盖组合预测	陈伟	成都理工大学
S76-P-4S	阿联酋西南部中白垩统MISHRIF组储层特征及成因机制研究	马小刚	成都理工大学
S76-P-5S	志靖－安塞地区延长组包裹体特征及油气充注史 ——以长71、72亚段为例	吴文杰	长江大学
S76-P-6	塔里木盆地顺托果勒低隆起走滑断裂带流体活动时空分布及油气地质意义	高键	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S76-P-7	四川盆地东南部地区茅口组一段眼球状灰岩成因机理	韩月卿	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S76-P-8	深层页岩裂缝建模及活化潜力评价——以四川盆地永川页岩气藏为例	卞昌蓉	中石化股份有限公司石油勘探开发研究院
S76-P-9	沉积－成岩过程中多类型流体对储层矿物演化的持续控制作用	杨磊磊	中国石油大学（北京）
S76-P-10S	东喜马拉雅构造结形成时间快速隆升时期——来自缅甸中央盆地沉积学的证据	鲁毅	同济大学
S76-P-11	古特提斯东缘上二叠统大隆组页岩中石英类型与成因：对深层页岩气勘探的影响	高平	中国地质大学（北京）
S76-P-12	四川盆地五峰组—龙马溪组深层页岩气富集特征与勘探方向	聂海宽	页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室
专题77： 事件沉积记录：解析地球圈层相互作用中的事件发生过程及触发机理			
S77-P-1S	川西小金河古堰塞湖沉积中软沉积物变形构造研究	许玲玲	成都理工大学
S77-P-2	过去~1630年九寨沟自然保护区植被演替对强震事件的快速响应	徐红艳	中国地震局地质所
S77-P-3	IODP岩芯揭示南海北部0.8－0.4 Ma期间滑坡事件沉积模式	卢银	同济大学
S77-P-4S	南海北部青山咀全新世滨岸贝壳层沉积地球化学特征及其对事件沉积的指示意义	刘佳威	中山大学
S77-P-5S	Late Holocene Typhoon Activity Affecting Taiwan Reconstructed Using Hyperspectral Imaging and Xrf Core Scanning	Joffrey BERTAZ	同济大学
S77-P-6S	川中地区北部下寒武统沧浪铺组一段风暴岩特征及沉积地质意义	田立洲	成都理工大学
S77-P-7	鄂尔多斯盆地晚三叠世事件沉积类型及特征—— 来自岩心及露头的证据	李元昊	西安石油大学
S77-P-8	河谷区高能溃决洪水沉积与扇三角洲沉积的区别	刘维明	中科院、水利部成都山地灾害与环境所
S77-P-9	末次冰消期黄河入淮事件的地球化学识别方法	张磊	中国地质科学院地质力学所

S77-P-10S	海平面和气候控制下的南海北部70Ka以来的浊流沉积	赵璇	中科院南海海洋所
S77-P-11	东南极普里兹湾源－汇沉积过程及未来大洋发现计划（IODP）钻探目标	黄晓霞	中科院
S77-P-12	渐新世梁家楼地区深水沉积过程与地层记录	李宏伟	中国石油勘探开发研究院
S77-P-13	中国邻近海区部分极端事件的沉积记录	徐方建	海南大学
S77-P-14	晚第四纪渤海南岸海侵历史与沉积演化过程	张欣	中国地调局青岛海洋地质所
S77-P-15S	全新世长江口沉积物微生物膜脂GDGTS的高分辨率古环境重建	袁梦	上海海洋大学
S77-P-16	冲绳海槽中部陆坡区东亚冬季风和物源演化的沉积记录	李德勇	中国海洋大学
S77-P-17	冲绳海槽西南端岩芯能够揭示近千年来的地震与气候事件吗？	朱博文	中国地质大学（武汉）
S77-P-18	北部湾东部全新世早中期沉积记录及其古环境演变	瞿洪宝	海南省海洋地质资源与环境重点实验室
S77-P-19S	华南埃迪卡拉纪黑色页岩中的氧化还原敏感元素富集程度与广泛海洋缺氧	郝禹霏	中科院海洋所
S77-P-20	日本中部侏罗纪增生楔中的深海二叠系－三叠系界线剖面特征	丁望	中国地调局广州海洋地质调查局
S77-P-21S	科林斯裂谷晚更新世事件沉积记录的粒度见解	康文君	中国地质大学（北京）
S77-P-22	理塘断裂5万年以来的古地震记录及大震复发行为研究	钟宁	中国地质科学院地质力学所
专题78： 数字驱动下的深时地球科学研究			
S78-P-1S	结构化知识抽取与融合	郭志新	上海交通大学
S78-P-2S	微生物岩薄片图像长尾数据发掘及其应用	王斌	成都理工大学
S78-P-3	西太平洋边缘海大洋红层的时空分布及成因	马鹏飞	同济大学
S78-P-4S	基于岩浆活动和差异沉降回溯的拗陷盆地古地貌恢复	余雄飚	中国地质大学（武汉）
S78-P-5S	制约地幔交代作用的全球分布：来自针对地幔单斜辉石化学成分的机器学习研究	秦奔	浙江大学
S78-P-6	归档、存储与共享的挑战：5.4亿年以来高分辨率全球气候模拟数据集	胡永云	北京大学

S78-P-7S	不同气候态下，热带地表经向温度梯度会发生变化吗？	魏梦宇	北京大学
S78-P-8S	Carbonate－Mobile－Net: 基于热力图蒸馏的移动端深度网络模型	马英杰	成都理工大学
S78-P-9	长期观测记录揭示了自1960年以来全球海洋最小含氧带的扩张	周韫韬	上海交通大学
S78-P-10S	Autompm: Automated Machine Learning for Mineral Prospectivity Prediction	陈艺萍	上海交通大学
专题79： 重大环境演变与能源资源富集			
S79-P-1S	Putative Algal Microfossils from the Ediacaran Doushantuo Formation	Princess Aira Buma-at	University College London
S79-P-2	塔里木盆地上震旦统早期微生物白云岩古海洋环境记录	张岩	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S79-P-3	铜和锌同位素恢复塔里木盆地早寒武古海洋环境	艾依飞	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S79-P-4S	对塔里木盆地北部奥陶系油气藏形成与演化的新认识	曾清秀	中科院地质与地球物理所
S79-P-5S	南海天然气水合物成藏与气源演化——来自自生碳酸盐岩的约束	王子晨	中科院地质与地球物理所
S79-P-6S	波斯湾盆地南岸白垩纪OAE2对储－盖体系耦合控制效应分析	李柯然	成都理工大学
S79-P-7	晚寒武纪－早奥陶纪沉积环境变化及其与生物灭绝—发展变化的关系	边雷博	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S79-P-8S	中国东北松辽盆地白垩系矿物学演化：对热史和古环境演化的指示意义	董甜	中国地质大学（北京）
S79-P-9S	钡同位素显示晚寒武世SPICE事件中的生产力变化	周建林	南京大学
S79-P-10	华南扬子地台早寒武世陆棚内凹陷古水文条件演变及其对有机质富集的控制机制：来自岩石学和元素地球化学限制	肖文摇	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S79-P-11S	Marinoan冰期结束时海洋硫化的新证据：来自华南南沱组的研究	曾杨丹杰	成都理工大学
专题80： 海岸带动力地貌过程与演变机制			
S80-P-1S	调水调沙期间黄河口异重流输沙过程	涂德耀	中国海洋大学
S80-P-2S	基于贝叶斯网络算法对河口充填演变规律的分析和预测——伶仃洋河口 湾为例	于洪泽	中山大学
S80-P-3	台风“塔巴”影响下的东沙海滩动力地貌过程	郭俊丽	自然资源部第二海洋所

S80-P-4S	基于微观侵蚀实验的表层沉积物侵蚀特性研究 ——以黄河废弃河口水下三角洲为例	林超然	中国海洋大学
S80-P-5S	海岸潮滩泥沙分选过程与沉积层理演变机制研究	吴一鸣	河海大学
S80-P-6S	鸭绿江河口陆源微塑料输运扩散机制研究	王谦	大连海事大学
S80-P-7S	基于LPT模型的宁波－舟山港群海域淤积泥沙溯源研究	杜朝鹏	大连海事大学
S80-P-8S	鸭绿江中游微塑料的沉积记录	范晓雪	大连海事大学
S80-P-9S	码头下方岸坡变形和桩基水平位移研究	宋学鹏	大连海事大学
S80-P-10S	大亚湾百年尺度沉积物岩芯粒度特征变化研究	张书玮	南方科技大学
S80-P-11S	长江口表层沉积物中底栖有孔虫组合环境指示意义及低氧指标	袁洁琼	中国地质大学（北京）
S80-P-12S	风暴影响下废弃黄河三角洲近底沉积物输运特征研究	高涵	中国海洋大学
S80-P-13S	水沙驱动下盐沼湿地有机碳累积与输运数值模拟研究	王雨晗	河海大学
S80-P-14S	极端洪水事件下山溪性强潮河口地貌演变规律	杜益晓	大连海事大学
S80-P-15S	气候变化驱动百年来北极陆架沉积速率改变	林福东	中国海洋大学
S80-P-16	海洋负荷对海岸变形影响的多时相 INSAR 证据：以中国潮汕平原为例	黄昭权	厦门大学
S80-P-17S	长江水下三角洲及邻近陆架近20年沉积速率变化及对流域人类活动的响应	程鹏	中国海洋大学
S80-P-18	潮控河口湾顶分流河口浅滩延伸规律和机制 – 以珠江东三口门浅滩为例	邓俊杰	中山大学
S80-P-19S	长江口及东海内陆架现代生物扰动构造定量表征	张鑫	中国海洋大学
S80-P-20	海平面上升影响钱塘江河口动力地貌演变的数值模拟	谢东风	浙江省水利河口研究院
S80-P-21S	潮滩蟹类与盐沼植被互馈响应的现场观测研究	陈雪	河海大学
S80-P-22S	人造洪水事件中黄河颗粒态微量金属从水库到河口的搬运、富集与迁移	陈竟博	中国海洋大学
S80-P-23	河口潮滩季节性冲淤变化格局及其控制机制	王爱军	自然资源部第三海洋所

S80-P-24S	两种盐沼前缘植被对水流能量耗散以及悬沙浓度的影响评估	刘兵	河海大学
S80-P-25S	半封闭中潮型海岸潟湖内涨潮三角洲演化过程探讨：现代沉积分析与沉积过程数值模拟的启示	李欣	中国石油大学（华东）
S80-P-26S	静态岬湾模型的优化与应用	华文豪	鲁东大学
S80-P-27	海岸潮滩前缘盐沼植被簇团形态特征与演化机制研究	周曾	河海大学
S80-P-28S	历史时期江苏沿海风暴潮灾害时空分布特征	李亮	南京大学
专题82： 古亚洲洋演化及其环境效应			
S82-P-1	华北克拉通南缘中元古界蓟县系同位素地球化学特征及其地质意义	谭聪	中国石油勘探开发研究院
S82-P-2	南天山山前新构造变形的古地磁约束及其对塔里木盆地中新世增强干旱化的启示	乔庆庆	中科院新疆生态与地理所
S82-P-3S	佳木斯地块三叠纪花岗岩的成因及地质意义	白文静	吉林大学
S82-P-4S	华北克拉通三叠纪碱性岩带揭示岩石圈地幔不均一性	刘旭	中科院地质与地球物理所
S82-P-5	中生代晚期以来亚洲大地形演化的孢粉学证据	苗运法	中科院西北生态环境资源研究院
S82-P-6S	中国阿尔泰－东准噶尔汇聚拼贴：来自额尔齐斯增生杂岩的证据	甘敬民	中科院新疆生态与地理所
S82-P-7	东天山晚古生代地壳多重增生与成矿作用相应	韩春明	中科院地质与地球物理所
S82-P-8	古亚洲洋俯冲形成安第斯型高原驱动华北二叠纪干旱化	宋东方	中科院地质与地球物理所
S82-P-9	西南中亚造山带泥盆纪弧－弧汇聚的识别：来自四射珊瑚生物古地理多元分析的证据	张孟	中科院新疆生态与地理所
S82-P-10	平行于海沟洋中脊俯冲：解析新疆西准噶尔－天山地区志留纪－泥盆纪造山带结构演化	张继恩	中科院地质与地球物理所
S82-P-11	中亚造山带南缘（敦煌赤金地区）晚二叠－中三叠世岛弧变质作用：对古亚洲洋最终闭合的限定	王浩	中科院新疆生态与地理所
S82-P-12S	增生杂岩记录了强烈的俯冲侵蚀：以黑龙江增生杂岩为例	徐梦雨	中国科学院大学
S82-P-13	东北亚大陆边缘白垩纪中期的构造转换及其影响	刘恺	中国地质大学（北京）
S82-P-14	中亚造山带南缘东天山康古尔俯冲杂岩二叠纪－三叠纪构造变形历史研究	毛启贵	中科院新疆生态与地理所

S82-P-15S	新疆西准噶尔晚石炭世高镁富铌岩浆岩：对中亚造山带南部多洋脊俯冲的启示	刘鹏德	桂林理工大学
S82-P-16	古亚洲洋地幔低TH/U特征属性及动力学机制	刘希军	桂林理工大学
S82-P-17	敦煌构造带南部晚古生代俯冲增生杂岩：对中亚造山带南缘大地构造格局的意义	石梦岩	河南理工大学
S82-P-18S	环罗迪尼亚超大陆俯冲的构造演化：来自新疆中天山地块新元古代花岗质岩浆活动证据	宋宇嘉	桂林理工大学

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 1：三楼1号会议室				7月7日下午
专题17：特提斯演化与东南亚环形俯冲系统形成（4） 主持人：褚杨				
14:00-14:15	S17-O-19	九州－帕劳海脊南段的地壳结构及岩浆作用	张洁	自然资源部第二海洋所
14:15-14:30	S17-O-20	南海海盆北部陆缘张－破裂过程的地震学研究	郭晓玉	中山大学
14:30-14:45	S17-O-21	南海下方地幔流场：基于海底地震观测的各向异性约束（邀请报告）	孔凡圣	自然资源部第二海洋所
14:45-15:00	S17-O-22	南海北部陆缘及海盆多期次岩浆作用：来自地震和重力数据的联合约束	张路	中山大学
15:00-15:15	S17-O-23	南海北部岩石圈结构研究及其对南海打开机制的启示	潘宗栋	中山大学
15:15-15:30	S17-O-24	河流系统与沿岸漂移对重矿物来源和运输的影响——以马来西亚西半岛为例	Quek Long Xiang	中国科学院大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 2：三楼2号会议室				7月7日下午
专题74： 地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟 主持人：薛梅				
14:00-14:15	S74-O-1	海洋持续定点震动源研究进展（邀请报告）	倪四道	中科院精密测量科学与技术创新研究院
14:15-14:30	S74-O-2	2020年12月22日青海囊谦低入射角火流星事件 ——来自地震学的约束	郝金来	中科院地质与地球物理所
14:30-14:45	S74-O-3	2022年汤加火山喷发引起的全球大气次声波、重力波和二氧化硫排放	白玲	中科院青藏高原所
14:45-15:00	S74-O-4	海洋T波的数值模拟及激发机制研究—以印度洋为例	黄建平	中国石油大学（华东）
15:00-15:15	S74-O-5	利用OBS低频噪声约束海底底流方向	吴越楚	南方科技大学
15:15-15:30	S74-O-6	南海东北部中尺度反气旋涡对的精细结构和湍流混合特征	冯英辞	中科院南海海洋所
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 3：三楼3号会议室				7月7日下午
专题81： 印太边缘海极端热力事件及其生态和气候效应（2） 主持人：肖福安				
14:00-14:15	S81-O-7	长期数值模拟印尼贯穿流路径及其变化	姚凤朝	中山大学
14:15-14:30	S81-O-8	南海－菲律宾海温度变化对东亚寒潮影响范围的调控作用	梁宇霆	中山大学
14:30-14:45	S81-O-9	阿拉伯海增温对夏季风季节内降水的影响机制	李保生	自然资源部第二海洋所
14:45-15:00	S81-O-10	南海冬季SST的主模态特征及其形成机制	梁 湛林	中科院南海海洋所
15:00-15:15	S81-O-11	西风带对孟加拉湾热带气旋引起的青藏高原经向水汽输送的影响	周晓莉	复旦大学
15:15-15:30	S81-O-12	南海西北部夏季中深层西边界流与沉积响应	麦洪涛	中山大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 4：三楼上海厅				7月7日下午
专题59： 气候变化与人类活动对滨海湿地碳汇功能影响及增汇对策（2） 主持人：叶思源				
14:00-14:15	S59-O-7	海岸带蓝碳精准核算与减排增汇技术（邀请报告）	韩广轩	中科院烟台海岸带所
14:15-14:30	S59-O-8	辽河口“退塘还湿”修复区生态系统CO_2和CH_4交换及其环境调控	邢庆会	国家海洋环境监测中心
14:30-14:45	S59-O-9	不同时间尺度下滨海湿地沉积碳汇演化研究	赵广明	中国地调局青岛海洋地质所
14:45-15:00	S59-O-10	蓝碳生态系统调控热带河口海－气二氧化碳交换和近海酸化	苏剑钟	海南大学
15:00-15:15	S59-O-11	滨海湿地隐藏碳汇	陈小刚	西湖大学
15:15-15:30				
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 5：三楼5号会议室				7月7日下午
专题65： 海底流体活动的现代过程与沉积记录（2） 主持人：胡钰				
14:00-14:15	S65-O-7	冲绳海槽中段冷泉碳酸盐岩记录的复杂流体活动（邀请报告）	李昂	中国地调局青岛海洋地质所
14:15-14:30	S65-O-8	冷泉区微生物介导的金属驱动的甲烷厌氧氧化机制研究	肖曦	中国地调局广州海洋地质调查局
14:30-14:45	S65-O-9	热液硫化物中矿物Fe－S同位素的共变关系研究	黄晶	中科院海洋所
14:45-15:00	S65-O-10	南海深水珊瑚发育阶段及其对底流演变的响应	陈忠	中科院南海海洋所
15:00-15:15	S65-O-11	深海热液/冷泉生物群的汞同位素特征及汞来源分析	袁晶晶	天津大学
15:15-15:30	S65-O-12	琼东南盆地含气流体活动发育特征及其与渗漏型天然气水合物动态成藏关系研究	张伟	中国地调局广州海洋地质调查局
15:30-15:50	茶歇			
分会场 6：三楼6号会议室				7月7日下午
专题68： 深部成烃成储成藏过程示踪评价与油气富集规律（3） 主持人：韩剑发				
14:00-14:15	S68-O-13	四川盆地上震旦统灯影组储层特征与成因分析	周慧	中国石油勘探开发研究院
14:15-14:30	S68-O-14	超深走滑断裂内部结构刻画技术及应用	常少英	中国石油杭州地质研究院
14:30-14:45	S68-O-15	灰岩岩溶界面识别方法	李闯	中国石油勘探开发研究院西北分院
14:45-15:00	S68-O-16	岩石物理分析在碳酸盐岩小尺度储层预测中的应用	王振卿	中国石油勘探开发研究院西北分院
15:00-15:15	S68-O-17	基于纳米CT扫描及核磁共振技术的微观孔隙结构对致密油赋存影响分析 —以鄂尔多斯盆地姬塬长8储层为例	宋星雷	西北大学
15:15-15:30	S68-O-18	珠江口盆地陆丰凹陷中生界花岗岩潜山储层发育主控因素及成藏模式	何雁兵	中海油（中国）有限公司深圳分公司
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 7：三楼7号会议室				7月7日下午
专题41：基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究（2） 主持人：董良				
14:00-14:15	S41-O-7	锋面对表层沉积物碳埋藏的空间区划功能	刘东艳	华东师范大学
14:15-14:30	S41-O-8	深海极端环境微生物代谢过程的示踪与量化（邀请报告）	庄光超	中国海洋大学
14:30-14:45	S41-O-9	基于长期原位观测数据的台西南冷泉区域甲烷释放通量计算	杜增丰	中科院海洋所
14:45-15:00	S41-O-10	南海北部微生物诱导碳酸盐沉淀过程对碳循环的影响	胡哲	同济大学
15:00-15:15	S41-O-11	近海细菌藿多醇对低缺氧和氮循环的指示	段丽琴	中科院海洋所
15:15-15:30	S41-O-12	南海鲸落生态的发现与研究	谢伟	中山大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 8：三楼8号会议室				7月7日下午
专题82： 古亚洲洋演化及其环境效应（3） 主持人：周建波				
14:00-14:15	S82-O-13	以古论今：不规则的大洋如何关闭？（邀请报告）	王涛	中国地质科学院地质所
14:15-14:30	S82-O-14	基于挠曲模拟的渐新世天山古地形重建研究	程丰	北京大学
14:30-14:45	S82-O-15	晚中新世塔里木盆地沙漠变绿与偏心率最小值和东亚季风减弱有关	聂军胜	兰州大学
14:45-15:00	S82-O-16	石炭纪－三叠纪古亚洲洋构造古地磁研究及其古地理演化新认识	任强	成都理工大学
15:00-15:15	S82-O-17	显生宙植被登陆对全球气候的影响	李素	兰州大学
15:15-15:30	S82-O-18	阿尔金始新世红粘土记录的副特提斯海演化历史	郭本泓	兰州大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 9：三楼9号会议室				7月7日下午
专题51： 三泵集成驱动的极地碳汇过程与机制 主持人：汪岷				
14:00-14:15	S51-O-1	北极多尺度海冰演化的地质记录及其沉积碳汇意义	胡利民	中国海洋大学
14:15-14:30	S51-O-2	人为碳沿南极陆架向深海输送并引发快速酸化	吴瀛旭	集美大学
14:30-14:45	S51-O-3	全球变暖背景下硅藻增加的北极峡湾	方富韬	上海交通大学
14:45-15:00	S51-O-4	极地海洋浮游病毒多样性及其碳汇潜能	韩梅傲雪	中国海洋大学
15:00-15:15	S51-O-5	太平洋水在陆坡和海盆输运变化及其对海洋碳汇作用的影响	罗晓凡	天津大学
15:15-15:30	S51-O-6	活性铁有助于南极海洋沉积有机碳的长期保存么？	赵军	自然资源部第二海洋所
15:30-15:50	茶歇			
分会场 10：二楼悦贵厅1号				7月7日下午
专题72： 深海矿产与多圈层相互作用（2） 主持人：孙晓明				
14:00-14:15	S72-O-7	深海关键金属的资源潜力评价（邀请报告）	任向文	自然资源部第一海洋所
14:15-14:30	S72-O-8	西北印度洋海底风暴观测研究	陈坚	自然资源部第三海洋所
14:30-14:45	S72-O-9	皮加费塔海盆多金属结核成矿响应于南极冰盖演化	邓贤泽	中国地调局广州海洋地质调查局
14:45-15:00	S72-O-10	太平洋多金属结核与周围沉积物细菌群落结构及成矿作用	何心怡	上海交通大学
15:00-15:15	S72-O-11	Saint Helena地幔柱对南大西洋中脊热液成矿作用的影响	张侠	青岛海洋科技中心
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 11：二楼悦贵厅2号				7月7日下午
专题11：海洋极端环境微生物及其地质效应（3） 主持人：李江涛				
14:00-14:15	S11-O-13	无氧环境中微生物诱导铁氧化物矿物转化的分子机制（邀请报告）	刘娟	北京大学
14:15-14:30	S11-O-14	富铁微生物垫中病毒参与的铁代谢	王龙	深圳大学
14:30-14:45	S11-O-15	深部生物圈纯培养病毒及其与宿主相互作用关系研究	牛京菁	厦门大学
14:45-15:00	S11-O-16	极端环境微生物在典型海洋脊椎动物浮游－底栖生活史转变过程中的调控作用	杨金龙	上海海洋大学
15:00-15:15	S11-O-17	极地海洋假交替单胞菌环境应答的转录后调控研究	廖丽	中国极地研究中心
15:15-15:30	S11-O-18	环境微生物代谢流技术开发与应用	吴伟超	上海海洋大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 12：二楼悦贵厅3号				7月7日下午
专题24：重大气候演变期的陆表地质过程和海—陆物质循环 主持人：杨江海				
14:00-14:15	S24-O-1	钻探揭示的黄河贯通三门峡过程与机制（邀请报告）	王鑫	兰州大学
14:15-14:30	S24-O-2	上新世以来北太平洋记录的西风带动力学机制	仲义	南方科技大学
14:30-14:45	S24-O-3	墨西哥湾北部中中新世深海扇源－汇系统研究及其区域构造－古海流演化意义	徐杰	中国地质大学（北京）
14:45-15:00	S24-O-4	大陆晚古新世－早始新世典型古气候湿热事件的粘土矿物学记录	王朝文	中国地质大学（武汉）
15:00-15:15	S24-O-5	末次冰消期以来东海内陆架沉积物化学风化特征及控制机制	兰凯	中国海洋大学
15:15-15:30	S24-O-6	瓜德鲁普—乐平转折期气候快速波动:来自上扬子碳酸盐岩酸不溶物风化指标的启示	孙诗	成都理工大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 13：二楼悦泰厅1号				7月7日下午
专题42：大气气溶胶碳循环 主持人：罗笠				
14:00-14:15	S42-O-1	基于沙尘－养分模式的我国东部近海养分沉积模拟（邀请报告）	刘东伟	内蒙古大学
14:15-14:30	S42-O-2	海洋大气溶解态黑碳的沉降	钟广财	中科院广州地球化学所
14:30-14:45	S42-O-3	大气细颗粒物中蛋白质物质的来源和转化机制	朱仁果	东华理工大学
14:45-15:00	S42-O-4	化石燃料和食品系统同样主导中国人为甲烷排放	刘姝涵	海南大学
15:00-15:15	S42-O-5	北冰洋至南极内陆断面大气黑碳的空间分布特征及其辐射强迫模拟研究	吴广美	华东师范大学
15:15-15:30	S42-O-6	海口市PM2.5和PM10的稳定碳和氮同位素组成的季节性变化特征	曹玲玲	海南大学
15:30-15:50	茶歇			
分会场 14：二楼悦泰厅2号				7月7日下午
专题10：地球关键带与生态保护修复（2） 主持人：张万益				
14:00-14:15	S10-O-7	顺势而为－重金属污染矿区土壤的生态自然修复（邀请报告）	杨忠芳	中国地质大学（北京）
14:15-14:30	S10-O-8	基于社会－生态系统耦合视角的赤水河流域生态修复分区与策略	王军	自然资源部国土整治中心
14:30-14:45	S10-O-9	黄河流域生态保护与高质量发展的资源环境条件与重大问题	张进德	中国地质环境监测院
14:45-15:00	S10-O-10	碳酸盐岩风化土壤镉高背景的风险特征和控制因素	夏学齐	中国地质大学（北京）
15:00-15:15	S10-O-11	典型生态问题区的生态－地质作用模式及保护修复建议	周秀峰	中国地质大学（北京）
15:15-15:30	S10-O-12	基于土地利用情景模拟和生态系统服务的青藏高原生态成本－效益研究	刘世梁	北京师范大学
15:30-15:50	茶歇			

口头报告				
7月7日下午14:00~15:50				
分会场 15：二楼悦泰厅3号				7月7日下午
专题49： 水圈微生物驱动的元素循环与碳源汇效应（3） 主持人：李倩				
14:00-14:15	S49-O-13	海洋原生生物休眠包囊：一种惰性有机碳来源与分子鉴定	龚骏	中山大学
14:15-14:30	S49-O-14	病毒回路潜在增加近岸海域中惰性溶解有机碳的积累	危威	武汉工程大学
14:30-14:45	S49-O-15	奇古菌在深海溶解有机碳转化中的作用	谢伟	中山大学
14:45-15:00	S49-O-16	海洋浮游古菌MGII深分枝类群的碳代谢潜能初探	侯圣伟	南方科技大学
15:00-15:15	S49-O-17	西北太平洋亚热带海域原绿球藻和聚球藻的温度敏感性受营养盐调控机制研究	刘凯琳	厦门大学
15:15-15:30	S49-O-18	原绿球藻对海洋暖化的生理和分子响应机制研究	严威	中国地质大学（武汉）
15:30-15:50	茶歇			
分会场 16：二楼悦泰厅5号				7月7日下午
专题64： 海洋工程地质灾害与海底地貌演化（2） 主持人：苏明				
14:00-14:15	S64-O-7	CFD视角下底坡对海底浊流沉积构造的控制	黄河清	安徽工业大学
14:15-14:30	S64-O-8	深海滑坡灾害的物质点法模拟	董友扣	中国地质大学（武汉）
14:30-14:45	S64-O-9	海底峡谷群复杂地形下浊流运动沉积过程动力学特性研究	陆杨	中国海洋大学
14:45-15:00	S64-O-10	海底滑坡运移特征的多相流数值模拟研究	马林伟	哈尔滨工程大学
15:00-15:15	S64-O-11	海底滑坡触发海啸的致灾机理研究	戴自立	上海大学
15:15-15:30	S64-O-12	采矿车辆部署和回收过程对多金属结核区底部附近环境影响的模拟	李博闻	中国石油大学（华东）
15:30-15:50	茶歇			

大会特邀报告			
7月7日下午15:50~16:50			
主会场：三楼东方厅			7月7日下午
大会特邀报告			
15:50-16:20	俯冲带及其地震过程	王克林	加拿大维多利亚大学
16:20-16:50	现代地球—生命系统的崛起	朱茂炎	中科院南京地质古生物所

大会闭幕			
7月7日下午16:50-17:30			
主会场：三楼东方厅			7月7日下午
大会闭幕			

大会特邀报告

现代地球—生命系统的崛起

朱茂炎 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

* myzhu@nigpas.ac.cn

生命的信号在地球最古老的岩石中就有记录，表明生命自地球的早期就参与了地球系统的演变。换句话说，地球与生命自地球早期就构成了一个独特而复杂的地球-生命系统，地球系统的演变是其与生命系统演变之间相互作用的结果。以生命系统演化为特征，40 余亿年的地球-生命系统演化史可以明确划分为差异明显的不同演化阶段，即（1）以原核单细胞生物为特征的早期缺氧地球，（2）以微体真核生物和简单多细胞真核生物为特征的低氧地球，和（3）以宏体复杂多细胞后生动物为特征的现代富氧地球。以后生动物为特征的现代地球-生命系统崛起于距今 6 亿年前后的新元古代-古生代之交。与之前以微生物为特征的简单而稳定的早期地球-生命系统相比，现代地球-生命系统具有生物多样性高、演化快、食物网结构复杂和生态系统不稳定等特征，显生宙以来的频繁发生的生物多样性危机和生物大灭绝事件就是这一不稳定系统的具体表现。报告将从地球-生命系统思想与概念开始，在简要介绍现代地球-生命基本特征的基础上，围绕新元古代-古生代之交岩石圈、水圈、大气圈和生物圈发生的重大演化事件及其相互作用关系，结合团队近年来提出的动物多幕式寒武纪大爆发模型和该时期海洋氧化过程的最新研究进展，探讨现代地球-生命系统的崛起过程与机制。

俯冲带及其地震过程

王克林 [1*]

1 加拿大维多利亚大学，地球和海洋科学学院

* kelin@uvic.ca

俯冲带是海洋板块回归地球内部的地方，在全球总长度大于 55000 公里，上覆板块多为大陆岩石圈。俯冲带有四种地震：板间逆冲地震，上覆板内地震，俯冲板内在俯冲前后的浅源地震，以及俯冲板内的中、深源地震。温度场决定了这些地震的分布范围。年轻的俯冲板片温度高，地震较浅。而古老的俯冲板片温度低，板间地震可达 60 公里深，板内地震可达近 700 公里。两个汇聚板块的相互作用和各自的变形造成的应力是这些地震的驱动力。俯冲带岩石变质则通过控制断层组份、岩石流变性质以及流体运移而影响地震过程。一百多年来，尤其是在本世纪，地震监测、地形变监测、古地震野外调查和岩石力学实验不断加深我们对这些地震的认识。本报告简介本领域研究现状和未解决的科学难题。

8.5 级以上的大地震基本都是俯冲带板间地震。板间大地震一般都伴随有海啸，如 2004 年苏门答腊 9.2 级、2011 年日本 9 级地震带来的大海啸。对这些大地震的最主要控制来自板间大断层的粗糙度。与传统认识相反，近期研究发现粗糙断层（如海山俯冲）普遍发生蠕滑并伴随有很多中小地震，而平滑断层（如沉积层俯冲）有的产生特大板间地震，有的蠕滑，取决于断层泥组分。近期研究也为理解地幔粘弹性如何控制大地震周期提供了比较完善的认识。海底监测正在日益更新我们对大断层浅部发震行为的认识，而大断层的结构和流变性质如何随深度变化从而控制发震行为仍然是亟待解决的前沿课题。除了地震，板间大断层的多种幕式慢滑移现象也是现今的活跃研究课题。

上覆板内和俯冲板内的浅源地震相对来说比较容易理解。后者的地质原因主要是俯冲前后板片挠曲造成的正断层活动；重力拖曳也起一定作用。然而大量证据表明许多俯冲带的弧前地区上板块内平均剪应力接近零，所以上覆板内地震的驱动力问题尚未完全解决。俯冲板内中、深源地震的形成机制一直是未解之谜。应力和温度条件都不是

问题。问题是，根据现代岩石和断层力学，在如此高压条件下无法实现断层高速滑移形成地震。深源（300 – 700 km）地震一般假设是岩石矿物相变造成的，但是细节并不清楚。关于中源（50 – 300 km）地震有几种假说，如板片脱水造成极高空隙液压、剪切生热造成断层弱化失稳等，但是每种假说都有严重缺陷。无疑，理解这些地震的机制需要对俯冲带动力学和岩石学更深入的了解。

从生物碳泵的地史演化看微生物的地质作用

谢树成 [1,2*]

1 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉），流域关键带演化湖北省重点实验室

* xiecug@163.com

地球区别于其他星球的一大关键是拥有生物圈，生命塑造了适合人类生存的宜居地球。然而，作为地球演化最关键环节的重大地质环境转型却主要归因于非生物因素，如火山活动、超大陆聚散、轨道参数变化等等。产生这种矛盾的困境在于人们对地质时期的微生物了解得极少，对微生物的地质作用则了解得更少。报告着重从地质时期生物碳泵的地史演化角度来阐述微生物对地球环境所产生的重大影响。

首先，显生宙生物碳泵的演化对古气候演变产生了重要影响。在现代海洋环境，微生物通过生物泵和微型生物碳泵对气候变化具有重要的调节作用。在新生代海洋，人们已经提出了大洋碳库长周期变化的“溶解有机碳”假说。在中生代海洋，二叠纪末的生物大灭绝导致红枝藻系的大发展，并向远洋输入了大量的碳酸盐，导致深海对碳循环的调控能力增加。在古生代海洋，动物生态系统的建立使得生物泵作用大大加强，并出现大量的浅水碳酸盐沉积。由此可以看出，随着微生物以及生态系统的不断演化，显生宙海洋生物碳泵也在不断演化发展，对调控气候环境的能力在不断加强。

其次，前寒武纪生物碳泵对大氧化事件和雪球地球都产生重要影响。在元古代的开始和结束时期分别出现了两次大氧化事件。虽然对于这一事件存在“源增加说”和“汇降低说”这样的不同假说，但微生物光合作用提供氧气的源是关键的一环。新元古代大氧化事件伴随着气温的降低而出现了雪球地球，人们认为这可能与当时海洋里存在的大型溶解有机碳库有关联。同时，元古代存在大量微生物成因的浅水碳酸盐岩，也对当时气候有一定的调节作用。

有关海洋生物碳泵的地质演化虽然有了一些框架性认识，但一些重大科学难题还有待于破解。从水柱到沉积物，只有极少量的有机碳最终被埋藏，在人们关注大量的古海洋初级生产力研究的基础上，需要加强分解有机质的异养微生物的研究，目前还缺乏研究地质时期异养微生物的代用指标体系。同时，病毒对海洋生态系统产生了重要影响，但地质时期的病毒如何参与碳循环目前还一无所知，地质病毒学亟需突破。

古亚洲洋演化及其对潘吉亚超大陆形成的制约

肖文交 [1*]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心

* wj-xiao@mail.iggcas.ac.cn

潘吉亚超大陆是距我们最近的一个全球范围内几乎所有大陆都拼合在一起的超级大陆。自魏格纳最初提出潘吉亚超大陆概念以来距今已有 100 多年的历史。地球科学家们围绕潘吉亚超大陆形成过程中板块漂移历史、造山带构造演化、古地理格局及大陆演化与气候环境变化关系等进行了大量的探索，取得了重要的研究进展。

冈瓦纳大陆与劳亚大陆在石炭纪-二叠纪的拼合形成了潘吉亚超大陆的主体部分；因此，众多的研究集中在欧洲海西造山带。

亚洲陆块群，包括西伯利亚地块、塔里木地块、华北地块、华南地块、印支地块等何时加入潘吉亚超大陆，一直是潘吉亚超大陆研究中尚未厘清的薄弱环节。这涉及到古亚洲洋和特提斯洋演化及中亚造山带和特提斯造山带构造演化及其最终拼合方式和时限的问题。

古亚洲洋主要发育于古生代，为一外部大洋，属于泛大洋的一部分，而特提斯洋是潘吉亚超大陆形成后向东的喇叭状开口，为一内部大洋。古亚洲洋的俯冲作用分别在西伯利亚地块南缘和华北地块北缘形成安第斯型岩浆弧，并在洋内形成大量洋内俯冲系统。在此过程中形成了规模巨大的洋内弧及其俯冲-增生杂岩。伴随着俯冲大洋板片的后撤形成哈萨克斯坦、图瓦-蒙古及东北三个大型山弯构造。洋内弧在大陆边缘增生拼贴、山弯构造圈闭洋盆及海山增生最终使西伯利亚、塔里木、华北及东北陆块群焊接在一起并加入潘吉亚超大陆的演化。

塔里木-阿拉善-华北是分隔北侧古亚洲洋和南侧特提斯洋的条带状微陆块群。由于陆块的规模较小，该陆块群难以完全阻隔古亚洲洋和特提斯洋，即这两个大洋在晚古生代存在指状交叉的古地理格局。南天山-北山-索伦缝合带记录了古亚洲洋最终闭合过程和中亚造山带最终拼合格局。从增生楔时空分布和物源变化的角度分析，古亚洲洋于中-晚三叠世最终闭合；同时，大量的研究表明古特提斯洋也在晚三叠世闭合（印支造山作用）。因此，晚三叠世东亚陆块群的集中拼合并加入早期拼合的潘吉亚超大陆，使潘吉亚超大陆面积达到最大，形成一个超级大陆及其外部超级大洋的古地理格局，可能对全球气候系统产生重要影响。

嫦娥五号月球样品揭示月球最年轻火山活动

李献华[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* lixh@gig.ac.cn

2020 年 12 月 17 日，我国嫦娥五号任务返回器携带1731g月球样品成功返回地球，我国成为世界上第三个完成月球采样返回的国家。这也是继美国 Apollo 计划和苏联 Luna 计划 44 年之后，人类再次从月面采样返回地球，翻开了月球探测和研究的新篇章。月球返回样品的科学研究对认识月球形成和演化至关重要。科学家对 Apollo 和 Luna 计划返回得月球样品进行了大量的研究并月球形成和演化获得了的许多重要科学认识，但有关月球形成的早期历史和演化的最终过程还存在许多争议，成为当今月球研究的“一老”和“一新”两个重要科学问题。

嫦娥五号着陆点位于月球正面风暴洋克里普（KREEP）地体北部的吕姆克山脉附近，该地区远离 Apollo 计划和 Luna 计划的采样区，撞击坑年代学研究发现该地区可能存在月球最年轻（10~20 亿年前）的月海玄武岩，遥感探测结果显示这些玄武岩富集放射性生热元素。“嫦娥五号”任务的主要科学目标就是采集这些玄武岩来解密月球最年轻的岩浆作用得时代、成因和月幔热演化历史。

笔者研究团队申请获批了 3g 嫦娥五号月壤样品，采用自主研发的超高空间分辨同位素精确定年技术，对玄武岩岩屑中 50 余颗直径为 3～8μm 细小的富铀矿物进行定年，确定嫦娥五号玄武岩形成于 2030±4 Ma，这一结果把月球最年轻的岩浆活动记录更新为 20 亿年前，将月球的“地质寿命”延长了 8 亿~9 亿年。应用超高精度微区原位同位素分析技术，我们研究了嫦娥五号玄武岩源区的元素和 Sr、Nd、Pb 同位素组成，结果显示其月幔源区非常亏损放射性生热元素，岩浆在演化过程中也没有卷入克里普物质，排除了初始岩浆熔融热源来自富集放射性生热元素月幔源区的可能性。我们应用超低本底纳米离子探针分析技术，测定了嫦娥五号玄武岩中熔体包裹体和磷灰石的水含量及氢同位素组成，获得玄武岩月幔源区的水含量仅为 1~5 ppm，表明其月幔源区非常贫水，排除了月幔源区因水含量高而降低熔点是该区域岩浆活动持续时间异常延长的猜想。

上述研究成果于 2021 年以三篇论文的形式发表在同一期学术期刊《Nature》上，并入选了科技部发布的“2021 年度中国科学十大进展”。美国科学院院士 Richard Carlson 教授在同期《自然》上发表评述文章指出：“嫦娥五号任务在过去从未涉足的月球表面，返回了迄今为止采集到的最年轻的火山岩样品，这些岩石的研究结果表明非常有必要修正已有的月球热演化模型”。

夏季青藏高原中东部表面感热通量对东亚夏季风年代际变化的影响

张人禾[1*]，陈练[1]

1 复旦大学，大气与海洋科学系/大气科学研究院

* rhzhang@fudan.edu.cn

本文分析了 1980-2015 年夏季青藏高原中东部表面感热通量以及东亚夏季风的变化。结果表明，青藏高原中东部（CETP）表面感热通量表现出明显的年代际变化，年代际转型出现在 1990 年代初期。CETP 感热通量的年代际变化与东亚夏季风的年代际减弱相联系。1990 年代初期之后，CETP 感热通量出现负距平，东亚副热带急流和蒙古低压减弱，在贝加尔湖-蒙古区域对流层低层出现异常反气旋。

降低的夏季 CETP 感热可以在中纬度引起相当正压结构的 Rossby 波列，在青藏高原西部和鄂霍茨克海分别出现异常气旋，在贝加尔湖-蒙古出现异常反气旋。该异常反气旋的东南部在对流层低层产生北风异常，不利于东亚夏季风向北推进，产生弱东亚夏季风。同时，反气旋环流有利于下沉气流产生，降低云量并加热低层大气，从而形成不对称经向增暖，也可以造成东亚夏季风减弱。

青年学者论坛

海底碳封存的科学机理与工程难题

李姜辉[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* jli@xmu.edu.cn

当前全球变暖、气候变化带来的负面效应日益加剧，相关影响已开始从社会、经济、粮食安全扩展至包括地球生存环境在内的全面影响。目前，离岸碳捕集、利用与封存（CCUS）技术逐渐成为沿海国家和地区依海发展新兴产业价值链的重点方向。当前，已有研究针对离岸 CCUS 相关的理论和技术开展了一系列研发、应用和推广工作，涉及内容从物理、化学等基础研究，延伸到多学科交叉融合、工业化应用技术研发以及产业规模壮大。我国的 14 个沿海省级行政区是驱动经济发展的中坚力量，然而，这些地区在实现经济高速发展的同时，也形成了我国东部和东南部沿海地区的碳排放带，年碳排放量约为 4.2×10^9 t，占全国碳排放总量的 41%。国际能源署预测，运用 CCUS 技术可以贡献碳减排总量的 15%；按此推算，我国沿海地区发展离岸 CCUS 产业预期每年可以解决 6.3×10^8 t CO_2 的排放。

基于我国近海海洋及海底地质数据，近年来已有研究对我国部分近海沉积盆地咸水层、油气田封存 CO_2 适宜性进行了分析，并依据开采周期、源-汇匹配和地质特征等因素给出了相应的国家及地区离岸 CCUS 产业发展规划。CO_2 地质永久封存是 CCUS 产业链的最后一个环节，其中海底地质封存具备封存空间广、安全屏障厚、源汇匹配优等特点，逐渐被各沿海国家所采纳和开发。近三十年来，海底地质碳封存技术在全球范围内得到了一定程度的开发、积累和验证，但由于技术发展水平和成本控制要求等方面的原因，使得各个国家和地区在对该减排

路径推广和应用的过程中遇到了较大困难。这些困难包括对海底地质碳封存空间容量的估算问题、注入期间和注入后对 CO_2 的跟踪和监测问题、注入 CO_2 后可能诱发的潜在地质灾害的评估问题、封存安全评估体系的标准化问题等。本报告将从地球科学的角度探讨海底碳封存的科学机理、研究进展和当前面临的工程难题，旨在为沿海国家和地区加快发展离岸 CCUS 负碳产业提供参考。

洋中脊微地震与岩石圈结构

于志腾 [1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

* ztyu@sio.org.cn

大洋岩石圈是板块构造理论的重要组成部分，是地球动力学研究的核心主题之一。海洋地球物理探测已经刻画了洋中脊地壳级别的精细结构，然而大洋岩石圈的深部结构探测一直充满挑战。利用洋中脊天然微地震信号的被动源海底地震探测，被证明是了解莫霍面之下大洋岩石圈深部结构的有效手段之一。本报告将介绍大洋转换断层和洋中脊微地震的研究进展、存在的问题及挑战。聚焦于在赤道区域的大西洋中脊和 Romanche 转换断层的转换变形区，利用在海底布设的海底地震仪（OBS）获取的微地震数据，结合海底地形资料、深潜岩石采样和地球化学资料等，揭示大洋转换断层和洋中脊地幔深地震成因的新机制，探讨洋中脊地幔的深部熔融和岩石圈动力演化过程。

海洋板块的多幕次水化作用

张帆 [1]，林间 [1,2*]，朱日祥 [3]，张旭博 [1]，张江阳 [1]，周志远 [2]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方科技大学

3 中国科学院地质与地球物理研究所

* linj@sustc.edu.cn

水对地球表面和内部的物理和化学过程都至关重要。海水通过海底的裂缝进入海洋岩石圈，并沿着断层和孔隙向下迁移，引起海洋板块的水化作用。在此过程中，海水降低了岩石圈的强度并改变了地幔的性质。此外，水通过改变岩石的流变结构和摩擦性质影响着地震活动，并通过降低地幔物质的熔融温度和粘度促进了岩浆的产生。因此，海洋板块的水化对板块构造、地幔对流、全球水循环与海平面变化、地球多圈层物质与能量循环等过程具有重要意义。洋壳首次水化作用主要发生在大洋中脊，海水通过裂谷两侧深海丘陵的裂缝，渗透到新形成的海洋地壳中。同时，大洋转换断层为水渗透到地幔并引起地幔蛇纹石化提供了另一重要的途径。随后，沉积物的覆盖将大部分水封存在岩石圈内。板块的再次水化作用发生在俯冲带的外缘隆起处，水通过俯冲板块的挠曲正断层，渗透到地壳和上地幔中，导致广泛的地幔蛇纹石化及岩石圈强度的降低，促进了正断层地震，从而进一步增强了俯冲板块深层的水化作用。断裂带和海山也会促进板块水化作用，为水循环提供了额外的通道。海水输入地球内部的速率分别由洋中脊的长度、扩张速率，以及俯冲带的汇聚速率和板块年龄控制。经计算，大洋中脊和转换断层水的输入率约为 $7.25\pm2.02\times10^8$ Tg/Myr，占全球水输入率的 31.2%。其中 1.2%由洋中脊和转换断层共同贡献。仅就转换断层而言，水的输入率占全球输入率的 0.3%。俯冲带水的输入率为~$19.66\pm3.16\times10^8$ Tg/Myr，占全球水输入率的 68.8%。全球海洋地幔 99.0%进水量由俯冲带贡献，俯冲过程可将水带入数百公里深的地幔转换带。海水进入地球内部后，一部分海水储存在地球内部，一部分则由火山活动释放回海洋和大气。因此，海洋板块的水化对全球水循环至关重要，对海洋板块多幕次进水量贡献率的定量化研究，可为全球海平面变化、地震与火山活动、流固相互作用等提供重要参考。

构建昆虫生命之树——分子和化石证据的整合

蔡晨阳 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* cycai@nigpas.ac.cn

昆虫是当今地球上生物多样性最高的类群，已描述约一百万种，占已知动物种类的一半以上。构建符合自然发生的昆虫生命之树为解决为与昆虫演化相关的科学问题提供一把钥匙。大规模组学数据的指数增长极大地改变了人们对昆虫生物多样性起源和演化的认识。昆虫系统发育基因组学研究为构建昆虫演化历史、解决其在节肢动物中的地位以及一些长期存在的内部争议（如白蚁、捻翅目和虱子的分类地位）问题上提供了不可或缺的证据。然而，仍有不少关键的昆虫高阶元关系发育关系仍未得到解决，如副新翅类的单系性、缺翅目和蚤目的系统位置等。笔者提出下一步昆虫系统发育研究不能仅依赖于增加物种采样数量和基因组测序的深度和广度。更贴合分子进化模型的选用可以有效避免分子系统学研究中系统错误的产生，而基因组成（如共线性）、基因重复和缺失以及经典比较形态学也能提供重要的补充证据。分子与形态数据的整合是将化石证据纳入昆虫系统发育的关键。基于化石与分子证据的昆虫生命之树将更全面地揭示昆虫创新性状、生物多样性、生态和生物地理的演化。

晚中生代中国“东高”地貌古高程及其陆地气候响应

张来明 [1,2*]，文一雄 [1,2]，曹硕 [1,2]，金天杰 [1,2]，Katharine W. Huntington[3]，谭结 [2]，李亚林 [2]，王成善 [1,2]

1 中国地质大学（北京），生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

3 University of Washington, Department of Earth and Space Sciences

* lzhang@cugb.edu.cn

不同于海洋气候系统，构造时间尺度上地貌变化（山脉和高原隆升）将对大气环流系统产生重要的影响，这种区域性乃至全球气候系统变化增加了陆地气候系统的复杂性和多样性。因此，重建消失的古地貌是准确理解深时陆地气候变化的先决条件，能够加深我们对地貌与生命协同演化的理解。晚中生代东亚周缘构造活动强烈，多板块汇聚导致的幕式挤压变形以及岩石圈伸展诱发了表层系统巨变并形成了一系列山脉，对中国东部陆地气候产生了显著的影响。前人利用地球化学、古生物学和低温热年代学等方法开展了一些古地貌重建研究，但主要基于定性或间接证据。“东高”是什么地貌格局，如何影响热河生物群演化等问题还有待进一步解决。重建晚中生代中国“东高”地貌定量古高程是解决上述问题的关键。研究团队在中国东部松辽盆地及邻区、太行山山间盆地、胶莱盆地和信江盆地等开展了相关研究，定量重建了晚中生代华北地区的古温度和古高程记录，指出晚侏罗世—早白垩世太行山古高程维持在 2 km 以上，对塑造中国东部陆地气候发挥了重要的控制作用，暗示华北地区现今地貌雏形可能在早白垩世就已形成。指出早白垩世辽西地区羽毛恐龙生存在冬季冰天雪地的高海拔环境（~3-4 km），为进一步研究羽毛恐龙演化提供了气候和地貌背景。首次定量重建了海岸山脉的古高程（>2 km），确定了白垩纪中国东部存在海岸山脉，指出海岸山脉的形成不晚于~100 Ma，并将海岸山脉展布范围从东南地区向北拓展到华北地区，指出因古太平洋水汽被山脉阻挡，在华南内陆形成雨影区和特殊的“盆山型”沙漠，并建立了“盆山型”沙漠的沉积模型。

岁差驱动的西太暖池海水热量及其水文气候效应

党皓文[1*]，沙丽娟[2]，王跃[1]，程海[2]，翦知湣[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
2 西安交通大学，全球环境变化研究院
* hwdang@tongji.edu.cn

热带西太平洋-东印度洋“暖池区”，海表温度常年高于28℃，大量暖水汇积在温跃层以浅的上层海水之中，是加热地表大气使之对流上升的核心，在全球气候系统热量和水文循环中居于枢纽地位。综合晚第四纪有孔虫指标重建记录，结合数值模拟，研究发现暖池温跃层温度结构主要跟随太阳辐射量岁差周期而变化，副热带-赤道间的温跃层环流是调节暖池上层海洋热量的关键动力机制；岁差周期上，暖池上层海水热含量变化对热带西太平洋的水汽汇聚，以及中低纬的洋-陆水汽传输，发挥着关键的调控作用，这一认识得到三氧同位素新指标和数值模拟的支持。

全球磷循环的驱动因素

赵明宇[1*]，Benjamin J. W. Mill[2]，Simon W. Poulton[2]，万博[1]，肖可青[3]，郭利成[1]，郭正堂[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所
2 利兹大学
3 中国科学院生态环境研究中心
* mingyu.zhao@mail.iggcas.ac.cn

磷是陆地和海洋初级生产力的关键限制性营养元素，所以全球磷循环在很大程度上决定了生物圈的大小。除此之外，全球的磷循环与碳-氧循环也存在耦合关系。因此，全球磷循环的驱动因素可能对碳循环、气候和地球表层氧化还原状态等有重要的影响。全球磷循环的源和汇分别是陆地磷风化和海洋磷埋藏成岩过程。目前的研究表明温度、生物群落、构造活动、大气氧和二氧化碳的含量是陆地磷风化的重要驱动因素，有机物到沉积物的通量、底层海水的氧和钙浓度、温度、生物扰动、底层海水的 *p*H 值和沉积速率等是海洋磷埋藏的主要驱动因素。我们认为，进一步定量研究全球磷循环的驱动因素可能会提高我们对全球生物地球化学循环运行规律以及地球表层化学演化过程的理解。

动力学模拟与观测联合揭示古新世以来印度北侧消亡的“喜马兰蒂亚”块体

刘亮[1*]，刘丽军[2]，Jason P. Morgan[3]，徐义刚[1,5]，陈凌[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室
2 伊利诺伊大学（厄巴那-香槟），地质系
3 南方科技大学，海洋科学与工程系
4 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室
5 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
* liangliu@gig.ac.cn

古新世以来，曾位于印度次大陆与青藏地块群之间长约 1000-2000 公里消亡块体的属性存在极大的争议。前人研究认为，该块体可能曾经是印度次大陆的北侧延伸、大洋板块、或二者不同比例的结合体。本研究借助数值模拟与多学科观测相结合的研究手段，将该消亡板块限定为：由～600 公里长的高浮力地块（如克拉通）与～1400 公里长的薄地壳地块（如减薄的大陆架或年轻大洋）组成，该研究阐明了地块的“三阶段”消亡过程，解释了以往看似矛盾的部分地质现象，并遵照学术惯例将其命名为“喜马兰蒂亚”。研究团队首先模拟了不同端员模型的俯冲、碰撞过程，重点关注不同模型中增生地壳物质量、“喜马拉雅山系”古高程、板内岩浆的时空分布、上覆岩石圈的地壳厚度与地形、“青藏高原”的现今规模、以及高原之下上地幔结构等模型指征。随后，通过将以上指征与前人的多学科观测约束相比较，发现：1）单一的大陆型俯冲会产生过宽的喜马拉雅地层、过少的板内岩浆、以及过大的“青藏高

原”；2）大洋板块俯冲过程几乎不残留增生地壳物质，且上盘板内岩浆活动长期活跃、当今的高原过小；3）高浮力地块与薄地壳地块先后俯冲的模型，既可以“重现”早期陆-陆碰撞导致的地表隆升等指征、又能较好地再现高原之上岩浆活动等的时空分布与演化规律。本研究提出，喜马兰蒂亚的消亡过程大致分为三个阶段：高浮力地块的低角度底垫，薄地壳地块的俯冲、后撤与断离，印度次大陆的最终碰撞与部分俯冲。该模型融合了“大印度”与“大印度洋盆”为代表的端员模型，在一定程度上调和了二者看似矛盾的部分核心证据链。

中国陆域航磁地壳探测揭示大陆显生宙克拉通化过程

徐曦 [1*]

1 中国自然资源航空物探遥感中心

* winbreak@163.com

地幔柱是地球演化的重要驱动力，是地球各个圈层之间的物质与能量交换的重要通道，涉及岩石圈多圈层相互作用、能源资源效应和地球环境演变等多个地学前沿领域。然而，地幔柱如何改造大陆岩石圈一直是学界的待解之谜。基于陆域航磁地壳探测技术，揭示了塔里木二叠纪地幔柱改造大陆岩石圈的幔源岩浆地壳底侵过程，重建了塔里木地壳物质结构模型，解析了地幔柱驱动的大陆岩石圈克拉通化改造过程。塔里木可能并非学界广泛接受的远古“克拉通”大陆，而是经二叠纪地幔柱缝合南北塔里木形成的显生宙克拉通大陆，这为地幔柱—岩石圈相互作用与大陆岩石圈演化研究提供了案例参考，为环青藏盆山体系与能源资源环境效应研究提供了工作新视角。

天文年代学与数据同化重建始新世碳循环的时空演化

李明松 [1, 2*]，Lee R. Kump[2]，Andy Ridgwell[3]，Jessica E. Tierney[4]，Gregory J. Hakim[5]，Chris Poulsen[6]，Robert Tardif[5]，Jiang Zhu[7]，Timothy J. Bralower[2]，Jean M. Self-Trail[8]，James C. Zachos[9]，William D. Rush[9]，Marci M. Robinson[8]，张昊勋 [1]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 Pennsylvania State University,Department of Geosciences

3 University of California at Riverside,Department of Earth Sciences

4 University of Arizona,Department of Geosciences

5 University of Washington,Department of Atmospheric Sciences

6 University of Michigan,Department of Earth and Environmental Sciences

7 National Center for Atmospheric Research

8 U.S. Geological Survey,Florence Bascom Geoscience Center

9 University of California Santa Cruz,Department of Earth and Planetary Sciences

* msli@pku.edu.cn

古新世-始新世极热事件（PETM，约56Ma）和始新世早期气候最适宜期（EECO）是研究未来全球变暖和海洋酸化的地质参考范例。PETM 的年代标尺仍存在很大的争议，妨碍了我们对这一极热事件触发机制的理解。我们研究了大西洋中部沿海平原上的 Howards Tract 钻孔，为 PETM 事件中的碳同位素偏移记录建立了岁差分辨率的天文年代标尺。结果表明，PETM 事件启动期的持续时间约 6 千年。天文年代学和地球系统模拟表明，天文强迫可能在触发该事件中发挥了重要作用。古陆架上的钙含量数据，以及其他的海洋沉积记录，支持 PETM 期间全球海洋酸化后出现的碳酸盐饱和度超标的观点。同时，在数据同化重建研究中，我们针对 PETM 事件和 EECO，通过同化海表温度（SST）和海底沉积物 $CaCO_3$ 数据，为 PETM 和 EECO 提供了海洋温度和碳酸盐系统的有机重建。结果表明，CO_2 从 PETM 前的 1270 ppm（95%置信区间：910 – 1640 ppm）增加到 PETM 期间的 2080 ppm（1730 – 2450

ppm），EECO 时期的 CO_2 浓度维持高位，为 2130 ppm（1870 – 2390 ppm）。PETM 伴随着表层海水 pH 值的剧烈下降，幅度可达 0.34 单位（0.22 – 0.46 单位）。$CaCO_3$ 的数据同化使得对大气 CO_2 的变化、海洋酸化和饱和度进行有效的同步评估成为可能。

海水碱化负排放技术--应对气候变化的关键抓手

刘纪化 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

* liujihua1982@foxmail.com

碳中和战略，是我国践行“人类命运共同体”理念的有力抓手。海洋是地球上最大的活跃碳库，是陆地的 20 倍、大气的 50 倍，负排放潜力巨大。当前，我国科学家正在牵头发起海洋负排放国际大科学计划。海洋负排放有望能够保障经济发展，并实现 “碳中和”国际承诺。

海水碱化技术受到地质时间尺度上岩石风化自然碳汇过程的启发，通过人为加速硅酸盐或碳酸盐碱性矿物风化过程，提高海水碱度，从而增加海水系统对大气二氧化碳的吸收，被认为是最具有固碳潜力的海洋负排放技术之一。美国国家科学院在 2021 年报告对海洋增汇的手段进行了框架性评估，指出海水碱化的环境风险中等且可行性高。海水碱化对表层海水中二氧化碳的消耗，能够增强海洋的汇效应或者降低海洋的源效应。此外，碱性矿物碱化海水可以缓解海洋酸化导致的生态效应，同时向海水系统施加铁、硅等营养元素，潜在提高海洋生态系统生产力。基于海水碱化技术展现出的增汇前景，近海浅滩碱性矿物溶解、废水碱化入海排放、滨海湿地土壤碱化、河口碱性矿物风化等多种海洋工程实施方案被广为关注。

然而，在实际实施的过程中，其效率如何？受哪些环境因素限制？综合气候效应如何？对生态环境的影响主要体现在哪些方面？经济成本如何？

上述科学问题的探索，既是国际热点，也是当前国际话语权的必争之地。

分专题报告

S01-O-1

辽西四合屯地区早白垩世火山活动与生物灾难事件

陈树旺 [1*]，张立东 [1]，郑月娟 [1]，丁秋红 [1]，张健 [1]，孙守亮 [1]

1 中国地质调查局沈阳地质调查中心

* sycswgeology@163.com

基于辽西四合屯地区早白垩世义县组火山活动与热河生物群化石及围岩地质特征调查，确定了化石层内火山物质的来源；综合分析化石及其围岩地球化学异常特征，探讨了火山活动类型、影响范围及相关的古生态环境突变与生物灾难事件。从时间、空间和物质组分特征等方面确认了生物灾难事件与火山活动的耦合关系。野外填图与综合研究表明，四合屯地区发育有一个早白垩世的“箕状”断陷盆地，NE 向和 NW 向断裂构造控制着构造-火山-沉积盆地的边界和火山机构的分布。相关的分析研究工作取得以下进展：一是根据火山活动特征和区域地层对比，将四合屯地区的义县组地层划分为 3 个岩性段，分别为早、中、晚 3 期火山活动的产物。二是确认“鹦鹉嘴龙”、“水生生物”以及“鸟类、爬行类等陆生脊椎动物”等热河生物群化石的主要赋存层位是义县组一段凝灰岩类和二段湖相沉积岩。三是分析了化石层内火山活动记录及其同位素年龄，查明了生物灾难事件与火山活动在时间、空间和物质组分特征等方面的耦合关系；确定化石层内火山物质的来源。四是通过地球化学异常分析，发现热河生物群的古生态环境曾出现过氧化-还原环境的剧烈变化以及湖盆盐度和水位的动荡；认为火山活动导致

了古生态环境中 As、Hg、S 等有毒、有害元素异常的增高；指出化石与其围岩在有毒、有害元素异常方面存在的一定的耦合关系。五是讨论了四合屯地区早白垩世构造-火山-沉积活动与生物事件的 6 个演化阶段：A 阶段为盆地雏形发育早期热河生物群；B 阶段为第一次火山活动与生物灾难事件；C 阶段为火山活动间歇期、热河生物群繁衍；D 阶段为火山喷汽与热河生物群灾难事件；E 阶段为火山灰沉降；F 阶段为构造-火山-沉积活动结束期。

S01-O-2

三叠纪与侏罗纪之交火山作用对陆地生态系统影响

沈俊 [1*]

1 中国地质大学（武汉）

* shenjun@cug.edu.cn

距今约两亿年前的三叠纪-侏罗纪纪之交是地球演化最为显著的地质突变期，发生了频繁的火山活动、气候的剧变以及地质时期大规模的生物灭绝事件（显生宙“五次生物大灭绝”之一），导致了地球系统从内到外的一系列变化。火山活动被认为是引起该时期生态系统扰动的主要原因，但火山活动对地球表层系统的影响过程非常复杂，地表不同圈层对其响应的过程和机制差异很大。陆地系统由于缺乏海水的缓冲体量，受火山活动的影响会更灵敏，更直接，更显著。火山活动引起的一系列环境异常变化（比如臭氧层破坏、高温、酸化等）首先影响的是陆地系统。因此，陆地系统是探究火山作用对地表圈层影响最直接的媒介。由于沉积环境和保存的原因，陆相地层中火山活动的识别比海相地层更困难，制约着火山活动对陆地生态系统影响的高精度对比研究。本报告拟以沉积物中汞记录为主要研究手段，探究该转折期火山活动释放碳的过程，以及巨量碳释放对该时期陆地系统的影响，为研究地球深部演化对地表系统影响提供案例。

S01-O-3

羊膜卵起源于延长胚胎保留或者胎生

姜宝玉 [1*]，Michael J. Benton[2]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 布里斯托大学，地球科学系

* byjiang@nju.edu.cn

The amniotic egg with its complex foetal membranes was a key innovation in vertebrate evolution that enabled the great diversification of reptiles, birds and mammals. It is debated whether these foetal membranes evolved in eggs on land as an adaptation to the terrestrial environment or to control antagonistic foetal-maternal interaction in association with extended embryo retention (EER). Here we report an oviparous choristodere from the Lower Cretaceous of northeast China. The ossification sequence of the embryo confirms that choristoderes are basal archosauromorphs. The discovery of oviparity in this assumed viviparous extinct clade, together with existing evidence suggests that extended embryo retention was the primitive reproductive mode in basal archosauromorphs. Phylogenetic comparative analyses on extant and extinct amniotes suggest that the first amniote displayed extended embryo retention (including viviparity).

S01-O-4

三叠纪卡尼期湿润幕：来自地球系统数值模拟的启示

杨虎 [1,2*]，薛乃华 [3,4]，赵向东 [3]，王强 [2]，时晓旭 [1,2]，王博 [3]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)，前沿研究中心
2 德国 AWI 极地与海洋研究所，气候科学部
3 中国科学院南京地质古生物研究所
4 布鲁塞尔自由大学(荷语)，环境分析和地球化学研究组
* yanghu@sml-zhuhai.cn

卡尼期湿润幕（Carnian Pluvial Episode，简称 CPE）是发生在晚三叠纪（距今~234–232 Ma）最显著的地质事件之一。来自全球不同地区的地质记录显示，伴随着大气二氧化碳浓度上升，全球多个地区的气候由干旱向长时间的“湿润”型气候转变。但近些年来，也有学者发现，CPE 时期的“湿润”气候并不连续，可能被周期性的干旱事件打断。为了更好地理解该时期大尺度气候变化的特征与规律，本研究基于 AWI-ESM 地球系统数值模型重建了 CPE 时期的气候转变。数值模拟结果显示，大气温室气体上升导致 CPE 时期全球水循环加速。但降雨变化呈现出显著的区域差异：热带辐合带及高纬度地区降雨显著增加；特提斯海南北两侧的副热带地区则出现显著干旱化趋势。通过改变地球轨道配置，数值模拟结果显示，盘古大陆有间歇性的降雨增强信号，但并无持续百万年尺度的连续湿润发生。更进一步分析表明，温室气体升高可以导致全球范围的极端降雨增强。极端降雨增强可能与地质记录所反映的大范围、长时间尺度的“湿润”事件有关。我们的模拟结果为更好地理解 CPE 时期的地质记录提供帮助。

S01-O-5

松辽盆地青山口组湖相白云岩——海侵事件岩矿学新证据

柳宇柯[1*]，王华建[1*]，何坤[1]，苏劲[1]，王晓梅[1]，张水昌[1*]

1 中国石油勘探开发研究院，石油地质实验研究中心
* liuyuke@petrochina.com.cn
* wanghuajian@petrochina.com.cn
* sczhang@petrochina.com.cn

2021 年，大庆油田“古龙页岩油”勘探开发取得战略性突破。其主力层位为松辽盆地古龙凹陷上白垩统青一段至青二段约 140 米厚地层，该段以黑色页岩为主，但频繁发育薄层状和结核状白云岩，且平面展布稳定，然而尚未有关于青山口组白云岩成因机制及其古环境指示意义的研究报道。此外，前人就青山口组是否发生过海侵这一争议问题提出了古生物和地球化学证据，但研究多围绕黑色页岩展开。湖相白云石作为咸化水体环境的标志性化学沉积矿物，其成因机制是否与海侵有关，是值得关注的重要科学问题。本研究通过对青山口组白云岩开展系统的岩矿学与地球化学分析，探明其有机原生成因机制，并提出湖相白云岩可作为海侵岩矿学新证据。通过对单一白云岩结核进行精细岩矿学与地球化学解剖，证实了其有机原生成因机制和海侵指示意义。白云岩结核内部元素分布的水平层状与圈层结构特征指示其早期形成于水岩界面，后在不同氧化还原带完成铁白云石化过程。无机碳同位素($\delta^{13}C_{carb}$ =+4.5‰~+9.2‰)明显高于典型后期交代成因白云岩(-5‰~+5‰)，指示其可能受微生物产甲烷介导作用；结核稀土元素 Y/Ho 值(28.81~33.34)介于海水 (~44)与陆地淡水 (25~28) 之间，锶同位素特征($^{87}Sr/^{86}Sr$=0.707534~0.707700)十分趋近于同时期海水值(0.7074) ，共同指示白云岩结晶时湖水环境受部分海水侵入影响。在上述认识基础上，以古龙页岩油有利勘探区内的某钻井为例，通过对白云岩与页岩样品进行高密度采样与地球化学分析，揭示了古龙页岩沉积期的湖泊水体演化特征。发现白云岩发育与古龙页岩沉积期的两期水进-水退旋回密切相关，白云岩主要沉积于水进的半深湖-深湖相沉积环境。青一段时期，湖泊同时受微生物产甲烷活动($\delta^{13}C_{carb}$=+2.5~+13.4‰) 和海侵的影响

(Y/Ho=16.4~59.6 ，$^{87}Sr/^{86}Sr$=0.70734~0.70917)，导致事件性白云岩沉积，微量元素及 $\delta^{11}B$ 特征显示水体盐度、酸碱度与缺氧程度较高；进入青二三段后，产甲烷菌代谢活动与海侵逐渐减弱(Y/Ho=12.5~28.4 ，$^{87}Sr/^{86}Sr$=0.70767~0.70920)，水体盐度、酸碱度与缺氧程度随之降低。本研究探明了青山口组湖相白云岩的有机原生成因机制，并为证实松辽古湖泊海侵事件提供了关键的岩矿学证据。

S01-O-6

宏演化分析揭示翼龙复杂的兴亡史

余逸伦[1]，张驰[1*]，徐星[1*]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* zhangchi@ivpp.ac.cn

* xu.xing@ivpp.ac.cn

作为最早演化出主动飞行能力的脊椎动物类群，翼龙的宏演化在之前的研究中受到过一定程度的关注，且已有研究使用定量的方法探讨过其多样性的变化。本研究整合了新的翼龙离散特征矩阵和体型数据集，以及构建了目前最大的翼龙超树，并结合净成种速率、形态演化速率、形态多样性和体型宏演化分析全方位的讨论翼龙的兴亡史。研究结果显示翼龙的演化史大致可以分为两个阶段，即从早三叠世至早白垩世的长达 115 个百万年的兴盛期和从早白垩世中期至晚白垩世末期的约长达 65 个百万年的衰退期。兴盛期伴随着较高的净成种速率，较高的形态演化速率和较高的形态多样性；而衰退期的净成种速率为负值，且形态演化速率和形态多样性较低。翼龙的宏演化过程受到了多方面的影响：1）体型是影响翼龙多样性演化的重要因素，而运动能力和头饰的演化也在不同阶段起到了一定的作用。2）鸟类作为第二批演化出主动飞行能力的脊椎动物对翼龙的演化造成了长期影响。3）中生代时期的大灭绝事件对翼龙的演化过程也造成了一定的影响。值得注意的一点是，包含翼龙在内的多类大型陆栖羊膜动物在白垩纪中期都存在多样性下降的趋势，这有可能是由于陆地面积下降等多种因素共同作用的结果。

S01-P-1S

二叠-三叠纪灭绝事件的植被模拟研究

刘悦[1]，胡永云[1*]，郭佳琦[1]

1 北京大学，物理学院

* yyhu@pku.edu.cn

我们将 CESM 地球系统模式与 BIOME4 平衡态植被模式进行耦合，重现了二叠-三叠纪交界处（PTB）这一地球历史上最大生物灭绝事件前后的优势植被分布。在已有的 250Ma 平衡试验的基础上，结合全球温度变化的全面定量估计，设定 PTB 前后全球平均温度为 19.4 摄氏度和 32.7 摄氏度。气候模拟结果显示，此时内陆地区没有海洋带来的湿润空气，直接接受太阳的辐射，气候高温干燥；降水多集中于低纬度海洋上空，只有少部分低纬度大陆西岸降水比较充沛。植被作为一个整体，对气候态进行响应。结合 BIOME4 模拟结果与地质生物记录，认为该事件前后优势植被的分布有了显著的变化。许多原本占据优势地位的群落无法在迅速改变后的气候条件下生存，如温带、寒带森林与冻原。只有少部分耐旱耐高温的群落仍然占据优势生存地位，如具有热带旱生型灌木林生理习性的植物，这些植物将和在三叠纪恢复优势地位的抗灾植物一起，继续古-中植代的演化进程。

S01-P-2

真水龙类的起源时间——基于贝叶斯支端定年法分析

李春香 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

* cxli@nigpas.ac.cn

根据 PPG I 系统，全世界现存约 12 000 种石松类和蕨类植物，而真水龙骨类(Eupolypods)是其中最分化，也是种类多样性最丰富的类群，占整个石松类和蕨类植物的 60%。然而，我们对于真水龙骨类的起源演化研究却相对有限，目前文献中仍存在着相互矛盾的观点和解析。如由于化石记录极度匮乏，关于真水龙类的起源时间主要来自分子系统学估算结果，而目前分子估算的结果存在两种观点：白垩纪起源或者侏罗纪起源。本文利用贝叶斯支端定年法（Bayesian tip-dating）推断真水龙骨类起源、发生分异的时间。我们分析的结果支持真水龙类侏罗纪起源。同时分析了几种真水龙骨类化石的系统位置。

S01-P-3S

华北地区中生代非海相双壳类费尔干蚌研究及其古气候意义

黎家豪 [1,2]，沙金庚 [1]，王博 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院大学

* bowang@nigpas.ac.cn

费尔干蚌属是中生代广泛分布于我国华北、中亚、西伯利亚等地区的一类非海相双壳类，是当时河湖相生态系统的重要组成部分。此前其诊断特征和分类位置仍存争议。本次基于新疆北部准噶尔盆地采集的标本，重新修订了本属及部分常见种的鉴定特征，重要的特征有壳体薄密布生长线；外韧带较发达，双韧式；壳表常具不规则褶皱等。壳体特征表明它们是一种低能量环境下的掘穴悬浮滤食生物，我们结合了其他信息提出了一种湖相薄壳双壳类的埋藏学模型。此外，本属生物在早中侏罗世的古地理分布与温凉潮湿气候带相符，可以将它作为此种古气候指标。

S01-P-4S

鄂尔多斯盆地中侏罗统延安组植物与昆虫相互作用研究

李婷 [1,2]，王博 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院大学

* bowang@nigpas.ac.cn

植物与昆虫是陆地大型生物中最具多样性的两个类群。其相互作用关系对两大生物类群的多样性发展和协同演化尤为重要，是复杂陆地生态系统中十分重要的组成部分。鄂尔多斯盆地是华北板块中大型的中生代内陆沉积盆地，是我国主要的聚煤盆地之一。盆地内榆林地区中侏罗统延安组含有丰富的煤炭资源和植物化石，且植物叶片保存了大量的昆虫蚀迹。但目前对于该地区延安组生态面貌的研究较为薄弱，尚无关于植物与昆虫相互作用的探究。当前通过对榆林地区产出的延安组植物化石进行系统的昆虫伤害类型鉴定与分析，可为当时成煤期的生态系统结构重建提供重要信息。经初步研究，榆林地区延安组植物群以银杏类和真蕨类为主，松柏类和苏铁类占据一定地位，且叶片上保存有类型多样的昆虫蚀迹。延安组 948 枚植物化石标本的 3516 枚叶片经昆虫伤害结构鉴定，可归入 7 个功能性伤害群（Functional Feeding Group），包括孔洞取食（Hole Feeding）、边缘取食（Margin Feeding）、表面取食（Surface Feeding）、

潜叶取食（Mining）、产卵（Oviposition）、虫瘿（Galling）和刺吸式取食（Piercing & Sucking）的 38 种伤害类型（Damage Type, DT）。统计分析表明，总体标本受损率为 48.6%，总体叶片受损率达 67.2%，以 DT101 为代表的产卵伤害和以 DT127 为代表的虫瘿伤害为主。受植食性昆虫伤害频率最高的类群是松柏类，其次是银杏类，然后是苏铁类。其中松柏类苏铁杉属的 *Podozamites lanceolatus* 和 *Podozamites lanceolatus* f. *eichwalsi* 是当前植物群中植食性昆虫的主要宿主植物，叶片伤害频率高达 85.3%。高频率且类型多样的昆虫蚀迹展现了榆林地区中侏罗统延安组植物与昆虫复杂的相互作用，一定程度上复原了当时较为密切的植物与昆虫的生态关系，为鄂尔多斯盆地中侏罗统成煤期的生态系统重建提供参考。

S01-P-5S

豫西白湾盆地热河生物群的年代及意义

宋思雨[1,2]，郑大燃[1,2*]，张鑫[1,2]，张海春[1,2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

2 中国科学院大学

* drzheng@nigpas.ac.cn

广义热河生物群的三阶段演化学说认为该生物群在第二阶段往南到达陕南、豫南和皖西等秦岭-大别山地区，以出现三尾拟蜉蝣（*Ephemeropsis trisetalis*）和东方叶肢介（*Eosestheria*）等分子为特征。本研究对北秦岭造山带（NQO）内豫西南白湾盆地早白垩世白湾组进行了地质调查，采集了丰富的古生物化石，通过碎屑锆石铀-铅年代学分析，对白湾组的沉积物时代和物源进行限定，并为生物演化提供年代约束。本研究揭示了白湾组下部新发现的昆虫化石（*Ephemeropsis trisetalis*, *Sinaeschnidia heishankowense*, *Siboptera*）和叶肢介（*Eosestheria*, *Yanjiestheria*）等，通过生物地层学研究，表明白湾组可以同辽西义县组和九佛堂组相对比。基于白湾组化石层上下两个样品的碎屑锆石年龄，将化石层的最大沉积年龄限定在约 123.9 Ma，证明热河生物群在其第二演化阶段已经到达北秦岭地区。白湾组锆石年龄可划定为早白垩世（142–123 Ma）、三叠纪（249–206 Ma）、早古生代（403–295 Ma）、新元古代（948–639 Ma）、中元古代（1456–1060 Ma）和古元古代（2390–1650 Ma）六个年龄峰。据此分析，白湾组的沉积物主要来自于北秦岭造山带、南秦岭造山带（SQO）和华北克拉通（NCC）的基底，以及 SQO 和 NQO 的早白垩世深成岩体，少部分为兴蒙造山带（XMOB）。北秦岭地区早白垩世沉积与秦岭北边缘向北逆冲，华南克拉通向北持续俯冲到华北克拉通之下有关。该研究为早白垩世秦岭造山带内陆盆地演化和热河生物群的扩散提供了重要证据。

S01-P-6S

从白垩纪到新生代线虫寄主的演变

罗慈航[1,2*]，王博[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

2 中国科学院大学

* chluo@nigpas.ac.cn

以个体数量而言，线虫可能是世界上数量最多的动物，它们广泛分布于地球上几乎所有的生态环境中。除了那些自由生活的线虫之外，很多线虫成功演化出了寄生的生存方式，其中的代表就是索线虫。索线虫是一类无脊椎动物专性寄生的线虫，常寄生于昆虫、马陆、蜘蛛、蚯蚓和软体动物等。虽然线虫在现代生态系统中数量多、分布广，但是由于它们体型小且缺乏硬体，线虫的化石记录极为稀少，索线虫也同样如此。索线虫主要保存在新生代琥珀中，尤其是始新世

（距今约 45 个百万年）的波罗的海琥珀和中新世多米尼加琥珀（距今约18个百万年），在新生代之前只有 4 个化石记录。因此，我们对索线虫的早期宿主知之甚少，严重影响了对其寄生行为早期演化的认识。为了解决这一矛盾，我们在白垩纪中期的缅甸克钦琥珀中报道了 16 块索线虫与其寄主共同保存的标本，其中的 12 块标本的寄主都是之前未知的。这些新纪录将索线虫在白垩纪的多样性提高了 3 倍多（从 4 种到 13 种）。值得注意的是，有 3 类寄主（石蛃、啮虫和孔瓢蜡蝉）不管是在地质历史时期还是在现代都没有被索线虫寄生的记录。这些标本表明索线虫的寄生行为在白垩纪已经广泛存在，并已经在白垩纪中期的陆地生态系统中发挥重要作用。为了探究线虫寄生行为的演化，我们还整理并统计了所有线虫的化石记录，并针对线虫数量最多的克钦琥珀、波罗的海琥珀和多米尼加琥珀的线虫的寄主进行了统计分析。我们的结果表明，新生代的线虫更倾向于寄生全变态类昆虫，而克钦琥珀中的线虫则更倾向于寄生非全变态昆虫。尽管白垩纪中期全变态类昆虫已经占据主体，但此时的线虫还主要寄生于非全变态类，具有一定的演化滞后性。我们的结果揭示了线虫从白垩纪到新生代独特的寄主演变过程。

S01-P-7

中生代陆地生态系统重大变革

王博[1*]，史恭乐[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* bowang@nigpas.ac.cn

中生代是典型的温室气候时期。该时期潘基亚超大陆裂解，大火成岩省频繁爆发，陆地生态系统发生了深刻变革。从三叠纪开始，现代陆地生态系统逐步形成并不断复杂化，对地球宜居性演化产生了深远的影响。例如，白垩纪中期陆地革命事件中，新崛起的被子植物极大提高了陆地初级生产力，同时被子植物森林通过拦蓄、蒸腾等作用显著影响了全球水循环。但是，我们对中生代陆地生态系统与环境背景之间的相互作用机制缺乏深入理解，特别是对陆地生态系统的演变过程及其对环境的反馈更是了解甚少。

S01-P-8S

白垩纪末期至古近纪初期东亚中纬度陆地温室气候变化对降水的影响

陈积权[1]，高远[1*]，王成善[1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* yuangao@cugb.edu.cn

* chshwang@cugb.edu.cn

全球气候变暖如何影响北半球中纬度地区（如东亚）的降水变化是一个亟待解决的科学问题，目前不同的气候模型之间缺乏共识。深时温室气候时期记录（如晚白垩世）为了解未来高大气二氧化碳浓度下的气候演变提供了参考。白垩纪末期至古近纪初期（约 76-65.5Ma）是一个显著的温室气候波动时期，我们根据中国东北松辽盆地 SK-1n 井四方台组-明水组的古土壤记录，定量重建该时期东亚地区古降雨量。钙积层深度指标（DTC）和元素地球化学指标（CIA-K, CALMAG）的古降雨量重建结果具有一致性，共同表明降雨量变化与变暖和变冷事件的发生有联系。在变暖期间（如~69.5-68.5Ma），海陆温差增加，东亚大陆上空的热低压系统扩大、增强、向北极移动，导致松辽盆地水文循环增强和降雨量增加。在变冷期间（如~72.5-69.5Ma，~68.5-66.5Ma），东亚季风的减弱和向赤道偏移西风的加强，使得更多的冷干气团从中亚和北冰洋进入松辽盆地，导致降雨量下降。此外，我们的研究表明，K-Pg 边界附近松辽盆地降雨量变化与气候波动和灾难性地质事件的发生相吻合。三个深时变暖时期（马斯特里赫特中期、马斯特里赫特晚期和古近纪初期）与

现代模拟情景（RCP）下 21 世纪末的松辽盆地降雨量比较表明，随着二氧化碳的排放增加，东亚的降雨量可能会在接下来的几十年里持续增加。

S01-P-9

HOLOCENE VEGETATION AND CLIMATE IN THE ANAVILHANAS ARCHIPELAGO - NEGRO RIVER, AMAZONIA.

Erika Rodrigues [1]，Paulo Eduardo De Oliveira [1,2]，Vanda De Medeiros[1]，Kam-biu Liu[3]，姚强 [3*]

1 Institute of Geosciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

2 Keller Science Action Center, The Field Museum of Natural History, Chicago, USA

3 Department of Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, USA

* qyao4@lsu.edu

This study investigates the feeding habits of Pleistocene megafauna in relation to environment variations in northeastern Brazil. We used micropaleontological analyses to study sediments and dental calculus in locations containing megafauna remains. We found evidence of wet and cold forests in sediments dating back to ~34935 cal yr BP, which disappeared with the warming of the late Pleistocene. The multi-proxy analyses also revealed the existence of biotic corridors that connected the Atlantic and Amazon forests in times of greater humidity in the Caatinga region. Evidence of human intervention was noted through the identification of introduced elements and palms dating back to 9,000 yrs cal. BP. The findings suggest that climate change was not solely responsible for the extinction of megafauna, but rather a gradual decline may have occurred as a result of the warming associated with increased rainfall at the end of the Last Glacial Maximum and during the climatic event H1.

S01-P-10S

晚三叠世卡尼期湿润幕在准噶尔盆地的陆相响应

赵向东 [1*]，薛乃华 [1,2]，杨虎 [3]，郑大燃 [1]，彭俊刚 [1]，王博 [1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 比利时布鲁塞尔自由大学（荷语），环境分析和地球化学研究组

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* xdzhao@nigpas.ac.cn

卡尼期湿润幕（Carnian Pluvial Episode，缩写为 CPE，~234–232 Ma）是晚三叠世最重要的地质事件之一，持续时间~1.2–1.7 Myr。CPE 以全球水循环速率加快，内陆风化、剥蚀作用增强，温度升高、海水缺氧和生物转折为主要特征。同时，来自特提斯西域、华南和华北等地的有机碳同位素（$\delta^{13}C_{org}$）与无机碳同位素（$\delta^{13}C_{carb}$）的负偏移记录，揭示 CPE 期间发生了强烈的全球碳循环扰动现象。同期的兰格利亚大火成岩省（Wrangellia Large Igneous Province，缩写为 W-LIP）爆发被认为是 CPE 的主要触发原因。然而，由于缺少对 W-LIP 的准确年龄控制，且碳循环模型显示 W-LIP 释放的轻碳（^{12}C）总量并不足以造成地质记录中幅度为 2–4‰的碳同位素负偏移，因此 CPE 与 W-LIP 之间的联系还有待进一步验证。本文依托准噶尔盆地南缘大龙口陆相剖面对 CPE 事件进行了古生物学与地球化学综合分析。基于 U-Pb 锆石定年结果（234.8 ± 0.8 Ma 和 232.9 ± 0.7 Ma）以及高分辨率 $\delta^{13}C_{org}$ 同位素曲线（两次幅度分别为~6‰和~3.5‰

的负偏移），认为 CPE 在大龙口剖面记录于黄山街组底部（38.00 – 73.75 m）。Hg/TOC 异常开始于 CPE 之前，指示 W-LIP 释放的 CO_2 造成全球升温，可能触发冰川、冻土和海底甲烷的大规模释放导致全球碳扰动。Mo_{EF}、U_{EF}、Mo_{EF}/U_{EF} 在 CPE 期间明显升高，指示 CPE 期间湖泊底层水可能由亚氧化-次氧化状态转变为缺氧硫化状态。孢粉学证据显示 CPE 期间准噶尔盆地湿生植物丰度相对减少，而旱生植物相对丰度明显升高，揭示了盆地内相对干旱的气候状态。本文结论不仅对 CPE 的触发机制提供了新的见解，也填补了高纬度陆地生态系统对 CPE 响应模式的研究空白。

S01-P-11

德干火山活动驱动马斯特里赫特期末期变暖事件的汞证据和湖泊植物群响应

Sha Li[1*]，Bo Wang[1]

1 Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

* shali@nigpas.ac.cn

Pre-KPg (Cretaceous-Paleogene) boundary impacts of Deccan volcanism have been widely identified in marine sediments, but direct evidence for terrestrial impact remains rare. Here, we studied two drill cores across the KPg boundary in East Asia. Both drill cores exhibit strong Hg enrichment prior to the KPg boundary. Near consistent MIF (mass-independent fractionation) of odd-Hg isotopes in the Jiaolai Basin likely indicates a volcanogenic source of Hg spikes below the KPg boundary. Odd-MIF isotopes in the Pingyi Basin likewise suggest a volcanogenic Hg source, but with a terrestrial Hg signature of lower Δ^{199}Hg values before and after the Hg spike interval. The Hg enrichment level can be stratigraphically correlated to the beginning of the Latest Maastrichtian Warming Event (LMWE). Furthermore, the range-through diversity of charophytes and ostracods increased during the Hg spike interval in the Pingyi Basin and Jiaolai Basin, respectively, which was most likely induced by the LMWE.

S01-P-12

三叠纪-侏罗纪之交高纬度准噶尔盆地高分辨率的气候和环境变化

房亚男[1*]，沙金庚[1]，王博[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，中国科学院南京地质古生物研究所

* ynfang@nigpas.ac.cn

三叠纪-侏罗纪之交发生了地质历史上五次之一的生物集群灭绝事件，造成超过 50%的海洋生物灭绝和显著的陆地生态系统变化，同时伴随着剧烈的气候变化和碳循环扰乱。目前，对三叠纪-侏罗纪之交气候变化的认知主要来自海相地层，而对同时期陆地气候和环境变化的认识较为薄弱，其中一个主要的原因是缺乏高分辨率的时间框架约束。三叠纪-侏罗纪之交，我国准噶尔盆地位于潘吉亚大陆的高纬度地区，其南缘的郝家沟剖面出露了世界上独一无二的连续沉积的晚三叠世至早侏罗世河湖相地层。基于高分辨率的沉积微相划分和识别而建立的相对湖平面变化数据（depth ranks）是一个非常全面有效的古气候替代性指标。本文首次恢复了郝家沟剖面三叠系-侏罗系界线上下的 depth ranks 数据，并对其开展了详细的天文旋回地层地层学分析，结合生物地层，建立了高分辨率的天文年代标尺。同时本文对郝家沟剖面三叠系-侏罗系界线上下开展了高分辨率的有机碳同位素、汞含量和主微量元素等分析，在高分辨率的天文年代标尺下，详细的探讨了三叠纪-侏罗纪之交高纬度准

噶尔盆地的气候和环境变化及其可能的诱发因素。

S01-P-13

内蒙古特异埋藏化石解密被子植物起源之谜

史恭乐[1*]，Fabiany Herrera[2]，Patrick S. Herendeen[3]，Elizabeth G. Clark[4]，Peter R. Crane[5,6]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 Field Museum of Natural History

3 Chicago Botanic Garden

4 University of California Berkeley

5 Oak Spring Garden Foundation

6 Yale University

* glshi@nigpas.ac.cn

被子植物又被称为开花植物，是陆地植物中种类最丰富、生态习性最复杂的植物大类群，在大多数陆地生态系统中都占据优势地位。化石资料显示，被子植物最早出现于早白垩世早期（欧特里夫阶，距今约 1.3 亿年）。但是，白垩纪之前被子植物的祖先类群是哪些灭绝植物门类，我们知之甚少。最近，我们在我国内蒙古东部的扎鲁特旗发现了一个特异埋藏的早白垩世硅化植物群。植物群中保存了大量灭绝种子植物盔籽类的种子着生器官——周氏扎鲁特果 *Jarudia zhoui*。周氏扎鲁特果是一个松散的果穗，果穗柔软的中轴着生着螺旋状排列的种子着生单元。每一种子着生单元具有一个弯曲的托斗（cupule），每一托斗着生两枚种子。比较形态学和古植物解剖学研究都表明，周氏扎鲁特果着生种子的弯曲托斗非常类似于被子植物中较为原始的类群具有的倒生胚珠的外珠被。裸子植物的种子仅有一层珠被，被子植物的种子具有两层珠被，外珠被被认为是被子植物区别于裸子植物的重要特征之一。系统发育分析表明，周氏扎鲁特果和具有类似弯曲托斗的开通植物、盔籽植物、道伊果、帕氏果和舌羊齿植物是被子植物的近缘类群。

S02-O-1

中国扬子区早古生代最晚期地层的时空分布及其意义

王怿[1*]，戎嘉余[1]，唐鹏[1]，张小乐[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* yiwang@nigpas.ac.cn

中国扬子区早古生代最晚期地层的的发育、划分对比、及古地理和古环境特征，对于认识“广西运动”对华南地质作用的影响过程具有重要的意义。本文根据扬子区 8 省 1 市 45 条剖面的实地研究或考察，开展了生物地层学为主的综合地层学研究，揭示志留纪晚期地层的时空分布。扬子区志留纪晚期地层分为 2 个分布区，即：扬子区周缘区域和内部区域，确定了志留纪晚期各门类化石和地层的划分对比。扬子区志留纪晚期可分为周缘沉积区和台地内部沉积区，含有 7 个散在的、孤立的沉积区。周缘发育多个正常海湾，内部具有分散的、极浅的陆表非正常海盆；周缘具有正常浅海沉积和动物化石类群，内部大量发育来自陆源的物质、以碎屑沉积为主、无正常浅海动物化石，陆生植物化石发育。以具体剖面解析和综合讨论，确认：扬子区志留系发育不全，中间缺失了志留纪兰多维列世特列奇晚期到罗德洛中晚期的沉积。进一步深化了对扬子上升的解译，划分为4种表现型式，在大时间尺度上，扬子上升是扬子台地古生代地质发展史上，规模最大的一次整体上升运动(间断长达 40~150Ma)。以剖面研究为证据，提出：广西运动最早发生和最先结束均在珠江区，发生时间较扬子区早了大约 10Ma，结束时间早大约 4-5Ma；广西运动发展的高潮点为志留纪普里道利世早期。

S02-O-2

华南早泥盆世古土壤的矿物学特征及其对古环境的指示

马龙 [1*]

1 西北大学，地质学系

* malong@nwu.edu.cn

陆地植物的辐射演化与陆地生态系统的建立是地球生命史中的重大事件，深刻地影响了地球表层的地理、风化和碳循环，塑造了陆地的宜居环境。为了揭示植物登陆的环境效应，查明该时期的古环境特征是关键。华南曲靖地区早泥盆世桂家屯组和徐家冲组古土壤发育，是研究植物登陆初期古环境特征的良好载体，但目前研究程度比较低，对其所记录的古环境信息仍不清楚。基于此，本研究从矿物学开展工作。结果表明，古土壤所含的主要矿物为石英（35.8%）、方解石（7.8%）、白云石（13.2%）、长石（4.3%）、绿泥石（11.1%）、伊利石（21.8%）、高岭石（5.8%），其中方解石和黏土矿物的含量在淋溶-淀积层以及时间序列上差别较大，表现为以下特征。植物根状茎发育的层位相比于下部层位，方解石含量较低，表明植物化石层位成壤作用较强且发生了明显的方解石淋溶淀积作用。方解石淋溶淀积作用指示了季节性气候。季节性气候处于湿润气候和干旱气候的过渡类型，更有利于促进植物脱离海洋和湖泊环境而登上陆地。此外，高岭石/伊利石（I/K）比值在淋溶层高于淀积层，指示了植物登陆对成壤的促进作用。尽管如此，但白云石含量的变化相对较小、大量的白云石且并未被淋溶掉，对比第四纪黄土-古土壤的淋溶淀积状况，表明当时季节性的降水有限（<500 mm/yr）。值得注意的是，古土壤中长石的含量普遍较低，但植物登陆时的气候条件并不足以对长石产生明显的风化，指示了在植物登陆之前碎屑物质就已经发生了明显的风化。因此，植物登陆初期对地表碳循环的影响有可能不是通过大陆风化而是有机碳埋藏。

S02-O-3

上泥盆统五通组的乔木石松类繁殖生物学特征新认识

刘乐 [1*]，王德明 [2*]，徐鹏 [1,2]，高雪 [1,2]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* liule_321@126.com

* dmwang@pku.edu.cn

基于产自浙、皖两省上泥盆统法门阶五通组的化石材料，报道了乔木石松类新属种巨大伞形穗 *Omprelostrobus gigas*，并对小型广德木 *Guangdedendron micrum* 和葛利普亚鳞木 *Sublepidodendron grabaui* 进行了再研究，取得了对这些类群繁殖生物学方面的新认识。*O. gigas* 的孢子叶球基部和端部的孢子叶形态有明显分化：基部孢子叶长而外展，端部孢子叶较短且叶片向近轴一侧弯折。孢子叶具显著中脉，指示较强的光合作用潜力。*G. micrum* 和 *S. grabaui* 大孢子囊内分别具有多个和至少 8 个 *Lagenicula* 型大孢子，而 *G. micrum* 的大孢子具有较大的颈锥体（gula）显示出对高密度种群的适应。统计显示中—晚泥盆世广义水韭目石松类孢子叶球大小与植株高度无显著相关性，*O. gigas* 与 *G. micrum* 分别具有同期石松类中最大和第二大的孢子叶球，而 *G. micrum* 与 *S. grabaui* 的大孢子叶球中均见分叉，反映出晚泥盆世的这些乔木石松类在繁殖生长阶段有较大投入，从而能产生更多繁殖体。沉积和埋藏学证据显示 *O. gigas*、*G. micrum* 和 *S. grabaui* 均生活于快速沉积事件多发的滨海环境，增大繁殖生长阶段投入体现了植物对频繁扰动的适应。

S02-O-4

喀斯特型铝土矿成矿作用及主控因素研究

杨淑娟[1*]，王庆飞[1*]，刘学飞[1]，邓军[1]

1 中国地质大学（北京）

* 2009010003@cugb.edu.cn

* wqf@cugb.edu.cn

铝土矿是在潮湿的热带—亚热带气候条件下地表风化作用的产物，依据基岩类型主要分为红土型和喀斯特型。红土型铝土矿储量约占世界铝土矿总储量的~85%；始新世至中新世形成了大规模的红土型铝土矿，主要分布在冈瓦纳大陆热带地区；其成矿母岩和主控条件研究比较明确，一般为基底岩性原地风化形成，除了受气候条件控制，还受控于基岩、地貌和水文条件。喀斯特型铝土矿储量占世界铝土矿总储量的~14%，与红土型铝土矿相比，喀斯特型铝土矿形成过程与赋存状态更加复杂，主要集中分布在北半球活动造山带：（1）乌拉尔-中亚带，其中寒武纪至泥盆纪的成矿作用主要发生在原特提斯构造域和古亚洲洋构造域的古低纬度地区，石炭纪和白垩纪-古近纪期间成矿作用发生在古中-高纬度地区，主要由于受到古特提斯和新特提斯暖流经古海岸造成的增温增湿的气候影响，（2）石炭纪-二叠纪的东亚喀斯特型铝土矿带和晚二叠世-侏罗纪的土耳其-伊朗-阿富汗-巴基斯坦矿带主要形成于古特提斯构造域的古低纬度地区，（3）晚白垩世-古近纪地中海矿带和新近纪加勒比矿带则是受新特提斯演化控制。在全球古地理重建的基础上，基于锆石碎屑物源数据和全球主要环境演化事件对比，查明了喀斯特型铝土矿的时空分布及其成矿物源、地球动力学和古气候制约机制。喀斯特型铝土矿成矿中心的时空迁移主要受到特提斯的构造运动和古地理演变以及由此制约的物质来源、古气候和植被演化等多方面的综合控制。并通过沉积序列和碎屑锆石年代数据的综合分析，确定了威尔逊循环的不同地球动力学阶段对喀斯特铝土矿的赋矿层位、成矿物质来源等都具有重要控制作用。

S02-O-5

中-古生代生物造迹作用对陆地化进程的贡献

张立军[1*]，薛进庄[2]，王嘉树[2]

1 河南理工大学，资源环境学院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* ljzhanghpu@126.com

陆地化 (terrestrialization) 或“生物圈登陆”泛指植物、动物、真菌、藻类等对陆地和非海洋环境（如河流、湖泊等水体）的殖居和改造，是最重要的生命演化事件之一，驱动了地球表层环境的变革。其中，中-古生代的植物登陆演化备受关注，研究程度较高，然而，对动物尤其是无脊椎动物在陆地化进程中的演化模式、过程及对环境的改造效应的研究较为薄弱，亟待深入。

遗迹化石作为地质历史时期生物与环境相互作用的载体，不仅记录了那些不容易保存为化石的无脊椎动物对于生物-环境事件的响应，而且记录了大量的涉及生态系统建造的复杂的生物行为习性。由于遗迹化石的原地埋藏属性，遗迹化石可以敏感地示踪水动力条件、盐度、营养条件、孔隙水和底层水氧含量、底质条作等环境参数。

现阶段基于欧美地区的遗迹化石研究，国外学者认为无脊椎动物陆地化进程的时间节点和路径包括，路径一：寒武纪至泥盆纪，节肢动物和软体动物通过滨岸沙丘和潮坪环境向陆地殖居；路径二：早-中古生代，节肢动物、软体动物和环节动物通过边缘海半咸水环境向陆地殖居；路径三：中-晚古生代，脊椎动物向河流和湖泊殖居；路径四：奥陶纪-泥盆纪，植物向陆地殖居。和国外的陆地化进程的遗迹化石研究相比，我国明显落后，尚未有相关研究。我们华南和新疆地区中-古生代地层记录丰富、沉积类型丰富、化石记录多样，尤其是遗迹化石类型及其沉

积环境特征前期已有大量报道，为我们基于遗迹化石参数来解释陆地化进程的提供了大量基础性数据。基于遗迹化石参数解释陆地化进程中，无脊椎动物的造迹作用是如何促进营养物质的混合及再分配、如何影响氧化还原界面迁移、如何占据和利用生态空间、怎样构建陆地及滨岸环境生态系统工程，可为我们深入了解陆地化进程中生物与环境的协同演化提供新思路和新视角。

S02-O-6

黔中-桂北地区石炭纪岩相古地理特征

谯文浪[1,2]，杨瑞东[3*]，陈武[4]，马义波[4]

1 贵州大学，资源与环境工程学院

2 贵州省地矿局，一 0 二地质大队

3 贵州大学，研究生院

4 贵州省地矿局，贵州省地质调查院

* rdyang@gzu.edu.cn

黔中-桂北地区石炭系地层全而完整，出露面积广，生物化石丰富且保存良好，沉积现象丰富，是研究石炭系系的理想区域。本文通过 1:25 万贵阳、独山两幅区调，1:5 万独山等 4 幅区调、1:5 万甲戎等两幅区调查工作和专题研究，对黔中-桂北地区石炭纪沉积格局和岩相古地理进行研究总结。石炭纪岩关早期，基本继承了晚泥盆的沉积格局，该时期台盆分异明显，从台地-台地边缘-台缘斜坡-盆地均有发育。在惠水-都匀-三都一线以北为古陆，该线以南，甲戎-通州-下司-星朗-捞村一线以北东为碳酸盐台地，上述一线以南，抵季-月里-麻尾-小场一线以北东的狭长地带为台地边缘环境，沉积了一套亮晶颗粒灰岩。上述一线以南为斜坡-盆地环境，沉积了一套薄层泥晶灰岩夹薄层硅质岩。岩关晚期至大唐早期，沉积格局发生巨大变化，大规模的海退使海域面积缩小，陆地面积急剧增大，造成了沉积间断。大塘中期发生一次海进-海退旋回事件，海进的早期，形成祥摆组的一套砂泥坪沉积。随着海水的进一步加深，沉积了一套深灰、灰黑色粘土岩和粉砂质粘土岩。在这之后开始海退，由半局限向开阔条件转化。随着海水进一步变浅，使台地区变成混合潮坪沉积环境，形成一套石英砂岩、泥晶生物灰岩、粘土岩的韵律层序，局部地方还长时期暴露出海水面，形成厚达几米的钙质结核渣状层。大塘晚期，在海侵作用下，海平面开始扩大，沿边阳-沫阳-下司-南丹一线及以南的碳酸盐台地边缘礁相及斜坡-深水滞留陆棚相带继续发育，沿此线以北由台地边缘礁相带向陆依次出现潮坪—泻湖相带，以砂岩为主夹泥岩、煤层（祥摆组上部），随着海侵范围的进一步扩大，出现潮坪—泻湖相带向北迁移，由南向北砂岩增多，粒度变粗，在离岸一定距离的低洼区形成较厚的可采煤层，同时在海陆交互地带出现铝土岩系（九架炉组）。大塘期与德坞期之交古地理及沉积格局开始有了较大变化，形成了台地-台地边缘-台缘斜坡的古地理格局，并在天鹅-拉岩地区形成了孤立台地。沿边阳-沫阳-下司-南丹一线南由深水滞留陆棚相转变为斜坡相碳酸盐沉积，沿此线碳酸盐台地边缘礁相再次明显展布，而此线以北及贵阳-都匀-三都一线以南的浅水台地区出现局限海台地相带及开阔海台地相带，沉积纯净的碳酸盐岩。

S02-O-7

中国铝土矿成矿作用的物质来源与深时环境因素：进展与讨论

余文超[1*]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* yuwenchaocug@163.com

铝土矿是工业上可供利用的铝矿石总称，可视为陆表化学风化作用的终极产物。作为一种战略性大宗矿产，当前我国铝土矿使用总量的 60%以上依赖于进口铝土矿石，铝土矿及其伴生的其他金属资源对国家资

源安全的重要性突出，因此有必要对其开展深入研究，以提高理论基础研究水平，为找矿勘查工作提供支撑。铝土矿化作用、红土化作用或热带成壤作用是统一在热带风化机制中的风化作用不同表现形式，主控因素均包括适宜的气候（温度、降水）、侵蚀速率、母岩、时间、植被、地形地貌等。三者之间存在联系，但区别也较为显著，主要体现在时间尺度和沉积作用复杂程度两方面。红土化作用或热带成壤作用可能包含在铝土矿化作用的某一阶段，但更长的时间尺度与更复杂的沉积作用过程导致铝土矿沉积难以简单地归并到红土或土壤类别中。中国重要的晚古生代铝土矿资源在不同地区存在不同的物质来源，可概括为：（1）稳定的板块内部原地-准原地物源、（2）板块边缘异地火山灰物源和（3）板块边缘造山带异地物源 3 种主要类型。物源成分则可能来自于下伏沉积岩基底或板块边缘火山弧物质，或者两者的混合供给。不同成矿物质来源的铝土矿中保存了区分明显的碎屑锆石年代学分布规律，且在一定程度上决定了不同地区铝土矿床的地球化学组成特征，其中 TiO_2 含量变化显著，可视为潜在的物源区分指标。中国晚古生代铝土矿化作用除华南板块与华北板块特殊的大地构造背景因素外，古气候、海平面变化、古水文条件等深时环境因素也需加以考量，各因素间的平衡及对成矿作用的贡献量较难区分。在古气候条件类似的情况下，通过使用逻辑回归模型计算，本文初步限定了区域构造活动性是中国铝土矿形成的决定性因素。该因素决定了铝土矿成矿物质来源和构造抬升强度等成矿关键条件，此外，海平面变化可视为次级因素，相对较低的海平面条件能够促使成矿母质更强烈的暴露和淋滤，形成优质的铝土矿资源。

S02-O-8

汞同位素显示志留纪早期维管植物在陆地已广泛分布

刘牧 [1*]，袁巍 [2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代环境与地质院重点实验室

2 中国科学院地球化学研究所，环境地球化学国家重点实验室

* liumu@mail.iggcas.ac.cn

植物的登陆和扩张被认为是地球历史上最深刻的生态革命之一。然而，其准确的时间节点仍然存在争议。由于陆地植被可以增强陆地风化强度，并影响到海洋的陆源输入物质成分，陆生植物的地球化学信号可以在海洋沉积物中被追踪。陆生维管植物具有明显的负 $\Delta^{199}Hg$ 和 $\Delta^{200}Hg$ 特征，它们会覆盖海洋沉积物中常见的偏正的 Hg 同位素特征。通过研究华南及周缘古生界海相沉积物中汞同位素的长周期变化，研究发现 $\Delta^{199}Hg$ 和 $\Delta^{200}Hg$ 在统级别出现了两次明显负漂，分别是志留纪早期和石炭纪，这些地球化学特征是由于维管植物在陆地的快速扩张导致。另外，两次汞同位素浮漂大致对应了古生代大气中氧气浓度的上升和全球变冷事件。据此可以推断，维管植物在奥陶纪-志留纪转折期间（约 4.44 亿年前）在陆地上已广泛分布。

S02-O-9

古土壤中成壤碳酸盐的矿物学特征及其指示意义

甯濛 [1*]，黄天正 [2]，沈冰 [2]，王耀 [1]，罗靖茹 [1]

1 成都理工大学， 沉积地质研究院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* ningmeng@cdut.edu.cn

成壤碳酸盐或次生碳酸盐（pedogenic carbonate）是指在成壤过程中土壤无机碳库（如地质成因碳酸盐、生物成因碳酸盐或已形成的成壤碳酸盐）溶解后，形成的可溶性离子在土壤中迁移再沉淀，并以各种形态重

新分布的碳酸盐（Zamanian et al., 2016），记录了古土壤形成过程中的气候及环境信息。前人针对成壤碳酸盐的研究，主要集中在利用其地球化学指标重建古气候、古环境，如干湿气候演化、古大气 CO_2 浓度、古温度和古海拔等（Tabor and Myers, 2015），对成壤碳酸盐本身的矿物学特征及其所反映的成壤过程与环境关注较少。常见的成壤碳酸盐矿物包括方解石-文石、白云石、菱铁矿等，成壤过程中形成的碳酸盐矿物的类型、形态和晶体大小，与成壤环境中存在的离子类型密切相关，也取决于碳酸盐矿物沉淀过程中的物理、化学条件。在对云南早泥盆世桂家屯组和徐家冲组古土壤剖面研究中，发现早泥盆世古土壤剖面均发育白云石和方解石两种碳酸矿物，桂家屯组古土壤剖面的碳酸盐平均含量为 26%，其中白云石平均含量为 16%，方解石平均含量为 10%（n=100）；徐家冲组古土壤剖面的碳酸盐平均含量为 8%，其中白云石平均含量为 5%，方解石平均含量为 3%（n=35）。早泥盆世古土壤剖面中的白云石在成壤过程中形成，可能反映干旱强蒸发的成壤环境，厘清成壤白云石的形成机制、Mg^{2+}来源，可为深入理解成壤碳酸盐的古气候意义提供有效的代用指标。

S02-O-10

我国泥盆系海陆过渡相烃源岩分布、地化特征及油气潜力评价

王兴喆 [1]，刘宇 [1*]，毛黎光 [1]，刘乐 [1]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院

* liuyu@cumtb.edu.cn

泥盆纪为植物登陆的关键时期，陆生植物结构的迅速变化亦使得此阶段沉积有机质特征具一定的特殊性，世界范围内泥盆系烃源岩如 Marcellus 页岩等贡献了巨量的油气产量，而我国对泥盆系烃源岩研究相对较少，针对于此，研究详细统计了我国泥盆系海陆过渡相页岩与煤层的分布及其发育特征，同时以贵州、云南、广西等地区的泥盆系页岩与煤层为例，通过显微组分分析实验、有机地化分析实验、扫描电镜实验等，探究了泥盆系页岩与煤层的有机地化特征、孔隙发育特征，评价了泥盆系页岩与煤层的生烃潜力、储气能力，并总结了泥盆系海陆过渡相页岩在油气生成与储集方面的特殊性。除此外，研究基于常规/非常规油气理论体系，初步分析了我国各地区泥盆系海陆过渡相烃源岩的油气资源潜力。

S02-O-11

中国华北克拉通二叠纪孢粉组合的时空对比及其古地理学意义

刘锋 [1,2*]，彭辉平 [1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 现代古生物学和地层学国家重点实验室

* liufeng@nigpas.ac.cn

基于已发表的文献和作者在鄂尔多斯盆地二叠纪地层中获得的孢粉化石数据，作者对中国华北克拉通产出的二叠纪孢粉组合序列进行了综合对比。孢粉组合相关性表明，在二叠纪期间，除华北克拉通西北部的一些地区外，大部分地区二叠纪孢粉组合是非常相似的，代表典型的华夏孢粉植物群。华北克拉通孢粉组合演替最明显的区域性差异主要出现在甘肃永昌等地早二叠世（亚丁斯克期—空谷期）地层中出现了混合华夏植物区和亚安加拉植物区的孢粉组合。这些混生孢粉组合的出现表明华北克拉通西北部在早二叠世早期可能通过新疆准噶尔盆地与哈萨克斯坦板块连接。对华北克拉通二叠纪孢粉组合的统计分析显示，从早二叠世早期（萨克马尔期）开始，裸子植物花粉在孢粉组合中的比例明显增加。这一时期裸子植物花粉丰度的明显增加可能与很多因素

有关，主要与华北克拉通向北漂移导致的华北克拉通与哈萨克斯坦块碰撞并继续向东缝合引起的大陆隆起和季风气候有关。然而，研究发现华北克拉通裸子植物花粉占优势的孢粉组合的地质年代从西北到东南逐渐变得年轻。这一二叠纪裸子植物花粉占优势组合在华北不同地区的时间梯度表明华北克拉通与哈萨克斯坦板块在早二叠世早期（亚丁斯克期—空谷期）在华北克拉通西北缘发生碰撞，并继续向东缝合，华北克拉通相对于哈萨克斯坦板块逆时针旋转。在这个旋转的过程中，华北克拉通自西北向东南逐渐进入干旱环境最终导致了华北克拉通裸子植物花粉占优势的孢粉组合的地质年代从西北到东南逐渐变得年轻。由于直到晚二叠世，华北克拉通东南部还没有出现典型的安加拉或亚安加拉孢粉组合，因此华北克拉通与北部的西伯利亚板块的缝合在二叠纪末仍未完成。

S02-O-12

植物登陆以来植被与气候的相互作用

郭佳琦 [1]，刘永岗 [1]，胡永云 [1*]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* yyhu@pku.edu.cn

植被是地球系统重要组成之一。温度、降水等气候条件影响植被的生长和分布，而植被的存在可以改变地表的反照率和粗糙度，同时伴随植被自身的光合作用、呼吸作用和蒸腾作用，植被可以影响大气与陆地间的动量、能量和碳水交换，进而影响气候(Piao et al, 2019; Boyce and Lee, 2017)。在工业革命前的情景下，全球去除植被会造成全球平均地表温度下降 3.65℃，全球平均降水减少 6.58%。那么在古地理与气候态的情景下，植被与气候间的相互影响会发生什么变化，与工业革命前时期有什么不同？

为回答上述问题，本研究将地球系统模式 CESM1.2.2 耦合植被模式 BIOME4 开展切片试验，探讨植被与气候间的相互作用随古地理和古气候演化的变化。第一部分，研究通过对比无植被和有植被（基于现代植被参数）两种理想情景的模拟结果，分析了陆生维管植物出现以来地球演化过程中植被气候效应的变化。第二部分，研究引入了潜在生物量（Gurung et al, 2022）作为衡量植物生长的指标，分析了植被变化的原因。结果表明，陆地温度和 CO_2 浓度对植物生长和辐射影响显著，陆地降水的影响次之。此外，在地质历史上，中低纬度地区较多的陆地面积更有利于植物繁盛。系列研究将会帮助我们更好地理解古植被和古气候间的相互影响，为之后进一步结合古植物证据探讨植被的作用提供参考。

S02-P-1

华南中下扬子区志留纪“上红层”沉积古地理特征和成因背景

张小乐 [1*]，王怿 [1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* 576678784@163.com

研究海相红层对探索古海洋地球化学特性、古气候和生物事件等有重要意义。志留纪兰多维列世特列奇中期海相红层广泛分布于江苏、浙江、安徽、江西与湖北边区，习惯上称为“上红层”。基于剖面实地考察，结合以往区域地质调查资料和已发表文献，本研究重建该套红层的古地理分布形式，并讨论其在各地的沉积特征。在苏、浙边区以及江西西北部，该套红层沉积于三角洲前缘和前三角洲环境，厚度巨大；远离沉积中心，主要形成于近岸-陆棚沉积体系中，并随水深加深逐渐消失。总体上，红层的发育毗邻陆上剥蚀区，可能与当时陆上植被尚不发育的情形下，河流系统搬运大量含三价铁细碎屑物入海并快速沉积密切相关。与之层位相当的海相红层广泛发育于西欧、北美、新疆

和华南等早古生代盆地，它们的形成同步于特列奇中期全球气候变暖和海平面上升。极低的初级生产力与较高的海水含氧量造成底质氧化环境的广布，可能是“上红层”及相当层位海相红层在全球多个盆地中同时出现的地质背景。

S02-P-2

华南板块早泥盆世古地理变迁与腕足动物演化

郭文[1*]，孙元林[2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 北京大学，地球与空间科学学院

* wenguo@nigpas.ac.cn

受早古生代广西运动影响，华南板块大部分地区在泥盆纪初期为陆相环境。自早泥盆世开始，华南板块发生自南向北的海侵，重新发育大面积海相沉积，海洋生态系统随之重建。通过对滇、桂多个剖面下泥盆统牙形类和腕足类生物地层以及沉积特征的对比，结合对前人资料的厘定，作者以牙形类生物带/亚带的分辨率对早泥盆世（特别是布拉格期晚期至埃姆斯期早期）华南板块沉积古地理格局和腕足动物面貌做了进一步研究。洛赫考夫期，广西中西部、云南东南部开始出现潮间带沉积环境，存在零星的lingulids化石记录，此外在广西东南部钦防海槽地区存在小个体的深水相腕足动物群。布拉格期，云南东南部、贵州西南部以及广西中西部主要为浅潮下带环境，以碎屑岩沉积为主，出现了分布广泛的 *Orientospirifer* 腕足动物群。华南板块自埃姆斯期 *excavatus* 牙形带开始大面积发育碳酸盐岩台地相沉积，这一时期广泛分布的代表性腕足动物群为 *Rostrospirifer-Dicoelostrophia* 动物群，受海侵进程影响，其在各地的出现具有明显穿时性，且该动物群在各地区的消失均与海侵导致的底质变化表现出显著关联。华南板块“象州型”（台地相）与“南丹型”（盆地相）沉积相的分异出现于埃姆斯期 *nothoperbonus* 牙形带，不同沉积相区出现截然不同的腕足动物群，如在南丹地区，该时期存在低分异度、高丰度、小个体的 *Sinathyris* 动物群，而同时期在象州地区则存在高分异度、高丰度、大个体的 *Howellella-Reticulariopsis* 动物群。华南板块这种同期异相的腕足动物格局自 *nothoperbonus* 带沉积相分异出现后贯穿整个泥盆纪。

S02-P-3S

新疆北部泥盆系古油藏的地质年代与植物化石研究

刘炳材[1,2]，王凯[1,2]，纵瑞文[3]，汪瑶[4]，白姣[1,2]，杨宁[1]，王怿[1]，徐洪河[1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所和生物演化与环境卓越创新中心，现代古生物学和地层学国家重点实验室

2 中国科学院大学

3 中国地质大学(武汉)，生物地质与环境地质国家重点实验室

4 曲阜师范大学

* hhxu@nigpas.ac.cn

泥盆纪是陆生植物分化和多样性辐射的关键时期，首次出现森林以及陆生植物的聚煤作用。作为首个被报道的古生代古油藏，新疆北部的泥盆系古油藏与泥盆纪植物成煤作用具有密切联系。泥盆纪植物成煤后，生烃，排烃，聚集成藏之后再遭到破坏，便形成古油藏。通过对新疆北部泥盆系古油藏剖面岩石地层、生物地层和植物化石的综合研究，系统讨论了古油藏的地质时代和地质背景，探讨了成煤植物群以及煤和油气藏形成的环境背景。对新疆准噶尔周缘油气资源的进一步勘探与开发具有参照意义。研究发现古油藏剖面地层由老到新分别为：中泥盆统呼吉尔斯特组，上泥盆统朱鲁木特组和洪古勒楞组，下侏罗统八道湾组。古油藏的核心层位位于呼吉尔斯特组上段泥岩中，层厚80~200 cm，发育有具明显层状结构的角质残植煤和古油藏标志物固体沥青，还产有丰

富的植物大化石：*Barsassia ornata*, *Hoxtolgaya* sp.和 *Orestovia* sp.，和孢子化石共计 13 属 19 种，以及部分植物角质层碎片。根据植物大化石和孢子组合，古油藏核心层位的地质时代确定为中泥盆世吉维特期。*Barsassia*, *Hoxtolgaya* 和 *Orestovia* 共同构成了古油藏中主要的成煤植物。基于古油藏剖面核心层位和干那仁剖面的 *Barsassia* 化石标本，确定 *Barsassia ornata* 为 *Barsassia* 属的模式种和唯一有效种，将新疆的标本选为该种的新模式标本。*Barsassia ornata* 为草本石松，茎可见易于识别的阶梯状结构，叶为扇形或近矩形，末端尖，呈假轮状紧密叠覆于茎上。*Barsassia ornata* 在我国新疆、东北地区，哈萨克斯坦和西伯利亚地区中泥盆世地层中广泛分布，又因其独特和易于识别的特征，可作为中泥盆世地层对比的标准化石之一。古油藏中孢子较破碎，指示可能经过水动力较强的长距离搬运之后沉积成煤。但有限的地表露头剖面，无法全面评估生烃潜力，未来宜通过钻井等工作进一步探讨古油藏成煤环境、分布范围和油气地质等。

S02-P-4S

维管植物陆地扩张对古土壤中磷的形态及富集机制的影响

鞠鹏程[1]，沈冰[2]，黄康俊[1*]

1 西北大学，地质学系

2 北京大学，地球与空间科学学院

* hkj@nwu.edu.cn

磷是生命构成及参与生命活动最重要的元素之一。在地质时间尺度，磷被视为调节全球初级生产力和海洋-大气系统氧化还原状态的关键限制性营养元素。大陆风化输入是海洋中生物可利用的活性磷的最主要来源。研究表明在维管植物登陆之前，陆地生物风化作用较弱，水土流失和溶解磷沉淀速率更快，导致陆地磷可利用性较低。这可能会对生物和环境产生显著影响：一方面，向海洋输送的活性磷通量相对较低会限制当时的海洋表层初级生产力的繁盛和大气氧气含量的升高；另一方面，陆地磷可利用性较低不利于植物的生存，进而限制了早期植物在陆地的演化。然而，目前对早期维管植物陆地扩张如何影响古土壤中磷的形态及富集机制还不清楚，这制约了定量评估维管植物陆地扩张的全球环境效应。基于这一重要科学问题，本研究以下泥盆统含植物根系化石遗迹的桂家屯组和徐家冲组为主要研究对象，结合维管植物登陆之前志留系和埃迪卡拉系的非海相地层样品，进行了矿物学和地球化学的对比研究。首先使用全自动矿物分析系统（TIMA）对维管植物登陆前后含磷矿物类型和形态进行分析，并通过透射电镜（TEM）和同步辐射微区 X 射线荧光分析（μ-SRXRF）等技术表征磷与铁等其他元素空间分布和相关性，进一步利用化学分步提取法（SEDEX）和同步辐射 X 射线吸收近边结构谱（XANES）分析磷组分和古土壤中磷的分子形态。研究表明维管植物登陆对大陆磷的赋存形态产生了较大的影响，并且与现代水生植物相似，早期植物可能同样通过铁磷的相互作用维持了充足且持续的活性磷供给。

S02-P-5S

早期种子植物扩张导致了早石炭世全球变冷吗?

李炳鑫[1]，薛进庄[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* pkuxue@pku.edu.cn

地球化学研究指示陆地风化、海洋生产力变化与全球变冷之间存在耦合关系，因此有研究提出陆地植物的扩张在引发晚古生代大冰期中发挥了关键作用。但是，将古气候事件与陆地植物演化之间直接联系起来的证据非常有限。古植物学证据表明种子植物起源于晚泥盆世法门期，但早期种子植物

可能主要局限于湿地环境，至密西西比亚纪，一些类群如科达类获得了在季节性干旱的地区和高地上殖居的能力。晚泥盆世至早石炭世的种子蕨类和真蕨类在繁殖结构上有明显区别，但在生活习性、羽片形态方面差异甚小，如大多具蕨形羽片、开放叶脉。生理学模拟研究表明石炭纪广泛的种子蕨类和树蕨类的水分传导能力受到叶脉密度的限制，环境效应可能较弱。在植物群落面貌组成方面，石炭纪植物的异质性和结构复杂性空前提高，石松类、楔叶类、蕨类和种子植物都产生了结构迥异的树木，与现代森林以种子植物为主不同，这些树木构成森林冠层的重要组成部分，而且每种植物都至少在某些环境中占主导地位。同时，小型草本植物、灌木、大型树木以及攀缘植物、寄生植物均已出现，标志着完整的现代森林结构在石炭纪已经形成。石炭纪种子植物的发展和森林结构的复杂化是同步进行的，如何在气候系统模型中评估两者对全球气候变化的影响还需要进一步研究。

S02-P-6S

植物登陆前后风化壳结构转变

贾天依 [1]，沈冰 [1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* bingshen@pku.edu.cn

陆地植物的登陆、演化与陆地生态系统的建立不仅是植物演化史上的一次长足的进步，同时也对地球的生态系统与气候循环产生了深远的影响。现代陆地植物的蒸腾作用为陆地降水提供了水源，而降水又促进了下渗作用的发生与陆表径流的扩大，从而在陆地水循环中扮演了重要的角色。同样，植物的登陆促进了土壤的出现与成熟，通过自身的光合作用固定有机碳并将其中一部分埋藏，从而改造了碳循环系统。陆地生态系统的建立也使得陆地向海洋的物质输送发生变化，使海洋的生产力、氧化还原状态等一系列指标随之转变，从而使海洋生态系统对陆地生态系统的建立产生响应，进一步影响了地球表层系统的转变。这一系列复杂而系统性的转变集中反映于地球的地表关键带中，并在地质历史中被保存于古风化壳中。本研究将系统性地梳理植物登陆前后古土壤的地质记录，对其形态结构、矿物成分及恢复出的降水、温度、季节性等古环境信息进行对比，并探讨这些变化与植物登陆之间的关系，从而进一步探究植物登陆过程对地球表层系统的影响。

S02-P-7S

深时镁同位素风化指标的验证与新解释

黄天正 [1*]，沈冰 [1]，黄康俊 [2]，甯濛 [3]，李超 [4]，薛进庄 [1]，黄宝琦 [1]，孙元林 [1]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 西北大学，地质学系

3 成都理工大学，沉积学院

4 中国地质科学院，铼锇同位素地球化学重点实验室

* tzhuang@pku.edu.cn

大陆风化过程是连接大陆与海洋系统的关键纽带，恢复深时大陆风化对于了解表生地球系统的演化过程至关重要。沉积岩碎屑组分镁同位素被广泛应用于恢复深时大陆风化强度。现有深时镁同位素风化指标基于风化残余物镁同位素随化学风化强度提高的一阶段风化模式。但是，近期实验与现代风化剖面研究发现了优先利用轻镁同位素的次生黏土矿物，挑战了深时镁同位素指标的理论基础。本研究测试了华南地区晚古生代沉积岩与中国南海沉积物样品的矿物、元素与镁同位素组成。通过对比深时镁同位素风化指标与化学蚀变指数（CIA）、镁损失量和矿物组成等风化指标来验证深时镁同位素风化指标。结果表明在较高风化强度下镁同位素随风化强度提高而降低，而在较低风化强度下镁同位素随风化强度的提高

而增加。该结果表明在不同风化强度下存在不同的镁同位素行为，以往的一阶段镁同位素风化模式无法准确追踪大陆风化强度的变化。结合深时样品数据、现今风化剖面与实验研究，我们建立了三阶段的镁含量-镁同位素风化模型。在风化初期原生矿物的溶解与次生黏土矿物的形成造成镁含量的快速降低与镁同位素轻微提高。转换阶段土壤底层绿泥石、蛭石等富镁黏土矿物大量生成造成镁含量和镁同位素的跃升。在进阶风化阶段中，具有较重镁同位素的富镁黏土矿物优先风化，造成镁含量与镁同位素的同步降低。

S02-P-8S

2.5 亿年以来典型时期的沙尘活动模拟研究

林琪凡 [1]，刘永岗 [1*]，郭佳琦 [1]，左浩悦 [1]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* ygliu@pku.edu.cn

The dust cycle inthree typical time periodsofthe past 250 Myr, namely240 Ma, 130 Ma and 80 Ma, is studied using the climate modelCESM1.2.2combined with the vegetation model BIOME4.It is found that the area of subtropical land is the major controlling factorinthe variation of dust loading, while the climate and theland plantevolutionplay a minor role. Therefore, the atmospheric dust loading during most of the past 250 Myr was probably lower than today; only supercontinent era (250 to 180 Ma) probably had more dust in the atmosphere than today. However, during this era, the fraction and absolute amount of dust deposited intothe oceanwasmuch lower thantoday. The dustwas able tocoolthelocal annual mean surface temperature by a maximum of 2 °C, which was obtained in 240 Ma. It is found that the dustwas able to warm the polar regionsduringthis period not bythesnow-darkening effect, but by strengthening both the meridional ocean circulation and thesubpolar gyre.

S02-P-9S

早期陆生植物的微体化石证据

王凯 [1,2]，徐洪河 [1*]，刘炳材 [1,2]，王怿 [1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院大学

* hhxu@nigpas.ac.cn

陆生植物的起源和早期演化是地球生命演化历史中的前沿和具挑战性的重大科学问题，其研究意义与重要性不言而喻。目前已知最早的陆生植物大化石为来自捷克Barrandian 地区志留系温洛克统的*Cooksonia barrandei*，更早的陆生植物化石证据几乎全部由散生的微体化石构成，它们数量庞大，分布广泛。寒武纪中期开始陆续出现几何形态不规则的隐孢子(cryptospores)或类似孢子的微体化石(spore-like microfossils)，这些孢型化石被认为可能由一些适应气生状态生活的链型藻类(streptophyte algae)所产生。学界广泛认可的最早的陆生植物化石证据为报道于中奥陶世（大坪期—达瑞威尔期）的以单孢体、二分体、四面体型或十字型四分体为特征的隐孢子，其可能来自于类似苔藓植物的母体植物。自中奥陶世至志留纪兰多维列世晚期，全球范围内的隐孢子组合具有较为相似的面貌。同时期分布的还有管状体和类表皮等植物碎屑(phytodebris，部分可能来自线形植物 nematophytes)。晚奥陶世三缝孢(trilete spores)开始出现，并且已显示出一定的多样性，可能指示了维管植物或者其支系祖先类型植物的兴起。然而，此前国内涉及早期陆生植物的微体化石研究对上述时段地层的关注不足，在国际上，来自中国的化石证据也相对缺乏。我们的研究聚焦于中国三大块体早古生代地层中的陆生植物微体化石，对

陆生植物的起源方式、地点、时间框架等方面进行探讨并提供新的认识。

S02-P-10S

云南下泥盆统下西山村组岩相以及遗迹化石组合

王嘉树[1]，张立[2]，薛进庄[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 河南理工大学，资源环境学院

* pkuxue@pku.edu.cn

云南曲靖地区的下泥盆统发育完整，研究历史悠久，尤其以丰富的鱼类及早期植物化石闻名于世。其中，下西山村组被认为是曲靖地区下泥盆统的第一套沉积地层。与下伏玉龙寺组截然不同的是，下西山村组中出现大量砂岩，表明陆源输入明显增加。通过对下西山村组 6 个剖面的研究，识别出了以泥岩为主的岩相组合、异粒岩相组合和以砂岩为主的岩相组合。下西山村组中记录了多次风暴沉积，总体表现为一套受到风暴事件的影响的浅海硅质碎屑沉积。当风暴事件逐渐减弱，在好天气浪击面之下的沉积物中保存有丰富的遗迹化石，包括 *Bergaueria*、*Chagrinichnites*、*Chondrites*、*Conichnus*、*Conostichus*、*Cruziana*、*Dactyloidites*、*Didymaulichnus*、*Diplichnites*、*Kouphichnium*、*Lockeia*、*Lophoctenium*、*Monomorphichnus*、*Oravaichnium*、*Olivellites*、*Palaeophycus*、*Parundichna*、*Planolites*、*Protovirgularia*、*Ptychoplasma*、*Rusophycus* 和 *Selenichnites*，这些遗迹化石展现了一个泥盆纪早期繁荣的底栖生物群落。由于早泥盆世全球温度上升，在冈瓦纳大陆周缘浅海陆架沉积中记录了很多风暴事件，对下西山村组沉积学的精细研究为早泥盆世提供了一个异重流水下三角洲的沉积实例。

S02-P-11

云南曲靖海口组成煤植物的初步研究

黄璞[1*]，王雪莲[2]，刘璐[3]，熊聪慧[4]，郭芸[5]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院西北生态环境资源研究院

3 北京自然博物馆

4 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

5 云南大学，古生物研究院

* puhuang@nigpas.ac.cn

云南曲靖地区非海相泥盆系发育连续，产有大量植物化石，其中以早泥盆世徐家冲植物群和中泥盆世海口（西冲）植物群最具代表。同时海口组中还形成有典型的角质残植煤，代表着中国华南地区煤的成因类型由腐泥煤向腐植煤的转化。早在 1964 年，以韩德馨先生为代表的煤田地质学家就对这一时期的煤开展了系列工作，探讨其类型、沉积环境和形成机制。同时，古植物学家通过对煤中分散角质层的详细研究，揭示出分散角质层的类型、特征以及可能的母体植株。然而，目前我们对形成这套角质残植煤的母体植株依然所知甚少。

本研究对云南曲靖麻黄冲剖面海口组中的植物和分散角质层进行细致研究，通过角质层特征，确定了其中一类分散角质层的母体植株。该植物呈长带状，未见分叉，观察到的长度可达半米以上。茎轴上偶有小圆孔，推测为稀疏的毛状体脱落所形成，未观察到叶等器官。角质层经酸浸解后呈琥珀色或黄褐色。角质层中表皮细胞呈长条形或长纺锤形。气孔不规则分布在茎轴背腹两侧。气孔器椭圆形，长轴与表皮细胞伸长方向一致，由 2 个保卫细胞组成，无副卫细胞。气孔器两极明显加厚，具尖刺状极线（polar strands）。在电子扫描镜下可以观察到保卫细胞中部密生瘤状突起。以上这些形态学特征明显区别于已知的 *Drepanophycus*、*Psilophyton*、*Zosterophyllum* 及 *Taeniocrada* 等属，应为一新属种植物。结合前人报道的

分散角质层可知，该植物有较广泛的分布，且时间延限从早泥盆世至中泥盆世。该植物与其他植物何以在中泥盆世广泛聚集形成角质残植煤，还需要进一步的工作加以揭示。

S02-P-13

珠江口盆地珠一坳陷文昌组烃源岩孢粉相特征及其石油地质意义

时翠[1*]，李小平[1]，刘新宇[1]，董小云[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司 ，广东深圳 518000

* shicui21@163.com

珠江口盆地珠一坳陷始新世文昌组是优质烃源岩发育的有利层段。利用孢粉藻类化石和孢粉相资料，自下而上建立了*Polypodiaceaesporites-Ulmipollenites-Quercoidites* 、*Quercoidites-Pinuspollenites-Ulmipollenites* 、*Liquidambarpollenites-Pinuspollenites* 、*Pinuspollenites-Polypodiaceaesporites*4 个孢粉组合带。首次识别出 3 个孢粉相组合，孢粉相组合I反映了缺氧条件下的半深湖-深湖相沉积，有机质母质来源主要是低等水生生物；孢粉相组合II反映了富氧条件下的三角洲相沉积，有机质母质来源主要是陆源高等植物；孢粉相组合III反映了贫氧-缺氧条件下浅湖相沉积，有机质母质来源主要呈现出混源特征。文昌组四段泥岩呈现富藻-富无定形有机质特征，具有较好的生油潜力，其次为文昌组三段和文昌组五段。孢粉古气候分析表明，始新世早中期气候温暖潮湿，促进了湖泊藻类的发育，稳定的水体和缺氧环境为富油源岩的形成提供了良好的条件。始新世文昌组存在热液活动，为藻类发育提供了丰富的营养物质，提高了湖泊的初级生产力，并进一步加剧了缺氧条件，促进了有机质积累和保存。烃源岩孢粉相和元素地球化学指标耦合分析表明，缺氧条件是珠一坳陷始新世文昌组优质烃源岩形成的主控因素。

S02-P-14S

不同沉积环境下控制的过渡相页岩孔隙结构

彭雪[1]，鲁静[1*]，杨敏芳[2]，何振[1]，樊敏[1]，郑可欣[1]，Jason Hilton[3]，邵龙义[2]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院

2 中国石油勘探开发研究院

3 伯明翰大学，地理、地球与环境科学学院

* Lujing@cumtb.edu.cn

我国海陆过渡相页岩储层分布广泛、开发潜力巨大，其发育特征与分布、物质组成，沉积模式、有机质富集机理研究较多，关于页岩的微观孔隙结构特征研究不够系统。在这里，我们提供了鄂尔多斯盆地东缘保德和大宁吉县地区页岩孔隙结构演化过程，累计表面积、孔径、总孔体积、和总有机碳（TOC）数据结果表明：（1）研究区过渡相页岩总有机碳（TOC）含量为 0.2%~8.9%；全岩以黏土矿物（51.1%）和石英（40.2%）为主，含少量长石、菱铁矿、黄铁矿和方解石等；黏土矿物以高岭石（59.5%）为主，其次是伊利石（19.8%），含少量伊蒙混层和绿泥石。（2）孔隙体积占比的结果表示过渡相页岩储层中主要以介孔为主，其次是宏孔，微孔含量极少。（3）三角洲沉积环境条件下，宏孔和介孔孔体积与高岭石呈正相关，与伊蒙混层和伊利石含量呈负相关；海湾-潟湖沉积环境，微孔孔体积与 TOC 含量呈正相关，与石英含量呈负相关。

S02-P-15S

黔北旦坪铝土矿床黏胶球形成时间研究

成龙[1]，余文超[1*]，周锦涛[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* yuwenchaocug@163.com

世界大多数沉积型铝土矿都具有鲕状结构，因此对鲕粒成分及其生长所需时间的评估是重建沉积型铝土矿形成古环境的有力工具。但鲕粒的定义及成因在铝土矿研究中尚不明确。区别于物理化学及生物成因的碳酸盐岩鲕粒，近年来铝土矿鲕粒胶体化学成因被广泛认可。对土壤的淀积黏化层中较厚的黏粒胶体薄膜切片研究，发现与鲕状结构相似的由胶体薄膜形成的呈层状结构，提出将铝土矿鲕状结构命名为“黏胶球”。鲕状铝土矿是黔北务川-正安-道真（务正道）地区旦坪铝土矿床含矿岩系中常见的矿石类型，黏胶球显著发育。在对该矿床典型含矿岩系剖面地质特征研究基础上，使用 ImageJ 软件，采用二分值法黑白双色图像进行黏胶球圆度统计，归一化处理黏胶球粒径，表明其圆度以圆形、近圆形为主；对黏胶球圈层数目统计，以 1-2 层为主。基于 Fick 第一定律及其拓展式，将计算氧化铁结核形成时间的模型应用于铝土矿黏胶球，构建其扩散生长模型。黏胶球由不同类型的核心及周围交替出现的铝赤铁矿、勃姆矿圈层组成，使用分子扩散模型， 并假设流体流量可以忽略不计，计算了黏胶球圈层生长所需的时间，结果表明：黏胶球铝赤铁矿圈层的形成时间为 0.23-94.72 年，勃姆矿圈层的形成时间为 0.19-151.36 年，微观尺度黏胶球的形成时间约为 0.84-492.16 年，并根据该尺度预估铝土矿中各尺度黏胶球的形成时间为 0.84-5559 年。此外，解释了黏胶球与淋滤作用的关系，一水硬铝石指示高强度淋滤作用，铝赤铁矿则指示低强度淋滤作用，互层状圈层的形成一定程度上指示了旦坪地区含铝土矿地层小幅升降旋回运动，从微观上刻画了周期性的成矿节律。

S02-P-16S

特提斯域铝土矿物源及其构造背景转变：基于随机森林和逻辑回归的分析

周锦涛[1,2]，余文超[1,2*]，魏巍[1,2]，杨名宇[1,2]，杜远生[2,3]

1 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室&地球科学学院

2 自然资源部，基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心

3 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室&地球科学学院

* yuwenchaocug@163.com

地球系统科学的发展引发了人们对多圈层作用控制铝土矿形成的广泛兴趣。特提斯成矿域内有丰富的喀斯特型铝土矿，但其成因和分布的演化与控制尚不完全清楚。本研究利用随机森林模型分析了特提斯域内三个铝土矿省（包括地中海、中亚和中国省）汇编的主量元素数据集，寻找决定铝土矿省分类最重要的变量，并评估物源、古纬度和构造背景等因素的影响。我们的研究表明，当随机森林模型达到最佳分类性能时，铝土矿的 TiO_2 是对模型影响最大的变量，其含量在中亚铝土矿省最高。铝土矿的高 TiO_2 含量表明其物源为岩浆岩，来自俯冲带物源区。TiO_2 含量与大陆基底相似的铝土矿来源于硅质碎屑岩和碳酸盐岩，表现为造山带物源区的特征。因此本研究阐明了铝土矿的地球化学成分（TiO_2 含量）、物源和区域构造背景之间的新联系。

S02-P-17

石炭-二叠纪时期海平面变化和植被演化对黔北铝土矿发育的促进作用

魏巍[1,2*]，余文超[1,2]，杜远生[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院
2 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室
* weiwei910911@163.com

铝土矿是化学风化作用的细粒终极产物，与强烈的化学风化作用密切相关。化学风化破坏了原始沉积物中原生矿物的结构，形成新的细粒矿物，该过程将活动元素（如，K，Na，Ca，Mg 等）与些稳定的元素（如 Al、Ti 等）分离。大气降水等在渗入地下的过程中对沉积物产生淋滤作用，此过程会带走易迁移元素，使稳定元素得以保留。长期的淋滤作用促进了铝的富，最终导致铝土矿床的发育。黔北地区喀斯特型铝土矿是我国超大沉积型型铝土矿矿床，多发育于湖泊相滨浅湖亚相环境。该区域的喀斯特地貌为石炭-二叠纪铝土矿的发育提供了有利场所。晚石炭-早二叠纪时期，期植被的繁盛和在覆盖面积的增加，促进了地表的化学风化作用，而动荡的海平面和气候条件，导致沉积环境的地下水水位高度发生频繁变化，促进了铝土矿的淋滤、富集过程。频繁的海平面波动以古盐度信号（B/Ga）的形式记录下来，黔北地区多个区域的古盐度均指示过渡相半咸水沉积，且可见显著的盐度波动，指示海平面的高低变化，与同时期北美陆表海沉积地层记录的频繁的海平面波动有较好的对应关系。基于黔北地区石炭-二叠纪海陆过渡相铝土矿的成矿机制，本研究建立了铝土矿的淋滤成矿模型，为进铝土矿的勘探和开发提供了新的理论参考。

S02-P-18

贵州早石炭世锂资源分布特征及富集规律研究

马义波[1]，谯文浪[2*]，孟伟[1]，周刘洋[1]，谯常[1]，陈武[1]

1 贵州省地质矿产勘查开发局，贵州省地质调查院
2 贵州省地质矿产勘查开发局，一〇二地质大队
* qiaowenlang@163.com

锂是新能源、新材料、新工艺发展的重要战略矿产资源。贵州早石炭世沉积型锂资源异常富集，LiO_2 含量为 0.2~1.09%，本次对金沙地区 2 个钻孔和 1 个探槽取样分析结果发现，LiO_2 平均含量为 0.37%，最高可达 0.53%。通过地球化学分析结果发现研究区白云岩和松散堆积物具有锂高背景和强分异特征，白云岩、灰岩、泥岩均高于全国各岩类中锂含量平均值，且区内白云岩和泥岩中 Li 相对较富集。本文以实地野外调查和地球化学分析相结合，总结早石炭世锂资源在横向上和纵向上的分布特征。在区域上，锂资源分布主要与含铝粘土岩分布区密切相关；在早石炭世含铝岩系中，锂主要分布于其中上部，下部偶有见及。并通过其赋存形式、沉积环境等对其富集规律进行讨论。

S02-P-19S

HG 和 C 同位素证实的火山和野火与亚丁斯克期深时冰川消融的联系

王野[1]，鲁静[1*]，杨敏芳[2]，Joyce A. Yage[3]，Sarah E. Greene[4]，孙若愚[5]，穆小苗[5]，边晓[1]，Jason Hilton[4]，邵龙义[1]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院
2 中国石油天然气集团公司，中国石油勘探开发研究院
3 南加州大学 9 号分校，地球科学系
4 伯明翰大学，地理、地球与环境科学学院
5 天津大学，地球系统科学学院
* lujing@cumtb.edu.cn

当前，我们人类正在经历以格陵兰岛和西伯利亚永久冻土融化为标志的全球变暖，

“深时”地质记录可以让我们深入了解冰川消融的过程和机制。晚古生代冰期的冰原在大约 2.9 亿年前早二叠纪的 Artinskian 早期大规模消融，这与全球温度、大气二氧化碳分压和海平面的急剧上升有关，并伴随着陆生植物分布和多样性的重大变化。这种大规模冰川融化与多次大规模的火山事件时间上高度耦合，但由于缺乏详细的同时期的火山活动和环境变化的沉积记录，其原因和影响尚未明确确定。因此，我们从柳江煤田的 Artinskian 期陆相地层中记录了这些事件。我们新的 U-Pb 锆石定年、高分辨率化学地层学和干酪根显微组分数据显示，该地区的环境变化（碳循环扰动、野火和大陆风化）与 Tarim-II、Panjal 和 Choiyoi 火山相关的大规模火山活动有着错综复杂的联系。我们的研究表明，火山活动和野火通过释放温室气体来提高温度，变暖导致冰盖融化，释放陆地 Hg 和 C，并导致 Hg 和 C 循环异常。

S02-P-20S

早侏罗世普林斯巴赫期泥炭沼泽古环境恢复与重建

尹露生 [1]，鲁静 [1*]，杨敏芳 [2]，吴晓璇 [1]，何振 [1]，Jason Hilton[3]，邵龙义 [1]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院

2 中国石油天然气集团公司，中国石油勘探开发研究院

3 伯明翰大学，地理、地球与环境科学学院

* lujing@cumtb.edu.cn

早侏罗世普林斯巴赫期是全球重要的聚煤时期，该时期伴随着全球碳循环波动、海平面上升/下降及变暖和变冷事件多次转变。但关于该聚煤时期的泥炭沼泽古环境的演化还未有较系统的研究。在这里，我们提供了来自中国西北柴达木盆地普林斯巴赫期泥炭沼泽环境的演化过程。沉积学、孢粉学、煤岩学、层序地层学和地球化学数据表明，研究区普林斯巴赫期处在河流三角洲沼泽环境到湖泊沼泽环境的演变。垂向上沼泽系统的植物分为三个演化阶段，即木本植物繁盛阶段、草本植物发育阶段和浮游植物发育阶段。泥炭沼泽整体处在一个还原-弱氧化环境，伴随着镜质组增多和惰质组减少指示的沼泽水面逐渐变深，沼泽系统的生产力也随着增加。我们的研究结果表明，干湿气候环境下陆地植物的多样性、营养物质的输送以及沼泽水文条件变化是沼泽频繁更替的一个重要驱动机制。

S03-O-1

橄榄岩蛇纹石化与蛇纹岩变质脱水过程中的非传统稳定同位素地球化学行为

陈伊翔 [1*]，熊家伟 [1]，赵梅善 [1]，乔新月 [1]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* yxchen07@ustc.edu.cn

蛇纹岩在俯冲带地球化学循环中发挥着重要作用。蛇纹岩富集 H_2O、C、S、卤素和稀有气体等挥发分，也是 B、As、Sb 等流体活动性元素的重要载体。揭示橄榄岩蛇纹石化过程以及蛇纹岩变质脱水过程中的非传统稳定同位素地球化学行为对我们理解低压蛇纹石化过程、俯冲带高压/超高压流体循环和元素循环、地球壳幔系统演化都具有重要意义。在这个报告中，我将着重阐述橄榄岩蛇纹石化过程中 Mg-Fe-Zn-B 等稳定同位素分馏行为，然后在制约蛇纹岩变质过程岩石学行为的基础上，探讨蛇纹岩变质脱水过程中 Mg-Fe-Zn-B-Mo 等稳定同位素的分馏行为。报告还将基于这些认识探讨蛇纹岩在汇聚板块边缘壳幔相互作用和弧岩浆形成过程中的作用，并就存在的关键科学问题进行展望。

S03-O-2

贫岩浆型裂谷边缘洋-陆过渡带地幔蛇纹岩化与氢气通量

刘仲兰[1*]，Marta Perez-Gussinye[2]，Wolfgang Bach[2]

1 吉林大学，地球科学学院

2 Center for Marine Environmental Sciences,Geophysics - Geodynamics

* zliu1991@jlu.edu.cn

地幔蛇纹岩化—地幔岩中二价铁被水化过程，长期以来受到了科学界的广泛关注。一方面蛇纹岩化过程能够为地下微生物群落提供代谢能量，有可能在光合作用出现之前驱动了地球早期生态系统的演化；另一方面，由于蛇纹石矿物在高压下的稳定性，它是大洋板片中将浅部海水带入深部地幔的重要含水矿物，参与了全球氢(水)循环关键过程，影响了早期地球及类地行星(如火星)上宜居环境的分布以及水圈和大气的演变。在贫岩浆型裂谷边缘的洋陆过渡带，地球物理和地质资料均显示地幔暴露海底，并在数百公里范围内进行水化，但与此过程相关的 H_2 通量却鲜为人知。

为此，我们将蛇纹石化反应与高精度二维热力学数值模型耦合起来，以探讨洋陆过渡带地幔出露的动力学过程以及该过程中的 H_2 通量。我们以西伊比利亚-纽芬兰这一组研究程度最高的贫岩浆型裂谷边缘约束模型主要热力学参数。数值模拟揭示在洋陆过渡带形成过程中地幔水化产生 H_2 的速度为（7.5 ± 2.5）$\times 10^7$ mol/yr。结合广角地震剖面推测的北大西洋贫岩浆型裂谷边缘洋陆过渡带的面积，我们计算出在北大西洋稳定洋脊扩张系统形成之前，累积的 H_2 产量可能高达 4.3×10^{18} mol（8.6×10^{12} 吨），其速率为~1.4×10^{17} mol/m.y. ， 这相当于全球洋中脊系统产生的总通量的四分之一。

尽管模型基于很多简化的假设，我们的计算结果明确指出了洋陆过渡带的 H_2 生成是全球氢-氧元素循环的重要环节，对嗜氢微生物生命至关重要，可能是一种潜在的无碳清洁能源。

S03-O-3

地幔楔蛇纹石化过程铁同位素分馏及其对岛弧岩浆成因的启示

邓江洪[1*]，何永胜[2]，孙卫东[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 中国地质大学（北京）

* jhdeng0507@163.com

蛇纹岩广泛存在于蚀变的大洋岩石圈地幔中，是俯冲带水和挥发性元素的主要载体，对俯冲带水循环、地幔氧逸度演化以及岛弧岩浆岩的产生至关重要。此外，地幔楔蛇纹岩在俯冲带也广泛存在，然而地幔楔蛇纹石化过程中的 Fe 同位素分馏明显认识不足，同时地幔楔蛇纹岩在地幔氧逸度演化及岛弧岩浆形成中的重要性也一直被低估。针对以上问题，我们研究了 IODP 366 航次钻探获得的马里亚纳俯冲带弧前地幔楔蛇纹岩/蛇纹石化橄榄岩的 Fe 同位素组成，揭示了地幔楔蛇纹石化过程中显著的 Fe 氧化和 Fe 同位素分馏现象，并探讨其机制以及对岛弧地幔楔氧逸度、岛弧岩浆岩 Fe 同位素组成的启示。

研究结果显示，这些地幔楔蛇纹岩发生了高度蛇纹石化至完全蛇纹石化，并且随着蛇纹石化程度增加，Cl 和 SO_3 含量均有增加的趋势。这些蛇纹岩的橄榄岩原岩十分亏损，但其 Fe 同位素组成却总体偏重（δ^{56}Fe, -0.01–0.15‰），明显高于橄榄岩原岩，说明地幔楔蛇纹石化过程导致蛇纹岩的 Fe 同位素组成逐渐变重（δ^{56}Fe 增加）。这些蛇纹岩的 Fe 同位素值(δ^{56}Fe)、$Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 与烧失量、Cl 和 SO_3 含量均表现出明显相关性，结合其全岩 Fe 含量随烧失量升高轻微降低的特征，指示弧前地幔楔在富氯/硫酸根板片流

体作用下不断蛇纹石化的过程中发生了Fe^{2+}的丢失以及显著的 Fe 同位素分馏。也就是说，具有轻 Fe 同位素组成的Fe^{2+}随渗滤板片流体不断流失，导致残留的蛇纹岩 Fe 同位素组成变重，同时$Fe^{3+}/\Sigma Fe$比值升高。马里亚纳弧前地幔楔蛇纹岩的高 $Fe^{3+}/\Sigma Fe$比值介于磁铁矿和赤铁矿之间，结合其高的SO_3含量，指示弧前蛇纹石化地幔楔具有很高的氧逸度。这样高氧逸度的弧前地幔楔蛇纹岩可沿俯冲隧道被俯冲板片拖拽到弧下地幔深度并分解释放氧化性流体，对岛弧岩浆的氧逸度产生重要影响。

基于以上结果，我们提出在俯冲带地幔楔底部的成熟蛇纹岩可以作为过滤层固定富重铁同位素的Fe^{3+}，并释放轻铁同位素的Fe^{2+}离子进入渗滤的板片流体。这些流体随后可迁移至上部地幔楔甚至地幔熔融区，进而影响岛弧岩浆的产生。这对于岛弧岩浆氧逸度及 Fe 同位素组成具有重要意义，即地幔楔蛇纹石化过程以及随后的一些地质过程（地幔楔蛇纹岩俯冲分解脱水）可能会导致岛弧地幔逐渐氧化并富集轻 Fe 同位素，这样的岛弧地幔部分熔融就会产生具有轻 Fe 同位素组成的氧化性岛弧岩浆。

S03-O-4

贫铁叶蛇纹石与俯冲带的硼，砷，锑循环

吴凯 [1*]

1 西北大学，地质学系，大陆动力学国家重点实验室

* wukai@nwu.edu.cn

弧岩浆和地幔楔蛇纹岩相似的流体活动性元素富集特征，特别是弧岩浆高的 B、As 含量和$\delta^{11}B$值，说明蛇纹岩和弧岩浆作用之间存在密切联系。但是，蚀变洋壳和沉积物在俯冲早期（<350°C）就将大量 B、As 和 Sb 释放了出来，脱水后的蚀变洋壳和沉积物的贡献难以解释像 South Sandwich 和 Izu 弧岩浆高达+10‰ - +15‰的 B 同位素组成。煎茶岭蛇纹岩和亮垭子蛇纹岩的原岩均为弧前地幔楔橄榄岩，参与蛇纹石化和蛇纹石矿物相转变过程的流体均为俯冲板片脱水所产生的流体。部分煎茶岭蛇纹岩中发育有叶蛇纹石小细脉，而亮垭子叶蛇纹石蛇纹岩则形成于俯冲通道较深位置。原位的成分分析表明，煎茶岭蛇纹岩中的这些细脉状叶蛇纹石的 B（386-653 ppm）、As（198-334 ppm）和 Sb（6.24-8.01 ppm）含量不仅高于亮垭子叶蛇纹石蛇纹岩中的叶蛇纹石，而且比煎茶岭蛇纹岩中的利蛇纹石都高 2~3.5 倍。煎茶岭蛇纹岩中的叶蛇纹石均为贫铁叶蛇纹石。在相同 Si 条件下，贫铁叶蛇纹石具有低 Al 和高 Mg 的特征，指示其晶体结构中的四面体位置可能存在其它阳离子。叶蛇纹石的 B 含量和 Fe 存在负相关关系。考虑到利蛇纹石中 Fe^{3+}主要通过替代四面体位置的 Si^{4+}和八面体位置的 Mg^{2+}来维持其水平的晶体结构，而 B^{3+}、As^{5+}和 Sb^{5+}具有和四配位硅（$^{IV}Si^{4+}$）相近的离子半径，所以贫铁叶蛇纹石中 B^{3+}、As^{5+}和 Sb^{5+}更多地占据了的 $^{IV}Si^{4+}$位置。替换主要通过“$^{IV}As^{5+} + {}^{IV}B^{3+} = 2{}^{IV}Si^{4+}$”的方式来实现，以达到电价和半径的平衡。俯冲通道浅部这些富CO_2流体的存在可以维持利蛇纹石向叶蛇纹石转变过程中相对较低的 pH，从而增加Fe^{2+}的溶解度。在利蛇纹石向叶蛇纹石的转变过程中，利蛇纹石中过多的Fe^{3+}难以适应叶蛇纹石的晶格，被还原成Fe^{2+}；当这些Fe^{2+}被带走后，就会在俯冲通道内形成贫铁的叶蛇纹石。在俯冲板片脱碳产生的富CO_2流体参与下发生蛇纹石矿物相转变时，利蛇纹石中大量占据四面体位置的Fe^{3+}被还原和释放，从而在俯冲通道内形成贫铁的叶蛇纹石；同时，流体较高的氧逸度使得 B^{3+}，As^{5+}和 Sb^{5+}更多地进入到贫铁叶蛇纹石中。由于俯冲带蛇纹岩的变质脱水是不连续的变质脱水过程，所以贫铁叶蛇纹石可以有效地俯冲带浅部释放出的 B、As 和 Sb 携带到弧下，并参与弧岩浆的形成。

S03-O-5

高度蛇纹石化橄榄岩的岩石磁学特征：以伊比利亚深海平原 ODP 1070A 孔为例

章钰桢 [1]，姜兆霞 [1,2*]

1 教育部深海圈层与地球系统前沿科学中心，中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室和海洋地球科学学院

2 崂山实验室海洋地质过程与环境功能实验室

* jiangzhaoxia@ouc.edu.cn

蛇纹石化是海底最重要的水岩相互作用之一，指基性岩和超基性岩中的橄榄石和辉石等镁铁质矿物在相对低温条件下(≤500°C)发生水热蚀变产生蛇纹石等矿物的热液变质作用。总的来说，地幔物质易出露在地壳减薄区域和断裂构造处，这有利于与流体充分接触反应，从而决定了大洋蛇纹石化作用发生的可能位置，例如，洋陆转换带(OCT)、慢速到超慢速扩张洋脊、俯冲带、走滑断层和快速扩张洋脊处的构造窗。产生的蛇纹石族矿物包括利蛇纹石、纤蛇纹石和叶蛇纹石三种，前两者为低温蛇纹石化过程产生，后者为高温状态下产生。

前人对蛇纹石化过程的研究主要通过岩石微观结构、地球化学指标等定性指示。而橄榄岩在蛇纹石化过程中会产生磁铁矿，磁铁矿的性质与含量与蛇纹石化程度和过程密切相关，因此利用磁学方法有望对蛇纹石化过程的发生机制以及后期的氧化过程提供新思路。因此，我们选取了伊比利亚深海平原 ODP1070A 钻孔开展研究。该区域的深海蛇纹岩经历了高度蛇纹石化过程，岩石磁学结果表明，从深到浅存在四种阶段类型的蛇纹岩。类型I为高度蛇纹石化的蛇纹岩，多畴和准单畴磁铁矿和贫钛磁铁矿为主要的携磁矿物；类型II保留了一部分未完全蛇纹石化的蛇纹岩，因此存在顺磁性的铬尖晶石，单畴磁铁矿为主要的携磁矿物；类型III为已遭受后期氧化的蛇纹岩，准单畴磁赤铁矿为主要的携磁矿物，且含部分磁铁矿；类型IV为严重遭受后期氧化的蛇纹岩，准单畴磁赤铁矿和赤铁矿为主要的携磁矿物。产生这四类蛇纹岩的可能机制是，蛇纹岩暴露于开放性的流体环境中，持续的蛇纹石化产生大量的多畴和准单畴磁铁矿，但是在后期保存过程中与海水接触，上部岩石会发生二次氧化蚀变，产生磁赤铁矿和赤铁矿。因此，利用岩石磁学方法，可以为水岩界面的蛇纹石化过程以及后期氧化蚀变提供可靠的证据。

S03-O-6

流体包裹体内的蛇纹石化、碳矿化和甲烷合成

张龙 [1,2*]，王强 [1,2,3]，丁兴 [1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院深地科学卓越创新中心

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* zhanglong@gig.ac.cn

基性-超基性岩中的橄榄石和辉石等矿物在相对高温下捕获含碳流体形成流体包裹体后，在冷却过程中由于流体包裹体和寄主矿物的反应，流体包裹体内可以发生原位的蛇纹石化或碳酸盐化。作为达到热力学平衡的相对封闭系统，流体包裹体可以保留蚀变反应生成的气体，成为研究蛇纹石化、矿物碳酸盐化及相关非生物甲烷合成的新型窗口。通过该手段，本研究在以下方面取得了进展：（1）在北祁连弧前橄榄岩内发现了在高温和碳酸盐饱和情况下发生了叶蛇纹石化的流体包裹体，流体包裹体中磁铁矿和甲烷的存在表明叶蛇纹石化可以发生铁的氧化并合成甲烷；（2）在新喀里多尼亚弧前橄榄岩内发现了蛇纹石化时形成的新型羟基氯化物库利津矿，由于其富铁的性质，库利津矿的形成会显著影响蛇纹石化铁的分配及氢气和甲烷生成过程；（3）在大别山辉石岩不同基性矿物内发现了发生原位高程度碳酸盐化的流体包裹体，其中甲烷的存在

表明基性矿物高度碳酸盐化时，铁可以发生一定的氧化并合成甲烷。

S03-O-7

以分子动力学模拟技术揭示蛇纹石/水相互作用对流体运移的影响

陈锰 [1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，中国科学院矿物学与成矿学重点实验室

* chenmeng@gig.ac.cn

蛇纹石是层状硅酸盐矿物，片层之间主要由弱的范德华作用和氢键作用连接（叶蛇纹石片层间局部由化学键连接），因而片层之间容易发生滑移而形成位错、变形。利蛇纹石片层间的滑移而造成的断层蠕滑被认为是板块俯冲启动的原因。蛇纹石是橄榄岩水化的产物，蛇纹石随着板块俯冲的进行在地球深部发生脱水反应，因而蛇纹石的形成与转变过程与含水流体密切相关。含水流体的孔隙水超压可能导致蛇纹石片层间形成裂隙，裂隙的形成被认为可能与中-深部地震的诱发相关；裂隙提供了流体运移的通道，影响地球深部流体向浅部运移过程的元素循环。而关于含水流体与蛇纹石间的相互作用对片层间裂隙形成的物理机制（包括热力学与力学因素），及裂隙的形成是否必然是一种脆化机制从而导致应力的瞬时释放，仍然不清楚。笔者以分子动力学模拟为基础，进行热力学计算，阐释含水流体对蛇纹石片层间裂隙形成的影响，分析了温度、静岩压力、孔隙水压力对物理性质的影响，为认识蛇纹石对含水流体输运及岩石变形机制提供助力。

S03-O-8

蛇纹石化过程与地外生命探测

申建勋 [1]，林巍 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院地球与行星物理重点实验室

* weilin@mail.iggcas.ac.cn

蛇纹石化是基性岩或超基性岩中的铁镁质矿物在相对低温的条件下通过水热蚀变和热液变质作用产生蛇纹石等矿物的过程，该过程是地球生物学与天体生物学的重要研究课题之一。蛇纹石化与火山活动和陨石撞击相似，可以在地外天体的极端条件下通过无机过程产生氢气和甲烷等还原性的气体，该过程的产物是地位生命探测中常见的假阳性生命信号。值得注意的是，氢气、甲烷等还原气体不仅为前生命体系的发生提供了契机，而且可以作为有机物形成的原料为微生物等生命提供营养物质，加之蛇纹石化后的变质产物对有机质和生物矿物类生命信号具有较好的保存能力，因此蛇纹石化现象可能指示了适宜生命起源和生存的宜居环境。当前，在发生蛇纹石化的区域探寻生命已成为地外生命探测任务的前沿和热点，例如火星上的尼利沟槽被发现存在活跃的甲烷释气现象。由于地球上绝大部分的甲烷来源于生命活动，因此在火山活动和撞击事件不频繁的地外天体（例如现代火星和冰天体）上，甲烷是来源于蛇纹石化过程还是生命过程，抑或二者兼有，还有待进一步探究。甲烷是詹姆斯·韦伯太空望远镜唯一能检测到的系外天体上的潜在生命信号，也很可能是最先探测到的地外生命气体类信号，然而甲烷所指示的未必是生源信号。因此，表征蛇纹石化过程产生的甲烷和生命过程释放的甲烷对天体大气的改造特征（如成分、同位素、化学平衡态等）和效率是未来天体生物学研究的重要内容。

S03-O-9

蛇纹石化合成氨及其对生命起源的启示

商修齐[1,2,3]，黄瑞芳[4*]，孙卫东[1,2,3]

1 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心
2 崂山实验室，深海多学科交叉研究中心
3 中国科学院大学
4 南方科技大学，前沿与交叉科学研究院
* huangrf@sustech.edu.cn

氨基酸是生命起源过程中的关键物质。著名的 Miller-Urey 实验证明甲烷（CH_4）、氨气（NH_3）、水蒸气和氢气在电火花下可以产生大量氨基酸，这一实验被认为是生命起源最重要的前置反应之一。然而，传统认为冥古代时期地球大气的初始成分主要包括二氧化碳（CO_2）和氮气（N_2），在这样的中性大气里氨基酸合成的效率将大大降低，氨基酸能否在早期大气中大量合成仍然存在争议。其中的关键科学问题在于，早期地球是否存在充足的氨源从而能够大量合成氨基酸。为解决这一难题，我们进行了“橄榄岩+水+氮气（+二氧化碳）”的高温高压实验。实验结果证明氮气参与蛇纹石化过程，产生氨基酸合成的关键原料——氨（$Fe^{2+}+H_2O \rightarrow Fe^{3+}+H_2$; $3H_2+N_2=2NH_3$）。考虑到蛇纹石化过程中同样可以产生大量甲烷，在冥古代地表广泛的蛇纹石化作用下，原始大气的成分将会从以二氧化碳和氮气为主演化为以甲烷和氨气为主，地球早期氨基酸的合成效率大大提升，为生命起源提供了物质基础。

S03-O-10

火星蛇纹石高光谱目标探测算法研究

吴兴[1*]，刘洋[1,2]，林红磊[3]，张霞[4]

1 中国科学院国家空间科学中心
2 中国科学院比较行星学卓越创新中心
3 中国科学院地质与地球物理研究所
4 中国科学院空天信息创新研究院
* wuxing@nssc.ac.cn

蛇纹石化环境是寻找火星潜在生命标志物的重要区域。目前火星蛇纹石的识别和探测依赖专家知识和目视解译，主要存在以下问题：①由于成像条件、地形起伏等外部因素和矿物结晶程度、粒径大小、表面粗糙度等内因，同一种含水矿物会表现出不同的光谱，即“同物异谱”现象。光谱变异性使得不能用唯一的光谱曲线刻画待测目标。②受传感器空间分辨率限制，轨道器获取的含水矿物像元通常为亚像元。矿物和沙尘的非线性混合抑制了含水矿物的吸收特征，降低了反射率的对比度，导致基于吸收特征或光谱形状匹配的方法失效。高光谱目标探测技术能够根据目标光谱的细微差别将其与背景地物区别开来，且无需知道复杂的背景信息。本研究旨在解决目前光谱参数和常规高光谱技术难以精确识别蛇纹石的问题，发展面向火星蛇纹石的目标探测算法，提高蛇纹石的探测精度。

S03-O-11

富铁橄榄石的蛇纹石化过程及产物：对火星的启示

王夕予[1]，赵宇鸿[2,3*]，胡森[4]，王华沛[5]，王军虎[6]，綦超[4*]，林红磊[4]，林杨挺[4]，李雄耀[1,3]，刘建忠[1,3]

1 中国科学院地球化学研究所，月球与行星科学中心
2 成都理工大学，地球科学学院行星科学国际研究中心
3 中国科学院比较行星学卓越创新中心
4 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理重点实验室
5 中国地质大学（武汉），地球物理与地理信息学院古地磁学与行星磁学实验室

6 中国科学院大连化学物理研究所，穆斯保尔谱学中心

* zhaoyuyan@cdut.edu.cn

* qichao@mail.iggcas.ac.cn

橄榄石是火星壳中最不稳定的造岩矿物，在水岩作用下会优先蚀变，形成多种次生矿物。与地球上的橄榄石大多以镁橄榄石为主不同（如圣卡洛斯橄榄石；Fa10），火星地表广泛分布富铁橄榄石（铁含量占比≥20%）。富铁橄榄石的蛇纹石化过程，理论上来说可以比富镁橄榄石产生更多的氢气，可能是火星早期温室气体甚至甲烷的重要来源。但截至目前，不同铁牌号的富铁橄榄石在蛇纹石化过程中的溶解速率、产物，特别是铁在次生产物中的配分等，仍缺乏约束。开展富铁橄榄石的蛇纹石化研究将有助于讨论火星早期水岩作用过程和水物理化学条件、大气氧化还原状态和早期火星气候历史的地质记录。

我们对一组初始铁含量呈梯度的合成橄榄石样品（Fa100, Fa71, Fo50, Fa29）开展了蛇纹石化实验，并与地球自然产出橄榄石（Fa10）做了对比。蛇纹石化的实验条件为水岩比为 5，200℃，15 MPa，20 天。实验过程中使用去氧重水（溶氧<1 ppm）和氩气，保持了体系中的缺氧条件。反应结束后，对最终产物（固体、液体和气体）进行了收集和分析表征。着重考察了随着橄榄石初始铁含量的增加，反应产物是否存在线性变化，并对选定的溶液、固体和气体样品的氢同位素特征进行了分析。

初步结果表明，水岩反应只改造了非常少量的橄榄石样品。磁铁矿、滑石和明尼苏达石在蛇纹石化的早期阶段就已出现。所有富铁橄榄石（Fa29~Fa100）实验中都未产出水镁矿。初始橄榄石的 Fa 牌号值对流体组成有较大影响。在流体中和被改造的橄榄石颗粒的边缘都观察到 D/H 分馏现象。我们将在会议上报道完整的实验结果。

S03-O-12

茫崖蛇纹石化和碳酸盐化系统的多尺度光谱学研究--对火星气候的指示

叶斌龙[1*]，Joseph Michalski[1]，朱建喜[2]，李一良[1]，林红磊[3]，刘文平[4]，杜培鑫[5]，刘嘉成[1]，周根陶[4]，何宏平[2]

1 香港大学，地球科学系

2 中国科学院地球化学研究所

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

5 澳门科技大学，月球与行星科学国家重点实验室

* binlongy@connect.hku.hk

蛇纹石化和碳酸盐化在生命起源、地质和气候演化以及宜居性方面都可能发挥重要作用。在火星的探测中发现了含碳酸盐的蛇纹岩，表明该地质作用曾经在火星的地质历史上活跃过。对地球上一个碳酸盐-蛇纹石系统进行深入的类地模拟研究，可以进一步了解火星上碳酸盐和蛇纹石的形成。茫崖石棉矿出露了不同阶段的碳酸盐化和蛇纹石化过程的样品，包括橄榄石、辉石、滑石、二氧化硅、不同种类的蛇纹石和成分多样的碳酸盐，对它们开展矿物学、晶体化学和纹理深入研究，可以了解其形成环境，包括温度、压力、原岩及流体成分。本研究综合矿物学、地球化学和多尺度光谱分析，包括 X 射线衍射、X 射线荧光、全岩短波红外反射光谱和中红外反射光谱及原位中红外反射光谱研究，揭示了茫崖石棉矿多次蛇纹石化和碳酸盐化矿物演化过程，并与火星遥感数据进行对比，对于了解火星蛇纹石化和碳酸盐化作用有显著的积极意义。火星的轨道遥感观测发现含碳酸盐的蛇纹岩、蛇纹石化和碳酸盐化的矿物组合，不仅包括不同类型的蛇纹石相，还有滑石、菱镁矿、绿泥石和二氧化硅等。这些过程由温度、压力、原岩和流体成分所控制，复杂的矿物组合无疑会对使用近红外光谱从轨道上检测这些矿物造

成阻碍。对全火星的矿物调查推测火星上可能存在不同程度的蛇纹化和碳酸盐化作用，而在火星的蛇纹石化系统中探测到二氧化硅，也指示了后期碳酸盐化作用的出现，将封存大量 CO_2 和 H_2O 于矿物中。火星没有板块构造来循环挥发分，低重力和高孔隙率/渗透率有利于蛇纹化和碳酸盐化的进行，捕获的挥发物以矿物的形式永久封存于火星地壳中。与此同时，蛇纹石和碳酸盐的主要纹理特征是脉体，该样式的水合反应可能促进了裂缝的形成，导致岩石密度降低、固体体积增加。反过来，这个物理作用也会加快蛇纹石化和碳酸盐化的效率，迅速地从表面-大气层中捕获挥发分。这可能是使火星越来越干旱的重要过程，因此需要进一步定量分析。总的来说，本研究将火星遥感探测与实验室样品光谱测量联系起来，加深了我们对于火星蛇纹石化和碳酸盐化作用及火星气候的理解。

S03-P-1

“挑战者深渊”中蛇纹石化的橄榄岩

他开文 [1]，彭晓彤 [1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

蛇纹石化过程可发生在地球上的各种海洋环境中。尽管低温蛇纹石化在慢速和超慢速扩张洋脊暴露的超基性幔源岩石中是一个众所周知的过程，但对它在现代俯冲带，特别是在深渊深度的位置和发生方式知之甚少。我们对现代俯冲带蛇纹石化的大部分了解来自弧前地幔楔中的高温蛇纹石化，这与蛇纹石化泥火山的喷发有关。在此，我们报告了一个地幔楔橄榄岩低温蛇纹石化的案例，这块蛇纹石化橄榄岩是利用全海深载人潜水器“奋斗者”号在马里亚纳海沟南部上覆板块“挑战者深渊”的 10824 米处采集的。这块蛇纹石化橄榄岩的特点是形成了独特的三层结构，蛇纹石化程度从核心到外缘逐渐增加，表明海水非常缓慢地渗透到橄榄岩中导致蛇纹石化。蛇纹石化橄榄岩的组成矿物主要包括镁橄榄石($Fo^{\#}$=90-91)、尖晶石($Cr^{\#}$=0.46-0.52)、利蛇纹石、纤蛇纹石、磁铁矿、铁镍合金和文石。利蛇纹石和纤蛇纹石在蛇纹石化橄榄岩的三层结构中广泛分布，但是没有发现叶蛇纹石，表明其形成于低温环境。蛇纹石化橄榄岩的稀土元素（REEs）的分布模式表现出负 Ce 和 Eu 异常，并且轻稀土元素相对亏损。我们的研究结果表明，低温蛇纹石化橄榄岩可能沿着马里亚纳海沟海底轴部广泛分布，这对 Fe, Mg, C, H 和其他元素的地球化学循环以及深渊环境中的生命起源具有重要意义。

S03-P-2S

“人造蛇纹石化生态系统”——超碱性亚铁钢渣渗滤液创造了与某些陆地蛇纹石化生态系统类似的环境和微生物群落

何宇 [1]，潘杰 [2]，黄冬梅 [1]，Robert A. Sanford[3]，彭书明 [4]，Na Wei[5]，孙蔚旻 [6]，石良 [1,7]，姜舟 [1]，蒋永光 [1]，胡译丹 [1]，李术艺 [1]，李永哲 [1]，李猛 [2]，董依然 [1,7*]

1 中国地质大学（武汉），环境学院

2 深圳大学，高等研究院

3 伊利诺伊大学香槟分校，地质系

4 成都理工大学，生态环境研究所

5 伊利诺伊大学香槟分校，土木与环境工程系

6 广东科学院生态环境与土壤研究所

7 中国地质大学，生物地质与环境地质国家重点实验室

* dongyr@cug.edu.cn

碱性亚铁钢渣是全球环境问题之一，对周围环境具有长期的风险，而我们对这种独特生态系统中的微生物的结构和生物地球

化学的了解有限。在本研究中，我们对四川省攀枝花钢渣影响区的地球化学、微生物生态学和宏基因组学进行了系统分析。研究发现，受不同程度的超碱性钢渣渗滤液的暴露导致 pH (7.9-11.1)、氧化还原电位（Eh，-126.9-437.9 mV）、总有机碳（TOC，1.5-17.3 mg/L）和总氮（TN，0.17-1.01）存在显著的地球化学梯度。在不同程度强碱性渗滤液影响下，微生物群落是明显不同的。高 pH 值和高浓度的 Ca^{2+}导致微生物多样性降低并且和渗滤液中 Gamma-proteobacteria 和 Deinococci 的微生物类群的富集有关。通过宏基因组分析，属于 *Serpentinomonas* 的泛基因组与 81 个系统发育多样化的高质量宏基因组组装基因组（MAGs）被成功组装。受渗滤液影响的栖息地中的主要分类群（例如，*Serpentinomonas* 和 *Meiothermus* spp.）在系统发育上与活跃的蛇纹石化生态系统中的分类群相关，表明人造系统和自然系统之间存在类似的过程。更重要的是，它们是该环境中主要元素地球化学循环的执行者。它们的代谢潜力（例如，阳离子/H^+逆向转运蛋白、碳固定以及硫氧化和氧或硝酸盐还原的呼吸作用）可能支持这些分类群在这些独特的地球化学生态位中的生存和繁荣。这种容易接近并且低复杂度的人造环境系统可能为微生物生命的适应性进化机制的理解提供必要的线索。

S03-P-3

洋脊与俯冲带相互作用过程中蛇绿岩就位机制与俯冲再起始过程探究

孙宝璐 [1*]，杨建锋 [1]，赵亮 [1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* blsun@mail.iggcas.ac.cn

蛇绿岩是古板块缝合带的标志，被广泛认为是古老大洋岩石圈的残片。根据板块构造理论，大部分大洋岩石圈会随俯冲过程进入深部地幔。出露在地表的蛇绿岩如何免于俯冲消减的命运而就位到陆上的过程尚不清楚。本文利用地球动力学数值模拟方法探讨了大洋中脊与陆缘相互作用过程中蛇绿岩的就位机制与俯冲再起始的过程。模型结果显示，洋中脊高温环境下大洋板块的浮力增大、强度降低，使得洋中脊靠近陆缘时，大洋岩石圈能够仰冲到陆缘之上，形成蛇绿岩就位。随后，在推力的作用下，蛇纹岩化的拆离断层附近形成新的俯冲带，发生俯冲再起始过程。拆离断层的深度和陆缘的弱化是控制俯冲再起始发生的重要参数。模型得到的侵位变质岩与智利 Taitao 地区变质岩的温压范围具有良好的对应。本研究不仅揭示了蛇绿岩快速就位的动力学机制和高温-低压变质岩的成因，也为俯冲起始及蛇绿岩的成因研究提供了新的认识。

S03-P-4S

马里亚纳弧前地幔楔蛇纹岩镁同位素研究

王宜然 [1]，邓江洪 [1*]，刘鹤 [1]，孙卫东 [1]

1 中国科学院海洋研究所

* jhdeng0507@163.com

蛇纹石化地幔楔对于俯冲带中水、挥发分、流体活动性元素的地球化学循环至关重要，同时也是俯冲带中镁（Mg）的主要储库，但是其镁同位素组成没有得到很好的约束。为了查明地幔楔蛇纹石化过程中镁同位素分馏以及更好的理解地幔楔的镁同位素组成，我们研究了马里亚纳弧前地幔楔蛇纹岩/蛇纹石化橄榄岩。这些样品的全岩 δ^{26}Mg 值变化范围为-0.29‰到-0.03‰。一些蛇纹岩/蛇纹石化橄榄岩样品经历了海底风化有着明显高的 δ^{26}Mg 值，最高可以达到-0.03‰。而未风化的蛇纹石化橄榄岩有着均一的 δ^{26}Mg 值（-0.29‰到-0.27‰，平均为-0.28‰ ± 0.01‰），代表了马里亚纳弧前地幔楔初始的镁同位素组成。与此相区别的是，未风

化的成熟蛇纹岩（完全蛇纹石化）比蛇纹石化橄榄岩有着稍微更重的镁同位素组成（-0.29‰到-0.21‰，平均为-0.24‰±0.05‰），表明在地幔楔橄榄岩蛇纹石化过程晚阶段发生了镁同位素分馏。这可能是由于在橄榄石消耗完之后轻镁同位素被持续渗透的板片流体淋滤迁移所致。此外，通过对比我们发现地幔楔橄榄岩镁同位素组成(δ^{26}Mg = 0.27 ± 0.04‰)与大陆岩石圈地幔橄榄岩(δ^{26}Mg = 0.25 ± 0.04‰)一致，而且比大洋地幔橄榄岩(δ^{26}Mg = 0.21 ± 0.12‰)更轻更均一。批式熔融模型表明橄榄岩部分熔融对镁同位素分馏影响很小，两者的镁同位素组成差异最有可能是地幔不均一导致的。

S03-P-5S

不同环境下形成的蛇纹岩在可见-短波红外光谱特征中的差异

洪德翔[1]，刘传周[1*]，林红磊[2*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室

* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

* linhonglei@mail.iggcas.ac.cn

蛇纹石化过程中产生的氢气可以被微生物代谢所利用，并通过生物和非生物过程反应形成甲烷，因此蛇纹岩与生命循环系统密切相关。目前主要通过小型火星侦察成像光谱仪的高光谱数据，在火星地表识别蛇纹岩露头。形成于不同环境的蛇纹岩由于形成温度和风化程度的不同，会形成不同的矿物组合和元素分布特征，从而导致光谱特征存在差异。本研究对大西洋中脊（7~8°N）深海蛇纹岩、马里亚纳海沟弧前蛇纹岩和西藏班怒带洞错滑石菱镁岩展开研究，对岩石手表本表面进行了可见-短波红外成像光谱测量（0.4~2.5μm）、μ-XRF 扫描和手表本矿物填图，表征了不同环境下蛇纹岩的矿物组成、元素分布对光谱特征的影响机制，为揭示地球早期生命起源与火星宜居环境探测等重大科学问题提供了重要支撑。

S03-P-6S

蛇纹岩氢氧同位素组成特征及其影响因素研究进展

谭文汐[1]，佟宏鹏[1*]，陈多福[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院/上海深渊科学工程技术研究中心

* hptong@shou.edu.cn

蛇纹岩是重要的含水矿物，其氢、氧稳定同位素组成能够指示蛇纹石化反应条件及蛇纹石化水的信息，是蛇纹岩研究最重要的地球化学手段之一。本文以地质背景为分类依据，对近年来洋中脊蛇纹岩、被动板块边缘蛇纹岩及与俯冲作用相关的造山带蛇绿岩三类蛇纹岩的氢、氧同位素组成特征及其影响因素进行了综述整理与分析。总体来讲，不同产出环境蛇纹岩的氢、氧同位素组成存在明显差别：洋中脊蛇纹岩的 δ^{18}O 板块边缘蛇纹岩的 δ^{18}O 值变化范围较小（5.8 ~ 10.8‰，V-SMOW），δD 值的变化范围与洋中脊蛇纹岩类似（-84 ~ -29.5‰）；而造山带蛇绿岩具有最大的 δ^{18}O 值变化范围（-3.2 ~ 13.9‰，V-SMOW）和最轻的氢同位素组成（δD 值为 -133‰ ~ -48.0‰，V-SMOW），这主要与不同环境中蛇纹石化水来源、温度和水/岩比的差异以及同位素再平衡情况不同有关。蛇纹石化水来源多表现在氧同位素特征上，被动板块边缘蛇纹岩、洋中脊蛇纹岩及晚期造山带蛇绿岩的氧同位素组成，分别指示了俯冲板块衍生流体、海水或海水与其他流体的混合水体、大气降水来源的蛇纹石化水。同位素再平衡则多表现在氢同位素组成上，中期造山带蛇绿岩的氧同位素组成（δ^{18}O 值为 4.3‰ ~ 9.8‰，V-SMOW）指示了俯冲板块衍生流体来源，但其氢同位素组成（δD 值为 -133‰ ~ -120‰，V-SMOW）

表现为大气降水的特征，指示曾发生与大气降水的同位素交换。

S03-P-7

地质流体化学成分对橄榄岩蛇纹石化速率和氢气形成的影响

黄瑞芳 [1,2*]，孙卫东 [3]，商修齐 [3,4]

1 南方科技大学，前沿与交叉科学研究院

2 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

3 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心

4 中国科学院大学

* ruifanghuang_geo@163.com

蛇纹石化是地球上最重要的水岩反应之一。蛇纹石化导致岩石的密度降低了 23%，地震波速降低了 50%，磁性强度增加 1-2 个数量级。蛇纹石的水含量高达 13.5 wt%。热力学计算和高温高压实验结果表明，蛇纹石的稳定深度超过 150 km。橄榄岩蛇纹石化过程中，橄榄石和辉石中的二价铁(Fe^{2+})被氧化形成三价铁(Fe^{3+})，水中的氢被还原形成氢气(H_2)：

$$2Fe^{2+} + 2H_2O = 2Fe^{3+} + H_2 + 2OH^-$$

研究蛇纹石化形成氢气的重要性体现在：海底热液区中生物群落主要依赖于与蛇纹石化相关的氢气作为营养原料。因此，研究蛇纹石化过程中氢气的形成有利于揭示生命起源的奥秘。

已有实验大多采用橄榄石和水作为初始物，实际地质环境以橄榄岩为主，纯橄岩极少，俯冲带流体的氯含量高达 50 wt%。本研究探讨了 300 ºC、3.0 kbar 条件下初始流体盐度对橄榄岩蛇纹石化速率和氢气形成的影响(Huang et al., 2023)。结果显示，流体盐度提高了橄榄岩的蛇纹石化速率。低盐度流体(0.5 M NaCl)促进了氢气形成，提高了橄榄石的蚀变速率，高盐度流体(1.5 M NaCl 和 3.3 M NaCl)抑制了氢气的形成，促进了辉石的蛇纹石化。热力学计算表明，实验温度压力条件下盐溶液为碱性溶液。实验表明，碱性溶液促进了橄榄石和橄榄岩的蛇纹石化(Huang et al., 2019)，这可能解释了盐溶液提高了橄榄岩的蛇纹石化速率。橄榄岩与盐溶液反应形成少量的水氯铁镁石(Iowaite)，水氯铁镁石在碱性溶液中稳定，在酸性溶液中发生溶解，这进一步表明实验温度压力条件下盐溶液为碱性溶液。该研究的地质意义有：(1)地质流体化学成分影响橄榄石和橄榄岩的蛇纹石化速率和氢气产量； (3)蛇纹岩中水氯铁镁石的出现，表明盐溶液、低氧逸度体系。

S03-P-8S

地幔楔橄榄岩蛇纹石化与脱蛇纹石化及其地球化学效应

尹壮壮 [1,2]，陈仁旭 [1,2*]，郑永飞 [1,2]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

2 中国科学院壳幔物质与环境重点实验室

* chenrx@ustc.edu.cn

汇聚板块边缘蛇纹岩成因与交代地幔楔流体成分之间的关系是俯冲带流体地球化学研究的前沿。前人对俯冲板片成因蛇纹岩进行了不少假设和推理，忽视了弧前地幔楔成因蛇纹岩在俯冲带中分解脱水的地球化学效应。我们对红安造山带银山寨蛇纹岩进行了系统的岩石学和地球化学分析。岩石学研究结果表明这些蛇纹岩的原岩是难熔的尖晶石相纯橄岩或方辉橄榄岩。银山寨蛇纹岩具有高的 Mg#和 MgO/SiO_2 比值以及低的 Al_2O_3/SiO_2 比值和 Ti 含量，表明它们来自俯冲板片之上的地幔楔而非俯冲大洋板片。蛇纹岩的 $\delta^{26}Mg$ 值与 MgO 和全碳含量呈负相关，而经过 HCl 淋滤的蛇纹岩残留物也具有高于原岩的 $\delta^{26}Mg$ 值，指示蛇纹岩受到了碳酸盐流体的交代作用，并导致蛇纹岩的 Mg 同位素变轻。经过 HCl 淋滤的蛇纹岩残留物的 $\delta^{26}Mg$ 值高于地幔值，同时叶蛇纹

石具有较高的 $\delta^{26}Mg$ 值，指示在叶蛇纹石化过程中 Mg 同位素会变重。橄榄石具有较高的 Fo 值和 MnO 含量，指示叶蛇纹石变质脱水形成富镁橄榄石。同时，叶蛇纹石具有比橄榄石显著高的 Mg 同位素组成，表明叶蛇纹石在分解形成橄榄石的过程中 Mg 同位素会变轻，而且会释放具有重 Mg 同位素组成的流体。蛇纹岩的全岩和矿物组成指示它们在石炭纪大洋俯冲到三叠纪大陆碰撞构造转换过程中经历了多期交代作用。蛇纹岩富集 Th、U、LREE 和 HFSE，结合锆石的出现，指示蛇纹岩受到了俯冲大洋地壳来源流体的交代作用。~310 Ma 的锆石具有正的 εHf(t)值，以及变化的 $\delta^{18}O$ 值，具有高的 Th/U 比值，与红安造山带榴辉岩中锆石具有类似的同位素组成但不同的微量元素组成，表明它们是通过俯冲的古特斯洋壳来源熔体/超临界流体的交代作用形成。~430 Ma 锆石具有和大洋型榴辉岩中锆石类似的年龄、微量元素和 Hf-O 同位素组成。更老的锆石区域同样具有和红安造山带高压-超高压变质岩中继承锆石类似的元素和同位素组成。因此，这些残留锆石可能是通过交代流体物理迁移进入蛇纹岩中。~220 Ma 的交代锆石具有负的 εHf(t)值，表明它们是在三叠纪大陆碰撞期间通过深俯冲陆壳来源的流体在大陆俯冲隧道中的交代作用形成。总之，银山寨蛇纹岩记录了汇聚板块边缘从大洋俯冲到大陆碰撞的构造转换过程中多期的流体交代作用。蛇纹岩俯冲过程中会释放重 Mg 同位素流体，为一些俯冲地壳岩石和岛弧岩浆岩的重 Mg 同位素特征提供了一种可能的解释。

S03-P-9

CO_2 氢化反应过程的拉曼原位定量监测-甲酸的生成及转化

席世川 [1]，黄瑞芳 [2*]，栾振东 [1]，杜增丰 [1]，李连福 [1]，谢国治 [1]，孙卫东 [1*]，张鑫 [1*]

1 中国科学院海洋研究所

2 南方科技大学

* huangrf@sustech.edu.cn

* weidongsun@qdio.ac.cn

* xzhang@qdio.ac.cn

蛇纹石化反应是一种典型的氢气生成途径，同时也是无机合成有机质重要的氢气来源。深海热液、冷泉等极端环境通过 CO_2 氢化反应生成各类有机质。甲酸的无机合成对于氨基酸聚合和生命起源具有重要意义。然而，对于早期地球是否会有大量甲酸生成目前尚未清楚。本研究基于激光拉曼光谱探测技术开展深海极端环境 CO_2 氢化反应过程的原位定量监测（200-320 ℃，30 MPa，Fe-Ni 合金为催化剂）。我们发现甲酸盐是 CO_2 氢化反应重要的中间产物，并且进一步转化为 CH_4。当温度≤230 ℃时，在最终产物中仍能监测到大量甲酸盐，但是当温度大于 230 ℃时，甲酸盐含量过低。考虑到原始大气中 CO_2 的分压大于 10 MPa，并且镍铁矿是早期地球重要的组成部分，因此，CO_2 氢化反应在早期地球普遍发生。在酸性条件下，甲酸盐往甲酸转变，甲酸成为原始海洋的主要成分，进一步促进氨基酸的聚合。本研究通过模拟早期地球环境，原位定量监测无机质合成有机质反应中各组分的生成及转化过程，对研究生命起源提供了一种新的见解。

S03-P-10S

"MAN-MADE SERPENTINIZATION ECOSYSTEM"—ULTRABASIC FERROUS SLAG LEACHATE CREATES THE ENVIRONMENTS AND

MICROBIAL COMMUNITIES ANALOGOUS TO SOME TERRESTRIAL SERPENTINITE-HOSTED ECOSYSTEMS

何宇[1]，潘杰[2,3]，李猛[2,3]，黄冬梅[1]，彭书明[4]，Robert A. Sanford[5]，Na Wei[6]，孙蔚旻[7]，Liang Shi[1,8]，姜舟[1]，蒋永光[1]，胡译丹[1]，李术艺[1]，李泳哲[1]，董依然[1,8*]

1 中国地质大学（武汉），环境学院
2 深圳大学，深圳海洋微生物组工程重点实验室
3 深圳大学，高等研究院
4 成都理工大学，生态环境研究所
5 伊利诺伊大学香槟分校，地质系
6 伊利诺伊大学香槟分校，市政与环境工程系
7 广东省生态环境和土壤科学研究所
8 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室
* dongyr@cug.edu.cn

碱性钢铁渣是全球重要的环境问题之一，对周围环境具有长期风险，而我们对这种独特生态系统中的微生物结构和生物地球化学过程的了解还非常有限。 在本研究中，我们对中国四川省代表性钢铁渣风化区域进行了地球化学、微生物生态学和宏基因组学综合分析。 不同程度的强碱性矿渣渗滤液形成了 pH (7.9-11.1)、电位（-126.9 至 437.9 mV）、总有机碳（TOC，1.5-17.3 mg/L）和总氮 （TN，0.17-1.01 mg/L）的显著地球化学条件梯度。同时，在不同程度暴露于强碱性渗滤液的环境中存在独特的微生物群落，在受到渗滤液影响的高 pH 值和 Ca^{2+} 浓度环境中微生物多样性明显降低，Gamma-proteobacteria 和 Deinococci 得到富集。 对 4 个未受渗滤液影响和 2 个受渗滤液影响的微生物群落的宏基因组分析获得一个蛇形单胞菌泛基因组和 81 个高质量宏基因组组装基因组 (MAGs) 。其中受渗滤液影响的位点主要生态型（例如：*Serpentinomonas* 和 *Meiothermus* spp.）在系统发育学上与活跃的天然蛇纹石化生态系统中的生态型具有较紧密的亲缘关系，表明此类人造系统和自然系统之间存在类似的地球化学环境和主要微生物物种。 更重要的是，这些 *Serpentinomonas* 和 *Meiothermus* 生态型的功能基因占与环境适应性和主要元素循环相关基因丰度的大多数。它们的代谢潜力（例如：阳离子/H^+逆向转运蛋白、碳固定、硫氧化、氧气或硝酸盐还原）可能支持这些微生物在强碱性钢铁渣渗滤液影响地球化学生态位中的竞争优势。这种人工环境系统可能为理解微生物生命的适应性进化机制等理论科学问题的提供线索。

S03-P-11

蛇纹石化过程中铁的丢失

陈晨[1*]，孙卫东[1*]，丁兴[2*]

1 中国科学院海洋研究所，深海中心
2 中国科学院广州地球化学研究所，同位素国家重点实验室
* chenchenbe@outlook.com
* weidongsun@qdio.ac.cn
* xding@gig.ac.cn

蛇纹岩是由地幔橄榄岩水化形成的一类富水超基性岩。地球是人类已知唯一拥有大量液态水的星球，液态水的存在及其在地球圈层间的循环使地球大洋地壳以下及俯冲带弧前地幔楔底部广泛发育有水化的地幔橄榄岩，大量存在的蛇纹岩是地球有别于其他类地行星的岩石学特征之一。地幔橄榄岩的水化过程可释放氢气、丢失大量的钙元素，除此之外蛇纹石化长久以来被近似看作为等化学反应，即反应过程中无显著的主量元素活动。铁作为主要的变价元素及重要的生命营养元素，其在地质过程中的活动性可

能对地球各圈层的氧化还原状态及生命群落的演化起着重要的作用。前人开展了一系列蛇纹岩铁同位素组成的研究，以此指示蛇纹石化过程中铁的活动性，但不同学者的研究结果却导向了相悖的研究结论。通过对全球已发表的弧前地幔楔蛇纹岩及深海蛇纹岩的地球化学数据进行统计，我们发现地幔楔蛇纹岩和深海蛇纹岩均较其地幔橄榄岩原岩有着更高的 Mg#[Mg/(Mg+Fe)]，这表明在地幔橄榄岩向蛇纹岩转化的过程中大量的铁发生了丢失。我们接着采集了一套中国东部苏鲁造山带俯冲折返的地幔楔蛇纹岩，这套蛇纹岩在不同空间尺度上均可见富铁矿物的不均一性分布，且全岩的铁同位素 $d^{56}Fe$ 与 Mg#有着显著的正相关关系，这与铁在蛇纹石化过程中以轻的亚铁形式丢失一致。我们还将进一步量化深海橄榄岩、弧前地幔楔橄榄岩蛇纹石化过程中丢失的铁的通量，评估这些过程对海洋铁循环及俯冲带氧逸度演化的潜在影响。

S03-P-12

火星蛇纹石化及其指示的地下宜居环境

林红磊 [1*]，叶斌龙 [2]，吴兴 [3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 香港大学

3 中国科学院国家空间科学中心

* linhonglei@mail.iggcas.ac.cn

理解火星宜居性环境的演化是火星探测的一个关键目标。评估行星的宜居性通常需要考虑液态水、适宜的温度、可用的能量和必要的元素、以及对高辐射和氧化的充分保护等方面。在行星地下由超镁铁质岩石热液蚀变形成蛇纹岩，被认为是行星宜居的重要指示之一。蛇纹石化过程能够发生在很宽的温度范围和地下深度范围，并且可以通过生成氢气维持微生物生态系统。利用可见-近红外高光谱遥感数据已经在火星表面检测到蛇纹石，本次报告将介绍火星蛇纹石的探测情况、分布、所处的地质背景和指示的地下宜居环境，并讨论火星蛇纹石遥感探测所面临的问题和解决方法。

S03-P-13

蛇纹岩：多圈层相互作用的“信使”

刘传周 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

蛇纹岩广泛出露于现今超慢速洋中脊与古老造山带，是地球上规模最大的水-岩相互作用的产物，主要由蛇纹岩类矿物组成，包括蛇纹石、透闪石、滑石、绿泥石等。蛇纹岩是岩石圈、大气圈、水圈与生物圈发生多圈层相互作用的重要载体，在跨圈层物质循环过程中扮演非常重要的角色。蛇纹石化过程强烈改变大洋板块的物理性质和化学成分，导致大洋地幔发生元素的迁移和同位素分馏，形成特殊地球化学印记，从而可以用于示踪物质循环。蛇纹岩形成过程往往伴随有氢气的形成，而氢气可以与体系中溶解的二氧化碳反应生成烷烃和有机酸，从而为海底热液区生物群落提供物质和能量来源。蛇纹石化体系中的含铁矿物不仅为微生物生长代谢提供必需的营养元素，还是微生物胞外呼吸作用中常见的终端电子受体/供体。因此蛇纹石化活动区被认为是生命起源的重要场所。超基性岩石在蛇纹石化过程中与 CO_2 反应形成碳酸盐矿物，并存储大量的矿物水，是俯冲板片中水和碳最重要的储库之一。发生俯冲的蛇纹岩在高温高压条件下可以释放水、碳的流体及挥发分，交代并导致上覆地幔楔熔融形成岛弧岩浆，构成俯冲带水和碳的循环。高光谱遥感探测结果显示火星也可能存在蛇纹岩，是探索火星生命遗迹的重要靶向岩石。因此，有必要加强对形成于地球上不同构造背景的蛇纹岩的研究，探

讨其在多圈层相互作用的资源、环境以及生命效应中的意义。

S03-P-14S

蛇纹岩流体交代俯冲大陆板片的电气石原位 B 同位素记录

熊家伟[1]，陈伊翔[1,2*]，Hans-Peter Schertl[3]，Attila Demény[4]，郑永飞[1,2]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

2 中国科学技术大学，中国科学院比较行星学卓越创新中心

3 波鸿鲁尔大学，地球科学学院

4 匈牙利科学院天文与地学研究所

5 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* yxchen07@ustc.edu.cn

大量的研究表明蛇纹岩对地球的元素循环具有重要意义。然而，由于复杂的岩石类型以及变质交代过程，我们往往很难准确识别俯冲带中蛇纹岩来源的流体活动。为此，我们对阿尔卑斯造山带典型的流体交代岩石中电气石进行了一些工作。西阿尔卑斯 Dora-Maira 地块超高压白片岩（峰期~4GPa，~730℃）和围岩变花岗岩具有相同的花岗岩原岩，前者在进变质过程中经历了富 Mg 流体交代作用。花岗质岩石中电气石的 X_{Mg}<0.6，$\delta^{11}B$=-13~-6‰，岩相学和地球化学上都与花岗岩中的电气石吻合，显示其岩浆成因。而交代岩中的电气石的 X_{Mg}>0.9，具有偏重的 B 同位素特征，$\delta^{11}B$ 可达+1‰。正常封闭体系的变质作用难以造成两类电气石如此明显的差异，这些交代电气石最可能与俯冲过程中富 Mg-^{11}B 流体的交代作用有关。它们显著高的 X_{Mg} 及明显升高的 $\delta^{11}B$ 排除了交代流体的陆壳来源，而指示大洋有关的来源。这种富 Mg-B 的流体最可能来源于蛇纹岩。这个推论结果也与前人的结论相符。我们进一步对东阿尔卑斯 Sopron 地区的正片麻岩及受到富 Mg 流体交代的富蓝晶石石英岩（峰期~1.3GPa, ~550℃）中的电气石进行了一些工作。主量特征上，片麻岩中电气石核幔部和交代岩中电气石的非常类似，总体是铁质的电气石。交代岩中电气石边部则显示非常高的 X_{Mg}（~0.99）。B 同位素组成上，片麻中的电气石的核幔边具有类似的 $\delta^{11}B$（-14～-12‰），与正常花岗岩中电气石的组成类似，结合前人的一些工作，这些电气石核幔结构是岩浆期的生长环带。交代岩中电气石核幔部具有类似的 B 同位素组成（$\delta^{11}B$=-14～-9‰），形成于近峰期条件下的变质脱水过程。而边部电气石的 B 同位素显著升高，$\delta^{11}B$= 3～20‰，这种具有极高 X_{Mg} 的交代成因电气石边部指示了流体具有富 Mg-^{11}B 的特征，最可能的流体来源是蛇纹岩。我们的结果表明，利用电气石的原位 B 同位素结合它们的主量特征能帮助我们独立地识别大陆俯冲带中罕见的与大洋有关的蛇纹岩流体的活动。这些电气石与其它流体来源（如俯冲大洋板片、大理岩等）的交代电气石相比仍显示显著高的 X_{Mg}。因此，我们认为利用电气石非常高的 X_{Mg}（>0.85）和较高的 $\delta^{11}B$，或许作为俯冲带蛇纹岩来源流体的“指示剂”。

S03-P-15

蛇纹石化过程中的元素迁移和 Mg 同位素分馏

赵梅善[1]，陈伊翔[1*]，熊家伟[1]，郑永飞[1]，查向平[1]，黄方[1]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* yxchen07@ustc.edu.cn

广泛出现在海底大洋岩石圈和弧前地幔楔中的蛇纹石化作用，对大洋岩石圈流变学等物理特征及大洋俯冲带物质迁移和元素循环等过程具有重要影响。然而，目前对这一过程中元素迁移和 Mg 同位素的分馏还不清楚。针对这个问题，我们选取西藏日喀则蛇绿岩中的橄榄岩和蛇纹岩作为研究对

象，对全岩主微量元素和 Mg-O 同位素进行了详细分析。研究结果发现，形成于大洋底部的蛇纹岩中没有发现任何风化矿物的存在，并且蛇纹岩具有较轻的 O 同位素组成，与化学风化作用产物完全不符。这些证据都指示，橄榄岩只是经历了蛇纹石化过程，未受到显著的化学风化影响。在 MgO/SiO_2 vs. Al_2O_3/SiO_2 图解上，考虑扣除滑石脉体的影响，蛇纹岩的 MgO/SiO_2 比值仍然明显低于橄榄岩和地幔演化线，表明蛇纹石化过程中有显著的 Mg 元素的丢失。在 Mg 同位素组成上，橄榄岩与地幔值 ($\delta^{26}Mg = -0.25 \pm 0.03‰$, 2SD, n = 6)接近，而蛇纹岩具有更重的 Mg 同位素组成($\delta^{26}Mg = -0.16 \pm 0.09‰$, 2SD, n=8)。这个差异不受富集重 Mg 同位素的滑石存在的影响，并且与化学风化指数之间没有相关性，表明蛇纹石化过程中确实发生了明显的 Mg 同位素分馏。瑞利分馏过程模拟得到蛇纹石化过程中流体与蛇纹岩之间 Mg 同位素的分馏系数 α ($^{26}Mg/^{24}Mg$)值为 0.997–0.999。这个值与前人理论计算结果一致，表明低温蛇纹石化过程中利蛇纹石形成时会优先从流体中吸收重的 Mg 同位素，而蛇纹石化流体具有极轻的 Mg 同位素组成特征。在近等化学情况下，根据质量平衡计算出蛇纹石化过程中总的流体 Mg 同位素组成在-1.9‰左右，显著低于现今海水的 Mg 同位素组成，该过程会对海水的 Mg 同位素组成造成显著影响。同时，海底蛇纹石化会形成具有重 Mg 同位素组成的蛇纹岩，这些蛇纹岩随着大洋岩石圈俯冲进入地幔会引发地幔 Mg 同位素组成的不均一性，并可能使相关岩浆岩产生重 Mg 同位素组成的信号。

S04-O-1

热河生物群羽毛的化石化过程研究

洋燕红 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* panyanhong@nju.edu.cn

热河生物群特异保存的羽毛化石为羽毛的早期演化提供了关键的证据，同时也使重建已经绝灭的恐龙和早期鸟类的体表颜色成为可能。经过十多年的研究，伴随着越来越多的化学证据，热河生物群特异保存的羽毛化石中两种关键成分——角蛋白和黑色素——确实可以被追溯到分子水平。但是这种分子水平的特异保存形式在整个地质历史都很罕见，那么为什么热河生物群羽毛化石的保存如此特殊？针对这个问题，首先要解析热河生物群羽毛化石的埋藏过程。我们通过对热河生物群多个羽毛化石的化学成分解析，对比现生羽毛在生物降解和热成熟降解过程的化学变化，结合新生代羽毛化石的化学成分特点，提出热河生物群羽毛的化石化过程主要受控于热成熟降解过程。这为角蛋白和黑色素的保存潜力提供了新的线索，为在不同地质历史时期不同环境下保存的体表皮肤衍生物中找寻这两种分子提供了参考。

S04-O-2

华北晚中生代高分辨率年代地层序列及其对克拉通破坏深部过程与浅表系统联系的制约

马强 [1*]，钟玉婷 [2]，尹庆柱 [3]，徐义刚 [2]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验

3 University of California at Davis,Department of Earth and Planetary Sciences

* maqiang@cug.edu.cn

Subduction of the Paleo-Pacific plate caused destruction of the North China Craton, which in turn triggered volcanism, deformation and changes in surface morphology and

terrestrial ecosystem. However, timing and correlations of geologic and biologic changes remain obscured. Here we report 14 SIMS and CA-ID-IRMS zircon U-Pb ages for the late Mesozoic sequences of the Luanping basin. The new ages redefine the chrono-stratigraphic framework of this basin and reveal that phase B of the Yanshanian orogeny, representing a tectonic transition from flat to steep subduction of the Paleo-Pacific plate, occurred between 134.162 ± 0.091 Ma and 133.295 ± 0.043 Ma. Crustal extension then followed and resulted in development of rift basins and volcanism. The Jehol Biota came into being in Lower Cretaceous successions formed after ~130 Ma. The Luanping basin therefore records how the subduction of Pacific plate had driven intracontinental orogeny, volcanism, basin development and ecosystem evolution.

S04-O-3

火山作用驱动的湖泊氧化还原波动控制了热河 LAGERSTÄTTE 的形成

蔡士玺[1]，韦刚健[1*]，罗立[2]，胡建芳[3]，曾提[1]，周忠和[4]，徐义刚[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室
2 台湾大学，地质科学系
3 中国科学院广州地球化学研究所，有机地球化学国家重点实验室
4 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所脊椎动物演化与人类起源重点实验室
* gjwei@gig.ac.cn
* yigangxu@gig.ac.cn

尽管“火山庞贝城”模型已经被广泛接受为火山碎屑岩中热河生物群生物集群死亡和特异埋藏的原因，但到目前为止，对于细粒层状沉积物中保存的热河生物的形成模式还没有达成共识。本文根据朝阳盆地早白垩世大陆科学钻探资料，提出火山作用驱动的湖泊氧化还原波动是热河 Lagerstätte 形成的另一个重要原因。钻井中发现富锰的碳酸盐岩与富钼黑色页岩、火山灰、磷矿化化石互层。在黑色页岩中，Mo_{EF} 远大于 U_{EF}，我们发现“铁锰颗粒穿梭”模式控制着这一沉积过程。锰碳酸盐岩是由锰氧化物与有机物的还原反应生成的，代表氧化的水体环境。锰碳酸盐岩的形成过程会导致缺氧非硫化条件下的钼富集，形成富钼黑色页岩。因此，互层的锰碳酸盐岩/钼页岩的可以指示湖泊沉积环境中的氧化还原波动。考虑到黑色页岩中的多层火山灰和锰碳酸盐岩层中与地震活动有关的大量软沉积变形构造，氧化还原波动归因于火山灰输入导致的湖泊富营养化和地震活动导致的水柱翻转混合，这可能与华北克拉通的破坏有关。火山引起的湖水氧化还原波动，加上火山释放的气体对大气的毒性，可能同时造成水生、陆生和飞行生物的大量死亡。微区 XRF、能谱图和微区拉曼图显示，岩芯中化石的保存以磷酸盐化为主。波动的氧化还原条件有利于“Fe-P 颗粒穿梭”对磷酸盐的富集。氧化和缺氧非硫化条件都有利于生物的磷化保存，而氧化条件最有利于磷矿化，形成了特异埋藏的热河生物群化石。

S04-O-4

地质年代框架与华北克拉通北缘早白垩世地质“穿时”现象

俞志强[1,2*]，贺怀宇[2]，周忠和[1]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
2 中国科学院地质与地球物理研究所
* zhiqiangyu@mail.iggcas.ac.cn

中国北方早白垩世裂谷盆地的火山沉积序列记录了一系列地球动力学、地质过程

和生物演化事件，最为显著的就是华北克拉通的破坏和热河生物群的演化，经过多年的研究揭示两者之间存在内在成因联系，是研究地球深部对表层生态系统演化影响的绝佳实例。本报告着眼于表生地质和生态系统，以华北克拉通北缘沉积盆地中的地层以及附存的陆相生物群为研究对象，在前期岩石地层学和生物地层学研究的基础上，综合利用同位素地质年代学和磁性地层学方建立一系列裂谷盆地的早白垩世地层及其陆相生物群提供精准的年代学框架，揭示华北北缘早白垩世沉积盆地“穿时”迁移与热河生物群时空分布一致性，对穿时的正确理解对化石鉴定、生物地层对比以及讨论生物的演化扩散具有重要意义，为探讨深部和表层响应机制提供坚实的年代学框架。

S04-O-5

燕山科学钻探第一阶段进展

徐义刚[1*]，孙明道[1]，燕山科学钻探工作组[1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室、深地科学卓越研究中心

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* yigangxu@gig.ac.cn

燕山科学钻探是周忠和院士负责的国家自然科学基金委基础科学中心“克拉通破坏与陆地生物演化”项目下属课题的核心内容，由中国科学院广州地球化学研究所承担，分 2017-2021 和 2022-2026 两阶段开展。在第一阶段，针对热河生物群所处的早白垩世沉积地层包括花吉营组、义县组和九佛堂组开展全取芯钻探，共四个站位，岩芯总长度2606.6m。第一站朝阳钻孔(CYZK)位于辽宁朝阳鸟化石国家地质公园(上河首) 内，坐标 41°36′2.34″N, 120°23′6.90″E，取芯 429.7 m，九佛堂组暗色页岩被钻穿，揭示出义县-九佛堂组接触关系及数层下伏义县组玄武岩，各玄武岩层顶部保留有古风化壳。第二站北票钻孔位于辽宁朝阳鸟化石国家地质公园(四合屯)内，坐标 41°35′22.64″N, 120°47′48.95″E，第一孔(BPZK-1)深度 4.7-256.7 m，第二孔(BPZK-2)深度 4.8-100.2 m，主体为义县组玄武岩-碎屑沉积岩。第三站丰宁钻孔位于丰宁满族自治县四岔口乡，坐标 41°40′23.92″N, 116°24′7.11″E，第一孔(FNZK-1) 深度 29.9-259.19 m，第二孔(FNZK-2)为 240-342.79 m。花吉营组暗色页岩被钻穿，获得下伏长英质凝灰岩及再之下的玄武岩岩芯，凝灰岩独特的强不相容元素富集和热液矿物组合特征暗示高程度演化的岩浆房以及地表水-岩浆体系相互作用。第四站凌源钻孔(LYZK)位于凌源市四合当镇东侧，坐标 40°54′8.71″N, 119°30′3.74″E。从九佛堂组上部始钻，硬岩深度 1497.5 m，未见底。主体是湖相细粒碎屑沉积岩，中部夹多层凝灰岩。其厚度大、沉积连续、沉积相稳定、有机质富集，是研究深时环境气候的绝佳对象。已完成的高分辨率 pXRF 扫描、全岩主微量元素、碳氮同位素、汞同位素及孢粉学工作揭示，九佛堂组不仅记录了华北克拉通破坏相关的区域火山喷发，还保存有全球性重大地质事件及气候和水体环境剧烈变化的深时信息。拟进一步开展高精度同位素年代学、元素/同位素/有机地球化学、古地磁学、微体古生物学、旋回地层学研究，成果将为深时气候变化归因提供确凿证据，并为单件古脊椎动物化石标本提供具体可行的所处事件前或后的判别依据，改变将九佛堂组作为一个整体来标记热河晚期生物群的传统研究范式，为更好地理解宜居地球与生命演化提供历史参考。

S04-O-6

东北亚晚侏罗世火山-盆地演化与古太平洋板块俯冲

孟庆任[1*]

1 中国科学院地球与地球物理研究所

* qrmeng@mail.iggcas.ac.cn

东北亚晚侏罗世广泛发育沉积盆地和发生火山喷发，但盆地类型和火山活动在空

间上具有明显变化。大致以阴山-燕山构造带为界，东北亚大致分为南、北两个区域。南区晚侏罗世发育逆冲推覆构造和挤压挠曲盆地，缺乏火山活动。如华北克拉通和鄂尔多斯盆地缺乏晚侏罗世火山活动记录，太行山构造带和鄂尔多斯西缘发育晚侏罗世逆冲推覆构造，形成不同规模挤压盆地；北区晚侏罗世沉积盆地明显受伸展构造控制，伴随大规模火山活动。火山-沉积盆地不仅广泛分布于北区南缘燕山构造带，如承德盆地、宁城盆地和金羊盆地，而且出现在西部的二连盆地、海拉尔盆地和东戈壁盆地。值得注意的是，火山岩虽在北区南缘呈东西向分布，但火山活动主体发生在西部，并明显呈南北向展布。通过系统分析东北亚晚侏罗世火山活动、盆地类型、以及构造变形等时空变化，认为上述地质过程的空间差异性和分布特点是受古大洋板块俯冲和深部热构造作用共同控制。中侏罗世末古太平洋板块低角度向东北亚大陆之下俯冲，造成上覆大陆地壳发生挤压构造变形，大致燕山运动 A 幕的发生。晚侏罗世古太平洋板块继续以低角度向东北亚大陆之下俯冲，造成南区逆冲推覆构造持续发展，形成不同规模挤压盆地。俯冲板块前端在北区可能发生了板片南北向撕裂和断离，导致深部软流圈热物质上涌。上覆岩石圈地幔和地壳部分熔融和岩浆上升引发了大规模火山喷发和上地壳火山-沉积盆地的形成。

S04-P-1

早白垩世湖泊生态系统的变化对热河生物群演化的影响

刘翚嗣 [1]，徐义刚 [1*]，燕山科学钻探工作组 [1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* yigangxu@gig.ac.cn

热河生物群代表着一个早白垩世的陆相生物群，几乎涵盖了中生代所有的脊椎动物、无脊椎动物和植物，促进了学者对于鸟类起源、真兽起源、被子植物起源以及昆虫与有花植物的协同演化等方面的理解。九佛堂组作为热河生物群持续时间最长，生物出露种类最多的层位，长期受到学者关注。九佛堂组同时期全球记录了两个重大地质事件：大洋缺氧事件（OAE 1a，~120 Ma）和 Ontong-Java 大洋高原（G-OJP）大火成岩省火山喷发事件。Ontong-Java 大洋高原（G-OJP）大火成岩省一直被学者认为是引起海洋 OAE 1a 事件的主要原因，然而，其对陆地古湖泊水体的氧化还原条件的影响还知之甚少，限制了湖泊生态系统的变化对热河生物群演化的影响的深入了解。本研究以喀左盆地钻孔 YSDP-4 为研究对象，利用碳-氮同位素-主微量等多指标结合重建了喀左盆地古湖泊水体水化学条件的变化。结果显示，九佛堂组陆相沉积物也记录了一次极端缺氧事件，伴随着有机碳同位素的正向偏移、全岩氮同位素的正向偏移以及氧化还原敏感金属元素的富集，反映了陆相古湖泊系统初级生产力的提高和微生物功能群反硝化作用增加。古湖泊生态系统的变化可能是大规模火山作用在陆相地层中的记录，因此，也为热河生物群的集群死亡事件提供了潜在条件。本研究以九佛堂组生物地球化学循环背景等薄弱环节作为重点研究内容，重建九佛堂组水体初级生产力的变化、微生物群落结构的变化以及水化学条件的变化，进而观察早白垩世湖泊生态系统的变化对热河生物群演化的影响。

S04-P-2S

华北克拉通早白垩世火山爆炸式喷发的沉积记录 —— 来自燕山科学钻探九佛堂组岩芯的证据

林钦 [1,2]，孙明道 [1]，徐义刚 [1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室与深地科学与战略资源卓越创新中心
2 中国科学院大学，地球与行星科学学院
* yigangxu@gig.ac.cn

华北克拉通后石湖山岩体主要由镁质正长岩-粗面岩、铁质正长岩-英安岩、碱性花岗岩-流纹岩等组成，形成于 121±2 至 118±1 Ma (Yang et al., 2008; 文霞，2013)，这一时间正是热河生物群演化的晚期。岩体侵位对地表生物宜居环境影响有限，而火山爆炸式喷发则显著影响生物活动、控制区域埋藏事件。不同类型的侵入岩-熔岩是否都有对应的爆炸式喷发是本研究关注的科学问题。受风化剥蚀作用影响，火山及其喷发产物大部分已消失不见，而冀北-辽西地区的九佛堂组(122.0-118.9 Ma, Yu et al., 2021)与后石湖山岩体的时代一致，可能保留了其喷发历史。本研究以燕山科学钻探凌源钻孔(共 1497.5 米，距离后石湖山~92.5 km）获得的九佛堂组岩芯为研究对象，对其中33层凝灰岩层进行取样并开展了全岩主、微量元素分析。烧失量归一化后结果显示，凝灰岩的主、微量元素可以划分为三类，第一类 SiO_2 含量为 61.88~68.16%，铁指数为 0.52~0.59，Na_2O+K_2O≈8~11.7%，与后石湖山镁质正长岩-粗面岩(Yang et al, 2008)类似；第二类 SiO_2 含量为 61.37~66.96%，铁指数为 0.77~0.91，Na_2O+K_2O≈9.9~11.6%，与后石湖山粗面英安岩、斑状石英正长岩(文霞，2013) 类似；第三类 SiO_2 含量为 73.17~82.79%，铁指数在 0.57~0.87，Na_2O+K_2O≈7.2~8.3%，与后石湖山碱性花岗岩(Yang et al., 2008; 文霞, 2013)相似。此外，三类凝灰岩的微量元素特征接近，具平坦的重稀土配分特征、不同程度的 Nb、Ta、Sr、Eu、Ti 亏损，与后石湖山岩浆杂岩体微量元素特征一致。基于上述结果，我们认为前人在后石湖山发现的多种喷出-侵入岩类都有对应的爆炸式喷发记录并保存在凌源盆地的九佛堂组沉积地层之中。

S04-P-3

燕辽生物群中松柏类红豆杉科植物多样性及演化意义

董重[1*]，史恭乐[1]，王永栋[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室
* cdong@nigpas.ac.cn

在内蒙古东部中–晚侏罗世道虎沟化石层中发现了一批保存精美的红豆杉科化石标本。结合形态学、解剖学和形态谱系分析等方法，对这些侏罗纪的红豆杉科化石进行了详细研究，结果证实道虎沟化石层中的红豆杉科植物多样性较高，至少包含了穗花杉属、榧树属、红豆杉属、和新属燕辽红豆杉。其中，穗花杉化石完好地保存了与枝连生的种子结构；红豆杉化石保存了枝叶、精美的角质层微细结构、和与枝连生的种子结构；榧树化石保存了完好的枝叶和精美的角质层微细结构；燕辽红豆杉更是保存了与枝叶连生的未成熟种子和成熟种子、以及精美的枝叶和叶表皮结构。比较形态学证据和形态谱系分析结果均证实，道虎沟发现的穗花杉化石可归于现生穗花杉属，代表了除银杏以外的另一类化石记录可追溯至侏罗纪的植物“活化石”。形态学和角质层解剖学证据同样支持将道虎沟化石层中的红豆杉化石和榧树化石归于现生红豆杉属和榧树属，其中红豆杉化石同样为迄今最为古老的红豆杉植物。另外，带叶小枝、种子结构和叶角质层解剖信息证实，燕辽红豆杉的枝叶与现生的澳洲红豆杉极为相似，但其种子结构却与现生穗花杉可比较，燕辽红豆杉可能代表了一类比较原始的红豆杉科植物。本次研究表明，红豆杉科现生属中的穗花杉属、红豆杉属和榧树属的起源时间至少可追溯至古老的侏罗纪，并早在~1.6 亿年前，红豆杉科植物就已具有非常高的多样性，而位于华北克拉通盆地北端的我国燕辽地区，可能是当时红豆杉科起源和早期分化的中心之一。道虎沟化石层中发现的红豆杉科各属化石，是迄今为止已知的保存最为丰富、信息最为完好

的红豆杉科化石，为认识整个红豆杉科植物在中生代后期的多样性演化和进化提供了非常重要的新信息。此外，与现生和新生代相应红豆杉科植物相比，道虎沟化石层中发现的红豆杉、榧树和穗花杉叶表皮的气孔带更窄，每个气孔带的行数更少，推测可能与晚中生代时期的温室气候背景相关。

S04-P-4

广义热河生物群的地层框架

郑大燃[1*]，张素菁[2]，张海春[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 香港大学

* drzheng@nigpas.ac.cn

热河生物群是世界上最重要的特异埋藏化石宝库之一，保存了丰富而精美的化石。该生物群生活于白垩纪陆地革命的关键时期，是中生代晚期到新生代，以被子植物、鸟类和哺乳动物大量繁盛为特征的现代生物界的最早代表，为探究现代陆地生态系统的早期演化提供了绝佳的材料和证据。广义热河生物群的分布范围涉及东亚大部分区域，其起源、演替、扩散与重大气候事件（如大火成岩省引起的极暖事件）和区域构造活动（如华北克拉通破坏）密切相关。因此，开展广义热河生物群的精时地层学研究不仅有助于中国陆相白垩系综合地层对比、恢复早白垩世陆地生物多样性和精时古地理，也为探讨热河生物群的时空扩散、揭示地球深部构造活动和表层过程如何影响陆相生物群奠定基础。近年来，随着高精度同位素年代学研究的应用，核心区年代学框架已经取得重要进展。然而，非核心区相关地层的综合地层学研究普遍止步于上世纪 90 年代–本世纪初，多门类化石需要系统厘定和研究，生物地层序列需要完善和建立；地层年代的约束主要依靠生物地层学分析以及精度较低的同位素年代学研究，这也导致中国下白垩统综合地层对比长期以来存在较多争议。鉴于此，本研究对我国下白垩统开展了广泛的地质调查，对含广义热河生物群的地层开展综合地层学研究，初步建立起含广义热河生物群的地层对比框架，并据此探讨广义热河生物群的时空扩散。

S04-P-5

晚中生代中国东北及其邻区盆地演化过程及其动力机制探讨

郭知鑫[1*]，杨永太[2*]

1 南华大学，资源环境与安全工程学院

2 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* guozhixin@ustc.edu.cn

* yongtaiy@ustc.edu.cn

研究中国东北及其周边地区陆相沉积盆地群在晚中生代的演化过程，对恢复中亚造山带东段板内构造应力环境的变迁过程和探索欧亚板块边缘大地构造事件与板内构造变形之间的关系具有重要意义。本研究系统总结了晚中生代中国东北及周边地区盆地的地层和构造演化资料。研究结果显示，在晚侏罗世至早白垩世期间，中国东北及其邻区经历了强烈的伸展断陷过程。但是，该伸展断陷过程并不是持续发生的，至少在晚侏罗世末-早白垩世初、早白垩世（约 120 Ma 和约 115 Ma），中国东北盆地群经历过三期短暂的、可对比的，但是又不完全相同的挤压构造过程。并且，在晚白垩世初，中国东北地区经历了一期非常强烈的挤压构造作用，至此，该区域晚中生代强烈的伸展构造环境基本结束。

如何解释中国东北地区在晚中生代经历的多期伸展和挤压构造作用，一直是近些年来国内外研究的热点。本研究认为，晚侏罗世至早白垩世，喀喇昆仑-拉萨板块与亚洲大陆南缘的碰撞及其随后向东北方向的楔入，可能在欧亚板块东部激活了一系列重要的走滑断裂，促使欧亚板块的东部地区进入逃逸构造环境。走滑断裂的活动，可能触发了欧亚板块东部地区加厚上地壳的重力

垮塌以及下地壳和地幔岩石圈的拆沉，最终引起中国东北等地区强烈的伸展断陷和岩浆活动。同时，晚中生代，中国东北地区经历的多期短暂的挤压构造作用可能与欧亚板块边缘曾发生的一系列陆-陆碰撞事件有关。如，晚侏罗世末-早白垩世初的挤压作用，可能与蒙古-鄂霍茨克洋东段的关闭、Kolyma-Omolon 板块与西伯利亚板块的碰撞，以及喀喇昆仑-拉萨板块与亚洲大陆南缘的碰撞的综合作用有关。早白垩世约 120 Ma 的挤压构造作用，可能源于 Proto-Kurosegawa 板块与亚洲大陆东缘的碰撞。早白垩世约 115 Ma 的挤压构造作用，可能源于 Chukotka 板块与 Kolyma-Omolon 板块的碰撞。早白垩世末/晚白垩世初的挤压构造作用，可能与鄂霍茨克陆块碰撞亚洲大陆东缘有关。

S04-P-6S

华北克拉通沉积汞记录示踪早白垩世火山活动及环境效应

卢峥安[1,2]，沈俊[3]，孙明道[1]，徐义刚[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所 ，同位素地球化学国家重点实验室与深地科学与战略资源卓越创新中心

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* yigangxu@gig.ac.cn

沉积物中汞元素及汞同位素被广泛用于示踪大规模火山活动，火山活动被认为是最主要的自然汞源，火山喷发产生的气流可将气态汞注入高速平流层中，从而快速扩散至全球分布，导致沉积记录中的汞富集。约 120 百万年前发生在古太平洋的 Ontong Java 海底高原是显生宙最大规模的大火成岩省，OAE1a 大洋缺氧事件与之有密切的关系。Ontong Java 大火成岩省期间释放的汞对于导致全球性的汞循环扰动目前尚不明确，OAE1a 期间沉积物中汞含量及汞同位素的研究仍较为欠缺。为探究 Ontong Java 大火成岩省喷发在华北克拉通陆相沉积中的记录特征及其造成的气候环境影响，本研究以燕山科学钻探 YSDP-4 凌源钻孔 (40°54′8.71″N, 119°30′3.74″E) 所获取的 1497.5 m 九佛堂组(121-119Ma)湖相沉积岩心为研究对象，对平均 15 m/件、总计 103 件暗色页岩样品的汞元素及同位素开展了分析。结果显示，89%的样品汞含量在 5-35ppb 之间，平均值为 21ppb，汞含量最高值为 116.5ppb，高于均值的点主要出现在中段。凌源钻孔页岩中汞的固存，与 TS 的相关性较高，与 TOC 相关性较低。汞同位素非质量分馏 Δ^{199}Hg 显示出明显的三阶段分布趋势：在 1497.5 m-916.9 m 深度范围内表现为明显正 MIF 特征，Δ^{199}Hg=+0.214±0.010(n=31/38)，在 1156.1-1021.0 m 深度范围 Δ^{199}Hg 显著偏正至 +0.530±0.02 (n=7)；在 916.9 m-358.5 m 深度范围内，汞同位素的 MIF 趋于零，Δ^{199}Hg=+0.052±0.009(n=40)； 在 358.3 m-21.7 m 深度范围内，汞同位素具负的 MIF，Δ^{199}Hg=-0.082±0.011(n=25)。上述结果表明，汞元素和汞同位素作为凌源盆地火山活动和气候变化的新证据，上段主要受到陆源输入作用的影响，中段主要记录了华北克拉通区域火山活动，下段主要受到大气沉降作用的影响。下段显著正偏的阶段很可能记录到了 Ontong Java 火山喷发事件，仍需要后续开展深入的研讨。

S04-P-7S

晚侏罗世-早白垩世古环境温度和恐龙体温重建：来自化石的稳定同位素研究

卢畅[1]，徐星[2,3]，徐义刚[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所
2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
3 云南大学，脊椎动物演化研究院
* yigangxu@gig.ac.cn

晚侏罗世-早白垩世一直被认为是稳定的温室环境，但也有研究表明这一时期出现了气候波动，有寒冷阶段的存在。同时，有关侏罗纪和白垩纪陆地生态系统主导动物类群—非鸟类恐龙类的生理特征更接近内温动物还是外温动物仍存在争议。中国西部准噶尔盆地中-上侏罗统石树沟组和中国东部辽西及其邻近地区的下白垩统辽西义县组产出了许多保存完好的恐龙化石，为研究恐龙的体温以及相应时期的环境温度提供了良好的材料。恐龙骨骼和牙齿化石主要由生物磷灰石组成，其团簇同位素组成只与动物体温相关，不受化石形成环境中的水氧同位素影响，因而成为恢复恐龙体温的理想指标。与此同时，氧同位素的原位微区分析则能够精细准确地刻画环境温度的变化。本研究中，我们测定了石树沟组和义县组 4 种非鸟类恐龙骨骼化石的团簇同位素和原位氧同位素组成，并结合主微量元素分析评估了生物材料保存状况对同位素信号的影响。原位氧同位素分析结果显示，新疆准噶尔地区晚侏罗世牛津期年均温度变化范围在 12-19℃，平均为 15℃±3℃；辽西地区早白垩世阿普特期年均温度变化范围为 9-15℃，平均为 12℃±2℃。前者显示在牛津期陆地生态系统存在相对低温时期，与已知海洋生态系统的数据一致；后者进一步证实了温暖的早白垩世可能存在寒冷的气候阶段。团簇同位素结果显示，石树沟组角龙类的隐龙与暴龙类的冠龙的体温在 25℃左右，接近早期爬行动物，而义县组暴龙类的帝龙和镰刀龙类的北票龙的体温均高于 30℃，更接近现生哺乳动物和鸟类。这些体温数据为了解不同恐龙类群的热生理学提供了重要信息。处于相对高温环境的暴龙类的冠龙体温明显低于处于相对低温环境中的暴龙类帝龙，一方面说明这一类群存在一定程度的体温变异，另一方面说明暴龙类体温受环境影响较小，热生理上更接近内温动物；属于角龙类的隐龙的低体温和属于镰刀龙类的北票龙的高体温可能与它们的系统发育位置相关（后者与高体温的鸟类具有更近亲缘关系）。本研究表明恐龙化石的原位氧同位素和团簇同位素在恢复环境温度和恐龙体温方面具有较大潜力，可为灭绝脊椎动物的热生理学演化以及生物生存时期的环境变化提供新的证据。

S05-O-1

中新生代极热事件与人类世全球变暖

胡修棉[1*]，李娟[2]，蒋璟鑫[1]，蔡媛[1]，韩中[3]，许艺炜[2]

1 南京大学，地球科学与工程学院
2 中国科学院地质与古生物研究所
3 成都理工大学，沉积地质研究院
* huxm@nju.edu.cn

深入了解地球历史上极热事件的特征，对于理解和应对当前的全球变暖具有重要的科学意义。基于中-新生代极热事件的碳同位素偏移（CIE）特征，可将极热事件进一步分为两类：（1）碳同位素负偏移型极热事件（NCHE），典型事件包括二叠-三叠纪界线事件（PTB，~252 Ma）、三叠-侏罗纪界线事件（TJB，~201 Ma）、Toarcian 大洋缺氧事件（TOAE，~183 Ma）以及古新世-始新世极热事件（PETM，~56 Ma）；（2）碳同位素正偏移型事件（PCHE），典型事件包括 Aptian 大洋缺氧事件（OAE1a，~120 Ma）和 Cenomanian 最晚期大洋缺氧事件（OAE2，~97 Ma）。NCHE 型极热事件导致温度、沉积和生物多样性发生了剧烈变化，事件期间陆地野火、极端干旱、酸雨频发、臭氧层被破坏、金属中毒（如 Hg 中毒）、水系发生变化，碳酸盐台地死亡、大洋酸化、海洋缺氧，以及海洋（尤其是浅海）和陆地生物发生灭绝。相比之下，PCHE 型极热事件对深海生物的影响比对浅海和陆地的影响更为显著，事件期间主要发生了海水的迅速变暖

和广泛的大洋缺氧以及与大规模的有机质埋藏和黑色页岩沉积。对比两种类型极热事件的起始阶段，发现人类世的全球变暖与中新生代的极热事件在地质时间尺度缩放的情况下具有可对比性，并且与 NCHE 型的极热事件更为相似，但其升温、同位素偏移以及碳释放的速率都要更高。本次研究系统汇聚了中新生代极热事件启动阶段的 CO_2 排放总量和速率，并与当今全球变暖进行对比。我们数据表明，如果全球变暖持续进行，地球将在 140-380 年、170-710 年左右分别出现 PETM、PTB 事件的碳排放导致的环境变化的情景。

S05-O-2

晚三叠世早期地球环境宜居性演化 —以上扬子板块卡尼期为例

张廷山[1*]，李世鑫[1]，张喜[1]，马知恒[1]，曾建理[1]，任杰[1]

1 西南石油大学，地球科学与技术学院

* zts_3@126.com

“卡尼期洪水事件”（CPE）导致海洋和陆地生态环境遭受不同程度的破坏，不仅使大量生物灭绝，同时它也驱动了中生代海洋和陆地生态-环境革命，促使现代生态系统逐步形成。 CPE 事件后，生物多样性发生了根本变化，生物礁造礁方式也由早中三叠世的微生物主导向以石珊瑚为主的后生动物演化，地球环境宜居性发生了深刻的变化。上扬子板块 Carnian 地层发育且分布较广，作者以黔西南、滇东及四川盆地和周缘地区多条剖面为对象，取得如下认识:通过生物地层、天文旋回地层以及地球化学分析，认为本区 CPE 事件的主幕早于特提斯西北部地区；在 Julian 1 期，主要以营游泳及假漂浮的生物为主要特征。其中游泳生物以 *Trachyceras multituberculatum* 为代表的菊石以及薄壳双壳类 *Halobia* 属为主，而假漂浮生物主要以固着在浮木上生活的 *Traumatocrinus* 属为标志，生物分异度降低；Julian 2 期，生物分异度大辐上升并演化出一些新的分子。菊石目以 *Trachyceras* 属的逐渐衰落且 *Aurstrotrachyceras* 属、*Sirenites* 属和 *Yakutosirenites* 属的兴起为主要特征。除菊石目以外，头足纲动物中出现了大量角石及箭石目的生物，角石以 *Michelinoceras* 大量出现为主要特征，而箭石则以 *Sinobelemnitidae* 科分子为代表，它代表了最早演化出的箭石种类。另外 Julian 2 下部还出现大量底栖生物，腹足类以 *Zygopleuroidea* 超科和 *Neritoidea* 超科的组合为特征，腕足则以 *Norellidae* 科和 *Neoretziidae* 科为主。在 Tuvalian 2 ，*Tropitidae* 科、*Arpaditinae* 亚科菊石得到飞速发展，*Tropitidae* 科出现了 *Hoplotropites*、*Anatropites* 等一系列新出现的属，*Arpaditinae* 亚科也出现了诸如 *Arctosirenites* 等新的类型，*Juvavitidae* 科在当时也有一定的发展。在 Tuvalian 2 上部也可见大量的棘皮动物碎屑及少量腹足类；从 Tuvalian 2 中部开始，发育了多期次的灰泥丘，到 Tuvalian 2 上部，出现石珊瑚骨架礁，这些现象都说明生态环境宜居性正在逐步的恢复，现代生态系统逐步形成。

S05-O-3

华北早三叠世陆地高温的沉积学记录：风暴岩

纪开宣[1]，Paul B. Wignall[2]，Jeff Peakall[2]，童金南[1*]，楚道亮[1]，Sara B. Pruss[3]

1 中国地质大学（武汉），地球与科学学院

2 University of Leeds, UK,School of Earth and Environment

3 Smith College, Northampton, USA,Department of Geosciences

* jntong@cug.edu.cn

早三叠世全球高温是显生宙以来极为严重的极端气候事件之一：该时期海洋表面

温度高达 40℃，对海洋生物的生存、分布以及海洋的沉积环境都产生了巨大的影响。然而，早三叠世极端高温环境的研究报道主要基于海洋记录，高温对陆地环境的影响尚不清楚。本研究在华北下三叠统刘家沟组（湖泊—三角洲—河流相）中发现了一系列典型的风暴成因沉积构造，包括：具渠模（gutter casts）的侵蚀面，丘状/洼状交错层理(hummocky/swaley-cross stratifications)，叠加波痕(aggrading wave ripples) 和具放射状、“倒小字”排列的扁平砾石（flat pebbles）等。这些沉积构造均是风暴天气引发的水体涡流与震荡流的典型产物。其中，通过对研究区的复杂内生砾岩层中砾石颗粒的排布特征分析发现：存在频繁的高水动能事件令固结的湖床角砾化，其巨大的波浪能量可令（超）大型角砾（cobble）在湍流中短距离侧向运输，在砾石层下部呈现“叠瓦状”排列，中部出现砾石逆粒序，而水体中上层的涡流和震荡流使扁平砾石多呈高角度混乱状排列；同时，砾石间隙丰富的钙质胶结亮晶充填可能是高温湖泊环境中方解石快速胶结的结果。另外，本研究对砾石层中普遍出现的异常“同心环状结核”开展了成因模型重建，其多期次“生长—再做用”过程也暗示了结核在高温环境中的快速胶结作用过程，并受到了多期次风暴扰动。综上，本研究认为，在华北陆相下三叠统刘家沟组中，高能级风暴曾长期参与沉积作用过程；风暴可能形成于温暖的古特提斯洋洋面并依托温暖的湖面所提供的潜热能不断深入华北内陆。

S05-O-4

三叠纪末大灭绝期间欧洲陆缘海的氧化还原状态演变

何天辰[1*]，吴赫嫔[2]

1 河海大学，海洋学院

2 南京师范大学，海洋科学与工程学院

* tianchenhe@hhu.edu.cn

中大西洋大火成岩省及其诱发的热室条件驱动了海洋发生广泛的缺氧，并被认为可能与三叠纪末大灭绝存在因果关系。但是，对于三叠纪末大灭绝最具代表性的西特提斯洋区域的记录，尚需深入研究该海域氧化还原状态的时空变化及其与灭绝事件的直接联系。为此，我们新选择了英格兰东北部 Cleveland 盆地的一套跨越三叠纪-侏罗纪界线的连续海相泥岩沉积钻孔记录（Dove’s Nest），并对这些泥岩样品进行了碳、氮同位素、铁组分和氧化还原敏感金属元素含量的分析。研究结果显示，在晚三叠世（Westbury 组）和三叠纪-侏罗纪界线期间，盆地水体呈现出频繁的缺氧-铁化或硫化状态。然而，在 Westbury 组上覆 Cotham 组的晚三叠世沉积时期，其中包括大灭绝的第一阶段灭绝层位，盆地水体则以氧化状态为主。这与欧洲陆缘海很多区域同时期呈现普遍缺氧的状态形成了明显的对比。因此，我们认为在欧洲陆缘海的一些区域性盆地，导致大灭绝发生的初始驱动力可能并非海洋缺氧，而可能来自于其他的环境压力。在三叠纪末大灭绝期间，地球化学证据表明多数北半球的陆缘海盆地呈现缺氧状态，但同时沉积物中底栖动物化石的广泛分布和频繁出现表明水体并非持续缺氧，而是表现为氧化-缺氧之间高频振荡的特殊状态。欧洲陆缘海盆地的氧化还原状态具有在空间上的非均一和时间上的非稳定的特征，因此可能限制了海洋缺氧对三叠纪末大灭绝开始阶段底栖生态系统的影响。

S05-O-5

汞同位素示踪三叠纪末生物大灭绝期间火山活动演变及其对生物危机的影响

华夏[1]，尹润生[2]，David B. Kemp[1*]，黄春菊[1]，沈俊[3]，金鑫[4]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国

家重点实验室
3 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室
4 成都理工大学，气储层地质与开发国家重点实验室
* davidkemp@cug.edu.cn

三叠纪末生物灭绝事件（ETME）是显生宙以来五大生物灭绝事件之一，并伴随着全球的碳循环扰动。目前普遍认为同期形成的中大西洋大火山岩省（CAMP）导致大规模碳释放，从而引起全球环境扰动和生物危机。然而，CAMP 火山活动的具体演变过程及其对 ETME 的影响仍缺乏清晰的认识。汞（Hg）及其同位素作为反映沉积岩中古火山信号的替代指标，有助于建立沉积序列中可能保存的火山活动信号和当地灭绝事件的联系。本研究在位于 CAMP 北缘的晚三叠-早侏罗系沉积序列建立了一个高分辨率的 Hg 同位素记录。结果表明 ETME 期间发生了连续的 Δ^{199}Hg 负漂和正漂的非质量分馏（MIF）。结合质量守恒模型计算，认为 Δ^{199}Hg 的变化特征可能记录的是从岩浆侵入富含有机质岩层释放（热成因）的 Hg（Δ^{199}Hg <0‰）转变为火山喷发（地幔来源）释放的 Hg（Δ^{199}Hg ~0‰）。这也与 CAMP 前期以浅部侵入活动为主，后期转为少量脉冲式喷发的露头以及年代学证据基本一致。此外，质量守恒模型表明在研究区内，由热释放及火山直接释放的汞输入量均较低（<50 Mg）；而生物危机在火山喷发性活动之后才开始发生。

S05-O-6

早侏罗世 PLIENSBACHIAN 晚期至 TOARCIAN 早期泛大洋深水碳-硫-铁循环与氧化还原条件研究

陈文汉[1,2,3]，何天辰[4]，David B. Kemp[3*]，熊怡俊[5]，Hugh C. Jenkyns[6]，Kentaro Izumi[7]，Tenichi Cho[8]，黄春菊[3]，Robert J. Newton[5]，Simon W. Poulton[5]，李超[1,2]

1 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室
2 成都理工大学，沉积地质研究院
3 中国地质大学（武汉），地球科学学院
4 河海大学，海洋学院
5 利兹大学，地球环境学院
6 牛津大学，地球科学学院
7 千叶大学，教育学院与研究生院
8 早稻田大学，创新科学与工程研究生院
* davidkemp@cug.edu.cn

早侏罗世 Toarcian 期（约 183 Ma）大洋缺氧事件（T-OAE）是中生代地球表层系统发生的一次重大环境扰动事件。T-OAE 期间，全球碳循环显著扰动、富有机质沉积物广泛发育、大洋缺氧加剧、水循环和大陆风化作用增强。类似的气候和环境扰动可能同样出现在 Pliensbachian-Toarcian（Pl-To）界线时期。然而，由于缺乏欧洲西北特提斯陆缘海以外的深水沉积记录，从 Pliensbachian 晚期至 Toarcian 早期全球海水的缺氧程度仍存在极大的不确定性。在此，我们以一条来自泛大洋中部深水的 Sakahogi 剖面（古水深 >2.7 千米）为研究对象，利用高分辨率的黄铁矿硫同位素和硫浓度数据，结合铁组分和微量元素指标探讨极端温室气候条件下碳-硫-铁循环及泛大洋深水氧化还原条件的演化。结果显示，Sakahogi 剖面黄铁矿硫同位素在 Pl-To 和 T-OAE 时期显著正偏移（幅度 >10‰），这可能与有机质向海底的供应量增加直接相关。黄铁矿硫浓度在 T-OAE 时期显著富集，表明泛大洋深水至少发育间歇性的硫化条件，该结论也得到了铁组分和微量元素数据的支持。此外，铁组分和微量元素数据显示从 Pliensbachian 晚期至 T-OAE 结束，泛大洋深水整体呈现稳定的缺氧铁化状态，但在 Pl-To 存在明显的氧化-缺氧波动，而在 T-OAE 结束之后深水逐渐向氧化条件过渡。

S05-O-7

早三叠世极热事件与贵阳生物群

宋海军[1*]，代旭[2]

1 中国地质大学(武汉)，地球科学学院， 生物地质与环境地质国家重点实验室

2 Université de Bourgogne

* haijunsong@cug.edu.cn

根据 Scotese 等人 2021 年发表的全球地表平均温度曲线，早三叠世是整个显生宙温度最高的一段时间，也是最典型的一次极热事件。该极热事件发生于二叠纪-三叠纪之交，并持续到早三叠世晚期，被认为与二叠纪末生物大灭绝密切相关。早三叠世极热气候及相关联的其他环境压力导致海洋生态系统遭到重创，出现了很多特殊的生态现象，例如海洋生物多样性处于奥陶纪大辐射以来的低谷、纬度多样性梯度消失、地方种的占比减少、生物出现小型化、机会种和灾难种泛滥等。有观点认为早三叠世长期的极热气候抑制了大灭绝后生物多样性的复苏，呈现出迟缓复苏的特点。最近，我们在早三叠世 Dienerian 亚期发现了较为丰富的化石群——贵阳生物群，展现了完整的海洋生态系统，这为我们认识极热气候与海洋生物演化之间的关系提供了新的窗口。

贵阳生物群是在贵州省贵阳市及周边地区发现的早三叠世早期的特异埋藏化石库，距今 2.5083 亿年。化石主要产于大冶组中部的黑色页岩和灰岩结核中，包括硬骨鱼、软骨鱼、虾类、原蟹、牙形动物、海绵动物、双壳类、菊石类、放射虫、有孔虫等类别，总计达 40 种。此外还有发现有大量粪便化石。贵阳生物群的营养金字塔已经很完整，从大到近 1 米长的顶级捕食者腔棘鱼，到小到 100 微米左右的初级消费者有孔虫、放射虫，代表了现代类型海洋生态系统的雏形。铀铅测年方法获得贵阳生物群的准确年龄为 250.83 +0.07/–0.06 百万年前，表明贵阳生物群目前已知的最古老的中生代特异埋藏化石库，且距离二叠纪-三叠纪之交生物大灭绝后仅仅只有约 1 百万年的时间。贵阳生物群无论是在生物多样性还是生态结构上已经和之后的三叠纪其他生物群没有明显差异，表明二叠纪-三叠纪大灭绝之后的生态重建远远比以往的认识更快。贵阳生物群出现在一个极热气候背景下，且位于古赤道附近，海洋生物如何快速适应这种高温环境是下一步值得深入研究的问题。

S05-O-8

早侏罗世 TOARCIAN 期大洋缺氧事件在西藏特提斯喜马拉雅的响应

韩中[1*]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

* hanzhong19@cdut.edu.cn

早侏罗世 Toarcian 期大洋缺氧事件（TOAE; ~183 Ma）是中生代发生的一次剧烈的碳同位素扰动事件，伴随着快速升温和气候环境变化，是研究地质历史时期全球快速升温事件的典型案例。然而，这些相关的研究主要集中在北半球西特提斯，对于 T-OAE 在南半球东特提斯的响应仍然不清楚。我们以西藏特提斯喜马拉雅定日卧龙和聂拉木年多剖面为研究对象，经过 10 余年的探索，利用地层学、沉积学、岩石学、生物年代学和地球化学等方法，精确准确厘定 T-OAE 碳同位素负偏移（Carbon-isotope excursion: CIE）的层位。T-OAE CIE 的启动正好和海平面上升、台地淹没、生物灭绝等事件相吻合，表明南半球浅水碳酸盐台地在事件启动时生产力发生重大危机。Toarcian CIE 下段发育丰富的风暴沉积，表明在全球升温背景下，东特提斯洋热带/亚热带水文循环增强，风暴作用的频率明显增加。元素地球化学证据表明 Toarcian 早期大陆风化作用增强，浅水台地的去氧过程稍晚于大陆风化作用增强。此外，硫同位素在 Toarcian

早期发生大幅度正偏移，同样表明大洋发生大规模缺氧，同时还证实全球大洋硫同位素是严重不均一的，这是由的极低硫酸盐浓度导致的。

S05-O-9

405 KYR 长偏心率周期调控中侏罗世中纬度陆地野火活动

张之辉[1]，吕大炜[1*]，路漫[2]，于子成[3]，高远[4]，王天天[5]，高洁[1]，王成善[4]

1 山东科技大学，地球科学与工程学院
2 阿拉巴马大学，地质科学系
3 东北师范大学，地理科学学院
4 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
5 中国地质大学（北京），科学研究院
* lvdawei95@126.com

全球野火发生频率与范围普遍被认为可能与人类活动所引起全球气候变暖有关。然而，我们对地质历史时期天文轨道周期强迫气候变化是否对野火事件发生具有调控作用的认识还不清楚。本研究系统分析了北半球中纬度鄂尔多斯盆地中侏罗统延安组中高分辨率野火记录（木炭化石和热解多环芳烃）以及多种气候指标，包括有机碳同位素、化学风化指数、粘土矿物含量。结果表明野火发生频率受 405 kyr 长偏心率周期强迫气候变化控制，具体通过影响植物燃料数量和干湿程度变化。目前地球偏心率正接近其周期最小值，这暗示了中纬度陆地野火频率、程度和强度近年来的增加趋势很可能与人类活动有关，尤其是大量温室气体增加引起的全球快速变暖。

S05-O-10

白垩纪大洋缺氧事件 1A 期间全球海平面变化过程

许艺炜[1]，胡修棉[2*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所
2 南京大学
* huxm@nju.edu.cn

全球海平面变化不仅直接影响海陆分布，还会进一步改变邻区气候变化，从而影响人类居住环境。目前全球海平面正以每年 3.7mm 的速度上升，然而对温室气候背景下海平面变化机理认识仍不清晰，这部分限制了对未来海平面变化的预测能力。OAE1a 是发生在白垩纪中期的大洋缺氧事件，并伴随着温度上升和大气二氧化碳浓度快速增加，因而了解该时期海平面变化过程及控制因素有利于加深温室背景下海平面控制机理的认识。目前对 OAE1a 海平面变化的认识主要来自远洋剖面的研究成果，但远洋环境的碳酸盐岩沉积速率低且古水深相对较深，因而不利于重建高分辨率的海平面变化过程。Aptian 时期，厚层浅水碳酸盐地层（Dariyan 组）堆积在阿拉伯板块被动陆缘北部，为研究 OAE1a 高分辨率海平面变化过程提供了机遇。通过对 Dariyan 组地层进行了详细地沉积学、地层学以及地球化学的工作，我们限定了研究区 OAE1a 事件及其碳同位素阶段 C3-C6 的层位。详细地沉积微相研究显示 OAE1a 期间研究区相对海平面呈现出先海退随后海侵的变化过程；此外碳酸盐颗粒定量统计结果显示，C2-C3 阶段早期，潮下带的碳酸盐岩以富含以固着蛤、珊瑚等骨骼颗粒为特征，并伴有大量的生物扰动构造；C3 晚期-C5 阶段，潮间带碳酸盐岩中生屑含量大幅度下降，出现大量团块、似球粒以及微生物，并伴生有鸟眼构造；C6-C7 阶段，碳酸盐岩再次沉积于潮下带环境，颗粒类型由圆笠虫和固着蛤为主导，伴有大量生物扰构造。与此同时，P/Ca 比值和 Ba 含量显示事件期间生产力无明显变化，而 Ce 异常和 U 含量显示 C3-C5 阶段海水氧气含

量增加，这进一步暗示 OAE1a 期间碳酸盐微相的变化主要受相对海平面变化控制，而不是海水环境恶化的结果。通过与特提斯、北大西洋、太平洋以及北极地区的剖面对比，我们认为伊朗剖面记录的 OAE1a 期间相对海平面主要反映的全球海平面变化的信号。同时，C3-C4 阶段的海退以及 C6-C7 阶段的海侵分别发生在全球升温和降温的气候背景，这暗示着地下水储库可能是该时期全球海平面变化的主要控制机制。

S05-O-11

白垩纪-古近纪界线时期的陆地气候重建进展

顾雪 [1]，赵晓梅 [1]，殷艺天 [1]，于欣鹭 [1]，张来明 [1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* lzhang@cugb.edu.cn

白垩纪-古近纪（K-Pg）界线时期为典型的温室气候，发生了地质历史中最严重的生物大灭绝事件之一，重建白垩纪-古近纪界线时期气候演化历史及其对生态系统的影响对理解深时气候演化规律和预测未来气候变化都具有重要意义。海洋和陆地构成了气候系统中两个既相互联系又相对独立的单元，在全面认识白垩纪-古近纪界线时期古气候演化过程中均发挥着不可或缺的作用。相比海相剖面研究成果，基于陆相剖面开展的白垩纪-古近纪界线时期古气候重建研究开展较晚，相关成果缺乏系统总结和集成。本研究系统回顾了全球陆相白垩纪-古近纪界线剖面的分布情况和事件年代学新进展，总结了基于以上剖面重建的定量古气候记录和德干火山喷发记录，建立了白垩纪-古近纪时期陆地年平均温度和大气 CO_2 浓度综合曲线。结果显示陆地温度自中马斯特里特期经历了约 10℃的降温，到晚马斯特里特期发生显著升温，白垩纪-古近纪界线前约 4℃的降温，之后发生了多次快速波动。大气 CO_2 浓度记录与陆地年平均温度记录的耦合性表明大气 CO_2 浓度变化是白垩纪-古近纪界线时期全球温度变化的主要驱动因素。

S05-O-12

近海环境对古新-始新世极热事件(PETM)的响应及其终结机制

王亚苏 [1]，姜仕军 [1*]，崔莹 [2]，谷阳光 [3]，苏虹 [4]

1 河海大学，海洋学院

2 Montclair State University, Department of Earth and Environmental Studies

3 中国水产科学研究院南海水产研究所

4 暨南大学，生命科学技术学院

* ssj0047@my.fsu.edu

古新-始新世极热事件（PETM）是发生在约 5600 万年前的极端碳循环扰动和全球变暖事件，由于巨量轻碳释放，引起大气 CO_2 浓度快速增加、碳同位素负偏 3-6‰、全球增温 5-9℃、海洋酸化、海洋缺氧/硫化以及海洋和陆地生物群落翻转，是人们了解碳循环和生态系统对极端环境变化的响应以及应对未来全球气候变暖的最佳类比案例。

PETM 事件自 1991 年从 ODP 690 钻孔中被识别出以来，一直是国际古生物学界和古气候学界研究的热点。截至目前，针对 PETM 事件开展了大量的高水平研究工作，研究记录分布世界各地的深海远洋或陆相盆地，而全球近岸浅海地区的研究记录还相对缺乏。近岸浅海区域受到海洋和陆地气候环境的双重影响，对气候变化响应敏感，沉积速率高，在 PETM 事件的研究中具有重要作用。根据最新研究成果，PETM 事件造成海平面上升、浅海陆架酸化、水循环突变以及由于营养盐输入增加，近岸浅海区域生物生产力提高。

目前，对 PETM 事件快速终结的机制仍存在许多争议和不确定性。通过对最新研究成果的系统总结和分析，得到三点初步认识：(1) 近海环境对 PETM 的快速恢复发挥了重要作用；(2) PETM 时期 CO_2 浓度高、气候温暖、导致水循环增强，从而引起大陆硅酸盐风化加剧；(3) 在大陆化学风化增强背景下，海洋生物泵效率的提高加快有机碳埋藏，导致 PETM 事件的终结。特别值得一提的是，碳酸盐（$CaCO_3$）沉积使得碳酸盐泵的固碳作用得以恢复，进一步加速了 PETM 事件后的气候环境恢复。

S05-P-1S

藏南早白垩世 APTIAN 期菱铁矿及其对低硫酸盐浓度海洋的启示

孟凡[1]，韩中[1,2*]，胡修棉[2]，Hugh C. Jenkyns[3]，张柏林[1]，陈曦[4]，侯明才[1]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

2 南京大学，地球科学与工程学院

3 牛津大学，地球科学学院

4 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* hanzhong19@cdut.edu.cn

中生代温室气候发生多次重大碳循环扰动事件，包括以富含有机质沉积物为特征的全球性大洋缺氧事件（Oceanic Anoxic Events: OAEs）。这些缺氧事件的共同特征是在事件发生之前和期间海水的硫酸盐浓度（$[SO_4^{2-}]$）相对较低。前人认为这种现象可能在缺氧事件的形成和发展当中发挥了重要的作用。然而，迄今为止，低 $[SO_4^{2-}]$ 仍缺乏可靠的沉积学证据，以及我们对其如何影响缺氧事件的形成和演化也不清楚。本次工作中，我们对沉积于早白垩世 Aptian 早期（OAE 1a 时期）藏南古错II剖面的黑色页岩和结核中含有的菱铁矿进行了沉积学、矿物学和地球化学的综合研究。这些菱铁矿可分为成岩作用早期的浸染状和菱形菱铁矿，以及成岩作用晚期形成的球形菱铁矿。黑色页岩和结核中相对较高的 V/Al 和 V/（V+ Ni）、中稀土元素富集、少量黄铁矿赋存以及含菱铁矿碳酸盐结核中的低碳同位素值共同表明，菱铁矿是在铁还原带通过异化铁还原作用（Dissimilatory Iron Reduction: DIR）形成的。这个过程需要低 $[SO_4^{2-}]$、还原环境、富含铁和富含碳酸根的条件。除此之外，菱铁矿和黄铁矿的共生关系还可能表明 DIR 发生在硫酸盐还原带附近，海水 $[SO_4^{2-}]$ 徘徊在海水硫酸盐增加时即可形成黄铁矿的临界点附近。这种增加可能是由于大陆风化作用、火山作用、海底风化作用和热液活动的产物以及河流输入造成的。我们的观测结果支持前人对于 OAE 1a 的假说，即缺氧事件发生之前低 $[SO_4^{2-}]$ 可能是由原大西洋南部大量的蒸发岩沉积导致。随后，类似于其他缺氧事件，火山作用和相关来源的硫酸盐输入增强促进了细菌硫酸盐还原和有机质的氧化，从而进一步促进了营养循环，增强了初级生产力和有机碳埋藏，导致海洋中更多氧气被消耗，加剧了大洋含氧最小带的扩张。

S05-P-2S

气候变化对东海赤潮优势藻的影响

高梦妮[1*]

1 华东师范大学，河口海岸科学研究院

* 429170027@qq.com

作为中国海域中受赤潮影响最大的海域，东海的赤潮状况一直受到广泛的关注。在全球气候不断变化的当下，探究赤潮优势藻对未来变化的环境条件的响应，对赤潮的治理工作有积极的影响。本研究主要通过室内的半连续培养实验，探究东海原甲藻，中肋骨条藻，旋链角毛藻在低、中、高三个二氧化碳浓度，高、低两个光照强度，以及高、低两个温度下的单系培养时的种群生长状况以及混合培养时的种间竞争情况，从而预

测在未来的环境条件下这些东海赤潮优势藻的生长状况。

S05-P-3S

华南陆块吉泰盆地白垩纪晚期半干旱风成系统研究

石宇翔[1,2]，吴驰华[2*]，伊海生[1,2]，黄乐清[3]，杨嘉宝[4]，Juan Pedro Rodríguez-López[5]

1 成都理工大学，地球科学学院
2 成都理工大学，沉积地质研究院
3 湖南省地质调查院
4 中国核工业集团有限公司，二八 0 研究所
5 University of Sussex,Permafrost Laboratory, Department of Geography
* wuchi-hua@foxmail.com

在白垩纪晚期，东亚地区板块活动及其所带来的地形效应促成华南陆块发育多个小型山间古沙漠系统。这些沙漠系统的以风成沙丘的发育为主要特征，代表了强烈的干旱化过程。然而，要全面认识白垩纪晚期东亚大陆古气候的真实状态，更准确地揭示古地形对古气候演化的反馈机制，还需要进一步探索或补充半干旱风成体系下的风-水相互作用过程。目前，前人对白垩纪东亚地区半干旱风成系统的研究非常有限。本研究试图采用粒度端元分析、元素地球化学分析、构型分析和床砂重建等方法，对吉泰盆地上白垩统塘边组进行了综合研究。研究认为，吉泰盆地塘边组是一个以砂席环境为主的风成体系，具有明显的风-水相互作用。该风成系统的形成可能与东部沿海山脉的地形起伏特征和古太平洋与东亚大陆之间的水汽输送密切相关。根据古风向恢复的结果，初步确定了该时期副热带高压带南缘的位置。

S05-P-4

西藏伦坡拉盆地牛堡组二段冰成沉积与古环境意义

夏国清[1*]，吴驰华[1]，伊海生[1]，Juan Pedro Rodríguez-López[1,2]，裴军令[3]

1 成都理工大学，沉积地质研究员
2 University of Sussex,Department of Geography
3 中国地质科学院地质力学研究所
* xiaguoqing2012@cdut.cn

青藏高原的形成是新生代地球历史上最伟大的地质事件之一，它的隆升不仅极大地改变了亚洲山川水系格局和大气环流样式（Farnsworth et al., 2019），而且诱发了全球最大的内陆干旱化（An et al., 2001; Guo et al., 2002），深刻地影响着亚洲乃至全球气候环境变化（刘晓东和 Dong, 2013）。关于高原隆升引起的全球气候变化，最引人注目的是冰室效应和新生代全球变冷问题，高原隆升除了导致中纬度地区本身变冷外，也会加速消耗大气 CO_2 从而驱动全球气候变冷。然而能直观体现高原隆升所导致的变冷标识并不常见，在此背景下，寻找高原隆升更高精度和更加可靠的边界条件始终是地球科学家坚持不懈地追求目标。事实上，自然界地貌单元的向上隆升对区域气候最直接的影响即是气温会随着高度的增加而降低，正如现今的青藏高原、阿尔卑斯山、安第斯山、天山等高山地区一样，无论纬度如何，只要海拔达到或超过临界高度，高山/原随即进入独特的冰冻气候状态，形成独具规模且连续分布的冰冻圈层，以广泛发育冰川/冰盖、冻土（包含多年冻土和季节冻土）、积雪、海冰、湖冰、河冰等特殊地貌单元为特征（Hock et al., 2019）。倘若按照这个思路，意味着青藏高原新生代地貌单元的隆升必然在高原内部留下大量与高寒冰冻圈层相关的沉积记录，但令人遗憾的是迄今为止从未有任何与之相关的报道。

近年来，研究团队在伦坡拉盆地 382 道班剖面牛堡组二段湖相地层中发现有大量与冰川和冰晶相关的冰成沉积（Xia et al.,

2023），它们特征显著、类型丰富，不仅包括大量冰筏砾岩、冰缘混杂堆积、六水方解石（假晶）等冰水沉积，而且还包含冰晶印痕等典型沉积构造（图 1），是迄今为止在青藏高原腹地新生代地层发现的最早冰成沉积记录。牛堡组这一独特的冰成沉积记录与前人所提出的常年无冰的香格里拉气候系统形成鲜明对比，冰晶印痕的出现表明青藏高原中部地区出现了霜冻气候，而冰筏砾岩和冰缘混杂堆积的出现则代表了该地区处于冰缘环境，意味着高原中部存在山岳冰川记录。伦坡拉盆地 382 道班剖面牛堡组二段冰成沉积为深入研究高原隆升过程气候-环境变革提供了重要约束。本研究由国家自然科学基金项目（41972115 和 41930218）资助。

S05-P-5S

白垩纪海侵对湖泊有机质富集的影响

杨汉卿 [1,3]，王亚琼 [2]，胡建芳 [1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，有机地球化学国家重点实验室

2 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

3 中国科学院大学

* hujf@gig.ac.cn

白垩纪是地球历史时期典型的温室气候时代，该时期全球海平面显著升高。高海平面通常会伴随缺氧环境的扩张，有利于高含量有机质的保存。据估计，世界石油储量的约 29%是在白垩纪高海平面时期形成的。我国东北地区一系列湖盆受构造运动和海平面变化的影响，发生过多期次不同规模的海侵事件。前人通过对松辽盆地海侵事件的研究发现海侵有利于其优质烃源岩的形成和发育。延吉盆地作为松辽盆地外围重点油气探区之一，目前对其有机质的富集机制研究还不充分，通过对其海侵事件的系统研究，有利于探讨该盆地有机质的富集和埋藏机制。

本研究通过对吉林东部延吉盆地下白垩统上部大砬子组泥页岩进行有机地球化学研究，剖面样品的 TOC 变化范围为 0.1 ~ 3.1%，总有机碳同位素（$\delta^{13}C_{org}$）为-28.4‰ ~ -23.1‰。在样品中检测出了海相特征分子标志化合物—24-正丙基胆甾烷和 24-异丙基胆甾烷，其含量为 2.3~288.2 ng/g 和 3.5~201.0 ng/g，指示了海侵事件的发生。该盆地在大砬子组沉积时期发生了三期较大规模的海水入侵，对应层位的 TOC 明显升高、$\delta^{13}C_{org}$ 负偏，表明此时海洋有机质对湖泊沉积有机质有一定的输入贡献。海侵对应层位来源于湖泊藻类的 C_{28} ~ C_{29} 4-甲基甾烷丰度也显著升高，表明此时湖泊初级生产力显著升高，可能是由于海侵带来了丰富的营养盐刺激了湖泊藻类的勃发。在海侵层位检测出了高含量的伽马蜡烷，表明湖泊水体存在分层现象。海侵层位低的姥/植（Pr/Ph）比值(仅为 0.16)，指示湖泊的沉积环境为缺氧/强还原-还原环境。同时还在样品中检测出了指示盐度的特征分子标志化合物—脱羟基维生素 E（MTTCs），表明该湖泊由于海水的入侵，其水体发生咸化，导致了水体分层、缺氧，有利于有机质的埋藏保存。

综合各项有机地球化学指标可以看出：延吉湖盆早白垩世由于海水的入侵，带来了大量的营养物质，刺激了湖泊初级生产力的提高。同时由于高盐度海水的入侵，使湖泊产生了盐度分层，进而形成了还原的沉积环境，有利于高含量有机质的埋藏。因此，延吉盆地海侵层位富含有机质页岩的形成与海侵引起的湖泊生产力升高及高盐、缺氧、分层的水体环境密切相关。

S05-P-6S

松科 3 井泉头组赛诺曼-土伦界线层水循环的加速及斜率驱动

姚宁[1]，黄永建[1*]，吴怀春[1]，李祥[1]，杨大明[1]，张治锋[1]，罗力铭[1]，胡滨[1]，魏玉帅[1]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* huangyj@cugb.edu.cn

白垩纪赛诺曼-土伦界线大洋缺氧事件(OAE2)是白垩纪温室气候演化过程中的一次重大的全球气候事件。对于陆相沉积记录对 OAE2 的响应的研究，有助于确定 OAE2 事件产生的机理以及影响范围。松辽盆地泉头组发育于赛诺曼-土伦时期，保留了 OAE2 期间的陆相沉积记录。本项研究以松辽盆地大陆科学钻探松科 3 井泉头组为研究对象，对泉头组岩心进行 XRF 扫描，获取 K/Ti、Rb/Sr、K/Rb 等元素比值，作为盆地流域化学风化指标，并恢复泉头组沉积期间的陆源碎屑物的输送和化学风化强度的变化。在基于最新确立的松科 3 井地层年代框架，对上述指标开展气候旋回的识别及其时-深变化研究。通过谱分析成功识别到泉头组岁差、斜率和偏心率周期；并将泉头组化学风化指标 K/Ti 与全球 OAE2 记录进行对比。对比结果显示，在 OAE2 事件期间（94.3~93.5 Ma），泉头组 K/Ti 比值的曲线出现异常、化学风化速率增大，并且 K/Ti 的斜率信号占据统治地位，这与海相记录中 OAE2 层位中的现象是一致的。该现象有可能是 OAE2 期间地球气候系统自我调节机制的表现，其原理在于 OAE2 的发生和发展主要受到海底大规模火山活的推动和控制。OAE2 的第一次大规模火山活动（约 200 ka）不仅造成或者诱发大洋底层水的缺氧，而且造成巨量的 CO_2 的排放，带来显著的温室效应，使得海洋和陆地系统水循环大大加速；而在水循环加速的同时带来化学风化的强度增加带来 CO_2 的消耗，同时期大洋缺氧导致有机碳埋藏的增加，二者的联合作用造成 OAE2 期间大气 CO_2 含量甚至下降到 OAE2 之前的含量水平。而随后的第二期大规模海底火山活动则不仅一举扭转 CO_2 下降带来的全球降温趋势，而且将大洋缺氧、全球变暖和水循环的加速推向新的高潮。根据多年来的研究成果，OAE2 事件总体上持续约 500~800 ka，随着海底大规模火山活动的结束才使得海洋恢复正常状态。通过对松科 3 井泉头组赛诺曼-土伦界线层 K/Ti 的分析，以及与海相记录的对比，表明温室地球系统具有良好的自我调节能力，碳-水循环的耦合是其核心机制所在，这可能也正是温室气候成为地质历史中常见类型的原因所在。

S05-P-7S

晚白垩世温室气候下北太平洋-中纬度陆地气候的 ENSO 遥相关

秦健铭[1]，高远[1*]，张健[2]，都晓菁[3]，王成善[1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 北京大学，物理学院

3 Brown University

* yuangao@cugb.edu.cn

* chshwang@cugb.edu.cn

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）是地球上最主要的年际气候现象之一，通过遥相关影响全球气候。在全球变暖的大背景下，ENSO 及其遥相关的演化尚不明确，而分析深时温室气候时期的地质记录有助于提供新的见解。在本研究中，我们通过分析来自北美 Marca 页岩的高分辨率沉积记录数据，结合气候模拟，探索晚白垩世温室气候强迫下的北太平洋-北美洲 ENSO 遥相关。在我们的模拟中，赤道太平洋海表温度和北美降水中均展示出 2.1～3.2 年的波动信号，与地质记录中的信号吻合。气候模拟试验指出，在晚白垩世，ENSO 通过北太平洋压力系统（包括副热带高压和阿留申低压）影响西风带位置，改变从太平洋往北美洲的水汽和热量输送，进而远程调控加州气候。我们的研究揭示出在晚白垩纪温室气候下存在稳定的 ENSO 震荡；本研究发现，相较于全新世冰室气候，在晚白垩世温室气候下，中低纬度

大气环流对北美中纬度地区气候的强迫更加显著。

S05-P-8S

中新生代全球古柯本气候带的时空分布

余晨旻[1]，曹硕[1]，张来明[1*]，王成善[1]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* lzhang@cugb.edu.cn

地球历史的最后 250 Ma（即中新生代）具有一系列深时地球环境中典型的高温时期和极热时期，它们为理解未来人类干预的气候变化情景中不断变化的空间和时间气候模式提供了重要借鉴。然而，之前的研究侧重于相对短期高温事件的区域气候记录，而不是长期的全球气候模式变化。因此，在本研究中，我们基于 Li et al. (2022)模拟的定量高分辨率古气候数据，重建了一系列 250 Ma 至 0 Ma（每 10 Ma）的全球古柯本气候图。为了验证模拟数据的可用性，我们基于纬度温度梯度提出了一个新的校正方法，得到的模拟数据和校正后的数据具有相似的纬度气候带分布。基于气候带分布图，我们研究了中新生代古柯本气候带的面积分布和纬度分布的演变。评估了前人的气候状态划分方法，提出了一个新的分类方法，根据全球平均温度（GAT）划分“温室”、“温室”和“冰室”状态。在新的气候状态划分下，我们评估了不同气候状态下古柯本气候带的面积、纬度和海拔分布特征，并推测了调节气候带变化的可能控制因素。

S05-P-10

冰室-(超)温室气候动荡期湖平面演化及天文轨道气候作用

李猛[1*]，李昕[1]，Stephen P. Hesselbo[2]

1 河南理工大学，资源环境学院

2 University of Exeter,Camborne School of Mines and Environment and Sustainability Institute

* limeng@hpu.edu.cn

湖平面变化是影响陆相湖盆沉积与资源赋存、陆地碳收支及环境生态演化的重要因子。湖平面波动受气候作用明显，早侏罗世处在冰室、（超）温室气候动荡期，发生了全球性大洋缺氧（托阿尔期，~183 Ma）和气候变冷等极端气候事件（普林斯巴赫期，~185 Ma）。为研究气候动荡背景下湖平面演化及地球表层水循环和调控机制，文章选取柴达木盆地早侏罗世湖相连续沉积记录，采用岩石粉末色度（CIE Lab）序列开展米兰科维奇旋回分析，建立了基于东特提斯陆相沉积记录的早侏罗世天文年代标尺（~174.2 Ma 至~190.9 Ma），通过沉积噪声模型重建了盆地相对湖平面变化曲线，发现 5~10 Myr 尺度湖平面变化响应于长趋势气候演化及极端气候事件；1~2.5 Myr 尺度湖平面波动显著受控于天文轨道气候作用（~2.4 Myr 偏心率（Eccentricity）和 ~1.2 Myr 斜率（Obliquity）周期）。其中，普林斯巴赫期 ~1.2 Myr 湖平面周期波动与全球海平面呈“同相位”共变，~1.2Myr 斜率周期通过控制极地地区存在的间歇性或永久性冰盖生长和消亡影响全球海平面及湖平面升降；托阿尔期~1.2 Myr 湖平面波动与全球海平面呈“反相位”关系，在（超）温室气候期极地地区不存在明显冰盖情况下，湖平面受控于~1.2 Myr 斜率周期控制下的陆地储水单元（湖泊和地下水）和全球海洋间的“起翘板”作用。~2.4 Myr 长偏心率周期主要通过控制小型冰盖的消长来调控湖（海）平面升降，主要体现在普利斯巴赫期。以上发现证明气候动荡期地球表层水循环样式及气候调控出现了明显转换，为理解全球海平面变化机制（如，Glacio-eustasy 和 Aquifer-eustasy）提供了新的视角和证据。

S05-P-11

基于海洋沉积物中孢粉记录探讨全新世以来南非植被和气候演变

赵雪琴[1*]，许云平[1]，Matthias Zabel[2]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 德国不来梅大学，MARUM 海洋环境和科学研究所

* xqzhao@shou.edu.cn

南非是人类起源的关键区域之一，地处大西洋和印度洋之间，一直以来受到复杂的大气和海洋循环系统的影响（如非洲季风）。重建该地区的气候演化对于理解人类起源和文明进程至关重要，然而当前基于古气候模型重建的降水存在明显的区域不一致性，因此非常有必要通过古环境代用指标重建的高分辨率气候记录进行验证。本研究对位于南非南海岸的海洋钻孔沉积物中的孢粉指标进行高分辨率分析，重建了 20 ka 以来南非西南部和南部地区的古植被和古气候演变。初步分析结果显示 19.8-15.2 ka 期间，花粉含量很低，主要以 *Typha* 为主，其次为 Podocarpaceae，与花粉相对应的是有孔虫有机衬里（foraminiferal organic linings）的含量也很低。而孢子特别是三缝孢则占主导地位。15.2 ka 以后，孢子含量急剧下降并伴随着花粉和有孔虫有机衬里含量的明显增加。15.2-5.0 ka 期间，花粉类型以 Restionaceae 和 Eriaceae 为主，其次为 Asteroideae，*Stoebe/Elytropappus*-type，*Artemisia*-type，Amaranthaceae 和 Poaceae。Podocarpaceae 花粉含量明显减少，水生花粉 *Typha* 含量急剧下降，而 Cyperaceae 和 *Pragmites*-type 花粉显著增加，表明该阶段植被以 Fynbos 植被为主，气候较为湿润，夏季降水减少而冬季降水明显增多。5.0 ka 以来，Restionaceae 含量明显减少，而 *Stoebe/Elytropappus*-type 则达到了钻孔最大值，水生花粉 Cyperaceae 和 *Pragmites*-type 以及有孔虫有机衬里也明显减少。*Pinus* 花粉在钻孔顶部急剧增加并达到沉积钻孔最高值。表明该阶段植被由 Fynbos 转为以 Renstoveld 为主，降水季节性增强，特别是钻孔顶部约 2.9 ka 以来高含量的 *Pinus* 花粉可能与人为种植松属植物有关。

S05-P-12

东特提斯域晚三叠世诺瑞晚期十～千年尺度潮汐周期与小尺度气候波动的耦合机制

张喜[1*]，张廷山[1]，卢腾辉[1]，曾建理[1]

1 西南石油大学，地球科学与技术学院

* zhangx@swpu.edu.cn

尽管日、月对地球表层海水的引潮力导致潮汐的周期性变化是一种成熟理论，但对古代地层记录中潮汐周期及其与气候变化耦合机制的研究却相对较少。东特提斯域上三叠统诺瑞阶某野外露头剖面中发育大量指示潮汐环境的沉积结构，包括羽状交错层理、双层粘土层、潮汐韵律带和透镜状层理等。通过对东特提斯域某野外露头剖面上三叠统诺瑞阶-瑞替阶磁化率序列（5-10 cm 间距）开展频谱分析，提取了古气候替代指标中记录的 1.2 myr 斜率长周期、405 kyr 长偏心率周期, 101kyr 短偏心率周期，38.3 kyr 斜率短周期及 19.8 及 9.6 kyr 的岁差半岁差周期。此外，通过对该剖面上三叠统诺瑞阶野外露头剖面中发育的潮汐纹层记录高分辨率（0.1 mm 间距）岩心扫描，提取高精度主微量元素及灰度序列。通过对能够表征古气候波动的主微量元素参数建立的 PCA 及灰度序列开展频谱分析，基于半岁差周期，调制了地层记录中的 1.8 kyr、0.2 kyr、50～70 y、18.6 y、9.3 y 和 2.5～7 y 不同尺度的潮汐周期。通过主微量元素，重建了诺瑞晚期高分辨率古气候波动序列。结果表明，千年尺度的气候变化主要地月以外行星轨道调控的日照辐射量控制，而年～十年尺度的气候波动只与地月引力的物理作用有关。这一认

识对认识地史期小尺度气候波动及预测未来气候波动有重要启示。

S05-P-13S

高频海平面波动对短偏心率周期调制下气候变化的滞后响应——以四川盆地须家河组为例

卢腾辉[1]，张廷山[1*]，张喜[1]

1 西南石油大学，地球科学与技术学院

* zhangtingshan@swpu.edu.cn

气候变化和海平面上升是近年来人类十分关注的重大问题。近年来有学者提出的大陆海绵假说很好的解释了在缺乏冰川活动的温室期的海陆水体交换导致的高频海平面的变化，并通过海湖平面的对比研究证实了这一假说。目前相关研究更多的是在120 万年斜率周期甚至更大的时间尺度上探讨轨道驱动的古气候和海（湖）平面变化。然而地球表层系统对轨道周期变化的响应速度问题，往往会在在大尺度周期的研究中被忽略。

本次研究从更小的时间尺度出发，对四川盆地海陆交织的须家河组须一段泥页岩进行研究，通过高精度的磁化率数据建立天文年代标尺，并使用沉积噪音模型模拟了 10 万年尺度的海平面变化，同时通过地球化学、孢粉化石等手段开展古气候分析。研究发现，在 10 万年尺度上，古气候和海平面变化均明显受 100-Kyr 短偏心率的调控，然而其响应速度却存在显著差异。地球轨道的变化直接影响地球表面接受的太阳辐射量从而立刻影响地球表面的气候，对环境十分敏感的植物孢粉化石的相对丰度也受到短偏心率的及时调控。但高频的海平面变化存在一个约 2.17 万年的滞后，偏心率的最大值往往对应的不是海平面的最高点，而是海平面快速上升时期。这意味着天文驱动的气候变化影响的水循环是一个相对缓慢的过程，海陆水体交换的这一 2.17 万年的滞后可以被认为是大陆海绵模型下海陆水体交换完成所需要的时间。

S05-P-14S

重庆市云阳县中侏罗世蜥脚类恐龙牙齿的稳定同位素证据

周羽漩[1]，马超[1*]，唐闻强[1]，马檠宇[2]，魏雪芳[3]，吴驰华[1]，谭超[2]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

2 川渝共建古生物与古环境协同演化重庆市重点实验室

3 中国地质调查局成都地质调查中心

* machao@cdut.edu.cn

恐龙的演化、分布、多样性、生活习性等与古环境密切相关。近些年，有关利用恐龙骨骼和牙齿的同位素进行古环境分析研究的数量在迅速增加，但这些研究大多涉及白垩纪沉积物中的恐龙化石，极少涉及侏罗纪恐龙化石的生态环境。2016 年，在四川盆地东北部的重庆云阳地区发现的中侏罗世恐龙集群埋藏地，为了解中侏罗世恐龙的生活环境提供了宝贵的研究材料。本文搜集云阳恐龙动物群中蜥脚类恐龙的化石，利用蜥脚类恐龙牙齿牙釉质进行稳定同位素分析，得出中侏罗世晚期沙溪庙组下段蜥脚类恐龙饮食的碳同位素值（$\delta^{13}C_{plant}$）在-26.4--24.3 ‰之间，属于 C3 植物的区间范围；计算出重庆市云阳县中侏罗世恐龙生活时期的气温为 19±1.6 ℃，降水量为 947±174 mm。同时，依据温度和降水量进行气候带划分发现恐龙偏好生活在热带稀树草原。另一方面，推测由于气候变化，云阳地区的恐龙在时间和空间上与四川自贡恐龙之间具有迁徙的可能性。

S05-P-15S

松辽盆地所记录的白垩纪末期全球气候波动： 来自定量递归分析（RQA）结果的初步报导

罗力铭[1]，李祥[1]，杨大明[1]，张治锋[1]，姚宁[1]，冯浩楠[1]，屈玉锋[1]，王飞翔[1]，魏玉帅[1]，黄永建[1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* huangyj@cugb.edu.cn

通过对白垩纪时期温室气候运行规律的理解，对于缓解当今全球变暖问题具重要意义。多年的研究结果显示，白垩纪末期全球气候总体处于降温趋势，叠加数次升温事件，并在松辽盆地连续陆相沉积中被记录，显示出松辽盆地在响应白垩纪中末期全球气候变化方面的巨大潜力。但目前在对松辽盆地全球气候变化响应研究方面，还存在诸多不足。在时间序列分析方面主要应用基于线性假设的方法（如傅里叶变换等），很难从本质上反映气候系统变化的复杂性。近年来涌现出许多新的非线性时间序列分析方法，其中定量递归分析（Recurrence Quantitative Analysis, RAQ)成功揭示了古人类起源和演化相关的古气候演化信息。该方法通过对古气候指标时间序列的相空间的拓扑结构分析，有力地揭示了气候系统变迁的动力学过程，以及气候子系统的相互作用等。在松辽盆地松科 1 井已建立的高精度时间格架基础上，通过对白垩纪松辽盆地四方台-明水组连续高分辨率化学风 化指标（CIA）记录，以及同时期古太平洋海相沉积碳氧同位素曲线开展 RQA 分析，得到的定量递归图可以划分为七个演化区域，可能与变冷/变暖事件所导致的南极海冰的生长与消融相关。在不同的定量递归图区域，气候变化的 DET 值呈现出准周期性的波动，为气候状态的演变提供了统计意义上的稳健证据。通过对比同时期全球构造活动记录发现，在 80~50Ma 期间对应于新特提斯洋同时期的关闭，大量镁铁质和超镁铁质基性岩石出露于热带湿润带的低纬度地区，从而产生剧烈的化学风化，造成大量的 CO2 消耗，如新特提斯洋关闭的加速所造成的坎潘期-马斯特里赫特期界限变冷事件（CMBE，~71 Ma）。而在全球降温趋势下的变暖事件，则主要是由于大规模火成岩省的喷发造成的短期 CO_2 的升高的结果（如 MME，~69 Ma）。正是由于上述构造活动，造成了白垩纪末期全球气候变化的波动—该波动不仅记录于海相地层，同时被松辽盆地所记录。正是在这个意义上，RQA 分析更能够彰显松辽盆地在响应白垩纪全球气候变化方面的积极作用。

S05-P-16

显生宙极热事件下温度驱动的微生物代谢增强对海洋碳循环的影响

吴玉样[1]，宋海军[1*]，楚道亮[1]，Ying Cui[2]，Jacopo Dal Corso[1]，罗根明[1]，童金南[1]，宋虎跃[1]，田力[1]，宋汉宸[1]，Andy Ridgwell[3]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院生物地质与环境地质国家重点实验室

2 Montclair State University,Department of Earth and Environmental Studies

3 University of California Riverside,Department of Earth and Planetary Sciences

* haijunsong@cug.edu.cn

地质历史时期的极热事件通常以极端高温和显著的全球碳循环扰动为特征，并影响了海洋生物碳泵，具体表现为表层水和次表层水之间的溶解无机碳的碳同位素差异增加（碳同位素水深梯度）。但是当前对极热事件下碳同位素水深梯度增加的驱动机制仍缺乏清晰的认识。本研究聚焦显生宙三个极热事件，即二叠纪-三叠纪之交生物大

灭绝、早侏罗世托尔阶缺氧事件以及古新世-始新世之交极热事件。基于三个时期已发表的全球碳同位素数据，发现相对背景时期极热事件期间碳同位素水深梯度 2-3 倍的升高幅度。地球系统模型的数值模拟结果定量评估了三种驱动机制的科学假说，发现温度驱动的微生物代谢效率控制的有机质再矿化作用增强是导致碳同位素水深梯度增加的主要原因，而陆源输入的营养盐增加和洋流循环变化仅起到次要作用。这一过程引起的生物碳泵营养盐再循环增强能够促进表层生产力的提高以及输送到次表层的颗粒有机碳减少，从而削弱生物碳泵的效率，很可能最终减弱海洋有机碳的埋藏，对全球变暖起到正反馈效应。碳同位素指标数据还揭示了碳同位素水深梯度的演化趋势，即二叠纪-三叠纪之交的碳同位素水深梯度显著低于其他两时期。数值模拟结果表明中生代早期浮游红藻的崛起以及海陆分布驱动的海洋环流变化对显生宙的碳同位素水深梯度的演化趋势做出了部分贡献。

S05-P-17

温室-热室古气候背景驱动下抚顺盆地始新统水陆环境系统演化规律

孙平昌 [1,2*]，李元吉 [1,2]，刘招君 [1,2]，王君贤 [1,2]

1 吉林大学，地球科学学院

2 吉林省油页岩与共生能源矿产重点实验室

* sunpingchang711@126.com

古近纪是据我们最近的全球温室-热室气候波动明显时期，尤其在始新统发生了一系列的极热事件，处于中高纬度的陆相东北亚地区对温室-热室气候变化最为敏感。本次以始新统记录齐全且以富有机质细粒沉积岩为主的抚顺盆地为例，开展极端气候驱动下的水陆环境系统演变规律。以锆石 U-Pb 同位素绝对年龄为锚点，结合 GR 测井曲线和系统的有机碳同位素数据，建立了较为精细的始新统地层年代格架，识别出 ETM2/3，EECO 和 MECO 极热事件。基于孢粉组合确定东北亚地区始新统经历了亚热带到暖温带的古气候演化，估算出极热事件时期古温度升幅 2-5 ℃，降雨量增加 200-600 mm，温湿程度的增加大幅度的提升了陆地的风化程度，同时促进陆上针叶类等高等植物的快速繁盛。极热事件的高降雨量和大幅度构造沉降协同驱动了抚顺湖沼环境向半深湖-深湖的快速转化，并在陆源营养盐的供给下引起湖沼植物和湖泊藻类的勃发，增加了水体有机质来源，加快了陆地碳汇速度，形成厚层的煤炭及油页岩矿床。从极热事件起源角度，在有机碳同位素和正构烷烃单体碳同位素双参数约束下，估算了东北亚地区始新世二氧化碳背景值为 557ppmv，极热事件时期二氧化碳浓度高达 2000 ppmv，且初步认为碳源主体可能来自陆地有机质的氧化，并存在部分火山来源的供给。整体表明，极热事件等古气候灾变事件可能影响生物的宜居性，但是也在较短的地质历史时期加速了碳汇，促进了与有机质相关能源矿产的沉积。

S06-O-1

尼罗河三角洲全新世环境演变与早期农业活动适应性研究

赵小双 [1]，陈中原 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* z.chen@ecnu.edu.cn

位于干旱气候背景下的尼罗河三角洲是研究世界大河三角洲陆海相互作用的典型区域，也是探索人与环境（古埃及农业文明与自然）相互关系的理想地点。在全球气候变暖、海平面上升和人类活动急剧增强的多重胁迫下，该三角洲环境极为脆弱；探索

并发掘研究区人地关系是当前全球变化研究的前沿。埃及是“一带一路”沿线的枢纽国家，是“21 世纪海上丝绸之路”的重要一环，本项目选择埃及尼罗河三角洲典型考古遗址钻孔，依据现代测试技术和地学理论，结合高精度 AMS-^{14}C 测年支撑下的高分辨率微体化石代用指标，开展全新世环境演变与早期农业活动环境适应性研究，旨在：1）探讨不同时间尺度流域气候变化、海平面波动对三角洲地貌环境演化的作用；2）重建遗址区农业活动历史、追踪其起源和发展；3）揭示早期农业活动对环境演变的适应过程和机理。探究全新世三角洲地表过程和早期农业活动相互关系的研究，既可剖析早期农业文明对陆海相互作用的响应模式，也可为解决未来干旱区三角洲面临的可持续发展问题提供科学依据。

S06-O-2

伊朗纳德利土丘遗址的人类活动和环境变化

张良仁 [1*]

1 南京大学，历史学院

* zhlr@nju.edu.cn

泛第三极地区的长期人类活动与环境变化已经成为我国科学家引领的一个国际前沿研究课题。伊朗东北部的纳德利土丘遗址位于该地区和一带一路的核心位置，经历了全新世中晚期长 达5000年的居住和废弃过程，可以为上述课题提供有力支撑。2016 和 2018 年，中伊联合考古队以纳德利土丘的人类活动与环境变化为研究目标，发掘了一条覆盖土丘本体、底部坡积物和周围河湖相沉积物的探沟 T1，取得了一些成果。今后课题组拟在前期考古工作的基础上，继续发掘探沟T1，获得上述三个部分的完整地层，并集各类测年、土壤分析样品。课题组将利用陶片、AMS14C 和光释光测年，建立上述三个部分的高精度年代序列；利用现代资料分析纳德利土丘遗址所在小盆地的地貌特征和水文条件；利用微形态学分析底部原始地面的成因，了解选址背后的环境因素；利用土壤微形态学和土壤成分分析，研究居住过程发生的人类活动和资源利用；利用沉积学和微体古生物分析研究该土丘废弃以后形成的河湖相沉积物样品，了解其沉积过程和环境背景。

S06-O-3

山前水利与亚洲内陆山地丝绸之路的联通

李宇奇 [1*]

1 南开大学，历史学院

* li.yuqi@nankai.edu.cn

气候变化是影响丝绸之路沿线古代东西方交流的重要因素。此前的相关研究多集中在分析气候变化如何影响低海拔的传统丝路通道上。然而，近年的研究表明，海拔较高的亚洲内陆山地早在青铜时代就孕育出了复杂的山地丝路通道，并在欧亚大陆东西交流中发挥过巨大作用。气候如何影响这条山地丝绸之路的兴衰同样值得关注。本研究以中天山南麓山地游牧人群遗址莫呼查汗沟口为例，结合考古发现和古气候重建资料，揭示了亚洲内陆山地游牧人群通过修建山前水利设施，来应对公元五世纪下半叶极端干旱期的独特行为。该发现表明，山前水利技术的存在使得亚洲内陆山地游牧人群应对气候变化，维持东西方交流方面的能力较之过去想象的更强。气候变化对于以游牧人群为基础的山地丝绸之路的联通并无决定性影响。

S06-O-4

新疆青铜早期先民的生业模式与季节性活动

屈亚婷 [1*]

1 陕西师范大学，西北历史环境与经济社会发展研究院

* quyating2014@snnu.edu.cn

公元前三千纪，欧亚草原早期游牧人群的形成与不断扩张，对中国新疆青铜早期人群结构与生业经济产生重要影响。通过对新疆阿依托汗一号墓、小河文化多处遗址出土人与动物遗存（包括人骨、牙和发，动物骨、毛和角）的 C、N 稳定同位素分析，结合考古发掘资料、体质人类学、古 DNA、残留物、古环境等研究资料，发现起源于南西伯利亚的阿凡那谢沃文化人群迁徙过程中其生业模式均以畜牧业为主，到达中国新疆阿勒泰地区，其食谱中出现一定数量的小米类食物。小河文化人群结构复杂化，生业模式呈现以畜牧业为主，辅以狩猎，兼营少许农业（小麦和黍）；另外，不同生物遗存形成期与序列样品稳定同位素组成的综合分析显示小河文化人群的生业经济、家畜饲养与狩猎活动均受到摄食生态环境或人类活动季节性变化的影响。该研究为小米沿着亚洲腹地山地走廊向西传播，尤其是欧亚大陆多地区农牧业早期交融的研究提供新的证据。

S06-O-5

稳定同位素视角下北魏平城地区的生业变迁与人群融合研究

侯亮亮 [1*]

1 山西大学，考古文博学院

* llhou@sxu.edu.cn

本研究选取大同水泊寺（人 34 例、动物 10 例）、天泰街（人 21 例）、金茂府（人 70 例、动物 8 例）、大同二中（人 55 例）、东信广场（人 29 例）、御昌佳园（人 29 例）、华宇广场（人 21 例）北魏墓群的人和动物骨骼，并选取大同操场城北魏粮储遗址出土的炭化粟（*n*=16）、炭化杂草（*n*=1）、大同本地现代粟（*n*=7）和现代狗尾草（*n*=5），并结合金茂园、大同南郊、星港城北魏墓群的研究成果，采用 C、N 稳定同位素分析和 AMS-14C 测年的方法，比较全面地重建了北魏平城地区先民的食物结构，还原了当时的生业经济，揭示了农业经济的比重，讨论了当地的农耕化及人群融合。在年代学研究的基础上，发现粟黍类食物在先民食物结构中的比重不断增加，从事农耕经济人群的比重不断增加。在此基础上，与文献和考古证据整合，有效揭示北魏人群食物趋同的具体状态，进而有效讨论了北魏平城地区人群融合的过程。主要结论如下：

首先，农耕化直接导致了北魏平城地区相关人群食物结构的趋同。在北魏平城，物质资源来自于国家的调配，不仅有丰富的畜牧业资源，更有大量的农业资源。然而，上述研究显示，农业资源才是北魏平城地区大多数人群的选择，大多人群的食物结构开始趋同。

其次，食物结构的趋同，特别是农耕化浪潮逐渐成为北魏平城地区先民生业经济的主导，这直接或间接促进了人群的融合。具体而言，不同人群开始移风易俗，逐渐改变自己固有的生活习惯。例如，游牧群体开始在自己的食物结构中大两添加农耕产品，农耕人群也可能食用一定量的肉食资源。因此，食物结构的趋同可能是人群融合的重要体现。

第三，移风易俗可能不是一蹴而就的事情，农耕化的形成在某些群体可能具有一定的滞后性。这种滞后性可能是人群融合的阻力，也可能是拓跋魏汉化的阻力。但不管如何，平城地区是拓跋魏入主中原的重要缓冲区，成为拓跋魏冲破滞后性和实现汉化的中间地带。

总之，随着北魏王朝的强大，拓跋魏发现农耕经济才能真正支撑帝国的稳定和发展，因此开始大力发展农耕经济。不管原来是草原民族还是农耕民族，在拓跋魏的努力下都被吸纳到农业经济体系之下，部分实现了农耕化。然而，可能还有一些顽固分子或是掌权阶层不愿意被同化，但在历史的浪潮下，也被直接或间接的影响，实现了食物结

构的趋同。由此，食物结构趋同视角下的人群融合得以逐步实现。

S06-O-6

嵩山地区新石器-青铜时代聚落形式演变及其环境机制

鲁鹏[1*]，杨树刚[2]，闫丽洁[1]，陈盼盼[1]，田燕[1]

1 河南省科学院地理研究所，河南省科学院地理研究所

2 河南省文物考古研究院，河南省文物考古研究院

* bulate_0@163.com

作为黄河流域的重要区域，嵩山地区在中原文化与华夏文明起源与发展中占据重要地位。区域古代聚落形式演变对于理解早期文明与自然环境的关系具有重要意义。本文依据丰富的考古学资料，对嵩山地区新石器-青铜时代聚落形式进行细致的梳理，将聚落形式演化过程归纳为七个阶段。其中包括：李家沟文化时期（10500-8600 BP）：聚落孕育阶段；裴李岗文化时期（9000-7000 BP）：聚落形成阶段；仰韶文化时期（7000-5000 BP）：环壕聚落阶段；仰韶文化晚期-龙山文化早期（5000-4500 BP），城垣聚落阶段；龙山文化晚期-新砦期（4500-3800 aBP），城邦阶段；二里头文化-二里岗文化时期（3800-3300 aBP），复杂都邑体系阶段；殷墟文化-两周时期（3300-2500 aBP），分封建制阶段。在此基础上，讨论了区域聚落形式演化与自然环境的相互关系。其中，全新世早期气候逐渐暖湿化为聚落的萌芽与出现奠定基础；全新世中期河流的淤积对于环壕聚落的出现于发展具有重要作用；4000BP 河流的下切使得平原地区更加适合人类活动，并由此在平原地区出现了复杂都邑系统，随后又在平原地区发展出分封建制的聚落形式。嵩山地区新石器-青铜时代聚落形式演变及其与自然环境关系研究对于继承和弘扬黄河文明具有重要意义

S06-P-1

融汇西东：西北地区青铜时代的生业格局及影响因素

董广辉[1*]，芦永秀[1]，杜琳垚[1]，仇梦晗[1]，梁欢[1]

1 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

* ghdong@lzu.edu.cn

欧亚大陆史前东西方交流及其影响是学术界关注的热点科学问题，生业模式时空格局变化是其重要表现形式之一。欧亚大陆东西方交流至迟在距今 5 千纪（5000-4000 年前）已经出现，并在青铜时代（距今约 4000-2200 年前）不断强化，对欧亚大陆中纬度地区的生业格局和社会发展产生了深远的影响。西北地区是史前东西方交流通道的重要组成部分，东亚驯化的农作物粟黍和水稻与家畜猪和狗在新石器时代中晚期开始陆续传入西北地区，西亚/中亚起源的作物小麦和大麦，以及家畜羊、牛和马等在新石器时代末期传入该地区，并在青铜时代得到了广泛利用。我们总结分析了西北地区已发表的青铜时代植物考古、动物考古和骨骼稳定同位素数据，梳理了西北地区青铜时代生业格局的时空变化。通过与古气候和考古研究结果的对比分析，探讨了早期东西交流、气候变化、地理环境空间差异，以及作物/家畜习性等因素对西北地区青铜时代生业格局的影响。

S06-P-2S

中国北方草原区青铜时代农牧业的交流融合

张雅平[1]，张颖[2]，胡松梅[3]，周新郢[1]，刘林敬[4]，刘俊池[1]，赵克良[1*]，李小强[1]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
2 中国科学院青藏高原研究所
3 陕西省考古研究院
4 中国地质科学院水文地质与环境地质研究所
* zhaokeliang@ivpp.ac.cn

我们的研究展示了中国北方草原地区青铜时代畜牧业与粟黍的融合对于农牧文化交流的重要性，它不仅解决了科学界对于该地区畜牧和粟黍混合种植的确切时间和机制的疑惑，同时还探究了该混合生业系统的复杂性与演化历程。在研究中，通过分析一系列微体指标，如花粉、真菌孢子和植硅体，以及炭屑年代和考古中的动物骨骼数据，我们得出了一个非常有意义的结论，即在距今 4000-3700 年之间朱开沟遗址出现了畜牧和粟黍混合生业系统，并且在后期畜牧业强度增加。此外，我们还发现，中国北方草原地区在距今 4000 年出现了家养的绵羊/山羊，并且通过比较我国季风地区绵羊/山羊的饲养和古气候记录得出 4200 年前后的干旱事件促进了畜牧业和小米种植的混合。这项研究为我们深入了解中国北方草原地区青铜时代畜牧业与粟黍的融合提供了重要的科学依据，同时也证明旱作农业和畜牧业的混合种植可以提高居民的环境适应性，使他们能够更好地应对相对干旱的环境。

S06-P-3

2000BC 以前的欧洲遗址出土黍遗存研究

安婷 [1*]

1 浙江大学，艺术与考古学院
* jiezian@zju.edu.cn

旧大陆文化和技术交流是史前人类社会发展进程的重要推动力，其中一个重要方面是关于跨亚欧大陆的农作物传播。近二十年来，植物考古的深入开展和碳十四年代数据的积累，为探讨欧亚大陆史前农作物传播和早期东西方文化交流提供了重要依据。目前国内外学者已初步勾勒出欧亚大陆史前农作物传播的时空框架，以西亚起源的麦类和中国起源的粟黍等为代表的农作物在公元前 5000-1500 年间实现了跨区域的传播和交换，但具体传播的过程尚未得到充分讨论。其中一个争议问题是关于黍（Panicum miliaceum）西传的年代。作为“史前农业全球化”的重要组成部分，黍作物不晚于公元前第三千纪晚段已西传至中亚。然而，其进一步传播至欧洲的年代仍是未知数，焦点问题在于欧洲早期炭化黍的绝对年代有时晚于出土黍遗存遗址的年代。本次报告将尝试梳理近年来欧洲各地 2000BC 以前的遗址出土黍印痕的年代学研究，包括植物大遗存测年和植物印痕鉴定，厘清这批关键的黍遗存西传和早期东西方文化交流的证据。

S06-P-4

新石器时代晚期-青铜时代中国与南亚及东南亚交流路网复杂性的初步探索

马敏敏 [1,2*]，芦永秀 [1,2]，董广辉 [1,2]，任乐乐 [3]，闵锐 [4]，康利宏 [4]，朱忠华 [4]，李小瑞 [4]，李波 [5]，杨志坚 [6]，次里农不 [7]，刘睿良 [8]，高玉 [9]，陈发虎 [2,9,10]

1 兰州大学，资源环境学院
2 兰州大学，西部环境教育部重点实验室
3 兰州大学，历史文化学院
4 云南省文物考古研究所
5 通海县文物管理所
6 玉龙县文物管理所
7 德钦县文物管理所
8 British Museum,8The Department of Asia
9 中国科学院青藏高原研究所，古生态与人类适应团队
10 中国科学院大学，资源与环境学院
* mamm@lzu.eud.cn

新石器时代晚期到青铜时代跨大陆文化交流是影响不同地区文化演变和生业模

式转变的主要因素，但过去的研究主要集中在东西向文化交流的模式与机制，而对于南北向的文化交流和传播的理解还不够深入。因此我们通过汇总中国西南地区、东南亚和南亚地区的直接测年数据、人骨稳定碳同位素数据，结合海贝、穿孔石刀等考古遗迹和历史时期路网，初步梳理了新石器至青铜时代中国与东南亚/南亚的主要南北向陆路通道。结果显示南北向通道主要有三条，包括跨喜马拉雅路线、跨横断山路线和跨云贵高原路线，这些通道在新石器时代晚期和青铜时代连接中国和南亚/东南亚方面发挥了重要作用。但是各交流路线的时空演化趋势不同：距今 5000 年左右跨云贵高原路线和跨喜马拉雅路线可能开通并发挥了重要作用，但交流频率较低；距今 4000 年左右这三条交流路线的使用频率进一步增强；距今 3000-2200 年跨横断山路线可能成为连接中国与南亚/东南亚的主要南北向通道。这三条主要路线在新石器晚期至青铜时代并不是独立发展而是相互影响、互相连通的。因此，未来需要在该地区开展更多的相关工作，进而促进史前南北向文化交流模式和机制的研究。

S06-P-5

青铜时代畜牧业传播对欧亚大陆东段古人群饮食影响研究

王伟[1]，师宏伟[2]，王闯[3]，贾鑫[2*]，胡耀武[4]

1 南京信息工程大学，科技史与气象文明研究院

2 南京师范大学，环境考古研究院

3 辽宁大学，历史学院

4 复旦大学，科技考古研究院

* jiaxin@njnu.edu.cn

欧亚大陆青铜时代羊牛等家畜的东向传播改变了中国北方地区古人群的生业模式，然而，以羊牛为代表的畜牧业的出现将对当地粟作农业人群的饮食产生怎样影响，是值得探究的问题。辽西地区，位于中国北方农牧交错带，不迟于青铜时代即夏家店下层文化时期，驯化羊牛已传入该区域，并成为当地人群生业组成的一部分。本文通过对辽西地区青铜时代水泉遗址出土的人骨遗存开展稳定碳氮同位素研究，重建该遗址人群的食谱构成，结合研究区已发表的人骨同位素数据，探讨羊牛畜牧业的传入对辽西地区古人群饮食的影响。研究发现，水泉遗址先民基本以 C_4 类粟类谷物为食，并摄入了一定量的动物蛋白。而在动物蛋白的来源上，本地家猪对先民的贡献要高于外来的黄牛和绵羊，表明在夏家店下层文化时期，羊牛等家畜的传入并未显著改变辽西地区人群的饮食结构，直到春秋战国时期，羊牛等肉食资源才在辽西地区古人群的饮食中占有重要地位。此研究为认识中国北方地区古人群饮食组成及欧亚大陆史前家畜传播影响提供了重要支撑。

S06-P-6S

吐谷浑王族成员后裔的生活方式：中国西北地区岔山村墓葬埋藏植物的鉴定和化学分析

芦永秀[1]，刘兵兵[2]，刘睿良[3]，蒋洪恩[4]，杨谊时[2]，魏文钰[1]，李若[1]，董广辉[1*]

1 兰州大学资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

2 甘肃省文物考古研究所

3 大英博物馆

4 中国科学院大学考古学与人类学系

* ghdong@lzu.edu.cn

吐谷浑（313-663AD）是中世纪早期中国西北地区最著名的政权之一，了解吐谷浑及其具有的文化特征对认识西北地区历史时期少数民族的演化发展和文化习俗具有

重大意义。然而，吐谷浑归顺唐朝后，其生计方式和农业种植结构尚不清楚，仍缺乏实物证据的支撑。基于此，本研究对甘肃武威地区岔山村墓葬中埋藏的植物遗存开展了种属鉴定和化学分析，揭示了中国西北地区唐代先民的生活方式以及可能的影响因素。研究共鉴定出 253647 粒农作物和 12071 粒杂草，农作物包括粟、黍、小麦、荞麦、大麻、豆类、皮大麦、裸大麦、甜瓜、亚麻；杂草包括金色狗尾草、稗子、菊科、狗尾草、葎草、王不留行、茜草、藜科、苍耳、披碱草属。鉴定结果显示粟和黍是吐谷浑王族成员后裔主要的食物来源，而皮大麦、荞麦、小麦、亚麻、甜瓜等则是辅助食物。农作物氧同位素和微量元素结果聚集为明显的三大类，结合历史文献记录，推测粟黍可能种植在不同区域，皮大麦、荞麦、大麻可能种植在同一区域的不同地貌位置。粟、黍、皮大麦、大麻、青稞和小麦等的作物比例以及墓葬所处的地理位置显示唐朝地缘政治、吐谷浑的精神追求和自然地理环境可能是影响岔山村植物遗存数量和比例的主要因素。这项工作为研究唐代早期河西走廊农业结构和吐谷浑后裔的生产生活方式提供了实证，也为研究和复原唐代高等级墓葬的谷物葬俗提供了重要借鉴。

S06-P-7S

同位素视角下的晚商时期老牛坡遗址动物管理方式研究

董佳佳[1]，胡松梅[2]，杨苗苗[2]，马敏敏[1*]，董广辉[1]

1 兰州大学，资源环境学院

2 陕西省考古研究院

* mamm@lzu.edu.cn

跨大陆文化交流带来的新的农牧业元素传入本地农牧业系统的过程以及对该地区生存策略和社会发展的影响，已经逐渐成为多学科关注的热点话题，动物管理方式是探究这一问题的重要手段。关中地区作为史前丝绸之路起点，是连接中国西北地区和中原地区的重要通道，但该地区不同动物具体的管理方式尚不清楚，严重限制了我们理解中国北方农业的转变过程及其对文明起源的影响。本研究基于关中地区晚商时期老牛坡遗址出土家畜和野生动物的骨骼碳氮同位素以及相应的牙釉质碳氧同位素数据，结合中国西北和中原地区不同动物骨骼和牙齿同位素，以期探究中国北方畜牧业传入的时空过程及影响因素。结果显示，老牛坡遗址出土的家养杂食性动物猪狗呈现明显的 C_4 信号，黄牛为 C_3 和 C_4 植物混食，羊和梅花鹿等野生动物主要以 C_3 植物为食，并且不同动物氧同位素差别较大，可能对应食性的差异。综合中国北方不同地区家畜的骨骼和牙齿同位素可以发现，不同动物管理方式存在显著的时空差异，尤其是牛羊马等外来家畜在中国北方不同地区的管理方式显著不同，这可能受到当地自然环境、社会习俗、地缘政治等因素影响。

S06-P-8

中国北方史前人类木材利用的时空差异及其影响因素研究

刘峰文[1*]，张虎才[1*]

1 云南大学，生态与环境学院 高原湖泊生态与治理研究院

* liufw@ynu.edu.cn

* zhanghc@ynu.edu.cn

古人地关系、特别是史前人类如何适应快速变化的气候环境是考古学研究的核心问题之一。考古遗址出土动、植物遗存的科技考古分析在揭示中国北方史前人类环境适应策略方面具有重要作用。然而，相关研究对史前人类采集资源利用尤其是人类木材利用的关注还不足，导致中国北方史前人类木材采集、利用的时空变化过程及影响因素还不明晰。本研究通过系统梳理中国北方

考古遗址木炭分析数据，结合该地区的古气候、古环境记录和其他考古证据，试图揭示中国北方史前人类木材采集、利用的时空变化过程及其影响因素。研究结果显示，7500-2000 BP，中国北方人类木材利用存在明显的时空差异，其中区域自然环境差异和气候变化是重要影响因素。4000 BP 前后，东西方文化交流频繁促进了中国北方人类生业经济的转变，进而导致了部分地区人类木材利用削弱了区域自然环境和气候变化的束缚。本研究从木材利用的角度，揭示中国北方史前人类木材利用历史，为系统解析史前人类如何适应变化的环境提供新的科学证据。

S06-P-9S

全新世早期青藏高原腹地史前人类的占据与适应

金孙梅[1]，侯光良[1*]，陈宥成[2]，乔虹[5]，韩宾[3]，兰措卓玛[4]，高靖易[1]，文德卓玛[1]

1 青海师范大学，地理科学学院
2 首都师范大学，历史学院
3 中国科学院大学，考古学与人类学系
4 青海大学，经济与管理学院
5 青海省文物考古研究所
* hgl20@163.com

史前人类对青藏高原的占据过程和生存策略是了解古人类适应高海拔极端环境的重要科学问题。近期对高原腹地通天河流域新发现的一处细石器遗址（代曲遗址）开展相关研究，系统收集 239 件石器进行类型学分析，采集火塘和沉积层的炭屑进行 AMS ^{14}C 年代测定，对火塘沉积物中的脂质残留物进行分析。最后对遗址的环境极端性进行评估并模拟其路线可达性。结果表明，代曲遗址的人类活动最早可追溯到 9271±143 cal aBP，这也是迄今为止高原腹地报道的最早的具有准确地层定年的全新世遗址。火塘沉积物和石器类型共同表明，代曲遗址是一处使用较为频繁的，用于获取优质石料进行加工细石器的季节性狩猎营地，占据该遗址的史前人类依靠非反刍陆生动物作为食物资源。全新世气候环境的改善促进了史前人类对处于较高极端区的代曲遗址的探索，史前人类可借助代曲遗址独特的地理位置将其作为高-低海拔间迁移的中转站。

S06-P-10

全新世早期的环境积累促使北方农牧交错带地区农业起源

贾鑫[1,2*]，张志平[1,2]，孙永刚[3]，弋双文[4]，孙珏[5]，包青川[6]，胡晓农[4]，李恩瑞[7]，Harry F. Lee[8]

1 南京师范大学，环境考古研究院
2 南京师范大学，地理科学学院
3 赤峰学院，历史文化学院
4 南京大学，地理与海洋科学学院
5 中国科学院南京地质古生物研究所
6 内蒙古自治区文物考古研究院
7 乌兰察布博物馆
8 香港中文大学，地理与资源管理学系
* jiaxin@njnu.edu.cn

内蒙古高原中部地区位于我国北方农牧交错带的核心地带，是探索以该地区为代表的边缘区旱地农业起源的关键区域。本文选取了该地区新石器时代早期裕民文化的裕民遗址和坝南遗址作为研究对象。基于裕民遗址和坝南遗址沉积剖面的光释光测年建立了各剖面的年代框架，通过裕民遗址植物浮选获取的碳化植物种子和每个剖面的多代用指标分析，探究了该地区的农业起源与气候变化之间的关系。结果表明，裕民遗址记录的农业起源时间节点明显滞后于全新世早期的降水量显著增加，但与 8.0 ka 左右的植被显著增加具有明显的时间对应关系。因此，我们认为全新世早期有利的暖湿环境背景下，区域生态系统得到了改善，导

致地表从贫瘠的沙地环境逐渐转变为富含有机物的土壤，为中国北方 8.0±0.4 ka 左右的旱地农业起源提供了良好的环境基础。

S06-P-11S

杭州湾南岸宁奉平原水文环境变化与新石器文明的羁绊

王惠敏[1]，刘演[1*]，孙千里[1]，姜锋[2]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liuyan@sklec.ecnu.edu.cn

杭州湾南岸是我国东部新石器文化的重要发源地之一，见证了井头山-河姆渡-良渚文化的发展轨迹，构成了早期社会结构从海洋性经济向农业文明过渡的重要阶段。但值得注意的是，虽然良渚文化在杭州湾北岸的繁荣发展举世瞩目，杭州湾南岸同期的人类活动却显著势微。针对这一问题，我们利用杭州湾南岸东部的宁奉平原的芦家桥遗址（LJQ 岩芯）开展有孔虫、粒度、环境磁学等多种环境代用指标分析，在结合前人研究成果的基础上，试图从环境变化的视角解答这一问题。研究结果表明，受我国东部全新世海平面变化影响，芦家桥地区受到海侵影响的时间不晚于距今 8.1 ka。LJQ 的有孔虫组合揭示当时研究区处于浅海环境，并在距今 7.5-7.2 ka 逐渐转变为海湾环境。在距今 7.2 ka 以来，沉积物磁性参数呈现快速波动并指示了多次胶黄铁矿的出现，反映研究区逐渐过渡为受到潮汐影响的盐沼环境。其中，研究区在 7.0，6.3，5.7 ka 出现三次地下水位升高的事件，可能对应了海平面的几次小幅波动。虽然宁奉平原地区最早的人类活动记录出现在距今 6.5-6.0 ka 期间，但同时期遗址数量较少，而且也未出现显著的稻作农业，反映了当时不稳定的地表水文环境对人类活动的影响。距今 5.5ka 以来，宁奉平原受到海水的影响减弱，盐沼湿地逐渐淡化，淡水湿地和冲积平原的形成为早期人类活动提供了充足的土地和食物资源。宁奉平原多个遗址中都出土了与稻作农业相关的工具，河姆渡时期的农业社会终于得到了短暂且快速的发展。随后的良渚文化期间，遗址数量显著减少且伴随着农业的衰退，但没有证据表明这一过程受到了环境变化的影响，因此社会内部的变化可能是引起人类活动衰退的重要因素。这项研究为我们更好地了解人类社会发展与环境之间的复杂关系提供了新的视角。

S06-P-12S

江苏如东掘港国清寺遗址区六千年来环境变迁与人地关系研究

杜镇瀚[1]，马春梅[1*]，朱诚[1]，贺云翱[2,3]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 南京大学，历史学院

3 南京大学，文化与自然遗产研究所

* chunmeima@nju.edu.cn

江苏南通如东市掘港是隋唐时期海上丝绸之路的重要组成部分，距现今海边约 21km，其海陆变迁在经济、文化发展中扮演了重要角色。国清寺位于掘港西南，日本遣唐使团的法僧圆仁曾在此地登陆，后天台宗法师行满于唐宪宗年间仿照天台山国清寺的风格，在此异地建立寺庙。本文在国清寺遗址旁边获取自然沉积剖面，利用加速器碳十四测年和光释光测年建立年代框架，提取沉积学和微体古生物信息进行分析，揭示了该地区由海成陆沉积演化过程。研究结果表明：6370-4930cal.a BP，该地区处于水深不超过 20m 的沙洲外缘浅海；4930-1440cal.a BP，研究区处于浅海至潮间带的发展过程中；1440cal.a BP 后，沙洲连上陆地，区域环境变为仍受海洋影响的潮上带低盐浅沼环境。此后，随着该地区捍海围堤，河运、海运兴起，掘港逐渐成为贸易往来的商业重地和香火繁盛的佛教文化中心。清末明初时，由于海岸变迁、沙淤滩涨和战乱频发等因素导致

人口迁移及船运闭塞，失去优越自然、经济环境的掘港已然不复当年辉煌。

S06-P-13

文化遗产赋存环境的地图学表达——以丝绸之路世界文化遗产赋存环境图为例

杨慧慧 [1*]

1 西安地图出版社有限公司

* 2584044363@qq.com

按照世界遗产本体与赋存环境同规划、同保护理念编制该地图。从世界遗产保护角度出发，把文化遗产本体与赋存环境相结合呈现，集中反映了丝绸之路线路及其自然、人文赋存环境复杂、丰富的内涵信息，突出丝绸之路关键要素与衍生要素的时空展布及其接触关系，为文化遗产保护提供新的视角。在编制过程中不局限于某一类专题要素，而是将地理、文化、经济等要素关联，更深刻地体现丝绸之路在促进亚、欧、非等大洲交往与繁荣发展中的重要作用，启发读者的空间联想和文化思考，于当今和谐世界的人类命运共同体角度获得深度启迪与感悟。本图呈现的既不是一般的世界遗产地分布图，也不是单纯的专题图，而是把亚、欧、非等大洲的世界文化遗产在陆上和海上丝绸之路的整体格局和文化框架里与赋存环境共同联系起来、展现出来、活化起来。丝绸之路不只是让不同地方的货物在流通，更是促进不同地区的人们思想与智慧的交流。

S07-O-1

通过对白化不均的珊瑚进行分子生态学研究揭示白化和抗白化机制

林森杰 [1*]，Chichi Liu[1,2]，Ling Li[1]，Leo Chan[3]，Ang Put[4]，Alina Szmant[5]，Robert F. Whitehead[5]，Po Teem Lim[6]，Cui Pin Leaw[6]

1 Xiamen University,State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Ocean and Earth Sciences, Marine Biodiversity and Global Change Research Center

2 Xiamen University,Dongshan Swire Marine Station

3 City University of Hong Kong,State Key Laboratory of Marine Pollution

4 Chinese University of Hong Kong,School of Life Science

5 University of North Carolina

6 University of Malaya,Institute of Ocean and Earth Sciences

* senjie.lin@xmu.edu.cn

Due to the climate change and anthropogenic disturbances, corals have been massively bleached and lost, but the underpinning mechanism remains elusive. Bleaching usually occurs heterogeneously, often only part of the coral colony bleached and the rest appearing to be healthy, comparative in-situ studies on the mosaic bleached and healthy corals may shed light on how bleaching is triggered and what it takes for the corals to stay healthy in the same environment. Here, we conducted in-situ physiological measurement and metatranscriptome profiling for a subtropical coral reef in Hong Kong waters in August 2017, when a significant bleaching event occurred. The results showed that the bleached colonies of *Acropora solitaryensis* exhibited lower respiration and photosynthesis rates than the healthier colonies. The transcriptome of both host and symbiont were analyzed after separation from the metatranscriptomic data. The GO terms and KEGG pathways related to thermal stress, hypoxia, and osmotic stress were enriched by highly expressed genes in both groups, indicating they were under similar stress

conditions. Together with the water quality and precipitation data, our results suggest that the coral bleaching event was triggered by multiple factors including high SST, hypoxia and low salinity following two close typhoons in July. Moreover, the expression pattern of reproduction pathways among the colonies reveals potential effects of reproductive activity on the vulnerability of the coral against climate change-induced stresses. It also provides molecular evidence of a breakdown of coral reproductive synchrony. Although such synchrony breakdown reduces the success of fertilization, it also reduces the bleaching probabilities and mortality under extreme conditions at the same time. This trade-off strategy allows some of the corals to survive the climate change-triggered bleaching.

S07-O-2

海洋酸化、升温对珊瑚全功能体影响的分子机制

李志勇[1*]，吴含[1]，李金龙[1]

1 上海交通大学，生命科学技术学院，微生物代谢国家重点实验室

* zyli@sjtu.edu.cn

珊瑚礁生态系统是地球生物多样性最丰富的生态系统之一，全球变暖、海洋酸化对于珊瑚礁生态系统具有重大影响。珊瑚对海洋酸化、升温的响应与适应机制是一急需回答的重要科学问题，但是：(1)目前酸化、升温胁迫对珊瑚影响的研究，大多数仅针对单个因素开展，对于酸化-升温的协同效应还缺乏研究；(2)针对珊瑚共生虫黄藻的研究比较多，而针对胁迫下珊瑚共生微生物的研究还比较缺乏，更很少从共生关系变化角度揭示胁迫对珊瑚全功能体的影响；(3)宏观生态学研究提示，枝状珊瑚比块状珊瑚对环境条件改变更加敏感，但是背后的生物机制还不清楚。本研究以枝状 *Acropora valida*（强壮鹿角珊瑚）和块状 *Galaxea fascicularis*（丛生盔形珊瑚）为材料，室内模拟未来海洋酸化和升温条件（pH7.7、32 ˚C ），以 pH8.1、26˚C 为对照，采用 RNA-Seq、差异表达分析等方法，研究酸化(pH7.7)、升温(32˚C)和酸化-升温(pH7.7 和 32˚C)三种胁迫条件下，两种代表性珊瑚宿主、共生虫黄藻、共生细菌对酸化、升温、酸化和升温的分子响应机制。结果显示：(1)根据差异表达基因(DEGs)分析，升温对两种代表性珊瑚全功能体的影响大于酸化；(2)与单一胁迫相比，同时升温与酸化胁迫能够进一步加剧单一胁迫的负面影响，显示叠加效应;(3)酸化、升温、酸化-升温，对基于营养代谢/转移和共生识别的相关基因下调，提示珊瑚-虫黄藻共生关系受到破坏；(4)通过枝状珊瑚和块状珊瑚 DEGs 的比较，热休克蛋白、光合作用、营养代谢与转运、共生识别基因的 DEGs，枝状珊瑚比块状珊瑚多，共生微生物多样性与功能表现出不同的响应模式，从分子层面证明了枝状珊瑚和块状珊瑚不同耐受性/敏感性；(5)元转录组分析提示，酸化和/或变暖可能会改变珊瑚原位活跃的原核微生物多样性和功能基因表达，增加了原位活性致病菌的相对丰度。参与毒力、抗逆性和热休克蛋白的 DEGs 上调。参与光合作用、二氧化碳固定、氨基酸、辅助因子和维生素、生长素合成的 DEGs 下调，致使珊瑚全功能体趋向致病性和不稳定性，特别是酸化和升温组合表现出协同效应；(6)胁迫去除后仍出现了物质与能量代谢相关的新 DEGs，说明胁迫影响具有持续性。

S07-O-3

虫黄藻系群变动对其共生珊瑚宿主营养可塑性的影响

王启芳[1,2]，郑新庆[1*]，唐甜甜[2]，黄凌风[2]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生态保护和修复重点实验室

2 厦门大学，环境与生态学院

* zhengxinqing@tio.org.cn

气候变化在全球尺度上对珊瑚礁生态系统的健康和维持带来巨大的威胁。由于造礁珊瑚与单细胞甲藻（虫黄藻）之间的互利共生关系，珊瑚宿主在营养的获取上具有较高的可塑性，可以通过自养和异养的弹性转变以应对环境中资源可利用性的时空变化。近年研究表明，珊瑚的主导营养策略和营养可塑性与其对外界环境胁迫的抵抗力密切相关。然而，大多数研究着重关注于外界环境条件变化（外因）对珊瑚营养可塑性的影响，在一定程度上忽略了内共生的虫黄藻多样性（内因）作用。同时，不同系群虫黄藻在有机物的产生、转运以及保留上具有功能差异，并可与同种珊瑚形成环境抗性迥异的珊瑚全共生功能体。因此，深入了解虫黄藻多样性在珊瑚营养可塑性中扮演的角色具有重要意义。本研究在海南岛南部于冬夏两季采集了共生有不同系群虫黄藻（*Cladocopium* 或 *Durusdinium*）的鹿角杯形珊瑚（*Pocillopora damicornis*）样本（下称 PdC 或 PdD），通过生理参数变化分析了珊瑚全共生功能体的生理弹性，并使用稳定同位素技术（总有机碳氮和氨基酸碳）结合贝叶斯混合模型对共生不同系群虫黄藻的珊瑚营养策略及可塑性进行了分析。结果表明，PdC 和 PdD 的生理参数及稳定同位素组成上存在显著差异，虽然 PdC 的共生虫黄藻密度低于 PdD，但其自养潜力较高（单位细胞叶绿素含量及 $\delta^{13}C$ 较高）。环境条件的季节性差异使得珊瑚从夏季的依赖自养途径转变为冬季的依赖异养途径，其中，PdC 展现出了比 PdD 更强的营养可塑性（自养营养的相对贡献变幅：37.1% vs. 17.8%）。PdC 和 PdD 分别在冬季和夏季表现出了相对较高的异养能力。基于高分辨率的氨基酸碳稳定同位素技术，本研究进一步验证了基于总有机碳、氮稳定同位素数据得出的结论，并强调了珊瑚与共生虫黄藻之间氮循环的重要性，这有利于使用总有机氮稳定同位素对珊瑚的营养过程进行溯源。综上，本研究认为，共生虫黄藻的系群差异可以影响造礁珊瑚的营养可塑性，并驱动同种珊瑚在营养生态位上的分化，最大化的利用有限的资源，并使得他们能更好的适应未来的海洋气候。

S07-O-4

相对高纬度造礁石珊瑚对热胁迫的适应性研究

许莉佳[1*]，王永智[1]，刘华雪[2]，黄柏强[1]，林巧云[1]，桑石磊[1]，杨静[1]

1 生态环境部华南环境科学研究所

2 中国水产科学研究院南海水产研究所

* xulijia@scies.org

全球变暖背景下，珊瑚礁大规模白化的频度和强度日益加大，造礁石珊瑚面临严峻的生存危机。珊瑚群落发育丰富的相对高纬度海区被认为是气候变暖背景下我国南海珊瑚群落生存的避难所，然而目前关于我国相对高纬度海区珊瑚群落对热胁迫的适应性研究相对较少，尤其是高温胁迫下相对高纬度造礁石珊瑚的响应特征和适应潜力尚不清楚。本研究于 2020 年夏季对大亚湾、徐闻、涠洲岛和三亚的造礁石珊瑚群落开展了较为全面的生态调查，调查发现涠洲岛和徐闻珊瑚礁发生了较为严重的大规模白化事件，造礁石珊瑚白化率分别为 51%和 84%；基于相对高纬度珊瑚群落对异常温升（热胁迫）的响应特征，本研究进一步对白化事件中的相对高纬度造礁石珊瑚开展共生藻密度测定和高通量测序分析，发现白化的珊瑚种类中，与珊瑚互利共生的共生藻密度下降、共生藻丢失严重，但在珊瑚群落关键的造礁石珊瑚种类中均发现了耐热型的共生藻亚系群。研究显示，随着热胁迫程度的加剧，在珊瑚共生藻密度下降的同时，共生藻多样性增加、耐热的共生藻系群也随之增加，为珊瑚在热胁迫事件中的驯化适应与恢复提供了机会，提示我国南海北部近岸主要的造礁石珊瑚种类对温升具有一定的适应性。

S07-O-5

海南岛东部岸礁中鹿角杯形珊瑚的潜在热适应机理

周智[1*]，唐佳[1]

1 海南大学，海洋学院

* zhouzhi@hainanu.edu.cn

共附生微生物对造礁石珊瑚的生存与繁衍具有非常重要的意义。为了揭示共附生微生物的群落结构对造礁石珊瑚环境适应力的潜在影响，我们采用扩增子测序测定了海南岛东部岸礁中鹿角杯形珊瑚的共附生微生物群落结构（共生虫黄藻和共附生细菌），并进一步分析了它们对共生虫黄藻密度和珊瑚宿主转录组的影响。通过 ITS2 扩增子测序发现三亚岸礁中鹿角杯形珊瑚的共生虫黄藻以 D1 系群为主（以一条 ITS2 序列为主），其他礁区均以 C1 系群为主，且不同礁区间共生虫黄藻的 alpha 和 beta 多样性无显著差异。16S 扩增子测序发现在 15 个文库中都检测到 6 条 ASVs，且不同礁区间共附生细菌的 beta 多样性显著差异。相关性分析揭示，D1 系群的占比与共生虫黄藻密度和珊瑚宿主转录组重塑显著相关，而共附生细菌与此无显著相关性。所有结果表明 D1 系群的共生虫黄藻可能提升了海南岛东部岸礁中鹿角杯形珊瑚对低纬度高温的适应力，这有助于我们深入了解造礁石珊瑚的热适应机制。

S07-O-6

涠洲岛十字牡丹珊瑚响应高温胁迫的代谢机制研究

裴继影[1,2,3]，余文峰[1,2,3]，张晶晶[1,2,3]，Ting Hao Kuo[4]，Hsin Hsiang Chung[4]，胡俊杰[1,2,3]，Cheng Chih Hsu[4]，余克服[1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 台湾大学，化学系

* kefuyu@scsio.ac.cn

全球气候变化导致珊瑚在全球范围内大规模退化，但对于硬珊瑚在高温胁迫下的生理响应机制的认识仍然存在挑战。本研究采用非靶向质谱代谢组学和全球天然产物社会分子网络（GNPS）相结合的方法，探究十字牡丹珊瑚（*Pavona decussata*）在热胁迫下的代谢机制。结果表明，多种代谢物（包括脂质、脂肪酸、氨基酸、肽、渗透剂）可能是珊瑚白化的潜在生物标志物。代谢途径富集分析进一步表明，在热胁迫的 *P. decussata* 珊瑚中：（1）脂质和氨基酸类代谢物的含量明显下降，表明珊瑚可能通过加速脂质和氨基酸分解的方式来增强糖异生过程，以满足其基本的能量需求；（2）三羧酸（TCA）循环中的两种重要中间产物，泛酸和泛醇上调，这指示珊瑚可能通过提高能量产生效率来应对能量供应不足的问题；（3）小肽（例如 Glu-Leu 和 Glu-Glu-Glu-Glu）和溶血小板活化因子（lysoPAF）的含量增加，这可能与珊瑚的免疫系统调节有关；（4）渗透剂如甜菜碱和三甲胺 N-氧化物（TMAO）的含量下降，这表明热胁迫超过一定阈值时，会对珊瑚共生体结构造成破坏。

S07-O-7

广西涠洲岛海域造礁石珊瑚的有性繁殖生物学研究

韦芬[1]，崔梦瑶[1,2]，余克服[1,3*]，黄雯[1]

1 广西大学，广西大学海洋学院

2 广西大学，资源环境与材料学院

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

* kefuyu@scsio.ac.cn

性腺发育是造礁珊瑚有性繁殖的重要过程，因此了解造礁珊瑚的性腺发育过程对预测其排卵时间等具有重要的意义，但目前关于涠洲岛海域珊瑚的排卵时间尚未了解。

研究于 2021 年 9 月至 2022 年 5 月，以涠洲岛海域的美丽鹿角珊瑚（*Acropora formosa*）和秘密角蜂巢珊瑚（*Favites abdita*）及丛生盔形珊瑚（*Galaxea fascicularis*）为研究对象，观察其在自然海域的性腺发育过程及排卵时间。结果显示，在自然海域美丽鹿角珊瑚的卵母细胞从 9 月开始发育，约经 9 个月发育成熟，精巢从 11 月开始发育，经 2-3 个月成熟；秘密角蜂巢珊瑚的卵母细胞在 10-11 月间开始发育，经 7-8 个月发育成熟，精巢发育周期约为 1-2 个月；而丛生盔形珊瑚在 11 月第一次观察到 2 种卵母细胞，精巢在 3 月出现，3 种珊瑚的配子均在 2022 年 5 月份同步成熟。室内养殖的美丽鹿角珊瑚和秘密角蜂巢珊瑚，都在 2022 年 5 月 19 日至 22 日（农历四月十九到四月二十二）间观察到了排卵行为，基本上与其在自然海域的排卵时间一致。基于上述证据，本文推测涠洲岛海域造礁珊瑚的排卵时间在农历四月十五之后。本研究为涠洲岛珊瑚的繁殖生物学提供了宝贵的信息，为进一步利用珊瑚的有性繁殖进行珊瑚礁的生态修复等提供了理论依据。

S07-O-8

基于环境 DNA 耦合电化学生物传感技术的珊瑚致病菌快速检测

王丽伟 [1,2,3*]，欧文超 [1,2,3]，陈英展 [1,2,3]，宾琪 [1,2,3]，余克服 [1,2,3]

1 广西大学，海洋学院，南宁，530004，中国
2 广西大学，珊瑚礁研究中心，南宁，530004，中国
3 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室，南宁，530004，中国
* wangliwei0427@163.com

珊瑚疾病引起的珊瑚礁退化已经成为珊瑚礁生态系统的主要威胁之一。目前，应用于珊瑚疾病诊断的主要方法有 PCR、Q-PCR、LAMP 等。但是，上述方法实验条件要求苛刻、成本高、操作繁琐、难以野外开展，以及珊瑚病原分离的固有技术难题和物种保护问题，导致珊瑚疾病快速检测的研究受到严重阻碍。因此，本项目以溶珊瑚弧菌为例，基于环境 DNA 独有的指征特性和电化学 DNA 传感技术，开发一套适用于珊瑚致病菌快速、无创、准确、实时原位检测的新方法。从多孔碳电极材料和 DNA 探针设计入手，构建对溶珊瑚弧菌具有高选择性、高灵敏度、快速响应的定性定量传感器；建立电化学传感检测-溶珊瑚弧菌丰度-珊瑚健康风险等级映射关系数学模型，阐明它们之间的内在联系和潜在规律。相关研究成果不仅可为珊瑚致病菌实时原位检测提供新方法，同时也能为评估珊瑚致病菌对珊瑚礁危害程度和建立无特定病原珊瑚移植方法等奠定基础，具有重要社会价值。

S07-O-9

典型热带岛屿生态系统演化过程中土壤有机碳和磷的循环特征

席祥龙 [1*]，梁胜岚 [1]，魏璐庆 [1]，王雪莹 [1]，周永立 [1]，刘晓东 [1]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院
* xlxi@mail.ustc.edu.cn

土壤总有机碳（TOC）和磷（P）是衡量自然生态系统稳定性与维持其发育演替的关键要素。通过多次西沙群岛野外调查，结合土壤剖面中 TOC 和 P 含量和组成分析，探究了南海西沙赵述岛生态系统演化过程中有机碳和 P 的生物地球化学循环及其环境意义。土壤或沉积剖面样品反射光谱分析结果表明，珊瑚砂、海鸟粪和植物残体是赵述岛土壤物质组成的主要成分，沉积剖面中 TOC 和 TP 含量变化很好地反映了鸟粪输入对自然生态系统营养物质来源的贡献，在没有鸟粪影响的土层中 TOC 主要与以植物来

源的有机质输入有关。通过热裂解-气相色谱质谱联用仪（Py-GC-MS）分析了土壤样品中有机质（SOM）的组成特征与稳定性；采用连续提取法对不同形态的 P 进行了分离和测定，主要提取了四种形态的 P：钙结合态、铁/铝结合态、有机态与水溶态；并且通过核磁共振光谱（NMR）与 X 射线吸收近边结构（XANES）获得了不同 P 形态组成分布特征。土壤中有机质主要包括脂类、芳香类、木质素与含氮杂环化合物等组分。综合各种方法分析结果发现，不同方法获取的 P 的形态分布特征具有一致性，P 主要以 Ca 结合态存在，其次是铁/铝结合态、有机态与水溶态。且在近现代海鸟数量快速下降乃至灭绝，以植物为来源的有机碳和 P 输入量在增加，表现为表层土壤中有机磷含量升高，这有利于岛屿生态系统的稳定和进一步演化。上述研究阐释了西沙岛屿生态演化过程中有机碳组成和磷形态的变化，有助于我们更好地理解珊瑚岛生态系统中营养元素的生物地球化学循环过程，同时对全面评估西沙岛屿生态系统的稳定性与可持续性提供了科学依据。

S07-O-10

南海珊瑚汞同位素组成及其海洋汞循环指示意义

张睿[1]，孙若愚[1]，杨红强[2]，陈天然[2]，刘羿[1*]

1 天津大学，地球系统科学学院

2 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* liuyigeo@tju.edu.cn

因海水中痕量汞直接测量困难，目前对大气汞沉积路径了解有限。广泛分布在海表的珊瑚中汞的稳定同位素有追踪海表汞的来源、迁移和转化的巨大潜力。

本研究首次测定了南海近海三亚鹿回头珊瑚礁区和远海南沙群岛珊瑚礁区不同种属的珊瑚虫和共生虫黄藻汞同位素组成。结果显示三亚珊瑚珊瑚虫（n=13）和虫黄藻（n=20）δ^{202}Hg（质量分馏，MDF）组成接近，变化范围分别为 0.00‰～-1.99‰和 0.10‰～-1.15‰，而 Δ^{199}Hg（奇数同位素非质量分馏，odd-MIF）分别为 0.01‰～-1.28‰和 0.07‰～-1.37‰。大多数珊瑚虫和虫黄藻具有负的 odd-MIF 值，Δ^{199}Hg/Δ^{201}Hg 斜率为 2.31±0.07。鉴于珊瑚位于透光率非常高的浅海水域，在与含硫配体结合的 Hg(II)的光还原过程中可能会产生负 odd-MIF。

偶数同位素非质量分馏（even-MIF，Δ^{200}Hg 和 Δ^{204}Hg）通常产生于高层大气中的复杂光化学。在三亚珊瑚中我们观察到正 Δ^{200}Hg（0.00‰ ～ 0.11‰）和负 Δ^{204}Hg（-0.05‰～-2.21‰）。Δ^{200}Hg/Δ^{204}Hg 斜率为-0.04±0.00，这比大气样本的典型 Δ^{200}Hg/Δ^{204}Hg 斜率（~0.50）小十倍。因此可以推测珊瑚系统中存在除高层大气之外的其他产生 MIF 的途径。

南沙珊瑚虫和虫黄藻 δ^{202}Hg 偏负（-0.45±0.31‰），Δ^{199}Hg（0.03±0.12‰）和 Δ^{200}Hg（0.03±0.05‰）偏正，与赤道/亚热带太平洋、北大西洋和地中海海水类似，表明开放大洋珊瑚虫和虫黄藻主要从海水和海洋颗粒中吸收汞。南沙珊瑚的 Δ^{199}Hg/Δ^{201}Hg 斜率（1.14±0.09），其 odd-MIF 是通过与溶解有机物结合的无机 Hg(ll)的光还原而产生。

我们使用保守示踪剂 Δ^{200}Hg 估算了总 Hg(ll)和 Hg(0)沉降对 SCS 开放水域的相对贡献，结果表明 SCS 气态零价 Hg(0)贡献达到了 ~49%。现有的汞生物地球化学循环模型估计的 Hg(ll)湿沉降和干沉降与气态 Hg(0)通量比为 3:1，而我们的发现显示气态 Hg(0)对于海洋汞循环的重要性可能比模型预计大，表明海洋 Hg(0)的吸收是全球海洋远洋生态系统汞循环的重要来源。

S07-O-11

新兴污染物有机磷酸三酯（OPES）在西沙珊瑚礁食

物网中的污染特征、营养动力学和风险评估

康亚茹[1]，张瑞杰[1*]，余克服[1*]，韩民伟[1]，李浩蓝[1]，颜安南[1]，刘方[1]，史敬文[1]，王英辉[1]

1 广西大学，海洋学院

* rjzhang@gxu.edu.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

有机磷酸三酯（OPEs）是一类对生态环境极具危害的新兴有机污染物。其作为阻燃剂和增塑剂主要以物理添加的方式加入到产品中，因此在产品使用过程中极易通过挥发、磨损或者浸出等方式释放到周围环境中。随着 OPEs 产量和使用量的逐年增加，其对环境造成的污染已成为环境生物化学领域的研究热点。海洋具有强大的污染物储存能力，被认为是低纬度地区最大的 OPEs 汇。现有研究表明，广泛存在于海洋中的 OPEs 可通过多种方式富集到生物体，并可沿食物链或者食物网进行传递，最终威胁生物健康，甚至可能危及整个生态系统。南海是西太平洋最大的半封闭边缘海，分布有最重要的珊瑚礁生态系统。西沙珊瑚礁位于南海中部，其活珊瑚覆盖率从 1980 ~1990 年的~90%下降到 2015 年 16.3%。然而目前还没有关于 OPEs 在西沙珊瑚礁生态系统中生物富集、营养动力学和风险评估的报道。因此本研究分析了 11 种典型 OPEs 在西沙珊瑚礁食物网中的污染特征和影响因素，探究其在食物网中的营养转移潜力，并对人类通过摄食西沙珊瑚礁鱼类而暴露于 OPEs 的风险进行了评估。结果表明，OPEs 在珊瑚礁区广泛存在。鱼类易于富集芳香基 OPEs，而软体动物和珊瑚易于富集烷基 OPEs。生物的食性、生物学参数和化合物的理化性质等是影响 OPEs 在生物中富集的重要因素。虽然食用珊瑚礁区鱼类对人类产生的健康风险很低，但是 OPEs 在珊瑚礁生态系统中的生物放大潜力表明了加强对西沙群岛 OPEs 的持续监测的必要性。本研究为全面认识 OPEs 在珊瑚礁生态系统中的环境行为提供了新认识。

S07-O-12

珊瑚礁遥感高新技术集成监测研究及实践

李明杰[1,2,3*]，严金辉[1,2]，陈启东[1,2,3]，魏征[1,2,3]，向鸣[2]

1 国家海洋局南海规划与环境研究院

2 自然资源部南海遥感测绘协同应用技术创新中心

3 海南南沙珊瑚礁生态系统国家野外科学观测研究站

* lmj_21@163.com

珊瑚礁被称为“海洋中的热带雨林”，集生态资源、环境调节、海岸保护、国土安全和自然历史记录于一体，其地位和作用不可或缺。快速有效和精细化珊瑚礁调查和识别是全球层面共同关注、具有挑战性且具有现实意义的任务。澳大利亚、美国等在珊瑚礁集成监测管理方面优于我国并有长达十几年的监测经验和技术优势，目前主要采用人工潜水、卫星/航空遥感、无人艇/水下机器人搭载相关传感器等多种方式监测研究。其中，在遥感监测基础上，珊瑚礁集成监测设备的自主化、自动化及对获取多源数据的智能化分类为重要发展趋势。国内珊瑚礁的监测现处于人工潜水调查为主并辅以卫星遥感方式探索调查阶段，尤其珊瑚礁遥感监测多为方法探索和论文研究状态，并未有统一的方法体系。

面向国家对珊瑚礁精细化集成监测预警需求，目前相关部门正积极呼吁和筹划构建集“空天海岸潜”于一体的珊瑚礁集成监测体系，以掌握珊瑚礁生态规律、科学有效保护珊瑚资源，必要时实现对相关灾害的“早发现、早应对”。本报告探索研究了基于包括诸如，卫星遥感、无人机、无人船、水下机器人及人工智能等技术在内的珊瑚礁遥感高新技术监测体系及相关监测实践案

例，并重点阐述其在珊瑚礁多源信息采集、珊瑚（礁）识别及珊瑚礁栖息地图制作等方面的应用。

S07-O-13

近千年南海北部造礁石珊瑚钙化及其对气候变化的响应

邓广超[1]，陈雪霏[1*]，康惠凌[1]，邓文峰[1]，曾提[1]，韦刚健[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所

* chenxf@gig.ac.cn

* gjwei@gig.ac.cn

近一个世纪以来在世界各地的珊瑚礁中广泛观察到珊瑚钙化率的下降，人类活动的影响对此有多大的贡献还没有得到厘清。针对这一科学问题我们选取了取自中国南海北部代表性岸礁的21个化石和11个现代珊瑚的岩芯，系统分析其骨骼生长特征，重建过去一千年来该区珊瑚钙化历史的演变。结果表明，最近一千年来，该区珊瑚的骨架密度基本保持不变，而线性生长率和钙化率在中世纪暖期（公元900-1300年）和小冰期（公元1550-1850年）以及工业化前和工业化后时期之间有很大差异，表明对于近岸滨珊瑚来说，珊瑚骨架密度比线性生长率更能抵抗环境变化。而通过对现代珊瑚钙化记录与相关环境因素的响应关系分析结果表明，海洋表面温度（SST）是影响珊瑚钙化的最重要环境参数，SST升高直接促进珊瑚线性生长率和钙化率的提高，而其他因素，包括海水pH值、盐度（SSS）和太阳总辐照度（TSI），对珊瑚骨骼生长的影响不是很明显。然而,SST对珊瑚钙化的正面影响不能解释随着工业化后的变暖珊瑚的骨骼线性生长率却明显下降这一现象。因此我们推测,工业革命以来逐渐增加的额外人为环境压力可能在降低南海北部现代珊瑚的线性延伸率方面起到更大的作用,使得工业化后珊瑚线性生长率和钙化率的下降已经超过了自然波动。

S07-O-14

南海西沙群岛滨珊瑚记录之过去2000年特征时期的ENSO活动

江蕾蕾[1,2,3]，余克服[1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

厄尔尼诺–南方涛动（El Niño–Southern Oscillation，ENSO）是热带气候系统中影响最广泛的年际变异模态，但其在过去2000年期间的演变特征尚不明确。本研究以南海北部西沙群岛近2000年内生长的6段滨珊瑚（*Porites*）为研究对象，其年代范围为公元前120–60年、公元前30–公元23年、公元98–210年、公元665–749年、公元1149–1205年（铀系年代）和公元1980–2007年；利用电感耦合等离子体原子发射光谱仪测定了其高分辨率的Sr/Ca指标，重建了罗马暖期期间共228年、黑暗时代冷期期间共85年、中世纪气候异常期期间共57年和现代暖期期间共28年的月分辨率SST序列。结合南海北部器测SST对ENSO活动的记录特征，重建了过去2000年特征时期的ENSO活动。结果显示：（1）过去2000年特征时期南海北部的平均SST未超过现代水平；其季节性SST与现代类似，但存在着波动。（2）过去2000年特征时期的ENSO活动在频率和振幅上均强于现代。（3）过去2000年特征时期的ENSO变率呈现出波动性的演化特征，可能与气候系统的内部变率和外部强迫因素密切相关。（4）过去2000年特征时期热带太平洋的ENSO活动对南海北部季节性SST具有重要的调制作用，即当ENSO变率较强、El Niño事件频率增加时，南海北部的季节性SST减弱。本研究为过去2000年特征时期的ENSO活动特征提供了新的信息；推测未来在人类活动加剧全球变暖的

背景下，极端 El Niño 和 La Niña 事件的频率将增加、ENSO 变率将增强，南海北部的极端气候状况将愈发严重，而珊瑚礁生态系统则可能面临更多的气候胁迫。

S07-O-15

4.2ka 气候事件的高纬强迫-来自西沙珊瑚的证据

党少华[1,2,3*]，刘忠方[1*]，余克服[2,3,4]，郇小荷[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院
2 广西大学，南海珊瑚礁研究重点实验室
3 广西大学，珊瑚礁研究中心
4 广西大学，海洋学院
* dangshaohua@tongji.edu.cn
* liuzf406@gmail.com

“4.2ka 事件”指过去 4500-3900 年之间发生在北半球的气候突变，主要表现在全球海气环流的异常，包括厄尔尼诺和南方涛动（ENSO）强度异常和热带辐合带（ITCZ）位置异常，并随之造成季风区的季风衰退和非季风区的大幅降温。本研究通过分析生长在 4.2ka 气候事件早期（4400-4300a BP）的西沙群岛珊瑚 Sr/Ca 记录，发现 Sr/Ca 所指示的周围海域海水表层温度（SST）变化表现出了强烈的年代际信号（10-50 年），且高于年际信号（3-7 年），并主要由夏季贡献。这与过去百年该海域年际信号大于年代际信号的气候状态完全不同。结合同期模式输出数据，包括海冰数据和大气数据，我们认为该年代际信号很可能源自北大西洋高纬度地区。具体机制如下，下降的轨道辐射量通过促进北极海冰增长造成北大西洋涛动（NAO）的正相位，并随之导致大西洋多年代际（AMO）负异常，AMO 通过影响全球季风的年代际变化作用于西沙海域，并最终体现在我们珊瑚记录的强年代际信号。由于我们记录位于低纬热带海域，且处于 4.2ka 气候事件早期，因此本研究也可以为探究 4.2ka 气候事件的触发机制提供重要参考依据。

S07-O-16

WALKER 环流驱动的南海百年尺度半米级海平面波动

颜廷礼[1*]，余克服[2*]，赵宁[1]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室
2 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西大学珊瑚礁研究中心，广西大学海洋学院
* 52263904020@stu.ecnu.edu.cn
* kefuyu@scsio.ac.cn

气候重建证据表明，全新世中期全球许多区域的气温显著高于现代。在远离冰川均衡调整的南非、巴西、澳大利亚、中国南海等中低纬度地区，中全新世出现了高于现今 1~2 m 的相对高海平面。在全球变暖背景下，这些区域未来的海平面变化模式很可能与中全新世时期具有一定的相似性，因此对中全新世海平面历史的研究将有助于我们理解与预测这些区域未来海平面变化。

南海是西太平洋最大的半封闭边缘海，吕宋海峡、卡里马塔海峡、民都洛海峡等主要海洋通道将其与太平洋和印度洋相连，现代观测资料表明南海海平面的低频变化主要受热带西太平洋控制。历史时期的海平面重建记录显示，距今 6000–7000 年前南海曾经发生过多次百年尺度幅度接近半米的海平面波动事件，该幅度已经超过 1900 年以来由温室效应导致的全球平均海平面上升高度，然而其发生机制尚不清楚。

为了回答这一问题，我们在南海北部的海南岛采集了 29 块块状珊瑚和微环礁化石，测量了其位置、高程、形态特征，并测定其 U-Th 年代。海平面重建结果表明，南海中全新世 6000–3000 a BP 期间相对海平面比现今高 1.3~2.4 m，并且百年尺度幅度接近半米的海平面波动事件在中全新世多次出现。基于南海现代海平面变化机制研究和多种 Walker 环流强度代用指标重建记录，我们认

为这种类型的海平面波动事件是由 Walker 环流强度变化驱动的。由于气候系统内部变率的存在，不能排除类似海平面波动事件在本世纪发生的可能性。

S07-O-17

南沙群岛全新世造礁石珊瑚群落演变特征及其对礁体发育的生物调控

赵美霞[1]，钟瑜[1]，杨红强[1]，施祺[1]，严宏强[1]，童昊雅[2]，徐维海[1*]，颜文[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 香港科技大学

* whxu@scsio.ac.cn

* wyan@scsio.ac.cn

南海珊瑚岛礁是南海最重要且特殊的生物地质复合体，在维护我国海洋领土完整、行使国家主权、资源供给及生态和气候环境变化研究等方面一直发挥着重要作用。礁岩沉积作为记录珊瑚礁发育历史的“档案库”，对研究珊瑚礁地质发育与生态演变规律并促进岛礁管理保护具有重要的科学与现实意义。全新世与现代珊瑚礁关系最为密切，但目前对全新世以来珊瑚礁古生态及演变机制的认识明显不足。南沙群岛美济礁“南科一井”是南海南部第一口穿透礁体的全取芯科学深钻，总进尺 2020.2 米，取芯率达到 91%，是目前岛礁全取芯深度最大的科学钻井。研究团队通过对现代珊瑚和化石珊瑚骨骼结构的精细解析，构建并量化了珊瑚种属鉴定指标，建立了基于珊瑚骨骼微细结构的化石珊瑚数值鉴定方法。本研究利用该鉴定方法并结合精确测年数据，重建了全新世化石珊瑚群落及其发育演变过程。结果显示，美济礁全新世的珊瑚礁体自 8200yr BP 开始发育，其垂向堆积于 4800yr BP 结束，堆积厚度约 15m。造礁石珊瑚群落的沉积分带可分为 5 段，其时间跨度分别为起始-8200yr BP， 8200-7300 yr BP， 7300-5400 yr BP，5400-5300yr BP 和 5300-4800 yr BP。已鉴定造礁石珊瑚 11 属，其中鹿角珊瑚属占绝对优势，共有 16 种鹿角珊瑚且以强壮鹿角珊瑚最为优势。全新世期间，造礁石珊瑚群落经历了属级丰富度“低-高-低”、鹿角珊瑚种级丰富度和优势度“高-低-高”的演变过程，与珊瑚礁体 “快-慢-快”的垂向堆积过程强相关。在礁体快速堆积时，珊瑚群落复杂性降低，鹿角珊瑚占比增加，当珊瑚礁堆积速率减慢时，造礁石珊瑚多样性升高，群落结构复杂，揭示出古珊瑚群落对礁体发育进程的生物调控作用。

S07-O-18

南海冷水珊瑚钙化机制与古环境重建意义

曾治惟[1*]，包志安[2]，卜鸣渊[1]，周晓理[1]，党皓文[1]，翦知湣[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 西北大学，地质学系

* zwzeng@tongji.edu.cn

近年来，冷水珊瑚被发现在南海中-深层海底广泛分布。冷水珊瑚骨骼能连续记录其生长过程中周围海水环境变化的信息，是研究中-深层水团高分辨率古环境变化的理想材料。钙质生物化石的 Mg/Ca-元素比值是重建海水温度的常用指标，但是冷水珊瑚的“生命效应”可能干扰了其骨骼 Mg/Ca 比值温度指标的可靠性和准确性。因此，本研究着眼于冷水珊瑚碳酸钙骨骼的钙化机制，通过分析珊瑚骨骼的显微结构、晶体参数、元素及其相应同位素组成，针对温度重建相关的 Mg/Ca 含量和对应的 Mg、Ca 同位素分馏值，探究冷水珊瑚钙化过程中不同元素的行为。实验结果表明，柳珊瑚中晶粒在中心生长轴处较小，随着生长阶段而逐渐增大；Li/Ca, Na/Ca, Mg/Ca 元素比值，由中心生长轴处的含量较高而逐渐降低；Δ^{26}Mg 珊瑚-海水均值为-2.8‰，个体内部差异可达 0.14‰，在生长初期偏重，而后逐渐偏轻；Δ^{44}Ca 珊

瑚-海水均值为-1.15‰，在内部、外部增长区间内无显著差异。柳珊瑚的晶体参数、元素含量和 $\Delta^{26}Mg$ 珊瑚-海水同位素变化与生长速率在初期较快，随着生长逐步减慢的模型吻合。石珊瑚中晶粒在钙化中心呈不定型晶体而钙质纤维处呈纤维状结构；Li/Ca, Na/Ca, Mg/Ca 在钙化中心含量升高而钙质纤维处降低；$\Delta^{44}Ca$ 珊瑚-海水在外壁差异较小，均值约为-1.28‰。石珊瑚的晶体参数和元素含量的变化与钙化中心具有较高的生长速率而钙质纤维处生长速率较低有关。据此，本研究工作初步提出冷水珊瑚钙化的生长速率可能是控制骨骼元素吸收效率和钙化过程的关键要素。这一结论仍需要未来工作更多的样品的测试结果支撑，从而更好地理解生命效应对于冷水珊瑚钙质骨骼元素吸收过程的影响，最终更精确地应用于古环境重建。

S07-O-19

晚中新世以来南沙群岛珊瑚礁的演化及天文驱动力

饶诗怡 [1,2,3]，黎刚 [1,2*]，颜文 [1,2,3*]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

3 中国科学院大学

* gangli@scsio.ac.cn

* wyan@scsio.ac.cn

珊瑚礁在全球热带和部分亚热带海域广泛分布，由于其对环境变化的敏感性，是重建古海洋和古气候的理想指标。海平面变化是影响珊瑚礁发育和演化的重要因素之一。然而，晚中新世以来南海南部区域海平面变化及其机制尚不清楚，不利于进一步认识珊瑚礁的演化历史和控制因素。本文选取了南海南沙群岛美济岛的南科1井晚中新世至更新世的珊瑚礁岩心，对该井自然伽马值进行旋回地层学研究，利用 405 kyr 长偏心率周期得到了 8.91 Ma 的浮动天文年代标尺，并选取 0.23 Ma 的 Sr 同位素年龄作为锚点，建立了 0.23 Ma 至 9.14 Ma 的天文年代标尺。同时，通过岩相学特征、地球化学指标和沉积噪音模型，重建了深度域和时间域的区域海平面变化。沉积噪音模型反映的高频海平面变化和地球轨道斜率调幅在准 1.2 Ma 周期上存在对应关系，揭示了轨道时间尺度上天文驱动对南沙群岛海平面变化的影响。根据海平面变化和轨道斜率调幅的准 1.2 Ma 周期识别层序界面和最大海泛面，建立了南沙群岛的三级层序地层格架。本次研究探讨了南沙群岛珊瑚礁的周期性演化，以及天文驱动下区域海平面变化和气候变化对珊瑚礁发育的影响，为南海和全球其他区域的珊瑚礁发育、演化规律提供一种新的视角和思路。

S07-O-20

南海南沙珊瑚礁深钻（南科一井）生物标志物组成分布及其环境指示

陈芬 [1*]，贾国东 [2]，朱小畏 [1*]，颜文 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋重点实验室

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* 257896482@qq.com

* miseraboy@126.com

生物标志物是海洋沉积过程与生态环境演变领域中常用的研究手段，然而，利用生物标志物对珊瑚礁发育演化过程及其记录的环境气候变化历史展开研究还比较少见。以南海南沙美济珊瑚礁科学深钻南科一井（NK1）为研究对象，系统分析其生物标志物组成分布特征，探讨其对南沙珊瑚礁发育演化及其环境记录的指示意义。结果表明，晚中新世以来，NK1 珊瑚礁短链脂肪酸重建的生物生产力与其他指标(如 Ln (Ba / Ti)和蛋白石)非常吻合，表明南沙珊瑚礁生产力与上层海水生产力密切相关。同时，短链脂肪酸与 NK1 陆源元素 Ti 变化一致，与海平

面变化呈相反趋势，揭示了海平面变化在南海南部陆源营养物质输入及其主导的海洋生产力中的长期重要作用。此外，对 NK1 珊瑚礁脂肪烃的研究表明，在 0.3 ~ 0.6 Ma 和 1.3 ~ 1.5 Ma 时期存在石油烃的污染，推断其与南海北部 2 Ma 以来的一系列构造运动有关，可能由台湾岛地区弧-陆碰撞触发的。然而，这两次重大的石油污染事件对珊瑚礁生长发育的影响微乎其微，可能受到了某些（石油烃）降解细菌的保护，这与同时期细菌支链脂肪酸含量的显著增加相吻合。虽然古老珊瑚礁碳酸盐岩有机质含量极低且难以提取的特点严重制约了其有机地化研究，但我们的研究表明了生物标志物在重建珊瑚礁长尺度环境记录和发育演化历史等方面具有独特的优势，在珊瑚礁古环境研究开辟了新途径。

S07-O-21

新近纪南沙岛礁发育演化：来自钙质微体化石的证据

苏翔[1*]，向荣[1]，易亮[2]，张亚南[1]，颜文[1]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 同济大学

* suxiang@scsio.ac.cn

南沙群岛是我国南海生物礁发育数量最多，面积最广的区域，环礁尤其发育。南沙生物礁碳酸盐岩厚达千米以上，是南海形成过程中不断沉降的产物，对于理解南海形成演化过程及其期间环境的变化具有重要意义。钙质超微化石和有孔虫是海洋沉积中重要的微体化石组分，不仅是海相地层划分与对比的重要手段，还是海洋沉积与古环境研究的可靠载体。本文以南沙岛礁岩芯样品为材料，通过大量显微镜分析鉴定工作，对钙质超微化石和有孔虫进行定量统计分析，建立南沙岛礁生物地层框架。通过与古地磁年代学记录相结合，与西沙群岛深钻结果进行对比，重建南沙岛礁新近纪以来的发育演化过程。结果表明南沙岛礁渐新世/中新世期间开始生长发育，发育演化历史与西沙岛礁极为一致，经过（1）渐新世-早中新世初始发育期；（2）早-中中新世快速发育期；（3）中-晚中新世出露剥蚀期；（4）晚中新世-上新世稳定生长期；（5）更新世快速发育期五个阶段。南沙岛礁发育演化主要受区域构造运动、全球海平面变化、气候环境变化及造礁生物结构变化等因素的共同影响。

S07-O-22

西沙群岛琛科 2 井晚中新世黄流组白云石晶体主量元素分布特征

沈若夏[1,2,3]，王瑞[1,2,3*]，余克服[1,2,3,4]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* 985429614@qq.com

新生代的岛礁白云岩成岩早、埋藏浅，是研究“白云石问题”的理想对象。由于微观分析技术的限制，自然条件下白云石化的微观条件至今仍不明确，但原位微区分析技术的发展为研究白云石主量元素的分布规律提供了新的方法。本研究利用扫描电镜和电子探针（EPMA）等技术对南海西沙群岛琛科2井晚中新世白云石进行了原位地球化学分析。分析表明，①单个白云石晶体一般为低钙白云石（low-Ca dolomite，LCD，< 55 mol % $CaCO_3$）、高钙白云石（high-Ca dolomite，HCD，> 55 mol % $CaCO_3$）或是 HCD 核心被 LCD 和 HCD 的交替环带（厚 1-10μm）包裹，其中 HCD 和 LCD 组分间存在约 4.5~5%Ca 的差值；②HCD 和 LCD 的分布规律表明其沉积环境受到溶蚀-交代过程的影响，在白云石化过程中，白云石的主量元素含量在横向和纵向上都有变化，这表明微观的物理化学条件在单个白云石晶体的演化中起着关键作用。③HCD 为交代过

程的产物，LCD 为后期成岩流体的产物，同时后期流体可能通过晶面间隙或裂隙将早期 HCD 改造成 LCD，而后期白云石胶结物（LCD）的胶结作用可能是降低孔隙度、形成结构保存型白云岩的主要因素。

S07-O-23

珊瑚礁岩地层暴露面岩石和地球化学特征

杨洋[1]，余克服[2*]，刘希军[1*]

1 桂林理工大学，地球科学学院

2 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

* xijunliu_sio@qq.com

珊瑚礁对海平面下降的响应是敏感且快速的，珊瑚礁岩地层的暴露面是在海平面下降情况下，珊瑚礁岩出露海面遭受风化、淋滤形成的，是海平面下降的重要指标。但是目前的研究中缺乏高分辨率定年工具和具有普适性的识别指标，利用珊瑚礁记录的海平面下降研究大部分集中于较短的时间尺度。为解决这一问题，本研究基于南海西沙群岛千米深钻琛科 2 井（CK2）岩芯，系统地分析了暴露面及附近珊瑚礁岩的岩石和地球化学特征。与正常环境下形成的白色珊瑚礁岩相比，暴露面及其附近的珊瑚礁岩通常呈现黄色、褐黄色和褐红色，岩芯可见大量空隙和溶蚀孔洞，孔洞表面多覆盖钙质结壳和黏土质泥状物质，也有部分孔洞发育钟乳石形状的结晶体。珊瑚礁岩的暴露面附近出现以下地球化学异常：①$^{87}Sr/^{86}Sr$ 突然跳跃式增加或呈凸起式高于岩芯的上下层位；②$\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 同时出现负偏；③Mn、Ti、Zr、Al、Si、K 和 Fe 含量升高，Sr 含量降低。基于珊瑚礁发育与海平面变化之间的关系，结合 CK2 珊瑚礁岩和海水的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 特征、珊瑚礁岩地层的暴露面、以及暴露面附近的地球化学特征异常，重建了近 2000 万年来西沙海域相对海平面演化历史，同时量化了近 2000 万年来区域构造沉降速率和全球海平面下降时间、幅度，重建结果得到了其他证据的支持，表明本研究提出的暴露面岩石和地球化学指标在全球不同珊瑚礁岩地层具有普适性，可用来记录长时间尺度上（百万年尺度）高分辨率的海平面下降，同时锶同位素地层学也可提供相对高分辨率的年代限制。本研究为量化长时间尺度的全球海平面变化和区域构造活动提供了新的方法和视角。

S07-O-24

西沙海域甘泉海台侧坡样品记录的中新世以来构造尺度相对海平面变化及其揭示的台地演化阶段

张江勇[1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所

* zjy905@hotmail.com

南海西沙海域甘泉海台是一座孤立碳酸盐台地，主要由系列原始母岩为浅水生物礁岩的灰岩地层组成，现已沉没于水深大于 500 m 的无光区域。甘泉海台侧坡样品记录的中新世以来构造尺度相对海平面变化主要特点是：（1）大约 10 Ma 之前的中新世时段，相对海平面经历了一个完整的、变化幅度大约 200 m 的升降旋回，大约 10 Ma 时期的相对海平面处于低水位期；（2）大约 10 Ma 至 5.3 Ma 期间的晚中新世，相对海平面经历了幅度达 600 多米的快速升降运动，包括 10-7 Ma 海平面快速上升、7-6.5 Ma 海平面快速下降、6.5-5.3Ma 海平面快速上升 3 个亚阶段；（3）早上新世至甘泉海台最后终止发育前的时期（甘泉海台最终沉没事件年代尚未确定），相对海平面变化处于高位波动中；（4）甘泉海台最后发生灾变式沉降事件及其后续的一段时期内，相对海平面发生地

壳快速沉降主导下的快速上升（导致甘泉海台沉没于深水区）。

相对海平面变化，一方面塑造着孤立碳酸盐台地地形地貌，另一方面制约着孤立碳酸盐台地发育演化。甘泉海台最显著的地形地貌特征是甘泉海台主体的侧坡发育着典型台阶状地形地貌，台地侧坡每一级台阶的发育可能是相对海平面在构造尺度上长期保持稳定的结果。甘泉海台响应相对海平面变化，经历了四大演化阶段：第一个阶段，发生在早中新世至中中新世，该阶段相对海平面变化基本塑造了甘泉海台主体西南面小型丘状台地；第二个阶段，发生在晚中新世，该阶段相对海平面经历剧烈升降变化，最终直接造成现今甘泉海台主体中下部的发育形成和甘泉海台主体西南向小型丘状台地永久性沉没；第三个阶段，发生在早上新世至甘泉海台最终永久性沉没事件发生时期，该阶段可能塑造着现今甘泉海台中上部地形地貌；第四个阶段，发生在甘泉海台最终灾变式沉没事件以来的时期，该阶段甘泉海台发生快速沉降、最终导致永久性终止发育礁灰岩并就位于现今深水区。

甘泉海台，像宣德海台、永乐海台一样，是中-西沙地体上孤立碳酸盐台地群的重要组成。可能由于各碳酸盐台地基底质量差异以及台地基底所处局部地壳的深部动力学性质差异，中-西沙地体上各孤立碳酸盐台地经历的相对海平面变化历史或许存在明显不同。甘泉海台相对海平面变化的记录，初步显示出将中-西沙地体上孤立碳酸盐台地群作为一个整体开展系统演化研究的必要性。

S07-P-1

南海北部珊瑚钒的高分辨率记录及其对热带气旋和人类活动的响应

姜伟[1*]，余克服[1]

1 广西大学，海洋学院

* jianwe@gxu.edu.cn

受人类活动，尤其是化石燃料燃烧的影响，钒在环境中的含量急剧增加，改变了其在自然环境中的地球化学过程。作为陆源钒最主要的汇，海洋中钒的地球化学研究远远落后于其他元素。文章利用南海北部涠洲岛海域澄黄滨珊瑚 1984~2015 年的地球化学指标（V/Ca、$\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 等），高分辨率地重建了表层海水钒含量的变化历史。研究发现：珊瑚 V/Ca 比值与海表风存在密切联系，显示出可以记录热带气旋活动的巨大潜力；珊瑚 V/Ca 比值可以对人为钒排放的影响进行较为精确地记录和识别，这为检验钒污染历史提供了可靠手段。综合南海北部气候资料和统计数据，文章重建了南海北部人类钒排放的历史，认为工业和交通运输业的发展变革是造成南海北部人类钒排放出现阶段性显著差异的主要原因；在去除人为排放的信号后，珊瑚 V/Ca 比值可以有效示踪热带气旋活动，因此为重建前器测时期的热带气旋活动提供了新的指标。

S07-P-2S

高分辨率珊瑚记录揭示的自然和人为因素对涠洲岛表层海水钡的复合影响

冯春梅[1,2,3]，姜伟[1,3,4*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* jianwe@gxu.edu.cn

钡（Ba）是海洋中具有独特生物地球化学过程的类营养元素之一，一直被用作许多关键海洋过程的替代指标。然而，长时间尺度和高分辨率的海水 Ba 数据的缺乏，阻碍了对海洋 Ba 的深入研究。具有长期时间和高分辨率记录能力的珊瑚Ba/Ca比值在研究

表层海水 Ba 的变化中发挥着重要作用。本研究中，我们获得了采自南海北部涠洲岛的一块生长时间为 32 年的澄黄滨珊瑚（1984 ~ 2015）的月分辨率 Ba/Ca 比值。通过与气候环境数据的对比分析，我们证实了珊瑚 Ba/Ca 比值是表层海水 Ba 浓度的可靠替代指标。长时间序列和高分辨的珊瑚 Ba/Ca 比值可以记录人类活动，包括石油钻探勘探和工程建设。冬季珊瑚 Ba/Ca 比值高于夏季的季节性分析结果表明强劲的东亚冬季风诱导沉积物再悬浮导致了表层海水 Ba 浓度升高，是珊瑚 Ba/Ca 呈现季节性变化的最重要原因。而珊瑚 Ba/Ca 的极端高值则是由于热带气旋的短时间尺度作用。本研究利用长时间尺度和高分辨率珊瑚 Ba/Ca 序列，证实了自然和人为活动对表层海水 Ba 的影响，这一结果为理解海水 Ba 的复杂生物地球化学过程提供了可靠的研究基础。

S07-P-3S

高温实验模拟 MG/CA 浓度对文石质生物碎屑白云石化过程的影响

吴松烨 [1,2,3]，王瑞 [1,2,3*]，覃秋爽 [1,2,3]，李兴池 [1,2,3]，余克服 [1,2,3]，吴律 [1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* wrzfl@gxu.edu.cn

自 1791 年法国博物学家 Deodat de Dolomieu 首先发现并描述了白云岩以来，白云岩（石）成因之谜悬而未决，至今已成为地学领域经典的科学问题之一。高温合成白云石实验（150℃以上）被认为是了解自然条件下白云石成因的有效途径。选择对自然条件下对白云石成因有重要影响的 Mg/Ca 值（摩尔浓度比）指标，分别采用鹿角珊瑚和大琵琶螺两种文石质生屑为先驱反应物，在 220℃高温环境中对不同 Mg/Ca 值（0.5、0.7、1.0、1.2、1.5）和不同反应时间（0.5、1.0、1.5、2、3、6、8、14 h）条件下文石质生屑的白云石化过程开展研究。结果表明，在高温条件下白云石化过程可分为诱导阶段、快速反应阶段和平稳阶段，这一反应过程未明显受到先驱文石质反应物的影响，反映了流体 Mg/Ca 浓度对白云石化产物具有明显的控制作用。随着反应溶液 Mg/Ca 值的提高，白云石化的诱导期缩短、速率加快，产物白云石中 $CaCO_3$ 的摩尔分数降低且有序度提高，表明高 Mg^{2+} 浓度能够促进 Mg^{2+} 快速交代文石中的 Ca^{2+} 并完成白云石的有序化过程。研究结果为解释自然条件下 Mg/Ca 浓度对白云石化过程的影响提供了基础理论支撑。

S07-P-4S

广西涠洲岛造礁石珊瑚系统发育关系研究

曾心茹 [1,2,3]，韦芬 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* weifensky@163.com

造礁石珊瑚是珊瑚礁的主要造礁者，是珊瑚礁生态系统的基础。由于石珊瑚骨骼及其表观形态容易受到环境的影响，使得石珊瑚系统进化关系一直存在许多争议。本研究通过扩增线粒体 12S rDNA 和组蛋白 H3 基因片段，对涠洲岛海域的 40 种石珊瑚的系统进化关系进行研究。结果表明以上两种分子标记均能将 40 种造礁石珊瑚分为两个类群，与形态学分类基本一致。H3 基因分析结果显示各属之间分类较明确，不同属都分布在独立的分支上，但叶状珊瑚科归为复杂类群，这与形态学分类不符合，表明该基因可以作为种级阶元以上的系统进化分析；12S rDNA 结果显示各属之间没有形成独立的分支，帛琉腔星珊瑚（原盘星珊瑚属）单独为一支，不与盘星珊瑚属聚为一起，因此

该基因适用于属级以上系统进化的分析。本研究为开展涠洲岛海域石珊瑚多样性研究和种质资源保护提供理论依据。

S07-P-5S

珠江口万山群岛造礁珊瑚对“南方暴雨”导致的低盐事件差异响应机制研究

陈俊伶 [1,2,3]，俞小鹏 [1,2,3*]，余克服 [1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* Yuxiaopeng100@foxmail.com

全球变暖加剧了气候系统不稳定性和全球水循环，导致降水大幅度波动和河流径流量增加，给近岸珊瑚礁带来了严峻的低盐胁迫压力。然而在低盐胁迫事件中不同珊瑚个体耐受性存在明显差异。为了揭示导致这种差异的潜在分子机制，我们以珠江口万山群岛海域为典型代表区域。选择 2022 年“南方暴雨”导致的低盐事件中不同白化程度的鹿角杯形珊瑚作为研究对象，比较了低盐事件中白化和未白化珊瑚个体的生理学和转录响应上的差异。我们发现与白化组相比，在低盐胁迫下未白化组珊瑚共有 110 个显著上调基因和 662 个显著下调基因，KEGG 功能富集分析显示上调基因主要与细胞再生和生物合成相关，而下调基因主要与疾病和免疫防御相关。这说明珊瑚的基因表达发生变化以适应环境的变化，这就可能导致珊瑚不同个体的耐受性出现差异。这些结果表明，造礁珊瑚在陡增的低盐胁迫压力下转录组基因表达被重塑，以维持自身在扰动环境中的健康并提高适应性。本研究为珊瑚对低盐事件的响应提供了新的见解，为进一步探究造礁珊瑚对极端气候变化的潜在适应性提供证据。

S07-P-6S

五氯酚对澄黄滨珊瑚的胁迫响应机制

罗兰 [1,2,3]，余克服 [1,2,3]，张媛媛 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* yuanyuanzhang@gxu.edu.cn

珊瑚礁是海洋生态系统的重要组成部分，珊瑚和虫黄藻的共生关系是珊瑚礁生态系统的重要基础。近年来，因气候变暖和环境污染导致珊瑚礁严重退化，引起广泛关注。五氯苯酚（PCP）是一种典型的有机氯酚类化合物，作为木材防腐剂被用于轻工业行业，是在环境最常检测到的污染物之一，在海河流域和渤海湾水体 PCP 浓度范围分别为(0~1.8)和(0~0.3)μg /L，其具有毒性且难降解的特点会对海洋生态系统构成严重威胁。然而，海洋中 PCP 胁迫导致珊瑚共生关系破坏的潜在机制还未清楚。

本研究中，我们选择澄黄滨珊瑚作为目标珊瑚探索其在 1 - 1000 μg /L 浓度下 PCP 的胁迫响应。使用多组学联合分析珊瑚对 PCP 的胁迫响应。结果表明：（1）珊瑚经高浓度 PCP 胁迫后出现明显组织脱落及白化特征；（2）经胁迫后的珊瑚具有较高的抗氧化物酶活，珊瑚共生虫黄藻密度、叶绿素 a 含量和最大光量子产率显著降低；（3）ITS2 测序结果表明整个实验过程中虫黄藻群落结构稳定维持为 C15，共生细菌经胁迫后致病菌 *Citrobacter* 组成比例由 4.01% 增加至 13.57%；（4）氨基酸和碳水化合物代谢异常破坏了虫黄藻和宿主的共生关系；（4）转录组与蛋白组联合分析表明珊瑚免疫系统中的补体系统和凝血系统同时被激活，说明珊瑚宿主遭到了损伤。本研究初步探究了珊瑚共生体在 PCP 胁迫下的响应机制，为以后研究珊瑚共生体在 PCP 胁迫下的响应提供了一定的依据，也为珊瑚礁保护策略提供了基础数据。

S07-P-7S

西沙群岛永乐环礁珊瑚礁生态退化对鱼类的影响

雷明凤 [1,2,3]，余克服 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

珊瑚礁生态系统退化可能改变珊瑚礁生物地貌结构，从而对珊瑚礁鱼类产生重要影响。2019 至 2021 年期间，西沙群岛珊瑚礁受白化和长棘海星暴发的影响而快速退化。本文基于 2020 年和 2021 年的生态调查，探究西沙群岛永乐环礁珊瑚礁退化对珊瑚礁鱼类的影响。将珊瑚礁底栖固着生物群落和非生物群落分为 4 种功能类群，即构架生物（珊瑚和壳状珊瑚藻）、藻类（大型藻类、草皮海藻、其他钙化藻、蓝藻）、其他无脊椎动物和底质（沙、碎石、礁石），再将珊瑚补充量以及珊瑚多样性指数作为衡量珊瑚礁生态退化的指标。选取了 10 种鱼类群落指标，即物种总数、Shannon-Weaner 多样性指数，总丰度、总生物量、珊瑚食性鱼类生物量、植食性鱼类生物量、杂食性鱼类生物量、肉食性鱼类生物量、鱼类群落长度谱的斜率和 y-截距，作为衡量鱼类群落健康情况的指标。利用主成分分析获得珊瑚礁生态退化和鱼类群落健康的综合指标，将两种综合指标结合分析，再运用多元广义线性模型将生态退化的综合指标和鱼类丰度联系分析，得出珊瑚礁生态退化与礁区鱼类的关系。结果表明，珊瑚礁生态退化指标在年际或水深上有较大的差异，珊瑚礁 2020 年由构架生物主导，2021 年转变为由藻类主导；构架生物和其他无脊椎动物的覆盖率随着水深的加深而增加，而藻类的覆盖率则呈现相反的趋势。鱼类群落的健康程度呈现出随着珊瑚礁生态退化程度的增高而降低的模式，其中 10 种鱼类明确受到了生态退化的显著影响，与生态退化综合指标 PC1 或者 PC2 呈现显著相关关系。

S07-P-8S

珊瑚共附生细菌中羟基喹啉类活性物质拮抗珊瑚弧菌的研究

胡思雨 [1]，王广华 [1*]

1 广西大学，海洋学院

* wgh@gxu.edu.cn

为探究珊瑚礁生态系统中益生菌和致病菌之间的制衡机制，进一步推演出珊瑚共附生细菌对珊瑚礁生态系统退化的具体响应。本研究以潜在致病菌溶珊瑚弧菌（*Vibrio coralliilyticus*）和罗尼氏弧菌（*Vibrio shilonii*）为生物指示菌，采用菌饼法对实验室已分离获得的737株珊瑚共附生细菌进行了生长抑制筛选的实验，以及珊瑚共附生细菌中拮抗致病菌的具体活性物质探究。结果表明：活性筛选实验共获得 29 株具有生长抑制活性的菌株。除了菌株 3 属于 *Bowmanella* 属和 BM136 属于 *Aquimarina* 属外，其他活性菌株均属于假交替单胞菌属 *Pseudoalterromonas* 且可以产生红色、黄色和紫色等色素。通过对其中 22 株活性较为稳定的活性菌株与致病菌之间拮抗关系的研究，发现 *Pseudoalteromonas* sp.327 菌株活性效果最好。在对菌株327活性物质发酵、提取、纯化和鉴定工作后，基于活性示踪的分离和解析，发现菌株 327 的抗菌物质为戊羟基喹啉类同系物，分别是(1)2-庚基-4-羟基喹啉；(2)2-己基-4-羟基喹啉；(3)2-戊基-4-羟基喹啉等。最后，通过设计不同的共培养实验环境评估菌株 327 的活性条件，发现拮抗菌对致病菌的抑制能力因营养水平和温度的不同存在个体差异，即自然环境下细菌之间的制衡关系具有复杂性，但低温和较高营养水平下拮抗菌对致病菌呈现较好抑制活性。综上所述，本研究通过活性筛选、活性

物质分析和活性条件评估发现珊瑚共附生细菌中益生菌和机会致病菌共存，印证了益生菌可以通过分泌次级代谢产物等方式维护与珊瑚礁生态系统中致病菌的平衡，从化学生态学的角度揭示了假交替单胞菌在珊瑚健康中扮演的角色和功能，为丰富益生菌假说提供了必要理论和材料支撑，奠定了珊瑚礁保护和修复工作开展的基础。

S07-P-9S

滨珊瑚对急性和慢性低温胁迫的响应

韦雪露 [1,2,3]，余克服 [1,2,3*]，覃祯俊 [1,2,3]

1 广西大学南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

低温会导致珊瑚白化，进而威胁珊瑚礁生态系统的健康。但迄今珊瑚共生体低温响应的机制并不清楚。因此，本研究通过室内控制实验探究滨珊瑚在短期急性和长期慢性低温胁迫下的 Fv/Fm 和转录水平的变化，探究珊瑚共生体低温响应机制。结果表明，短期急性和长期慢性的低温胁迫都显著降低了珊瑚共生虫黄藻的 Fv/Fm，但急性胁迫组的 Fv/Fm 降低速度显著高于慢性胁迫组，表明低温胁迫会使虫黄藻光合作用受到抑制，温度降低速率越快则珊瑚共生藻类光合作用的受损程度越大。在转录水平上，与发育相关的 Wnt 通路和 Notch 通路、与钙化作用相关的基因表达均下调，可能是由于珊瑚宿主将更多的能量用于抗逆过程，而相应地减少了基础代谢。此外，珊瑚共生体对急性低温胁迫和慢性低温胁迫的响应有所不同，在急性胁迫中，与免疫相关的凋亡、TNF 通路相关基因表达上调；但在慢性胁迫中表达下调；说明急性低温胁迫可能会对珊瑚共生体造成更大的生存压力。总的来说，低温胁迫使成虫黄藻光合作用受抑制，导致能量受限，从而影响珊瑚共生体的生长发育和钙化过程，且急性的低温胁迫对珊瑚的威胁更大。

S07-P-10S

南海北部海底地下水排泄和上升流驱动的表层钒年际变化历史：来自一个 137 年的珊瑚证据

郭宁 [1,2,3]，姜伟 [1,2,3,4*]

1 广西南海珊瑚礁重点研究实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* jianwe@gxu.edu.cn

在人类活动和气候变化的背景下，钒（V）在海洋中的地球化学循环发生了深刻的变化。用于评估海洋 V 的传统方法通常只能获得分辨率较粗的记录，严重阻碍了我们对 V 在海洋中的动态变化及其与环境气候之间关系的理解。本文利用来自南海北部三亚海域的 *Poriteslutea* 珊瑚骨骼 V/Ca 比值重建了 1870-2006 年的表层海水 V 含量年际变化历史。我们发现三亚表层海水 V 含量受人类活动影响有限，其历史变化表现出阶段性显著差异:1990 年前降水控制的海底地下水排泄(SGD)补给是 V 输入的主导因素，在此期间热带气旋对总降雨量做出了重要贡献，而夏季风驱动的逐渐增强的上升流则是 1990 年后表层海水 V 含量变化的主导因素。研究区无承压地下含水层补给过程可能创造了氧化、碱性的条件，促进了水-岩之间的相互作用,导致 V 在矿物表面发生解吸作用，而溶解 V 沿着地下水流动路径不断累加并输送至珊瑚礁海域，最终被纳入珊瑚骨骼记录。本研究利用珊瑚 V 数据确定了表层海水 V 的主要来源及其影响因素，为理解 V 的地球化学行为和气候环境对海水 V 长期变化的影响提供了重要证据。

S07-P-11S

西沙群岛琛科2井“背景白云石”的锶同位素年龄及其指示意义

刘春彤[1,2,3]，王瑞[1,2,3]，余克服[1,2,3*]，肖扬[1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

“背景白云石”（backgrounddolomite）指发育于白云石化灰岩中的白云石，其含量多小于50%。由于“背景白云石”往往与方解石共存，提取纯净的白云石费时费力，目前对“背景白云石”的研究较薄弱，阻碍了对于岛礁白云岩（石）成因全貌的认识。2013年在西沙群岛琛航岛上钻探的一口千米深钻井（琛科2井；深度927.85 m）揭示了发育完整的白云岩地层序列：下部（308.5~519 m）为黄流组块状白云岩（白云石含量> 98%），上部（180~308.5 m）为莺歌海组“背景白云石”（白云石含量<50%），为研究“背景白云石”的成因及完善西沙群岛白云石化特征的全貌提供了优质材料。基于此，本文拟开展“背景白云石”的锶同位素年代学研究，同时分析了西沙群岛白云石化的年龄演化及其对白云石成因的指示意义。将莺歌海组全岩和纯净白云石分别进行$^{87}Sr/^{86}Sr$测定，其结果显示全岩形成时间为4.5~1.6Ma，而纯净白云石的形成时间为4.5~0.5Ma，它们之间的年龄值相似，表明莺歌海组“背景白云石”是在沉积期后不久形成的。莺歌海组“背景白云石”的$^{87}Sr/^{86}Sr$值与Sr含量之间不存在显著的相关性，且Sr含量与大多数岛礁的Sr含量（0-500ppm）相似，Mn/Sr比值均小于1，表明莺歌海组的白云石化过程发生于开放的流体环境中。结合黄流组白云岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$测定年龄数据，西沙群岛琛科2井黄流组-莺歌海组白云石化的时间（10-0.5Ma）几乎覆盖了全球岛礁白云岩发育的时间（10-<0.5Ma），较为完整的记录了岛礁白云石化发育和演化的整个过程。从黄流组底部至莺歌海组白云岩（石）的$^{87}Sr/^{86}Sr$年龄整体呈逐渐年轻的趋势，且存在不明显的间断现象，表现为（半）连续的“时间-海侵”的白云石化过程。根据$^{87}Sr/^{86}Sr$年龄显示黄流组块状白云岩向莺歌海组“背景白云石”转化的时间约为4 Ma，对应于上新世的气候变冷时期，（该时期发生了北极冰盖扩张等现象，海水温度下降，使莺歌海组处于低温成岩环境），表明温度降低可能是导致白云石化不彻底、形成“背景白云石”的关键。此外，莺歌海组的原始沉积环境为台地中央的潟湖环境，白云石化流体在由台地边缘流向中心的过程中，可能随着成岩所需Mg^{2+}的消耗，导致位于台地中心的潟湖沉积物（琛科2井钻取位置）仅发生部分白云石化而形成了“背景白云石”。

S07-P-12S

南海西沙群岛永乐环礁沉积物中有机碳的含量与来源

高洁[1,2,3]，余克服[1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

珊瑚礁是初级生产力最高的海洋生态系统，但目前关于珊瑚礁沉积物中的有机碳汇作用及影响因素尚不清晰。我们以南海西沙群岛永乐环礁礁外坡与潟湖的表层沉积物为材料，分析了总有机碳含量（TOC）、总氮含量（TN）、有机碳同位素（$\delta^{13}C$）、氮同位素（$\delta^{15}N$）以及沉积物粒度、叶绿素含量等指标。结果表明：（1）珊瑚礁沉积物中有机碳的平均含量为1.27 mg/g，有机碳埋藏速率为1.17 g C m^{-2} a^{-1}，呈现潟湖大于礁外坡的空间差异。（2）我国珊瑚礁面积广布，有机碳埋藏通量约0.04 Tg C a^{-1}，高于

我国海草床及红树林生态系统。（3）沉积物C/N值平均为6.83，$\delta^{13}C$值平均为-16.40‰，$\delta^{15}N$值平均为4.05‰，皆显示有机碳以海洋自生来源为主，且底栖植物的贡献较大。（4）沉积物粒度呈现潟湖大于礁外坡的空间差异，推测物理沉积环境影响沉积物的有机碳含量。（5）有机碳含量与水深呈负相关关系，与叶绿素含量呈正相关关系，推测底栖植物初级生产力是影响有机碳含量分布的主要因素。（6）潟湖沉积物的$\delta^{13}C$和C/N值大于礁外坡，$\delta^{15}N$值小于礁外坡，表明潟湖具有更高的初级生产力和更丰富的底栖植物。因此本文认为珊瑚礁的有机碳汇能力不容忽视，水动力及海洋初级生产力是影响有机碳埋藏作用的决定性因素。

S07-P-13S

中国南海珊瑚生态系统中原核微生物组的多样性、组装机制和共现模式研究

赵玟傧[1]，陈蕾冉[1]，刘吉文[1]，张晓华[1]，肖家光[2]，牛文涛[2*]，王晓磊[1*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院

2 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物多样性实验室

* wentaoniu@tio.org.cn

* wangxiaolei@ouc.edu.cn

珊瑚礁是最有活力的海洋生态系统之一，在维持生态平衡中发挥重要作用。微生物参与珊瑚生态系统的能量交换，可能影响着珊瑚的抵抗力和恢复力。目前，人们对珊瑚与海水之间的微生物群落结构仍缺乏认知。本研究采用荧光定量PCR（qPCR）和高通量测序技术研究了珊瑚和海水中的微生物结构及其相互作用。结果表明：珊瑚中的微生物丰度和多样性高于海水。珊瑚作为一种非流体生态系统，限制了微生物的扩散，在生态形成过程中造成了更大的随机性；而生态漂变和同质选择是海水微生物中最重要的组装机制。珊瑚微生物的生态位宽度大于海水组，表现出较强的适应性。由于栖息地和营养的隔离，区别于海水样品中的SAR11和SAR86 clades以及*Cryomorphaceae*；多种微生物（如：*Caldilineaceae*和*Burkholderiaceae*）可能成为珊瑚的微生物指示物。从拓扑值的比较来看，珊瑚微生物的共现网络中连接的节点表现出共现作用和较高的复杂性。总体而言，珊瑚和海水样品在微生物组分的多样性、组成、共现模式和组装机制上存在显著差异，显示了潜在的微生物相互作用并为复杂生态系统中的微生物群落多样性研究提供了深入的见解。

S07-P-14

热白化对珊瑚共附生微生物群落结构和生态环境的影响效应

桑石磊[1]，王永智[1]，黄柏强[1]，甘健锋[1]，许莉佳[1*]

1 生态环境部华南环境科学研究所

* xulijia@scies.org

相对高纬度地区被认为是全球变暖背景下珊瑚潜在的“避难所”，2020年夏季南海北部出现异常高温引起大范围的珊瑚热白化现象引发高度关注。本研究以南海北部的大亚湾、涠洲岛、徐闻和三亚为研究区域，选择澄黄滨珊瑚(Porites lutea)、中华扁脑珊瑚（Platygyra sinensis）、霜鹿角珊瑚（Acropora pruinosa）、十字牡丹珊瑚（Pavona decussata）等69个珊瑚样本为研究对象，研究热白化效应对珊瑚共附生微生物多样性和群落结构的影响。研究表明，夏季正常和白化样品珊瑚共附生微生物多样性之间没有显著差异（$p>0.05$），冬季正常和白化样品珊瑚共附生微生物多样性之间有显著差异（$p<0.01$）。主要的微生物门类包括γ-变形菌纲（Gammaproteobacteria）、

α-变形菌纲（Alphaproteobacteria）、古菌硝化微生物群落 Nitrososphaeria、Bacterioidia、酸微菌纲(Acidimicrobiia)、产氧光合细菌纲(Oxyphotobacteria)等类群。不论夏季还是冬季，白化珊瑚中都含有大量的假交替单胞菌属（Pseudoalteromonas）和弧菌属（Vibrio），前者作为珊瑚益生菌，能够增加珊瑚对高温波动的适应能力，后者会增加珊瑚感染病菌的风险，降低其环境适应性。本研究为进一步研究南海北部热白化效应对珊瑚共附生微生物多样性和群落结构的影响奠定了基础。

S07-P-15

全氟化合物在典型珊瑚礁生态系统中污染特征、季节变化和种间差异研究

许莉佳 [2]，陈辉 [1*]

1 广东省环境科学研究院，水环境研究所

2 生态环境部华南环境科学研究所，海洋中心

* chenhui20003@163.com

全氟化合物（PFASs）具有环境持久性、生物蓄积性和毒性，是一类在海洋环境中日益骤增、且具有潜在 POPs 危害性的新型化学污染物，目前关于海洋典型生态系统中 PFASs 污染特征研究几乎尚处于空白。本研究分析了我国三亚和文昌近岸干湿两季的珊瑚礁生物样品，结果表明 PFASs 及其替代物是珊瑚礁生态系统中普遍存在的新污染物，其中长链 PFASs 及其替代物检出率高于 88%，而短链 PFASs 检出率较低但浓度水平相对较高；枝状珊瑚中 PFASs 浓度存在显著季节性差异，表明不同种类珊瑚富集 PFASs 的能力并不相同；RDA 分析表明季节因素和珊瑚种属是珊瑚组织中 PFASs 浓度高低的影响因素；PFASs 在珊瑚组织中富集可能对其体内共生虫黄藻产生毒性作用，进而破坏虫黄藻和珊瑚间的互利共生关系，需进一步通过室内暴露实验揭示 PFASs 对珊瑚的毒性作用和机制。

S07-P-16S

珊瑚共生虫黄藻和自由生活虫黄藻群落的多样性分布、驱动因素和组装机制

林思彤 [1]，李凌 [1]，周智 [2]，林森杰 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 海南大学，海洋学院

* senjie.lin@xmu.edu.cn

与珊瑚共生的虫黄藻（甲藻门虫黄藻科 Symbiodiniaceae）对造礁石珊瑚的健康至关重要，而珊瑚礁环境中的自由生活的虫黄藻在珊瑚招募和恢复等方面起着至关重要的作用，比较自由生活和共生的虫黄藻群落将为珊瑚白化恢复过程中的内共生体获取和循环招募提供见解。南海北部的珊瑚资源丰富且多样性高，本研究调查了南海北部自由生活和珊瑚内共生虫黄藻群落的多样性分布、驱动因素和组装机制。采集了 114 个珊瑚和 69 个珊瑚周围海水样品，通过 ITS2 扩增子测序和 SymPortal 分析框架进行分析。我们的结果揭示了自由生活和共生虫黄藻群落之间存在高度的物种重叠，表明虫黄藻在内共生体和环境池之间的交换可能比之前认为的更为普遍。此外，自由生活和共生虫黄藻均表现出显着的空间变化，自由生活的虫黄藻对环境变量的敏感程度介于环境敏感型和环境耐受型的珊瑚之间，这证明共生关系有益于珊瑚宿主及其内共生体。我们还发现确定性过程主导了共生虫黄藻群落的组装，而自由生活的虫黄藻群落的组装主要由随机过程决定。研究结果表明，同时分析同一海域共生和自由生活的虫黄藻对于了解不断变化的环境中的内共生体群落动力学和潜在机制具有重要意义。

S07-P-17S

南海珊瑚月分辨率年龄模式的改进与启示

党少华[1*]，刘忠方[1*]，余克服[2,3,4]

1 同济大学，海洋与地球科学学院
2 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室
3 广西大学，广西大学珊瑚礁研究中心
4 广西大学，海洋学院
* dangshaohua@tongji.edu.cn
* liuzf406@gmail.com

热带珊瑚以其独特的高分辨率优势，可作为沟通古海洋与古气候研究和现代海气过程研究的极佳材料。珊瑚中的锶钙比值（Sr/Ca）被广泛用作月分辨率的海水表层温度（SST）的重建，并以其显著的年循环周期作为建立月分辨率年龄模式的可靠依据。本研究基于南海北部的两根现代珊瑚，根据当地气候平均态调整了年龄控制点，改进了南海北部珊瑚的月分辨率年龄模式。通过蒙特卡洛-拔靴自举法对控制点的模拟，我们评估了以往年龄模式和改进年龄模式重建的 SST 变化。评估结果表明，相比以往的年龄模式，我们改进的年龄模式将 SST 重建转换误差降低了 30%，从而提搞了对 SST 季节性估计的精度，也使得对 ENSO 的遥相关响应相较以往变的更加稳健可靠。我们的结果进一步表明，基于温度建立的热带珊瑚月分辨率年龄模式须结合当地气候平均态来选择年龄控制点。

S07-P-18

西沙海域深海沉没碳酸盐台地的成因机制研究

陈万利[1*]，吴时国[1*]，王大伟[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所
* chenwl@idsse.ac.cn
* swu@idsse.ac.cn

珊瑚礁的生长速率通常大于海平面上升的速率，因此珊瑚礁组成的碳酸盐台地沉没机制是个耐人寻味的论题。深海沉没碳酸盐台地在全球海底广泛分布，是研究碳酸盐台地沉没机制的绝佳素材。本研究结合载人潜水器的肉眼观测与取样、高分辨率的声学探测资料对南海北部大面积暴露海底，水深为 535-800m 的一个深海沉没碳酸盐台地进行研究。研究发现台地顶部地形平坦，台地顶部主要发育 heterozoan 类以大型底栖有孔虫和藻类组成的造礁生物，珊瑚非常少见，与现代碳酸盐台地完全不同。结合古生物地层对比和地震层序地层对比，本研究认为该台地在中中新世晚期发生沉没，沉没之后很少沉积物覆盖，有台地边缘的生物礁暴露。根据勘探地震对台地内部结构的精细刻画结果将台地的演化期次划分为三个阶段：（1）早中新世的快速退积阶段，主要受到断层和海平面的控制。（2）中中新世整体加积阶段，断层活动在该阶段慢慢停止。（3）中中新世断层活动停止后，台地进入加积-退积共存阶段，台地沉没与背风坡地层进积同步发生。结合前人对研究区附近的盆地沉降历史和西科 1 井中中新世的 heterozoan 碳酸盐工厂成因机制的研究，本研究认为该时期沉降速率加快和夏季风加强是该深海沉没碳酸盐台地形成的主要原因。

S07-P-19S

利用 BEAMFORMING 分析南海岛礁噪声场变化特征

赵涛[1,2*]，夏少红[1]，张昌榕[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室
2 中国科学院大学，中国科学院大学
* zhaotao201@mails.ucas.ac.cn

南海位于我国大陆的南部，纵跨热带和亚热带，数百座珊瑚岛礁在南海中星罗棋布，北可达台湾岛南端的恒春半岛，南可至赤道

附近的曾母暗沙，是我国珍贵的领土资源。这些珊瑚岛礁不仅是远海作业的重要补给站和落脚点，也可以作为研究南海海洋环境变化的“重要基站”。作为海洋中的孤立陆块单元，岛礁持续受海浪和大气扰动的影响，可以记录到丰富的环境噪声信息，这为利用环境噪声数据进行南海海洋环境变化的研究和动态监测提供了得天独厚的地质条件。

本研究利用西沙永兴岛上布设的圆形地震台阵，记录了岛屿丰富的环境噪声数据，并以此数据为基础分析岛体周围海洋环境噪声场及其变化特征。利用 Beamforming 方法对岛体周围环境噪声源定位的分析结果指示，在 1-5 Hz 频段，观测期内（2021 年 4 月 22 日-28 日，GMT 时间）永兴岛体周围的噪声源较为均匀但会随时间发生小幅变化，噪声面波信号的传播速度约为 1000 m/s，其中较为特殊的是 2021 年 4 月 22 日和 28 日，这两日的 Beamforming 结果显示岛体周围噪声源分布呈现优势方向性，优势方位大约位于台阵的北向；通过对这两日的波形数据进行分时段的 beamforming 处理，发现台阵北侧的优势噪声源仅在 2021 年 4 月 22 日的 0 时-4 时出现，其余时段的噪声源分布较为均匀，而在 2021 年 4 月 28 日则仅在晚上 14 时-22 时期间的噪声源较为均匀，其余时段岛周围噪声背景场较为复杂，且随时间变化明显；在>5 Hz 的频段，beamforming 结果显示背景噪声场复杂且无明显优势噪声源方位，噪声场受人工活动干扰严重且随时间变化明显。本项目受国家重点研发计划项目（ 2022YFC3102200）、国家自然科学基金（42076071）资助。

S07-P-20

南海北部造礁石珊瑚种类的生理差异及其生态指示意义

黄柏强[1]，王永智[1]，甘健锋[1]，许莉佳[1*]

1 生态环境部华南环境科学研究所

* xulijia@scies.org

造礁石珊瑚生理特征与其生长、健康密切相关，目前尚不清楚在气候变化和人为活动的干扰下珊瑚群落结构演替与造礁石珊瑚生理特征之间的关联。通过对三亚鹿回头（109°20′~109°30′E, 18°11′~18°18′N）与大亚湾（114°30′~114°51′E, 22°30′~22°50′N）11 种主要造礁石珊瑚共计 208 个珊瑚样品开展珊瑚共生藻密度、叶绿素 a 含量与组织生物量分析发现：（1）珊瑚共生藻平均密度变化于 0.96×10^6~6.19×10^6 cells/cm^2，具有显著的种间差异，其中块状珊瑚的共生藻密度最高，枝状珊瑚共生藻密度最低；各珊瑚种类共生藻密度在大亚湾和三亚并没有显著的区域差异。（2）不同珊瑚种类共生藻叶绿素 a 浓度变化于 4.55-25.04 μg/cm^2 之间，具有明显的种间差异，块状和皮壳状珊瑚共生藻的叶绿素 a 浓度明显高于叶片状与枝状珊瑚；在区域上，大亚湾各珊瑚种类的共生藻叶绿素 a 含量基本高于三亚。（3）不同珊瑚种类的组织生物量变化于 4.55-25.04 mg/cm^2 之间，与虫黄藻密度呈正相关。总体而言，各珊瑚种类的生理指标虽然存在一定的区域差异，但枝状珊瑚种类的生理指标均低于其他形态的珊瑚种类，这与近几十年来南海北部造礁石珊瑚群落中优势类群由枝状珊瑚向块状珊瑚演变的现象相一致，说明生理指标低的珊瑚类群更易受环境影响发生退化，需引起重视和加强保护力度。

S07-P-21

南海珊瑚礁灰岩的声学特征及地质稳态应用研究

田雨杭[1,2]，朱小畏[1]，张应威[1,2,3]，陈忠[1,2*]，颜文[1,3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 三亚海洋生态环境工程研究院

3 中国科学院大学

* chzhsouth@scsio.ac.cn

珊瑚礁发育于热带海洋环境，是以造礁珊瑚的石灰质骨骼为主体，与钙质生物堆积而经过漫长的地质作用形成的一种岩石体，在南海岛礁广泛分布。珊瑚礁灰岩具有孔隙结构、孔隙类型和特定矿物组成，导致其呈现出与普通灰岩或其它岩石不同的声学特性。前人对礁灰岩声学特性研究主要集中在纵向声速及其与密度、孔隙度、力学参数的关系，而对微观孔隙结构、埋藏成岩作用对声学特性影响研究机制研究较少，对声学特性在珊瑚礁体地质稳态应用的探讨仍较薄弱。本文对南科 1 井的岩芯样品进行纵波波速、声波阻抗、孔隙度和密度等参数进行测试和计算，结合三维数字岩心孔隙模型，揭示珊瑚礁灰岩声学参数与物理性质之间的关系，研究了微观孔隙结构对珊瑚礁灰岩横向声速影响，并基于声学的工程特性对礁体地质稳态评价进行了研究。

测定结果表明南科1井珊瑚礁灰岩的纵向波速介于 5003~5958 $m\cdot s^{-1}$，平均值 5393 $m\cdot s^{-1}$。孔隙度为 1.47~17.70%，密度为 2.07~2.72 $g\cdot cm^{-3}$，声波阻抗变化为 10.58×10^5 ~ 16.22×10^5 $g\cdot cm^{-2}\cdot s$ 之间，与南沙群岛、西沙群岛和其它区域的碳酸盐岩的声学数据进行对比分析，测定的钻孔礁灰岩与南海其它岛礁礁灰岩的声学特性相似，但总体具有低孔隙度、高密度、高纵波波速以及高声波阻抗特征；通过差分介质有效模型（DEM），分析了礁灰岩纵向波速、声波阻抗与孔隙度、孔隙类型、密度相关关系，揭示了岩芯的纵波波速主要受粒间孔隙影响；论文还建立了南海礁灰岩纵向声波波速与孔隙度、波速与密度、以及孔隙度与声阻抗等数经验方程，分别为 *vp=3.93n2-215.06n+6479*，*vp=993.8ρ2-1990.9ρ+3845*，*Z=0.01n2-0.48n+15.80*。此外，在孔隙度已知的情况下，利用雷莫亨特-加德纳方程反演礁灰岩纵波波速是可行的。

大量研究表明岩芯的横波波速和纵波波速的比值可用于判别岩体结构的稳定性，论文测定的纵波波速均大于 5000 $m\cdot s^{-1}$，且岩芯的横、纵波速比为 0.48~0.65 之间，说明岩体结构属于层状岩体和固结岩体，表明其内部结构致密、稳定性强，礁灰岩的纵、横波速变化能有效地探测岩体结构和稳定性。礁灰岩岩体质量指数 Q 为 31.84~287.08，RMR 为 71.10~85.39，质量等级判别为较坚硬岩或坚硬岩，为珊瑚礁工程稳态提供最基本的关键技术参数。

S07-P-22S

南海北部造礁石珊瑚共生藻光合特征空间异同性与环境影响效应

张舒琪 [1]，赵美霞 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* zhaomeix@scsio.ac.cn

造礁石珊瑚是珊瑚礁生态系统中的框架生物，虫黄藻与造礁石珊瑚共生是重要生态特征。研究共生虫黄藻在自然环境条件下的光合特征对深刻认识珊瑚礁生态状况及其环境适应性具有重要意义。

本研究对采自南海北部的涠洲岛、大亚湾、万山群岛的造礁珊瑚进行实验测定，利用珊瑚共生虫黄藻密度、叶绿素 a 含量、光合有效量子产量（ΦPS_{II}）三种生态参数指标来研究高纬度海区造礁珊瑚共生体的光合作用特征，指示各礁区珊瑚共生体生态特征与健康状况，并分析空间异同性来探究环境要素的生态影响。同时，通过与南海低纬度海区对比分析，进一步揭示低纬礁区与较高纬礁区的生态格局，以期加深对南海珊瑚礁生态现状的理解以及为的对南海珊瑚礁可持续发展和环境保护提供参考依据。

S07-P-23S

基于有孔虫指数评估西沙群岛羚羊礁过去2600年的生态环境状况

梁日升[1,2]，余克服[1,2*]

1 广西大学，海洋学院

2 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* kefuyu@scsio.ac.cn

有孔虫指数（Foram Index，FI）是利用珊瑚礁区沉积物中底栖有孔虫功能组（藻类共生种、机会种、非自养种）的含量评估珊瑚礁区生态环境健康状况的指标，已广泛应用于全球珊瑚礁区的生态环境评估。迄今我国对该指标的应用还非常少，更未应用到对地质历史时期的珊瑚礁生态状况的研究。本文以西沙群岛羚羊礁的潟湖中钻取的 LYJ2 柱状沉积物为材料（全长 287cm，底部对应的年代为 2665 a BP），以 0.5 cm 的间隔取样，在显微镜下鉴定有孔虫功能组，然后计算 FI 值。结果显示：1）近 2600 年的 FI 变化范围为 4.1~7.9，均值为 5.9；2）FI 成波动变化的模式，具体可分为 3 个上升期：2380-1628 a BP，1212-572 a BP 和 252-92 a BP；3 个快速下降期：1628 -1212 a BP，572-252 a BP 和 1858 AD 至今；3）FI 在长期变化趋势上叠加了不同尺度的年代际波动，具有 66.7 a、54.4 a 等周期。基于 FI 值对珊瑚礁健康状况的评估标准，推测近 2600 年来西沙羚羊礁的生态环境总体是健康的；基于 FI 值与海表温度对比分析，发现 FI 在百年尺度上与气候变化具有一致性，FI 高值与中世纪暖期、罗马暖期大致对应，而低值与小冰期、黑暗时代冷期大致对应；FI 值具有 3 次快速下降阶段，指示历史时期羚羊礁生态环境周期性的恶化：前 2 者（1628 -1404 a BP，572-252 a BP）与黑暗时代冷期、小冰期相对应，这个期间强冬季风导致大气粉尘物质增多、强降雨导致大气湿沉降增加，二者进一步导致羚羊礁海域的营养物质增加、大型藻类快速生长（珊瑚生长被抑制）；后者（1858 AD 至今）与近几十年来西沙群岛珊瑚礁生态系统的快速退化相对应，其可能原因包括现代人类活动加剧、大气氮沉降通量增加导致的羚羊礁海域营养浓度升高（引起大型藻类增加）等。研究表明，有孔虫指数可大体记录南海珊瑚礁的健康状况，可用于对地质历史时期珊瑚礁健康状况的评估。

S07-P-24S

珊瑚益生菌筛选及其抗病机制研究

王姝颖[1]，何旭聪[1]，苏宏飞[1*]

1 广西大学，海洋学院

* 903129623@qq.com

珊瑚礁生态系统具有极高的生产力。但珊瑚疾病成为珊瑚礁退化的主要因素之一。珊瑚益生菌疗法是一种新型治疗疾病方法，但关于珊瑚益生菌的有益机制的研究仍处于初步阶段。本研究基于“珊瑚益生菌假说”，试图挖掘珊瑚潜在益生菌以提高宿主抗病能力，并通过多组学手段深入研究其抗病作用机制，取得了以下主要结果：首先，本研究通过原位模拟培养技术从健康珊瑚中筛选获得 271 株纯培养细菌，通过对溶珊瑚弧菌（Vibrio coralliilyticus）具有拮抗活性筛选获得珊瑚潜在益生菌。其次，建立珊瑚疾病感染与防治模型。通过单回接实验和珊瑚健康评估确定溶珊瑚弧菌的最低感染温度为 29 ± 0.5 °C，最小作用终浓度约为 4.50×10^4 CFU·mL^{-1}，鹿角杯形珊瑚疾病症状出现时间为 10 h。通过双回接实验和珊瑚健康评估确定：在作用温度 29 ± 0.5 °C 下，受试益生菌作用终浓度约为 4.50×10^5 CFU·mL^{-1}，干预时间为致病菌回接前 5 h，可以有效提高鹿角杯形珊瑚弧菌感染耐受性（终浓度约为 4.50×10^4 CFU·mL^{-1}）。最后，结合多组学分析方法揭示益生菌抗病作用机制。珊瑚共生虫黄藻系群分析显示，提前利用 Bacillus sp. GXU-Z9 处理珊瑚可以维持珊瑚宿主的共生虫黄藻的密度，但对其系群组成与相对

丰度无显著影响。微生物组学分析发现，溶珊瑚弧菌感染前利用 Bacillus sp. GXU-Z9 处理珊瑚有效维持了宿主共附生微生物群落稳定，提高有益微生物类群芽孢杆菌属（Bacillus sp.）的相对丰度。转录组学分析显示，Bacillus sp. GXU-Z9 干预促进宿主的免疫系统相关基因显著正向上调，免疫相关通路出现显著富集。本研究获得珊瑚潜在益生菌，并建立了疾病发生与防治模型，受试益生菌提前干预可以维持宿主外观健康状态、稳定虫黄藻数量和光合效率，具有明显的抗病作用。多组学分析结果显示，Bacillus sp. GXU-Z9 干预通过减少致病菌占位，稳固珊瑚共附生细菌群落，刺激宿主免疫基因上调、提高免疫相关通路富集达到疾病防治效果从而维持珊瑚宿主健康。本文针对溶珊瑚弧菌介导的珊瑚细菌性白化疾病的防治及其抗病机制进行研究，所获得抗病益生菌和抗病机制解析为珊瑚疾病的防治提供理论基础，也为珊瑚礁生态修复提供原创材料

S07-P-25

西沙珊瑚年际变化反映的小冰期早期气候带收缩

韩韬 [1,2]，余克服 [1*]，晏宏 [2]，陶士臣 [3]，江蕾蕾 [1]，王浩 [1]，党少华 [1]

1 广西大学

2 中国科学院地球环境研究所

3 中国科学院南海海洋研究所

* kefuyu@scsio.ac.cn

小冰期早期（1468—1564 A.D.）西沙珊瑚 $\delta^{18}O$ 记录中表现出比现代珊瑚 $\delta^{18}O$ 更强的年际变化。前人 ENSO 重建结果表明当时 ENSO 活动较弱，表明珊瑚 $\delta^{18}O$ 年际变化更强的原因不是 ENSO 活动导致的。前人研究表明在小冰期时由于太阳辐射的降低，西太平洋暖池与亚-澳季风均向赤道收缩。而 1450—1550 A.D.作为过去 1000 年以来太阳辐射最低的时期，西太平洋暖池和亚-澳季风的收缩非常明显。此时，东亚季风区可能会向南移动，南海北部从热带季风气候转变为亚热带季风气候。这种情况下西沙群岛地区可能会受到比较多中-高纬气候过程的影响，导致小冰期早期西沙珊瑚 $\delta^{18}O$ 的年际变化振幅出现增大。我们的猜想也得到了现代的器测资料与珊瑚记录的支持。

S07-P-26

珊瑚–草皮海藻竞争作用的季节性差异及其微生物影响机制

廖芝衡 [1,4]，余克服 [2,3*]，胡宝清 [1,4]

1 南宁师范大学，北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室

2 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室

3 广西大学，广西大学珊瑚礁研究中心

4 南宁师范大学，地理与海洋研究院

* kefuyu@scsio.ac.cn

全球变暖背景下，草皮海藻正逐渐成为多数印度-太平洋珊瑚礁的优势类群。而在南海珊瑚礁区，草皮海藻已经成为珊瑚群落最主要的空间竞争者。然而，关于草皮海藻与珊瑚竞争过程的季节变化规律和微生物组成特征的变化仍需更进一步研究。采用水下固定监测和微生物测序方法对涠洲岛珊瑚礁区滨珊瑚属（*Porites*）、角蜂巢珊瑚属（*Favites*）及其周边的草皮海藻进行季节性记录和采样。结果显示，草皮海藻在珊瑚边缘的接触百分比、损害百分比均最高（分别为 70%和 60%），分别为大型海藻的 6 倍和 2 倍、为壳状珊瑚藻的 4 倍和 3 倍。草皮海藻在珊瑚边缘的接触百分比在季节间显著差异，在冬季和春季最高（均为 82%）；然而草皮海藻的损害百分比并不随季节而显著变化。NMDS 和 ANOSIM 分析显示，珊瑚共生细菌群落在接触草皮海藻的滨珊瑚和健康的滨珊瑚样品之间出现分化，与滨珊瑚健康状况相关的共生细菌（*Endozoicomonas*，*Pseudoalteromonas* 和

Ralstonia）丰度减少，而与珊瑚疾病相关的共生细菌（*Ruegeria*）丰度增加。结果表明，季节变化对珊瑚-草皮海藻竞争作用的频率存在明显影响，但并不影响草皮海藻损害珊瑚的能力；对珊瑚影响最广泛的草皮海藻可能通过接触作用而扰乱健康珊瑚的共生细菌群落，进而降低珊瑚抵抗草皮海藻接触竞争的能力。

S07-P-27S

涠洲岛海域表层海水稀土元素的珊瑚记录及其环境气候意义

顾庭舞 [1,2,3]，姜伟 [1,2,3,4*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* jianwe@gxu.edu.cn

珊瑚稀土元素（REE）配分型式模式可以反映表层海水的 REE 模式，可以用来探讨其动态的历史变化。 本研究采集了涠洲岛海域的滨珊瑚（W3），对珊瑚骨骼中的 REE 进行了含量测试和分析，重建了该海域 REE 的月际动态历史变化。 本研究发现珊瑚的 Nd_N/Yb_N 值和 Y/Ho 值都具有明显的干湿季季节循环模式，湿季比值高，干季比值低，说明与降水有关的地下水输入可能是涠洲岛海域稀土元素分布型式的重要影响因素。 此外，Nd_N/Yb_N 值与叶绿素的负相关关系说明了生物地球化学过程也可能影响该区域表层海水 REE 的变化。干季 Ce/Ce* 值与东亚冬季风指数（EAWM）呈显著的正相关关系，而 REE/Ca 比值存在较为明显的季节循环模式（冬季相对较高，夏季相对较低），且与冬季风风速存在显著的正相关关系。 这说明强劲的冬季风可能会通过大气风尘输入和驱使涠洲岛陆架沉积物的再活化，来影响到涠洲岛海域表层海水中稀土元素。

S07-P-28S

全球变化背景下热带气旋变化特征及珊瑚对其记录潜力

韩岩松 [1]，姜伟 [1,2,3*]，肖玉雯 [1]，雍阳阳 [1,2]，余克服 [1,2,3]

1 广西大学，海洋学院

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* jianwe@gxu.edu.cn

热带气旋是可以影响全球中低纬度海域的气象现象。系统总结和回顾了国内外热带气旋主要特征和潜在影响因素及其影响机制的相关研究进展，并对其在全球变化气候背景下的变化趋势进行了总结和剖析。全球变暖以来，热带气旋的源地和路径都出现极移的趋势，移动速度略有增加，频率减小并且强度增大，但各个大洋存在显著差异。重点回顾了火山活动、厄尔尼诺—南方涛动和太平洋年代际振荡、太阳辐射、热带辐合带以及气溶胶等因素对热带气旋的影响。其中，火山喷发导致平流层存在大量的气溶胶，通过降低海表温度对热带气旋产生消极影响，但是这种机制存在地域性差异；厄尔尼诺—南方涛动和太平洋年代际振荡以遥相关的方式调制全球热带气旋活动；太阳辐射和热带辐合带的变化与热带气旋频数存在相关性；气溶胶对不同发展阶段的热带气旋存在相反的影响机制。由于器测热带气旋数据在时间长度上和大部分替代指标在分辨率上的不足，严重制约了全球变化气候背景下热带气旋潜在影响因素的研究。造礁珊瑚是热带海洋高分辨率古环境重建的绝佳载体之一，目前，已有研究表明珊瑚的地球化学信号（$\delta^{18}O$，V/Ca）具有记录热带气旋活动的潜力。未来可以通过高分辨率（月分辨率）的珊瑚地球化学信号来量化热带气旋活动历史，进一步解析热带气旋与潜在影响因

素的关系，完善在气候波动影响下热带气旋活动的变化机制。

S07-P-29S

造礁珊瑚中脂类化合物对温度变化的响应及其古环境意义

黄建容[1,2,3]，宋宜[1,2,3*]，臧明思[1,2,3]，王佳宝[1,2,3]，许明堂[1,2,3]，莫娅雯[1,2,3]，黄雯[1,2,3]，余克服[1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* songyi_daisy@163.com

珊瑚礁是高分辨记录古环境信息的重要载体，以其为基础的各类指标在古气候研究中得到了广泛应用。然而脂类分子作为重建古环境的重要手段其与温度之间的定量关系不明确，阻碍了将脂类指标应用于珊瑚礁地质载体。为了更好地了解珊瑚中脂类对于温度的响应过程，我们在室内模拟 16℃-32℃温度梯度的变化下造礁石珊瑚（鹿角珊瑚及滨珊瑚）脂类中脂肪酸、脂肪醇和甾醇对温度的响应过程。实验结果表明以 C16:0 和 C18:0 为主的饱和脂肪酸其相对含量在 20℃-30℃之间有较好的线性关系，并且其线性变化趋势正好相反。然而以上两种化合物的单体同位素特征随温度的变化却是一致的，这说明 C16:0 和 C18:0 饱和脂肪酸来源一致并且在温度胁迫下进行互相转化。在以 C16:0 和 C18:0 为主的饱和脂肪醇中也发生了相似的变化过程。这表明珊瑚中提取的短链脂肪酸和短链脂肪醇与温度具有良好的相关性，可以在高分辨率古环境重建中应用。另外，滨珊瑚中功能性甾醇的相对含量均与温度呈正相关关系（相关系数为 0.61-0.94），表明珊瑚的功能性甾醇相对含量与温度之间具有直接的线性关系，能够敏感地响应温度变化，并且可以作为指示地质历史时期的极端环境变化的潜在指标。我们的研究结果为利用珊瑚礁脂类重建古环境提供较好的现代过程证据。

S07-P-30S

微塑料对离体培养的不同种珊瑚共生虫黄藻毒性研究

杨雅婷[1,2,3]，梁甲元[1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学

* jyliang@gxu.edu.cn

随着全球塑料制品产量的增长，微塑料污染已经对海洋生态环境构成了极大的威胁。目前研究表明，整个亚太地区珊瑚礁被约 $1.1x10^{10}$ 件微塑料污染且数量处于持续上升状态，预计 2025 年增加 40%左右。目前有关微塑料对珊瑚共生藻影响的研究并不充分，因此，探究微塑料对珊瑚共生虫黄藻的毒性作用是十分必要的，且有助于深入了解造礁石珊瑚对微塑料毒性的响应机制。本研究以实验室从涠洲岛的霜鹿角珊瑚(Acropora pruinose)、西沙群岛的丛生盔形珊瑚(Galaxea fascicularis)和柔枝鹿角珊瑚(Acropora tenuis)中分离得到的虫黄藻 Cladocopium goreaui、Durusdinium trenchii 及 Symbiodinium natans 为研究对象，对其生长情况、光合活性响应、抗氧化酶系统影响指标以及光合作用和生理代谢相关基因的表达进行测量，揭示虫黄藻对微塑料的响应机制。结果表明，暴露在 PS-MPs 中的三种虫黄藻均会形成异质聚集，在高浓度下（25mg/L、50mg/L），细胞膜受损。50mg/L 的 PS-MPs 显著抑制了 C. goreaui 和 D. trenchii 的生长和光和性能，氧化应激水平较高，而 S. natans 在 50mg/L 的 PS-MPs 中暴露 22d，其生长和光和性能与对照组无显著差异。转录组分析表明，50mg/L 的 PS-MPs 增强了 C. goreaui 和 D. trenchii 氧化应激酶基因和凋亡酶基因的表达水平，而对 S.

natans 作用不显著。本研究揭示了不同种虫黄藻对聚苯乙烯微塑料毒性的响应机制，对了解微塑料在珊瑚礁生态系统中的潜在风险具有重要意义。

S07-P-31S

两种分离自造礁石珊瑚的虫黄藻（CLADOCOPIUM SP. 和 DURUSDINIUM SP.）对高温胁迫的响应机理与环境耐受性

张丽 [1,2,3]，梁甲元 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* jyliang@gxu.edu.cn

全球变暖是珊瑚礁面临的主要威胁之一。其最主要的原因是温度升高会诱发氧化应激的出现，进而导致“珊瑚-虫黄藻”共生关系的崩溃，最终珊瑚会发生白化和死亡。然而，对于不同系群的虫黄藻其在高温胁迫的过程中所引起的生物效应了解甚少。本研究以前期分离自涠洲岛霜鹿角珊瑚(*Acropora pruinose*) 和西沙群岛的丛生盔形珊瑚(*Galaxea fascicularis*) 的两种共生虫黄藻（*Cladocopium*sp.和 *Durusdinium*sp.）为研究对象，探究不同温度胁迫下生长速率、光合速率、叶绿素浓度以及活性氧自由基水平的变化特征，进而评估其对珊瑚宿主应对环境胁迫所起的作用。透射电镜结果分析得出，高温条件下两种共生虫黄藻细胞均出现变形的特征，*Cladocopium*sp.细胞出现明显质壁分离，叶绿体类囊体解体，而 *Durusdinium*sp.并未出现类似情况，叶绿体类囊体形状保存相对完整，说明 *Durusdinium*sp 的耐高温效果较好。*Cladocopium*sp.和 *Durusdinium*sp 的生长速率、叶绿素浓度和光合效率呈现递减趋势，前者上述各项数据均趋于 0 时，后者仅下降了 66.33%、20.3%和 1.27%。使用活性氧检测试剂盒对常温下和高温条件下 *Durusdinium*sp.虫黄藻的进行检测，其荧光强度同比增加了 82.19%。以上数据均以常温培养作为对照组。本研究以高温对不同属种的珊瑚共生虫黄藻的响应机理作出初步推断，为珊瑚礁生态系统的环境问题提供新的认识。

S07-P-32

南海珊瑚礁区有机紫外线吸收剂的污染水平、生物富集和生态风险

裴继影 [1,2]，胡俊杰 [1]，张瑞杰 [1,2,3*]，刘耐 [1]，余文峰 [1]，颜安南 [1]，韩民伟 [1]，刘环鑫 [1]，黄学勇 [1,2]，余克服 [1,2,3*]

1 广西大学，海洋学院

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* rjzhang@gxu.edu.cn

* yukefu@scsio.ac.cn

有机紫外线吸收剂（OUVAs）在珊瑚礁区的出现引起了人们的广泛关注。本文研究了 10 种 OUVA 在南海近岸和远海珊瑚礁区的发生、分布、生物富集和生态风险。远海海水中的 Σ_{10} OUVA（15.1 ng/L）比近岸海水（102.1 ng/L）低 85%，远海珊瑚中的 Σ_{10} OUVA（1.82 μg/g 干重（dw））比沿海珊瑚（2.31 μg/g dw）低 21%。据推测，这一差异与沿海地区人类活动强度高有关。此外，与近岸的珊瑚相比，远海珊瑚对 OUVA 表现出更高的生物富集能力（远海珊瑚 log BAF：1.22-5.07; 近岸珊瑚 log BAF：0.17-4.38），这可能是不同环境条件下不同生理状态的影响。生态风险评估结果表明，BP-3 导致 73%的近岸珊瑚和 20%的近海珊瑚处于白化风险中。因此，为了保护南海的珊瑚礁，邻近

国家应加强对 BP-3 的使用和排放的管理和控制。

S07-P-33S

进化辐射与细菌群落动态对南海南部石芝珊瑚热适应潜力的塑造作用

韦雨鑫 [1,2,3]，陈飚 [1,2,3*]，余克服 [1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* biaochenwork@163.com

随着全球变暖进程的加剧，石芝珊瑚（Fungiidae）正展示出更强的热适应能力与恢复力，这可能与珊瑚物种演化以及细菌群落存在紧密的关联。本研究基于线粒体细胞色素酶（COI）基因克隆测序与细菌 16S rRNA 扩增子高通量测序等手段，分析了南海南部渚碧礁石芝珊瑚在属水平上的进化分歧时间，并探索珊瑚进化辐射、细菌群落动态及其对珊瑚热适应潜力的生态影响。研究结果显示，最早发生进化分歧（约 142.4284Ma 前）的直肋圆饼珊瑚（圆饼珊瑚属）的细菌群落具有更高的 β 多样性与群落离散程度，而分歧时间最晚的（约 11.9105Ma 前）的鳞状石叶珊瑚（石叶珊瑚属）则具有较低的 α 多样性和较稳定的群落结构。此外，潜在益生菌在石芝珊瑚的细菌群落中占据主导（相对丰度变化于 29%~85%之间），但是病原菌弧菌却稳定存在于石芝珊瑚的核心细菌微生物组中。进一步分析显示，所有石芝珊瑚物种的细菌群落均具备较为完善的氮循环、硫循环代谢通路，且功能蛋白的富集特征在不同石芝珊瑚物种之间存在显著的差异。基于上述研究结果，本研究认为南海石芝珊瑚在进化分歧的过程中，宿主免疫系统的成熟会增强其细菌群落的稳定性与共生功能体的热适应能力。石芝珊瑚共生功能体可能依赖以有益细菌占据主导的细菌群落以适应南海南部的高温压力。然而，核心细菌微生物组中稳定存在的病原菌则可能会削弱石芝珊瑚的热适应性。此外，石芝珊瑚细菌群落具有相对完整的氮、硫循环通路与多样化的功能特征，这将有助于维护珊瑚共生功能体的稳定，并提高珊瑚在全球变暖背景下的热适应潜力。本研究阐明了珊瑚物种演化与细菌群落动态对石芝珊瑚热适应潜力的塑造作用，为深入理解珊瑚应对全球变暖的响应机制与适应模式提供了新的见解。

S07-P-34

南海南部岛礁晚中新统白云岩化特征及成因模式

罗云 [1,2]，黎刚 [1,2*]，徐维海 [1,2]，唐一麟 [1,2,3]，苗莉 [1,2]，朱小畏 [1,2]，颜文 [1,2,3*]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

3 中国科学院大学

* gangli@scsio.ac.cn

* wyan@scsio.ac.cn

“白云石之谜”问题至今仍是一个国际沉积学领域研究的热点和难点。本文基于岩相学和矿物、碳氧同位素组成资料，并结合原位的常微量元素和 Sr 同位素分析，对南科 1 井晚中新统灰质白云岩和白云质灰岩的发育特征和成因模式进行系统的研究。结果表明：南科 1 井晚中新统灰质白云岩和白云质灰岩白云岩中的白云石含量在 25.3%-72.2%之间，且具有由下向上逐渐升高的趋势。岩石内部孔洞较为发育，原始残余组构明显，孔洞边缘发育粗亮晶白云石，云化的原始组构则发育微亮晶或泥晶白云石，且具有典型的雾心亮边结构，显示出为白云石化流体欠饱和状态的成岩环境。而白云石组分均不发光，具有与方解石相近且较低的 Al、Mn 和 Sr 的特征以及与现代海水相似的 REY 配分模式，碳氧同位素均为正值，表明

白云石化流体可能来源于正常或轻微蒸发的海水。原位 Sr 同位素年龄显示白云石比方解石的形成时代差距极小，大量原始组构的良好保存和部分基质选择性白云岩化以及孔洞的广泛发育反映了南海南部岛礁晚中新统白云岩是原始灰岩沉积后不久所形成的早期白云石化的产物。结合岛礁沉积相带分析，南海南部岛礁晚中新统白云岩可能具有与大开曼岛和南海西沙莺歌海组相似的白云岩化模式，即白云岩化流体（正常海水或泻湖中轻微蒸发的海水）从岛礁边缘向中心流动过程中，随着白云岩化过程中Mg^{2+}的逐渐消耗，导致位于岛礁中心仅发生了部分白云岩化。研究成果将对进一步理解白云石化过程和全球新生代岛礁白云岩的成因模式具有重要意义。

S07-P-35

南海陵水冷水珊瑚丘的载人深潜观测

陈端新[1*]，董冬冬[1]，张广旭[1]，赵美霞[2]，严宏强[2]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* chenduanxin07@qdio.ac.cn

冷水珊瑚生态系统是除冷泉、热液外的深海第三大生态系统。在全球分布广泛，但在西北太平洋分布较少。其有两种类型：冷水珊瑚林和冷水珊瑚礁（珊瑚礁可以堆积成丘）。西北太平洋的冷水珊瑚林主要分布在深水海山和淹没的碳酸盐岩台地。冷水珊瑚礁（丘）相比珊瑚林提供更长周期的古海洋古气候记录，且与海水运动的相互作用更为显著，主要位于 1,000 米以浅，更容易受到底拖作业的破坏。我们发现了西北太平洋最大规模的冷水珊瑚丘分布-陵水冷水珊瑚丘。2021 年 12 月，搭乘“深海勇士”号载人深潜器对一个冷水珊瑚丘进行了调查。丘体边缘分布宽约 200m，深约 4m 的沟槽（Moat），以粘土和粉砂质粘土为主。丘体斜坡广泛分布生物碎屑，斜坡的上部逐渐开始发育生物群落；丘体顶部的边缘发育两类尖峰（Pinnacle），一类为大量 1 米左右宽的小的礁石，由滑塌或原地生成的；另一类为 1-10m 宽的大的礁石，这类礁石上生长着以冷水珊瑚为主的繁茂的生物群落，尖峰周边片状发育较为丰富的生物群落，且距离尖峰越远，生物数量越少。另外珊瑚丘体上发现了较多的渔绳，生态系统面临底拖捕鱼作用的危害。本研究得到了国家自然科学基金委员会的资助（No. 42176071）。

S07-P-36S

无机防晒剂（纳米氧化锌）对丛生盔形珊瑚（GALAXEA FASCICULARIS）的毒性效应及其作用机理

陈健[1]，余克服[1,2*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室、广西大学珊瑚礁研究中心、广西大学海洋学院，南宁 5350004

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海

* kefuyu@scsio.ac.cn

纳米氧化锌（nZnO）是一些个人护理品（防晒霜、牙膏）的主要成分，可随滨海娱乐活动、污水处理厂排放和径流输出等直接或间接的方式进入海洋环境，对珊瑚造成潜在威胁。然而，nZnO 对珊瑚的毒性效应和作用机制不是很清楚。本研究评估了暴露于 nZnO 后丛生盔形珊瑚的表型、生理和基因表达的变化情况。我们研究发现 nZnO 可致使珊瑚共生功能体的 Fv/Fm、叶绿素浓度和虫黄藻密度显著降低，珊瑚机体 ROS 浓度

增加，抗氧化酶活性异常，KEGG 富集分析进一步表明上调表达的差异基因主要与氧化应激、内吞、细胞凋亡相关，主要富集在 MAPK、IL-17、Ras 和内吞等信号通路，下调表达的差异基因主要富集在碳代谢、氨基酸代谢和 DNA 复制等信号通路。这表明，nZnO 可以导致珊瑚-虫黄藻共生关系会发生崩溃，同时引起珊瑚的氧化应激，损害丛生盔形珊瑚的抗应激能力和免疫系统，降低珊瑚体内代谢水平，进而造成珊瑚白化或死亡。

S07-P-37S

晚第四纪以来南沙永暑岛礁珊瑚发育与海平面变化探讨

周婉秋 [1,2]，黎刚 [1*]，颜文 [1,2*]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* gangli@scsio.ac.cn

* wyan@scsio.ac.cn

岛礁上的珊瑚礁具有极高的生产力，其沉积体是过去海平面变化的良好记录载体。在南海南部，南沙群岛有大量发育在海山之上的孤立型珊瑚岛礁，在岛礁顶部的沉积岩芯只记录 8 ka cal BP 之后的珊瑚礁沉积，相对低海平面时期（8 ka cal BP 之前）这些岛礁周围是否有珊瑚生长，目前并不清楚。本研究拟通过对永暑岛礁顶部和岛坡的沉积柱联合分析，在准确年代框架支撑下厘清南沙群岛孤立型珊瑚岛礁晚第四纪的发育历史、碳酸盐岩成产速率，揭示其与海平面变化的关系。永暑礁上全新统珊瑚礁沉积厚度达到 17.3 m，8 ka cal BP 左右海平面上升到 -5—-8 m，岛礁顶部被淹没之后珊瑚开始大面积生长。岛礁礁坡和远离岛礁的沉积柱的 XRD 矿物组成的对比分析显示：近岛的海底沉积物中包含显著的文石含量（最高达 40%），而背景的深海沉积物中几乎没有文石。岛坡沉积物中未见浊流成因的文石砂层，主要以细粒羽状流文石沉积为主。岛坡沉积物中文石含量 Heinrich 事件 1 之后开始增长，响应于海平面开始上升。在 Younger Dryas 事件及全新世早期文石含量略有下降，可能响应于海平面上升阶段的停滞。在 2.5 ka cal BP 之后，岛坡文石含量达到峰值，可能反映岛礁上珊瑚生长范围达到最大。初步研究结果表明联合岛坡和岛礁礁体的沉积记录，可以获取相对更完整的岛礁上有关珊瑚发育的信息。然而岛坡的礁体文石剥蚀物产生速率与海平面变化、岛礁上珊瑚时空演化之间的准确对应关系，还需要更多不同地貌位置的岩芯记录来综合构建。

S07-P-38

基于 ICESAT-2 与 WV-2 的珊瑚礁高分辨率遥感水深反演优化方法

左秀玲 [1,2,3*]，滕君灿 [1,2,3]

1 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学，珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* zuoxl@gxu.edu.cn

精确的水深是研究珊瑚礁生态系统结构、功能和稳定性的重要环境要素，对于珊瑚礁生态保护与修复工作具有重要的意义。然而，由于珊瑚礁不同地貌的底质类型和水深差异较大，目前在珊瑚礁区构建一个全局水深遥感反演模型的方法仍存在精度较低的问题。本研究以中国西沙群岛的羚羊礁为研究区，基于“冰、云和陆地高程 2 号”（ICESat-2）星载激光测高数据和 Worldview-2（WV-2）高分辨率遥感影像数据，在研究区的礁坡、礁坪、浅潟湖、深潟湖和点礁各地貌单元分别构建五种水深反演模型，研究每个地貌单元的最优水深反演模型，并将最优模型外推应用至羚羊礁南部的断面。研究结果表明，礁坪、浅潟湖和点礁采用多波段比值回归模型，礁坡和深潟湖

地貌采用多项式回归模型，可构建各地貌单元内的最优遥感水深反演模型。模型反演水深与实地水深的回归系数 R^2=0.94，均方根误差 RMSE=0.70m、平均绝对误差 MAE=0.50m 和平均相对误差 MRE=11.99%，相比在全局构建一个水深遥感反演模型的方法，RMSE、MAE 和 MRE 误差分别减小了 0.99m、0.57m 和 7.91%。本研究提出的基于地貌的主被动遥感水深反演模型显著改进了珊瑚礁区高分辨率遥感水深反演模型的精度，可为珊瑚礁区高精度遥感水深反演提供方法参考，对于珊瑚礁环境研究和珊瑚礁生态保护、修复工作具有重要意义。

S07-P-39S

珊瑚礁中人工放射性核素的记录对比及其在人类世研究中的应用探索

张帆 [1,2,3]，林武辉 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* linwuhui8@163.com

珊瑚礁是气候变化和人类活动记录的良好“档案馆”。我国造礁珊瑚广泛分布在南海诸岛、海南岛、台湾岛，以及广东和广西沿岸等海域。20 世纪 50 年代之后，大气核试验释放大量的人工放射性物质进入全球环境。造礁珊瑚可吸收表层海水中的化学物质（钙、铅、放射性核素等）并保留在其骨骼中，因此可定年的珊瑚骨骼成为独特的人类核活动历史的“档案馆”。目前，国际上对于人类世起始时间的界定存在争议，需通过对代用指标体系进行综合对比研究，寻找具有大范围环境变化指示意义的地质生物载体，建立人类世典型剖面。基于团队和前人研究，我们对珊瑚骨骼中 7 种人工放射性核素（$^{239+240}$Pu、^{14}C、^{236}U、^{129}I、^{90}Sr、^{137}Cs）的历史分布模式进行整理分析。经研究，7 种核素的历史分布模式可能受到核素源项、核素生物地球化学性质、局部海洋环境等条件的影响。通过对比分析珊瑚骨骼中人工放射性核素的分布模式，我们提出指示人类世起始时间的最优人工放射性核素代用指标方案，以期为人类世起始时间的界定工作提供一定参考。

S07-P-40S

基于环境 DNA 耦合电化学生物传感技术的长棘海星快速检测

陈英展 [1,2,3]，王丽伟 [1,2,3*]，徐家荣 [1,2,3]，宾琪 [1,2,3]，余克服 [1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* wangliwei0427@163.com

长棘海星(Crown-of-Thorns Starfish，CoTS)被称为“珊瑚杀手”，是珊瑚的天敌，一旦其大面积暴发，则会使健康的珊瑚礁生态系统遭受灭顶之灾。目前国际上针对长棘海星示踪与定量评估的技术，主要是通过 ROV(遥控无人潜水器)调查和人工潜水调查，不但耗费大量的人力、物力，而且容易忽略长棘海星幼体，难以做到准确示踪水体中长棘海星的信息，因此关于长棘海星的有效示踪和预警仍是世界性的生态难题。为解决上述问题，本研究利用环境 DNA (eDNA)对物种的指征特性，结合电化学生物传感技术的便捷、高效、低成本和高特异性等优点，首次构建了 CoTS eDNA 生物传感器。该传感器由 MoO_2/C 的纳米材料和 CoTS 的特异性 DNA 探针组装而成，其检测限低至 0.147 ng/μL，能够实现对 CoTS 的 DNA 片段进行痕量检测。同时该传感器的可靠性经 ddPCR 验证 ($p > 0.05$)。此外，对于发生 CoTS 爆发的 SYM-LD 位点，该传感器检测到较高浓度的 eDNA，分别为 0.33 ng/μL 和 0.26 ng/μL

（位于 1 m 和 10 m 水深），根据生态调查该位点的 CoTS 密度为 500 ind/hm^2；而对于 SY 位点的生态调查结果显示该位点无 CoTS 活动痕迹，但该传感器仍能检测到 eDNA (0.19 ng/μL)，可能是该区域存在 CoTS 幼体；而作为阴性对照的深水走航站点则未检测到长棘海星的 eDNA，与实际生态调查结果一致。本研究为实现长棘海星的实时快速检测、示踪和预警提供了新的方法和技术。

S07-P-41

造礁石珊瑚共生体对弱光胁迫的生理响应

王永智 [1]，许莉佳 [1*]，黄柏强 [1]，杨天件 [1]，綦世斌 [1]，杨静 [1]

1 生态环境部华南环境科学研究所

* xulijia@scies.org

光照是影响造礁石珊瑚生长与分布的重要因素之一，但目前关于造礁石珊瑚对弱光胁迫的响应特征与适应性尚不清楚。本研究以西沙常见的疣状杯形珊瑚（*Pocillopora verrucosa*）、澄黄滨珊瑚（*Porites lutea*）和翘齿盘星珊瑚 （*Dipsastraea matthaii*）为研究对象，于 2021 年春季在永乐环礁 10m 水深处开展了为期 1 周的原位弱光胁迫实验，其中弱光胁迫实验组与正常对照组相比光强削减了 80~90%，其日有效光辐射波动范围 25.72~41.48μmol m^{-2}s^{-1}。实验结果显示，弱光胁迫状态下疣状杯形珊瑚、澄黄滨珊瑚和翘齿盘星珊瑚的实际光合效率（Φ_{PSII}）明显升高、最大电子传递速率（r-ETR$_{max}$）和半饱和光强（I_k）出现了明显下降的现象，与此同时三种珊瑚的呼吸速率均明显升高；而三种珊瑚的共生藻密度（翘齿盘星珊瑚除外）、叶绿素 a 含量、组织生物量和组织厚度均出现了不同程度的下降，其中以澄黄滨珊瑚的变化最为显著，其共生藻密度下降了 14.2%、组织生物量下降了 32.9%。短期弱光胁迫中虽然造礁石珊瑚通过提高自身的实际光合效率以适应光强的不足，但因珊瑚共生体叶绿素含量的下降，以及珊瑚呼吸代谢强度的增加，导致珊瑚共生体通过光合作用转化的能量已无法满足珊瑚宿主自身生长的代谢需求，因而出现消耗大于获得、珊瑚组织生物量和组织厚度下降的情况。

S07-P-42S

涠洲岛不同干露生境下十字牡丹珊瑚的适应性比较研究

黄珊 [1,2,3]，余克服 [1,2,3*]，张曼 [1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

* sdyczm@163.com

涠洲岛位于中国南海北部，属于亚热带季风气候区，在其西北部海域，极端大潮使成片十字牡丹珊瑚（*Pavona decussata*）周期性暴露在空气中。然而，该区域珊瑚经历长期自然胁迫后其抗逆性相较于未经干露的十字牡丹珊瑚是否具有差异尚不明确。本研究综合转录组、代谢组和微生物多样性比较分析了涠洲岛不同干露生境下十字牡丹珊瑚的适应性差异。结果显示，历经周期性干露的十字牡丹珊瑚具有较强的 TCA 循环和 ATP 代谢能力，NF-κB 信号通路呈极显著富集（p<0.01），差异代谢物则主要富集氨基酸代谢和脂质代谢通路，推测可能与珊瑚共生体的形成和维持有关。此外，微生物多样性分析结果显示，经历干露与未经干露的十字牡丹珊瑚微生物群落物种组成有显著差异（p<0.05），且前者共附生微生物的 ATP 代谢功能较强。综上，经历反复干露的十字牡丹珊瑚具有较高的能量储存且可能通过基因调控增强能源物质的利用，其共附生微生物在能量供应方面也可能起到积极作用。本研究初步揭示了十字牡丹珊瑚对涠洲岛干露环境的适应机制，为当地珊瑚礁保护与

修复提供了科学支撑，具有一定的理论指导意义。

S07-P-43S

中全新世海南潭门滨珊瑚的生长率特征及其气候意义

李悦儿[1,2,3]，余克服[1,2,3,4*]，江蕾蕾[1,2,3]，颜廷礼[1,2,3]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室
2 广西大学珊瑚礁研究中心
3 广西大学，海洋学院
4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
* kefuyu@scsio.ac.cn

珊瑚生长率是反映珊瑚生长快慢的物理指标，与海水表层温度（SST）等气候环境因素密切相关，且不易受后期环境变化的影响，能提供准确的高分辨率气候环境变化信息，是珊瑚古气候研究的重要指标。但迄今基于珊瑚生长率的气候记录研究多集中于现代，极少涉及中全新世，而中全新世的气候特征与现代暖期非常相似，重建该时期的气候环境状况对于理解现代气候变化的过程及其机制具有重要的参考价值。本研究对采自海南潭门珊瑚岸礁的 23 段中全新世（6143~4356 a BP）滨珊瑚进行生长率分析，并基于该区域现代（2005~2021 AD）滨珊瑚生长率与 SST 的关系重建了中全新世期间共 406 年的年均 SST 序列。结果显示：中全新世滨珊瑚生长率的变化范围为 0.607~1.670cm/a，均值为 1.079cm/a，且存在明显的波动变化过程；基于生长率重建的中全新世平均 SST 为 25.7±0.54℃，这与全球变暖程度加剧背景下的现代海温相近；中全新世年均 SST 的变化范围为 24.7~26.8℃，其中 5860 a BP、5660 a BP 和 5160 a BP 为 3 个显著的低温期。对比现代与中全新世（5427~5394 a BP、5243~5209 a BP、4515~4456 a BP 和 4404~4356 a BP）珊瑚生长率的频谱周期，发现现代与中全新世珊瑚的生长率均存在显著的 3~7 年 ENSO 周期，但中全新世 ENSO 主周期改变且频率显著降低，表明中全新世的 ENSO 活动总体偏弱；概率密度函数统计进一步显示中全新世期间 ENSO 变率存在逐渐增强的趋势。本研究为全面理解中全新世的热带气候特征提供了新的信息。

S07-P-44S

南海西部海域多环芳烃：气粒分配、分布特征、垂直输运及颗粒物驱动效应

韩民伟[1,2,3]，余克服[1,2,3,4*]，张瑞杰[1,2,3,4]，陈飚[1,2,3]，李浩蓝[1,2,3]，张正恩[5]，李军[5]，张干[5]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室
2 广西大学珊瑚礁研究中心
3 广西大学，海洋学院
4 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
5 中国科学院广州地球化学研究所
* kefuyu@scsio.ac.cn

多环芳烃（PAHs）是一类典型的持久性有机污染物，具有致癌、致畸、致突变的“三致”毒性，多年来一直受到全球的持续关注。其来源广泛，普遍存在于水体、大气、土壤等各种环境介质之中。研究表明 PAHs 可以通过水气交换、大气沉降、河流传输等方式由陆地向海洋传输，进入海洋环境，参与地表系统的生物地球化学循环，包括海洋循环。海洋水体可能是全球范围内 PAHs 重要的汇区，陆源 PAHs 通过大气和洋流的长距离迁移和传输进入海洋环境，进而在生物泵、物理泵等的驱动下垂向迁移进入深海环境。

PAHs 在大气环境中的沉积、水-气界面的交换以及洋流的传输和扩散是海洋水体中 PAHs 的主要来源。由于参与全球生物地球化学循环，PAHs 在迁移过程中将在大气、沉积物和水体中重新分配。南海周边国家众多，该海域生态环境很容易受到各种陆源污染物的威胁。前期的研究主要集中于 PAHs

对南海珊瑚礁生态系统的生态效应研究，缺乏对南海大气环境中 PAHs 的气粒分配、深海水体/沉积物中 PAHs 的赋存特征及其通过水柱的垂直迁移机制。此外，先前的大量研究缺乏对各种海洋介质中 PAHs 的系统调查和报道，特别是颗粒物对 PAHs 迁移和沉降的影响，这将低估海洋对 PAHs 的存储潜力。

我们的研究提供了南海西部大气、雨水、表层海水、海水深度剖面和深海沉积物中 PAHs 的最新浓度状况。通过与经典模型的比较和拟合，我们首次揭示了南海大气环境中 PAHs 气粒分配的最佳模型，Ksoot-air 模型可以更准确地反映 PAHs 在该区域大气中的气粒分配特征。此外，我们还探究了南海不同深度剖面中 PAHs 的差异分布特征和潜在驱动因素，揭示了 PAHs 在深海环境中的环境行为。我们发现 PAHs 的分布特征及其垂向迁移在开阔海域和珊瑚礁区的不同深度剖面上存在明显差异，颗粒物的下沉起到了至关重要的驱动作用。最后，量化了海洋环境不同相 PAHs 对南海 PAHs 汇的贡献及其迁移的影响机制。一个重要的发现是，颗粒物加速了 PAHs 的垂直迁移，这也改变了 PAHs 在海洋深度剖面中的分布，并导致表层系统和深海环境 PAHs 来源的变化。颗粒相 PAHs 对整个南海中 PAHs 汇的贡献约为 20%，其在深海中贡献更高。对南海 PAHs 汇的估计表明，大气环境对海洋中 PAHs 汇的贡献仅为 0.5-5%，而约 15-20%是由颗粒物引起的。本研究揭示了颗粒物如何成为 PAHs 从大气垂直迁移到海洋的重要驱动力。

S07-P-45S

涠洲岛澄黄滨珊瑚共生功能体对高温胁迫的适应性研究

王永刚 [1,2,3]，余克服 [1,2,3*]，黄雯 [1,2,3]

1 广西大学，广西大学海洋学院

2 广西大学，广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* kefuyu@scsio.ac.cn

海洋变暖是珊瑚礁生存的主要威胁因素之一，我们有幸观察到 2020 年因异常海洋热浪环境压力导致了广西涠洲岛海域出现大规模珊瑚白化事件。珊瑚热适应机制和共生功能体合作伙伴之间的相互作用关系变化密切相关。然而，热应激过程中珊瑚共生功能体的分子调节机制仍不清楚。为了评估自然极端热应激事件对珊瑚共生功能体蛋白质和微生物水平的影响，采用蛋白质组学及微生物学对涠洲岛珊瑚热白化事件中澄黄滨珊瑚的白化及未白化组织进行联合分析。结果表明，随着珊瑚健康状态的下降，虫黄藻密度及最大光合量子 Fv/Fm 显著降低，但优势共生藻亚系群均为 C15，共生藻系群结构未发生显著变化。微生物 16S rRNA 分析显示白化珊瑚的 OTU 水平显著降低，机会致病菌显著富集，表明热压力下珊瑚共生微生物群落结构发生改变，可能对珊瑚共生功能体的健康产生影响。TMT 高通量蛋白组学分析鉴定了半白化珊瑚群体中未白化及白化组织的 2067 个蛋白（1906 个来自宿主和 161 个来自共生藻 C15），相较于白化组织，未白化组织中宿主蛋白表达有 97 种增加和 170 种减少，共生藻蛋白表达有 59 种增加 54 种减少。热应激影响了珊瑚共生功能体的核心生理代谢途径，包括珊瑚宿主的感染和疾病免疫，细胞结构，蛋白周转，能量代谢和营养循环，共生藻的光合效率和氧化应激，珊瑚-共生藻相互作用的碳代谢紊乱可能是共生关系破裂的重要机制，虫黄藻光捕获蛋白（Light-harvesting protein ）和宿主光保护荧光蛋白（GFP）可以成为良好的珊瑚健康状态分子标志物。我们的结果有助于阐明石珊瑚全生物体的热适应分子机制，这对全球变暖背景下珊瑚礁的保护具有重要意义。

S07-P-46S

微塑料（PS）对珊瑚共生虫黄藻 CLADOCOPIUM GOREAUI 的影响

牛天祎[1,2,3]，梁甲元[1,2,3*]

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室
2 广西大学珊瑚礁研究中心
3 广西大学，海洋学院
* jyliang@gxu.edu.cn

微塑料(MPs)是持久性环境污染物。近年来 MPs 对珊瑚礁生态系统的毒性作用被广泛关注，但其对珊瑚关键共生微生物（虫黄藻）的影响知之甚少。本研究以本实验室分离自涠洲岛霜鹿角珊瑚的虫黄藻 *Cladocopium goreaui* 为研究对象，从生长速率、光合速率、叶绿素浓度、细胞外聚合物质含量、可溶性蛋白含量、丙二醛含量以及光合作用和能量代谢相关基因的表达等方面进行聚苯乙烯微塑料（PS-MPs）作用的生理特性研究。结果表明，PS-MPs 会诱发 *Cladocopium goreaui* 细胞聚集，并且导致细胞变形、皱缩、凹陷，出现质壁分离；叶绿体类囊体层片疏松、断裂、解体，出现空洞；细胞核中染色质解体。粒径 1μm-50mg/L 和 10μm-20mg/L 的 PS-MPs 显著抑制 *Cladocopium goreaui* 的生长和光合作用，诱导氧化应激反应。在基因表达方面，1μm-50mg/L 和 10μm-20mg/L 改变了光合作用和能量代谢相关基因的转录水平。本研究首次解析珊瑚共生虫黄藻对聚苯乙烯微塑料的响应机理，在珊瑚礁生态系统的环境演化方面提供新的认识。

S07-P-47

南沙海域中新世碳酸盐台地与生物礁发育特征及油气成藏

鄢伟[1,2,3,4*]，张光学[3]，张莉[3]，杨振[3]

1 广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所
2 中国地质调查局，南海地质科学院
3 广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室
4 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
* yanwei021066@126.com

南沙海区是全球碳酸盐岩台地和生物礁发育最多的区域之一,中新世发育最为繁盛，此期间构造-沉积环境经历了巨变，三角洲也发育壮大，为南海构造-沉积动态演化研究提供重要案例。同时，南沙海域中新世碳酸盐岩台地及生物礁经过后期成岩改造从而形成大量碳酸盐岩储层并蕴藏着丰富的油气资源，具有巨大勘探开发价值。通过地震剖面解释发现，南沙海域生物礁和碳酸盐岩台地多发育在隆起或者断块上，其边缘常发育断层。台地和生物礁呈现阶段性发育，自早中新世开始发育，中中新世广泛分布，而晚中新世开始衰退淹没；并发育多种类型生物礁，包括点礁、塔礁、台地边缘礁、环礁、层状礁和块状礁。碳酸盐台地和生物礁发育，与南海阶段式、事件性构造运动以及气候变化响应。地震资料及岩芯、薄片等资料表明，碳酸盐岩储层类型多且储集空间丰富，主要为礁滩储层和不整合面岩溶储层；发育多种孔隙类型，包括原生孔隙和次生孔隙，以次生孔隙为主，包括铸模孔、粒内溶孔、粒间溶孔和晶内溶孔等。该区域碳酸盐岩储集空间主要受白垩化作用、溶蚀作用和白云岩化的建设性改造，并且主要受构造、沉积、古气候和流体活动因素的控制。该海域碳酸盐岩能形成优质储层，同时具备良好油气成藏条件，易形成“下生上储”的碳酸盐岩油气藏。

S07-P-48

南海岛礁活珊瑚与竞争性藻类分布面积近 25 年变化的

遥感反演及其生态指示意义研究

黄荣永[1,2]，何志伟[1]，余克服[1,2*]

1 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室、珊瑚礁研究中心、海洋学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* kefuyu@scsio.ac.cn

活珊瑚和与之竞争的大型海藻和草皮海藻（竞争性藻类）的分布状况是反映珊瑚礁生态系统退化的重要数据。但活珊瑚和竞争性藻类在遥感影像识别中存在“异物同谱”的问题。鉴于此，我们摒弃对珊瑚和竞争性藻类的高精度分类，转而根据竞争性藻类生长存在明显季节性变化而珊瑚在短时间内分布变化不大的特点，提出利用不同时相多光谱遥感影像（Landsat TM/OLI 和 Sentinel-2 MSI）来对活珊瑚和竞争性藻类分布特征进行估算以便满足珊瑚礁调查与研究的现实需要。首先构建红绿波段归一化差值指数（*NRGI*）来对活珊瑚或竞争性藻类进行阈值分割，然后利用竞争性藻类稀少期和茂盛期遥感影像分割的结果进行集合差值运算，获得竞争性藻类与活珊瑚的分布面积及其比值。南海 8 座典型珊瑚岛礁 1995~2022 年的实验结果表明所提的方法简单、有效且可行，而所提的指标则具有良好的生态指示价值：珊瑚或竞争性藻类的识别精度在竞争性藻类稀少期和茂盛期分别能达到 80%和 92%；竞争性藻类与珊瑚分布面积比与珊瑚-藻接触率这一生态指标具有良好的相关性（$r=0.89$，$P<0.05$）；竞争性藻类与珊瑚分布面积及其比值的变化趋势和南海珊瑚礁的典型生态事件（珊瑚白化、长棘海星和黑带病爆发）具有很好的一致性。该成果对南海乃至全球珊瑚礁生态系统演化的调查和研究具有重要的参考价值和良好的应用前景，为遥感与珊瑚礁生态学领域的交叉与融合提供了一种新的思路。

S07-P-49

晚新生代海水 MG/CA 比值变化之谜：来自南海岛礁白云岩镁同位素证据

胡忠亚[1*]，杨守业[1]，李伟强[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 南京大学，地球科学与工程学院

* zhongyahu@tongji.edu.cn

自 4000 万年以来，古气候以及海洋和陆地环境发生了一系列重要变化，深刻影响着地球的宜居性。特别是在晚新生代全球变冷的大背景下，海水 Mg/Ca 比值在不到 2300 万年里上升了 3 倍，反映了这一时期以来海洋和陆地“源-汇过程”的快速演变。镁是地壳、海水以及海洋沉积物的重要组成元素，表生镁循环过程与碳循环过程紧密关联，并伴随着显著的镁同位素分馏。重建关键地质历史时期海水镁同位素演化可以示踪全球海洋-陆地耦合演化过程，进而揭示古气候演变的驱动机制。本研究以我国南海西沙岛礁上西科 1 井揭示的晚新生代白云岩地层为研究对象，开展了系统的矿物学、岩石学和高精度的镁同位素测试分析，重建了 2300 万年以来海洋镁同位素演化。结果显示，尽管同时期全球海水镁钙离子浓度以及 Mg/Ca 比值发生了显著变化，但“矛盾”的是海水镁同位素组成却保持稳定。据此开展的数值模拟分析表明，晚新生代以来，海水镁钙比值变化并不是单一因素控制的结果，相反，在构造隆升和全球变冷背景下，大陆风化剥蚀过程演变以及海洋白云岩化和自生粘土矿物沉积作用的减弱共同控制了海水镁钙离子浓度变化并维持了大洋碱度平衡。这一研究结果强调了晚新生代以来海洋和陆地耦合演化过程对古气候和古海洋环境重要控制作用。与以往研究相比，本次重建结果在精度上至少提高了 2 倍，因而可以更有效地约束相关地质演化过程。

S08-O-1

渭河盆地沉积物源指示的青藏高原东北部渭河流域新生代地貌演化

张瀚之[1*]，鹿化煜[1]，王先彦[1]，吕帆[1]，陈泽宇[1]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

* hanzhizhang@nju.edu.cn

渭河流域地貌演化过程与黄河流域水系演化、青藏高原东北部地貌演化等过程紧密联系。渭河盆地位于现代渭河中、下游，中始新世以来持续沉降，是区域流域水系的汇水盆地。盆地内沉积了中始新世-全新世相对完整连续的新生代河湖相沉积，是新生代区域水系演化、地貌发育过程的良好记录。精确的物源示踪研究是准确重建盆地流域变化和区域水系格局演化过程的重要基础。结合碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和扫描电镜矿物定量识别等手段，系统研究了渭河盆地潜在源区和盆地新生代沉积物特征及其演化，并进行沉积物重矿物组合、岩屑和碎屑锆石、磷灰石 U-Pb 年龄示踪。结果表明，渭河盆地中始新世以来沉积物源主要来自盆地南部的北秦岭和渭河流域上游的西秦岭。北秦岭自中始新世逐步抬升，在中中新世以来逐步向东扩展。北秦岭山前断裂、西秦岭断裂控制了区域纵向水系发育；新生代北秦岭持续隆升，阻碍了北秦岭水系向南溯源侵蚀，使流域范围自中始新世以来相对稳定。新生代以来渭河盆地水系与青藏高原东北部间可能经历了多次连通-阻断-再连通的过程。盆地沉积反映的区域地貌演化过程，还受到区域气候变化的影响。区域构造活动可能引起河流暂时性阻断，但区域持续降水促进了青藏高原东北部和渭河盆地流域水系的连通。晚始新世以来全球逐步变冷导致渭河流域区域逐步干旱，区域地貌景观发生明显改变。

S08-O-2

中中新世全球变冷和特提斯海道闭合对北非和南亚气候影响的模拟研究

张健[1*]

1 北京大学，物理学院

* jzhangcn@pku.edu.cn

中中新世是一个典型的气候变化时期，其标志是中中新世气候适宜期（MMCO）以及随后由于大气中二氧化碳浓度下降而导致的全球变冷，即中中新世气候转型（MMCT）。除此以外，阿拉伯和欧亚大陆碰撞导致特提斯海道的关闭也对这一时期的古气候演化有着重要影响。为了确定这两个因素对北非和南亚气候的作用，我们使用地球系统模式 CESM1.2.2 模拟全球变冷（即大气二氧化碳浓度下降）和特提斯海道关闭对北非和南亚气候的影响。模拟结果显示，全球变冷导致北非和南亚的降水减少；而特提斯海道的关闭导致北非的降水减少，而南亚的降水增加。北非和南亚的反向变化是由于特提斯海道关闭时，较强的夏季大气环流导致水汽从北非向南亚的输送增加。前人的地质重建研究表明北非地区在早中新世晚期至中中新世早期变暖期间变干，可能是因为特提斯海道早期的变窄导致的。由于随后的最终闭合和全球冷却，北非的气候持续恶化。这两个因素都是撒哈拉沙漠形成的先决条件。在中中新世气候转型时期，全球变冷，南亚季风增强，可以部分地归因于特提斯海道的最终闭合。

S08-O-3

晚上新世以来青藏高原东北缘干旱气候环境演化及其与盐类资源的耦合关系研究

韩文霞[1*]，方小敏[2]，Erwin Appel[3]，张涛[4]

1 临沂大学，资源环境学院

2 中国科学院青藏高原研究所

3 德国图宾根大学，地球物理系

4 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

* wenxia_han@163.com

亚洲内陆是当今全球最大的非地带性干旱区，其内裸露的大量地表松散物质被冬季风和西风环流携带，持续向黄土高原、北太平洋甚至格陵兰地区输送粉尘物质，对区域乃至全球生态环境产生深刻影响。因此，亚洲内陆干旱化的起因、时间和过程，一直是地球科学领域研究的焦点。然而以往的内陆干旱化研究主要集中在黄土高原地区，作为干旱–季风过渡区的柴达木盆地因受限于沉积物出露不完整、沉积不连续、粒径粗或相变大等局限，缺乏新生代晚期轨道–亚轨道尺度干旱气候环境演化的精细研究。然而这时段恰是该区丰富盐类资源发育的关键时期，且干旱化是盐类资源发育的一个先决条件。因此，在柴达木地区开展详细的干旱化过程及机制研究，并与亚洲内陆其他研究程度高的地区进行精细对比，不仅能为准确而全面系统的理解亚洲内陆干旱化的时空演化过程提供重要的数据和证据，同时也能为深入揭示干旱–极端干旱事件与盆地盐类资源的耦合关系，进而拓宽该区盐类资源的开发和远景勘探及靶区圈定提供理论支撑。

我们依托中德联合在亚洲内陆核心区柴达木盆地获取的科学深钻，对所获取的包括岩石磁学、地球化学、粒度、孢粉古生物等大量的古气候环境数据，利用多种传统和最新的数据分析方法，进行了数据集成研究。研究发现：（1）柴达木地区自晚上新世以来古气候呈现出长期的阶段性干旱化趋势和显著的轨道周期变化特征，柴达木古湖关键演化时间结点为 2.2 、1.2 、0.6 和 0.3 Ma，且 0.6 Ma 是柴达木西部古湖收缩的临界点；（2）柴达木深钻盐层发育与干旱-极端干旱事件发生的耦合关系和机制分析，揭示出柴达木第四纪有 4 次关键成盐期。（3）天体长倾角周期的低幅期与偏心率周期低值的同步耦合，会通过影响北半球冰盖和北半球中高纬度西风环流的强度和位置，控制研究区干旱气候环境和盐类资源的形成。

这些研究为深入系统的研究亚洲内陆地区过去干旱气候的演化过程和机制，进而深化内陆干旱区成盐规律的认识提供了重要的证据。多种线性-非线性数据分析方法和多指标的集成分析在该研究中的成功应用，表明利用多手段的大数据集成分析能够“挖掘”和“扫描”出隐藏在古气候、古环境原始数据中的众多重要信息，在未来相关研究中极具前景。

S08-O-4

青藏高原隆升驱动亚洲气候重组

吴福莉[1]，方小敏[1*]，杨一博[1]，聂军胜[2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 兰州大学，资源环境学院西部环境教育部重点实验室

* fangxm@itpcas.ac.cn

新生代以来，印度板块与亚洲板块的碰撞形成了世界屋脊青藏高原，亚洲气候发生了重组，形成当今东南湿润-西北内陆干旱对峙的格局。青藏高原的隆升如何重构亚洲气候，对现今和未来气候环境有何影响，针对该科学问题，本研究系统综合集成了青藏高原不同地块不同时段的隆升记录、亚洲有精确年代控制的典型盆地沉积和气候环境记录的主要进展，结果表明 41Ma 前青藏高原大部分地区仍为低海拔地区，当时整个亚洲被全球性行星风系气候控制，20-22°N 以南为热带季风湿热气候，仅受赤道辐合带南北摆动影响，青藏高原仅有冈底斯山脉隆起，由于其当时位置偏南，位于热带，对亚洲气候影响不大。此纬度以北的亚洲广大地区则受行星亚热带副高控制，气候炎热干燥，广泛沉积含膏盐红层和石膏、盐类蒸发岩。距今大约 41Ma 前，印度板块可能与亚洲板块发生全面碰撞挤入高原大陆地壳下部，地壳缩短加厚隆升，冈底斯山脉北移，中部唐古

拉山等也开始强烈隆起，围绕高原南北残存的特提斯浅海大规模急剧退却，大大增强了海陆间热力对比，导致季风在此时迅速从热带地区向北扩展进入到亚热带南部如云南地区（约 26°N），行星风系开始瓦解，但北亚热带和暖温带下的亚洲仍为副热带干热气候所控制。此后在约 29-26Ma 前后，冈底斯山和唐古拉山之间的高原中部低洼谷地，以及冈底斯南面的喜马拉雅山开始强烈隆起，显著增大了海陆热力对比，耦合此时全球大幅变暖，可能共同驱动此时季风快速推进到亚热带北部和温带地区，导致季风前缘的高原中部和东北部盆地发育温带森林和淋溶褐土，指示西风和冬季风增强的风尘沉积也陆续开始在黄土高原堆积，表明季风已推进至 33-36°N 一线，与现在季风前缘基本一致，类似现今亚洲季风-干旱气候环境格局形成。

青藏高原的隆升和亚洲气候的重组，对区域和全球气候产生了巨大的环境效应。隆升的高原为风化剥蚀提供了充足的物质，季风带来的降雨使得侵蚀和硅酸盐风化加剧，并影响湿润地区的风化和有机碳埋藏，消耗大气中的 CO_2；中亚内陆干旱化增加的粉尘排放，也会通过增强反照率、卷云形成和增强海洋生产力促进 CO_2 消耗等，导致全球降温。本研究得到第二次青藏高原综合科学考察研究（2019QZKK0707）、基金委基础科学中心项目（41988101）及中国科学院 A 类先导专项（XDA20070201）联合资助。

S08-O-5

伦坡拉盆地火山碎屑岩的源区及其对应的深部地球动力学过程探讨

毛子强[1]，方小敏[2,3*]，杨一博[2]，叶程程[4]，张伟林[2]，张涛[5]

1 中国科学院大学重庆学院
2 中国科学院青藏高原研究所
3 中国科学院大学
4 上海师范大学
5 兰州大学
* fangxm@itpcas.ac.cn

青藏高原中部伦坡拉盆地含有大量的火山碎屑岩，为确定青藏高原新生代地层年龄及研究高原隆升过程和环境效应奠定了坚实基础。但是对于这些火山碎屑岩的源区及其对应的深部地球动力学过程的探讨还鲜有报道。本研究通过详细的矿物学、岩相学、元素和同位素地球化学分析，识别出青藏高原伦坡拉盆地的火山碎屑岩并分析其成因，结果表明伦坡拉盆地火山碎屑岩由两种不同的岩石类型组成。进一步将其与青藏高原同时期火山岩的年龄及同位素进行对比，揭示伦坡拉盆地 23.5Ma 的火山碎屑岩最可能来源于青藏高原拉萨地块晚渐新世雄巴超钾质火山活动，其他~21-15Ma 的火山碎屑岩可能由埃达克质火山活动而形成。结合拉萨地块该时期钾质超钾质火山岩和埃达克质岩的时空分布特征及其成因机制，认为在晚渐新世至早中新世期间，随着印度板块持续北向俯冲，拉萨地块南缘经历了西部岩石圈地幔拆沉，东部下地壳加厚的差异俯冲过程，进而在地表形成了特征的火成岩分布格局。

S08-O-6

35MA 之前亚热带北部无季风而是西风摆动和副高控制：来自青藏高原东部囊谦盆地的记录和数值模拟结果

方小敏[1*]，郭正堂[2]，姜大膀[3]，张冉[3]，张伟林[1]，李明慧[1]，王永莉[2]，张涛[4]，苗运法[5]

1 中国科学院青藏高原研究所
2 中国科学院地质与地球物理研究所
3 中国科学院大气物理研究所

4 兰州大学，地质科学与矿产资源学院
5 5 中国科学院西北生态环境资源研究院
* fangxm@itpcas.ac.cn

亚洲季风何时出现，尤其如何向北扩展到东亚大地亚热带和温带，一直是一个大家很感兴趣但又争论很激烈的话题，其背后涉及对青藏高原隆升过程和全球变化如何影响和关联机制的理解。最近有一种趋势，配合青藏高原早期隆起的认识，亚洲大陆上的季风发生的时间也被报道越来越老，渐新世，始新世，甚至古新世就已出现。然而我们最近在云南的详细工作和综合集成研究，表明上述报道的新生代早期亚洲季风发生的记录，多位于北纬 20° 以南，实质记录了全球热带季风，他们为 ITCZ 南北季节性摆动所驱动，与青藏高原隆起无关。而传统上被认为标志着现代亚洲季风开始的时间，是指亚热带干旱带的亚洲被季风主导的湿润气候覆盖。我们的研究表明，亚洲季风从热带扩展到亚热带南部的云南-江西一带发生在晚始新世约 41Ma 左右。这里，我们展示了来自亚热带北部青藏高原东部囊谦盆地（北纬 33° 左右）的早新生代地层和多种气候代用指标记录的进一步证据，高精度古地磁和火山灰年代学限定盆地沉积序列形成于约 52-35Ma，气候早期相对湿润，发育有咸水湖泥灰岩和淋溶褐土型古土壤，约 42Ma 左右开始急剧变干，开始发育石膏型盐湖，直到盐湖 35Ma 结束，表明在北亚热带地区至少直到约 35 Ma，仍没有受到季风的控制。数值模拟进一步证实，无论是否存在像安第斯型山脉那样的冈底斯山，还是按照晚始新世当时的青藏高原和全球边界条件，拟或是急剧升高的大气二氧化碳浓度，都不足以推动亚洲热带季风向北扩展至亚热带北部青藏高原地区，那里主要受到亚热带副高和其北面西风季节性南北摆动的影响，长期趋势上水汽受到副特提斯海退却的影响，展现出类似于当今地中海型的气候特征。

S08-O-7

黄河阶地记录的晚更新世青藏高原东北缘构造隆升与气候变化

李梦昊 [1*]，胡振波 [1]，潘保田 [1]

1 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室
* limh19@lzu.edu.cn

河流阶地序列一般被认为是记录了气候变化和构造隆升的重要地貌档案，尽管现阶段仍难以理解各个因素在地貌演化中扮演何种角色。本研究着眼于黄河在青海共和盆地内下切并形成的一系列河流阶地，包含 17 个河流阶地以及一级盆地沉积顶面。基于光释光（OSL）测年和宇宙成因放射性核素（CRN）暴露测年，我们能够通过该阶地年代序列计算出晚更新世黄河的平均下切速率。在青藏高原东北部的强烈构造活动的背景下，黄河的下切历史可以近似地转化为快速的构造隆升历史。本研究确定了 45 ~ 55 ka 和 75 ~ 95 ka 两个加速下切（隆升）期。这一阶地序列被解释为由构造隆升驱动并同时受气候所控制，隆升速率越快，河流对气候波动的响应就越敏感。

S08-O-8

地貌生长诱发青藏高原东北缘中新世晚期水文系统重组

张涛 [1]，韩文霞 [2*]，方小敏 [3]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院
2 临沂大学，资源环境学院
3 中国科学院青藏高原研究所
* wenxia_han@163.com

青藏高原地区的水循环不仅关乎亚洲内陆的气候和环境演化，也对高原及周边地

区的经济社会发展具有深刻影响。中新世晚期是青藏高原最近一次被广袤古大湖所覆盖的时期。这些古大湖是何时以及如何萎缩瓦解并转化为现今的沙漠-半沙漠地表景观，目前尚不明晰。本文基于青藏高原东北缘西宁盆地具有高精度磁性地层和生物地层共同约束的 12-5 Ma 的一套河湖相沉积序列，通过漫反射光谱、沉积学、古地磁学及生物地球化学等研究手段，发现西宁盆地古湖泊在~11 Ma 发生了以水体变浅、水下溶解氧增加为特征的重大转型事件。综合青藏高原东北缘 7 个不同盆地的沉积学分析结果即~11 Ma 都发生了显著的沉积相变，本文认为青藏高原东北水文系统在~11 Ma 发生了重组。这次水文重组事件发生的时间与本文通过构造磁学和综合前人成果所揭示的研究区构造隆升事件相吻合。据此，本文推断构造而不是前人所认为的气候或者太阳活动是控制高原东北缘~11 Ma 水文事件的第一关键因子。另外，本文强调此次高原东北缘的水文重组对亚洲区域水文循环和气候、生态环境等也产生深远影响，因为同时期地貌生长所导致的地势增加使得研究区的水文系统再也恢复不到中新世晚期的格局。

S08-O-9

西宁盆地及祁连山东段低温热年代学记录的中-新生代构造事件

陈立豪 [1,2*]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

2 中国石油勘探开发研究院西北分院，西部勘探研究所

* chen_lh@petrochina.com.cn

青藏高原隆升过程和扩展机制等系列科学问题一直是地学界研究的热点。由 于青藏高原面积广阔、内部构造活动存在差异，目前对于高原隆升的时间、过程 以及机制等问题的认识还存在分歧。因此，就需要在青藏高原关键区域通过各种研究手段获得更多的构造隆升时空演化证据去检验已有的观点或提出新的认识。 新生代以来在青藏高原东北缘形成了系列造山带与盆地组合的典型盆山构造地貌格局，其中祁连山（青藏高原东北部边界）是加里东期造山带于新生代再次活动隆起成山，它是研究印度与欧亚板块碰撞远程效应和青藏高原的动力学过程关键所在，但关于祁连山新生代何时开始隆升以及隆升过程目前还不清楚。青藏高 原东北缘西宁盆地位于祁连山、东昆仑山和西秦岭造山带的交汇地带，其形成演化与周缘造山带的构造活动密切相关，是研究祁连山及青藏高原东北缘构造演化的关键地区。本文选择西宁盆地新生代地层及周缘祁连山为研究对象，利用低温热年代学及前人碎屑锆石物源研究成果， 主要通过西宁盆地新生代沉积物系统碎屑磷灰石裂变径迹年代研究，为西宁盆地、祁连山以及青藏高原东北缘构造演化研究提供低温年代学证据，取得的主要认识如下： （1）西宁盆地未退火碎屑磷灰石裂变径迹年龄 153-138 Ma（晚侏罗世-早白垩世） 和 111.7-82 Ma（晚白垩世）构造冷却信号主要来自于祁连山，这两期祁连山中生代构造隆升剥露事件可能是对班公湖-怒江特提斯洋在亚欧大陆南部北向俯冲以及拉萨与羌塘地体碰撞的响应。 （2）西宁盆地碎屑磷灰石裂变径迹年龄组分与祁连山磷灰石裂变径迹热模拟结 果共同揭示了祁连山新生代以来至少发生了 61.9-41、39.2-32 、27.9-15 和 12-5 Ma 四次重大的隆升/剥露事件。其中 61.9-41Ma（古新世-始新世）祁连山构造冷却事件是对印度与亚欧板块碰撞应力准同步传递到了青藏高原东北缘的响应。 12 Ma 左右（晚中新世）祁连山强烈构造隆升导致青藏高原东北缘现今地貌格局基本形成。（3）青藏高原东北缘不同部位新生代构造活化受到中生代构造薄弱带的影响， 祁连山新生代变形存在多期次、准同步的特点，祁连山新生代生长的变形过程对西宁盆地的形成演化具有重要影响。

S08-O-10

柴达木盆地早新生代化学风化强度持续降低：来自粘土矿物及其元素地球化学指标的证据

叶程程[1*]，杨一博[2]，方小敏[2]，张伟林[2]，郭增光[2]，刘玉东[2]

1 上海师范大学，环境与地理科学学院

2 中国科学院青藏高原研究所，大陆碰撞与高原隆升实验室

* yechch1991@shnu.edu.cn

硅酸盐化学风化是涉及岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的重要过程，是构造尺度上调节大气 CO_2 含量维持碳循环平衡的主要过程。对硅酸盐化学风化的深入了解不仅有助于全球气候演变的研究，同时也可以极大地推动地球大陆动力学和表生地球化学的发展。由于硅酸盐化学风化包含了易溶盐离子（如 Ca^{2+}、Na^{+}）的淋失和次级风化产物（如粘土矿物）的形成，因而粘土矿物和元素地球化学特征被认为是研究化学风化的最有效指标。此外，粘土矿物和元素地球化学指标的综合集成结果可有效地将气候驱动的风化作用从众多干扰因素中识别出来，是深入了解区域风化过程的重要方法。然而，在青藏高原东北部的一些新生代沉积盆地，长尺度的沉积序列往往具有粒径粗和相变频繁的特点，从而限制了基于全岩的地球化学指标的应用。考虑到粘土矿物是母岩风化的直接产物，且受粒径和沉积相的变化影响较小，因而其化学组成是从地球化学角度重建区域化学风化历史的理想选择。

在本研究中，我们对柴达木盆地红柳沟剖面早新生代地层（路乐河组、下干柴沟组和上干柴沟组）中的粘土矿物进行了详细的矿物学、形貌学和元素地球化学研究，在评估了物源、成岩作用及沉积再循环等因素的影响后，利用粘土矿物组合、单矿物指标（如贝德石含量、伊利石化学指数和绿泥石化学指数等）以及粘土级的元素风化指标（如 CIA，Mg/Al 等）重建了区域的 54-26 Ma 期间的化学风化历史。结果表明这三种表征区域风化强度的独立指标在长期趋势以及短期波动上基本一致，均显示柴达木盆地早始新世气候最适宜期的化学风化强度最高；在随后的~50-34 Ma 区域化学风化强度经历了持续的减弱过程，并在~34-26 Ma 降至最低。全球变冷被认为是柴达木盆地 54-26 Ma 期间化学风化的主控因素：全球变冷一方面通过降低温度减缓化学风化速率；另一方面全球变冷也通过调控水汽源区蒸发量和西风强度使得区域降水量减少，由此进一步导致风化强度降低。相较而言，特提斯海退仅在一定程度上调控了区域化学风化的短期波动。

S08-O-11

裂变径迹的新发现和新方法：裂变事件发生点径迹直径较窄

李伟星[1*]

1 中国科学院青藏高原研究所

* wxli@itpcas.ac.cn

铀在矿物中自发裂变产生损伤径迹，可以记录从核裂变事件、裂变径迹形成以及地质过程等极为宽泛尺度下事件的重要信息。由于裂变径迹很长(~20 微米)、很细 (直径 1-10 纳米)、且方向随机，至今还没有沿着裂变径迹定位裂变事件发生点并观察这里的径迹几何形貌的报道。根据直觉推断，由于在裂变点的裂变碎片的动能最高，径迹直径应该最大。我们通过把中子诱发裂变事件限制在样品表面和聚焦离子束制样方法，首次观察到了裂变点，并发现这里的径迹直径竟然不是最大，而是较小(~1 纳米)。通过进一步利用兰州近代物理所的重离子加速器辐照实验和相关计算表明，裂变过程中带负电的电子按照两个带正电的裂变碎片的质

子数来瞬间分配，导致两个裂变原子电荷态极低，这样就形成了在裂变点附近较窄的径迹直径。

由于常规方法无法记录蚀刻过程，我们开发了一种全新的原位蚀刻方法，首次记录到径迹蚀刻的完整过程，发现退火样品中在裂变点附近广泛存在蚀刻液滞留现象。我们解释，圆柱体的裂变径迹在热退火过程中通过原子表面扩散方式破碎成细小球体以降低体系表面能，由于在裂变点的裂变径迹直径较小，更加容易破碎，从而阻碍了蚀刻液在裂变点行进。

当前，裂变径迹热年代学由于缺乏对未蚀刻径迹几何形貌以及与原子尺度的热退火机制之间关系的深刻理解，几乎完全建立在热退火经验模型上，利用数学公式拟合蚀刻径迹长度的退火数据，并未涉及到原子扩散和径迹几何尺寸。这完全不同于建立在稀有气体原子扩散理论基础上的其他热年代学方法，如 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 和 (U-Th)/He。本研究的结果对填补微米级蚀刻径迹长度测量与原子尺度未蚀刻径迹热退火机制之间存在的巨大鸿沟，并在原子扩散的框架下统一上述热年代学方法具有重要意义。

S08-O-12

晚上新世至早更新世期间亚洲季风的轨道和千年尺度气候变化

敖红[1,2*]，Diederik Liebrand[3]，Mark J. Dekkers[4]，Andrew P. Roberts[5]，Tara N. Jonell[6]，金章东[1]，宋友桂[1]，刘青松[7]，孙强[8]，李欣霞[9]，黄春菊[9]，强小科[1]，张鹏[1]，安芷生[1]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国家重点实验室

2 崂山实验室

3 University of Manchester, Manchester,Department of Earth and Environmental Sciences

4 Utrecht University,Department of Earth Sciences, Faculty of Geosciences,

5 Australian National University,Research School of Earth Sciences

6 University of Glasgow,School of Geographical and Earth Sciences

7 南方科技大学海洋，科学与工程学院

8 西安科技大学，地质与环境学院

9 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* aohong@ieecas.cn

北半球大冰期（约 2.7 百万年左右）全球的气候系统和地貌格局发生了显著变化，北半球高纬地区冰盖扩张并最终建立，地球由“单极有冰”变为“两极有冰”；全球气候也由上新世温暖的气候环境过渡到第四纪的“冰期-间冰期”气候。然而，对于这样一个全球性的重要气候转型期亚洲季风是如何变化的目前仍缺乏研究。我们通过黄土高原西部高分辨率粒度记录研究了 3.6 百万年至 1.9 百万年轨道尺度和千年尺度上亚洲冬季风变化，对比当时全球冰量、温度和大气二氧化碳浓度变化。结果显示晚上新世至早更新世期间亚洲冬季风同时存在 4 万年和 10 万年周期，与轨道尺度上的全球冰量与大气二氧化碳浓度周期变化一致。上新世至更新世北极冰盖扩张和大气二氧化碳浓度的下降并没有改变轨道尺度上亚洲冬季风的周期，而是加强了亚洲冬季风在冰期和间冰期的波动。我们还发现较暖的晚上新世和较冷的早更新世期间亚洲冬季风变化不仅表现出轨道周期变化，还同时叠加千年尺度气候变化，这种周期叠加响应了地球内部和外部共同强迫。我们认为亚洲冬季风千年尺度变化在晚上新世已经出现，比以前认识到的要早 200 万年。

S08-O-13

榆木山抬升扩展与河流演化

胡小飞[1]，武佳坤[1*]，潘保田[1*]

1 兰州大学，资源环境学院

* wujk@lzu.edu.cn

* panbt@lzu.edu.cn

在活动逆冲褶皱山地，横向河与纵向河相互转变的河流演化过程控制着山体内部的地表侵蚀和前陆盆地的沉积序列。但目前对于横向河或纵向河演化控制因素的认识仍十分有限。榆木山位于青藏高原东北缘祁连山中段，是一个较年轻的活动逆冲褶皱山地，沉积在榆木山周缘的晚新生代河流相地层证实了~3Ma 以来该地区河流演化的过程。通过分析榆木山周缘河流沉积物中砾石的岩性、粒径、磨圆度和产状，结合宇生核素埋藏测年方法，我们认为在 3.0-1.8Ma 期间，古梨园河通过侵蚀软弱的新生代沉积岩，进而切穿榆木山形成横向河。1.8Ma 之后，横向河被迫向着山体的两端发生偏转，在榆木山的南侧形成纵向河。这一从横向河到纵向河演变的时代与榆木山持续抬升剥露出抗侵蚀性强的古生代岩石的时代一致。通过与山体抬升、气候变化等可能影响河流演化因素的对比分析，我们发现在榆木山这一相对年轻的逆冲褶皱山地中，基岩抗侵蚀性的变化可能是横向河向纵向河转变的主要控制因素。通过深入对比分析全球一系列活动逆冲褶皱山地的研究实例，我们提出了一个成熟活动逆冲褶皱山地生长历史中河流演化的概念模型。在山体抬升的早期阶段，河流可以切穿软弱的沉积岩形成横向河（先成河）。之后随着山体的持续抬升，抗侵蚀性强的基岩的出露将会导致横向河被迫发生偏转，并在山地后缘形成纵向河。在最后一个阶段，当山体抬升超过几百万年甚至达到千万年尺度时，可以形成高大成熟的逆冲褶皱山脉，前陆盆地中的局部侵蚀基准面也将极大降低，山脉边缘的河流将通过溯源侵蚀和袭夺纵向河的方式再次形成以横向河为主导的水系特征。

S08-O-14

晚始新世青藏高原中央谷地开阔林地的形成及其成因

苏涛[1*]，张馨文[1,2]，黄健[1]，刘佳[1]，李树峰[1]，李伟成[1,2]，周浙昆[1]

1 中国科学院西双版纳热带植物园，热带森林生态学重点实验室

2 中国科学院大学

* sutao@xtbg.org.cn

近年来的古植物学新证据支持了古近纪青藏高原存在“中央谷地”的观点，即当时沿着班公湖-怒江缝合带具有东西向的低地，南北两侧分别为冈底斯山和中央分水岭。随着伦坡拉盆地牛堡组植物大化石、孢粉以及植硅体等材料的不断丰富，表明在晚始新世中央谷地生长着开阔林地，类似于现在的非洲稀树草原，气候温暖偏干。在开阔林地中除了生长有臭椿属（*Ailanthus*）、椿榆属（*Cedrelospermum*）、栾树属（*Koelreuteria*）、单籽豆属（*Podocarpium*）、五加科（Araliaceae）等木本植物，还具有似浮萍叶属（*Limnobiophyllum*）、棕榈科（Palmae）、禾本科（Poaceae）等草本植物，这与早始新世该地区以木本植物占绝对优势的亚热带森林截然不同。值得一提的是，在同层位还发现了大量植物刺化石，共划分为 7 个形态类型。结合欧亚大陆植食性哺乳动物化石记录、现生带刺植物系统发育分析以及古环境模型模拟，表明古地中海退却和青藏高原中部的进一步隆升使得中央谷地干旱化，开阔林地在晚始新世出现，植食性哺乳动物有了更多的食物来源，同时也加剧了植物的被取食压力，刺作为植物有效的结构防御型功能性状，开始快速形成。因此开阔林地的出现与青藏高原的环境变化密切相关。目前，对于中央谷地在古近纪的范围、存在的时间以及隆升模式等仍不清楚，开阔林地何时形成，又是何时消亡还知之甚少。今后需要结合跨学科证据交叉验证，继续深入开展相关研究，进而揭示中央谷地生态系统的演化过程及其地球环境成因。本研究得到了科技部重点研发计划（No. 2022YFF0800800）、第二次青藏高原综合科学考察研究（No. 2019QZKK0705），以及国家自然科学基金委青藏高原地球系统基础科学中心项目的资助（No. 41988101-01）。

S08-O-15

孢粉古高度计揭示晚中新世青藏高原东北部的快速隆升

苗运法[1,2*]，方小敏[3*]，孙继敏[4]，肖文交[2,5]，杨永恒[1,2]，王雪莲[1,2]，Farnsworth Alex[6]，黄康有[7*]，任余龙[8]，吴福莉[3]，乔庆庆[2,5]，张伟林[3]，孟庆泉[9]，闫晓丽[9]，郑卓[7]，宋春晖[9]，Utescher Torsten[10]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，兰州，730000

2 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室，乌鲁木齐，830011

3 中国科学院青藏高原研究所，北京，100101

4 中国科学院地质与地球物理研究所，北京，100101

5 中国科学院新疆生态与地理研究所，乌鲁木齐，830011

6 布里斯托大学，布里斯托，BS81SS

7 中山大学，珠海，519082

8 中国气象局兰州干旱气象研究所，兰州，730000

9 兰州大学，兰州，730000

10 波恩大学，波恩，53115

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

* fangxm@itpcas.ac.cn

* hkangy@mail.sysu.edu.cn

青藏高原的隆升对理解亚洲内陆干旱环境演化和生物多样性形成具有重要意义。然而，作为构造隆升的重要体现—地表海拔的重建常因代用指标的机理复杂性及研究材料的稀缺性，导致研究结果常不统一且多不连续。如何获取可以校验的、连续的海拔记录成为目前研究的难点。

孢粉作为植物的生殖细胞，同母体一样具有直观响应气候和海拔变化的优势，同时又具有产量大、易保存和沉积较为连续的特点。首先，本研究得益于孢粉学同行以及课题组提供的现代表土孢粉样本，遴选了与海拔密切相关的四类山地针叶属种，即铁杉属(*Tsuga*)、罗汉松属(*Podocarpus*)、冷杉属(*Abies*)和云杉属(*Picea*)，建立了(铁杉属%+罗汉松属%)/(上述四类针叶属种总和%)比值(简称TP/TPAP)与中值海拔(即流域内盆地与最高海拔的中间值)的定量转换方法。然后，将该方法运用到青藏高原近10个中新世、上新世以及第四纪点位以及日本的中新世记录中，得到了较好的验证结果。最后，将该方法应用于青藏高原东北部并结合植物化石等重建了16 Ma以来该地区的海拔演化历史，揭示出中值海拔在16-14 Ma期间东、西部分别为~1.3 km和~0.4 km，12-10 Ma迅速抬升到~2.9 km和~2.7 km，并在8-7 Ma抬升至~3.6 km，之后开始逐渐接近于现代海拔；盆地海拔则在16-14 Ma为~1.1 km，在12-10 Ma抬升至~2.4 km。进一步，利用高分辨率区域气候模式RegCM 4.6定量评估了青藏高原东北部的隆升对高原及其周边地区的气候影响，发现如果青藏高原东北部降低到现在海拔的1/3，该区域年降水量减少50%以上，而高原南部喜马拉雅山和东南部的横断山区，降水量则会分别增加约50%和150%。该认识与柴达木盆地西部耐旱植物孢粉含量的增加及粗骨鱼的出现所指示的气候变干相吻合，而在喜马拉雅山和横断山区由于降水量的显著增加和高地形的存在支撑了该区域丰富的生物多样性。综上，该研究不仅首次提供了青藏高原东北部地区晚新生代以来可以相互校验的、连续的古海拔历史，同时表明了青藏高原东北部隆升产生的气候效应显著影响了青藏高原地区的气候和生物演化。论文最终在Science发表(详情请参考https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo2475)。

S08-O-16

晚新生代黄河中上游区域地貌与环境变化

聂军胜[1*]，潘保田[1]，张宝庆[1]，耿豪鹏[1]，胡振波[1]，王鑫[1]

1 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

* jnie@lzu.edu.cn

黄河是世界上泥沙含量最高的河流，是联系青藏高原与世界大洋的纽带，对黄河演化历史的正确认识还是理解内外营力相互作用塑造地貌的窗口。因此理解黄河流域地貌与环境变化既是国家需求，又具有重要的理论意义。本报告梳理了晚新生代期间黄河中上游区域干湿变化历史，黄河河道贯通历史，黄河泥沙来源及运输和堆积规律，以及近代人类活动和气候变化对黄河流域水土流失的影响。通过提出并利用新的磁学指标揭示了低纬度水文变化对黄河中上游区域干湿有重要影响，通过层状地貌面考察和定年提出了河湖系统相互串联、重组的“黄河水系发育模式”，通过单颗粒物源分析方法揭示出黄河不同段泥沙具有显著的差异，通过对比气候变化、人类活动与黄土高原水土流失数据阐明了气候变化和人类活动对黄河流域侵蚀的影响。以上这些研究结果发展了对黄河中上游区域地貌与环境变化框架方面的认识，未来需要集中在淤积最为严重的悬河区域，开展多尺度地貌与环境变化研究，形成更为系统的理论，服务国家需求。

S08-O-17

亚洲粉尘中更新世铁化学形态转型及其对太平洋生物生产力的影响

咎金波[1*]，Barbara A. Maher[2]，Toshitsugu Yamazaki[3]，方小敏[1]，韩文霞[4]，康健[1]，胡喆[1]

1 青藏高原地球系统与资源环境重点实验室，中国科学院青藏高原研究所

2 兰卡斯特大学，英国

3 东京大学，日本

4 临沂大学

* zanjb@itpcas.ac.cn

现代观测表明，塔里木盆地等亚洲内陆地区大气粉尘中的铁元素等营养物质经过高空西风环流搬运可以全球传输，通过“铁肥料”效应促使北太平洋浮游植物显著繁盛，并强化海洋固碳作用，对全球碳循环产生重要影响。然而地质历史时期，上述机制是否存在仍有争议。经过钻探，在塔里木盆地首次获取了厚达 671 米的黄土地层，磁性地层年代学研究表明其底界年龄约为 360 万年，是亚洲内陆厚度最大、沉积速率最高的古粉尘堆积，同时也是揭示地质历史时期亚洲粉尘铁化学形态组成和含量变化的理想材料。

对上述晚上新世以来黄土古粉尘序列全岩样品以及小于5微米组分铁氧化物种类和含量的研究，发现其在中更新世气候转型期(1.2-0.7Ma，MPT)发生有显著变化。岩石磁学、漫反射光谱、元素地球化学以及天文轨道周期分析等多种方法研究表明，约80万年开始，青藏高原山地冰川物理侵蚀作用的显著增强，导致中亚粉尘铁氧化物突然由赤铁矿(Fe^{3+})转变为磁铁矿(Fe^{2+}和 Fe^{3+})，同时全铁和二价铁含量发生急剧增加。进一步计算表明，MPT 之后，亚洲内陆干旱区输送到北太平洋的全铁以及二价铁通量分别增加了~70% 和~120%，极大促进了北太平洋生物物质的繁盛或是改变了浮游植物种群的结构，并大量消耗大气中的二氧化碳，造成全球气候的进一步变冷，从而对全球碳循环有重要的调节作用。上述结果对深入理解“粉尘输入增加—大气 CO_2 降低—全球气候变冷”这一地球科学领域重要的正反馈机制具有重要意义。

S08-O-18

塔吉克斯坦晚更新世黄土沉积记录的中亚古粉尘过程和气候梯度

康健[1*]，咎金波[1]，方小敏[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

* kangjian@itpcas.ac.cn

中亚干旱区是全球主要粉尘源区之一，其中广布的黄土沉积记录了地质时间尺度上的沙尘活动历史，为研究中亚过去粉尘过程和气候变化历史提供了宝贵资料。然而，目前对中亚黄土的物质来源和粉尘传输、沉降过程的认识仍十分不足，尤其是对远源沙漠物质和近源冲洪积物质的贡献存在很大争议。这里，我们报道了塔吉克斯坦南部三个自西向东排布的晚更新世黄土-古土壤剖面详细的地层学、光释光年代学、粒度和分粒级地球化学分析结果。通过光释光测年方法和磁化率地层对比建立的年代框架表明三个黄土剖面主要沉积于 MIS7 到 MIS2 之间，磁化率与中亚和其他地区以及中国黄土高原同时代典型黄土剖面可以很好对比。粒度分析结果表明 SRN、KMD 和 OBG 黄土剖面均以<20 μm 细颗粒物质为主，<20 μm 组分所占据比例自西向东逐渐增大，同时代黄土古土壤层平均粒径也呈现出自西向东逐渐变小的规律，指示粉尘在这一区域存在自西向东的粒度递减现象。黄土-古土壤以及天山北缘表土样品<5 μm 硅酸盐组分的地球化学分析结果表明，塔吉克斯坦地区 MIS7 以来的黄土粉尘物质具有近似稳定的主微量元素和 Sr-Nd 同位素组成，反映了该地区粉尘物质在广泛时空尺度上具备几乎一致的理化性质，同时也指示近源冲积物对该区黄土的碎屑物质贡献十分微弱。综合自西向东的粒度递减趋势和大区域近似稳定的 Sr-Nd 同位素组成特征，我们推测位于上风向的中亚西部沙漠主导了中亚黄土粉尘的物质来源。

S08-P-1

舟曲高分辨率黄土记录揭示的青藏高原东缘末次冰期以来季风变化历史

杨胜利[1*]，陈梓炫[1]，李琼[1]，刘楠楠[1]，刘维明[2]

1 兰州大学，资源环境学院&西部环境教育部重点实验室

2 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所

* shlyang@lzu.edu.cn

青藏高原东缘广泛存在的风成黄土沉积是记录过去粉尘活动和亚洲季风变化历史的重要的陆地档案。然而目前由于缺乏可靠的环境重建记录，我们对这些黄土记录的环境变化历史所知甚少。我们对舟曲黄土序列进行了详细的石英光释光（OSL）测年，建立了可靠的年代框架，并且利用多种环境指标重建了约 6 万年以来的环境变化历史。结果显示，末次冰期以来舟曲黄土粉尘堆积速率波动显著，氧同位素三阶段（MIS3）时期的粉尘堆积速率（MAR）相对较高且稳定；最高的 MAR 出现在 MIS2，粉尘堆积速率的峰值出现在约 19-25 ka；而在全新世期间粉尘堆积速率较低。古环境重建记录表明，在 MIS3 期间，气候变化存在频率高、幅度大的特征，在轨道尺度的变化上叠加了千年尺度的快速变化。MIS 3 早期降水较少和温度较低， MIS 3 后期降水显著增多、温度升高，气候暖湿程度接近间冰期水平。我们的分析表明印度夏季风和降水的变化主要是由斜率与岁差周期、半球间强迫引起的；而温度变化主要受北半球高纬度气候系统、斜率与岁差周期控制。我们的结果有助于更好地理解青藏高原东缘季风演化和粉尘活动历史。

S08-P-2

黄土高原黄土上粉砂层 L9 古地磁结果的空间差异及机制

高新勃[1*]，郝青振[2]，靳春胜[2]，邓成龙[2]，彭淑贞[3]，韩龙[4]，付玉[2]，武雪超[5]

1 中国地震局地质研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 泰山学院
4 郑州大学
5 同济大学
* xinbogao@ies.ac.cn

我国黄土高原黄土地层中第9层黄土层L9，也叫“上粉砂层”，由于其较大的厚度和较粗的粒度成为黄土野外地层划分的重要标志层，代表了一种极端干旱条件下的黄土沉积。然而，学术界在这一粉砂层的成因上还存较大的争议。

最近我们在探究黄土重磁化的机制上对这一问题有了新的认识。L9 不仅具有异常的沉积学特征，而且也显示出异常的古地磁学特征。主要表现在，前人对黄土高原东部多个剖面的研究结果表明，L9 上部粒度最粗的层位记录了稳定正极性的古地磁结果，而非地层本身对应的负极性，并将这一现象解释为粗颗粒磁铁矿的重磁化。然而，我们最近在黄土高原西部的研究结果却发现，该地区多个剖面 L9 最粗层位记录了稳定的负极性，与黄土高原东部截然不同。

进一步磁性矿物学的研究结果表明，L9 古地磁结果的空间差异主要源于空间上特征剩磁载磁矿物的差异。黄土高原东部地区主要载磁矿物是磁铁矿，而西部是赤铁矿。相对于粗颗粒的磁铁矿，赤铁矿较难被后期重磁化，所以保留了原始负极性的古地磁信号。

黄土高原空间上差异的载磁矿物进一步表明，在 L9 沉积时，黄土高原粉尘物源的空间差异。考虑到黄土高原西部靠近青藏高原东北缘，伴随着高原的阶段性构造活动，高原冰川的广泛发育，河流下切和新鲜岩石的暴露等过程都会加速该地区粉尘的产生，富含赤铁矿的粗颗粒粉尘由于较粗的粒度，只能被搬运到邻近的黄土高原西部地区。据此，我们提出，黄土高原黄土上粉砂层 L9 的形成主要响应的是青藏高原东北缘的阶段性构造活动。

S08-P-3S

欧亚大陆黄土碎屑磁化率记录的中更新世转型后物理侵蚀增强

宁文晓 [1,2]，昝金波 [1,2*]，Friedrich Heller [3]，方小敏 [1,2]，张伟林 [1,2]，康健 [1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所
2 中国科学院大学
3 Institut für Geophysik, ETH-Zentrum, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zürich, Switzerland
* zanjb@itpcas.ac.cn

欧亚大陆风成黄土包含了粉尘源区过去的气候变化和侵蚀历史等宝贵的信息。与欧亚大陆黄土古气候的广泛研究相比，黄土所蕴含的侵蚀信息仍只受到较少关注，尤其是在全球或半球尺度。本研究结合柠檬酸盐-碳酸氢盐-连二亚硫酸盐(CBD)磁性矿物提取程序和黄土磁学参数的线性回归分析，发现在~ 0.6-0.5 Ma 之后，中亚、欧洲和中国黄土高原的第四纪黄土沉积的碎屑磁化率同步增加。这一特征表明，中更新世气候转型后，粉尘源区周围的山脉发生了强烈的冰川侵蚀或物理风化，导致欧亚大陆黄土的碎屑磁化率急剧增加。这一发现也为晚新生代以来全球变冷与粉尘源区侵蚀的密切关系提供了新的见解。

S08-P-4S

微体炭屑记录的黄土高原全新世植被演化历史

王梓莎 [1,2]，苗运法 [1,2*]，邹亚国 [1,2]，赵永涛 [1]，韩文霞 [3]，张宏亮 [4]，张志高 [4]，高长海 [4]，张孜越 [1,2]，卢银 [5]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，沙漠与沙漠化重点实验室
2 中国科学院大学
3 临沂大学，资源环境学院

4 安阳师范学院，资源环境与旅游学院
5 同济大学
* yunfine2000@sina.com

黄土高原位于东亚夏季风的边缘地带，环境和植被对气候变化的响应十分敏感。这里深厚的黄土-古土壤风成沉积序列是古气候、古环境的研究的理想载体。微体炭屑，作为植物体不完全燃烧的产物，可以用于指示过去野火活动的强度与频率。已有研究表明，不同植物（草本和木本）燃烧产生的微体炭屑形态上具有差异，故而微体炭屑形态可以用于指示野火的燃料类型。基于此，我们获取了黄土高原地区 5 个剖面（渭源、灵台、洛川、锦界和西高）全新世期间的微体炭屑形态学记录（长圆比），重建了黄土高原地区大空间尺度上全新世生物燃料的历史。此外，我们收集了黄土高原地区 14 条全新世孢粉记录，集成了其草本孢粉记录，并基于生物群区划方法完成了其中 10 条具有详细孢粉记录的古植被定量重建。对集成结果的 Pearson 相关性分析表明，集成的长圆比与集成的草本孢粉、公海重建的降水记录存在中等程度负相关（r=0.49，r=0.43），重建的草本孢粉结果与重建的森林植物类群得分存在强负相关（r=-0.73）。中全新世期间（~7500-3000 yr BP），黄土高原地区的气候温暖而湿润，降水高出早全新世~150 mm（Chen et al., 2015），温度高出~2 ℃（Dong et al., 2022）。得益于该时段温暖、潮湿的气候条件，长圆比集成记录指示黄土高原地区发育了繁盛的草地，这与草本孢粉集成结果一致。同时，古植被重建结果表明在这一时期，草地相对森林实现了更多的发育和扩张。晚全新世（~3000 yr BP）之后，人类活动频繁，并通过有意识的燃料选择影响生物燃料历史，导致这一时期长圆比集成结果与草本孢粉记录出现分异。结合前人对植被历史与耕地发展的研究，黄土高原地区人类活动对植被历史的影响可能晚于其对生物燃料历史~1000 年。总之，在晚全新世，人类活动和恶化的气候条件共同影响了植被演化。

由于中全新世的水热条件是未来变暖的最近气候相似型，我们认为未来全球变化情境下，温暖而湿润的气候环境可能会导致黄土高原地区草地而非森林的持续发育。该认识可能会为未来绿化方案的制定提供一定参考。此外，在全新世或者更长的时间尺度上，相对更易保存的微体炭屑可能会蕴含更多的除了野火演化历史以外的信息。未来我们将致力于微体炭屑及其形态学方面的进一步研究。

S08-P-5

晚中新世-更新世黄土高原物源空间分异逐步增大

彭文彬[1,2]，张浩博[2]，Alex Pullen[3]，李峁潼[2]，潘保田[2]，肖文交[4]，聂军胜[2*]

1 枣庄学院，旅游与资源环境学院
2 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室
3 克莱姆森大学，环境工程与地球科学实验室
4 中国科学院新疆生态与地理研究所
* jnie@lzu.edu.cn

黄土高原黄土-红粘土是最完整的新近纪-第四纪陆地沉积物档案之一，认识黄土高原物源的时空变化是理解亚洲季风变化、亚洲内陆干旱化以及与黄河演化关系的关键。

基于锆石 U-Pb 年代方法的黄土高原物源研究主要集中在第四纪黄土，并证明了黄土高原东北部和中西部第四纪黄土存在明显的物源差异。然而由于用于黄土高原中新世晚期-上新世红粘土序列物源研究的锆石 U-Pb 年代数据较少，因而无法确定的判断黄土高原红粘土物源你是否存在空间变化。

为了探究黄土高原红粘土序列物源是否存在空间变化。本研究对黄土高原东北部佳县剖面的晚中新世-上新世红粘土序列进行了锆石 U-Pb 年代研究（n＞400），并与黄土高原中部朝那剖面红粘土的锆石 U-Pb 年代数据进行了对比。研究结果显示黄土高原在晚中新世时期空间分异较小，随着时间推移有逐步扩大的趋势。这主要是由于黄土

高原东北部物源随沉积年代的变化发生了显著的变化，而中西部地区物源随时间变化较小。通过与区域构造和气候记录进行对比，发现黄土高原东北部物源随时间变化响应了晚中新世祁连山隆升剥蚀加强、早上新世全球变暖和气候湿润以及晚上新世气候变率加剧等因素的影响，这些因素在不同时期造成了沉积物供应、沉积物可利用性以及风力强度的变化，从而引起了观察到的黄土高原东北部粉尘物源和沉积速率的变化。

S08-P-6S

青藏高原色林错介形类碳氧同位素反映的全新世以来的气候变化

何志兴[1]，谢曼平[1*]，郭姝雯[1]，吴璇[1]

1 云南师范大学，地理学部

* formelody@126.com

介形类生长周期短，其壳体在有效削弱湖泊水体中同位素累积效应的同时可保持对气候反映敏感，并且具有原地沉积、连续沉积的优势，对于研究青藏高原等气候敏感区的气候演化过程具有特殊的意义。本研究以青藏高原中部地区湖泊色林错沉积物为对象，对其中的介形类壳体进行种属鉴定及碳氧同位素分析，重建色林错全新世以来的气候变化过程。研究表明，色林错近 11.3 cal ka B.P.的气候演化过程分为 4 个阶段：阶段I（11.29~7.90 cal ka B.P.）气候逐渐温暖，湖泊水位升高，湖泊补给以降水补给为主；阶段II（7.90~4.64 cal ka B.P.）以冰川融水补给的温暖干旱气候，湖泊水位较低；阶段III（4.64~1.81 cal ka B.P.）水位上升，温度相对下降，气候逐渐湿润；阶段VI（1.81cal ka B.P.至今）气候逐渐温暖湿润，0.74 cal ka B.P.以来色林错湖泊水位迅速增加。季风环流和西风急流交替产生的降水和温度变化是影响色林错全新世以来的水位变化的主要因素。早全新世受季风影响较明显，气候温暖；中晚全新世受西风影响更为明显，随着西风强度的不断增加，全新世中期、晚期又呈现出不同的气候特征。

S08-P-7

青藏高原东北部晚新生代粘土矿物化学风化记录

鲍晶[1*]，宋春晖[2]，杨一博[3]

1 东华理工大学，地球科学学院

2 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

3 中国科学院青藏高原研究所

* baobo328@126.com

青藏高原周边新生代盆地沉积物是研究高原隆升、风化剥蚀与气候变化及其相互关系的重要载体。柴达木盆地是青藏高原北部最大的中、新生代陆相盆地，被昆仑山、阿尔金山、祁连山和鄂拉山所围限，具有良好的封闭性，与周缘山脉构成很好的“盆山耦合”体系，同时其新生代地层发育良好，是研究新生代风化剥蚀、构造隆升与气候变化相互关系的理想地区。但是，由于盆地中沉积相的频繁变化及砾石、砂岩层在地层中的频繁出现，使得在高原北部恢复化学风化历史受到阻碍。因此，本文以柴达木盆地东北部怀头他拉剖面（15.3-1.8 Ma）沉积物粘粒级（< 2 μm）组分的粘土矿物及元素变化为研究对象，依据伊利石、绿泥石、伊蒙混层及（伊蒙混层+蒙脱石）/（伊利石+绿泥石）变化特征，结合< 2 μm 硅酸盐粘粒 CIA（化学风化指数）、K_2O/Al_2O_3 等元素比值变化特征，获得了柴达木盆地中中新世以来化学风化强度变化序列，即 15.3-12.6 M 化学风化较强烈；12.6 Ma 开始快速减弱。通过化学风化强度变化曲线与气候、构造事件的对比分析，发现化学风化强度变化趋势与全球温度及柴达木盆地气候变化曲线较吻合，认为其变化特征主要受控于中中新世以来气候变化；另外，中中新世以来青藏高原东北部强烈构造隆升可能也是化学风化强度持续减弱的原因之一，尤其~11-9.6 Ma 化学风

化曲线强烈波动与物源变化十分相关，可能主要受控于强烈构造活动驱动的物质来源改变；其次，~7.8-5 Ma 化学风化强度的波动增大可能受亚洲夏季风带来的强降水影响。

S08-P-8

青藏高原东部晚始新世-中中新世气候演化记录

孟庆泉[1*]，宋春晖[1]，张晶[1]，何鹏举[1]，谭昱[1]，马尉健[1]，郭珺[1]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

* mengqq@lzu.edu.cn

随着青藏高原构造隆升和古气候变化研究的不断深入，关于青藏高原隆升-风化剥蚀-气候变化相互作用的研究已成为构造动力学与全球气候变化前沿研究的重要科学问题之一。青藏高原东部地处高原东西向构造带向南北向构造带转折位置，位于南亚季风区与青藏高原高寒区两大自然地理交汇处，是研究高原构造隆升-风化剥蚀-气候变化相互作用的理想地区。但由于受该区出露地层的限制，前人有关高原构造和区域古气候等方面研究记录主要局限于 35 Ma 以前。西藏东部类乌齐地区保存了一套连续沉积的新生代地层，下部岩性主要以紫红色块状砾岩、砂岩为主，夹粉砂岩、泥岩，上部岩性主要以黄绿色粉砂岩、泥岩为主，含多层煤线，部分层位可见植物化石组合与铁质结核，地层总厚度 1632m，古地磁年龄为 38.3-15.9 Ma，为古气候研究提供了良好的研究素材。通过对其沉积物< 2μm 粘粒组分中的粘土矿物种类、含量、地球化学特征（常量与微量元素）研究，结合沉积物色度、碳酸钙含量以及沉积特征分析，恢复了研究区晚始新世-中中新世古气候演化历史。其中 38.3-26.4 Ma 沉积相类型为冲积扇-河流相，沉积物中伊利石、绿泥石和碳酸钙含量以及沉积物红度 a*值都相对较高，而总蒙脱石和高岭石含量以及沉积物亮度 L*值都相对低，元素地球化学特征反映出化学风化强度较弱，指示研究区该时期气候特征为总体干旱；而 26.4-15.9 Ma 沉积相为湖泊-沼泽相，沉积物中高岭石、总蒙脱石含量显著增加，绿泥石、伊利石含量显著降低，同时，a*值快速降为剖面最低值，L*值明显增大并达到剖面最大值，而且 a*、L*具明显的高频高振幅特征，化学风化强度显著增强，表明该时期气候总体湿润并存在明显的干-湿周期波动变化。通过与前人已获得的区域构造事件和区域/全球气候变化进行综合对比研究，本研究认为南亚季风在 26.4 Ma 增强并向北推进至青藏高原东部类乌齐地区（32°N），并在约 20.7 Ma 强度进一步增强。

S08-P-9S

柴达木盆地西部中新世湖泊演化：来自水生植物花粉的证据

王海涛[1,2]，吴福莉[1*]，杨立业[3]，方小敏[1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院大学

3 普洱市自然资源和规划局

* wufuli@itpcas.ac.cn

现今呈荒漠景观的柴达木盆地，以往研究表明渐新世时可能曾存在一个大湖，该湖在晚中新世后逐步消亡（Chen and Bowler, 1986; Zhang, 1987; Shen et al., 1993; Xia et al., 2001; Tuo and Philp, 2003; Dang et al., 2004; Chang et al., 2008）。但至今，其收缩演化的具体过程仍不清晰。柴达木盆地西部钻探（SG-4 孔）表明其地层为一套连续的中新世湖相沉积，可为研究湖泊的演化提供绝佳的材料。水生植物包括挺水植物、沉水植物和浮叶植物，其相对含量的变化可以较好地指示湖泊水位的升降进而指示湖泊的扩张或收缩，本研究对 SG-4 钻孔岩芯开展了详细的孢粉研究，获得了沉积期间连续的水生

植物花粉记录。研究结果显示，沉水植物花粉含量以 14.4 Ma 和 8.6 Ma 为界，从 48.5%降至 17.1%又降至 12.9%，呈阶段性逐步降低趋势，而挺水植物花粉含量则相应的由 51.1%增加至 82.3%又增加至 86.9%，指示湖泊阶段性收缩。本研究又进一步综合集成了盆地周边 8 条中新世沉积和气候记录，发现盆地西部中新世气候在 14.4 Ma 和 8.6 Ma 时，一致地呈现出阶段性逐步变干趋势，湖泊在沉积中心从盆地西部向中部迁移的过程中也呈阶段性收缩。通过综合对比，对其变化机制进行了推测，初步认为中中新世气候适宜期后的全球降温可能导致了气候变干，湖泊收缩，~9-8 Ma 构造活动的增强可能进一步加剧了气候变干及柴达木古湖的进一步收缩。该研究为中新世柴达木盆地湖泊的演化提供了重要的有机植被证据。本研究获得了自然科学基金委、国家重点研发计划及第二次青藏高原科学考察等项目的资助。

S08-P-10

青藏高原隆升与全球变化：来自高原东北部的记录

杨一博[1*]，方小敏[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

* yangyibo@itpcas.ac.cn

新生代青藏高原隆升产生了巨大的环境效应，不仅影响了亚洲季风-干旱气候格局形成和演化，还通过风化和风尘等过程影响了全球气候变化。青藏高原东北部保存有最完整的隆升-剥蚀-风化-环境记录，年代可以连续追溯到五千多万年前，为系统揭示高原隆升与全球变化的关系提供了绝佳机会。本研究以青藏高原东北部盆地多条精确年代控制的新生代沉积序列为基础，系统开展“风化剥蚀-季风和干旱化-全球变化”的关联性研究，建立了高原东北部五千多万年以来大陆化学风化强度历史并揭示其驱动机理；揭示了青藏高原隆升驱动亚洲季风-干旱环境的耦合演化及其与新生代全球变化的新联系。

S08-P-11

青藏高原东南缘剑川盆地始新世地层及多指标记录的 41 MA 区域古环境转变

申苗苗[1]，颜茂都[1*]，昝金波[1]，张伟林[1]，方小敏[1]，孟庆泉[2]，张涛[2]，徐万龙[1,3]，张延广[1,3]，于亮[4]，付强[1,3]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

3 中国科学院大学

4 德州学院，生态与资源环境学院

* maoduyan@itpcas.ac.cn

青藏高原东南缘剑川盆地的早新生代地层记录了现代亚洲气候环境格局早期演化的关键信息。然而，诸多学者关于剑川盆地的地层序列及地质年代的认识仍存在很大争议。针对这一问题，本研究在对剑川盆地新生代地层开展详细野外地质调查的基础上，系统梳理了剑川盆地现有的早新生代地层和年代学认识，并对剑川盆地双河剖面揭露的早新生代地层开展了岩相学、矿物学、岩石磁学、漫反射光谱、地球化学等多指标分析，以深入对关键时段亚洲气候环境演化的认识。结果显示：剑川盆地始新世地层为相变较大的连续沉积，双河地区及其南部出露的 37 Ma 的火山岩/火山碎屑岩层为区域地层提供了可靠的绝对年代限定；多个古环境代用指标指示剑川盆地在 41 Ma 存在显著的由干到湿的转变，这是由印度季风北向扩展到云南的亚热带地区所致。本研究系统梳理了对剑川盆地的早新生代地层的认识并为亚洲气候环境早期重组提供了重要证据。

S08-P-12

临夏盆地晚新生代三趾马动物群生存时限及其环境意义

张伟林[1*]，方小敏[1]，张涛[2]，咎金波[1]

1 中国科学院青藏高原研究所 青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 兰州大学地质科学与矿产资源学院

* zhangwl@itpcas.ac.cn

临夏盆地在构造地貌上处于高原的东北边缘，在气候带上位于东亚季风区的西部边缘区，沉积了巨厚的新生代河湖相沉积物，且以盛产哺乳类动物化石著称。截至目前，临夏盆地已在100多个化石地点并搜集了超过3万件化石标本并为此在和政县建立了3个大型动物化石博物馆，其中四大哺乳类动物群最为典型，即晚渐新世的巨犀动物群、中中新世的铲齿象动物群、晚中新世到早上新世的三趾马动物群以及早更新世的真马动物群；其中三趾马动物群演化完整记录了晚中中新世以来亚洲内陆干旱化和东亚季风演化历史。针对以往的化石产出层位进行岩相分析，普遍认为同一动物群产出层位在时间上具有一致性。为进一步验证各动物群在临夏盆地生存的时间，通过对含有三趾马动物群的一系列剖面进行综合对比，揭示出三趾马动物群自晚中中新世跨越白令海峡以来经历了五次重要的演化进程，分别为11.5Ma、8.2Ma、6.3Ma、5.3Ma 与 2.5Ma，同时认为临夏前陆盆地不同时期的构造演化过程造成了不同区域动物群的产出层位时间不一致，即由盆地中心往盆地边缘动物群化石逐渐年轻。同时，洪泛平原古土壤发育程度、沉积物色度、孢粉记录以及三趾马个体形态的转变指示了临夏盆地在中新世中晚期以来持续干旱化，由温暖湿润的森林环境逐渐转变为温暖的半干旱草原环境。

S08-P-13S

基于孢粉的晚新生代降水定量重建研究进展与展望

牛改红[1,2]，苗运法[1,2*]，张腾[1,2]，王雪莲[1]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，沙漠与沙漠化重点实验室

2 中国科学院大学

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

晚新生代以来的亚洲内陆干旱化具有全球意义，但其演化过程和驱动因素仍存有很大争议。因此，在陆地面积最大的亚洲中纬度干旱地区开展大空间降水重建，对理解该地区干旱化演变过程及其驱动机制具有重要意义，同时能够为未来全球变暖情景下亚洲中纬度地区干旱程度预估提供重要的参考。

然而，迄今为止，对该地区降水定量重建的研究相对偏少，并且结果差异较大。例如，基于植物化石组合的共存分析法显示，中国西北地区在中中新世年平均降水量(MAP)超过 800 mm，不存在明显的干旱地区和年降水梯度变化。然而，在同地区利用随机森林方法重建结果则显示 MAP 较低，平均值为 579 mm (范围为 393-754 mm)，基于磁参数转换函数重建的 MAP 更低，为 324 mm (范围为 224-574 mm)。另外，最近基于共存法、共存似然法重建中新世时期中国西北地区的降水结果显示，该地区早中新世年平均降水约为 550~1000 mm，中中新世约为 500~1100 mm，晚中新世约为 450~600 mm，比同期华南和华东地区降水明显偏少，存在一个较为明显干旱区。综上，有关晚新生代以来亚洲干旱中纬度地区降水重建仍然存在极大的不确定性。基于以上研究的启发，我们利用中国2059个表土花粉数据中麻黄、白刺和苋科三种耐旱植被的孢粉百分比之和与年降水量之间的定量关系，构建了花粉-降水边界函数(Pollen–MAP Boundary Estimation)，并定量重建了柴达木盆地及邻区中新世中期降水，结果显示最西端柴达木盆地年平均降水量约为 305 mm，中部约为

380 mm 和 440 mm，最东端泽库盆地约为632 mm，进一步表明亚洲内陆类似现代的古气候梯度可能早在中新世中期就已形成。

未来，我们将利用整个北半球表土孢粉数据，详细分析孢粉类群与年降水之间定量关系，进一步完善花粉-降水边界函数，以期从孢粉学角度对晚新生代以来亚洲中纬度干旱地区开展大空间降水的定量重建，深化对该地区干旱化演变过程及其驱动机制的理解。

S08-P-14

青藏高原东北缘循化盆地中-晚中新世增湿事件及其驱动机制

宋博文[1,2*]，胡飞[3]，梁钰[4]，张克信[1,2]，季军良[2]，Thomas J. Algeo[5]，James C. Hower[6]，杨廷禄[7]，张旭[1]

1 中国地质大学（武汉），地质调查研究院

2 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

3 广州地质调查研究院

4 中国地质大学（武汉），资源学院

5 University of Cincinnati,Department of Geology

6 University of Kentucky,Center for Applied Energy Research

7 东华理工大学，地球科学学院

* bwsong1985@cug.edu.cn

新生代青藏高原的显著隆升不仅改造了亚洲地区的地理地貌及构造格局，还对新生代东亚区域以及全球古气候的变迁产生了深刻影响。青藏高原隆升对东亚区域及全球新生代环境格局的影响一直是国际地学领域研究的热点。自上世纪以来，国内外地学界一直聚焦于构造和气候之间的相互耦合作用，特别是青藏高原新生代隆升及其对区域及全球气候变化的影响。青藏高原北缘晚新生代干旱化加剧与高原剧烈构造活动密切相关，但是由于青藏高原构造抬升与全球变冷这两大驱动因素在新生代特定时间节点上存在重合，因而很难确定构造隆升与全球气候变化在控制青藏高原东北缘晚新生代干旱化加剧这一重大事件中所扮演的具体角色。青藏高原东北缘构造和气候之间相互耦合作用的复杂性突显了利用多种古气候指标全面获取汇水盆地古生态和古水文信息的重要性。本研究通过对循化盆地西沟剖面中-晚中新世河湖相地层开展全岩有机碳同位素、脂质生物标志化合物、微体古生物和有机岩相特征综合分析，重建了循化盆地中-晚中新世古环境和古生态演变历史，并探讨其可能的驱动机制。研究显示，循化盆地在~12.7 Ma 开始气候逐渐增湿，降雨量增加、湖泊水位上升、水域显著扩大。积石山在~13 Ma 的初始抬升成为循化盆地东侧的地理屏障，阻挡了西风带，使得携带的水汽停滞在山脉前，受由此产生的“截雨效应”影响山脉西侧的循化盆地降雨量增加，从而显著增加了循化盆地的湿润度。~8 Ma 之后，拉脊山和积石山发生显著隆升到足够阻挡东亚季风和西风带的高度，阻碍了水汽往盆内输送的通道，从而导致了~8 Ma 循化盆地的显著干旱化。

S08-P-15

孢粉证据揭示江南从荒漠到森林的演变过程

谢宇龙[1]，吴福莉[1*]，方小敏[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

* wufuli@itpcas.ac.cn

江南地区是受东亚季风影响显著的湿润季风区，环境格局与世界同纬度其他地区干旱的沙漠形成强烈反差，但目前对该地区季风气候的起源及驱动机制一直存在较大争议。通过对江西中部清江盆地始新世孢粉进行研究，同时利用气候幅度法和共存分析方法定量重建古气候参数，结果表明，清江盆地始新世时期的植被和气候发生了明显转变：从早始新世以耐旱麻黄为主的灌木荒

漠转变为晚始新世以喜湿润的杉科植物为主的沼泽森林，年降水量从不足 200 mm 大幅增加到 1400 mm，且晚始新世降水具有明显的季节性。表明东亚季风至少在晚始新世就已经在江南地区建立，比传统观点认为的晚渐新世/早中新世的要早得多。通过开展晚始新世青藏高原的构造演化与古地理格局的集成研究，推断晚始新世江南地区东亚季风的建立主要是受古地理变化控制，而受大气 CO_2 浓度的影响较小。晚始新世印度板块漂移速率急剧下降指示印度板块与亚洲板块全面碰撞，导致此时新特提斯海快速关闭、副特提斯海急剧后退、青藏高原南部冈底斯山快速北移和青藏高原中部、东南部快速隆升，并耦合南极冰盖增长，共同导致了亚洲陆地面积急速扩大，强化了海陆热力对比，导致东亚季风在晚始新世时期显著增强和向北扩张。该研究为理解东亚季风早期起源演化提供新的视野，并质疑了江南湿润的季风气候起源于新近纪的传统观点。

S08-P-16S

中晚中新世祁连山的形成—来自祁连山西部腹地的孢粉学证据

杨永恒[1,4]，苗运法[1*]，王雪莲[1]，方小敏[2,4]，李强[3,4]，李立武[1]，牛改红[1,4]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院 兰州 730000

2 中国科学院青藏高原研究所, 中国科学院大陆碰撞与高原隆升重点实验室 北京 100871

3 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室 北京 100044

4 中国科学院大学 北京 100049

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

作为青藏高原东北部的地理单元—祁连山脉与高原其他地区一起对东亚气候系统起到重要的地形效应, 同时地表相对湿润的高山针叶林为主的垂直地带性植被景观被荒漠植被包围, 形成亚洲内陆干旱区的“天然湿岛”。基于孢粉组合重建祁连山地区过去的植被景观、气候和古海拔历史, 对理解祁连山“湿岛”效应的形成具有重要意义。

近年来对祁连山及其周边地区中新世植被、气候和古海拔重建工作取得大量进展, 包括利用孢粉指示植被类型主要以云杉属-松属-莎科-麻黄科为主 (Miaoet al., 2011, 2023), 并揭示该地区的持续干旱化 (Miao et al., 2011, 2013)。特别是目前我们课题组开创的孢粉古高度计 TP/TPAP((铁杉属+罗汉松属)/(铁杉属+罗汉松属+冷杉属+云杉属)), 有效重建了中中新世以来青藏高原东北部从低海拔到高海拔的隆升历史 (Miao et al., 2022)。本研究则是在原来工作的基础上, 对祁连山西部腹地的山间盆地-红崖子盆地中晚中新世地层 (见 Li et al.（2013）,俄博图化石哺乳动物群年龄限定为~13-11.6 Ma)开展孢粉学研究, 用以直接重建祁连山西部地区的古植被和古海拔, 为丰富高原东北部隆升的认识和理解祁连山“湿岛”效应形成提供重要证据。结果显示:(1)孢粉组合主要以山地针叶林 (平均含量~68%)为主,落叶阔叶林 (平均含量~15%)和灌木-草本植物 (平均含量~14%)次之, 表现出典型的山地针叶林为主的垂直地带性特征;(2) 基于 TP/TPAP 方法初步得到研究区流域中值为~3500 m, 与同期柴达木盆地记录相当, 显示祁连山高海拔地形此时已经存在;(3) 利用课题组最新的 DS (Desert-steppe taxa 耐旱植被孢粉组合)方法重建了研究区该时期最适宜降水为~412 mm, 并重建了同期祁连山周边降水:KC-1 为~284 mm, 大红沟为~353 mm。相较于盆地, 祁连山西部的降水偏高, 可能代表“湿岛”的形成。综上所述, 中晚中新世祁连山地区相较于周缘盆地是一个山地针叶林为主的高海拔“湿岛”环境, 可能表明青藏高原东北部类似现今的植被、地形和气候格局在该时期已经基本形成, 这为进一步理解晚新生代青藏高原隆升-西北内陆干旱化-生物多样性演化之间的关系提供了新证据。

S08-P-17

青藏高原东北部中中新世植物多样性及昆虫-植物共生作用研究

王雪莲[1]，苗运法[1*]，孟庆泉[2]，杨永恒[1]，方小敏[3]，张腾[1]，牛改红[1]，赵永涛[1]，闫德飞[2]，解三平[2]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000，中国科学院西北生态环境资源研究院

2 兰州大学, 兰州 730000

3 中国科学院青藏高原研究所, 北京, 100101

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

植食性昆虫与植物是维持陆地生态系统稳定性的重要部分，二者之间的共生模式对气候环境响应极其敏感。探索地史时期陆地生态系统中昆虫植食行为的演化是探究区域环境 (海拔)与气候变化生态学响应的重要切入点，特别是在青藏高原这一高海拔地区。然而，目前在该地区的新生代昆虫植食与海拔、气候演变的研究仍然较为有限，仅包括芒康盆地晚始新世-早渐新世卡均植物群记录的动植物关系与现代亚热带森林相似 (Deng et al., 2020)，柴达木盆地中中新世晚期怀头他拉植物群表明了生态系统中植物被昆虫取食的高频性(Li et al., 2021)，这些报道为理解青藏高原局部地区不同时代的陆地生态环境演化提供了重要证据。然而，由于研究材料的限制，对植被-海拔-气候变化-昆虫植食的相互影响的研究仍然有限，且不连续。本研究以青藏高原东北缘柴达木盆地中中新世 (~15-10Ma)瑙格植物群为载体，开展植物化石组合及昆虫植食遗迹进行古海拔、植被多样性及气候环境演变的相关工作。结果表明：（1）植物化石(叶片及果实)主要以杨柳科的杨属、柳属、豆科的豆荚属、桦木科的桦木属以及胡桃科的胡桃属等落叶阔叶类植被为主；（2）化石组合可划分为 30 个形态型，结合 CLAMP 分析得到年均温为 17.1 ± 2.1 ℃，古湿热焓为 326.1 ± 3.4 kJ/kg。根据同纬度同期模拟的海平面湿热焓 (337 kJ/kg)及湿焓法 (公式：$\Delta Z = (H_{sea\ level} - H_{fossil}) / g$，$g = 9.81\ m/s^2$），得到该地区在 15 Ma 的古海拔为~1,120 ± 300 m；（3）初步估计昆虫取食损害的频率为 65%，主要的取食形态包括孔洞取食、表面取食、刺吸式取食、边缘取食、骨架化取食及潜叶取食，这些取食形态可细分为 48 个破坏类型，显示出昆虫类型丰富的多样性，且组成成分及较高取食频率反映的温暖湿润气候能够与 CLAMP 的模拟结果相耦合。该研究不仅支持了课题组在该地区基于孢粉古高度计获取的中中新世较低的盆地海拔 (Miao et al., 2022)，同时，结合临近地区怀头他拉植物群 13 Ma (Li et al., 2021)和 8 Ma(新材料)昆虫取食破坏类型的快速下降，以及青藏高原东北部不同阶段化石物种多样性及气候演变证据，推测青藏高原隆升和全球变冷可能对昆虫取食多样性的明显下降均起到了重要作用。

S08-P-18S

东昆仑冰缘环境石英砂表面特征及环境意义—以玉珠峰冰川为例

申茂华[1*]，张延广[1]，方小敏[2]，毛子强[1]，昝金波[1]，杨一博[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院重庆学院，资源与环境学院

* shenmh@itpcas.ac.cn

冰冻圈演化不仅与“亚洲水塔”变化、高原地表剥蚀风化及荒漠化紧密相关，还深刻影响着亚洲季风系统和全球气候，准确识别冰川作用形成的细粒碎屑物质是研究冰冻圈演化的关键。石英砂表面形态结构特征是指示碎屑物质搬运营力的重要指标之一，但是缺乏系统分析冰川作用细粒碎屑物质石英砂表面形态结构特征的研究，制约了地层中冰川作用碎屑物质的准确识别及与之相

关的冰冻圈演化等问题的研究。本文系统采集了青藏高原典型现代大陆型冰川玉珠峰冰川区域不同沉积环境（冰川末端、侧碛、冰水沉积物、冰水扇、冰前河漫滩、冻土表土以及冰缘黄土）中的细粒碎屑沉积物，分粒级（1~3φ、3~4φ、<4φ）进行石英砂表面形态结构特征研究。结果显示：粉砂粒级（10~63μm）颗粒的石英砂表面结构最为发育，尤其是冰川作用—平行擦痕、压坑、平坦剪切面与粘附碎片；流水作用—机械 V 形坑、水下磨光面；风力作用—新月形撞坑、球状边缘、碟形坑及麻面结构等不同作用对应的诊断特征发育完全且容易识别。此外，综合前人研究成果，从颗粒形态、诊断特征及辅助特征系统提出了 4 种不同石英砂类型的划分标准：冰川砂：棱角及次棱角+压坑、平行擦痕、平坦剪切面与粘附碎片+辅助特征（大中贝壳状断口、翻卷薄片等）；河湖砂：次圆状-圆状+水下磨光面及机械 v 形坑+中小贝壳状断口等；沙漠砂：次圆-圆状+新月形撞坑、球状边 缘、碟形坑及麻面结构；化学作用砂：较发育的化学特征（鳞片状或蜂窝状剥落）+次生硅结晶+贝壳状断口等。本研究不仅揭示了冰缘环境中不同环境下碎屑沉积物的表面结构的差异及影响因素，也为从冰缘黄土中准确识别冰川细粒碎屑物（冰川砂）建立了一套有效的识别方案，为侧面研究青藏高原冰冻圈演化提供了依据。

S08-P-19S

青藏高原东南部典型海洋性冰川冰碛物粒度特征及影响因素——以 23K、24K 冰川为例

张延广[1,2]，方小敏[1*]，申茂华[1,2]，毛子强[3]，张伟林[1]，昝金波[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院大学

3 中国科学院大学重庆学院

* fangxm@itpcas.ac.cn

黄土作为古气候研究的重要支柱之一，得到全球学者的广泛关注，但是关于黄土级物质（粉砂）的产生机制仍没有得到共识。冰川研磨作用产生粉砂是接受度较高的一种解释，但是对冰川研磨作用产生物质的粒度特征还不清楚，难以验证其与黄土物源的直接联系。中国拥有全球黄土分布最厚的地区，也有大量冰川在青藏高原分布，研究青藏高原现代冰碛物的粒度特征可能为验证这个关系提供关键证据。早期学者认为青藏高原冰碛物粒度曲线存在典型的 4-5Φ 细粒峰，并且认为海洋性冰川磨蚀作用较大陆性冰川更强，产生的粉砂更多。但古里雅冰帽冰碛物粒度的研究却证实了大陆性冰川也可以产生大量粉砂物质，并且细颗粒峰的位置可以出现在更细的 7Φ 附近。为进一步研究典型冰川沉积物粒度特征及其影响因素，对藏东南波密附近的 23K、24K 海洋性冰川冰碛物进行研究，发现冰碛物中小于 2 毫米的组分中粉砂及粘土含量达 16.6-77.85%，其粒度频率曲线呈现 4-5Φ 及 6-7Φ 特征粒度峰。冰川侧碛物粒度特征也不相同，23K 冰川前进方向左侧的侧碛物较右侧粒度更细，细颗粒峰的位置也更突出。由于左侧侧碛物以石英砂岩为主，右侧侧碛物以片麻岩、麻粒岩为主，推测可能是两侧基岩岩性差异所致。而 24K 冰川前进方向右侧的侧碛物粒度更细，粒度曲线中细颗粒峰的位置出现在 6-7Φ，左侧侧碛物粒度曲线在粉砂范围呈斜坡状。对 24K 冰川终碛物粒度的研究发现，距现存冰川越远的终碛垄粉砂（4-63 μm）含量越丰富，细颗粒峰(6Φ 附近)也更突出，可能代表了后期水流改造作用等因素的影响。上述结果表明，青藏高原冰碛物中粉砂含量较丰富，呈现典型的 4-5Φ 及 6-7Φ 特征粒度峰，其粒度特征受到基岩岩性、冰碛物类型、后期水流改造等的影响。该研究可为揭示青藏高原典型现代海洋性冰川冰碛物粒度特

征及其影响因素和验证冰碛物与黄土沉积间的关系提供证据。

S08-P-20S

青藏高原东南缘玉龙雪山表土多环芳烃的分布特征及来源分析

李仰状[1,2]，白艳[1*]，方小敏[1]，陈炽皓[1]，刘晓明[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院大学

* baiyan06@itpcas.ac.cn

近年来，极具破坏性的大规模森林火灾频发，严重威胁着人类生命、财产和生态安全。多环芳烃（PAHs）近年来开始广泛被运用于古野火事件的识别与古野火来源的判断。然而，古野火指标（如 PAHs）的植物来源、野火火势强度和野火事件消亡的指标的评估目前仍在开展中。相关的现代过程已经证实野火过后，表层土壤的多环芳烃浓度会有明显的提高，且其分布与成岩、石油和汽车尾气排放等来源的多环芳烃具有显著的不同。我国西南地区林业资源丰富，为研究森林表层土壤中多环芳烃的分布与野火的关系及其影响因素等提供了理想场所。本研究在青藏高原东南缘玉龙雪山沿海拔梯度（1600-4100 m）采集了表土样品，分析了其中的 PAHs 组成和分布特征及其揭示的植被来源和野火高程变化情况，并综合分析野火与不同高度处生态和环境因素之间的关系。初步认识如下：（1）玉龙雪山表土中的 PAHs 以较高温度下燃烧形成的 4-6 环的高分子量的 PAHs 为主，平均占 PAHs 总含量的 90%以上。但表土中 PAHs 浓度与海拔之间的相关性不强，在海拔 3800-4000m 处的几处野火遗迹中 PAHs 含量明显增加，显示野火是该地区 PAHs 的主要来源，更加证实 PAHs 是可靠的古野火指标。另外，借助相关 PAHs 比值分析了玉龙雪山的 PAHs 来源，其中 LOW/Total < ~ 0.75-0.8，指示其主要为当地来源而非异地传输； MPh/Ph、IcdP/(IcdP+BghiP)和 Flu/(Flu+Py) 参数揭示 PAHs 主要源于生物质燃烧，而机动车排放和大气污染影响较小。（2）针叶林燃烧会产生特征的甲基化 PAHs，如 1,7-二甲基菲和惹烯。因此，二甲基菲指标 DMPy 与惹烯指标 Ret/3-ring 代表针叶林的输入。玉龙雪山表土中 DMPy 和 Ret/3-ring 指标在 2200-3500m 海拔处呈现高值，这与玉龙雪山植被分布的垂直地带性显著相关。本 PAH 古野火指标的评估研究对青藏高原新生代以来极端升温时期古野火事件的识别及其控制因素的分析提供重要参考。

S08-P-21S

变质体系剥露风化对新生代海水 87Sr/86Sr 演化的调控：来自现代过程和古水文记录的约束

刘玉东[1]，杨一博[1*]，方小敏[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

* yangyibo@itpcas.ac.cn

青藏高原的构造隆升驱动硅酸盐风化增强进而控制全球变冷一直是碳循环领域的热点问题。新生代海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的显著升高被认为是论证“高原隆升是否影响全球碳循环”的关键证据。然而，引起海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 升高的原因至今仍争议颇多。除了硅酸盐风化外，还有变质碳酸盐风化、滑坡风化、冰川风化等多种驱动因素。我们对高原南北两条变质带的综合研究，表明变质体系的剥露风化对区域河水的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 演化发挥了重要作用。现代过程研究表明祁连-柴北缘地区存在类似喜马拉雅地区的高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 变质热液体系。位于高原南北两侧的变质热液体系主导着青藏高原周边最具放射性 Sr 的河流系统。这里，我们系统展示了高原北部

多个盆地的沉积物碳酸盐 Sr 同位素结果。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值在~25Ma 开始显著升高，与碎屑 Nd 同位素和碎屑 AFT 集成结果，共同揭示了祁连山变质体系在~25Ma 的剥露显著影响了区域古水体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的演化。同时，高原南部的碳酸盐 Sr 同位素结果揭示了伴随着喜马拉雅变质体系（LHS）的剥露，高原南部河流 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 在~8Ma 显著升高。因此，综合南北陆相 Sr 同位素记录共同揭示变质带剥露风化驱动河流 Sr 同位素显著升高，进而可以调控海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 的演化。高级变质岩石从深部逐步剥露的过程也可以较好的解释海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 升高与碰撞间的滞后时间（10-30 Myrs）。

S08-P-22

青藏高原东北缘临夏盆地古近系及其构造地貌演化意义

冯展涛 [1]，张伟林 [1*]，张涛 [2]，方小敏 [1]，宋春晖 [2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

* zhangwl@itpcas.ac.cn

古近纪陇中盆地及周缘地区是研究青藏高原隆升扩展及其相关动力学过程的天然实验场所和探讨亚洲季风-干旱气候形成演化的关键区域。然而，目前陇中盆地内只有兰州和西宁两个次级盆地获得了早始新世以来完整的沉积序列，而临夏、循化盆地新生代地层序列仅为渐新世以来。这种次级盆地沉积起始年代不一致，使得陇中盆地古近纪地貌演化过程存在较大争议。本研究选取临夏盆地西部大河家地区出露一套较为完整、连续的地层为研究对象，首先利用高分辨率磁性地层学方法，获得了临夏盆地大河家剖面磁性地层年代为~54–40 Ma，将临夏盆地新生代地层底界年代从先前认为的早渐新世延伸至早始新世，揭示了临夏、西宁和兰州盆地雏形形成基本是同步的。其次，在地层年代控制下，通过沉积相变化、物源信息、环境磁学和漫反射光谱分析，探讨了始新世临夏盆地及其周边区域沉积演化、造山隆升过程和气候变化的关系。结果显示：1）碎屑锆石 U-Pb 年龄谱在 51 Ma 之前主要以 200–300 Ma 年龄峰为主，与西秦岭北部源区年龄峰相似；51 Ma 之后，碎屑锆石年龄为 1500–2000 Ma 和 2300–2600 Ma 的组分明显增加，U-Pb 年龄谱与西秦岭南部和东昆仑东段相似，推断~51 Ma 前后西秦岭北部和南部相继隆升为临夏盆地提供碎屑物质，可能揭示印度-欧亚板块碰撞初期引起的构造变形和地壳增厚在高原北部得到迅速响应；2）临夏盆地沉积物在 51.7 Ma 磁性显著增强，在中始新世（47.6Ma）沉积物磁性减弱。磁性在前期增强是相对湿润的环境下周缘山脉强烈剥蚀使大量单畴（SD）磁铁矿在盆地快速充填所致，在后期减弱原因是全球气候变冷控制下区域气候变冷变干，大量磁铁矿在缓慢搬运和堆积过程中通过低温氧化作用转化为赤铁矿。本研究成果对青藏高原早期隆升及其环境效应研究具重要参考价值。

S08-P-23

祁连山新生代早期构造变形：低温热年代证据

何鹏举 [1*]，宋春晖 [1]，孟庆泉 [1]，王亚东 [2]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

2 中国科学院西北生态环境资源研究院，油气资源研究中心

* hepj@lzu.edu.cn

祁连山是青藏高原东北向边界，其新生代构造和地形演化对理解青藏高原隆升扩展过程和机制以及气候效应至关重要。然而该关键地区新生代构造变形和地形生长何时开始以及如何发展仍然存在争议。为推动解决该问题，本文在祁连山和周缘盆地开展了原位基岩和沉积碎屑结合的磷灰石低温热年代研究。祁连山西侧的柴达木盆地北缘和肃北盆地新生代沉积碎屑磷灰石裂变径

迹测年结果显示裂变径迹年龄未发生沉积后埋藏热退火，故碎屑热年代记录沉积源区的冷却剥露。柴达木盆地渐新世-上新世地层碎屑磷灰石裂变径迹年龄表现出 60-50Ma 和 40-36Ma 的“静态峰”和 30-8Ma 的“动态峰”。肃北盆地渐新世-中新世地层碎屑磷灰石裂变径迹年龄表现在 60-50Ma 集中分布。这些碎屑磷灰石裂变径迹年龄指示沉积源区祁连山 60-50Ma 时发生了显著的岩石剥露。祁连山西段两个大型逆冲带（柴达木山逆冲带和党河南山逆冲带）原位基岩高程剖面磷灰石裂变径迹和(U-Th)/He 测年的年龄-高程关系都显示在晚古新世-早始新世剥露增强，并在中-晚中新世快速剥露。党河南山剖面热历史模拟显示约 55Ma 时发生快速冷却，柴达木山剖面热历史模拟显示约 50Ma 开始加速冷却和约 15Ma 开始快速冷却。基岩磷灰石低温热年代指示祁连山西段逆冲带在早始新世和中-晚中新世发生了两期逆冲活动。综合沉积碎屑和原位基岩低温热年代研究结果，本文认为祁连山在晚古新世-早始新世（60-50Ma）发生构造驱动的岩石剥露，指示此时祁连山已开始构造变形和地形生长。本文结果支持青藏高原东北缘准同步构造响应印度-欧亚板块碰撞的观点。

S08-P-24

GDGTS 与青藏高原古高度重建

陈炽皓 [1]，白艳 [1*]，方小敏 [1]

1 中国科学院青藏高原研究所

* baiyan06@itpcas.ac.cn

青藏高原隆升历史长期吸引着学界关注。本世纪以来，氧同位素古高度计的出现极大地推进了青藏高原隆升历史的定量研究进程，逐渐形成了以碳酸盐氧同位素、叶蜡正构烷烃氢同位素及其他含水矿物氢氧同位素为代表的稳定同位素古高度重建体系。其结果通常指示青藏高原较早隆升，与早期的动植物化石等生态类证据存在差异。植物叶片化石 CLAMP 和孢粉定量古高度计的出现一定程度上调和了两类证据体系间的矛盾，但仍存在不一致之处。因此，仍有必要探索新的第三方古高度计以提供更多参考证据。甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）相关指标是近二十年来飞速崛起的古气候代用指标体系，尤其是基于支链 GDGTs（brGDGTs）的温度计提供了难得的陆地古温度定量重建手段。通过气温直减率，温度指标可以简便地转化为古高度指标。因此 GDGTs 也已被应用于青藏高原古高度重建，包括凯拉斯盆地、南木林盆地、尼玛盆地、柴达木盆地和西宁盆地等，取得了一系列新的认识。然而，由于指标本身环境响应和地层中埋藏后降解保存的复杂性，在实际应用中仍存在一系列需要考虑和解决的问题，例如生源的混合、温度重建的代表性和季节性、指标和转换函数的选择等等。

S08-P-25S

上覆岩石圈强度影响大陆碰撞模式选择和俯冲跃迁：对大印度-亚洲汇聚体系的影响

李倩 [1]，李忠海 [1*]，钟辛易 [1]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

约 55±5 个百万年前，印度与亚洲的碰撞导致喜马拉雅和青藏高原的形成，从而产生巨大的重力势能并作用在周围的地块。然而，相较于整个特提斯演化体系的前两次演化过程而言，此次碰撞并没有在印度大陆南缘发生俯冲跃迁型俯冲起始，印度与亚洲的碰撞和造山运动一直持续到至今。印度-亚洲碰撞过程中总的汇聚量约为 2900-4000 km，一般认为这些汇聚量是由青藏板块的缩短/侵蚀和印度大陆北缘的大印度板块俯冲所吸收。我们将重构的印度-亚洲碰撞过

程的汇聚速率插入到二维大尺度的热力学数值模型，系统的考察上覆板块强度和碰撞过程中的汇聚量对碰撞模式选择、变形分布和大陆物质平衡的影响。模型结果表明，印度与亚洲碰撞过程中印度大陆南缘俯冲起始的缺失可能是流变性较弱的青藏板块的应变局部化和缩短导致。此外，对于碰撞发生在约 50 个百万年左右，汇聚量约为 2900 km，含有弱青藏的模型，与普遍的变形分布以及喜马拉雅-青藏系统的大陆物质平衡是较为吻合的。然而，碰撞时间更早（约 55 Ma）则会导致上覆缩短量过多，不再符合现今青藏缩短观测。对于这种情况，就需要考虑大印度板块中含有大洋岩石圈的成分。

S08-P-26

同沉积构造和磷灰石裂变径迹热年代学对古长江演化的约束

王亚东 [1*]，袁四化 [2]，方小敏 [3]，颜茂都 [3]，张伟林 [3]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，中国科学院西北生态环境资源研究院

2 防灾科技学院

3 中国科学院青藏高原研究所

* wangyd2015@lzb.ac.cn

作为亚洲最大的河流，长江是通过新生代一些不相连的古河段的整合而形成的，其演变与区域构造抬升和古环境变化密切相关。这些整合事件对于雕塑景观和沉积物输送很重要，但其时间和机制仍存在很大争议。在这项研究中，我们提出了新的证据，包括中国云南省剑川盆地火山碎屑岩磷灰石裂变径迹年龄、地层沉积和同沉积断层。同沉积正断层及之前报道的区域超钾质粗面岩系的发育表明，剑川盆地自宝相寺组至剑川组主要受伸展构造应力场控制。碎屑磷灰石两个较老的年龄峰并结合盆地早前报道的热年代学数据，指示剑川盆地沉积物主要由古长江上游提供。随后，裂变径迹年龄谱和地层沉积相在 34.3 Ma 或稍晚发生了显著变化。我们确定了长江发展的关键整合点——第一弯西南部的剑川盆地在~34 Ma 时构造应力场从伸展转变为挤压，并认为这种构造应力转换导致了古长江上游的逆转，而不是之前提出的走滑断层或重大火山爆发。我们的研究为古长江上游的重组提供了准确的时间约束和一种新的潜在驱动机制，将对理解亚洲水系的演化和青藏高原东南部相关的构造驱动的地表隆升历史具有重要意义。

S08-P-27S

岩石圈地幔的俯冲控制地壳变形的结构：青藏高原北缘数值模拟、地质观测结果的综合解释

陈启志 [1,2]，胡才博 [1,2*]，石耀霖 [1,2]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

2 中国科学院，计算地球动力学重点实验室

* hucb@ucas.ac.cn

岩石圈缩短存在两种典型的端元模式：岩石圈挤入变形和地幔俯冲。解读这些模式对于解释过去和现在的造山带的演化机制，以及预测它们在深部的驱动模式至关重要。因此，确定可观察到的上地壳代用指标如何反映深层岩石圈的运动学和动力学过程是一种可行的办法。在过去的几十年里，地质和地球物理数据为青藏高原北缘（祁连山）的构造演化提供了多种约束。祁连造山带主要受控于亚洲岩石圈地幔的南向俯冲和印度-欧亚板块碰撞的远场效应。我们的数值模型测试了南向岩石圈俯冲下地壳的响应。研究结果表明，岩石圈俯冲可以导致上地壳变形，与祁连山的记录相吻合，包括双边造山楔的宽度和结构、断层的起始和演化时序、地震活动性、地形和地貌，而纯剪切缩短并不能产生类似的上地壳记录。地壳应变的记

录可以用来更好地解释过去和现在的造山带的深层结构。

S08-P-28S

青藏东南缘岩石圈拆沉诱发高原地形隆升

罗芸[1,2*]，杨建锋[2]，赵亮[2,3]

1 中国地质大学（北京），地球物理与信息技术学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 中国科学院大学

* luoyun@email.cugb.edu.cn

新特提斯洋的持续北向俯冲与随后的印度大陆和欧亚大陆的碰撞导致了青藏高原的隆升。目前解释青藏高原隆升过程的机制包括地壳流、块体挤出、印度板块底垫、分散式地壳缩短增厚等，主要聚焦于地壳尺度，但对于深部地幔动力学过程如何影响地表起伏仍不清楚。青藏高原东南缘地形变化平缓，缺乏大尺度的新生地壳缩短现象，且岩石圈厚度变化巨大，从四川盆地下方~200km 厚的岩石圈逐渐减薄至扬子克拉通西南缘＜80km 厚的岩石圈，仅从地壳尺度难以解释其隆升过程，是验证深部地幔动力学过程对地形隆升影响的天然实验室。利用二维热力学数值模型，我们系统性地探究了不同岩石圈地幔密度、汇聚速率、上覆板片岩石圈地幔强度和俯冲板片大陆岩石圈下地壳强度等对俯冲-碰撞过程及地形演化的影响。结果显示，当软流圈上涌且存在适中的地幔楔宽度(~400–500km)与上覆板片岩石圈地幔强度时，才可能发生拆沉现象。当软流圈密度小于岩石圈地幔密度时，才可能诱发软流圈上涌；只有适中的汇聚速率(2–4cm/yr)和较强的俯冲板片大陆岩石圈下地壳才能导致适中的地幔楔宽度。基于模拟结果，我们提出一种分阶段拆沉模型，印度大陆与欧亚大陆的持续碰撞挤压导致上覆板片的地壳增厚，增厚的地表变热变弱并与岩石圈壳幔解耦，随后发生的印度板片后撤引发了软流圈上涌，导致活跃造山带的岩石圈拆沉，并拖拽扬子克拉通岩石圈地幔，导致其发生部分拆沉，这进一步加强了软流圈上涌速率，导致了钾质至超钾质岩浆岩的分布与青藏高原平缓的地形隆升。我们最新获得的结论强调了软流圈上涌和青藏岩石圈拆沉过程足够导致 4-5km 的平缓地形隆升。

S08-P-29S

芒康盆地晚始新世后 50°古地磁顺时针旋转及其构造意义

徐万龙[1,2]，颜茂都[1*]，Douwe J. J. van Hinsbergen[2]，栗兵帅[3]，关冲[4]，付强[1,2]，于亮[5]，徐尊铂[1]，张大文[6]，申苗苗[1]，冯展涛[1]，牛智超[1]，Bram Vaes[2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 Utrecht University,Department of Earth Sciences

3 东华理工大学，地球科学学院

4 中国地质调查局西安地质调查中心

5 德州学院，生态与资源环境学院

6 枣庄学院，旅游与资源环境学院

* maoduyan@itpcas.ac.cn

藏东南地区新生代围绕东喜马拉雅构造节的东南向挤出逃逸和顺时针旋转过程，对于认识目前仍存在争议的青藏高原的构造变形过程和模式等具有重要意义。这里，我们选择东羌塘地块东部的芒康盆地（29.7°N，98.6°E）的晚始新世（约 33.4-36.4Ma）火山岩地层开展了详细的古地磁学研究。本次研究共设置 20 个采点并采集了 202 个古地磁样品。系统的岩石磁学和岩相学分析，揭示主要的载磁矿物为假单畴的磁铁矿和少量的赤铁矿。详细的热退磁分析共分离出 20 个采点 187 个有效特征剩磁方向，其倾斜校正后平均值为 D_s=62.2±5.5°，I_s=47.6±5.7°，K=46.7，A_{95}=4.8°。这些特征剩磁方向的统计特性符合地球磁场长期变特征，并通过了褶皱检验，揭示可能为晚始

新世原生剩磁方向。通过与 34.9 ± 1.5 Ma 的欧亚参考极的对比显示，芒康盆地在 36.4-33.4 Ma 之后相对于欧亚大陆发生了约 50° 的顺时针旋转。综合附近贡觉盆地的现有古地磁结果，对比区域构造线迹以及结合其他地质证据，发现二者具有很好的耦合关系：即芒康盆地构造线迹方向及晚始新世之后顺时针旋转量均比贡觉盆地多 30°。上述证据表明东羌塘地块东部从西北西方向围绕喜马拉雅东构造节逐渐转换为北北西方向是弯山构造变形的结果。另外，本次研究的古纬度结果表明，自晚始新世（36.4-33.4 Ma）以来，东羌塘东部相对欧亚大陆发生了超过 1000 公里的地壳缩短。

S08-P-30

古地磁旋转变形限定的阿尔金断裂渐新世以来两阶段走滑活动

栗兵帅 [1*]，颜茂都 [2]，张伟林 [2]

1 东华理工大学，地球科学学院

2 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

* flyerli005@126.com

阿尔金断裂新生代走滑活动对理解青藏高原的构造变形过程和机制具有重要意义。但目前关于阿尔金断裂的走滑时限、滑移量和滑移速率以及演化模式等还存在很大争议。针对上述科学问题，我们利用阿尔金断裂南侧柴北缘和柴西英雄岭两条弧形带，在磁性地层年代学基础上对其不同部位开展细致古地磁旋转变形研究，并结合区域挤压应力方向转变和其它地质证据，探讨了弧形带形成过程及其与阿尔金断裂走滑活动关系。

古地磁及磁组构结果表明：(1) 柴北缘弧形带北西部和中部在 32~17 Ma 期间经历了 25~30°显著顺时针旋转变形，其幅度与柴北缘弧形带中部-南东部的几何学夹角一致；而 17~10 Ma 期间，邻近阿尔金断裂的柴北缘弧形带北西部经历了约 25°逆时针旋转变形，其幅度与柴北缘弧形带北西部-中部的几何学夹角一致；(2) 英雄岭弧形带远离阿尔金断裂的油砂山背斜在 20~4 Ma 期间没有经历显著旋转变形；而邻近阿尔金断裂的阿卡腾能山背斜在 16~11 Ma 期间经历了约 50°显著逆时针旋转变形，其幅度与英雄岭弧形带两翼的几何学夹角一致；(3) 旋转变形校正后的磁线理揭示柴北缘弧形带中部挤压应力方向在 28~10 Ma 期间经历显著顺时针旋转，由早期近 N-S 向转变为后期 NE-SW 向，而这一相似的应力方向转变在柴北缘弧形带南东部大红沟地区、柴达木盆地内部鄂博梁地区、东部陇中盆地等均发生在约 15 Ma 之后。

结合地貌学、几何形态学、地震剖面平衡恢复以及构造轴线差异等地质证据综合分析，指示上述两期次旋转变形和挤压应力方向转变与阿尔金断裂渐新世以来的两阶段左旋走滑活动密切相关。其中 32~17 Ma 阿尔金断裂的快速左旋走滑，推挤柴北缘弧形带北西部和中部以锡铁山为旋转点发生 25~30°顺时针旋转变形；此时阿尔金断裂的部分左旋剪切传播至柴北缘地区，并引起该地区挤压应力方向由早期与印度-欧亚碰撞挤压方向相似的近 N-S 向转变为由阿尔金断裂控制的 NE-SW 向。而 16~10 Ma 期间的快速左旋走滑，挤压拖曳靠近阿尔金断裂的两弧形带的北西翼发生显著逆时针旋转，此时阿尔金断裂左旋剪切广泛传播至高原东北部内部地区，并显著控制高原东北部地区的构造活动。综合阿尔金断裂附近其他古地磁旋转变形结果和地质证据，进一步提出阿尔金断裂渐新世以来自柴北缘向北东和南西方向双向生长的演化模式，为认识青藏高原东北部乃至整个高原新生代的生长演化模式提供了新的依据。

S08-P-31S

不同规模河流响应气候波动敏感程度的差异性研究

莫钦鸿[1*]，胡振波[1]，潘保田[1]，李梦昊[1]，董子娟[1]，李晓花[1]，杨垭楠[1]

1 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

* 120220910041@lzu.edu.cn

河流系统能够敏感地响应外部气候变化，并将相关信息记录到河流沉积物中，其中河流阶地更是记录河流下切历史以及河流系统对气候波动响应的良好载体。近年来的相关研究对河流阶地发育模式及其与气候变化之间的耦合关系做了系统的阐述，但不同规模河流对气候变化响应敏感程度的差异性却鲜有研究。青藏高原东部地区的若尔盖盆地构造活跃、气候变化显著，区内黄河及其支流深切盆地内填充的河湖相地层，并在沿岸保留完整的阶地序列。流域内完整的地貌面序列既是研究不同规模河流对气候变化响应敏感程度差异性的理想区域，也能为恢复若尔盖地区从盆地填充到河谷深切连续的水系演化过程提供直接依据。

本研究通过野外地貌面和沉积特征考察和跟踪对比工作，建立了若尔盖盆地西北地区黄河及西科河完整的地貌面序列；其次，采用 AMS-^{14}C 测年方法，建立起研究区内各地貌面的年代框架；然后，结合河流的下切历史和区域气候变化指标讨论了不同规模河流对外部气候变化响应敏感程度的差异性；最后，基于已有的地貌面年代学序列，初步探讨了若尔盖地区从盆地填充到河谷深切连续的水系演化过程。结果表明，在同样的构造背景之下，规模较大的河流相对稳定，仅会响应较大的气候变化下切形成阶地；规模较小的河流对外部变化的响应更为敏感，对较小的气候波动都能做出响应并下切形成阶地。不仅如此，干流作为支流的侵蚀基准，其下切速率的变化也会对支流产生影响。地貌面的年代序列表明：若尔盖盆地被黄河水系袭夺之前由一套河湖系统所占据，其内部堆积一套较厚的河湖相地层；19 ka之前，黄河进入若尔盖盆地，区域进入到水系调整的阶段，若尔盖古湖逐渐消亡，黄河河道在盆地内部形成并固定；10 ka 前后，黄河切开盆地内填充的河湖相地层，盆地结束堆积进入到深切河谷的水系发育阶段，并伴随后期的构造活动和气候变化下切形成多级河流阶地。

S08-P-32S

青藏高原中部伦坡拉盆地晚渐新世季风气候：来自古土壤记录的证据

郭增光[1,2,3]，吴福莉[1*]，方小敏[1,2]，叶程程[4]，杨一博[1]，昝金波[1]，毛子强[5]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 中国科学院大学，资源与环境学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室

4 上海师范大学，资源与地理科学学院

5 中国科学院大学，重庆学院

* wufuli@itpcas.ac.cn

亚洲季风影响着中国的气候-环境-生态格局，其起源和演化一直是古气候研究的热点问题。最近的研究提出了亚洲季风的两阶段向北扩张模式，但仍需要更多的地质证据来证实。古土壤作为沉积环境和气候变化的灵敏记录者，可以揭示不同地质时期的气候变化和景观变迁。本文选择伦坡拉盆地达玉剖面的 3 层古土壤（~ 26.5-23 Ma）作为研究对象，分别开展了微形态学、矿物学、地球化学等分析。多指标重建结果表明，伦坡拉古土壤属于暖温带湿润气候下的森林褐土，如复合 Bt 和 Bk 层、丰富的粘粒胶膜和成土钙结核，以及 Bt 层中具有诊断意义的粘土化学组成。高 CIA 值、高 Rb/Sr 比及高含量的伊蒙混层矿物表明，古土壤经历了较强的风化和淋溶成土作用。此外，利用 CaO/Al_2O_3 和古土壤风化指数（PWI）的经验公式重建成土时期的 MAT、MAP 分别为 10.4 ~ 14.8 ℃和 615 ~ 1128 mm，与现代季风气候区褐土的水热组合相当。结合前人对该剖面的沉积相、孢粉、粘土矿物、环境磁

学及正构烷烃等研究结果，揭示了晚渐新世时期青藏高原中部是典型的季风气候。本研究为亚洲季风的空间演化提供了独立的古土壤证据。

S08-P-33

西藏尼玛盆地北部坳陷物源分析及其构造意义

密文天[1]，罗宇航[1*]，李雪华[1]，苗科[1]，叶翔飞[1]，张鹏昊[1]

1 内蒙古工业大学，矿业学院

* luoyuhangxust@163.com

青藏高原中部地区班公湖怒江缝合带一线的尼玛盆地记录了大量的高原隆起的地质信息，为恢复该地区的古环境与构造演化信息提供了重要的科学依据。运用砂砾岩碎屑组分分析、重矿物分析与碎屑锆石年代学等手段对尼玛盆地北部坳陷的古近系牛堡组进行分析。结果表明，尼玛盆地北部坳陷存在南北双向物源。北部物源母岩类型主要为早白垩世虾别错花岗岩为代表的酸性岩浆岩，其次为沉积岩和变质岩；南部物源母岩以沉积岩（硅质岩等）、基性岩浆岩为主，其次为低级变质岩、超基性岩浆岩，主要来自中央隆起带构造混杂岩。早期以北部物源为主，晚期以南部物源为主。碎屑锆石年代学测得 NMD001 样品年龄频谱范围在 116±3~130±1Ma 之间，在 118Ma 年龄频率最高，这说明该凝灰岩形成时代为早白垩世，属于尼玛盆地强烈的火山活动重要记录；P04-12W 样品的年龄主要集中在 102～141 Ma，160～825Ma 两个区间内，这与 NMD001 样品的年龄结构相类似。综合剖面沉积特征与锆石测年结果，早白垩世－古近纪期间盆地构造活动逐渐增强，伴随着地壳缩短、逆冲断层及造山系统的发育，其北部逐渐演化为一个受逆冲断层控制的独立次级盆地。

S08-P-34S

念青唐古拉地区基岩河道岩石抬升速率对气候变化的响应

刘伯蓉[1]，戴紧根[1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* djgtibet@163.com

新生代构造与气候共同控制了地貌的演化。渐新世以来青藏高原南部南北向正断层发育，近年来的研究有效约束了南北向正断层渐新世-中新世的起始活动时间，并呈向东逐渐变年轻的趋势。然而，受晚新生代全球变冷驱动的全球活动造山带 2Ma 以来的快速剥蚀在藏南南北向正断层鲜少记录。亚东-古露断层活动显著受控于深部构造，其下盘念青唐古拉地区很大程度上也受到冰川和降水等气候因素的影响，是研究构造和气候作用的理想区域。低温热年代学数据及部分宇宙成因核素数据揭示亚东-古露断层北部相较于南部更晚的加速活动时间和更快的剥蚀速率。然而，低温热年代学的百万年时间尺度和宇宙成因核素的千年时间尺度之间存在间隔，缺失重要的能与深海氧同位素变化频率对照的万年-十万年尺度记录，且两种方法都是基于部分采样和模拟预测插值获得连续区域断层活动历史，存在一定的误差。因此，文章提取念青唐古拉山右翼由南向北五条基岩河道的河道信息，设置抬升速率随远离断层逐渐降低的地壳情况，利用低温热年代学数据获得区域平均抬升速率进行校正，获得连续区域抬升历史。结果显示念青唐古拉山南部自 1Ma 以来整体抬升速率变化不大，记录了区域构造抬升。中北部自 1Ma 以来抬升速率增大，响应于气候在此期间的频繁大幅度波动，约 140ka 和 400ka 的抬升速率峰值可能与快速升温导致的冰川卸载和降水增加有关。

S08-P-35

青藏高原湖泊微生物的生态与演化研究

冯晓远 [1,2]，陶晔 [1]，邢鹏 [1*]，罗海伟 [2,3]

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所

2 香港中文大学深圳研究院

3 香港中文大学

* pxing@niglas.ac.cn

在青藏高原上星罗棋布的分布着数千个湖泊，这些湖泊的总面积占中国内陆湖泊的一半，对中国水资源保护和全球气候变化研究具有重要意义。青藏高原平均海拔 4000 米以上，采样难度大，目前高原湖泊微生物的基因组信息十分有限，微生物在高原湖泊中的生态贡献和演化机制亟待探索。考虑到青藏高原湖泊独有的盐度梯度，我们从青藏高原的 54 个湖泊中（盐度范围 0-200g/L）收集了 169 个环境样品,并从中获得了 8271 个中高质量的宏基因组序列，为高原湖泊的微生物研究提供了系统性的数据支持。

我们开发了新的研究方法，基于宏基因组测序数据，量化不同湖泊之间的微生物遗传交流效率，并与湖泊间的地理距离进行比较。结果显示，相距更远的淡水湖泊出现了更强的微生物遗传交流屏障，但该现象在高盐湖泊之间中并不明显。在排除微生物重组频率的影响后（重组频率在高盐湖泊更低），我们推测，这一现象可能与千年至万年时间尺度上的高原泛湖事件相关。当全球气候处于暖期时，降水量增多、冰川融化加剧，这些变化使得青藏高原内流区（高盐湖泊分布的区域）形成数个高度连通的泛湖，削弱了湖泊间微生物遗传交流的地理屏障；而分布在外流区的淡水湖泊较少受到泛湖事件的影响，微生物遗传信息的交流受限于湖泊间的地理隔离，表现出明显的“孤岛”效应。该研究对高原湖泊微生物的生态演化过程进行了系统性探索，为全球变暖大背景下高原湖泊的科学研究和生态保护提供了宝贵的经验。

S08-P-36

泥河湾盆地—猛犸象-披毛犀动物群的摇篮

同号文 [1,2*]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

2 中国科学院大学

* tonghaowen@ivpp.ac.cn

猛犸象-披毛犀动物群是欧亚大陆中-晚更新世中-高纬度地区的主导动物群，其主要成员包括真猛犸象 (*Mammmuthus primigenius*)、典型披毛犀 (*Coelodonta antiquitatis*)、草原野牛 (*Bison priscus*)、马 (*Equus* spp.)、大角鹿(*Megaloceros* spp.等。近些年来在泥河湾盆地的山神庙咀遗址发现了大量 100 多万年前的哺乳动物化石，其中主要属种有草原猛犸象 (*Mammuthus trogontherii*)、泥河湾披毛犀 (*Coelodonta nihowanensis*)、古中华野牛 (*Bison palaeosinensis*)、三门马（*Equus sanmeniensis*）及大型鹿类；该动物群的属种组成与后期的猛犸象-披毛犀动物群十分接近；各项研究表明，泥河湾盆地是孕育猛犸象-披毛犀动物群的摇篮。

S09-O-1

氧循环演变与吸氧的地球

黄建平 [1,2*]，李昶豫 [2]，刘晓岳 [2]，丁磊 [2]，魏韵 [2]，韩东亮 [1]，姚丽洁 [1]

1 兰州大学，西部生态安全协同创新中心

2 兰州大学，大气科学学院

* hjp@lzu.edu.cn

氧是绝大多数生命体赖以生存的基本条件之一，其在地球系统中的循环成为了影响地球宜居性的关键因素。本报告从多时空尺度出发、以跨圈层的视角探讨了氧循环的发展演变历史，并着重关注了自工业革命以

来地球系统氧循环对于人为强迫的响应。报告揭示了人类活动影响下的一个愈发“吸氧”的地球。我们的研究表明，随着人类活动程度的日益加剧，地球系统经历漫长时间建立起来的氧收支平衡正被逐步打破，产氧与耗氧的巨大差异引发了“地球呼吸”的严重失衡。这些变化会衍生出生物多样性减少等一系列全球性危机，最终影响地球系统的宜居性，加剧现代气候变化下人类将要面临的生存挑战。

S09-O-2

大陆化学风化作用加强可能引发了古元古代大氧化事件

马星宇[1]，罗根明[1*]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* gmluo@cug.edu.cn

古元古代大氧化事件（Great Oxidation Event，GOE）是宜居地球大气演化历史上的一次里程碑式事件，这一事件同当时地表冰期气候变化以及地质历史时期首个超大陆的出现之间有着密切的关联。大氧化事件导致地球大气的氧气含量首次永久性的超过10^{-5} PAL（现代大气氧含量水平），为之后复杂生命演化铺平了道路。然而，关于大氧化事件的成因却存在很多争议。大陆风化作用是联系陆地-大气-海洋的关键性纽带。硅酸盐的大陆风化可以消耗大气中的CO_2，同时向海洋中输送营养盐而提高海洋表层初级生产力，进一步影响大气 pO_2 和 pCO_2，是地球表层环境演化的主要动力。因此，重建地质历史关键时期大陆化学风化的变化过程对深入认识地表生物与环境相互作用的机理具有重要意义。

细粒碎屑岩的化学蚀变指数（Chemical Index of Alteration，CIA）是重建地质历史时期大陆化学风化强度的主要手段。本报告收集了前人发表的太古宙晚期到元古宙早期（2600-2000 Ma）陆源碎屑岩主量元素数据，通过对数据集的筛选和大数据分析，计算了化学蚀变指数并重建了大氧化事件前后高分辨率的大陆化学风化强度变化过程。初步结果显示，大陆化学风化强度在 2430-2330 Ma 整体上呈较低的水平，同当时的雪球地球冰期气候以及构造寂静期具有较好的一致性。这一时期整体上较低的化学风化强度可能限制了营养元素，例如磷，铁等，从陆地向海洋迁移的通量并长期抑制海洋初级生产力。从大约 2300 Ma 开始，随着以超级地幔柱为主的大火成岩省事件频率升高，大气二氧化碳含量升高从而使得冰期结束并引发强烈的化学风化。这一次化学风化强度的升高伴随着沉积岩中磷含量的显著高峰，可能引发了海洋初级生产力的繁盛并最终导致大氧化事件的发生。

S09-O-3

大气氧化进程中大陆风化作用的地球化学研究

刘孟南[1]，李高军[1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* ligaojun@nju.edu.cn

富氧大气是地球宜居环境的关键要素之一，大陆风化在富氧大气形成进程中发挥了重要作用。大陆风化是关键营养元素磷的主要来源，决定了地质时间尺度有机碳埋藏通量，是调控大气含氧量的重要因子之一。大气氧化的历史呈现明显的阶段性特征，特别是，新元古代及其之后沉积岩中的磷含量呈现出显著升高的特征，指示新元古代海洋磷循环发生了革命性的变化。大陆风化磷输入通量的增加可能是驱动新元古代氧化事件的重要因素之一。

但是，大气氧化过程中海洋磷输入通量的机制还存在诸多争议。由于风化过程中磷的主要来源矿物磷灰石风化速度极快，风化壳中磷灰石可以达到近乎完全溶解，磷的风化释放通量可能更大程度上受控于剥蚀速度，即新鲜岩石供应限制。为此，我们提出新元古代大气氧化可能受大陆风化驱动。新

元古代大气低氧环境下可能存在广泛的还原性风化环境，还原性 Fe^{2+}释放后在地表氧化与磷发生共沉淀性吸附，其吸附效率远大于氧化风化环境铁氧化物形成之后再发生的吸附作用，从而导致较低的磷输入通量。研究认为新元古代大气氧化可能受控于风化前锋带推进机制转变影响。从而提高了关键营养元素磷的释放效率，引起有机碳埋藏增加，促进大气氧化，最终导致新元古代氧化事件。

本研究通过中国海南岛七仙岭、秦岭南部山区、川滇峨眉山地区长英质和铁镁质大陆流域地球化学观测，确定氧化性和还原性风化前锋带推进机制下磷释放效率的差别；然后通过沉积地球化学记录，重建风化过程磷释放效率的演化历史，以评估太阳辐射增加背景下大陆风化对大气氧化的贡献。

S09-O-4

用底栖有孔虫 I/CA 重建中中新世太平洋中深层海水氧含量变化

周晓理[1*]，Yair Rosenthal[2]，Anya Hess[2]，杨淳渝[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 罗格斯大学，海洋与近岸科学学院

* xlzhou@tongji.edu.cn

中中新世气候转型期标志着新生代气候由暖转冷，伴随着南极冰盖的大幅扩张和海水温度的下降，但大气二氧化碳的浓度却变化不大。以往的研究认为，该时期海洋碳埋藏的增加对于调节大气二氧化碳的浓度起到了重要的作用。然而，最近的研究认为，在此期间海水中有机质的再矿化速率升高，导致深海有机碳的埋藏通量降低了。该过程会消耗更多的溶解氧，从而使海水氧含量降低。但是，这一推论尚未得到充分验证。本研究利用太平洋不同海区岩芯中底栖有孔虫的硼钙比值（B/Ca）和碘钙比值（I/Ca），分别反映中中新世气候适宜期和中中新世气候转型期（~17-11 Ma）太平洋中深层海水的碳酸钙饱和度和溶解氧含量的变化，从而为解释中中新世气候转型和海洋碳循环演变机制提供新的证据。

S09-O-5

碳酸盐岩铀同位素指示古海洋缺氧—全球 VS.局部

陈新明[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* xchen6@sjtu.edu.cn

碳酸盐岩铀同位素（$\delta^{238}U$）作为全球尺度古海洋缺氧指标已经被广泛应用于重建深时海洋缺氧事件。由于海水的$\delta^{238}U$ 主要由海洋的氧化还原条件控制，且海洋中铀的滞留时间远大于全球海水混合时间，因此，开放大洋的铀同位素组成变化能够反映全球尺度古海洋氧化还原环境的变化。碳酸盐岩铀同位素指示全球海洋缺氧的关键是碳酸盐岩能否直接记录并保存记录海水的铀同位素信号。碳酸盐岩由原生碳酸钙（包括无机和生物成因）经历成岩作用形成，这些过程均有可能导致碳酸盐岩的$\delta^{238}U$ 偏离海水的铀同位素组成，从而影响碳酸盐岩铀同位素指标的可靠性。

室内碳酸钙共沉淀实验和现代原生生物成因碳酸钙（如珊瑚等）观测研究证实原生碳酸钙能够直接记录海水的铀同位素组成。然而，成岩过程对原生碳酸钙铀同位素信号进行了不同程度的改造和铀同位素分馏。现代海洋氧化性环境下沉积的碳酸盐沉积物导致铀浓度富集~2.5ppm 和~0.3‰的铀同位素分馏（相对于原生碳酸钙）；还原性环境下沉积的碳酸盐沉积物导致铀浓度比原生碳酸钙富集~10 倍，$\delta^{238}U$ 比其上覆水体偏重~0.6‰，与硫化的局限盆地（如黑海）的铀同位素分馏一致，反映局部水体的氧化还原。另外，古新世-始新世碳酸盐岩的研究指示原生方解石的铀同位素信号比原生文

石更容易被成岩过程改造。由于原生方解石的铀浓度仅~50ppb，成岩过程富集的自生铀可达~3 ppm，极易覆盖原生碳酸钙的铀同位素信号。这些成岩过程中的铀同位素分馏主要由孔隙水铀的还原反应导致，因此，沉积环境的氧化还原条件对原生碳酸钙的铀同位素组成的保存产生极大的影响。古新世-始新世（PETM）和白垩纪（OAE 1a）的碳酸盐岩均记录了$\delta^{238}U$ 的负漂，反映局部海洋氧化还原环境的变化，而非全球尺度古海洋缺氧。这些研究表明，碳酸盐岩铀同位素重建全球尺度古海洋氧化还原条件时需要先考虑碳酸盐岩局部沉积环境的氧化还原的影响。

S09-O-6

影响高纬度深对流过程中海表氧气通量的主要因素

孙道勋[1,2*]，Takamitsu Ito[2]，Annalisa Bracco[2]

1 青岛海洋科技中心，深海多学科交叉中心

2 佐治亚理工学院，地球与大气科学系

* dxsun@qnlm.ac

海洋溶解氧是海洋有氧生物生存的基础，与多种营养盐及碳的地球生物化学循环紧密联系。观测资料和模式模拟都显示近几十年来全球海洋溶解氧出现下降趋势，并很可能继续下降。研究溶解氧含量对海洋增暖的敏感性及其关键机制是学界普遍关心的问题。影响溶解氧变率的机制非常复杂，涉及多种物理和生物化学过程且各过程相互作用，存在很大的不确定性。高纬度深层水形成区的海面氧气通量决定了深层水溶解氧的初始浓度，其物理机制相对明确，且受生物化学过程影响较小。本研究以拉布拉多海为例，利用不同复杂度不同分辨率的模式分析了影响深对流过程中海表氧气通量的主要因素。深对流过程使得深层低氧海水进入海表，在海表形成较强的氧气扩散通量，对流的强度和持续时间都会影响冬季总氧气通量。在这一过程中，海气界面的气泡过程会显著地影响海表的氧气通量。而大尺度的环流和全年的生物化学过程也会影响对流发生前的层结强度和氧气垂直分布，进而影响冬季海表氧气通量。

S09-P-1

大气氧气浓度自中更新世以来的变化

颜余真[1,2,3*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Princeton University,Department of Geosciences

3 Rice University,Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences

* yanyuzhen@tongji.edu.cn

氧气（O_2）是支持多细胞生命的关键物质，但一直以来地质历史时期、尤其是显生宙大气 O_2 浓度变化很难重建。这是因为 O_2 的氧化性很强，并且在显生宙大气中含量很高（分压保持在 0.15-0.35 atm 之间），基于大气氧化性的替代指标往往只能反映 O_2 浓度超过或低于某个阈值。另一方面，基于地球化学盒子模型的 O_2 浓度推算往往不确定性很大。仅以对于第四纪地球氧气浓度是上升还是下降这一问题，不同模型甚至得到了相反的趋势。来自极地和山地的冰芯中的包裹气体是地球过去大气的“化石”，理论上可提供地球大气成分最准确的信息。这一特征使得极地冰芯成为了重建第四纪 800 ka 以来大气二氧化碳（CO_2）浓度的重要载体。研究者们早在 20 世纪 80 年代末就对冰芯中的 O_2/N_2 比进行了测定，并期望以此推算 O_2 浓度。但冰芯气泡中的氧气浓度比大气浓度低 1%左右，这表明冰芯捕捉大气的过程改变了气体的组成，被称为“气泡闭合分馏（Bubble Close-off Fractionation，简称 BCF）”。近年来出现了一些的方法将 BCF 对冰芯气泡中 O_2 含量的影响移除，进而重建了原始大气的 O_2 含量。本报告将回顾这

些进展，并讨论更新世大气 O_2 浓度变化的成因。

S09-P-2S

通过氧同位素方法量化沉积物耗氧量对浅水区总耗氧量的贡献

张志浩 [1]，朱卓毅 [1,2*]，胡焕婷 [2]，周君 [2]，林忠洲 [3]，周成旭 [3]

1 华东师范大学，河口海岸国家重点实验室

2 上海交通大学，海洋学院

3 宁波大学，食品与制药科学学院

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

The distinguishing of contributions from sedimentary oxygen respiration (SOR) and water column respiration (WCR) is essential in understanding the dissolved oxygen depletion in estuarine and coasts. Our results showed that [O_2] ranged from -1.34‰ to 3.41‰, indicating significant photosynthesis and respiration.Given the contrasting fractionation effect during WCR (ε=-3.57‰) and SOR (ε=-18.58‰), the SOR and WCR in contributing total oxygen depletion is quantified via respiration-only model or photosynthesis-respiration model (TT1), respectively. The SOR% ranged from 18% to 97% (mean = 74%), with the rest contributed by WCR. No clear relation was found between SOR% and temperature or depth or [O_2] in the near bottom water, but [O2] turned out to be the best indicator for SOR% when our data is pooled with results from deeper waters (20-50 m) in the East China Sea. Our research provides scientific base for oxygen budget study as well as the healthy coastal ecosystem management.

S09-P-3S

利用溶解氧同位素揭示长江口低氧的动态变化过程

周君 [1]，胡焕婷 [1*]，朱卓毅 [1]，王芊芊 [1]

1 上海交通大学，海洋学院

* huanting.hu@sjtu.edu.cn

长江口外近海是典型的沿岸低氧海域，其底层海水缺氧的形成机制是近年来的研究重点。海水中溶解氧的主要消耗途径为水柱呼吸耗氧(WCR)和沉积物耗氧（SOC)。目前，仅通过常规的营养盐元素、氧浓度等指标难以区分且量化二者在缺氧中的贡献。WCR 和 SOC 在耗氧时产生不同的氧同位素分馏效应(α_{WCR}=*0.975~0.985*；α_{SOC}=*0.990~1*)。因此，利用氧同位素在不同耗氧过程中的分馏特征，结合氧同位素质量守恒原理，可实现对不同耗氧过程的区分和量化。本工作于 2020 年 7 月、8 月和 10 月对长江口外近海进行考察，采集了大面的原位海水测定其溶解氧同位素值。并对表层及底层海水进行了呼吸作用暗培养实验，测定了其特定呼吸氧同位素分馏系数。结果表明，长江口表层海水的特征呼吸分馏系数 α_{WCR} 为 0.979。底层海水同时受水柱呼吸和沉积物耗氧的影响，所以观测到的分馏系数为表观分馏系数（α_{APP}）。结果表明，长江口北部区域底层海水的 α_{APP} 在 0.9776~0.9819 之间，而南部区域底层海水的 α_{APP} 在 0.9800~0.9805 之间。基于氧同位素质量守恒原理，可量化 WCR 和 SOC 对氧亏损的贡献。在长江外近海，南部和北部缺氧区的主要耗氧机制为 WCR，占氧亏损的 2/3 以上。同时，南部缺氧区 SOC 稳定在 15%左右，但北部缺氧区 SOC 呈现动态变化，指示南北缺氧区的形成机制是不一样的。另外，基于对大面的观测，我们发现从 7 月到 10 月，混合层下的氧同位素表观分馏系数呈现逐渐增大的趋势，且北部区域变化得更加明显。当水柱发生耗氧时，北部区域的最低氧饱和度和最高 $\delta^{18}O$ 在不同时间里的变化较为明显，而南部的最低氧饱和度可稳定维持在 40%左右，最高 $\delta^{18}O$ 在

10‰左右。说明北部区域的耗氧过程一直在动态变化，而南部区域存在一个相对稳定的耗氧机制。通过拟合混合层的光合作用与呼吸作用的比值（P:R）与混合层下水体耗氧的表观分馏系数的变化，我们发现混合层以下的分馏显著受混合层内 P:R 的影响，二者呈现显著相反变化关系，即上层的生产力越大，则水柱呼吸耗氧对氧亏损的贡献越大。北部区域混合层下的耗氧对混合层内P:R变化更为敏感，其改变约为南部的 3 倍。这可能也是导致北部区域的耗氧更加动态，而南部的耗氧更加稳定的原因。我们推测，造成南部缺氧区较为稳定的原因可能是由南部沉积物类型及高盐、低氧水体对南部水体的入侵导致的。

S09-P-4

两极冰芯硝酸记录约束冰期-间冰期大气氮氧化物变化

蒋壮 [1]，耿雷 [1*]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* genglei@ustc.edu.cn

大气活性氮氧化物 NOx 是大气化学的核心成分之一，其光化学过程主导了对流层臭氧生成和氧化性自由基的相互转化，对大气氧化性起着重要作用。大气 NOx 的氧化终端产物硝酸可以经由长距离传输到极区并沉降保存，因此冰芯硝酸记录被认为具有反演大气 NOx 丰度历史变化的潜力。我们使用开发的校正硝酸沉积后过程的反向数值模型（Inverse model）对格陵兰岛 GISP2 和西南极 WAIS Divide 的涵盖末次冰期到全新世的冰芯硝酸记录的进行了校正，克服了由于硝酸沉积后过程导致的硝酸浓度和同位素信号的偏移。我们将冰芯反演结果与气候-大气化学模型（ICECAP model）在不同气候情形下（Pre-industrial Holocene 和 LGM）的模拟结果进行结合，首次实现了对大气 NOx 丰度变化的反演，并结合氮同位素对 NOx 排放源的历史变化和可能影响因素分别进行了探究。这一研究将有助于约束不同气候下大气氧化性的变化，从而探究对温室气体如甲烷等的生命周期的影响以及对气候的反馈效应。

S09-P-5S

元古宙至显生宙微生物碳酸盐激光剥蚀 U-PB 年代学应用实例

蒋宇翔 [1]，Simon Valentin Hohl[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* sv_hohl@tongji.edu.cn

地球上最早的生命沉积记录以微生物碳酸盐沉积为代表，它们记录了当时的海水化学组成与形成环境状态。重建地质历史时期地球微生物生存环境与时间框架，需要精确确定这些微生物碳酸盐的沉积年龄。近十年来，电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位激光消融碳酸盐 U-Pb 测年技术迅猛发展，目前广泛应用于确定非生物成因碳酸盐的形成年龄。但由于微生物碳酸盐独特的形成机制和成岩作用的影响，将激光剥蚀 U-Pb 年代学技术应用于微生物碳酸盐样品的研究实例极少。因此，本研究将激光剥蚀飞行时间质谱(LA-TOF-MS)元素成像技术与激光剥蚀 U-Pb 测年技术结合，在获取的样品表面 U、Th、Al 元素分布图的辅助下，尝试测定于四个不同地质历史时期（中元古代中期，中元古代晚期，寒武纪，中新世）微生物碳酸盐岩样品的形成年代，分别得到了1401.5±60.1Ma，1228±190Ma，504.6±27.2Ma，14.63±4.26Ma，为之后的研究者提供经验参考。

S10-O-1

岩溶关键带理论及应用

蒋忠诚[1,3*]，章程[1,2]，罗为群[1,3]，白冰[1,2]，吴泽燕[1,3]

1 中国地质科学院岩溶地质研究所

2 自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室

3 自然资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室

* jzhongcheng@mail.cgs.gov.cn

21 世纪以来，地球关键带研究成为新兴研究热点，受到国际地学界及很多国家的高度重视，相继部署系列研究计划，建立典型地区地球关键带监测站，开展地球关键带演化的时间尺度及在不同时间尺度上的影响、气候变化对地球关键带生物地球化学过程的影响方式和速率、地球关键带结构的演化与预测等研究，为解决人类的资源环境问题提供了新的思路和技术途径。岩溶关键带作为一种典型的地球关键带，成为岩溶地区地球系统科学的最新研究方向，联合国教科文组织实施了国际地球科学计划 IGCP661 “岩溶关键带形成演变与可持续利用”(2017-2021) 。通过世界各国岩溶学者的共同努力，初步构建了岩溶关键带理论，并在碳-水-钙循环监测及资源环境效应研究中发挥重要作用，取得了突出研究进展。

首先，岩溶关键带具有明确的结构层次。从岩溶结构特点角度，岩溶关键带包括双层结构：由大气（降水）-植被-土壤-表层岩溶带构成的以岩溶生物地球化学循环为主的上部层；以及由基岩-落水洞-岩溶管道-洞穴-地下河（泉）等构成的以岩溶水循环为主的下部层。岩溶关键带的范围，平面上以岩溶流域为单元，剖面上是从树冠到地下岩溶含水层，但为了能够定量评价岩溶关键带物质能量交换转化及其资源环境效应，下部的岩溶含水层一般有地下河或岩溶泉作为排泄点，由此，岩溶关键带的范围和边界能够明确界定。

岩溶地区的突出动力过程是由碳-水-钙循环造成的岩溶动力过程，而岩溶关键带是大气圈-水圈-岩石圈-生物圈四大圈层间碳-水-钙循环最活跃的地带，因此，基于岩溶关键带理念的碳-水-钙循环监测及其资源环境效应研究越来越深入，引领了全球岩溶研究方向。研究表明，岩溶关键带具有 6 种碳循环过程，每一类过程均有大气二氧化碳的源汇机制，通过人工干预，石漠化综合治理、岩溶土壤改良、水生生物固碳、加速岩溶过程等均可挖掘巨大的碳汇潜力，有效服务国家“双碳”目标。岩溶关键带理念使岩溶地区传统的“三水”循环，拓展到“六水”循环，形成了岩溶水资源调蓄与保护的新模式及样板，并拓展了岩溶生态水文地质研究领域。岩溶关键带理论还为岩溶地区的水土漏失及岩溶生态的深入研究与治理开辟了新的研究思路和途径。

S10-O-2

黄河中游地球关键带地下水水文过程监测、模拟与调控研究

王文科[1*]，王周峰[1]，李洁[1]，赵明[1]，张在勇[1]，马稚桐[1]

1 长安大学，水利与环境学院

* wenkew@chd.edu.cn

黄河中游是我国重要的生态安全屏障，区内干旱缺水、地质水文地质条件复杂，面临水土流失严重、水资源短缺、环境容量有限、污染风险加剧、生物多样性减少等生态环境问题，制约了社会经济可持续发展。

黄河中游生态环境的时空变异是近地表圈层人类和环境协同演化的结果，其中“地表-土壤-包气带-地下水-地表水”系统中水分、物质与能量迁移转化和多重耦合互动关系是制约生态环境稳定性的重要因素，相互作用机理极为复杂，迫切需要将影响人类生存环境的近地表圈层作为一个整体，从多学科交叉的角度开展深入研究，以提高人们对近地表圈层物质、能量、水分的传输机理和生态环境关系的理解和认知水平，“地球关键带”为上述问题的解决提供了新的视角。

为了破解上述机理，我们在研究区建立了“五个不同尺度地表-地下水系统多要素、

多界面、多过程”野外观测基地，基于多年的观测数据，建立了典型区域地下水文过程模拟模型，揭示了不同尺度地表-地下水系统水分、物质和能量的转化关系，以及变化环境下地下水水文过程变异机制以及生态效应，提出了基于地下水文过程的生态环境退化和危机临界标识指标体系和调控途径，旨在推进以地表水-土壤-包气带-含水层系统为重点，涉及水资源、环境、生态相互作用过程的基础理论研究，为黄河流域高质量发展和生态环境保护与改善提供科学依据。

S10-O-3

地球系统科学主要理论与发展展望

张万益 [1*]

1 中国地质调查局发展研究中心

* wanyizhang0810@qq.com

地球系统科学是科学家为了应对全球变化，追踪人类排放的二氧化碳去向的一门综合性科学。自从 20 世纪 70 年代英国气象学家 J. Lovelock 提出了著名的盖娅假说、创立了首个地球系统理论之后，人类世、行星边界和临界要素等新理论和新概念相继出现。它们共同构成了基于地球科学和系统理论的地球系统科学理论体系，为地球系统科学学科的发展与应用奠定了坚实的理论基础。本报告系统介绍地球系统科学的主要理论及相互之间的逻辑关系，并对地球系统科学在全球治理方面的发展前景进行展望。

S10-O-4

城郊地球关键带土壤抗生素迁移过程与模拟

杨磊 [1*]，赵方凯 [1]，陈利顶 [1]

1 中国科学院生态环境研究中心，城市与区域生态国家重点实验室

* leiyang@rcees.ac.cn

城郊地球关键带作为一种复杂的人地耦合系统，其水土环境中抗生素残留对微生物、动物和植物具有较强的生态毒理作用，并且能够促进抗生素耐药性的传播。定量识别城郊地球关键带土壤抗生素的组成特征、环境归趋、生态风险与时空分异规律，建立关键带土壤抗生素时空分异预测模型，是维护关键带生态安全、提升土壤生态系统服务的科学基础。本研究以浙江宁波樟溪城郊地球关键带为例，基于定位监测、采样和实验分析，系统研究了抗生素在城郊关键带中的迁移扩散过程、生态系统响应及其时空分布特征，并建立了土壤抗生素的时空分异预测模型。研究发现：（1）基于定位实验及多介质质量平衡分析发现，有机肥是土壤–植物系统中抗生素的主要来源，施用后的 120 天内土壤–植物系统中抗生素含量呈逐渐累积的趋势，土壤–植物系统中输入的外源抗生素主要富集在表层（0～40 cm）土壤中（约 65%），植物体内累积的抗生素不足其输入量的 0.1%，降解等自然消减过程是抗生素在土壤环境中的主要消减途径，约占抗生素输入量的 33%；（2）降雨导致的径流、壤中流和水分渗滤是抗生素在土壤–植物系统中运移的重要途径，景观类型及其坡面结构与降雨的耦合作用是土壤抗生素在坡面迁移的重要影响因素，不同降雨事件中抗生素在坡面的迁移存在显著差异，并且这一过程还受到土壤团聚体、粘粒、有机质等因素的影响；（3）不同土地利用土壤中抗生素残留的类型及其含量存在显著差异，农田土壤抗生素含量在不同季节均显著高于林地和园地，在冬季其含量可高达 112.44±140.58 ng/g，土壤中抗生素存在明显的季节动态，冬、秋季土壤中抗生素含量相对较高而夏、春季相对较低，土地利用格局决定了流域土壤抗生素的空间异质性，并且其空间分异特征具有时间稳定性；（4）基于土地利用与土壤抗生素污染之间的联系构建了土地利用–主成分回归模型，能有效对土壤中抗生素残留的空

间分布进行定量模拟预测，进一步耦合地形湿度指数和源汇景观模型，研究发现考虑地形湿度指数的源汇景观负荷比能够更好地预测土壤中抗生素含量的季节变异性。

S10-O-5

黑土地关键带硒元素环境地球化学特征

戴慧敏[1]，Igor Savin[1]，张一鹤[1*]，梁帅[1]

1 中国地质调查局沈阳地质调查中心

* zhangyihe@cgs.gov.cn.com

硒是人体健康的重要元素，诸多研究表明，土壤和水中的硒缺乏是导致中国东北地区克山病的重要因素。克山病（KD）仍是东北地区一个严重的地方性公共卫生问题。以往的研究主要集中在土壤硒含量、主粮硒含量和人体硒水平，但对土壤硒的存在形式及其从土壤向作物和人体迁移的系统研究较少。为了推断硒从土壤向作物和人体迁移和转化的障碍因素，并为 KD 的病因分析、预防、控制和消除提供参考依据，本文对东北黑土地 121183 个表层土（0-20 厘米）和 30295 个土壤硒母质及其他地球化学指标进行了收集和分析，对 KD 流行区的农作物种子、人发样本进行了分析。东北黑土地表层土壤硒的分布格局以硒充足为主，但土壤硒含量普遍较低，表层硒平均含量为 0.20mg/kg，显著低于世界土壤硒含量平均值（0.4 mg/kg），略低于中国土壤硒含量的平均值（0.239 mg/kg），Se6+、甲基硒代半胱氨酸和水溶性、可交换的硒含量分别占 16.79%和 10.5%，但在 KD 流行区，尤其黑龙江省拜泉市，人类头发的平均硒含量为 0.16mg/kg。推测认为较低的土壤硒含量可能是东北地区硒生物地球化学缺乏的基本因素，铁、氧化铝等粘土化学成分和土壤有机质对硒的吸收，特别是在酸性土壤中，是生物地球化学低硒的另一个直接因素，这增加了人群中 KD 的风险。这些研究结果可以为从硒营养的角度评估疾病生物地球化学病因的消除提供更多证据。

S10-O-6

从地球关键带的视角解析迟滞效应在生态恢复中的应用

郝彦宾[1*]

1 中国科学院大学，北京燕山地球关键带国家野外科学观测研究站

* ybhao@ucas.edu.cn

地球关键带是地球上最脆弱和遭受最严重破坏的区域之一，它不仅是重要的生态系统，在地球光环境和大气循环中也具有重要的作用。在这个受到严重干扰的区域，生态系统的恢复非常关键和复杂。迟滞效应作为一种生态学概念，已经被广泛应用于地球关键带的生态恢复中，取得了一些重要的研究进展。地球关键带的生态系统对外来干扰的响应通常会有迟滞效应，这种延迟响应的时间长短和干扰的强度、历史和其他生态因素有关。在地球关键带的生态修复中，开展迟滞效应的研究可以帮助人们理解和评估生态系统对干扰的响应时间，进而社会决策制定者可以制定合理和符合实际的生态保护计划。近年来，迟滞效应在地球关键带的生态恢复研究中得到了广泛应用。例如，通过控制土地利用方式和改变补偿机制，研究人员可以检测生态系统响应干扰的迟滞时间。此外，研究人员还发现，对地球关键带进行生态修复可能需要更长时间的追踪和监测，以了解生态系统的恢复过程和成功度。这些方法可以帮助人们更好地理解和应对地球关键带的生态修复问题。此外，迟滞效应也为地球关键带的生态恢复提供了新的思路和途径。在土地修复方面，迟滞效应可以帮助设计有效的土地利用计划，同时避免可能加重土地破坏的错误干预。总之，在地球关键带的生态恢复中，应用迟滞效应的研究已经成为一种非常有价值的方法，为生态系统的保护和恢复提供了更多信息和方向。

未来，在迟滞效应的基础上，我们需要进一步开展更深入的研究，继续提高地球关键带生态系统的稳定性和弹性，保护地球和我们赖以生存的环境。

S10-O-7

顺势而为-重金属污染矿区土壤的生态自然修复

杨忠芳[1*]，林坤[1]，余涛[2]，侯青叶[1]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 中国地质大学（北京），数理学院

* zfyang01@126.com

金属硫化物矿山采选活动造成的 Cd 等重金属污染严重，生态风险极大。如何借自然之力，达到生态自然修复的目的，是一个需高度重视的科学问题。

本报告以围岩为碳酸盐岩的某地大型铅锌矿为研究区。在矿石开采和废石堆放区，受矿业活动影响，表层土壤 Cd 异常富集，土壤 Cd 含量 100% 的样品超 GB15618 生态风险管控值，水稻籽实 Cd 超标率为 50%。大量富含重金属的酸性废水（pH=2、Cd=0.9mg/L）流向下游，在流经碳酸盐岩区后，水中 Cd 随碳酸盐矿物、铁锰氧化物和硫酸盐矿物沉淀脱离水体，据矿区 4 Km 后，水中 Cd 含量迅速下降至 0.001 mg/L，pH 上升至 7.5，河流两岸土壤 Cd 含量也大幅下降，仅有 15%的样品超出 GB15618 生态风险管控值，水稻 Cd 轻微超标，占比仅为 4%。这说明借助于碳酸盐岩酸中和能力，是可以达到矿区 Cd 污染土壤自然修复的目标，从而实现 Cd 等重金属在关键带水体-土壤-生物循环过程的自然调控。

S10-O-8

基于社会-生态系统耦合视角的赤水河流域生态修复分区与策略

王军[1*]，孙雨芹[1]，杨智威[2]，彭建[2]

1 自然资源部国土整治中心，自然资源部土地整治重点实验室

2 北京大学，城市与环境学院

* wangjun@lcrc.org.cn

党的二十大报告指出建设人与自然和谐共生的现代化，实现高质发展须注重同步推进物质文明建设和生态文明建设。这就要求新时代自然资源管理需要系统性探索自然资源与生态、社会经济之间的发展规律，要求生态保护修复的对象由自然生态系统转变为人与自然生命共同体，在综合视角下实现协同保护与发展。生态系统服务是连接自然生态系统和社会经济系统的关键桥梁，对经济社会发展和保障人类福祉具有重要意义。从生态系统服务供给与需求平衡开展生态修复分区研究，是新时期因地制宜制定针对性生态保护修复策略和协调区域间发展的重要前提。本文以赤水河流域为研究区，以街道（镇）为评价单元，分析 2010-2020 年生态系统服务供需变化，基于二者耦合协调程度将 409 个评价单元划分为高阶耦合、高阶失调、低阶失调和低阶耦合四个类型，结合各区供需变化量提出了生态保育型、重点修复型、生态连通型和价值转化型等赤水河流域差异化生态保护修复分区策略，为山水林田湖草一体化生态保护修复提供了科学依据。

S10-O-9

黄河流域生态保护与高质量发展的资源环境条件与重大问题

张进德[1*]，郁富瑞[1]

1 中国地质环境监测院，自然资源部矿山生态效应与系统修复重点实验室

* 2313642235@qq.com

本文基于已有地质调查成果资料，充分收集水利、生态环境、气象等部门研究成果，对黄河流域资源环境条件和重大地质问题进行了分析研究，指出黄河流域高质量发展具有5方面有利资源环境条件：一是黄河流域清洁用煤、石油、天然气、中低温地热资源和干热岩等能源资源较为丰富；二是黄河流域战略性矿产资源储量大；三是黄河流域耕地质量总体良好；四是黄河流域生态类型多样，可为践行“生态优先、绿色发展”的高质量发展驱动模式提供典型区和试验场；五是黄河流域重要地质遗迹、自然、人文景观丰富多样，有利于打造具有国际影响力的黄河文化旅游带。报告还提出黄河流域生态保护和高质量发展需要关注4方面重大地质问题：一是黄河流域水资源短缺与粗放利用并存，部分支流部分河段水质较差，原生地下水高矿化、高六价铬、高砷、高氟问题突出；二是黄河流域上游暖湿化加剧，冰川退缩、草地退化，中游黄土高原水土流失严重，下游黄河三角洲自然湿地萎缩、滨海天然湿地减少；三是黄河流域活动断裂高危险区对兰州、呼和浩特、西安、银川、太原等主要城市都构成重要威胁，区域地质灾害，威胁数百万人的安全，悬河问题依然存在；四是黄河流域采矿活动对地质环境破坏严重。在此基础上，提出了支撑服务黄河流域国土空间规划、用途管制与生态保护修复的对策建议。

S10-O-10

碳酸盐岩风化土壤镉高背景的风险特征和控制因素

夏学齐[1*]，杨忠芳[1]，季峻峰[2]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 南京大学，地球科学与工程学院

* xiaxueqi@cugb.edu.cn

由于相对浓缩效应，碳酸盐岩在风化成壤过程中，镉等有害重金属元素会富集于自然形成的土壤中。调查资料显示，在南方地区，该因素造成的土壤镉等元素异常面积规模和元素富集程度，远甚于人为污染。如果按照相关标准，停种食用性农产品，开展土壤修复等管控措施，则要付出难以想象的经济和社会代价。

多数研究结果显示，该自然因素形成的土壤镉等元素富集具有“高背景，低风险特征”。然而，部分已经发表的和我们未公开的数据显示，有部分远离人为污染的碳酸盐岩地区确实存在土壤镉活性高，所生产水稻镉超标等现象。是什么因素造成了活性镉的空间分布不均，或者说什么因素控制着这些风险的高低？弄清这个问题，将对找准风险管控方向，缩小风险管控区域，具有重要意义。

本研究选择安徽省南部某碳酸盐岩地区，并选择贵州西部地区作对比，通过对基岩、结核、不同发育程度的表层和深层土壤样品及水稻籽实进行系统采样测试和数据分析，取得以下认识：

（1）造成碳酸盐岩地区土壤镉活性水平空间差异的主要因素是母质类型（残积物/冲积物）。同一碳酸盐岩背景的小流域中，冲积物发育的土壤中明显含有更多的活性态镉，而残积物发育的土壤，即使镉总量可能比较高，但活性态占比很小。贵州西部和安徽南部虽然距离很远，残积物发育土壤镉总量也有差异，但均具有酸溶态含量很低的特征。

（2）造成以上现象的原因，可归结为残积物中富集的镉在成土过程中发生淋失，淋失至沉积物中的镉发生再吸附和再沉淀。碳酸盐岩残积物发育的土壤从碱性向酸性演化过程中，钙先发生淋失至冲积物沉淀，随后镉再发生淋失至冲积物，遇到先前钙沉积造成的碱性环境而发生再吸附或沉淀，从而以酸溶态等活性形式累积至冲积物母质及其所发育土壤。而大多数前人的研究，集中在残积物地区，忽视了由于这种地形因素造

成的活性镉空间差异，得到了碳酸盐岩地区风险（总体）不高的结论。

（3）如果农田开垦于碳酸盐岩为物源的冲积物所发育土壤，在酸沉降、施肥等扰动下发生土壤酸化，有可能触发活性态镉短时间释放，从而造成作物籽实镉元素增加，甚至产生镉米。

（4）基于以上研究结果，建议对碳酸盐岩背景区土壤进行母质类型（残积物/冲积物）划分，着重开展碳酸盐岩周边第四系冲积物发育土壤，尤其冲积物所开发农田的风险监测和评估，必要时采取种植结构调整、土壤修复等管控措施。

S10-O-11

典型生态问题区的生态-地质作用模式及保护修复建议

周秀峰 [1]，袁国礼 [1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* yuangl@cugb.edu.cn

针对张北坝上人工林退化、阴山北麓农牧交错带土壤沙化、西南岩溶地区石漠化、东北黑土地“变硬、变瘦、变薄”等典型生态地质问题，以地球系统科学理论为指导，开展表生地质过程及成因研究。分析生态支撑层的结构特征与物质组成，研究在一定气候条件下支撑层的成土成壤过程，探讨影响生态发育的关键要素和关键过程，建立生态-地质作用模式图，诠释相关机理、诊断其成因，评价其生态承载力。在此基础上，提出基于自然的保护修复建议，以期为国土空间生态保 护修复提供科学依据。

S10-O-12

基于土地利用情景模拟和生态系统服务的青藏高原生态成本-效益研究

刘世梁 [1*]，李明琦 [1]，刘华 [1]

1 北京师范大学，环境学院

* shiliangliu@bnu.edu.cn

生态退化是全球范围内制约区域可持续发展的一个严重问题，而生态恢复对缓解这一问题具有重要意义。生态恢复的成本效益分析对项目的成功实施和规划是有效的，但目前仍缺乏大规模的研究，尤其是对地理位置特殊、生态系统极其脆弱的青藏高原。本研究应用土地利用模拟（PLUS）模型来模拟不同的生态恢复方案，并量化了成本和效益（生态系统服务价值）。结果表明，在不同的情景下，修复的优先区域在特定的景观中有所不同。对于草原的恢复，这些方案优先考虑拥有大片草原的西南部地区。成本效益分析表明，农田造林方案的利率（效益成本比）最大，数值为 128.2；而退化土地恢复方案的利率最低，数值为 58.44。这些结果可以指导和支持青藏高原的生态恢复规划和政策制定。

S10-P-1

EXCESSIVE CONSUMPTION OF DEEP SOIL WATER MAKES GIANT TREES UNSUITABLE FOR WIDESPREAD PLANTING IN ARID AREAS

张荣飞 [1*]

1 重庆大学，环境与生态学院

* rongfei330@cqu.edu.cn

In order to control desertification, plantation has become an important measure in Northwest China. However, there is still no consensus on whether plantation has positive effects on the soil water environment (*SWC*). Therefore, six typical ecosystems were select to compare the variation tendency of *SWC* among natural ecosystems and plantation, then, to characterize the impact controls and their relationship between *SWC* for arid area of Northwest China. The results showed that: 1) *SWC* at 100 cm depth of artificial poplar forest exhibited more obviously downward trend after the third year than other ecosystems; 2) The trend of the max *LAI* of every ecosystem during 2010 - 2019 show great differences among each other, and the max value of *LAI* for poplar forest (Max = 7.13) was the highest; 3) It was negative correlation for artificial poplar forest between *SWC* and evapotranspiration, and was positive correlation for other five ecosystems.

S10-P-2

山水林田湖草沙生态保护修复信息监管系统研究

李敬敏 [1*]

1 中国自然资源航空物探遥感中心

* jingminl@163.com

山水林田湖草沙是一个生命共同体，对山水林田湖草沙生态系统进行保护修复，需要以地球系统科学为统领，开展顶层设计、统筹规划，遵循自然规律。如果将种树、治水、护田等各项工作割裂开来，很容易故此失彼，甚至造成生态的系统性破坏。因此，建立有效的山水林田湖草沙生态保护修复全流程信息化监管系统，对山水林田湖草沙生态保护修复工作从规划、立项、实施、验收到反馈进行全流程信息化监管，收集全要素数据资源，是辅助专家决策，实现山水林田湖草统一保护、统一修复十分必要的手段。

基于信息监管系统是一个合作性的科学数据和信息监管和存储共享平台，协助各领域专家开展生态保护修复的过程中不断协调、收集、记录和发现各工作阶段数据，通过建立统一的数字目录，以易于访问的数字格式提供山水林田湖草沙生态保护修复的元数据，使所有用户能够迅速确定有哪些可用数据资料和数据资料保存的位置。并为所有数据资料的保存、保管和使用提供一致的数据共享标准，以确保数据共享互通，促进数据的互操作性，使得原本碎片化、分散存储的数据更加丰富；让不同时间阶段取得的工作成果数据得到长期有效汇聚和积累，从而建立大规模的、系统性的长期监测机制，为开展差异化的山水林田湖草沙生态保护和修复治理策略提供完整可靠的数据基础，增强人类管理自然和影响自然景观的能力。

S10-P-3

近 70 年辽东湾重金属和多环芳烃沉积记录：典型重工业基地的阶段性发展

陈彬 [1*]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海岸带地质室

* jinc_bin@163.com

人类世的一个重要特点是持久性污染物质含量在全球范围内普遍升高。其中，由于具有难降解的特性，重金属和多环芳烃是其中受关注度高的一组。另一方面，由于最近百年人类活动是它们的主要来源，因而，上述污染物的沉积记录被认为是保存区域、大陆乃至全球尺度人类活动强度变化信息

的良好载体。相比于其他的自然档案，如雨养泥炭沼泽、冰心和黄土，海洋沉积物具有分布广泛、相对易于采集的特点，因而上述污染物的海洋沉积记录是提取不同区域社会变化的重要媒介。辽宁省在百年前变开始进行大规模现代化建设，在建国后，该区域经济取得了飞速的发展。为更好探索辽宁省人类活动变化对自然环境影响，我们在辽东湾采集了 1 根柱状样，测定了沉积物中常量元素、重金属和多环芳烃，结合 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 测年，重建了该区域近 80 年重金属的高分辨率沉积历史。研究结果表明建国后，受辽宁地区重工业快速发展的影响，沉积物中上述污染物含量迅速增加，然而在 70 年代含量显著降低。在改革开放后，该影响在显著增强。这一趋势直到21世纪初期才被打断，可能是由于我国在辽宁省已经实施强有力的环境保护措施。

S10-P-4S

自然资源-社会经济-生态环境的关联演化认知

杨智威 [1*]

1 北京大学，城市与环境学院

* yangzw9615@163.com

人与自然生命共同体理念强调的是人与自然相互依存的关系，其内在要素具有普遍联系和相互影响。探究自然资源、社会经济、生态环境三者的关联演化则是当下生态文明建设和可持续发展的重要方向。通过概念及内涵解析，探讨社会-生态系统与自然资源-社会经济-生态环境系统的关系，进而探究自然资源-社会经济-生态环境系统中各要素关联关系，最后总结自然资源-社会经济-生态环境系统及其要素在历史阶段的关联演化。本研究初步探索了自然资源、社会经济和生态环境之间的关联机制和演化过程，为人与自然生命共同体理念提供科学认知，为推动生态文明建设、实现可持续发展目标提供理论支撑。

S10-P-5S

东南海保护区间连通性及连通廊道预测

赵峰 [1]，曾聪 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* congzeng@sjtu.edu.cn

在气候变化和人类活动的双重压力下，东、南海面临生物多样性和资源衰退等问题。保护区网络被认为可有效缓解这些衰退，但目前关于这些海域的保护区连通性研究仍比较少见。因此，本研究以东、南海的 15 个海洋保护区的角眼沙蟹种群为研究对象，基于 *COI* 和 *D-Loop* 分子标记分析了这些种群间的连通性，并在物种分布模型预测的潜在分布区的基础上，识别了种群间的最小成本路径和生态廊道。基于两个分子标记的结果显示，种群间不存在显著的遗传结构，且种群间具有较高的历史基因流和迁移率。物种分布预测结果显示潜在分布区广泛分布于东海和南海，分布概率较高的沿岸位于浙江南部、福建及广东。基于 *COI* 共享单倍型和分布概率的结果，发现所有的保护区均被很好的连接，且生态廊道几乎都位于 30 m 等深线以内，海域内的众多河口也并未阻断保护间的连通性。因此，对于角眼沙蟹等具有较高连通性的物种，我们建议在东海和南海构建一个海洋保护区网络。

S10-P-6S

小龙虾壳生物炭对水溶液中 NI（II）的吸附及机理探究

许小淇 [1*]，周斌 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* 3575115849@qq.com

* zhoubinok@163.com

厨余垃圾生物炭应用于重金属吸附的相关研究较多[1, 2]，但关于厨余垃圾原料处理方式对生物炭吸附性质的影响评估却较少涉及。厨余垃圾中含有大量油和盐分[3]厨余垃圾是否经过烹饪以及烹饪后是否经过清洗，其所含油和盐分等外源成分的差异可能会对生物炭的性质及重金属吸附产生影响，弄清其中的机理将对厨余垃圾生物炭物料的选择和生产过程的流程有指导性建议。本文以生虾壳、烹饪后清洗虾壳及烹饪后未洗虾壳为原料，在 500°C 下利用马弗炉热解 4 小时制得生物炭，探究生虾壳炭（Crayfish Biochar 缩写为 CB）、烹饪后清洗虾壳炭（Washed Crayfish Biochar 缩写为 WCB）及烹饪后未洗虾壳炭（Cooked Crayfish Biochar 缩写为 CCB）的性质及对水溶液中 Ni（II）的吸附特征。本研究采用扫描电镜（SEM）、X 射线衍射仪（XRD）、傅立叶变换红外光谱仪（FTIR）以及批量吸附试验对小龙虾壳生物炭的性质及对 Ni（II）的吸附特征和机理进行研究。结果显示 CB 具有最高产率，最低 pH 值及最低 C、N 元素含量；CCB 具有最低产率，最高 pH 值和 C、H、N 元素含量。CB、WCB、CCB 比表面积分别为 32.86 m^2g^{-1}、24.73 m^2g^{-1} 和 18.6 m^2g^{-1}，对 Ni（II）的吸附均于 10h 后达到平衡，平衡吸附量分别为 5.32 mg/g、4.22 mg/g、4.03 mg/g。吸附等温线均符合 Freundlich 模型。小龙虾壳生物炭对 Ni（II）的吸附机理包括物理吸附、阳离子交换、共沉淀及表面官能团络合。结果表明，烹饪后未经清洗的小龙虾壳生物炭对 Ni（II）的吸附量最低，然而相比于吸附量最高的生虾壳炭，吸附量差距并不显著，考虑到清洗处理所需耗费的资源，将厨余小龙虾壳原料不经处理制备生物炭是最经济的选择。

S10-P-7

华北克拉通鲁西地区花岗质岩石成因和地壳氧化状态

胡雅璐 [1,2]，刘树文 [2*]，孙国正 [2,3]，高磊 [2,4]

1 中国地质调查局发展研究中心

2 北京大学，地球与空间科学学院

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

4 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* swliu@pku.edu.com

新太古代花岗质岩石中蕴含了古老地壳的全球演化和氧化状态的重要信息。本研究中综合研究了华北克拉通鲁西花岗—绿岩带中的五种主要的新太古代花岗质岩石和表壳岩的岩性、年代学和地球化学（1）：~2.69-2.68 Ga 英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质（TTG）片麻岩具有低 MgO 含量(0.68~2.11 wt%)和高$(La/Yb)_N$(16.7~92)的特征，起源于低钾下地壳镁铁质岩石的部分熔融；（2）~2.53 Ga 花岗闪长质片麻岩 MgO 含量低(0.87～1.91 wt%)， K_2O 含量高(3.06～4.66 wt%)，岩浆来源于高钾基性岩的部分熔融。（3）～2.54～2.49 Ga 二长花岗质片麻岩 SiO_2 含量最高(71.67 ~ 75.26 wt%)，岩浆由变质杂砂岩部分熔融形成；（4）～2.56～2.52 Ga TTG 片麻岩也具有较低的 MgO 含量(1.42 ~ 1.69 wt%)和较低的$(La/Yb)_N$ 比值(17.1 ~ 23)，岩浆是由位于较深地壳的低钾基性岩石部分熔融产生的；（5）~ 2.53 ~ 2.52 Ga 石英正长岩的全碱含量最高(9.66 ~ 11.23 wt%)，MgO 含量相对较低(0.71 ~ 1.50 wt%)，其岩浆是由新生玄武质岩石与再循环沉积物的部分熔融形成的。在上述岩石成因研究的基础上，本研究基于锆石微量元素氧逸度计计算了这些地壳来源的花岗质岩石的岩浆氧逸度。结果表明~ 2.7 Ga TTG 片麻岩的 log (fO_2)值范围为 FMQ-7.4 ~ FMQ+5.5，平均值为 FMQ+0.5;而~ 2.5 Ga 花岗岩片麻岩的 log (fO_2)值范围为 FMQ-4.3 ~ FMQ+8.9，平均值为 FMQ+3.3。结合矿物学研究结果，我们认为鲁西花岗—绿岩带中~ 2.7 Ga 大陆地壳比~ 2.5 Ga 大陆地壳处于相对更还原的状态，这可能与它们的来源区域和成分的差异有关。

S10-P-8

地表基质：内涵、分层、填图与支撑服务

殷志强[1,2*]，陈自然[3]，李霞[1,2]，邵海[1,2]

1 中国地质调查局，自然资源综合调查指挥中心

2 中国地质环境监测院

3 北京矿产地质研究院有限责任公司

* yinzhiqiang@mail.cgs.gov.cn

地表基质是地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类资源的基础物质，也是地球关键带的主要承载体和浅山区流域尺度表层岩土体调查监测支撑服务国土空间生态环境保护修复的“主战场”，其对于认识表层地球关键带结构特征及其土壤透气性、水文连通机制等具有重要意义。

地表基质调查是一项服务于生态文明建设的基础性国情调查工作（有别于土壤普查），需要以地球系统科学理论为指导，从地质本身出发，坚持大生态观和大系统观，将地表基质与自然资源和生态环境紧密联系，查清、填绘岩石和表层沉积物的物质组成、空间范围、厚度、理化性质等属性，描述的是其自然性质、表现行为及其对生态环境的约束影响。

地表基质的理化性质指标是多门类自然资源之间相互作用和密切联系的纽带，是“山水林田湖草沙”生命共同体的形成基础，地表基质研究强调的是其自然属性和生态属性，需要回归自然本源。在第三次全国国土调查的基础上，研究植被覆盖层下部的土壤、风化壳及包气带中水、气、元素的迁移和交换等，查清地表基质与林草生态植被的协同适宜性，纠正目前部分地区地表基质层与覆盖层不匹配、土地利用错位问题，实现调查成果的“一查多用”，支撑服务粮食生产（耕地占补平衡、耕地后备资源潜力区评价，国土整治等）、科学绿化（生态修复）、地质安全（城市建设区沙土液化、山区滑坡崩塌泥石流等地质灾害防治）、承载力评价与适宜性区划、碳储碳汇评估以及表层地球科学演化研究等。

地表基质综合调查评价是支撑自然资源管理和服务于宜林宜草、宜耕宜荒的基础性工作。关于地表基质综合调查的理论基础、目标定位、科学内涵、填图方法及分类分层等是目前探索的焦点与热点。这里，笔者在近年来承德生态文明示范区地表基质综合调查与多尺度填图的基础上，结合全国不同典型地区地表基质调查研究试点工作，进一步理清了地表基质的科学内涵与支撑服务目标，建立了地表基质第三级分类方案和填图单元及命名方式，提出了地表基质调查中生产层、生态层和生活层的深度范围，最后从支撑塞罕坝地区植树造林和坝上地区狼毒草生态防治两个案例揭示了地表基质对植被群落的约束作用。研究成果可为深入理解地表基质的科学意义和开展全国范围的地表基质调查监测评价区划提供基础参考。

S10-P-9

海南岛东部热带滨海界面土壤重金属多重残留：分布、来源、生态风险及其与土地利用类型的关系

傅开哲[1]，符国伟[1]，宋艳伟[1*]，吴东明[2]，陈泽恒[1]，袁坤[1]，李习文[1]，王照翻[1]

1 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

2 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所

* songyanwei@mail.cgs.gov.cn

海岸带界面是全球元素循环中最活跃的界面，连接着陆地和海洋生态系统。然而，沿海土壤中多种重金属残留的生态风险及其与人类活动的关系却很少受到重视。本研究于 2021 年在中国海南岛东部沿海表层土壤中采集表层土壤样品 199 份。在此基础上，对 8 个主要污染区域的污染特征、空间分布和生态风险进行了评价。结果表明，虽然低于全国背景值，但 8 种 HMs 的平均含量均高于海南省，其顺序为

Cr>Zn>Pb>Cu>Ni>As>Cd>Hg。从空间上看，各重金属含量呈西高东低的趋势，Zn、Pb、Cd、Hg 和 Cr、Ni 之间存在较强的空间关联。这与土地利用类型有关。西部园地用地对重金属的累积贡献最大，其次是工业用地、耕地、建设用地和林地。综合污染指数显示，轻度、中度和重度污染的样点分别占比达 34%、28%和 28%，而无污染和轻微样点的总和仅占 10%。生态风险评价结果显示，砷和镉累积的中度和极端生态风险分别为 20%和 26%。PMF 分析进一步表明，Zn、Pb、Cd 主要来源于交通运输和农业活动的混合来源;Cr、Ni、Cu 来源于土壤母质；汞和砷分别来源于燃煤和农业活动。人为活动的贡献率较大，为 63.60%，但土壤母质的贡献率也不容忽视，为 36.40%。研究结果可为海岸带界面土壤重金属的来源、污染评价及土壤重金属污染的治理和修复提供理论依据。

S11-O-1

深海热液区优势化能自养菌 SULFURIMONAS 和 SULFUROVUM 硫代谢机制研究

邵宗泽[1*]，王莎莎[1]，姜丽晶[1]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

* shaozongze@163.com

深海热液喷口是地球上最独特的生态系统之一。化能自养微生物作为热液生态系统的初级生产者，占据着重要生态位，在热液区乃至全球海洋碳氮硫生物地球化学循环中发挥着重要的作用。为深入认识化能自养微生物的代谢特征与生态贡献，本课题组开展了化能自养微生物的培养，并成功分离纯化获得热液区优势代表性菌种，如硫单胞菌 *Sulfurimonas* 和硫卵菌 *Sulfurovum*。基于这些纯培养菌株的研究，我们揭示了热液区微生物的自养代谢机制与生态功能(EM, 2021; FIM,2021）。

前期研究发现这些微生物可以利用单质硫进行氧化和还原。众所周知，单质硫主要以环状多聚分子 S_8 形式存在，不溶于水，难以穿过细胞膜。单质硫在被微生物利用前，必须经过胞外活化、开环，才能被跨膜转运至细胞中被进一步利用。这一过程对微生物能否有效利用单质硫至关重要。然而，目前对这一过程的认识缺乏。我们在前期研究基础上，通过多组学方法，研究了单质硫代谢过程中硫的胞外活化机制，发现单质硫氧化和还原存在不同的胞外活化机制，推测一些含硫醇的化合物如半胱氨酸和 GSH 等，可能在单质硫还原过程中发挥重要作用(Antioxidants. 2023)。

除此之外，我们最近的研究发现这些优势化能自养菌也参与了热液区硫歧化过程。相对于研究较多的硫氧化和硫还原，热液区硫歧化过程的研究相当欠缺，而目前越来越多的证据表明硫歧化过程在深海热液区普遍存在，推测是另一重要的，以前被忽视的黑暗固碳途径。目前缺乏可培养的硫歧化微生物，且缺少该过程的分子遗传标记，使得该类群在热液区的多样性、代谢机制和生态贡献尚不清楚。我们基于纯培养菌株的研究，发现优势能自养菌 *Sulfurimonas* 和 *Sulfurovum* 均具有硫歧化能力，这在弯曲菌门细菌首次报道，且该类群基因组没有已知硫歧化代谢途径，暗示该类群含有新的硫歧化机制（mSystems, 2023）。目前，参与单质硫歧化过程的关键基因/蛋白正在解析中。以上研究结果对于认识化能自养菌的环境互作机制与生态贡献具有重要参考价值。

S11-O-2

嗜酸热古菌硫化叶菌及其病毒因子调控细胞分裂与细胞周期研究

申玉龙[1*]，杨云峰[1]，黄奇洪[1]，刘军峰[1,2]，倪金凤[1]，Mart Krupovic[2]

1 山东大学，微生物技术国家重点实验室

2 Institut Pasteur, Archaeal Virology Unit

* yulgshen@sdu.edu.cn

嗜酸热古菌硫化叶菌（Sulfolobales）广泛分布于地球上酸性热泉中，它们与众多病毒相互作用，影响着地球化学元素循环。同时硫化叶菌及其病毒也是研究地球生命演化和古菌与病毒相互作用的模式微生物系统。硫化叶菌属泉古菌门（Crenarchaeota），TACK 超门，其细胞分裂蛋白机器及细胞周期与真核生物的类似。本论文将展示硫化叶菌中与真核生物保守的细胞分裂蛋白 ESCRT-III 及其旁系同源蛋白在细胞分裂和膜泡产生中的功能定位，同时将展示一种来源于宿主和病毒的 RHH 家族转录因子 aCcr1 对细胞分裂和细胞周期的调控机制。

S11-O-3

深海冷泉微生物和病毒——几个意想不到的发现

董西洋[1*]

1 自然资源部第三海洋研究所，自然资源部海洋生物遗传资源重点实验室

* dongxiyang@tio.org.cn

深海冷泉微生物驱动的生物地球化学过程对于认识深部生物圈物质与能量循环以及研究油气资源形成和全球气候变化具有重大科学意义。报告人将介绍对深海冷泉沉积物中的微生物和病毒的几个研究进展，主要涉及四个发现：（1）探明了水合物区几十米以下深沉积物中微生物的碳源和能源获取模式，发现了大分子发酵是深部微生物的主要能量来源；（2）揭示了冷泉沉积物中含有系统发育多样的固氮酶基因，同时极大地扩展了固氮微生物类群的物种多样性，并发现冷泉固氮微生物可能对全球氮平衡做出重大贡献；（3）初步厘清了冷泉沉积物中生态过程与关键微生物进化之间的相互关系，揭示了黑暗冷泉沉积物中的微生物存在依赖于深度的分层进化；（4）揭示了冷泉病毒拥有丰富的策略来应对宿主和适应环境，同时指出了冷泉病毒的进化轨迹独特且微观多样性出人意料地低。这些发现对于认识深部生物圈中微生物和病毒的生态与进化具有重要意义。

S11-O-4

南海冷泉微生物介导的生物地球化学过程及碳硫循环机制

庄光超[1*]，毛士海[1]，刘俏[1]，吴柄政[1]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* zgc@ouc.edu.cn

冷泉系统是深海化能合成生态系统的典型代表，是研究不同圈层之间物质能量交换、极端环境微生物以及微生物介导的元素循环过程的天然实验场。南海冷泉自发现以来，迅速成为近年来的研究热点。冷泉沉积物中，以甲烷氧化及硫酸盐还原为主的碳硫循环过程是主要的微生物过程。除此以外，少量甲烷会在产甲烷菌的作用利用不同甲基化合物产生甲烷。通过模拟原位的压力和温度条件，结合地化参数、同位素示踪及微生物多样性分析，我们探讨了冷泉沉积物中甲烷氧化机制及其与硫酸盐还原的关系，并发现原位条件下甲烷氧化可能与铁锰等电子受体耦合。硫同位素分析表明硫酸盐还原过程中不同硫组分表现出明显的分馏效应。另外，甲烷可以渗漏到上层水体中，甲烷随着扩散浓度明显降低，同时，近海底的甲烷有氧氧化作用则明显控制着甲烷向上层水体的输运。这些结果进一步表明，冷泉系统中甲烷厌氧氧化作用和甲烷有氧氧化作用对甲烷的渗漏起着重要的调控作用。

S11-O-5

相邻冷泉和热液生境中深海贻贝组织相关微生物群落特征及适应机制研究

林根妹[1,2]，卢建国[1,2*]，孙治雷[3]，谢金桂[1]，黄俊柔[1]，苏明[1,2]，吴能友[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，自然资源部天然气水合物重点实验室

* lujianguo@mail.sysu.edu.cn

冷泉和热液是岩石圈与外部圈层进行物质、能量转移和交换的重要途径，同时作为化能合成生态系统为深海生物及其微生物提供了特殊生境。一系列调查研究表明，冷泉和热液在多处区域存在空间并置现象，从而在构造地质、生物生态和元素循环等方面可能存在相互作用或耦合关系。深海贻贝 *Bathymodiolus platifrons* 和 *B. japonicus* 同时分布于冷泉和热液两种生境中，已被报道在其鳃组织中专门存在甲烷营养内共生菌。然而，关于在不同生境条件下的这两种深海贻贝各组织微生物群落特征的比较，相关信息仍然有限。本研究通过采集西太平洋冲绳海槽相邻冷泉和热液环境中的深海贻贝 *B. platifrons* 和 *B. japonicus*，对鳃、闭壳肌、外套膜、组、内脏团（包括肠道）等各个组织进行取样，并基于 16S rRNA 基因测序方法解析微生物群落特征。相关研究结果发现，同一生境中的两种深海贻贝在微生物群落结构方面具有高度的相似性，贻贝鳃组织与其他组织的微生物群落结构相比具有明显差异；对于不同生境中的贻贝，其鳃组织的微生物群落则更为相似。在冷泉和热液的贻贝鳃组织中，共生 γ 变形菌甲基单胞菌科（Methylomonaceae）均为优势类群，这类微生物极有可能发挥着甲烷氧化的重要功能；而在其他组织中，冷泉贻贝和热液贻贝的优势微生物类群分别为假单胞菌科（Pseudomonadaceae）和肠杆菌科（Enterobacteriaceae），这些微生物则可能在深海重要元素循环中发挥重要作用。深海贻贝具有组织相关性的微生物群落及其可能发挥的独特代谢功能，使其成为相邻冷泉和热液两大生态系统之间物质交换和能量流动的重要载体之一。本研究丰富了对于深海贻贝组织相关微生物群落特征的认识，可为揭示冷泉-热液生态系统之间的沟通融合、评估两个极端生境之间相互促进的资源聚集效应奠定基础，并为进一步阐明西太平洋极端环境区域流-固相互作用机制提供重要科学依据。

S11-O-6

冲绳海槽冷泉沉积物微生物群落的生物地球化学过程

陈烨[1,2*]，孙治雷[1,2]，董西洋[3]，徐翠玲[1,2]，吴能友[1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，自然资源部天然气水合物重点实验室

2 崂山实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

* chenye128@yeah.net

深海冷泉沉积物蕴藏着丰富多样的细菌和古菌，对生物地球化学循环有着深刻的影响。东海冲绳海槽是西太平洋一个典型的弧后盆地，覆盖厚层的富含有机质的新生代陆源沉积，其高热流值和多构造裂隙环境有利于烃类转化和运移，冲绳海槽已发现了大量的活动冷泉。作者以冲绳海槽冷泉区沉积柱状沉积物样品为研究对象，重建了细菌和古菌共251个中高质量宏基因组组装基因组（MAGs），从单个物种水平上分析了微生物对碳、氮、硫及铁循环的贡献。获得以下研究结果：①产乙酸过程普遍存在冷泉沉积物微生物基因组中，且大多数是通过 Wood-Ljungdahl (WL)途径固定 CO2 产生。H2 还

原甲基营养型产甲烷菌 Methanomassiliicoccales 和 Methanofastidiosales 是占优势主导地位的产甲烷菌，它们缺少编码 WL 途径的关键基因，但可利用 rTCA 循环途径进行 CO2 的固定。三种类型 ANME 古菌（ANME-1、ANME-2 和 ANME-3）共存，其中 ANME-2 基因组中同时含有执行硫酸盐还原和甲烷氧化的关键基因（dsrB 和 mcrA），表明该成员可以不依赖硫酸盐还原菌（SRB）单独完成 AOM 过程，ANME-2b 古菌中存在 Fe(III)还原基因（omcZ），表明该类群具有以铁氧化作为电子受体氧化甲烷的潜力。② 除了 Deltaproteobacteria 外，Dehalococcoidia、Gemmatimonadees 等细菌群落也具有硫酸盐还原能力。编码 Sox 硫氧化系统的基因（soxBCY）仅存在一个隶属于 Alphaproteobacteria 的基因组中（A10_metabat2_bin.104）。此外，该基因组还含有反硝化基因（napAB, nirS, norBC）和异化硝酸还原成铵（DNRA）基因（nirBD, nrfA），这一结果表明 Alphaproteobacteria 具有硫氧化耦合反硝化和 DNRA 的能力。在 A10_metabat2_bin 基因组中，同时存在编码乙酸生产（acdA, ack+pta）和乙醇生成基因，表明 Alphaproteobacteria 能够利用乙酸和乙醇作为电子供体。SRB Syntrophobacterales 含有 narGH 和 nrfA 功能基因，暗示 SRB 具有执行 DNRA 的功能.

上述研究结果为深入认识微生物在冲绳海槽冷泉沉积物元素循环中的作用提供了丰富的数据支持和帮助。

S11-O-7

深海沉积物微生物对重金属的转化和输运

王勇[1*]，李卓波[1]

1 清华大学，深圳国际研究生院

* wangyong@sz.tsinghua.edu.cn

陆坡和开放大洋有不同的沉积物环境特征，孕育着不同的微生物群落，参与着生物地球化学元素循环，然而微生物对海洋沉积物中重金属元素的循环有何影响尚不清楚。本研究从西太平洋海域的中国南海陆坡、中国南海海盆、巴士海峡和马里亚纳海沟采集了 19 个沉积物柱状样，研究了微生物对重金属的砷和汞循环的贡献。宏基因组数据分析发现，砷代谢基因普遍存在，在直接接受陆源输入砷和汞的陆坡，微生物通过砷解毒和汞甲基化应对砷和汞胁迫，而在食物链富集和地形汇聚共同作用下，中国南海海盆和马里亚纳站位中甲基汞相对含量高，微生物通过汞去甲基化解毒。微生物在增强重金属耐受能力的同时，促进了海洋中的重金属循环进程，进而使海洋成为重金属元素的重要汇。此外，在寡营养和高静水压的深海中，微生物可以利用砷酸盐获得能量，并可能借助甲基砷作为渗透压保护剂。该研究结果拓展了从陆坡到开放大洋沉积物中微生物介导的砷和汞的转化和输运功能的认识，揭示了微生物对全球海洋中的重金属循环发挥重要的驱动作用。

S11-O-8

深渊拟杆菌门细菌的有机碳代谢特性研究

刘吉文[1*]，朱晓雨[1]，李杨[1]，张晓华[1]

1 中国海洋大学，海洋生命学院

* liujiwen@ouc.edu.cn

深渊海沟（>6000 m）是地球上最深的海洋区域，也是有机物的沉积中心。然而，沉积过程对深渊海沟微生物生态过程和生物地球化学的贡献知之甚少。本研究通过培养和非培养方法，探究了在马里亚纳海沟深渊水体中富集的拟杆菌类群的潜在碳源。与表层水相比，深渊水体拥有由黄杆菌科中 *Mesoflavibacter* 和 *Muricauda* 主导的独特群落。表层和深海拟杆菌群落编码了不同的碳水化合物活性酶（CAZymes）基因集。

CAZyme 基因的相对丰度通常随着水体深度的增加而增加，并且其在深渊基因组中的含量约为表层来源基因组中的两倍。多糖利用位点（PULs）的分析进一步表明，深渊拟杆菌具有更强的聚糖降解能力和更大的灵活性，特别是针对细胞壁多糖（即半纤维素和果胶，可能主要来自海藻和陆地植物）。从深渊水体中分离出的*Mesoflavibacter*菌株能够在模拟深海环境条件下以果胶阿拉伯聚糖为唯一碳源生长。该菌株含有一个阿拉伯聚糖 PUL，可能是从沿海/陆地的近缘拟杆菌类群中获得的。这些结果表明，深渊拟杆菌通过扩展的 CAZyme 基因集以利用未被表层群落充分降解的多糖物质，从而在深渊碳循环中发挥重要作用。

S11-O-9

深海沉积物中细菌多样性及代谢潜力研究

宫先哲[1*]，陈志怡[2]，许乐[1]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，微生物技术研究院

* xianzhe.gong@sdu.edu.cn

海洋覆盖了地球超过三分之二的表面积，通过水体沉降到海底大量有机物，因此，沉积物是世界上最大的有机碳库。沉积物中含有大量的微生物，这些微生物群落驱动着海底中的碳氮硫等元素循环。尽管沉积物中的微生物具有重要的生态功能，目前对沉积物中代谢过程的认知仍然有限，这对于采样具有一定难度的深海沉积物更为显著。前期通过单个基因，如 16S rRNA 基因的研究发现，沉积物中存在许多未被培养的古菌类群，如泉古菌门不仅在海洋环境中广泛分布，它们在海洋沉积物中也具有较高的丰度；阿斯加德古菌在深海沉积物中的发现不仅极大地扩展了生物多样性，其对于深海沉积物中烷烃代谢也可能起着关键作用。相比古菌类群，沉积物中细菌类群受到的关注较少，沉积物中占主导的细菌门类为变形菌门，拟杆菌门等。近期，通过高通量测序技术在沉积物中发现许多未被培养的细菌门类，这些未被培养的细菌在环境中也是广泛存在，但目前尚不清楚其具体的代谢途径，更无法了解其在环境中的生态功能。本研究通过对瓜伊马斯盆地热液口附近的沉积物进行取样，通过宏基因组测序技术，重构了超过 4000 个中质量的原核微生物基因组，通过核糖体蛋白构建的进化树表明，这些基因组中包含超过 20 个尚未被描述的细菌门类，表明海洋沉积物中存在大量未知的微生物多样性。进一步利用 16S rRNA 基因在公开的数据库中比对发现，这些类群在环境中广泛存在。通过对其基因组功能基因进行注释，发现这些类群含有许多碳氮硫循环过程的关键基因，表明这些类群可能在沉积物的生物地球化学循环中发挥着重要作用。将这些基因组的蛋白与数据库进行比对发现，这些新型细菌类群含有的新型蛋白的比例超过数据库基因组中的平均比例，这些新型蛋白具有序列保守性且与已知的功能基因具有保守的同线性，暗示着这些新型蛋白可能具有重要的生理功能，进一步验证了这些细菌类群的新颖性。总之，本研究通过以瓜伊马斯盆地沉积物为例，利用高通量测序重构的基因组揭示了深海沉积物中微生物的生物多样性及代谢潜力多样性。

S11-O-10

马里亚纳海沟深渊沉积微生物降解卤代有机物的潜力及活性研究

刘如龙[1*]，刘煜恒[1]，魏慧[1]，李致东[1]，王丽[1]，胡琳[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* rlliu@shou.edu.cn

深渊是地球海洋的最深处，是海洋有机质沉降的终端，又是海洋与地球深部物质交换的“通道”。尽管有着高压等极端环境条件，

深渊却具有远超预料的沉积有机碳含量和微生物碳周转率，是深海有机碳降解的“热点”。科研人员已在深渊发现烃类等有机物的降解过程，然而深渊沉积有机质成分极其复杂，其他类型有机质的微生物降解机制及其对深渊碳循环的影响和贡献等目前尚不清楚。卤代有机物是一类较难被生物利用的碳源，最新研究显示其在深渊海沟内大量富集，同时深渊沉积物优势菌群基因组中富含卤代有机物降解的关键酶脱卤酶的编码基因，因此卤代有机物的降解可能是深渊微生物代谢的重要方式。本研究通过分子生态学调查结合宏组学、单细胞基因组学、遗传学以及高压模拟培养等手段，研究了马里亚纳海沟深渊沉积物中脱卤酶资源多样性和生态分布规律，解析了深渊脱卤微生物的类群组成和代谢模式，并且首次揭示了微生物在深渊极端高压环境下高效降解代表性卤化物的活性和潜在的降解通路，对于解析深渊微生物降解卤代有机物的潜力、活性和机制，认识深渊碳循环和极端生命过程等具有重要的科学意义。

S11-O-11

海洋沉积物微生物利用甲硫醇产 DMS 的过程和机制研究

战渊超[1*]，卜宪朋[1]，何新新[1]，刘荣华[1]，刘吉文[1]，张晓华[1]

1 中国海洋大学，海洋生命学院

* zhanyuanchao@ouc.edu.cn

病毒作为海洋中最丰富的生命形式，驱动了微生物群落的演替和进化，积极影响着生物地球化学循环，在生态系统中扮演着重要的角色。马里亚纳海沟挑战者深渊是地球上已知最深的地方，具有低温和高静水压等特点。目前对于原核微生物的研究显示海沟深处微生物具有独特的生态群落结构和代谢特点。海洋病毒亦是这一极端环境中重要的组成部分。然而目前对于海沟深处沉积物中病毒群落的结构、多样性、生态功能及其与宿主之间的关系还缺乏系统性的认知。

本研究对来自挑战者深渊底部 0-752 cm 深度的沉积物样品进行了病毒宏基因组学分析，得到了 8674 个 vOTUs，具有很高的新颖性，以海洋中最常见的长尾病毒、短尾病毒和肌尾病毒为主。底部沉积物病毒的宿主范围也十分广泛，主要以热变形菌门、变形菌门、绿弯菌门等优势原核微生物为主。同时，本研究发现沉积物中的病毒群落与深度呈现出显著的聚类特征。15-24cm 深度的沉积物中病毒群落结构和多样性与其他层存在显著差异，且高丰度的热变形菌门病毒是造成这一巨大差异的主要原因。

底部沉积物病毒与其宿主的丰度显著正相关，但在整体水平、宿主门水平以及单一宿主水平上看，病毒与宿主丰度比较低，这意味着底部沉积物中病毒对宿主的侵染压力较小。不仅如此，沉积物中宿主丰度与病毒-宿主丰度比呈现出了显著的负相关，即高丰度的宿主伴随着对宿主低侵染压力的病毒。这一结果表明在底部沉积物中，病毒与宿主的关系更符合 Piggyback-the-Winner 假说，即病毒更倾向于以溶源形式与高丰度宿主共存，而不是通过裂解作用杀死宿主。

海沟深部沉积物病毒组中含有多个参与脂肪酸、肽聚糖、磷壁酸以及脂多糖合成的辅助代谢基因。我们还在病毒基因组中发现了 INO1 和 Plc 基因，它们参与合成了渗透压保护剂肌醇。这些辅助代谢基因能够提高宿主的细胞膜、细胞壁的稳定性和完整度。此外，病毒沉积物病毒组中含有多个与甲基化修饰、鸟嘌呤异构体合成以及 O-抗原合成相关的辅助代谢基因，暗示着海沟底部沉积物中持续存在着病毒与其宿主之间的军备竞赛。

S11-O-12

马里亚纳海沟原核微生物群落的驱动机制

齐琪[1]，胡傲然[1]，赵维殳[1]，王景[1]，肖湘[1*]

1 上海交通大学，生命科学与技术学院

* zjxiao2018@sjtu.edu.cn

深渊生态系统是指深度位于 6000 米以下的海洋区域。马里亚纳海沟最深处约 10984 米，具有高静水压（约 400 atm）、低温（＜4℃）、寡营养（有机碳含量 0.3～0.4 % w/w）等极端环境。以往结果表明：在马沟沉积物中，原核生物的密度达到 0.97×10^{7} cm^{3} 个、氧气的利用速率为 154±48 mol m^{-2} d^{-1} ,有机碳含量为 1108±11 g m^{-2}；而这些参数远高于深度为 6000 m 的海底沉积物中的对应指标，这表明深渊生境中的微生物活性依然很强。本文基于约 160T 的宏基因组数据，对马里亚纳海沟沉积物中的微生物群落进行研究，解析马里亚纳海沟中微生物多样性高、新颖性高的成因。本研究发现：马沟中的微生物群落主要受同向选择（64%）和扩散限制（31%）的影响。与菲律宾海盆和雅浦海沟相比，马沟微生物群落的扩散限制作用更强。随沉积物深度的增加（0-30 cm），微生物群落受随机性过程逐渐增加。而沿沉积物深度分布，不同微生物类群的驱动机制的不同。其中，*Fibrobacterota* 、*Latescibacterota* 等类群主要受到确定性的影响；*Nitrospinota*、*Nitrospirota* 等类群主要受随机性的影响。确定性过程相对比例与基因组大小、基因组预测代时、基因组预测最适生长温度显著正相关；而与基因组 GC 含量显著负相关。此外，对于马沟沉积物微生物群落，存在一定比例的混沌性质（25%-35%）。本研究明确了马沟微生物群落的驱动机制，首次揭示了马沟微生物群落驱动机制与基因组特征间的关联，并为深渊沉积物中较高的微生物多样性和新颖性提供机理解释。

S11-O-13

无氧环境中微生物诱导铁氧化物矿物转化的分子机制

刘娟[1*]

1 北京大学，环境科学与工程学院

* juan.liu@pku.edu.cn

铁氧化物矿物的生物地球化学转化与微生物的呼吸代谢、营养元素的生物地球化学循环以及污染物迁移富集等过程密切相关。在无氧环境中，进行铁、硫代谢的微生物可以利用铁氧化物矿物作为电子供体或受体，驱动铁氧化物矿物的氧化-还原反应。微生物代谢产生的低价态铁或硫离子也可以驱动亚稳态铁氧化物的转化，导致矿物组成、环境氧化-还原状态等性质发生变化，进而影响微生物的群落组成和呼吸代谢。报告介绍了异化铁还原菌胞外呼吸作用驱动亚稳态铁氧化物矿物（如水铁矿、纤铁矿等）转化为赤铁矿、磁铁矿等热力学稳定矿物的分子机制。通过快速提取和量化水铁矿相变的中间介体 labile Fe(III)，结合 ^{57}Fe 同位素示踪、位点选择跟踪成像（Identical Location TEM）等技术，揭示了环境因素、初始矿物性质、有机质等因素对 labile Fe(III)形成和重结晶的影响机制。结合磁铁矿硫化研究介绍了硫酸盐还原菌产生硫离子、间接诱导铁氧化物转化为铁硫化物矿物的反应机制，揭示了硫/铁比对矿物转化程度及其次生硫化物矿物物相组分的调控机制。上述研究有助于认识无氧沉积环境中铁、硫代谢微生物在铁氧化物矿物转化过程中的重要作用及其调控机制。

S11-O-14

富铁微生物垫中病毒参与的铁代谢

王龙[1]，孙明雪[2]，牛京菁[2]，李江涛[2*]，张锐[1*]

1 深圳大学，高等研究院
2 同济大学，海洋与地球科学学院
* jtli@tongji.edu.cn
* zhangray@gmail.com

对几乎所有生命形态来说，铁都是一种必不可少的关键元素。铁不仅是光合作用、氧化还原反应关键酶的重要组成元素，铁的可利用性也被认为是地球地质历史时期中驱动微生物进化的重要因素。自大氧化事件发生以来，海洋绝大部分区域都是缺铁的，然而深海热液区却是一个还原性铁丰富的生命绿洲，我们对病毒如何调节富铁环境中铁的代谢还知之甚少。我们从分布于西南印度洋、环太平洋以及大西洋洋脊等多个区域的深海热液区采集富铁微生物垫样品，从宏基因组中挖掘到大量病毒序列信号。我们发现病毒除了可以调节宿主对铁的摄取以外，还参与了铁的氧化和还原。其中一个发现自西南印度洋龙旂热液区的携带铁氧化基因的病毒具有非常高的丰度，其携带的铁氧化基因 cyc2 贡献了整个环境 16%的拷贝数，暗示着病毒感染对深海铁氧化具有非常显著的促进作用。作为对比，来自海洋表层缺铁水体的病毒基因组中未发现与铁氧化还原相关的基因，但是存在大量促进铁摄取和铁转运的基因。这说明在缺铁环境，病毒通过帮助其宿主获得铁而提高其环境适应能力。此外，来自缺铁环境的病毒其核苷酸多样性指数 Pi 显著高于来自富铁微生物垫的病毒，说明铁的可利用性可能对病毒的进化也有影响。本研究的开展首次揭示了病毒感染与宿主铁代谢的关系，发现了病毒在富铁热液环境中对铁氧化还原的促进作用，加深了我们对病毒在深海热液环境中的生态功能的认识。

S11-O-15

深部生物圈纯培养病毒及其与宿主相互作用关系研究

牛京菁 [1]，李江涛 [2*]，张锐 [3*]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 同济大学，海洋与地球科学学院
3 深圳大学，高等研究院
* jtli@tongji.edu.cn
* ruizhang@szu.edu.cn

厚壁菌门（*Firmicutes*）细菌广泛分布于深部生物圈，也是深海沉积物可培养细菌的主要类群之一。很多厚壁菌可以通过产生内生孢子（endospore）来降低能量消耗，并以休眠的状态在深部生物圈中存活数百万年。约 70%的厚壁菌门细菌中整合有前噬菌体，这种温和性噬菌体可以与宿主菌建立稳定的遗传关系，增强细菌种群在极端环境中的适应性。目前，对深部生物圈可培养细菌中前噬菌体诱导与鉴定的工作较少。因此，本研究以波罗的海沉积物中的可培养厚壁菌门细菌作为宿主，通过诱导实验获得纯培养病毒颗粒，对病毒的基本生物学特征及全基因组信息进行分析。结果表明，深部生物圈可培养病毒具独特的尾部结构，有利于穿透宿主细胞壁，对病毒的感染和生存有所助益；感染厚壁菌门的病毒类群可以促进宿主细胞进入孢子状态，抵御恶劣环境的损害，维持宿主细胞生存；病毒可以通过自身编码的群体感应系统调控生命周期，在面对不利的环境条件时，维持在宿主细胞内的溶原状态。本研究促进了对深部生物圈可培养病毒的多样性、功能及与宿主之间相互作用关系的了解。

S11-O-16

极端环境微生物在典型海洋脊椎动物浮游-底栖生活史转变过程中的调控作用

杨金龙 [1,2*]，杨丽婷 [1,2]，梁箫 [1,2]

1 上海海洋大学，国家海洋生物科学国际联合研究中心
2 上海海洋大学，水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室

* jlyang@shou.edu.cn

在海洋生态系统中，许多海洋无脊椎动物都具幼虫发育阶段，其浮游—底栖生活方式的转变是生活史的关键一环。大多海洋无脊椎动物由于其缺乏复杂内分泌系统、主要由外源性化学信号直接诱导完成附着变态发育过程。近海环境中的海洋细菌，能形成生物被膜，有效介导海洋无脊椎动物幼虫附着变态发育过程。众所周知，大于 1000m 的深海区蕴含着大量的微生物资源，这些深海微生物在适应环境的过程中，进化出独特的代谢途径，能产生特殊的代谢产物，具有潜在的应用价值。然而，深海微生物对海洋无脊椎动物幼虫浮游-底栖生活史转变的功能作用尚未得知。我们调查了深海细菌不同种属对贻贝幼虫附着变态的调控作用，探讨了其在不同温度适应条件下的适应性和生物被膜形成能力变化，以及关键胞外产物合成基因对生物被膜分泌胞外基质以及贻贝幼虫附着变态的影响。研究表明深海细菌能诱导贻贝幼虫附着，且其对温度具有很强的适应性，通过介导生物被膜形成能力，进而调控幼虫附着变态发育过程；胞外产物合成基因的缺失导致生物被膜分泌胞外基质能力的改变，最终影响幼虫浮游-底栖生活史的转变，我们的研究将为后续极端环境微生物与海洋无脊椎动物互作机制解析奠定基础。

S11-O-17

极地海洋假交替单胞菌环境应答的转录后调控研究

廖丽[1*]，段泽东[1]，文姣[1]

1 中国极地研究中心（中国极地研究所）

* liaoli@pric.org.cn

极地是研究生命适应极端环境及其变化的天然实验室。繁衍在寒冷生物圈的微生物进化出了复杂的策略以适应低温，与此同时，极地微生物同样面临各种环境的变化，包括气候变化导致的温度上升等。微生物如何通过精准调控基因表达来适应极端环境及其变化仍需进一步研究。

为此，我们以极地海洋优势细菌 *Pseudoalteromonas*（假交替单胞菌）为对象，探讨不同温度压力对适冷微生物基因表达的影响。我们发现高温改变了大量功能基因的表达，并且还影响了大量 sRNA 的表达，表明在温度应答中 sRNA 可能发挥了重要作用。从未知的基因间隔区域发现一个新的疑似 sRNA（命名为 Pf1），进一步研究确认 Pf1 为 CsrA 蛋白调控型 sRNA。为了研究 Pf1 在温度应答中的作用，构建了敲除突变菌株，并与野生菌株开展了不同温度压力下的比较转录组和比较蛋白质组研究。结果发现 Pf1 影响了包括糖酵解、糖原合成、TCA 循环、呼吸链、运动性、分泌系统等诸多生命过程的基因表达。Pf1 的缺失在不同温度下均降低了糖原合成能力并影响菌株生长，而以鞭毛为主的运动性在不同温度下体现出相反的结果。这些结果表明 Pf1 在温度应答中发挥了全局调控作用，而且在细菌“适者生存”的角逐中扮演重要角色。

由于目前对 sRNA 的认知仍然非常有限，尤其极端环境中微生物 sRNA 的研究极少。本研究揭示了以 sRNA 为主的转录后调控在极地微生物环境应答中发挥了重要作用，且极端环境下可能进化出新颖的 sRNA。本研究为了解极地微生物如何精准调控基因以适应极端环境及其变化提供了新的认知。

S11-O-18

环境微生物代谢流技术开发与应用

吴伟超[1*]，魏玉利[1]，许云平[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* wcwu@shou.edu.cn

微生物是地球物质和能量循环的主要驱动者之一，其代谢活性、途径和物质的利用效率是理解其驱动机制的突破口。随着基因组学的发展，环境微生物代谢功能的认识

已经得到显著提高，然而微生物代谢通路的活跃性却与环境因素紧密相关。如何追踪环境微生物胞内代谢过程或表型代谢，对于理解微生物驱动的生物地球化学循环过程，更有现实意义。

代谢流评估技术（Metabolic Flux Analysis; MFA）是一种定量评估化合物在微生物胞内和代谢网络中的流向、分布和大小（即通量）的研究方法，从而有助于厘清微生物的关键代谢通路及上下游的调控机制，提高微生物动态代谢过程的认识。基于 ^{13}C 同位位素标记法的 MFA（又称 ^{13}C-MFA）成为评估微生物代谢的金标准，已经在代谢工程广泛应用。然而在环境微生物代谢研究方面还未广泛应用，主要瓶颈是方法的不适用性。为此，本研究整合了生物地球化学经典微生物指标—磷脂脂肪酸和微生物代谢流评估模型，开发了 ^{13}C-微生物脂质代谢流技术，并在枯草芽孢杆菌和假单孢菌上得到了证实。进而我们将该方法应用在了土壤（以农业土壤为例）和海洋沉积物（波罗的海沉积物为例），初步的研究表明土壤和海洋沉积物细菌群落在利用葡萄糖时的三种主要糖代谢过程（包括糖酵解 EMP、磷酸戊糖途径 PPP、2-酮-脱氧-6-磷酸葡糖酸途径 EDP）存在着明显的差异：土壤以 PP 途径为主，而海洋沉积物细菌以 EMP 为主。这与目前已知的纯微生物菌株的代谢流模式明显不同，我们推测这可能与微生物群落所处环境的氧化还原状态有关，从而影响微生物能量的决策过程。我们的研究表明环境微生物代谢流技术能够补充基因组学的信息，提高微生物表型代谢认识，进而深入理解微生物驱动生物地球化学循环的动态代谢机制。

S11-P-1S

对 ASGARD 古菌在真核生物起源和其生态功能的新认识

解瑞泽 [1]，王寅炤 [2]，黄丹玥 [1]，李留洋 [2]，侯佳林 [2]，胡海宁 [2]，赵小小 [2]，王风平 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

2 上海交通大学，生命科学技术学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

真核生物起源和生命的真核化过程（Eukaryosis）一直是国际上生命和地球系统科学研究的热点前沿科学问题。最新的研究发现真核生物很有可能起源于古菌的 Asgard 超门，并且认为 Heimdallarchaeota-Wukongarchaeota 分支是最接近真核生物的已知古菌姐妹群。然而，我们对真核生物与 Asgard 古菌的关系，以及 Asgard 古菌的生态功能了解仍很有限。最近我们发现了 3 个 Asgard 古菌新门，并暂命名为涅尔德古菌（Njordarchaeota）、弗雷古菌（Freyrarchaeota）和西格恩古菌（Sigynarchaeota）。综合的系统发育学分析进一步支持真核生物起源于 Asgard 古细菌，且发现 Njordarchaeota 是目前已知的与真核核宿主谱系最近的分支。通过对 Njordarchaeota 代谢特征分析，提出了基于 Njordarchaeota 与细菌代谢共生模型，即真核生物的古菌祖先利用氨基酸等小分子有机质产生乙酸或氢气与 α-变形菌共生，这种长期的互利共生关系可能导致最终的内共生及真核生物的出现。，而 Sigynarchaeota 和 Freyrarchaeota 具有通过 WL 途径固定无机碳和降解有机物的潜力。此外，在 Freyrarchaeota 中发现了同型乙酸生成的 Ack/Pta 通路。本研究拓展了 Asgard 古菌成员，为真核生物的进化提供了新的思路，并提高了我们对 Asgard 古菌生态功能的了解。

S11-P-2S

南海 F 冷泉水体与沉积物微生物垂直分布特征及其生物地球化学功能研究

金剑[1]，张晓华[1*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院

* xhzhang@ouc.edu.cn

冷泉是指富含甲烷等烃类物质的流体从海底渗出所形成的流体系统，冷泉中溢出的甲烷等碳氢化合物所营造的生态系统有着中等的微生物丰富度，且具有关键的生物地球化学功能。冷泉是链接地球表层和深部圈层的重要窗口，影响着地球圈层之间的物质循环。F 冷泉，也被称为福尔摩沙冷泉点，是在中国南海发现的一个高度活跃的冷泉点，因为其巨大的自生碳酸盐、蓬勃发展的化学合成群落和易于到达的位置使其成为热门研究对象。但由于采样困难的原因，目前对于冷泉水体的研究相对较少。本研究利用 16S rRNA 基因高通量测序技术对 F 冷泉全水深和沉积物中微生物群落结构和潜在功能进行研究。研究结果显示冷泉全水深中主要的甲烷氧化菌以 IheB2-23 为主，且水体的中部（400-900m）明显要高于水体的表层（0-100m）和底层（1000m 及以下）。冷泉全水深中的自养硫氧化菌以 SUP05_cluster 为主，且也是呈现出水体的中层（200-800m）明显要高于水体的表层（0-100m）和底层（1000m 及以下），甲烷氧化菌在最高处可达 2.3%，其占比介于普通海洋环境（0%）与深海热液（40%）之间。对于南海 F 冷泉七个不同站位沉积物样品研究结果显示，沉积物中的硫酸盐还原菌（SRB）主要以脱硫杆菌（*Desulfosarcinaceae*）为主，且大约占所有硫酸盐还原菌的 50%左右。沉积物中仅在 C2-中发现了相对占比较多的厌氧甲烷氧化古菌（ANME），以 ANME-2a-2b 类群为主，最高占比大约为 0.45%。SRB 和 ANME 通常形成共生体，进而参与碳和硫元素的循环，消耗冷泉沉积物中的甲烷。这些研究结果显示在冷泉 F 站位形成了特有的冷泉生态系统，在该生态系统中发生着硫氧化、甲烷氧化等活动，微生物在冷泉生态系统中发挥着举足轻重的作用。

S11-P-3S

冲绳海槽南部热液区柱状沉积物微生物垂直分布多样性及其对环境因子的响应

邓兴渝[1,2]，曹文瑞[2*]

1 山东科技大学，地球科学与工程学院

2 中国科学院海洋研究所

* wrcao@qdio.ac.cn

近年来，海底热液环境中的微生物及其环境适应机制已经成为研究的热点。冲绳海槽作为弧后盆地的代表，在其中部和南部有多个典型的热液区，吸引了一批学者开展微生物方面的研究。目前，相关的研究主要集中在表层沉积物及微生物的水平分布多样性方面，而对柱状沉积物微生物中微生物垂直分布多样性研究却很少。本文基于中国科学院海洋研究所“科学号”考察船在 S2 站的 HOBAB4 巡航期间西太平洋冲绳海槽南部热液区域采集的柱状沉积物样品，通过对不同层位的样品进行分离培养和 16S rRNA 基因高通量测序，揭示了样品中可培养微生物和总体微生物的垂直群落分布特征，同时结合对样品主微量元素、碳氮含量等指标的评估和冗余分析等统计学方法，讨论了微生物群落结构及其对环境因子的响应。研究结果表明，冲绳海槽南部沉积物主要由 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3 等组成，这三种组分占沉积物总量的 77.04％～81.87％。总碳和总氮的含量分别在 1.10～1.64%和 0.07～0.16%，有机碳（TOC）含量范围在 0.66～1.05%）。通过分离培养，得到纯菌株 76 株，分属于 4 个门、5 个纲、7 个目、14 个科共 25 个属。其中，变形菌门（*Proteobacteria*）为优势类群，分为 *α*-和 *γ*-两个亚群，占总数的 64%。基于 16S rRNA 高通量测序的结果同样表明，在所有层位中变形菌门为占据绝对优势的类群，这种现象在更深层（>240cmbsf）的沉积物中表现的更为明显；相对于深层的沉积物，表层沉积物表现出更高的微生物多样性。冗余分析结果显示相比于其他测定的环境因

子，Zn 和 Pb 的含量与微生物的群落组成有着更为密切的关系。总之，本研究的结果和获得的菌种资源为进一步深入研究海洋热液环境中微生物参与元素地球化学循环的过程提供了一定的基础。

S11-P-4S

热液沉积物中微生物群落对热梯度的响应及不同环境下微生物功能的冗余

宿蕾[1]，AndreasP.Teske[2]，张燕[1]，李江涛[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 University of North Carolina at Chapel Hill,Department of Marine Sciences

* jtli@tongji.edu.cn

瓜伊马斯盆地是位于加利福尼亚湾2000 m 深处的半封闭式海盆，其主要特点是海底扩张活跃、热液活动频繁、有机质丰富、沉积物沉积速率高，是研究海底极端环境微生物以及生命起源的天然实验室。沉积物/海水界面的热液混合促使形成了不同的微生物栖息地进而形成了不同的原核生物群落组成。在表层沉积物中，温度和生物地球化学梯度的微观异质性的混合作用创造了一个动态界面栖息地或原核生物群落结构，这样的环境有利于微生物较高的生理和进化多样性。先前的研究已经检测了瓜伊马斯盆地沉积物中温度达到或超过 80℃的热液沉积物、温度接近或低于 30℃的中温沉积物以及表面覆盖的微生物席中细菌和古菌群落组成。

为了进一步扩展我们对不同程度热液影响的沉积物中微生物群落结构和相关环境控制因素的理解，我们研究了瓜伊马斯盆地从中温的 Aceto Balsamico 地区到 Catherdral Hill 中度和极度嗜热的热液沉积物中细菌和古菌的系统发育群落组成、功能预测、共生模式以及不同热液栖息地中微生物谱系与环境之间的复杂关系。非度量多维尺度法（Non-metric multidimensional scaling；NMDS）和 GC（guanine-cytosine content）含量结果表明，不同采样梯度中的细菌和古菌群落根据其原位的温度梯度进行了群落组成上的调整，但功能预测和系统发育分析表明，不断变化的原核生物群落始终保持着其生物地球化学功能，例如，在不同温度梯度下进行硫酸盐还原、甲烷氧化、异养功能的原核生物群落谱系存在明显差异，但是都保持着相似的生理性功能。这种潜在的功能冗余稳定了瓜伊马斯盆地高度动态环境中的热液原核生物群落及其可能的代谢功能，并有利于帮助我们理解这些高度变化的沉积物中微生物关键群落惊人一致性的原因。此外，我们选择了丰度前 15 的深古菌序列进行系统发育分析，我们发现不同的深古菌亚群对不同的温度和生态位具有偏好性。本研究为微生物群落功能在不同温度和地球化学梯度下变化或保守的程度，以及微生物群落在调整其组成以适应不同环境条件时的环境驱动因素等问题进一步的研究提供了新的视角。

S11-P-5S

利用 HCR-FISH 检测和定量冷泉甲烷代谢微生物的活性

何茂雨[1]，梁乐文[1]，王风平[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

冷泉是海洋沉积物中典型的环境之一，其中富含甲烷等碳氢化合物的流体从沉积物下迁移到海床并进入水体中，形成独特的冷泉生态系统。冷泉生态系统有丰度多样的化能自养型微生物群落，进行多种化学合成反应为生态系统供能。其中，甲烷厌氧氧化(Anaerobic Oxidation of Methane，AOM)过程一直是研究的热点之一。该反应由甲烷厌氧氧化古菌(Anaerobic Methanotrophic Archaea，ANME)和硫酸盐还原细菌(Sulfate-reducing

Bacteria，SRB)共同完成，两者通常以共生体的方式存在，并形成紧密结合的细胞团。由于参与 AOM 过程的微生物类群尚未获得纯培养菌株，且其代谢缓慢，阻碍了对 ANME 和 SRB 代谢特征、协同作用机制的进一步的探索和研究。

荧光原位杂交技术（Fluorescence insitu hybridization，FISH）利用核酸碱基互补配对的性质，通过将带有荧光的外源核酸作为探针，与微生物细胞或组织上的 DNA 或 RNA 互补配对，形成核酸杂交分子，从而可对沉积物中的微生物类群进行直接观察。杂交链反应-荧光原位杂交（HCR-FISH）则是杂交链反应（HCR）与传统 FISH 的结合应用。HCR-FISH 通过 HCR 进行信号扩增，可显著放大信号强度，更适合于低微生物 rRNA 含量的环境沉积物样品研究。

本文利用 HCR-FISH 技术，对不同冷泉沉积物样品中 ANME 和 SRB 类群形成的菌团进行观察，旨在探索 ANME 存在状态（单独存在或与细菌共生）以及与其共生成团 SRB 类群的规律性，为进一步研究和理解 AOM 的微生物代谢机制提供基础。在实验过程中不断改进实验方法，提高了技术的灵敏度和特异性，减少了假阳性信号；根据冷泉样品中不同 ANME 和 SRB 类群的 16S rRNA 和功能基因序列，设计相应的特异性探针，检测和研究特定的微生物类群；观察沉积物柱不同深度下 ANME 以及 SRB 的状态，并总结其规律性。研究显示，不同沉积物深度下，组成菌团的 ANME 和 SRB 细胞数量或与沉积物中的生物化学组分、主导菌群有关。同时，也发现了沉积物中 ANME/SRB 菌团中新的空间结构关系，这些或都对进一步揭示 AOM 机制有一定的指示意义。

S11-P-6S

南海冷泉微型真核生物网络互作与群落构建机制

黄丹玥[1]，邓龙辉[1]，牛明杨[2]，王风平[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

* fengpingw@sjtu.edu.cn

冷泉生态系统微生物生态学研究目前主要集中在参与甲烷代谢和硫酸盐还原的微生物，对冷泉微型真核生物群落结构及其调控机制还没有清晰的认知。本研究利用高通量测序技术，对南海新生冷泉和台西南 Formosa 冷泉、海马冷泉沉积物样品中真核 18S rRNA 基因进行 Illumina Mi Seq 测序。结果表明，冷泉微型真核生物主要由 *Apicomplexa, Dinoflagellata* 和 *Rhizaria* 组成。Formosa 和海马冷泉微型真核生物 α 多样性指数高于新生冷泉，不同区域的微型真核生物群落异质性高。相互作用网络显示，成熟冷泉微型真核生物网络凝聚性、联通度和稳定性都优于新生冷泉。基于系统发育 bin 的零模型分析表明，新生冷泉和成熟冷泉微型真核群落构建由随机性过程主导，主要是扩散限制，而扩散限制通常会导致群落相异性升高。本研究对解析南海冷泉区微型真核生物群落结构及其调控机制提供了进一步的认识。

S11-P-7S

南海含天然气水合物赋存区沉积物古菌群落结构与多样性

刘思炜[1,2]，于珊[1,2*]，卢海龙[1,2]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 北京大学，北京天然气水合物国际研究中心

* shanyu@pku.edu.cn

中国南海是我国天然气水合物资源丰富地区，具备良好天然气水合物成藏条件和勘探前景。天然气水合物赋存区沉积物因其孔隙水为甲烷等天然气所饱和，往往具有丰富且独特的微生物类群，这些微生物对甲烷的产生与消耗乃至全球碳循环有着重要影

响。对我国南海海域微生物多样性及群落结构的研究，有助于了解水合物赋存区沉积物微生物特征，对揭示南海天然气水合物的成藏机理具有重要意义。

本文以中国南海琼东南盆地、神弧海域和西沙海槽三个地区含天然气水合物赋存区 11 个站位的 117 个沉积物样品为研究对象，采用 MiSeq 高通量测序平台对古菌群落进行 16S rRNA 基因高通量测序，探究南海三地区的古菌群落结构与多样性，并进一步探究其中与甲烷代谢相关类群的组成。所得结果显示：（1）中国南海三地区沉积物样品的微生物多样性不同，琼东南盆地与神弧海域样品存在明显差异；（2）古菌主要由 Halobacterota、Hadarchaeota、Lokiarchaeota、Euryarchaeota、Woesearchaeota 组成，甲烷代谢相关类群丰度较高，且产甲烷菌的丰度显著高于甲烷厌氧氧化古菌（ANME）丰度；（3）甲烷代谢相关类群结构在三地区存在明显差异，ANME 类群主要集中在琼东南盆地两个站位样品，产甲烷优势类群在神弧海域与琼东南盆地样品中不同，西沙海槽仅部分样品含有几个产甲烷类群。本研究揭示了我国南海海域含天然气水合物赋存区沉积物岩芯中古菌群落的多样性特点，有助于认识我国南海天然气水合物赋存区的微生物类群特征，对理解微生物对水合物赋存环境的影响也有重要意义。

S11-P-8S

DRAFT GENOME OF DESULFOSARCINA SP. CAMV-1 IN SEEP-SRB1 CLADE: A SULFATE-REDUCING BACTERIUM FORMS CELL AGGREGATE WITH METHANOTROPHIC ARCHAEA

姬翔 [1]，梁乐文 [1]，王风平 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

Methane contributes a huge part of greenhouse effect while microbial anaerobic methane oxidation (AOM) functions as a decisive sink of methane. In marine sediment, AOM is usually identified to be coupled with sulfate reduction process (S-AOM) and is mediated by syntrophic metabolism between ANME (ANaerobic MEthanotrophic archaea) and SRB (Sulfate-Reducing Bacterium). In this study, the genome of a SRB affiliated to SEEP-SRB1 clade was obtained from enrichment culture of Mud Volcano sediment, Gulf of Cadiz. Strain CAMV-1 formed cell aggregates with ANME (ANaerobic MEthanotrophic archaea)-2a. The SRB-ANME aggregates were picked and subsequently went through MDA (Multiple Displacement Amplification) to obtain the genome sequence. At last, a nearly complete genome of CAMV-1 was obtained.Complete sulfate reduction pathway were annotated. The phylogenetic analysis results suggesting the affiliation of CAMV-1 to SEEP-SRB1 clade which is a putative exclusive syntrophic partner of ANME-2.

S11-P-9S

深海热液区和三沙永乐龙洞中嗜热水弧菌的环境适应机制研究

岳丽 [1]，高笛 [1]，董笑含 [1]，张晓华 [1,2]，于敏 [1,2*]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心/海洋生命学院
2 崂山实验室，海洋生态与环境科学功能实验室
* yumin@ouc.edu.cn

深海热液区和海洋蓝洞作为地球上极端的海洋生境，其独特的地质结构、复杂的理化特性为微生物群落提供了特殊的生存环境，孕育了丰富多样且独特的微生物类群。前期研究发现自养硫氧化菌是这两种极端海洋环境中的优势微生物类群，在深海热液区和海洋蓝洞的物质循环中扮演重要角色。然而，深海热液区和海洋蓝洞共有的典型微生物类群的遗传特征及其生理代谢特征的异同尚不清楚。本课题组前期从冲绳海槽唐印热液区和三沙永乐龙洞分别分离获得了化能自养型硫氧化菌嗜热水弧菌（*Hydrogenovibrio thermophilus*）CJG113 和 DR295，通过比较基因组学分析及代谢活性检测比较了其对不同极端环境的适应机制。嗜热水弧菌 CJG113 和 DR295 的基因组大小、GC 含量、蛋白编码基因个数等基因组特征相差不大，但两者功能基因的注释结果有一定差异，如菌株 CJG113 中参与无机离子转运和代谢的基因较丰富，而菌株 DR295 中参与复制、重组和修复功能的基因较多。菌株 CJG113 和 DR295 基因中 Sox 基因簇的注释结果也不同，除了它们共有的基因 *soxXYZABC*，菌株 CJG113 的基因组中多包含了基因 *soxXAA*。此外，菌株 CJG113 具有完整的膦酸盐和次膦酸盐代谢相关基因，具有产生 CH_4 的潜力，而 DR295 含有更多与菌毛组装和运动性相关基因。菌株 CJG13 和 DR295 均能够利用硫代硫酸盐进行厌氧生长，且最适生长温度为 37℃，但生长曲线测定结果显示菌株 CJG113 比 DR295 有更长的延滞期。该研究结果揭示了典型自养硫氧化菌的遗传特征和生理代谢特征的异同，有助于深入理解其对不同海洋极端环境的适应机制。

S11-P-10S

冲绳海槽热液羽流对上层水体微生物群落的影响及其生物地球化学意义

李佳柯 [1]，张晓华 [1,2*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院
2 崂山实验室，海洋生态与环境科学功能实验室
* xhzhang@ouc.edu.cn

深海热液环境属于化能合成生态系统，热液喷口喷出高温(最高约 400℃)、无氧的流体与周围寒冷、含氧的海水迅速混合形成热液羽流，热液羽流中富含 NH_4^+、CH_4、H_2S、H_2 等还原性化学物质，影响周边环境的微生物群落及其代谢活动。然而，由于取样困难等原因，热液羽流对上层水体微生物群落的影响范围及其变化特征迄今尚不完全清楚。本研究利用 16S rRNA 基因高通量测序技术对冲绳海槽热液区中温度最高(383.3℃)的横须贺(Yokosuka site)热液羽流处全水深微生物群落结构与潜在功能进行研究。研究结果表明热液羽流可能影响到喷口上方 1200 m 和侧向距离喷口 3378 m 处甚至更远的水体。其中，*Thioglobaceae*、亚硝化侏儒菌科(*Nitrosopumilaceae*) 和海杆菌科(*Marinobacteraceae*)占主要地位，不同于普通海洋环境和冷泉喷口上层水体。在热液羽流的上层水体中，主要的化能自养型硫氧化细菌是 SUP05 类群，其丰度(0-41.23%)远高于冷泉(0-2.65%)和普通海洋环境(~0%)；主要的氨氧化古菌是亚硝化侏儒菌科(*Nitrosopumilaceae*)，其丰度(0-37.9%)远高于普通海洋环境(~3%)；主要的好氧甲烷氧化菌是 Marine Methylotrophic Group2，其丰度(0-12.1%)远高于冷泉(0-2.2%)和普通海洋环境(~0%)。这些研究结果表明，受热液羽流的影响，在喷口上方 1200 m 和侧向距离喷口 3378 m 的水体中均存在活跃的硫氧化、氨氧化和好氧甲烷氧化活动，为揭示热液羽流对上层水体生物地球化学循环的影响提供了基础资料。

S11-P-11

深海冷泉沉积物中砷循环的遗传和微生物多样性

章楚雯[1]，刘心悦[1]，石凌栋[2]，李季伟[3]，肖曦[4]，邵宗泽[1,5]，董西洋[1,5*]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

2 浙江大学，环境与资源学院

3 中国科学院深海科学与工程研究所

4 中国地质调查局广州海洋地质调查局

5 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* dongxiyang@tio.org.cn

深海冷泉是富含冷的烃类流体从海底逸出的地方，这里发现了有毒的类金属砷（As）的强烈富集。砷的毒性和移动性可以被微生物过程极大地改变，这些过程在全球的砷生物地球化学循环中起着重要作用。然而，有关冷泉中参与砷转化的基因和微生物的在全球的分布情况仍有待揭示。利用来自13个全球分布的冷泉的87个沉积物宏基因组和33个宏转录组，我们发现砷解毒基因（*arsM*、*arsP*、*arsC1/arsC2*、*acr3*）在冷泉沉积物中普遍存在，并且系统发育多样性高于预期。Asgardarchaeota和各种未鉴定的细菌门（例如4484-113、AABM5-125-24和RBG-13-66-14）也可能是砷转化的关键参与者。另外，我们还发现砷循环基因的丰度和与砷相关的微生物的组成会随着不同沉积物深度或冷泉类型而变化。冷泉微生物可以通过砷酸盐还原或亚砷酸盐氧化来支持固碳、烃降解和固氮，烃降解和氮固定，影响碳和氮的生物地球化学循环。总体而言，本研究为冷泉中砷循环基因和微生物提供了一个全面的综述，为进一步在酶学和工艺水平上研究深海微生物组中的砷循环奠定了坚实的基础。

S11-P-12S

挑战者深渊深部沉积物中微生物驱动的烃类降解过程研究

何新新[1]，刘吉文[1]，程浩瑾[1]，朱晓雨[1]，刘荣华[1]，张晓华[1,2*]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心/海洋生命学院，山东，青岛 266100

2 崂山实验室，海洋生态与环境科学功能实验室，山东，青岛 266237

* xhzhang@ouc.edu.cn

近期研究表明，马里亚纳海沟深部，尤其是近底层（10400和10500 m）水体中存在大量的专性烷烃降解菌，提示深渊万米底部发生着强烈的烷烃降解过程。这些烷烃降解微生物是否也存在于深渊沉积物，具有怎样的代谢特性？这些问题的解答对阐明深渊微生物驱动的碳循环过程具有重要意义。本研究结合培养和非培养方法对采集自马里亚纳海沟挑战者深渊的沉积物柱状样（长约7.5 m）进行了深入分析。结果显示：1）沉积物中正构烷烃（*n*-alkane，C_{18-36}）的含量从310 ng/g（158-161 cm）到8724 ng/g（1-2 cm）不等，且中等链长的正构烷烃（C_{18-27}）占比最高，未检测到C_{17}及更短链长的烷烃。2）沉积物中存在多种烃类降解基因，包括*ahyA*, *assA*, *abcA*和k27540（厌氧），以及*cyp*153和*non_ndoB*（好氧）。并且烷烃降解基因的丰度与烷烃含量显著正相关。3）这些烷烃降解基因主要存在于*Proteobacteria*, *Chloroflexi*, *Planctomycetes*，*Actinobacteria*，*Bacteroidetes*，Candidatus *Marinimicrobia*和*Gemmatimonadota*等类群。4）对非冗余宏基因组组装基因组（MAG）进行分析，发现有122个MAG编码一至多个烃类降解基因，并且发现多个烷烃降解新类群，如*Nitrospirota*, *Calditrichaeota*和*Poribacteria*等。不同烃类降解菌对烃类物质具有不同的偏好和代谢方式。5）分离获得了130株潜在的烷烃降解细菌，分属于*Proteobacteria*，

Actinobacteria 和 *Firmicutes*，其中 *Actinobacteria* 占优势。该研究结果证明深渊沉积物中存在烃类降解细菌，并对推动深渊沉积物中的碳循环过程具有重要意义。

S11-P-13S

卡尔斯伯格脊天休热液区沉积物微生物群落多样性及构建过程研究

李方如[1]，刘晓磊[1]，胡景龙[1]，侯卫国[1]，董海良[1*]，丁祎[2]，吴月红[2]，许学伟[2]

1 中国地质大学（北京），地质微生物与生物地球化学研究中心

2 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室

* dongh@cugb.edu.cn

目前关于深海洋中脊热液活动影响区沉积物微生物群落结构和构建过程机制的研究鲜有报道。本研究对西北印度洋卡尔斯伯格脊天休热液区内4个典型生态点位沉积物进行插管（push-core）及可视箱式（box-corer）采样，结合沉积样品理化参数以及16S rRNA 基因高通量测序技术对沉积物微生物群落组成进行分析，并进一步探究热液影响沉积区至远洋沉积区微生物群落在空间距离梯度上的变化规律。研究结果表明，离热液喷口最近的站点表层沉积物整体微生物群落主要由 *Acidimicrobiia*，*Gammaproteobacteria*，*Anaerolineae* 和 *Planctomycetes* 等组成。离热液喷口较远但仍受热液活动影响的站点，其群落组成主要有 *Dehalococcoidia*，*Gammaproteobacteria*，*Aerophobia*，*Alphaproteobacteria* 和 *Anaerolineae* 等。在未受热液影响的沉积层位以及远洋站点，沉积物中的微生物群落组成没有太大显著差异，丰富物种主要有 *Nitrososphaeria*，*Gammaproteobacteria*，*Alphaproteobacteria* 和 *Acidimicrobiia* 等。此外，距离热液喷口不同空间位置的站点沉积物微生物群落结构的多样性存在显著差异，统计分析结果表明，与热液活动有关的成矿金属元素（铜、铁、钴、钼等）在一定程度显著影响着沉积物微生物群落组成以及结构多样性。通过方差分解、零模型和中性群落模型分析发现，不同位置站点沉积物微生物群落在不同程度或不同期次热液活动的影响下，表现出明显不同的群落构建过程。在未受热液影响或远洋沉积区站点沉积物中，随机过程在微生物群落的组装构建中占主导地位；而在明显受热液活动影响的区域，微生物群落的组装构建主要受决定性过程的支配。整体来看，热液活动和环境异质性是造成热液影响区和非热液影响区沉积物微生物结构和群落构建过程差异的主要因素，这些研究结果为我们理解深海热液区沉积物微生物对热液活动的响应提供一个新的视角。

S11-P-14S

多金属结核区结核内部和外周沉积物微生物类群多样性研究

丁志豪[1]，许学伟[1]，吴月红[1*]

1 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州，310012

* yuehongwu@sio.org.cn

微生物在结核形成和发育过程中发挥重要作用，目前人们对深海结核生态系统中微生物的多样性、代谢特征和生态功能的认识仍不清晰。本研究针对印度洋、马里亚纳海沟、西太平洋和东太平洋共4个区域的结核和外周沉积物样品，通过对细菌和古菌16S rRNA 基因高通量测序、金属元素含量测定，分析结核区微生物群落多样性，探讨结核微环境中微生物的生态功能。研究结果表明，（1）Fe、Mn、Ni、Cu、Co、Zn 等金属元素在多金属结核中显著富集（$p<0.05$），多金属结核中 Fe/Mn 为 0.2-1.2；沉积物为

4.3-12.4。（2）结核微环境中微生物类群的α多样性与沉积物环境存在显著差异，微生物多样性在结核微环境中更低，这可能与结核微环境中较低可利用营养物质有关。(3）多金属结核微环境与其对应的外周沉积物中微生物群落组成存在显著差异；统计结果显示，在平均相对丰度大于 1%的类群中，Alphaproteobacteria 、Bacteroidia 、Planctomycetacia 在结核微环境中的相对丰度显著高于沉积物环境，沉积物环境中Acidimicrobiia、Gemmatimonadetes 类群的相对丰度较结核微环境更高。（4）为进一步探讨微生物在金属元素迁移、富集过程中所起到作用，对环境中金属元素含量与微生物类群相对丰度进行了相关性分析，发现Burkholderiales 与 Rhizobiales 与 Cu、Zn、Ni 等金属元素含量均存在较强相关性（$p<0.05$，$r>0.6$），Rhizobiales 还与 Mn 元素间存在强相关性（$r=0.65$，$p<0.001$）；这些微生物类群可能与多金属结核中金属元素的迁移和富集有关。整体来看，多金属结核区沉积物环境与结核微环境中的部分微生物类群的相对丰度上存在显著差异；铁和锰等金属元素在多金属结核中显著富集，可以为部分能够参与金属元素循环的微生物类群提供了额外的能量来源，包括Burkholderiales 和 Rhizobiales 在内的微生物类群可能具有独特的环境适应以及锰元素富集机制，这些研究结果能够加深我们对微生物在多金属结核区金属元素循环过程中所起到作用的理解。

S11-P-15S

深海冷泉微生物及其病毒的生态适应与进化机制

彭用一[1,2]，董西洋[1*]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

2 中山大学，海洋科学学院

* dongxiyang@tio.org.cn

深海冷泉沉积物中有丰富多样的细菌和古菌及其病毒，对生物地球化学循环有重大影响。虽然已有研究揭示了冷泉微生物及其病毒群落的结构和功能，但对其微观多样性（即种群内遗传变异）仍知之甚少。对冷泉沉积物中的好氧甲烷氧化细菌（MOB）、厌氧甲烷氧化古菌（ANME）和硫酸盐还原细菌（SRB）进行微观多样性分析，发现它们在基因组水平上有着不同的进化轨迹，但普遍具有低同源重组率并受到较强的纯化选择。甲烷（*pmoA* 和 *mcrA*）和硫酸盐（*dsrA*）代谢相关的功能基因在这些微生物中多处于强烈的纯化选择状态。这些基因在不同类群中的进化轨迹有所不同，但在不同的位点上其功能是保守的。MOB、ANME 和 SRB 的基因组及 *mcrA* 和 *dsrA* 基因的微观多样性具有深度依赖性，在不同位点的沉积物柱氧化还原带中受到不同的选择压力。对南海海马不同演替阶段的冷泉沉积物中的病毒进行生态特征和微观多样性分析，发现冷泉病毒拥有多种生态适应策略，包括抗防御系统、辅助代谢基因、逆转录酶和可变遗传编码现象，同时冷泉病毒具有较低的核苷酸多样性，受到微生物宿主、沉积物深度和冷泉阶段等因素的影响。大多数冷泉病毒基因都处于强净化选择之下，并与冷泉阶段相关。这些结果强调了深海冷泉极端环境中生态过程与关键细菌古菌及其病毒进化之间的相互作用，为海底生物圈中的微生物和病毒的适应机制提供了线索。

S11-P-16

西太平洋弱光层微型生物群落构建机制与共现模式

孙萍[1*]，王莹[1]，张依凡[1]，Ramiro Logares[2]，程鹏[3]，黄邦钦[1*]，徐大鹏[3]

1 厦门大学，环境与生态学院

2 Institute of Marine Sciences, CSIC, Barcelona, Catalonia, Spain,Marine Biology and Oceanography

3 厦门大学，海洋与地球学院

* psun@xmu.edu.cn

* bqhuang@xmu.edu.cn

我们对真光层以下微生物群落构建与共现模式了解不足。本研究通过在西太平洋从海表至 2,000 米深度的样品中收集不同粒级微型生物，即自由生活型（FL；0.22 至 3 mm）和颗粒附着型（PA；3 mm）细菌和原生生物（0.22 至 200 mm），系统地分析了微型生物群落构建机制与共现模式在真光层至弱光层之间的变化趋势。研究结果显示，真光层与弱光层之下的区域具有明显不同的群落组成，主要受到生物因素的驱动。弱光层微型生物共现网络的稳健性较真光层较弱，其中生物间相互作用对共现网络至关重要，其对真光层网络的影响大于对弱光层网络的影响。生物间相互作用的减少和从真光层到弱光层的扩散限制的增加影响了确定性和随机性之间的平衡，从而导致弱光层微型生物群落构建受到更强的随机过程的驱动。本研究的发现扩展了我们对从真光层到弱光层微型生物群落构建机制与共现关系的理解，并为深入了解西太平洋真光层与弱光层微型生物群落的动态变化提供了数据支持。

S11-P-17

南海北部蛟龙活动冷泉区一个隐秘的甲烷循环过程

李海洲 [1,2]，杨群慧 [2*]，周怀阳 [2*]

1 中国水产科学研究院东海水产研究所

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* yangqh@tongji.edu.cn

* zhouhy@tongji.edu.cn

冷泉是海洋中重要的生态景观，其生态系统对全球地球化学循环发挥着至关重要的作用。在冷泉区微生物驱动的金属依赖型甲烷厌氧氧化作用(Metal-AOM)是重要的生物地球化学过程之一。但是,目前仍未从海洋环境中分离获得驱动 Metal-AOM 的微生物，甲烷厌氧氧化与金属还原作用之间的耦合关系和互作机制尚不明确。在我们的研究中，长达一年的模拟原位富集培养实验揭示了南海北部蛟龙活动冷泉中一个隐秘的甲烷循环过程，显示了硫酸盐或铁驱动的甲烷厌氧氧化过程(速率分别为 10~900 nmol g^{-1} day^{-1}、20.00~38.80 nmol g^{-1} day^{-1})和甲基营养型产甲烷过程(速率 2.06~5.85 nmol g^{-1} day^{-1})的共发生。通常由于冷泉中较高的甲烷厌氧氧化速率，无法从地球化学剖面中识别出上述甲烷循环过程。高通量测序和 CARD-FISH 结果表明，ANME-2 和-3 与硫酸盐还原细菌偶联进行硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化过程，而 ANME-2 和-3 在硫酸盐缺乏的环境中，单独、或者与铁还原细菌偶联参与 Metal-AOM。这一发现表明，ANME 可以根据地球化学变化改变 AOM 代谢途径。此外，蛟龙冷泉中硫酸盐或铁的呼吸作用会抑制氢营养型和乙酸营养型产甲烷过程，而甲基营养型产甲烷过程不受此影响。铁驱动的甲烷厌氧氧化过程和甲基营养型产甲烷过程，是冷泉生态系统中被忽略的潜在的甲烷源与汇，将会极大地影响南海甲烷碳通量的估算。

S11-P-18

海洋深部生物圈病毒生存策略及生态功能

蔡兰兰 [1*]

1 香港科技大学，海洋科学系

* cailanlan@ust.hk

作为环境中数量最多、无处不在的生命粒子，病毒是地球生态系统中不可或缺的成员。随着人们对海洋病毒重要生态作用的认识，海底深部生物圈的病毒也逐渐引起了科学界的关注。理论上，随着沉积物深度的增加，微生物受到的原生动物捕食压力减小，病毒的裂解作用在深部生物圈中可能扮演着比地球表层生物圈中更重要的生态角色。然而，由于技术限制，深部生物圈病毒生态学中有一系列基本问题悬而未决：病毒如何

分布于深部生物圈？哪些病毒存在于深部生物圈？随着深度的增加，深部生物圈中细胞微生物多样性和群落结构逐渐变化，病毒的群落结构会有怎样的变化？它们如何适应深部生物圈的生存环境？全球尺度上深部生物圈病毒的活性和侵染策略如何？深部生物圈病毒和宿主的生态学相互作用和表层生物圈相比有何异同？报告将概述深部病毒的研究进展；并以基于 IODP 347 航次采集的波罗的海样品为例，探讨病毒在波罗的海深部环境中的丰度、活性、侵染策略和多样性及其与环境因子的关系，为深入认识病毒在深部生态系统中的功能奠定基础。

S11-P-19

深海海山：一个被忽视的生命“绿洲”

李海洲 [1,2*]，周怀阳 [2*]

1 中国水产科学研究院东海水产研究所

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* lihaizhou@tongji.edu.cn

* zhouhy@tongji.edu.cn

尽管海洋中大约有 2500 万座海山，但令人惊讶的是，人们对海山微生物生态系统知之甚少。在这项研究中，我们借助加拿大 ROPOS ROV 在南海水深 1850m-3827m 范围内采集到十座海山顶部 0.1-35 cm 沉积物样品。研究表明，与广阔、连续的深海平原不同，海山是相对孤立的栖息地，资源丰富且高度异质，微生物丰度和种群多样性显著高于深海平原。而各个海山上微生物群落组装由海山位置、水深、TOC 以及南海洋流特征（如扩散限制）等多种因素决定，形成距离-衰减生物地理格局。另外，我们创新性的借助海洋中广泛存在的休眠嗜热菌芽孢（thermospores），示踪洋流扩散对各海山之间微生物种群组装和地理分布格局的影响。同时，结合零检验模型，分析环境选择和随机过程在塑造海山微生物多样性格局中的相对贡献。结果表明，海山表层沉积物中的微生物群落构建主要受随机性过程驱动，缺乏有序的群落结构，导致海山生态系统中微生物多样性高、生物量大。但最初的群落构建之后，在地下沉积物中微生物逐渐影响其环境（例如，能量耗竭、厌氧等），确定性环境选择过程在驱动海山地下微生物群落组装中变得越来越重要。总体上本研究初步阐明南海海山微生物群落组装、演替、地理分布格局的驱动因素，为研究海山生态系统和功能、生命现象与生命过程等提供新的视角。

S11-P-20

冷泉环境变化的生物响应——海马冷泉的贝壳地球化学研究

李文静 [1*]，程怀 [1]，苗晓明 [3]，吴婷婷 [2]，谢志远 [1]，吴刚 [1]，尉建功 [1,2*]

1 广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所

2 广州海洋地质调查局，海底矿产资源重点实验室

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* wenjing3131@126.com

* weijiangong007@163.com

海底冷泉系统是岩石圈与生物圈、水圈进行能量物质交换的重要窗口，其独特的地质条件和营养模式孕育了繁茂的生物群落和生态系统。海底观察影像显示冷泉流体活动存在以年为单位的时空变化，但很少有相关研究证实这种短期变化。

双壳贝的钙质外壳在沉淀矿化过程中可以记录栖息地的环境信息，如温度、盐度、pH、氧逸度或环境中的元素浓度等等。冷泉生态系统由于在海底处于无光照、相对平静的环境中，其环境变量主要来自于以甲烷为主的流体渗漏过程所带来的变化。因此，来自冷泉的双壳贝壳是记录冷泉流体短期活动历史的良好生物载体。

该研究以海马冷泉区的伴溢蛤和贻贝的贝壳剖面为对象，通过分析剖面的显微结构和元素面分布特征识别出贝壳的生长规律。通过 LA-ICP-MS 在贝壳剖面沿着生长方向进行原位微区地球化学分析，结果表明贝壳中的 Sr、Na、Ba 等元素具有同步变化的趋势，其中 Sr 与 Ba 变化趋势几乎一致，Sr 与 Na 的含量则呈完全相反的趋势，恰恰反映了贝壳剖面在生长过程中由于冷泉流体短期活动规律导致的环境效应所引起的元素变化。

我们推测，冷泉在富甲烷流体渗漏时，周围环境温度升高，引起贝壳的 Sr 含量降低。同时，甲烷硫酸盐氧化还原反应的加强会导致 H_2S 浓度升高，水体 pH 下降，继而引发 H-Na 置换作用，导致贝壳 Na 含量上升。Ba 含量的变化可能同时受环境温度以及流体中 Ba 含量的影响，表现出跟 Sr 偶有同步下降，偶有反向上升。该研究为冷泉流体生物壳体记录短期流体环境变化有重要启示意义，为现代冷泉环境的生物监测机制提供理论依据。

S11-P-21S

海底热液硫化物生物成因富铁显微结构的次生变化

沈玥[1]，李江涛[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* jtli@tongji.edu.cn

嗜中性微需氧铁氧化菌能够产生具有独特形貌特征，例如螺旋丝带状、分叉管状、中空长直杆状等富铁显微结构，这些结构能在古老的碧玉和含铁建造中得到一定程度的保留，成为指示微生物铁氧化作用的一种微化石。随着研究深入，人们发现这些富铁显微结构在形成之后可能会经历其他的次生变化或改造，在其表面发育更为精细的超微结构。然而，目前对于富铁显微结构表面次生的精细结构的成分、成因等尚不清楚。我们选取了一个不活跃的海底硫化物烟囱体，其表面发生了明显的氧化性风化。我们结合扫描电镜、高分辨率透射电镜和纳米红外光谱仪对硫化物风化表面的显微结构进行了观察与分析。结果表明，硫化物烟囱体的风化产物主要为结晶程度非常弱的铁氧化物，在这些铁氧化物中不仅发育大量铁氧化微生物产生的富铁显微结构，富铁显微结构的表面发育了形态各异、成分不同的次生精细结构，指示了不同的次生改造过程。这些发现能够让我们更好地认识生物成因显微结构在形成之后经历的次生改造过程，进而为辨识在古老岩石地层中的生物成因的显微化石提供一定的参考。

S11-P-22S

南海北部陆坡区与中央海盆区有机颗粒沉降对水柱微生物群落分布特征的影响

马忠霖[1]，宿蕾[1]，张锐[2]，李慧芳[3]，李江涛[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 深圳大学，深圳大学高等研究院

3 江苏海洋大学，海洋科学与水产学院

* jtli@tongji.edu.cn

在海洋表层经光合作用类群固定的有机碳从表层至深层的沉降是生物泵(Biological Pump, BP)的核心，是海洋发挥碳汇作用的机制之一。颗粒吸附型(Particle-Attached, PA)微生物与浮游型微生物(Free-Living, FL)与有机颗粒的相互作用深刻影响着 BP。尽管近来的研究已经表明微生物在 BP 中发挥着重要的作用进而影响着海洋碳循环，但有机颗粒的沉降过程对塑造水柱微生物群落分布特征的影响在 BP 相关研究中并没有得到太多关注。事实上，颗粒的沉降不仅能将有机碳从海洋表层输出到海洋内部乃至深层，也能将表层的生物扩散到深海环境中，即海洋表层和深层的微生物通过沉降的有机颗粒保持着垂向上的连通性。而影

响垂向连通性的机制未知，不同生物泵结构下的微生物群落垂向连通性也缺乏直接的比较。我们在南海代表着相对较高初级生产力的北部陆坡区与寡营养的中央海盆区各取两个深度剖面，采样连续过滤的方法，通过 Illumina 高通量测序研究不同大小有机颗粒上的微生物群落与多样性。我们的结果表明，南海陆坡区与海盆区水柱微生物群落结构具有明显的差异，微生物对有机颗粒大小的偏好在两个区域也存在差异，表明了微生物 PA 与 FL 双重生活方式的生存策略，同时也强调了环境因素对微生物生活方式的塑造作用。比较两个区域微生物群落的垂向连通性发现，微生物通过有机颗粒的沉降从表层扩散到深层的模式在两个区域具有不同的特征：在陆坡区随着最大的有机颗粒沉降到深层的微生物比例反而最少，海盆区则相反，这可能与两个区域不同的生物泵结构有关。同时，我们的结果也显示较小的有机颗粒对表层微生物向深层扩散的贡献也不容忽视。

S11-P-23S

西南印度洋海底热液硫化物烟囱体中微生物对环境梯度的响应机制

骈泽宇 [1]，张燕 [1]，王龙 [2]，李江涛 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 深圳大学，高等研究院

* jtli@tongji.edu.cn

海底热液硫化物烟囱体中具有陡峭的环境梯度，其发育的不同生态位栖息着不同的微生物群落组合。然而，目前对烟囱体内微生物对环境变化和环境梯度的响应机制尚不清楚。本研究自西南印度洋脊的龙旂热液区、断桥热液区和中印度洋脊的 Kairei 热液区采集了六个不同活跃程度的热液硫化物烟囱体，自中央通道向外沿烟囱壁的不同空间位置进行取样，并对它们的矿物成分、微生物群落结构以及功能基因进行了系统地分析。我们的结果发现，不同活跃程度的硫化物烟囱体以及烟囱体不同空间位置中栖息的微生物的群落组成与功能基因的分布等具有显著的差异。特别是与热液硫化物烟囱体的温度、地球化学体系等环境梯度的变化相对应，微生物的关键功能基因，例如嗜热蛋白、氧气耐受性、硫氧化、趋化与能动性以及细胞间通讯等等均具有非常好的响应，体现了环境对微生物分布的制约以及微生物对环境的适应与响应。

S11-P-24

一个深部分支的嗜热细菌类群的发现揭示了嗜热细菌的早期演化

冷浩 [1]，王寅炤 [1]，赵维殳 [1]，Stefan M. Sievert[2]，肖湘 [1*]

1 上海交通大学，生命科学技术学院

2 Woods Hole Oceanographic Institution,Biology Department

* zjxiao2018@sjtu.edu.cn

嗜热细菌的起源对于我们了解生命的早期进化至关重要。然而，深部分枝的嗜热菌的分离培养是一个很大的挑战，这阻碍了对其代谢特征和进化历史的了解。本研究从实验室构建的以化能自养为基础的群落中，成功地分离并鉴定了一个丰度极低的嗜热嗜压细菌 (*Zhurongbacter thermophilus* 3DAC)。菌株 3DAC 仅在严格的厌氧条件下生长，利用单质硫作为电子受体，生长过程中将单质硫还原为硫化氢。其生长的温度范围为 30-75°C，最适生长温度为 70°C;生长压力范围为 0.1 MPa 至 80 MPa，最适压力为 20 MPa。系统发育分析表明，菌株 3DAC 位于进化树的深部，可能代表了一个新的细菌门。该菌株与其他主要嗜热细菌类群（如 Coprothermobacterota 、 Dictyoglomota 、 Caldisericota 和 Thermotogota）在系统发育

树上聚在一起，形成一个代表主要的、早期分化的嗜热细菌类群。祖先分析表明，该类群的祖先可能是一种嗜热、严格厌氧、运动、依赖氢气和混合营养的细菌。这些发现为嗜热细菌的早期分化和它们在早期地球上的适应性策略提供了新的见解。

S11-P-27

深海热液区混合营养型微生物多样性及其代谢特征

曾湘[1]，贺洋[1]，徐菲[1]，邵宗泽[1]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

微生物是深海热液生态系统的主要生产者和重要组成，并利用多种代谢策略在不同环境梯度中生存。本研究基于菌株分离，生理代谢分析和基因组学等技术方法，分析了来源于深海热液区的混合营养型微生物多样性及其代谢特征。本研究从卡尔斯伯格洋中脊热液区硫化物、沉积物、生物样品中共分离获得了17株混合营养型铁氧化细菌，9 株属于 γ-变形菌纲, 7 株属于 α-变形菌纲和 1 株属于放线菌门。这些菌株可以使用 Fe（II）或 Mn（II）或硫代硫酸盐为电子供体，自养或异养，微氧或厌氧的功能多样性。作为代表性菌株，假单胞菌 IOP_13 表现出较高的二氧化碳固定能力，细胞内 δ13C 值从 -27.42 增加到 3460.06，硫氧化能力（SO_4^{2-}的产生增加至 287mg/L，铁氧化能力（Fe（II）从 10 mM 降低到 5.2 mM），并在细胞外形成氧化铁结壳。通过基因组分析鉴定了编码能量代谢的基因，这些基因可能涉及铁氧化，锰氧化，硫氧化和反硝化。进一步对 32 株海杆菌属（*Marinobacter*）菌株的代谢功能多样性进行了分析，包括 27 株模式菌和 5 株深海热液区来源分离菌株。结果表明，6 株能在以 HCO_3^-为唯一碳源，NaS_2O_3 为唯一电子供体的自养硫氧化培养基中生长，细胞个数由 10^5 个/mL 增加到 8.88 ~9.72×10^7 个/mL，可产生 0.10mM ~0.96mM 硫酸根，部分菌株可以同时产生单质硫。14 株海杆菌可在自养铁氧化梯度管中生长并产生棕色富铁氧化物条带。对已知的 53 株海杆菌基因组分析发现，海杆菌的 CBB 和 rTCA 固碳途径均不完整。其中仅有 6 株存在完整的硫代硫酸盐氧化 Sox 多酶复合体。与已知的 SoxB 基因系统进化分析发现，海杆菌 SoxB 基因在进化关系上独立成簇，与 γ-变形菌纲的 *Thiomicrorhabdus arctica* 距离最近。14 株海杆菌具有自养铁氧化相关基因 cyc1，foxY, foxZ。本研究表明，部分异养细菌可以进行混合营养型代谢，利用硫代硫酸盐、铁、锰等多种电子供体自养生存，利用多种代谢策略来适应环境变化，参与了深海热液区碳、硫、铁等重要元素循环。

S12-O-1

南极磷虾资源开发利用趋势分析

黄洪亮[1*]

1 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部远洋与极地渔业创新重点实验室

* ecshhl@163.com

【摘要】南极磷虾资源自 20 世纪 70 年代开发以来，先后经历了初始发展期，发展盛期，滞涨期和新发展期 4 个发展阶段，作业区域从早期遍布南大洋的印度洋、太平洋和大西洋的 3 个侧区，至今已聚集于大西洋侧区。南极磷虾资源开发至今，已有 20 多个国家和地区曾参与过南极磷虾资源的开发，累计捕捞产量已超 1000 万吨。南极磷虾渔业经过近 60 年的发展，捕捞技术得到了快速发展，已实现不起网连续泵吸捕捞作业；南极磷虾高值产品日趋成熟，产业链条更加健全；南极磷虾渔业管理日趋健全，入渔条件越加苛刻。由于南极磷虾在南大洋生态系统中重要作用和地位，磷虾渔业的可持续发展必将面对资源养护和生态系统保护的双重压力，如何解决高效捕捞与资源养护

之间的矛盾？如何缓解磷虾渔业活动产生的生态风险？将是南极磷虾渔业发展过程中面临的新的机遇与挑战。

S12-O-2

生态位和海景相互作用塑造了共存物种南极磷虾（EUPHAUSIA SUPERBA）和端足目长脚蛾（THEMISTO GAUDICHAUDII）的摄食模式

薛梅 [1,2]，朱国平 [1,2,3,4*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院
2 上海海洋大学，极地研究中心
3 上海海洋大学，大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室，极地海洋生态系统研究室
4 上海海洋大学，国家远洋渔业工程技术研究中心
* gpzhu@shou.edu.cn

作为南极和亚南极生态系统的关键物种，南极磷虾（Euphausia superba）和端足目长脚蛾（Themisto gaudichaudii）在物种分布上具有重叠，且重叠程度可能随着全球气候变化而进一步增加，导致物种间的竞争性捕食压力。结合脂肪酸生物标志物和胃含物分析，我们调查了南奥克尼群岛北部三个区域内磷虾和长脚蛾的秋季食物组成和生态位。结果表明，磷虾和长脚蛾之间的食物竞争可能是动态的，随着水体中的食物供应而变化。磷虾偏向于杂食性的碎屑消费者，灵活而有选择性的摄食策略有助于扩大其生态位的宽度，并在有限的空间内对资源进行最佳利用。成体长脚蛾偏向于肉食性捕食者，广泛适应于不同的栖息地，能够在不同的营养级位置摄食。表层食物丰度和捕食压力的变化会促使磷虾从浅水陆架向底层迁移，以异养生物为食，或留在富含硅藻的开阔海域上层。磷虾的中上层或底栖摄食偏好以及它们与长脚蛾的食物竞争程度与海表叶绿素浓度密切相关。

S12-O-3

南极罗斯海浮游植物分布和光合特性的环境控制

费淑怡 [1]，高咏卉 [1*]，李纪 [1]，晏茂军 [1]，Michael Bender[1]

1 上海交通大学，海洋学院
* ygao80@sjtu.edu.cn

摘要：浮游植物光合作用的生理状态受到营养盐、种群、光照等多种环境因子调控，往往呈现差异性时空变化。我们利用响应灵敏的可变荧光，在罗斯海进行了高空间分辨率的测定。通过最大光化学效率（F_v/F_m）指示其生理活性，并拟合快速光曲线下初始斜率（α），最小饱和光强（E_k）和最大电子传输速率（P_m）等光合特征参数。在 TerraNovaBay 附近浮游植物以硅藻为主和罗斯海陆架以棕囊藻为主，叶绿素分别高达 $2.42 \pm 1.05 \mu g\ L^{-1}$，$6.57 \pm 3.33 \mu g\ L^{-1}$，光合效率 F_v/F_m 较高（max: 0.37），对低光照的适应性较强（E_k 偏低），光响应快（α 高），同时浮游植物的营养盐吸收造成周边海域营养盐低，其中在冰间湖区域有 P_m 最大值。在 RossSea 西侧海域和湾口外的深水区，呈现典型的高营养盐、低叶绿素状态，F_v/F_m 值普遍较低，生理状态不活跃。

S12-O-4

阿蒙森海冰间湖及其邻近海域浮游植物及碳库特征：对水环境的响应

李栋[1*]，赵军[1]，潘建明[1]，何剑锋[2]，孙永明[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，海洋生态系统动力学重点实验室

2 中国极地研究中心（中国极地研究所），极地科学重点实验室

3 中国海洋大学，物理海洋实验室

* lidong@sio.org.cn

冰间湖具有独特的生态系统，是南大洋生产力最高的区域且对气候变化响应敏感。对冰间湖系统中浮游植物和碳储库时空变化的研究可以有效提升我们对南大洋在全球碳循环扮演角色的认识。本研究中，利用采集于阿蒙森海冰间湖的水体和颗粒物样品，分析了营养盐、浮游植物色素、溶解态和颗粒态有机碳等参数，并结合卫星遥感观测和 CHEMTAX 模型计算，对研究区域浮游植物生物量、群落结构以及有机碳库的环境影响因子进行了探究。结果表明，区域性差异的变性绕极深层水入侵强度、光照辐射强度以及冰融水贡献高低是决定研究区域水体环境特征的主要影响因子。冰间湖区域具有最高的营养盐吸收速率（ΔN=1059±386 mmol/m^2, ΔP=50±17 mmol/m^{2}and ΔSi=956±904 mmol/m^2），开阔海海域（ΔN=622±366 mmol/m^2, ΔP=29±16 mmol/m^{2}and ΔSi=634±205 mmol/m^2）营养盐吸收速率最低。研究区域水体（200 米以浅）中叶绿素 a 积分浓度介于 20.4mg/m^2 至 1420.0mg/m^2 之间，均值约为 230.2±379.7 mg/m^2，且冰间湖曲剧具有最高的浮游植物生物量（416.4±480.8 mg/m^2），冰边缘区生物量最低（39.0±10.1 mg/m^2）。定鞭藻（主要是南极棕囊藻）是研究区域的优势功能类群（34%±27%）其次是硅藻（23%±14%）。从低纬的开阔海到高纬的冰间湖，浮游植物的优势功能类群和颗粒有机碳的主要贡献者从硅藻（36%±12%）逐渐过渡为定鞭藻（48%±31% ）。真光层水体中快速的营养盐消耗以及来自冰架融水和海冰融水的有限的微量元素补充导致冰间湖中浮游植物群落以低铁型南极棕囊藻为主。颗粒有机碳和叶绿素 a 浓度间较好的相关性表明颗粒有机碳主要来源为浮游植物，而溶解有机碳库则主要与消费者的摄食以及水团的输运相关。颗粒有机碳和溶解有机碳库较为相当的存量以及较低程度的叶绿素 a 降解表明冰间湖中新鲜颗粒有机碳向溶解有机碳的降解转化效率较低。原位水文观测表明冰间湖浅水层中较强的南向流有效限制了冰间湖区域有机碳库与低纬开阔海碳库的交换。本研究有助于增强对冰间湖这一南大洋典型生境中浮游植物和生源碳库对水环境的响应的了解，以提高我们对气候变化背景下南大洋的生态系统变迁的认识。

S12-O-5

南极绕极流经向弯曲处显著增强的涡旋行阻应力

李宏[1*]，王桂华[1]

1 复旦大学，大气与海洋科学系

* slvester_hong@163.com

南极绕极流（Antarctic Circumpolar Current，ACC）长期的输运量对风应力的变化并不敏感，这一点基本得到了学界的共识，人们称之为“涡旋饱和”效应。最近的研究强调南大洋局地地形起伏对涡旋饱和过程的重要性。当海表西风增强时，等密度面更为陡峭，同时 ACC 加速。结果，局地的流-地形相互作用使得 ACC 在经向上更为弯曲，这会显著提升不同等密度面之间涡旋行阻应力（Eddy form stress，EFS）向下传递动量的效率。最终，下传的动量被地形行阻和摩擦所平衡，从而 ACC 输运量基本保持不变。然而，涡旋饱和效应的局地动力过程并没有很好地被观测所证实。利用长历时（1998-

2022）Argo 剖面资料，本研究构建了全球海洋涡分辨率（0.1°×0.1°）的三维气候态温、盐和密度场。进而基于涡旋浮力通量的降梯度闭合假设，估算了南大洋的 EFS。估算的 EFS 都是正数，显示 EFS 将风应力产生的水平动量向下输送到海底，与先前阐述的物理过程吻合。进一步，沿着 ACC，EFS 在局地 ACC 经向弯曲处显著增强。平均来说，EFS 在 ACC 经向弯曲处占到整个 ACC 海域 EFS 的 90%以上。本研究从观测上证实涡旋饱和过程主要是通过 ACC 局地经向弯曲对风场变化的调整来实现。

S12-O-6

从北半球中部到南半球高纬度地区的大气非海盐硫酸盐和甲基磺酸质量浓度的空间分布特征及其主要影响因素

张博 [1]，史贵涛 [1*]

1 华东师范大学，地理科学学院

* Gtshi@geo.ecnu.edu.cn

硫酸盐是气溶胶的基本成分，通过直接和间接的辐射强迫在全球气候变化中发挥着重要作用。近年来，随着海冰范围的变化，全球持续变暖，这些将潜在地影响硫酸盐的形成。然而，对海洋环境中非海盐硫酸盐（nss-SO_4^{2-}）和甲烷磺酸（MSA）的全球尺度的观测及其影响因素的定量分析很少。在此，我们报告了 2015-2020 年夏季中国极地研究考察队沿巡航路线的 nss-SO_4^{2-}和 MSA 质量浓度。我们发现：受到不同的海域以及时间的影响，nss-SO_4^{2-}和 MSA 的质量浓度存在显著的空间差异，并且在南大洋地区表现出了显著的季节趋势。粒径分级气溶胶样品显示，nss-SO_4^{2-}质量浓度主要集中在细颗粒（粒径<2.1μm），不同纬度海区的 nss-SO_4^{2-}浓度粒径分布比例存在明显差异，南大洋的 nss-SO_4^{2-}浓度细颗粒占比明显高于其他海区。在南半球，MSA/nss-SO_4^{2-}比值随着纬度的增加呈现出上升趋势，在南纬 60 度以南急剧上升，MSA 的变化直接主导了该比值的变化趋势。最后，硫酸盐来源的不同，海域的生物生产力的不同，海冰的是否存在都会对 nss-SO_4^{2-}和 MSA 的浓度产生强烈的影响。我们的结果补充了从北半球中部到南半球高纬度地区的大气非海盐硫酸盐（nss-SO_4^{2-}）和甲基磺酸（MSA）质量浓度的记录，并且强调了海冰的存在对高纬度地区气溶胶预算和大气化学的重要性。

S12-O-7

南极罗斯海扇区过去 540 KA 以来的古海洋与古气候变化历史

王汝建 [1*]，李永斌 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* rjwang@tongji.edu.cn

南极及其周边海域对全球气候演化具有重要影响。现代观测指出，在全球变暖的背景下，南极周边地区在空间上呈现出明显的区域差异变化：西南极气温上升明显，东南极气温保持稳定。阿蒙森-别林斯高晋海的海冰减少、上层水体温度上升最为明显；罗斯海扇区的海冰总量却不降反升，上层水温度变化不大。在垂向上，南大洋深层水的温度与全球大洋内部海水温度相比上升明显，说明南极及其周边海域对于全球热量的吸收具有至关重要的作用。而罗斯海扇区是南极底层水的重要发源地，占据了底层水总量的 25%。因此，深入探讨罗斯海扇区过去的气候变化对于认识南极及其周边海域对全球气候变化的响应和影响具有重要价值。本文通过中国第 31 次南极考察在罗斯海扇区北维多利亚地岸外采取的 ANT31-R22 岩芯（173.152°E，67.215°S；水深 2906 m）中的浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sin) 的 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$，及其

AMS^{14}C 测年和 Mg/Ca 比值、陆源组分和生源组分等研究，重建了罗斯海扇区 MIS 13-MIS 2 期的古海洋与古气候演变历史。结果发现，冰盛期阶段，罗斯冰架/海冰的扩张阻断了大部分海域的海气交换；在较早的冰盛期（MIS 12 和 MIS 10 期），罗斯冰架/海冰的稳定性较差，伴随有大量冰筏碎屑输入；而后来的冰盛期阶段，罗斯冰架/海冰稳定性增强；冰盛期的深层环流较弱，水体通风较差，不利于碳酸钙保存。冰消期阶段，罗斯冰架/海冰开始消融，陆坡外海域输入大量冰筏碎屑，与附近海域的冰筏碎屑沉积模式一致，说明罗斯冰架/海冰对于大气温度的上升更为敏感；罗斯冰架/海冰的消退为海气交换打开了窗口，表层水体的 $\delta^{13}C$ 迅速变重，表明上升流是大气 CO_2 的重要源区；而由西风带引起的上升流促进了硅质生物的勃发。间冰期阶段，罗斯冰架/海冰的分布范围与现代相近，冰筏碎屑主要沉积在陆架区，开阔海域的表层海气交换更为充分；深部环流和水体通风增强，改善了碳酸钙保存，但随着表层水可能受到融冰水的影响和营养元素的消耗，硅藻生长受限，逐渐由高生产力向低生产力转变。

S12-O-8

南大洋生产力与南极气候千年尺度一对一协同演变

郑旭峰[1,2*]，卢丽娟[2]，陈忠[2]，颜文[2]，吴淑壮[3]，郑立伟[1]，王雪松[5]，高树基[1,4]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

3 洛桑大学

4 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

5 中国地质大学，海洋学院

* xufengzheng@hainanu.edu.cn

南大洋的物理和生物地球化学过程被认为对全球大气二氧化碳浓度具有重要的调控作用。然而针对千年尺度的南大洋上升流、大气二氧化碳浓度和南极气候耦合关系的研究主要集中在末次冰期或者是末次冰消期，缺乏更长的时间尺度例如覆盖海因里希事件（Heinrich Stadials）以及整个丹斯伽阿德-厄施格尔旋回（Dansgaard-Oeschger cycle）事件的研究，以揭示其潜在机制。通过对南极区域（Antarctic zone）斯科舍海区国际大洋钻探计划 IODP382 航次 U1537 站位高分辨率的颜色反射率 b^*值以及自然伽马能谱数据分析，重建了 160ka 以来生产力的变化。研究发现两个生产力指标与上升流速率直接相关，是上升流的替代指标。南极区域生产力呈现出的千年尺度强化与南极温度升高具有一致性，而与格陵兰冰芯氧同位素和北大西洋经向翻转流强度变化反向对应，支持“双极跷跷板”机制。研究认为南极区域生产力与全球大气二氧化碳千年尺度一一对应的协同演变关系意味着南大洋上升流强度变化与全球大气二氧化碳波动和气候变化紧密相关，需要开展更广泛的研究去揭示其潜在的物理和生物地球化学机制。该研究对理解千年尺度气候变化及全球大气二氧化碳的调控机制具有重要意义。

S12-O-9

南塔斯曼海近 2MA 以来生物标志物演变记录及环境响应

李文宝[1*]，王汝建[2*]

1 内蒙古农业大学，内蒙古农业大学水资源保护与利用自治区重点实验室

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* tianshiTD@126.com

* rjwang@mail.tongji.edu.cn

海洋表层生物结构变化不仅会对大洋碳储库产生影响，而且与气候环境的演变存在一定联系. 通过南塔斯曼海 ODP 1170 站位高分辨率的底栖有孔虫氧同位素和生物地球化学分析，结合南大洋风尘沉积堆积速

率、大气 CO_2 浓度及地球轨道参数进行了综合研究. 结果显示: 1) ODP1170 站 B 孔上部 42.6 m (mcd:合成深度) 的底界年龄约 1960 ka, 样品分辨率为 ~1.5 ka/样; 2)南塔斯曼海各个浮游藻类的含量在 1500-600 ka 间均出现明显上升. 而近 2 Ma 以来, 伴随全球气候的演变, 陆源风尘沉积物堆积速率的增加, 南塔斯曼海陆源输入有机质含量与浮游植物总含量的变化都出现明显的阶段性, 特别是在 900 ka 前后, 浮游植物总含量明显上升, 同时物源区植被由木本植物增加开始向草本植被增加过渡, 对应了“中更新世气候转型事件”(MPT)的发生; 3) 近 2 Ma 以来, 南塔斯曼海“颗石藻:硅藻”值呈现明显的上升趋势, 显示钙质生物含量的相对增加. 在 1500-600 ka 间, “颗石藻:硅藻”值的快速上升则对应了大气 CO_2 浓度的快速下降以及全球气候的变冷, 显示海水表层生物结构变化与气候演变存在一定的联系: 在地球轨道周期上, 南塔斯曼海表层水体生源结构的变化不仅在岁差周期上与大气中 CO_2 浓度变化存在良好的相关性, 而且还受到以斜率周期为代表的“高纬冰盖”作用的影响.

S12-O-10

东南级普里兹湾晚第四纪沉积物元素地球化学组成的冰川动力学指示意义

武力[1*]，王汝建[2]，肖文申[2]，葛淑兰[3]

1 广东海洋大学，海洋与气象学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 国家自然资源部第一海洋研究所

* wuli_ocean@qq.com

位于东南极普里兹湾的兰伯特冰川体系是东南极最大的冰川体系，约 12%的南极冰盖由此排泄进入南大洋，其动力学对于研究东南级冰盖的演化具有重要指示意义。最近的研究表明，在过去 52 万年内，兰伯特冰川在冰期—间冰期时间尺度上经历了反复的扩张和撤退。然而，不同指标显示的冰川动力学模式显著不同（Ge et al., 2022; Wu et al., 2021）。为了调和这些指标指示差异的矛盾，我们测试了位于普里兹湾外深海的重力岩芯 ANT30/P1-02 的元素地球化学组成。通过评价元素的粒度效应和元素的活动性，我们发现不活动元素比值，如 Fe/Al、Mg/Al 等与 Ge et al. (2022)所报道的岩芯 P1-2 的 Nd 同位素组成（εNd）随时间变化模式相似。这些元素比值在冰期相对高，而在间冰期相对低。我们认为这些元素比值主要反映了普里兹湾沿岸基岩的性质,从而可用于追溯兰伯特冰川消长对基岩的侵蚀作用。而由活动元素构成的化学风化指标 CIA (Al/(Ca*+Na+K+Al))以及 Rb/Sr 比值与 Wu et al. (2021)提出的黏土矿物指标的变化趋势一致，主要反映了兰伯特冰川扰动的陆架上老的沉积物的相对比例。这些指标指示冰期老沉积物扰动和再沉积程度相对较大，说明这些指标主要反映了兰伯特冰川对陆架沉积的侵蚀程度。本研究从而将前人研究统一起来，提供了一幅更加全面的晚第四纪兰伯特冰川动力学演化的图像。

S12-O-11

中更新世以来罗斯海陆坡区表层海洋环境演化历史

李青苗[1*]，肖文申[1]，王汝建[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* qmlee@tongji.edu.cn

IODP 374 航次在南极罗斯海陆坡区钻取了一系列钻孔，旨在获得一个连续的从新近纪到第四纪的西南极冰盖及其周边海洋环境的演化情况。本文对其中 U1524A 钻孔顶部 50 m 沉积物进行了镜下硅藻属种组合鉴定与分析，建立了罗斯海下陆坡地区中更新世以来详细的硅藻地层框架和冰海相互作用过程的关键信息。

本研究通过生物地层学的方法，结合已有的古地磁和火山灰地层学信息得出，U1524A

钻孔顶部 50 m 沉积物的年龄可能达到 MIS 45 期。进一步对硅藻属种组合的变化分析揭示了中更新世以来罗斯海下陆坡区表层海洋环境的演化及西南极冰盖的变化情况。1.3 Ma 以来代表开阔海洋环境的硅藻属种组合的逐渐减少表示中更新世以来罗斯海的表层海洋环境呈现一个逐渐变冷的趋势。MIS22-MIS16 期间 (~0.9 Ma-0.6 Ma)，代表冰盖扩张及强水动力的环境的硅藻属种组合和搬运/再沉积属种明显增加表示中更新世转型期间罗斯海地区的冰盖大幅度扩张，簸选作用增强。同时该时期生物硅含量与开阔大洋种丰度的低值也表示了初级生产力的降低。自 MIS15 期开始 (~0.6 Ma 以来)，现代沉积中常见的海冰/冷水相关属种增多，罗斯海地区现代的硅藻属种组合开始建立。罗斯海的表层海洋环境此时处于相对较为寒冷的开阔大洋环境，季节性海冰覆盖在 U1524 站位。中布容事件之后，硅藻属种组合的周期性变化幅度增大指示冰期-间冰期之间的差异性变大。

S12-O-12

末次冰消期以来南极罗斯海陆架边缘的海冰演变及冰-海相互作用机制

崔超[1,2]，肖晓彤[1,2*]，刘焱光[3]，Michele Rebesco[4]，Laura De Santis[4]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 青岛崂山实验室，海洋生态与环境科学功能实验室

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

4 National Institute of Oceanography and Applied Geophysics

* xtxiao@ouc.edu.cn

据推断，在过去的冰期-间冰期旋回过程中，西南极冰盖反复地靠近罗斯海陆架断裂带，直接影响了发生在大陆边缘的沉积过程，因此，罗斯海大陆边缘的沉积记录可以用来研究西南极冰盖的演变历史。但是目前对该区域末次冰消期以来的海冰演变及冰-海相互作用机制的研究还有待进一步深入。为了更好地认识末次冰消期以来罗斯海中部陆架边缘的沉积过程和古环境演化，本研究对采自罗斯海陆架边缘随水深变化的3根箱式沉积物岩芯（BC008、BC010和BC006）进行了多指标分析，主要包括沉积学参数（含水率、粒度和冰筏碎屑）、生物地球化学参数（有机碳及其同位素 $\delta^{13}C$、有机氮、生物硅），以及对沉积物中有机碳和有孔虫的 AMS^{14}C 测试分析。根据这些参数的变化特征，结合粒度端元分析，我们将 3 根岩芯的沉积序列划分为不同的沉积单元，分别指示了中冰消期（~15.8 ka BP）、中冰消期-早全新世（~15.3-8.2ka BP）和中晚全新世（~8.2ka BP 以来）的沉积环境。其中，中冰消期比全新世的有机碳、氮和生物硅的含量高，主要是因为罗斯海陆架边缘在中冰消期受到冰下融水和陆坡重力流的作用，使得大量富含生物组分的陆架沉积物被侵蚀、搬运至陆坡及邻近海盆区。在全新世冰架崩解，形成开阔水域，冰山增多，底流增强。因此，罗斯海陆架边缘的沉积通常受控于冰架活动的影响，冰架融化产生融水脉冲和碎屑流，进而影响沉积过程。此外，在本研究区，也可能受到底流活动的侧向搬运影响。

S12-P-1

2022 年夏季阿蒙森海晶磷虾资源密度空间分布及环境影响因子研究

李帅[1]，黄洪亮[1]，李灵智[1]，赵国庆[1]，张港琛[1]，饶欣[1]，杨嘉樑[1*]

1 中国水产科学研究院东海水产研究所，农业农村部远洋与极地渔业创新重点实验室

* yangjl@ecsf.ac.cn

晶磷虾（*Euphausia crystallorophias*）为南大洋磷虾常见种，是南大洋生态系统的关键组成部分。基于我国第 38 次南极科学考察磷虾拖网调查结果，对 2022 年夏季阿蒙森海开阔水域晶磷虾资源密度水平尺度空间分布进行了分析，并对海水表温（Sea Surface Temperature, SST）、盐度和叶绿素浓度等环境影响因子进行了初步研究。结果表明，调查期间阿蒙森海晶磷虾平均资源密度为 0.004 $g \cdot m^{-2}$；阿蒙森海晶磷虾资源密度纬向差异较大，东西两侧海域资源密度明显高于中部海域（130°W—145°W），且阿蒙森海东侧（120°W—130°W）资源密度高于西侧海域（145°W—150°W）；阿蒙森海晶磷虾资源密度经向差异较小，且低纬海域资源密度略高于高纬海域；双变量相关分析认为 SST、盐度与叶绿素浓度与晶磷虾资源密度空间分布无显著相关性（$P>0.05$）。

S12-P-2

阿蒙森海冰间湖区晶磷虾资源密度对环境变化的响应

杨嘉樑 [1,2]，李帅 [1,2]，李灵智 [1,2]，饶欣 [1,2]，陈帅 [1,2]，黄洪亮 [1,2*]

1 中国水产科学研究院东海水产研究所东海水产研究所

2 农业农村部，远洋与极地渔业创新重点实验室

* ecshhl@163.com

摘要：晶磷虾作为南极生态系统中具有重要生态价值的的关键种，其资源密度状况与环境变化密切相关。通过阿蒙森海冰间湖内的两条断面的综合调查，对晶磷虾的资源密度分布及相关环境因子开展了调查。晶磷虾资源密度分布通过对声学回声数据的处理获得，其中晶磷虾的声学目标强度根据晶磷虾样本数据并基于 SDWBA 模型计算所得。调查期间，调查断面晶磷虾的资源密度范围为 0.96 至 11.01g/m2，资源密度均值为 5.77g/m2。尽管晶磷虾仍然是分布在冰间湖内最主要的的磷虾种类，但调查结果表明其资源密度已较先前其他学者在相同区域研究的结果出现了明显下降。尽管其它水文环境参数诸如海表温度及盐度均会对晶磷虾资源的空间分布产生影响，但导致两次调查期间磷虾资源密度差异的主要原因应该是由于两次调查期间冰间湖内浮游植物爆发程度的差异所致。此外，晶磷虾的虾群密度及厚度在昼夜间几乎未出现明显的差异。根据 GLM 模型拟合结果，2022 年夏季阿蒙森海冰间湖内晶磷虾的资源量估计为 17.5 万吨。

S12-P-3S

南极不同区域降水中硝酸盐来源及其氧化生成机制的季节变化特征

李一兰 [1]，史贵涛 [1*]

1 华东师范大学，地理科学学院

* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

硝酸盐（NO_3^-），是大气中普遍存在的化学成分，在活性氮的生物地球化学循环中起至关重要的作用，主要由氮氧化物（NO_X）氧化生成，其中大气中 NO_X 来源与 NO_3^-生成机制的相关研究仍十分有限。而南极地区几乎不受人为活动的影响，是研究大气化学组分自然排放和生成机理的一个良好的实验室，开展南极地区大气硝酸盐的来源和形成机制的研究对我们认识大气氧化环境具有重要意义。本研究依托我国多次南极科考，获取不同季节（冷季：5-9 月；暖季：10-4 月）不同区域（中山站位于东南极沿海，大陆性气候；长城站位于南极半岛，海洋性气候）的大气湿沉降样品，进行 NO_3^-含量及其氮氧稳定同位素值（$\delta^{15}N$ 和 $\delta^{18}O$）的测定。结果表明，两个区域降水样品浓度呈现暖季高于冷季的季节变化特征；而 NO_3^-的同位素 $\delta^{15}N$-和 $\delta^{18}O$-信号均呈现冷季高于暖季的变

化特征，表明不同季节南极大气 NO_3^-的来源与氧化生成机制均存在差异。在暖季，南极降水中 $\delta^{15}N\text{-}NO_3^-$显著低于冷季，这可能是因为在暖季南极雪冰受更多光照，光解释放较多低 $\delta^{15}N$ 的 NO_X，且南极附近海域在暖季海洋生产力高于冷季，亦能提供较低 $\delta^{15}N$ 的 NO_X。且在暖季，中山站与长城站降水中 $\delta^{15}N\text{-}NO_3^-$也存在显著差异，结合采样时 72 小时后向轨迹发现在中山站相对长城站更易受来自南极内陆气团（携带雪冰光解释放的 NO_X）的影响，长城站则是更多受来自海洋的大气气团的影响，即指示中山站大气 NO_X 主要来自降雪释放，而在长城站大气 NO_X 主要来自海洋释放；而在冷季，南极大气中 NO_X 主要来自平流层的输入（高 $\delta^{15}N$ 信号），且无区域差异。同时，南极降水中 $\delta^{18}O\text{-}NO_3^-$也表现出暖季显著低于冷季的特征，结合两个区域日平均温度和太阳辐射记录表明在暖季南极大气中低 $\delta^{18}O$ 特征值的氧化剂（OH 和 RO_2/HO_2）相对更为活跃，而在中山站，南极内陆气团提供了携带高 $\delta^{18}O$ 信号的氧化剂，海洋气团则更多为长城站提供了相对低 $\delta^{18}O$ 信号的氧化剂（如 RO_2/HO_2）。然而在冷季，无论是中山站还是长城站，降水中 $\delta^{18}O\text{-}NO_3^-$信号均较高，则是由于在此期间南极大气 O_3（携带高 $\delta^{18}O$ 信号）的浓度更高，有利于 O_3 氧化生成 NO_3^-，且在冬季和早春极地平流层的极冷条件下，极地平流层云在阳光存在时提供了有利于发生非均相反应（$H_2O(l)+N_2O_5\rightarrow HNO_3$；携带高 $\delta^{18}O$ 信号）的环境。

S12-P-4S

大气河在南极海冰变化中的作用

梁凯昕 [1,2]，王今菲 [1,2]，罗昊 [1,2]，杨清华 [1,2*]

1 中山大学，大气科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* yangqh25@mail.sysu.edu.cn

Antarctic sea ice variations are affected by moisture and heat from low- and mid-latitudes, more than 90% of which are transported by atmospheric rivers (ARs). This study employs the ERA5 reanalysis and satellite observations to detect all the ARs over the Antarctic sea ice and analyze the general contributions of ARs on sea ice changes from 1979 to 2020. Though AR frequency is low in all seasons, ARs give rise to intense sea ice reduction at a rate of more than 10%/day in marginal ice zone. Thermodynamic processes of sea ice dominate the AR-induced variations, associated with anomalous atmospheric conditions during ARs. Warm, moist and cloudy weather causes considerable melting by enhancing sensible heat flux in cold seasons but has restrictive influences in summer due to blocked solar radiation. Heavy precipitation during ARs is also nonnegligible, especially during the summer melt.

S12-P-5S

东南极奥茨海岸外沉积岩芯第四纪以来的年代重建及其指示的 WSB 冰盖演化

聂森艳 [1,2]，王汝建 [1*]，肖文申 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 上海市海洋事务管理中心

* rjwang@tongji.edu.cn

近几年的研究发现东南极海洋基底冰盖并不稳定，其中最大的威尔克斯冰下盆地（WSB）冰盖对变暖响应敏感，但关于 WSB 冰盖变化及其边缘海海洋环境的古海洋与古气候记录因缺乏足够研究材料仍十分匮乏。本文以中国第 32 次南极科学考察在东南极奥茨海岸外采集的 ANT32-RB17C 岩芯为研究对象，开展了 AMS ^{14}C 测年、古地磁参数、颜色反射率、XRF 元素扫描、粗组分

含量、粒度组成、蛋白石含量、硅藻属种统计和浮游有孔虫 *Neogloboquadrina pachyderma* (sin.) (Nps)氧碳同位素（$\delta^{18}O_{Nps}$ 和 $\delta^{13}C_{Nps}$）等分析，利用多重地层年代学方法，对比分析重建了 RB17C 岩芯第四纪以来 MIS 49-1 的地层框架模式；IRD 及粒度记录指示 WSB 冰盖大规模消退可能发生在 MIS 15-13，我们认为 MIS 15-13 是一个连续的超长类间冰期。WSB 冰盖在超级间冰期 MIS 11 的消退相比 MIS 31 和 MIS 5e 显著，表明较长的间冰期持续时间才是东南极 WSB 冰盖向内陆消退的关键。

S12-P-6S

80 万年以来南大洋南极区生产力与气候系统的协同演变

黄冰玥 [1,2]，郑旭峰 [1*]，卢丽娟 [3]，M.E.Weber[4]，B.T.Reilly[5]，郑立伟 [1]，高树基 [1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 海南大学，生态与环境学院

3 中山大学，大气科学学院

4 University of Bonn, Germany,Institute for Geosciences, Department of Geochemistry and Petrology

5 University of California San Diego, USA,Scripps Institution of Oceanography

* xufengzheng@hainanu.edu.cn

南大洋 Antarctic Zone 是全球大洋经向翻转流的上升流区，这里大气-海洋-冰盖过程协同作用影响全球气候和碳循环过程。本文选取斯科舍海筏冰通道 U1537 和 U1538 站位，以重建 Antarctic Zone 过去 800ka 以来生产力和风尘演变历史。结合南极冰芯指标，以揭示南大洋大气-海洋-冰盖作用下 Antarctic zone 生产力演变特征和潜在驱动机制。U1537 和 U1538 站位研究结果显示：风尘指标呈现出冰期高-间冰期低的特征（冰期是间冰期的 5-15 倍），与南极冰芯的风尘沉积指标变化一致。相反，生产力指标呈现出间冰期高-冰期低的特征（间冰期是冰期的 2-5 倍），且在中布容时期至今有一定幅度的整体增强。综合以上结果表明：风尘铁施肥过程不是 Antarctic Zone 生产力变化的主要影响因素，中布容时期至今以及间冰期生产力的增强更可能与海洋-冰盖的协同作用有关，需要更多研究去证实。

S12-P-7

南大洋斯科舍海千年尺度初级生产力变化及对气候的响应

卢丽娟 [1,2,3*]，郑旭峰 [2]，陈忠 [3]，颜文 [3]，吴淑壮 [4]，郑立伟 [2]，王雪松 [5]，陈雨 [2]，高树基 [2]

1 中山大学，大气科学学院

2 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

3 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质实验室

4 University of Lausanne,Institute of Earth Sciences

5 中国地质大学（武汉），海洋地质资源湖北省重点实验室

* lulj29@mail.sysu.edu.cn

南大洋的物理和生物地球化学过程被认为对全球大气 CO_2 浓度具有重要影响。在南极海域，南大洋上升流将大量深层营养盐（包括溶解硅酸）和 CO_2 向上输送至海洋表层，影响大气 CO_2 浓度和南极海域初级生产力（硅藻等）的发育。研究千年尺度初级生产力与上升流的耦合，探究初级生产力与上升流、南半球西风、温度、大气 CO_2 浓度的内在联系，对研究南大洋碳循环过程具有重要的科学意义。然而目前针对千年尺度的南大洋初级生产力、上升流、大气 CO_2 浓度和南极气候耦合关系的研究主要集中在末次冰期或者是末次冰消期，更长的时间尺度例如覆盖海因里希事件（Heinrich Stadials）以及整个丹斯伽阿德-厄施格尔旋回（Dansgaard-Oeschger cycle）事件的研究较

少。本研究利用国际大洋发现计划（International Ocean Discovery Program, IODP）382 航次斯科舍海 U1537 站位高分辨率的颜色反射率参数 b*和自然伽马能谱数据重建 160 ka 以来南大洋初级生产力。结果显示，初级生产力具有明显的冰期-间冰期旋回特征，每个初级生产力峰值与南极温度的峰值对应关系较好，这种耦合关系在千年尺度气候事件比较明显。初级生产力与上升流的替代指标有很好的一致性，反映该站位的生产力受限于深层溶解硅供应的限制，是上升流变化的替代指标。千年尺度初级生产力的增强与南极温度升高趋势的一致性，对应于北大西洋经向翻转流强度的减弱和格陵兰冰芯氧同位素揭示的北半球突然变冷，反映了“双极跷跷板”机制。来自威德尔海深水系统的南极底层水可能在海因里希事件期间对提高斯科舍海初级生产力有较重要的影响。生产力和大气 CO_2 浓度变化之间的一对一耦合表明，千年尺度气候突变事件时期活跃的上升流可能促使富含 CO_2 深层水上涌至海洋表面，将深海 CO_2 释放到大气，进而影响全球气候的变化。

S12-P-8S

早—中上新世西南极阿蒙森海底流速率-气候耦合的沉积记录

李隆威[1,2]，李悦书[2]，黄鑫[2]，武力[2*]，王汝建[3]，肖文申[3]

1 广东海洋大学，化学与环境学院

2 广东海洋大学，海洋与气象学院

3 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* wuli_ocean@qq.com

早—中上新世的大气 pCO_2 和温度与现今相似，而全球平均海平面比现代高出 5~20m。推断当时海平面上升与较小的南极规模有关。西南极冰盖作为海洋性冰盖，对气候变化极其敏感，其稳定性很大程度控制着未来海平面上升速率。南大洋底部洋流在调节南大洋的营养盐和碳循环以及能量交换方面发挥着深远的作用从而影响南极冰盖的稳定性。因此，对西南极附近海域底流状态的研究能为西南极冰盖稳定性预测提供必不可少的边界条件。本研究对位于西南极阿蒙森海的 IODP379 航次 U1532 孔早—中上新世段（4.2-3.5 Ma）沉积物陆源碎屑组分进行了激光粒度测试，并计算了可分选粉砂（10~63μm）指标。结果表明可分选粉砂百分含量变化在 20.8%~72.3%之间，平均为 39.2%；可分选粉砂粒径变化在 14.8~27.4μm 之间，平均为 19.3 μm。总体而言，可分选粉砂平均粒径与可分选粉砂百分含量之间具有显著的正相关性（r=0.899，p<0.001）而可分选粉砂与>125 μm 组分含量相关性较差（r=0.332，p<0.001），表明可分选粉砂平均粒径受冰筏碎屑输入的影响较小，可指示当地底流速率的变化。可分选粉砂平均粒径高值和低值分别对应生产力高值和低值，表明暖期（间冰期）底流相对强盛，而冷期（冰期）底流减弱。这种变化模式可能是由于南极锋的南北迁移和/或来自罗斯海的南极底层水生成速率的变化造成的。

S12-P-9S

晚更新世阿蒙森海生产力和冰筏输入的变化对海洋环境和西南极冰盖演化的指示

张静渊[1]，肖文申[1*]，王汝建[1]，樊加恩[1]，王含章[1]，杨如意[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* wxiao@tongji.edu.cn

阿蒙森海是当前全球变暖背景下西南极冰盖消融的核心区域。本文分析了中国第 34 次南极考察采集自阿蒙森海的 ANT34-A5-7 岩芯中生产力和冰筏碎屑含量等指标，旨在重建研究区深海氧同位素（MIS）6 期以来表层海洋环境和西南极冰盖演化历史。

研究结果显示，阿蒙森海生产力呈现间冰期高、冰期低的特征。在末次间冰期（MIS 5.5）呈现比当前更高的生产力水平，同时伴随着西南极冰盖的严重消融。这个现象归因于MIS 5.5 更暖的海表温度、更少的海冰覆盖，以及向南入侵的绕极深层水的上涌。该研究结果可对预测未来气候变化提供必要的理论依据。

S12-P-10S

南极沿海地区沉积物中脂类生物标志物的环境指标意义研究

Aamir Ali[1*]，王汝建 [1]，曹建涛 [1]，贾国东 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* rajput_amir@yahoo.com

我们分析了南极沿海地区表层沉积物中的脂质生物标志物，包括甘油二烷基甘油四醚（GDGT）、高支化类异戊二烯（HBI）和植物甾醇，并检验了它们在推断海水温度和海冰变化方面的适用性。这些沉积物采集于 2013 年、2019-2020 年中国南极科学考察期间（CHINAR 29-37，RV 雪龙 I 和 II），位于环绕南极的近海，包括普里兹湾、宇航员海、威德尔海和阿蒙森海。基于 GDGTs 的代用指标被用于考察它们在南大洋区域的海水温度指示意义。GDGT-0/Cren 的比值在 0.17 到 2.7 之间，甲烷指数(MI)介于 0.02 和 0.06 之间，这些结果说明 GDGTs 主要来源于奇古菌。年平均温度与基于 GDGTs 的 $TEX^{L}86$、RI-OH´、OH-0/OHs、OHC、OH-1/OHs、OH-2/OHs 和 OH-GDGT%等代用指标之间的相关性被用于评估它们推断 SST 的潜力。在研究区，表层沉积物数据表明，OH-2/OHs 和 RI-OH'与 100-200 m 水深范围内的次表层海水温度相关性最好，所有指标都不能很好地反映 SST。在所有表层沉积物中均已检测到 IPSO25、HBI-III 和甾醇的存在。IPSO25 含量在普里兹湾样本中最高，在阿蒙森海中最低。HBI-III 显示宇航员海的浓度最高，阿蒙森海的浓度最低。PIPSO25 海冰指数是通过 IPSO25 与浮游植物甾醇或 HBI-III 的组合来计算的。PBIPSO25（使用菜籽甾醇）指数在宇航员样本中显示最高值，在阿蒙森海中显示最低值。PDIPSO25 指数在普里兹湾样本中最高，在阿蒙森海和威德尔海样本中较低。PZIPSO25 指数值在阿蒙森海样品中最高，在威德尔海样品中最低。IPSO25、HBI-III、PBIPSO25、PDIPSO25 和 PZIPSO25 等海冰代用指标与年平均 SIC 之间的相关性被用来评估它们指示海冰条件的潜力。IPSO25 与年平均 SIC 显示出适度的线性相关系数（$R^2 = 0.4$）。HBI-III 指数与年平均 SIC 呈弱线性相关系数（$R^2 = 0.16$）。而 PBIPSO25 和 PDIPSO25 值与卫星冬季和春季观测的海冰浓度之间显示出比 IPSO25 指标更好的相关性。

S13-O-1

冰盖模式的发展和挑战

张通 [1*]，冷伟 [2]，王玉哲 [3]，效存德 [1]

1 北京师范大学

2 中国科学院数学与系统科学研究院

3 山东师范大学

* tzhang@bnu.edu.cn

极地冰盖的物质变化（淡水注入）对全球海平面上升和气候变化有着直接和重要的影响。建立可靠的大陆冰盖数值模式是定量研究冰盖动力过程的唯一有效手段。过去数十年来，极地冰盖模式发展已经取得了长足的进步，但其内在的数值系统偏差是影响模式推广的重要限制因素。报告人将从极地冰盖的物理特性出发，简述构建极地冰盖动力学数值模式的主要方法，探讨其动力学和水热过程特征，同时汇报目前极地冰盖模式构建和发展的现状和进展，并探讨未来极地冰盖模拟的研究方法和思路。

S13-O-2

ENCELADUS 冰壳的热结构

周游 [1*]，黄倩 [1]，陈淼 [1]，郝记华 [2]

1 成都理工大学，行星科学国际研究中心

2 中国科技大学，地球和空间科学学院

* zhouyou06@cdut.edu.cn

土卫二是土星的一颗被冰覆盖的卫星，半径 252km，它是太阳系中最亮的卫星。在 1789 年被英国天文学家威廉·赫歇尔（Wilhelm Herschel）发现，从 1980 年人类开始对它进行探测。旅行者号和卡西尼号对土卫二进行的多年观测资料表明：南极地区很“热”，表面的发热功率达 15.8 ± 3.1 GW (Spencer et al., 2006；Howett et al., 2011)。南极“虎纹”地区有大量强烈的羽流喷出(Spencer et al.,2006; Hansen et al., 2019)。在卡西尼号观测的 13 年间（2004-2017 年），羽流一直稳定地从虎纹喷发出来，且水分子的平均源速率为 300kg/s，13 年间波动小于 15%(Hansen et al., 2006, 2011, 2019)。羽流喷出后仅有 1%会逃逸供应到 E 环，绝大部分会回落覆盖地表(Porco et al., 2006)。羽流主要成分为水蒸气，也包含有少量的挥发性物质，如二氧化碳、甲烷、氨和氢气(Hunter et al., 2017)。

强烈的羽流活动和土卫二具备的支持生命的必要条件使其成为一颗存在潜在微生物的卫星。然而，在冰冷的土卫二上足够支持羽流喷发的热量从何而来？潮汐加热作为维持土卫二表面热活动的主要能量来源(Moore and Schubert, 2000;Nimmo et al., 2016)，是土卫二演化和南极地区羽流喷发的主要动力。

由于土卫二的热量分布不均匀，南极地区热量大，所以我们参考前人将潮汐加热作为空间可变热源加入传热方程(Roberts and Nimmos, 2008)。通过建立土卫二热收支模型，计算表面热流值并与观测值进行比较，从热量上制约羽流的慕式喷发；获得其天体内部的热分布，确定羽流的喷射源，将来可以用于约束南极地区的羽流喷出机制。

S13-O-3

冰盖淡水通量的气候反馈效应

李大玮 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* lidavvei@sjtu.edu.cn

本研究关注冰盖与气候系统间的相互作用，采用数值模拟的方式，对冰盖-气候反馈机制进行深入研究。针对冰盖淡水通量对局地和全球气候可能产生的显著影响和对冰盖自身消融速率的反馈作用，本研究采用双向耦合的冰盖-气候模式，从而克服传统的“单向驱动”的气候-冰盖耦合方式下反馈过程难以得到准确模拟的缺点；进一步考虑当前和未来全球气候变暖背景，研究与南北极冰盖淡水通量相关的正、负反馈过程的综合作用、冰盖淡水通量对大西洋经向翻转流的影响、以及消融中的两极冰盖彼此间的相互作用。数值模拟的结果有助于加深对冰盖淡水通量相关的气候反馈机制的认识、更准确地评估相关反馈机制的局地和全球效应、分离出关键的物理过程。本研究也有助于理解冰盖对气候变化的敏感度、以及冰盖对地外行星气候以及宜居性的影响.

S13-O-4

冰雪地球冰消应该如何开始

伍家成 [1*]，刘永岗 [1]

1 北京大学，物理学院

* jcwu@pku.edu.cn

融池是指在冰雪表面融化形成的水洼，其形成会使地表的反照率降低，从而增加地表吸收太阳辐射的能力。这样的过程对于冰雪地球的冰消应该是至关重要的，然而过去的研究却忽略了融池的影响，为此我们开发了一个融池模块。该模块能够跟踪融池的形

成、增长和再冻结等过程。把该模块加入气候模式后，结果表明冰雪地球的冰消可以在地表年平均温度为-7.7℃的情况下发生，而不是之前认为的 0℃。在模拟前期，融池首先在中纬度地区出现，并逐渐形成季节性的融水带。这种带来的正反馈加热效应使赤道地区逐渐演变出了一条终年存在的融水带，并在不到 10 年的时间内将赤道的年平均温度提高到了 6.1℃。我们的研究结果表明使用年平均地表温度达到 0℃作为冰雪地球冰消的标准会大大高估冰消所需的二氧化碳（对于我们使用的气候模型来说，高估了 4 倍左右）。此外，模拟结果表明冰消应该从赤道开始，我們由此推测了热带冰川后续的消退过程。综上所述，我们的研究为冰雪地球冰消的研究提供了新的见解，强调了融池在其中的重要性。

S13-O-5

木星和土星冰卫星上的撞击坑分布及其对外太阳系撞击体来源的指示意义

徐璐媛 [1*]

1 澳门科技大学，月球与行星科学国家重点实验室

* lyxu@must.edu.mo

撞击作用是连接“天体运动”与“行星地质 ”的桥梁。充分认识外太阳系撞击体的来源类型和分布特征，对认识外太阳系固态天体上撞击过程，明确外太阳系天体上的撞击坑生成率和撞击坑定年等诸多方面具有重要意义。然而，由于探测数据较少，我们目前对外太阳系天体上的撞击分布和来源的认知还较为有限。不同来源和类型的撞击体会在外太阳系冰卫星表面形成不同大小频率分布的撞击坑，也会令同步自转的冰卫星上的撞击坑呈现出不同程度的前导-后随半球不对称性分布，因此，对外太阳系冰卫星上撞击坑空间分布的观测，亦可用于约束外太阳系的主要撞击来源和类型。本报告将简要介绍木星和土星主要冰卫星上撞击坑的空间分布特征及其对外太阳系撞击体来源的指示意义。

S13-O-6

洋壳玄武岩中铁质微体化石的超微结构特征及其对探索地外海洋潜在生命的启示

屈原皋 [1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* quyg@idsse.ac.cn

在针对地外潜在生命的探索中，目标天体和可能的生命形式一直是重要的科学问题。此项工作以三叠纪洋壳玄武岩裂隙中保存的高度铁矿化的微体化石为研究对象，运用拉曼光谱与显微 CT 为主的多种微区原位分析方法对其中微生物活动的显微构造进行深入研究，发现微生物活动与铁矿的结晶度有显著相关性。以此为类比提出在冰卫星宏观尺度宜居性不佳的大背景下，其冰下海洋的水-岩界面甚至水-冰界面仍然可能存在微观尺度的宜居环境以支撑化能生态系统的存在。此外，以此样品为例，摸索探测地外生命痕迹的新方法：即使有机分子降解到光谱可探测范围以下，矿物残留的显微构造与微区光谱学特征也可以做为探索地外生命痕迹的间接证据。

S13-O-7

月表水循环的证据和启示

胡森 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院地质与地球物理研究所

* husen@mail.iggcas.ac.cn

月表具有典型的高真空、强辐射、低重力的环境，其表面水的发现不仅有助于指导后续月球探测的原位水资源利用，也对其它无大气天体表面水的成因和行星宜居性演化具有重要启示；同时也催生了一系列新的科学问题，在月表严苛的环境下，水来自哪里？水如何保存？水如何迁移？

本文在梳理前人月表水研究进展和问题的基础上，依托我国嫦娥五号返回样品对月表水的来源、保存和迁移机制进行初步研究，发现月球撞击玻璃珠携带了高含量的太阳风成因水，且通过扩散方式保存在玻璃珠中，同时也发现撞击玻璃珠向外排水的证据，为揭示月表水的来源、保存和迁移提供了新的思路和视角，同时也为深刻理解其它无大气天体表面水的来源提供参考。

S13-O-8

P 波接收函数揭示地球、火星和月球浅层地壳散射特性的差异

石静 [1*]，王涛 [1]，陈涵 [1]，杨明翰 [1]，惠鹤九 [1]，陈凌 [2]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* shij@smail.nju.edu.cn

类地行星体的散射性质可以为其浅层地震结构、陨石撞击历史和地质活动提供有价值的线索。在这项研究中，我们通过从具有高信噪比的远震 P 波波形中计算的 P 波接收函数来研究地球、火星和月球浅层地壳的散射特性。我们的分析表明，强的散射尾波会导致使用不同时间窗口计算的 P 波接收函数波形发生显著变化，而 P 波接收函数的稳定性主要受介质的速度扰动的影响。不同散射介质的合成理论 P 波接收函数证实了这些观察结果。比较观测到的 P 波接收函数和合成的理论 P 波接收函数，我们发现月球浅地壳中的速度扰动的均方根大于约 0.2，但地球和火星的浅地壳的速度扰动的均方根小于约 0.2。我们进一步讨论了可能影响介质速度扰动的均方根的机制，认为月球和地球/火星之间浅层地壳的速度扰动均方根的明显差异主要是由于三个行星体地壳岩石含水量的造成的。

S13-O-9

基于 GAIA 协同探测技术的系外行星普查研究

冯发波 [1*]，崔开明 [1]

1 上海交通大学，李政道研究所

* ffeng@sjtu.edu.cn

早期的系外行星探测主要是通过独立的技术，例如径向速度和凌日法进行的。然而，每种技术只对某些类型的系外行星敏感，而且只能提供有限的关于系外行星的信息。在 Gaia 时代，我们正处于可以利用多种手段（包括径向速度、测角、直接成像和凌日法）探测长周期行星、全面表征它们的轨道、质量和大气的黄金时代。我将介绍如何充分利用 Gaia 星表数据来结合径向速度和其他数据约束行星轨道。这种协同处理方法将有助于实现全面的系外行星统计分析，以验证行星形成理论，并约束系外行星的动力学和大气演化。

S13-O-10

EVIDENCE OF HOT GIANT EXOPLANETS FORMATION TIMESCALES IN STAR CLUSTERS

戴远哲 [1]，刘慧根 [1*]

1 南京大学，天文与空间科学学院

* huigen@nju.edu.cn

Young star clusters could shed light on planet formation and evolution since star clusterscan provide accurate age estimation. Thanks to thehigh-precision astrometricdata provided byGaia, many new Open Clusters and comovinggroups have been identified. In this talk,we obtain the biggest catalog of planets in star clusters up to now, and carefullyremove false positives,which consistsof 71 confirmed planets and 78 planet candidates. After analyzingthe planet radius–age diagram, we inferthat the flyby-induced high-eccentricity migration in star clusters may result inthe increase of the fraction of Hot Jupiters of around 100 Myr, and a combination of photoevaporationand high-eccentricity migration may sculpt the hot-Neptune desert of around 100 Myr. Due to thelimited sample size, more planets in OCs, as well as characteristics of their atmosphere are useful toreveal the radius evolution of planetsin clusters.

S13-O-11

潮汐锁相岩浆行星海洋环流模式的开发与应用

赖燕红 [1]，杨军 [1*]，康婉莹 [2]

1 北京大学，大气与海洋科学系

2 Massachusetts Institute of Technology,Department of Earth, Atmosphere and Planetary Science

* junyang@pku.edu.cn

潮汐锁相的岩浆行星由于距离恒星特别近，在昼侧的温度非常高甚至超过岩石的熔化温度，因此岩浆海洋可在其昼侧形成。前人的研究大部分都通过假设一个充分对流的系统，得到岩浆海洋可达几十甚至上百公里深的结论。鲜少有研究考虑海洋动力对岩浆海洋深度的影响。在我们的工作中，我们自主开发了一个适用于潮汐锁相岩浆行星的二维海洋环流模式，用于模拟岩浆海洋的深度。通过数值模拟发现，考虑海洋环流后，岩浆海洋的深度只有几百米深，比只考虑充分对流时浅了上百倍。由于没有考虑行星旋转，风应力对于岩浆海洋深度的影响是有限的。我们还分别对温度、风应力和表面的蒸发凝结强迫主导下的岩浆海洋深度进行了尺度分析，理论结果与数值模拟结果基本一致。

S13-O-12

恒星连续性耀发对类地行星大气臭氧的影响

祝展翼 [1]，刘慧根 [1*]

1 南京大学，天文与空间科学学院

* huigen@nju.edu.cn

恒星活动特别是恒星耀发对类地行星大气的影响十分显著。耀发过程中恒星会在全波段增亮，光谱能量分布也会改变，尤其是在紫外波段。紫外波段能量的增加会影响行星大气的光化学反应，改变行星大气组分，特别是对宜居性有重要价值的臭氧分子的破坏。不同恒星的宁静光谱、耀发能量分布（FED）等也会有很大的差异，这些差异产生的影响不尽相同，且在不同 FED 下，长时标的连续性耀发对行星大气的影响目前还鲜有研究。根据 MUSCLES 建立的恒星模型，基于 TESS 的观测数据，我们建立并对比了不同光谱型典型恒星的 FED。利用 VPL 开发的 1D 光化学-气候耦合模式 atmos，输入带有不同耀发事件的时变光谱，进行类地行星大气组分模拟。模拟表明，不同紫外能量的耀发之后，行星大气臭氧浓度会产生不同程度的下降。对于单次耀发，耀发过程中臭氧浓度会迅速下降，之后在数月内会近似指数恢复到原来的水平。连续性的耀发事件会从而产生一定的累计效应，会使得行星大气

臭氧柱深度相较没有耀发的情况有所下降。这一工作探索了恒星耀发和行星大气臭氧浓度之间的时序联系，有助于预测行星大气中臭氧的含量并一定程度上判断系外行星的宜居性。

S13-P-1S

耀发恒星周围宜居带的估计

高东洋 [1,2]，刘慧根 [1*]

1 南京大学，天文与空间科学学院

2 山东大学，空间科学与物理学院

* huigen@nju.edu.cn

行星宜居带的定义已不再仅仅局限于液态水的存在，紫外辐射环境也被考虑到。恒星耀发产生的紫外辐射对行星的大气和生态环境有着重要的影响。目前恒星耀发事件的多波段同时观测，尤其是紫外和白光波段同时观测的数据资料较少。因此，通过白光波段的耀发推断紫外波段的耀发能量，受耀发能谱形状不确定度和恒星耀发探测不完备的限制，而难以准确计算。我们对恒星耀发的探测不完备性进行了矫正，并基于 M 型矮星和太阳上的耀发观测和模拟，构建了结合幂律光谱和热黑体辐射的耀发的能谱模型（flare SED model）。我们使用恒星光谱模型获得了更精确的宁静态下恒星紫外宜居带的边界，然后按照不同类型耀发恒星的耀发频率随能量分布，并结合 flare SED 模型计算了小质量耀发恒星的紫外宜居带边界以及和液态水宜居带的重合情况。我们得到，以 0.3 M_{sun} 的恒星为例，宁静态下液态水宜居带和紫外宜居带没有重叠，而在考虑到 $10^{30\text{-}36}$erg 能量的耀发时，两个宜居带会产生重叠。即使考虑到同等能量范围的耀发，K 型矮星（$0.5M_{sun}$–$0.7M_{sun}$）的紫外宜居带也处在液态水宜居带的内部，不会产生重叠。

S13-P-2S

高分辨率云模拟与暗弱太阳问题

闫明羽 [1]，杨军 [1*]

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系

* junyang@pku.edu.cn

太阳随着时间的推移而变得更亮，但在长期历史中，地球的气候对生命来说大致是温和的，并没有特别不适合生命生存与演化的地质时期。对于早期地球来说，这被称为暗弱太阳问题（FYSP）。除了碳酸盐-硅酸盐反馈过程之外，最新的研究表明，长期的云辐射反馈可能部分解决暗弱太阳问题。然而，前人研究使用的大气环流模式无法明确地解析对流和云层，非常依赖于经验性的对流与云参数化方案。我们在没有积云对流参数化的情况下，使用近全球高分辨率云模式重新模拟了地球早期的云及云反馈过程。我们的研究结果证实，确实存在稳定的短波云反馈，其大小约为 6 W/m^2，相当于抵消比现在弱 20%太阳辐射的 14%，或者约为 10 W/m^2，相当于抵消比现在弱 30%太阳辐射的 16%。当太阳辐射增加、同时二氧化碳浓度降低时，低层云层增加，通过提高行星反照率来稳定气候，反之亦然。

S13-P-3S

SOURCE TO SINK: AN ABIOTIC LUNAR CARBON CYCLE MODEL

Kit-Hung Mark Lee[1*]，Dominic Papineau[2,3,4,5]

1 University College London

2 London Centre of Nanotechnology,University College London

3 Department of Earth Sciences,University College London

4 The Centre for Planetary Sciences (CPS) at University College London/Birkbeck
5 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, School of Earth Sciences,China University of Geosciences
* mark.lee.20@ucl.ac.uk

An abiotic lunar carbon cycle model could catalytic lunar research, from the use of lunar regolith in food production to the in-situ resource utilisation of lunar cold traps. Differentiation between abiotic carbon flux and candidate biosignatures would be key to the exploration of celestial bodies such as Mars and Titan. However, cohesive mechanisms of carbon flux through the regolith are poorly characterised. Following a literature review of lunar carbon species reports and their suggested formation processes, a two-part model was proposed: a surface-exosphere model driven by impact and solar wind ion processes, and a deep regolith model possibly coupled with the lunar hydrological cycle. Here, geochemical reactions may produce reducing conditions for CH_4formation via Fischer-Tropsch-Type (FTT) synthesis, invoking H_2O in aqueous alterations alongside KREEP-enriched sources as energy sources. Further microanalysis on newly-returned lunar samples can clarify the bounds of this model.

S13-P-4

冰星体的气候演变：从冰雪世界跳变到失控温室

杨军[1*]，丁峰[1]，Ramses M. Ramirez[2]，W. R. Peltier[3]，胡永云[1*]，刘永岗[1]

1 北京大学物理学院大气与海洋科学系
2 Carl Sagan Institute, Department of Astronomy, Cornell University, Ithaca, New York 14853, USA
3 Department of Physics, University of Toronto, Ontario M5S 1A7, Canada
* junyang@pku.edu.cn
* yyhu@pku.edu.cn

正在进行和未来的行星探测项目旨在确定太阳系内和系外可能宜居的行星。行星的宜居性不仅取决于行星当前的恒星辐射通量和大气性质，还取决于其气候的演变历史。过去通常认为：当恒星逐渐变亮时，冰星体（包括冰行星和冰卫星）在最初的冰雪融化后，就会进入宜居气候态。但是，我们的最新全球气候模拟表明：在那些拥有不活跃的碳酸盐-硅酸盐循环和低浓度温室气体的冰星体的气候演变中，最终并没有进入为宜居气候态。这类冰星体的典型例子是木卫二 Europa 和土卫二 Enceladus，以及某些围绕 G 和 F 恒星运行的系外冰行星。我们发现：触发一颗冰星体表面冰雪融化所需的恒星辐射通量是如此之大，以至于冰雪融化后会迅速进入非常炎热的气候。具体来说，恒星辐射通量阈值超过了湿润温室气候态的极限，大量水蒸气进入平流层，并发生光解与逃逸，或者超过了失控温室气候态的极限，即吸收的恒星辐射超过行星可发射的最大红外辐射量，地表温度不断升高、不受控制，直到所有海水都被蒸干，气候变得不宜居。总体来说，一些冰星体可能会直接过渡到极端炎热的湿润气候态或失控温室气候态，而不经过类似地球的宜居气候态。

S13-P-5

月球早期的内外动力学相互作用

丁恣[1*]，祝梦华[1]，张南[2]

1 澳门科技大学，月球与行星科学国家重点实验室
2 北京大学，地球与空间科学学院
* miding@must.edu.mo

月球早期活跃的内外动力学作用共同塑造了月球内部物理化学结构，并决定了其后续的地质演化过程。而内外动力学作用并

非相互独立：一方面撞击生热减缓月球冷却过程并影响月幔对流；另一方面热状态也影响着撞击成坑和撞击后粘弹性松弛过程。内外动力学相互作用也有助于解释月球远近地面的化学不对称性：月球最大的撞击事件（南极-艾特肯盆地撞击）可以通过影响月幔倒转过程造成钛铁矿堆晶和放射性生热元素在近地面集中 (Zhang et al., 2022)。放射性生热元素分布将影响热状态，而热状态的不对称性进一步影响后续撞击盆地的形成与演化过程，能够解释远近地面撞击盆地大小和结构的差异 (Ding & Zhu, 2022)。借助撞击动力学、地幔动力学和岩石圈动力学模拟，我们再现了以上内外动力学演化过程，为月球当前的内部物理化学结构提供了参考和约束；内外动力学相互作用也有助于理解其他类地行星的早期动力学演化过程。

S13-P-6S

火星极地冰盖结构与 CO2 沉积的三维模式模拟

万智翔 [1*]，丁峰 [1]，胡永云 [1]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* 2201110321@stu.pku.edu.cn

我们基于观测结果模拟了火星南极残余冰盖(RSPC)的演化过程，以及该地区可能存在的二氧化碳冰层-水冰和沙尘层交替分层的结构，与火星气候演化相关。火星南极基底以上的冰盖结构主要分为残余南极冰盖(RSPC)、巨大的干冰沉积层(MCID)和水冰/沙分层的极地层状沉积(SPLD)；而火星北极由于其地形高程和热力特征，不存在多年性稳定的干冰沉积层，在冬春季和夏秋季，表层由季节性二氧化碳干冰和水冰分别控制。残余南极冰盖（RSPC）与水冰夹杂，其质量与当前火星大气质量相当。我们基于 P. B.Buhler, A. P. Ingersoll 等(2022)的相关文献，采用 FV3 动力内核、CubesSphere 网格的三维环流模式，耦合动力过程、辐射框架、地表热传导框架和二氧化碳沉降框架，模拟火星当前气候条件下的季节循环和极地冰盖的季节变化，在完整的物理框架下，进而模拟古代火星条件下、以及更广泛范围的火星气候模拟，或预测火星极地冰盖的演化。

S15-O-1

基于 OBS 观测研究马里亚纳南部俯冲带地震和水化特征

朱高华 [1*]，杨宏峰 [2]，林间 [3,4]，徐敏 [4]，陈瀚 [2]，张江阳 [4]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

2 香港中文大学，地球与大气科学系统

3 南方科技大学

4 中国科学院南海海洋研究所

* zhugaohua@qdio.ac.cn

马里亚纳俯冲带是典型的洋洋俯冲带，其俯冲板片年老且角度较陡，发育有拉张性弧后盆地。由水深导致的高压环境，导致近场地球物理观测稀少，因此对其地震构造和结构、动力学机制等问题了解有限。我们利用海底地震仪记录研究马里亚纳南部俯冲带地震活动和结构特征，进而研究马里亚纳俯冲带的孕震机制，地质和动力学过程。相关结果主要包括以下内容：利用海底地震仪（OBS）记录开展了基于模板匹配和机器学习方法的地震检测，获取了高分辨率地震分布，刻画出俯冲板片形态沿海沟走向存在显著变化，且大量的中小地震发生在弧后的西南马里亚纳裂谷区域，指示其处于活跃的拉张构造活动期；在俯冲太平洋板片距海沟 120km 范围内，观测到许多与板片弯曲有关的外缘地震，其中多数外缘地震的深度小于 30 km，少数外缘地震深度可达 50 km，说明在海沟外缘区域发育有超深断层，这些断层可能是海水进入深部的通道；利用地震面波成像方法，获取了俯冲带的速度结构，结果

显示俯冲板片上地幔地震波速度明显低于正常的俯冲板片，说明板片在海沟附近时可能发生水化，地震波低速指示的水化范围与外缘地震分布、理论拉张屈服区相吻合；此外，三维俯冲板片挠曲模型揭示了板内应力分布，解释了俯冲带外缘地震的非均匀分布机理。

S15-O-2

马里亚纳俯冲带弧-盆岩浆体系揭示了有限的板片蛇纹岩贡献

赵思宇[1,2,3,4]，杨阳[1,2,3*]，周志远[5]，Yoshihiko Tamura[6]，马金龙[1,2,3]，徐义刚[1,2,3]，张少威[1,2,3,4]，赵太平[7]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中科院深地科学卓越中心

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

4 中国科学院大学

5 南方科技大学，海洋科学与工程系

6 日本海洋研究开发机构

7 中国科学院广州地球化学研究所，矿物学与成矿学重点实验室

* yangyang@gig.ac.cn

大洋板片的俯冲会携带大量的水进入地球内部，这些进入地球内部的水会通过岩浆作用重新回到地表，因此俯冲带的水循环对于维持海平面稳定性以及地球宜居性至关重要。前人在马里亚纳海沟外侧的太平洋板片中识别出巨厚（约 24km）的蛇纹石化岩石圈地幔，导致俯冲板片携带的水量相比前人的估算增加了近 4 倍。然而，目前尚不清楚这 24km 厚的板片蛇纹岩在马里亚纳俯冲带弧-盆岩浆作用中是否脱水、脱了多少水、是否会导致深部地幔的含水。

俯冲的蛇纹石化岩石圈地幔相比俯冲的洋壳，亏损流体活动性元素，但是具有更重的 B 同位素组成以及更高的 Cl/F 比值。因此，本研究对马里亚纳俯冲带前弧 Pagan 火山以及后弧 NW Rota-1 火山进行了 B 同位素分析，并统计了西太平洋俯冲带弧-盆火山岩的 B 同位素数据、马里亚纳弧-盆火山岩中熔体包裹体的卤族元素数据。通过系统对比马里亚纳弧-盆火山岩的地球化学组成，本研究发现马里亚纳俯冲带后弧 NW Rota-1 有显著的蛇纹岩脱水的信号，然而这一信号在前弧以及弧后盆地并没有体现出来。热力学模拟与地球化学的结果一致，都表明马里亚纳俯冲带的板片蛇纹岩会在后弧（板片深度～200km）的位置发生脱水，而俯冲洋壳的脱水则主导了前弧以及弧后盆地的岩浆作用。

为了验证俯冲洋壳的脱水是否能够维持俯冲带岩浆作用的水通量，本研究对马里亚纳俯冲带俯冲板片输入的水以及岩浆作用释放的水以及氯的通量进行定量计算。结果表明，俯冲洋壳所含的水足以提供足量的马里亚纳弧-盆岩浆作用释放的水，并不需要板片蛇纹岩的贡献，再一次证明了板片蛇纹岩在马里亚纳俯冲带岩浆作用的起到的贡献有限。那么板片蛇纹岩的水去了哪里呢？

通过地震仪限定俯冲板片蛇纹石化岩石圈地幔厚度的工作较少，因此本研究对马里亚纳俯冲带海沟外侧的断层断距进行系统的统计分析。马里亚纳俯冲带大洋板片较为均一的断层断距表明，进入马里亚纳俯冲带的大洋板片可能具有相似的含水特征，因此本研究估算了马里亚纳俯冲带较为一致的板片蛇纹岩（24km）携带的水通量。结果表明，板片蛇纹岩的俯冲携带的水是板片洋壳的 5 倍，如果板片蛇纹岩俯冲进入了俯冲带，那么这些水将被带到更深部的地幔。

S15-O-3

卡罗琳洋底高原-海沟俯冲碰撞系统的研究进展与展望

董冬冬[1,2*]，张正一[1,3]，范建柯[1,2]，李翠琳[1,2]，张广旭[1,2]，杨柳[1,2,4]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室
2 中国科学院海洋大科学研究中心
3 中国海洋大学
4 中国科学院大学
* dongdongdong@qdio.ac.cn

卡罗琳（Caroline，又译加罗林）洋底高原位于卡罗琳板块北部，普遍被认为形成于晚渐新世热点火山活动。随着卡罗琳板块的运动，卡罗琳洋底高原向 NWW 向与雅浦海沟发生碰撞，正在发生极慢的板块汇聚作用。卡罗琳洋底高原裂解过程导致索罗尔海槽（Sorol Trough）在其中部位置发育。因此，卡罗琳洋底高原经历了热点火山作用、碰撞、裂解和俯冲等多个地质事件，为研究洋底高原的构造演化模式提供了理想的案例。近年来，随着我国远洋探测能力的不断发展和对卡罗琳板块研究意义认识的不断提高，我国加强了对卡罗琳海域的地质和地球物理调查研究，并助推了相关研究成为前沿热点。本研究主要基于近年来我国科学家的相关工作，在卡罗琳洋底高原的形成、高原与雅浦海沟的俯冲碰撞以及洋底高原的裂解等方面进行了总结，并提出该领域目前存在的一些关键科学问题，希望未来能为大洋钻探的站位选取提供思路。未来该区域的研究可聚焦 4 个方面：①卡罗琳洋底高原北部正常洋壳年龄的厘定，揭示卡罗琳板块-太平洋板块边界的位置与形态；②结合钻井、地震地层学研究，建立地层年代框架，识别区域构造事件的发生时间与影响范围；③揭示索罗尔海槽岩石圈的张裂阶段及新洋壳是否形成；④阐明卡罗琳洋底高原俯冲前缘挠曲断裂带地壳的性质与年龄。本研究由中国科学院战略性先导科技专项（B 类）（No. XDB42000000）、崂山实验室科技创新项目（No. LSKJ202204401）和国家自然科学基金项目（No. 41976052，42106064，41976051）等资助。

S15-O-4

构造板块之下低速体成因之谜

杨建锋[1*]，赵亮[1]，Manuele Faccenda[2]，陈凌[1]，王新[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室
2 University of Padova,Department of Geosciences
3 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室
* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

地球表层的刚性板块漂浮于软流圈之上，两者的力学性质差异是维持板块构造体系运转的重要因素。岩石圈-软流圈界面是隔离刚性板块与下伏软流圈的重要界面，这一界面先后在大陆和大洋下方被探测到强烈的地震波速的剧烈跳变。板块下方的低速体从靠近洋中脊到汇聚板块边缘（海沟或造山带前沿）下方，甚至随着板片进入到更深的地幔。尽管目前学界对这一界面的低速成因机制仍有较多争论，而大多学者将其归咎于低程度的部分熔融。洋中脊附近的熔流体有可能被板片运移至板内下方，但可能距离极其有限，无法解释海沟或造山带前沿的下方低速成因。本研究提出一种新的统一的构造板块下方低速体成因机制：构造俯冲板块与含水地幔过渡带的相互作用。我们利用地球动力学数值模型，发现俯冲板片引起的含水地幔过渡带的物质进入上地幔，从而引发脱水熔融。当熔体积累达到一定程度会形成瑞利泰勒不稳定，使得熔体上升进入到力学性质强的板块下边界，并被移动的板块横向拖曳变薄，形成尖锐的界面。而当熔体在汇聚边缘上升，会直接被板片拖曳进入到深部地幔，甚至地幔过渡带深度。我们的这一模型，可以很好地解释开阔大洋、大洋海沟附近以及造山带下方所观测到的地震低速体。因此，俯冲带与含水地幔过渡带的相互作用对板块构造体系具有强烈的作用。

S15-O-5

北印度洋莫克兰俯冲带构造特征与极端海洋灾害

杨晓东[1*]，邱强[1]，林间[1,2,3]，周志远[2]，张帆[1]，张锦昌[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方科技大学，海洋科学与工程系

3 Woods Hole Oceanographic Institution,Department of Geology and Geophysics

* xdyang@scsio.ac.cn

莫克兰俯冲带是全球俯冲带的端元代表，它具有超低的俯冲角度（2-3°）、超厚的俯冲沉积物（高达 7.5 公里）和超宽的增生楔（超过 400 公里）。莫克兰俯冲带历史上大地震多发，最近的 1945 年 Mw 8.1 级大地震还触发了海啸，造成大约 4000 人死亡。由于该俯冲带的地质构造独特、历史地震记录不全、国际上针对该区域的调查研究相对较少，目前对于其大地震机理、同震形变和海啸特征等知之甚少。2017 年在莫克兰东部海域 Pasni 地区发生了一次 Mw 6.3 级地震事件，为回答以上问题提供了契机。该地震是继 1945 年 Mw 8.1 地震以来该区发生的最大地震，而且该地震有较好的现今地质、地球物理和大地测量等数据覆盖，研究 2017 年 Mw 6.3 级地震为揭示莫克兰俯冲带的强震和海啸机理提供了关键途径。基于综合分析了多源的多波束地形、多道地震剖面、天然地震、震源机制、InSAR 和潮位站等数据，并通过构造解析、形变反演、海啸模拟、应力计算和构造建模等手段，定量研究了 2017 年 Pasni 地震的成因机制、海啸特征及区域未来大地震风险。研究结果表明：（1）2017 年地震发生在低角度（3-4°）的板块边界大断裂（megathrust）上；（2）地震在大断裂上产生了最大 15 cm 的同震滑动，导致地表发生 2-4 cm 的垂直形变；（3）地震罕见地触发了 5 cm 波高的海啸；（4）2017 地震破裂与 1945 大地震破裂部分重合，并且对自 1765 年以来未破裂的区域产生了明显的应力扰动，因此很可能会促进未来大地震的产生。该成果揭示了莫克兰俯冲带东段的大地震风险，对于“一带一路”和“中巴经济走廊”的海洋防灾减灾具有重要意义。

S15-O-6

中美洲俯冲带精细结构逆时偏移成像

邹鹏[1]，程玖兵[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* cjb1206@tongji.edu.cn

墨西哥俯冲带因其俯冲板块的形状从东北到西南沿走向方向变化显著，是研究俯冲系统动力学的理想位置。科科斯（Cocos）板块一直在以目前的形态向北美（North American）板块下方俯冲，从 20 Ma 到 11 Ma 的俯冲速度约为 12 cm/yr，从 11 Ma 到现在的俯冲速率约为 6 cm/yr（Müller 等, 2008 [157]）。俯冲界面的倾角沿中美洲海沟（MAT）中部随走向方向变化非常剧烈。在西北靠近里韦拉（Rivera）板块交界处，倾角为 50◦，而在东南靠近特瓦特佩克洋脊 Tehuantepec Ridge）的地方，倾角为 30◦（Pardo 和 Suárez, 1995 [158]）。Pérez-Campos 等(2008)[59] 发现科科斯板片在中部近阿卡普尔科市的区域为平俯冲。俯冲倾角沿走向方向的变化在新近纪火山弧（跨墨西哥火山带，TMVB）上的表现非常明显，火山带的走向与海沟构成 17◦ 夹角。在 30 Ma 左右，火山活动在中新世岛弧沿岸停止，中断 10 个 Ma 后又重新在墨西哥城南部出现，并继续迁移到 TMVB 的北端。从那时起，俯冲板片在墨西哥中部开始回撤，最明显的证据就是 TMVB 的火山活动开始向南迁移并到达现今 TMVB 的南缘位置（Ferrari,2004 [159]，Ferrari 等, 2012 [160]）。

本报告对中美洲俯冲带实验项目（Meso-America Subduction Experiment 简称 MASE）二维密集台阵远震数据进行了逆时偏移成像处理。成像结果除了展示出科科

斯板片的俯冲形态之外，还揭示出平板俯冲区的地幔楔和上覆陆壳中存在明显的分层结构，且在距海沟约 200 km 处存在一直贯穿到俯冲板片洋壳的不连续点。该位置与大地电磁获得的高导区（Jodicke 等，2006）、热结构模拟的板片脱水位置（Manea 和 Manea，2011）以及各向异性异常区（Husker 等，2022）相吻合。而这些精细结构是常规 CPP 叠加没法揭示的，可为进一步解释俯冲动力学机制提供成像依据。

S15-O-7

2021 年 KERMADEC 俯冲界面深部 8.1 级地震序列

叶玲玲[1*]，胡洋铭[1]，陈晓非[1]，Thorne Lay[2]，Hiroo Kanamori[3]，Fabrizio Romano[4]，Stefano Lorito[4]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

2 University of California Santa Cruz, Department of Earth and Planetary Sciences

3 California Institute of Technology, Seismological Laboratory

4 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

* yell@sustech.edu.cn

A sequence of large events with an M_W 7.4 event preceding an M_W 8.1 event by 1 hr 47 min struck the northern Kermadec where interface locking had been inferred from prior geodetically-measured slip deficit and occurrence of near-trench compressional faulting. We show megathrust slip of up to ~6 m from 30-50 km along the slab-mantle contact, with the foreshock nucleating near the down-dip edge of the mainshock. The shallower slab-crust contact has experienced substantial small to moderate events since the 1976 sequence with several deep major thrust events spaning the 2021 rupture zone. Overall, there appear to be strong stress interactions between the stick-slip failure and strain accumulation of the deep megathrust where the major events occur, the weaker shallow megathrust where extensive background activity and aftershocks occur, and the trench-slope region with bending stresses odulated by the interplate seismic cycle and, in turn, feedback on the shallow megathrust stress regime.

S15-O-8

联合地震成像与破裂模型反演分析 2021 年 2 月日本俯冲带 M7.1 级地震孕震环境与发震机理

谭玉阳[1*]，金综伟[1]，王建超[1]，秦慕天[1]，邢会林[1]，张海江[2]，张勇[3]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

2 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

3 北京大学，地球与空间科学学院

* tanyuyang@ouc.edu.cn

2021 年 2 月 13 日在日本东北部太平洋沿岸发生了 M_w7.1 级地震。为了探究此次地震及其余震的孕震环境，我们利用日本密集地震台网获得的高质量地震波 走时数据，采用双差地震成像方法来对此次地震震源区附近的地震波速度结构进行成像。成像结果表明洋壳和大洋地幔的顶部由于水化作用表现出低 Vp、低 Vs 和高 Vp/Vs 的特征；而大洋地幔下部则表现出高 Vs 和低 Vp/Vs 的特征，其原因可能是由于蛇纹石脱水造成。此次 M_w7.1 级地震序列的主震位于低速层与下伏高速区的交界处，余震则主要分布在低速层内。根据余震分布我们发现地震所产生的破裂面切入板片内部约 10km，并沿平行于海沟方向延伸约 50km。这些观测结果表明，此次 M_w7.1 级地震序列很可能是由于在俯冲前板片在外海沟处发生弯曲而形成的先存断层重新激活引起。地震位置与速度

异常体的位置关系表明，该地震序列可能是由地幔蛇纹石发生脱水，进而导致断层孔隙压力升高所致。另外，主震位置附近岩石物性的变化也有助于此次地震的成核。

在另外一项工作中，我们通过联合反演远震、强震波形和静态 GPS 数据获得了此次 Mw 7.1 级地震的破裂模型，并根据反演模型分析了此次地震及其余震的发震机理。此次地震的破裂模型表明，同震滑移主要分布在震中西南侧，表明此次地震为一次典型的单侧破裂事件。我们观察到破裂在断层面上顺时针方向传播，并产生了四个明显的破裂区，其中两个较大的破裂区位于断层面（沿倾向）的中下部，而两个较小的破裂区位于断层面上部。通过联合分析滑移分布和断层附近地震波速结构，我们发现主要破裂区与 Vp/Vs 异常体之间存在明显相关性，这表明沿断层带的结构非均质性在控制此次地震破裂过程中发挥了重要作用。此外，我们发现大多数余震位于小滑移量和高 Vp/Vs 的区域，库伦应力模拟结果表明余震是由主震破裂引起的应力增加导致。

S15-O-9

海山与多边形断层体系的俯冲对希库朗伊增生楔构造变形与地震活动的影响

王毛毛[1*]，Philip Barnes[2]

1 河海大学，海洋学院

2 National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand

* wangmm@hhu.edu.cn

希库朗伊（Hikurangi）俯冲带位于新西兰北岛外海以东，是南太平洋克马德克-汤加海沟俯冲带的南延部分。地震监测表明，希库朗伊俯冲带北缘发生有深度极浅（＜15 km），每 1-2 年重复出现，持续时间较短（1-3 周）的慢滑移事件（slow slip events, SSE），是全球俯冲带研究程度较高、仪器记录最浅的 SSE 事件。近年来，希库朗伊边缘开展了大量的地球物理观测和大洋科学钻探，包括主动源地震探测、大地电磁探测、国际大洋发现计划（IODP 372、375 航次），但是对于输入的洋壳对俯冲带增生楔内部断裂的构造、演化以及地震滑移的影响机制还尚不明确。希库朗伊俯冲带的输入的洋壳在地形上表现为 10-15 km 厚的一个希库朗伊高原，由海山、熔岩流及沉积物盆地组成。这些大型海山、沉积物以及其内部继承性结构的俯冲如何影响希库朗伊俯冲带北缘的构造侵蚀、应力体制、地震滑移行为本研究关注的主要科学问题。

钙质岩石常见于全球许多俯冲带，但很少有研究调查这些岩石在俯冲前的固结和压实变形，因此对其对后期的俯冲和增生过程的潜在影响了解有限。利用二维和三维地震反射数据以及在 IODP372 和 375 航次考察中获得的钻探数据，我们研究了希库朗伊俯冲带中输入的深海沉积序列中发现的正断层的结构、生长历史和滑移率等。地震相干深度切片和垂直剖面显示，这些断层表现出多边形的结构特征，而这在俯冲带边缘极少发现。多边形断层发育于古新世至上新世的深海碳酸盐和钙质泥岩中，具有密集间距分割和层位限定的特征。运动学模拟和二维位移量分析表明这些断层的断距向顶部和底部递减，并且可以划分出两组断距剖面的类型，这可能反映了沉积层侧向的物理属性的差异。多边形断层可能形成于深海沉积单元成岩作用引起的剪切破裂和体积收缩，并伴随流体的垂向逃逸。我们发现的证据表明在深海碳酸盐沉积期间，这些断层的滑移速率一般为 0.5-3 m/Ma，而随着陆缘沉积的开始，滑移速率快速增加至 20 m/Ma。这些观测支持海沟充填沉积物快速加载至深海沉积物之上促使了多边形断层的重新活化和快速增长。多边形断层最终将输送到增生楔的底部，增强浅层板块界面结构的复杂性。我们利用离散元数值模拟研究了这些断层在俯冲过程中的活化和构造反转过程，揭示出多边形断层体系将在增生楔底部提供了继承性的薄弱区，可能会促进与微地震、震

颤和慢滑移事件有关的变形和周期性的垂直流体迁移。

S15-O-10

俯冲大地震震后和震间期能持续多久?

李绍阳 [1*]，陈凌 [1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* shaoyangli@mail.iggcas.ac.cn

现代空间大地测量学观测和相关建模表明，逆冲型俯冲带地震释放的拉张应力扰动导致上覆板块发生朝向海洋方向的地壳形变。小型俯冲带地震（Mw<~8）发生之后，在其破裂区及周围俯冲断层（重新）闭锁产生的挤压应力作用下，地壳形变会很快（<1-2 年）由朝向海洋方向扭转为朝向陆地方向。然而，对于地震周期超过百年尺度的、危害更大的俯冲带大地震（Mw>~8.5），由于现代仪器持续观测时间相对较短，依然不清楚震后应力松弛过程（主要包括断层余滑和地幔黏弹性松弛）能持续多久。更深一层的问题是，一个完整大地震周期过程中震后和震间时间占比各为多少，哪些一阶物理过程控制这个比值？研究这些问题将有助于判断俯冲系统下次大地震应变能的累积程度和可能的地震风险性。本研究我们利用全球处于不同地震周期阶段的俯冲带特征形变最新观测，并结合黏弹性有限元地震周期数值模型，系统模拟了俯冲系统可能的地壳形变时变规律。我们的模型包含了断层运动学破裂和闭锁及其激发的黏弹性松弛等主要物理过程，定量且自洽地解释了特征形变观测。模型结果表明，不同俯冲带可能经历着一阶相似的物理过程。我们发现，震后和震间期的相对持续时间主要受控于地震周期时长与地幔黏度的比值，而孕震带深度与上覆板块弹性厚度的比值起二阶控制作用。受控于这两个无量纲参数之间的组合，俯冲系统震后和震间期持续时间最大值和最小值分别约占地震周期时长的 45%和 55%。表明能产生大地震的俯冲带在地震周期中的大部分时间是处于震间断层闭锁状态，因此概率上更难监测到大地震震后信号。本研究为对比不同俯冲带的形变特征异同和指导监测全球俯冲带未来可能的形变信号提供了思路和模型参考。

S15-O-11

智利俯冲带南-北地区逆冲断层有效强度与温度差异对大地震事件的控制作用

夏越洋 [1,2*]，Heidrun Kopp[2,3]，Ingo Grevemeyer[2,3]，马波 [2,4]，Dirk Klaeschen[2]，Eduardo Contreras-Reyes[5]

1 中国地震局地球物理研究所，地磁学研究室

2 GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research

3 University of Kiel

4 同济大学，海洋与地球科学学院

5 University of Chile

* yueyangxia@hotmail.com

俯冲带大逆冲断层周期性的闭锁与滑动会引发多种类型的地震活动。全球不同地区的俯冲带地震活动频率、震级和破坏力均存在很大差异。目前，控制和影响具有毁灭性破坏力的俯冲带大地震的主要因素和物理过程仍然是难解的。智利俯冲带是全球地震活动最强烈的地区之一，但与智利北部相比，智利南部的地震震级更大，数量更多，且同震滑移更靠近海沟，引发严重的海啸灾害。然而，尚不清楚导致两个地区地震活动性差异的主要原因。本研究以智利北部 2014 年 Iquique 地震（Mw8.2）、智利中部 2015 年 Illapel 地震（Mw8.4）和智利南部 2011 年 Maule 地震（Mw8.8）为案例，采用二维有限元温度模拟方法，在海底热流观测和库伦楔形模型的约束下，计算了三个地区俯冲带逆冲断层的有效强度、断层温度以及由温度

控制的发震区的浅部边界（对应 150℃的地温）和深部边界（对应 350-450℃的地温）的空间位置。然后，通过比较以上计算结果的南北差异及与同震滑移模型和余震震源机制的关系，分析了导致智利南北地区地震活动性差异的原因。结果表明，智利北部的大型逆冲断层有效强度约为 0.11 ~ 0.13，发震区宽度约 100 km，浅部边界距离海沟约 50 km；智利南部逆冲断层有效强度约为 0 ~ 0.03，发震区宽度约 160 km，发震区浅部边界距离海沟约 25 km。智利南部与智利北部和中部相比，其大型逆冲断层的有效强度更低，发震区宽度更大，发震区浅部边界更靠近海沟。更为平滑的逆冲断层和更大的发震区宽度可能是导致智利南部地震震级更大，数量更多的主要因素。同时，智利南部逆冲断层的 150°C 地温及浅部边界位置相较于北部地区更为临近海沟，这可能是导致智利南部更容易发生大型逆冲断层的浅部滑移并引发严重海啸的重要原因。

S15-O-12

流体对俯冲带地震破裂过程影响的数值模拟研究

高艺 [1]，翁辉辉 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* weng@nju.edu.cn

俯冲带断层上不仅可以发生具有巨大破坏力的大地震，还存在持续时间从几个星期到几年不等的、速度极慢的慢破裂现象，称之为慢地震。慢地震自发现以来一直受到科学界的广泛关注，一些研究表明慢地震可能触发大地震和海啸等地震灾害。关于慢地震的破裂机制，虽然目前人们已提出各种不同的模型，但对其内在的孕育机制、尤其是对慢地震和快地震之间的相互转换机制仍不清楚。

地震成像、俯冲带流变学、岩石学等证据表明慢地震的孕育环境可能存在大量的流体。断层孔隙流体对断层摩擦强度及其稳定性有着直接的影响：流体压强越大则断层摩擦力越小，反之则反。流体在断层滑移过程中可能产生两种具有竞争性的压强变化机制：（1）热增压（Thermal pressurization）是重要的断层热弱化机制，由于断层滑移过程中的剪切加热，流体压强会增加从而使断层的有效正应力降低，导致断层强度降低，利于产生具有破坏性的大地震；（2）剪胀（Dilatancy）机制会在断层滑移中导致孔隙流体压强的显著下降，从而使断层趋向稳定破裂，产生慢地震。因此断层流体可以通过控制断层破裂速度来调控不同的地震灾害，例如，产生快地震、慢滑移和无震滑移等。

本研究主要利用边界谱积分的弹性波动态模拟方法，考虑流体影响的动态地震破裂过程，定量地研究流体在热增压和剪胀机制共同作用下对地震破裂过程影响的研究，研究结果可能改善我们对慢地震成因机制、快慢地震转换关系的认识，为地震早期预警系统提出新的理论模型。

S15-P-1

新西兰北岛西南弧后地区上地幔变形

曹令敏 [1*]，何小波 [2]，赵亮 [3]，袁怀玉 [4]，赵明辉 [1]，丘学林 [1]，Martha Savage[5]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 浙江海洋大学

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 Macquarie University

5 Victoria University of Wellington

* cao_lingmin@126.com

上地幔各向异性的地震学研究可以揭示地幔流动和岩石圈变形模式，在俯冲带地区上地幔各向异性的研究则是认识俯冲带应力分布及俯冲动力学过程的关键。本研究聚焦新西兰北岛 Hikurangi 俯冲带弧后 Taranaki 地区的上地幔变形研究。目前已有的各向异性研究结果表明，俯冲板片下方地

幔流动方向平行于海沟方向（NE），弧火山地区地幔楔流动亦平行于海沟方向，弧火山对应的弧后地区表现为各向同性或垂向地幔流动，然而对于北岛西南的 Taranaki 弧后地区的上地幔变形研究仍处于未知。开展该地区的各向异性研究可以帮助我们了解北侧俯冲与南侧走滑过渡带地区的应力分布与变形特征。

本次研究利用 Tarakani 地区的临时台阵和 9 台长期观测台站记录的近震 *S* 震相、远震 *S* 和 *SKS* 震相分裂获得新西兰北岛西南弧后地区的上地幔各向异性参数（快波偏振方向和快慢波延迟时间）。新结果显示，近震 S 波的快波方向从北东侧平行于海沟的方向转变为西南侧垂直于海沟方向。研究中使用的深地震来自俯冲板片内，各向异性的南北差异可能反应了俯冲板片内部变形，如 Tarakani 北东侧的各向异性表明俯冲板片内部保留下来的外援隆起形成的平行于海沟方向的正断层，或者反应了应力场的变化，因为该方向变化与俯冲板片内不同深度的震源机制解的观测结果一致（Townend et al., 2012）。远震 S/SKS 震相分裂的快波方向平行于海沟方向，与前人观测的北岛其他台站的方向一致，可能为俯冲板片下方平行于海沟方向的地幔流动引起的；较大的延迟时间表明各向异性可能来源于深部上地幔变形，与向下俯冲的板片和 410km 间断面的动力学相互作用有关，也可能是受到拆沉作用的影响。本研究由国家自然科学基金项目（42076068 和 91958212）资助。

S15-P-2S

克马德克-汤加俯冲热液体系与地震构造变化

朱叶 [1,2*]，季颖锋 [1,2]，朱伟龄 [1,2]，瞿睿 [1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室，北京 100101

2 中国科学院大学，北京 100049

* zhuye@itpcas.ac.cn

2022 年 1 月 14-15 日，南太平洋岛国汤加的洪阿哈阿帕伊岛（HTHH）海底火山剧烈喷发并引发强烈的海啸和次声波。火山岛弧下方弯曲的克马德克-汤加俯冲板块的表面温度结构和流体分布是深部弧岩浆作用的重要条件。然而，目前对板块界面热液体系的非均质性及其与地震发震构造的联系尚不清楚。本研究以克马德克-汤加俯冲地震分布和计算得到的地表热流估算值为约束条件，基于有限差分法构建三维热力学模型，并研究该俯冲板块的表面温度变化、俯冲岩石相变及其地震分布南北变化。受俯冲板块几何形状的影响，从汤加到克马德克向南倾角逐渐增大，板状表面温度逐渐变化，在俯冲壳幔界面温度发生了从 300℃到 900℃以上的快速转变。含水丰富的洋中脊玄武岩（MORB）的榴辉岩化和超镁铁质岩的橄榄岩化的位置与快慢地震活动分布的对比说明后者的发生可能与俯冲含水矿物的迅速脱水有关。脱水脆化过程中释放流体的迁移和聚集促进了板块界面深部构造震颤与长周期慢滑移事件的产生。大量流体被释放于俯冲界面和上覆板块并沿板块界面俯冲通道上涌，进一步促进克马德克-汤加地区的地幔熔融和弧岩浆作用。

S15-P-3S

先存构造对阿拉斯加俯冲带挠曲形变及地震活动性的影响

郭宗林 [1,2*]，林间 [1,3]，张江阳 [1]，张帆 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 南方科技大学，海洋科学与工程系

* 15810949@qq.com

海底先存构造一般是指板块开始俯冲之前便已经存在的一些残留构造，如形成于古洋脊扩张期的断层等，这些断层的走向通

常垂直于扩张方向。研究显示阿拉斯加俯冲带先存构造的走向与地震活动性沿海沟的横向变化具有明显相关性。为了定量化研究先存构造与海沟夹角（α）对俯冲板块挠曲形态、应力和地震活动性的影响，我们分析了海沟深度和俯冲板块挠度沿海沟走向的变化。并在观测约束下，利用变有效弹性厚度薄板模型模拟了俯冲板块的挠曲形态，并进一步计算了弯曲曲率、应力分布和破裂范围。此外，我们统计了沿海沟外缘隆起处地震和板内中源地震的变化特征。结果显示：（1）阿拉斯加海沟轴部垂向剪力 V_0、挠度 ω_0 和有效弹性厚度 T_e 减小量均表现出显著的东西差异。俯冲带西侧的 V_0、ω_0 和 T_e 减小量分别为东侧的 12.9 倍、1.9 倍和 1.6 倍，表明俯冲板块在西侧海沟轴部受到更大的垂向剪力且挠度更大，岩石圈有效弹性厚度减小程度更大。（2）α 分别与板块最大曲率、T_e 减小量之间均存在着较好的相关性（相关性系数为 0.66 和 0.71），而最大曲率和 T_e 的减小量则分别反映了岩石圈变形程度以及板块屈服空间的变化。因此，我们认为存在一种正反馈机制：先存构造与海沟夹角小（α<25°）的区域，在俯冲板片的外缘隆起处，先存断层容易被激活，导致板块发生水化弱化，在应力作用下产生更大的挠曲，进而产生更大的弯曲曲率和应力，板块在更大应力下进一步破裂、水化、弱化。（3）外缘隆起的地震数量分别与 α、T_e 减小量均存在较好的线性相关性，相关系数为 0.71 和 0.81。俯冲带西侧夹角小，其地震数量是东侧的 3.8 倍。计算得到的挠曲应力分布和理论破裂范围显示：78%的 $M_w \geq 4.9$ 的地震在计算得到的拉张破裂区，其中有 86%的地震为正断层地震。因此，我们认为先存构造与海沟夹角强烈控制着外缘隆起处地震活动性。在 α<25° 的区域，由于受到的应力较大，破裂发育更多，地震活动更多，尤其是浅层的正断层地震。而对于板内中源地震活动性的主控因素并不十分明朗，除了先存构造的影响，俯冲板块海沟处沉积物厚度、海山俯冲等因素都至关重要。

S15-P-4

北苏拉威西俯冲带差异演化的数值模拟研究

宋陶然[1*]，郝天姚[2]，张健[3]，董淼[2]

1 海南热带海洋学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 中国科学院大学

* trqyqx1221@163.com

In view of the east–west differences along the north Sulawesi subduction zone, a numerical model with the convergence rate of the plates as the basic variable is established to quantitatively describe the evolution process of the north Sulawesi subduction zone. Our results reproduce the east–west differences of the subducting Celebes Sea plate, showing a shallow–deep–shallow subduction style. We suggest that the variable velocity ratio of the overriding plate to the subducting slab may be the main reason for the differential subduction along the strike of the North Sulawesi subduction zone. We therefore conclude that the residual slab and the rate of the eastern continental plate limit the downward movement of the subducted slabs of the eastern Sulawesi, and the tectonic location beyond the rotation radius influences the subduction morphology of the extreme western Sulawesi. Moreover, the widespread extension at the western Sulawesi has limited correlation with the clockwise rotation.

S15-P-5

没有火山弧的俯冲起始:西太平洋两个年轻俯冲带的对比

董淼[1,2*]，郝天珧[1,2]，张江阳[3]，张健[2]，吕川川[4]，许龙庆[1]，何庆禹[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，油气资源研究院重点实验室
2 中国科学院大学，地球与行星科学学院
3 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室
4 剑桥大学，地球科学学院
* dongmiao@mail.iggcas.ac.cn

年轻俯冲带缺少火山弧通常是由于俯冲板块俯冲深度不够而导致的。位于西太平洋地区的北苏拉威西俯冲带俯冲深度已经远大于平均弧下深度，然而，该俯冲带并没有对应的火山弧。为此，我们从板块挠曲、板块脱水和地幔楔热结构等方面对北苏拉威西俯冲带与菲律宾俯冲带中段进行了对比分析。结果发现，北苏拉威西俯冲带俯冲板片含水程度远小于菲律宾俯冲带。同时苏拉威西俯冲带中洋壳和含水地幔的脱水深度都小于菲律宾俯冲带。因此，北苏拉威西俯冲带没有对应的火山弧是因为没有足够的水进入到热的地幔楔角来导致熔融。根据研究结果我们认为在俯冲起始阶段，当年轻俯冲板块与上覆板块之间的夹角较小时，将会出现弧岩浆缺失的历史，因此通过岛弧岩浆年龄来判断俯冲起始时可能会存在较大误差。

S15-P-6S

晚古生代-早中生代牡丹江洋俯冲历史：来自黑龙江杂岩绿片岩年代学与地球化学证据

王锶淼[1]，董玉[1*]，葛文春[1]，杨浩[1]，白文静[1]

1 吉林大学，地球科学学院
* dongyugeo@jlu.edu.cn

黑龙江杂岩呈南北向带状展布于佳木斯地块与松嫩-张广才岭地块之间，是记录两地块间牡丹江洋演化历史关键的地质证据。其中，变质基性岩（包括蓝片岩、斜长角闪岩和绿片岩）是黑龙江杂岩的重要组成部分，但前人研究主要集中于蓝片岩和斜长角闪岩的相关工作，而目前针对绿片岩的相关研究还非常薄弱，限制了对黑龙江杂岩形成及演化历史的相关认识。

本文对黑龙江依兰地区绿片岩进行了年代学、全岩地球化学以及 Sr-Nd-Hf 同位素等研究。根据依兰地区黑龙江杂岩绿片岩的年代学与地球化学特征，将研究区绿片岩划分为早二叠世拉斑系列绿片岩（275 ± 1 Ma 和 273 ± 1 Ma）、中二叠世碱性系列绿片岩（261 ± 1 Ma）以及早侏罗世碱性系列绿片岩（179 ± 1 Ma）。其中，早二叠世拉斑系列绿片岩样品表现出显著 Nb、Ta 亏损特征，具有较低的全岩（$^{87}Sr/^{86}Sr$）$_i$ 值（0.703895~0.704252）以及正 ε_{Nd} 值（+7.66~+8.65）和正 ε_{Hf} 值（+0.92~+11.51），表明研究区早二叠世拉斑系列绿片岩的形成与受俯冲流体交代的亏损地幔楔的部分熔融有关。中二叠世碱性系列绿片岩样品表现出高 Nb（Nb=17.3~19.0 ppm）、高钛（TiO_2=1.40~1.64 wt.%）以及高磷（P_2O_5=0.60~0.68 wt.%）的地球化学特征，同时富集大离子亲石元素和轻稀土元素，亏损高场强元素和重稀土元素，指示其可能为富铌玄武岩。综合其全岩地球化学以及同位素特征，认为研究区中二叠世碱性系列绿片岩样品的形成与受俯冲板片熔体交代的地幔楔的部分熔融有关。此外，研究区早侏罗世碱性系列绿片岩样品具有 OIB 属性的地球化学特征，其全岩（$^{87}Sr/^{86}Sr$）$_i$ 值为 0.705160~0.705925，具有正 ε_{Nd} 值（+6.16~+6.19）和正 ε_{Hf} 值（+3.44~+9.32）。结合其全岩地球化学以及同位素特征，认为研究区早侏罗世碱性系列绿片岩样品的形成与板块断离过程中软流圈上涌有关。综上，本文认为研究区黑龙江杂岩绿片岩的形成与佳木斯地块与松嫩-张广才岭地块间牡丹江洋的俯冲作用密切相关，并且牡丹江洋于早侏罗世并未闭合。

S15-P-7S

汤加-克马德克俯冲带重力异常及非均衡地形研究

李卫东[1]，张帆[1*]，宫伟[2]，张江阳[1]，陈占营[1]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

* zhangfan@scsio.ac.cn

西太平洋地区广泛分布着具有沟-弧-盆体系的俯冲系统，在地球演化、板块生消循环中扮演着非常关键的角色，引发了关于板块初始俯冲机制、俯冲带大地震机制、弧后扩张机制等一系列科学问题的讨论。本文综合前人关于西太平洋型俯冲带的研究方法与进展，对汤加俯冲带及密切关联的克马德克俯冲带开展地球物理异常、均衡地形异常研究。基于汤加-克马德克俯冲带的高精度地形数据、自由空气重力异常数据、洋壳年龄、沉积物厚度数据计算研究区的地壳厚度和非均衡地形，讨论了汤加-克马德克俯冲带不同构造单元的重力异常、非均衡地形异常及可能的成因机理。分析结果表明：汤加-克马德克俯冲系统在重力异常和非均衡状态上存在东西分带、南北分段的现象，海沟与岛弧均处于极度不均衡的状态，弧后扩张中心与残留弧较接近均衡，各构造单元在垂直于海沟轴向上的东西差异可能受俯冲带上下板块间相互作用的影响。平行于海沟轴向，汤加俯冲带与克马德克俯冲带在海沟、岛弧、弧后地区具有不同的地形和地球物理场特征，其南北差异可能与俯冲板片形态、岛弧分裂模式、岩浆增生程度以及沿板块撕裂处汇入的太平洋南向地幔流等影响密切相关。

S15-P-8S

洪阿汤加-洪阿哈阿帕伊火山附近的垂直补偿线性矢量偶极地震的物理机制

刘彧奇[1,2*]，张帆[1]，周鹏程[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学，海洋学院

* liuyuqi21@mails.ucas.ac.cn

2022 年 1 月 15 日，位于南太平洋岛国汤加的洪阿汤加－洪阿哈阿帕伊（洪阿）火山发生剧烈喷发，随后观测到在该火山周围区域发生了多次地震。这些地震大多都是垂直补偿线性矢量偶极（vertical-compensated linear vector dipole, vertical-CLVD）地震。现有研究表明，大多数 vertical-CLVD 型地震与火山在空间分布上紧密联系，位于太平洋、印度洋、南大洋和地中海俯冲带的弧火山 30 公里范围内。此外，vertical-CLVD 型地震与火山活动在时间上也高度关联。因此，对 vertical-CLVD 型地震进行研究，可以揭示汤加地区地下岩浆活动和地震断层的相互作用。本研究使用 W phase 的反演算法，基于远震记录，对发生在洪阿火山附近区域的部分 vertical-CLVD 型地震的参数进行分析和计算。为了探究引发这些地震的地下断层类型和地震发震机制，对地震矩张量进行分解，利用地震矩张量的各个分量来计算环形断层的弧角、倾角等参数，并通过地震断层滑动的时空特征推断岩浆活动特征，并拟将火山断层系统与岩浆活动之间的相互作用进行关联，为活动火山的危险性评估提供重要参考。

S15-P-9S

岷江断裂带北段流体地球化学特征

石宏宇 [1]，周晓成 [2*]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

2 中国地震局地震预测研究所

* zhouxiaocheng188@163.com

温泉流体地球化学方法是研究活动断裂带深浅部流体耦合变化的重要方法。对岷江断裂带上的卡卡沟、川盘桥、松潘、牟尼沟温泉点进行了 7 次系统的调查，自 2011 年 6 月至 2018 年 7 月，测定了 16 个气体样品中的 $^{3}He/^{4}He$ 和 $\delta^{13}C_{CO2}$，以及 27 个水样中的常量元素、微量元素和稳定同位素（δD 和 $\delta^{18}O$）。结果表明，岷江断裂带温泉水的化学类型主要有 Ca-HCO_3、Mg-HCO_3、Ca·Mg-HCO_3、Mg·Ca-HCO_3 这四种；同时，δD 和 $\delta^{18}O$ 的测量结果揭示了岷江断裂带温泉水的补给主要来自大气降水，补给高程约在 3.4~4.5 km 范围内。此外，温泉水中 SiO_2 含量为 2.49~5.92 mg/L，热储温度为 26.00~52.22 ℃，循环深度为 1.17~2.67 km；Na-K-Mg 三角图分析表明岷江断裂带温泉水均为未成熟水。岷江断裂带温泉水中除 B、Sr、Ba 外，微量元素的富集因子均小于 1，说明微量元素含量较低，主要来自于岷江断裂带的灰岩。通过研究发现，幔源和壳源之间的混合作用是控制 He-C 系统和 He-Sr 系统的主要因素之一，获得的研究数据表明，$^{3}He/^{4}He$ 变化范围为 0.02 Ra ~0.68 Ra（Ra 为大气中 $^{3}He/^{4}He$ 的比值），温泉水逸出气体中幔源 He 贡献率变化范围为 0.07 %~7.8 %，表明温泉气体中的 He 主要来自于壳源，岷江断裂带内温泉水逸出气中的 CO_2 主要来自于地壳中的灰岩（75.00 %~99.47 %）。此外，研究还表明，2017 年九寨沟 M_S7.0 地震前后，温泉水地球化学特征发生了明显变化，但幔源 He 含量并未出现明显增加。基于以上结果，建立岷江断裂带深浅部流体耦合模型。该模型对于今后判定岷江断裂带未来中强地震的短期前兆流体异常具有一定的参考意义。

S15-P-10S

南沙海槽构造-地层格架及其动力学意义

高圆圆 [1*]，任建业 [1]，佟殿君 [1]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* 2717065291@qq.com

本研究以区域二维地震剖面的解释为基础，进行断层活动性和沉降史的定量计算，在南沙海槽盆地中确定出 Tg、T60、T50 和 T0 四个一级层序界面，以这 4 个一级层序界面为界，将南沙海槽盆地从纵向上划分出三个盆地原型：古新世-渐新世（Tg-T60）断陷盆地、早中新世（T60-T50）坳陷盆地和中中新世（T50-T0）前陆盆地，新生代以来，南沙海槽盆地的沉降中心由 NW 向 SE 逐渐迁移。区域资料对比分析表明南沙海槽前陆盆地侧向上是由多期前陆盆地叠置而成，以沙捞越造山不整合、区域深部不整合和区域浅部不整合这三个不整合面为界，可划分出渐新世-早中新世、中中新世-上新世早期和上新世晚期-现今 3 期前陆盆地，南沙海槽属于第三期前陆盆地的组成单元，目前仍处于发育演化过程中。

S15-P-11S

基于迁移学习的海底地震仪数据震相自动拾取方法–以卡斯卡迪亚俯冲带为例

成章宝 [1,2]，陈衍佐 [3]，张帆 [1*]，周鹏程 [1]，林间 [1,4]，田晋雨 [4]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 香港中文大学，地球系统科学课程

4 南方科技大学，海洋科学与工程系

* zhangfan@scsio.ac.cn

海底地震仪（Ocean Bottom Seismometer, OBS）记录的海底地震活动对于了解研究洋中脊、俯冲带和转换断层等海底构造的活动和演化至关重要。近年来，基于深度学习的震相拾取方法不断更新进步，但现有模型在应用于 OBS 数据时具有一定局限性，在应用于俯冲带 OBS 数据时可能会出现大量的震相漏检或误检。由于可用于训练模型的 OBS 数据集的不足，目前尚缺乏针对 OBS 数据的深度学习震相拾取模型。

俯冲带是海底发生地震最频繁的地区之一，对俯冲带地震的研究有利于我们进一步认识板块俯冲的动力学机制。本研究收集了卡斯卡迪亚俯冲带的被动源 OBS 地震记录，结合人工拾取的震相到时，创建了包含震相到时标签的 OBS 数据集。随后基于现有的、经数百万条陆地地震数据训练的震相检测模型 GPD 的特征提取系统和预训练权重，用低三个数量级的 OBS 训练数据对模型进行微调（Fine-tune），使用迁移学习的方法开发了针对 OBS 地震数据的自动震相检测模型 OBSPD。研究结果表明：（1）在训练数据量有限的情况下，与重新训练模型相比，迁移学习避免了过拟合，实现了更低的模型验证损失。（2）迁移学习模型能提供精确到采样点的震相概率预测，降低了震相误检率，提升了处理连续数据时的计算效率。（3）相比于现有深度学习模型，迁移学习模型在 OBS 数据震相拾取中表现更好，尤其是对于 P 波震相，迁移学习模型对小震级事件低振幅的 P 波敏感性相比其他模型更强。

S15-P-12

海沟附近俯冲板块地幔蛇纹石化程度的控制因素研究

张江阳 [1,2]，张帆 [1,2*]，林间 [1,3]，蔡晨 [4]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 南方科技大学，海洋科学与工程系

4 中山大学，地球科学与工程学院

* zhangfan@scsio.ac.cn

俯冲带是水进入地球内部的主要场所。俯冲板块在海沟发生挠曲并形成正断层，水通过正断层依次进入沉积层、地壳和上地幔，导致上地幔发生蛇纹石化。俯冲板片将水携带至地球深部，随着温度升高、压力增大而发生脱水作用，从而诱发中源地震。同时，深部板块内的流体向上运移，在岛弧区释放至地表形成火山弧。因此，系统性研究俯冲带板块水化程度的控制因素，对理解水在地球内外的循环过程具有重要意义。研究显示，蛇纹石化的地幔在地震波速上通常显示为低速异常，因此可以利用地震波速在地幔的降低程度来估算其蛇纹石化的程度。本研究统计了最近发表的穿过全球主要俯冲带的 15 条地震波速度结构剖面，分析它们的板块年龄、海沟附近沉积厚度和板块挠曲变形的曲率，并研究这些参数与俯冲板块近海沟处地幔蛇纹石化的相关性。结果显示，俯冲板块的水化与板块年龄以及挠曲曲率均成中等正相关，而与沉积物厚度呈反相关。这说明沉积物覆盖可以很大程度阻碍水通过挠曲断裂进入上地幔。值得注意的是，当海沟处的沉积厚度达到近 3 km 时，附近俯冲板块的地幔蛇纹石化程度几乎为 0，比如卡斯卡迪亚俯冲带。此外，板块年龄、沉积厚度和板块挠曲几何形态的参数组合与板块地幔蛇纹石化程度具有高度线性正相关，相关系数为 0.83。本研究据此进一步计算了全球海沟处俯冲板块蛇纹石化程度，为估算俯冲带水的输入量提供了较好的约束。

S15-P-13

马里亚纳俯冲起始条件下的弧后扩张：以动力学模拟为例

程子华 [1*]，张帆 [1]，林间 [3]，丁巍伟 [2]，张旭博 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所
2 自然资源部第二海洋研究所
3 南方科技大学
* chengzihua@scsio.ac.cn

从俯冲起始到弧后扩张的演化过程及动力学机制是动力学研究的热点，马里亚纳俯冲带是俯冲起始最可能发生的地方，沿着转换断层或薄弱带，较老的大洋岩石圈受重力作用向年轻的大洋岩石圈俯冲形成。根据板块重建的结果，马里亚纳俯冲起始在~52 Ma 发生，47 Ma 太平洋板块运动方向发生转变，导致了弧前扩张的闭合以及后续弧后扩张，因此研究马里亚纳俯冲带弧后扩张机制，既能为俯冲起始机制提供新的认识，也对弧后扩张机制有指导意义。我们根据马里亚纳俯冲起始地质背景，进行了一系列二维弧后扩张模拟。将模拟结果与实际观测对比主要包括：（1）模型在开始发生仅受重力作用的自发俯冲和弧前扩张，5 Myrs 后受到水平汇聚速率的影响，可以解释早期观测到的弧前扩张关闭；（2）随后的稳定的俯冲和弧后扩张，可以解释四国海盆在 30Ma 的打开；（3）俯冲板片进入地幔转换带导致弧后扩张停止，并在转换带发生平卧前进。因此，在此条件上模拟其动力学过程，可以很好的与解释马里亚纳俯冲带“俯冲起始-岛弧裂解-弧后扩张”完整的动力学过程

S15-P-14

俯冲地幔内中源地震的热-岩石学机理

桂州 [1*]，高翔 [1]，王克林 [2]，何江衡 [2]

1 中国科学院海洋研究所
2 加拿大地质调查局太平洋地球科学中心
* guizhou@qdio.ac.cn

俯冲带内普遍发育着双地震带，表现为中源地震分布在近乎平行的上下两层内。研究发现双震带上层浅部的地震发生在俯冲洋壳内，而上层深部及下层的地震均发生在俯冲地幔内。前人提出多种假说来解释发生在俯冲地幔内的地震，包括脱水脆化、热逃逸、断层力学结构等，然而真实的地震机理仍不明朗。我们通过构建二维有限元热模型计算俯冲带热结构，并结合相关岩石学实验结果，刻画俯冲板内不同矿物发生脱水反应的位置。俯冲板片深部的低分辨率形态导致地震在板内的相对位置难以确定，然而双震带层间间距相对确定。我们通过对比由高精度地震确定的双震带层间间距与多种矿物发生相变反应的板内相对间距，分析地震与含水矿物及脱水反应的关系。计算结果发现俯冲地幔内的中源地震更多的发生在部分水化的蛇纹石相态内（含水量 6.2 wt %），而非通常认为的叶蛇纹石发生完全脱水反应处（antigorite=fersterite+enstatite+H_2O）。因此，我们推测中源地震可能发生在部分水化条件下，含水矿物近似发挥着自由水的作用，有效降低断层整体脆性强度，有利于俯冲地幔内地震的发生。

S15-P-15

走滑挤压环境下的俯冲起始数值模拟

钟辛易 [1*]，李忠海 [1]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院
* xinyi_zhong@sina.com

在新生代以来形成的俯冲带中，有超过60%的俯冲起始和走滑断层相关。前人的研究表明，走滑断层为俯冲起始提供了天然的弱化带，因此有利于俯冲起始的发生。但是由于三维模型的复杂性，目前仍然缺乏关于板块在走滑运动下的俯冲起始过程以及走滑运动对岩石圈的弱化作用的相关研究。在本研究中，我们通过三维动力学数值模型模拟了板块同时在走滑和挤压边界条件下的动力学演化过程。我们的模型结果揭示了走滑运动产生的应变弱化是俯冲起始的有利动力学条件。同时，较高的走滑速率和两侧板块的密度差是年轻大洋板块发生俯冲起

始的关键控制因素，这一结果与新生代以来的大部分俯冲起始相符合。

S15-P-16

汤加俯冲带和火山的地震学研究

周鹏程[1]，张帆[1*]，张江阳[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* zhangfan@scsio.ac.cn

俯冲带的地震监测是一个巨大挑战，特别是对于人口稠密地区。2022 年 1 月汤加的洪阿汤加—洪阿哈阿帕伊火山的喷发以及引发的地震凸显了这一需求的急迫性。本文综合了汤加的最新的地震学观测，推测汤加的部分火山近期仍有小规模喷发风险，需要持续关注。本文还选取了 2009—2010 年覆盖汤加的海底地震仪台阵数据，将最新的机器学习算法成功应用到数据处理中，得到了汤加俯冲带、火山岛链和劳盆地附近的高分辨率的地震目录，为认识俯冲带和火山下方的结构和岩浆活动规律提供重要基础。对汤加的地震学研究，对我国火山灾害风险评估和预警工作具有重要的借鉴和指导意义。

S16-O-1

地球早期核幔元素分配与地核中的氧

张志刚[1,2*]，刘锦[3,4]，张毅刚[1,2]，李娟[1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院地球与行星物理重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 燕山大学，亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室

4 中国科学院深地科学卓越创新中心

* zgzhang@mail.iggcas.ac.cn

地球早期经历了很多撞击事件，其中与地月系统形成相关的大撞击甚至造成深达核幔边界的全球规模的岩浆洋，在此过程中的核幔分异与元素分配基本确定了地幔与地核的物质组成，也决定了地球随后的演化路径。

我们采用基于密度泛函理论的第一性原理模拟，结合机器学习技术，实现了硅酸盐熔体和液态铁的超大体系两相分子动力学模拟，获得了核幔边界条件下的两相平衡数据，为超深岩浆洋中的核幔分异过程提供了重要约束。

基于本研究模拟结果和现有的高温高压实验数据，我们进一步建立了能够准确预测核幔间元素交换的平衡模型，并利用该模型深入探讨了核幔间的氧交换问题，分析了其与地球生长、大撞击和岩浆洋事件、地球早期磁场等富有争议的科学问题之间的关系。

S16-O-2

大碰撞事件生热及其对长期热演化的影响

周游[1*]，Peter Driscoll[2]，刘耘[1]

1 成都理工大学，行星科学国际研究中心

2 Carnegie Institution for Science,Earth and Planets Laboratory

* zhouyou06@cdut.edu.cn

大碰撞事件是行星增生历史上最大的一次生热事件，然而这部分热量长期以来却被认为对类地行星的整体热演化影响较小。其原因在于过去一般认为大碰撞产生的岩浆洋分布在地球表面，岩浆洋厚度依据不同的岩浆洋模型约束在几百公里至一千多公里的范围不等 。由于岩浆洋向外界的热传输方式是热辐射，按照一般的黑体辐射理论，其热量传输效率比热传导高两三个数量级，同时岩浆洋的内部热对流非常剧烈，所以岩浆洋的热量会快速消散。因此，传统的观点

认为碰撞生热(吸积热)对行星演化的热史影响较小，其依据主要来源于传统岩浆洋模型的固化过程。但上述认识缺乏定量模拟工作的支持，2021 年我国嫦娥五号月球样品返回与洞察号 (Insight) 首次采集的火星的地震数据两项重大科学发现表明，我们长期以来对行星的热演化历史认识可能存在错误。

Labrosse et al. (2007)首次提出了底部岩浆洋模型，他认为在地史上的岩浆洋深度比预想的要深得多，可以达到核幔边界，因此有一个存在于地幔最深处的底部岩浆洋，其厚度可以达到 1000km。Ziegler and Stegman (2013) 认为，只有存在一个长期的底部岩浆洋，才可以支持早期磁场的存在。Blanc et al. (2020) 的工作也表明尽管存在不确定性，但底部岩浆洋可以支持早期磁场的产生和长期维持。Rourke (2020) 认为地球和金星都存在底部岩浆洋，地球的底部岩浆洋保存了 20-30 亿年，而金星由于没有板块运动，其散热速率较慢，因此金星现在仍然保存了大约 200–400 km 厚的底部岩浆洋。底部岩浆洋的存在意味着吸积热(碰撞生热)可以长期保存，并在此后长达数十亿年的时间内，逐渐缓慢的释放 (Laneuville et al. 2018a)。如前所述，大碰撞事件是行星增生历史上最大的一次生热事件，即使这部分热量被部分保存，也将影响到行星的长期热演化过程。

我们重新定量了大碰撞事件生热状况与热量分布，建立底部岩浆洋条件下的碰撞生热的保存与散失模型，探讨大碰撞事件对类地行星长期热演化的影响。具体而言，包括：

(1) 定量计算大碰撞事件对类地行星的生热量与热量分布状况的影响。

(2) 研究底部岩浆洋条件下热量的保存与散热过程，修正类地行星热演化模型。

S16-O-3

水诱导的地幔反转与大陆起源

吴忠庆 [1*]，宋建 [1]，赵国春 [2]，潘忠栩 [1]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

2 香港大学，地球科学系

* wuzq10@ustc.edu.cn

与其他类地行星不同，只有地球存在大陆，大陆的形成影响地球演化的方方面面，包括宜居性形成和生命的演化。目前尚存的最早大陆是太古宙大陆，其陆壳主要由英云闪长岩 (Tonalite)- 奥长花岗岩 (Trondhjemite)- 花岗闪长岩 (Grandodiorite) 为主的 TTG 深成侵入体组成，这些岩石源于含水的玄武岩的部分熔融。太古宙陆壳的起源还存在很大的争议，比较主流的假说有两个：一个是认为大陆主要起源于俯冲，由于板块可以将大量水带入地幔楔，这个假说可以很好地回答太古宙陆壳源区富水这个特征。但该假说在解释太古宙大陆其他多个特征时遇到了困难。另一个大陆起源主流假说是地幔柱的海底高原模型，该模型得到越来越多观测证据的支持，如：太古宙绿岩中有高温环境下才形成的科马提岩，太古宙 TTG 在很短的时间内出现于整个克拉通区域，太古宙克拉通主要是穹隆结构，太古宙岩石经历的等压降温变质过程以及缺乏高压超高压篮片岩等等。但该假说在解释太古宙陆壳源区富水这一关键特征方面存在巨大的困难，因为根据现今的观察，海底高原底部是贫水的。

在该工作中，我们提出地球早期存在一个水诱导的地幔反转（超级地幔柱），地幔反转促成太古宙大陆的形成。在形成月球的大撞击后，整个地幔极可能熔化形成了岩浆洋，岩浆洋在中地幔深度结晶，形成外面和基底两个岩浆洋。这两个岩浆洋应该是含水的，除非地幔及地表水完全来自于后期增生，但大量的研究并不支持地球的水完全来自后期增生，由于下地幔矿物含水能力低，随着岩浆的结晶，基底岩浆洋将越来越富水，最终基底岩浆变得比周围地幔密度轻，出现重力失稳而形成地幔反转（超级地幔柱）。地幔反转将大量水带到浅部，诱发太古宙陆壳和很厚的岩石圈地幔的大量形成。我们的工作表明地球早期存在一个完全不同的深部水循环，地球的水通过基底岩浆洋结晶从

浅部运移到深部，再通过超级地幔柱返回地表。俯冲开始后，地表水通过俯冲进入地球深部，最终形成现在的深部水循(Wu and Zhao 2022)。

S16-O-4

利用散射波研究地球内核增长

王巍[1*]，John Vidale[2]

1 中科院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室

2 美国南加州大学，地球科学系

* weiwang053@gmail.com

地球内核的地震学特性是了解其成分、动力学和生长历史的关键。 在内核的相关研究中，前人已从高频 P 波的散射的研究中认识到内核结构中存在小尺度的不均一性。我们使用美国 LASA 台阵 1969 年至 1975 年间的历史地震和爆炸数据，构建了从内核边界到 500km 深度的三维地震波不均一性分布图，并确定 40%内核表面积下的散射强度的地理分布。 我们的模型发现了两个强散射区域，一个在东亚下方，另一个在南美洲下方。 我们认为这些强的小尺度不均一体的位置可能与快速凝固而导致的小尺度内核晶体的随机排列有关。 这些强散射区域位于地核-地幔边界较冷区域下方，这个发现可能会给内核的动力学和外核的运动提供地震学约束，同时我们的研究可能暗示地幔和外核的下降流可能与内核的强散射和不均一性相关。

S16-O-5

脱水引起的 D”层内的剪切波速异常

韩松松[1,2,3]，崔小明[1]，张宝龙[1]，李孝红[1]，倪四道[1]，孙和平[1,2]，侯明强[1,2*]，胡清扬[3*]

1 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 北京高压科学研究中心

* houmq@apm.ac.cn

* qingyang.hu@hpstar.ac.cn

地幔底部附近温度的急剧升高会导致 D”层内大部分区域的横波速度(V_S)与深度呈负相关。然而，在 Farallon 板块下沉的中美洲地区，D”层则呈现出 V_S 随深度增加而升高的异常现象，其成因尚未得到很好的解释。而最近的研究发现富铝 phase H 有极高的热稳定性，可能沿俯冲板片将水携带至深部地幔，这可能为 D”层内的异常现象解释提供新的思路。在这里，我们计算了不同铝含量的 phase H 的热弹性常数并获得了其弹性波速。我们发现它的 V_S 明显低于后钙钛矿(pPv)。富铝相 H 的脱水以及铝从含水相到干燥硅酸盐的重新分配，将使得布里奇曼石相变为后钙钛矿(Pv→pPv)后约 100-150 公里内的 V_S 随着深度的增加而升高。进一步我们估计加入约 26%的富铝相 H 足以补偿 V_S 的热效应，以匹配中美洲地区 D”层中的地震波速异常。所以，D”层中 V_S 的异常增加还可以作为深部水循环的一个标志。

S16-O-6

卡罗琳热点附近下方核幔边界的富铁超低速区

孙道远[1*]，李结文[2]，毛竹[1]，Vasilije V. Dobrosavljevic[3]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

2 中国地质大学（武汉），地球物理与空间信息学院

3 Carnegie Institution for Science,Earth and Planets Laboratory

* sdy2014@ustc.edu.cn

在主要地幔柱下方的核幔边界我们常观察到不同尺度的超低速带（ULVZ），这些 ULVZ 对认识下地幔化学动力学演化起到关键作用。然而，它们的三维几何形状和弹性特性，特别是 S 波与 P 波速度异常比（$\delta V_S/\delta V_P$）通常难以约束。在这里，我们在中太平洋下地幔大低速省（LLVP）西部边缘的卡罗琳热点附近探测到一个小尺度 ULVZ。它的几何形状可以通过 ScS-S 走时差和 ScS 波形方位多路径效应进行很好地约束，并同时由来自交叉方向的异常 SPdKS 波形进一步证实。通过三维波形模拟，我们确定该 ULVZ 的 S 波速度降和厚度分别为~35%和 20km。此外，同时拟合 ScS 和 SPdKS 表明 ULVZ 的 $\delta V_S/\delta V_P$ 比为 3:1。进一步的矿物学分析表明，尽管不能明确排除部分熔融的可能性，与 FeO 富集相关的成分可以较好地解释观察到的 ULVZ 的弹性和形态一致。而俯冲板块碎屑与 LLVP 边缘致密富铁物质的复杂相互作用可能产生观察到的 ULVZ 结构，也有助于地幔柱的产生，并解释相关卡罗琳热点的地球化学特征。

S16-O-7

早新生代太平洋下地幔流场的残余

范建柯[1*]，赵大鹏[2]，李翠琳[1]，刘丽军[3]，董冬冬[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 日本东北大学

3 美国伊利诺伊大学香槟分校

* fanjianke@qdio.ac.cn

下地幔在地球演化和物质循环中起着至关重要的作用，然而，我们对下地幔地球动力学性质的认识仍然非常缺乏。与具有明显各向异性的地壳和上地幔不同，虽然下地幔的主要成分是具有高度各向异性的矿物，但大部分下地幔被认为是地震各向同性的。目前已有研究认为下地幔各向异性可能在全球大部分俯冲带内广泛存在，可能是由板块俯冲引起的位错蠕变。然而，在远离俯冲板块的下地幔顶部中是否存在地震各向异性仍存在很大争议。

我们利用菲律宾海板块内部及周边大量陆地台站和海底地震仪记录的 P 波到时数据反演得到了研究区下方地壳到 800 km 深度的方位各向异性结构，结果显示在菲律宾海板块中部下方 700-800 公里深度的下地幔顶部有明显的南北向各向异性，并且被平行于海沟的各向异性所包围，另外该区域缺少明显的高速异常，因此，我们认为这些南北向各向异性与板块俯冲无关。

地球动力学模拟表明，伊泽纳吉板块的完全俯冲和分离导致了太平洋板块下地幔流的显著转变，从 60 Ma 的缓慢南移到 50 Ma 的快速北移，再到 40 Ma 的西北向移动。板块重建表明，自太平洋板块向菲律宾海板块下俯冲开始，马里亚纳海沟一直处于其当前位置（±200 km 范围内）。由此可以推断，当沿马里亚纳海沟俯冲的太平洋板块到达下地幔顶部时，菲律宾海板块下方的下地幔流场将与太平洋板块下方的流场分离，而不受太平洋板块下方下地幔流场的影响，这与我们的层析成像结果一致。因此，我们认为菲律宾海板块中部 700-800 km 深度的南北向方位各向异性指示了早新生代太平洋下地幔流场的残余。

另一个与下地幔顶部各向异性有关的因素是与地幔柱相关的下地幔横向流动。虽然我们的层析成像结果揭示在菲律宾海板块北部 700-800 km 深处有一个明显的低速异常，但在这个低速异常区内同时存在平行于海沟和南北向的各向异性。如果菲律宾海板块下方下地幔顶部的南北向各向异性是由该低速异常的横向运动产生的，那么下地幔物质将通过 MTZ 上升并到达菲律宾海板块海底，因为在菲律宾海板块南部下方的 MTZ 中并没有明显的高速异常所指示的俯冲板块。然而，地球化学研究表明，与地幔柱有关的玄武岩只存在于 35-40 Ma 的 Benham 和 Urdaneta 洋底高原，这表明地幔柱可能从那时起就不活跃了。因此，我们进一步认为研究区下方 700 ~ 800 km 深度的

南北向各向异性反映了早新生代下地幔流场的残余。

S16-O-8

全球地幔过渡带结构和物质成分反射地震学研究

俞春泉 [1*]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

* yucq@sustech.edu.cn

地幔的物质组成反映了地球的热化学演化历史。然而，长久以来，学界一直在争论地幔内部是否存在物质成分的径向分层，以及是否或者如何影响地幔对流的模式和尺度。本研究分析了分布于全球的大量*SS*和*PP* 前驱波观测数据，利用最新发展的台阵处理技术有效压制了干扰震相和随机噪声并大大拓展了数据可用范围，在此基础上通过振幅 AVO 分析方法获得了地幔过渡带上下边界处的速度和密度跳跃值，进一步结合矿物物理热动力学模拟约束了界面处的物质成分。研究结果表明，地幔过渡带中富集玄武岩成分并且在过渡带底部达到峰值（～40%），与最新包含板块循环的热化学地幔对流数值模拟结果一致。地幔过渡带中玄武岩的富集可能是由于板块俯冲过程中玄武岩地壳与亏损岩石圈地幔沿着低粘度层发生分离并在地幔过渡带中堆积，或者可能在深部地幔的高温低粘度区域发生分离并随后被上升地幔流夹带至地幔过渡带中。玄武岩在地幔过渡带中富集可以解释长期以来地球物理和地球化学之间的争论，即前者表明存在深地幔物质循环而后者需要保存相对孤立的地球化学储层。此外，地幔的平均成分很可能比经典的地幔岩模型富含更多二氧化硅成分，因此更接近于基于 CI 球粒陨石得到的全硅酸盐地球模型。

S16-O-9

岩石圈中部不连续面及其对克拉通稳定性的影响

付荟颖 [1]，李忠海 [1*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

克拉通是古老而长期稳定的大陆岩石圈，但其内部并不是均匀的，相反，存在着明显的分层性。大量的地震学观测显示，在克拉通岩石圈中部，存在着地震波不连续面（MLD），其主要深度范围为 70-100 km，且伴随着 1%-7%的横波波速降低。但对于 MLD 的成因，目前还存在很大争议。在本研究中，我们简化了克拉通演化过程中地幔深部可能发生的脱水过程，采用了一种新的深部水化方法，模拟 MLD 形成的动力学机制，并将模拟结果与观测的 MLD 深度和波速降进行对比。结果表明，MLD 代表了克拉通岩石圈中部的高含水层，其在克拉通演化过程中逐渐形成，起着“集水器”的作用。MLD 通常被认为是一个流变强度较弱的层。强度较弱的 MLD 的存在，可能会促进克拉通岩石圈拆沉，进而导致克拉通破坏。但是，数值模拟的结果揭示，岩石圈中部相对较高的含水量，不足以导致其强度的明显降低，MLD 处的整体强度较高。我们模拟了伸展背景、挤压背景、地幔对流以及存在地幔柱等不同构造背景下，MLD 的形成以及克拉通的演化过程，系统评估了 MLD 的强度及其对克拉通稳定性的影响。结果表明，在不同构造背景下，MLD，作为岩石圈中的不连续面，更容易发生应变集中，导致其强度的进一步降低。但是，在大多数情况下，MLD 处的强度降低，不足以导致克拉通的破坏，其对克拉通稳定性的影响较小；只有大规模的地幔柱上涌，并与 MLD 相互作用，可能导致克拉通岩石圈沿 MLD 深度处的拆沉。因此，我们认为，MLD 对克拉通稳定性的影响较低。这也是，MLD 在克拉通中广泛分布，但只有少数克拉通发生破坏的原因。

S16-O-10

玄武岩冷却裂缝的模拟

陈甜甜[1]，Gillian R. Foulger[2]，唐春安[3]，Simon A. Mathias[4]，龚斌[5*]

1 东北大学，资源与土木工程学院

2 Durham University,Department of Earth Sciences

3 大连理工大学，海岸和近海工程国家重点实验室

4 Durham University,Department of Engineering

5 Brunel University London,Department of Civil and Environmental Engineering

* bin.gong@brunel.ac.uk

采用数值模拟方式，在三维空间针对玄武岩柱状节理形成、扩展及深入过程进行研究。玄武岩柱状节理凭借其独特的结构及规律性吸进了大量的研究人员进行研究工作。其形成原因，是在火成岩冷却过程中，多边形裂缝首先形成在其表面，随着温度的降低裂缝扩展到内部最后形成有序的柱体结构。故认为玄武岩柱状节理是形成是冷却收缩的结果。然而，迄今为止，仍缺乏对其形成过程的详细展示及受力分析研究。采用RFPA 软件，建立热力耦合数值模型，展示了在降温冷却下，玄武岩柱状节理的形成过程。我们发现，在冷却降温收缩过程中，随着裂缝向下扩展，（1）模型横截面多边形网格由复杂、凌乱的多边形网格逐渐变为规则的六边形网格。(2) 其独特的 120°的非正交裂纹交叉节点是由上部正交交叉点演变而来。(3)随着节理扩展深度的增加，横截面多边形块体数量逐渐减少，单个块体面积增大。

S16-O-11

月球散射性质的研究

陈涵[1*]，杨明翰[1]，石静[1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* chenhan@smail.nju.edu.cn

由于没有大气的保护，月球表面在陨石撞击的作用下形成了破碎的风化层，当地震波在风化层中传播时会发生强散射。散射现象的存在使得对于月球内部结构的约束具有较大的不确定性。P 波接收函数是研究行星内部界面的常用方法，然而在月球的强散射环境下，P 波接收函数并不稳定。数值模拟的结果表明，P 波接收函数的稳定性与散射介质的波速扰动强度相关，所以我们将接收函数稳定性作为判断介质散射强弱的一个指标。考虑到月球高地和月海的演化历史不同，我们通过月震波正演分别约束了阿波罗台站 12 月海和 16 附近高地的散射性质，发现两地的散射性质具有较大差异，并结合月球地质历史给出了散射性质的演化模型。此外，月球表面的强散射也阻碍了对于月球深部衰减性质的研究，我们建立模型以不连续介质描述月球表层破碎的风化层，以连续介质描述月球内部介质，尝试对月球内部的 Q 值做出约束，且理论波形能够很好的反应观测波形的特点。

S16-O-12

行星浅表结构探测关键技术研究进展

张金海[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，深地资源装备技术工程实验室

* zjh@mail.iggcas.ac.cn

行星浅表结构记录了行星地质活动的响应，探测行星浅表结构对于理解行星经历的气候和环境演化过程至关重要。行星雷达是探测行星浅表结构的重要手段，但观测数据受到行星环境噪音和杂波干扰十分严重，亟需发展适合于行星雷达的弱信号识别和提取方法。本文开展了系列方法研究，涉及地表杂波识别及去除、斑块噪音压制、绕射波与反射波分离等，相关方法有效提升了精细结构分层及成像的效果，为行星雷达探测提供了新的技术支持，服务于嫦娥三号、四

号和祝融号车载雷达、星载雷达探测的科学成果产出。

S16-P-1

行星内部物质高温高压热导率研究

刘锦 [1*]

1 燕山大学

* jinliu@ysu.edu.cn

矿物与材料的热输运性质在许多研究领域都至关重要，包括物理学、材料科学、地球科学和行星科学。最近，极端条件下热导率的研究引起了相当大的关注。阐明温度、压力以及成分变化如何影响材料的热导率，有助于发现优异的热电材料、更深入地了解高温超导性以及探索极端环境中的热导率极限。此外，地球深部矿物的热导率在控制行星内部的热结构和演化等方面起着关键作用。然而，我们对高温高压条件下热导率的测量和相关热传输机制的理解远未达成共识，这主要是由于相关测量技术的不足。在这里，我们提出了一种新颖的稳态加热方法，采用激光加热金刚石对顶砧技术可对地球深部矿物（例如铁、硅酸盐与高压含水相）在高达 140 GPa 和 1000~4000 K 温度压力条件下开展热导率原位测量。值得说明的是，我们提出的稳态加热技术可以直接测得铁合金与岩石样品在极端环境中的热导率，这有助于更好地了解地球与其他星球的内部热结构和磁场演化历史。

S16-P-2

云南金平马鞍底石英二长岩和花岗岩：对峨眉山地幔柱和古特提斯俯冲带相互作用的启示

刘潇 [1]，刘希军 [1*]，李政林 [1]

1 桂林理工大学，地球科学学院

* xijunliu@glut.edu.cn

地幔柱上升的位置在板块内部，而洋壳发生俯冲的位置在板块边缘，所以传统观点认为地幔柱和俯冲洋壳之间不存在相互作用。随着研究理论和方法的更新，地球物理学家发现了地球上新生代存在俯冲板片和地幔柱的相互作用。然而，新生代之前是否发生过俯冲带和地幔柱相互作用尚不明确。中国西南地区的金沙江-哀牢山缝合带保存了晚二叠世古特提斯洋壳俯冲和峨眉山地幔柱的岩浆记录，是验证前新生代俯冲带和地幔柱相互作用的理想场所。本论文对云南金平马鞍底石英二长岩和二长花岗岩开展了的精细的岩石学、地质年代学、全岩主微量元素和Nd-Hf-Pb同位素地球化学的研究。石英二长岩和花岗岩具有中-高的 SiO_2（62.1–74.9 wt.%）、高的 $Na_2O + K_2O$（7.8–9.7 wt.%）以及低的 TiO_2（0.24–0.84 wt.%）和 CaO（0.18–4.1 wt.%）含量。它们富集 Rb, Th, U 和轻稀土元素，亏损 Ba, Sr, Eu 和 Ti。它们具有 A-型花岗岩矿物学和地球化学特征，包括：具有晚期结晶的它形角闪石和黑云母，高的 10,000 × Ga/Al（1.8–5.1，平均值 = 2.9）和 FeO^T/MgO（3.8–23.7）比值及高的 Zr + Nb + Ce + Y 含量（345–1024 ppm，平均值 = 613 ppm）。石英二长岩和花岗岩具有轻微富集到亏损的全岩 Nd 同位素组成（$\varepsilon_{Nd}(t) = -0.9$ to $+1.3$; $T_{DM} = 1.2$ to 0.8 Ga）、亏损的锆石 Hf 同位素组成（$\varepsilon_{Hf}(t) = +3.6$ to $+9.2$; $T_{DM} = 0.8$ to 0.5 Ga），类似于峨眉山 OIB-型高 Ti 玄武岩。石英二长岩和花岗岩的全岩 Pb 同位素组成（$(^{206}Pb/^{204}Pb)_i$ = 17.206–18.304; $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i$ = 15.515–15.571; $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i$ = 36.404–38.294）指示它们起源于富集地幔和亏损地幔混合源区。综合区域地质资料和岩石的地球化学特征，

我们认为石英二长岩和花岗岩是通过镁铁质岩浆依次发生分离结晶作用所形成的。原始镁铁质岩浆起源于峨眉山古地幔柱（85-90%）和少量再循环古特提斯洋壳（10-15%）混杂源区的部分熔融。我们的研究为前新生代发生的俯冲板片和地幔柱相互作用提供了直接的岩石学证据。

S16-P-3

大陆深俯冲与俯冲终止：碰撞造山带的命运

王杨[1*]，李忠海[1]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* yangwang-geo@ucas.ac.cn

广泛的岩石学、古地磁和地球物理观测揭示了陆陆碰撞造山带存在着大陆深俯冲和俯冲终止两种截然不同的演化方式。然而，上述两类不同碰撞模式的机制，尤其是大陆深俯冲的动力学机制，仍存在争议。本研究将相变引起的密度演化引入热-动力学数值模型中，并结合系统的岩石学-热-动力学模拟与力平衡分析，我们发现俯冲大陆地壳高的变质转化程度、轻微亏损的大陆岩石圈地幔组成以及较长的先存大洋板片，均可增加大陆深俯冲的驱动力。此外，流变学较弱的大陆地壳和软流圈地幔可降低剪切阻力，进而促进大陆深俯冲过程。相反，则演化为大陆俯冲停止模式。

俯冲大陆板片的负浮力计算表明，俯冲大陆地壳和轻度到中度亏损的俯冲大陆岩石圈地幔的变质致密化可提供板块驱动力以维持持续的大陆深俯冲；然而，高度亏损的太古宙岩石圈地幔的正浮力会阻碍深俯冲，导致大陆俯冲停止。基于以上系统的数值模型，我们进一步评估了大陆碰撞体系中的地壳物质均衡，结果表明在大陆深俯冲的模式下，大约 12%至 47%的碰撞前的长英质地壳可随着俯冲板块进入地幔深部，而在大陆俯冲终止模式下循环的长英质地壳可忽略不计。因此，不同大陆碰撞模式在全球地壳再循环及地壳物质重建方面起着至关重要的作用。

S16-P-4S

地幔流推动岩石圈：印度-亚洲新生代碰撞的驱动力

李衍冲[1*]，刘丽军[1*]，彭典典[1,2]，曹泽斌[1]

1 University of Illinois Urbana-Champaign,Department of Earth Science & Environmental Change

2 University of California San Diego,Scripps Institution of Oceanography

* yl79@illinois.edu

* ljliu@illinois.edu

新生代持续的印度-亚洲碰撞驱动力仍然是一个未解之谜。为了解决这个问题，我们利用了基于数据同化技术的全球地球动力学模型，研究了过去 2 亿年的地幔结构演化过程。我们成功复现印度-亚洲碰撞（约 50Ma）后的印度板块运动与符合全球地震成像模型的板块结构，并对板块运动的驱动力进行了定量分析。

我们发现，新生代持续的印度运动和碰撞是由作用于印度厚克拉通根的显著上地幔泊肃叶流所驱动的，并且该地幔流符合地震各向异性的观测结果。这种流动是由持久的动态压力差驱动的，该压力差由分离的新特提斯板块向南翻转和正在沉降的东亚下地幔俯冲板块共同引起。

最大的地幔推力作用在较强的印度岩石圈底部，由摩擦推力与压差推力共同作用。其总大小约为 10^{13} N/m，与板块拉力相当。这一结果表明，厚度大、强度高的克拉通根同时增强了岩石圈-软流圈的耦合效应与板块碰撞的压应力，从而维持了青藏高原的地形。同时，这种地幔拖曳力代表了一个以中亚为中心的半球尺度的汇聚地幔流，非常适合青藏高原的形成。

S16-P-5

中国大陆上地幔间断面起伏及地球动力学意义

沈旭章[1*]，黄河[1]

1 中山大学，地球科学与工程学院

* shenxzh5@mail.sysu.edu.cn

本研究基于中国地震台网中的 1000 台固定台站 2850 个远震波形数据，采用 P 波远震接收函数偏移成像方法，对大陆下方上地幔‘410’和‘660’间断面开展了研究，重点参考全球 iasp91 一维速度模型、区域 FWEA18 及全球 LLNL_G3D_JPS 三维速度模型和一维射线追踪方法，对间断面深度进行了校正，发现中国大陆下方‘410’的平均深度为 411.1±4.7 km；‘660’的平均深度为 659.3 ± 5.2 km；MTZ 平均厚度为 249.0 ± 2.4 km。

结果显示‘410’在华北北部大同火山下方均出现下降，推测该区域可能存在热物质上涌并且和浅部火山成因有关。‘660’在华北地块东部、东北地块北部及青藏高原周缘出现下降，结合前人相关成果，认为前两者可能和太平洋俯冲板片在 MTZ 底部的堆滞相关，而后者反映出块体间岩石圈地幔可能经历过增厚及拆沉。同时，MTZ 在华北中东部及东北北部出现增厚，但二者之间减薄，结合该区域层析模型中的低速异常，推测块体之间沿朝韩半岛向大陆内部延伸方向的 MTZ 减薄带，指示了该区域太平洋俯冲板片可能发生撕裂并伴随有热物质上涌，且和浅地表主动型裂谷盆地相互印证。华南块体东南区域 MTZ 显著减薄，和层析模型中大范围的低速异常分布较为一致，推测为太平洋俯冲体系板片后撤产生的热物质上涌，对 MTZ 产生显著影响。

S16-P-6

俯冲板片界面地震学成像

王新[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* wangxin@mail.iggcas.ac.cn

俯冲板片界面精细结构对于认识俯冲带物质能量交换过程、俯冲动力学机制至关重要。在板片俯冲过程中，俯冲作用将冷的、不同组分的岩石、水、碳等表层物质带入地球深部并与周围地幔相互作用，在二者边界发生强烈且复杂的热化学交换。尽管前人针对大洋俯冲带已开展了大量的研究，如地震层析成像提供了板块俯冲进入地幔的清晰图像，刻画了俯冲板片的速度和温度等异常。然而，目前对俯冲板片与地幔相互作用最为活跃的区域–俯冲板片与周围地幔物质接触的边界(俯冲板片界面) 研究甚少，其所涉及的物质循环过程仍然缺乏系统认识。本研究以年轻且热的北美俯冲带、老而冷的日本俯冲带为例，利用密集台阵成像技术，约束俯冲板片上、下界面精细结构，并探讨影响俯冲板片界面速度异常及梯度变化的关键控制因素及其动力学机制。

S16-P-7S

下地幔条件下石英高压相的状态方程和相边界

李果戈[1,2]，张志明[1,2]，牛笑光[1,2]，刘锦[3,4]，李娟[1,2]，王巍[1]，张志刚[1,2*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 燕山大学，亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室

4 中国科学院深地科学卓越创新中心

* zgzhang@mail.iggcas.ac.cn

SiO_2 是硅酸盐矿物的基本端元，也是俯冲洋壳的重要组分。研究 SiO_2 的高压相有助于我们进一步认识地球和类地行星的深部性质。尽管在高压下 SiO_2 存在许多亚稳相，前人的实验和理论研究几乎一致表明下地幔条件下 SiO_2 会经历从斯石英到 $CaCl_2$ 型石英，再到赛石英的连续相变。对于相变

的克拉佩龙斜率和相边界，以及高温高压下这三种 SiO_2 高压相的各种性质，实验上的约束是十分有限的；同时前人的理论研究也存在着忽略非谐效应的影响，或是未完全考虑数据校正等问题。

本研究基于大量第一性原理分子动力学和晶格动力学模拟，建立了一种适用于固体相的通用自由能计算框架。在技术层面，我们的方法从两个方面提高了模拟数据的质量：一是考虑了非谐效应，通过热力学积分方法计算得到了非谐自由能；二是采用了一种重回归校正方法消除了因为对交换关联函数进行近似处理而产生的系统误差。在这一计算框架之下，我们拟合得到了斯石英、$CaCl_2$ 型石英和赛石英的精确的热状态方程，并通过状态方程计算得到了这三种 SiO_2 高压相的热力学性质、密度和波速。结合前人热力学数据库中洋中脊玄武岩和地幔岩矿物组合中其他成分的参数，我们发现在地球内部约 800 到 900 公里的深度，俯冲的玄武质板片中 SiO_2 会出现明显的中性浮力。同时在 1500 到 2600 公里的深度范围内，SiO_2 与周围地幔物质的密度总体接近，表明其有可能在这一宽广深度范围内稳定存在。

SiO_2 在地球深部的这种命运使得其可以与下地幔广泛存在的地震波小尺度散射体关联起来。根据前人的研究，这种小尺度散射体在数量上具有明显的深度分布特征。下地幔 SiO_2 易于富集的深度恰好与散射体分布的峰值区域对应，同时斯石英到 $CaCl_2$ 型石英相变引起的波速大幅降低以及 $CaCl_2$ 型石英在下地幔可能稳定存在的深度范围可以解释散射体在对应深度内数量上的骤减。以上发现表明，SiO_2 高压相可以成为地震学上观测到的下地幔非均一性的重要解释因素之一。

S16-P-8S

KAMCHATKA ANOMALY 揭示太平洋下方的 LLSVP 正在聚合

张杰 [1]，胡佳顺 [1*]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

* hujs@sustech.edu.cn

板块构造塑造了地球表面，并且与地球内部运动有着紧密联系，冷的海洋板块下沉进入深部地幔，深部热的地幔柱上升在地表形成大火成岩省（LIPs）。统计结果显示最近 320Ma 爆发的 LIPs 的分布与非洲和太平洋下方的两个大型低速结构体有关（LLSVPs）。基于统计学的观测，一些假说认为这些大型低速结构体在地质历史上保持稳定，但数值模拟结果认为这些低速异常体可以移动。最新的研究结果表明这些大型低速结构体在地质历史上经历着聚合和分散的过程，其中非洲下方的 LLSVP 在大约 60Ma 完成聚合，而太平洋下方的 LLSVP 的运动尚不清晰。

我们通过构建过去 250Ma 的地幔对流模型去探索太平洋下方的 LLSVP 的演化过程,发现勘察加下方存在一个小型低速异常体（Kamchatka Anomaly）。Kamchatka Anomaly 与 Perm Anomaly 可能来自东亚下方的同一个低速异常体，该异常体在晚白垩世被古太平洋板块一分为二，并分别向东和向西运动，形成现今的 Kamchatka Anomaly 和 Perm Anomaly。同时，我们发现 Kamchatka Anomaly 正在融入太平洋 LLSVP，表明相对至少新生代以来较为稳定的非洲 LLSVP,太平洋下方的 LLSVP 仍在经历聚合过程。模拟显示 Kamchatka anomaly 在晚白垩时期形成过地幔柱，后期逐渐消亡。我们推测地幔柱柱头喷发形成的 LIP 随着太平洋板块在始新世俯冲进入勘察加海沟，导致太平洋板块在 39 和 32Ma 发生两次不同程度的运动转向。现今的层析成像结果可以检测到核幔边界的勘察加地幔柱残留，而霍茨克海西侧中地幔中的大型地幔散射体可能是 30Ma 俯冲到地幔的勘察加 LIP。

S16-P-9S

基于机器学习的月震数据去噪及事件分类方法

于智瀚 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* zhihanyu@smail.nju.edu.cn

上个世纪七十至八十年代，阿波罗登月计划实现了人类第一次在地外天体布设地震仪器并实现地震数据回传。阿波罗计划中的被动地震实验包含了布设在不同地质单元上的四个宽频地震仪，在仪器正常工作期间为我们提供了宝贵的地震数据，它揭示了月球的内部结构，奠定了我们目前对于月球内部圈层结构的基础。但是，受限于当时技术条件和材料的限制，地震仪记录的数据会受到外界（例如太阳风，昼夜温差等）干扰，并且由于仪器工作模式原因，目前容易挖掘的数据也非常稀有。实际上，我们对目前月球内部结构的结果仍存在未知和争议。比如对月壳厚度的估计，从前人的十几公里到几十公里不等；月背地震活动性弱，是否存在液态外核；不同类型地震事件的构造成因等。这些月球内部结构和性质的不确定性限制了我们对月球的深入理解。

在本工作中，我们使用长短期记忆-自编码器（LSTM-AE）对输入的可能存在有尖刺噪声的波形进行处理。LSTM-AE 是使用编码器-解码器 LSTM 体系结构的序列数据自动编码器的实现。拟合后，模型的编码器部分可用于编码或压缩序列数据，而序列数据又可用于数据可视化或用作监督学习模型的特征向量输入。尖刺噪声本身相对于正常的波形存在着持续时间短、振幅异常变大的特征。因此，很难被网络重构，而对比重构前后的波形，无法被重构的部分就是尖刺噪声存在的部分。对于噪声，我们采用数值置零，以消除其对于频谱的影响。完成对尖刺噪声的处理后，便于我们开展后续工作。

我们使用 MultiRocket 机器学习算法对月震数据进行分类，并不同类别的月震数据的特征。我们使用 Civilini 等人（Civilini et al., 2021）整理好的具有较高信噪比的分类数据集作为我们模型的训练集，并从中取部分数据作为验证集。为了模型能更好学习特征，因此我们将三分量的波形数据统一输入进网络训练。MultiRocket 算法是创建若干个随机尺寸、随机权重的卷积核，在创建完成后其权重不再会变化。再将这些卷积核分别对数据卷积，来提取不同维度、不同角度的特征，在通过对特征进行分类，实现对时序数据的分类。经过 100 轮的训练，我们的网络可以做到 92%的分类准确率，即区分深部月震事件和撞击事件的准确率能够达到 92%。

我们通过神经网络对月震事件分类有较高的准确率，进一步可以通过其他的网络来提取分类特征，后续可以探讨不同月震事件对应的不同的波形特征。

S16-P-10S

利用接收函数和视剪切波速度联合反演的火星地壳模型

代明伟 [1]，孙道远 [1*]

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* sdy2014@ustc.edu.cn

火震事件的接收函数研究揭示了洞察号着陆器下方的火星地壳层状结构，为火星地壳的成分、岩石蚀变、深部岩浆过程和热演化历史提供了关键信息。然而，由于频率的限制以及模型速度和层厚度之间的折中效应，仅利用接收函数的反演难以获得精确的火星上地壳速度结构。这里我们测量获得了火星地震记录在不同频率下的视剪切波速度值，并将其应用到与接收函数的联合反演中。我们得到了两组不同于前人结果的火星上地壳速度模型，一组是分层的上地壳模型，其在 4.0±0.9 km 深度处存在一个高速界面；第二组是速度渐变的上地壳模型，其剪切波速度从近地表的 1.1±0.1km/s 逐渐增加到 6.0±2.4km 深度处的 1.7±0.3km/s。这两组模型均能很好地拟合接收函数和视剪切波

速度的观测值。我们得到的火星上地壳速度变化可以解释为自压实导致的孔隙度随深度的衰减，并表明洞察号下方具有一个高度多孔的上地壳，且地表孔隙度大于 30%。此外，我们得到了一个比从月球推导而来的更大的孔隙度衰减常数，这表明火星和月球的地壳可能具有不同的力学性质。

S16-P-11

基于变参数极化分析的 INSIGHT 低频火星震重定位研究

王旭 [1]，陈凌 [1,2*]，王新 [3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理院重点实验室

* lchen@mail.iggcas.ac.cn

准确定位火星震能够为理解火星内部地震活动性、地下结构和物质组分以及深部动力学过程提供关键信息。火星震的位置通常用震中距和反方位角两个基本参数来描述。在美国洞察号单台站定位研究中，地震波的走时与极化分析分别是震中距和反方位角测定的常用技术。由于地震波的振幅比走时更容易受到噪声干扰，因此反方位角的有效测定比震中距更具挑战性。针对此问题，本研究提出了一种基于变参数（即不同的时窗范围和频率范围）极化分析的反方位角测定新方法。我们首先将该方法应用于已经从轨道图像中识别出火星表面真实位置的两个陨石撞击事件。研究结果显示，使用新方法预测的位置比已报道的地震学定位结果更接近真实的陨石撞击点，距离缩小约 400 公里。这表明我们的方法在火星震反方位角测定方面具有明显优势。我们采用该方法进一步对 43 个低频火星震的反方位角进行测定，获得了其中 38 个火星震的可靠定位。结果显示，火星震不仅聚集在洞察号以东年轻的科柏洛斯槽沟地区，在火星其他构造单元也有分布，特别是出现在古老的南部高地区域。这表明火星构造活动比以往认为的更加活跃。

S17-O-1

东南亚环形俯冲体系的进展与展望

李家彪 [1*]，丁巍伟 [1]，林间 [2]，黄小龙 [3]，陈永顺 [2]，孔凡圣 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所

2 南方科技大学

3 中国科学院广州地球化学研究所

* jbli@sio.org.cn

东南亚环形俯冲体系作为地球上极为独特的超级汇聚系统，受到中生代以来西侧特提斯构造域和东侧太平洋构造域共同作用，深部结构复杂，地幔对流特殊，物质循环活跃，厘清该区域动力学演化过程是地球科学的难题之一。经多年攻关，国家自然科学基金重大专项《东南亚环形俯冲系统的地球动力学过程》在环形俯冲系统深部结构、物质循环、岩浆活动和地球动力学演化过程等方面取得了重要进展：（1）通过开展固定式被动源海底地震仪和漂浮式海洋地震仪的观测阵列组网试验，发现东南亚深部有复杂的双俯冲板片残留，其中下地幔为新特提斯洋俯冲板片残留，停滞于下地幔约 1500 km 深度，而地幔转换带存在太平洋构造域的俯冲板片残留。提出新型俯冲板片在下地幔平躺滞留机制；（2）独特的深部结构导致在地幔源区存在大量再循环物质，具有复杂的地幔对流方式和表层岩浆响应，周缘深入下地幔的俯冲体系导致非典型“海南地幔柱”的形成，而地幔柱和地幔转换带滞留板片又相互作用，铸就了东南亚不同源区、多种类型、多种富集机制的岩浆活动；（3）动力学模拟重建表明东南亚环形俯冲体系的形成

是晚中生代以来新特提斯洋东南段和印度-澳大利亚板块北向俯冲以及太平洋西向俯冲共同作用的结果，前者以俯冲消减-地块拼贴为特征，形成东南亚现今大陆岩石圈和弧形的苏门答腊-爪哇俯冲带；后者以俯冲后撤-弧后扩张为特征，形成了东侧菲律宾俯冲带和一系列边缘海盆地。未来需要进一步深入研究东南亚岩浆活动、物质组成和源区特征，从而了解物质和能量循环过程。这不仅需要陆地上的地质地球物理和地球化学工作，更迫切需要开展海域深部地震观测和对东南亚多岛海海域基底及海山的综合研究工作，以完善东南亚环形俯冲系统的物质循环及形成演化过程。

S17-O-2

新特提斯洋演化与动力学机制

赵盼[1*]，朱日祥[1]，赵亮[1]，万博[1]，孙卫东[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院海洋研究所，深海研究中心

* panzhao@mail.iggcas.ac.cn

新特提斯洋主要是中生代期间位于劳亚大陆与冈瓦纳大陆之间的一个向东开口的海湾状大洋。实际上从二叠纪起就有多个微陆块从冈瓦纳大陆北缘裂解，初始新特提斯洋开始形成。随着微陆块群的北向漂移，新特提斯洋逐步扩张，达到最大化。之后，新特提斯洋开始向北俯冲到新形成的欧亚大陆南缘之下，晚三叠世开始微陆块群与欧亚大陆南缘碰撞拼合。随着冈瓦纳大陆的进一步裂解，非洲-阿拉伯板块、印度板块和澳大利亚板块以不同速度向北漂移，到新生代与欧亚大生碰撞，新特提斯洋消失，形成全球最为显著的阿尔卑斯-扎格罗斯-喜马拉雅造山带。新特提斯洋由西向东表现出不同的大地构造演化特征：地中海地区以多洋盆扩张-双向俯冲和微陆块碰撞为特征；中东地区表现为北向俯冲和沿扎格罗斯缝合带的穿时碰撞；青藏高原南部和东南亚地区以多块体逐渐裂解和多阶段碰撞为特点。我们提出，受俯冲板片拖拽力控制并受深部地幔对流影响，非自由边界条件下冈瓦纳大陆主体围绕欧拉极(西非)的逆时针旋转是控制特提斯洋演化的重要因素。通过统计大火成岩省的分布规律，发现 200-80 Ma 期间，与地幔柱相关的大火成岩省主要分布于南半球，暗示该时期南半球地幔温度高于北半球地幔的温度。在南北半球地幔温差和地幔柱/大火成岩省作用下，引起上覆岩石圈抬升、破裂，结合新特提斯洋的北向俯冲共同诱发冈瓦纳大陆的多期裂解。在古特提斯洋闭合后洋壳持续俯冲引发的应力作用下，欧亚大陆南缘具有高含水特性的洋陆过渡带率先破裂并产生向北的俯冲起始。驱动新特提斯大洋岩石圈持续向北俯冲的动力除俯冲板片的拖曳力/重力，还应该包含南半球高地幔温度和洋中脊产生的向北推力。

S17-O-3

桂东南印支期火山作用及其对古特提斯演化的约束

覃悦[1]，蔡永丰[1*]，刘军[2]，刘希军[1]，周云[1]，李政林[1]，杨栎娅[1]

1 桂林理工大学，地球科学学院

2 烟台地震监测中心站

* caiyongfeng@glut.edu.cn

特提斯是地球演化过程中出现的一次重要地质事件，这一事件产生了强烈的构造-岩浆-变形-变质-成矿-沉积等地质作用，同时对地形地貌、气候、动植物分布等产生的巨大影响。从板块构造角度来看，特提斯是显生宙时期发育于冈瓦纳大陆和劳亚大陆之间的巨型海洋于新生代期间由于板块俯冲消减作用而发生闭合，这一巨型海洋的闭合导致了青藏高原、喜马拉雅山、土耳其-伊朗高原和阿尔卑斯山脉的形成。特提斯具有异常复杂的演化历史，前人根据特提斯不同

时期及其演化特征，进一步将其分为三个阶段，即原特提斯、古特提斯和新特提斯，它们依次代表了早古生代、晚古生代和中生代三个时期的大洋。

特提斯演化在我国的西昆仑造山带、阿尔金山早古生代造山带、祁连-柴达木-东昆仑造山带、秦岭造山带、金沙江-哀牢山缝合带、龙木错-双湖-昌宁-孟连缝合带、班公湖-怒江-腾冲缝合带、雅鲁藏布缝合带等均保存有丰富的地质记录。其中，位于滇西地区的金沙江-哀牢山缝合带发育有石炭纪蛇绿岩以及大量二叠纪-三叠纪岛弧岩浆岩，是古特提斯洋俯冲消减过程中岩浆作用的响应。

桂东南钦防地区处于古特提斯和古太平洋两大构造域的交汇地带，对于本区是否记录有古特提斯演化的地质信息目前仍不明了。因此，为了探究华南大陆西南缘古特提斯演化的岩浆作用记录，我们对桂东南钦防地区印支期火山岩开展了系统的同位素年代学和元素地球化学研究。LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学研究结果表明，钦防地区英安斑岩形成于 247~245 Ma，暗示桂东南一带发育有早-中三叠世火山作用。主量、微量元素地球化学分析结果显示，英安斑岩表现出富钾高铝、低镁贫钛的地球化学特征，属于准铝质高钾钙碱性系列岩石。英安斑岩总体相对亏损 Ti、Ba、P、Sr 等元素，具有明显的 Nb、Ta 负异常和中等负 Eu 异常，表明岩浆演化过程中发生了斜长石、磷灰石、钛铁矿等矿物的分离结晶作用。此外，英安斑岩具有较高的 CaO/Na_2O 比值（大于 0.3），与贫粘土的碎屑岩相似，Rb/Ba 和 Rb/Sr 比值亦与碎屑岩相似，暗示其源区物质主要为贫粘土的碎屑岩。对比区域相关地质资料表明，桂东南地区与海南岛、金沙江-哀牢山缝合带的印支期岩浆岩的形成时代、岩石类型、地球化学特征、沉积序列和古生物化石等方面具有可对比性，说明上述地区在印支期可能经历了相似的构造演化事件，主要受控于古特提斯构造域，并进一步推测桂东南地区于早-中三叠世进入同碰撞阶段。

S17-O-4

远震层析成像揭示的东南亚特提斯构造遗迹

李桐林[1*]，石会彦[2]，张功成[3]

1 吉林大学，地球探测科学与技术学院

2 浙江工业大学，前沿交叉科学研究院

3 中国海洋石油集团有限公司，中海油研究总院

* litl@jlu.edu.cn

雅鲁藏布江缝合带是印度板块与欧亚大陆之间最新的缝合线，也就是最新的特提斯。在青藏高原内部，还存在至少两条与新特提斯基本平行的缝合带，如班公湖-怒江缝合带，龙木措-双沟-澜沧江缝合带，也属特提斯缝合带。受印度板块的持续向北挤压，上述缝合带在进入东南亚后发生了明显的方向变化，由青藏高原内部的近 EW 变成东南亚内部的 NS 向或 SE 向。Metcalfe 等(2012)对这些缝合带在东南亚陆上的位置进行了研究，对海区则未深入研究。南海位于特提斯构造域与太平洋构造域的交汇部位，有学者认为南海存在古南海构造旋回和新南海构造旋回，古南海存在由西向东的剪刀叉缝合线，而新南海的扩张模式则存在十余种模式。古南海、新南海和特提斯的关系也是学界关注的焦点问题。

本文基于东南亚及周围地区的天然地震走时数据，采用远震层析成像(FMTT)方法反演获得了东南亚、南海及周边区域的上地幔三维速度结构；同时，基于南海区域重力和高精度重力-地学断面资料，研究了南海地壳结构。综合上述研究结果，得出如下结论：1.青藏高原东南部、印支半岛和婆罗洲下方均存在高速异常体，其时空展布与东南亚环形俯冲系统轨迹平行，推测其为东南亚特提斯构造遗迹，并且分为两支，其中一支在青藏高原东南部向南延伸至婆罗洲，在东南亚内部称作 Jinghong 缝合带，Nan Uttaradit 缝合带和 Sra Kaco 缝合带，在南海南部卢帕尔-纳土纳岛-婆罗洲北部-巴拉望南部有蛇绿岩及蛇绿混杂岩出露，推测婆罗洲下方高速异常体可能是古南海的俯冲残

留，向东延伸与太平洋板块沟通，所谓的古南海则是这一分支在南海南部的别名；另一个分支在我国及东南亚陆上部分称作昌宁—孟连缝合带，Inthanon 缝合带和 Bentong Raub 缝合带，推测其在苏门达腊与最新特提斯汇合。2.青藏高原东南部向南海北部沿红河缝合带（古特提斯缝合线）存在东南向流动的地幔流，该地幔流经西沙海槽进入南海，是南海新生代海底扩张的主要驱动力和物质来源，受古太平洋俯冲带的阻挡，造成南海从东北向西南渐进式扩张。3.南海区域重力资料和重力-地震地学断面资料研究结果揭示南海海盆广泛发育下地壳异常高密度体，与南海新生代海底扩张过程剧烈的岩浆活动密切相关；南海扩张期沉积层厚度东北部大于西南部，其密度变化也呈现类似特征，上述证据佐证了南海新生代海底扩张的方向。同时，特提斯与太平洋的相互作用，控制了新南海的扩张模式。

S17-O-5

马蹄形班达弧下方的复杂地幔流场：来自层状地震各向异性的约束

李斯佳[1]，孔凡圣[1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

* kongfs@sio.org.cn

班达弧-陆碰撞带是地震活动最活跃、构造活动最复杂的区域之一。该区域的高板块汇聚速率以及全球最高的俯冲板片弧形曲率（近 180°）使其成为研究岩石圈运动、软流圈粘性流动、以及俯冲板片相互作用的理想场所。利用 5 个固定地震台站记录的近 15 年的地震数据，共获得 204 对远震 PKS、SKKS 和 SKS 分裂参数以及 44 对近震 S 波分裂参数。针对远震分裂结果缺乏垂直分辨率的问题，本文通过拟合接收函数中莫霍面 P-S 转换波的到时计算地壳各向异性。综合近震远震分裂结果以及地壳各向异性参数获取的层状各向异性结构，首次揭示了在马蹄形班达弧的俯冲板块下方存在双层地幔流：上层地幔流受上覆板块的运动驱使，下层受澳大利亚板块的牵引，然后受近 180°弧形曲率的俯冲板片的调制作用，导致软流圈物质绕俯冲板片流动。地幔楔也存在与俯冲板片走向一致的地幔流，这表明软流圈层物质没有被挤出地幔楔，因此推断现今的弧陆碰撞引起的挤压作用主要存在于岩石圈，并不延伸到软流圈，其在班达板片异常高弧形曲率的形成过程中不占主导作用。

S17-O-6

深反射地震图像揭示的莺歌海盆地莫霍面与红河断裂精细结构

李伦[1,2*]，卢绍平[1,2*]，高锐[1,2]，雷超[3]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国地质大学（武汉）

* lilun6@mail.sysu.edu.cn

* lushaoping@mail.sysu.edu.cn

印度与亚洲的碰撞不仅造就了世界上最高的青藏高原，还导致高原物质沿多条大型走滑断裂向外逃逸。在青藏高原东南缘发育并向东南延伸至莺歌海盆地延绵～1000 公里长的红河断裂被认为是这些大规模走滑断裂的其中之一。红河断裂的属性（几何形态和深度延伸）是认识高原物质逃逸与地壳变形方式的关键参数。位于南海西北部与海南岛西南部的莺歌海盆地由于其巨厚的沉积盆地覆盖，完整的保留了红河断裂的演化历史，是探测红河断裂属性的最佳区域。基于 2021 年中山大学采集与处理的深反射地震剖面数据（共约 360 公里长，最大深度为 40 公里，采集缆长～9 公里），首次详细揭示了莺歌海盆地下方的精细地壳结构、壳幔边界（即莫霍面）形态以及红河断裂结构属性。反射地震图像结果表明，红河断裂

在渐新世-早中新世期是一条贯穿地壳的深大断裂，在该时期其大尺度左旋走滑剪切运动造成了印支地块的向东南方向的逃逸。伴随着印支地块的顺时针旋转，拉伸和减薄了大陆，其地壳减薄了 50% 以上，最终形成了莺歌海盆地。该结果印证了在印度与亚洲发生碰撞后，青藏高原变形是以沿着深大断裂的整个岩石圈物质逃逸为主导。该研究也能为认识莺歌海的形成及其构造与温度演化历史以及石油天然气的形成与聚集提供重要的基础。

S17-O-7

大洋板块的形成和消亡机制：特提斯与西太的对比

李忠海 [1*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

地球上大洋岩石圈的形成、演化和消亡是板块构造与威尔逊旋回的核心。新生代以来，西太平洋构造域经历了复杂的年轻洋盆的形成和俯冲过程，印证了板块构造体制之下大洋岩石圈在不断产生、也在不断俯冲而消亡。与之相比，特提斯系统经历了古生代以来更加漫长、复杂的演化过程，具有多期次的洋盆张开和消亡的构造旋回，对于厘清板块构造和威尔逊旋回具有重要意义。大洋板块形成与消亡的关键动力学过程包括：大陆裂解与洋盆起始张开、板块俯冲起始、洋脊俯冲与构造转换；上述三个过程在特提斯和西太构造域的演化中具体一定的相通性，也具有明显的差异性。本报告拟以大洋板块生死存亡的关键节点为主线，对比和探讨特提斯与西太系统的构造演化模式和机制，以期更好的认识和理解这两大构造域的板块构造演化规律。

S17-O-8

印度-欧亚板块持续汇聚的驱动力来源-基于全球高分辨率地幔对流数值模拟

郑群凡 [1]，胡佳顺 [1*]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

* hujs@sustech.edu.cn

印度与欧亚板块的持续碰撞是新生代以来最重要的板块构造事件，其背后的驱动力是理解板块构造理论与大陆动力学的重要课题。前人对于这一问题的研究认为可能提供主要驱动力的因素包括印度板块向青藏高原下的俯冲、印度-澳大利亚板块向苏门答腊-爪哇海沟下的俯冲以及岩石圈底部的地幔剪切力等。为了更好地探究不同机制对印度-欧亚大陆汇聚驱动力的相对贡献，我们采用高分辨率三维全球数值模型进行了瞬态模拟，模型很好地拟合了现今地表的板块运动速度及应力应变观测。我们发现多组参数可以拟合板块的运动速度，但利用应力应变作为额外约束可以大大缩小参数空间。基于得到的最佳模型，我们定量地计算了板块边界力（板片拉力、洋脊推力）和板块底部地幔剪切力的大小。我们的研究结果表明，现今印度-欧亚板块的汇聚主要是由印度-澳大利亚板块向苏门答腊-爪哇海沟下的俯冲驱动的，而印度板块持续的向北运动在喜马拉雅处受到阻力，这两个板块边界相反的作用力可能增加了板内剪切变形。不同于近些年来人们强调的地幔剪切力对印度板块的主要驱动作用，我们的计算结果显示，对于印度-澳大利亚板块向北东方向的运动，地幔剪切力虽然在不同的局部区域作用有所不同，但在整体上是作为阻力存在的。

S17-O-9

伊朗东北缘新生代构造演化与高原隆升过程

褚杨[1*]，万博[1]，陈凌[1]，林伟[1]，Morteza Talebian[2]，辛光耀[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 伊朗地调局地球科学研究所

3 重庆大学资源与安全学院

* chuyang@mail.iggcas.ac.cn

陆内造山带代表远离板块边界的大型挤压构造系统。传统板块构造理论无法解释陆内造山带，因此有多种假说来解释这些山脉的形成，其中板块边缘碰撞/俯冲的远场效应现在已被广泛接受为陆内地壳挤压增厚的主要机制，如中新世的天山。在伊朗北部，由于欧亚大陆和伊朗中部板块之间古特提斯洋闭合，Binalud-Alborz 山脉经历了三叠纪碰撞造山事件（Cimmerian 造山运动）。伊朗东北部的 Kopeh Dagh 位于 Binalud-Alborz 山脉以北，经历了两个重要的构造阶段：（1）侏罗纪至始新世裂谷，接受的沉积物超过 7 公里；（2）晚渐新世至第四纪连续挤压。由于现代地震活动频繁，地震引起的形变越来越受到人们的关注；然而，我们对该地区的构造演化仍然知之甚少。

通过对该地区详细野外观察表明，Kopeh Dagh 可分为西区和东区，中间被一系列右旋走滑断层，即 Bakharden-Quchan 断层系统所分隔。东部带以公里级箱形褶皱构造为特征，发育了倾向 SW 逆断层和上部 NE 的运动学。相比之下，西部区显示上部向 SW 的运动学，变形从东北向西南增强。该带北部发育大规模的不对称背斜，呈西南极性，并伴有次级逆冲和褶皱，而南部则为对称背斜。

从构造特征看，Kopeh Dagh 带是一条典型的新生代陆内带，并无蛇绿岩和弧岩浆作用。在侏罗纪至始新世裂谷期，该带为正断层，构成阿姆河盆地的南界；伸展构造在南里海和黑海也广泛存在。这样的伸展区域也成为欧亚板块内部相对薄弱的区域，很容易被后期变形所改造。由于欧亚-阿拉伯沿扎格罗斯带的碰撞，从始新世晚期至渐新世早期，伊朗内部就开始经历陆内挤压，导致该薄弱带发生了构造反转。而且，该地区晚中新世构造变形所导致的造山带抬升也导致了伊朗高原北界山脉的构造均一化，指示着伊朗高原向 NE 方向的扩展和现今范围高原的形成。

S17-O-10

俯冲带壳幔物质循环差异性研究

于洋[1*]，黄小龙[1]，孙敏[3]，钟孙霖[2]，马金龙[1]，李杰[1]，Iwan Setiawan[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 台湾中央研究院地球科学所

3 香港大学，地球科学系

4 Indonesia National Research and Innovation Agency (BRIN)

* yuyang@gig.ac.cn

俯冲带是地球壳幔物质相互作用最活跃的场所之一。全球俯冲带具有不同的俯冲体系，如俯冲洋壳的年龄及热状态、俯冲沉积物的类型与厚度差别巨大，这会形成不同的俯冲组分，其交代作用可以造成地幔楔化学组成的巨大变化，并发生不同程度的熔融，导致壳幔物质循环过程的差异性。然而目前对何种因素控制俯冲组分多样性及不同俯冲组分对地幔楔熔融过程的影响仍存在大量争议。因此，我们对东南亚巽他岛弧玄武岩及中亚造山带阿尔泰地区中古生代岩浆岩开展了详细的岩石地球化学研究。通过对爪哇岛弧玄武岩与弧后玄武岩的研究发现其均具有低 Ba/La 与 Mo/Ce 比的特征，结合 Sr-Nd-Pb-Mo 同位素示踪，显示加入到其地幔源区的俯冲组分包含不同比例的由俯冲沉积物 (重 Mo 同位素) 与蚀变上洋壳 (轻 Mo 同位素) 熔融产生的熔体。爪哇岛弧火山岩 Mo 同位素比马里亚纳岛弧玄武岩更轻，指示来自蚀变上洋壳的熔体比来自下洋壳的组分具有更轻的 Mo 同位素组成。结合地球物理数据，发现爪哇弧下俯冲板片发生广泛撕裂，导致软流圈地幔沿板片窗上涌，促进了板片窗附近俯冲沉积物的剧烈熔融，造成更多的沉积物组分进入地幔楔。因此，俯

冲组分来源的差异并不受控于俯冲板片年龄、俯冲角度及速度等因素，而主要受控于俯冲板片结构的不同导致热状态的急剧变化。通过对哈巴河镁铁质岩墙的研究发现其具有亏损的 Hf 同位素组成与低的 TiO_2/Yb 比，且具有不同的 Zr/Yb 和 Nb/Yb 比值，指示该套岩墙为亏损地幔源区的不同程度熔融的产物。B-Sr-Nd-Pb 同位素联合示踪显示，哈巴河基性岩墙地幔源区受到了多种俯冲组分的交代，包括俯冲沉积物熔体与流体、俯冲洋壳熔体及蛇纹岩流体。由于 B 与水在俯冲过程中具有相似的地球化学性质，我们利用岛弧岩浆的 B/Nb 表征不同俯冲组分对俯冲带水通量的贡献，结果显示哈巴河基性岩墙及全球岛弧玄武岩的 B/Nb 比与其地球化学成分具有良好的相关性，指示水通量的变化造成了全球俯冲带地幔楔发生不同程度的熔融。

S17-O-11

潘吉亚拼合末期（三叠纪）东南亚特提斯花岗质岩浆作用及大陆增生

李舢 [1*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* lishan@ucas.ac.cn

Pangea, the most recent supercontinent in Earth's history, has played a crucial role in understanding the formation of single continents. Assembly of Gondwana and Laurasia at 300–250 Ma ago is generally considered the inception of the supercontinent, which continued growing during the Triassic in the Southeast Asian continental basement at its easternmost arm. However, processes (allochthonous vs. autochthonous) responsible for the generation of Southeast (SE) Asian granitic basements during the amalgamation of the Pangea supercontinent as a landmass remain puzzling due to complex tectonic overprinting during protracted multiple accretionary processes and poor preservation of magmatic records related to the early Neo-Tethys (Meso-Tethys).

S17-O-12

地幔柱与滞留板片相互作用：来自东南亚新生代玄武岩地幔不均一性的证据

杨帆 [1,2*]，黄小龙 [1,2]，徐义刚 [1,2]，贺鹏丽 [1,2]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

2 中国科学院广州地球化学研究所

* f_yang015@gmlab.ac.cn

地幔柱与板块构造是地球两大基本动力学系统，其相互作用机制仍缺少制约。东南亚地区是目前全球最大的俯冲汇聚区域，域内远离俯冲带处存在大量滞留板片、广泛的新生代地幔柱活动、大量板内玄武岩和数十个百万年的洋底扩张（南海）。因此，东南亚地区的大量大陆板内玄武岩与南海海盆内玄武岩是研究地幔柱与滞留板片可能存在的相互作用机制的极佳对象。本研究测定了南海扩张末期两个海盆洋中脊玄武岩的橄榄石成分及其最高结晶温度，发现南海东部海盆相比西南次海盆岩浆源区具有更多的地幔辉石岩组分和更高的地幔潜能温度。比较南海扩张末期两海盆洋中脊玄武岩与海盆及周缘的板内玄武岩的橄榄石成分、地幔潜能温度和 Nd-Hf-Pb 同位素组成，发现东部海盆洋中脊玄武岩与海盆内部及周缘的地幔柱相关的板内玄武岩具有更高的亲缘性，而南海西南次海盆则缺少地幔柱活动的迹象。同时，地震层析结果显示地幔柱在印支地块东部位置由下地幔上涌并于地幔过渡带底部发散延伸到南海海盆、海南等周缘地区，但南海西南次海盆未见地幔柱相关岩浆活动。结合东部海盆相比西南次海盆

具有整体更弱的地幔过渡带滞留板片信号、印支地块东部以及海南下方的地幔过渡带内高速体间断等地震波观测结果，我们提出在南海下方发生了地幔柱与俯冲的滞留板片的相互作用，具体表现为地幔柱由下地幔上涌过程中受到了滞留板片的阻挡而穿过地幔过渡带内高速体间断位置并以上地幔分支的形式在印支地块、海南北部、南海东部次海盆等位置上涌，而在西南次海盆则受滞留板片阻挡而无法到达浅部。

S17-O-13

东南亚深部结构及对新特提斯动力过程的启示

丁巍伟[1*]，朱日祥[2]，万博[2]，赵亮[2]，赵亮[2]，牛雄伟[1]

1 自然资源部第二海洋研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

* wwding@sio.org.cn

东南亚位于特提斯构造域和太平洋构造域交汇处，两者复杂的叠加效应使得迄今对该区深部结构、地表岩浆响应及动力过程缺乏清晰的认识. 本文基于最新获取的长周期天然地震观测数据和动力学数值模拟，对晚中生代以来新特提斯洋消亡和东南亚环形俯冲体系形成的动力学过程进行重建. 地震 P 波速度结构表明，东南亚深部有新特提斯洋俯冲板片的残留，并停滞于下地幔约 1500km 的深度. 在爪哇至东帝汶俯冲带一侧新特提斯洋残留板片与上地幔的印度-澳大利亚俯冲板片相接，俯冲方向一致；而在苏门答腊俯冲带一侧，新特提斯洋残留板片与印度-澳大利亚俯冲板片断离，俯冲方向存在差异. 东南亚环形俯冲体系的形成是晚中生代以来新特提斯洋东南段和印度-澳大利亚板块北向俯冲以及太平洋西向俯冲共同作用的结果，前者以俯冲消减-地块拼贴为特征，形成东南亚现今大陆岩石圈和弧形的苏门答腊-爪哇俯冲带；后者以俯冲后撤-弧后扩张为特征，形成了东侧菲律宾俯冲带和一系列边缘海盆地. 早白垩世以来新特提斯东南段的分支—北澳大利亚洋的扩张使得澳大利亚陆块长期停滞在南半球高纬地区，直到 45Ma 北澳大利亚洋发生相背俯冲，快速消减，澳大利亚陆块才开始快速向北漂移，其北端与巽他陆块拼贴。

S17-O-14

巽他-班达俯冲黑洞：东半球南部多板块汇聚的复合与叠加

刘俊来[1*]，万博[2]，孟庆任[2]，朱日祥[2]

1 中国地质大学（北京）

2 中国科学院地质与地球物理研究所

* jliu@cugb.edu.cn

作为现今全球板块构造格局中最具有突出特色的东南亚环形构造域，由阿尔卑斯-喜马拉雅和滨太平洋造山带所构成的两个全球巨型中新生代造山带交汇形成。它发育于欧亚板块、西太平洋板块和印度-澳大利亚板块三个大型板块汇聚区，其间寄生着数个小、微板块，包括菲律宾海板块、苏拉威西板块和 Caroline 板块等。大型板块和微小板块汇聚，俯冲体系交织于一体，造就现代弧形海沟、地震活动带、贝尼奥夫带和火山弧带，及复杂的活动构造，发育中、新生代蛇绿岩带和区域挤压-伸展-走滑构造组合共生，形成具有环形形态山弯构造特点的独特构造-地貌格局。

现今的巽他-东南亚构造格局记载了中、新生代多阶段不同构造体制及其组合叠加的结果，其中包括了早期晚中生代时期的新特提斯域-古太平洋域联合演化、新生代以来印度洋域和新生代太平洋（菲律宾海）域叠加演化，东南亚地区盆山系统的发育直接受控于多板块系统交汇的强烈汇聚。晚中生代-早新生代时期，古太平洋板块向西俯冲构成的回退型古太平洋型大陆边缘一直从东北亚向南延伸经日本列岛、菲律宾到婆罗

洲-西苏拉维西，新特提斯洋的北向俯冲形成前进型俯冲系，产生 Woyla-Java 增生杂岩带。二者联合形并成晚古生代-早中生代俯冲带婆罗洲拐点。晚新生代以来，太平洋板块西向俯冲伴随着菲律宾海板块与 Caroline 微板块西向俯冲，并形成伊豆-小笠原-马里亚纳俯冲带和琉球-菲律宾俯冲带；印度洋-澳大利亚板块北向欧亚板块之下俯冲，形成苏门答腊-爪哇-班达海俯冲带；太平洋板块与澳大利亚板块俯冲，构成了巴布亚-新几内亚俯冲带。

伴随新特提斯洋板块俯冲体系到印度洋板块俯冲体系的转变以及古太平洋俯冲体系向太平洋俯冲体系的转变，形成晚新生代以来三个重要俯冲体系（西太平洋-欧亚大陆俯冲体系、印度洋-欧亚大陆俯冲体系和南太平洋-澳大利亚俯冲体系），它们组合构成东、西海沟-海沟-海沟型三联点。同时，欧亚东部陆缘持续性回退式俯冲与新特提斯-印度/澳大利亚北缘前进式汇聚，形成由三条主汇聚边界叠加的三联点，伴随婆罗洲地块持续逆时针旋转发育巽他-班达俯冲黑洞，使 Banda 内、外弧弯曲且澳大利亚大陆西北部 Kep Banggai 等微陆块侧向挤出与弧形布局。

S17-O-15

九州-帕劳海脊中段和南段的深部地壳结构及其对洋内弧演化的启示

卫小冬[1*]，唐勇[1]，丁巍伟[1]，阮爱国[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

* xdwei_922@126.com

洋-洋俯冲过程中地幔楔部分熔融形成的洋内弧被认为是洋壳演化为陆壳的雏体，是理解“大洋如何演化形成大陆？”这一地学重大前沿问题的关键之一。研究表明，洋内弧的演化主要是来自中地壳和下地壳的增生，分为两个阶段，早期阶段包括由俯冲板块下方部分熔融引起的玄武岩底侵，在下地壳形成速度异常；后期阶段涉及中地壳的形成，它来自于初始玄武质地壳，分化为具有较高 SiO2 含量的中性至长英质成分的地壳，从而形成成熟的岛弧地壳。俯冲过程中的岩浆活动影响着岛弧地壳的演化，铁镁质的初生洋内弧地壳经过底侵的壳幔转换、地壳深熔、重熔或拆沉等作用最终形成接近安山质的成熟岛弧，这也伴随着岛弧地壳的厚度和速度沿着与垂直岛弧方向都存在着较大的变化。

洋内弧的形态和分布能反映深部岩浆活动特征，具体表现为火山喷发的体积、地球化学成分和火山形态沿着岛弧方向的巨大变化。作为洋内弧的主体，海山是岩浆喷发出海底的产物，因此海山体积的时空分布是探索深部岩浆活动和了解洋内弧地壳演化的重要载体。

九州-帕劳海脊（KPR）的形成与古太平洋板块向菲律宾海板块的俯冲相关，而后因四国海盆和帕里西维拉海盆的弧后扩张，与现代伊豆-小笠原-马里亚纳岛弧裂离，形成现今的残留洋内弧。因远离现代俯冲带，KPR 的深部地壳结构留了非稳态起始俯冲阶段岩浆活动和岛弧演化的信息。利用近些年在 KPR 中段和南段采集的 OBS 数据，反演其精细结构；结合高分辨率的多波束海底地形数据，利用顶帽转换算法，精确识别海山形态，计算得到海山体积的时空分布特征。根据海山体积反映的岩浆活动特征，与地壳结构进行对比，从而探讨洋内弧的演化。

S17-O-16

菲律宾吕宋弧巴丹埃达克岩的重 MO 同位素组成——弧前地壳俯冲侵蚀的证据?

刘海泉[1,2*]，李杰[1]，徐义刚[1,2]，Graciano P. Yumul, Jr.[3]，Ulrich Knittel[4]，Carla B. Dimalanta[5]，Betchaida D. Payot[5]，Karlo Queaño[6]，黄小龙[1,2]，张乐[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
3 Cordillera Exploration Company Incorporated
4 德国亚森工业大学
5 菲律宾大学
6 菲律宾海洋地质调查局
* liuhaiquan@gig.ac.n

大陆地壳占地表面积约三分之一，是人类赖以生存的重要场所。在汇聚板块边缘，大陆地壳通过弧岩浆作用生长，俯冲侵蚀则通过俯冲板片刮削将上覆地壳带入地幔楔，部分抵消了弧岩浆作用，因而对于维持现代大陆地壳的动态生长起到关键作用。前人通过沉积学和地球物理研究已证实俯冲侵蚀广泛存在于环太平洋俯冲带，但对于如何运用弧岩浆来示踪俯冲侵蚀一直是学术界的难题。针对上述问题，我们选择吕宋弧 Bataan 段第四纪 Cuyapo 和 Balungao 埃达克岩作为研究对象，运用 Mo-Sr-Nd-Hf 同位素体系及微量元素地球化学手段，揭示马尼拉俯冲体系的俯冲侵蚀过程。

钼(Mo)同位素在俯冲板块脱水或熔融过程中表现出强烈分馏的特性，重的 Mo 通过流体/熔体进入弧岩浆中，轻的 Mo 则滞留于俯冲板块的残留相。相对于大洋中脊玄武岩(MORB, $\delta^{98/95}$Mo=-0.21‰)，Cuyapo 埃达克岩的 $\delta^{98/95}$Mo 值较低(-0.36 - -0.26‰)，结合其富集的 Sr-Nd-Hf 同位素组成和低的 Ba/Nb 比值(212-228)，表明其轻 Mo 同位素与残留板片的贡献有关。Balungao 埃达克岩则具有高的 $\delta^{98/95}$Mo 值(-0.18～0.00‰)、ε_{Nd} 值(+5.0 - +5.6)和 Ba/Nb 比值(259-286)，且其 Mo-Sr-Nd-Hf 同位素组成与吕宋弧中生代弧前基底岩石(Zambales Ophiolites, 三描礼士蛇绿岩, SSZ-型)和下地壳包体相近，暗示该埃达克岩和弧前地壳的亲缘性。另外，Balungao 埃达克岩具有高的 Sr/Y 比值(175-763)和偏高的 Nb/Ta 比值(16-18)，表明其岩浆源区存在金红石和石榴石±角闪石组合(>~1.5 GPa=~45 km)。由于吕宋岛地壳厚度较薄(地壳厚度~33 km)，无法达到下地壳拆沉所需的形成榴辉岩的压力条件，最大的可能性是弧前地壳通过俯冲侵蚀进入到地幔楔中。因此，Balungao 埃达克岩可能由俯冲侵蚀的地壳在地幔楔中熔融形成，其形成再现了吕宋岛中生代蛇绿岩记录的古俯冲信息。本项研究不仅从稳定同位素的角度为俯冲侵蚀提供了新的制约，同时为俯冲带广泛存在的高 $\delta^{98/95}$Mo、ε_{Nd} 和 Ba/Nb 岩浆的成因提供了新的解释，揭示了俯冲侵蚀的弧前地壳对弧岩浆的贡献。

S17-O-17

西菲律宾海盆慢速扩张过程中的构造—岩浆作用

赵阳慧[1*]，丁巍伟[1]，Gianreto Manatschal[2]，卫小冬[1]，丁航航[1]，童政毅[1]，赵婧言[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室
2 Université de Strasbourg
* zhaoyh@sio.org.cn

拆离断层及其相关的大洋核杂岩被认为是慢速和超慢速海底扩张的表现。大量的模拟工作已经表明，大洋核杂岩在岩浆供给量相对较低时形成，但岩浆加载与构造断层之间的相互作用过程仍不清晰。我们通过对西菲律宾海盆东部洋中脊高分辨率地震反射剖面的精细解释，展示了慢速扩张过程的岩浆加载、高角度正断层和拆离断层之间的时空关系。结果显示，扩张脊南翼的洋壳结构以厚岩浆喷出层和浅层高角度断层为特征，表明西菲律宾海盆在 36Ma 期间的海底扩张过程以岩浆加载为主，形成了正常洋壳。从翼部到轴向裂谷的 70km 范围内，正常洋壳逐渐向高度构造化的洋壳结构过渡，轴向裂谷以薄岩浆喷出层和穹窿状大洋核杂岩为特征，表明 33-26Ma 期间的海底扩张以构造伸展为主。根据地层结构和切割关系，本研究提出：

（1）慢速海底扩张过程是由高角度断层作用及高岩浆供应和拆离断层作用及低岩浆供应交替主导；

（2）年轻的拆离断层切割早期拆离断层的下盘，形成了西菲律宾海盆洋中脊的非对称式伸展模式；

（3）在拆离断层形成后，岩浆熔融体在局部增加并沿着高角度断层向浅部运移，抑制了大洋核杂岩的进一步发展，最终在扩张轴附近形成了婴儿期的大洋核杂岩。

前人的研究一般认为大洋核杂岩的形成与扩张速率有关；本研究展示了沿扩张脊方向（扩张速率相同的情况下），构造应力和岩浆供应量的变化亦可导致了大洋核杂岩的形成与演化。

S17-O-18

伊豆-小笠原俯冲带的冷鼻范围与板幔解耦深度

朱伟龄 [1,2*]，季颖锋 [1,2]，瞿睿 [1,2]，朱叶 [1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院大学

* zhuweiling@itpcas.ac.cn

俯冲带热动力学的研究中，冷前弧到热弧的转换是一个难点，其中冷鼻深度的走向发生与板块形状、年龄和俯冲速度密切相关。本研究结合三维高分辨率的最新层析成像数据，以及 MORVEL 板块运动场的相对位移，利用有限差分模型计算伊豆小笠原地区的俯冲热结构和岩石脱水分布，以及俯冲板块界面上的快慢地震分布。研究发现，俯冲的太平洋板块内部分布的由于高温高压岩石相变产生的多层热液体系表现出由冷前弧向较冷前弧逐渐过渡的特征，并伴随着沿走向和板片形状变化的大规模脱水分布。榴辉岩脱水脆化影响了大型逆冲构造的快地震和慢地震的发生。部分研究学者认为冷鼻深度与板块-地幔解耦深度在 80km~100km 的火山弧下方。然而，本研究从地表热流和界面地震活动数据中获得的观测和模拟结果表明，冷鼻的最大深度可能发生在弧下板深和莫霍深度之间，即约 60 公里的板块界面深处，并沿海沟方向板块形状变化而变化。本研究有助于定量分析板块俯冲系统中前弧下方冷鼻的大致范围和深度，并探讨板块解耦的可能最大深度。此外，伊豆小笠原深部俯冲的太平洋板块中心的低温(<1000℃)和深部岩石相变的延迟可能与伊豆小笠原深源地震（>100km）的发生有关。

S17-O-19

九州-帕劳海脊南段的地壳结构及岩浆作用

张洁 [1*]，李家彪 [1]，丁巍伟 [1]，阮爱国 [1]，卫小冬 [1]，谭平川 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室

* zhangjie@sio.org.cn

九州-帕劳海脊（KPR）位于菲律宾海中央，是由太平洋板块向西俯冲于菲律宾海板块下而形成的岛弧，在弧后扩张的作用下从老的伊豆-小笠原-马里亚纳弧处分离而来，因此是研究初始俯冲至初始弧后扩张过程中构造演化和岩浆作用的理想区域。岛弧的内部结构可以有效地揭示其特征、构造演化和岩浆作用。现有的研究指出 KPR 在结构上呈现出明显的沿脊/跨脊变化，而这些变化的存在可能与地幔上涌的差异相关，然而岩浆是如何加载并引起岛弧结构的多样性仍不清楚，而且 KPR 南段的结构特征的认识仍然不足。

本文基于两条主动源海底地震仪剖面，对 KPR 南段的地壳结构和岩浆活动开展了研究。测线经过了 KPR 上四个峰顶的翼部，因此在地壳结构中可见四个隆起。最西端一个隆起和东部三个隆起之间在洋壳层 3 处存在着一个速度的突变。最西端隆起下地壳厚 6.0-7.6 km，莫霍面平坦无山根，上地幔速度为 7.8 km/s。喷发/侵入边界略有升高，但岩浆通道不明显。推断此处是一个具有单个峰顶的独立海山，有一个稳定的火山源。东侧三个隆起共用一个海山根，莫霍面呈现出下凹的形态，上地幔速度为 7.7 km/s，地壳厚

度为 7.0-11.0 km。喷发/侵入边界平坦，没有侵入核，与西侧的海山明显不同。这三个隆起属于同一海山，多个隆起的存在可能表明有多个火山源或多期岩浆作用的结果。东、西两侧地壳结构的差异表明测线所穿越的 KPR 并非是一个统一的岩浆体，而是由多个的独立海山组成，并经历了不同期次的岩浆加载作用。通过计算已揭示内部结构海山岛弧的岩浆初始加载和最终加载之间的时间间隔，近似获得海山岛弧演化模式和岩浆活动持续时间的对应关系。参考对应关系，位于 KPR 西部的海山，其形成需要~4 Myr 连续的岩浆加载。相比之下，东侧的海山的岩浆加载的持续时间为~12 Myr，期间存在明显的时间间隔。结合 KPR 演化过程，我们得出：1）多火山源和多期次的岩浆作用导致了 KPR 结构的多样性；2）弧后扩张的开始虽然抑制了与俯冲相关的岩浆作用，但是可能引起岛弧的部分熔融产生了新的岩浆源，从而改造先前存在的岛弧结构，在地壳结构中留下多个通道（地形上的多个隆起）。

S17-O-20

南海海盆北部陆缘张-破裂过程的地震学研究

郭晓玉 [1,2]，高锐 [1,2*]，徐啸 [1,2]，李三忠 [3]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

* gaorui66@mail.sysu.edu.cn

前期由于缺少高分辨率数据资料，导致对南海北部陆缘岩石圈尺度精细结构的认识不足，由此限制了我们对南海海盆形成机制的认识，争议一直存在。鉴于此，我们团队依托广东省“珠江人才计划”引进创新创业团队项目，通过提升观测系统，横跨南海海盆采集到一条 1600km 长的岩石圈尺度多道地震数据资料。在本次研究中，我们主要关注南海北部陆缘岩石圈尺度结构特征。精细的结构解释揭示了：（1）南海北部陆缘展现为分段式的石香肠结构特征；（2）石香肠缩颈处表现为向海倾斜的正断层性质变形；（3）后期幔源岩浆底辟至缩颈带结构特征明显。这些结构特征更倾向于拉分变形结果，而非地幔柱驱动特征。结合前人环南海海盆深部地球动力学过程研究结果，本次南海陆缘结构特征表明印度-欧亚板块碰撞所导致的印支地体历时性侧向逃逸以“齿轮旋转”样式驱动南海海盆的分时、分段扩张过程。

S17-O-21

南海下方地幔流场：基于海底地震观测的各向异性约束

孔凡圣 [1,2*]，高锐 [3]，Stephen S. Gao[2]，Kelly H. Liu[2]，丁巍伟 [1]，牛雄伟 [1]，阮爱国 [1]，谭平川 [1]，范建柯 [4]，卢绍平 [3]，赵阳慧 [1]，李家彪 [1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

2 美国密苏里科技大学，地质与地球物理学院

3 中山大学，地球科学与工程学院

4 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* kongfs@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

印度-欧亚板块碰撞和东南亚环形俯冲系统的形成是新生代两个极其重要的地质事件，两者在上地幔内是否存在成生演化关系一直缺乏有力的证据。本研究利用 2019 年 9 月至 2020 年 7 月在南海部署的海底地震仪阵列记录的被动源地震数据，应用剪切波分裂方法，获得南海下方强各向异性存在的关键约束。在西北次海盆，快波与慢波间的时间延迟平均值是 1.16 ± 0.11 s，快波偏振方向呈现后方位角 90°周期性变化，表明西北次海盆上地幔可能包含双层各向异性。西南次海盆的快波偏振方向较为一致，平均值为 144.1°±14.6°，与此海盆最后一期扩张方向一致，延迟时间平均值为 1.11±0.16 s。通过对西北次海盆的复杂各向异性特征进行进一步分析，得到上层各向异性优势方向为

175°，与西北次海盆形成时海底扩张方向一致，下层优势方向为 144°，与西南次海盆各向异性结果一致。结合前人地磁学研究以及南海周边横波分裂结果和地震学研究，我们认为西北次海盆和西南次海盆均存在双层各向异性。上层在岩石圈，是海盆扩张时在洋脊处形成的平行于扩张方向并被“封存”在岩石圈的“化石”各向异性；下层由 NNW-SSE 方向的现今地幔流造成：受印度-欧亚板块碰撞驱动，从青藏高原挤出的软流圈物质流。这些各向异性结果为东南亚复杂区域地球动力学问题的深化，理解青藏高原隆升的远程效应及其能量传递提供了关键的地震学约束。

S17-O-22

南海北部陆缘及海盆多期次岩浆作用：来自地震和重力数据的联合约束

张路[1]，蔡晨[1,2,4*]，高锐[1,2,3]

1 中山大学地球科学与工程学院，珠海 519082
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），珠海， 519000
3 中国地质科学院地质研究所自然资源部深地动力学重点实验室， 北京 100036
4 广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室，广州 510275
* caich28@mail.sysu.edu.cn

基于 2020 年采集的两条折射和多道反射地震数据，我们利用正向模拟和走时成像获取了南海北部陆缘（Line01）的深部速度结构。Line01 剖面长约 360 km, 台站间距约 35 km，走向为北西-南东。剖面覆盖了白云凹陷、云荔低隆起，并跨越洋陆转换带进入东部次海盆，与南北向剖面 Line02 相接。Line01 剖面结果显示强烈的横向不均匀性，结晶地壳厚度从陆架区~24 km 减薄至下陆坡带~15 km；在洋陆转换带内，地壳厚度快速从 15 km 减薄至 8 km。剖面全地壳伸展因子从北西端~1.2 增加至南东端约~3.5。陆架和陆坡区，P 波速度从结晶地壳顶部~3.7-5.1 km/s 增加至~6.8-6.9 km/s；而在洋陆转换带，P 波速度从约~4 km/s 快速增加至~7.6 km/s，且在转换带内下地壳存在一厚度最大~4 km 的高速层。利用基于大陆岩石圈裂解持续时间、伸展因子和地幔潜温的熔融模型，计算得到的同裂时期生成的岩浆不足以形成~4 km 厚的高速层。此外基于常规速度-密度转换公式获得的密度模型预测的重力异常与船载重力数据在洋陆转换带内存在较大偏差。通过结合 Line01 和 Line02 剖面，我们发现在洋陆转换带至玳瑁海山之间存在明显的下地壳和上地幔高密度异常，分别为~3.15 和 3.37 g/cm^3。海洋下地壳和上地幔顶部的高密度异常可能指示了大陆裂解后的一期或多期岩浆作用，同时 3.37 g/cm^3 地幔密度代表了岩浆含有更多的富集成分。因此，我们推测洋陆过渡带内的高速层由同裂时期和裂解后期的两期岩浆作用导致，而裂解后期的富集岩浆可能来自于海南地幔柱的影响。

S17-O-23

南海北部岩石圈结构研究及其对南海打开机制的启示

潘宗栋[1]，卢绍平[1,2*]，高红芳[2,3]，陈瀚[1,2]，何清[1]

1 中山大学，地球科学与工程学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
3 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室
* lushaoping@mail.sysu.edu.cn

南海位于华南大陆南部，经历了从安第斯型活动俯冲到被动伸展的转变，最后洋盆打开的过程。目前关于从主动俯冲到被动伸展的转换机制和南海打开机制的问题存在争议，而回答转换机制的前提是寻找古太平洋缝合带。此外，寻找缝合带位置有利于揭示南海的打开机制。目前关于南海北部是否

存在缝合带，前人通过海洋重、磁数据已有不少讨论，但缺乏关键性的深部结构证据。前人大量的深地震反射研究表明，俯冲遗迹在地震反射剖面中通常表现为从下地壳延伸至上地幔的反射样式，并且可以用于定位缝合带的位置。由于受到地震数据质量和处理技术的限制，前人在南海北部陆缘的地震反射剖面研究中仅关注地壳结构，但寻找古俯冲遗迹需要开展岩石圈尺度的精细结构研究。本研究利用南海东北部的高精度多道地震反射剖面，结合南海陆缘地质数据、重磁数据、钻孔数据等，开展了岩石圈尺度的地震反射剖面解释工作。

主要获得了以下认识：

(1) 南海北部的地震反射剖面显示了一个向北倾斜的地壳-上地幔反射，揭示了古太平洋板块北西向俯冲于华南板块的残存结构。根据残存古俯冲遗迹，结合南海北缘磁静区的分布、重力异常的特征以及巴拉望地区的晚中生代蛇绿岩，我们推测南海北缘存在与古太平洋俯冲相关的缝合带。(2) 在南海北部的洋陆转换带，我们识别到一组壳幔尺度的拆离断层，这是南海洋盆初始破裂的位置。同时，我们研究了南海北部边缘的区域新生代裂谷结构，并发现先存断裂的活化促进了新生代的裂谷作用，在南海边缘裂谷演化过程中发挥了关键作用。(3) 基于南海北部的岩石圈结构研究，我们认为南海的裂谷活动与古太平洋缝合带密切相关，其中缝合带是构造薄弱带并且促进了南海的裂谷作用。

本研究定位了古太平洋缝合带的构造位置，并识别到了南海洋盆破裂的初始位置。同时，我们分析了先存断裂在南海的张裂过程起到促进作用，并提出古太平洋缝合带与南海的裂谷作用密切相关，这为探究南海张裂的动力起源和运动学发展提供了新的视角。

S17-O-24

河流系统与沿岸漂移对重矿物来源和运输的影响——以马来西亚西半岛为例

Quek Long Xiang[1*]，李舢[1]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* longxiang_quek@ucas.ac.cn

在最年轻的超大陆（盘古大陆-冈瓦纳大陆）转变的同时，发生了一系列重大的构造和环境变化，这次事件塑造了我们今天所经历的世界。冈瓦纳超级扇系是古生代最重要的物质堆积系统，从大陆内的各个山脉高地接收了巨大的沉积物量。目前的假设表明，冈瓦纳大陆东部的冈瓦纳超级扇系可以分为两个较小的系统：印度和澳大利亚南极扇系，由于格伦维尔造山运动（约 1200-900 Ma）物源的差异存在不同碎屑锆石峰值。然而，一些研究人员提出，整个冈瓦纳大陆东部的碎屑模式是暂时的，这表明整个系统是连续的。地质过程，如沿岸漂移，可能有助于沉积物的运动。不同的意见主要源于 Sibumasu 的数据覆盖范围有限，Sibumasu 位于冈瓦纳大陆东部，是印度和澳大利亚南极扇系之间的过渡带，该地区非常关键但采样不足。我们的团队旨在通过在马来西亚西半岛的古生代地层收集证据来解决这个问题，西半岛是 Sibumasu 一个被忽视的地区。初步研究表明，Sibumasu 以南（马来西亚西半岛和苏门答腊）的样品在 1200-1100 Ma 和~550 Ma 时含有大量较老的颗粒，与 Sibumasu 北样品不同，Sibumasu 北样品含有新元古代（~970 Ma）的年龄峰值。两组之间的短距离（~300km）表明，河流系统的影响比沿岸流更显著。虽然冈瓦纳大陆已不复存在，但它在塑造现代欧亚大陆方面发挥了重要作用。它的证据值得汇总，因为它们携带了有关特提斯洋和东南亚的信息。

S17-P-1

东南亚岩石圈有效弹性厚度空间分布及其影响因素分析

陆哲哲[1*]，李家彪[1*]，李春峰[2]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

2 浙江大学，海洋学院

* luzz@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

东南亚位于特提斯构造域和太平洋构造域的交汇处，拥有地球上最复杂的汇聚系统。岩石圈有效弹性厚度（T_e）表示在长期（$>10^5$ 年）构造载荷作用下与实际岩石圈挠曲变形一致的弹性薄板厚度，反映岩石圈抵抗弯曲变形的能力。T_e 空间分布的相关研究可以刻画研究区内不同构造单元的岩石圈力学属性，帮助了解不同区域岩石圈流变性对其变形、演化的控制作用，从而更好地揭示其动力学机制。我们使用地形/水深和自由空间重力异常数据，利用基于小波变换的谱方法反演得到了东南亚区域的高分辨率 T_e 空间分布。为了避免低密度的沉积物引起的误差，进行了相应的沉积矫正。T_e 空间分布与研究区的构造背景吻合较好，位于东北印度洋的火山区域和年轻洋盆的 Te 值最低（≤10 km），巽他陆架 T_e 值较低（10-20 km），摩鹿加海和大部分大陆区域的 T_e 值较高（≥40 km）。我们还结合洋壳年龄、热流、居里点深度、地震活动特征等探讨了区域岩石圈力学强度的影响因素。整体上，东南亚区域的 T_e 与洋壳年龄呈正相关，如俯冲区域的 T_e 值随俯冲板片年龄的增加而增加，但研究区的 T_e 同时也受强烈的构造活动的影响。北苏门答腊和中爪哇俯冲带区域的低 T_e 值与板块撕裂/板片窗及地幔上涌的存在相关。此外，东南亚区域的 T_e 或与地表热流分布特征不存在对应性，或只与居里点深度和 100 km 深度的地震速度异常分布呈弱相关。尤其在一些区域，比如南海、苏门答腊和爪哇俯冲带区域，T_e 与上述地热指标的相关性都较差。我们认为，在构造活跃的东南亚区域，岩石圈地热状态对岩石圈整体强度的影响非常有限，除了温度和成分外，构造因素动态地控制着岩石圈的刚度及流变性质。

S17-P-2

小洋盆角落处的俯冲起始

董淼[1,2*]，郝天珧[1,2]，张健[2]，李月[1]，方桂[2]，李泯[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，油气资源研究院重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* dongmiao@mail.iggcas.ac.cn

对于俯冲起始研究的最大难点就是无法进行“最直接的观测”。很多成熟俯冲带由于构造演化的时间较长，俯冲起始阶段的构造特征大部分都可能已经消亡殆尽。因此，对于将要正在进行俯冲起始或者刚完成俯冲起始过程的地区进行观测和研究，对认识和理解俯冲起始过程将有着重要意义（Hall, 2019）。在东南亚地区存在着很多年轻的俯冲带，这些俯冲带距离俯冲起始的时间只有几个百万年。例如科特巴托和苏拉威西俯冲带，Tolo trough，Sula Deep。这些地区虽然是各自属于不同俯冲起始的阶段，但有着相似的构造特征：还没有发生俯冲起始的地区都位于角落里；而在已经发生俯冲的地区，俯冲板片的几何形状都呈现为一个三角型，海沟中部俯冲板片深度最大，沿着海沟两侧方向俯冲板片深度逐渐变小，也同样暗示着俯冲起始发生在角落里。本文针对在角落里是不是更容易发生俯冲起始，什么样的几何构造有利于或者不利于俯冲起始的发生等问题，采用数值模拟的方法，建立了一系列的 3D 模型去进行了模拟计算。模型的角落几何结构由顶角的角度和角落底边的范围来控制。通过不同角度、底边长度的模型和没有角落结构模型的对比，我们发现：如果角落的角度较大时，对俯冲起始的发生并不一定是有利的。只有当角落的角度较小时比较对俯冲起始的发生是有利的；但无论角落的角度和范围的大小，都是角落的顶点位置

会最先发生俯冲起始；虽然锐角更容易发生俯冲起始，大范围的锐角角度的角落可能很难形成。对于规模较小的海盆，角落结构是容易促进俯冲起始的发生，而较大规模的海盆的角落结构对促进俯冲起始的发生贡献很少。

S17-P-3S

早三叠世古特提斯洋岩石圈板块回撤：来自凭祥地区火成岩的启示

黄雯敏[1*]，刘希军[1,2]，李政林[1]，刘潇[1]，苏悦[1]

1 桂林理工大学，地球科学学院广西隐伏金属矿床勘查重点实验室

2 桂林理工大学，有色金属隐伏矿床勘查与材料开发协同创新中心

* 459717413@qq.com

三叠纪古特提斯洋东支及相关弧后盆地的闭合在东亚和东南亚形成了一个巨大的复合大陆，包括华北克拉通、华南陆块、印支陆块、Sibumasu 陆块和羌塘陆块。华南陆块在这一时期发生大规模的陆内变形和相关的岩浆活动，其西南部（右江盆地）的构造历史受到印支造山运动的影响，记录了华南陆块和印支陆块在晚二叠世至三叠纪期间的闭合。尽管华南陆块中生代火成岩的起源和构造意义已被广泛研究，但是由于火成岩的年龄和构造环境不同，华南陆块西南部二叠纪至三叠纪火成岩与特定的俯冲带之间的联系和古特提斯演化的时间仍存在争议。因此，需要进一步限制右江盆地二叠纪至三叠纪硅质火成岩的年龄和岩石成因，从而为华南陆块和印支陆块之间的古特提斯洋构造演化提供新的见解。本研究对右江盆地凭祥地区的早三叠世 A_2 型硅质火成岩进行了详细的岩石学、地质年代学、Nd–Hf 同位素和全岩地球化学分析。锆石 U–Pb 定年表明，流纹岩和黑云母花岗岩分别侵位于早三叠世 251–250 Ma 和 248 Ma。流纹岩和黑云母花岗岩具有高的 $FeO^T/(FeO^T+MgO)$（0.78–0.89）和 10000×Ga/Al（2.83–4.11）的比值，与 A_2 型花岗岩具有地球化学亲和力。这些样品表现出富集大离子亲石元素（如：Rb、Th 和 Ba），而高场强元素（如：Nb、Ta 和 Ti）明显亏损，表明它们是俯冲消减作用形成的岛弧岩浆岩。流纹岩和黑云母花岗岩负的全岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$值（-11.5 至-9.7）和锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$值（-14.5 至-6.2），表明这些岩浆主要来源于古地壳。地球化学和 Nd 同位素数据表明，过铝质 A_2 型流纹岩和黑云母花岗岩是由长英质地壳岩石在低压高温条件（~4kbar 和~860℃）下部分熔融形成的。通过所有可用数据与右江盆地西南部及其邻近地区的区域构造演化相结合，我们认为它们形成于早三叠纪古特提斯洋岩石圈向东俯冲（根据现在的位置，但最初是向北）过程中板块回撤引起的伸展环境。这表明与古特提斯洋岩石圈俯冲相关的岩浆作用在早三叠纪仍然活跃。

S17-P-4S

北祁连原特提斯寒武系弧后盆地：来自玉石沟蛇绿岩的约束

田昊[1]，刘希军[1,2,3*]，吴浩[1]

1 桂林理工大学，广西隐伏金属矿产勘查重点实验室

2 桂林理工大学，广西有色金属隐伏矿床勘查及材料开发协同创新中心

3 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心

* xijunliu@glut.edu.cn

北祁连造山带作为原特提斯构造域的北支，对重建古特提斯构造演化具有重要意义。玉石沟蛇绿岩由橄榄岩、超镁铁质-镁铁质（辉长岩）堆晶岩、枕状玄武岩和沉积岩组成。本研究对北祁连造山带玉石沟蛇绿岩

的地质年代学、全岩地球化学、单斜辉石矿物地球化学、锆石 Ti 结晶温度、辉长岩温度和压力进行了综合分析，为其构造演化提供了约束。蛇绿岩中辉长岩中锆石晶体内部均匀，具有弱、宽的分带，没有复杂的内部结构。锆石的 U、Th 含量在 0.31～2.72 之间，锆石的稀土元素配分曲线均显示轻稀土(LREE)亏损、重稀土元素(HREE)富集，且具有 Ce 的正异常、Pr 和 Eu 的负异常，具有基性岩锆石的典型特征。辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 519～495 Ma，属于寒武纪。辉长岩表现出拉斑玄武岩的地球化学特征，辉长岩 SiO_2 含量在 45.40 ~ 57.20 wt%之间，岩石特征为低 TiO_2（0.24～1.78 wt%）、低 K_2O（0.01 ~ 0.57 wt%）、高 Na_2O（0.45 ~ 5.15 wt%）、高 MgO（4.09～25.22 wt%）、高 CaO（3.95 ~ 12.92 wt%），$Mg^{\#}$值为 46.9 ~ 82.0（$Mg^{\#}$ = molar Mg/[Mg +TFe^{2+}] × 100）。玉石沟玉石沟辉长岩的∑REE 含量较低（8.36 ~ 75.60 ppm），具有平坦的 REE 配分特征，所有样品都来源于同一岩浆源。具有正常的大洋中脊玄武岩（MORB）和岛弧拉斑玄武岩的过渡地球化学特征。辉长岩可能是由亏损地幔尖晶石二辉橄榄岩的高度部分熔融形成的。研究结果表明，北祁连玉石沟蛇绿岩可能形成原特提斯洋的弧后盆地洋盆，弧后盆地洋盆在 519 ~ 495 Ma 期间演化到了一个相对成熟的阶段。

S17-P-5

东南亚 BANDA 地区弧形俯冲的形成及深部地球动力学过程：来自数值模拟研究的约束

孙宝璐[1*]，杨建锋[1]，赵亮[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* blsun@mail.iggcas.ac.cn

山弯构造是地图尺度上的弧形构造，其广泛出露于全球古老造山带。由于古老造山带演化复杂，制约了我们对其地球动力学形成机制的认识。东南亚 Banda 弧是一个超过 180 度的典型弧形俯冲，也是世界上正在发育的山弯构造，对 Banda 弧的研究有助于丰富对弧形造山带形成过程的认识。虽然前人多认为 Banda 弧的形成可能与不规则的大陆边缘形状有关，但其具体的形成机制及深部动力学过程尚不明确。本文利用地球动力学数值模拟方法，重塑 28 Ma 以来 Banda 地区的构造演化和地球动力学过程。模型结果表明当弧形的大陆进入俯冲带后，在地幔流场和海沟后撤的作用下，俯冲的板片会逐渐弯曲。模型中，弯曲的板片进入深部地幔后发育板片窗，或许可丰富板片窗的形成机制。本研究不仅有助于完善特提斯东南缘的演化过程，还可以为中央造山带等典型山弯构造的演化模式提供一定启示。

S17-P-6S

藏北羌塘-可可西里地体三维电性结构及其动力学意义

康建强[1*]

1 吉林大学，地球探测科学与技术学院

* 2352170232@qq.com

藏北高原位于印度板块与亚洲板块岩石圈汇聚的前端位置，是研究陆陆碰撞的理想地区。研究区分为羌塘地体和可可西里地体，被金沙江缝合线分隔，作为古特提斯洋闭合的缝合边界，其经历了多期次构造演化活动，形成了复杂的结构特征。由于该区地处无人区，探测难度较大，深部的电性结构还需进一步的约束。2020 年我们布设了一条横跨北羌塘、可可西里地体，全长 350km 的大地电磁剖面，一方面填补了研究区下方电性结构的空白，另一方面可以为印度与欧亚板块的汇聚过程提供基于地电学的约束。

大地电磁剖面南起北羌塘的的双湖县，穿过金沙江缝合线，最终延伸到了鲸鱼湖南

侧，共完成了了 65 个宽频测点和 15 个长周期测点。其中宽频测点平均点距为 5km，采集时长在 20h 以上；长周期大地电磁数据基本点距为 23.3km，和宽频测点在同一位置完成，采集时长在 120h 以上。对数据进行维性分析，最终采用非线性共轭梯度进行三维反演，对反演模型进行了验证，证明了反演结果的可靠性，最终获得了地下 80 km 的深部电性结构。

我们的结果揭示出北羌塘及可可西里地体中、下地壳存在大规模的高导体，尤其是金沙江缝合带下方高导体向深部可延伸至 80km 以上。我们解释这种大尺度的高导异常代表了印度板块与亚洲板块岩石圈在藏北高原下方发生汇聚的电性响应。利用不同的模型和经验公式计算出金沙江缝合带下方中、下地壳的熔融百分比为 7.3%-14.9%，表明印度与亚洲岩石圈的汇聚使金沙江缝合带活化，为地幔热物质的上涌提供了通道，导致中下地壳发生大规模的部分熔融，出现高导异常。

S17-P-7

南海西北缘构造演化：来自晚二叠世西沙花岗岩地质年代学、地球化学和 SR–ND–PB 同位素的制约

李秋环 [1]，胡西冲 [2]，张开均 [3*]，夏斌 [1*]，吉琛 [3]，黄强太 [1]，钟立峰 [4]，钟云 [1]，陆鹿 [5]

1 中山大学，海洋科学学院

2 广东省海洋发展规划研究中心

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

5 中国矿业大学（徐州），煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室

* kaijun@ucas.ac.cn

* xiabin@mail.sysu.edu.cn

基于对南海西沙地区新发现的花岗岩开展锆石 U-Pb 年代学、全岩主、微量元素和 Sr–Nd–Pb 同位素地球化学研究发现，这些过铝质花岗岩形成于~254 Ma，且具有较高的 SiO_2 含量 (71.28–78.36 wt%)，K_2O/Na_2O 比值 (0.9–1.8, 平均值为 1.3) 和 Fe 指数 (0.73–0.96，平均值为 0.87)。这些晚二叠世花岗岩富含大离子亲石元素和轻稀土元素，亏损高场强元素且具有明显的 Eu 负异常特征 ($Eu/Eu^* = 0.04–0.59$; 平均值为 0.29)。这些特征和较高的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 比值 (0.7090–0.7113)以及较低的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值 (-6.5 – -2.1) 表明，晚二叠世西沙花岗岩主要衍生于地壳岩石部分熔融且有部分地幔熔体的加入。岩浆在上升过程中经历了地壳同化和分离结晶作用。结合已有的文献资料数据进行综合分析表明，晚二叠世至早三叠世时期，亚洲东南缘主要受到东古特提斯洋的闭合作用和后造山伸展作用的影响。本研究与印支陆块和华南陆块的顺时针、穿时性碰撞特征相一致。

S17-P-8

基于机器学习方法的高精度地震目录指示的马里亚纳海沟南部的深切外缘隆起断层

陈瀚 [1,2]，杨宏峰 [2*]，朱高华 [2,3]，张江阳 [4]，徐敏 [4]，林间 [5]，游庆瑜 [6]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 香港中文大学，理学院

3 中国科学院海洋研究所

4 中国科学院南海海洋研究所

5 南方科技大学，海洋科学与工程系

6 中国科学院地质与地球物理研究所

* hyang@cuhk.edu.hk

由于俯冲板片的弯曲，外缘隆起断层广泛的分布在俯冲板片的外缘隆起区。这些断层在板片的水化作用和后续的俯冲过程中扮演着重要的角色，极大的影响着中深源地

震和弧后火山活动的发生。然而，由于缺乏近场观测数据，这些断层的精细结构尚未被获取，其成因机制尚不明确。我们使用 2016 年 12 月至 2017 年 6 月布设于马里亚纳海沟南段，靠近挑战者深渊处，覆盖了包括上覆板片和俯冲板片的海底地震仪（OBS）网络的数据开展外缘隆起断层研究。我们将基于机器学习的地震探测方法（EQTransformer）应用于 OBS 数据，探测和定位了超过 1975 个地震。我们识别了一个外缘隆起地震集群，它刻画了一条深度达 50km，平行于海底磁异常条带的外缘隆起断层。我们依据背景噪声成像结果刻画的拉张区域的分布和断层发育深度判定这是一条正断层。此外，三维板片挠曲模型结果发现“挑战者深渊”处的边界载荷几乎是邻近区域的两倍，并且挠曲应力沿海沟走向变化最大的区域与断层发育处很好的匹配，表明断层可能是由板内应力激活的先存薄弱断层。这一断层的发现为估算马里亚纳海沟南段的水通量提供了新视角。

S17-P-9

古特提斯洋晚泥盆世北向俯冲及其支洋盆(弧后)的东部延伸

张新昌 [1,2,3*]，李洪颜 [1,2,3]，Chun-Kit Lai[4]，谭清立 [5]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 深地科学卓越创新中心

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

4 文莱大学

5 中山大学

* zhangxinchang@gig.ac.cn

金沙江-哀牢山-松马缝合带是思茅-印支地块与华南地块的主要分界线，保存了古特提斯洋弧后盆地（或定义为“古特提斯洋支洋盆”）的遗迹，是研究两块体之间洋盆俯冲至陆-陆碰撞造山过程的重要场所。然而该缝合带是否向东延伸至海南岛仍存在激烈的争议，这不仅使得华南晚古生代地质构造背景更加模糊，也影响了我们对过去古特提斯洋延展范围的深入理解。基于此，本研究通过详细的数据分析和资料汇编，系统地研究了海南岛及中国东南地区下石炭统-下二叠统的源汇特征。研究结果显示，华南东南缘泥盆系-下二叠系样品具有相似的碎屑锆石年龄群，峰值主要集中在 430 Ma、930-980 Ma、1600-1800 Ma 和 2400 Ma。但是，上二叠-三叠纪砂岩的锆石年龄种群则发生了明显改变，最主要的变化表现为大量晚泥盆世岩浆锆石的出现，暗示碎屑物源发生了巨大变化。这种变化在华南西南缘也有体现，但变化的时间存在差异，具体表现为由东向西，源区发生改变的时间逐渐变年轻，呈现出一种类似剪刀状的穿时演变过程。进一步研究发现，ca.370 Ma 的年龄峰值不仅仅存在于海南-中国东南地区，也出现在思茅-印支地块和中国西南部右江盆地中。这些不同地区的同期锆石 $\epsilon Hf(t)$值集中在- 12 至+3，并具有类似的正态分布，表明这些地区的晚泥盆世碎屑颗粒来源应该是相似的。古特提斯向北俯冲形成的晚泥盆世弧岩浆岩很可能是对应的源岩。这一结论与最近在羌塘北部、思茅-印支和东马来亚半岛以及海南南部发现的晚泥盆世、与弧岩浆有关的凝灰岩、火山碎屑岩、凝灰质燧石和流纹岩相一致。结合中国东南部晚二叠世早期由碳酸盐岩台地相向碎屑岩相转变等沉积学证据，盆地中角度不整合面的发育情况以及晚泥盆世碎屑锆石在不同盆地中开始出现的时间，我们认为海南岛印支-华南碰撞很可能发生在 266-260 Ma，略早于其沿着金沙江-哀牢山-松马缝合带的碰撞时间(250-230 Ma)。综上所述，晚泥盆世弧岩浆岩与华南南缘盆地间的这种时空源-汇关系表明，至少在早石炭世-晚二叠世早期，海南及中国东南部应属于古特提斯构造域，而非古太平洋构造域。

S17-P-10S

爪哇海沟区板片断离数值模拟

梁丹[1]，丁巍伟[2*]，程子华[3]

1 上海交通大学，海洋学院
2 自然资源部第二海洋研究所
3 中国科学院南海海洋研究所
* wwding@sio.org.cn

俯冲带作为地球最为庞大的循环系统单元，是地球上最复杂的构造部位，是地表和地壳物质返回深部地幔的主要通道，是人类探索地球深部的重要目标。板块俯冲过程更是全球尺度上的物质运动、能量交换的重要过程，影响着岩石圈改造乃至相关的地表响应。其中，在地球深部的俯冲板片不连续（板片窗）更是对地球深部和浅部的物质循环、地表形态有着重要的影响。根据前人研究发现，海山、海脊等正地形在俯冲过程中会促进俯冲板片发生破裂，破裂的位置集中在海山的前缘或者后缘应力变化最大的地方，这一情况在环太平洋俯冲带广泛分布。

东南亚地区主要被俯冲带所包围，由西边的印度板块，南部的澳大利亚板块、东边的菲律宾海板块汇聚而成，形成了由西侧苏门答腊俯冲带，南侧爪哇俯冲带、班达俯冲带和东侧菲律宾海俯冲带组成的超收敛环形俯冲系统（CSS），是重要的区域地球动力学交汇带。其中，爪哇海沟区作为东南亚环形俯冲体系的重要组成部分，结合多种高分辨率地球物理观测、地球化学证据均证实下方存在板片不连续，因此研究该区域俯冲板片断离机制具有重要的研究意义。针对该科学问题，采用 I2VIS 数值模拟方法针对海山大小、厚度、俯冲速度、年龄等影响因素展开一系列实验模型，探讨俯冲板片的断离机制。

S17-P-11S

爪哇俯冲带高分辨率速度结构与火山地震的联系

谢樊[1]，王泽伟[2,3*]，赵大鹏[4]，高锐[1,3*]

1 中山大学，地球科学与工程学院
2 南方科技大学，地球与空间科学系
3 南方海洋实验室
4 日本东北大学
* wangzw_since2016@163.com
* gaorui66@mail.sysu.edu.cn

位于东南亚南缘的爪哇俯冲带，具有独特的火山和地震活动特征，例如岛弧火山附近存在的弧后富钾岩浆，250-500 km 深度的地震空白区，以及缺失的大型逆冲地震（Mw≥8.5）。为了更好地了解该地区的岩浆作用和地震成因，获得深部精细的三维结构模型非常重要。本研究在初始建模中引入 Slab2 模型作为先验信息用以约束板片几何形状，联合远近震 P 波走时数据反演获得了 0-600 km 深度范围的高分辨率三维速度结构。成像结果揭示的地幔楔中低速异常分布模式支持岛弧火山聚集“热指模型”。地震空白区对应位置的板片内部出现稳定的相对低的速度异常，印证了板片孔的存在，结合板片下方弱的低速异常暗示了板片下方部分热物质通过板片孔上涌到地幔楔，这可能与弧后富钾火山的存在和逆冲大地震的缺少有关。

S17-P-12S

东印尼班达弧 ARU 海槽的断裂活动特征与地球动力学成因机制

张志文[1,2]，杨晓东[1*]，栾锡武[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学
3 山东科技大学，地球科学与工程学院
* xdyang@scsio.ac.cn

班达弧位于印度尼西亚东部，由内弧（火山岛）和外弧（非火山岛）组成，是班达-澳大利亚弧-陆碰撞系统的关键部分，处于澳大利亚板块、欧亚板块和太平洋板块交汇地带。作为澳大利亚板块上的大型海槽，Aru 海槽的形成机制至今存在争论。目前更多的证据表明 Aru 海槽和 Weber Deep 一样，是澳大利亚板块俯冲后撤（roll-back）的产物，它们对称地分布在碰撞边界 Seram 海槽的两侧。

为明确 Aru 海槽断裂活动特征、约束 Aru 海槽变形起始时间、探讨 Aru 海槽与弧-陆碰撞的地球动力学关系，本文利用多道地震反射剖面、天然地震、震源机制、GPS 观测数据等，对 Aru 海槽的构造特征、变形速率和演化过程进行研究。Aru 海槽呈现出北宽南窄的“倒三角形”几何形态，东西最宽约为 180 km，南北长达 300 km 以上。Aru 海槽中至少发育三条 NNE-SSW 走向的大型正断层，它们贯穿海槽南北，形成阶梯状断层组合和地堑。海槽北部以近 EW 走向的 Tarera-Aiduna 断裂带为界。GPS 速度场显示 Tarera-Aiduna 断裂带的左旋走滑速率为 28-41mm/yr，Aru 海槽总的扩张速率为 53.8mm/yr，进而限制 Aru 海槽的形成时间为约为 3.3Ma，并且得到 Aru 海槽由俯冲后撤产生的的扩张分量为 12.8-25.8mm/yr，平均值为 17.5mm/yr。而 Tarera-Aiduna 断裂带作为高滑动速率的左旋走滑断层，在一定程度上控制了 Aru 海槽的拉分过程，影响海槽形态特征。

USGS 天然地震分析表明，地震活动主要沿海槽中东部的正断层分布，震源深度大多在 40 km 以上，预示着地震活动从海槽西部断层向中东部断层的迁移。GCMT 震源机制分析显示，正断层地震主要沿着海槽中部断层呈狭长带状分布，走滑型地震广泛分布在海槽北部，与 Tarera-Aiduna 断裂带在海槽北部的几何展布基本一致，海槽内部几乎没有逆冲型地震。海槽中北部显示出高地震密度值，最大值为 5.9 (The grid size is 25 km^2)，该海槽南部与 Tanimbar 海槽相连，地震密度相对较低。Aru 海槽的 b 值为 0.82±0.01，为低 b 值区（<1），处于高应力状态，与该地区的高地震密度，高地震率状况相符，目前 Aru 海槽的 b 值仍显示出明显的下降趋势，预示着该地区具有较高的地震危险性，在未来一段时间内发生 6.5 级以上地震的概率在增大。

S17-P-13S

特提斯喜马拉雅带地壳尺度穹隆变形的深部成因——深地震反射剖面的揭露

师卓璇 [1]，高锐 [1,2*]，卢占武 [2]，李文辉 [2*]，李洪强 [3]，梁宏达 [4]，齐蕊 [5]，邓小凡 [1]，董新宇 [6]

1 中山大学，地球科学与工程学院
2 中国地质科学院地质研究所
3 中国地质科学院深部探测中心
4 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所
5 清华大学，数学系
6 帝国理工学院
* ruigao126@126.com
* dereklee1984@126.com

作为碰撞造山带的典型产物，相关片麻岩穹隆是描述地壳变形和大陆碰撞演化历史的关键地质单元。尽管位于特提斯喜马拉雅带中的片麻岩穹隆是一个较为显著的造山带特征，但它的形成和起源仍备受争议。前人提出了不同的端元模型以解释穹隆的成因，包括地壳流模型，逆冲叠置模型和地壳熔融模型。这很大程度上，是由于该区域缺乏精细的地壳深部结构导致的，揭示喜马拉雅造山带下方的精细地壳结构是检验和判别上述模型的关键。本研究展示了南北向穿过特提斯喜马拉雅片麻岩穹隆带中部，新近采集的 123 km 长的高分辨率深地震深反射剖面。根据深地震反射剖面揭示的结构特

征，结合区域地质及地球物理探测结果，得出了以下主要结论：首先，片麻岩穹隆下方俯冲的印度下地壳与中上地壳沿主喜马拉雅逆冲断层发生了解耦，解耦面表现为具有一定厚度的条带状反射。其次，主喜马拉雅逆冲断层之上，发育着约 35 km 厚的地壳尺度的逆冲叠置构造，该结构在深部呈现背斜样式，内部滑脱层发育，构成了片麻岩穹隆的核部。剖面中强反射震相指示区域岩浆侵入，岩浆侵入可能是在穹隆结构形成过程中由深熔作用触发。因此，我们的结果指示喜马拉雅片麻岩穹隆的形成，受控于南北向挤压构造环境下，中地壳物质通过逆冲叠置发生的背型堆叠和构造折返。

S17-P-14

土耳其西北部蓝片岩时空分布及其对新特提斯洋俯冲侵蚀的构造意义

辛光耀 [1,2*]，褚杨 [3]，李继磊 [4]，苏本勋 [4]，林伟 [3]，杨智荔 [1,2]

1 重庆大学，煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室

2 重庆大学，资源与安全学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

4 中国科学院地质与地球物理研究所，矿产资源研究重点实验室

* xgy@cqu.edu.cn

蓝片岩及其相伴生的岩石，如蛇绿岩、榴辉岩等，是研究古老俯冲带演化过程的重要载体，全球范围内蓝片岩带与古老俯冲带的强烈耦合也证实了它们之间的成因联系，而现代正在进行的 Izu-Bonin-Mariana 俯冲系统中，蛇纹岩底辟体中产出的高压蓝片岩体，更为蓝片岩与俯冲带的亲缘关系提供了直接证据。作为特提斯构造域的重要组成，土耳其西北部地区经历了两次重要的高压变质事件：一是晚三叠世时期，古特提斯洋闭合时，在 Sakarya 带内形成了大量的高压榴辉岩和蓝片岩；二是晚白垩世，新特提斯洋俯冲，使被动陆缘前缘的 Tavşanlı 带发生高压变质。其中 Tavşanlı 蓝片岩带是研究特提斯洋俯冲过程的理想靶区：(1) Tavşanlı 带代表了一个广泛的位于世界上面积最大的仰冲蛇绿岩之下的 HP-LT 变质带；(2) 由于其北部的 Pontides 陆块和南部的 Anatolide-Tauride 地块都是相对较小的大陆单元，在新特提斯洋闭合时，两者之间并未发生如印度-欧亚板块间强烈的碰撞过程，进而使得大量高压变质岩石得以完好保存。因此，我们选取了 Tavşanlı 带内的蓝片岩作为切入点来探究该地区的古-新特提斯洋的构造演化过程。

Tavşanlı 带是位于土耳其西北部的经典晚白垩世蓝片岩带(~95 Ma)，综合野外踏勘及室内分析，我们在其带内首次发现了约 228 Ma 高压变质岩石的存在。这些岩石主要由大理岩和蓝片岩组成，呈条带状或块状存在于蛇绿混杂岩中，且其中含有丰富的蓝透闪石、硬玉、硬柱石等高压变质矿物。岩石及其中代表性矿物的地球化学分析结果表明，这些岩石的峰期变质压力和温度条件约为 1.5-2.0 GPa，400-500°C，与古特提斯洋闭合时期形成的 Karakaya 杂岩中的高压变质岩相似。综合该地区晚白垩世杂岩中晚三叠世之后的碎屑锆石缺少、侏罗纪弧岩浆和蛇绿岩的缺失、早白垩世岩浆弧前缘向大陆内部迁移等多项地质证据，我们认为在晚白垩世前，Pontides 地块内的大量地壳物质在新特提斯洋俯冲侵蚀作用下，从上覆板块转移到地幔中，新特提斯洋的最终闭合导致了古、新特提斯洋俯冲形成的蓝片岩相变质岩石的叠置。本研究为新生代前汇聚体系中的俯冲侵蚀作用提供了直接变质证据，证实了俯冲侵蚀对导致年龄差异较大的高压变质岩石叠置的重要作用。

S17-P-15S

利用 Mo 同位素示踪南海洋中脊玄武岩地幔源区中的再循环洋壳组分

蔡雨馨 [1,2]，黄小龙 [1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院大学

* xlhuang@gig.ac.cn

再循环洋壳对洋中脊玄武岩地幔源区的贡献一直存在争议，且难以用放射成因同位素加以限制。Mo 同位素近年来被广泛应用于识别地幔源区中的再循环组分。本研究对 IODP349 航次在南海东部次海盆（U1431E）和西南次海盆（U1433B）钻取的洋中脊玄武岩（MORB）样品进行了 Mo 同位素分析。相比于全球 MORB 的 Mo 同位素组成（$\delta^{98/95}$Mo = –0.19‰±0.01‰），南海 MORB 的 Mo 同位素组成变化范围极大（–0.80‰~ +0.05‰）。其中，东部次海盆 MORB 具有极轻的 Mo 同位素组成（$\delta^{98/95}$Mo = –0.80‰~ –0.24‰），Nd–Hf 同位素组成与太平洋 MORB 相似，而西南次海盆 MORB 具有相对较高的 $\delta^{98/95}$Mo 值（–0.44‰~ +0.05‰）和相对亏损的 Nd–Hf 同位素组成。南海 MORB 的 $\delta^{98/95}$Mo 值与 Ce/Mo 比值呈负相关，且与 ε_{Hf} 值呈正相关，表明地幔源区存在脱水的再循环洋壳组分。与西南次海盆相比，东部次海盆的 MORB 具有更低的 $\delta^{98/95}$Mo 和更高的 Ce/Mo 比值，表明其地幔源区存在更高比例的再循环洋壳组分。地震层析成像表明，地幔柱与地幔过渡带滞留板片之间存在不同程度的相互作用，很好地解释了南海次海盆级的地幔不均一性特征。西南次海盆之下的地幔过渡带具有明显的滞流板片，在很大程度上阻碍了地幔柱的上涌；而在东部次海盆，地幔过渡带的滞流板片相对不明显，很可能被上升地幔柱所破坏穿透并被带入上地幔。本研究为再循环洋壳参与了边缘海的形成以及地幔柱对边缘海海底扩张的影响提供了证据。

S17-P-16

海底地震仪深部结构层析成像揭示南海海盆非对称扩张成因

牛雄伟 [1*]，李家彪 [1]，丁巍伟 [1]，阮爱国 [1]，卢绍平 [2]，范建柯 [3]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

2 中山大学

3 中国科学院海洋研究所

* xwniu@sio.org.cn

“海盆扩张非对称”是南海大陆边缘破裂过程的重要特征，由于受周期性地幔对流活动主导，扩张表现为两次洋脊南向跃迁，方向也发生多次转变，导致南海扩张的不连续-非对称性。由于南海深海盆区域缺少长期观测的地震台站，对其非对称扩张的地幔深部结构和动力学机制尚缺少层析成像的直接证据。2019 年至 2020 年，自然资源部第二海洋研究所在南海海盆开展了长周期宽频带海底地震仪（OBS）的天然地震观测，本研究基于 17 个台站获取了长达 9 个月的天然地震观测数据，获得了南海海盆下方从地壳到下地幔的精细速度结构，尤其是上地幔区域，明显的速度异常特征出现在南海海盆下方，而前人由于缺少数据，该区域通常为空白区。在整个上地幔，西南次海盆扩张中心北侧表现为高速异常，南侧为低速异常，可能揭示出南侧存在更充足的岩浆供给。在 300 km 以浅，东部次海盆扩张中心两侧均为低速区，表明浅部岩浆仍然供给充足，而在 300-400 km，其扩张中心北侧表现为高速异常，而南侧表现为低速异常，可能揭示了深部地幔对流的周期性，表明深部结构差异控制着东部次海盆的不对称扩张过程。

S17-P-17S

桂西南崇左中晚三叠纪火山岩年代学、地球化学研究：对华南与印支陆块造山带构造过程的指示

李政林[1,2]，刘希军[1,2*]，黄雯敏[1]，代俊鸽[1]，覃显著[1]

1 桂林理工大学，地球科学学院

2 桂林理工大学，广西隐伏金属矿产勘查重点实验室

* xijunliu@glut.edu.cn

崇左位于华南右江盆地西南缘，属特提斯构造域与太平洋构造域的交汇区域，该区出露大面积的三叠纪中酸性火山岩，对这些火山岩的研究不仅有助于认识十万大山造山带印支期构造-岩浆演化历史，而且为古特提斯洋俯冲时限及洋盆闭合时限提供约束。本文对崇左地区三叠纪流纹岩和英安岩共2件样品中的锆石进行U-Pb年代学研究，获得流纹岩锆石U-Pb平均年龄为240.8±0.9Ma，英安岩锆石U-Pb平均年龄为227.6±0.8Ma，结合以往获得的年龄数据，可以确定该地区流纹岩和英安岩分别为中三叠世、晚二叠世两期岩浆活动的产物。全岩地球化学分析结果显示，崇左中三叠世流纹岩和英安岩均为准铝到弱过铝质岩石，属高钾钙碱性的A型花岗岩系列，富集轻稀土和Rb、Th、K等大离子亲石元素，不同程度亏损Nb、Ta、P、Ti等高场强元素，具有明显的铕负异常。然而，流纹岩具有较低的Y和Nb含量，显示出由板块俯冲阶段向碰撞阶段过渡的特征，而英安岩具有较高的Y和Nb含量，显示出碰撞阶段特征。英安岩与流纹岩具有相似的全岩Nd同位素及锆石Hf同位素组成，流纹岩的εNd(t)值为－9.8~－9.7，锆石εHf为－22.9~－9.2，英安岩εNd(t)值介于－10.2~－9.8之间，锆石εHf为－30.9~－10.0。桂西南崇左中晚三叠世花岗岩与流纹岩空间分布关系密切，主、微量元素和全岩Nd同位素、锆石Hf同位素特征方面都具有相似性，因此，笔者认为它们为不同时期和不同构造环境下的同源岩浆产物。结合区域资料和本文研究，初步分析认为崇左地区三叠纪处于板块俯冲至碰撞阶段的活动大陆边缘环境，同时限定了古特提斯洋盆完全闭合于中晚三叠纪。

S17-P-18S

双俯冲系统重构板块运动

张魁第[1]，廖杰[1*]，Taras Gerya[2]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 Swiss Federal Institute of Technology Zurich,Department of Earth Sciences

* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

双俯冲系统在板块构造中十分常见（例如，面对面双俯冲系统，即两个大洋板块共用一个上覆板块，相向俯冲）。在双俯冲系统中，两个俯冲带的启动时间并不完全一致、它们随时空的动力学演化也依然成谜。对此，我们建立了面对面俯冲的二维动力学数值模型，模拟结果中，随着双俯冲系统的演化，板块之间的运动呈现出动态不稳定，这种不稳定性导致年轻的俯冲逐渐生长可能取代年老的俯冲吸收板块间的汇聚使其走向消亡：年老的俯冲带海沟停止后撤，俯冲速率也显著降低。浅部上覆板块的应力状态以及深部地幔流场的演化记录了年轻俯冲取代年老俯冲的动态过程。模型所呈现的双俯冲系统中海沟迁移以及板块运动特征可以对典型的面对面双俯冲区域的地质历史重构和现今观测做出解释，并预测未来的演化。在位于西太平洋的马尼拉-菲律宾双俯冲系统中，菲律宾俯冲的启动可能降低了马尼拉俯冲南段的活动性；在未来，随着菲律宾俯冲向北扩展，马尼拉俯冲可能逐渐消亡，该区域板块运动将会重新组构。

S17-P-19S

班公湖-怒江中特提斯洋双向俯冲的电性证据

杨振[1]，高锐[1,2,3*]，梁宏达[4]

1 中山大学地球科学与工程学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
3 中国地质科学院地质研究所自然资源部深地动力学重点实验室
4 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所
* gaorui66@mail.sysu.edu.cn

喜马拉雅-青藏高原造山带是地球上最年轻和规模最大的造山带之一，其形成经历了古-中-新特提斯演化，最后是在新特提斯洋关闭后，由印度板块和亚洲板块碰撞而成。中特提斯一般指班公湖-怒江中特提斯洋。班公湖-怒江缝合带作为拉萨地体与羌塘地体拼接的缝合带，是中特提斯洋于中生代消亡的产物，记录了班公湖-怒江中特提斯洋从俯冲消亡到陆-陆碰撞的关键信息。然而，在缝合带浅表地质中识别和重建这一转变过程面临诸多困难。其中，关于班公湖-怒江洋的消亡极性就争议已久。近些年来，从构造地质学、古生物学、沉积学、地球化学以及地球物理学等方面对班公湖-怒江中特提斯洋的演化进行了大量研究。有关班公湖-怒江中特提斯洋俯冲极性的研究提出三种主要的假说：第一种是班公湖-怒江洋向北俯冲到羌塘地体之下；第二种是向南俯冲到拉萨地体之下；第三种是双向俯冲到羌塘和拉萨地体之下。

针对以上关键科学问题，我们在青藏高原拉萨地体北部和羌塘地体采集了大地电磁数据，通过全流程的野外观测、室内的精细处理，以及多次的二维、三维反演进行深部地球物理成像，获得岩石圈尺度证据。结合大地电磁相同测线的深地震反射剖面数据，通过综合研究、深入探索取得了如下认识与结论:二维反演的电性模型表明，班公湖-怒江缝合带之下存在两个倾向相反的高导异常，两个高导异常的电阻率约为 1 Ω • m，这两个高导异常从中下地壳一直延伸到上地幔顶部。此外，这两个高导异常与深地震反射剖面在班公湖-怒江缝合带之下的两个倾斜反射具有可比性。同时，我们结合地表地质、地球化学的证据，推断班公湖-怒江缝合带之下的两个高导异常可能与中特提斯洋双向俯冲有关。

S17-P-20S

叠前深度偏移剖面揭示藏北库木库里盆地高分辨率结构

邓小凡[1]，高锐[1,2*]，卢占武[2]，李文辉[2]，郭晓玉[1]，黄兴富[3]，齐蕊[4]，师卓璇[1]，谭晓淼[1]

1 中山大学，地球科学与工程学院
2 中国地质科学院地质研究所
3 桂林理工大学，地球科学学院
4 清华大学，数学科学系
* ruigao126@126.com

库木库里盆地位于青藏高原北部，夹持于昆仑山脉和阿尔金山脉之间，是一个平均海拔高于 4000 米的高原山间盆地。研究区由于条件制约，地质工作程度甚低。为了更好地分析盆地演化过程，探究青藏高原隆升的山盆耦合作用，获得精细的深度域结构非常重要。叠前深度偏移技术能够校正定位错误和未聚焦的反射界面，实现真实构造成像。然而由于大陆结构复杂，对以岩石圈为成像目标的深地震反射数据来说，实现叠前深度偏移成像仍然是一个挑战。本研究基于一条 2022 年新采集的跨过库木库里盆地的深地震反射采集数据，通过多种方法提高叠前数据信噪比，建立精确速度模型，获得了库木库里盆地地表之下 20 公里的高质量的深度偏移剖面，揭示了库木库里盆地深度域精细结构。与水平叠加剖面和时间偏移剖面对比，叠前深度偏移剖面提供了具有深度信息的更高分辨率的地下图像，提高了复杂构造的成像效果。成像结果证明了叠前深度偏移方法在复杂构造区的深地震反射剖面中应用

的可行性和必要性，展示了盆地内各构造单元的空间格架和展布特征。

S17-P-21

P 波方位各向异性揭示汤加俯冲带深部地幔和热点的相互作用

于志腾 [1*]，李家彪 [1*]，赵大鹏 [2]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

2 日本东北大学，理学院地球物理系

* ztyu@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

全球三分之二以上的深源地震发生在汤加俯冲带地区，其还受到了萨摩亚地幔柱的影响，是研究深源地震、板块俯冲和热点相互作用的理想场所。然而，由于汤加地区海域面积大，固定地震台网的台站少且距离远，制约了对其深部结构的认识，不同地幔流的影响范围和深度仍不清晰。本研究基于在汤加海域布设的四次海底和陆地地震探测实验，获得了三维 P 波方位各向异性的深部结构，厘定了来自北部板块撕裂流入劳盆地的萨摩亚地幔柱的影响深度最深为 140 km，最南到达~20.5°S。在~140-400 km 深度，地幔楔内主要为与板块俯冲和脱水有关的地幔拐角流。在汤加板块内，浅部（<200 km）和深部（>200 km）观测到不同的 P 波方位各向异性，反映其内部复杂的应力状态。

S18-O-1

晚中生代以来华夏造山带和东侧海洋板块间三阶段构造演变

黄奇瑜 [1,2*]，钟广法 [1]，余梦明 [1]

1 同济大学，同济大学海洋与地球科学学院

2 成功大学，地球科学系

* 3065164716@qq.com

自晚中生代亚洲大陆华夏造山带和东侧的海洋板块间，由中生代海洋板块向大陆板块俯冲，转变为晚中生代-早新生代巨型左行走滑构造，最后又转变为晚新生代海对陆及陆对海垂直及双向相对俯冲。台湾造山带位于亚洲大陆华夏造山带东缘，再往东即为今日残留的中生代早白垩纪花东海盆。台湾及临近海域岛屿地质记录了自中生代以来华夏造山带和东侧海洋板块间的海陆构造演变。

台湾岛及附近海域存在三套增生楔：白垩纪大南澳增生楔、中中新世梨山增生楔及东北海域晚更新世八重山增生楔。中中新世梨山增生楔叠加在白垩纪大南澳增生楔之上。这种双层增生楔叠加构造，和西南日本-冲绳岛中-新生代大型平行拼贴增生楔构造形态，差异极为明显，显示不同的构造演化背景。差异分界点位于今日宫古海峡一带。宫古海峡以东依扎那碕板块-太平洋板块-菲律宾海板块相继依序向西北俯冲于欧亚板块之下，形成自西北向东南平行拼贴的巨型秩父带-四万十带-南开增生楔压缩构造；宫古海峡以西到台湾,中生代依扎那碕板块向西俯冲于欧亚大陆板块之下，形成晚白垩纪大南澳增生楔-华夏火山岛弧，之后不但再也没有新生代年轻海洋板块的俯冲压缩构造，相反的沿亚洲大陆东缘在晚白垩纪活动大陆基盘之上，发生大规模古近纪伸展裂陷构造，指示华夏造山带东南缘完全缺乏古近纪海洋板块俯冲，并且在华夏造山带东南残留了一部份中生代海洋板块，此即为今日的花东海盆。

晚中生代-早新生代华夏造山带和残留的中生代海洋板块间转变为巨型左行走滑构造，北端连接到今日宫古海峡，此处也是今日吕宋-冲绳破碎带的端点。走滑构造最后导致早渐新世南海张裂，及随后在中中新世沿走滑断层发生南海向花东板块俯冲，初始的马尼拉海沟位于今日台湾岛以东~400-

500 公里位置。南海俯冲产生梨山增生楔及吕宋弧前盆地-火山岛弧，座落在花东板块之上。今日长达~2000 公里的台东纵谷-菲律宾断层标记在新生代早期即已存在的巨型左行走滑构造遗迹。

花东板块于晚更新世沿新发展的南段琉球海沟向北俯冲于欧亚板块之下，形成台湾造山带东北海域的东-西向八重山增生楔；台湾地区马尼拉海沟-琉球海沟相互成垂直型俯冲体系。花东海盆东侧的加瓜海脊向南连接到吕宋岛东侧，菲律宾变动带两侧则呈现海对陆及陆对海双向相对俯冲体系。

S18-O-2

花东海盆的身世之谜

赵明辉[1*]，张佳政[1]，高红芳[2]，程锦辉[1]，刘思青[2]，高金尉[3]，J-C Sibuet[4]，孙龙涛[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 广州海洋地质调查局

3 中国科学院深海科学与工程研究所

4 Ifremer Centre de Brest, B. P. 70, 29280 Plouzan´e Cedex, France

* mhzhao@scsio.ac.cn

花东海盆的年龄一直有新生代与中生代之争，由于缺乏钻井资料以及其他充分的地质证据，花东海盆的身世一直是一个谜题。由于周边中生代的物质大部分已经俯冲消亡了，只有花东海盆可能属于中生代老的洋盆，其作为西太平洋板块上的一颗璀璨的“明珠”，伴随着新生代的南海与菲律宾海盆的扩张，记录了新生代以来的西太平洋系统的构造演化过程，为西太平洋地球系统多圈层的相互作用及板块构造重建具有重要意义。 花东海盆拖网采样获得了辉长岩样品（R19 和 R20），单矿物 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年为 131-119 Ma（Deschamps et al., 2000）和 130 Ma（Huang et al., 2019），因而推断花东海盆年龄为早白垩世，成为迄今在菲律宾海盆与欧亚大陆之间发现的、仍然保存着中生代洋壳的唯一地区。钱生平等（2021）首次对加瓜海脊火山岩开展了详细的岩石学 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年，表明加瓜海脊火山岩的形成年龄为 123-124Ma，具有典型岛弧火山岩特征的安山岩，地幔源区受到来自俯冲的蚀变洋壳与沉积物的流体交代。火山岩中发现大量的继承性锆石，与华南大陆的基底年龄存在高度相似性，揭示加瓜海脊之下存在大陆地壳基底，加瓜脊可能是古大陆岛弧，再次印证了花东海盆更可能形成于中生代，可能代表着一个中生代的残余洋盆（Qian et al., 2021）。然而，最新加瓜脊的拖网采样（高红芳等，2023），根据钙质超微化石组合研究推测，加瓜脊形成于渐新世或晚始新世。这说明花东海盆的真正年龄仍然存在争议。

大洋钻探计划（IODP）在国际地球科学发展中起着重要的引领作用，中国加入大洋钻探计划二十年多年来，确立了我国在南海研究中的主导权（汪品先, 2019）。中生代是地球历史演化进程中的关键时期，但是关于中生代洋盆的研究却很少，至今世界上还没有中生代洋盆的钻探，因此，花东海盆成为未来大洋钻探的潜在目标与优先区域（黄奇瑜, 2019），将切实服务于西太平洋中生代深海油气资源与国家战略安全的重大需求。

S18-O-3

加瓜海脊成因与西太平洋地幔组成演化

张国良[1*]，张吉[1]，Hayden Dalton[2]，David Phillips[2]

1 中国科学院海洋研究所

2 墨尔本大学

* zhangguoliang@qdio.ac.cn

西太平洋存在众多边缘海盆，这些海盆整体上位于印澳板块和太平洋板块之间。一般认为，这些西太平洋海盆地幔组成与印度洋地幔类似，而与太平洋地幔明显不同，二者在空间上大致以西太平洋岛弧体系为界。通常认为，西太平洋在中生代时期广泛存在

板块俯冲，然而，现代西太平洋海盆和岛弧系统几乎都形成于新生代以来。尤其是，新生代以来西太平洋海盆火山岩组成反映了这里主要存在印度洋型（Dupal 异常）地幔。关于这种类型地幔长期存在于西太平洋或是后期被印度洋型地幔所替换，还缺少明确的证据。西太平洋极少出现中生代洋盆或岛弧火山岩，这导致新生代以前的西太平洋岛弧演化历史和下伏地幔组成性质很不清楚。加瓜海脊构成了台湾以东花东海盆与菲律宾海盆之间的板块边界。长期以来，由于岩石学和地球化学研究工作有限，关于加瓜海脊的时代、基岩性质及成因背景还存在基本性争议。本次在加瓜海脊中段获得了一系列火山岩，并对 42 个火山岩样本开展了系统的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年代学、主量和微量元素及同位素分析（Sr-Nd-Hf-Pb-Mg）。研究揭示了加瓜海脊火山岩分为钾玄岩和玄武质安山岩两类，均表现为岛弧火山岩特有的微量元素组成特征；其中，玄武质安山岩形成于124-123Ma，钾玄岩形成于~115Ma，确定了加瓜海脊是早白垩纪时期活动的洋内岛弧。根据火山岩较高的 Th/La 比、Nb/Ta 比，以及缺少明显的 Zr-Hf 负异常等特征，研究认为俯冲板片沉积物组分发生了以金红石为残留相的部分熔融。偏重的 Mg 同位素特征可能进一步反映了俯冲板片组分的显著影响。大多数加瓜海脊火山岩在 Hf-Nd 同位素组成上位于太平洋型地幔域，反映了下部属于太平洋型地幔楔性质。这些火山岩在 Pb 同位素组成图解上，主要表现为印度洋型特征，主要是反映了地幔楔受到俯冲带流体组分的影响，而不是地幔楔本身特征。这说明西太平洋在中生代时期存在太平洋型地幔，加瓜海脊代表存在于太平洋内部的洋内岛弧。

S18-O-4

花东海盆与西菲律宾盆地的关系

钟广法[1*]，黄奇瑜[1]，张宝金[2]，余梦明[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* gfz@tongji.edu.cn

花东海盆位于西菲律宾盆地西北侧，两者之间以南北向加瓜海脊为界。最新研究表明，花东海盆和西菲律宾盆地分别形成于早白垩世和始新-渐新世，加瓜海脊为早白垩世岩浆弧。本文基于多道深反射地震剖面研究加瓜海脊两侧盆地的构造和沉积特征，探讨花东海盆与西菲律宾盆地之间的关系。

加瓜海脊东侧为一条平行分布的海槽。海槽横剖面呈 U 字形，谷底水深较其东侧深海平原深约 400-1000m。海槽内被水平层状沉积物充填，海槽充填沉积物底包络面在地震横剖面上呈不对称 V 字形，东侧平缓、西侧较陡。海槽充填沉积物底包络面最低点与加瓜海脊脊顶之间的垂直落差介于 3892-5353m 之间，平均约为 4860m。海槽充填沉积物以近平行强振幅地震相为特征，解释为粗粒浊流或重力流沉积；少量为弱反射地震相，解释为细粒浊流或远洋沉积。海槽充填沉积物厚度介于 1350-2420m 之间（沉积物平均速度按 2500m/s 估算）。海槽下伏基底向西倾斜，倾角为 3-10°，最大可达 18°。在加瓜海脊西侧、花东海盆的东部，分布着两条与加瓜海脊平行的基底隆起带，包括加瓜海脊的隆起带之间为同向分布的长条状次级盆地或盆地群。横剖面上，次级盆地呈近对称的 V 字形，发育花状构造。这些次级盆地中的地层与花东海盆深海平原类似，暗示其形成年代与花东海盆接近。花东海盆东部这种长条状且相互平行的盆地、隆起相间格局，很可能与同向走滑活动有关。综合分析认为，加瓜海脊及其东侧海槽可能是一个夭折了的早白垩世初始弧-沟系，其成因与花东海盆东侧板块向西的俯冲及伴生的南北向走滑有关（相对于现今方位）。

长期以来，基于磁异常条带的解释，加瓜海脊至吕宋-冲绳断裂带之间的三角形区域被认为是始新世-渐新世西菲律宾盆地的一部分。这一认识难以解释由加瓜海脊及其东侧海槽所代表的白垩纪弧-沟系的形成。鉴于磁异常条带年龄解释上的多解性，我们

推测，该三角形区域并不属于始新-渐新世西菲律宾盆地，而是一个与花东海盆差不多同期的白垩纪海洋板块，不妨称之为“琉球南板块”。该板块与花东海盆之间最初可能以一条大型转换断裂带为界，沿该转换断裂带发生的早白垩世初始斜向俯冲导致加瓜弧-沟系的形成及花东和琉球南板块的拼接。位于琉球南板块东侧吕宋-冲绳断裂带附近的 DSDP293 站位，在再沉积的浊积岩中曾钻遇白垩纪化石，支持上述推测。建议未来加强对加瓜海脊及其东侧琉球南板块的研究，探讨在该海域开展大洋钻探的可行性。

S18-O-5

花东海盆盆地属性新认识及其与西菲律宾海盆关系探讨

高红芳 [1,2*]

1 广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州，广东，510000

2 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，南海海洋研究所，广州，广东，510301

* promap@163.com

花东海盆处于菲律宾海板块的最西北端，连接了西太平洋板块和欧亚板块，是两大板块的交汇处和俯冲、碰撞、抬升多构造运动的汇聚点，记录了琉球群岛、台湾岛、南海海盆等地理单元俯冲、碰撞的构造活动过程，其构造位置极为重要且盆地地质属性具有高度争议性（Sibuet et al.,2002；吴时国和刘文灿，2004；李春峰等，2007；黄奇瑜，2017），是研究南海演化和西太平洋动力学机制的关键区域。运用近年来采集的最新地球物理资料及相邻海区钻井资料，通过与西菲律宾海盆地层层序的对比分析，以及长排列大震源地震剖面深部地壳结构的解译，发现几个现象：（1）早中新世以来加瓜海脊两侧花东盆地和西菲律宾海盆地层层序的发育具有一致性，且构造相对稳定，地层变形较小；（2）重力反演、磁异常数据显示，花东盆地、加瓜海脊和西菲律宾海盆三者地壳属性相似；（3）Deschamps 等（1998）认为加瓜海脊成因是转换断层基础上岩石圈发生挤压，西菲律宾海盆向花东盆地俯冲挠曲变形，进而断裂隆升形成正花状构造形态山脊，但新采集的多道地震剖面上无法解译到相应的断裂形迹；（4）加瓜海脊是无震海岭，与俯冲断裂变形的构造背景不吻合；（5）在长排列大震源深反射地震剖面上解译到深部地壳的褶皱变形，这些地壳褶皱变形同花东盆地-加瓜海脊-西菲律宾海盆西部的基底地形起伏一致；（6）花东盆地和西菲律宾海盆最大的不整合面 T7 形成时期与台湾岛和琉球群岛广泛发生的埔里运动时期吻合；（7）加瓜海脊上部发育始新世沉积地层。经过对以上地质现象的综合分析，作者认为，（1）花东海盆和加瓜海脊同西菲律宾海盆盆地属性相近，原为一体，加瓜海脊及相邻低隆起是地壳褶皱变形形成的，在地壳褶皱过程中，岩层发生弯曲，背斜部分向上拱起，地壳变厚，形成山脊；向斜部分，岩层受到拉伸力，岩层变薄，并形成较大的可容纳空间，后期沉积物大量保存，即现今的花东海盆和加瓜海脊东侧海槽（南北向凹陷）；（2）花东盆地和西菲律宾海盆最大的不整合面 T7 一致发育，其构造变更时期为海盆扩张结束期，与埔里运动时期一致，即晚始新世—中渐新世（35—30Ma），花东海盆和加瓜海脊即发育于该时期。由此得到如下结论：花东海盆不是中生代海盆，而是同西菲律宾海盆一样，在晚古新世—早始新世（60—35Ma）时期扩张，此后进入区域抬升漂移期，区域不整合界面 T7 记录了花东海盆和菲律宾海盆的全面关闭以及区域抬升漂移的过程；菲律宾海板块向西北漂移过程中受到欧亚板块的阻挠，板块西北部发生挠曲褶皱变形，形成花东海盆、加瓜海脊和东侧海槽，在花东海盆及东侧海槽产生较大可容纳空间，伴随新近纪时期与菲律宾海板块与欧亚大陆的不断碰撞，台湾岛隆升，大量物质涌入花东海盆，并经琉球海沟输送至东侧海槽，晚期沉积明显加厚，形成现今的花东海盆及加瓜海脊特殊的构造格架和厚层新近系-第四系沉积层序。

S18-O-6

东亚冬季风向海洋的物质输送：加瓜海脊铁锰结壳的记录

董彦辉[1*]，赵明辉[2]，高红芳[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

* dongyh@sio.org.cn

东亚冬季风向海洋输送的风尘中含有大量的铁、硅、磷等营养物质被认为是海洋生物地球化学循环的重要组成部分。海洋自生的铁锰氧化物能大量吸附海水中元素，这使得它可能记录季风物质的贡献。铁锰结核和结壳表层的 Th 富集一直被认为亚洲风尘的贡献，Jiang 等已经报道了海盆中多金属表层的磷富集源于冬季风的输入。花东海盆西部的加瓜海脊发育有一厚层的铁锰结壳，其距离亚洲大陆很近，是研究东亚冬季风向海洋的物质输送的良好载体。我们使用 TIMA、电子探针、LA-ICPMS 点分析及面分析的方法对来自于加瓜海脊的两个结壳样品剖面进行了分析。

两个结壳结构上相似，下部以较为柱状结构为主（层 I），顶部大量发育细密的纹层（层 II），最顶部的 2mm 又转为小的柱状结构（层 III）。TIMA 结果表明结壳中的碎屑矿物在层 I 主要火山物质，在上部的层 II 转变为了以石英为主，这与东亚冬季风风尘中石英为主的特点一致。

结壳剖面上，Th、P_2O_5 在层 II 含量较层 I 有明显的上升（分别升高约 30-100%和~25%），与已经发表的研究认为这两个元素可以指示风尘的输入一致。与此同时，我们发现其它微量元素也有系统性的变化：大部分亲石元素，如 REE、Zr 等元素在层 II 中含量也有明显上升，其中 Ce 的含量上升可以达到 50-100%，Cu、Ni、Ti 等元素在层 II 的含量有所下降，其中 Cu 的含量下降达到 50%以上，而 Sr、Ca 等元素的含量没有明显的变化。

一些地球化学指标也存在系统性地变化。Mn/Fe 在层 II 也有明显的下降，从层 I 的大于 1 下降到层 II 的 1 以下，反映了 Fe 含量的上升，Si/Al 比在层 II 也有明显的增加，从层 I 的大约 3 左右上升到层 II 的大于 4，这可能是海洋中硅含量上升的表现。La/Yb 在层 II 中也有明显的上升，从接近海水的约 8-9 上升到更接近大陆地壳的 12 左右。

加瓜海脊铁锰结壳剖面上矿物和化学组成的变化与东亚冬季风的输入是一致的，除了 Th、P_2O_5 以外，微量元素的含量和地球化学指标显示了系统性的变化，其中 Cu、REE 等元素的含量可以变化 50%以上，这些表明东亚冬季风向海洋输送的沙尘除了营养元素以外，对海洋其它微量元素的影响可能也是巨大的，有待于我们进一步地认识。

S18-O-7

南海东南缘弧陆碰撞开始的时限：来自巴拉望中南部 ISUGOD 盆地的约束

陈文煌[1*]，闫义[1]，Andrew Carter[2]，黄奇瑜[3]，Graciano P. Yumul Jr.[4]，Carla B. Dimalanta[5]，Jillian Aira S. Gabo-Ratio[5]，王明惠[6]，张新昌[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 University of London,Department of Earth and Planetary Sciences

3 同济大学，海洋与地球科学学院

4 Cordillera Exploration Company Incorporated

5 University of the Philippines Diliman,College of Science

6 台湾中油公司，探采研究所

* chenwenhuang@gig.ac.cn

随着南海自早渐新世以来的海底扩张，巴拉望微陆块与南沙地块相继从华南陆缘裂离出来、向南漂移；与此同时，位于它们南侧的古南海向南俯冲于婆罗洲北部和卡加延海脊火山弧之下。在南海西南缘，南沙地块与婆罗洲北部碰撞的开始时间通常被认为是 20-19 Ma，而在东南缘，巴拉望微陆块与卡加延海脊发生弧陆碰撞的时间则存在着争议。为了限定弧陆碰撞开始的时间，我们对巴拉望中南部 Isugod 盆地中的同碰撞期沉积物(Isugod 组和 Alfonso XIII 组)开展了生物地层和物源属性两方面的研究。浮游有孔虫和钙质超微化石分析显示 Isugod 组和 Alfonso XIII 组沉积于晚中新世(11.5-5.6 Ma)。它们可对比于巴拉望西侧海域、不整合于巴拉望造山楔之上的 Matinloc 组。Isugod 组中的底栖有孔虫指示盆地底部发生了超过~500 m 的构造下陷，这可能是由造山楔在抬升过程中局部的重力坍塌所导致的。主微量元素、Nd 同位素、重矿物组合和碎屑锆石 U-Pb 年龄分析显示 Isugod 组和 Alfonso XIII 组的源区包括了变形抬升的被动陆缘层序（巴拉望造山楔）和仰冲于其上的弧前蛇绿岩套（巴拉望蛇绿岩套）。这指示造山楔和弧前蛇绿岩套的出露抬升（即弧前蛇绿岩套的仰冲上陆）发生于~11.5 Ma，提供了弧陆碰撞开始时间的上限。结合卷入巴拉望造山楔的最年轻被动陆缘层序 Pagasa 组的年龄（13.5 Ma，Luan and Lunt, 2022），巴拉望微陆块与卡加延海脊的碰撞开始时间可以很好地被限定为 13.5–11.5 Ma。这一时间晚于南沙地块与婆罗洲北部的碰撞时间，说明南海南缘的碰撞具有自西向东穿时变年轻的特征。这一时间也晚于南海扩张的结束时间（16–15 Ma），说明巴拉望的弧陆碰撞可能不是造成南海扩张停止的主要原因。

S18-O-8

南海洋盆中南断裂带的特征及成因：多波束测深和深反射地震资料的综合解释

邹松 [1*]，钟广法 [1,2]，张宝金 [2,3]，张如伟 [2,3]，耿明会 [2,3]，王利杰 [2,3]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* zousong@tongji.edu.cn

中南断裂带（ZFZ）是发育于南海洋盆中的一条大致呈 N-S 向分布的大型构造带，对南海的形成与演化具有重要影响。前人对该断裂带进行了大量研究，但各家对断裂带位置、走向、性质、活动时间及成因等方面的认识仍存在较大的分歧。本文基于多波束测深和二维多道深反射地震数据，对中南断裂带的特征及成因进行研究。在多波束地形图上，中南断裂带位于东部次盆与西南次盆之间，断裂带走向为 N8°W，长度约为 400 km，宽度介于 50-90 km 之间；中南断裂带的水深介于两个次盆之间，断裂带东西边界及内部发育 N0°-21°E、N18°-33°W、N30°-78°E 和 N55°-99°W 向的四组呈雁列式排列的线状正向地貌单元，依次解释为同向里德尔剪切（R 剪切）、次级同向剪切（P 剪切）、反向里德尔剪切（R’剪切）和次级反向剪切（P’剪切）。地震剖面上，中南断裂带的基底埋深和沉积层厚度较两侧的次盆更大；断裂带内发育最老层序为下中新统；早-中中新世，断裂带与两侧次盆之间各层序的地震相差异明显；晚中新世-第四纪，各层序虽然厚度上存在差异，但地震相大致相同。综合分析认为，中南断裂带是一个大致在早-中中新世（约 24-15 Ma）期间活动的转换断裂带。中南断裂带继承自早期东部次盆西部的边界走滑断裂，此后因东部次盆与西南次盆海底扩张方向不同，断裂带在 NNW-SSE 向的转换拉张应力作用下形成。中南断裂带停

止活动后，断裂带两侧次盆层序厚度的差异可能与物源供应有关。

S18-O-9

华南-巽他大陆东缘晚白垩世古地理：来自东北婆罗洲大洋板块地层的研究

曹立成[1*]，许迪[1]，Suzanna H.A. van de Lagemaat[2]，Junaidi Asis[3]，Eldert L. Advokaat[2]，Douwe J.J. van Hinsbergen[2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 乌特勒支大学，地球科学学院

3 马来西亚沙巴大学，科学和自然资源学院

* licheng.cao@gmail.com

古太平洋晚中生代俯冲于东亚陆缘的板块运动历史是重建其向新生代大陆边缘伸展体系转变的起点。在南海及婆罗洲地区，多个不同来源的微地块构成了复杂的构造拼贴带，其前新生代古地理重建的争议极大。在这些微地块中，巴拉望陆块的华南大陆起源和西-东南婆罗洲的冈瓦纳大陆起源已被广泛接受，但目前对东北婆罗洲的起源和演化仍了解甚少。马来西亚沙巴巴利奥宗地区出露完好的白垩纪大洋板块地层，由枕状玄武岩、层状硅质岩和碎屑浊积岩构成的多套逆冲岩片记录了古太平洋洋壳由洋中脊形成至海沟俯冲消亡的连续运动过程。本研究综合岩石学、地球化学、重矿物和锆石 U-Pb-Hf 同位素分析，确定巴利奥宗浊积岩的沉积时代和碎屑物源，以此来重建东北婆罗洲在华南-巽他大陆东缘的白垩纪古地理。初步研究，特别是锆石同位素信号的区域比较，表明该浊积岩可能在晚白垩世早期形成于巽他大陆东南缘，其主要物源来自白垩纪大陆弧和包含印支地块南部大叻-桔井带在内的更古老地块。在古太平洋持续俯冲过程中，多套浊积岩的沉积时代略有不同，其组成成分和年代学信号的变化主要受不同沉积环境和物源区差异供给的控制。

S18-O-10

深海盆区莫霍面特分布特征与南海形成演化的关系研究

耿明会[1,2]，张宝金[1,2*]，陈玺[1,2]，张如伟[1,2]，路允乾[1,2]，王利杰[1,2]，赵斌[1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，数据处理研究所

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

* zhangbaojinchg@163.com

莫霍面作为重要的深部构造界面，其形态特征反映了地壳深部构造特征，对海洋岩石圈深部结构，包括莫霍面的性质、上地幔的组成结构、壳幔物质循环以及深层动力学等有着重要意义。南海是边缘海形成演化研究的重要窗口，作为西太平洋最大的边缘海，其莫霍面深度起伏很大，莫霍面地震反射类型及埋深形态作为扩张痕迹与南海形成演化关系密切。我们利用南海深海盆区 12000 km 深反射地震，一共识别出 1850km 莫霍面清晰地震反射，主要集中于西北次海盆和东部次海盆南北两侧，并非连续的反射，而是断断续续的分布，呈现出“南北分带”的特征。从东部次海盆南北方向来看，随着磁条带年龄的减小，结晶洋壳厚度也减小，莫霍面反射振幅强度也逐渐减弱，总体呈现“老强新弱”特征，说明随着洋脊的跃迁，南海的扩张过程中岩浆供应越发不足，总体呈现减少的趋势。南海扩张期结束后，岩浆活动活跃导致西南次海盆及中间区域的珍贝--黄岩岛链附近未见明显莫霍面地震反射。

S18-O-11

被动陆缘陆隆区裂后埋藏火山及其岩浆运移系统特征：

来自南海西北部西沙地块的启示

王利杰[1*]，张如伟[1]，李付成[2]，刘胜旋[1]，姚永坚[1]，顾元[1]，卓海腾[3]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国科学院南海海洋研究所

3 中山大学

* wlje12345@163.com

火山活动在被动陆缘盆地普通发育。随着油气勘探的不断深入，越来越多位于近端带和强烈伸展区的火山结构及其下覆岩浆运动系统得到揭示，而陆隆或陆条区的火山活动及其岩浆运移系统研究相对较少。本研究利用钻孔、多波束、单波束和二维地震资料，研究南海陆隆区--西沙地块内裂后埋藏火山的规模、年龄、结构和空间分布。结果显示，早期中新世火山、在半地堑内形成规模和体积较小的火山锥群。中中新世火山一般形成大型火山区，沿裂谷断裂带喷发。中中新世，火山区以穹顶状结构为主，顶部和侧翼分布大量火山。在火山之下，相连的侵入岩席是孤立分布的，只在不同的深度上呈现出分散状分布。但火山下的岩墙较为发育，与下伏的小断层相连或延伸到地壳内部。火山与侵入体之间的联系表明，西沙地块内的浅层火成岩运移系统可能是以垂向岩墙为主。西沙地块的具有较厚的地壳（26-28 公里），之上有一个相对较薄的沉积层，为以岩墙为主的火成岩管道系统提供足够的岩浆压力。尤其是，地壳上部延伸的正断层和基底岩体中的裂隙为岩浆垂直输送的有效路径。该工作显示了被动陆缘陆隆或隆条区域的地壳结构，包括地壳厚度，先前存在的断层，非均质基底和沉积层，在控制火成岩管道样式和沿岩浆贫乏大陆边缘裂谷后火山系统的分布方面的重要的作用。

S18-O-12

T1 测线纵横波速度结构研究

程锦辉[1,3*]，赵明辉[1,2,3]，张佳政[1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 中国科学院大学

* jhcheng@scsio.ac.cn

马尼拉海沟俯冲带是欧亚板块和菲律宾海板块相互作用的产物，南海板块沿着马尼拉海沟向东俯冲到菲律宾海板块之下，本文研究对象 T1 测线东段自西向东经过减薄陆壳、马尼拉海沟、恒春海脊、北吕宋海槽（李家彪 等，2004），本研究力求通过更细致的震相识别和正反演速度模拟，获得马尼拉海沟俯冲带下方的深部速度结构特征，对地壳结构特征进行岩石物性分析和构造成因解释。

本文识别了 T1 测线东段 17 台 OBS 数据中来自地壳深部的震相，并根据拾取的纵波走时信息和多道反射剖面，利用射线追踪、走时拟合方法得到纵波速度结构正反演模型，相比于初至反演速度模型（Eakin et al., 2014），正演模型确定了莫霍面的反射震相及界面信息。纵波速度结构显示：（1）俯冲前缘地壳厚度为 10 -12km，提取的一维速度均位于减薄陆壳范围内，判断该区域为拉伸减薄的陆壳；俯冲板片厚 4-5 km，且一维速度在洋壳和减薄陆壳重叠的区域，推测俯冲下去的是洋壳；（2）减薄陆壳下识别到厚度为 2-3km 厚的下地壳高速体，速度为 7.0 -7.4 $km\cdot s^{-1}$，并向尖灭于马尼拉海沟下方；（3）增生楔下方识别到速度为 5-5.5$km\cdot s^{-1}$ 的块体，推测可能是上地壳物质刮削形成。

以纵波速度模型结果为基础，采用射线追踪、走时拟合正演得到横波速度结构。18 台 OBS 水平分量经过旋转得到径向分量和切向分量后，横波震相的识别结果显示，除了增生楔下方 OBS11 和 17 台站， 其余 16 个台站记录到了不同界面丰富的横波震

相信息，为横波速度结构模拟提供了很好的数据支撑。横波速度结构显示：（1）下地壳高速体的纵横波速比在 1.73-1.81，属于铁镁质岩浆岩，可能是岩浆底侵形成；（2）增生楔下块体纵横波速比为 1.78-1.81，可能是上地壳物质成分。

本论文通过纵横波速度结构分析马尼拉俯冲带在物质分布上的特征，识别和区别岩石类型、地壳性质。 T1 测线的纵横波速度模型的结果，填补了跨越马尼拉海沟俯冲带的二维测线横波研究的空白，为南海马尼拉海沟俯冲机制提供了新的约束。

S18-P-1

晚中生代花东海盆的岩石圈交代与回春作用

余梦明[1,3*]，黄奇瑜[2]，闫义[3]，Jonny Wu[4]，Jean-Claude Sibuet[5]，赵明辉[6]，钟广法[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院
2 成功大学，地球科学系
3 中国科学院广州地球化学研究所，边缘海与大洋地质重点实验室
4 休斯顿大学，地球与大气科学学院
5 法国海洋开发研究院（IFREMER），布雷斯特研究中心
6 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室
* mmyu@tongji.edu.cn

花东海盆及其东部和西部边界的地质样品揭示其为晚中生代洋盆的残留，然而花东海盆的速度结构和水深等地球物理参数却支持其为新生代西菲律宾海的一部分。值得注意的是，花东海盆是马尼拉海沟的上覆板片，是北吕宋岛弧的基底，理论上南海沿马尼拉海沟的俯冲作用势必对花东海盆岩石圈造成一定的改造。为探究花东海盆的洋壳年龄，针对花东海盆辉长岩洋壳样品深入开展岩相学、年代学、地球化学分析，揭示存在俯冲带岛弧岩浆对花东海盆岩石圈的交代改造，可能对应于南海的俯冲。花东海盆晚中生代岩石圈的后期交代改造能够有效缓和其岩石学证据与地球物理属性之间的矛盾，指示位于南海俯冲带上覆的花东海盆因岩石圈交代改造发生回春作用。

S18-P-2

南琉球海沟地震地层结构与沉积充填特征

黄蝌[1*]，钟广法[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院
* kehuang@tongji.edu.cn

海沟充填沉积的研究有助于深化我们对海沟形成与演化及有关板块俯冲过程的理解。本文基于多道反射地震剖面，结合海底测深资料，研究西菲律宾盆地西北部琉球海沟南段的地层结构和沉积充填特征，探讨从海沟充填到增生楔的演变过程及影响海沟沉积充填的地质因素。研究区海沟的水深介于 6150-6400 m，宽度 23-34 km。地震剖面上，海沟沉积充填主要表现为层状强振幅反射，解释为浊流沉积；内部发育大量下凹状反射，解释为侵蚀水道。海沟底部可见平行弱振幅反射，解释为俯冲前俯冲板块之上的半远洋沉积。局部海山斜坡部位见杂乱、透明反射，解释为海底滑坡。海沟沉积充填厚度约 910-2370 m（依据平均速度 2 km/s 估算）。不同部位海沟的宽度、沉积充填厚度变化较大。在高度逆冲变形的增生楔与未变形的海沟充填沉积之间的过渡带，变形程度由陆到海依次减弱，褶皱由紧密变舒缓，逆冲断层发育程度及幅度逐渐减弱。与同沉积褶皱和断层有关的生长地层揭示了海沟沉积充填及其向增生楔转变的过程。海沟沉积充填及其向增生楔的转变过程受俯冲板块上覆沉积层厚度、海山发育情况、同生背斜生长等影响。

S18-P-3

马尼拉俯冲带北段输入板块的三维 OBS 速度结构建模

张佳政[1*]，赵明辉[1,2]，程锦辉[1,2]，王星月[1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

* jzzhang@scsio.ac.cn

马尼拉俯冲带作为南海现今惟一的俯冲汇聚边界，是构成完整的南海威尔逊循环的端点。弧陆碰撞标志着一个海洋盆地在威尔逊旋回结束时的闭合，被认为是整个地质时期大陆生长的一个重要机制。晚新生代的吕宋岛弧与华南陆缘的斜向碰撞不仅造就了台湾岛的形成，而且还导致其初始碰撞带向南传播，暗示台湾岛南部海域的马尼拉俯冲带北段正处于初始碰撞造山阶段，其深部结构是揭示台湾岛造山带成因机制的关键线索。前人通过数条二维海底地震仪（OBS）测线研究发现，与传统的薄皮/厚皮构造模式不同，台湾岛可能是多阶段弧陆碰撞的结果，其中在早期碰撞阶段，南海东北部的减薄陆壳沿先存薄弱带“底辟增生”至马尼拉增生楔内部发挥着重要作用。

南海东北部的地壳属性是南海存在争议的热点问题之一，虽然前人的 OBS 和多道地震资料已经基本确定该区的减薄陆壳范围。但是，前人通过综合地球物理资料研究认为，南海东北部存在一条台湾转换带（TTZ），其两侧地壳的构造属性可能存在显著差异（Liu et al., 2018; 陈传绪, 2014; Sibuet et al., 2002）。这种横向差异性与马尼拉增生楔的高速内核在空间上是否存在关联以及存在怎样的关联？ 是否与马尼拉俯冲带 20°N 向海方向内凹而非外凸的海沟形态有关？解决这些问题的关键之一是探明 TTZ 两侧的深部地壳结构特征。

因此，本研究主要聚焦马尼拉俯冲带输入板块的三维深部地壳结构研究。基于 2016 年在巴士海峡区域采集的三维 OBS 深地震探测实验数据，我们利用改进后的 Upicker 软件对 15 台 OBS 垂直分量记录的所有初至走时进行了拾取，并利用初至波走时层析成像软件 FAST 进行了三维速度结构建模。目前已经完成三维反演参数选取、不确定性分析和分辨率测试，结果显示最佳阻尼系数为 3、平滑系数为 0.8 以及迭代次数为 5，速度模型中心区域具有较高的分辨率和较低的不确定性。这些工作为后续三维速度结构的解释打下了坚实基础。

S18-P-4S

马尼拉海沟北段增生楔地震速度特征初探

王星月[1,2]，赵明辉[1,2*]，张佳政[1,2]，程锦辉[1,2]，贺恩远[1,2]，刘欣悦[3]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 山东科技大学，地球科学与工程学院

* mhzhao@scsio.ac.cn

马尼拉海沟北段增生楔的结构、组成及形成过程可以为南海海盆的演化、洋-陆物质循环等过程提供重要的地质信息记录。本文以 2016 年在南海东北部部署的三维海底地震仪（OBS）深地震探测实验中的 Lx3 测线为研究对象来探究南海俯冲板片的性质以及增生楔的速度特征，该测线垂直于马尼拉海沟的走向，横跨马尼拉海沟、恒春海脊以及北吕宋海槽等构造单元，其下的深部结构能够真实地反映俯冲板片的形态特征。通过对采集的 Lx3 测线 OBS 数据进行原始数据格式转换、炮点及 OBS 位置校正、多道反射地震剖面处理、震相的识别与拾取以及 RayInvr 正演方法获得了测线下方的 P 波速度结构模型。模型表明 Lx3 测线数据质量整体良好，对南海减薄陆壳区域范围内的 Moho 面深度约束较好，地壳厚度为 12~15 km，且存在下地壳高速层。沉积层中的断层在速度模型中表现为低速特征，并在增生楔底部识别出了一个高速块体（4.8 km~5.5 km），推测该块体是在减薄陆壳俯冲到增生

楔底部时，上地壳顶部底侵到增生楔之下形成的，我们将其定义为上侵块体。在模型的160 km 处划分了速度差异边界，该边界左侧的速度结构特征为上地壳、下地壳和下地壳高速层；右侧为高速的上侵块体、上地壳和下地壳。

对（近）垂直于马尼拉海沟北段的 4 条多道反射地震剖面进行对比分析，结果显示由南到北与俯冲有关的结构逐渐消失，取而代之的是与弧陆碰撞相关的结构。如与板块弯曲有关的正断层逐渐消失，显示了由俯冲向碰撞的转变；增生楔的宽度和高度不断增加，推测是由俯冲到碰撞的持续过渡以及南海俯冲板片上地壳底侵到增生楔底部导致的。

S18-P-5

南海北部陆缘深部速度结构与洋陆转换带张裂-破裂机制探讨

袁野[1,2*]，贺恩远[2]，赵明辉[2,4]，张翠梅[2]，高金尉[3]，张佳政[2]，孙珍[2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

3 中国科学院深海科学与工程研究所

4 中国科学院大学

* yy@scsio.ac.cn

洋陆转换带（COT）是张裂陆缘陆壳和洋壳之间的过渡区域，其构造特征反映了张裂陆缘在破裂演化时期岩浆活动和构造运动的相互作用。南海北部陆缘是华南大陆向南海洋盆演化的关键地带，对研究南海由张裂、破裂到海底扩张的演化过程具有重要意义。地球物理探测和 IODP367/368/368X 航次表明，南海北部陆缘从陆到洋的转换过程十分迅速，发育狭窄的 COT，且地壳空间结构复杂，沿陆缘走向有明显的变化，需要开展进一步的深地震探测来进行研究。本文对 2018 年在南海北部陆缘 IODP 钻探区采集的一条 OBS 测线进行处理分析，结合高精度多道反射地震剖面和 IODP 钻井数据，通过正/反演方法获得了该条测线的纵波二维地震速度结构模型。模型结果显示，地壳厚度从减薄陆壳区的~12 km 逐渐减薄至 COT 的~7 km，然后到洋壳区域的~5 km。下地壳存在一个厚度~3 km，速度为 7.0-7.5 km/s 的连续高速层，从减薄陆壳一直延伸至 COT，由同张裂期的岩浆活动形成。基于速度结构、沉积层位和重磁异常特征，我们将 COT 的范围划分为 20 km。狭窄的 COT 记录了显著的构造-岩浆作用过程，以及从张裂晚期到海底扩张的快速转变，我们由此提出了南海北部陆缘的破裂演化模型，认为下地壳在张裂晚期发生了韧性形变，形成了极度减薄的陆壳，导致上地幔减压熔融，岩浆迅速出现，使得地壳破裂并迅速形成洋壳。

S18-P-6

多道地震数据揭示了智利北部平行海沟方向的缩短

马波[1*]，Jacob Geersen[2]，Dirk Klaeschen[3]，夏越洋[4]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 Kiel University,Institute of Geosciences

3 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel,Research Division 4: Dynamics of the Ocean Floor

4 中国地震局地球物理研究所

* bma@tongji.edu.cn

上覆板块内部结构、断层分布和范围对于确定地震危险潜力和理解俯冲带动力学过程至关重要。本研究综合叠前深度偏移剖面与海底地形数据，对智利北部 19-21°S 大陆边缘的复杂区域结构进行了全面分析。我们的结果表明，在大约 20°S 以南，三个上地壳高振幅反射在 W-E 方向上略向东倾斜，并在 N-S 方向上向北倾斜，表明这些反射是 NW-SE 方向的。而相应的反射在 ~20 °S 北

部向东倾斜。2014 年 Iquique 地震最大前震震源机制解的一支与上覆反射的走向一致，表明这些反射为逆冲断层。我们认为 20°S 以南的 NW-SE 趋势反射可能是由于板块边界呈凹形的斜向俯冲造成的，而 20°S 以北的向东倾斜反射归因于垂直俯冲。此外，上板块 NW-SE 反射区域与 2014 年 Iquique 地震一致，可能说明上覆板块对对地震向北传播起控制作用。

S19-O-1

太平洋板块重建：来自太平洋和中国东部的制约

孙卫东 [1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所，深海研究中心

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 中国科学院大学，海洋学院

* weidongsun@qdio.ac.cn

太平洋板块重建对于理解板块构造，揭示东亚晚中生代以来的构造演化具有重要的意义。但是现有的板块重建方案存在很大的争议，严重制约了相关研究的发展。争论的焦点在于太平洋板块与伊泽纳吉板块之间的洋脊位于哪里？其展布方向如何？太平洋板块俯冲对东亚大陆产生了什么影响？引起上述争论的关键在于现有的板块重建模型中没有考虑太平洋板块在早白垩世发生的旋转运动。本文利用最新的海底磁异常条带数据，结合太平洋岛链空间展布和中国东部地质演化，发现太平洋板块发生过大幅度的逆时针旋转。旋转发生在~125.93-110 Ma 之间，与昂通爪哇大火成岩省喷发同时。由于地幔柱头的上涌引起太平洋板块倾斜方向改变，太平洋板块由南西向漂移转为北西向漂移，此时地幔柱作用于太平洋板块的东南角，而其南西向俯冲的洋壳保持着原有的拖曳力，导致太平洋板块逆时针旋转了约 50°。转向所产生的巨大推力，同时形成了大地幔楔。在旋转前，太平洋板块与伊泽纳吉板块之间的洋脊的展布方向与现今残留的“日本磁异常线”（Japanese Lineation）方向之间有约 70°的交角，斜向俯冲到中国东部，形成了长江中下游成矿带、徐淮弧状构造和山东的花岗岩带，对华北克拉通破坏和燕山运动起到了关键的作用。在旋转之前，太平洋板块早侏罗世开始由北东向南西向华南陆块俯冲，先后形成了德兴斑岩铜金矿床、湘赣铅锌银矿和南岭钨锡矿等。在此过程中，伊泽纳吉板块一侧的俯冲尚未开始，与中国东部发生了强烈的挤压，形成了燕山运动 A 幕；太平洋一侧的洋脊俯冲到长江中下游地区，形成了大规模铜-多金属矿床。随后洋脊向北迁移，在徐淮地区向北西俯冲。俯冲板片后撤形成大地幔楔，俯冲板片中蛇纹岩脱水，导致华北克拉通 100 千米深处被水化，变为薄弱层，与作用于岩石圈底部的推力协同，导致了华北克拉通的破坏和克拉通破坏型金矿的产出。

S19-O-2

南大西洋中脊（18–21◦S）玄武岩成因和地幔不均一性浅析

刘维亮 [1,4,5*]，钟云 [2,5]，孙治雷 [3]，张旭 [1,4,5]，李伟 [1,4,5]，马尧亮 [1,4,5]，庞杰辉 [1,4,5]，廖星 [1,4,5]，闫驰 [1,4,5]

1 中山大学，海洋科学学院

2 广东工贸职业技术学院，测绘遥感信息学院

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

4 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室

5 海洋石油勘探开发广东高校重点实验室

* liuweil@mail.sysu.edu.cn

慢速扩张的南大西洋洋中脊地幔组成和 MORB 成因一直引起人们的关注。对南大西洋 18-21°S 玄武岩开展了全岩地球化学和 Sr-Nd-Pb-Hf-Fe 同位素以及橄榄石和斜长石矿物地球化学分析测试。玄武岩样品均

属于拉斑玄武岩并显示了 N-MORB 的地球化学特征，但一些样品显示了 Nb-Ta 负异常而另一些样品显示了 Nb-Ta 正异常，暗示了研究区 MORB 来源于一个不均一的地幔源区。这个地幔源区由亏损地幔 DM 和少量的 HIMU 以及富集型 EMII 组分混合。HIMU 组分可能起源于 St. Helena 地幔柱并通过“管状通道（pipe-like）”进入洋中脊， EMII 组分可能起源于再循环的变质洋壳，这个变质洋壳来源于在南大西洋裂解之前由其他地幔柱头部挤入次大陆软流圈所形成。同时，在该区域MORB成岩过程中，俯冲沉积物、陆壳和次大陆岩石圈地幔组分的贡献可能并不存在或极其有限。

S19-O-3

超慢速扩张洋中脊岩浆构造活动的远震指示

闫凯暄[1]，陈杰[2]，张涛[1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室

2 Université Paris Cité， Institut de Physique du Globe de Paris

* tao_zhang@sio.org.cn

洋中脊是全球海洋岩石圈的“诞生地”，其地震活动反映了岩石圈形成过程中的岩浆与构造活动。超慢速扩张洋中脊（全扩张速率低于 20 *mm yr*-1）岩浆构造活动呈现时空的强烈变化，相对更快扩张的洋中脊具有独特的地震活动性。本研究利用了国际地震中心（ISC）1990 至 2020 年的全球地震数据，对超慢速扩张的北冰洋加克（Gakkel）洋中脊和西南印度洋中脊（SWIR）进行了地震活动性分析，同时对比研究了慢速扩张的北大西洋中脊（NMAR）和西北印度洋喀斯伯格（Carlsberg）洋中脊。本文首先统一了震级单位，再通过对上述四段洋中脊距轴 35 km 内震级超过 4 级的地震事件进行单链聚类分析，使地震在时间和空间上建立链接，识别地震在时空上的聚类（即地震簇）。排除余震序列后，对于超慢速扩张洋中脊，在 7300 km 的洋中脊上确定了 41 个具有 8 个及以上地震事件的地震簇；对于慢速扩张洋中脊，在 9300 km 的洋中脊上确定了 40 个地震簇。研究发现超慢速扩张洋中脊地震簇主要（80%）发生在岩浆供给较强的二级洋脊段的中心附近，可能是岩浆侵入或者火山喷发引起，相比慢速扩张洋中脊存在许多大规模地震簇。非簇型地震事件约占总体的 80%，这种类型的地震可能由构造活动引起，地震的分布反映了超慢速扩张洋中脊的区域岩石圈热状态。

S19-O-4

洋脊-地幔柱相互作用的岩石地球化学记录及其地质意义

郭鹏远[1*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* guopy@qdio.ac.cn

经典的地幔柱理论假设可以很好地解释海山链火山喷发时间和喷发的空间距离（时空分布）呈线性分布的现象（如：Morgan，1971，1981），比如：夏威夷-皇帝海山链。但是一些海山链的时空分布并不呈线性分布，比如：南太平洋的 Pukapuka 海脊（Sandwell 等，1995），用经典的地幔柱假设模型不能很好地解释其成因。因此，对这些时空上呈非线性分布的海山链的成因还有待于深入研究。近些年有数值模拟工作的相关报道（Ballmer 等 2013；Pang 等, 2023），但是对这种类型的海山链缺乏地岩石地球化学研究。本文我们以南太平洋 Pukapuka 海脊玄武岩（Janney 等，2000）和东太平洋隆起（EPR）13-23°S 玄武玻璃（Sinton 等，1991；Mahoney 等，1994）为研究对象，从岩石地球化学的角度揭示非线性分布的火山链的成因。我们的地球化学研究结果揭示，

Pukapuka 玄武岩地球化学组分在空间上呈现了自西向东系统性变化，反映了地幔柱物质向洋脊流动过程中不相容元素、Sr-Nd-Pb-Hf 同位素以及重 Fe 同位素富集的易熔组分逐渐减少的过程，即地幔柱-洋脊相互作用（Niu & Hékinian, 2004）。此外，我们还发现，Pukapuka 海脊与 EPR ~13-23°S 相交的 EPR~17-~19°S 洋脊玄武岩也显示了显著的富集物质贡献的特征。这些玄武岩的组成在经向和纬向上的空间变化均指示了区域上存在强烈的地幔柱-洋脊相互作用。研究表明，由于洋脊的吸附作用，地幔柱物质会向洋脊方向运移（Niu & Hékinian, 2004）。在地幔柱物质运移过程中，会发生减压熔融产生玄武质熔体，喷发产生时空上非线性分布的海山链。随着富集物质的逐渐抽离和消耗，喷发的 Pukapuka 玄武岩越来越亏损直至与 EPR~17-~19°S 洋脊相遇，导致中段的~17-~19°S 玄武岩玻璃相比于 EPR~13-23°S 北段和南段洋脊玄武岩更富集不相容元素和放射性同位素。因此，我们认为时空上呈非线性分布的海山链是远离洋脊的地幔柱和洋脊相互作用产生的。除此之外，我们认为地幔柱-洋脊相互作用还导致了 EPR~17-~19°S 地区太平洋板块上诸多地质地球物理的异常（Forsyth 等，1998），包括海山分布、剪切波各向异性、布格重力异常、地震波波速异常、电导率异常等。

S19-O-5

西北太平洋 SHATSKY 海隆深部岩浆演化过程：来自矿物学的启示

朱恒睿[1]，吴涛[1*]，陈双双[2]

1 浙江大学，海洋学院

2 中山大学，地球科学与工程学院

* taowu@zju.edu.cn

位于西北太平洋的 Shatsky 海隆是全球第三大洋底高原，其中位于南部的 Tamu 火山是其重要的组成部分，也是世界上最大的火山。作为深海盆地中最显著的大火成岩省之一，Shatsky 海隆在早白垩纪爆发了大规模的岩浆活动并形成了远大于正常洋壳厚度的地壳（>30km）。玄武质熔体在地壳内从深部岩浆房迁移至地表喷发的过程中会不断地发生分离结晶作用，而在这个过程中结晶的各种矿物（如橄榄石、斜长石和单斜辉石）则会记录不同深度岩浆房的垂向运输和储存的过程。

本文基于 ODP198 航次 1213B 钻孔和 IODP324 航次 U1347 钻孔，通过矿物压力计发现在 Shatsky 海隆的 Tamu 火山下方存在至少 2 个岩浆房，同时通过辉石等矿物学工作有效识别出在 U1347 钻孔内至少存在 2 个岩浆旋回。每一个岩浆旋回在矿物学上都遵循有序的喷发规律：先喷发 Mg# 高（72.6~84.7）、结晶温度和压力高的辉石，再喷发 Mg#低（69.5~82.3）、结晶温度和压力低的辉石，最后发生短暂的岩浆静谧期。在整个岩浆喷发的最后，有序的岩浆旋回喷发模式会转变为混乱无序的岩浆喷发模式：喷发的辉石 Mg#分布散乱（60.7~81.7），结晶温度压力也无明显趋势。

为解释以上现象，本文利用 ReversePetrogen 程序反演了 1213B 和 U1347 钻孔的原始岩浆成分，并利用 MELTS 软件模拟了原始岩浆从深部岩浆房上升过程中发生分离结晶的路径，我们发现斜长石的初始结晶温度为 1208℃，密度为 2.68 g/cm^3，单斜辉石的初始结晶温度为 1246℃，密度为 3.21 g/cm^3，二者初始结晶深度均位于深部岩浆房内，残余熔体的密度维持在 2.69~2.72 g/cm^3。因此辉石先发生分离结晶并沉在熔体底部，随后斜长石结晶并漂浮在熔体上部，这与辉石中未发现明显的 Eu 负异常相吻合。结合前人主微量元素和同位素的相关证据，我们推测在 Tamu 火山的深部岩浆房由于受到地幔柱影响而持续对浅部岩浆房产生岩浆供应及浅部岩浆房此时广阔的晶粥体活化空间是发生有序的岩浆旋回喷发的前提，但到了岩浆喷发后期由于浅部岩浆房的晶粥体活化空间减少，一旦有新岩浆涌入便会“一触即发”——陷入混乱无序的喷发状态

直至整个火山趋于死亡。本研究对地壳厚度达 30km 的 Shatsky 海隆深部岩浆演化过程进行了重新认识，这对于我们了解地幔柱和大火成岩省深部岩浆演化过程具有重要意义。

S19-O-6

剪切型火山型被动陆缘的发育演化过程

关慧心[1*]，Mansour M. Abdelmalak[2]，徐敏[1]，Laurent Geoffroy[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 University of Oslo

3 Université de Bretagne Occidentale

* huixinguan@scsio.ac.cn

大陆张裂时的拉张方向与裂谷中心轴的正交方向之间的夹角通常用来指示被动陆缘的倾斜度。全球约 80%的被动大陆边缘的张裂方向与陆缘方向存在一定的倾斜角度，超过 70%的被动陆缘的倾斜角度超过 20º。物理模拟和数值模型的结果均表明，倾斜的被动陆缘对大陆张裂的过程存在一定促进作用。在非火山型被动陆缘地区，其倾斜度通常是根据大陆张裂过程中的应力分布变化和应变分配模式来进行研究。然而，在火山型被动陆缘，剪切型被动陆缘的形成过程和被动陆缘的发育演化过程仍不清楚。

格陵兰西部陆缘覆盖着大量向海倾斜反射层结构，属于典型的火山型被动陆缘。位于该陆缘的 Svartenhuk Halvø、Nuussuaq 和 Disko 地区均覆盖着楔形的向海倾斜的溢流玄武岩，属于内缘型的向海倾斜反射层结构。其中后两个地区在形成过程中，陆缘的方向与同岩浆期大陆伸展的方向(~N070ºE)存在 33°的夹角，是典型的剪切型火山型被动陆缘的结构。

本研究基于卫星遥感数据、野外观测数据和多道反射地震数据分析了格陵兰西部 Nuussuaq 陆缘上向海倾斜反射层的三维精细内部结构，揭示了该地区剪切型火山型被动陆缘的发育演化过程。结果表明，该地区向海倾斜反射层的发育可以分为两个阶段。第一阶段（晚古新世），该地区的伸展可以分解为走滑和倾滑两个部分，主要形成了南北走向的向陆倾斜的断层。第二阶段（早始新世），Nuussuaq 地区的局部应力场发生了重新定向，主要形成了东北-西南走向的向陆倾斜的断层。该地区被动陆缘的倾斜度主要受到两个因素的影响：（1）Nuussuaq 陆缘西部的 Itilli 断层被重新激活；（2）大量的岩浆侵入地壳，在大陆边缘产生了与被动陆缘垂直的压力场，影响了局部的应力分配。

S19-O-7

南海陆缘-海盆演化过程中的岩浆作用

孙珍[1*]，曾程辉[1]，朱筱曦[1]，张哲[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* zhensun@scsio.ac.cn

岩浆既是构造作用的产物，也是推动多圈层构造演化的载体，因此开展构造过程中岩浆作用的研究，对于更加准确的理解地质演化方式和过程具有重要意义。南海新生代的发育演化诞生在中生代俯冲增生背景之上，是西太面积最大、构造现象最丰富、研究程度最高的边缘海。通过对白垩纪以来南海陆缘及海盆中构造和岩浆活动特点的研究，可以帮助我们揭示边缘海不同于典型被动大陆边缘的特点。联合运用地球物理和地球化学方法，我们对南海陆缘及海盆中中生代以来的岩浆作用进行了定量的统计和分析，发现：南海陆缘在白垩纪期间主要表现为受俯冲作用影响的伸展与挤压抬升共存的阶段，华南陆缘的花岗质岩浆活动与靠近洋盆的基性岩浆活动皆指示了俯冲导致的伸展构造背景，晚白垩纪以后南海逐渐转入中-基性至基性岩浆活动为主的阶段。伴随陆缘强烈减薄，岩浆底侵至地壳底部形成下

地壳高速体，并改变了地壳流变性质，导致破裂前后陆缘发生了明显的韧性伸展和岩浆主导的破裂过程。同扩张岩浆增生过程主要分为两个明显差异的阶段，T60 以前岩浆量较多，T60 之后岩浆量明显下降，但与全球大洋相比，南海整个扩张历史中岩浆量都表现出偏高特征，推测与边缘海地幔中水和碳含量高有关。裂后岩浆活动表现出东北早，西南晚，源区温度高特征，5 Ma 以来岩浆活动与地幔速度异常对应，推测受到地幔热点影响。总之，南海新生代演化的各个阶段，岩浆量始终比典型被动大陆边缘更充沛，且地幔早于地壳发生薄化破裂，推测与早期的俯冲作用导致岩石圈破坏和地幔成分异常等因素有关。

S19-O-8

刚性地块对洋中脊渐进式传播的影响

卿佳容[1]，廖杰[1,2,3*]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省重点实验室

3 广东省地球动力学与地质灾害重点实验室

* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

大陆张裂到海底扩张是板块构造理论中的重要组成部分，前人研究表明当二者沿走向均不同步发生时，洋中脊常呈渐进式传播。南海作为西太平洋地区最大的边缘海，是洋中脊渐进式传播的典型实例。板块重建模型 (Briais et al., 1993; Sibuet et al., 2016) 显示，早期南海洋中脊向西传播被西沙地块阻碍，晚期洋中脊传播横穿中沙、礼乐等地块。虽然前人研究为我们理解刚性地块和洋中脊传播提供了重要认识(Ding & Li, 2016; Sun et al., 2009)，但是对于刚性地块如何影响洋中脊渐进式传播依然缺少更系统的研究。为此，我们建立了刚性地块阻碍洋中脊传播的三维模型，并量化了刚性地块的岩石圈厚度、刚性地块的下地壳流变学强度和伸展速率三个参数的影响作用。我们的模型结果表明：(1)刚性地块的岩石圈厚度直接影响了洋中脊的传播方式，随着岩石圈变厚，洋中脊不能穿过刚性块体，只能绕过它们；(2)刚性地块的下地壳流变学强度和伸展速率对洋中脊传播影响较小，其中高伸展速率会放大强度的影响，使洋中脊更容易沿块体边缘进行传播；(3)我们的模型结果可以解释南海、北大西洋和其他地区洋中脊与刚性块体的形态和运动学特点。

S19-O-9

发育大洋斜长花岗岩的南海管事平顶海山研究进展及下一步调查建议

张伙带[1*]，吴婵[1]，汪俊[1]，姚永坚[1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* z183514387@126.com

管事平顶海山位于南海东部次海盆残余扩张脊上，长 65km，宽 34km，面积 310 km^2，山顶水深 460m，基座水深 4250m。2012 年，广州海洋地质调查局 1：100 万区域地质调查在该海山拖网发现岩石样品一块。广州海洋地质调查局与中山大学钟立峰研究员合作，分析发现其为罕见的 MORB 型大洋斜长花岗岩，$^{40}Ar/^{39}Ar$ 分析结果表明其年龄为 28-32Ma，远老于其洋壳基岩磁条带推测的年龄。

针对该海山异常岩石地球化学特征，2022 年，通过对该样品进行了密度测试，发现该样品密度高达 2.9g/km^3。同时对经过该海山的重力测线进行了分析，发现该海山空间重力异常高，值为 185-190mGal，模拟密度显示其可能为南海海山中密度最大的海山。另外，对经过该海山的地震测线进行了速度分析，发现该海山浅部存在高速异常。新的结果进一步证实了该海山的异常，并进一步推测该海山可能是由高密度的深部地壳物质组成，大洋斜长花岗岩可能由辉长岩部分熔融形成，经过构造作用剥露至海底，

可能是南海深部地壳和莫霍面钻探的潜在优选区。本文推测，在该海山开展更多的拖网调查应该能发现更多的大洋斜长花岗岩，甚至还可能会发现辉长岩。但是这一推测需要进一步的调查和研究工作支撑。

S19-O-10

西太平洋雅浦岛的 OIB 型变质底板记录卡洛琳板块的起始俯冲过程

张吉[1]，张国良[1*]

1 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心

* zhangguoliang@qdio.ac.cn

西太平洋伊豆小笠原-马里亚纳-雅浦-帕劳岛弧构成了菲律宾海板块、卡洛琳板块与太平洋板块之间的汇聚型板块边界。其中，西太平洋雅浦岛弧（Yap Arc）最为特殊，研究程度也最低。雅浦岛弧北部与马里亚纳岛弧、帕里西维拉残留扩张中心相连，东侧正在遭受卡洛琳洋底高原的俯冲。卡洛琳洋底高原的俯冲、碰撞造就了雅浦岛弧与相邻的马里亚纳岛弧显著不同的演化历程。与其它火山岛弧不同，雅浦岛弧是西太平洋一个广泛出露变质岩的岛弧。雅浦岛弧保留了起始俯冲的俯冲带形态和岩石类型，是揭示卡洛琳板块的俯冲起始过程的关键位置。根据雅浦岛变质岩（主要为绿片岩和角闪岩）的地球化学分析结果，雅浦岛基性变质岩的原岩可分为两组：高镁的钙碱性玄武岩和低镁的拉斑玄武岩。两组样品的微量元素组成均表现出 OIB（洋岛玄武岩）型的富集特征：富集 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等高场强元素；富集轻稀土元素，轻稀土与重稀土的分馏程度较高（La_N/Yb_N＞3.3）；同时，雅浦岛基性变质岩的 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素组成与卡洛琳洋底高原的拉斑玄武岩极为相似。因此，雅浦岛的变质岩的原岩很可能来源于俯冲的卡洛琳洋底高原。传统矿物温度压力计和相平衡模拟的计算结果表明，雅浦岛的变质岩形成于初始阶段的热俯冲环境（地温梯度＞30 ℃/km），记录了俯冲的卡洛琳高原在折返阶段的由角闪岩相至绿片岩相退变质过程。金红石、榍石 U-Pb 定年和角闪石 K-Ar 定年的结果表明，雅浦岛的变质岩形成于约 22Ma，指示了卡洛琳板块的俯冲起始时间。因此，综合矿物学、地球化学和年代学结果，我们认为雅浦岛变质岩形成于卡洛琳板块起始俯冲和折返的地质过程，代表了卡洛琳板块俯冲、折返的变质底板。卡洛琳板块俯冲起始过程中形成了角闪岩/绿片岩相变质底板，后续的俯冲侵蚀引起变质底板的折返，并拼贴于初始雅浦岛弧弧前区域。

S19-O-11

东北太平洋不成熟的转换边界：来自海底地震学的约束

Yu Ren[1*]

1 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

* yren@geomar.de

The Blanco transform fault system (BTFS)in theNEPacific acts as a natural laboratory to yield processes governing the development of transform faults. We used one year of ocean-bottom-seismometer data and high-resolution multibeam bathymetry, aeromagnetic, and gravity datasets to studythe tectonic evolution of the BTFS. Interestingly, there isno evidence for the existence of either transform faults or fracture zonesbefore 2 Ma, supporting that there were no discretetransform faults before the initiation of the BTFS. We therefore suggest that the BTFS developed from two broad transfer zones instead of pre-existing transform faults. Furthermore, our local seismicity catalog supports substantial along-strike variations, indicating different slip modes in the eastern and western BTFS.

Seismic slip vectors suggest that the eastern BTFS is a mature transform fault system accommodating the plate motion, while the western BTFS is immature as its re-organization is still active.

S19-O-12

IODP U1502B 钻孔高温蚀变玄武岩的锂同位素特征及对南海初始扩张期热液流体循环的指示

田丽艳 [1*]，刘红玲 [1,2]，吴涛 [3]，高金尉 [1]，沈晨曦 [1,2]

1 中国科学院深海科学与工程研究所
2 中国科学院大学
3 浙江大学，海洋学院
* lytian@idsse.ac.cn

锂同位素体系在水-岩相互作用中是灵敏的示踪工具，然而关于其在洋壳高温蚀变过程中的应用及同位素分馏影响因素的认知仍然较为模糊。本研究对国际大洋发现计划（IODP）U1502B 钻孔高温蚀变玄武岩的 Li 同位素组成及其在洋壳中的分布开展了系统研究，发现其高 Li 含量（4.8～11.6ppm）和轻 Li 同位素组成（−3.8～+1.4‰）受蚀变环境水-岩比值和次生矿物沉淀控制。其中，极轻的 δ^7Li 值是高温蚀变过程中玄武岩的绿泥石化所导致，而钻孔上部的 Li 富集指示了后期海水注入的影响。随取样深度增加，蚀变玄武岩的 Li 含量和 δ^7Li 值逐渐趋向新鲜 MORB，表明蚀变程度随着与水-岩反应界面的距离增加而减小。此外，蚀变玄武岩的 Li 同位素特征指示 U1502B 钻孔的热液流体循环经历了一个较为完整的演化过程，蚀变流体以高温热液为主且含有少量海水。

S19-O-13

南海的温度场、莫霍面深度与岩石圈有效弹性厚度

李春峰 [1,2*]，黄亮 [1]，李志康 [1]，温永林 [1]

1 浙江大学，海洋科学系
2 浙江大学，海南研究院
* cfli@zju.edu.cn

南海构造环境复杂，海盆内海山规模不一，重磁异常为约束岩石圈尺度的南海海盆结构提供了重要途径。为了探究南海岩石圈强度的影响因素及其与海山演化的联系。本文利用 Parker-Oldenburg 法计算得到地壳密度分布并结合基于小波变换的导纳法计算南海岩石圈有效弹性厚度(简称 Te),提高了计算结果的准确度和分辨率。南海大洋岩石圈 Te 整体较小,分布在 0~16 km 范围内。南海 Te 与居里点深度和热流点相关性高,说明岩石圈强度受温度结构影响强烈,海山 Te 值与海山加载时岩石圈年龄未表现出相关性,表明岩浆活动等热异常会削弱岩石圈强度。南海区域莫霍面显示显著的横向变化不均一性，反映了区域温度场、扩张速率、构造背景等方面的差异。

S19-O-14

北冰洋超慢速 MOHNS 洋脊的地形与洋壳结构变化及其影响因素

张一诺 [1,2]，张帆 [1,3,4*]，张旭博 [1,3,4*]，张涛 [5]，周志远 [6]，张江阳 [1,3,4]，林间 [6]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室
2 中国科学院大学
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
4 中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会，中国-巴基斯坦地球科学研究中心
5 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底

科学重点实验室
6 南方科技大学海洋科学与工程系
* zhangfan@scsio.ac.cn
* xbzhang@scsio.ac.cn

Mohns 洋中脊是位于北冰洋 71°N~74°N 之间的超慢速扩张洋中脊，其全扩张速率约为 15-17mm/yr。本研究首先利用多波束海底地形数据，在沿 Mohns 洋中脊扩张方向的 17 个洋脊段，抽取了共 329 个平行剖面（间距≤2km），计算了脊轴深度并识别出正断层。通过计算断层水平断距与剖面长度的比值，得到了板块扩张过程中的岩浆贡献比例 M 值。沿 Monhs 洋中脊,脊轴深度在从南端起约 350 km 范围内逐渐从 0.2 km 逐渐增大到 0.8 km，而北部变化趋势不明显，在 0.4 - 1.0 km 之间波动；M 值变化范围为 0.44-0.70，平均值为 0.59，总体略高于其他超慢速洋中脊。然后，通过重力数据反演，得到了 Mohns 洋中脊的分段平均洋壳厚度。沿 Monhs 洋中脊,洋壳从南到北逐渐减薄，反映了沿洋中脊岩浆供应量呈逐渐变少的趋势。此外，M 值在洋脊从南侧起约 300 -400 km 范围内，与洋壳厚度呈正相关关系，而在北部相关性不明显。本研究推测，Mohns 洋中脊的 M 值与洋壳厚度变化可能与位于 Mohns 洋中脊南侧的 Jan Mayen 热点及转换断层有关。为了定量约束 Jan Mayen 热点的性质和转换断层对热点-洋中脊相互作用的影响，本研究利用 ASPECT 软件建立了三维地球动力学模型，模拟地幔流场和温度结构,并估算了洋脊的地形和洋壳厚度变化。最后，通过对比模型与地球物理数据分析得到的结果，本研究认为：1） Jan Mayen 热点的直径变化范围为约 75-100 km，温度异常约 100 ℃，对 Mohns 洋中脊地形与洋壳结构的影响范围约为 300-400 km；2）发现 Jan Mayen 转换断层主要影响了其附近洋脊段的地形与洋壳厚度，而热点对洋脊的影响距离几乎没有受到转换断层的影响。

S19-O-15

大西洋赤道区域 ROMANCHE 转换断层岩石圈的低波速比异常研究

于志腾 [1,2*]，Satish C. Singh[3]，Marcia Maia[1]

1 法国 Geo-Ocean 实验室，UMR6538, CNRS-Ifremer-UBO-UBS
2 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室
3 法国巴黎地球物理学院
* ztyu@sio.org.cn

巨型大洋转换断层不仅分隔两端的洋中脊，也能够引起岩石圈结构的变化，影响转换变形区（ridge-transform intersection，RTI）的地壳增生过程，但转换变形区的深层结构仍然未知。本研究利用海底地震仪阵列记录的微地震到时，对赤道大西洋 Romanche 转换断层东末端和大西洋中脊交汇处的转换变形区进行三维地震层析成像，结果表明，沿着 Romanche 转换断层和破碎带，在 0-15 km 深度的地壳和地幔中，发现了异常低的 Vp/Vs 比，约为 1.6-1.7。而在海底广泛发育的橄榄岩理论上支持 Vp/Vs 比应大于 1.7。本研究提出，地壳中异常低的 Vp/Vs 比是由厚的裂隙造成的；而地幔中的低波速比异常则是受到了斜方辉石的富集和岩石各向异性的共同作用。

S19-O-16

南海洋中脊玄武岩镁同位素地球化学特征及其指示意义

洪一荻 [1]，吴涛 [1,2,3*]，李春峰 [1,3]，陈雪刚 [1,3]，鲁江姑 [2]，顾海欧 [4]，徐荣 [5]

1 浙江大学，海洋学院
2 自然资源部海底科学重点实验室
3 浙江大学，海南研究院

4 合肥工业大学，资源与环境工程学院
5 中国科学院地球化学研究所
* taowu@zju.edu.cn

南海地处欧亚、太平洋和印度-澳大利亚三大板块的交界处，是认识海洋与大陆岩石圈板块相互关系的理想场所。国际大洋钻探计划 IODP 349 航次首次获得了南海的基底洋中脊玄武岩样品。前人研究表明，南海的上地幔地幔不仅在全岩 Sr-Nd-Hf-Pb 等放射性同位素方面呈现高度不均一性，也在 Fe-Mg 等金属稳定同位素方面表现出较大的差异。为了探索这些同位素不均一性的机理，本文对南海海盆残余洋脊附近的 U1431、U1433、U1434 三个站位 18 个玄武岩样品进行了镁同位素分析。结合前人已发表的数据，发现这些玄武岩镁同位素组成存在差异：U1431 站位中高 MgO 含量（>9 wt.%）的样品通常具有较平均地幔偏低的 δ^{26}Mg 值，U1433 站位的 δ^{26}Mg 值则相对平均地幔值偏高，U1434 站位的样品更接近平均地幔的 δ^{26}Mg 值。

我们对造成不同站位玄武岩 δ^{26}Mg 值差异的原因展开了讨论，发现海水蚀变等浅部地质过程对样品的 Mg 同位素分馏并无影响，与部分熔融程度有关的元素比(如 La/Yb)也与 δ^{26}Mg 值变化无明显关联。利用 ReversePetrogen 计算的原始岩浆成分显示，U1431 玄武岩的源区更可能是正常的橄榄岩地幔而非辉石岩，因此源区岩性也不是造成其低镁同位素的原因。排除以上影响后，将目光聚焦于地壳岩浆过程，发现在低 δ^{26}Mg 值的 U1431 样品中存在大量的橄榄石斑晶。南海玄武岩经历了橄榄石和单斜辉石的分离结晶，前人研究表明橄榄石具有较轻的 Mg 同位素组成。结合样品的高 MgO(>9 wt.%)含量，和 MgO 与 δ^{26}Mg 值的关系，我们认为，U1431 玄武岩中的低 δ^{26}Mg 值很可能是受到橄榄石堆晶的影响，而非地幔源区的影响。此外，U1433 站点玄武岩的 Ce/Pb 值与 δ^{26}Mg 值呈现的相关性表明其变化可能与下地壳物质加入有关。

由于 U1431、U1433 和 U1434 站位均代表了南海结束扩张时喷发的 MORB 样品，为探究在南海的扩张及演化过程中地幔柱是否参与作用，我们结合南海初始扩张时（U1500 站位）的 MORB 样品，通过计算南海演化玄武岩的地幔潜热（T_p），与全球 MORB 数据进行对比，发现本文所涉及的样品没有呈现出热异常，因此，在南海打开和扩张的过程中地幔柱的贡献可能有限。

S19-O-17

南海西南次海盆跨龙门海山地壳结构：对张-破裂机制、慢速扩张脊和地幔活动的启示

江文彬 [1]，王利杰 [1*]，李福元 [1]，刘斌 [1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，数据处理研究所
* wlje12345@163.com

被动大陆边缘的张-破裂过程是大陆裂解到洋盆打开的重要方式，是地球构造演化过程中一个重要环节，其过程常伴随着强烈的岩浆活动和构造作用。洋陆过渡带和洋盆的地壳结构是揭示张-破裂过程中的构造-岩浆演化的关键。本文对南海西南次海盆跨龙门海山同测线采集的深反射多道地震数据和宽角折射地震数据进行联合处理解释，获得深反射剖面和纵波速度成像结果。磁异常数据显示南北两侧洋陆过渡带均呈现明显长波长正磁异常和同张裂海山，表明下地壳存在岩浆底侵，同时岩浆沿断裂上升至海底形成海山。同时，南部洋陆过渡带范围大于北部。北部洋陆过渡带区域存在较强的 PmP 莫霍反射震相，其上存在最厚约 2 km，纵波速度范围为 7.2-7.5 km/s 的下地壳高速体，推测为岩浆底侵成因；其下则存在大范围纵波速度为 7.5-8.0 km/s 的上地幔低速体，推测为蛇纹石化成因。而南部洋陆过渡带区莫霍反射震相缺少，壳幔过渡带存在大范围 Vp<8.0 km/s 的区域，推测壳幔边界速度异

常体以地幔蛇纹石化为主。现今普遍的认识是西南次海盆扩张期扩张速度慢、地壳较薄、断裂发育，上地幔橄榄岩与海水接触而发生蛇纹石化作用。西南次海盆北侧洋陆过渡带区域的多道地震剖面上揭示了大规模岩浆侵入形成的基底隆起，而南侧洋陆过渡带区域岩浆规模较小，地壳结构以掀斜断块为主，表明西南次海盆共轭陆缘岩浆活动的不均一性。南北洋陆过渡带的不同组成暗示了西南次海盆的不对称扩张过程。通过深反射剖面和纵波速度得到的成熟洋壳厚度约为 4-6 km，莫霍面附近速度范围为 7.2-7.5 km/s，反映了海底扩张后的岩浆补充作用。残留洋中脊区域龙门海山上地壳浅层表现为低波速特征(Vp< 3 km/s)，与火山碎屑岩速度(2.8 ~ 3.2 km/s)接近。尽管龙门海山的水深远远超过压力补偿水平的深度，因而前人认为龙门海山为蛇纹泥火山。然而，在北冰洋超低速扩张 Gakkel 洋中脊的 4 km 水深处发现了大规模的火山碎屑活动，表明在压力补偿水平以下可能发生爆裂性火山活动。因此，龙门海山上地壳浅层低速层可能代表蛇纹石化泥火山或火山碎屑岩。龙门海山的组成尚需通过地质采样进一步确认。

S19-O-18

南海西南次海盆扩张年龄和扩张岩浆供应特征

邱宁 [1]，孙珍 [1*]，林间 [1]，李春峰 [2]，徐行 [3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 浙江大学，海洋学院

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* zhensun@scsio.ac.cn

南海作为新生代处于欧亚板块、太平洋板块和印度-澳大利亚板块相互作用的交汇区，在这种复杂的地球动力学环境中，南海形成了丰富地质构造现象以及陆架、陆坡、深水环境等多种构造单元，是海底扩张、板块运动、扩张脊跃迁、边缘海形成演化理论等国际前沿热点研究的绝佳场所，更是我国重视海洋事业、走向深海科学研究的首选研究对象，备受国内外学者的关注。

识别磁条带连续记录的不同时期地磁极性倒转，与标准地磁极性年代对照，可以推断出海底扩张历史。然而，南海西南次海盆由于很多因素，如较厚沉积覆盖洋壳信号微弱、低纬度斜磁化影响、较窄间隔磁条带相互干扰、扩张后构造活动等，导致海盆扩张速率和扩张岩浆机制仍存在不确定性和争议。

我们使用高分辨率的近海底深拖磁测数据，结合多道反射地震等资料,识别出该区磁条带存在更多小的磁极倒转事件，并与船磁和航磁数据分析对比，结合 IODP 钻井资料约束，确定了西南次海盆的扩张年代为 21-15 Ma (C6A - C5B)，获得更精确的海盆全扩张速率 26-46 mm/yr，并发现海盆扩张从对称向不对称转换等特征。进一步通过分析粗糙度与扩张速率规律，给出了中速扩张海盆与同扩张岩浆供应的新模型。

（1）精确分析地磁极性倒转模型和扩张率。南部和北部地区极性倒转模型之间的比较显示出一些共同的相似之处。首先，主要极性特征是一致的，也就是说，两个模型都记录了从 C6A 到 C5B 期（从 21 到~15 Ma）。半扩张速率为 13 至 23 mm/yr，平均半扩张率约为 18.5 mm/yr。

（2）慢速扩张海盆的扩张非匀速和不对称性。对海面和深拖观测磁异常特征的比较表明，来自海面磁异常的磁倒转模型与 GPTS2012 的主要事件相匹配，而来自近海底深拖磁异常的数据表明小倒转事件和关于地磁极性活动的更详细信息。例如，南段中距离轴 20 km 处的海面磁异常仅显示一个峰值，这在 GPTS2012 中被确认为 chron C5Cn 的主要事件，尽管近海底深拖曳磁异常同一位置的三个小峰值可以被识别。

（3）海盆同扩张岩浆供应特征。新模型研究结果表明，相比同等扩张速率的洋盆，西南次海盆具有更低的粗糙度。结合 OBS 实地探测数据，指出西南次海盆的岩浆供给高于正常水平，认为扩张脊南部板片的粗糙度可能受断块影响，而北部板片的粗糙程度主

要受岩浆作用影响。西南次海盆海底扩张在中等缓慢扩张速率下，倾向于是轴向高和轴向谷之间的过渡类型。

S19-P-1

赤道区域慢速扩张的大西洋中脊处均一地壳生成的地震学证据

Zhikai Wang[1,2*]，Satish C. Singh[3]

1 University of Southampton,School of Ocean and Earth Science

2 Formerly Université Paris Cité，Institut de Physique du Globe de Paris

3 Université Paris Cité，Institut de Physique du Globe de Paris

* zw1m23@soton.ac.uk

Oceanic crust covers ~60% of the Earth's surface and is actively generated along divergent plate boundaries at mid-oceanic ridges. Given their spreading rate, the global mid-oceanic ridges are divided into four types: fast-, intermediate-, slow- and ultra-slow-spreading ridges. The crustal accretion along the mid-oceanic ridges and the resulting along-axis crustal thickness variation are known to be spreading-rate dependent. At fast-spreading ridges, two-dimensional sheet-like mantle upwelling creates relatively uniform crust. In contrast, the crust formed at slow-spreading ridges shows large along-axis thickness variations with thicker crust at segment centers, which is hypothesized to be due a three-dimensional plume-like mantle upwelling or due to focused melt migration to segment centers.

By performing travel time tomography of active-source seismic refraction data collected from the equatorial Atlantic Ocean along an 850 km long profile, we constrained the P- and S-wave velocities (Vp and Vs) and Vp/Vs ratio of the crust formed at the slow-spreading Mid-Atlantic Ridge. Our results show that the crustal thickness is nearly uniform (~5.5 km) across five crustal segments with age varying from 8 to 70 Ma. The crustal Vp and Vp/Vs ratio models indicate that this crust is predominantly of magmatic origin. We suggest that this uniform magmatic crustal accretion is due to a two-dimensional sheet-like mantle upwelling facilitated by the long-offset transform faults in the equatorial Atlantic region and the presence of a high concentration of volatiles in the primitive melt in the mantle. Our study indicates that the crustal accretion and mantle upwelling along mid-ocean ridges are significantly influenced by oceanic transform faults offsetting ridges and by the volatile content in the upwelling mantle and are more complex than being primarily spreading-rate dependent.

S19-P-2

大洋转换断层的深层水合化和岩石圈减薄

Zhikai Wang[1,2*]，Satish C. Singh[3]，Cécile Prigent[3]，Emma P. M. Gregory[2]，Milena Marjanović[3]

1 University of Southampton,School of Ocean and Earth Science

2 Formerly Université Paris Cité，Institut de Physique du Globe de Paris

3 Université Paris Cité，Institut de Physique du Globe de Paris

* zw1m23@soton.ac.uk

Transform faults (TFs) accommodate the lateral motions between lithospheric plates, producing large earthquakes. TFs are oceanic or continental, depending on the type of lithosphere they crosscut. Oceanic TFs offset

two segments of mid-ocean ridges. They comprise almost one-fifth (~48,000 km long) of the total length of global active plate boundaries, but release sixteen times more seismic energy than the ~67,000 km-long mid-ocean ridges. Away from active transform boundaries, former oceanic TFs form the fracture zones that are most prominent features on the ocean floor. Oceanic TFs are good sites for studying earthquake behaviors because they have determined fault lengths and slip rates and show relatively short seismic cycle compared with their continental counterparts. Though the crustal structure of a few oceanic TFs has been studied by geophysical surveys, the properties and nature of the deep lithosphere and the lithosphere–asthenosphere boundary at oceanic TFs remain enigmatic.

Using ultra-long offset wide-angle seismic data collected in year 2018 from the equatorial Atlantic Ocean, we observed the presence of a low-velocity anomaly extending to ~60 km depth below sea level at the Romanche TF. We performed three-dimensional thermal modelling that suggests that the low-velocity anomaly is probably due to extensive mantle serpentinization from the Moho boundary down to ~16 km depth, overlying a hydrated, shear mylonite zone down to 32 km depth. We interpreted the low-velocity anomaly below 32 km depth as a low-temperature, water-induced melting zone that elevates the lithosphere–asthenosphere boundary, causing substantial thinning of the lithosphere at the transform plate boundary. The presence of a thinned lithosphere at oceanic plate boundaries could explain observations of volcanism, thickened crust and intra-transform spreading centers at oceanic TFs and relatively uniform crust formed along some slow-spreading ridges.

S19-P-3

深海橄榄岩中的俯冲信号及其启示

王纪昕[1]，商修齐[1]，马强[2]，陈晨[1]，刘洋[2]，李聪颖[1*]

1 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* licongying@qdio.ac.cn

研究俯冲带与洋中脊间的物质交换可以为我们理解地幔深部再循环过程和地幔对流提供重要线索。几十年以年，研究人员在世界各地的洋中脊玄武岩中发现了俯冲相关的信号；而深海橄榄岩作为洋中脊玄武岩源区地幔（也即亏损地幔 DMM）的熔融残余，广泛剥露于慢速和超慢速扩张的洋中脊上，这两类洋中脊的长度几乎占据了全球洋中脊总长的 2/3，那么深海橄榄岩对俯冲信号的揭示又是如何？深海橄榄岩受俯冲影响的强度与洋中脊扩张速率有无关联？带着这些问题，我们对不同扩张速率上的深海橄榄岩进行了研究。我们发现全球深海橄榄岩中有部分样品含有极低的全岩 $(Dy/Yb)_N$ 值和全岩 Al_2O_3 含量，这些数据不能通过洋中脊无水减压熔融解释，而需要引入含水熔融机制，据此，我们认为深海橄榄岩中可能存在再循环的俯冲信号。我们选取了重稀土元素主要受控于地幔熔融过程的深海橄榄岩样品，通过评估这些深海橄榄岩对海水蚀变、后期熔体交代作用、部分熔融过程和源区物质组成变化的响应，得出其全岩 Al_2O_3、MgO、FeO 值变化主要受控于地幔熔融过程和源区物质组成这两种因素的结论。在亏损地幔中加入不同比例的循环洋壳、俯冲板片流体，这一混合源区再经历两阶段熔融过程——继含水熔融过程后发生无水熔融，就可以模拟这些深海橄榄岩的全岩 Al_2O_3 和 Mg#变化。从快速扩张的太平洋洋中脊（包括东太平洋洋隆和太平洋-南极洲洋脊）到超慢速扩张的西南印度洋中脊，再到慢速扩张的北大西洋中脊，这些深海橄

榄岩样品源区中所需加入的俯冲板片流体比例逐次升高；也即表明，深海橄榄岩所蕴藏的俯冲信号的强弱与其所在洋中脊的扩张速率无关。洋中脊上的个别区域，比如北大西洋的 Fifteen-Twenty 断裂带、Rainbow Massif 以及东太平洋洋隆的 Hess Deep 区,其深海橄榄岩与弧前橄榄岩在 Al_2O_3 vs. Mg# 值图解上重合；相对洋中脊其它区域来说，这三处区域距离现今大洋俯冲带的位置较近，可能表明当循环的地幔楔物质在地幔对流中运移距离或时间较短的时候，其作为深海橄榄岩出现在洋中脊时，主量元素依然可以保留有残余地幔楔特征。至此，我们认为距离现今俯冲体系较近的洋中脊可以存有较强的俯冲信号，这意味着俯冲带与洋中脊系统间的物质交换速率可能比我们此前预想的要快很多。

S19-P-4S

超慢速贫岩浆型扩张洋中脊形成断层的数值模拟研究

龚姝天 [1,2]，杨建锋 [2*]

1 中国海洋大学，崇本学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

洋中脊是重要的板块离散边界，其中超慢速扩张洋中脊占全球洋中脊总长度的 36%(Dick et al., 2003)。超慢速扩张洋中脊缺乏持续的岩浆作用，常表现为非岩浆型脊段，主要通过形成断层来提供板块的离散。海水通过断层下渗，进行热液循环和水岩反应(Tao et al., 2020)；低角度大偏移距的拆离断层，将深部地幔橄榄岩直接剥露到海底(Menzel et al., 2019)。研究非岩浆型扩张洋中脊断层的形成和演化有利于我们理解此类扩张模式以及地球固体圈层和深海圈层的相互作用。本文通过热力学的数值模型，研究了超慢速非岩浆型扩张洋中脊形成断层的过程。我们系统性地探究了弱化参数、晶粒粒度减小、蛇纹石化等因素对断层模式的影响，获得了 short flip-flop、long flip-flop、graben、one-side exposed 和 long detachment 等显著不同的断层样式。具体结果如下：

（1）测试了弱化参数对断层模式的影响。形成断层需要发生弱化，随着地幔的结束内摩擦系数的降低，断层的偏移距增大，单个断层的活跃时间增长。

（2）探究了晶粒粒度减小的作用。加入晶粒粒度减小让原先单向剥露的断层转化为 flip-flop 模式，能使剥露的断层地形增高，更接近大洋核杂岩的高地形特征。

（3）探究了蛇纹石化的作用。蛇纹岩在断层形成过程中起到了润滑作用，增大了偏移距。蛇纹石化的深度对断层模式的影响较大，当蛇纹石化深度为 12km 时，形成的 flip-flop 断层，偏移距为 17-21km，活跃时长为 0.9-2My，剥露的断层面的地形比周围高 1-3km，和西南印度洋东部洋中脊的观测结果吻合。

模型结果表明晶粒粒度减小和蛇纹石化都会影响断层模式。下一步，我们将通过进一步的工作精确地限定出断层的端元模型，为超慢速非岩浆型扩张洋中脊已有的断层的观测结果提供更全面的解释。

S19-P-5

基于海底地震观测的北极加克洋中脊东段软流圈动力过程研究

贾琰 [1*]，孔凡圣 [1]，牛雄伟 [1]，丁巍伟 [1]，张涛 [1]，方银霞 [1]，谭平川 [1]，李家彪 [1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

* jiayan@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

软流圈地幔流是洋中脊动力学研究的核心内容之一，研究其运动模式是厘清岩浆供给与运移模式的重要途径。洋中脊动力学的前人研究表明，不同板块扩张速率背景下，

软流圈地幔流运动模式以及岩浆供给运移模式显著不同。相较于快速和慢速扩张洋中脊，超慢速扩张洋中脊的地幔动力学研究非常匮乏。尤其是作为全球最慢速扩张的北极加克洋中脊东段区域，由于极寒、密集冰层覆盖等环境因素造成的调查条件限制，地幔动力学相关研究基本为空白。本项目计划利用中国第 12 次北极科学考察全球首次获取的北极加克洋中脊海底地震调查的数据，应用横波分裂方法，约束加克洋中脊东段软流圈的各向异性结构，探究地幔流在沿洋中脊扩张轴和垂直扩张轴的方向和强度，刻画软流圈地幔流的三维运动模式，回答其岩浆供给和运移模式以及地幔流对岩石圈厚度变化的动力学响应，揭示全球最慢速扩张加克洋中脊特殊的软流圈动力过程。

S19-P-6

东南印度洋脊-双热点相互作用三维地球动力学模拟研究

罗怡鸣 [1]，林间 [1*]，周志远 [1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* linj@sustech.edu.cn

本文研究了东印度洋凯尔盖朗和阿姆斯特丹-圣保罗（ASP）热点对邻近洋中脊地幔结构与地壳增生的影响。重力分析和三维地球动力学模型显示，凯尔盖朗热点和 ASP 热点的作用使得洋中脊岩浆作用剧烈增强，导致洋中脊地壳异常增厚。洋中脊-热点的距离和地幔柱通量是控制相互作用强度的关键因素。模拟结果显示，在地幔最顶部的 200 km 内，板块驱动的剪切流控制着地幔柱异常的分布。由于洋中脊的捕获，地幔柱与附近的洋中脊相连。通过比较双热点模型和单热点模型，发现凯尔盖朗热点长达上百万年的“加热”作用导致洋中脊地壳系统性增厚。此外，凯尔盖朗热点的存在，导致 ASP 地幔柱的温度和地壳异常位置偏移，意味着可能存在热点之间的相互作用。

S19-P-7S

南海盆地形成的地球动力学过程研究

柳晨 [1]，李江海 [1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* jhli@pku.edu.cn

南海盆地经历了边缘海盆的整个发展过程，且演化记录保存较完整，是研究边缘海盆构造演化的理想地区。南海盆地地球动力学背景复杂，其形成演化主要受控于陆缘扩张和三大板块间的相互作用。南海盆地扩张的构造模式主要包括：古南海俯冲拖拽；印度－欧亚板块碰撞挤压；弧后裂谷作用等。为探究南海盆地扩张的主控因素，基于地质和地球物理资料，进行剖面和平面数值模拟。设计了不同伸展速率、不同地壳性质的剖面数值模型，构建了南海盆地非规则边界的 3 组平面数值模型。剖面模拟结果表明较弱的下地壳使得壳幔脱耦，裂谷向一侧迁移，由于后续岩浆热供给不足，上涌地幔冷却而停滞；新的岩浆供给发生跃迁，形成新的扩张中心。高的伸展速率是导致构造不对称的原因之一，而较低的伸展速率则会倾向于生成高度断裂的、近乎对称的构造。流变性弱的下地壳和区域高伸展速率共同控制了洋脊的迁移。平面数值模拟结果表明，太平洋板块俯冲、红河断裂带的走滑剪切不是南海盆地打开的主控因素，古南海俯冲模型的应力模拟结果与南海盆地的实际情况较为相近，为南海盆地的张开提供了基本合理的机制。综合中国南海盆地的构造应力特征和数值模拟结果，认为中国南海盆地的张开主要受到印澳－欧亚板块的碰撞、古南海的俯冲、菲律宾海板块俯冲的控制，红河断裂带的走滑剪切改变了南海盆地的应力方向。

S19-P-8

西太平洋麦哲伦海山链海山玄武岩矿物化学特征及其对岩浆过程的指示意义

陈思 [1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* chen_si@vip.163.com

地幔岩石部分熔融形成的玄武质岩是探究地幔过程的探针，可为揭示大洋板块构造演化提供直接的地质学证据。洋底玄武岩从源区上升至喷发地表期间，会经历分离结晶和同化混染等岩浆过程。全岩组分是多个岩浆作用过程叠加的产物，因此在揭示岩浆过程的研究中，相对于全岩组分，玄武岩内单矿物具有独特的作用，它们会记录复杂的岩浆演化过程。洋底玄武岩中的矿物晶体包括斑晶、循环晶、捕虏晶和矿物微晶。因此单矿物母岩浆与寄主岩浆的差异，可以识别矿物的来源，从而为岩浆房的演化提供一些基本的信息。玄武岩的斑晶主要为斜长石、辉石和橄榄石。斜长石是玄武岩中最重要的矿物之一，呈斑晶或微晶在基质大量分布。斜长石斑晶通常呈环带结构发育，而且形成环带的主要分 $(Ca^{2+})(Al^{3+}) \leftrightarrows (Na^{+})(Si^{4+})$的等价离子交换具有较慢的扩散速率，环带结构形成后扩散作用影响很小，因此斜长石中的环带可以准确记录岩浆组分、温压条件的变化。单斜辉石作为早期结晶矿物，其中不同元素含量的演化趋势，可能反应矿物结晶分异过程，此外单斜辉石-熔体温压计也可以记录其结晶时的岩浆温压条件。玄武岩中橄榄石捕掳晶的矿物化学研究能够有效阐述区域岩石圈地幔的热状态、成分特点。麦哲伦海山链是西太平洋海山区域海山密集分布的一部分,其上十多座白垩纪平顶海山呈链状分布在该区域，然而有关麦哲伦海山链的成因尚存争议。精细分析海山玄武岩岩浆演化过程、源区性质，对探讨麦哲伦海山链的成因具有重要的意义，同时对该区富钴结壳成矿作用的研究具有指示意义。综上所述，通过对比不同时代海山的玄武岩中斑晶地化特征和结晶温度差异，探讨不同时代海山玄武岩岩浆的组分和演化特征，为进一步理解麦哲伦海山链的成因机制具有重要意义。

S19-P-9

超慢速俯冲形成贫岩浆雅浦岛弧：岩石学和矿物学制约

姚俊华 [1]，张国良 [1*]，张吉 [1]，何德峰 [2]

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院地球化学研究所

* zhangguoliang@qdio.ac.cn

全球俯冲板块在矿物学、化学以及物理性质上差异较大。洋底高原覆盖了~3%的全球海底面积，随着板块俯冲它们不可避免地会与俯冲带接触。俯冲板块较大的浮力能够显著降低俯冲速率，俯冲速率进而影响俯冲带热结构和岛弧岩浆活动。现有的研究主要集中在正常大洋俯冲系统，然而，对洋底高原俯冲的动力学和岩浆过程研究相对较少。雅浦俯冲体系作为西太平洋俯冲带的重要组成部分，岛弧主体是由变质岩和弧前橄榄岩组成，缺乏岛弧岩浆。至少从 21Ma 开始，雅浦岛弧一直处于与洋底高原的相互作用过程，目前正经历着卡洛琳高原的超慢速俯冲（0-6 mm/yr）。本次研究主要针对雅浦岛弧北段的蛇纹石化地幔橄榄岩，开展了详细矿物学和和矿物学研究。这些弧前橄榄岩能够分为两组。第一组与深海地幔橄榄岩具有相似的组分特征：全岩具有较高的 CaO 含量和 Al_2O_3/SiO_2 值，尖晶石具有较低的 Cr#（Cr/(Cr+Al)，低至 0.16）和较高的 Ga/Fe^{3+}#（1242-4376）值，辉石具有较低的 Mg# [Mg/(Mg+Fe^{2+})]值。依据不同的 La/Sm 比值，两种类型的单斜辉石在样品中被发现。第一类单斜辉石具有明显的轻稀土（LREE）亏损特征。部分熔融模拟表明，它们能够由亏损上地幔~5%的分离部分熔融或~6%的开放体系部分熔融产生。第二类单斜辉石具有较平

缓的稀土元素配分型式，它们与具有 LREE 富集的熔体组分平衡。这些单斜辉石组分指示了该区域上地幔经历了熔体的渗透和交代作用。第二组样品与弧前地幔橄榄岩的组分特征相似：全岩具有低的 Al_2O_3/SiO_2，尖晶石具有高的 Cr#值（高达 0.73）和低的 Ga/Fe^{3+}#值（345-639）。在尖晶石的 Cr#-TiO_2 和 $100Ti/Fe^{3+}$#-Ga/Fe^{3+}#二元相关图中，第一组样品均落在地幔橄榄岩与洋中脊拉斑玄武质熔体反应的变化趋势上；而第二组样品的变化趋势反映了与岛弧拉斑玄武质熔体发生了相互作用。熔体-矿物组分平衡计算表明，与第一组样品尖晶石组分平衡熔体的 Mg#、TiO_2 和 Al_2O_3 值与帕里西维拉玄武岩一致；而与第二组样品尖晶石平衡熔体的组分与岛弧火山岩相似。本研究表明该区域经历了由弧后扩张脊向俯冲带的转变。结合洋底高原的初始俯冲阶段会阻碍俯冲进行，导致无岩浆活动的超慢速俯冲。研究认为，与正常大洋板块俯冲相比，雅浦弧前橄榄岩低的亏损程度和弧火山岩缺乏是卡洛琳高原超慢速俯冲的结果。

S19-P-10S

PARECE VELA 盆地西侧地形起伏区域的多道地震成像及地形成因的新认识

陈昌亮[1,2]，罗伟东[3*]，阎贫[1]，于俊辉[1]，黄文凯[3]，陈家乐[3]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* 28406224@qq.com

Parece Vela 盆地扩张脊西侧存在一个由高度超过 1.5 km、宽度大于 10 km 的多个隆起状构造组成的地形大幅起伏区域，前人推测该区域可能是由拆离作用形成的大洋核杂岩区。本研究对 1 条 E-W 向穿过该区域的深反射多道地震数据进行了叠前时间偏移处理。考虑到地形大幅起伏导致的速度横向变化，速度分析采用了密集间隔（62.5m，10 个 CMP）。结果显示 3 个隆起构造（从西向东分别以 A、B、C 表示）表层存在半透明状的沉积层反射，其中 A、C 隆起上方沉积层与基底大致平行，厚度分别约 120 m 和 60 m，表明该隆起构造是由沉积之后的岩浆侵入而形成。B 隆起构造的高度比 A、C 大，且两翼更陡，其顶部沉积层较厚（约 90 m）并随两翼向下明显减薄，推测为更强的岩浆侵入造成。此外，3 个隆起构造基底下方 10 km 深度内均存在断续的强反射震相，代表了岩浆侵入体。上述结果表明该地形起伏区域内的隆起构造是由岩浆侵入作用而形成。

S19-P-11S

北部湾盆地涠西南凹陷的断裂生长发育模式

胡晨[1]，任建业[1*]，王征[1]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* jyren@cug.edu.cn

北部湾盆地涠西南凹陷是由一号断裂和二号断裂共同控制的复式半地堑，南部以三号断层为界，新生代以来主要发育长流组-流二段 NEE 向、流一段-涠洲组近 EW 向，以及斜阳斜坡 NW 向三组断裂系统，形成各种不同的构造样式。本文基于对涠西南凹陷新的三维地震剖面的详细解释和分析，采用构造-地层格架分析和断裂活动性定量计算技术，研究盆地主断裂几何学、运动学和动力学演化过程。结果表明，一号断层以铲式正断层为主，最初由 6 个孤立的小断层组成，然后经历了断层生长、连接贯通直至衰亡的全过程，表现为分段连接模式；二号断层在流二段沉积时期作为正断层活动，T83 界面发育后（流二段沉积结束和流一段开始沉积，40.4 Ma）发生右旋走滑作用形成雁列式断层，并与早期正断层连接，表现为垂向连接模式；三号断层则保持稳定活动，长度基本

保持不变，表现为持续生长模式。同时识别出 T83 界面是盆地同裂陷阶段重要的拉伸构造应力场变革界面，断层的生长发育与构造应力场的变化息息相关，也影响着盆地沉降中心和断层活动中心的迁移，控制着盆地的构造演化。盆地新生代构造演化过程因此可以划分为同裂陷阶段和裂后热沉降阶段，同裂陷阶段又进一步划分为裂陷I幕（古新世-早始新世），裂陷II幕（晚始新世-渐新世）。

S19-P-12S

南海北部陆缘变质核杂岩构造及其对裂谷盆地演化过程的影响

许延成 [1]，任建业 [1*]，赵阳慧 [2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

* jyren@cug.edu.cn

由于深部岩石圈剥露而形成的变质核杂岩构造在被动大陆边缘普遍发育，而最近的研究发现，在南海北部陆缘同样存在有深部地壳物质和地幔物质被剥露至地表从而形成地壳核杂岩和地幔核杂岩构造的现象。然而，这两种类型核杂岩构造的差异变形机制及其对盆地沉积演化过程的影响尚不明确。本文展示了横跨南海北部陆缘多个盆地的高分辨率 3D 地震资料，并发现了不同类型的变质核杂岩构造。在开平凹陷和白云凹陷东部发育有典型的地壳核杂岩构造，而在白云凹陷中部则发育有地幔核杂岩构造。在地壳核杂岩发育的区域，岩浆活动较为强烈，与之相反，在地幔核杂岩发育的区域，岩浆活动较弱。地壳核杂岩的发育使得上地壳强烈薄化而下地壳相对增厚，而在地幔核杂岩发育的区域内上下地壳表现出了更为耦合的变形减薄过程。此外，地壳核杂岩的发育限制了盆地的垂向沉降，与地幔核杂岩发育区域对比具有极低的裂陷期沉降速率，从而造成了区域上的差异沉降现象。

S19-P-13S

南海中央次海盆残余扩张脊横波速度结构研究

姜辉 [1,2]，贺恩远 [1]，黄海波 [1*]，丘学林 [1,2]，郭建 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* go223@scsio.ac.cn

中央次海盆是南海三个深海盆地之一，是南海扩张的主体之一。海盆内部展布着近东西走向的珍贝-黄岩海山链，其下方埋藏着海盆的残余扩张中心，记录了海盆扩张演化的信息。该区域不仅受到了前期构造作用的影响，还受到了后期岩浆活动的改造，研究该区域的深部地壳结构不仅可以了解扩张时期的岩石圈结构和深部动力学过程，还可以了解扩张后期的火山作用机制。由于纵横波联合勘探可以有效提高对地壳物质组成的约束。因此，本研究拟在前人 P 波速度结构的基础上，对该区域进行转换 S 波速度结构研究，进一步探讨扩张脊下方岩石圈物质组成及热状态信息。

本次研究拟利用 2011 年在该区域进行的三维地震探测实验，选取其中一条横穿残余扩张脊的测线 G8G0 为研究对象，采用正演模拟与反演走时成像结合的方法，构建该区域的横波速度（Vs）及波速比（Vp/Vs）模型。目前已完成了以下工作：

通过能量扫描法求取极化角，对水平分量进行旋转，将 X、Y 方向的能量校正到径向和切向，使径向分量中的能量更加集中。利用 Zoeppritz 方程对地下界面的 P-S 转换效率进行分析，为转换 S 波的转化界面和转换模式的选定提供了理论定量依据。通过 Rayinvr 软件对拾取的震相进行了拟合工作，共拾取到 1659 个 PPS 震相，RMS 为 60ms，χ^2 为 1.028，对台站下方沉积层的 S 波速度进行了很好的约束；拾取到 PSS 震相 2092 个，其中包括来自 Moho 面反射的 PSS 震

相，RMS 为 91ms，χ^2 为 1.260，对地壳的 S 波速度形成进一步约束。

通过拟合转换 S 波震相，获得了 G8G0 测线下方初步的 S 波速度结构模型和 Vp/Vs 模型，S 波模型的层位划分与正演 P 波模型一致，由海水层、沉积层、上地壳、下地壳和上地幔五层组成。台站下方沉积层的 Vs 随深度增加由 0.48km/s 增加至 0.70km/s；上地壳的 Vs 在 1.82-3.4km/s，Vp/Vs 介于 1.80-1.90 之间；下地壳 Vs 随深度增加由 3.55 增加至 3.98，主导 Vp/Vs 为 1.756。

为了进一步提高模型精度和可信度，因此需要在正演的基础上反演走时成像。由于 PSS 震相的转换界面主要位于沉积基底，其射线路径中同时包含了纵波段和横波段，无法直接进行反演，因此需要将 PSS 震相校正为 PSP'震相，使校正后的震相在沉积层中均为纵波，在地壳中全部为横波。校正得到了 1544 个折射震相用于后续的反演工作。

S19-P-14S

南沙地块礼乐西海槽横波速度和 VP/VS 结构特征

郭建 [1,2,3]，丘学林 [1,2,3*]，黄海波 [1,2]，姜辉 [1,2,3]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 中国科学院大学

* xlqiu@scsio.ac.cn

为揭示礼乐西海槽区域的岩性结构，本研究对 2019 年春采集到的 OBS2019-2 测线水平分量数据进行处理，得到了横波速度结构模型。结合已有的纵波速度模型，得到了该区域的 Vp/Vs 剖面。根据 Vp/Vs 与岩性的关系，对礼乐西海槽区域的岩性进行了讨论和推测。

洋壳区沉积层内的 Vp/Vs 主要在 3.6-4.6 之间，表明洋壳区沉积层多为未固结的松散沉积物；洋壳内的 Vp/Vs 在 1.70-1.88 之间，由上往下的岩石成分可能为玄武岩、辉长岩和辉绿岩，与典型洋壳的岩性结构一致。陆壳区沉积层内的 Vp/Vs 集中在 1.9-3.0 之间，固结程度高，页岩存在的可能性较大；地壳内的 Vp/Vs 在 1.70-1.89 之间，由上往下可能为安山岩、花岗岩、花岗闪长岩、绿片岩、斜长岩等成分，岩性由长英质向铁镁质过渡。洋陆转换带区域具有陆壳和洋壳的混合岩性，表现出洋壳增生与陆壳减薄之间的相互作用。

研究区存在少量下地壳高速体，为海底扩张期后岩浆底侵形成的。根据 Vp/Vs 与岩性的关系，推测下地壳高速体的主要成分为角闪岩。陆壳区存在 Vp/Vs > 1.8 的异常区，这些区域存在岩浆侵入现象。推测研究区岩浆底侵与侵入与中南-礼乐断裂有关。相比于东沙地块，礼乐地块与中沙地块的岩性及岩石成分相似，我们推测礼乐地块与中沙地块共轭的可能性更大。

S20-O-1

大地幔楔形成机制与挥发分循环的数值模拟

李忠海 [1*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

太平洋俯冲板片在东亚之下的长距离滞留塑造了全球最经典的大地幔楔体系。大地幔楔的形成机制及其中的物质循环、尤其是挥发分循环广泛争议。基于该问题，我们构建了动力学与热力学耦合的数值模型，对俯冲板片与地幔过渡带的相互作用，及俯冲带深部的挥发分循环过程进行了系统的探讨。一方面，针对俯冲板片在地幔过渡带的差异性形态，通过系统的数值模拟揭示：海沟后撤及其产生的较低俯冲角度是板块在地幔过渡带滞留的主导因素；另一方面，针对俯冲带深部水循环问题，热力学与动力学耦合模型揭示：洋壳之下的蛇纹岩层及其高

压含水相矿物是将水带入深部地幔的主要载体，该层厚度从 0 公里增加到 10 公里至 20 公里，大量的水可被带到地幔过渡带，发生深部脱水作用，并对上覆地幔楔和岩石圈产生改造。最后，初步的数值模型对俯冲带深部碳循环过程进行了一定的约束，揭示在正常的俯冲带地温梯度下，大量的碳可以穿越弧下深度而进入深部地幔。上述数值模型对板块俯冲过程及挥发分循环提供了系统的约束。

S20-O-2

岛弧岩浆高氧逸度成因：全球俯冲带玄武岩 FE 同位素的制约

陈祖兴 [1*]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

* chenzuxing@qdio.ac.cn

岛弧原始岩浆相对于弧后盆地和洋中脊玄武岩具有较高的 $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 比值。关于岛弧岩浆氧化的特征是如何形成的，目前还仍存在分歧，主要存在两种不同观点：1）俯冲板片释放富氧化组分（如 Fe^{3+}、S^{6+}等）的熔流体交代弧下地幔；2）岩浆分异过程含 Fe^{2+} 矿物的分离结晶等。Fe 是氧化还原敏感元素，氧化还原过程可发生 Fe 同位素分馏且 Fe^{3+} 比 Fe^{2+}更倾向于重 Fe 同位素。因此，氧化的岛弧岩浆理论上应富集重 Fe 同位素。事实上，岛弧岩浆通常表现出轻 Fe 同位素特征。了解这一悖论对认识岛弧岩浆是如何变氧化的具有重要意义。

通过对比分析全球俯冲带和洋中脊玄武岩 Fe-Sr-Nd-B 同位素和 B/Nb 比值大数据，明确了西太平洋冷俯冲带岛弧玄武岩相对弧后盆地、洋中脊和东太平洋热俯冲带岛弧玄武岩具有轻 Fe 同位素组成特征；发现冷俯冲带玄武岩 Sr-Nd 同位素存在普遍解耦现象以及全球俯冲带玄武岩 $\delta^{56}Fe$ 与俯冲蛇纹岩流体指示剂（$\delta^{11}B$ 和 B/Nb 比值）具有负相关性。表明俯冲蛇纹岩流体是全球俯冲带地幔 Fe 同位素不均一性的一级控制作用。

进一步结合第一性原理理论计算和蒙特卡洛模拟，表明俯冲蛇纹岩脱水释放的富硫酸盐流体（SO_4^{2-}–Fe^{2+}）交代弧下地幔楔理论上会造成冷俯冲带岛弧岩浆 Fe 同位素偏轻并氧化岛弧岩浆地幔源区。然而，流体交代模型需要流体中的 Fe 含量高达数个 wt.%，Fe 元素在富硫酸盐的蛇纹岩流体中是否具有强活动性需要实验岩石学进一步验证。弧前蛇纹岩具有高氧逸度和显著的 Fe 同位素分馏（$\delta^{56}Fe$ 可低至−0.26‰），因此，俯冲弧前蛇纹岩通过混杂岩底劈（mélange diaper）模型进入岛弧岩浆源区是造成俯冲带岩浆 Fe 同位素及氧逸度不均一性的最直接有效的方式。该研究表明，俯冲蛇纹岩对弧下地幔岩浆源区的贡献是控制岛弧玄武岩高氧逸度的重要原因。

S20-O-3

日本西南部俯冲带精细结构三维逆时偏移成像

邹鹏 [1]，程玖兵 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* cjb1206@tongji.edu.cn

在日本西南部，菲律宾海板块（PHS）沿着相模海槽（Sagami Trough）和南海海槽（Nankai Trough）以每年 2-6 cm 的速度俯冲到欧亚板块之下，同时太平洋板块沿着日本海沟和伊豆小笠原海沟以每年 8 cm 的速度向西俯冲（Seno 等, 1996）。年轻的菲律宾海板块的俯冲造成了一系列不同时间尺度的构造活动，并导致在上覆板块内部、板块边界以及俯冲板片内部孕育了大量地震。这些地震对城市地区造成了严重破坏，且这类地震还可能在本世纪重复发生。菲律宾海板块的俯冲结构与动力学过程是产生这些大地震的主要原因之一，然而科学家对其了解仍然较少。由于该板块在很多区域表现出

相对较低的地震活动性，且几乎完全没有板间地震，使得大陆板块与菲律宾海板块间的边界难以确定。

尽管通过不同的方法对日本西南部菲律宾海板块的结构进行了建模，但模型之间存在明显不一致的情况，尤其是在 Kinki 和 Shikoku 岛之间的板块形状没有得到明确的约束。一方面，不同建模方法应用不同的数据集对俯冲带进行成像或描述，对数据的敏感度和对模型的分辨能力是不同的，例如层析成像利用走时信息对大尺度的速度异常比较敏感，而接收函数利用的转换波则对则尺度相对较小的弹性不连续界面敏感。另一方面，由于菲律宾海板块的形状异常复杂，对成像方法要求较高，而常规基于 CCP 叠加的接收函数成像方法在该区域的分辨能力受到了限制。本文率先将三维远震逆时偏移方法用于处理日本三维 Hi-net 数据，获得了该地区 100 km 深度范围内地壳与上地幔的三维精细结构；确认菲律宾海板块在 Kii 海峡下方发生了撕裂，比较确切地揭示了板块撕裂的起始位置；发现在上悬撕裂板块边缘下方存在孤立散射体，推测可能是上悬菲律宾海板片在重力作用下发生了断裂和沉降。精细的逆时偏移成像结果有助于更系统、更深入地探究典型俯冲带的构造变形机制和动力学过程。

S20-O-4

探究年轻海洋板块俯冲引起的大陆地幔动力响应机制

巴凯伦 [1*]，于有强 [2]，刘琳 [3]，黄建平 [1]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院

2 同济大学，海洋与地球科学学院

3 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* bkl199308@163.com

太平洋板块俯冲与西太平洋边缘海演化、东太平洋造山运动、以及大型地震和火山活动之间的关系，是板块理论研究的重要内容。近些年，对于西太平洋俯冲与边缘海演化研究成果丰硕，而东太平洋俯冲引起的造山运动和深部地幔构造仍存在争议。因此，本课题以东太平洋安第斯俯冲带为例，与西太平洋俯冲机制的研究成果相互对照，探究年轻海洋板块俯冲引起的地幔动力响应机制。安第斯俯冲带是世界上最长的海陆俯冲带之一，海陆板块运动的相对简单性使得安第斯俯冲带被认为是研究海陆俯冲引发的地球动力学机制的理想场所。通过对于深部地幔转换带的高分辨率成像可以分析俯冲板块的空间形态、俯冲角度、板片残留深度以及上地幔速度结构、转换带附近温度异常、水含量等关键信息，从而为研究太平洋俯冲带上的地壳运动、大型岩浆和火山活动，提供独立地震学证据。最近对于安第斯俯冲带下方地震层析成像研究表明，上地幔速度异常与俯冲板片断裂、脱水有关，并提出了多个速度模型。然而，大多数争议可能都归因于层析成像技术在垂向分辨率上的限制。本研究主要应用接收函数的方法，对于安第斯俯冲带上的地震观测数据进行处理，基于非平面波假设的理论，提高了地幔转换带速度间断面成像的分辨率，对比层析成像的速度模型，分析速度异常与俯冲板块脱水量以及温度异常的复杂关系，为研究海洋板块俯冲机制和大陆边缘地质演化提供理论依据。

S20-O-5

海陆构造岩浆对比：晚中生代华夏大陆边缘演变

邓玉玲 [1]，许长海 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* xchxch@tongji.edu.cn

大量证据指示晚中生代华南东南部存在一个大型硅质火成岩省，现已有安第斯型与非安第斯型两类不同的模型来解释它的成因。东海钻遇岩石的锆石年龄、同位素与微量元素的系统数据、以及海陆构造岩浆活动差异（200~86 Ma），有助于重新评估以

华夏地块为基底的东海岩浆弧与华南板内活动在大地幔楔格架下的地球动力学相互作用。东海西部残留岩浆弧、琉球群岛至中国台湾的俯冲杂岩与华南板内，区域上构成了一个“沟-弧-板内”的结构。弧岩浆的演变（爆发期与平静期；高 U/Yb；低温；变化的 $\varepsilon Hf_{(t)}$）经历了岩浆弧启动、加厚、衰退、弧根拆离以及岩浆弧迁移的过程，这与 Izanagi 板块汇聚东亚大陆的俯冲特性变化高度吻合。华南大规模板内岩浆活动及其规律性与地幔过渡带中的 slab stagnation 密切相关，其过程包括：板片脱水、岩石圈拆离、含水地壳熔融以及壳幔熔体相互作用。晚中生代华夏大陆边缘的这些地球动力学过程，不同于传统的安第斯型大陆边缘演变特点（Xu et al., 2023）。

S20-O-6

南海西南次海盆残留水引起的地幔非均一性研究

田晋雨[1*]，马知途[2]，林间[1,3*]，徐敏[3]，俞恂[2]，黎伯孟[1]，张旭博[3]，张帆[3]，郭来银[1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* jytian0419@foxmail.com

* jianlin@scsio.ac.cn

南海处于欧亚、印澳和太平洋三大板块的交界处，构造背景非常复杂。前人通过地球物理、地球化学以及地球动力学模拟等手段对南海的地幔演化进行了大量研究，其中古南海是近些年备受关注和争论的构造之一。古南海的向南俯冲被认为是促使南海海盆扩张的力源之一，随着南海海盆的扩张停止，古南海俯冲板片发生断裂并下沉到深部地幔中。大尺度地震层析成像同样显示在地幔过渡带中可能存在滞留的俯冲板片，但目前对于古南海俯冲残片在下沉过程中如何影响南海海盆的地幔结构知之甚少。本文利用布放在南海西南次海盆残余洋脊区域的 10 台海底地震仪和周边 3 台陆地台站数据，使用远震面波层析成像方法，获得了研究区高分辨率的三维横波速度结构。该速度结构与半空间冷却模型计算的理论速度结构对比后发现，南海西南次海盆洋脊北部的地幔基本符合传统大洋冷却模型，而南部则存在较大的低速异常，异常峰值约 3%。结合岩石学、岩石地球化学和热力学模型等手段分析后认为，西南次海盆洋脊南侧的低速异常可能是由于地幔中含有约 5-10%的下大陆地壳和 150-300 ppm 的水。结合现今的南海构造背景，本文提出一个全新的南海西南次海盆地幔演化模型。在南海海盆扩张停止后，古南海俯冲板片发生断裂并下沉到深部地幔中。在下沉过程中，板片不断释放大量水，水随着浮力逐渐上升，致使南沙地块在海盆扩张期后仍存在较强的岩浆活动，同时也导致海盆南侧的深部地幔中具有较高的含水量（150-300 ppm）。

S20-O-7

东亚陆缘深部水平板片俯冲及其地表动力地形响应

刘少峰[1*]，马鹏斐[2]，张博[1]，Micheal Gurnis[3]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院，地质过程与矿产资源国家重点实验室

2 太原理工大学，地球科学与工程系

3 加州理工学院，地震实验室

* shaofeng@cugb.edu.cn

可变形板块运动和地表动力地形是板块与地幔耦合的重要指示标志。东亚陆缘深部以地幔过渡带内发育大型水平板片为特征。然而，这一特征的板片结构是如何演变的、它又如何与板块运动、板内变形和动力地形相耦合，人们对其知之甚少。针对上述科学问题，采用先进的可变形板块运动与地幔对流相结合的正演模拟方法，重建了东亚

陆缘 54Ma 以来精细的板块-地幔系统演化。研究表明，新生代可变形板块构造重建结果展示了菲律宾海板块与欧亚板块之间的斜向汇聚，海沟三联点的向北迁移，日本海沟、南开和琉球海沟的向东后退，及伊豆-博宁-马里亚纳海沟向东北后退等；随着菲律宾海板块自渐新世开始发生顺时针旋转，俯冲的西太平洋板片不断撕裂，导致板片分割和拆离；尽管板片撕裂和海沟后退对地幔过渡带水平板片形成具有控制，但指向北西的、分布广泛的地幔流对形成水平俯冲具有重要贡献；模型预测的太平洋板片俯冲至地幔过渡带发生滞留的时间大约为 42 Ma；地幔流动模型模拟产生的动力地形幅度约为±200 m，它与现今观察的残余地形总体吻合，也与50百万年以来的残余地形变化幅度一致；由深部水平板片俯冲和板片撕裂作用驱动的地表动力地形演化是东亚陆缘低起伏地貌形成的重要控制因素，东亚陆缘深部宽阔的水平板块及动力沉降对沿渤海湾盆地和松辽盆地西缘分布的“重力梯度带”的形成具有贡献。成果的科学价值在于，将地表地形、可变形板块运动及深部地幔流动相结合，构建了东亚陆缘四维地球动力学系统，揭示了深部地幔过程（或称东亚陆缘深部大地幔楔形成过程）与地表动力地形演化的耦合关系，探讨了东亚陆缘特征性的低起伏地貌的成因。

S20-O-8

两阶段地幔熔融过程导致大陆板内玄武岩 ZN-SR-ND 同位素解耦

徐荣[1*]，刘勇胜[2]

1 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉）

* xurong@mail.gyig.ac.cn

一般情况下，Zn 同位素组成高于亏损地幔（DMM）或洋中脊玄武岩（MORB）的洋岛玄武岩（OIB）同时也会具有富集的 Sr-Nd 同位素特征（即，耦合的 Zn-Sr-Nd 同位素组成），这表明 OIB 源区含有再循环的碳酸盐化榴辉岩组分。相反，具有高 Zn 同位素比值的大陆板内玄武岩通常却表现出亏损的 Sr-Nd 同位素特征（即，Zn-Sr-Nd 同位素解耦）。为了阐明大陆板内玄武岩 Zn-Sr-Nd 同位素组成解耦的原因，我们对同时包含耦合和解耦 Zn-Sr-Nd 同位素特征的浙江新生代玄武岩进行了研究。这些玄武岩的地球化学组成随着时间-空间具有系统变化：早期内陆的低硅玄武岩具有中等富集的 Sr-Nd 同位素特征和高的 δ66Zn（耦合的 Zn-Sr-Nd 同位素组成，类似于 OIB）；晚期沿海的高硅玄武岩随着 SiO2 和 87Sr/86Sr 的增加以及随着碱含量和 143Nd/144Nd 的降低，δ66Zn 逐渐显着降低（解耦的 Zn-Sr-Nd 同位素组成）。这些玄武岩的地球化学组成随时间和空间的变化可以用两阶段地幔熔融过程来解释：（1）早期的低硅岩浆作用主要发生在内陆，是由含碳酸盐化榴辉岩的软流圈地幔在高压下发生部分熔融的产物。由于较厚的岩石圈限制了亏损地幔的熔融程度，因此具有富集 Zn-Sr-Nd 同位素特征且更易熔的碳酸盐化榴辉岩组分的地球化学信号得以保存。（2）晚期岩浆作用大多发生在岩石圈较薄的沿海地区。软流圈进一步减压熔融到更浅深度，导致亏损橄榄岩基质的贡献逐渐增加，从而稀释了易熔组分富集的同位素和微量元素地球化学信号。进一步的减压熔融以及随后岩石圈地幔的原地熔融可以解释晚期高硅玄武岩 Zn-Sr-Nd 同位素的解耦以及主-微量元素含量的变化。我们进一步提出岩石圈厚度变化诱发的小尺度地幔对流可能是软流圈减压熔融得以发生的动力学机制。我们的研究强调了含碳酸盐化榴辉岩的软流圈减压熔融以及随后的岩石圈原地熔融不仅对板内玄武岩地幔源区中富集组分地球化学信号的保存和破坏起到了重要作用，也合理解释了大陆板内玄武岩 Zn-Sr-Nd 同位素信号的解耦。

S20-O-9

浅部克拉通地幔存在太古代高非放射性成因铅

张军波[1*]，刘勇胜[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* jb_zhang@126.com

自然界中铅(Pb)以四种稳定同位素存在，其中仅一种为非放射性成因的铅。地球内部铅同位素组成对于理解地球的形成和分异历史具有十分重要的意义。现有大量地球化学数据研究表明，大洋中脊玄武岩和洋岛玄武岩比全硅酸盐地球具有明显更高的放射性成因铅，主要位于零地球等时线的右侧。这一问题被称为铅悖论，长期困扰着地球化学家们。根据质量守恒原理，这暗示在地球内部隐藏着一个高非放射成因铅同位素的储库。为了破解这一谜题，有学者提出了一种假说：在地球早期核幔分异的过程中，铅可作为亲硫元素进入地核。然而，最近的高温高压实验测定了铅在金属铁熔体和硅酸岩熔体之间的分配系数，其结果并不支持这一假说。目前看来，地球丢失的铅可能隐藏于硅酸盐地球(大陆下地壳或岩石圈地幔)。

早期地球大气圈是极端缺氧的，可供呼吸的自由氧气分子的含量不及现今大气含氧量的0.001%。在一次全球规模的早古元古代大氧化事件(GOE)之后，大气中的游离氧含量急剧增加。这次大氧化事件为地表环境的宜居性和生命的快速演化奠定了基础，也改变了陆地-海洋的矿物成分、元素和同位素组成。科学家已经发现太古代沉积岩硫同位素非质量分馏信号非常明显，但是这些信号在 GOE 之后年轻的沉积岩里面却消失不见。同时，海水中铀对氧浓度非常敏感：当海水氧气较低时，海水贫铀和相应的大洋沉积物富集非放射性成因铅同位素；当 GOE 之后海水氧气浓度较高时，海水明显更富铀和相应的大洋沉积物富集放射成因铅同位素。然而，俯冲再循环的太古代沉积物的命运如何？早古元古代大氧化事件如何影响深部地幔氧化还原状态和化学组成？长期以来，这些都是地质学家值得探讨的科学问题。

针对上述科学问题，我们选取华北克拉通东部济南早白垩世富镁辉长岩为研究对象，通过主-微量元素、锶-钕-铅同位素同位素和原位四硫同位素研究表明，浅部克拉通地幔(EMI 型地幔)的非放射性铅来自俯冲交代的太古代含水流体。因此，该研究为探究EM1 型地幔端元的起源提供了新的视角。

S20-O-10

地体碰撞诱发的俯冲起始：模式选择与对西太平洋俯冲系统的影响

崔峰源[1]，李忠海[1*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

在板块构造理论中，大洋岩石圈俯冲的消亡往往伴随着大陆地体的碰撞增生。随后，在持续的汇聚背景下，新的俯冲带可能会在邻近的大洋岩石圈中产生，即地体碰撞诱发的俯冲起始。基于西太平洋的观测和重构实例，地体碰撞诱发的俯冲起始可为三类：俯冲极性反转模式、俯冲跃迁模式以及远端俯冲模式。然而，当地体碰撞之后，板块究竟会选择从哪里、以何种模式开始新的俯冲？该过程的动力学控制机制尚不明确。针对该问题，我们构建了系统的多地体俯冲-碰撞数值模型，测试汇聚地体的流变强度与不同的汇聚速率对于俯冲选择的影响。结果表明，汇聚地体的流变强度是俯冲起始模式选择的关键要素，即俯冲起始总是倾向于以强度较弱地体为上盘而在被动陆缘处发生。同时，更高的汇聚速率能够促进碰撞诱发俯冲起始的产生。进而，对模型的力平衡进行了进一步的分析研究，为强度较弱的地体能够促进俯冲起始的产生提供了力学解释。模型结果和受力分析与西太平洋地区发生的俯冲

起始进行了系统的对比，结果显示俯冲极性反转是地体碰撞后最易于发生的俯冲模式，其原因可能为第一阶段的俯冲带由于水/熔体活动，往往会产生较弱的岛弧火山，这部分较弱的地体往往会诱导新的俯冲带向其下方俯冲，即俯冲极性反转。本研究为碰撞诱发的俯冲起始，特别是新生代以来西太平洋俯冲带的动力学过程提供了系统的约束。

S20-O-11

西太平洋麦哲伦海山区海山玄武岩岩石成因及其构造指示

张立敏[1*]，邓希光[1]，何高文[1]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局

* zhanglm8@mail2.sysu.edu.cn

板内岩浆作用在大陆及海洋环境下皆有发育，其产生与地球历史上大规模生物灭绝、全球海平面变化和海洋缺氧事件等一系列事件都密切相关。对于板内岩浆作用的详细剖析无论是对认识深部地幔的不均一性还是理解地球演化对具有重要意义。西太平洋海山省位于西太平洋板块最古老地区，其内发育有大量海山，这些海山中部分海山年龄呈线性变化，遵循热点轨迹模式，指示了海山板块运动轨迹，但是大部分海山不遵循这种模式变化（Koppers et al., 2003），关于这些海山的动力学机制长期争议不断（Koppers et al., 2003；Yan et al., 2021）。麦哲伦海山链自北向南包括 Vlinder（95.2 Ma）、Pako (90.8 Ma)、Ioah (86.7 Ma)三个海山，是典型的持续时间短、不连续海山链，对于其可能的成因机制的探讨是我们进一步认识西太平洋海山省海山成因及地幔演化不可或缺的部分。

本次通过海山链之上的 Pako 海山及紧邻海山链的 Ita Mai Tai 海山玄武岩开展岩石学、元素、同位素地球化学对比分析显示，两座海山元素-同位素组成相似，样品富集轻稀土元素，亏损重稀土元素，为 OIB 型玄武岩，具有富集的 Sr、Nd、Pb 同位素组成，整体上类似于 Vlinder、Ioah 海山玄武岩组成。相近的空间分布及相似的地球化学组成特征指示 Ita Mai Tai 可能与麦哲伦海山链的 Pako、Vlinder、Ioah 海山具有一致的源区，源区组成可能与 Rarotonga 热点关系不大，麦哲伦海山链更可能是由于区域应力变化，岩石圈伸展逐渐拉张所形成的。

S20-O-12

西太平洋麦哲伦海山链成因：地幔柱-岩石圈相互作用

位荀[1*]，张艳[1]，石学法[1]，Paterno R. Castillo[2]，徐义刚[3]，鄢全树[1]，刘季花[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 University of California San Diego,Scripps Institution of Oceanography

3 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* xun.wei@fio.org.cn

大洋板内岩浆作用在成因上通常被认为与地幔柱有关。“地幔柱假说”常被用来解释一系列年龄随空间位置线性变化的火山链成因，如 Hawaiian-Emperor 火山岛链。西太平洋海山省内海山密布，大多数海山群的空间分布广、年龄分布杂乱或者持续时间短且喷发不连续，很难用经典的地幔柱理论来解释，其成因存在较大争议。麦哲伦海山链由 Vlinder、采薇和 Ioah 三座海山构成，其年龄随空间位置呈线性变化，该海山链可以回溯到南太平洋 Cook-Austral 热点区的 Rarotonga 热点附近，但已发表数据表明麦哲伦海山链玄武岩化学成分与 Rarotonga 热点差别较大，很可能是采样不足导致其成分变化远未被充分揭示。麦哲伦海山链是西太

平洋海山省内仅有的年龄随空间位置呈线性变化的海山链，因此厘清其成因对认识整个西太平洋海山省的成因具有重要意义。本研究对我国多个大洋航次在采薇海山所取样品进行了主微量元素和 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素分析。

研究发现采薇海山玄武岩成分高度不均一：HIMU 和 EM1 两种截然不同地幔端元共存于单一海山。采薇海山 EM1 组分与经典的 Pitcairn EM1 不同：在相同的 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 比值下，采薇海山 EM1 组分具有更高的 $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i$ 比值，很可能是另一种典型的 EM1 端元。该海山 EM1-型成分具有较大的变化范围，可以用来源于 FOZO 与 EM1-SCLM 的熔体混合来解释，该机制同样能解释 Rarotonga 热点玄武岩成因。这些数据表明麦哲伦海山链可能是 Rarotonga 热点在中白垩世的古老遗迹，进一步表明 Rarotonga 很可能是一个长期（>90 Ma）持续活动的热点，因此地幔柱能更好地解释 Rarotonga 热点成因。结合板块重建和地球化学对比，我们提出麦哲伦海山链最可能的形成机制：EM1-型组分来自于 Rarotonga 地幔柱熔融，而 HIMU 组分与 Arago 热点相似，是 Arago 地幔柱熔体交代富集的岩石圈地幔随着板块漂移叠置在 Rarotonga 地幔柱上方时，被加热熔融形成。该研究结果表明地幔柱与岩石圈相互作用在大洋板内岩浆作用形成过程中至关重要，其相互作用的程度和方式形成了板内岩浆的化学成分多样性。

S20-P-1S

马里亚纳岛弧下俯冲板块温度结构、岩石相变和地震活动

瞿睿[1,2]，朱伟龄[1,2]，季颖锋[1,2*]，解朝娣[3]，曾登[1,2]，张帆[4,5]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

2 中国科学院大学

3 云南大学，地球科学学院

4 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室

5 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

* yingfengji@itpcas.ac.cn

马里亚纳岛弧下方高度弯曲且急剧俯冲的马里亚纳俯冲带是环太平洋俯冲带中最冷和最弯曲的俯冲带之一。过去的地震层析成像结果表明不均匀的马里亚纳俯冲板片的俯冲角度和俯冲速度在沿海沟走向方向上变化显著，可能影响了马里亚纳地区地震的发生机制。为了调查马里亚纳俯冲带的温度结构，本研究在热力学建模中考虑了三维运动速度 MORVEL 和板块几何形状模型 Slab2 的影响，构建了马里亚纳俯冲带的高分辨率的三维模型，计算了俯冲板块的温度场、岩石相变和岩石含水量变化情况。研究结果发现马里亚纳俯冲板块弯曲的几何形状和变化的俯冲速度形成了马里亚纳中部岛弧下方俯冲板块沿海沟走向不均匀的热结构和冷地幔楔。另外，俯冲洋壳在角闪岩化、榴辉岩化等岩石相变作用下会释放流体，引起俯冲板块上方流体压力的变化，从而影响了马里亚纳地区地震活动的分布。研究还注意到马里亚纳南部岛弧下方的俯冲板块出现了较大的温度梯度变化和强烈的板块脱水现象，其成因可能与这里俯冲板块大倾角的陡俯冲有关。研究中计算的俯冲板块在 30-80 km 深度范围的脱水分布结果表明俯冲板块上有显著的流体释放和潜在的流体运移，这与马里亚纳地区深部较大的水通量相吻合。

S20-P-2

中国东部地壳各向异性及其动力学意义

郑拓[1,2*]，王稼轩[1]，于有强[2]

1 南京工业大学，交通运输工程学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* zhengtu@mst.edu

郯庐断裂带位于中国东部，在中国境内长度约 2400 公里，切穿中国东部不同大地构造单元。郯庐断裂带及其邻近区域，是我国东部地震活动最频繁的地区之一。郯庐断裂带的形成、演化过程十分复杂，自上世纪五十年代被航磁大调查发现以来，郯庐断裂带的形成、演化、深部结构、活动机制一直是地学家们研究的重点。关于郯庐断裂带的研究已有很多成果，但综合来看，对于郯庐断裂带的深部结构和强震孕育机理还存在许多问题和争议，继续开展地壳构造变形特征的研究是十分必要的。

地震各向异性是了解地球深部构造变形特征的有效手段，各向异性结果能够揭示地下矿物岩石特性、深部运移模式等，可以为研究郯庐断裂带的变形机制和构造演化过程提供信息。

本文运用联合去除沉积层混响技术和接收函数研究郯庐断裂带苏鲁皖段及邻区精细的地壳各向异性结构。通过数据预处理、对接收函数的提取、去除沉积层影响、数据筛选、各向异性计算等步骤揭示郯庐断裂带及邻区地壳各向异性特征。将收集到的山东、江苏、安徽、浙江等区域台网的固定台站记录的资料，作为分析地壳各向异性的基础资料。

研究结果显示，各向异性沿郯庐断裂带存在明显的分段性。主要表现为，在郯庐断裂带中段，距离断裂带较近的范围内，各向异性快波方向与郯庐断裂带的走向基本一致。到了断裂带南段，各向异性快波方向与断裂带走向存在明显差异。郯庐断裂带的各向异性在距离上存在着一定规律。距离郯庐断裂带越近，各向异性与断裂带走向相关性越强，这意味着在郯庐断裂带中段，地壳各向异性主要由断裂带控制。然而，在郯庐断裂带最南端，合肥盆地附近，地壳各向异性结果并没有观测到类似中段的特征，表明断裂带在该区域的控制作用可能降低。时间延迟也表现为同样的特征，研究区整体的时间延迟平均值为 0.26±0.07s，但在郯庐断裂带中部，时间延迟明显增大，并且随着距离断裂带越来越远，时间延迟逐渐减小。还有一点值得注意，在 30km 范围内，各向异性与断裂带走向表现出强烈的相关性，这可能说明，郯庐断裂带存在一个 30km 范围左右的宽大剪切带。

S20-P-3

西太板缘裂谷起始演化动力学机制的一点认识

于有强 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验

* yuyouqiang@tongji.edu.cn

大陆裂解和海盆形成是地球上构造运动的两个最基本过程。大陆裂谷代表了大陆破裂的初始阶段，最终可导致大陆边缘和海洋岩石圈的形成，通常由主动地幔上涌或远场伸展应力驱动。与板块内裂谷盆地不同，边缘海盆地的驱动力和演化机制与地幔深处的俯冲板块紧密相关，超出了经典地质和浅层地球物理方法的范围，对于板缘张裂地区的深部构造认识，需要系统性地开展更深部的壳幔构造研究。为了探索板缘裂谷起始演化的动力学机制，报告人以伍德拉克裂谷和南海南部为研究对象，开展深部构造研究，观测到古俯冲存在的直接地球物理证据，并揭示了俯冲拖拽在汇聚构造背景下的裂谷初始演化过程中的主控作用。

S20-P-4

越南福隆地区中新世板内碱性-拉斑玄武岩的成因与构造意义

俞恂 [1*]，刘志飞 [1]，曾罡 [2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
2 南京大学，内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室
* yuxun@tongji.edu.cn

南海停止扩张之后，在海盆内部与周边喷出大量板内玄武岩岩浆，尤以越南南部的溢流玄武岩为甚。前人研究侧重于其中碱性玄武岩的成因探讨，建立了碱性玄武岩与地幔源区岩性和物质来源之间的关系，启示了板内岩浆作用与南海演化之间的深部关联。然而，板内岩浆作用往往表现出碱性和拉斑玄武岩相间产生的特征，在时间尺度上亦存在拉斑玄武岩向碱性玄武岩转变的趋势，前人研究缺乏对于两者之间成因联系的认识。

越南福隆地区中新世板内玄武岩形成于南海扩张末期，呈现出早期拉斑为主晚期碱性为主的特点，记录了南海停止扩张前后的地幔过程。全岩地球化学研究表明，拉斑玄武岩具有较低的 MgO、TiO_2、K_2O 含量和较高的 SiO_2、Al_2O_3 含量，亏损强不相容元素和具有亏损的放射性成因同位素组成等特征，与南海洋中脊玄武岩相似，暗示了拉斑玄武岩形成于上涌软流圈地幔的浅部部分熔融。相比而言，碱性玄武岩表现出了部分碳酸盐化地幔的地球化学特征，比如 Zr、Hf 和 Ti 的负异常、轻的 Mg 同位素组成等，压力计算结果表明碱性玄武岩岩浆起源于 3GPa 以上的深度，揭示碱性玄武岩来源于更深的地幔的部分熔融。越南福隆拉斑-碱性玄武岩的成因揭示了南海停止扩张前后地幔部分熔融由浅向深的转变，暗示了区域软流圈地幔上涌的减弱。这一现象与地幔柱模式并不一致，为认识边缘海演化和溢流玄武岩的成因提供新的启示。

S20-P-5S

南海洋中脊俯冲诱发板片撕裂的三维地球动力学数值模拟

廖林峰[1]，廖杰[1*]

1 中山大学，地球科学与工程学院
* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

洋中脊俯冲是发生在板块汇聚边界普遍且重要的一种地质过程。环太平洋俯冲带汇聚了主要的洋中脊俯冲区域，前人根据区域岩浆特征提出了扩张洋中脊俯冲导致板片窗形成的动力学模式，并将其广泛应用在西太的库拉-法拉龙扩张洋中脊俯冲、智利扩张洋中脊俯冲俯冲等区域的研究中。位于俯冲板块中的洋中脊与海沟碰撞后，软弱的洋中脊输入俯冲带可能促进了板片沿扩张中心撕裂并形成板片窗。而位于东太的马尼拉俯冲，南开海槽等消亡洋中脊俯冲区域，一个不再处于活动阶段的洋中脊发生俯冲时，即使是正向或者高角度俯冲，也不会形成板片窗。近期地球物理观测在马尼拉俯冲区域发现俯冲的南海板片在深部（大于250km）撕裂形成板片窗，这对两类洋中脊俯冲的模式提出了新的认识。本研究基于马尼拉俯冲的地质实例，使用热-力学耦合的三维地球动力学数值模拟方法（I3VIS）系统地研究扩张/消亡的洋中脊垂直进入俯冲对俯冲过程的影响，并重点研究了板片撕裂的形成以及板片窗的打开过程。

基于模型结果，我们得到以下几点认识：（1）扩张洋中脊输入俯冲带导致板块撕裂，形成板块窗；消亡洋中脊的输入形成连续的俯冲板片，但俯冲倾角沿海沟向存在横向差异；洋中脊的流变强度随洋脊冷却迅速增加导致俯冲板片难以撕裂。（2）俯冲板片撕裂以及深部板片窗的形成影响汇聚板块边缘的岩浆类型和空间分布，同时板片窗打开形成的深部地幔流促进深部物质循环和岩石圈浅部的岩浆演化。（3）结合区域构造历史，我们提出了马尼拉俯冲的板块撕裂模式。在早中新世（23-15.5Myr）扩张的南海洋中脊的输入形成了现今观测到的深部板片撕裂，而后期（15.5Myr 至今）输入的消亡洋中脊的未能形成撕裂，该模式得到了地质和地球物理观测的有力支持。

S20-P-6S

霞石岩中橄榄石斑晶组成揭示中国东部地幔中的碳酸盐化榴辉岩组分

张慧丽[1]，曾罡[1*]，刘建强[2]，陈立辉[2]，于津海[1]，邬斌[3]，王小均[2]，徐夕生[1]，刘晓文[1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 西北大学，地质学系

3 东华理工大学，省部共建核资源与环境国家重点实验室

* zgang@nju.edu.cn

板片俯冲可以将地球表层的碳酸盐物质带入深部地幔，进而对地球深部碳循环起到至关重要的作用。这种再循环的地表氧化性的碳进入深部地幔后，可以改变地幔的物理性质及其局部的氧化还原状态，提高地幔的熔融能力。橄榄石斑晶作为幔源岩浆中最早结晶的矿物，其组成可以记录地幔源区不同岩性的差异，为示踪地幔中富 CO_2 岩性提供了一个新颖的视角。基于此，本研究发表了中国东部新生代霞石岩中橄榄石斑晶的数据，这些橄榄石斑晶表现出极高的 Ca (1108–6575 ppm)、Mn (1595–5065 ppm)和低的 Fo 值(71–85)，明显不同于贫 CO_2 地幔源区（如：橄榄岩或辉石岩地幔）的橄榄石组成（Ca < 3000 ppm, Mn < 2500 ppm）。由于碳酸盐化榴辉岩源区来源的实验熔体具有高 CaO，MnO 以及低 MgO 含量，我们认为橄榄石斑晶的高 Ca，Mn 和低 Fo 的特点是继承自碳酸盐化榴辉岩来源熔体的这些高 CaO，MnO 以及低 MgO 含量的特征。另外，这些霞石岩全岩中轻的 Mg 同位素(−0.46‰–−0.37‰)和重的 Zn 同位素值(0.40‰–0.56‰)也进一步强调了这些霞石岩在形成时地幔源区中碳酸盐组分的贡献。最后，我们也对这些霞石岩中的橄榄石捕虏晶进行了分析，这些橄榄石捕虏晶呈现出明显的成分环带，其核部组成与地幔橄榄岩中橄榄石组成一致，代表了地幔捕虏体的解体；边部具有与橄榄石斑晶高度相似的成分变化，暗示了岩浆上升过程中熔体-岩石反应过程对岩浆成分的改变，而橄榄石斑晶中 Ca、Mn 与 Fo 明显的负相关则是由这种变化所引起。我们的研究表明橄榄石斑晶可以记录深部地幔中碳酸岩化榴辉岩的信号，突出了橄榄石斑晶在示踪地幔富 CO_2 岩性中的优势。

S20-P-7S

南海及周边地区上地幔与转换带构造特征及解释

明怡斌[1]，刘玉柱[2*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

南海及其周边地区的东南亚地区位于欧亚板块、印澳板块、太平洋板块和菲律宾海板块的交汇处，是地球上构造最活跃、构造最复杂的地区之一。中生代以来，该地区以俯冲为主要板块构造过程，如特提斯洋俯冲、印度板块向欧亚板块俯冲、印澳板块沿印度尼西亚岛弧俯冲、南海板块与菲律宾海板块双俯冲等。这些复杂的板块运动引发了强烈的地震和火山活动，形成了一个复杂的动态系统。对于这一区域虽然有许多研究，建立了许多成像或是动力学模型，但是到目前为止，对这一地区的构造特征与演化历史还没有达成共识。

我们使用改进的伴随态走时层析反演获得了南海及周边地区岩石圈至转换带的 3 维 P 波速度模型。反演结果显示，上地幔和地幔过渡带中存在明显的俯冲板块。（1）巽他岩石圈浅部存在广泛的低速带，可能意味着巽它岩石圈处于热减弱的过程中。（2）海南下部存在在上地幔分散，转换带集中的蘑菇状低速异常，与前人构建的海南地幔柱模型相似。（3）马来半岛下发现了可能是构成巽它岩石圈的分离块体以及苏门答腊板块折叠、撕裂的痕迹。（4）在爪哇和婆罗洲之

间 200 公里至 400 公里处发现了从爪哇向苏拉威西岛俯冲的高速异常，怀疑是形成爪哇孔洞的残余撕裂板块。（5）婆罗洲北部和南海下方的高速异常可能是双向俯冲的两块古南海板块，南部停滞在转换带之上，北部则进入了转换带。

S20-P-8

洋中脊俯冲的动力学过程

廖杰 [1*]，吴扬名 [1]，卿佳容 [1]，廖林峰 [1]

1 中山大学，地球科学与工程学院

* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

洋中脊与俯冲带是离散和汇聚的两种板块边界，这两个端元构造单元并不是相互孤立的，而是存在强烈的相互作用，其中就包括了洋中脊俯冲。洋中脊俯冲是一个较为笼统的概念，它至少包含以下几部分内容：洋中脊原位反转形成俯冲带，洋中脊与被动陆缘竞争俯冲，以及洋中脊随俯冲板块输入俯冲带。针对以上三类洋中脊俯冲的动力学过程，以南海及其周缘的观测实例为原型设计动力学模型，我们开展了一系列的动力学数值模拟实验，得出了以下认识。（1）系统模拟了洋中脊原位反转俯冲的演化过程，定量分析了物理参数的控制作用，揭示洋中脊冷却年龄越小，越容易反转形成俯冲带（Qing et al., 2021）。（2）模拟研究了洋中脊与被动陆缘的竞争关系，揭示洋中脊冷却年龄和陆缘弱化程度是控制二者谁能发生俯冲的关键，并将模拟结果与具体观测实例对比（Wu et al., 2022）。（3）模拟研究了洋中脊随俯冲板块输入俯冲带的动力学过程，揭示了洋中脊分别以高角度、低角度进入俯冲带后的两种截然不同的动力学过程，用模拟结果解释了东、西太平洋两侧的观测现象 （Wu et al., 2023; Liao et al., 2022）。

S20-P-9

南海幔源岩浆成分多样性与成因机制

钱生平 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* qianshengping@126.com

典型边缘海盆地下覆地幔常受到俯冲板块的影响和改造，为我们理解俯冲板块在地球内部的循环过程和时间尺度提供了关键线索。南海作为西太典型边缘海之一，在扩张期和扩张期后，南海海盆形成大量海山。我们对南海多个海山火山岩开展 Ar-Ar 和 U-Pb 年代学，全岩地球化学，以及熔体包裹体和矿物的原位元素和 Sr-Pb 同位素分析，并结合地球物理分析研究工作，取得了如下初步认识：

（1）南海少部分海山形成于扩张期（16 - 32 Ma），大部分海山形成于扩张期后（< 16 Ma）。扩张期海山火山岩大多是拉斑质玄武岩，而扩张期后海山火山岩大多是碱性玄武岩，具有更大的成分范围。东南亚新生代幔源岩浆成分随时间的变化主要由源区组成和岩石圈厚度变化共同控制。

（2）南海及其周围地区新生代玄武岩地幔源区存在 DMM-EM2-FOZO 三端元组分，地幔不均一性很大程度上是因年轻俯冲洋壳（< 200 Ma）经地幔过渡带再循环所导致，强调俯冲组分的化学成分多样性对于改造地幔的组成具有非常大的影响。

（3）根据东南亚新生代火山岩的时空演化和岩石地球化学结果，并结合深部地震层析成像结果和区域构造背景，提出东南亚新生代火山活动与多个板块先后俯冲引发地幔物质上涌减压熔融有关；并揭示了东南亚环形俯冲系统的深部动力过程、岩浆时空演化特征、和深部物质循环过程。

通过对南海火山岩的研究揭示了边缘海盆俯冲板块的循环过程和时间尺度，地幔的不均一性，构建了东南亚多板块俯冲过程和浅部岩浆响应之间的内在联系，可以同时

解释东南亚地区地质、地球化学和地球物理观测。

S20-P-10

钾质玄武岩 Fe 同位素示踪地壳再循环过程

曾罡[1*]，施金华[1]，陈立辉[2]，王小均[2]，刘建强[2]，谢烈文[3]，杨岳衡[3]，张慧丽[1]

1 南京大学，内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室

2 西北大学，大陆动力学国家重点实验室

3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* zgang@nju.edu.cn

地壳组分可通过俯冲等再循环过程进入深部地幔，改变地幔的组成，造成地幔的化学与岩性不均一性。最初在一些洋岛玄武岩中识别出的 EM1 型富集地幔端元，其形成往往被认为与上述过程密切相关。由于大多数 EM1 型洋岛玄武岩形成于较高的地幔柱温度，其具有较高的部分熔融程度，导致其源区 EM1 端元的信号被相对稀释，为我们理解 EM1 地幔端元的成因来源等造成困难。

分布于我国东北的新生代钾质玄武岩（$K_2O/Na_2O>1$）作为玄武岩的一个重要亚类，具有比 EM1 型洋岛玄武岩更极端的放射性成因同位素组成，且其位于太平洋西向俯冲的影响区域，为我们理解 EM1 地幔端元形成及其与地壳再循环的联系提供了理想研究对象。早期研究多认为，钾质玄武岩主要来源于交代岩石圈地幔，是含金云母橄榄岩部分熔融的产物，其富钾特征来自于源区的含水矿物金云母。但对钾质玄武岩分布区下的地幔橄榄岩捕掳体的研究发现，研究区的岩石圈地幔具有比钾质玄武岩显著亏损的放射性同位素组成，并不合适作为钾质玄武岩的源区。因此，再循环地壳物质逐渐被用于解释上述 EM1 特征，富钾的特征来自于再循环物质在深部形成的钾锰钡矿。而上述两种成因模型的核心差异，在于钾质玄武岩的源区岩性，究竟是交代的橄榄岩还是再循环的榴辉岩？围绕这一科学问题，我们选择东北地区五大连池、科洛、二克山和洛敏河四个钾质火山区的玄武岩为主要研究对象，并对比典型的 EM1 型洋岛玄武岩，以橄榄石斑晶的元素组成和玄武岩的 Fe 同位素为示踪手段，深入揭示了 EM1 地幔端元的岩性特征。

中国东北钾质玄武岩中的橄榄石斑晶成分具有低 Ni、低 Fo 和低 Ni/(Mg/Fe)的特征，这一特征与 EM1 型 Pitcairn 洋岛玄武岩中的橄榄石组成特征相似，反映二者具有相似的源区岩性，也即是榴辉岩。在 Fe 同位素组成上，东北钾质玄武岩($\delta^{57}Fe=0.15‰–0.28‰$)具有比大洋中脊玄武岩明显重的铁同位素组成，且其铁同位素与 K_2O、SiO_2、K/U、Rb/Y、Nd–Mg 同位素等存在明显相关性，表明其受到两端元混合作用的影响；EM1 富集地幔端元具有重的 Fe 同位素，这一特征无法用简单的分离结晶、地壳混染等浅部过程解释。定量计算表明，上述独特的 Fe 同位素特征主要受控于地壳物质的深部循环，EM1 地幔端元的岩性更可能是榴辉岩而非橄榄岩；而榴辉岩来源熔体在上升过程中与地幔橄榄岩的相互作用过程是造成钾质玄武岩成分特征变化的根本原因。

S20-P-11S

东北新生代玄武岩的地球化学组成揭示大地幔楔中的地幔侧向流动

周中彪[1]，陈立辉[2*]，王小均[2]，刘建强[2]，曾罡[1]，黄周传[1]

1 南京大学，地球科学与工程学院 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室

2 西北大学，地质学系 大陆动力学国家重点实验室

* chenlh@nwu.edu.cn

在东亚，地震层析成像显示俯冲的太平洋板片滞留在地幔过渡带中，滞留板片之上的上地幔被称为大地幔楔。中国东部新生代的基性火山作用通常被认为是由大地幔楔中的地幔垂直上涌所导致，然而这种模型很难解释东北东部岩浆喷发的时空分布特征。东北东部新生代玄武岩的地球化学组成显示出一个亏损地幔端元与 EM1 型富集地幔端元的二端元混合特征。玄武岩的化学富集程度与岩石圈结构具有良好的相关性：岩石圈厚度越厚，玄武岩越富集；岩石圈越薄，玄武岩越亏损。模拟计算结果表明一个不均一的垂直上涌地幔在东北东部岩石圈之下的深度区间内很难产生所观察到的玄武岩空间化学变化。因此，结合前人的地球物理观察，除了地幔垂直上涌，我们认为东北之下的大地幔楔中还存在有地幔的侧向流动。

S21-O-1

深部地质过程与碳氢氦资源前景

刘全有[1*]，金之钧[1]，朱东亚[2]，孟庆强[2]，许汇源[2]，李朋朋[1]，刘佳宜[2]，黄小伟[1]，王静彬[2]，丁茜[2]

1 北京大学，能源研究院

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* liuqy@pku.edu.cn

板块俯冲、深大断裂发育、深部岩浆火山活动等深部地质作用过程触发深部流体广泛活跃，引起深部圈层与浅部圈层之间强烈的物质与能量传输和广泛的有机-无机相互作用，影响浅部盆地中油气、非生物烷烃、氢气和氦气资源的形成与富集。俯冲带高温高压条件下碳氢加工厂效应促使非生物烷烃和氢气在深部地幔广泛形成，橄榄石蛇纹石化水岩反应也促使烷烃和氢气的形成。在洋中脊、裂谷带、火山岩/橄榄岩发育区非生物 CH_4 和 H_2 具有较高含量。中国东部地区多个裂谷盆地，莺歌海、苏北、渤海湾、松辽等盆地中都有不同类型非生物气聚集形成的经济性气藏，但不同气藏中非生物气组成差异显著，或以 CO_2 为主，或以 CH_4 为主，并含有一定量的 H_2。通过高过成熟烃源岩加氢生烃模拟实验，证实深部来源 H_2 可以使高过成熟烃源岩再次活化生烃，并且，系统中有机质生成的二氧化碳会与加入的氢气通过费托合成反应形成甲烷，产率提高 2.75 倍数；丰富了有机质生烃机理，增加了深部资源潜力。深部热液流体促使热液石油的形成、原油热蚀变以及烃类分子化合物转化。对云南兰坪热液铅锌矿、腾冲、苏北黄桥富 CO_2 油气藏、塔里木顺北深大断裂控制下油气藏进行解剖，揭示热液作用影响下，原油 UCM 鼓包更加显著，含有更多的多环芳烃化合物、含 S/O 化合物等，明确顺北 5 号带和顺北 1 号带影响强弱的差异。深部地质作用促使深部氦气向盆地运移和富集成藏。在我国东部构造活动区的中、新生代油气藏，如济阳坳陷花沟和苏北黄桥气藏中的 He 含量高达约 3%，$^3He/^4He$ 比值普遍>1Ra，以幔源氦气为主。中西部古老克拉通盆地中古生代油气藏中 He 含量多达 0.5%，$^3He/^4He$ 比值大多<0.2Ra，以壳源氦气为主；基底花岗岩、变质岩、高铀白云岩和泥页岩等具有较强生氦潜力，供给丰富的氦气资源。深部地质作用过程和深部构造背景的差异决定了中国东部中新生代裂谷盆地与西部古老克拉通盆地中碳、氢、氦资源成因和成藏的差异性。东部盆地中有丰富非生物烷烃、氢气和幔源氦气资源的富集；中西部盆地中深部地质作用增加深部油气资源，影响油的热变转化，并有丰富壳源放射性氦气富集。 本研究由国家自然科学基金石化联合基金集成项目（U20B6001）资助。

S21-O-2

走滑断裂的内部结构单元、渗透差异特征及其输导遮挡控藏模式

罗群[1*]，王千军[2]

1 中国石油大学（北京），非常规油气科学技术研究院

2 中国石化胜利油田分公司，勘探开发研究院

* luoqun2002@263.net

走滑断裂及其控藏规律已经成为油气勘探的热点，而走滑断裂的内部结构单元及其输导封闭特征控制着油气的运聚、富集与分布，是探索走滑断裂控藏规律的关键，但不同类型的走滑断裂内部结构单元、输导特征及其控藏规律，目前还不甚清楚。本文通过野外精细表征、物理模拟实验和典型实例剖析，揭示了走滑断裂内部结构及其控藏特征，取得如下认识：走滑断裂内部结构包括断层核、其两侧的滑动破碎带和诱导裂缝带三个单元 5 个带，而不是目前流行的断层核及其两侧的诱导裂缝带共 2 个单元 3 个带；张扭性走滑断裂无论在静止时期还是在活动时期，断层核输导性最好、其次是滑动破碎带，再次是诱导裂缝带，如在活动时期曾输导过油气垂向运移，其静止期输导性因油气凝结断裂各个单元，导致断层滑动破碎带封闭性最好，断层核渗透性最好，其次是诱导裂缝带；压扭或纯扭性走滑断裂在活动时期断层核封闭性最好，其次是诱导裂缝带，滑动破碎带输导性最好，压扭或纯扭性走滑断裂在静止时期断层核封闭最好，其次是诱导裂缝带，滑动破碎带输导性最好。同等情况下，张扭性走滑断裂纵横向输导性要好于压扭和纯扭性走滑断裂，主动盘输导性好于被动盘，断裂活动时期的输导性好于静止时期。无论是活动与否，走滑断裂的主动盘以输导层油气垂向运移为主、被动盘以横向遮挡油气继续运移为特征。再此基础上，构建了准噶尔盆地吉木萨尔凹陷西部走滑断裂的控藏模式。

S21-O-3

中国东部幔源氦气资源富集成藏机理

王晓锋[1*]，刘全有[2,3]，刘文汇[1,4]，张东东[1]，李孝甫[1]，赵栋[1]

1 西北大学地质学系/大陆动力学国家重点实验室

2 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室

3 北京大学能源研究院

4 中国石化石油勘探开发研究院

* wangxf@nwu.edu.cn

氦气是高新技术产业发展不可替代的重要稀缺战略资源，天然气中氦的含量达到 1000ppm 以上即具有工业开发价值。目前探明具有工业价值的氦资源以壳源为主，花岗岩是壳源富氦天然气中氦的主力源岩。体积巨大的花岗岩体中 U、Th 经过长时间放射性衰变产生的 ^4He，在构造抬升与温压条件变化时从孔隙水中脱溶出来，与烃类天然气复合成藏是目前已发现富氦天然气藏的主要成藏模式。幔源流体是否富氦、幔源氦气如何富集成藏的研究仍然比较薄弱。中国东部含油气盆地是西太平洋板块俯冲背景下形成的一系列边缘海盆地和断陷-坳陷盆地，盆地内发现了不同类型的富氦天然气藏(He>1000ppm)，包括富氦 CO_2 气藏、富氦 N_2 气藏和富氦烃气藏。无论是哪种富氦天然气类型，其共同特征是具有相对较高的 $^3He/^4He$ 比值。富氦天然气的 $^3He/^4He$ 比值主要分布在(0.88~4.91)Ra，平均 2.82Ra，幔源 He 贡献比例相对较高。受古太平洋板块俯冲、地幔交代作用等因素影响，中国东部幔源流体的 $^3He/^4He$ 在(3~5)Ra，远低于洋中脊玄武岩(MORB)。结合地幔岩包体和幔源 CO_2 气藏氦同位素特征认为，中国东部富氦天然气中的 He 以幔源为主 (>70%)。原始地幔挥发份以 CO_2 为主，He 含量较低(<200ppm)。幔源 He 的富集过程主要与 CO_2 的溶解与矿化有关，中国东部以非烃气体为主的天然气(非烃>95%)其 $CO_2/^3He$ 比值与 He 含量呈很好的负相关关系，CO_2 消耗过

程中 $CO_2/^3He$ 比值由 2×10^9 降至 2×10^6 左右。同时，保留在气相中的 He、N_2 浓度与 CO_2 浓度成反比例增加。中国东部 CO_2 储层中形成大量相对富集 ^{13}C 的片钠铝石等碳酸盐矿物，同时残余 CO_2 气体相对富集 ^{12}C 是 CO_2 的溶解与矿化重要证据。CO_2 的溶解与矿化过程中，幔源 He 和 N_2 气体相对丰度增加了上千倍，是形成幔源岩浆成因富氦 CO_2 气藏和富氦 N_2 气藏的主要机制。这些幔源富氦非烃气体与有机成因天然气混合成藏是富氦烃气藏形成的主要原因。中国东部含油气盆地是目前全球唯一已发现的幔源富氦天然气藏的地区，我国东部烷烃天然气资源相对较少，但幔源 CO_2 气藏众多，是 He 资源勘探开发的重要方向。

S21-O-4

沉积盆地深层高含量氢气来源及地质意义：以松辽盆地为例

韩双彪[1*]，王成善[2]，Brian Horsfield[3]

1 中国矿业大学（北京），地球科学与测绘工程学院

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

3 德国地学研究中心（GFZ），有机地球化学部门

* bjcuphan@163.com

松辽盆地深部连续高含量氢气异常的发现为地下氢气资源研究提供了新的契机。松科 2 井在登娄库组、沙河子组以及基底地层均发现有氢气异常显示，含量呈“高-低-高”的分布特征。采集的天然气样品中，氢气含量在登娄库组样品中最高可达 20.16%，在基底的样品中最高可达 26.89%。在基底变质岩储层中，气测结果显示高含量氢气连续富集。氢气的形成过程复杂，来源多样。通过同位素以及地层中氢气、甲烷的含量绘制氢气成因识别图版，并结合测井结果、镜下特征与地震剖面发现，松辽盆地登楼库组氢气可能为壳源的水的辐解生成，沙河子组氢气主要通过壳源的有机质热解产生，而基底的氢气既受到幔源脱气的影响，也受到含铁的矿物（如辉石、角闪石）发生水岩反应产氢的影响。由于板块碰撞与俯冲，使得松辽盆地深部不仅有活跃的深部流体运动，也出现了明显的莫霍面不连续现象。深部流体的地球脱气作用，结合深大断裂与不整合面共同控制气体向上运移，是松辽盆地深层高含量幔源成因氢气富集的有利地质条件。深部流体与火成岩中岩石矿物的水岩反应是壳源氢气富集的良好因素，而登楼库组中高放射性元素异常层的存在也指示着地层水辐射分解产氢的可能。

S21-O-5

深源氢气运移过程的数值模拟

孟庆强[1*]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，科学技术实验研究中心

* mengqq2004@163.com

氢气是一种可燃能源气体，在“双碳战略”目标下，在减少碳排放方面被寄予更多的期望。氢气的成因复杂，但深源氢气是一种重要的、清洁的来源方式。但是，氢气如何从地球深部向浅部运移，其运移是否受控与介质特征控制，需要进一步深入研究。本文基于地幔橄榄岩中橄榄石和辉石的岩石学特征，建立了不同运移介质条件下氢气的运移特征，并通过第一性原理分子动力学数值模拟，重建了不同的孔隙特征下氢气的运移特征。研究表明，介质的孔隙特征控制着氢气的运移量。裂隙的宽度对氢气的运移并不成正比，矿物内部裂隙具有不可忽视的输氢能力，因此，在研究氢气的分布过程中，要重视矿物内部孔隙的输氢能力。该研究对于进一步明确深源氢气的分布具有指导意义。

S21-O-6

中国含油气盆地岩浆活动及其对油气成藏的影响：裂陷盆地 VS. 压陷/克拉通盆地

张晨 [1*]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

* zhangchen2022@cdut.edu.cn

岩浆活动伴随着物质和能量，不但对含油气盆地盆地的动力系统及热状态起到了积极的控制作用，而且对油气的生成、运移、聚集以及保存等各静态要素和动态过程均造成了显著影响。含油气盆地油气成藏的传统研究主要聚焦于沉积、构造和成岩等方面，忽视了岩浆活动的作用。我们以中国 5 个裂陷盆地（渤海湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地、海拉尔、东海陆架盆地）和 4 个压陷/克拉通盆地（准噶尔盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、三塘湖盆地）为研究对象，从不同角度系统总结并揭示了中国含油气盆地岩浆活动及其对油气成藏的影响机制。研究表明，裂陷盆地和压陷/克拉通盆地岩浆活动特征和对油气成藏的影响方式具有差异性。中国裂陷盆地经历了多期伸展作用，伴随多期地幔岩浆活动，同时发育有深大断裂深切入岩石圈地幔和软流圈。这导致裂陷盆地通常形成高含地幔成因 CO_2 天然气藏，这些 CO_2 对储层具有溶蚀改造作用。幔源富氢物质补偿有机质热降解所需要的氢，从而大幅度提高烃的产率。地幔上涌产生的热能促进沉积有机质的成熟和热演化，并为烃类运聚提供动力。中国压陷/克拉通盆地中-酸性岩浆活动较频繁，同时形成了大量火山灰。火山灰在沉积阶段促进有机质富集，在成岩作用阶段促进有机质的生烃作用。有机酸和碱性流体导致岩浆岩储层和沉积岩储层发生蚀变和溶蚀作用。岩浆侵入体不仅可以形成油气遮挡层，产生有效圈闭，还可以刺穿地层，与地层不整合面形成优势疏导体系。因此，不同类型盆地岩浆活动产物不同，对油气成藏的影响机制也有所差异。虽然岩浆活动对油气成藏的积极影响十分显著，但也有消极破坏的一面，如破坏早期形成的油气藏、使油气过成熟而裂解逸散等。岩浆活动对油气成藏作用的利弊，主要取决于油气的运移和充注、圈闭的形成以及岩浆活动时限等几个因素之间的匹配关系。因此，在含油气盆地的油气勘探和储量评价中，岩浆活动是重要的考虑因素。

S21-O-7

盆地及地壳深部 CH4-CO2 转化机制及其资源环境效应

胡文瑄 [1*]，王小林 [1]，康逊 [2]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 中南大学，地球科学与信息物理学院

* huwx@nju.edu.cn

传统理论认为，CH_4 和 CO_2 都是比较稳定的。我们最近研究发现，CH_4 在一定的条件下可以氧化为 CO_2，从而改变碳的赋存形成，影响地质系统的物理化学性质，以及碳循环方式和行为，最终产生迥然不同的资源与环境效应。

对准噶尔盆地百口泉组砂砾岩油气藏研究发现，甲烷等烃类进入氧化性砂砾岩储层后发生了氧化，形成 CO_2 和 H_2O。氧化剂是高价锰/铁氧化物，温度 90 至 135 °C。这一氧化作用消耗了大量 CH_4 等烃类组分，产生了富 CO_2 流体，进而对长石产生溶蚀，为油气储集提供空间。同时 CO_2 还与 Ca^{2+} 结合形成次生方解石，具有极低 $\delta^{13}C$ 值，且以富锰为特征。这一热化学氧化作用过程，使 CH_4 转化为 CO_2，且大部分以次生方解石的形式固定下来，即完成了由碳源向碳汇的转变，阻断了 CH_4 向大气圈的排放。另外，这一热化学氧化也显著消耗了盆地中 CH_4 的量，对于天然气聚集成藏是不利因素。

在深部岩浆热液系统中，CH_4 和 CO_2 是的重要组分。为了揭示两者的转化机制，我们以含三价铁的黑云母、角闪石和辉石作为

氧化剂，研究这些矿物对甲烷进行氧化的可能性及其起始反应温度和反应机理。结果表明，这些矿物都可以将 CH_4 氧化为 CO_2，黑云母对甲烷的氧化起始氧化温度约为 150℃，角闪石起始氧化温度为 140℃，辉石起始温度为 210℃。可见 CH_4 氧化为 CO_2 的温度并不高，CH_4 在岩浆热液体系中并不是非常稳定的，遇到含有高价金属的矿物就可以被转化为 CO_2。因此，岩浆热液系统中的 CO_2 并不一定都源于地幔或地下岩浆房，可能有相当一部分 CH_4 的氧化产物。

众所周知，深部地幔具有还原性特点，碳的赋存形成是以 CH_4 为主的。在岩浆上升过程中，一旦有较多的 CH_4 转化为 CO_2，热液流体的性质就会发生变化。一方面热氧化过程中一些铁镁硅酸盐矿物发生溶解转化，会析离出一些金属阳离子；另一方面，富 CO_2 流体也会引起一些碱性矿物的溶解，同样会析出一些成矿元素，在特定条件下会形成含矿热液，这也许是很多矿床都富含 CO_2 的内在原因。同时，由于大量 CH_4 转化为 CO_2，CO_2 又可以通过碳酸盐化等形式沉淀下来（形成碳汇），阻止了 CH_4 进一步向大气圈排放，可能对大气圈的气候变化具有良好的正效应。

S21-O-8

非生物甲烷在冷俯冲板片中的命运及其通量研究

张丽娟 [1*]，张立飞 [1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* lijuanzhang@pku.edu.cn

* lijuanzhang@pku.edu.cn

甲烷（CH_4）的生物和非生物成因已经争论百年之久。虽然地球上绝大部分天然油气田是生物成因的，但越来越多的证据表明非生物成因的甲烷也发挥了重要作用。不同背景下超基性岩石在蛇纹石化作用过程中形成的非生物甲烷已得到广泛关注，相比之下对于俯冲带基性岩石中非生物甲烷的形成却知之甚少。西天山高压-超高压变质带为全球少有的洋壳岩石经历深俯冲并折返至地表的冷俯冲变质带，作者在榴辉岩的主要组成矿物石榴石和绿辉石中均发现了大量富含 CH_4 的原生流体包裹体（$H_2O + CH_4 \pm N_2 \pm$ 方解石±石墨）。石榴石从核到边发育 4 圈明显的生长环带，富 CH_4 的流体包裹体只遍布于进变质石榴石核部（Grt I 和 Grt II）且沿石榴石生长环带规律分布，而在石榴石边部（Grt III 和 Grt IV）却并未发现。岩石学特征和碳氢同位素组成都证实了这些 CH_4 为非生物成因，是进变质作用过程中多种反应机制共同作用的结果。相反，富 CO_2 流体包裹体则发现于退变质矿物含铁白云石中。相平衡计算和 DEW 模拟表明：甲烷形成的有利温压条件为 450-560℃和 1.5-3.5 GPa，氧逸度为 FMQ-2 至 FMQ-3.5 的还原环境。在板块冷俯冲进变质和抬升折返过程中：当板块俯冲到~50 km 时，产生的甲烷占俯冲带变质流体中所有含碳种类的 61%；当板块俯冲到~80 km 深度时，甲烷达到峰值约 97%的；当俯冲到 80-120 km 弧下深度时，甲烷的量一直保持在峰值左右；在减压折返过程中，甲烷的量急剧减少，而氧化性的含碳相（如 CO_2 和 H_2CO_3 等）急剧增加，与岩石学观察相一致。进一步通量估算显示全球现代俯冲带中的榴辉岩释放的非生物 CH_4 通量可达 10.8 Mt/y，表明冷俯冲板块高压-超高压进变质过程中产生的甲烷气是目前所知非生物甲烷气的最大来源，其向上迁移至合适的储盖层条件时就有可能形成潜在的天然气田，甚至通过火山脱气作用进入大气圈进而对气候和环境产生重要影响。

S21-O-9

深部流体作用下“金属-原油”耦合成藏系统初探

许汇源 [1,2]，刘全有 [1,3*]，金之钧 [1,2,3]，朱东亚 [1,2]，孟庆强 [1,2]，石巨业 [4]，梁新平 [3]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室
2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
3 北京大学，能源研究院
4 中国地质大学（北京），能源学院
* xuhuiyuan.syky@sinopec.com

全球范围内重要的金属矿床中出现丰富的有机质（及原油），如澳大利亚 McArthur 盆地的“HYC”Pb/Zn/Ag 矿床、欧洲 Kupferschiefer 地层的 Cu/Fe 矿床、美国密歇根州北部 Nonesuch 地层的 Cu 矿床、中国鄂尔多斯盆地北部的中侏罗系-志留系地层砂岩 U 矿床、中国云南兰坪金顶地区 Pb/Zn 矿等。但关于矿床和有机质（及原油）之间关系仍未知。其中的核心问题是：1）矿床中有机质（及原油）的来源，它与矿石形成共生？还是在矿石形成之前、期间或之后从外来的？2）它在埋藏过程中与金属热液相互作用的程度和范围？3）它对金属的成矿、运移、沉淀和成藏的影响频率和程度及其实际作用是什么？4）从原油（烃类）的生、运、聚过程角度出发，对有机质改造如何？过程中有哪些特征记录？

在对有机-无机相互作用没有进行充分的科学研究之前，无法准确地回答这些问题。由于存在“观察者效应”，尽管有机地球化学显示出与热液或矿物地球化学的明显相关性，许多从油气系统中开发出来的参数，在金属矿物系统中受到影响。如粘土矿物影响芳烃甲基化程度；热成熟影响伽马蜡烷指数对水体分层（盐度）的指示。相应的，有机化合物与金属硫化物发生氧化还原反应，影响成矿物理化学性质，如 pH 值、溶解度、温度。原油和金属热液共生，有机酸等促进储层孔渗结构发育，利于成藏。此外，热液矿物甚至可能催化类似费托合成式的非生物气的合成。

油藏与金属矿藏之间的相互耦合性，以及烃类有机化合物和与富金属热液流体之间的相关性，决定了有机-无机相互作用在“金属-原油”成藏勘探中的科学价值。本研究通过分析中国南方热液 Pb/Zn/Hg 等矿床，旨在探索可靠的有机地球化学现象，明确传统有机地球化学方法在“金属-原油”耦合成藏系统中及内在有机-无机相互作机制研究方面的局限性。研究集中在“金属-原油”耦合成藏系统内的有机分子和复杂化合物的分子组成及同位素组成特征，预测相关转化模型。如正构烷烃和多环芳烃丰度、$\delta^{13}C$、$\delta^{34}S$、烷基化和芳构化程度与矿物浓度之间的相关性及趋势。

S21-O-10

深部流体环境下金属离子对无机氢气和烃类生成机制影响研究

黄晓伟[1*]，金之钧[1]，刘全有[1]，朱东亚[2]，孟庆强[2]，刘佳宜[2]

1 北京大学，能源研究院
2 中国石油化工股份有限公司，石油勘探开发研究院
* huangxiaowei@pku.edu.cn

为研究深部流体环境下过量镁离子对蛇纹岩化及费托合成反应的影响，本研究通过模拟对比实验，在 300℃、50Mpa 下条件下将橄榄岩分别与 $MgCl_2$ 溶液和去离子水在封闭环境下的系列反应。实验结果表明，过量镁离子的加入会导致橄榄岩水蚀时生成更多的 H_2 和 CO_2，可能涉及过量镁离子加入后蛇纹岩和方解石的加速溶解以及磁铁矿产量的增加，从而加快了蛇纹石化及方解石溶蚀的反应，导致 H_2 及 CO_2 的产率倍增，同时由于费托合成反应的持续损耗，二者产率随时间呈下降趋势；与前人研究蛇纹石化实验不同的是，过量镁离子加入后，烯烃及重烃的产率远高于加入去离子水时，特别是其以乙烯的选择性合成为主（选择性大于 50%），且随反应时间的增加乙烯产率缓慢减少而丙烯及异丁、异戊烷呈上升趋势，由于反应的产物及速率主要取决于催化剂，过量镁离子加入后生成含镁化合物加速蛇纹岩化磁铁矿（费托合成反应催化剂）的生

成，在催化剂中作为载体及助剂，加速费托合成反应并提高了烯烃的选择性合成，同时抑制重烃气裂解成甲烷，这对自然界中原始大分子的生成研究提供了重要的理论支撑。

S21-O-11

超深层凝析油气藏形成机制与富集主控因素——以塔里木盆地顺北 4 号断裂带为例

彭威龙[1,2*]，张继标[1]，邓尚[1]，刘雨晴[1]，李映涛[1]，邱华标[1]，孙珂[1]，刘大卫[1]，王铁一[1]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

2 中国石化深部地质与资源重点实验室

* pengwl26@yeah.net

基于油气地球化学方法（全油色谱、轻烃色谱、同位素组成等），结合地层温度、构造演化背景，分析凝析油气成因及次生改造作用；基于优质烃源岩地球物理属性，结合沉积相分析，刻画顺北地区寒武系玉尔吐斯组烃源岩分布；结合古构造、古地温、油气地化特征等分析烃源岩成熟度；基于包裹体均一温度、U-Pb 定年、埋藏史分析、断裂活动期次与活动强度分析、流体性质分析，确定凝析油气主成藏期；基于单井产能特征表征油气富集程度，结合油气成藏条件（储集体规模、烃源岩分布特征、断裂活动强度等）分析油气差异富集主控因素。结论：顺北4号断裂带凝析油气主要为原生热成因形成，其形成过程受到有机质差异演化、多期成藏、差异次生改造影响；整体上顺北 4 号断裂带油气经历的次生作用相对较弱，但在 4 号带中段凝析油气受到的次生改造作用相对较强，次生作用包括 TSR、原油裂解、气侵作用等；顺北 4 号断裂带凝析油气成藏富集主要受到规模储集体以及充注条件影响，4 号带北段储集体规模较大、充注条件较好，呈现整体高度富集的特征。克拉通盆地超深层海相碳酸盐岩地层在我国广泛分布，资源类型以凝析气和纯气藏为主，超深层海相地层是凝析油气和纯气藏勘探的重要接替领域，明确凝析油气成因机制对资源评价与勘探部署具有重要的现实意义和理论意义。

S21-O-12

西澳伊尔冈克拉通太古代深海沉积黄铁矿记录的大气和热液硫同位素特征

陈咪咪[1*]，IH, Campbell[2]，JN, Ávila[3,6]，田伟[1]，PC, Hayman[4]，RAF, Cas[5]，TR, Ireland[2,6]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 Australian National University

3 Griffith University

4 Queensland University of Technology

5 Monash University

6 University of Queensland

* mimi.chen@pku.edu.cn

太古宙绿岩带火山作用具有典型的科马提岩-拉斑玄武岩组合，属大火成岩省的一个重要类型。短期内高强度的绿岩火山活动对大陆增生、大气成分变化、地球早期生命演化以及多种金属元素的富集成矿均具有重大影响。我们结合西澳伊尔冈克拉通～2.7 Ga Eastern Goldfields Supertarrane 绿岩带的火山层序，对与绿岩火山互层的沉积物进行系统采样与微区原位多元硫同位素分析，建立全球首个完整的绿岩火山沉积地层多元硫同位素剖面，发现深海沉积硫化物的硫非质量相关分馏(S-MIF)信号($\Delta^{33}S$)与水下喷发的绿岩火山活动及强度密切关联：火山作用强烈时单位时间内释放到海水中的地幔硫(以硫化物纳米颗粒的形式)急剧增多，导致沉积物中 S-MIF 信号的减弱。我们还发现，页岩和富碳质硅质岩中的黄铁矿具有明显正 $\Delta^{33}S$ 值，而来自硅质岩的黄铁矿并未表现出 $\Delta^{33}S$ 异常。此外，岩相学观察首

次确认绿岩带深海沉积物存在原生热液硫化物组合。研究区沉积物中普遍发育的磁黄铁矿与黄铁矿类似，均属同沉积或早期成岩阶段产物。由于太古宙海水极度缺氧，黑烟囱口附近形成的硫化物纳米颗粒，尤其是强还原性的磁黄铁矿，得以远距离搬运，作为“碎屑”物质参与到沉积型黄铁矿的形成中。因此，我们认为 S 的主要来源是大气单质硫 S_8（$\Delta^{33}S > 0$）和来自洋底热液喷口的硫化物纳米颗粒（$\Delta^{33}S = 0$）。在极度缺氧的太古宙海洋中，从热液喷口释放的硫化物纳米颗粒随着洋流运移并在洋底逐渐累积。远离热液喷口的沉积物在形成过程中，磁黄铁矿与单质 S_8 反应形成黄铁矿，直至单质硫耗尽。而在热液喷口附近形成的沉积物，由于来自热液的黄铁矿快速堆积，极大减弱了大气单质硫的沉淀。因此，深海沉积物中黄铁矿的$\Delta^{33}S$ 变化受控于直接来自热液喷口的黄铁矿以及经由磁黄铁矿-单质硫反应形成的黄铁矿的相对比例的变化，区域洋底热液活动是深海沉积 S-MIF 记录的重要控制因素。全球几个主要克拉通在～2650 Ma 抬升至海平面之上，陆相喷发的中酸性火山活动随之显著增加，从而导致了全球尺度的沉积黄铁矿$\Delta^{33}S$ 信号的显著升高。

S21-O-13

全球油气系统与常规和非常规油气资源联合定量评价

庞雄奇 [1,2]，贾承造 [3*]，李博媛 [1,2]，刘阳 [1,2]，胡耀 [1,2]，施砍园 [1,2]，王雷 [1,2]

1 中国石油大学（北京），油气资源与探测国家重点实验室

2 中国石油大学（北京），地球科学学院

3 中国石油勘探开发研究院

* pangxq@cup.edu.cn

油气是大自然遗赠给人类的礼物，但地球上有多少油气资源至今无法予以评价，油气系统理论的创立和发展为解决这一难题创造了条件。经典油气系统理论科学地阐述了常规油气藏形成和分布规律，奠定了现代油气地质学理论基础，为常规油气资源评价创造了条件。它在多源成藏、多期成藏、多要素成藏等复杂条件下应用遇到了系列挑战并得到了进一步完善和发展，不少学者为此相继提出了复合油气系统、总油气系统、复合总油气系统、油气成藏体系等新概念新模式，为复杂地质条件下常规油气资源评价提供了理论指导。随着各种不同类别油气资源的发现，油气系统理论难以阐述常规和非常规油气联合共生的地质特征、成因机制和分布规律，因此有学者提出了全油气系统概念并建立了常规和非常规油气藏有序分布的基本模式，为多类别油气资源联合评价与综合勘探提供了新的理论和方法指导。本文在此基础上进一步提出了全球油气系统新概念、确立了各类油气资源联合共生的定量关联模式，应用相关模式研发应用技术第一次定量评价出全球油气生成总量约 141.8 万亿吨油当量，常规油气、致密油气、页岩油气在当前采收率、未来 50%和 100%采收率等条件下的现实资源量、预期资源量和终极资源量分别为 2.18、12.9 和 25.8 万亿吨油当量，为人类制定未来勘探开发它们剩余资源量的发展战略和规划提供了科学依据。

S21-O-14

中国地球各圈层资源链条整合的战略意义

李梅 [1*]，潘文庆 [1]，张君龙 [1]，陶小晚 [2]，刘绍新 [1]，柴绪兵 [1]，刘洋 [1]

1 大庆油田有限责任公司新疆分公司

2 中国石油勘探开发研究院石油天然气地质研究所

* 3154116119@qq.com

中国西北处在印度板块与欧亚板块的碰撞带上，东部是处在太平洋壳与欧亚板块碰撞带上。从大陆裂解聚合，板块漂移，洋壳俯冲，沧海变桑田，深入分析研究中国的地质地貌构造带，蕴含了全世界最丰富的地

球深部各圈层的特征。根据油气主要通过超深层断裂沟通，才能运移富集在储层里的机理，要深入研究盆山结合处，陆陆碰撞带，洋壳与陆壳，洋壳与洋壳，所形成的深大裂陷—俯冲带。根据中国各造山带特征分七块区域，整合建立中国地球各圈层资源效应标志物图谱。

1、新疆阿尔金、天山、昆仑山、阿尔泰及盆、山结合部位。2、青藏高原世界屋脊特提斯构造域是全球最重要的金属矿产和油气等资源能源战略要地。3、中央造山系是中国大陆完成主体拼合的主要结合带。4、华南地块 有多个小地块，相互作用叠合在一起，构成了多彩的资源。5、华北地块是大平洋大地幔楔的集中反映的地区。环太平洋俯冲带是全球著名的金矿成矿域，保存洋-陆相互作用、陆-陆碰撞以及陆壳增生等关键地质记录 6、中国沿海地区是洋壳与陆壳碰撞俯冲产生的资源效果，广东南海深海一号天然气藏，中海油渤海湾凝析气藏，大陆架上天然水合物，四个大洋州的洋中脊深海猛铁矿勘探等资源。7、星际和太空中的资源。8、获取重大资源能源需求时，防震减灾，避免重大灾害。

从超深层油气成藏要依靠深大断裂，要想在超深层里获得重大油气勘探突破，要系统研究地球深部各圈层资源能源产生的科学机制，与重大地质事件背景相结合。要整合疏理中国地球各圈层成矿的技术流程，凝练出各重要政治经济稀缺资源的生成原理，控制机制，国家层面上部署战略性资源。深海油气资源的承包区块技术，四大洋的公海金属矿床的圈定技术，确定出与环境和谐的特提斯域青藏高原原油气资源以及矿产资源的储备科学问题，以郯庐断裂为首的华北沿海城市的地震减灾科学问题，地球深部来源的氦气和氢气以最轻的身份进入太空中，所涉及到的太空采矿问题，月球上的月壤以及火星上的岩石，所构成的最年轻的火成岩，进行科学问题研究，保护地球，进一步再造地球。培养人才方面把地球各圈层元素的变化纳入到通识教育中，领略地球五次生物大灭绝，地球依然从夹缝中上繁盛生命。地球是人类蓝色的母亲，以她的广阔胸怀提供了无限的深部能源资源，同时以宽大的胸怀，接受天外来客陨石，为了和谐绿色家园发展，需要成立中国国家型的地球圈层科学部，在制定国家政策发展时，提供大格局的决策科学依据，造福人民！

S21-O-15

火山活动对淡水湖盆铁化与硫化环境形成的影响-以鄂尔多斯盆地长 7 段为例

高嘉洪 [1,2]，金之钧 [1,2,3*]，梁新平 [1,2]

1 北京大学，能源研究院

2 北京大学，地球与空间科学学院

3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* jinzj1957@pku.edu.cn

鄂尔多斯盆地作为典型的淡水盆地，长 7 段的 TOC 最高却达 30%，远超过了咸化湖盆的平均水平，其有机质富集主控因素的讨论是一个热点问题。大量研究表明，长 7 段页岩较高 TOC 层段中普遍伴生多套凝灰岩层，指示着长 7 段页岩沉积时期伴随着强烈的火山活动，也暗示着淡水湖盆富营养化与火山活动存在着一定的内在联系。通过对鄂尔多斯盆地长 7 段页岩的主微量数据分析，发现长 7 段页岩受火山活动影响，Al 和 K 等粘土矿物富集元素，Ni、Cr 和 V 等指示高古生产力和还原环境的元素，以及 Zr、Th 和 Hf 等不易流失的高场强元素含量相对较高。凝灰岩层段上部有机质明显富集，生烃强度逐渐升高，指示凝灰层上段的古生产力的提升。同时，鄂尔多斯长 7 段富有机质页岩整体 $Fe_{HR}/Fe_T \geq 0.38$，$Fe_{py}/Fe_{HR} \leq 0.8$，整体上属于缺氧含铁的还原环境。随着 TOC 的提高，Fe_{py}/Fe_{HR} 逐渐提升高，指示有硫化的趋势。当长 7 段 TOC 含量大于 6%，Mo 元素含量、Mo_{EF}/U_{EF} 比等均说明长 7 沉积时期部分富有机质形成于 Mo 富集的硫化环境。综上，火山活动向淡水湖盆输入的火山物质

和无机元素提高了古生产力，并促进形成了短时性的有利于有机质保存的还原环境，从而形成了异常高有机质富集的页岩层段。因此在淡水湖盆对富有机质页岩勘探和开发时，应当将含凝灰质层段的上部的富有机质层段纳入重点勘探和开发关注对象之一。

S21-O-16

泥页岩成岩演化过程中润湿性的转变与页岩油赋存

李旭[1*]，蔡进功[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* lixu_0424@tongji.edu.cn

* jgcai@tongji.edu.cn

页岩油勘探开发实践表明，页岩的含油性和可动性具有显著的非均质性。近年来，大量数值模拟研究表明，流体与孔隙壁之间的界面作用对页岩中烃的赋存方式以及页岩油气的渗流能力等具有重要的控制作用，故流体—孔隙壁界面相互作用的研究是认识页岩油赋存和渗流机理的关键。润湿性是表征流体—固体界面作用的重要定量参数，因此，页岩润湿性的研究对深入理解页岩油气的赋存（含油性）和渗流（可动性）过程具有重要意义。沉积物和沉积岩中广泛存在着各类性质不同的矿物，这些矿物由于结构差异而具有不同的界面属性（表面积、表面电性），进一步的，矿物尤其是粘土矿物通常并不是独自存在，而是与有机质构成有机-粘土矿物复合体，从而具有更为复杂的界面属性特征。更为重要的是，页岩埋藏演化过程中，矿物尤其是粘土矿物会发生显著的成岩作用，有机质的性质及其赋存态也随着生烃作用的进行而不断变化，进而造成页岩的润湿性不断变化。为了研究这种变化，本研究针对人工合成有机-粘土矿物复合体与不同演化程度的天然泥页岩样品，通过高温高压热模拟实验、N2 吸附、EGME 吸附和接触角等测试，系统的研究成岩演化过程中矿物和有机质转变与页岩润湿性转变的耦合关系，进而探讨润湿性及其转变对页岩油赋存的控制作用。结果表明：（1）蒙脱石-赖氨酸复合体和伊利石-赖氨酸复合体热模拟过程中接触角不断发生阶段性转变，且与矿物组分、有机质组分和元素组成等的变化具有一致性，其中，伴随着蒙脱石伊利石化和有机组分的解吸附、分解、缩聚、氧化等作用，蒙脱石复合体界面呈现两个亲油性的高峰，对应于页岩油气有利富集阶段；而伊利石复合体界面属性的变化主要受到有机组分的控制，且整体亲油性较弱。（2）泥页岩的润湿性具有显著的非均质性，且受到有机质赋存的显著改造；成岩演化过程中页岩的油润性具有先增强后减弱再增强的演化趋势，且这种转变与蒙脱石伊利石化进程和有机质丰度及性质的变化密切相关。（3）页岩的润湿性对烃赋存具有显著控制作用，油润性越强，烃赋存量越大，且以饱和烃的赋存量增加最为显著，相反的，水润性越强，烃则更容易散失或排出。泥页岩的润湿性具有显著的非均质性，其本质是矿物、有机质以及矿物-有机质结合关系的差异，页岩润湿性的转变规律和控制因素研究有利于深化对页岩油赋存和渗流过程和机理的理解，对页岩油气的高效勘探开发具有重要意义。

S21-O-17

吉木萨尔凹陷不同岩相页岩油储层 CO2 吞吐提产潜力及其控因研究

贺小标[1]，罗群[1*]，李鑫[2]，邱兆轩[1]，文璠[1]

1 中国石油大学（北京），非常规油气科学技术研究院

2 新疆大学，地质与矿业工程学院

* luoqun2002@263.net

页岩油储层衰竭式开发采收率低、剩余油含量高，CO_2 吞吐技术可以有效提高页岩油采收率并减少碳排放。为明确不同岩相

CO_2 吞吐提高采收率的差异与机制，本文开展了以下工作：（1）以吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组页岩油储层为研究对象，通过总有机碳质量分数（TOC）和全岩 X 射线衍射分析（XRD），开展了岩相类型精细划分；（2）结合高压压汞、低温液氮和二氧化碳吸附实验，在高压压汞数据校正基础上，对 3 种方法测定孔径的重合段采用加权平均进行整合，确立了不同岩相页岩油储层岩心的全孔径分布。基于核磁共振原理，推导出 T_2 弛豫时间与孔隙半径的关系，进而将 T_2 谱直接转化为孔径分布；（3）基于低场核磁共振空间 T_2 谱测试、核磁共振成像等技术，分析了 CO_2 吞吐过程不同岩相页岩油储层岩心不同孔径孔隙体积内含油变化规律和剩余油空间分布。

结果表明：（1）研究区页岩油储层主要为白云质粉砂岩岩相、粉砂质白云岩岩相和泥晶云岩岩相；（2）泥晶云岩岩相介孔发育，孔隙结构较复杂，吞吐效率低，裂缝性储层提采效果好。粉砂质白云岩岩相孔隙连通性较好，宏孔较发育，CO_2 吞吐效率高；（3）随吞吐周期增加，各轮次吞吐周期新增采收率减小、累计采收率增速降低，吞吐效果变差；（4）吞吐过程中，存在模拟油在岩心不同位置运移的现象。吞吐过程中岩石润湿性变化影响了岩心中剩余油分布，其中泥晶云岩岩相剩余油主要分布在介孔，粉砂质白云岩岩相剩余油分布于介孔和宏孔；（5）粘土矿物易于充填孔隙、堵塞喉道，造成孔喉连通性变差，导致驱油效率降低以及影响部分剩余油分布。研究成果对从采收率角度科学选择 CO_2 吞吐产油层段具有实际意义，对揭示 CO_2 与原油混相在不同岩相不同孔喉结构中的运移机理具有理论意义。

S21-O-18

气体稳定同位素联合稀有气体示踪沁水盆地二氧化碳封存能力

陈碧莹[1*]，方鲁加[1]，徐占杰[1]，徐胜[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

* biyingchen@tju.edu.cn

煤层注 CO_2 驱气可以提高煤层气产量，缓解国内能源压力；同时也是 CO_2 长期地质封存，减少温室气体的有效手段之一，对实现碳中和的目标具有重要意义。目前国内外针对 CO_2 注入以后能否长期有效封存在煤层中的认识十分匮乏。本研究通过分析沁水盆地柿庄区块注气一年后煤层内气体稳定同位素和稀有气体地球化学特征，对比注气井和周围的生产井，探讨可用于示踪 CO_2 运移的地球化学指标，揭示注入 CO_2 的泄露情况，评估注气区长期埋存 CO_2 的可行性。

数据表明注入气体本身具有高 CO_2/CH_4 比值，低 $d^{13}C_{CO2}$，高湿气含量以及重稀有气体（^{84}Kr 和 ^{132}Xe）的特征，这些指标可以用来示踪注入 CO_2 在煤层内部的运移情况。结果显示，CO_2 在注入煤层一年后，存在东北向的气体泄露，与注气期间开展的地球物理研究工作结果一致。除此之外，本研究还发现新的注气井东南向的气体泄露。气体特征指示煤层内深部煤层气体与注入气体的混合。虽然注入的 CO_2 有明显的泄露，但是注入井内仍封存着高含量的 CO_2，通过定量模拟，注气后的一年时间里，通过生产井泄露的 CO_2 量低于注入气体量的 1%，支持了煤层长期存储 CO_2 的可行性。

S21-P-1

非生物成因烃类气研究进展及其资源前景

刘佳宜[1,2]，刘全有[1,3*]，朱东亚[1,2]，孟庆强[1,2]，丁茜[1,2]，许汇源[1,2]

1 页岩油气富集机理与有效开发全国重点实验室

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

3 北京大学

* liuqy@pky.edu.cn

非生物成因烃类的总量大、分布广，在大陆、大洋构造活动带，受热液活动影响的镁铁质、超镁铁质岩发育区，古老地盾区，现代岩浆热液流体发育区，陨石撞击坑等多种构造地质环境中均有发育。受天然气混合、同位素分馏和模拟实验条件的限制，非生物成因气的鉴别一直缺少有效的地球化学手段，限制了其资源潜力的评价。目前所发现的非生物成因烃类气的浓度都比较低，单独成藏难度大，且聚集成藏过程受到：气体来源、运移通道、储集空间、圈盖条件等因素的控制。非生物成因烃类能否聚集成藏是一直是科学界备受争议的问题。本文从非生物成因气分布的构造背景、来源和成因机制、地球化学鉴别指标等方面进行了总结，对非生物成因气油气成藏的方式进行了探讨。非生物成因烷烃气资源的勘探与研究方兴未艾，正确认识和评价沉积盆地中非生物成因气的形成过程和资源潜力，对于挖掘含油气盆地资源潜力、扩大油气勘探领域具有重要意义。

S21-P-2

锇(IV)在富氯流体中的络合行为及其在海底热液中的迁移机制实验研究

严海波[1,2]，丁兴[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院广州地球化学研究所，中国科学院矿物学与成矿学重点实验室

* xding@gig.ac.cn

“关键元素在地球内部如何分布和循环”是目前地球科学领域最前沿并亟待解决的科学核心问题。基于此，本研究结合高温高压实验和计算模拟方法来探讨一个关键元素（锇：Os）如何从岩石圈迁移至水圈。首先，本研究首次选用氯锇酸钾（K_2OsCl_6）作为实验初始物，采用高温高压水解实验法来探究 Os(IV)-Cl 络合物在富氯流体中稳定性的影响因素。我们通过时间序列实验获得了 Os(IV)-Cl 络合物水解反应平衡时间（24 小时内），并且计算了水解的表观速率常数（$0.166\pm0.012\ h^{-1}$）。温度和浓度序列实验表明流体温度和初始物浓度同样制约着 Os(IV)-Cl 络合物的水解行为。再根据 Os(IV)-Cl 络合物水解反应的定量关系和水解沉淀的组分，本研究获得了 150-450 ℃条件下 Os(IV)-Cl 络合物种型（$OsCl_6^{2-}$）。并且获得了对应络合物累积水解平衡常数（*K*）与温度（*T*，开尔文）之间的线性表达式，如下：

$$\ln K = (50.43\pm4.633) - (54223\pm2525.6)/T$$

（150-450 ℃），

其中水解体系的 ΔrHmΘ 和 ΔrSmΘ 通过计算可以得出为+450.8±21.00 kJ/mol 和 +419.3±38.52 J/(mol·K)。本实验还计算了 OsCl62-水解体系的吉布斯自由能随温度变化的情况以及不同温度条件下 OsCl62-形成常数。但是研究显示，Os 可能会以 Os(IV)-Cl-OH 和 Os(II)-Cl 络合物形式存在于高温（>450 ℃）富氯流体中。最后，我们基于实验数据进行地球化学模拟，获得了 OsCl62-在流体中主要受控因素（温度、pH、总 Cl 含量）以及最适宜迁移流体环境：高氯低温强酸或高氯高温弱酸条件。本实验的模拟结果可以为 Os 在海底热液环境中的活化、迁移、循环及其 Os 在沉积物和结壳中的沉淀、富集提供合理的解释。此外，锇源的不足、水岩反应的程度以及热液流体的性质都会影响锇在海底热液体系中的沉淀和富集。

S21-P-3

华北克拉通中元古界串岭沟组黑色页岩古海洋环境与有机质富集机制

石巨业[1*]，江鸣[1]，樊太亮[1]，吴志辰[1]，范家豪[1]

1 中国地质大学（北京）
* shijuye@cugb.edu.cn

华北克拉通燕辽地区中元古界串岭沟组黑色页岩有机质丰度高、成熟度适中，曾被认为是中国大陆最古老的烃源岩层系，具有重要的深层-超深层油气勘探意义。燕辽地区串岭沟组黑色页岩总有机碳含量为0.08-1.83%，镜质体反射率 2.03%，具有较好的生烃潜力。通过薄片鉴定识别串岭沟组黑色页岩沉积构造 3 大类，矿物成分相分类 12 种，精细划分出 18 种岩相，并建立了串岭沟组页岩垂向演化序列。通过铁组分、元素地球化学（Mo、U、V 等）和碳、氧同位素数据分析，发现串岭沟组页岩整体沉积水体缺氧，水体滞留程度较高，其中串三段沉积期还原性逐渐增强，顶部硫化。串岭沟组二段气候较为干冷，串岭沟组三段随着古海平面上升，气候由干冷→温湿转换。华北克拉通中元古界串岭沟组黑色页岩碳同位素与澳大利亚中元古界 BarneyCreek 组页岩可对比，古沉积环境相似，说明二者可能为同一时期沉积。结合有机质富集主控因素分析，认为其有机质富集主要受控于初级生产力及上升洋流因素，最终建立了串岭沟组黑色页岩“硫化楔”式有机质富集模式。

S21-P-4

不同类型流体-碳酸盐岩相互作用过程和机制研究——以塔里木盆地一间房组为例

丁茜[1*]，王静彬[1]，朱东亚[1]，何治亮[2]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
2 中国石油化工股份有限公司科技部
* dingqian.syky@sinopec.com

深层－超深层碳酸盐岩是目前油气勘探聚焦的重点领域。碳酸盐岩的成岩作用较为复杂，流体在这一过程中起重要的作用。为查明碳酸盐岩成岩过程中的流体作用，定性定量厘清碳酸盐岩储层演化过程，明确深层超深层地层流体-碳酸盐岩相互作用机制，建立优质碳酸盐岩储层发育的模式，研发了高温高压水岩实验系统，分别针对烃源岩生烃伴生酸性流体、热液流体和大气降水流体，开展了一系列模拟实验。

其中生烃模拟实验采用塔里木盆地奥陶系鹰山组灰岩和云南禄劝低成熟烃源岩为实验对象，利用岩相学和地球化学相结合的分析手段，查明中、深埋藏环境下生烃热演化过程中伴生的复杂酸性流体改造碳酸盐岩储层的过程及其控制因素，实验表明：中、深层埋藏环境下烃源岩热演化过程中伴生的有机酸和 CO_2 等酸性流体对碳酸盐岩储层产生明显溶蚀作用，扩大原有储集空间并提高孔隙度，并且随着埋藏深度增加溶蚀作用明显减弱。

断裂-热液模拟实验采用塔里木盆地一间房组灰岩柱塞样和含 CO_2 盐水为实验对象，模拟热液流体沿断裂自下而上运移的过程，反应前后储集空间形貌变化表明沿裂缝扩溶，裂缝转折处溶蚀增强，储集空间扩大，物性得到改善，实验数据表明：热液流体沿断裂上行过程持续溶蚀改造碳酸盐岩围岩，上行过程中溶蚀作用逐渐减弱，其主要受控于岩石-流体接触面积及流体饱和度。提取 CT 数据，定量分析了流体沿裂缝改造储层的效果，明确流体沿优势通道流动，裂缝体积增加了约一倍。

大气淡水模拟实验中，采用一间房组灰岩的颗粒样品，模拟表生-深埋环境下大气降水沿着断裂下行时与碳酸盐岩发生水岩反应的溶蚀/沉淀过程。模拟实验结果表明：大气降水沿断裂下行过程中持续改造围岩，流体溶蚀能力逐渐下降；当模拟深度达到1500m（对应 65℃，15Mpa）时，溶解和沉淀几乎达到动态平衡。实验表明大气降水沿断裂下行的岩溶最深发育至 1500m，再往深处产生方解石胶结充填。

综上，通过不同类型的流体-岩石模拟实验，明确了生烃裂解酸性流体、大气淡水、热液流体溶蚀改造碳酸盐岩围岩的差异性，定性定量厘清了表生-深埋环境中碳酸盐岩

储层演化的过程，以期为深层超深层碳酸盐岩储层勘探开发提供一定的理论依据。

S21-P-5

火山地质事件对页岩层系成源-成储影响探讨——以鄂尔多斯盆地长7段为例

李鹏[1,2*]，金之钧[3]，刘全有[1,3]，张瑞[3]

1 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

3 北京大学，能源研究院

* 342416730@qq.com

随着全球页岩油气革命的开展，页岩油也成为我国油气增储上产的重要接替领域。鄂尔多斯盆地中生界三叠系延长组长7段发育丰富的非常规石油资源，按最新的页岩油定义长7段整体上均属于页岩油的范畴。本文以鄂尔多斯盆地长7段富有机质页岩层系为主要研究对象，针对火山活动作用下富有机质页岩层系成源-成储机制这一关键科学问题，通过选取典型凝灰岩和富有机质页岩发育层段从古生产力、古沉积环境等角度分析火山活动作用下富有机质页岩的形成机制；同时开展页岩层系储集空间微观分析，分析凝灰岩储层孔隙大小、形态、连通性等微观孔隙结构特征，明确火山活动作用页岩层系成储机制。

具体认识如下：（1）研究区凝灰岩呈层状交互在泥页岩中，平面分布与研究区烃源岩发育具有一致性。凝灰岩地化参数整体较低，TOC 含量为 0.07%到 1.31%，平均为 0.49%，生烃潜力（S_1+S_2）为 0.06 到 6.68mg/g，平均为 1.14mg/g，部分样品有机碳含量及热解参数受含油性影响显示高值，因此不是有效烃源岩。（2）多尺度元素地球化学分析显示，凝灰岩段 Fe、S、Mn、Mo 等多种元素异常，说明火山活动时期大量的深部营养物质随火山灰进入湖盆，导致水体的沉积环境发生突变。古生产力元素指标及恢复计算结果均显示凝灰岩发育层段古生产力突然变低，凝灰岩之上页岩层段为高生产力特征。（3）火山喷发出的大量的 S 元素，为硫酸盐还原菌 BSR 作用提供了充足的 S 源，生成大量 H_2S，加快了水体中氧的消耗，增强水体的还原性，促进陆相湖盆水体形成还原环境，有利于沉积有机质的保存。（4）页岩层段多种岩性均有含油显示，其储集空间类型不同，页岩发育有机孔和无机孔，砂岩和凝灰岩只发育无机孔。受成岩作用影响，凝灰岩孔隙呈条带状分布，单个孔隙体积很小，但数量巨大，孔隙大小主要是微米-纳米级，连通性差。粘土矿物的演化对可动流体影响较大，矿物的润湿性影响可动油的渗流。凝灰岩粘土矿物特别是伊蒙混层含量高，整体也表现为亲油特征，有利于页岩油的富集，但对后期开采是不利的，应结合其自生自储、粘土矿物多、亲油润湿性等特征，加强滞留烃含量、储层无水改造等方面的研究，将不可动变为可动，难动变为易动，实现资源向储量的转变。

S21-P-6

上震旦统微生物岩储层流体差异对比研究—以灯影组和奇格布拉克组为例

王静彬[1]，朱东亚[1]，何治亮[2*]，武重阳[1]，丁茜[1]

1 中国石化石油勘探开发研究院，深部地质与资源重点实验室

2 中国石化集团公司科技部

* hezhiliang@sinopec.com

微生物岩是底栖微生物作用形成的有机沉积物，其中蕴藏丰富的矿产资源、化石能源等。全球油气勘探实践表明微生物岩是非常重要的油气储层类型之一，已发现数十个与之有关的大型油气田。前寒武纪时期，微生物主导着地球生命系统，因而其形成的

微生物岩规模巨大，埋藏深、时代老的微生物岩层系是我国万米油气勘探实现突破的重要领域之一。我国四川、塔里木盆地上震旦灯影组和奇格布拉克组古老微生物岩展现良好的勘探潜力，发育优质规模性丘滩相储集体。研究表明相带是微生物岩原生储集空间发育基础，但后期成岩流体改造是影响现今储层物性的关键。这两套以微生物岩为主的地层具有相同沉积年龄、相似沉积充填序列。从岩石学上，储层孔隙中均充填多种类型矿物，如白云石、方解石、石英、沥青等，然而当前研究对其成岩流体性质及其差异对比尚缺乏系统研究。

本文通过对四川和塔里木盆地两套上震旦统微生物岩的野外/岩芯观察、薄片鉴定、地球化学、流体包裹体、U-Pb 定年等详细研究，得出以下认识：（1）两者在微生物岩岩相的垂向组合有差异，但其类型、沉积组构、储层孔隙特征等方面具有较好相似性，以此建立相应储层孔隙充填矿物演化序列，具有早期充填序列相似、晚期有差异特征；（2）识别震旦系海水、残余孔隙水、大气淡水、深部热液（硅化、TSR 等）、烃类等 5 种主要流体，其中均至少存在两期油气成藏事件；（3）结合流体包裹体、U-Pb 定年等技术定性、定时恢复成岩流体演化过程及其异同之处；（4）进一步探讨不同演化序列的成岩流体作用对微生物岩储层的改造效应与发育机理，并建立优质储层发育模式。该研究成果将为深化超深古老微生物岩储层发育机理与分布规律认识奠定基础。

S21-P-7S

四川盆地蓬莱地区埃迪卡拉纪灯影组二段微生物岩储层古流体演化

金鑫[1,2]，宋金民[1,2*]，刘树根[2,3]，王斌[1,2]

1 成都理工大学，能源学院

2 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室

3 西华大学

* songjinmin@sohu.com

四川盆地蓬莱气区灯二段储层具有良好的勘探潜力，但古流体对储层形成的影响尚不清楚。通过岩心观察、薄片鉴定、地球化学等方法，研究了该地区流体随时间产生的多阶段白云石胶结物。蓬莱气区灯二段主要发育 7 期古流体。纤柱状胶结与刃状胶结白云石的地球化学特征与基岩相似，源自古海水；早期粉-细晶白云石胶结中铁元素含量显著升高，稀土元素分配模式变为中稀土富集模式，碳、氧、锶同位素都在古海水范围内，表明它是直接从孔隙水中析出的。在粉-细晶白云石胶结后有一期沥青，这与筇竹寺组烃源岩在志留纪晚期-泥盆纪排烃有关，这一期沥青并不是广泛存在。中-粗晶白云石中锰元素含量显著升高，锶元素含量显著降低，稀土元素分配模式具有 δEu 正异常，低 $\delta^{13}C$ 值，低 $\delta^{18}O$ 值，高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值，这一阶段的流体活动是由晚志留纪-加里东运动驱动的；在中-粗晶白云石后也发育一期沥青，该期沥青呈块状、弥散状充填与中-粗晶白云石后的残余孔隙，这与筇竹寺组烃源岩在二叠纪晚期-三叠纪排烃有关，这一期沥青广泛发育。后鞍状白云石充填，鞍状白云石中铁、锰元素含量显著升高，钠、锶元素含量显著降低，稀土元素分配模式具有较大的 δEu 正异常，低 $\delta^{13}C$ 值，低 $\delta^{18}O$ 值，高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值，为晚二叠世热液流体沿大(深)断裂上涌造成。纤柱状胶结、刃状胶结和粉-细晶白云石胶结形成时间早，对储层的影响较小，而在加里东时期挤压背景下，由于走滑断层于灯二段顶部不整合面的沟通，热液充注更加全面彻底，形成的中-粗晶白云石对储层影响较大，明显具有破坏作用。在峨眉山大火成岩省的拉张背景下，广泛发育的硅化和热化学硫酸盐还原在一定程度上保存了孔隙，使得鞍状白云石对储层的影响明显减弱。

S21-P-8

深部流体影响下非生物气形成与富集差异性研究—以中国东部裂谷盆地为例

朱东亚[1*]，刘全有[2]，孟庆强[1]，黄晓伟[2]，王静彬[1]，金之钧[2]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

2 北京大学，能源研究院

* zhudy.syky@sinopec.com

受岩浆火山活动影响，世界上众多不同的构造部位都见有不同类型的非生物气的释放，如 CH_4、H_2、CO_2、He 等，并长期被人们所利用。中国东部地区多个裂谷盆地，莺歌海、苏北、渤海湾、松辽等盆地中都有不同类型非生物气聚集形成的经济性气藏，但不同气藏中非生物气组成差异显著，或以 CO_2 为主，或以 CH_4 为主。依据玄武岩和橄榄石加热释气分析和非生物气藏天然气组分和稀有气体同位素数据，揭示不同气藏中不同类型非生物气（CH_4 或 CO_2）形成和富集的主要控制因素。玄武岩加热释气组分以 CO_2 为主，$^3He/^4He$ (R/Ra) < 1；而橄榄石以 CH_4 和 H_2 为主，$^3He/^4He$ > 1，分别代表来自地壳和地幔的主要非生物气组分类型。中国东部地区自东南向东北的黄桥、花沟、平方王、松南、庆深非生物气藏的组分从以 CO_2 为主逐渐变为以 CH_4 和 H_2 为主，$^3He/^4He$ 均大于 1。西太平洋板块向西北俯冲作用触发东部地区裂谷盆地中广泛岩浆火山活动和相关非生物气释放和聚集，所携带的碳酸盐岩、铁锰氧化物控制的氧逸度变化控制非生物 CH_4 还是 CO_2 的形成。玄武岩中富含碳酸盐岩并受地壳影响，氧逸度相对较高，释放气体以 CO_2 为主；橄榄石来自地幔，受俯冲物质影响较小，氧逸度相对较低，释放气体含有大量的 CH_4 和 H_2 为主。随俯冲板片向大地幔楔推进，高氧逸度物质影响会逐渐降低，所释放的气体从以 CO_2 为主转变成以 CH_4 和 H_2 为主。从黄桥、花沟、平方王气藏至松南、庆深气藏，逐渐远离俯冲板片，所以聚集的气体组分从 CO_2 逐渐转化为 CH_4。深大断裂和岩浆火山活动区域是深部气体向浅表地层释放的重要位置，在有利的圈闭中富集成藏。本研究由国家重点研发项目（2019YFA0708504）和石化联合基金项目（(U20B6001）资助。

S21-P-9S

一种基于孔隙-表面关系的泥页岩储层分类新方法——以渤海湾盆地济阳坳陷沙河街组为例

刘顺宇[1]，蔡进功[1*]，刘惠民[2]，李旭[1*]，李政[2]，包友书[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国石油化工股份有限公司胜利油田，地质科学院

* jgcai@tongji.edu.cn

* lixu_0424@tongji.edu.cn

与常规储层不同，基于纳米孔隙的存在，页岩储层会发育大量的表面，由于孔隙和表面的共存，这会引起页岩中流体的赋存发生分异，即吸附和游离的差异。然而，目前对泥页岩孔隙和表面的特征关系尚不清楚，缺少从孔隙和表面等储层参数对泥页岩进行分类。本次研究，我们选择渤海湾盆地济阳凹陷沙三下和沙四上的泥页岩，开展扫描电镜、氮气吸附和高压压汞等测试，分析不同大小孔隙与比表面积的关系，并在此基础上，对泥页岩储层进行分类。

我们发现不同大小的孔隙与表面的关系不同，比表面积与微孔孔隙体积呈强正相关，比表面积与介孔和宏孔的孔隙体积关系比较复杂，在比表面积小于 $10m^2/g$ 时，介孔和宏孔的孔隙体积与比表面积呈弱正相关，宏孔的相关性相对更差，在比表面积大于 $20m^2/g$ 时，介孔和宏孔孔隙体积与比表

面积呈弱负相关，而在 10~20m^2/g 之间，则表现为转折的过渡现象。根据表面与不同类型孔隙的关系，泥页岩的储层可以分为孔隙型、表面-孔隙型和表面型。孔隙型比表面积一般小于 9.82m^2/g，富集介孔和宏孔，微孔含量较低；表面-孔隙型比表面积一般介于 9.82-18.66m^2/g 之间，呈现过渡特征，在比表面积接近 9.82m^2/g 的阶段微孔与宏孔比较相近，在比表面积接近 18.66m^2/g 的阶段，微孔高于宏孔低于介孔；表面型比表面积一般大于 18.66m^2/g，比较富集微孔，介孔和宏孔相对含量较低。孔隙型平均孔径较大，比表面积小，毛管束缚性较弱，流体主要以多层吸附和毛细凝聚形式赋存在孔隙中，表现出一定的游离性；表面型平均孔径较小，比表面积大，毛管束缚性强，流体主要时以单层吸附和部分多层吸附形式赋存在表面上，表现出较强的吸附性；表面-孔隙性平均孔径和比表面积中等，流体表现出单层吸附、多层吸附和毛细凝聚等复杂特征。这些认识对页岩油气的勘探和开发具有重要的指导意义。

S21-P-10

锆石水与磷灰石挥发分组成变化特征指示斑岩矿床规模

黄文婷[1,2]，夏小平[1*]，Michael J Stock[2]，梁华英[1]，崔泽贤[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 Trinity College Dublin,Department of Geology

* xpxia@gig.ac.cn

斑岩矿床大型、超大型成矿“指标参数”一直是矿床学研究关注的热点问题，目前普遍用岩浆富水“指标参数”，如富水矿物组成（角闪石、黑云母斑晶）、高 Sr/Y 比值、高锆石(Eu_N/Eu*)*10000/Y 比值识别成矿岩体，但这些指标特征难以区分超大型与大型、中型矿床成矿岩浆的特征差异。

针对以上科学问题，我们选取藏东后碰撞期玉龙斑岩成矿带的玉龙超大型、多霞松多大型及扎拉嘎中型斑岩矿床为研究对象，在系统对比三个矿床成矿岩浆源区、岩浆氧逸度、水含量、硫含量等地球化学参数的基础上，对比分析了它们的锆石水含量、磷灰石挥发分组成特征。分析结果显示三个斑岩矿床的成矿岩浆均来自于新生下地壳部分熔融，具有高氧逸度、富硫、富水的特征，现有的“矿物地球化学成矿指标”没有明显差异。成矿斑岩锆石中见岩浆期原生流体包裹体，且岩浆期磷灰石 F/Cl 从早到晚升高，而 Cl/OH 比值呈逐渐降低的演化趋势，表明成矿岩浆在锆石结晶时均已达到了水饱和，出溶独立的流体相。锆石 OH-含量及磷灰石的 F/Cl 比值均与成矿规模呈正相关关系，磷灰石的 Cl/OH 比值与成矿规模呈负相关关系，表明在三个矿床中，玉龙超大型斑岩矿床成矿岩浆具有最高的岩浆水含量，最早出溶流体，释放了最多的水，并从熔体中萃取了最多的 Cl 和 Cu，从而有利于大规模成矿。综上所述，我们提出在其他成矿条件具备的情况下，成矿岩浆的水含量高低是控制斑岩成矿规模的重要因素，越富水的岩浆越有利于超大型斑岩矿床的形成，可用高锆石水含量及强烈变化的磷灰石 F/Cl 比值分析斑岩矿床规模。

S22-O-1

俯冲板片释放的流体性质：以榴辉岩相脉体为例

李继磊[1*]，高俊[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* lijilei@mail.iggcas.ac.cn

俯冲带是全球最大的物质循环系统。板片流体制约了弧岩浆活动、各种地球化学元素的壳幔交换、全球元素循环以及铜金等成矿物质富集，是调控汇聚板块边界一系列地球化学动力学过程的关键因素。但由于难以直接观测现代俯冲带深部的流体作用过程和无法直接获取研究样品，从而制约了对该

科学问题的探索。基于岛弧火山岩及蚀变地幔岩包体的地球化学特征示踪、热模拟和相平衡计算反演、高温高压岩石–流体实验等间接途径研究，形成了地质学家和地球化学家普遍接受的共识，认为俯冲带流体为富大离子亲石元素（LILE）、贫高场强元素（HFSE）、并可含一定量 Cu、Fe、S 等成矿元素的氧化性流体，可促使岛弧岩浆岩具有富集 LILE/亏损 HFSE、高氧逸度、并利于斑岩成矿的一系列地球化学特征。然而，这些问题依然需要基于俯冲板片本身的证据的支撑。西天山高压–超高压变质地体等全球少数几个典型古洋壳俯冲带的代表，是记录俯冲带深部过程及流体性质的天然实验室。通过对榴辉岩及其相关多类型脉体的精细解剖性研究，建立了俯冲带深部流体释放的多种记录案例。本报告介绍了用天然样品直接揭示俯冲带流体的性质及其地球化学效应。

S22-O-2

洋内初始俯冲过程发育多样化岩浆作用的原因

张鹏飞[1*]，周美夫[1]，刘琼颖[2]，John Malpas[3]，Graciano P. Yumul Jr.[4]，王焰[5]

1 中国地质大学（武汉），资源学院
2 中国地震局地质研究所
3 香港大学
4 菲律宾科迪勒拉勘探公司
5 中国科学院广州地球化学研究所
* zhangpengfei073061@163.com

俯冲板片后撤引发上覆地幔上涌及大洋岩石圈伸展是洋内初始俯冲过程的一大特点。在板片脱水构成的共同作用下，初始俯冲过程发育有从似 MORB 到低钛拉斑质和玻安质等多种岩浆作用类型。前人虽然从板片流体角度对初始俯冲环境的岩浆起源开展过大量研究，但未能清楚地解释为什么初始俯冲背景会形成不同类型的岩浆作用。不少蛇绿岩被认为是初始俯冲过程的产物，其中发育的铬铁矿成分上变化巨大，可以对应于从玄武质到玻安质岩浆作用，是研究超俯冲带岩浆作用多样化的重要对象。菲律宾吕宋岛的三巴礼士蛇绿岩被认为是典型的初始俯冲作用的产物，其中同时发育世界级高 Al 和高 Cr 型的铬矿床。根据矿石中铬铁矿的成分计算研究，高铬型和高铬型铬矿石的母岩浆可能分别对应于低钛拉斑质和高钙玻安质岩浆，该蛇绿岩不存在与 MORB 型岩浆对应的铬铁矿成矿作用。原位的 Li 同位素分析显示，高 Al 型矿床中纯橄岩的橄榄石存在着较大的 Li 同位素变化，单颗粒内部变化有时超过 20‰，而高 Cr 型矿床中橄榄石的 Li 同位素相比变化相对较小。Li 同位素扩散相关的模拟显示，高铝型铬铁矿成矿后环境的降温速率较快（>0.1°C/年），可类比于北冰洋和西南印度洋等慢速-超慢速扩张的洋脊，而高 Cr 型铬铁矿成矿形成后环境的降温速率则相对较慢，可能对应于扩张速率中等甚至较快的洋脊。上述结果意味着初始俯冲过程中板片后撤的速率在不断地变化，随之引发的岩石圈伸展和软流软上涌程度也在变化，从而导致了地温梯度的波动，并与板片流体参与一起控制了岩浆作用的多样性。

S22-O-3

马里亚纳俯冲带岩石 MO 同位素组成及其指示意义

李晓辉[1*]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室
* xiaohuili@ouc.edu.cn

钼（Mo）是一种流体活动性元素，在俯冲带板片脱水过程中会发生分馏，较重的 Mo 可以进入流体相，而残留相则保留较轻的 Mo。近年来的研究也表明，Mo 同位素在示踪俯冲过程中流体迁移及元素物质循环等方面具有较大潜力。尽管如此，Mo 同位素在不同俯冲阶段中的地球化学行为仍需

要进一步证实和明确。为此，我们分析了西太平洋马里亚纳俯冲带弧前蛇纹岩、岛弧火山岩和弧后火山岩的 Mo 同位素组成，结合新获得的元素和 Sr-Nd-Pb 等同位素数据，探讨了俯冲带 Mo 同位素的地球化学过程。研究结果显示不同区域内岩石样品的 Mo 同位素表现出明显的穿弧变化，随着板片俯冲深度的增加，Mo 同位素组成逐渐降低。马里亚纳弧前蛇纹岩根据蛇纹石化程度的不同可分为蓝蛇纹石蛇纹岩和利蛇纹石蛇纹岩，两种蛇纹岩均具有显著高于地幔的 Mo 同位素组成（-0.03‰～2.48‰）；马里亚纳岛弧火山岩的 Mo 同位素也明显高于地幔（-0.18‰～0.38‰），而海槽内火山岩的 Mo 同位素组成普遍低于地幔（-0.65‰～-0.17‰）。

我们的研究认为弧前蛇纹岩的 Mo 同位素组成受多阶段流体作用的影响。前期俯冲板片浅部来源流体的交代会使弧前蛇纹岩的 $\delta^{98/95}$Mo 值升高（利蛇纹石，-0.03‰～1.66‰），晚期在蛇纹岩沿弧前断裂出露至浅表的过程中，海水蚀变会进一步提升蛇纹岩的 Mo 同位素组成（蓝蛇纹石，1.32‰～2.48‰）。Mo-Sr-Pb 同位素模拟结果表明，马里亚纳岛弧火山岩中 $\delta^{98/95}$Mo 的富集不能简单地归因于弧下板片来源流体的注入，相反弧前蛇纹岩来源流体的贡献更为重要。此外，马里亚纳海槽火山岩轻的 Mo 同位素组成代表了源区地幔成分特征，反映了俯冲残余板片脱水熔融的熔体可以循环至弧后地幔而降低弧后岩浆的 $\delta^{98/95}$Mo 值。本研究表明弧前蛇纹岩是俯冲带 Mo 循环的重要储库，同时也为研究大洋俯冲岩石圈深部再循环及伴生岩浆的成因提供了新的视角。

S22-O-4

钙同位素对示踪俯冲带物质循环的启示

祝红丽[1*]，张兆峰[2]，孙卫东[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 成都理工大学

* zhuhongli@qdio.ac.cn

沉积碳酸盐以及碳酸盐化洋壳等物质可以通过板块俯冲作用输入至地球深部，然后以火山喷发等方式返回至地表，构成深部碳循环过程。这一过程不仅控制了大气中二氧化碳的收支平衡，影响全球气候变化；同时，高氧逸度的碳酸盐物质与还原的地幔物质发生相互作用，改变了地幔的物理化学性质。因此，开展深部碳循环等相关地质过程具有重要意义。

钙是地表碳酸盐中的主要金属阳离子，并且沉积碳酸盐的钙同位素组成显著区别于地幔，因此地幔来源岩浆岩的钙同位素组成可以为示踪俯冲带物质循环提供关键信息。本工作将从储库端元、分馏机理以及示踪应用等不同方面，重点回顾硅酸盐地球、俯冲带大洋沉积物端元的钙同位素组成特征，部分熔融和分离结晶等岩浆过程中的钙同位素分馏行为，以及岛弧和洋岛玄武岩等幔源岩浆岩的钙同位素组成特征等，以期探究钙同位素对示踪俯冲带物质循环的启示。

S22-O-5

岩浆”点火”引发俯冲起始

杨建锋[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

俯冲起始被认为是启动板块构造最重要的过程。俯冲起始的岩浆岩记录为理解新俯冲带的形成与演化提供了关键线索。然而，俯冲起始阶段岩浆作用的构造环境、表现形式并没有被很好地约束，限制了我们对俯冲起始机制及其过程的理解。本研究利用地球动力学数值模拟的研究方法，提出一种岩浆“点火”可以引发俯冲起始的动力学过程。我们的模拟结果显示，由地幔熔融引发的上升流，会沿着转换断层上升且促进地幔进一步减压熔融。形成的岩浆到达浅部后会沿水平方向移动，最终导致重的大洋板片挠曲及底垫。值得注意的是，在板片挠曲的初期，辉

长岩脱水导致板片界面润滑，易于与上覆板片解耦，是年老板块从底垫转变为俯冲的关键。随着俯冲进行及板片后撤，初始地幔熔融紧接着洋壳、含水地幔、亏损地幔以及最后沉积物的熔融。这一情形与西太平洋地球化学观测的岩石成因是相符的。我们认为，在转换断层之下持续的岩浆“点火”引起的上升流导致俯冲起始的动力学模型，可能在地球板块构造演化中是一普遍的过程。

S22-O-6

俯冲带深部释水延长岛弧岩浆活动

谌永强[1]，廖杰[1,2,3*]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省重点实验室（珠海）

3 广东省地球动力作用学与地质灾害重点实验室

* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

俯冲带岛弧岩浆活动是反映俯冲带热结构以及深部流体活动的重要过程。一般认为岛弧分离后，残余岛弧岩浆活动会停止，例如西马里亚纳岛弧（West Mariana Ridge）。然而，西南太平洋的劳火山弧（Lau Ridge）在弧后盆地打开后 1.6-2 Myr 仍有岩浆活动。该期次岩浆显示出岛弧玄武岩的微量元素特征，并受到路易斯维尔（Louisville）海山流体的影响。前人研究将其归因于弧前扩张，但并未得到验证。为探究该岩浆活动背后的动力学机制，本研究采用岩石-热-力学耦合的数值模拟方法，对弧前扩张、板片深俯冲以及海山俯冲过程展开模拟。模型结果显示：（1）仅弧前扩张并不能有效延长残余岛弧的岩浆活动；（2）板片深部释水（>200km）可以延长岛弧岩浆活动至弧后扩张 1-2Myr；（3）海山俯冲在延长岛弧岩浆的同时会增大岛弧岩浆量。在俯冲深部，下洋壳辉长岩组分的释水是延长岛弧岩浆活动的关键机制。综合岩浆的地化特征和时空分布，本文认为板片在地幔深部的释水，尤其是海山壳体的大量释水可能是残余岛弧 Lau Ridge 持续活动的原因。

S22-O-7

K 同位素揭示东北亚地幔过渡带中水的来源

王枫[1,2*]，邢恺晨[1,2]，许文良[1]，Fang-Zhen Teng[2]

1 吉林大学，地球科学学院

2 University of Washington,Department of Earth and Space Sciences

* jlu_wangfeng@jlu.edu.cn

地幔过渡带中水的来源是理解水跨圈层循环的关键，作为关键的流体活动性元素，K 同位素是示踪地球深部水循环的潜在工具。东北亚广泛分布的新生代板内火山岩记录了丰富的再循环物质，其形成与地幔过渡带中的滞留板片存在密切关系。本文选取东北亚俄罗斯远东地区的陆内高镁安山岩作为研究对象，前人通过全岩 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素组成和大地电磁测深研究，揭示高镁安山岩形成于有水参与的古老再循环沉积物部分熔融形成的熔体与上覆亏损地幔橄榄岩的反应。而地幔过渡带中滞留板片前缘控制了高的水含量，进而控制了高镁安山岩的形成（Xu et al., 2021）。但这些水的来源尚不清楚。针对这一问题，本文对高镁安山岩开展了系统的 K 同位素研究。相较于地幔均一的 K 同位素组成（δ^{41}K=-0.42‰ ± 0.08‰，Hu et al., 2021），俄罗斯远东地区新生代高镁安山岩具有相对宽泛且较轻的 K 同位素组成（δ^{41}K=-0.36‰ ~ -0.83‰）。虽然这些较轻的 K 同位素组成与源区中俯冲沉积物的加入相吻合，但对亏损地幔与俯冲沉积物熔体进行二元混合模拟后，发现简单的二端元混合模型并不能解释 K 同位素和放射性成因同位素的协变关系，因此推测其源区的 K 同位素组成受俯冲沉积物熔体与富 K 流体的共同控制。综合全岩的 K 同位素与元素和 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素的协变关系揭示至少

3 个端元控制了高镁安山岩的 K 同位素变异：亏损地幔、俯冲沉积物熔体和富 K 流体。前人的研究表明，脱水后的俯冲洋壳（榴辉岩）具有极轻的 K 同位素组成（δ^{41}K=-1.64‰ ~ -0.24‰，Liu et al., 2020）。综合推测地幔过渡带滞留板片中水主要赋存在变质洋壳中，其具有极轻的 K 同位素组成，并对板内火山岩的 K 同位素组成具有重要影响。上述研究表明地幔过渡带滞留板片中的水是造成地幔 K 同位素组成不均一的不可忽略因素，同时暗示 K 同位素在示踪地球深部水循环的研究领域具有巨大的潜力。

S22-O-8

古大洋俯冲带物质循环的 mélange 模型

郝露露[1*]，王强[1]，黄方[2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学重点实验室

2 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* haolulu@gig.ac.cn

板块俯冲是维持地球长久活力的根本，是地球圈层间物质能量交换的重要枢纽。俯冲工厂实现了物质的再循环，然而其再循环的形式却存在争议。一般认为，大洋俯冲带俯冲地壳物质循环的形式是液相，即，俯冲大洋板片释放熔、流体交代弧下地幔，这种地幔源区部分熔融形成弧岩浆岩，从而实现物质循环。然而计算地球动力学模拟研究指出，在俯冲板片与地幔楔之间的接触界面会发生蚀变洋壳、沉积物、蛇纹石化橄榄岩与地幔楔橄榄岩之间的物理混合，从而形成超高压混杂岩(mélange)。这种混杂岩在浮力作用下会作为“冷柱”底辟上升进入地幔楔内部，然后发生部分熔融形成弧岩浆。最近这种固相物质再循环的 mélange 模型已经应用到现代弧中。然而，因为无法准确限定古俯冲带中的沉积物组成，mélange 模型有效推广到前-新生代大洋俯冲带尚存在困难。目前为止，极少有 mélange 模型在古大洋俯冲带中被证实。此外，实验岩石学表明 mélange 的部分熔融可以形成一系列弧安山质岩石(从拉斑玄武质、钙碱性、高钾钙碱性到橄榄粗玄质)，但混杂岩部分熔融和安山质地壳生长的关系目前仍缺乏关注。

我们利用 Mg-Ba 稳定同位素与 Sr-Nd 放射成因同位素联合示踪了北秦岭古生代富水镇岩体的源区，识别出其源区中多种固相俯冲组分的贡献，为古俯冲带弧岩浆岩的混杂岩成因模型提供了关键科学证据。在这一模型基础上，通过对南羌塘改则中生代闪长玢岩的研究，发现闪长玢岩可以分为两类，分别来源于蛇纹岩为主的 mélange 和沉积物为主的 mélange，揭示了 mélange 模型与安山质地壳生长二者之间的密切联系。

S22-O-9

锌-铁同位素示踪陆下岩石圈中含碳酸盐沉积物熔体活动

张岗岚[1*]，刘勇胜[2]，徐荣[3]，Frédéric Moynier[4]，朱扬涛[2]，李明[2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国地质大学（武汉）

3 中国科学院地球化学研究所

4 巴黎地球物理学院

* glzh@vip.qq.com

俯冲作用可将富集的地壳物质输送至上覆板片岩石圈以及深部地幔中，促进地球浅表与深部之间物质循环。近十年以来，Zn-Fe 同位素逐渐被用于探究板片来源熔/流体性质以及俯冲带中元素活化迁移过程。本文通过对华北克拉通北缘汉诺坝玄武岩携带的单斜辉石岩包体以及一个特殊的“玻璃质”包体 Sr-Nd-Zn-Fe 同位素研究，来探究 Zn-Fe 同位素在示踪板片来源沉积物熔体性质以及识别上覆岩石圈中的沉积物熔体活动方面的潜力。单斜辉石岩全岩具有高度变化的 δ^{66}Zn 值(0.04‰~0.46‰)，并与 Ba/Th、

Rb/La、Th/Nb、K/U 比值显示出极好的相关性，并且形成的演化趋势趋向于“玻璃质”包体成分。“玻璃质”包体具有极度演化的 Nd 同位素组成($^{143}Nd/^{144}Nd$: 0.510991)和高的 $\delta^{66}Zn$ 值(0.43‰)。这些证据表明，“玻璃质”包体可能来自于俯冲板片沉积碳酸盐岩和具有大陆上地壳成分的碎屑沉积物熔融形成的熔体，也是单斜辉石后期交代的介质。另外，单斜辉石包体具有一致低的 Cr (8.3~71.9 ppm)和 Ni (14.9~34.5 ppm)含量，并且未观察到与 Ba/Th 比值的相关性。来自单斜辉石岩包体的单斜辉石具有放射成因的 Sr 同位素组成(0.71027~0.73326)，在一些单斜辉石中观察到 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值的核（高）—边（低）变化。这些特征表明，交代前的单斜辉石岩是玄武岩熔体的堆晶产物，该熔体是由具有再循环大陆上地壳成分的富集地幔源熔融产生的。这些单斜辉石岩和“沉积物熔体”包体的地球化学证据表明大陆岩石圈中存在再循环的大陆上地壳和沉积碳酸盐岩成分。Zn 同位素可很好的用于示踪岩石圈中板片来源的含碳酸盐沉积物熔体活动。

S22-O-10

磷灰石氢同位素指示华北板内花岗岩中水来源于不同深度的板片

杨传茂[1*]，徐义刚[1]，夏小平[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* cmyang@gig.ac.cn

花岗岩水来源的研究可为揭示花岗岩成因以及形成的深部动力学过程提供关键信息。俯冲板片在浅部脱水后向上转移进入地壳，导致地壳加水熔融，是靠近海沟的大陆弧花岗岩中水的主要来源。然而，晚中生代在远离海沟的华北克拉通内部产生了大面积的地壳加水熔融成因花岗岩，其中水的来源并不清楚。本研究分析了华北克拉通东北部辽东半岛的侏罗纪和早白垩世两期花岗岩的磷灰石 H 同位素，结果显示侏罗纪磷灰石的 δD 值多在-150‰到-50‰，与典型大陆弧花岗岩的原始 H 同位素相当，而早白垩世磷灰石的 δD 则低得多，在-230‰到-150‰之间。磷灰石结构和挥发分以及其他元素含量显示两期花岗岩磷灰石较大差别的 H 同位素组成，并不是受到热液蚀变和岩浆脱气等过程控制，而更有可能继承自原始岩浆。侏罗纪花岗岩高磷灰石 δD 的样品一般对应着低磷灰石和锆石 $\delta^{18}O$ 以及高锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值，早白垩世花岗岩则与之相反。结果说明侏罗纪花岗岩幔源组分越多，δD 值越高，而早白垩世花岗岩中幔源组分的加入导致 δD 值降低。古太平洋板片俯冲状态的改变可能是导致侏罗纪和早白垩世幔源岩浆 H 同位素变化的主要原因。侏罗纪古太平洋板片沿岩石圈底部平板俯冲，并且海沟距辽东半岛较近，低温的板片将富 D 的水携带进入岩石圈底部后释放，产生富 D 的流体上升到岩石圈地幔和地壳中，产生较高 δD 的花岗岩。而早白垩世古太平洋板片后撤，热的软流圈回填了板片后撤留下的空间，俯冲板片受热后在浅部大陆弧下方释放了富 D 的水，随板片进入地球深部的水更加贫 D，之后板片再次脱水产生了贫 D 流体上升到浅部，形成了低 δD 的花岗岩。本研究表明深俯冲板片释放的流体可能对地壳的部分熔融产生了重要影响。

S22-O-11

俯冲蛇纹岩流体对弧岩浆氧逸度的控制作用

张玉祥[1*]

1 中国科学院海洋研究所

* yxzhang@qdio.ac.cn

大量研究表明，弧岩浆具有比洋中脊岩浆更高的氧逸度，可能与氧化性的俯冲组分的输入有关，但是尚不清楚何种俯冲组分对

弧岩浆氧逸度起控制作用。蛇纹岩富含水、卤素、稀有气体及多种微量元素，是俯冲带流体的重要来源，在全球地球化学循环中扮演着极为重要的角色。近年来，许多研究指出蛇纹岩脱水能释放高度氧化的流体，可以解释弧岩浆较高的氧逸度。但也有学者反对该观点，认为蛇纹岩流体不是氧化性的，甚至有可能是还原性的。为了探究俯冲蛇纹岩与弧岩浆氧逸度之间是否存在关联，整理了全球俯冲带弧火山岩数据，并利用岩浆演化过程中 Cu 的富集/亏损程度（△Cu）及 V/Yb 作为岩浆氧逸度的指示指标，利用硼同位素（$\delta^{11}B$）和 B/Nb 比值作为俯冲蛇纹岩的指示剂。结果发现蛇纹岩指标与氧逸度指标在全球尺度上呈现良好的正相关关系，说明俯冲蛇纹岩流体对弧岩浆氧逸度具有重要的影响。研究还发现全球原始弧岩浆的氧逸度可能不是均一的，大陆弧岩浆可能比洋内弧岩浆具有更低的氧逸度。蛇纹岩脱水受控于温度、压力等条件，亦即受控于俯冲板片的角度、温度、沟弧距离等参数。大陆弧下的俯冲板片年轻、温度高、俯冲角度小，而且沟弧距离较远，因此蛇纹岩可能在板片俯冲过程的早期就释放了氧化性流体，导致真正进入弧下地幔的氧化性物质很少，对弧岩浆源区的氧化作用有限，洋内弧则相反。事实上，俯冲蛇纹岩可能只是弧岩浆氧逸度的一级控制因素，地幔不均一性、俯冲沉积物输入、岩浆演化、地壳混染等过程都可能影响到弧岩浆的氧化还原状态，特别是在具有巨厚地壳的大陆弧，岩浆演化过程复杂，从火山岩获取的氧逸度数据能否有效代表原始岩浆的值，需要进一步深入研究。

S22-O-12

俯冲带弯曲断层内蛇纹岩碳酸盐化对深部碳循环的重要性

黄永胜[1*]，Satoshi Okumura[2]，Kazuhisa Matsumoto[2]，Naoko Takahashi[3]，唐宏[4]，Tatsumi Tsujimori[2]，Michihiko Nakamura[2]，李元[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 日本东北大学，地球科学系

3 东京大学，地球科学系

4 国家海洋局南海环境监测中心

* huangyongsheng@gig.ac.cn

Serpentinite carbonation contributes to the deep carbon (C) cycle. Recently, geophysical and numerical studies found considerable hydrothermal alterations in deep bending faults beneath outer rise regions, implying a potentially larger C storage in slab mantles. However, a quantitative determination of carbon uptake at outer rise regions is lacking. Here, we experimentally constrain the carbonation reaction in serpentinite–H_2O–CO_2–NaCl systems under mantle bending fault conditions to estimate C uptake in slab mantles. The carbonation reaction zone is composed of talc and magnesite. The porous reaction zone promotes the carbonation reaction through continuous supply of CO_2-bearing fluids to the reaction front. We find that NaCl can effectively decrease the serpentinite carbonation efficiency, especially at low salinities < 5 wt.%. Our study provides a quantitative estimation for C uptake in slab mantles and the deep C cycle.

S22-P-1S

海底扩张过程中洋壳氮的富集机制：以南海为例

孙李恒[1,2,3]，孙珍[1*]，张运迎[1*]，李龙[3]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 阿尔伯塔大学

* zhensun@scsio.ac.cn

* zhangyunying@scsio.ac.cn

低温热液蚀变过程中洋壳氮（N）的富集机制是认识地表-地壳-地幔之间N循环的关键一步。但是，由于缺乏对洋壳N含量和同位素的系统研究，次生N进入洋壳的形式和控制因素尚未被全面揭示，这阻碍了我们对全球N循环的理解。本文中，我们系统的分析了南海初始扩张至残余洋中脊洋壳的N含量和同位素组成（初始扩张洋壳：Holes U1500B 和 U1503A；残余洋中脊洋壳：U1431E、U1433B 和 U1434A）。结果显示，南海洋壳具有显著富集的N含量和$\delta^{15}N$值，这些数据指示洋壳中的次生 N 主要来自沉积物/海水，非生物N_2还原（ANR）也有少量贡献。次生 N 是在低温蚀变过程中以NH_4^+形式替换K^+进入南海洋壳，主要的赋存矿物可能是蒙脱石和绿鳞石。南海洋壳的N富集程度表现出系统的差异性，即初始扩张洋壳比残余洋中脊处的洋壳更加富集次生N，这主要受区域构造运动和蚀变程度所控制，而与次生N可用性、元素含量和扩张速率无关。初始扩张洋壳处的断裂活动强烈且持续时间长，导致洋壳玄武岩有充足的时间与流体发生反应，进而使得洋壳N含量和蚀变程度显著增加；而残余扩张脊处的洋壳虽然也经历了较强烈的断裂活动，但是持续时间较短，导致玄武岩N含量和蚀变程度较低。利用南海洋壳N含量数据，我们初步估算了马尼拉俯冲带洋壳的 N 输入通量为7.3×10^8mol·yr-1 至 18.3×10^8mol·yr-1。与中美州俯冲带和 IBM 俯冲带相比，马尼拉俯冲带具有较高的洋壳N输入效率。

S22-P-2

俯冲方向反转控制深部物质折返的数值模拟研究

李付成[1*]，孙珍[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* lfc@scsio.ac.cn

俯冲方向反转是地球表层与深部过程耦合的主要驱动力之一，亦是地球动力学领域的前沿科学问题。考虑到目前对俯冲转向如何控制深部物质折返机制的认识尚不清晰，我们开展了系统和定量化的热-力耦合动力学模拟研究，研究发现，有两个可能机制来解释俯冲方向反转过程中这些高压-超高压岩石的折返过程，第一种观点认为是俯冲转向导致高压-超高压岩石沿古俯冲通道折返，是一个低角度去顶过程。主要的吻合证据包括高压-超高压岩石分布在变质核杂岩的下板块，与俯冲通道活化位置和时间上具有高度重合等。第二个可能是与陆缘张裂过程有关，强烈减薄岩石圈有利于浮力大陆岩石以底辟形式折返并出露到地表，与数值模拟所得的出露时间相吻合。俯冲方向发生反转会将进入地球内部的物质持续性地拖出，从而导致高压变质岩和俯冲增生杂岩折返，深俯冲的增生杂岩伴随着剪切带的活动可以折返至绿片岩相层次、甚至是直接到地表。

S22-P-3S

软流圈与大洋岩石圈地幔的相互作用：来自玉荣果富NB玄武岩的制约

张城磊[1]，黄强太[1,2*]，张开均[3]，华苑君[1]，陈文超[1]，曹玉东[1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），海洋资源与近岸工程重点实验室

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* huangqt7@mail.sysu.edu.cn

班公湖-怒江特提斯洋（简称班怒洋）在中生代的构造演化一直是青藏高原地质研究中的热点之一。作为班公湖-怒江缝合带（简称班怒带）的分支，狮泉河-拉果错-永珠缝合亚带发育大量的中生代蛇绿岩及相关火山岩，围绕该缝合带的构造演化过程还

存在较多争议，①缝合带性质——班怒带的南向逆冲推覆、小洋盆俯冲、班怒洋内俯冲；②俯冲极性——南向俯冲的存在与否；③俯冲起始时间——从石炭纪至中侏罗世。与此同时，早侏罗世中特提斯洋底高原的出现对壳幔物质交换及班怒洋的构造演化产生何种影响仍未清晰。富 Nb 玄武岩作为一种特殊的玄武岩，常与前弧玄武岩、玻安岩、埃达克岩等共同产出，是洋内俯冲起始的标志。富 Nb 玄武岩的形成构造背景和岩石成因对还原大洋岩石圈深部岩浆演化过程具有重要科学价值。

本文首次报道了班怒带西段早侏罗世玉荣果富 Nb 玄武岩，对其开展了岩石学、地球化学、同位素地质年代学及 Sr-Nd 同位素研究。样品的主要组成矿物为斜方辉石、斜长石，含少量铬铁矿，具斑状结构及熔蚀斑点结构。主微量元素表现出典型的富 Nb 玄武岩特征，即 Na_2O、TiO_2、Nb 的高含量及 Nb/Th（平均 11.05）、Nb/La（平均 1.37）、Nb/U（平均 72.98）的高比值。富集 LILE 与 HFSE（Nb、Ta、Th），无明显的 Eu 异常，具低的 $^{87}Sr/^{86}Sr(t)$ =0.703464-0.704512 及高的 $\varepsilon Nd(t)$ = +4.99 - +6.06。锆石颗粒均为岩浆成因，无继承锆石出现，U-Pb 定年结果为 187.5-187.8 Ma。与埃达克质相关富 Nb 玄武岩不同，玉荣果富 Nb 玄武岩形成于尖晶石二辉橄榄岩深度内（<70km）上升软流圈与亏损地幔的混合，两者比例为 2:8 至 3:7。

本文认为玉荣果富 Nb 玄武岩产自弧前盆地环境，为洋内俯冲背景下板片回撤的结果。班怒洋西段于侏罗纪存在两期南向洋内俯冲。早侏罗世洋内俯冲（约 200-180Ma）产生洋内弧及相关盆地，板片回撤引起的软流圈上涌直接导致玉荣果富 Nb 玄武岩的形成。这一俯冲阶段因洋底高原的加入而减缓/停滞，平板俯冲出现，区域进入短暂的构造缓和期。构造应力不断积累并在晚侏罗世于弧后洋盆内的构造薄弱带处释放，先期俯冲完全停止，产生第二期独立的洋内俯冲（约 170-150Ma）。据此，我们提出软流圈地幔及洋底高原参与下的青藏高原西部中特提斯洋多期次南向洋内俯冲演化模型。

S22-P-4S

在 150℃、200℃和饱和蒸汽压条件下 NB2O5 在含 F 水溶液中的溶解度和存在形式的实验研究

刘浩天 [1,2]，丁兴 [2*]

1 长安大学，地球科学与资源学院

2 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* xding@gig.ac.cn

铌(Nb)是一种高场强元素，地球化学性质比较稳定且不易迁移，常被用来作为参考元素，但在过去的一些研究中，有大量证据表明高场强元素在含 F 流体中可以发生迁移。以往研究者多采用实验地球化学的方法来研究 Nb 在流体中的迁移量，初步得到了 Nb 在含 F 流体中的溶解度，但以往的研究存在着一些局限性，其实验涉及的 F 含量与已有的自然样品中的含量相差甚远，并且对 Nb 在溶液中的存在形式并未进行考量。为探寻 Nb 在更高浓度含 F 流体中的迁移量及存在形式，本次研究在已有的实验基础上模拟了 Nb_2O_5 在含 F 流体中的行为。实验设计温度为 150 ℃和 200 ℃，压力为饱和蒸汽压，在此条件下测定了 Nb_2O_5 在 HF 浓度为 0.008~2.9 mol/Kg 的水溶液中的溶解度以及 Nb 在溶液中的存在形式，实验的持续时间为 12 天。结果显示，含 F 流体对 Nb_2O_5 的溶解有显著的增益效果，在 2.9 mol/Kg 的 HF 溶液中 Nb 的溶解度可以达到 0.2278 mol/Kg，Nb_2O_5 在溶解中的溶解度随 HF 浓度的增加而增加。在本次研究所在的浓度区间和温度下，溶液中的 Nb 以 $Nb(OH)_4F^0$ 的形式存在。

S22-P-5

南海南部三叠纪弧岩浆体系与古太平洋俯冲机制研究

王婵[1*]，张运迎[1]，颜文[1]，徐维海[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* 271980531@qq.com

中生代以来，华南板块东南缘受到多期板块俯冲的控制，发育大规模岩浆岩带，但三叠纪弧岩浆作用鲜有报道，这严重阻碍了对此期间岩浆作用的探究。因此，本次研究并结合前人成果，对南海南部岛礁首个钻至中生代火山岩的科学深钻-“南科 1 井”的火山岩岩心进行详细的岩石学、岩相学、矿物学、全岩地球化学、Li 同位素地球化学和锆石 U-Pb 年代学等分析。系统开展古太平洋西向俯冲影响下的岩浆-流体-构造体系综合分析，探究华南板块在古特提斯向古太平洋构造域转换背景下的岩浆演化过程、俯冲流体作用及岩石成因机制，并在此基础上重建了东南亚晚三叠世弧岩浆体系。本次研究取得的主要进展如下：

（1）建立了“南科 1 井”基底火山岩基性-中酸性过渡的喷发溢流相的岩浆火山活动双旋回模式。基于上述测试显示，该火山岩岩心可细化出 36 个岩性韵律层和具有代表性的隐爆角砾岩相与熔结凝灰条带。岩浆喷发于晚三叠世早期，岩石类型可进一步分为中-酸性英安岩（DA）系列和基性玄武岩（BA）系列，DA 显示出高钾系列和元素富集特征，BA 显示出钙碱性系列和明显的元素地球化学分馏特征，并表现出典型的岛弧和 EMII型（EMII型富集地幔）岩浆属性，同时，具有多源熔-流体影响的特征。

（2）研究区火山岩样品的 Li 同位素分馏不显著。两系列岩浆均未表现出 Li 与 δ^7Li 间的明显相关性，但低于 MORB 的 δ^7Li 值和低于地壳的 Li 浓度等特征可能表明来自板片流体和壳源物质的影响并不显著或被后期岩浆作用所掩盖。上述特征极可能是来自俯冲流体的 Li 在到达熔融区之前被保留在了软流圈地幔中，使得研究区熔体的潜在异常“重”Li 同位素特征被地幔楔状岩浆源中地幔 Li 的主导地位所掩盖，即研究区深部强烈的地幔对流作用掩盖了 Li 同位素的分馏表征。

（3）古太平洋平板俯冲裹挟的大量陆壳前缘增生楔进入深部并开始重熔，产生了大量的熔（流）体加入陆缘一侧软流圈形成 EMII型玄武质岩浆房（BA 系列）；随着俯冲距离的增加板片前端形成了绕曲，触发了近陆一侧软流圈层上涌，进而导致持续的底侵造成了岩石圈地幔和下地壳的部分熔融，形成了 DA 系列安山质岩浆房。BA 系列经历了有限的橄榄石和辉石分离结晶作用，而 DA 系列则经历了黑云母相的分离结晶作用和有限的壳幔物质混染。

（4）研究区幔源岩浆持续上涌而导致的岩石圈减薄环境为南沙地块与华南板块之间裂离创造了条件，为后期南海扩张阶段的早期陆内裂谷的形成提供契机。

S23-O-1

现代海洋热含量变化：概念和多尺度变化过程

成里京[1*]

1 中国科学院大气物理研究所

* chenglij@mail.iap.ac.cn

海洋热含量是海洋的一个核心物理变量，其变化既受到海洋和海—气热力、动力过程的影响，又会反过来影响海洋和大气多个过程。在全球变暖背景下，全球海洋热含量加速上升具有广泛的影响，例如热膨胀效应贡献了约三分之一海平面上升，对海洋和沿岸生态系统、人类社会经济可持续发展都有重要影响，研究海洋热含量是人类适应和应对气候变化的关键。本报告将首先探讨海洋热含量变化的基本概念和原理，以初步讨论其内涵。进而，由于海洋热含量变化是现代和未来几百年内全球气候变化的塑造因

子，也全球气候变化的一个核心的指标，报告将介绍海洋热含量变化在近代气候变化中的关键作用和意义，特别是其在能量/水/碳循环过程中的纽带作用。最后，报告将探讨海洋热含量和热收支趋势性、年际、季节、天气尺度变化过程及其主要驱动因素，并讨论目前理解现代热含量变化依然存在的挑战和未来方向。

S23-O-2

印太电容器效应的驱动机制与特征

杜岩 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* duyan@scsio.ac.cn

热带印太大洋的气候变率错综复杂，各类海气现象在不同时空尺度交叉联系，影响着周边区域乃至全球的天气和气候状况，具有重要的研究意义。我们系统回顾了印度洋—西太平洋电容器(Indo-western Pacific Ocean capacitor, IPOC)理论及其与厄尔尼诺—南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)联系的最新研究进展。IPOC 事件通常发生于 El Niño 衰退年的夏季，具体表现为热带印度洋增暖和西北太平洋上空出现异常的反气旋环流(an anomalous anticyclonic circulation over the western North Pacific, WNPAAC)。强烈的正印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)事件也可以在没有 El Niño 的情况下导致热带印度洋显著变暖，从而维持 WNPAAC。期间，印度洋和 WNP 构成一个能够自我维持海气耦合系统。El Niño 或正 IOD 激发下沉式罗斯贝波西传至热带西南印度洋，加深局地温跃层，导致海表温度(sea surface temperature, SST)上升。冬末春初，热带西南印度洋增暖诱导西印度洋出现“c 型”风场异常。东北风异常持续到夏季，抵消了北印度洋的西南季风，减少了海表蒸发和潜热通量，导致东北印度洋在夏季增暖。与此同时，西传的罗斯贝波到达印度洋西边界后，转变为东传的下沉式赤道开尔文波，在东赤道印度洋引起温跃层加深和 SST 增温，并于初夏引发第二次“c 型”风场异常。西南和东南印度洋的增暖均有助于 WNPAAC 的维持。环流南侧的偏东风延伸到孟加拉湾，削弱了北印度洋和南海的季节性西风，减少了海表蒸发，使 SST 再次变暖。WNPAAC 的异常扩张和位置变化影响着东亚和印度夏季风及其在印度洋-西太平洋的水汽输送。在晚春和夏季，环流的西北风区改变了东亚地区的水汽输送路径，使水汽南海及其邻近地区聚集，后向北输运。增强的亚洲夏季风和水汽输送导致中国中部和日本地区在夏季出现极端降雨。另一方面，IPOC 事件中热带印度洋和南海海温变化显著，SST 异常能够被热带珊瑚记录。因此，珊瑚数据可作为研究 IPOC 的代用指标，进一步揭示其在历史时期中的变化规律。IPOC 引发的气候异常影响着东亚数百万人的生活，全面理解其变化规律对预测和防范东亚极端气候事件至关重要。

S23-O-3

南大洋快速增暖在不同时期的驱动因素

吕柯伟 [1*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院

* kewei.lyu@xmu.edu.cn

南大洋在近期（2006 年之后）Argo 浮标观测以及较长期（>50 年）海洋观测记录中均呈现出中纬度（30°-55°S）快速增暖的现象。该特征在全球气候模式模拟中可以重现，并在未来气候变化情景下持续。此次报告将汇报我们和合作者针对不同时期内南大洋快速增暖驱动因素的研究结果。我们发现：（1）近期 Argo 观测记录时间较短（～15 年），受南半球环状模和太平洋年代际振荡相位转换的影响，南太平洋和南印度洋两

个热点区域2013年之后增暖放缓甚至变冷；（2）长期历史观测记录中南大洋快速增暖受温室气体驱动效应主导，但臭氧变化在其中也有重要贡献；（3）在未来气候变化情景下（以 CO_2 加倍为例），我们开展海洋模式数值试验，区分海表热通量、淡水通量、以及风应力变化对南大洋增暖的不同贡献。

S23-O-4

关于 2018/19 中部型厄尔尼诺事件动力过程的研究

王鑫 [1*]，管承扬 [2]，杨海军 [3]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

2 山东科技大学，海洋科学与工程学院

3 复旦大学，大气与海洋科学系

* wangxin@scsio.ac.cn

2018/19 年厄尔尼诺事件为中部型厄尔尼诺事件。以往的研究表明，不同的中部型厄尔尼诺事件亚型（CP-I 型厄尔尼诺和 CP-II 型厄尔尼诺）具有不同的形成机制。本文通过比较 CP-I 型厄尔尼诺、CP-II 型厄尔尼诺和 2018/19 年厄尔尼诺期间的表面风、海温和热收支的演变，发现北太平洋的副热带西风异常在 2018/19 年厄尔尼诺事件以及 CP-II 型厄尔尼诺事件中发挥了重要作用，其会引起赤道中太平洋 Ekman 流异常辐合，导致赤道海表面变暖。此外，研究还发现，对于 2018/19 年厄尔尼诺，赤道强迫过程在北半球的春季、夏季分别起到了促进、抑制的作用。2018/19 年厄尔尼诺进一步证实了我们之前提出的副热带西风异常造成的环流异常在 CP-II 型厄尔尼诺形成中的重要作用，有助于理解中部型厄尔尼诺的形成机制，并提高中部型厄尔尼诺的预测水平。

S23-O-5

海洋环流及其变化在赤道太平洋 SST 对全球变暖响应中的作用

罗义勇 [1*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

* yiyongluo@ouc.edu.cn

赤道太平洋 SST 对全球变暖的响应特征及其物理过程是过去几十年一直活跃争论的科学问题。基于海气耦合模型 CESM 中一套嵌入了新型部分耦合技术的试验，研究了海洋环流及其变化对赤道太平洋 SST 在全球变暖响应中的相对贡献。赤道太平洋 SST 对全球变暖的响应表现为从初始阶段的类拉尼娜型（La Niña-like）向准平衡阶段的类厄尔尼诺型（El Niño-like）转变。将赤道太平洋 SST 的响应分解后发现两个阶段 SST 的响应都受到海洋环流变化的主导；具体来讲，经向和垂向海洋环流的变化在初始阶段 La Niña-like 增暖的形成中起主导作用，而经向和纬向海洋环流的变化在准平衡阶段 El Niño-like 增暖的形成中起主导作用。海洋平均环流在两个阶段的贡献都表现为沿赤道纬向均匀的增温，这是因为在赤道中东太平洋海域，海洋平均环流引起的冷却效应和大气驱动的海表热通量变化的加热效应在两个阶段都会互相平衡。此外，研究还揭示，太平洋副热带经向环流圈（STCs）的变化通过改变经向和垂向的海洋热输运控制着赤道太平洋 SST 响应随时间的演变。

S23-O-6

热带中北太平洋海洋次表层对厄尔尼诺期间热带气旋生成的意外限制

高聪[1]，周磊[1,2*]，王春在[3]，I-I Lin[4]，Raghu Murtugudde[5,6]

1 上海交通大学，海洋学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

4 National Taiwan University,Department of Atmospheric Sciences

5 University of Maryland,Department of Atmospheric and Oceanic Science

6 Indian Institute of Technology

* zhoulei1588@sjtu.edu.cn

尽管目前学界对热带气旋生成的物理机制还没有一个完整的理论框架，但可以确信的是热带气旋生成需要温暖海洋提供能量。有研究发现，由于纬向海表温度梯度的减小，信风往往趋于减弱，有利于热带太平洋呈现类似厄尔尼诺的模态。因此，对比厄尔尼诺和拉尼娜期间热带气旋频率的异同，可以进一步约束全球变暖下热带气旋频率趋势预估。在厄尔尼诺期间，西太平洋暖池向东扩张。然而，随着暖池扩张，热带气旋的数量并没有显著增加，而是在厄尔尼诺和拉尼娜之间保持相当。经研究发现，热带中北太平洋的次表层热含量变化抵消了有利的海表温度。由于正风应力旋度异常，26°C 等温线在厄尔尼诺期间在该地区变浅，热含量在热带中北太平洋减少，尽管暖的海表温度异常仍然存在。有趣的是，海表温度和 26°C 等温线深度异常之间的负相关性与热带东部和西部太平洋的正相关性相反，表明通过量化次表层海洋动力学可加深对热带气旋形成过程的理解。热带气旋频率的趋势仍是学界争议的热点和难点，未来的预估必须考虑表层和次表层动力学对热带气旋的净影响，特别是在全球变暖下预期出现类似厄尔尼诺的模态。

S23-O-7

全球变暖“停滞”与海洋热含量分布

林霄沛[1*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

* linxiaop@ouc.edu.cn

气候系统内部的年代际变化是导致全球快速升温和变暖停滞的主要原因，已有研究认为太平洋年代际振荡（PDO）通过调整热带太平洋的海洋热含量分布，使得更多热量进入海洋西太平洋次表层，东太平洋同时变冷，导致最近的变暖停滞。但是只考虑太平洋内部的 PDO 忽略了其他大洋的作用，也不能解释类似北大西洋变暖和欧亚大陆变冷等对变暖停滞的贡献。

针对上述问题，本研究发现大西洋多年代际变化（AMO）是调控变暖停滞最重要的气候模态,其作用超过了 PDO。发现存储变暖停滞期间海洋热含量的关键海区——西太平洋，无论是热带、副热带还是亚极地海区的年代际变化均由 AMO 调控，大西洋的年代际异常通过跨海盆的遥相关过程调制太平洋大气强迫，进而影响西太平洋；变暖停滞时期 AMO 正位相有利于海洋向极地热输送增加和北极海冰减少，引起北极增暖、大气急流的位涡障碍减弱、乌拉尔阻塞高压频发和冷空气频繁南下，激发冷海洋暖大陆模态（COWL），是变暖停滞期间欧亚大陆变冷的主要机制。总之，在 AMO 的调制下，AMO、PDO 和 COWL 等气候模态的协同作用，是引起海洋热含量更多的进入次表层海洋，导致最近这次变暖停滞产生的主要原因。

S23-O-8

海洋亚中尺度过程如何影响大洋经向热输运?

张志伟[1*]

1 中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室

* zzw330@ouc.edu.cn

空间尺度 O(1–10)公里、时间尺度 O(1–10)天的海洋亚中尺度过程，在大洋能量串级和物质输运中扮演重要角色，对海洋生地化过程和海气相互作用等具有重要调控作用，是当前海洋科学的前沿和热点研究领域。尽管高分辨率观测和数值模拟均表明亚中尺度过程可产生很强的垂向热量输运，但对于亚中尺度过程能否以及如何影响大洋经向热量输运目前尚不清楚。本研究以中尺度涡和亚中尺度过程极为活跃的南大洋为例，基于两套不同分辨率但其它配置完全相同的高分辨率数值模拟资料，对上述问题开展了深入研究。研究发现尽管亚中尺度过程自身引起的经向热输运很小，但它可通过能量逆向串级显著增强中尺度涡动能进而增强中尺度经向热输运，从而间接地增强南大洋向极的总体热输运。在南极绕极流纬度带，亚中尺度能量逆串级对向极热输运的增强比例可达到~20–50%，因而在南大洋热量收支中扮演举足轻重的角色。上述研究结果，揭示了亚中尺度过程影响大洋热量输运的新路径，明确了亚中尺度能量串级对海洋大中尺度环流系统具有重要作用，为今后改进气候模式涡致输运参数化方案提供了理论支撑。

S23-O-9

始新世大洋环流及气候效应

张彧瑞 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* yuruizhang@xmu.edu.cn

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0276-4648

当今的全球大洋环流输送源源不断的热量，影响地表能量再分配，对现今的气候格局和环境空间分异有重要贡献。大洋环流系统显示出不同时空尺度的变化，在地质历史上变化了表现为多尺度、不同规模的演变过程。始新世(距今 55Ma)作为新生代最温暖的地质历史时期，其海陆构造初具现今规模，但关键部分海道与现今情况仍然有所不同，所以研究始新世洋流特征，理清不同洋流伴随的气候效应，有助于提升对洋流系统变化的准确理解，扩宽对气候系统演变进程的认识。

国际深时比较计划（DeepMIP）的模拟结果显示，始新世的海道等古地理条件和其他气候因子造成洋流特征与现今格局存在巨大差异。南大洋海水通过类似于现今北大西洋的温盐对流（salt-advection）过程形成密度较大的水团，这些大密度水团随后下沉形成深层水，且不断积累之后被迫向北扩张，最终通过混合等过程返回到表层，形成了逆时针方向的经向翻转流，与现今的双循环结构洋流特征形成鲜明对比。对南大洋深层海水的 Lagrangian 粒子跟踪分析发现，形成于南大洋的深层海水主要在近赤道的热带地区出露到海洋表层，形成了低纬度地区深-表层水之间的交换过程。

始新世独特的环流特征可以产生多重气候环境学效应。首先，伴随强劲的南大洋深层水的跨纬度洋流可以促进高低纬度之间的海水交换，进而有助于南大洋高纬度地区温暖环境的形成和维持。其次，亚赤道地区的上升流构成了始新世的活跃垂直方向交换，可有效连接海洋深部和表层及上方的大气，为解释的始新世高浓度温室气体提供了洋流动力学条件，并对该时期活跃的多圈层间碳循环具有启示意义。

S23-O-10

过去千年火山对海洋环流及热容量的影响及机制

宁亮 [1]，刘健 [1*]，陈可凡 [1]，刘征宇 [2]，吴芬 [1]，胡文庆 [1]，严蜜 [1]，孙炜毅 [1]，覃燕敏 [1]

1 南京师范大学，地理科学学院

2 俄亥俄州立大学，地理系

* jliu@njnu.edu.cn

本文基于代用资料和模式结果探究了不同时间尺度上火山喷发对海表面温度、温盐环流以及深海热容量的影响。研究结果显示，大于 100Tg 的赤道和北半球火山能够对北大西洋海温起重置作用，30-100Tg 的火山则对 AMO 起调制作用。对于北大西洋径向反转流（AMOC），即便过去千年最强的火山也无法重置其变率，只对其产生调制影响。研究结果还显示，单次强火山喷发能在年代际时间尺度上造成 AMOC 增强，随后在百年际尺度上造成 AMOC 减弱。AMOC 的增强一方面与 NAO 强度增加导致西风增强有关；另一方面与海冰迅速扩张产生的盐析作用有关。AMOC 的减弱最初来源于海冰融水增多和盐度下降。之后，北大西洋副极地蒸发减弱、潜热下降、副极地环流减弱和海温长期降低对 AMOC 产生正反馈作用，维持了百年尺度的 AMOC 异常。

基于模拟试验发现，单次强火山喷发能够产生百年尺度的全球降温，降温的持续时间和强度与 LIA 类似。通过对比火山喷发后各大洋的海洋热容量发现，虽然在 AMOC 的作用下大西洋冷海温的存储深度最深，但太平洋由于面积更大，因此对冷异常的存储量为大西洋的两倍，对 LIA 的形成起主导作用。火山喷发造成的直接降温首先在黑潮及其延伸体以及澳大利亚以东下沉形成模态水，在黑潮-亲潮交汇处以及东印度洋-澳大利亚以南下潜形成北太平洋中层水和南极中层水。之后，冷异常沿着副热带和副极地环流扩散并长期存储于太平洋，在百年尺度上通过西边界流的强混合作用影响上层海洋和大气温度，对 LIA 的维持起重要作用。最后，基于 AOEnKF 方法，设计了一组理想化试验，针对过去千年的珊瑚数据应用于太平洋海洋热容量同化的可行性进行了评估。

S23-O-11

三万年来印太暖池热盐演化及其强迫机制

张帅[1,2]，俞宙菲[3*]，王跃[4]，宫勋[5]，Ann Holbourn[6]，常凤鸣[2]，刘衡[1]，程旭华[1]，李铁刚[7*]

1 河海大学，海洋学院
2 中国科学院海洋研究所
3 中国科学院南京地质古生物研究所
4 同济大学，海洋与地球科学学院
5 中国地质大学（武汉），海洋学院
6 基尔大学，地球科学研究所
7 自然资源部第一海洋研究所
* zfyu@nigpas.ac.cn
* tgli@fio.org.cn

印度-太平洋暖池系统是世界上最大的“热引擎”和“蒸汽机”，相关物理过程，包括厄尔尼诺-南方涛动（El Niño-Southern Oscillation，ENSO）、热带辐合带（ITCZ）迁移等，对全球气候变化至关重要。然而，末次冰消期印太暖池的水文变化，以及热带太平洋的冷却幅度和相应的类 ENSO 演化过程，都存在很大争议。本研究中，我们整理了印太暖池区已发表的 340 组 3 万年以来的基于浮游有孔虫壳体 Mg/Ca 比值和 $U^{k'}_{37}$ 重建的海洋表层温度和次表层温度、海水氧同位素数据，并基于西太平洋暖池核心区钻孔 KX97322-4 样品，结合模式分析重建了 3 万年以来上部 700 米以浅水体热含量及混合层垂向温盐结构的演化历史。通过聚类分析和数据整合，我们发现末次盛冰期相对于早全新世，暖池向东向南收缩，海表温度在暖池核心区域降温 2.7℃。末次盛冰期热带太平洋纬向温度梯度达到最小值，呈现出类厄尔尼诺状态。在末次冰消期，以轨道岁差信号为主的暖池快速升温通过低纬与南大洋的热交换增强了纬向温度梯度，使整个热带太平洋在冰消期形成类拉尼娜的状态，印太暖池东部海区上层水体温盐层化加剧。该状态可能进一步增强了赤道东太平洋的碳释放，促进了全球大气二氧化碳浓度的上升，放大了末次冰消期的全球变暖。而进入全新世后，随着印太暖池热量的释放，热带太平洋又逐渐向类厄尔尼诺态转变。

S23-O-12

印度洋上层海洋热含量调控亚洲夏季风

王跃[1,2*]，王星星[1,2]，张帅[3]，武道宇[2]，陈果[2]，邓航[2]，汤敏莎[2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 同济大学，海洋与地球科学科学学院

3 河海大学，海洋学院

* 163wangyue@tongji.edu.cn

海洋是地球气候系统储热能力最大的圈层，也是大气湿静力能的主要来源，海洋热量变化是全球气候系统的一个核心变量，对气候演变有重要影响。例如，特别是在热带地区，上层海洋热含量（OHC）被认为是全球气候变化的热引擎。现代观测研究证明，作为主要的能量源区，包括温跃层在内的上层海洋是驱动或影响台风、季风等大气环流运动的关键所在，比如，1993-2017 年期间，印度夏季风降雨的年际尺度变率与热带西南印度洋 1-3 月份上层海洋平均温度关系密切。但对于轨道尺度的亚洲古季风演变，印度上层海洋热含量所起的作用还不清楚。本研究利用 30 万年以来轨道太阳辐射量和大气 CO2 变化驱动的瞬变加速模拟结果、并综合地质记录和现代观测数据，分析了热带印度洋 26℃和 20℃等温线以上水层热含量（称为 OHC26、OHC20）的多时间尺度演变特征、及其与亚洲夏季风的联系机制。结果表明，在岁差周期上，模拟的 OHC 主要受控于 26℃和 20℃等温线深度变化（而非水层平均温度变化），其空间格局类似现代印度洋偶极子（IOD）：岁差参数极小值期，热带西印度洋热含量增加、东印度洋减少（对应 IOD 正相位），赤道印度洋东风异常增强，来自太平洋水汽传输增强，导致印度次大陆夏季降雨整体增加、东亚夏季降雨异常则表现为南海、华南、长江流域的经向“三明治”结构（负-正-负）。这些模拟结果与古 IOD 强度、亚洲古记录重建记录等吻合良好，指示在轨道周期上，热带印度洋上层海洋热量再分配过程也能显著地调控亚-印-太区域水热异常传输，与西太平洋暖池热含量调控的东亚季风水汽传输构成“接力赛跑机制”。

S23-P-1S

用冷水竹节珊瑚重建工业革命以来南海中部海区中层水温度变化

惠鑫如[1]，周晓理[1*]，乔培军[2]，江小英[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学海洋地质国家重点实验室

* xlzhou@tongji.edu.cn

工业革命以来，大气二氧化碳浓度的持续升高导致全球变暖，但冰芯和观测数据表明，20 世纪中叶和 21 世纪初发生了“全球变暖停滞”，大气二氧化碳浓度与全球大气和表层海水平均温度的变化并非一一对应，许多研究表明，深海热含量的变化可能导致温度在短期内下降。但是，由于缺乏合适的研究材料，目前我们尚不了解深海热含量的实际变化。冷水珊瑚因其分布广泛、生长缓慢，可以反映在其生长周期内环境变化的各种信息。本研究取用“深海勇士”号和“奋斗者”号在我国南海中部海区 300-1700 米深度范围内采集的冷水珊瑚样品，对其碳酸钙质骨骼和有机质骨节进行 ^{14}C 测年，获取样品的生长速率和生长时间跨度；通过测定碳酸钙骨骼的碳氧同位素和元素组成，推测其生长过程中海水温度的变化。结合这些实验数据，我们建立了冷水珊瑚的年龄格架，重建了工业革命以来南海中层海水温度和热含量的变化，为理解海洋储热与大气二氧化碳浓度之间的关系和“全球变暖停滞”事件提供新的依据。

S23-P-2

早-中中新世南海北部上层海洋水文变化指示的东亚季风演变

杨策[1]，徐建[1*]，翦知湣[2]，党皓文[2]

1 西北大学，地质学系

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* jx08@live.cn

早-中中新世是亚洲季风的形成和演化的关键时期，其中包括了青藏高原隆升、中中新世气候适宜期和东南极冰盖扩张等构造和气候事件。这一时期的诸多构造或气候变化事件共同影响了亚洲季风系统演化，进而影响到季风区低纬海区上层海洋水文变化。作为古气候学的一个重要课题——东亚季风区上层海水温盐变化在构造时间尺度上如何响应东亚季风的演化，其与南亚季风区上层海洋记录有何异同，目前仍然了解不多。本研究以“国际大洋发现计划”第 368 航次在东亚季风关键区域——南海北部钻取的 U1501 站钻孔沉积物为研究材料，利用浮游有孔虫混合层种和温跃层种壳体的稳定氧同位素与 Mg/Ca 比值，重建早-中中新世南海上层海水温盐记录及其指示的东亚季风演化，并与东亚和南亚季风区以及毗邻低纬海区水文记录对比，结果表明南海北部与暖池区域的表层海水 $\delta^{18}O$ 记录整体变化特征以及对气候事件的响应更为一致，反映低纬气候过程。东、西印度洋的表层海水 $\delta^{18}O$ 与暖池核心区以及南海北部表层海水水文变化机制有别，其上层海水氧同位素以及盐度信号受南大洋的影响更明显。中新世时气候转型期前后，南海北部与暖池区域的表层海水温度演化趋势更为接近，而南亚地区阿拉伯海的表层海水温度变化趋势与南半球中高纬度地区同步，对东南极冰盖扩张事件的响应领先于暖池区域。上述结果为构造时间尺度亚洲季风系统演化提供了东亚季风区的古海洋学证据。

S23-P-3S

南海北部 IODP U1505 站 15-13 MA 上层水体结构及东亚季风演变

卢亚敏[1]，黄宝琦[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* bqhuang@pku.edu.cn

本次研究以南海北部陆坡 IODP U1505C 孔（18°55.0570′N, 115°51.5370′E；水深 2917.4 m）柱状样为研究材料，通过对浮游有孔虫属种组合和稳定同位素的分析，讨论了 15-13 Ma 南海北部表层海水温度、上部水体结构（温跃层深度）及生产力的变化，并据以上古海洋学结果初步研究了 15-13 Ma 东亚季风的演变。结果显示在 15-13 Ma 表层海水古温度整体呈下降趋势，生产力降低，温跃层变浅，上层水体混合作用减弱，反映了东亚冬季风减弱夏季风相对增强。同时在 15-13 Ma 时间段中相对较暖的时期，生产力增强，温跃层变深，上层水体混合作用增强，反映了东亚冬季风增强夏季风相对减弱。

S23-P-4S

重建过去 1500 年东澳大利亚暖流的热量传输

陈安然[1]，Mahyar Mohtadi[2,3]，Stephan Steinke[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 不来梅大学，海洋环境中心

3 不来梅大学，地球科学学院

* ssteinke@xmu.edu.cn

东澳大利亚洋流（EAC）是南太平洋副热带环流的西部边界流（WBC），它能在热

带和中纬度区域分配热量和水分，因此在西南太平洋的气候变化中发挥着重要作用。现有为数不多的对 EAC 过去热量传输和温度变化的重建是矛盾的，导致西南太平洋洋流长期变化的研究空白，这反过来又阻碍了对未来热带和亚热带气候发展的可靠预测。在这里，我们针对澳大利亚东北部近海地区珊瑚海的两个岩芯样的样品，基于有孔虫 *Neogloboquadrina dutertrei 的* Mg/Ca 重建了温跃层温度（TWT），并结合之前的 *Globigerinoides ruber (white)*的海表面温度（SST）数据，重建了过去 1500 年来珊瑚海上层海洋温度的变化，并且为了更好地对 EAC 的热传输有一个全面的了解，我们使用海洋热容量(OHC)表征 EAC 的热传输。两个站点的 SST 与 TWT 的差值都在这个时间段内增加，意味着近海温跃层的加深，同时也表明了 EAC 增强。另外，根据计算，两个站点于 1300/1400CE 开始 OHC 也有明显升高，这仍然佐证了先前推测的 EAC 的增强。我们的研究表明，东澳暖流的变暖趋势先于人为影响的全球变暖，强调了了解其长期变化对精确预测气候的重要性。我们的发现也为该地区未来的研究提供了新的视角，对 EAC 的动态及其对邻近环境的可能影响，从而对该领域的研究产生了重要影响。

S23-P-5S

印度洋偶极子驱动的上层海洋热含量与台风关系研究

武道宇 [1,2*]，王跃 [1,2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* 1950505@tongji.edu.cn

自古以来，台风（或热带气旋）活动对人类社会影响很大，最近几十年的全球变暖背景下，异常频发的强台风更是引起了科学界的广泛注意，成为现代与古气候学研究的前沿热点。在世界人口最为密集的印度洋区域，台风研究开始很早、进展却比较慢，特别是印度洋台风强度模型的预测结果与实际观测相差很大，部分原因在于，前人在研究台风和海洋气候变量的关系时，仅考虑表层海洋温度的贡献、忽略了以上层海洋热含量（OHC）为特征的印度洋偶极子（IOD）的影响。本研究为了改进印度洋的台风强度（PI）预报模型，首先基于现代大气和海洋再分析资料，分析了 IOD 相关的不同水层海洋热含量变化、及其与实际观测台风强度的关系，然后将 20℃、26℃等温线以上水层的热含量概念引入台风强度计算过程，结果表明：（1）IOD 可以导致 20℃和 26℃以上水层热含量的纬向反相变化特征，IOD 强度、印度洋区域平均的热含量、台风强度等时间序列之间具有良好对应关系；（2）不管是取 1979 年至 2010 年所有年份、还是取印度洋偶极子的正相位年份，台风强度与 20℃或 26℃以上的海洋热含量均有较强相关性，但在印度洋偶极子的负相位年份，台风强度和海洋热含量观测却并不显著；（3）相较于基于 SST 计算的台风强度，基于海洋热含量计算的台风强度与实际观测值更为接近，特别是基于 20℃以上热含量的计算结果效果最好。总之，本研究不仅改进了印度洋台风强度的计算方法，而且发现印度洋偶极子可以通过上层海洋热含量显著调控台风强度变化特征，这些成果可有效地应用于现代和地质历史时期的台风研究，并以史为鉴、更为准确的预测未来全球变暖背景下的台风变化趋势。

S23-P-6S

2Ma 以来太平洋经-纬向温度梯度演变的 BOX 模拟

季翔宇 [1*]，王跃 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* xiangyuji@tongji.edu.cn

研究基于过去两百万年（2Ma）以来太平洋经向和纬向的古温度梯度重建记录，综合利用 2 维大气能量平衡模式和上层海洋

box 模式，试图模拟大气 CO_2 浓度和水汽含量、轨道太阳辐射量变化等多个外部因子驱动的西太平洋暖池热含量、太平洋经-纬向温度梯度、及其背后的海洋温跃层环流热传输等演变特征

首先用刘征宇等提出的 4-box 的海洋箱式模型，将热带太平洋与中纬度海洋分为 4 个部分，热带太平洋表层部分西侧和东侧两个箱部，温度为 T1 和 T2，分别代表西太平洋暖池和东太平洋冷舌的上层 50m 水体温度；中纬度海域表层为一个箱部，上层 50m 水体温度为 T3；中纬度海域和赤道的温跃层（50~200m）构成一个箱部，温度为 T4，模型中的无维度等式如下：m1`dT1/dt=m1H1+(1-ε)q(T2-T1) ，m2`dT2/dt=m2H2+q(T4-T2) ，m3`dT3/dt=m3H3+εq(T2-T3)+(1-ε)q(T1-T3)，m4`dT4/dt=q(T3-T4)，计算出每个箱部对应的温度 Ti 后，公式计算出径向和纬向的温度梯度：ΔTmeridional=1/2(T1+T2)-T3，ΔTzonal=T1-T2

初步结果表明，ΔTmeridional 与ΔTzonal 在海洋上层水体（50m）的相关系数达到了 0.97。经向温度梯度增大，纬向温度梯度也随之增大，暖池热含量增大，温跃层环流圈的强度增强。与刘征宇的基本结论一致，说明热带海洋经-纬向梯度确实通过海洋环流过程紧密联系，通过温跃层环流圈强度变化，经向温度梯度可以显著调控赤道太平洋的纬向温度梯度，而且导致暖池热含量的显著变化

下一步修改 Zhuang KL 等 开发的 2 维能量平衡模式，模式方程（PDE）为：$C(r)\partial T/\partial t+A+BT=\nabla\cdot(D(r)\nabla\cdot T)+QS(r,t)a(r)$，增加大气水汽含量反馈、冰反射率反馈、瞬变加速模拟等功能，先进行 300ka 以来轨道尺度的瞬变模拟实验，将输出的表层温度数据作为海洋 box 模式的边界条件进行求解，初步检验海洋和大气温度及其梯度对不同反馈机制的敏感性

最后将海洋 box 模式与 2 维能量平衡模式耦合，利用 2Ma 以来的外部驱动，模拟经向-纬向温度梯度、暖池热含量的演变特征，并与古海洋重建记录对比。预期结果将初步揭示上新世暖期以来百万年尺度的古 ENSO 瞬变特征和热量分配机制，检验并解释地质重建记录中的气候突变点现象。

S23-P-7S

末次冰盛期以来海平面上升引起赤道东西太平洋温度梯度增强

马雅楠[1]，孙炜毅[1*]，刘健[1]，宁亮[1]，严蜜[1]

1 南京师范大学，地理科学学院

* weiyisun@njnu.edu.cn

现在全球海平面正在加速上升，然而由于近年观测到的海平面上升仅限于厘米级，很难探究海平面上升对气候的影响。末次冰消期以来全球平均海平面大幅上升了约 120 m，研究这一时期海平面上升的气候响应，可以为分析未来海平面变化的影响提供参考。本研究基于 iCESM1.3 开展了一组敏感性试验，探究 14.5–7.5 ka 期间，海平面上升引起的海洋性大陆（MC）和东亚（EA）地区陆架的淹没对气候的影响。试验结果表明，14.5–7.5ka 期间 MC 地区陆架的淹没引起赤道东西太平洋海表温度(SST)梯度的增强，与 SST 和 $\delta^{18}O_c$ 的重建记录一致。14.5–11ka 期间，面积更大、更集中的陆地被淹没，引起 MC 的大幅变暖，增强了沃克环流和海洋反馈，显著增强了东西梯度，引起 La Niña-like 的模态；11–7.5 ka 期间，零散分布的陆地被淹没，MC 的增暖以及大气环流的响应较弱，形成 CP La Niña-like 的模态。

S23-P-8

西太暖池次表层水文演化对中更新世以来气候变化的响应

贾奇[1]，李铁刚[1*]，熊志方[1]，秦秉斌[1]

1 自然资源部第一海洋研究所

* tgli@fio.org.cn

次表层水文变化特征逐渐成为探讨热带西太平洋上层海洋变化机制及其与全球气候变化关联的关键环节。鉴于此，重建并分析热带西太平洋北部 MD06-3047B 岩芯 70 万年以来的温跃层海水温度和盐度变化，并进一步分析其影响因素。结果显示，研究区温跃层海水温度和盐度具有显著的斜率周期，即高斜率值阶段，对应研究区温跃层海水温度和盐度升高。并与北太平洋热带水形成区域的表层海水温度记录进行对比，发现这一现象可能与高斜率条件下，低纬海区向高纬海区热量传输减少，同时温暖的北太平洋热带水对研究区影响增强有关。同时，对比热带西太平洋南部的次表层海水温度变化，发现南北太平洋在热带西太平洋一定区域内存在对称的斜率调控下的中低纬水热传输过程，即南北太平洋均可通过亚热带经向翻转环流，实现斜率对热带西太平洋次表层水的影响。

S23-P-9

西太平洋暖池及其在气候演化中扮演的角色

姜玉涵[1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* ypw9010@qq.com

印度洋-太平洋暖池是全球面积最大的表层暖水聚集区，也是世界上最重要的热量和水汽源区之一。以北大西洋高纬区为中心的现行冰期-间冰期气候演化模式，近年来受到严重挑战。日益增多的发现表明热带海区，尤其是印-太暖池区，作为地球表面接受辐射能的中心，在全球气候变迁中起着关键作用。因此，低纬区印-太暖池和高纬区北大西洋在气候演变过程中都具有重要的地位。古海洋记录表明晚中新世印尼海道的逐渐关闭是原始印-太暖池形成和演化的主要原因。但是对于原始印-太暖池的形成时间，目前的报道说法不一。微体古生物学证据显示原始印-太暖池形成于 8 Ma；浮游有孔虫氧同位素证据显示，9.9-7.5 Ma 暖水在赤道西太平洋的堆积导致温跃层加深，原始暖池形成；而 Jian 等则表明原始印-太暖池形成于 11.5-10.6 Ma。另外，ODP 806 站浮游有孔虫 $\delta^{18}O$ 记录表明，当印尼海道收缩或海平面降低时，印-太暖池扩张得以发展；当印尼海道相对打开时，印-太暖池的发展受到抑制。Von Der Heydt 则认为印尼海道的打开并不能阻止印-太暖池的发展，只是使暖池的位置向印度洋方向移动。现代观测表明，在较短的年际和年代际尺度上，暖池区通过 ENSO 作用对全球气候产生显著影响。全新世以及末次间冰期以来的沉积记录显示，地球轨道参数，特别是岁差驱动的中—低纬太阳辐射量变化，可以通过调节次表层环流向暖池区温跃层的热传输，最终调控赤道太平洋西—东向的热结构及相关海气耦合系统的长期变化。自早全新世至中全新世，暖池区次表层的热量积累最终导致中全新世 ENSO 活动被压制，这一机制在当前全球变暖格局中可能也会发挥类似的负反馈效应。越来越多的研究也表明，在地质历史时期的冰期—间冰期旋回中也存在类似于现代 ENSO 过程的“类 ENSO 式”变化。此外，在万年尺度的天文周期上，暖池的热量变化可以调控太平洋与亚洲大陆之间的水汽传输，暖池上层海洋含热量增大对应海水 $\delta^{18}O$ 变重、石笋氧同位素变轻，指示暖池区表层海水蒸发增强、热带海表蒸发增强、水汽汇聚，并以季风和台风的形式向相邻陆地传输，导致东亚降雨增加。总的来说，西太平洋是广州海洋地质调查局的传统研究区，也是我国

走向深海大洋的门户，对印-太暖池的研究能够对东亚乃至全球天气和气候的演化历史与未来预测提供重要理论依据。

S23-P-10

全球变暖背景下热带太平洋海表盐度对类厄尔尼诺型海温增暖的响应

孙启伟[1]，杜岩[2*]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

2 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* duyan@scsio.ac.cn

基于耦合模式比较计划第六阶段（CMIP6）中4倍CO2突变（Abrupt-4XCO2）情景的数值模式结果，在全球变暖背景下，海表温度呈现类厄尔尼诺增暖模态。该增暖模态降低了太平洋海表温度纬向梯度，引发西风异常及沃克环流的减弱和东移，进一步导致海洋大陆海域降水减少，赤道太平洋降水增加，部分抵消了全球变暖背景下热力学过程（比湿增加）的影响。与此同时，类厄尔尼诺增暖模态改变了赤道太平洋经向温度梯度，激发经向风向赤道辐合，从而导致赤道太平洋降水增加，而热带辐合带（ITCZ）和南太平洋辐合带（SPCZ）海域的降水减少，遵循“warmer-get-wetter”机制。与降水的空间变化不同，海表盐度在热带西太平洋呈现变淡趋势。研究表明，热带太平洋海表盐度不仅受到淡水通量的影响，还会受到海洋动力过程的调控作用。赤道太平洋降水增加导致该地盐度变淡，向西的背景纬向流将负的盐度异常向西输送，辐散的经向水平平流将盐度负异常向赤道两侧输送，平滑了淡水通量对局地的盐度变化的贡献，使盐度在热带西太平洋呈现变淡趋势。此外，盐度降低和海表温度增暖共同作用导致混合层变浅，风场减弱引发赤道上升流减弱。这些过程使次表层的高盐水更少的被带入表层，在盐度再分配中也起着重要的调节作用。以上结果完善了联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）关于全球水循环变化的结果，为未来的气候预报预测提供理论支撑。

S23-P-11

冲绳海槽的高低纬相互作用印记

向荣[1*]，万随[1]，Stephan Steinke[2]，杨艺萍[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中科院边缘海与大洋地质重点实验室

2 厦门大学，海洋与地球学院

* rxiang@scsio.ac.cn

气候系统的驱动机制是古海洋古气候研究所关注的重要科学问题。随着气候变化高纬驱动理论和低纬驱动假说的提出，需要我们更多的提供不同纬度区域高纬和低纬影响的证据。借助于冲绳海槽的沉积钻孔A7，我们利用浮游有孔虫 Globigeroides ruber 和 Pulleniatina obliquiloculata 分别进行了 δ18O 和 Mg/Ca 比值测试，建立了该区表层水体温度（SST）和次表层水体温度演化序列。我们发现全新世次表层水体温度变化与 SST 有显著差异，呈现出明显的降温趋势，幅度达 2-3℃，在早全新世(~11.8-9.5 ka)和中全新世(~8-6.5 ka)有明显的暖事件，与西太平洋暖池区变化相似。而在末次冰消期。SST 和次表层水体温度变化则有非常一致的同步变化。我们认为冲绳海槽的这种表层和次表层海水温度变化差异反映了不同时期高低纬影响的主导差异变化：在末次冰消期，来自高纬的影响通过冬季风对冲绳海槽影响显著，导致较强的混合，表层和次表层海水温度差异较小。而在全新世，来自低纬的影响占据了主导低纬，低纬影响主要通过黑潮和次表层流对冲绳海槽有显著的影响。全新世来自热带低纬的影响在黄东海也留下了广泛印记。

S23-P-12S

末次冰盛期黑潮变化的数值模拟

赵子荟[1]，马文涛[1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

* wtma@sio.org.cn

黑潮是北太平洋西部边界流，能够携带西太平洋暖池热量向北输送，影响中国海的水文循环及全球气候。本文利用高分辨率区域海洋模式（ROMS），模拟了现代及末次盛冰期（LGM）黑潮流量和流轴的三维结构。气候态分析再现了现代黑潮的流量，在PCM-1 阵列、PN 测线和吐噶喇海峡的流量分别是 23.8、28.0 和 28.2 Sv，与观测结果接近。LGM 模拟中以上三个断面流量分别为 34.5、34.4 和 34.9 Sv，流量明显增加。垂直结构显示 LGM 时期黑潮主轴仍位于冲绳海槽内，深度范围也比现代大。LGM 时期黑潮进入冲绳海槽前受到海槛阻挡，部分黑潮流向发生偏转，使得琉球海流加强。LGM 时期黑潮加强主要受副热带环流圈信风加强和风应力旋度减小造成的 Sverdrup 输送加强控制。黑潮上游北赤道流加强，导致向北输送流量增加。研究结果可以帮助认识黑潮在全球水循环的重要作用。

S23-P-13

大西洋为什么快速增暖

任秋萍[1*]，Young-Oh Kwon[2]，Jiayan Yang[2]，RuiXin Huang[2]，李元龙[1*]，王凡[1]

1 中国科学院海洋研究所，海洋环流与波动重点实验室

2 Woods Hole Oceanographic Institution

* renqiuping@qdio.ac.cn

* liyuanlong@qdio.ac.cn

海洋的热量储存在空间上是不均匀分布的，在变暖背景下各主要海洋盆地表现出不同的升温速率。观测数据集的分析表明，自 1960 年以来，0-2000 m 大西洋的平均温度显示出最大的变暖趋势，是印度洋-太平洋增暖的近三倍，南大洋和全球增暖的近两倍。气候模式比较计划 CMIP6 的历史模拟有力地捕捉到了这一特征，并预估将持续到未来。在 CMIP6 模拟中，表面热通量变化引起的海洋热吸收在形成盆地间变暖差异中起着核心作用。除了现有研究所强调的大西洋经向翻转环流的减缓外，温室效应下大气环流的变化对进入北大西洋的海表热通量的增加也是必不可少的。具体而言，西风向极地的迁移导致中纬度海洋的热吸收广泛增强，这是受近表面风速和云量减少的影响。与印度洋-太平洋相比，大西洋具有相对较宽的中纬度区域和较窄的低纬度区域，导致盆地平均的吸热量更高。此外，北大西洋人为气溶胶浓度的降低也有利于 CMIP6 模式中大西洋热吸收的增强。这些发现对认识气候模式中海洋热储存格局和约束模式预估提供了科学依据。

S23-P-14

南大洋亚南极模态水的结构与变率

洪宇[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* hongyu@scsio.ac.cn

由于没有陆地阻拦，南大洋存在着全球最强烈的盛行西风。强烈的西风驱动了强大的南极绕极流、表层向北的 Ekman 流和伴随的上升流，抵达海表的上升流通过淡水和热量的输入增加浮力并穿过南极绕极流向北输运。在太平洋和印度洋，到达亚南极锋面北侧的水体，在南半球冬季大气的强烈降温驱动了下进行垂向的强烈混合，形成了物理性质在垂向上具有均一性的亚南极模态

水。亚南极模态水随着南极绕极流自西向东传输并沿等密度线向北输送至副热带环流甚至更北，完成了南半球副热带海域的通风过程，是全球大洋翻转流上支的重要部分。在亚南极模态水的形成过程中，海气界面有大量的热量、CO_2 以及营养物质的交换，因此，其形成和向北的潜沉输送对海洋热量、CO_2 以及营养物质收支和再分配有着重要的调控作用，其物理性质的变化也对全球气候变化有着很好的指示作用。

亚南极模态水在时间上存在着很大的自然变率，主要受到海表浮力通量、Ekman 泵压等因素的调控。在全球变暖背景下，亚南极模态水的体积以及性质变化在研究中呈现出不同的结论，阻碍了我们对其生成转化等物理过程及其气候影响的进一步理解。通过分析网格化 Argo 观测数据和耦合模式比较计划多模式模拟的输出数据，我们分析了亚南极模态水的演变，发现在近十几年的观测数据和未来全球变暖的模式模拟中，东南印度洋亚南极模态水体积总体都在减小，并呈现不同密度层之间体积的相反变化。这一现象主要取决于海表浮力通量的改变引起的深混合层深度和位置的变化。同时，观测中东南印度洋亚南极模态水的平均温度和盐度呈增加趋势，但其生成海域的海水变淡和等密面露头线南移引起的密度面上的变冷变淡，在一定程度上减弱了亚南极模态水的平均温盐变化趋势。在模式的未来情景模拟中，正是由于这种等密度面上的变冷变淡，导致了亚南极模态水的深度上出现变暖最小值和盐度的强烈变淡。这些结论加深了对东南印度洋模态水演变及其背后物理机制的理解，同时为南大洋水团的气候响应和影响提供了新的视角。

S23-P-15

BETA 效应引起的孤立海洋涡旋垂向速度偶极子

高山 [1*]，金飞飞 [2]，赵军 [1]，刘凯 [1]，侯颖琳 [1]

1 中国科学院海洋研究所，海洋环流与波动实验室

2 美国夏威夷大学

* gaoshan@qdio.ac.cn

通过中尺度涡在 β 平面和 f 平面的数值模拟对比实验，以及 Omega 方程诊断结果发现，孤立的海洋中尺度涡旋的垂向速度结构并不是传统的 Eddy Pumping 理论所认为的中心单极子形态，即暖（冷）涡中心为下降（上升）流，而是呈现东西向的偶极子的形态，即在暖涡内的西侧为下降流，东侧为上升流，冷涡情况相反。通过理论推导发现，β 效应是引起该偶极子的根本原因。尤其值得注意的是，该垂向速度偶极子会随深度不断增大，因此可以预见其能够对涡旋路径上的深层海水的垂向输运与混合产生非常显著的影响。从某种意义上说，该发现颠覆了经典的 Eddy Pumping 理论，同时该结果也提示我们，在用 Omega 方程研究中尺度涡垂向速度时，不可以忽略 β 效应项。

S23-P-16

基于四维变分同化方法的南海中尺度涡后报实验

赵军 [1,2]，高山 [1,2,3*]，王凡 [1,2,3]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋环流与波动重点实验室

2 中国科学院大学

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋动力过程与气候功能实验室

* gaoshan@qdio.ac.cn

海洋中尺度涡在本质上是属于满足准地转平衡的大尺度运动，因此理论上，其在短时间内的运动将主要受到准地转平衡关系的约束，而外部强迫场的影响在短期内不会明显改变其运动特征。基于上述思想，我们提出了一种基于四维变分同化初始场的中尺度涡旋预报方案。为了检验该方案的可行性，本研究使用区域海洋模式(regional

ocean modeling system, ROMS)和其内建的增量强约束四维变分同化(incremental strong constraint four dimensional variational, I4D-Var)模块, 建立了一个南海海洋同化模拟系统。首先, 通过 I4D-Var 方法将 AVISO 卫星高度计资料同化到海洋数值模拟中,获得了理想的中尺度涡同化模拟结果。同化、模式模拟和观测三者的中尺度涡统计结果表明, 该同化系统模拟的南海中尺度涡的路径、半径、海表高度异常和振幅等特征信息与 AVISO (ArchivingValidation and Interpolation of Satellite Oceanographic Data)观测结果高度吻合, 同时在深度上的分析表明, 涡旋对应的温度、盐度和密度均得到有效的调整。然后, 将该同化系统的模拟结果做为初始场,对某一特定时段的南海中尺度涡进行了后报模拟和结果的定量化分析。通过比较后报模拟与观测资料中对应涡旋的海表面高度异常(sea surface height anomalies, SSHA)相关系数、涡心差距和半径绝对误差, 证明该方案的中尺度涡后报时效至少可达 10 d 以上。后报实验结果验证了该中尺度涡预报方案的可行性, 从而为中尺度涡的预报提供一定的理论基础和可行性方案。

S23-P-17S

过去千年海表面温度和海洋上层热容量同化

胡文庆[1]，宁亮[1,2,3*]，刘健[1,2,5]，严蜜[1,2,3]，刘征宇[4]，陈可凡[4]，孙昊浩[6]，吴芬[1]，覃燕敏[1]，王鎏琳[1]，李楚鑫[1]，李奔月[1]

1 南京师范大学，地理科学学院
2 麻省大学，地球科学系
3 中国科学院地球环境研究所
4 俄亥俄州立大学，地理系
5 南京师范大学，数学科学学院
6 南京大学，大气科学学院
* ningliangnnu@njnu.edu.cn

基于一套珊瑚代用资料和古气候数据同化方法，重建了过去四百年月平均海温场，研究了历史时期的 ENSO 变率及超级厄尔尼诺事件的演化特征等。同化结果表明，重建的超级厄尔尼诺事件的月尺度时间演化过程有良好的表现。此外，使用观测海洋热容量(OHC)、模式 OHC 和珊瑚代用数据构建一组理想实验，使用数据同化方法重建出历史时期 OHC，将同化的历史时期 OHC 与模式 OHC 对比，测试了珊瑚代用资料在模拟历史时期 OHC 的可靠性。

S23-P-18

大西洋-太平洋长期热盐变化差异

李元龙[1*]，任秋萍[1]，路颖[1]

1 中国科学院海洋研究所
* liyuanlong@qdio.ac.cn

自上世纪中叶以来，观测中的海洋温度和盐度度发生了显著变化，且具有明显的地理差异性。最为鲜明的特征之一是大西洋的整体升温快于太平洋，且大西洋的盐度整体升高、太平洋盐度整体下降。这些变化对海平面的上升、海洋层结加强、海洋初级生产力、缺氧酸化等现象具有重要影响。已有研究主要用经向翻转环流（AMOC）的减弱与全球水循环的加强来解释上述现象。通过对历史观测资料和模式模拟结果的分析，我们发现这种大西洋-太平洋的热盐变化差异主要出现在中低纬度。除了以往研究强调的 AMOC 和水循环之外，海洋热盐的耦合动力学过程也对上述大洋间差异具有不可忽视的贡献。在气候变化背景下，大西洋的表面的升温和盐度升高均有利于高温、高盐水团向热带-副热带温跃层的潜沉和聚集，而太平洋的表面升温和盐度降低则有利于低温、低盐水团向热带-副热带温跃层潜沉和聚集。这种热量和盐分的再分配是塑造中低纬度大西洋-太平洋变化差异的重要机制之一。基于海洋-海冰模式的敏感性实验证实了上

述过程的重要性。尽管 CMIP6 等气候模式能够基本再现大西洋-太平洋的增暖差异，但普遍低估了大西洋的盐度上升。这主要是由于气候模式模拟的气候态盐度分布存在系统性偏差。这些科学发现有助于理解海洋盐度对气候变化响应机理，强调了海洋动力过程不可忽视的作用，为气候模式的评估和改进提供了依据。

S23-P-19S

全球变暖下印度洋混合层深度变化研究

高臻[1,2,3]，龙上敏[1,2,3*]，Jia-Rui Shi[4]，成里京[5]，李根[1,3]，应俊[2]

1 河海大学，Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting, Ministry of Natural Resources

2 自然资源部第二海洋研究所，State Key Laboratory of Ocean Environment Dynamics

3 河海大学，College of Oceanography

4 Woods Hole Oceanographic Institution

5 中国科学院大气物理研究所

* smlong@hhu.edu.cn

海洋上混合层对于气候和生态系统有重要作用。本文基于 24 个 CMIP6 模式和 CESM1-CAM5 模式的试验结果研究了全球变暖背景下印度洋混合层深度的变化特征和机制。研究结果表明，在低排放（SSP1-2.6）和高排放（SSP5-8.5）情景下印度洋混合层整体呈变浅的趋势。在两种排放情景下，多模式集合平均的混合层在热带北印度洋和副热带南印度洋分别变浅了 5%和 10%，并且具有很高的模式间一致性。这一显著的混合层变浅现象首先出现在 1980 年代并且与表面浮力强迫的增强和风速的减弱有关。与之相反的是赤道南印度洋混合层深度呈现微弱的加深趋势，但模式间在混合层深度变化的强度和正负号之间存在很大的差异性。进一步地，利用 CESM1-CAM5 模式的试验结果定量分析了 CO2 增加的直接效应和风场变化对对混合层深度的影响。CEM1-CAM5 实验分析结果显示，由 CO2 增加的直接效应所导致的表面热通量增加主导了热带北印度洋混合层的变浅，而在副热带南印度洋，表面热通量的增加，风速的减弱已经风场印度的辐散效应都有利于混合层变浅。在赤道南印度洋，风场变化一般加深混合层，这与 CMIP 多模式的结果一致。此外，混合层变浅所对应的上层海洋层结变化在热带北印度洋主要由温度和盐度变化共同主导，而在 10S 以南则主要由温度变化主导。本文的研究结果凸显了不同区域混合层深度和其驱动机制的差异，对于理解全球变暖背景下区域气候变化和海洋极端事件和生态系统的变化有重要启示意义。

S24-O-1

钻探揭示的黄河贯通三门峡过程与机制

王鑫[1*]，胡钢[2]，胡涵[1]，余子莹[1]，聂军胜[1]，潘保田[1]，陈发虎[1,3]

1 兰州大学，资源环境学院西部环境教育部重点实验室

2 中国地震局地质研究所

3 中国科学院青藏高原研究所

* xinw@lzu.edu.cn

黄河是中国第二大河、中华文明的母亲河，其形成演化与青藏高原隆升、亚洲季风演化、全球气候变化等重大区域地质事件和/或全球环境演化事件密切相关，是备受关注的科学问题。贯通三门峡东流入海标志着现代黄河的形成，但贯通时代历久研究仍存重大争议，究其原因，已有研究主要依赖出露不连续的天然剖面是症结之一，通过环境钻探，钻取长时间尺度上连续的沉积岩芯是解决问题的关键。

我们在三门峡盆地钻取了长 150 米、取芯率高达 95%、年代跨度~1.96 Myr 的较连续沉积岩芯。通过对钻孔岩芯系统的沉积学、年代学和物源分析研究，发现在~1.25 Ma，

三门峡从之前的封闭型咸水-微咸水湖环境快速演变为开放型河流环境、中游鄂尔多斯地体的碎屑物质开始涌入，证实了黄河在~1.25 Ma 贯通三门峡东流入海。综合黄河中游河流阶地和边缘海地区沉积证据，明确了现代黄河形成于~1.25 Ma，揭示了中更新世转型期（MPT）全球海平面的加速降低对现代黄河的形成有重要影响，其贡献可能与青藏高原的隆升同等重要。

S24-O-2

上新世以来北太平洋记录的西风带动力学机制

仲义[1*]，刘青松[1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* zhongy@sustech.edu.cn

亚洲中部地区是北半球中纬度最大的干旱区，传统的陆上丝绸之路贯穿其中，构成了一条横跨欧亚大陆的贸易文化走廊，在东西方文化交流和丝路文明兴衰历史中发挥了关键性的作用。许多著名的古文明，如楼兰古国、龟兹古国都曾在亚洲中部发展兴盛，但最终湮没于历史长河之中，气候变化可能是导致该地区古文明衰亡的重要因素之一。因此，研究亚洲中部干旱气候的成因及演变规律对理解过去丝绸之路存在的气候背景，以及规划未来欧亚大陆经济带建设均有重要意义。

与东亚季风气候显著不同，中亚气候主要受中纬度西风急流控制。该区域是全球主要的大气粉尘排放和沉积区域之一。同时，亚洲中部干旱区也是全球最主要的绿洲农业和景观分布区，水资源变化显著，绿洲生态系统脆弱，对全球变化响应敏感。近现代观测显示，受夏季季风增强影响，中国西北部传统干旱区正在变得更加湿润。与之相反，蒙古及中亚地区近些年却呈现干旱化趋势。受限于长期观测资料的匮乏，我们仍无从判断该趋势是否受气候变暖影响亦或是年代际的偶发事件。研究地球最近一次温暖时期（上新世，5.3-2.6 百万年前）中亚气候的特征，有助于我们理解目前的气候变化过程和预测未来气候变化趋势。

受中纬度盛行西风带控制，中亚粉尘可以长距离传输，最终在西北太平洋沉积。该远洋沉积速率较慢，受近海环境影响小，为研究中亚粉尘源区百万年尺度气候变化特征提供可能。大洋多金属结壳作为生长于大洋平顶海山、海台顶部和斜坡上的“壳状”沉积物，被认为是从海水中直接沉淀形成，且形成后期受生物扰动及成岩改造作用影响甚微。它们可以提供跨越千万年的海洋和气候演变记录，在古海洋、古气候研究中具有重要意义。近些年来，随着我国深海探测技术的进步，我国在太平洋地区深海矿产资源调查、分布规律、赋存状态和成矿机理等方面都做出了重要的贡献，这也为我们重建长时间尺度中亚古气候演变提供宝贵的载体。

通过对西太平洋海山区多金属结壳进行了多指标、多方法的交叉研究，通过记录-模型的相互验证，重建了过去七百万年以来中亚地区干湿与大气环流变化。其中，通过化学风化指标 K/Al 比值发现粉尘源区在上新世暖期（5.3-2.6 百万年前）更为干燥，且风尘通量较低。值得注意的是，这一记录结果支持了一种新兴观点，即在干旱环境下风尘通量反而降低（而非过去认为在干旱环境风尘通量总是升高）。在北半球冰盖不断扩张的几个阶段中，受冰川作用和源区湿度增强控制，导致更多细粒物质的形成，促进了远洋风尘通量的增多。利用多金属结壳中铅同位素物源示踪的方法，我们的记录显示风尘组分从蒙古戈壁沙漠源区向戈壁沙漠-塔克拉玛干沙漠的混合源转变。通过对比地质记录与不同二氧化碳背景下 AWI-ESM 的数值模拟结果表明：气候增暖时期，受陆地升温影响，中亚潜在蒸发量显著升高，导致该区域更为炎热、干燥。与此同时，受温暖时期径向温度梯度位移的影响，西风急流向高纬地区偏移，导致远洋风尘沉积组分变化。我们的研究从古气候学及地质学的角度预示，在全球变暖增强的背景下，中亚地区干旱化程度将会进一步加剧。

中亚干旱区是“丝绸之路经济带”的必经之地，目前水资源短缺是制约当地经济发展的主要因素。建议政府机构要科学认识中亚地区水资源分布变化规律，保障生态和水资源安全，在“一带一路”战略框架下，中亚国家需要共同参与制定一套完整的、综合考虑人口、社会经济、生态环境因素的水资源管理治理决策体系，构建中亚各国和谐共存的可持续发展。

S24-O-3

墨西哥湾北部中中新世深海扇源-汇系统研究及其区域构造-古海流演化意义

徐杰 [1,2*]，John W. Snedden[2]，Craig S. Fulthorpe[2]，Daniel F. Stockli[2]，William E. Galloway[2]，Zachary T. Sickmann[2]

1 中国地质大学（北京），海洋学院

2 University of Texas at Austin,Jackson School of Geosciences

* jiexu@cugb.edu.cn

中中新世是全球构造、气候和洋流演化的重要变革期，对大型边缘海盆地沉积物从源到汇的搬运过程具有重要影响。本次研究基于墨西哥湾北部大量中新世河流、陆架和深海扇样品，通过碎屑锆石 U-Pb 测年这一方法，重建研究区源区-陆架-深海这一沉积物路径系统，并揭示其对区域古构造和古洋流的意义。研究表明墨西哥湾 Green Canyon 区域深水扇在早中新世沉积物主要来自上游古密西西比河（44-56%），在碎屑锆石年龄组成上表现为美国西部造山带和东部阿巴拉契亚造山带的混合，而古红河（西部造山带供源）和古田纳西河（东部造山带供源）只提供少量物质。而在中中新世，Green Canyon 区域深海扇样品则表现为更多的古红河和古密西西比河混合碎屑锆石信号，表明美国西部造山带影响的增强。但无论是前人对于源区供源能力研究，还是基于钻井和地震的盆缘沉积体研究，都表明在中中新世西部源区供源能力在减弱，而东部源区源能力在增强。因此深海扇中应表现为东部阿巴拉契亚造山带物源信号增强，而这与研究中观察到西部源区信号增强这一现象截然相反。结合区域地质资料和本次研究结果我们认为（1）中中新世时期北美古水系发生变迁，其中北美西部古红河被古密西西比河所袭夺，同时由于古田纳西河的扩张将原本流入古密西西比河的支流纳入其中，导致古密西西比河携带了更多西部物源区的信号；（2）研究区所在的 Green Canyon 海底扇，虽然位于古田纳西河流三角洲下倾方向，海底扇却更富古密西西比河信号，证实古海流将古密西西比河来源的沉积物侧向搬运至此。同时古海流促使部分古田纳西河碎屑物质沿陆坡向东搬运，从而为墨西哥湾东北部 McAVLU 海底扇供源；（3）早中新世-中中新世古海流变迁，很可能指示了墨西哥湾湾流的增强，同时与区域上巴拿马海道开始关闭有关。

S24-O-4

大陆晚古新世-早始新世典型古气候湿热事件的粘土矿物学记录

王朝文 [1*]，徐艳晓 [2]，姬凯鹏 [2]，赵晨蕾 [2]，洪汉烈 [2]

1 中国地质大学（武汉），珠宝学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* c.w.wang@cug.edu.cn

利用黏土矿物学方法对湖南衡阳盆地、美国 Bighorn 盆地和青海柴达木盆地的晚古新世-早始新世的四个关键气候湿热事件，PETM、ETM2、H2 和 EECO 事件的沉积物黏土矿物物相、含量和形貌进行了研究，对比了研究区和全球其它气候替代性指标，为探讨晚古新世-早始新世全球温室效应的大陆气候响应提供了新的证据。黏土矿物物相

和含量研究表明，在以上典型气候湿热期，黏土矿物中蒙脱石含量上升，而其它黏土矿物相对减少。黏土矿物形貌学观察表明，蒙脱石的增加可能是由于部分自生蒙脱石在成土作用过程中形成。这指示了在 PETM 期间，气候以季节性气候为主，并伴随有明显的干湿交替的特征。成土作用促进了自生蒙脱石的形成，但对典型气候湿热期蒙脱石含量的增加影响有限。对成土作用、粒度分选和湿热气候对黏土矿物含量的影响进行了评价，结果表明典型气候湿热期中蒙脱石最主要的增量可能来自于物理风化导致的碎屑蒙脱石的增加。季节性气候造成的河岸和上游土壤固结程度下降可能导致了近缘区的剥蚀和早期土壤的再循环，从而使得蒙脱石在湿热事件期间增加。关键湿热事件期间强烈的气候变化下化学风化记录可能被增强的物理风化和黏土矿物的转移所掩盖。典型湿热事件记录的较小的黏土矿物化学风化蚀变表明短时间尺度（几十万年）硅酸盐风化对大气中 CO_2 的去除贡献较小。

S24-O-5

末次冰消期以来东海内陆架沉积物化学风化特征及控制机制

兰凯[1]，刘喜停[2*]，董江[4]，李安春[3]，王厚杰[5]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院

3 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

4 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

5 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* liuxiting@ouc.edu.cn

大陆化学风化是连接地球表生圈层的关键过程，在驱动地球宜居化上发挥着重要作用。东海泥质区凭借快速的边缘海沉积和稳定的物源供应完整的记录了来自大陆的风化信号，成为研究大陆化学风化的理想场所。本研究以位于东海泥质区的高沉积速率柱状样 ECMZ 孔为研究对象，在验证指标可靠性的基础上，通过化学风化指数(CIA)等经典指标恢复末次冰消期以来东海内陆架区域的化学风化历史，并探究其对古气候变化和海平面变化的响应机制。研究结果表明在不同时间尺度上控制东海内陆架沉积物化学风化的机制不同，末次冰消期以来的化学风化过程受到了季风气候和海平面变化引起的陆架暴露的综合影响。

S24-O-6

瓜德鲁普—乐平转折期气候快速波动:来自上扬子碳酸盐岩酸不溶物风化指标的启示

孙诗[1,2*]，陈安清[1,2*]，侯明才[1,2]，JAMES G. Ogg[2,3]，杨帅[2]，陈洪德[1,2]

1 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室

2 成都理工大学，深时地理环境重建与应用自然资源部重点实验室

3 普渡大学，大气与行星科学学院

* sstopwin@163.com

* aqinth@163.com

瓜德鲁普-乐平统界线(GLB)的过渡期被认为是一个随着晚古生代冰期(LPIA)结束而逐渐变暖时期。然而，东澳大利亚冰川-非冰川沉积旋回表明该时期仍发生冷暖交替的气候波动。本研究基于具牙形石生物地层约束的上扬子渡口剖面，开展大陆风化研究以重建 GLB 转折期气候波动。通过提取碳酸盐岩中酸不溶物进行元素地球化学分析，并计算出一系列的化学风化指标。研究结果显示卡匹敦早期和吴家坪早期为弱化学风化阶段，卡匹敦晚期则为强化学风化阶段，并且 $\delta^{13}C$ 曲线总体上也遵循化学风化指标变化。两个弱风化阶段对应高纬度地区

P3-P4 冰川。卡匹敦晚期化学风化迅速增强，在时间上与峨眉山大火成岩省(ELIP)喷发几乎同步，火山喷发促使温度快速升高，并导致高纬度地区冰盖急剧收缩。此外，本研究 CIA 指数转换的陆表温度和前人已报道的海水温度一致变化反映陆地和海洋对气候波动的同步响应。随着 ELIP 启动、激增和减弱的气候波动是造成陆地-海洋-生物系统显著变化和 GLB 生物灭绝的重要原因。

S24-P-1S

赞比西河和林波波河现代沉积物来源对比研究及对 IODP U1478 钻孔岩芯物源变化的启示

杨婧[1,2]，聂军胜[1*]，张浩博[1]，Eduardo Garzanti[3]，赵宝金[4]，胡小飞[1]，Lindani Ncube[4]

1 兰州大学，资源环境学院

2 湖南文理学院，地理科学与旅游学院

3 米兰比可卡大学，地球与环境科学系

4 南非大学，环境科学系

* jnie@lzu.edu.cn

边缘海陆源沉积物常被用来推断源区山体抬升、风化和剥蚀历史。然而，大型河流泥沙从源区到边缘海的搬运过程可能经历多次沉积、储存、再搬运和新物质的加入等过程，导致进入边缘海的沉积物与初始源区沉积物的组成可能具有较大差异。厘清大型河流现代沉积物组成由陆到海的变化过程及控制因素是正确解读边缘海沉积来源变化的关键。河道形态、流域面积、河长及是否发育沉积盆地均被认为是影响河流现代沉积物从源到汇变化模式的重要因素。

赞比西河与林波波河是非洲南部大陆上河道纵剖面形态类似（均呈阶梯状），但规模不同的两条大型河流。其中，赞比西河几乎横贯整个非洲南部大陆，流域内存在多个沉积盆地；而林波波河的规模较小，中上游流域没有明显的沉积盆地。揭示这两条河流现代沉积物组成从源到汇的变化特征，并将结果与世界其它大型河流物源特征进行对比，不但有助于正确解读其边缘海沉积物源随时间变化的原因，而且能够深化对大型河流入海口沉积物所反映气候和构造信息的认识。

此次研究利用重矿物组合、Sr-Nd-Hf 同位素和碎屑锆石 U-Pb 年代学等方法对赞比西河和林波波河现代沉积物开展了详细的物源分析，获得了赞比西河和林波波河不同河段沉积物的地球化学特征及控制因素。将河流现代沉积物与边缘海现代沉积物进行对比，结果显示赞比西河和林波波河入海口现代沉积物主要由中下游流域的陡峭部分提供。通过与黄河、长江、湄公河和密西西比河对比，发现大型河流入海口的沉积物均主要来自距入海口最近的陡峭部分，说明河流纵剖面形态是控制大型河流入海口沉积物来源的主要因素。

在此基础上，对~ 4 Ma 以来的林波波河入海口 IODP U1478 岩芯沉积物与林波波河不同河段现代沉积物的物源特征进行对比，发现钻孔底部沉积物特征与下游类似，而上部特征与中游类似，表明现代林波波河在上新世-第四纪期间可能发生了溯源侵蚀，是一条年轻的河流，挑战了林波波河形成于白垩纪时期的传统认识。将林波波河入海口边缘海沉积物源变化与区域/全球气候变化进行对比，发现上新世-更新世气候变化，尤其是气候波动幅度的增强，可能促进了河流的下切和溯源侵蚀，加速了林波波河的形成。结合其它地区已发表的河流演化模式，初步推断气候波动幅度增强加剧河流形成可能是全球范围内普遍存在的现象。

S24-P-2

地层叠置样式转换的自成因机制

王俊辉[1*]，鲜本忠[1]

1 中国石油大学（北京），地球科学学院
* wangjunhui@cup.edu.cn

沉积地层记录着地球表层演化的历史，从地层记录中识别地球演化过程中的各类事件是地质学家的目标之一。这些事件除了通过地球化学指标、古生物指标、特殊事件层等记录之外，地层本身的叠置样式也是重要的指标。例如，沉积地层的加积、削蚀、进积、退积等记录着海平面升降、物源供给、构造沉降等外部驱动条件的相互作用。

地层叠置过程对这些外部驱动条件的响应，既可以表现为他成因（allogenic），也可以表现为自成因（autogenic）。传统观点认为，自成因过程往往被认为是小规模的（如河道迁移、河流决口、三角洲朵体迁移等），不足以形成重大的地层界面。因此，主流观点往往认为，当地层叠置样式发生改变，则意味着外部驱动条件发生了改变。

然而，自成因过程除了能够在小尺度上发生，还能在大尺度（盆地尺度或源汇尺度）上发生，能够形成与他成因可以类比的地层转换或者间断界面，从而能改变地层的宏观叠置样式。根本原因是沉积体系的生长导致其规模发生变化，从而引发地层学响应的变化：对于同样的外部驱动条件，沉积体系规模大小不同其地层学响应也不同，作者将之称为“规模效应”（size effect）。例如，对于一个处于演化初期的河流-三角洲体系，即使相对海平面上升，由于其沉积规模很小、生长速度快（如加积速度大于相对海平面上升速度），倾向于进积；当其充分生长后，在沉积物供给速率恒定不变的情况下，它的生长速度将变缓，一旦加积速度小于相对海平面上升速度，海侵将发生。

依据规模效应，该工作证明了四个基本地层叠置过程发生的临界条件：河流-三角洲体系的长度或面积决定了海平面上升背景下的海侵与海退；三角洲的厚度决定了海平面下降背景下的加积与侵蚀。当河流-三角洲体系在生长过程中达到临界条件时，重大地层转折界面将自发形成。现已报道的大尺度自成因过程，包括海岸线自动后退、海侵不整合的形成、河流自动下切、自动平衡等，均能得到统一解释。

要想正确地从地质记录中识别出重要的地质事件（即他成因过程），必须将大规模的自成因过程予以剔除。

S24-P-3

菲律宾海中四国盆地沉积物磁学特征与黑潮演化的早期记录

时美楠[1*]，吴怀春[1]

1 中国地质大学（北京），海洋学院
* beijiying@foxmail.com

黑潮是赤道热能向西北太平洋边缘海输送的重要通道，其演化与北赤道流和热带太平洋的演化息息相关。黑 潮沉积区的物质所蕴藏的古环境信息是深刻认识西太平洋及其边缘海乃至全球的一些关键气候和环境变化问题产 生重要突破点。其研究结果对于理解低纬度地区对全球变化的响应和影响，探讨全球气候、环境变化的机制有重 要科学意义。 不同的学者通过有孔虫及孢粉、地球化学、矿物学、沉积学等指标重建了日本岛区域的黑潮演化的历史，认 为“现代”黑潮在 3 或 5 百万年到达日本岛南部（32-39°N）。然而现在的太平洋洋流体系，包括形成黑潮的赤道 暖流，被认为是在 13.9 百万年前所建立（Kuhnt et al.，2004)。虽然日本南部的黑潮记录可以追溯到约 5 个百万年 前，但对西北太平洋更早期的黑潮演化的认识仍然有限。 针对以上科学问题，本文对四国盆地 IODP C0011 站位的中新世半远洋沉积物的进行了岩石磁学、Sr-Nd-Pd 同 位素、粒度分析等综合研究，通过物源分析推断黑潮在 10-11Ma 发生了增强，并已到达日本岛南部。

S24-P-4S

东亚季风调控的末次冰期以来台湾风化产物向南海深海输运

谢巍[1]，刘志飞[1*]，赵玉龙[1]，赵宏超[1]，Christophe Colin[2]，林殿顺[3]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Université Paris-Saclay，CNRS, GEOPS

3 台湾中央大学，地球科学系

* lzhifei@tongji.edu.cn

本研究利用南海东北部澎湖海底峡谷西侧堤岸岩芯 MD18-3570（119°38.68' E，22°11.48' N，水深 1572 m），通过 XRF 岩芯高分辨率元素扫描，结合浮游有孔虫 AMS ^{14}C 测年，研究台湾风化产物自末次冰期以来向南海深海的输运过程及其驱动机制。XRF 元素扫描结果显示，陆源风化产物组分 Fe、Al、Si、Ti、K 元素总体变化特征相似，呈现氧同位素 3 期、2 期、至全新世的阶段性变化。Al 和 K 元素通常富集于粘土矿物，Ti 元素通常富集于重矿物。以 Ti 元素作标准化，将 K/Ti 和 Al/Ti 比值与代表东亚季风演化的石笋 δ^{18}O 对比，发现 K/Ti 和 Al/Ti 比值随着 δ^{18}O 偏负时升高，δ^{18}O 偏正时降低，并突出显示 Younger Dryas、Bolling/Allerod 和 Heinrich 千年尺度气候事件的响应。因此，我们认为 K/Ti 和 Al/Ti 高比值代表东亚季风暖湿期较强的风化作用，形成更多的细粒矿物并输运到邻近深海峡谷区域，低比值指示气候相对干冷期的物理剥蚀作用，形成更多的粗粒沉积物。本研究揭示出东亚季风调控着末次冰期以来台湾风化产物向南海深海的输运过程。

S24-P-5S

基于 ROV 高清视频资料探究九龙峡谷头部支谷波痕的特征和控制因素

周昕[1]，范代读[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* ddfan@tongji.edu.cn

九龙峡谷是在南海北部陆坡上形成的规模较大的树枝型海底峡谷，是沉积物向深海输送的重要通道。峡谷内起伏变化的地形影响了局部水动力，导致微地貌的差异，对其形态特征及形成机制进行研究对探究峡谷的形成机制以及现代沉积过程具有重要的指示作用。前人通常利用多波束水深数据和三维地震数据解释大规模的海底峡谷沉积地貌及其演化规律，但缺乏对小尺度的波痕特征的研究。

本文基于 2018 年的“南海深部计划”遥控无人深潜科考航次在南海北部九龙峡谷头部支谷所采集的高分辨率水深测量数据以及高清视频资料（“ROPOS”潜器），基于图像数字化原理，得到波痕尺寸估计值，对波痕发育的控制因素进行初步分析。九龙峡谷头部两条支谷 a、b 的水深范围为-730 m~-1562 m，两支谷的上段横截面呈“U”形；中上段横截面呈“V”形，峡谷的下切深度和谷口宽度逐渐增大；中下段逐渐由“V”向“U”过渡；下段两支谷汇聚后呈宽缓的“U”形，谷底平缓。根据 ROV 高清视频，在支谷 b 上识别出 4 个波痕场和 1 个沙丘场。波场 1 发育于支谷 b 上段，多发育走向为 NW-SE 向的二维直脊波痕，平均波长约 15.9 cm，平均波高约 2.8 cm。波场 2 发育于支谷 b 中上段，发育 E-W 向的二维波痕和 NW-SE 向的三维波痕，平均波长约 12.3 cm，平均波高约 2.6 cm。波场 3 发育于支谷 b 中下段，发育 NW-SE 向，连续性较差的二维波痕与三维波痕，平均波长约 10.4 cm，平均波高约 2.3 cm。波场 4 同样发育于支谷 b 中下段，发育 E-W 向二维直脊波痕，平均波长约 11.1

cm，平均波高约 2.2 cm。总体来说，峡谷内波痕主要以二维直脊波痕与三维波曲波痕为主，但其尺寸存在差异，主要与峡谷的地形密切相关。二维直脊波痕通常发育在底部平缓区域，而在峡谷较陡区域通常发育三维波曲波痕，在水深最大，动力条件最强的区域则演化成尺寸更大的沙丘。波痕的形成主要收到潮流的影响，与水深并没有直接关系。潮汐不对称导致了波痕的不对称形态，迎流坡长且平缓，背流坡短而陡，由于落潮流顺峡谷向下流动，且其强度大于涨潮流，所以波峰具有向下游倾斜的趋势。此外，波痕的尺寸与沉积物粒径成正比，粒度较粗的区域发育的波痕规模大于沉积物粒度较细的区域。同时，峡谷上发育的不同形态的微地貌也会影响海底的粗糙度，研究发现波痕的尺寸越大底部的粗糙度就越大，这种局部水动力的变化对峡谷内的沉积过程具有重要的影响。

S24-P-6S

EARLY-MIDDLE MIOCENE DEEP-WATER CIRCULATION INTENSITY IN THE SOUTH CHINA SEA: EVIDENCE FROM SORTABLE SILT RECORD OF OCEANIC RED BEDS (IODP EXPEDITION 367 SITE U1500)

Jirawat Deemuenwai[1*]，Zhifei Liu[1]，Wei Shu[1]，Xuan Lyu[1]，Baoqi Huang[2]

1 Tongji University,State Key Laboratory of Marine Geology, Shanghai 200092, China

2 Peking University,Department of Geology, Beijing 100871, China

* jirawat_deemuenwai@tongji.edu.cn

IODP Expedition 367 recovered early-middle Miocene red beds at Site U1500 in the SCS. The 77.15 m thick red beds (~23-12.4 Ma) were subjected to grain size and carbonate content analyses. The grain size ranges from 1-3 μm through the sediment interval, while the carbonate content varies from 0-50%. The transition from a pelagic to a hemipelagic environment is identified. The SS mean during 19.0-14.6 Ma can describe the paleocurrent intensity. The drop in reflectance a* at 18.2 Ma, declining carbonate content, and decrease in SS Mean contribute to an upwelling of the SCS deep-water circulation associated with CCD shoaling. The SCS subduction marks the relatively strong currents during 17.0-15.6 Ma. As the SCS seafloor spreading ceased, the current intensity decreased from 15.6 to 14.6 Ma. This study provides insight into the deep-water sedimentary properties of oceanic red beds discovered in the SCS. Also highlight the deep-water circulation intensity during the early to middle Miocene.

S24-P-7S

第四纪黄土高原粉尘来源空间变化

张浩博[1]，聂军胜[1*]，刘向军[2]，Alex Pullen[3]，李国强[1]，彭文彬[4]，张瀚之[5]

1 兰州大学，资源环境学院西部环境教育部重点实验室

2 西北师范大学，地理与环境科学学院

3 Clemson University,Department of Environmental Engineering and Earth Sciences

4 枣庄学院，旅游与资源环境学院

5 南京大学，地理与海洋科学学院

* jnie@lzu.edu.cn

晚新生代亚洲内陆环境发生了显著的变化，解译这些变化有助于深入认识地表过程变化规律。黄土高原的黄土-红粘土沉积作为晚新生代最为连续的粉尘沉积序列是研究东亚-中亚气候以及环境变化的理想载体。然而，黄土-红粘土沉积物的物质来源尚存争议，阻碍了利用这些沉积物恢复地表过程和大气环流模式演化历史。本文主要利用单颗粒碎屑锆石 U-Pb 方法分析综合对第四纪黄土高原多个沉积露头剖面进行了物源示踪研究。通过生成和汇总黄土高原第四纪黄土序列大样本量碎屑锆石 U-Pb 年代数据，发现第四纪黄土高原至少有三个明显的物源分区：中西部、东部和东北部。这些区域的粉尘除了来自干旱区外，其粗颗粒部分还来自于邻近的河流系统。第四纪冰期的开始加速了河流侵蚀，并加强了粉尘释放，可能是第四纪时期黄土高原粉尘堆积速率快速增加的一个原因。

S24-P-8S

南海北部早-中中新世沉积物地球化学特征与源区古气候浅析

耿力[1]，黄宝琦[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* bqhuang@pku.edu.cn

海洋沉积物中的某些主微量元素与沉积物源区有着密切的联系，它们的变化受到源区化学风化强度的影响，因此海洋沉积物的地球化学特征可以反映出源区古气候的变化。应用电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP-OES）和电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）对南海北部“国际大洋发现计划（IODP）”367/368 航次 U1500 站位早-中中新世时期的海洋沉积物地球化学特征进行研究，根据主微量元素组合分析了沉积物的物质来源及其反映的源区古气候特征。物源分析表明，沉积物主要来自于珠江的搬运，源区为中国华南地区。沉积物中的主微量元素表现出良好的气候控制变化特征，对其进行主成分分析（PCA）和化学蚀变指数（CIA）计算后，发现该时期陆壳化学风化较强，反映了华南地区温暖湿润的气候环境。此外，结合中新世全球氧碳同位素记录、南海北部有孔虫氧碳同位素记录、南海北部黏土矿物特征、东亚陆相黄土特征等一系列数据，发现华南地区古气候在早-中中新世较全球气候相对寒冷干燥。结合华南地区在中新世的构造演化背景，初步推测可能与喜马拉雅运动导致的印度洋季风影响减弱有关。

S24-P-9S

全新世地中海陆源碎屑沉积地球化学分析记录及其水文气候环境意义

姚胜男[1*]，吴家望[1]，刘志飞[2]，赵玉龙[2]，Amalia FILIPPIDI[3]，Gert J. DE LANGE[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 乌特勒支大学，地球科学系

* yaoshn3@mail2.sysu.edu.cn

作为一个半封闭海盆，地中海位于非洲亚热带季风气候和欧洲温带气候的交界处，同时接受周边地区岩石性质和风化状况差异极大的陆源碎屑物质，是研究地球表层水文循环的理想区域。前人研究已揭示撒哈拉风尘与尼罗河输入是东地中海主要物源，但对其他陆源碎屑沉积及其变化仍缺乏了解，尤其是对不同水文气候条件下的情况变化缺乏考虑；而且现有的研究多集中于东地中海，而对西地中海关注较少。

本研究基于地中海共计 20 个站位、具有完备年龄模式的沉积物岩芯，围绕形成于全新世非洲湿润期的腐泥层 S1 沉积，选取了184个样品开展碎屑组分的元素地球化学分析。通过在不同干湿环境背景的时间片段

上开展盆地尺度上的对比分析(~2–0 ^{14}C ka, ~4.5–4.0 ^{14}C ka, ~6.1–5.6 ^{14}C ka, ~7.5–7.0 ^{14}C ka, ~8.9–8.4 ^{14}C ka, ~10.8–10.2 ^{14}C ka），从陆源碎屑输入的角度，探讨环地中海地区全新世以来水文气候环境的时空变化。研究结果显示：在整个地中海，Ti/Al、Zr/Al 等元素指标都清晰显示了经向和纬向上的梯度变化，是撒哈拉风尘的可靠指标；这些碎屑元素之间的差异或反映了北非风尘来源和传送路径的变化。与风尘相反，河流输入的指标值在非洲湿润期要显著高于其他时期，并呈现不同的地理分布。在东地中海，K/Al 具有西高东低、北高南低的分布特征，并且在腐泥层 S1 前期要高于 S1 后期；这些综合指示了地中海北部沿岸地区的河流输入在非洲湿润期的早期更加增强。此外，东、西地中海海盆的物源背景具有较大差异：虽然受北非撒哈拉风尘的共同影响，但程度有较大区别，而且西地中海受当地物源和风化状况影响较大。

S24-P-10S

东海内陆架泥质区颗粒铁对末次冰消期以来沉积环境演化的响应

孔凡兴 [1]，刘喜停 [1*]，李安春 [2]，董江 [3]，王厚杰 [1]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

* liuxiting@ouc.edu.cn

陆架颗粒铁向海洋环境的运输对于调节全球碳、硫和氧的循环起着重要的作用。我们利用东海内陆架泥质区 ECMZ 岩心的铁组分和主微量元素特征研究末次冰消期以来颗粒铁对沉积环境的响应机制。总铁(Fe_T)、活性铁(Fe_{HR})与 Al 以及粘土组分的高度相关性表明研究区 Fe_T 主要来自陆源碎屑物质，且与细粒粘土组分密切相关。通过比较和分析不同源区 Fe_T 与 Fe_{HR} 含量的特征，发现研究区物源主要来自于长江。四种活性铁组分平均含量由高到低依次为碳酸盐铁(Fe_{carb})、(氢)氧化物铁(Fe_{ox})、磁铁矿铁(Fe_{mag})、黄铁矿铁(Fe_{py})。其中 Fe_{py} 含量主要受海陆环境演化以及后期环境氧化的影响；Fe_{carb} 含量受环境的氧化性影响较为明显，硫化物竞争 Fe^{2+}生成黄铁矿也会导致 Fe_{carb} 含量的降低；Fe_{ox} 主要来自陆源输入，其含量变化受到沉积物粒度、氧化还原环境、风化作用以及成岩作用的影响；Fe_{mag} 主要来自陆源输入，主要受沉积物粒度变化的影响。

S24-P-11S

LGM 以来南极宇航员海古生产力和氧化还原环境变迁对大气 CO2 的影响

胡良明 [1]，张怡 [1]，王逸卓 [2]，马朋云 [3]，武文栋 [4]，葛倩 [1]，边叶萍 [1,2]，韩喜彬 [1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室

2 成都理工大学

3 山东科技大学

4 上海交通大学

* hanxibin@sio.org.cn

南大洋古生产力的高低决定了对其大气 CO_2 的收押/释放能力。末次冰盛期(LGM)至今是距我们最近的气候大变动时期，而南大洋印度洋扇区 LGM 以来的古生产力变迁历史及其对大气 CO_2 的调控与响应机制仍不清晰。本文对宇航员海 ANT37-C5/6-07 岩芯进行了 AMS 14C 定年、主微量元素、有机碳/氮及其同位素、沉积物粒度测试。通过选取生源钡(Bio Ba)、Si/Ti 和 Ca/Ti 作为古生产力的替代指标，Mn/Ti 作为底层水氧含量的替代指标，重建了 LGM 以来宇航员海

的古生产力和氧化还原环境的变迁历史，并以此探讨南大洋深海通风对大气 CO_2 变化的重要影响。结果显示宇航员海的生产力输出主要由海洋硅藻提供。LGM 期间宇航员海的古生产力和底层水的氧含量都较低，受到较弱的通风的限制，并造成大量的呼吸碳封存在南大洋深层。末次冰消期南大洋生产力提高，但“生物泵效率”较低，通风增强使大量“年老”的 CO_2 释放到大气中，同时导致底层水富氧程度提升。全新世宇航员海整体上通风较好，但古生产力变化可分为两个阶段。早中全新世，宇航员海的古生产力缓慢增加，而底层水氧含量则迅速升高。晚全新世生产力全面提高，底层水氧被消耗但仍处于较高水平，推测原因可能为此时期宇航员海通风增强，亦或是安妮角附近的东宇航员海冰间湖开始盛行。

S24-P-12

滨海沉积环境古盐度变化对天文节律的响应：以渤海湾盆地沙三下亚段为例

魏巍[1*]，张靖宇[2]，陆永潮[2]，杜远生[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国地质大学（武汉），资源学院

* weiwei910911@163.com

古盐度变化是海陆过渡带沉积环境的重要方面。在天文旋回驱动的气候变化影响下，海陆过渡带沉积水体的盐度等特征均会发生显著的变化，这种变化将以古盐度指标的形式记录下来。为了探索滨海沉积环境以及盐度变化对天文节律控制下的气候波动的响应，本研究选取罗 69 井位研究对象，对 Es3L 该层段的 GR 和盐度指标 Sr/Ba 进行了旋回地层学分析，并在此基础上建立了 Es3L 段的高精度年代学标尺。研究结果发现，古盐度变化与长偏心率周期变化有着较好的响应，且研究层段的沉积构造、矿物含量、TOC 以及生物地球化学过程与盐度的变化有着较好的协同演化关系。研究认为，天文旋回通过通过影响东亚季风气候来影响中国东部滨海地区沉积环境的演化。另外，Es3L 段提供了中始新世气候事宜事件（MECO）的记录，发生于约~40.2-39.70 Ma。古盐度指标对天文旋回的响应也证实 B/Ga, Sr/Ba and S/TOC 可以作为可靠的古盐度指标，应用于不同沉积体系的古环境重建研究。

S26-O-1

亚洲季风区和干旱区降水氧同位素轨道尺度变化机制的数值模拟研究

刘晓东[1,3*]，谢小训[1]，郭正堂[2,3]，Zhi-Yong Yin[4]，陈广善[1]

1 中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

4 University of San Diego,Department of Environmental & Ocean Sciences

* liuxd@loess.llqg.ac.cn

降水中的稳定同位素是研究地球水循环过程和重建古气候历史的重要指标。已有研究表明，石笋和其他沉积物记录的亚洲降水同位素在地质时期显示出明显的万年尺度（轨道尺度）周期性变化，但关于亚洲不同地区降水同位素变化所指示的气候学意义在科学界仍存在争议。

本研究在随时间变化的天文日射、大气温室气体含量和全球冰盖等气候强迫条件下，利用包含水稳定同位素过程的三维气候模式开展了晚第四纪（过去 30 万年）的长期瞬变模拟，揭示了中亚干旱区（55-70ºE, 38-50ºN）、南亚热带季风区（70-85ºE, 10-25ºN）和东亚副热带季风区（105-120ºE, 25-35ºN）轨道尺度降水氧稳定同位素比值（$\delta^{18}O_p$）变化特征及其机制。

模拟结果发现，中亚干旱区、南亚热带季风区和东亚副热带季风区年$\delta^{18}O_p$变化均表现出显著但不同步的2.3万年（岁差）周期。中亚雨季（11~3月）和南亚雨季（6~9月）$\delta^{18}O_p$也具有显著的岁差周期，而东亚雨季（5~9 月）$\delta^{18}O_p$变化并没有表现出岁差周期，说明中亚和南亚年$\delta^{18}O_p$主要依赖于各自雨季的$\delta^{18}O_p$，但东亚年$\delta^{18}O_p$变化并不取决于其雨季$\delta^{18}O_p$。

基于模拟结果的一系列统计分析进一步揭示，岁差引起的不同月份日射变化是造成中亚、南亚和东亚年$\delta^{18}O_p$周期性非同步变化的根本原因，但所涉及的物理过程不同。在年降水量由冬雨主导的中亚地区，雨季温度效应和西风环流的水汽输送被确定为连接 10-2 月北半球中纬度日射与中亚 $\delta^{18}O_p$的关键过程。在年降水量由夏季风主导的南亚地区，局地降水量效应和季风水汽$\delta^{18}O$的上游耗损是连接4-7月日射与南亚$\delta^{18}O_p$变化的主要机制。而在副热带东亚季风区，岁差尺度的年降水同位素变化主要受季风后期（8-9月）和季风前（4-5月）与上游耗损过程相联系的水汽输送模式控制，而两者又分别由7-8月日射和全球冰量所驱动。

这些研究结果表明，亚洲不同地区轨道尺度$\delta^{18}O_p$变化的气候意义强烈依赖于其所在的地理位置，是由日射引起的局地气候要素变化和区域环流型的综合作用所确定的。这项研究为深入理解亚洲降水同位素轨道尺度变化的形成机制和区域差异提供了新的认识。

S26-O-2

黄土高原石笋记录的轨道和千年尺度季风气候变化及其意义

蔡演军[1,2*]，程海[1]，成星[2]，石正国[2]，吕雁斌[2]，马乐[2]，张海伟[1]，卫莹莹[2]，薛刚[3]，R. Lawrence Edwards[4]，安芷生[2]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

3 西北大学，地质系大陆动力学国家重点实验室

4 明尼苏达大学，地球科学系

* yanjun_cai@xjtu.edu.cn

中国北部黄土高原的气候和环境的变化与东亚季风的演变密切相关。该区域的洞穴石笋记录对于理解东亚夏季风的变化以及调和黄土记录与洞穴 $\delta^{18}O$ 记录之间的差异至关重要。通过对山西啸天洞的石笋进行铀系测年、稳定同位素组成分析和微量元素含量分析，我们获得了涵盖海洋同位素阶段 (MIS) 5 到 MIS 3 大部分时段的石笋多指标记录。该洞穴石笋 $\delta^{18}O$ 记录以岁差变化为主，并被显著的千年尺度波动打断，在年代误差范围内与中国南方其它洞穴石笋 $\delta^{18}O$ 记录的变化一致，确认岁差是东亚季风区南北方石笋 $\delta^{18}O$ 记录轨道尺度变化的主控因子，证实黄土夏季风记录（例如，磁化率）和洞穴 $\delta^{18}O$ 记录可能记录了东亚夏季风的不同方面。 啸天洞石笋记录中，MIS 5e 时段 $\delta^{18}O$ 值与 MIS 5c 和 5a 两个时段的 $\delta^{18}O$ 值相同甚至更为偏正，这与东亚季风区其他石笋 $\delta^{18}O$ 记录的变化特征相一致，而与北半球夏季太阳辐射强度以及印度季风区石笋 $\delta^{18}O$ 记录的高低变化存在差异。这种响应可能与来自南海和北太平洋的富含 ^{18}O 的水分的贡献在这三个时段没有变化甚至在 MIS 5e 有所增加有关，间接确认了在 MIS 5e 期间太平洋海温存在类似厄尔尼诺的模态。 啸天洞石笋 $\delta^{18}O$ 值在~121.7 kyr BP 时突然增加，与亚洲季风区已有的石笋 $\delta^{18}O$ 记录一致，表明亚洲夏季风在从 MIS 5e 到 MIS 5d 的过渡期间突然减弱。洞穴石笋 $\delta^{18}O$ 值的这种突然变化表明亚洲季风系统中大气环流或水文气候条件发生模态的变化。我们认为，在该时期热带印度洋和太平洋的海面冷却，海表温度下降达到了一个阈值，使得热带海洋上的对流减弱或由于水分输送和热带水分源循环发生模态变化，进而导致降水 $\delta^{18}O$ 的突然变化。啸天洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录在 MIS 5e 内具有显著

的百年尺度变化，且振幅达到到~3‰。这种大幅的百年尺度波动与青藏高原中南部天门洞和中国北方山东省上小峰洞的 $\delta^{18}O$ 记录的变化相似,表明在间冰期降水 $\delta^{18}O$ 对亚洲夏季风边缘区气候变化的敏感性增强。

S26-O-3

两极冰盖控制的 12 Ma 以来南亚夏季风演化

姚政权[1*]，石学法[1]，郭正堂[2]，李新周[3]，B. Nagender Nath[4]，Christian Betzler[5]，张辉[1]

1 自然资源部第一海洋研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 中国科学院地球环境研究所

4 CSIR-National Institute of Oceanography, India

5 University of Hamburg, Germany

* yaozq@fio.org.cn

阿拉伯海沉积记录了不同时间尺度上印度季风演化的信息。我们对取自阿拉伯海东部马尔代夫 IODP359 航次 U1467 钻孔（708 m）碎屑物质的 Sr-Nd 同位素进行研究，探讨了~12 Ma 以来陆源物质来源和季风演化历史。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 εNd 结果显示，U1467 沉积物源在过去~12 Ma 为混合物源，主要物质来自非洲东北部和阿拉伯半岛，同时也有小部分物质来自印度半岛河流输入。与其他开放海洋环境不同，马尔代夫地貌环境较为特殊，由两排环礁组成形成一个孤立的盆地，因此，马尔代夫的沉积物源主要以粉尘为主。我们认为在 U1467 沉积中，来自非洲东北部和阿拉伯半岛的物质是风成物质为主，这些物质主要由印度夏季风输运到研究区沉积，因此，我们可以利用 Sr 和 Nd 同位素组成来指示印度夏季风的相对强度。研究结果显示印度夏季风自~12 Ma 以来呈总体下降趋势，并在~6-8 Ma 处夏季风最弱。我们认为，印度夏季风的演化与中新世以来半球间冰盖的发展引起的马斯克林高压和印度低压的变化以及 Hadley 槽的经向移动有着密切的联系。

S26-O-4

晚第四纪东亚降水演化轨道周期的南北差异

赵德博[1*]，陆正遥[2*]，万世明[1]，程海[3]，石学法[4]，李安春[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 Lund University

3 西安交通大学

4 自然资源部第一海洋研究所

* zhaodebo@qdio.ac.cn

* zhengyao.lu@nateko.lu.se

地球围绕太阳公转过程中，其接收的太阳辐射量变化受到三个轨道要素的调控，即偏心率、斜率和岁差。从晚春-早夏开始，随着北半球太阳辐射量的增加，亚洲大陆与印度洋-太平洋之间的温度-压力梯度逐步加大，形成自海洋吹向陆地的夏季风。由于地球轨道要素中的岁差所引起的 30°N 处日射变幅最大，约占整体变化的 96%，因此夏季风变化理论上应主要受岁差驱动，且其变化周期应为 2 万年。绝大多数古气候模拟结果验证了这一理论。然而与之相对立，大多数经典的夏季风重建记录如黄土磁化率等却具有很强的 10 万年周期，并认为其受到北半球高纬冰量的调控。为何实际观测与理论和模型不同？是季风演变自身的特殊性，还是替代指标的指代性存疑？几十年来这些问题一直困扰古气候研究领域。本研究基于冲绳海槽北部 IODP U1429 钻孔沉积物，在查明沉积物为黄河输入的基础上，应用现代黄河流域沉积物硅酸盐风化指标建立的风化-温度-降水模型，定量重建了 40 万年以来我国北方的降水演化历史。与模拟结果一致，我们的降水记录显示出很强的 2 万年周期。通过综合对比，发现我国南方和东南亚西部的降水变化却以 10 万年周期为主。进一步研究表明，我国北方降水主要发生在夏季，因

此与夏季太阳辐射变化密切相关。但南方除了夏季降水之外，春秋季降水同样占比很大，冰期时春秋季南方水汽辐合作用增强，使得当地年降水凸显了冰量变化的信号。而东南亚西部降水则主要受到与冰量变化相关的海平面变化，以及水汽输送等过程的影响，因此也显示出较强的冰期-间冰期旋回。本研究强调了太阳辐射在东亚降水中的重要驱动，从季节性降水的角度探讨了高纬冰量与低纬太阳辐射在东亚水文气候中的相互作用。

S26-O-5

太阳辐射和冰盖驱动的间冰期-冰期转换东亚季风突变

李涛[1,2]，李高军[2*]，陈天宇[2]，孙有斌[3]，尹秋珍[4]，吴志鹏[4]，Robinson F. Laura[5]，李乐[2]，章泽科[3]，孟先强[6]，赵良[2]，季峻峰[2]，陈骏[2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 南京大学，地球科学与工程学院

3 中国科学院地球环境研究所

4 Université catholique de Louvain

5 University of Bristol

6 中国科学院南京地理与湖泊研究所

* ligaojun@nju.edu.cn

东亚冬季风是全球季风的重要组成部分，从成因上看是由海陆热力性质差异引起的，冬季陆地温度较低形成高压（西伯利亚高压），临近海区温度较高形成低压（阿留申低压），因而盛行从高纬大陆吹向海洋的偏北风。通过对第四纪轨道和千年时间尺度东亚冬季风动力学机制的研究，能够加深我们对北半球高低纬相互作用的认识，是全球变化研究的重要组成部分。利用中国黄土高原黄土粒度组成重建的第四纪轨道时间尺度东亚冬季风演化历史表明，东亚冬季风强度存在明显的周期性变化，与底栖有孔虫氧同位素记录类似，在中更新世革命后具有以10 万年为主导的冰期-间冰期变化，这指示了北半球高纬冰盖通过影响西伯利亚高压从而控制了东亚冬季风强度。然而，与底栖有孔虫氧同位素记录典型的“锯齿状”变化不同的是，黄土粒度指示的东亚冬季风强度在间冰期-冰期转换过程中存在突变，这表明轨道尺度东亚冬季风动力学机制还有待进一步研究。

本研究利用甘肃省西峰和镇原地区的黄土-古土壤剖面样品，获得了 55 万年以来高分辨率黄土次生碳酸盐锶同位素记录，建立了基于黄土锶同位素地层学的相对年代卡尺，从而揭示了间冰期-冰期转换过程中东亚冬季风的动力学机制，为研究轨道时间尺度北半球高低纬相互作用提供了新的视角。本研究主要取得以下几点认识：1）尽管次生碳酸盐锶同位素可能受到粒度和碳酸盐含量的影响，但在古土壤-黄土转换过程中直接受温度控制，次生碳酸盐锶同位素的降低反映了全球变冷的过程，可以直接与底栖有孔虫氧同位素记录对比，获得独立于黄土粒度变化的相对年龄；2）间冰期-冰期转换过程中东亚地区温度变化和冬季风强度变化存在解耦现象，表现为温度的渐变和冬季风强度的突变；3）间冰期-冰期转换过程中冬季风的突然加强与黄土叶腊氢同位素和次生碳酸盐氧同位素指示的夏季风突然变弱同时发生；4）结合前人的气候模式模拟结果，本研究认为北半球高纬度夏季太阳辐射的渐变可能会驱动北大西洋环流的突变，从而引起北大西洋的突然变冷和西伯利亚高压的加强，导致东亚冬季风的突然加强和东亚夏季风的减弱，这一过程同时受到北半球冰盖的调控；5）海洋氧同位素 11 阶段向 10 阶段转换过程中北半球冰盖可能存在增长滞后，虽然太阳辐射达到可能驱动北大西洋环流突变的阈值，但东亚冬季风强度不存在突变现象，这进一步证明了间冰期-冰期转换过程中北半球冰盖对太阳辐射驱动的东亚冬季风突然加强的调控作用。

S26-O-6

兰州黄土记录的 26 万年以来东亚季风降水变化

郭本泓[1]，聂军胜[1*]，Thomas Stevens[2]，Jan-Pieter Buylaert[3]，彭廷江[1]，肖文交[4]，潘保田[1]，方小敏[5]

1 兰州大学，资源环境学院

2 Uppsala University,Department of Earth Sciences

3 Technical University of Denmark,Department of Physics

4 中国科学院新疆生态与地理研究所

5 中国科学院青藏高原研究所

* jnie@lzu.edu.cn

东亚季风环流不仅对东亚地区环境、经济和社会发展等具有重要影响，而且是全球气候系统的重要组成部分。因此，解译东亚季风演化历史及机制是广受关注的重要科学问题。然而，中晚第四纪东亚夏季风降水变化周期和驱动机制至今仍存争议。本文在详细探讨已有黄土沉积轨道尺度古降水代用指标的优势和局限性基础上，提出黄土砂粒含量和对数磁化率分别是较为可靠的冰期和间冰期东亚夏季风降水的代用指标。在此基础上，利用位于季风三角顶点附近的兰州黄土钻孔岩芯重建了 26 万年以来东亚季风降水变化记录，通过周期分析首次从黄土高原记录中发现了主导的2万年干湿变化周期，与石笋氧同位素记录具有类似性，为理解石笋和黄土记录的东亚夏季风变化主导周期不一致提供了一个潜在的解决方案。

S26-O-7

亚洲季风与大西洋经向翻转流

程海[1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

* cheng021@xjtu.edu.cn

长期以来，基于地质记录和数值模拟开展了大量的亚洲夏季风演变规律的研究，然而其轨道-千年尺度的主要驱动因素及机制一直存在争议。从季风系统的整体视角来看，亚洲夏季风降水量和风场变化具有显著的区域模态差异，不同气候记录揭示同一季风系统的不同方面。轨道尺度石笋氧同位素变化主要指示亚洲夏季风动力学上的总体强度（或者说大尺度环流）变化，受到南-北半球太阳辐射差及其引起的温度差、气压差等因素的影响；而对热力学方面（如全球冰量、CO_2和SST）的变化的响应总体上相对较弱。去除轨道趋势的亚洲石笋氧同位素记录与北大西洋经向翻转流（AMOC）变化高度吻合，表明亚轨道尺度亚洲夏季风的动力学变化与 AMOC 变化密切相关。这有助于理解“MIS 5e Problem”这一长期困惑，即 MIS 5e 阶段北半球夏季太阳辐射较高而亚洲石笋氧同位素却相对偏正，因为 AMOC 重建记录或模拟结果显示这一时期 AMOC 强度可能相对较弱，并未随着太阳辐射升高而显著增强。过去百年，AMOC 长期减弱趋势与石笋氧同位素长期偏正、亚洲夏季风持续减弱趋势一致。IPCC 报告预测全球变暖背景下，未来百年 AMOC 将继续减弱，从 AMOC 与亚洲夏季风的密切关系来看，未来百年亚洲夏季风在动力学上可能持续减弱，将导致中国长江中下游降水总体增多。

S26-O-8

轨道尺度亚澳季风演变的模拟研究

严蜜[1]，Zhengyu Liu[2]，Bin Wang[3]，刘健[1*]，宁亮[1]，汪永进[1]，孙炜毅[1]

1 南京师范大学，地理科学学院

2 俄亥俄州立大学

3 夏威夷大学

* jliu@njnu.edu.cn

亚澳季风系统主要由东亚季风、澳洲季风和南亚季风三部分组成，其中澳洲季风与东亚季风可通过海洋性大陆区域的越赤道气流和大气侧向耦合构成东亚-澳洲季风体系。然而，由于海陆配置差异以及热带海洋信号的影响，东亚季风和澳洲季风又会各自成为相对独立的区域气候系统。因此，在不同强迫的影响下，二者在不同时间尺度上的演变可能存在差异，这种差异不仅体现在各自的变化中，也体现在二者的关系中。

本次我们利用过去 30 万年的气候模拟资料，针对东亚季风和澳洲季风对包括轨道参数、温室气体、冰盖在内的轨道尺度外强迫的响应展开研究，用于对比的季风包括东亚冬季风（EAWM）、东亚夏季风（EASM）、澳大利亚夏季风（AUSM）和澳大利亚冬季风（AUWM）。结果发现，EAWM-AUSM 之间的联系、EASM-AUWM 之间的联系、EASM-EAWM 之间的联系，在不同的轨道尺度上表现均有所不同，一方面原因是岁差和倾角引起的太阳辐射在不同季节在南北半球分布的不均，另一方面的原因是南北半球海陆分布不同导致东亚季风和澳洲季风对外强迫出现不同的响应结果。

在我们的模拟结果中，冰期-间冰期（10 万年）尺度上的冰盖对 EASM 和 EAWM 的影响较小，而对 AUSM 的影响较大。冰盖对 EASM 和 EAWM 的影响主要体现在调制二者的相位，尤其是 EAWM 的相位。冰盖对 AUSM 的影响则直接表现为激发出 AUSM 的 10 万年周期信号，这一信号不仅体现在季风环流（动力）中，在季风降水中也有体现，季风降水中的 10 万年周期信号也是由其动力项引发的，这表明 AUSM 的冰期-间冰期信号可能是由冰盖的动力作用引起的。

S26-O-9

全新世中期中国气候和东亚季风：PMIP4 模式结果

田芝平 [1*]，姜大膀 [1]

1 中国科学院大气物理研究所

* tianzhiping@mail.iap.ac.cn

利用国际古气候模拟比较计划（PMIP）最新第 4 阶段（PMIP4）中 14 个气候模式的试验数据，集中研究了距今约 6000 年的全新世中期中国气候和东亚季风。与早期 PMIP 第三阶段（PMIP3）多模式结果类似，全新世中期中国年、冬季和春季地表气温较工业革命前期偏冷，而夏季和秋季偏暖，其中年和冬季模拟偏冷与大部分地质记录显示的偏暖不符；所有 14 个 PMIP4 模式集合的中国区域平均年和季节温度变化值为 0.08~1.69℃，较 PMIP3 多模式平均结果额外偏冷 0.01~0.45℃，这部分源于大气二氧化碳浓度的减少。在用于分析的 11 个 PMIP4 模式平均结果中，全新世中期中国年平均降水、蒸发和有效降水（即降水量减蒸发量）相对于工业革命前期分别增加 2%、减少 1% 和增加 7%，所有 3 个物理量在季节上均表现为冬春季减少，夏秋季增加。对比 PMIP4 模式和 PMIP3 多模式平均结果，上述 3 个物理量的中国区域平均值和区域变化差异均在夏、秋季大于年和冬、春季；相比于 PMIP3 模式，PMIP4 模式模拟的年有效降水变化与地质记录更为接近。全新世中期东亚冬、夏季风在 14 个 PMIP4 模式中均模拟加强，所有模式平均较工业革命前期分别增强 11%和 32%；在区域尺度上，与早期 PMIP3 模式相比，当前 PMIP4 模式模拟的季风环流增强幅度在东亚北部更强，南部偏弱。

S26-O-10

亚洲石笋氧同位素记录在 4.2 千年事件中是否一致变化？

胡俊 [1*]，Julien Emile-Geay[2]，Bedartha Goswami[3]，Yassine Ait Brahim[4]，Judson Partin[5]，Alexander K. James[2]，Samantha Stevenson[6]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 University of Southern California,Department of Earth Sciences
3 University of Tübingen，Cluster of Excellence “Machine Learning”
4 Mohammed VI Polytechnic University,International Water Research Institute
5 the University of Texas at Austin,Institute for Geophysics, Jackson School of Geosciences
6 University of California, Santa Barbara,Bren School of Environmental Science & Management
* hujun@xmu.edu.cn

石笋氧同位素记录通常被用来追踪亚洲季风演化的过程。由于其定年精度高，它们被用于确定气候突变事件的年代，特别是最近提出的 Meghalayan 年代（4.2 千年前到现在）的开始。尽管有争议围绕其原因和详细时间，“4.2 千年事件”与印度的 Mawmluh 洞穴的石笋记录中的同位素异常相吻合，并与从埃及到中国的多次文明消亡有关。在这里，我们使用 SISALv2 数据库中的石笋氧同位素记录，研究全新世亚洲古水文气候快速转变的区域一致性。几种互补的方法未能检测到这些时间尺度上亚洲的空间一致性变异，水同位素和石笋氧同位素的数值模拟表明，这样的气候突变信号可能被土壤、植被和喀斯特过程所掩盖。亚洲石笋氧同位素记录在 4.2 千年前后的不一致性，表明亚洲石笋记录可能不适用于 4.2 千年事件的精准定年，这对古水文学、考古学和地质年代学，特别是关于新的地质时代 Meghalayan 年代的提出，具有重要意义。

S26-O-11

中全新世印太暖池大气对流强度变化及其对南亚降雨的影响

周辛全 [1*]，金晓波 [1]，刘传联 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* xinquan_zhou@tongji.edu.cn

印太暖池的强大气对流是影响全球气候的重要热量与水汽来源。现代观测表明，与暖池对流异常密切相关的沃克型环流变化控制了南亚降雨的年际异常。而在更长的时间尺度上，我们对气候边界条件发生变化时暖池对流与南亚降雨存在怎样的关系还知之甚少。这阻碍了我们进一步理解季风型气候的变化机制，以及季风型气候与沃克型环流的相互演化关系。中全新世期间（6 ka）的地球轨道参数与现代不同，近日点更接近秋分日，导致该时期更高的北半球夏季辐射量和赤道秋季辐射量。本研究关注中全新世条件下印太暖池大气对流的变化，及其是否和如何影响南亚降雨。通过对比 Maritime Continent 与降雨相关的替代指标记录和 PMIP4 模拟实验数据，我们认为在中全新世条件下，新几内亚、婆罗洲和苏拉威西岛的气候变干旱，降雨减少，而苏门答腊岛的气候变湿润，降雨增多，反映了印太暖池区内发生异常的沃克型环流。同时，本研究重建的苏拉威西海 MD98-2178 钻孔的颗石藻化石记录表明，营养盐跃层在中全新世明显变深，指示赤道西太平洋出现异常的表层东风和大气辐散。古气候模拟实验表明，中全新世辐射量变化会导致赤道印度洋夏季降雨和水汽的纬向分布不均，在更高的赤道秋季辐射量作用下，长波辐射分布发生显著的纬向不均，进一步导致秋季的异常沃克型环流，并将赤道西太平洋水汽输送至东印度洋与南亚。这一中全新世暖池对流与南亚降雨的关系可以得到相关替代指标记录的支持。

S26-O-12

LGM (LAST GLACIAL MAXIMUM) 以来的印度夏季风降水东西向偶极子结构

张恒 [1]，石正国 [1*]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

* shizg@ieecas.cn

基于观测资料的研究说明了印度夏季风（Indian Summer Monsoon）降水受北半球中纬度大气 CGT(Circumglobal Teleconnection)的影响在年际尺度上具有明显的东西向偶极子结构。本文基于 TraCE-21ka（Simulation of Transient Climate Evolution over the past 21,000 years）的模拟数据发现印度夏季风降水的东西向偶极子结构同时存在于 LGM 以来的淡水强迫（MWF）、轨道强迫(ORB)、冰盖强迫(ICE)和温室气体(GHG)强迫实验中，并随着 ISM 增强（减弱）印度东北部降水减少（增加）。进一步的分析表明 LGM 以来印度夏季风降水偶极子结构与 CGT 的位相有紧密联系。在末次冰消期 CGT 趋向正位相，西亚（青藏高原）对流层高层反气旋型（气旋型）环流异常引起 SAH（South Asian High）在纬向上西移，增强（抑制）印度中西部（东北部）的对流层高层气流辐散和纬向风的垂直切变。同时，低层季风槽受西亚对流层中高层暖平流的影响增强，引起印度中西部（东北部）低层季风气流水汽辐合（辐散）。高低层环流的共同作用导致在末次冰消期印度夏季风增强的情况下印度中西部（东北部）夏季风降水增加（减少）。而在冷期如 YD (Younger Dryas) CGT 呈负位相，印度夏季风降水的偶极子结构及其产生的动力过程则与暖期完全相反。我们的结果解释了 LGM 以来 CGT 影响下的印度夏季风降水东西向偶极子结构，并为印度季风区尤其是印度东北部的部分古气候重建记录提供了动力学解释。

S26-P-1S

新仙女木事件开始阶段亚洲季风缓变转型的气候机制初探

董西瑀[1]，刘一陶[2]，程军[2]，刘征宇[3]，程海[1,4*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 南京信息工程大学，海洋科学学院

3 俄亥俄州立大学，地理系

4 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国家重点实验室

* cheng021@xjtu.edu.cn

新仙女木事件（Younger Dryas event，简称 YD）是末次冰期最为年轻的一个千年尺度气候事件。尽管 YD 的驱动机制仍有争议，观测记录已明确指出 YD 事件伴随着大西洋经向翻转环流的显著减弱，以及全球水文气候的响应。然而，目前对低纬度地区，特别是季风区 YD 事件的气候动力学机制的理解仍不完善。中国南方地区和南亚的大量石笋氧同位素记录揭示了 YD 开始阶段缓变的转型结构（约 400-500 年），这与格陵兰冰芯记录呈现的快速变化（小于 200 年，主要与海冰快速扩张和水汽源移动有关）形成了鲜明对比。本研究基于启用了同位素的气候模式（iTRACE）分析季风区缓变转型的气候动力学和热动力学机制。初步结果显示局地温度不是影响缓变转型的主要因素。模拟的中国南方地区石笋氧同位素记录在各季节均呈现缓变特征；模拟的南亚地区的石笋氧同位素记录在春夏秋呈现出缓变特征，冬季呈现了陡变，但是鉴于冬季降水占比小，其对年均同位素的影响很小。模拟的热带南大西洋和热带南印度洋的海表温度在 YD 开始阶段呈现出缓变特征，可能对亚洲季风区产生了影响，具体的传输过程和影响路径有待进一步研究。

S26-P-2S

上新世中期海洋性大陆水循环及贯穿流的模拟研究

xin ren[1*]，Daniel J.Lunt[1]，Erica Hendy[1]

1 Univeristy of Bristol,school of Geographical Sciences
* XINXIN.REN@BRISTOL.AC.UK

海洋性大陆（Maritime Continent）位于热带太平洋的西边界，该区域的微小变化也能对当地及远距离地区的气候产生显著影响。中更新世暖期（距今约 3.264 至 3.025 百万年前），大气中的二氧化碳浓度约为 400 ppm，当时露出地表的巽他陆架和萨胡尔陆架使得该地区的海陆分布与现代不同。地形变化、升高的大气二氧化碳浓度以及其他外部强迫因素使得中更新世时期的海洋性大陆地区气候与工业革命前时期有显著区别。

本研究利用 Pliocene Model Intercomparison Project phase 2（PlioMIP2）的结果，研究了中更新世海洋性大陆的气候特征以及与工业革命前时期相比印度尼西亚贯通流（Indonesian Throughflow，ITF）的变化。研究结果表明，与工业革命前时期相比，中更新世时期，海洋性大陆气候更加温暖湿润，该地区海洋的海表盐度更低。尽管巽他陆架和萨胡尔陆架可能会对ITF的水量输送产生一定阻碍，但 15 个模型中，有 10 个模型都显示与工业化前相比更新世时期 ITF 水量输送增加的结果。

为了减少 PlioMIP2 多模型集合中相似模型对结果产生的影响，本文介绍了一种新的计算多模式结果的方法，即基于单个模型特征进行聚类分析后的多聚类均值（multi-cluster mean，MCM）。通过对比重建数据，我们研究了 MCM 与传统的多模型平均（multi-model mean，MMM）以及单个气候模型模拟结果的差异，并发现 MCM 能够捕捉到更多 MMM 未能捕捉到的空间气候信号，从而为我们提供了一种新的探索包含了很多相似气候模型结果的方法。

S26-P-3S

石笋中文石向方解石转化的两种不同过程及对古气候重建的意义——以江西神农宫洞穴石笋为例

张瑞[1]，张海伟[1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院
* zhanghaiwei@xjtu.edu.cn

重结晶作用对于文石的影响是复杂的，其中关于文石石笋中次生方解石对原生文石的地化指标继承性方面说法并不统一，并且 U-Th 同位素和年龄的研究也不充分。本文选用了中国东南部神农宫洞穴内 6 根存在矿物转变的文石石笋，进行原生文石和次生方解石之间的地球化学指标的对比研究。通过综合前人研究和本文矿物薄片和石笋地球化学代用指标结果，我们发现转变方解石大致分为两类，亮晶状方解石(mosaic calcite)和柱状方解石(columnar calcite)。我们发现两种不同的重结晶过程：(1) 柱状转变方解石：当脱气时间短且具有流动性的外源水与文石发生重结晶作用，因水中富含 CO_2 和 HCO_3^-离子，该过程伴随有 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 的平衡分馏过程；同时溶解出的大部分 U, Sr, Ba 元素被带离出石笋，溶液中 Mg^{2+}可不断的补给至方解石晶格当中。重结晶作用造成 U 流失的过程中并未对 $\delta^{234}U$ 造成很大改变，但改变了 ^{238}U 含量与 $\delta^{234}U_{Initial}$ 的相关关系。(2) 亮晶状转变方解石：石笋孔隙中的脱气时间长的溶液溶解了文石，此过程中并未发生碳同位素的平衡分馏，仅存在氧同位素的同位素交换反应；反应溶液缺乏流动性，导致溶解出的部分离子无法带离出石笋，并且次生方解石中的镁离子补给也不足。次生方解石的 U 含量与原生文石相近，但 U 系年龄相差较大。由此可见，文石到方解石的转变过程中不仅发生 U 的流失，也会发生 U 的补给，这与不同的转变过程有关，转变后的方解石年龄存在变年轻或变老的情况。关于转发发生的时间，本文柱状方解石实验结果符合 Lachniet et al. (2012)提出的沉积后不久即发生转变的假设，但该假设并不适用于亮晶状方解石。

S26-P-4

强东亚冬季风驱动西北太平洋地区末次冰期北极物种的南移

Penghui Zhang[1,2*]，Huai-Hsuan M. Huang[3,4,5]，Yuanyuan Hong[3]，Skye Yunshu Tian[3]，Jian Liu[6,7]，Yong Il Lee[8]，Jianwen Chen[6]，Jie Liang[6]，He Wang[9]，Moriaki Yasuhara[3]

1 Hohai University,College of Oceanography
2 Laoshan Laboratory,Laboratory for Marine Mineral Resources
3 The University of Hong Kong,School of Biological Sciences
4 Universität Erlangen-Nürnberg，GeoZentrum Nordbayern
5 National Museum of Natural History, Smithsonian Institution,Department of Paleobiology
6 China Geological Survey,Qingdao Institute of Marine Geology
7 Lao Laboratory,Laboratory for Marine Geology
8 Seoul National University,School of Earth and Environmental Sciences
9 Chinese Academy of Sciences,Nanjing Institute of Geology and Palaeontology
* zph010@163.com

The Yellow Sea provides an ideal area to investigate climate-induced distributional shifts of circumpolar marine species using sediment cores. We investigated fossil ostracods from a sediment core in the Yellow Sea to understand the appearance/disappearance of circumpolar species during the late Quaternary. Five Arctic ostracods were found in the studied core (YSZK-1) and adjacent cores (NHH01, SYS-0701, SYS-0702, SYS-0803, and CSDP-1), which dominated the Yellow Sea during two distinct periods. The ages of the two periods dominated by circumpolar species are considered to be 120–100 ka (Marine Isotope Stage [MIS] 5d stadial) and 30–15 ka ([MIS] 3 and 2, peak Last Glacial), which corresponded to a strengthened EAWM system. Our results indicate that an intensified EAWM influenced the Yellow Sea Bottom Cold Water formation, lowered the winter water temperatures, and allowed Arctic ostracods to migrate southward into the Yellow Sea.

S26-P-5S

南海北部末次冰盛期以来古生产力记录指示的东亚冬季风强度变化

高健祺 [1]，周辛全 [1]，刘传联 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* liucl@tongji.edu.cn

南海北部年平均初级生产力变化主要受控于东亚冬季风强度，一方面冬季风造成表层海水温度降低，导致上层海水对流混合加强；另一方面，冬季风在吕宋岛北部造成上升流。因此，南海北部古生产力记录可以指示地质历史时期的东亚冬季风强度变化。本研究通过南海北部台湾西南岸外沉积岩芯中颗石 *Florisphaera profunda* 的相对含量来重建古生产力。结果表明末次冰盛期生产力较晚全新世高约 24%，且在末次冰消期呈总体下降趋势。此外，生产力在末次冰消期发生显著的千年尺度波动，高值期对应大西洋翻转流强度减弱期（H1 与 YD）。全新世期间，生产力呈现明显单一下降趋势。古生产力记录表明，东亚冬季风在末次冰盛期受北半球冰盖扩张与大气温室气体含量下降的影响而变强，且当大西洋翻转流强度减弱造成欧亚大陆变冷时进一步加强。早-中全新世东亚冬季风较晚全新世更强，反映该时期较小的岁差参数导致更低的北半球冬季辐射量。以上东亚冬季风强度变化可以得到

PMIP 末次冰盛期与中全新世，以及 TraCE-21 古气候模拟实验数据的验证。本研究结果与前人基于其它替代指标的东亚冬季风记录存在差异，并对了解东亚冬季风的演化规律与变化机制具有重要意义。

S26-P-6

中国北方全新世降水长期趋势及其受植被动态演变驱动的瞬变模拟

李新周 [1*]

1 中国科学院地球环境研究所

* lixz@ieecas.cn

全新世作为与人类文明演化紧密联系的一个典型间冰期，其气候长期演化趋势及其动力机制一直以来都是人们关注的热点。厘清全新世气候不同时间尺度气候演化机理对理解过去和预估未来气候有着重要的科学意义。然而，在地质记录相对较丰富的东亚区域，降水记录重建及其机理解释仍存在较大不足和分歧。比如，东亚区域全新世降水峰值是在早全新世还是中全新世，或者是其他时段，其长期演化趋势动力机制等这些关键问题仍未得到解决。我们利用公共地球系统模式(CESM)，分别开展了有（DV）、无（nDV）动态植被的两组全新世瞬变数值模拟试验。DV 试验结果表明：在太阳辐射和温室气体共同驱动下，东亚区域全新世地表植被发生明显更替，即自中全新世以来，中国北方喜暖喜湿（如温带落叶阔叶林）和高寒植被逐渐退出中国北方，取而代之的是喜旱喜温（如北方针叶常绿林）植被扩张，与地质记录（孢粉等）一致。对比有、无动态植被瞬变试验结果认为，动态植被长期演化及其反馈是引起中国北方中全新世降水出现峰值及其之后呈显著下降趋势的主要控制因子。能量平衡分析认为，地表植被改变引起地表感热通量持续增加，是导致中全新世（约 7.8kyr BP）以来中国北方降水呈显著下降趋势的主要原因。中全新世以来地表植被动态异常，吸收更多太阳辐射，植被蒸腾增加，从而使得地表感热通量持续增加，导致对流层底层大气稳定度持续增加，垂直上升气流持续减弱，降水持续减少。而无动态植被（nDV）瞬变试验未模拟出与地质记录吻合的降水下降趋势。但有、无动态植被的全新世瞬变试验均显示东亚夏季风早全新世以来呈明显下降趋势，与北半球夏季太阳辐射同步。另外，之前多项研究发现仅有地球轨道强迫时，太阳辐射变化可引起早全新世以来东亚区域降水显著下降趋势，但当综合考虑太阳辐射和温室气体（nDV 瞬变试验）时，降水趋势消失。可见，动态植被长期演化及其反馈是中国北方全新世降水长期演化的主要影响因子，而东亚夏季风次之。

S26-P-7

全新世亚洲季风百年尺度变率的模拟研究

孙炜毅 [1*]，刘健 [1]，宁亮 [1]，严蜜 [1]

1 南京师范大学，地理科学学院

* weiyisun@njnu.edu.cn

理解季风百年尺度变化有助于提升气候变化的预估能力，这对我国双碳目标、气候变化应对和可持续发展等有着重要影响，然而亚洲季风百年尺度变化机理仍不清楚。我们基于地球系统模式开展了涵盖全新世（约 11700 年以来）的瞬变积分模拟试验，结合重建资料发现亚洲季风在太阳活动的驱动下表现出显著的 300-600 年周期，在空间上为“湿热带-干亚热带”的降水模态。在成因机制上，太阳活动百年尺度变化调节了热带太平洋纬向海温梯度，引起异常的西北太平洋气旋/反气旋性环流，造成这一模态的形成。

S26-P-8S

石笋多指标记录和气候模拟揭示全新世阿曼南部气候变化特征

田野[1]，Dominik Fleitmann[2]，张琼[3]，沙丽娟[1]，Jasper. A. Wassenburg[4]，Josefine Axelsson[3]，张海伟[1]，李向磊[5]，胡俊[6]，李瀚瑛[1]，赵亮[7]，蔡演军[1]，宁有丰[1]，程海[1,5*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 University of Basel,Department of Environmental Sciences

3 Stockholm University,Department of Physical Geography and the Bolin Centre for Climate Change

4 Pusan National University,Center for Climate Physics

5 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国家重点实验室

6 厦门大学，海洋与地球学院

7 南京师范大学，地理科学学院

* cheng021@xjtu.edu.cn

亚洲大陆石笋 $\delta^{18}O_c$ 序列与许多海洋沉积记录在岁差波段上存在显著相位差异，被称为“海-陆岁差相位的困惑”。在印度季风区，阿拉伯海海洋记录与其周边的石笋记录之间的相位差异一直是这一问题的焦点，对石笋 $\delta^{18}O_c$ 气候指代意义的质疑和讨论层出不穷。因此，需要有更多方法和研究进一步提升对石笋 $\delta^{18}O_c$ 气候指代意义的认识。作为阿拉伯半岛地区最重要的反映全新世印度夏季风变化的记录之一，本研究选取阿曼南部的 Qunf 洞穴 Q5 石笋 $\delta^{18}O_c$ 记录开展研究。通过多指标分析和 EC-Earth 气候模型，以重建该地区全新世的水文气候变化历史，进一步明确 $\delta^{18}O_c$ 的气候意义。本研究将 Q5 石笋流体包裹体氢同位素(δD_{fi}) 和三重氧同位素 ($\Delta'^{17}O$) 数据与气候模拟结果相结合，发现除了普遍认知的阿拉伯海为研究区域提供主要水汽外，北非夏季风也为该地区贡献了水汽。因此，Qunf 洞穴 Q5 石笋 $\delta^{18}O_c$ 的值不仅反映当地降水量的多少，而是反映了从水汽源区到洞穴所在地水汽输送过程中的氧同位素分馏情况，分馏程度随传输距离的增大而增大。Qunf $\delta^{18}O_c$ 记录展现了整个全新世亚-非超级季风区域范围的变化，进一步证实石笋 $\delta^{18}O_c$ 和海洋记录反映了季风不同方面的特征。此外，Qunf ($^{234}U/^{238}U)_0$、$\delta^{13}C$ 和微量元素记录（Mg/Ca, Sr/Ca, Ba/Ca）表明全新世 Qunf 洞穴所在区域的有效降水(降水量-蒸发量) 总体小幅增加或没有变化。

S26-P-9

斜率在季风对岁差响应中的调制作用

雷婧[1]，石正国[2*]，沙莹莹[1]

1 西安地球环境创新研究院，中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室

2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安交通大学全球环境变化研究院

* shizg@ieecas.cn

季风的形成从本质上受日射驱动，因此对轨道强迫的变化十分敏感。已有研究分析了岁差和斜率对季风的不同影响及相关机制，并认为岁差在季风变化中具有主导作用，但对斜率在季风对岁差响应过程中的潜在调制作用仍不清楚。针对这一问题，本研究利用 CESM1.2（Community Earth System Model 1.2）全海气耦合模式基于岁差和斜率极值设计了两组试验。第一组试验为 HTLP（high tilt & low precession）和 HTHP（high tilt & high precession），反映了斜率最高时气候对岁差变化的响应；第二组试验为 LTLP（low tilt & low precession）和 LTHP（low tilt & high precession），反映了斜率最低时气候对岁差变化的响应，通过两组试验间的对比以检验斜率在季风响应岁差变化中的调制作用。结果表明岁差最小时（北半球夏季日照增加，南半球夏季日照减少），两组试验中亚洲夏季季风降水均增加，但高

斜率试验中亚洲夏季季风降水增加的幅度较弱，即高斜率时亚洲夏季风对岁差的响应减弱。同时岁差最小时，两组试验中澳大利亚夏季季风降水增加，并且高斜率试验中澳大利亚夏季季风降水的增加幅度较大，即高斜率时澳大利亚夏季风对岁差的响应增强。研究发现岁差最小时，在高斜率影响下，北太平洋西北部地区的地表温度有所下降，从而导致该区域存在高压异常，低层风场出现类反气旋性风场差异。在北半球夏季，该反气旋性风场差异表明亚洲季风区的西南季风减弱，因此高斜率使得亚洲夏季季风降水对岁差的响应减弱；在南半球夏季，北太平洋西北部的反气旋性风场差异反映了跨赤道西北风的增强，造成澳大利亚夏季风增强，因此高斜率作用增强了澳大利亚夏季季风降水对岁差的响应。进一步研究发现与斜率最低时相比，斜率最高时大西洋经向翻转流（AMOC）强度在岁差最小时更弱，导致鄂霍次克海地区的海冰增加，造成了北太平洋西北部地区地表温度的异常变冷，进而调制了季风对岁差的响应。该研究表明虽然岁差对季风的变化有着突出的贡献，但斜率在季风对岁差的响应中也有着显重要的调制作用。

S26-P-10S

东亚季风区北部中晚第四纪降水演化历史及其生态效应的孢粉记录

杨家兴[1,2]，王鑫[1,2*]，李月丛[3,4]，胡涵[1,2]，胡钢[5]

1 兰州大学资源环境学院，兰州 730000

2 西部环境教育部重点实验室，兰州 730000

3 河北师范大学地理科学学院，石家庄 050024

4 河北省环境演变与生态建设重点实验室，河北石家庄 050024

5 中国地震局地质研究所，北京 100029

* xinw@lzu.edu.com

东亚季风区多尺度降水演化历史及其生态环境效应是备受关注的科学问题。三门峡盆地位于东亚季风区北部，黄河贯通之前以河湖相沉积环境为主、黄河贯通之后以河流相沉积环境为主，是研究东亚季风区北部降水演化历史及其生态环境效应的重要地区。本研究基于三门峡盆地钻孔岩芯 160 个孢粉数据，利用气候定量重建与生物群区化法，揭示季风区北部~1.96-0.78 Ma 之间的降水量与植被演化历史。

在构造时间尺度上，三门峡地区的年平均降水量（MAP）呈阶段性降低趋势，对区域植被有重要影响。~1.96-1.65 Ma，MAP 变化介于 320-684 mm 之间（平均 455 mm），植被主要表现为以松或云杉为主的森林或森林草原环境。~1.96-1.25 Ma，MAP 变化介于 256-584 mm 之间（平均 413 mm），植被主要表现为针阔混交的森林草原与蒿藜为主的草原环境，乔木花粉含量显著降低。~1.25-0.78Ma，MAP 变化介于 219-522 mm 之间（平均 377 mm），植被整体表现为森林草原或草原环境，乔木花粉含量整体增加。

在冰期-间冰期旋回尺度上，三门峡地区 MAP 与植被变化均具有明显的 41-kyr 主导周期。~1.96-1.65 Ma，植被在冰期表现为以蒿藜为主的暖温带草原环境，在间冰期表现为以松为主的暖温带针叶森林或森林草原环境。~1.65-1.25 Ma，植被在冰期表现为以蒿藜为主的暖温带草原环境，在冰间期表现为以针阔叶树混交的森林草原环境。~1.25-0.78 Ma 则转变为 100-kyr 主导周期，植被在冰期-间冰期的转变与~1.96-1.65 Ma 相似。

三门峡盆地乔木花粉含量在~1.25 Ma 显著增加，与季风区北部降水量整体降低的趋势相反，可能反映了黄河形成后为周边山地带来了更多的降水，也可能由于黄河自中上游地区携带更多外源花粉所致，需进一步研究。

S27-O-1

南亚四大河流沉积物源汇对比研究及最新进展

Paul Liu[1*]

1 美国北卡州立大学，海洋地球及大气科学系

* jpliu@ncsu.edu

本报告拟集中回顾过去 10 年间南亚的印度河，恒河，伊洛瓦底江及湄公河等四大河流沉积物源汇问题的对比研究及最新进展。 具体将展现过去 50 年间的这四大河流的入海水沙变化趋势及规律以及与人类活动及气候变化的的关系。 分析展示四大三角洲过去 50 年岸线增长及后退的量化分析规律。 以及根据实际近几年的野外调查数据所揭示的四大河流各自的入海沉积物在近岸，沿岸及离岸的搬运沉积规律，以及它们与当地海流及冬夏季风的关系。

S27-O-2

全新世以来南黄海中部泥质区沉积物活性铁源汇过程

刘喜停 [1*]，谷玉 [1]，庄光超 [2]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

2 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* liuxiting@ouc.edu.cn

南黄海中部泥质区是黄海最大的泥质区，是研究全新世古环境演化的良好靶区。前人对于该区域进行了大量沉积学的研究，主要集中在南黄海全新世沉积物源汇过程和古环境的变化，为我们开展活性铁的源汇过程研究奠定了坚实的沉积学研究基础。我们通过主微量元素、氧化还原敏感元素 U 与 Mo、铁组分以及黄铁矿相关指标对 YSCW-1 岩心沉积物进行分析，对南黄海中部泥质区全新世以来物源、氧化还原状态和沉积环境对活性铁源汇过程的控制机制进行讨论，以加深对泥质区沉积物内活性铁及相关的 C-S-Fe 生物地球化学循环的理解和认识。

S27-O-3

晚第四纪冰期-间冰期旋回东海“沉积汇”周期性转换与触发机制

窦衍光 [1*]，杨守业 [2]，石学法 [3]，李军 [4]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海洋地质过程与环境功能实验室

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质过程与环境功能实验室

4 中国地质调查局成都地质调查中心

* douyanguang@gmail.com

过去几十年，东海海洋沉积地质学研究，尤其是内陆架泥质沉积体系的研究取得了国际瞩目的大量成果，但以地球系统科学的视野来看，东海深水源–汇体系研究还没有取得突破性成果。项目团队通过冲绳海槽长 60 m QZ01 钻孔（底部年龄 200 ka B.P.，MIS6 期以来的沉积记录）初步研究，发现该孔沉积物物源指标（粒度、粘土矿物等）变化呈现冰期–间冰期旋回，指示了沉积物的物源具有明显的“中国大陆源”与“台湾源”周期性突变特征。这种物源的周期性突然变化可能指示了 MIS6 期以来东海外陆架与冲绳海槽主要沉积汇的周期性突然转换：即冰期低海平面时期，沉积物主要来自中国大陆，东海陆坡-冲绳海槽是入海沉积物主要沉积区；当冰消期海平面上升至临界值，外陆架成为入海沉积物的主要沉积区，表现为冲绳海槽沉积物主要来自台湾河流，中国大陆源少，反之亦然。虽然 MIS6 期以来物源参数变化与东亚冬季风演化曲线趋势基本一致，但这并不意味着冲绳海槽沉积物来源受东亚冬季风的直接控制。MIS6 期以来，东海外陆架–冲绳海槽沉积汇频繁转换，其机制到底

是海平面变化主导，还是季风气候驱动陆源物质通量控制等问题，目前还不清楚。本研究通过示踪冰期-间冰期旋回过程冲绳海槽沉积物物源（中国大陆源与台湾源）周期性变化规律，重点剖析海侵、海退过程启动东海外陆架与冲绳海槽沉积汇转换的海平面的临界点，结合陆源物质通量变化，反演 MIS6 期以来东海外陆架–冲绳海槽沉积汇周期性转换的过程与机制；通过物源参数周期性变化规律，从轨道尺度上揭示东海深水源–汇体系对东亚季风演化、LGM 以来古气候事件的响应。

S27-O-4

陆源物质离岸输运通量变化的沉积记录及其可能控制机制

石勇 [1]，徐笑梅 [1]，高建华 [1*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

* jhgao@nju.edu.cn

受黑潮及其分支的约束，大量陆源物质（营养盐及污染物等）被限制在内陆架地区；而黑潮的强弱变化对于内陆架物质的向外扩散具有何种影响，这对于探讨气候变化下内陆架水体的自净及生态环境具有重要意义。为此，本研究基于北黄海的沉积记录，对通过浅表层实现跨陆架扩散对黑潮及其分支强弱变化响应开展研究。结果发现，4.5-2.3ka 间，在季风系统、河流入海输沙及黄河入海通道未发生显著变化的情况下，由山东半岛扩散至辽东半岛沿岸的黄河来源物质含量显著减少，该过程与黑潮及其分支呈同步变化。基于器测数据，对山东半岛近岸水体的温盐特征分析发现，黄海暖流的温度是控制密度梯度的主要因子；而随着密度梯度的增大，更有利于促发亚中尺度涡的形成，从而促进近岸物质的向外扩散。该模式可用于解释黑潮及其分支强弱变化对内陆架物质向外扩散的影响。由此可见，气候变化下，黑潮强度的变化，将对内陆架物质的向外扩散的强度产生影响，这对陆架地区的生态环境演化具有重大意义。

S27-O-5

渤海晚第四纪钻孔年代学对比及其对海侵模式重建的意义

王中波 [1*]，唐海燕 [1]，唐楠 [1]，龙芝如 [1]，李日辉 [2]

1 汕头大学，理学院

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* zhbwang@stu.edu.cn

已有研究揭示，渤海西部及沿海地区晚第四纪地层中有 3 个海侵层，这为研究晚第四纪海平面波动与沉积过程演化提供了地质依据。部分研究根据 14C 测年将 3 个海侵层分别划分为 MIS 1、MIS 3 和 MIS 5 时期海侵。然而，对比地层分布，该年代框架划分导致出现 MIS 3 的区域海平面高于 MIS 5，与全球海平面曲线不一致。本文利用光释光法测年(OSL)对渤海西部 TJC-1 钻孔的第二海侵层（T2）进行了年龄约束，并与泥炭质沉积物 14C 结果进行对比。虽然样品的 OSL 年龄均已饱和，但其年龄大于 80 ka，表明 T 2 层应该至少在 MIS 5 形成，而不是 MIS 3。T2 的放射性碳年龄应被严重低估，其有效年龄上限为 22-30 cal. ka BP，与已发表的所有放射性碳年龄相似。调整后的渤海西部晚第四纪海侵的年代学框架与全球海平面变化具有较好的一致性，为深入研究渤海及周边地区晚第四纪沉积演化提供了依据。

S27-O-6

我国东南不同类型山溪性流域地貌特征差异及其对沉积物地球化学组成的控制作用

李亚龙[1,2]，黄湘通[2]，连尔刚[2]，李超[2]，徐娟[2]，印萍[3]，杨守业[2*]

1 上海师范大学，环境与地理科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 中国地质调查局，青岛海洋地质研究所

* syyang@tongji.edu.cn

中国东南部的山溪性河流依据构造强度、分布区域及沉积物输送过程可划分为两类，以台湾山溪性河流为代表的“山地小河—强构造活动—瞬时大通量—极端事件影响—快速物质转换”源汇体系，和以浙闽山溪性河流为代表的“弱构造活动—强化学风化—极端气候事件影响—强烈人类活动改造”源汇体系。通常认为山溪性河流河口处的沉积物地球化学组成可代表整个流域的平均组成，然而流域地貌特征可显著影响山溪性河流沉积物的从源到汇过程和地球化学组成，从而对这一假设带来挑战。本研究选取我国东南构造稳定区山溪性河流木兰溪和构造活跃区山溪性河流浊水溪为研究对象，采用 GIS 和流域连通性模型（IC 指数模型），对比我国东南两类山溪性河流的地貌特征，研究其对沉积物地球化学组成的控制作用。结果表明，木兰溪与浊水溪流域地貌特征差异显著，首先，木兰溪流域地势显著低于浊水溪，流域内海拔高于 1000m 的区域仅占流域总面积的 0.6%，而浊水溪流域则高达 69%；其次，浊水溪流域盆地坡度较陡，坡度高于 5°的流域面积占整个流域面积的 88.8%，而木兰溪流域则为 63.7%。此外，木兰溪流域内泛滥平原区域（坡度小于 1°）显著较浊水溪发育，占整个流域面积的 10.7%，而浊水溪仅为 3.5%。流域连通性的计算表明，木兰溪流域连通性较浊水溪差，且低连通性区域主要集中于河道两侧，与坡度分布趋势一致；而浊水溪的流域连通性则表现出明显的上、下游差异，上游流域连通性较好，低连通性区域仅占 4.1%，而下游低连通性区域明显增多，占下游流域面积的 36.5%。因此，我国东南两类山溪性流域的地貌特征差异显著，导致沉积物在从源到汇的过程中发生显著的滞留旋回（木兰溪流域沉积物的潜在滞留旋回区域主要为河道两侧的泛滥平原，而浊水溪主要为下游地势平缓、连通性较差的区域），从而引发了来自不同源区沉积物的不均匀混合，控制了流域内沉积物地球化学组成的非均质性，如浊水溪流域的 Nd 同位素组成（εNd）从上游的-11.5 降低到下游的-14.1。此外，本研究认为，即使是山溪性的河流，河口沉积物的组成并不能简单的作为整个流域的平均，在进行海区沉积物物源研究或定量计算时应注意河流河口沉积物的非均质性和代表性。

S27-O-7

青藏高原东南缘水系发育与区域抬升的关系

刘静[1*]

1 天津大学，地球系统科学学院

* liu_zeng@tju.edu.cn

青藏高原的隆升与演化是新生代最重要的地质事件之一，其剥蚀和风化加速被认为是全球气候变冷的重要推手。而青藏高原东南缘地处高原侧向扩展的前锋地区之一，构造活动强烈，季风降雨充沛，地貌景观变化快，深部地质和浅表过程的高度耦合，造就了青藏高原东南缘举世闻名的地势陡峻河流侵蚀地貌。这里有世界上源头最高、长度最大的河流水系；三江并流，数百公里平行流动，最窄处仅 20-30 公里的间隔，这样的奇观。河流下切快，深切河谷和高海拔平坦面相间等地貌特征。相应地，滑坡和泥石流频发。本报告中，我将介绍我们在三江并流区的一些低温热年代研究结果，并对近年来在青藏高原东南缘构造抬升与水系发育等构造地貌研究进展进行梳理，试图回答一

些有争议的问题，比如，构造剪切活动与高原抬升之间的关系？构造和气候如何驱动河流下切及其机制如何？水系演化时空格局与高原扩展的关系？数据和热模拟表明青藏高原东南缘渐新世/中新世之交（~25Ma）开始快速剥露；河流下切滞后于区域地表抬升，但与东亚季风起始/增强同步；该地区经历了从内流到外流的河流水系发育，过程中河流袭夺等动态演化，相邻支流经历不同的剥露历史。研究表明，河流下切历史不能直接示踪区域地表抬升，青藏高原东南缘高海拔低起伏面经历了“高海拔夷平化” 和“平坦面 破坏” 两阶段演化过程。

S27-O-8

祁连山中段晚中新世以来地貌演化过程研究-来自水系演化和古侵蚀速率的证据

张建[1*]，潘保田[1]，耿豪鹏[1]，Ralf Hetzel[2]

1 兰州大学，资源环境学院

2 University of Munster,Institute of Geology and Palaontology

* jianzhang@lzu.edu.cn

在活动造山带，构造-气候-侵蚀之间的相互作用与反馈是塑造地表形态的主要驱动力，其中侵蚀是连接以上过程的纽带。河流作为地表侵蚀的重要营力，反演其演化历史，获取流域内侵蚀速率较高分辨率的时序变化，是厘清构造-气候-侵蚀之间的耦合关系，揭示地貌演化过程及其驱动机制的关键。基于此，本文首先以河西走廊中部酒东盆地的明海钻孔沉积物为研究载体，利用锆石 U-Pb、重矿物和元素地球化学方法开展了综合的物源分析，重建了祁连山中段 7Ma 以来的水系演化过程。在此基础上，利用宇生核素 ^{10}Be 方法获取了流域内 4.2Ma 以来的古侵蚀速率记录。水系重建结果显示，祁连山中段自 7 Ma 以来经历了两次水系重组过程：在 7-4.6 Ma 期间，祁连山北缘主要为发源于志留纪地层的山前短小河流；在 4.6-4.4 Ma 期间，之前穿过榆木山北流的河流发生向西改道并流向明海钻孔位置；在 3.0-2.4 Ma 期间，走廊南山北侧的横向河流发生溯源侵蚀，流域范围向南扩展。古侵蚀速率结果显示，侵蚀速率在～3.4Ma 和 2.0Ma 显著增加，分别达到～330m/Ma 和～220m/Ma。除此以外，侵蚀速率在 1.5 Ma 之后有所增加，由之前的~50 m/Ma 增加至~110 m/Ma。

综合重建得到的水系演化过程和古侵蚀速率记录，再结合区域的构造活动历史和气候变化记录，本文认为祁连山中段晚中新世以来的地貌演化过程受到构造抬升和气候变化的综合影响。在 4.6-4.4Ma 期间，祁连山向北扩展导致榆木山开始隆升，使得之前穿过该山体的河流不能再继续维持其原来的河道而发生向西改道。在 3.0-2.4Ma 期间，祁连山的持续隆升以及气候的显著变冷共同促进流域内侵蚀速率的增加，并增强了分水岭两侧侵蚀速率的差异，导致分水岭向南迁移。1.5Ma 以来，祁连山中段的水系格局和古侵蚀速率，以及钻孔中沉积相的稳定共同指示该地区此时已经达到地貌的均衡状态（抬升速率和侵蚀速率相当）。

S27-O-9

中始新世东亚边缘大型水系的发现及其地质意义

付晓伟[1*]，杨蓉[2]，朱伟林[1]，杨守业[1]，耿建华[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 浙江大学，地球科学学院

* fu_xiaowei@tongji.edu.cn

地球深部过程和表层过程控制了大河水系的形成。一般认为，新生代早期东亚边缘的盆岭格局阻碍了大河水系的形成，本研究基于东海盆地新生代连续沉积的物源分析，结合区域地质记录，发现了新生代长期存在于东亚边缘的大型水系。东海盆地碎屑锆石 U-Pb 物源显示，早始新世表现出近物

源为主的单峰特征（峰值年龄 110 Ma），中始新世开始出现复杂的锆石年龄谱，且老锆石组分（>1500 Ma）占绝对优势，表明物源转变为大型远源体系，详细的源汇对比显示主要来自华北和朝鲜半岛。潜在源区裂谷盆地的沉积和构造特征表明，该时期渤海盆地和江汉盆地为封闭湖盆无法向下流域提供陆源碎屑，而苏北-南黄海盆地由封闭湖盆变为河流沉积为主的过路沉积区。中始新世，东亚边缘形成了一条长达约 1500 公里的大型河流（东亚河），向西南注入东海盆地南部海域。该河流可能一直持续到中中新世。洋脊俯冲作用下，地球深部动力过程的变化使得苏北-南黄海盆地变为过补偿盆地，使得东亚河初始形成。东亚河的发现有助于深入认识东亚新生代地形和水系的演变过程，并揭示了东亚俯冲相关的深部过程对大河水系形成的控制作用。

S27-O-10

青藏高原东南缘新生早期是否存在一条流向南海的古红河？

李仕虎[1,2*]，Yani Najman[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 Lancaster University,Lancaster Environment Centre

* lsh917@mail.iggcas.ac.cn

青藏高原东南缘发育长江、怒江、澜沧江等数条世界性的大型河流，这些河流的演化与新生代青藏高原的隆升具有直接联系。基于河流地貌和物源研究，前人提出在新生代早期存在一条由青藏高原东缘流向南海的大型河流，即古红河。古红河的上游包含了现今长江中上游、澜沧江以及怒江甚至雅鲁藏布江的上游，后期由于青藏高原的隆升，长江下游开始溯源侵蚀，逐步袭夺了长江的中上游，形成了现今青藏高原东南缘三江并流的大型水系以及长江第一湾等独特的地形地貌。虽然大多数碎屑锆石、云母氩氩物源研究支持河流袭夺假说，但青藏高原东南缘沉积盆地沉积相分析、古水流、以及部分物源研究并不支持河流袭夺假说，且不同学者得出的袭夺时间也存在很大差别。为了更好的验证河流袭夺假说，我们对贡觉和剑川盆地开展了系统的碎屑锆石研究，因为贡觉盆地可能是古红河上游的沉积物，而剑川盆地可能记录了古红河袭夺过程中的物源变化。此外，为了更加系统的表征古红河流域各地块的物源特征，我们对青藏高原东南缘东羌塘、义敦、印支、松潘甘孜以及华南四川盆地等地块三叠纪以来的沉积岩碎屑锆石进行了系统的总结。我们的研究结果显示晚三叠纪以来，青藏高原东南缘各地块沉积岩具有相似的物源特征，可能是古特提斯闭合之后块体汇聚造成的物源混合效应。贡觉盆地和剑川盆地具有相似的物源特征，且与东羌塘和松潘甘孜具有相似的物源特征，似乎支持了新生代早期古红河的存在。但这些盆地的沉积物与盆地周缘三叠纪以来的基岩也具有相似的物源特征，也可以解释为近缘沉积所造成的锆石再旋回过程。这一现象也得到了现今河流和盆地周围基岩物源的支持，如现今流经贡觉盆地的一条小河流虽然只流经中生代地层，但与贡觉盆地具有一致的物源特征。我们的研究结果表明新生代早期极不可能存在一条经青藏高原东南缘流向南海的古红河，这一结论与南海沉积物的物源变化特征一致。

S27-O-11

长江水系流域风化与地形地貌及气候特征的关系

李超[1*]，王是君[1]，段知非[1]，杨守业[1]

1 海洋地质国家重点实验室（同济大学）

* cli@tongji.edu.cn

大陆硅酸盐风化是重要的碳汇，对全球气候变化和碳循环有重要意义。河流作为连接陆地和海洋最重要的纽带之一，在地表物

质运移和循环过程中发挥着关键作用。大型河流流域地形复杂，既有陡峭的山区，也有广阔平坦的平原区，不同地区的气候特征有明显差异。本研究以长江流域为研究区，在划定长江各支流沉积物“源区”基础上，提取“源区”气候及地形地貌等环境参数，并分析其与流域沉积物 CIA 的相关性，探究流域硅酸盐风化的主要控制因素。研究结果表明，CIA 与源区平均坡度和平均高程呈良好的负相关关系，可能反映了物理侵蚀对化学风化的抑制作用；而 CIA 与源区年平均温度和降雨量明显正相关，反映了气候对长江流域化学风化的重要影响。此外，源区降水量对 CIA 的影响可能存在一个阈值，低于该阈值时，CIA 较低；高于该阈值时，CIA 迅速升高后保持不变，该阈值可能和蒸散量及土壤储水能力有关。本文研究成果对于探讨流域沉积物 CIA 的控制因素具有重要意义，对理解流域风化发生的机理也有一定启示。

S27-O-12

晚始新世以来印度洋长期增强的南亚风化输入

宋泽华 [1,2]，万世明 [1*]，Christophe Colin[2]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

2 巴黎萨克雷大学，地球科学实验室

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

喜马拉雅-青藏高原的构造隆升所引起的硅酸盐风化增强长期以来被认为是新生代大气二氧化碳浓度降低和全球变冷的主要原因。然而，由于缺乏喜马拉雅-青藏高原地区可靠的风化通量重建，“隆升-风化”假说迄今仍有待检验。在此，我们利用孟加拉湾大洋钻探计划(ODP) 758 站岩芯沉积物浮游有孔虫放射性钕同位素重建了晚始新世以来印度洋北部海水钕同位素组成的长期演化，并将其与印度洋中部海水钕同位素记录进行对比而剔除印度洋水团影响，其二者差值($\Delta\varepsilon_{Nd}$)的变化趋势可指示来自南亚的大陆风化输入对印度洋的贡献。结果显示$\Delta\varepsilon_{Nd}$ 呈现长期增长的趋势，从而提供了晚新生代南亚风化长期增强的关键证据。孟加拉湾有孔虫 ε_{Nd} 记录的南亚风化输入增强的阶段与喜马拉雅造山带主要的构造隆升期和全球气候转型相吻合，暗示了南亚大陆特别是喜马拉雅地区的构造隆升和硅酸盐风化增强对晚新生代全球变冷有着重要贡献。

S27-O-13

我国主要河流-河口-边缘海系统颗粒态有机碳来源、年龄和组成的演化模式及控制机制

姚鹏 [1*]，赵彬 [1,2]，Thomas S. Bianchi[3]，王旭晨 [1]，于志刚 [1]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋生态研究中心

3 University of Florida,Department of Geological Sciences

* yaopeng@ouc.edu.cn

河流主导的陆架边缘海是包括陆源和海源在内的有机碳的埋藏中心和主要储库。控制有机碳在海洋环境中埋藏的因素众多，如初级生产水平、沉积动力环境、有机碳的活性及其与矿物的相互作用等。不同河口及其邻近边缘海的沉积环境和物质来源差异显著，颗粒态有机碳从河流到边缘海的输运过程中的迁移转化也会有所不同，影响了陆源有机碳在海洋环境中的归宿和不同来源有机碳在边缘海的埋藏效应。长江、黄河、珠江和台湾山区河流是是我国主要的河流系统，每年向渤黄海、东海和南海输送大量陆源颗粒有机碳，是我国边缘海陆源沉积有机碳的主要来源。这些河流系统流域背景差异巨大，所输送的有机碳含量、来源、年龄

和组成各异，入海之后所经历的水动力和沉积动力过程也有很大区别，其在边缘海的归宿各有不同。近年来，针对这些系统有机碳的来源和归宿开展了丰富的研究，积累了大量数据。本研究在此基础上，通过对比河流颗粒物与边缘海表层沉积物中有机碳的粒度、比表面积、有机碳含量及其同位素组成（$\delta^{13}C$ 和$\Delta^{14}C$），并建立端元模型区分有机碳的来源，探讨了颗粒态有机碳在这些河流-河口-边缘海系统输运过程中来源、年龄和组成的差异化演化模式及控制机制，以期为更好地认识河流输送的陆源有机碳在边缘海的归宿和全球碳循环提供新的视角。

S27-O-14

运用稀土元素及锶钕同位素示踪台湾河流沉积物铁锰氢氧化物的组成和来源

苏妮[1*]，杨守业[1]

1 同济大学

* nsu@tongji.edu.cn

河流承载了近 90%的从陆地输送到海洋的物质，在元素的地球化学循环中起着重要作用。台湾岛作为全球物理侵蚀和化学风化速率最高的地区之一，是全球表生过程和碳循环研究的天然实验室。台湾造山带快速侵蚀和风化过程对河流水体微量元素地球化学组成有重要影响，而河流颗粒物是这些物质的重要载体。本研究采用顺序提取法，对台湾东西部两条典型的山溪性河流浊水溪和立雾溪的河流沉积物、悬浮物及基岩样品进行分析，探讨主微量元素、稀土元素(REE)及 Sr-Nd 同位素在不同化学相态的迁移和再分配特征。河流沉积物铁锰氢氧化物结合态(1M NH_2OHž HCl 提取)中含有反应活性的 Fe-REE(Nd)相，REE 通过与铁锰氢氧化物和碳酸盐结合，提高其迁移能力，表现为中稀土(MREE)明显富集；铁锰氢氧化物结合态中 εNd 值高于硅酸盐态(或全岩样)，差异平均值约为 2 个 ε 单位，且他们之间具有显著相关性(r=0.93)；结合基岩数据分析，河流沉积物中反应活性的 Fe-REE(Nd)相，其 REE 和 Sr-Nd 同位素组成主要受控于流域内基岩性质及组成。

S27-O-15

偏心率驱动曲流河沉积环境变化：来自中中新世柴达木盆地地层的证据

聂军胜[1*]，任雪萍[1]，高鹏[1]

1 兰州大学，资源环境学院

* jnie@lzu.edu.cn

河流沉积沿纵剖面的变化已经取得了很多研究进展，然而河流横向迁移规律及与天文驱动的关系却受到较少关注。近期研究表明柴达木盆地东北部发育有一套连续的曲流河地层，沉积年代为 17 到 12Ma。本研究选取该套地层，在古地磁年代基础上，结合详细的沉积相/岩性、粒度分析和高分辨率磁学指标结果，分析河流沉积环境演变周期规律及其与地球轨道参数的关系。研究结果发现，沉积相/岩性和粒度变化记录有明显的偏心率周期，反映了厚层砂岩代表的河道沉积和泥岩代表的漫滩相沉积环境交替出现，且高偏心率时期对应河漫滩环境，而低偏心率时期对应河道沉积。这一研究较早的揭示了曲流河沉积环境变化与偏心率的关系，对理解河流横向移动规律和控制因素有重要意义。

S27-O-16

玄武岩风化过程中的镁同位素分馏及其对风化通量和 CO2 消耗速率的约束

雒恺[1,2]，马金龙[1*]，滕方振[3]，韦刚健[1]，朱冠虹[1]，王志兵[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 University of Washington,Department of Earth and Space Sciences

* jlma@gig.ac.cn

硅酸盐岩的风化作用对金属阳离子的风化通量、流域河水和海洋的化学组成具有重要的调控作用。此外，钙–镁硅酸盐岩的风化通过吸收 CO_2 并将其转化为大陆水体中溶解的 HCO_3^-，这是大气碳汇的主要过程之一。该过程在数百万年的地质时间尺度上对调节全球碳循环和气候变化作出了重要贡献。因此，估算大陆风化通量对于理解地表物质循环至关重要，而 CO_2 消耗速率的研究则有助于全面理解地质历史上的全球气候演化和大气碳收支。

基于上述科学问题，我们提出了一种新的计算模式，可以直接在风化剖面露头尺度上计算风化过程中金属阳离子的风化通量和 CO_2 消耗速率。我们选取了海南岛北部一长度为 49.5 米的玄武岩风化剖面，测定了元素、矿物和 Mg 同位素组成。结果显示，Mg 迁移率($\tau_{Ti,Mg}$)的变化范围为-34.14% ~ -95.68%，腐岩的 $\delta^{26}Mg$ 值范围为-0.25 ~ 0.43‰，重于母岩 (-0.25 ± 0.07‰)。蒙脱石的形成和分解过程中发生了显著的 Mg 亏损，Mg 的亏损量对 Mg 同位素分馏至关重要。整个风化剖面中 Mg 同位素分馏主要受次生矿物高岭石的吸附–解吸作用控制，不同 pH 条件下高岭石结构的变化对 ^{26}Mg 有明显的偏向。最重要的是，基于风化剖面露头，我们计算了玄武岩风化过程中的 Mg 元素和同位素风化通量以及 CO_2 消耗速率，计算得到的 Mg 元素通量(Mg_{Flux})和 Mg 同位素组成通量($\delta^{26}Mg_{Flux}$)变化范围分别为 0.009 ~ 0.062 g cm^{-3} Ma^{-1} 和-0.016 ~ -0.06‰ g cm^{-3} Ma^{-1}。该研究结果表明，单位体积(1.0 cm^3)的母岩在特定的时间尺度(1.0 Ma)上的溶解产生的平均 Mg 释放量为 0.025 g，由此产生的 Mg 同位素分馏平均值为-0.012‰。基于风化通量进一步计算了风化产生的 CO_2 消耗速率。结果显示玄武岩风化过程中的 CO_2 消耗速率为 1.31×10^{12} mol yr^{-1}，这表明玄武岩风化在全球碳消耗中起着关键作用。我们的研究有助于清楚地认识风化过程中 Mg 同位素的分馏行为，Mg 元素的循环和再分配，还有助于量化玄武岩风化所消耗的全球大气 CO_2 通量。

S27-O-17

上新世以来东亚陆缘沉积源汇系统演变的特征及意义

李芳亮[1*]

1 青岛海洋科技中心，深海多学科交叉研究中心

* flli1@qnlm.ac

东亚大陆边缘是现代黄河、长江等大型水系的沉积汇区，该区域的碎屑沉积记录了流域物质循环、侵蚀风化以及气候环境等丰富信息。然而，中更新世之前东亚陆缘的沉积物源演变历史尚未有效约束，限制了对水系演化、大陆风化等问题的研究。本研究选取南黄海 CSDP-2 孔上新世以来的碎屑沉积，重点开展粘土矿物组成、εNd、Sc/Th 等物源指标的分析和对比，追踪沉积物来源变化；综合南黄海盆地及周边地区的多站位记录，得到东亚陆缘源汇体系的总体演变特征，并探讨了影响机制及启示意义。研究显示，上新世-早更新世，南黄海沉积以古老陆壳物质为主（εNd 偏负、Sc/Th 比值波动剧烈），华北平原锆石年龄显示以燕山、太行山等周边山地风化物质为主，长江三角洲的矿物组合也显示上新世近源、中酸性岩的源区特征；早更新世晚期尤其是中更新世以来，华北-南黄海以及长江三角洲地区的沉积物组成与黄河、长江现代水系—尤其是上游—沉积物的组成接近（如南黄海蒙脱石含量、εNd 等与黄河、黄土高原类似），表明这一时期大河水系已完全建立、并主导东亚陆缘沉积作用。上新世至晚更新世，在构造地貌调整和气候变冷的背景下，东亚陆缘沉积源汇系

统发生阶段性扩大、并最终成为高原侵蚀风化物质输送入海的动力通道，可能对区域物质循环和风化通量产生重要影响。

S27-O-18

文昌玄武岩风化剖面的锂-镁-铁-锶同位素特征及指示意义

朱冠虹[1]，马金龙[1*]，韦刚健[1]，王志兵[1]，曾提[1]，张卓盈[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* jlma@gig.ac.cn

硅酸岩风化作用影响着全球气候的演变、地表物质的循环和地形地貌的演化。锂（Li）同位素是硅酸岩风化过程的潜在示踪剂，然而玄武岩风化过程的 Li 同位素分馏机制仍存在争议。与花岗岩普遍具有很高的 Li 含量且风化溶解速率较慢不同，玄武岩的 Li 含量一般较低且风化溶解速率较快，这会导致玄武岩风化产物在早期的溶解过程极度亏损 Li，所以玄武岩风化过程的 Li 同位素分馏受外源输入的影响很大。因此，评估外源输入的 Li 通量对风化剖面 Li 同位素组成的影响对我们理解玄武岩风化过程的 Li 同位素分馏行为具有重要意义。

本研究选取海南文昌一个强烈风化的玄武岩风化剖面的 Li 同位素组成进行了研究。研究结果显示，大部分风化产物的 Li 浓度比新鲜母岩高，且其 Li 同位素组成普遍比新鲜母岩轻，风化产物的 δ7Li 值在-9.29‰到+7.43‰之间变化。风化产物的 La-Th-Sc 元素含量及 Sr 同位素比值分析结果显示，风尘物质输入对文昌风化剖面的影响很小，雨水输入对文昌玄武岩风化剖面的 Li 同位素组成影响很大。但雨水输入对风化产物 Li 同位素组成的影响并不是通过简单的二元混合作用直接影响，而是通过粘土矿物的吸附和解吸作用间接影响。次生矿物吸附过程中的 Li 同位素分馏与高岭石族矿物、铁铝氧化物/氢氧化物矿物的相对含量和 TOC 含量都存在显著的相关关系。风化产物的 Li 同位素组成会随着铁铝氧化物/氢氧化物矿物百分含量的增加而逐渐变轻，随着高岭石族矿物百分含量和风化产物 TOC 含量的增加而逐渐变重。结合文昌玄武岩风化剖面的 Li-Mg-Fe-Sr 同位素分馏特征，可以进一步评估了生物活动和雨水输入等因素对风化产物 Li 同位素组成的影响。文昌风化剖面样品的 Fe 同位素分馏很小，证明了我们采集的文昌风化剖面样品没有受到生物活动的影响。前人的研究表明，该风化剖面上部样品的 Mg 和 Sr 同位素组成分别受解吸过程和吸附过程控制。而 Li 同位素组成随着 Li 浓度和 τLi, Th 值的增大而逐渐变重，表明剖面上部样品的 Li 同位素分馏主要受粘土矿物的吸附过程控制，由于剖面上部样品的 Li、Mg 和 Sr 同位素组成都受单一的吸附或解吸过程控制，因此剖面上部样品的 Li 同位素与 Mg、Sr 同位素组成之间都存在显著的相关关系。剖面下部样品的 Li 同位素与 Mg、Sr 同位素组成之间都不存在显著的相关关系，表明下部样品的 Li、Sr 和 Mg 同位素分馏可能分别受不同的风化过程控制。

S27-O-19

利用沉积物硅酸盐风化强度指标重建风化壳大气二氧化碳消耗

杨一博[1*]，方小敏[1]，叶程程[2]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 上海师范大学，环境与地理科学学院

* yangyibo@itpcas.ac.cn

青藏高原隆升、大陆风化和全球变化之间的联系存在长期争议。一个重要原因在于大气二氧化碳消耗，作为链接三者关系的纽带，难以在古重建中定量计算。这主要是因为物源和沉积分选等过程导致众多的基于

沉积物矿物学、地球化学甚至磁学的风化强度指标无法与大气二氧化碳消耗定量关联，从而阻碍了大陆风化研究向定量化发展。本研究针对上述问题，结合前人的研究，探索了青藏高原周缘盆地沉积物多种硅酸盐风化指标对气候、物源和沉积分选的影响，发现粘土矿物组合可有效规避沉积相变动和物源影响，是示踪硅酸盐风化强度并开展大范围对比的敏感指标；进一步基于不同气候区风化壳粘土矿物组合和元素组成的对比研究，建立了粘土矿物组合与大气二氧化碳消耗量的定量转换公式。上述指标探索和新方法创建为重建深时硅酸盐风化历史和定量约束全球地质碳循环奠定了方法学基础。

S27-O-20

盐源盆地新生代沉积物物源研究对雅砻江演化的约束

孙习林[1*]，Maria Giuditta Fellin[2]，K.F. Kuiper[3]，J.R. Wijbrans[3]，Sean Willett[2]

1 湖北大学，资源环境学院

2 ETH Zürich，Department of Earth Sciences

3 Vrije Universiteit Amsterdam,Cluster Geology and Geochemistry

* sunxi-lin@163.com

青藏高原周缘大型河流的水系形态和演化过程受到构造、地貌和气候变化等因素的控制。位于青藏高原东南缘的水系（长江、澜沧江和怒江）在新生代经历了复杂的演化过程。雅砻江是长江的重要支流，其现今的水系形态形成于青藏高原东南缘复杂的水系袭夺过程。这些袭夺事件发生前的古水系形态还存在很大的争议。本研究使用碎屑锆石 U-Pb 和裂变径迹双定年以及白云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年方法约束盐源盆地沉积物的物源，从而重构雅砻江的演化历史。碎屑矿物的数据显示盐源盆地始新统沉积物的源区为义敦岛弧，因而在始新世时起源于该区域的河流流到了盐源盆地。上新统沉积物数据显示其源区为贡嘎山地区，说明上新世时期，有一条起源于贡嘎山地区的河流流向了盐源盆地，说明上世雅砻江第一湾的水系形态还没有形成。

S27-O-21

临夏盆地生物磁性地层年代学新进展

郑妍[1*]，邱占祥[1]，邱铸鼎[1]，邓涛[1]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* zhengyan@ivpp.ac.cn

新生代青藏高原隆起改变了东亚的地形以及大气环流特征。在构造应力作用下，在高原内部和周边形成一系列山脉和盆地。临夏盆地位于青藏高原东北缘，记录高原隆升、构造演化史和气候变化等信息。同时，盆地内含有大量哺乳动物化石，是研究新生代生物演化的理想地区。自 1965 年开始，盆地分阶段的开展地层学、磁性地层学、古生物学等研究。然而早期磁性地层学的年代约束存在很多问题，因此与古生物地层学之间存在争议。2017-2021 年，我们再次对临夏盆地的化石出土层位进行详细的标注，在富含化石的临夏盆地南部地层中建立生物地层序列，并将南部含化石的地层向北追溯至化石很少的盆地中部。同时在盆地中部和南部开展小哺乳动物化石筛选工作，进一步证实盆地南部与北部地层对比的正确性，也表明早期地层学工作中盆地南部和中部存在同期异相的结论并不准确。

我们对临夏盆地中部地区毛沟剖面开展高分辨率磁性地层学研究，从老至新依次为椒子沟组、上庄组、东乡组、柳树\虎家梁组、“柳树”组。因为最下部塔拉组未找到化石，无法确定其年代范围，所以此次未开展磁性地层学分析。毛沟剖面柳树\虎家梁组上部和下部均找到小哺乳动物，准确的限定了该组的年龄为中中新世晚期，其南部牙沟内的椒子沟组上部和下部小哺乳动物化石限定该组的年代为晚渐新世。根据小哺乳动

物化石组合信息，毛沟新的磁性地层年代序列从 C10r 至 C5r.2n（29-11.6 Ma）。临夏盆地椒子沟组年代为 C6Cn.3n–C10r (~23–29 Ma)，其底部的巨犀动物群年代约 29 Ma。富含铲齿象动物群的虎家梁组年代为 C5r.2n–C5Ar.2r (~11.6–12.8 Ma)。

在新的年代框架下，哺乳动物演化与盆地构造和气候变化息息相关。在晚渐新世时期，巨犀动物群生存环境为半干旱的林地，与全球晚渐新世相对温暖的气候一致。早中新世时期（23-17.2 Ma），临夏盆地干旱化加剧，这与亚洲内陆干旱化基本一致。中中新世早期（17.2-12.8 Ma），盆地处于大湖环境，且湖水盐度呈旋回性的变化，导致沉积地层的颜色呈现红棕-灰白相间的特征。中中新世晚期（12.8-11.6 Ma），受周边山脉隆升影响，盆地中的湖泊消失，变为河流沉积，适宜铲齿象生存发展。晚中新世时期（11.6 Ma 开始），全球气候逐渐变冷，此时铲齿象灭绝，适宜草原气候的三趾马动物群出现。

S27-O-22

古金沙江水系演化历史——来自剑川盆地古近纪沉积中的记录

何梦颖[1*]，郑洪波[2]，Peter Clift[3]，边紫璇[2]，杨青[2]，张毕辉[2]，夏磊[2]

1 南京师范大学，地理科学学院

2 云南大学，地球系统科学研究中心

3 美国路易斯安那州立大学，地质与地球物理学院

* conniehe@njnu.edu.cn

新生代青藏高原的隆升造就了众多大型水系的发育与改组。长江作为亚洲最长的河流，其演化历史对青藏高原的隆升及区域构造-地貌演化过程具有重要意义，但迄今仍存在很大争议。长江上游（金沙江）“第一弯”的形成方式和形成时限，以及古金沙江在“第一弯”形成之前是否曾经南流入南海是探讨长江演化历史的关键科学问题。已有研究表明，位于长江“第一弯”南部的剑川盆地，可能保存了古金沙江水系流经的沉积记录。剑川盆地古近纪时期沉积了宝相寺组、金丝厂组和双河组地层，通过对其进行重矿物、地球化学及碎屑锆石 U-Pb 年龄物源示踪研究发现：金丝厂组地层沉积物具有更高的成熟度，指示了大型远源的河流沉积，而宝相寺组主要为近源沉积。双河组与金丝厂组为同期异相沉积，沉积物既有远源物质，也有局地来源；金丝厂组地层与“第一弯”上游的贡觉盆地、下游的思茅盆地及现代金沙江在沉积物碎屑锆石 U-Pb 年龄组成上具有极大的相似性，可认为晚始新世时期，曾存在一条南流的古金沙江，发源于青藏高原，南流经剑川盆地汇入南海。该条古水系在 ~35 Ma 之后受到了构造、火山及地貌作用的控制，自南流转向东流，继而形成了长江“第一弯”。

S27-O-23

古近纪冈底斯山脉风化可能导致海水 Sr 同位素比值升高

阮笑白[1,2,3*]，Albert Galy[2,3]，杨一博[1]

1 中国科学院青藏高原研究所

2 法国国家科研中心岩石学与地球化学研究所（CRPG-CNRS）

3 法国洛林大学（Université de Lorraine）

* xiaobai.ruan@univ-lorraine.fr

海洋碳酸盐的 87Sr/86Sr 同位素曲线记录着地质历史时期海水 Sr 同位素的演化，是探究地表源汇过程、大陆风化剥蚀及大陆演化等重要地球科学问题的窗口。新生代以来的海洋 87Sr/86Sr 比值呈现出前期保持稳定，约 40Ma 后快速升高的变化趋势。关于该变化存在一系列假说，如粉尘输入，海底热液输入减少等。青藏高原在新生代中逐渐形成，向海洋输送了大量陆壳物质，因此成

为解释 40Ma 后海水 Sr 同位素升高最有可能的潜在原因。现代观测发现，喜马拉雅山脉河流具有极高的溶解 Sr 同位素比值，支持了上述论述。后续研究进一步发现，高 Sr 同位素信号来自富含放射性成因 Sr 的变质碳酸盐溶解。然而，近年来随着对高原生长过程的认识逐步深入，得知喜马拉雅山脉的强烈隆升不早于 25Ma，与 40Ma 开始的 Sr 同位素强烈升高并不匹配。考虑到喜马拉雅山脉隆起前，高原南侧为冈底斯山脉，且处于季风区内，那么冈底斯山脉基岩的化学风化则有可能向海洋输送大量 87Sr 通量。本研究通过现代风化研究，初步验证了这种可能性。我们选取了藏东南察隅河流域作为研究区，该流域基岩为冈底斯花岗岩基及东部拉萨地块。察隅河流域水化学表明，现代察隅河的溶解 87Sr/86Sr 比值约为 0.735，与现代布拉马普特拉河相当。结合对碳酸盐/硅酸盐风化比例的估算，推测大量 87Sr 同样来自变质碳酸盐溶解。由于河沙硅酸盐同样具有较高的 87Sr/86Sr 比值，推测在更为暖湿的古近纪气候背景下，尽管硅酸盐风化上升，冈底斯山脉化学风化依然能够向海洋输入较高的溶解 Sr 同位素比值。因此，我们推断，冈底斯山脉风化可能是 40Ma 以后，喜马拉雅山脉隆升以前，海洋 Sr 同位素比值升高的潜在原因之一。

S27-O-24

东海和南海记录的东亚大河物源与演化

曹立成[1*]，邵磊[2]，Douwe J.J. van Hinsbergen[3]，姜涛[1]，许迪[1]，崔宇驰[2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 乌特勒支大学，地球科学学院

* licheng.cao@gmail.com

大江大河如同大陆的动脉，在水循环-地球化学循环、从物源区到沉积区搬运物质、人类文明发展等方面扮演着重要角色。青藏高原发育多条大河横贯东亚大陆，这些河流由于新生代持续的构造-气候扰动具有较年轻的历史。然而，重建它们的起源和动态演变是一个漫长的过程，至今仍面临诸多问题和挑战。东海和南海作为东亚大河沉积物运移的终点之一，其源汇系统演化记录了河流历史，但物源数据的区域性对比和联系尚缺乏系统的研究。本研究通过汇总和重新审视东海、南海以及大河流域内新生代地层和现代沉积物的大量物源数据（包括碎屑锆石 U-Pb 年代学、碎屑钾长石 Pb 同位素、全岩 Nd 同位素），重建了长江、珠江、红河这三条中国大河的演化历史。不同于传统研究中物源信号的“平均化”处理，本研究详细调查了样品间差异性。各流域内现代沉积物的碎屑锆石年龄信号表现显著的差异，仅依靠河口样品、全流域样品集合或流域内主要构造板块难以有效定义潜在物源区。此外，并非所有的大陆边缘样品都能直接追踪大河的物源演变，远离河口地区和同裂陷期沉积的样品往往受到其他小型河流或盆地内局部物源的干扰。基于现有的物源数据库，碎屑锆石年代学和全岩 Nd 同位素比钾长石 Pb 同位素具有更强的物源判别效果，能更直观地反映物源随时间的变化特征。东海和南海陆缘新近纪地层的锆石年龄频谱表现出一定程度的继承性特征，其 Nd 同位素变化幅度也相对较小，共同指示该时期较为稳定的源汇体系和近现代大河体系的形成。中新世以前古河流的流域范围可能远小于现今的规模，流域扩张阶段可能发生在渐新世。青藏高原东南缘古近纪地层的物源和古水流分析指示沉积物源更可能来自局部地块，而不是贯通性的古河流，这不支持前人提出的古长江-古红河上游之间的潜在源汇联系。

S27-P-1S

Temporal variations in the Cu isotopic compositions of

Changjiang's dissolved and suspended loads

Ana Cristina Vasquez[1]，Yang Shouye[1*]

1 Tongji University

* syyang@tongji.edu.cn

The redox sensitivity of the biogeochemical cycle of the Cu isotopic composition provide a crucial understanding the anthropogenic and natural sources in rivers. Unusually heavy Cu isotopic composition in Changjiang River (0.8-1 ‰ higher than global river average) is mainly determined by a variety of lithological weathering sources. Copper enrichment factor (EF_{Cu}) of particulate Cu averages 1.8, related to UCC, is lower than reported global EF_{Cu} average (~4) for riverine particulate. This research focus to define the temporal controlling factors of Cu fractionation, the anthropogenic source identification and further alterations in the natural Cu cycle in the Changjiang River.

S27-P-2S

燃烧促进文明：从气候控制到人类主导

郝强 [1]，杨承帆 [1]，杨守业 [1*]，张驰 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* syyang@tongji.edu.cn

以森林火灾为代表的植被火燃烧是发生在地表的剧烈氧化过程。人类引发的火灾最早可以追溯到全新世中期，史前人类引发的火灾早在工业革命之前就已在“深层次”调节地球表面环境方面发挥了关键作用，从根本上不可逆转地改变了地球系统。黑碳，由于其化学和微生物惰性，在风力和流水作用下在沉积物中保存下来是记录地质时代全球古火灾的重要工具。

在 5-12 ka 期间，长江流域湿度（降水）促进植被生长，生物量的增加使得火灾活动增强，树木孢粉和黑碳丰度二者呈现也较好的正相关性，水文气候被视为野火产生的关键因素。大约在 5.0 ka 时，黑碳含量短时间内迅速增高，树木孢粉含量迅速下降（原始森林被砍伐），人为驱动力出现迫使气候与区域火灾活动解耦。到了 2.0 ka 以后，区域火灾活动断崖式下降，与同期长江流域温度和降水均增大的结果相矛盾。我们认为，2.0 ka 时与气候变化相比，人类活动可能在调节生物质燃烧方面发挥了更重要的作用。

综上所述，基于现有数据分析认为 5 ka 人类活动与自然火历史解耦后从单核驱动（气候）转变为双核系统（人类与自然共同驱动）；2.0 ka 火历史再次变化表明人类活动起到了主控作用。这为确认人类活动何时成为重要的地质营力以及如何准确限定“人类世”的时间节点具有重要意义。

S27-P-3

渤海沉积动力过程对冬季风场高频振荡的响应及其响应机制

王爱美 [1]，David K. Ralston[2]，毕乃双 [1]，吴晓 [1]，袁萍 [3]，王厚杰 [1*]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 Woods Hole Oceanographic Institution,Applied Ocean Physics and Engineering Department

3 国家海洋环境监测中心，海洋环境工程技术研究室

* hjwang@ouc.edu.cn

渤海接收了来自黄河的巨量沉积，在全球物质循环过程中具有重要作用。渤海中部细粒泥质沉积区位于黄河东北方向，呈北东-南西向分布。黄河是其主要的物质来源，但其形成机制尚不清楚。为了研究冬季强风作

用下黄河三角洲近岸沉积物的输运路径，本文采用了已建立并验证的高分辨率的海洋-大气-波浪-沉积物耦合模式系统（COAWST）。模式结果强调了风暴事件对渤海区域沉积物再悬浮及输运过程的重要性。在大风盛行期间，强烈的再悬浮作用使得渤海悬浮体浓度急剧升高，高值区位于黄河三角洲、渤海湾入海口及辽东湾湾顶。冬季，渤海盛行强东北风和西北风，并伴随有间歇弱风。受局地风场、渤海 Kelvin 波及黄海陆架陷波的影响，渤海海流及沉积物输运路径变化显著。西北风盛行时，辽东湾和渤海中部海流及沉积物向西南方向输运。受岸线影响，海流及沉积物沿渤海南岸向东输运，并通过渤海海峡流入黄海。此时，整个渤海海峡处以出流为主。当风速降低，海流及少量沉积物从黄海通过渤海海峡北部流入渤海，并在渤海西岸分为两支分别向北流入辽东湾，向南流入渤海湾。而在渤海南岸，海流及沉积物持续向东输运，并通过渤海海峡南部流出渤海。东北风盛行时，黄海三角洲附近海流分为三支，分别向西流入渤海湾，向东北流向渤海中部，向东流向黄海，并在黄海中部形成了一个顺时针环流。整个渤海海峡仍以出流为主。当东北风风速降低，海流及少量沉积物从黄海通过渤海海峡北部流入渤海。月均沉积物输运显示黄河三角洲附近沉积物分别向三个方向输运，分别为向西流入渤海湾，向东北流向渤海中部，向东流向黄海。因此渤海中部北东-南西向分布的细粒泥质沉积区可能与东北风的盛行及其衰退过程的沉积物输运有关。

S27-P-4

近 70 年来长江口外沉积记录及其对台风和人类活动的响应

卢健[1*]，李安春[1]，张晋[1]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* lujian@qdio.ac.cn

长江口外泥质区为研究环境变化和人类活动影响提供了良好的沉积记录。但是，在人类活动影响日益加剧和全球气候变化的背景下，该区域的沉积记录如何响应这些影响因素还未得到充分的阐述。在本研究中，我们通过采自长江口外的一根沉积物岩芯样品的磁化率，粒度，粘土矿物和化学元素组成，判别了沉积物的物质来源，并探讨了过去近 70 年来沉积记录对台风事件和人类活动的响应。根据粘土矿物组成，化学元素比值，以及粒度与磁化率之间的相关性，我们发现 44-90cm 段的沉积物主要来自长江和东海内陆架，而 0-44cm 段的沉积物受到长江，东海内陆架，老黄河及残留区的影响。1950 年以来，岩芯的矿物和化学元素组成发生了明显变化，这主要是由台风事件和人类活动影响造成的。2003 年前，砂层的出现频率受台风的影响，并且与 ENSO 的变化相关。然而，在 2003 年三峡大坝投入使用后，砂层的出现不再与气候变化相关，人类活动影响了长江口外台风事件的沉积记录。本研究发现，长江口外泥质区边缘的沉积物可以作为台风事件记录的良好载体，但是在研究台风活动与气候变化关系时，尤其是近几十年来，不能忽略人类活动的影响。

S27-P-5

晚第四纪东海外陆架地层格架及沉积环境演化

丛静艺[1]，张勇[1*]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* qimgzy@163.com

目前，前人对全新世长江口、东海内陆架区域地层结构、物质来源及沉积环境演化等方面做了大量工作。由于受资料限制，对东海外陆架的关注相对较少。基于东海外陆架北部 HPJ-QZ 孔和高分辨率浅地层地震剖面对晚第四纪东海外陆架北部地层格架及

沉积演化过程进行了精细研究。依据精细的岩心观察与描述、粒度组成、沉积结构及底栖有孔虫，在岩心中共识别出11个沉积相，分别为河床相、河漫滩-潮坪相、潮流沙脊相、潮汐水道-分流河道-海底沉积相、浅海相、滨海相、潮流影响的水下分流河流相、浅海-前三角洲相、三角洲前缘相、潮控河口相、滨-浅海相。在地震剖面中确定了 7 个以不整合面为界的主要的地层单元（SU1~SU5e）。SU5 仅在研究区东北部局部区域的剖面中能勉强识别出来，被推测性地解释为 MIS5 期 3 个高海面时期形成的海相地层（水下三角洲）。结合钻孔与浅剖资料，与海平面曲线进行比较，将研究区地层分为3个序列（分别对应 MIS1~2、MIS3~4、MIS5~6 的冰期-间冰期海平面旋回），包括 2 个完整的海侵-海退旋回。钻孔稀土元素和黏土矿物数据分析表明，晚第四纪以来东海外陆架北部物源基本来自长江。河流相中近源成分较多，而潮坪、浅海、三角洲、潮控河口相中可能混有黄河源、或浙闽沿岸、韩国小河流的成分。MIS6 以来在东海陆架北部存在三期不同类型的古下切河谷。LGM 时期由于东海陆架宽阔而平缓，坡度较低，古河道系统下切口具有浅而宽的特征。MIS4 期由一系列单个的小型下切谷组成，下切谷的深度与宽度都较小，在研究区西部可能为河流通道，而在研究区东部则识别为潮流通道或三角洲平原水下分流河道。而 MIS6 期，受地形及海平面的控制，在东海陆架可能发育深切谷。浅剖上识别了三期潮流沙脊，其中有两期为埋藏潮流沙脊。古河口位置、水动力条件的差异导致了潮流沙脊形态、方向的不同。总之，海平面变化和沉积物供应的相对变化是东海外陆架下切河谷、河口湾充填、三角洲叠置沉积模式形成的直接原因，地形地貌影响下切谷的形态及局部的沉积速率。

S27-P-6S

长江中下游晚第四纪低地再风化记录与碳汇效应

韩雪 [1]，杨守业 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* syyang@tongji.edu.cn

大陆风化是维持地球长时间尺度碳循环平衡和宜居环境的关键。经典的“构造隆升-风化加强”假说认为，新生代青藏高原的抬升及其引发的季风降雨增加，可以加强物理剥蚀和大陆硅酸盐风化，导致大气 CO_2 消耗增加，从而驱动全球气候变冷。然而，这个假说与传统的气候主导风化观点不一致，碳循环的不平衡可能导致大气 CO_2 在几个百万年内消耗殆尽，理论上应该存在一种负反馈机制以维持大气 CO_2 浓度和气候的长期稳态，但至今对风化-碳循环-气候变化之间的反馈与负反馈机制仍存在较大争议。前人研究发现，现代青藏高原及周边山区高地的硅酸盐风化对大气 CO_2 的消耗通量非常有限，而地质历史时期低地再风化的碳汇效应可能被严重低估。长江起源于青藏高原，并向东注入中国东海，是典型的东亚梯级源汇系统。本研究通过选取长江中下游地区（江汉盆地、三角洲平原和东海陆架）代表性的晚第四纪沉积岩芯，结合矿物-元素-同位素多种分析手段，开展精细地层年代学、沉积物传输时间和物源分析，量化晚第四纪轨道-千年尺度的硅酸盐风化侵蚀速率和强度，剖析长江上游青藏高原物质在中下游地区再风化程度、主控因素及其碳汇效应；综合区域古气候环境记录，探究长江中下游低地再风化过程对末次冰期-间冰期旋回气候变化的响应机制，有望成为破解新生代构造-风化-气候变化之谜的关键突破口。

S27-P-7S

长江三角洲硬土层记录的低地再风化及其环境效应

杨博 [1]，杨守业 [1*]，韩雪 [1]，张欣蓓 [1]，王是君 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* syyang@tongji.edu.cn

大陆硅酸盐风化是长时间尺度上维持地球宜居环境和碳循环平衡的关键，青藏高原隆升引起的物理剥蚀和硅酸盐风化加强，增加大气 CO_2 的消耗，被认为是解释新生代变冷的经典观点。但近年来研究表明，高原隆升引起的源区风化消耗的 CO_2 有限，源于青藏高原的沉积物在低地的再风化过程和有机碳埋藏过程的碳汇效应可能被严重低估，现有风化机制理论主要依靠小流域研究，大河流域剥蚀-风化的模式和控制机制仍不清楚。此外，也有研究提出了低纬地区陆架冰期暴露导致风化加强，强化冰期气候变冷的观点。长江三角洲是长江流域沉积物重要的汇，记录了流域的沉积演化历史，是重要的资源储层和环境变化记录载体，对于流域演化历史和沉积物“源—汇”的研究具有独特的地区优势。其中，由于气候变化和海平面升降形成的多层硬土层被认为是低地再风化和冰期风化的典型产物。本研究将选择长江三角洲地区代表性岩芯的晚第四纪硬土层作为对象，结合矿物-元素-同位素分析方法，在确定物源和精细地层年代的基础上，厘清硬土层的形成机制，再进一步量化研究硬土层形成过程中的风化机制与碳汇效应，通过分析其风化趋势和碳通量，揭示低地再风化过程对环境的响应以及硬土层的碳汇效应，为研究新生代气候变冷与硅酸盐风化之间的机制提供新的思路。

S27-P-8S

红河流域末次冰消期以来的降水和化学风化重建

孙启顺 [1,2]，姜兆霞 [1,3*]，肖春凤 [1]，陈龙 [1]，刘琬馨 [1]，何况 [1,3]，陈亮 [4,5]，殷征欣 [4,5]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统教育部前沿科学中心，海底科学与探测技术教育部重点实验室，海洋地球科学学院

2 中国海洋大学，崇本学院

3 崂山实验室，海洋地质与环境功能实验室

4 自然资源部南海局，国家海洋局南海调查技术中心

5 自然资源部南海局，自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室

* jiangzhaoxia@ouc.edu.cn

南海沉积物被广泛用于末次冰消期以来的古气候和陆地化学风化重建，但是南海沉积物受海平面变化、气候变化和表层/深层海流变化等多种因素的影响较大，这导致基于南海沉积物的古气候和化学风化指标及解释存在争议。由于各种磁性矿物具有不同的源-汇过程，因此由磁学信息分解得到的磁性矿物学信息有望用于末次冰消期以来的季风降水和化学风化重建。本研究对南海西北部岩芯 SCS-02 利用环境磁学和地球化学等多手段分析，建立了末次冰消期以来的红河流域化学风化历史和全新世降水变化，并分析影响红河流域化学风化和降水变化的因素。我们利用赤铁矿和针铁矿相对含量比值（Hm/Gt）揭示了全新世红河流域降水量的变化，结果与华中至华南区域的记录具有可对比性，表现为干旱的全新世中期而湿润的全新世早期和晚期，然而这与华北区域的降水指标变化相反，这归因于千年尺度上的西太平洋副热带高压相对位置的变化。本研究使用成土作用成因的单畴 SD 和超顺磁 SP 碎屑磁铁矿输入量以及地球化学指标 CIA 等指标指示红河源沉积物化学风化程度的变化，我们发现红河流域末次冰消期以来的夏季风降水变化与沉积物的化学风化程度存在明显的脱耦，尤其是冰消期沉积物具有相对于全新世更高的化学风化程度。我们认为冰消期陆架物质在空气中的进一步风化导致了该时期化学风化程度的升高，而全新世期间降水变化控制了红河流域的侵蚀速率，从而导致湿润的早全新世较低的化学风化程度而相对干旱的中全新世相对较高的化学风化程度。

S27-P-9

基于 XGBOOST 机器学习法预测中国东部海域碎屑锆石的物源及其意义

黄湘通[1*]，郭玉龙[1]，王平[2]，陈玺赟[2]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 南京师范大学，地理科学学院

* xiangtong@tongji.edu.cn

随着激光原位微区技术的飞速发展，碎屑锆石正在改变许多认识地球科学问题的方式，同时，大量公开发表的碎屑锆石 U-Pb 年龄数据也为开展机器学习物源判别提供了良好契机。与传统的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱研究方法相比，如相似性、K-S 检验等，基于 XGBoost 模型的机器学习方法具有显著的优势就是能够从不同类型的年龄分布中智能学习出能代表流域的分类模型，并依据该模型对物源进行预测和评价。

本研究选择令人关注的长江、黄河流域及其主要沉积汇区（长江三角洲及中国东部海域）的碎屑锆石为研究对象，对 U-Pb 年龄数据进行了按构造期次和核密度分布的特征化，通过 XGBoost 算法训练建立了区分两个流域碎屑锆石的机器学习 S-模型和 K-模型。结果表明，两种特征化模型预测结果总体上差异不明显，其平均预测准确率都在 90%以上，表明 XGBoost 机器学习方法的预测能力准确且不受锆石 U-Pb 特征化方式的影响。

我们进一步对中国东部海域、长江三角洲以及东海陆架晚新生代钻孔沉积物的碎屑锆石进行了物源预测，均得到了较为合理的结果，反映运用 XBGoost 模型可以进行实际地质问题中的锆石物源判别。另外，通过 XGBoost 的重要性分析分析，我们认为区分黄河、长江锆石物源较可靠的年龄谱应该和华北的天山、震旦运动及华南的晋宁和南华运动有关，而非普遍认为的吕梁运动。总体而言，应用机器学习方法目前只适用于已有大量碎屑锆石年龄数据的区域，对于样品量少或锆石年龄分析量不够的地区则还只能依靠常规方法。可以预见，随着长江、黄河以及周边流域锆石 U-Pb 数据的不断积累，机器学习模型将会进一步完善，对不同样品的物源的预测能力将会进一步提高，这将更客观地通过碎屑锆石 U-Pb 年代学来认识沉积物从源到汇过程以及源区构造和河流的演化历史。

S27-P-10S

U 系“粉碎年龄”方法对青藏高原东北部冰川活动历史的新指示

段知非[1]，李超[1*]，安福元[2]，Nicholas Chia Wei Ng[1]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 青海师范大学，地理科学学院，青海省自然地理与环境过程重点实验室

* cli@tongji.edu.cn

青藏高原是地球的“第三极”，其冰川活动历史及其对地貌演化的影响是研究中的热点问题之一。察尔汗盐湖位于青藏高原东北部的柴达木盆地，是格尔木河等发源于昆仑山脉河流的沉积汇区。本研究测定了察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔沉积物以及格尔木河流域中古堰塞湖相沉积物的粒度特征，元素地球化学组成和 U 同位素比值（$^{234}U/^{238}U$）。在此基础上，利用“粉碎年龄”模型计算碎屑沉积物自岩石风化破碎所经历的时间，探究格尔木河流域冰川活动历史及其对流域演化和沉积物源汇过程的影响。前人研究认为，冰川活动带来的大量碎屑沉积物曾经形成冲积扇堵塞格尔木河形成堰塞湖。古堰塞湖相沉积物的“粉碎年龄”范围是 33-72 ka，说明大量碎屑沉积物在深海氧同位素 3-4 期（MIS 3-4）产生，这可能指示该时期是格尔木河流域冰川最为活跃，发育规模最大的时期。格尔木河流域中大量碎屑沉积物的产生

能够引起察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 的相应变化。MIS 5 期，察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔沉积物 ^{234}U 亏损显著，说明物质在流域中滞留的时间极长。MIS 4 期，流域中产生的大量新鲜碎屑沉积物被搬运进入湖中，钻孔沉积物 ^{234}U 亏损程度有所降低。MIS 3 期，冰川的发育带来大量碎屑沉积物的产生严重堵塞了格尔木河，造成察尔汗盐湖湖水盐度和 U 含量升高，颗粒物从水体中吸附 U 的作用增强，此时期察尔汗盐湖钻孔沉积物显示出与水体相似的 ^{234}U 富集特征。30 ka 以来，钻孔沉积物 ^{234}U 重新表现出亏损特征，推测是由于河流切穿冲积扇，再次为湖中带来淡水与碎屑沉积物的供应。本研究利用 U 系“粉碎年龄”方法，探究昆仑山源区冰川发育碎屑颗粒物产生与察尔汗盐湖汇区沉积物 $^{234}U/^{238}U$ 的对应关系，为青藏高原地区的冰川活动与流域演化历史提供了新的研究视角。

S27-P-11S

长江口-东海内陆架悬浮重矿物组成与颗粒特征

刘梦佳 [1]，黄湘通 [1*]，连尔刚 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* xiangtong@tongji.edu.cn

沉积物重矿物矿物组成和颗粒大小对揭示沉积物源和水动力分选过程具有重要指示意义。然而，受研究手段的制约，对于长江细粒沉积的重矿物组成和物源、水动力分选之间关系的探究还尚属空白。本研究利用自动定量矿物分析系统（TIMA）对长江口-东海内陆架不同水层悬浮物的重矿物组成和颗粒大小进行了研究，同时，结合电子探针分析对细粒级重矿物自动识别结果进行了验证。研究表明，长江口悬浮物中特征重矿物组合以角闪石—绿帘石—铁质金属矿物为主，不同水层之间重矿物的分选差异性较小，但在河口至内陆架空间尺度上存在较大差异性。长江口河流段的 C1 和 C5 站位表层和底层悬浮重矿物与长江下游的沉积物重矿物组成具有较高的相关性，指示其来源与长江有关。而长江口外悬浮物中赤/磁铁矿相对富集，可能与强潮作用导致的中等密度重矿物的再搬运和扩散过程有关。另外值得关注的是，在舟山群岛附近站位悬浮物样品中发现了铬铁矿的异常富集，推测可能与海区人类生产活动有关。

S27-P-12S

不同沉积物中硅酸盐碎屑组分 234U/238U 测试前处理方法的比较与改进

赖伟波 [1]，李超 [1*]，马松阳 [1]，郭玉龙 [1]，杨守业 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* cli@tongji.edu.cn

有效提取沉积物中的硅酸盐碎屑组分是研究沉积物来源和风化程度的关键技术之一。为了准确测试沉积物碎屑组分中的($^{234}U/^{238}U$)，本文以长江沉积物、南海沉积物和黄土为研究对象，比较这三种不同类型沉积物样品经过四种淋洗方法处理后的主微量元素和($^{234}U/^{238}U$)数据，探讨不同前处理方法对不同类型沉积物的适用性。结果表明使用 Franke 等(2018)提出的方法和本研究改进的淋洗方法处理后得到的沉积物碎屑组分($^{234}U/^{238}U$)最低，表明这两种前处理方法对三种不同沉积物的淋洗效果最好。其中本研究改进的方法对南海和长江沉积物样品的处理具有明显的优势，而 Franke 提出的方法更适合黄土沉积物。其他方法由于采用较强的酸和还原剂对样品过度淋洗，可能已破坏了碎屑组分，造成 K 和 Al 等富集在碎屑矿物中的元素过度淋失。不同长江沉积物碎屑组分($^{234}U/^{238}U$)的较大差异，可能与长江沉积物在粒度和矿物组成方面的复杂性有关。

S27-P-13S

全新世以来南黄海沉积物的物源分布及其环境记录

潘子锐[1,2]，杜恕环[1*]，向荣[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学，海洋学院

* shuhuandu@scsio.ac.cn

边缘海沉积物记录了物源信息并能够指示环境演变过程。我们依据南黄海泥质区C02钻孔（34°59.89′N，122°0.03′E；水深52.5米）样品中的全样碳酸盐与分粒径碳酸盐含量变化，结合底栖有孔虫丰度及其碳、氧同位素，建立了全新世以来南黄海高分辨率的碳酸盐地层框架，揭示了11 ka BP以来南黄海存在三个典型沉积阶段。第一阶段（11-10.1 ka BP）沉积物中的碳酸盐含量最高（平均为4.53%），其中粒径<38 mm部分约占总量的80%，同时底栖有孔虫属于低盐度组合，表明这一阶段为近海环境。在第二阶段（10.1-6.5 ka BP），粒径<38 mm的碳酸盐比例下降到60%，结合底栖有孔虫稳定碳、氧同位素证据，表明来自黄河的沉积物供给有所减少，而来自长江的沉积物有所增加。此外，底栖有孔虫丰度在9 ka BP和7.3 ka BP左右达到峰值，分别对应MWP-1C和MWP-1D期间海平面高度的突然上升。在第三阶段（6.5-4 ka BP），海平面高度接近现代水平并形成了现代环流模式。4 ka BP以来出现的非沉积期，很有可能与东亚季风变异引起的水文变化有关。研究区分粒径碳酸盐含量所指示的物源变化，有利于加深关于南黄海环境演变过程的认识，为研究全新世以来亚洲边缘海的沉积历史提供新的认知视角。

S27-P-14

山东青州晚第四纪黄土物源的碎屑锆石证据及其对黄河贯通的指示

梁美艳[1*]，申艳飞[1]，武建勋[2]，彭淑贞[3]，肖国桥[1,4]

1 中国地质大学（武汉），地理与信息工程学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

3 泰山学院，旅游与资源环境学院

4 中国地质大学（武汉），流域关键带湖北省重点实验室

* liangfan99@126.com

黄河的形成与演化是地质学与地理学共同关注的重要科学问题之一。目前，对于黄河贯通的年代仍存在始新世-中新世、晚中新世、晚上新世、早更新世、晚更新世等多种观点。其中，基于三门古湖的消亡和郑州邙山黄土沉积速率的变化，有的学者认为黄河贯通年代为0.25-0.15 Ma。黄河的贯通导致源自黄土高原的泥沙被搬运到黄泛平原沉积。前人的研究表明，山东青州地区的黄土源自华北平原松散沉积的再次吹扬，因此该地区的黄土沉积记录了黄土高原的侵蚀、华北平原的荒漠化、以及黄河的演化等多方面的重要信息。我们选取了山东青州地区最具代表性的傅家庄黄土剖面（底界年代约0.5 Ma），利用碎屑锆石物源示踪方法对其中四个层位的黄土和古土壤样品进行了锆石形态特征统计和U-Pb年龄测定，探讨了青州黄土的物源及其形成机制。研究结果表明：1）青州黄土的粒径较粗，不符合黄土高原黄土粒度自西北向东南逐渐减小的规律，且黄土和古土壤层锆石的粒径无明显差异，不同于黄土高原黄土层粒径粗于古土壤层的规律，指示着青州黄土的成因不同于黄土高原，很可能来自华北平原的松散物质；2）青州黄土与黄土高原黄土、黄河沉积物三者的锆石年龄谱十分相似，都包含200-360 Ma和360-500 Ma两个显著的年龄峰，并存在约940 Ma、1850 Ma、2500 Ma三个较小

的峰值；但与黄土高原样品不同的是，青州黄土存在更多 200-360 Ma 的锆石，与鲁中山区的碎屑锆石最主要的年龄峰值（200-360 Ma）一致。上述结果指示着青州黄土主要源自黄泛平原的黄河冲积物，并包含一定量的来自鲁中山地风化物的贡献。这意味着，黄泛平原的松散物质在晚第四纪气候变冷变干的背景下发生了荒漠化，被风力吹扬至青州地区就近堆积，同时混入了部分鲁中山区的风化物。由于黄泛平原的物质来自黄河的搬运，因此，青州黄土的出现指示了华北平原发生荒漠化的时间，也指示着黄河贯通的时间不可能晚于其形成的底界年龄 50 万年。

S27-P-15

渤海海峡钻孔记录的第四纪以来沉积环境变化研究

路晶芳[1*]，孙军[2]，黄威[3]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，实验测试中心

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，技术方法研究室

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，深海地质研究室

* lujingfangcug@126.com

通过对渤海海峡 BSH01 钻孔岩心样品进行沉积学、生物地层学和年代学等分析测试，自上而下划分为海相、海相-滨海相、陆相、海相-滨海相、海相、海相-滨海相、海相、陆相、海相和陆相 10 个地层。根据孢粉化石识别出 13 个孢粉组合带，反映了早更新世以来古环境的变化。其中最冷时期出现在晚更新世晚期，此时渤海正处于盛冰期。气温升高和湿度增加的气候适宜期出现在晚更新世早期、中期和全新世。气候适宜期与海平面升高和海侵事件有良好的对应关系。

S27-P-16

渤海北部辽东湾晚第四纪沉积和新构造运动

王忠蕾[1*]，郑洪波[2]，孟祥君[1]，朱晓青[1]，侯方辉[1]，李杰[1]，梅西[1]，王中波[3]，孙军[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海洋基础地质室

2 云南大学，地球系统科学研究中心

3 汕头大学，理学院

* wzhl2010@sian.cn

Two boreholes located 46.7km apart in Liaodong Bay, northern Bohai Sea were studied. It can be found that the sedimentation rate of YKC-2 borehole is obviously higher than that of JXC-1. The authors' research found that it is mainly controlled by two factors: the provenance difference and the differential movement of basin controlling faults. In the west, sediments are mainly transported by the Bohai Sea current, with insufficient sediment supply, and the basin controlling faults are rather stable and very weak in activity. In the east, sediments are transported mainly by the surrounding rivers with sufficient sediment supply; and the changes in accommodation space are under the control of the Tan-Lu fault zone. Affected by the strong extensional dynamic environment of the Bohai Bay Basin, the accommodation space, where the borehole YKC-2 is located, continuously increased for deposition of near-source river sediments.

S27-P-17

长江全流域悬浮物与溶解态铁同位素组成的空间变化：对大陆风化的响应

贺治伟[1*]，Ana Cristina Vasquez[1]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* hezw@tongji.edu.cn

近年来，铁（Fe）同位素越来越多地应用于示踪地表环境中 Fe 的来源及其生物地球化学循环。尽管河流输入的 Fe 对整个海洋的主要生产力和碳循环具有显著意义，但我们对大洋不同 Fe 源的相对贡献以及河流 Fe 同位素分馏行为依然没有充分认识。本文将首次系统报道长江全流域（青藏高原源头至长江口）干流和主要支流悬浮物（SPM）和溶解态（dFe）的 Fe 同位素组成。

研究结果显示，SPM 携带有~99%的 Fe，并且 $\delta^{56}Fe$ 组成（-0.15‰至 0.16‰）与上陆壳（UCC）Fe 同位素组成相似或偏低。进一步研究发现，$(Fe/Ca)_{SPM}$ 与 $(Na/Ca)_{SPM}$, $(K/Ca)_{SPM}$ $(Mg/Ca)_{SPM}$ 和 $(Al/Ca)_{SPM}$ 之间具有显著的相关性，说明粘土矿物是 SPM 的重要组成成分。此外，来自 Fe 和 Zn 富集因子（相对于 Al）的证据及其与 $\delta^{56}Fe_{SPM}$ 关系表明人为活性的 Fe 输入非常有限。我们认为长江流域 $\delta^{56}Fe_{SPM}$ 的空间变化反映的是流域尺度大陆风化类型和强度变化，即风化过程中次生含 Fe 矿物的形成导致了 Fe 同位素发生分馏。这种解释得到了化学风化指数（CIA）与 $\delta^{56}Fe_{SPM}$ 相关关系的支持。相比之下，溶解态 $\delta^{56}dFe$ 具有更大的变化范围（-1.51‰至 0.20‰），同时 dFe 浓度也显示两个数量级的变化（7-146 nmol/kg）。我们再次发现人类活动对溶解态 $\delta^{56}dFe$ 和 dFe 浓度的影响有限。相反，控制 $\delta^{56}dFe$ 的主要因素是 Fe 在突然和河流运输过程中，重 Fe 同位素不同程度地富集在次生颗粒物中（如 Fe 氧化物）。这与中上游至下游溶解态 $\delta^{56}dFe$ 和 dFe 浓度均呈现降低的趋势一致，并在靠近河口的河段达到最小值。

总体而言，我们新的数据证实了 Fe 同位素可以作为示踪大型河流系统中矿物溶解、运输、次生矿物形成过程中 Fe 来源及其迁移转化的重要地球化学工具，这对进一步利用 Fe 同位素手段制约构造和气候驱动的大陆风化过程具有重要意义。

S27-P-18

大河纵剖面形态控制沉积物物源模式

Fangbin Liu[1]，Junsheng Nie[1*]，Jing Yang[1]，Zhongbao Zhang[1]，Xiaoming Shen[2]

1 Lanzhou University,College of Earth and Environmental Sciences

2 Ministry of Emergency Management of China,National Institute of Natural Hazards

* jnie@lzu.edu.cn

Knowledge of sediment storage and dispersal pattern in large rivers is crucial for addressing many scientific issues ranging from sedimentary provenance shifts and region's environmental changes. Several factors such as drainage basin area, channel geometry, topographic elevation, geological condition, vegetation, anthropogenic modifications, and river longitudinal profile morphology have been proposed as the dominant factor for large rivers but no consensus has been reached. Here we compared sedimentary provenance patterns of upper, middle, and lower reaches for the modern Mekong, Yellow, Yangtze, Indus, Yarlung, Zambezi, Limpopo, Danube, and Mississippi rivers with the above mentioned factors. We found that each segment’s sediments from these rivers are predominantly derived from their nearest degradational area (steep slope), suggesting that longitudinal profile morphology is a first-order factor controlling the storage and dispersal pattern for large rivers.

S27-P-19

南黄海中西部全新世地层沉积特征

仇建东[1*]，张勇[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* jiandongqiu@163.com

南黄海是典型的物源供给丰富的宽广陆架海，全新世沉积记录十分丰富，具有分辨率高、空间分布不连续和沉积记录片段性等特征。根据近年来在南黄海采集的大量高分辨率浅地层剖面资料，结合多个钻孔的岩性特征和 AMS^{14}C 测年数据，较为系统地精细揭示了南黄海全新世沉积的时空分布特征。根据沉积体空间分布范围、成因机制和物质来源，南黄海全新世沉积可划分为四个独立的沉积体，呈现出不同的声学反射特征，主要为加积进积反射、平行或透明弱反射、中高角度进积反射和中高角度倾斜-斜交反射。根据估算，河流物质输入约占到南黄海全新世沉积总量的 78%，其他物质来源主要为海侵过程中强的海洋动力侵蚀、改造和再分配的底床物质。本文的研究可为厘清南黄海全新世沉积体精细演化过程的动力学机制研究提供更多可靠的证据。

S27-P-20S

长江入海沉积物稀土元素在河口区的再释放机制

郭俊杰[1]，苏妮[1*]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* nsu@tongji.edu.cn

稀土元素（REE）在大陆风化过程中以溶解态和颗粒态通过河流向海搬运。但由于河流溶解态稀土元素在河口区的大量清除（95%），对海水稀土元素的贡献有限，而随河流搬运到边缘海的风化物质（沉积物）在河口区大量沉积，在大陆边缘地区沉积物-海水的界面交换受到越来越多的关注，成为海水中稀土元素的重要来源，但这一释放过程的具体机制还缺乏从沉积物到孔隙水的系统研究。我们以长江口-东海这一典型大陆边缘作为研究区，由于长江入海泥沙是东海陆架沉积物的主要来源，本研究针对长江入海控制站大通站的悬浮物，采用化学顺序提取法分析稀土元素在不同化学相态的分配特征，结合已发表的长江口-东海短柱样孔隙水的稀土元素数据，尝试探讨长江口沉积物稀土元素再释放过程和机制。

结果表明，长江入海沉积物的稀土元素主要赋存在残渣态（63.4%），Fe 氧化物结合态（8.7%）、有机结合态（8.5%）、Mn 氧化物结合态（3.9%）中。其中，在 Mn 氧化物、Fe 氧化物和有机结合态中均为中稀土富集型（MREE/MREE*分别平均为 1.69、1.59 和 1.91），这与东海短柱样孔隙水中某些层位的中稀土富集（MREE/MREE*平均为 1.10）特征一致，表明这些组分均可能成为孔隙水 REE 的来源，且它们的释放均可能造成孔隙水富集中稀土（MREE）。此外，在有机结合态中 REE 为重稀土富集型（HREE/LREE 平均为 1.22），这与东海短柱样孔隙水所有层位的重稀土富集（HREE/LREE 平均为 4.28）特征相似。因此，我们推断有机质的降解释放是造成孔隙水更加富集重稀土（相比于上层海水）的主要原因之一。但是，在沉积物 Fe（或 Mn）氧化物结合态以及有机结合态向孔隙水释放 REE 的过程中，由于稀土元素本身之间地球化学性质的差异，释放过程中是否存在分馏，这值得通过进一步的模拟实验进行研究。

S27-P-21S

基于放射性核素指纹技术的沉积物源识别应用探索

张帆[1]，林武辉[1*]，余克服[1]，杜金秋[2]，莫珍妮[3]，李英花[3]，何贤文[4]

1 广西大学海洋学院 广西南海珊瑚礁研究重点实验室，广西南宁 530004

2 国家海洋环境监测中心，辽宁大连 116023

3 广西海洋研究院，广西南宁 530022

4 广西壮族自治区辐射环境监督管理站，广西南宁 530022

* linwuhui8@163.com

物质来源是沉积物“源-汇”过程研究的关键科学问题；沉积物源识别技术也是沉积地球化学的重要研究范畴，常见工具包含常量元素、微量元素、稀土元素、稳定同位素、有机标志物等一系列地球化学代用指标。虽然放射性核素可用于指示沉积物的物质来源、搬运、沉积、扰动、再悬浮等过程，但是放射性核素在沉积地球化学代用指标体系中的相关探索仍然较为缺乏。本研究系统整理汇总和测量分析黄河流域、长江流域、珠江流域的土壤和临近河口海区的海洋沉积物中放射性核素（^{238}U、^{226}Ra、^{228}Ra 和 ^{40}K），探索基于放射性核素的一维视角下活度特征、二维视角下核素对与活度比值、三维视角下三角图解的指纹表征技术，识别沉积物中不同物质的来源特征。本研究强调三维指纹表征技术——基于核素活度的 ^{238}U-^{232}Th(^{228}Ra)-^{40}K/10 三角图解可以综合展示三种放射性核素的活度大小、组成比例、空间分布等信息，指出 ^{238}U-^{232}Th(^{228}Ra)-^{40}K/10 三角图解可能是沉积物源识别的一种优化方法，可为沉积地球化学研究中的现有代用指标工具库提供有益补充，以期应用于流域-海域连续体的源汇过程研究和环境演变重建。

S27-P-22

早新生代古红河演化

颜茂都 [1*]

1 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

* maoduyan@itpcas.ac.cn

古红河被认为是一条连接青藏高原-西扬子与南海的大型河流，但对其形成演化历史仍存在争议。如，一些研究认为，其在中中新世之前存在，之后由于高原隆升，其上游被湄公河和长江袭夺，现代红河、黄河长江、上新世湄公河形成；也有学者认为，青藏高原东南缘在 2400 万年前的抬升，就已经导致古红河发生大型的河流袭夺事件，丢失了扬子江中段；一些这认为可能在渐新世时期，区域断裂活动等导致了古红河南流水系的瓦解；但也有些研究认为并不存在南流的古红河水系，高原东南缘现代的水系格局在始新世就已形成，等。

针对这一现状，我们团队前几年对红河断裂南侧最大盆地-思茅盆地小景谷地区的古新世-晚始新世等黑组和晚始新世-渐新世勐腊组地层，开展了详细的沉积学和碎屑锆石年代学分析，发现等黑组的碎屑锆石年龄谱以 190-240 Ma、260-280 Ma、450-540 Ma、1700-1900 Ma 和 2400-2600 Ma 等多个峰值区间为特征，而勐腊组以一个显著的 220-240 Ma 峰值区间为特征。对比潜在物源区与现代河流沉积物的年龄谱，发现等黑组的物源区可能包括可可西里块体、松潘-甘孜块体、北羌塘块体、义敦块体和扬子块体西部，与现代长江上金沙江和下金沙江段的流域较为一致；而勐腊组的物源区范围有明显的缩小，可能主要来自于思茅盆地西侧的临沧花岗岩。结合前人的剑川盆地新生代和思茅盆地中新世数据以及区域地层沉积相和其他地质证据，我们认为在古新世至晚始新世期间存在一个连结青藏高原与南海的古红河水系；其在约 35 Ma 前后，由于受哀牢山-红河断裂初始左行走滑和兰坪-思茅块体顺时针旋转的控制，失去了其北部的大部分流域，现代红河格局基本形成。

S27-P-23

HYDROGEOCHEMISTRY AND STABLE ISOTOPES CHARACTERISTICS OF SURFACE WATER ACROSS THE INDUS

RIVER BASIN, NW HIMALAYAS

Mohd Aadil Bhat[1*]，Daidu Fana[1]，Si-Liang Li[2]

1 School of Ocean and Earth Science,Tongji University, China

2 Institute of Surface-Earth System Science, School of Earth System Science, ,Tianjin Uiversity, China

* aadilgeo@tongji.edu.cn

Stable isotope signatures ($\delta^{18}O$ and δD) and hydrochemical study of surface water (90 samples) in the Himalayan catchment are essential for refining the sources of moisture and chemical weathering processes. The hydrogeochemical facies of the surface water is primarily of HCO_3^- and Ca^{2+} type. $Ca^{2+}$and HCO_3^-were identified as the dominant cation and anion, respectively.The chemical weathering rates of silicate and carbonate were estimated to be 6.0 and 70.1 t km^{-2} a^{-1}, with atmospheric CO_2 consumption rates of 91 × 103 and 503 × 103 mol km^{-2} a^{-1}, respectively. Interpretation and analysis based on new stable isotope measurements show that the key source of moisture in the studied river basin was mainly from westerlies and southwest monsoons. We have derived the Local meteoric water line (LMWL), indicating the meteoric origin of the water and insignificant evaporation in the basin.

S27-P-24S

华南流域细粒沉积物的化学风化强度影响因素：以珠江片流域为例

杨梦林 [1,2]，黎刚 [1,3*]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* gangli@scsio.ac.cn

硅酸盐风化通过调节大气 CO_2 的含量，对于地质时间尺度气候调节起着关键作用。基于风化-气候之间的关系，多种化学风化强度指标被用于古气候重建研究之中。河流沉积作为风化过程重要“参与者”与“记录者”，保存了流域风化的重要地质记录。珠江作为华南地区最大的河流，也是南海北部重要的沉积物源，对于南海沉积演化具有指示作用，同时丰富的细粒沉积物也记录了流域基岩风化的重要信息。前人对华南热带/亚热带强风化地区的细粒河流沉积物开展了大量的粘土矿物、地球化学特征分析，研究不同流域的物源标志以及对化学风化的响应。虽然常用的化学风化强度指标（CIA、WIP、K/Na、$\alpha^{Al}E$、Rb/Sr）的可靠性被认为会受到分析样品的粒度组成、水动力分选影响，然而在华南热带地区还没有相关的基于分级组分化学组成的实证研究。

我们通过对珠江片流域细粒沉积物（<2μm; 2~31μm）的地球化学组成和粘土矿物分析研究，讨论了水动力分选、再旋回沉积、基岩、气候因素对化学风化强度的影响。结果表明，珠江流域沉积物主量元素中，Ti 在不同粒级沉积物之间的分异最小，Al、P 相对富集于粘土组分（<2μm），其余元素则在不同河流中显示不一致的富集规律。常见化学风化强度指标 CIA、WIP、K/Na、$\alpha^{Al}E$、Rb/Sr 显示受到明显的水动力分选的影响，$\alpha^{Al}E$ 在不同粒级均显示了 Na> Ca> Sr> Mg> Ba≈ K> Rb> Cs 的迁移序列，表明水动力分选在相同粒级的沉积物内的影响可以抵消。CIA-WIP 图解显示粘土组分符合流域当前风化特征，表明珠江流域处于中-强风化状态，而细粉砂组分受到了再旋回沉积和元素分异的影响。Sc/Th-CIA 图解显示，粘土组分风化强度受流域基岩的影响显著，并且具有一定继承性。结合 CIA 与 40 年平均降雨量和温度之间的关系（1976~2015），粘土组分风化强度主要受温度影响，而细粉砂组分

风化强度与气候因素之间的相关性较差。按流域主导基岩类型划分，玄武岩区风化强度受温度控制更显著，而花岗岩区主要受降雨量控制，并且呈现负相关的关系，表明过高的降雨量使得过水断面不能及时排水，从而导致水体长时间滞留，风化产物不易从剖面中移除，降低风化强度。综上，化学风化强度指标受环境等影响因素复杂，在使用其重建古气候时要谨慎。

S27-P-25

近千年来黄河南迁对长江三角洲北部形成的定量贡献

王峰[1,2*]，张卫国[2]，赖忠平[1]，年小美[2]，汪飞[3]

1 汕头大学，理学院

2 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

3 汕头大学，工学院

* fengwang@stu.edu.cn

河口三角洲是地球表层物质循环的重要区域，在河流输沙量大幅减少的背景下，认识近千年以来的沉积过程与物质来源，对预测三角洲未来演变趋势和三角洲可持续发展至关重要。过去认为近代长江三角洲沉积物主要来自长江流域，近期发现海洋沉积物的陆向运移和沿海相邻河口的远程影响也不容忽视。黄河在 1128 至 1855 年间“夺淮入海”，期间黄河沉积物对长江三角洲的形成有无贡献？若有，其贡献量有多大？这些科学问题有待解答。本研究以长江三角洲启东地区北新（BX）、庙桥（MQ）和王鲍（WB）三个晚全新世钻孔（约 25 m 长）、长江主要输沙支流（金沙江、嘉陵和汉江）和废黄河三角洲表层沉积物为研究对象。首先，通过光释光测年和粒度指标，重建了该区域的地貌演化过程。其次，对全样和分粒级样品进行系统的环境磁学分析后，结合地球化学指标，发现南部的 BX 孔沉积物更接近汉江，最北部的 WB 孔更接近黄河故道，且存在自南向北黄河贡献增大的趋势，尤其在<16μm 和 16-32μm 粒级最为明显。最后，利用机器学习方法在特征提取和特征选择方面对现有指纹识别技术进行了改进，提出了一种基于稀疏表示的沉积物指纹识别方法（Sparse Representation-based Sediment Fingerprinting，SRSF），在此基础上定量计算了近千年来黄河南迁对长江三角洲形成的贡献。研究结果表明，约 400 年前黄河治理采取“束水攻沙”策略后，细颗粒（<32 μm）黄河沉积物经苏北沿岸流南下，受涨潮流影响向陆运移，对启东地区的三角洲发育产生了重要影响。黄河沉积物在粘土-细粉粒（<16 μm）粒级和中粉粒级（16–32 μm）中分别贡献了 19.3 ± 5.8%和 23.5 ± 9.2%。本研究揭示了沿岸河流对邻近三角洲的远程影响，为百年尺度沉积事件对地貌演化的影响研究提供了借鉴。

S27-P-26S

15 万年以来孟加拉湾沉积物磁学性质对南亚源-汇过程中环境变迁的响应

官玉龙[1,2]，陈亮[3,4]，章钰桢[1,2]，陈龙[1,2]，周良[1,2]，殷征欣[3,4]，姜兆霞[1,2*]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统教育部前沿科学中心，海底科学与探测技术教育部重点实验室，海洋地球科学学院

2 崂山实验室，海洋地质与环境功能实验室

3 自然资源部南海局，国家海洋局南海调查技术中心

4 自然资源部南海局，自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室

* jiangzhaoxia@ouc.edu.cn

海洋沉积物中的碎屑磁性矿物主要经由河流、洋流或者风由陆地运输、沉积到海洋，因而磁性特征被广泛用于追踪源区的环境气候变化和沉积过程中的动力学特征。然而，磁学性质在用于揭示复杂的源-汇过程中的环境转换时往往充满不确定性，如何有

效提取磁记录中的环境效应是环境磁学研究的一个重点。所以，为了准确揭示南亚-孟加拉扇的源-汇过程中磁学信号所指示的环境变化，本文在前人研究的基础之上，选取孟加拉湾南部东经 90°海岭上 CJ04-50 孔（5.13° N, 89.07° E, 水深 3361 m），系统进行的环境磁学、古地磁学以及地球化学研究。首先，结合 ^{14}C 年龄和相对古强度（RPI）记录，建立了该孔 15 万年以来的千年-轨道尺度上高分辨率的年龄框架。环境磁学结果显示，该孔的主要载磁矿物为细粒的准单畴（钛）磁铁矿，磁性学参数变化显示，除~110-85 ka 外，其总体上具有冰期含量高而粒径粗，间冰期少而细的特征。地球化学结果中 La-Th 值的范围集中，并与恒河-布拉马普特拉河和伊洛瓦底江 La-Th 值范围相似，这与临近 ODP 758 孔物源结论相一致：恒河-布河体系和伊洛瓦底江输送了该区的主要陆源碎屑物质。同时，我们磁记录中的粒径参数（ARM/SIRM）与风化指标如 CIA，K/Al 和蒙脱石/（伊利石+绿泥石）比，具有很好的可对比性，进一步支持了前人认为的磁性矿物粒径可以指示印度夏季风影响的源区化学风化在冰期（间冰期）减弱（增强）的观点。磁性矿物含量指标（χ）变化在孟加拉湾全区具有高度一致性，且变化趋势与中国黄土、印度陆地土壤呈反相关。在对比河口淡水输入和孟加拉湾 $CaCO_3$ 产率后发现，χ 减弱可能与间冰期源区降水增多引起的河流淡水输入量增加、孟加拉湾水体垂直分层加强而导致的底层环境缺氧，磁性矿物溶解相关。而~110-85 ka 的磁性矿物强烈溶解，可能是在 MIS 5 大暖期，更强的水分层、更多有机碳输送到深海，以及海岭的屏障等多种环境因素共同耦合导致的。类似的环境在地中海和一些水深较深的古湖泊中也已有报道。在此分析之上，我们还将磁学记录与其他指示亚洲季风指标进行了比较：χ 与印度夏季风记录吻合，同时具有~23 ka 岁差和~41 ka 倾角周期；ARM/SRM 记录显示，印度夏季风的快速变化与北大西洋地区的海因里希冷事件也同步发生。

S27-P-27S

末次冰期以来巽他陆架陆坡沉积环境对海平面变化的响应

王辉 [1]，李超 [1*]，陈俊飞 [1]，贾国东 [1]，杨守业 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* cli@tongji.edu.cn

末次冰期时巽他陆架大部分区域出露对陆坡沉积环境有重要的影响，本文通过分析巽他陆架陆坡 17964-3 钻孔末次冰期以来钻孔沉积物主微量元素和 Sr-Nd 同位素的组成，揭示南海南部巽他陆架末次冰期以来陆源沉积物的地球化学特征记录及其控制因素。研究结果显示钻孔全新世与末次冰期 Sr-Nd 同位素组成存在明显的差异。结合巽他陆架周围河流现代河流沉积物 Sr-Nd 同位素端元特征，我们认为海平面变化是影响南海南部物源区变化的重要因素，在高低海平面变化过程中沉积物有不同的物质来源。过去 23 kyr 以来巽他陆坡的沉积环境演化可分为 3 个阶段：（1）23.0-18.0 kyr，钻孔以低的 Sr 和高 Nd 同位素组合为特征。该阶段对应于低海平面时期，陆架暴露，钻孔靠近古巽他河口，来自西部巽他陆架（具有较低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和高 εNd 值）沉积物通过古巽他河冲刷输送至钻孔处；（2）18.0 -11.8 kyr，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值逐渐升高而 εNd 值逐渐降低对应于海平面快速上升期，古巽他河中下游迅速被海水淹没，陆架向钻孔区输送的物质减少；周边岛屿河流（主要为湄公河）输入的物质占比持续增加；（3）11.8 kyr 以来，随着海平面不断升高，巽他陆架逐渐被海水淹没，古巽他河消失，东亚夏季风和洋流的影响增强，这时来自湄公河和红河流域的陆源输入的影响加强，此时钻孔沉积物表现为更负的 εNd 值。本文对巽他陆架陆坡钻孔沉积物来源的研究说明，沉积物搬运和沉积模式主要受海平面变化、冰期陆架暴露和南海表层洋流的共同影响，该结论有助于我们对

巽他陆架物质循环和古环境演化的进一步认识。

S27-P-28S

末次间冰期以来鄂霍次克海西南部陆源物质演化及意义：SR-ND 同位素的证据

王安琪[1,3]，姚政权[1,2*]，石学法[1,2*]，邹欣庆[3]，王昆山[1,2]，邹建军[1,2]，刘焱光[1,2]，吴永华[1,2]，Sergey Gorbarenko[4]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

3 南京大学，地理与海洋科学学院

4 V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute,Far East Branch of Russian Academy of Science

* yaozq@fio.org.cn

* xfshi@fio.org.cn

鄂霍次克海是西北太平洋的第二大边缘海，作为亚洲大陆和西太平洋的过渡地带，其巨厚的沉积物记录下了有关海冰演化、大气环流以及水团变化等信息，是研究“海-陆-气-冰”相互作用以及“源-汇”过程的天然的实验场。然而，由于海冰、河流和火山的输入，鄂霍次克海的沉积物来源和运输过程复杂。目前，该海域的沉积物源区变化历史尚不清楚。为了重建鄂霍次克海西南部的沉积物物源变化，我们研究了重力岩芯柱 LV55-40-1 和表层沉积物中碎屑相的 Sr 和 Nd 同位素组成变化。结果表明，鄂霍次克-楚科奇火山带（北部陆架）、阿穆尔河和萨哈林岛是三个主要物源区。在间冰期期间，由于西伯利亚高压(SH)减弱并向亚洲大陆西移，阿留申低压(AL)增强并且向堪察加半岛东部移动，东北和东南地转风抑制了西部海冰的运移，有利于携带了北部陆架火山物质的海冰向研究区移动，使得鄂霍次克-楚科奇火山带火山物质的贡献占主导地位。冰期期间，SH 增强并且向亚洲大陆东部移动，AL 减弱并且移动至东北太平洋，西北地转风使得携带了阿穆尔河和萨哈林岛物质的海冰向研究区运移。同时，OSIW 增强，携带了更多的阿穆尔河物质。因此，来自萨哈林岛和阿穆尔河的陆源碎屑对研究岩芯的贡献增加。此外，~31 ka 的沉积物可能是北海道 Mashu 火山喷发形成的 T 火山灰层，~27 ka 的沉积物可能来自堪察加半岛 Sredinny 山的冰川崩塌带来。本研究报道了鄂霍次克海重力柱岩芯的 Sr-Nd 同位素组成变化，为进一步认识沉积物物源变化与古环境之间的关系提供了新的思路。

S27-P-29S

北极地区晚第四纪以来的大陆风化记录及对气候变化的响应

陈金牛[1]，李超[1*]，肖文申[1]，赖伟波[1]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* cli@tongji.edu.cn

大陆硅酸盐风化作用是维持地球碳循环平衡和宜居性的关键过程之一。目前，长时间尺度大陆风化过程与气候变化之间的响应机制仍存在争议，尤其是对高纬寒带地区的风化特征研究较为薄弱。本研究通过对中国第五次北极科学考察采集的东西伯利亚海 ARC5-ICE6 钻孔进行主微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学分析，得到以下几点主要认识：（1）ARC5-ICE6 钻孔在 MIS 13 以来细粒陆源组分供应稳定，主要来源为东西伯利亚地区和周边陆架沉积物质的再搬运；（2）北极地区由于受到冰盖磨蚀和裂纹作用的影响，ARC5-ICE6 钻孔沉积记录的风化强度 CIA 平均为 71，高于勒拿河等北极河流沉积物的 CIA，为中等风化程度；（3）自 MIS 13 以来，ARC5-ICE6 钻孔记录的化学风化程度 CIA 与深海氧同位素变化有较好

的对应关系，温度较低时对应了较弱的化学风化强度；而当温度较高时，化学风化强度增加。以上结果表明，在极地低温地区气候变化对大陆风化仍然具有显著的影响，温度仍然是主导化学风化强度的重要因素。本研究丰富了亚洲大陆风化在极地边缘海地区的记录，为新生代以来大陆风化调控机制研究提供了新的证据。

S27-P-30

河流输运过程铷同位素分馏特征与控制机制探讨

张卓盈[1]，马金龙[1*]，叶丰[1]，王志兵[1]，张超[1]，韦刚健[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所， 同位素地球化学国家重点实验室

* jlma@gig.ac.cn

* gjwei@gig.ac.cn

铷是重要的战略金属资源，也是深部和浅表等过程物质循环的良好示踪剂。新近发展起来的 Rb 稳定同位素体系则极大加强了 Rb 在地质过程中的示踪能力，然而由于相关的研究较少，对于 Rb 同位素在深部和浅表等诸多地质过程中的变化特征与控制机制的认知还比较欠缺。当前研究发现海水 Rb 同位素组成约为+0.14‰，相对于整体硅酸盐地球（δ^{87}Rb 约为-0.12‰）具有显著偏重的 Rb 同位素组成，但造成这一现象的原因有待进一步探索。考虑到河流是陆地向海洋输送 Rb 的最重要渠道，本项目选取珠江流域作为研究对象，对东江至珠江口海区主要控制点的河水进行了 Rb 元素和同位素组成分析。结果显示，东江流域中溶解态的 Rb^+ 主要来自硅酸盐风化，而珠江口海区 Rb 元素的浓度变化主要受到海水端元的控制。根据华南地区最具代表性的佛冈花岗岩风化剖面附近的溪流水样的 Rb 同位素年平均值，我们推测花岗岩风化输入河水的起始 Rb 同位素组成约为-0.22‰，采集自东江支流边一处山泉水的 Rb 同位素组成也是-0.22‰，佐证了这一观点。东江至珠江口海区干流的 Rb 同位素组成变化超过 0.4‰（-0.24‰~0.20‰），表明河流输运过程会产生显著的 Rb 同位素分馏。其中，东江流域干流水样的 Rb 同位素组成自上游至下游呈现出先变重后变轻的类似“回旋镖”的变化特征，而珠江口海区的 Rb 同位素组成则呈现出自河入海逐渐变重的趋势。我们推测东江流域 Rb 同位素组成的变化可能是受到了次生粘土矿物形成、吸附以及生物活动等多种因素的控制，而珠江口海区的 Rb 同位素组成变化主要受到了海水混合作用的影响。东江流域干流水样的 Rb 同位素组成平均值为-0.15‰，高于花岗岩风化输入河水的起始 Rb 同位素组成，说明河流是造成海水 Rb 同位素组成偏重的原因之一。

S27-P-31

中全新世以来长江口外水团相互作用模式及泥沙源汇动力意义

赵宝成[1*]

1 上海市地质调查研究院，《上海国土资源》编辑部

* bczhao@sigs.com.cn

长江口外水团相互作用模式对于作为东中国海泥沙源和汇的枢纽长江水下三角洲泥沙的捕获起到了至关重要的作用。目前我们具备类似现代潮流场的全新世高海面阶段长江冲淡水与陆架水团的详细相互作用过程及调控机制和水屏障效应知之甚少。本次研究通过补充新的高分辨率有孔虫分析，比较了长江口外不同地点全新世高水位体系沉积物中有孔虫记录的 7ka 以来的水团演化时空模式。结果显示 2.3 ka 以前长江冲淡水（YDW）主要与黄海沿岸水（YSCC）与相互作用作用，随后主要与台湾暖流（TWC）相互作用。YSCC、TWC 和 YDW 有孔虫指标变化显示气候控制下的黄海冷

水团（YSCBW）和黑潮（KC）及长江径流量间的相对强度变化调节了长江口外水团的相互作用模式。值得强调的是，YSBW 和 YSCC 的强度和路径对长江口外水团模式和水屏障效果起到了至关重要的作用。7-5 ka 强盛的 YSCBW 和 YSCC 压制了 TWC 的近岸入侵而控制了大多数长江口外底层水，造就了冬季温度锋和夏季冷水团捕获泥沙的动力机制；随着 5-2ka YSCBW 减弱和 YSCC 的北撤，长江口外由早至晚、自南向北出现了百年-几百年的短暂高沉积速率。本次研究发现对于未来全球变暖和海面上升情景下长江口外水动力和淤积趋势的预测提供了新的视角。

S27-P-32

亚洲河系演化：源汇过程与环境记录

杨守业[1*]，颜茂都[2]，万世明[3]，马金龙[4]

1 同济大学

2 中国科学院青藏高原研究所

3 中国科学院海洋研究所

4 中国科学院广州地球化学研究所

* syyang@tongji.edu.cn

青藏高原隆升是新生代最重要的地质事件之一，高原隆升的环境效应一直是地球系统科学和全球变化研究的热点与前沿领域。高原隆升和亚洲边缘海扩张塑造了世界上规模最大、最活跃的大河源汇系统。经典的“抬升风化假说”认为，高原隆升促进硅酸盐风化、消耗大气 CO_2，引起新生代变冷；蒙古高原隆升驱动西伯利亚水系重组可能是北极冰盖形成的重要机制，但这些观点都缺少直接的、量化的地质记录。而且新生代亚洲主要河系演化历史、源汇过程演变、流域剥蚀风化的模式和控制机理仍不清楚；与发源于青藏高原大河相关的沉积物低地再风化和有机碳埋藏的碳汇效应可能被严重低估，这些大河流域剥蚀风化的模式和控制机制仍不清楚。厘清发源于亚洲不同的大河源汇系统风化剥蚀过程及其碳汇效应差异，可能是破解新生代构造-风化-气候变化之谜的重要突破口，也是研究亚洲宏观地形演化和海陆表生物质循环的关键。围绕亚洲河系（尤其是源于高原的大河）演化、大陆风化、海陆沉积记录和环境演变，我们建议要加强跨学科、跨时空尺度的交叉研讨，以推动我国表生地球系统科学进展。

S27-P-33

关键带过程中的镁同位素分馏

蔡迪[1,2*]，Michael Henehan[2]，Uhlig David[2]，Friedhelm von Blanckenburg[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 GFZ German research center for geoscience

* dcai@tongji.edu.cn

以德国南部黑森林地区的一处硅酸盐岩小流域为研究对象，我们探讨了不同时间尺度上关键带过程中的镁同位素分馏行为。具体的时间尺度由长到短可分为：1）风化成土的时间尺度（千年以上）；2）生物过程的时间尺度（季度到百年）和 3）水文学的时间尺度（天到月）。对应的研究材料为：1）风化剖面全样以及分离的矿物与粘土粒级组分；2）植物与风化剖面可交换态；3）大气降水，地下水以及径流。成土过程中，副片麻岩基岩中角闪石优先风化，使得剖面的镁同位素较基岩偏正。同时，次生粘土矿物的形成使得剖面进一步富集重的镁同位素。生物过程中，植物一方面优先利用可交换态重的镁同位素，同时凋落物的溶解使轻的镁同位素回到浅层土壤的可交换态。 风化剖面可交换态镁同位素的组成变化能较好的指示植物对矿物质营养元素的循环利用。一个水文年内，流域内地下水以及河水的镁同位素值并未表现出季节变化，且其值与深部剖面可交换态的值一致。我们认为，可交换态的镁缓冲了水化学演化过程中的镁含量与同位素组成。证据为 1）模拟实验显示交

换反应发生的时间尺度很快，且交换过程中没有分馏；2）剖面深部的可交换态镁储量较大，是镁年化学风化通量的 1200 倍以上。以上的结果显示，镁同位素在不同的关键带过程中分馏行为不同，能较好的区分不同的生物化学循环过程。

S27-P-34S

沉积物贯穿雅鲁藏布江—布拉马普特拉—恒河流域的搬运效率

于名扬[1*]，刘志飞[1]，赵玉龙[1]，林宝治[1]，H.M. Zakir Hossain[2]，Suchana Taral[3]，Tapan Chakraborty[4]，Christophe Colin[5]，韩中鹏[6]，王成善[6]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Jashore University of Science and Technology,Department of Petroleum and Mining Engineering

3 Pondicherry University,Department of Earth Sciences

4 Indian Statistical Institute,Geological Studies Unit

5 Université Paris-Saclay，GEOPS

6 中国地质大学（北京），青藏高原地质研究中心

* mingyangyu@tongji.edu.cn

青藏高原及其孕育的大型河流贡献了全球陆地沉积物入海的~40%，这些保存在海洋盆地中的沉积物被理所应当的用于重建青藏高原及其周缘地区的侵蚀历史。然而实际上，沉积物从青藏高原至东亚/南亚边缘海的搬运效率几乎很少得到研究。为此，本研究选择青藏高原被认为能够高效搬运沉积物的大型河流——雅鲁藏布江-布拉马普特拉河-恒河河流系统，通过分析遍布整个流域最重要的沉积物组分沙的主量元素和 Nd-Sr 同位素组成，来探究现今时间尺度下沉积物从青藏高原至边缘海的搬运效率。物源分析显示，雅鲁藏布江上游和中游的沙来自青藏高原（拉萨地体）和特提斯喜马拉雅的共同贡献，而雅鲁藏布江下游-布拉马普特拉河-恒河则总体上以高/低喜马拉雅的贡献为主。通过 Nd-Sr 同位素混合模型结合蒙特卡洛模拟，我们发现孟加拉三角洲仅有~21%的沙来自青藏高原的贡献，而~69%则源自暴露于东构造结和喜马拉雅南缘的高/低喜马拉雅。我们提出，东构造结和喜马拉雅前陆盆地构成的两级构造圈捕作用致使沉积物在雅鲁藏布江中游东段和布拉马普特拉河上游发生滞留，是青藏高原沉积物无法被有效搬运至孟加拉三角洲的主要原因。此外，强烈的季风降雨促使了喜马拉雅南缘的强烈侵蚀，对青藏高原的相对贡献起到稀释作用。我们的研究表明，即便对于相对较短的沉积物路径系统而言，沉积物从青藏高原到边缘海的搬运也不是即时的，挑战了在解译沉积记录时为联系“源”和“汇”而通常做出的沉积物高效搬运的假设。

S27-P-35

长江流域近 2000 年来颗粒态物质入海通量重建与主控因素分析

高建华[1*]，盛辉[1]，吕纪轩[1]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

* jhgao@nju.edu.cn

河流是陆地和海洋的纽带，也是陆源物质进入海洋并参与全球物质循环的重要通道。流域是人类文明的发源地和人口的主要聚居区，而流域人类活动影响下，陆地和海洋间物质的来源，输污过程和通量变化是长期受到关注的热点科学问题、在此背景下，本研究以长江流域为例，根据不同时期人类活动的方式和特点，首先在千年尺度上，定量重建了人类活动影响下各人子流域植被覆盖的变化，进而重现了流域人类活动强度与产沙量间的定量关系，其次在百年时间尺度上，针对水库对沉积物和颗粒有机碳拦截

效应，及其对入海物质的来源、输运和通量影响进行了定量估算:第三，在年内时间尺度上，揭示了流域水库运行方式导致的水生环境初级生产力的变化，及其对流域颗对有机碳来源、组成和入海通量的影响。本研究有助千厘清流域人类活动对陆地和海洋间颗粒态物质循环和输运过程的影响，从而为定量解析人类活动在全球物质循环过程的作用提供理论依据。

S27-P-36

末次冰期黄河变为内流河

范念念[1*]，赵瑜琪[1]，聂军胜[3]，Jordan T. Abell[4]，安宇[1]，金章东[2]，王成善[5]，张家富[6]，刘兴年[1]，聂锐华[1]

1 四川大学，水利水电学院
2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室
3 兰州大学，地球环境科学学院
4 亚利桑那大学，地球科学系
5 中国地质大学（北京），地球科学学院
6 北京大学，城市与环境科学学院
* fanniannian@scu.edu.cn

黄河发育演变对黄土高原的源汇过程，海陆碳循环及气候变化，乃至人类文明变迁都有着重要意义，区域性地质构造运动以及全球性气候变化也导致黄河水系格局复杂多变。近几十年来，黄河流域断流频繁发生，而地质历史时期黄河是否发生过大规模、长时间尺度的断流事件仍知之甚少。研究通过对河套-吉兰泰地区湖相相沉积物以及晋陕峡谷上段河流阶地沉积物的详细调查，结合地球碎屑锆石物源分析，化学元素（主微量、锶同位素），光释光、电子自旋共振、14C和铀系等多种年代学等方法，证明在干冷的末次盛冰期（~2 万年前）黄河上游水量减少，吉兰泰古湖作为其尾闾湖，水体大量蒸发损耗以致未能流出河套盆地；全新世早期黄河重新贯通，但吉兰泰古湖仍黄河补给，直至~5.6ka 之后吉兰泰古湖不再受黄河补给，萎缩为现代盐湖。此外，研究初步推测出 50 万年以来河套-吉兰泰古湖的演化进程，结果显示：（1）L5 期间，气候干冷条件下黄河水量急剧减少，强烈的风沙活动使得河套盆地与晋陕峡谷交界堆积沙坝，阻塞黄河，逐渐发育河套-吉兰泰古湖。随着气候波动，古湖总体上呈“间冰期扩大，冰期萎缩”的演变模式，但始终为内流湖，并在河套盆地东部发育了大量的芒硝矿；（2）S1 初期（12.8 万年），气候急剧变得温暖湿润，河套-吉兰泰古湖逐渐外溢，黄河贯通，河套古湖大部分消失而西部的吉兰泰古湖一直存在至 5.6ka。研究旨在探究黄河演变过程中对气候变化的响应，尤其是揭示了干旱半干旱地区的河流可能在轨道尺度存在多次解体及重新贯通过程。

S27-P-37S

碳酸盐 SR-硅酸盐 ND 同位素揭示晚中新世祁连山的快速隆升

严忠义[1,2]，杨一博[1*]，杨戎生[1]，刘玉东[1,2]，方小敏[1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所
2 中国科学院大学，资源与环境学院
* yangyibo@itpcas.ac.cn

祁连山作为青藏高原向东北方向扩展生长的前缘地区之一，其构造隆升不仅塑造了区域构造地貌及流域水系格局，也对亚洲季风-干旱化-风尘系统产生巨大的影响。前人通过古高度重建、盆地分析和低温热年代学研究在祁连山的隆升期次、地形变化和剥蚀速率等方面取得很大进展，但是依然缺少综合反映流域碎屑颗粒和溶解物质源-汇特征的沉积物指标对流域水系演化进行恢复。本文选择位于柴达木盆地东北部祁连山前的怀头塔拉剖面开展碳酸盐 Sr-硅酸盐 Sr 和 Nd 同位素分析。该剖面沉积了巨厚的新生代湖相沉积物，且含丰富的生物化石，高精度古地磁及生物化石限定盆地的沉积序列

形成于 15.7- 1.8 Ma。分析结果显示～10 Ma 碳酸盐（醋酸溶解态）以及硅酸盐（醋酸不溶物）$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值显著升高而硅酸盐 ε_{Nd} 显著降低。结合现代各类水体、地表沉积物及基岩碳酸盐和硅酸盐 Sr-Nd 同位素特征，这可能揭示祁连山在～10 Ma 经历了快速构造隆升事件。随后碳酸盐（醋酸溶解态）以及硅酸盐（醋酸不溶物）$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值在～5 Ma 显著降低而硅酸盐 ε_{Nd} 显著升高，并且碳酸盐 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值接近现代区域河湖水体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值，可能暗示～5 Ma 的祁连山构造活动导致类似现今的流域水系格局基本形成。

S28-O-1

地球初始活性氧的起源

何宏平[1*]，朱建喜[1]，吴逍[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所

* hehp@gig.ac.cn

氧气（O_2）是人类与动物呼吸的必需物质，但在早期地球大气中几乎没有氧气，直至第一次大氧化事件（The Great Oxidation Event，24.5–23.3 亿年前）之后，大气中才开始有氧气的积累，此后出现了真核生物等复杂生命。因此，地球初始活性氧（ROS，如 O_2、H_2O_2 等）的起源是解译地球宜居性演变与生命进化的关键。

本研究以沉积物中丰度最高的矿物—石英作为切入点，通过在模拟的太古代大气环境（$P_{O2}<10^{-6}$ atm）中开展石英机械磨蚀和石英–水界面反应的实验，发现在无氧条件下石英表面可以产生充足的 ROS。太古代砂质海岸原位产生的 H_2O_2 通量可达到 4.87×10^{11} 个分子每平方厘米每秒，远高于大气光化学的 H_2O_2 通量（10^6 个分子每平方厘米每秒），足够形成和维持太古代的局部氧化环境。因此，在太古代的浅海高能水动力环境中，石英的磨蚀过程是一个具有重要地质意义的产氧途径，为蓝细菌祖先产氧光合作用的成功进化提供了关键动力。

进一步的研究发现，大多数硅酸盐矿物经机械磨蚀后均可产生 ROS，其产氧途径是硅酸盐矿物在机械外力作用下，由于 Si–O 键的均裂在其表面形成具有高反应活性的自由基（如，SiO•、SiOO•等），矿物表面的自由基与水反应即可产生 ROS。实验表明，架状结构矿物（长石和石英）中 Si–O 键更容易发生均裂并形成自由基，其 ROS 产量显著高于橄榄石、辉石等具低聚合度硅氧骨架的矿物。通过大数据汇编分析发现，在太古代时期，大陆地壳物理风化导致的 ROS 产量随地壳 SiO_2 含量的升高和构造运动的增强而显著增加，表明铁镁质地壳向长英质地壳的演变对地球宜居性有关键影响。与此同时，同位素标记实验发现，硅酸盐矿物与水之间通过界面反应发生氧原子的快速交换，地球早期分子氧主要源自硅酸盐矿物，并驱动氧的跨圈层循环。

本研究首次提出了“矿物产氧途径”，为太古代早期活性氧来源提供了一个全新视角－地质过程可能引入了具有生物学意义的 H_2O_2 和 O_2。这一重要发现颠覆了地球初始氧源于光化学反应分解 H_2O 的传统认识，并为解译太古代“氧绿洲”成因、认识岩石圈–水圈–大气圈–生物圈的协同演化等提供了新视角。

S28-O-2

PANGEA 以来陆地干旱的演化

李智博[1*]，胡永云[1]，付强[2]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

2 华盛顿大学，大气科学系

* zbli@stu.pku.edu.cn

现代陆地干旱影响着数十亿人的生活，未来全球变暖下干旱将更加严重。 前人工作集中于未来的干旱变化，而深时古气候模拟和地质证据为进一步了解陆地干旱的演化提供新的视角。 干旱和湿润区的分布对蒸发岩和煤等地质指标的存在具有重要意

义，对过去地质尺度干旱演化的系统研究将有益于科学和经济。我们使用全耦合地球系统模式 CESM 1.2.2 来研究 Pangea 超大陆以来陆地干旱的演化，结果表面干旱区面积在 2.5 亿年前（250 Ma）约占全球陆地的 56%，在 100 Ma 左右下降到约 32%，在 70 Ma 变成约 39%。 我们发现陆地干旱区总集中在副热带地区：副热带土地面积越大，干旱区面积越大。此外，半干旱区面积在 CO2 引起的全球变暖下显著扩大，这主要是由于潜在蒸散发增加。 量化分析指出陆地干旱和干旱区的地质演化主要受副热带土地面积变化(71.6%)的影响，其次受全球平均表面温度变化(21.9%)的影响。

S28-O-3

古生代时期的全球海洋经向翻转环流

袁帅 [1*]，胡永云 [1]，刘永岗 [1]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* shuai_yuan@pku.edu.cn

全球海洋经向翻转环流(GMOC)是地球气候系统中非常重要的一支环流，它可以实现跨半球的热量输送，对全球气候系统产生巨大的影响。在现代气候下，大西洋经向翻转环流(AMOC)从南半球输送了大量热量到北半球。在早古生代，海陆分布与现代差异很大。早古生代的陆地主要分布在南半球，北半球主要是被海洋覆盖，随后大陆逐渐移动，最终在 250Ma 前后形成了潘吉亚超大陆。我们利用 CESM 地球系统模式模拟了古生代时期的气候系统。模拟结果显示古生代时期的 GMOC 呈现逆时针的形态：深水主要在南半球形成，并且在北半球上升，这与现代的情况是相反的。古生代时期逆时针的 GMOC 主要是由风应力与淡水输入的半球不对称导致的。北半球更强的风应力驱动了更强的赤道外上升流，南半球更少的淡水输入使得南半球海洋更咸更重，有利于南半球深水的形成。风应力与淡水输入的半球不对称性是由于海陆分布的半球不对称性导致的。

S28-O-4

过去 2.5 亿年哈德雷环流的变化：大陆和气候演化的作用

张诗妍 [1]，胡永云 [1*]，杨军 [1]，康婉莹 [2]，李想 [1]，韩晶 [1]，郭佳琦 [1]，林琪凡 [1]，张健 [1]，刘永岗 [1]，聂绩 [1]

1 北京大学，大气与海洋科学系

2 麻省理工学院，地球、大气和行星科学系

* yyhu@pku.edu.cn

哈德雷环流（HC）是全球大气环流重要的组成部分，其上升支对应着赤道辐合带和热带雨带充沛的降水，而在其下沉支的影响下两个半球副热带出现干旱区。现有研究普遍认为，未来随着温室气体浓度增加，全球变暖将导致 HC 强度逐渐减弱、下沉支向极地扩张，这种变化将使得热带水循环减弱、副热带干旱区向极地扩张。而在过去在百万年尺度上 HC 如何变化尚不清楚。本文基于 CESM1.2.2 气候模式的模拟结果，研究了过去 2.5 亿年 HC 的变化。研究发现，在大多数比现代更暖的古气候时期，年平均 HC 比现代更弱且更宽。年平均 HC 的强度和边界纬度分别与全球平均温度呈负相关和正相关关系。自 250 百万年前（Ma）至现代的变冷-变暖-变冷期间，HC 总体上表现出增强变窄-减弱加宽-增强变窄的变化，强度和边界纬度的变化分别与热带和中纬度静力稳定度的变化有关。但由于大陆演化的影响，冬季平均的 HC 变化在某些时期偏离了上述与全球平均温度变化间的线性关系，冬季 HC 强度和边界纬度分别与副热带和中高纬度大陆面积有关。在 250 Ma～170 Ma 时期，较大的南半球副热带陆地面积增强了跨赤道北半球冬季 HC，而在 130 Ma～100 Ma 时期较小的北半球副热带陆地面积削弱了跨

赤道南半球冬季 HC。在 250 Ma～230 Ma 时期，北半球中高纬度陆地面积显著减少，使得北极地面增温显著，中纬度稳定度减小，因此北半球冬季 HC 比现代更窄。上述结果表明，大陆和气候演化对 HC 有重要影响。

S28-O-5

中生代早期盘古大陆的低纬气候研究

包秀娟 [1]，郭佳琦 [1]，胡永云 [1*]

1 北京大学，物理学院

* yyhu@pku.edu.cn

盘古大陆的低纬区域在中生代早期，三叠-侏罗纪，被认为盛行干旱气候。这一说法的主要依据是盘古大陆的低纬区域缺乏煤等代表潮湿气候的指标，缺乏铝土矿、高岭土矿等代表强烈化学风化作用的指标，广泛分布了蒸发岩、沙丘地貌等代表干旱的气候指标。一般认为，来自海洋中的水汽难以进入巨大的盘古大陆内部是造成低纬的干旱区的原因。当时低纬的干旱连结了南北纬副热带干旱带，造成了全球大面积干旱的现象。

植被很大程度的影响和调节了全球气候，但植被因素对这一时期气候的影响并未受到重视。本文将地球气候系统模式 CESM 1.2.2 结合植被模式 Biome4，模拟了当时的全球气候和古植被。我们将气候模拟结果与煤、铝土矿、蒸发岩等气候指标做对比，提出盘古大陆低纬的干旱现象，并不仅是盘古大陆内部缺乏水汽来源引起的，古植物对高温的不耐受性对这一系列的地质现象的发生有重要作用。

S28-O-6

炎热和干旱的潘吉亚超大陆时代：显生宙全球水循环的一个特例

胡永云 [1*]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* yyhu@pku.edu.cn

多气候模式模拟结果表明，在现代全球变暖条件下，全球大气水汽含量和降水增长率分别为 7.5%/K 和 2.3%/K。在整个显生宙，全球平均温度变化幅度超过 10 K，大气水汽含量和降水变化幅度如何？这是显生宙全球水循环的一个关键问题。我们的系列气候模拟表明，显生宙全球水汽含量和降水变化率分别是 10.5%/K 和 2.4%/K，稍高于现代全球变暖的水汽和降水变化幅度。

但我们的模拟结果表明，在潘吉亚超大陆时期，全球水汽含量和降水与显生宙其它暖期相比显着偏低，这意味着潘吉亚超大陆时期相对于其它暖期更为干燥。潘吉亚超大陆时期的全球平均温度大约是 25°C，大陆分布从南极延伸到北极，热带存在半开放的宽广的特提斯洋。这一特殊的海陆分布格局不仅形成了潘吉亚超级季风，也同时形成了超级干旱，两个半球副热带均为干旱区。另外，与超级季风相关的越赤道气流使得热带大陆东侧也呈干旱区，类似于现代的赤道东非干旱，而西非是热带雨林气候。因此，潘吉亚超大陆时期的干旱气候，不仅与当时的高温有关，也与海陆分布格局有关。

S28-O-7

亚洲地貌格局与景观的形成演变

鹿化煜 [1*]，冯晗 [2]，吕恒志 [1]，王翰林 [1]，张肖剑 [1]，张瀚之 [1]，王先彦 [1]，李永祥 [3]

1 南京大学，地理与海洋科学学院
2 自然资源部第一海洋研究所
3 南京大学，地球科学与工程学院
* huayulu@nju.edu.cn

亚洲地表景观体现为青藏高原的高大地形及其四周相对的低地；季风环流和西风环流的共同作用形成了亚洲东部和南部的季风湿润区、北部和西部的干旱区和青藏高原的寒区。特有的地形和气候特征，决定了亚洲的大江大河的发育和演变过程。通过对中国中部渭河盆地新生代沉积序列和喜马拉雅南部前陆盆地、阿拉伯海沉积序列的分析，结合锆石 U-Pb 年龄谱和 Sr-Nd 同位素示踪技术，发现印度河流域和渭河流域的物质源-汇体系在中始新世已经形成，进而推测流域格局、侵蚀-堆积过程已经建立。结合哺乳动物群组合、花粉植被重建、沉积记录、古气候数值模拟和气候动力分析，认为亚洲地貌和景观格局经历了始新世约 50-34 Ma 的原始期，34-2.7 Ma 的发展期和约 2.7 Ma 以来的现代地貌和景观形成期。本报告对这一认识做详细汇报。

S28-O-8

晚白垩世东亚海岸山脉气候效应模拟研究及对其古高程的约束

张健[1,5*]，刘永岗[1]，Sascha Flögel[2]，胡永云[1]，王成善[3]，张涛[4]，方小敏[5]

1 北京大学，物理学院
2 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel
3 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
4 兰州大学，地质科学与矿产资源学院
5 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室
* jzhangcn@pku.edu.cn

晚白垩世是地质历史上的典型温室气候时期，在这种温室气候背景下，亚洲干湿分布表现为南干北湿，与现今极为不同。亚洲中低纬度的干旱可能与东亚海岸山脉的隆升有关。模拟研究表明亚洲中低纬度的干旱受到东亚海岸山脉的影响。当无东亚海岸山脉或东亚海岸山脉高程只有 1 km 时，亚洲干旱区和沙漠面积较小。随东亚海岸山脉隆升，亚洲干旱区和沙漠的面积扩展到东亚。当东亚海岸山脉高程达到 2 km 时，沙漠能零星扩展至东亚；当东亚海岸山脉高程达到 3-4 km 时，沙漠呈带状扩展至海岸山脉的西侧。这主要是因为东亚海岸山脉在夏秋季是一个热源，将亚洲大陆上的水汽聚集到海岸山脉的隆升区域，因此亚洲中低纬度降水减少。此外，东亚海岸山脉的隆升会放大东亚气候对轨道的响应。基于晚白垩世沙漠的沉积记录，推测晚白垩世早期，东亚海岸山脉高程为≥2 km，该结果为东亚海岸山脉的古高程演化提供了约束。

S28-O-9

青藏高原东南缘新生代沉积盆地地层年代框架

李仕虎[1*]，邓成龙[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室
* lsh917@mail.iggcas.ac.cn

作为调节印度与欧亚大陆碰撞后陆内变形的重要场所，青藏高原东南缘新生代经历了强烈的构造变形和气候变化，形成了独特的地形地貌，发育了一系列沉积盆地和多条大型河流水系，是全球生物多样性的热点。这些沉积盆地是研究区域构造活动、河流地貌演化以及生物多样性形成过程的良好载体，而精确限定这些沉积盆地地层的年龄是研究构造、气候以及生物演化等的重要前提。然而长期以来，这些沉积盆地的年龄仅由植物叶片、孢粉或少量的动物化石限定，存在很大的不确定性，严重制约了我们对该地区

构造-气候耦合作用和生物多样性的理解。磁性地层学因其在盆地长尺度（尤其是新生代）定年方面的独特优势而成为解决这一问题的关键手段。近年来，我们对青藏高原东南缘位于走滑断裂带或造山带前陆的一系列关键盆地，如大理盆地、吕合盆地、芒康盆地等，开展了高分辨率的磁性地层学和同位素定年研究，结合部分生物地层年龄制约与国内外其他研究团队的最新成果，初步重建了青藏高原东南缘新生代沉积盆地地层的年代框架。这一新的年代学结果表明，许多以前基于植物叶片化石的“晚中新世”沉积盆地实际年龄是晚始新世，并且古近纪地层沉积大都结束于晚始新世-早渐新世，新近纪地层开始于中中新世，因此区域上缺少晚渐新世-早中新世的沉积。这一年代框架还表明青藏高原东南缘地区在晚始新世和晚中新世经历了两期快速抬升变形。这两期构造活动对区域河流水系演化和生物多样性的形成具有重要作用。

S28-O-10

中中新世东阿拉伯海上层水体结构重建 ——对南亚季风演化的启示

邹世娴 蔺冠宇 陈安然 黄月丽[1]，Stephan Steinke[1*]，Jeroen Groeneveld[2]，Liviu Giosan[3]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 台湾大学，海洋研究所

3 美国伍兹霍尔海洋研究所，地质与地球物理学

* ssteinke@xmu.edu.cn

在中中新世气候转变期间（MMCT~13-14.7 Ma），全球大气环流经历了剧烈的变化和重组。在这种情况下，人们对南亚季风的历史和发展还不太了解，仍然存在尚未解决的问题，特别是关于南亚季风的风和降雨开始和/或增强到现代强度的演变和时间。为此，我们计算了表层浮游有孔虫、混合层下层/温跃层浮游有孔虫和次温跃层浮游生物的 Mg/Ca 的温度差，以估计阿拉伯海东部 NGHP-01-01A 站点的上层海洋热梯度，从而估计上层表面水柱结构的变化，即混合层深度和跃层深度，它们是过去风强度变化的敏感诊断变量。上层水体重建显示，混合较弱，温跃层较浅，因此，在约 14.2 Ma 之后，阿拉伯海东部的上层水柱分层良好。尽管风力强度的指标记录显示，阿拉伯海的风力强度在约 14.8 Ma 至 12.9 Ma 之间增强，在所研究的时间段内，由于南亚季风降雨量的增加和低盐度水的平流导致的强盐度分层和/或阻挡层的形成可能阻止了阿拉伯海东部混合层的加深。

S28-O-11

渭河盆地中-晚始新世气候变化的碳酸盐碳氧同位素记录

王可欣[1,2]，鹿化煜[1*]，孙文峰[1]，梁承弘[1]，张红艳[1]，王逸超[1]，吕恒志[1]，王菁菁[1]，张瀚之[1]，赖文[1]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 西安交通大学，人居环境与建筑工程学院

* huayulu@nju.edu.cn

始新世全球平均温度比现在高~13 ℃，二氧化碳约为 1400 ppm，是未来气候环境变化重要的历史相似型。渭河盆地堆积了新生代以来相对完整而连续的沉积物，为研究始新世东亚环境演化提供了极好的沉积记录。本文对渭河盆地已有年代框架的始新世红河组支家沟剖面（46-33 Ma）次生碳酸盐碳氧同位素进行了初步分析。基于湖相碳酸盐 δ^{13}Ccarb 影响因素敏感性分析，本文认为土壤呼吸速率（Soil Respiration Flux: SRF）是导致红河组 δ^{13}Ccarb 变化的主要因素。重建的始新世 SRF 整体较高，平均值~215 g C/m^2/yr，指示渭河盆地中-晚始新世较为温暖湿润的气候环境。~41 Ma 后，土壤呼吸速

率阶段性降低，指示渭河盆地气候逐渐变冷变干，其趋势与全球变冷的趋势一致。尤其在~36 Ma, ~33 Ma（始新世-渐新世转型 EOT）变化幅度显著，与全球显著降温时间基本吻合。基于碳酸盐 $\delta^{18}O_{carb}$ 重建的始新世东亚地区大气降水 $\delta^{18}O_p$ 呈现西北内陆区域 δ18O*p* 偏正（~-6 ‰），渭河盆地、兰州盆地等中部区域(~-10 ‰)以及青藏高原 $\delta^{18}O_p$ 偏负（~-11 ‰）的分布特征，与现代降水 $\delta^{18}O_p$ 分布类似，表明至少在中始新世东亚地区已经形成与现代类似的夏季风环流的雏形。

S28-O-12

新生代青藏高原隆升和全球变冷对东亚气候变化的差异影响

张冉 [1*]

1 中国科学院大气物理研究所

* zhangran@mail.iap.ac.cn

新生代东亚气候变化受到青藏高原隆升和全球气候变化的共同影响，但各自的影响仍不明确。我们利用数值模拟研究方法研究了两者的作用。模拟结果显示，两者的影响存在显著差异。在始新世，高大气 CO_2 浓度导致了东亚的湿润状态，随后的全球变冷造成东亚不断变干。相比之下，青藏高原隆升是晚渐新世/早中新世东亚降水增加和内陆降水减少的重要因子。我们整合了两个地区利用古植被记录重建的古降水变化，新生代内陆区由湿变干，而东亚区是先变湿再变干的过程，转变时间发生在早中新世，模拟和记录定性一致。

S28-O-13

全球增温对亚澳季风关系的影响

许晨曦 [1*]，S.-Y. Simon Wang[2]，Krishna Borhara[2]，Brendan Buckley[3]，谭宁 [1]，赵亚茹 [1]，安文玲 [1]，Masaki Sano[4]，Takeshi Nakatsuka[4]，郭正堂 [1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 犹他州立大学

3 哥伦比亚大学

4 名古屋大学

* cxxu@mail.iggcas.ac.cn

全球增温对亚-澳季风关系以及季风-厄尔尼诺南方涛动（ENSO）的影响一直是备受关注的科学问题。本研究定量重建了过去四百年亚洲、澳洲季风区降水量的变化历史，探索增温对季风的影响。结果表明，在 1588 年到 1850 年期间（即增温前），亚洲季风和澳洲季风的年际尺度上的关系比较弱，呈现出波动性变化。此外，亚洲季风-ENSO 关系和澳洲季风-ENSO 关系在这段时间内也较弱。自 1850 年以来，亚洲季风和澳洲季风之间的关系显著增强，并呈现出协同变化的特征。亚洲季风-ENSO 关系和澳洲季风-ENSO 关系也显著增强。在多年代际尺度上，自 1850 年以来，亚洲-澳洲季风关系呈现显著增强的趋势，同时表现出与 IPO（太平洋年代际振荡）之间的相关性增强，揭示了全球增温以来太平洋沃克环流对亚澳季风影响增强的现象。上述结果表明，增温是导致亚-澳季风关系，季风-ENSO 关系增强的主要原因。在未来的增温场景下，亚澳季风降水将更加强烈地受到 ENSO 的影响，从而增加了极端气候事件的风险。

S28-O-14

过去四个冰期-间冰期旋回东亚地区温度和降水周期的模拟研究

戴高文[1]，张仲石[1,2*]，Otterå Odd Helge[3]，Langebroek Petra[3]，燕青[4]，张冉[5]

1 中国地质大学（武汉），环境学院
2 南通大学，地理科学学院
3 NORCE Norwegian Research Centre,Bjerknes Centre for Climate Research
4 中国科学院大气物理研究所，竺可桢-南森国际研究中心
5 中国科学院大气物理研究所，候变化研究中心
* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

长期以来，基于不同地质记录揭示的东亚地区季风气候的周期特征存在较大的不同，同时已有的模拟研究也呈现出一定的差异，这阻碍了我们对轨道时间尺度上东亚区域气候演变和潜在机制的认识。为此，我们运用低分辨率版本的挪威地球系统模式（NorESM-L）对过去 425ka 以来一系列的时间点开展平衡态模拟，进一步研究了东亚地区温度和降水的周期特征和潜在的主要驱动因子。我们的模拟显示，东亚季风区季节温度主要以 2 万年岁差周期占主导，而全年平均温度则在东亚季风区的不同空间均显示 10 万年的主导周期。我们的模拟结果与已有的重建古温度周期特征非常吻合。相关性分析和敏感性分析则进一步揭示出，在东亚年平均温度之所以呈现出 10 万年主导周期，这与轨道尺度上大气 CO_2 浓度的影响密切相关，尽管冰量可能也起到了一定的作用。与模拟的温度不同，模拟的东亚地区季节性降水总体上呈现出2万年的岁差主导周期，模拟的年平均降水则显示出较大的区域差异性。进一步的敏感性检验以及全面的模拟-记录的对比分析总体揭示出，模拟的东亚年平均降水周期存在较强的模式依赖性，尽管东亚夏季降水的 2 万年岁差周期总体上较为可信。总的来说，我们的模拟结果结果表明，目前仍迫切需要改进模型中对降水的模拟，以尽可能降低降水模拟的不确定性。

S28-O-15

末次间冰期亚洲季风加强和早期现代人迁徙到东亚

敖红[1,2*]，阮骄阳[3,4*]，Mario Krapp[5]，Diederik Liebrand[6]，Mark J. Dekkers[7]，Thibaut Caley[8]，Tara N. Jonell[9]，朱宗敏[10]，黄春菊[10]，李欣霞[10]，张紫赟[11]，孙强[12]，杨萍果[11]，蒋佳利[10]，李新周[1]，谢小训[1]，宋友桂[1]，强小科[1]，张鹏[1]，安芷生[1]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国家重点实验室
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海陆气候环境变化开放工作室
3 Institute for Basic Science,Center for Climate Physics
4 Pusan National University
5 University of Cambridge,Department of Zoology
6 The University of Manchester,Department of Earth and Environmental Sciences
7 Utrecht University,Department of Earth Sciences, Faculty of Geosciences
8 Université de Bordeaux
9 University of Glasgow,School of Geographical and Earth Sciences
10 中国地质大学（武汉），地球科学学院
11 山西师范大学，生命科学学院
12 西安科技大学，地质与环境学院
* aohong@ieecas.cn
* jiaoyangruan@pusan.ac.kr

大量研究表明非洲古人类的演化/迁徙与轨道驱动的季风降水之间密切相关。然而，当前对亚洲古人类学和古气候数据的交叉综合分析较少，东亚季风降雨在现代人(Anatomically modern humans, or Homo sapiens)从非洲迁移到东亚过程中扮演了怎

样的环境调控作用认识较为薄弱。本研究通过对中国黄土高原百年尺度分辨率的环境磁学记录分析，并结合东亚水文气候的模拟，发现过去 28 万年以来亚洲夏季风降雨主要响应北半球冰量、温室气体浓度以及夏季太阳辐射，表现为~10 万年、4 万年和 2 万年三个周期共同演化的特征。我们进一步将古气候记录与亚洲现代人类的古人类学和考古学证据综合，发现现代人类从非洲迁移到东亚最早发生在末次间冰期，而该时期亚洲夏季风降雨和温度的大幅升高。通过现代人类生活环境模拟，以及现代人类从非洲迁移到亚洲的时间和亚洲不同区域降雨量的轨道周期变化相结合，我们认为在末次间冰期亚洲季风降雨的增加对现代人类走出非洲、来到亚洲具有重要的环境调控。

S28-O-16

过去 500 年东亚夏季风环流变化重建与模拟同化

史锋 [1,2*]，郭正堂 [1,2,3]，李建平 [4,5]，杨保 [6]，尹秋珍 [7]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室
2 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心
3 中国科学院大学
4 中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室
5 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋动力过程与气候功能实验室
6 南京大学，地理与海洋科学学院
7 比利时新鲁汶大学，地球与生命研究所
* shifeng@mail.iggcas.ac.cn

东亚夏季风主导了东亚夏季降水模态变化，进而影响世界四分之一人口的生产和生活。认识历史时期东亚夏季风降水的变化规律，对于应对旱涝灾害长期变化的策略制定具有重要参考价值。然而，由于东亚地区气象观测数据时间较短，限制了深入认识现代东亚夏季风变化的历史位置以及东亚夏季风中长期变化规律。通过集成历史文献、树轮和石笋三种类型的 23 条代用记录，首次重建了过去 500 年（1470–1998 年）东亚夏季风环流指数。与 82 个历史相似型对比，发现最近 30 年（1992–2021 CE）东亚夏季风变化振幅和趋势并未超过自然变率；结合已有降水同化资料，发现过去 500 年东亚夏季风指数可以很好的还原主要环流特征，即梅雨多寡变化和我国南方低层西南风异常和东北风异常交替。进一步开展东亚夏季风指数模拟同化试验，揭示出过去 500 年年代际东亚夏季风变化主要受到太平洋年代际涛动调控。这一研究为应对东亚旱涝灾害中长期变化提供了科学参考。

S28-O-17

全球平均海平面上升对海洋性大陆和东亚夏季降水的影响

董曹沂 [1]，张仲石 [1*]

1 中国地质大学（武汉），环境学院
* caoyi@cug.edu.cn

近几十年来，全球平均海平面(GMSL)上升速度加快。海洋性大陆(MC)作为全球最易受 GMSL 上升影响的地区之一，拥有众多的航道和地势低洼的岛国，需要更多的关注。在此，我们的模拟研究表明，海平面基准面上升(甚至几十厘米)可以改变海洋环流，导致几内亚和爪哇附近的海表温度(SST)显著变暖，从而增强对流，增加南半球海洋性大陆降水。同时，暖海表温度异常驱动的上升气流在对流层上层向北移动，然后在北半球海洋性上空汇聚下沉，下行气流抑制局地降水。在年代际尺度上激发太平洋-日本(PJ)型，使中国东南/华北夏季降水减少/增加。

S28-O-18

蜗牛壳体高分辨率的稳定氧同位素记录与亚洲古季风的季节干湿变化

王鑫[1*]，王蜜[1]，David L. Dettman[2]，陈发虎[3]

1 兰州大学，资源环境学院西部环境教育部重点实验室

2 The University of Arizona

3 中国科学院青藏高原研究所

* xinw@lzu.edu.cn

季节性是季风气候的重要特征，地质时期季节尺度的干湿变化记录，可为理解亚洲古季风的变化规律、动力机制和生态环境效应提供关键证据，也可为检验古季风模拟结果的可靠性提供对比依据，但受材料和方法所限，亚洲古季风的季节干湿变化记录极为匮乏。

陆生蜗牛壳体主要由碳酸盐文石组成，随着蜗牛的生长壳体自壳顶向壳口逐步增生，因而沿单一蜗牛壳体生长轴方向高分辨率采样，开展稳定氧同位素（$\delta^{18}O_{shell}$）分析，有望捕获季节尺度的干湿变化信息。对黄土高原现代蜗牛壳体和代表性剖面蜗牛化石的研究结果表明：1）$\delta^{18}O_{shell}$ 旱季偏重、雨季偏负，单一壳体内部 $\delta^{18}O_{shell}$ 的波动幅度（最高可达 19.2‰）是季节干湿变化的有效代用指标；2）中更新世以来，单一壳体内部 $\delta^{18}O_{shell}$ 的波动幅度间冰期较小（ca. 8.6‰）、冰期较大（ca. 13.6‰），表明季风区北部间冰期旱季较冰期更短、更湿润；3）通过与数值模拟的交叉检验，发现间冰期冬季，西风北移、冬季风减弱，西风与冬季风的协同作用导致黄土高原旱季变短、气候变湿；间冰期夏季，西风北移、夏季风增强，西风与夏季风的相互作用导致黄土高原雨季变长、气候变湿。

S28-P-1S

NAO 的起源与演化

宋治宏[1]，聂绩[1*]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* jnie@pku.edu.cn

通过对 160Ma 以来的古气候模拟数据进行 EOF 分析，我们发现 NAO 在大约 120Ma 首次出现，但随后又消失；在 80Ma 左右，NAO 才开始稳定存在，并一直发展到如今的形态。因为大陆在 80Ma 得到了充分的裂解，并且大西洋洋盆此时也达到了一定的宽度，这使得冬季同纬度下的海洋表面有一个异常高温，进而在高空形成一个异常高压场，该高压场使得急流在此处断裂，而 NAO 就位于急流的下游出口处。我们还运行了 6 组全耦合的理想实验，结果表明当洋盆宽度达到 40°左右时，NAO 就会出现，这与古气候模拟中的结果一致。

S28-P-2S

大陆漂移促进另一半球夏季风提前爆发

殷子涵[1]，聂绩[1*]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* jinie@pku.edu.cn

东亚季风是亚洲季风重要的组成部分，它的起源与演化可追溯至早期地质历史时期。许多研究主要强调青藏高原隆升对东亚季风演化的重要性，但同期的其他地质构造可能同样影响着东亚季风的演化。其中澳洲大陆向北漂移的过程仍少有研究关注。在现代海陆分布下，东亚季风与澳洲季风作为亚澳季风系统，通过跨赤道气流紧密联系。但在澳洲还未靠近赤道的地质时期，我们猜测东亚季风可能具有不同特征。本研究通过理想实验模拟的方式，简单直接地探究南半球大陆向北漂移的过程对北半球季风的影响。

结果表明南半球大陆漂移有利于北半球季风区提前变湿从而提前北半球夏季风的爆发，且越靠近赤道，效果越明显。这一结果暗示我们，地质时期的澳洲大陆漂移对东亚夏季风的影响或许不能忽视。此外，这也有利于我们理解大陆构造如何影响区域季风。

S28-P-3S

540 百万年以来沃克环流的演化

蓝佳雯静[1*]，杨军[1]，胡永云[1]，李想[1]，郭佳琦[1]，林琪凡[1]，魏梦宇[1]，袁帅[1]，殷子涵[1]，李智博[1]，包秀娟[1]，满凯[1]

1 北京大学，物理学院

* lanjwj@pku.edu.cn

现代地球的沃克环流一般指的是行星尺度的赤道纬向翻转环流，它对地球气候以及生物地球化学系统有着重要影响。地质时间尺度上，太阳常数、海陆分布和二氧化碳等因素不断变化，沃克环流在此过程中的演变还未可知。我们用全耦合的地球系统模式 CESM1.2.2，每 10 百万年进行一次切片试验，模拟了 540 百万年前至今的地球气候，发现古气候的沃克环流受到赤道纬向海表温度梯度调控，而非热带平均海表温度。我们的模拟结果表明，在赤道暖池和冷舌温度差异较大的时期，沃克环流较强。在 400 百万年前，赤道平均海表温度约 31.3 ℃，但赤道暖池冷舌温度差异只有约 0.1℃，该时期沃克环流的强度几乎为 0；在 290 百万年前，虽然赤道平均海表温度较低，只有约 23.6℃，但暖池温度和冷舌温度差异较大，约为 4.1℃，沃克环流很强，达到了 1.6e11 kg/s 以上。此外，纬向海表温度梯度对热带海陆分布很敏感，我们的敏感性试验结果表明，大洋东岸的大陆跨赤道有利于冷舌的形成，从而使得沃克环流变强。

S28-P-4

大陆伸展构造下储存沉积碳释放的数值模拟研究

王欣欣[1*]，赵亮[1]，杨建锋[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* xinxinwang@mail.iggcas.ac.cn

大陆岩石圈碳储库的再活化是地球深部碳排放过程中不可或缺的一环，也是理解气候环境演变的重点和关键。地球科学家研究表明大陆岩石圈储存的碳主要起源于俯冲的沉积层，且该沉积碳的再活化可引起大气 CO_2 浓度的改变。在超级大陆的分裂过程中，埃迪卡拉纪晚期和侏罗纪 CO_2 浓度的快速升高，可能与伸展构造下沉积碳的变质脱气有关，但目前缺少对其动力学机制的定量化研究。鉴于此，我们设计二维岩石学-热-力学数值空间模型，通过改变相关的影响因素，重构出沉积碳变质反应脱碳、部分熔融以及向上迁移的动力学演化过程。数值研究的初步结果显示大陆岩石圈热结构和储存深度严重影响了沉积碳的变质 CO_2 释放，造成了高达 80%的脱碳效率。

S28-P-5

特提斯喜马拉雅白垩纪大洋红层的古地磁学结果揭示了小规模的大印度

袁杰[1]，邓成龙[1*]，沈中山[1]，董良[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* cldeng@mail.iggcas.ac.cn

* dongliang@mail.iggcas.ac.cn

大印度的规模决定了印度大陆俯冲和地壳缩短的程度，对解译印度-亚洲碰撞的地球动力学过程至关重要。我们在藏南特提

斯喜马拉雅获得了可靠的古地磁数据，揭示了西藏喜马拉雅(特提斯喜马拉雅+高喜马拉雅)地块在 75~61Ma 期间快速向北漂移的特征，提出了北印度海(North India Sea)假说，并构建了印度-亚洲三阶段碰撞动力学新模型。这个模型的一个重要约束条件为，在 75Ma 存在一个不超过 1000 公里的小规模大印度，但目前的模型仅基于一个高质量的古地磁数据，其来自特提斯喜马拉雅东部江孜地区。

我们进一步对藏南特提斯喜马拉雅中部仲巴地区上白垩统床得组大洋红层开展详细的古地磁学、岩石磁学和岩相学研究。这些红层中的载磁矿物主要为碎屑赤铁矿。通过高分辨率的热退磁实验，在高温段(585~690°C)分离出原生剩磁分量，经过倾角浅化校正后，获得一个高质量的古地磁极(43.3°N/258.3°E, A_{95} = 1.8°)，表明在 75Ma 特提斯喜马拉雅中部位于 16.7° ± 1.8°S。将该古纬度与印度大陆的期望古纬度比较，进一步确定，在坎潘期大印度中部的北向延伸范围为 910km。该结果与喜马拉雅平衡剖面重建和地震学观测的结果一致，并为北印度海假说和印-亚三阶段碰撞模型提供了进一步支持。

S28-P-6S

印度-欧亚碰撞的岩浆作用驱动 EECO 事件

邓林培[1]，杨建锋[2*]，赵亮[2]

1 中国石油大学（北京），地球科学学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

新生代以来全球平均温度整体呈逐渐下降趋势，期间发生多个增温事件导致的气候适宜期。其中位于 53~51Ma 的早始新世气候适宜期（EECO）在多个气候适宜期中均温最高。这意味着在此期间存在一个不断向大气输送 CO_2 的大规模碳源，导致了这一时期的阶段性全球变暖。关于解读 EECO 的主要驱动机制和潜在 CO_2 来源，仍存在争议。大洋中脊、大火成岩省（LIP），大陆裂谷、大陆弧火山活动及其相关的变质脱碳等都被认为是可能的驱动因素。

越来越多的学者关注到新特提斯洋岩石圈俯冲、印度-欧亚大陆碰撞可能与新生代以来长期的气候变化有关。自晚白垩世以来，深海碳酸盐沉积物增加，新特提斯洋岩石圈向北俯冲可能将大量富含碳酸盐的沉积物带入地球内部。此俯冲过程发生各类脱碳作用，而后又以弧火山脱气形式将大量 CO_2 释放回地表和大气中，引起一段时期气候变暖，即 EECO 事件；在约 50 Ma 的印度-欧亚大陆碰撞后，新特提斯俯冲脱碳渠道的关闭，使释放至大气的 CO_2 脱气供应减少，引发了 EECO 之后的持续全球降温。另一种模式可能为，经由前序新特提斯洋岩石圈俯冲将大量沉积碳带入地幔楔，形成一个巨大的深层碳储库，小部分 CO_2 脱气回到地表。上升的碳酸化地幔柱与新特提斯俯冲成分交代的地幔区域相互作用，造成 CO_2 脱气；加之印度-欧亚大陆的碰撞使得深层碳储库被激活，发生一种与大陆碰撞相关的变质溶解反应导致 55~50Ma 期间 CO_2 大量脱气，引发全球变暖。我们采用岩石学-热力学的数值模型，耦合了俯冲碰撞过程的岩石脱挥发分（包括 H_2O & CO_2）及岩浆过程，分别测试了以上假说的两种端元模型。我们的数值模拟结果显示两种模式都可能造成 CO_2 的大量释放，但同时也依赖于其他参数，比如上覆板块强度及沉积物的厚度等。未来还需要开展更细致的研究工作，系统性地研究如地幔温度、流体弱化等因素对大陆碰撞阶段岩浆作用及 CO_2 释放的影响。

S28-P-7S

20 万年以来阿拉伯半岛的干旱记录：来自西赤道印度洋沉积物环境磁学的证据

周良[1,2]，陈亮[3,4]，官玉龙[1,2]，刘琬馨[1,2]，章钰桢[1,2]，陈龙[1,2]，殷征欣[3,4]，姜兆霞[1,2*]

1 中国海洋大学，中国海洋大学深海圈层与地球系统教育部前沿科学中心，海底科学与探测技术教育部重点实验室，海洋地球科学学院

2 崂山实验室，海洋地质与环境功能实验室

3 自然资源部南海局，国家海洋局南海调查技术中心

4 自然资源部南海局，自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室

* jiangzhaoxia@ouc.edu.cn

在全球变暖背景下，全球干旱区的强化增温、干旱加剧、极端天气增加等气候灾害愈发严重，使得全球干旱区一直是实现可持续发展目标关注的焦点。风尘是西北印度洋沉积物的主要陆源成分，是记录亚洲大陆干旱环境演变和北半球大气环流的重要载体。我们对来自西赤道印度洋 CJ02-01 孔（69.19694°E, 0.16167°N）的沉积物开展了详细的环境磁学研究。结果表明，沉积物中的磁性矿物主要为细粒单畴碎屑磁铁矿以及少量磁赤铁矿和赤铁矿，未发现生物磁铁矿和磁性矿物溶解的证据。通过将天然剩磁归一化之后的相对古强度（Relative paleointensity, RPI）记录和环境磁学参数（ARM/SIRM）分别与 PISO-1500 和 LR04 $\delta^{18}O$ 曲线进行关联，构建了可靠的沉积物年龄框架。沉积物中 Sr、Nd 同位素组成表明，陆源沉积物组分主要是来自阿拉伯半岛的风尘输入。冰期沉积物中磁性矿物含量高（高 χ_{lf} 和 SIRM 值），高矫顽力矿物含量增多（低 S-ratio 值和高 HIRM 值），磁性颗粒粒径变大（低 χ_{ARM}/SIRM 和 χ_{ARM}/χ_{lf} 值）；间冰期沉积物中磁性矿物含量低，高矫顽力矿物含量减少，磁性颗粒粒径变细。前人研究表明干旱区的氧化和脱水环境会导致风尘中高矫顽力矿物含量增加，因此环境磁学参数可以较好的重建源区干旱历史。我们利用可以指示沉积物中高矫顽力矿物绝对含量的环境磁学参数 HIRM 作为反映阿拉伯半岛源区干旱条件的陆地气候代用指标。HIRM 与来自邻近地区海洋和阿拉伯半岛陆上沉积物记录的干湿指标以及全球冰量的变化具有较好的一致性和可对比性，说明随着北半球冰期的加强，阿拉伯半岛源区的干旱化进一步加剧，即高纬冰盖增长可能是阿拉伯半岛干旱化的主要驱动力，全球变冷导致高-低纬之间的温度梯度增加，进而驱动热带辐合带（ITCZ）相关的降雨带的南移，使得阿拉伯半岛及邻近地区大气水汽传输减弱。

S28-P-8

渐新世时期青藏高原东北缘气候湿润:来自黏土矿物学和元素地球化学的证据

张春霞[1,2*]，张冉[3]，胡彬[1,2,4]，张晓燕[1,2,4]，李佩[5]，谭宁[1,2]，贾云霞[6]，贺志霖[1,2]，吴海斌[1,2]，郭正堂[1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室

2 中国科学院地球科学研究院

3 中国科学院大气物理研究所，气候变化研究中心

4 中国科学院大学

5 中国地震灾害防御中

6 山西师范大学，地理科学学院

* cxzhang@mail.iggcas.ac.cn

新生代以来全球气候呈现逐渐变冷趋势，伴随着始新世/渐新世交界(EOT)南极冰盖的形成，渐新世时期被认为是新生代以来最早的"冷室期"，该时期陆相气候，尤其是亚洲气候变化备受关注。前人研究显示 EOT 全球变冷导致早渐新世时期亚洲内陆干旱化、草原-沙漠广泛发展。然而，在我国目前位于干旱-半干旱区的青藏高原东北缘沉积盆地中，却存在大量适宜生活在温暖湿润的气候环境中的渐新世哺乳动物化石。渐新世时期青藏高原东北缘气候究竟是干旱还是湿润依然存在争议。

位于青藏高原东北缘的西宁盆地，保存了新生代以来近千米连续的石膏层、红色泥岩、粉砂岩沉积地层，是研究亚洲内陆新生代早期古气候变化的重要记录。粘土矿物是地表母岩中各类硅酸盐岩矿物在表生环境下的风化产物，可弥补地层中孢粉等环境指标难以获取连续信息的缺点，具有重建新生代我国西北地区沉积盆地古环境变化的潜力。本研究以青藏高原东北缘西宁盆地渐新世的沉积地层为研究对象，以黏粒组分矿物学和元素地球化学分析为主，结合青藏高原东北缘地区其他沉积盆地环境记录，通多指标交叉验证，重建了渐新世期间我国西北地区的气候演化序列。

结果显示，渐新世沉积地层中黏土矿物以伊利石为主，含绿泥石、蒙脱石(I/S, 含伊/蒙脱混层)和少量高岭石。基于黏粒组分矿物组合及硅酸盐风化指标，结合周边盆地植被群区化结果，通过与全球深海氧同位素、热带海洋海表温度和大气 CO_2 浓度变化综合对比表明，渐新世青藏高原东北缘气候呈三阶段性变化特征，~34-32 Ma 期间硅酸盐风化相对较弱植被以草原沙漠为主，指示该时期气候干旱； ~32-25 Ma BP 期间硅酸盐风化增强，植被以森林为主，表明西宁盆地及其周边盆地气候相对温暖湿润；~25-23 Ma 期间硅酸盐风化强度减弱、沉积速率显著增强指示该气候变化可能受区域构造活动和全球变化的影响。渐新世期间青藏高原北部、东北部山体尚未达到一定的高度，~32 Ma 以来相对潮湿的气候条件可能是受全球气候回暖影响，高 CO2 条件下水蒸气传输增强所致。这种湿润的气候条件为渐新世哺乳动物在青藏高原东北缘繁衍生息提供了理想的环境。

S28-P-9

喜马拉雅-印缅山脉 ARGOLAND 微陆块及其对东特提斯新生代构造演化的制约

张继恩[1*]，肖文交[1,2]，John Wakabayashi[3]，韩春明[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院新疆生态与地理研究所

3 California State University, Fresno，CA, USA

* zhangjien@mail.iggcas.ac.cn

造山带结构（orogenic architecture）直接关系到对于造山过程和造山方式的认识、制约着造山带尺度的构造地貌的变化及气候-环境的变迁。喜马拉雅位于新特提斯构造域东段，其构造属性存在着争议：（1）印度大陆被动陆缘、（2）早白垩世中期裂解出来的块体，而与其可对比的印缅山脉则被认为属于增生楔；这些争议影响了对新特提斯构造演化、以及东亚新生代构造-环境演变的认识。本研究以喜马拉雅东北段-印缅山脉为研究对象，厘定其造山带结构，为解答以上的争议提供地质证据。

喜马拉雅东北段和印缅山脉具有相似的三叠纪地层，包括相似的碎屑锆石组份和相同的化石。（1）喜马拉雅东北段三叠纪、侏罗纪和早白垩世地层中发育的褶皱被~130 Ma 岩脉穿切，褶皱形成于岩脉侵入之前，限定隆子块体于早白垩世经历挤压作用；印缅山脉东侧产出有含蛇绿岩和变质岩的增生楔，依据变质年龄限定增生楔形成于119Ma；挤压构造和增生楔表明喜马拉雅-印缅山脉此时已不属于印度大陆北缘。（2）喜马拉雅东北段产出~153 Ma 和 148-145Ma 基性岩脉，其地球化学特征从 OIB 转变为 MORB 型；聂拉木及邻区晚侏罗世地层沉积水体逐渐变深，代表晚侏罗世区域内经历伸展作用。与印度洋 155-152Ma 洋壳形成和澳大利亚西北缘裂解时代一致，限定喜马拉雅东北段-印缅山脉作为 Argoland 微陆块于晚侏罗世从东冈瓦纳大陆裂解出来。

（a）喜马拉雅-印缅山脉地区的 Argoland 微陆块南北侧分别发育北印度洋

和新特提斯洋，东新特提斯构造域自中生代发育多岛洋格局，为印度-欧亚大陆之间多阶段俯冲-碰撞作用奠定构造框架，最后一期的碰撞所引起的向北推挤是东亚构造-环境变动的驱动力。（b）早白垩世碰撞造成俯冲带迁移，新特提斯洋内新的俯冲产生了雅鲁藏布江~130Ma SSZ 型蛇绿岩和角闪岩（变质底板）。

S28-P-10S

晚中新世的全球变冷驱动亚洲内陆干旱化和黄土高原的向东扩张

李欣霞[1]，黄春菊[1]，敖红[2*]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国家重点实验室

* aohong@ieecas.cn

晚中新世是地球漫长气候演变中的重要一环，全球陆地环境和生态系统在晚中新世发生显著变化。主要表现为全球 CO_2 浓度下降，全球加剧变冷，全球海洋出现显著的碳偏移事件，大陆冰盖稳定存在于南极，北极冰盖开始出现暂时性的冰盖，非洲撒哈拉沙漠开始建立，陆地 C_4 植被大幅扩张。亚洲和非洲等内陆地区变得十分干旱，黄土高原东部开始出现大规模的风成沉积。地球系统这一系列的演变与当今边界条件极为相似，特别是晚中新世之后的 CO_2 浓度与工业革命以来的 CO_2 浓度变化相似，研究晚中新世气候环境的变化具有重要意义。

黄土高原位于东亚季风区，受东亚夏季风和冬季风交替控制，对夏季风降水和冬季风变化十分敏感，其沉积连续且保存完整的地层对于研究东亚季风演化以及亚洲内陆干旱化提供了理想材料。然而，当前研究主要集中在上部的第四纪黄土-古土壤序列，而对下伏红粘土研究尚显不足。我们通过对黄土高原东北部保德剖面进行磁性地层学研究，建立了较为详细的年代框架，建立了黄土高原风成红粘土扩张与亚洲内陆和全球气候的联系。

保德剖面共 155 m，上部 0–80 m 地层为静乐组，底部 80–155 m 地层为保德组。岩石磁学结果显示该剖面的主要载磁矿物为磁铁矿和磁赤铁矿。系统热退结果表明该剖面记录了 12 个正极性带和 13 个负极性带，进一步将保德剖面极性柱和标准极性柱进行对比，顶部和底部分别对应 C2An.1r 和 C3Br.2r，整个剖面记录的年代为 2.5–7.5 百万年，即晚中新世至早更新世期间。

我们将保德磁性地层与黄土高原已有的红粘土磁性地层对比，发现红粘土沉积的年代在~7.5–8 百万年，沉积速率结果表明黄土高原中西部以及东北部地区的沉积速率明显高于南部和东南部，黄土高原红粘土开始沉积并不断向东南扩张。我们认为亚洲内陆干旱化和红粘土大规模沉积以及向东的扩张可能全球变冷有关。全球变冷可能导致高纬度地区的冷高压不断加强，导致强劲的东亚冬季风携带大量的粉尘向东南扩张，为黄土高原风成沉积向东扩张提供动力基础。全球变冷也会导致内陆的干旱化加强，干旱环境下物质进一步风化为黄土高原红粘土的沉积提供物质来源。同时，全球变冷也会导致大西洋经向翻转环流和沃克环流减弱，进一步削弱东亚夏季风降水，更强的东亚冬季风和更弱的东亚夏季风共同导致在晚中新世的黄土高原东部的红粘土的大规模沉积和不断向东扩张。

S28-P-11S

黄土高原靖边剖面岩石磁学研究及其对东亚季风演化的指示意义

董良[1,2*]，沈中山[1]，邓成龙[1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* dongliang@mail.iggcas.ac.cn

广泛分布于半干旱-干旱区黄土高原的风尘堆积较为完整地记录了晚渐新世至早中新世以来的古地磁场和古气候变化历史，在恢复古环境及古气候研究中非常重要。黄土高原的北部边缘靖边地区，由于其属于东亚季风所能影响到的边缘地带，其黄土-古土壤序列对东亚季风演化以及亚洲内陆干旱化演变非常敏感。我们选取黄土高原北部靖边剖面，对第四纪以来黄土-古土壤序列进行了详细的岩石磁学和多参数环境磁学研究，探讨靖边地区第四纪以来东亚季风的演化历史。χ-T 曲线序列所代表成壤作用生成细粒亚铁磁性矿物的含量至少在 L15（约 1.25Ma）后整体减少，指示东亚夏季风强度发生阶段性减弱。黄土层中的 χ/χ_{ARM} 与来自物源区粗粒磁性矿物含量相关，在 L14 以后整体增加，L6 以来逐渐增加，表明东亚冬季风发生过两次增强。$(\chi-\chi_0)/\chi_{ARM}$ 可以指示自物源区磁性矿物含量，自 2.6Ma 以来，$(\chi-\chi_0)/\chi_{ARM}$ 逐渐增加，源区的磁性矿物含量增多表明冬季风逐渐增强。以上研究结果表明靖边黄土剖面有效地记录了东亚季风的演化过程，对理解亚洲内陆干旱化和季风演变有重要意义。

S28-P-12S

基于 TRACE21KA 和 PMIP4-CMIP6 模拟的末次盛冰期以来全球陆地季风演变

王菁菁[1]，鹿化煜[1*]，程军[2]，赵成[1]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 南京信息工程大学，海洋-大气相互作用研究中心

* huayulu@nju.edu.cn

研究过去全球陆地季风系统的演变过程和驱动机制对于预测未来季风气候变化至关重要。基于过去 21,000 年气候瞬变模拟(TraCE21ka)和古气候模拟比较计划第四阶段 (PMIP4-CMIP6) 两个数据集、和 Wang(2008)季风区的定义，本研究定量估算了末次盛冰期以来每千年全球陆地季风区面积和降水量，分析全球六个陆地季风区变化的区域差异，并提出了每三千年不同陆地季风区演化的气候响应和归因。结合古气候记录对比研究，TraCE21ka 和 PMIP4-CMIP6 两个数据集合理再现了陆地季风在全球和区域尺度上的变化特征，但在变化幅度上存在差异。与当前参考时期相比，TraCE21ka 模拟结果指出，全球陆地季风区面积(降水量)在末次盛冰期(LGM, 21-18 ka)减少了 10.42%(9.74%)，中全新世时期(MH, 9-6 ka)增加了 3.67%(4.29%)，最大季风强度出现在全新世早中期(12-6 ka)；PMIP4-CMIP6 模拟结果指出，全球陆地季风区面积(降水量)在 LGM 时期减少了 5.15% (11.53%)，在 MH 时期增加了 5.16%(4.18%)，幅度大于 TraCE21ka 模拟结果。驱动机制分析结果表明，全新世以前，太阳辐射和大气温室气体浓度(GHG)主导季风区面积和降水量的变化，呈现面积扩大和降水量增多的趋势，并伴随着融水通量(MWF)强迫下季风强度突然减弱的千年事件；而全新世期间，受控于太阳辐射，呈现季风区面积缩小和降水量减少的趋势。在六个陆地季风区中，亚洲季风区的降水变化幅度较大，是受北方夏季太阳辐射和 GHG 增加的影响，最大增长速率出现在 18-15 ka 期间，为 4.3 $*10^9$ m^3/day/ka。其余陆地季风区对外强迫的响应形式不同，表现出不同的变化特征。大气水汽收支方程的热力和动力组分配置的研究表明，21 ka 以来陆地季风降水的变化，热力过程总是起到积极的作用。虽然动力过程在全新世期间由负向正相位转变，但贡献较小。此外，区域季风降水的差异是由动力过程引起的。

S28-P-13S

末次间冰期 ENSO 对全球海平面上升响应的模拟研究

徐天澳 [1]，巫明娜 [1]，张仲石 [1,2*]

1 中国地质大学（武汉），环境学院

2 南通大学，地理科学学院

* zhongshi.zhang@cug.edu.cn

末次间冰期的全球年平均地表气温比现今高 0~2 ℃，这一增温幅度与未来预估的增温幅度相当。因此，末次间冰期气候往往被认为是未来气候的一个类比。本研究利用挪威地球系统模式（NorESM1-F），开展末次间冰期模拟，并进一步讨论全球平均海平面上升 5 m 和 10 m 时末次间冰期 ENSO 海温变率。模拟结果表明：模拟的末次间冰期热带太平洋年平均海表面温度较工业革命前普遍偏低，这与地质记录重建基本一致。与工业革命前相比，模拟的末次间冰期 El Niño 事件强度偏弱，极端 El Niño 事件偏少；而 La Niña 事件强度偏强，极端 La Niña 事件偏多；随着全球平均海平面的上升，海表温度异常出现变化，表现为小于 0.5 ℃的海温异常出现的频率减少，而大于 0.5 ℃的海温异常出现频率增加，表明全球平均海平面的上升会使海温的异常更加明显，但全球平均海平面的上升对模拟的末次间冰期 ENSO 事件的频次及平均强度影响并不显著。

S28-P-14S

中亚西风区与亚洲季风区陆生蜗牛壳体稳定碳同位素组成及古气候意义

王蜜 [1]，王鑫 [1*]，David Dettman[2]，陈发虎 [3]

1 兰州大学，西部环境教育部重点实验室

2 University of Arizona,Department of Geosciences

3 青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

* xinw@lzu.edu.cn

蜗牛壳体稳定碳同位素组成，是重建季节-年际尺度上古气候和古生态的重要方法，但由于季风区雨热同期，难以区分降水和温度对壳体 $\delta^{13}C_{shell}$ 的相对贡献。为解决这一问题，我们分别在伊朗北部（西风区）和中国黄土高原（季风区）沿着干湿梯度采集了现代陆生蜗牛进行稳定碳同位素分析。结果表明：1）在西风区 $\delta^{13}C_{shell}$ 值与生长季降水呈负相关，与生长季温度呈正相关；而在季风区 $\delta^{13}C_{shell}$ 值与生长季温度和生长季降水均呈负相关。这进一步表明：在 C3 植物占主导的环境中陆生蜗牛壳体高分辨率 $\delta^{13}C_{shell}$ 值主要受控于生长季降水，温度对 $\delta^{13}C_{shell}$ 值的影响是一个假象。2）中国黄土高原西峰剖面中更新世以来化石蜗牛的 $\delta^{13}C_{shell}$ 记录表明：间冰期生长季降水量高于冰期，但也有间冰期的生长季降水低于冰期的情况，这可能与间冰期（冰期）内的短期气候振荡（如厄尔尼诺-拉尼娜事件）有关。陆生蜗牛的食谱和习性比较复杂，下一步的研究仍需更多的数据（特别是同一地层中同一种属的蜗牛化石壳体）来检验这种方法。

S28-P-15

高分辨率石笋古地磁研究

沈中山 [1]，段武辉 [1]，秦华峰 [1]，蔡书慧 [1]，邓成龙 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* cldeng@mail.iggcas.ac.cn

有精准年龄控制的高分辨率地磁场变化历史对认识地磁场演化至关重要。石笋是记录地球磁场变化的极佳材料，具有可高精度定年、连续沉积、快速锁定磁场信号、无磁倾角浅化及无生物沉积扰动等区别于传统材料不可替代的天然优势。石笋古地磁学研究的难点在于石笋中磁性矿物含量非常低，导致其剩磁强度极弱，常规方法与仪器难以测量；其关键点在于如何实现高分辨率石笋古地磁研究，特别是含碎屑较少的“干

净”石笋的高分辨率古地磁研究。传统的研究方法是加大其体积用量以获得相对更强的剩磁强度以测量磁信号，从而导致无法满足精细化研究地球磁场变化的需求，严重限制了石笋提供高分年率的地磁场数据集的真正潜力。本文针对如何获取长尺度、高分辨率、有精确年龄约束的地磁场变化信息的科学问题，选取非常规地磁场变化数据记录材料——石笋，建立了一套高分辨率石笋古地磁研究集成创新研究方法体系，探索高分辨石笋古磁研究的新方法，实现年际尺度分辨率的石笋古地磁研究，为获得精准的高分辨率的古地磁数据集的学科目标提供必要的技术支撑，对于认识宜居地球地磁场精细演化的过去、现在和未来有重要意义。

S28-P-16S

追溯东亚夏季风的百年际变化：来自三个关键时期的证据

付恒[1,2]，史锋[1,3*]，刘威[4]，薛惠鸿[1,2]，满文敏[5,6]，李娟[7]，郭正堂[1,3,8]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心

4 比利时新鲁汶大学，地球与生命研究所

5 中国科学院大气物理研究所，大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室

6 南京信息工程大学，气象灾害教育部重点实验室

7 南京信息工程大学，大气科学学院

8 中国科学院大学

* shifeng@mail.iggcas.ac.cn

东亚夏季风环流百年尺度变化通过调节水资源的可用性，对东亚多个国家的生态系统、农业和工业产生显著影响。然而，由于观测资料和气候代用记录自身的固有不足，以及气候系统的复杂性等因素，导致东亚夏季风百年尺度变化的规律及机制仍不清楚。本研究在评估多个 CMIP5 模式模拟东亚夏季风能力的基础上，遴选通用地球系统模式（Community Earth System Model，CESM）中的四组包括温室气体高排放情景（RCP8.5）的全强迫实验，探讨了东亚夏季风在过去千年、现代与未来三个关键时期的百年际变化规律。研究结果证实了前人工作中指出的东亚夏季风与北半球夏季温度基本同相变化，但本研究发现在某些时段存在显著不同步变化的现象。在部分不同步变化的时段，我国梅雨区降水与其他时段降水的一致变化格局不同，呈现南北偶极子格局。此外，黄土高原的降水与季风的关系也存在类似的不同步变化现象。进一步分析发现，温度与季风的不同步变化可能由气候系统内部变率主导。这种不同步变化对于理解东亚夏季风百年尺度的变化规律以及预测其未来变化趋势均具有重要的意义。

S28-P-17S

全球沙漠面积和粉尘排放量的新估算

吴会娟[1]，鹿化煜[1*]，王菁菁[1]，陈瑶[1]，崔梦淳[1,2]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 中国林业科学研究院荒漠化所

* huayulu@nju.edu.cn

沙漠是干旱半干旱地区最重要的地表景观，是粉尘排放的重要源区. 确定全球沙漠边界、计算沙漠面积、估算沙漠地区的粉尘排放量对于定量评估沙漠对气候与环境的影响具有重要意义. 利用中分辨率成像光谱仪(MODIS)数据，结合支持向量机(SVM)、试错法及目视解译技术提取了全球沙漠范围. 对全球沙漠分区域进行面积和分类精度计算. 利用地形、降水、蒸散、地表风速等数据对全球沙漠地区的环境变化进行分析. 基于移动风蚀仪(PI-SWERL)的观测数据，结合地表类型、土壤湿度和摩阻风速估算出

全球沙漠地区的年粉尘排放量. 研究表明, 全球沙漠面积为~17.54×10^6 km^2, 总体分类精度为 92.37%. 沙漠多分布于地形低于 2000 m、降水量不足 200 mm、全年风速为 4~6 m/s 的极端干旱和干旱地区. 沙漠每年排放~1792.65 Tg 的粉尘, 其中~1344.49 Tg 的粉尘堆积在陆地, ~448.16 Tg 的粉尘沉降到海洋. 此外, 全球粉尘的年排放量具有显著的区域差异, 粉尘排放量的高值区与粉尘源区具有很好的对应关系. 利用遥感影像解译获得全球沙漠面积新数据, 利用 PI-SWERL 观测数据估算全球沙漠的年粉尘排放量, 其结果有利于评估全球尺度粉尘排放量的气候效应.

S28-P-18S

C 型陆地在亚洲夏季风形成中的作用

梅隽毓 [1*]，闻新宇 [1]

1 北京大学，物理学院

* 2101210057@stu.pku.edu.cn

陆地的地形效应对季风气候变率的影响是季风动力学研究的关键课题之一。在这里我们使用 AGCM 进行了大量实验，重新审视了不同形状的陆地对亚洲季风形成的地形影响。研究发现，位于热带和亚热带的 C 型陆地最有利于亚洲夏季风形成。初步结果表明，C 形陆地通过三个关键过程产生比其他形状陆地更明显的季风响应，包括加强的越赤道气流、亚热带季风槽的水汽辐合，以及北半球陆地东南角一个显著的低压。我们想展示从我们的数值实验中得出的更详细的结果，这有助于提高我们对季风形成和变化的理解。

S28-P-19

全球增暖背景下西北太平洋异常反气旋预估不确定性的来源

Mingna Wu[1*]，Tinajun Zhou[2,3]，Xiaolong Chen[2]

1 China University of Geosciences

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences

3 University of Chinese Academy of Sciences

* wumingna@cug.edu.cn

The western North Pacific anomalous anticyclone (WNPAC) is a key bridge that links El Niño and East Asian climate variability. Future projections of ENSO-related WNPAC changes under global warming are highly uncertain across climate models. Based on a 40-member ensemble from CESM-LE, we investigate the effects of internal variability on the El Niño–related WNPAC projection. Here, we first develop a decomposition method to separate the contributions of El Niño amplitude change and nonamplitude change from the leading uncertainty in the El Niño–related WNPAC projection. Based on the decomposition, approximately 23% of the uncertainty in the El Niño–related WNPAC projection is attributed to the El Niño amplitude change, while the remaining 77% is from the nonamplitude change, which is mainly related to the change in the El Niño decaying pace.

S29-O-1

岁差尺度石笋 Δ18O 信号时空模式

刘殿兵 [1*]，米翔 [1]，李熠 [1]

1 南京师范大学，地理科学学院
* ldb9921@njnu.edu.cn

在轨道尺度上，中国北方黄土记录显示，亚洲夏季风及季风降雨呈现显著的“冰量周期”，有别于东部石笋 $\delta^{18}O$ 信号的“岁差旋回”。该差异反映“风、雨之别”，抑或“南、北气候不同驱动力”，一直悬而未决，被称为“中国 10 万年难题”。近期，高分辨率黄土记录进一步证实了岁差尺度次级振荡的存在，而南方石笋记录也发现了“类冰量变化印迹”。鉴于此，选择不同时段（MIS 3、MIS 5、MIS 9~8）南方洞穴石笋材料(25~27ºN)，研究发现：(1) 在 MIS 5 和 MIS 9~8 期间，岁差极小值期的季风强度逐步衰减，类似北半球夏季日辐射、大气 CO_2 和全球海面变化；(2) 在空间尺度上，30ºN 或以北石笋 $\delta^{18}O$ 变化微弱，或在岁差极小值期几乎一致；(3) MIS 3 期间，南方石笋 $\delta^{18}O$ 岁差振幅较大，而北方较小。至 40ºN，MIS 3 早、中期石笋 $\delta^{18}O$ 值几乎一致。由此说明，尽管“岁差旋回”是中国石笋 $\delta^{18}O$ 变化的主导韵律，其时空特征尚需要深入研究。已有研究发现，“岁差振幅”具有时空依赖性，可能反映轨道尺度大气环流模式重组具有区域性。在南方，石笋 $\delta^{18}O$ 变化更遵循低纬日辐射信号，受低纬水文调控，可敏感响应于冰量、CO_2 等边界条件变化；在北方，随着陆内再循环水汽贡献增大，西风激流主轴约束，季风水汽北输存在显著阀值效应。因此，长序列北方石笋记录和相关模拟研究或有助于诊断“石笋岁差旋回”时空差异的关键。

S29-O-2

末次冰消期亚洲夏季风演化的精细结构

赵景耀 [1*]，程海 [1,2]，董西瑀 [1]，崔佳辉 [1]，Carlos Pérez-Mejías[1]，Yassine Ait-Brahim[3]，杨琰 [4]

1 西安交通大学，全球变化研究院
2 Chinese Academy of Sciences,Institute of Earth Environment
3 Mohammed VI Polytechnic University,International Water Research Institute
4 Southwest University,School of Geographical Sciences
* zjy1230@xjtu.edu.cn

Explanations of the deglaciationhave long been sought, which included themillennial-scaleclimate events as the initiation of deglaciation.This study provides a precisely^{230}Th-dated (<30 years)annually-laminated speleothem$\delta^{18}O$ record from Zhangjia (ZJ) Cavein theAsian Summer Monsoon domain, covering the Heinrich Stadial 1and the Bølling-Allerødperiods. It shows that the weak ASM associated with HS1,namely Asian Heinrich Period-1. In addition to the two stages of AHP-1 (17.80–16.09 ±0.03 ky BP and 16.05– 14.69 ±0.03 ky BP, divided by HE 1), two steps of the AHP-1 termination have also been detected. The first step, occurring from 15.11 to 14.9 ±0.03 ky BP, is likely associated with therebound inAMOC. Thesecond step, at 14.69 ±0.03 ky BP, is essentially synchronous with the North Atlantic warming, suggesting an atmospheric teleconnection.Thus, it is plausible that theoriginof the ASM evolutions during the last deglaciation is a progressive increase in the rate of AMOC.

S29-O-3

新疆天山石笋记录的间冰期内部轨道和千年尺度水文气候变化特征

刘小康 [1*]，陈建徽 [2]，沈川洲 [3]，Xianfeng Wang[4]，杨琰 [5]，陈发虎 [2,6]

1 天津师范大学，地理与环境科学学院
2 兰州大学，西部环境教育部重点实验室

3 台湾大学，地质科学系
4 Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University
5 西南大学，地理科学学院
6 中国科学院青藏高原研究所
* liuxk@tjnu.edu.cn

亚洲中部干旱区全新世气候演化所具有的“西风模态”特征已被大量研究资料所证实，继续探索过去更长时间尺度上该模态的适用性则有助于深入理解西风区气候演化规律及其驱动机制。作为晚更新世古气候研究的重要支柱，洞穴石笋记录可为区域气候环境演化提供可靠信息。本研究以新疆天山中部巴鲁克洞石笋为研究对象，在铀系绝对年代测试的基础上，分析了两支石笋的氧碳同位素组成和微量元素含量，建立了101.9-78.3 ka BP 期间完整覆盖了一次冰段-间冰段转型期（MIS5b/5a）的干旱区石笋多指标代用记录。结果显示，石笋 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 记录均在间冰段（5c 和 5a）为显著偏负、而在冰段（5b）为偏正模式；相反地，石笋 Sr/Ca、Ba/Ca 和 U/Ca 比值整体上呈现出间冰段偏高、而冰段偏低的变化模式。以上结果说明了间冰期内部轨道尺度上岁差周期对亚洲中部干旱区气候演化的主导作用，但是石笋稳定同位素与微量元素比值指标之间表现出了反相位关系，这表明了石笋不同代用指标气候环境指示意义的差异性。最近的研究显示，石笋微量元素比值主要受控于碳酸盐先期沉积作用（PCP）和水-岩反应时间，因而可作为反映区域环境干湿变化的良好指标，即微量元素比值偏低指示湿润环境、而升高代表干旱环境。因此，本研究认为新疆巴鲁克洞石笋微量元素比值指示了西风区在间冰期内部冰段（5b）偏湿润、而间冰段（5a 和 5c）偏干旱的特征，这也得到天山地区黄土-古土壤记录研究结果的支持。此外，巴鲁克洞石笋记录显示 MIS 5b/5a 转型期开始于 87.2±0.5 ka BP、结束于 84.1±0.4 ka BP（根据‘break-point’ correlation strategy），$\delta^{18}O$ 值和 $\delta^{13}C$ 值快速偏负程度分别为约 2.5‰和约 1.9‰。进一步对比显示，新疆石笋记录的 MIS 5b/5a 气候转型的起止时间与中国东部石笋和印度北部石笋基本一致，并与格陵兰冰芯和南极冰芯重建的北半球温度、大气甲烷含量和 CO_2 含量基本同步。以上结果表明了南北半球高纬度气候以及低纬度气候系统与中纬度地区千年尺度气候快速变化事件的可能联系。

S29-O-4

末次冰期太阳辐射和冰量驱动的中国西南地区水文环境的变化

吴尧 [1*]，Norbert Frank[1]，Sophie Warken[1]，Aaron Mielke[1]，陈朝军 [2]，李俊云 [3]，李廷勇 [2*]

1 Heidelberg University,Institute of Environmental Physics
2 云南师范大学，地理学部
3 西南大学，地理科学学院
* ywu@iup.uni-heidelberg.de
* cdlty@swu.edu.cn

石笋 $\delta^{18}O$ ($\delta^{18}Oc$) 被广泛用于东亚夏季风 (East Asian Summer Monsoon, EASM) 演变过程的重建。然而，$\delta^{18}Oc$ 并不是区域降水变化的一个明确指标。基于 $\delta^{18}Oc$ 重建的 EASM 强度变化也与其他重建/模拟的 EASM 降水的空间分布和驱动因素不一致。由此产生的争议使我们对 EASM 强度与区域降水或水文环境之间关系的理解变得复杂。本研究对位于中国西南地区重庆羊子洞的 YZ1 石笋进行了高分辨率的微量元素分析，结合 $\delta^{13}Cc$ 和 $\delta^{18}Oc$ 重建了 4.07-116.09 ka BP 期间 EASM 影响下区域水文环境的演化过程，探讨了末次冰期区域水文环境的影响因素和驱动机制。结果表明，石笋微量元素比值(Mg/Ca, Sr/Ca, Ba/Ca)，$\delta^{13}Cc$ 和 $\delta^{18}Oc$ 在轨道尺度上具有同相位的变化特征，呈现出显著的岁差周期。$\delta^{18}Oc$ 主要记录了 EASM 环流强度的变化，而微量元素比值对当地降水量或环境的降水-蒸腾平衡变化更

为敏感。在北半球低纬度夏季太阳辐射(Northern Hemisphere Summer Insolation, NHSI 30°N) 增强期间，海陆和半球间的热梯度增加，叠加上低纬度地区海洋水汽更强的蒸发和汇聚过程，增强了大尺度的夏季风环流，这导致更多的热带-亚热带海洋水汽被输送到大陆。末次冰盛期期间的全球高冰量进一步削弱了在低 NHSI 期间减弱的 EASM 环流和季风水汽的运输过程，导致夏季风降水的大幅减少。我们的研究强调了 NHSI 是 EASM 降水相位变化的主要控制因素，但全球冰量会调节夏季风降水对 NHSI 变化的响应幅度。现代 EASM 地区夏季风降水呈现出显著的经向分布三级子模态。然而，我们的记录与中国北方和南方的降水重建和模拟记录一致。这表明现代季风降水的三级模态可能在末次冰期的长江中上游地区并不显著，或者其影响范围发生了改变。

S29-O-5

鄂西石笋微量元素记录的 HEINRICH 4 期间季节性干湿古气候变化特征

薛书雨[1]，张宏斌[2*]，周建宗[2]，黄俊华[3]，陈霖[2]，尚丽雯[2]，朱宗敏[1]

1 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）地球科学学院

2 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室

3 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室

* zhanghb@cug.edu.cn

中国中东部地区气候控制因素复杂，其降水具有明显的季节性和旱涝灾害频发的特点，降水的季节性变化对当地生产生活及经济发展具有重大影响。因此，研究该地区季节降水的特点及变化规律尤为重要。然而，现有的器测记录普遍较短，大大限制了我们对季节性降水变化规律的理解。另一方面，千年尺度或更长时间尺度上干湿变化的解译主要是基于现代气象学理论。然而，当前条件与历史时期的气候背景存在明显差异，两者的季节性气候变率可能也有所不同，这导致古气候记录的气候过程与短时间尺度的气候机制之间存在巨大鸿沟。因此，从季节尺度去研究干湿古气候的变化过程，不仅可以弥补器测资料的不足，还可以有效跨越古气候记录与现代气候理论之间的鸿沟，对于拓展现代气候研究的理论具有重要的意义。

基于此，本文利用鄂西豪猪洞 HZZ 41B-2 石笋氧同位素及高分辨率微量元素重建了 Heinrich 4 期间 39.07 ka BP~39.72 ka BP 百年尺度的季风及季节性干湿古气候记录。结果表明，百年尺度上，东亚夏季风（EASM）在 Heinrich 4 期间呈现明显的两阶段变化特征，即，在 39.72~39.54 ka BP 期间，石笋氧同位素总体变化不大，EASM 此时处于中等强度，而石笋 Mg/Ca 值此时相对偏大，指示着中东部相对干旱的气候状态；在 39.54~39.30 ka BP 期间，石笋氧同位素明显正偏，指示着 EASM 明显减弱，而 Mg/Ca 值明显减小，暗示了区域气候由干转湿。季节尺度上，去长趋势微量元素及荧光纹层综合结果表明，Mg/Ca、Sr/Ca 低值均与荧光亮带对应，高值则对应于荧光暗带，并与 P/Ca 明显反相关关系（r=-0.77~-0.91），表明石笋微量元素受季节性淋滤及 PCP 的主控，能够反映区域季节性降水变化（Johnson et al., 2006），然而，在百年尺度上，去年际微量元素结果表明（长趋势），Mg/Ca 与 Sr/Ca 在季风平台期呈现明显的反相关系，而季风减弱期这种反相关系明显减弱，这种季节与百年尺度上干湿指标关系的解耦，可能与季风平台期期间旱季相对延长，导致 WRI 作用总体增强所致，这也与被该时期荧光纹层表现为边界模糊且呈波动状，内荧光纹层表现为暗带＞亮带的特征一致。因此，我们认为，季节性干湿变化在不同的季风背景下并没有发生改变，长时间尺度（百年-千年）记录所呈现的干湿转变可能是与旱季/雨季的相对时长变化有关。

S29-O-6

祥龙洞石笋团簇同位素重建16-10.9ka BP温度变化

唐慧茹[1]，谭亮成[1*]，常标[2]，黄俊华[2]

1 中国科学院地球环境研究所，洞穴实验室

2 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* tanlch@ieecas.cn

在古气候研究中，重建过去温度是理解地球过去气候变化的基础。精确重建过去温度变化为基准气候模型提供基本条件，可直接用于研究全球不同区域温度对大气二氧化碳浓度变化的敏感性。碳酸盐团簇同位素是国际上新近开发的地质温度计，可以精确重建过去的温度变化。这种新型的测温方法已被成功地运用于地球科学领域的多种材料,包括海洋生物碳酸盐、钙华沉积、石笋、陆生蜗牛壳体、古土壤碳酸盐、湖泊沉积碳酸盐等，其中石笋作为古气候研究的良好载体，其分布广泛、定年准确、记录连续性好、时间跨度大、水文气候代用指标丰富且对比性强，提供了丰富的气候环境信息。在此基础上，石笋团簇同位素分析势必会为古温度定量重建提供强有力手段。本研究利用秦岭南坡祥龙洞石笋XL-15重建了16-10.9 ka BP期间温度变化情况，探讨H1事件至全新世早期我国中部气候变化规律。

S29-P-1S

中国东南中晚全新世温度记录

梁泽源[1]，张海伟[1*]，田野[1]，宁有丰[1]，宗保云[1]，蔡演军[1]，程海[1,2,3]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

3 中国科学院岩溶地质研究所，岩溶动力学重点实验室

* zhanghaiwei@xjtu.edu.cn

“全新世温度迷题的讨论焦点在于古气候模拟结果对地质记录重建的温度提出质疑，认为当前中全新世时期温度记录主要由夏季温度支配，无法准确重建古代年均温。气候重建结果显示全新世早中期大暖期之后逐渐变冷，而气候模型表明持续变暖。因此，寻找受季节变化影响较小的代用指标进行温度重建或成为解决全新世温度迷题的关键。

中国东南的温度重建记录尚不翔实全面，各类代用记录的敏感性、沉积年代学的不确定性和代用记录分布的不均匀使得温度重建结果较少且差异性较大。洞穴内的石笋处于较为稳定的环境，现代器测记录显示洞穴深处的年均温度与当地年均温相同，因此利用石笋流体包裹体中储存的水同位素能够较为精确地重建当地气温。本研究对中国东南部江西省万年县神农宫洞穴的两根石笋样品SN35和SN42进行了25个U系年代测试，结合1536个碳、氧稳定同位素测试及39组流体包裹体水同位素测试，构建洞穴石笋流体包裹体水同位素和年均温的转换函数，重建了神农宫全新世（6.5 ka-0.8 ka）高分辨率温度记录。主要结论如下：

1.不同于大多数温度记录重建的相对温度变化结果，本研究较为精确地提供了中国东南部中晚全新世的绝对温度记录。

2.当地6.5 ka至0.8 ka的年均温在18.9℃左右，4 ka-0.8 ka间的均温为19 ℃，接近当地的现代年均温19.1 ℃。

3.6.5 ka至0.8 ka，当地气温整体呈上升趋势，符合古气候模拟结论：中晚全新世以来，在人类工业化前，气候持续变暖。

4.温度序列精确记录了4.3-4 ka期间，气温经历了一次快速且大幅的震荡，从温度变化层面印证了良渚文化的消亡。

S29-P-2S

Precisely constrained 134-ka strong monsoon event in the Penultimate Deglaciation by an annually laminated speleothem from the Asian monsoon domain

崔佳辉 [1]，赵景耀 [1*]，程海 [1*]

1 西安交通大学，人居环境与建筑工程学院

* zjy1230@xjtu.edu.cn

* cheng021@xjtu.edu.cn

We present high-resolution and precisely-dated speleothem $\delta^{18}O$ record between 132.8 and 138.8 ka BP from Zhangjia Cave, Southwest China. Our record precisely characterized the timing of a strong AMS event, namely the 134-ka event, between 134.4 and 134.1 ka BP. Our annual lamina counting results show that the event lasted 349 ±20 years, including a ASM increase excursion of ~149 years and decrease excursion of ~200 years, inferred from the 3.3‰ $\delta^{18}O$ variations. In comparison with North Atlantic climate records, we suggest that the 134-ka event in the penultimate deglaciation is essentially similar to the millennial-scale events in the last glacial-deglacial period with a comparable climatic pattern globally. Particularly, the observed weak-strong-weak ASM sequence from 138.8 to 132.8 ka BP in our record is largely controlled by changes in the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) mode forced mainly by the meltwater of northern high-latitude ice sheets.

S29-P-3S

基于石笋氧同位素揭示过去千年亚洲-澳大利亚季风演变与厄尔尼诺-南方涛动的联系

梁明强 [1*]，张键 [2]，李廷勇 [3*]，陈朝军 [3]，李俊云 [4]

1 Université catholique de Louvain，Earth and Life Institute

2 波尔多大学，海洋大陆环境与古环境实验室

3 云南师范大学，地理学部

4 西南大学，地理科学学院

* ming-qiang.liang@uclouvain.be

* cdlty@swu.edu.cn

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）年际变率对亚澳季风气候变化具有重要影响，其指数通常被作为预测亚澳季风强度变化的重要因子。然而，过去千年 ENSO（厄尔尼诺-南方涛动）和石笋 $\delta^{18}O$（$\delta^{18}O_s$）记录的亚洲-澳大利亚季风之间的联系仍然并不明确。因此，我们集成了 12 条亚澳季风区具有高分辨率和高精度的年代学的特征的石笋 $\delta^{18}O_s$ 记录，揭示了年，十年和百年时间尺度上亚洲-澳大利亚季风（AAM）与热带海洋水文之间的密切耦合关系。我们的结果揭示出：（1）亚洲-澳大利亚季风（AAM）的多年加权平均降水 $\delta^{18}O_{aw}$ 与南方涛动指数（SOI）之间存在显著的负相关性，为石笋 $\delta^{18}O_s$ 和过去的 ENSO 之间的联系提供了现代记录的支撑。（2）在过去千年，集成的 $\delta^{18}O_s$ 记录在小冰期（LIA）期间出现了正向偏移，暗示着热带太平洋地区呈现出类似厄尔尼诺的状态，这与热带太平洋海表梯度重建的 ENSO 结果保持一致，但不同于热带太平洋地区使用降水量的 ENSO 重建。（3）在亚澳季风区石笋 $\delta^{18}O_s$ 集成记录的小波和功率谱分析显示，其存在显著的多年代周期（2.2，2.8，3.5，4.6 年），其与 ENSO 周期（2-7 年）相吻合，另外，我们也发现石笋的集成

记录存在多年际和百年的周期（10.1，17，28.6，52.7，143 年）。本研究提供了来自器测和古气候数据集（GNIP 和 NOAA）的证据，并提出了一个可能的“环流效应”机制，来解释过去千年以来东亚季风（EAM）和澳大利亚季风（AM）地区石笋 $\delta^{18}O_s$ 记录变化的可能机制。

S29-P-4S

一项限制石笋初始钍的综合研究及其意义

黄守毅 [1]，蔡演军 [1,2*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

* yanjun_cai@xjtu.edu.cn

高精度 U-Th 年龄是促使石笋成为重要古气候载体的关键，精准的初始钍校正则是获得可靠 U-Th 年龄的关键。以地壳中的平均 $^{232}Th/^{238}U$ 值校正石笋 U-Th 年龄有时并不足以消除初始钍的影响，此时可以利用其它测年方法（如 ^{14}C）、样品 $\delta^{18}O$ 值的变化特征等指导其年龄校正与记录重建。本文综合利用石笋 U-Th 测年、^{14}C 测年和 $\delta^{18}O$ 测试，对云南小白龙洞的一个石笋进行了年代学和同位素记录的综合研究。该石笋铀含量低，U-Th 年代存在明显的倒转，很难建立一个可靠的代用指标序列。为此，我们根据未校正的 U-Th 年龄和不同老碳占比的 ^{14}C 年龄确定实际年龄范围，之后以石笋 $\delta^{18}O$ 值的变化特征确定相对真实的石笋生长年代，进而建立可靠的 $\delta^{18}O$ 记录并以该年龄反算初始 $^{230}Th/^{232}Th$ 值。经计算，所研究样品的初始 $^{230}Th/^{232}Th$ 原子比整体为 $75.7\pm11.4\times10^{-6}$，远高于常用的校正值一个数量级；且重建的石笋 $\delta^{18}O$ 记录仍适用于一定时间尺度的记录对比与古气候探讨。本文研究强调了石笋年代学工作中初始钍校正的重要性，并为类似样品的序列重建提供了参考。

S29-P-5S

基于中国西南地区 10 年监测数据的雨水同位素来源效应量化研究

薛艳霞 [1]，张键 [2*]，苏臻 [4]，吴尧 [5]，梁其胜 [1]，梁明强 [6]，刘向茁 [7]，陈朝军 [1]，李俊云 [3]，邱海英 [3]，李廷勇 [1*]

1 云南师范大学，地理学部

2 Université de Bordeaux，Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (EPOC)

3 西南大学，地理科学学院

4 Humboldt-Universität,Department of Computer Science

5 Heidelberg University,Institute of Environmental Physics

6 Université catholique de Louvain，Earth and Life Institute

7 Centre de Recherche de Bordeaux Aquitaine,INRAE

* jian.zhang@u-bordeaux.fr

* cdlty@swu.edu.cn

雨水的稳定同位素组成($\delta^{18}O_p$ 和 δD_p)被认为是研究大气环流和水循环过程的有效指标。然而，我们对中国西南地区大气降水的水汽来源变化与 $\delta^{18}O_p$ 之间的联系仍然知之甚少。本文基于中国西南部重庆的三个长期 (2010—2019年) 监测的 $\delta^{18}O_p$ 记录(北碚、芙蓉和羊口站点)，结合混合单粒子拉格朗日综合轨迹模型(HYSPLIT)的聚类分析，在季节和年际尺度上讨论了水汽来源与 $\delta^{18}O_p$ 之间紧密的遥耦合。水汽聚类分析结果表明，在季节和年际尺度上，西风带和亚洲夏季风 (ASM) 的初始水汽比例都有显著的变化，导致了中国西南地区 $\delta^{18}O_p$ 发生显著变化。旱季(11 月—次年 4 月)以西风带和内陆水汽的贡献为主。雨季(5—10 月) 以海洋水汽为主，并导致 $\delta^{18}O_p$ 偏负。在年际尺度上 (2010—2019 年)，$\delta^{18}O_p$ 和 *d*-excess

呈现持续的正/高趋势，原因在于海洋/西风带来源的水汽贡献的减少/增加。此外，在年际尺度上，南亚夏季风指数(the South Asian summer monsoon index, SASMI)和 Niño 3.4 指数与 $\delta^{18}O_p$ 显著相关，表明大尺度环流模式可以通过调节源区的水汽输送和对流活动来影响中国西南地区的 $\delta^{18}O_p$。长期观测证实，水汽来源的变化在很大程度上取决于受海洋-大气环流控制的西风和 ASM 动力，支持了水汽来源对下游季风降水同位素组成具有重要影响。

S29-P-6S

藏东南地区末次冰消期和倒二次冰消期气候变化对比

王曦谦 [1,2]，谭亮成 [1*]

1 中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院大学

* tanlch@ieecas.cn

亚洲季风是全球季风气候系统的重要组成部分，其通过海气相互作用对亚洲季风区的气候影响显著，而印度季风是亚洲季风系统的重要组成部分，其带来的降水对社会经济发展具有重要作用。印度季风的异常变化可能导致其影响区的洪涝和干旱，因此研究印度季风不同时间尺度上的演化特征，研讨其潜在的动力学机制，特别是印度季风的气候突变，进而加强我们在区域和全球气候变化规律上的研究，具有重要的现实意义。青藏高原东南部不仅是亚洲许多大型河流的发源地，被称为亚洲水塔，也是青藏高原向四川盆地过渡的构造转换带，还是西风带、东亚季风，印度季风的交汇地带。冰消期作为由冰期向间冰期过渡的时段，它的气候记录对于理解冰期终止期的控制因素有着重要作用。

本研究对位于青藏高原东南缘四川省神奇洞和水帘洞的三根石笋 SQ8、SL6 和 SL30 进行高精度的 U 系测年以及碳氧同位素和微量元素的测试，建立藏东南地区末次冰消期和倒二次冰消期石笋高分辨率 $\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 和微量元素的变化序列，并结合这些高分辨率序列对藏东南地区在末次冰消期和倒二次冰消期进行环境变化对比。通过 U-Th 测年结果建立年代模型，显示 SQ8 沉积于末次冰消期以及全新世早期，SL6 和 SL30 涵盖倒二次冰消期。对其指标分析的结果显示，该地区洞穴石笋 $\delta^{18}O$ 可以反映季风强度；石笋 $\delta^{13}C$ 和青藏高原东侧重建的湖泊水位变化相关，结合微量元素 Mg/Ca、Sr/Ca 和 Ba/Ca 记录，提供了青藏高原东南缘水文变化历史。通过与亚洲季风区其他石笋进行对比，结果显示青藏高原地区石笋记录对来自北大西洋高纬的气候变化响应更为迅速且更加剧烈。千年时间尺度上在冰消期阶段印度夏季风持续减弱趋势被千年尺度突变事件所打断，年代际时间尺度上，同时受控于 PDO 和 AMO 影响。

S29-P-7

CLIMATIC AND CULTURAL CHANGES IN LATE ICE AGE EUROPE

PÉREZ-MEJÍAS, CARLOS[1*]，RUAN, JIAOYANG[2]，STRAUS, LAWRENCE[3]，GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, PENÉLOPE[10]，MORENO, ANA[10]，FERNÁNDEZ-LÓPEZ DE PABLO, JAVIER[4]，STOLL, HEATHER[5]，HU, HSUN-MING[6]，DONG, XIYU[1]，BERNAL-WORMULL, JUAN[10]，CACHO, ISABEL[7]，ZHANG, HAIWEI[1]，CAI, YANJUN[1]，SHA, LIJUAN[1]，ZHAO, JINGYAO[1]，LI, YOUWEI[1]，NING, YOUFENG[1]，LI, HANYING[1]，AIT-BRAHIM, YASSINE[8]，EDWARDS, LARRY[9]，CHENG, HAI[1]

1 Xi' an Jiaotong University,Institute of Global Environmental Change

2 Pusan National University,Center for Climate Physics

3 University of New Mexico,Department of Anthropology
4 University of Alicante
5 ETH Zürich，Department of Earth Sciences
6 National Taiwan University,Department of Geosciences
7 University of Barcelona
8 Mohammed VI Polytechnic University
9 University of Minnesota,Department of Earth Sciences
10 Pyrenean Institute of Ecology
* perezmegias@xjtu.edu.cn

Climate is a core factor essential to understand the development of late Palaeolithic and Mesolithic cultures. Here, combining newproxy data from two caves from northeast Spain, and model simulations to reconstruct the habitat suitability for *homo sapiens*, we propose a new perspective tothe *Magdalenian*expansion into continental Europe found during the deglaciation. We offer evidence to support the existence of a window of climate amelioration (19.2 – 18.4 ka)that favored an increase in the exchanges and mobility, widening in the social networks, that explains the expansion and re-colonization of territories that were abandoned thousands of years earlier. The process was not lineal and a model of different pulses of retreats and advances is proposed, since the subsequent period known as Heinrich Stadial 1 entailed very harsh climate conditions in the area, likely challenging their capacity to inhabit continental regions while maintaining active social networks, crucial to survive.

S29-P-8S

中更新世转型期前后亚洲季风区高分辨率石笋记录

牛晓雯[1]，张海伟[1*]，王健[1]，康乐[1]，李瀚瑛[1]，程海[1,2,3*]

1 西安交通大学，全球变化研究院
2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室
3 中国科学院岩溶地质研究所，岩溶动力学重点实验室
* zhanghaiwei@xjtu.edu.cn
* cheng021@mail.xjtu.edu.cn

第四纪以来的古气候研究，尤其是气候突变事件研究对于理解和认识气候系统演变规律具有重要意义。利用石笋对东亚夏季风（East Asia Summer Monsoon，EASM）区过去两个冰期-间冰期旋回的千年尺度气候变化的研究较为充分，但是受制于 U-Th 定年技术的限制，目前老于 640 ka（ka=kilo annum）的 EASM 石笋记录仍是空白，研究人员对较老时段 EASM 气候演变的认识仍有不足。

本研究建立了较为完善的洞穴次生碳酸盐 U-Pb 定年技术，从而为石笋古气候研究向“深时”进军提供了重要技术支持。在此基础上，利用石笋记录对中更新世转型期（mid-Pleistocene Transition，MPT；约 1.2–0.7 百万年）前-后千年事件的变化情况进行了分析。本研究基于中国湖北省三宝洞（110°26′E，31°40′N，海拔约为 1900 m）石笋 SB16-2 和 SB20（部分）的 16 个激光和 6 个稀释剂 U-Pb 年代、2478 个稳定同位素测试数据，最终建立距今（今指 1950 C.E.）640–615 ka、690–660 ka、1360–1310 ka 的 $\delta^{18}O_c$ 高分辨率（可达 80 a）记录。主要的研究发现和结论如下：

（1）建立了较为完善的洞穴次生碳酸盐 U-Pb 激光和稀释剂定年方法。目前，本实验室的 Pb 本底基本保持在约 10 皮克（picogram，pg），与国际先进碳酸盐 U-Pb 实验室接近（约 10 pg）。本实验室激光和稀释剂法与澳洲墨尔本大学 U-Pb 实验室的年代结果在误差范围内一致。

（2）首次获得 MPT 前-后 EASM 强度变化的高分辨率石笋记录，并对 MPT 前-后 EASM 地区千年事件进行了进一步的讨论

分析。结果表明，MPT 之前，EASM 的千年事件仍然存在，但其振幅在 MPT 后增加。本研究认为 MPT 过程中冰盖的增大可能改变了北半球高纬度地区大陆径流注入位点而影响大西洋径向翻转环流变化，进而间接影响 EASM 强度变化。

S29-P-9S

基于石笋氧同位素揭示过去千年亚洲-澳大利亚季风演变与厄尔尼诺-南方涛动的联系

张键[1,2,3]，梁明强[4]，李廷勇[1*]，陈朝军[1]，李俊云[3]

1 云南师范大学，地理学部，云南省高原地理过程与环境变化重点实验室

2 波尔多大学，海洋大陆环境与古环境 实验室 (EPOC)

3 西南大学，地理科学学院

4 台湾大学，地质系

* cdlity@163.com

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）年际变率对亚澳季风气候变化具有重要影响，其指数通常被作为预测亚澳季风强度变化的重要因子。然而，过去千年 ENSO（厄尔尼诺-南方涛动）和石笋 $\delta^{18}O$ 记录的亚洲-澳大利亚季风之间的联系仍然并不明确。因此，我们集成了 12 条亚澳季风区具有高分辨率和高精度的年代学的特征的石笋 $\delta^{18}O$（$\delta^{18}O_s$）记录，揭示了年，十年和百年时间尺度上亚洲-澳大利亚季风（AAM）与热带海洋水文之间的密切耦合关系。我们的结果揭示出：（1）亚洲-澳大利亚季风（AAM）的多年加权平均降水 $\delta^{18}O$（$\delta^{18}O_{aw}$）与南方涛动指数（SOI）之间存在显著的负相关性，为石笋 $\delta^{18}O$（$\delta^{18}O_s$）和过去的 ENSO 之间的联系提供了现代记录的支撑。（2）在过去千年，集成的 $\delta^{18}O_s$ 记录在小冰期（LIA）期间出现了正向偏移，暗示着热带太平洋地区呈现出类似厄尔尼诺的状态，这与热带太平洋海表梯度重建的 ENSO 结果保持一致，但不同于热带太平洋地区使用降水量的 ENSO 重建。（3）在亚澳季风区石笋 $\delta^{18}O_s$ 集成记录的小波和功率谱分析显示，其存在显著的多年代周期（2.2，2.8，3.5，4.6 年），其与 ENSO 周期（2-7 年）相吻合，另外，我们也发现石笋的集成记录存在多年际和百年的周期（10.1，17，28.6，52.7，143 年）。本研究提供了来自器测和古气候数据集（GNIP 和 NOAA）的证据，并提出了一个可能的“环流效应”机制，来解释过去千年以来东亚季风（EAM）和澳大利亚季风（AM）地区石笋 $\delta^{18}O_s$ 记录变化的可能机制。

S29-P-10

东亚夏季风区石笋高精度多指标记录的 4.2 KA 事件

陈朝军[1,2]，吴尧[3]，程海[4]，宁有丰[4]，R. Lawrence Edwards[5]，肖思雅[2]，徐玉珍[2]，黄洋阳[2]，邱海英[2]，张键[6]，袁道先[2,7]，李俊云[2*]，李廷勇[1*]

1 云南师范大学，地理学部

2 西南大学，地理科学学院

3 Heidelberg University, Institute of Environmental Physics

4 西安交通大学，全球环境变化研究院

5 University of Minnesota,Department of Earth Sciences

6 Université de Bordeaux，Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (EPOC)

7 中国地质科学院岩溶地质研究所，自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室

* jxljy@swu.edu.cn

* cdlty@swu.edu.cn

由于 4.2 ka 事件是中晚全新世最显著的全球性气候突变事件之一，同时影响了新石器晚期全球文明的发展，因此，4.2 ka 事件

引发全球研究者的持续性关注和激烈讨论。然而，4.2 ka 事件期间亚洲夏季风的变化以及区域气候模式仍存在广泛争议。本研究利用中国重庆金佛山羊口洞 YK1306 石笋多指标重建了中晚全新世的亚洲夏季风的变化。YK1306 石笋 $\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$ 和 Mg/Ca 高度一致地表明 4.2 ka 事件期间亚洲夏季风增强，且与同区域内不同地质载体重建的结果可以相互映证。在 4015~4317 yr BP 期间，长江流域异常增加的降水量导致洪涝灾害频发，在 3745~4015 yr BP 期间长江流域又发生了异常的干旱。频发的气候突变事件使得长江流域新石器晚期的宝墩文化、石家河文化以及良渚文化的衰落。水稻种植的减产和自然环境的恶化导致了长江流域古人类的迁移，多文化的融入促进了成都平原的三星堆文化突然兴盛。4.2 ka 事件期间，较强的太阳辐射和频发的 ENSO 事件调控了亚洲夏季风区的气候变化。此外，南北半球之间海洋的耦合关系也调控了 4.2 ka 事件期间百年际尺度亚洲夏季风的变化。本研究不仅为 4.2 ka 事件期间亚洲夏季风的变化提供了新的证据，而且也为气候变化对新石器晚期长江流域古文化的影响提供了新的认识。

S29-P-11S

石笋流体包裹体水同位素记录重建亚-非季风区 22000 年以来温度变化

田野 [1]，张海伟 [1*]，梁泽源 [1]，蔡演军 [1]，宁有丰 [1]，宗保云 [1]，程海 [1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

* zhanghaiwei@xjtu.edu.cn

* cheng021@xjtu.edu.cn

石笋包裹体是洞穴石笋在生长过程中由于碳酸钙晶体结构的缺陷，将气体和液体封闭在晶格结构之中而形成的，他们保存了沉积物在形成时的原始信息。包裹体水的同位素组成继承于洞外大气降水，因此，通过测量包裹体水的氢、氧同位素（δD 和 $\delta^{18}O$），可计算包裹体形成时的洞穴温度，即可推算出洞外的平均温度，进而重建研究地区的温度变化历史。本研究设计了用于提取石笋包裹体水的真空装置，将其与使用波长扫描光腔衰荡光谱技术（WS-CRDS）进行工作的水同位素分析仪 Picarro 相连接组成石笋包裹体水测试系统，能够快速地提取石笋包裹体中的水并对其 δD、$\delta^{18}O$ 进行测量，测试获得的 $\delta^{18}O$、δD 的标准差分别为 0.5‰、2‰。本研究利用这一测试装置对湖北神农架龙洞石笋以及黎巴嫩 Jeita 洞穴石笋包裹体水 δD、$\delta^{18}O$ 进行了测试，初步建立了 22 ka BP 以来的洞穴温度变化记录。龙洞总体温度变幅大于 Jeita 洞穴温度，在全新世阶段龙洞温度高于 Jeita 洞穴温度。虽然龙洞与 Jeita 洞穴所处的地理位置不同使得气候主导因素不同，但两条石笋包裹体水重建的温度记录总体变化趋势一致：在~18ka BP 温度开始下降，并在~12 ka BP 开始逐渐升温，且都在早-中全新世阶段达到温度最大值，与全新世大暖期时段相吻合。在中-晚全新世阶段，龙洞温度显示出小幅下降趋势，然而 Jeita 没有显著的升温或降温趋势。与此同时，两条记录在中-晚全新世阶段的重建温度与现代监测的温度记录相近，进一步证明了本研究方法的可靠性。这两条新的石笋包裹体温度记录为解答“全新世温度谜题”提供了新的证据。

S29-P-12S

青藏高原东南部 MIS7D 与 TERMINATION-III时期气候与生态水文变化：以青海日格洞石笋记录为例

雷世豪 [1]，李瀚瑛 [1*]，黎有为 [1,4]，张瑞 [1]，董西瑀 [1]，程海 [1,2,3]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪国

家重点实验室
3 自然资源部岩溶动力学重点实验室
4 贵州省科学院，山地资源研究所
* hanying_lee@126.com

倒数第三次冰消期（Termination-III，简称 T-III）发生于 MIS8 向 MIS7 转变的时期，在此时期发现了存在与末次冰期 YD 事件相似的“类 YD 事件”（S8.1 和 S8.2 事件）。研究不同区域 T-III时期的冷倒转事件在冰期向间冰期过渡的气候变化特征是古气候研究的一个热点问题。MIS7d 是 MIS7 大暖期中海洋表面温度接近冰期时温度的一段冷时期。本研究利用青藏高原东南部青海日格洞的石笋（RG-1）氧、碳同位素记录以及微量元素记录，来探究 Termination-III 和 MIS7d 时期青藏高原东南部地区的气候变化以及洞穴上覆生态水文变化。石笋 RG-1 距顶端 20mm-60mm，65mm-144mm 的部分主要生长于 222-227ka BP，246-240ka BP。实验结果初步显示，石笋碳氧同位素记录在 T-III时期（245-240ka BP）和 MIS7d（222-227ka BP）的变化呈现负相关的趋势，相应的微量元素 Mg/Ca 无明显变化。但在 T-III 时期石笋碳氧同位素以及微量元素记录呈现正相关的趋势。石笋碳氧同位素的相关性结合微量元素的变化将有助于理解 Termination-III和 MIS7d 时期局地水文变化差异。

S29-P-13S

同一季风动量下的南北热力学差异：以 7.2 和 8.2 KA 干旱事件为例

潘良康[1]，赵景耀[1*]，程海[1,2]，杨琰[3]，崔佳辉[1]，董西瑀[1]，张瑞[1]

1 西安交通大学，全球环境变化研究所
2 中国科学院，地球环境研究所
3 西南大学，地理科学学院
* zjy1230@xjtu.edu.cn

石笋 $\delta^{18}O$ 可以揭示夏季风动力强度。本研究利用川东北地区张家洞 ZJD17-S2 石笋的 $\delta^{18}O$ 反演了早-中全新世过渡期年际分辨率东亚夏季风强度，以及利用 $\delta^{13}C$、$\delta^{234}U$、Sr/Ca 比值和生长速率重建了研究区干湿变化。记录显示在 7.2 和 8.2 ka 事件期间均发生了干旱，但在早全新世至中全新世季风减弱背景下，7.2 ka 事件期间研究区更为干旱。进一步地结合南、北方的石笋、湖泊沉积物、泥炭等古气候记录发现，早全新世背景下的 8.2 ka 事件可能是南北均旱的模态，而中全新世背景下的 7.2 ka 事件则可能是北涝南旱。结合前人模拟工作认为，早全新世强季风动量条件下，北方偏旱的原因之一是临近的高纬地区残留冰量带来的热量偏低进而导致促成降水的上升气流减弱，而中全新世 7.2 ka 事件南方偏旱可能与西风急流向东加强及其带来的西太平洋副热带高压西伸有关。

S29-P-14S

碳酸盐激光和稀释剂法 U-PB 定年及其在洞穴次生碳酸盐中的应用

王健[1]，牛晓雯[1]，康乐[1]，张海伟[1]，宁有丰[1]，贾雪雪[1]，梁峰[2]，张普[1]，蔡演军[1]，储著银[3]，郭敬辉[3]，程海[1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院
2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，杭州地质研究院
3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室
* cheng021@xjtu.edu.cn

碳酸盐 U-Pb 年代学具有广阔的应用价值与潜力。近些年同位素稀释剂法和激光原位法碳酸盐 U-Pb 定年迅速发展，但国内尚未报道利用激光原位法测试的第四纪以来碳酸盐 U-Pb 年代，碳酸盐 U-Pb 定年的同位

素稀释剂法也亟待开发。在此背景下西安交通大学同位素实验室利用第四纪洞穴次生碳酸盐开展了激光和稀释剂法（LA&ID-MC-ICPMS）U-Pb 定年方法研究。我们利用激光法对不同碳酸盐标样进行了测试，U-Pb 年代结果与标准值在误差范围内一致；首次报道了第四纪洞穴次生碳酸盐的高精度激光 U-Pb 定年结果，与国外实验室稀释法所得年代可相互印证；讨论了第四纪碳酸盐 U-Pb 定年初始 U 系非平衡分馏校正的有关问题，强调了稀释剂法对于 $\delta^{234}U_{initial}$ 和 Pb 同位素高精度测试的重要价值。稀释剂法方面，本实验室全流程 Pb 本底目前能够达到世界一流水平（~10 pg）；对于第四纪洞穴次生碳酸盐的初步测试结果与国外稀释剂法及本实验室激光法在误差范围内一致。结合激光和稀释剂法 U-Pb 定年技术，重建了第四纪以来多个时段的东亚季风石笋记录并开展了初步的分析讨论。

综上所述，本实验室建立了可靠的较高精度激光法和初步的稀释剂碳酸盐 U-Pb 定年方法，除了较老的碳酸盐样品以外，还能够对第四纪以来的洞穴次生碳酸盐进行较高精度 U-Pb 年代学测试，对于早第四纪以来的众多科学问题的进一步研究具有重要意义。

S29-P-15S

黄土高原东缘倒二冰期石笋高分辨率记录研究

翟相坤，蔡演军 [1*]

1 西安交通大学，人居环境与建筑工程学院

* yanjun_cai@xjtu.edu.cn

冰期气候研究一直是古气候研究的重点，末次冰期的研究已取得很多成果，而对更老冰期（如倒数第二次冰期）的研究尚存在很多不足。本文基于中国山西阳泉万花洞石笋（编号 WH24）16 个 U/Th 年代、638 组氧碳同位素记录以及微量元素 Mg/Ca、Sr/Ca 和 Ba/Ca 记录，重建了倒二冰期 167ka B.P.～156ka B.P.千年尺度亚洲季风高分辨率时间演化序列，平均分辨率为 18a。WH24 与同时段的三宝洞、葫芦洞和羊口洞石笋 $\delta^{18}O$ 记录在变化模式上有较好的一致性，同时 WH24$\delta^{18}O$ 记录存在更多的细节特征，有在千年尺度上的快速振荡，表明其具有很好的重现性，是指示亚洲季风强度的可靠指标。

WH24 的 $\delta^{18}O$ 记录与指示南极温度变化的 EDC 冰芯 δD 记录对比，发现两者在亚轨道和千年尺度上都有很好的同步反相位关系，指示了 $\delta^{18}O$ 所代表的亚洲季风强度受到了来自南半球尤其是南大洋的潜热释放所驱动，南大洋温度的变化驱动马斯克林高压与澳大利亚高压相应变化，再通过越赤道气流与西太副高的位置、强弱变化从而来影响亚洲季风强度。此外 WH24$\delta^{18}O$ 记录的变化趋势受北高纬太阳辐射的影响不明显，可能意味着在倒二冰期冰量极大的背景下，气候模式稳定，更多的受到了冰量的影响。

去除轨道趋势后的氧碳同位素在千年-百年尺度呈正相关，这种耦合关系很可能表明 $\delta^{13}C$ 指示了与降水相关的土壤湿度，即倒二冰期总体冷干的气候背景下氧碳同位素共同反映气候-环境的演化。

S30-O-1

马里诺“雪球地球”晚期中纬度地区存在开阔水域

宋虎跃 [1*]，安志辉 [2]，叶琴 [1]，胡军 [1]，田力 [1]，宋海军 [1]，童金南 [1]

1 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质调查局武汉地质调查中心

* hysong@cug.edu.cn

新元古代发生的雪球地球事件对早期生命演化起着关键性作用。当前，国际学者对雪球地球的模式和成因仍存在很大的争议。主要存在两种主流学术观点：一种观点认为雪球地球时期全球冰封，在低纬度冰盖

表层可能存在冰锥/冰洞；另外一种观点认为雪球地球并非全球冰封，气候模拟结果显示低纬度赤道地区存在开放水域。然而，这两种假说都不能很好地解决雪球地球时期生物如何生存和演化这一关键科学问题。我们研究组在Geology上报道了产自华南神农架地区宋洛剖面南沱组的黑色页岩地层中底栖真核藻类化石，被称为“宋洛生物群”，填补了成冰纪雪球地球时期的古生物化石空白。虽然宋洛生物群在一定程度上指示当时的海水存在开阔水域，但是海水环境的具体特征是什么？如何为生物提供宜居场所？这些科学问题都尚未解决。

为此，我们对宋洛生物群产出层位（黑色页岩层）和相邻的冰碛岩层位开展系统的碳同位素、氮同位素、铁组分研究。铁组分数据显示当时的底层水体为缺氧环境。全岩和干酪根氮同位素结果显示海洋中存在完整的有氧氮生物地球化学循环过程，指示表层海水为有氧环境。与前人的研究结果不同，黑色页岩层位较高的有机碳含量和有机碳同位素组成指示相对较高的初级生产力水平。依据前人恢复的成冰纪全球古地理图，宋洛生物群所在的宋洛剖面位于北半球中纬度地区（北纬30-40度之间）。综合古生物化石和地球化学证据，我们对此前的雪球地球模型进行修订，提出了一个中-低纬度地区同时存在开阔海水环境的新雪球地球模型，扩张的开阔水域为成冰纪需氧真核生物的演化提供了宜居环境。

S30-O-2

晚泥盆世-密西西比亚纪植物水循环与生物礁耦合演化

要乐[1*]，黄璞[1]，陈波[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* lyao@nigpas.ac.cn

古生代陆地植物的起源和繁盛，导致地表水文循环发生了显著变化，对地球表层系统产生了深远的影响。陆地植物一方面通过蒸腾作用增加地表降雨量，加剧了大陆硅酸盐风化作用和有机碳埋藏量；另一方面，通过地表径流将陆源营养元素带入海洋，导致海洋初级生产力提高、海水缺氧程度和有机碳埋藏量增加。在晚泥盆世–密西西比亚纪期间，陆地植物和海洋生物礁系统均发生了显著变化，可识别出3个耦合演化阶段：(1)晚泥盆世弗拉期–法门期(Frasnian–Famennian/F–F)转折期植物多样性和覆盖面积明显增加并向高纬度扩张，伴随Kellwasser生物灭绝事件和显生宙最大的层孔海绵-珊瑚礁系统崩溃；(2) 泥盆纪–石炭纪(Devonian–Carboniferous/D–C)转折期种子植物多样性显著增加，伴随Hangenberg生物灭绝事件、层孔海绵-珊瑚礁消失以及密西西比亚纪早期后生动物礁缺失；(3) 密西西比亚纪中–晚期(Middle–Late Mississippian/M–LM)种子植物科达类树木的丰度显著增加，伴随M–LM生物灭绝事件和珊瑚礁系统崩溃。种子植物不仅具有较深的根系，还可以克服对水分的依赖，从近岸湿润低地向内陆干旱高地扩张，进而加强陆地水文循环过程。泥盆纪–石炭纪陆地植物(尤其是种子植物)繁盛引发水文循环和硅酸盐风化作用增强，进而导致气候变冷、海水温度降低和缺氧程度加剧可能是控制海洋后生动物礁系统崩溃或消失的主要因素之一；此外，构造运动伴随的陆壳抬升和火山作用可以促进硅酸盐风化，进一步导致海洋环境恶化和生态系统崩溃。

S30-O-3

被子植物演化和水循环

史恭乐[1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* glshi@nigpas.ac.cn

陆地植物在水循环中扮演了至关重要的角色。通过蒸腾作用，植物将部分陆地降水再循环到大气中，构成了水循环中非常重要的一环。地质历史中植物的营养器官和繁殖器官形态、内部解剖结构和生理功能不断

演化，以致处于不同演化阶段的植物门类的水分运输效率和蒸腾作用能力迥然不同。植物生理学和古植物生理学研究显示，现代陆地生态系统中占支配地位的被子植物在水分运输效率和蒸腾作用能力方面远优于其他现生或已灭绝的植物门类。但化石记录显示，在早白垩世被子植物演化的最初阶段，早期被子植物在水分运输效率和蒸腾作用能力方面尚不具有优势。植物叶化石叶脉密度分析表明，白垩纪中期和白垩纪-古近纪之交被子植物经历了两次蒸腾作用能力的显著提高。具单穿孔板导管的出现和叶片叶脉密度的增加极大地提高了被子植物的水分运输效率、蒸腾作用能力和光合作用能力，进而提高了被子植物在生态系统中的竞争优势，并引发了被子植物在晚白垩世的辐射多样化，同时也有力地促进了水循环的活跃程度和降水的增加。另一方面，气候条件尤其是水分条件决定了植被类型和植被的类群组成、叶相组成等，使得我们可以通过地层中保存的植物化石重建晚白垩世以来的古降水和古湿度等多个水循环相关的气候指标，进而认识和了解晚白垩世以来的水循环。未来更高分辨率的植物大化石和孢粉化石采样，和结合地质年代学和气候模型模拟的多学科研究，将为认识深时水循环演变提供更多证据。

S30-O-4

晚古生代冰室气候碳-水循环研究进展

陈吉涛[1*]，高彪[1]，仲钰天[1]，杨文莉[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* jtchen@nigpas.ac.cn

晚古生代大冰期(360~260 Ma)是地球上在动植物繁盛以来持续时间最长的冰期事件，记录了陆地自有高等植被和复杂陆地生态系统以来，唯一的一次从“冰室气候”向“温室气候”的转变. 针对晚古生代大冰期的研究大多聚焦于全球碳循环、以及冰川性海平面变化等方面，对于大冰期的水循环研究相对较少，并且其主要基于气候模拟研究结果. 随着单颗粒锆石精确测年技术的应用，高精度的综合地层框架使得冈瓦纳中高纬度地区冰川消长与低纬度地区沉积记录、生物多样性与演化及各种全球地球化学记录建立时序关系，为研究地球循环系统和反馈机制提供了基础条件. 目前，对晚古生代大冰期碳同位素变化趋势已有较好认识，存在三次显著的碳同位素正漂事件，依次为杜内中期、巴什基尔早期和阿瑟尔早期，并且在时间上与冈瓦纳大陆识别的三次冰川高峰吻合. 在宾夕法尼亚亚纪卡西莫夫末期发生了一次短暂的碳同位素负漂事件，引起显著的全球变暖和海洋缺氧. 冰川体积与古热带区域气候动态在天文轨道周期尺度至 1~8 个百万年的冰期–间冰期时间尺度上都具有耦合关系. 在各种时间尺度上，晚古生代大冰期地球表层系统的各个圈层之间的反馈过程都非常复杂，因此，今后需在高精度综合地层框架下，开展不同复杂程度的生物地球化学循环和地球系统模型等的模拟工作，以全面地揭示晚古生代大冰期碳–水循环关联机制.

S30-O-5

古生代-中生代之交的气候带、降水和季风演变

宋汉宸[1]，宋海军[1*]，张仲石[2]，吴玉样[1]，楚道亮[1]，舒文超[3]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国地质大学（武汉），环境学院

3 中国地质大学（武汉），资源学院

* haijunsong@cug.edu.cn

古生代-中生代之交不仅发生了重大的气候波动事件，也发生了重大的水循环变化。地质记录和深时气候模拟等数据可从气候带、降水和季风演变等方面反映古生代-中生代之交的水循环演变。我们发现在晚古生代、早中生代发生了重大的水循环变化：1)

通过总结气候敏感性沉积物，并利用泰森多边形的计算恢复了气候带，发现当时全球的干旱带发生了一次明显扩张，代表干旱气候的蒸发岩面积从中-晚二叠世开始扩张，到早三叠世达到顶峰，气候带呈东-西经向分布，中三叠世恢复至中-晚二叠世的水平，晚三叠-早侏罗世继续收缩；2) 通过气候模拟数据总结的全球年平均降水量在晚石炭、早侏罗世较高，中-晚二叠世和早三叠世较低，呈现为“V”字形变化，显示出一次重大的波动；3) 全球大陆的聚合可能导致泛大陆“巨型陆面风”和特提斯区域“跨赤道风”的形成，进而构成全球性的“超级季风”；4) 热带辐合带(intertropical convergence zone, ITCZ)摆动的纬度位置在志留纪-石炭纪以及侏罗纪-现代较低，在二叠纪-三叠纪时期季节性漂移幅度增大。根据事件发生的时间，这些水循环的重大变化与泛大陆的聚合、华力西造山、晚古生代冰期的结束以及大量碳释放和升温事件吻合，这些因素与当时的大气环流和水循环的变化存在密切联系：海陆的热力性质差异很大程度上影响地-气、海-气系统的能量分布，进而改变大气、大洋环流。古生代-中生代之交泛大陆的聚合改变了大气环流和“季风”，同时改变了能量的传输和分配，巨型陆面风的形成进而导致中-晚二叠世干旱带的扩张，降水量减少，特提斯区域跨赤道风给泛大陆东部沿海地区带来的水汽造成气候带的东-西经向分布；晚古生代末期华力西造山运动的减弱则增强了热带辐合带的摆动，促进了“超级季风”的发展；碳释放驱动的升温事件改变了能量传输，影响了大气环流；同时植物面貌的转变影响了碳释放，进而影响水循环。由此可见，古生代-中生代之交水循环的强烈波动可能是该重大地质历史转折期岩石圈（地球深部过程）、大气圈（大气过程）、水圈（水循环）及生物圈（生命活动）相互作用的重要体现。随着地质记录的丰富和技术方法的不断进步，地球系统模式(如 CESM、Nor-ESM、HadCM、cGENIE)、大数据平台等方法为进一步探究古生代-中生代之交水循环提供了有力工具，此外，水循环过程的其他部分如冰盖、地下水及湖泊过程也逐渐成为重要话题。

S30-O-6

新生代青藏高原生长对东亚水循环及生态系统的影响

李树峰[1*]，赵佳港[1,2]，Alex Farnsworth[3]，Paul J. Valdes[3]，刘佳[1]，黄健[1]，周浙昆[1,4]，苏涛[1]

1 中国科学院西双版纳热带植物园，中国科学院热带森林生态学重点实验室

2 中国科学院大学

3 University of Bristol,School of Geographical Sciences

4 中国科学院昆明植物研究所，中国科学院东亚植物多样性与生物地理学重点实验室

* lisf@xtbg.org.cn

新生代青藏高原生长和全球温度变化驱动东亚气候和生态系统发生了剧烈变化。本文综述了前人的相关研究成果，基于前期的数值模拟工作，进一步探讨了青藏高原地形地貌演变对东亚水循环及生态系统的影响。目前，关于青藏高原新生代以来地形地貌的演化还存在争议，但近年来不同学科的证据一致认为，青藏高原生长过程具有区域差异性。最新的古气候数值模拟表明，青藏高原北部抬升显著改变了亚洲气候系统，促使东亚降水显著增加，尤其是中国南方冬季降水增加更为明显，地表径流也相应增加，对东亚水系格局产生了重要影响；土壤含水量也随之增加，冬季深层土壤含水量增加尤为显著，导致中国东部植被从干旱、半干旱转变为湿润、半湿润植被类型，造就了现今东亚植被和生物多样性格局。目前，关于青藏高原生长对东亚降水的影响，科学界已有深入认识，但是还有若干关键问题亟待解决，包括：对青藏高原地形地貌演化的进一步限定、对气候转型期高精度的古气候数值模拟，以及进一步解析新生代东亚水循环和生态系统的耦合关系。理解这些关键问题对预测未来全球气候急剧变化背景下的生态系统响应及其演变趋势具有重要的参考意义。

S30-O-7

青藏高原水、汽、冰循环与脊椎动物演化模式

邓涛[1*]，侯素宽[1]，吴飞翔[1]

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* dengtao@ivpp.ac.cn

青藏高原在地质历史时期经历了复杂而大规模的环境变化，这一系列的地质运动和地貌演化引发并形成了青藏高原及周边地区气候格局，其水循环表现为液态、气态和固态的水、汽、冰条件的改变，可能促进本地区生物多样性的发展，也可能引起生物的灭绝。因此，青藏高原的形成过程不仅对塑造本地区的现代生物多样性具有巨大的影响，而且对促进起源于高原的许多物种甚至现代广布类群的祖先的洲际扩散起过重要的作用。在距今2亿多年前的三叠纪时期，青藏高原今天所处的地区还是一片汪洋大海。喜马拉雅山脉分布着三叠纪的海相灰岩，其中产有喜马拉雅鱼龙（*Himalayasaurus tibetensis*）和珠峰中国旋齿鲨（*Sinohelicoprion qomolangma*）等脊椎动物的化石。至侏罗纪—白垩纪时期，西藏东南部的部分地区逐渐脱离海洋环境，在昌都盆地形成了与当时四川盆地相似的淡水湖泊，其中生活着硬齿鱼等，而恐龙等爬行动物则在湖岸边活动，如在芒康发现的拉乌拉芒康龙（*Monkangosaurus lawulacus*）和酋龙（*Datousaurus* sp.）等。印度板块与欧亚板块的碰撞使青藏高原逐渐隆起，由海拔高度造成的环境，尤其是温度变化与纬度效应类似。青藏地区在新生代早期可能位于低纬度的热带地区且存在地势低平的地带，当时青藏地区内部与东南亚的热带地区之间有水系相通，因此热带、亚热带鱼类繁盛。之后这一地区地势隆起，环境变干、变凉，致使喜暖鱼类终于在此绝迹，并转换为青藏高原特有的裂腹鱼类。青藏高原的快速上升还使季风气候加强，中亚内陆地区的气候持续走向干旱，中国西部的中新世动物群主要由耐旱的草原型哺乳动物组成，还有耐旱的鸟类和爬行动物。青藏高原在上新世已经达到现代的高度，其气候环境已具有冰冻圈的特点，成为冰期动物群最初的演化中心。2.6Ma 全球气温第一次下降到低于今天的水平，导致海水大量结冰，海平面大幅度下降，白令海峡露出海面成为联通北美和欧亚大陆的桥梁，促进了两个大陆之间的动物交流。已经适应了冰冻环境的动物迅速扩散到青藏高原周边以及更遥远的地区，组成晚更新世猛犸象-披毛犀动物群。鲤科鱼类的区域环境自中中新世以来发生巨大的变化，随着青藏高原的强烈隆升，现代河流系统的形成，以及亚洲夏季风的进一步加强，在多样性组成和地理分布上逐渐趋近今天的面貌，成为东亚地区淡水鱼类区系的主体，并形成现今的生活和繁殖习性。

S30-O-8

中中新世的陆地水循环—高分辨率定年和沉积大数据支撑下的粘土矿物学研究

马鹏飞[1*]，杨思婕[2]，程汉[3]，胡修棉[4]，马超[4]，蒋璟鑫[4]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 浙江大学，海洋学院

3 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

4 南京大学，地球科学与工程学院

5 成都理工大学，沉积地质研究院

* pma@tongji.edu.cn

中中新世是全球碳循环和气候发生重大波动的时期，然而其水循环过程特别是陆地水循环过程研究相对较少。海洋粘土矿物主要来自于陆地的化学风化，是研究陆地水循环的潜在指标。考虑到物源区对海洋粘土矿物分布的影响较大，本项研究首先选择了受特定物源区影响较弱的远洋大洋钻探站位开展工作；在建立高分辨率年代地层格架和精细的粘土矿物学工作基础上，证实了远

洋粘土矿物相对含量和特定的粘土矿物晶体学参数与水循环强度直接相关；进而，定性约束了东亚区域中中新世陆地水循环过程，并认为其受控于东亚夏季风演化。随后，利用大洋沉积物数据库（Ocean Sediment Database，OSD）整合的大洋钻探粘土矿物学数据开展研究，对中低纬太平洋多个远洋站位的粘土矿物学数据进行了标准化，进一步约束了中中新世的陆地水循环过程。特定站位研究和初步数据汇编的结果均显示，中新世气候适宜期和中中新世气候转折期水循环强度明显较大，前者体现在平均降水强度的增大，而后者体现在季节性降水差异的增强。

S30-O-9

轨道驱动对高低纬水循环的影响特征：海冰和降水

吴志鹏[1,2,3*]，尹秋珍[2]，梁明强[2]，郭正堂[1,3,4]，史锋[1,4]，陆浩[1]，苏倩倩[2]，吕安琪[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

2 Université catholique de Louvain，Earth and Life Institute

3 中国科学院大学，地球科学学院

4 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心

* zhipeng.wu@uclouvain.be

轨道尺度上的水循环及其对轨道三要素、温室气体和冰盖的响应一直是古气候学界研究的热点科学问题之一。海冰和降水作为水循环的两个重要组成部分，其变化更是备受关注。研究海冰和降水在轨道尺度上的变化，特别是对外部驱动的响应机理、内部过程和反馈机制，有望对现代海冰和降水变化的理解及其未来趋势预测提供长尺度的背景参考。综合最新研究结果表明，在轨道尺度上北半球海冰对太阳辐射的变化更敏感，而南半球海冰对温室气体的变化更敏感。就轨道三要素而言，北半球海冰主要受岁差控制，而南半球海冰主要受斜率控制。岁差、斜率和 CO_2 在全球不同区域降水中的相对重要性随时间和空间不同而发生变化。受赤道最大太阳辐射影响，热带降水中还含有明显的半岁差信号。此外，缓慢的轨道尺度太阳辐射变化可以通过影响北极海冰变化来引起大西洋经向翻转环流(AMOC)百年-千年尺度的突变，从而引起全球温度和降水随之发生改变。在东亚季风区，中国南方夏季降水受冰盖影响显著，冰盖主要通过影响热带辐合带(ITCZ)的季节性摆动来影响降水；而中国北方夏季降水主要受太阳辐射控制，以岁差信号占主导；太阳辐射和冰量对夏季风降水的影响具有较强的区域性和非线性特征。

S30-O-10

氧同位素在古温度重建及水循环研究中的应用

陈波[1*]，朱茂炎[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* chenbo@nigpas.ac.cn

适宜温度是地球宜居性最重要的环境参数。碳酸盐和磷酸盐化石的氧同位素组成是重建深海海水温度最广泛使用的方法。然而，这一方法受到后期成岩蚀变、氧同位素同位素分馏效应、海水氧同位素组成的区域变化，以及是否随地质时间而变化而等不确定性因素的影响。在这篇文章中，我们评估了这些不确定性的影响。结果表明，经过严格筛选的氧同位素数据提供了显生宙最连续、最可靠的古温度记录，与其他代用指标反映的气候变化基本一致。比如较低的温度对应于冰期(晚奥陶世、石炭纪-早二叠世、新生代)，较高的温度对应于温室期(早三叠世和中白垩世)。然而，由于对水圈 δ18O 值是否恒定存在激烈争论，精确计算深时绝对温度仍然是一个挑战。

本文综述了利用深时氧同位素了解地表和深水循环的研究进展和存在的问题。由于水汽压对温度的非线性依赖，一般认为温

度的升高会增强地表水循环和降水。然而，在长时间尺度上，水文循环对温度变化响应的确切机制和幅度及其时空特征仍不清楚。对新近纪以来对这一关系的系统评价表明，在温暖气候条件下，水文循环加剧，但水文循环对气候的响应不是全球统一的，表现出明显的空间差异。地表水循环变化与温度的相关性在更早时期也有体现，如卡尼期湿润期(晚三叠世)，海水温度的升高对应着显著的干湿转变，同时伴随着碳同位素下降和海洋缺氧，表明气候变暖导致了水文循环的加剧和环境条件的恶化，从而导致了生物多样性的下降。在二叠纪-三叠纪界线处也发现了类似的现象。由于缺乏合适的替代数据来监测深时地表水循环，显生宙的极端气候变化是否必然伴随着剧烈的水循环变化尚不清楚。

在更大的时空尺度上，地球的水循环涉及地球内部的深部过程。从地表到地幔的水循环是一个净流入过程;水可以降低软流圈的黏度，这是岩石圈板块构造启动的关键因素。由于地表水持续俯冲到地幔中，造成海平面下降，导致大陆地壳上升到海平面以上，并接受地表剥蚀和风化，从而开启陆地水循环，最终导致大气 CO2 减少，生物地球化学循环重组和大气氧化。因此，深部水循环及其相关的板块构造过程在塑造地球的宜居性方面起着重要作用。氧是地球上最丰富的元素，深部水循环过程中的氧交换是追踪岩石圈和水圈相互作用的有效手段，而不同圈层的氧同位素记录及其耦合或不耦合变化能为研究岩石圈和水圈之间的物质和能量循环过程及其与地表重大地质事件的潜在因果关系提供了重要线索。如主要的氧化事件，植物的登陆以及生命的起源。

S30-O-11

显生宙长时间尺度碳循环演变的模拟：现状与展望

张莹刚[1,2,3*]，Benjamin J. W. Mills[3]，何天辰[3]，杨涛[2]，朱茂炎[1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 南京大学，内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室

3 University of Leeds,School of Earth Environment

* ygzhang@nigpas.ac.cn

长时间尺度碳循环演变控制了大气 CO_2 的含量. 显生宙以来, 大气 CO_2 含量的变化及其对地表气温的控制, 是古气候地球化学研究的前沿领域. 地球系统箱式模型被广泛用于揭示长时间尺度碳循环和古气候变化的过程与机制. 以 COPSE(Carbon-Oxygen-Phosphorus-Sulphur-Evolution) 和 GEOCARB 模型为代表的早期长时间尺度碳循环模型, 在应用于显生宙大气 CO_2 含量变化研究上成效显著, 但因无法表达地球三维地表的影响, 制约了其进一步发展. 新发展的 SCION(Spatial Continuous Integration) 模型基于 COPSE 模型, 结合了 GEOCLIM 模型中运用的 FOAM(Fast Ocean-Atmosphere Model)气候模型数据集,实现了大陆风化的动态表达, 进而更准确地表征了长时间尺度的碳循环演变. 然而, 最新版 SCION 模型模拟的大气 CO_2 含量变化, 仍与大气 CO_2 的地质指标记录存在不一致之处. 采用多箱式海洋替代单一箱式海洋, 区分硅酸盐岩性对风化的影响, 完善营养物质循环, 优化构造古地理和陆地植物演化的表达等, 有望提高对长时间尺度碳循环源汇体系的限定和显生宙大气 CO_2 模拟的准确性.

S30-O-12

低估了大气储水在全球水循环中的作用

唐春安[1*]

1 大连理工大学，土木工程学院

* tca@mail.neu.edu.cn

全球温度变化被认为在过去全球水循环过程中发挥了重要作用。通过对地球原始海洋形成以及三叠纪全球温度、海平面、蒸

发岩、红层、造山运动研究，发现在地质历史时期，全球水循环系统是一个动态不平衡的过程，低估了大气储水在全球水循环过程中的作用。（1）通过全球原始海洋形成的研究，当时全球地表温度极高，是不可能保存有液态水，原始海被储存在大气中，这表明大气具有极强的储水作用。（2）低对流层中的水蒸气含量和平均滞留时间随着温度升高而增加，反之亦然。当温度降低时，大气中存储大量水蒸气冷凝降落至地面，这可能是造成卡西尼期发生百万年大降雨的主要原因。（3）根据平均全球温度变化，把全球水循环划分为六个阶段并与海平面升降相对应。

S30-P-1S

潮汐影响下的滨海化工园区地下水动力参数解析估算

郭静[1]，赵华雯[2]，马野[1,3*]

1 大连海事大学，环境科学与工程学院，大连 116026

2 西湖大学，海岸带环境与资源研究重点实验室，杭州 310030

3 大连海事大学，港口与航运安全协同创新中心，大连 116026

* gjstudent@dlmu.edu.cn

化工园区作为人类生产活动高度聚集地，地下水极易受到污染，尤其滨海区域化工园区，多为碎石、砂土回填建造，地下回填空隙较大，不仅使海水入侵范围变大，还加剧了污染物扩散的速度与范围，污染物质极易随地下水入海通量汇入海洋，污染海洋生态环境。选取辽宁省大连市普湾新区，渤海普兰店湾一个典型的滨海回填化工园区为实验场地。通过环境精密压力传感器对近海潮汐和不同内陆径深的深浅井进行同期监测，监测内容包括水位、盐度、温度。采用调和分析对比不同分潮下园区地下水与潮汐的响应关系，通过现场微水试验与抽水试验确定含水层渗透系数。水位数据分析推导贮水系数，盐度数据推导弥散系数。

S30-P-2

水循环的地质演变：研究现状与关键问题

朱茂炎[1*]，郭正堂[2]，汪品先[3]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

3 同济大学，海洋与地球科学学院

* myzhu@nigpas.ac.cn

由大陆-海洋-大气之间水的三种相态（固态-液态-气态）相互转换和位移构成的水循环，是地球气候系统的主要过程之一。太阳辐射量在地球表面分布不均匀，是地表水循环的基本驱动力。水循环与碳循环密切关联，是气候系统演变中的两条主线。不同时空尺度的水循环和碳循环受天文、地质和生物因素以及它们之间相互作用的控制，揭示水循环地质演变过程及其与气候变化之间的关系，可为了解当今水文气候变化提供宝贵启示。通过水循环地质演变研究现状回顾，提出如下五个科学问题应在未来予以重点关注，即（1）雪球地球时期的水循环，（2）植被起源和演化对水循环的影响，（3）深时热带辐合带（ITCZ）的演变与水循环，（4）暖室期地下水与海平面变化，（5）深时水循环中的氧同位素示踪。同时建议我国未来亟需加强的四个研究方向，即（1）深时冰室期向暖室期转变中的水循环，（2）深时水循环与生态系统演变，（3）深时水循环研究方法的发展，（4）深时水循环与长周期地球系统演变的数值模型。

S30-P-3

中生代温室期水循环变化及其驱动因素

王博 [1*]

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* bowang@nigpas.ac.cn

中生代是地球历史中典型的温室气候时期，了解该时期的水循环特征及其驱动机制有助于人类更好地认识现代温室效应对全球气候和生物的影响。中生代至少包括 6 次全球性的极热事件，分别是卡尼期湿润幕、三叠纪末生物大灭绝事件、托阿尔期早期大洋缺氧事件、白垩纪大洋缺氧事件 OAE 1a 和 OAE 2，以及马斯特里赫特期末期变暖事件。这些极热事件都伴随有全球水循环加剧和大规模碳循环扰动，其间全球气候带有向高纬度扩张的趋势，从而显著改变了全球降水和生物分布，对海、陆生态系统演化具有深远影响。目前普遍缺乏对于极热事件的全球高分辨率对比研究，特别是高分辨率的陆相响应过程研究不足，限制了对极热事件时期全球水循环变化和陆地生态系统演化特征的理解。除极热事件外，中生代超过 94% 的时间为背景温室气候时期，轨道周期驱动的低纬度气候系统变化可能是该时期全球水循环变化的主控因素之一。未来亟需对极热事件的全球响应差异、背景温室气候时期水循环规律以及水循环和陆地生态系统的共演化关系等关键科学问题开展系统研究。

S30-P-4S

晚第四纪二十五万以来东地中海海水 ND 同位素记录

张延 [1*]，吴家望 [1]，Katharina Pahnke[2]，Philipp Böning[2]，Gert J. de Lange[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 University of Oldenburg,Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment (ICBM)

3 Utrecht University, Department of Earth Sciences–Geochemistry

* zhangy778@mail2.sysu.edu.cn

作为一个半封闭的海盆，地中海通过直布罗陀海峡与大西洋相连，再由西西里海峡分隔为东、西地中海。受强烈的蒸发作用驱动，大西洋表层水流入地中海后，转变成较咸较重的中层水和深层水，最终流出地中海并参与影响整个大西洋经向翻转流。地中海这一温盐环流系统对水文气候变化非常敏感，并被认为与具有特征天文韵律的富有机质沉积腐泥层有直接关系。在腐泥层形成时期，伴随着活跃的非洲季风降雨，地中海水体结构高度层化、深层水体缺氧，整个环流系统很可能大幅度减弱改变。但目前的研究多依赖于间接结果的推断，相互之间矛盾重重，较缺乏来自海水特性指标的直接证据，导致了诸多过程机制并不清楚。

本研究基于东地中海近利比亚陆架边缘的活塞取样站位 CP11PC（34°32.7′N，16°34.0′E；水深 1501 m），通过碳十四放射性测年、有孔虫氧同位素、火山灰以及腐泥层年代学建立年代框架，针对岩芯上部 7.9 米连续沉积的 8 个完整腐泥层，挑选了 28 个鱼骸/鱼牙样品开展古海水 Nd 同位素分析。通过利用海水 Nd 同位素作为洋流水团的示踪指标，基于公认最可靠的海水 Nd 同位素载体（鱼骸/鱼牙），本研究恢复了东地中海二十五万年以来腐泥层时期的古海水 Nd 同位素记录。排除受火山灰影响的数据，CP11PC 站位古海水 Nd 同位素在晚第四纪二十五万年以来逐渐升高，εNd 从海洋氧同位素 7 期的腐泥层 S9 最低值（-7.6 ± 0.3）上升到全新世腐泥层 S1 的最高值（-4.7 ± 0.3）。类似现象也在其他站位仅有的古海水 εNd 长记录中得到观察，包括东地中海东部（MD90-964 站位，水深 1375 m）和西地中海（MD01-2472 站位，水深 501 m）。这可能反映了晚第四纪以来北大西洋与地中海水体交换的不断减弱（即北大西洋水输入降低）或是尼罗河径流输入的持续增大。

S30-P-5

沉积盆地深部流体的循环流动

刘静江[1]，刘慧荣[2]，刘静江[1*]

1 中国石油勘探开发研究院

2 中国石油塔里木油田公司

* 3134811911@qq.com

虽然我们已经在陆地上、在大洋深处的许多地方都发现了由于地热异常而引起的流体流动和众多的热液矿藏[1-2]，但至今我们对沉积盆地内部流体流动的认识还是相当局限和片面的。实际上，广阔的沉积盆地并不是一个沉寂、封闭的体系，而是一个活跃、开放的物质和能量交换体系，它不断从基底深处或大气层获得物质和能量，也不断通过地层、流体和断裂系统向盆地其他部分或大气层传输物质和能量；沉积盆地也不是一个均匀的物质和能量体系，受沉积作用、压实作用和深部地质作用影响，盆地内物质和能量分布也是不均匀的，盆地内部存在着物质迁移和能量传递的差异；并且，盆地基底的物质、能量分布和结构特征也是不均匀的，并由于一些深大断裂的存在，使基底和盆地内物质传输和能量传递也不均衡，结果就造成盆地深部和浅部、盆地一个地区与另一个地区物质和能量分布的差异，从而导致盆地物质和能量的迁移。另一方面，盆地在沉积充填之后还保留有足够的渗透性可以供盆地中的流体流动。盆地内的许多重要的矿物和能源资源都是在流体流动和流体与岩石反应过程中形成的。大量的研究和发现证明，盆地内部的流体不是静止的，盆地内部的流体是在运动着的，盆地内部的流体存在着循环流动。

S30-P-6S

碳酸盐 U-PB 定年约束的 MPT 前东亚石笋记录岁差周期

康乐[1*]

1 西安交通大学，人居环境与建筑工程学院

* 1367061634@qq.com

碳酸盐 U-Pb 年代学在地学领域具有广阔的应用价值与潜力，西安交通大学同位素实验室基于对第四纪洞穴次生碳酸盐年代学的研究，开展了碳酸盐激光和稀释剂法（LA&ID-MC-ICPMS）U-Pb 定年技术的研发。将激光法空间分辨率高，分析速度快和稀释剂法样品量可控、测试精度高的优点相结合，建立了完备的碳酸盐 U-Pb 年代学测试体系。此外，随着激光原位法和同位素稀释剂法碳酸盐 U-Pb 定年测试技术的进步，我们利用激光法对国内外不同碳酸盐标样进行了测试，U-Pb 年代结果与标准值在误差范围内一致；第四纪洞穴次生碳酸盐的高精度激光 U-Pb 定年结果，与国外实验室稀释法所得年代相吻合。此外，本实验室全流程 Pb 本底目前能够达到世界一流水平（~10 pg），洞穴次生碳酸盐的测试结果与国外稀释剂法及本实验室激光法在误差范围内一致，验证了其准确性。本实验室建立了可靠的较高精度激光法和同位素稀释剂法碳酸盐 U-Pb 定年技术，突破了 U-Th 定年法的上限，通过对采集自湖北神农架三宝洞的石笋 SB20 进行 U-Pb 年代和氧同位素的测试，发现，SB20 的生长年代为 1.25~1.50 Ma，$\delta^{18}O$ 大约存在 10 个循环周期。在此基础上，建立起世界范围内第一条位于东亚季风区，早于中更新世转型期（MPT）的石笋 $\delta^{18}O$ 记录，根据这条全新的石笋记录，证实东亚区域主要受太阳辐射强迫的低纬季风控制，呈现出明显的岁差周期。当下，对全球气候变化的研究备受瞩目，结合前人的科研成果，高纬区受冰量控制的热力学循环系统和低纬区受季风控制的动力学循环系统共同构建了复杂的地球科学体系，此次研究为探讨

“高-低纬”气候循环这一更加综合的气候轨道理论提供了关键证据。

S30-P-7S

华南早泥盆世降雨量重建

钟涛[1]，黄璞[2]，王嘉树[1]，沈冰[1]，薛进庄[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室

2 中国科学院南京地质古生物研究所

* pkuxue@pku.edu.cn

通过对中国云南下泥盆统徐家冲组和桂家屯组古土壤 B 层的元素分析，估算出当时的年平均降雨量（MAP）及湿度状况。利用化学蚀变指数（CIA-K）和其他代用指标（CIA、CALMAG、Base/Al）来估算古降雨量，结果表明，徐家冲组下部碳酸盐含量高的古土壤，基于 CIA-K 指标估计的 MAP 在 305-677 mm yr^{-1} 之间，平均值约为 396 mm yr^{-1}（n=24），而该组中-上部碳酸盐含量低或不含碳酸盐的古土壤，其 CIA-K 指标估计的 MAP 在 1149-1242 mm yr^{-1} 之间，平均值约为 1218 mm yr^{-1}（n=48）。对桂家屯组而言，其古土壤 CIA-K 指标估计的 MAP 在 228-430 mm yr^{-1} 之间，平均值约为 319 mm yr^{-1}（n=34），与徐家冲组下部类似。基于地球化学代理估算的蒸散量和降水能量推断出的湿度范围从半湿润至湿润，同样指示多变的降雨量。质量平衡重建评估了桂家屯和徐家冲组古土壤的物理和化学变化，揭示了相似的土壤体积变化（应变）和主微量元素的运移（转运）模式。大部分土体的上部以 K、Al 和 Si 的净移除为特征，土体的下部则显示 Ca、Al 适度增加。古降雨量和湿度状况的定量估计及质量平衡重建，为进一步认识云南早泥盆世的古环境和早期维管植物的生境生态学提供了新的思路。

S31-O-1

西江下游中-晚全新世洪水记录与 ENSO 驱动的极端气候事件

郑卓[1*]

1 中山大学，地球科学与工程学院

* eeszzhuo@mail.sysu.edu.cn

重建全新世的极端降水与洪水历史是理解过去气候变化机制和评估未来灾难性气候事件潜在影响的关键内容。然而迄今为止，中国南方，特别是珠江流域缺少千年尺度的古洪水地质记录，使得华南地区暴雨降水的重建以及准确预测未来极端气候和引发的洪水灾害带来困难。珠江是中国南方最大的流域，珠江三角洲曾被认为是世界上受洪水/风暴潮影响最脆弱的区域之一。本研究在西江下游高要地区发现了一系列古洪水沉积事件，根据多个剖面的洪水层碳同位素年代精确对比，归纳出西江下游距今 6000 年以来的大洪水爆发周期为 582-1365 年不等，即这些全新世洪水的规模和周期为千年一遇气候事件。亚洲夏季风在中-晚全新世的逐渐减弱、西太平洋副热带高压的移动，及厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)的变化可能是触发中国南方异常高降水和导致珠江流域大洪水发生的关键因素。通过西江古洪水记录与中国中东部降水重建结果的对比发现，西江下游的千年洪水事件多处于中国中东部降水波动的减少时段，表明中-晚全新世的南方极端降水可能与我国东部经向“三极”降水模式增强有关。另外，在过去的 2000 年里，人类对植被的破坏和以稻作农业为主导的土地利用增强导致了当地植被生态系统和水松沼泽林的迅速退化，从而使洪水的破坏力对人类生存的影响加剧。剖面上部（宋代以后）的地层中含有大量的水稻型花粉，反映了该时期特大洪水可能大面积淹没了流域内的耕地。本研究为珠江流域的水文气候重建，以及暴雨灾害预测提供了长尺度的

数据基础。该研究得到国家自然科学基金项目（42072205）的支持。

S31-O-2

VEGETATION AND RAINFALL CHANGES IN THE WESTERN PACIFIC WARM POOL: IMPLICATIONS FOR THE EVOLUTION OF ENSO OVER THE LAST 15.000 YEARS

LázárBoitond[1]，Enno Schefuß[2]，Mahyar Mohtadi[2]，Zhimin Jian[3]，Stephan Steinke[1*]

1 Xiamen University,College of Ocean & Earth Sciences

2 University of Bremen,MARUM-Center for Marine Environmental Sciences

3 Tongji University,State Key Laboratory of Marine Geology

* ssteinke@xmu.edu.cn

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是年际气候变率的主要原因，但其对全球变暖的反应仍然高度不确定。特别是由于仪器记录仅涵盖近几十年，无法捕捉十年或更长时间尺度上的趋势或变化，从而导致 ENSO 的长期演化和太平洋上相关的沃克环流很难在模型模拟中进行预测。因此，有必要解决对过去的 ENSO 和沃克环流变率相关记录的问题。但 ENSO 目前的可用记录是矛盾的，并且有可能受到 ENSO 以外的气候现象的影响。为此，我们重建了巴布亚新几内亚北部海岸外核心站点 GeoB17429-2 过去 15 年降雨量的变化，该站点位于 ENSO 活动中心西太平洋暖池(WPWP)内。根据仪器记录，该地点的降雨量会随着 ENSO 和沃克环流的变化而变化，从而使我们能够重建它们的长期演化过程。在这里，我们测量了植物蜡中的化合物特异性同位素，以重建过去 15 年的降水和植被（C3 与 C4 植物）的变化。δ13Cwax 数据表明 C3 雨林型植被明显占优势，而 C4 型植物没有明显占比。在较长链的 C33n-烷烃数据中可以观察到变化，这些数据显示在新仙女木期(YD)和~4-6 kyrs 期间的负值较少，表明这些时期降水较少或是 ENSO 活动较弱。δD 数据显示 YD 期间降雨量相对较低，介于~4-6 kyr 之间。由于 ENSO 是我们在 WPWP 站点的水文气候的主要控制因素，我们的研究结果表明在 YD 期间和~4-6 kyrs 之间存在类拉尼娜现象的平均状态。

S31-O-3

中国东海岸过去 2 千年台风强度的状态转换

杨阳[1*]，Vittorio Maselli[2]，汪亚平[3,4]，贾建军[4]，高建华[3]，周亮[5]，高抒[3]

1 南京师范大学，海洋科学与工程学院

2 达尔豪斯大学，地球和环境科学系

3 南京大学，地理与海洋科学学院

4 华东师范大学，河口海岸科学研究院

5 江苏师范大学，地理测绘与城乡规划学院

* yyang@njnu.edu.cn

台风是大陆边缘最重要的极端事件之一，其未来变化备受关注。在台风活动的衡量指标中，台风强度变化规律及机制是目前的研究前沿和热点。然而，仪器记录的年限较短，对长时间尺度的台风强度变化及其气候控制机制认识不足。本文利用改进的平流-沉降模型，重建了江苏沿海台风事件层的强度。结果表明，在 1480±55 yr BP，台风强度发生了状态转换。中国东海岸台风强度较 1480±55 yr BP 前下降了约 19% ~ 35%。结果还表明，ENSO 和大西洋经向翻转环流强度的突变可以解释台风强度的这种状态转

换。这项研究强调了解长时间尺度台风强度变化及机制的重要性，为预估未来台风活动变化提供新参考。

S31-O-4

珊瑚古气候重建支持低纬度强迫对 4.2KA 事件的影响

陈雪霏 [1]，邓文峰 [1*]，韦刚健 [1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

* wfdeng@gig.ac.cn

4.2 ka 事件（4.2-3.9 ka）被认为是全新世一次严重的快速干旱事件，标志着中晚全新世的气候转变，并且对古文明的兴衰和迁移有着重要影响。尽管已累积有相当多的重建研究来揭示这一次气候突变在全球范围内的响应情况，但目前的认识主要来自于陆地载体（如湖泊、泥炭和石笋等）重建的古气候记录，导致对理解海洋在这一事件中所扮演的角色存在许多不确定性。特别是对于揭示其驱动机制究竟是中高纬度还是低纬度海温异常，亟需海洋自身的证据来验证。

针对这一问题，我们利用采自南海北部的四个化石珊瑚（*Porites*）岩芯重建了海表温度和海水氧同位素记录。结合南海已报道的中晚全新世珊瑚重建记录，我们的重建结果显示，在 4. 2ka 事件中南海北部的降雨显著增多、温度明显下降。将珊瑚重建记录与中国大陆古气候记录进行对比，我们发现该事件导致东亚地区整体降温，但引起的降雨变化在经向上存在空间差异，具体表现为华北和华南降雨减少而长江中下游和南海北部降雨增多。这一现象指示东亚夏季风在 4.2 ka 事件中的显著减弱。通过进一步与中太平洋和东印度洋的珊瑚重建记录对比，我们推测认为热带中太平洋的海表温度异常（即 CP El Niño 状态）是造成东亚夏季风减弱的关键因素，进而支持低纬度胁迫是 4.2 ka 事件的重要驱动机制。

S31-O-5

18 世纪中期以来 PDO 调制的全球温度变化速率

韩韬 [1]，晏宏 [1*]

1 中国科学院地球环境研究所

* yanhong@ieecas.cn

太平洋年代际涛动（PDO）为北太平洋 SST 的第一模态，是气候系统的内部变率，对全球气候具有重要影响。观测资料表明在 20 世纪里全球增暖的阶段性主要与 PDO 的相位有关,当 PDO 为正相位时全球增暖加速，PDO 为负相位时全球增暖停滞。但是目前的古气候研究主要集中在外强迫对全球温度的影响，并未讨论气候内变率的调制作用。其主要原因为缺少可靠的 PDO 重建，前人利用树轮重建的 PDO 记录之间具有巨大差异且都受到遥相关关系的影响。本研究中，我们集成了已发表的北太平洋地区的珊瑚、贝壳和珊瑚藻记录，重建了过去 258 年的 PDO 记录。我们的 PDO 重建与前人的 ENSO 重建之间具有很好的一致性，当 PDO 为正相位时，热带东太平洋海温偏高。这种稳定的热带-亚热带气候间的交互确保了我们重建的可靠性。我们的 PDO 重建与历史时期的全球温度变化速率具有很好的对应关系，表明在过去 258 年里 PDO 对全球温度变化速率具有很好的调制作用。

S31-O-6

基于 HGAOENKF 对过去两千年温度和降水的重建

吴芬 [1,2,3]，宁亮 [1,2,3,4,5*]，刘健 [1,2,3,4,7]，严蜜 [1,2,3,4,5]，刘征宇 [6]，孙浩昊 [8]，陈可凡 [1,2,3,6]，覃燕敏 [1,2,3]，王鎏琳 [1,2,3]，李楚鑫 [1,2,3]，李奔月 [1,2,3]，胡文庆 [1,2,3]

1 南京师范大学地理学院虚拟地理环境教育部重点实验室
2 江苏省地理环境演化国家重点实验室培育基地
3 江苏省地理信息资源开发应用协同创新中心
4 麻省大学，地球科学系气候系统研究中心
5 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室
6 俄亥俄州立大学，地理系
7 南京师范大学数学科学学院大尺度复杂系统数值模拟江苏省重点实验室
8 南京大学中尺度灾害性天气教育部重点实验室，大气科学学院
* ningliangnnu@njnu.edu.cn

使用混合增益模拟离线集合卡尔曼滤波器（HGAOEnKF）、上千年再分析古气候数据同化快速计算框架（LMRt）和两套代用资料(PAGES2k 和 Mann2008)，分别重建了过去两千年地表温度和降水数据，并对太平洋年代际变率（PDV）与大西洋多年代际变率（AMV）的年代际相互作用进行研究。结果表明，结合控制试验，在年代际尺度上，当 PDV 处于正(负)位相时会激发出 AMV 的正（负）位相，而 AMV 负（正）位相会激发出 PDV 的正（负）位相。在过去 2000 年的同化和重建数据中，也发现存在此关系，并且外强迫在其中起到一定作用。

S31-O-7

外部驱动力调控中晚全新世琼东上升流的变化

黄超[1]，杨寅[1]，陈法锦[1*]，孔德明[1]，徐进[1]，陈淳青[1]，朱庆梅[1]，黄鑫[1]

1 广东海洋大学，海洋与气象学院
* fjchen@gdou.edu.cn

上升流区域生物地球化学活动及其活跃，因此在海洋的生源要素循环以及气候变化中都扮演极其重要的作用。南海北部沿海上升流控制区域海洋生产力，从而影响“蓝色经济”。然而，人们对百年尺度上升流的变化及其相关的驱动机制知之甚少，主要原因是缺乏器测和历史时期以外的高分辨率上升流记录。基于海南岛东海岸上升流区获取的高分辨率(~30 年)记录，我们重建了过去 7000 年季风引起的上升流变化。结果表明，该区域上升流百年尺度变化与太阳活动、热带辐合带(ITCZ)的纬向变化和 ENSO 频率基本同步。我们认为，百年尺度上升流强度主要是由外部太阳强迫驱动，内部反馈如 ITCZ 的纬度变化和 ENSO 活动放大了太阳活动变化的信号。我们的研究表明，在人类世之前，外部强迫机制对上升流的变化有显著影响，在对未来低纬度地区上升流变化进行预测时应予以考虑。

S31-O-8

海岛海岸沉积见证南海北部台风的前世今生

周亮[1*]，高抒[2]

1 江苏师范大学，地理测绘与城乡规划学院
2 南京大学，地理与海洋科学学院
* geozhouliang@126.com

历史上有关特大台风的历史文献记录很多，但往往难以提供充足的信息，比如台风的强度信息等，因此从沉积记录中提取台风信息成为一个必要的选择和重要的科学问题。本研究通过系统总结团队过去在海南岛的地区古风暴学的研究工作，揭示海岛沉积环境下海岸沙丘、潟湖、巨砾等沉积载体记录台风信息的机制，梳理海岛沉积环境下不同沉积记录是如何响应台风活动（频率和强度）的变化，总结各种台风沉积记录指示的古台风活动信息的一致性和差异性，以期为未来海岛沉积环境下的台风沉积记录信息的解译提供思路。另外，通过系统总结海南岛地区各种台风沉积提取的台风活动信息，重建南海北部地区古台风活动演化的前世今生，并与西北太平洋其他地区全新世台风活动序列进行对比，探讨西北台平洋地区古台风活动的气候驱动机制。

S31-O-9

三角洲及邻近陆架沉积物粒度敏感组分分析问题探讨

范代读[1*]，黄雨菡[1]，韦璐[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* ddfan@tongji.edu.cn

沉积物粒度敏感组分分析已被广泛运用于沉积物源和事件沉积等的分析。在长江水下三角洲和东海陆架，通过粒级-标准偏差法得到的粒度敏感组分已被运用于洪水事件、风暴事件等研究[1, 2]。事件沉积分析时除了运用辅助判别指标外，需要注意潜在物源区、事件动力过程和不同组分可能被搬运方式等的差异，以便做出更加可靠的判别。

以长江水下三角洲 YEC1701 短柱状样为例[1]，统计分析表明存在 5.4 μm 和 28.7 μm 两个敏感组分峰值。细组分应以悬移质搬运并通过絮凝沉降为主，且在三角洲和陆架区均广泛存在，对事件性动力变化反映较弱。粗组分以粗粉砂为主，应主要以单颗粒搬运为主，对事件性动力变化敏感，可以是洪水事件或风暴事件离岸流搬运形成的。结合粗组分含量较高层位具有较高的 C/N 比值和偏负的 $\delta^{13}C$ 值，且事件层位与长江洪水年序列对应较好等综合判断主要是洪水事件沉积。

介于水下三角洲泥质区和陆架沙质区之间的 DH3-2 和 DH3-3 短柱状样[2]，其最粗组份以中、细砂为主，敏感组分峰值为 170 μm 和 190 um，通过对比可以排除是洪水事件输入。其采样位置更加靠近东海陆架沙质区，推断是风暴期间的向岸搬运形成的。因此，对于开阔陆架区，要充分考虑采样位置与台风路径关系，因台风风场旋转特性，可能形成向岸或离岸沉积物净搬运的复杂过程。这也需要更多现场观测数据来进一步佐证。

S31-O-10

现代台风风暴在华南沿岸沙质泻湖环境中的沉积学及微体化石记录

陈敏[1*]，戚洪帅[1]

1 自然资源部第三海洋研究所，自然资源部第三海洋研究所

* chenmin@tio.org.cn

在华南广东省沿岸的一个砂质泻湖中，通过对 2014 年威马逊台风前后沿着泻湖展布的 5 个岩芯样品进行 ^{210}Pb，沉积学和微体化石研究，我们发现了现代台风沉积的特征和潜在指示标志。台风威马逊在该泻湖中造成的台风沉积自泻湖内部向口门处变薄，泻湖内部最厚可达约 35cm。这些台风沉积以冲越沉积为主。这些台风沉积和正常天气条件下的沉积有所不同。在正常天气条件下泻湖沉积物具有指数衰减模式的 ^{210}Pb 曲线，单峰粒度频率曲线，且缺乏有机质和微体化石（硅藻和有孔虫）。而台风沉积中，^{210}Pb 含量出现低值，粒度较粗，且粒度频率曲线为明显的双峰型。台风沉积中还含有大量的近岸有孔虫。我们发现台风沉积内部有明显的双层结构。这是由于台风强烈水动力扰动混合外滨和泻湖内部原有沉积物并差异沉降而造成的。其下层粒径较粗，分选中等，有机质含量较低，硅藻含量较低。上层粒径较细，分选差，有机质含量较高，并含有丰富的硅藻。上层中硅藻破碎率非常高，可达约 40-60%。这些硅藻中含有近岸种类和由台风洪水携带来的淡水种。因此我们认为台风事件在华南沿岸这种典型的沙质泻湖中可以被记录，并且具有标志性的沉积学和微体化石特征。

S31-O-11

微生物四醚膜脂在石笋中的研究进展

臧婧杰[1]，杨欢[2,3]，张佳皓[4]，唐慧茹[1,5]，谭亮成[1,6*]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室
2 中国地质大学（武汉），地理与信息工程学院
3 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室
4 南方科技大学，工学院海洋科学与工程系
5 中国科学院大学
6 西安交通大学，全球环境变化研究院
* tanlch@ieecas.cn

洞穴石笋是古气候研究领域的重要载体。来自于微生物细胞膜的甘油二烷基甘油四醚（Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers，简称 GDGTs）广泛存在于土壤、泥炭、湖泊、海洋以及热泉等各种环境中，能灵敏地响应环境变化，已经成为古环境重建的重要工具。基于类异戊二烯 GDGTs（isoprenoid GDGTs，简称 isoGDGTs）环戊烷数量建立起来的 TEX_{86} 被广泛应用于海水表层温度的重建，而通过支链 GDGTs（branched GDGTs，简称 brGDGTs）建立起来的 MBT（Methylation index of Branched Tetraethers）/CBT（Cyclization ratio of Branched Tetraethers）指标可以用于古温度的定量重建。但是石笋 GDGTs 的来源尚未明确，并且在洞穴中的应用研究较少。本研究综述了石笋 GDGTs 的提取和测试方法、分布特征及来源、以及其代用指标在石笋中的应用，并提出未来石笋 GDGTs 研究需要解决的难题和发展方向，为 GDGTs 在石笋古气候的研究发展及全新世温度变化中的应用提供借鉴意义。

S31-P-1S

短时强风影响下杭州湾北岸潮间带沉积动力过程和泥沙输运

孟令鹏[1]，涂俊彪[1*]，范代读[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* jtu@tongji.edu.cn
* ddfan@tongji.edu.cn

在海岸带附近，强风能够在短时间内明显的改变水动力环境，强化波浪与潮流之间的非线性相互作用，进而影响悬浮泥沙的运动。本文根据在杭州湾北岸临港边滩获得的连续观测数据，分析了在短时强风影响下潮间带的沉积动力过程和泥沙输运特征。结果表明，短时的强风明显增强了研究区的波浪和潮流的强度，强风持续期间，强潮流和波浪对底床施加更明显的剪切应力，减少了波流联合剪切应力小于临界切应力的时间，导致泥沙持续的再悬浮；在强东南风的作用下，沿岸方向的涨潮流（顺风向）被大大加强，并在单个潮周期内产生明显的潮流不对称，导致出现沿岸向西的泥沙净输运，在跨岸方向上出现向海的泥沙净输运，但跨岸的悬浮泥沙输运率远小于沿岸分量；此外，相对波高与沿岸的沉积物输运呈明显的正相关，但与跨岸沉积物输送的相关性却并不明显，这显示出强沿岸潮流对于泥沙输运的调节和控制作用。在弱风条件下，波致与流致剪切应力明显降低，在涨、落急时刻由于表层沉积物再悬浮导致悬浮泥沙出现峰值，并且在高潮位时刻前后，波流联合剪切应力明显小于临界切应力，此时水体中的高浓度悬浮泥沙主要来自泥沙沉降；同时，沿岸的悬浮泥沙输运率大于跨岸的量值，但二者相差不大，并且泥沙主要是向岸输送，这有利于遭受强波流侵蚀的潮间带迅速恢复。

S31-P-2S

东海北缘近海事件沉积辨析与分析

黄雨菡[1]，范代读[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* ddfan@tongji.edu.cn

近年来长江沉积物输入减少，加之气候变化背景下风暴事件增强等影响，长江水下三角洲及邻近海域沉积物分布发生了明显变化。本文对采自长江水下三角洲 YEC1701 短柱状样和三角洲泥质与陆架砂质过渡带的 YE16-1 短柱状样，分别进行了 XRF 扫描、粒度分析、有机碳氮元素测试与 ^{210}Pb 定年分析，结合 YE16-2（与 YE16-1 同站位但次年采集的短柱状样）与其它已发表的短柱状样粒度数据，进行组分分析和对比研究，探讨近期环境变化、洪水与风暴事件等的沉积响应特征。

分别运用粒级-标准偏差法和粒度端元法来分析环境变化的敏感粒级和组分端元特征。结果发现 YEC1701 与 YE16-1 沉积物粒度组成均可划分为 3 个组分，EM1 峰值为 5-7μm，判断为长江悬浮搬运而来的沉积。EM2 峰值为 20-30μm，结合有机元素等综合判断主要为长江洪水沉积，在水下三角洲多个短柱状样均出现该端元组分。对比分析发现，EM1 与 EM2 的峰值和对应的 SD 随着离长江口距离增加而呈减小趋势，并且两组分的平均百分含量也减小，判断它们均与长江冲淡水强度有关。YEC1701 的 EM3 峰值大于 60μm，而 YE16-1 的 EM3 的峰值更粗，大于 150μm，且砂含量高于 80%，判断 EM3 为风暴过程从邻近的砂质区向岸搬运而来。

YEC1701 粗化层的颜色为黄褐色，反映富氧环境，而 YE16-1 为深灰色，为还原环境，两者颜色迥异，表明两柱样的粗颗粒的来源不同。YE16-1 顶部 40cm 呈现明显的粗化趋势，而次年相同位置的 YE16-2 长度为 67cm，整个柱样的砂含量都很高，表明粗化层厚度在增加，反映了该区域的侵蚀程度加剧。YE16-1 的 ^{210}Pb 含量偏低，顶部 40cm C/N 减小，而 Sr/Ba，Ca/Ti 增大，均反映该砂、泥过度带发生了侵蚀加剧作用，可能与近期长江入海泥沙急剧减少与风暴事件增多等有关。

S31-P-3S

天山及周边地区表土花粉与植被覆盖度定量模型的构建及对比

李雪银 [1]，吴双双 [1]，孙爱芝 [1,2,3*]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

2 北京燕山地球关键带国家野外观测研究站

3 中国科学院计算动力学重点实验室

* aizhisun@ucas.ac.cn

孢粉是重建古植被、古气候最直接、最可信的代用指标之一，有助于我们更准确地了解古环境的演变特征。由于孢粉产量与传播途径不同，人类活动的影响以及采样区环境的差异，利用孢粉如何准确地定量重建古环境一直是第四纪研究的热点，而选择区域适合的定量方法是解决孢粉-植被-气候定量转换的关键。地处亚洲腹地的天山是中亚地区的主要水源和生态屏障，其植被生态系统对环境变化极为敏感，因此对天山地区植被覆盖进行定量重建有助于理解其变化特征和探讨人类活动对植被的影响，具有重要的科学意义。本文基于天山中部及周边地区 1058 个表土花粉数据和 2000-2022 年的植被覆盖度(FVC)、树木覆盖率(PTC)、非树木覆盖率(PNTC)和非植被（裸露）率(PB)，以及年均降水量(Pann)、年均温(Tann)、1 月月均温(T1)、7 月月均温(T7)和湿度指数(α)，首先利用排序分析方法分析表土花粉组合分别与 FVC、PTC、PNTC、PB、Pann、Tann、T1、T7 和 α 之间的关系；然后采用逐步回归(Stepwise)、增强回归树(BRT)、局部加权加权平均法(LWWA)、加权平均偏最小二乘法(WA-PLS)和现代类比法(MAT)构建表土花粉-FVC 模型。最后，以决定系数(R^2)、最大偏差(Max.bias)和预测均方根误差(REMSP)为评估指标，通过留一交叉检验(LOO)、自助法(Bootstrap)和显著性检验(RandomTF)分析五种定量模型的性能并选择更适于研究区的表土花粉-FVC 模型。结果表明：(1)FVC、PTC、PNTC、PB、Pann、

T1、T7 和 α 是天山及周边地区环境变化的 8 个重要因子，其中，FVC 的第一排序轴特征值/第二排序轴特征值(λ1/λ2)较大(0.71)，单一解释变量较高(11.90)，其与花粉组合的相关性较强，可用于构建天山地区表土花粉组合与 FVC 定量模型。(2)BRT 在预测值和观测值之间具有良好的线性关系，而 Stepwise、MAT、LWWA 和 WA-PLS 模型的预测值和观测值之间的线性度较差，同时 Stepwise、WA-PLS 和 MAT 受"边缘效应"影响，有预测值超出[-1，1]范围。 (3)通过交叉检验方法和显著性检验方法， BRT 模型模拟效果更好。本研究结果显示，基于 BRT 方法建立的表土花粉与植被覆盖度定量关系更可靠，在天山及周边地区的古环境定量重建中具有较大的潜力。

S31-P-4S

4.2ka 气候事件期间亚洲夏季风减弱与 ENSO 活动的关系

党少华 [3,4*]，余克服 [1,2,3*]，刘忠方 [4]

1 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学，珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

4 同济大学，海洋与地球科学学院

* dangshaohua@tongji.edu.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

“4.2ka 事件”作为中-晚全新世地层的分界线，指过去 4500-3900 年之间的北半球气候异常变化，该异常变化在亚洲季风区主要体现在夏季风环流强度的减弱，但减弱的具体原因和机制仍存在广泛争议和讨论。本研究选取分析了 4 条对 ENSO 活动响应较为敏感地区的月分辨率珊瑚记录，重建了 4.2ka 气候事件期间的 ENSO 活动强度，发现 ENSO 活动在 4.2ka 气候事件期间呈现出两次快速增强的阶段，与瞬变模式输出的大气南方涛动指数和沃克环流强度也显示出了较好的一致性。对比同期亚洲季风区的石笋氧同位素记录，这两次快速增强 ENSO 活动阶段正好对应同期氧同位素的大幅正偏，特别是在 4000a BP 附近，指示了当时较弱的夏季季风环流。因此，结合珊瑚记录的 ENSO 强度和模式输出的沃克环流强度，我们认为 4.2ka 气候事件期间 2 次快速增强的 ENSO 活动通过影响沃克环流强度造成同期亚洲石笋氧同位素的 2 次正偏，指示了同期亚洲夏季风强度的减弱。

S31-P-5S

台风影响下黄河三角洲沉积动力过程响应——以台风“利奇马”（2019）为例

刘彦昊 [1]，吴晓 [1*]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* wuxiao@ouc.edu.cn

随着全球气候变暖，热带气旋强度不断增加，其路径呈现出极向、陆向迁移的趋势。西北太平洋集中了全球大约三分之一的热带气旋，随着路径的北移，中高纬度海域（如渤黄海）将会遭受更加强烈的影响。黄河每年向海输送大量的沉积物，绝大部分会在夏季沉降于河口三角洲区域。在热带气旋的直接影响下，这一近岸浅水区域的沉积动力过程必然会产生显著响应。在此背景下，开展热带气旋对河口三角洲沉积动力过程及冲淤格局影响的研究至关重要。本研究采用充分验证的 FVCOM 数值模型，对 2019 年超强台风“利奇马”（Lekima）过境期间黄河三角洲的沉积动力过程、沉积物再分配以及侵蚀沉积模式变化特征进行了研究。结果表明，台风“利奇马”过境打破了黄河三角洲乃至整个渤海区域原有的海洋动力模式。“利奇马”北上期间驱动大量海水由黄海输入渤海，并且黄河三角洲、渤海湾、莱州湾附近堆积，短时间内水位抬升超过 1.5 m。在强风场作用下，黄河三角洲附近海域的有效波高超过

5 m，大量沉积物发生再悬浮。随着台风风力的减弱，在正压作用下大量的海水将由渤海向黄海输出，携带着大量三角洲北部海域的沉积物向东输运。据统计，此次热带气旋造成黄河三角洲向外海输送超 1 Mt 的沉积物。“利奇马”还引起了黄河三角洲冲淤模式的改变。在此期间，渤海湾南部近岸浅水区域遭受严重侵蚀（侵蚀厚度可达 20 cm）。河口三角洲北部 3 m 等深线以内发生沉积，3-5 m 等深线之间则呈侵蚀状态，至 5-10 m 等深线范围内再次转变为沉积模态。河口附近由于河流的泥沙供应，仍然保持着沉积的状态。本研究强调了极端天气事件在沉积动力过程中的关键作用，并为热带气旋对中高纬度大河三角洲的源-汇过程影响提供了重要的见解。

S31-P-6S

近 1400 年以来印度洋偶极子和 ENSO 的关系变化

周泽宇 [1]，胡俊 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* hujun@xmu.edu.cn

印度洋偶极子（IOD）是热带印度洋海温变率的一种主要模态，对全球气候系统都有重要影响。20 世纪以来，IOD 的频率明显增加，并且在全球变暖背景下可能会进一步增强。由于印度洋和太平洋之间的跨洋盆海气相互作用，厄尔尼诺与南方涛动（ENSO）对 IOD 具有重要的影响。然而，受制于器测资料的长度，IOD 的自然变率以及 IOD 与 ENSO 关系的研究结果还存在较大不确定性。本研究集成了与印太海温相关的古气候代用资料，使用一套基于卡尔曼滤波的数据同化系统，重建了过去 1400 年的印度洋和太平洋海表温度的时空演化。同化重建的 IOD 和 ENSO 能很好地再现两者在器测时期的变化特征。研究结果表明，IOD 和 ENSO 的关系在工业革命以来发生了较明显的变化，但是二者变率尚未超过历史时期的自然变率，这将为未来印太气候预估提供重要依据。

S31-P-7S

钙华记录的藏西北龙木错中晚全新世水位演化历史

林旭 [1,2]，蓝江湖 [1]，谭亮成 [1*]

1 中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院大学

* tanlch@ieecas.cn

青藏高原西北地区同时受到亚洲季风和西风带的影响，使其成为全球气候变化最敏感的地区之一。因此，该地区的古环境研究对青藏高原现代气候与水文动态变化具有重要的参考意义。在湖泊萎缩过程中，湖岸线附近形成的钙华沉积物具备记录湖泊水位变化的潜力，但目前利用钙华重建湖泊水位的工作仍较为匮乏。本文以藏西北龙木错钙华沉积物为载体，基于 U 系年代学重建了龙木错中晚全新世水位演化历史，并结合钙华的初始 $\delta^{234}U$ 含量反映了同时期的气候环境变化信息。结果显示，龙木错中全新世水位高于现代 61 m，这与中全新世较强的印度夏季风携带来大量的降水、以及大量的冰雪融水补给有关；而晚全新世随着夏季太阳辐射减少、季风减弱，导致降水减少、湖泊水位下降。此外，2 ka 前后龙木错水位发生了多次波动，最大变幅达 13 m，这可能与该时期气候不稳定有关。初始 $\delta^{234}U$ 含量与水位高度变化呈反相关，且变化趋势基本一致，说明钙华中的初始 $\delta^{234}U$ 可以作为一项重建环境变化的指标。本研究表明，利用湖岸线钙华的精确 U 系定年在重建湖泊水位变化方面具有很大的潜力。

S31-P-8S

水热平衡模型的新算法定量重建全新世流域降水与覆被——以达里湖流域为例

周玉文[1]，王先彦[1*]，李徐生[1]，曾宇强[1]，韩志勇[1*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

* xianyanwang@nju.edu.cn

* zyhan@nju.edu.cn

定量重建古降水是古气候研究的重要内容。基于水热平衡模型可以估算封闭湖泊的古湖面所对应的流域年均降水量。水热平衡模型可分为线性模型与非线性模型两大类，其中水面蒸发和陆面蒸发是模型的主要组成部分。然而，流域覆被变化对不同的模型有何影响？模型能否重建流域的覆被变化？这些问题目前尚不清楚。我们选择东亚季风边缘区的封闭湖泊——达里湖作为研究对象，检验了线性模型和非线性模型定量重建年均降水量的能力，评估了线性模型和非线性模型对覆被变化的敏感性，提出了同时获得流域降水与覆被的新算法——比较法，并将其应用于重建达里湖流域全新世的降水与覆被。达里湖流域地处林-草过渡带，主要分布着森林、草原这 2 种覆被类型。按实际的流域森林占比计算，线性模型和非线性模型均可获得与实测值一致的年均降水量（相对误差均小于±5%）。假定森林占比由 0 增加到 0.943（也即森林逐渐覆盖整个流域的陆地），线性模型重建的年均降水量增加~55%，非线性模型重建的年均降水量仅增加~7%，这表明线性模型对覆被变化敏感，而非线性模型对覆被变化不敏感。假定森林占比为 0.943，并且逐步减低其占比，直至线性模型与非线性模型获得的年均降水量之间相对相差小于 5%，此时重建的森林占比（0.14）与实际的（0.46）相差无几，表明用比较法重建流域覆被是可行的。参考已有的达里湖古湖面数据，我们重新计算了达里湖流域全新世的年均降水量与覆被。结果表明，相比于非线性模型的结果，比较法获得的早、中全新世年均降水量略有增加（~10 mm），而晚全新世年均降水量增减不明显。重建的覆被表明，森林占比由~12 ka 的~0.30 增加到~6 ka 的~0.45，~4.2 ka 降低一半至~0.20，到~1.8-1.4 ka 维持在~0.8-0.11 区间，~0.7 ka 进一步减低到 0。重建的达里湖流域森林占比与区域以及华北全新世的森林覆盖率变化趋势基本吻合。其中，~1.4-0.7 ka 的森林骤减过程，与历史文献记载公元十二世纪初（金灭辽之战）的森林毁坏可以对比，进一步验证了比较法重建流域覆被的可靠性。我们的研究发现，对于覆被已知的流域，线性模型和非线性模型均可获得可靠的年降水量。对于覆被未知的流域，则需要使用可变参数非线性模型或更具优势的比较法。如果流域主要由 2 种覆被类型组成，使用比较法还可以重建出覆被占比。

S31-P-9S

台风“灿鸿”（2015）对浙闽泥质区水沙输运过程的事件性影响

林云鹏[1*]，李云海[2*]，丛帅[3]，徐景平[1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 自然资源部第三海洋研究所

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* 12031268@mail.sustech.edu.cn

* liyunhai@tio.org.cn

台风过程对陆架物质输运（包括水和沙）具有不可忽视的“事件性”影响，其研究对准确认识海洋沉积动力过程及其生态环境效应有重要的意义。本研究基于 2015 年台风“灿鸿”过境东海后于浙闽泥质沉积中心开展的两个调查航次，通过水体温盐观测与所采集的水体和表层沉积物样品的地球化学分析，结合数值模拟，系统性地研究了台风“灿鸿”影响下的浙闽泥质区的水沙输运过程。结果表明，台风“灿鸿”引发了长江冲淡

水显著地“逆向”输运至浙闽近岸海域，并在沿岸方向表层形成了宽 70 余公里、厚 20 余米的低盐度水团（盐度最低可达 25 psu）。三端元混合模型表明长江冲淡水对该水团的贡献可达 32%，而在正常情况下这一贡献仅为 3%。长江冲淡水的影响导致浙闽近岸海域形成了较强的上层水柱分层结构，限制了长江冲淡水在研究区内的进一步扩散以及再悬浮沉积物的向上扩散。相比于水体，台风后沉积物放射性同位素的结果表明，研究区近岸沉积物发生显著的侵蚀，并在动力作用下发生离岸搬运而后沉降至水深 50-70m 的泥质区边缘，形成了显著的高 ^{210}Pb 和 ^{7}Be 活度的风暴沉积层。^{137}Cs 的结果则指示了这些在离岸区域新沉降的沉积物主要来源于研究区原有沉积物的再悬浮，南向输运至研究区的长江冲淡水并未如冬季浙闽沿岸流一样携带搬运大量的长江源物质至浙闽泥质区。在离岸输沙的作用下，台风引发的浮游植物爆发所产生的海源有机质也随之沉降在离岸区域。因此，高 TOC 含量（>0.4%）以及具有低 C/N 比值（<7.5）和高 $\delta^{13}C$ 值（>-22‰）的海源有机质特征成为研究区离岸输沙形成的风暴沉积层的重要识别特征。相反地，由于陆架残留砂对东海内陆架边缘的影响，常用的基于粒度粗化的台风沉积记录识别指标可能不适用于浙闽泥质区边缘处的风暴沉积层识别。综上所述，台风“灿鸿”过境东海，引发了浙闽泥质区水沙的“差异性”输运，对该海域的物理、化学和生物过程以及物质源汇过程和沉积格局等均产生了不容忽视的影响。但其具体的动力机制和基本模式尚不明确，也是我们后续研究的主要方向与内容。本研究得到以下项目支持：国家自然科学基金（41976050）和自然资源部第三海洋研究所基本科研业务费专项资金项目（海三科 2019028）。

S31-P-10S

近两千年东亚夏季风与 ENSO 关系的变化

骆金锋[1]，胡俊[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* hujun@xmu.edu.cn

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）是热带太平洋地区海气系统年际气候变率的最强信号，它对区域和全球气候异常都有显著影响，常带来严重的气候灾害和重大的经济损失；而东亚夏季风（EASM）影响我国东部、朝鲜半岛和日本等地，是造成我国东部地区气候异常，尤其是降水异常的重要原因。然而，东亚夏季风的未来预估仍具有较大不确定性。ENSO 是东亚夏季风的重要预测因子，但近年来研究表明 ENSO 与东亚夏季风的关系并不稳定，而现代器测资料的长度限制了相关研究的可靠性。本研究采用数据同化方法，融合了多种与海表温度和东亚夏季风相关的古气候代用资料，重建了东亚夏季风和 ENSO 在过去两千年的关系及其变化。结果表明，同化重建的东亚地区降水和 ENSO 能较好地重现器测时期两者的变化特征。在过去两千年，东亚夏季风与 ENSO 的关系存在显著的年代际变化。研究结果将为东亚夏季风的未来预测预估提供直接依据。

S31-P-11S

利用稳定氧同位素确定珊瑚海海域翼足类钙化深度

黄梓荣[1]，陈安然[1]，Horng-Sheng Mii[2]，Mayhar Mohtadi[3,4]，Stephan Steinke[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 National Taiwan Normal University,Department of Earth Sciences

3 University of Bremen,MARUM-Center for Marine Environmental Sciences

4 University of Bremen,Faculty of Geosciences

* ssteinke@xmu.edu.cn

翼足类是海洋全浮游腹足类，栖息在表层和中层水域，分布范围广泛，从热带到极

地地区都有。它们的生态学特征，例如大约一年的生命周期和昼夜垂直迁移，可能提供比有孔虫更综合的古海洋学代用记录，使它们成为潜在的古海洋学研究对象。然而，它们的生活历史、栖息深度以及其壳体同位素组成所反映的环境参数并不为人们所熟知。因此，我们分析了澳大利亚东北海岸外两个多孔岩心中五种翼足类（*Diacavolinia angulata* 、 *Diacavolinia longirostris* 、 *Heliconoides inflatus*、*Limacina bulimoides* 和 *Telodiacria quadridentata*）的稳定氧同位素组成。我们对物种 *H. inflatus* 应用了 *Limacina* 溶解指数（LDX）来评估翼足类的保存状况，结果显示两个位置都具有良好到中等的文石保存状态。将翼足类壳体氧同位素组成与预测的文石平衡氧同位素值进行比较，得到 *D. longirostris* 的钙化深度为 50±20 米，*D. angulate* 的钙化深度为 75±30 米，表明它们主要在混合层（在珊瑚海的两个站点分别为 40~100 米和 40~140 米）钙化。*T. quadridentata* 和 *H. inflatus* 在两个站点的钙化深度为 90±30 米和 120±30 米，表明它们的栖息深度为混合层底部和温跃层上层。*L. bulimoides* 在北部站点的钙化深度较深，为 105±20 米，南部站点则为 75±30 米。翼足类物种在珊瑚海的良好保存和相对狭窄的钙化深度范围表明，它们的壳体同位素组成具有潜在的成为用于重建混合层和温跃层条件的海洋学代用指标的可能性。

S31-P-12

台风驱动下东海内陆架混合锋面的间歇性迁移及其效应

丛帅[1]，吴晓[1]，葛建忠[2]，毕乃双[1]，李云海[3]，卢健[4]，王厚杰[1*]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

3 自然资源部第三海洋研究所，海洋与海岸地质研究室

4 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* hjwang@ouc.edu.cn

台风作为全球最具破坏性的自然灾害之一，能够对陆架海洋环境产生短暂却又不可忽视的影响。混合锋代表两种不同混合程度水团之间的交界，广泛分布于世界各地近岸及陆架海域，在夏季常态天气下的东海内陆架也曾被多次报道。但受限于观测数据的有效性，目前关于混合锋对极端台风事件的响应仍了解甚少。本研究借助 FVCOM 数值模式，结合台风所引起的空间不对称性沉积动力过程——“齿轮效应”，对 2015 年 7 月“灿鸿”台风过境期间东海内陆架混合锋的间歇性迁移进行了讨论，同时揭示了锋面迁移所引起的一系列沉积与生态效应。研究结果表明，势能异常（Potential Energy Anomaly, PEA）等于 10 J/m^3 是确定混合锋位置的临界值，这与 Simpson-Hunter 参数（SH index）所得出的结果相一致。据此发现，台风期间强烈的风应力将会代替潮汐，成为影响东海内陆架水体层化状态以及混合锋面变化的主要因素。受台风期间强湍动能的扰动，混合锋向外海发生快速迁移，由原来的 15 m 等深线移动至 60 m 等深线附近；台风过境以后随着动力过程减弱混合锋迅速恢复。混合锋的这种间歇性变化为台风期间物质的跨陆架输运打开了通道。一方面，台风期间混合锋的迁移不仅有利于近岸再悬浮沉积物的离岸输运，同时又会将其限制在一定的范围，在台风路径左侧 20-60 m 等深线之间形成明显的条带状离岸沉积，锋面对台风沉积具有显著的边界约束效应。另一方面，不同于泥沙会随着动力减弱而发生沉降，台风期间同样随混合锋面向外海迁移的近岸冲淡水在锋面恢复后仍然存在。这些富含营养盐的水体随后将被增强的西南夏季风输送至陆架中部乃至外陆架。随着水体透光性的增强以及温度的回升，最终导致东海外陆架浮游植物的爆发，形成显著的藻华现象。

S31-P-13

加利福尼亚州南部沿海的飓风、海啸和扰动后生态系统变化的多重指标记录

Erika Rodrigues[1,2]，Kam-biu Liu[1]，Qiang Yao[1*]

1 Louisiana State University,Department of Oceanography and Coastal Sciences

2 University of São Paulo,Institute of Geosciences

* qyao4@lsu.edu

本研究通过来自墨西哥 Baja California 一个海湾的沉积物剖面，通过多指标分析，探讨了如何区分海啸和飓风沉积物，记录地貌和植被在扰动事件中的转变，并建立晚全新世极端事件的记录。结果显示沉积记录中有一次海啸事件和四次飓风事件，并表明这两种事件都可以为红树林的扩张创造适宜的海岸栖息地。海啸事件创造了后滩泻湖并引入红树林到该地区，导致红树林种群快速扩张。飓风沉积物的特点是有机和水含量低，海洋元素浓度低，陆地元素浓度高。相比之下，海啸冲击沉积物具有丰富的碎裂和完整的贝壳、高碳酸盐和海洋元素含量，以及低陆地元素浓度。

S32-O-1

极端天气气候事件形成的协同作用理论

李建平 [1,2*]，孙越 [1]，唐欣欣 [1]，王昊 [1]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统教育部前沿科学中心/物理海洋教育部重点实验室/海洋与大气学院/未来海洋学院

2 崂山实验室

* ljp@ouc.edu.cn

极端天气气候事件（简称极端事件）的形成往往是多强迫因子相互影响或共同作用而产生的，多因子联合作用分为协同作用、拮抗作用、联合作用不明显等三种情况。本文提出了研究极端事件形成的多因子协同作用理论和方法，并应用于分析夏季北大西洋涛动（NAO）和西北太平洋海表温度（SST）异常对华东夏季极端高温事件的协同作用、前期冬季北半球环状模和春季热带北大西洋 SST 对春季东亚中纬度极端低温事件的协同作用、El Niño 和 NAO 负位相对美国西南部冬季降水的协同作用、El Niño 和北太平洋涛动（NPO）对中国东南沿海地区冬季降水的协同作用等。

S32-O-2

赤道太平洋海洋热浪与极低盐度共生事件的因果

刘浩 [1*]

1 齐鲁工业大学（山东省科学院），海洋仪器仪表研究所

* liuhao@qlu.edu.cn

海洋极端事件，如海洋热浪、低盐度极值事件、海洋极端酸度事件会对海洋生态产生有害影响。然而，更令人担忧的是多个极端事件同时发生的情况，因为它们的协同作用会对自然环境具有更强的破坏性。已知低盐高温的海洋上层会形成更稳定的海洋层结，减少上下层物质交换，降低初级生产力。虽然这种低盐高温的事件及其重要，但是当今对其的研究却甚少。本项研究利用日均再分析数据，以太平洋赤道海域为例，分析了海洋热浪与极低盐度共生事件的基本特征以及其控制机制。本项研究发现共生事件主要集中于赤道太平洋中部。当太平洋中东部升温的时候，在中西部产生了强降水，从而导致了盐度降低。最终导致在太平洋中部产生共生事件。进一步研究发现极端共生事件的发生集中于强的东部太平洋厄尔尼诺时

期。此研究揭示了海气相互作用以及低频气候变化对于共生事件的重要作用。

S32-O-3

气候变暖背景下夏季北半球中纬度湿热浪空间不均一变化的机理研究

袁嘉灿 [1*]

1 复旦大学，大气与海洋科学系

* jcyuan@fudan.edu.cn

全球气候变暖背景下，高温热浪的发生频率、强度和持续时间均呈上升趋势，严重危害着人类健康以及经济生产。湿热浪（同时考虑高温和高湿的复合型热浪）对健康的危害比高温热浪更为隐蔽，堪称隐形杀手。因此研究湿热浪在全球变暖下的空间不均一变化特征和机制对提高湿热浪的预测能力以及减小预估的不确定性有重要的作用和现实意义。我们利用观测资料和 CMIP 模拟数据研究了全球变暖背景下北半球湿热浪的空间不均一变化特征。并进一步揭示了北半球大气环流的重要成员大气准定常波动和西风急流在湿热浪的空间不均一变化中起的重要作用。具体而言，不同尺度的准定常波动将会引起北半球中纬度不同区域的湿热浪增多变长，而东亚夏季风急流的季节内振荡也会引起我国湿热浪从早夏到晚夏的转变。由大气环流异常引起的热力学、动力学和陆气过程（比如温度平流、非绝热加热、地表热感通量、地表潜热释放、水汽输送等）是引起局地湿热浪异常的重要途径。

S32-O-4

中东增温导致南亚季风边缘半干旱区异常降水增强

周磊 [1*]，李保生 [2]，秦箭煌 [3]，周天军 [4]，陈大可 [2]，Raghu Murtugudde[5]

1 上海交通大学，海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

3 河海大学，海洋学院

4 中国科学院大气物理研究所，大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室

5 美国马里兰大学，大气与海洋科学系

* zhoulei1588@sjtu.edu.cn

季风边缘区通常具有较高的气候敏感性。在南亚季风北部边缘的巴基斯坦及毗邻区在近几年遭受了严重的洪涝灾害，这也是全球增温导致区域气象灾害的典型事例之一。本研究聚焦于全球变暖背景下南亚季风北部边缘区的降水增加的机制研究。研究表明，中东区域春季的地表温度显著上升可以解释南亚季风北部边缘区从 1979 年到 2022 年降水增加的 46%。春季中东的陆表温度上升导致局地大气压强降低，这增强了中东和阿拉伯海南部之间南北方向的压强梯度力，最终强化了阿拉伯海上空的大气低层急流（low-level jet）。这个过程一直持续到夏季，导致了南亚夏季风期间大气低层急流与气候态相比向北偏移。原本低层急流从阿拉伯海输送到南亚次大陆的水汽很难到达巴基斯坦及毗邻区。但随着低层急流向北偏移，阿拉伯海水汽更通畅地到达原本的季风边缘区，从而在原本半干旱区域引发了强降水。在当前的气候模式中，中东升温已经较好的体现出来。但观测中已经发生的南亚季风北部边缘半干旱区的异常强降水还没有得到很好的体现。

S32-O-5

西北太平洋暖池区超强台风的早期过程

刘世东 [1*]，乔璐璐 [1*]，李广雪 [1*]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

* liushidong@ouc.edu.cn
* luluqiao_ouc@126.com
* estuary@ouc.edu.cn

冲击亚洲地区的超强台风有超过 80%发源于西太平洋暖池的核心区，与其他等级台风相比，超强台风的生成源区离赤道最近，早期脱离赤道的移动速度最慢，其发生和孕育会受到三个因素的影响。（1）西太暖池的西风爆发与东北信风形成显著的风场切变带，与超强台风生成位置具有显著的空间一致性，强剪切结构有利于热带气旋在初始阶段发生旋转，能够促进超强台风发育。（2）暖池核心区海洋表面存在两条显著的短周期中尺度气旋性和反气旋性涡旋带，与超强台风的生成具有显著的负相关关系，二者分别从海洋和大气的角度，共同对暖池的海气系统的热量进行调节，过去对其忽视可能是造成超强台风难以及早预警的问题所在，并使我们失去了发现超强台风起源的机会。（3）El Niño 造成西太暖池处于冷相位异常，这时候涡旋显著减少，对暖池的海温调节作用减弱，向极地方向的热输送贡献减弱，更多的热带气旋倾向于生成在暖池核心区域，并且这时候西风爆发，风场的强剪切有利于热带气旋的旋转，风应力旋度和 Ekman 泵效应引起混合层减薄，同时，西风引起偏北的、相对较冷的水体向南 Ekman 输运，涡旋生成数量显著减少，暖池区处于负温度异常状态，但是核心区仍然满足热带气旋生成的温度条件和大气条件。基于风场切变带和中尺度短周期涡旋带的发育程度对超强台风雏形形成的控制作用的新认识，为来自西太暖池超强台风提前5天以上预报提供了一种新思路。

S32-O-6

印度洋海温对中亚夏季降水年际变化的影响

于海鹏[1*]，魏韵[2]，黄建平[3]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室
2 中国地质大学（武汉），环境学院大气科学系
3 兰州大学，大气科学学院
* yuhp@lzb.ac.cn

本研究从热力适应和水汽输送的角度研究了 1960—2019 年印度洋海温通过调制北印度大陆大气非绝热加热变化对中亚夏季降水年际变化的影响。结果表明：中亚东南部降水偏多与副热带西风急流位置偏南所导致的中亚出现异常上升运动以及南侧水汽输出减弱有关。当副热带西风急流南移时，中亚南侧高层水汽由输出(-1.9 106kg/s)转变为向输入(0.6 106kg/s)，而由西风带引起的正异常相对涡度平流会导致中亚上空出现异常上升运动。副热带西风急流的位置变化主要与北印度大陆的大气非绝热加热有关。北印度大陆的非绝热加热率减弱引起的热力适应过程会导致中亚东南部上空高层出现气旋异常，与之相关的温度冷平流使中亚东南部对流层上层温度异常偏冷，降低了中高纬度地区的温度梯度，最终导致副热带西风急流位置偏南。此外，本研究还利用数值试验验证了中亚东南部环流和温度异常对北印度大陆非绝热加热异常的热力适应过程。北印度大陆热源减弱会导致副热带西风急流南移，与此相关的异常上升运动和水汽输出的减弱都有利于中亚东南部出现更多的降水。而北印度大陆上空的非绝热加热变化与印度洋海温密切相关。当印度洋海温变暖时，南亚夏季风减弱，导致北印度大陆的降水减少，从而减弱北印度大陆的非绝热加热速率。

S32-P-1S

渤海湾西岸 4.2 KA BP 气候事件年代际尺度变化特征—以沧州南大港地区为例

由翰飞[1]，李月丛[1*]

1 河北师范大学，地理科学学院
* lyczhli@aliyun.com

4.2ka 事件是全新世中晚期的分界线，是 5ka 以来最强的一次气候突变事件。其表现特征在大部分地区为干冷，小部分地区为暖湿。但已有的成果记录主要集中在内陆地区，对滨海湿地的相关研究较少，且分辨率较低。对此，本研究基于黄骅南大港湿地的高分辨率花粉记录，地化元素记录，粒度记录和烧失量记录，详细的描绘了 5000-3600calyrBP 的区域植被变化以及年代际尺度变化特征。研究结果证实，4.2ka 事件造成的气候干旱发生在 4500-4130calyrBP 期间，持续了 370 年，并且该事件内部构造复杂，表现为 4500-4350calyrBP 逐渐变干旱，4350-4230calyrBP 相对湿润，4220-4130calyrBP 为干旱条件，并呈现出“双峰”结构，与现存的高分辨率研究成果表现特征相一致。

S32-P-2

冬季东亚大槽调制下乌拉尔阻塞对次季节尺度西伯利亚冷异常的影响

宋元元 [1]，罗德海 [2*]，郑飞 [3]，姚遥 [2]

1 中国科学院海洋研究所，海洋环流与波动重点实验室
2 中国科学院大气物理研究所，东亚区域气候环境重点实验室
3 中国科学院大气物理研究所，国际气候与环境科学中心
* ldh@mail.iap.ac.cn

This paper points out that the meridional displacement and the strength of the winter EAT possibly modulate the ifetime of UB and associated sub-seasonal cold anomalies over Siberia through changing background circulation conditions. Statistical analysis reveals that UB events tend to occur more frequently in strong or southward EAT winters than in weak or northward EAT winters. UB has larger amplitude and longer lifetime in strong or southward EAT winters than in weak or northward EAT winters, thus more likely leading to stronger sub-seasonal cold anomalies over Siberia. Moreover, the possible physical process is further investigated. It is found that winter zonal wind and meridional gradient of potential vorticity (PV_y) tend to be weakened on the upstream side of Siberia near the Ural Mountains when the EAT is stronger or located more southward, favoring the maintenance of UB due to the strengthening (weakening) of the nonlinearity (energy dispersion) of UB.

S32-P-3S

黑潮入侵台湾海峡的季节变化特征及其机制

梅志国 [1]，张文舟 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院
* zwenzhou@xmu.edu.cn

台湾海峡是连接东海和南海的唯一通道，其南北两端都毗邻黑潮，极易受到黑潮水的入侵。黑潮水和台湾海峡内水团的水文特征存在显著差异，黑潮水入侵台湾海峡必然对海峡内的水文特征和生态环境造成显著影响。本文利用 ROMS（Regional Oceanic Modeling System）模型和表层漂流浮标数据，采用拉格朗日粒子追踪的方式研究黑潮对台湾海峡的入侵过程及其机制。数值模型和表层漂流浮标的结果表明黑潮入侵台湾海峡存在显著的季节变化：黑潮入侵在起始于秋季，冬季达到最强，春季逐渐减弱，夏季最弱；粒子追踪的轨迹揭示夏季黑潮水较少越过吕宋海峡入侵台湾海峡或无法穿过台湾海峡而被限制在澎湖水道，冬、春、秋季黑潮入侵台湾海峡存在三种典型轨迹（1）直接穿过台湾海峡（2）以“流套”形式入侵台湾

海峡南部最后返回黑潮（3）以“泄露”形式入侵台湾海峡南部并最终进入南海；对不同深度释放的粒子轨迹分析，反映出 0-25m 和 200m-300m 是上游表层和深层黑潮水入侵台湾海峡的主要来源，但深层黑潮水多不能穿过台湾海峡，而是停留在澎湖水道附近，但台湾浅滩存在的上升流有助于 100-200 米的黑潮水越过台湾浅滩入侵台湾海峡，进一步的分析表明，台湾海峡的季风在黑潮入侵中具有重要作用，冬季东北风促使黑潮越过吕宋海峡，进而入侵台湾海峡，而在夏季影响吕宋海峡的台风事件也是促进黑潮入侵台湾海峡的因素之一。

S32-P-4S

黄土高原地区 1980-2018 年极端降水与海温异常的联系

杨轲 [1]，邱临静 [1*]

1 西安交通大学，人居环境与建筑工程学院

* qiulinjing@xjtu.edu.cn

黄土高原降水模式发生变化，尤其极端降水事件频发，但已有的研究尚不能阐明极端降水频发的原因。本研究基于中国区域地面气象要素驱动数据集（CMFD）的逐日降水资料及 NOAA 海温异常指数，选取世界气象组织等推荐的6个代表性极端降水指数，分析了黄土高原极端降水事件的时空特征及其与海温异常的联系。结果表明：1980-2018年黄土高原降水量呈增加趋势，2000年以前黄土高原降水量以0.78mm/年的趋势减少，2000 年以后以 3. 90mm/年的趋势增加。黄土高原地区降水由西北向东南递增，2000 年以后绝大部分地区的降水量呈现增加趋势，而且中部及西北部地区降水的变异系数增加明显。1980-1999 年期间大部分极端降水指数呈下降趋势，呈现西北增加而东南减少的趋势，其中 RX1day 和 R95p 变化最为明显；2000-2018 年 R95p、SDII、R20、R50 呈增加趋势，从空间上来看，中部偏北区域增速较快，但西部及中部偏南地区增速较慢。极端降水指数 RX1day、R95p、SDII、R20、R50 存在 0-4 年左右的周期。厄尔尼诺-南方涛动（El Niño and South Oscillation,ENSO）及北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation，NAO)与黄土高原地区降水相关性较强，且存在 1-5 月的滞后期。ENSO 事件与 RX1day 及 SDII 表现出较强的相关性，北极涛动（Arctic Oscillation，AO）与 RX1day、R50 相关性较强， 而 NAO 与 RX1day、R50 相关性较强，太平洋年际代振荡（Pacific Decadal Oscillation，PDO）并未表现出明显的相关性。进一步研究发现，ENSO 与极端降水的共振周期最为明显，NAO 次之，PDO 最不明显。

S32-P-5

巴伦支-喀拉海海冰与乌拉尔山月平均大气环流之间的非线性关系

李冬冬 [1*]，张人禾 [1,2]，黄建平 [3,4]

1 复旦大学，大气与海洋科学系

2 复旦大学，上海市海洋-大气相互作用前沿科学研究基地

3 兰州大学，西部生态安全省部共建协同创新中心

4 兰州大学，大气科学学院

* lidd@fudan.edu.cn

乌拉尔山大气环流的正、负异常往往是我国发生大范围高影响天气气候事件的重要原因之一。乌拉尔山大气环流的正、负异常一般很难与距平符号相反的大尺度热力强迫因子（如海温、海冰）一一对应联系起来，因为后者距平符号的持续时间通常远远长于前者。本研究发现，在秋冬季的特定月份，巴伦支-喀拉海海冰与乌拉尔山月平均大气环流之间存在大致遵循超临界叉式分岔模型的非线性关系：若巴伦支-喀拉海海冰密集度逐渐减小到低于一个临界阈值，滞后1个月的乌拉尔山月平均大气环流将由一

种优势流型转变为两种新的优势流型；并且流型转换后，环流正、负异常事件的发生概率相等。这说明海冰异常与大气环流异常之间可以存在一对二的对应关系。巴伦支-喀拉海海冰与乌拉尔山月平均大气环流之间的这种定量约束关系有望用于校正气候模式的系统误差。

S32-P-6S

新跨洋盆遥相关气候模态的发现：澳大利亚边界流偶极子

韩杰鸿 [1]，李建平 [2*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

2 中国海洋大学，未来海洋学院

* ljp@ouc.edu.cn

不同大洋之间的相互作用对全球气候变化有着强烈的影响。本文提出了一种旨在揭示全球海洋相互作用的新方法。根据该方法，本文发现了澳大利亚西海岸和东海岸海面温度之间的相反变化特征，并将其命名为澳大利亚边界流偶极子（ABCD）。这种新的跨洋盆海气耦合模态表现出显著的年际变化，在南半球夏季达到峰值。相关的 SST 异常伴随着沿岸表面风、澳大利亚东西边界流和海平面压力的同步演变。异常的澳大利亚高压引起的相反的沿岸表面风产生，从增强或抑制列文流和东澳大利亚流的热传输，进而通过加热/冷却上覆大气和改变区域压力异常来增强风异常。这表明沿海 Bjerknes 反馈的重要作用。ABCD 也表示列文流和东澳大利亚流的反向变异性。我们的研究结果首次揭示了 ABCD 的存在和生成机制，这推进了我们对海气相互作用的认识，并可能为海洋生态学的研究提供新的见解。

S32-P-7

气候模式模拟热带太平洋年代际气候变率的挑战

赵莹莹 [1*]，Emanuele Di Lorenzo[2]，Matthew Newman[3]，Antonietta Capotondi[3,4]，Samantha Stevenson[5]

1 青岛海洋科技中心，深海多学科交叉中心

2 布朗大学，地球、环境与行星科学系

3 美国国家海洋和大气管理局，物理科学实验室

4 科罗拉多大学，环境科学合作研究所

5 加州大学圣巴巴拉分校，布伦环境科学与管理学院

* zhaoyywl@163.com

热带太平洋年代际变率（TPDV）是年代际气候预测的基础，也是厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）的背景场，对 ENSO 预报有重要影响。理解和预测 TPDV 在很大程度上依赖于海气耦合气候模式的模拟。但是我们发现，CMIP6 气候模式对 TPDV 的模拟在模式-观测和模式-模式之间存在着非常显著的偏差。前人多利用传统的统计方法评估气候模式对 TPDV 的模拟，但在耦合气候系统中不同物理过程相互影响，对 TPDV 物理机制的诊断十分困难。线性反演模型（LIM）是一个多变量的动力学模型，可以把不同动力学过程提取并分离出来，从而实现对每个物理过程单独作用的定量化。利用基于 LIM 的诊断方法，我们发现 CMIP6 气候模式对 TPDV 的空间模态和主导物理机制的模拟仍存在重大挑战。具体而言，大多数模式低估了热带外太平洋-热带太平洋相互作用对于 TPDV 的贡献；另外，大多数模式不能正确的模拟出热带太平洋温跃层变率对 TPDV 的影响。观测和模式模拟之间的差异超出了 TPDV 自然内部噪声的范围，这对理解叠加在长期气候变化上的自然内部低频变率的影响提出了挑战。

S32-P-8S

北半球冬季中高纬定常波变化的机理分析

孙婉莹[1]，王蕾[1*]

1 复旦大学，大气与海洋科学系/大气科学研究院

* wanglei_ias@fudan.edu.cn

定常波是大气环流气候态的纬向非对称部分，反映大气环流由于地表和非绝热加热分布不均而具有的纬向非对称特性，是区域气候的主要影响因子之一。利用 ERA5 再分析资料研究了 1961-2020 年 1 月份北半球中高纬地区定常波的长期演变，并将其分解为纬向平均基本状态与纬向非对称强迫（如非绝热加热强迫）引起的变化。研究发现，过去 60 年间定常波变化主要体现为振幅的加强和位相的东移。采用定常波模式诊断纬向平均基本态（ΔZM）和纬向非对称非绝热加热变化（Δq^*）的贡献。结果显示，定常波响应的空间结构主要取决于 ΔZM，但 ΔZM 对定常波振幅的重要性随高度的升高而逐渐降低，平流层中 Δq^*对振幅的贡献更大。此外，北太平洋和西欧的非绝热变化也对定常波变化有重要贡献。

S32-P-9S

250 百万年以来地球大气的超级旋转现象

蓝佳雯静[1*]，杨军[1]，胡永云[1]，李想[1]，郭佳琦[1]，林琪凡[1]，韩晶[1]，张健[1]，王爽[1]，聂绩[1]

1 北京大学，物理学院

* lanjwj@pku.edu.cn

对于现代地球大气而言，热带对流层上层的长期气候平均纬向风是自东向西的，即东风。这种东风的维持主要靠两方面，一是跨赤道的哈德雷环流能够将近地面东风带到对流层中上层，起到减速西风风场的作用；二是对流层非绝热加热的不均匀分布能够激发热带罗斯贝波和开尔文波，这种波动的传播带来动量从副热带区域向赤道输送，起到加速西风风场的作用。这两个动力因素共同作用下，赤道呈现出东风状态。那么地球历史时期有无可能出现超级旋转状态呢？即长期气候平均态下赤道对流层上层风场为西风的情况？我们用 CESM1.2.2，每 10 百万年进行一次切片试验，模拟了 250 百万年前至今的地球古气候赤道风场的演变。模拟考虑了三个不同于现代地球的气候因子：太阳常数、大气二氧化碳浓度和海陆分布。模拟结果表明，在 250—230 百万年前和 150—50 百万年前，对流层上层赤道风场转变为西风（即赤道超旋）。这些时期超级旋转的强度低于 4 米每秒，和现代地球的东风量级相当。一般来说，这种现象发生在热带大气环流向上抬升，定常波和/或瞬变波相对较强，和/或哈德雷环流相对较弱的温暖气候中，这又与这三个气候因子的变化有关，尤其是与二氧化碳浓度和陆海分布有关。

S33-O-1

西北太平洋上层海洋结构对台风影响的决定作用

王云涛[1*]

1 自然资源部第二海洋研究所

* yuntao.wang@sio.org.cn

文章利用 2002 年 9 月至 2018 年 8 月的卫星遥感数据和台风轨迹数据，研究了西北太平洋台风点位周边海表温度和叶绿素对台风过程的响应。借鉴中尺度涡分析中常用的合成方法，将站点周边空间范围的数据去除对应的气候态，得到温度和叶绿素异常数据，通过空间平均获得台风前后温度和叶绿素变化的时间序列。结果显示，温度对台风的响应起始于台风过境前 3 天，并在台风后 2 天降温达到最大，之后逐步恢复气候态；

叶绿素在台风过境时开始增加，并在3～5天后达到峰值，之后快速降低恢复至气候态。文章同时发现台风响应自中心向外缘呈现出线性衰减的特征，风速较高且移速较慢的台风能够引起更显著的海洋响应，台风引起的降温具有普适性，但台风在南海北部陆坡区域更易引起叶绿素的降低。特别是发现上层海洋结构能够显著影响台风造成的响应，仅当台风驱动的混合突破原本混合层深度时，叶绿素的响应才与台风的特征存在相关性。文章结果有助于评估了西北太平洋单个台风和台风长期积累各自引起的响应效应，为认识上层海洋对台风响应的时空特征提供科学支持。

S33-O-2

MECHANISMS OF FAST WALKER CIRCULATION RESPONSES TO CO2 FORCING

卢柯舟 [1*]，Jie He[1]，Maria Rugenstein[2]

1 Georgia Institute of Technology,School of Earth and Atmospheric Sciences

2 Colorado State University,Department of Atmospheric Science

* kezhoulumelody@gmail.com

The Walker circulation (WC) responds to CO_2forcing at both short and long timescales. In climate models, the fast response accounts for a substantial portion of the total responses, but its mechanisms, particularly those pertaining to air-sea interactions, remain unclear. We find contrasting fast WC responses in the first 2 years of abrupt CO_2forcing, determined by the models' air-sea coupling strength in the equatorial Pacific. In models with a strong coupling, wind anomalies induced by the instantaneous land-sea thermal contrast trigger a Bjerknes feedback, leading to cooling in the equatorial Pacific and WC strengthening. The WC weakens gradually as the Bjerknes feedback wanes and the subsurface warm pool water migrates eastward as Kelvin waves. In models with a weaker coupling, the WC weakens monotonically. Our results suggest that the inter-model discrepancy in WC changes is associated with the uncertainty in the fast component.

S33-O-3

吕宋岛北部暖涡的 CPIES 阵列观测研究

赵瑞祥 [1,2]，朱小华 [1,2*]，于非 [3]，南峰 [3]，郑华 [1]，张传正 [1,2]，任强 [3]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国科学院海洋研究所，环流与波动重点实验室

* xhzhu@sio.org.cn

基于吕宋海峡以西的大规模 CPIES 阵列资料和其他观测资料，我们对起源于吕宋岛北部的季节性暖涡开展了系统的研究。该暖涡与起源于吕宋岛西北部的吕宋暖涡相似，但它的起源地更靠近黑潮主轴并可能携带黑潮水。我们在研究中将其称之为吕宋岛北部暖涡(North Luzon Warm Eddy, NLWE)。在 CPIES 观测期间，有两个 NLWE 相继从阵列上经过。CPIES 反演结果和同期的 Argo 剖面直接观测资料都表明，NLWE 的次表层携带了大量的高盐(S>34.7)黑潮水。我们统计了历史上的 NLWE，发现 NLWE 主要在夏季出现却不能在冬季出现：吕宋岛北部的季节性风应力旋度是关键因素。但是，当地的风应力旋度季节信号在夏季较弱，因此季节内尺度的强负风应力旋度事件才是驱动 NLWE 产生的直接因素。我们总结出 NLWE 的生成、发展和消亡过程：每年夏季，在吕

宋岛北部的风应力旋度驱动下，NLWE 在当地产生并夹卷携带黑潮水进入南海；到达南海陆坡附近后，伴随着涡能量向平均流能量的转化，NLWE 逐渐消亡，并可能激发跨陆架输送和地形 Rossby 波。经估计，通过 NLWE 入侵南海的黑潮水可占夏季入侵黑潮水总量的 1/3 左右。因此，NLWE 可视为除了黑潮分支流、流套和脱落的涡旋外，一种黑潮水入侵南海的新形式。

S33-O-4

基于观测的南海亚中尺度过程能量转化研究

邱春华[1]，杨梓浩[1]，王东晓[1*]，Ming Feng[2]，Rippeth Thomas[3]，尚晓东[4]

1 中山大学，海洋科学学院

2 CSIRO,CSIRO

3 班戈大学，海洋学院

4 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* dxwang@mail.sysu.edu.cn

中尺度涡旋内常伴随着时间尺度为 O(1)天，空间尺度为 O(1)千米的亚中尺度运动。这些亚中尺度运动具有强的垂向速度，因而在海洋的热量、物质垂向交换上具有重要作用。但是目前中尺度涡旋内亚中尺度运动的时空特征及其能量传递路径尚不明确。本文从统计角度分析中尺度涡旋内亚中尺度运动的时空分布特征，并利用高分辨率观测数据探究两者之间的能量交换过程：1）中尺度涡旋内亚中尺度运动的时空分布特征研究。本文使用了 27 年的漂流浮标数据和卫星高度数据，采用海流分解和时间滤波的方式分离出海表非地转流速和亚中尺度非地转流速。结果表明非地转运动和亚中尺度非地转运动在涡旋边缘出现增强，且反气旋涡内亚中尺度运动速度的涡边缘强化比气旋涡内显著。反气旋涡（气旋涡）内亚中尺度运动贡献的相对涡度为负（正）值，表明南海亚中尺度运动对中尺度涡旋的涡度具有增强作用。能量谱分析揭示了亚中尺度动能和地转应变率都具有 7-30 天的显著周期，表明亚中尺度运动在时间变化上受到地转应变率的影响。在空间分布上，吕宋海峡和南海西部的亚中尺度动能大于南海中部。空间差异性可能是由涡旋所处的生命阶段引起，吕宋海峡和南海西部的涡旋处于形成和消亡阶段，增强的地转应变率导致强亚中尺度动能。2）中尺度涡旋内亚中尺度运动的能量交换研究。基于 2021 年 8 月在南海西部的高分辨率观测数据探究了暖性反气旋涡内一冷丝的结构特征及其伴随的能量传递过程。该冷丝为低温、高盐、高密度的海水，宽度约为 4 km，并具有 20~40 米/天的上升速度。能量诊断分析表明，当涡旋达到相对平稳期时，一冷性涡丝出现。而亚中尺度不稳定机制分析显示，该涡丝表现为负 Ertel 位涡，且由离心（惯性）不稳定和对称不稳定的共同作用引起。能量诊断结果显示，中尺度涡旋的能量通过斜压不稳定转化为亚中尺度运动的动能，亚中尺度过程的动能通过正压不稳定逆级串向中尺度动能传递，亚中尺度运动在正能量级串和逆能量级串之中获得净的正向能量，进而向湍流尺度进行耗散。湍流参数化和观测结果表明，涡丝区域的湍动能耗散率（$O(10^{-7.5})$ W/kg）比其他区域的湍动能耗散率（$O(10^{-8.5})$ W/kg）增强了一个数量级，其中亚中尺度引起的湍动能耗散率贡献了约 40%。该工作有望加深我们对南海中尺度涡旋内的物质、热量传递的模拟量化，对海洋精细化预报和国防军事安全有非常重要的作用。

S33-O-5

台风对西北太平洋海表 pCO2 及海-气 CO2 通量的影响—基于浮标观测资料的研究

叶海军[1]，唐世林[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* sltang@scsio.ac.cn

海洋碳汇本底的精确估算是实现碳中和战略的重要前提，对海表二氧化碳分压（pCO2）高频变化特征及控制机理的认识有助于提高海-气 CO2 通量估算精度。台风过境会迅速降低或提高当地海域海表 pCO2，进而对海-气 CO2 通量产生显著影响。当前台风对海-气 CO2 通量的影响研究均假设台风过境时的 ΔpCO2（海表与大气 pCO2 之差）为固定值，未考虑台风引起的海表 pCO2 高频变化对碳通量估算的影响。本研究基于 2007-2020 年西北大西洋锚定浮标（KEO）3 小时高频观测数据，分析了海表 pCO2 日变化特征及其控制因素，统计了 34 个台风过境对海表 pCO2 及海-气 CO2 通量的影响。结果表明，KEO 浮标海域海表 pCO2 平均日变化幅度为 7.1±6.5 μatm，最大值出现在当地海域的 12-15 时，温度是控制海表 pCO2 日变化的主要因素。台风过境期间和过境后海表 pCO2 分别下降 5.1±7.9 和 6.5±9.4 μatm，海表温度分别下降 0.34±0.55 和 0.54±0.72 ºC，海表盐度分别下降 0.01±0.09 和 0.01±0.11 psu，台风引起的强烈垂直混合将次表层水冷水搅拌至表层是导致海表 pCO2 降低的主要原因。台风引起的海-气 CO2 通量变化与季节有关，在 CO2 过饱和季节（7-10 月），17 个台风引起平均碳排放量为 12.0±12.8 mmol m-2，在 CO2 未饱和季节（5-6 月和 10-12 月），17 个台风引起的平均碳吸收量为 16.0±24.0 mmol m-2，34 个台风引起的平均碳吸收量为 2.0±23.7 mmol m-2。统计分析表明，台风过境前后 ΔpCO2 与海表温度呈极显著正相关关系（R2=0.78，p<0.001，n=344）。利用台风过境期间海表温度反演得到的 ΔpCO2 高频变化特征，估算得出台风引起的平均碳吸收量为 1.8 mmol m-2，与实测结果一致。基于气候态 ΔpCO2 估算得出台风引起的平均碳排放量为 1.3 mmol m-2，与实测结果方向相反。上述分析表明，台风对当地海域海-气 CO2 通量的影响研究应考虑台风引起的海表 pCO2 高频变化。

S33-O-6

旋转层结情况下对流不稳定过程的三维流场特征的研究

曹茜 [1]，董昌明 [1*]

1 南京信息工程大学，海洋科学学院

* cmdong@nuist.edu.cn

重水下沉这种对流不稳定过程是高纬度海域的一种频发现象，它对海洋物质和热量的输运以及大洋内部的混合过程都具有十分重要的影响。本研究采用大涡模拟（Large eddy simulation，LES）的方法，通过海表强迫盐通量以模拟高纬度海域结冰盐析现象的理想实验，对 60°N 处重水下沉的三维流场结构进行分析。研究结果表明，重水下沉的平均态三维流场呈现空心锥形分布，锥形内部及周围海域存在海水的上升补偿。其水平流场在压强梯度力和科氏力的作用下表现为逆时针方向旋转的水平环状涡流。重水下沉的最大影响深度附近存在垂向振荡，该垂向振荡可以诱导出内波，增强了海洋内部的物质混合和输运。通过模式模拟的瞬时结果随时间的变化可以发现，高盐度水团的下沉羽流存在周期为 8 h 的顺时针旋转。此外，本研究还通过敏感性试验分析了不同旋转条件对重水下沉三维流场结构的影响。随纬度的减小，重水下沉的空心锥形流场的倾斜程度增加，最大影响深度增大，水平涡流强度减弱。

S33-P-1S

卫星观测海表盐度偏差的区域分布及其主导因素

欧阳雅婷 [1,2]，张玉红 [1,2*]，池建伟 [1]，孙启伟 [1,3]，杜岩 [1,2*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

2 中国科学院大学，海洋学院
3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)
* zhangyuhong@scsio.ac.cn
* duyan@scsio.ac.cn

本工作对卫星海表盐度与 Argo 海表盐度间偏差的空间分布特征，及其与海气变量（海表温度、降水和风速等）的关系进行了研究。分析结果表明，卫星海表盐度的偏差在南北纬 40°之外的低海温区域最为显著，在热带辐合带、西边界和南极绕极流等强流区次之，在副热带开阔大洋区域偏差最小。

海表温度、降水和风场等海气变量是影响海表盐度卫星遥感观测和反演的重要因素。现有卫星海表盐度三级产品的偏差会随着海表温度升高递减，当海表温度超过热带对流降水阈值（27℃）时，海表盐度偏差小幅增加。海表盐度偏差随降水增强显著增加，当降水强度超过 6 毫米/天时，卫星海表盐度偏差较大且较 Argo 观测偏淡。降水对卫星观测盐度的影响有两方面：一是降水导致的海气边界层变化增加了卫星观测的难度；二是强降水形成的“淡水透镜”效应仅影响海表面非常薄的一层，虽能被卫星观测海表盐度（约 5 cm）反映，但不能体现在现场观测的近表层盐度（约 5 m）上，造成卫星海表盐度偏淡。由于海上降水瞬时性较强，卫星海表盐度二级产品较经过时间平滑的三级产品更能体现强降水引起的海表面淡化现象。卫星盐度偏差率随风速增加先降低后升高。在低风速下，海面粗糙度校正模型误差会引起海表盐度偏差；高风速下，海表面粗糙度增加了反演难度，造成海表盐度偏差。中风速下海表盐度偏差随风速减小可能与风搅拌减弱海表面降水引起表层淡化有关。

本研究发现，副热带开阔大洋具有较高的海表温度、极少的降水和弱风条件，故而成为卫星观测偏差最小的区域，适合作为盐度遥感观测的定标检验区。在中高纬度西风带和强流区，多种影响因素叠加使得盐度观测和反演困难，是未来盐度观测计划中需要重点突破的问题。

S33-P-2

便携式荧光监测仪在海水水质监测中的应用——基于主成分分析评价

陈际雨 [1]，刘长建 [1*]，张书飞 [2]，杨威 [1]，吴几 [3]

1 自然资源部南海局，自然资源部南海调查中心
2 中国水产科学研究院南海水产研究所，广东省渔业生态环境重点实验室
3 南京水利科学研究院
* lcjhhh@scsio.ac.cn

有色溶解有机物（CDOM）是溶解性有机质（DOM）的重要组成部分，在生物地球化学循环中发挥着不可或缺的作用。CDOM 在紫外照射下产生特定有机物和营养盐，是生物生命活动的物质基础，利用 NJUP01S03 型便携式紫外荧光双光谱水质分析仪在夏季对珠江口及邻近海域的荧光溶解有机物（FDOM）中的海洋有色溶解有机物（CDOM）进行研究，分析其分布特征。结果表明，CDOM 中类蛋白质 (Protein-like) 和类腐殖质 (Humic-like) 荧光物质在入海过程中，其荧光强度随盐度的增加逐渐减小，陆源输入是影响 CDOM 分布的主要因素，在垂向分布上，表层水 CDOM 荧光强度普遍高于底层水。与其他河口情况类似，河流淡水和外部海水的物理稀释作用，使珠江口 CDOM 在河口混合过程中呈保守行为。结合生化和水文参数进行分析，营养盐中硝酸盐，亚硝酸盐，铵盐和活性磷酸盐与腐殖质荧光具有显著正相关，分别为 0.71，0.74，0.62 和 0.68，与盐度呈显著负相关，为 0.71。以温盐、pH、浊度、溶解氧、叶绿素、硝酸盐，亚硝酸盐，铵盐和活性磷酸盐、蛋白质荧光与腐殖质荧光等 12 个因子进行主成分分析，本次调查中数据的 KMO 统计量为 0.769，Bartlett 球形检验相伴概率为 0.000，说明主成分分析法的适用性好,变量间存在相互关系,不相互独立,符合主成分分析要求。利用特征值根大于 1 的原则筛选出的前 3 种

主成分解释了 79.197%的结果。主成分 1 对总方差的贡献率为 48.90%，浊度、腐殖质荧光、硝酸盐、亚硝酸盐、活性磷酸盐在其中占有较高权重，腐殖质荧光在表层水的平面分布上与营养盐类似，呈现近岸高的分布特征，该主成分可视为污染强度指标，主成分 2 对总方差的贡献率为 21.89%，主要代表了温度、溶解氧和叶绿素，该主成分可视为浮游植物生境指标，主成分 3 对总方差的贡献率为 8.41%，主要代表蛋白质荧光。在实际工作中，应加强珠江口及上游的水环境保护以及海陆协同预警观测，减少径流输入对海洋环境的污染。该研究可为珠江口及邻近海域生境状况提供及时数据支持。

S33-P-3S

基于多源观测的南海中尺度涡三维结构反演研究

庄志远 [1]，张艳伟 [1*]，吕丹妮 [1]，阮威涵 [1]，俞建平 [2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中国科学院沈阳自动化研究所

* ywzhang@tongji.edu.cn

中尺度涡是海洋典型的高能中尺度动力过程，是大尺度和次中尺度运动的重要链接，其三维动力结构时空演变规律是定量评估其对海洋能量和物质再分布的重要依据。南海中尺度涡频发，通过中尺度涡的三维结构的重构，可以探究中尺度涡对南海深海沉积物从源到汇的搬运过程。本文提出一种深度学习算法，融合卫星数据，Argo 实测数据以及 Glider 观测数据在内等多源数据，从多层次数据中自动提取不同中尺度涡水文特征，构建南海中尺度涡旋三维结构反演模型，进而重构南海中尺度涡 0-1500 米水深的三维温盐结构。研究结果表明，南海中尺度涡旋存在明显的地形效应，同时涡旋表面水体的流场与涡旋内部的涡旋流场也存在着显著的差异。本研究的方法和结果可以为深入理解中尺度涡旋的三维结构以及其引起的物质搬运特性提供有效的参考。

S33-P-4

海洋内孤立波监测与预警在海洋工程建设中的应用——以我国海域天然气水合物第二轮试采为例

苏丹仪 [1,2,3]，郭斌斌 [1,2,3*]，梁前勇 [1,2,3]，梁楚进 [4,5]，蔺飞龙 [4]，蒋苏梦 [3]，董一飞 [1,2,3]，吴学敏 [1,2,3]

1 广州海洋地质调查局

2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

4 自然资源部第二海洋研究所

5 南京信息工程大学

* guobinbin1990@hotmail.com

内孤立波携带巨大的能量，具有突发性和隐蔽性。为避免内孤立波对海洋工程造成破坏，我们开发了一套结合双浮标实时监测、数据智能传输和软件自动识别技术的新一代内孤立波监测预警系统，并应用于我国海域天然气水合物第二轮试采工程，为工程提供了持续 173 天（2019 年 10 月-2020 年 4 月）的内孤立波预警。内波到达时平台助力数据与预警信息一致，证明了预警系统的可靠性。试采工程期间我们共监测到 93 个内孤立波影响南海神狐海域试采区，这些内波多出现在 10-12 月和 4 月的大潮期，而在冬季最少。结合理论模型分析表明，波致流剖面为典型的第一模态，波致流在海洋上层及海底分别可达 80 cm/s 和 30 cm/s。内孤立波可能主要由吕宋海峡地形与半日潮的相互作用激发，并向西传播到试采区。本研究可为今后的海洋工程建设内孤立波预警提供重要参考。

S33-P-5

A STRONG INTERNAL SOLITARY WAVE WITH EXTREME VELOCITY CAPTURED NORTHEAST OF DONG-SHA ATOLL IN THE NORTHERN SOUTH CHINE SEA

许安迪 [1]，陈学恩 [2*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

2 中国海洋大学，海洋与大气学院

* xchen@ouc.edu.cn

Internal solitary wavesin the South China Sea have received considerable attention. This paper reports on a strong ISW captured northeast of Dong-Sha Atoll on 22 May 2011 by shipboard ADCP, which had the largest velocity among the ISWs so far reported in the global ocean. The peak westward velocity was 2.94 m/s, and the peak downward velocity was 0.63 m/s, indicating a first baroclinic mode depression wave. The amplitude of ISW inferred from ADCP backscatter was about 97 m. 2.2 h later, a trailing wave was captured with a peak westward velocity and downward velocity of 2.24 m/s and 0.42 m/s, respectively. The estimated baroclinic current induced by the leading ISW was much larger than the barotropic current. The KdV theoretical phase speed and the phase speed inferred from the satellite images were 1.76 m/s and 1.59 m/s. The peak horizontal velocity exceeded the phase speed, suggesting the ISW was close to or already in the process of breaking and may have formed a trapped core.

S33-P-6

THE WAVE COHERENT FLUX AND TURBULENT STRUCTURE DURING THE INTERACTION BETWEEN SURFACE WAVES AND MARINE ATMOSPHERE BOUNDARY LAYER

邹仲水 [1*]

1 中山大学，海洋科学学院

* zouzhsh3@mail.sysu.edu.cn

The generation of ocean surface waves by wind has been studied for a century, giving rise to wave forecasting and other crucial applications. However, the reacting force of long and low frequency waves on the MABLremains unknown because of the difficultly and rarely observing wave-coherent pressure approaching to the sea surface. Instead of observing the air pressure directly, we present an analysis of wind turbulence and waves observed from a fixed platform located in the South China Sea. The flux generated by wave-coherent pressure derived from our observation shows that widely used method cannot produce the realistic value, *i.e.*, by underestimating its value almost two orders. After considering the interaction between the form drag of air pressure and wind, a new function is proposed to describe the wave-coherent flux.

S33-P-7

海洋中尺度-亚中尺度过程生态效应的遥感研究

刘汾汾 [1*]

1 中山大学，海洋科学学院

* lfenfen@mail.sysu.edu.cn

海洋中尺度涡及亚中尺度过程对浮游植物的影响显著，在部分海区能够贡献 70-90%的海洋生产力，浮游植物分布的影响机制复杂，并具有显著的区域差异和个体差异。研究主要针对海洋中尺度涡内部和边缘浮游植物影响机制，涡涡相互作用和涡流相互作用对浮游植物分布的影响，台风与海洋中尺度涡相互作用对浮游植物影响以及亚中尺度过程的观测等方面展开。揭示了南海北部和西部不同极性中尺度涡对浮游植物影响的机制差异、发现南海西部亚中尺度过程引起的季节内浮游植物双峰结构以及台风经过海洋气旋涡对海水冷却持续时间的增加导致更大的浮游植物增长等涡对浮游植物影响的特征。研究有利于深化不同尺度海洋动力对生产力影响机制的认识，为南海西部海洋亚中尺度研究提供新的、关键科学证据。

S33-P-8S

海洋对台风海鸥（2014）的热力学及动力学响应

陆晓婕 [1,2]，董昌明 [1,4*]，Kenny T.C. Lim Kam Sian[1,3]，杨劲松 [2,4]，张翰 [2,4]，徐振华 [5]，李刚 [1]

1 南京信息工程大学，海洋科学学院

2 自然资源部第二海洋研究所

3 无锡大学

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

5 中国科学院海洋研究所

* cmdong@nuist.edu.cn

台风在海洋上空经过会引起强烈的响应，然而这种响应在大多数台风中没有得到很好的观测。通过一组珍贵的实测锚系资料，Kalmaegi（2014）在经过中国南海北部时海洋的响应被很好地记录下来。利用现场观测和卫星遥感数据对台风的海洋热力和动力响应进行了分析。海面温度(SST)显示，最大降温 3.77℃发生在台风路径的右侧，对应于著名的 "右偏"。不同站点的热量输运的响应差异较大。通过一个简单的公式计算了垂向速度，并计算了近惯性运动对热量输运的垂向调制作用。对实测海流的谱分析表明，近惯性动能（NIKE）在台风通过后立即向下传播。NIKE 能达到的最大深度受浮性频率和涡度极性的影响：负涡度能使近惯性频带更宽，加之较大的浮性频率造成垂向群速度的增大，更多的能量得以向下传播。

S34-O-1

北极海冰消融及其大气强迫机制

刘忠方 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* liuzf406@gmail.com

在全球变暖背景下，北极水文气候正在经历着一系列快速的变化，一个“新北极”正在形成。“新北极”的出现不仅改变了北极的生态环境，还通过大尺度的海气环流影响北半球乃至全球的天气和气候，对人类应对北极和全球气候变化提出了巨大挑战。海冰减少是“新北极”最主要的特征，也是“新北极”产生的助推器，但目前关于北极海冰消融机制研究仍存在着诸多争议。本研究从海气环流入手，阐述了海洋和大气强迫对北极冬季海冰消融的相对重要性。结果表明，大气（而非海洋）强迫主导了北极冬季海冰消融，解释了一半以上年际海冰变化。在北半球冬季，欧亚海盆受持续增强的反气旋环流控制，其

扩大了该地区的热量和水汽输送，导致气温和向下的长波辐射增加，加速了海冰消融。在未来变暖背景下，该反气旋环流将会持续增强，进一步加速北极海冰消融。该研究不仅厘清了海洋与大气过程对冬季海冰消融的相对贡献，同时解释了北极放大效应背景下中纬度天气和气候极值产生的原因。

S34-O-2

基于 FIO-ESM 和 FESOM 的北冰洋动力降尺度模拟和预估

舒启 [1*]

1 自然资源部第一海洋研究所

* shuqi@fio.org.cn

气候变化已成为人类社会可持续发展面临的严峻挑战，尤其北极地区的气候变化尤为剧烈。气候模式作为理解过去气候与环境演变机理、预估未来气候变化的重要工具，在研究北极气候变化方面发挥着至关重要的作用。但是由于北极地区缺乏观测资料以及气候模式分辨率仍普遍偏低，导致气候模式在北冰洋的模拟和预估中存在诸多共性问题。本工作利用自然资源部第一海洋研究所的气候模式 FIO-ESM2.1 和德国极地和海洋研究所研发的全球可变网格的高分辨率冰-海耦合模式 FESOM，开展了北冰洋高分辨率动力降尺度的模拟和预估，显著降低了气候模式在北冰洋的共性误差，为开展北冰洋气候变化研究和预测提供了一套高质量的模拟数据集。

S34-O-3

北极夏季海冰极值事件中热力及动力机制分析研究

吕国坤 [1*]，Armin Koehl[3]，毕海波 [2]，周朦 [1]，Detlef Stammer[3]，Nuno Serra[3]

1 上海交通大学，海洋学院

2 中国科学院海洋研究所

3 汉堡大学，海洋研究院

* guokun.lyu@sjtu.edu.cn

北极夏季海冰面积在 2007，2012，2016，及 2020 年达到历史极底值。虽然已有研究分析上述极值事件的主要影响因子。然而，由于缺乏融冰季海冰厚度及海洋-海冰-大气通量观测，海冰厚度、体积时空变化特征及机制尚不明晰。本研究基于一套北极海洋-海冰再分析数据，利用海冰体积变化控制方程比较分析了海冰动力及热力过程对海冰厚度及体积变化的影响及机制。2012 年，欧亚海盆 5 月份海冰偏薄(-0.8 米)主导了九月份海冰异常偏少。此外，8 月初的超级气旋将海冰输运至楚科奇海，海冰在此处进一步融化。在其余三年内，海冰漂移显著地影响 9 月份海冰空间分布。2007 年，北极偶极子增强了北极贯穿流，导致北极太平洋扇区海冰迅速减少。但是海冰在欧亚海盆及贝尔弗特海背部堆积。2016 年，海冰漂移将海冰输运至欧亚海盆，导致欧亚海盆海冰增多。同时，部分海冰被输运至楚科奇海，并逐渐融化。2020 年，较高的气温显著加强了表面融化。同时，海冰动力过程将海冰从欧亚海盆输运至美洲海盆，显著减小欧亚海盆海冰厚度及面积。相比于欧亚海盆，北极太平洋扇区内海冰对动力及热力过程更为敏感。因而，在欧亚海盆内，融冰季开始前海冰异常偏薄或融冰季海冰迅速减少利于新的海冰极值事件。此外，融冰季内，南向的海冰输运也有利于海冰进一步融化。

S34-O-4

海浪对北极海冰模拟的影响

王艺智 [1]，李静凯 [2*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

2 中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室

* ljk1105@ouc.edu.cn

受全球气候变化的影响，北极海冰在近三十多年来正经历着快速的减少，随之而来最直接的影响之一便是由于风区增加而明显增强的北极海浪，进而引发了愈发显著的海浪海冰相互作用。近年来，越来越多针对冰边缘区域的研究表明，海浪对海冰的作用显著，可以引起海冰的破碎、漂移和堆积等等，对海冰的分布、形态、生消具有重要的影响。但是各种海浪对海冰的作用机制对北极海冰的年际变化、空间分布有何种影响尚没有相对系统的研究，故本研究将基于可靠性强、应用广泛的海冰模式 CICE，并植入浪致混合、浪致斯托克斯漂以及浪致辐射应力、浪致海冰破碎等物理机制，分析其对海冰模拟结果的影响，包括：海冰密集度、冰厚以及浮冰尺寸分布等。希望通过本研究对海冰的长期演变机理以及海冰的数值预报提供参考依据。

S34-O-5

楚科奇海陆架碳输出的调控机理

罗晓凡[1*]，郑宇佳[1]，魏皓[1]

1 天津大学，海洋科学与技术学院

* xiaofan.luo@tju.edu.cn

定量认识楚科奇海陆架碳泵作用对于全面理解北冰洋变化背景下的碳循环和海洋酸化具有重要意义。利用海洋-海冰-生物地球化学耦合模式（NAPA-BGC）1998-2015年的后报模拟结果，本研究揭示了太平洋入流对楚科奇海陆架碳泵的驱动作用。模式结果指出太平洋入流通量决定了楚科奇海陆架向极输出溶解无机碳（DIC）的年际变化，估算的 DIC 输出通量多年平均为 828 Tg C yr^{-1}。太平洋入流在夏季（5 月至 9 月）向楚科奇海陆架输入 DIC 为 385 Tg C yr-1，冬季（10 月至 4 月）为 436 Tg Cyr-1。这些 DIC 在夏季主要通过 Barrow 峡谷（266 Tg C，64%）向极输出，冬季则通过 100m 等深线（217 Tg C，53%）输出。DIC 从不同路径输出的比例存在较大年际差异。其中，巴罗峡谷的 DIC 向极输出通量占比与沿峡谷的（52°T）局地风速存在显著的相关性（r > 0.8），主导了 DIC 在不同输出路径的通量分配。这与北极和北太平洋之间的海平面压力（SLP）梯度有关。较弱的 SLP 梯度导致局地东北风较弱，有利于增加巴罗峡谷 DIC 输出通量占比，从而使其它路径的 DIC 输出占比降低。该过程对陆架源 DIC 在深海盆的再分配起关键作用。

S34-O-6

RAPID SEA ICE LOSS ENHANCED WIND MIXING EFFECTS ON THE UPPER OCEAN DYNAMICS IN THE PACIFIC ARCTIC OCEAN

冯志轩[1*]，王媛琪[1]，宋洪军[2]，林培根[3]，焦晓辉[4]，张继才[1]，金海燕[5]，陈建芳[5,6]，Jacqueline M. Grebmeier[7]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋生态环境科学与技术重点实验室

3 上海交通大学，海洋学院

4 浙江大学，海洋学院

5 自然资源部第二海洋研究所，海洋生态系统动力学重点实验室

6 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

7 University of Maryland Center for Environmental Science,Chesapeake Biological Laboratory

* zxfeng@sklec.ecnu.edu.cn

The northern Bering andChukchi Sea, a highly productive polarshelf sea, is experiencing marked environmental changes in the last 3 decades due to sea ice loss. The upper mixedlayer is an important property of the ocean, and its changes may significantly impact the exchange of heat, gas, and nutrients. Here, using a compilation of hydrographic observations and model reanalysis in1996-2021, we found thatthe mixed layer in the warm season had a shoaling trend prior to 2006butbecame deeper inrecent 15 years. The influence of temperature onstratification had significantly increased and became as important as that of salinity from northern Beringtosoutheastern Chukchi Sea. Our analysis suggests that the divergent trends ofmixed layer depth are due to an earlier seasonal ice retreat and longer open water periods for wind-induced mixing. A potential regime shift in the upper ocean dynamics is underway and may have profound effects on the marine ecosystem of the Pacific Arctic.

S34-P-1S

对比中晚更新世北冰洋加拿大海盆与马卡洛夫海盆沉积物搬运动力

石端平[1*]，肖文申[1]，王汝建[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* 1977566646@qq.com

中更新世以来北极气候不断变冷，随着冰盖的生长，其沉积环境及沉积物的搬运过程发生了很大的变化。研究不同的搬运动力和分选过程对北极海底沉积物的影响，可以促进我们对过去地质时期冰盖、海冰和环流变化的理解。本研究通过分析和对比北冰洋中部位于加拿大海盆的ARC7-LIC岩芯（317 cm, MIS 30-1）和位于马卡洛夫海盆的ARC5-ICE6岩芯（426 cm, MIS 13-1）的粒度数据等，对比中晚更新世北冰洋加拿大海盆与马卡洛夫海盆沉积物搬运动力在长时间尺度以及冰期-间冰期尺度上的区域性差异。数据显示，冰山主要搬运砂质粒级沉积物，集中在冰期、冰段；海冰主要搬运黏土粒级沉积物；底流主要搬运粉砂粒级沉积物，其搬运动力与海冰搬运动力反相关。长时间尺度的数据显示，北冰洋中部海区的底流强度自 1 Ma 以来逐渐减弱。LIC 岩芯（加拿大海盆）和 ICE6 岩芯（马克洛夫海盆）所示底流强度分别于 MIS 12 和 MIS 5 显著减弱，与其有孔虫数据对应较好，推测有孔虫的保存状态与底层水通风作用有关。

S34-P-2S

基于 MOSAIC 观测的北极大气边界层高度特征研究

彭诗杰[1]，杨清华[1]，Matthew D. Shupe[2,3]，席星雅[1]，韩博[1]，陈大可[1]，Sandro Dahlke[4]，刘长炜[1*]

1 中山大学，大气科学学院

2 University of Colorado Boulder,Cooperative Institute for the Research in Environmental Science

3 NOAA Physical Science Laboratory

4 Alfred Wegener Institute (AWI),Helmholtz Centre for Polar and Marine Research

* liuchw8@mail.sysu.edu.cn

大气边界层在北极气候系统中的重要作用已经得到广泛认可，但北极大气边界层高度作为一个边界层重要参数却很少被研究。利用北极气候研究多学科漂移观测站（MOSAiC）期间的全年探空数据集，我们改进了一种考虑到云层影响的基于 Richardson 数的边界层高度算法，并分析了北冰洋上大气边界层高度的特点和变化。结果显示，边界层高度年变化的特点是在 5 月有一个明显的峰值，在 1 月和 7 月有两个最小值。这种年变化主要由边界层热力结构的演变控制。冬季和夏季的逆温结构分别被季

节性的辐射冷却和表面融化所加强，导致这些时间的边界层高度较低。近地面条件（如摩擦速度等）在边界层高度变化中也起着重要作用，边界层高度可以根据这些基本变量进行粗略估计。此外，MOSAiC 的边界层高度比夏季北冰洋表面热预算（SHEBA）实验中的边界层高度受到更多的抑制，这表明在北极夏季大气边界层结构存在很大的变化。

S34-P-3S

北冰洋西部中尺度涡旋周围增强的湍流混合：反射地震观测

杨顺[1*]，宋海斌[1]，张锟[1]，Bernard Coakley[2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 University of Alaska Fairbanks,Geophysical Institute

* 1911118@tongji.edu.cn

湍流混合是维持大洋翻转环流的一个重要过程。近年来，北冰洋海冰覆盖急剧减少，导致湍流混合和涡旋活动增强。由于观测资料的匮乏，过去我们对北冰洋湍流混合的理解是不完整的。在本文中，我们利用具有高空间分辨率的多道反射地震方法和同步采集的声学多普勒海流剖面仪（ADCP）测量，识别了北冰洋西部的 11 个中尺度涡旋，主要是盐跃层内的反气旋。通过拟合地震斜率谱和 Batchelor 谱，我们估算了湍流混合参数。结果表明，涡旋周围的湍流混合通常很强。涡旋上边界的湍流扩散率很强，超过 $10^{-4}\ m^2s^{-1}$，这可能是由强的垂向剪切引起的。在这些涡旋的下边界没有观察到混合的明显增强。我们推测，这可能是由于低估了下边界的浮力频率。涡旋侧边界的扩散率很强，可能是由温盐侵入或涡旋搅拌造成的。这里估计的涡旋边界的湍流扩散率不仅高于开阔大洋的统计平均值，而且也远远大于北冰洋盐跃层的背景值。盐跃层内涡旋的湍流混合增强，可能在增强大西洋暖水的向上热通量方面发挥重要作用，从而促进表面海冰的融化。

S34-P-4

MIS 5.5 以来西北冰洋 IRD 岩矿组成指示的北极冰盖崩塌与表层洋流演化历史

章陶亮[1,2*]，王汝建[2*]，肖文申[2]，Leonid Polayk[3]

1 上海交通大学，海洋学院

2 同济大学，海洋与地球科学学院

3 The Ohio State University,Byrd Polar and Climate Research Center

* zhangtaoliang@sjtu.edu.cn

* rjwang@tongji.edu.cn

通过西北冰洋楚科奇边缘地区 4 个柱状沉积物组成的岩芯断面，分析 MIS 5 以来粗颗粒冰筏碎屑(IRD)的岩矿组成，确定西北冰洋不同时期 IRD 的来源和搬运模式，进而重建 MIS 5 以来欧亚冰盖和北美冰盖的消长以及北冰洋海盆中表层洋流的演化历史。在 MIS 5.5 和 MIS 5.1 期间，波弗特环流的影响范围大于 MIS 1。而在 MIS 5.4-5.2 期间，波弗特环流的影响范围小于现代；MIS 4 期间，岩芯中发现了大量来源于欧亚冰盖或东西伯利亚海冰盖的冰川浊积物，冰盖可能扩张到了楚科奇边缘地区南部；在楚科奇边缘地区南部的岩芯中 IRD 几乎全部为铁锰结核，可能受到了欧亚冰盖或东西伯利亚海冰盖的影响，但铁锰结核与欧亚冰盖的关系仍需进一步研究；在 MIS 3 期间，波弗特环流的影响范围和强度略弱于现代环境； 在末次冰盛期，西北冰洋受到以劳伦冰盖为主要来源的冰川浊积物输入；在末次冰消期，西北冰洋发生了一次来源于北美劳伦冰盖的冰融水排泄事件；在 MIS 1，西北冰洋主要受到波弗特环流的控制，将来源于加拿大北极富含碎屑碳酸岩的 IRD 带入北冰洋海盆。

S34-P-5S

基于深度学习模型的北极海冰月度预测

郇小荷[1]，王杰龙[2]，刘忠方[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，测绘与地理信息学院

* liuzf406@gmail.com

由于北极海冰对中纬度天气和极端气候存在潜在影响，人们对北极海冰的亚季节性到季节性预测的需求日益增加。传统的预测系统主要是基于物理规律的气候模型和统计学模型，然而这些模型受初始状态的影响较大，且计算成本较高，同时在较短时间尺度上的预测精度有限。在这种情况下，基于已有数据驱动的深度学习模型成为了一种新兴的方法。在本研究中，我们提出了一个仅由海冰密集度数据驱动的深度学习模型 UNet-F/M，用于提前一个月预测月度海冰密集度。我们使用每月的卫星观测数据，分为融冰季和结冰季，分别训练该模型。结果表明，UNet-F/M 在月度时间尺度上对北极海冰密集度有很好的预测能力，总体上优于最近提出的几个深度学习模型，尤其在 9 月海冰最小值的预测上进步较大，并且模型所需的输入数据少、运算速度快。我们的研究为未来北极海冰的分季节预测提供了一个视角，并且可能对北半球中纬度地区的天气和气候预测产生影响。

S34-P-6

楚科奇海冬季温盐特征分析

李敏[1*]，Robert S. Pickart[2]，林培根[3]

1 广东海洋大学，海洋与气象学院

2 Woods Hole Oceanographic Institution,PO department

3 上海交通大学，海洋学院

* limin_gdou@163.com

Using in-situ observational data on the Chukchi shelf and at Bering Strait in winter 2020, the hydrography and water masses are analyzed. The vertically structures of the temperature and salinity were fairly uniform at most of the stations, implying the strong vertical convection during observation. The timeseries of watermasses showed that there were two regions in which the newly-ventilated winter water near freezing point were dominant, the north-central region with relatively salty water, and the strait region with low salinity values shown up. Local and broad ice concentrations, and wind conditions are analyzed to investigate the mechanism of the different salinity in the two winter water regions.

S34-P-7S

基于 GLORYS12V1 再分析数据的楚科奇陆架区流场时空特征分析

施旭东[1]，李敏[1*]，谢玲玲[1]

1 广东海洋大学，海洋与气象学院

* limin_gdou@163.com

本文利用 1993-2020 年的 GLORYS12V1 再分析数据分析了楚科奇陆架区流场的空间分布特征和主要断面流速的时间变化。结果显示，白令海峡、汉娜德海谷、中央水道、阿拉斯加沿岸和巴罗海谷断面处气候态平均流均为北向，且断面平均流动均在夏季最强（0.08-0.5m/s），秋季最弱（0.03-0.5m/s）。德朗海峡断面处东南向的西伯利亚沿岸流在秋季最强，可达 0.08m/s。多年平均结果显示楚科奇海西、中、东三支主要路径上流量分别占白令海峡入流水的 52%、25%和 16%。白令海峡和德朗海峡断面流量在 5 月达最大值，其余断面均

在 7 月达到峰值。各断面流量的年际变化都呈现弱增长趋势，最大增幅仅 0.05Sv/y（p>0.05）。5m 层南北向和东西向流速的 EOF1 在陆架区主要均为同位相分布。南北向流速的 EOF2 显示白令海峡东部和主要流径区与白令海峡西部、西伯利亚沿岸及浅滩区位相相反，而东西向流速 EOF2 在中央和东部陆架与其余陆架区位相相反。第一、二模态的时间序列均显示出明显的季节变化，夏季和冬季位相相反。5m 和 30m 层的 EOF 分解结果较为类似，体现了流场特征在不同深度的一致性。

S34-P-8S

波弗特流涡自旋加速和摆动背景下北冰洋大西洋水在楚科奇边陲区域的变化

龚亚平 [1]，钟文理 [1*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

* wlzhongouc@ouc.edu.cn

大西洋水是北冰洋内最重要的储热层，而楚科奇边陲地区又是大西洋水入流加拿大盆地的关键海域，研究大西洋水在楚科奇边陲地区的变化能深入揭示大西洋水对北冰洋的影响。本文收集整理并校正 1999-2021 年的大量历史水文数据，探讨了在波弗特流涡近期的加强和摆动背景下，大西洋水、太平洋冬季水和双扩散阶梯结构在楚科奇边陲区域的时空变化。结果表明，在楚科奇边陲地区共发现了三股大西洋水暖异常信号，分别在 2000 年、2012 年和 2018 年左右，暖核心位温都达 1℃以上。暖异常信号入流加拿大盆地主要受到波弗特流涡的调控，同时入流过程中大西洋水热量的耗散大小也存在协同变化。太平洋冬季水核心温度的低值主要分布在楚科奇海台南部和楚科奇陆坡上，而且其核心位温也呈现上升趋势。太平洋冬季水核心和大西洋水核心间水团的平均热含量在楚科奇中部和东部地区显著升高，其中冷盐跃层增暖显著。太平洋冬季水和大西洋水的深度变化与波弗特流涡强度成正比，存在 1-2 年的滞后响应，太平洋冬季水对波弗特流涡变化的响应更明显。加拿大海盆内大西洋水核心平均位温自 2005 年开始缓慢减弱，而核心深度和势能异常在不断加强，双扩散阶梯在盆地内出现了从大阶梯结构向小阶梯结构，到最后消亡的过程。大西洋水核心位温的降低对双扩散阶梯的演变起主要作用，同时海盆内背景层结和波弗特流涡剪切的增加也有贡献。

S34-P-9

北极放大效应季节性差异及可能机制

戴海璠 [1*]

1 国防科技大学，气象海洋学院

* hj_dai@nudt.edu.cn

本文通过人为减少数值气候耦合模式中的海冰对短波辐射的反照率，向极地海洋引入多余的热量。结果在没有二氧化碳加倍的情况下制造出了地球系统变暖的场景。通过海表温度变化分析，地球表面的辐射通量分析，极地局地的辐射反馈分析，研究了北极增暖放大效应产生季节性差异的原因，并且确定了一些对北极增暖放大效应产生有重要贡献的环境因素。

本文的主要结论是：

1. 由于全球表面增温没有明显的季节性变化，因此北极增暖放大效应的季节性差异主要是由于北极表面增暖的季节性变化产生的。

2. 由于外区域引导的增温作用（如经向热量输送）不明显，北极表面增暖主要是由于北极地区局地的强迫反馈机制导致的。

3. 海冰反照率的正反馈机制通过吸收热量，表面温度增加，海冰融化实现，这也是辐射通量变化中最重要的反馈过程。

4. 海洋次表层的热量储存通过储能和释放延迟了海冰反照率的正反馈作用。当海

洋次表层热量储能达到最大时（夏季），北极表面增暖达到最小值；当海洋次表层热量释放达到最大时（秋季），北极表面增暖达到最大值

S34-P-10

北极地区春季大气环流主模态对夏季海冰减少的影响

毕海波 [1,2]，陈显尧 [3*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

2 崂山实验室，海洋地质环境与动力过程实验室

3 中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室

* chenxy@ouc.edu.cn

北极地区大尺度大气环流是造成夏季海冰快速减少的重要原因。前人研究主要揭示了北极涛动、北极偶极子等主流环流模态对北极海冰变化的影响，但鲜有研究探讨了第三种大尺度大气环流模式（Barents-Beaufort Oscillation， BBO) 的变化及其对海冰变化的影响及机制。对此，本研究利用卫星和再分析资料研究了春季 BBO 影响北极夏季海冰变化的物理机制。研究发现，当 BBO 处于正相位时期（BBO+），海冰运动有关的剪切和聚散过程将导致波弗特海、楚克奇海等地区的海冰厚度减小，当其进入夏季融冰期，更加容易消失，造成太平洋扇区内的海冰密集度和范围显著减小。同时，我们也发现，BBO 的发生规律与中纬度大洋海温年代际变化密切相关。研究证实，当 AMO（PDO)进入正（负）相位时期，都有利于 BBO+型环流模式的发生，有助于解释进入 2000 年以后北极海冰的范围会呈现加速减少的现象。

S34-P-11S

中国 HY-2B 雷达高度计在北极海冰厚度反演的可行性研究

董昭顷 [1,2]，石立坚 [2*]，林明森 [2]，贾永君 [2]，曾韬 [2]，武苏辉 [2]

1 河海大学，海洋学院

2 国家卫星海洋应用中心

* shilj@mail.nsoas.org.cn

随着中国海洋动力环境卫星(HY-2)的不断发展，探索 HY-2B 在北极海冰厚度反演中的应用潜力迫在眉睫。在本研究中，我们首先使用 HY-2B 雷达高度计估算了两个周期(2019 年 10 月至 2020 年 4 月和 2020 年 10 月至 2021 年 4 月)的北极雷达干舷和海冰厚度，并将结果与阿尔弗雷德·韦格纳研究所(AWI) CryoSat-2 (CS-2)产品进行了比较。我们使用美国冰桥(OIB)机载数据和 ICESat-2 产品评估 HY-2B 海冰干舷和厚度产品。最后，我们估算了 HY-2B 海冰干舷和海冰厚度的不确定性。在这里，我们通过计算浮冰相对高程(减去平均海面高度(MSS))和海面高度异常(SSHA)(15 最低点的平均值)之间的差来获得雷达干舷。HY-2B 与 CS-2 雷达干舷偏差在 0.02 m 以内，HY-2B 与 CS-2 海冰厚度偏差在 0.2 m 以内。HY-2B 雷达干舷一般比 AWI CS-2 厚，除了春季(3 月和 4 月)。春季段可能比初冬段有更多的浮冰。HY-2B 和 CS-2 的雷达干舷和海冰厚度在 MYI 区域的偏差大于 FYI 区域的偏差。HY-2B (CS-2)海冰干舷反演结果与 OIB 值的相关性为 0.77(0.84)，均方根误差(RMSE)为 0.13 (0.10)m，平均绝对误差(MAE)为 0.12 (0.081)m。HY-2B (CS-2)海冰厚度反演结果与 OIB 值的相关性为 0.65(0.80)，均方根误差(RMSE)为 1.86 (1.00)m，平均绝对误差(MAE)为 1.72 (0.75)m。HY-2B 海冰厚度的不确定性在 0.61～0.74 m 之间。未来的工作将包括使用专门的海冰重跟踪方法对 HY-2B L1 数据进行再处理，并使用雷达波

形直接识别冰间水道，从而获得更高精度的极地海冰厚度反演的产品。

S34-P-12

楚科奇海中有色溶解有机物的粒径分布表征

林辉[1]，陈敏[2*]，曾健[2]，李琦[2]，贾仁明[2]，郑敏芳[2]，邱雨生[2]

1 中国极地研究中心，生态中心

2 厦门大学，海洋与地球学院

* mchen@xmu.edu.cn

随着北极增温趋势越发显著，陆源输入在北冰洋碳循环中的作用越发突出。有色溶解有机物（CDOM）可指征陆源溶解有机物，对于解释溶解有机物的源汇和组分具有非常重要的意义。尽管北冰洋中的溶解有机物被广泛报道，但是对于高分子量胶体态的溶解有机物的表征依然相对缺乏。我们采集并富集了北冰洋毗邻海域楚科奇海水体中的溶解有机物，使用非对称流场场流仪配合在线紫外-可见吸光度检测器分析了水体中的溶解有机物的吸光光谱和粒径分布。我们还测量了水体中的稳定同位素 ^{18}O，并使用水体中的 ^{18}O 和盐度建立三端元混合模型，从而计算出楚科奇海水体中淡水的份额。我们观察到 CDOM a_{254}、三个粒径范围的胶体有机物(1-10 kDa, 10-100 kDa, >100 kDa)均和淡水份额（f_{mw}）呈现显著正相关关系。这说明楚科奇海主要的CDOM来源于陆源输入，且 a_{254} 是一个很好的示踪陆源的参数。同时，小粒径的胶体有机物(1-10 kDa)与淡水份额的相关性比大粒径的(10-100 kDa、> 100 kDa)的强，这说明小粒径的胶体有机物几乎均为陆源。另外，现场实测的光谱斜率参数 $s_{275-295}$ 显著低于 MODIS Aqu 卫星数据模型估计的 $s_{275-295}$，这可能预示着模型计算得到陆源输入有可能被低估。

S34-P-13

北冰洋冬春季固定冰断裂对天气的影响

高慧君[1]，陈显尧[1*]，罗蕊[2]，王晓宇[1]

1 中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室

2 崂山实验室，深海多学科交叉研究中心

* chenxy@ouc.edu.cn

海冰变化会对北极地区的气候系统和生态系统产生显著影响，亦通过与大气、海洋的复杂相互作用对全球的天气和气候系统产生影响。因此，北极海冰的精准预测至关重要，是全球气候变化研究的重要支撑。然而，气候模式模拟的北极海冰融化速度一直慢于实际观测的海冰融化速度，海冰面积的缩减趋势被低估，尤其是在夏季。究其原因，海冰预测能力的不足源于对海冰变化复杂物理过程的认识不够充分，对小尺度物理过程的认识不够全面。值得重视的是，我们在春季北极科学考察期间观测到了固定冰沿岸线整块断裂、漂离原覆盖海域的现象,气温出现脱离气候态变化趋势的迅速升高。观测、再分析等资料显示，固定冰断裂—伴随局地气温跳出气候态变化趋势升高的过程在北极冬末亦有发生。而这类北极冬春季气温的异常升高可能会直接或间接地影响大气、海洋和海冰的物理过程，进而改变北极春季的海冰厚度，影响夏季海冰融化的过程。

S34-P-14

北冰洋楚克奇边缘在过去两个冰期旋回中的冰盖和洋流演化

肖文申[1*]，Leonid Polyak[2]，章涛亮[3]，王汝建[1]，段肖[1]，涂艳[1]

1 同济大学

2 Byrd Polar and Climate Research Center

3 上海交通大学

* wxiao@tongji.edu.cn

北冰洋楚克奇-东西伯利亚海陆架在更新世的冰期-间冰期旋回中屡次受到冰盖发育、海平面升降的影响。本项研究通过分析中国第六次北极考察在楚克奇边缘地采集的 ARC6-C15 岩芯中的物源指标，重建了深海氧同位素（MIS）4 期以来该区域的冰盖和洋流演化历史。数据显示，MIS 4 东西伯利亚冰盖发育，阻碍了西向的洋流跨越楚克奇隆起。MIS 4/3 冰消期，大量沉积物从东西伯利亚和楚克奇陆架卸载到临近的陆坡和海盆。而 MIS 3 沉积物来源于楚克奇海和加拿大海盆。相较于 MIS 4，末次盛冰期东西伯利亚冰盖对楚克奇边缘地的影响更小，而末次冰消期主要受到北美劳伦冰盖的影响。B/A 时期主要来自麦肯锡河流域的沉积输运，而随后的沉积包含了加拿大北极群岛的贡献。在 MIS 4/3 和末次冰消期沉积物中都发现了铁锰结核，与冰消期海平面上升，融冰水卸载有关。

S34-P-15

RECENT STATE TRANSITION OF THE ARCTIC OCEAN'S BEAUFORT GYRE

Peigen Lin[1,2*]，Robert S. Pickart[2]，Harry Heorton[3]，Michel Tsamados[3]，Motoyo Itoh[4]，Takashi Kikuchi[4]

1 Shanghai Jiao Tong University,School of Oceanography

2 Woods Hole Oceanographic Institution

3 University College London,Department of Earth Sciences

4 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology,Institute of Arctic Climate and Environment Research

* plin@sjtu.edu.cn

北冰洋反气旋波弗特流涡是加拿大海盆的主要环流，也是北冰洋最大的淡水水库。在 2000 年代的前半部分，流涡加强并积聚了更多的淡水。使用 2003-2019 年历史水文数据集以及最新的卫星海洋动力地形数据，我们发现在过去十年中，波弗特流涡已经过渡到准稳定状态，其中流涡的海面高度增加速度放缓，淡水含量已经趋于稳定。此外，由于来自太平洋和楚科奇海陆架的冷且咸水输入减少，以及波弗特海东部较淡水贡献的增加，海盆内的冷盐跃层已经显着变薄。由于局地风的变化，波弗特流涡状态的转变与其位置向东南的移动有关。 我们的结果表明，冷盐跃层的持续变薄可以改变目前的稳定状态，从而允许淡水释放。这可能会使北大西洋变淡，影响大西洋经向翻转环流。

S34-P-16

北冰洋西部涡旋及其旋臂的地震海洋学研究

宋海斌[1*]，张锟[1]，杨顺[1]，Bernard Coakley[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 University of Alaska Fairbanks,Geophysical Institute

* hbsong@tongji.edu.cn

北冰洋西部楚科奇海域发育了大量的海洋涡旋，这些涡旋是太平洋向北冰洋进行物质能量传输的重要途径。然而传统水文观测的时空分辨率有限，影响了目前对北冰洋水体精细结构及其动力学特征的认识。2011 年 9-10 月，Marcus G. Langseth 号调查船在该海域开展了 MGL1112 航次多道地震探测工作，同时采集了宝贵的现场流速同步观测资料。通过多道地震资料重新处理，我们对地震和同步水文剖面上发现的涡旋及亚中尺度过程进行了研究。

研究发现，涡旋在地震剖面上常常表现为透镜状和丘状反射结构，内部反射较弱，

而边界反射较强。这些反射结构分别指示反气旋涡旋和气旋涡旋。在垂直地震测线的流速剖面上，这些反射结构对应一对符号相反的流速区。在北冰洋西部海域发现 23 个涡旋，其中 19 个为反气旋涡旋，4 个为气旋涡旋。通过与同步采集的抛弃式温深仪数据和历史温盐深剖面仪数据对比，研究发现在这 23 个涡旋中，有一个为暖核反气旋涡和两个为冷核反气旋涡，其核心水可能分别为楚科奇夏季水和太平洋冬季水。我们还统计了涡旋的直径、深度、厚度等几何参数，分析了各个参数之间的相关关系，并估算出这一区域涡旋的总输运量可以达到 0.56 Sv。

我们利用 MGL1112 航次同步采集的反射地震数据和 ADCP 流速数据，在北冰洋楚科奇海东北部的北风盆地内相隔七天重复观测到了一个拥有亚中尺度旋臂的中尺度涡旋，并估算了涡旋的空间尺度和运动学参数，讨论了旋臂的可能形成机制。研究表明，该涡旋的水平尺度约为 56 km，深度分布约为 50-300 m。观测期间，涡旋以 1 cm/s 的速度向西移动，核心水的净输送量约为 0.05 Sv。该中尺度涡旋拥有一个刚体旋转的核心，其旋转周期约为 26 h，最大切向流速 59 cm/s，核心水的体积约为 89 km3。核心外的速度与半径呈二次反比下降，这与传统的 Rankine 涡（兰金涡）模型不同。涡旋的侧边界呈多旋臂结构，形成螺旋带，螺旋带与热带气旋中看到的螺旋雨带非常相似。这些具有高倾角（可达 4°）的旋臂可能是由涡流搅拌引起的。核心水很可能来自太平洋暖水，被楚科奇陆坡流或博福特（Beaufort）环流输送到北风盆地。结果表明，这个中尺度涡的地震图像与同步的流速图像具有很强的一致性，并且前者表现出比后者更精细的结构，特别是在涡周围的亚中尺度旋臂。这进一步验证了地震海洋学方法在观测海洋细结构方面的优势。

S35-O-1

极地冰-气相互作用的观测及模拟

丁明虎 [1*]

1 中国气象科学研究院，全球变化与极地研究所

* dingminghu@foxmail.com

南北极地区的冰盖、积雪、海冰演化过程及其对大气的影响，仍然是气候变化背景下多圈层相互作用认识的薄弱环节，其主要原因是观测试验能力受到多种因素制约，物理过程定量化困难。本研究简要介绍基于我国南极内陆考察区域多年观测试验取得的一些初步认识，包括雪冰观测技术方法、冰气交换若干过程的精确模拟、不同冰盖关键区的能量交换过程差异等。

S35-O-2

EVALUATING DIFFERENT GEOTHERMAL HEAT FLOW MAPS AS BASAL BOUNDARY CONDITIONS DURING BOTH TRANSIENT AND NUDGED SPIN UP OF THE GREENLAND ICE SHEET

张通 [1*]

1 北京师范大学

* tzhang@bnu.edu.cn

There is currently poor scientific agreement whether the ice-bed interface is frozen or thawed beneath approximately one-third of the Greenland ice sheet. This disagreement in basal thermal state results, at least partly, from a diversity of opinion in the subglacial geothermal heat flow basal

boundary condition employed in different ice-flow models. Here, we employ seven Greenland geothermal heat flow maps in widespread use to 10,000-year spin ups of the Community Ice Sheet Model (CISM). We perform both a fully transient spin up, as well as a nudged spin up that conforms to Ice Sheet Model Intercomparison Project for CMIP6 (ISMIP6) protocol. Across the seven heat flow maps, and regardless of transient or nudged spin up, the spread in basal ice temperatures exceeds 10°C over large areas of the ice-bed interface.

S35-O-3

东南极冰盖的冰下结构及其不稳定性

唐学远 [1,2*]

1 中国极地研究中心，自然资源部极地科学重点实验室

2 上海交通大学，海洋学院

* tangxueyuan@pric.org.cn

解析冰盖（或冰架）的内/底部结构是推断冰盖演化历史及其表面质量平衡变化的基础。航空地球物理调查是获取冰盖内部冰层、冰底环境信息的主要方式；其获得的探测数据是刻画冰下结构以及探讨冰盖不稳定性的前提。在过去的二十年中，已经发展出多种方法来定量获取基于雷达回波信号、重力和磁力异常的冰盖冰下地形、冰底粗糙度、冰下融水，以及冰架海腔底部地形等空间分布，并绘制其二维或三维几何图像。最近我们基于CHINARE2015以来的多次机载航空地球物理数据，进行了东南极冰盖冰下结构的多层面构建；通过从处理的机载数据中提取出有关冰盖冰层和冰架底部信息，并据此讨论其应用于冰盖不稳定性研究的前景。

S35-O-4

气候变率作为近期南极冰盖质量变化的重要驱动

吕柯伟 [1*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院

* kewei.lyu@xmu.edu.cn

多源数据均表明南极冰盖在过去几十年质量损失，贡献全球海平面上升。观测资料得到的长期趋势及其随时间变化驱动因素尚未明晰。本研究发现，基于 GRACE 卫星测量的 2002-2021 南极冰盖质量变化除长期趋势以外，还表现出显著的年代际变动信号。通过时间积分后的南半球环状模（SAM）和 ENSO 指数可以解释大部分观测到的年代际变动。其中，南极半岛和东南极冰盖质量变化受 ENSO 主导。而西南极冰盖质量变化主要受 SAM 主导，ENSO 贡献相对较小。这主要是由于厄尔尼诺事件通过大气遥相关不仅增加了降雨，同时带来的西风异常驱动冰架底部融化，二者对质量变化的贡献相互抵消导致净效应较小。本研究进一步发现，过去二十年南极冰盖质量损失趋势中很大一部分可以归因于持续的 SAM 正相位驱动。

S35-O-5

海洋热强迫对冰川退缩影响的研究

安璐 [1,2*]

1 同济大学 ，空间信息科学及可持续发展应用中心

2 同济大学，测绘与地理信息学院

* anlu2021@tongji.edu.cn

过去的几十年来，格陵兰冰川由于物质损失，不断为全球海平面上升做出贡献。然而，海洋与冰川交界处的融化率并不十分清

楚。研究表明，冰川退缩及加速与格陵兰周围的海洋变暖发生在同一时期。但是对于定量研究冰川下暖流对冰川底部融化，冰川接地线退缩，冰川断裂等动力学变化的具体机制仍有待厘清。这是因为这些方面的研究与海洋温度和冰川下及峡湾前的地形息息相关。Zachariae Isstrøm（ZI）和Nioghalvfjerdsfjorden（79N）是格陵兰岛东北部的冰川，其冰量相当于全球海平面上升1.1米。ZI失去了它的浮动冰架，速度加快，以650 m/yr的速度后退，并经历了5 Gt/yr的质量损失。79N冰川尽管暴露在同样的气候压力下，却一直比较稳定。我们分析了海洋热强迫对冰川的影响。机载重力数据的三维反演显示了一个800米深的宽阔通道，使地下的温暖的大西洋中间水（AIW）（+1.25 ºC）通过350米深处的两个山丘到达ZI的前端。利用海洋模型，我们计算出1979-2019年，海洋在接地线上的除冰速度从108 m/yr增加到185 m/yr。观察到的冰层变薄导致其浮选线的退缩从105 m/yr增加到217 m/yr，41年内综合接地线退缩13公里，与独立观察结果相吻合，误差在14%以内。相比之下，AIW通过一个较窄的通道进入79N，产生了较低的接地冰清除量（53 m/yr到99 m/yr）和变薄引起的退缩（27 m/yr到50 m/yr），综合退缩为4.4公里，在观测值的12%以内。因此，由水下地形调节的海洋热强迫对冰川物质量的移除，是冰川退缩的主要驱动力，却并未被纳入大多数冰原模型中。

S35-O-6

末次冰盛期大气层结对冰冻圈变化的响应

谢志昂[1]，董莉[1,2*]，刘凯军[1]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

2 南方科技大学，前沿与交叉科学研究院

* dongl@sustech.edu.cn

本研究使用古气候模拟比较计划第三阶段（PMIP3）末次冰期（LGM）的模拟，探讨了末次冰期期间控制对流层分层变化的过程。结果表明，相对于现代气候，在北半球冬季和夏季期间，热带地区的静力稳定度降低，而热带外地区的静力稳定度在冬季升高。进一步分析表明，在北半球冬季期间，热带外地区的静止稳定度最显著的增加发生在高纬度海洋和冰盖边缘，而造成二者变化的原因并不相同。高纬度海洋上静力稳定度的上升是由于海冰冻结线的移动，而冰盖坡面冷却效应导致了冰盖边缘静力稳定度的增加。总体而言，本研究从冰期的角度提供了一个新的视角，以理解控制对流层层结变化的物理过程。

S35-O-7

东南极地形调控的绕极深层水跨陆坡输送

刘成彦[1]，王召民[1*]，梁曦[2]，李翔[1]，李曦晨[3]，程晨[1]，祁第[4]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），前沿研究中心

2 国家海洋环境预报中心

3 中国科学院大气物理研究所

4 集美大学

* wangzhaomin@sml-zhuhai.cn

环绕南极陆架的绕极深层暖水会通过增强冰架底部融化的方式威胁南极冰盖的稳定性。在东南极，南极陆坡流及其伴生的陆坡锋能够以位涡障碍的方式阻止变性绕极深层水与陆架水团的交换。但是，在一些海底的水道中依然观测到了变性绕极深层水对陆架的入侵过程。本研究聚焦于东南极冷而淡型陆架水槽中的暖水入侵过程，基于一个理想的高分辨率海洋-海冰耦合模式，我们运行了两个以过程为导向的数值实验来揭示地形控制暖水入侵的物理机理。我们发现了三个动力学机制在该过程中起到主导作用：第一，海洋底部压力矩是推动绕极深层水入侵海槽的发动机；第二，由于地形变化所激发的地形罗斯贝波是促成入侵流

高频变化的主要诱因；第三，入侵流的垂向结构受到地形 beta 螺旋的主导。该数值模式的模拟结果不但与东南极的现场观测相契合，而且阐明了地形 beta 螺旋和南极陆坡流强度共同调控了绕极深层暖水的季节性入侵特征。

S35-O-8

利用东南极地区冰芯记录约束西南极冰盖的崩解历史

颜余真 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* yanyuzhen@tongji.edu.cn

极地冰盖（尤其是西南极冰盖）的稳定性一直以来吸引了科学界和政策制定者的关注。从热力学角度来看，海洋温度上升必然导致冰盖的质量损失，但是因为极地冰盖系统中非线性过程的存在，准确预测冰盖未来随时间的变化一直是困扰学界的一大挑战。回顾地质历史上的暖期可以为研究西南极冰盖的敏感度提供宝贵的信息，但是约束单个冰盖的历史一直以来是个难题。近年东南极地区冰芯成为了记录西南极冰盖历史的潜在载体，例如美国国家科学基金会（NSF）最近立项的 Hercules Dome 冰芯项目就是为了约束末次间冰期的西南极冰盖变化。本报告提出一组横贯南极的冰芯阵列设想，这些冰芯能提供末次间冰期和倒数第二次冰期以来沿罗斯海/西南极冰盖一带的气候记录。通过分析对所处环境敏感的地球化学指标，以及通过多种方法校准冰芯的时间尺度，这一冰芯阵列有望获得西南极冰盖在末次间冰期随时间变化的信息。

S35-O-9

晚上新世以来罗斯冰架演化历史的环境磁学重建

赵翔宇 [1,2*]，S. Sugisaki[3]，Y. Suganuma[2]，T.E. Van Peer[4]，肖文申 [7]，熊志方 [8]，L. De Santis[5]，R. M. McKay[6]，D. K. Kulhanek[9]

1 上海交通大学，海洋学院

2 日本国立极地研究所

3 日本地质调查局

4 南安普顿大学

5 意大利国家海洋与应用地球物理研究所

6 新西兰惠灵顿维多利亚大学

7 同济大学，海洋与地球科学学院

8 自然资源部第一海洋研究所

9 德国基尔大学

* xy.zhao@sjtu.edu.cn

研究地史时期南极冰盖与全球气候变化的关联，对于揭示全球变暖背景下南极冰盖的长期变化具有重要价值。罗斯冰架作为南极最大的冰架一直受到广泛关注，但该区域缺少长时间尺度的连续地质记录，难以为重建罗斯冰架上新世以来的连续演化提供地质证据。最近，大洋发现计划（IODP）374 航次在南极罗斯海域大陆隆钻取了 U1524A 孔，是一段～270 米长、沉积高度连续的岩芯。本报告将首先介绍该沉积钻孔的年代学结果。结合船测与实验室古地磁数据，以及生物地层学结果约束，钻孔底部年龄约束在 3.3 百万年。利用沉积岩芯的磁性记录重建的地磁场强弱变化指标，可以进一步为钻孔过去两百万年的记录提供更高分辨率的年代约束。此外，U1524A 孔的磁性矿物含量在轨道尺度表现出丰富的变化，揭示了来自陆架的碎屑物质含量的变化，这种变化在百万年尺度上与晚上新世以来全球的气候转型具有较好的关联，但在主要轨道尺度上仍表现出显著的复杂性。这些证据表明，晚上新世以来罗斯冰架的长期变化应与全球气候变化存在密切关联，但具体的关联机制仍需要更多的代用指标与模拟进行约束和解释。

S35-O-10

南极罗斯海地区晚全新世水循环过程和影响机制

陈新[1,2*]，刘晓东[2]，马天鸣[2]，耿雷[2]，于子成[3]，黄永松[4]

1 上海交通大学，海洋学院
2 中国科学技术大学，地球和空间科学学院
3 里海大学，地球和环境科学学院
4 布朗大学，地球，环境和行星科学学院
* xinchen1991@sjtu.edu.cn

南极无冰区生态系统简单且脆弱，对全球气候环境变化响应灵敏，是研究气候演变的理想之地。其中，无冰区水循环过程对生态系统演化以及气候变化尤为重要。但是，目前我们对南极无冰区历史时期水循环过程和影响机制还不清楚。我们对罗斯海难言岛上的两个湖泊沉积剖面中的脂类生物标志物氢同位素（δ^2H_{lipid}）组成进行了分析，发现水同位素和盐度是影响 δ^2H_{lipid} 的主要因素。结合已发表的培养结果，我们定量重建了晚全新世湖泊水同位素组成和盐度变化记录。结合已发表的历史记录和模型计算结果表明，夏季大气温度是影响该区域蒸发作用强度的最主要因素。进一步分析发现，ENSO 和 SAM 通过影响阿蒙森低压（ASL）的强度从而影响西罗斯海地区晚全新世水循环过程。在地球自然变率背景下，本研究为我们了解中低纬度地区对南极高纬度地区水循环过程的影响机制提供了依据。

S35-O-11

利用冰芯资料重建过去 500 年青藏高原西北部年代际温度变化

张王滨[1]，庞洪喜[1]，宋靖[1]，邹翔[1]，侯书贵[2*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院
2 上海交通大学，海洋学院
* shuguihou@sjtu.edu.cn

目前青藏高原西北部地区基于代用指标进行年平均温度重建的工作比较少。鉴于此，本研究利用崇测冰芯稳定同位素记录重建了青藏高原西北部过去489年的温度变化，研究结果表明：1）青藏高原西北部地区温度存在显著的年代际变化，这一变化可能主要由大西洋多年代际变率（AMV）驱动；2）工业革命以来温度的年代际变化幅度显著小于小冰期，这可能与小冰期外部强迫（太阳活动和火山事件）的剧烈波动有关；3）1980 年以来的变暖并非史无前例的，这可能部分解释了 1970 年以来西昆仑山地区冰川相对稳定的状况，即“喀喇昆仑异常”。

S35-O-12

青藏高原东北部轨道尺度的山岳冰川活动和荒漠化

肖国桥[1,2*]，戴高文[2,3]，田少华[2]，彭淑贞[4]，李莉婷[2]，孟晓庆[2]，尹秋珍[5]

1 中国地质大学（武汉），地理与信息科学学院
2 中国地质大学（武汉），地球科学学院
3 中国地质大学（武汉），环境学院
4 泰山学院，旅游与资源环境学院
5 新鲁汶大学，地球与生命研究所地球气候研究中心
* xgqiaocug@gmail.com

青藏高原东北部的生态环境十分脆弱，是受荒漠化严重威胁的区域之一。在晚第四纪时期，该区发生了大范围的沙漠进退。但当前对于这一地区晚第四纪时期的荒漠变化历史及机理仍缺乏详细研究，主要原因在于缺乏定年可靠的、连续的记录荒漠演化的地质载体。青藏高原东北部门源盆地高分辨率的黄土沉积是研究该区过去 42 万年荒漠演化历史的重要载体之一。我们对门源黄土开展了详细的成因、碎屑锆石物源、及粒度

变化研究。结果显示：1）门源黄土的物源存在明显的冰期和间冰期差异，相对间冰期古土壤层，冰期黄土更多地来自盆地周边山岳冰川活动的产物，指示着冰期时位于青藏高原东北部的门源盆地发生了一定程度的荒漠化，而间冰期时盆地中的荒漠消失；2）扫描电镜研究揭示出门源黄土中>63 微米的砂颗粒主要来自门源盆地周边山岳冰川活动的产物，可作为区域山岳冰川活动的指标。门源剖面的砂含量变化显示出显著的2万年和 10 万年周期，与黄土高原洛川剖面的粒度变化的周期明显不同，指示着门源黄土的物源、成因机制、以及气候主控因素均与洛川黄土不同。本文的研究揭示出青藏高原东北部的山岳冰川活动主要受晚第四纪 10 万年的冰期旋回及岁差主导的太阳辐射周期控制，这也导致了该区的荒漠化和黄土物源变化具有明显的岁差和冰期旋回周期。

S35-P-1

冬季巴伦支-喀拉海海冰减少加剧青藏高原增温及其解释机制

段安民[1,2*]，彭玉琢[1]，刘骥平[3]，陈宇航[1]，吴国雄[1]，David M. Holland[4]，何编[1]，胡文婷[1]，汤宇恒[1]，李熙晨[1]

1 中国科学院大学，大气物理研究所

2 厦门大学，海洋与地球学院

3 纽约州立大学，大气与环境科学系

4 纽约大学，柯朗研究所

* amduan@xmu.edu.cn

本文主要分析了冬季巴伦支-喀拉海海冰减少对青藏高原气温的影响及机制。基于观测资料和 AGCM 试验的分析，提出并验证了冬季巴伦支-喀拉

海海冰减少加剧了青藏高原冬季增温，其定量贡献比约为 18%-32%。冬季巴伦支-喀拉海海冰减少导致该地向上的湍流热通量增强，并在巴伦支-喀拉海上空产生深厚的反气旋式环流响应，该地反气旋环流的增强会进一步加强从北极经欧亚大陆到青藏高原东南侧地区的波列传播，青藏高原上空出现

反气旋式环流响应，从而使得高原上空西南风增强。西南风带来的经向暖平流和更多的水汽引起的向下长波辐射加剧了高原冬季增温。此外，冬季欧亚大陆气温(27°-90°N, 0°-180°E)的第二模态(暖北极-冷大陆-暖高原模态，AET 模态)具有以北极和青藏高原为暖中心，欧亚大陆中高纬度地区为冷中心的三极型分布特征，且该模态为大气内部变率，不依赖于海冰而存在。冬季巴伦支-喀拉海海冰减少引起的环流场变化与 AET 模态对应的环流场变化十分相似，因此该地海冰减少通过增加 AET 模态正相位发生的频率，从而加剧青藏高原冬季增温。

S35-P-2

唐古拉山西段格拉丹东峰地区晚第四纪冰川演化

刘金花[1*]，胡海平[1]，李英奎[2]，易朝路[3]

1 东华理工大学，地球科学学院

2 University of Tennesssee,Department of Geography

3 中国科学院青藏高原研究所，环境变化与地表过程重点实验室

* hua1991212@sina.com

唐古拉山西段格拉丹东峰地区受夏季风影响较弱，对其东北坡岗陇加玛冰川的野外调查发现该区域冰碛垄相对完好。基于 5 组冰碛物宇生核素 ^{10}Be 测年结果，获得了 MIS5, MIS4，MIS3,新冰期和小冰期的年代序列，LGM 地貌证据缺失。基于野外调查和地形分析，初步认为岗陇加玛冰川谷中最老的冰碛物可能形成于 MIS5 时期，MIS4/3 阶段的冰川扩张较大，越过 MIS5b 时期的冰碛垄到达沟口处。利用 Volta 和 PalaeoIce 模型模拟各次冰期时的冰川厚度和体积，结果显示：岗陇加玛现代冰川平均厚度为

67.71m,体积为1.04±0.21 km^3。MIS3, MIS5，新冰期，小冰期冰川厚度分别为134m,123.98m，117.35m 和 107.71m,冰川面积扩张指数分别为 1.64，1.49，1.33，1.13，体积扩张指数分别为 3.24，2.73，2.30，1.79。同一时期唐古拉山西段冰川变化，物质平衡线变化值均低于其南部的拉轨岗日山和念青唐古拉山。可能原因，一是唐古拉山位于高原腹地，气候变化幅度小，导致冰川变化幅度也小;二是岗陇加玛冰川为极大陆型冰川，冰川谷底平坦宽阔，冰川运动速度缓慢，冰川变化可能以增厚为主，扩张范围较小。

S35-P-3S

新生代南极冰盖演化的模拟研究 – 气候场不确定性的影响

满凯 [1]，魏强 [2]，谭宁 [3]，张仲石 [4]，刘永岗 [2*]

1 中国科学院大气物理研究所，国际气候与环境中心

2 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 中国地质大学（武汉），环境学院大气科学系

* ygliu@pku.edu.cn

观测显示，南极冰盖在始新世到渐新世交界时期（34Ma）开始形成，之后随着全球气候的逐渐变冷而扩张并趋于稳定。以此为约束，可以检验气候模式和冰盖模式在模拟中晚新生代气候和冰盖演化的有效性。本文采用冰盖模式 ISSM4.18，分别使用两个气候模式 CESM1.2.2 和 NorESM-L 模拟得到的新生代气候场为强迫场，对南极冰盖的演化进行了模拟，对比了两种气候场得到的南极冰盖演化的差异。其中，CESM1.2.2 模拟采用的 CO_2 浓度是以重建的全球平均温度为约束反推得到的，而 NorESM-L 模拟则是采用由地质记录中的 CO_2 代用资料重建得到的浓度。结果显示，CESM1.2.2 模拟的气候场在 30Ma 时可以在东南极形成冰盖，在 20Ma 和 10Ma 该冰盖持续存在，但始终都没有形成显著的西南极冰盖。而 NorESM-L 模拟的气候场在 10Ma 之前都不能形成冰盖，但在 10Ma 时可以形成包括西南极冰盖在内的大冰盖。总的来说，使用 CESM1.2.2 模拟的气候场给出的南极冰盖演化相对更为合理，也在一定程度上说明了新生代全球平均温度重建的合理性。

S35-P-4S

气候变暖背景下北冰洋海盆区海-冰-气相互作用的变化

潘蓉蓉 [1]，舒启 [1*]

1 自然资源部第一海洋研究所

* shuqi@fio.org.cn

北极的区域性气候变化对当地生态系统和近北极国家的气候变化产生了实质性影响。我们对最新的 CMIP6 气候模式的分析表明，在气候变暖背景下，未来北极的气候变化将十分显著，主要表现为：由于大西洋化逐渐向北冰洋海盆区推进，欧亚海盆区海冰急剧减少、海洋向大气释放热量增加、海洋混合层加深、表层气温快速升高，海-冰-气相互作用在其中发挥了正反馈作用。北极海-冰-气相互作用的变化与大西洋水向极热输送的变化存在显著的关系。但是，CMIP6 气候模式对北极气候变化的模拟存在较大差异，主要是因为 CMIP6 气候模式对向极热输送的模拟具有很大不确定性。这种向极热输送往往与 CMIP6 气候模式中的海洋分量模式有关。因此，当前气候模式中，北极气候变化的程度对海洋分量模式具有很强的依赖性，这也意味着提升海洋分量模式的模拟能力可以显著减小气候模式对北极模拟和预测的不确定性。

S35-P-5S

东南极沿海冰芯记录的过去四百年大气环流变化

李喆[1]，史贵涛[1*]

1 华东师范大学，地理科学学院

* Gtshi@geo.ecnu.edu.cn

南极气候系统通过热交换、反照率和海冰动力学、深水生产和全球海洋环流、海洋生物生产力和大气环流强迫在全球气候系统中发挥关键作用。冰芯作为气候变化研究的良好载体，具有分辨率高和时间尺度长的特点，能够弥补南极大陆仪器观测数据周期短、数量有限的缺点，提高我们对南极气候系统时空变化的认识。本文通过研究东南极沿海冰芯 32SC，结合多个南极考察站点观测数据和ERA5再分析资料及美国冰雪数据中心海冰范围等数据，分析了过去四百年（1616-2016）冰芯海盐成分的影响因素及其关联机制。结果表明：（1）32SC 冰芯主要化学离子的经验正交函数(EOF) 分解的第一特征向量(REOF1) 可以作为描述海盐气溶胶的传输强度的代用指标。（2）通过皮尔逊相关分析和空间场分析排除了海冰范围和海冰浓度对32SC REOF1海盐记录的影响。（3）同东南极沿海多个考察站点实测资料的相关分析表明，7 月(南半球冬季)的海平面气压最有利于32SC REOF1海盐成分的传输和积累。（4）32SC REOF1 与海平面气压，风速、经向风和纬向风的季节尺度空间场分析表明，南大洋无冰区的气旋活动增强和经向输送增强是东南极沿海冬季海盐沉积的主要来源和输送机制。（5）功率谱分析和 Morlet 小波分析表明，32SC REOF1 在多年际和年代际尺度上存在多个周期,其中 4.9 年周期贯穿整个四百年，并呈现与南半球环状模 SAM 一致的振荡特征。（6）在多年代际尺度上，气温降低，大气环流加强、海盐输送增加的模式过去四百年一直保持着。

S35-P-6

LGM 时期青藏高原及其周边区域的冰川-气候相互作用

魏强[1*]，刘永岗[1]，燕青[2]，姚檀栋[3]，胡永云[1]

1 北京大学，大气与海洋科学系

2 中国科学院大气物理研究所

3 中国科学院青藏高原研究所

* q.wei@pku.edu.cn

冰川的生长（和消融）受气候条件调控，同时又能反过来影响气候。此前对末次冰期冰盛期（LGM，~28-23 ka）青藏高原及其周边区域的冰川模拟大多没有完整地考虑这个反馈机制的影响。以 PMIP4 实验中为例，其 LGM 模拟中仍然使用现代的青藏高原冰川作为边界场。

我们将 ISSM 冰川模式与 CESM1.2.2 气候模式进行耦合，发现耦合模拟的冰川面积和体积相比非耦合模拟分别减少了约 10% 和 20%。我们还发现冰川向西部边缘扩张，青藏高原内部的冰川则有所减少。这些变化总体上与重建的冰川记录更为吻合。同时，耦合试验中，青藏高原东部地区的近地表气温相对非耦合试验增加超过 2K，高原地区的降水量大多都有所减少。云量、积雪覆盖率也有不同程度的变化。这些影响主要归因于耦合试验中，冰川生长带来的地表高度的增加阻挡了西风和季风的水汽输送。地表类型的影响是次要的。

S35-P-7S

冬季向极大气潜热能量输送模态及与北极海冰流失的关系

梁钰[1*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室
* liangyu17@mails.ucas.ac.cn

基于 ERA5 提供的 1979-2021 年冬季（1 月至 3 月）每日大气潜热输送通量数据集，采用自组织映射（Self-Organizing Maps, SOM）方法，本文获取了天气尺度的大气潜热输送通量主要输送路径，分别为北欧、戴维斯海峡、格陵兰海和白令海峡输送模态，四条主输送路径的发生频率相当，存在明显的年际变化。进一步的分析表明，这四条主路径的潜热输送均受到气旋活动的显著调节作用，其中北欧和格陵兰海路径受到的影响最大。一般来说，与其他区域相比，在大气潜热输送进入北极的入口区域附近观察到更频繁、更强的气旋。此外，本文全面评估冬季北冰洋上空大气潜热传输与气温、湿度、表面辐射收支平衡和海冰变化异常的关系。从热力学角度来看，向极大气潜能传输对北极海冰的危害在很大程度上可归因于局地大气-冰相互作用的加强，导致向下长波辐射和湍流通量增加，从而使地表变暖并促进海冰表面融化。根据定量结果，在四种主要路径中，通过戴维斯海峡和格陵兰海的大气潜热输送可以最有效地造成北极海冰损失。

S35-P-8S

欧亚-北美冬季表面温度偶极模态及北极海冰的驱动作用

侯雨蓉[1,2]，蔡文炬[3,4,5]，David M. Holland[6]，程晓[7]，张健恺[8]，王林[1]，Nathaniel C. Johnson[9]，谢飞[10]，孙维君[11]，姚遥[1]，梁曦[12]，杨韵[10]，Chueh-Hsin Chang[13]，辛美娇[1,2]，李熙晨[1*]

1 中国科学院大气物理研究所
2 中国科学院大学
3 澳大利亚联邦科学与工业研究组织海洋与大气研究所，南半球海洋研究中心
4 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心
5 青岛海洋科学与技术国家实验室
6 纽约大学，柯朗数学科学研究所
7 中山大学，测绘科学与技术学院
8 兰州大学，大气科学学院
9 美国国家海洋和大气管理局，地球物理流体力学实验室
10 北京师范大学，全球变化与地球系统科学研究院
11 山东师范大学，地理与环境学院
12 国家海洋环境预报中心
13 台湾大学，大气科学系
* lixichen@mail.iap.ac.cn

近几十年来，北极经历了剧烈的气候变化，北极表面迅速增温，海冰持续消融，对北半球中低纬度地区的气候变率产生了广泛影响。北极表面增暖速率是全球平均水平的 2-4 倍，被称为“北极放大”。已有研究表明，北极放大会引起中纬度欧亚大陆和北美大陆频繁的冷冬天气，形成“暖北极-冷大陆”的模态。此外，也有研究表明，在次季节时间尺度上，东亚和北美冬季极端温度事件呈现超前-滞后的跷跷板模态。目前，对于中纬度欧亚大陆和北美大陆之间的冬季表面温度是否存在系统联系，及其与北极海冰的相互作用尚不清晰。因此，基于统计分析和大气模式模拟，我们的研究表明中纬度欧亚大陆和北美大陆冬季表面温度在年际和多年代际时间尺度上存在偶极模态，这是由巴伦支-喀拉海海冰变率引起的。巴伦支-喀拉海海冰减少能够激发定常罗斯贝波列，在北半球中高纬地区形成纬向波数为 1 的大气环流异常，在西伯利亚北部表现为异常高压中心，北美北部表现为异常低压中心，分别驱动冷暖平流向中纬度陆地区域输送，形成“冷欧亚-暖北美”的偶极温度模态。这一研究结果对北半球气候变率、极端天气事件及其预测和预估具有重要影响。

S35-P-9S

青藏高原东部冰川流域多环芳烃和多氯联苯的组成、分布和风险评价

刘小莉[1,2]，董志文[1*]，Giovanni Baccolo[3,4]，高文华[2]，李全莲[1]，魏婷[1]，秦翔[1]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，冰冻圈科学国家重点实验室

2 河南大学，地理与环境学院

3 Paul Scherrer Institut,Laboratory of Environmental Chemistry

4 University of Bern,Oeschger Centre for Climate Change Research

* dongzhiwen@lzb.ac.cn

多环芳烃(PAHs)和多氯联苯(PCBs)是持久性有机污染物的重要成分，可以对生态系统和人类健康造成威胁。在本研究中，我们于2022年夏季(6-7月)在青藏高原东部(包括青藏高原东北部的祁连山地区)采集了25个冰川流域冰雪融水和下游河水样品，以探究其组成、空间分布和来源并进行风险评价。结果显示，青藏高原东部冰川流域PAHs和PCBs的浓度变化范围较大，分别为ND-1380 ng/L和ND-1421 ng/L。与世界范围内其它地区的研究相比，横断山地区PAHs和PCBs浓度位于较高水平。样品中PAHs和PCBs均由低分子量的同系物组成，包括苊、芴、菲和PCB52，其中，菲是PAHs的主要成分。采集于冰川末端的水样中通常PAHs和PCBs的浓度不高，而在下游河水样品中通常表现出高浓度。我们认为这种特征受到其自身的理化性质、海拔、远距离运输和周边环境特征的影响。在青藏高原东部冰川流域(尤其是海螺沟流域)，PAHs和PCBs浓度随海拔的降低而升高。我们认为人类活动导致的局地输入差异导致这一现象的主要因素。PAHs和PCBs的组成特征显示，PAHs主要来源于煤炭的不完全燃烧以及焦炉的排放，PCBs则主要来源于煤、木炭的燃烧和电容器的释放。最后，我们对青藏高原冰川流域中PAHs和PCBs的致癌风险进行评估，结果显示PAHs相对于PCBs的潜在威胁更强。本研究为青藏高原东北部地区冰川流域水资源的生态安全提供新见解，对控制多环芳烃和多氯联苯排放、冰川流域生态环境评估和区域人类健康具有重要意义。

S35-P-10S

基于深度学习方法的两极海冰密集度的月预报与季节性预报

宋晨涛[1]，李熙晨[1*]

1 中国科学院大气物理研究所，国际气候与环境科学中心

* lixichen@mail.iap.ac.cn

在近五年来，海冰的机器学习和深度学习预报开始被提上日程。目前，已有基于多种算法的机器学习和深度学习预报模型被成功地应用于北极海冰密集度的季节性预报。这些模型具备较强的预报能力，为解决现有统计模型、动力模式对极地海冰密集度的中长期预报能力不足的问题提供了新的可行替代方案。在本研究中，我们选取了多种已被成功应用于海冰密集度预报任务的，以及尚未被直接应用，但在类似的时空序列预报任务中展现出巨大潜力的深度学习方法，在参考已有研究的基础上，建立了多种北极海冰密集度的预报模型，对北极海冰密集度进行了单月和多月预报，并针对单月预报任务对模型结构和参数设置进行了初步的调优，将模型对北极海冰密集度的月预报能力提升至均方根误差约为10%，接近已有研究的水平并显著优于持续性预报。与此同时，相较于北极海冰，南极海冰的季节性更强且不对称，，目前还很少有机器学习和深度学习预报南极海冰密集度的研究见刊。因此我们同样简要考察了所建立的各模型对于南极海冰密集度的预报能力，并计划在未

来的工作中针对南极海冰预报任务继续进行深入的研究。

S35-P-11S

冰山漂流的数值模拟

石佳伟[1]，李大玮[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* lidavvei@sjtu.edu.cn

南北极海域的冰山漂流不仅对航运安全构成威胁，冰山消融带来的淡水通量还影响深层水的形成和大洋经向翻转环流的热量输送。对冰山漂流轨迹进行准确的数值模拟有助于冰山的实时监测，也对理解过去的气候变化事件和预测未来气候有着重要意义。本研究利用海洋与大气再分析现代观测数据和气候模式模拟的未来气候场构建冰山漂流、消融模型，对冰山漂流轨迹进行数值模拟并探讨相关气候特征在全球变暖气候条件下的变化。本研究首先基于已有的冰山漂流模型进行改进，得到与观测吻合的北极海域冰山漂流轨迹。进一步在改进后冰山漂流模型中加入冰山裂解机制，得到和南极冰山数据库整体吻合的南极附近冰山的漂流轨迹。为进一步探讨气候变暖对冰山漂流的影响，使用气候模式模拟的本世纪内全球气候变暖情景下的海洋表面温度场、流场和风场进行冰山漂流轨迹模拟，得到气候变暖下的冰山漂流轨迹和淡水通量分布。本研究揭示了全球气候变暖将会影响南大洋冰山消融带来的淡水通量分布，可能进一步影响南极深层水的形成和全球经向翻转环流。

S35-P-12S

轨道强迫促进冰雪地球冰消

伍家成[1*]，刘永岗[1]

1 北京大学，物理学院

* jcwu@pku.edu.cn

轨道强迫通常被认为是驱动第四纪冰期-间冰期回旋的主要因素。这意味着冰盖可能对夏季太阳辐射很敏感，这对冰雪地球的冰消来说应该很重要，因为全球表面在当时都被冰雪所覆盖。然而，前人的研究却从未考虑过这一点，并使用了现代地球轨道或零离心率的设置。在这里，我们使用了一个带有自主开发的融池模块的气候模型来研究其影响。根据 Wu 和 Liu 在 2023 年的研究结果，我们在这里测试了几个与热带和副热带夏季极端日照有关的轨道。根据常年融水带存在的冰消标准，我们的结果表明当热带夏季日照量因偏心率增加时，冰消所需的临界 CO_2 从 10^5 ppm 显着降低到 6×10^4 ppm。此外，在我们所有的轨道配置中冰消都是从赤道开始的。当关闭融池方案并使用不同的融化温度标准时，给出的冰消结果大不相同。因此，我们的研究支持融化过程对冰雪地球冰消的研究至关重要，应该在未来纳入其中。综上所述，我们预测冰雪地球将在高离心率下结束，因为它会导致热带地区夏季的高日照。

S36-O-1

青藏高原东北缘新生代地球轨道节拍器周期的保存与解译

姚旭[1*]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

* yaox@lzu.edu.cn

长偏心率 40 万年和长斜率 17 万年周期是地球轨道“节拍器”周期，分别来源于金星—木星、地球—土星的引力相互作用，这两组行星间的引力互动在太阳系过去数亿年间都稳定存在。相较于解译太阳辐射固有的斜率和岁差周期，大陆沉积环境中两种“节拍器”周期保存机理尚未明确，限制了应用“节拍器”周期重建高精准度的年代学标尺、

揭示长期气候变化规律。青藏高原东北缘新生代陆相地层以湖相绿色-红色泥岩韵律层为标志，其主要沉积周期为显著 40 万年和 17 万年轨道“节拍器”周期，依据节拍器周期重建了中新世中期 16 Ma 至 12 Ma 天文年表。太阳辐射曲线和地层颜色数据共同揭示了气候阈值模型不仅是“节拍器”周期的放大器，而且能够压制太阳辐射斜率和岁差周期。酒泉盆地显著“节拍器”周期和微弱斜率—岁差周期，可以佐证太阳辐射对该区域气候环境演化的主导驱动作用。新生代湖相绿色-红色泥岩韵律层的水体深度等级指标可以进一步转换为累积等级指标，其能够显示绿色泥岩层与红色泥岩层的相对富集程度，表征湖泊水位的长周期变化。在天文模型和岩相韵律中，累积等级指标能够记录显著的偏心率周期，但是相较于理论天文周期存在系统性的 π/2 的相位滞后。酒泉盆地天文调谐结果显示，累积等级指标相比于其他气候指标可以更好的记录湖泊水位变化的长周期趋势，响应于中中新世气候转型期的全球变冷数个阶段，青藏高原东北缘区域气候变得更为干冷，湖泊水体规模显示了相应的逐步萎缩过程。

S36-O-2

青藏高原东北部湖相藻灰岩沉积的轨道驱动

唐闻强[1]，马超[1*]，张道伟[2]，周羽漩[1]，陈晓冬[3]，伍坤宇[3]，吴驰华[1]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

2 中国石油天然气集团有限公司

3 中国石油天然气集团有限公司，青海油田分公司

* machao@cdut.edu.cn

轨道引起的气候-环境变化对生物生长和演化至关重要，其中长周期的轨道驱动备受关注。特别是在新生代，中始新世到全新世沉积已被证明与~1.2 Myr 的斜率振幅调制周期密切相关。然而在可以记录长期古气候独特沉积档案的青藏高原，新生代的相关研究与认识相对薄弱。在此，我们以青藏高原东北缘的柴达木盆地的湖相微生物岩（藻灰岩）为研究对象，通过将多种方法（频谱分析、演化能谱分析、相关系数、演化相关系数）与高分辨率测井数据和藻灰岩厚度相结合，在柴达木盆地西部风西地区的渐新世-早中新世地层中发现了明显的~1.2 Myr 斜率振幅调制周期信号。此外，利用 405 kyr 的偏心率周期构建了天文年代标尺，并使用沉积噪音模型（Dynot）恢复了古湖泊水位的变化。在此基础上，我们将 GR 和藻灰岩厚度记录的~1.2 Myr 斜率振幅调制周期与古湖泊水位变化、全球海平面、深海氧同位素和 La2010d 的斜率调制周期相关联。结果表明，在~1.2 Myr 的斜率振幅周期的最大值期间，低纬度地区的冷却导致更强的西风势力，这将把更多的水汽带入亚洲内陆，导致湖泊水位上升，从而致使藻类大量繁殖和碳酸盐沉积。

S36-O-3

轨道周期变化驱动的有机碳埋藏机制探讨

刘娟[1]，黄春菊[1*]，马晓东[2]，陆永潮[3]，钱智麒[1]，王治祥[5]，张泽[1]，余文瑞[2]，肖安国[1]，杜宇恒[1]，张婧琪[1]，李昱[1]，刘占红[4]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国石油化工股份有限公司，华东油气分公司

3 中国地质大学（武汉），资源学院

4 中国地质大学（武汉），海洋学院

5 中国科学院青海盐湖研究所

* huangcj@cug.edu.cn

百年至千年纪的时间尺度上，生物圈可以实现自我维持的碳循环，但在较长的时间尺度上，碳循环仍然取决于地质过程和太阳能的恒定通量。目前，轨道周期对有机碳埋藏驱动机制不清，阻碍了地球碳循环的理解。我们选择了中国东部古近纪湖泊的钻孔岩

芯的高分辨率地质记录进行旋回地层学研究，并利用高分辨率的总有机碳（TOC）数据来探讨低纬度地区的有机碳埋藏过程及其驱动机制。TOC 数据的深度域序列的频谱分析图展示出该序列记录了明显的~128 m 和~10.5 m 的沉积旋回，根据古地磁年代框架和相关系数法估算的平均沉积速率判断，它们应该分别对应于~1.2 Myr 长斜率周期和~100 kyr 短偏心率周期。沉积噪音模型模拟的古湖平面显示湖泊水位明显受到~1.2 Myr 长斜率周期的调制。与同期海平面变化呈现的~1.2 Myr 长斜率周期进行对比，发现两者呈现反相位关系，这可能是由海绵大陆现象所导致。通过分析 TOC 数据同各环境指标的相关关系，发现 TOC 同古生产力的相关系数最大，且 TOC 峰值分别对应~1.2 Myr 和 100 kyr 天文周期峰值，这阐释了天文周期增强生产力机制。

S36-O-4

地球轨道力驱动的中三叠世特提斯地区水文演化

褚润健[1]，吴怀春[1*]，张健[2]，房强[1]，黄文韬[1]，朱如凯[3]，王成善[1]

1 中国地质大学（北京）

2 北京大学

3 中国石油勘探开发研究院

* whcgeo@cugb.edu.cn

中三叠世是二-三叠纪之交生物大灭绝后生物复苏过程的关键时期，该时期水文演变过程的研究对于了解温室气候变化、潘基亚气候环境、生物复苏过程等具有重要意义。本研究对三叠纪特提斯地区鄂尔多斯盆地陆相沉积序列（延长组）开展了旋回地层学分析，基于 YY-1 钻井岩心的火山灰同位素年龄建立了具有绝对年龄意义的天文年代标尺，获得了中三叠世拉丁期到安尼期持续时间~6 Myr 的特提斯东北部陆地气候环境演化历史。在年代学基础上，通过“沉积相”、“噪声模型”以及“费舍尔图解”等手段获得了鄂尔多斯湖泊系统的演变过程，时间序列分析揭示了该过程具有~1 Myr 斜率和 2-4 Myr 偏心率周期。将鄂尔多斯古湖平面变化与同时期全球海平面进行对比，发现斜率尺度上“反相”，偏心率尺度上“正相”的变化规律，揭示了该区域水循环变化的轨道斜率和偏心率（岁差）的差异性响应。进一步通过地球系统模型（CESM）探讨了中三叠世（240 Ma）全球和特提斯区域的水循环过程对轨道斜率和岁差的响应。一方面特提斯地区主要受到岁差主导的季风气候影响；另一方面该区域也受到斜率影响下的全球大陆净降水的影响。本研究揭示了天文轨道力影响的中三叠世海洋、陆地水循环过程和生态系统复苏过程。

S36-O-5

斜率驱动的晚古生代冰期大陆储水库变化和有机碳埋藏

魏韧[1,2]，金之钧[1,2*]，李明松[2]，张瑞[1,2]，贺翔武[1,2]

1 北京大学，能源研究院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* jinzj1957@pku.edu.cn

晚古生代冰期（LPIA）期间海平面振荡的天文强迫、环境和气候变化之间的联系，增加了我们对当前全球海平面变化、气候转型和生物进化的复杂机制和模式的理解。科学家提出“大陆海绵”来解释温室中百万年规模的三阶海平面波动。然而，在冰室事件中，大陆地下水储存对全球水循环的贡献仍未被探明。此外，由于地球气候系统的复杂性和内部非线性，冰室状态下碳循环过程仍然存在争议。在此，我们对古生代晚期冰期（LPIA）的三个内陆沉积序列（即库珀盆地的 Haslam-1 井、准噶尔盆地的 J10025 井和巴黎盆地的 LY-F 井）开展了旋回地层分析和沉积噪音建模，旨在重建深时冰室事件中高分辨率的湖泊水位变化。此外，我们利用地球系统模型 CESM1.2.2，对~290Ma 的古

气候进行了模拟。我们的结果表明，古湖盆水位表现出显著的超长斜率周期（s_4-s_3），即在晚古生代冰期，地下储水库参与了 Myr 尺度的全球水循环。古气候模拟表明，在北半球中-高纬度地区，大陆含水层的波动与超长斜率周期是反相的。相对而言，南半球在斜率最低时表现出大陆含水层总体偏低。斜率最小时，水分的极向流动增强，推动了冰原的扩张和海平面的下降，表现为南半球地下含水层的损失和北半球中-高纬度地区地下含水层的补给。这项研究提供了第一个强有力的地质和气候模拟证据，证明在冰室事件期间，天文强迫的大陆含水层在 Myr 尺度上参与全球水循环。此外，我们在准噶尔盆地芦草沟组 TOC 系列中发现了一个稳健的~170 kyr 的周期，它受 s_4-s_3 和 s_3-s_6 天文信号联合调制，并在不同的气候条件下被碳循环的内部气候反应非线性放大。我们的研究结果加强了对晚古生代大陆储水库变化与天文诱发的气候变化之间的联系的认识，并进一步阐明了碳循环在斜率作用下的非线性气候反馈。

S36-O-6

埃迪卡拉纪高分辨率天文年代标尺和全球地层对比 [HIGH-RESOLUTION ASTROCHRONOLOGY AND GLOBAL STRATIGRAPHIC CORRELATION OF THE EDIACARAN PERIOD]

薛乃华 [1,2,3*]，Philippe Claeys[1]，王伟 [3]

1 比利时布鲁塞尔自由大学 [Vrije Universiteit Brussel]，Analytical, Environmental and Geo-Chemistry

2 德国明斯特大学 [University of Munster]，Institute for Geology and Paleontology

3 中国科学院南京地质古生物研究所

* naihua.xue@vub.be

埃迪卡拉纪 (635-538 Ma) 是地球早期宜居性演化的关键阶段，期间发生的全球第二次大氧化事件和后生动物起源与演化受到广泛关注，但埃迪卡拉纪目前尚缺乏连续的高分辨率时间标尺，这阻碍了全球地层对比，并导致在海洋氧化和生物演化等关键节点上产生争议。本项目拟采用旋回地层学/天文年代学方法，建立贯穿埃迪卡拉系陡山沱组的天文年代标尺。该标尺将覆盖埃迪卡拉纪~70%的时间尺度，为生物演化和地球化学事件提供更加精确可靠的时间约束。埃迪卡拉纪 (635-538 Ma) 是地球早期宜居性演化的关键阶段，期间发生的全球第二次大氧化事件和后生动物起源与演化受到广泛关注，但埃迪卡拉纪目前尚缺乏相对完整的高分辨率时间标尺，这阻碍了全球地层对比，并导致研究者在海洋氧化和生物演化等关键节点上产生争议。本研究综合测井数据、高分辨率 XRF 岩心扫描数据等多种指标，采用新颖的时间序列分析方法，建立了贯穿埃迪卡拉系陡山沱组的天文年代标尺。该标尺覆盖埃迪卡拉纪~70%的时间尺度，为生物演化和地球化学事件(例如碳同位素负漂移事件：EN3/DOUNCE/Shuram、EN2/BAINCE、WANCE、EN1/CANCE)提供了更加精确可靠的时间约束。此外，华南宜昌三峡九龙湾剖面陡山沱组四段与黄陵背斜西翼的九曲脑剖面和庙河剖面和庙河段是否可以对比？这一问题对于中国的埃迪卡拉纪古生物地层学研究十分重要，本研究基于天文年代标尺给出了华南埃迪卡拉系地层的对比方案。

S36-P-1S

气候指标受日照调制的分析

金真平 [1*]，陆璐瑶 [1]

1 浙江海洋大学，海洋科学与技术学院
* naichamiao0309@163.com

第四纪是全球气候波动最大的时期。其冰期-间冰期旋回是由轨道三要素（倾角、岁差和偏心率）决定的 65°N 夏季日照所驱动的。太阳辐射作为气候系统的外强迫，是地球系统最主要的能量来源，它决定了地球能量的收支并进而影响全球气候变化。

气候系统的输出变量可以用不同的气候替代性指标来表示，其中两种较为常用的气候指标为海相沉积和陆相沉积。这些气候指标通常用于分析地质时期的季风、降水和冰盖变化等。在一定的时间尺度上，气候指标的载体——例如海底沉积物中的氧同位素、冰芯和磁化率（MS）——都会受到太阳辐射变化的影响，但其响应程度有所不同。

Imbrie 等通过冰量模型的分析，确定了轨道驱动与气候变化的相位差。IrinL 等通过对 28 个站点中的海表温度(SST)进行分析，得出在中更新世时期存在一个普适的全球表达式。在许多海温记录中，从 41ka 到 100ka 周期变化是清晰可见的。Feng 等人通过研究 U1438 站点中的 K%以及 GRA 发现，在晚更新世时期存在强烈的长偏心率周期，说明长偏心率与低纬度强迫之间有相关性。冰筏碎屑（IRD）的存在是寒冷的气候条件下海冰膨胀的结果，Anqi 等通过对末次间冰期鄂霍茨克海地区 LV55-40-1 中的 IRD 以及历史研究的分析发现，其海冰变化在轨道时间尺度上受到局部秋季日照的调制，并呈现出强烈的岁差周期。

本研究旨在分析全球第四纪时期的各项气候指标，将其与年均、季节、日均太阳辐射进行比较，并得出气候指标与日照本身直接相关的结论。

S36-P-2S

过去 4 百万年轨道尺度全球海洋温度与冰冻圈和碳循环的耦合

张泽[1]，王治祥[2]，黄春菊[1*]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院
2 中国科学院青海盐湖研究所，盐湖地质与环境重点实验室
* huangcj@cug.edu.cn

90%以上由人类活动导致的全球变暖的热量已经被全球海洋吸收，其中绝大部分能量储存在 700 米以上的海洋表层，将以感热交换、潜热和长波辐射的形式传递到大气中，驱动大气运动。作为海气交换的界面，海洋表面热条件的变化对全球气候和环境变化至关重要。上新世以来的海温变化被认为是北半球冰期旋回开始的关键因素，对上新世以来海洋温度的研究对于理解地球气候系统向现代的演化以及未来的气候变化至关重要。本次研究综合了来自北大西洋、北太平洋、南海和南大洋的轨道尺度海表温度数据，探讨 4Ma 以来海洋表面温度和海洋垂直（热）分层在轨道时间尺度上的演变，以及海温与冰冻圈和全球碳循环的相互作用，以揭示海洋在过去 4Ma 大尺度全球气候变化中的作用。我们观察到轨道偏心率和斜率对海表温度演变的重要影响，指示出局地太阳辐射对海表温度的显著控制。研究表明，在~2.8 Ma 之前，北半球高纬海表温度的变化驱动了长期的海洋热分层，与此时期大气 CO_2 浓度的长期下降密切相关，而这种热分层在南半球并未出现。这表明在早中上新世暖期结束时，北半球海洋分层变化在全球 CO_2 波动减少的过程中发挥了重要作用。此外，在北半球大规模冰川作用开始前后（~2.7 Ma），北半球海洋经向海温梯度急剧增加且海温梯度的斜率敏感性显著上升，我们认为经向海温梯度的增加在北半球冰川形成中发挥了重要作用。我们的研究还发现在~2.8-2.7 Ma 北半球和南半球高纬度地区的海洋热分层都显著增加，同时经向海温梯度增加将导致向高纬地区的水汽输送增多，因此~2.8-2.7 Ma 的海洋热分层以及经向海温梯度的增加可能为~2.7 Ma 以后海洋的盐度分层提供了先决条件。此外，我们发现~ 1 Ma 以来 CO_2 浓度的进一步下降与南大洋热分层的显著增加相吻合。总之，我们的研究

表明海洋经向温度梯度的增大以及全球海洋热分层的增加引发了大气 CO_2 和冰冻圈的变化，支撑了过去 4 Ma 的关键气候变化。自~0.2 Ma 以来，南大洋热分层处于长期减弱趋势中，可能导致海洋向大气碳释放的长期增加。

S36-P-3S

晚新生代超长轨道周期，大气二氧化碳和气候变化之间的耦合

张翼飞[1,2]，房强[1,2*]，吴怀春[1,2]，Christian Zeeden[3]，崔莹[4]，时美楠[1,2]，张世红[1]，杨天水[1]，李海燕[1]

1 中国地质大学（北京），生物地质与环境地质生物实验室

2 中国地质大学（北京），海洋学院

3 莱布尼茨应用地球物理研究所

4 蒙特克莱尔州立大学，地球与环境科学系

* fangqiang-geo@hotmail.com

大气二氧化碳是一种重要的温室气体，在不同时间尺度上控制着地表气候变化。自 18 世纪工业化以来，人类二氧化碳排放导致全球温度快速上升，两极冰川融化，海平面上升，对人类生产和生活造成了极大的影响。系统地理解百万年尺度大气二氧化碳含量波动的原因及其对深时气候的影响，对其在更短的人类时间尺度上变化的控制机制具有重要的指示意义。本文整合前人发表的大气二氧化碳、深海底栖有孔虫氧同位素以及全球平均海平面变化数据，通过多种时间序列分析方法，探究 23 Ma 至今二氧化碳变化的节律及其驱动的气候变化。研究结果表明，晚新生代二氧化碳和气候演化受到超长轨道旋回（如，~4.5 Myr 和~2.4 Myr 超长偏心率旋回、~1.3 Myr 超长斜率旋回）的驱动。在~4.5 Myr 和~2.4 Myr 偏心率旋回最小值期间，高纬度地区季节性较弱，气候寒冷。此时较低的海水温度会导致异养细菌的代谢速率降低，进而造成更多的有机碳被转运至深海并埋藏，促使大气二氧化碳减少；超长偏心率最小值期间的寒冷气候还会促使冰川增长，进而增强冬季风强度并同时增加地表反照率，导致大气二氧化碳下降。相反，在超长偏心率旋回最大值期间，气候条件相对温暖，会对二氧化碳造成相反的影响。此外，我们从大气二氧化碳、深海底栖有孔虫氧同位素以及全球平均海平面变化数据中均发现了在~13 Ma 处由偏心率主导到斜率主导的气候转型。这可能与北极冰盖的生成和南极冰盖从陆地扩张至海洋有关，~13 Ma 之前，偏心率（岁差）控制的日照量变化驱动南极大陆冰盖变化，而~13 Ma 之后，斜率控制的经向温度梯度驱动南北两极海冰的变化。因此，基于多种替代指标的研究反映了晚新生代时期超长轨道周期、大气二氧化碳和气候变化之间存在紧密联系。

S36-P-4

温室时期地下水储库与海平面长期变化的天文驱动机制

李明松[1*]，张皓天[1]，王蒙[1]，魏韧[1,2]，张瑞[1,2]，金之钧[1,2,3]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 北京大学，能源研究院

3 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室

* msli@pku.edu.cn

在无冰川活动的温室时期，海平面发生了频繁、大规模且快速的变化。然而，主流的冰川型海平面变化模型无法解释这一现象。大陆沉积物的潜在储层容量估算和大数据研究表明，温室时期的全球海平面变化可能与气候变化引起的大陆地下水活动有关。本研究回顾了天文驱动的大陆地下水活动导致的海平面变化这一机制，提出了海绵大陆假说，认为天文因素驱动的气候变化使大陆含水层像海绵一样储水和排水，这可能是引起温室时期全球海平面和内陆湖平面大规模变化的机制之一。为了检验陆驱机制和

海绵大陆假说，需要查明温室时期的古湖、海平面变化之间的关系及二者的驱动力，这就要求我们解决两个技术难点：（一）古湖、海平面变化如何重建；（二）海陆地层的高分辨率对比存在困难。得益于近来在古海、湖平面变化的研究思路与技术方法上的突破，海平面变化的陆驱机制受到越来越多的地质工作者的关注，并得到了来自一些温室甚至冰室时期地质证据的支持。我们总结了近年来与深时海平面和湖平面重建有关的技术突破以及相关的温室时期研究实例，讨论了该方向亟待解决的问题，包括地下水的储量评估、研究手段及其储库的储水和排水机制等，对这些问题的探索将推动我们对地球表层系统演化的深入理解。

S36-P-5

细粒混积岩天文旋回识别及其在精细地层划分对比的应用-以西部凹陷雷家地区雷 14 井区沙四段为例

李阳 [1,2*]，李晓光 [1]，张廷山 [2]，陈昌 [1]

1 中国石油辽河油田分公司，勘探开发研究院
2 西南石油大学，地球科学与技术学院
* 7891235@qq.com

西部凹陷雷家地区沙四段发育一套碳酸盐岩、油页岩及泥岩的细粒混合沉积体，为该区页岩油赋存的重要载体，识别此套细粒混合沉积体中的天文旋回信号对研究陆相湖盆演化、古气候变化以及精细地层划分具有重要作用。以雷 14 井区为例，使用窗谱分析法对古气候替代指标（自然伽马）进行频谱分析，与标准 ETP 数据频谱分析结果进行对比，识别细粒混合沉积体中的天文旋回信号并进行天文调谐，进而建立“浮动”天文年代标尺；以短偏心率为主要周期使用相关系数法估算沙四段细粒混合沉积体的沉积速率，发现泥页岩沉积速率普遍偏低，约为 5cm/kyr，而碳酸盐岩沉积速率相对较快，约为 10cm/kyr~15cm/kyr；在旋回地层学研究的基础上，分析高频层序与不同天文轨道周期之间的关系，发现 405kyr 长偏心率周期与四级层序有关，而 125kyr 短偏心率周期与五级层序有关，以此建立了以 125kyr 短偏心率尺度的精细地层划分对比格架。

S36-P-6S

天文旋回控制下的气候和海平面变化对煤层发育的影响——以西湖凹陷始新世-渐新世煤系地层为例

岳上 [1,3]，赵珂 [2,3*]，杜学斌 [1,3*]，贾冀新 [1,3]

1 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）海洋学院
2 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）资源学院
3 中国地质大学（武汉），中国地质大学（武汉）海洋地质资源湖北省重点实验室
* kzhao@cug.edu.cn
* basindu@163.com

地球轨道的周期性变化是驱动全球气候变化的重要因素之一。古近纪天文年代格架一直都是近年来旋回地层学关注的重点，而连续且完整的沉积地层对完善古近纪年代格架有着至关重要的作用，同时也有助于研究古近纪气候变化及其对沉积物和有机质富集作用的影响。西湖凹陷是我国东部断陷盆地油气勘探的主战场，其中花港组和平湖组发育了厚层富有机质煤系地层沉积。含煤地层不仅是油气资源和矿产资源的良好载体，而且记录了古气候变化的特征。虽然前人对西湖凹陷层序地层、沉积、烃源岩等方向做了大量工作，但由于数据资料等限制，很少有学者关注西湖凹陷年代地层格架以及地球轨道周期对该地区煤层发育的控制作用。因此，本次研究以西湖凹陷始新世到

渐新世地层（宝石组、平湖组和花港组）为研究对象，建立西湖凹陷始新统-渐新统标准年代地层格架，分析地层沉积速率、地层及层序界面年龄以及煤层发育的控制因素。通过时间序列分析，建立了东海陆架盆地西湖凹陷 23.11Ma~52.32Ma 的天文年代格架，并对渐新世花港组地层、始新世平湖组和宝石组地层界面和层序界面进行了绝对年龄标定。其中渐新世花港组的三级层序界面年龄为 23.11Ma、28.04Ma、32.73Ma。始新世平湖组和宝石组的三级层序界面年龄为 33.9Ma、35.45Ma、37.22Ma、45.61Ma、48.37Ma、52.32Ma。同时针对该时期密集发育的薄层煤层沉积的影响因素开展研究，发现煤层沉积主要受到了气候和海平面的联合控制。晚始新世期间平湖组沉积的大量煤层记录了季节对比强的气候和降水充沛的季风气候（Zhao et al, 2022）。通过年代地层格架与煤层发育对比发现，西湖凹陷的煤层集中发育在斜率极大值和岁差极小值时期，同时煤层密集段的发育集中在海平面高值时期，意味着较高的海平面或海侵作用以及湿润和较大的气候差异均对西湖凹陷的薄层煤层沉积具有一定的影响和控制。本次研究提供了西湖凹陷始新世-渐新世年代地层格架，并阐明了地球轨道控制的气候和海平面变化对研究区煤层发育的控制作用，对煤层发育的沉积环境研究具有重要的参考意义，同时也为西湖凹陷油气资源勘探提供一定理论支持。

S36-P-7S

珠江口盆地惠陆地区晚始新世湖平面变化序列及水深波动速率重建

李洪乾[1]，刘强虎[1*]，李志垚[1*]，贾悦锐[1]，吴孟禧[1]

1 中国地质大学（武汉），资源学院

* liuqh@cug.edu.cn

* zhiyaoli@cug.edu.cn

珠江口盆地惠陆地区在晚始新世（39-33.9Ma）是整体发育在浅水背景下的三角洲-滨浅湖沉积体系，天体运动与气候环境转变等多方面因素共同影响古代湖泊水平面的变化。本文利用米兰科维奇天文旋回以及沉积噪音模型方法，基于沉积水动力学理论，对惠陆地区晚始新世沉积记录展开定量解读，反演其水体环境。同时，全区超过 200 口工业井及全覆盖三维地震资料为精细解读工作提供了充足的资料基础。在高精度岩相敏感-气候敏感测井数据基础上运用能谱分析（MTM）、演化谐波分析（EHA）、相关系数法（COCO）和 DYNOT 噪声模型等方法进行数据分析，重建了惠陆地区晚始新世天文轨道周期，联合粒度-地化元素，搭建高分辨率定量水体波动格架序列，并进一步结合浮动-绝对天文时间尺度恢复了千年尺度的水深变化速率。晚始新世惠陆地区水体变化具有垂向分期、平面分带的特征：垂向上，在 5.1±0.2Ma 内，水位变化从早期至晚期可以分为洪水-平水-枯水-平水四个时期，其中 E1 时期为洪水期，水深约为 15.4m，水位较高，晚期水位呈快速下降趋势，E2 时期为平水期，水位早期振荡回升，后期下降至约 11.4m，E3 时期为枯水期，水体平稳变浅至约 7.1m，E4 时期水位处于振荡变化状态，小幅回升至约 9.8m。平面上，研究区自西向东水体变化趋势表现为由浅至深再变浅的水深分布格局，中部水体深于周缘水体。该时期环境受海侵因素影响，水体变化规律与始新世全球海平面变化规律相近，进一步佐证方法有效性。本文通过研究天文轨道周期及古环境变动条件影响下的水体波动情况，建立了高分辨率定量湖平面变化序列及水深波动速率序列，有助于拓宽古水深重建方法的应用范围。

S36-P-8S

天文驱动贡觉盆地早始新世的水文循环

张瑞尧[1]，黄春菊[1*]，David B. Kemp[1]，王治祥[2]，张泽[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 中国科学院青海盐湖研究所

* huangcj@cug.edu.cn

早始新世适宜期（EECO，~53.26-49.14 Ma）是可与未来高二氧化碳浓度世界相类比的关键气候期。然而，前人对该时期的研究主要集中在海相记录，陆相记录较为缺乏，这阻碍了人们对 EECO 气候演变及驱动机制的认识。为此，我们获取了青藏高原东南缘贡觉盆地米来剖面 1009 m 厚的连续且高分辨率的 Rb/Sr 数据。Rb/Sr 数据深度域频谱图表明沉积序列存在明显的 ~136 m、~66 m、~43 m、~14 m、~6.9 m 的沉积旋回，结合前人磁性地层年代框架和相关系数分析方法估算的平均沉积速率，其分别对应于 ~405 kyr 长偏心率、~200 kyr、~125 kyr 短偏心率、~41 kyr 斜率、~20 kyr 岁差周期。我们利用稳定的 ~405 kyr 长偏心率周期对 Rb/Sr 数据序列进行了天文调谐，进而建立了贡觉盆地米来剖面 ~3 Myr 浮动天文年代标尺。综合火山岩 U-Pb 锆石测年和前人磁性地层年代框架，最终获得了贡觉盆地 ~52.9-49.9 Ma 连续的、高分辨率的绝对天文年代标尺。Rb/Sr 数据的时间序列频谱图上存在显著的 ~405 kyr 长偏心率信号，因此我们认为贡觉盆地 EECO 的气候演变受到偏心率信号的主控：偏心率调制岁差振幅变化，引起太阳辐射的变化，进而推动地球碳库跨越临界值，导致其释放于大气中，进而影响早始新世的古气候演变。此外，在 ~51 Ma 之后，Rb/Sr 数据的时间序列频谱图上斜率信号显著增强，这与地化指标所揭示的全球气候由季节性明显的高温气候转变为湿热的气候相一致，我们认为这或许是斜率控制的经向日照梯度调节早始新世的水文演变的结果。本研究为 EECO 时期陆相湖盆的演化提供了新的高分辨率记录，尤其为地球无冰时期的情景下东亚水文变化对高低纬过程的响应提供了新的认识。

S36-P-9S

1.2 百万年斜率周期驱动的早三叠世气候变化

张皓天[1]，李明松[1*]，张昊勋[1]，张小宇[1]，纪开宣[1]，朱晗宇[1]，王蒙[1]

1 北京大学地球与空间科学学院

* msli@pku.edu.cn

晚二叠世-早三叠世之交的生物灭绝和随后长达数百万年的早三叠世生物复苏事件是显生宙最为瞩目的地质事件。其中早三叠世的地球表层系统呈波动性的演化特征，其可能的诱因有多种。许多研究认为火山活动对早三叠世的地球系统演化产生了重要的影响。近年来，部分研究从天文驱动角度出发，认为火星-地球轨道共振引起的 1.2-Myr 斜率调制周期起到了重要的作用。来自我国华南巢湖、峡口剖面的研究发现 1.2-Myr 周期与早三叠世全球海平面、温度、海洋氧化还原状态以及生物多样性有着十分密切的联系，但华南的研究结果是否具有全球性还不得而知。

为回答上述问题，本文选择我国河南宜阳大雨淋剖面以及德国盆地的陆相下三叠统开展了旋回地层学研究。通过对大雨淋剖面进行旋回地层学分析，我们发现研究层段沉积速率呈三段式变化，底部及顶部沉积速率较低约为 5 cm/kyr，中部沉积速率较高约为 9 cm/kyr。能谱分析识别出了 405-kyr 以及 100-kyr 周期的旋回，将深度域的数据调谐到时间域，建立了大雨淋剖面下三叠统浮动的天文年代标尺。此外对德国盆地下三叠统自然伽马测井曲线进行分析，发现该段地层的平均沉积速率约为 20 cm/kyr，通过识别出的 405-kyr 周期将深度域数据调谐到时间域，对时间域的数据开展能谱分析，识别出了~100-kyr 和 33-kyr 周期的旋回，这些周期与 La2004 理论模型预测结果一致。本研究重建了下三叠统印度阶的天文年代标尺，结果表明印度阶的持续时间为 2.0 ± 0.2 Myr。

演化能谱分析结果显示大雨淋剖面和德国盆地下三叠统斜率信号周期性增强，其

出现的时间段与我国华南巢湖以及峡口剖面的结果具有很好的同步性。这首次证明1.2-Myr 的斜率调制周期具有全球性的影响，是地球表层系统环境变化的重要驱动力。

S36-P-10

晚三叠世古水文演变的沉积记录及古气候模拟证据

王蒙[1*]，李明松[1]，David B. Kemp[2]，Jan Landwehrs[3,5,6]，金之钧[1,4,7]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

3 University of Vienna,Department of Geology

4 北京大学，能源研究院

5 Member of the Leibniz Association,Earth System Analysis, Potsdam Institute for Climate Impact Research

6 Helmholtz Centre for Polar and Marine Research,Atmospheric Physics, Alfred Wegener Institute

7 中国石油化工股份有限公司，国家页岩油气富集机理与有效开发重点实验室

* mwang@pku.edu.cn

深时水文演变的重建研究可以为探寻海平面变化机制乃至陆地表层系统演化提供重要的信息。古水深升降或古湖平面变化作为大陆地下水含量波动的替代指标，被认为是反映古水文变化信息的可靠载体之一；大陆内部古湖平面的变化往往与天文等因素驱动的气候变化控制的陆地上降雨、蒸发与径流状态有关。由于古水深的升降主要受到构造活动、气候变化以及沉积物供给速率等多种因素控制，精细恢复古水深长期的变化历史受到陆相地层定年工作的困难以及传统技术手段的制约。本次研究利用的沉积噪音模型方法是基于天文旋回理论和时间序列分析方法提出的重建相对古水深变化的新方法，已经在三叠纪、白垩纪以及古近纪等时期被多次应用。与传统方法比较，沉积噪音模型能够直接利用古气候替代指标，客观、高分辨率、长时间尺度恢复古水深的变化。

晚三叠世是地球生命演化史上的一个重要时期，见证了全球性的重大构造和气候变化事件，如三叠纪末生物大灭绝事件（end-Triassic mass extinction）、瑞替-诺利期之交（Norian/Rhaetian boundary, NRB）碳循环扰动事件等。此次研究利用沉积噪音模型重建了晚三叠世中、低纬度的北美纽瓦克盆地和英国圣奥德里湾剖面的古水深相对变化，同时发现它们在 1.8 Myr 长周期上呈现同相位的变化。同时，在处于高纬度位置的格陵兰岛詹姆士地盆地（Jameson Land Basin），反映气候干湿和湖平面变化的洪泛指数（Flooding index）与纽瓦克盆地和圣奥德里湾的结果为反相变化关系。地球系统模型可以提供关于区域的净降水这种与古水文变化相关的关键信息，从而加强我们对各种机制和水文循环之间关系的理解。地球系统模型（CLIMBER-X）的模拟结果表明在上述相同盆地的位置，晚三叠世净降水量（降水量-蒸发量）受到偏心率和岁差周期的调控。在沉积记录中发现的中、低纬度与高纬度位置相反的气候变化特征也被地球系统模拟的净降水量所印证。岁差极大值和极小值时的年平均净降水量的差值表明，北美纽瓦克盆地和英国圣奥德里湾剖面的变化一致，而与詹姆士地盆地的结果相反。沉积记录与古气候模拟结果的一致性表明，高分辨率的古水深重建与气候模拟相结合是帮助我们探究全球古水文变化的重要途径。

S36-P-11

天文气候变化诱发了华南晚泥盆世生物-环境事件

马坤元[1*]，龚一鸣[2]，Linda Hinnov[3]

1 太原理工大学，矿业工程学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

3 George Mason University,Department of Atmospheric, Oceanic, and Earth Sciences

* kunyuanma@tyut.edu.cn

F–F之交大灭绝是显生宙五大生物灭绝之一，其发生机制和原因至今仍众说纷纭。本研究对华南地区上泥盆统杨堤剖面和拉利剖面进行了系统的旋回地层分析。基于稳定的405-kyr长偏心率周期，本研究分别在杨堤剖面和拉利剖面F–F之交建立了浮动天文年代标尺（FATSs）。通过华南F–F之交浮动年代标尺，本研究对华南Kellwasser事件进行了天文年代标定。华南下、上Kellwasser事件层的持续时间分别为200 kyr和150 kyr，下、上Kellwasser事件间隔了约1000 kyr，下、上Kellwasser事件层碳同位素漂移的峰值间隔了1600 kyr。在上Kellwasser事件层的灭绝区间，F–F灭绝的第一、第二和第三幕持续时间为120、20和10 kyr。华南F–F之交的沉积噪声模型揭示了与海平面变化相对应的高分辨率的沉积噪声变化。旋回地层学结果表明，华南晚泥盆世F–F之交海平面变化受到偏心率和斜率变化的共同影响，F–F之交海水表面温度变化受到长偏心率周期的调控。本研究认为，“天文气候变化”是F–F生物大灭绝事件的初始触发机制。

S36-P-12

寒武纪早期轨道驱动的气候变化及其对太阳系演化的启示

张坦[1,2*]，樊太亮[2]，李一凡[2]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

2 中国地质大学（北京），能源学院

* zhangtan@cdut.edu.cn

早寒武世是地球历史上的关键时期之一，见证了后生动物的多样化以及地球表面环境和全球气候的深刻改变。然而，在缺乏极地冰盖的早寒武世温室期，百万年尺度海平面变化的潜在驱动机制仍然存在争议。本文利用高分辨率伽马测井(GR)和Fe/Al记录对华南A井早寒武世筇竹寺组开展了旋回地层学分析。基于沉积噪声模型重建了寒武纪早期温室期百万年尺度的海平面变化，重建结果与层序地层学解释、岩相叠加模式和沉积环境变化相匹配。沉积噪音曲线滤出~1.5 Myr周期与~1.5 Myr斜率调制周期之间的相反相位关系表明，由~1.5 Myr斜率调制周期主导的极地水气和热量传输变化导致的陆地-海洋水交换的波动，可能是寒武纪早期无冰期海平面升降的主要驱动因素。寒武纪早期地质记录揭示了～1.5 Myr超长偏心率周期和～1.5 Myr超长斜率周期，这可能与地球-火星的长期共振有关，为深时太阳系的混沌演化提供了地质证据。

S36-P-13

四川盆地下寒武筇竹寺组页岩天文驱动下的有机质富集机制

金思丁[1,2*]，马超[2,3]

1 成都理工大学，能源学院

2 油气层地质及开发工程国家重点实验室

3 成都理工大学，沉积地质研究院

* jinsiding@cdut.edu.cn

四川盆地筇竹寺组是寒武纪生命大爆发时沉积的一套富有机质页岩，受到广泛关注。且筇竹寺组页岩分布广泛、沉积厚度大且有机质丰度高，具有良好的勘探前景和巨大的勘探潜力。近年来，一些学者尝试对该套页岩开展旋回地层学研究，但缺少高精度锆石U-Pb同位素年龄作为锚点，且限于数据分辨率不足，在低沉积速率的筇竹寺组页岩中不能清晰识别斜率和岁差信号，无法进行斜率和岁差尺度的天文调谐，并缺乏理论曲线对比等，使得高分辨率天文地质年代标尺的建立存在困难，制约了在轨道周期变化驱动下重大地质事件，尤其是持续时间问题的研究。与此同时，不同学者针对筇竹寺组页岩的有机质富集因素的研究结论不尽相

同，且并无绝对规律可循，都会影响有机质富集模式的正确判断。为明确筚竹寺组页岩在天文驱动影响下的有机质富集模式，对金石 103 井 Fe/Al 和 TOC 指标进行时间序列分析。两种指标均揭示了 405 kyr 的显著长偏心率周期，且二者基于 405 kyr 长偏心率周期建立的浮动天文地质年代标尺一致。值得关注的是，二者基于 405 kyr 滤波曲线在~521 Ma 发生了明显的相位关系变化：~521 Ma 之前呈同相位关系，~521 Ma 之后呈反相位关系。根据 Fe/Al 和 TOC 数据的地质意义，推测同期的 Fe/Al 低值与 TOC 的高值，代表了轨道驱动下的高生产力模式——偏心率调控下的岁差极大值，产生强烈季风作用，导致上升洋流和河流径流作用的增强，从而增加了营养物质的供应；而同期的 Fe/Al 高值和 TOC 高值，代表了轨道驱动下的保存条件模式——偏心率调控下的岁差极小值，季风作用相对减弱，水体分层稳定，从而保证了水体的持续还原条件。由此可见，在~521 Ma 这一关键地质界面前后的有机质富集因素由“保存模式”向“生产力模式”转换，代表着外部周期性变化对有机质富集的驱动作用，天文周期控制了早寒武世大陆风化的增强及水体的持续氧化，从而造成有机质富集主控因素的改变。

S37-O-1

晚上新世以来菲律宾海盆风尘沉积记录

胡邦琦 [1*]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，深海地质与矿产室

* bangqihu@gmail.com

西太平洋低纬度地区的菲律宾海是一个典型风尘汇聚区，受到国内外众多学者的高度关注。前人已对菲律宾海第四纪沉积物中风尘物质贡献定量化、源区识别及其搬运动力开展了大量研究，表明菲律宾海沉积物主要是火山和风尘的双端元混合产物，但对风尘源区究竟是亚洲东部沙漠地带还是亚洲中部沙漠地带以及其具体携带动力究竟是东亚冬季风还是西风带仍存在一些争议。本文针对菲律宾海盆 D29 孔开展了一些前期工作：（1）利用古地磁定年构建了 D29 孔(长约 519cm)年代框架，底部年龄约为 3.8Ma，沉积速率较为稳定，可为重建菲律宾海盆东亚冬季风演化历史提供良好的素材；（2）利用粘土矿物和 Sr-Nd 同位素交叉验证，将 D29 孔沉积物碎屑组分进一步细化为三端元混合产物，即中国中西部沙漠物质、中国东部沙漠物质和周边火山物质；（3）采用多种模型对沉积物碎屑组分的粒度数据进行了拟合分析，提取了三种不同粒度端元，分别对应高空西风急流携带的细粒粉尘(3~5μm)、低空冬季风悬移的粗粒粉尘(10~15μm)和周边岛弧火山物质(18~30μm)；（4）晚上新世以来西风急流 EM1 风尘通量整体表现为阶段性升高，与塔里木盆地的环境演化过程和西昆仑山前的粉尘沉积通量变化一致，表明全球变冷是驱动晚上新世以来亚洲中纬度地区干旱气候和西风环流演化的主控因素；（5）晚上新世以来东亚冬季风 EM2 风尘通量与黄土记录的东亚冬季风演化趋势存在较大差异，推测 D29 孔所反映的这种东亚冬季风南部模态的历史变化可能同时受高纬冰盖强迫和低纬热带驱动的双重影响，推测与晚上新世以来全球变冷、赤道太平洋 ENSO 相态的转换密切相关。

S37-O-2

中新世中亚地区 C4 植被扩张与印度季风加强有关

王建 [1,2]，周新郢 [2*]，王世骐 [2]，徐海 [3]，Hermann Behling[5]，叶捷 [2]，刘俊池 [2]，郑妍 [2]，吴妍 [2]，赵克良 [2]，张冉 [4*]，李小强 [2*]

1 中国科学院大学

2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

3 天津大学

4 中国科学院大气物理研究所
5 哥廷根大学
* zhouxinying@ivpp.ac.cn
* zhangran@mail.iap.ac.cn
* lixiaoqiang@ivpp.ac.cn

探索过去全球变暖期间的水文气候演变规律有助于深入理解地球系统相互作用的过程和机制。中新世中期气候适宜期(MMCO, 16.9–14.5 Ma) 代表了新生代变冷趋势下的神秘增温期，其特点是全球温度比现代升高 7.6 ± 2.3 ℃，大气 CO_2 浓度约 450–600 ppm，被视为当前排放情景下气候预测的良好相似期。中亚作为世界上面积最大的草原生态区的重要组成部分，是研究高低纬气候变化的重点区域。多指标证据表明，区域草原-沙漠生态系统和哺乳动物群在穿越 MMCO 期间经历了一次关键转型。然而，MMCO 期间中亚水汽来源不甚清楚，主要争论是季风是否能够在变暖的背景下影响中亚降水。以往观点的支撑证据多基于氧同位素为主的地球化学分析，这需要其他特别是区域尺度植被证据的进一步约束。过去植被生态系统的演变蕴含着降水-温度的季节性配置变化信息。C_4 植物被认为植物生理层面 CO_2 浓缩泵的进化创新，促使季节性气候和低 pCO_2 下的高光合效率。半干旱地区 C_4 植被似乎受到暖季降水增加和温度升高的控制，暗示 C_4 扩张与季节性季风降水之间存在很强的相关性。气温升高将导致夏季降雨带向内陆移动，使干旱区边缘绿化。这意味着暖期缺水地区 C_4 扩张的可能性增加，C_4 植被变化与季风边缘移动密切相关。为此，我们调查了准噶尔盆地的夺勒布勒津剖面，哺乳动物化石约束下的古地磁年龄结果显示其时间范围为 18.8-13.2Ma，借助花粉、土壤有机质碳同位素、碎屑锆石和磁化率等多个指标重建了植被生态的演变历史。结果表明，15.5–14.0 Ma 期间区域 C_4 植被显著扩张，与降水配置结构的变化有关，表现为在有利于 C_4 植物生长的气候背景下更高的季节性和更多的夏季降水。新构建的来自欧亚大陆 149 个古植被数据集揭示的水汽轨迹以及古气候记录表明，印度夏季风的同步增强可能是造成这种转变的原因。结合气候模拟和其他证据，我们认为中新世变暖期间中亚夏季降水模式是由印度季风通过高纬度和低纬度的季风-西风相互作用调制的。

S37-O-3

白垩纪海洋缺氧事件 2 的氮和硫循环响应

曾芝郁 [1]，翟瑞翔 [1]，张睿灵 [1]，姚炜琪 [1*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系
* yaowq@sustech.edu.cn

白垩纪海洋缺氧事件 2（Ocean Anoxic Event 2，OAE2）是距今大约 94 百万年前温室气候背景下的一次大洋缺氧事件。该时期海水温度升高，生物生产力增强，广泛发育富含有机质的黑色页岩。由于有机质在降解过程中，依次消耗海水中的溶解氧、硝酸根和硫酸根离子，因此海洋氮和硫循环记载着海洋氧损失的关键信息。为了更加全面地理解 OAE2 的时空分布特征和演变机制，本研究汇总了全球范围内已发表的海洋氮和硫同位素记录。记录表明，海水溶解氧的时空演变主要受控于区域性的营养盐水平和环流结构。缺氧和硫化海在 OAE2 前已出现在原北大西洋盆地南缘，在 OAE2 初期扩张到北大西洋远洋海域、西特提斯洋边缘海和北美西部内陆海道；而在风暴面以上和特提斯洋深海海域则在整个 OAE2 期间保持相对富氧。本研究阐述了海洋氧损失与生物地球化学循环耦合演化的潜在机制，为探讨全球变暖对海水化学和生态系统的影响提供参考案例。

S37-O-4

古气候数据同化重建早始新世气候适宜期温室气候状态

张昊勋[1]，李明松[1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* msli@pku.edu.cn

早始新世气候适宜期是新生代最温暖的时期，其热室状态持续了长达四百万年。这期间发生了多次极热事件，伴随着表层海水温度上升、大洋酸化等多种响应，与政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告中最极端的碳排放路径——共享经济路径 SSP8.5 情景下的未来地球十分相似，对当今全球气候变暖的趋势预测以及对人类生存发展影响的评估有着重要的指示意义。然而，地球系统对于各种内部或外部驱动的响应机制还存在许多争议，使得地球系统模型难以重建真实的古气候状态；利用古气候替代指标重建古海水表面温度（SST）和大气二氧化碳浓度（pCO_2）的方法已经被广泛使用，但这些替代指标的地理分布并不均匀，这使得 SST 重建结果在空间上并不具有连续性，而不同区域替代指标的 pCO_2 重建结果也不统一。因此，我们采用了最新的古气候数据同化的方法，将地球系统模型（cGENIE）重建的早始新世气候适宜期的海水表面温度与该时期的 TEX_{86}、浮游有孔虫 Mg/Ca、碳酸钙含量等古气候替代指标融合，获得了更加精确的全球重建结果。经过数据同化后得到的 SST 与模型重建的结果相比更加温暖，可以达到 36.3±1.6°C；pCO_2 的同化结果 2130±260ppm。与前人重建的结果相比，数据同化结果误差明显减小。

S37-O-5

古新世-始新世极热事件期间来自北海盆地的汞同位素证据

金思敏[1]，David B. Kemp[1*]，尹润生[2]，孙瑞阳[2]，沈俊[3]，David W. Jolley[4]，Manuel Vieira[5]，黄春菊[1]

1 中国地质大学，生物地质与环境地质国家重点实验室，湖北省关键带演化重点实验室，地球科学学院

2 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室

3 中国地质大学，地质过程与矿产资源国家重点实验室

4 阿伯丁大学，地球科学学院

5 葡萄牙新科学与技术学院，地球科学学院

* davidkemp@cug.edu.cn

近年来，越来越多的证据表明与北大西洋火成岩省相关的火山活动释放了大量的轻碳，进而触发了古新世-始新世极热事件（PETM，~56 Ma）。汞含量异常作为火山活动的替代指标，已在数个 PETM 站点有所记录。但汞含量异常所指示的火山活动的信号可能会受到陆源汞输入、氧化还原变化、成岩过程等的影响。为探究与 NAIP 相关的火山活动与 PETM 之间的联系，本论文以靠近 NAIP 的 23/16b-9 钻井沉积记录为研究对象，展示了新的汞含量和汞同位素数据。研究结果表明，碳同位素刚开始负漂时，负的 $\Delta^{199}Hg$ 突然表现出趋向于 0‰的变化趋势，同时伴随着标准化汞丰度的增加，这指示火山来源汞的增加，即火山活动的加强。此外，PETM 核心段的 $\Delta^{199}Hg$ 值也存在一个偏向于 0‰的趋势，表明在 PETM 核心段存在一段持续时间相对较强的岩浆活动。在 PETM 恢复期及事件结束后，汞同位素数据表明火山活动总体减弱。以上结果指示，与 NAIP 相关的火山活动可能驱动了 PETM，并在一定程度上维持了 PETM 核心段的持续时间。

S37-O-6

PETM 期间海洋沉积物质的时空演化及控制因素

蒋璟鑫[1*]，胡修棉[1]，李娟[1,2]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 中国科学院南京地质古生物研究所

* jjxcug24@163.com

古新世-始新世极热事件（PETM, ~56 Ma）是距今最近的一次全球性极端气候和碳循环扰动事件。PETM 期间全球温度上升了 5-8℃，并引发了一系列的气候和环境效应，包括水循环加强、热带风暴加剧、海平面变化以及大洋酸化等。气候和环境的变化对海洋沉积体系造成了不同程度的影响，但是很少有研究从全球海洋沉积物质演化的角度来揭示 PETM 的气候和环境响应。本次工作系统汇编了 PETM 海相沉积剖面（N=162）的碳同位素和岩性信息，利用碳同位素将 PETM 划分为五个阶段（Pre-PETM、Onset、Body、Recovery 以及 Post-PETM），进一步从五个阶段研究了 PETM 期间沉积物质的时空演化规律并探讨了其控制机制。研究表明，大陆边缘沉积物主要受到海平面和水循环的控制，其中碳酸盐台地对水循环加强导致的陆源碎屑输入的变化更为敏感，表现为碳酸盐台地的短暂“死亡”；以粗碎屑沉积物为主的大陆边缘对海平面变化较为敏感，表现为“进积型”的沉积序列；以细碎屑岩为主的大陆边缘受到海平面上升和水循环加强两种作用结果相反的过程控制，整体无明显变化；但是在恢复阶段由于化学风化增加引起碱性离子输入增加，大陆边缘所有地区的碳酸盐沉积具有不同程度的增加。作为对比，我们进一步研究了深海沉积物的演化特征和控制机制。结果表明，PETM 期间深海沉积物主要受到 CCD 变化的控制，PETM 起始阶段由于 CO_2 的大量输入导致 CCD 变浅，碳酸盐沉积物在大洋酸化作用下减少；恢复阶段与大陆边缘类似，由于碱性离子向海洋深处的输入增加，大洋 CCD 发生加深“过调”，相应地大洋深水环境碳酸盐沉积增加。本次研究以定量的方式研究了 PETM 期间整个海洋沉积物质的时空演化，提出了水循环、海平面和 CCD 是海洋沉积物的主要控制因素，这为其他极热事件的环境变化研究提供了借鉴意义，并且为未来气候变暖导致的海洋沉积响应预测提供了参考。

S37-P-1

松辽盆地南部晚白垩世暖期古气候与海侵事件对湖相黑色页岩有机质富集的影响

徐川[1*]，张兵[1]，单玄龙[2]

1 成都理工大学，地球物理学院

2 吉林大学，地球科学学院

* alex199208@163.com

晚白垩世嫩江组时期松辽盆地广泛发育富有机质黑色页岩沉积，为重建中国东北部晚白垩世的古气候和古环境提供了理想的天然实验室，对寻找潜在的油气资源具有重要意义。通过对典型剖面开展有机碳同位素、元素地球化学和粘土矿物组成的系统分析，研究了晚白垩世嫩一段的有机质来源、古气候、古沉积环境、古生物产率及海侵事件，并揭示了暖期古气候及海侵事件对湖相黑色页岩有机质富集的影响。下部单元黑色页岩具有高有机质丰度（最高 4.19wt%，平均 2.79wt%），I-II_1 型干酪根以及低成熟度等特征。元素比值（Fe/Mn、Mg/Ca 和 Sr/Cu）、古风化参数（CIA 及 PIA）、$\delta^{13}C_{org}$ 及粘土矿物含量等代理指标共同指示了晚白垩世温暖的古气候特征。湿润的古气候促使了湖泊藻类及周源陆生植物的繁盛，较高的湖平面，为有机质聚集提供来源和有利保存条件。基于古生物和放射性同位素定年资料可推断嫩一段海侵事件可能与晚 Santonian 阶全球古温度升高有关，湿润气候背景下高湖平面和海平面条件促使海侵事件的发生。碱性海水注入为湖泊带来丰富海洋营养元素，增加湖泊水柱盐度，并进一步加剧了湖泊缺氧状况，有利于有机质的积累。明确温暖湿润古气候和海侵活动影响下的有机质富集机制，将为晚白垩世黑色页岩沉积地质事件的深入研究增加关键的地质约束。

S37-P-2

大洋缺氧事件 2 期间南半球高纬度地区大陆硅酸盐风化增强的 ND-HF 同位素证据

陈红瑾[1*]，徐兆凯[2]，Germain Bayon[3]，李铁刚[4]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

2 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

3 IFREMER,Marine Geoscience Unit

4 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质重点实验室

* chenhongjin15@mails.ucas.ac.cn

发生在约 94 Ma 的大洋缺氧事件 2（OAE 2）是白垩纪温室期最具代表性的极端气候事件，代表着全球碳循环的一次大规模扰动，被认为是研究地球系统科学的典范时期。然而，受研究材料的限制，尤其是对气候环境演化异常敏感的高纬度地区，OAE 2 期间大陆硅酸盐风化的响应及其气候环境效应仍知之甚少。本研究基于国际大洋发现计划（IODP）369 航次在东南印度洋曼达岬海盆钻取的 U1516 站位岩芯沉积物，利用 Nd-Hf 同位素所建立的新地球化学指标（$\Delta\varepsilon Hf_{clay}$），探讨了 OAE 2 阶段南半球高纬度地区的硅酸盐风化响应。物源分析结果表明，研究站位碎屑沉积物主要来自于澳大利亚西南部大陆。对比多个大陆边缘站位的 Nd-Hf 同位素组成，结果显示 $\Delta\varepsilon Hf_{clay}$ 不受早期成岩作用（即反风化作用）的显著影响，可作为可靠的大陆硅酸盐风化作用替代指标。在 OAE 2 阶段初期，$\Delta\varepsilon Hf_{clay}$ 出现了短暂的快速降低，与水文循环加剧所引起的大陆源区大型流域系统的再次活跃有关，导致大量仅遭受弱风化作用的碎屑沉积物被快速冲刷搬运至研究区。此后，在 OAE 2 碳同位素显著正偏期，$\Delta\varepsilon Hf_{clay}$ 的增加指示了南半球高纬度地区大陆硅酸盐化学风化作用的显著增强，可能与晚白垩世极端温室气候条件下南半球西风带纬向移动有关。研究认为，OAE 2 阶段南半球高纬度地区硅酸盐风化增强及其后海底有机质的巨量埋藏可能在推动极端气候结束过程中发挥了潜在关键作用。

S37-P-3S

用底栖有孔虫壳体的 Mg/Ca 指示中中新世太平洋中深层海水温度变化

杨淳渝[1]，周晓理[1*]，Yair Rosenthal[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 罗格斯大学，海洋与近岸科学学院

* xlzhou@tongji.edu.cn

中中新世气候转型是新生代发生的一次剧烈的气候转变，伴随着南极冰盖的大幅扩张、海水温度的降低以及深部大洋环流和碳循环的改变，但该事件发生的过程和机制还不完全清楚。目前对该事件中海水温度的研究多集中在南半球高纬地区，而对中低纬地区研究较少。本项研究采用太平洋不同海区的深海岩芯，用底栖有孔虫壳体的 Mg/Ca 比值再造中中新世时期（~17-11 Ma）深部海水温度记录，从而厘清太平洋不同海区各深度海水温度变化与冰盖扩张和洋流改组之间的关系。

S37-P-4S

基于海洋重晶石的晚中新世东北印度洋古环境研究

吴欣莹[1]，胡玥[1]，姚炜琪[1*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* yaowq@sustech.edu.cn

晚中新世（11.6-5.33 Ma）与当前大气二氧化碳浓度相似，是理解全球变化的理想时间窗口。晚中新世喜马拉雅山脉持续隆升，亚洲季风盛行，气候波动显著，对当时海洋内部的生物地球化学过程有着重要影响。东北印度洋毗邻欧亚大陆，位于热带辐合带，记录着全球以及区域性环境变化的重要信息。本研究利用大洋钻探计划 ODP Site 758 海洋沉积物，重建 12-5 Ma 海洋重晶石（$BaSO_4$）累积速率和硫-氧同位素记录，系统探究当时东北印度洋输出生产力与全球硫循环的演变历史。研究结果显示，海洋输出生产力在 9 Ma 开始显著增加，与同时期各大洋中低纬海域发生的生物勃发事件吻合。海水硫酸盐同位素与海平面变化的趋势同步，指示当时大陆架黄铁矿风化作用增强，负反馈于气候变化。本研究补充了晚中新世东北印度洋的古环境演变记录，有助于深入认识晚中新世海洋碳和硫循环对气候的响应机制。

S37-P-5

海洋沉积物中重晶石 SR 对相关物源研究的影响

吴家望[1,2,3*]，刘志飞[2]，Annie Michard[4]，Kazuyo Tachikawa[4]，Amalia Filippidi[3,5]，贺治伟[2]，Rick Hennekam[5]，杨守业[2]，Gareth R. Davies[6]，Gert J. de Lange[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 Utrecht University,Department of Earth Sciences

4 Aix Marseille University,CEREGE

5 NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research,Department of Ocean Systems

6 VU Amsterdam University,Department of Earth Sciences

* wujiaw5@mail.sysu.edu.cn

海洋沉积物中陆源碎屑组分的 Sr 元素和同位素 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 被广泛应用于物源示踪，包括用于反映源区的风化剥蚀作用以及物质的搬运过程。如何恰当地提取碎屑组分的 Sr 进行分析是该类研究的前提。国际通用的酸洗方法是通过去除生物成因的 Sr，从而分离出碎屑成因的 Sr。然而，该流程难以去除、也完全忽视了富集于重晶石（$BaSO_4$）的海水自生成因 Sr，甚至未见提及其可能存在和影响。这一缺漏很可能会对基于陆源碎屑 Sr 所开展的研究造成认识上的偏差。又因为重晶石与海洋生产力密切相关，这一点在高生产力海区和时期的样品中显得尤其突出。

本研究选取东、西地中海共计 11 个站位的沉积物岩芯，针对全新世富有机质、富重晶石的腐泥层，以此为示范，在样品性质、物源背景、沉积环境等方面开展一系列对比分析。通过创新性地发展一套连续提取方案（$HCl + NH_4Cl$），系统地分析不同组分相态的 Sr 和 Ba 含量，探讨海洋沉积物中重晶石所赋存的自生成因 Sr 对相关研究的影响。研究结果证实了去钙沉积物组分中重晶石的存在，其影响在重晶石含量超过 400 ppm 时开始显现，必须加以谨慎考虑。该影响在一定程度上也取决于物源背景；在陆源碎屑沉积物的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值较高（>0.713）或是 Sr/Al 值较低（<0.001）的情况下，残存重晶石 Sr 的影响尤其显著，故有必要进行相关的校正和处理。对于重晶石含量极高（>1500 ppm）的海洋沉积物样品，则必须在去钙处理后、再进行 NH_4Cl 淋滤以去除残留的重晶石 Sr。最后，通过归纳经验性的校正公式，我们在海洋沉积物的处理流程上提出普适性的改进建议，尤其是针对高生产力海区或是时期的样品。

S37-P-6S

上新世气候生态演变：来自南海的生物标志物重建记录

赵蔓[1*]，贾国东[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* zhaoman@tongji.edu.cn

* jiagd@tongji.edu.cn

作为未来气候的可能潜在参照物——上新世气候以全球持续变暖为特征，但这主要体现在早期，在晚上新世气候开始变冷并伴随全球冰量的增加，逐渐向更新世冰期-间冰期旋回过渡。与此同时，相关气候变化也深刻影响了生态环境面貌。在此，我们以南海 U1505C（18°55.0570'N，115°51.5370'E，水深 2916.6 m）钻孔的上新世沉积为研究对象，利用长链正构烷烃和不饱和烯酮记录，重建了南海北部上新世（~4.4-2.5 Ma）的海水温度和陆地植被的变化历史。正构烷烃记录显示上新世多以 C31 为主峰，C29、C33 也占据相当大的比重，同时表现出明显的奇偶优势，说明这些烷烃来源于陆地植被，而且可能有相当一部分的草本植物的贡献。而数据的一个显著特点是 C33/Σodd C27-33 烷烃比值从晚上新世（~3.5 Ma）开始有明显的增加，暗示了 C4 植被开始扩张，推测这可能指示了附近北部陆地气候的干旱化。对应于这一干旱化气候，海水 UK' 37-SST 记录显示了降温的趋势。说明南海表层海水的降温与附近的陆地气候的干旱化之间存在耦合联系。同时，C37+38 长链烯酮与 C27-33 烷烃比值也相应地表现出增加的特点，表明沉积有机质中海洋生产力的贡献相对增大。海洋生产力的增大可能与晚上新世南海北部海温的下降有利于削弱甚至打破海水层化，次表层富营养海水得以上涌有关，也可能与陆地 C4 植物增多后陆源物质向海洋的输入增多有关。后续工作将运用烷烃和烯酮碳同位素，以及其它海温指标来进一步重建 C4 植被、CO2 和上层海水热结构等的变化特点，来对上述海陆生态和气候历史进行更详细的研究。

S37-P-7S

泥河湾盆地上新世中期温暖期气候与环境变化特征

张振[1,2]，刘超飞[1]，李月丛[1*]，王永[3]，迟振卿[3]，董进[3]，由翰飞[1]

1 河北师范大学，地理科学学院

2 河北地质大学，地球科学学院

3 中国地质科学院地质研究所

* lyczhli@aliyun.com

上新世中期温暖期因 CO_2 浓度与现代暖期相似，被认为是预测全球气候变暖背景下未来气候特征及变化趋势的重要地质相似型。本文在已有古地磁年代的基础上，通过对泥河湾盆地郝家台 NHA 钻孔 243 个沉积物样品的碳酸盐 $\delta^{18}O$、地球化学元素分析，并结合粒度、磁化率等环境代用指标，揭示了泥河湾盆地上新世 3.66-2.89 Ma 之间的古气候变化特征。研究结果显示：3.58-3.31Ma 为研究段气候最为温暖且稳定的时期，Rb/Sr 多高于 0.3、∑REE 多高于 180μg/g，$\delta^{18}O$ 明显偏负，多低于-8‰，TiO_2 多高于 0.7%，各指标波动变化较小；3.31-3.10Ma 泥河湾盆地气候仍以温暖为主，但受全球冰量增加影响，在~3.30Ma、~3.23 Ma 以及~3.14Ma 出现了 3 次明显的冷事件，分别可以与深海氧同位素 MIS M2、KM6 以及 KM2 阶段相对应，冷事件发生时期，沉积物样品 $\delta^{18}O$ 较其他时段明显偏正，多高于-7‰，而 Rb/Sr、CIA、∑REE 以及 TiO_2 则分别多低于 0.2、35%、160μg/g 和 0.6%；3.10Ma 之后，泥河湾盆地气候显著变冷，多数代用指标值接近前述 3 次冷事件发生时的值，可能与全球冰量增加及东亚冬季风的增强有关。

S37-P-8

早全新世白令海绿带区沉积环境快速变化

邹建军[1*]，林锦辉[1]，石学法[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

* zoujianjun@fio.org.cn

理解增暖背景下海洋环境的演化过程是海洋学和气候学一项重要的研究内容。在地质历史时期，地球经历了许多增暖时段

（包括早全新世），这为认识海洋环境演化过程提供了参照物。早全新世全球气候经历了快速增暖，并伴随着冰原融化和海平面快速上升，对包括白令海在内的高纬边缘海的沉积过程和海洋环境产生显著影响。白令海发育宽阔的大陆架，沿大陆坡发育一条高生产力的“绿带”，接受来自育空河、阿纳德尔河和库斯科维姆河物质的供给。目前我们对白令海环境如何响应早全新世气候的认识还存在明显不足。本研究对位于白令海北部陆坡LV63-19-3岩心沉积物中多种参数进行了高分辨率调查，结合沉积年龄模型，研究了早中全新世（~11.7 – 5.5 ka）白令海北部陆坡沉积环境演化过程。研究结果显示，在11.5~11 ka 期间白令海北部陆坡沉积速率高达~392.9 cm/ka，在约 1.3 ka（9.7 ka）以后降至 16.8 cm/ka。在~11~10.7 ka，发现一层厚约 40cm 的暗色纹层状沉积层。在高沉积速率时段，沉积物平均粒径较细，9 ka 以后平均粒径逐渐增大。有机质碳氮稳定同位素结果显示，在 11.5~10.7 ka 时段陆源有机质含量和埋藏通量较高，10.7 ka 以后海源有机质含量增加。在 11~10.7 ka 时段氧化还原敏感元素 Moxs 和 Uxs 浓度升高，指示白令海中层水体氧浓度显著减少。白令海北部陆坡早全新世白令海北部陆坡沉积环境快速变换是海平面、冰原融水和季节性海冰活动共同作用的结果，实际上受高纬日射量、北美大陆冰原融化和全球气候变化控制。

S37-P-9S

末次冰消期以来冲绳海槽水团结构的演变及其驱动机制

常虎[1]，张兰兰[1*]，郑旭峰[2]，宫勋[3]，杨艺萍[1]，向荣[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 海南大学

3 中国地质大学（武汉）

* llzhang@scsio.ac.cn

海洋上-中-深层环流活动通过调整水文性质、营养盐分布等环境要素，调整着海洋浮游生物的生长与物种迁移、及海水中沉降颗粒物的通量变化，从而在海底沉积物中留下大量的生物记录和地质证据。西北太平洋具有全球第二大暖流黑潮，而冲绳海槽位于黑潮的活动路径上；具有连续且高沉积速率的冲绳海槽区是研究海洋环流演变的绝佳场所。具有硅质骨骼的放射虫物种的生活深度范围广泛、且随深度变化呈现出不同的属种组合，成为追踪不同深度洋流或水团演化的良好指标。本研究利用冲绳海槽中部的岩芯 Oki02（125.20070°E, 26.07359°N，1612 米，取芯长 4.9 米，底部年龄 19ka)，通过分析末次冰消期以来放射虫的组合变化，探讨了冲绳海槽水团结构的演化过程及其调控机制。基于放射虫现代属种组合深度分布，将冲绳海槽水体划分两层：上层（0-200 米）、中深层（200-1600 米）；通过对比分析南海、冲绳海槽、西北太平洋和北大西洋的相关研究，主要获得了以下认识：1）冲绳海槽上层水体主要受黑潮（KC）入侵强度调控，14ka 开始增强、早全新世达到最强、中全新世减弱；中晚全新世暖水放射虫组合低值事件(wLRE，2-4ka)，与普林虫低值事件相吻合，推测与黑潮影响减弱有关。2）冲绳海槽中深层水体主要受北太平洋中深层水（NPIW）影响控制，全新世影响减弱，末次冰消期比较强，YD 和 H1 冷期最强；有意思的是，中晚全新世冷水放射虫组合也出现了一个低值事件(cLRE，2-4ka)，推测与 NPIW 影响减弱有关。该研究成果将有望为深入理解冲绳海槽的水团结构性质变化及其演化特征或预测未来环流体系和气候变化提供可靠的基础数据和科学依据。

本研究得到国家自然科学基金面上项目[Nos 41876056 and 42176080]支持。

S37-P-10S

南极冰期增强的深海呼吸碳储库：来自生物化石磁小体的证据

王敦繁[1]，谢沛伶[1]，江雨桐[1]，阮泽恒[1]，刘青松[1,2*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 南方海洋科学与工程实验室

* qsliu@sustech.edu.cn

始新世-渐新世气候转型(EOT，～34 Ma）标志着地球上温室气候的结束和极地冰盖气候的开始。早期科学家对该气候事件的解释主要有两个方面的假说：（1）全球大气 CO2 含量的急剧下降导致全球普遍降温。（2）德雷克海峡的开启促使绕南极环流（Antarctic Circular Current ACC）的形成与发育导致低纬热量传输被隔离进而引发南极变冷。随着研究的不断进步，构造尺度德雷克海峡的开启时间变得越来越精确，尽管在约 40 Ma 时南极已经存在 ACC 的前体，但那是德雷克海峡的开启深度较浅，还不能支撑较强作用 ACC 的出现。德雷克海峡完全的开启时间被限定在 30 Ma 左右，那时以后才形成类似如今较强作用的 ACC 模式。因此，关于德雷克海峡开启的构造假说不能解释 EOT 气候转型机制。最新的研究证据表明，大气 CO2 含量的骤降是引发全球变冷和 EOT 气候转型的关键因素。虽然人们已经认识到大气 CO2 含量减少是引发 EOT 转型的关键因素，但是当时全球大气 CO2 含量减少的过程和机制目前还仍然不清楚。海洋作为全球最大的碳库，EOT 时期深海呼吸碳库储量的变化对全球大气 CO2 的影响是不可忽略的。前人从海洋环流、海底通风、生物泵以及碳酸盐补偿带深度变化等各个方面对此进行了解释，但是作为现今最大的铁肥效应区，南大洋和太平洋的生物泵作用及其海洋环流变化对该时期海洋碳库储量变化的综合影响机制目前还尚不清楚。为此，本文以 IODP 1333 站位和 ODP 1218 站位的两个沉积物岩芯为研究材料。利用生物化石磁小体的丰度和形态特征分别作为输出生产力和深海通风变化指标，探究了始新世晚期到中新世早期生物磁小体与海洋生物泵和深海通风变化之间的响应关系；并揭示了南大洋与太平洋生物泵作用和大洋环流影响的深海呼吸碳库储量变化对 EOT 全球大气 CO2 含量变化的综合调节机制。结果表明 EOT 后东赤道太平洋生物生产力急剧下降，而深海脱氧却明显增强。这种脱氧与南大洋生物生产力的增加有关，说明海洋内部高-低之间存在由洋流耦合的强遥相关作用。随着冰盖扩张南大洋的生物泵活动与深水下沉作用明显增强，提高了深海的固碳能力，导致 EOT 后更多的呼吸碳被隔离在深海中，太平洋海底通风减弱和深海呼吸碳储量的增加促进了大气 CO2 降低，对 EOT 全球变冷产生正反馈作用。

S37-P-11

浑善达克沙地西北缘古水文重建及其气候与环境意义

李鸿威[1*]，杨小平[1]，Lousi Anthony Scuderi[2]，胡凡根[3]，梁鹏[1]，江奇达[4]，Jan-Pieter Buylaert[5]，王旭龙[6]，杜金花[7]，康树刚[6]，马志邦[4]，王立胜[4]，王学锋[4]

1 浙江大学，地球科学学院

2 University of New Mexico,Department of Earth and Planetary Sciences

3 宜春学院，地理科学教研室

4 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室

5 Technical University of Denmark,Department of Physics

6 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

7 长安大学，地球科学与资源学院

* lihw@zju.edu.cn

我国有三分之一的土地属于干旱、半干旱区，这些地区环境敏感脆弱，同时是全球

粉尘的重要来源。在全球变暖背景下，研究干旱区环境变化历史对评估未来变化趋势至关重要。但长期以来，干旱区古环境记录一直相对匮乏，且相关研究争论颇多。通过多年野外考察与分析，在浑善达克沙地西北缘发现了大量的古水文地貌、沉积和生物化石证据，揭示了该地区由 4 个湖盆组成并呈串珠状分布的大型古水文网。利用 ^{14}C、铀系和释光等多种测年方法，确定了该地区晚更新世以来发育过两次古大湖，分别为末次间冰期和全新世中期。其中，末次间冰期湖泊总面积达 15500 km^2，是迄今为止戈壁荒漠地区发现的同期面积最大的古湖。当时年降水量是现在的 2.2-2.5 倍，湿润气候区北界北移了 800-1000 km。全新世中期湖泊规模显著缩小，但降水量仍是现在的 1.8-2.1 倍。本研究表明，末次间冰期冬季气温较现在高 10°C 以上，当时北半球中高纬地区冬季可能普遍变暖，这与目前观测到的增温模式不同。戈壁荒漠地区古水文活动对东亚及太平洋粉尘产生了重要影响。末次间冰期戈壁荒漠发育了大规模的古水文网，积累了大量的碎屑沉积，可能导致了 MIS 4 时期东亚和北太平洋大气粉尘含量异常偏高。

S37-P-12S

南海沉积 3-羟基脂肪酸的温度记录及其古气候重建

席寅微[1]，赵雪琴[1]，许云平[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* ypxu@shou.edu.cn

3-羟基脂肪酸是一种来自于革兰氏阴性细菌细胞外膜的生物标志物，广泛存在于土壤、泥炭、海洋和湖泊沉积物等各种地质载体中。前人研究发现环境样品中 3-羟基脂肪酸的分布特征与环境因子，特别是是温度和 pH 具有很好的相关性，并基于表层沉积物和土壤样品建立了 3-羟基脂肪酸与环境温度和 pH 的转化函数（如 RANs 和 RIAN 指数）。然而，3-羟基脂肪酸指标是否能够用于长时间尺度的古环境和古气候重建还有待于地质样品的检验。我们于 2022 年在南海中部获取了 1 根长度为 3.02 米的沉积柱状样（SCS GC-1），对 50 个沉积物样品的 3-羟基脂肪酸进行了分析。初步气相色谱质谱结果显示，绝大多数样品均可检测到 3-羟基脂肪酸化合物，碳链长度范围为 C10 至 C18,以含 14 和 16 个碳原子化合物为主峰偶数碳的 3-羟基脂肪酸丰度明显高于奇数碳，短链 3-羟基脂肪酸丰度也相对较高，特别是正构 3-C10 羟基脂肪酸、正构 3- C12 羟基脂肪酸、正构 3-C14 羟基脂肪酸和反异构 3-C15 羟基脂肪酸。计算得到的 RANs 值范围为-0.00457-0.10494。根据温度指标 RANs-SST 转化函数公式（SST=-64.94*RANs+34.94），我们得到了 SCS GC-1 沉积柱的 3-羟基脂肪酸温度记录。结果表明，SST 呈现不同程度的波动，最低值为 15.7°C，最高值达到 28.1°C，整体变化范围处于 20°C -26°C 区间，与该站位平均年平均温度接近。在深度为 250cm-300cm 时，变化趋势为深度越大，SST 突然升高。而在深度为 4cm-250cm 时，呈现出较为一致的随着深度越大 SST 逐渐降低的变化趋势，即到沉积柱 250cm 深度为止海面呈现逐年升温的趋势，因此 250cm 深度为一个重要的转折点。根据南海区域的沉积数据显示，我们猜测该异常点或许正处于末次冰消期，SCS GC-1 沉积柱记录了晚更新期进入全新世的海表温度具体变化，其中就包含了新仙女木事件的气候迅速变冷这一特征，而较小幅度的温度波动或许与全新世的强降雨事件相关。下一步我们将对柱状样进行定年，同时尝试分析总有机碳含量、其他生物标志物如长链烯酮和四醚膜脂 GDGTs 的温度代用指标等，一方面进一步验证 3-羟基脂肪酸指标的有效性，同时获取浮游植物群落和生产力变化等信息。

S37-P-13

淡水湖 GROUP 1 长链烯酮在冷季节温度重建中的应用

姚远 [1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

* yaoyuan@xjtu.edu.cn

在最近几十年来，与全球气候整体变暖趋势相反，北半球大部分中纬度地区极端寒冷事件频繁发生，对当地的社会经济造成了重大影响。重建过去更长时间尺度的冷季节温度变化，对理解过去冷季节温度变化规律、驱动机制以及未来发展趋势至关重要。然而，目前能够可靠重建冷季节温度的代用指标仍然匮乏。最新研究表明，淡水湖中 Group 1 等鞭金藻产生的长链烯酮具有重建冷季节温度变化的巨大潜力。我们的研究发现 Group 1 长链烯酮偏好生长于北半球中、高纬地区碱性适中（pH：~7.3–8.8）的寡营养淡水湖，提出该类湖泊可作为非常有价值的研究对象重建冷季节温度。进一步我们将 Group 1 长链烯酮成功应用于我国东北大兴安岭和青藏高原东北部地区，明确了其具有较广泛的应用价值。在东北大兴安岭地区，我们利用 Group 1 长链烯酮重建了过去 300 年高分辨的冷季节温度变化，通过与该地区的仪器观测记录和历史文献记录对比，证实了 Group l 长链烯酮记录冷季节温度变化的可靠性。温度重建结果显示，相对于人类活动影响的工业革命时期（自 1850 年以来），自然背景条件下的 1750-1850 年冷季节气候相对更暖。这主要由北极涛动驱动，而人为活动导致的温室气体变化并没有直接影响，该研究成果表明地球内部的大气环流是我国东北地区冷季节温度变化的重要驱动因素。在青藏高原东北部，我们利用 Group 1 长链烯酮重建了过去 2000 年的冷季节温度变化，温度重建结果显示，从中世纪暖期到小冰期该地区冷季节呈现出整体升温趋势，而与之前发表的区域至北半球尺度的暖季节降温趋势恰恰相反，这可能由北半球太阳辐射量和北大西洋亚极环流的季节性差异所导致，该研究成果强调小冰期在冷季节（至少在青藏高原东北部）并不是过去 2000 年以来最冷的时期。

S37-P-14

珠江口盆地阳江东凹烃源岩发育古环境重建及新区勘探潜力分析

石创 [1*]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* shichuang@cnooc.com.cn

阳江东凹位于珠江口盆地珠三坳陷东北端，受控洼断层的影响，可进一步划分为 3 个次级洼陷，自南向北依次为恩平 27 洼、恩平 21 洼和恩平 20 洼。凹陷具有“下断上拗”、“下陆上海”的构造沉积特征，下部断陷结构自下而上发育陆相沉积的文昌组和恩平组两套地层，是阳江凹陷烃源岩的发育层系。文昌组自下而上又分为文三段、文二段和文一段，恩平组自下而上分为恩四段、恩三段、恩二段和恩一段。洼陷文昌组主要为中深湖相、浅湖相及三角洲相沉积，恩平组主要为浅湖相和三角洲相沉积。

历时 40 年，经过多轮勘探研究，恩平 20 洼和 21 洼连续发现多个中小型油气藏，成为珠江口盆地近期获得油气勘探重大突破的地区。近年来前人对阳江东凹开展了大量石油地质条件研究，相关研究认为文昌组地层中深湖相富有机质泥岩是该地区主要烃源岩；裂陷成盆阶段多期走滑拉分叠合，为烃源岩形成创造物质空间；文昌组沉积期湖泊处于盆广水深的欠补偿沉积环境，物源局限，烃源岩质量受周缘分散砂体物源输入影响小，有利于烃源岩的形成与发育。目前关于文昌组烃源岩的发育环境恢复研究程度较低。本研究集成已有勘探成果和认识，在元素地球化学理论指导下，完善有机相地质建模技术，根据钻遇阳江东凹文昌组不同层段钻井 YJ-A 和 YJ-B 泥岩常量元素和微量元素的测试结果，首次重建阳江东凹文昌期完整的古水深、古氧相、古气候和古生产力等古环境指标，定性分析阳江东凹文昌期湖泊环境，结合洼陷构造-沉积研究成果和

已钻井元素配分特征，探寻优质烃源岩发育层段，明确阳江东凹文昌组泥岩有机质富集的主控因素。运用“源-汇-聚”综合评价技术，定量评价恩平 27 洼资源潜力，明确有利勘探方向。

古环境重建结果显示：阳江东凹文昌期湖泊水深相对较深，水体以还原环境为主，古生产力相对较高，但各指标纵向差异大。文三段和文二段沉积古环境优于文一段，更有利于烃源岩发育；阳江东凹泥岩有机质富集受控于水体的氧化还原程度，还原条件下有利于有机质的保存，有机质富集属于“保存模式”，古气候条件是文昌组有机质富集的关键性控制因素；恩平 27 洼在文昌期具有与恩平 20/21 洼相似的构造和沉积背景，中深湖相烃源岩规模大，石油地质资源丰富；恩平 28 断阶带资源潜力和油气汇聚条件较好；研究成果为阳江东凹新区油气勘探提供地质依据。

S37-P-15

准噶尔盆地早三叠统米兰科维奇旋回的识别：对层序地层学的意义

马永平[1*]，王国栋[1]，许多年[1]，陈永波[1]，关新[1]，张寒[1]

1 中国石油勘探开发研究院西北分院，西部勘探研究所

* ma_yp@petrochina.com.cn

米兰科维奇旋回影响古气候的变化，从而控制了沉积盆地中不同相带的分布。在整个地质历史中，天文驱动的作用以天文频率信号的形式记录在沉积层序中，具有时间域上的等时性特征，是实现高频沉积旋回等时划分与对比的有效途径。基于米兰科维奇理论，以准噶尔盆地中央坳陷早三叠统地层为研究对象，利用自然伽马和电阻率测井曲线数据，通过频谱分析等方法，对研究区目标地层开展了米兰科维奇信号识别和旋回划分。将测井曲线经滤波处理后提取的短偏心率周期 99ka 和短斜率周期 40.5ka 的滤波曲线，作为早三叠统地层五级层序和六级层序沉积旋回划分的参考曲线，建立了准噶尔盆地中央坳陷早三叠统地层高频沉积旋回对比格架。研究结果表明：早三叠统地层保存了完整的米兰科维奇沉积旋回，旋回主要由偏心率（99ka）和斜率（40.5ka）周期控制，利用早三叠统地层总厚度与优势旋回厚度之比估算短期层序约为 15 个，超短期层序约为 40 个，偏心率和斜率引起的地层厚度分别为 6.21-7.35m 和 2.25-2.89m，平均沉积速率为 6.53cm/ka。该研究结果为测井曲线在高频地层层序识别与划分上的应用提供新的方法，为层序地层划分研究提供参考。

S37-P-16S

二叠纪-三叠纪之交碳酸盐团簇同位素（Δ47）研究初探

曾召雨[1]，常标[1*]，张宇[2]，罗根明[2]，黄俊华[1]

1 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* biaochang_cug@126.com

二叠纪-三叠纪之交（~252 Ma）发生了显生宙以来最大的一次生物大灭绝事件(LPME)，该事件不仅造成了 70%的陆地脊椎动物灭绝，也灭绝了 90%的海洋生物物种，导致了整个生态系统的崩溃，其中温度变化速率可能是导致此次生物大规模灭绝和生态系统崩溃的可能原因之一。碳酸盐团簇同位素（Δ47）温度计具有重建高分辨率温度记录的优势，有望恢复 P-T 之交温度变化速率。我们选取华南地区煤山、赤壁北、建始、凉风垭和朝天等五个典型剖面对其进行了碳酸盐团簇同位素的测试，结果发现：煤山剖面（全球长兴阶界线层型剖面和点，GSSP）

碳酸盐团簇同位素温度（TΔ47）为 43±3-73±1℃；赤壁北剖面的 TΔ47 值为 85-250±54℃；建始剖面的 TΔ47 值为 72±7-194±21℃；凉风垭剖面的 TΔ47 值为 58±4-100±10℃；朝天剖面的 TΔ47 值为 44±2-103±16℃。五个剖面在 LPME 前后整体上具有下降-上升-下降的趋势，但是绝对值具有一定的差异，并且在温度升高的层位对应于火山灰的层位。通过分析岩相学、碳-氧同位素相关性以及碳酸盐成岩流体的氧同位素（δ18Ofluid）与团簇同位素温度（TΔ47），我们认为：煤山剖面的 TΔ47 值记录的是碳酸盐岩早期成岩作用的温度；赤壁北剖面和建始剖面受固相重排作用的影响最大，朝天剖面和凉风垭剖面受到固相重排作用的影响次之，煤山剖面最弱。对于 TΔ47 的变化趋势，我们认为有以下几点解释：1）反映了当时环境的温度变化；2）反映了沉积物底部岩石体温度的变化，即构造活动的变化；3）反映了差异化的固相重排速率，这种差异化现象主要体现在各剖面间和剖面内温度的变化。

S37-P-17S

浮游有孔虫壳体质量测量前处理方法的探究

李佳洋 [1]，冯珊 [1]，张暮瑶 [1]，张帅 [1*]

1 河海大学，海洋学院

* zhangshuai5@126.com

浮游有孔虫壳体钙化过程中，其质量主要受周围水体碳酸根离子浓度控制，因而可以将其作为指示海洋上部水体酸化程度的重要指标。在限定粒径下，壳体质量表征的浮游有孔虫钙化速率也与生境 pH 值、碳酸根离子浓度等生态参数密切相关。因此，精确获取浮游有孔虫壳体质量有助于重建海水碳酸盐体系，对揭示全球碳循环演化具有重要价值。

但在以往研究中，对浮游有孔虫壳体质量测量的前处理工作很少得到重视，如试剂的选择、超声频率、功率、清洗时间等参数的设定对壳体的影响并没有得到充分探讨，导致该指标重建海水碳酸盐系统的可靠性一直有待商榷。因此，本研究总结了前人常用的前处理流程，通过限定清洗试剂的种类（去离子水、2%六偏磷酸钠溶液、甲醇及 5%的过氧化氢溶液）、超声清洗的频率（28 kHz、45 kHz 和 80 kHz）、功率（80%和 100%）和时间（4 s 和 8 s）等参数，对取自南海北部的表层沉积样品中 3 个古环境重建的常用属种 *Trilobatus sacculifer*（n = 96）、*Neogloboquadrina dutertrei*（n = 39）、*Pulleniatina obliquiloculata*（n = 96）分别进行了壳体质量测量前处理方法的探究，并结合标准化壳重和扫描电镜对比清洗效果。实验结果表明：对于易溶种 *T. sacculifer*（300–355 μm），利用 0.2%的六偏磷酸钠溶液，在 45 kHz、80%条件下，超声 4 s 得到的结果最优，壳体结构溶蚀和数量损失最小；对于抗溶种 *N. dutertrei*（300–355 μm）和 *P. obliquiloculata*（355–425 μm），也得到在同等条件下所呈现的清洗效果最佳。

S37-P-18S

有机生物标志物长链烯酮分离纯化方法的优化：基于一种新型的硅胶键合相

王路 [1]，廖思安 [2]，姚远 [1*]

1 西安交通大学，全球环境变化研究院

2 布朗大学，化学系

* yaoyuan@xjtu.edu.cn

长链烯酮是含有 2-4 个不饱和键的长链（C_{37}-C_{39}）甲基或乙基酮类化合物，其生物来源为一类等鞭金藻，并广泛存在于全球海洋和湖泊环境中。基于 18S rDNA 构建的系统发育树，长链烯酮的母源藻种系分为 Group1、Group 2 和 Group 3 三组，其中 Group 1 等鞭金藻主要生长于淡水环境，Group 2 主要在盐湖和沿海环境中，而 Group 3 在开放

的海洋中。长链烯酮不饱和度指数或作为古温度重建的重要代用指标，已在海洋沉积记录中得到广泛应用。但是，在盐湖环境中 Group 2 等鞭金藻种属具有多样性和复杂性，并且不同亚种系生长于不同季节，因此在盐湖沉积记录中重建古温度时需要考虑母源“种属效应”的影响。在淡水湖中，Group 1 等鞭金藻主要在冷季节生长，其长链烯酮不饱和度指标具有巨大的潜力重建冷季节温度变化。除了温度，湖泊中不同种系的长链烯酮比例也提供了湖水盐度变化信息。从淡水到微咸水环境，以 Group 1 种系为主的母源藻逐渐被 Group 2 种系所替代，指示两个种系相对贡献大小的 RIK_{37} 指数可作为寡盐环境中的湖水盐度指标。

尽管长链烯酮在古温度和古盐度重建中体现出很好的应用价值，但是在测试分析长链烯酮时仍存在一个困扰多年的难题亟待解决：沉积物中长链烯酮化合物在气相色谱中往往出现干扰峰，这严重干扰了该化合物的鉴别与分析。本研究提出一种新型的银硅胶键合相 Ag-DMT（silver(I)-dimercaptotriazine silica gel）柱层析方法，提高了长链烯酮的分离纯化效率。通过改变不同极性大小的洗脱溶剂比例，得到能够有效去除湖泊沉积物中与长链烯酮共溢化合物的最佳流程，并与前人使用的 Ag-MP（silver(I)-mercaptopropyl silica gel）和硝酸银浸渍硅胶（SiO_2+$AgNO_3$）进行对比，发现 AgDMT 对长链烯酮有更好的键合效果，能够有效去除更大极性的杂质化合物。同时，使用气相色谱质谱联用仪（GC-MS）分别鉴别完全分离的杂质及长链烯酮组分，证实优化方法的可靠性。本研究为利用长链烯酮重建古气候变化提供重要的技术方法支撑。

S38-O-1

南海溶解有机碳的来源、分布、传输和动态循环过程

李骁麟[1*]，张瑶[1]，孟菲菲[1]，王志轩[1]，江鹏[1]，戴民汉[1]

1 厦门大学，近海海洋环境国家重点实验室

* xlli@xmu.edu.cn

海洋溶解有机碳(DOC)的循环是全球碳循环的重要组成部分，而我们对其来源的识别及其分子转化机制仍知之甚少。 作为世界上最大的边缘海，南海（SCS）是一个典型的贫营养“微大洋”环境，但与相邻的北太平洋（NPO）相比，在陆源输入影响、垂向物理混合以及深部微生物活动等物理和生物地球化学过程具有显著差异。 南海从河口到深远海的环境梯度，为研究陆源输入和现场生产 DOC 的生物地球化学循环提供了一个天然的“反应器”。 本研究将聚焦从珠江口到 SCS 再到 NPO 的连续体，通过总结历史文献和现有研究，展示 DOC 在南海的时空分布规律和调控过程。通过稳定和放射性碳同位素、生物标志物和高分辨率质谱分析的结合，研究 DOC 的传输和生物地球化学过程及其调控机制。研究评估了不同时间尺度的物理过程（如珠江冲淡水，上升流，黑潮入侵和深层水循环）如何影响 DOC 中不同生物活性组分的生产和降解过程，并且初步评估了 SCS 与邻近海域和大洋的 DOC 传输通量及其对营养盐供给的影响。

S38-O-2

海洋气候环境演变的 brGDGTs 示踪与重建

Mengyuan Wang[1*]，Guodong Jia[2]

1 中山大学，海洋科学学院

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* wangmy36@mail.sysu.edu.cn

Different from the initial thought of uniquely soil microbial production, more and more evidence supports *in-situ* generation of branched glycerol dialkyl glycerol tetraethers (brGDGTs) in marine environments. However, the key output position of brGDGTs, i.e., in sediments or at a certain depth of water column,

is still controversial. In this study, brGDGTs occurring as intact polar lipids (IPL) and core lipids (CL), respectively, are analyzed to address this issue in surface sediments along an elevation transect of a seamount with water depths from 733 m to 3097 m in the South China Sea (SCS). A detailed comparison is made for the brGDGTs-derived parameters of $\#Rings_{tetra}$ and MBT'_{5ME} between IPL and CL in each sample at different water depths, showing that the IPLs-CLs offsets of the two parameters vary in correlation with water depth. This finding suggests that sedimentary brGDGTs are derived mainly from the water column, and most likely at intermediate water depth of about 300-700 m.

S38-O-3

北太平洋副热带流涡区溶解铁输送的模式诊断

马文涛[1*]，赵子荟[1]，梁博[2]，柴扉[3]，修鹏[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所

3 厦门大学

* wtma@sio.org.cn

北太平洋副热带流涡区（North Pacific Subtropical Gyre，NPSG）区由于低营养、低叶绿素浓度，也被称为”海洋荒漠“区。但是，在海洋荒漠区也发现有输出生产力的季节变化。生物碳泵的调控机理仍然需要进一步研究。除了氮磷等主量生物限制性元素外，溶解铁也被认为是限制海洋荒漠区的痕量营养盐。铁是固氮酶（氮酶）的关键组成部分，缺乏铁会降低氮酶的活性，从而影响固氮生物的生长和固氮过程。本研究通过数值模拟手段，诊断了 NPSG 的溶解铁输送通量。模拟诊断结果显示，真光层内，水平输送对溶解铁的贡献与大气沉降几乎相当，是控制溶解铁输送的主要机制。跨等密度向上输送的溶解铁通量较小。相对磷酸盐和硝酸盐，中尺度涡旋对溶解铁的输送贡献更小，这主要与各种营养盐的空间分布及梯度有关。本研究对于深入理解 NPSG 溶解铁循环机制以及其对生态系统和气候的影响具有重要意义，也为未来改进地球系统模型提供了有益的启示。

S38-O-4

更新世钙化藻类与碳循环、气候的协同演化

金晓波[1*]，马文涛[2]，刘传联[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 自然资源部第二海洋研究所

* 386jinxiaobo@tongji.edu.cn

中更新世气候转型（Mid-Pleistocene Transition, MPT）是指在距今约 0.7 至 1.2 Ma 期间，地球气候的冰期-间冰期模式由 4 万年主导地球轨道斜率周期，转变为平均约为 10 万年的周期，而具有 10 万年周期的地球轨道偏心率及其相关的太阳辐射量的变化可能无法充分解释这一现象。因此，很多科学家提出地球碳循环的变化，或许在这一气候转型中起至关重要的作用。颗石藻是一种重要的海洋钙化藻类，其钙化产物颗石是大洋主要的颗粒碳酸钙贡献者之一。更新世期间（距今约 2.6 Ma 以来），全球大洋颗石藻趋向于演化出更大的颗石粒，这就意味着颗石藻的钙化作用变得更强。颗石藻钙化作用的增加，同时也导致了海洋碳酸盐泵的加强。在 MPT 期间约 1 Ma 时，全球大洋颗石平均质量增加了约 40-50%。颗石平均重量的增加或许会等比例地提高全球大洋颗粒无机碳的生产与输出，并影响水柱的颗粒无机碳（PIC）与颗粒有机碳（POC）沉积雨的相对比率。当然，颗石并非大洋生物成因方解石的唯一贡献者，颗石平均重量的增加对全球 PIC 生产的贡献必然会打一定的折扣。研究假定 1.125 倍 PIC 输出背景的情境，利用碳

循环箱式模型进行计算，结果显示大气 CO_2 浓度提高了约 25 ppm，全球大洋底层水碳酸钙饱和度也有了一定幅度的下降。结果显示与最近发表的，1.5 Ma 以来连续的基于叶蜡长链脂肪酸碳同位素的大气 CO_2 重建结果相吻合。该大气 CO_2 记录显示，MPT 以来间冰期 CO_2 浓度增加了约 20 ppm。考虑到当今全球颗石藻产量主要集中在高纬度海区，如南大洋；而在高纬度海区，受控于海水温度及营养盐锋面的迁移，间冰期颗石藻的产量远高于冰期；因此，本研究认为颗石藻钙化作用的变化会更显著地影响间冰期的长期碳循环变化。

研究认为 MPT 期间海水碳酸盐泵变化，对此气候转型具有重要启示意义：（1）约 1 Ma 之后，间冰期初始的大气 CO_2 浓度相对较高，在较高浓度温室气体的背景下，高纬度地区成冰速率较慢；（2）在一个斜率周期内，高纬度形成的冰盖体积较小、也较为稳定，因此无法促成较大规模的、快速的冰盖消融；（3）冰盖会在下一个（或两个）斜率周期内继续成长，冰盖累积体量的增大导致最终发生的冰盖消融更为急速、规模更大；（4）最终使得，整个地球气候的冰期—间冰期循环加长、幅度增大，产生 2-3 个斜率周期长度的、均值为 10 万年的“准周期”。

S38-O-5

中布容气候转型期南大洋深部环流与碳循环

马小林 [1*]，党皓文 [2]，马文涛 [3]，田军 [2]

1 中国科学院地球环境研究所

2 同济大学

3 自然资源部第二海洋研究所

* maxl@ieecas.cn

中布容气候转型（MBE）是第四纪轨道尺度气候变化研究中最引人瞩目的古气候事件之一。MBE 的主要特征是气候转型之后 100-kyr 冰期旋回的振幅相对于转型之前系统性增强，然而转型的机制并不清楚。南大洋深被认为在中布容气候转型中扮演了重要角色。相比其他大洋学界对于中布容南大洋深部环流格局和碳循环模式的研究相对匮乏。本研究汇编了晚第四纪底栖有孔虫的碳氧同位素，建立了 MIS 16 到 MIS 11 期每个冰期和间冰期峰值大西洋-南大洋-太平洋经向的碳同位素剖面，此外本研究对南大洋大西洋侧 ODP 1090 站展开了古海洋学研究。研究结果表明中布容气候转型期两半球气候的不对称演化是大洋经向环流重组和碳循环变化的主要原因。研究结果进一步表明 MBE 的发生与两半球海陆不对称和两半球能量的径向传输密不可分。

S38-O-6

南大洋主导的全球洋流重组促使了中更新世冰期增强与气候转型

李科 [1]，田军 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

中更新世气候转型（Mid-Pleistocene Transition，MPT）的原因包括碳循环与冰盖动力学两大类假说，碳循环与冰盖动力学之间的耦合关系却很少提及。本研究关注深部洋流—碳循环与气候之间的重要纽带—获得了多站位、精确定年、高分辨率的太平洋与南大洋洋流（钕同位素）记录，发现 MPT 期间南大洋、太平洋洋流发生了一系列重大变化：1）在一个关键的冰期（900ka event，MIS24-22），南大洋洋流发生大规模重组，且显著领先于北半球冰盖扩张，潜在地早于太平洋、大西洋洋流重组，表明南大洋主导的全球洋流重组、深海碳储库增大、大气 pCO_2 下降很可能是 900ka event 冰期增强的原因。2）继 900ka event 之后，冰期的全球洋流重组强度与深海储碳幅度又降低，大气 pCO_2 较 900ka event 也有所上升，但同时冰期旋回的幅度却未见明显减弱，这可以用

“风化壳清除”假说解释。基于上述发现，我们提出南大洋主导的全球洋流改组、大洋碳储库增大是造成 900ka event 超强冰期的原因，而这一超强冰期剥蚀了风化壳，使后续冰期均显著强于之前的冰期。本研究从交互作用的视角将冰盖动力学、碳循环两种理论耦合在一起，指出了新的 MPT 演化假说，强调了碳循环-冰盖-洋流这一系统在气候演变中的关键作用。本研究还指出南大洋、太平洋在全球洋流、碳循环中的重要性，今后需要有更多的研究聚焦到这些区域。

S38-O-7

IAP 海洋环流模式和海洋生物地球化学模式的研制和应用

俞永强 [1*]，李阳春 [1]，徐永福 [1]，刘海龙 [1]，郑伟鹏 [1]，林鹏飞 [1]

1 中国科学院大气物理研究所

* yyq@lasg.iap.ac.cn

本文主要介绍中国科学院大气物理研究所研发的海洋环流模式 LICOM 和海洋生物地球化学模式 IAP-OBGCM 的设计和数值计算方案，及其在气候变化中的应用。LICOM3.0 是大气物理研究所发展的最新版本海洋模式，是一个采用水平三极网格和垂直 Eta 坐标的海洋模式，具有灵活可调的水平分辨率，该模式已应用于国际耦合模式比较计划第六阶段（CMIP6）的多组数值模拟试验，该模式可以较好地模拟当代平均气候态、自然气候变率和人类活动对海洋环流的长期影响。海洋生化模式主要描述海洋中碳的生物地球化学循环过程，包括海洋生物地球化学模式和海洋生态模式两个部分。海洋生物地球化学模式从海气界面发生的碳交换开始，详细描述碳在海洋中的吸收、转化、存储等过程；海洋生态过程主要描述海洋上层浮游生物的动力学过程，通过对浮游生物生长、消亡等过程的在线模拟，为海洋上层无机碳向有机碳的转化以及海洋真光层以下的相反转化提供过程描述。上述海洋环流模式与海洋生态模式已实现在线耦合，并作为中国科学地球系统模式的海洋分量模式，开展了一系列碳循环的数值模拟试验。

S38-O-8

冰期大气二氧化碳分阶段下降的机理研究：基于两半球高纬协同储碳作用的理论框架

杜金龙 [1*]，张旭 [2]，叶莺 [3]，李科 [1]，Christoph Völker[3]，田军 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国科学院青藏高原研究所

3 Alfred Wegener Institute

* dujinlong@tongji.edu.cn

晚更新世冰期旋回中，冰期大气二氧化碳（pCO_2）呈现明显的分阶段下降特征。现有证据表明，南半球高纬的南大洋和北半球高纬的北大西洋在冰期海洋储碳过程中发挥了关键作用，但是两半球高纬过程在冰期的协同作用却并不清楚。本研究借助海洋-生物地球化学模式 MITgcm 开展敏感性试验，分别测试南北半球高纬过程对于冰期 pCO_2 的影响及其相互联系。试验结果表明，冰期早期的 pCO_2 下降主要受控于南半球海表冷却导致的底层海水层化加剧，而冰盛期的 pCO2 低值来源于高纬冷却、海冰扩张和南大洋铁施肥等多种因素。基于数值试验结果，结合关键古气候学记录，本研究提出南北半球高纬协同储碳机制控制冰期 pCO_2 分阶段下降的理论框架。

S38-O-9

上新世以来太平洋深海碳储库演化

秦秉斌[1]，李铁刚[1*]，熊志方[1]

1 自然资源部第一海洋研究所

* tgli@fio.org.cn

冰期旋回中，大西洋经向翻转环流（AMOC）和高纬冰盖被认为是控制海洋碳循环的主导因素。然而两者在上新世以来长时间尺度上发挥的作用尚不清晰。基于U1490 站浮游有孔虫粒径标准化壳体重量重建的深海碳酸根离子饱和程度（$\Delta[CO_3^{2-}]$）记录，探讨了上新世以来热带西太平洋深海碳储库的受控因素。结果表明，在~4.6 Ma 巴拿马海道关闭事件、~2.7 Ma 北半球大冰期形成以及~1-0.9 Ma 中更新世气候转型早期，AMOC 的显著变化控制了大西洋和太平洋间深海呼吸 CO_2 的分配，深刻改变了西太暖池深海碳循环过程。在上新世晚期以及中更新世气候转型中后期，高纬冰盖扩张成为控制西太暖池深部碳循环的主导因素。南极冰盖扩张导致当地海洋成层化加强，从而促进深部呼吸 CO_2 存储。同时，富含 CO_2 的南极底层水进入太平洋，使西太暖池深部储碳增多。这一机制在影响晚上新世以及中更新世气候转型期大气 pCO_2 下降中发挥了重要作用。

S38-O-10

晚始新世以来印度洋表层海水有色溶解有机质演化历史的重建

胡超涌[1*]，包亮亮[1]，张慧敏[1]，谢树成[1]

1 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* chyhu@cug.edu.cn

表层海水有色溶解有机质（CDOM）吸收短波辐射，限制紫外线进入海洋，保护海洋生物，促进全球碳循环。现代海洋监测发现，全球变暖后 SST 升高，表层海水 CDOM 浓度降低，对海洋生态产生潜在的影响。然而，由于缺少长时间尺度的记录，海水 CDOM 与海洋生物之间的联系尚不清楚，限制了全球变化对生物危机的有效预警。本研究以深海岩芯中的浮游有孔虫为研究载体，研究其假性热释光和荧光光谱特征，调查浮游有孔虫壳体对海水 CDOM 的记录过程，重建中新世以来海水 CDOM 的演化历史，探讨全球变化-CDOM-生物之间的联系。研究发现，（1）浮游有孔虫壳体记录了海水 CDOM 信息，是地质历史时期表层海水 CDOM 演化的重要信息源；（2）晚始新世以来印度洋表层海水 CDOM 浓度持续上升并在~8Ma 达到峰值，与新生代气候变冷相对应，海洋温度高，CDOM 浓度低。（3）CDOM 浓度变化基本上与生物演化同步，指示长时间尺度上海水有色溶解有机质对生物的制约。

S38-O-11

OAE2 期间碳排放与碳埋藏的定量模拟

崔琪[1*]，张健[1]，胡永云[1]，陈一晖[1]

1 北京大学，大气与海洋科学系

* 2101110306@stu.pku.edu.cn

白垩纪 OAE2 大洋缺氧事件是中生代最为显著地球系统碳循环扰动事件之一，同时伴随着全球气候和生态环境的变化，为我们研究温室气候背景下的地球系统演化提供了良好机会。大火成岩省（LIP）被认为是 OAE2 碳循环扰动的触发因素，但对于大火成岩省的排放总量、持续时间等仍缺乏有力约束且存在较大争议。基于地质记录，本研究使用中等复杂度的地球系统模式 cGENIE 对 OAE2 开展瞬态模拟研究，在该模拟中，

我们使用已发表的pCO2重建曲线作为外强迫。结果表明OAE2发生之前，北大西洋南部和西特提斯底层海水就已经处于缺氧状态；OAE2发生期间，缺氧的区域扩展至北大西洋北部和东太平洋；而南大洋、东特提斯和太平洋的大部分地区在整个 OAE2 期间始终处于氧化状态。根据模拟结果计算获得OAE2期间总的碳排放量为13860 Pg C。OAE2事件触发期间平均碳排放速率为0.14 Pg C/yr，小于现代化石燃料燃烧的碳排放速率（9 Pg C/yr）。有机碳埋藏速率在OAE2期间也有明显的增加，OAE2期间总的碳埋藏量为33000 Pg C。

S38-O-12

白垩纪-古近纪界限（K-PG）小行星撞击和德干火山脱气的不同气候响应

陈一晖[1*]，张健[1]，刘永岗[1]，崔琪[1]，胡永云[1]

1 北京大学，大气与海洋科学系

* chenyihui@stu.pku.edu.cn

在距今 6600 百万年的白垩纪末古近纪初，恐龙和许多海洋生物的突然消失是地球生命史上最典型的五次生物大灭绝事件之一，该事件的一个显著特征是海洋浮游植物的高度选择性灭绝。K-Pg 界线表层到深海碳同位素梯度的快速崩溃表明海洋生物地球化学过程受到了巨大的扰动。界限附近伴随着小行星撞击和德干火山两个全球性环境事件，哪一个是主要的驱动因素，仍然有争议。本研究中，我们使用地球系统模型（CESM1.2.2）来探索它们对晚白垩时期海洋生物地球化学过程的影响。研究发现，小行星撞击导致钙质藻类减少约32%，而硅藻类增加约95%，这与海洋沉积物中的碳酸钙和生物硅的丰度的不同趋势相一致。钙质藻类的迅速减少是由于小行星撞击导致的温度降低和光照减少，而硅藻的增加是由于撞击产生的碎片的输入和表层海洋的垂直混合增强，这两者都增加了营养供应。钙质藻类和硅藻之间的相互抵消，在一定程度上确保了晚白垩纪海洋生物地球化学循环对小行星撞击的弹性恢复力，浮游植物总生物量增加了约2.7%。相比之下，由于德干火山的长期强迫（二氧化碳引起的变暖）情景中，所有类型的浮游植物减少了 10-20%。这一变化的趋势和幅度与小行星撞击引发的变化明显不同，我们的模拟结果表明小行星撞击更可能是 K-Pg 界线浮游植物选择性灭绝的主要驱动力。

S38-P-1S

晚中新世以来印尼海道以及印尼贯穿流的协同演化及其气候效应

丁奕凡[1]，田军[1*]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

* tianjun@tongji.edu.cn

东印度洋-西太平洋暖池海区是全球重要的热量和水汽源区，在气候系统中起到驱动作用。印度尼西亚海道的开合控制了印度洋-太平洋暖池之间水体和热量的输送，影响着暖池的发展与演化。晚中新世以来，太平洋板块向西朝欧亚板块持续俯冲，印度板块与欧亚板块发生强烈陆陆碰撞，澳大利亚板块于10 Ma开始向北俯冲，这些构造运动使印度尼西亚海道逐渐关闭，改变了西太平洋和东印度洋之间的洋流体系。在上新世时期，作为西太平洋暖池和东印度洋暖池的连接纽带，印度尼西亚贯穿流的水体来源由高温高盐的南赤道太平洋水团转变为低温低盐的北赤道太平洋水团。通过对位于印尼贯穿流入口和出口的807站位（西赤道太平洋）以及762站位（东赤道印度洋）6-3.8Ma期间表层和次表层浮游有孔虫壳体的镁钙比值测试，以及对在PI（工业革命前）条件下印尼海道关闭的数值模拟实验分析，发现印

尼海道的关闭会造成西太平洋暖池逐渐强化，使东印度洋海水表层温度降低，次表层海水盐度降低，造成暖咸水在西太平洋暖池的堆积，使西太平洋的盐度跃层加厚。

S38-P-2S

利用鱼牙化石钕同位素重建中中新世气候转型期太平洋深水环流变化

何志 [1]，李科 [1]，田军 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

中中新世气候转型（Middle Miocene Climate Transition）（14.2-13.8 Ma）是新生代全球气候变冷过程中关键的一步，全球气候发生了一系列显著变化。全球气候从高于现代 3~4℃的中新世气候适宜期的温暖湿润状态转变为相对寒冷干燥的状态，为现代气候变化提供了一个潜在“反向”类比。海洋环流深刻影响着深海储碳、经向水汽、热量的输送，在全球气候演变中发挥着重要作用，但是目前尚不明确 MMCT 期间太平洋深部环流的变化及其与气候-碳循环的相互作用。因此，本研究将分析了国际大洋钻探 ODP 1208 站和 ODP 1123 站两个站位鱼牙化石 Nd 同位素记录，重建了 MMCT 期间太平洋深层环流变化。结果表明 ODP1123 站鱼牙化石 εNd 值整体上在-7.5~-5.5 间波动，ODP1208 站鱼牙化石 εNd 值在-5.1~-4.2 间波动，两者基本符合 Nd 同位素从南到北逐渐变得更具放射性的规律。在 13.9 Ma 左右，两个站位 εNd 值均出现了约 0.35 个单位的下降，这可能是由于东南极冰盖扩张，导致深层水形成增加，进而引起 εNd 值偏低的南源深层水向北入侵引起。随后 ODP1208 站和 ODP1123 站鱼牙化石 εNd 值先后恢复至冰盖扩张前水平，这可能是气候进入新的状态太平洋深层洋流重新恢复稳定引起。本研究表明 MMCT 期间，随着冰盖的扩张，太平洋深部环流也发生了相应变化，这可能通过增大深部大洋碳储库、降低大气二氧化碳，进一步增大冰盖扩张与全球降温。太平洋洋流在气候变化中可能起到了重要的反馈、放大作用。未来工作应当进一步重视太平洋在全球洋流系统、气候系统中的重要性。

S38-P-3S

晚中新世低大气 PCO2 下暖室气候成因机制的数值模拟

魏思华 [1]，田军 [1*]，杜金龙 [1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

晚中新世托尔通期 (Tortonian, 11.63~7.25 Ma)比现代更加温暖和潮湿，全球平均地表温度约 19.3±0.98˚C，南北向温度梯度比现代更低，北半球近乎无冰盖发育。尽管晚中新世是暖室气候，基于不同古海洋学替代性指标重建的大气 pCO_2（大气二氧化碳分压）却与工业革命前相当，这种低大气 pCO_2 下的暖室气候在整个新生代都很特殊。对此有两种解释：基于指标记录的晚中新世气候-pCO_2“解耦假说”，和基于数值模拟的“协同作用假说”。解耦假说认为晚中新世气候变化与大气 pCO_2 变化无关，海道、大洋环流、热传输机制和温跃层的变化可能是驱动气候变化的机制。协同作用假说认为植被分布、古地理和冰盖等因素对晚中新世暖室气候具有重要贡献。

研究使用中等复杂程度的地球系统模式 cGENIE.muffin（Grid-ENabled Integrated Earth System Model，“muffin”版本），先设计试验在低大气 pCO_2 下模拟出晚中新世的暖室气候。随后，设计系列数值模拟试验分别探讨（1）古地理、风场等边界条件（2）反照率（3）pCO_2 对晚中新世气候和大洋环流的影响。得出以下主要结论：（1）晚中新世植被反照率降低是晚中新世低大气 pCO_2 下暖室气候的重要成因机制，使全球平均大气温度升高约 5.9˚C，可以导致高纬显著偏

暖，经向 SST 温差减小，北半球来源水生成减弱，南半球来源水生成增强。（2）敏感性试验显示，当大气 pCO_2 为 230～300ppm 时，模拟结果与古环境指标重建结果最为接近。（3）古地理、风场等边界条件主要影响区域气候，对全球平均大气温度的影响很小（-0.3˚C）。

S38-P-4

始新世-渐新世颗石藻的形态演化及混合营养模式

马瑞罡 [1,2*]，Marie Pierre-Aubry[2]，刘传联 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Rutgers University,Department of Earth and Planetary Earth Sciences

* maruigang@tongji.edu.cn

颗石藻是单细胞浮游藻类，长期以来被视为完全自养的超微浮游植物。但近十几年来，越来越多的证据表明颗石藻可以利用环境中的溶解有机碳进行异养行为，其营养策略的多样性可能被低估。本研究基于南大西洋始新世-渐新世（~40-31 Ma）颗石藻的化石记录，利用化石形态和元素地球化学分析方法，聚焦新生代以来颗石藻 Isocrysidales 目的最显著的一次形态演化事件，尝试讨论地质历史时期混合营养模式如何影响颗石藻的形态演化。从晚始新世到早渐新世（~35-32 Ma），受全球变冷，海洋环流和海底通风增强的影响，颗石藻群落演替迅速，大型颗石藻（~20 μm）绝灭，导致群落的细胞显著变小。在先前的研究中，这一事件通常被解释为由大气 CO_2 降低导致。但本研究表明颗石藻变小的同时其钙质壳体的结构也发生演变，且 Sr/Ca 比值升高，指示钙化速率加快。这些结果与 CO_2 的变化并不同步。与此同时，大型颗石藻的绝灭伴随壳体的结构变得更加封闭，表现为中央开口直径不断降低。结合颗石藻现代海洋和实验室培养的研究结果，本研究尝试提出一个生态模型将颗石藻的形态演化和营养策略联系起来。该模型指示大西洋的经圈翻转流（AMOC）驱动了上层海洋的营养供给，后者是颗石藻形态演化的主要原因：当海水营养盐供给升高，小型颗石藻（r 型生物）倾向于快速繁盛，生长和钙化速率均较快。该类颗石藻的颗石球更加封闭，可以有效地抵御水体扰动以及其它生物（捕食者或病毒）的干扰；相反，在环流较弱，营养盐较低的环境下，颗石藻更大，结构更加开放，有助于其在较为稳定的水体中生长，属于 K 型生物。同时，开放的结构有助于颗石藻与共生细菌的物质交换，从而进行共生型的混合营养模式，因此更容易在贫营养的环境下生存。本研究提出的假说与现代贫营养海区发现的颗石藻 *Braarudosphaera* 属与固氮细菌 UCYN-A 的共生混合营养模式一致，表明随着气候变化，不同属种颗石藻的营养策略可能发生分异，也暗示颗石藻的混合营养可能对海洋中（由细菌、病毒等主导）的微型生物碳泵、以及储量巨大的溶解有机碳库产生重要的影响。

S38-P-5S

中新世气候适宜期低纬气候调控的碳循环偏心率周期

刘丰豪 [1]，黄恩清 [1*]，杜金龙 [1]，马文涛 [2]，马小林 [3]，Lucas Lourens[4]，田军 [1]

1 同济大学

2 自然资源部第二海洋研究所

3 中国科学院地球环境研究所

4 Utrecht University

* ehuang@tongji.edu.cn

中新世气候适宜期（Miocene Climate Optimum，MCO，1700-1400 万年前）是过去 3400 万年以来最温暖的一个时期，全球平均表面温度比工业革命前高约 3-4℃，重建的大气 CO_2 浓度高达 600-1000 ppm。同时期构造释气活动十分活跃，北美哥伦比亚流域溢流玄武岩喷发和快速的洋中脊扩张给地球表层系统提供了大量的碳输入。强烈

的全球增温如何影响轨道尺度上的气候变化和碳循环，一直未有定论。本次研究利用大洋钻探在南海北部 U1505 站位获得的沉积记录，重建了 MCO 时期底栖有孔虫氧和碳同位素与 B/Ca 比值。发现这三个指标都包含显著的 40 万年长偏心率周期，并且存在同相位变化关系，即氧和碳同位素负偏移对应深部海水碳酸根离子浓度的低值。结合数值模拟结果，推测在偏心率高值期，强烈的岁差振幅变化导致极地冰盖发生消融和全球海平面上涨，海水氧同位素发生负偏移。同时低纬水循环和化学风化作用加强，导致在淹没的陆架区上堆积大量碳酸盐，扣留了重碳和碱度，造成深部海水无机碳碳同位素发生负偏移和碳酸根离子浓度下降。因此，低纬水循环是 MCO 时期海洋碳循环的主要控制因素，并且进一步导致高纬度冰盖和海洋碳循环在偏心率周期上的同步变化现象。这与第四纪状况截然相反。在第四纪，北半球高纬冰盖扩张和消融是海洋碳循环的主控要素，导致高纬冰盖和海洋碳循环在偏心率周期上的反相位变化。

S38-P-6S

末次冰盛期以来热带太平洋单颗粒有孔虫同位素特征及古气候意义——以 MD3340 钻孔为例

袁子杰 [1]，黄恩清 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* ehuang@tongji.edu.cn

近年来，"全新世温度谜题"受到了古气候学者们的广泛关注，这一争论的焦点在于代用指标重建和模式模拟的全新世温度差异的来源。最近，重建的季节性或模式的气候敏感性的潜在偏差被认为是产生这一问题的原因。热带西太平洋是全球海洋热量最高的区域，也是地质历史时期水热交换的敏感场所，是研究过去低纬度气候环境演化的理想场所。本研究选择热带西太平洋 MD3340 沉积物岩芯为研究对象，基于前人的年代框架，通过开展单颗粒有孔虫同位素分析，重建了末次冰盛期以来区域温度季节性演化历史，并结合模式模拟结果对季节温度的演化机制进行了探讨。研究发现，研究区自冰盛期至全新世温度的季节性差异变化较弱，全新世以来随着冬夏太阳辐射差异的减弱而逐渐减弱，并响应于云、气溶胶、二氧化碳等边界条件主导的地球系统内部反馈作用。

S38-P-7

晚中新世至早上新世太平洋深部环流演变

冯华 [1,2*]，田军 [1*]

1 同济大学

2 自然资源部第四海洋研究所

* fenghua@4io.org.cn

* tianjun@tongji.edu.cn

晚中新世至早上新世是一个全球气候系统和海洋环流系统发生重大转变的时期，出现了全球范围内的晚中新世生物勃发事件，表层水和底层水碳同位素同步负偏事件（晚中新世碳位移），这些事件与大洋环流模式的变化密切相关。然而由于高分辨率数据的缺乏以及研究区域的代表性不足，以往晚中新世大洋环流模式的研究结果甚至出现相悖情况，因而我们立足于数据较为缺乏的西太平洋地区，测定了赤道西太平洋 ODP 807 站位高分辨率底栖有孔虫氧碳同位素数据，结合全球其他大洋及区域的高分辨率数据研究晚中新世至早上新世大洋深部环流变化。研究结果显示晚中新世碳位移期间（7.6-6.8 Ma）大西洋和太平洋普遍受到南大洋深部水团向北扩张的影响，直到 6.8-5.3 Ma 大西洋深层水的形成才加强，与格陵兰-苏格兰脊构造活动控制北部成分水形成时间吻合，证实了 7.6-6.8 Ma 降温期间相对温

暖的北大西洋深层水形成减弱。晚中新世到早上新世期间，太平洋东西两侧深水的 $\delta^{13}C$ 梯度保持恒定，这与太平洋和南大西洋之间深水 $\delta^{13}C$ 梯度特征一致，反映了一种较为稳定的太平洋深部环流。

S38-P-8S

探讨晚上新世北半球冰盖扩张（INHG）后 4 万年冰期旋回的形成机制

马悦 [1]，田军 [1*]

1 同济大学，同济大学海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

晚上新世-早更新世（3.3-2.5 Ma）北半球冰盖的快速扩张，是地球进入“两极均发育冰盖的冷室期”的标志，也是冰期旋回振幅增大、周期稳定为 41kyr 的关键时期。诸多大气 pCO2 的重建记录表明，在 2.7Ma 左右，大气 pCO2 呈现下降趋势，而这可能是放大冰期旋回的重要机制，但是与 NHG 时期大气 pCO2 下降相关的碳循环过程研究目前还尚未清晰。一般来讲，冰期陆地生物量会缩小，因此陆地碳储库此时一般作为大气的碳源而非碳汇，而深部海洋作为表层最大的碳库，NHG 时期大气中下降的 CO2 是不是大概率储存在深海中呢？为了探究这一科学问题，我们调研了前人研究工作，已有大西洋的深部洋流重建记录表明在 2.7Ma 南源水显著向北扩张，这可能是由于南极海冰扩张以及层化作用的加强，导致更多的碳储存在了大西洋洋盆深部。太平洋的洋流以及碳储库重建记录也表明在 NHG 时期南源深层水向赤道太平洋通流显著加强，结合其他指标结果，可以推断南极海冰扩张、分层加强、亚南极生物泵效率加强导致太平洋深部碳储库增加，是引发大气 pCO2 的下降的关键原因。总结前人发现，我们提出，南大洋洋流、碳储库变化很可能是 iNHG 大洋碳储库变化的原因或重要组成部分，在 pCO2 下降、冰期旋回增强中起到关键作用。然而，目前 iNHG 时期南大洋，特别是南太平洋洋流、碳储库重建记录十分稀缺，未来需重点关注此区域的洋流重建工作。

S38-P-9S

海洋沉积物中正烷基脂类的提取方法比较

周佳鸣 [1]，赵小小 [2]，陈新 [1]，董良 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

2 Christian-Albrecht University of Kiel

* dongliang@sjtu.edu.cn

正烷基脂类包括正构烷烃、正构脂肪醇和正构脂肪酸，是海洋沉积物中重要的生物标志物，已被广泛应用于现代和古代的生态和环境研究。然而，海洋沉积物中的化合物组成复杂多样，选择合适的提取方法是一个挑战。在本研究中，我们比较了 Bligh-Dyer 法提取（BDE）、超声辅助提取（ultrasound-assisted extraction，UAE）、加速溶剂提取（accelerated solvent extraction，ASE）以及 Bligh-Dyer+超声辅助提取（BD+UAE）四种提取方法从海洋沉积物中提取正构烷烃、游离正构脂肪醇和游离正构脂肪酸的效果。结果表明，BD+UAE 是提取正构烷烃的最佳方法，ASE 是提取游离正构脂肪醇的最佳方法，BDE 为同时提取 IPLs（intact polar lipids）和游离正构脂肪酸提供了一种合适的方法。此外，不同的提取方法对奇偶碳数和链长有不同的偏好性，BDE 更偏好奇数碳和短链的化合物，而 UAE 更偏好偶数碳和长链的化合物，对于正构烷烃的提取更为明显。本研究为海洋沉积物中有机物的提取及方法改进提供了基础，并为古气候和沉积物化学的评估提供了新的见解。

S38-P-10

末次冰期以来东印度洋深层环流的通风变化及碳循环意义

万随[1*]，向荣[1]，杜岩[2]，张兰兰[1]，易亮[3]，杨艺萍[1]，苏翔[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

3 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* wansui@scsio.ac.cn

印度洋占据全球大洋容积超过 20%，与太平洋、大西洋和南大洋洋盆完全联通，具有独特的水文和环流特征。尽管印度洋在大洋环流和气候系统中相当重要，但对其深层环流通风变化及其在碳循环中的作用仍然比较缺乏。本项研究利用印度洋东经 90°海岭 17I106 站位（水深 2928 米）的样品，对 13 个样品中的浮游有孔虫与底栖有孔虫 AMS ^{14}C（同一深度）进行测试分析，来探讨~30 ka 以来印度洋深层水团的通风变化及碳循环意义。结果显示，印度洋深层环流平均表观通风年龄（即底栖有孔虫 ^{14}C 年龄与同时期大气 ^{14}C 年龄差值）在晚全新世、海因里奇冰阶（HS1）和末次盛冰期（LGM）分别为 2274 年、3357 年和 2745 年。记录表明在 LGM 时期印度洋深层洋流的通风作用减弱，将有助于冰期大气 CO_2 在印度洋的碳储存。有意思的是，在 HS1 显著偏老的深层水团，也出现在阿拉伯海和孟加拉湾的中层水团的记录中，这很可能反映了 HS1 时期南大洋源的深层“老碳”水团向北印度洋输运，并通过垂向混合作用影响中层甚至向大气中释放的“路径”，为理解冰消期碳循环机制提供重要的证据。

S38-P-11S

海洋 RDOC 的表观降解时间估算

刘舒薇[1]，田军[1*]

1 同济大学，同济大学海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

海洋储存了大量的溶解有机碳（DOC）（~662 Pg 碳），其中 90%以上能抵抗微生物的快速降解，被称为 RDOC（refractory DOC）。RDOC 可以在海洋内部停留数千年，形成一个长期存在的碳库，在全球气候调节中发挥重要作用。然而，当前对海洋 RDOC 降解时间方面的研究缺乏，主要原因是 RDOC 过于惰性，难以通过实验还原其降解过程。本研究收集 1994 - 2021 年全球海洋观测中获得的 DOM 数据（数据来源：National Centers for Environmental Information）共计二十六万余条，数据包括不同年份不同深度的海水温盐、营养盐、DOC 浓度等。通过统计学手段分析近三十年来全球 DOC 的浓度变化，结果显示 RDOC 的表观降解时间大约在 10,000-18,000 年。由于 RDOC 在海洋中较长的停留时间，且在深海中没有紫外照射，溶解有机质的化学性质稳定不易被微生物降解，故深海 DOC 可以作为指示水团混合和洋流迁移路径的示踪剂。后续，将基于南海样品，通过实验手段，测量在不同辐射强度下 RDOC 的表观降解时间，并对近二十年的全球海洋 DOM 数据做进一步的分析。

S38-P-12

中元古代地球时期的碳循环：以华北地区下马岭组的一次碳扰动事件为例

吕怡潼[1]，张水昌[1*]，王晓梅[1]，王华建[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油地质实验研究中心
* sczhang@petrochina.com.cn

地球在元古代时期的演变是地质学与地球化学重一个长期存在争议的问题。传统观点认为，相比于其他地质历史时期，18-8亿年前（也被科学界广泛地称之为“无聊的十亿年”），地球各圈层的演化都相对沉寂：这一时期的气候稳定，大气含氧量很低；生物进化事件相对缺乏，大气层与海洋组成成分相对恒定；造山活动频率和强度在古元古代末期开始减弱，一直到新元古代才开始逐步提升。然而，近年来的研究却表明这一时期的地球并非完全“枯燥乏味”，圈层间存在着紧密交流和协同演化。大量的研究报导了元古代活跃的构造和火山活动，例如在西伯利亚，北澳大利亚和中国华北地区广泛分布的与 13.8 亿年前一次大火成岩省（LIPs）事件有关的沉积记录。这些活动通常伴随着物质和能量的交换，以及元素在各圈层中的循环和重新分配。而在这些元素中，碳的循环对生命活动和进化相关的关键过程和事件具有重要的指示意义，碳循环的研究可以为地球系统学科和探索地球以及其他星球宜居性带来重要思考和启发。研究表明，虽然碳的循环在长时间尺度上维持着相对平衡，但可以在短时间尺度上被一定强度的地质事件（如火山喷发，风化剥蚀，有机质埋藏等）打破，出现碳同位素的漂移。与显生宙相比，元古代经常记录到异常持久的碳循环扰动事件，表明背后有其特定的原因。在此，我们报导华北克拉通中元古代下马岭组记录的一个约-5.7‰，持续时间长达 1.6 千万年的 $\delta^{13}C$ 负漂事件，并结合实验室测试结果和 LOSCAR 碳循环模型，来探究此次 NCIE 背后的驱动因素。通过大量的实验室和计算机模拟，可以初步得出这样的结论：与显生宙不同，下马岭组记录的这次 NCIE 是一个分步的，多成因控制下的结果。在第一阶段，具有一定强度的火山活动和同期的产甲烷作用释放大量轻碳，导致 $\delta^{13}C$ 先发生一次负漂。随后，虽然火山活动已经停止，但它改变了表层环境并引发了后续活动，带来了另一次轻碳的注入，最终导致了-5.7‰的碳同位素负漂。总之，火山活动是下马岭组 NCIE 的主要触发因素，并激发了一系列连锁反应。此外，本研究指出，火山活动通过改变同期沉积环境和生物地球化学反应，对后续黑色页岩沉积具有重要的积极影响。这一发现也可能为元古代火山活动，生物地球化学循环过程和这一时期的碳同位素扰动之间的关系带来新的认识。

S38-P-13

白垩纪大洋缺氧事件 OAE2 期间东特提斯洋 古海洋氧化还原条件及层化状态研究

梁钰 [1,2*]，王策策 [2]，宋惠靓 [3]，李永祥 [3]，柳中晖 [2]

1 中国地质大学(武汉)，资源学院
2 香港大学，地球科学系
3 南京大学，地球科学与工程学院
* liangy@cug.edu.cn

白垩纪大洋缺氧事件 Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2, ~94 Ma) 是发生于中生代温室条件下的重要全球碳循环扰动事件。分析 OAE2 期间古海洋环境演化及其控制因素，对于研究目前全球变暖背景下碳循环过程可能导致的极端气候变化具有重要的借鉴意义。OAE2 期间，在相对局限的原北大西洋及其周缘海域，海水显著层化，底层水整体处于缺氧状态，并呈现明显的氧化还原状态波动变化。而在开阔大洋地区，底层水总体表现较为氧化或亚氧化状态。然而，现有沉积记录的分辨率以及重建指标的敏感性，限制了进一步精细分析开阔大洋地区海水氧化还原条件及层化状态的动态演化过程。本研究中，我们选取了特提斯喜马拉雅南亚带高沉积速率的贡扎剖面 OAE2 地层为研究对象，利用 glycerol dialkyl glycerol tetraethers (GDGTs) 化合物重建水体古菌群落结构变化和生产力水平，进而精细剖析

OAE2 期间东特提斯开阔大洋氧化还原条件和层化状态演化过程及其控制因素。结果显示，与 OAE2 之前和之后的阶段相比，OAE2 期间呈现水柱层化加强、次表层/底层水更为还原、以及表层生产力减弱等特点，并在 OAE2 早期发生短暂的水体再氧化过程。传统解释中 OAE2 期间底层水还原性增强可能是由于生产力提高导致的有机质再矿化过程中耗氧加剧，但与此不同，本研究表明东特提斯开阔大洋底层水还原性增强可能主要由海水层化加强所致。结合现有的原北大西洋和欧洲陆表海等相对局限盆地的 GDGTs 数据，以及全球大火成岩省活动记录，本研究推测 OAE2 期间全球主要海域可能呈现较为一致的氧化还原条件波动变化趋势，海洋层化状态发展或许是底层水氧化还原条件演化的重要驱动因素，其可能与大火成岩省形成期间海底岩浆活动所产生的缺氧水体在全球范围的扩散密切相关。

S38-P-14S

中更新世转换期间澳大利亚季风的演化（IODP U1483）

Li Gong[1*]，Ann Holbourn[1]，Wolfgang Kuhnt[1]，Bradley Opdyke[2]，Yan Zhang[3]，Ana Christina Ravelo[3]，Peng Zhang[4]，Jian Xu[4]，Kenji Matsuzaki[5]，Ivano Aiello[6]，Sebastian Beil[1]，Nils Andersen[7]

1 Christian-Albrechts-University of Kiel,Institute of Geosciences

2 Australian National University,Research School of Earth Sciences

3 University of California,Ocean Sciences Department

4 Northwest University,Institute of Cenozoic Geology and Environment

5 The University of Tokyo,Graduate School of Science

6 San Jose State University,Department of Geological Oceanography

7 Christian-Albrechts-University Kiel,Leibniz Laboratory for Radiometric Dating and Stable Isotope Research

* li.gong@ifg.uni-kiel.de

The Australian Monsoon (AM), at the edge of the southernmost displacement of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), is a sensitive monitor of tropical climate variability and is ideally suited to unravel linkages between high- and low-latitude climate evolution and the interhemispheric coupling with Asian monsoon subsystems.Within the Earth's long-term cooling trend, the Mid-Pleistocene Transition (MPT, ~1.2-0.8 Ma) stands out as a period of exceptional interest, during which the climate cyclicity changed from~41 kyrto ~100 kyr. In particular, the role of low latitude processes during the MPT is still poorly understood. For this, we generatedhigh-resolution sedimentary records of AMat Site U1483 off NW Australia over the last 1.6 Ma, including proxies ofterrigenous river discharge, primary productivity and bottom water oxygenation, whichdevelop a better understanding of the reorganization of AMand its linkage to changing climate boundary conditions.

S38-P-15S

末次冰期赤道西太平洋硅藻席勃发的机制探讨

蔡雯沁 [1]，黄恩清 [1*]，柳双权 [2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* ehuang@tongji.edu.cn

在第四纪冰期，热带-亚热带大西洋以及热带西太平洋-东印度洋出现大规模的 *Ethmodiscus rex* 硅藻席勃发事件，其成因迄今仍成谜。有研究认为末次冰期赤道西太平洋发生的 *E. rex* 硅藻席勃发事件，主要由亚

洲风尘提供硅元素，但对于氮素等营养来源的研究仍存在空白。本研究利用 2016-2017 年中科院深海所在马里亚纳海沟南部“挑战者”深渊采集的 GT01 岩芯，通过测试碳、氮同位素等指标对硅藻勃发的氮营养来源与生产力状况进行评估。样品总有机质氮同位素 $\delta^{15}N_{org}$ 信号显示，*E. rex* 勃发的氮营养主要来源于次表层硝酸盐，并不直接参与固氮作用。在此基础上，进一步推测 *E. rex* 勃发过程中对次表层营养盐的利用可能并不局限于硝酸盐，可能对磷酸盐等营养盐均有吸收。样品的全岩碳同位素 $\delta^{13}C_{bulk}$ 与总有机质碳同位素 $\delta^{13}C_{org}$ 信号均显示 *E. rex* 硅藻席勃发期间该海域初级生产力提高，对营养盐利用率升高。

S38-P-16

晚第四纪热带降水季节性演变的数值模拟研究

黄恩清[1*]，王诗贺[1]，田军[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* ehuang@tongji.edu.cn

全球变暖导致热带许多地区的降水变率在季节尺度上出现放大现象，造成“雨季更湿、干季更干”的情形。降水季节性差异(precipitation seasonality)的增大无疑会引发更多的洪涝和干旱灾害，因此引起了学术界的关注。由于器测资料的限制，降水季节性演化的波动历史和驱动因素都存在争议。针对这一问题，我们利用国际古气候模式对比计划(PMIP4)以及 21-ka 以来的瞬变模拟实验(TRACE-21)公布的结果，研究末次间冰期(127ka)、末次盛冰期(LGM)、中全新世(mid-Holocene)以及工业革命前(PI)四个时间窗口的降水季节性演变情形。不同于以往研究，我们对模拟结果进行了“日历效应(Calendar effect)”校正，以便更加精确地计算无量纲季节性降水分布指数。结果表明，与 PI 期相比，6ka 时低纬（20°N-20°S）降水季节性几乎没有变化；但在 LGM 时期，北部和赤道非洲、澳大利亚北部、南美东部等地降水季节性明显增强。相比于无“日历效应(Calendar effect)”校正结果，经过相关校正后，与 PI 期相比，6ka 时北半球季风区夏季降水有所增强，但季节性变化不大。127ka 时的降水分布格局出现显著改变，北半球降水增多，尤其是北非地区，夏季降水明显增强，热带辐合带位置偏北，降水季节性增强，北非更接近于“绿色撒哈拉”状态。但南半球季风区，包括澳大利亚北部和南美，夏季降水减弱，降水季节性减弱。

S38-P-17

REFINING THE ALKENONE-PCO2 METHOD III: CONSTRAINING ALGAL PHYSIOLOGY USING A BAYESIAN INFERENCE

Xiaoqing Liu[1,2*]，Shuang Zhang[2]，Xiaobo Jin[3]，Mariem Saavedra-Pellitero[4,5]，Jorijntje Henderiks[6]，Tom Dunkley Jones[4]，Chuanlian Liu[3]，Yi Ge Zhang[2*]

1 Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

2 Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, Texas, USA

3 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China

4 School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, UK

5 School of the Environment, Geography & Geosciences, University of Portsmouth, Portsmouth, UK

6 Department of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Sweden
* xiaoqingliu@purdue.edu
* yige.zhang@tamu.edu

基于藻类长链烯酮的碳同位素来重建过去大气 CO2 的方法已被广泛用于估算新生代大气 CO2 浓度的变化，此方法基于以下理论，即海洋藻类光合作用的稳定碳同位素分馏(εp)受海水 CO2 的浓度和藻类的生理参数(b)控制，而 b 由细胞大小(r)、生长速率(u)、细胞膜渗透性(P)等因素决定。最近的研究通过确定细胞大小与细胞生长速率的关系、在约束生理参数 b 方面取得了显著进展。然而，对于计算 b 的某些关键参数，我们仍然知之甚少，例如细胞膜渗透性 P。此外，实验室培养结果和环境数据显示， 涉及计算 b 的一些关系有数十个、仍然具有很大的不确定性，例如细胞体积与细胞碳含量之间的关系以及生长速率与细胞体积之间的关系。没有广泛的校准和科学的统计分析，我们很难确定这些关系中的哪一个应该用于计算 b。基于已经报道的这些关系、南极冰芯重建的过去 80 万年的大气 CO2 浓度以及过去 70 万年的相关碳同位素和温度数据、包括本研究新报告的 1143 站位的数据，我们建立了一个贝叶斯统计模型，通过马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)采样方法估计了这些参数的概率分布。我们发现，用贝叶斯确定的这些参数计算得到的大气 CO2 浓度与南极冰芯的记录相吻合。此外，这些参数的概率分布不会随着不同的 MCMC 采样方法、训练样本的数量以及训练数据集的时间段（冰期或间冰期）而变化，突显了贝叶斯推断得到的这些参数的概率分布的可靠性，并增强了我们对其未来在不同时间尺度上应用的信心。将这组新参数应用于始新世到渐新世的过渡时期，我们在具有截然不同的海洋学和藻类生长条件的不同地区获得了一致的 CO2 浓度，并且也符合有孔虫硼同位素重建的 CO2 和冰川模型的预测。此外，通过此改进方法估算的上新世到更新世大气 CO2 浓度与南极蓝冰的记录一致。

S39-O-1

我国城市大气化石源 CO2 的 14C 示踪研究

周卫健[1,2*]，吴书刚[1,2]，牛振川[1,2]，王鹏[1,2]，熊晓虎[1,2]，程鹏[1,2]，侯瑶瑶[1,2]，卢雪峰[1,2]，杜花[1,2]

1 中国科学院地球环境研究所，黄土科学全国重点实验室
2 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室
* weijian@loess.llqg.ac.cn

测量大气 CO2 中放射性碳同位素(14C)为定量计算化石源 CO2 (CO2ff)的贡献提供了一个独立、客观的方法。我们通过对大气、树轮和一年生植物样品 14C 的分析，获得了不同时间尺度和空间尺度 CO2ff 的变化特征。多年大气 14CO2 示踪研究发现，2014-2016 年西安大气 CO2ff 平均浓度比 2011-2013 年下降 14.4 ppm，而同期 PM2.5 浓度下降 53.9 μg/m3，说明自 2013 年 9 月以来实施的“大气十条”，促使了大气污染物与温室气体的同步下降。运用大气化学耦合模式 WRF-Chem 对西安和北京的数值模拟表明，西安 CO2ff 以本地排放为主，北京 CO2ff 除本地排放外，区域输送过程也有重要影响。结合 14C 和 13C 对 CO2ff 的来源解析结果显示，西安 CO2ff 以燃煤排放为主，而北京 CO2ff 以天然气排放为主。2014-2022 年在我国多个城市的研究发现，大部分城市冬季 CO2ff 浓度自 2019 年开始出现不同程度下降，夏季 CO2ff 无明显变化规律。冬季 CO2ff 浓度普遍高于夏季；冬季北方城市 CO2ff 浓度高于南方城市，夏季南北方城市 CO2ff 浓度差别不大。北方内陆城市冬季 CO2ff 高值主要来自居民取暖使用大量的化石燃料和逆温、静风天气等不利扩散条件的影响。CO2ff 浓度和大气细颗粒物 (PM2.5)浓度之间具有很好的线性关系，可为污染提供协同治理新思路。我国城市减排的重点在于控制冬季燃煤的使用。加强对大气 CO2ff 浓度的

持续观测和研究，为我国“双碳”战略和气候外交谈判提供科技支撑。

S39-O-2

地震促进超深海沟中的溶解碳循环

褚梦凡[1,2]，吴伟峰[1,2]，马玲[1,2]，包锐[1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心

* baorui@ouc.edu.cn

超深渊海沟被认为是内部水循环较为缓慢的孤立系统，然而，观测和模拟研究表明在西太平洋，海沟深层流与大洋深水环流存在一定程度的连通和物质交换，而海沟内的复杂地形会加强水体溶解碳和颗粒碳的垂向运移。因此，水动力过程控制的沉积物横向运输可能对海沟中的溶解和沉积有机碳库产生影响，并调节海沟中沉积碳的空间分布。本研究测定了日本海沟底层水溶解有机碳、溶解无机碳和不同粒级表层沉积有机碳中的碳含量、稳定和放射性碳同位素特征。底层水溶解有机碳和表层沉积有机碳之间的碳同位素组成存在显著差异。本研究目的是揭示海沟中水-沉积物界面有机碳的性质差异，以及沿海沟轴线溶解、沉积有机碳的空间分布格局，为超深海洋环境中沉积有机碳分布的调节因素提供了新的视角。

S39-O-3

天然单体烃放射性碳同位素示踪多环芳烃的来源和迁移过程

押淼磊[1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* mlya@sklec.ecnu.edu.cn

复杂环境基质中多环芳烃（PAHs）的精确定量解析是厘清人类活动对环境负面影响程度并采取科学管控措施的前提。相较于基于浓度数据集的传统源解析结果而言，单体烃放射性同位素（^{14}C）分析可以准确量化河口-近海沉积系统中 PAHs 的来源和陆海迁移过程。我们针对台湾海峡西海岸的研究结果表明，大气颗粒物、海水溶解相、表层沉积物三相态特征单体 PAHs 的 $\Delta^{14}C$ 值存在较大差异，分别为−578‰~−450‰、−997‰~−873‰和−849‰~−418‰。据此可以推测不同海洋介质中 PAHs 单分子 ^{14}C 丰度在达到理想平衡状态前的多界面动态交换中是存在显著差异的。另外，基于芘和总有机碳的 ^{14}C 质量守恒，首次将芘的 ^{14}C 作为示踪剂定量研究了台湾海峡西海岸城市化进程对河口和近海物质输运的影响；并进一步量化了闽浙沿岸流长距离迁移向台海西海岸近海输入的有机碳比例（~53%），这与基于黑碳标志物的研究结果（~52%）相互印证。本研究基于单体烃 ^{14}C 同位素方法建立的 PAHs 迁移模型为准确量化研究含碳有机污染物在河口-近海沉积体系的陆海迁移和埋藏提供参考思路。

S39-O-4

人为扰动促进青藏高原溶解性老碳向河流释放

能惠[1*]，钟君[1]，易沅壁[2]，赖曼婷[1]，徐胜[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

2 香港科技大学，海洋科学系，南方海洋科学与工程广东省实验室

* naihui@tju.edu.cn

人类活动显著改变了全球碳循环，近年来，逐渐发现人为扰动对河流碳循环具有显著影响。青藏高原拥有全球最敏感、最脆弱

的生态系统，人为活动对青藏高原的影响愈加强烈，但目前缺乏人为扰动对青藏高原河流碳循环影响的相关研究。本文分析了青藏高原东缘白龙江流域河流溶解性有机碳（DOC）含量、光学组成、分子组成和碳同位素组成（$\delta^{13}C_{DOC}$、$\Delta^{14}C_{DOC}$），探讨了人为扰动对青藏高原流域河流碳循环的影响。研究发现，人为活动对青藏高原流域河流 DOC 含量影响有限，但农业活动和污水排放显著增加了河流老碳以及含氮、含硫的 DOC 分子。同时，这些埋藏了千万年的 DOC 分子具有一定的光化学反应活性和生物不稳定性，可能会快速参与现代河流碳循环过程。随着人口的持续增长，人为扰动对青藏高原流域碳循环的影响可能会持续增强。

S39-O-5

基于放射性碳同位素的岩溶大深型水库碳增汇研究

王万发[1,2*]，李思亮[3]，易沅壁[4]，钟君[3]，徐胜[3]

1 贵州大学，喀斯特地质资源与环境教育部重点实验室

2 贵州大学，资源与环境工程学院

3 天津大学，地球系统科学学院

4 香港科技大学，海洋科学系

* wfwang@gzu.edu.cn

人类活动极大地扰动了全球碳循环，在全球气候变化中扮演着重要角色。其中，水库建造是人为改造自然环境的重要手段，水库在为社会提供水力发电、淡水资源和鱼类养殖的经济效益时，同时也带了不可忽视的环境影响，如水体富营养化，温室气体排放等，并引起国内外学者的广泛关注。全球近70%的主要河流都被大坝拦截，河流经筑坝拦截后发生了一系列水动力、水化学以及生态系统结构与功能的变化。我国西南岩溶区水电占我国可开发量的 68%，该地区现在和未来都是我国河流筑坝的重点区域，但针对西南山地深水水库碳循环研究还较为缺乏。为深入探究这一问题，我们通过多碳同位素（$\delta^{13}C$ &$\Delta^{14}C$）对多个典型西南喀斯特大深水型水库溶解无机碳（DIC），溶解有机碳（DOC）、颗粒无机碳（PIC）和颗粒有机碳（POC）进行了深入研究。

研究结果发现，水库中碳周转过程的受控因素复杂，其中不同形态碳周转量主要受季节变化调节，而不同形态碳周转强度主要受水文调控调节。据估计，虽然有 23.0%的 DIC，20.5%的 DOC 以及绝大部分的 POC 将会被水库中被初级生成过程利用、微生物过程降解以及重力作用沉降，但是随着水库水体运行过程中 DOC 老化和 POC 沉降，可观的有机质将会在水库中被埋藏，这也表明水库是现代重要的碳汇场所，在流域碳循环源-汇-流的研究中需要充分考虑其重要性。通过多碳同位素（$\delta^{13}C$ &$\Delta^{14}C$）和新生矿物电镜分析研究表明，在静水区断面水体中大于 85%的 PIC 来源于光合作用诱导下生成的自源 PIC。同时，沉积物表层水体中高达 41%的 PIC 为自源 PIC，这表明虽然在水库深水层 PIC 在不断溶解但是自源 PIC 的生成量远大于其溶解量，导致大量自源 PIC 在库区沉积物中持续累积。研究结果突破了传统认识“流域水体 PIC 主要来自岩石碎屑，不参与现代碳循环”，表明我们对河流-水库的碳循环研究还需要加强，才能科学理解碳循环以及其在碳中和评估中的意义。上述研究结果进一步明确了水库碳循环过程和碳源-汇效应，为人为调节水库碳循环和环境变化提供了基础数据和理论支撑，为今后准确评估大深型水库碳循环和流域碳平衡提供了科学基础。

S39-O-6

二元羧酸单体放射性碳同位素示踪我国二次有机气溶胶碳源和生成机制

徐步青[1,2]，成志能[1,2]，朱三元[1,2]，张干[1,2*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，有机地球化学国家重点实验室
2 中国科学院广州地球化学研究所，深地科学卓越创新中心
* zhanggan@gig.ac.cn

二次有机气溶胶（SOA）是大气细颗粒物的重要组分，对空气质量、气候变化和人体健康有重要影响。近年来，越来越多的研究证明有机前体物在云雾滴和含水气溶胶中的液相化学转化是二次有机气溶胶生成的重要途径。由于植物排放前体物（如植物挥发、生物质燃烧）比化石燃料源（如燃煤、机动车排放）前体物的极性更强、更亲水，过去的研究多聚焦于植物排放前体物转化生成液相二次有机气溶胶（aqSOA）的过程，缺乏对液相二次有机气溶胶中人为化石燃料源贡献的精准量化。本研究以大气颗粒物中草酸为主的一系列小分子二元羧酸为示踪液相二次有机气溶胶的分子标志物，分析了二元羧酸的单体碳十三（$\delta^{13}C$）和碳十四（$\Delta^{14}C$）同位素组成。双碳同位素（$\delta^{13}C$、$\Delta^{14}C$）示踪结果表明，在中国大陆气团和中国重点城市区域中，化石来源碳对液相二次有机气溶胶分子的贡献占比达到 50%以上。研究通过独特的碳十四指纹提供了关键性证据，证实化石来源前体物对中国液相二次有机气溶胶生成的贡献占主导地位，而非传统认知中更亲水的生物源前体物。这一认知对更好地模拟二次有机气溶胶生成，评价其气候和环境效应，以及更精准地控制中国城市大气空气污染，有着重要意义。该研究对于欧洲、北美、南亚等全球其他重点人类活动地区大气中液相二次有机气溶胶的生成途径和碳源的研究，同样具有方法学上的示范作用。

S39-P-1

全新世以来冲绳海槽有机碳埋藏特征及其对 8.2KA 气候冷事件的响应

张洋[2]，包锐[1*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室
2 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室
* baorui@ouc.edu.cn

海洋碳汇对气候变化的响应与反馈是目前地球科学领域的前沿热点问题。作为距今最近的自然温暖期，全新世的气候演化与人类的生存发展存在密切的联系，人类活动会通过排放 CO_2 对全新世的气候产生一定的影响。而面积仅占全球海洋面积 8%的陆架边缘海是碳（特别是有机碳）埋藏的主要场所。因此，针对全新世以来陆架边缘海地区有机碳源-汇过程及其对气候冷事件的研究有助于厘清碳循环与全球气候变化之间的响应关系。

研究区冲绳海槽位于中国东部陆架海的边缘和西太平洋的过渡地带，连接了东亚的浅水陆架与深海大洋盆地，也是黑潮主轴的流经区域，同时记录了中、低纬度和高纬度的气候信号，是研究全球气候变化和海洋碳循环的良好靶区。但目前冲绳海槽地区有机碳记录的源-汇过程以及全新世气候冷事件中碳循环和气候变化的响应关系是亟待解决的关键问题。

在全新世温暖的气候基调下，我们将聚焦全新世的气候冷事件，利用位于冲绳海槽南部的 M143-05 的柱状样，进行有机碳相关的指标（TOC、$\delta^{13}C_{TOC}$、C/N 和生物标志物单体碳同位素），基于有机碳“年龄”这一视角，重点分析 8.2ka 气候冷事件时，冲绳海槽地区不同来源有机碳的埋藏特征，旨在阐明不同气候背景下，冲绳海槽地区有机碳埋藏的控制因素和碳汇潜力，为厘清全球气候变化和碳循环的响应关系提供科学依据，服务国家的“碳中和”战略。

S39-P-2S

天然单体烃放射性碳同位素揭示城市河口多环芳烃的来源和陆海传输

付瑜[1]，押淼磊[1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* mlya@sklec.ecnu.edu.cn

作为人类世的典型化学指标，多环芳烃（PAHs）及其在城市河口的来源和入海行为有助于评估人类活动对海岸带的潜在影响。相较于基于浓度数据集的传统源解析结果而言，单体烃放射性同位素（^{14}C）分析可以准确量化河口-近海沉积系统中多环芳烃的来源和陆海迁移过程。PAHs 的单体 ^{14}C 及其端元混合模型结果表明，中国九龙江河口沉积物中 67%~73%的荧蒽/芘以及 76%~80%的五六环 PAHs 来自于化石燃料相关过程（如煤和石油等及其燃烧过程）的排放。在相邻近的台湾海峡西部近海，化石源输入对沉积 PAHs 的贡献更高，分别为 74%~79%和 84%~87%。另外，作为陆源有机质输入的重要生物标志物，我们基于芘（一种典型的五环PAHs）的 ^{14}C 质量守恒，对其在入海传输过程（流域-河口-近海）中来源进行定量评估。结果表明，从流域到九龙江河口，城市化过程对芘的贡献率不低于 38%（相应芘的 $\Delta^{14}C$ 值为-535±5‰）。从九龙江河口到台湾海峡近海，芘的 $\Delta^{14}C$ 值显著降低为-735±4‰，这可以归因于沿岸流驱动下的芘（$\Delta^{14}C$ 值为-919±53‰）的长距离输送，其贡献率约为 53±8%。本研究基于单体烃 ^{14}C 同位素方法建立的 PAHs 迁移模型为准确量化研究含碳有机污染物在河口-近海沉积体系的陆海迁移和埋藏提供参考思路。

S39-P-3

核爆时期我国大气 14CO2 的树轮记录

熊晓虎[1,2*]

1 中国科学院地球环境研究所黄土科学全国重点实验室（筹），西安加速器质谱中心

2 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室

* xiongxh@ieecas.cn

自然因素（太阳活动、海洋上升流、火山喷发等）和人为因素（化石碳排放、大气核爆试验）都会导致大气中 $^{14}CO_2$ 浓度波动。进入人类世，人为因素成为主导，特别是 1950s 末到 1960s 初的大气核爆试验，导致了大气中 ^{14}C 的急剧上升，大气 ^{14}C 在 1964-1965 年达到最大值，随后由于大气碳库与陆地、海洋碳库的交换及苏斯效应，大气中 ^{14}C 浓度逐步降低，呈现为单峰状大气核爆 $^{14}CO_2$ 曲线。核爆 ^{14}C 曲线被广泛用于碳循环研究（海气交互、洋流循环、土壤碳周转等）及现代（1950 年后）含碳材料的定年（泥炭、骨骼、工艺品、酒等），也被作为耦合碳循环过程的地球系统模式的基础数据。由于连续的大气 $^{14}CO_2$ 观测开始较晚，历史时期的大气 $^{14}CO_2$ 记录多是利用树轮重建的。我国核爆时期的大气 $^{14}CO_2$ 的树轮重建记录较少，最新的基于全球不同区域树轮重建和大气观测记录的大气 $^{14}CO_2$ 综合曲线（Hua et al., 2022）缺乏我国所在的欧亚大陆腹地点位的数据，然而由于大气环流、海陆分布、苏斯效应等因素的影响，区域大气 $^{14}CO_2$ 的差异是客观存在的，因此有必要对核爆时期我国大气 $^{14}CO_2$ 记录进行梳理，以促进我国核爆 ^{14}C 曲线的应用研究。

通过将我国现有的覆盖核爆时期的六条树轮重建的大气 $^{14}CO_2$ 记录与日韩及全球其他区域记录的对比发现，尽管这些记录并不严格符合随纬度而降低的一般规律，但我国中高纬度区域大气核爆曲线的峰值普遍高于其他区域近似纬度的记录，很可能是受到了前苏联塞米帕拉金斯克核试验场核爆试验的影响，相对而言，我国罗布泊核试

验场于 1964-1980 年期间开展的大气核爆试验并未对这些记录产生明显的扰动。按照 Hua 等（2022 年）提出的北半球分区方案，北半球按纬度从高到低分为三个区（NH-1、NH-2 和 NH-3），其中 NH-1 和 NH-2 的界限在 40°N 左右，由于缺乏足够的数据，未能准确划定，基于我国现有的树轮记录，我们推测 NH-1 和 NH-2 的界限在我国大约位于 34°N—35°N。利用我国青海湟中地区（36.27°N, 101.67°E）树轮重建的大气 $^{14}CO_2$ 记录（1957-2015）受到人类活动影响较少，可以作为区域大气 $^{14}CO_2$ 本底。籍此机会呼吁树轮气候学研究者与 ^{14}C 环境示踪研究者加强合作，充分利用现有的树轮材料早日获得可靠的欧亚大陆腹地的大气 $^{14}CO_2$ 历史变化综合曲线。

S39-P-4S

化石源多环芳烃在夏季台湾海峡海-气界面的传输通量

张瑞 [1]，押淼磊 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸科学研究院

* mlya@sklec.ecnu.edu.cn

基于多环芳烃（PAHs）的单体烃放射性碳同位素分析和海-气界面传输模型，本研究定量研究了化石源和生物质源对夏季台湾海峡海水中 PAHs 的贡献及其海-气界面交换通量。结果表明，化石源输入对 PAHs 的平均贡献率高达 89%，且在海-气界面呈现净挥发过程。其中两种最主要的组分-芴和菲（平均占比为 58%）的净挥发通量（27±2.8μg·m^{-2}·d^{-1}）显著高于干沉降通量（平均 0.43μg·m^{-2}·d^{-1}）。主要单体 PAHs（主要为芴、菲和蒽、荧蒽和芘）$\Delta^{14}C$ 值的范围为−997±4‰至−873±6‰，^{14}C 质量守恒模型结果表明 89%−100%（平均 95±4%）的 PAHs 来自化石燃料及其燃烧过程输入。夏季南海暖流和冬季闽浙沿岸流输入的化石源 PAHs 略高于福建九龙江口和厦门西港，其贡献分别为 98%、97%、90%和 93%。对于不同单体 PAHs 组分而言，菲和蒽（三环 PAHs）相较荧蒽（四环 PAHs）具有更高的 ^{14}C 丰度，这表明在海水中化石燃料对后者的贡献更大。本研究是单体烃放射性碳同位素分析在海水 PAHs 来源示踪的首次应用，对于研究海-气界面传输过程中单体 PAHs 的 ^{14}C 响应特征提供基础。

S39-P-5S

九州-帕劳海脊对深海沉积物有机碳埋藏的影响

董丽华 [1,2]，包锐 [1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 中国海洋大学，化学化工学院

* baorui@ouc.edu.cn

在复杂地形控制下，物质的输送和埋藏可能呈现多样化。西太平洋九州−帕劳海脊两侧具有复杂且不同的沉积环境和洋流背景。本研究选取九州-帕劳海脊两侧的 5 根沉积短柱，测试了有机碳含量（OC）、有机碳稳定同位素值（$\delta^{13}C_{org}$）和放射性碳同位素值（$\Delta^{14}C_{org}$）。结果表明，海脊左侧沉积物具有相对较低的 $\Delta^{14}C_{org}$ 值和偏负的 $\delta^{13}C_{org}$ 值，说明老化有机碳的输入和埋藏占更高比例，可能是陆源风化产物的输入。此外，$\delta^{13}C_{org}$ 值变化范围广（−23.97 到−18.22‰），指示多种物质来源，可能是受西菲律宾海盆中央裂谷的阻挡以及海山滑坡物质输入的影响。海脊右侧沉积物具有相对较高的 $\Delta^{14}C_{org}$ 值，$\delta^{13}C_{org}$ 值具有明显的海源信号，说明海脊右侧埋藏了更高比例生物来源的新鲜有机碳。此外，$\Delta^{14}C_{org}$ 值变化范围广，推测原因是 1）右侧埋藏的有机碳不稳定，易于被降解；2）右侧稳定的环境适宜微生物生存，大量消耗利用新鲜有机碳。该研究表明，受九州−帕劳海脊的影响，海脊两侧的碳同位素特征具有明显不同，海脊是影响区域范围内有机碳来源、沉积、埋藏以及循环的重要因素之一。

S39-P-6

水分对古菌脂类与矿物相互作用的影响

裴宏业[1*]，谢树成[2]，杨欢[2]，冯兆东[1]

1 河南大学，地理与环境学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* hongye.pei@foxmail.com

矿物对微生物残体碳的保护对于土壤有机质的长期稳定非常重要。然而水分对于土壤矿物和微生物残体碳相互作用的影响却不清楚，主要是因为缺乏合适的手段来定量分析与矿物结合的微生物残体碳。本研究通过利用离线热解法来释放与矿物结合的古菌残体碳甘油二烷基甘油四醚化合物（isoGDGTs），即将样品在缺氧条件下分别在 150, 200, 250, 300, 350°C 下加热。结果表明随着加热温度升高，可抽提的 isoGDGTs 的含量逐步增加，在 200℃达到了最大值，这意味着 200℃加热时结合态的 isoGDGTs 被完全释放。通过研究一个具有水分梯度的土壤样带中的结合态 GDGTs，我们发现结合态 isoGDGTs 在土壤中的占比可达 97%，同时结合态 isoGDGTs 的占比随着土壤水分含量的增加而降低，意味着土壤水分含量是控制 isoGDGTs 与矿物相互作用的关键。我们进一步通过研究中国东北样带的土壤验证了这一假说。在东北样带，随着年均降水量从 160 毫米增加至 814 毫米，土壤中的结合态脂类的占比逐渐降低。另外，在水体环境中，结合态 isoGDGTs 的占比更低，通常在加热过程中，isoGDGTs 的含量逐渐下降。

水分影响土壤中古菌结合态脂类的占比主要由于水分会影响古菌和矿物的相互作用。土壤中的水分主要以薄膜的形式存在于矿物周围，土壤微生物通常会紧贴矿物来避免脱水，获取养分，因此土壤中微生物的结合态脂类的占比更高。在干旱条件下，微生物会进一步贴近矿物避免脱水，同时，干旱条件下微生物会分泌胞外聚合物，这从一定程度上也增加了微生物残体碳与矿物的相互作用。而在水体环境中，微生物不会受到水分的限制，浮游奇古菌在死亡以后沉降，因而其残体碳与矿物的相互作用较弱。本研究指示了干旱条件下微生物残体碳与矿物结合的比例更高，因而具有更高的保存潜力。

S39-P-7S

黄河口表层沉积物有机质碳同位素特征研究

马海悦[1]，包锐[1*]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育重点实验室

* baorui@ouc.edu.cn

本研究对黄河口 B45 站位的表层沉积物样品进行连续氧化实验，采用梯度升温热解氧化法，并结合碳同位素指标研究沉积物中不同有机碳组分的演化趋势与结合状态。研究阐明了矿物对有机质选择性保护的调控作用，在确定沉积物主要矿物类型的基础上，分别对矿物结合态有机质（MOM）和非矿物结合态有机质（FOM）开展研究。结果表明，在氧化过程中 MOM 和 FOM 的总有机碳含量分别下降了 28.18%和 69.18%。由于 FOM 与矿物分离，$\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}$ 偏负、^{14}C 年龄偏老的碳组分更容易在氧化过程中降解和流失，表现出典型的陆源特征。总体而言，有机质与矿物质的相互作用提高了沉积物的抗氧化性，增强了内部结构的稳定性和复杂性，使得有机质在长时间尺度的自然降解中得以选择性保存。

S39-P-8

南海北部现代沉积有机碳成分特征的空间变化

林宝治[1*]，刘志飞[1]，Timothy I. Eglinton[2]，Martin G. Wiesner[3,4]，Thomas M. Blattmann[2]，Negar Haghipour[2,5]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
2 ETH Zürich， Geological Institute, Department of Earth Sciences
3 University of Hamburg,Institute of Geology
4 自然资源部第二海洋研究所，洋生态系统动力学重点实验室
5 ETH Zürich， Laboratory of Ion Beam Physics
* bzlin@tongji.edu.cn

海洋沉积物有机碳沉积和埋藏组成全球碳循环的重要部分。陆架边缘海沉积物的有机碳埋藏量占全球海洋约 90%，然而，该区域的现代表层沉积物有机碳成分特征和其空间分布的控制机理仍然不清楚。本文从南海北部采集 89 个海底表层沉积物样品，通过分析其总有机碳（TOC）含量、有机碳稳定碳同位素（$\delta^{13}C$）和放射性同位素（用现代碳分数 F_m 表示），及沉积物硅酸盐矿物比表面积（SA）和粒度，旨在厘清南海北部陆架至深海盆地海底沉积有机碳的组分特征及控制因素。结果显示，南海北部沉积物的 TOC 含量变化范围为 0.07–1.54%，$\delta^{13}C$ 为–18.9 至–26.0‰，F_m 为 0.14–0.90（对应碳 14 年龄为 854–16003 yr BP），SA 为 2.1–46.8 $m^2 g^{-1}$，平均粒度为 5–210 μm。总体上，TOC 含量高值出现在内陆架和陆坡约 1000–2000 m 水深处。$\delta^{13}C$ 值随水深加深而逐渐升高， F_m 值随水深加深而降低。粗颗粒主要沉积在外陆架和上陆坡。SA 与平均粒径呈现出负相关关系。双碳同位素显示南海北部陆架沉积物有机碳组分落在周边河流输入的陆源颗粒有机碳和海源颗粒有机碳组分之间，表明陆源有机物质的输入是导致其沉积有机碳老化的一个重要因素。陆坡和深海盆地的沉积有机碳的 $\delta^{13}C$ 升高和 F_m 值降低的空间分布模式，可能是由于陆源物质贡献的降低和沉积有机碳在水动力作用下发生的再悬浮和再搬运引起颗粒有机碳老化共同导致的。因此，陆源物质的输入和沉积物侧向搬运引起的颗粒有机碳的老化共同控制着南海北部颗粒有机碳成分的空间变化。

S39-P-9S

末次冰期海底甲烷的释放与转化：以南海东北部水合物区域为例

马玲[1,2]，褚梦凡[1,2]，陈芳[3]，周洋[3]，车阳丽[1,2]，包锐[1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室与深海圈层与地球系统前沿科学中心
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室
3 中国地质调查局广州海洋地质调查局
* baorui@ouc.edu.cn

海洋沉积物中天然气水合物的不稳定以及气态甲烷释放到海洋和大气中，加速了全球变暖。在沉积物中甲烷可以通过微生物作用转化为无机碳和有机碳。重建历史上甲烷衍生有机碳的产生和埋藏的记录可以为温室气体的气候反馈机制和海洋环境中的碳循环提供重要信息。然而，末次冰期冷渗区甲烷向有机碳的转化以及甲烷衍生有机碳埋藏通量的研究尚不深入。本文通过分析南海东北部东沙海域甲烷渗漏沉积区有机碳的含量、稳定性和放射性碳同位素特征($\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$)，探讨甲烷的释放与转化，并提出基于有机碳热稳定性的代用指标来量化甲烷衍生有机碳的历史埋藏通量。结果表明，甲烷渗流层有机碳含量高于未受渗流影响的沉积物有机碳的含量，这主要归因于甲烷衍生有机碳向沉积有机碳的转化。我们认为甲烷是沉积有机碳的重要来源，从而导致了沉积有机碳的 $\delta^{13}C$ 负偏和 $\Delta^{14}C$ 年龄偏老。甲烷衍生有机碳至少占沉积物中总有机碳的 38%至 46%。我们进一步估算了末次冰期东沙地区甲烷衍生有机碳埋藏通量为 134–226 Gg/yr。我们的研究强调了甲烷衍生碳的封存作为千年时间尺度上海平面下降引起的水合物不稳定的负反馈。

S39-P-10S

长白山火山区流域河流水化学和同位素组成的时间变化

王丽楠[1]，钟君[1*]，张茂亮[1]，刘国明[2]，樊传普[3]，徐胜[1*]

1 天津大学，地球系统科学学院

2 中国地震局地质研究所，吉林长白山火山国家野外科学观测研究站

3 吉林省水文水资源局延边分局

* jun.zhong@tju.edu.cn

* sheng.xu@tju.edu.cn

火山活动向地球表层释放大量深部碳，在地质时间尺度上影响全球碳循环。阐明火山区深部碳释放对地表碳循环的贡献至关重要。长白山是中国境内规模最大、最具喷发潜力的活动火山，以不同形式向大气释放大量深源 CO_2。为阐明长白山火山区深部碳释放对流域碳循环的影响，本项研究调查了发源于天池的二道白河水化学和溶解无机碳（DIC）同位素组成（$\delta^{13}C_{DIC}$ 和 $\Delta^{14}C_{DIC}$）的时间变化。结果表明，深部热液对研究区水化学和碳同位素组成具有重要影响。根据化学质量平衡模型二道白河水体 4.6%来源于热液，并为河流提供 30.7%的阳离子通量。二道白河上游 $\delta^{13}C_{DIC}$ 和 $\Delta^{14}C_{DIC}$ 分别为 2.3±0.4‰和−836±19‰，由于温泉的热液补给，相对于下游（$\delta^{13}C_{DIC}$=−4.6±0.7‰，$\Delta^{14}C_{DIC}$=−408±37‰）富集 ^{13}C 且贫乏 ^{14}C。$\Delta^{14}C_{DIC}$ 的同位素混合模型表明，二道白河上游和下游总 DIC 的 83.6±1.9%和 40.8±3.7%来源于深部碳，但未表现出明显的时间变化趋势。然而，DIC 和 DOC 通量则呈现出显著的季节性变化，反映了水文过程的控制作用。二道白河热液成因 DIC 通量为 4.9 t C $km^{-2}yr^{-1}$。此外，基于 DIC 的碳同位素瑞利分馏模型量化河流 CO_2 脱气程度的结果显示，35.5±2.1%~67.5±2.6%的初始 DIC 以 CO_2 形式扩散到大气中。本项研究强调了深部碳释放对火山区流域碳循环的影响，对于理解全球 CO_2 平衡和气候变化具有重要的参考意义。

S39-P-11S

沉积物再悬浮驱动浅海颗粒有机碳向溶解有机转化和再平衡

刘晓晴[1,2]，朱龙海[3,4]，闫才青[5]，王楠[1,3,4]，陈海彪[5]，郑广金[1,2]，车阳丽[1,2]，包锐[1,2*]

1 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心

2 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

3 中国海洋大学，海洋地质科学学院

4 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

5 山东大学，环境研究所

* baorui@ouc.edu.cn

边缘海沉积物是海洋有机碳（OC）埋藏的重要储库，在海洋碳收支中起着重要作用。强烈的水动力学过程驱动沉积物重悬浮促进了沉积物 OC 的转化和重新分配，对沉积物碳埋藏过程具有重要影响。然而，由于边缘海沉积物 OC 的来源和组成非常复杂，以及沉积物悬浮搬运强度与时间的差异使得沉积物 OC 向溶解有机碳（DOC）转化和再平衡特征仍不明确。研究通过将粒径为 ＜20、20 – 63 和 ＞ 63μm 的沉积物与海水混合模拟沉积物重悬浮过程，探究 POC-DOC 转化过程。初步研究结果表明，小粒径沉积物 OC 向水体中输送更高通量的 OC，这种差异主要与沉积物 OC 的含量及其与矿物的结合方式有关。此外，OC 的转化进一步介导沉积物和水体中 OC 的再平衡过程。小粒径沉积物的再悬浮导致了 DOC 浓度的增加和芳香性指数（$SUVA_{254}$）的下降，这表明小粒径沉积物重悬浮增加了周围水体中 DOC 的生物可利用性，而大粒径沉积物再悬浮过程则降低了 DOC 的生物可利用性。所有粒径沉积物上的 OC 浓度升高，伴随着 OC 的 $\delta^{13}C$ 值的负偏和 C/N 的升高，这表明难降解 OC

在沉积颗粒相上积累，并且积累强度随着沉积物粒度增加而增加，这可能是由生物可利用性高的 OC 的优先转化和难降解 OC 的重新吸附造成的，并且不同粒径沉积物矿物吸附能力及吸附偏好介导了不同粒径间重吸附过程的差异。本研究结果有助于理解沉积物 OC 转移和再平衡过程。

S39-P-12S

喀斯特小流域溶解无机碳的来源：基于稳定和放射性碳同位素的评估

郑玥[1]，丁虎[1*]，钟君[1]，徐胜[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

* dinghu@tju.edu.cn

河流不仅是陆地向海洋运输碳等物质的通道，也是活跃的生物地球化学反应器，在区域和全球碳循环中具有重要作用。河水中碳的类型和含量是多种过程相互作用的结果，其中溶解性无机碳（DIC）的含量高低通常与流域化学风化强弱相关，且源自大气 CO_2 和/或生物来源 CO_2 的比例越大，表明流域碳汇能力越强。因此，河水中 DIC 的来源辨识具有重要意义。通常认为，在碳酸盐岩流域，河水 DIC 中的碳仅有 50%来源于大气，部分地区受到外源酸（硫酸、硝酸等）的影响，来源于大气 CO_2 的贡献不足 50%。稳定碳同位素（δ^{13}C-DIC）被广泛应用于河流 DIC 的溯源研究，但受到同位素分馏作用的影响，其结果存在较大的不确定性。而放射性碳同位素（Δ^{14}C-DIC）可以克服上述不足，实现大气源和化石源的准确辨识。因此，联合稳定和放射性碳同位素及水化学数据有助于来源解析和深入理解碳生物地球化学过程。本研究以贵州典型喀斯特小流域（后寨小流域）河水为研究对象，利用 δ^{13}C-DIC 和 Δ^{14}C-DIC 信号及水化学信息，辨识了 DIC 的来源。结果表明，δ^{13}C-DIC 和 Δ^{14}C-DIC 值的变化范围分别为：-14.0‰~ -7.3‰和-426‰~-31‰，平均值为-10.5‰和-180‰。二元混合模型表明，河水 DIC 中碳的来源以新碳为主，占比高达 83%。这说明研究区河水 DIC 中大气和/或生物来源 CO_2 与碳酸盐岩来源的比例超过 4:1，高于传统认为的 1:1 比例。与土壤端元数据的对比表明陆源土壤呼吸作用可能是 DIC 的主要来源。本研究的结果表明，喀斯特河流 DIC 中大气 CO_2 来源的比例高于传统观点，喀斯特流域的碳汇能力在过去可能被低估。

S39-P-13S

南海北部 SITE F 冷泉区水体剖面溶解无机碳同位素特性

车阳丽[1]，徐胜[2]，包锐[1*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室与深海圈层与地球系统前沿科学中心

2 天津大学，天津大学地球系统科学学院

* baorui@ouc.edu.cn

目前对海底释放出来的甲烷的转化机制及其对大气甲烷浓度的影响程度仍缺乏有效理解。本研究于 2022 年 5 月在台西南盆地福尔摩沙冷泉(Site F)区域上方采集了不同深度的水样，对水体溶解性无机碳(DIC)的浓度、稳定碳同位素(δ^{13}C) 和放射性碳同位素(Δ^{14}C)进行测定。结果表明，DIC 浓度从海洋表层到海底水体—沉积物界面呈略微升高趋势，δ^{13}C 值基本稳定，Δ^{14}C 值从海洋表层到海底水体—沉积物界面间呈降低趋势(放射性碳年龄增加)。碳同位素结果表明在深层海水中并未发现明显的深层来源的甲烷碳信号，说明深层来源的甲烷可能并未对上层海水中的甲烷浓度产生显著的影响。我们的研究强调了深层来源的甲烷对上层水圈甚至大气圈中的甲烷浓度并未产生显著的影响，推测可能是由于甲烷碳在深层沉积物或水体中的转化造成的，这在降低

甲烷排放以及减缓大气温室效应方面发挥着关键作用。

S39-P-14S

西北太平洋黑潮-亲潮交汇区有机碳的来源及埋藏记录

王益鹏[1,2]，包锐[1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋生态与环境科学功能实验室

* baorui@ouc.edu.cn

海洋沉积物中有机碳的埋藏记录了海洋与大气碳库的快速交换过程，并在地质时间尺度上驱动了地球碳库的演化。然而，对于冰期-间冰期旋回下有机碳埋藏与气候变化的相互作用机制尚不清楚。本文重建了末次冰期以来西北太平洋黑潮-亲潮交汇区的有机碳埋藏演化及海洋古生产力的地质记录，并探讨了研究区有机碳埋藏的不同来源贡献及冰期旋回中有机碳的埋藏机制。研究数据表明，冰期深海有机碳埋藏通量明显高于间冰期，并呈现明显周期性变化。冰期风尘输入的增加与黑潮暖流的影响增强了研究区域表层水营养盐浓度，促进了真光层内海源有机碳生产。与此同时，冰期大洋水体还原性总体增强，降低了有机碳的氧化降解程度，提高了有机碳向深海转移的埋藏效率。因此，冰期旋回期间深海有机碳的埋藏对全球气候变化存在高度敏感性。本研究以多角度探究了末次冰期以来西北太平洋黑潮-亲潮交汇区的有机碳埋藏机制，为理解长时间尺度下全球碳循环提供了重要的科学依据。

S40-O-1

揭开上新—更新世全球气候变化之谜：巽他陆架大洋钻探建议

刘志飞[1*]，汪品先[1]，Till J.J. Hanebuth[3]，Christophe Colin[4]，Thanawat Jarupongsakul[5]，Nugroho D. Hananto[6]，Edlic Sathiamurthy[7]，马鹏飞[1]，杨胜雄[2]，耿建华[1]，钟广法[1]

1 同济大学

2 广州海洋地质调查局

3 Coastal Carolina University

4 Université Paris-Saclay

5 Chulalongkorn University

6 National Research and Innovation Agency

7 Universiti Malaysia Terengganu

* lzhifei@tongji.edu.cn

巽他陆架是世界海洋低纬区最大的大陆架，冰期低海平面时曾出露成陆，发育过大型古河流和热带雨林，为研究海洋大陆的地貌变迁及其对全球气候的影响提供了宝贵材料。该建议书题为“Evolution of the Pliocene-Pleistocene Tropical Sunda Shelf (SE Asia): Reconstructing Sea Level Change, Drainage System Development, and Carbon Cycling”，计划穿过陆架区最主要的 4 个沉积盆地（Pattani Basin, Malay Basin, West Natuna Basin, East Natuna Basin）钻探 10 个站位，获取一套 5 百万年来的沉积记录，重建上新世—更新世热带巽他陆架的海平面升降、河系演变和碳循环历史，以检验低纬海洋大陆的地貌变迁及其碳储库演变是否驱动了上新世—更新世全球变冷。具体科学目标包括：（1）海平面变化：获得 5 Ma 以来海平面升降历史，特别是上新–更新世过渡期的冰期旋回和冰盖扩张期的海平面快速变化。（2）流域演化：再造巽他陆架流域系统演化过程，研究流域内陆构造活动、陆架风化剥蚀和陆海物质输运。（3）碳循环：评估冰期时出露陆架作为全球碳汇和温室

气体源区的功能，评定其对冰期旋回全球气候变化的贡献。

S40-O-2

14 万年以来东南亚岛弧风化历史

于兆杰[1*]，唐小洁[1]，万世明[1]，Christophe Colin[2]

1 中国科学院海洋研究所

2 法国巴黎萨克雷大学

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

印度-太平洋暖池(IPWP)的深对流过程为全球提供了重要的热量和水汽，从而影响了全球气候。准确重建暖池对流和降水的演化历史对理解其控制机制和预测未来的变化具有重要意义。目前该地区降水的重建指标主要有氢氧同位素和 XRF 元素扫描等，均存在各自的限制因素，并且多条记录相互矛盾，需要进一步研究。本研究利用暖池核心区 MD01-2385 岩芯的粘土矿物学和元素地球化学记录，重建了 14 万年以来东南亚岛弧轨道-千年时间尺度的风化历史。基于东南亚地区广泛发育高山短源性小河源汇系统，认为该风化记录主要受控于暖池的深对流及其带来的降水演化控制。在轨道时间尺度上，该风化记录表现出强 2 万年岁差周期，并与暖池热含量和东亚季风降水变化相一致。此现象支持暖池深对流对东亚夏季风的重要影响作用。千年时间尺度上，该记录表明在 Heinrich Stadials 1-4 期间物理剥蚀较弱，而化学风化较强，与类 El Niño 模态导致的降水减少相对应；相反，较强的物理剥蚀和较弱的化学风化强度与温暖的时间段相吻合，与类 La Niña 模态导致的降水增加相对应。这一现象表明降水较强时，驱动东南亚岛弧物理剥蚀增强，沉积物在流域搬运加快，滞留时间缩短，导致化学风化强度减弱，反之亦然。此外，我们的风化记录表明，晚全新世降水最少，支持末次盛冰期比现代更强的沃克环流的假设。

S40-O-3

末次冰消期以来海平面和东亚季风演化对巽他陆架沉积物输运的影响

吴凯凯[1]，刘升发[1,2]，石学法[1,2*]，Christophe Colin[3]，张辉[1]，Franck Bassinot[4]，刘志飞[5]，方习生[1,2]，Serge Miska[3]，Julius Nouet[3]，Rosella Pinna-Jamme[3]，Arnaud Dapoigny[4]，Che Abd.Rahim Mohamed[6]，Somkiat Khokiattiwong[7]，Narumol Kornkanitnan[7]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 崂山实验室

3 Université Paris-Saclay

4 Laboratoire des Sciences du Climat et de l’Environnement

5 同济大学，海洋地质国家重点实验室

6 National University of Malaysia,Faculty of Science and Technology

7 Marine and Coastal Resources Research and Development Institute

* xfshi@fio.org.cn

巽他陆架作为最大的低纬陆架，在冰期低海平面时完全暴露，它在南海南部深海盆地的沉积中起着关键作用。然而，末次冰消期以来的季风和海平面变化对沉积物组成和沉积物在巽他陆架和南海南部深海之间输运的影响仍未得到约束。为此本研究分析了泰国湾和巽他陆架中部三根沉积岩芯的粒度、粘土矿物以及<63μm 和<2μm 组分的 Sr-Nd 同位素组成，同时分析了巽他陆架周围主要河流沉积物和巽他陆架表层沉积物的粘土矿物和 Sr-Nd 同位素组成。结果表明末次冰消期以来泰国湾沉积物的粘土矿物主要由蒙脱石和高岭石组成，其次是绿泥石和伊利石。巽他陆架中部沉积物粘土矿物主要为蒙脱石，其次是伊利石、高岭石和绿泥石。粘土矿物和 Sr-Nd 同位素分析结果表明，

巽他陆架中部和泰国湾的粘土组分主要来自湄公河和泰国北部河流沉积物的混合。7.5 ka 时，巽他陆架中部和泰国湾的物源均发生了明显变化。从 13.5 ka 至 7.5 ka，泰国湾沉积物主要来自泰国北部河流，而 7.5 ka 之后，来自湄公河的沉积物贡献增加。巽他陆架中部则出现了相反的物源变化。巽他陆架沉积物源时空分布变化是海平面和东亚季风影响的综合结果。7.5 ka 之后，海平面相对稳定，由于强烈的东亚冬季风活动驱动了强大的西南方向沿海流，从湄公河向东南方向进入南海南部深海盆地的沉积物减少，更多的沉积物逐渐被沉积在湄公河三角洲内并向西南方向输运进入泰国湾。

S40-O-4

马六甲海峡现代沉积环境特征及其沉积物输运机制研究

艾丽娜[1*]，刘升发[1]，张辉[1]，齐文菁[2]，叶文星[2]，吴凯凯[1]，石学法[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与地球物理研究室

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* ailina@fio.org.cn

海峡是物质和能量交换的最重要通道，对沉积物从源到汇过程的研究起到关键作用。马六甲海峡位于苏门答腊岛和马来半岛西海岸之间，是连接安达曼海东部和巽他大陆架西部的重要通道。为进一步明确马六甲海峡的现代沉积特征及其源汇过程，我们对马六甲海峡的63个表层沉积物的粘土矿物、稀土元素(REE)组成和粒度进行了分析，物源判别结果表明：马来半岛西部、泰国西部沿海是研究区沉积物的主要来源，巽他陆架次之，苏门答腊和安达曼海沉积物最少。端元分析结果显示研究区沉积物粒度有四个端元：EM1 和 EM3 是在西南季风期间分别由表层流和底流的输送的组分，EM2 反映了东北季风期间马来半岛入海河流沉积物的输入。马六甲海峡沉积物的输运过程主要受季风控制：东北季候风期间，马来西亚半岛强降雨和西北向海流将河口泥沙输送至海峡，巽他陆架的部分泥沙也通过狭窄的新加坡海峡进入研究区；而在西南季风期间，安达曼海的高含盐水团进入，海流可到达海峡中部，并将安达曼海泰国西海岸沉积物输送到马六甲海峡。

S40-O-5

末次冰盛期以来南海西北部陆架风化的沉积记录

万世明[1*]，赵增祥[1]

1 中国科学院海洋研究所

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

第四纪冰期-间冰期旋回中大气CO_2 浓度变化受多种因素控制，其中冰期海平面降低引起热带大陆架硅酸盐风化增强，为解释“冰期大气 CO_2 之谜”提供了新的视角。但是，物源的复杂性、沉积记录的分辨率较低、指标较单一等因素，一定程度会影响我们对记录结果的解释。在此，本研究以南海西北部的琼东南盆地 KT2 站位沉积岩芯为研究材料，在高分辨率年代格架重建和多种物源与风化指标联合应用的基础上，尝试多种指标结合分析，以此重建南海西北部地区 30 ka 以来的化学风化历史。结合全球温度和亚洲季风代用指标与海平面变化等数据，探究南海西北部硅酸盐风化的驱动机制，并在此基础上估算末次冰期以来北部湾陆架暴露造成的大气 CO_2 消耗量，分析其与全球气候变化间的相互关系。

S40-O-6

南海沉积物分布特征和变化规律

乔淑卿[1,2*]，石学法[1,2]，刘升发[1,2]，刘焱光[1,2]，盛洁[1]，刘建国[3]，王昆山[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室
2 崂山实验室，海洋地质过程与环境功能实验室
3 中国科学院南海海洋研究所，边缘海地质与大洋地质重点实验室
* qiaoshuqing@fio.org.cn

南海是西太平洋最大的边缘海，具有广阔的陆架，接收来自周边世界性大河与山地小河等河流输入的巨量物质，沉积作用多样，沉积物组成复杂。南海沉积物的特征和分布规律是海洋地质学长期关注的基础性问题。基于近 30 年来多个海洋调查专项项目及其他项目获取的 9090 站沉积物实测粒度和涂片数据、^{210}Pb、AMS^{14}C 和沉积物捕获器获取的沉降通量等数据资料，首次利用福克分类法（1970，浅海沉积物）和迪恩分类法（1985，半深海-深海沉积物）相结合的方法编制了 1:100 万南海沉积物类型图，详细揭示了各类沉积物的分布特征，阐述了南海沉积物的分布规律、来源、成因和演化机制。主要认识如下：

（1）南海沉积物类型分为 57 种，陆架主要是陆源碎屑沉积物；大陆坡或者岛坡主要为陆源碎屑沉积，有少量的生物碎屑沉积；深海盆地主要为深海黏土及硅质黏土、含硅质和钙质黏土；南海群岛和南海东南部陆架及陆坡区域沉积物主要为生物成因的粗粒级沉积；铁锰结壳和玄武岩广泛分布在海山区域；多金属结核主要出现在深海盆地、陆坡和部分海山顶部；火山物质高含量区集中在马尼拉海沟西侧和黄岩岛一带的海域。

（2）南海沉积物的分布呈环陆分带性和垂向分带性特征。由陆向海，沉积物由陆源碎屑沉积—富碳酸盐细粒级沉积—贫碳酸盐富硅质生物沉积有规律的分布；随着水深由浅到深，沉积物依次为含硅质钙质泥或含硅质钙质粉砂—含硅质和钙质泥或含硅质和钙质粉砂—含钙质硅质黏土—硅质软泥或深海黏土。

（3）南海现代沉积速率具有明显的分区性特征。在三角洲区沉积速率最高达 10 cm/yr 以上，陆架泥质沉积区和海底峡谷连接的上陆坡区沉积速率基本在 0.2 cm/yr 以上。砂质区和砾石区域现代沉积很少，甚至出现侵蚀。

（4）南海深水区全新世平均沉积速率约为 17 cm/kyr。南海北部、西部及南部陆坡沉积速率大于 25 cm/kyr，东部岛坡沉积物速率在 3~8 cm/kyr，西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛邻近海域沉积速率大体在 5 cm/kyr 以下，深水盆地基本小于 3 cm/kyr。

（5）水下三角洲和陆架泥质区每年沉积量约为 1191.1 Mt 细粒级物质，陆坡和深海盆地每年分别沉积约 161~239.4 Mt 和 16.5~20.1 Mt 沉积物，其中陆架和陆坡占总沉积量的 98%以上。南海沉积物中河流贡献了约 80%以上，大气沉降贡献不到 2%，其余来自海岸/海底侵蚀和生源物质等。

S40-O-7

巽他陆架沉积有机碳的成分和来源

林宝治[1*]，刘志飞[1]，赵美训[2]，Penjai Sompongchaiyakul[3]，张海龙[2]，Thomas M. Blattmann[4]，冯铄[1]，Martin G. Wiesner[5]，Khanh Phon Le[6]，Rithy Meas[7]，Edlic Sathiamurthy[8]

1 同济大学， 海洋地质国家重点实验室
2 中国海洋大学，深海圈层与地球系统前沿科学中心
3 Chulalongkorn University,Department of Marine Science
4 ETH Zürich，Geological Institute, Department of Earth Sciences
5 University of Hamburg,Institute of Geology
6 Hanoi University of Mining and Geology,Faculty of Petroleum
7 Ministry of Environment,Department of Coastal Zone and Marine Conservation
8 University Malaysia Terengganu,Faculty of Science and Marine Environment
* bzlin@tongji.edu.cn

The deposition of fluvially derived terrestrial organic carbon (OC) together with marine OC in marine sediments has important implications for the global carbon cycle. However, dispersal extent and fates of terrestrial soil and petrogenic OC on the continental shelf have remained unclear and debated. Here, we present OC compositions and mineral properties of marine sediments from the Gulf of Thailand and the adjacent Mekong shelf, as well as river sediments from continents surrounding them in order to determine the provenance of sedimentary OC in this tropical epicontinental sea. We find that stable carbon isotope composition ($\delta^{13}C$) and radiocarbon activity ($\Delta^{14}C$) of sedimentary OC fall between those of marine OC and of river sediments, mainly composed of C3 plant-dominated pre-aged soil and petrogenic OC. Mixing model reveals that the OC in river sediments is predominantly sourced from pre-aged deep soils, accounting for 73 ± 5%, with the remaining consisting of modern surface soil (25 ± 6%) and bedrock (2 ± 1%). The sedimentary OC on the shelf is primarily derived from marine OC, accounting for 65 ± 15%, with terrestrial soil OC and petrogenic OC contributing 24 ± 14% and 10 ± 5%, respectively. The sources, degradation, and aging of OC and mineral surface area determine the spatial pattern of sedimentary OC compositions in the Gulf of Thailand and the Mekong shelf. The contents of marine, soil, and petrogenic OC decrease with increasing distance offshore, consistent with changes in spatial patterns of sedimentation rate of terrestrial materials and of marine primary production in the overlying water column. Extensive degradation of terrestrial OC and extremely low OC burial rate in this tropical epicontinental sea suggest a minor role on OC sequestration in marine sediments, but an important CO_2 source to the atmosphere in the context of the global carbon cycle.

S40-O-8

末次冰消期以来泰国湾沉积有机质的埋藏记录以及对气候环境演化的响应

白亚之 [1,2]，乔淑卿 [1,2*]，胡利民 [2,3*]，吴斌 [1,2]，杨刚 [1,2]，范德江 [2,3]，刘季花 [1,2]，石学法 [1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与成矿作用重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

3 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* qiaoshuqing@fio.org.cn

* hulimin@ouc.edu.cn

低纬热带泰国湾区域海-陆相互作用强烈，周边陆源输入和热带季风气候影响显著，冰期时海平面显著降低，其上发育植被有明显差异，植被与沉积有机质演化对频繁的气候变化和海平面响应敏感。因此，泰国湾成为研究沉积有机质来源、埋藏及控制因素和气候环境变化响应的理想区域。本研究基于泰国湾中部泥质沉积区柱样的 AMS^{14}C 测年，重建了该区末次冰期以来的沉积有机地球化学时间序列。利用总有机质及粒度等指标，结合正构烷烃有机分子组成及参数进行综合分析，探讨了末次冰消期以来研究区沉积有机质的来源变化、埋藏特征及影响机制。结果显示：末次冰期低海平面（16398～14300 cal. a B.P.），有机质来源以陆源高等植物输入为主，有机碳埋藏通量较高，可能与沉积环境和较强的陆源输入有关；冰消期海水入侵（14300～8000 cal. a B.P.），海平面上升，陆源有机质贡献逐渐降低，有机质来源逐渐过渡到以海源为主；全新世高海面（8000 cal. a B.P.～今），研究区沉积环境逐渐稳定，有机质来源以海源为主。其中，在 8000 ~ 5800cal. a B.P.和 2500 ~ 1000 cal. a B.P.有两个沉积速率较高的阶段，对应较高

的烷烃 TAR 值和有机碳埋藏通量，这可能是 ITCZ 控制了东亚夏季风和印度洋季风的最大降雨带，引起的降水增加对有机质埋藏有贡献。此外，与全新世相比，冰期低海面时研究区正构烷烃 ACL 以及 *n*-C_{31}/*n*-C_{27} 等参数比值较高，指示草本植物扩张，研究区气候相对干燥。总之，海平面变化和季风变化驱动了巽他陆架北部冰期间冰期间沉积有机质的埋藏及演变，为认识东南亚热带区域地质历史时期海洋沉积有机质的输入来源、埋藏记录及其影响因素等方面提供了重要的科学依据。

S40-O-9

巽他陆架融水脉冲事件中红树林沉积侵蚀及其对全球气候的影响

李丽 [1*]，郁金勇 [1]，张新康 [1]，贺娟 [1]，贾国东 [1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

* lilitju@tongji.edu.cn

近年来，红树林因其高碳储存能力而受到越来越多的关注。本项研究利用南海南部巽他陆架海洋沉积物岩芯中的各种有机脂质替代物，研究了末次冰期海平面变化对陆地沉积和沿海红树林生态系统的影响。从末次冰期到全新世，长链正构烷烃和正构烷烃含量、BIT 指数逐渐降低，δ13org 呈上升趋势，这表明在冰消期海平面上升期间，沉积中心从研究地点向陆地移动。在巽他陆架地区的融水脉冲（MWP）事件中，红树林替代指标（Taraxerol/n-C28-OH）出现了显著的峰值，这与无法承受海平面快速上升的红树林的淹没和破坏有关。在巽他陆架的两次强 MWP 事件中，富含碳的红树林沉积物的分解可能导致了大气中 CO2 的浓度显著增加。该研究表明，红树林系统对海平面快速变化的脆弱性某种程度加速了全球变暖。

S40-O-10

海洋孢粉记录揭示末次冰盛期巽他陆架上同时分布雨林和草原

程仲景 [1*]，吴家望 [1,2]，罗传秀 [3]，刘志飞 [1]，黄恩清 [1]，赵宏超 [1]，戴璐 [1]，翁成郁 [1]

1 同济大学 ，海洋地质国家重点实验室

2 中山大学，海洋科学学院

3 中科院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* magnolia_czj@tongji.edu.cn

在冰期低海平面时，东南亚平缓的陆架大面积出露，众多岛屿连接成陆。普遍认为，这一过程在第四纪冰期旋回中不断重复，对于当地多样性的形成有重要影响。出露陆架上的植被类型是理解这些历史生态过程的关键，但目前仍存在较多争议。一方面，越来越多的陆地资料显示冰期时草原曾显著扩张，支持巽他大陆存在广阔的“草原廊道”的假说。另一方面，尽管有可能集结了区域性的植被信号，但来自南海南部的海洋孢粉记录却显示出露的陆架上主要以雨林成份为主，草原植被几可忽略不计。为了厘清这一争议，本研究分析了南海南部多个新的海洋钻孔资料，发现末次冰盛期海洋孢粉沉积存在显著的空间分异。其中靠近婆罗洲的钻孔中禾本科花粉含量很低，通常不超过 8%；但巽他陆架古河口附近的钻孔中含有大量的禾本科花粉，可占花粉总数的 20-40%，并且这些禾本科花粉具有截然不同的粒径特征，可以确定其为干旱型草地来源。与此同时，所有钻孔中木本成份的主要属种都十分类似，且多为雨林成份。古巽他河口附近钻孔中同时出现的雨林花粉和草原花粉很有可能说明冰期时巽他大陆上存在显著的经向分异，即越往内陆气候越趋向干旱。这一格局与前人提出的“草原廊道”假说相符。而之前的海洋孢粉记录很可能由于受到多个

物源，特别是婆罗洲的影响，并不能全面的反映出露陆架上的植被信息。

S40-O-11

基于孢粉数据的南海西部古环境重建

Herath Mudiyanselage Dileep Bandara Herath[1]，罗传秀[1*]，杜恕环[1]，向荣[1]，刘建国[1]，张兰兰[1]，苏翔[1]，杨艺萍[1]

1 中国科学院南海海洋研究所

* xiu104@scsio.ac.cn

南海西部及南部地区由于巽他陆架的存在而一直是研究古环境演化的热点区域。其中末次盛冰期期间的植被分布及碳循环尤为复杂。当时热带低地雨林、高山雨林及草本植物分布于暴露的巽他陆架上；另一些研究则认为当时巽他陆架被热带稀树草原覆盖。本研究以采自南海西部 2615m 水深的 NS2007-8 沉积物柱状样（长 211cm）为研究对象，以 1cm 间隔分样以进行孢粉分析。此外，通过对 6 个层位的样品挑选浮游有孔虫进行 AMS14C 测年，测得底部最老的年龄约为 55 ka BP。 根据聚类分析结果，NS2007-8 孔的孢粉谱可以被划分为 5 个孢粉带。孢粉带 A 的时间范围涵盖了 MIS 3 的早期阶段（54.529- 52.987 ka BP）。蕨类孢子含量为 52.65%；木本植物花粉含量次之（平均含量为 36.21%）；草本植物花粉含量为 11.14%。 孢粉带 B 囊括了 MIS 3 中 52.987-33.818 ka BP 这一时期。蕨类孢子的平均孢粉含量比 A 带高，达 65.94%。木本植物花粉平均百分含量为 30.84%，本带中红树科和海桑科等红树林花粉持续出现，草本植物花粉含量不足 4%。孢粉带 C 对应 MIS 3 晚期 33.818-27.074 ka BP。在本带中，蕨类孢子含量达到各带最高值（67.32%）；木本植物花粉以松属花粉为主（平均含量 12.17%）；草本植物花粉含量为 6.21%且以禾本科花粉为主。 孢粉带 D 主要对应 MIS 2 早期中 27.074-23.762 ka BP 这一阶段。在本带中，蕨类孢子含量下降至各带最低值（48.54%）。木本植物花粉含量为 21.08%。而草本植物花粉含量最低（5.39%），且以禾本科花粉为主。孢粉带 E (62-0cm)囊括了 23.762 ka BP 至今这一时期，主要包含末次盛冰期及很少部分全新世阶段（6cm 约为 13ka BP）。其中蕨类孢子平均含量为 63.81%。木本植物花粉平均含量为 24.46%，且以松属（平均含量 9.65%）和栎属（平均含量 3.72%）花粉为主，此外红树林花粉含量在 LGM 期间及全新世早期也较为可观。草本植物花粉含量提升至 10.12%，且以禾本科花粉为主（8.49%）。 本研究表明单缝孢及三缝孢等蕨类孢子含量在 MIS 3 及 MIS 2 晚期和早全新世期间占优势(>50%)，但在末次盛冰期期间相对减少，反映温暖的 MIS 3 和 MIS 2 晚期阶段是夏季风强盛的时期。孢粉通量在冷干的 LGM 时期更高，表明：尽管 LGM 时期降水量显著减少，但陆源沉积输入量却因为研究区域与古河流（北巽他河、泰国的河流系统、古湄公河及古巴拉姆河）距离的缩短而增加。LGM 期间低山及高山雨林分布于暴露的巽他陆架上。然而，由于 LGM 期间冷干的气候条件，禾本科及耐旱草本植物（蒿属及菊科）分布于沿岸陆地地区并为研究区提供了大量的草本花粉。因为草本植物花粉无法从陆源地远距离传播。需要注意的是，本研究中重建的 LGM 期间古环境演化历史仅可应用于南海西部地区而非整个巽他陆架地区。

S40-O-12

使用植硅体和孢粉指标定量重建南海南部陆地古环境的初步研究

戴璐[1,2*]

1 同济大学，同济大学海洋地质国家重点实验室

2 宁波大学，地理与空间信息技术系

* dailu2288@163.com

目前，南海周边陆地植被和古气候的重建还缺乏定量化的手段，这导致了海、陆古环境证据间的对比还存在巨大的障碍。对此，我们进行了以下三方面的研究，试图为解决这一难题找到可行的方案。1）热带植硅体分析。植硅体可以提供森林覆盖度和草本植物组成成分信息。我们分析了热带马来西亚现代植物和表层土壤中的植硅体，其中，现代植物包括热带雨林的主要成分。基于表土中各类植硅体百分比和不同种类植硅体在现代植物样品中的出现频率以及周边植被组成的对比，揭示了禾本科植硅体可以极为敏感的指示母本植物的存在，其与代表森林植被的植硅体比值很好的对应于植被开放度。这显示了该比值用于定量指示东南亚热带植被开放度及其关联的湿度的潜力。2）热带植物现代花粉形态分析。东南亚热带植被类型的定量重建以及关联的碳储量定量估算需要基于至少属一级的孢粉化石鉴定，因为热带花粉的科往往包含较大数量的属和种，这增加了孢粉化石组合对应的植被范围，造成的误差可能超过气候和植被类型变化的幅度。目前，能够对花粉鉴定起到实际支撑的高清晰度的东南亚热带花粉形态资料十分匮乏。对此，我们分析了该地区 106 个属和更多种的热带植物花粉形态。高分辨率的光学和扫描电子显微镜影像揭示了豆科、大戟科、茜草科等热带植物花粉的细节纹饰和形态信息。这些基础资料对于东南亚孢粉化石的精确鉴定以及过去植被类型的划分具有重要的意义。3）植被覆盖度和湿度指数的校正。对于利用植被开放度揭示湿度的变化是实现古气候定量重建的途径之一。然而，化石组合与植被开放度间的量化关系需要进行校正。对此，我们在福建地区开展了校正方法的实践。我们利用 Sentinel-2 卫星数据（空间分辨率 10m×10m）作为数据源，计算 4-11 月归一化植被指数（NDVI）均值，并利用像元二分模型进行年平均植被覆盖度的估算；使用 Arcgis 软件计算出 2019-2021 年植被覆盖度（FVC）的平均值，并将 FVC 值提取至采样点。结果显示，FVC 与荒地的木本植物花粉含量存在较强的相关性（R2=0.7764），这明确了孢粉组合与植被开放度间的数量对应关系和误差范围。

S40-P-1

过去 4 万年以来西北婆罗海槽的陆源沉积记录及其控制因素

黄杰 [1*]，万世明 [1]，常凤鸣 [1]，孙晗杰 [1]，杨再宝 [1]，李安春 [1]，李铁刚 [2]

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质重点实验室

* huangjie@qdio.ac.cn

源于高纬的海平面变化和突发气候事件会对热带东南亚地区的气候环境条件产生怎样的影响，迄今为止，我们仍知之甚少，尽管这些地区人口稠密。基于高精度的年代框架，本研究拟通过西北婆罗海槽 CG18 孔陆源碎屑沉积物的锶钕同位素、沉积通量和粒度组成的分析工作，追踪过去 4 万年以来西北婆罗海槽的沉积演化历史及其控制因素。研究结果表明 CG18 孔的陆源沉积物主要来自于西北婆罗洲，其沉积过程主要受控于海平面变化，21 ka 陆源沉积通量呈现最高值表明此时海平面下降到最低，其后的两次粒度突然减小对应于 19-ka 和 MWP-1B 冰融水事件。通过镜下观察及粒度分析，发育于氧同位素 3 期的含砂层位主要由异重流沉积造成，这些浊流层主要对应于 Heinrich 事件和 D-O 旋回的冷期，此阶段大西洋经向翻转环流（AMOC）减弱，造成东亚冬季风（EAWM）的显著增强，强劲的冬季风继而触发了西北婆罗海槽异重流沉积的发生。本研究结果表明发生于北半球高纬的气候事件能够通过海平面和东亚冬季风的媒介快速地传递到热带东南亚地区进而对其气候环境产生重要影响。

S40-P-2S

巽他陆坡末次冰期低海平面时期潮汐驱动的粗粒沉积物搬运过程

赵宏超[1]，刘志飞[1*]，赵玉龙[1]，吴家望[1]，Christophe Colin[2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Université Paris-Saclay，CNRS, GEOPS

* lzhifei@tongji.edu.cn

粗粒沉积物跨陆坡搬运通常受控于事件性沉积动力过程驱动的重力流或异重流作用。然而，很少有研究报道周期性沉积动力机制对这种跨陆坡搬运过程的影响。本研究对南海南部巽他陆坡 MD05-2892 岩芯末次冰期低海平面时期（14.3–20.8 cal ka BP）保存的纹层段沉积开展高分辨率（1 mm）XRF 岩芯元素扫描，并结合典型样品粗组分观测，研究深海粗粒沉积物跨陆坡搬运过程及其受控机制。结果显示，该纹层段沉积由毫米级厚度的暗色和浅色韵律层组成，暗色层颗粒较粗（主要为含砂粘土质粉砂），富集 Si 元素；浅色层颗粒较细（主要为粉砂质粘土），富集 K 元素。我们由此使用 Si/K 比值作为纹层韵律的替代指标。Si/K 比值的频谱分析显示出强烈的 18.6 yr 月球交点潮周期，表明末次冰期低海平面时期南海南部深海环境中粗细沉积物搬运过程受到月球交点潮周期的调控。低海平面时期海岸线靠近陆架边缘，粗粒沉积物更容易在强潮汐作用下以异重流的形式从陆架边缘被再搬运到深海形成暗色层，而细颗粒沉积物可能在弱潮汐作用下以半远洋扩散的形式被搬运至深海形成浅色层。该研究表明月球交点潮可以周期性地驱动粗粒沉积物跨陆坡搬运，为冰期出露陆架上沉积物搬运过程提供新的沉积动力机制。

S40-P-3S

晚更新世以来南海中部东向急流演变特征及其控制因素

张应威[1,2]，陈忠[1*]，田雨杭[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

* chzhsouth@scsio.ac.cn

海洋环流对调节全球温盐、能量以及碳、氮循环具有重要作用。受南海西边界流和夏季盛行西南季风的影响，在南海西部夏季存在两个反向旋转、紧密联系在一起的冷暖涡旋，形成涡旋偶极子，中间形成强急流称为东向急流，构成涡旋偶极子-喷射流体系。东向急流向东可延伸至东部海域，实现南海西部、东部的物质与能量的直接输运和转移。研究表明，第四纪东向急流已存在，现代东向急流主轴（路径）在 10.7°N 和 14.3°N 之间摆动，然而，我们对东向急流地质时期的路径变迁、强度变化及其协同控制因素知之甚少。

论文对末次冰盛期以来东向急流变化进行研究，发现在末次冰期低海平面时，东向急流主轴位于现代位置的北部；冰消期、全新世，随海平面上升，涡旋偶极子向南迁移。在此基础上，对文献资料进行再分析，发现 S 值（沉积物亚铁磁性矿物比率）和海表温度（SST）联动变化指示急流主轴变迁。晚更新世以来，东向急流主轴位置约在 141Ka 由北部迁移至南部，在 124ka-75ka 期间总体稳定在南部，但发生 124-96ka、96-75ka 两个阶段性来回摆动，61ka 时快速移动到南部，发生 75-56ka、56-37ka、37-11.4ka 三个阶段性来回摆动。对东向急流 37-11.4ka 及全新世变化过程精细分析，发现存在以 26ka、19ka、16ka、11.4ka、4.9ka 为界点的短期性波动变化，这表明东向急流主轴变迁具有周期性南北移动、阶段性来回摆动和短期性波动的跃迁式演变特点。研究揭示海平面变化，即海峡连通及水体交换变化调控着东向急流主轴位置的周期性南北移动，这是

对高纬冰盖变化的响应。类 ENSO、东亚季风、ITCZ 以及南海降水量、12°N 断面太阳辐射量等协同调控因素影响东向急流不同时间尺度的阶段性摆动和短期性波动的演变。

本文研究丰富了涡旋偶极子-喷射流体系理论，对开展东向急流的海洋热浪消减作用、12°N 断面的海洋观测提供了新思路，为全球变暖大背景下的气候预测和气候驱动机制提供依据。然而，对协同调控因素如何影响和驱动东向急流的跃迁演变，以及东向急流演变与全球、区域性气候变化耦合的关系尚需进一步研究。

S40-P-4S

末次冰盛期以来南沙台地北坡海洋环境变化研究

唐一麟 [1,2]，黎刚 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* gangli@scsio.ac.cn

南海作为西太平洋最大的边缘海，大量的陆源碎屑沉积物的供给导致在边缘海盆形成了快速且连续的沉积层，这些陆坡沉积的地球化学记录了丰富的低纬海区太平洋海洋环境演化的丰富信息。本研究对获取在南部南沙台地北坡的重力沉积柱 B9 开展了元素地球化学、有机碳氮同位素分析，同时结合传统的 ICP-MS/OES 分析和岩芯 XRF 扫描手段建立起了 B9 高分辨率的元素记录，利用无机元素和有机地球化学指标对南海南部表层生产力、陆源碎屑供给变化以及底层水体的氧化-还原变化进行了探讨。

沉积柱 B9 的 Ti/Ca 比值和 C/N 比值主要受控于海平面变化，末次冰期低海平面时期 Ti/Ca 比值和 C/N 比值高于全新世高海平面时期，但是 C/N 比值的升高（B/A 暖期之后）要晚于 Ti/Ca 比值（Heinrich 1 冷期之后）约 2000 年。与巽他陆坡的有机碳 $\delta^{13}C$ 记录相反，处于南海中心的 B9 的有机碳 $\delta^{13}C$ 的变化不能用海平面变化引起的陆源/海源有机质供给解释，B9 的有机碳 $\delta^{13}C$ 可能反映表层水体的 CO_2 分压变化。末次冰期偏正的有机碳 $\delta^{13}C$ 可能与低的大气 CO_2 含量有关（Thunell et al., 1992）。沉积物 Zr/Rb 比值与碎屑组分的粒度组分有关，末次冰盛期海平面时期低的 Zr/Rb 比值和低的粉砂含量反映较多的细粒陆源羽状流影响，而全新世高海平面时期细粒陆源碎屑源的后退导致深海海底沉积物变粗。沉积物 Ba、P、Ba/Rb 指标显示南海南部生产力变化受控于夏季风，全新世海洋生产力显著高于末次冰盛期。沉积柱 B9 的 V/Cr 和 U/Th 比值均表明南海深层水控制下的海底沉积物末次冰期较全新世偏还原性，海底沉积物的氧化-还原变化与生产力变化相反，反映了底层水体溶解氧变化的主导。从研究结果来看，海洋沉积物的地球化学组成包含丰富的海洋环境信息，不同指标的综合分析可以获得海洋环境变化的诸多信息，包括海洋生产力、陆源碎屑通量、海平面变化、底层水体的环流演化信息。

S40-P-5

晚更新世婆罗洲植被演变对古人类基因型分化的影响

杨再宝 [1]，类彦立 [1,5,6*]，Yair Rosenthal[2]，李铁刚 [3,6*]，翦知湣 [4*]

1 中国科学院海洋研究所

2 新泽西州立罗格斯大学

3 自然资源部第一海洋研究所

4 同济大学，海洋地质学国家重点实验室

5 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

6 中国科学院大学

* leiyanli@qdio.ac.cn

* tgli@fio.org.cn

* jian@tongji.edu.cn

东南亚岛屿作为古人类迁徙的重要中枢，但岛屿上的古人类如何受到植被变化的

影响，目前还不清楚。本研究提取来自南海南部高分辨率的孢粉序列，重建了婆罗洲四万年来植被演变历史，并分析了其对人类分化的影响。孢粉记录表明，植被的演替响应于轨道尺度气候变化以及北半球高纬度地区千年尺度的冷事件，主要表现为植被分布的垂向结构变化。婆罗洲上植被的分布特征，从 MIS 3 期的高山、低山和低地森林明显的海拔分带变为 MIS 2 期（末次盛冰期）的以高山森林为主。在过去四万年期间，婆罗洲发生过五次高山森林的快速扩张，反映了温度降低，与北半球高纬度地区的 Heinrich 冷事件相对应，但存在 500-1000 年的滞后。本研究还将重建的婆罗洲植被演变历史与东南亚古人类基因型和考古记录进行对比，发现在末次盛冰期和末次冰消期期间，高山森林的扩张及伴随的低地雨林的收缩，与海平面的大幅波动一起，可能促进智人基因型的分化。本研究为探讨植被演变对东南亚岛屿上古人类的可能影响提供了一个新的视角。

S40-P-6S

深海冷泉甲烷渗漏强度变化引发的生物地球化学过程驱动群落演替

张卉 [1,2,4]，冯景春 [1,2,4*]，沈永明 [1,2,4]，孙立伟 [1,2,4]，张偲 [1,2,3]，杨志峰 [1,2,4]

1 广东工业大学，滨海与深海生态环境研究中心
2 南方海洋科学与工程广东实验室
3 中国科学院南海海洋研究所
4 广东工业大学，生态环境与资源学院
* fengjc@gdut.edu.cn

自然过程或天然气水合物解离导致甲烷渗漏驱动冷泉生态系统的发展，甲烷大量排放对气候变化造成不利影响。揭示甲烷渗漏强度、沉积物生物地球化学过程和海底底栖生物群落特征之间的内在相互作用，对于阐明和预测深海甲烷泄漏的最终命运至关重要。在此基础上，对不同甲烷渗漏区甲烷强度、孔隙流体运移特征、沉积物矿物组分特征及生物群落演化进行了系统研究。采用高分辨率影像、孔隙流体地球化学分析、岩性分析等方法对“海马”冷泉沉积物进行分析。结果表明：在不同甲烷强度区域，有机质硫酸盐还原反应和甲烷厌氧氧化反应具有不均匀性；这种非均质性导致了不同深度的甲烷转化带，改变了海底沉积物的矿物组成和底栖生物群落。在此基础上，建立了冷泉区生物群落演替序列假说。本研究揭示了甲烷排放的最终命运，强调了甲烷渗流强度在生物地球化学过程和冷渗群落演替中的重要性。这些发现对了解深海甲烷动态循环机制和深海甲烷释放对气候变化的贡献具有重要意义。

S40-P-7S

全新世安达曼海深海沉积物炭屑记录及其古环境意义

梁诗晴 [1,2]，罗传秀 [1*]，孙玉慧 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室
2 中国科学院大学
* xiu104@scsio.ac.cn

炭屑是有机体不完全燃烧或高温分解所产生的深褐色或黑色多孔无机炭化合物，由于炭屑对化学过程和生物代谢具有较强的惰性，因此能在地质环境中长期稳定的保存，用于重建地质历史时期的火演化历史。安达曼海位于东北印度洋，其周边是世界上人口最稠密的地区之一，而火灾与气候，植被存在复杂的关系，理解季风区的火灾模式及其发生机制，对预测未来气候变化和农业活动都具有重要意义。本研究利用重液悬浮法对安达曼海重力柱（ADM-C1）的 77 个样品进行炭屑提取和分析，重建全新世以来安达曼海及其邻区的古火演化历史，结合孢粉分析、有孔虫氧同位素等共同探讨全新世以来安达曼海及其邻区火事件与气候、植被以及人类活动的相互关系。炭屑分析结果表明：

该孔炭屑浓度整体较低，在 7.63 ka BP 及 3.15 ka BP 具有明显峰值。就炭屑粒级而言，样品中 50-125μm 粒级的炭屑百分含量在 96% 以上，远超>125μm 粒级的炭屑，表明 ADM-C1 钻孔以区域性火事件为主；就炭屑形态而言，每个样品的近圆形炭屑所占百分含量大于 64%，表明该孔发生火事件时燃烧的植物以木本为主。结合 ADM-C1 孢粉及有孔虫氧同位素分析结果进行对比研究，结果表明：炭屑浓度第一峰值(7.63 ka BP)出现在安达曼海南部区域中全新世偏冷干、印度夏季风由强转弱的气候背景下，在这种气候环境转变下更有利于火事件的发生；炭屑浓度第二峰值出现在 3.15 ka BP，孢粉分析结果表明此时处于由湿润向偏干的气候转变的环境下，同时指示人类活动的禾本科孢粉百分含量与 3.1ka BP 后的炭屑浓度呈现一致的变化趋势，由此推断 3.1ka BP 及之后的炭屑浓度峰值可能与人类活动有关。综上所述，气候由湿转干时，更有利于古火事件的发生；安达曼海晚全新世增加的炭屑浓度反映了人类活动对古火事件的影响。

S40-P-8S

近四万年以来喜马拉雅系统化学风化过程对印度季风演化的响应

谭龙[1,3]，刘建国[1,2*]，黄云[1*]，向荣[1]，刘升发[2,4]，张辉[2,4]，李景瑞[4]，余凌辉[5]，石学法[2,4]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质与环境功能实验室

3 中国科学院大学

4 自然资源部第一海洋研究所，海洋沉积与环境地质自然资源部重点实验室

5 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* jgliu@scsio.ac.cn

* huangyun@scsio.ac.cn

大陆风化一直是“源-汇”系统中的研究热点，在于风化过程不仅调控着化学循环与物质通量，同时硅酸盐的风化过程将不断消耗大气中 CO_2含量，从而调节地球气候与碳循环过程。而对于风化产物粘土矿物而言，蒙脱石是在温暖和季节性变化的气候条件下，由铝硅酸盐和铁镁硅酸盐发生化学风化作用产生的风化次生矿物，而伊利石则是在干冷的气候条件下，由变质岩与花岗岩受到强烈的物理侵蚀与中等程度化学风化形成的风化初级矿物。由于二者的比表面积与矿物学特征差异，使得其对有机质的埋藏速率与埋藏的有机质组分存在着显著不同。在喜马拉雅山脉-孟加拉湾“源-汇”系统中，末次盛冰期以来的高分辨率且长期连续的风化沉积记录目前仍然较少，这严重限制了对于气候-风化-碳循环耦合关系的认识。因此，研究末次盛冰期以来一系列快速的千年时间尺度气候突变事件的风化过程，有利于理解气候演变、大陆硅酸盐的风化过程、风化产物与有机质埋藏的耦合关系，以及其对海洋碳封存的非线性影响机制。

本研究利用孟加拉中部 E87-32B 孔沉积物的粘土矿物、陆源粒度与地球化学记录，重建了近四万年以来喜马拉雅系统印度夏季风的演化及其对该区域风化模式的调控作用。E87-32B 孔沉积物的粘土矿物与微量元素等结果指示出陆源沉积物主要是来源于恒河-布拉马普特拉河源区，其次要沉积物源区为印度-缅甸山脉/伊洛瓦底江与印度半岛。在一系列千年时间尺度快速变冷气候事件期间，Th-La 微量元素定量重建结果显示出恒河-布拉马普特拉河源区贡献量此时显著减少。排除沉积物的粘土矿物组合特征是受到海平面影响之后，认为降低的伊利石化学指数与增加的(伊利石+绿泥石)/蒙脱石值则是代表着喜马拉雅系统经历的物理侵蚀增强与化学风化减弱。通过对比孟加拉湾不同区域站位的恒河-布拉马普特拉河源区贡献量与沉积速率的变化特征，推测出恒河-布拉马普特拉河源区沉积物主要是沉积在孟加拉上-中扇区域，而活跃峡谷通道则是

在全新世的高海平面时期将恒河-布拉马普特拉河源区沉积物向孟加拉扇远端的搬运过程中起到关键作用。末次冰期阶段，沉积物中降低的 CIA 值与增加的 K_2O/TiO_2值代表着印度夏季风的减弱，此时喜马拉雅系统气候较为干冷，并且伴随着冰川活动导致高山地形区域的物理侵蚀增强且贡献量增加，而泛滥平原则是化学风化减弱以及贡献量的降低，粘土矿物呈现出(伊利石+绿泥石)/蒙脱石值的升高与伊利石化学指数降低的特征。

S40-P-9S

MIS3 以来东北印度洋 90°E 海岭孢粉记录的古环境演化历史

孙玉慧 [1,2]，罗传秀 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* xiu104@scsio.ac.cn

东北印度洋海底沉积物中保存着热带海洋、印度季风演变等古环境信息，为高分辨率研究全球气候变化提供了重要场所。90°E 海岭稳定沉积的远洋沉积物利于东北印度洋长时间尺度古环境、古气候研究工作的开展。本文基于浮游有孔虫 AMS^{14}C 测年结果，分析了 90°E 海岭北部重力柱（18I105A 孔）的孢粉记录，结合东北印度洋现代孢粉研究确定该孔孢粉传播机制及孢粉源区，重建源区古植被演化历史，进一步探讨印度季风的变化规律及其驱动机制；通过 18I105A 孢粉数据与 90°E 海岭北缘的 YDY05 孔孢粉数据进行对比研究，探讨海岭北侧深海孢粉沉积特征及其主要影响因素。18I105A 孢粉分析结果表明，全新世时期孢粉浓度大幅下降、主要孢粉类型从以单缝孢子、松属花粉和壳斗科花粉为主转变为以三缝孢子、桃金娘科花粉和榆科花粉为主。18I105A 孔孢粉记录与区域孢粉研究对比结果表明该孔孢粉主要由东北印度洋表层洋流（东北季风流）所运输；全新世时期，以印度夏季风为主，东北季风流的减弱和海平面的快速上升阻碍了源区孢粉的运输过程，主要孢粉源区从苏门答腊岛转变为斯里兰卡、印度半岛等地。18I105A 孔孢粉记录了 45 ka BP 以来的古气候演化历史，MIS3 时期以干冷气候为主，MIS2 时期为湿冷气候，MIS1 时期记录了温暖潮湿的气候变化；MIS1、MIS3 时期冬季风影响较弱，MIS3 晚期夏季风减弱时冬季风明显加强，MIS2 时期冬季风起主导作用，印度夏季风与冬季风演化呈现相反的变化趋势，东北印度洋冬季风演化受到北大西洋经向翻转流（AMOC）的调控。 18I105A 孔与 YDY05 孔孢粉图谱显示二者具有相似的孢粉组合类型及孢粉变化趋势，但 YDY05 孔孢粉总浓度远低于 18I105A 孔且其中以近源沉积为主的木本花粉浓度变化趋势相反，表明 90°E 海深海沉积孢粉具有相似的源区及影响因素，但孢粉传播过程中存在区域性差异；二者指示孢粉源区湿度变化的蕨类孢子百分含量与不同区域湿度指标的对比结果表明：MIS3-MIS2 时期赤道区域南北降水呈现相反的变化趋势，反映了区域降水受到南北移动的热带副合带（ITCZ）所调控；末次冰盛期（LGM 时期），北部降水量减少而南部增加反映了 ITCZ 向南移动，源区湿度增加；降水记录在 H1 时期变化幅度明显大于 LGM 时期，表明 LGM 时期 ITCZ 南北移动幅度较小而 H1 时南北移动幅度加强。

S40-P-10S

在福建琅岐岛利用遥感影像校正孢粉、植硅体与植被数量关系的研究对定量重建南海周边陆地气候的启示

刘茜 [1]，戴璐 [2*]，于俊杰 [3]

1 宁波大学，地理与空间信息技术系
2 同济大学，海洋地质国家重点实验室
3 中国地质调查局，南京地质调查中心
* dailu2288@163.com

迄今为止，南海地区基于海洋孢粉化石的陆缘植被重建还没有定量的方法，这导致了海、陆古气候指标定量对比的缺失。本研究对福建琅岐岛上 3 种土地利用类型共 22 个表土样品进行了孢粉和植硅体分析，运用地理信息系统和遥感技术展示了不同类型孢粉百分比的空间分布及其与植被覆盖度（Fractional VegetationCover，FVC）间的数量对应关系。该研究将为建立南海孢粉和植硅体指标与陆地植被开放度、湿度间的数量关系提供方法上的探索，主要结论如下：

1、花粉的区域传播与局部花粉的表现力。孢粉分析表明，以松属（*Pinus*）为代表的外来花粉普遍存在于表土样品中，这削弱了采样点周围植物的孢粉表现力，导致了果园和农田植被组成与表土孢粉组合间的巨大差异。从遥感影像中提取的植被覆盖度数据仅与荒地上的木本植物花粉含量存在较强的相关性（R^2=0.7764），这显示茂密的草本植物降低了外来木本花粉的相对含量，证明了在局部空间尺度上该植被类型具有良好的孢粉表现力。在小范围内，对其母本植物具有较为敏感指示的孢粉类型还包括桃金娘科花粉，例如桉树旁的 2 个表土样品，其花粉含量高达 37.5 和 48%。

2、植硅体分析提高了古植被重建的精确度。在表土样品中，我们发现了丰富的扇型、双裂片型、鞍型和帽型等植硅体，它们分属于稻亚科、竹亚科、早熟禾亚科，这显示了比花粉指标更为丰富的禾本科植物信息。与之相反，木本植硅体的分辨率低，无法区分不同的科、属。木本与禾本科植硅体的比值对于指示该地区植被的覆盖度具有潜在的意义。

S40-P-11S

基于栎属花粉属内分类的古气候重建对南海南部陆缘古气候定量分析的启示

唐银宁 [1]，戴璐 [2*]

1 宁波大学，地理与空间信息技术系
2 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* dailu2288@163.com

在南海海洋沉积物的孢粉分析中，孢粉鉴定基本至科或属一级。然而，热带地区的科或属往往包含众多的种，这些种可能跨越巨大的气候梯度。因此，该地区基于科或属一级花粉鉴定的古气候定量重建可能存在巨大的误差。为了提高花粉化石的鉴定精度，减少其母本植物组合的生态位范围，我们利用扫描电镜的方法将中国东部热带和亚热带地区广泛分布的栎（Oak）花粉进行属内分类，在此基础上定量重建了深海氧同位素第 3 阶段（MIS3）的气候。该研究将为南海南部陆地古气候的定量重建提供方法上的借鉴。

栎属花粉是中国东部第四纪花粉组合中表现力最好的阔叶成分之一，其分布敏感地响应于不同的水热环境。本研究利用扫描电子显微镜对采自中国东部沿海不同纬度表土中的 443 颗栎属花粉进行鉴定，观察到棒状（rodlike）、刺状（rodlike-vertical）、皱波状（rodlike-masked）、分散的瘤状（verrucate-scattered）和瘤状（verrucate）5 种外壁纹饰类型。基于前人的研究，根据外壁纹饰将栎属花粉属内分类为常绿类型（棒状、刺状和皱波状纹饰）与落叶类型（分散的瘤状和瘤状纹饰）。常绿类型和落叶类型的相对比例随着纬度的增加呈线性变化，主成分分析表明它们与年均温、年平均降水量具有更好的相关性。选取这两个气候因子建立花粉-气候回归函数（R^2分别为 0.963 和 0.954），并利用已有的栎属孢粉表土数据进行插值检验，以确定其误差范围。在此基础上，我们将 MIS3 时期的化石栎属花粉数据

代入函数，定量重建了当时的古气候。结果显示，福建宁德 MIS3 期间的气候与现代相似，甚至略微偏暖。

S41-O-1

基于 CORK 的流体观测探究海底深部碳循环

吴自军 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院/海洋地质国家重点实验室

* wuzj@tongji.edu.cn

从大陆边缘到深海盆地、从洋中脊到俯冲带广阔范围的海底均存在地下流体，这些地下流体在地形、构造、热等地质物理因素的驱动下在沉积物和岩石中穿梭运动。同时，近些年的研究发现洋壳岩石中存在深部生命圈，微生物的作用在一定程度上会促进海水-岩石之间的反应。由于洋壳在全球海底分布广泛，体积庞大，是全球海洋沉积物总体积的 5 倍左右，因此海底深部的生物地球化学过程对全球元素物质循环的作用不容忽视。随着深海钻探计划（DSDP）、大洋钻探计划（ODP）和综合大洋钻探计划（IODP）的实施，一些用于开展海底井下观测的技术和装置（CORKs）相继发展起来。通过在海底打深钻，不仅为获取深部沉积物甚至基岩中的流体提供了条件，也为在钻井中开展深部地下流体进行长期观测和取样提供了绝佳的机会。本报告重点介绍目前国际上基于 CORKs 进行流体观测研究深部碳循环的成果进展，展望未来相关工作的研究主题和建议。

S41-O-2

深海生物地球化学传感器研究进展

马剑 [1,2*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

2 厦门大学，环境与生态学院

* jma@xmu.edu.cn

海洋科学是一门基于观测的科学。海洋观测受到全球的关注，近年来观测方法、观测范围、观测技术和观测精度等方面都有长足进步，但海洋生物地球化学参数观测技术相对于海洋物理参数观测技术仍显不足。适用于深海环境的化学传感器、生态传感器和生地化原位综合观测系统是海洋长期观测的瓶颈问题。典型的生地化参数包括营养盐、痕量金属、碳酸盐参数等，其中碳酸盐参数作为评估海洋二氧化碳吸收、海洋酸化和碳循环的关键指标，在碳中和中扮演着重要的角色。海水碳酸盐系统主要包括 pH、总碱度、总溶解性无机碳和二氧化碳分压四个参数，这些参数的准确测量对海洋表层和深海碳通量观测具有重要意义。本报告从深海生地化观测的挑战出发，介绍不同生地化参数的测定原理与方法，以及适用于不同观测平台应用需求的传感器进展，并对面向碳中和的海洋二氧化碳移除（marine Carbon Dioxide Removal, mCDR）实施路径中的生地化综合观测进行展望。

S41-O-3

深海表层沉积物-水界面原位观测系统研制

潘彬彬 [1*]，罗敏 [1]，张立文 [1]，崔维成 [1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* bbpan@shou.edu.cn

海底以上几厘米至十几厘米的水体（底边界层）以及海底以下几厘米至几十厘米的沉积物（生物扰动层）通常统称为表层沉积物-水界面。这一界面因氧化还原条件频繁变化而被称为有机质“反应器”，它维持了巨大生态系统的生命活动，同时沉积物-水界

面发生的生物地球化学过程决定了从海洋表层沉积到海底的物质是再循环进入水圈和生物圈，还是通过沉积埋藏进入岩石圈。有机碳的埋藏过程实际上就是将大气圈中的 CO2 转移和固定到岩石圈中，这一过程可以调节长时间尺度大气氧气和二氧化碳的水平，被认为是地质时间尺度上重要的自然“碳中和”过程。因此，海底表层沉积物-水界面是跨圈层物质和能量交换的关键界面，揭示该界面微生物的生理代谢机理以及定量评估微生物介导的元素循环过程对于整个海洋元素收支模式的构建具有重要意义。而研究发现传统海底沉积物采样后实验室分析的方法可能会由于温压条件的改变而引起海底原始生物和化学信息的失真，无法准确获取真是的海底生物地球化学过程以及深海微生物的生理和代谢特征。为了开展深海表层沉积物-水界面的原味观测，本团队从2016年通过国际合作引进了3套11000米海底沉积物原位采样与观测装置，建造了搭载的着陆器并开展了数个万米航次的成功应用。在此基础上与国内外海底沉积物研究团队开展了科学问题、测量参数、关键要素、设计细节、操作流程等多次技术研讨，研制完成了第二代11000米深海表层沉积物-水界面观测装置，具备了海底沉积物取样、隔离、搅拌、培养、实时记录箱内溶解氧和其他元素变化、沉积物表层水序列取样、培养重启等功能。本报告将介绍两代 11000 米深海表层沉积物-水界面观测装置的相关研制和应用情况，与相关专家学者探讨深海表层沉积物-水界面研究的方向，推动第二代装置的海试和应用，也为第三代装置的研制提供新的思路。

S41-O-4

深海原位电极技术的发展

沈蕴文[1]，潘依雯[1*]

1 浙江大学，海洋学院

* evelynpan@zju.edu.cn

pH 值是研究海洋碳通量的重要指标之一。在深海环境中进行实时连续长期的原位 pH 监测可以使研究者更全面有效地描述碳通量的时空间变化模式。这对于 pH 传感器的耐压性、稳定性和灵敏度提出了很高的要求。我们开发了一种能够在深海环境下进行长期稳定监测的 SP/ImIL 修饰的 IrO_xpH 电极。全固态的电极结构满足在深海高压(30MPa)极端环境下使用的需求。以首次合成的 $H_{y-x}Li_x[LiIr_2]O_6$ 作为敏感层的 IrO_x 电极稳定性好和响应速度快，在 7 个星期的稳定性测试中电极的标准偏差小于 0.04pH，并在 2.5M 强氧化性物质(O_2, H_2O_2, MnO_4^-,和 Fe^{3+})的存在下表现出了很高的抗干扰性能(Δ pH<0.04)。电极表面修饰有 SP/ImIL 复合膜，在保留了 IrO_x 电极原有的优良性能的同时加强了对于还原性物质和生物污损的抗干扰性能。修饰后的电极不仅对于 S^{2-}，I^-和抗坏血酸等还原性阴离子有很好的抗干扰能力，在高浊度，高有机物浓度的藻液中也表现出了优良的稳定性。我们将 SP/ImIL 修饰的 IrO_xpH 电极集成在自容式传感器上布放在贻贝养殖区进行长达一个月的连续监测，得到了养殖区海水 pH 随昼夜节律变化的数据并与商业电极结果比测良好，为科学化养殖提供了有力支持。这种新型传感器在深海长期原位监测 pH 方面有着广阔应用前景，尤其是在评估不同海域中碳固定和释放的差异，进而推断海洋碳通量的变化趋势方面拥有巨大的潜力。

S41-O-5

海底碳输运通量三维时序观测及取样技术研究

郭磊[1*]，费梓航[2]

1 山东大学，海洋研究院

2 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* 201894900036@sdu.edu.cn

陆架海区的初级生产力较高，絮凝沉积作用可以将浮游生物等生源颗粒物快速沉

降到海底，具有将海表生物过程吸收的碳源源不断转移、埋藏到海底的能力，从而极大提高海洋碳汇效率，成为增强陆架海区“碳汇”效应的关键环节；陆源物质经河流向近海输运、沉积是海陆相互作用最直观的体现，因此陆源沉积物入海通量及其“源-汇”过程是近二十年来海洋地质学研究的热点。综上所述，有关陆架海区悬浮沉积颗粒物的研究对于深入探究陆源物质向海扩散的“源-汇”过程机制及其环境效应、揭示陆架海区“碳汇”效应形成机制以及评价陆架海区对全球海洋碳循环的贡献等具有重要意义。

海洋悬浮沉积物作为影响海洋碳汇的重要部分，其输运过程受各类海洋动力环境的影响，具有复杂的变化特性与运动规律。传统的沉积物输运监测手段或受限于仪器量程的限制，或受限于自身属性的差异，对海洋悬浮沉积物矢量输运过程无法进行精确的监测与解析，导致海洋沉积物的相关研究不够清晰严谨。

本人开展了海洋悬浮沉积物矢量输运过程监测技术研究，设计了一套海流驱动型三维时序矢量沉积物捕获器，并建立一套基于弹片结构、流速悬沙浓度、高程压差、柱状样时域切分、横纵向耦合揣度的多层次沉积物输运通量时序解析方法，协同装置海流驱动旋转、平台动态沉降、流场影响因素动态补偿方法，实现精确的悬浮沉积物样品实时捕获、时序输运过程监测与转化阶段还原。装置可实现各类条件下海洋沉积物运移过程监测反演与原位取样，为海洋碳汇机制的研究提供一种全方位精准监测捕获解析的手段。

S41-O-6

深海水体采样技术

吴世军 [1*]，汪珣 [1]，杨灿军 [1]

1 浙江大学，机械工程学院

* bluewater@zju.edu.cn

获取样品是开展海洋多学科研究最基本的手段，海底碳通量观测及生态过程研究也离不开对海洋水体样品（包括海水、海底热液流体、冷泉流体和沉积物孔隙水）的采集和分析。不同的研究目的对样品有不同的要求，比如研究样品中的溶解性气体和嗜压微生物对样品保压有要求，大多数生物和微生物研究对样品保温有要求，本报告将从深海水体保压采样和保温采样角度介绍课题组在采样技术研究和采样设备应用方面的进展。从采样器的搭载使用平台来看，以往采样器大都利用船载绞车、深海着陆器、载人潜水器或遥控潜水器进行使用，自主水下航行器具有其独特的使用灵活性，本报告也将介绍课题组在基于自主水下航行器的水体采样方面的一些探索。

S41-O-7

锋面对表层沉积物碳埋藏的空间区划功能

刘东艳 [1*]，王艳娜 [1]，王跃启 [2]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

2 中国科学院烟台海岸带研究所

* dyliu@sklec.ecnu.edu.cn

我国陆架海存在多个锋面结构，锋面的生态效应是否会影响到海洋沉积物的碳埋藏记录中，尚未可知。本研究利用 2003-2015 年海表面温度的卫星数据确定东中国海各个锋面的位置，并结合双向指示种分析法对东中国 126 个采样点中的沉积微化石类群（硅藻、甲藻和硅鞭藻）进行了分析，发现锋面是划分不同沉积微化石生境类群的重要边界。由此可见，锋面既是划分我国陆架海不同水团的重要物理边界，也是划分不同浮游植物生境类群的重要边界，这结果究印证了 Longhurst (2006)总结的一个重要学术观点“浮游植物群落结构的特征依赖水团性质，而锋面是两个水团之间的群落交错区”。该特征在沉积物中的印证，为研究沉积物-水体的耦合关系提供了空间边界。

S41-O-8

深海极端环境微生物代谢过程的示踪与量化

庄光超 [1*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* zgc@ouc.edu.cn

冷泉、热液及深部生物圈等深海极端环境塑造了特殊的生命过程，孕育着大量未培养的微生物，这些微生物在生物地球化学过程及元素循环中起着重要作用，因此一直是国际地球科学领域研究的前沿与热点。然而，目前对极端环境微生物的研究主要集中于对多样性的分析及潜在代谢途径的挖掘，缺乏对主要微生物过程相对重要性的定量分析及对不同过程之间的耦合关系的认识。深海微生物代谢活动缓慢，传统培养方式难以检测其代谢速率。同位素示踪技术是一种灵敏的检测微生物代谢活动的分析方法，可以对深海极端环境微生物的主要代谢过程实现定性和定量分析。本报告将围绕深海极端环境的研究现状，介绍冷泉、热液沉积物及深部生物圈主要的微生物代谢方式，以及利用同位素示踪技术手段对碳循环及硫循环关键微生物过程的量化分析，揭示不同微生物过程之间的互相耦合关系。

S41-O-9

基于长期原位观测数据的台西南冷泉区域甲烷释放通量计算

杜增丰 [1]，王冰 [1]，栾振东 [1]，邢磊 [2]，连超 [1]，王林飞 [2]，席世川 [1]，李连福 [1]，曹磊 [3]，张鑫 [1*]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

2 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

3 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心

* xzhang@qdio.ac.cn

全球范围内的碳循环是研究元素化学循环以及气候变化等重大科学问题中极为重要的一环。在大陆架、大洋深处洋中脊和弧后盆地等区域广泛分布的热液、冷泉体系因连通了大洋岩石圈、海洋水圈及底栖生物圈，将地球深处大量的碳元素(以 CH_4、CO_2 为主)释放到海水中并向上扩散，是全球范围内碳循环中重要的组成部分。深海冷泉、热液区域流固界面对上层水体的甲烷释放通量之前多采用视频捕捉甲烷气泡并进行分析统计或者建立模型然后计算两种方法进行研究，随着海底沉积物中天然气水合物分布情况、碳元素转换通道等问题的重新认知，之前得到的结果可能不准确。

针对这一问题，作者随“科学”号多次前往我国南海台西南冷泉区域，利用研发的深海原位激光拉曼光谱定量探测(Raman insertion Probe, RiP)系统、深海多通道激光拉曼光谱探测系统(Multi-channel Raman insertion probes system, Multi-RiPs)、深海坐底长期观测系统(Long-term ocean observation platform, LOOP)等设备获取了原位拉曼光谱数据、传感器数据和长期连续影像资料。基于历年来在我国台西南冷泉区域获取的多类、多年原位数据，对我国台西南冷泉区域流固界面的甲烷释放通量进行了计算评估。通过“发现”号水下机器人观测的活跃冷泉喷口释放的气态/溶解态甲烷向水合物相态转变这一过程，计算得出单个活跃冷泉喷口的甲烷释放通量为 $2.337*10^3$-$3.526*10^3$ mol/day；利用 LOOP 获取的长期影像数据，结合以往获取的台西南冷泉区域不同底质类型面积及分布特征、不同底质类型流固界面的甲烷浓度等数据，计算得出该冷泉区域的甲烷释放通量为 $1.57*10^6$ mol/day，远大于活跃冷泉喷口的甲烷释放通量。

以上结果表明，冷泉区域普通沉积物区、自生碳酸盐岩区等缓慢释放甲烷的区域对

通量的贡献比活跃冷泉喷口的贡献更大；基于原位观探测数据计算得到的冷泉区域甲烷释放通量比以往通过模拟计算得出的甲烷释放通量大，甲烷释放通量需要重新评估。

由于冷泉渗漏活动在时间上的不均匀性，该冷泉区域的年甲烷释放通量计算需要更多长期、连续观测数据，将在后续工作中进行。

S41-O-10

南海北部微生物诱导碳酸盐沉淀过程对碳循环的影响

胡哲[1]，刘志飞[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* lzhifei@tongji.edu.cn

海洋碳酸钙沉淀和溶解过程是碳循环的重要组成部分，占地球表面系统中碳埋藏总量的 80%。传统研究认为，现代海水中形成的碳酸钙沉淀主要来自生物的钙化骨骼，比如颗石藻、有孔虫和翼足类。以细菌为主的微生物在海洋碳循环中的作用主要包括两部分：一是促进有机质再矿化，二是促进惰性溶解无机碳（RDOC）的形成的长期保存。另一方面，海洋中微生物诱导碳酸钙沉淀（MICP, Microbial Induced Calcite Precipitation）作用也已被发现，伴随着有机质再矿化的进行，微生物能够吸附钙离子并提高微环境的碱度，从而促进碳酸钙沉淀的生成。通过研究南海北部 TJ-A1B 站位（20°04′N,117°23′E）沉积物捕集器样品中的沉降颗粒物，利用电子显微镜（SEM）、X 射线衍射（XRD）和纳米离子探针（Nano-SIMS）等分析技术，我们获得了捕集器中 MICP 过程形成的碳酸钙颗粒的形态和成分数据，并进一步推算了南海北部与 MICP 过程相关的碳酸钙通量大小。结果表明，MICP 过程相关碳酸钙颗粒多为自形晶，晶体大小约为 1 μm，碳酸钙颗粒的氧碳同位素值明显偏负，部分时段样品中 MICP 过程相关碳酸钙颗粒占到碳酸钙总量的 20%以上。在水柱中，MICP 相关碳酸钙颗粒随水深加大逐渐增多，这可能表明了微生物分解有机质逐渐累积碳酸钙沉淀过程的存在。此外，MICP 强度较大的时段 POC 的通量也会相应增加。在 MICP 过程中，微生物能够将原本易分解的颗粒有机碳（POC）转化为更加稳定的颗粒无机碳（PIC），同时，碳酸钙的形成会促进海洋雪颗粒中有机质的下沉，这可能是 MICP 过程增加碳埋藏效率的原因。

S41-O-11

近海细菌藿多醇对低缺氧和氮循环的指示

段丽琴[1*]，宋金明[1]，尹美玲[1]

1 中国科学院海洋研究所

* duanliqin@qdio.ac.cn

海洋低缺氧及其效应在近年来逐渐成为全球关注的重大生态环境问题。但由于缺乏时空尺度上的连续观测调查，使低氧研究受到极大的限制，因此，急需构建可靠的替代指标来解决这一科学问题。细菌藿多醇（BHPs）是近些年发现的一种微生物标志物，海洋低缺氧区是其产生的重要场所。本研究聚焦 BHPs 对近海低缺氧环境和碳氮循环过程的指示这一问题，系统研究了长江口邻近海域 BHPs 的来源、保存及在不同时间尺度上对海洋低缺氧和碳氮循环的响应。结果表明，长江口邻近海域水体颗粒物细菌藿四醇（BHT）和同分异构体 BHT-x 及 2Me-BHT 为海源自生来源，沉积物 BHT 和 BHT-x 主要为底层水体输入，BHT、BHT-x 和 2Me-BHT 在沉降和沉积过程中优先保存。沉积物中 BHT-x 比值与底层 DO 浓度呈显著负相关，BHT-x 比值为 0.20 可作为海水低缺氧的判别阈值。利用 BHPs 特征指标重建了东海内陆架南北低氧区百年来的低氧和氮循环演变历程。主要为 1960s 以来北部长江口外低氧持续加剧，而 2000 年以来南部近岸低氧明显减弱；富营养化驱动的海源有机质降解是低氧形成的主要原因，同时强

烈的水体分层加剧了底层水体低氧。低氧时期厌氧氨氧化增强，这在一定程度上会诱使固氮作用增强以补偿氮损失。

S41-O-12

南海鲸落生态的发现与研究

谢伟[1*]，周亚东[2]，张东声[2]，殷克东[1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 自然资源部第二海洋研究所

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

鲸落是指鲸或海洋哺乳动物在海洋中死去后，尸体沉入海底被丰富多样的生物所利用从而形成的独特生态系统，被称之为深海荒漠中的生命绿洲，是深海生物扩散和适应性进化的重要场所。鲸落生态系统通常会经历移动清道夫、机会主义者和化能自养生物等不同生命形式主导的群落更替，直至鲸尸体的营养成分被完全消耗。但鲸的体量被一些学者认为是决定了这一过程发展的关键因素，即只有达到 30 吨级别的大型鲸类形成的鲸落才具有三个完整的演替阶段。对于小型鲸类形成的鲸落，其是否也能维持机会主义者和化能自养生物的生长，仍然存在争议。我们通过在南海发现的鲸落周围布放时间序列观测相机及多次深潜观测，获取了跨度为 460 余天的图像资料。基于观察图像资料的分析，发现了 14 种巨型底栖动物，包括六种鱼类、五种甲壳类动物、两种棘皮动物和一种软体物种，其中大多数是食腐动物或捕食者，都为南海深处的首次记录。我们还发现，石蟹的出现同时伴随铠甲虾数量的显著降低；而石蟹的离开又伴随铠甲虾数量快速恢复到正常的水平，表明两者间存在竞争关系。通过对采集的一块海豚骨骼进行显微观察及分子生物学分析，我们发现了机会主义物种——食骨蠕虫活动的痕迹，并扩增得到了食骨蠕虫的 COI 基因序列，表明小型鲸落也具有机会主义阶段，为完善小型鲸落生态系统的演替过程提供了新的依据。对食骨蠕虫 COI 基因的进化分析显示，南海鲸落周围发现的食骨蠕虫分为两类，且均不同于西太平洋已发现物种，这可能表明南海的地理隔离时间足够长，可以导致本地物种形成。同时，这一发现也代表着食骨蠕虫分布的最低纬度，拓展了人们对其分布空间的认识，表明低纬度海域广泛分布小型鲸豚形成的鲸落，在深海机会主义物种的扩散和演化过程中，发挥着重要的作用。

S41-P-3

基于现代观测技术下的海底碳通量观测及生态过程研究进展

董良[1*]，邓龙辉[1]，杜梦然[2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* dongliang@sjtu.edu.cn

伴随着深海观测技术的快速发展，碳通量观测已从海洋表层系统迅速延展到海底水岩界面。同时，伴随了深海微生物多样性与代谢潜能的广泛挖掘，向公众揭示了一个前所未有的海底深部生命世界。目前，已取得了诸多重要进展与共识：一、海底碳循环过程是地球碳循环的重要组成部分；二、海底深部生命具有广泛的多样性与代谢活性；三、海底碳通量及生命过程亟需广泛而深入的定量研究。因此，本报告拟在国家实施“碳达峰”“碳中和”双碳“减排增汇”战略的大背景下，聚焦以深潜、深网、深钻等深海观测技术为基础，对海底及其深部碳循环过程及生命过程的重要科学问题的进行讨论与凝练。

S41-P-4S

小型化沉积物孔隙水原位提取系统初探

钟一鸣[1]，申凯诚[1]，于曹阳[1*]，曹军军[1]

1 上海交通大学，海洋学院
* yucaoyang@sjtu.edu.cn

作为海水与沉积物相联系的介质，海底沉积物孔隙水是元素在固-液间相互交换和转化的最密集场所，支撑了海洋沉积物元素循环中的重要一环。相较于非原位提取，原位提取孔隙水可有效避免因采样扰动、环境条件和微生物活性变化引起的偏差，更能准确地反映孔隙水的原始成分和信息。为满足原位高分辨率、轻量集成化采集孔隙水需求，本文探索了一种小型专用的沉积物孔隙水原位提取系统，具备模块化、轻量化、自容式等特点，便于深潜器或者着落器集成应用。本文将重点介绍该系统的总体设计、工作原理、以及目前功能模块测试情况，并梳理下一步系统技术研发方向。

S41-P-5S

海洋沉积物碳转换和通量检测原位试验技术研究

林锐 [1]，曹军军 [1*]，于曹阳 [1]

1 上海交通大学，上海交通大学
* cpcjj19890318@sjtu.edu.cn

沉积物-水界面活跃的微生物活动与物质交换过程决定了水体向沉积物中有效“碳埋藏”的最终效果与规模。针对沉积物中微生物过程和通量观测手段和采样技术的限制，据此开展海底原位碳转换及通量检测试验技术的研究。通过着陆器、HOV 或 ROV 等平台搭载沉积物海底试验单元，实现不同层级沉积物有机碳呼吸速率和通量的原位测定，并与甲板试验结果相比较，推理和验证原位试验技术的有效性和真实性。海底试验单元主要包含采集模块、试验模块、控制模块、传感器模块和电源模块等组成，具备小型化、模块化和智能化等性能优势，能够在不扰动沉积物-水界面的前提下开展海底微生物碳通量速率的测定。本研究能够完善海底微生物驱动的碳循环理论，为研发和评估海洋“碳增汇”工程技术提供理论依据。

S41-P-6

西北太平洋海山区底栖生境主控环境因素分析与智能分类方案研究

杜然然 [1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，大洋和极地研究所
* emailofduran@163.com

西北太平洋海山区具有独特的生态系统及丰富的矿产资源，是由我国发起并主导的国际海底区域环境管理计划的关键海域，在底栖生境研究方面具有极其重要的价值。底栖生境分类是进行区域环境管理计划功能区划的重要手段，但数据及分类方案的缺乏限制了深海底栖生境研究，制约了对海山区生态环境空间分布的认知，不利于西北太平洋区域环境管理计划的开展。本研究在构建针对底栖生境主控环境因素的多源数据集基础上，利用主成分分析和因子分析法分析水团特性、食物供给、海底地形、营养盐和底质特征中环境因子的相关性，并优选影响底栖生境空间分布的关键因子。随后，借助 K-medoids 和随机森林技术进行底栖生境非监督和监督分类，实现西北太平洋海山区底栖生境填图，进而掌握该海域底栖生境的空间分布规律，服务于西北太平洋区域环境管理计划，为我国参与全球治理提供支撑。同时，形成基于多元统计分析与机器学习的深海底栖生境分类方案。

S42-O-1

基于沙尘-养分模式的我国东部近海养分沉积模拟

刘东伟[1*]，邵亚平[2]

1 内蒙古大学，生态与环境学院

2 科隆大学，地球物理与气象研究所

* liudw@imu.edu.cn

全球每年有大量沙尘沉积到海洋，沙尘中携带的 Fe、P 等营养元素对海洋表层浮游植物的生物量起着重要作用。沙尘养分通过影响海洋表层浮游植物的光合作用，改变海-气界面的 C 交换过程，影响海洋对大气中 CO_2 的吸收。然而，沙尘携带的养分沉积到海洋的定量估算具有不确定性。海洋浮游植物固碳潜能因缺少可靠的养分供应数据无法产生可信的结果。本研究在区域沙尘模式的基础上，开发基于粒径分布的养分颗粒释放、输送和沉积模块，建立沙尘-养分输送的参数化方案，估算风沙过程向海洋提供的养分沉积量，将海-气界面的 C 交换过程与内陆风沙结合起来，揭示沙尘过程在表层海洋生物量生产和全球碳收支中发挥的重要作用。

S42-O-2

海洋大气溶解态黑碳的沉降

钟广财[1*]，耿晓飞[1]，怡欣[1]，莫扬之[1]，朱三元[1]，高淑涛[1]，Chui Wei Bong[2]，Mohamad Pauzi Zakaria[2]，刘俊文[3]，Örjan Gustafsson[4]，张干[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所，有机地球化学国家重点实验室

2 马来亚大学，海洋和地球科学研究院

3 暨南大学，环境与气候研究院

4 斯德哥尔摩大学，环境科学系

* gczhong@gig.ac.cn

野火、烧荒、秸秆焚烧等自然和人为生物质燃烧事件使得大量生物质碳转化为黑碳（black carbon，BC），排放、迁移至土壤、水体和大气等圈层介质中。深入研究黑碳的生物地球化学循环有助理解黑碳的固碳能力。目前海洋溶解态黑碳（dissolved black carbon, DBC）的主要来源贡献还不明晰。我们的研究通过野外观测，结合溶解态黑碳的沉降通量，稳定和放射性碳同位素特征等，探讨大气沉降对海洋溶解态黑碳的重要性。

S42-O-3

大气细颗粒物中蛋白质物质的来源和转化机制

朱仁果[1*]

1 东华理工大学，水资源与环境工程学院

* zhurenguo@ecut.edu.cn

近年来，随着大气圈和生物圈存在强烈且快速的生物物质交换被发现，初级生物气溶胶颗粒（包括毛皮纤维、头皮屑、皮肤碎片、植物碎片、花粉、孢子、细菌、藻类、真菌、病毒、蛋白质晶体等）被证明是重要的气溶胶组分。蛋白质类化合物作为这些生物气溶胶中普遍存在的主要成分，已被公认为是大气水溶性有机氮（WSON）中最重要的一类化合物。氨基酸是肽类和蛋白质的基本组成单位，被认为是研究大气蛋白质主要来源，转化和降解过程最好的分子水平示踪剂。它在大气中有 2 种存在形态，分别是游离态（FAAs）和结合态（CAAs），其中结合态包括蛋白质和肽类。最新的研究结果表明气溶胶中高分子蛋白质物质会通过大气中的生物和非生物过程被降解成大量小分子的游离氨基酸和有机胺。生成的 FAAs 还可以在大气中进一步通过脱羧作用形成有机胺类化合物。有机胺作为碱，其碱性比氨更强，更容易通过酸碱反应生成颗粒盐。同时，有机胺还可以生成二次有机气溶胶，在大气新粒子生成和亚微米颗粒的生长中发挥着重要作用。此外，有机胺形成的吸湿性粒子可以作为云凝结核（CCN），影响云的形成，从而间接导致气候变化。因此，研究大气蛋白质的降解和转化机制对生态系统的氮素循环、大气新粒子生成与增长和气候变化都非常重要。

S42-O-4

化石燃料和食品系统同样主导中国人为甲烷排放

刘姝涵[1]，刘开云[2*]，王堃[3*]，陈兴财[4]，吴楷[5]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 清华大学，环境模拟与污染控制国家重点联合实验室

3 北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所

4 海南大学，海南省农林环境过程与生态调控重点实验室

5 加州大学欧文分校，土木与环境工程系

* liuky2021@mails.tsinghua.edu.cn

* wkty@mail.bnu.edu.cn

了解化石燃料/食物系统的生产和消费模式是减少相关甲烷（CH4）排放对气候影响的第一步，但当前中国人为源甲烷的排放特征尚不清楚。本研究基于约 130,000 个重点行业点源数据构建了中国全产业链的高时空分辨率 CH4 排放清单(CH4-China)，从“生产-使用-处置”视角追踪了化石燃料和食物系统的甲烷 (CH4) 排放流向。结果显示：2020 年，中国 CH4 排放量约为 39,288.3 Gg (25,230.8−53,345.7 Gg)，其中 50.4%来自化石燃料系统，49.6%来自食物系统，点源排放量占人为源 CH4 总排放量的约 53.5%。以往研究忽略的天然气机动车、居民用气、焦炭生产、化粪池等排放源在本研究中占 CH4 总排放量的 12.4%。该方法和结果可为完善 CH4 排放清单、制定 CH4 减排策略提供技术支撑。

S42-O-5

北冰洋至南极内陆断面大气黑碳的空间分布特征及其辐射强迫模拟研究

吴广美[1]，胡冶[1]，巩崇水[2]，史贵涛[1*]

1 华东师范大学，地理科学学院

2 中国气象局兰州干旱气象研究所

* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

生物质燃料和化石燃料不充分燃烧产生的黑碳（black carbon, BC）气溶胶是仅次于二氧化碳造成气候变暖的关键气候强迫因子。但受限于样品采集，人类对于开阔海域的边界层尤其是极地区域边界层的大气 BC 的认识还存在不足。基于 2021 年中国第十二次北极科考和 2019 年至 2020 年中国第 36 次南极科考的气溶胶样品的热光碳分析仪的数据分析，本文从北冰洋至南极内陆断面跨越 150°纬度，对开阔海洋和南极内陆边界层中 BC 含量的空间分布特征及其辐射强迫进行了研究。结果表明，总体上南北半球大气 BC 含量随纬度的增加而降低，东亚海域大气 BC 平均含量最高（1224 ng m^{-3}），其次是北冰洋和南大洋，南极内陆大气 BC 平均含量最低（20 ng m^{-3}）。除东亚海域大气 BC 主要来自化石燃料燃烧排放以外，其余三个区域的大气 BC 主要来自生物质燃料燃烧排放。平面平行辐射传输模式（SBDART）模拟结果表明 BC 对北冰洋大气致暖效应最强，平均辐射强迫值为+5.25 W m^{-2}，加热速率为 0.15 K day^{-1}。BC 的致暖效应的区域差异主要和 BC 的含量高低，BC 的光学性质以及和地表反照率等因素有关。

S42-O-6

海口市 PM2.5 和 PM10 的稳定碳和氮同位素组成的季节性变化特征

曹玲玲[1]，罗笠[1*]，王晨[1]，王名斌[1]，杨荣强[1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* l.luo@hainanu.edu.cn

为了更好地了解海口市大气气溶胶的起源、大气过程和季节性变化，我们于 2021 年 12 月至 2022 年 11 月在海口市收集了 194 个气溶胶样本（$PM_{2.5}$ 和 PM_{10}）。研究了水溶性离子组成、TC、TN 浓度以及总碳（$\delta^{13}C_{TC}$）和氮（$\delta^{15}N_{TN}$）的稳定碳氮同位素比值。$PM_{2.5}$、PM_{10}、TC、TN、及水溶性离子浓度在冬季高于夏季。SO_4^{2-}、NO_3^-和 NH_4^+是海口市气溶胶的主要水溶性离子。$PM_{2.5}$ 的 $\delta^{13}C_{TC}$ 组成范围为-27.6~-23.8‰，呈现夏季低冬季高的变化趋势，PM_{10} 的 $\delta^{13}C_{TC}$ 组成范围-26.9~-23.2‰，呈现夏季高冬季低的变化趋势。$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 $\delta^{15}N_{TN}$ 组成范围分别为 2.0~20.3‰和-5.0~9.1‰，整体来看，$PM_{2.5}$ 的 $\delta^{15}N_{TN}$ 要高于 PM_{10} 的 $\delta^{15}N_{TN}$。

S42-P-1

北京市北部蒿属花粉的致敏特征及潜在源区

孙爱芝[1,2*]，张海红[3,4]，孙晓丽[3,4]，李雪银[1]，吴双双[1]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

2 北京燕山地球关键带国家野外科学观测研究站

3 北京怀柔医院，皮肤科

4 北京市怀柔区变态(过敏)反应中心

* aizhisun@ucas.ac.cn

蒿属植物属于菊科，广泛分布于地球上的温带、寒温带和亚热带地区，其花粉是诱发过敏性疾病的重要致敏原之一。已有的研究显示，蒿属花粉的致敏率呈增加趋势，并且在一些地区已超过 80%，受到国内外科学家和政府部门的重点关注。然而，现有的研究也指出蒿属花粉的致敏率存在明显的区域差异并且其来源仍不清楚，这将直接影响过敏性疾病患者预防和治疗的科学性和有效性。基于此，本工作以北京市北部为研究区，通过对 2019-2020 年夏秋季连续的每日空气花粉监测、同时期过敏性鼻炎（Allergic Rhinitis，AR）患者的每日就诊人次以及部分 AR 患者的过敏原（血清特异性免疫球蛋白 E，sIgE）定量检测结果，获得了蒿属花粉与 AR 患者发病时间的关系和蒿属花粉的致敏率。进而，利用 HYSPLIT 后向轨迹模型模拟了北京市北部蒿属花粉的传播途径和可能源区。结果显示：（1）蒿属花粉是研究区夏秋季最重要的花粉类型（平均含量为 41.5%），其浓度与 AR 患者发病时间呈显著正相关（R^2 高于 0.6）；（2）蒿属花粉的致敏率平均为 32.35%，超过了其他致敏原，并且重度致敏率超过 85%，是研究区第一风险过敏原；（3）除本地来源外，中国内蒙古中部和南部、蒙古南部是研究区蒿属花粉的潜在源区。这项研究为系统了解区域蒿属花粉的致敏特性和潜在来源提供了一手资料，更为由蒿属花粉诱导的过敏性疾病患者的精准预防提供了科学依据。

S42-P-2S

利用碳同位素分析方法探究大气中 VOCS 的来源

王名斌[1]，罗笠[1*]，王晨[1]，曹玲玲[1]，杨荣强[1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* l.luo@hainanu.edu.cn

挥发性有机物（VOCs）是指在常温下，沸点 50℃至 260℃的各种有机化合物，包括

NMHCs、含氧 VOCs、卤代 VOCs 等。挥发性有机物已被证明对大气和人类健康都有危害。目前，主要使用气相色谱和质谱联用技术来分析挥发性有机物，通过这种方法可以准确快速地测定不同样品中挥发性有机物的含量和类型。挥发性有机物 ^{13}C 同位素分布具有明显的区域差异性，可通过分析这些同位素的比值来判定它们的来源和传输途径。它的 ^{13}C 同位素分布受到不同因素的影响，包括地理位置、大气循环、气候与季节等，因此通过 ^{13}C 同位素分析能够更好地帮助我们了解挥发性有机物的来源和传递。挥发性有机物的大量排放已经成为当代社会面临的严重环境问题，通过研究挥发性有机物 ^{13}C 同位素分布，有助于我们更好地了解大气中这些有害物质的来源和分布规律，从而采取更加有效的治理措施来保护环境和人类的健康。

S42-P-3S

1990-2020 年中国人为源甲烷排放

王茜 [1]，刘姝涵 [1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* liush@hainanu.edu.cn

过去几十年中，大气中甲烷的浓度增长迅速，成为了自 CO2 后影响全球气候变暖第二大温室气体，甲烷本身无毒，但超过一定量浓度就会对人体健康产生影响甚至窒息，所以对甲烷的排放要予以重视。已知甲烷排放量增多主要是人为源导致，我们通过制作 1990 年至 2020 年期间中国八个主要人为源部门的 CH4 排放量的自下而上清单，CH4 总排放量从 1990 年的 23.1 [18.6–30.5] Tg CH4 yr−1 增加到 2020 年 39.29 [36.6–56.4] Tg CH4 yr−1。这 30 年期间，CH4 总排放量的最大贡献也从 1990 年的水稻种植转移到 2020 年的煤炭开采，也表明了 CH4 排放总量的快速增长主要是受煤炭开采 CH4 排放的推动。我们使用从最先进的已发表文献中收集的排放因子来调查清单的不确定性。这份清单有助于我们详细了解中国甲烷排放量的来源与变化，有助于为进一步改进与减缓 CH4 排放设计和制定有效的 CH 4 减排策略提供有益有效的建议，最终推动碳峰值和碳中和的实现。

S42-P-4

气溶胶有机碳的分子组成的时空差异

鲍红艳 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* baohy@xmu.edu.cn

大气沉降是近海以及开阔大洋显著的有机碳来源之一，理清其来源以及分子组成特征，是解析其在水体中的生物地球化学循环以及潜在的环境和气候效应的基础。借助于傅立叶变换离子回旋共振质谱以及光谱等手段，我们对中国近海、西北太平洋以及厦门等多个区域的气溶胶水溶性有机碳开展研究，分别从空间和时间的角度阐述气溶胶有机碳的分子组成特征。结果显示，在空间上气溶胶分子组成与来源高度相关：沙尘气溶胶含有较高的土壤来源有机碳，近海气溶胶含有高比例的有机硫酸盐；而开阔大洋气溶胶则显著受到海洋生物过程的影响；从季节变化上看，厦门的气溶胶总体的分子组成差异较小，可能和全年厦门气溶胶有机碳主要来源为化石燃料来源有关；但在冬季气溶胶含有较高比例的含 S 化合物，和冬季较高比例的煤燃烧有关；而从光谱上，厦门气溶胶水溶性有机碳的芳香性程度整体高于雨水，与河流相近，暗示其含有较高比例的生物惰性化合物，可能长期存留在水体中，贡献海洋惰性有机碳。

S42-P-5

海南热带雨林公园碳气溶胶的稳定同位素特征

罗笠 [1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* L.Luo@hainanu.edu.cn

含碳物质是气溶胶中的重要组成部分，但是对气溶胶中含碳物质的来源及其形成机制的认知还非常有限。在海南热带雨林国家森林公园分季节在山顶和山脚采集了不同粒径的气溶胶。分析了不同海拔不同季节不同粒径气溶胶的总碳（TC）浓度和 TC 的碳同位素（δ13C-TC）。结果显示，冬季和夏季气溶胶中 TC 和 δ13C-TC 存在显著差异，不同粒径中 TC 和 δ13C-TC 也存在显著差异，山顶和山脚的 TC 和 δ13C-TC 也存在差异，这些结果表明，山顶和山脚，冬季和夏季，不同粒径气溶胶中含碳物质的来源有差异。结合水溶性离子和气团后向轨迹，分析发现外源传输对冬季气溶胶中 TC 和 δ13C-TC 影响较大。在夏季，植被的释放和本地源对气溶胶中 TC 和 δ13C-TC 影响较大。

S43-O-1

长江口近岸氮素的转化过程、归宿及对陆海统筹的启示

侯立军 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* ljhou@sklec.ecnu.edu.cn

活性氮污染是二十一世纪最为严重的环境问题之一。大量研究发现，活性氮的负荷量与河口近岸有害藻类赤潮爆发、低氧-缺氧现象的发生、乃至生态系统群落结构的变化（退化）密切相关。因此，研究和认识活性氮在河口近岸环境中的转化过程、机制及其归宿具有极其重要的理论和现实意义。本报告以长江口近岸为典型研究区，初步介绍氮素的异化还原过程——反硝化和厌氧氨氧化过程的速率、时空变异、作用机制，并探讨其在区域氮循环中的贡献。

S43-O-2

海洋牧场表层沉积物硝酸盐还原过程对轻度缺氧的响应研究

张晓黎 [1]，林贤彪 [2*]

1 中国科学院烟台海岸带研究所

2 中国海洋大学

* linxianbiao@ouc.edu.cn

在富营养化的沿海牧场，底层水体从有氧转变为轻度缺氧，从 5 月到 11 月恢复有氧。反硝化主导了脱氮过程（49.70–87.24%）和硝酸盐还原过程（46.26–80.9%），轻度缺氧能够显著提高沉积物反硝化和 DNRA 速率，对厌氧氨氧化速率无显著影响。然而，轻度缺氧对功能群落的多样性和组成影响较小。轻度缺氧时，*nosZ* 基因丰度得到显著提高（$p < 0.05$），而 *nosZ*II、厌氧氨氧化细菌 16S rRNA 和 *nrfA* 基因丰度无法通过含氧量预测。*Azospirillum* 和 *Ruegeria* 占据 *nosZ* 群落的大部分，并且 *Pelobacter* 在 DNRA 细菌中最为普遍，*nosZ* 和 *nrfA* 细菌群落组成几乎不受轻度缺氧的影响。含 *nosZ* 基因的 *nirS* 型反硝化菌主要负责将活性氮通过反硝化以 N_2 的形式移除。海洋牧场表层沉积物硝酸盐还原过程的主要驱动因素为温度，叶绿素 *a* 和基因丰度。总之，研究结果表明轻度缺氧可以显著地增强表层沉积物硝酸盐的去除能力，这对于减轻水体富营养化和恢复生态系统服务至关重要。

S43-O-3

亚硝酸盐的消耗抑制温室气体氧化亚氮的排放-以典型养殖区三沙湾为例

郑珍珍[1*]，牛晴晴[2]，谭萼辉[1]，徐敏[1]，高树基[1,2]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室
* zzz@hainanu.edu.cn

水产养殖是人类鱼类蛋白质的重要来源，但它也导致全球氧化亚氮（N_2O）排放增加。尽管硝化过程对养殖区 N_2O 排放的具有重要贡献，但其影响因素尚未完全了解。本研究调查了典型养殖区三沙湾的氨氧化速率（AOR）和亚硝酸盐氧化速率（NOR），以及它们与环境因素的相关性。结果表明，三沙湾 AOR 与 NOR 呈现正相关，然而 NOR 总体大于 AOR，暗示除了氨氧化过程还有其它外源亚硝输入（硝酸盐异化还原或沉积物不完全反硝化）支撑了 NOR 速率。同时，NOR 与底物亚硝浓度呈现显著负相关，暗示亚硝的供应超过消耗，换言之，NOR 调控了亚硝浓度分布。此外，结果显示 NOR 与 AOR 的差值与温室气体 N_2O 呈显著负相关，暗示亚硝的消耗过程可抑制 N_2O 的产生。亚硝浓度与 N_2O 浓度的显著正相关也进一步支持这一推断。我们的结论表明减少养殖业中的亚硝酸盐积累可能是一种有效的减缓 N_2O 排放策略。未来将结合分子生物学手段，深入探索亚硝积累与 N_2O 排放的生理学机制。

S43-O-4

黄海悬浮颗粒物氮稳定同位素同位素组成的环境指示意义

刘倩倩[1,2]，Kandasamy Selvaraj[1,3*]，翟惟东[2]，王华伟[1]，高爱国[1]，陈镇东[4]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），前沿中心
3 印度喀拉拉中央大学，地质系
4 台湾中山大学，海洋科学系
* selvaraj@xmu.edu.cn

悬浮颗粒有机物（POM）的氮稳定同位素组成（$\delta^{15}N_{PN}$）是研究海洋氮元素生物地球化学循环过程及其对环境和气候变化响应的有力工具。充分认识海洋 $\delta^{15}N_{PN}$ 的特征和动力学机制是能够更加合理利用该参数的必要前提。本研究以 2017 年夏季黄海表层和次表层叶绿素最大值（DCM）层为研究对象，范围覆盖了 124°E 以西，32–39°N 的海域。结合水文过程和环境化学，阐明了 $\delta^{15}N_{PN}$ 在表层与 DCM 层之间的纵向差异和横向变化，并探讨了调控其变化的机制。本研究揭示出黄海表层和 DCM 层 POM 均主要来源于海洋生产力。$\delta^{15}N_{PN}$ 在黄海表层（−5.3 至 10.9‰）与 DCM 层（−0.6 至 10.7‰）均变化较大，且空间分布格局相似。$\delta^{15}N_{PN}$ 高值（>6‰）分布在山东半岛沿岸区域和受长江羽流影响的南黄海南部区域，低值（<0‰）主要位于南黄海冷水团区域和苏北沿岸，其余区域普遍呈现均一且中等的背景值（4–5‰）。除若干站位受到同位素分馏效应影响外，黄海表层 $\delta^{15}N_{PN}$ 反映了浮游植物所吸收的 N 营养盐的同位素信号。DCM 层 $\delta^{15}N_{PN}$ 在南、北黄海之间不同。南黄海 DCM 层 $\delta^{15}N_{PN}$ 与 NO_3^- 浓度呈线性负相关，表明该海域 $\delta^{15}N_{PN}$ 组成与浮游植物同化 NO_3^- 时的同位素分馏效应有关。而北黄海 $\delta^{15}N_{PN}$ 与 NO_3^- 浓度呈线性正相关，表明人类活动源（生活污水和养殖废水）和海洋内循环源的 N 营养盐的保守混合对 $\delta^{15}N_{PN}$ 的重要影响。此外，北黄海 DCM 层 $\delta^{15}N_{PN}$ 的空间分布揭示了山东半岛东部潮余流的离岸输送过程

S43-O-5

晚第四纪赤道西太平洋固氮作用的岁差周期变化及其调控机制

李琛[1*]，翦知湣[1]，党皓文[1]，贾国东[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* 1900_chenli@tongji.edu.cn

赤道西太平洋作为地球系统热量和水汽的主要来源，通过一系列经向和纬向过程将其影响扩散至全球。以往的研究对低纬海区的水文气候、海洋热量等物理过程有了一定的了解，但是对生物地球化学过程的认识还较为有限。氮循环是海洋中最为重要的生物地球化学循环之一，它通过调控大洋营养盐储库影响海洋初级生产力，与碳循环和气候变化紧密相连。在赤道西太平洋，由于生产力与沉积速率相对较低、陆源输入的潜在干扰大，晚第四纪氮循环重建在材料与方法上都存在一定的问题。

本研究利用哈马黑拉海 MD10-3340 站的总沉积物及有机氮同位素记录，在谨慎校验了指标可靠性的基础上，综合重建了近 140 ka 以来赤道西太平洋氮循环的变化。研究发现，赤道太平洋西侧的氮同位素记录有着显著强于东侧的岁差周期。赤道西太平洋的氮同位素记录与分点岁差参数同步，而东太平洋的氮同位素记录与至点岁差同步，二者在相位上相差了接近五千年。本研究提出，赤道东太平的岁差周期变化来自于亚热带环流圈在经向上的作用，体现的是反硝化海区偏重的同位素信号通过经向环流影响赤道海区的物理过程。而赤道西太平洋氮同位素记录的岁差周期则反映了 ENSO 平均态对该海区固氮作用的影响。在岁差高值期，厄尔尼诺平均状态导致赤道西太平洋上层水层化减弱，较强的垂向混合缓解了磷限制，促进了表层的固氮。相反，在岁差低值期，太平洋整体偏向拉尼娜平均态，西太上层水层化加剧，垂向磷输运少，固氮作用减弱。本研究弥补了以往对赤道西太平洋本身氮循环过程关注的不足，解析了赤道太平洋东西两侧的不同机制，为理解低纬海洋气候与生物地球化学循环间的联动作用，提供了新的依据。

S43-O-6

全新世东亚夏季风和人类活动调控南海北部陆架区氮循环的沉积记录

王利伟[1]，叶丰[1*]，韦刚健[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所

* yefeng@gig.ac.cn

海洋氮循环影响着海洋生态系统的结构与功能，并和全球气候变化有着密切的联系。在全球变化和人类活动背景下，海洋氮循环的演变过程成为当前国内外海洋科学和全球气候变化等研究领域关注的焦点问题之一。为厘清自然气候变化和人类活动双重胁迫下海洋氮循环过程，需要在更长时间尺度上重建海洋氮循环演化历史及其对气候变化和人类活动的响应机制，特别是与人类社会发展关系密切的全新世时期。海洋沉积物的氮同位素($\delta^{15}N$) 能够反演氮的来源及其经历的生物地球化学转化过程的信息，被广泛应用于重建古海洋氮循环的历史中。然而在南海及其它的陆架边缘海区，由于受到大量复杂来源的陆源无机氮（主要为矿物晶格氨）的影响，其总氮同位素($\delta^{15}N_{bulk}$) 往往存在一定程度上的“失真”，对古海洋氮循环历史的重建工作造成了很大的干扰。

本研究对南海北部陆架泥质区获得高分辨率的沉积岩芯 (YJ Core) 样品进行了综合的氮同位素分析，并结合其他地球化学指标对该区域全新世以来的海洋氮循环演化记录及其对东亚季风和人类活动的响应机制进行了细致刻画和深入探讨。研究结果表明：(1) 在南海北部的近岸沉积物中，有机氮主要来源于水生浮游植物和陆源土壤，其同位素组成（$\delta^{15}N_{org}$）变化指示着浮游植

物来源贡献和水体硝酸盐利用率的演变；(2) 无机氮主要来自于陆源黏土矿物，其同位素组成可能包含了矿物形成源区的气候（特别是降水）信息；(3) 7500 至 2000 年以前，有机氮同位素组成的变化主要受东亚夏季风的强度的控制，当东亚夏季风盛行（强度高）时，丰富的陆源营养物质和较高的海表温度导致浮游植物生物量和硝酸盐利用率增加，并推高有机质的 $\delta^{15}N_{org}$，而这段时间 $\delta^{15}N_{org}$ 值的下降是对夏季风强度不断减弱的响应；(4) 近 2000 年以来，珠江流域的人类活动（农业活动）不断增强，并逐渐取代东亚夏季风成为近海氮循环过程的重要推动力。

S43-P-1S

热带海湾沉积物-水界面营养盐源汇结构及时空特征

钟嘉森[1,2]，马归宜[1]，殷静超[1,2]，符春蔚[1,2]，李凤莹[1,2]，苏剑钟[1]，徐敏[1]，郑珍珍[1]，高树基[1]，谭萼辉[1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 海南大学，生态与环境学院

* ehuitan@hainanu.edu.cn

营养盐是限制海洋初级生产力的关键因素之一，沉积物是营养盐的重要储库，解析沉积物-水界面营养盐的源汇结构对水体中营养盐的收支平衡具有重要科学意义。本研究以海口东寨港、万宁小海和文昌清澜港等近海海湾作为研究区域，量化了底层水和表层沉积物间隙水中营养盐（氨氮、硝氮、活性磷酸盐和硅酸盐）的时空分布特征，通过 Fick 第一定律探究沉积物-水界面营养盐的源汇结构，并结合环境参数探讨扩散通量的主要环境调控因子，其结果如下：（1）东寨港冬夏两季底层水 DIN 浓度范围分别为 9.3~40.2 和 4.2~24.8 μmol L^{-1}，主要形式为 NO_3^-；表层沉积物间隙水为 11.8~77.6 和 21.7~268.3 μmol L^{-1}，主要形式为 NH_4^+；总体而言冬季东寨港沉积物是 NO_3^-和 NO_2^-的汇，是 NH_4^+的源，夏季沉积物是 NH_4^+和 NO_2^-的源，是 NO_3^-的汇；（2）夏季万宁小海和文昌清澜港底层水 NO_3^-、NO_2^-、NH_4^+、PO_4^{3-}、SiO_3^{2-}浓度范围分别为 0.1~3.9、0.2~0.3、0.2~0.5、0.05~2.5、2.5~65.5 μmol L^{-1} 和 0.1~0.6、0、0.3~5.6、0.1~1.3 和 3.2~28.4 μmol L^{-1}，间隙水浓度范围为 0.05~10.6、0.01~9.3、48.9~698.1、1.2~29.0、44.1~163.1 μmol L^{-1} 和 0.4~46.5、0.03~0.3、34.3~875.4、0.7~20.4 和 36.2~159.4 μmol L^{-1}；万宁小海沉积物-水界面扩散通量中 NO_2^-、NH_4^+、PO_4^{3-}和 SiO_3^{2-}由沉积物向上覆水扩散，NO_3^-向沉积物扩散；而文昌清澜港沉积物是所有营养盐的源。（3）东寨港两季 DIN/ PO_4^{3-}的比值接近 Redfield/比值（N:P=16:1，N:Si=1.1:1），而 DIN/ SiO_3^{2-}略低于该比值，表明东寨港为硅富集；万宁小海与文昌清澜港夏季 DIN/ PO_4^{3-}（31 和 26）比 Redfield/比值高近一倍，DIN/ SiO_3^{2-}（1.62 与 1.78）则略高，表明小海与清澜港为氮富集区。综上，热带海湾沉积物-水界面总体上是营养盐的重要源，可能是引发水体富营养化的因素之一；此外，沉积物总体表现为 NO_3^-的汇，进一步解析沉积物氮碳生地化过程对了解营养盐源汇结构具有重要意义。

S43-P-2S

水文条件和生物地球化学过程对九龙江下游氮动力过程的影响

郭小岚[1]，颜秀利[1*]，姚安琦[1]，鲍红艳[2]，韩丽丽[2]，李大伟[4]，黄志川[5]，吴俊文[1]，高树基[2,3*]

1 汕头大学，海洋灾害预警与防护广东省重点实验室

2 厦门大学，海洋环境科学国家重点实验室

3 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

4 中国海洋大学，海洋化学理论与技术重点实验室

5 台湾大学，地理系

* yanxl@stu.edu.cn
* sjkao@xmu.edu.cn

随着城市化和工业化进程加速，大量人为活性氮被输入到河口及其近岸海域，导致一系列环境问题，如富营养化和缺氧。与此同时，全球变暖引起的极端降水事件以脉冲式增加河流氮输送通量。然而，目前有关人类活动和极端天气共同影响下的河流氮动力学过程研究主要聚焦于世界大江大河，而对于中、小河流中氮来源及其迁移转化的研究则相对有限，尤其是从多种形态氮同位素耦合的角度。本论文选取了九龙江（包括北溪和西溪）作为典型区域，通过定点每月观测和暴雨事件加密采样，同时测定不同形态氮浓度(硝酸盐：NO_3^-，氨氮：NH_4^+，亚硝酸盐：NO_2^-，颗粒态氮：PN)及其同位素($\delta^{15}N_{NO3}$，$\delta^{18}O_{NO3}$，$\delta^{15}N_{NO2}$，$\delta^{15}N_{NH4}$和$\delta^{15}N_{PN}$)，分析不同水文条件下的氮动力过程变化。为了方便探讨河流氮动力过程对不同水文条件的响应，先按照河流径流量将样品分为非暴雨期间和暴雨期间。在非暴雨期间，北溪和西溪均以硝化作用和氨吸收为主导，其中氨氮吸收过程的分馏系数分别为12.0±4.0‰和18.2±1.8‰。在暴雨期间，除了硝化作用，北溪还发生颗粒物上的反硝化，而西溪则以沉积物不完全反硝化为主导，这与水体扰动增强、悬浮颗粒物的增多有关。同样，不同形态氮的主要来源及其贡献比例也因水文条件和河流类型而有所不同。在非暴雨期间，北溪和西溪的 NH_4^+均主要来源于工业废水(40.1%，31.6%)，PN 也主要受污水影响(62.0%，56.5%)、浮游植物碎屑的贡献次之(16.9%，34.3%)，但 NO_3^-主要来源于土壤有机氮(48.1%， 40.8%)和粪便污水(30.2%，50.4%)。在暴雨期间，NH_4^+和 NO_3^-的主要来源基本不变，但化肥对 NO_3^-的贡献明显增加(29.2%，25.7%)，PN 则转变为以土壤为主(47.6%，57.3%)、污水的贡献大大降低(32.9%，29.4%)。这些研究结果凸显了在研究河流氮动力过程时，考虑水文条件的重要性，并且表明在探究复杂人类活动对亚热带河流中氮来源及其内部迁移转化过程的影响时，多种氮同位素耦合是一个有效的方法。

S43-P-3S

夏季珠江口不同形态氮吸收与初级生产力的关系

王玥[1]，于谦[1]，颜秀利[1*]，田莉[2]，柳欣[2]，邹文彬[2]，鲍红艳[2]，高树基[2,3]

1 汕头大学，海洋灾害预警与防护广东省重点实验室
2 厦门大学，海洋环境科学国家重点实验室
3 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
* yanxl@stu.edu.cn

氮(Nitrogen, N)是浮游植物生长的重要元素，也是大多数海域初级生产力(Primary Productivity, PP)的主要限制因子，因此，N 和碳(Carbon, C)是紧密耦合的。虽然以 N 为基础的初级生产力(PP_N)和以 C 为基础的初级生产力(PP_C)的关系是一个长期受到关注的科学问题，但是，两者的不平衡机制尚不明确。因此，本研究以典型亚热带河口—珠江口为研究区域，利用稳定 ^{13}C 和 ^{15}N 同位素示踪技术，分析了夏季表层水体中浮游植物对多种形态 N(氨氮：NH_4^+，硝酸盐：NO_3^-，亚硝酸盐：NO_2^-，尿素：Urea)和 C 吸收速率及其影响因素，进而探讨 PP_N 和 PP_C 的关系。结果表明，浮游植物对不同形态 N 吸收速率的大小/占比、偏好性和影响因素都存在显著的差异。按照速率和占比大小排序依次为：NH_4^+ (3.1±3.6 μmol N L^{-1} d^{-1} 和 57.5±24.0%) > NO_3^- (1.4±1.7 μmol N L^{-1} d^{-1} 和 21.7±18.5%) > Urea (0.8±0.8 μmol N L^{-1} d^{-1} 和 14.4±11.0%) > NO_2^- (0.3±0.4 μmol N L^{-1} d^{-1} 和 6.4±5.1%)，而浮游植物对还原性 N(Urea 和 NH_4^+)的偏好性又远高于氧化性 N(NO_3^-和 NO_2^-)，表明 Urea 是珠江口浮游植物生长的重要氮源。NH_4^+、Urea 和 NO_2^-吸收速率都与甲藻有关，前两者主要受底物浓度影响，而最后者同时受底物浓度、TSM 和生物量影响；NO_3^- 吸收速率主要与浮游

植物生物量(尤其是硅藻)有关，但当 NO_3^-浓度较低时则与底物浓度具有更高的相关性。基于 Redfield 比值(C:N=106:16)将四种形态 N 吸收速率换算成 PP_N，其大小(37.1±36.2 μmol C L^{-1} d^{-1})高于 PP_C (20.7±13.3 μmol C L^{-1} d^{-1})，表明光合作用过程中浮游植物对 C 和 N 吸收的不耦合，这两者的不平衡关系主要与浮游植物群落结构及其吸收不同形态 N 过程中对 C 响应的差异有关。本研究结果不仅展现了河口中不同形态 N 吸收及其与初级生产力的关系具有明显的区域性和复杂性，还有助于提升对河口 C 和 N 耦合循环机制的认识。

S43-P-4

日夜节律对珠江口多形态无机氮过程及相应氧气变化的动力学调控

徐敏[1*]，吴燕华[2]，张骁[3]，汤锦铭[3]，谭萼辉[1]，郑珍珍[1]，杜墨戈[3]，颜秀利[4]，高树基[1,3]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
2 国家海洋局 ，深圳海洋环境监测中心站
3 厦门大学，近海海洋环境国家重点实验室
4 汕头大学 ，理学院
* minxu@hainanu.edu.cn

人为活动排放的大量活性氮显著地扰乱了陆地-河口-海洋连续体的氮循环，也引起了河口海岸的富营养化和缺氧。流域氮营养物质通过河口向下游输送过程中，多种生物过程共同作用调节多种氮素的形态转化，而不同微生物介导的氮转化过程伴随着不同的氧气、二氧化碳和质子的产生与消耗，从而对下游和海岸带生物地球化学生境乃至于微生物的生态位产生影响。基于稳定氮同位素示踪技术，同步定量探究了夏季珠江河口水体昼夜尺度下氨氧化和三种无机氮吸收速率以及相应的氧气消耗与产生速率。结果表明光驱动了传输过程中的不同形态氮的动态变化；铵氮日间迅速转化为颗粒有机氮，这很可能是外河口底部水体缺氧的驱动因素，而氨氮夜间快速的转化为硝，日夜节律驱动此二过程的结合可以促进下游的反硝化自净过程；外源铵氮的高输入，在日夜节律调控下，并不一定会导致氧气消耗，也能够净产氧；浮游植物对铵氮的高偏好使得河口硝酸盐呈现保守行为向远距离传输，容易引起外河口浮游植物爆发，导致缺氧。研究结果对于我们加深对受人为氮输入严重影响的河口内生物地球化学过程、沿海环境问题(沿海缺氧和富营养化)和陆海边界与潜在气候效应联系的认识，具有重要的科学意义。

S43-P-5S

福建近岸海域东海原甲藻赤潮期生源要素动态与响应

岳新利[1]，王德利[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院
* deliwang@xmu.edu.cn

在海洋生态系统中，浮游植物的生长繁殖取决于营养要素（N、P、Si 及痕量金属）的补充。主要营养元素含量过低会限制浮游植物的生长，影响海洋初级生产力，而含量过高则可能导致赤潮等危害海洋生态的现象出现。近年来陆源直接输入与沉积物淤积后的扰动及受海流影响的再悬浮，可能是营养盐上升及春季赤潮频发的根源。连江县黄岐半岛是我国渔业捕捞及养殖的重要基地，由于海岸线曲折，陆源以及养殖业输入导致高营养盐及高生产力成为该海域典型特征，且近年来常伴有赤潮现象出现。我们对东海原甲藻赤潮期间生源要素变动及生物响应进行了研究讨论，通过氮磷比值法评价了区域潜在性富营养化程度及与赤潮发生的可能关系。研究结果表明，赤潮形成的重要前提包括了海流涌升、陆源营养盐输入及近岸沉积物扰动等因素。较高的营养盐水平及氮磷比显示出连江近岸广泛呈现富营养化且

存在磷的潜在性限制。痕量金属元素与营养盐相一致，在近岸海域受海流及涌升等物理过程影响明显，出现明显的局部区域抬升现象，且呈现出斑状区域化分布的特征，与赤潮及高生产力区域相一致。

S43-P-6S

南海北部典型河口海湾溶解有机氮的关键迁移转化过程研究：基于现场培养实验

石雪松 [1,3]，叶丰 [1*]，韦刚健 [1]，李进隆 [2,3]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋生物资源与生态重点实验室

3 中国科学院大学

* yefeng@gig.ac.cn

溶解有机氮（DON）是陆地向海洋输送的主要氮形态之一，对河口近海生物可利用氮收支和初级生产力的影响不容忽视。然而，对于 DON 在河口近海氮循环过程中是如何进行迁移转换的，受什么因素调控等关键问题的认知还比较欠缺。为了厘清 DON 在河口近海中的迁移转化特征，我们对南海北部典型河口海湾系统--珠江口与大亚湾进行了两季度（冬季和春季）的现场培养实验，设置了光照分解组、光合作用+呼吸作用组、避光呼吸作用组。研究结果表明，在光照较为充足的冬季，DON 通过光降解作用消耗的量占比很高，但同时并未伴随溶解无机氮（DIN）浓度的显著升高；而在光照有限并且湿润的春季 DON 的光照分解占比偏低。从机理上看，在冬季由于细菌和浮游植物作用所产生的 DON 要高于光降解和呼吸作用共同消耗的量，因而能观察到水体中颗粒有机物浓度的显著升高；而在春季阴雨天气下细菌和浮游植物主要通过细菌氨化和浮游植物细胞表面酶分解作用将 DON 转化成 DIN，并最终供自身生长所需，同时伴随着颗粒有机碳、氮的水平波动变化。整体而言，光降解作用对 DON 的消耗起到显著的贡献，并且珠江口 DON 的分解程度强于大亚湾；而细菌和浮游植物对季节的不同响应，导致 DON 在水体中的循环过程存在明显差异。

S43-P-7S

潟湖生态系统中的氨氧化和亚硝氧化--以万宁小海为例

马归宜 [1]，谢冰 [1]，钟嘉森 [1]，苏剑钟 [1]，谭萼辉 [1]，徐敏 [1]，高树基 [1]，郑珍珍 [1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* zzz@hainanu.edu.cn

硝化过程释放质子，消耗溶解氧，产生一氧化二氮，因此涉及各种环境问题，特别是在人为氮输入量高的沿海地区。硝化作用包括两个顺序步骤：铵氧化为亚硝酸盐（氨氧化，AO），然后进一步氧化为硝酸盐（亚硝酸盐氧化，NO）。然而，关于 AO 和 NO 之间的关系及其控制因素的信息记录有限。我们在中国热带泻湖系统的小海潟湖中进行了养分、总悬浮物（TSM）、AO 和 NO 速率的测量，结果表明：(1)小海西部主要受 DIN 高的河流和养殖区影响。总体上，小海西部无机氮高（0.959~6.593μM），东部无机氮低（0.737~3.354μM）；泻湖北部（2.121~6.593μM）河口养殖面积大，南部水域（0.737~4.713μM）主要受低 DIN 河流输入的影响，说明从河口到南部淡水端逐渐减少。(2)氨氧化速率变化为 0.402~22.317 μM d^{-1}，亚硝氧化速率为 0~35.085 μM d^{-1}.小海地区的氨氧化速率和亚硝酸盐氧化速率同步变化，其速率分布与 DIN 分布相似。但小海中心地区有亚硝酸盐氧化速率最大值，超过了氨氧化速率。这意味着可能有额外的亚硝酸盐供应来增加 NO 过程。(3)对速率与环境变量的相关性进行统计分析，进一步发现 DIN、TSM、DO 和光可能是潟湖生态系统中调节 AO 和 NO 过程的关键因素。

S43-P-8S

比较沉积物中粘土键结无机氮及其同位素的几种实验方法

冯茜[1]，陆安帅[1]，周可媛[1]，伍蒙[1]，郑珍珍[1]，郑立伟[1*]

1 海南大学，南海海洋资源国家利用重点实验室

2 海南大学，海洋学院

* zlw@hainanu.edu.en

海洋是地表活性氮的主要储库，又是地球表面最大的碳库。活性氮控制了全球海洋大部分海区的生产力，决定了二氧化碳在海洋中的封存，对全球海洋生物地球化学过程造成关键性影响并调节气候，因此重建古海洋氮储库对理解气候变化的自然变率具有重要意义。海洋沉积物总氮同位素被广泛用于古海洋氮储库重建。该指标的适用前提是总氮主要来自上层海洋生产力（ON）。然而近年来研究显示该假设在多个海区并不成立，如在北太平洋、冲绳海槽沉积物，来自粉尘或河流输入的粘土键结无机氮（IN）占总氮份额高达 60%以上，模糊了表观总氮同位素的生物地球化学过程指示意义。因此剥离沉积物中来自生产力的ON及来自风尘输入的 IN 组分，对我们重新认识 CO_2 与氮储库变化的关联性至关重要。迄今，少有研究对两种组分进行独立表征。

传统的研究基于总氮（TN）与 IN 的质量及同位素守恒间接获得 ON 含量及 $\delta^{15}N$，该方法可能引入较大的传播误差。此外，传统对无机氮的研究主要聚焦其含量的测定，对同位素的表征较为匮乏。少有的几项研究将强氧化剂氧化 ON 后的残体用元素分析仪耦合同位素比质谱仪（EA-IRMS，EA 燃烧法）进行测定。然而 EA 燃烧法测定氮含量低的样品存在进样量大，受空气本底影响大等缺陷。

为克服上述缺陷，本研究拟采用湿式氧化法耦合反硝化细菌法对不同类型沉积物（河口沉积物、湖泊沉积物、水库沉积物）的 ON 及 IN 进行测定，同时将其与 EA 燃烧法进行比较。结果显示不同类型沉积物 EA 燃烧法测定的 IN 含量 $\delta^{15}N$ 均高于反硝化细菌法（河口沉积物含量高 0.008%，$\delta^{15}N$ 高 1.1‰；湖泊沉积物含量高 0.020%，$\delta^{15}N$ 高 2.6‰；水库沉积物含量高 0.019%，$\delta^{15}N$ 高 3.9‰）。然而，反硝化细菌法测定的 ON 和 IN 含量及其 $\delta^{15}N$ 与 EA 燃烧法测定的总氮含量及 $\delta^{15}N$ 存在质量和同位素守恒。这表明 EA 燃烧法在测定高氮含量沉积物样品较为准确，而对低氮含量样品的测定存在较大偏差。未来，我们将应用该新方法对不同空间分布的土壤进行检测，以揭示气候及环境变化对有 ON 和 IN 含量及 $\delta^{15}N$ 的影响机制。

S43-P-9S

富营养化浅水湖泊温室气体排放昼夜变化特征

符春蔚[1,2]，申志博[1,2]，钟嘉森[1,2]，全鑫[1,2]，李凤莹[1,2]，谭萼辉[1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 海南大学，生态与环境学院

* ehuitan@hainanu.edu.cn

气候暖化是近年来最显著的全球变化之一，显著影响了生态系统微生物群落结构及其介导的元素生物地球化学循环。温室气体排放驱动了全球气候变暖，浅水湖泊作为内陆水生生态系统的重要组成部分，富营养化的普遍发生导致了浅水湖泊温室气体排放的热区。由于其面积小、数量多、自然地理特征复杂等原因难以系统评估温室气体浓度的时空分布及其水气界面通量。为探究富营养化浅水湖泊温室气体浓度及其水气界面通量的昼夜变化特征及影响因素，本研究以水源相同的两个临近(<2km)浅水湖泊：丘海湖和东坡湖作为研究对象，采用顶空平衡-气相色谱法对水体二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)浓度进行了一个半

潮周期(36h)的连续监测，进而根据浓度量化了研究区域水气界面温室气体通量，并结合环境因子分析其主要影响因素。结果显示丘海湖和东坡湖的 CO_2、CH_4、N_2O 通量昼夜变化范围分别为(-5.81±2.72)~(35.60±5.99)和(-10.27±2.77)~(14.47±4.07) mmol/m^2/h、(34.01±1.48)~(48.19±3.68) 和(42.27±2.82)~(24.20±0.64) μmol/m^2/h、(-0.30±0.02)~ (-0.25±0.04) 和 (2.94±0.16)~(4.11±0.16) μmol/m^2/h。从昼夜时间尺度上看，丘海湖与东坡湖昼夜均为 CH_4 的源；对 CO_2 而言，CO_2 浓度表现出明显的昼低夜高的昼夜变化特征，与对应时段湖泊水体中浮游植物光合作用与呼吸作用强弱交替有关，总体上丘海湖和东坡湖昼为 CO_2 的汇，夜为 CO_2 的源；但对 N_2O 而言，水源一致的湖泊，丘海湖为汇，而东坡湖为源，意味着湖泊内部氮生地化过程决定了 N_2O 的源汇结构。本研究有助于阐明浅水湖泊生态系统中三种温室气体的浓度分布与释放通量，且对进一步解析湖泊内部水体和沉积物中碳氮生地化过程及其气候反馈效应具有重要意义。

S43-P-10

沉积物硝酸盐呼吸过程潜在抵消边缘海部分碳汇红利

谭萼辉 [1]，高树基 [1,2*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* sjkao@hainanu.edu.cn

边缘海是全球碳汇和活性氮移除热区。沉积物反硝化是重要的硝酸盐呼吸过程，通过有机质降解供能实现活性氮移除，同步释放二氧化碳（CO_2）和氧化亚氮（N_2O）等温室气体。在大尺度空间水平上，沉积物硝酸盐呼吸作用对边缘海温室气体和碳汇功能的净效应仍知之甚少。我们发现温度和有机质质量共同主控了中国边缘海沉积物中的反硝化及其介导的 N_2O 释放过程。基于过程速率与基础环境参数的关系得到经验方程，我们量化了中国边缘海沉积物反硝化通量为 4.4 ± 0.5 Tg N yr^{-1}，是总活性氮输入的~42%；伴随着 3.5 ± 0.3 Tg C yr^{-1} 有机碳的降解，占中国边缘海有机质沉降通量的~20%。此外，每年沉积物硝酸盐呼吸过程同步介导了 0.028 ± 0.007 Tg N-N_2O 的释放，相当于 CO_2 当量 3.2 ± 0.8 Tg CO_2-eq yr^{-1} 通量，若这部分 N_2O 全部释放可抵消 23.4 ± 19.3% 海气 CO_2 吸收通量（13.5 ± 10.7 Tg CO_2 yr^{-1}）。我们的研究结果显示边缘海沉积物硝酸盐呼吸可通过有机质降解和温室气体释放潜在抵消其碳汇带来的气候红利。

S43-P-11S

海洋酸化对浮游植物吸收硝酸盐的同位素分馏的影响

陈雅文 [1]，洪海征 [1*]，杨进宇 [2*]

1 厦门大学，环境与生态学院

2 厦门大学，海洋与地球学院

* honghz@xmu.edu.cn

* jyyang@xmu.edu.cn

海水硝酸盐和沉积物的氮同位素信号被广泛用于评估现代和过去海洋中表层海水氮利用率和生物泵强度。此外，硝酸盐中稳定氮氧同位素的耦合诊断常被用于区分近岸和海水中硝酸盐的生产和消耗过程。因此，厘清浮游植物吸收硝酸盐的同位素分馏效应（ε）对环境因子变化的潜在响应对于准确应用这些同位素示踪剂至关重要。以往研究显示光照是影响浮游植物吸收硝酸盐的 ε 的主要因子。然而，人为活动导致的海洋酸化正在并将持续在海水中发生，这一普遍存在的环境变量将如何改变浮游植物吸收硝酸盐的 ε，并不为人所知。本研究聚焦于酸化的两个效应（低 pH 和高二氧化碳分压 pCO_2）对真核（威氏海链藻）和原核（聚球藻）浮游植物吸收硝酸盐的 ε 的单一和叠加影响。结果显示低 pH 和高 pCO_2 均降低了威氏海链藻物吸收硝酸盐的 ε，但对聚球藻吸收硝酸盐的 ε 影响较小。这可能是由于海

洋酸化减小了硅藻细胞的硝酸盐外排相对于硝酸盐吸收的比例，从而降低了环境中 ε 的表达。真核浮游植物可能是海洋中颗粒有机物输出和埋藏的主要贡献者，因此本研究对于理解酸化对同位素记录的潜在影响有重要意义，有助于更好地了解海洋生物泵及其对大气 CO_2 的调控。

S43-P-12S

富营养化河口铵和尿素氮的生物转化：以冬季九龙江河口为例

汤锦铭[1]，徐敏[2*]，林宇轩[3]，陈煌鑫[1]，金浩泉[1]，韩丽丽[1]，邹文彬[1]，高树基[1,2*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室，海洋与地球学院

2 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

3 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室，环境与生态学院

* minxu@hainanu.edu.cn

* sjkao@xmu.edu.cn

大量的人为氮通过河口从陆地输送到的近海，刺激近海的生产力并造成富营养化等生态后果。铵和尿素是两种常见的人为氮形式，是各种微生物的首选底物（例如浮游植物或细菌的吸收过程和硝化生物的氧化）。它们在河口中的转化过程可能影响近海微生物群落，但是目前我们对这些氮在河口运输中可能经过的变化仍然知之甚少。在中国东南部的一个典型富营养化河口，九龙江河口，我们应用 ^{15}N 同位素示踪培养技术来定量测定了黑暗条件下铵和尿素的两个主要生物消耗过程（即吸收和氧化）。结果显示，由于强的浊度，光照深度仅为 0.8-3.3 米，使得 76%的河口水体在一天中处于黑暗状态。我们发现氨氧化在河口再生氮循环中占主导地位，表现为：氨氧化>铵吸收>尿素吸收≈尿素氧化。通过历史数据的汇总，我们发现低的尿素氧化速率伴随着相对较高的环境总体铵浓度。同时当铵的浓度下降到个位数微摩尔时，下游的尿素吸收速率显著增加。因此，我们推测微生物对铵的高度偏好导致了一种类似抑制的现象。尿素利用受阻导致尿素的停留时间相对于铵长了 10 倍（表层：19±9 天；底层 12±7 天）。这种类似于抑制的作用使尿素能更好得保存在河口，并使其能更多被运送到海洋，以刺激能够利用尿素的微生物，这可能对近海生态产生进一步影响。

S43-P-13S

海南典型河口水域活性氮吸收过程研究

石彭兰[1,2]，殷静超[1,2]，谭佐莉[1,2]，符友飞[1,3]，高树基[1,4]，徐敏[1*]

1 海南大学，南海海洋国家资源利用重点实验室

2 海南大学，生态与环境学院

3 海南大学，海洋学院

4 厦门大学，海洋与地球学院

* minxu@hainanu.edu.cn

河口水域是陆海交界的关键带，受人为活动影响显著。在河流氮输入通量增加的情况下，对河口水域中的氮迁移转化过程研究相当重要，同时氮循环过程还会影响碳的周转。因此，我们采用 ^{15}N 稳定同位素示踪技术，探究海南典型水域东寨港河口中 $^{15}NO_3^-$、$^{15}NO_2^-$、$^{15}NH_4^+$、和 ^{15}N-Urea 的动力学特征。主要目标是探究东寨港港内、海端及主要河流中不同形态活性氮在干湿两季分布情况、浮游植物对不同活性氮的吸收过程（速率）、不同氮源的利用偏好及主要环境影响因素。

我们的结果表明：相比港内和海端区域，河流受周边养殖业及陆源的影响 NO_3^-、NO_2^-、NH_4^+和 Urea 的浓度较高，并且在河流和港内的交界处（DZ10）有强烈的上升，表层尿素显著高于底层，干湿季差异不显著。浮游植物对不同活性氮的吸收速率结果发现，相比 NO_3^-和 NO_2^-的吸收速率，浮游植

物对 NH_4^+和尿素的吸收速率明显较高，湿季的吸收速率显著高于干季。RPI 结果发现，表底层及干湿不同季节中，RPI_{Urea} 和 RPI_{NH4+} >1，表明在东寨港河口中，浮游植物更偏好尿素和铵氮；并且表层水体中，RPI_{Urea} >RPI_{NH4+} >1，表明尿素作为一种有机氮源，在河口氮循环过程中发挥的作用不容忽视。相关性分析结果发现，T，NO_2^-，NH_4^+ 和 TSM 是影响 NH_4^+吸收速率的主要环境因素。我们的研究成果补充了东寨港河口水域碳氮循环动力学知识的空缺，并且有利于针对氮污染缓解和污染防治政策的制订。

S43-P-14S

珊瑚骨骼金属元素重建过去百年海南岛富营养化历史

陆安帅 [1]，冯茜 [1]，郑珍珍 [1]，郑立伟 [1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* zlw@hainanu.edu.cn

珊瑚礁是地球上最具生物多样性的海洋生态系统。然而，受人为扰动和全球变化影响，海南岛近海珊瑚礁覆盖率相比上世纪七八十年代减少了 80%以上，对生态系统造成严重影响。因此，重建珊瑚礁系统环境演变历史，厘清自然和人为因素，有利于科学决策保护珊瑚礁生态多样性。

珊瑚骨骼具有高生长率与长时间连续生长的特点，是绝佳的古气候信息载体，被广泛用于热带海洋高分辨率环境重建。本研究以海南岛东北部的滨珊瑚为研究对象，重建了过去 120 年以来珊瑚骨骼中的痕量金属元素。结果显示指示海洋初级生产力的指标 Ba/Ca,与 P/Ca 比值同步变化，且自 1960s 以来呈波动上升趋势，这可归因于人为营养盐排放或/且沿岸上升流强度增强带来的营养盐供给增加刺激了初级生产力。然而，指示海表温度（SST）的指标 Sr/Ca 比值与 Ba/Ca 及 P/Ca 的变化趋势并不一致，尤其从 1980s 年以来海表温度(SST)呈现波动上升趋势，这排除了关于琼东上升流增强导致营养盐供给增加刺激生产力的推测。与此同时，Ba/Ca 及 P/Ca 的变化趋势与海南岛尤其琼东地区人口增长、化肥使用量变化一致，表明人为排放营养盐加剧了珊瑚礁富营养化，可能是导致珊瑚礁覆盖面积下降的重要原因。未来通过管控营养盐入海排放可缓解珊瑚礁系统衰退的压力。

S43-P-15

江苏近海无机氮时空特征研究

姜龙 [1*]，陆昕雨 [1,2]，彭模 [2]，魏爱泓 [2]，赵永刚 [2]

1 河海大学，海洋学院

2 江苏省环境监测中心

* ljiang@hhu.edu.cn

近年来，江苏近岸海域水质不佳，赤潮、绿潮等生态灾害屡屡发生，无机氮含量升高是其潜在原因之一。对无机氮的监测和研究是保护近海生态系统、建设海洋生态文明的重中之重。研究无机氮时空变化的特征是了解富营养化的基础和重点。空间分布上，无机氮浓度在江苏近海存在明显的“近岸－远海”分布梯度；江苏本地河流入海口附近海域通常有着较高的无机氮浓度。同时江苏近海无机氮的空间差异很大，研究发现了若干无机氮富集的区域：受径流影响较大的河口区（如灌河口、射阳河口和长江口）以及水体交换能力较差的海湾（如弶港海域和海州湾）。无机氮浓度与盐度呈显著负相关关系，和 Chl a 浓度没有明显的相关关系。以上空间分布特征表明陆源输入很可能是影响海域内无机氮含量的主要因素。季节变化上，在降水量和径流量更大的夏季无机氮浓度的最高值比春季和秋季更高。无机氮浓度没有明显的季节变化趋势，无机氮浓度较高和较低的季节在 2012 年至 2020 年间并不恒定。年际变化上，近年来无机氮浓度存在着微弱的逐年下降的趋势。2012 年至 2020 年

间，无机氮的年际变化与降水量和径流量的变化缺乏相关关系。假设海域中的无机氮全部为陆源输入，对无机氮来源进行分解的结果表明，自然因素（流域径流量）的贡献小于人为因素（随机性较强的人为排污）的贡献。本研究发现江苏近岸海域的无机氮呈近岸高且高度斑块化分布的特点，氮含量较高的重点海域的水质监测、研究和管控值得进一步的重视。2012 年至 2020 年的研究数据进一步表明陆源输入对江苏近海的氮循环有至关重要的影响，且人为排污对陆源输入的贡献更大。因此，完善近岸排污口的管理制度，加强对入海河流、近岸工业企业的监测和排污治理，是缓解江苏近海富营养化程度的关键。

S43-P-16S

珠江口及邻近海域夏季温室气体(CO2、CH4 和 N2O)的内外部源汇格局

陈斌 [1]，谭萼辉 [2*]，韩丽丽 [1]，高树基 [1,2*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* ehuitan@hainanu.edu.cn

* sjkao@xmu.edu.cn

河口通常被认为是大气中温室气体(主要包括 CO_2、CH_4 和 N_2O)的天然来源。然而，由于缺乏观测数据，对河口生态系统内部和外部温室气体排放的相对贡献仍缺乏系统性研究。本研究以珠江口及邻近海域为研究对象，解析了夏季不同介质中(表、底水和上层沉积物孔隙水)温室气体浓度的空间分布特征。同时测量水-空气界面(WAI)和沉积物-水界面(SWI)的通量从而定量三种主要温室气体的外部和内部源汇格局及各自贡献。SWI 对 CO_2、CH_4 和 N_2O 的释放通量分别为 3.2×10^7、9.1×10^4 和 0.9×10^4 mol d^{-1}，分别占外部源的 12%、51%和 18%，其余由河流输入贡献。表层水中过饱和 CO_2 (481 ~ 7573 μatm)、CH_4(289 ~ 16990%)和 N_2O(108 ~ 649%)及其对盐度的非保守行为表明珠江口是重要的大气温室气体源，其中 CO_2 是贡献了全球变暖潜势(GWP)的 90%，而 CH_4 和 N_2O 分别占 2.8%和 7.2%。此外，内部的温室气体源或汇过程对珠江口的温室气体收支格局也有较大影响，其中~63%的 CO_2 和~26%的 N_2O 在河口内部被清除，其余的则释放到大气和邻近的海洋中。通过定量证实水体是 CH_4 的河口来源之一，贡献了 35%。这些发现揭示了主要来源与去除路径在河口温室气体收支中扮演的角色，明确了河口系统释放不同温室气体对气候变暖效应的相对贡献，对预测未来沿海地区温室气体循环和制定温室气体压力下减缓气候变化的现实路径具有指导意义。

S44-O-1

浊水溪三角洲晚第四纪沉积记录的 HEINRICH 事件对河流有机碳源汇过程的调控作用

范代读 [1*]，潘遵友 [1]，张永斌 [2]，刘祖乾 [2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中山大学，海洋科学系

* ddfan@tongji.edu.cn

陆源有机碳(TOC)循环在全球碳循环中扮演重要角色，并对全球气候变化有重要的调控作用。近现代过程观测与研究发现，占全球陆地面积不到 10%的构造运动活跃带中小型山溪性河流却贡献了超过 30%的全球河流入海 TOC，而且快速输运和进入深海环境使其埋藏效率非常高，碳汇作用显著而备受关注。但对长时间尺度山溪性河流 TOC 源汇过程如何响应气候变化却鲜少研究。本文利用浊水溪三角洲 104 米长的 JRD-S 钻孔岩芯（顶部高程 4.07 m），开展岩性地层、

有机元素与稳定同位素和正构烷烃组成等分析，结合 AMS ^{14}C 测年，探讨末次冰期千年尺度气候变化对河流 TOC 源汇过程的影响机制。

JRD-S 钻孔高程介于-47.40 和-98.85 m 的岩芯为陆相沉积，发育多个河流相二元结构的沉积旋回，即底部为河床相的砾沙质沉积，上覆河漫滩相的泥质沉积，后者常经历一定程度的成土作用。根据 AMS ^{14}C 测年数据和古气候替代指标等调和分析表明，该陆相沉积层序形成于末次期~80-10 ka 之间，其中泥质沉积主要形成于 Heinrich 事件的冷干阶段，而沙质沉积主要形成于相应的暖湿阶段。泥质沉积通常比沙质沉积有较大的 TOC/TN 比值和偏正的 δ^{13}C，可能与冷干气候河漫滩上 C4 植物生长有关。正构烷烃参数 ACL 和 NR 值也主要是泥质沉积比沙质沉积高，表明前者有更多的禾本和草本有机质输入，而正构烷烃参数 Paq 则是泥质沉积比沙质沉积低，反映前者沉积环境为更加干旱气候。由此可见，有机元素、同位素和生物标志物主要参数比较一致反映浊水溪流域千年尺度的气候变化对其 TOC 源汇过程的控制作用。通过沉积速率、TOC%和沉积物密度等计算两种气候情景下的有机碳沉积速率，发现冷干阶段要大于暖温阶段，但整个冰期平均有机碳沉积率要小于近现代的对应值，由此推断冰期山溪性河流的 TOC 入海通量也应该较大幅度下降。

S44-O-2

沉积再悬浮-再搬运作用驱动下陆源颗粒态有机碳在河口的再循环：以长江河口为例

孙学诗[1*]，郭志刚[2]，范德江[1]，胡利民[1]，王厚杰[1]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 复旦大学，环境科学与工程系

* xueshisun@163.com

河口沉积过程调控河流颗粒态有机碳（POC）向海洋的输出，对全球海洋碳循环起着关键作用。河口沉积物的再悬浮/沉积循环和随后的横向输运可以导致先前储存 POC 的氧暴露，并导致微生物降解和大气二氧化碳释放。然而，目前尚不清楚再悬浮沉积物如何与矿物保护相互作用，影响陆地 POC 在海洋沉积物中的输运和命运。本研究通过对冬季（枯水期）沉积再悬浮作用下的长江河口 POC 进行系统分析，发现河口再悬浮 POC 的 ^{14}C 年龄为 4,700±680 年 BP，相较于河流入海 POC、高流量时期的河口 POC 以及东海陆架区沉积有机碳老化约 1.0-2.4 千年。研究认为河口频繁再悬浮过程改变先前存储沉积碳所处的沉积环境，破坏了有机-矿物聚集体稳定性，使得受物理保护的陆地生物质碳被释放，从而加速了其生物降解和老化速率。河口再悬浮/再搬运的 POC 代表了残存的、受层状硅酸盐矿物保护的陆地碳成分，其具有低反应活性和微生物利用性。端元混合模型结果显示，长江河口沉积再悬浮源 POC（80%陆源+20%海源）可能贡献了~80±16%的东海陆架有机碳埋藏总量。

S44-O-3

长江口及其邻近海域主要浮游植物种群的重建及其近几十年来的群落变化：从观测到模拟

方富韬[1]，朱卓毅[1,2*]，葛建忠[1]，邓兵[1]，杜金洲[1]，张经[1,2]

1 华东师范大学，河口海岸科学研究院

2 上海交通大学，海洋学院

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

随着中国经济的快速发展，过去几十年长江流域营养盐迅速增加，造成了长江口及其邻近海域的赤潮爆发频率大幅增加。与此同时，发生赤潮的主要藻种也发生改变，由硅藻（中肋骨条藻）赤潮为主逐渐转变为甲藻（东海原甲藻）赤潮为主。由于早期大面调查次数较少且当时观测技术有限，历史水华事件的记录可能存在遗漏，浮游植物群落中甲藻与硅藻发生演替的时间窗口未能得到明确记录。基于 A5-4 柱状沉积物光合色素 PER/FUCO 比值变化趋势，我们提出硅藻向甲藻演替的时间窗口是 1990 年代初。水体调查结果显示，PER（甲藻）的表底耦合关系明显高于 FUCO（硅藻）和其他特征色素，这意味着沉积物中记录的硅藻-甲藻转变可能是由甲藻水华的增加而引起的。结合数值模拟结果，我们进一步提出，硅藻和甲藻转变机制是春季甲藻水华的增加，而不是简单的全年硅藻（甲藻）生物量减少（增加）。春季海表温度升高和 N/P 比值增加对硅藻-甲藻转变的影响分别是显性的和隐性的。

S44-O-4

东海沉积物-水界面 RE 和 U 通量的季节变化及其对沉积有机碳分解和海洋 RE 源汇的指示

洪清泉[1*]，魏琳[3]，曲扬[1]，程艺琳[2]，蔡平河[2]，陈天宇[1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 厦门大学，海洋与地球学院/近海海洋环境科学国家重点实验室

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室

* qqhong@nju.edu.cn

沉积物-水界面氧化还原敏感元素（如 Re 和 U）的迁移与富集与氧化还原条件和/或沉积物有机碳（SOC）的分解和保存紧密相关。但两者之间关系的定量研究很少。本研究采用 $^{224}Ra/^{228}Th$ 不平衡方法定量研究东海内陆架沉积物-水界面 Re 和 U 的通量及其与 SOC 分解之间的关系，发现冬季水体充氧且海底扰动强烈时 Re 和 U 的通量比夏季缺氧时的通量高！~4-10 倍。沉积物-水界面 Re 和 U 的通量与 SOC 厌氧分解速率呈正相关关系，与北美大陆边缘的结果相似。尽管东海和北美大陆边缘 Re 通量与 SOC 厌氧分解速率的相关关系有所不同，但在对 Re 的通量与厌氧分解速率进行系统验证的基础上，仍可以将 Re 的通量作为 SOC 厌氧分解速率的指标。我们同时汇总了全球水深 <100 m 的近岸沉积物底部 Re 通量，发现近岸沉积物-水界面 Re 通量的平均值比现代海洋 Re 质量平衡模型常用的厌氧沉积物 Re 汇通量高 3-5 倍。因此本研究指示富氧-季节性缺氧的近岸沉积物可能是海洋 Re 源汇格局的重要组成部分。

S44-O-5

利用异形胞糖脂重建南海陆源输入的应用

康曼玉[1]，贺娟[1]，贾国东[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* jiagd@tongji.edu.cn

异形胞糖脂（heterocyte glycolipid; HG）是固氮异形胞蓝细菌独特的生物标志物，其中带有己糖基头的 HGs（C_6 HGs）由主要生活在淡水或半咸水环境中的独立生存异形胞蓝细菌种产生，而带有戊糖基头的 HGs（C_5 HGs）则由生活在海洋中与硅藻共生的异形胞蓝细菌种产生。因此，海洋中出现的 C_6 HGs 可能代表陆源输入物质，然而独立生存种生活的环境盐度范围较广，使得对海洋中检测到的 C_6 HGs 是否为陆源输入提出疑问。本研究中，我们通过对珠江口-南海表层沉积物、南海中部真光层悬浮颗粒物以及南海沉积柱 17950-2 中 HGs 的分析，评估 C_6 HGs 及其占总 HGs 比例（记作 F_{HG}）追踪南海陆源输入的应用。我们的结果表明，

C_6 HGs 在珠江口沉积物中含量较高，而在南海中几乎检测不到，因此我们认为产生 C_6 HGs 的独立生存异形胞蓝细菌种在盐度超过 30 psu 的环境中并不活跃。在南海沉积柱 17950-2 中，重建盐度范围高于 32 psu，C_6 HGs 及 F_{HG} 均在冰期-间冰期旋回中展现出与海平面相似的变化，且与其他陆源输入指标 BIT 及碎屑含量趋势相似。因此，从现代环境及沉积柱中 HGs 分布说明，C_6 HGs 及 F_{HG} 指标可以很好的在海洋环境中指示陆源有机质输入。

S44-O-6

南海北部陆坡区沉积物有机碳的埋藏与降解机制

赖洪飞[1*]，匡增桂[1]，刘华欣[2]，方允鑫[1]，任金锋[1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

2 中国石油大学（北京），地球科学学院

* laihfei@sina.com

大陆边缘沉积物是有机碳（organic carbon，OC）的主要储存库之一，在全球碳循环和气候变化中发挥着重要的作用。陆坡区是大陆架与海盆之间的过渡地带，沉积条件最为复杂，其碳埋藏与降解过程研究还比较欠缺，制约着大陆边缘乃至全球碳循环的系统认识。本研究以南海北部神狐海域陆坡区为例，基于 2019 年南海水合物钻探航次采集的沉积物柱状样品（0-100 mbsf）及孔隙水样品，采用地球化学分析、微生物基因测序、^{14}C 定年等多学科结合的方法，综合分析其沉积有机质的来源、埋藏速率和降解效率及其影响因素，以期揭示大陆边缘陆坡区沉积物有机碳的埋藏与降解机制，阐明其在全球碳循环中的意义。

结果显示，随着深度增加，沉积物总有机碳含量(TOC)表现出先增大后减小再保持稳定的变化趋势：0-6.5mbsf 范围，TOC 由 0.82%逐渐增加到 1.31%；6.5-14.5mbsf, TOC 由 1.31%逐渐降低到 0.59%；14.5-50mbsf 范围，TOC 由 0.59%逐渐降低到 0.2%左右；50-95mbsf 范围，保持在 0.2%±0.05%水平。沉积物总有机质 ^{14}C 测年结果显示，0.9mbsf、6.4mbsf 和 14.5mbsf 处沉积物的有机质年龄分别为 3.3ka、19.6ka 和 42.3ka，19.6-42.3ka 期间沉积有机碳的降解速率为 0.317 $mg.g^{-1}.ka^{-1}$。有机质显微组分、生物标志物分布及有机质碳同位素数据指示，研究区的有机质由陆源有机质（镜质组）和海相有机质（藻类、细菌生源等）共同构成。16S rRNA 扩增子基因测序结果表明，随着埋深的增大，微生物的多样性和丰度均明显下降；

本研究表明，0-6.5mbsf 范围内呈现出随深度逐渐增大的趋势，可能的原因有二：一是与 15ka 以来海平面上升导致陆坡区陆源有机质贡献降低有关；二是与沉积物中硅藻、细菌微生物等生物群落繁盛有关。沉积有机质的降解过程主要由细菌主导，主要发生在硫酸盐氧化还原带，难以降解的残余有机质主要为陆相输入来源的镜质组组分。

S44-P-1S

早更新世中晚期帝汶海碳酸盐埋藏记录及其古海洋学意义

王启炜[1]，徐建[1*]，张鹏[1]

1 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室

* jx08@live.cn

深海碳酸盐埋藏作为地球表层碳库的重要碳汇，其在地质历史时期的变化与大气二氧化碳浓度增减息息相关，因而具有显著的气候意义。古记录重建显示，大气二氧化碳浓度并不总是与全球平均气温具有较好的对应关系，因此，其他因素——例如大洋水团与洋流变化——可能在过去全球变化中起到了重要的作用。本文选取 2.0~1.07Ma 期间澳大利亚西北岸外帝汶海内 IODP U1482 站钻孔沉积物作为研究材料，测试其

碳酸盐和主微量元素含量，重建各组分的堆积速率，探讨该时期深海碳酸盐埋藏的影响因素。结果显示，早更新世中晚期 U1482 站碳酸盐含量在轨道时间尺度上主要受河流输入为主的陆源沉积物稀释的影响，可能指示区域降水的调控作用。1.8~1.65Ma 期间沃克环流和哈德利环流的增强造成区域降水的增加以及碳酸盐生产的减少；1.6Ma 前后哈德利环流的短暂减弱可能导致季风降水的减少；1.6Ma 之后印尼穿越流的增强，强化了区域气候影响力，可能抑制了生产力。U1482 站碳酸盐含量具有显著的 29kyr 变化周期，可能是岁差和斜率的混合信号，指示岁差周期上太阳辐射量主导的区域蒸发和降水，也受斜率周期上大气二氧化碳浓度和海平面变化的调节。本文因此推测海平面与大气二氧化碳浓度的长期降低可能会导致区域长期干旱化的趋势。

S44-P-2

南海北部沉积物中不同有机组分的转化与选择性保存

王福强 [1*]，王旭晨 [2]

1 青岛海洋科技中心

2 中国海洋大学

* fqwang@qnlm.ac

海洋沉积物中有机质的保存是碳循环的重要汇，有机质的同位素记录为早期成岩作用中有机碳的来源、生物降解和转化提供了有用的信息。本文利用放射性碳数据，结合稳定碳同位素测定了南海 4 个沉积物岩心的总有机碳(TOC)和 4 个有机组分，即总脂、水解氨基酸（THAAs）、腐殖酸（HAs）和酸碱不溶性有机质。总脂、THAAs、HAs 和酸碱不溶有机物分别占总 TOC 的 1.1±0.4%、3.1±1.6%、12.7±9.4%和 61.6±10.0%，其中酸碱不溶性有机物是沉积物中 TOC 的主要组分。不同有机组分的 ^{13}C 和 ^{14}C 值之间存在显著差异。总脂质和 HAs 的 $\delta^{13}C$ 值(-23.1‰~-30.2‰)比 THAAs 和酸碱不溶性 OM 的 $\delta^{13}C$ 值(-15.3‰~-20.6‰)更低，说明 HAs 可能是由类脂物质聚合而成。其中，酸碱不溶有机物的 $\Delta^{14}C$ 值最低(-848‰~-358‰)，^{14}C 年龄最老(平均为 7330 年)，总脂质年龄(-574‰~ -253‰，3860 年)，THAAs 年龄(-331‰~-66‰，1527 年)，HAs 年龄(-569‰~-168‰，2916 年)。沉积物中 THAAs 的 $\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$ 值与孔隙水溶解有机碳(DOC)值相近，表明 THAAs 优先被降解转化为 DOC。基于 4 个有机组分的两端组分混合模型，估计河流颗粒有机碳(POC)对沉积物有机质的贡献为 11%～34%。这些结果表明，来自海洋和陆源的有机质在早期成岩作用和保存过程中具有选择性分解作用，对有机组分的贡献不同。非常古老的酸碱不溶性组分可能是微生物降解和 TOC 改变过程中最难降解的 OM 的复合物，代表了海洋沉积物中 OM 的主要封存机制。

S44-P-3S

百年来渤海中部泥质区粗化背景下有机碳埋藏演变的沉积响应

蒋莉 [1]，胡利民 [1,2,3*]，叶君 [1]，毕乃双 [1,2,3]，郭志刚 [4]，王厚杰 [1,2,3]，杨作升 [1,3]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 崂山实验室

3 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

4 复旦大学，环境科学与工程系

* hulimin@ouc.edu.cn

大河影响下的陆架边缘海是有机碳的主要堆积区，接收和储存了大量来自河流输送的陆源有机碳，研究河口-陆架区的近百年有机碳埋藏演变对于了解气候变化和人类活动对近海系统的影响及其环境效应具有重要意义。渤海中部泥质区作为陆源沉积有机碳的重要储库，其沉积记录能够综合反映流域变迁和海洋环境变化。本研究以渤海

中部泥质区箱式岩芯为研究对象，基于百年来的高分辨率年代地层框架，综合利用粒度、总有机碳、双碳同位素、生物标志物以及常微量元素等多重指标记录，结合多元数据统计分析模型（粒度端元分析、聚类分析等），系统研究了该区百年来沉积物粒度粗化背景下有机碳的埋藏记录及其沉积响应机制。主要认识如下：

百年来渤海中部泥质区的粒度与有机碳埋藏特征呈现明显的阶段性变化。(1) 1950s 以来，沉积物粒度逐渐粗化（平均粒径增加约 17.96%），木质素 P/(V+S)值（0.39～0.96）上升，烷烃相对比值（TAR）（6.09～43.42）和 CaO/TiO_2（3.94～5.69）则持续下降，反映了水库建设和流域降水减少导致黄河径流量和输沙量降低，进而使黄河直接来源的细粒沉积物组分（粒度端元 EM1、EM2）下降，陆源有机质贡献减少（~34%），近岸再悬浮来源的粗粒沉积物（EM3）相对增多，造成研究区沉积物粒度开始出现粗化。(2) 1980s 以来，沉积物粒度粗化加剧（平均粒径增加约 39.41%），$\delta^{13}C$ 值（-22.38‰～-23.68‰）降低，^{14}C 年龄（3395～4770 yr）显著变老，有机碳和木质素(Λ8)含量迅速上升，烷烃组成 C_{31}/C_{29} 明显下降，反映了该区有机碳年龄变老和陆源不同类型有机质输入的变化。这可能与 1980s 以来，在黄河输沙量持续偏低的背景下，由于冬季风的加强及潮流流速增加导致近岸水动力增强，使得废弃三角洲沉积物再悬浮加剧，输送到中部泥质区的粗粒组分相对增加；在此背景下，导致陆源沉积有机碳发生显著分异，即近岸粗粒组分裹挟着更高有机碳含量和年龄偏老的陆源有机质（如植物碎屑碳、化石源有机碳）向渤海中部运移。本研究揭示了流域变化及海洋动力环境改变对有机碳输运和埋藏演化的制约机制，对探索气候变化与人类活动对近海有机碳源汇过程的影响具有参考意义。

S44-P-4S

基于火山灰地层学的全球海表碳库年龄集成研究

汤芮 [1]，赵宁 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* nzhao@sklec.ecnu.edu.cn

作为区域海洋环境和气候变量的函数，海表碳库年龄的变化具有时空依赖性，是了解过去气候变化机制的重要指标。海表碳库年龄测定的关键是保证海-气样本同期，因此爆炸性的火山喷发产生的火山灰地层时标可以帮助揭示过去海表碳库年龄的空间分布特征。然而，相关数据集的缺乏限制了这方面的研究。这里我们评估了 ^{14}C 定年范围内全球重要火山灰分布区域的相关沉积柱样，汇编整理了沉积物岩芯的火山灰地层学与海表 ^{14}C 年代学数据（主要分布于北大西洋、西北太平洋、西南太平洋、地中海等），形成海表碳库年龄数据集。在此基础上，本研究以北大西洋为例，进行区域海表碳库年龄时空异质性分析，可以提供冰期、冰消期及现代北大西洋不同环流模式的线索。本数据集将为古海洋学的研究提供高效便捷的研究资源，并为海洋放射性碳不平衡及相关海洋、气候变化研究提供重要参考。

S44-P-5S

中全新世以来黄河水下三角洲有机碳埋藏规律及其控制因素

王秀行 [1]，刘世昊 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸国家重点实验室

* shliu@sklec.ecnu.edu.cn

河流入海物质在河口与陆架地区所形成的汇区沉积体系埋藏了大量陆源有机碳，

该埋藏过程在较长的时间尺度上可显著调节大气二氧化碳浓度。渤海湾西岸的现代黄河三角洲是一个巨大的碳汇，其每年接受3440.58Mt 黄河输送的有机碳，而滦河和海河输送物质的影响范围相较于黄河十分局限。现有研究表明沉积速率是现代黄河三角洲有机碳埋藏量的主控因素，而受陆架可容空间变化和沉积扩散影响，黄河水下三角洲时空演化过程在很大程度上制约着沉积速率与碳埋藏效率；目前对于上述规律的认识多集于现代沉积过程与较小的空间尺度上，并且，考虑到黄河三角洲在千年尺度经历了复杂的、跨越逾上百公里的叶瓣迁移，在千年尺度上黄河水下三角洲的有机碳埋藏将如何受控于黄河叶瓣演化仍需进一步研究。近期，研究团队基于地震地层、年代地层与岩性地层手段，系统重塑了中全新世以来黄河水下三角洲时空演化历史，为探讨该问题创造了可能。鉴此，本次汇报针对在黄河水下三角洲不同位置所获取的四根钻孔，在前期研究的基础上，结合物源分析与有机质参数分析，以查明黄河水下三角洲沉积物有机碳埋藏通量变化及运输过程，进而探讨中全新世以来有机质埋藏对黄河水下三角洲时空演化的响应。

S44-P-6S

基于分子动力学研究陆源有机碳在海洋输运过程中的降解机制

赵思琪[1,2]，包锐[1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程教育部重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋生态与环境科学功能实验室

* baorui@ouc.edu.cn

陆源有机碳（terrOC）在边缘海环境中的埋藏，影响全球碳的收支平衡。海洋中有机碳埋藏受到氧气暴露时间（OET）的影响与控制。然而，目前对 OET 控制海洋环境中陆源有机物的保存和降解的机制知之甚少。研究利用分子动力学模拟来探索海洋环境中木质素在无氧、亚氧和过氧三种条件的分子构型变化。结果显示体系中木质素结构的氢键数量（H-bond）随着 O_2 浓度的增加而下降，可能表明氧气存在增强了木质素结构与周围水体的交换程度，降低了木质素分子结构的稳定。亚氧环境中，随着缺氧暴露时间的增加，木质素结构较有氧和无氧环境中展现出高紧凑性，表明木质素在长时间的缺氧环境下可能容易对抗氧气的降解，有助于陆源有机碳的保存。通过对比渤海（M1）到黄海（H1）传输过程中，细粒级沉积物（< 20μm，20-32μm，32-63μm）中木质素的含量，结果表明 20-32μm 和 32-63μm 粒级沉积物中木质素含量（Λ8）随传输距离的加长而升高，表明木质素在粗粉砂颗粒沉积物中易发生聚集，持续的缺氧环境有助于陆源有机碳的保存。实验结果印证了分子动力学模拟结果，进一步证明了 OET 对 terrOC 降解的控制作用。研究从动力学和机制角度上，为理解陆源有机碳在海洋中的保存和降解的提供了新认识。

S44-P-7S

末次冰消期以来长江口湿地沉积有机碳的埋藏及其受活性铁影响的研究

陈佳琪[1]，年小美[2]，许云平[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 华东师范大学，河口海岸国家重点实验室

* ypxu@shou.edu.cn

研究沉积有机碳的来源、埋藏通量和稳定机制对于理解全球碳循环具有十分重要的意义。前人研究发现矿物中的铁氧化物（活性铁）在沉积有机碳的保存中扮演者重要角色。长江是我国最大的河流，每年携带大量的泥沙进入河口和东海，使得长江口及

其邻近海域成为重要的有机碳埋藏地。尽管前人开展了这一地区有机碳的研究，但对地质时间尺度上活性铁如何影响沉积有机碳的埋藏并不清楚。我们于 2022 年在长江口采集了 1 根 40 m 的钻孔沉积物，代表了过去 1.4 万年来的沉积。我们运用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-碳酸氢钠（DCB）还原法测定 8 个不同深度样品中与活性铁氧化物(FeR)结合的有机碳含量及其稳定碳同位素组成（δ13C）。这 8 个沉积物样品从钻孔底部到顶部依次对应河口沉积相（14 ka – 8 ka），浅海沉积相（8 ka – 1.5 ka）和三角洲平原（1.5 ka 以来）。初步结果显示：在沉积相为三角洲平原的站位，FeR 和 δ13C 总非水溶性的相关性较小，随着深度的增加，FeR 逐渐下降，而 δ13C 总非水溶性逐渐正偏。在沉积相为浅海的站位，FeR 和 δ13C 总非水溶性有着显著的正相关性，可能表明浅海沉积相下总非水溶性有机碳的保存与 FeR 有关。在河口沉积相，随着深度的增加，FeR 逐渐下降而 δ13C 总非水溶性逐渐负偏，可能表明在河口沉积相中 FeR 对陆源有机碳的保存具有一定的选择性。我们下一步的计划是：1）根据现有的站位进行加密，增加测试样品数量；2）测量各个站位的总有机碳含量（TOC），并根据前人的公式计算出与铁结合有机碳（Fe-OC）在 TOC 的占比及其同位素组成，从而验证其来源，进而判断 FeR 对有机碳保存是否具有选择性；3）开展单位体积内有机碳数量分析，计算出不同沉积相下的有机碳埋藏通量，并与海平面变化、人类活动、有机碳来源、长江输沙量变化等参数结合，探讨影响长江口有机碳埋藏的主控因子。

S44-P-8S

近 8600 年来南海西北陆坡有机质埋藏的高分辨率历史变化

仝港 [1,2]，陈立雷 [3]，刘健 [2*]

1 中国地质大学（北京），海洋学院

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海岸带室

3 崂山实验室，深海交叉中心

* liujian0550@vip.sina.com

陆坡沉积记录对气候和环境变化具有更灵敏的响应，然而全新世的气候和环境变化对南海陆坡有机物埋藏的影响在很大程度上还不清楚。本文利用南海西北陆坡高分辨率岩心沉积物，测试了总有机碳、总氮含量及其稳定同位素($\delta^{13}C, \delta^{15}N$)，分析了有机物的来源并探讨了有机物埋藏的控制因素。基于 $\delta^{13}C$-二元混合模式发现，研究区以海洋自生有机物为主（平均为 72%）。我们的研究表明，有机物中的碳和氮受不同机制的支配。在谨慎的排除了几个潜在的影响因素后，$\delta^{15}N$ 在 ca. 7.3-4.6 cal kyr BP 的偏正最可能是由于全新世次表层入侵，次表层水中反硝化作用的增强导致；岩芯的 $\delta^{13}C$ 记录更为复杂，早期受 8.2 ka 事件影响，海平面迅速抬升导致沉积速度陡增与陆源输入大幅度增加。在 7.5-4.6 ka 与 3-1.4 ka 期间，$\delta^{13}C$ 的两次变化与印度夏季风（ISM）强度密切相关；1400cal yr BP 以来，随着人口增长和生产技术的进步，人类活动已日益成为控制自然环境的主导因素；我们的研究为了解低纬度边缘海陆坡的有机物源-汇过程及其影响因素提供了重要依据。

S44-P-9

南海深海氮同位素组成与高纬度变冷事件的响应

吴保金 [1,2]，王楠 [3]，石学法 [2,4]，包锐 [1,2*]

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋生态与环境科学功能实验室

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

4 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

* baorui@ouc.edu.cn

海洋氮循环与生物泵和微生物泵密切相关，都是海洋生态系统的重要组成部分。与碳循环类似，在生物泵和微生物泵介导下，伴随着能量流动，海洋氮循环可以实现有机和无机之间的转换。海洋沉积物中的氮同位素组成记录了地质历史时期生物泵、微生物泵演变的重要信号，对理解海洋生态环境的变化至关重要。但是，长时间尺度氮同位素记录的缺失阻碍了我们对该问题的探索。国际大洋发现计划349航次在东部次海盆获得的 U1431 沉积柱保存了南海海盆扩张以来的沉积记录，为揭秘中新世以来南海氮循环的变化提供了重要机遇。U1431 沉积柱的全岩氮同位素（$\delta^{15}N_{bulk}$）和有机氮同位素（$\delta^{15}N_{org}$）的综合分析发现：高纬度变冷事件背景下，南海氮营养盐受限的条件下生物固氮作用增强是氮同位素发生显著负偏移的主导原因。这项研究对理解高纬度变冷事件和低纬度南海深海的生物地球化学循环之间的相互联系有了进一步的认识。同时，对了解南极东部冰盖和南极西部冰盖形成期间，以及北半球最初的大冰川事件等重要古海洋事件过程中氮的生物地球化学循环及其对生物群落、气候和海洋生态系统的影响具有重要意义。

S44-P-10S

晚第四纪南海北部陆坡环流演变与有机碳埋藏

王明敏[1]，王淑红[1*]，万随[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* wshds@scsio.ac.cn

大陆边缘沉积系统接收和埋藏了来自海洋表层和陆地的大量有机碳，从而在全球碳循环中发挥关键作用。本研究选取南海北部陆坡区神狐海域中层水底部 SH08 沉积物柱样，进行了可分选粉砂平均粒度、总有机碳含量与稳定同位素组成等地化指标的分析。结果显示，晚第四纪南海有机碳埋藏量与中层水底流强度在千年尺度上呈反相位变化，反映海洋通风状况对有机碳的保存与埋藏起重要控制作用。可分选粉砂平均粒度指示，在末次盛冰期、Heinrich Stadial 1（HS1）和 Younger Dryas（YD）时期，南海中层水底流较强。这是由于北太平洋中层水（NPIW）形成增强，且对南海中层的入侵程度更大。在早全新世，海平面的上升使南海周围海峡（如台湾海峡和卡里马塔海峡）重新开启，增强了南海与外洋水体的联通性，因此中层水底流强度增大。在晚全新世时期，南海内波、内潮、中尺度涡等动力过程发育，促进了水体混合和中层水通风过程。南海底流的增强为沉积物-水界面提供了更多的溶解氧，改变了底水氧化还原环境，能够促进微生物对有机碳的降解作用。相反，在 Bølling-Ållerød（B-A）阶段，由于亚北极太平洋表层水盐度降低，导致 NPIW 形成减弱且向南海的扩张程度减小，南海中层水通风强度也随之减弱。在中全新世，随着东亚夏季风及降雨的增强，陆源河流淡水输入量增多，使得南海水体分层加剧且中层底流减弱，有利于沉积物中有机质的保存与埋藏。整体而言，在太平洋环流演变、南海内部海洋动力过程、海平面升降以及季风变迁的共同影响下，南海中层水底流强度具有千年尺度变化规律。底水通风状况和氧化还原环境是晚第四纪南海北部有机碳埋藏演化的主控因素，海洋通风的减弱使更多有机碳从海洋-大气等活跃碳库转移至沉积物中，对全球气候变化产生重要影响。

S44-P-11S

冲绳海槽中部水体氧化还原状态对有机碳埋藏的调控

朱犇[1]，李太思[1]，赵京涛[2*]，窦衍光[2]，李清[2]，蔡峰[2]，董良[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* zhaojingtao112@163.com
* dongliang@sjtu.edu.cn

有机碳埋藏在调节冰期-间冰期尺度的全球气候中发挥着重要作用。前人研究表明冰期有机碳积累速率始终高于间冰期，冰期输出生产力、有机碎屑运输效率的提高，以及更有利于有机质保存的沉积环境被认为是冰期有机碳埋藏效率提高的原因。然而，高输出生产力与高有机碳埋藏并不完全是正相关关系，在部分海区两者存在解耦现象。为了探究输出生产力与有机质埋藏解耦背后的成因机制，本研究以冲绳海槽中部的钻孔 Z1 为研究对象，基于浮游、底栖有孔虫碳同位素、TOC 及 δ^{13}C-TOC 等地化参数、环境指标，重建了冲绳海槽中部过去 20 万年的生产力变化，进而探讨了水体矿化过程及深水通风情况对有机碳埋藏的调控。结果表明，在冰期-间冰期旋回中，海槽生产力受到海平面变化及陆源输入的显著影响，呈冰期高、间冰期低的现象。但冰期有机碳埋藏并未相应升高，与生产力之间出现了明显解耦，说明更长时间尺度上的有机碳埋藏可能受到不同因素的调控。综合分析多种地球化学指标重建的环境演化历史，我们认为冰期北太平洋中层水 (NPIW) 通风增强导致冲绳海槽深层水氧化，促进水体有机质的矿化，减少了有机碳埋藏。而间冰期增强的黑潮所引起的水体层化有助于深层水形成还原环境，削弱矿化作用，导致更多的有机碳被埋藏。我们的研究表明，海洋动力过程驱动的水体氧化还原状态是调控冰期-间冰期尺度区域有机碳埋藏的重要影响因素。

S45-O-1

镁同位素示踪地球表层系统碳循环

黄康俊[1*]，马龙[1]，张攀[1]，张宏宇[1]，王琦[1]，郭元强[1]

1 西北大学，地质学系，大陆动力学国家重点实验室，陕西省早期生命与环境重点实验室
* hkj@nwu.edu.cn

地球是太阳系唯一确认有生命的行星。理解地球宜居性的形成与演化，是探讨人类可持续发展、预测和保护地球未来的关键。地球宜居性研究涉及地球各个层圈相互作用，迫切需要技术方法的创新。随着多接收等离子体质谱仪测试分析技术的革新，以 Mg 同位素为代表的金属稳定同位素地球化学已成为国际上地球科学领域最具活力的研究方向。作为主要造岩元素及流体活动性元素，Mg 广泛参与地球表层圈层所涉及的物理、化学和生物作用。通过大陆风化作用、风尘循环、碳酸盐岩沉积、洋壳蚀变作用，以及板块俯冲等重要地质过程 Mg 在地球各圈层之间发生迁移循环，同时影响着全球碳循环并最终控制全球气候变化。因此，Mg 同位素在表生地质过程的独特行为使其成为揭示地球宜居性形成与演化的重要示踪剂。本研究将从地球表层系统碳循环与宜居地球，镁同位素示踪地球表层系统碳循环机理，及镁同位素示踪新元古代表层碳循环等几个方面系统介绍，从全球镁循环的视角理解地球宜居性的形成与演化。

S45-O-2

藏南察隅河流域水化学和冈底斯花岗岩基化学风化

阮笑白[1,2,3*]，Albert Galy[2,3]，杨一博[1]

1 中国科学院青藏高原研究所
2 法国国家科研中心岩石学与地球化学研究所（CRPG-CNRS）
3 法国洛林大学（Université de Lorraine）
* xiaobai.ruan@univ-lorraine.fr

冈底斯花岗岩基在青藏高原隆升的早期广泛暴露于高原南部且受到季风气候影响，它的风化可能贡献了青藏高原早期隆升造成的风化增加的重要部分，却长期被风化

和古气候学界所忽视。本研究从藏南察隅河流域入手，系统探究了以冈底斯花岗岩基为主要基岩类型的流域化学风化过程和特点。通过对察隅河流域各支流次级盆地的气候环境特点、基岩组成与河流化学进行详细的水文地质调查，我们对流域内高海拔冰缘区化学风化机理、次生碳酸盐沉淀对河水化学的影响、察隅河流域化学风化过程中的碳汇/碳源效应及气候因子对化学风化速率的影响特征四个方面提出如下认识：1）通过对比流域内冰缘区和暖湿区崩塌堆积物渗水和附近河水的化学组成，提出高海拔冰缘冻融作用造成特定矿物的优先风化，且对高海拔河水具有普遍影响；2）次生碳酸盐沉淀对流域内河水化学具有广泛影响，通过校正次生碳酸盐影响，使得对风化过程中各种基质和酸的比例估算更加准确；3）结合碳酸盐/硅酸盐风化比例和碳酸/硫酸风化比例的估算结果，提出当前气候条件下察隅河流域化学风化将形成长期碳源；4）通过考察察隅河流域各支流汇水盆地径流值与年均温，揭示了温度是察隅流域硅酸盐风化主控因子，虽然滑坡和冰缘区冻融作用导致的基岩破碎在流域中广泛存在，却并没有明显干扰温度对硅酸盐风化的控制。

S45-O-3

青藏高原流域硫酸盐来源及循环过程探究

钟君[1*]，李思亮[1]，朱雪涛[2]，刘丛强[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

2 清华大学，环境学院

* jun.zhong@tju.edu.cn

硫酸参与的风化反应向大气释放 CO_2，减弱了风化在地质时间尺度上的“碳汇”效应。因此，辨析流域硫酸盐来源及循环机制是探究硫酸参与风化进而评估风化对大气 CO_2 影响的重要步骤。本研究通过对青藏高原东缘金沙江及雅砻时间及空间样品采集及分析其水化学，水中氧同位素（$\delta^{18}O_{H2O}$），硫酸盐硫氧同位素（$\delta^{34}S_{SO4}$ 及 $\delta^{18}O_{SO4}$），探究河流硫酸盐来源及循环机制。河水中，$\delta^{34}S_{SO4}$ 与 SO_4^{2-} 有相同的变化趋势，而 $\delta^{18}O_{SO4}$ 与 SO_4^{2-} 变化不同步，表明了流域中“隐藏硫循环”过程，也就是硫酸盐—还原—再氧化为硫酸盐的过程。在此过程中，硫酸盐还原为低价态的硫后不断与周边水进行氧的交换，后氧化为硫酸盐，经过此过程 $\delta^{34}S_{SO4}$ 不发生改变，而 $\delta^{18}O_{SO4}$ 却升高，该过程的发生表明了利用 $\delta^{18}O_{SO4}$ 追踪硫酸盐来源及黄铁矿氧化的不确定性。通过利用 Cl^-/SO_4^{2-} 比值和 $\delta^{34}S_{SO4}$ 建立混合方程可以估算河流中硫酸盐来源及而评估硫酸参与风化对大气 CO_2 的影响，结果显示尽管有硫酸参与的风化，青藏高原东缘金沙江及雅砻江的风化在总体上仍显示为长时间尺度上的碳汇效应。

S45-O-4

澜沧江流域风化过程钾和锂同位素分馏行为对比研究

李晓强[1*]，韩贵琳[2]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 中国地质大学（北京），科学研究院

* xiaoqli@cugb.edu.cn

大陆硅酸盐岩风化是维持长地质时间尺度地球宜居性和碳循环平衡的关键，也是驱动地球气候变化的重要地质过程。因钾（K）和锂（Li）元素价态单一且主要赋存在硅酸盐矿物中，K 和 Li 同位素在揭示硅酸盐岩风化方面展现出了广阔的前景，但是目前其分馏过程与控制机理的认识较为薄弱且缺乏流域尺度对比性研究。本研究以青藏高原东南缘澜沧江河水和悬浮物为研究对象，对沿河 K 和 Li 元素和同位素组成、变化特征及其控制因素进行系统研究。结果显示河水相对于悬浮颗粒物质富集重的 ^{41}K 和 ^{7}Li，表明在硅酸盐岩化学风化过程中 ^{41}K 和 ^{7}Li 均优先进入水体而 ^{39}K 和 ^{6}Li 保留在风化产物如粘土矿物中。此外，受青藏高原东南缘

地貌和气候特征变化所影响，河水 K 和 Li 同位素组成呈现规律性变化。上中游为高山峡谷地区，物理侵蚀速率快，水/岩作用时间较短，温度低降水少，风化强度较低，生成的主要含 K 粘土矿物为富 ^{39}K 的伊利石，因此河水 $\delta^{41}K$ 值较高。下游地区则是地势平缓的平原地带，物理侵蚀速率缓慢，水/岩作用时间较长，风化强度较高，河水 $\delta^{41}K$ 值逐渐降低，最终导致河水的 $\delta^{41}K$ 值与风化强度呈负相关的关系。而河水 $\delta^{7}Li$ 值呈现相反变化趋势，从上游到下游逐渐升高。这种差异性的原因在于粘土矿物组成对 Li、K 同位素的分馏控制不一样。在多种粘土矿物包括高岭石、蒙脱石和伊利石的形成过程 Li 同位素分馏都会发生。上述研究增加了我们对当前风化过程中 K-Li 同位素分馏行为的认识，以及沉积档案中 K-Li 同位素对地质时期硅酸盐风化的响应。

S45-O-5

青藏高原山地小河流锂同位素行为

张俊文[1*]，闫雅妮[1]，赵志琦[1]

1 长安大学，地球科学与资源学院

* zhangjunwen@chd.edu.cn

锂（Li）及其同位素具有示踪流域硅酸盐风化过程的潜力，但河水 Li 同位素组成（$\delta^{7}Li$）与硅酸盐风化强度的关系仍不明确。本研究采集了尼洋河流域干流、主要支流以及不同季节（每月）定点的河水样品，分析了样品的 Li 含量及其同位素组成。结果表明，样品 Li 含量和 $\delta^{7}Li$ 值的变化范围较大，高 $\delta^{7}Li$ 值分布于部分支流。基于不同端元的 Li/Na 值，计算得到河水溶解态 Li 主要源自硅酸盐风化和热泉汇入，除部分支流，热泉的贡献率为 68~85%。青藏高原地区热泉具有低的 $\delta^{7}Li$ 值，因此，不同河水样品中 Li 源自硅酸盐风化和热泉汇入的贡献比例差异，可能是河水 $\delta^{7}Li$ 值时空变化的主要原因，即样品中 Li 主要源自硅酸盐风化贡献时，其 $\delta^{7}Li$ 值较高，而热泉的贡献高时，其值较低。另外，热泉溶解态 Li 与地表次生矿物作用会导致 Li 同位素分馏，也可能对河水 $\delta^{7}Li$ 值变化有贡献。通常认为，相较于泛滥平原，造山带地区较低的风化强度是导致其河水 $\delta^{7}Li$ 值较低的主控因素。本研究发现，热泉汇入可能会掩盖河水中硅酸盐风化的 Li 同位素信号，进而影响对河水 $\delta^{7}Li$ 值与硅酸盐风化强度之间关系的准确认识。因此，热液丰富的造山带地区河水较低的 $\delta^{7}Li$ 值主要受控于区域风化强度还是热泉汇入（或两者均有）还需要深入研究，这也是准确建立河水 Li 同位素组成与流域风化强度之间关系的关键。

S45-O-6

青藏高原冰冻圈地区地表土壤样品中 FE 同位素组成分布

Wei Ting[1]，Dong Zhiwen[1*]，Eric J. R. Parteli[2]，Chunlei Zong [1,3]，Xiang Qin[1]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，冰冻圈与全球变化研究室

2 University of Duisburg-Essen,Faculty of Physics

3 西北大学，大陆动力学国家重点实验室

* dongzhiwen@lzb.ac.cn

Iron (Fe) as an essential nutrient for life plays an important role in the biogeochemical cycle of the Earth's surface environment and ecosystem. However, there is still poor knowledge of the Fe geochemical behavior and surface transformation processes in the Tibetan Plateau (TP) region. Here, we conducted a comprehensive investigation of the Fe isotopic composition (expressed as $\delta^{56}Fe$) in surface soils, encompassing both arid and glacial soils, across a broad range of the plateau. Results showed that despite the diversity of lithology and Fe-bearing minerals in the investigated

glacial areas, their δ^{56}Fe values exhibited a remarkable spatial homogeneity, ranging from 0.01±0.05‰ to 0.06±0.05‰. Due to the insignificant fractionation of Fe isotopes, the glacier soils can serve as a reliable reference material for assessing Fe geochemical processes across the TP. In contrast, non-glacial soils in the TP displayed a heavier Fe isotopic signature, ranging from 0.03±0.06‰ to 0.14±0.01‰.

S45-O-7

地下水蕴含的化学风化信息——基于多种非传统同位素的认识

蒋小伟[1*]，姬韬韬[1]，张鸿[1]

1 中国地质大学（北京），水资源与环境学院

* jxw@cugb.edu.cn

化学风化决定了地下水中多种元素的来源，然而由于地下水中元素迁移转化规律复杂，很难直接利用元素浓度定量化学风化程度。近年来，随着多接收电感耦合等离子质谱仪（MC-ICP-MS）的发展，实现了多种金属同位素的精准测试，为利用同位素定量化学风化程度提供了可能。鄂尔多斯白垩系砂岩盆地地下水资源丰富，从补给区到排泄区的大量不同深度水井为研究地下水动力场和水化学场提供了基础。团队基于地下水中 Li, Mg, K 和 Sr 同位素，识别了硅酸盐溶解、次生黏土矿物形成、碳酸盐溶解和吸附等与化学风化相关的水岩反应过程。

Li、K 主要存在于硅酸盐矿物中，广泛用于示踪化学风化。补给区二氧化碳较为充沛，与研究区硅酸盐沥出液相比，地下水更低的 Li/Na 和 K/Na 以及更高 δ^{7}Li (均值 25.0‰)与 δ^{41}K (均值 0.64‰)与风化控制下次生黏土生成过程中水体富集更重的 Li、K 同位素分馏效应一致，指示补给区地下水发生了强烈的硅酸盐风化。在径流过程中，CO_2 逐步消耗，地下水 Li、K、Mg、Ca 等多种阳离子含量降低，优势阳离子由 Ca-Mg 演变为 Na。排泄区 δ^{7}Li 与补给区相比无明显差异，指示硅酸盐风化未继续发生。δ^{26}Mg 和 δ^{41}K 分别随水体 Mg 和 K 含量下降而降低，与黏土吸附产生的分馏效应一致，指示了吸附作用是引起水中阳离子含量下降的主要水岩反应。

Sr 同位素是区分硅酸盐和碳酸盐风化贡献的有利工具。发现研究区雨水、补给区地下水和排泄区地下水的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 特征值分别为 0.710784, 0.711448 和 0.710269。通过对研究区砂岩进行醋酸分步沥出实验，得到砂岩中微量方解石的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 特征值为 0.709113。对于补给区 CO_2 相对充足的地下水，Sr 同位素组成受控于三个端元（雨水、硅酸盐、方解石）；对于排泄区 CO_2 含量较低的地下水， Sr 同位素组成受控于两个端元（补给区地下水、方解石）。基于 Sr 同位素质量守恒模型，计算发现硅酸盐与方解石溶解消耗的等效 CO_2 均高于多数世界大河，当滞留时间足够长时，碳酸盐风化会固定地下水中的大部分溶解态 CO_2。

本研究利用多种金属同位素成功刻画出地下水循环过程中的多种水岩反应，加深了对漫长循环尺度下地下水流系统所携带的硅酸盐与碳酸盐风化信息的认识，对于全面认识硅酸盐为主要岩性的含水层水化学演化有重要意义。

S45-O-8

真菌风化的机制及其调控的元素生物地球化学循环

李子波[1,2*]，刘连文[2]，陆现彩[2]，李高军[2]，金章东[3]，殷宗军[1]，朱茂炎[1,4]，季峻峰[2]，陈骏[2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

2 南京大学，地球科学与工程学院

3 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地

质国家重点实验室
4 中国科学院大学，地球与行星科学学院
* zbli@nigpas.ac.cn

真菌作为最古老、多样性最显著的生物类群之一，广泛分布于陆表，尤其是植物根部土壤，在成壤、成矿、元素生物地球化学循环等众多地质地球化学过程发挥重要作用。真菌的重要性源于其对矿物风化的显著促进作用。在经典真菌风化理论体系中，通常认为真菌风化矿物主要发生在真菌代谢产物影响的水溶液-矿物界面，相比而言真菌-矿物界面产生的溶解量对总风化量的贡献极小，不超过 1%。这一认识主要基于扫描电镜观测和水溶液化学证据。然而，土壤矿物中广泛观测到的真菌溶蚀洞/通道，以及真菌-矿物界面溶解速率较水溶液-矿物界面溶解速率更快的事实对此提出了挑战。但相关科学假说一直缺乏充分的关键实验依据。我们聚焦真菌-矿物界面，创新实验设计和研究方法，建立原位高分辨理化性质-三维形貌-界面粘附力定量研究技术体系，开拓代谢组学研究新方法，（1）揭示了真菌-矿物界面溶解可占真菌总风化量的 50%，明晰了菌丝生物物理力对真菌风化具有关键作用，并阐明了真菌促进老化矿物风化的机制，提高了对真菌-矿物界面风化的认知；（2）重建了“真菌识别-粘附-风化矿物”全过程，发现真菌可即时风化矿物产生界面溶蚀，为认识真菌在含营养元素矿物表面的选择性定植和风化提供了直接的动力学证据；（3）揭示了矿物调控真菌代谢行为的机制，明确了真菌代谢产物对矿物中元素溶解具有专属性作用，深入了元素溶解和迁移模式的认识。这些发现完善了真菌风化理论，对真菌调控的元素生物地球化学循环，及该过程对地球系统演化影响的认识具有重要意义。

S45-O-9

用 224RA/228TH 不平衡法解析瓯江口风化与反风化反应

程艺琳 [1,2]，蔡平河 [1,2*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室
2 厦门大学，海洋与地球学院
* caiph@xmu.edu.cn

海洋沉积物中的反风化反应指的是一种成岩反应，其中二氧化硅与溶解的阳离子和金属发生反应，沉淀出新的铝硅酸盐相，消耗碱度并释放二氧化碳。风化反应则相反，陆地或海洋上的硅酸盐矿物风化通常消耗 CO_2，并产生溶解的 Si、阳离子和碱度。反风化反应有助于通过阻止碳酸氢盐的积累来维持大气中的二氧化碳含量和海洋的 pH 值，可能是控制地质时间尺度上的大气 CO_2 的几种途径之一，具有基础而重要的研究意义。本研究利用 $^{224}Ra/^{228}Th$ 同位素体系探究了夏季东海瓯江口沉积物水界面成岩物质的输出和转移。测定了瓯江口垂直海岸线横断面 5 个站位溶解 ^{224}Ra、总 ^{224}Ra 和 ^{228}Th 的沉积剖面。在上部 15cm 的沉积物层中，^{224}Ra 相对 ^{228}Th 活度均有明显亏损。研究呈现了沉积物间隙水中溶解 Si、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}的浓度随深度的变化剖面，结果显示，近岸端 K^+、Ca^{2+}离子浓度均随深度的增加而降低，随离岸距离的增大，逐渐演变为相反的趋势剖面，即深度增加，K^+、Ca^{2+}离子浓度增大；将 5 个站位的孔隙水 K^+、Ca^{2+} 离子浓度进行线性拟合，发现其遵循显著的近乎 1:1 的相关关系（R^2=0.9679）；溶解 Si 浓度均随深度的增加而显著增大。基于 $^{224}Ra/^{228}Th$ 不平衡法，我们估计了各成岩要素在沉积物水界面的交换通量，随离岸距离的增加，K^+、Ca^{2+}离子通量分别从-110 变化至 379 mmol/m^2/d、从 -47 变化至 115 mmol/m^2/d。溶解 Si 通量的变化范围在 0.9~24 mmol/m^2/d，DIC 通量的变化范围在 16~88 mmol/m^2/d。综合结果表明，反风化反

应可在近岸地区迅速发生，并对海洋二氧化硅循环具有重要的控制作用；风化和反风化反应同存共生，从近岸到深海，可能存在反风化主导到风化主导的变化趋势。风化反风化反应将硅和碳的生物地球化学循环紧密联系在一起，并驱动着生源要素与金属元素的跨界输运，对海洋长时间尺度的研究具有重要的指示意义。

S45-O-10

海水钕同位素示踪剥蚀通量演化

于兆杰[1*]，Christophe Colin[2]，万世明[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 Université Paris-Saclay，GEOPS

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

大陆风化入海通量演化是风化与碳循环研究的关键环节。海水溶解态的放射性同位素组成（比如 Be，Pb，Nd 同位素等）既能保持陆源同位素组成而跟海水区分开来，又对通量的变化比较敏感，被认为是追踪风化通量的有效手段。但是，前人利用不同的同位素指标追踪剥蚀通量与气候变化是否相关的研究得出了互相矛盾的结论。例如，海水 Be 同位素记录显示在新生代和第四纪以来，全球和南亚大陆剥蚀通量基本保持稳定。相对地，海水 Nd 同位素和 Pb 同位素的证据却表明剥蚀通量存在明显气候驱动的冰期-间冰期的变化。但是以上 Nd 和 Pb 同位素研究存在：1）高纬度冰川后撤，遗留细粒磨蚀物溶解；2）低海平面大陆架沉积物暴露后再次剥蚀；3）指标的物源和风化模式干扰等问题，致使该争论悬而未决，亟待系统性的研究工作验证。本研究分析了北印度洋 89°E 经线上 6 个海水站位在 6 月份 Nd 同位素组成，并与前人发表的 87°E 经线站位 11 月份结果对比，揭示了现代南亚剥蚀输入对夏季风的季节性响应。发现：1）平均停留时间长达 600 年的 Nd 同位素组成季节性响应剥蚀输入；2）对南亚剥蚀通量响应最敏感的是中层水，而不是传统观点认为的表层水。前者 Nd 元素体量要比后者大一到两个数量级。在此基础上，本研究选取中层水深的孟加拉湾北部 MD77-176 和南部 MD77-191 钻孔，利用浮游有孔虫为载体，重建了末次冰消期以来高分辨率南亚大陆剥蚀通量演化历史。发现：1）古海水 Nd 同位素追踪的南亚剥蚀通量演化历史具有很好的千年和轨道时间尺度强弱变化；2）排除冰川、海平面和指标自身的因素之后，Nd 同位素追踪的南亚大陆剥蚀通量在轨道和千年时间尺度仍表现出季风降水主控特征。本研究基于典型区今（现代海水）-古（有孔虫）结合的 Nd 同位素的系统研究，证实剥蚀通量演化与气候变化紧密相关。

S45-O-11

岩石风化碳汇与气候变化

白晓永[1*]，熊练[1]，李朝君[1]，吴路华[2]，陈飞[1]，李汇文[3]，习慧鹏[4]

1 中国科学院地球化学研究所，环境地球化学国家重点实验室

2 铜仁学院

3 西安交通大学

4 同济大学

* baixiaoyong@vip.skleg.cn

岩石风化碳汇是陆地生态系统碳汇的重要组成，精确评估其量级与演变机制是解决“遗失碳汇”问题的关键，在缓解全球变暖和平衡碳收支方面发挥着重要作用。此外，阐明硫化物氧化对岩石风化的影响，对准确评估岩石风化碳汇量、完善全球碳循环模型、科学应对全球变暖也具有不可忽视的意义。同时，有机碳是陆地和海洋碳循环的重要组成部分，是制约全球气候变化的关键因素。因此，从陆地到海洋的有机碳在全球范围内的迁移量级和分布特征也影响人们对陆海碳循环以及全球变化的理解。以往对全球岩石风化碳汇与全球变化相关内容进行了研究，并取得了显著成果。然而，碳酸盐岩风化碳汇的量级、演变特征和对全球碳收支的

贡献仍然不确定，对气候变化及生态修复的具体响应还缺乏系统分析。全球硅酸盐岩风化碳汇，尤其是花岗岩和玄武岩风化碳汇的量级及演变特征依然不清晰，其关键影响因子反演模型存在不确定性，从而限制了全球硅酸盐岩风化碳汇的有效评估。由于观测站点数据和模型的局限性，目前对各类岩石风化碳汇的演变趋势及其对近年来气候变化与生态修复响应的理解仍然具有挑战性。量化硫化物氧化对岩石风化的贡献一直是理解外源酸对陆地碳循环机制影响的关键和难点，硫化物氧化对全球岩石化学风化碳汇的影响仍不明确。从主要河流到海洋的有机碳通量特征仍不明确，因而对陆地运输到海洋的溶解有机碳通量的评估存在巨大争议。为此，我们分别从碳酸盐岩、硅酸盐岩、12类主要岩石、外源酸的贡献和陆海有机碳运移开展了相关研究。首先，制作了全球碳酸盐岩风化碳汇动态图谱，系统评估了碳酸盐岩风化碳汇量级及其演变规律，明确了碳酸盐岩风化碳汇在全球气候变化中的贡献。其次，修订了花岗岩和玄武岩风化碳汇估算方法，填补了全球硅酸盐岩风化碳汇长时间序列演变趋势的研究空白，科学揭示了全球硅酸盐岩风化碳汇的过去和未来。第三，量化了近年来全球不同岩性岩石风化碳汇的量级，阐明了其对全球碳排放的贡献，并定量评估了气候变化及生态修复对碳汇通量的影响。第四，攻克了硫化物氧化对岩石风化碳汇的贡献率难以量化的关键和难点，科学回答了外源酸对陆地碳循环机制的影响。最后，提供了陆海碳循环中有机碳循环的数据清单，更新了各洲从陆地向海洋运移有机碳贡献率的认识。总之，本研究有利于揭示大陆风化与地球物质循环格局与过程，助力地球系统的碳循环研究。

S45-O-12

250 百万年以来的硅酸盐风化通量模拟研究

左浩悦 [1*]，刘永岗 [1]，贺志霖 [2]，李高军 [3]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 南京大学，地球科学与工程学院

* zuohaoyue@pku.edu.cn

二氧化碳作为主要的温室气体，是调节地球气候的重要因素。百万年时间尺度上，碳循环最重要的源和汇分别是火山喷发放气和硅酸盐风化以及碳酸盐沉积。气候与风化之间的负反馈过程维持了大气 CO2 浓度以及气候的总体稳定。作为长期碳循环过程中重要的碳汇，研究不同地质历史时期的硅酸盐风化通量非常关键。硅酸盐风化速率会受到温度、降水、植被、大陆分布和大陆地形、侵蚀等的影响。为了研究过去 250 百万年以来的硅酸盐风化通量演变，我们首先对现代硅酸盐风化模型展开分析，在前人的理论模型基础上，使用与观测更吻合的再分析资料进行模型验证。利用高分辨率气候和地形数据，我们发现目前大多数二维风化模型在低纬度区域的表现不佳，存在明显高估现象。我们提供了一种简单的参数化方案，修改有限地区的侵蚀速率较好的改善了模型的高估问题，使得全球总风化通量与观测偏差小于 20%。利用 CESM1.2.2 气候模式切片模拟得到的过去 250 百万年高分辨率(0.9x1.25)气候场资料，结合过去的岩石分布和地形分布，通过修正后的风化模型，我们得到了过去250百万年以来的硅酸盐风化通量演变时间序列。我们模型的开发以及目前的结果对于研究地形、岩性和生物演化在百万年时间尺度上对大气 CO2 演化的影响存在重要意义。

S45-P-1

风化停留时间及风化带深度的铀同位素限定

李乐 [1*]，李高军 [1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* lilenju@126.com

矿物风化在地球表层系统中发挥着非常重要的作用。风化作用产生土壤，为生态系统提供营养成分，并对碳循环和全球气候变化起到了关键的调节作用。但是，风化作用发生的地点以及动力学机制还不清晰，其原因之一可能是风化带深度没有很好的定义。经典土壤产生方程显示剥蚀速度随着土壤深度的增加而指数衰减。但是风化带深度和土壤厚度可能并不存在正比关系，流域平均剥蚀速度与风化深度的关系可能并不能与土壤剖面类比。最近研究表明，风化带深度可能是定值)，也可能是受扩散作用与剥蚀速度的反馈控制，与剥蚀速度的-2 次方成正比,也可能与区域地貌和构造引力有关。造成这种复杂性的原因是现阶段没有能有效计算风化带深度的方法。

铀同位素记录了颗粒从基岩破碎以来经历的时间，即测量颗粒最后一次表面形成的年龄。破碎意味着新鲜面的产生，矿物开始发生风化作用，因此破碎年龄代表了风化表面形成年龄。本研究测试了青藏高原已有剥蚀速度数据的小流域沉积物的铀同位素，计算颗粒在流域尺度的的停留时间，结合剥蚀速度计算了不同剥蚀速度下对应的风化带深度，结果发现（1）在高剥蚀区产生的都是新鲜物质，颗粒的停留时间短；（2）在越接近活动断层区，流域的平均风化带深度越深，说明风化带深度可能与区域构造应力相关。

S45-P-2S

流通式时间分辨分析系统（FT-TRA）在反风化研究中的应用潜力

许心宁[1]，王朔[1]，徐娟[1]，杨守业[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* syyang@tongji.edu.cn

流通式-时间分辨分析系统（Flow-through time-resolved analysis system，简称FT-TRA）是在 21 世纪初发展起来的一种快速反应（溶解）-分析系统，由淋洗液混合单元、反应单元与分析单元组成；核心功能是通过特定流动相淋洗样品池中的微量样品，分离或去除样品中的特定组分，并对样品不同元素和矿物组分随时间溶解的变化特征进行高分辨在线分析。

反风化作用（reverse weathering，也称逆向风化）是指在海洋（或湖泊）沉积环境中，硅（Si）与可溶性阳离子反应并以沉淀或重组等方式形成自生铝硅酸盐矿物，同时消耗海洋碱度释放 CO_2 的过程。早期研究表明，反风化作用可能是地球地质历史时期的重要恒温器，但其发生的时间尺度较长不足以进行人类时间尺度内的快速调控；然而近些年的研究却证明海底反风化可以在亚马逊河口三角洲、秘鲁大陆边缘等高度活跃的沉积环境中快速发生（最小时间尺度可到“周”），表明反风化作用在目前全球变化背景下具有调控地球表生碳循环（碳源）和海洋元素平衡（沉积元素汇）的巨大潜力。

自生粘土矿物是反风化作用的主要产物，除了上世纪末研究者对反风化模拟培养实验得到的自生粘土进行详细矿物学分析外，迄今对其矿物类型、形貌与化学组成特征的研究相当薄弱，原因主要在于天然形成的反风化自生粘土多与陆源碎屑粘土混杂，且快速形成结晶度差，难以准确提取。但通过原位观察与模拟实验的结论可知，反风化作用主要利用硅藻溶解提供的活性 Si 作为硅源，以填充硅藻壳体孔隙和包裹其外层的形式存在。因此本研究运用沉降法和重液浮选法提出不同研究区的硅藻颗粒，然后用 FT-TRA 系统对其进行流动溶解与实时在线分析，参照前人研究中的粘土/硅藻酸溶实验，本研究旨在运用该系统及特定溶液分离出与硅藻壳体共生的自生粘土矿物，通过元素出溶时间判断其结晶度差异及元素赋存形式，通过特定元素/Si 比值判断其化学组成及矿物类型。该方法的难点在于常规的硅藻提取手段可能会导致自生粘土矿物损失，因此在进行与硅酸盐有关的化学处理时应尽量温和。

S45-P-3S

柴达木西南部湖相碳酸盐岩地球化学：青藏高原隆升引发的硅酸盐风化和碳埋藏意义

王涛[1]，邵明[1]，裴宇[1]，张生银[1*]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院

* zhangseepage@126.com

湖相碳酸盐岩是陆地生态系统干旱化的响应标志，新生代柴达木盆地西部发育了超过 8000 平方公里，厚达 3000 米的富碳酸盐岩沉积。区域性长尺度的碳酸盐岩详细沉积机理及青藏高原隆升联系值得进一步探索。本研究利用主量元素、微量元素、同位素和脂类生物标志化合等手段，通过统计和相关性分析等方法对柴达木盆地上新统上油砂山组富碳酸盐岩岩芯进行精细分析，结果表明，碳酸盐矿物平均含量 37.2%，主要为铁白云石和方解石，其含量与碳酸盐氧同位素显著正相关。来自阿尔金山高度结晶的硅酸盐碎屑流堆积于湖盆后，通过强烈的硅酸盐风化，形成高含量的粘土矿物和硅酸盐共存现象，并释放了 N、S、K、Na 和微量元素，为淡水-微咸水湖泊生态系统富碳酸盐化和富营养化提供物质基础。化学风化、水生生物勃发、湖泊碱化三者耦合并互相促进，使得碳酸盐岩大量沉淀。进一步研究表明，硫酸盐还原菌介导了湖相白云岩成因机理，淡水硅酸盐碎屑流进入湖泊后，湖水蒸发早期，硫酸盐还原菌在微咸水环境消耗陆源有机质生成白云石，随着湖泊蒸发浓缩，沉积物中的有机质（水生生物和早期陆源生物）通过硫酸盐还原细菌的作用提供了 CO_3^{2-}，降低了 Ca/Mg 值，进而促进了沉积物铁白云石化。虽然青藏高原隆升导致了全球性干旱化，造成陆地生态系统植被覆盖度和丰度的衰退，但是其隆升带来大量硅酸盐堆积于湖泊，硅酸盐风化及联动效应造成可观有机碳和无机碳埋藏。

S45-P-4S

化学蚀变指数（CIA）计算过程中硅酸盐组分 CaO*的校正及其影响

赵周平[1]，李超[1*]，郭玉龙[1]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* cli@tongji.edu.cn

化学蚀变指数 (Chemical Index of Alteration，CIA) 被广泛用于定量评价大陆硅酸盐化学风化的程度，而具体计算公式中硅酸盐组分 CaO*的校正方法被忽视，或者没有科学的评估。本文总结了计算校正方法和化学预处理校正两种最常见的 CaO*计算方法，并比较了这些校正方法之间的相似和差异，及其对 CIA 的影响。研究显示，Mclennan 计算校正方法中采用样品 P_2O_5 来校正 CaO*对 CIA 计算的影响很小，可以忽略不计。此外，不同样品采用同一种酸处理得到的 CIA 有较大差异，盐酸溶液在预处理过程可能对硅酸盐组分中的 Ca 过度溶解。因此采用化学淋洗实验校正 CaO 时，要注意样品性质和化学试剂的选择。

S45-P-5S

早渐新世以来华南硅酸盐风化及其碳循环演化历史

靳华龙[1,3]，万世明[1,2,4*]，刘畅[5]，赵德博[1]，裴文强[1]，于兆杰[1]，张晋[1]，宋泽华[1]，李梦君[1]，唐艺[1]，李安春[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 青岛海洋科学与技术国家实验室

3 中国科学院大学

4 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心
5 Texas A&M University
* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

在地质时间尺度上，硅酸盐风化通过消耗大气中的 CO_2 在调控碳循环和全球气候方面发挥着重要作用。然而，这一机制对古气候变化的重要性仍有争议。本研究利用从 IODP 368 航次南海北部 U1501 站位岩芯中获得的长期、连续的黏土粒级(<2 μm)主微量元素组成来重建渐新世以来华南地区硅酸盐风化的演变历史，并探讨其与构造/气候变化的联系。化学蚀变指数(CIA)和 K/Al 比值结果显示，华南地区的硅酸盐风化强度自渐新世以来整体呈降低趋势，耦合于古气候指标（深海 $\delta^{18}O$ 值和黑碳 $\delta^{13}C$ 值）的变化，指示全球变冷和区域变干对硅酸盐风化强度降低的主控作用。此外，硅酸盐风化通量的计算结果强调，硅酸盐风化引起的 CO_2 消耗通量主要受物理剥蚀通量而非化学风化强度的控制。因此，新生代期间，物理剥蚀通量的增加以及由此引起的硅酸盐风化通量的增加使得碳输出调控了碳循环，从而促进了全球变冷和冰盖发育。

S45-P-6

提取流域沉积物风化程度信号

郭玉龙[1*]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
* ylguo@tongji.edu.cn

大陆硅酸盐风化是维持地球长期碳循环平衡和地球宜居环境的关键机制。作为地表风化的直接产物， 河流碎屑沉积物的地球化学组成蕴含了源区流域风化信息。 但受搬运过程中动力分选和沉积再旋回等过程影响，风化信息难以准确提取。因此，如何通过碎屑沉积物化学组成提取并解译流域风化强度信号，是利用陆源碎屑沉积可靠重建大陆风化历史的前提和瓶颈问题。

前人提出多种研究方案提取沉积物地化组成中风化程度信号，但仍缺少适用于钻孔沉积物研究、实验分析简便的定量研究指标。 Garzanti et al.,（2013）提出用 CIA/WIP 评价沉积旋回性影响程度。然而， CIA/WIP 对沉积物风化强度也很敏感，因此无法可靠指示 SiO2 稀释作用。利用前期研究中基于 CIA-WIP 图解提出的“河流现代风化产物趋势线”，本研究提出 ΔWIP/WIP 新指标。其中， ΔWIP 表示同一 CIA 下现代风化产物与沉积物样品的 WIP 差值。ΔWIP/WIP 不受沉积物风化程度影响，数值上等于 SiO2 稀释程度，因此可用于定量评价沉积物对现代风化产物的代表性。 ΔWIP/WIP 绝对值越小，表示沉积物 SiO2 稀释程度越低，其地化组成越接近于现代风化产物。ΔWIP/WIP 判别方法可以有效减小水动力分选及沉积旋回性引起的流域沉积物地化组成变率，由此可靠提取沉积物风化程度信号。

S45-P-7S

ICP-MS 精确测量深海沉积物 226RA-230TH 不平衡体系

袁柳婷[1,2]，蔡平河[1,2*]，姜鑫宇[1,2]，Walter Geibert[3]，程艺琳[1,2]，陈耀瑾[2]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室
3 Alfred-Wegener Institute,Helmholtz Centre for Polar and Marine Research
* caiph@xmu.edu.cn

本研究应用单接收器扇形磁场 ICP-MS (ThermoFisher Element XR)精确测定深海沉积物和孔隙水样品中的 226Ra。结合对应层位沉积物样品中 230Th 的测量，这个方法能够准确定量沉积物岩心中的 226Ra/230Th 不

平衡，因此使这对同位素（226Ra/230Th）不平衡体系作为深海沉积物-水界面溶解物质交换通量的示踪剂成为可能。该新方法含以下几个主要步骤：228Ra 作为内标的同位素稀释，MnO2 共沉淀预富集 Ra 和 Ba，以及使用阳离子交换树脂（Bio-Rad AG 50-X8,100-200 mesh）和锶树脂（Triskem）将 Ra 与其他非目标元素分离。其中，用相当于 16 倍柱体积的盐酸（1.7M）洗脱一或两根阳离子树脂，消除了以往研究中存在的复杂的基体效应，得到适合在 Element XR ICP-MS 上测量 226Ra 的高纯度溶液。最后，我们仅需 20-50 ml 孔隙水或者 100mg 沉积物样品，就可以对 226Ra 进行精确测量（精确度~1%,准确度~99.2%）。通过对北大西洋沉积物岩心间隙水和固相中 226Ra 的精确测量，226Ra 的分配系数（Kd）被严格限制在 4700-11600 ml g^{-1} 之间。此外，应用一维稳态交换模型，结合 226Ra/230Th 不平衡测量结果，我们可以估算出北大西洋沉积物向上覆水体释放的 226Ra 通量为 1140±20 dpm m^{-2} y^{-1}.

S45-P-8S

九龙江口-厦门湾海域中溶解态痕量金属的时空分布特征与影响机制

刘文美 [1,2]，朱子龙 [1]，钟灏文 [1,2]，戚柳倩 [1,2]，王德利 [1,2*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* deliwang@xmu.edu.cn

九龙江河口及近岸海域水文条件复杂，人类活动密集，阐明其水体痕量金属的分布特征及规律，是保障这一水域环境生态健康的关键之一。采用电感耦合等离子体质谱法测定了 2023 年 2 月九龙江河口及厦门湾表底层海水中溶解态痕量金属钒(V)、锰(Mn)、钴(Co)、镍(Ni)、铜(Cu)、镉(Cd)的含量。同时对水温、盐度、pH、叶绿素进行了测定。结果表明，九龙江口-厦门湾区域表底层水温范围分别为 14.4-21.4℃，14.4-20.4℃。表底层盐度范围分别为 0.1-31.3, 0.1-31.7。表底层叶绿素含量范围分别为 0.46-12.23 μg/L,0.55-11.93 μg/L。九龙江口-厦门湾区域表底层溶解态痕量金属含量高低顺序为：V>Cu>Mn>Ni>Cd>Co，空间分布上，V 和 Cd 的表底层浓度表现为海湾区高于河口区，Mn、Co、Ni 和 Cu 则表现为河口区高于海湾区。溶解态痕量金属的浓度均符合国家海水水质标准的第一类水质。此航次的痕量金属浓度相比往年，整体水平偏低，特别是九龙江河口上游（A3-A6 四个站位）的浓度的中位数显示 Mn 表层浓度 41.12nmol/L，比 2022 年 1 月所测浓度 1311.84nmol/L 低 30 倍。猜测为近三年内九龙江上游环境治理明显，工农业等有所控制等因素所致。主成分分析表明，影响溶解态痕量金属浓度的主要因素为河口径流和人类活动。

S45-P-9S

应用单颗粒白云母化学组成示踪中国黄土的来源

朱晓雨 [1]，刘连文 [1*]，季峻峰 [1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* liulw@nju.edu.cn

黄土高原黄土来源于何方，晚新生代风尘物源区是否稳定，目前尚有很大的争议，我们拟对中国北方主要沙漠和黄土高原 8Ma 以来风尘堆积剖面进行白云母化学组成分析，估算各潜在源区对中国黄土高原黄土的贡献及长期稳定性。

在变质岩石中，白云母常发生两种成分置换，一是 Na 替换 K，二是 $(Al^{3+})^{VI}+(Al^{3+})^{IV}=(Si^{4+})^{IV}+(Mg^{2+}+Fe^{2+})^{VI}$，后者称为多硅白云母型替代，形成白云母与绿鳞石的固溶体，一般随着变质压力的增加，白云母中绿鳞石组分或硅含量增加。多硅白云母形成时 Al 会被 Fe+Mg 和 Si 所替代，替代程度取决于形成压力。按照单位分子中

硅原子数目的多少，碎屑白云母可分为高硅(Si> 3. 5)、中硅(Si= 3. 3～3. 5)和低硅(Si< 3. 3)白云母。

我们选择中国北方主要沙漠 10 个样品和黄土高原西峰剖面中6个样品进行电子探针分析，利用氧原子计算法，换算成单颗粒白云母的晶体化学分子式。结果表明，白云母晶体化学分子中 Al 与 Si 原子数呈现显著负相关关系，Al 与（Fe+Mg）原子数也呈现负相关关系，说明白云母中普遍存在 Al 和 Si 与（Fe，Mg）组合的类质同像置换，造成白云母中 Si 的原子数往往大于 3。黄土中几乎所有的样品都有 Si 含量大于 3.3 的高硅白云母存在，除了 L1 层样品高硅白云母在 4%，其它的样品多硅白云母都在 10%左右；比较沙漠中多硅白云母的含量，位于青藏高原北部的塔克拉玛干沙漠、柴达木盆地的多硅白云母数目较多（分别为 6.74%，4.17%），而腾格里沙漠的多硅白云母的含量为 6.18%，毛乌素沙漠含有少量的多硅白云母（5.49%），而科尔沁沙漠和古尔班通古特沙漠几乎不含高硅白云母，这种分布特征与其 Sr、Nd 同位素具有相似性。特别是，塔克拉玛干沙漠南北两个样品，多硅白云母含量和硅原子频率分布存在显著差别，北部样品高达 14%多硅白云母，硅原子频率分布大部分>3.1，而南部样品只有 4%多硅白云母，且大部分白云母硅原子频率<3.1，这说明起码在该沙漠中，物质并没有很好混合均匀。结合 Nd 同位素特征，可以将黄土物源限定为腾格里沙漠，相邻的巴丹吉林沙漠有相似的成因与地理位置，也应包括在内。

因此，我们认为 8Ma 以来黄土物源相对稳定，且红粘土和上覆黄土-古土可能具有类似的源区。这一结果也由黄土的同位素研究得到证实。

S45-P-10S

青藏高原北部典型冰川流域化学风化研究

李铮[1]，钟君[1*]，李思亮[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

* jun.zhong@tju.edu.cn

青藏高原生态环境对气候变化的响应是全球变化研究关注的重点问题。地表风化与气候变化之间具有紧密的联系，因此对冰川流域硅酸盐岩风化以及黄铁矿氧化进行定量研究可为理解高原气候变化提供关键性认识。本研究以青藏高原北部祁连山典型冰川流域—老虎沟流域为研究对象，对流域河水与降水进行时间序列样品的采集，对河水及降水的水化学和氢氧同位素、河水中碳同位素、部分微量元素的浓度及同位素进行分析，通过使用反演模型，探究冰川径流来源，河流溶质来源，流域化学风化速率以及黄铁矿氧化对化学风化碳汇效应的影响。总体来说，本研究对老虎沟冰川流域的硅酸盐岩风化以及黄铁矿氧化对气候变化的响应进行了评估，丰富了青藏高原流域风化和碳循环理论研究。

S45-P-11S

基于 CIA 等风化指标探究全新世以来东地中海碎屑沉积物的物源与风化控制

姚胜男[1*]，吴家望[1]，刘志飞[2]，Amalia FILIPPIDI[3]，Gert J. DE LANGE[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 乌特勒支大学，地球科学系

* yaoshn3@mail2.sysu.edu.cn

大陆硅酸盐岩风化在调节大气二氧化碳浓度和全球气候变化中起关键作用。气候与风化之间的关系在地质证据及陆地、河流和海洋地球化学观测中得到证实。但二者的联系还受到时间尺度不匹配和物质搬运等因素的制约，使得人们对此争论不休。海洋沉积物成分既受大陆风化作用影响，也与陆

地物质来源和运输有关。因此海洋沉积物成为研究物源与风化控制的理想材料。

本研究围绕全新世湿润期选取了具有可靠年龄模式的沉积物岩芯，基于东地中海19 个站位，选取了全新世以来 6 个关键的时间片段并针对陆源碎屑组分开展元素地球化学分析。通过计算以化学蚀变指数（CIA）为代表的多种风化指标，开展整个盆地尺度上的对比研究，并重建其在不同干湿气候背景下的时空变化。

研究发现，东地中海海盆 CIA 值呈现南高北低、东高西低的分布。东部近尼罗河口的Levantine盆地具有较高CIA值（~78–84），中部 Ionian 海盆的 CIA 位于中间（~75–80），北部沿岸地区 CIA 值较低（~69–78）。全新世湿润期（~11–6 ka）东地中海整体 CIA 值较其前后时期升高，伴随着主要河流输入影响范围的扩大；具有较低 CIA 特征值（源区平均值 73）的北部沿岸河流从 35.67°N 向南扩大到 35.28°N，具有较高 CIA 值（源区平均值 82）的尼罗河从 31.52°E 向西扩大到 24.55°E。在远离河流控制的地区，CIA 值在全新世湿润期之前比之后要高，可能与北非风尘的组成和贡献变化有关。综合结果表明：以 CIA 为代表的风化指标在时空上响应了全新世以来地中海陆源碎屑输入的变化。

S45-P-12

土壤与其成土母岩物质组分的关联与变化特征——低山丘陵区大陆风化过程的地质记录

陈树旺 [1*]，安东尼娜 A 朱可夫斯卡娅 [2]

1 中国地质调查局沈阳地质调查中心

2 俄罗斯自然资源部 阿穆尔联邦地质企业

* sycswgeology@163.com

从地质大循环的角度看，土壤是地球表层风化过程中未固结成岩的岩石，是气候、生物、母质、地形和成土时间等诸多因素综合作用的产物。本文选择温带季风型大陆性气候的东北低山丘陵区棕壤为研究对象，依据代表性矿物与元素组合特征，系统分析不同地质背景下（花岗岩、闪长岩、安山岩、辉长岩、玄武岩、碳酸盐岩、碎屑沉积岩类棕）粽壤与其成土母岩的关联性与变化特征，探讨大陆风化过程物质循环的有关地质记录。区域性野外地质调查和取样分析表明：一方面，低山丘陵区的棕壤在很大程度上继承了其成土母岩物质组分特征，除碳酸盐岩类成土母岩相关的粽壤外，棕壤与其成土母岩的矿物组分以及主量元素、微量元素和稀土元素具有很大的相似性；如，即中酸性岩浆岩类演化的棕壤常具较多的石英、长石类矿物和高含量的 Si、K、Na 元素以及低含量的 Fe、Mg 元素；而基性、超基性岩浆岩类演化的棕壤具较少的石英、长石类矿物和低含量 Si、K、Na 元素以及高含量的 Fe、Mg 元素。另一方面，典型剖面垂向对比研究表明，风化作用与成土过程使得所有类型的棕壤与其成土母岩发生了显著物质组分变化：一是石英和粘土矿物含量增加，长石和深色矿物含量明显减少；二是 K、Na、Ca 元素减少，Al、Ti 元素含量相对稳定；三是除基性岩、中基性岩浆岩类成土母岩相关的棕壤外，大多数棕壤的微量元素含量高于其成土母岩；四是棕壤与碳酸盐岩类成土母岩的地球化学特征变化最为明显。此外，作者还探讨了东北典型黑土区的成土母质与下伏岩石的关联性特征。笔者希望有关棕壤及其成土母岩的地球化学特征研究，对于了解土壤成因和多样性的地质背景，以及区域土壤分类和耕作规划具有一定参考意义。

S45-P-13S

铁氧化物活性的暴露年龄控制

欧阳盛辉 [1]，李乐 [1]，李高军 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* ligaojun@nju.edu.cn

铁在全球生物地球化学中的重要性很大程度上受控于无定形或弱结晶态的纳米颗粒不稳定铁氧化物。室内实验表明，不稳定铁氧化物向针铁矿或赤铁矿等稳定铁氧化物的转变发生在小时至年纪尺度，这与自然界广泛分布的不稳定铁氧化物相悖。因此我们调查了地貌尺度的地表沉积物，发现基于 U 同位素破碎年龄的一级反应动力学能很好地描述不稳定铁氧化物的结晶过程；得到的结晶动力学常数相比于室内实验低了至少四个数量级，这可能是自然界中水的可利用性、有机和无机抑制体导致的。这个发现让我们对快速剥蚀地区变得异常重视，因为这些地区通过产生大量新鲜的高活性铁氧化物，极大地影响了磷元素可利用性、地下水砷污染和有机碳与黄铁矿的埋藏。

S46-O-1

碳酸盐泵演变及其在海洋碳循环中的作用

刘传联[1*]，金晓波[1]，马瑞罡[1]，周辛全[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liucl@tongji.edu.cn

生物泵、碳酸盐泵与微型生物碳泵是海洋储碳的三种主要机制。这三种机制中，生物泵与微型生物碳泵研究较多，而碳酸盐泵相对研究程度低。碳酸盐泵指的是生物利用海水中的溶解无机碳（DIC）形成颗粒无机碳（PIC），主要由海洋中的钙化生物主导，化学方程式为Ca2++2HCO3-→CaCO3+CO2。由于该过程释放 CO2，属于碳“源”，因此也被称为“碳酸盐反向泵”。正是由于它是二氧化碳的源，所以在重视碳负排放的今天，这一“反面角色”显得有点另类。但无论如何碳酸盐泵的演化与生物泵与微型生物碳泵一道共同影响着海洋的生物储碳过程。颗石藻是理解碳酸盐泵演化及在海洋碳循环中作用的好材料。颗石藻是海洋钙质单细胞浮游藻类，不仅是生物碳泵，更是碳酸盐泵的重要组成部分：在现代热带海洋中颗石藻钙质外壳（颗石）贡献了约 50%的深海碳酸盐沉积，在北太平洋则可能贡献了高达 90%的碳酸盐生产；而且在一定条件下，颗石藻有机碳（Corg）和碳酸钙（CaCO3）生产可能存在显著“解耦”。研究表明，现代大洋颗石藻大量勃发会增强海洋碳酸盐泵的作用，进而升高海水二氧化碳浓度。更新世冰期-间冰期气候变化中，颗石藻钙化能力会随 CO2 升高而增强，造成碳酸盐泵增强；而增强的碳酸盐泵又可能造成了大气 CO2 升高约 100 ppm。通过“箱式模型”计算，也发现颗石藻钙化作用的增加会促进海洋碳酸盐泵，进而增加间冰期开端的大气 CO2 浓度。颗石藻的光合作用和钙化作用（即生物泵和碳酸盐泵）功能又可以转换，主要受控于海水 PIC/POC 比值，而基于颗石球在偏光镜下的几何形态可以定量估算海水 PIC/POC 比值。因此从颗石藻演化角度可以理解海洋碳酸盐泵的演化并进一步探讨其在海洋碳循环中的作用。

S46-O-2

铁铝假说理论基础及海洋铝施肥负排放技术探讨

周林滨[1*]，刘凤杰[4]，谭烨辉[1]，Claude Fortin[2]，黄良民[1]，Peter G.C. Campbell[2]，Martha Gledhill[3]，Eric. P. Achterberg[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室

2 Institut national de la recherche scientifique,Centre Eau Terre Environnement, Québec, Canada

3 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany,Marine Biogeochemistry Division

4 University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom,School of Environmental Sciences

* zhoulb@scsio.ac.cn

温室气体排放引起的全球变暖正威胁着人类社会的方方面面。为了实现将全球变

暖控制在比工业革命前水平高 2℃以内的目标，不仅需要减少二氧化碳排放，还需要积极部署负排放（二氧化碳去除）技术。海洋是最大的活跃碳库，每年从大气中吸收约 100 亿吨二氧化碳，具有巨大的负排放潜力。本报告将介绍铝对海洋碳汇的影响机制、以及铁铝假说的理论基础，并探讨铝施肥成为海洋负排放技术的可能性。实验室和现场研究表明，铝添加可能促进溶解有机磷、铁的利用，并促进生物固氮，从而增强海洋硅藻和固氮蓝藻等海洋浮游植物的生长固碳。此外，铝还可以降低有机碳的分解速率，从而有助于生源碳输出到海洋深处并在那里长期封存。初步估算，添加大洋自然环境水平的铝可使输出到 1000 m 深度的硅藻颗粒有机碳增加 1 ~ 3 个数量级。另外，在地质时间尺度上，海洋铝输入可能影响气候变化。有研究表明，冰期较高的沙尘沉降可能使全球上层海洋的溶解铝含量增加 20 ~ 200 nM。南极冰芯记录表明，过去 80 万年寒冷冰期气候的出现不仅与铁输入，还与沙尘铝输入密切相关。因此，基于铁假说，我们提出铁铝假说，强调铝在海洋固碳、碳输出和碳封存及气候变化中的重要性。综上所述，海洋铝施肥可能是一种潜在高效的负排放策略，可以单独使用，也可以与海洋铁施肥、人工上升流、碱度增强等负排放技术一起使用，以服务碳中和目标，缓解全球变暖。

S46-O-3

大型海藻负排放理论技术与应用展望

杨宇峰 [1*]，邹立功 [1]，王庆 [1]，欧林坚 [1]，沈洪涛 [2]，焦念志 [3]

1 暨南大学，生命科学技术学院

2 暨南大学，管理学院

3 厦门大学，碳中和创新研究中心

* tyyf@jnu.edu.cn

大型海藻作为海洋中重要的初级生产者在碳捕获和碳封存中发挥重要作用，是应用生物地球工程方法实现海洋负排放和碳中和的有效途径。大型海藻具有高效的固碳增汇能力和广袤的可栽培区域，通过生物碳泵和微生物碳泵的协同作用，有望成为海水养殖负排放的排头兵。基于大型海藻生物修复技术、资源养护技术和生态增养殖技术，可增加养殖和野生大型海藻资源、发展海洋碳汇渔业，改善海区生境和养护渔业资源；基于大型海藻绿色饲料技术，可减少经济水产动物二氧化碳排放和畜牧动物甲烷排放。大型海藻规模化栽培和资源绿色低碳利用能够为海水渔业高质量发展和海洋生态安全做出重要贡献。目前，应重点开展大型海藻生态系统微型生物碳泵与负排放理论研究和碳汇技术研发，编研基于全生命周期的大型海藻碳汇核算标准和方法学。发展大型海藻负排放理论和技术有利于践行国家双碳战略，对于实现我国基于陆海统筹的海水渔业和畜牧业高质量发展和联合国可持续发展目标具有重要科学意义和应用价值。

S46-O-4

近海贝-藻蓝碳偶联效应机制

何培民 [1*]，张建恒 [1]，沈亦非 [1]，蔡璐伊 [1]，段元亮 [1]，常佳楠 [1]

1 上海海洋大学，海洋生态与环境学院

* pmhe@shou.edu.cn

我国大型海藻和海洋贝类养殖产量长期位居世界第一，为我国近海生态修复和蓝碳做出了重大贡献。特别是海洋贝类通过钙化作用可以大量固定海水中的无机碳，并形成永久碳汇。2021 年我国海洋贝类养殖可以通过贝类钙化作用直接产生永久碳汇高达 100 万 tC 以上。但同时贝类钙化作用和呼吸作用也会向海水中释放大量 CO_2，为此需要大型海藻与贝类养殖相结合，充分利用大型海藻高效的光合作用将贝类释放的 CO_2 捕捉并同化，从而形成一个完整的贝-藻蓝碳泵，将海水中的 CO_2 和碳酸盐永久固定，移

出海洋碳循环。本研究将重点探讨贝类钙化作用及呼吸作用与大型海藻光合作用之间的偶联机制及近海贝-藻蓝碳泵生态效应，以提升我国近海蓝碳水平。

S46-O-5

“矿物增效的生物泵”策略及其研究进展

刘冬[1,2*]，袁鹏[3]，李梦圆[1,2]，李皓钰[1,2]，沈宇果[1,2]，余荣达[1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，中国科学院科学与成矿学重点实验室

2 中国科学院深地科学卓越中心

3 广东工业大学，环境科学与工程学院

* liudong@gig.ac.cn

海洋施铁肥（Ocean Iron Fertilization；OIF）地球工程尝试通过增加对高营养盐、低叶绿素海域的铁营养供给，促进硅藻等勃发，增强其生物泵作用，从而达到大气降碳的目的。然而，硅藻爆发后颗粒有机碳垂向输出通量较低，生物泵效应无显著增强。硅藻壳体的溶解使其“压舱”效用减弱/消失，是上述问题产生的关键。我们前期研究发现，硅藻壳体富铝可使其溶解度下降。而粘土矿物受硅藻的生物作用，可释放铝为硅藻吸收并进入其壳体；同时粘土矿物还可使硅藻颗粒发生团聚，有利于其沉降。上述两种作用均可减少颗粒有机碳在沉降过程中的损失。因此，在 OIF 实验中添加粘土矿物等矿物微粉，可促成“矿物增效的生物泵 （Mineral-enhanced Biological Pump；MeBP）”效应。我们近期发现，中心目和羽纹目的硅藻，对于粘土矿物的作用存在差异，这些差异主要取决于硅藻对硅的捕获能力及胞外物的特征。另外，不同类型粘土矿物对硅藻产生不同的团聚效果，这主要取决于粘土矿物的结构和表面性质。上述进展对于未来 MeBP 的具体实施提供了理论依据和数据支持。

S46-O-6

卫星遥感追溯全球近海藻华时空动态过程

冯炼[1*]

1 南方科技大学

* fengl@sustech.edu.cn

浮游植物藻华暴发会危害海洋生态系统，例如海水水质恶化、水体缺氧、鱼类死亡，甚至能影响人类健康。然而，2021 年联合国教科文组织政府间海洋学委员会（UNESCO-IOC）的报告指出，虽然现有数据表明海洋赤潮的暴发次数呈增加趋势，但这与历史观测频率不一致—特别是近年观测频次的显著增加有关。本报告主要阐述如何通过利用卫星遥感长时序、周期性、大范围等观测优势，弥补目前对全球海岸带藻华变化趋势的认知缺陷。研究通过构建基于叶绿素荧光与 CIE 颜色空间的藻华遥感自动分类算法，并利用 2003-2020 年间 76 万景日尺度 MODIS 卫星遥感数据，实现了全球海岸带藻华的一致性动态监测。在研究覆盖的 153 个邻海国家中，126 个国家的海岸带区域曾暴发过藻华。全球藻华影响海域总面积达 3147 万 km^2，其中欧洲与北美洲占比最大，分别为 952 万 km^2（30.3%）和 678 万 km^2（21.5%）。2003 到 2020 年间，海岸带藻华全球影响面积与发生频率分别增加了 13.2%与 59.2%。

S46-P-1S

从橄榄石溶解看海洋碳负排放

王一雯[1]，焦念志[1]，郑强[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* zhengqiang@xmu.edu.cn

增碱是海洋碳负排放工程的一个重要途径。橄榄石因含有高浓度碱土金属阳离子和相对较高的溶解储碳效率成为颗粒碱施用的首选硅酸盐矿物。科学准确地探究和阐述橄榄石溶解引发的海水储碳机制及生态后效是掌握海洋增碱理论的关键。研究发现，3 微米及以上粒径的橄榄石溶解储碳效率较低，橄榄石溶解降低了溶液 pCO_2 是激发大气中 CO_2 进入海水的直接原因，增加的 DIC 补充了溶液中新增的碱土金属阳离子（镁、钙）和溶解硅之间的电荷浓度差并以总碱度增加的形式体现是海水长期储碳的主要机制，施用橄榄石有缓解海洋酸化、修复海洋生态的潜力。考虑到天然海水包含的镁钙离子、颗粒物和溶解有机质等可能引发的钙化反应和缓冲效应，启动橄榄石增碱储碳工程仍需更多逐一添加控制变量的室内实验和原位模拟进行预测。

S46-P-2S

近海缺氧下减弱的海源有机物激发效应与有机碳的埋藏

陈泉睿 [1,2]，董昌杰 [1]，汤凯 [1,2*]，焦念志 [1,2*]

1 厦门大学，海洋与地球学院 近海海洋环境国家重点实验室

2 福建省海洋碳汇重点实验室，碳中和创新研究中心

* tangkai@xmu.edu.cn

* jiao@xmu.edu.cn

人类活动使得河口-近岸海域低氧区不断扩大，近岸底层水体的低氧现象也是水体富营养化的常伴效应，这些生态现象改变了有机碳循环特征。海洋中氧气的消耗与异养微生物对有机碳物利用及底物供应有关，通过有机碳的平流和扩散运输、生物泵中颗粒物的重力沉降、生物群的主动运输与垂直迁移、以及微型生物碳泵（MCP）的转化使得不同有机质迁移进低氧区或贡献于低氧区的发生。本研究对长江口底层低氧水体进行原位添加复合的藻源溶解有机质培养后，跟踪了溶解有机碳组成与微生物之间的变化关系，解析了有机物中碳氮硫组分在缺氧下的消耗特征。结果表明缺氧水体中藻源刺激下海源激发效应减弱，微生物对溶解有机碳（DOC）、氮(DON)、硫(DOS)之间的利用效率及群落组成变化反应具有显著差异。DOC 的短时(24h)利用效率降低约 250%，但是溶解有机碳最终的留存量接近（分别保留了添加总量的 37.53%与 34.11%），虽然 DON 与 DOS 在缺氧下矿化速率同样受限，但是 DON 组分几乎被利用完全（88.01%与 96.76%），DOS 组分则得到更多保留。底层水体中的兼性厌氧微生物群落勃发，有色溶解有机质中类腐殖质和类蛋白组分以及有机物分子组成同样揭示出缺氧下机会主义微生物促进的溶解有机碳的消耗贡献不同于耗氧条件，同时藻源 DOC 贡献了重新聚集的 POC 组成，并且在缺氧下维持了相对更高的含量。缺氧下改变的 MCP 作用结合减弱的激发效应将促使更多有机物埋藏或转移至沉积物中，为河口-近岸底部缺氧贡献的碳汇过程提供新的见解。

S46-P-3

陆源有机碳向海洋运输过程中会发生何种改变？从分子组成和极性层面重新审视这一经典问题

易沅壁 [1]，何晨 [2]，史权 [2]，何丁 [1,3*]

1 香港科技大学，海洋科学系

2 中国石油大学（北京），重质油国家重点实验室

3 香港城市大学，海洋污染国家重点实验室

* yuanbiyi@ust.hk

天然溶解有机质（DOM）是一种高度复杂的混合物，由于其独特的元素组成和化合物类别，它在水生系统中会经历各种反应过程，并组成了地球上最大的活性碳库之一。

陆海物质传输一直备受关注，近年来的研究表明，超高分辨率质谱手段发现陆海水生系统中部分 DOM 分子广泛存在于各类水生系统中，并被认为可能是海洋中惰性有机碳（RDOC）的重要来源之一。然而，自然界中的有机质分子通常包含着丰富的同分异构体结构，超高分辨率质谱如傅立叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR MS）和电场轨道阱质谱（Orbitrap）通常只能够提供 DOM 中分子的丰度信息而不能获得其结构信息。因此，尽管陆海系统中具有可观的共存分子，但是由于其分子结构的复杂性，海洋中 RDOC 的陆源输入贡献仍然具有争议。在本研究中，我们使用液相色谱（LC）与 Orbitrap 串联联用，对长江口淡水与海水端 DOM 分子进行分析测定，并与 FT-ICR MS 结果进行对比，以期获得不同极性 DOM 分子在陆海传输过程中的异同。结果显示，FT-ICR MS 结果中强度占比 80%以上 DOM 分子都能够在 LC-Orbitrap 中高极性端分子找到，而强度占比约 50%的分子则在低极性端分子中被找到，表明 LC-Orbitrap 对 DOM 分子组成多样性表征的强大能力。此外，我们发现在被认为在陆海传输过程中稳定传输的 1900 个分子中，只有 789 个分子能够稳定存在，而 603 和 508 个分子在传输过程中将会发生极性化和去极性化的改变，因此可能不能够代表陆源 DOM 的输入。通过将极性化和去极性化分子映射到中国近海分子 DOM 分子指纹数据库中，发现陆海传输过程中去极性化过程可能是陆海传输过程中的主导影响，表明以往的陆海 DOM 传输通量可能被高估。因此，近海水生系统中的碳去极性化过程需要得到进一步的重视，并且通过准确量化近海水生系统中的碳去极性化过程可以有助于评估近海水生系统中的碳源汇问题以及更好地为海洋负排放理论服务。

S46-P-4S

DNA 修复基因是石珊瑚祖先在强紫外线下幸存的关键

吴田振 [1,4]，类彦立 [1,3,4*]，翦知湣 [2*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋生物分类与系统演化实验室，青岛市海洋生物多样性与保护重点实验室

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

4 中国科学院大学，海洋学院

* leiyanli@qdio.ac.cn

* jian@tongji.edu.cn

目前全球环境恶化已严重威胁到海洋生物多样性，珊瑚礁生态系统的建设者石珊瑚能否幸存下来仍是一个谜。强紫外线辐射导致 DNA 损伤是 359 百万年前（Ma）泥盆纪/石炭纪（D/C）边界发生大灭绝的一个原因。然而，在 D/C 大灭绝中幸存下来的石珊瑚祖先是如何抵御强紫外线辐射而避免灭亡的原因尚不清楚。因此我们期望通过对石珊瑚祖先在泥盆纪末期的紫外线耐受机制的解析来增强对当下石珊瑚命运的理解。在本研究中，利用 1463 个直系同源基因进行分子钟分析表明石珊瑚的共同祖先起源于 384.24Ma，早于 D/C 大灭绝时期，表明石珊瑚祖先确实经历了强紫外线辐射事件。进一步，在石珊瑚祖先节点鉴定了 21 个加速进化基因和 49 个正选择基因，这些基因显著富集于有丝分裂细胞周期、胞内蛋白转运、DNA 修复与 DNA 合成等生物过程。有趣的是，近一半受到选择的基因在 DNA 损伤响应通路中显著富集，包括有丝分裂细胞周期、DNA 修复以及细胞对 DNA 损伤刺激响应等。例如，具有 DNA 合成与修复功能的 *POLE* 基因在石珊瑚祖先受到正选择作用。因此，我们推测这些基因的选择可能促进了石珊瑚祖先对遗传物质损伤的检测和修复能力的强化，缓解了强紫外线对遗传物质的损伤。本研究首次表明泥盆纪末期的石珊瑚祖先在分子水平通过保证遗传物质的准确传递来抵御强紫外线辐射。对目前受胁迫的海洋生物来说，在基因组层面适应变化的海洋环境仍是一个挑战。

S46-P-5

东海泥质区沉积有机碳来源估算及其时空变化的新制约

李艳 [1*]，林佳 [2]，周芊至 [2]，王江海 [2]

1 山东大学，海洋研究院

2 中山大学，海洋科学学院

* liyan890804@sdu.edu.cn

大河影响下的边缘海在全球碳循环过程中扮演着重要角色。受自然过程和人类活动的影响，边缘海沉积有机碳的来源和时空变化十分复杂。然而，目前对边缘海沉积有机碳的来源及其时空变化的认识仍不清楚，尤其是如何准确定量评估陆源有机碳的输入一直存在争议。沉积柱保存着连续的有机碳埋藏记录，是重建沉积有机碳的来源和时空变化及其对自然过程和人类活动响应的重要载体。因而，建立陆源有机碳输入和初级生产力的演化信息，探索其对人类活动和气候变化的响应机制，可为海洋负排放提供理论依据。东海泥质区作为我国边缘海重要的碳汇区域之一，是研究沉积有机碳来源构成及其时空变化差异的理想场所。本研究综合分析了东海泥质区多根代表性沉积柱的最新地球化学证据和文献数据。结果显示所选取沉积柱的 TOC 含量、$\delta^{13}C$ 值、泥质含量、平均粒径和平均沉积速率呈现出显著的空间差异性。总有机碳法常用于海洋沉积物中海源和陆源有机碳的二端元模型计算。通过对比，我们发现基于不同端元值所估算的海源和陆源有机碳输入比值结果存在较大偏差（高达 20%）。此外，对沉积有机碳的实测 $\delta^{13}C$ 值进行 Suess effect 校正后，可观察到陆源有机碳的输入比值及其时间变化趋势呈现巨大差异。其中基于实测的 $\delta^{13}C$ 值所估算的陆源有机碳输入比值的变化范围和平均值都明显高于校正后的 $\delta^{13}C$ 值所估算的结果。此外，基于校正后的 $\delta^{13}C$ 值所估算的结果在各沉积柱中呈现相似的时间变化特征，即自 1940 年后陆源有机碳的贡献呈现逐渐减少的趋势，而海源有机碳的输入则呈现逐渐增加的趋势，并与代表性沉积柱的生物标志物（TMBR 指标）结果一致。另外，陆源有机碳输入的降低与大通站输沙量的逐年降低，以及海源有机碳输入增加与中国人口和营养元素含量不断增加的变化趋势的一致性，进一步表明校正后估算的沉积有机碳的来源和时空变化能够响应自然过程与人类活动的变化。

S47-O-1

趋磁细菌利用地磁场驱动元素生物地球化学循环新模式

李金华 [1*]，潘永信 [1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，地球与行星物理重点实验室

* lijinhua@mail.iggcas.ac.cn

趋磁细菌可能是最早出现能感知地磁场和生物矿化的生命形式是生物矿化、生物地磁学和古地磁学研究的理想模式系统。近年来，生物地磁学研究团队通过跨学科交叉研究，将电子显微学和同步辐射技术结合，从单细胞到原子尺度系统研究了趋磁细菌亚细胞结构和化学成分，发现除了磁小体，不同类型趋磁细菌还能在细胞内形成亚微米尺寸的碳酸钙、磷酸钙、磷酸铁，或二氧化硅等矿物，大多数趋磁细菌还能在细胞内生成单质硫（S^0）颗粒和用于暂时贮存硝酸盐的液泡结构，且二者存在代谢上的偶联关系。将岩石磁学、透射电镜三维重构和电子全息技术相结合，从细胞尺度到单颗粒水平研究了趋磁细菌的磁学性质，发现磁铁矿晶体的形状各向异性能和链内相互作用互相加持，有效约束链内每个颗粒的磁化方向，使其一致并与链平行，从而有利于趋磁细菌灵敏识别和快速响应地磁场。结合趋磁细菌集中分布在水体或沉积物的有氧-缺氧过渡带（OATZ）附近的实验观测，提出趋磁细菌主动利用地磁场进行代谢活动的新模式：地磁场磁感线提供一个双向轨道，使趋磁细菌细胞在 OATZ 上部的有氧/微氧环境与下

部的缺氧环境之间来回穿梭，从中获取细胞生长和磁小体合成所需的物质，并将氧化剂（如 NO_3^-）与还原剂（如 HS^-）在有氧/微氧与缺氧区域双向运送，打破二者的空间隔离，影响氧化-还原反应进程，保障细胞产能；通过上下穿梭，趋磁细菌还可以完成 Fe^{2+}和 Fe^{3+}的大量吸收及其氧化和还原，合成混合价态的纳米尺寸的亚铁磁性颗粒，为细胞利用地磁场提供可能。

将微生物学与基因组预测分析结合，对比了近百种趋磁细菌和硫细菌的代谢途径和生理生化基础，发现趋磁细菌具有独特且高效的 Fe^{2+}/Fe^{3+}吸收和磁铁矿合成途径，同时具备“硝酸盐还原、硫氧化、硫酸盐还原、多聚偏磷酸合成和降解、化能自养（CO_2 固定）和异养（有机质氧化）”等多样化的代谢潜能。根据一系列的研究，我们提出了一个“趋磁细菌参与生物地球化学循环及微生物地质埋藏”的工作模型：在地磁场的导向作用下，趋磁细菌在水体 OATZ 环境中上下高效穿梭，并通过生物矿化作用和生理代谢活动，将 OATZ 底部的厌氧环境与其上部的有氧或微氧环境联动起来，从而驱动 C、N、P、S、Fe、Si 等元素的生物地球化学循环，并参与一些矿物的生物形成或转化及其地质埋藏。因此，研究趋磁细菌为认识地球早期“地磁场-环境-生命”协同演化提供了一个新的途径。

S47-O-2

从地质时期来看海洋铁施肥促进生物碳泵和气候变化关键机制

姜海波 [1*]

1 宁波大学，海洋学院

* jianghaibo@nbu.edu.cn

“假如你给我一船铁，我能还你一个冰河世纪”，这是美国科学家 John Martin 著名的海洋铁假说。海洋铁施肥被认为是应对气候变化和实现碳中和的重要地球工程策略。然而经历了 13 次海洋中尺度铁施肥实验，铁施肥促进海洋浮游植物生物量已经被广泛证实，但是铁施肥对深海碳汇和生物碳泵的作用仍然倍受质疑。关键原因是科学界对海洋铁和碳循环相互作用的基础科学问题认识不足。然而在地质时期，有很多时期的气候变化与生物碳泵和海洋铁可利用性之间具有相关性。本报告结合地质时期天然铁施肥、浮游植物生物量、地球气候变化之间的关系，阐释地质时期海洋中天然铁施肥对气候变化的影响。同时结合浮游植物参与的生物碳泵和微生物碳泵过程和机制，对浮游植物介导铁和碳循环的耦合过程和机制进行的探讨和阐述，为将来通过海洋施肥促进海洋碳中和提供科学建议。

S47-O-3

埃迪卡拉纪-寒武纪转折期海洋初级生产力结构重组及其环境与生态效应

王瑞敏 [1]，左浩悦 [2]，黄天正 [1]，郎咸国 [3]，沈冰 [1*]

1 北京大学地球与空间科学学院，北京，100871

2 北京大学物理学院，北京，100871

3 成都理工大学沉积地质研究院，成都，610059

* bingshen@pku.edu.cn

新元古代末期埃迪卡拉纪-寒武纪之交动物（后生生物）演化迅速。前人通过对 Shuram 碳同位素负漂移事件（SE 事件）研究表明，后生生物快速演化可能与大气和海洋的进一步氧化有关。本研究拟从生物与环境的相互作用角度入手，对 SE 事件典型剖面的黄铁矿含量及其硫同位素（$\delta^{34}S_{py}$）进行了综合分析，结果表明 SE 事件发生时期，海水中到达水岩界面的有机物含量显著较低。而古生物学研究表明在 SE 事件出现之前存在一次大范围的真核浮游藻类的锐减事件。我们认为正是由于这次真核浮游藻类

的大幅减少，海洋初级生产力由真核生物向原核生物主导的转化导致了有机物在表层海水中大量降解，到达水岩界面有机物含量变低，在海水中形成较大的碳同位素梯度，因此出现地质历史上最大的一次碳同位素负漂移。这一新假说与研究剖面 SE 事件层中低 TOC 含量，低黄铁矿含量[pyrite]，低 Fe_{carb}，低 Mn_{carb} 和 $\delta^{15}N$ 正漂移的数据观察相一致。更进一步，在 SE 事件发生期间，原核生物的大量降解改变了生物泵和微生物泵的作用范围，进而改变了海水中浅层水体和深部水体的氧气和营养物质（如磷元素）的分布，使得浅层水体中营养元素的含量显著提高，促进了底栖生产力（微生物席）的繁盛。海洋初级生产力从浮游生物向底栖生物的转变导致了 Shuram 碳同位素负漂移事件的结束，同时微生物席的繁盛为后生动物的出现提供了很好的繁衍场所，成为新元古代末期动物迅速演化的原因。

S47-O-4

深古菌的物种代谢分化及其与早期地球表层环境的共演化历史

侯佳林[1]，王寅炤[1*]，朱鹏斐[2]，杨娜[2]，梁乐文[1]，余甜甜[1]，牛明杨[1]，Kurt Konhauser[4]，Ben J. Woodcroft[5]，王风平[1,2,3*]

1 上海交通大学，生命科学技术学院

2 上海交通大学，海洋学院

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

4 University of Alberta,Department of Earth & Atmospheric Sciences

5 Queensland University of Technology (QUT),Centre for Microbiome Research, School of Biomedical Sciences

* wyz@sjtu.edu.cn

* fengpingw@sjtu.edu.cn

作为现代地球环境中分布最广丰度最高的微生物类群之一，深古菌在全球碳循环过程中发挥着十分重要作用。然而我们对其起源、演化以及在地球表层环境中产生的生态效应仍所知甚少。在本研究中，我们收集整理了迄今为止最完整的深古菌基因组（MAG）数据集，并利用 GTDB 物种分类方法将其划分为8个目水平及其分别对应的科和属分类单元，同时将之前常用的亚群分类体系与新提出的分类系统基于 16S rRNA 基因的系统发育分析关系进行相互关联。进一步的基因组代谢分析显示不同目水平的深古菌类群具有明显差异的碳代谢特征，其中包括甲基化合物代谢和还原性甘氨酸固碳等多种一碳化合物代谢途径，说明深古菌在一碳化合物的循环过程中发挥着之前被忽视的重要作用。分子钟定年结果表明深古菌的共同祖先起源于古太古代，随后在中太古代、新太古代以及古元古代分别发生了三次大规模物种分化事件，很可能受到同期大陆露出、扩张以及全球海底火山喷发事件的驱动和影响。此外，定年结果还显示一支具有木质素降解能力的深古菌类群起源于大约 3 亿年前，很可能在石炭纪末期全球范围碳埋藏速率骤降的过程中发挥重要作用。综上所述，本研究证明了深古菌的演化不仅在地质时间尺度上很可能受到同期重大地质事件的驱动，同时也会对早期地球表层环境产生重大且深远的影响。

S47-O-5

病毒在深海碳氮循环中的作用探究

蹇华哗[1,2,3*]

1 上海交通大学，生命科学技术学院

2 上海交通大学，微生物代谢国家重点实验室

3 上海交通大学，深部生命国际研究中心

* jiandy@sjtu.edu.cn

病毒是地球上丰度最高的生物类群，也是全球生物地球化学循环在纳米尺度上的

推动者。深海是地球上最大的生态系统，其中包含着大量的未知病毒。水深＞6000 m 的深渊区是海洋中最深的区域，也是目前地球上了解最少的环境之一。深渊海沟在全球碳循环和碳封存过程中扮演着独特的角色，其环境中极少的易降解碳氮源与活跃的微生物活动存在矛盾，我们据此提出了病毒可能参与深海中碳氮元素循环的科学假说。在前期的研究中，我们构建了目前最大的海沟病毒基因组数据库 OTVGD，包含 12710 个非冗余的病毒基因组。系统分析发现：海沟中近 80%的病毒属于未知分类， 在不同深度的海水和沉积物中呈现显著不同的分布特征，它们可以侵染重要的功能微生物如 Thaumarchaeota 和 Oleibacter；深渊内部及海沟之间可能存在广泛的病毒群体交流，海沟病毒表现出明显的生态位依赖性分布模式和基因组特征；与表层海洋相比，深渊微生物更易被温和型病毒侵染；深渊病毒基因组中存在多种辅助代谢基因（AMG），对一种新的病毒编码的 D-氨基酸氧化酶进行了进化分析和活性验证，推测它们在难降解有机物的利用中发挥了重要作用。在近期的工作中，我们构建了海洋温和型病毒基因组数据集 (MTVGD)。分析表明，温和型病毒和溶原菌在海洋，特别是在深海中普遍存在；通过构建病毒-宿主相互作用网络，我们发现了多个具有潜在生态重要性的病毒类群；海洋温和型病毒编码了多种 AMG，特别是大量与碳水化合物代谢相关的基因；通过实验证实了一个海洋病毒编码的 AMG 具有多种糖基水解酶的活性，提示其可能参与了海洋中的多糖类物质的降解过程；对一类代表性的深海温和型病毒研究表明其在深海环境条件下非常活跃，且对深海细菌宿主的碳氮硫代谢相关基因的表达有显著影响。综合以上研究结果表明深海病毒在重塑微生物宿主代谢和参与生物地球化学循环中发挥着重要作用。

S47-O-6

始新世-渐新世钙质超微浮游植物形态演化的模式与驱动机制

马瑞罡 [1]，刘传联 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liucl@tongji.edu.cn

海洋单细胞浮游藻类是海洋生物碳泵的重要贡献者。钙质超微浮游植物——颗石藻因具有钙质外壳，兼具有机碳泵和碳酸盐反响泵功能，从晚三叠纪诞生以来，其细胞大小的演化对生物碳泵的地质演变产生了复杂的影响。因此，研究颗石藻形态演化的古海洋、古环境驱动机制，有助于预测未来海洋生物碳泵的变化。在新近纪的化石记录中，不同学者发现了颗石藻形态演化的 M-O 旋回——即大型颗石藻在绝灭前会经历属种丰度逐渐降低，同时细胞不断变大直至在其形态最大时绝灭的过程。在驱动机制上，基于现生种的分子钟研究表明，这种 M-O 旋回反映的是种间生物演替，且可能与地球轨道周期控制的海水温度有关；而在深时研究中，颗石藻的形态演化则多与长尺度的 CO_2 变化相关联。目前这两种解释在不同时间尺度上都有不足，且无法统一。本研究在全大洋选取了 3 个国际大洋发现计划（IODP）站位的海洋沉积物柱状样，在每个样品中随机测量 100 个颗石化石，反映从晚中始新世到晚渐新世（~40-23 Ma）颗石藻的细胞大小演化，分别在构造和轨道尺度重建其形态演化过程。在构造尺度，本研究发现了与新近纪 M-O 旋回相似的演化模式：即大型颗石藻 *R. umbilicus* 从晚始新世开始形态逐渐变大，丰度降低，在 32 Ma 左右绝灭，造成颗石藻群落的细胞从最大~20 μm 降低到不足 10 μm。而当大型颗石藻绝灭后，颗石碳酸钙的 Sr/Ca 却快速升高，指示颗石藻整体的生长或钙化速率的升高；在轨道尺度上，本研究发现南大西洋的颗石藻细胞的大小有明显的斜率周期变化，推测与冰盖控制的经圈翻

转流的强度变化有关。结合构造尺度和轨道尺度的研究，从营养盐供给的角度，本文提出一种模式假说来解释颗石藻、及其他单细胞浮游藻类演化的驱动机制：单细胞藻类的细胞较小时，细胞的表面积/体积比值较大，在营养盐吸收方面具有生态优势。当海水中营养盐含量升高时，这些小型属种快速生长，从而挤占大型属种的生态位；而细胞较大的藻类在生态压力下倾向于向更大的型态演化。但随着环境的持续变化，海水营养盐的持续升高，这些属种最终绝灭，群落由相对小型的属种主导，且生长速率加快。该模式结合了颗石藻的微进化和宏观进化的驱动机制解释，对预测未来气候变化背景下颗石藻、及其他浮游藻类的演化方向有重要价值。

S47-O-7

太平洋深处发现自生碳酸钙

蔡平河[1*]，程艺琳[1]，袁柳婷[1]，李超[1]，罗一鸣[2]，吴祥恩[3]，姜鑫宇[1]，陈耀瑾[1]，蔡卫君[4]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 中山大学，海洋学院
3 海南热带海洋大学，海洋科学与技术学院
4 特拉华大学，海洋科学与政策学院
* Caiph@xmu.edu.cn

中国近年来多次在太平洋深处开展深潜试验，最令人瞩目的发现之一是深海底普遍存在大量的白色结壳。对取自马里亚纳海沟的样品，化学成分鉴定显示其为碳酸钙，这一结果直接违背教科书中的晶体沉淀-溶解理论。本项研究借助“西太平洋地球系统多圈层相互作用”重大研究计划的航次，利用扫描电子显微镜、能谱、地球化学组份分析、天然放射性同位素不平衡等手段，揭示出深海碳酸钙存续与自生的地球化学动力机制，并引申出一条海洋碳封存的天然新路径。

S47-O-8

自生碳酸盐岩与海洋碳-钙循环：基于华南下寒武统钙质结核的研究与启示

周锡强[1,2,3*]，陈西源[1,3]，李润[1,3]，孙剑[4]，汤冬杰[5]，黄康俊[6]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室
2 中国科学院地球科学研究院
3 中国科学院大学，地球与行星科学学院
4 中国地质科学院地质研究所，自然资源部同位素地质重点实验室
5 中国地质大学（北京），生物地质与环境地质国家重点实验室
6 西北大学，地质学系
* zhouxiqiang@mail.iggcas.ac.cn

自生碳酸盐矿物是早期成岩过程中微生物地球化学作用下的典型产物，近年被认为是一种不可忽视的碳汇，可对地球深时碳-钙循环产生影响。中国华南下寒武统黑色页岩地层广泛发育钙质结核，其成因及对海洋碳-钙循环的意义，有待深入探讨。因此，本研究选取黔北遵义地区下寒武统牛蹄塘组黑色页岩及其钙质结核，开展了详细的沉积学、矿物学和地球化学分析。综合研究揭示，这些椭球状钙质结核主要由碎屑矿物，及大量自生方解石和黄铁矿等组成，具有早期成岩阶段沉积特征，形成于沉积物-水界面之下浅部。钙质结核从核部至边部，$\delta^{13}C_{carb}$ 和 $\delta^{34}S_{pyr}$ 一定程度的波动，响应了细菌硫酸盐还原作用；然而，$\delta^{44}Ca$ 则总体保持稳定，可能源于自生碳酸盐矿物沉淀速率较低，使沉淀矿物与孔隙水之间的钙同位素分馏达到了平衡。寒武纪早期较低的沉积速率及增高的海水硫酸盐浓度，可能促进了大量自生碳酸盐矿物，以及牛蹄塘组钙质结核的形成。鉴于华南下寒武统钙质结核发育的广泛性，大量自生碳酸盐岩是该时期海洋碳循环不可忽视的因素，但对钙循环的影响相对较弱。

S47-O-9

矿物促进的有机碳埋藏与大气和海洋的氧化

赵明宇[1*]，Benjamin J. W. Mill[2]，William B. Homoky[2]，Caroline L. Peacock[2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 University of Leeds

* mingyu.zhao@mail.iggcas.ac.cn

光合作用产生氧气，但是只有沉积物中有机碳的最终埋藏才能使分子氧在地球的大气中积累。然而，目前的研究对有机碳汇通量的许多直接控制因素尚未进行详细的探讨。众所周知，对于现代表层地球系统来说，活性铁相对有机碳的保存非常重要，这表明颗粒铁相向海洋的输入量可能是地球历史上海洋和大气氧化的重要控制因素。在本研究中，我们开发了一个理论模型，以研究矿物促进的有机碳埋藏对大气和海洋氧化的影响。我们发现全球海洋铁输入速率的变化是一个大气-海洋氧含量的独立控制因素。因此，我们认为，不断增加的大陆面积和剥蚀速率可能促进了地球历史上大气-海洋氧和其他氧化剂含量的上升。这一结论得到了海洋沉积物中活性铁相含量随时间演化的统计数据的支持。最后，模型的结果表明，通过削弱初级生产力和有机碳埋藏之间的联系，矿物促进的有机碳埋藏的纳入使全球大气-海洋氧含量对磷输入变化的响应减弱。我们得出的结论是，矿物促进的有机碳埋藏是一个未被考虑到当前地球长期碳循环模型中的重要过程。另外，对大氧化事件的模拟研究表明，与铁氧化物相关的有机碳埋藏可能有助于降低晚太古代-早元古代的海洋氧含量，促进海水氧化之前缺氧高硫化氢环境的产生。

S47-O-10

颗粒有机碳保存方式的微观研究-以吕宋和台湾河流沉积物为例

张乃予[1*]，刘志飞[1]，余光辉[2]，殷博昊[2]，林宝治[1]，吴家望[3]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 天津大学，地球系统科学学院

3 中山大学，海洋科学学院

* nz2g16@163.com

陆源颗粒有机碳向深海搬运和埋藏是全球碳循环的重要组成。与粘土矿物相互作用，是陆源颗粒有机碳在海洋保存的重要方式。河流输入作为关键的海洋陆源有机碳端元，明确河流沉积物中颗粒有机碳的保存方式，是厘清陆源颗粒有机碳在深海归宿的关键。然而，由于颗粒有机碳与粘土矿物相互作用是复杂的微观过程，因此，目前关于河流沉积物中有机碳的保存方式仍不清楚，这亟需在微观尺度上开展系统性研究。吕宋和台湾河流是南海东北部海盆最重要的陆源端元，具有清晰明确的有机碳和粘土矿物组分，本研究采集吕宋阿布拉和卡加延河和台湾浊水溪和高屏溪的表层沉积物，提取其小于 2 微米的粘粒组分，采用纳米离子探针技术（NanoSIMS），研究颗粒有机碳在亚微米尺度的保存方式。

研究发现，有机碳主要吸附在矿物表面和包埋在有机-矿物团聚体中两种方式，且不同来源的有机碳保存方式不同。具体而言，在吕宋河流，约 90%微生物来源的有机碳吸附在矿物表面，而约 50%土壤有机碳包埋在有机-矿物团聚体中。微生物来源有机碳倾向于吸附在硅铝比（Si/Al < 2）和硅铁比（Si/Fe < 5）较低的矿物表面，而土壤有机碳更多的吸附在 Si/Al (2 – 4) 和 Si/Fe (> 5) 相对较高的矿物表面。在台湾河流，~90%微生物和~73%岩石有机碳吸附在矿物表面，65%土壤有机碳包埋在有机-矿物团聚体中。微生物，岩石和土壤来源有机碳都倾向于吸

附在高 Si/Al（2–4）的矿物表面，相对于土壤有机碳，微生物和岩石来源有机碳更多的吸附在低 Si/Fe（< 5）的矿物表面。进一步综合分析发现，台湾和吕宋河流矿物表面吸附的有机碳的碳氮比值与矿物表面的铁含量成反比。这导致碳氮比较低的微生物和岩石来源有机碳，主要吸附在铁富集的矿物表面，而碳氮比较高的土壤有机碳多吸附在铁贫化的矿物表面。因此，铁在矿物表面的富集程度可能是影响有机碳在矿物表面分布的重要控制因素。总体而言，微生物和岩石有机碳通过吸附在铁富集的矿物表面保存，土壤来源有机碳主要通过包埋在有机-矿物团聚体中保存，少部分吸附在铁贫化的矿物表面。不同有机碳保存方式的显著差异可能是南海东北部海盆土壤和岩石有机碳呈现截然不同命运的重要原因。

S47-O-11

碳酸盐矿物 CE 异常的形成机制及其对 DOC 的响应

余茜倩[1*]，田秦珠[1]，李絮[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* qianqianyu09@gmail.com

微生物影响关键元素的生物地球化学循环，通过增氧、减碳和降温等方式，在塑造今天的宜居地球过程中扮演了不容忽视的作用。在现代海洋，以惰性溶解有机碳为主体的溶解有机碳，占总有机碳库的 90%以上，是 MCP 储碳的核心。关键地质时期 MCP 运转过程的解析对于我们认识地球碳循环机制，寻求“碳中和”手段具有重要意义。然而，由于 DOC 的沉降作用很弱，主要依靠与黏土矿物形成聚合体而部分保留在沉积物中。深时 DOC 库的地质识别困难，基于碳同位素数值和箱式模型对 DOC 储库大小的估算存在争议，导致其与重大环境转型的关系不明。在重建古海洋 RDOC 库的时空演化过程中，建立新的地质与地球化学标识非常重要。

碳酸盐岩中记录的 Ce 异常信号是应用最为广泛的反应古海洋环境氧化还原条件变化的示踪剂之一。我们前期研究发现，由于不同氧化价态 Ce 与有机分子的络合能力不同，现代水体中 Ce 异常信号的大小同样受到 DOC 含量与化学组成的影响。海相碳酸盐岩中的微量元素和矿物学信号记录了古海水化学组成信息。然而古海洋中 DOC 储库的变化如何影响海相碳酸盐岩中的 Ce 异常记录，尚缺乏系统的研究。考虑到 DOC 成分与含量的变化可以影响自生矿物成核结晶过程以及微量元素进入自生矿物晶格的选择性，这些地球化学和矿物学信号必然记录在自生矿物中。阐明不同化学形态 Ce（如氧化价态、络合方式等）进入碳酸盐矿物晶格的分异机制；建立多种矿物学与地球化学信号与 DOC 含量阈值间的定量关系，是揭示地质历史时期古海洋 DOC 通量变化情况的关键。针对这一科学问题，本研究通过微生物与矿物作用的实验室模拟，从分子尺度探究各种有机分子与 REE 络合方式、强度的差异对碳酸盐矿物记录水体 Ce 异常信号的影响，尝试构建能够反映古海洋 DOC 作用的地质与地球化学标识。

S47-O-12

机器学习深时之旅：显生宙海洋氧化还原状态与地球内部过程和复杂生命系统协同演化

王相力[1,2*]，Thomas J. Algeo[3,4,5]，李超[6,7,8*]，朱茂炎[2,9]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 中国地质大学（武汉），生物与环境地质国家重点实验室

4 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

5 University of Cincinnati,Department of Geosciences
6 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室
7 成都理工大学，自然资源部深时地理环境重建与应用重点实验室
8 成都理工大学，沉积与生物地球化学国际研究中心
9 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室&生物演化与环境卓越创新中心
* xlw@mail.iggcas.ac.cn
* chaoli@cdut.edu.cn

海洋氧化还原状态和碳循环紧密联系。然而，显生宙全球海洋氧化还原状态的演化和控制因素研究尚不明确。本研究利用机器学习（随机森林）和大数据（细粒碎屑沉积岩中的氧化还原敏感金属浓度），通过蒙特卡罗方法限定浓度数据和机器训练带来的不确定性，重建了显生宙海洋的氧化还原沉积环境转换，发现了一系列新的演化规律。重建结果表明，大陆架深水区氧化程度在显生宙呈现逐渐增氧的大趋势，且与大气氧气浓度和洋壳增生速度趋势一致。此外，在逐渐增氧这一大趋势上，还叠加了多个氧化还原背偶（redox anticouple，新词），即表层海水和深部海水具有相反的氧化还原状态。这些背偶在时间上和潘基亚（Pangea）超大陆的形成与裂解和生物宏演化事件（古生代陆地植物崛起和中生代海洋浮游生物革命）重合。这些研究发现表明，海洋氧还原状态与地球内部动力过程和地表复杂生命演化有着紧密的内在关联。

S47-P-1

近2000年南海北部海域沉积有机碳的来源及其埋藏记录

叶丰[1*]，石雪松[1]，韦刚健[1]，黄超[2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室
2 广东海洋大学，海洋与气象学院
* yefeng@gig.ac.cn

在气候变化和人类活动日益增强的背景下，河口近海碳源汇途径的变化对区域乃至全球碳循环有着深刻的影响。本研究对南海北部河口-近岸-陆架海区 3 根沉积记录约 2000 年的沉积物柱状样进行了有机碳(TOC)和总氮(TN)含量与稳定同位素等地球化学指标的分析。结果显示，南海北部沉积物 TOC 含量在过去 2000 年表现出稳步增加的趋势。根据稳定碳同位素($\delta^{13}C$)和 TOC/TN 比值构建的蒙特卡洛模拟估算，发现不同海区沉积有机碳的来源存在差异，其中陆源有机碳在近岸区贡献最高，河口区次之，南海北部陆坡贡献最小。在时间尺度上，陆架区 TOC 来源在过去 2000 年维持稳定，而河口近岸区中海源有机碳比例不断增加，特别是河口区海源有机碳在过去1000年快速增加，同时与 TN 的变化存在显著的正相关关系，反映了人类活动持续输入的陆源营养盐促进了海洋初级生产力的升高。另一方面，河口区陆源有机碳的减少主要归因于华南地区减弱的东亚夏季风和人类活动与沿海地区大规模的围垦活动等。不同于河口近岸海区，南海北部陆坡沉积物有机碳埋藏的增加主要与东亚冬季风增强对营养盐供应和初级生产力的调控密切关联。整体而言，人类活动和气候变化共同控制着近 2000 年南海北部沉积物有机碳埋藏的演变过程。

S47-P-2S

海洋沉积物中锰耦合的甲烷厌氧氧化研究综述

薛媛[1,2]，陆颖晗[1,2]，卢海龙[1,2*]

1 北京大学，地球与空间科学学院
2 北京大学，地球与空间科学学院北京天然气水合物国际研究中心
* hlu@pku.edu.cn

在海洋沉积物中，甲烷的厌氧氧化可以与锰氧化物的还原耦合。锰可以直接与甲烷反应（MnR-AOM），也可以通过氧化硫化氢形成硫酸盐间接参与到甲烷的厌氧氧化中（MnR-SR-AOM）。富集培养实验可以确定锰的具体作用过程。在环境条件相同的情况下，锰氧化物相对于铁氧化物和硫酸盐充当电子受体表现出氧化甲烷的热力学优势。MnR(-SR)-AOM 涉及甲烷厌氧氧化古菌（ANME）和金属还原微生物（MRM）或硫酸盐还原细菌（SRB）等微生物的活动，电子转移方式可能与微生物的多血红素 c 型细胞色素和纳米导线结构有关。ANME 表现出电子受体选择的多样性，这可能主要受环境的作用。

锰耦合的甲烷厌氧氧化反应一般发生在海洋沉积物中硫酸盐甲烷转换带（SMTZ）下方的产甲烷区，或 SMTZ 以上的锰还原区。大陆边缘由于丰富的陆源物质供给和快速的沉积物埋藏为甲烷和锰氧化物的反应提供了良好条件，特别在水合物赋存区，甲烷浓度相对硫酸盐浓度更高，有利于甲烷与环境中其他电子受体如锰氧化物发生氧化还原反应，或者氧化态的锰促进硫化氢氧化为硫酸盐。

锰耦合的甲烷厌氧氧化反应具有重要的研究意义。该过程是海洋沉积物中甲烷的其中一个重要的“汇”，尤其是在富含金属氧化物和有机物或硫酸盐浓度较低的环境中。关于 MnR(-SR)-AOM 的生物地球化学反应仍然存在许多未知的内容，例如锰氧化物赋存的矿物相和环境参数等因素对该反应的发生和速率的影响研究较少，氧化还原反应中微生物的活动和电子传递的机制仍然不清楚，以及 MnR(-SR)-AOM 对甲烷的“汇”的贡献也不确定。这些涉及甲烷反应的问题值得进一步探讨。

S47-P-3S

东海沿岸地区初级生产力对 PDO 的响应

余飞[1]，郭艳芳[2]，杨义[2,3*]，阮小燕[1,3*]

1 中国地质大学（武汉），资源学院

2 中国地质大学（武汉），海洋学院

3 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* yiyang@cug.edu.cn

* ruan6231@163.com

近百年来东海沿岸地区生态环境变化被认为是人类活动和气候变化的综合控制结果，其中人类因素的影响主要体现在长江口临近海域的含氮营养盐输入过剩，从而导致初级生产力提高、甲藻赤潮增加以及低氧区的变化等；气候因素则主要表现为复杂的环流体系和东亚季风等的年代际变化对东海生态环境造成影响。为了研究气候因素对东海陆架生态环境的影响，我们选择了较为远离长江口的柱状沉积样 B3(长度 29 cm; 27°19.056′N, 121°39.246′E)进行生物标志物分析，利用生物标志物（菜子甾醇和甲藻甾醇）恢复了 1960 年以来的浮游植物初级生产力变化，结果表明，自 1960 年以来，初级生产力总体上表现为上升趋势，其中硅藻相对比例总体上升而甲藻相对比例总体下降，推测可能是台湾暖流、闽浙沿岸流以及东亚季风等综合作用对该区域的营养盐和温度等环境因素造成了影响，使得硅藻更具有竞争优势。硅藻与甲藻的生产力相对比值 B/D 与太平洋十年涛动（PDO）具有较好的相关性，可以概括为：PDO 正相位阶段，B/D 比值较高，PDO 负相位阶段，B/D 比值较低，且 PDO 由正转负或由负转正时期 B/D 比值表现出上升或下降趋势。

S47-P-4S

东海内陆架区水体缺氧重建及其对有机碳埋藏的影响

苑霖[1]，朱犇[1]，靖云阁[2]，李太思[1]，董良[1*]

1 上海交通大学，海洋学院
2 上海交通大学，生命科学技术学院
* dongliang@sjtu.edu.cn

东海作为我国重要的边缘海之一，处于海陆交界处，拥有丰富的陆源输入、明显的沉积物类型划分和典型的物质分布特征，是有机质矿化及沉积的重要场所，具有重要的海洋碳汇潜力，但是有机碳埋藏在地质历史时期上对东海环境变化，如与水体缺氧之间的响应还少有研究。本研究以东海内陆架泥质区沉积物为研究对象，通过分层测定沉积物的 BHT-x ratio、TOC 及 $\delta^{13}C_{TOC}$，并结合相关古环境、古气候指标，对东海近岸水体缺氧现象进行探究。结果表明，东海近岸自中全新世起便已存在水体缺氧现象，且与气候波动、自然环境过程变化，如季风强弱、浙闽沿岸流强度、气候冷暖等有着密切关系。从长江口站位的缺氧历史中可发现~800 年内中世纪暖期、小冰期阶段中的气候变化对陆源有机质输入、长江冲淡水强度有重要的影响，这些因素在长江口水体缺氧的生消中起着重要作用。从浙闽沿岸站位的~8 ka 的缺氧历史中可以发现在人类活动影响较小的时期，东海缺氧就已经在环境的自然变迁中形成。总有机碳与 BHT-x ratio 相似的趋势说明了缺氧环境对有机碳的埋藏起到了促进作用，分析认为东海水体缺氧与有机碳埋藏之间存在着一定的动态演替关系。正常的含氧水体有助于微生物在水柱中矿化有机质，影响了最终沉降到海底的有机碳含量，导致有机碳埋藏减弱。而经过持续的有机质降解利用，水体中的溶解氧含量下降，矿化过程被缺氧环境抑制，保护了有机质在水体中的沉降，促进了有机碳埋藏。

S47-P-5

中国东黄海海岸带沉积物垂向 FE、P 分布特征及其与有机碳赋存相关性

高磊 [1]，陆现彩 [2*]

1 南京师范大学，海洋科学与工程学院
2 南京大学，地球科学与工程学院
* xcljun@nju.edu.cn

海岸带是一个重要的“碳汇”贡献库。不同形态的铁矿物和磷营养盐是沉积物中总有机碳 TOC 含量和赋存的重要影响因素。然而，Fe 和 P 在海岸带沉积物 TOC 源汇转变中的耦合机制研究还十分匮乏。本研究基于江苏东部海岸带养殖区 3 个独立的 170 cm 深的沉积物岩心样品，表征了 Fe、P 和 TOC 含量的垂向分布，并量化了 Fe、P 与中值粒径 Dx(50)和 TOC 之间的相关性。结果表明，总磷 TP 含量为 337.4-578.0 mg/kg，垂向多深度属于中度磷富营养化，碎屑磷灰石及其他无机磷 DA+IP 和自生磷灰石 Bio-P 为 TP 的主要成分，分别占 25.19 %-55.00 %、26.71 %-49.62 %。不同形态 Fe 总量为 987.9-2900.7 mg/kg，以 Fe_{ox} 为主，占比约 62.2 %-79.4 %。垂向深度 TOC 丰度与低结晶度含铁碳酸盐 Fe_{carb}、高结晶度黄铁矿 Fe_{Py}、铁结合态磷 P_{CDB}、Mn、N 含量呈正相关，与 DA+IP、有机磷 OP、Dx(50)呈负相关。基于偏最小二乘模型（PLS），Fe_{Py}、Mn、磁铁矿 Fe_{Mag}、Fe_{carb} 及 P_{CDB}、无定形可交换铁 Ex-Fe、Bio-P 丰度高时，指示 TOC 向汇转化；而 DA+IP、OP 丰度较高时，指示 TOC 向源转化；Fe_{ox} 指示 TOC 源汇的非显著性是由于其相对于 TOC 含量的过剩和强反应性。本研究为进一步认识如何通过改变海岸带沉积环境中铁矿物及磷营养盐含量以调控有机碳沉积的埋藏速率及储量提供理论参考。

S47-P-6

模型再解读显生宙第一次冰期与大灭绝期间的碳循环波动

张俊鹏 [1*]，李超 [1]，张元动 [1,2]

1 中国科学院南京地质古生物研究所
2 中国科学院大学
* jpzhang@nigpas.ac.cn

奥陶纪末，以显著的赫南特阶碳同位素正漂事件（HICE）为标志，见证显生宙以来第一次高大气 CO_2 浓度时的冰期和集群生物灭绝事件，同时伴随着火山喷发和海洋缺氧等一系列地球系统变化。然而，关于这次碳循环波动的原因，一直存在争论。前人研究认为冰期海平面大幅下降，高纬度硅酸盐风化减弱与低纬度的碳酸盐岩风化作用增强，引发这次碳同位素正漂事件；而也有研究认为同期海洋的有机碳埋藏增加才是根本原因，证据之一为同期广泛分布的黑色页岩。本研究在报道新数据并收集不同板块已发表数据的基础上，运行基于 GEOCARB 的综合碳循环模型，并结合海洋碳-磷循环模型，探究这次碳循环波动的本质并模拟生成最接近 $\delta^{13}C_{carb}$ 现实地质记录的结果。在分别探究火山作用、风化作用和有机碳埋藏等条件变化引起的碳循环波动之后，提出火山作用增强，碳酸盐风化作用加剧（F_{wcarb} = 88%）和有机碳埋藏增加的共同影响下，$\delta^{13}C_{carb}$ 会在赫南特期中期产生~ +6‰的漂移，并在鲁丹早期逐渐恢复。同步模拟的大气 CO_2 浓度符合地质背景和气候模型模拟结果，并为同期发生的生物灭绝事件的成因提供重要启示。冰期海水温度降低，海平面大幅下降，栖息环境减少导致了第一幕的生态危机。当生态空间大幅缩减时，持续的海洋缺氧事件，在第二幕生态危机中发挥重要作用。因此，赫南特期“火山-冰期-海洋碳埋藏”为一体的地球系统变化，才是这次集群生物灭绝事件的根本原因。

S47-P-7

海洋风尘沉积碳汇潜力与应用

杜恕环 [1*]，向荣 [1]，罗传秀 [1]，潘子锐 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国国科学院边缘海与大洋地质重点实验室
* shuhuandu@scsio.ac.cn

海洋占地球表面积 71%，是地球上巨大的 CO_2 交换碳储库，在全球气候变化与碳循环中发挥着不可替代的作用。我国陆架边缘海面积占国土面积 1/3，进行海洋碳汇研究是国家重大战略需求。而南海作为我国最大的边缘海，碳汇潜力巨大。粉尘对地球环境产生的影响已经渗透到地球的多个圈层，现代粉尘分布的广泛性和可观测性，使其成为风尘研究的热点，其中最受关注的是陆源粉尘所含的 Fe、Al 等元素可以提高海洋初级生产力，促使浮游植物生长消耗大气中的 CO_2，从而提升海洋碳汇能力，在国家陆海统筹及科技支撑“双碳”计划中发挥着重要作用。

南海现代粉尘沉积结果显示，在大量粉尘输入南海的 1-2 天后，出现粉尘触发引起叶绿素勃发现象。风成沉积给海洋带来丰富的 Fe、Al 元素，增加浮游植物初级生产力，其在海洋初级生产力中的贡献率约为 25%。海洋风成沉积通过浮游植物的生物泵将大气中的 CO_2 转移到海底，加速了海-气界面 CO_2 的交换，成为海-陆-气生物地球化学沟通的桥梁，对气候和环境变化起到调控作用。粉尘对南海碳汇的影响不仅体现在现代过程，地质历史时期也留存了大量记录。重建过去晚第四纪以来南海粉尘沉积演化序列，提取地质历史时期影响古海洋生产力的陆源粉尘信号，结合研究区大气 CO_2 浓度资料，将地质历史记录与现代观测数据结合，系统评估南海风成沉积的碳汇潜力，为边缘海海洋贡献“南海经验”，为落实国家双碳政策提供科学依据。

S47-P-8S

长江口—东海陆架沉积物中铁结合有机碳分布特征及其物源分析

李敬雯 [1,2]，杨义 [1,2*]，吕晓霞 [1,2*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* yiyang@cug.edu.cn

* luxiaox@163.com

陆架边缘海作为连接陆地和大洋的枢纽，每年约有 169×10^6 吨有机碳（OC）都被埋藏在近岸浅海海域（Johan C. Faust et al.，2021），在全球碳循环中具有非常重要的作用。氧化铁作为黏土矿物中吸附有机质的重要组分，在海洋沉积物 OC 的埋藏作用过程中具有重要作用。据估算，全球海洋表层沉积物中大约 $(19\text{-}45)\times10^{15}$ 克 OC 是与铁相结合而保存下来（Lalonde, K., et al., 2012），且大部分沉积在陆架边缘海。长江口及邻近海域是一个典型的陆架边缘海环境，为了更好地研究从长江口到东海近岸陆架与铁结合有机碳的空间分布特征及物源，本研究对该区域表层沉积物进行铁结合态有机碳（Fe-OC）的提取，并相应地分析了 TOC、fFe-OC、δ^{13}C、C/N。结果表明，相较于河口区，在活动泥质区 TOC 含量虽然较高，但 fFe-OC 较低，说明频繁的水动力活动可能会阻碍活性铁氧化物与有机碳的结合。该区域铁氧化还原循环迅速，促进了有机质的矿化，微生物参与铁还原过程中，铁与有机碳的复合体被破坏，从而导致了 Fe-OC 的释放。与未经提取铁结合有机碳的沉积物 C/N（2.72 ~ 6.43）相比，与铁结合的有机碳中 C/N 更大（3.66～20.36），说明铁氧化物可能倾向结合或保存陆源高等植物来源的有机碳。从河口到外海陆架，铁结合有机碳稳定同位素为-22.06‰~-21.11‰，原样沉积物碳稳定同位素为-21.47‰~-20.95‰，整体略微正偏；铁结合有机碳的 C/N 为 7.72~6.71，整体呈现自河口到外海减小的趋势，未经提取铁结合有机碳沉积物的 C/N 为 4.91~4.68，整体略呈下降趋势。由此可推论，陆源有机碳在向海传输的过程中会被降解利用，造成陆源输入有机质相对含量降低，海源有机质含量增多。

S49-O-1

中国滨海盐沼蓝碳的潜力与挑战

聂明 [1*]

1 复旦大学，生命科学学院

* mnie@fudan.edu.cn

滨海盐沼是重要的蓝碳生态系统。高固碳功能是滨海盐沼的一项重要生态功能，也是其提供生态系统生产服务与调节服务的重要基础。本报告主要介绍了维持并提升滨海盐沼的碳汇能力是我国制定应对气候变化行动方案的一个重要组成部分，并介绍了全球变化背景下我国滨海盐沼蓝碳面临的挑战。

S49-O-2

青藏高原湖泊碳循环微生物作用

蒋宏忱 [1*]

1 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* jiangh@cug.edu.cn

开展青藏高原湖泊微生物调控碳循环机理及其对盐度的响应研究，对于全面认知全球碳循环及其对环境变化的影响具有重要的科学意义。研究发现：1）微生物作用对青藏高原盐湖碳收支影响：微生物作用导致的青藏高原湖泊碳负排放高达 60 百万吨碳/年；随着盐度增高，碳固定途径从 Wood-Lungdahl 途径转变为 Calvin-Benson-Bassham 循环；2）外源有机质输入导致青藏高原湖泊沉积物产生正激发效应；外源有机质输入导致的正激发效应高于内源有机质生产的作用；高盐湖泊微生物倾向于降解和利用高碳数和高复杂度的有机分子；微生物

作用是的盐度不同的湖泊中有机质分子组分差异明显；3）微生物与矿物相互作用影响湖泊沉积物有机碳的稳定性，微生物还原NAu-2时粘土表面形成了薄的富铝层，为有机碳的吸附提供了活性位点，可以吸附可观数量的有机碳。这些结果为全面认识和评估咸盐湖泊碳收支、微生物参与碳元素循环及其适应环境变化提供数据基础和理论依据。

S49-O-3

溶解性有机碳组成的跨生境分布特征及驱动因素

胡盎[1]，王建军[1*]

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所

* jjwang@niglas.ac.cn

溶解性有机碳是生态系统中最大的碳库之一，其分子组成和特征受到微生物的调解作用，进而影响有机碳的动态过程。在全球变化背景下，这一过程也将受到气候、营养盐等环境要素的影响。采用傅立叶变换离子回旋共振质谱技术分析溶解性有机碳（DOM）的分子组成和特征。首先，基于山地野外微宇宙实验，发现湖泊沉积物 DOM 多样性、组成和特征都受到温度和营养盐的显著影响，比如，DOM 分子 H/C 比随营养盐升高而降低，特别是在亚热带地区，而这一规律在亚北极地区却不明显。进而，通过文献整合分析，阐明多种生态系统和生境中 DOM 特征的空间分布格局和主要环境驱动力。基于文献报道中 H/C 和 O/C 比指标，发现大气中 H/C 和 O/C 比最高；水体和陆地 H/C 最低，O/C 比介于原油和大气之间。对于水体和陆地的生境连续体，H/C 比从高至低为：雪>冰川>海洋≥淡水/土壤>地下水。水体和陆地的 DOM 特征整体上呈现出显著的纬度规律，比如，H/C 比在纬度上表现为 U 型变化规律，即较高和较低纬度 DOM 相对更易降解，而中纬度地区 DOM 相对较难降解。进一步通过线性混合模型分析了关键环境因子，发现 pH、碳氮营养盐和溶解氧等显著解释 DOM 特征的变化。上述发现有助于更全面地了解自然生态系统中溶解性有机碳的特征及其对环境的响应，为未来全球变化背景下有机碳的动态变化的预测提供了科学参考。

S49-O-4

海陆交互作用下砂质沉积物中的碳-铁循环

周哲[1*]，杨守业[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* 23507@tongji.edu.cn

砂质沉积物覆盖了全球超过 50%的大陆架面积，是一个长期被忽视的有机碳矿化和营养元素循环的重要场所。砂质沉积物有着较高的孔隙率，孔隙水可在沉积物中快速移动并造成频繁的氧化还原条件变化，并改变氧化还原敏感元素的生物地球化学循环。本研究针对德国北海的海岸带砂质沉积物，利用沉积物培养实验并结合陆-海梯度下沉积物中地球化学记录，探究氧化还原条件变化对碳、铁、磷等关键元素循环的影响。我们发现厌氧条件下有机碳矿化的平均速率比有氧条件下慢 12 倍。在氧化还原条件转换过程中，三价铁做为主要的电子受体参与了有机碳的矿化。被还原的二价铁大部分保留在固相中并延缓了二价铁的释放，这一特性避免了高活性铁在砂质沉积物中快速的溶解、迁移及在氧化层的富集，提升了高活性铁相在沉积物铁还原层的物理稳定性，使其成为一个相对稳定的电子交换场所，并可重复做为电子受体参与有机碳的矿化（“地化铁电池”）。此外，在场地研究中我们发现铁氧化物也能保存大量的溶解态有机碳（DOC）。利用傅立叶变换离子回旋共振质谱仪（FTICRMS），我们进一步发现铁氧化物能造成 DOC 的分子分馏并富集芳香族及富氧的组分。我们的研究表明，在砂质沉积物中铁的氧化还原循环对有机碳的矿化与埋藏起到了重要的调节作用。

S49-O-5

沉积物耗氧与水柱耗氧在河口近海氧亏损中的演替机制与验证

朱卓毅[1*]，张志浩[2]，姚润堃[3]，李玉清[1]，方富韬[2]，胡焕婷[1]，翟惟东[4]，张经[1,2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

3 上海交通大学，农业与生物学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

有证据表明，在人类活动和气候变化双重驱动下，世界范围内河口近海的低氧发生了恶化，河口近海氧亏损和低氧区的增加，不仅带来显著的生态环境负面效应，氧化还原状态的异常对海洋有机碳的影响也是海洋体系对全球碳循环反馈的机制之一。

有机质的降解和群落呼吸是水柱中氧气消耗的核心过程，而发生地点则可能既包括水柱也包括沉积物。本研究报告以长江口外东海的低氧高发区为例，以低氧机理和发生过程的上述几个方面为切入点，基于过去十余年的现场调查结果，从化学的视角，用有机质成分含量、生物标志物，评估了长江口外低氧的发生情势、内部机制特点。以氧气同位素（DO-δ18O）为技术切入点，结合现场调查和室内培养实验，量化提出了沉积物耗氧和水柱耗氧在水柱氧亏损中的动态演替贡献作用，并结合渤黄海的初步调查结果开展了不同区域的验证。在低氧发生阶段，水柱氧亏损的贡献由水柱耗氧贡献为主（超过 70%），在非低氧阶段，水柱氧亏损的贡献主要由沉积物耗氧贡献为主（超过 70%）。本报告还通过沉积物有机质浸出实验量化评估了长江口低氧高发区沉积物耗氧的最大贡献量，并以沉积物-水体系的室内培养等工作验证了溶解氧变化对沉积物耗氧的控制作用。从不同侧面验证了长江口外低氧区中，沉积物耗氧变化的控制规律和特征。本报告的成果为我国近海的低氧预报和治理提供了化学视角的科学基础。

S49-O-6

渤海生态系统呼吸研究进展：耗氧有机物来源、缺氧酸化效应、海-气二氧化碳通量

翟惟东[1*]，张洪升[2]，陈卓韵[2]，刘子辰[2]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），前沿研究中心

2 山东大学，海洋研究院

* wdzhai@126.com

本世纪以来，渤海生态环境持续恶化，本课题组整理了 2011 年以来的实测数据和 1978 年以来的文献数据，展示出改革开放以来渤海开阔海域夏季底层水溶解氧波动下降的趋势，同时发生季节性酸化现象，并将其归结于海域富营养化导致新陈代谢增强的后果。本报告汇总近期的研究进展，结果表明，渤海中部海域的的夏季低氧酸化现象几乎全部都是海上藻华颗粒在跃层以下耗氧造成，陆源有机物可能只在长时间尺度上对碳循环发挥作用；渤海中部表现为大气二氧化碳的弱的年度净汇区，外黄河口海区则表现为大气二氧化碳的年度净源区，可与海区尺度的碳的输入输出收支平衡相对应；而渤海湾口和莱州湾口东侧海域则表现出碳源碳汇现象基本抵消的情况。本研究的启示是，浅水海域的初级生产过程和生态系统呼吸驱动的碳源碳汇过程主要影响海-气二氧化碳通量的季节变化，而不一定对应于年度净通量；将水圈微生物驱动的元素循环进行尺度升级，需要开展充足的季节性调查，并充分考虑环流引起的物质输入输出收支平衡。

S49-O-7

一套全海深微生物胞外酶活性原位条件测定装置及在马里亚纳海沟应用的结果分析

方家松[1*]，曹军伟[1]，陈家旺[2]，王佳华[1]，张利[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 浙江大学，海洋学院

* jsfang@shou.edu.cn

准确测定海洋微生物胞外酶类型和活性的技术和装置一直是研究海洋微生物生命过程和开发利用深海微生物功能酶等资源必不可少的工具。过去传统的方法，是在常温、常压条件下，而非在深海原位条件下测定深海微生物胞外活性，因而测定结果并不能准确反映深海原位实际情况。我们研制开发了一套能够进行全海深微生物胞外酶活性原位条件测定技术装置。该装置最大工作静水压力≥1100 大气压，工作温度≥0 ^{o}C。运用此装置实测马里亚纳海沟水体微生物胞外酶活性（碱性磷酸酶、氨肽酶、α-和 β-葡萄糖苷酶）。结果显示，原位温压条件下测定的微生物胞外酶活性与常温常压条件下测定的微生物胞外酶活性有显著差异；而且同一胞外酶在不同深度（压力）条件下表现不同的相对关系。该技术是海洋微生物酶学进步的一个革命性的推进，填补了国际上全海深原位温度压力条件下微生物胞外酶活性测定的技术空白。准确测定全海深微生物胞外酶活性为深入研究海洋微生物生命过程和微生物介导海洋生物地球化学循环打下坚实基础。

S49-O-8

微生物驱动元素循环功能基因组数据库研发与应用

屠奇超[1*]

1 山东大学

* tuqichao@sdu.edu.cn

微生物群落是水圈生境碳氮硫生物地球化学循环的主要驱动者，但尚无生态学理论合理解释其群落形成与多样性维持机制。当前研究主要聚焦物种多样性格局形成机制，功能基因重要性多被忽略。然而，基于现有公共数据库解析其分子生物学过程机制极其困难，其所包含的微生物功能基因不全面，且准确度不高，导致较高的假阳性问题。为解决相关问题，我们研发了一整套高准确度微生物功能基因数据库的构建方案，通过数据库融合、同源检索等途径解，陆续构建了微生物所驱动的氮、硫、甲烷代谢、B12 合成等功能基因数据库。基于氮循环功能基因数据库，我们针对全球海洋宏基因组数据进行深度解析，绘制了基于深度的全球海洋氮循环模型蓝图。同时，我们发现海洋氮循环微生物在种系水平高度可变，即使在门水平。然而，相关的氮循环功能基因却高度稳定。氮循环微生物群落在物种水平呈现显著纬度梯度多样性递减和距离衰减规律，但相关模式在功能基因中却不存在。进一步研究表明，氮循环功能基因受确定性过程影响，而相关的微生物种系分布则呈现较高的随机性。基于相关结果，提出微生物群落构建理论模型：确定性因素主导了微生物群落构建过程；环境选择功能基因而非物种；功能冗余造就了群落构建的随机性。

S49-O-9

基于机器学习揭示溶解有机物分子丰度与稳定碳同位素值之间的关联

易沅壁[1]，刘同存[3]，Merder Julian[4]，何晨[5]，鲍红艳[6]，李朋辉[7,8]，李思亮[9]，史权[5]，何丁[1,2*]

1 香港科技大学，海洋科学系和香港澳门海洋研究中心

2 香港城市大学，海洋污染国家重点实验室
3 浙江农林大学，数学与计算机科学学院
4 卡内基机构科学研究部门，全球生态学系
5 中国石油大学（北京），重质油国家重点实验室
6 厦门大学，海洋环境科学国家重点实验室
7 中山大学，海洋科学学院
8 南方海洋科学与工程广东实验室
9 天津大学，地球系统科学学院
* dingheoliver@163.com

溶解有机物（DOM）是地球上最大的有机物储库之一，由复杂的分子混合物组成。其中，DOM 的分子组成和有机质性质的关系一直是研究的热点和难点。稳定碳同位素值（$\delta^{13}C$）提供了关于 DOM 从陆地到海洋的来源追溯及转化的重要见解，但个体分子和 DOM 整体性质之间的关系仍不清楚。本研究采用傅里叶变换离子回旋共振质谱法（FT-ICR MS）对来自中国近海的 510 个 DOM 样品进行分析，其中 320 个样品具有 $\delta^{13}C$ 测量值。通过基于 5199 种分子的机器学习模型，我们准确预测了这些样品的 $\delta^{13}C$ 值，并在训练数据集上取得了 0.30‰的平均绝对误差（MAE），优于传统的线性回归方法（MAE：0.85‰）。本研究发现，降解过程、微生物活动和初级生产力是调控 DOM 从河流到海洋连续体的关键因素，这与以往的研究结果一致。此外，机器学习模型还能够有效地通过 DOM 分子丰度预测其他已发表数据集中超高分辨质谱数据的 $\delta^{13}C$ 值，反映了从陆地到海洋连续体的 $\delta^{13}C$ 变化趋势。这表明，机器学习在捕捉 DOM 分子组成和整体参数之间复杂关系方面具有潜力，特别是在未来有更大的学习数据集和越来越多的分子研究的背景下。本研究的结果不仅增进了对 DOM 分子组成和性质之间关系的理解，也为提高分子组成和性质的研究效率和精度提供了借鉴。此外，本研究还揭示了机器学习在复杂数据分析和预测方面的潜力，这对于更好地理河口海岸带生物地球化学循环具有重要意义。

S49-O-10

滨海甲烷生物汇的关键过程和机制

郑越 [1,2*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室
2 厦门大学，环境与生态学院
* yzheng@xmu.edu.cn

滨海湿地是甲烷循环的关键带，仅占全球面积的 0.3%，但其甲烷量占比全球的 7-30%。甲烷作为一种既是巨大威胁、又是重要减排机遇的温室气体越来越多地被大家所认识。在甲烷的源汇平衡中，甲烷氧化菌以甲烷为碳源，消耗了进入大气前 80%以上的甲烷，是甲烷生物汇的主力军，也是甲烷增汇的突破口。甲烷生物氧化过程可跨越“高氧-缺氧-无氧”不同的氧化还原生态位，传统研究集中在高氧生态位的好氧代谢和无氧生态位的厌氧代谢。然而，滨海湿地多以缺氧环境为主，缺氧环境下甲烷氧化菌如何完成能量代谢尚不清楚。本研究围绕这一关键科学问题，以电子流为脉络，通过大数据指导和实验室论证，揭示了甲烷氧化菌的代谢新策略；融合微生物和电化学技术，从纯菌水平厘清了电子传递链，从群落水平剖析了电子传递网，丰富和拓展了滨海甲烷生物汇的理论体系。

S49-O-11

全球海洋碱性磷酸酶活性的环境影响因子研究

苏贝 [1*]，宋宪锐 [1]，Solange Duhamel[2]，Claire Mahaffey[3]，刘纪化 [1]

1 山东大学，海洋研究院
2 美国亚利桑那州大学，分子和细胞生物学院
3 英国利物浦大学，地球、海洋和生态科学学院
* bei.su@sdu.edu.cn

磷是控制海洋初级生产力的重要因素，海洋碱性磷酸酶(AP)对于调控海洋磷循环发挥着重要的作用。然而，调控海洋碱性磷酸酶活性(APA)的环境因素仍然缺乏深入研究。本研究构建了一个目前较为全面的海洋碱性磷酸酶数据库，并利用多模型研究环境因子对其控制机制。研究发现溶解态有机磷(DOP)浓度、盐度、过量磷酸盐浓度(P*)和叶绿素 a 浓度是控制全球 APA 分布类型的主要生物和非生物因子，其总共可以解释多达39%的全球 APA 空间变化。DOP 浓度解释了最多 APA 的变化，并且与 APA 呈负相关关系。P*跟 APA 呈负相关关系，并且在全球范围内对 APA 有负效应，而盐度和叶绿素 a 浓度对 APA 具有正效应。另外，风速、大气铁沉降速率和微量金属元素锌浓度也是控制 APA 的重要因素。结果表明，在全球范围内当磷限制浮游生物生长时，浮游生物通过产生 AP 利用 DOP,导致水体中 DOP 浓度降低，并且这个过程需要充足的盐度水平和铁、锌等微量金属浓度。目前对于 APA 的观测主要集中在大西洋，需要在印度洋和太平洋等区域的更多 APA 观测数据以降低目前研究结果的不确定性。

S49-O-12

近海沉积物中微生物介导的硫氧化途径研究

宫先哲[1*]，陈志怡[2]，夏永振[2]，荀鲁盈[2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，微生物技术研究院

* xianzhe.gong@sdu.edu.cn

* lyxun@sdu.edu.cn

近海沉积物中生物地球化学循环过程复杂，其中微生物的生物多样性极大，微生物在海洋生物地球化学循环中发挥着重要作用，但是大部分微生物无法在实验室中培养。因此，通过传统分离培养微生物的手段限制了对于微生物在海洋环境中的生态功能的研究，不依赖于分离培养的原位研究受到广泛关注。海洋沉积物是活跃的硫循环的场所，大约 29%的有机物的矿化是以硫酸盐作为最终的电子受体，该过程会在沉积物中的厌氧区产生大量的 H_2S，大部分 H_2S 又在沉积物的上层含氧区被重新氧化为硫酸盐，而这些 H_2S 如何在海洋沉积物中被氧化仍没有明确的定论。目前，在自养及异养细菌中均发现了不同的硫氧化途径，但是沉积物中主要的自养硫氧化菌群，如大硫细菌丰度并不高；具有硫氧化功能的异养细菌，如玫瑰杆菌在海洋沉积物硫氧化过程中的具体功能仍不清晰。本研究以渤海为例，通过采取沉积物样品，对其进行高通量测序，通过宏基因组数据重构了超过 6000 个原核微生物基因组，结果表明绝大多数基因组含有硫氧化的功能基因，包含许多低丰度的微生物类群，但是大部分基因组只含有部分硫氧化过程的功能基因，并不能实现从 H_2S 到硫酸盐的直接完全氧化。此外，宏基因组数据中并未发现将亚硫酸盐氧化为硫酸盐的功能基因（SorAB），也未发现能将硫代硫酸盐完全氧化为硫酸盐的功能基因（完整的 SOX 系统、DoxAD 或 TsdAB 基因）。通过对沉积物的间隙水中不同硫化物浓度的测量及宏基因组数据分析，我们推测在沉积物中微生物介导的主要硫氧化途径为：H_2S 通过 SQR 或者 FccAB 系统氧化为零价硫，零价硫通过 PDO，HDR 或 rDSR 等酶氧化为亚硫酸盐，亚硫酸盐及零价硫自发反应生成硫代硫酸盐，而硫代硫酸盐通过不完整的 SOX 系统、DoxD 或 TsdA 等不完全为硫酸盐和零价硫。本研究揭示了沉积物中硫氧化途径的复杂性，及微生物群落参与该过程的多样性，表明低丰度的微生物类群对于该过程可能也具有重要贡献。

S49-O-13

海洋原生生物休眠包囊：一种惰性有机碳来源与分子鉴定

龚骏[1,2*]，邓惠文[1]，余沁[1]，张浩远[1]，李官哲[1]，何翠[1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* gongj27@mail.sysu.edu.cn

在恶劣的环境条件下，很多海洋原生生物种类（包括单细胞浮游植物、原生动物）的细胞能进行细胞结构的重构，形成基本无代谢活性的休眠包囊，可经历几百年乃至千年仍保持细胞形态及萌发潜力。它们在海洋沉积物及水体的埋藏也意味着一部分惰性颗粒有机碳的埋藏，理解它们的来源、形成过程、数量、分布及重新萌发机制等问题对于海洋增汇、海洋负排放具有重要意义。作者利用模式物种对原生生物包囊的分子生物学特征进行的研究发现：活跃细胞转化为休眠包囊后，体积明显减小，但与活跃细胞一样，包囊中的 18S rRNA 基因的拷贝数与包囊体积仍呈幂律关系；包囊中的 rRNA 转录本拷贝数降低得更加剧烈，导致 rRNA：rDNA 比率锐减。这提示可以利用 18S rRNA 的分子方法（高通量测序及定量 PCR）来定性包囊的物种来源，并定量包囊的数量（生物量）。在此基础上，作者率先提出一种基于 rDNA、rRNA 及 PMA-rDNA 的“三重宏条纹码测序”数据分析策略，并应用于海洋沉积物中休眠包囊、活跃细胞、胞外残存 DNA 的在类物种级别的区分。结果发现休眠包囊的 rDNA 丰度及代表的物种丰富度在海洋表层沉积物总 rDNA 库中都占有相当的比例，其物种来源也非常丰富，并受到沉积物性质、所处地理位置的影响。作者的后续研究将进一步阐明包囊在海洋学过程、海洋惰性有机碳源汇过程中的生态学与生物地球化学意义。

S49-O-14

病毒回路潜在增加近岸海域中惰性溶解有机碳的积累

危威[1,2*]，孙钊[2]，肖喜林[2]，焦念志[2*]，张锐[2*]

1 武汉工程大学，环境生态与生物工程学院

2 厦门大学，福建省海洋碳汇重点实验室

* weiwei@wit.edu.cn

* jiao@xmu.edu.cn

* ruizhang@xmu.edu.cn

在广阔的海洋中，病毒回路是导致细菌高死亡率的原因，进而影响细菌种群的生产、呼吸和生长效率。病毒裂解细菌释放的细胞内含物是产生溶解有机碳的重要途径，被认为是调节海洋环境中溶解有机碳库质量和数量的关键纳米级驱动因素。然而，我们对病毒回路影响溶解有机碳库形成和惰性溶解有机碳在海洋中积累的理解处于初级阶段，其潜在机制尚不清楚。在这项研究中，基于典型近岸海域原位细菌和病毒种群相对长期培养实验，我们揭示了复杂的病毒生态动力学与溶解有机碳消耗之间的耦合。在高强度的病毒回路压力下，系统中溶解有机碳的细菌消耗减少，这可能表明病毒回路促进了惰性溶解有机碳的积累，这与“微生物碳泵”理论的预测一致。最后，这项研究首次提供了大量数据，证实了病毒回路对近岸海水中惰性溶解有机碳积累的正反馈，并可能对海洋碳汇产生重大影响。

S49-O-15

奇古菌在深海溶解有机碳转化中的作用

谢伟[1*]，邱玲丽[1]

1 中山大学，海洋科学学院

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

作为深海中广泛分布的化能自养微生物，奇古菌所主导的硝化反应是黑暗固碳的重要贡献者，目前已经知道奇古固定的有机碳，约有 4-50%以溶解有机碳的形式释放至海水中，但这些溶解有机质的生态效应，仍

然知之甚少。本研究通过对采集自南海深层500 米及 2000 米的海水分别进行培养氨添加实验，发现在添加低氨浓度培养90天后，均能产生一定浓度的 NO_2^-，表明深海古菌能够在低氨浓度添加的体系中生长。使用宏基因及 FT-ICR-MS 等方法研究培养体系中奇古菌产生的溶解有机质的特征及其对其他类群的影响。结果发现，一种新的奇古菌类群（与报道的奇古菌基因组相似性仅为80%）在该培养体系中占比达到 88.5%，是该培养体系中的优势类群。奇古菌生长组的碳水化合物、脂类化合物、蛋白类的活性有机分子的占比明显高于对照组，表明深海奇古菌的生长，能够向环境中释放一些具有活性的有机分子。研究还发现，奇古菌生长组的聚酚类、芳香类等惰性有机分子的占比则明显低于对照组，且体系中惰性溶解有机碳的代表——CRAM（富含羧基的不饱和脂环族化合物）分子的比例显著低于对照组，且 CRAM 分子平均分子量也显著小于对照组，表明奇古菌的生长促进了体系中的 CRAM 分子的分解。同时，奇古菌生长组对应的非奇古菌原核生物组成与对照组的非奇古菌原核生物组成也存在一定的差别，奇古菌生长组中，黄杆菌类群比例显著提高，提示奇古菌的生长对黄杆菌有一定的促进作用，从而在深海溶解有机碳 CRAM 组分的分解过程中发挥着作用。研究同时发现，奇古菌生长组的原核生物网络互作关系，与对照组也存在显著差别，表明奇古菌产生的溶解有机质可能对深海原核生物间的网络互作关系产生一定的影响。基于 16S rRNA 进行的功能预测显示，奇古菌生长组的硝化功能及发酵功能显著高于对照组，表明奇古菌的生长能够促进有机质的发酵分解。这些结果表明深海广泛分布的奇古菌产生的溶解有机质，可能通过激活其他异养微生物类群，促进部分深海溶解有机质的分解，从而体现出激发效应。该研究在为进一步理解奇古菌参与的深海溶解有机质的转化过程及其在黑暗食物链中的作用提供了依据。

S49-O-16

海洋浮游古菌 MGII 深分枝类群的碳代谢潜能初探

陶建昌[1]，陈艳伟[1]，王文秀[1]，侯圣伟[1*]，张传伦[1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* housw@sustech.edu.cn

自 1992 年海洋浮游古菌发现以来，古菌在全球海洋生源要素循环中的作用备受关注。大量研究表明海洋浮游古菌 MGI 依赖氨氧化营化能自养型生活史（Dekas et al., 2019），而海洋浮游古菌 MGII 则以利用外源有机质为主营（光能）异养型生活史（Iverson, et al., 2012; Martin-Cuadrado et al., 2015; Rinke et al., 2018; Tully et al., 2019）。因缺乏稳定富集培养体系，MGII 的研究仍以野外观测为主，对其生理生态的研究滞后于 MGI。本研究通过逐步优化陈海水富集培养体系，得到了 MGII 的两大类群（MGIIa 和 MGIIb）的稳定培养物，并首次发现了 MGII 的一个科水平深分枝类群 MGII-db。基因组分析表明，该深分枝类群具有区别于其它 MGII 的更高的 GC 含量、更低的编码密度和更慢的生长速率。此外，MGII-db 编码有完整的还原性三羧酸循环（rTCA），能够在人工海水中固定 CO_2 进行自养生长。更重要的是，与其它 MGII 相比，MGII-db 编码有更为完整的古菌膜脂 GDGTs 合成通路。虽然宏基因组分析表明 MGII-db 主要以较低丰度存在于深层海水环境，但不能排除地质历史时期 MGII 对海洋 GDGTs 的累积有显著贡献。本研究所建立的富集培养体系、全基因组序列和生理代谢数据将极大地推动 MGII 的进化和生态功能研究。

S49-O-17

西北太平洋亚热带海域原绿球藻和聚球藻的温度敏感性受营养盐调控机制研究

刘凯琳[1*]，Koji Suzuki[2]，陈炳章[3]，刘红斌[4]

1 厦门大学
2 Hokkaido University
3 University of Strathclyde
4 香港科技大学
* kailinliu@xmu.edu.cn

浮游植物生长率的温度敏感性对于预测全球变暖对海洋初级生产力和生物碳泵效率的影响至关重要。为了研究营养盐可利用性如何影响浮游植物生长的温度敏感性，本研究利用短期的温度和营养盐调控稀释法实验估算了亚热带西北太平洋地区浮游植物主要类群（原绿球藻和聚球藻）的温度敏感性（以活化能：E_a 指示）。此外，本研究集成了通过稀释法测定的原绿球藻和聚球藻的生长率数据集进行分析。研究结果表明，在原位营养盐条件下，聚球藻生长率的 E_a 值低于在营养盐丰富时的 E_a 值。因此，在寡营养海域，聚球藻生长对气候变暖的响应可能比在营养丰富的海域的响应弱。相比之下，原绿球藻生长率的 E_a 值在两种营养供应情况下没有显著性差异，说明原绿球藻适应了现场极低营养盐条件。同时，我们发现聚球藻生长的 E_a 值在营养盐限制条件下的降低，很可能与生长的半饱和度常数随温度升高而增加的趋势有关。生长的半饱和常数的温度敏感性和营养盐限制水平共同决定了聚球藻生长率对温度升高的响应。本研究结果强调了在寡营养盐海域评估浮游植物生长和初级生产力对气候变暖的响应时，考虑营养盐可利用性的重要意义。

S49-O-18

原绿球藻对海洋暖化的生理和分子响应机制研究

严威[1,2*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院
2 厦门大学，碳中和创新研究中心
* yanwei@cug.edu.cn

原绿球藻（*Prochlorococcus*）是目前已知数量最多、细胞体积最小的产氧光合微生物。原绿球藻每年固定约 40 亿吨碳，是海洋碳汇的重要贡献者，对海洋生态系统的物质循环和能量流动起着驱动作用。随着全球气候变化的加剧，原绿球藻面临海洋暖化的挑战。本研究发现温度是原绿球藻分化的主导因素，在进化上高度相近的不同生态型和亚生态型有明显不同的温度适应范围。本研究在不同进化水平，划分具有不同高温耐受阈值的原绿球藻生态型、亚生态型和株系。筛选原绿球藻响应高温胁迫的关键基因，探究其光合固碳系统、热休克反应系统和细胞膜脂组分的响应。本研为进一步研究和预测全球气候变化压力下原绿球藻的响应机制提供了科学依据。

S49-P-1S

南海浮游病毒对微微型浮游植物群落的调控作用研究

李长林[1]，黄邦钦[1*]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室
* bqhuang@xmu.edu.cn

海洋微微型浮游植物是地球上粒径最小、丰度最高的产氧光合生物。作为广阔寡营养海域的优势微生物类群，微微型浮游植物是海洋初级生产力的重要组成部分，在海洋生态系统功能和生物地球化学循环中发挥着重要作用。浮游病毒是海洋中数量最多

的生命粒子，对微微型浮游植物的生长起着重要的调控作用。病毒通过感染和裂解微微型浮游植物来影响它们的数量、生产力和群落结构。同时，被感染宿主细胞的裂解产物作为营养物质为未被感染的微微型浮游植物所利用，影响这一部分生物类群的生态特性和生态功能。这两种作用的耦合决定着特定生态系统中病毒在微食物环中的角色和地位。目前，对病毒裂解引起宿主死亡及营养盐再生所造成的微微型浮游植物净生长量差异规律的认识还有很多不足。本研究基于 2017 年和 2018 年夏季南海基金委共享航次开展的 35 次改良稀释法培养实验。实验结果表明，大部分病毒裂解率小于 0，即病毒减少时，微微型浮游植物数量也会下降。这说明海洋病毒在促进海洋微食物环的营养循环中扮演着重要的生态角色。另外，我们还发现病毒裂解率与宿主丰度存在较好的正相关关系，这一点与细菌中的结果相似，表明病毒可能可以对环境中宿主的生长状态作出响应，从而在溶源性侵染和裂解性侵染之间转换。

S49-P-2

宏组学解析低氧海水的微生物碳氮循环机理

韩昱 [1,2*]，汤凯 [2]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验
* yuhan@hainanu.edu.cn

富营养化导致的近岸水体脱氧频发，改变了生态系统的微生物群落结构、生理代谢过程及其介导的关键元素生物地球化学循环，对生态环境构成重大威胁。近年来，渤海、东海等典型近岸海域已多次发生季节性的海水脱氧事件，但微生物群落对脱氧水体的响应仍尚不清晰。野外调查发现脱氧水体中的优势菌群为变形菌、蓝细菌和奇古菌，尤其是奇古菌门的亚硝基菌属在脱氧环境中占据优势。其中溶解氧、pH 和温度是调控微生物群落组成和功能活性的关键环境因子。宏转录组的数据显示，在脱氧水体中奇古菌具有较高的转录活性，其执行氨氧化、氨转运和固碳途径(3-羟基丙酸/4-羟基丁酸循环)的核心基因表达均显著增加。而蓝细菌参与光合作用和固碳途径(卡尔文循环)的转录本在脱氧水体中显著降低，二磷酸核酮糖羧化酶编码基因的转录本自表层到底层水体由光合自养向化能自养方式转变。宏转录组结果还发现异养细菌在转运低分子量的溶解性有机氮中起到了关键作用。同时，脱氧海水中奇古菌抗氧化能力的转录本丰度提高，这与其胞内有氧代谢的相关过程增强相对应。总体来说，本研究从微生物转录水平上证明了脱氧区以近岸型奇古菌丰度和活性增加，脱氧环境下抗氧化能力增强以及有机氮代谢矿化促进了奇古菌等化能自养菌的氨氧化及化能自养固碳。

S49-P-3S

气温上升，南极微生物命运几何？——主动升温对于南极表层活性土壤微生物组的影响

刘忆思 [1,3]，廖丽 [1,2*]

1 中国极地研究中心（中国极地研究所），极地科学重点实验室
2 上海交通大学，海洋学院
3 上海海洋大学，海洋生态与环境学院
* Liaoli@pric.org.cn

根据大量气候数据预测未来全球性气温可能会出现持续上升的趋势，这将会给对气温敏感的西南极地区带来巨大的影响。南极土壤微生物常年生活在寒冷、干燥、强辐射等环境中，面对此温度变化，它们会采取怎样的策略维持正常生存所必需的代谢活动，是一个值得去探索和研究的科学问题。我们将西南极阿德雷岛企鹅密集活动区域

表层土壤在实验室条件下进行了模拟升温（4℃、10℃、15℃），对各温度梯度和时间梯度的样品做了宏基因组测序并从中重建了 216 个高质量 MAGs，包括一些未培养微生物如 UBP6、WOR-1 等，结果显示丰度随温度下调的 MAGs 数目是上调的 5 倍左右，占总 MAGs 数目的 20%，数据分析表明随着温度的上升微生物的多样性会降低。我们也试图通过216个组装基因组进行代谢重构，以探索各类菌群在该区域的生态位如何，从而揭示温度的上升对于南极土壤区域的地球化学元素循环产生的影响。在未来气候变化的大背景下，该研究可为诸如极地、高原地区等一些对气温较为敏感地区的微生物组提供一个动态模型与参考资源，并为针对南极生物多样性保护与生物地球化学循环的策略提供数据支持。

S49-P-4

近海菌群在陆源有机碳代谢中的作用

林璐 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

* linlu2019@sdu.edu.cn

木质纤维素是地球上丰富的有机碳库。它在调控全球碳循环中起着重要作用。每年约 0.3 Pg 木质纤维素输入海洋中，而只有 30% 的有机碳埋藏在沉积物中（约 0.1 Pg），这表面海洋中木质纤维素大量被微生物活跃的代谢、转化。近海是海洋碳汇主线上碳转化最活跃的生境之一。然而现存有关近海湿地木质纤维素降解菌群的信息很少，极大限制了我们对这些菌群的生态作用和特征的认识。团队在浙江省舟山市近海潮间带进行不同时长（3、6、12、18 个月）、不同木质素类型（松木、杨木、水稻木质纤维素和云杉木质素）的原位富集实验。结合高通量测序技术，结果显示底物和富集时间影响着菌群组装。随着富集时间延长，菌群呈现时间衰退模式，且 alpha 多样性增加。相比与草本底物富集的菌群，木本底物富集的菌群具有较高的 alpha 多样性。此外，我们揭示底物特异的降解者，并指出近海潮间带富含木质素降解的混合酶系。它包含 23 个参与木质素解聚的基因家族，317 个参与芳香族代谢的基因家族，挑战了木质素在海洋生态系统中稳定的传统观点。相较与在不同底物富集菌群含有相似的（半）纤维素酶基因，木质素降解基因在木本和草本底物下呈现不同的基因簇。重要的是，我们不仅观察到了木质素和纤维素间协同降解效应，还指出了发挥作用的物种和功能基因。并指出厌氧、好氧环境交替有助于底物的协同降解。随后，我们对原位菌群进行富集培养，探究接种源、底物、培养条件等生物和非生物因素如何影响培养组的菌群组装和木质纤维素降解能力。结果显示作为近海菌群，盐度是群落组成的最重要的驱动力，其次分别是挪威云杉，温度，和杨木。在此基础上，提出一个在草本和木本木质素纤维素底物下菌群动态演替的模型。在挪威云杉木质素底物下，菌群演替更易受非生物因素影响，而其底物利用则受生物因素影响较大。在水稻底物下，则呈相反结果。最后，我们发展了四组针对不同木质纤维素底物的降解菌群。上述工作不仅揭示近海潮间带蕴含丰富的木质纤维素降解菌群，还为近海木质纤维素菌群组装、演替和生态功能提供了新的见解。

S49-P-5S

长江口海域有机硫特征及其源汇

董昌杰 [1]，陈泉睿 [1]，汤凯 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院 近海海洋环境科学国家重点实验室

* tangkai@xmu.edu.cn

有机硫不仅是海洋生物不可或缺的组分，而且在海洋硫循环中扮演着关键角色。海洋中有机硫的现存量超过了6700百万吨，是海洋中硫酸盐重要的汇。近年来的研究表

明，有机硫的来源除了光合浮游生物的生产，缺氧条件下的硫化过程也是有机硫的重要来源。长江口是中国近海环境中具有代表性的缺氧区，然而该区域有机硫的研究相对匮乏。本研究调查了长江口水体和沉积物中有机硫的原位空间分布并结合长期的沉积物缺氧培养实验以模拟缺氧环境中有机硫的形成过程。结果表明，颗粒有机物上的有机硫含量(0.42 ~ 2.69 μmol/L)与溶解有机物上的有机硫含量(0.58 ~ 1.99 μmol/L)相当。颗粒有机物 S/C 范围（0.01 ~ 0.08）比溶解有机物 S/C 范围（0.006 ~ 0.018）更加广泛，而与沉积物中有机物 S/C 范围（0.01～0.07）无差异。相似的 S/C 特征表明沉积物有机硫和颗粒有机硫的同质性。缺氧区沉积物具有更高的 S/C。长期的沉积物培养实验表明，随着沉积物的持续缺氧，微生物硫酸盐还原过程持续发生，有机硫含量显著提高，有机物 S/C 提升 2%-5%，表现为更耐酸水解，耐酸水解的有机物从 60%提高至 90%。本研究结果表明沉积物有机硫除了沉降颗粒物的贡献外，内部的硫化过程也是沉积物中有机硫的来源。

S49-P-6S

基于单细胞分选和测序技术的高通量混合营养型真核藻类物种鉴定

王莹[1]，李倩[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* liqian00@sjtu.edu.cn

同时具备光合自养和吞噬异养能力的混合营养型真核藻类广泛存在于各种水生生态系统中。但由于大部分类群尚未被成功鉴定，因此对它们的分布与生理生态学研究是一个挑战。基于形态学的荧光显微镜观察方法可用于寻找摄食证据和估算摄食能力，但该方法在明确物种分类上存在局限性且通量较低。为此，本研究开发了一种基于荧光标定识别功能类群的单细胞分选与测序技术，并将该方法与显微镜形态学观察相结合，成功的筛选并且鉴定了野外环境中摄食细菌的主要捕食者。该方法的主要技术优势在于既能够借助流式细胞仪高通量识别环境中活跃的混合营养型鞭毛藻摄食者（高叶绿素高食物标定荧光信号）和严格异养的鞭毛虫捕食者（低叶绿素高食物标定荧光信号），又能够基于落射荧光显微镜获取优势类群的活跃摄食证据。分选出的单细胞活跃摄食者使用多重置换扩增方法进行全基因组扩增，以实现单细胞水平的精准物种鉴定。基于上述方法，我们成功鉴定了来自典型淡水环境中的优势混合营养型真核藻类，来自金藻纲的 *Spiniferomonas* 属，以及硅鞭藻纲的 *Pedinella* 属。 此外，不含叶绿体的金藻类群（*Spumella* 属和 *Pedospumella* 属）也大量存在，对细菌有较高的摄食率。上述类群对不同类型的食物，包括不同粒径大小的荧光微球和活的聚球藻，也表现出了不同的摄食偏好性与摄食速率。该方法为研究不同水生生态系统中的功能类群提供了新的思路和方向，有助于加快对混合营养型真核生物的物种鉴定与生态功能识别，从而将其整合到传统食物网以及碳循环的研究中来。

S49-P-7

COMMUNITY DYNAMICS OF FREE-LIVING AND PARTICLE-ATTACHED BACTERIA OVER SEQUENTIAL BLOOMS OF HETEROTROPHIC DINOFLAGELLATE NOCTILUCA

SCINTILLANS AND MIXOTROPHIC CILIATE MESODINIUM RUBRUM

张淑雯[1*]，刘红斌[2]，夏晓敏[3]

1 华南师范大学，生命科学学院

2 香港科技大学

3 中国科学院南海海洋研究所

* shuwen@m.scnu.edu.cn

We used high-throughput 16S rRNA gene sequencing to study free-living (FL) and particle-attached (PA) bacteria population dynamics during successive Noctiluca scintillans and Mesodinium rubrum blooms. It is shown that PA flora responded more dynamically to these sequential blooms than FL flora. The major bacterial groups, e.g., Flavobacteriaceae, Rhodobacteraceae, Vibrioneceae, and SAR11 subclade I, had various degrees of connection with bloom-causing species and environmental variables. FL bacteria groups were more connected to M. rubrum, while PA bacteria groups were more related to N. scintillans. Vibrioneceae and Rickettsiaceae, N. scintillans' possible endocytic bacteria, proliferated during the bloom, suggesting they may influence its dynamics and biogeochemical cycling. Due to substrate preference, thermal niche of different bacterial taxa, and the brief duration of the blooms (1-3 days), FL and PA bacterial communities responded differently to these protozoan blooms.

S49-P-8S

中国南海微生物源蝶呤有机小分子的真光层分布及调控因素研究

梅康[1,2]，王德利[1,2*]，钟灏文[1,2]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

2 厦门大学，海洋与地球学院

* deliwang@xmu.edu.cn

蝶呤有机小分子最初发现于光合自养生物蓝细菌体内，是参与碳氮的能量代谢的前体物质，作为辅酶或辅因子参与趋光信号转导（光受体）、光化学氧化还原反应和光能捕捉与紫外辐射防护等生命活动过程。本研究首次报道颗粒态生源蝶呤在中国南海海盆真光层中的垂直分布，使用高效液相色谱荧光检测方法（HPLC-FLD）测定水体中新蝶呤（Neopterin，NP）、生物蝶呤（Biopterin，BP）和异黄蝶呤（Isoxanthopterin，IP）的海洋环境浓度，3 种蝶呤的方法检测限分别为 NP：0.48nM, BP：0.72 nM, IP：0.22 nM。结果表明，蝶呤主要富集于表层区（深度 100 m 以内），次表层（深度 100-200 m）多低于检测限。所有样品中 NP 均未检出，BP（0.01 – 0.6*p*M）和 IP（0.01 – 3*p*M）的水柱剖面分布浓度与各站位的营养盐梯度形成了鲜明的负相关。在叶绿素最大层深度附近，发现对应深度黄蝶呤含量响应高值，生物蝶呤和黄蝶呤的地理分布与蓝细菌聚球藻和原绿球藻的丰度呈正相关，可能表明聚球藻是生源蝶呤的重要贡献来源。季节分布上，夏季南海表层的蝶呤丰度显著高于春季航次的测定值。蝶呤的检测在不同海洋系统中的应用有可能揭示海洋微生物群落中发生的生物地球化学循环过程及其生物学作用。

S49-P-9S

渤黄海表层沉积物碳酸盐矿物（碳酸钙和白云石）分布研究

史文婷[1]，翟惟东[2*]，杨庶[1]，郭聪聪[1]，刘子辰[1]

1 山东大学，海洋研究院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* zhaiweidong@sml-zhuhai.cn

海洋环境中的碳酸盐矿物来源于陆源输入、生物形成，以及沉积物再悬浮，目前通常以元素分析仪测定颗粒无机碳（Particulate Inorganic Carbon, PIC）的方法来评估海洋碳酸钙溶解过程对大气 CO_2 的缓冲作用，然而海洋中碳酸盐矿物的主要组分除了碳酸钙（方解石或文石，$CaCO_3$）以外，还有白云石（$CaMg(CO_3)_2$），其中白云石具有较强抗溶蚀能力，不能起到缓冲大气 CO_2 升高的作用。以元素分析仪测定 PIC 的方法没有区分碳酸钙和白云石，从而导致其中可缓冲大气 CO_2 升高的碳酸钙含量被高估。为了研究这一问题，本研究基于碳酸盐矿物在磷酸中可顺序浸出的原理，进而跟踪溶解过程中所排放的二氧化碳的方法（SL-CO_2 法）测量了 2022 年在渤黄海不同区域采集的表层沉积物中的碳酸钙和白云石含量，结果显示，渤黄海海域表层沉积物中碳酸钙含量为 0.25%-11.60%，平均含量为 4.89%，绝大部分样品的碳酸钙含量超过 1.5%；白云石含量为 0.15%-2.12%，平均含量为 0.92%，绝大部分样品的白云石含量低于 1.5%。碳酸钙含量较低的数据出现在含沙量较高的沉积物样品中，而黄河口表层沉积物的碳酸钙含量则高达 8.57%-11.60%；白云石含量的分布则比较均匀。汇总这两类碳酸盐矿物，黄河口的碳酸盐矿物含量为 9.87%-12.88%，平均含量为 11.27%；渤海中部的碳酸盐矿物含量为 2.79%-11.35%，平均含量为 6.36%；黄海的碳酸盐矿物含量为 0.46%-7.75%，平均含量为 3.24%。其中，黄河口表层沉积物中的碳酸盐矿物含量明显高于渤海中部和黄海海域，而白云石的高值分布在靠近长江口的海域。整体而言，渤黄海表层沉积物中的白云石占碳酸盐矿物的比例为 7.07%-51.77%，在绝大部分表层沉积物样品中这一比例不到 30%，占比高值主要分布在黄海含沙量高的少数表层沉积物样品中。同位素分析的结果还显示，白云石的碳稳定同位素组成 $\delta^{13}C$ 比碳酸钙偏正，其中碳酸钙的 $\delta^{13}C$ 值为-21.010‰~-2.000‰，平均值为-6.480‰；白云石的 $\delta^{13}C$ 值为-8.207‰~-0.958‰，平均值为-3.802‰。这表明沉积物物源、类型，流域差异以及矿物晶体结构本身的特点，是边缘海沉积物中碳酸盐矿物含量的影响因素。本研究结果将为后续正确评估边缘海 PIC 库对大气 CO_2 升高的缓冲潜力提供部分依据。

S49-P-10S

基于轨道离子阱质谱仪的南汇海滩沉积微生物代谢产物分布及组成特征

徐可[1]，吴伟超[1*]，张泽斌[1]，范自成[2]，许云平[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 赛默飞世尔科技公司

* wcwu@shou.edu.cn

海洋微生物是生物地球化学循环的幕后推手，其代谢产物是海洋碳库的重要组成部分，受到越来越多的关注。海洋沉积微生物是有机质早期成岩和矿化的主要参与者，微生物不仅可以利用有机质合成自身有机质，并且还可以通过分泌代谢产物到环境中，从而进一步影响有机质的循环过程。因此，海洋微生物代谢产物的研究不仅有助于厘清微生物的代谢途径，也有助于理解海洋有机质的循环过程。高分辨率质谱是高通量测量代谢产物常用的方法，然而在海洋环境微生物的代谢产物的研究还处于起步阶段，主

要的问题是方法和技术的适用性。为此，我们利用了液相轨道离子阱质谱（LC-orbitrap MS）分析了冬季（2023 年 3 月）长江口典型潮滩——南汇海滩沉积物中代谢产物组成。在正负离子两种模式下，我们分别发现了 11029 和 8533 个特征峰，其中可鉴定的化合物为别为 548 和 325 种，主要化合物为氨基酸、核苷类和脂肪酸类化合物。为了进一步验证环境对微生物代谢的影响，我们在同一天采集了上海海洋大学校内湖泊颗粒物，由于生态因素的差别，不同生态环境中的微生物代谢产物的丰度呈现出较大差异。统计分析的结果表明，湖泊内颗粒物的代谢产物达 2 万多种，以氨基酸，核苷类、脂类为主，其含硫化合物较沉积物体系丰富，且脂肪酸类化合物明显高于海洋，这可能与湖泊环境中含有丰富的藻类有关（提取液呈明显的绿色，表明色素含量较高）。进一步的主成分分析表明，南汇嘴观海公园、南汇新城海滩、上海海洋大学三个采样区域在微生物代谢组成上有着明显的差异，初步的结果表明，环境对微生物的代谢产物是有着明显影响的。在高混浊环境的潮间带下，丰富的氨基酸和核苷类化合物可能表明微生物处于能量过剩的状态，来不及转化活跃的有机质。通过对南汇海滩沉积物微生物代谢产物分布及组成特征的分析，有助于我们更好地理解海洋微生物对海洋有机质循环和能量循环的驱动作用，同时也为我们进一步探究海洋微生物在不同生态环境下的代谢机制及生态功能提供了一定的参考依据。

S49-P-11S

长江口沉积物中一种新型纤维素降解菌功能研究

高于欣 [1]，王鹏 [1*]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

* pengwang@tongji.edu.cn

木质纤维素的微生物降解是生态系统中碳循环的重要过程之一。目前对木质纤维素的降解过程主要集中于真菌研究，对细菌在木质纤维降解过程中的作用研究还比较少。我们从长江口沉积物中分离到一株拟杆菌 *Maribellus sp*YY47，基于 16S r RNA 基因测序和生理生化分析，该菌属于美丽海杆菌的一个新种，与 *Maribellus sediminis*Y2-1-60^T 和 *Maribellus luteus*XSD2^T 具有较高的同源性；菌株 YY47 基因组完成图结果表明：该菌株具有完整的木质纤维素降解通路，包含 42 个 PULs，涉及到 428 个基因，169 个糖苷水解酶（GHs）、49 个碳水化合物酯酶（CE）、3 个多糖裂合酶（PL）、14 个碳水化合物结合模块（CBMs）和 47 个糖基转移酶类（GT）；同时，在厌氧条件下，YY47T 可以有效降解纤维素、木聚糖、甘露聚糖、岩藻多糖和淀粉等多种多糖底物。本研究表明菌株 YY47 可能是一种具有潜在多糖降解能力的菌株。拟杆菌被认为是藻类多糖的主要降解者，在海洋碳元素生物地球化学循环过程中扮演重要角色，这为研究海洋细菌对多糖的降解能力以及阐明该菌株在海洋碳循环的作用具有重要指导意义。

S49-P-12S

河口生态系统的蓝细菌噬菌体多样性及病毒-宿主共同进化特征

谭依莎 [1,2]，曾庆璐 [1*]，李猛 [2*]

1 香港科技大学，海洋科学系

2 深圳大学，深圳大学高等研究院

* zeng@ust.hk

* limeng848@szu.edu.cn

Cyanophages play important roles in the ecology and evolution of cyanobacteria. However, different hosts responding to infection by various cyanophages remain to be investigated. Here, we conducted taxonomy

profiling and phylogenetic analyses for estuarine cyanophage genomes and cyanobacteria MAGs derived from four Chinese estuarine ecosystems. In the meantime, weisolated marine cyanophages and foundthe consistency and distinctiveness of functional metabolisms compared with estuarine cyanophage genomes. Further, using *Synechococcus*WH7803 as a model, we isolated mutants resistant to cyanophage infection and determined resistant genes. Our work utilizes whole genome characterization to address the relationship between estuarine cyanophages and marine cyanophages, supporting the possibility that phage-resistant genes of cyanobacteria play important roles in the coevolution of cyanophages and cyanobacterial genomes in both estuarine and marine environments.

S49-P-13S

钙化颗石藻对温度波动变化的株间差异性响应

叶嘉杨 [1*]，冯媛媛 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* yejiayang@sjtu.edu.cn

* yuanyuan.feng@sjtu.edu.cn

颗石藻作为重要的浮游植物功能群之一，既可以通过光合作用生产颗粒有机碳，也可通过独特的钙化作用生产颗粒无机碳，在海洋碳泵与碳元素的生物地球化学循环过程中起着重要作用。而温度作为重要的环境因子之一，影响生物体内的酶活性，对颗石藻的生长和生理过程具有重要影响。同时，在全球气候变化的背景下，海洋温度也发生巨大波动，海洋热浪等极端天气的强度、频率、持续时间都在不断增强。相关研究表明，温度波动使得生物暴露在更为极端的条件下，可能会带来比气候变暖本身更大的危害。本研究使用颗石藻物种 *Emiliania huxleyi* 中分离自不同纬度海区的钙化颗石藻 RCC 1266 与 CCMP 371，在实验室条件下设置不同温度及温度波动条件，研究其在不同温度波动条件下，叶绿素、生物大分子、细胞元素含量、Sr/Ca 比、沉降速率等生理参数及基因表达水平的变化，探究同株系颗石藻在不同温度波动条件下的响应及不同纬度、水团中的颗石藻株系应对温度波动条件的差异响应。初步结果表明，不同海区分离的颗石藻株系存在较大差异性，而不同株系颗石藻应对同一温度波动条件的响应均未体现显著差异。此结论初步推测可能与颗石藻所分离海区的条件及实验室保种条件相关。

S49-P-14

龙须菜养殖环境中脲酶产生菌的多样性及其生态功能

裴鹏兵 [1,2]，叶佩琳 [1]，Muhammad Aslam[1]，李堂成 [1]，林琪 [2]，杜虹 [1*]

1 汕头大学，理学院

2 福建省水产研究所

* hdu@stu.edu.cn

脲酶产生菌(Urease-producing bacteria, UPB)通过水解尿素为初级生产者提供无机氮，在海洋氮循环中发挥着重要作用。然而，人们对龙须菜养殖环境中 UPB 及其生态功能的认识还不够全面。本研究综合分析了可培养 UPB 的多样性，并探讨了它们对龙须菜吸收尿素的影响。通过 16S rRNA 测序共鉴定出 34 株细菌，分别属于变形菌门、拟杆菌门、厚壁菌门和放线菌门 4 个主要细菌门类，并通过尿素琼脂显色培养基实验和 *ureC* 基因克隆进行 UPB 筛选。研究结果显示，34 株细菌中只有 8 株含有脲酶。通过 Berthelot 反应比色法测定 UPB 的脲酶活性，结果显示不同 UPB 的脲酶活性存在显著性差异。此外，选择脲酶活性最高的 UPB 菌株与无菌龙须菜进行共培养，探讨其对大型

海藻氮吸收的促进或抑制作用。结果表明，与无菌组相比，UPB 共培养组的培养基中尿素消耗量和龙须菜细胞总氮含量显著增加($p< 0.05$)。这表明所选择的 UPB 菌株对龙须菜的氮吸收有积极的影响。同样，同位素分析结果表明，UPB 共培养组中龙须菜藻体内 $\delta^{15}N$ 含量显著高于对照组，$\delta^{15}N$-尿素是所有培养基中唯一的氮源。这表明，UPB 有助于龙须菜从尿素中吸收更多的氮。此外，与灭菌组(即对照组)相比，带有附生菌的龙须菜藻体内 $\delta^{15}N$ 含量最高，说明附生菌和 UPB 在帮助龙须菜从尿素中吸收更多氮方面具有复合作用。综上所述，这些结果为 UPB 的生态作用提供了独特的见解，并表明大型海藻环境相关细菌的脲酶可能在海洋氮循环中起着重要作用。

S49-P-15S

海洋表层沉积物微生物介导的产甲烷过程及环境意义

刘俏 [1]，孟倪 [1]，周震 [1]，李爽 [1]，庄光超 [1*]

1 中国海洋大学，化学化工学院

* zgc@ouc.edu.cn

海洋沉积物中的微生物产甲烷过程是有机质降解的最后一步，直接影响着全球甲烷排放及海洋碳循环过程。表层沉积物产甲烷过程是上层水体中甲烷的来源之一，因此近年来成为研究的热点。我们利用黄东海表层沉积物，系统研究了微生物产甲烷途径及微生物群落结构。结果表明，表层沉积物孔隙水中甲基化合物含量相对丰富。培养实验表明，甲基营养型产甲烷过程是主要的产甲烷途径。而在在不同甲基化合物为底物的实验组中添加不同浓度的氢气，与以单一底物（氢气或甲基化合物）的实验组相比，其产甲烷速率可提高 20%，且不同类型的甲基化合物对氢气浓度变化的响应不同。热力学计算表明依赖氢气的甲基还原产甲烷途径有利于产生更多的能量。通过对古菌群落组成进行分析，发现依赖氢气进行甲基还原的新型产甲烷古菌 *Methanofastidiosa* 占主导地位。这些结果表明，依赖氢气的甲基还原产甲烷途径在富含硫酸盐的海洋表层沉积物中对甲烷生成有重要贡献，这种途径可能是表层沉积物中之前被忽视的主要产甲烷途径之一。

S49-P-16

铁限制下非编码 RNA 对束毛藻基因表达调控的分子机制

陈梦 [1]，钟昕 [1]，石拓 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

* tuoshi@sdu.edu.cn

束毛藻是开放大洋中重要的初级生产者和海洋“新氮”的主要贡献者，是海洋生物地球化学循环的重要驱动者。束毛藻基因组近 40%的序列为非编码序列，可能包含多个对基因表达有重要调控作用的元件，如非编码 RNA（ncRNAs）。铁是热带、亚热带海域内限制束毛藻等固氮蓝藻初级生产力和固氮作用的重要因素。束毛藻对铁限制的生理响应及其分子机制仍有待深入研究。本研究通过室内受控模拟实验，结合差异转录组测序（differential RNA-Seq，dRNA-Seq）与生物信息学分析，从全基因组角度阐明了束毛藻对铁限制的适应机制，对进一步了解束毛藻在全球变化大背景下适应未来海洋环境，促进海洋初级生产力，驱动全球碳氮循环具有重要的理论价值和现实意义。主要研究结果如下：

（1）准确定位了束毛藻基因组内 10220 个转录起始位点（TSS），其中 295 个 TSS 在铁限制和铁充分条件下显著差异表达（$p<0.05$），主要关联参与光合作用、固氮作用、铁吸收与转运等细胞重要生理过程的功能基因；

（2）系统识别了铁限制和铁充分条件下束毛藻基因组内 853 个 ncRNAs，其中 20

个 ncRNAs 的表达水平在铁限制下发生显著变化（p<0.05），包含 7 个可能与铁胁迫适应、铁吸收同化有关的调控元件，例如与铁胁迫诱导基因 *isiAB* 相关联的 IsiR1、IsiR2、IsiR3 分别上调了 5.1、6.6、4.8 倍，暗示他们在铁限制条件下的重要调控作用；

（3）基于启动子基序分析、ncRNA-mRNA 共表达网络构建的结果，我们推测铁摄取调节因子 FurA 通过与 *isiA*5'端 IsiR2 中的 fur box 结合来调控与铁吸收转运、光合及固氮基因的表达，实现对碳氮代谢的反馈调节，以适应铁限制环境。

S49-P-17S

束毛藻对可利用铁适应的转录组重塑机制

钟昕[1]，段然[2]，侯圣伟[3]，陈梦[1]，谈晓明[4]，石拓[1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 厦门大学，海洋与地球学院

3 南方科技大学，工学院

4 湖北大学，生命科学学院

* tuoshi@sdu.edu.cn

铁（Fe）是高营养盐、低叶绿素（HNLC）海域初级生产力的主要限制因素。虽然大洋铁施肥可以提高浮游植物群落生产，但其机制目前尚不明了。我们以固氮模式生物束毛藻 *Trichodesmium erythraeum*IMS101 为研究对象，通过室内受控培养实验，结合转录组测序，阐明了束毛藻对可利用铁的生理响应及分子机制。结果表明：（1）外源 Fe 添加促进束毛藻细胞内关键铁结合蛋白的基因表达，因而提升了束毛藻的光合、固氮及生长速率。（2）束毛藻细胞内铁的稳态平衡由转录调控因子 FurA 控制。在铁充分条件下通过上调储铁蛋白 *bfr* 和 *ftn* 的基因表达实现对多余铁的储存；在铁限制条件下则通过上调与铁吸收转运相关（*feoAB, futABC, tonB, exbD* 等）的基因表达、激活维生素 B12 合成以及依赖 B12 的甲硫氨酸合酶 MetH 以增强对胞外铁的获取、节省资源与能量。（3）新发现了一个受铁胁迫诱导的 *isiA* 基因簇，该基因簇在进化枝上与祖先的亲缘关系更近，通过在光系统 I（PSI）周围形成双层"花环结构"提高 PSI 的捕光效率，实现对光系统的光保护功能。（4）束毛藻细胞内存在可结合不同金属离子的同工酶基因，随 Fe 可利用性及细胞能量状态的改变而发生替代表达。本研究从全基因组层面揭示了束毛藻对可利用铁适应的转录调控网络，对破译海洋固氮蓝藻适应铁限制的分子机制有重要意义，并为海洋环境中 Fe 的监测提供了可供选择的功能指示基因。

S49-P-18S

海洋升温对颗石藻与硅藻竞争关系的影响

王佳伟[1]，冯媛媛[1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* yuanyuan.feng@sjtu.edu.cn

本研究结合 Meta 分析与受控培养实验方法，以期揭示在全球气候变化背景下海温升高时硅藻与颗石藻的竞争规律。针对大量已发表实验数据（共 98 篇学术论文，114 种硅藻物种，6 种颗石藻物种）进行 Meta 分析结果表明，相较于硅藻，温度升高对于颗石藻的生长速率与光合速率有更明显的正效应，而升温对两种藻类的胞内元素组成及生物矿化作用（硅质化及钙化作用）影响不显著。随后，我们选取了全球广泛分布的硅藻和颗石藻物种假微型海链藻（*Thalassiosira pseudonana*）与赫氏颗石藻（*Emiliania huxleyi*）为对象，设置了两种温度条件(15℃,20℃)及两种二氧化碳分压条件(400ppm,1000ppm)进行了实验室内双因素正交两物种混合培养实验。通过竞争参数拟合和元素分析，发现在以 f/20 为培养基的一次性培养条件下，假微型海链藻和赫氏圆石藻分别在培养前期与后期占优，硅藻的前期优势在低温条件下更为明显，而在高温条件

下的培养后期颗石藻的优势度升高至更高程度。相对于温度，二氧化碳分压的影响较不明显。不同温度与二氧化碳分压下培养体系中，不同生长时期下的体系内元素比值与沉降速率也有不同。前期数据分析与后期实验相互印证：在营养盐充足的共存条件下，温度较低时，硅藻具有较强的优势度；而升温及营养盐限制条件则会潜在提升颗石藻在浮游植物群落中的竞争能力而使其成为优势物种。

S50-O-1

深海共生动物系统演化及碳循环生理过程研究

李远宁 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

* yuanning.li@email.sdu.edu.cn

深海管虫是深海化能合成生态系统的代表类群。通过运用基因组学分析等前沿手段，我们不仅揭示出不同生境下深海管虫各类群间的演化关系，同时还发现深海管虫与共生菌存在的生态响应机制和协同进化现象，研究结果为进一步揭示深海生物演化历程及挖掘海洋生物碳固定潜力提供了新的视野。此外，比较基因组学研究发现，除拥有卡尔文循环这一主要的固碳途径外，深海管虫 Vestimentifera 共生系统还具备还原型三羧酸循环（Reductive tricarboxylic acid cycle, rTCA）途径，这种灵活的碳固定代谢机制也许能够提高深海管虫自身碳固定的效率，有利于在更加还原型的生境（如热液、冷泉）中进行种群扩张和生存。通过解析墨西哥湾冷泉管虫 *Lamellibrachia luymesi* 基因组数据，我们发现 *L. luymesi* 体内共生菌经碳固定产生的有机物能够有效弥补管虫体内氨基酸合成关键基因的缺失。而 *L. luymesi* 体内血红蛋白携带的 H_2S 能够为共生菌的固碳作用提供能源物质。其中，所发现的血红蛋白 B1 基因扩增现象也促使研究人员更加重视其在管虫生理生化方面所发挥的作用。此项研究能够让我们以分子水平更好地理解深海化能合成共生系统的演化历史及其遗传机制，为深远海无脊椎生物的固碳机制研究提供重要的基础数据。值得注意的是，船蛆是参与沉木碳循环的重要生物类群，同样具备进一步阐明海洋生物碳循环过程的潜力。结合多维度基因组学技术，解析深、浅海船蛆共生体以木质纤维素降解为特征的协同演化机制有望成为海洋生物碳循环研究的另一突破点。

S50-O-2

海洋聚球藻-细菌间互作及其对海洋碳汇的潜在影响

张增虎 [1]，Shailesh Nair[1]，张永雨 [1*]

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所，海洋碳汇与能源微生物研究组

* zhangyy@qibebt.ac.cn

海洋中藻类和细菌密不可分，有着错综复杂的互作关系，共同构成了海洋生态系统结构与功能的重要调控者。藻类是海洋最主要的初级生产者，每年贡献全球 40%的固碳量，而细菌可利用和转化藻类 10%-50%的光合作用产物，是海洋物质循环重要的引擎，因此，藻类与细菌的相互关系亦是海洋固碳/储碳的重要驱动力。

聚球藻是一种遍布全球海洋、数量最大的原核藻类之一，是海洋初级生产力的关键贡献者。它们的生长代谢除受环境因素影响外，很大程度上受制于异养细菌的调控。研究揭示异养细菌与聚球藻存在着错综复杂的互作关系，然而当它们在长期共存条件下呈现出了互利共生的发展趋势，最终建立一个营养自给自足的藻菌微生态系统，即使在长达 2-3 年内无人为补给营养，聚球藻始终能保持很高的细胞浓度和旺盛的光合固碳活性。然而海洋中藻菌关系会受到各种动态变化的环境因素干扰，聚球藻与异养菌群的这种互利共生关系能否保持稳定或者能否

重现却尚不清楚，这不仅是研究海洋藻菌关系动态变化过程与驱动机制的重要科学问题，并关乎海洋碳循环与气候变化。

本研究发现人为添加外源营养会破坏聚球藻与异养菌群长期建立的互利共生关系。然而，一旦外源性营养物质被耗尽，它们又可逐渐恢复彼此的代谢共生关系。利用宏基因组、宏转录组和 ^{15}N 同位素示踪等方法揭示了异养菌固氮是促发藻菌共生关系得以重建的关键驱因。期间异养菌群表现出了独特的行为策略，表现为趋化性、群体感应、生物膜形成和藻多糖降解能力的增强等，驱动彼此互惠关系重建过程中菌群结构和功能的调整，并伴随磷、铁和维生素等其它营养要素的微生物生产，促进了聚球藻的健康生长。该研究表明营养物质的化学计量对聚球藻和异养细菌的共生关系具有重要影响，然而，由于聚球藻和异养细菌在地球历史上已共存长达数十亿年之久，它们可能已经建立了朝着互利共生关系方向发展的进化适应或内在倾向，以便能在不利的环境条件下健康生长，这可能也正是聚球藻在寡营养海洋环境中依然能保持其重要生态优势地位的一种进化适应策略。此外，鉴于藻菌长期互作往往伴随着藻源活性溶解有机碳向惰性溶解有机碳转化、藻菌聚集、细菌引起的藻类多糖的分泌能力和有毒物质的产量变化等，因此，藻菌长期互作对海洋碳汇有着重要的调控作用。

S50-O-3

利用 C-14 标记法测定海洋初级生产力的争议问题和探讨

裴绍峰 [1*]，李赛赛 [2]，朱志强 [3]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 山东科技大学，地球科学与工程学院

3 中国地质大学（武汉），海洋学院

* 44666021@qq.com

应对气候变化已成为国际共识，我国提出了“双碳”目标并正在积极落实。海洋通过浮游藻类每年吸收大量人类排放的 CO_2，在应对气候变化中发挥着不可替代的作用。但是，目前测定海洋藻类初级生产力的C-14标记法仍存在争议问题，导致 IPCC 评估报告关于海洋蓝碳的评估可能存在显著的误差、对初级生产力长期变化的预测存在不确定性，同时也潜在影响了我国海洋碳汇经济价值核算的精度。该争议的关键是 C-14 标记法测定结果究竟是净初级生产力、总初级生产力、还是中间值？这种不确定性极易导致 2 倍以上的误差，然而如今海洋碳汇核算、全球遥感推断和生物模型校验均需将该误差控制在 20～50%之内；而其他方法大多是间接测算碳的光合速率，故仍需 C-14 法进行校正或换算为碳计量；可见，C-14 法的诸多优点使其在未来很长时间内仍是不可替代的“黄金标准”，在国内外诸多初级生产力、碳循环、碳汇核算等调查和研究中仍将被广泛使用。本研究基于前期探索，提出 2 个科学假设，对该争议问题进行探讨和研究，以期查明导致C-14法产生误差的因素和机制，进而探讨解决方法或校正方案，从而为碳汇核算、碳循环、藻类生理机制研究提供理论参考和技术支撑。

S50-O-4

藻菌互利共生关系加速硅藻赤潮在新水域的重建

马骁 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所

* maxiao@scsio.ac.cn

河口区域爆发的赤潮会通过径流迅速传播扩散到下游水体，而原核生物群落在赤潮重建和生长中的功能及其生物地球化学潜力仍未可知。研究采用了一种新颖的原位培养实验方法，模拟赤潮入侵新水域的过程，揭示原位原核生物群落与入侵赤潮藻类的相互作用关系。实验选取珠江口典型的甲藻

和硅藻赤潮种类并培养至赤潮浓度，随后重新引入珠江口天然海水中。硅藻表现出对新环境较强的适应能力，培养后显著增加，表明硅藻赤潮更易随径流扩散。同时，附着原核生物群落结构受到硅藻添加的影响强烈，机会性原核生物显著增加。而甲藻在引入培养后没有生长，且附着原核生物群落组成相比于对照组无明显差异。宏基因组分析表明，硅藻产生的活性碳水化合物和有机氮促进了附着原核生物的生长。其中，细菌菌株GMD16E07（Planctomycetaceae）在硅藻附着原核生物群落中占比超过 50%。研究首次描述了该菌株的基因组特性，阐明GMD16E07 和硅藻之间的互利共生关系。硅藻为细菌提供碳水化合物等营养物质；细菌则向硅藻提供多种维生素，同时分解硅藻产生的腈类和过氧化氢等有害物质作为交换。因此，藻菌之间的密切合作促进了两个种群的生长，并最终加速硅藻赤潮在新水域的重建。

S50-O-5

贝藻养殖系统沉积有机碳来源、再矿化和埋藏过程的研究

潘哲 [1,2]，高勤峰 [2*]，董双林 [2]

1 河北农业大学，海洋学院

2 中国海洋大学，水产学院

* qfgao@ouc.edu.cn

作为近海生态系统最重要的人类活动之一，以贝藻养殖为代表的近海养殖活动改变了颗粒物的输运过程和沉积环境，对近海生态系统的碳循环结构、功能和演化产生了重要影响。然而，目前养殖生态系统的碳循环相关的工作多关注于养殖生态系统的可移出碳汇功能，研究方法和内容相对其他海洋生态系统碳循环研究相对滞后，有关养殖生态系统沉积有机碳来源、再矿化和埋藏影响研究尚不多见。本研究以典型贝藻养殖系统——皱纹盘鲍-海带综合养殖系统为研究对象，以沉积物厌氧培养模型、稳定和放射性同位素技术、脂类生物标记物等为研究技术，对贝藻养殖系统内沉积有机碳的来源、再矿化和埋藏过程进行了系统研究。

研究结果表明：1. 在研究区域内，细颗粒物（粉砂和黏土）占主导地位；粒径从养殖区到对照区出现升高的分布趋势，这表明了养殖活动可以降低沉积颗粒物的粒径；2. TOC、TN、C/N，$d^{13}C$ 和 $d^{15}N$ 的变化范围分别为 0.58–1.21%, 0.06–0.17%, 6.29–9.82, −23.20– −18.50‰和 6.17–7.38‰，TOC、TN 和 $d^{13}C$ 由养殖区向对照区逐渐降低，而 C/N 逐渐增加，这表明了养殖活动增强了有机质的积累以及改变了有机质的来源组成；3.进一步的，我们使用基于蒙特卡洛模拟的四端元模型对研究区域内有机碳来源进行了估计，鲍生物沉积和海带对鲍养殖区沉积物的贡献显著高于对照区（鲍生物沉积贡献：20.10 ± 4.84 到 15.3 ± 6.63%; 海带贡献: 6.2 ± 1.3 到 5.2 ± 0.84%）；4. 在厌氧培养过程中，养殖区沉积物孔隙水中溶解无机碳（ΣCO_2）的垂直剖面浓度和生产率均高于对照区，表明养殖活动增加了有机碳再矿化的速率; 5. 皱纹盘鲍和海带养殖活动可以显著增加沉积有机碳的沉积速率，养殖区沉积物的沉积速率为 0.95cm·a^{-1} 约是对照区（0.30 cm·a^{-1}）域的 3-4 倍，贝藻养殖活动显著加强了有机质的沉积和埋藏过程。

S50-O-6

现代南海浮游有孔虫钙化强度对人类活动导致的大气二氧化碳浓度上升的响应

宋婉婷 [1*]

1 北京大学，地球与空间科学学院

* wanting_song@pku.edu.cn

工业化以来人为排放的大幅增加导致大气二氧化碳浓度持续快速增加，进而导致

了海洋酸化和海洋碳酸盐系统变化的发生，从而对海洋浮游生物，尤其是承担海洋碳汇重要环节的钙质壳体生物的钙化过程造成影响。其中，贡献了全球约 21.3%的碳酸盐生产的浮游有孔虫，其钙化强度对于持续大气二氧化碳浓度上升的响应无疑可以一定程度上反应海洋生物碳汇对于当前全球气候变化的反馈，然而目前关于此方面的定量研究仍然相对薄弱。本研究以位于南海北部的沉积物捕集器 TJ-A1 中位于 500m 深度处的上层捕集器采集到的 2015 年-2018 年连续四年浮游有孔虫壳体样本为研究对象，选取其中 *Neogloboquadrina.dutertrei* 、*Globigerinoides.ruber* 和 *Globigerinoides.sacculifer* 三个属种测定其标准化壳体重量，以反映各属种在持续四年中的钙化强度变化，并与此时间段的各海水化学指标——表层海水温度、叶绿素 a 浓度、表层海水二氧化碳分压、溶解无机碳、pH、总碱度以及方解石饱和度变化情况相比较，通过精细的统计学分析探索了各属种浮游有孔虫钙化强度变化的具体影响因素，并根据研究种属目前的钙化强度变化趋势，预估了在当前全球大气二氧化碳上升幅度下，未来海洋生物碳汇的反馈强度。本项研究不仅对于浮游有孔虫标准化壳体重量指标的具体影响因素进行了探索，为此古海洋指标的建立提供了进一步的理论支撑，也对当前全球变化格局下海洋生物碳汇的响应做出了定量估计，为理解全球二氧化碳浓度持续上升的可能影响提供了参考。

S50-P-1S

东海陆架海水和沉积物中藻类生物标志物的分布特征与比较

王婷男[1]，贺娟[1*]，贾佳源[1]，贾国东[1]，陈岭娣[1]，李丽[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* hj08@tongji.edu.cn

边缘海是重要的海洋和陆地来源有机碳的埋藏中心，对海洋生物泵、全球海洋储碳、海洋在地球系统气候调节中的作用都有重要影响。东海是北太平洋西部最大的边缘海之一，陆架宽阔，是有大河淡水输入的典型河海混合区域。海洋初级生产力高，浮游植物生物量和群落结构时空变化大。脂质生物标志物具有来源特异性、分布广泛性和保存稳定性，是研究古环境重建的重要方法，也为阐明海源有机质在边缘海的生成、空间分布、埋藏过程及驱动机制提供了数据支持。目前代表浮游植物的多参数生物标志物在水柱和表层沉积物中的降解和保存效应还不清楚，以及在水体和表层沉积物中的对比研究较少。因此，我们对 2019 和 2020 年东海陆架杭州湾附近的季节性水体悬浮颗粒物和表层沉积物中的主要藻类生标进行分析，如菜籽甾醇、甲藻甾醇和长链烯酮，探讨水体和沉积物中藻类生标的分布特征并进行对比。结果显示，表层沉积物中生标空间分布特征明显，由西北向东南方面含量增加；颗粒物中的季节变化显著，夏季时含量更高。与前人研究一致，生标的时空变化主要反映了浮游藻类生产模式。此外，表层沉积物与颗粒物中优势甾醇有显著差异，颗粒物中菜籽甾醇占优势，沉积物中甲藻甾醇占优势。推测由于沉积物中菜籽甾醇发生后期氢化作用改造，导致沉积物中菜籽甾醇相对甲藻甾醇大量降低。

S50-P-2

海洋浮游纤毛虫细胞大小的纬度分布模式--伯格曼法则的运用

刘凯琳[1*]，江思宇[2]，David J.S. Montagnes[3]，刘红斌[4]，郑丽平[5]，黄邦钦[1]，柳欣[1]，陈炳章[6]

1 厦门大学环境与生态学院

2 Atmosphere and Ocean Research Institute, The

University of Tokyo
3 Department of Evolution, Ecology, and Behaviour, University of Liverpool
4 Department of Ocean Science, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong
5 中国科学院深海科学与工程研究所
6 Department of Mathematics and Statistics, University of Strathclyde
* kailinliu@xmu.edu.cn

体型大小在生物体的生理和生态过程中起着核心作用，支配着呼吸、代谢、运动和营养关系等过程。生态系统模型，特别是针对海洋环境的生态系统模型，常将体型大小作为重要的功能性状来概括不同类群的特征。因此，深入解析不同生物体体型大小的时空变化规律是理解宏观生态学的核心，也是进一步促进生态系统模型完善和发展的关键。关于体型大小最早的生态学规律之一是伯格曼法则（Bergmann's rule）。该法则源于对哺乳动物体型的观察，总结出体型较大的物种倾向于居住在高纬度的寒冷地区。伯格曼法则已在多种恒温和变温动物，如哺乳动物、鸟类、鱼类、爬行动物、两栖动物等中得到验证。在海洋生态系统中，浮游植物和中型浮游动物如桡足类等也被证实细胞/体型大小符合伯格曼法则。然而，对于小型浮游动物——海洋初级生产力的主要消费者和生物地球化学循环的重要驱动者——的生物地理模式的研究仍然很少，他们的体型大小是否符合伯格曼法则尚不清晰。因此，本研究针对浮游纤毛虫（小型浮游动物的主要组成部分）展开研究，验证其体型大小随纬度变化规律的同时深入探究该规律的调控机制。本研究发现海洋浮游纤毛虫群落平均细胞大小随着纬度的增加而增大，符合经典的伯格曼法则。在深入探究温度和食物粒级大小对该变化规律的调控作用后，发现纤毛虫群落平均细胞大小随温度的增加而减少约 1.2% $°C^{-1}$；同时，随食物粒级大小的增加而增加，即当食物粒级大小增加 1μm，纤毛虫群落平均细胞大小将增加约 3.43μm。此外，运用广义线性混合模型，该研究预测未来气候变化场景下（SSP1-2.6 和 SSP5-8.5），海洋浮游纤毛虫群落平均细胞大小将减少 1.8%~5%，对渔业资源和生物泵效率产生重要影响。本研究首次在自然海区定量了温度和食物粒级大小对海洋浮游纤毛虫群落平均细胞大小的调控作用，有助于在生态模型中更好模拟小型浮游动物，进一步加深气候变化对海洋浮游生态系统影响的认知。

S50-P-3

陆源颗粒物输入对海洋生态系统影响

张连宝 [1]，刘纪化 [1*]

1 山东大学，海洋研究院
* liujihua1982@sdu.edu.cn

河流携带的陆源物质要到达海洋，必须经过河口的"过滤"作用， 在全球变暖大背景下河流输入增加， 导致更多陆源物质被输送到河口，这势必会影响河口生态系统中碳氮等生源要素循环，进而影响河口在全球气候变化中的作用。本研究通过利用加拿大 Dalhousie University 的 Aquatron 装置，构建了长周期大体积室内培养体系，模拟陆源颗粒物输送到海洋情景。研究结果表明，陆源颗粒物输入影响了海水生态系统中关键微生物类群的组成结构和代谢活性。微生物对陆源颗粒物的选择性利用导致陆源信号丢失，解释了为什么海水中陆源物质信号强度与陆源输入量之间不匹配的问题。陆源颗粒物降解释放的营养盐和活性有机物促进了微生物对体系中原位有机物的转化，导致类腐殖质等惰性组分的积累。该研究结果有助于我们进一步理解陆源物质在河口的微生物转化机制， 以及陆源输入增加是如何改变河口生态系统功能。

S50-P-4

磷限制和膦酸盐的利用促进颗石藻的碳输出效率

王聪 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* cong@xmu.edu.cn

颗石藻（*Emiliania huxleyi*）由于外被碳酸钙壳板，同时参与光合作用和钙化过程，是海洋生物碳泵的重要贡献者，并常常成为磷营养盐限制海域的优势种，甚至形成藻华，因此成为研究浮游植物响应气候变化的模式种。本研究发现，在细胞转录水平和小 RNA 的调控作用下：磷限制可导致颗石藻钙化率、单位细胞碳含量和沉降速率增加，说明其碳储藏和碳输出能力增强；当 C-P 有机膦——草甘膦作为唯一磷源时，颗石藻生长率增加，细胞内碳氮代谢过程增强，对氮磷吸收转运过程相关基因上调表达，单位细胞碳氮含量、C/P 和 N/P、细胞沉降率均升高，表明颗石藻利用草甘膦时单位细胞的碳输出能力增强；颗石藻直接吸收草甘膦并在细胞内水解利用，且此过程涉及跨膜转运系统相关基因的上调表达。研究表明，颗石藻细胞内碳含量的增加可能涉及 C4 光合作用对 CO_2 的固定和碳酸酐酶对 CO_2 的转化。而在未来磷营养盐缺乏更加严峻的海洋环境中，颗石藻单位细胞碳储藏和碳输出效率的增强可能缓解甚至中和其光合作用减弱对海洋生物碳泵产生的负面效应，并对温室效应产生负反馈作用。

S50-P-5

水团混合对黑潮-亲潮混合区溶解有机碳年际变化的影响

王亚松 [1]，许云平 [1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* ypxu@shou.edu.cn

溶解有机碳(Dissolved Organic Carbon，DOC)的组成和活性很大程度上影响了海洋碳循环和海洋生态功能，其环境稳定性不仅与 DOC 化学属性(如分子结构、大小、浓度)有关，也与外界环境状态(如营养盐浓度、水深、水温)有关。水团混合区常常会形成明显的环境梯度，这种环境状态的变化有可能改变 DOC 的稳定性。为了探究水团混合对 DOC 年际变化的影响，我们在 2019-2021 年间在西北太平洋黑潮-亲潮混合区的 70 个站位共采集 467 个海水样品，分析了 DOC 浓度、有色溶解有机质（CDOM）光学参数，并利用平行因子分析法确定了荧光溶解有机质（FDOM）的三个组分，包括 2 种类腐殖质（C1、C3）和 1 种类蛋白（C2）荧光组分。统计分析显示，与 2019 年和 2021 年航次的样品相比，受更强黑潮水团输入影响的 2020 年样品呈现出更高的 SUVA254 (芳香性指标)值和更高的类腐殖质 C1、C3 强度，表明黑潮水团的输入可能导致该区域 DOC 具有高芳香性和高类腐殖质化。基于 C1 强度和盐度的三端元混合模型计算了类腐殖质组分 FDOMH 的来源结果表明：1）在 2019 年航次，黑潮水贡献率为 57.70 ± 16.80 %，而亲潮水和北太平洋中层水的贡献率分别为 20.04±9.72 % 和 22.26 ± 13.49 %；2）在 2021 年航次，黑潮贡献率为 60.8±18.2 %，亲潮贡献率为 18.2 ± 9.5 %、北太平洋中层水贡献率为 21.0 ± 12.2 %，表明该研究区域的 DOC 主控因素多与黑潮水的输入有关。进一步计算水团混合过程对 FDOMH 年际间非保守变化量表明，黑潮水变化量与温度呈负相关关系，北太平洋中层水变化量与温度呈正相关关系，表明黑潮水 DOC 在表层净去除、深层净添加的过程，而北太平洋中层水与之相反。年际间净生产或降解过程，黑潮水变化率（k = -0.015 vs -0.029; 2019 vs 2021）相对北太平洋中层水（k = 0.021 vs 0.022; 2019 vs 2021）变化率波动较大。通过对黑潮-亲潮混合区水团混合过程溶解有机碳年际变化的分析，有助于我们更好地理解海洋碳循环过程及其主控因素。在全球气候

持续变暖的背景下，黑潮水的动态变化将是预测该区域水团混合过程的碳动态变化的关键。

S50-P-6

浮游生物在线成像与分类系统（CPICS）在东海水体浮游生物和海雪原位观测中的应用研究

高航[1*]，刘承莹[2]，刘宝波[3]，王锐[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，环境科学与工程学院

3 同济大学，国家海底科学观测网办公室

* hgao@tongji.edu.cn

浮游生物和海雪，是海洋生态系统的生产基础，在海洋食物链和碳循环中扮演着举足轻重的作用。近来，随着原位成像系统的技术发展和广泛应用，使得浮游生物和海雪的定性和定量原位观测成为可能。这些原位观测数据可以提供群落结构组成及在水体中时空分布特征的实时信息，可以帮助我们更好地认识海洋生物多样性、生物生态系统及其对海洋碳循环中生物泵碳汇过程的影响，尤其是在人类世目前全球气候变化大背景下。然而，因东海水体环境的复杂性，尤其浑浊程度大和生物附着严重，目前此类技术很少在该区域得到科学应用。为了更好地认识气候变化对东海水体浮游生物多样性、生态组成及生物泵碳汇过程的影响，我们应用浮游生物在线成像与分类系统（CPICS）在东海获得原位实时的浮游植物和动物的群落结构和分布特征。通过实验验证 CPICS 在浊度 0-50NTU 的水体中尚可应用。2019 年 7 月在东海的 4 个站点应用 CPICS 对水体的浮游生物进行了剖面观测，数据显示拍摄目标物尺寸主要为中型和大型浮游生物，分类水平可至亚纲级（如桡足类），主要隶属于 6 门 6 纲。数据显示夜光藻为优势种，与水样采集镜检结果一致。而 2019 年 9-10 月的东海表层水体定点观测数据显示拍摄生物主要由部分小型 (90-200μm), 中型 (200 μm-2 mm)和大型浮游生物 (2-12 mm)，该时期浮游植物的优势种演替为束毛藻，并呈现不同生长期的形态学。尽管三个月后的观测数据质量显示受到严重的生物附着影响，但通过 CPICS 的应用，获得了季节性的浮游植物优势种的变化和原位形态与生长状况，为我们开展藻华实时监测和海洋碳循环中生物泵碳汇的贡献评价工作提供了一种新思路。

S50-P-7S

海洋低氧化对浮游植物生理及生化组分的影响

陈博堃[2]，刘纪化[2]，宋晖[2*]，李刚[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋生物资源与生态重点实验室

2 山东大学，海洋研究院

* songhui2018@foxmail.com

* ligang@scsio.ac.cn

人为活动和气候变化正在加剧海洋脱氧化作用。海水溶解氧的降低除了对需氧生物产生影响之外，也影响生活在海洋中的光合自养生物。这是因为若水体中有足够的 O2，在低光强或黑暗条件下这些 O2 生产者将无法维持线粒体呼吸，进而影响胞内包括脂类、蛋白在内的大分子物质代谢。为此，我们选取了模式硅藻假微型海链藻（Thalassiosira pseudonana）为研究对象，研究了溶解氧降低和光强、光暗期协同对其生长、脂类、蛋白等大分子物质组分与含量的影响，并用多组学手段探讨了引起这些变化的生理机制。结果显示，海水溶解氧降低对硅藻生长的促进或抑制效应取决于光照强度和低氧程度。低氧降低细胞吸收和同化环境氮的能力，导致胞内氮、蛋白含量降低，特别是光强较高时细胞内蛋白含量在低氧环境中降低程度可达 56%、缺氧环境中可达

60%。同时还发现，低氧降低硅藻细胞内脂质含量，改变脂质组分，特别是高光、缺氧条件下胞内 34 种脂肪酸（共检测出 37 种）含量降低，包括饱和脂肪酸 11 种、不饱和脂肪酸 23 种。胞内蛋白含量的降低与硝酸盐转化和蛋白合成相关基因的表达下调和蛋白降解相关基因的表达上调有关；而脂类含量和组分变化，也与其合成与降解相关基因表达相一致。我们的结果表明，海水溶解氧降低会改变浮游植物胞内组分，影响初级和次级消费者的营养状况，在未来脱氧/缺氧程度加重情况下会进一步影响海洋食物网。

S50-P-8S

海洋颗粒相关微生物多样性和稳定性的演替

谷挺 [1,2]，孙军 [1,2*]

1 中国地质大学（武汉），广州南沙地大滨海研究院

2 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* phytoplankton@163.com

海洋生物碳泵产生有机碳，并通过颗粒沉降过程将有机碳从表层海洋输送到深海。然而，只有 5-25%的固定碳输出至真光层以下，最终只有不到 1%的固定碳到达海底。海洋颗粒的沉降和碳的垂直输出受到物理、化学和生物过程的复杂相互作用的影响，这可能会导致颗粒的破碎，由此产生的子颗粒比原始颗粒下沉得更慢。沉降速度较慢意味着子颗粒在海水中的停留时间更长，并增加颗粒与细菌的相遇率，导致颗粒有机碳再矿化和碳输出通量的减少，即生物泵效率的降低。

然而，在微米尺度上，海洋颗粒在空间上是孤立的。微生物相互作用通过影响颗粒附着微生物群落中其他微生物的生存，控制着微生物生态系统多样性、物种组成和稳定性，并可能对生态系统过程产生级联效应。因此，我们尝试从微生物群落内的相互作用来理解微生物群落动力学，并试图将这种基本相互作用机制扩展到颗粒附着的微生物群落。通过这种方式，我们希望破解决定大小分粒级颗粒附着微生物群落生物多样性和稳定性的生态机制。

我们使用 2010 年 Malaspina 航次获得的颗粒附着微生物 16s rRNA 数据集研究五种粒级海洋沉降颗粒的微生物群落多样性和网络稳定性的演替规律，并揭示了微生物群落和生态系统特性之间的级联效应。我们的研究结果表明，同质选择导致大颗粒附着微生物之间栖息地生态位的高度重叠，并增强了物种间的负相互作用。更强的相互作用排斥了其他物种，并导致生物多样性的损失。同时，更强的负相互作用也降低了微生物群落的稳定性。基于这些结果，我们提出了基于颗粒附着微生物生态模式的“Large particle eutrophication”假说，以突出海洋沉降颗粒粒径谱中的潜在生态相互作用。总之，通过研究微生物群落多样性和网络稳定性沿颗粒大小的演替过程，以及微生物群落与生态系统特性之间的级联效应，对更好地理解有机颗粒介导的海洋生物泵黑匣子具有重要意义。颗粒破碎以及随后增加的微生物多样性和海水中的群落稳定性最终导致碳输出通量的衰减和生物泵效率的降低。全球气候变化可能会导致未来海洋中更强的垂直分层和更少的颗粒压载，这可能会导致颗粒附着微生物群落结构的变化，进一步影响微生物多样性和网络稳定性，这可能对生态系统特性产生级联效应，特别是海洋生物碳汇过程。

S50-P-9

海洋生物碳汇

孙军 [1,2,3*]

1 中国地质大学（武汉），广州南沙地大滨海研究院

2 中国地质大学（武汉），海洋学院

3 中国地质大学（武汉），生物地质与环境地质国家重点实验室

* phytoplankton@163.com

海洋生物碳汇一直是海洋碳循环的热点及难点。本研究初步厘清海洋生物碳汇途径为：浮游植物沉降（生物泵）、浮游动物粪球沉降、海洋食物网碳汇、胞外透明聚合颗粒物（TEP）碳汇、微生物碳泵和底栖生物碳汇。目前对海洋生物碳汇的研究还远远不够，主要难点举例如下：1.海洋生物泵过程及新途径不明；2.海洋生物碳计量方法限制了我们对详细碳汇过程的了解，这包括生物碳汇密切相关的碳汇参数：固碳（初级生产力和其他生物生产）、生物碳生产、生物碳储和碳汇计量等；3.中国近海生物固碳、储碳和碳汇量远未可知；4.海洋生物碳汇的几个着力点：陆海统筹减排增汇、浮游植物生物碳汇改良（提高硅藻碳汇能力）、滨海湿地碳汇、底栖碳生产和埋藏。

S50-P-10S

黑潮延伸体-亲潮交汇区对海水中溶解甲烷的影响机制

李晓军 [1]，庄光超 [1*]

1 中国海洋大学，化学化工学院

* zgc@ouc.edu.cn

黑潮延伸体-亲潮交汇区是西太平洋重要的碳埋藏区域，对全球温室效应有着重要的调节作用。在 2019 年 11 月西太平洋温室气体的走航观测中发现，pCO_2 在黑潮延伸体-亲潮交汇区域（40.0°~36.8°N）呈现出自北向南增加的趋势（333.1 ~ 363.7 μatm），而溶解甲烷则展现出明显的“削弱”现象（6.11 ~ 5.11nmol L^{-1}）。站位海水样品的生物地球化学分析和 ^3H 同位素示踪分析的结果表明，pCO_2 的“富集”和甲烷的“削弱”受到海水物理性质、浮游生物群落以及微生物过程的共同影响。相关性分析发现交汇区域中二氧化碳和温度呈现明显的正相关（$r=0.491, p<0.01$），而与叶绿素值间的相关性较差。在交汇区域中水温的升高促进了大型硅藻的发育，而其对海水中 CO_2 的吸收速率远低于小型浮游植物，从而导致了海水中 pCO_2 的“富集”。而甲烷和温度之间明显的负相关（$r=-0.945, p<0.01$）则说明温度直接影响海水中甲烷的溶解度。在浮游生物主导的甲烷生成方面，二甲基巯基丙酸内盐（DMSP）作为甲烷生成的前体物质在交汇区域中随着定鞭金藻的群落丰度的衰减而减少。此外，甲基磷酸酯裂解产甲烷途径也由于水体中磷限制的解除和相关藻属的减少而受到抑制。甲烷有氧氧化作为海水中溶解甲烷的微生物过滤器，受到了温度和营养条件的共同影响，在交汇区中其速率的快速增加（9.37 ~ 87.58 pmol L^{-1} d^{-1}）促进了海水中甲烷的去除。在这种“削弱机制”的影响下，黑潮延伸体-亲潮交汇区域中甲烷的海气释放通量受到了抑制（0.76 ~ 0.06 mmol m^{-2} y^{-1}），其中甲烷氧化过程对海气交换的影响从17%提升至 97%。而对于 CO_2，水团混合过程一定程度上弱化了该区域作为 CO_2 汇的功能（-25.83 ~ -12.82 mmol m^{-2} y^{-1}）。海洋中由于水团运动驱动的生物地球化学过程会影响海水中的碳循环过程，这种机制会通过海气交换过程进一步影响全球气候效应。

S50-P-11S

南海北部浮游动物粪粒的沉降通量及其对深海有机碳输出的贡献

王含笑 [1]，刘志飞 [1*]，李嘉盈 [1]，林宝治 [1]，赵玉龙 [1]，曹君元 [1]，张晓栋 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* lzhifei@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒可以携带沉降速度较慢的浮游植物生源要素向下沉降，是颗粒有机碳从海洋表层向深层输出的重要途径。本研究利用布设在南海北部深海锚系 TJ-A1B 上装备的两台时间序列沉积物捕集器收集的悬浮颗粒样品（2021 年 5 月至 2022 年 5 月），

对其浮游动物粪粒开展计数统计、几何参数测量、碳量计算、扫描电镜观察和元素组成等测试分析，以期获得粪粒沉降对深海有机碳输出的贡献。结果显示，南海北部浮游动物粪粒根据形状主要分为椭球形、长柱形、球形和无定形，内部成分由硅藻、颗石藻、有机质和其他矿物颗粒（如石英和粘土矿物）组成。粪粒沉降通量在 6–9 月和 11–4 月呈现季节性双峰，明显受到东亚季风的影响。下部捕集器（1970 m）粪粒通量比上部捕集器（500 m）高出两倍，并且在下部出现体积更大、碳量更高的粪粒，认为是与中深层浮游动物的再摄食打包和深层海流的侧向搬运密切相关。南海北部浮游动物粪粒有机碳通量对颗粒总有机碳输出的贡献在500 m和1970 m 水深处平均分别为 3.4%和 1.9%。无定形粪粒体积从 500 m 水深处的平均 2.23×10^6 μm^3 降低到 1970 m 水深处的平均 0.92×10^6 μm^3，表明粪粒在沉降过程中被降解破碎，可能受细菌分解、浮游动物摄食和垂直迁移、以及海流的多重作用。本研究通过观测分析浮游动物粪粒的时间序列沉降过程，量化了南海北部深海粪粒的沉降通量及其对颗粒有机碳输出的贡献，深入了解了浮游动物粪粒在大陆边缘海的沉降过程与归宿。

S50-P-12S

南海西部浮游动物粪粒沉降通量及其深海有机碳输出的时间序列变化

曹君元 [1]，刘志飞 [1*]，李嘉盈 [1]，赵玉龙 [1]，林宝治 [1]，张晓栋 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* lzhifei@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒沉降是颗粒有机碳从海洋表层向海底输出的重要途径，对于研究海洋生物泵过程具有重要意义。本研究利用南海西部两个深海锚系站位的三层（水深分别为 500 m、1170 m 和 1380 m）连续一年时间序列（2021 年 5 月至 2022 年 5 月）的沉积物捕集器颗粒样品，对其浮游动物粪粒进行计数统计、几何参数测量、生物体积计算和碳量计算，以期获得粪粒沉降对深海有机碳输出的贡献。结果显示，该研究区的浮游动物粪粒包括椭球形、长柱形和球形共三种类型，它们在三个水层由浅至深（从 500 m、1170 m 到 1380 m）的总数量通量平均分别为 0.79、0.63 和 $0.38*10^4$ m^{-2} d^{-1}，对应的总有机碳通量平均分别为 0.10、0.09 和 0.10 mg C m^{-2} d^{-1}。其中，三种类型粪粒对总数量通量和总有机碳通量的贡献程度不同，椭球形和球形粪粒合计贡献数量通量的 96%，但长柱形粪粒贡献有机碳通量占 27%。从时间序列上看，三个水层的粪粒数量通量和有机碳通量呈现不同的季节性变化，500 m 水层的通量在冬季较高，1170 m 和 1380 m 水层的通量在夏秋季较高，明显受到东亚季风的影响。粪粒在沉降过程中受到微生物分解、摄食和再打包等机制影响，导致其对颗粒有机碳输出的贡献不同，三个水层的浮游动物粪粒碳量占总颗粒有机碳量的比值在 0.68%至 28.2%之间变化。

S50-P-13

大型海藻对近海无机碳库的短期和长期影响

熊天琦 [1]，李鸿妹 [1]，张永雨 [1*]

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

* zhangyy@qibebt.ac.cn

大型海藻是近海主要的初级生产者，对近海碳库具有重要的影响。大藻在快速增殖时会吸收大量 CO_2 用于合成生物量有机碳，并同时释放一部分溶解有机碳（DOC）和颗粒有机碳（POC）到海水中，而当大藻进入衰亡期，藻体光合固碳作用减弱，胞外有机碳的释放增强，使得 POC 和 DOC 在海水中大量累积，并在微生物作用下向 CO_2 和溶解无机碳（DIC）转化。然而目前尚不清楚大

藻对近海无机碳库会产生短期还是长期的影响，有多少藻源有机碳转化产生的 DIC 能被长久留存于海洋，以及以什么形式进入长期海洋碳循环。本研究分别以受控场景下的高密度海带养殖环境和不受控场景下的大规模绿潮现场作为天然试验场，同时结合大藻原位围隔和室内模拟培养实验，揭示了大藻不同生长阶段对近海无机碳库的显著影响，在不同场景下会产生短期（以 CO_2 形式为主）或者长期（以 HCO_3^- 形式为主）影响。

在高密度海带养殖环境中，海带在快速生长期通过光合作用大幅吸收利用 DIC，降低海水 CO_2 分压（pCO_2），短期内为 CO_2 的汇；海带在生长末期光合作用和呼吸矿化的强度相当，呈现 CO_2 源/汇的波动格局；而当海带进入衰亡期，光合作用减弱甚至停滞，同时大藻释放的大部分有机碳在微生物作用下被矿化为 DIC，绝大部分 DIC 以 CO_2 形式又重返大气，短期内为 CO_2 的源。而在大规模绿潮场景中，现场调查发现绿潮后期高密度浒苔覆盖海水 DIC 和碱度（TAlk）显著增加（增幅>50%），由于微生物呼吸作用的增强，形成强 CO_2 源区，海水也出现脱氧和酸化现象。最重要的是室内研究发现绿潮后期浒苔新产生的几乎所有的 TAlk 和一半以上的 DIC 能在不断改变（从缺氧到复氧饱和，从海气界面 CO_2 不平衡到重新平衡）的环境条件下稳定地留存在海水，这是由于海水碱度的提升使得更多的 DIC 以 HCO_3^- 的形式溶于海水，而不是以 CO_2 的形式快速重返大气，从而对海水无机碳库具有潜在的长时间遗留效应，并在某种程度上行使无机碳汇作用，但在近海原位环境中这些较稳定的无机碳会在海洋水体动力学等因素影响下向外部输出。

S50-P-14S

南海南部浮游动物粪粒通量的季节性变化及其对深海有机碳输出的贡献

李嘉盈[1*]，刘志飞[1]，林宝治[1]，赵玉龙[1]，张晓栋[1]，曹君元[1]，王含笑[1]，张靖雯[1]，凌晨[1]，宋弘喆[1]，王文卓[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

* lijiaying_@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒的垂向沉降是海洋有机碳从表层向底层输出的一种重要途径，对研究海洋生物泵效率与局地生态系统动力学机制具有重要意义。从上世纪 70 年代起，已有数百项研究探讨了浮游动物粪粒产生、沉降、降解和再循环的过程。然而，这些研究大多集中在中高纬海域的上层海洋，对于热带海域和海洋深层的研究相对较少。本研究利用南海南部 TJ-T 站位锚定的两个深水沉积物捕集器在 2020 年 6 月至 2022 年 5 月收集到的沉降颗粒物为研究材料，分析了两年时间序列上浮游动物粪粒的数量通量与碳通量。结果显示，南海南部浮游动物粪粒数量通量在 500 m 水深处平均为 2.97×10^4 pellets m^{-2} d^{-1}，碳通量平均为 0.39 mg C m^{-2} d^{-1}；在 2190 m 水深处粪粒数量通量平均为 4.78×10^4 pellets m^{-2} d^{-1}，碳通量平均为 0.80 mg C m^{-2} d^{-1}。粪粒通量具有明显的季节性变化，在夏季和秋季较低，冬季和春季较高，受到东亚冬季风与表层海水降温促进水体交换混合的影响。与 500 m 水深处相比，粪粒通量在 2190 m 处增加 2–3 倍以上，并出现了更多、更大的粪粒，说明中深层浮游动物群落和海流搬运的耦合作用共同调控深海粪粒的碳输出。南海南部浮游动物粪粒碳通量占总沉降颗粒有机碳通量的 0.4%–30.0%，平均占 10.2%。在东亚冬季风期间，粪粒碳通量的贡献显著增加，指示此时浮游动物粪粒构成有机碳向下沉降的重要来源。本研究揭示了南海南部粪粒垂向沉降过程与东亚季风系统、海洋表层生产力以及浮游动物群落组成间的相关关系，为研究热带边缘海的生物泵效率与生物地球化学循环提供新的见解。

S51-O-1

北极多尺度海冰演化的地质记录及其沉积碳汇意义

胡利民[1,2,3*]，张钰莹[1]，肖晓彤[4]，雒佳龙[1]，石学法[2,3]，Anatolii Astakhov[5]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质与成矿作用重点实验室

4 中国海洋大学，海洋化学教育部重点实验室

5 Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Il`ichev Pacific Oceanological Institute

* hulimin@ouc.edu.cn

北冰洋边缘海季节性海冰覆盖程度高，对气候变化敏感。作为全球高生产力海区，欧亚北极周边边缘海海冰的消退导致初级生产力明显提高，且有机碳有很高的埋藏效率和保存效率，在全球变化和碳循环中起重要作用。本研究基于中俄北极联合科考在北极-亚北极陆架区获得的表层、短柱及重力柱沉积物，利用可定量重建海冰历史的典型有机地化指标（IP_{25}）及相关生产力参数，从现代-百年-千年不同时间尺度重建了北极海冰的演化历史，并探讨了其对海洋初级生产力等有关碳汇过程的影响作用机制。结果表明，北极西伯利亚陆架边缘海（楚科奇海、东西伯利亚海、拉普捷夫海）现代沉积有机碳的输运埋藏受沿岸季节性海冰过程影响显著，海冰退化刺激春夏季大规模浮游植物勃发，年净初级生产力大幅上升，直接制约有机碳在上层水柱和底栖生物群落之间的分配，从而影响生物泵和碳固存效率。从几十至百年尺度，发现上世纪 70 年代以来亚北极白令海海冰变化对该区浮游植物群落结构演变及有机碳埋藏的制约，阐明了区域气候模态转换（如北太平洋涛动 PDO）等对浮游植物群落结构及有机碳埋藏的影响。从千年尺度，发现北极陆架初级生产力与海冰的耦合关系在全新世不同时期发生了显著变化，其中 8.2-2ka 阶段两者变化较为一致；2ka 以来，两者的解耦可能跟陆地向海输入营养物质增加、以及海冰过程相关的藻类植物水华及碳向下输出沉降有关，导致海冰覆盖和初级生产力同步升高，并促进了有机碳埋藏。本研究有助于深入认识北极快速变化下的海冰过程演变、生物地球化学循环及其碳汇的响应与反馈等科学问题。

S51-O-2

人为碳沿南极陆架向深海输送并引发快速酸化（STRONG TRANSPORT OF ANTHROPOGENIC CARBON FROM THE ANTARCTIC SHELF TO DEEP SOUTHERN OCEAN TRIGGERS RAPID ACIDIFICATION）

吴瀛旭[1*]，祁第[1*]

1 集美大学，极地与海洋研究院

* yingxu.wu@jmu.edu.cn

* qidi@jmu.edu.cn

高密度陆架水的迁移是将大气二氧化碳（CO_2）沿陆架-陆坡输送至深海的有效途径，尤其是在南极底层水（AABW）形成的区域。然而，AABW 的形成对封存人为碳的贡献及其后果尚不清晰。我们通过构建数据集合，发现南极洲陆架边缘海地区的碳汇量级达到 44 Tg C yr^{-1}，占全球陆架边缘海碳汇的 22%，比以往研究的估算高出一倍。此外，我们证实了如此强大的碳汇是受到 AABW 水团形成的驱动，由此将人为碳输送至泛南极的深海区域（>2000 米）并通过积

累 CO_2 引发快速的深海酸化。深海水的 pH 以每年 0.0007±0.0002 的速率下降，这远快于任何其他开放大洋深海酸化的速率（年速率<0.0002）。我们的研究阐明了 AABW 在控制南大洋碳吸收和储存以缓解气候变化方面的突出作用，而其副作用也值得更多关注。

S51-O-3

全球变暖背景下硅藻增加的北极峡湾

方富韬 [1,2,3]，朱卓毅 [1,2*]，葛建忠 [3]，Fred Wenger[4]，杜金洲 [3]，邓兵 [3]，马红梅 [2]，张瑞峰 [1,2]，张宇 [1,2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 中国极地研究中心，极地科学重点实验室

3 华东师范大学，河口海岸科学研究院

4 Norwegian Water Resources and Energy Directorate

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

在全球变暖的背景下，由于冰川融水造成的浊度和寡营养化，许多高纬度峡湾的浮游植物群落中的硅藻比重正在减少。通过检测从斯瓦尔巴群岛三个峡湾采集的柱状沉积物中埋藏保存的浮游植物色素，我们发现自 20 世纪 80 年代中期以来，Krossfjorden 的硅藻逐年增加，峡湾的生物碳泵增加了 59%。结合一维模型，我们将此归因于其盆地坚硬的岩石类型（片麻岩和花岗岩），产生粗大的沉积物，因此导致峡湾的光限制较少。鉴于斯瓦尔巴群岛的岩石类型特征，我们估计，只要海源潮间冰川还未完全退缩，斯瓦尔巴群岛五分之一的峡湾仍然具有硅藻增加和生物碳泵效率高的特点。这些峡湾将通过促进硅藻的生长增强峡湾的生物泵，进而对大气中的二氧化碳增加和全球变暖起到负面作用。我们的工作强调了更多实地调查的意义，以全面评估生物碳泵对北极冰川融水产量增加的反馈，特别是应考虑具有硬岩盆地的峡湾。

S51-O-4

极地海洋浮游病毒多样性及其碳汇潜能

韩梅傲雪 [1]，梁彦韬 [1]，何剑锋 [2]，汪岷 [1*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院

2 中国极地研究中心（中国极地研究所）

* mingwang@ouc.edu.cn

病毒是海洋中最丰富的生命体，其通过侵染和裂解调控着海洋微生物的丰度和群落结构，影响着海洋生物地球化学循环。研究发现，病毒感染可促进细菌和微藻聚集形成大颗粒，增强向深海的垂直输出，并可以通过裂解宿主释放惰性有机碳（RDOC）,驱动碳汇。我们通过流式细胞术和宏基因组学的方法，对南北极海洋病毒的丰度和多样性进行了研究，并对极地病毒的碳汇潜能做了初步预测和探究。研究发现，南极海冰中存在着大量新颖且古老的病毒，随海冰融化，主要病毒类群会发生改变，且病毒携带大量碳、氮、硫、脂质代谢相关基因和冷适应基因。浮游病毒及其微生物宿主的分布主要与海冰融化和上升流引发的冰缘藻华有关，藻华区的垂直碳输出更强；深海存在着大量的核质巨 DNA 病毒，推测其可能来自上层冰缘藻华。北极病毒群落结构可以指征水团特征，NCLDV 指征北极来源冷水，有尾噬菌体指征大西洋来源温暖海水；并且北极病毒组分为多样性高值区和低值区，低值区位于高生产力区域。

S51-O-5

太平洋水在陆坡和海盆输运变化及其对海洋碳汇作用的影响

罗晓凡 [1*]，赵翀 [1]，魏皓 [1]

1 天津大学

* xiaofan.luo@tju.edu.cn

利用 NAPA-BGC 模式揭示了太平洋扇区次表层溶解无机碳（DIC）和硝酸盐（DIN）对北冰洋环境快速变化响应的敏感区，解析了太平洋水输入在敏感区次表层-表层的界面交换对表层碳汇效率的影响。NAPA-BGC 模式结果指出，随着太平洋水分布范围在气候转变前后两个阶段（1998-2007 年和 2008-2015 年）的变化，次表层 DIC 和 DIN 浓度高值区在向高纬扩展，最远至 85°N 左右，同时也向深处扩展，最深到达 300 m 左右；两个时段次表层（50-250 m）DIC 和 DIN 浓度差异均在马卡洛夫海盆和楚科奇-东西伯利亚陆架坡折区最为显著。收支估算结果表明，2008-2015 年间马卡洛夫海盆和楚科奇-东西伯利亚陆架坡折区次表层 DIC 和 DIN 浓度均受平流作用而显著增加，波弗特流涡对波弗特高压南下、西移的响应使得楚科奇-东西伯利亚陆坡流增强，同时也有利于物质向陆坡和马卡洛夫海盆输运。楚科奇-东西伯利亚陆架坡折区表层初级生产提升、碎屑沉降增加导致次表层有机物再矿化增强，进一步促使次表层 DIC 浓度增加。次表层与表层（0-50 m）的垂向交换通量分析发现：2007 年之后，在马卡洛夫海盆，次表层 DIC 和 DIN 向上层输运的物质通量比值远大于 Redfield 碳氮比，对上层海洋吸收 CO_2 能力具有抑制作用；而在楚科奇-东西伯利亚陆架坡折区，对流作用使得两者均由上层水体向下输运，而上层硝酸盐平流补充增加，DIC：DIN 小于 Redfield 碳氮比，从而促进海洋吸收 CO_2。

S51-O-6

活性铁有助于南极海洋沉积有机碳的长期保存么?

赵军 [1*]，黄文浩 [1]，李栋 [1]，潘建明 [1]

1 自然资源部第二海洋研究所

* jzhao@sio.org.cn

活性铁(FeR)对海洋沉积有机碳(OC)的长期保存具有潜在重要性。但这一“铁锈碳汇”的关键问题，如 FeR 结合态 OC (OC–Fe)在迁移中的选择性保存机制尚未得到系统性的解答。对东南极海洋表层沉积物的研究发现，陆架中心区沉积物 OC–Fe 占 TOC 的比例(fOC–Fe)为 9.59% ± 7.27%，低于开阔大洋区的 18.97% ± 5.86%，亦低于全球海洋表层沉积物的 20%。高 TOC 输入和低 FeR 含量可能共同导致了陆架中心区沉积物的低 fOC–Fe。沉降颗粒物 OC–Fe 与 FeR 的摩尔比(陆架区为 43.24 ± 29.59，大洋区为 230.79 ± 135.06)高于目前已知的沉积物最高值(~30)。这暗示沉降颗粒物 OC–Fe 受控于上层海洋生物过程，fOC–Fe 的控制因素与沉积物的不同。陆架区和大洋区沉降颗粒物的 OC–Fe 性质(即 fOC–Fe、fTHAA–Fe、Δδ13C、ΔΔ14C)大体相同。陆架区沉积物的 OC–Fe 性质与沉降颗粒物的类似。然而，大洋区沉积物的 OC–Fe 性质与沉降颗粒物的迥异。这表明，在水浅的陆架区，沉积物的 OC–Fe 主要来源于上层水体的海洋有机质，且基本稳定；而在水深的大洋区，沉积物的 OC–Fe 主要是陆源信号，可能是原位生产的或陆地输运而来的，海源 OC–Fe 则在长时间尺度的沉降/沉积过程中完全分解。这一认知指示了东南极陆架和开阔大洋 OC–Fe 完全不同的命运，对深入认知 FeR 促进 OC 长期埋藏的机制具有重要意义。总体估算，南极陆架沉积 OC–Fe 埋藏量约 1.78 ± 1.42 Mt/yr，占全球陆架/陆坡 OC–Fe 埋藏量的 10.4%。随着冰川融化速率加快，OC–Fe 对南极 OC 埋藏贡献可能升高。

S51-P-1

从海湾河看冰川融水对北极海洋有机碳循环的影响

朱卓毅 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

持续的气候变化和极高的温度响应驱动北极环境在最近几十年发生了快速变化。冰川的快速消融和日益增强的冰川融水强化了陆海相互作用以及入海物质的输送，使得北极海洋碳循环平衡面临新的挑战。而北极碳循环的变化，又将反过来对地球的碳循环和气候系统产生反作用。因此全球变暖背景下冰川融水对北极海洋碳循环的影响是具有重要意义的科学问题。在过去 10 年以来，我们在北极斯瓦尔巴德群岛开展了多次调查，以新奥尔松地区最大的海湾河为主，辅以周边的其他冰川融水，以有机质含量和成分观测为技术手段，并结合不同尺度、不同目的的系列现场培养实验，开展了北极冰川融水对毗邻近海乃至北极海洋碳循环影响的调查研究。

初步研究发现，随着冰川融水向下游流动，河流体系内有机质的活性组分在增加，惰性组分肽聚糖在 PN 中比重下降；我们认为河流长度对活性有机质的输送有强化作用，而这与气候变暖和冰川消融下河流增程相对应。以海湾河为例，基于其全年连续的流量监测数据，我们进一步估算了斯瓦尔巴德群岛典型冰川融水输送的有机质入海通量和碳氮在流域盆地的产率。虽然与格陵兰、阿拉斯加等大型冰川相比其绝对量值低，但斯瓦尔巴德群岛的流域面积加权及流量加权通量比其它北极冰川更为可观。另外，冰川融水中的溶解有机质呈现了较高的活性，表现为短期内较高的光降解性（78%）和长期内较高的生物可利用性（73%），其降解比例在整个泛北极区域都是处于最高的降解比例区间。因此，冰川融水本身对北极海洋溶解有机碳的输送和增量贡献将非常有限，但考虑到极高的悬浮颗粒物，冰川融水以颗粒形态和吸附解析方式间接贡献和影响北极海洋溶解有机碳库将不能忽视。在绝对值上，约 4/5 的海湾河冰川融水将在入海后发生光降解，剩余的 1/5 将能够进入峡湾更离岸的区域。19μM 的 DOC 将能够耐受光降解和微生物降解而可能随洋流进入北冰洋，贡献北极海洋碳库。从另一个视角，冰川融水本身短期内较高的光降解和长期内较高的生物可利用性，也使得北极近海生态系统将接受更多的生源物质，强化北极近海生态系统的异养代谢，客观贡献峡湾的 CO2 排放。

S51-P-2S

INTERANNUAL VARIABILITY OF THE PHYTOPLANKTON COMMUNITY STRUCTURE IN THE SUMMER SEASON OF KONGSFJORDEN, SVALBARD, DURING 2007-2018: LINKAGE WITH ATLANTIC WATER INFLOW

Yang Zhang[1,2]，Yanpei Zhuang[4]，Zhongqiang Ji[1*]，Jianfang Chen[1,2,3]，Youcheng Bai [1]，Bin Wang[1]，Haiyan Jin[1,2,3*]

1 自然资源部第二海洋研究所，生态系统动力学实验室

2 浙江大学，海洋学院

3 自然资源部第二海洋研究所，卫星与海洋动力学实验室

4 集美大学，极地与海洋研究院

* jizq@sio.org.cn

* jinhaiyan@sio.org.cn

In this study, we measured chlorophyll *a* and photosynthesis pigments for the water

column samples from a fixed section along the west coast of Spitsbergen in the summer season from 2007 to 2018 to study the response of phytoplankton biomass and communities to Atlantic water intrusion in Kongsfjorden. The results showed that dinoflagellates, prasinophytes, cryptophytes, and chlorophytes consistently accounted for over 50% of the total biomass, with the distinct annual variation of chlorophyll *a*. Bioavailable nitrogen was the main limiting factor on phytoplankton growth in the study area. The relationship between phytoplankton and water mass analysis suggesting that the inflow of Atlantic water may cause interannual variability of the phytoplankton biomass and community structure in Kongsfjorden by influencing the nutrient supply and water stratification in the fjord. Our study provides insights on the ongoing impact of Atlantification on the phytoplankton community in Arctic fjord.

S51-P-3S

海洋假交替单胞菌噬菌体的基因组多样性及生物地理分布

郑凯阳[1]，董越[1]，梁彦韬[1*]，刘云丹[1]，张欣然[1]，张文静[1]，王子岳[1]，邵红兵[1]，Yeong Yik Sung[2]，Wen Jye Mok[2]，Li Lian Wong[2]，Andrew McMinn[1,3]，汪岷[1,4,5*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院
2 登嘉楼大学，海洋生物技术学院
3 塔斯马尼亚大学，海洋与南极研究学院
4 中国海洋大学，海德学院
5 青岛大学附属医院
* liangyantao@ouc.edu.cn
* mingwang@ouc.edu.cn

假交替单胞菌属是数量最多，且分布广泛的海洋细菌之一。它在深海和极地海域中特别丰富，具有广泛的代谢能力和与其他生物独特的共存策略。然而，到目前为止只有少数假交替单胞菌噬菌体被分离和研究，其基因组多样性和分布模式仍不清楚。基于微生物和病毒基因组以及宏基因组数据集，我们系统的分析了假交替单胞菌噬菌体的基因组特征和分布模式。该研究共鉴定出 143 个完整或接近完整的假交替单胞菌噬菌体基因组，包括 34 个假交替单胞菌噬菌体分离株、24 个整合的前病毒、85 个宏基因组组装序列。这些病毒基因组被进一步分为 47 个属水平的病毒簇，其中包含众多整合的前病毒和丝状噬菌体序列。

S51-P-4S

一株大洋螺菌噬菌体的分离，基因组学分析和全球生物地理分布

张文静[1,2]，梁彦韬[1*]

1 中国海洋大学，海洋生命学院
2 上海交通大学，海洋学院
* liangyantao@ouc.edu.cn

海洋细菌大洋螺菌科，以其降解长链烷烃的能力和与藻华的密切联系而引起海洋生物学家的广泛关注。然而，迄今为止仅有少数几株感染大洋螺菌科的噬菌体被报道。本文分离并鉴定了一株新的大洋螺菌噬菌体 vB_OsaM_PD0307，该噬菌体具有 44,421 bp 的线性 dsDNA 基因组，是感染大洋螺菌科细菌噬菌体库中的第一株肌尾病毒。

基因组分析表明，大洋螺菌噬菌体 vB_OsaM_PD0307 与 NCBI 收录的纯培养病毒分离株数据库中未有相似序列，但与从海洋宏病毒基因组中鉴定出的两条高质量、未培养的病毒组装序列具有相似的基因学上的特征。因此，我们提出以 vB_OsaM_PD0307 为代表，包含上述两条未培养的病毒组装序列，建立一个新的噬菌体属，命名为 *Oceanospimyovirus*。此外，在全

球病毒宏基因组数据集进行招募，其相对丰度结果进一步表明，*Oceanospimyovirus* 在全球海洋中分布广泛，且在极地地区分布丰富，具有明显的生物地理分布。

该噬菌体的分离鉴定成功建立了稳定的实验室病毒-宿主培养体系，扩展了目前对大洋螺菌噬菌体的基因组特征、系统发育多样性和全球的生物地理分布的理解

S51-P-5

RAPID CHANGES OF SURFACE CARBONATE SYSTEM UNDER COMPLEX MIXING SCHEMES ACROSS THE BERING SEA: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE FORWARD VOYAGE IN JULY AND RETURN VOYAGE IN SEPTEMBER 2018

Wei Yang[1]，Yingxu Wu[1]，Yanpei Zhuang[1]，Liqi Chen[1]，Di Qi[1*]

1 集美大学，极地与海洋研究院

* qidi@jmu.edu.cn

Regulated by the rapid changes in temperature, mixing and biological production during warm seasons, surface carbonate system in Bering Sea is subject to significant spatial-temporal variability. However, the seasonal evolution of carbon cycle and its controls are less clear due to the lack of observations. Here we presented the carbonate data collected during a forward voyage in July and return voyage in September 2018 across the Bering Sea. During both voyages, we showed distinct dissolved inorganic carbon versus total alkalinity (DIC-TA) relationships and partial pressure of CO2 (pCO2) distribution patterns in the Southern Basin (54-57 °N), Northern Basin (57-59 °N), the Slope (59-61 °N), the Shelf (61-64 °N), and the Bering Strait (>64 °N). The seasonal and spatial dynamics of sea surface pCO2 and the air-sea CO2 flux in different sub-regions were reported, as well as their controlling processes.

S51-P-6S

化学风化和极地绿化对冰川融水中痕量金属的影响

沈展[1*]，张瑞峰[1]

1 上海交通大学海洋学院，上海 200092

* oucshenxiaozhan@163.com or shenzhan@sjtu.edu.cn

在全球变暖的背景下，极地冰川的持续退缩和极地绿化（植被覆盖增加）正在改变极地的环境和生物地球化学循环。痕量金属参与许多重要的生命过程，其生物地球化学作用于全球元素循环和气候。已有的研究表明，冰川融水可能是海洋中痕量金属的重要来源。了解极地痕量金属生物地球化学对气候变暖的反馈，有助于理解气候变化对极地的影响。例如：冰川退缩引起的冰川融水输送通量的增加以及风化强度的增加，可能会导致融水向极地海洋输送痕量金属通量的增加。然而，目前对于不同风化特征、冰川环境，冰川融水中痕量金属的特征缺乏研究，导致对融水中痕量金属的入海通量认识不足。

通过观测北极斯瓦尔巴新奥尔松和巴伦支堡两个地区的不同冰川融水中的水文

参数和痕量金属，我们发现新奥尔松地区冰川融水主要受碳酸盐风化控制，而巴伦支堡地区植被覆盖明显并体现出硅酸盐风化特征。新奥尔松的融水中，痕量金属 Cr 受碳酸盐风化的控制，而 Al、Co、Mn 则主要受硅酸盐风化的控制。而在有植被覆盖的巴伦支堡地区，流域内的化学风化强度是该地区未植被覆盖流域的 5 倍和新奥尔松地区的 4 倍，以及硅酸盐风化、硫化物氧化协同风化的比例升高。且相对于没有植被覆盖/生产力低的流域，有植被覆盖/生产力高的流域通过影响化学风化增加了融水中 Ni, Mn, Co 的含量。

在变暖背景下，随着北极绿化的增加和风化强度的增加，冰川融水中痕量金属向海输送通量潜力增加。从元素计量的角度，冰川融水的高痕量金属低营养盐和在峡湾中通过羽状流向上输送的大西洋深层水的低痕量金属高营养盐互补，这促进了北极峡湾及附近海域的生产力和碳汇潜力。

S52-O-1

我国近海贝藻养殖的生态修复及碳汇效益

何培民[1*]，张建恒[1]，陆勤勤[5]，汤坤贤[3]，牛东红[2]，吴海龙[4]，沈辉[5]，李信书[4]，沈亦非[1]，蔡璐伊[1]

1 上海海洋大学，海洋生态与环境学院
2 上海海洋大学，水产与生命学院
3 自然资源部第三海洋研究所
4 江苏海洋大学，海洋科学与水产学院
5 江苏省海洋水产研究所
* pmhe@shou.edu.cn

我国为大型海藻和海洋贝类养殖大国，2021 年大型海藻和海洋贝类养殖分别为 271.5 万 t 和 1526.1 万 t，均分别位居世界第一。大型海藻和海洋贝类养殖为人类提供了大量优质海产品，并通过采收将 22.1 万 tN、1.61 万 tP、221.5 万 tC 从海洋移出到陆地，为净化和改善水质做出了重大贡献。通过典型案例分析了我国近 10 年大型海藻和海洋贝类养殖过程中巨大生态修复和碳汇效益以及发展瓶颈，未来沿海海域需要统筹规划、科学布局、合理匹配，从而提升我国海水养殖负排放技术，将可为我国带来更大经济效益、社会效益、生态效益及可持续性发展。

S52-O-2

贝藻碳汇初步研究

汤坤贤[1*]，张飞[1]，李和阳[1]，马勇[1]，黄博文[1]，朱煊[1]

1 自然资源部第三海洋研究所
* tangkx@tio.org.cn

中国渔业产量占世界总产量的 70%以上，贝藻养殖存在巨大的碳汇潜力。针对传统的贝藻碳汇核算在监测和核算方法上存在的不足，本研究通过室内定量实验——室内围隔实验——海区现场围隔实验——海区现场调查，测量实验过程中贝类、大型海藻释放、吸收 CO_2、DOC、POC 的情况；通过改装的室内小体积实验系统，定量测定不同贝类、大型海藻及其混养体系中水体 DIC 浓度和空气中 CO_2 浓度的变化情况；在自然海区采用自制的海区沉积物柱状样与上覆水同步采样装置、养殖区沉积物收集装置，探究贝、藻养殖过程中排泄物和掉落物在沉积物中的沉降速率与分解转化状况。初步实验结果表明，贝类养殖体系 CO_2 浓度明显升高，大型海藻养殖体系 CO_2 浓度显著下降，且下降速率与光照强度呈正相关关系；混养一定比例的大型海藻可以使贝类养殖由释放 CO_2 转为吸收 CO_2。相关的研究结果可以为渔业碳汇核算与增汇技术提供参考。

S52-O-3

海带养殖的溶解态碳汇效应研究

李鸿妹[1]，张永雨[1*]

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

* zhangyy@qibebt.ac.cn

大型海藻作为近海的主要初级生产者，被公认具有重要的碳汇功能，全球大多数海洋国家已将加强大型海藻养殖或增加海藻场建设作为一项重要的海洋增汇措施。鉴于海洋碳汇的本质是指碳能被长久地（百年以上）封存于海洋而与大气长期隔离，因此国际上普遍认可的大藻碳汇主要指海藻贡献的颗粒碳的沉积埋藏或向深海的碳输出等，直到近几年，科学家们才认识到大型海藻除了具有以上两种形式的碳汇贡献外，还能贡献大量的惰性溶解有机碳（RDOC），即一种可在海水中留存长达千年之久的溶解态的有机碳汇，然而目前对大型海藻贡献的RDOC有多大的量，具有什么分子组成，却尚不了解，导致目前大型海藻的碳汇量核算体系暂未将这部分 RDOC 纳入在内，使得目前人们核算的大型海藻碳汇量被严重低估。本研究通过对近海高密度海带养殖环境进行深入调研和实验分析，揭示海带养殖水体溶解有机碳中>58%为 RDOC，其对微生物分解和光降解具有很强的抗性，从而可以长久留存于海水中形成长期碳汇。这些RDOC分子中富含硫元素，因富含硫是大型海藻的一个典型特征，暗示这些 RDOC 分子中很大一部分可能是直接来源于海带。通过对各个 RDOC 分子式的来源进行深入解析后发现，正如所推测的那样，海带养殖区约85%的RDOC分子种类（注：不是浓度）可能是直接来自于海带，另外的15%来源于微生物（即微型生物碳泵）的间接贡献。该研究将为科学评估大型海藻的碳汇功能、制定大型海藻碳汇标准以及为将来开展大型海藻碳汇交易提供重要参考依据。

S52-O-4

微藻海上大规模培养技术支撑海洋碳汇及渔业发展

迟占有[1*]

1 大连理工大学，生物工程学院

* chizhy@dlut.edu.cn

低成本利用阳光能量还原大量排放的CO_2是实现“碳中和”的根本，微藻光合效率高，固碳效率高，在地球早期将原始大气中含量接近20%CO_2转化为有机碳，为石油形成提供原料。现如今，微藻在全球碳循环中仍贡献50%以上。作为海洋和湖泊等水生环境中的初级生产力，微藻为水生生态系统提供天然饵料，并净化水体环境。微藻是最有希望替代鱼粉的大宗新型蛋白源，也可为人造肉等新兴产业提供大量原料，有望解决中国蛋白源战略性短缺这一燃眉之急，保障国家粮食安全。微藻可为合成生物学提供光自养底盘细胞，直接转化CO_2为生物质，以替代石油，生产生物化学品、可降解塑料、生物燃料等大宗商品。在远海大量繁殖微藻，绿化海洋沙漠，结合微生物碳泵，是最具潜力的碳中和技术之一。而固氮蓝藻在农田、草地等陆地生态系统的应用，有望大量减少温室气体排放，增加固碳量，实现陆地生态系统碳汇。

成本过高是微藻实现以上所述大规模应用的最主要障碍，其低成本生产技术急需突破。传统微藻生产技术中，高成本主要因素是供碳成本、反应器成本、能耗成本、以及人力成本。为解决这些问题，提出了循环利用碳酸氢盐为微藻高效供碳的新思路，证明了培养基中碳酸氢盐循环利用的可行性，发明了利用空气中稀薄的 CO_2 对“碳池”进行高效充碳的技术。研发了波浪驱动、结构简单、成本低廉的漂浮式光生物反应器，成功用于培养多种微藻，并成功实现放大。在此基础上，配备了智能化系统，实现了远程控制海上自动化生产。初步建立了基于海洋的低成本微藻培养技术体系，其500平米规模示范显示了良好应用前景。

在此基础上，将建立产业规模示范性工厂，验证生产高价值海洋活性物质、水产饵料、新型蛋白源的经济可行性。深入研究微藻高效固碳机制，研究微藻光合固碳过程关键因素高效协同机制，开发光合作用过程智

能化调控技术，结合微藻合成生物学，不断突破短板，解决瓶颈性关键技术，逐步实现可降解塑料、生物燃油的经济可行性。研究水产养殖废水生态化处理技术，支撑海洋水产养殖业绿色发展的同时，生产低成本微藻肥，促进其在农田、草地等陆地生态系统中产业应用，促进陆地生态系统碳汇。开发利用波浪能量实现高效混合关键技术，研发抗风浪大型生物反应器，在深远海大规模制备藻种，结合海洋施肥技术，恢复海洋环境初级生产力，探索海洋沙漠绿化技术，助力海洋渔业绿色发展，发展海洋蓝色碳汇，引领碳中和创新。

S52-O-5

微藻固碳及其资源化关键技术

苏奕熹 [1,2]，Maonian Xu[3]，Sigurður Brynjólfsson[2]，傅维琦 [1,2*]

1 浙江大学，海洋学院

2 University of Iceland,Center for Systems Biology and Faculty of Industrial Engineering

3 University of Iceland,Faculty of Pharmaceutical Sciences

* weiqifu@zju.edu.cn

蓝碳，即海洋碳汇，是由浮游植物等通过光合作用捕获并固定储存于海洋生态系统，其储碳量达到陆地的近 20 倍、大气的 50 倍。要顺利实现我国碳中和目标，利用海洋浮游植物（微藻）来获取新增碳汇被认为是最具潜力的生态和工业化融合的固碳路径之一。微藻作为重要的光合固碳细胞工厂，提供了地球上 50%以上的初级生产力，然而目前光合作用效率通常都低于 5%，要实现微藻资源化利用，首要解决的是其光合作用效率偏低的问题。针对微藻代谢受光驱动的特性，我们首先提出并探索开展了微藻的适应性实验室进化 (Adaptive Laboratory Evolution, ALE)研究，利用窄光谱、高频脉冲光胁迫选育微藻，获得光合作用效率提高150%的小球藻种及一系列优质藻种，提供了微藻光合固碳和育种的新思路。我们进一步以微藻重要色素代谢研究为基础，开展微藻系统生物学研究，开发胞内光谱转换方法，利用荧光蛋白将过量的蓝光转换为绿光，减少光抑制，在模拟自然界强光条件下提升硅藻光合作用效率 50%以上，同时揭示了海藻抗光逆境的机制及其关键的光捕获基因，有效实现了微藻高密度培养。针对海洋局部酸化和高浓度二氧化碳气体对微藻固碳具有酸性胁迫挑战，低环境 pH 会抑制微藻生长，我们开发了基于酸性环境胁迫的适应性进化路线，顺利获得多株耐酸型硅藻藻株，并通过基因组和转录组分析和系统生物学手段，发掘了硅藻耐酸调控的关键基因。通过 ALE 在海洋硅藻 P.tricornutum 的酸性胁迫后恢复光合能力的可行性，并提供了分子数据来揭示遗传调控的基本变化，使细胞能够耐受低环境 pH。我们的系列工作深度优化了海洋微藻光合固碳的开发路径，提供了微藻固碳及其资源化的关键技术，为绿色低碳产业发展提供更多助力。

S52-O-6

广西岛礁马尾藻场的资源养护作用和固碳潜力研究

孙显 [1,3]，刘之威 [4]，杨宇峰 [2,3*]

1 中山大学，海洋科学学院

2 暨南大学，生态学系

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

4 中山大学，生态学院

* tyyf@jnu.edu.cn

当前，全球关注于减少温室气体排放为核心目标的固碳增汇理念。大型海藻具有成本低、生长快、碳汇可计量、栽培可控性强、生境修复潜力高等优势，固碳增汇潜力巨大。本研究聚焦于南海岛礁大型海藻场，选取火山岩特色岛礁的涠洲岛进行马尾藻场资源养护和固碳潜力的研究。研究表明，涠洲岛马尾藻场在 4 月份处于茂盛期，马尾藻株长

为 1.56（0.6-2.1）m，株重 1.45 (0.35-2.10) kg，密度为 8.55（0.35-2.10）kg·m^{-2}。其它常见种类有伴绵藻、总状蕨藻、齿形蕨藻 、团扇藻和刺松藻。以马尾藻场鱼类、虾蟹优势种（IRI > 500）为对象，分析发现马尾藻的碎屑及依附其表面的浮游动物为鱼类幼体提供了饵料；同时藻体也为其幼体提供了庇护所，致使鱼类优势种中华单角鲀、中颌棱鳀的幼体倾向于选择大型海藻生境。此外，虾蟹与马尾藻生物量呈正相关关系。上述结果证明，马尾藻场作为索饵场和幼鱼庇护所对鱼类和虾蟹优势种具有养护作用。通过对马尾藻场表层海水碳酸盐体系的研究发现，茂盛期马尾藻场核心区域的 ρCO2 显著小于边缘海域（$p < 0.05$），pH 显著大于边缘海域（$p < 0.05$），表明茂盛时期的马尾藻场改变了海水碳酸盐体系平衡，促进海水对空气中 CO_2 的吸收。另通过海水 DOC 的浓度监测和三维荧光分析发现，马尾藻茂盛时期海水中 DOC 浓度显著升高（$p < 0.05$），且类腐殖酸为主要荧光组分，说明茂盛时期的马尾藻是其栖息地海水 DOC 库最主要的来源，对近海 RDOC 库的形成具有重要作用。

S52-P-1

大型海藻作为饲料添加剂降低反刍动物甲烷排放

闵力[1,2]，李帅[2]，童雄[1,2]，张志飞[2]，李大刚[1,2*]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（ 珠海）

2 广东省农业科学院动物科学研究所

* lidagang@gdaas.cn

在面对全球变暖的气候问题愈发严重的时代背景下，习近平总书记在第七十五届联合国大会上提出“碳达峰”和“碳中和”的战略目标。2019 年，中国农业粮食系统的温室气体排量放占全国总温室气体排放量的 14%，减少农业粮食系统中的温室气体排放是我国达成“双碳”战略的重要策略。反刍动物瘤胃微生物厌氧发酵产生的甲烷，是农业粮食系统中最大的温室气体来源，约占全球温室气体排放量的 18%。具体到我国，预测数据显示：如果反刍动物甲烷排放能够减少 55%，中国畜禽养殖业有望在 2050 年达到气候中性（零增温）。

近来，研究表明：紫衫状海门冬、马尾藻等大型海藻作为饲料添加剂，添加到反刍动物日粮中时，具有缓解瘤胃甲烷排放的潜力。大型海藻中缓解甲烷排放的有效成分为海藻生物活性物质和次生代谢产物，其中的溴仿、褐藻多酚、多糖等物质被证实具有缓解瘤胃甲烷排放的功能。

体外瘤胃发酵的试验结果显示：日粮中添加 5%的紫衫状海门冬，能够减少 74%瘤胃 48 小时内累积的甲烷排放量。并且，65℃烘干和冷冻干燥前处理对大型海藻减低甲烷排放的效果无显著差异，这意味着后期能够通过烘干的方式进行大范围地产业化应用推广。

基于大型海藻中生物活性物质检测分析的结果，我们认为：紫衫状海门冬中起到缓解甲烷排放作用的有效物质为卤素化合物中的溴仿，含量为 1723 μg/g；其具体机制和作用通路有待进一步地研究。此外，团队后续将开展大型海藻作为饲料添加剂降低肉牛和奶牛甲烷排放的动物饲养试验。评估大型海藻的短期、中期和长期饲喂效果。绘制不同添加剂量大型海藻减少甲烷排放量的时间图谱，并明确最佳添加剂量。结合瘤胃宏基因组的生物学功能和信号通路分析，阐明大型海藻减少甲烷产生的机制和途径。

S52-P-2S

大型海藻对海洋负排放的贡献

徐丽丽[1]，杨宇峰[1*]

1 暨南大学，生命科学技术学院

* tyyf@jnu.edu.cn

全球大型海藻栽培总产量占水产养殖产量的 51.3%，并以 6.2%/年的速度持续增

长。大型海藻除作为食品和工业原料外，近年来作为缓解气候变化的重要生态环境材料而备受关注。以大型海藻为主的栖息地分布在全球近三分之一的海岸线上，是全球生产力最高的植被栖息地之一。宏基因组和 DNA 条形码分析表明大型海藻可被输送至距海岸 5,000 km 的海域和 4,000 m 深的海底，成为海洋碳汇的重要组成部分。大型海藻在生长过程中会释放大量溶解性有机碳（DOC），大部分 DOC 通过细菌呼吸转化为无机碳。然而，一部分释放的 DOC 通过微生物泵（MCP）的作用转化为难降解的有机碳 (RDOC)，以及部分未被利用的颗粒性有机碳（POC）均会沉入海底，构成海洋环境中沉积碳储量的重要组成部分。龙须菜凋落物受控实验表明，龙须菜在沉积物表层腐烂分解时，会释放大量的氮磷营养物质到水体中，同时会降低水体中的溶解氧含量，造成水体缺氧。将龙须菜埋藏在沉积物中，其凋落过程向海水中释放较少的氮和磷，对富营养化的贡献较小，可能会促进海洋 RDOC 碳库的累积。目前我国藻类的栽培面积仅占整个海洋面积的 0.03%，大型海藻栽培仍有巨大的开发空间。扩大海藻栽培规模，深入研究大型海藻生态系统负排放的过程机理和微型生物碳泵理论，开展大型海藻固碳增汇技术应用是目前缓解全球气候变暖、发展低碳经济，实现“碳中和”的重要路径。

S52-P-3

基于大型海藻生物修复与资源养护的海洋负排放战略

邹立功[1]，杨宇峰[1*]

1 暨南大学，生命科学技术学院

* tyyf@jnu.edu.cn

人类活动导致的环境污染与极端气候变化危害海洋生态系统健康，影响海洋碳汇功能。基于大型海藻的海洋 CO_2 去除战略是目前缓解碳排放压力，实现碳中和目标最经济有效的方式之一。大型海藻具有高效的单位面积碳固定能力和广袤的可栽培区域，在近海生态环境保护和增强海洋生态系统稳定性中发挥重要作用。基于大型海藻的生物修复对减少近海碳排放及减缓大气温室效应具有重要意义。通过对典型海域演变历史调查，生物与非生物环境背景评价，基于生活史和生态学互作关系的目标大型海藻选择，建立大型海藻原位育苗和异地扩繁技术，可实现大型海藻资源增殖和渔业资源养护。通过大型海藻高效生物泵净化富营养化及污染水体，提高水体溶氧量，促进营养物质和碳循环，可提升近海生态系统固碳潜力。自然和人工形成的大型海藻场能降低海水流速，固定泥沙以减轻海浪灾害，防止海岸侵蚀，保护海岸带环境。大型海藻生物碳还可通过物理沉降和海洋食物网再循环，进入深海和沉积物中长期埋藏形成碳汇。实施大型海藻负排放是环境和经济双赢战略，通过加强负排放理论与技术研究，积极推进大型海藻固碳增汇和负排放应用示范的实施，对保障海洋渔业绿色低碳可持续发展具有重要意义。

S52-P-4

桑沟湾养殖区 CO2、CH4、N2O 和 DMS 的释放

高旭旭[1]，刘纪化[1*]

1 山东大学，海洋研究院

* liujihua982@foxmail.com

全球气候变化是当今人类社会可持续发展所面临的最严峻挑战之一。二氧化碳（CO_2）等温室气体的过度排放加剧了全球气候变暖，引发了一系列生态环境问题和社会问题，严重影响了人类的生产、生活及生存。作为地球上最大和最活跃的碳库，海洋吸收了 1/3 人为排放的 CO_2，积极探索增加海洋碳汇的途径及方案，实现海洋负排放，可为碳中和国家战略提供科技支撑。我国是海洋资源与海水养殖的大省，人为的海水养殖活动不仅可保障人类不断增长的营养和

食物需求，也为减排增汇提供了新思路。基于国内广阔的养殖环境，大力发展养殖环境碳汇，充分挖掘养殖区的碳汇潜力，对实现双碳目标，发展海洋低碳经济意义重大。除 CO_2 外，甲烷（CH_4）、氧化亚氮（N_2O）和二甲基硫（DMS）也在全球气候的调节方面起着至关重要的作用。作为高生产力的海洋生态系统，海水养殖区是大气中 CH_4、N_2O 和 DMS 的重要来源。大型藻类、贝类等在生长代谢以及固碳、储碳的过程中，会改变养殖区的环境，引起浮游植物及细菌多样性的变化，影响 CH_4、N_2O 和 DMS 的浓度及迁移转化过程，对区域的气候变化产生重要影响。目前的研究大多聚焦养殖区 CO_2 的释放通量及碳汇过程，尚未评估养殖区 CH_4、N_2O 和 DMS 的释放对区域性气候效应的影响，量化它们对实现海洋负排放的贡献。本研究通过现场调查，测定桑沟湾养殖区 CO_2、CH_4、N_2O 和 DMS 的浓度，有助于厘清养殖区内主要温室气体和冷室气体的时空分布格局和主控因素，揭示海藻、贝类以及贝藻混养等不同海水养殖模式在 CO_2、CH_4、N_2O 以及 DMS 生产释放中的作用，并阐明养殖区内非 CO_2 气体释放的分子机制，定量评估养殖区对其海-气通量的贡献，综合评价这些气体的气候效应，为进一步量化养殖区在实现海洋负排放中的贡献提供科学依据，也为实现我国养殖产业的绿色可持续发展提供新的思路。

S52-P-5

大型海藻规模栽培的碳汇潜力及其凋落物分解对水环境的影响

罗洪添[1*]，杨宇峰[2*]，戴晓娟[2]，符育忠[1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 暨南大学，生命科学技术学院

* 995310@hainanu.edu.cn

* tyyf@jnu.edu.cn

大型海藻在世界上广泛分布，具有巨大生物量，是全球碳储量的一部分，能吸收二氧化碳并影响气候变化。中国沿海地区近 20 年大型海藻栽培碳汇潜力呈上升趋势。根据中国沿海大型海藻栽培产量，估算海藻碳、氮、磷去除量分别为 3,551,754.9±177,587.75 吨、297,772.25±14,888.61 吨和 3,996.715±1,998.36 吨。固碳效益 22,405.67±25,959 万元，平均效益 112,028±26,327 万元，年均增长率 4.00%。环境效益 1,962,020.88±22,747.42 万元，年均效益 98,103.04±23,073.08 万元，年均增长率 4.00%。大型海藻规模栽培在增加海洋固碳和解决近海环境问题方面具有重要经济和环境效益，其生长和分解过程促进了近海生态系统的元素循环，但若在海藻栽培过程中产生大量凋落物则会对栽培区及邻近海域环境造成影响。以广东近岸栽培海藻龙须菜与菊花心江蓠为例，其凋落物在初期迅速分解，后期分解速率逐渐减慢。藻体 C 和 N 在分解过程中释放，P 在分解初期迅速释放。分解过程中龙须菜 C/N 和 C/P 先升后降，N 和 P 释放早于 C；菊花心江蓠 C/N 下降，C/P 先升后降。分解过程造成水体 DO 浓度下降，水体 N、P 浓度上升，沉积物 C、N 和 P 含量上升。龙须菜凋落物对水体 TN 和 TP 释放量分别为 12.35~14.08 $mg \cdot g^{-1}$ 和 7~9.63 $mg \cdot g^{-1}$，菊花心江蓠凋落物对水体 TN 和 TP 释放量分别为 5.37~7.92 $mg \cdot g^{-1}$ 和 8.41~10.02 $mg \cdot g^{-1}$。大型海藻种类、生长阶段、组织差异性以及栽培环境均对海藻分解速率和 C、N、P 释放率有显著影响。基于大型海藻栽培的碳汇作用，以全球碳中和为目标，应更加重视大型海藻规模栽培产业的碳汇能力和环境效益，并在全球范围内大力推广。同时，栽培过程中需关注海藻凋落分解对环境的影响，建议在大型海藻规模栽培和收获过程中及时打捞凋落或衰老藻体，妥善处理已收获的大型海藻，避免造成环境二次污染，以保障大型海藻规模栽培的生物修复效果和栽培业可持续发展。

S52-P-6S

基于生命周期评价和环境损益分析的大型海藻胶产业的环境和经济潜力研究

张睿敏[1]，王庆[1]，沈洪涛[1]，杨宇峰[1]，董雅红[2*]

1 暨南大学

2 澳门科技大学

* yhdong@must.edu.mo

In this study, the environmental sustainability of extracted agar from *Gracilaria lemaneiformis* is analyzed through life cycle assessment (LCA). Nutrient bioremediation and carbon sink in the seaweed cultivation stage have been accounted. Two alternative extraction processes in the agar production stage are analyzed. The environmental hotspots of the whole supply chain of the investigated agar products are identified. It is found that the agar production stage has the largest environmental impact among all the life cycle stages for the studied twelve impact categories. Notably, we found that the environmental benefits due to carbon sink and removal of nitrogen, phosphorus and heavy metals can offset the emissions generated during the agar production. In addition, the environmental impacts of agar production in China are converted into monetary values and estimated as total external costs.

S52-P-7

大型藻类负排放方法学

张继红[1*]

1 中国水产科学研究院黄海水产研究所，养殖生态与技术研究室

* zhangjh@ysfri.ac.cn

养殖大型藻类是蓝碳的重要组成之一，也是我国海水养殖的重要组成部分。为满足中国温室气体自愿减排交易体系下，大型海藻碳库贡献调查与评估和增汇项目开发的要求，规范计量和监测方法，确保项目产生的碳汇可测量、可报告、可核查，我们基于大型藻类碳汇功能的理论和技术研究结果，借鉴森林碳汇项目等较为成熟的方法学，建立大型藻类碳汇项目方法学。在此，我们将介绍方法学的适用条件、术语、项目边界、核算方法、监测方法等内容及问题与展望。

S52-P-8

微藻碳中和技术的思考与展望

朱陈霸[1*]

1 厦门大学，碳中和创新研究中心

* Chenba@xmu.edu.cn

对于我国的‘双碳’目标而言，减排和增汇是两条根本途径。微藻不仅生长速度快、固碳效率高，而且其生物质还可以用于生产生物基化学品替代石油基化学品，是能够将减排和增汇两条碳中和途径‘双剑合璧’于一身的碳中和技术，具有极大的应用潜力。然而受限于目前的微藻生产技术，微藻的生产成本及其生产能耗较高，微藻碳中和技术还难以大规模应用。本文首先对微藻碳中和优势、潜力、现状进行了分析和讨论。基于上述分析和讨论，本文提出从光生物反应器及其控制技术创新、大宗微藻产品的开发和应用、以及微藻生态增汇技术的三个微藻碳中和的‘支点’进行突破，旨在撬开碳中和的大门，助力我国‘双碳’目标。

S52-P-9

中国近海养殖贝藻碳汇能力评估模型研究与应用

聂红涛[1*]，郭思淼[1]，吕佳[1]，张俊林[1]

1 天津大学，海洋科学与技术学院

* htnie@tju.edu.cn

海洋在减缓 CO_2 造成的全球变暖方面起到了重要作用，准确量化海洋吸收 CO_2 的能力是当前海洋科学研究关注的重要科学问题。作为海洋蓝碳的重要组成部分，海洋养殖尤其贝藻养殖固碳增汇能力亟需科学评估，而现有研究对贝藻类养殖碳汇的评估往往限于可移除碳汇部分，缺少生物沉积固碳的估算，从而导致养殖碳汇估算不全面。针对此问题，本研究采用贝类生物沉积估算模型，综合考虑不同品种贝类在不同海区不同规格下的有机碳沉积速率与有机碳埋藏速率，改进了贝藻养殖碳汇估算模型，并基于农业部渔业局编制的《中国渔业统计年鉴》2010-2019 年海水贝藻养殖数据，评估了养殖贝藻可移除碳汇和生物沉积碳汇，探讨了我国沿海九省份不同养殖品种的碳汇潜力。研究结果显示：中国近海贝类养殖总碳汇量为 1043.44 万吨，近海藻类养殖总碳汇量为 556.04 万吨，山东省和福建省贝藻养殖碳汇能力分别为 471.7 万吨和 457.5 万吨，占全国贝藻养殖碳汇的 28%以上。沉积固碳在养殖碳汇中占比可达到 20%，是海水养殖固碳估算不可缺少的部分。基于 LMDI 分解模型分析了养殖结构、养殖规模及产量对养殖贝藻碳汇能力的贡献，结果显示不同省份之间影响因素的贡献度差异明显。研究结果可为测算海洋渔业碳汇能力提供技术基础，以期为促进海洋渔业碳增汇提供重要支撑。

S52-P-10

中国海带产业化养殖环境绩效评价的比较研究

李纪[1]，高咏卉[1*]，Fredrik Gröndahl[2]，Kristina Bergman[2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 瑞典皇家理工学院

* ygao80@sjtu.edu.cn

大型海藻的养殖产量高，对生产资料、能量和水的需求低，并具有高效的固碳效率。诸多优点使得大型海藻成为优良的食物和饲料生物质，并有成为重要的可再生生物材料的潜力。大型海洋养殖被认为是发展低碳经济、提高海洋碳汇、实现碳中和及解决区域海洋环境问题的有效手段。虽然我国贡献了全球海藻产量的一半以上，但已发表的对海藻养殖过程中碳足迹的环境评价多基于欧洲中试规模培养的研究结果。本研究针对我国代表性的海带规模化养殖模式，计算了海带养殖阶段的环境足迹，并与文献中八个海带生产系统的案例进行了比较。我们从所有研究中提取相关数据，应用相同的背景数据和方法学，使用生命周期评估 (LCA) 重新计算环境影响，从而比较不同规模和栽培系统对其碳足迹的影响。初步结果表明，与欧洲小规模生产相比，我国大型海带养殖场成熟简练的生产方式下电力和燃料消耗更低，具有较低的碳足迹。文献中，每吨海带的碳足迹差异很大，海带养殖方式仍有很大的优化空间。本工作评估了大规模海带养殖减缓气候变化的潜力，并对进一步优化提出建议。

S52-P-11S

营养盐调控大型海藻龙须菜固碳储碳能力对海洋热浪的响应

蒋美佳[1]，高林[1]，宋迟[1]，高光[1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* guang.gao@xmu.edu.cn

海洋热浪爆发频率、强度及持续时间均呈现上升趋势，正在影响海洋生态系统。在栽培类大型海藻中，龙须菜具有较高固碳储碳能力，但海洋热浪会对其固碳储碳能力产生怎样影响，以及营养盐可利用性在其中发挥怎样作用，这些科学问题尚属未知。本研究设置了非热浪和热浪以及低氮和高氮的全因子条件，探究龙须菜在各种培养条件下固碳储碳的变动，并结合细菌丰度、种群结构以及转录组数据，解析龙须菜在热浪和无机氮耦合作用下的固碳储碳机理。研究结果发现，低氮条件下，热浪下调了龙须菜光合作用相关基因表达并降低了净光合速率，导致溶解有机碳（DOC）提前释放且大幅增加了 DOC 及惰性溶解有机碳（rDOC）产量；高氮条件下，龙须菜净光合速率增加，生物量及颗粒型有机碳（POC）产量显著增加；高氮热浪耦合条件下光合基因表达上调，DOC 产率及 DOC 和 rDOC 产量与单独热浪条件相比显著下降。细菌群落结构分析显示变形菌门、拟杆菌门和浮霉菌门为龙须菜藻际的核心菌群。热浪培养条件下香农指数降低，Patescibacteria 及异养细菌脱硫菌门和蛭弧菌门显著富集，说明热浪降低了细菌群落的丰富度，促进抗逆性强的异养细菌繁殖。高氮培养条件下细菌群落丰富度升高，疣微菌门、放线菌门等常见菌门显著富集。高氮和热浪对细菌群落组成影响起相反作用，两者耦合作用下细菌群落组趋向对照水平，说明高氮会对热浪起到补偿作用。以上结果显示海洋热浪会促使龙须菜释放更多 DOC，形成更多 rDOC，有利于碳的长期储存，但高无机氮会起到拮抗作用。

S52-P-12S

基于文献计量学的蓝碳研究概述、趋势和全球视角（2003-2021）

钟崇铭[1]，李堂成[1]，姜双城[1,2]，张泽智[1]，杜虹[1*]

1 汕头大学，理学院

2 福建省水产研究所

* hdu@stu.edu.cn

蓝碳固碳是一种基于自然的解决方案，可应对气候变化引起的环境问题，对地球和人类福祉具有显著的积极影响。本文采用文献计量学方法，对 2003 年至 2021 年 Web of Science 核心合集（WoSCC）中的 2,613 篇研究进行了系统的分析，利用 R studio 中的 Bibliometrix 包和 VOSviewer 软件探讨了蓝碳研究的热点和趋势。基于网络共现分析的结果表明，红树林、海草床和盐沼是主要的蓝碳生态系统（BCEs），其中红树林碳汇是最热门的核心研究领域。此外，浮游植物和微藻在海洋碳循环和生物能源利用中发挥着重要作用，这在已发表文献的高比例中得以揭示，而海草和大型海藻的碳转移机制研究还相对较少。主题演化分析揭示，遥感技术近年来在蓝碳研究中作为一种新兴的生态监测和调查技术被广泛采用。此外，通过人工增汇技术、渔业碳汇和大型藻类碳汇成为蓝碳研究发展的潜在热点。本研究的发现揭示了过去十八年蓝碳研究的趋势，当前领域的研究重点，以及未来需要进一步深入研究的领域。

S52-P-13

海洋牧场建设对“海洋负排放”的贡献研究——以烟台为例

李佳霖[1*]，周玉婷[1]，乔真[1]，秦松[1]

1 中国科学院大学，中国科学院烟台海岸带研究所

* jlli@yic.ac.cn

减排增汇是我国兑现“2060 年实现碳中和”承诺的必要途径，海洋生物碳汇是世界各国实施减排增汇的重大战略选择。其中，渔业生物碳汇受到更多关注。我国是世界最

大的海水养殖国家，海水养殖具有养殖种类繁多、营养层次多样、养殖技术成熟的特点，因此“海洋负排放”的潜力巨大。烟台海域面积 2.6 万平方公里，海岸线长 1038 公里，具有得天独厚的地理区位优势和海域自然环境优势。作为全国重点渔区和优势水产品主产区，加之渔业产业基础雄厚以及水产养殖科技支撑，烟台的海水养殖业得到了长足的发展。本研究以烟台市域内四十里湾和养马岛海域（东部）、长岛海域（北部）、莱州-龙口海域（西部）和海阳海域（南部）的海洋牧场为研究对象，通过调查牧场区和对照区的生态效益以及结合历史资料来初步评估海洋牧场建设对“海洋负排放”的贡献。结果发现，与对照区相比，牧场建设区的初级生产力、浮游植物生物量、底栖动物丰度和生物多样性均有不同程度的提高。具体表现为，海洋牧场建设整体上提高了牧场内的基础生产力，四个海域的提升程度存在空间差异，提升范围为 3.81%～63.9%；与 2017 年历史资料相比，部分海洋牧场浮游植物生物量增加 3.5～5.6 倍，底栖生物丰度增加范围为 64.4% ~ 146.30%，生物多样性丰富度指数增加了 1.5 倍至 2.42 倍。因此，烟台海洋牧场建设提高了养殖区的固碳和储碳能力，为实施海洋负排放工程提供重要动力。

S52-P-14S

一种新型喷泉式薄层光生物反应器的开发与放大研究

王嘉麟 [1,2]，朱陈霸 [1*]

1 厦门大学，碳中和创新研究中心

2 厦门大学，海洋与地球学院

* Chenba@xmu.edu.cn

微藻碳中和技术被认为是践行我国“双碳”目标和保障经济发展的两全其美之策。但目前微藻生产成本和操作能耗均较高，严重制约着微藻碳中和技术的大规模应用，而较高的培养液层厚度是导致上述问题的一个重要原因。因此，本项目基于创新型喷泉式混合开发一种新型薄层光生物反应器，并对其混合特性和放大进行研究。本文首先在室内条件下验证了新型薄层反应器培养微藻的可行性，结果显示其在 1cm 培养液层厚度下的螺旋藻（*Spirulina platensis*）最大细胞密度高达 3.12 g L^{-1}，较传统的柱式（1.76g L^{-1}）和平板光生物反应器（1.39g L^{-1}）的生物量浓度分别提高 77.3%和 124.5%；对该反应器不同液层厚度下氧气传质系数（kLa（O_2））和混合时间进行研究，结果显示该反应器的液层厚度越薄，其混合性能就越好，其中 1cm 液层厚度下的 kLa（O_2）高达 142.6h^{-1}，较柱式（42.7h^{-1}）和平板光生物反应器（8.7h^{-1}）分别提高了 234.0%和 1539.1%；此外，本研究成功将新型薄层光生物反应器直径放大至 1.5m，其在户外自然光照条件下培养的螺旋藻密度高达 3.95g L^{-1}，分别比平板光生物反应器（2.31g L^{-1}）和薄层瀑布流反应器（2.73g L^{-1}）的微藻生物量浓度提高 71.0%和 44.7%。综上所述，本研究的新型喷泉式薄层光生物反应器不仅能实现较低的微藻培养液层，且其结构简单、放大容易、成本低廉，可以实现微藻的高效、规模化、经济化生产，具有极为广阔的应用前景。

S53-O-1

海洋能装置的试验与测试——双碳背景下的海洋新能源技术

史宏达 [1,2*]

1 中国海洋大学，工程学院

2 山东省海洋工程重点实验室

* hd_shi@ouc.edu.cn

海洋能捕获与转换技术从原理提出到装置研发，存在两个至关重要的检验过程，即模型试验与实海况测试。物理模型试验受水池尺寸及造波/造流能力的影响，加之几何缩尺后运动学、动力学、电力学等方面相

似准则的不协调，导致结果反算存在困难；实海况测试的关键在于海域及资源选择，并受不确定性影响及现场条件限制。报告以国家重点研发计划项目—“基于我国资源特性的海洋能高效利用技术研发”为背景，介绍在海洋能装置研发过程中解决上述关键问题的方法与经验。

S53-O-2

海洋温差能热力循环及其综合利用综述

刘伟民 [1*]

1 自然资源部第一海洋研究所

* lwmxjtu@163.com

海洋温差能是一种新型绿色清洁海洋能源，近年来得到广泛关注。我国海洋温差能主要分布在南海，资源蕴藏量大，在各类海洋能资源中占居首位南海大多数岛屿的能源与淡水供给困难，能源供应依靠大陆运送，若能因地制宜地开发海洋温差能，对南海岛屿的经济发展必将产生积极的影响。海洋温差能采用朗肯单工质热力循环存在着发电效率低、自用能耗大的问题，本文通过对海洋温差能热力循环中的贫氨溶液热能、动能回收，构建新的热力循环，以进一步提高热力循环效率进行了阐述，同时对海洋温差能在海水淡化、供冷、养殖等综合利用上进行了介绍。

S53-O-3

海洋清洁能源支撑“碳中和”目标的发展展望

崔琳 [1*]

1 国家海洋技术中心

* cuilin_oceanenergy@126.com

大力发展清洁能源是实现“碳达峰、碳中和“目标的重要途径。随着近年来我国在清洁能源领域的快速发展，陆地资源和新的发展空间正日趋紧张，海洋国土面积广阔，海洋清洁能源势必成为支撑未来中国能源结构转型和国民经济绿色可持续发展的新方向，但目前海洋清洁能源技术的发展还不均衡。海上风电虽然已异军突起，实现大规模商业化开发，成为未来支撑双碳目标的重要支柱，但下一步海上风电需要走向深远海才能实现更大规模的发展，这也面临着诸多技术挑战和壁垒海上光伏、海洋能等新兴领域还有待进一步突破和探索更加具有经济竞争性的开发模式。海洋清洁能源未来如何有效支撑国家能源转型、实现”碳中和“目标，是极具战略意义的问题和研究课题。报告通过研究分析现阶段海洋清洁能源的技术成熟水平与产业发展态势，研判未来行业新技术与新产业模式的发展趋势，并探索海洋清洁能源融合发展的新模式，为支撑 2060 年中国实现“碳中和”目标提出新的发展思路。

S53-O-4

波浪能装置与海洋工程装备集成利用关键技术

周斌珍 [1*]，金鹏 [2]，张恒铭 [3]，胡俭俭 [1]

1 华南理工大学，土木与交通学院

2 华南理工大学，海洋科学与工程学院

3 哈尔滨工程大学，船舶工程学院

* zhoubinzhen@scut.edu.cn

波浪能是一种新兴海洋可再生能源，具有能流密度大、储量丰富等优势，极具开发潜力。然而，现阶段波浪能开发利用技术尚处于较为初级的阶段，存在成本高、可靠性低等问题，难以在短期内实现商业化应用。为加快波浪能发展进程，将其与现有海洋工程装备如海上风机和防波堤结合，可共享电网、系泊等基础设施和运维。将波浪能装置布置在防波堤前，可利用防波堤对周围波浪场扰动聚波，为波浪能装置提供优良作业环

境，具有降本增效作用；将波浪能装置安装与浮式风机基础上，可通过波浪能装置吸收波浪冲击，减轻风机承受载荷，且具有一定的减摇作用，是领域内研究前沿。本报告将介绍课题组在波浪能-防波堤和波浪能-浮式风机集成技术方面的一些研究工作。

S53-O-5

基于浮式防波堤的海流能装置水动力性能研究

孙科[1*]，郑文琪[1]，姜劲[2]，王树齐[3]，崔杰[3]，刘俊东[1]

1 哈尔滨工程大学，船舶工程学院

2 金陵科技学院，金陵科技学院

3 江苏科技大学，船舶与海洋工程学院

* sunke@hrbeu.edu.cn

我国海域海流分布不均，能流密度较低，而海工结构物对水流有遮蔽作用，会使局部流场加速，有利于海流能装置的高效运行。本文将浮式防波堤作为海流能水轮机的支撑结构，充分利用现有防波堤空间进行融合设计，采用数值模拟和模型试验相结合的手段，对浪流联合作用下融合系统的水动力性能进行全耦合分析。研究结果表明，海流能水轮机可在一定程度上抑制防波堤的纵荡和垂荡运动，同时又可充分利用防波堤附近的流场加速区域提高获能效率，该融合系统具有降本增效的优势。

S53-O-6

致力于人工上升流的海洋能自供给技术机理与关键技术研究

张大海[1*]

1 浙江大学，海洋学院

* zhangdahai@zju.edu.cn

近年来我国海域富营养化，赤潮频发，生态环境恶化严重。人工上升流技术可将海底富营养盐水体提升至真光层，修复海洋生态环境。根据当前人工上升流工程化试验过程中的薄弱环节，针对单一常规能源或可再生能源在大洋中不能长期稳定不间断供能的缺点，开展人工上升流自供给供能和泵气技术方案研究，研制经济有效并可长时间持续稳定运行的基于海洋能能量自供给的人工上升流工程样机，重点研究内容包括基于海洋能自供给的人工上升流供能技术、多轴吸收气压传动波浪能转换技术和多轴吸收气压传动波浪能汇集泵气技术等关键技术，提升在开阔大洋上开展人工上升流调控的海上自主作业能力和可靠性，从而为我国海洋能可持续开发利用和海洋生态环境的治理利用提供理论基础和必要的技术支撑。

S53-O-7

一种与抛物型防波堤相结合的新型超高效 OWC 波浪能量转换器

宁德志[1*]

1 大连理工大学

* dzning@dlut.edu.cn

波浪能是一个快速发展的领域，有潜力为全球绿色能源转型做出重大贡献。然而，波浪能收集装置大多安装在近岸沿海地区，与近海地区相比，前者的波浪能量密度较低，这是波浪能领域商业化的一个重大障碍。本研究提出了一种低成本的解决方案，以解决近岸环境下低波能密度分布的问题，同时提供有效的海岸保护系统。该方案是通过抛物型聚能防波堤与振荡水柱式波浪能转换器耦合实现。其具体工作原理为：防波堤的聚能抛物面首先将入射波能反射并聚集到一个焦点上，之后将波浪能转换器安装在此焦

点位置处，以实现 WEC 效率的显著提升。数值模拟以及实验研究证明，本方案的能量转换性能远超迄今为止所记录的波浪能转换器效率，由“波到线”的转换效率超过 70%。此外，抛物面聚能防波堤还有一个辅助用途——作为海岸线保护屏障。由于该系统具有设计简单、能源转换效率高以及固有的海岸线防御方面的特点，因此它特别适合部署在偏远的岛屿国家，或目前依赖化石燃料消耗发电的易受海岸侵蚀的沿海地区。

S53-O-8

潮流能发电产业化关键技术及发展趋势

刘宏伟 [1*]

1 浙江大学

* lhwei@zju.edu.cn

能源的清洁利用是地球环境与人类社会绿色发展的重要基础。受光照及天体运动作用而产生的海洋潮流能具有资源储量丰富、能量密度大、可预测性强等优点，近年来得到了飞速发展，浙江大学研制的 60-650kW 系列化潮流能发电装置突破多项关键技术并达到国际先进水平，具备了产业化示范运行的能力。潮流能发电装备的研究对我国近海能源结构的多样化供给、深远海岛礁绿色开发及海上作业、海上仪器等的供电供能具有重要的经济价值和战略意义。

S53-O-9

100KW 气动式波浪能发电装置实海况水动力性能研究

张永良 [1*]

1 清华大学

* yongliangzhang@mail.tsinghua.edu.cn

本文采用基于雷诺平均纳维-斯托克斯方程和流体体积法的三维计算流体动力学模型，研究了 100kW WaveLoong®气动式波浪能发电装置在实际海况下的水动力性能，计算分析了从小波到极端海况等不同波浪条件下的捕获宽度比、舱室压力变化和系泊力。此外，还分析了压差的分布，以确定该装置最潜在弱点

S53-O-10

二氧化碳地质封存野外试验及模拟研究

胡晓农 [1*]

1 济南大学

* bill.x.hu@gmail.com

工业革命以来，全球气温显著变暖，引发极端天气、海平面上升、生态环境恶化等问题，严重威胁人类的生存及发展。联合国政府间气候变化专门委员会认为人类活动排放的温室气体导致气候变化的可能性超过了 95%，有学者研究表明 CO_2 是主要的温室气体之一，约占温室气体总量的 64%。因此减少大气中 CO_2 含量成为全球人类面对的共同挑战。最为负责任的大国，中国提出 CO_2 排放量力争于 2030 年达到峰值，并于 2060 年实现碳中和。CO_2 地质封存（CCS）是 CO_2 捕集利用与储存（CCUS）的方式之一，是一种有效的减少碳排放的方法。2012 年中国首个 CO_2 封存至地下咸水层的全流程示范工程建成投产，2022 年中国也启动了海上首个地质封存工程。

S53-O-11

近海漂浮式光伏发电系统机械与电气故障预警与智慧运维技术

吴晟 [1*]

1 烟台哈尔滨工程大学研究院

* wusheng@hrbeu.edu.cn

作为新兴的海上新能源发电技术，近海漂浮式光伏在复杂海洋环境条件下仍存在发电效率低、结构耐久性和稳定性差等问题，因此解决复杂海洋环境下光伏发电系统长期、安全、可靠发电等关键科学问题至关重要。基于上述，亟需搭建符合海上环境的漂浮式光伏电气仿真系统，设计电气系统信息汇集方案与近程监控体系，实现对整体光伏电站的全功能自动化管理；考虑海洋强风巨浪的环境特征，研究漂浮结构运动行为、关健部件受力及生物附着量的智能监测设备与测试方法，挖掘恶劣强风强浪等条件下近海光伏阵列与漂浮结构的动力响应机制和失效预警机理；进行光伏发电系统关键部件环境适应性改性，降低海洋生物在光伏发电装备上的附着率，以及研发光伏板自清洁装备，根据光伏发电板的受污染程度评估结果进行自动清洁。最终集成光伏阵列、电气系统、海洋环境与机械结构智能监测、健康诊断与分级预警系统，开展数据对比、交叉和融合分析形成智慧运维决策系统。

S53-O-12

兆瓦级 Φ 型海上浮式垂直轴风机耦合动力特性研究

郑雄波 [1*]，杨宏坤 [1]，杨忠志 [1]

1 哈尔滨工程大学，数学科学学院

* zhengxiongbo@hrbeu.edu.cn

垂直轴风力发电机由于其重心低、安装和维护方便，在深远的海洋中有着更广阔的应用前景。为了提高海上浮式垂直轴风机的风能利用率，本文研究了 Φ 型垂直轴风机的气动载荷及其与浮式平台在全耦合系统中的耦合运动响应特性。建立了 Φ 型垂直轴风力发电机、浮式平台和系泊系统的全时域非线性耦合计算模型。基于 CFD 方法，采用动态流体相互作用（DFBI）、重叠网格和动态网格技术。在风浪耦合条件下，分析了不同叶尖速比和不同高径比的垂直轴风力发电机的功率系数和平台运动响应。比较了不同叶尖速比下平台运动对风力涡轮机性能的影响。探讨了平台摇荡运动对风力机转矩的影响机理。分析了不同叶尖速比下风力发电机推力的稳定性。结果表明，高径比为 1.2、叶尖速比为 5 的海上浮式垂直轴风机具有更好的气动力效率。随着浮动平台的升高，风力涡轮机的扭矩相应降低，反之亦然。中间叶尖速比的最大推力系数比低叶尖速比高 69%，但推力稳定性不足。本研究可为 Φ 型浮式垂直轴风机的设计提供理论支持。

S53-P-1

基于浮子阵列的漂浮式风电平台获能与减摇特性研究

黄淑亭 [1]，王元之 [1]，董革 [1]，刘延俊 [1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111yjslw@163.com

海洋风能与波浪能资源起源分布相近、优势互补，具有巨大的联合开发潜力，是当前的研究热点。漂浮式风能与波浪能集成系统为典型的多体耦合系统，与传统单体平台相比，其水动力学特性复杂，平台随波稳定性受多因素共同影响，进而影响系统的生存安全和作业效果。本研究针对波浪能浮子阵列对平台稳性的影响进行深入研究，建立了漂浮式风电平台-波浪能阵列全耦合数学模型，分析了浮子及其液压能量转换系统对系统获能与平台稳性的影响规律，探索了通过变阻尼控制对平台进行减摇的可行性。研究成果可对漂浮式风能与波浪能集成系统的设计研发提供理论支持。

S53-P-2S

浅海区域波浪能装置系泊系统研究

魏长栋[1]，刘延俊[1*]，薛钢[1]，黄淑亭[1]

1 山东大学，海洋研究院

* lyj111yjslw@163.com

由于水深较浅，水下地形和环境复杂，浅水海域波浪能装置系泊系统的设计具有较大难度。在浅水条件下平台较小的位移即引起系泊系统几何特性较大的变化，使系泊线容易进入张紧状态，出现张力陡增的现象。因此本研究针对以上问题，采用浮筒和配重与锚链组合的形式设计了套不同的系泊方案，采用数值计算方法开展浅海区域波浪能装置多点式系泊系统特性研究。通过调整浮筒的浮力、重块的重量及其布置点实现一种柔性较大的混合系泊系统设计，有效改变和优化了系泊系统水平方向总刚度，减小系泊线张力陡增幅值。为浅海区域波浪能装置系泊系统设计提供参考。

S53-P-3S

抗极端海况波能装置阵列系泊研究

魏长栋[1]，刘延俊[1*]，薛钢[1]，黄淑亭[1]

1 山东大学，海洋研究院

* lyj111yjslw@163.com

基于阵列波浪能装置布局优化结果，设计合理的共享系泊缆的系泊系统有利于降低安装、维护以及并网成本，因此共用系泊缆绳系统的漂浮式阵列发电场是未来海上波浪能发展的趋势之一。本研究基于多波浪能平台系泊布置空间和相对运动限制，设计出具有较好随动性的新型阵列式系泊系统。利用系泊缆端部刚度矩阵和多平台波浪载荷矩阵，建立多平台与阵列式系泊系统的多体耦合运动方程。采用计算流体力学方法对常规海况和含有畸形波等极端海况下的阵列式系泊系统控制定位下多平台的运动响应特点，以及系泊系统系泊缆张力、浮筒运动进行分析。最后针对阵列系泊系统的设计参数进行优化，获得多平台靠泊的优化阵列式系泊系统，降低多平台联合运行的系泊成本。

S53-P-4S

基于年均功率预测模型的波浪能发电装置浮子形状优化

刘铁生[1]，刘延俊[1,2*]，黄淑亭[1]，薛钢[1*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyi111yislw@163.com

* xuegangzb@163.com

为了提高波能转换装置浮子的捕能效率，本研究提出了一种基于年平均功率预测模型的浮子形状优化设计方法。根据波能转换装置布放海域波浪长期分布统计数据，选取浮子优化参数并定义约束条件。在优化空间内随机抽样，选取足够多的样本点，建立样本点的几何模型，采用水动力分析软件计算模型的水动力参数。计算每个样本点对应的年平均功率，定量描述能量捕获能力，以构建预测模型样本库。分别采用响应面法(RSM)、径向基函数神经网络(RBFNN)和椭圆基函数神经网络(EBFNN)建立年平均功率预测模型。通过将预测模型与多岛遗传算法(MIGA)相结合，可以很容易地得到设计空间中的最优解。通过定量分析优化参数对年平均发电量的影响，进一步证明了优化方案的可靠性。与常用的 RSM 和 RBFNN 方法相比，EBFNN 方法建立的预测模型能更真实地反映目标函数的特性，具有更高的预测精度。在优化过程中，用预测模型代替仿真计算，可以有效解决仿真计算成本高的问题。

S53-P-5S

基于机器学习技术的风-浪联合发电系统耦合优化

刘铁生 [1]，刘延俊 [1,2*]，黄淑亭 [1]，薛钢 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyi111yislw@163.com

* xuegangzb@163.com

海上风能与波浪能储量巨大，且资源分布呈紧密的相关性，将海洋风能和波浪能联合开发成为海洋可再生能源深度开发的新趋势。在当前的风浪联合发电技术相关研究中，由于波浪能装置的参数（尺寸、数量、布局）、浮式基础运动与系泊、风机伺服控制等都会对最终的耦合效果产生影响，众多因素导致了耦合优化的空间维度过高，难以找到全局最优解，缺乏波浪能装置与漂浮式风机耦合优化的有效方法。因此，本研究提出了一种基于机器学习技术的风-浪联合发电系统全耦合优化方法。基于山东省某海域风、浪资源分布数据，以 WindFloat 浮式基础为平台，开展了风-浪联合发电系统耦合优化。以波浪能浮子参数（吃水、半径、锥角）、浮子位置、PTO 系统阻尼为设计参数，采用拉丁超立方抽样在设计空间内随机抽样 122 个算例。通过“水动-气动-系泊-伺服”全耦合仿真，计算每个算例的波浪能微阵列功率、风机功率。采用椭圆基神经网络，建立了以设计参数组合为输入，波浪能微阵列捕能功率、风机功率为输出的风-浪能耦合获能预测模型。最后，将该预测模型与遗传优化算法对风-浪联合发电系统进行优化，获得波浪能微阵列设计参数，并对优化结果进行了仿真验证，仿真结果与模型预测结果吻合良好。针对优化结果，分析了不同风、浪作业工况下风-浪联合发电系统的获能特性，证明优化结果可靠性。

S53-P-6

海洋温差能向心透平优化设计及效率提升机理研究

陈云 [1]，刘延俊 [1*]，路北辰 [1]

1 山东大学

* lyj01_sdu@163.com

当今社会快速发展，如何实现能源与环境平衡是迫切需要解决的的问题，作为一种新型的海洋可再生能源，温差能发电逐渐被人们所重视，但受限于小的温差环境，温差能发电的循环效率的提升空间不大，提高关键部件的效率是提高温差能发电效率的有力途径。作为重要能量转换装置的透平对海洋温差能发电系统的效率有着直接的影响，本文从一维流动理论和三维数值仿真两方面开展海洋温差能向心透平效率提升机理研究，为开发设计适用于海洋温差能发电的高效透平提供理论基础。

S53-P-7S

非线性多稳态波浪能转换器能量捕获性能研究

秦健 [1]，薛钢 [1]，黄淑亭 [1]，刘延俊 [1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111yjslw@163.com

波浪能具有工作时间可持续、可预测性强、能量密度较高等优点，开发利用波浪能可为海岛居民生活、海洋观测设备以及渔业养殖等领域提供电力支持。为了提高波浪能转换器在低振幅波高条件下的能量转换效率和频带宽度，本研究提出了非线性磁力多稳态波浪能转换器。利用康明斯方程与等效磁荷法建立了系统动力学模型并开展了数值模拟，对比分析了选定参数下线性与磁力多稳态波浪能转换器在规则波和不规则波

中的能量收集性能，根据选定布放海域的波浪气候联合概率密度分布，开展了年平均发电功率研究。研究发现，通过非线性多稳态机构外磁环间的合理组合与磁场叠加，可以有效增加稳态点的个数，降低势垒高度，扩大稳定点间的最大距离，这更利于浮子在低振幅波高激励下产生大振幅阱间运动，实现波能高效转换。相比线性和传统双稳态波浪转换器，引入三稳态和四稳态机制可以有效提高装置的发电效率，扩展工作频率带宽，面对时变海况具有更强的鲁棒性，这种优势在中低振幅激励下尤为显著。

S53-P-8S

具有非线性刚度机构的内置式波浪能转换器

秦健[1]，黄淑亭[1]，薛钢[1]，刘延俊[1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111yjslw@163.com

常规波浪能转换器的关键工作部件往往会受到高盐、高湿等恶劣海洋环境的影响，导致可靠性降低，难以实现长期稳定工作。为提高装置的可靠性和波能转换效率，本研究提出了一种具有非线性刚度机构的内置式波浪能转换器。该装置将能量捕获模块、转换模板等关键部分均安装在浮体内部，可以有效避免海水和海洋生物的腐蚀与附着，保证波浪能转换器的安全运行。同时浮体外部额外增加磁力非线性刚度机构，用于提高装置在中低振幅和低频波浪入射条件下的运动响应，进一步增加系统的能量转换效率。主要分析了系统刚度、内置质量以及不同液压 PTO 参数对系统能量转换能力的影响。研究表明，本研究所提出的非线性内置波浪能转换器能够在较宽的频率范围内高效稳定工作。由于该系统具有可靠性好、能量转换效率高等方面的特点，因此它特别适合部署中国沿海波能密度较低的布放海域，同时该装置也可以集成在海洋观测仪器中，实现高效供电。

S53-P-9S

适用于锚泊浮台的波浪能供电装置液压系统设计

王登帅[1]，刘延俊[1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111ky@163.com

以波浪能发电为代表的海洋可再生能源发电技术具有广阔的应用前景，“就地取能，海能海用” 是波浪能发电技术的一大特色。将波浪能发电装置集成于在我国南海布放应用的锚泊信息浮台，并且重点 开展适用于锚泊浮台波浪能供电装置的液压系统研制，设计液压能量转换系统，制定系统运行控制策略，同 时，提出工作模式控制系统的实现方案。液压系统能够自动实现发电模式、生存模式、故障模式之间的切换， 系统保护等工作的监控及反馈信息上传。提出了适用于锚泊浮台的波浪能供电方案，具有重要的理论意义和应用价值。

S53-P-10S

阵列波浪能发电装置布局优化研究

王登帅[1]，刘延俊[1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111ky@163.com

波浪能因其能量密度大、分布集中、理论能量俘获效率高等特点，成为可再生能源利用的研究热点。但波浪的开发和利用存在能量转换效率低、可靠性差、成本高等问题，

这制约着波浪能发电技术的应用与发展。类比太阳能、风能等可再生能源技术，建立波浪能发电场、利用阵列式波浪能发电装置汇集分散的波浪能量，对降低波浪能发电成本、提高波浪能发电效率和稳定性具有重要作用。本研究以阵列振荡浮子式波浪能发电装置为研究对象，基于线性波理论推导了阵列波浪能发电装置的数学模型，在 MATLAB 中建立了数学模型，通过与 AQWA 仿真软件的计算结果进行对比，验证了建立的数学模型的准确性；并提出采用遗传模拟退火算法优化阵列布局，探究了阻尼控制和复共轭控制、浮子个数、浮子半径和浮子吃水对阵列波浪能发电装置布局优化的影响规律，同时与遗传算法优化效果进行了对比，结果表明，遗传模拟退火算法的优化效果优于遗传算法。

S53-P-11S

“X30 型”浮式风机多点系泊定位特性分析

袁朝骏 [1]，叶宸 [1]，蒋文馨 [1]，霍发力 [1*]

1 江苏科技大学，船舶与海洋工程学院

* falihuo1982@126.com

随着“双碳”国策的确定，海上浮式风机新能源的利用与研发越来越得到工程界与学术界的重视，其中浮式风机系泊定位特性直接影响到浮式风机的工作效率及自身安全。本文基于 X1 Wind 公司设计的新型 X30 浮式风机为研究对象，通过水池模型试验与数值分析相结合的方法，在有限水深范围重点开展了悬链线式、半张紧式和张紧式系泊方式等多点系泊定位特性研究。通过“X30 型”浮式风机缩尺模型的衰减试验和典型工况水池试验结果，修正浮式风机系统的有限元数值模型，运用时域全耦合分析方法开展浮式风机多点系泊定位特性研究。获得了各种类型系泊定位方式的定位特性，为有限水深区域浮式风机系泊系统设计提供一定的参考。

S53-P-12S

海洋温差能发电技术实验及应用研究

路北辰 [1]，陈云 [1]，杨晓玮 [1]，刘延俊 [1*]

1 山东大学

* 202136988@mail.sdu.edu.cn

化石燃料的过度使用导致全球环境恶化，故采用清洁能源来减少温室气体排放并改善能源结构成为未来能源的主要发展方向。海洋温差能是一种储量丰富、能量密度高、存在形式稳定且具有较高附加价值的可再生清洁能源，其开发潜力巨大。海洋温差能发电是基于热力循环通过利用特定工质的方式输出电力。本文对海洋温差能换热器、透平等关键部件及技术进行了研究，并设计了 50kW 海洋温差能陆地模拟实验测试平台，完成了系统工程校核与实验分析。本实验台为国内最大的海洋温差能测试平台，实验结果为海洋温差能开发提供可靠的数据基础及理论依据，对推动能源转型，实现双碳目标，促进经济可持续发展有重要意义。

S53-P-13

振荡浮子式波浪能发电技术及其供能场景探索

薛钢 [1]，刘延俊 [1*]

1 山东大学，海洋研究院

* lyj111yjslw@163.com

海洋波浪能具有储量大、分布广、清洁可再生的特点，在“双碳”背景下，合理开发并利用波浪能，有利于优化能源结构，充分发挥海洋“节能减排”效能，促进实现“双碳”目标。波浪能转换系统是提取波浪能资源的关键装备，形式多样，其中，振荡浮子式波浪能发电装备具有能量转换效率高、易于集

成应用等优势，受到广泛关注。为进一步推进波浪能开发利用的产业化，本研究通过明确振荡浮子式波浪能发电装备的能量捕获与转换过程，揭示波浪与浮子之间的相互作用机理，阐明液压能量转换系统中功率的传递方式，解决了强随机性波浪条件下高效能量捕获与稳定能量输出问题，并通过机械系统优化，实现了波浪能发电装备高效性与高可靠性的统一。同时，为拓展波浪能发电装备的应用范围，探索了振荡浮子式波浪能发电装备在浮式信息平台、深远海网箱养殖、阵列集成微网等领域的应用形式，构建了具有产业化推广价值的供能场景。本研究成果能够进一步推动了波浪能发电技术走向成熟，可为海洋作业活动提供清洁可持续的能源保障。

S53-P-14

深海边界层矿产资源环境效应原位探测技术研究

郭磊[1*]，费梓航[2]

1 山东大学，海洋研究院

2 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* 201894900036@sdu.edu.cn

21 世纪是海洋开发的时代,海洋已成为当代社会极为关注的领域，开发利用海洋资源是人类应对人口膨胀、资源短缺、环境恶化等问题的重要途径。准确获取海底沉积物力学性质、海底环境参数对于海洋洋工程建设、海洋资源开发、海洋碳汇事业研究具有重要意义。

针对于深海海底浅表层沉积物的探测与取样问题，本人自主研发了适用于深海的3000m 级多参数原位探针及布放系统。装备研发过程，成功突破单杆高密度电阻率测量技术、海底沉积物高精度泥温与温度梯度测量技术、沉积物地球化学多参数穿刺测量技术， 3000 m 级液压式可控贯入技术、同轴缆光电缆复合传输技术等，研发电阻率探测单元、泥温探测单元、多参数地球化学探测单元，并将多个探测模块结合于单根多参数综合探针。装备成功于我国神狐海域开展多次应用，成功获取该海域沉积物的物理化学性质与沉积物样品，服务于我国天然气水合物开采与各类海洋地质调查。

S53-P-15

海水提铀与海洋碳汇

王宁[1*]，袁益辉[1]，石瑟[1]，王慧[1]，冯莉娟[1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* wangn02@foxmail.com

作为一种重要的近零碳排放清洁能源，核电是实现我国“双碳”战略目标的重要支撑。在核电发展的过去 50 年中，相比化石能源的使用，核能发电累计减少碳排放达 600 亿吨；仅在 2020 年，与燃煤发电相比，我国的核能发电减少碳排放达 2.7 亿吨。铀是核电产业的关键基础原料，但我国是贫铀国家，陆地铀矿资源有限，核电铀原料获取主要依赖进口，铀资源短缺是制约我国核电产业可持续发展的“卡脖子”问题。全球海水中的铀资源总量达 45 亿吨，是陆地铀资源总量的 1000 倍，海水铀资源的高效利用是满足我国核电铀资源需求的重要途径。海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室研究团队围绕海水提铀领域现存的关键科学问题和技术难题，在海水提铀吸附剂开发、海水提铀海洋污损防控、海水提铀工程技术等领域开展了系列研究工作，在海水提铀吸附容量、吸附选择性、抗生物污损性能等方面取得了系多项积极进展，研究成果发表在 Nature Sustainability、Nature Communciations 等国际知名期刊，对推动我国海水提铀技术的实际应用具有积极的作用。对全球海水铀资源的长期可持续获取可保障核电产业持续发展的核心铀原料需求，助力“双碳”战略目标的实现。

S53-P-16

海洋光伏与海洋碳汇

刘涛[1*]，刘胤江[1]，郭茜[1]，侯美晨[1]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* liutao565@126.com

为实现我国“双碳”目标，需着重做好节能减排和增加碳汇两个方面的工作。前者直指能源结构变革，即从依靠化石能源，向零碳的风力、光伏和水电等能源体系转换。后者是指通过生态系统增加碳汇，包括陆地碳汇和海洋碳汇。海洋作为地球上最大的碳库，具有储碳量大、储存时间长等优势，固碳效果十分显著，对全球环境和气候有巨大调节作用。同时，作为未来清洁、安全和可靠能源之一，太阳能光伏发电正逐步由陆地向海洋拓展。海上光伏可充分利用开阔且无遮挡物的海洋空间，显著提升发电量，为海上基础设施和岛礁生活用电提供安全可靠的能源保障。近年来，基于有机-无机杂化钙钛矿吸光材料的钙钛矿太阳能电池（PSCs）快速发展，功率转换效率从 3.8%飙升至 25.7%，与单晶硅太阳能电池相当，成为第三代太阳能电池中的佼佼者。目前，环境稳定性问题是制约 PSCs 产业化进程的关键因素之一。本团队先后研发出多种高效缺陷态钝化剂，用于钝化钙钛矿晶界和界面缺陷，提高钙钛矿成膜质量，改善能带匹配，抑制离子迁移，填补空位缺陷，获得了稳定、高效（>23%）的高性能 PSCs。鉴于我国海上光伏可利用海域超 300 万 km²，理论可发电近 7 亿 kW，未来钙钛矿海上光伏将是推动能源变革、实现“双碳”目标的重大推动力之一。

S53-P-17

波浪能装置与海洋工程装备集成利用关键技术

周斌珍[1*]

1 华南理工大学

* zhoubinzhen@scut.edu.cn

波浪能是一种新兴海洋可再生能源，具有能流密度大、储量丰富等优势，极具开发潜力。然而，现阶段波浪能开发利用技术尚处于较为初级的阶段，存在成本高、可靠性低等问题，难以在短期内实现商业化应用。为加快波浪能发展进程，将其与现有海洋工程装备如海上风机和防波堤结合，可共享电网、系泊等基础设施和运维。将波浪能装置布置在防波堤前，可利用防波堤对周围波浪场扰动聚波，为波浪能装置提供优良作业环境，具有降本增效作用；将波浪能装置安装与浮式风机基础上，可通过波浪能装置吸收波浪冲击，减轻风机承受载荷，且具有一定的减摇作用，是领域内研究前沿。本报告将介绍课题组在波浪能-防波堤和波浪能-浮式风机集成技术方面的一些研究工作。

S54-O-1

黄东海跨陆架环流输运及其储碳效应

袁东亮[1*]，郝佳佳[2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋环境与数值模拟重点实验室

2 中国科学院海洋研究所，海洋环流与波动实验室

* dyuan@fio.org.cn

卫星水色和海面温度、历史盐度数据、以及卫星追踪的表层漂流浮标轨迹显示，秋冬季一支高浊度、低温低盐的强海流，由中国苏北沿岸向东南方向延伸，到达济州岛西南的陆架边缘。这支被称作东海海流的强流，平均输运有 3.97 Sv（1 Sv = 10^6 m^3 s^{-1}）跨越 100m 等深线，冬季携带约 98、12、0.1 百万吨溶解无机碳、溶解有机碳和颗粒有机碳进入黑潮次表层。在全球变暖背景下，该跨陆架环流流量及其碳输运预计会显著加强，最大增加趋势发生在冬季，显示黄东海跨陆架环流在储碳和固碳方面起重要作用。

中国闽浙沿岸近海经常有跨陆架穿刺锋面出现，这些锋面的集合形成重要的跨陆架输运，其生成机制和储碳、固碳效应还有待研究阐明。

S54-O-2

珠江冲淡水调制广东近海海-气二氧化碳通量时空变化的高分辨观测

翟惟东[1*]，马玉[2]，蒲静[3]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），前沿研究中心

2 国家海洋局南海调查技术中心，化学与生物室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），海洋遥感信息中心

* wdzhai@126.com

广东近海的海-气 CO_2 交换通量时空变动剧烈，受珠江排海径流变动及其冲淡水摆动的影响很大，需要有效地提高观测的质量和时间分辨率，并加深对河口过程机制的理解，以充分降低近海海-气 CO_2 年度净通量估算的不确定性。本研究报道在珠江口外大浮标的高时间分辨 CO_2 观测的数据结果，定量研究事件性的珠江涨水调制广东近海海-气 CO_2 通量的现象。结果表明，珠江口外近岸海域的海表 pCO_2 变化很大，最低只有 70~80 μatm（在 6 月下旬），最高则可达到 450~460 μatm（在 7 月）。同步的近地表空气中 CO_2 摩尔分数（xCO_2）变化在 402 ppm（在 7 月下旬）和 430 ppm（元旦前后）。将空气 xCO_2 转换成当地海表面与大气平衡的 pCO_2（2019 年的全年平均值约为 400 μatm）之后，再将海表 pCO_2 与之比较，可见该海域在 2019 年主要表现为海水从大气固碳，仅在 7 月、8 月和 9 月的部分时段表现为海表向大气释放 CO_2。为了进一步理解这批数据，从水温数据推算出单纯温度效应引起的海表 pCO_2 变化——pCO_2_Temp，相应计算公式为：pCO_2_Temp (μatm) = 400×exp(0.0423×(SST－26))，式中 400 是该位置与大气平衡的 pCO_2 平均值（μatm），0.0423 是海水 pCO_2 的温度效应系数，而 26 是该海域的年平均海表水温（^oC）。显然，pCO_2_Temp 的高低变化将与 SST 的变化完全一致，SST 是 pCO_2_Temp 的唯一驱动因子。数据分析显示，pCO_2_Temp 的高低变化几乎 100%解释了 2 月、3 月和 12 月的海表 pCO_2 时序变化。然而，4~10 月的海表 pCO2 则大都明显低于 pCO_2_Temp，其差值为净群落生产造成的生物效应；而该年 1 月份和 11 月份观测到的海表 pCO_2 明显比 pCO_2_Temp 高，则为寒潮天气导致富含游离 CO_2 的次表层水混合到海表的效果，类似情况曾于 2006 年 12 月在南海东北部海域观测到过。十分显著的是，数据显示 4~8 月的浮标 pCO_2 数据与珠江排海径流量呈现负相关关系。在这期间的 7 次珠江上游涨水事件，几乎都能对应于珠江口外浮标的极低 pCO_2 脉冲事件，最低海表 pCO_2 分布在 77~220 μatm，只有大气平衡水平的 19%~55%，二者之间的时滞为 2~20 天。本研究通过高时间分辨 CO_2 观测丰富了近海系统碳循环过程受河流冲淡水影响的理论。

S54-O-3

全球海洋中尺度涡旋海-气-生多参数数据库及其应用

董昌明[1,2*]

1 南京信息工程大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* cmdong@nuist.edu.cn

海洋运动中存在多种时空尺度的动力过程，其中中尺度涡旋具有高动能和强垂向穿透性等动力特征。其存在对全球气候、海洋环流、生产力、渔业发展、淡水运输等方面都有着重要的影响。本研究利用多源卫星遥感观测数据和 Argo 浮标数据，在国际上首次公开发布了全球海洋中尺度涡旋海洋-大气-生物多参数数据库。该数据库与以往

公开发布的仅包含海面涡旋信息物的涡旋数据集不同，其包含了与之相匹配的海表面叶绿素、海表面温度、风场、降水等多参数，因此通过该数据库的综合分析，可以揭示全球海洋中尺度涡旋对海洋-大气-生物的影响。该数据库可为中尺度涡旋及其对大气、生物化学、微型海洋碳循环系统和海洋负碳等的研究提供重要的数据支撑。

S54-O-4

厄尔尼诺遥相关驱动的印度洋海气碳通量 2015-2016 极端异常

廖恩惠 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* ehliao@sjtu.edu.cn

印度洋碳汇是全球海洋碳汇的重要组成部分，其强度在 2015-2016 年出现极端减弱，并且减弱幅度是近 40 年的最大值。根据全球海洋生地化数值模式（GFDL-MOM6-COBALT2），研究发现 2015-2016 极端厄尔尼诺导致的遥相关是上述极端海气碳通量的主要控制影响因子。2015-2016 极端厄尔尼诺通过大气桥引发印度洋海盆尺度的极端温度异常，进而导致海水 CO2 分压上升并引起印度洋碳汇强度减弱。并且，2015-2016 厄尔尼诺还导致印尼贯穿流流量出现极端减弱，进而减小印尼贯穿流对印度洋溶解性无机碳的稀释作用，引起印度洋海水 CO2 分压上升和碳汇强度减弱。观测数据和反演数据集的分析结果进一步支持数值模式结论。本研究发现厄尔尼诺大气海洋遥相关对印度洋碳汇的巨大影响，丰富了印度洋碳汇年际变化的理论。

S54-O-5

北冰洋碳汇对海冰和风况变化响应的数值模拟研究

金梅兵 [1*]，许安琪 [1]，祁第 [2]

1 南京信息工程大学，海洋科学学院

2 集美大学，极地海洋研究所

* mjin@nuist.edu.cn

遥感和数值模型都显示，由于海冰覆盖率的下降和无冰天数增加，北冰洋的净初级生产力（NPP）在不断增加。北冰洋一些地区的 NPP 的增加也被认为与大风（>10 米/秒）和上升气流有利的风有关，然而，其机制和重要性仍有待研究。利用区域北极系统模型 RASM 结果的分析发现在巴伦支海和南楚科奇海，由于表层与 20-50 米处的高营养盐差异，季节平均的 NPP 与大风频率在统计上相关。在高大风频率年，次表层营养盐的减少超过了在表层的增加，这意味着表层更多的营养盐被生物吸收。在波弗特海和加拿大海盆，因为东风引起的上升流可以将>100 米的高营养盐携带至上层，使得季节平均的 NPP 与东风频率在统计上相关。在巴伦支海和南楚科奇海，无冰期和大风频率的增加都会引起 NPP 增加，但无冰期的影响更大。在波弗特海和加拿大海盆，无冰期和东风频率的增加引起的 NPP 增加相当。波弗特海和加拿大海盆海表 pCO2 和 pH 的变化与海冰、海表温度和海气二氧化碳通量的变化在季节和所有夏季月份上都显著相关，但与东风频率和 NPP 则仅在 7、8 月份显著相关。这是因为东风引起的上升流对表层 pCO2 和 pH 的影响存在两种相反的机制：一是导致表层 NPP 增加，pCO2 降低；二是将深层高 pCO2、低 pH 的水带至表层，导致表层 pCO2 增加。高低东风频率年份，这两种机制的影响没有显著的差异。随着海冰覆盖率持续下降的趋势，有必要进一步了解北极不同地区的营养盐和 NPP、碳汇和酸化对海冰和风况变化的响应。

S54-O-6

极区海洋甲烷循环与收支研究

叶旺旺 [1]，张介霞 [1]，吴曼 [1]，刘建 [1]，詹力扬 [1*]

1 自然资源部第三海洋研究所

* zhanliyang@tio.org.cn

甲烷在百年尺度上的温室潜力是二氧化碳的 28 倍。极区是全球变化的放大器，量化极区甲烷的释放通量是气候变化研究的重要组成部分。北极方面，通过多个航次现场调查数据，发现甲烷在楚科奇海的陆架和陆坡处具有显著高值。该部分甲烷可以在海流的携带下输送至北冰洋中心区。通过与历史数据的比对分析，发现“过剩甲烷”正在以 0.1 nM 每年的速度增长。综合模型分析，提出了北极甲烷“自下而上”的输运机制认为在海冰覆盖减少的情况下，正在增加的“过剩甲烷”浓度和持续增强的输送距离/速率将会引起更多的北冰洋甲烷释放到大气中。南极方面，罗斯海海水中大部分甲烷处于不饱和状态（平均值 82±20%），这主要与局地的水团混合和甲烷氧化作用有关。绕极深层水由于长期与大气隔绝而含有较低浓度的甲烷。在上升流、沿岸流等物理过程的作用下，低浓度的甲烷被卷携至罗斯海水柱中。海冰融化后，稀释作用进一步促进了表层海水甲烷低于大气平衡浓度的过程，由此造成了罗斯海向大气吸收甲烷的现象，表明南极高纬区（如罗斯海）在夏季可能是大气甲烷的汇区，这与世界上绝大部分海域（为大气甲烷源区）相反。

S54-P-1S

广东博贺夏季大气甲烷和二氧化碳的日变化特征分析

程阳艳 [1,2]，单业 [3]，薛宇欢 [1,2]，朱玉姣 [3]，王新锋 [3]，薛丽坤 [3]，刘焱光 [4]，乔方利 [1,2]，张敏 [1,2*]

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋环境科学与数值模拟重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，区域海洋动力学与数值模拟功能实验室

3 山东大学，环境研究院

4 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

* zhangmin@fio.org.cn

To examine the variation characteristics of CH_4 and CO_2 in the coastal South China Sea, atmospheric CH_4 and CO_2 measurements were performed in Bohe (BH), Guangdong, China, in summer 2021. By using an adaptive data analysis method, the diurnal patterns of CH_4 and CO_2 were clearly extracted and analysed in relation to the sea breeze (SB) and land breeze (LB), respectively. The average concentrations of CH_4 and CO_2 were 1876.91 ± 31.13 ppb and 407.99 ± 4.24 ppm during SB, and 1988.12 ± 109.92 ppb and 421.54 ± 14.89 ppm during LB, respectively, which basically coincided with those of background sites. The extracted diurnal variations in CH_4 and CO_2showed sunrise high and sunset low patterns (with peaks at 5:00–7:00) during LB but mid-morning high and evening low patterns (with peaks at 9:00) during SB. The diurnal amplitude changes in both CH_4 and CO_2 during LB were almost two to three times those during SB. Wind direction significantly modulated the diurnal variations in CH_4 and CO_2.

S54-P-2S

永兴岛大气 CH4 浓度变化特征及影响因子研究

吕洪刚 [1*]，姜亦飞 [1]

1 国家海洋环境预报中心，自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室
* lvhonggang@126.com

依托国家海洋局三沙海洋环境监测中心站，基于激光大气温室气体分析仪(GLA331-GGA),搭建了一套全自动、连续、高精度观测大气 CH4 的观测系统。通过气团后向轨迹输送特征,结合数值统计方法(局部近似回归法),对西沙永兴岛区域 2013 年 12 月~2017 年 11 月期间的观测数据进行了数据筛分和分析。结果显示：西沙海域大气 CH4 季节变化与北半球大气本底变化状况类似，冬季高、夏季低,年平均增长率约为 11.9ppb，年平均季节振幅为 81.1ppb；其日变化呈现中午低、凌晨高的单周期正弦变化特征；该区域风场数据和气团后向轨迹分析表明：季风是影响该区域 CH4 浓度变化的最主要因素。

S54-P-3

我国近海局部海域的酸化和低氧耦合现象

王丹 [1*]

1 自然资源部海洋减灾中心，海洋监测技术实验室
* saisaiwang@163.com

在气候变化和人类活动双重影响下，海洋吸收大气中过量的二氧化碳（CO_2）导致海水二氧化碳-碳酸盐系统平衡发生改变，引起海水 pH 值下降的现象称为“海洋酸化”。而对自我调节能力较弱且对酸化较为敏感的近海生态系统来说，还会同时受到海水低溶氧胁迫的双重压力。在高生产力的近海海域，各种原因造成的低溶解氧现象反而还会进一步加剧近海水体的酸化。这种叠加耦合作用往往对近海海洋生物造成重大环境胁迫，也是近海海洋生态系统的不稳定隐患。海洋酸化和脱氧化是当今各国共同面临的全球性问题，对海洋生态系统带来重大挑战。我国渤黄海沿海、长江口、珠江口、江苏南部和杭州湾等海域均有酸化报道，且近海酸化现象常与海洋暖化、低氧化、富营养化、有害藻华等现象并存。

2011 以来，我国依托国控标准断面开展与海洋酸化密切相关的海水碳化学基本参数的业务化监测。本研究依据 2011~2021 年海洋酸化和低氧业务化监测数据的分析评价发现我国渤、黄海近岸海域、黄海冷水团海域、长江口及珠江口局部海域表层水体有发生季节性局部酸化现象的可能。此外，在 2021 年 8 月溶解氧（DO）监测结果与 pH、文石饱和度（$\Omega_{(文石)}$）监测结果结合分析时发现，黄海中南部海域和南海北部局部区域底层水体存在着 $CaCO_3$ 不饱和状态，渤海、东海和南海监测断面表底层水体的 pH、$\Omega_{(文石)}$ 与 DO 的变化趋势相近，推测我国夏季近海局部海域深层水易同时发生酸化和低氧耦合现象，这可能与河流输入、近岸上升流、生物群落呼吸、赤潮或养殖水体底层的有机物矿化分解作用以及季节性水体层化现象都有关联。呼吁我国有必要在受陆源影响小的开阔海域以及近海典型生态系统分布区域尝试开展长期定点连续监测，以便持续跟踪我国近海酸化和低氧的发展演变趋势及其生态影响，从而逐步深化对近海海洋酸化进程的科学认知，为海洋防灾减灾、海洋生物多样性保护以及应对全球气候变化提供有力支撑。

S54-P-4S

2000-2016 年东海海表二氧化碳分压和海气二氧化碳通量的遥感估算

刘静 [1,2]，Richard Bellerby[1,2,3*]，朱庆 [4]，葛建忠 [1]

1 华东师范大学，河口海岸国家重点实验
2 Norwegian Institute for Water Research
3 UCSI University,Faculty of Applied Sciences
4 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* richard.bellerby@niva.no

海表二氧化碳分压（pCO2）是海水碳酸盐系统的一个重要参数，也是计算海-气二氧化碳通量（FCO2）和了解海洋酸化必不可少的参数之一。pCO2 受热力学过程、物理混合、生物活动和二氧化碳在海气界面交换的影响。由于缺乏观测数据和可靠的模型，目前对中国东海（ECS）pCO2 的了解十分有限。本研究采用原位水文数据（海表温度和盐度）、碳酸盐系统观测数据，结合卫星观测的叶绿素 a 数据，建立了一个区域性的多元非线性回归（MNR）模型估算东海的 pCO2。将现场观测的 pCO2 与 MNR 模型估算的 pCO2 进行比较，在东海内陆架区域（区域 I）模型的均方根误差为 45.19μatm，决定系数（R2）为 0.87；在东海中部区域（区域 II），模型的均方根误差为 11.59μatm，R2 为 0.92；在开放水域（区域 III），模型的均方根误差为 3.73μatm，R2 为 0.97。我们也用一个独立的数据集验证了 MNR 模型的可靠性，该模型具有良好的准确性（区域 II 的 RMSE 为 9.15 μatm，区域 III 的 RMSE 为 7.71 μatm）。此外，利用 MNR 模型估算了 2013-2018 年间东海 10 个航次的 pCO2 和 FCO2，同时将 FVCOM 在 2000-2016 年的输出结果作为模型输入预测了东海内陆架的月平均 pCO2，并分析了 pCO2 和 FCO2 的季节变化和年际变化情况。结果表明 pCO2 的季节性动态主要归因于季节性的温度、生物活动和水体混合过程的变化。从时间序列上看，东海内陆架的 pCO2 呈现出 3.32 μatm yr-1 的增长趋势，并且表现为二氧化碳的汇，平均 CO2 吸收量为 0.0012 Tg C yr-1。

S54-P-5S

基于差示光谱的硝酸盐检测浊度影响及补偿技术研究

董晶[1,2]，唐军武[1,3,4]，吴国俊[1,3*]，李瑞卓[1,2]

1 中国科学院西安光学精密机械研究所

2 中国科学院大学

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室

4 中国海洋大学

* wuguojun@opt.ac.cn

硝酸盐是浮游植物的主要营养物质，准确监测和分析硝酸盐浓度对深入理解海洋生物地球化学循环和防止高硝酸盐浓度造成生态失衡至关重要。紫外光谱法具有检测方便快捷、无需试剂等优点，是目前硝酸盐检测常用的技术手段。但由于自然水体一般具有一定浊度，其在紫外也具有较强吸收，使硝酸盐吸收光谱产生非线性偏移影响检测精度。针对这一问题，本研究提出了一种基于差示光谱的浊度补偿方法。研究采用硝酸盐标准溶液与福尔马肼浊度标准液配制单一样品溶液与混合样品溶液并获得其紫外吸收光谱，通过混合溶液与硝酸盐溶液的差示光谱研究了浊度对硝酸盐溶液吸光度的影响。研究发现，浊度对硝酸盐吸光度的影响不止与浊度有关，同时与硝酸盐浓度有关。在 200~230 nm 区间内，浊度引起的吸光度变化随着硝酸盐浓度的增加而减小，当波长大于 230 nm 时，这种影响是恒定的。基于这一特性，结合残差平方和（RSS）和间隔偏最小二乘（iPLS）选择最优建模区间；通过对不同浊度水平的差示光谱进行线性拟合，建立浊度补偿模型；从水样的原始光谱中减去浊度补偿曲线提取硝酸盐的吸收光谱，最后代入基于偏最小二乘（PLS）的硝酸盐预测模型计算硝酸盐浓度。实验结果表明，采用所提出的浊度补偿方法使硝酸盐预测的平均相对误差从 50.33% 降低至 1.33%。表明该方法能较好的校正由于浊度引起的硝酸盐吸光度偏差，提高硝酸盐预测精度，为实际水体硝酸盐检测提供技术支持。

S54-P-6

走航式海洋碳通量智能监测系统研究

李明杰[1,2,3*]，王敏[1,2,3]，桑宏强[4]，孙秀军[4]，朱旭东[5]，陈锦棠[1]

1 国家海洋局南海规划与环境研究院
2 自然资源部南海遥感测绘协同应用技术创新中心
3 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室
4 青岛海舟科技有限公司
5 厦门大学
* lmj_21@163.com

海洋是地球上最大的碳库，海洋储碳量是大气的 50 倍，陆地的 20 倍，每年可吸收约 30%人类活动产生的 CO_2。我国海洋碳汇空间广阔，长期、大面监测海洋碳通量是我国碳达峰、碳中和战略的迫切需要。目前海洋碳通量监测主要依托涡度通量塔（无法覆盖空间大范围）与科考船走航式测量（高成本且难以对浅水海域测量），很有必要研发一种较为轻便的走航式海洋碳通量监测设备，兼具定位观测与移动式观测的功能，实现对海洋碳通量的智能监测、分析。

研究团队在学习借鉴国外海洋碳通量智能监测平台设计经验的基础上，探索研究具有自主知识产权的走航式海洋碳通量智能监测平台系统，并拟在试点区域为期不少于 3 个月的样机组网应用。具体为：拟重点进行以波浪能滑翔器为主体的自航监测平台的优化设计，相机及 li-7500DS、CO_2-Pro/CO_2-Pro CV、多参数水质仪等关键载荷集成技术攻关、岸基监控系统和岸基支撑保障体系建设以及海洋碳通量数据的获取、校验与分析等。该海洋碳通量监测自航监测平台拟在未携带能源和无人维护的情况下，可长期以 1-2kts 的速度沿着设定的 GPS 路径航行，可通过北斗通讯实现准实时远程控制和状态监控。项目的实施是对国家科技创新驱动发展战略及碳中和、碳达峰战略的积极响应，符合海洋产业发展方向，有利于提升海洋产业技术转化能力及海洋经济高质量发展。

S54-P-7S

南海夏季海表风场评估和其对碳汇计算的影响

朱玮婷[1,2]，杨清华[1,2]，张功[1,2]，何泓鄂[1,3]，王小婧[1,2]，韩博[1,2*]

1 中山大学，大气科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
3 中山大学，海洋科学学院
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

海-气界面气体通量由气体分压差和气体传输速率来确定。气体传输速率受控于海表湍流运动，与表层风速密切联系。因此，风速的不确定性对气体传输速率和海表通量的计算影响很大，对海洋碳汇的评估起着关键作用。本研究利用 2019 和 2021 年南海夏季走航观测数据评估 ASCAT-B、ERA5、CCMP 2.0、CFSv2、CYGNSS 等五个遥感和再分析风产品，利用不同算法计算气体传输系数 K。使用走航风数据订正格点化风场数据产品，结合 K 的算法定量化评估不同海域和天气背景下风场数据产品偏差对南海碳汇估算带来的影响。

S54-P-8S

南大洋海冰区域的 CO2 通量走航观测研究

何泓锣[1]，张功[2]，杨清华[2,3]，王小婧[2]，朱玮婷[2]，韩博[2,3*]

1 中山大学，海洋科学学院
2 中山大学，大气科学学院
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

依托雪龙 2 号在 2020 年 12 月至 2021 年 1 月在西南印度洋的南极边缘（40°E-80°E）连续的涡动走航和 CTD 观测，本研究探究了夏季宇航员海至普利兹湾海域的 CO_2 通

量分布，并讨论了海冰对 CO_2 通量的调控作用。结果表明，该区域整体表现为大气 CO_2 的汇，CO_2 通量分布在-27.65 至 25.92 mmol/(m^2·day)之间（向上为正）。在经向分布上，55°E 显示出明显的海洋碳汇特征，CO_2 通量为-12.96±13.82 mmol/(m^2·day)，而在纬向分布，相对高纬地区（66.7°S 及 68.2°S）显示出一致的海洋碳源区，CO_2 通量为 3.97±10.37 mmol/(m^2·day)。同时，结果显示中等海冰密集度（40%-60%）的 CO_2 通量向下特征最为明显，为 -1.90±10.37 mmol/(m^2·day)；开阔水域则处于 CO_2 交换平衡的状态，但涡动相关法与分压差法结果差异较大。通量空间分布可能受控于融冰引起的海水盐度减少和层结加强。

S54-P-9

SEA ICE MODULATES AIR–SEA METHANE FLUX IN THE SOUTHERN OCEAN

张功 [1,2]，杨清华 [1,2*]，韩博 [1,2]，陈大可 [2]

1 中山大学，大气科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* yangqh25@mail.sysu.edu.cn

Global warming enhances Arctic Methane (CH_4) emissions, however, the Southern Ocean showed a sink of atmospheric CH_4 in recent research. Its CH_4 budget is more uncertain due to observation scarcity, especially in ice-covered oceans. Here, we use we use eddy covariance (EC) on the R/V Xuelong2 observations of CH_4 to assess air-sea CH_4 flux in the Southern Ocean. We report that the East Antarctic seas are weak CH_4 sinks in austral summer and that the CH_4 flux is controlled by sea ice. We further show that negative CH_4 fluxes are restricted to regions with fractional sea-ice cover. Base on the waterside measurements verified that freshwater input from ice melting in low SIC areas kept the sea surface temperature and salinity low and dissolved oxygen concentration high in the upper seawater, favoring CH_4 absorption through dissolving and biological consumption. Our results provide an understanding of how sea ice in the Antarctic Sea affects the global CH_4 budget.

S54-P-10S

海山上升流的识别技术和其对海表 PCO2 的影响

王小婧 [1,2]，张功 [1,2]，杨清华 [1,2]，何泓鄂 [2,3]，朱玮婷 [1,2]，韩博 [1,2*]

1 中山大学，大气科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中山大学，海洋科学学院

* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

高大海山会显著影响周边海域的物质循环和能量流动，进而影响着海洋生物和地球化学过程。海山地形作用引起的上升流将富含营养物和溶解无机碳从深层海水带至表层，进而影响海表 CO2 浓度和海洋碳汇格局。南海作为西北太平洋最大的边缘海，上升流的研究主要集中在沿岸区域，重点关注 SST 对 pCO2 变化的影响。本研究基于高时空分辨率的 Himawari-8 地球同步卫星 10min 数据识别海山区域的上升流，结合走航观测量化上升流对海表 pCO2 的调控关系。通过定量化分析海山区域上升流对海表 CO2 浓度的影响，评估海山对南海区域碳汇格局的贡献。

S54-P-11S

不同光伏阵列布置方式下海上漂浮式光伏平台风载荷数值研究

贾广臣[1]，赵云鹏[1*]

1 大连理工大学，港口及海岸国家重点实验室

* 1224083631@qq.com

漂浮式光伏在太阳能光伏发电领域具有较好的应用前景。对于海上漂浮式阵列光伏来说，风荷载始终是迫切需要解决的问题，特别是对于在台风天气下受到大阻力和升力的海上浮式平台结构，风荷载可能会引起浮式结构产生强烈的非线性运动响应，严重的甚至导致平台发生倾覆和破坏。因此，有必要平衡风荷载和浮力来减小这种非线性运动响应从而防止浮动结构下沉或倾覆。为探究太阳能光伏板上的流场与风压分布之间的关系，采用计算流体力学(CFD)方法数值研究了不同太阳能光伏电池阵列（平行布置、交错布置等6种布置方式）的流动特性。首先，将数值模拟和风洞实验得到的阻力系数和升力系数平均值和峰值进行了比较，验证了数值模拟的准确性。然后讨论分析了不同布置结构下光伏板的压力分布以及由升力引起的力矩不平衡现象，其次分析了太阳能光伏阵列周围的平均流场和非定常流场，重点分析了不同光伏阵列中湍流涡的结构和演化过程。结果表明，通过调节光伏板排列方式导致各光伏板受力发生改变来抵消部分受力，从而改善由升力引起的力矩不平衡现象，有效提高了漂浮式光伏平台的抗风能力。研究结果为提高海上漂浮式光伏平台结构抗风性能提供新思路以及数据支撑，具有重要的科学意义和应用价值。

S54-P-12

SEAMOUNTS ENHANCE THE LOCAL CO2 EMISSION IN THE NORTHERN SOUTH CHINA SEA

张功[1,2]，韩博[1,2*]，何泓锣[1]，朱学明[2]，李宏亮[3]，王新洋[3]，谢伟[2,4]，陈大可[2]，杨清华[1,2]

1 中山大学，大气科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 自然资源部第二海洋研究所

4 中山大学，海洋科学学院

* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

南海普遍被认为是大气的 CO_2 源。南海不均匀的海底地形对海气 CO_2 通量有潜在影响，但相关报道较少。2021 年 9 月，我们在南海北部进行了海气 CO_2 通量的直接涡动相关测量和 CO_2 分压的离散采样。沿航迹涡动相关测量得到的平均海气 CO_2 通量为 0.99 mmol m^2 h^{-1}，整体方法对海气 CO_2 通量的估计是直接湍流观测的一半。但是，涡动相关观测和整体方法均显示海山周围 CO_2 排放增加。海山增强了海山周围的上升流，将富含的 CO_2 深水带到上层海洋，由于溶解度发生了变化，引起了过饱和的溶解 CO_2 释放。上升流也可能从深海带来营养物质，导致叶绿素 a 汇聚到上层海洋，并提高那里的初级生产力。因此，海山周围的生物过程可能与其周围的海洋不同，这进一步使海面上的 CO_2 排放更加复杂。

S54-P-13S

长江口群落净生产力的高分辨率剖面观测

吴迪[1,2,3]，王奎[1,3,4*]，王应琦[1]，樊炜[1,2]

1 浙江大学，海洋学院

2 浙江大学，海南研究院

3 东海实验室
4 自然资源部第二海洋研究所
* kwi@zju.edu.cn

群落净生产力（net community production, NCP）是衡量海洋生态系统中初级生产力（primary production, PP）和群落呼吸（community respiration, CR）之间平衡的指标，即 NCP=PP-CR。NCP 代表了特定生态系统光合作用净产生有机质的量以及在满足群落代谢需求后生态系统输出的最大有机质量。因此，NCP 是海洋生态系统碳收支的关键生物组分和量化海洋生物泵的重要参数，在驱动海洋吸收二氧化碳（即海洋碳汇）方面发挥着至关重要的作用。群落净生产力可通过黑白瓶培养、颗粒有机碳（POC）输出通量、走航 O_2/Ar 比观测、卫星遥感等方法进行测算，但以上方法或存在成本高、误差大、分析时间长、数据资料片段化、分辨率低等诸多问题。近年来，随着 Argo 浮标和水下滑翔机等剖面观测系统的发展，运用 O_2 质量平衡方法进行 NCP 测算已有诸多报道，但由于其观测水深和剖面数量的限制，这些剖面观测系统难以对河口生态系统的小尺度海洋过程进行高分辨率、精细化的观测，制约了我们对于河口生态系统 NCP 测算乃至其碳源汇效应的认识。因此，在立体海洋观测和海洋碳汇评估的双重需求下，我们自主设计开发了一种基于波浪驱动原理的系统式海洋剖面观测系统，其具有低成本、多要素、高分辨率等特点，可实现海洋中小尺度过程的观测。2022 年 9 月，我们将此系统部署于长江口锋面区，得到了高时空分辨率的生物地球化学数据，并结合 O_2 质量平衡模型，率先开展了高分辨率的河口生态系统 NCP 原位观测和控制过程研究，揭示并量化了 NCP 和碳源汇效应的耦合关系，为实现海洋增汇提供了技术和理论支撑。

S54-P-14

船载无人机在海洋碳汇观测中的运用

韩博[1,2]，杨清华[1,2]，张功[1,2]，王小婧[1,2]，何泓锣[2,3]，朱玮婷[1,2]，陈大可[2*]

1 中山大学，大气科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海)
3 中山大学，海洋科学学院
* dchen@sio.org.cn

装备齐全的科考船可以同时监测海洋和大气的碳浓度，也可以直接利用涡动相关法直接获得通量数据，实现对海洋碳汇的实时监测。但由于科考船自身体积庞大，海上晃动复杂，自身材质与海水热力对比明显，船载碳汇观测数据不可避免受到污染，增加了海洋碳汇评估的不确定性。伴随无人机技术的迅猛发展，为传统海洋气象观测技术的突破带来了前所未有的际遇与挑战，为解决海洋碳汇观测提供了新思路。课题组以工业级单旋翼无人机为载体，集成了自动气象站，辐射四分量，气体分析仪，高光谱等设备，初步形成了一套独立于科考船的机载海表通量观测系统。在实际运用中，机载系统独立于科考船进行观测，有效回避船体晃动，遮挡，排气等问题，获得较大范围科考船周围真实环境变量，为提高船测海气通量观测数据质量和代表性提供基础，逐步推动船机一体式智能海洋碳汇观测技术的成熟。

S54-P-15

黑潮区域人为增碱的海洋负排放数值模拟评估初步研究

张守文[1]，朱学明[1*]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
* zhuxueming@sml-zhuhai.cn

IPCC 第六次评估报告指出，2030 年全球温室气体排放量可能使 21 世纪全球温升超过 1.5℃，比 2018 年的预测提前 10 年。海洋是地球上最大的活跃碳库，是气候变化的“调节器”，海洋负排放（主动增加海洋碳汇）是实现碳中和的重要途径，潜力巨大，

是应对气候变化的重要出口。太平洋西边界流黑潮具有流速强、流量大、流幅狭窄的特点，在其表层人为增加海水碱度，相对于水动力较弱的海域，其增碱吸碳的效率会显著提升。基于 CESM 地球系统模式，包含了海洋、大气、陆面、海洋碳循环过程，在黑潮区域进行人为增碱的地球工程模拟研究。初步试验表明，对 10-20°N，125°E 断面周边 100 公里范围内，每隔两个月将表层总碱度一次性增加 200mmol/m3，每年的固碳量可逐年增加，8 年左右可达到平衡状态，每年的固碳量稳定在 680 万吨左右；相较而言，当选择 10-20°N，140°E 断面时，采用同样的增碱措施，达到平衡状态后每年的固碳量约为 750 万吨。对比试验结果表明，不同断面位置的选取，对于最终固碳量存在明显的影响。因此，需要开展更多的敏感性试验，对增碱区域位置选取进行深入研究，以期为科学减排提供支撑。

S55-O-1

福建台湾海峡海洋生态系统国家野外站海-气碳通量长期观测科学平台

朱旭东 [1*]，黄邦钦 [1]

1 厦门大学，环境与生态学院

* xdzhu@xmu.edu.cn

本报告以“福建台湾海峡海洋生态系统国家野外站海-气碳通量长期观测科学平台”为题，拟围绕福建台湾海峡海洋生态系统国家野外科学观测研究站（台海站）的建设运行情况，首先汇报台海站的概况与研究方向、观测与实验体系、科学研究与示范服务等内容，然后聚焦台海站的海-气碳通量长期观测科学平台，介绍利用涡度通量塔长期定位观测技术开展红树林、盐沼、养殖区等典型生态系统的海-气二氧化碳与甲烷交换通量的科学观测与相关研究进展。

S55-O-2

二氧化碳地质封存野外试验平台建设

胡晓农 [1*]

1 济南大学

* bill.x.hu@gmail.com

二氧化碳地质封存野外试验平台建设

济南大学 胡晓农

CO_2 地质封存（CCS）是 CO_2 捕集利用与储存（CCUS）的方式之一，是一种有效的减少碳排放的方法。CO_2 地质封存是涉及热学、渗流、力学、化学反应多参数的耦合问题，往往要通过现场及室内实验，辅以模型，在宏观及微观尺度上进行研究，判断反应机理，确定驱动机制，从而形成合理的碳封存模式。同时需采用相关技术手段实现对 CO_2 的运移监测，保证存储的安全性。项目组成功获得山东省自然资源厅 2022 年省级地质勘查项目和山东地矿局科技攻关项目资助，建立山东省首批 CO_2 地质封存试验平台，于山东省日照市进行裂隙含水层 CO_2 地质封存技术研究与试验模拟。灌注井位于山东省日照市大泉沟地区，利用深层构造断裂带作为储层，注入深度 1290 m-1320 m，灌注量 75 吨，于 2023 年 5 月 11 日正式灌注，灌注过程中实时监测井口压力值、灌注井附近地表及土壤中 CO_2 浓度、灌注井附近风速风向等，灌注时井口压力值为 3.5 MPa 左右，并在灌注井周围 2 口井内取水样，当天送往实验室检测。灌注结束后封井，并继续长期监测相关指标。该项目平台是裂隙含水层灌注 CO_2 的初次尝试，为今后的 CO_2 地质封存工作奠定了重要的基础。

S55-O-3

盐沼湿地碳汇监测与碳汇数据库建设

王晓杰[1,2]，宋维民[1,2]，初小静[1,2]，魏思羽[2,3]，张孝帅[1,2]，赵明亮[1,2]，李培广[1,2]，韩广轩[1,2*]

1 中国科学院烟台海岸带研究所，中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态系统野外科学观测研究站
2 中国科学院烟台海岸带研究所，中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室
3 中国科学院大学
* gxhan@yic.ac.cn

盐沼湿地(salt marsh)是指海岸沿线受海洋潮汐周期性或间歇性影响，有盐生植物覆盖的咸水或淡咸水淤泥质滩涂，是地球上高生产力植被类型之一。盐沼湿地具有很高的固碳能力，能够捕获和储存大量的碳，是重要的“蓝碳”生态系统。在全球变化背景下，盐沼湿地碳汇功能的潜在变化已受到各国政府和科学家的广泛关注。因此，全面、立体的盐沼湿地碳汇监测体系和完整、连续的盐沼碳汇数据库对于准确预测盐沼湿地碳汇功能的未来变化以及更好地保护盐沼湿地资源具有重要意义。当前，陆地生态系统的碳汇监测方法和技术众多，但相关监测工作主要集中于森林、草地等生态系统中；针对受周期性潮汐作用影响、植被由海向陆明显的梯度分布、湿地土壤横向扩张和快速淤积发育的特性处于陆海过渡带的盐沼湿地，还缺乏完整的监测体系和碳汇数据库建设方案。

鉴于以上背景，中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站在布设黄河三角洲盐沼湿地碳汇监测体系和建立碳汇数据库的过程中做了以下工作：（1）构建了盐沼湿地碳汇立体监测体系。在盐沼湿地低、中、高潮滩和潮上带布设碳汇监测塔，同时匹配气象、地下水盐、物候等监测设备，组成盐沼湿地碳汇立体观测体系；开展季度和年度植被和土壤调查，测定典型生态系统植物生物量（地上和地下）和土壤碳含量。（2）建成了黄河三角洲碳汇监测数据库及可视化平台。规范化处理盐沼湿地碳汇监测数据，利用 ELT 数据清洗和抽取技术，对多源数据进行集成管理；基于 Hadoop 大数据框架建成数据库可视化平台。（3）揭示了黄河三角洲盐沼湿地碳汇功能对全球气候变化的响应及机制。基于黄河三角洲盐沼碳汇立体监测体系和多年监测数据，分析盐沼湿地碳循环过程对全球气候变化的响应，相关成果为深入理解盐沼生态系统结构和功能在全球变化背景下的可能变化提供了理论依据。

盐沼湿地碳汇监测和数据库建设能够有效提升对盐沼湿地增汇机制的科学认识和对未来碳汇强度的预测能力，为我国盐沼湿地碳汇现状评估预测提供技术规范和监测指导，对于推动我国蓝碳纳入碳交易市场、开展国际气候谈判、如期实现碳中和目标具有重要现实意义。

S55-O-4

海洋垂直剖面生态环境模拟实验体系研发

刘延俊[1*]

1 山东大学
* lyj111ky@163.com

海洋垂直剖面生态环境模拟实验体系是研究海洋碳汇与生物地球化学过程的关键装备。现有实验水体装置存在体积小、数据监测质量差、无法精准取样与调控等诸多不足，亟需进行优化升级。因此，本研究集成水体边界原位监测系统、垂直剖面移动式监测平台、低扰动智能三维推进移动工作平台，构建实验水体立体监测体系；研制水下作业中继单元、水体取样牵引器、可量化试剂加液器，形成水体精准取样与局部参数调控技术装备；研究离散数据插值算法，开发数据可视化软件平台，实现水体监测数据的高精度动态呈现。本研究通过技术攻关，突破海洋碳汇过程实验技术装备背后的关键科学问题，掌握高精度监测、高可控性调节的实验能力，打造可实际应用的海洋碳汇与生物地球化学过程实验平台，为研究“双碳”战略的海洋方案提供装备支撑。

S55-O-5

粤港澳大湾区海洋数字孪生平台构建与设想

刘健[1*]，宇婧婧[1]，刘海燕[1]，何敏[1]，林楚勇[1]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* liujian@sml-zhuhai.cn

海洋数字孪生技术是一种新型的模拟与预测工具，它将真实海洋环境与数字模型相结合，实现海洋环境的实时监测和预测。数字孪生模型可以通过机器学习和深度学习等技术进行优化和训练，提高模型的预测精度，可为海洋风险监测和预警预报，海洋碳汇及蓝碳的监测核查和预测评估提供更加精细和准确的解决方案。在风暴潮预警方面，数字孪生平台可以将观测数据和模型数据相结合，实现风暴潮预测和实时预警，以及风暴潮致灾机理和风险评估分析；在海洋碳汇研究方面，可以模拟海洋中的碳循环过程，揭示海洋生态系统的动态变化和响应，预测不同的气候、碳排放与人类活动条件下对海洋碳汇的影响。数字孪生技术在海洋应用中仍面临着数据质量、数据集成和算法优化等问题。因此，需要进一步加强相关领域的研究，提高数字孪生技术的应用效果。

S55-O-6

面向全球气候变化研究的海洋环境数据系列产品

张斌[1*]，成里京[2]，王鑫[3]，李富超[1]，王凡[1]

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院大气物理研究所

3 中国科学院南海海洋研究所

* zhangbin@qdio.ac.cn

海洋对全球变化的调控作用越来越收到重视，全球变化信号的研究严重依赖于海洋观测资料。目前广泛应用于全球气候变化研究的海洋环境数据产品普遍存在近海和深海数据量少、时空分辨率低等问题。同时，即便是国际常用的如温盐、海平面等数据产品，其结果不确定性和差异性仍旧很大；而海洋生物和化学等数据，由于原始观测数据空间覆盖面、时间跨度不够大、时空分布不均匀，少有甚至尚无成熟数据产品。

针对上述问题，本研究充分发挥海洋大数据和人工智能优势，提出了以数据准备、数据加工、产品制作为核心工作流程的海洋环境变化关键参数数据产品研制方案；以中国近海及邻近洋区为重点，融合多源数据构建了具有区域优势的海洋数据资源池；突破数据处理和格点化关键技术，形成了标准的海洋环境变化数据产品研制技术体系。特别是针对海洋生物和化学等由于数据时空分布极为稀疏，无法通过常用的格点化技术重构一套均匀覆盖的数据产品问题，团队借助人工智能强大的数据分析和挖掘能力，综合利用自组织映射神经网络和逐步前反馈神经网络等算法，挖掘海洋生化数据与其他海洋物理环境参数关联关系，发展了基于人工智能的数据产品重构技术。

通过上述数据集及关键技术应用，团队研制并发布了包括海洋水体物理要素、海面环境要素、海洋生化环境要素共计 3 类、15 个参数、23 套数据集。所有数据产品面向全球公开共享，国际上已有超过 90 个国家的用户使用该数据，访问量超过 9 万次；已广泛应用于海洋科学、气候变化、生态、气候影响和适应等领域的科学研究，被 40 余份具有国际重要影响力的综合报告使用，为全球气候变化和海洋科学研究提供有力支撑。

S55-P-1

河口海岸大数据中心建设与应用

田波[1*]，袁庆[1]，刘东艳[1]，嵇渭萍[1]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室
* btian@sklec.ecnu.edu.cn

河口海岸大数据中心是以全球和国家尺度河口海岸典型自然和人文要素为对象，聚焦河口海岸带资源、生态环境、灾害等领域，开展河口海岸科学数据标准规范建设以及全过程质量管控理论和方法研究，海岸带遥感、数模、大数据与人工智能结合，研制系列河口海岸生态环境、动力沉积地貌、资源灾害等全球与区域尺度科学数据集，构建全球海岸科学数据产品库、河口海岸大数据共享服务中心以及管理决策支持系统。该中心已纳入国家海洋科学数据中心关键数据节点，并在海岸带蓝碳、微塑料、一带一路大河三角洲演变、盐水入侵与河口城市淡水安全、海岸带生态环境、海岸带防灾减灾、再生能源利用等方面开展广泛应用。为我国和全球区域海岸带资源利用、生态环境保护、产业布局优化以及海岸安全提供科学数据与信息支撑平台，服务全球和我国可持续发展目标。

S55-P-2

海洋大数据服务平台和系统应用建设

任焕萍[1*]，李富超[1]，李一凡[1]，郑双强[1]

1 中国科学院海洋研究所，海洋大数据中心
* hpren@qdio.ac.cn

“双碳”背景下，海洋碳汇（蓝碳）逐渐走入人们视野。海洋数据是碳汇能力精细监测与碳汇价值精准评估的重要基础。随着海洋观测数据呈现爆炸式增长，海洋数据的价值越来越体现出其重要性。如何科学管理分散的数据，让数据活起来，充分的发挥数据效能，创造更多的价值，是现在海洋数据管理的重要工作之一。

针对海洋多源数据整合、元数据标准和数据共享服务等问题，研制开发了一套集海洋数据汇聚、存储、管理和共享为一体的海洋大数据服务平台，利用物联网、云计算、数值模拟等先进技术手段，汇聚海洋环境、海洋生物、海洋化学和海洋地质等多学科数据，进行统一整编管理，推进海洋科学数据共享。建立统一的海洋环境数据管理规范、技术标准规范；设计开放的、标准的数据接口，整合多源海洋科学数据，提供海洋数据的在线化、流程化、自助式的汇交、管理和共享服务，包括数据在线汇交、浏览、下载、审核等服务，在线 DOI/CSTR 注册服务，数据中英文发布服务，实现数据集中存储管理和分级分类共享，保护数据所有者权益，有效促进海洋科学数据的高效共享和利用。同时，在海洋牧场进行示范应用，构建海洋牧场立体监测和智能管控应用系统，依托由浮标监测系统、卫星遥感监测系统、无人机遥感监测系统、走航调查采样监测和原位在线观测设备组成的“天空海地立体观测网”，汇聚浮标、遥感和模式等空天海地多源数据，提供海洋牧场环境可视化展示和预警预测服务，为海洋产业提供数据支撑和决策支持服务。

S55-P-3

中国大陆海岸带蓝碳生境碳储量时空分布格局与评估

李远[1*]，付传城[1]，骆永明[1]

1 中国科学院烟台海岸带研究所
* yli@yic.ac.cn

通过全国尺度海岸带蓝碳生境等生态系统的实地采样和分析工作，已经获得了涵盖我国鸭绿江口至北仑河口的海岸带蓝碳生境 181 件表层土壤和 55 件柱状土壤样品，是目前关于我国海岸带蓝碳生境的最全面的土壤样品。通过估算得出我国海岸带红树林、盐沼和海草床的 1 m 深度土壤有机碳平均埋藏量分别为 190.8 ± 23.5、81.1 ± 9.1 和 91.0 ± 28.9 Mg C ha^{-1}。我国海岸带蓝碳生境土壤的一个鲜明特征是具有高沉积速率，达 17.5 ± 3.2 mm yr^{-1}，显著高于全球均值，其

中红树林、盐沼和海草床的有机碳埋藏速率分别为 162.6 ± 48.8、200.7 ± 54.1 和 202.2 ± 304.9 g C m^{-2} yr^{-1}。我国海岸带蓝碳生境土壤有机碳深受河流外源输入的高矿物、低有机质含量外源颗粒影响，该部分来源有机碳占比可高达 50%以上。其中黑碳作为典型的外源有机碳，占黄河、长江和珠江三角洲蓝碳生境土壤有机碳的 9-25%，中国海岸带蓝碳生境土壤黑碳的积累速率达 33.1 ± 14.5 g C m^{-2} yr^{-1}，黑碳的埋藏通量（0.25 Tg C yr^{-1} 计）可占黑碳排放量（1.96 Tg C yr^{-1} 计）的 12.8%。

通过对比全球 797 个点位蓝碳生境土壤 OC、N 和 P 密度得出，中国蓝碳生境属低 OC 含量矿物型生境，其土壤 C:P 低于全球均值 4-8 倍，N:P 低于全球均值 4-5 倍。矿物对 N-P 组分和 OC 密度有不同的控制路径，在迁移和沉积路径中发挥不同的控制作用。在迁移路径下，大量河流外源颗粒输入会促进矿物结合的惰性 N 和 P 组分的积累，稀释活性有机组分。在沉积路径下，矿物的物理保护作用会促进植物-微生物体系产生的内源 OC 的固定。这一结果说明陆源型蓝碳生境有利于保存惰性和矿物结合的有机质与营养元素，提高蓝碳生境应对气候变化的缓冲能力。

在典型蓝碳生境之外，中国海防林土壤 OC 储量范围为 7.44–79.7 MgC ha^{-1}，总储量为 4.53 ± 0.71 TgC。海防林土壤 OC 埋藏速率范围为 6.90–194.1 gC m^{-2} yr^{-1}。通过与中国盐沼、红树林和海草床典型蓝碳生境对比，虽然海防林单位面积土壤 OC 储量和埋藏速率低于典型蓝碳生境 4-9 倍和 2-3 倍，但海防林面积高于其 2-8 倍。海防林总储量和埋藏速率与典型蓝碳生境接近。这说明海防林是另一个可通过人为管理的高效海岸带碳汇。

S55-P-4

基于组件化的海洋大数据交互式应用系统

王彦俊 [1]，李富超 [1*]，张斌 [1]

1 中国科学院海洋研究所，海洋大数据中心

* lifuchao@qdio.ac.cn

随着各类海洋定点观测设备、卫星遥感技术以及计算机模拟技术的不断发展，现代海洋科学研究正逐步迈向大数据时代，许多新兴技术和手段被应用于海洋科学数据分析，对大量海洋数据分析所面临的主要挑战来自于海洋数据本身的复杂性以及其很强的时空关联性。交互式可视化有助于从整体把握数据的时空变化趋势，还可辅助发现不同变量之间的内在关系，对辅助海洋要素分析、环境变化规律展现、海洋信息交流与传递具有重要意义。本文提出了一种面向海洋大数据分析的组件化交互式可视化平台，首先介绍了海洋大数据的基本组成和分类，并对各类数据的存储方式和数据处理方法进行介绍，同时基于后处理数据形成统一的海洋大数据可视化数据资源服务，为其他应用提供基础的海洋可视化数据资源。其次，基于已有的数据资源构建海洋可视化功能组件，提供一个交互式多元多尺度的海洋可视化工具池，并以海洋环境保护、海洋科学发现为目标，组建可视化应用服务，为科学家、工程师、普通公众提供海洋知识发现的平台，最终为海洋资源的可持续利用以及防灾减灾，实现 SDG 14 目标提供决策支撑。最后，对基于组件的海洋大数据交互式可视化的发展方向和应用前景进行探讨。

S57-O-1

基于 BGC-ARGO 的海洋碳观测

邢小罡 [1*]，修鹏 [2]，柴扉 [2]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

2 厦门大学，海洋与地球学院

* xing@sio.org.cn

过去十年来，生物地球化学 Argo 浮标（Biogeochemical Argo, BGC-Argo）自动化观测技术快速发展，全球 BGC-Argo 观测网已逐渐完善。BGC-Argo 浮标具备高分辨率剖面观测、多参数同步观测、高频连续观测以及海量观测数据等诸多优势，有效填补了船基平台与卫星平台的观测空白，为海洋碳观测提供了全新的观测数据。BGC-Argo 可集成观测海洋生物泵关键参量的各种传感器，常规传感器包括：观测浮游植物丰度的叶绿素荧光计、颗粒物后向散射计，观测群落生产力的溶解氧传感器、硝酸盐传感器，观测碳酸盐系统的 pH 传感器。目前较为成熟的新型传感器还包括水下颗粒物和浮游动物图像原位采集系统 UVP6，不仅可用于观测浮游动物的昼夜迁徙，同时可观测大颗粒物的沉降过程；而搭载透射计的 BGC-Argo 浮标已成为直接观测海洋颗粒碳输出的重要平台，它通过在固定漂流深度连续观测颗粒有机碳，利用沉降在透射计窗口的颗粒物含量随时间的增加速率，可直接计算输出生产力，这一方法被称为“光学沉积物捕获器”，并已通过沉积物捕获器数据的验证。

S57-O-2

夏季黄海水温对台风过境三维响应的在线监测与机制研究

翟方国 [1*]

1 中国海洋大学，海洋与大气学院

* gfzhai@ouc.edu.cn

台风是地球上最强烈的自然灾害之一，对海洋动力与生态环境的时空变化均具有重要影响。黄海生态系统发达，临近西北太平洋，是世界上台风活动较为频繁的陆架海之一，不同台风的路径、强度、移动速度等差异显著。本文结合海底有缆在线观测和高分辨率数值模拟，以 2019 年 8 月的利奇马台风和 2020 年 8 月的巴威台风为例，研究了黄海水温对不同路径台风过境的三维响应与动力机制。利奇马台风过境期间（沿黄海西部/华东北上），大风增强上层垂向混合，导致整个黄海表层降温、次表层升温；同时在北黄海和山东半岛南部沿海诱发跨等深线的两层翻转环流，山东半岛和辽东半岛南岸的下降流导致底层升温、北黄海底层的南向流通过向南输运冷水导致山东半岛北岸底层降温。而巴威台风过境期间（沿黄海东部北上），除增强上层垂向混合外，分别沿其路径方向和路径两侧驱动出正压南向流和跨等深线的两层翻转环流；垂向混合导致整个黄海表层降温、台风路径两侧次表层升温，沿台风路径的正压南向流使得黄海冷水团显著南移，导致南黄海陆坡处底层降温，台风路径两侧的翻转环流包含表层向岸流、沿岸下降流和台风路径处的上升流，下降流导致朝鲜半岛西岸底层升温、上升流导致台风路径次表层降温。上述结果表明夏季黄海温度和环流对台风过境存在显著的三维响应，且响应结构和强迫机制与台风属性密切相关，对该海域碳、氧等生物地球化学关键要素的短时收支亦具有重要意义。

S57-O-3

基于“科学”号的半潜无人船海洋 CO2 剖面自主观测系统研制

张祥光 [1*]

1 中国科学院海洋研究所

* zxg@qdio.ac.cn

随着人类社会工业化的快速发展，大量的化石燃料被用作能源物质，使得大气中二氧化碳含量逐年升高。海洋作为地球上二氧化碳最大的存储库，大气中过量的二氧化碳必然使得海水中溶解二氧化碳含量上升，导致海洋酸化、海水 pH 值降低、碳酸钙等物质在海水中溶解度的增加，使依赖海洋化学环境稳定的多种海洋生物的生存、海洋渔业

的健康发展面临巨大威胁，严重威胁海洋自然资源的可持续利用。鉴于海洋中二氧化碳具有的重要生态作用，及时准确地监测海水中二氧化碳的时空分布将有利于加深人们对海洋碳循环过程的了解，同时对研究海洋碳酸盐体系和全球碳循环具有重要的指导意义。目前海水中二氧化碳的测定仪器主要是基于水汽平衡法的二氧化碳分压自动监测系统及采用膜分离技术实现水汽分离的二氧化碳原位传感器系统。虽然这类方法分析精度高、定量准确，但所使用的仪器设备昂贵、操作要求高，且在检测前需要水汽分离、平衡过程、除湿干燥等复杂的样品前处理过程，不利于海水样品的及时分析。鉴于我国现有海洋二氧化碳监测技术的不足，为满足国家开展海洋生态环境健康诊断的实际需求，发展适合于海洋环境的二氧化碳在线监测技术仍然是一项紧迫任务。“科学”号是我国新一代海洋科学综合科考船的首制船，综合能力居国际在建和新建科考船前列。自 2012 年投用至今，“科学”号引领了我国近十年海洋综合科考船的发展和深远海综合调查研究的新模式，使我国深远海调查研究快速跻身世界前沿。无人观测与智能控制技术的迅速发展，给海洋调查研究提供了一个全新的多维视角和方向。近几年，“科学”号始终关注该技术的发展并积极探索其在海洋科学研究及重大成果产出方面的切入点，“科学”号+无人船观测模式将继续引领我国海洋综合科考船发展及深远海综合调查研究新模式。本研究拟研制一款科考型无人船，将以其为搭载平台，集成智能绞车/CO2/CTD/海气通量等多位一体自主二氧化碳剖面观测系统、智能导航与通信系统、安全环境感知单元等，通过海洋二氧化碳剖面数据采集和分析技术，实现一体化半潜定点自主观测系统的准确测量。无人船采用双机双泵推进，同时具有两种工作模态，即水面高速和半潜低速，本项目建设内容包括如下三部分：（1）半潜无人高速船一体化载体平台，（2）航控系统，（3）多位一体自主二氧化碳剖面观测系统。本研究的顺利实施将使“科学”号保持并引领新一轮深远海综合调查研究的前沿技术应用，必将经济高效地催生重大成果产出。

S57-O-4

基于高频观测资料的海表 pCO2 日内变化及其对碳通量估算的影响

叶海军 [1]，唐世林 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

* sltang@scsio.ac.cn

海表二氧化碳分压（pCO_2）高频变化及其对海-气 CO_2 通量估算的影响还没有得到很好的认识。本研究利用开阔海域、近海和珊瑚礁区域锚定浮标多年观测资料，分析了不同海域海表 pCO_2 日变化特征及控制因素，通过稀疏采样实验评估采样不足引起的碳通量估算偏差。结果表明，开阔海域海表 pCO_2 平均日变化幅度为 7±4 μatm，显著小于近海和珊瑚礁区域的 42±15 μatm 和 115±105 μatm。开阔海域海表 pCO_2 日变化主要受海表温度的影响，最大值出现在当地时间的中午，最低值出现在当地时间的凌晨。近海和珊瑚礁海域海表 pCO_2 日变化主要受生物作用控制，最大值出现在当地时间上午，最小值出现在当地时间下午。将 3 小时观测资料计算得到的海-气 CO_2 通量值作为真值，降低采样频率至每天 1 次，重复 1000 次，得到 95%置信区间的海-气 CO_2 通量偏差分别为 34±26%、14±10%、24±25%。海-气 CO_2 交换越接近平衡状态的海域，每天采样一次引起的年 CO_2 通量偏差越大。综上可知，海表 pCO_2 高频变化对年海-气 CO_2 通量估算的影响是相当大的，我国海洋碳汇本底调查应考虑海表 pCO_2 高频变化特征。

S57-O-5

海洋微型颗粒物原位分类仪：从上层到深层

廖然[1*]，马辉[1]

1 清华大学深圳国际研究生院

* liao.ran@sz.tsinghua.edu.cn

海洋微型颗粒物原位分类仪，测量单个悬浮颗粒物的偏振光散射与光谱信息，获得颗粒物的物理特征数据，实现对海洋微型颗粒物的分类探测。该仪器已研发出船上（实验室）现场样机以及浅海（100 米以浅和 1000 米以浅）和深海原位样机（4500 米以浅）。现场样机已在珠江口及广东近海进行了综合海上测试，可监测水中微藻、泥沙、微塑料等典型颗粒物的时序变化与分层分布。原位样机已在西太平洋及我国周边海域投放，搭载浮标、CTD 采水器、深海着陆器等水下移动/固定平台，原位探测海洋颗粒物的种类、成分、浓度等细致分类数据。该仪器结构简单，易与其他海洋观测仪器复合测量；它提供的海洋颗粒物细致分类数据，已被证实与海洋水文/水质、理化因子等指标具有时空关联性；它在赤潮预警、环境监测、碳汇监测等方面有应用潜力。主要技术指标：可探测颗粒物粒径范围 0.5~200 微米；探测浓度<10000 个/毫升；探测速度<1000 个/秒；工作深度可定制至全海深。

S57-O-6

量化生物过程对 CO2 海气交换的驱动

高咏卉[1*]，晏茂军[1]，陈挚[1]

1 上海交通大学，海洋学院

* ygao80@sjtu.edu.cn

浮游植物是驱动海洋对大气 CO2 吸收的动力之一，在碳循环和收支中起到重要作用。浮游植物总生产力（总产氧量）与生态系统呼吸（自养和异养呼吸）的差值，即生态系统净生产力（NCP），调控海气间的 CO2 通量。尽管表观耗氧量（AOU）广泛应用于海洋观测，但气压、水团混合、温度和盐度梯度等物理过程的改变也影响浓度变化的测定；培养实验耗时长、站位点稀疏等缺点，难以精确反映时空变化下浮游植物对碳的贡献。我们采用惰性气体 Ar 作为参考，利用气体连续分离-质子化测定，基于 O2/Ar 和海气交换过程高精度地测定 NCP。目前，在南北极、台风等极端天气下进行了多次应用，提高了表层海洋中生物过程对碳吸收吸的空间分辨率。

S57-O-7

6000 米级深海原位二氧化碳和甲烷分压传感器研制

关亚风[1,2*]，耿旭辉[1]，李盛红[1]，高岩[1]，宁海静[1]

1 中国科学院大连化学物理研究所

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* guanyf@idsse.ac.cn

本文介绍了两种 6000 米级深海原位在线溶解气体传感器技术，分别是二氧化碳和甲烷传感器。原理是采用水-气分离膜原位提取分离海水中溶解气体进入气相室，用非色散红外传感器探头选择性定量测量气相室中二氧化碳或甲烷浓度。结合水-气分离膜的渗透特性与海水压强和温度的关系，以及非色散红外传感器探头的响应值温度系数，定量校正气相室中目标组分浓度与海水中该溶解气体浓度。为解决传感器漂移问题，传感器内部设置程序控制原位校零系统。该系统内含有选择性吸附或转化被测目标气体组分的吸附剂，使目标组分的本底浓度低于传感器探头的检测下限。该传感器适应海平面至 6000 米深度海水中溶解的二氧化碳和甲烷含量的原位测定，适用于海洋刨面的溶解气中碳含量监测。所研制二氧化碳分压

传感器的检测范围是 0.2 mmol/L 水，甲烷传感器的检测下限是 50 nmol/L 水。

S57-O-8

南海深海区叶绿素变化的物理驱动

张文舟 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* zwenzhou@xmu.edu.cn

利用两个 Bi-Argo 漂流浮标观测研究了南海深水区叶绿素浓度变化。在 2014 年 9 月至 2015 年 8 月，南海中部 48 至 96 米存在持续的次表层叶绿素最大值（SCM）。在南海北部，SCM 在冬季消失，被表层高叶绿素的浮游植物爆发所取代。SCM 的值受到等温线的垂直迁移影响。强风和海表冷却是冬季高叶绿素的主要物理驱动因子。在南海北部，风比南海中部更强，海表温度更低，加上黑潮水的入侵，南海北部更有利于富营养盐深层水的向上传输。冬季，有大量硝酸盐通过平流从台湾海峡和浅大陆架海域向南海北部海盆输运。强风混合、海表冷却、黑潮水入侵、水平平流输运共同作用引起南海北部冬季出现浮游植物爆发。

S57-O-9

台风具有生物固碳能力吗?

卢著敏 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所

* luzhumin@scsio.ac.cn

海洋初级生产力（浮游植物）通过光合作用消耗二氧化碳产生氧气，在地球环境系统中起重要作用。海洋初级生产力发生于 50 米-150 米的真光层，需要有物理机制抽吸更深层海水以提供营养盐。台风过境后，卫星频繁观测到浮游植物爆发，因此早期许多研究认为台风应该具有固碳能力。然而，最近有研究通过 BGC-Argo 浮标对一个台风个例的观测，表明尽管卫星观测到浮游生物爆发，叶绿素垂向积分相对于台风前并没有净增长。也就是说，卫星观测到海表面爆发并不意味，台风能产生新初级生产力从而使台风具有生物固碳能力。本报告从海洋对台风响应的基本物理过程出发，阐明台风能够生物固碳。

S57-O-10

基于遥感观测资料的海洋碳循环耦合分析——南海为例

李腾 [1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

* litengh@126.com

根据碳在海水中的存在形式，可以将其循环过程概括分为浮游植物光合生产驱动的有机碳系统和海气界面气体交换驱动的无机碳系统。不同系统间-不同形式碳的量级、时空分布及其影响因素存在巨大差异。在稳态假设的前提下，已有研究主要关注单一系统内关键参数的改变，尚缺乏系统间变化异同的对比分析，其中一个制约性问题在于现场集成观测资料的缺乏。在已有基础上，本报告聚焦边缘海（南海）的研究案例，探讨当前水色遥感资料在海洋碳循环耦合分析中的应用及可能存在的问题。

S57-O-11

海洋中溶解有机物的光学检测技术— 紫外可见吸收光谱和荧光光谱

张永 [1*]

1 山东大学，海洋研究院
* yongzhang@sdu.edu.cn

从光学角度来看，海洋中的溶解有机物（DOM）可分为有色溶解有机物（Colored DOM 或 CDOM）和无色溶解有机物（Transparent DOM）。CDOM 是对太阳光中的紫外光和可见光具有一定吸收能力的 DOM 组分。通过扫描 CDOM 的紫外可见吸收光谱和荧光光谱，并对谱图进行解析，可得到一系列光谱参数，这些参数可指示 DOM 的来源、相对丰度、结构变化和相关动力学过程。DOM 的这些光谱测量及解谱方法发展较为成熟、操作简便快捷、结果灵敏可靠、已广泛用于实验室测量，但是在原位测量、自动化测量或在线测量方面尚具有较大发展空间。

S57-O-12

CHANGES IN SURFACE SEDIMENT CARBON COMPOSITIONS IN RESPONSE TO TROPICAL SEAGRASS MEADOW RESTORATION

刘松林 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所
* liusonglin@scsio.ac.cn

Here we showed that differences in surface sediment carbon compositions in response to tropical seagrass transplantation among species; specifically, differences in labile, recalcitrant and refractory SOC variations under transplanted *T. hemprichii* and *E. acoroides* communities. We found that seagrass transplantation enhanced suspended particle organic matter, and epiphyte and macroalgae input to surface sediment, which recovered the surface SOC content and stock (increased ~1.6-fold). The elevated contribution of epiphyte and macroalgae significantly increased the surface labile SOM, but not the recalcitrant SOM composition. The higher canopy and longer leaf seagrass species, *E. acoroides*, increased more in its SOC and labile composition,compared to *T. hemprichii* transplant. Overall, this research suggests that tropical seagrass transplantation can fast increase the surface SOC content and stock by increasing the labile organic matter, with varying significantlyseagrass species.

S57-P-1

海洋碳吸收检测技术及标准浅析

吴济舟 [1*]，刘永 [1]，栾建文 [1,2]

1 国检测试控股集团京诚检测有限公司
2 中国国检测试控股集团股份有限公司
* wujz@beijingtest.com

海洋碳吸收的检测技术主要包括以下几种方法：（1）水体采样分析法：收集海水样品后，通过测量样品中的溶解性有机碳（DOC）含量来确定海水中的碳吸收量，已发布标准《海水中有机碳的测定 非色散红外吸收法》HY/T 150-2013、《海水总溶解无机碳的测定 非色散红外吸收法》HY/T 196-2015；（2）放射性同位素示踪法：通过在海洋中添加标记同位素，比如碳 14（C14），然后跟踪测量 C14 的分布和形态变化，来确定碳的吸收、储存、释放和转化，可参照《地下水质分析方法 第 88 部分：14C 的测定 合成苯-液体闪烁计数法》DZ/T 0064.88-2021 进行检测；（3）海洋生态系统模型：建立数学模型，通过输入地球系统的信息，比如流体动力学、生物化学、碳化学和气候情况等等，计算海洋中的气体交换和生物作用等过

程，进而获得碳吸收量的估算值，目前已发布《养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法》HY/T 0305-2021、《海洋碳汇核算方法》HY/T 0349-2022；（4）卫星遥感技术：通过利用卫星观测海面温度、海面高度、色度等信息，推算出海洋生态系统的生产力，再进而计算出碳的吸收量，已发布《海洋观测规范 第5部分：卫星遥感观测》GB/T 14914.5-2021、《海洋监测技术规程 第7部分：卫星遥感技术方法》HY/T 147.7-2013；（5）海洋观测站技术：在海洋中设置气候站、浮标、滑翔机、人工咀等，对海洋环境和生态系统进行实时监测和数据收集，从而确定碳吸收量和储存情况，已发布标准《海洋观测规范》GB/T 14914.1 至 5。这些标准的发布与实施推动了海洋碳周期和气候变化研究。

S57-P-2

印度洋南赤道海域悬浮体分布特征及成因

陈亮[1*]，殷征欣[1]，唐盟[1]，黄国平[1]，魏巍[2]，吴燕华[2]

1 自然资源部南海调查中心

2 自然资源部深圳海洋中心

* randal34@163.com

开阔大洋悬浮物主要受表层浮游生物生长的影响，其浓度及组成反应了初级生产力的强弱及保存，是海洋碳储过程的重要组成部分。通过在印度洋南赤道海域开展悬浮体调查工作，获取了19个站位悬浮体浓度、现场激光粒度、叶绿素及温盐等数据，同时还获取了部分站位有机碳氮及碳氮同位素数据。进一步分析后，得出该海域悬浮体浓度值多分布在0.14 mg L^{-1}~0.56 mg L^{-1}之间，表征含量的浊度及现场激光粒度总体积浓度均较低。对各参数开展平面及剖面分布后，发现各参数平面分布差异性远小于剖面分布，温盐数据显示研究区海水存在层化现象。调查海域在南半球夏季存在明显的次表层叶绿素最大值层（SCM），深度范围主要在25m 至 75m，最高值出现在 50m 处，叶绿素高值区达 1.5ug L^{-1} 以上，SCM 的分布主要受水体垂直混合作用控制，源于初级生物作用。表层 $\delta^{13}C$ 负偏较强，表明上层有机质一定程度可能受到陆源输入的影响。50m 层颗粒氮（PN）值最高，对应了除表层外最高的颗粒有机碳（POC）浓度，说明该处光辐射及营养供给最优，生产力最高，$\delta^{15}N$ 及 C/N 比值的剖面分布表明 N 为 SCM 分布的主要限制性因素。

S57-P-3S

大型海藻养殖生态系统 CO2 源汇研究

吴琪[1]，郭香会[1*]

1 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门大学海洋与地球学院

* xhguo@xmu.edu.cn

大型海藻在海洋固碳、解决酸化低氧等近海环境问题方面发挥着重要的作用。我国是大型海藻养殖大国，海藻养殖产量占全球一半以上，然而，大型海藻生态系统碳循环过程与机制研究却非常缺乏。本研究以一个亚热带大型海藻养殖（海带-龙须菜轮养）生态系统为例，通过对养殖大型海藻不同生长阶段的大面观测，结合浮标（搭载生物化学传感器）时间序列观测和近原位海藻、海水、沉积物受控培养实验等，解析大型海藻生态系统的碳足迹、各过程速率、通量的时空变异，以及它们对海-气 CO_2 交换通量的贡献，揭示温度、海-气交换、生物作用、水-沉积物界面交换等过程对大型海藻养殖生态系统 CO_2 源汇的调控机制。研究发现，水体各参数呈现明显的半日潮变化规律。在一个完整的海带生长周期监测过程中，海带下苗前海域 pH 均低于 8.0。随着海带的生长，海域 pH 和溶解氧浓度不断升高，在海带生长中后期达到最高值（pH 和 DO 周平均值分别为 8.14±0.10 和 10.26±1.13 mg/L）。养殖区

表层海水的 CO_2 分压（pCO_2）在海带下苗前显著高于大气 pCO_2（周平均值为 721±39 matm）。随着海带的生长，海水 pCO_2 逐渐下降，在海带生长的中后期达到最低值（周平均值为 289±93 matm）。海带养殖区水体的 pH、溶解氧浓度均值均高于对照区，表明海带生长能提高海水 pH 的，增加溶解氧浓度。水体 CO_2 源汇也呈现巨大的时间变化，在海带下苗前、海带生长初期、生长旺盛期和生长后期分别为大气 CO_2 的源-近平衡-汇-近平衡的动态变化规律。本研究对评估大型海藻养殖生态系统碳源汇功能和缓解海洋酸化的潜力提供参考。

S57-P-4S

海表二氧化碳分压的高频时间序列观测：控制过程和海气二氧化碳通量

罗遥华 [1*]，张志荣 [1]，陈进顺 [2]，许懿 [2]，曹福青 [2]，黄韬 [2]，郭香会 [1,2]，戴民汉 [1,2]

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* luoyaohua@stu.xmu.edu.cn

基于 2013-2019 年的高频时间序列观测，我们研究了东海近岸陆架（31ºN，122.8ºE）海表二氧化碳分压（pCO_2）的动态变化和海气 CO_2 通量。以 2016 年为例，日平均海表 pCO_2 范围在 114-679 μatm 之间，年均值为 389 ± 99 μatm。春季到冬季的季节平均值分别为 351 ± 68 μatm、357 ± 138 μatm、474 ± 80 μatm 和 382 ± 15 μatm。总体而言，该站位海表 pCO_2 的全年变化受温度和非温度因素共同控制。在 5-9 月，较高的温度使海表 pCO_2 升高；同时，短时间尺度的生物初级生产和呼吸作用，频繁地将使海表 pCO_2 迅速降低或升高，使得海表 pCO_2 在这段时期表现出很大的变异性。在 11-4 月，相对较低的温度趋于降低海表 pCO_2，而水体平流和垂直混合又使 pCO_2 升高，在两者的共同作用下，这段时期的海表 pCO_2 则相对稳定。从全年来看，该站位是大气 CO_2 的净汇（平均海气 CO_2 通量为-1.3±12.3 mmol m^{-2} d^{-1}，负值表示大气 CO_2 的汇），但时间变化很大。在季节尺度上，冬季（通量为-5.8±6.7 mmol m−2 d−1）和春季（通量为-5.6 ± 8.8 mmol m^{-2} d^{-1}）是大气 CO_2 的汇，但在夏季（通量为 1.7 ± 15.3 mmol m^{-2} d^{-1}）和秋季（通量为 7.3 ± 12.1 mmol m^{-2} d^{-1}）则转变为大气 CO_2 的源。在 2013-2018 年，冬季海表 pCO_2 的年际增长速度低于大气 pCO_2，表明该站位的碳汇可能在增强。

S57-P-5S

北太平洋碳汇的季节和年代际变化

高瑛 [1]，郭香会 [1*]，杨毅 [1]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* xhguo@xmu.edu.cn

北太平洋是大气 CO_2 重要的汇，年碳汇量约占全球海洋的 1/3。在全球变化的背景下，海洋碳汇的年代际趋势和调控机制是普遍关注的问题。本研究基于 1988-2019 年表层海洋 CO_2 图集（SOCAT.v2020）的表层海水 CO_2 分压数据，研究北太平洋海-气 CO_2 通量的季节、年代际变化及主要控制因素。不同海区的海-气 CO_2 通量的季节变化各异。低纬度海区在一年中的大部分时间都是大气 CO_2 源，夏季达到峰值；中纬度海区东部大部分时间是 CO_2 的汇，但 10 月转为 CO_2 的弱源；中纬度海区西部全年都是大气 CO_2 的汇，冬季碳汇最强；亚北极海区冬季大气 CO_2 的强汇。各海区的季节变化主要受物理动力过程控制，各海区的具体调控因子也不同。1988-2019 年研究区的年均海-气 CO_2 通量范围为-0.44±0.16 至 0.38±0.25 PgC yr^{-1}，平均值为-0.15±0.15 PgC yr^{-1}。北太平洋碳汇在年代际时间尺度上呈显著增加趋势，整个研究区的增长速率为 0.110 PgC yr^{-1} $decade^{-1}$。北太平洋海-气 CO_2 通量的年代际变化取

决于大气 CO_2 分压升高引起的碳汇增加趋势与表层海水 CO_2 分压调控的碳汇下降趋势之间的平衡。风速的增大也起到一定作用。

S57-P-6S

基于机器学习算法的全球大洋碳源汇强度与海水酸化进程研究

钟国荣[1]，宋金明[1*]，李学刚[1*]

1 中国科学院海洋研究所

* jmsong@qdio.ac.cn

* lixuegang@qdio.ac.cn

自工业革命以来，人类活动排放的二氧化碳不断增加，其中约四分之一被海洋吸收，导致全球大洋表层海水二氧化碳分压持续上升以及 pH 下降（酸化）。海洋碳汇增强是驱动表层海水酸化的重要因素，但全球大洋的海洋碳汇是否会随着大气二氧化碳浓度上升而持续增强、海水酸化是否在加速等科学难题都未得到明确的答案，其主要原因在于海水二氧化碳分压和 pH 缺乏长期、连续、高覆盖度的实测数据，从而严重限制了对海洋碳汇演化及海水酸化进程的研究。尽管有一些研究尝试使用不同的机器学习算法来构建全球大洋表层海水二氧化碳分压的格点数据，但仍存在不少问题，导致利用构建的二氧化碳分压估算得到的海洋碳汇有很大的不确定度。至目前尚未有研究将机器学习算法用于全球大洋海水 pH 格点数据构建的研究报道。

为了获得长期、连续、高覆盖度的数据来研究近30年来全球大洋海水酸化的进程，同时分析海洋碳汇变化对海水酸化进程的影响，本论文开发了一种利用逐步前反馈神经网络算法为主来构建全球大洋表层海水二氧化碳分压和 0-2000m 水深 pH 格点数据的机器学习算法。使用 SOCAT 数据集的二氧化碳分压和 GLODAP 数据集的海水 pH 实测数据，通过这种新的机器学习算法从 73 种与二氧化碳分压和 pH 变化可能相关的参数中筛选出关系最密切的参数来拟合其与二氧化碳分压和海水 pH 间的非线性关系，进而构建格点数据。目前已构建完成国际上首套全球大洋 0-2000m 水深共 41 层的 pH 格点数据产品和目前精度最好的全球大洋表层海水二氧化碳分压格点数据产品，这两套产品的时间跨度均为 1992 到 2020 年，时间分辨率为每月，空间分辨率为 1°×1°。以此为基础，研究了近 30 年来全球大洋海洋酸化和大洋碳汇的演化特征，发现近 30 年来全球大洋碳汇强度随大气二氧化碳浓度上升而波动变化，但自 2008 年开始全球大洋碳汇强度不断增强，并在 2020 年达到 $2.14\pm0.33\ PgC\ yr^{-1}$。而全球大洋表层海水 pH 平均每年下降 0.0015，其中酸化速度最快的是北冰洋，最慢的是太平洋和大西洋。尽管全球大洋碳汇强度总体上是不断增强，但全球大洋的表层海水酸化程度并没有明显的加速趋势。研究首次发现全球大洋不同深度的深层海水都存在酸化，在不同大洋都存在混合层底部海水平均酸化速度比表层海水更快的现象，从混合层深度到 2000m 范围整体上海水酸化速度随深度增加而逐渐减慢。

S57-P-7S

南大洋近惯性混合对碳的垂直输送和初级生产力调节的影响

黄淑旖[1*]，谢晓辉[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋动力学国家重点实验室

* ehuangshuyi@163.com

海洋上层的垂向混合、夹卷、埃克曼抽吸等动力过程对上层营养盐分布、初级生产力以及碳循环均能够产生重要影响，但其量化贡献仍然不清晰。本文基于海洋上混合层碳（*Cm*）变化的平衡方程，通过分析南大洋表面漂流浮标数据、BGC-Argo 剖面观测数

据以及 MERRA 风应力再分析资料，量化上层风引起的近惯性垂向混合，夹卷与埃克曼抽吸对南大洋上混合层内碳变化的贡献。结果显示，南大洋风引起近惯性混合对碳从混合层底部向混合层的垂向输送为 9.052 mmol/(m^3month)，而夹卷和埃克曼抽吸引起的垂向氮输送分别为 2.391mmol/(m^3month) 与 0.011mmol/(m^3month)，小于近惯性混合引起的垂向碳输送，这表明上层风引起的近惯性混合对上层海洋碳输运具有显著性的贡献。

S57-P-8

基于电化学传感的海洋二氧化碳在线监测系统

廖志博 [1]，江天甲 [1]，秦伟 [1*]

1 中国科学院烟台海岸带研究所，海岸带环境过程实验室

* wqin@yic.ac.cn

海洋作为地球上最大的二氧化碳储存库，可以不断吸收大气中的二氧化碳，维持着全球的碳循环。及时准确地监测海水中二氧化碳的时空分布，将有利于加深人们对海洋碳源汇的了解，同时为全球碳循环的研究、“双碳”目标相关政策的制定以及“双碳”目标进展的评估提供丰富的数据支撑。鉴于海洋二氧化碳的浓度在海洋环境的化学、生物和生态过程中发挥的关键作用，因此亟需发展高时空辨的海洋二氧化碳监测仪器。然而，针对海洋二氧化碳的浓度分布监测通常集中于以海水与大气之间的交换为测定重点的浅表层海水分析，极少涉及沿海洋垂直剖面的二氧化碳交换通量测定，垂直剖面检测可定点获得不同深度海水中二氧化碳的浓度信息，这对于全面准确地评估海洋中二氧化碳的迁移变化尤为重要。为了可以高时空分辨地测定海水中二氧化碳变化，加深人们对海洋碳循环的了解，本文提出了一种基于电化学传感的海洋二氧化碳在线监测系统，适用于海水中二氧化碳分压的现场快速检测。系统主要由用于海水参数 (即 pH、电导率、温度) 测定的探针、基于电化学传感的碳酸根离子选择性电极单元、用于传感器校准、自动样品分析和实时盐度-温度校正的控制系统，以及样品流动系统所组成。需要指出的是，盐度-温度校正可以有效地提高海水二氧化碳的检测精度，本文的实时盐度-温度校正系统可使所研制的二氧化碳监测系统适用于不同盐度变化的海域监测。目前，海水二氧化碳分压在线监测系统已在三个不同海域进行性能测试。测试结果表明，所提出的电化学传感系统可用于海洋原位水下和船载等不同方式的海水二氧化碳分压快速、准确监测。

S57-P-9S

连续台风事件在日本南部气旋涡内引起的浮游植物爆发现象及其背后的生地化过程

郑辉 [1]，张文舟 [1*]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* zwenzhou@xmu.edu.cn

2019 年 10 月，台风 Hagibis 和 Neoguri 先后经过了一个位于日本南部黑潮区附近的气旋涡，引起了该区域生地化过程的显著变化。遥感结果显示两个台风均导致了气旋涡内海表叶绿素 a 含量的剧烈升高。与遥感结果相似，BGC-Argo 数据同样表明台风 Hagibis 很快引起了海表浮游植物爆发现象。但对上 160 米层的叶绿素 a 含量进行积分后发现上层叶绿素 a 总含量一开始增加并不明显，一周后才显著增加。这说明海表叶绿素 a 含量增加一开始只是由于混合作用引起的垂向再分布，之后才是浮游植物生长产生的净增长。生物过程滞后于物理过程主要是因为浮游植物利用营养盐生长需要一定的时间。另外 BGC-Argo 结果显示台风 Hagibis 引起了强烈的上升流，并在气旋涡边缘 100 米深度以下发生了黑潮入侵现象。台风

Neoguri 经过后，虽然上层叶绿素 a 总含量快速增加，但由于上层盐度数据异常偏低，同时营养盐含量增加明显，因此这可能是近岸水影响的结果。本研究结合遥感和 BGC-Argo 数据分析了连续台风期间，气旋涡内，特别是气旋涡边缘区域复杂的物理和生物过程。

S57-P-10S

浮游植物细胞死亡对海洋可沉降颗粒有机物的贡献——以东海为例

王妍妍[1]，吴锜[1*]，翟惟东[1]

1 山东大学，海洋研究院

* qi.wu@sdu.edu.cn

在海洋颗粒有机物(Particulate organic matter, POM)中，能够沉降到海底并埋藏的主要是大颗粒的非生命 POM，称为可沉降 POM。它的主要来源是浮游植物死亡裂解后的有机碎屑，因此，量化浮游植物死亡对可沉降 POM 的贡献对于我们了解海洋上层有机物的命运和完善生物泵模型具有重要意义。可沉降 POM 的粒径通常>50-100 μm，本文取其平均值，以粒径>75 μm 的可沉降 POM 为主要研究对象。首先通过不同种类藻细胞的实验室培养，确定了累积死亡藻细胞数与 $POC_{>75}$(可沉降 POM 的碳含量)之间的正相关关系，并且发现细胞死亡对 $POC_{>75}$ 的贡献系数在不同种类的浮游植物中存在差异。接下来，通过对东海的现场培养实验，我们探讨了浮游植物死亡与 $POC_{>75}$ 的时空相关性。结果表明，浮游植物的死亡是 $POC_{>75}$ 的主控因素，在东海表层，$POC_{>75}$ 的累积质量与浮游植物累积死亡细胞数的关系为：Cumulative mass of $POC_{>75}$(mg) = 0.487×Cumulative number of dead cells ($/10^4$) + 0.069。本研究揭示并验证了海洋中生命 POM 向非生命 POM 转化的重要过程，定量阐释了浮游植物死亡与可沉降 POM 之间的关系，为认识东海海域可沉降 POM 的形成过程提供了科学依据。

S57-P-11S

高灵敏度光学折射仪在海水溶解有机物测量中的应用

张聪[1]，陈世昱[1]，张牧子[1]，苏娟[1*]，吴锜[1,2*]

1 山东大学，海洋研究院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

* sujuan@sdu.edu.cn

* qi.wu@sdu.edu.cn

海水中的总溶解有机物（Dissolved Organic Materials, DOM）是地球上最大的海洋碳储存库，其行为的变化对全球碳循环和预测气候变化至关重要。然而 DOM 具有极高的分子多样性和复杂性，含量低，随时空变化且受河流和人类活动的影响，其对海水盐度的影响还未知。

光学折射率与电导率方法相比，能够反映海水中非电离组分的参数。电学海水盐度测量要求温度范围：0~40 ℃，盐度范围：0~40 PSU，压力范围：0~11000 dbar，对应的折射率测量范围 1.329 RIU~1.348 RIU。光学折射仪的分辨率至少满足 10-7 RIU 才能体现出 DOM 浓度的变化，即光学折射仪的分辨率要优于 10-7 RIU，即系统至少需要 190000 个测量点。在基于 V 型槽折射法的光学折射仪中，位置敏感器件（Position Sensitive Device，PSD）是系统的关键器件之一，其分辨率和量程是限制系统测量分辨率和测量范围的关键因素之一。目前市场上分辨率最高的 PSD 是 Hamamatsu 产品 s3931，其感光面积为 1 mm×6 mm，配合其数据处理模块 c9068，分辨率为 1.5 μm，量程为 4000 个点（6 mm/1.5 μm）。这距离 190000 个测量点数的需求还很远。

依托于蓬勃发展的手机行业，CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）图像传感器的分辨率和灵敏

度越来越高，制作工艺越来越成熟，产品更新非常快。目前商业手机的 CMOS 图像传感器像素数量可达 1 亿，像素尺寸可小于 1 μm。使用 CMOS 图像传感器作为位置敏感元件，获取经过待测海水折射后的激光光斑图像。再结合图像处理技术获取激光光斑位置信息，从而实现海水折射率测量的目的。图像处理技术可实现亚像素级别（0.5~0.1 个像素）的高分辨率定位，可有效提高 V 型槽折射率测量系统的分辨率。因此，本文提出了 CMOS 摄像头模组配合光斑中心亚像素定位算法代替原系统中 PSD 来探测光斑位移的方案，并搭建了基于 CMOS 的 V 型槽海水折射率测量系统。理论分析及实验结果表明，新系统的分辨率为 2.11×10−7 RIU，系统量程为 0.0073RIU，较相同配置下基于 PSD 的 V 型槽折射率-盐度测量系统灵敏度提升了 4.6 倍，该系统可用于测量海水中溶解有机物变化的测量。

S57-P-12

基于注意力机制和卷积神经网络的印度洋三维温盐场反演研究

齐继峰 [1*]，谢博闻 [1]，尹宝树 [1]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋环流与波动重点实验室

* jfqi@qdio.ac.cn

深入了解海洋内部的热盐结构信息对于我们全面理解区域和全球海洋动力学和碳循环过程具有至关重要的意义。本研究提出了一种新型神经网络模型——基于注意力模块-卷积神经网络（CBAM-CNN），利用卫星遥感观测的海表温度（SST）、海表盐度（SSS）、海表面高度异常（SSHA）、海表风场（SSW）以及经纬度（LON 和 LAT）等数据，反演印度洋不同深度和季节的海洋次表层温盐结构。我们采用 Argo 数据进行模型训练和验证，并通过均方根误差（RMSE）、归一化均方根误差（NRMSE）和决定系数（R^2）等指标评估模型性能，并将其与传统的卷积神经网络（CNN）模型进行比较。研究结果表明，相较于传统的 CNN 模型，CBAM-CNN 模型在反演印度洋的温盐结构方面表现出更为优越的性能。此外，CBAM-CNN 模型还具有良好的季节适应性。本研究对于长时间序列和大尺度海洋内部参量信息的遥感反演与重建具有重要的科学意义和应用价值。

S57-P-13

从近岸水域到南海溶解有机质（DOM）提取富集和化学组成特征

宋桂雪 [1*]，何晨 [2]，史权 [2]

1 山东大学，海洋研究院

2 中国石油大学（北京），重质油国家重点实验室

* songgx@sdu.edu.cn

溶解有机质是一类有机碳含量很低，高度多样性、极性很强、结构复杂的在土壤圈、水圈层普遍存在的混合物。对海洋溶解有机质（DOM）分子组成和有机结构的分析将有助于加深对海洋有机碳循环的了解。采用电渗析反渗透（ED/RO）技术提取 DOM，改进的方法使灰分下降了 50%，氯离子去除率提高 90%，显著提高有机碳富集效率。采用放大的 PPL-SPE 方法处理广西某红树林湿地潮沟水（MW）、青岛鳌山湾近岸(QA)、桑沟湾近岸(SG)以及南海北部陆坡 F 站位中层水（SC）等大体积海水，DOC 回收率在 50-56%。四种 PPL-DOM 固态 ^{13}C 核磁谱图基本特征相似，以烷基、碳水化合物、芳香族和羧基碳/酰胺碳为主, MW-PPL-DOM 中含有明显木质素来源的陆源成分； 质谱发现 DOM 分子量分布相近，以相对丰度计算 CHO 类仍是 DOM 中最多的化合物类型（56-80%），其次是 CHON 类，而海水样品中

CHOS 类相对较少，MW-PPL-DOM 中鉴别出较多的 CHOS；四种 DOM 约含 4700 共有分子式，而 MW-PPL-DOM 中独特分子式最多，SC-PPL-DOM 中独有的分子式较少，南海海水中相对惰性的分子较高。比较 QA-PPL-DOM 随春夏秋冬季节变化的高分辨质谱发现识别的分子式中有 36%（约 5630）分子式均能检测到，含 930~1380 不等特有分子式（冬季最高）；DOM 分子中烷烃变化较大（春≈秋<夏<冬），亲水性指数春季最高，冬季最低，而芳香性指数冬季和春季接近，秋季最高，数据表明青岛近岸 DOM 受季节影响较大。

S58-O-1

矿物-微生物相互作用的碳中和对策

董海良 [1*]，曾强 [1]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* dongh@cugb.edu.cn

矿物-微生物相互作用在碳捕获中扮演着重要角色，其主要包括两种机制：一是微生物诱导的矿物风化及碳酸盐矿物的形成；二是矿物-微生物协同作用对有机碳的捕获。

微生物可以通过胞外分泌氢离子、有机酸、铁载体及胞外聚合物等方式促进硅酸盐矿物的溶解，使其释放 Mg^{2+}、Ca^{2+}等离子捕获二氧化碳，形成碳酸盐矿物，从而达到碳汇的效果。真菌由于其特殊的菌丝结构，可以紧密地吸附于矿物表面，通过生物力的作用或是降低微环境 pH，从而有效地促进矿物的溶解风化。此外，许多微生物还可以通过分泌碳酸酐酶，促进 CO_2 向 HCO_3^-和 H^+的转化，从而加速对无机碳的捕获与固定。

另外，矿物-微生物还可以通过协同作用固定有机碳。譬如在河口与三角洲地区，陆源带来的泥沙及黏土矿物在氧化还原条件及盐度的变化下会通过絮凝作用形成矿物-有机质复合体，从而降低有机质的矿化速率。另一方面，絮凝作用同时还能够保护微生物，降低病毒对其的裂解作用。微生物同时也会通过多种机制转化与矿物结合的有机质，这种转化作用有可能会进一步减少有机质的生物可利用性，形成惰性有机质（即生物碳泵效应），从而有利于有机质在海洋沉积物中的埋藏与保存。

S58-O-2

微生物诱导碳酸盐沉淀储碳研究初探

王誉泽 [1*]，鲁鋆 [1]，徐富成 [1]，侯圣伟 [1]，陈柯伟 [2]，张传伦 [1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 南方科技大学，环境科学与工程学院

* wangyz@sustech.edu.cn

微生物诱导的碳酸盐沉淀（MICP）技术通过工程手段加速自然环境中的微生物矿化过程生成碳酸盐矿物，在岩土、结构、地质、材料、环境以及碳汇工程中具有重要应用潜力。自然环境中的微生物参与尿素水解、硫酸盐还原、硝酸盐还原、铁还原、甲烷厌氧氧化、光合作用等过程，提高环境 pH 值及碳酸根浓度，进而诱导碳酸盐沉淀。本研究通过溶液实验和微流控实验研究微生物矿化过程及影响因素，研究结果表明微生物矿化过程中发生相变，环境温度、细菌浓度、细菌种类及碳源种类等因素均直接影响矿化效果。数值模拟研究结果表明，微生物数量直接影响微生物活性，进而影响矿化速率，孔隙流速及沉积物颗粒特征影响微生物在孔隙中的分布，进而直接影响碳酸盐矿物的分布。本研究总结和探讨微生物诱导碳酸盐沉淀机制、过程、动力学模型及影响因素，分析和提出基于微生物诱导的碳酸盐沉淀的增汇技术研究挑战及展望，为微生物诱导的碳酸盐沉淀增汇技术的研发提供重要理论支持。

S58-O-3

常温常压下利用粉煤灰和海水高效矿化封存 CO2

潘依雯[1*]，丁泽晟[1]，张旭[1]，成天乐[1,2]

1 浙江大学，海洋学院

2 浙江大学，海南研究院

* evelynpan@zju.edu.cn

利用粉煤灰矿化封存 CO_2 是一种潜在的源头减排手段。研究表明高浓度 NaCl 的盐水有利于从粉煤灰中浸出 CaO。海水因具有高盐度、富含钙镁离子、成本低廉、资源丰富、取用方便，可替代盐水与粉煤灰进行 CO_2 封存。然而，目前对使用海水的矿化反应机理研究较少，这阻碍了矿化封存 CO_2 技术的发展与应用。本研究在常温常压下利用海水与粉煤灰矿化封存 CO_2，所得碳化效率（94.8%）高于其它文献报道，且该高效率的关键在于控制低 pH 范围（8.2~10.4）。在该 pH 范围内，CaO 的浸出速率快于 $Ca(OH)_2$，更快的 CaO 浸出速率增加了 Ca 浸出的量，因此提高了碳化效率。在该 pH 范围内，$Mg(OH)_2$ 的沉淀和溶解也影响了 $CaCO_3$ 的生成速率和晶型。矿化后溶液中重金属离子浓度远低于国家标准要求，可直接排放，具有环境友好性。矿化后溶液较低的 pH 有效提高了碱源的溶解度，则碱源无须进行精细化粉碎就可以直接进行较快速率溶解，并通过提高溶液碱度以降低待排放溶液的 pCO_2，实现低成本、高效率的加碱增汇效果。因此在常温常压下，利用粉煤灰和海水进行高效、环保、低成本的矿化封存 CO_2 的方法，可有效结合海水加碱增汇技术，具有推广应用的巨大潜力。

S58-O-4

海岸带橄榄石添加增汇潜力评估

胡玉斌[1*]，任宏伟[1]，陈立朝[1]，刘纪化[1]

1 山东大学，海洋研究院

* yubinhu@sdu.edu.cn

海洋每年吸收 1/4 左右人类活动排放到大气中的 CO_2，其碳汇潜力巨大。海洋通过溶解度泵等作用，可将 CO_2 转换成 HCO_3^- 离子以溶解无机碳的形式长期存储于海水中。海水碱度是衡量海洋对 CO_2 缓冲能力的关键指标，如何有效地提升海洋碱度，进而提高海洋的碳汇能力是目前国际海洋科学研究的热点。前期的理论研究表明，向海洋中添加碱性矿物（如橄榄石等），一方面可有效增加海洋固碳能力，减缓全球变暖；另一方面又可提升海水 pH，缓解海洋酸化，从而起到一举两得的作用。因此，海洋碱化技术被认为是最有效而且副作用较小的负排放技术之一。我国大陆海岸线绵延曲折，长达 1.8 万公里，在砂质和淤泥海岸开展近岸海域橄榄石施加不仅可以进行固碳，对我国海岸的蚀退也具有缓解作用。但目前橄榄石在海水环境中溶解动力学情况主要停留在模型研究，实验层面尚处于起步阶段，严重地限制了我们对近岸海域橄榄石添加所能起到的增汇作用的认知。本研究基于实验室可控实验，通过监测实验体系碳酸盐参数变化，量化碱度的增长速率，确定橄榄石在天然海水中的溶解速率常数，利用缩粒模型评估在中国近岸海域施加橄榄石的增汇潜力。

S58-O-5

基于海洋碱度强化的航运业碳减排应用

东思嘉[1,2*]，Jess Adkins[2]，Will Berelson[3]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 美国加州理工学院，地球与行星科学系

3 美国南加州大学，地球科学系

* sijiadong@nju.edu.cn

海洋碱度强化是通过海洋进行直接大气捕获和点源碳减排的重要地球工程固碳

手段，其中基于灰岩的海洋碱化方法较硅酸盐具有更高的反应性及较低的衡量金属等杂质离子，较生石灰具有更低的碳足迹及更缓和的海洋生物效应，较电解法具有更经济的成本和大规模应用的前景，因此具有较大应用前景。加速灰岩风化可以针对点源排放进行碳捕捉和封存，此前该方法在沿海发电厂中的应用受所需海水流量及相应能耗过大的限制而无法大量投入实际应用，如何更有效地实施加速灰岩风化固碳和海洋碱度强化亟待解决。本研究基于实验和模拟结果，提出了针对海洋航运业的碳减排和封存方案，旨在解决海洋航运业占据的 3%全球碳排放，并使货轮达到国际船运组织制定的 IMO2050 减排标准，通过模拟对比不同反应器设计和物料参数对于反应效率和能耗需求的影响，提出了实现 50%减排要求的最优方案，该方案是国际上首个针对远洋航运业减排的碳封存方案，也是海洋碱度强化固碳的可行实施方案之一，其与直接大气捕获的结合将为海洋碱化增汇提供应用可能。

S58-O-6

碱化土壤中微生物对碳汇的逆向调控

余茜倩[1*]，温俊伟[1]，田秦珠[1]，吴郴[1]，李絮[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* qianqianyu09@gmail.com

无论海洋中还是土壤中，微生物碳泵对调节地球表层系统的碳循环都有着重要的影响。环境介质的理化性质（如 pH 值）有可能通过影响微生物功能群进而调控有机质的保存。然而，关于微生物对环境的反馈如何影响长时间尺度的碳循环，往往需要借助极端环境下的观测或长时间尺度的田间试验。样本的稀缺性为研究带来了难点。工业化以来，人类活动对环境条件产生显著扰动，这些典型人类活动扰动区（如有色金属冶炼场地）或可成为天然的微生物环境效应试验站：首先，人类活动的扰动足够强，往往带来环境参数的巨大变异；其次，相比地质过程，人类活动造成的环境参数的空间异质性足够大，便于研究单一因子的微生物效应；最后，相较于田间试验，人类工业化历史足够长，有助于观测较长时间尺度下微生物的环境影响。

基于以上原因，我们对中南地区一个有着 20 年以上历史的有色金属冶炼场地开展了系统的矿物学和地球化学分析，探讨冶炼活动带来的环境扰动对土壤碳库影响的长期效应。研究发现，受碱性物质排放的影响，地下土壤的 pH 值随着深度发生变化，在 10 m 范围内呈现出显著的 pH 梯度（7-12）。土壤碱度的增加明显促进了土壤中次生方解石的产生，土壤 TIC 含量也明显增加。然而值得注意的是，随着土壤碱度的增加，无机碳同位素信号发生明显负偏，表明高碱度环境促进了有机碳的分解。微生物 Alpha 多样性分析表明，碱度的增加显著降低了土壤微生物多样性。微生物功能潜能预测分析表明，发酵作用所占比例明显增加。这些初步结果预示着，微生物群落结构和碳代谢通路受土壤 pH 值影响发生了显著变化，最终体现为碳循环通量的改变。而微生物群落结构的变化，有可能对无机碳同位素记录产生强烈影响。过度碱化土壤中，微生物有可能对碳储库起到了逆向调控作用。

S58-P-1S

污水好氧处理在海洋负排放中的工程应用潜力研究

陈倩颖[1]，郑力文[1,2]，雷仕泽[1]，刘纪化[1*]

1 山东大学，海洋研究学院

2 威海市蓝色经济研究院

* liujihua1982@foxmail.com

海洋是地表最大的碳储库，自工业革命以来吸收了约 23%的人为排放二氧化碳（CO_2），通过人为工程技术手段增汇（海洋负排放）潜力巨大。海水碱度提升技术

（Ocean Alkalinity Enhance，OAE）是通过加速碱性矿物风化溶解提高 CO_2 在海水中的溶解度，从而实现海洋增汇的技术体系。碱性矿物的人为加速溶解是该技术实施的核心要素之一。前人基于入海废水低 pH、高溶解无机碳（Dissolved Inorganic Carbon, DIC）浓度的特征，以及碱性矿物溶解速率与水体 pH 的负相关性，提出通过污水处理后的再生水实现 OAE 的废水碱化海水增汇技术。考虑到污水好氧处理工艺是废水水体酸性累积的主要阶段，本论文设计将活性污泥好氧降解污水和碱性矿物碱化废水工艺合并，以人工配制的生活污水作为实验水体，镁橄榄石天然矿物为实验用碱性矿物，30 °C 恒温震荡（好氧）培养 5 天，检测水体无机碳体系指标。实验结果表明，仅添加 1% (m/m)橄榄石未接种活性污泥的对照组废水碱度从 481.8±7.1 μmol TA kg^{-1} 初始值增加到 1452.9±21.2 μmol TA kg^{-1}，同期接种 0.1‰ (m/m) 活性污泥的实验组则增加到 7437.0±242.9 μmol TA kg^{-1}，即：污水好氧降解与橄榄石碱化工艺结合的增汇效能是废水直接溶解橄榄石的约 7.2 倍。同时，废水好氧处理 5 天后碱度增量与橄榄石初始添加量符合米氏方程，碱度最大增量和橄榄石半饱和添加量分别为 9538.5 μmol TA kg^{-1} 和 0.5% (m/m)（$R^2 = 0.98$; p-value << 0.01）。添加橄榄石的实验组水体溶解硅和 DIC 随好氧培养的时序变化趋势与 TA 指标一致，指明废水水体碱度变化主要源于橄榄石的化学溶解，使废水好氧降解释放的 CO_2 解离并被固定在废水水体中。此外，橄榄石添加对污水好氧降解（以 COD 为指标，甚至略有升高）和出水 pH 值影响（2% (m/m)橄榄石添加，出水 pH 值为 8.27±0.02）非常有限。相同碱性矿物条件下，好氧-碱化联合工艺处理污水的水体碱化增汇效能是海水碱化增汇的 21.7 倍。2021 年我国入海污水年排放量为 72.8 亿吨，按 0.5% (m/m)橄榄石添加量保守估计，我国可通过污水好氧-碱化处理后的碱化废水入海排放实现 0.03~0.13 Mt CO_2 $year^{-1}$ 的海洋碳汇增量。

S58-P-2

再生水碱度提升技术在粤港澳大湾区海洋负排放中的应用潜力分析

陈柯伟 [1*]，王誉泽 [2]，侯圣伟 [3]，张传伦 [4]

1 南方科技大学，环境科学与工程学院
2 南方科技大学，海洋科学与工程系
3 南方科技大学，海洋科学与工程系
4 南方科技大学，海洋科学与工程系
* chenkw@sustech.edu.cn

通过提高海水碱度来增加二氧化碳吸收能力（海洋负排放）是海洋领域促进碳中和目标实现的重要途径，而传统的碱度提升方法面临成本高、难推广和效果差等缺点。再生水碱度提升是近年提出的一项可以有效克服传统碱度提升技术缺点的新兴海洋负排放技术。再生水低 pH、高 pCO2 和高有机酸浓度的特点使之可以有效溶解携带大量碱性物质入海，同时避免碳酸盐二次沉淀。该技术虽然通过理论和室内实验得到论证，但是在区域尺度复杂条件下的可行性仍有待证明。本研究采用数值模拟的方法，通过建立考虑碱度提升过程的珠江口近海三维海洋生态系统模型，探究在主要入海河流中添加橄榄石提升碱度对表层海水二氧化碳浓度的影响。初步分析表明自然条件下的珠江口是二氧化碳的源，提升入海河流的碱度可以有效减少表层海水二氧化碳浓度，而减少程度与河流径流量和碱度增加量成明显正相关，同时硅酸盐作为橄榄石溶解副产物可以促进硅藻生长。本研究为再生水碱度提升技术在粤港澳大湾区的应用提供了科学支撑，为技术落地和进一步推广奠定了基础。

S58-P-3S

生物诱导碳酸钙析出削弱加碱增汇效应的研究

陈麒先[1]，潘依雯[1*]

1 浙江大学，海洋学院

* evelynpan@zju.edu.cn

加碱增汇是通过向海水中加入碱源（石灰石、橄榄岩等），使海水的 pH 轻微升高，同时 TA 大幅升高，引起海水 pCO_2 大幅下降，从而从大气中吸收 CO_2 的过程，达到增强碳汇的目的。一般而言，在近岸进行加碱是更便捷、更经济的方法。而近岸的水体交换缓慢，局部可能出现水体碱度过高引起矿物析出（碳酸钙），削弱加碱增汇的效果。因此，加碱增汇的过程需要尽量避免碳酸钙析出。在纯无机环境中，加碱通常无法达到海水碳酸钙自发大量沉淀所需的过饱和度 Ω（~12 对文石）。然而，研究发现，近岸水体常见的硅藻中肋骨条藻在藻华爆发时具有诱导碳酸钙大量析出的能力，这一过程发生的临界过饱和度 Ω 为 8.01-8.03。加碱后的局部水体碱度升高，更有利于达到硅藻诱导碳酸钙沉淀所需的 Ω，进而提高了硅藻诱导碳酸钙沉淀发生的频次及沉淀量。因此，为了避免加碱引发的生物诱导碳酸钙析出，更多研究应该在研究加碱边界条件时考虑到生物诱导对碳酸钙析出的影响。

S58-P-4

滨海湿地微生物驱动的碳转化机制

董宏坡[1*]，毛铁墙[1]，张家伟[1]，欧亚飞[1]，侯立军[1]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* hpdong@sklec.ecnu.edu.cn

滨海湿地碳埋藏量占全球海洋沉积物的 50%，是地球上最重要的碳库。滨海湿地有机碳含量在垂直剖面上一般由表向下呈现出逐渐降低的趋势，表层以好氧降解为主，有机碳分解速度较快，中层和深层以厌氧分解为主，有机碳降解比较缓慢。表层有机物矿化产生大量的氨盐供养着丰富的氨氧化微生物，这些微生物可以进行化能自养固碳，从而将大气的 CO_2 转化为有机碳甚至是惰性碳。基于氨氧化微生物纯菌的研究表明，这些自养微生物的固碳速率受到诸多环境因子如盐度，氧气浓度、底物浓度、pH 和温度等的调控。不同的环境条件产生出不同种类和组成的溶解性有机物。这种组成的差异也决定着溶解性有机物的惰性程度。在沉积物中层或者深层，尽管惰性有机物的降解较为缓慢，但研究也发现一些古菌参与了有机碳的厌氧降解，例如基于宏基因组技术发现阿斯加德古菌参与了芳香烃化合物的降解；一些新型的甲烷古菌参与了对有机物的利用和甲烷的产生。因此中层和深层惰性有机物的微生物厌氧降解速率、降解产物以及保留时间决定着滨海湿地碳库的容量。基于此，对滨海湿地沉积物不同深度微生物的种类、碳转化过程和调控机制的深入研究是当前滨海湿地碳循环研究的重要任务之一。

S58-P-5

海洋负排放国际标准的技术体系和组织申报流程

类彦立[1*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋生物分类与系统演化研究室；山东省海洋国际标准创新中心；海洋负排放国际标准研究中心

* leiyanli@qdio.ac.cn

海洋国际标准是当前国际谈判中公认的仅次于国际法和联合国海洋公约的法理依据，是维护国家海洋权益的重要理论基础。2022 年 6 月 8 日，联合国教科文组织（UNESCO）政府间海洋学委员会（IOC）正式公布：中国科学家焦念志院士牵头申请的全球海洋负排放（Global-ONCE）大科学计划通过国际同行专家评审、联合国海洋十年行动计划（UN Ocean Decade ）顾问委员会的会审、以及对首席科学家和项目组反馈意见的审核和最后审定，成为联合国十年倡

议计划框架下的大科学计划。海洋负排放国际标准化工作是我国全面参与全球治理、提升碳达峰碳中和领域全球话语权的关键支撑。本报告将介绍海洋负排放国际标准的技术体系构成，以及组织申报国际标准的流程，将与海洋各领域专家共同合作探讨和推进 ONCE 国际标准的技术内容和申报方案。

S58-P-6

海洋细菌生物膜诱导矿化膜的形成机制及应用研究

王伟权[1]，刘涛[2]，曾振顺[3]，汤开浩[1]，王晓雪[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室

2 上海海事大学，海洋科学与工程学院

3 广州大学，环境科学与工程学院

* xxwang@scsio.ac.cn

海洋细菌产生的生物膜在贝类、珊瑚等无脊椎动物幼虫的附着以及全球碳循环、固氮、硫酸盐还原等生物化学循环过程发挥着十分重要的作用。假交替单胞菌（*Pseudoalteromonas*）是一类具有强运动性和生物膜形成能力的杆状细菌，在全球不同的生境中广泛分布。我们从南海分离一株假交替单胞菌 *Pseudoalteromonas lipolytica* SCSIO04301，发现该菌株经生物膜产生的皱褶突变株有胞外多糖增加产生物膜增多的表型（EPS+），利用 EPS+突变株在钢材表面形成的生物膜可以诱导环境中金属离子的矿化，形成一层无机物($CaCO_3$)与有机物（细菌和胞外多糖)的复合膜，保护钢材等金属免受腐蚀。同时，我们发现，生物膜的形成和随后在钢表面上的生物矿化受到钢表面性质的高度影响。 钼（Mo）是钢中常用的金属，可以提高其强度和耐腐蚀性。我们通过设计含有不同浓度 Mo 的低合金钢来研究 Mo 对生物膜诱导矿化过程的影响。表面特征表明，中等浓度的 Mo（例如 0.6 wt%）显著增强了生物膜的形成和矿化过程。从机制讲，我们证明了 Mo 离子作为假交替单胞菌的化学引诱剂并激活了趋化途径。此外，我们的工作为进一步设计“智能”钢提供了实用指南，可以根据不同的要求控制表面生物膜的形成，促进海洋细菌保护金属防腐蚀的应用研究。

S59-O-1

珊瑚礁碳汇机制、增汇对策及其全球变化响应

石拓[1,2*]，郑新庆[3]，王晨颖[2,3]，牛高峰[1]，张涵[1,2,3]，王啟芳[2,3]

1 山东大学，海洋研究院

2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

3 自然资源部第三海洋研究所，海洋生态保护与修复重点实验室

* tuoshi@sdu.edu.cn

珊瑚礁是生产力水平最高，同时也是最脆弱的海洋生态系统之一。由气候变化及人类活动导致的珊瑚礁全球衰退，已经影响到珊瑚礁的钙化和碳循环过程，也加大了长期悬而未决的珊瑚礁二氧化碳（CO_2）“源-汇”争议。本报告从提高珊瑚礁的弹性适应角度，尝试厘清珊瑚礁生态系统的 CO_2“源-汇”悖论，探索珊瑚礁生态增汇方式和途径，阐明珊瑚共生体响应全球变化的分子机制，以期为实施海洋负排放、践行国家碳中和战略提供理论和技术支撑。提出了基于生态系统增汇的珊瑚礁修复技术路线图，倡导通过加强陆海统筹、减少陆源污染、合理规划海岸带建设等举措，在增汇的同时提高珊瑚礁对气候变化的弹性适应。结合现场生态调查与室内受控培养实验，从细胞和分子水平诠释了虫黄藻基因型差异及相关细菌群落结构变化对珊瑚响应环境胁迫的调控作用。研究结果强调了珊瑚共生体的表型可塑性，以及珊瑚宿主适应环境胁迫的权衡策略，为全球气候变化背景下珊瑚弹性适应的重塑方式提供了理论依据。对评估利用共生藻-菌重组

作为一种防御机制提高珊瑚的生态韧性具有重要价值，并可为制定合理、可持续性珊瑚礁保护措施提供科学参考。

S59-O-2

珠江河口海域自工业革命以来有机碳埋藏特征

胡建芳[1*]，赵炳炎[1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 中国科学院大学

* hujf@gig.ac.cn

河口是连接陆地和海洋两大生态系统的纽带，在全球碳的生物地球化学循环中发挥着重要作用，正确认识河口区有机碳（OC）的行为特征对于理解全球碳循环及人为活动的影响都具有重要意义(Bauer et al., 2013)。河口 OC 主要来源于陆地、海洋的输送，以及河口的原地生产(Canuel et al., 2012)。其中的陆源 OC 是海洋中还原碳的最主要来源，是海洋碳储存的重要组成部分 (Canuel et al., 2012)。长时间尺度气候变化，如季风的变化、厄尔尼洛-南方涛动等都会导致河流向河口和边缘海地区输送陆源 OC 的量和组成的改变 (Canuel et al., 2012)。流域人类活动如农业生产活动、土地利用的改变等也都会影响河流的排放，从而引起向河口输入陆源 OC 的改变。因此，通过对河口 TOC 的沉积记录研究，能够获得河流系统 OC 输送的演变特征。本研究通过对珠江河口 S26 短沉积柱的有机地球化学研究，发现自工业革命以来该海区沉积总有机碳（TOC）呈现逐渐增加的趋势。C/N、总有机碳同位素（$\delta^{13}C_{org}$）、木质素含量（Λ8）指示出自工业革命以来珠江口海域陆源 OC 的相对含量在 1710-1800 年、1800-1900 年、1900-2019 年依次表现出高、低、高的变化特征，而重建的对应的年平均和冬季表层海水温度（SST）则依次为升高、降低、升高的变化，反映了 ENSO 影响下冬季风强弱对珠江河口 SST 的控制。沉积柱 TOC 在 1950-2000 年期间呈现出增加趋势，对应的 $\delta^{13}C_{org}$ 值负偏，指示了陆源 OC 的相对贡献增加。沉积柱中地质霍类在 1950 年之后快速增加，反映了人类活动加剧导致的流域土壤剥蚀增加。在 2000 年之后，沉积柱 TOC 急剧升高，对应的 $\delta^{13}C_{org}$ 值正偏，指示了海洋来源 OC 的相对贡献增加，反映了海洋初级生产力的升高。

因此可以看出，珠江口海域自 1950 以来，由于人类土地利用的改变等初方式活动导致该海区沉积陆源 OC 的比例升高。2000 年之后，由于人类水产养殖等活动的导致河口水体富营养化使得珠江口海域海洋生产力升高。综合来看，自工业革命以来，人类活动的加剧促进了珠江河口海域有机碳的埋藏。

S59-O-3

红树林湿地球囊蛋白相关土壤蛋白的化学组成空间异质性及固碳机制

郭桢丽[1]，刘景春[1*]，吴佳佳[1]，杨丹[3]，梅康[2]，李汉一[1]，卢豪良[1]，严重玲[1]

1 厦门大学，环境与生态学院

2 厦门大学，海洋与地球学院

3 贵州大学，生命科学学院

* liujingchun@xmu.edu.cn

红树林湿地位于海陆交错带，其碳储量仅次于海洋无机碳库，在缓解气候变化方面作用突出。球囊霉素相关土壤蛋白(GRSP)作为土壤有机质中的惰性组分，在红树林湿地固碳增汇方面发挥着重要的生态环境功能。然而，红树林湿地中 GRSP 的化学组成动态及稳定性尚未被阐明，制约了对其固碳机理的进一步认知。为此，本研究通过多种物化分析手段，对红树林湿地三种典型生境（纯秋茄林、纯白骨壤林、光滩）0–100 cm 土层中 GRSP 含量、化学组成及稳定性进行解析，并对其关联因子进行深入探讨。研究结果显示，有红树植被生长的土壤中 GRSP 含量显

著高于光滩(p<0.05)。随埋深增加，各生境GRSP-C/N值均增大，红树林与光滩沉积物中GRSP-C/N值存在显著差异(p<0.05)。进一步采用傅里叶红外光谱(FTIR)技术进行表征，相关数据显示随埋深增加，两种红树林土壤中GRSP多糖组分占比增大，而光滩中GRSP的多糖组分占比减小。土壤理化性质(pH、SOM及根系作用)和GRSP的来源差异可能是导致GRSP含量及化学组成生境异质性的主要原因。此外，在埋藏过程中，GRSP的化学组分存在选择性降解。固态核磁共振碳谱(Ss ^{13}C-NMR)数据表明，GRSP中烷氧碳和羧基碳占比持续下降。随埋深增加，GRSP对土壤有机碳(SOC)的贡献率不断增大，其稳定性也在不断增强。由此可见，在红树林湿地深层土壤中，GRSP的碳固持能力不容小觑。综上，本研究详细阐述了GRSP化学组分的生境异质性，揭示了其在红树林中的累积特征和固碳机制，为GRSP生态环境功能研究提供了数据支撑，同时为GRSP在红树林湿地中的固碳模式提供了新的见解。

S59-O-4

全球红树林生态系统的土壤碳来源及其土壤碳汇功能的时空变化

张靖凡[1,2]，王法明[2*]

1 中国科学院大学

2 中国科学院华南植物园，生态中心

* jfzhang@scbg.ac.cn

红树林的碳汇功能与区域的生物地球化学和生态过程密切相关。因此，红树林沉积物的碳汇功能在不同地理位置和森林类型之间存在显著差异，了解这种差异的主要调控因子对提高海岸带蓝碳固存潜力具有重要意义。此外，综合探究全球滨海湿地碳来源的整合研究仍然缺乏。较多的对于红树林碳储量的估算是基于单一时间尺度，缺乏动态性，且引起红树林分布变化的主要原因也没有被系统分析。为填补以上研究空缺，我们收集2160个研究样点的红树林碳汇功能数据以及其土壤、气候、地形地貌、植被特征等，利用机器学习分析红树林碳汇功能的主要调控因子，随后利用碳氮同位素信号值对红树林土壤碳来源进行溯源。在更大尺度上，探讨全球红树林碳汇功能的时空变化，首先基于谷歌地球引擎利用遥感技术得出全球红树林的多时段分布，进行空间插值分析全球红树林碳汇功能的变化。研究发现，全球不同地理位置的红树林土壤碳储量和碳埋藏速率存在较大差异，红树林土壤碳储量的主要调控因子为总悬浮物含量,经纬度，坡度，盐度，气候，海平面相对升高，冠层高度等；红树林碳埋藏速率主要由沉积速率，年降水，海平面相对上升速率，年均温，地理位置，总悬浮物含量，海拔高度等决定。从全球的尺度上看，河口地区的红树林48%的土壤碳源自于植物输入，21%的土壤碳来自海洋输入，31%的土壤碳来源于陆地生态系统通过河流输入，而非河口地区的红树林中65%的土壤碳来自于植物输入，其余则来自于海洋的输入。从全球尺度上观察红树林的动态变化，从2000-2020年，全球红树林的分布缩减，从145781km^{2}降低到135817km^2，土壤碳储量从4180Tg降低到3522Tg，碳埋藏速率则从28.7 Tg C a^{-1}降低到26.8 Tg C a^{-1}。人类活动（人工建筑，鱼塘以及农田）引起的红树林丧失占比为34%，其余则为自然过程（红树林转变为水体，陆地，光滩以及盐沼湿地）。红树林的扩张主要为向内陆迁移（30%）以及向光滩扩展（35%），极少情况下使原本的人类活动痕迹转变为红树林（4%）。全球红树林的持续丧失需引起重视，除了直接人类活动引起的丧失之外，自然过程中也有因为人类活动引起的气候变化所引起的红树林丧失。红树林的丧失使得滨海湿地蓝碳生态系统的碳汇功能减弱，因此，当前的碳管理政策必须考虑自然过程和人为干扰相结合的影响，以实现更有效的红树林恢复和节能减排的目标。

S59-O-5

红树林树干甲烷排放机理研究

覃国铭[1]，卢哲[1]，周金戈[1]，张靖凡[1]，吴靖滔[1]，王法明[1*]

1 中国科学院华南植物园

* wangfm@scbg.ac.cn

有研究指出红树林的树干可能是一个潜在的甲烷（CH_4）排放途径，然而目前关于该途径的排放量，源头以及驱动因子的了解仍然有限。本研究利用原位观测的方法，对热带和亚热带五个常见红树林树种，无瓣海桑（*Sonneratia apetala*）、秋茄（*Kandelia obovata*）、银叶树（*Heritiera littoralis*）、海芒果（*Cerbera manghas*）和水黄皮（*Pongamia pinnata*）的叶片，树干和土壤的 CH_4 排放量进行为期一年的监测，并通过 16S 和 ITS 测序的方法探究其木材内部微生物群落。结果显示，树干的 CH_4 排放量显著高于其他甲烷排放途径，并呈现出明显的季节效应，即夏季的甲烷排放量最高。在不同的树种，无瓣海桑的树干甲烷排放量最高，为 7.29 ± 2.43 mmol m^{-2} d^{-1}，其次是秋茄（3.52 ± 1.19 mmol m^{-2} d^{-1}），而其他三个树种甲烷排放量较少且差异不显著。树干的甲烷排放量与土壤含水率、土壤养分（如有机碳和总氮）和土壤甲烷通量呈显著正相关，与土壤 pH 值、树高和木材密度呈显著负相关（$p<0.05$）。在无瓣海桑、秋茄和海芒果的树干中，发现了氢营养型和甲基营养型产甲烷菌，并且树干甲烷排放量与甲烷八叠球菌属（Methanosarcina）呈线性相关（$R^2=0.64$，$p<0.05$）。差异基因表达分析显示，与低甲烷排放的树种相比，高甲烷排放的树种中甲基营养型产甲烷基因更为活跃。总体而言，树干的甲烷排放可以来源树干内部，也可以同时来源于土壤和树干内部，轴向扩散到大气中。树干甲烷排放作为湿地碳循环的“新成员”，应该被充分重视，这对于预测未来全球气候变化有重要意义。

S59-O-6

潮汐限制对滨海湿地碳汇的影响可能大于气候变暖和植物入侵

周攀[1,2,3,4,5]，叶思源[2,3,4,5*]，谢柳娟[2,3,4]，Ken W. Krauss[6]，裴理鑫[2,3,4]，Samantha K. Chapman[7]，Hans Brix[8]，Edward A. Laws[9]，袁红明[2,3,4]，杨士雄[2,3,4]，丁喜桂[2,3,4]，谢树成[1]

1 中国地质大学(武汉)，地球科学学院

2 青岛海洋科学技术国家实验室海洋地质实验室

3 中国地质科学院

4 中国地质调查局青岛海洋地质研究所滨海湿地生态地质重点实验室

5 山东大学

6 美国地质调查局湿地与水生研究中心

7 维拉诺瓦大学，生物学系生物多样性和生态系统管理中心

8 奥胡斯大学，生物科学系

9 路易斯安那州立大学，海岸与环境学院环境科学系

* siyuanye@hotmail.com

具有高生产力的滨海盐沼是高效的蓝色碳汇。但气候变暖、植物入侵和潮汐限制对滨海盐沼碳循环的相互作用尚不明确。本研究在盐城的芦苇和互花米草生境分别设置了开顶箱式被动增温装置（Open-top chambers, OTCs）。并根据所受潮汐作用影响的不同，在每个生境分别设置了 2 个监测点。通过运用静态箱法，3 年的净生态系统 CO_2 通量（NEE），呼吸释放 CO_2 通量（R_{eco}）、和 CH_4 通量被监测。植物的地上生物量和其他非生物因子也被同步监测。结果显示，OTC 使大气温度显著增加约 1.11-1.55 ℃。尽管增温降低了本地芦苇的辐射平衡强度，但它仍为一个稳定的碳汇。相比之下，增温或潮汐淹没可能将互花米草生境转变为弱碳源。因为增温导致的高盐度使 NEE 降低了 19%，而淹水则使 CH_4 排放增加了 789%。

值得注意的是，暴露于淡水环境中的本地芦苇是一个持续的碳源。由于 NEE 强度的减小和 CH_4 通量的增加，其辐射平衡范围为 7.11 ~ 9.64 kg CO_2-eq m^{-2} yr^{-1}。潮汐限制切断了海陆间的水文联系，可能会使滨海盐沼从碳汇转变为碳源。相比于气候变暖和植物入侵，这对滨海盐沼碳汇的威胁可能更大。

S59-O-7

海岸带蓝碳精准核算与减排增汇技术

韩广轩 [1,2*]

1 中国科学院烟台海岸带研究所

2 中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态系统野外科学观测研究站

* gxhan@yic.ac.cn

简要介绍国际上海岸带蓝碳的定义及其增汇潜力，重点介绍海岸带碳汇功能监测与核算，并以黄河三角洲盐沼湿地为例，分析碳汇功能的监测技术、变化规律及其影响因素；主要包括海岸带碳汇监测的站位选择、滨海湿地碳汇立体观测体系、芦苇湿地植被碳吸收能力动态规律（13 年连续数据）、盐地碱蓬湿地植被碳吸收能力年际动态（8 年）、气候变暖对植物水分利用效率和碳吸收的影响（10 年）、全球气候变化野外控制试验平台（12 个）等；提出了海岸带固碳增汇理念与技术，主要包括 “健康滨海湿地”的概念模式、滨海湿地生态修复关键技术、海岸带蓝碳减排增汇理念与技术体系（植物固碳增汇技术、土壤碳减排技术、土壤微生物固碳技术、碳沉积埋藏技术）；最后展望了海岸带蓝碳减排增汇技术研发的重点方向。

S59-O-8

辽河口“退塘还湿”修复区生态系统 CO2 和 CH4 交换及其环境调控

邢庆会 [1*]，刘思琪 [2]，程浩 [1]，陈虹 [1]，韩建波 [1]，徐雪梅 [1]

1 国家海洋环境监测中心， 国家环境保护海洋生态环境整治修复重点实验室

2 上海海洋大学，海洋生态与环境学院

* huihui3349@163.com

滨海湿地因其碳汇功能强大，在减缓全球气候变化中发挥着重要作用，“退塘还湿”作为近几年我国滨海湿地生态修复开展的主要形式之一，对其碳源/汇功能的研究较为匮乏。本研究基于涡度相关技术，观测了 2021 年辽河口“退塘还湿”修复区 CO2 通量及 2016-2021 年 CH4 通量，分析盐沼修复区湿地生态系统−大气界面 CO2 和 CH4 排放通量的特点、主要影响因子及其环境调控。结果表明，修复区净生态系统 CO2 交换在春、夏、秋、冬季的碳汇效率分别为-40.06、-63.62、2.33、34.43 g C m-2。不同季节 CH4 通量值的日变化波动趋势和范围不同。整体上,夜间 CH4 通量波动范围大于白天,常表现为 12: 00 之前为碳源,12: 00 之后为弱碳汇或碳源/汇功能不明显，四季 CH4 排放峰值分别出现 5:30、1:30、2:30 和 9:00。辽河口“退塘还湿”修复区,CH4 通量日变化振幅大小和日平均值均表现为冬季>春季>夏季>秋季.2021 年修复区内光合有效辐射（PAR）与白天 NEE 呈直角双曲线关系，PAR 可以解释白天 NEE 变化的 53%；空气温度（Ta）是与夜晚生态系统呼吸呈指数关系，Ta 可以解释夜晚生态系统呼吸变化的 51%。修复区 CH4 释放的主要影响因素为 Ta、PAR 和 WS。辽河口“退塘还湿”修复区多年不同季节 CH4 释放速率范围为−60.9~155 nmol/(m2 s),CH4 释放速率平均值为 14.05 nmol/(m2 s),多年 CH4 平均排放量为 5.316 gC/(m2 a),即辽河口“退塘还湿”修复区表现为 CH4 的源,

百年增温潜势为 148.85 gC/(m2 a). 2021 年辽河口“退塘还湿”修复区盐沼湿地表现为碳汇，总净固碳量为-66.89 g C m-2，其具有长期碳增汇潜力。

S59-O-9

不同时间尺度下滨海湿地沉积碳汇演化研究

赵广明[1]，叶思源[1*]，何磊[1]，袁红明[1]，S. A. McClellan[2]，Edward Allen Laws[2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 美国路易斯安那州立大学

* siyuanye@hotmail.com

滨海湿地产生并积累了大量的有机碳（C），有助于缓解气候变化。这些湿地内的沉积物不会被碳饱和，因为海平面上升扩大了沉积物体积，创造了容纳空间，加速了有机物的埋藏，并最终加强了沉积碳的长期保存。然而，由于土地利用的快速变化和海岸线的衰退，土壤中先前封存的大量碳会流失。我们发现，辽河三角洲湿地的土壤有机碳库在 0.58 至 9.75 kgm^{-2} 之间变化，1991 年和 2011 年土壤上部 20cm 的有机碳储量分别为 1935.92×10^4t 和 1863.87×10^4t。我们将这些巨大的碳损失归因于土地利用的快速变化。海岸线堤防的建设破坏了 278.06 平方公里的滩涂，导致先前封存的碳瞬间大量流失。我们的研究结果表明，如果采用管理不当的做法，辽河三角洲湿地可能不会成为理想的碳汇。对渤海湾西海岸古黄河三角洲 30.76m 长的岩芯（BXZK11）进行了 AMS ^{14}C 测年、粒度、有孔虫、有机碳（OC）、总氮（TN）和稳定碳同位素比值（$\delta^{13}C$）分析，以深入了解古黄河三角湾晚第四纪沉积物中碳埋藏的历史变化。结果表明，BXZK11 岩心的沉积环境可分为六个沉积单元。有机碳表观质量累积速率（OCAMAR）的最大贡献者是表观沉降速率（ASR）和 OC 之间的负协方差。全新世期间 OCAMAR 的平均值为 20.76 g/（m^2•yr）。三角洲前缘沉积的速率最高，浅海环境的速率最低。与现代长江三角洲相比，BXZK11 表现出相当低的 ASR 和 OCAMAR，这表明黄河入海泥沙量的巨大变化以及不同时期长江三角洲固碳能力的显著差异。随着海平面稳定后三角洲的渗透，三角洲湿地的 C3 植物在没有 C4 植物输入的情况下逐渐发育。自 6500 cal.a BP 以来，沉积物的特征是陆地有机质（TOM）减少，反映了黄河淡水流量的下降。

S59-O-10

蓝碳生态系统调控热带河口海-气二氧化碳交换和近海酸化

苏剑钟[1,2*]，肖世民[1]，谭聪[1]，黄志雄[1]，徐敏[1]，Cai, Wei-Jun[3]，高树基[1,2]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

3 University of Delaware,School of Marine Science and Policy

* jzsu@hainanu.edu.cn

蓝碳生态系统能够通过自身代谢活动或水平物质输出直接或间接地影响临近河口碳的流通，但是目前对蓝碳生态系统内发生的生物地球化学过程如何影响河口碳酸盐体系（例如表层水二氧化碳分压（pCO2）和 pH）的动态变化还知之甚少。我们于 2022 年 5-6 月份在三个伴生有蓝碳的热带弱潮河口开展了表层水 pCO2 走航观测和采集了离散碳酸盐样品，以期厘清不同河口碳酸盐体系的时空分布特征。在夏初，红树林伴生河口即海口东寨港和文昌清澜港，表现为 CO2 的弱源，通量分别为 0.73 和 0.63 mmol m-2 d-1，而海藻伴生河口即万宁小海潟湖，表现为 CO2 的强汇，通量为-3.28 mmol m-2 d-1。此外，我们运用端元混合、碳稳定同位素和其它地球化学示踪物揭示了碳酸钙溶解、硫酸盐还原和有氧呼吸主导了红树林伴生河口的总溶解无机碳和总碱度的非保守行为，

而初级生产和碳酸钙生成主导了海藻伴生河口的碳酸盐动态变化。通过模拟计算可知，假如红树林沉积物没有发生碳酸钙溶解和硫酸盐还原过程，整个河口的 CO2 释放通量将增大 26 倍，此外，pH 将降低 0.46 个单位远高于开阔大洋吸收人为 CO2 导致的 pH 降低（~0.1）。本研究说明了红树林沉积物的水平物质输送能够显著影响临近河口的海-气 CO2 交换和酸化缓冲能力，强调了保护和恢复蓝碳生态系统是降低河口温室气体排放和缓解近海酸化的有效途径。

S59-O-11

滨海湿地隐藏碳汇

陈小刚 [1*]

1 西湖大学，工学院

* chenxiaogang@westlake.edu.cn

气候变化对生态和环境的负面影响日益显现，严重威胁人类的发展和生存。降低大气 CO_2 浓度已经成为全球关注的焦点，中国承诺力争于 2030 年前达到 CO_2 排放峰值、2060 年前实现碳中和的“双碳”目标。一方面要加强绿色能源的开发和利用，另一方面要提高固定 CO_2 的能力。自然固碳、增加生态碳汇是我国实现“双碳”目标的重要途径。滨海湿地作为重要的海岸带蓝碳生态系统，具有较高的固碳和储碳能力。近年来，滨海湿地碳循环机制受到了广泛关注，其碳汇潜力已是普遍共识，但目前仅局限于碳埋藏过程（纵向过程），即滨海湿地将固定的大气 CO_2 埋藏于土壤中。同时，滨海湿地间隙水交换（横向过程）促使大量沉积物中的碳输出并存储于海洋，其可能是除了湿地碳埋藏之外的另一个重要碳汇，但目前对此尚未开展系统研究。我们的研究工作揭示了间隙水交换带来的碳通量及其所形成的碳汇作用，这一隐形碳汇的发现改变了我们对海岸带蓝碳收支的认识，其碳汇潜力因此需要重新评估。

S59-P-1

我国盐沼湿地甲烷排放潜力及关键控制过程

肖雷雷 [1*]

1 中国科学院烟台海岸带研究所

* ai-yanzi@163.com

蓝碳生态系统储存大量有机碳，充分发挥蓝碳生态系统碳汇功能是助力我国实现碳中和的解决方案之一。但是，蓝碳生态系统中可观的温室气体排放可显著抵消其碳汇功能。越来越多研究指出红树林、盐沼、海草床等生态系统排放甲烷量可抵消其增温受益的 20-50%。目前已经积累了大量蓝碳生态系统，特别是盐沼，甲烷排放通量的数据，但是关于甲烷排放主要的调控机制目前仍非常不清楚。本研究借助同位素、质谱、微生物宏基因组等技术手段解析了我国盐沼生态系统甲烷排放规律及主要调控因素。相关研究发现可为有效管理我国盐沼湿地碳汇提供科学依据。

S59-P-2S

不同纬度、不同生长阶段芦苇光合特征对增温的响应—以黄渤海滨海湿地为例

陈洋洋 [1,2,3]，袁书禹 [1,2,3]，谢柳娟 [2,3]，叶思源 [1,2,3*]，周攀 [2]，裴理鑫 [2]，高宗军 [1]

1 山东科技大学，地球科学与工程学院

2 中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室，青岛海洋地质研究所

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* siyuanye@hotmail.com

滨海湿地具有较高的初级生产力以及较低的有机质分解速率，是地球生态系统中

重要的碳汇资源。然而，气候变暖不断加剧直接或间接影响着植物的光合作用和光响应特征，从而影响湿地的碳汇功能。利用在黄河三角洲、江苏盐城两地芦苇湿地建设的增温观测站，采用便携式光合荧光测量系统研究了芦苇的光合特性在不同纬度以及不同生长阶段下对模拟增温的响应特征和机制。6 月与 8 月两个生长阶段以及东营和盐城两地的芦苇光合作用日调查气体交换特征参数净光合速率（P_n）、蒸腾速率（T_r）、气孔导度（G_s）和胞间二氧化碳浓度（C_i）等对增温响应研究显示：各光合参数均表现为增温样地显著高于控制样地；8 月各气体交换参数对增温响应更为显著，显示增温作用的累积效应；分布于高纬度的东营芦苇湿地各参数在全天各时间段对增温响应方向一致，而分布低纬度盐城的各参数对增温响应只表现为下午时段内存在正响应、上午时段则无显著区别。光响应曲线研究结果显示，除了生长早期 6 月光合有效辐射低于 500 m^{-2} s^{-1} 时，两个生长期芦苇增温样地光响应曲线均高于控制样地。低纬度盐城与高纬度东营增温样地其光响应曲线均位于控制样地上方，但盐城控制样地净光合速率在光合有效辐射达到 800μmol m^{-2} s^{-1} 后会随着光合有效辐射的增强而下降，存在光强抑制现象，由此推测增温处理提高了低纬度盐城芦苇对高光强的适应性。此外，增温提高了不同生长期和不同纬度芦苇最大净光合速率（P_{nmax}）、光饱和点（LSP）、表观量子效率 （AQY）以及暗呼吸速率（R_d）。特别地，增温降低了 8 月芦苇的光补偿点（LCP），表明增温更为显著地提高生长晚期和高纬度芦苇利用弱光的能力。

S59-P-3

海洋碳负排放：来自辽河三角洲滨海盐沼湿地生态修复和增汇示范的案例解析

何磊 [1,2]，叶思源 [1,2,3*]，赵广明 [1,2]，谢柳娟 [1]，丁喜桂 [1]，袁红明 [1]，裴绍峰 [1,2]，杨士雄 [1,2]，王锦 [1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，滨海湿地生态地质重点实验室

2 崂山实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

3 山东大学，海洋研究院

* siyuanye@hotmail.com

辽河三角洲是我国北方重要的滨海盐沼湿地所在地。自 20 世纪 80 年代以来，辽河三角洲天然滨海湿地从 1986 年的 2370.9 km^2，减少至 2015 年的 1104 km^2，丧失幅度高于全国平均水平。为此，2015-2017 年青岛海洋地质研究所和盘锦湿地科学研究所合作在辽河三角洲开展退化滨海湿地的生态修复示范工程，各选取 100 亩的退化滨海盐沼湿地创建芦苇湿地和翅碱蓬湿地示范区。通过修复区与对照组样方调查发现，修复的芦苇湿地 3 年后的年均生物量变化范围为 3.56 ~7.50 千克/（年·平方米），均值为 5.46±0.68 千克/（年·平方米），略低于天然芦苇湿地 5.76±0.10 千克/（年·平方米），前者约为后者的 94.8%。修复湿地芦苇土壤有机碳通量 1.53~3.2 千克/（年·平方米），均值为 2.35±0.29 千克/（年·平方米），小于天然湿地的 2.48±0.04 千克/（年·平方米），前者约为后者的 94.7%。修复翅碱蓬湿地在 3 年后的年均生物量变化范围为 0.56~0.86 千克/（年·平方米），均值为 0.68±0.06 千克/（年·平方米），低于天然湿地的为 0.72±0.03 千克/（年·平方米），前者约为后者的 94.4%；修复湿地碱蓬土壤有机碳通量的值域范围为 0.24~0.52 千克/（年·平方米），均值为 0.29±0.03 千克/（年·平方米），小于天然湿地 0.31±0.01 千克/（年·平方米），前者约为后者的 93.5%。通过以上示范工程，发现经过三年修复管理实践，退化的盐沼湿地修复后在碳汇能力方面基本恢复到了天然湿地的水平。相比起红树林，盐沼湿地碳汇的快速恢复能力让盐沼湿地生态修复具有很强的时效性和可塑性，利于大规模海洋负排放技术推广和应用。

S59-P-4S

湛江湖光岩玛珥湖沿岸植物正构烷烃分布特征及其氢同位素组成

陈静怡[1,2]，罗涛[1]，詹兆文[2]，王遥平[1,3,4*]，宋之光[2]

1 广东海洋大学，化学与环境学院
2 中国科学院广州地球化学研究所
3 南方海洋科学与工程广东省实验室（湛江）
4 广东海洋大学，深圳研究院
* wangyp@gdou.edu.cn

从湛江湖光岩玛珥湖随机采集沿岸主要的草本和木本植物，分析其叶蜡正构烷烃特征及其单体氢同位素组成。结果表明，湖光岩玛珥湖沿岸植物叶蜡正构烷烃主要由长链烷烃组成(*n*-C_{29}~*n*-C_{31})，具有明显的奇偶优势；平均碳链长度(ACL 值)与碳优势指数(CPI 值)呈负相关趋势；不同种类植物之间的正构烷烃氢同位素组成差异明显，木本植物正构烷烃的 δ^2H 值(−247‰～−107‰)比草本植物(−222‰～−94‰)低，可能与这 2 种类型植物的内在特性和所利用的土壤水深度存在差异有关。通过对比不同生境下低、中、高纬度地区湖泊沿岸植物叶蜡正构烷烃 δ^2H 数据发现，低纬度热带、亚热带地区的植物叶蜡正构烷烃具有更长的链长和更重的氢同位素组成，但植物样本与降水之间的 δ^2H 分馏值随纬度变化相对恒定(约−120‰)，说明湖泊生境沉积叶蜡正构烷烃单体氢同位素是具有较大潜力的古水文代用指标。

S59-P-5

美国加州 ELKHORN SLOUGH 湿地土壤早期成岩过程的地化特征对气候及高程的响应研究

杨娟[1*]，Adina Paytan[2]

1 中国地质大学（北京），海洋学院
2 University of California Santa Cruz,Institute of Marine Science
* yangjuan@cugb.edu.cn

盐沼湿地土壤的早期成岩过程是滨海湿地碳汇作用的重要驱动力。监测土壤早期成研究过程，包括有机碳分解和温室气体排放，对认识盐沼湿地碳汇作用对气候变化及海平面上升的响应具有重要意义。本研究以加州 Elkhorn Slough 盐沼湿地土壤为对象，对距离河口远近不同的两处湿地土壤开展地球化学特征调查，以期探索湿地土壤早期成岩过程对气候和高程变化的响应。结果表明，1）受潮汐和降水双重影响，两个采样站附近潮沟的水化学特征存在一定的差异。由于夏季高温少雨，这两个地点的水体盐度夏季均高于冬季，且上游 Hudson 采样站冬季受雨季影响盐度下降更显著。下游 Yampah 采样站水体的 DOC，DIC 均显著高于上游 Hudson 采样站，且不受季节影响，表明潮位较低的盐沼湿地与潮沟的碳交换更显著。2）两个站位夏季沉积物孔隙水中 DOC 以及 SRP，NH_4^+等营养盐浓度大多随深度增加而增加，相反 SO_4^{2-},可溶性 Fe，Mn 等随深度增加而减少，反映出湿地土壤早期成岩过程受多种氧化还原途径调节。3）受潮汐交换作用影响，湿地沉积物孔隙水中 HS^-基本不富集，但上游 Hudson 采样站冬季低沼区和光滩区下部除外，这与 Hudson 采样点光滩下部细粒沉积的隔绝作用以及降水引起 SO_4^{2-} 供应不足有关，该结果与光滩下部沉积物有机碳含量及黄铁矿含量有所增加是一致的。4）沉积物孔隙水的 $\delta^{34}S_{SO4}$ 在夏季两站位表层均有显著提高，反映出夏季土壤表层硫酸盐还原作用加强。虽然夏季湿地土壤甲烷含量没有明显提高，但两个站位沉积物表层 $\delta^{13}C_{CH4}$ 更低且波动更大。由此推测，温度

升高不仅加速早期成岩的进程，提高温室气体排放增加的可能性，同时也会加强湿地土壤的硫酸盐还原与产甲烷作用的竞争作用，以及与甲烷厌氧氧化的耦合作用。而海平面上升可能提高湿地土壤碳库的向海输出。

S59-P-6S

热带河口海−气 CO2 通量研究

王洋[1]，苏剑钟[1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* jzsu@hainanu.edu.cn

工业革命以来，化石燃料燃烧和人类活动导致大气 CO_2 浓度不断升高，引发气温增高、海洋酸化等全球环境问题。近岸河口由于普遍受到陆源输入的影响，被广泛认为是一个 CO_2 的“源”，但是，由于河流沿岸复杂的地理人文环境，对河口区域 CO_2 释放通量的估算存在较大的时空差异。目前河口区域的观测数据也远少于开阔大洋，如何准确衡量近岸河口的 CO_2 排放对全球碳收支的贡献，从而针对性的制定减排措施，在近岸碳循环研究中十分重要。东寨港位于海南岛东北部，向外连通琼州海峡，有 5 条主要河流汇入，湾内和沿岸遍布养殖区，其西部和南部分布着红树林，地理环境复杂。基于水−气平衡法，我们于 2023 年 4 月在东寨港进行了海表和大气二氧化碳分压（pCO_2）的连续走航观测，获得了海表温度、盐度、pCO_2 等数据，结合气象站风速数据，利用海−气 CO_2 分压差估算了东寨港的海−气 CO_2 通量。以海文大桥为界，将走航区域划分为湾内（河口）和湾外（海洋）两个区域。走航结果显示，海表盐度最低值（29.69）、温度最高值（28.85 ℃）以及 pCO_2 最高值（787.11 μatm）均位于珠溪河出口；湾内的海表温度（26.92±0.66 ℃）高于湾外（25.85±0.54 ℃），海表 pCO_2（570.83±51.14 μatm）高于湾外（482.44±27.09 μatm），湾内和湾外的海表盐度由于受到高潮水的影响处于较高水平（32.76±0.78）。通过对走航数据的分析，湾内与湾外海表温度与 pCO_2 的 pearson 系数分别为 0.78 和 0.85，海表盐度与 $NpCO_2$（温度归一化后的海表 pCO_2）的 pearson 系数分别为-0.85 和-0.80，表明不论在湾内还是在湾外，温度和水团混合作用共同影响海表 pCO_2 的分布。湾内的 CO_2 通量（0.81±0.47mmol·m^{-2}·d^{-1}）高于湾外（0.27±0.13mmol·m^{-2}·d^{-1}），整个研究区域的 CO_2 通量（0.58±0.32 mmol·m^{-2}·d^{-1}）低于全球热带河口的 CO_2 通量水平（39±55 mmol·m^{-2}·d^{-1}）。基于本次航次的研究结果，东寨港在春季是 CO_2 的一个“源”，为准确衡量不同季节东寨港 CO_2 的源汇格局，还需在该区域进行长时间的观测。此外，本研究能够为构建海南岛区域碳收支提供数据支撑，为国家双碳目标实施方案的制定提供理论支持。

S59-P-7S

万宁小海的碳酸盐体系研究

庄雅[1]，苏剑钟[1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* jzsu@hainanu.edu.cn

热带河口因连接陆地与海洋，既容易受到陆源有机物的分解及人类活动的影响，也容易受咸淡水混合与海洋潮汐作用的影响。万宁小海是海南省面积最大的潟湖，整体呈现腹大口小的葫芦状，其周边有多条河流汇入，通过北部狭窄水道与南海连通，水体与外部海域交换能力较弱。本研究于 2023 年 04 月 25 日在小海周边主要进行碳酸盐样品采集（n=11），次日对潟湖内 21 个站点进行采样，航次期间的温度变化范围在 25.3-33.1℃之间，其中河流端（28.3-33.1 ℃）略高于潟湖（25.3-32.1 ℃）；受潮汐影响，河流端盐度变化范围在 0-15.7 之间，潟湖盐度在 14.69-33.3 之间；pH 利用玻璃电极法测定，其中河流端 pH 变化范围在 6.753-7.343 之间，潟湖 pH 变化范围 7.656-8.194 之间，pH 呈现出从淡水往海水递增的空间变化趋

势。Winkler 光度法测定 DO，得到河流端 DO 最低值出现在龙首河，DO 浓度为 99.90 μmol O_2 kg^{-1}，溶氧饱和度为 44.14%，DO 最高值出现在龙尾河，DO 浓度为 285.64 μmol O_2 kg^{-1}，溶氧饱和度为 122.03%。潟湖内 DO 平均值为 214.66 μmol O_2 kg^{-1}，最高值为 245.51 μmol O_2 kg^{-1}，最低值为 150.64 μmol O_2 kg^{-1}。Ca^{2+}使用 EGTA 法测定，DIC 使用无机碳分析仪测定，TA 使用总碱度分析仪测定，pCO_2 使用 CO2SYS 程序结合碳酸盐参数 DIC、TA、pH 得到，通过上述参数厘清了万宁小海碳酸盐体系的时空分布特征，采用端元混合模型解析了碳酸盐动态变化的主要影响因素。本研究旨在为缓解近海河口区域水体酸化以及近海河口生态系统的保护和恢复提供科学依据和有效策略。

S59-P-8S

植物和微生物途径驱动互花米草入侵对滨海盐沼湿地土壤有机碳积累的影响

廖启杭 [1]，邹欣庆 [1*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

* 674427903@qq.com

互花米草入侵可影响滨海湿地土壤碳循环。然而，与土壤有机碳储量相比，互花米草入侵对湿地土壤有机碳来源和组成的影响知之甚少。由于互花米草入侵的长期影响，这阻碍了蓝碳评估的准确性。本研究采用空间换时间方法，探讨了光滩、互花米草入侵 5 年、10 年、15 年、18 年和 21 年群落在表土(0-10 厘米)和底土(30-60 厘米)中的有机碳分布规律；利用生物标志物(木质素酚和氨基糖)和傅里叶变换红外光谱等手段，描述植物和微生物来源的碳在互花米草入侵不同阶段的积累模式及相关的稳定机制。结果表明，在互花米草入侵过程中，植物源碳相对于微生物源碳在土壤有机碳含量中占主导地位，而微生物源碳对土壤有机碳的稳定性起着更为关键的作用。潮汐引起的淹水频率降低和氧气暴露增加可能会导致植物源碳矿化的快速增加和微生物源碳的富集，从而提高有机碳的稳定性。这些发现对由于互花米草入侵的长期影响而造成的潜在碳损失具有重要意义，并可能有助于预测在全球变化情景下互花米草入侵对蓝碳收支的长期影响。

S59-P-9S

海草床系统表层海水二氧化碳分压的变化

张敏 [1*]，许懿 [1]，郭利果 [1]，黄韬 [1]，李岩 [1]，郭香会 [1]，陈鹭真 [1]，戴民汉 [1]

1 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* minzhang@stu.xmu.edu.cn

海草床生态系统是三大“蓝碳”生态系统之一，因其高生产力和高有机碳埋藏量而被认为是最具碳汇潜力的生态系统之一。海草床生态系统作为典型的滨海湿地系统，生物地球化学过程复杂，多种过程都会对系统的二氧化碳（CO_2）源汇格局产生不同影响，例如潮汐、温度等物理过程，碳酸钙沉淀/溶解，海草及浮游生物、微生物的光合/呼吸作用，水-沉积物交换等。然而，我国海草床水体 CO_2 源汇研究却极其缺乏。本研究选取我国不同纬度带的海草床生态系统，包括山东天鹅湖（鳗草）、广西茅尾海（贝克喜盐草）、海南黎安港（海菖蒲），于 2022 年秋季（9-11 月）对海草水生生态系统开展了较为系统的调查。通过对海草床生态系统表层海水 CO_2 分压（pCO_2）的观测和研究发现，海草生长茂密的水体 pCO_2 有显著的日变化，鳗草水体 pCO_2 的日变化范围为 444.2-862.6 matm，贝克喜盐草水体 pCO_2 的日变化范围约为 687.0-1237.8 matm，海菖蒲水体 pCO_2 的变化范围约为 275.6-547.4 matm，该日变化幅度较无海草区分别增大 135.0%、120.5% 和 503.1%。在调查期间，鳗草生态系统水体与贝克喜盐草生态系统水体均表现为大气

CO_2 的弱源，而黎安港的海菖蒲生态系统多数时间表现为大气 CO_2 的弱汇。海草床水体剧烈的 pCO_2 的日变化主要受潮致混合和各生物地球化学过程调控，本研究通过定量解析不同过程对海草床水体 pCO_2 的影响，进而评估各过程对海草床水体 CO_2 源汇的影响。

S59-P-10S

热带红树林伴生河口温室气体排放特征

全鑫 [1,2]，苏剑钟 [1]，谭萼辉 [1]，高树基 [1*]

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

2 海南大学，生态与环境学院

* sjkao@hainanu.edu.cn

红树林等滨海蓝碳系统增汇能够减缓气候变化，但海水养殖等人类活动却会加剧富营养化和温室气体释放，一定程度上抵消蓝碳的气候福利。东寨港拥有新中国成立后首个红树林保护区，同时也是省内知名的海水滩涂养殖区，受农业和渔业活动影响显著。本研究聚焦红树林和海水贝类养殖对热带河口温室气体排放的影响及相关过程机制研究。我们于 2023 年 4 月底在热带弱潮河口东寨港(湾内 n=9，湾外 n=8)、周边主要河流(n=6)和外海站位(n=1)采集了表层水温室气体样品及相关环境参数。研究区域的表层水温度变化不大(27.25±1.61)。河流盐度 0~26.40；湾内河口盐度 31.44~32.97；湾外河口盐度 32.81~33.06；外海盐度 33.2，盐度呈现从河流到外海逐渐升高的趋势。采用顶空平衡-气相色谱法测量水-气界面二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)浓度(n=3，精密度±5%)，并参考 NOAA 大气温室气体浓度和面积权重的方法，计算各自海气交换通量和 CO_2 当量交换通量。结果显示河流端是温室气体的强源(27.35~278.94 mmol/m^2/d CO_2-eq)，东寨港河口(n=17)是温室气体的弱源(0.93 mmol/m^2/d CO_2-eq)，CO_2 主导温室潜能(87%)，其中湾内通量居于湾外和外海之间，通量分别为(0.80，1.25 和 0.05mmol/m^2/d CO_2-eq)。湾内养殖区(n=4)和自然水域(n=5)温室气体排放情况接近(0.82 和 0.79mmol/m^2/d CO_2-eq；0.47~1.41 和 0.29~1.98 mmol CO_2/m^2/d；1.09~2.98 和 0.60~5.01 μmol CH_4/m^2/d；0.10~0.24 和 -0.65~0.36 μmol N_2O/m^2/d)，这是因为调查区间并没有养殖牡蛎。此外，养殖区温室潜能极大值出现在近河侧，这可能暗示低浓度的湾内海水和高浓度河水的咸淡水混合或者沉积物再悬浮。研究提供了休渔期东寨港和附近河流的温室气体排放特征，可以作为背景基线与养殖期进行对比，结合营养盐和碳酸盐体系，解析热带弱潮红树林伴生河口的温室气体潜能以及受红树林河流输入和养殖活动影响程度，为人类活动影响下红树林碳汇功能提供参考。

S59-P-11

晚全新世上升流变化对珊瑚礁固碳作用的影响

王宁 [1,2*]，陈雪霏 [1,2]，沈承德 [1]，孙卫东 [3,4]，丁平 [1,2]，丁杏芳 [5]，刘克新 [5]，康慧凌 [1,2]，邓文锋 [1,2]，韦刚健 [1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院，深地科学卓越创新中心

3 中国科学院海洋所，深海中心

4 崂山实验室，深海多学科交叉研究中心

5 北京大学，核物理与技术国家重点实验室

* nwang@gig.ac.cn

珊瑚礁是生产力水平最高、生物多样性最高、同时也是最敏感脆弱的海洋生态系统之一。在南海北部和西部存在大范围的上升流区域，上升流带来的营养盐、温度、悬浮物等环境胁迫会改变珊瑚礁生态系统有机碳代谢和无机碳矿化过程，进而影响珊瑚礁的碳通量。然而关于珊瑚钙化生长与沿岸上升流之间的关系一直缺乏准确的认识，需要从长时间的演变记录中探寻规律。珊瑚骨骼

14C 记录可以反映夏季沿岸上升流的强度变化，研究团队通过重建和收集已发表的南海珊瑚 14C 记录和钙化率记录，发现年际尺度上的上升流变化与珊瑚钙化率有着显著相关性。这表明在夏季，强上升流带来的丰富营养盐和偏低温的深层海水更有利于珊瑚礁虫黄藻的生长，从而增强了珊瑚礁作为碳汇的功能。而百年尺度上的上升流与珊瑚钙化关系则表现的更为复杂，这可能与长时间尺度上海表温度变化幅度较大有关。在某些冷期，上升流带来的低温海水反而增加了寒冷温度胁迫的影响，反而不利于珊瑚钙化生长。该研究表明在当前海洋变暖的背景下，增强上升流可以有效促进珊瑚钙化生长，从而提升珊瑚礁的碳汇功能，有助于未来更科学合理的保护和利用珊瑚礁。

S59-P-12

养殖活动对滨海湿地沉积物中微生物群落结构和温室气体排放的影响研究

林根妹 [1,2]，林贤彪 [3*]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* linxianbiao@ouc.edu.cn

根据《中国渔业统计年鉴》统计，我国的湿地养殖面积和产量约占海水养殖总面积和总产量的三分之一。滨海湿地的养殖活动在促进产业经济快速发展的同时，也可能会影响生物地球化学元素循环，并威胁到水产养殖及周边生态系统的生态服务功能，引发温室气体排放增加等生态环境问题。饲料的添加和残留积累是水产养殖活动中有机质和污染物的主要来源之一。不超过 30%的投入饲料能够被养殖动物所利用，其余大部分在沉积物中积累并进入水体，产生一系列负面影响。本研究以此为切入点，从时间尺度上探讨饲料添加后沉积物微生物群落结构、温室气体排放、环境参数等方面的变化规律。通过采集我国广东省淇澳岛滨海湿地沉积物，进行为期 90 天的中宇宙实验，时序观察不同饲料添加量（0、20、40mg/g 沉积物）对上覆水体和沉积物理化性质、沉积物中微生物群落特征和温室气体产量的影响。结果表明，饲料添加可引发环境理化性质、沉积物微生物群落结构和温室气体产生的快速响应，而后伴随生态系统的长期恢复过程，具体包括：（1）饲料添加显著降低上覆水体的溶解氧含量，而上覆水体的溶解有机碳含量以及沉积物中有机质、硫化物、氨氮含量等性质则呈现相反的变化规律；（2）饲料添加导致了微生物群落丰富度和多样性的显著损失，使微生物组成从好氧、慢生长和寡营养类群（放线菌门、氯氟菌门和酸杆菌门）转变为厌氧、快生长和富营养类群（厚壁菌门和拟杆菌门）；（3）饲料添加显著提高二氧化碳、甲烷、氧化亚氮三种主要温室气体排放速率，并加剧全球变暖潜势。进一步定量估算出，占地球面积约 0.01‰的湿地养殖活动，能够贡献超过 0.01%的全球温室气体排放总量，说明水产养殖活动可能是全球温室气体排放热点。相关发现可以增强对水产养殖活动影响下滨海湿地生态功能变化的认识，强调水产养殖生态系统可持续评价和管理的必要性，以期服务于以合理开发策略和有效管理措施为抓手提升“蓝碳”生态系统碳汇能力。

S59-P-13

红树植物叶蜡正构烷烃氢同位素的古盐度校准研究

王遥平 [1*]，高苑 [1]，夏嘉 [1]

1 广东海洋大学，化学与环境学院

* wangyp@gdou.edu.cn

红树林脂类的氢同位素组成最近引起了越来越多的关注，由于其是重建热带亚热带地区古水文变化的潜在指标。尽管先前的

研究认为红树植物叶蜡脂质 2H/1H 分馏似乎主要受水盐度影响，但这种盐度与叶蜡氢同位素分馏负相关关系是否具有普遍性还有待研究。为此，我们研究了位于中国湛江的一个河口型红树林，盐度梯度变化为 30 ppt，采集了河岸两侧的桐花树叶片和邻近的表层沉积物以及环境水，并分析了植物和表层沉积物叶蜡正构烷烃和环境水的氢同位素组成，旨在评估水环境盐度对叶蜡正构烷烃氢同位素分馏的影响。结果表明，桐花树和表层沉积物中的正构烷烃氢同位素与盐度之间呈显著负相关关系。桐花树的这种负相关关系可能是由于降雨事件期间淡水的选择性利用、生物合成分馏的变化以及相对较高的湿度和/或水蒸气同位素组成的较大变化所致。对于表层沉积物，这种反向关系可能主要归因于红树植物原地埋藏有机物的输入，因为主成分分析（PCA）结果显示所研究的红树植物与表层沉积物之间存在显著相关关系。红树桐花树和表层沉积物叶蜡正构烷烃氢同位素分馏因子与盐度之间的一致负相关性提供了令人鼓舞的证据，这对于后期应用红树林叶蜡的氢同位素组成进行古水文重建意义重大。

S59-P-14S

海岸带潮滩底栖微藻生物量遥感定量估算

张婷[1]，田波[1*]，刘东艳[1]，王玉珏[1]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* btian@sklec.ecnu.edu.cn

潮滩底栖微藻是海岸带重要碳源与蓝碳计算重要组成部分，也是潮滩生态系统主要初级生产者以及食物网重要能量来源。底栖微藻生物量极易受潮滩水文、温度、盐度、光照等因素的复合动态影响，全球潮滩湿地丧失与退化，已威胁到潮滩生态系统特别是底栖微藻的数量、质量、空间分布与稳定性。本项研究提出一种光学与雷达遥感集成的潮滩底栖微藻生物量反演方法，创新性将窄波段高光谱包络线去除技术运用于宽波段多光谱底栖微藻生物量估算。以长江口典型潮滩区域示范应用，定量精准测算潮滩底栖微藻生物量总量与时空变化。结果表明，研究区域内底栖微藻高生物量的分布不限于一个季节和一个地点，年平均生物量为 14.39 mg Chl-a·m-2，且夏季长江口潮上带生物量最高（19.51mg Chl-a·m-2）。在高度变化的潮滩环境中，基于红波段吸收深度特征回归的底栖微藻生物量估算模型更为稳健（r2>0.7），是一种高效的可替代高光谱窄带的多光谱卫星遥感定量反演方法，能够较好应用于大范围潮滩底栖微藻生物量的快速精准估算，未来在全球海岸带蓝碳估算和潮间带生态环境监测评价及保护管理中具有重要的应用价值和潜力。

S59-P-15S

潮间带底栖有孔虫 CRIBRONONION GNYTHOSUTURATUM 对盐度变化的响应机制

曹一飞[1,3]，类彦立[1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所，海洋生物分类与系统演化实验室，青岛市海洋生物多样性与保护重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 中国科学院大学

* leiyanli@qdio.ac.cn

盐度是海水重要的理化因子，潮间带是海陆交界处，同时受到陆地和海洋的影响。*Cribrononion gnythosuturatum* 是中国沿岸表层沉积和岩心沉积中的常见物种，但它对于盐度变化的适应性尚不明确。本研究采集黄海潮间带沉积物样品，在 0–60 psu 共计 13 个盐度梯度下平行培养 10 周，期间添加钙黄绿素对新钙化的房室进行标记。利用形态学和高通量测序的方法探究 *Cribrononion*

gnythosuturatum 对盐度的响应关系，并提取活体 *C. gnythosuturatum* 的 SSU rDNA 片段，加入本地数据库用于序列比对。培养实验在形态学方面共获得有孔虫 *C. gnythosuturatum*1636 只，其中活体 955 只，*C. gnythosuturatum* 在 0–60 psu 各盐度梯度下均可存活和生长，高通量测序结果中 57 个 OTUs 共计 17091 条序列比对到 *C. gnythosuturatum*。研究结果显示，在极端低盐（<15 psu）条件下，壳体破损率急速上升，并且伴随生长率下降和繁殖的停止。在极端的高盐度条件下（50–60 psu）原生质向房室中心收缩，生长率和繁殖率下降。此外，分子结果和形态学结果都显示，异常盐度条件下（15–25 psu or 40–50 psu），种群丰度、相对丰度和生长率达到最高，壳体保存良好。本研究揭示了 *C. gnythosuturatum* 对于盐度的响应，可以用于指示河口、潟湖、潮间带等盐度变化较大的沉积环境。

S59-P-16S

植物入侵获得的蓝碳增汇弥补了土地利用造成的碳损失

周金戈 [1,2,3]，张靖凡 [1,2,3]，陈亚平 [4]，覃国铭 [1,2,3]，崔博 [1,2,3]，卢哲 [1,2]，吴靖滔 [1,2]，黄幸运 [1,2,3]，Poonam Thapa[1,2]，李慧 [1,2,3]，王法明 [1,2*]

1 中国科学院华南植物园

2 华南国家植物园

3 中国科学院大学

4 弗吉尼亚海洋科学研究所

* wangfm@scbg.ac.cn

盐沼湿地是全球蓝碳碳汇的主要贡献者。植物入侵和人类活动在过去的几十年里极大地改变了盐沼湿地的分布及其碳汇功能，然而盐沼湿地在景观格局上的变化上尚不明晰。为此，我们综合运用遥感分类、数据整合与分析建模的方法，研究了过去四十年来植物入侵和人类围垦在时空尺度上是如何影响东亚最大的滨海湿地生态系统之一——盐城盐沼湿地的蓝碳碳汇功能。我们研究结果发现，外来植物互花米草（*Spartina alterniflora*）的入侵大大增加了盐城区域的蓝碳储量，这主要是通过互花米草在光滩上的扩张以及该植物所具有的高固碳能力所实现。但是，我国特有的“红海滩”——盐地碱蓬（*Suaeda salsa*）湿地面积由于土地围垦和本土物种芦苇（*Phragmites australis*）的侵占而大幅减小，其面积减幅达到了 90%。芦苇湿地面积前期被人类围垦所大量占据，但其通过侵入盐地碱蓬湿地而得到很好的抵消，因此芦苇湿地的面积在过去四十年间没有太大的变化。

同时，由互花米草入侵带来的蓝碳增益超过了土地围垦和盐地碱蓬湿地损失导致的碳损失。这是因为互花米草主要入侵的区域是光滩（85%），而互花米草在植物碳储量、土壤表层碳储量以及沉积物碳埋藏速率方面所存在的巨大优势，显著增强了该区域的单位面积固碳功能。基于长期的盐沼覆盖变化轨迹和马尔可夫链的预测结果，我们预计未来几十年盐城盐沼湿地的蓝碳储量将随着互花米草的进一步扩张而继续增长，在 2060 年会达到 5.6 Tg。我们的研究结果强调，滨海蓝碳的碳汇功能很大程度上受盐沼植被覆盖的调控，而向海侧的互花米草入侵光滩有利于盐沼湿地碳固存。类似的生物入侵与植被演替过程可能适用于世界其他地区，对蓝碳增汇和动态变化具有重要的研究意义。

S59-P-17

黄渤海滨海湿地土壤微生物群落结构对碳循环的影响及其对增温响应

裴理鑫 [1]，叶思源 [1*]，谢柳娟 [1]，周攀 [1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* siyuanye@hotmail.com

滨海湿地是海陆相互作用最为活跃的地带，其自身有着独特的水文、土壤和植被环境，其单位面积碳累积通量比陆地生态系统高数十倍以上，是重要的蓝碳碳汇资源。然而，滨海湿地在地貌单元上通常处于对气候变化最敏感和人类活动最强烈的地带。面对全球气候变暖，该生态系统碳汇演化方向和程度是碳循环研究的国际科技前沿和重点攻关命题。在滨海湿地环境中，土壤微生物是碳循环的主要驱动者。了解增温背景下滨海湿地微生物群落响应及其对碳循环的影响将有助于揭示未来滨海湿地对于气候变暖的反馈机制和方向。本研究选取江苏盐城互花米草（CROWN I）、江苏盐城芦苇（CROWN II）、黄河三角洲（CROWN III）以及辽河三角洲（CROWN IV）四处不同纬度的滨海湿地为研究对象，采用开顶式生长室、高通量测序和荧光定量 PCR 技术手段，探究湿地土壤微生物群落和功能组成，及其对增温的响应。取得主要认识如下：（1）在黄渤海滨海湿地，土壤微生物群落组成以原核微生物为主，真菌所占比例极低。其中各站位原核微生物组成以变形菌门为主，其次为绿弯菌门、放线菌门、酸杆菌门和浮霉菌门。而土壤真菌主要为子囊菌门和担子菌门。由于环境条件和空间位置的差异，不同站位间微生物群落结构差异显著。Mantel 分析表明土壤微生物群落结构与土壤因子高度相关。在时间序列上，除最北纬的 CROWN IV 站位外，土壤微生物群落组成未展现出规律性的季节演替。（2）增温显著改变了微生物的群落结构，其中高纬度站位较低纬度站位更为显著，真菌较原核微生物更为显著。通过确定群落差异与时间的关系，增温显著加快了土壤微生物的演替速率，导致增温组与对照组土壤微生物群落差异随时间增加而增大，即增温对微生物影响存在明显的累积效应。（3）滨海湿地土壤碳代谢以变形菌门和放线菌门为主要贡献者。但不同站位土壤微生物对有机碳各组分的分解策略存在差异。在增温条件下，湿地土壤碳代谢功能基因随纬度升高差异愈加显著，碳分解培养试验表明在高纬度站位增温组有机质分解率略高于对照组。（4）通过 CROWN 平台四个站位间水盐环境和土壤有机碳含量的对比，适当的盐度有利于抑制土壤微生物活动，同时也将抑制甲烷的生成，利于碳汇。而较高且稳定的水位环境在抑制土壤微生物分解活动的同时能够利于植物根系细根生物量的增加，并助于有机质的原位保存。据此，提出在未来滨海湿地管理中“调盐”、“控水”将是十分有效的增汇措施。

S59-P-18

我国海岸带蓝碳生境中黑碳的研究进展

方引 [1*]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* yfang@sklec.ecnu.edu.cn

海岸带蓝碳碳汇对减缓全球气候变化具有重要的作用，因此有必要厘清海岸带系统中蓝碳的碳汇潜力。但蓝碳存在非均质性，从蓝碳中剥离周转速率慢的碳质组分对准确客观评估蓝碳碳汇与气候变化之间的互馈关系尤为重要。黑碳作为陆源燃烧活动的产物，是海岸带蓝碳的重要组成部分。黑碳高度芳环化的结构，使其在环境中的停留时间远超非黑碳有机碳。本报告将系统总结我国海岸带蓝碳生境中黑碳的研究进展，提出加强蓝碳生境中黑碳研究的必要性和紧迫性。

S61-O-1

中国海域沉积盆地二氧化碳地质封存潜力及其评价方法

陈建文 [1*]，王嘹亮 [1]，袁勇 [1]，曹珂 [1]，李清 [1]，骆迪 [1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，油气地质室

* jwchen2012@126.com

S61-O-2

北部湾盆地深部咸水层二氧化碳地质封存基本地质条件及适宜性评价

王建强[1,2*]，陈建文[1,2]，袁勇[1,2]，梁杰[1,2]，龚建明[1,2]，杨长清[1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 崂山实验室

* wangjianqiang163@163.com

CO2 地质封存技术是目前国际上实现 CO2 大规模低成本减排的最佳选择之一，而 CO2 封存有利区选取是 CO2 地质封存的首要问题。北部湾盆地已发现了一系列中小型油气田和含油气构造，且已陆续投入开发生产，成为了南海北部陆架浅水区一个重要的油气生产区。目前已在北部坳陷带涠西南凹陷、海中凹陷及乌石凹陷钻探了百余口探井，但大部分探井均主要集中在涠西南凹陷，其它区域探井较少。整体上北部湾盆地因勘探程度低，资料相对较少。在北部湾盆地实施 CO2 地质封存技术能有力缓解邻近省区的 CO2 减排压力，对实现 CO2 减排目标具有重大意义。本次研究以北部湾盆地深部咸水层为研究对象，分析该地区深部咸水层地质封存的地质条件、储盖层特征、地温场特征及水文地质条件等，在判断其具备封存条件的基础上，采用层次分析法与模糊综合评判法对该地区深部咸水层 CO2 地质封存进行定量的适宜性评价，为下一步开展潜力评价、目标靶区筛选及场地选址与示范工程建设提供技术支撑，对我国实现低碳减排与碳中和目标具有重要的探索意义。评价结果表明：（1）北部湾盆地适宜 CO2 地质封存，评价等级为 I 级；（2）综合考虑 CO2 地质封存技术性和经济性，需优选出地层埋深合适、储集条件优越、距离 CO2 集装置较近及勘探程度较高地区进行 CO2 地质封存的目标区。

二氧化碳地质封存是将二氧化碳以超临界态流体注入到地下地质体中实现与大气长期隔绝的过程，它是有效减少大气中二氧化碳含量、降低温室气体效应、实现碳中和战略目标的重要途径。海域二氧化碳地质封存因潜力大、安全性高、环境风险小等特点，受到各国政府、工业界和学术界的高度重视，已成为欧盟、美国和日本等国家和地区的主要发展方向。我国海域地壳稳定、沉积盆地分布广、新生界地层厚度大、构造地层圈闭发育，具有较好的二氧化碳封存地质条件。开展潜力评价，摸清我国海域二氧化碳地质封存潜力家底，对我国沿海省市碳达峰碳中和行动方案的制定、CCUS 产业集群规划、示范工程选址具有重要的指导作用，对支撑碳达峰碳中和战略目标的实现具有重要的战略意义和现实意义。

国际上评估二氧化碳地质封存潜力的方法主要有 6 种，包括碳封存论坛（CSLF）地质工作组评价法、美国能源部地质工作组评价法、美国地质调查局评价法、加州大学评价法、麻省理工学院评价法和沈平平（2009）评价法。上述方法大致可分为机理法和体积法两大类。机理法着重考虑二氧化碳地质封存过程中不同封存机理的贡献，适用于各个级别的二氧化碳地质封存潜力评估；体积法则重点关注地质储层的体积，适用于盆地级、区带级和油气藏。

本次评价建立了海域地形地貌、盆地构造、沉积地层、水文地质、工程地质、地温场特征和油气勘探开发程度七大数据集，紧密结合我国海域的地质条件，创新采用模型体积法评价了我国海域 18 个盆地 168 平方千米面积的盆地级二氧化碳地质封存潜力。全面研究了我国海域沉积盆地二氧化碳地质封存的基本地质条件和控制因素，提出了“裂后期控层、沉积相带控储、层序凝缩段封盖”的地质规律。指出珠江口盆地、渤海盆地（渤海湾盆地海域部分）和东海陆架盆地分别邻近环渤海、长三角、粤港澳等沿海城市群或经济区，地质封存潜力大、油气勘探开发程度高，为二氧化碳地质封存的高适宜盆地。

S61-O-3

海相沉积咸水层 CO2 封存机理定量表征及运移规律研究

孙晓娜[1*]，谢明英[1]，戴建文[1]，涂志勇[1]，冯沙沙[1]，公证[1]，汪生好[1]，柴愈坤[1]，杨秋飞[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* 404857317@qq.com

我国南海东部 A 油田伴生大量 CO_2，咸水层封存是处置 CO_2 的重要措施之一。开发方案预测 A 油田累产气超 $8\times10^8m^3$，其中 CO_2 含量高达 95%。针对产出的高含 CO_2 伴生气，在开发过程中将其注入到油藏上方的 Y 咸水层进行埋存。CO_2 注入咸水层，会与储层岩石和地层水发生复杂的相互作用，主要封存机理包括构造封存、溶解封存、束缚封存和矿化封存，本研究针对目标咸水层，采用钻井岩心和地层水开展了 CO_2-地层水溶解特性实验，测定不同温压条件下 CO_2 在地层水中的溶解度、扩散系数、界面张力和饱和 CO_2 地层水密度，分析了 CO_2 在地层水中的溶解扩散能力；开展了 CO_2-地层水渗流实验，通过测定气水相渗及气水毛压曲线，分析了目标水层残余气封存机理；开展 CO_2-地层水-岩石矿化反应实验，测定了地化反应前后岩石矿物组成和地层水主要离子含量变化，观察了岩石粒度及孔隙结构及受 CO_2 溶蚀作用的影响，分析了地化反应路径；在物理实验研究基础上，基于油藏数值模拟方法，对于 CO_2 咸水层封存四大封存机理进行表征，对注入方案进行设计，并研究了 CO_2 在咸水层中的运移规律。研究结果表明，目标水层为海相沉积弱胶结砂岩咸水层，地层温压条件下，CO_2 在地层水中的溶解性较好，溶解度为 $0.9mol/kgH_2O$，扩散系数为 $7.1\times10^{-9}m^2/s$；储层岩心非均质性较强，平均残余气饱和度为 0.2；储层多为含长石石英中-细粒砂岩，含有一定量碳酸盐和粘土矿物，CO_2 注入初期矿物以溶蚀为主，地层水中 Ca^{2+}、Mg^{2+}离子明显增加，地化反应前后薄片鉴定结果与矿物组成 XRD 分析结果一致；数值模拟结果表明，CO_2 在构造低部位注入，逐渐向构造高部位运移，上升到水层顶部，受盖层阻挡，形成气顶；在运移过程中，部分 CO_2 被岩石束缚，同时部分 CO_2 不断溶解于地层水，矿化封存机理占比极小；封存初期阶段，以构造封存为主，停注后，随着时间推移，溶解和束缚封存量逐渐增多。

S61-O-4

南黄海盆地新生界咸水层二氧化碳封存潜力

袁勇[1,2*]，陈建文[1,2*]，王建强[1,2]，曹珂[1,2]，梁杰[1,2]，蓝天宇[3]，路东宇[4]，郭旭东[4]

1 青岛海洋地质研究所

2 崂山实验室，矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

4 广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所

* yuany010@126.com

* jwchen2012@126.com

海域二氧化碳地质封存是碳减排的重要途径。其中，咸水层封存是目前最具前景的二氧化碳地质封存方式。南黄海盆地与碳源分布空间匹配较好，是潜在的二氧化碳封存区。本文在 USDOE（2015）推荐的计算方法的基础上，通过建立地层体积模型约束潜力计算过程，评价了南黄海盆地新生界 800~3200m 深度咸水层二氧化碳封存潜力，并分析了该盆地二氧化碳封存地质条件。结果表明，南黄海盆地断裂活动性和地震活动性总体较弱，且具有中、低地温场特征，其新生界发育 4 种成因类型砂岩储碳层和 4 套储碳-封盖组合，具有较好的二氧化碳封存地质条件；南黄海盆地新生界咸水层二氧化碳封存潜力介于 39.59~426.94Gt，平均为

155.25 Gt，封存潜力巨大，可满足山东省、江苏省碳封存需求；烟台坳陷相对于青岛坳陷具有更低的地温梯度与大地热流值，地震活动性更弱，且封存潜力约为后者的 2 倍，是盆地内最适宜进行二氧化碳封存的区域，青岛坳陷次之，崂山隆起不适宜封存。南黄海盆地咸水层二氧化碳封存潜力评价可为未来的二氧化碳离岸地质封存场地选址研究提供科学依据。

S61-O-5

二氧化碳海洋地质封存监测技术研究

李琦[1,2*]，许晓艺[1]，刘桂臻[1,2]，谭永胜[1,2]，李小春[1]，李霞颖[1,2]

1 中国科学院武汉岩土力学研究所，岩土力学与工程国家重点实验室

2 中国科学院大学

* qli@whrsm.ac.cn

二氧化碳（CO_2）捕集与封存（CCS）是应对全球气候变化、减排温室气体 CO_2 的关键技术之一，也是实现中国碳中和目标愿景解决方案的重要组成部分。中国近海沉积盆地封存潜力巨大，2022 年我国首个 CO_2 海洋地质封存示范工程已在南海珠江口盆地咸水层中正式启动。CO_2 监测作为 CCS 技术的重要组成部分，贯穿 CO_2 地质封存的全生命周期，是确保 CCS 工程安全性和合理性的必要手段。然而，我国海洋 CO_2 地质封存技术正处于起步阶段，监测任务颇具挑战。本研究首先通过回顾国际海洋 CO_2 地质封存的相关代表性研究工作以及示范项目案例，提出海洋 CO_2 地质封存监测技术筛选优化方法和监测建议，其次围绕迄今为止亚洲最成功的海底封存项目——日本苫小牧 CCS 项目案例情况，对项目执行、场地监测内容及布点、监测设施及技术、监测结果等进行分析，总结了海洋 CCS 项目的成功经验，旨在助力我国海洋 CCS 项目顺利运行，确保海洋生态环境安全。

S61-O-6

海上 CO2 封存水层筛选技术研究与启示

柴愈坤[1*]，谢明英[1]，戴建文[1]，衡立群[1]，王华[1]，汪生好[1]，冯沙沙[1]，孙晓娜[1]，孙爽[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司 ，南海东部石油研究院

* chaiyk@cnooc.com.cn

珠江口盆地恩平 A 油田构造幅度平缓，主要为断圈构造，局部发育自圈构造，韩江组和珠江组发育油藏、CO_2 气藏和 CO_2 气顶油藏，其中原油溶解气中也含有大量 CO_2，成分含量超 95%。为了践行国家“双碳”目标和公司绿色发展战略，加之海相砂岩分布范围广，厚度大，储集空间优质，盖层分布连续，将 CO_2 进行海上咸水层地质封存成为最佳选择。要开展海上 CO2 封存，咸水层的选址成为重中之重，首先考虑埋深、构造特征、储层沉积条件、容积条件和盖层厚度物性等进行初步筛选，确定初步目标咸水层；其次，从封存安全性及经济性考虑，通过盖层封闭性动静态研究，确定最终封存目标水层。通过研究认为盖层的封闭性有两大关键影响因素：盖层渗透率和突破压力。注入地下的大量的超临界 CO_2 在压力和浮力的作用下，向上迁移，会克服毛细管力进入泥岩盖层，之后势必会导致盖层岩石孔隙结构、力学性质以及渗流性质的变化，造成地下封存 CO_2 的泄露。本文创新提出泥岩盖层多尺度数字化的动静态封闭性评价技术，首先采用孔隙压力振荡法对盖层井壁芯开展渗透率测试，通过 CO_2 突破实验以及超临界 CO_2 浸泡实验，获取盖层岩石的物理力学性质，综合评价盖层的静态封闭特性，实验证明目标层位盖层渗透率在 0.1mD 以下，具有良好的封闭性；岩石的突破压力与岩石渗透率大小成负相关，随着渗透率的降低，突破压力越来越来大。最后，基于微纳米 CT 扫描图像和三维重构，发现泥岩存在一定数量的微米孔隙，

并存在明显的分层现象，整个孔隙网络并不连通。通过提取当前分辨率无法识别的微孔区，并将其与大孔区进行叠加，在多尺度的三维模型中部分大孔与微孔串联连接，形成了连通孔隙网络，说明泥岩盖层的突破压力的大小主要是由微孔区的孔隙结构决定。基于有效应力修正的孔隙网络，开展动态模拟，模拟二氧化碳-盐水两相渗流，利用孔隙网络模型模拟 CO2 动态驱替和突破过程确定了盖层的突破压力7.5Mpa，且数字岩心分析的突破压力与实验测量值非常吻合。最终确定最佳封存层为自圈油藏 YH320，并结合数值模拟确定了海上浅层 CO2 咸水层封存标准。

S61-O-7

海上咸水层 CO2 封存中盖层和断层的封闭性及稳定性评价研究 ---以珠江口盆地 A 油田为例

汪生好[1*]，戴建文[1]，谢明英[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* wangshh7@cnooc.com.cn

CO_2 地质利用与封存是我国实现“双碳”战略目标的重要技术，也是践行人类命运共同体的切实举措。珠江口盆地地质条件整体比较优越，可作为未来 CO_2 地质封存重要的封存场所之一。为了探索本区实际的封存能力和潜力，需要优选一个合适的场址进行封存示范应用。A 油田已进入开发方案实施阶段，该油田主力油藏带 CO_2 气顶，油藏开发采出的大量 CO_2 可供给碳源，咸水层 CO_2 封存具备了从源到汇的基础条件。经过筛选比对，确定了 α 层作为 CO_2 回注层，该层上覆地层存在多套泥岩盖层，储层厚度大且高孔高渗；构造主要为两条断层控制的断背斜，中部存在自圈形态。由于 CO_2 注入地层会导致断层有效应力状态降低，影响断层稳定性使断层活化，且滑移过程明显增加断层渗透率，为流体的渗流提供快速通道。断层活化导致 CO_2 泄露现象已经在若干商业化 CO_2 咸水封存项目中发现，Vasco 在 Salah 咸水层封存 CO_2 项目中发现注入压力提高 10MPa，在地层表面发现双平行上移隆起 1.5cm。Rutquivst 和 Moris 通过模拟揭示了由于垂向裂缝的张性破裂导致 CO_2 沿着裂缝运移穿透断层。因此，考虑到背斜圈闭封存效率的不确定性和封存安全性，需要评价盖层和断层的封闭性及稳定性。针对断层的封闭性，首先通过孔隙压力震荡法获取不同泥质含量条件下合成岩心的渗透性实验数据；同时，根据测井解释结果与断层几何构造，计算断层空间泥质含量(SGR)分布；利用实验数据进行标定，进而在模型中定量表征断层的封闭性。针对盖层的封闭性，主要通过岩心的实验室测量获取突破压力数据，一方面利用井壁芯直接测量渗透率和突破压力，另一方面则在重构三维多级孔隙网格的基础上开展两相驱替模拟，以获得基于数字岩心技术的渗透性和突破压力数据，两组数据对照确定盖层封闭性。研究发现，A 油田断层在 α 层主体部位的渗透性较低，盖层突破压力超过 7.5MPa，说明其静态条件下的封闭性较好。稳定性评价方面，主要结合测井解释参数分别建立整个封存地质体的孔隙度、渗透率、温度、应力等三维属性场。在此基础上，基于热-流-固-化多场耦合模拟器开展了 CO_2 注入过程中的动态模拟研究，重点分析了 CO_2 不同注入条件下温度场、应力场、裂隙场、渗流场等的时空演化规律，基于应力场四维演化结果开展了盖层与断层的动态破裂演化分析，最终确定了 CO_2 运移规律和分布特征。模拟结果表明，在合理的 CO_2 注入制度下，盖层和断层均具有较好的稳定性。

S61-O-8

海上 CO2 回注封存井低密度防腐固井水泥浆体系研究及应用

饶志华[1]，金勇[1*]

1 中国海洋石油集团有限公司，中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* jinyong7@cnooc.com.cn

随着“碳达峰、碳中和”目标的提出，CO_2 的捕集和封存技术成为实现该目标的重要技术途径之一。南海东部某油田将实施国内海上第一口 CO_2 回注封存井，该井为一口浅层大位移井，由于 CO_2 含量高，地层承压低，固井是本井成功与否最为关键的一环。室内通过对固井关键添加剂的研究分别构建了 1 套低密度耐 CO_2 腐蚀硅酸盐固井水泥浆体系及 1 套低密度磷铝酸盐固井水泥浆体系，解决了浅层大位移井固井易压漏地层及 CO_2 腐蚀水泥石的问题。根据研究，构建的硅酸盐水泥浆体系密度 1.50g/cm^3，施工性能和防腐性能良好，30 天腐蚀深度可低至 1.26mm，抗压强度衰退率小于 10%，渗透率增大率低至 7.5%；构建的磷铝酸盐水泥浆体系密度 1.35-1.50g/cm^3，施工性能和防腐性能良好，遇 CO_2 不腐蚀，且水泥石抗压强度呈增大趋势，渗透率呈降低趋势。结合针对性的固井工艺技术，1.50g/cm^{3}硅酸盐水泥浆体系已在国内海上首口 CO_2 回注井中完成了示范应用，固井质量优良，磷铝酸盐水泥浆体系也将在该井 7″套管固井中进行示范应用。研究和实践表明，构建的低密度防 CO_2 腐蚀固井水泥浆体系可为后续海上及陆地的 CCS/CCUS 提供借鉴，应用前景广阔。

S61-O-9

基于近海地质碳封存的中国 CCUS 源-汇匹配研究进展

姚悦[1]，王颖[1]，樊静丽[2]，张贤[3*]

1 同济大学，环境科学与工程学院

2 中国矿业大学（北京），能源与矿业学院

3 科学技术部，中国 21 世纪议程管理中心

* zhangxian_ama@163.com

碳捕集、利用与封存（Carbon Capture，Utilization and Storage, CCUS）技术是中国实现碳中和目标与保障全球气候目标达成的关键性技术之一。CCUS 的源-汇匹配融合了碳排放、碳运输、碳封存、碳利用等多重信息，有利于实现二氧化碳资源的最优空间分配，并推进 CCUS 技术的高效发展。中国近海沉积盆地具备良好的碳储集条件，可为沿海区域陆上碳排放源提供有利的海洋地质碳封存与利用场所，因此，基于近海地质碳封存的中国 CCUS 源-汇匹配研究具有重要的意义。本研究利用文献计量方法，回顾了中国 CCUS 近海区域源-汇匹配的研究现状，梳理了中国近海沉积盆地海洋地质碳封存的初步潜力。研究根据碳排放源、运输网络、碳封存场所、匹配方式、时间范围、空间尺度六个方面，总结了已有源-汇匹配模式的研究进展。目前，中国近海区域的 CCUS 源-汇匹配研究主要以广东省与南海海域的珠江口盆地和北部湾盆地的匹配为主，其他沿海区域的研究相对较少。未来近海 CCUS 源汇匹配面临的挑战主要包括海上工程的高昂成本、海底储层的复杂性、海洋运输方式的选择以及陆上碳捕集设施的规模化建设。最后，本研究展望了未来 CCUS 海洋地质碳封存研究亟需加强的研究与发展方向。

S61-O-10

海上 CO2 地质封存组合盖层破坏机理研究

鲁建荣[1*]，刘强[1]，于航[1]，李林涛[1]，李彦尊[1]，孙丽丽[1]，郭凯[1]，郭雪飞[1]，何庆阳[1]，温阳[1]，丁一[1]，徐长朴[1]，宋守强[1]

1 中海油研究总院有限责任公司，新能源研究院

* lujr3@cnooc.com.cn

我国东部近海盆地咸水层广泛分布且封存容量超过 2.5 万亿吨，但封存场地地质结构复杂，非均质性强，主力储层的上部往往不只存在单一的直接盖层，还存在着被多个高渗薄夹层所间隔的多个盖层。这些多个盖层及其中间的高渗薄夹层称为组合盖层系统。良好的盖层系统是实现 CO_2 高效安全封存的必要条件，也是 CO_2 地质封存选址的关键指标之一。海上 CO_2 高速持续注入咸水层中，CO_2 运聚在盖层系统下部，即主力储层上部，这使得盖层系统破坏模式主要表现为张剪破坏，从而可能诱发 CO2 在盖层系统中的突破和运移。本研究综合运用室内试验、理论分析和数值模拟工具，开展 CO_2 高速注入条件下组合盖层流固耦合研究，明确组合盖层的破坏模式及破坏压力，揭示渗透规律演化及破坏模式成因机制。研究成果可为规模化 CCS/CCUS 项目提供技术支持。

S61-O-11

海洋 CCUS 典型项目地质特征与我国近海盆地咸水层碳封存地质评价

李磊[1*]，闫华敏[1]，李玲[1]，李林涛[2]，李彦尊[2]

1 西安石油大学，地球科学与工程学院

2 中海油研究总院

* lilei@xsyu.edu.cn

近海盆地咸水层 CO_2 封存是减少温室气体排放的有效途径之一。本文在国外海上盆地 CO_2 封存项目分析的基础上，以中国近海盆地为研究对象，基于盆地的构造、沉积、地温、稳定性、工程条件等因素，对我国近海盆地咸水层 CO_2 地质封存开展综合评价。确立中国近海 CO2 地质封存选区原则与方法：由面到点、逐级递进、不断聚焦——全海域找盆、盆地级寻带、区带级选目标、场地级定靶点。从封存安全性、封存规模、封存可行性三个方面考虑，构建了由 3 个一级指标、8 个二级指标组成的 CO_2 封存适宜性评价指标体系，综合层次分析法和模糊综合评判法对中国近海十大盆地的 CO_2 封存适宜性评价，适宜性优劣顺序依次为：珠江口盆地、东海陆架盆地、渤海湾盆地、北部湾盆地、莺歌海盆地、南黄海盆地、北黄海盆地、琼东南盆地、台西盆地、台西南盆地。

S61-O-12

海底二氧化碳地质封存监测的地球物理与数字孪生技术

邱宁[1,2*]，李鹏春[1]，付启承[1,2]，孙珍[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国地质大学（武汉），地球物理与空间信息学院

* ningqiu@scsio.ac.cn

全球气候变暖成为人类生存发展面临的重大挑战，碳达峰、碳中和已成为全球共识，这是实现全球经济社会可持续发展的必然选择。碳捕获与封存（CCS）技术是将二氧化碳从工业或相关排放源中分离出来，输送到封存地点，并长期与大气隔离的过程。这种技术被认为是未来大规模减少温室气体排放、减缓全球变暖最经济、可行的办法。全球 CCS 储存潜力的很大一部分位于沿大陆架的近海地质构造中，因此，海底二氧化碳地质封存备受国内外学者的关注。海底二氧化碳地质封存过程需要监测以验证长期储存，并在发生泄漏之前进行提前预警和给出及时解决方案。

在海底地质碳封存中监测中地球物理发挥重要作用：（1）封存空间选择与评价。为了选择有效的地质封存空间位置，需要评估可靠的海底地质构造、储层与盖层岩石性质（孔隙度、渗透率）和地层流体，包括有利的封存储层、盖层和岩性组分等条件，为封存空间地质条件的评价和封存容量的评

估提供可靠的信息和参数。（2）封存有效性监测与评价。二氧化碳被注入海底地层后，能否形成有效的运移和捕获，需要地球物理等技术对地质封存的效果进行动态监测和评价，特别是需要跟踪二氧化碳运移形成的分布范围，和地下流体的运动，评价二氧化碳是否封存于目标储层中；识别捕获封存机制，监测封存空间状态变化，评价剩余封存能力。（3）封存安全性监测与评价。海底注入二氧化碳地质封存是否影响海底地层压力状态从而破坏盖层和地质构造的稳定性；是否向海底地层泄漏二氧化碳等。

由于海洋环境特殊性，地球物理在海底地质封存中监测选择不同监测技术：（1）时延海洋地震监测。在二氧化碳地质封存的不同时期开展时延地震观测,可以有效地监控二氧化碳注入海底地层状态；（2）时延井中地震监测。井中观测信号相比常规地球物理观测更近距离目标层，并且分辨率更高；（3）时延海底电磁监测。海底电磁监测可以在地震探测基础上，利用电阻率对介质孔隙度、渗透率等敏感特征对监测目标层进行辅助监测。

海底二氧化碳地质封存监测可以通过前期地球物理数值模拟的模型检验，与现场实际观测结合进行分析。对海底碳封存地层封存过程的高分辨率空间参数模拟，借助高性能计算、数据分析和人工智能（AI）技术，使用监测中实测数据和校验模型，将其转化为具有用信息，为监测过程决策提供支持。将地球物理和数字孪生技术相结合，可以帮助我们对海底二氧化碳地质封存过程的了解，提高对海底二氧化碳地质封存监测效率和降低风险。

S61-P-1

东海陆架盆地新生界咸水层地质碳封存条件与前景分析

孙晶[1,2*]，陈建文[1,2,3]，杨长清[1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海洋油气地质室

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 河海大学，海洋学院

* sunjing@mail.cgs.gov.cn

CO_2 地质封存是碳捕集、利用与封存（CCUS）的关键环节，是最符合我国国情的碳中和技术。从目前可用于实施 CO_2 封存的地质体目标来看，包含深部咸水层、枯竭油气田、玄武岩等，其中深部咸水层广泛分布于全球大多数沉积盆地，具有封存能力大、技术成熟、安全性高、成本低等优点，是一种重要的 CO_2 封存地质体。从封存位置来看，可以划分为陆域碳封存和海域碳封存两类。我国东部沿海的山东、江苏、河北、广东等省份是重要的经济强省，同时也是 CO_2 排放大省，CO_2 排放源难以在 250km 范围内的陆域找到适宜的封存场地，因此，寻找沿海主要 CO_2 排放源的封存场地尤为关键。同时，相较于陆域，海域碳封存具有封存潜力大、安全性高、环境影响小、封存周期长等优点，是实现“双碳”目标的重要途径。

影响咸水层地质碳封存条件主要包括地层发育情况、地壳稳定性、地温场特征、储碳层及封盖层发育情况等。东海陆架盆地位于欧亚、太平洋和印澳三大板块的衔接处，大地构造位置属华夏构造域与特提斯构造域和西太平洋构造域的重叠区间，走向 NE 向，长约 1 150 km，宽 90~300 km，面积 $23.96\times10^4\ km^2$，是我国近海陆架最大的沉积盆地。从地层发育情况来开，区内 800~3 200 m 储碳目标层在全盆地均有分布，沉积厚度超过 3 500 m 的位置主要位于东部的浙东坳陷和西部的长江坳陷、台北坳陷，巨厚的沉积地层可为 CO_2 地质封存提供充足的储存空间。从地壳稳定性来看，盆地基底是中国东南大陆向海域的自然延伸，古老的深大断裂基本不切穿第四系且密度较小，地震活动性相对较弱，满足 CO_2 地质封存的安全性要求。从地温场特征来看，东海陆架盆地平均地温梯度为 33.2 ℃/km，盆地相对较冷，安全性较高。从储碳层及封盖层发育情况来看，区内发育多套有利的储盖综合。综合分析，东海陆架盆地具有良好的咸水层地质碳封

存条件，在我国海域诸多含油气盆地中，东海陆架盆地咸水层 CO_2 地质封存适宜性评价为高适宜。综合考虑勘探开发程度、咸水层地质碳封存条件和地质封存工程实施条件等可影响 CO_2 地质封存前景评价的参数，分别评价各区带 CO_2 封存前景。其中，台北坳陷和浙东坳陷碳封存前景最好，适宜实施 CO_2 地质封存；长江坳陷和海礁隆起碳封存前景较好，可作为实施 CO_2 地质封存的备选区带；而渔山东隆起、虎皮礁隆起和彭佳屿坳陷碳封存前景一般，现有工程技术手段较不适宜实施 CO_2 地质封存。

S61-P-2

东海陆架盆地 CO2 地质封存研究

龚建明[1]，可行[1*]，陈建文[1]，杨传胜[1]，杨长清[1]，王建强[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* 1132720355@qq.com

当今全球极端天气频发，温室气体过量排放造成的温室效应是其形成的主要原因之一。我国经济虽进入高质量发展阶段，但受限于能源结构，继续大量使用化石能源仍将不可避免，采用 CO_2 补集、封存和利用技术（CCUS）是降低甚至消除碳赤字的有效途径。中国东海陆架盆地沿岸分布了众多大规模、高浓度的 CO_2 排放源，但陆上盆地面积狭小无法满足巨量 CO_2 封存的需求。前人研究认为，东海陆架盆地面积大且 CO_2 封存条件好，在中国近海盆地碳封存适宜性评价中排名第三。在前人研究基础上，我们对东海陆架盆地碳封存适宜性评价进行了补充。首先利用模糊综合评价法和层级分析法确立了适合该区的适宜性评价指标体系和各指标权重，再根据盆地内各二级构造单元的相关地质资料，对各单元每个适宜性评价指标进行打分，最后结合权重计算出综合评分。综合考虑东海陆架盆地各区带的碳封存容量、封闭性及可操作性认为，盆地东部坳陷带碳封存适宜性优于西部坳陷带，中部隆起带最差。其中，台北坳陷为盆地中碳封存综合适宜性最好的单元，可作为优先实验性封存区。

S61-P-3

“双碳”背景下海域二氧化碳地质封存中的多介质耦合关系与适宜性评价

杨长清[1,2*]，陈建文[1,2]，杨传胜[1,2]，孙晶[1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* yangcq65@126.com

中国碳排放强度高，排放增速快，位居世界第一，要实现“双碳“目标，面临巨大挑战。二氧化碳地质封存被认为是我国化石能源领域实现碳中和目标的兜底技术，是实现“双碳”目标的主要途径之一。而海域二氧化碳地质封存具有封存潜力大、安全性高、环境影响小、封存周期长等特点，包括天然气水合物封存、海洋沉积物封存和枯竭油气田等典型海域二氧化碳地质封存。

海域二氧化碳地质封存适宜性评价因素主要包含封存安全性、封存规模、经济适宜性等 3 个一级因素。其中，封存安全性包括地质安全和社会生态安全，是海域二氧化碳地质封存选址的关键，包括区域地壳稳定性、区域性盖层封盖性能、水动力条件、断裂活动性等二级因素；封存规模主要指封存潜力，是二氧化碳地质封存选址的基础，包括盆地面积、性质、储碳层厚度、沉积环境、储碳层孔隙度、渗透率和储碳潜力等二级因素；经济适宜性则是二氧化碳地质封存选址的动力，包括数据支撑程度、碳源潜力、离岸距离、水深、碳价收益和基础工程条件等因素。

针对规模化工程实施需求，进一步探查碳封存目标和潜力，调查适宜碳封存场所，探明重点区域碳封存潜力，以含油气盆地为对象，综合评价封存安全性、封存规模、经济适宜性因素及其介质的耦合关系，提出了适合于含油气盆地特点的三层级（盆地、区带和圈闭）二氧化碳地质封存适宜性评价方法。

S61-P-4

印度洋沉积物钙质生物碎屑的埋藏特征

唐盟[1]，陈亮[1*]，殷征欣[1]，董振[1]，张强[2]

1 自然资源部南海调查中心

2 中国科学院南海海洋研究所

* randal34@163.com

生物钙质碎屑广泛分布于远洋深海盆地，是远洋沉积物的重要组成部分，其从产生到沉积的过程是远洋环境中碳酸钙保存的最主要方式之一。研究深海碳酸钙的储藏方式及输运规律具有重要的科学意义，它深刻影响着如海洋酸化、大洋水体交流、深海盆地早期成岩作用、全球碳循环等过程。生物钙质碎屑的沉积过程在深海环境中受到诸多因素的影响，如钙质生物种类和壳体厚度、CCD 深度、沉积时长、大洋通风事件、水体中碳酸根离子饱和度等，这类因素会共同决定生物钙质碎屑的沉积速率、保存形态、溶蚀情况等因素。因此，生物钙质壳体埋藏中是一个多种因素综合作用的复杂过程。本研究通过分析西印度洋水深约 4000m 处采集到的 2 根箱式柱状样样品，对其进行高分辨率的地球化学及地球物理性质测试，构建年代学框架，对典型层位的生物钙质壳体进行镜下观测及扫描电镜拍照。结果显示样品中生物钙质壳体均出现了不同程度的溶蚀现象，随着埋藏深度的增加，壳体破碎程度上升。靠近 CCD 深度处样品碎壳率有显著上升，且不同种属之间碎壳率有着明显差异，总体呈现出厚壳体具有更强的抗溶蚀能力。结合沉积物元素含量分析，出现高碎壳率的层位可能与大洋通风事件有关，说明该时期深海碳酸根例子浓度可能快速升高。生物钙质碎屑广泛分布于远洋深海盆地，是远洋沉积物的重要组成部分，其从产生到沉积的过程是远洋环境中碳酸钙保存的最主要方式之一。研究深海碳酸钙的储藏方式及输运规律具有重要的科学意义，它深刻影响着如海洋酸化、大洋水体交流、深海盆地早期成岩作用、全球碳循环等过程。生物钙质碎屑的沉积过程在深海环境中受到诸多因素的影响，如钙质生物种类和壳体厚度、CCD 深度、沉积时长、大洋通风事件、水体中碳酸根离子饱和度等，这类因素会共同决定生物钙质碎屑的沉积速率、保存形态、溶蚀情况等因素。因此，生物钙质壳体埋藏中是一个多种因素综合作用的复杂过程。本研究通过分析西印度洋水深约 4000m 处采集到的 2 根箱式柱状样样品，对其进行高分辨率的地球化学及地球物理性质测试，构建年代学框架，对典型层位的生物钙质壳体进行镜下观测及扫描电镜拍照。结果显示样品中生物钙质壳体均出现了不同程度的溶蚀现象，随着埋藏深度的增加，壳体破碎程度上升。靠近 CCD 深度处样品碎壳率有显著上升，且不同种属之间碎壳率有着明显差异，总体呈现出厚壳体具有更强的抗溶蚀能力。

S61-P-5

地球物理技术在海洋地质碳封存的应用及展望

骆迪[1,2*]，陈建文[1,2]，袁勇[1,2]，李清[1,2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，自然资源部天然气水合物重点实验室

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* luodi0927@sina.com

近年来，我国二氧化碳年排放量在 100 亿吨左右，约为全球总排放量的 1/4。为推进绿色低碳发展，我国提出“双碳”目标，二

氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。研究表明，即便充分利用替代能源和生态系统吸收，我国碳达峰后每年仍有数亿吨的二氧化碳负排放缺口，利用 CCUS 技术进行地质碳封存是必要的解决手段。

海洋地质碳封存是将二氧化碳从工业过程、能源利用或大气中分离出来，并注入海底深部地质体中实现二氧化碳永久减排的过程，是目前国际上最成熟的二氧化碳负排放技术之一，是沿海地区实现碳减排的有效途径。与陆地碳封存相比，海洋地质碳封存具有远离人类居住地、远离人类赖以生存的地表水体和地下水层等特点，安全性更高，环境风险更小。近年来，挪威、巴西、澳大利亚、日本等国家已先后开展了海洋地质碳封存项目的实施。

本文通过对国内外地球物理技术在海洋地质碳封存中应用进展的调研，系统梳理了地球物理技术需求与关键问题，为海洋地质碳封存选区评价和有效监测奠定地球物理基础。

S61-P-6S

杭州湾南岸长河盆地 CO2 地质封存潜力分析

李雪 [1]，曹珂 [1*]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* 342099072@qq.com

我国承诺力争在 2030 年前达到 CO_2 排放的峰值，在 2060 年实现碳中和。碳封存对于实现我国的碳中和目标有着重要的影响。我国最具 CO_2 封存潜力的地区为中西部含油气盆地，而东部沿海地区经济发达，碳排放需求却较大，因此，选择就近原则在东部沿海地区找到合适的碳封存场所并开展地质碳封存工作是解决碳排放指标的可行路径。本研究选择杭州湾南岸离岸较近且最具潜力的长河盆地为研究对象，通过搜集长河盆地地层、地震和钻孔等相关资料，利用地质碳封存潜力评价技术方法，对盆地进行盆地构造级封存潜力评估。

长河盆地处于华南褶皱系，浙东南隆起区，丽水-宁波隆起带，新昌-镇海隆断束内。为典型箕状断陷，构造区内基底变质岩较多，中生代火山岩的厚度相对较薄。区域构造主要以北北东、北东向为主，并经历了多期次活动。盆地构造主要由东南断阶带、中部凹陷带和西北斜坡带等组成。盆地内断裂不发育，主要断裂分布于东南部和西南部两个边缘，为控制盆地发生和发展的边界断裂的正断层。盆地中最具封存潜力的层位为长河组一段和二段，均有较厚的砂岩层，且深度在 800 米以下。岩性以泥岩和砂岩为主，主要为浅湖相沉积。

本文利用钻探资料、地震数据和测井数据等参数，计算了长河盆地束缚气体机理和溶解机理二氧化碳地质封存潜力，长河盆地深部咸水层 CO_2 地质储存 D 级推定潜力总量为 0.94 亿吨，束缚气机理有效储量 9368.48 万吨，溶解机理有效储量 41.05 万吨。

S61-P-7

产业视角下的 CCUS 研究进展和展望

曹珂 [1*]，印萍 [1]，李清 [3]，袁勇 [2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海岸带地质室

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，油气室

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，水合物室

* cdutck@163.com

实现碳达峰、碳中和是党中央作出的重大战略决策，是我国向世界作出的庄严承诺，也是一场广泛而深刻的经济社会变革。中共中央国务院先后印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案的通知》，指明了实现碳达峰碳中和的路径与方向。二

氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术是实现碳达峰碳中和的托底技术。目前，我国CCUS技术发展基本与国际接轨，但是受制于成本和应用场景仍然处于发展的初级阶段。本文以青岛市为例，拟从产业发展视角论述 CCUS 产业发展及项目落地过程中的进展和制约因素，以期为碳达峰碳中和目标实现提供支撑。

S61-P-8

海洋储层环境下CO2水合物动力学研究

蒋兰兰 [1*]

1 大连理工大学，海洋能源利用与节能教育部重点实验室

* lanlan@dlut.edu.cn

随着 CO_2 气体排放量的日益增加，其产生的温室效应加剧了全球的气候变化。CO_2 减排成为目前急需解决的难题之一，CCUS（CO_2 捕获、利用和封存）技术应运而生，被认为是解决该难题的优势选择。CO_2 水合物具有储气能力大、稳定性强和环境友好性等优点，且在海洋环境下水合物法封存 CO_2 气体被认为具有可行性。在长期研究工作中，通过低场核磁量化分析系统以及水合物形态监测系统，多尺度分析了水合物在孔隙内的生长赋存特性演化规律，分别量化分析了储层多孔介质粒径，温压，以及水饱和度等多参数作用下的水合物生成动力学特性。水合物生成倾向于在大孔隙内生成，大量水合物生成抑制气体扩散进入小孔隙；水合物生成存在空间分布差异性，会在多孔介质底部聚集，提出的 CO_2 多层注入优化方法，强化了水合物的封存量以及封存效率。同时，增强水合物生成驱动力有助于水合物转化，并提出相态调控强化水合物封存方法，实现水合物在 15 分钟内快速相变；且深入探究了储层粒径对 CO_2 合物的生成动力学的影响，发现封存量随着粒径的增大而降低。基于以上研究，可为 CO_2 水合物法封存提供实际工程指导及理论基础。

S61-P-9

南黄海盆地崂山断隆带海相下古生界构造稳定性与油气保存

张鹏辉 [1,2*]，梁杰 [2,3]，陈建文 [2,3]，张银国 [2,3]，袁勇 [2,3]，付奕霖 [1]，闫兵 [1]

1 河海大学，海洋学院

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 中国地质调查局，青岛海洋地质研究所

* zph010@163.com

南黄海盆地作为扬子板块在现今海域的延伸，在震旦纪形成的刚性结晶基底之上发育的沉积盖层经历了多期构造运动改造，构成了中—古生代海相盆地和中—新生代陆相盆地相叠合的改造型残留盆地。利用盆地最新的地震资料解释成果，并结合海域和邻区下扬子陆域最新的钻井资料，基于盆地格局的差异性，系统剖析了下古生界油气成藏要素特征。研究结果表明：1）南黄海海相残留盆地具有南北分带的格局，其中位于中部的崂山断隆带受南北不对称对冲影响，又可进一步细分为地层展布及构造样式存在显著差异的两个三级构造带；2）崂山断隆带特别是其中部和南部的海相下古生界构造变形作用较弱，地层保存较为完好，有利于圈闭继承性发育；3）崂山断隆带海相下古生界生储盖组合配置较好，同时这一套组合中的盖层—下志留统高家边组泥质岩可作为一套重要的塑性滑脱层，其较好的卸力作用而使其南北两侧的挤压应力得以有效释放，可为早期生成油气的保存提供了较为有利的条件；4）砂箱构造物理模拟实验及粒子成像测速分析进一步揭示，作为先存构造的基底隆起与浅滑脱层对盆地的构造样式形成

与盆地演化起主导作用，晚印支—早燕山期构造运动对下古生界的改造破坏程度较小。

S61-P-10

喜山期以来构造运动对CO2地质封存条件的控制作用

张银国[1*]，陈建文[1]，王建强[1]，袁勇[1]，蓝天宇[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* 82069747@qq.com

南黄海盆地是东部海域相对较大的沉积盆地，是在海相中-古生界之上发育起来的断陷-坳陷的沉积盆地，沉积了巨厚的侏罗系至第四系，新生界的咸水层有利于CO_2地质封存。为了进行 CO_2 地质封存目标评价，对喜山期以来构造运动对 CO2 地质封存条件的研究是必要的。构造运动对CO_2地质封存条件的控制主要表现为构造圈闭的形成和构造对封存的CO_2破坏散失。

构造运动对圈闭的形成和破坏起着重要的作用，喜山构造运动为古近系咸水层CO_2地质封存圈闭形成奠定了良好基础，主要是喜山晚期构造挤压作用形成背斜圈闭、断背斜圈闭、断鼻圈闭；新构造运动一方面在局部地区的挤压作用进一步强化圈闭的形成，但是另一方面新构造运动产生的张性断裂对局部圈闭进行切割，破坏了早期形成的圈闭。南黄海新生界古近系咸水层构造圈闭较为发育，是CO_2地质封存有利场所。对地质封存的 CO_2 破坏导致其散失起着决定性作用的是新构造运动，主要是由新构造运动形成的断裂对地质封存的CO_2破坏。新构造运动形成正断层和逆断层两类，正断层是在经历喜山晚期构造抬升之后发生区域性热沉降所产生的拉张作用下发育的；逆断层主要是在上新世晚期由于中国中东部的块体挤出作用及太平洋板块的向西俯冲相互作用形成挤压，从而形成逆冲断层。在新构造运动期间，早期深大断裂活化形成的正断层对封存的CO_2破坏较大；单纯地受晚期拉张应力影响产生的浅部断层对下部咸水层CO_2地质封存无影响或影响较小。逆断层通常是先存断裂的活化，贯穿了古近系至新近系，部分至第四系，这类断裂对CO_2地质封存有一定影响，由于是挤压逆断层，因此影响相对较小。

新构造运动在现今具有一定的活动性，它所产生影响的表现形式主要是地震。研究表明，地震活动在南黄海相对较为频繁，历史上也曾发生较大规模地震。在南黄海地震发育相对较多的地区是南部青岛坳陷和勿南沙隆起，北部烟台坳陷发生地震相对较少，并且南部青岛坳陷和勿南沙隆起地震强度总体强于北部烟台坳陷[7]。地震活动主要沿断裂分布，尤其是在南黄海西缘的滨海断裂以及穿过崂山隆起中部呈北西向展布的淄博-五莲-日照断裂，地震发生相对较为集中，其他地区多表现为散点式分布。因此应充分掌握地震发生规律，避开地震活动的断裂区，寻找相对构造稳定区，为CO_2地质封存选址提供充分的地质依据。通过比较认为，南黄海 CO_2 地质封的选址以北部烟台坳陷为主。

S61-P-11

粤港澳大湾区岸碳入海发展策略探析

彭辉界[1*]

1 中海石油（中国）有限公司，中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* penghj2@cnooc.com.cn

岸碳入海是区别于陆地 CO_2 地质封存的一种碳封存途径。背负我国推进“双碳”目标实现与绿色发展的先行地的使命，经济发达且临海的粤港澳大湾区具有率先发展岸碳入海的优越条件。岸碳入海国际可借鉴少国内尚无先例，通过分析粤港澳大湾区岸碳入海发展现状，发现其具有发展岸碳入海的基础包括具较好产业发展基础、碳源丰富多

沿海分布、海域封存选址范围大、已有一定技术储备。但也面临缺乏系统规划部署、风险大、缺乏配套政策支持、商业模式不成熟等挑战。从而提出四大发展策略建议：优先进行全面规划布局、科学统筹项目执行、出台配套政策支持、建立商业模式适机迭代，以期为我国实现碳中和目标探出一条新路。

S62-O-1

古地形和海平面变化对海底滑坡致灾的影响

孙启良[1*]，王庆[1]，史峰岩[2]，Tiago Alves[3]，高抒[4]，解习农[1]，吴时国[5]，李家彪[6]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 University of Delaware,Center for Applied Coastal Research

3 Cardiff University,3D Seismic Laboratory, School of Earth and Environmental Sciences

4 南京大学，地理与海洋科学学院

5 中国科学院深海科学与工程研究所，地球物理与资源实验室

6 自然资源部第二海洋研究所

* sunqiliang@cug.edu.cn

目前评估古海底滑坡及其诱发的海啸灾害主要是现今的地形地貌为基础。但在地质历史时期，海岸线及海底地形地貌频繁改变；并且海岸线位置和海底地形变化会极大影响海底滑坡物质运动和海啸传播，进而影响其沿海地区的灾害程度。因此，现今常用的海底滑坡诱发灾害的评估方法和思路可能与真实灾害情况存在较大偏差。本研究中，我们利用高精度地球物理数据、钻孔信息和数值模型对南海北部珠江口盆地 0.54 Ma 时期发生的白云滑坡进行深入研究。在海底滑坡形成过程重建以及海底滑坡体积精确计算的基础上，考虑相对海平面变化和沉积物供应的影响，我们恢复了 0.54 Ma 时期南海北部古地形地貌和海岸线位置。结果表明，南北北部古岸线向海（距现今海岸线位置）推进 180~580 km，北部陆架几乎全部暴露在海平面之上；南海东部大陆架较窄，古岸线在 0.54 Ma 时仅向海迁移 10~30 km。虽然古白云滑坡发生时水深仍然较大（大于 1000 m），但与现今地形下同体积滑坡诱发的海啸相比，由 0.54 Ma 古滑坡诱发的海啸能够以更短的时间产生更大的波浪：在古海岸线附近造成约 23 m 的海啸，从滑坡发生到海啸淹没至最近的古海岸线仅需 5 分钟。除此之外，古海啸表现出与现今地形不同的波浪传播和演化模式。与现今地形相比，0.54 Ma 海啸的较大波浪出现在近岸，由于能量耗散较低且波浪浅滩效应显着，这大大增强了北部海岸的浪涌现象。此外，东沙群岛在 0.54 Ma 地形中增强了反射和衍射海啸波，这一特征导致了东沙群岛背后明显的波高分布。本次研究表明古海平面低位期间海底滑坡引发海啸能够对南海沿岸地区造成灾难性破坏，该研究强调了恢复古地形对于研究古滑坡以及海啸的重要性。类似的海底滑坡触发海啸一旦发生，必将对海洋工程设施及沿海人民生命财产安全带来严重威胁。

S62-O-2

海底滑坡内部流动单元的成因机理研究

吴南[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

海底滑坡在失稳变形中伴随着不同性质应力（拉张应力与挤压应力）的施加与释放过程，滑坡内部的应力性质及展布形式可以较好记录滑坡在失稳时的形变速度，应力环境等重要信息，有助于重构滑坡的失稳过程。然而，由于海底滑坡侵蚀能力极强，大部分海底滑坡在堆积后内部变形程度大，缺乏内部反射结构，应力恢复较为困难。因此，

以往针对滑坡内部应力分布特征的研究较少。

针对上述问题，本研究使用高精度三维反射地震数据，采用地震多属性提取及 line balancing 应力复原方法，研究发育在澳大利亚西北缘深海地区 Glencoe 滑坡的精细沉积构造及内部应力分布特征。三维地震数据解释表明，Glencoe 滑坡内部发育六条长度为 30-120 公里的长条状剪应力带。这些长条状剪应力带将 Glencoe 滑坡切割为七期相互独立的次级流动单元。应力分析表明，Glencoe 滑坡内部应力主要为拉张应力，不同流动单元间拉张应力分布极度不均匀，差异范围从 2%-13%不等。量化分析表明，造成应力差异的本质因素为不同流动单元间运动速率或运动时间存在差异。其次，区域性断层产生的局部地形差、滑坡底部发育的坡坪构造、滑坡下部地层是否充填流体等因素均可造成流动单元间的应力不均匀分布。研究海底滑坡内部应力分布特征可以重构滑坡在失稳过程中的运动模式，为海洋地质灾害评估提供重要的地质信息。

S62-O-3

2018 年 JAVA 俯冲带龙目岛地震序列的成因机制与区域灾害风险

杨晓东 [1*]，栾锡武 [2]，林间 [1,3,4]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 山东科技大学，地球科学与工程学院

3 南方科技大学，海洋科学与工程系

4 Woods Hole Oceanographic Institution,Department of Geology and Geophysics

* xdyang@scsio.ac.cn

Java 俯冲带是印度洋板块向欧亚板块以 70 毫米/年的速率正向俯冲形成的，具有典型的沟-弧-盆体系。java 弧后发育了一条 800 多公里长的 Flores 反冲断裂。2018 年在 Java 火山岛-龙目岛上三周内发生了 110 多次 4 级以上地震序列，其中 4 次地震大于 6 级（Mw 6.4,6.5,6.9 and 6.9），造成了 500 多人伤亡和巨大的经济损失。由于 2018 龙目岛地震序列靠近 Rinjani 活火山和 Flores 反冲断裂，目前对其火山成因还是构造成因尚不清楚，另外地震震级较大，却没有产生海啸，是为什么？我们利用高分辨率的多道地震剖面、天然地震、震源机制和 InSAR 观测数据，对该地震序列的成因机制进行了研究，发现 flores 反冲断裂在震中附近以隐伏状态为主。龙目岛地震序列全是浅源地震（<40 公里），震中主要分布在 Rinjani 火山以北 35 公里以内，同震形变主要位于火山岛的北部和东北部。最大同震变形是 36cm，位于岛的东北边缘，是 8 月 5 日的 6.9 级地震产生的。这些观测说明，龙目岛地震主要是位于岛下的隐伏断裂产生的，断裂没有断错海底，因此没有触发海啸。另外，地震震中和或 Rinjani 火山距离如此接近接近，指示火山活动（岩浆流体和气体运移、压力变化）可能触发了龙目岛地震的形成。Flores 反冲断裂是一条主要的区域逆冲断层，沿着断裂带现今应变速率和地震数量远大于 java 俯冲带其他构造，因此具有较大区域灾害风险。今后的研究应该聚焦这一断裂的分段特征、地震周期和发震潜力。

S62-O-4

海底滑塌的特征、规模、成因机制及其地质灾害

许小勇 [1*]，马宏霞 [1]，孙辉 [1]，吴佳男 [1]，张颖 [1]，丁梁波 [1]

1 中国石油天然气股份有限公司杭州地质研究院

* xuxy_hz@petrochina.com.cn

海底滑塌也称块体搬运沉积（MTD），是由重力诱发形成的一种沉积结构单元，也是现代海底和古老地层中的重要组成部分。关于海底滑塌已经在全球各地开展了大量的研究，但是关于海底滑塌沉积结构单元的

定量统计仍然有所欠缺，本文在前人研究的基础上，以文献和实际三维地震资料为基础进行了全面的整理，并记录了全球范围内不同时代、不同沉积背景海底滑塌的长度、面积、厚度等参数。另外，本文还对海外滑塌形成的机制以及意义进行分析，海底滑塌可能由局部重力失稳导致，也可能由区域性的外部因素导致，比如海平面的变化、区域构造的影响等，由于海底滑塌在地震剖面上非常容易识别，因此外部因素导致的海底滑塌往往可作为深水层序划分的一个重要辅助。在现今海底，大型海底滑塌能造成非常重大的地质灾害，比如形成海啸或对海底工程作业产生严重破坏，因此对海底滑塌的研究意义重大，仍需不断深化。

S62-O-5

块体搬运沉积物的不稳定性及再活化机制研究

敬嵩 [1]，李伟 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所

* wli@scsio.ac.cn

海底滑坡是一种十分危险的地质灾害，能够从大陆边缘搬运大量沉积物并形成块体搬运沉积体系（MTCs）和近岸海啸。然而长期以来，这些 MTCs 在初始滑坡后的再活化机制及其致灾潜力一直被忽视和低估。本研究中，通过分析高精度三维地震数据及滑坡体内部的地形地貌特征，我们识别并研究了 Storegga 滑坡区西北缘的长期不稳定性。研究结果表明，MTCs 的再活化可以使其内部结构和上覆地层发生变形，促使海底形成蜿蜒河道和局部地形破坏。这些发现进一步揭示了未固结或由滑动块体组成的 MTCs 在初次沉积后可以维持较长时间的不稳定状态，容易受到边坡侧向侵蚀作用激活而再次失稳。本研究显示，大陆边坡包含 MTCs 的区域更容易产生长期不稳定性和反复出现的海底变形。

S62-O-6

全球火山海啸源时空分布特征

张坎 [1]，李琳琳 [1,2*]，胡桂 [1,3]，潘晓仪 [2,4]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 东京大学，地震研究所

4 澳门大学，土木与环境工程系

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

2022 年 1 月 15 日，南太平洋岛国汤加的洪阿哈阿帕伊岛（Hunga Tonga-Hunga Ha'apai）火山剧烈喷发触发了全球尺度的海啸，而上一次类似规模的海啸灾害是1883年由距离我国较近的印尼 krakatau 火山爆发引起的。两次火山海啸事件提醒着我们，火山活动虽然是历史海啸事件中占比较低的非典型触发机制，但它引发的海啸不仅会给当地造成巨大损失，甚至能影响到全球。由于火山引发海啸机制的复杂性和涉及学科的广泛性，火山海啸的发生规律、致灾机制和灾害评估等方面均有待深入研究。在此我们基于美国国家海洋和大气管理局（NOAA）火山和海啸灾害数据库、史密斯学会的全球火山计划和世界火山观测组织的全球活火山数据库（WOVOdat），对全球历史上的火山海啸事件时空分布特征进行梳理分析。根据火山的地理概况、地质构造和历史火山海啸记录将全球潜在的海啸源火山划分为8个区域，并将以往火山海啸事件的发生机制归纳为火山地震、火山结构失稳、水下爆炸、火山碎屑流和气压波五类。通过对历史火山海啸事件的喷发规模、触发机制和地理位置的分析，提出了几点火山触发海啸潜力的影响因素。在此基础上，我们指出南海及其周边地区一系列可能引发海啸并构成巨大威胁的火山，如：lle des Cendres 火山岛、Pinatubo 火山、Taal 火山、Tambora 火山等。此外，我们还通过数值模拟的手段对 lle des Cendres 火山岛不同触发机制的海啸灾害进行了初步评估。

S62-O-7

珠江口盆地海底蠕变的形成机理与控制因素研究

李伟[1*]，高伟健[1]，王秀娟[2]，吴时国[3]，詹文欢[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院

3 中国科学院深海科学与工程研究所

* wli@scsio.ac.cn

海底蠕变是海底浅地层沉积物在重力荷载驱动下发生的缓慢的、持续的、长期不可逆转的运动与变形，其隆起和沟槽的形成与陆坡的不稳定性及重力滑动有关，未来可能演变为海底滑坡并触发海啸。然而，与海底滑坡相比，目前对海底蠕变形成机理及主控因素的认识仍不明确。我们针对南海北部东沙群岛西南侧低角度（<1°）陆坡上广泛发育的海底蠕变（面积>800 km^2）的地形地貌特在及内部地质结构开展了详细研究。研究结果表明，高沉积速率的等深流沉积环境是海底蠕变发育的先决条件。研究区内海底蠕变的形态展布规模随水深增加而减小。蠕变头部区域的地层发育有延伸至海底的大型滑移面，处于伸展环境，趾部区域的地层变形方式逐渐转变为挤压收缩。蠕变地层之下埋藏火山复合体、深部断层、MTDs 和游离气的时空分布关系揭示：现今埋藏的非活跃岩浆侵入体可以局部地控制富烃流体和气体的运移。这些流体和气体可以通过未被 MTDs 阻隔的断层运移并聚集在浅地层中，含游离气地层产生的孔隙超压能够有效降低低角度陆坡的稳定性，在重力荷载作用下促使海底蠕变的产生。我们的研究揭示了海底蠕变是深部构造活动的沉积学响应，对海底蠕变的形成机理有了更全面的理解。

S62-O-8

火山喷发引发海啸的致灾机理

任智源[1*]

1 西北工业大学，航海学院

* zhyren@foxmail.com

火山海啸的引发机制较为复杂，涉及火山碎屑流的演化、山体的崩塌滑坡和大气激波的扰动。首先回顾了近 150 年来发生的三次典型火山海啸（1883 年喀拉喀托，2018 年喀拉喀托之子，2022 年汤加群岛）的不同致灾机制。发展了耦合气压的 Boussinesq 数值模型，基于 N 波作为气压的近似值，讨论了 $Fr < 1$、$Fr = 1$ 和 $Fr > 1$ 三种情况海啸在平底开阔海域的传播特征。结果表明，移动气压产生的海啸波取决于气压的移动速度。针对 2022 年汤加火山海啸，利用气压监测数据建立了大气压力波传播模型。结合实际地形，模拟了海啸在太平洋的生成和传播。数值计算结果清楚地显示了以大气压力波速度(~ 1100 km/hr)传播的先导波和以重力波速度(~ 750 km/hr)传播的尾波共存。模拟的海啸到达时间和先导波的波峰和波谷的波幅与 DART 浮标测量结果较为吻合。汤加海沟通过 Proudman 共振机制放大了太平洋东南方向的尾波。研究表明，汤加火山海啸的主要机制是由于火山喷发产生的大气激波对海面扰动而生成。同时，其他机制（如滑坡、水下爆炸）在近场产生了一定灾害，需要进一步研究。

S62-O-9

海底碎屑流运动过程的数值模拟及其对海底管线的冲击作用

钱学生[1*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* qxs621@126.com

长距离铺设的海底管线面临海底碎屑流的冲击威胁，可靠预测海底碎屑流的运动全过程并准确评估碎屑流对管线的冲击力，对管线路由的选址和管道结构的设计至关重要。本报告将重点介绍报告人自主开发的一款数值模拟程序 MassFlow2D，它考虑了三维海底地形，可用于模拟预测实验室和现场尺度条件下海底碎屑流的运动轨迹和动力过程。此外，本报告还将重点就海底碎屑流对管线冲击力稳定值的形成机理和评估方法方面提出报告人独到的新见解，它将有助于更准确的评估海底碎屑流对管线的冲击力稳定值。本报告的内容有望为考虑未来潜在海底碎屑流灾害风险的海底管线路由选址和结构设计方面提供一定的技术支撑。

S62-O-10

埋藏滑坡诱发流体活动

陈端新[1*]，张广旭[1]，董冬冬[1]，王秀娟[2]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

2 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* chenduanxin07@qdio.ac.cn

海底滑坡是陆架边缘和陆坡区最主要的沉积单元，也是重要的地质灾害，严重影响了油气钻探和海底管道、电缆的施工作业。流体活动形成的海底麻坑、泥火山、浅层气、水合物等也是重要的地质灾害体。海底滑坡发育区经常发育流体活动。随着上覆沉积增多，海底滑坡逐渐被掩盖为埋藏的滑坡。一般认为，流体活动极易诱发海底滑坡，而埋藏的滑坡较为稳定。研究团队利用反射地震资料在南海西北部陆架边缘的浅部地层发现大量近似垂直的流体通道。流体通道上端连接海底丘状体，下端连接埋藏滑坡。统计结果表明，反射地震数据覆盖区内超过 96%的海底丘状体通过流体通道与埋藏滑坡的头部和侧向陡崖相连。海底影像资料和样品生物属种分析结果表明海底丘状体为冷水珊瑚礁（丘）。研究认为埋藏滑坡与周边地层的差异压实诱发了超压流体的释放，流体沿滑坡底部剪切面，在滑坡陡崖处向上部地层运移，在海底形成与冷泉相关的硬质海底，为珊瑚的附着和生长提供了必要条件。活跃的区域构造环境和充足的沉积物供应是超压流体释放的重要地质基础。埋藏滑坡可通过诱发流体活动从而间接导致海底的不稳定性进而影响海底施工。本研究得到了国家自然科学基金委员会的资助（No. 42176071）

S62-O-11

南海北部琼东南盆地斜交斜坡水道控制的块体搬运沉积体分布

李俞锋[1,3*]，孙启良[2]

1 西南科技大学，环资学院

2 中国地质大学（武汉），海洋学院

3 西北大学，地质学系

* 526376337@qq.COM

海底斜坡失稳及其滑坡体可对海底基础设施造成灾难性的破坏。因此，控制滑坡体分布（扩散）的因素对滑坡地质灾害评价具有重要意义。本文利用高分辨率三维(3D)地震资料，对南海北部琼东南盆地的块体搬运沉积体(MTDs)和水道体系进行了研究。第四系下部，从下至上识别出以杂乱弱反射为特征的 3 个 MTD1、MTD2 和 MTD3。除部分 MTD1 (MTD1-1)垂直于局部坡向外，其余 MTDs 均与斜坡斜交，这主要受控于与斜坡斜交的水道。三个 MTDs 物源均来自南部隆起带，它们的诱发机制可能与高沉积速率、地震和地层超压有关。该研究强调了早期海底形态(水道)控制着失稳的沉积物运动及其扩散模式，这有助于地质灾害评价。

S62-O-12

琼东南海域第四纪薄层块体流的识别及侵蚀作用研究

任金锋 [1*]

1 广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

2 天然气水合物勘查开发国家工程中心

* jf_ren@163.com

通过连篇三维地震解释和钻井结果证实，在南海北部琼东南海域晚第四纪地层中发现了大量薄层块体流沉积，在其底部识别出延伸上百公里的线状侵蚀构造，在地震剖面上表现出类似于深水水道的特征，但平面上呈线状展布。块体流的基底侵蚀是海底滑坡与基底交互作用的重要运动学指标之一，然而目前基底侵蚀的机制仍未完全揭示清楚。利用高分辨率三维地震、随钻测井资料和岩心样品，本文开展了这些薄层块体流的识别及基底侵蚀作用的研究。在地震剖面上这些薄层块体流通常表现为一个负相位、低到中振幅反射同相轴，很难辨别。但在测井资料中，呈现高伽马、高电阻率、高速度、高密度和低中子孔隙度，厚度约 13.9~25.5 m 不等。在高分辨率电阻率图像上，表现出高倾角、随机方位角和 s 形褶皱的特征。在岩心上，呈现出强烈的软沉积变形。在薄层块体流的底部，我们识别出了一些未变形的残余块体和一些变形的搬运块体，与块体流的基质相比，它们呈现出更高的伽马射线、密度、速度和电阻率，同时具有更低的孔隙度和渗透率。通过基底剪切面的沿层地震属性平面图刻画，这些块体流底部往往发育大型下切侵蚀构造，宽度 2~7km，同时伴随着发育三类明显的线状侵蚀冲痕：一是在其底部发育的猫爪式冲痕，二是在其末端发育的发散式冲痕，三是其外围发育的细线式冲痕。这些侵蚀构造表明了块体流与下伏层发生了强烈交互作用。研究结果表明：大型下切侵蚀构造是块体流在运动过程中被拖曳的半固结的泥质搬运块体在松散而未固结的浊积砂层上滑动下切而形成的线状侵蚀，其伴随的猫爪式、发散式和细线式冲痕的形成可能与这些大块体在运动在不断的破碎化有关。

S62-P-1

北黄海及邻域灾害地质类型及分布特征

陈珊珊 [1,2*]，陈晓辉 [1,2]，王中波 [3]，张勇 [1,2]，李日辉 [1,2]，赵维娜 [4]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，自然资源部天然气水合物重点实验室

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 汕头大学

4 西北工业大学，青岛研究院

* yangfan662001@163.com

北黄海呈半封闭状态，西接渤海，东靠朝鲜半岛，北临辽东半岛，总面积为 71000km^2。北黄海为陆架浅海，平均水深 38m，最深处位于老铁山水道海槽处，水深可达 86m。根据实测的地震及多波束资料，结合前人的研究成果、查明研究区的灾害地质类型、空间分布特征、形成机制的研究，为维护我国海洋权益、军事海防、防灾减灾、涉海工程建设、海洋油气及矿产资源开发、海岛开发建设和国民经济可持续发展提供科学依据。

研究表明，北黄海海底表层存在多种灾害地质类型。将研究区的灾害地质按地质动力成因划分为内动力和外动力，在此基础上进一步划分为活动构造类、海底表层类和海底浅层类三种类型。其中活动构造类主要包括活动断层、地震、火山、岩浆活动、底辟等；海底表层类则主要包括海底古三角洲、海底古河道、海底麻坑、潮流沙脊、潮流冲刷槽、水下泥楔等灾害地质；浅层埋藏类包括埋藏古河道和古湖泊、埋藏古三角洲、埋藏古潮流沙脊、浅埋基岩等灾害地质。

研究发现，北黄海灾害地质形成与地质环境的变化，尤其是晚第四纪以来的地质环

境演化密切相关。晚更新世早期至全新世，北黄海陆架经历了数次间冰期-冰期的轮回，海平面也随之上升和下降。冰期时，全球气候变冷，海平面大幅度下降，研究区海域大部分裸露成陆，发育各种河流，主要表现为侵蚀、搬运和堆积作用，形成古河道和古湖泊。河道与湖泊中充填了大量富含有机质陆源碎屑沉积物，这些有机质经过细菌分解转化为浅层气；间冰期，海平面的上升，此时三角洲发育，当全新世海平面达到最高时，冰后期海侵达到最大值，黄海暖流形成，潮流侵蚀水道内先期形成的沉积物。随着老铁山水道的不断冲刷下切，平面上潮流侵蚀区的范围也逐渐扩大。辽东沿岸在潮汐的作用下，携带的泥沙形成沿岸展布的现代潮流沙脊及冲刷槽。鸭绿江口属于潮控型河口，在河口外海域形成 NNE 向展布的河口湾线性潮流沙脊。而河流入海的细粒物质在沿岸流、波浪潮汐的作用下发生再悬浮搬运，在山东半岛近岸与辽东半岛东南沿岸沉积形成水下泥楔。

S62-P-2S

珠江口滨海断裂带构造特征及其活动性研究

黄嘉宪[1,2]，冯英辞[1*]，孙杰[1]，杨晓东[1]，易虎[1,2]，李健[1]，詹文欢[1*]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* ycfeng@scsio.ac.cn

* whzhan@scsio.ac.cn

滨海断裂带是华南沿海地震活动强度最大、频度最高的一条大型断裂带。滨海断裂带全长超过 1200 km，包括西段（北部湾-阳江），中段（珠江口）和东段（粤东-福建）。其西段和东段曾发生过 4 次 7 级以上大地震，中段目前是一个大地震空白区。粤港澳大湾区紧邻珠江口，人口密度大、经济发展快。如果珠江口发生特大地震并触发海啸，将会对粤港澳大湾区带来不可估量的人员伤亡和经济损失。近年来，珠江口海域活动断裂与地震的研究主要集中在深部地壳构造，而对近海底的断裂特征及其地震机制研究较少。本文利用 2021 年在珠江口海域采集的多道反射地震数据，结合单道地震反射数据、天然地震和沉积地层等信息，对滨海断裂带中段的断层几何结构、空间分布和地震活动性进行了研究。研究结果显示断裂带主要由两条走向 NEE、倾向 SE 的高角度正断层和一条走向 NW、倾向 SW 的高角度正断层构成。北侧的 NEE 向断裂是一条倾向 SE 的高角度正断层，最大断距约为 0.2-1.9km，且最大断距在与 NW 向断裂相切处最小。南侧的 NEE 向断裂是一条倾向 SE 的高角度正断层，断距为 0.9-1.7km。NW 向断裂倾向 SW，断距为 0.45-0.82km。NW 向断裂在珠江口海域东部错断两条 NEE 向的断裂，使得该区域 NEE 向断裂的走向发生 NEE-SE-NEE 向的变化，同时，这些主要断裂共同控制着区域构造活动和地层差异性沉积，使得地震集中发生在 NW 向断裂和 NEE 向断裂的交错区域。

S62-P-3S

新西兰大南盆地多边形断层系统的几何特征及生长过程

王锦怡[1]，孙启良[1*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* sunqiliang@cug.edu.cn

多边形断层是指在平面上走向呈多边形展布的、断距较小的非构造成因张性断层系。作为重要的流体运移通道，多边形断层的发育有利于深水油气运移、水合物成藏，还可作为砂体侵入通道和盐底辟侵入通道，由于多边形断层一般形成在超高压地层中，也可能影响深水油气钻井安全。研究人员在新西兰大南盆地中发现天然气气体通道之上发育着密集的多边形断层，这些多边形断层的发育可能对区域天然气的运移有重要

影响。而前人研究多边形断层的生长过程时较少从单个断层面的整体特征展开描述，这可能导致忽略了不同多边形断层的生长差异。本文利用精细的三维地震资料探究新西兰大南盆地中多边形断层的几何特征及生长过程，描述研究区内多边形断层的平面、剖面形态特征及三维交错关系，并通过统计典型断层的生长特征参数，绘制落差-深度图、二维和三维断层落差分布图，提出多边形断层的单一生长模式和复合生长模式。这对多边形断层的成因机制的研究、区域油气勘探与开发有重要意义。

S62-P-4S

THE CHARACTERISTICS OF THE MULTI-STACKED MASS-TRANSPORT COMPLEXES (MTCS) IN THE DEEPWATER TARANAKI BASIN, NW NEW ZEALAND

Abi Dzikri Alghifari[1*]，Nan Wu[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* abialghifari@tongji.edu.cn

The Taranaki Basin is an important sedimentary basin in NW New Zealand, with nearly 80% of the basin infill contain multi-stacked mass-transport complexes (MTCs). While the distribution, morphology, and internal structures of these MTCs have been thoroughly examined, the relationship between the older and younger MTCs has been overlooked (i.e. how older MTCs influence the younger). Here we use two high-resolution (vertical resolution of 7–25m) 3D seismic reflection datasets to i) build a regional seismic stratigraphy in the deepwater Taranaki Basin, ii) delineate the distribution and characteristics of the multi-stacked MTCs, and iii) investigate the relationship between pre-existing and younger MTCs. Our findings identify five MTCs with distinct seismic facies—discontinuous, chaotic, and transparent. We show that older MTCs can influence the scale, kinematic indicators, and seismic facies variation of younger MTCs. Thus, our result provides a case study for other MTC-riched basins.

S62-P-5S

海底滑坡的退积式滑动及其触发海啸评估

王庆[1]，孙启良[1*]，史峰岩[2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 University of Delaware,Department of Civil and Environmental Engineering Faculty

* sunqiliang@cug.edu.cn

随着海洋工程设施及沿海地区人口及经济的快速增长，由海底滑坡所带来的海底稳定性评价变得越来越重要和紧迫。人们往往只关注完整滑坡和独立滑动事件，往往认为完整滑坡的体积最大，相当于条件极值中的最大值边界条件，其所触发的海啸灾害也最大。然而，在复杂实际地形下，完整滑坡内体积、坡度等不均，局部滑坡会产生与完整滑坡明显不同的运动方式，在某些情况下甚至会触发更大的海啸灾害。在此基础上，实际往往发生局部滑坡的退积式滑动，短时间的连续滑动事件会叠加产生海啸，这对波浪频散效应等造成强烈的非线性作用，产生与我们常识认知相去甚远的灾害结果。本次研究以南海白云滑坡为例，根据对大量的2D/3D 地震资料、多波束资料和ODP/IODP 钻井的整合解释，根据 MTDb 沉积厚度变化和滑坡内部的地震反射特征，精确识别 MTDb 的多期次滑坡滑动，包括

局部滑坡的多期次滑动和退积式滑动。在海底滑坡形成过程重建、滑坡体积精确计算、恢复古地貌的基础上，我们模拟研究了MTDb 局部滑坡的多期次滑动和退积式滑动以及触发的海啸。

结果表明，由于完整滑坡在实际地形下体积、坡度不均，局部滑坡的动能变化与完整滑坡有明显差异，运动方式有较大改变，导致中部的局部滑坡触发比完整滑坡更大的海啸灾害。滑坡的局部差异更加导致了退积式滑坡运动的复杂性。由于海底退积式滑坡在短时间内、先后发生了多次滑坡和海啸，这会在每次海啸传播的基础上再次叠加产生海啸。小波分析显示当多个海啸波群相交时会产生非线性波浪相互作用，使波群交界处能量、振幅增大，导致海啸灾害更大。例如局部滑坡的多次能量释放，在退积时间间隔不同的情况下，会改变波群叠加方式；而当传播速度更快的低频波群追上高频波群时，也会产生不同叠加作用，使海啸灾害非线性改变。综上所述，南海海底滑坡的局部滑动和退积式滑动引起海啸会带来巨大灾害，类似海底滑坡一旦发生会对海洋工程设施及海岸带人民生命和财产带来严重威胁。我们需要更精确的物理手段来研究退积式海底滑坡机理，以及实时三维的时域-频域耦合分析来研究海啸波浪非线性叠加机理。这将有助于提高海啸灾害预测能力和海洋地质灾害防灾评估能力。

S62-P-6S

南海西沙海域海底滑坡触发海啸及波间相互作用研究

沈奥[1]，孙启良[1*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* sunqiliang@cug.edu.cn

随着沿海地区人口和海洋工程设施的增多，以海底滑坡和海啸为代表的海洋地质灾害评估变得越来越重要，已经成为当今海洋地球科学研究的热点问题之一。当海啸事件发生在人口稠密的地区时，即使是小规模的滑坡也会引发不可忽视的海啸灾害，其不可预测的性质和有限的到达时间对目前的海啸预警系统提出了挑战，因此量化滑坡产生的潜在海啸影响（海啸到达时间、海浪高度等）显得尤为关键。当海啸波在岛礁间传播时，在折射、反射、岛礁共振作用等多种因素的共同影响下，其波浪能量、波高都会发生变化，将海啸波信号同其他影响因素分离，有助于把握波浪特征，提高海啸预测准确度。本文以西沙东岛周缘的海底滑坡为例，根据对 2D 地震资料和多波束资料的整合解释，模拟海底滑坡滑动过程，估计滑动规模。通过开源非静水压力波模型 NHWAVE 来模拟西沙海域东岛周缘潜在滑坡变形和海啸生成过程，利用 Boussinesq 波动模型 FUNWAVE-TVD 对海啸的传播过程进行模拟。在此基础上，通过结合最大重叠离散小波变换与改进的自适应噪声完备集合经验模态分解方法，评估异常干扰事件对海啸波时间序列特征的影响，解释并量化波浪传播过程中其他事件的影响。

结果表明，研究区海底滑坡产生的海啸波具有较强的频散性，传播过程中最大波幅逐渐减小，海啸能量衰减非常快，导致影响范围相对局限。大型海啸波能量仅集中在西沙周边群岛，但最大浪高达到 10m 左右，因此仍可造成巨大灾害。在传播过程中，海啸波的空间分布受到传播路径沿途地形的影响，在岛屿间传播过程中主要受到折射和反射的影响，部分区域岛礁的共振作用同样会海啸波产生影响。海啸波向岸传播过程中，短波的能量大幅衰减，能量由高频向低频转移，表明短波穿越岛礁类地形的能力较差，长波的谱型相对稳定，对于岛礁类地形透射能力较强。另外，借助最大重叠离散小波变换与改进的自适应噪声完备集合经验模态分解方法，将海啸波时间序列分解为数量不等的本征模态函数（IMF），通过对 IMFs 进行分析，可将波浪信号重构为振幅小、频率高、在水平面附近波动的分量和周期大、数据不对称的分量，分别代表了海啸波传播过程和其他因素对海啸波的影响。综上所述，南海西沙海域海底滑坡虽然规模较小，但仍

然有可能产生巨大的海啸灾害，有必要对海底滑坡产生、滑动过程及滑坡引起的海啸传播过程展开进一步研究，评估受到海啸影响的区域大小和范围，建立海啸预警模型，减少灾害带来的损失。

S62-P-7S

北印度洋莫克兰俯冲带 1945 年 MW8.2 级大型俯冲带地震海啸产生机理研究

Irfan Ahmed Soomro[1,2]，邱强 [1,2*]，Muhammad Shoaib[3]

1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所，南海生态环境工程 创新研究院，，广州 511458

2 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会，，巴基斯坦伊斯兰堡 45320

3 天津大学土木之工学院水利 器质安国家重实检验，天津 300072

* qiu.qiang@scsio.ac.cn

1945 年 11 月 28 日莫克兰海啸席卷了整个北印度洋海岸，对巴基斯坦、伊朗、阿曼和印度西海岸造成了严重的破坏，致使伤亡人数达 4000 人。然而，由于已有的海啸观测资料的不完整性、不一致性，甚至很多资料相互矛盾，导致目前对该事件的海啸源认识尚不清楚，仍处在热议之中。针对该问题，本研究整合了所有可用的地质结构数据、地球物理数据、大地测量数据和海啸观测等多源数据，来调查此次海啸事件的产生机理。本研究具体将采用合成的随机地震破裂模型和海啸反投影方法，探究此次事件的海啸源头和生成机制，最终解释汇总的所有观测数据。

本研究的主要目标包括：（1）确定 1945 年海啸波的来源和高度分布特征；（2）查明海啸测量的不确定性和不一致性；（3）将模拟结果与 1945 年海啸的已有观测结果进行比较；（4）以瓜达尔港口为例评估断层几何不确定性和地震滑动对近岸波浪场的影响。为了实现以上目标，本文使用康奈尔多网格耦合海啸模型（COMCOT）来模拟莫克兰俯冲带及其周围海域的海啸生成和传播过程。

通过本文的初步研究，结果显示瓜达尔作为中巴经济走廊（CPEC）主要深水海港将受到来之莫克兰俯冲带地震海啸的严重威胁。这与莫克兰俯冲带独特的构造结构密切相关。其中，莫克兰俯冲带的俯冲角度是全球俯冲带中最缓的区域，同时，该区域发育有超宽的增生楔，在增生楔内部发育有多条叠瓦状高角度逆冲断层。超宽的增生楔和高角度叠瓦状断层往往是浅部地震产生放大效应的海啸灾害的主控因素。本文的研究成果和 1945 年的海啸经验教训应当纳入当代海岸防备战略中，如海啸预警系统、社区教育和土地利用规划，为瓜达尔和卡拉奇等沿海特大城市的城市规划和海岸恢复能力，防灾、减灾策略准备提供科学指导意义。

S62-P-8S

断层和海底地形是如何影响气烟囱内部结构和分布特征的？

张伯达 [1]，苏明 [1*]，陈慧 [1]，刘坊 [2]，苏丕波 [2]，梁金强 [2]，匡增桂 [2]，杨承志 [2]，吴南 [3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* suming3@mail.sysu.edu.cn

气烟囱是地球深部流体垂向迁移的重要路径，因此了解气烟囱的形成和演化对于油气勘探和地质灾害风险评估至关重要。然而，往往背景环境条件（如海底地形、构造、沉积物供应通量）对气烟囱发展的影响尚未得到充分的研究。我们利用高分辨率三维地震数据，在神狐海域（南海北部珠江口盆地

的天然气水合物试采区）识别了 59 个气烟囱，其中 35 个与断层相交。在气烟囱-断层相交界面之上，气烟囱内部地震反射结构以杂乱且不连续的反射为主。相交界面下方的内部反射结构显示出更多的连续反射特征，这种连续的反射特征在不与断层相交的气烟囱中也很常见。更高程度的杂乱或不连续地震反射可能表明气烟囱内部裂隙网络更为破碎化。这可能是由于断层为气烟囱提供了额外的流体通量并增加了内部流体压力所造成的。

现今地势起伏的海底峡谷区域可分为峡谷间区域、峡谷内区域和峡谷下游的平坦区域。峡谷间和峡谷内区域下方的气烟囱在平面上呈现出明显的拉长椭圆形，平面长轴方位角近似平行于峡谷走向。在垂向上，峡谷间区域下方的气烟囱比峡谷内和平坦区域下方的气烟囱高度更高。由于峡谷间区域的沉积物更厚，覆岩压力更高，这可能会在深部储层区域引起更强的超压积聚。这种超压分布特征可能会促使气烟囱聚集发育于峡谷间区域。覆岩应力场的最大梯度边界，也就是峡谷的主要的延伸方向，可能限制了水力压裂发生的位置与方向，进而影响了气烟囱的分布与形态特征。这项研究为受地形和断层条件影响的气烟囱在分布、形态和内部结构演化方面提供了见解。有助于更好地理解地质流体如何在盆地中发生迁移。

S62-P-9S

珠江口盆地深水区天然气水合物的潜在空间分布及其与海底滑坡的响应关系

潘荟[1]，谢辉[2*]，赵中贤[3]，蒋国忠[1]，李元平[4]

1 广东海洋大学，化学与环境学院

2 广东海洋大学，海洋与气象学院近海海洋变化与灾害预警实验室

3 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

4 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

* xiehuihaoba@163.com

珠江口盆地深水区是我国深水油气勘探热点区域，海底滑坡等深水地质灾害严重威胁深水油气勘探和开发安全。本论文通过综合搜集珠江口盆地深水区水深，地温梯度，海底水温，沉积物厚度等资料，运用 P.R.Miles 经验公式计算了珠江口盆地深水区天然气水合物稳定带厚度，确定其潜在空间分布以及成藏机制，并探讨了其与海底滑坡的响应关系。研究结果发现，天然气水合物稳定带最大厚度可达 360m，分布在白云凹陷深水区以南，荔湾凹陷以北，跟已发现的天然气水合物位置相吻合。基于 2D/3D 地震数据综合分析，发现天然气水合物稳定带＞300m 区域位于大型海底滑坡之下，向周围及其邻区逐渐减薄。珠江口盆地深水区具有充足的气源，良好的储盖组合，并且存在气烟囱、断层等构造特征，我们推测珠江口盆地深水区存在丰富的天然气水合物是诱发白云凹陷大型海底滑坡的主要因素。

S62-P-10S

海啸与风暴潮泥沙输运过程的数值模拟对比研究：以海南陵水双潟湖为例

李发淳[1]，李琳琳[1,2*]，黄康有[1,2]

1 中山大学，地球科学与工程学院，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

南海位于全球台风最活跃的西北太平洋海域，沿海地区极端风暴潮事件频发，同时也面临包括马尼拉俯冲带地震在内的多种潜在海啸源威胁。区分海啸沉积和风暴潮沉积成为重建南海沿岸极端洪水灾害淹没频率和强度的主要障碍之一。在沿岸洪水古

沉积的研究中，由于潟湖体系能较好地捕获并保存极端洪水灾害淹没过程中所携带的海洋沉积物，常被认为是开展古沉积研究的理想场所，有潜力重建较长期的沿海灾害记录。我国海南岛东部沿岸拥有多个由沙坝相隔、通过狭窄入口与南海连接的潟湖，其中位于海南岛东南部的新村和黎安潟湖内均发现可能与极端洪水相关的砂质沉积物。为理解海啸和风暴潮过程中泥沙的输运特征差异，本研究以海南陵水双潟湖为例，结合高精度地形测量和泥沙粒径分析，利用正向数值模拟的手段，对比分析马尼拉俯冲带特大地震（Mw 8.8-9.2）海啸和极端历史台风风暴潮事件（如 201330 号“海燕”）在该区域的淹没和泥沙输运过程，追溯潟湖内可能的沉积物分布特征。初步数值模拟结果表明，马尼拉俯冲带特大地震海啸有能力在陵水双潟湖产生~7 m 的海啸波，海啸波可携带大量近岸和出海口处的泥沙侵入双潟湖内部并在低洼处留下沉积。本研究能为理解不同触发机制的极端洪水在沿岸潟湖的水动力学过程和泥沙输运过程提供量化参考，有利于重建南海极端洪水灾害事件的时间序列，对南海及全球的风暴潮和海啸灾害风险评估具有重要意义。

S62-P-11S

人类活动对中国南部沿海泄湖地区海啸风险的影响评估

张意林 [1]，李琳琳 [1,2*]，杜朋 [1]

1 中山大学，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

海啸是全球致灾性最强的自然灾害之一，可在沿海地区造成大量人员伤亡和巨大经济损失。随着沿海地区快速经济发展和人口激增，港口建设、海产养殖和围海造地等人类活动使更多的基础设施和人口暴露于危险之下。海啸风险的评估可以为政府部门对环境的监管和治理提供决策支持与科学依据，从而减少严重的人员伤亡和财产损失。虽然人类活动被广泛认为是影响海啸和风暴潮等沿海洪水风险的主要因素，但现有的量化评估研究很少。在本研究中，我们选择中国南部一个典型的沿海县，定量评估自 1963 年以来以及未来人类活动对其潜在海啸风险的影响。研究区位于海南岛东部最大的泻湖区-万宁市沿岸小海周边地区（18°47′～53′N，110°26′～34′E），有研究表明此区域在近几十年间受到了不同程度的人类活动影响，并由于存在典型的沙坝-泻湖-潮汐通道体系，这个地区更容易受到风暴潮和海啸等沿岸洪水威胁。本研究通过小海 1963-2003 年间以来的遥感影像和无人机实地测量的地形数据生成 6 组（1945、1965、1985、2005、2025、2045）数字高程模型，并结合自然、社会、经济等方面，利用数值模拟的方法评估小海各时期人类活动对海啸风险及其时间变化的影响。海啸风险变化分析的结果将帮助我们了解当前的海啸风险，并预测未来的潜在风险变化。此外，有必要提前制定小海泻湖和其他面临潜在海啸威胁的区域的海啸防范措施，并制定海啸应急预案。

S62-P-12S

滑坡海啸波特征分析：以南海典型海底滑坡为例

潘晓仪 [1,2]，李琳琳 [1,3*]，施华斌 [1,2*]，王大伟 [4]，任志源 [5]

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

2 澳门大学，科技学院土木及环境工程系

3 中山大学地球科学与工程学院，广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室

4 中国科学院深海科学与工程研究所

5 西北工业大学，海洋科学与技术学院

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

* huabinshi@um.edu.mo

研究海底滑坡触发的海啸波特征有助于提升当前海啸预警系统应对滑坡海啸的能力，同时为制定相应的防灾减灾措施提供指导。与地震海啸相比，由海底滑坡触发的海啸波特征更加复杂且往往缺乏直接的观测证据。海啸波信号的监测与数据记录一般依赖于架设在近岸的潮位站和在深海的DART（Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis）浮标。前人的研究通常通过识别短周期的海啸波信号（2-15 分钟）和信号出现的时间判断触发机制中是否包含海底滑坡贡献。然而，滑坡运动产生的海啸波的周期通常受到滑坡自身特征的影响，例如滑坡体长度，宽度和滑坡体材料性质等，同时近岸潮位站接收到的海啸波信号也会受到传播时海底地形的影响，仅通过短周期和信号出现的时间判断海啸源是否存在滑坡的合理性尚待证明。

本研究中，我们首先收集历史上含滑坡机制海啸事件（如 1998 年巴布亚新几内亚海啸事件、2023 年土耳其海啸事件）中海啸波的波形记录并对其进行波谱分析。在此基础上，采用 NHWAVE-FUNWAVE 组合模型对南海域内三处典型海底滑坡（白云滑坡、曾母暗沙滑坡和中建南滑坡）海啸进行数值模拟，我们设定深水（200m 和 1000m）和近岸（20m）虚拟站点记录海啸波传播过程，两类站点分别类比深海 DART 浮标和近岸潮位站，通过对典型滑坡的海啸波数据的特征分析，并与历史海啸事件作对比，探究深海海啸波信号是否包含海啸源特征，海啸波信号特征对滑坡动态过程的反映以及近岸地形对近岸海啸波的影响。结果表明，滑坡海啸产生的深水海啸波周期与海底滑坡的规模和动力过程密切相关，研究结果对 DART 浮标等信号检测装置识别可能的滑坡海啸信号提供了参考价值。

S62-P-13S

印马菲多岛弧海域历史海啸事件模拟分析

崔家莹[1]，李琳琳[1,2*]，张意林[1]，胡桂[1,3]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 东京大学，地震研究所

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

东印度尼西亚、东马来西亚和菲律宾南部的多岛弧地区具有构造活动复杂、海域俯冲断层分布密集、地震和海啸灾害风险高的特点。该地区的海啸灾害表现为最大波高显著、预警时间短、人口密集和复现期较短等综合特征然而与周围主要俯冲带地震海啸灾害研究相比，该地区的海啸灾害受到的关注相对较少，研究程度较低。

为了深入研究该地区的海啸灾害，我们根据历史资料、俯冲带构造特征和已有的地球物理资料重构南菲律宾、北苏拉维西、新几内亚、班达海、巴厘岛和弗洛里斯岛等地区在 1963 年-2006 年间 7 个典型大地震的地震模型（震级达八级以上），并模拟地震海啸的生成和传播过程，结合波谱分析方法，探究不同区域地震产生的海啸波特征，分析地震源和海底地形对海啸波的影响差异。该研究有助于加深对东印度尼西亚和菲律宾南部地区海啸灾害的认识，为加强海啸风险管理和灾害减轻措施提供科学依据和指导。

S63-O-1

利用震前断层应力变化探讨预报地震孕震区的可能性

蔡永恩[1*]，谢周敏[2]，王其允[3]，吉冈祥一[4]

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 国家自然灾害防治研究院

3 美国加州大学伯克利分校，地球与行星科学系

4 日本神户大学，研究生院行星科学系

* yongen@pku.edu.cn

地震预报目前是世界性科学难题. 大地震在哪里发生是地震预报首先要解决的问

题, 对此，前人在地球物理、地球化学、地下流体和地热等方面做了很多有益尝试. 本研究从断层力学角度，基于我们提出的地震断层应力模型，利用 GNSS 观测数据反演了 2011 年日本东北 9 级 大地震前 14 年（1997—2010 年）断层上的应力变化，探讨了这次地震的孕震区. 结果表明，1）在这 14 年中，断层应力的年变化图案的主要特征是稳定的，并存在明显的应力增加区(孕震区）和降低区，前者与地 震的同震破裂区一致，后者基本与前震、重复小地震和无震滑动的区域一致；2）显著的剪应力增加区不但与主震，而且还与主震后半小时内发生的两个 7 级以上大余震的破裂区吻合；3）断层面上高应力积累区的零剪应力和零正应力变化的等值线不重合，前者在断层面上的深度大于后者，这意味着在剪应力增加区内存在着正应力降低区或剪切强度降低区（由于剪切强度与正应 力成正比），断层初始破裂点就发生在这个区域；4）正应力变化对俯冲带大地震的初始破裂有影响，这个结果可以解释为何震前位错反演得到的位错亏损区的深度和大小与实际同震破裂区不符；5)本文使用的断层应力变化反演方法，如果有足够密集的观测资料，可以作为预测大地震发生位置的一种手段.

S63-O-2

实验室地震机器学习预测研究及展望

高科 [1*]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

* gaok@sustech.edu.cn

实验室地震具有断层力学条件可控、易观测、可重复等优点，在实验室地震大数据的基础上开展机器学习研究，有望成为地震预测这一世界性科学难题的关键突破口。目前相关机器学习模型训练普遍存在数据量少、类型单一等问题，且对训练数据缺乏精炼，导致预测模型训练效率低、预测精度差、普适性不强。鉴于此，本研究采用 FDEM 进行断层剪切粘滑数值试验，构建多组涵盖多影响参数的实验室地震数据集；采用集成学习方法，筛选关键孕震特征数据；基于筛选的关键孕震特征，进一步构建融合机器学习模型进行全面机器学习训练，充分挖掘其中的孕震规律，探讨强泛化能力的实验室地震机器学习模型训练和预测方案，同时对实验室地震机器学习预测领域的未来研究方向进行思考和展望。

S63-O-3

2021 年青海门源地震震前和同震变形特征研究

郝明 [1*]，李煜航 [1]，李长军 [2]，梁诗明 [3]，梁洪宝 [4]，宋尚武 [1]

1 中国地震局第二监测中心

2 北京大学，地球与空间科学学院

3 中国地震局地质研究所

4 中国地震局第一监测中心

* ha_mg@163.com

基于高精度的 GNSS 和水准等大地测量资料，厘定了祁连山断裂带中东段主要活动断裂的滑动速率，并分析了 2022 年 1 月 8 青海门源 6.9 级地震之前的三维地壳变形特征和强震孕育背景. 研究结果表明，祁连山断裂带中东段地壳变形呈现出较强的左旋剪切和缩短变形，且地壳缩短主要以垂直隆升的形式实现；托莱山断裂的走滑、缩短和垂直速率分别为 2.5mm/yr、1.3 mm/yr 和 1.2 mm/yr，高于其北侧的民乐—大马营断裂的 1.1 mm/yr、0.8 mm/yr 和 0.5 mm/yr，冷龙岭断裂的走滑和缩短速率分别为 3.1 ｍｍ/yr 和 3.0 mm/yr，结合应变率场，表明该区域地壳变形满足连续—弥散变形模式；门源地震震前剪应变和压性面应变明显积累，其中部分压性面应变被 2016 年门源 6.4 级地震所释放，而在托莱山和冷龙岭断裂以南地区垂直变形并不显著，震前应变持续增加。此外，GNSS 速度剖面揭示出托莱山断裂存

在明显的震间闭锁，其闭锁深度为15.0km，表明其具有发生强震的背景。

利用 2022 年门源地震前和震后加密 GNSS 观测资料，统一处理获取了此次地震的同震位移场，并以此为约束反演获取了地震同震破裂滑动分布图像，探讨了此次地震发震断层形变破裂特征，对比了区域震间与同震变形特征，结果表明：此次地震在距震中约90km范围内产生了10 ｍｍ 以上的同震永久变形，距震中 160-200km 的 GNSS 连续站记录到的同震变形则十分微弱，总体在毫米级以下；同震位移图像呈现典型的左旋走滑型同震变形模式。在距震中约 3km 破裂带南侧的测站，其同震位移为近东向，大小 445.9 ｍｍ，而在破裂带远场则呈现出典型的与左旋走滑型地震匹配的“四象限”对称分布的挤压或拉张尾端变形特征；同震位移量以冷龙岭断裂—托莱山断裂为界，南北两盘具有明显的非对称性，南盘变形运动大于北盘；托莱山断裂西段同震位移总体表现出随震中距减小而增大的“弹性回跳”现象，但其跨断层近场测站却并不服从上述同震变形特征，指示其并未参与此次地震破裂，考虑到托莱山断裂西段显著的左旋剪切应变能积累背景，其未来强震危险性值得关注。

S63-O-4

溪洛渡-向家坝库区应力场时空演化与地震活动性分析

缪淼[1*]，韩鹏[1]，王蓉[1]，赵策[2]，赵翠萍[3]，鲁人齐[4]

1 南方科技大学，地球与空间科学系

2 中国地震局地球物理研究所

3 中国地震局地震预测研究所

4 中国地震局地质研究所

* miaom@sustech.edu.cn

溪洛渡-向家坝级联水库位于我国云南省金沙江下游，库区位于地质活动强烈的川滇地块东部，区域内分布着多条大型活动断裂。自两个水库蓄水后，金沙江沿岸记录到了大量地震活动，包括三次 M>4.5 事件（2014 年 4 月 5 日 Ms5.1，2014 年 8 月 17 日 Ms5.2 和 2019 年 5 月 16 日 Mw4.7）。为了探究水库水位变化引起的应力场变化与地震活动的时空分布之间的关联，本文基于流-固完全耦合的多孔弹性理论，建立了一个三维孔隙弹性有限元模型，计算水库蓄水引起的弹性负载和孔隙压力扩散对应力场的影响。模型中考虑了分辨率较高的三维地形起伏、精确的三维活动断层分布、与库底高程相关的河流水位变化和完备震级较小的地震目录。计算结果表明，三次 M>4.5 地震事件均受到水库蓄水的影响，其震源处孔隙压分别上升了 0.075MPa、0.157MPa 和 0.241MPa。结合实际断层分布与震源机制的节面判断其震源断层作为接收断层，计算得到三次事件受到的 ΔCFS 分别为 0.091MPa、0.121MPa 和 0.251MPa，即蓄水带来的孔隙压扩散对这三次地震有促进左右。另外，通过计算溪洛渡水库附近发生的 M>1.3 事件（2199 次）以及向家坝水库岩溶区附近的 M>1.4 事件（701 次）所受的孔隙压变化与 ΔCFS 可知，溪洛渡水库附近 90.6%的地震和向家坝附近 63.8%的地震位于 ΔCFS 升高区域。相关结果表明，蓄水带来孔隙压力的扩散和区域应力场变化可能会增加库区的地震风险。

S63-O-5

鲜水河断层的震间应力率反演

赵文涛[1]，罗纲[1*]，蔡永恩[2]，高华[3]，靳锡波[1]

1 武汉大学，测绘学院

2 北京大学，地球与空间科学学院

3 江西师范大学，地理与环境学院

* gluo@sgg.whu.edu.cn

鲜水河断层是青藏高原东南缘最活跃的断层之一，自 1700 年以来发生了超过 20 个 6 级以上的地震。很多研究已对鲜水河断

层上的滑移和耦合率等进行了探索，但我们还不清楚该断层面上的应力在震间是如何演化的。断层上的应力积累会导致地震的发生，计算断层面上的应力率分布有助于我们分析该断层未来可能发生的大地震的空间位置和危险性。因此本文建立了一个鲜水河断裂的有限元模型(地震应力模型)，并使用2016-2020 年间的 InSAR 震间形变数据，反演了鲜水河断裂上的应力率分布。本文的反演结果表明：(1)鲜水河断裂的康定段在深度 10km 以下主要是处于应力加载状态，自 1955 年以来积累的地震矩大约相当于一个 Mw 6.9 级的地震，2014 年发生的康定地震仅释放了小部分积累的地震矩，康定段仍有发生大地震的风险；(2)鲜水河断裂的磨西段在深度 0-10km 主要是处于应力加载状态，而 10km 以下大部分区域是处于应力释放状态，自 1786 年以来积累的地震矩大约相当于一个 Mw 7.7 级的地震，2022 年的泸定地震也仅释放了其中小部分地震矩；(3)本文的反演结果中在磨西段的震间剪切应力或库仑应力积累的区域，能较好地与 2022 年泸定地震的同震破裂范围及其余震分布对应。

S63-O-6

SHALLOW SERPENTINIZATION PROMOTED THE UP-DIP HIGH-FREQUENCY SEISMIC WAVE RADIATION DURING THE 2021 MW8.1 KERMADEC MEGATHRUST EARTHQUAKE

Hongyu Zeng[1]，Shengji Wei[1*]

1 NTU-EOS/ASE

* shjwei@ntu.edu.sg

Large megathrust earthquakeshave high-frequency(HF) seismic waves radiated from the down dip rupture, which wasattributed to the mechanic heterogeneity at the bottom of the locking zone. In contrast, we show that the 2021 M8.1 Kermadec megathrust radiated HF energy mostlyfrom itsup diprupture. We resolve itsruptureusing finite fault inversionand a refined back-projection method. The model shows a slip patch at 20-45km depth, elongating ~100 km along strike, while HF sources aredistributed along the up-dip edge of the slip, coinciding with the forearc Moho depth and bursting within abelt of background events, aftershocks, mainshock epicenter and triggered HF sources from the M7.4 foreshock. Strong heterogenous frictionpromoting the up-dip HF radiation is likely caused by the beginning of serpentinization in the overriding mantle wedge. Large seismic slip on the serpentinized plate interface urges a re-evaluation of seismic hazards in conventionally considered aseismic area.

S63-O-7

小地震的统计信息帮助预测大地震：机器学习的视角

贾科 [1*]，王曦 [1]，钟泽远 [1]，周仕勇 [2]

1 西北工业大学，自动化学院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* jk@nwpu.edu.cn

Despite ongoing efforts to understand thephysical mechanisms of earthquake occurrence, there is no convincing physical or statistical modelfor predicting large

earthquakes. Machine learning methodsoffer a potential means to improve earthquake prediction performance. In this study, we explorewhether small earthquakes can be used to predict large earthquakes within the framework ofmachine learning. We extract seismic features based on seismic catalogs and apply classical machinelearning and LSTM neural network techniques in the southwestern part of China.Our results show that the random forest method performs best in classifying large earthquakeoccurrences, while the LSTM method provides a rough estimation of earthquake magnitude. Weconclude that small earthquakes contain information relevant to predicting future large earthquakesand machine learning provides a promising avenue for improving the prediction of earthquakeoccurrences.

S63-O-8

基于 GNSS 密集台阵观测的青藏高原东南部大凉山现今地壳形变

李煜航[1]，郝明[1,2*]，宋尚武[1]，庄文泉[1]，崔笃信[1]，杨帆[1]，王庆良[1]

1 中国地震局第二监测中心

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* ha_mg@163.com

大凉山是连接高度活动的青藏高原东南部与稳定华南地块（克拉通）的构造单元。作为一个新生的地震构造带，它是青藏高原构造挤出的最新产物。因此，其详细的地壳形变约束是理解青藏高原扩展运动学和动力学的关键。

本研究通过 GNSS 时空加密观测，获取了大凉山地区高空间分辨率的 GNSS 水平速度场。对其的解析研究表明，现今大凉山断裂与其西侧的安宁河—则木河断裂具有等量的左旋走滑运动（约 5 mm/yr），但其震间闭锁深度却存在较大的空间差异：安宁河断裂南段和大凉山断裂中段闭锁深度达~13 km，指示其具有较高的地震危险性。

此外，位于大凉山断裂东侧的马边地块具有可探测的逆时针旋转运动，其速率为 0.35°±0.12° Ma，并对其周缘边界断裂的走滑运动贡献显著（~50 %）。相对于稳定的华南基准，马边地块的逆时针旋转可能受控于一个 SE 向的左旋剪切速度梯度，指示了简单剪切运动学模式在理解青藏高原向稳定克拉通侵入的重要意义。

S63-O-9

2021 年南黄海地区盐城 Mw5.0 地震发震构造与孕震机制研究

户盼盼[1,2]，杨晓东[3,4]，杨风丽[1,2*]，张锦昌[3,4]，周志远[5]，董若雯[1,2]

1 同济大学，同济大学海洋地质国家重点实验室

2 同济大学，同济大学海洋与地球科学学院

3 中科院南海海洋研究所，中科院边缘海与大洋地质重点实验室

4 中国-巴基斯坦地球科学研究中心

5 广州市城市规划勘测设计研究院

* yangfl@tongji.edu.cn

2021 年 11 月 17 日，南黄海发生了盐城 Mw5.0 地震，此次地震是长三角地区近 5 年以来发生的震级最大的有感地震，引起国内外学者的广泛关注。然而，由于长期以来缺乏二维地震剖面资料，目前对盐城 Mw5.0 地震的发震构造和孕震机制还不清楚。本次研究将震中区及其所在的南黄海地区视为一个系统、整体，基于覆盖全区的二维地震剖面，钻/测井数据等，探讨了此次地震的发震构造，分析了岩浆、热流体活动对此次地震触发的影响。研究表明，盐城地震震中区域及其所在南黄海地区发育两组先存的共轭走滑断裂，包括 NNE 走向的 F1 断裂，勿

南沙北断裂及其共轭的 NW 向 F5 断裂等。这些先存的共轭走滑断裂在中新世-第四纪期间整体或部分复活为右行或左行走滑断裂，其中，F1 断裂极有可能是此次盐城地震的发震断裂。此外，本次研究还在这些先存走滑断裂附近发现了大量的火成岩体和相关热流体活动的踪迹。基于地震剖面反射特征并结合南黄海及邻区已发表的地质年代学数据，认为南黄海地区岩浆和热流体活动可以持续至中新世至第四纪，与先存走滑断裂再次活动的时间大体一致。热流体沿先存走滑断裂的迁移有利于断裂的再次活动，并最终触发了盐城 Mw5.0 地震。推测先存走滑断裂的复活及其旁侧岩浆、热流体活动可能与太平洋板块、菲律宾海板块的俯冲，印度-欧亚板块的碰撞密切相关。

S63-O-10

2023 年土耳其双震的震源参数和应力场分布

詹慧丽 [1,2]，白玲 [1*]，刘超亚 [1,2]，石川有三 [3]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 中国科学院大学

3 日本静冈大学

* bailing@itpcas.ac.cn

土耳其位于世界三大地震带之一的欧亚地震带上，地震一直是其发生频率最高的自然灾害之一。当地时间 2023 年 2 月 6 日 04 时 17 分，土耳其中南部卡赫拉曼马拉什省发生 Mw7.8 级地震，随后 13 时 24 分又发生 Mw7.5 级地震。此次地震波及土耳其全境和邻国叙利亚，造成了严重的人员伤亡和经济财产损失。本文首先进行了双震的同震位移计算和构造应力场反演，得到了左旋走滑的断层动力学特征和剪切应力背景。基于双震序列和历史地震，分析了地震随时间的分布和震源区地下结构。发现震前一年有规律性的地震活动，余震发生在东 Anatolian 断裂和 Sürgü 断裂带上。大部分地震发生在上地壳，Mw7.8 震源区东 Anatolian 断裂倾向南，Sürgü 断裂具有高倾角，并且两个断裂都显示清晰的分支。表明 Mw7.8 级地震破裂研究与地震分布具有较好的一致性。最后分析了活跃的扎格罗斯-喜马拉雅地震带的地震分布特征，总结了断裂带"地震空区"内发生的其他历史地震。

S63-O-11

板内断层系统中断层相互作用对大地震时间模式的影响探究

靳锡波 [1,2]，罗纲 [1,2*]

1 武汉大学，测绘学院

2 武汉大学，地球空间环境与大地测量教育部重点实验室

* gangluo66@gmail.com

地震目录反映了地震发生的时间与空间等信息，为研究区域大地震的复发模式提供重要的数据支撑。研究人员在华北与川滇地区发现了大地震复发呈现出复杂的时间模式，这种时间模式及发震机理探究成为近年来板内地震研究的难点。然而，现有地震目录的时间局限性对这一研究造成阻碍。基于物理的有限元建模技术即包含了丰富的地质条件信息，又可以获得万年以上的人工地震目录，为大地震复发模式研究提供了新的手段。我们使用真实地震与万年尺度人工地震目录对板内复杂断层的发震模式与机理进行研究。结果表明单一滑断层上的地震复发更容易受到岩石圈粘度的影响，在低粘度条件下大地震的复发模式呈现出聚类特征，高粘度呈现出周期性；复杂断层系统的地震复发受断层相互作用影响较大，且系统内部的相互影响远大于对系统周围断层的影响。我们认为这是系统内部断层的能量转移影响了断层上大地震的复发模式，这种能量转移会导致大地震之间的促进、抑制与共

轭现象，这与断层之间的相对位置以及连接方式有关。

S63-O-12

虎牙断裂带南北段强震活动类型的差异性机理：来自数值模拟的约束

刘皓晴[1]，李玉江[1*]，陈连旺[1]

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院

* toleeyj@126.com

虎牙断裂带位于青藏高原东向扩展的前缘地带，是认识高原东缘变形模式的关键部位。断裂带历史强震活跃，且南北两段地震活动类型表现出显著的空间差异。因此，研究强震活动类型的差异性机理，对理解青藏高原强震的孕育机制以及认识高原东向扩展模式具有重要意义。

本文构建青藏高原东缘三维黏弹塑性有限元模型，研究重力势能梯度、中下地壳介质流变性与断层几何等对区域应力应变场与位移场的影响。研究结果表明，虎牙断裂带北段以走滑为主的断层运动主要受断层几何展布的控制，且应力结构较好地解释了走滑型历史强震的发生；而在断裂南段，以逆冲为主的断层运动和强震活动则主要受断层两侧介质流变性差异所控制。在此背景下，东向运动的中下地壳高流变物质受到断层东侧相对坚硬的物质阻挡作用而转换为区域的垂向变形，暗含着青藏高原物质有限的东向扩展。青藏高原东缘的地壳变形表现为上地壳剪切作用、中下地壳流和重力势能梯度共同作用的复合模式。

S63-P-1

态矢量的模M在强震前的异常表现

张小涛[1*]

1 中国地震台网中心

* 124583238@qq.com

态矢量的概念来源于统计物理学，是一种对连续场进行粗粒化描述的方法，适合用来研究复杂系统问题；尹祥础等（2004）提出态矢量方法并对几个著名震例（如唐山、海城等地震）进行了研究，结果表明大地震前态矢量参数有显著的变化，认为态矢量的特征变化可能是一种地震前兆；态矢量有 4 个参量，分别为：态矢量的模(M)、态矢量的增量的模(△M)、态矢量之间的夹角变化(φ)、任意时刻态矢量与单位矢量之间的转角变化(φ_C),其中态矢量的模(M)映震效果表现最佳。

本文选取中国地震台网中心提供的 1970 年 1 月至 2020 年 12 月的全国地震目录，以 1975 年至 2020 年中国大陆 145 个 6.0 级以上地震为研究对象，研究其震前态矢量模(M)的时序变化特征。在震例的回溯性研究中，研究范围以震中为中心，从 3°X3° 逐步扩大到 12°X12°。根据态矢量 M 的时序曲线与地震的对应情况,就映震效果划分了 4 个等级：A：对应效果极好—异常突出，无虚报，显著异常离发震时刻较近。B：对应效果较好—异常突出，虚报较少，显著异常离发震时刻较近。C：对应效果一般—异常较突出，虚报较多，显著异常离发震时刻较远。D：对应效果差—异常不突出，虚报较多，震前中短期无异常。

针对态矢量的模 M，在回溯性研究的 145 个震例中：预测效果为 A 的有 41 个，预测效果为 B 的有 69 个，预测效果为 C 的有 20 个，预测效果为 D 的有 15 个。预测效果较佳的（A+B）占总数的比例为（41+69）/145=75.9%;本文对这 110 个震例进行了逐个分析,并初步得到如下结论：①当研究尺度在 3°~7°时能得到较好的态矢量 M 的异常曲线，可推知：向前预测时，空间范围不宜过大。②震例震级越大其态势量 M 的时序曲线最大异常值出现的时间越早。经统计，最大异常值出现在震前 1000 天内的比例较高：80/110=73%。③震例震级越小，发震时刻距

离态矢量 M 曲线的最后一次异常时刻越短。④震例的最大异常与最近异常二者相距时间较大，均在年尺度以上。

S63-P-2

基于时序 GNSS 和时序 INSAR 数据厘定老虎山断裂的蠕滑运动

庄文泉[1*]，李煜航[1]，刘传金[1]，郝明[1]，王浩浩[1]

1 中国地震局第二监测中心

* 15109216173@163.com

近期基于 InSAR 观测发现老虎山断裂存在无震蠕滑，鉴于其可释放应力积累降低地震危险性，也可因应力转移而触发地震，因此该发现具有重要意义，并且该发现对拓展海原断裂带活动特征、摩擦行为、动力学的认识，揭示我国大陆板内构造运动新模式、判定地震危险性有着非同寻常的指示作用。但迄今为止，断层的蠕滑运动仅由 InSAR 技术判定，且其空间范围和蠕滑速率结果存在差异，断层近场蠕滑运动并未得到野外地质调查的支持，特别是高精度 GNSS 现今地壳形变监测结果的检验和确认。为此，本文究基于跨老虎山断裂 5km 范围内的 GNSS 连续站和时序 InSAR 时序技术判定老虎山断裂东段的现今蠕滑运动的存在性，并确定老虎山断裂 3.3mm/yr 的蠕滑速率。老虎山断裂蠕滑速率的确定深化对老虎山断裂带滑动速率、和闭锁程度、震后的断层余滑、断层的非震蠕滑等的认识，对厘清无震蠕滑主导机制及对天祝地震空区影响，有效判定天祝地震空区未来地震危险性具有重要支撑作用。

S63-P-3S

2023 年土耳其双震的同震破裂过程和断层结构

刘超亚[1,2]，白玲[1*]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 中国科学院大学

* bailing@itpcas.ac.cn

2023 年 2 月 6 日在土耳其中南部卡赫拉曼拉什省发生 Mw7.8 和 Mw7.5 两次强震，震中均位于 2020 年 Mw6.7 地震的西部东安托利亚断裂附近，已造成超过 4 万人遇难。为了了解此次双震和 2020 年 Mw6.7 地震的关系，通过利用 Sentinel-1A/B 数据，采用 DInSAR 和 POT 技术分别获得两次地震的同震形变场，并反演发震断层的滑动分布，表明 2023 年土耳其双震造成地表相对运动在卫星 range 方向超过 6m，断层最大滑动量超过 8m，2020 年 Mw6.7 地震造成地表相对运动在卫星 los 方向超过 0.2m，断层最大滑动量超过 1m。为了研究三次地震对周围断层的影响，利用断层滑动模型数据反演获得同震库伦应力变化，表明 2020 年 6.7 地震对此次双震的发震断层具有应力加载作用，此次双震同样对其发震断层有应力加载作用，另在对 2023 年 2 月 20 日发生的 Mw6.3 地震区域也具有应力加载作用。为了研究东安托纳利亚断层的闭锁程度与两次地震的关系，收集了相关区域内的 GPS 速度场，采用块体位错模型原理，计算了断层闭锁程度，表明两次地震震中位于闭锁边缘区域，断层破裂也主要集中在强闭锁区域。通过上述分析，可以发现强闭锁区域可能是潜在地震的主破裂区域，尤其受到之前地震的应力加载作用，发震危险性更高。通过对主破裂区域的判断，可以有利于防灾减灾，降低地震对人类的威胁。

S63-P-4

GNSS 实时卫星钟差估计在地震监测中的应用

王浩浩[1*]，郝明[1]，庄文泉[1]

1 中国地震局第二监测中心

* wdh950925@163.com

为快速、有效地获取地震发生阶段震源周边地区站点的动态位移，为地震预警系统提供高可靠性的地表形变信息。利用全球导航卫星系统（GNSS）高频观测数据，基于非差估计法对多模 GNSS 卫星钟差进行实时估计及性能分析，并将其应用于精密单点定位（PPP）实时计算 2021 年漾濞 Mw 6.4 地震和玛多 Mw 7.4 地震的地面动态形变。结果表明：GNSS 四系统实时估计卫星钟差的标准差（STD）均值为 0.142 ns，其多系统组合 PPP 动态解的平均标准差在水平方向达到 0.5 cm，高程方向达到 1.0 cm，计算得到的地震动态位移波形相对 GPS 单系统更为稳定，而且能够获得较为准确的同震形变。

S63-P-5

日本 MW9.0 地震对首都圈地区地壳形变场的影响

马一方[1*]，杨艺林[2]

1 北京市地震局，京津冀地震预测研究中心

2 冰岛大学，北欧火山研究所

* csumyf2008@126.com

2011 年日本 Mw9.0 地震对我国华北地区地壳形变产生了显著影响。首都圈地处华北地区，是全国的政治、经济和文化中心，同时也是地壳运动强烈、地质环境复杂、强震多发的地区，因此，本文选取该区域 2006-2021 年的 GPS 连续运行基准站观测数据进行统一处理和分析，研究日本 Mw9.0 地震对该区域地壳形变场的影响，为首都圈地区的地震危险性判定提供支持。首先联合首都圈地区 54 个 GPS 连续站观测数据进行统一处理，并建立了部分测站的震后形变（PSD）改正模型，统一修正同震位移和震后形变等影响，获取了 GPS 测站坐标时间序列；然后，利用顾及周期信号的稳健估计方法以及 MELD 方法分别计算了首都圈区域速度场和应变率场；最后，分析了日本 Mw9.0 地震前后首都圈地区地壳形变场的时空演化特征，并探讨了该地震对首都圈地区地壳形变场的影响。研究结果表明：（1）日本 Mw9.0 地震对首都圈地区 GPS 测站震后趋势影响主要表现为东向运动增强，2014 年以来该现象均已恢复；（2）首都圈地区 GPS 测站水平方向同震位移以东向为主，且随着测站与震中距离的增大形变量逐渐减小，同震位移具有指向震源位置的特征；（3）相对于全球板块，首都圈地区地壳整体具有~3cm/a 近 SE 向运动特征，水平速度场不存在剧烈变化，北京平原区地面沉降较为严重；相对于欧亚板块，首都圈地区 GPS 测站仍主要表现为近 SE 方向的水平运动，幅值大小为 5mm 左右；日本 Mw9.0 地震对首都圈速度场影响不显著；（4）北京区域整体呈现 EW 向挤压、NS 向拉张特征，跨南口-孙河断裂带呈现出明显的应力梯度，黄庄-高丽营断裂两侧以永定河断裂为界应力梯度方向发生了反转，区域应变率场未出现显著的高值以及空间聚集性；今后研究中，需要收集更多 GPS 观测数据，提高测站空间分辨率，进行更为深入的首都圈区域应变率场研究；（5）日本 Mw9.0 地震对首都圈地区的应力状态影响已经明显减弱，首都圈地区存在地震活动增强的可能性。目前华北地区处于长时间的强震平静以及 5 级地震平静打破的形势，参考以往 5 级地震后 6 级地震发生的时间，本文认为尽管目前日本 Mw9.0 地震对首都圈地区应力状态影响已经基本结束，但是首都圈地区未来 1-3 年发生 6 级地震的紧迫性仍然不强。

S63-P-6

构造转换区强震间相互作用机制的数值模拟研究：以2008~2020年4次MS＞6.0于田地震为例

刘雷[1*]，李玉江[2]，季灵运[1]，徐晶[1]，朱良玉[1]

1 中国地震局第二监测中心

2 应急管理部国家自然灾害防治研究院

* liulei41325@163.com

2008年于田*M*s7.3地震后，阿尔金断裂带西南段的构造转换区内接连发生了2012年*M*s6.3、2014年*M*s7.3和2020年*M*s6.3等强震。在短短十年多的时间内同一构造区接连发生的4次强震是否存在力学上的关联性，以及这些强震的发生又会对构造区内断层产生什么样的影响？这些科学问题对于认识复杂构造转换区内强震间相互作用机制以及开展断裂带强震危险性分析具有重要意义。本文通过构建阿尔金断裂西南段及邻区三维黏弹性有限元模型，以强震同震滑动模型为约束，综合同震位错与震后黏弹性松弛效应的影响，研究4次强震间相互作用以及强震发生所引起的区域内断裂库仑应力变化，为开展区域地震危险性分析、尤其是潜在震源位置的判定提供力学参考。结果表明：（1）考虑同震和震后黏弹性松弛效应的共同作用，2008年于田地震造成2012年于田地震震源区库仑应力减小1.89×10^4 Pa，延迟了2012年于田地震的发生；2014年于田地震受前2次于田地震影响，震源区库仑应力增加了3.63×10^4 Pa，表明2008年和2012年2次于田地震共同触发了2014年于田地震的发生；受前3次地震的影响，2020年于田地震发生前震源区应力增加了1.04×10^4 Pa，说明前3次地震的发生对2020年于田地震同样具有触发作用。（2）2008年于田地震同震库仑应力变化和同震位移场分布的结果表明，阿尔金断裂西南段尾端张性区内发生的强震，会促进阿尔金断裂西南段区域内北东向的断层上左旋走滑型强震的提前发生，同时也会延迟尾端张性区内近南北向的断层上正断型强震的发生，该结果为认识同一构造区内复杂断层间的相互作用机制提供重要参考。（3）综合分析认为，阿尔金断裂和郭扎措断裂西段应力显著增加(＞1.0×10^5 Pa)，未来发生强震的可能性很高，需要重点关注，而龙木措断裂西段库仑应力增加也超过传统认识上地震触发的阈值，地震危险性也需要进一步关注。

S63-P-7

2021年玛多MW7.4 地震破裂带西段同震位移和弥散变形

邵延秀[1*]，刘静[1]，姚文倩[1]，高云鹏[1]，王文鑫[1]，韩龙飞[1]

1 天津大学，地球系统科学学院

* shaoyx@tju.edu.cn

详细准确的地表破裂几何图像是探索大地震破裂机制和合理评估地震危险性的基础数据。2021年在青藏高原北部玛多境内发生Mw7.4级地震，该地震破裂了江错断裂带的东南段。本研究基于高分辨率地形数据，获得了详细的地表破裂图像和丰富的同震位移数据。结果表明，西段地表破裂段包括多个复杂几何结构，如阶区和弯曲等，并在震中西约45公里处的拉张侧发生了破裂分支。根据分支角度和破裂速度，这种分支现象取决于区域应力状态。沿破裂带的水平同震位移分布在0~3.6m不等，破裂带的走向似乎控制同震位移分布特征。另外，少有的长线性断错标志为精确厘定同震总位移和弥散变形提供了难得的机会，采用穿过破裂带的草场围栏、车轮印和电线杆，我们厘定玛多地震地表破裂西段弥散变形约占60%。

S63-P-8S

尼泊尔地震空区断层相互作用及对区域地震活动性的影响

张航[1]，陈建全[1]，柳畅[1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* changliuu@tongji.edu.cn

作为印度板块和欧亚板块的俯冲碰撞边界，青藏高原南缘的喜马拉雅构造带上强震频发。2015 年 4 月 25 日，尼泊尔境内的 MHT 断层上发生了 Mw7.8 级强烈地震，造成了重大的人员伤亡和社会经济损失。2015 年尼泊尔地震未能完全破裂到地表，在 MHT 上，2015 年尼泊尔地震破裂的南部，以及 2015 年地震破裂西侧和 1505 年地震破裂之间的区域共同形成了一个长达 200km 的“L 状”地震空区。地震的发生会影响周边区域的应力场变化和地震活动性。目前有关历史地震对该区域产生的综合应力水平还不得而知，该区域未来的地震危险性值得我们高度关注。本研究通过建立区域三维分层结构的粘弹性岩石圈模型，综合考虑 MHT 几何形态的变化，定量地计算了青藏高原南缘尼泊尔“L 状”地震空区附近 5 次历史地震引起的地震空区上的库伦应力变化，并探讨不同的模型参数对于计算结果的影响。在此基础上综合评估该区域的断层相互作用，及其对区域地震活动性的影响。我们的研究发现，尼泊尔“L 状”地震空区基本上处于历史地震引起的应力加载区域，历史地震显著增强了地震空区南部和西部的库伦应力，并促进了应力积累更多地向 MHT 浅层的闭锁耦合部分转移。地震空区南部浅层部分和西部的 ΔCFS 增加分别可达 286kPa 和 83kPa，相当于约 57 年和 16 年的构造应力加载。青藏高原南缘喜马拉雅构造带的断层相互作用对尼泊尔地震空区施加了应力加载，该区域未来的地震危险性将增加。

S63-P-9

鲜水河-安宁河-龙门山断层系统的强震活动与未来危险性分析

陈建全[1]，柳畅[1*]，张航[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* changliuu@tongji.edu.cn

鲜水河-安宁河-龙门山“Y”型断层系统是由南东向的鲜水河断裂带、北东向的龙门山断裂带和南北向的安宁河断裂带在青藏高原东南缘相交而成的强活动性断裂系。该断层系统总长度超过 1000 公里，长期处于印度板块与欧亚板块之间的碰撞挤压中，构造运动活跃、地震频发。在过去的 100 年中，在此区域被记录下 2547 次 M3.0 以上的地震，其中 M6.0 级以上强震 57 次，最近的两次强震分别为 2014 年 6.3 级康定地震和 2022 年 6.8 级泸定地震，表明该区域目前仍处于地震活跃期。因此探究周围的历史地震对这两次地震的触发机理，以及评估安宁河断层上北段地震空区在 2022 年泸定地震发生后的未来危险性十分重要。本研究收集了 23 次历史地震的震源机制解和周围活动断层几何参数，计算了近 300 年来该断层系统周围 M6.0 以上历史大地震在近场和周围断层造成的库仑破裂应力变化.研究结果表明，历史地震对康定地震和泸定地震分别造成-378kpa 和-387kpa 的库伦应力，根据此地的构造应力加载速率 4.06KPa/yr，相当于分别延迟了这两个地震 93 年和 95 年发生。而在安宁河地震空区紫马垮以北的区域，最大累积的库伦应力 600Kpa，未来在此区域发生强震的可能性较大。此外，本研究还发现，历史地震在大凉山断裂带北段造成 180Kpa 的应力影区，这解释了该区域的地震活动记录较为稀少的现象，但南段未收到此断层系统上历史地震的抑制，且大凉山构造加载较快（1.29KPa/yr），因此该区域未来的强震危险性需要密切关注。

S63-P-10

巴颜喀拉块体边界现今强震活动特征分析

李宁[1*]，蒋锋云[1]，刘艳慧[1]，张晨[1]

1 中国地震局第二监测中心

* Lee_eq@163.com

巴颜喀拉块体位于青藏高原主体地区的北部，是青藏高原地壳运动方向转变的枢纽地区之一，块体北边界的东昆仑断裂带以左旋走滑运动为主、南边界自东向西分布的鲜水河断裂、甘孜—玉树断裂和玛尔盖茶卡断裂均以左旋走滑运动为主，东边界的龙门山断裂带以逆冲挤压作用为主，西边界的阿尔金断裂带西南段则主要表现为走滑拉张性质。该块体以北的青藏高原东北缘地区普遍存在着强烈的挤压隆升作用，块体以南地区则主要表现为东向挤出。这种地壳形变方式使得巴颜喀拉块体周缘断裂带活动尤为强烈。自上世纪九十年代中期起，巴颜喀拉块体一直是我国大陆强震发生的主体地区，先后发生了 1997 年 11 月 8 日玛尼 M7.5 地震、2001 年 11 月 14 日昆仑山口 M8.1 地震、2008 年 3 月 21 日于田 M7.3 地震、2008 年 5 月 12 日汶川 M8.0 地震、2010 年 4 月 14 日玉树 M7.1 地震、2013 年 4 月 20 日芦山 M7.0 地震、2014 年 2 月 12 日于田 M7.3 地震、2017 年 8 月 8 日九寨沟 M7.0 地震。

研究首先基于巴颜喀拉块体边界大地震序列，运用多弹簧滑块系统理论分析未来各边界断裂发生强震的可能时间。然后基于 1991-2016 年中国大陆 GPS 水平速度场数据，采用均匀弹性块体模型计算了巴颜喀拉块体各边界断裂带的长期活动特征，并以此作为参考背景，计算了 1999-2007、2009-2013、2013-2015、2015-2017、2017-2020 年各边界断裂带的活动性质及时空演化特征，同时结合 1995 年以来发生在各边界断裂带上的 M7.0 以上地震震源机制解综合分析强震活动与块体运动的关系。此外，研究还基于 InSAR 资料和小震数据，计算了巴颜喀拉块体边界的东昆仑断裂和风火山—甘孜—玉树—鲜水河断裂的能量累积率。综合上述研究结果发现，1995 年以来发生在块体各边界的 M7.0 以上地震震源机制与块体边界的运动特征一致，这一系列地震可能是由巴颜喀拉块体向东—南东向运动增强所致，结合块体边界大震序列、块体相对运动及能量累计率等结果，认为未来十年，甘孜—玉树断裂、龙门山断裂南段、东昆仑断裂带东段存在发生 M7.0 以上地震的可能。

S63-P-11S

青藏高原北部断层形变与地震群集活动关联研究

李媛[1*]，刘峡[1]，万永魁[1]，刘希康[1]

1 中国地震局第一监测中心

* lilyuaner@126.com

青藏高原北部地区地震活动频繁，6 级以上强震多发在走向弯曲等具有一定的特殊性的断层分段上。本文建立了三维黏弹性有限元模型，利用 GPS 速度场为边界约束，计算了青藏高原北部主要活动断层的长时间尺度的运动和应力演化；探讨了几何弯曲部位断层的运动和应力特征与断层形态可能的关系及强震活跃区段的动力学背景。结果显示，强震活跃区域具有较高的应力积累背景；断层弯曲部位对地震活动起了一定的控制作用,断层走向弯曲的存在使得断层的滑动速率及断层应力场积累呈现高度非均匀性分布，对断层运动有明显的阻碍作用，对断层应力集中有显著促进，有助于地震的孕育和发生；特殊的构造部位导致了断层分段之间应力积累的差异性和运动的不协调，是大震或中强地震聚集发生在弯曲部位的重要动力学因素，这些部位为潜在的强震孕育区，在地震预测预报研究中，需对此重点关注。

S63-P-12

对圣安德烈斯断层 PARKFIELD 附近低频地震的震源性质研究

黄晖 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* oldyellow9451@163.com

关于何种断层活动过程造成了慢地震现象的争论一直在持续。慢地震现象包括了小尺度的低频地震（破裂时间T：零点几秒）以及大尺度的慢滑移事件（T：数天至数个月），目前尚不清楚低频地震和慢滑移是否对应同一种过程或者两种不同的过程。针对此问题我们研究了圣安德烈斯断层 Pakfield 附近低频地震的破裂时间-地震矩尺度关系。我们更完备地检测不同尺度的低频地震事件，并且可靠地确定了它们的破裂时间。我们的结果显示，低频地震的破裂时间（0.1-0.6 s）和震源谱在同一个位置发生变化，这表明了低频地震的低频成分来自于震源过程，而不是路径效应。低频地震的振幅和震源谱变化符合线性的地震矩-破裂时间关系，与慢滑移事件相同。这支持了小尺度的低频地震与大尺度的慢滑移事件属于同一种断层活动，且该断层活动需要满足断层尺度越小，平均滑动越快的特点，这为后续探寻慢地震背后真正的断层活动提供了新的观测约束。

S63-P-13

2008 年汶川地震和 2015 年尼泊尔地震的同震地表变形的差异及其成因：有限元数值模拟

胡才博 [1,2*]，史鸣谦 [1,2]，陈宇航 [1,2]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

2 中国科学院，计算地球动力学重点实验室

* hucb@ucas.ac.cn

青藏高原及其周缘是大地震频发的重点研究区域。2008 年汶川大地震和 2015 年尼泊尔地震分别发生在青藏高原的东缘龙门山断裂带和主喜马拉雅逆冲断裂带，分别属于板内地震和板间地震。两个地震的震级相似，都以逆冲运动为主，同时也具有少许走滑分量。然而，其地表同震变形却有较大的差异。因此，人们十分关注这些地震的地表同震变形的差异及其控制因素。本研究利用三维弹性并行有限元模型，以 InSAR、GPS 大地测量数据、高精度地震层析成像和深地震反射剖面资料为约束，定量研究发震断层是否出露地表、发震断层的倾角差异和发震两侧的介质差异这三个因素对地表同震变形的影响，分析 2008 年汶川大地震和 2015 年尼泊尔地震的地表同震变形差异的动力学机制。研究结果表明，发震断层是否出露地表直接决定了地表同震变形的特征，尤其是最大地表同震变形的位置有很大的不同。同时，发震断层两侧的介质差异对地表同震变形量的分配也有较大影响，地震层析成像和深地震反射剖面资料所反映的介质横向不均匀性不可忽略。三维弹性并行有限元模型可以很好地反映发震断层的几何差异和介质差异对 2008 年汶川大地震和 2015 年尼泊尔地震的地表同震变形的贡献。本研究得到了国家自然基金项目（42074117）和中央高校基本科研业务费专项资金的资助。

S63-P-14

龙门山断裂带大邑地震空区地应力状态与地震危险性

李兵 [1*]，谢富仁 [1]，郭启良 [1]，徐锡伟 [1,2]

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院

2 中国地质大学北京

* mycoon@139.com

龙门山断裂带大邑地震空区位于 2008 年汶川地震破裂和 2013 年芦山地震破裂之间，长约 40~60km。迄今为止，大邑地震空区近期是否具备发生强震危险性仍存在激烈的争论。地震空区能否发生强震与是否存在高应力积累密切相关，最直接的方法是进行钻孔地应力测量。为查明现今应力状态，在大川镇大川-双石断裂上、下盘分别开展了钻孔应力测量，结果表明大邑地震空区大川-双石断裂上、下盘均处于高应力状态，结合地震活动性参数 b 值、地壳速度结构、GPS 形变监测资料和温度数据等可知，近地表浅部应力与深部应力值具有正相关耦合关系，建立了浅部应力对深部闭锁的响应模型，推测大邑地震空区具有发生强震的潜在危险性。这一研究结果不仅深化了应力与地震孕育发生关系的认识，还为其它地区活动断层地震空区的地震危险性识别提供了一种有效的科学方法。

S63-P-15

近断层地应力状态与断层发震能力评估

李兵 [1*]

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院

* mycoon@139.com

基于浅部应力状态评估活动断层发震能力对解决地震预报科学难题与防震减灾具有重要意义。然而，由于缺少足够的震前地应力测量数据，尚不能评估断层的发震能力，这制约了基于地应力状态评估活动断层地震危险性方法的应用范围。在这里，我们报道了一种新方法用于评估活动断层发震能力，并在 2022 年芦山 Ms6.1 地震前进行了较为准确的评估（芦山 Ms6.1 地震矩震级为 5.9，新方法得到的矩震级为 6.4）。本方法参考了应力降-震级公式的形式，结合汶川地震前地应力测量资料，构建了新的应力状态-震级方程，并结合多个地区的地应力测量资料和历史地震目录，验证了新方法的可行性。新的应力状态-震级方程可以进一步弥补传统方法在评估断层发震能力方面的不足，这对现有方法适用领域的拓展具有重要意义。

S63-P-16S

基于 GNSS 和 INSAR 数据约束的 2021 年青海玛多 Mw7.4 地震同震滑移分布特征研究

肖奎霖 [1,2]，邱强 [1,2*]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国-巴基斯坦地球科学研究中心，中国科学院-巴基斯坦高等教育委员会

* qiu.qiang@scsio.ac.cn

北京时间 2021 年 5 月 22 日 02 时 04 分，中国青海省果洛州玛多县发生了 M_w7.4 级地震，发震断层为青藏高原中部巴颜喀拉块体内部的昆仑山口－江错断裂。玛多地震是近 70 年来唯一发生在巴颜喀尔地块内的 7 级地震，也是自 2008 年震级 M_w7.9 汶川地震以来中国境内发生的震级最大的地震。研究玛多地震的滑移分布特征可以帮助我们更好地理解该断层大地震的发震机制，对该区域相邻断层系统的应力加载影响提供量化的认识，并对该区域将来可能爆发的地震灾害提供科学性指导意义，最后为防灾减灾策略提供基础科学数据支撑。本研究联合地质构造信息和全球地震矩张量计划（GCMT）的震源参数构建断层几何模型，融合全球导航卫星系统（GNSS）和合成孔径雷达干涉测量（InSAR）的地表三维同震形变观测数据联合反演断层的同震滑移分布。通常情况下，反演存在多解性与解析度问题，往往导致模型过度拟合观测数据或着过度光滑而无法解析细致的滑移分布特征，或者出现滑移假象，进而带来结果解译的偏差。

针对该问题，本文充分利用该地震区域丰富的 GNSS 和 InSAR 数据，采用半空间弹性位错理论，并引入离散断层单元的优化方法去平衡解析度和数据拟合，最终实现滑移分布的优化。滑移分布的初步反演结果显示，断层西段和断层东段比断层中部的滑动更为显著，且滑动量超过 5m 的滑移主要集中断层东段深度为 4-8km 的区域。这种复杂性的分段式滑移分布模式和震间应力加载的关系，以及断层上摩擦系数分布的相关性，值得深入研究。此外，玛多地震大范围的破裂，给大范围区域造成了应力扰动，尤其是作用于该区域相邻断层系统上的同震静态应力加载和随时间变化的震后应力加载，对研究将来该区域可能爆发的强震和大震至关重要，亟需长期连续性观测和系统性研究。

S64-O-1

深海开发地质环境观测关键技术与装备

贾永刚 [1*]

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* yonggang@ouc.edu.cn

随着国家海洋强国战略的实施，深海开发过程中的海底工程地质环境安全保障意义重大。研制了深海沉积物强度原位观测、深海地质灾害与环境原位长期观测装备，开展了南海水合物试采区 1500m 深海底连续 12 个月的原位长期观测，获取了西太平洋多金属结核矿区 5500m 海底以下 130cm 沉积物力学强度、变形特征及原状沉积物样品，实现了深海水合物试采区、大洋多金属结核矿区地质环境保护与灾害预测及机理分析。有效支撑了国家海洋资源开发、深海探索活动及地质灾害防控与地质环境保护，取得了系列研究成果。

S64-O-2

南海北部神狐海域海底峡谷群的地貌-沉积空间差异性分析

苏明 [1,2,3*]，林智轩 [1,3]，卓海腾 [1,3]，陈慧 [1,3]，刘姗 [1,3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 广东省海洋资源与海岸工程重点实验室

* suming3@sysu.edu.cn

海底峡谷体系是大陆边缘重要的海底地貌单元之一，内部充填沉积的砂体能作为深水油气资源的重要储层之一。因此，深入理解海底峡谷体系的发育演化机制及其控制因素，对于揭示深水沉积模式及油气勘探工作具有一定的参考价值。目前的相关研究主要聚焦于单个峡谷体系的沉积演化模式，但是由于峡谷群具有复杂的地貌-沉积体系，单峡谷演化模式并不能完全适用于多峡谷体系。因此，本次研究以南海北部神狐海域海底峡谷群作为对象，对峡谷群体系内地貌几何形态和内部充填结构进行了精细刻画及描述，探讨各外在因素对峡谷群发育演化过程的控制作用，进而揭示导致峡谷群存在地貌空间差异的主导因素。研究结果表明：

（1）神狐海域陆坡峡谷群具有明显的东西地貌差异，并可以被划分为西部（C1-C9）和东部（C10-C17）峡谷群。根据头部平面形态、峡谷走向及其周围地貌特征的对比分析，将峡谷群进一步细分为 5 种主要类型（I-V类）。

（2）神狐海域峡谷群体系具有明显的南北分段特征，从北至南划分为峡谷头部-上游段、中游段、下游及末端嘴部四个主要区段。峡谷内部充填特征主要受控于轴向重力流与沉积失稳滑塌/滑移的交互沉积作用。在不同区段之间，峡谷内部充填特征表现出不同的沉积微相组合样式和结构特征，指示着各区段的侵蚀-沉积过程存在明显差异。峡谷头部-上游段以重力流侵蚀作用为主，

其内部未出现明显的沉积充填特征；峡谷中游段的内部沉积特征以峡谷轴向重力流沉积作用为主，侧向沉积失稳滑塌为辅；在峡谷下游至末端嘴部分段，内部充填的轴向重流沉积占比相对减少，而侧向失稳滑塌/滑移作用显著增加。

（3）在 1.2-0.4 Ma 期间，由于西北侧三角洲的持续向南进积作用改变了东西陆坡区的沉积物供给条件。不同的陆架边缘沉积物供给条件主导了峡谷群体系在东西方向上产生差异化的地貌-沉积演化过程。在该阶段中，前积三角洲的发育增强西部陆坡区的沉积物供给条件，西部峡谷群会受到重力流的强烈侵蚀下切作用，加速峡谷向北延伸过程，并构成相对复杂的“上坡向”转化为“下坡向”峡谷演化过程。相比之下，东部陆坡区由于一直保持较弱的三角洲沉积物供给环境，所以第四纪以来东侧峡谷群以溯源侵蚀为主的“上坡向”头部延伸过程

S64-O-3

基于 MEMS 传感网络的海底地形及浅地层形变原位监测技术

葛勇强[1]，葛晗[1*]，陈家旺[1]

1 浙江大学

* gehan@zju.edu.cn

天然气水合物是天然气与水在高压、低温、气通量充足的条件下形成的笼型结晶化合物。由于在常温常压下遇火可燃，俗称“可燃冰”。海底天然气水合物丘是海底天然气水合物发育区或天然气渗漏区常见的微地貌，其形状与永久冻土区的丘状体相似，所以也被称为海底水合物丘。海底水合物丘对海底微渗漏、海底浅层水合物、碳氢化合物储层和海底不稳定具有重要的指示作用。活跃的水合物丘呈圆形或椭圆形，周围伴有甲烷渗漏（海底冷泉）和丰富的生态群落；非活跃的水合物丘则呈粗糙或不均匀的不规则形状，而且地层内流体迁移通道中流体通量较低。温度升高或压力降低都有可能使天然气水合物失稳而分解产生大量的气体和水，导致地层液化，使得沉积物强度降低，可能导致海底滑塌和不稳定，甚至在滑坡区域发生大规模灾害。

现有的海洋测绘设备（多波束测深仪、侧扫声纳等）的观测时间短、观测周期长且空间分辨率低，一般需要搭载在科研船、遥控无人潜水器或自主式水下潜器上，难以实现海底地形形变的长期原位监测。伺服加速度计系统和压力传感器能够测量海床稳定性和海床下沉或隆起。无论是伺服加速度计系统还是压力传感器，测量区域均有限，只能实现单点测量。海底观测站可以对水合物试采区的环境进行原位监测，但通常固定在海床上，机动性差、成本高、部署困难。与传统传感器相比，微机电系统（micro-electro-mechanical system, MEMS）传感器具有体积小、重量轻、功耗低、成本低、易于智能化和数字化等优点. MEMS 传感器相关的形变监测技术逐渐被引入地质形变测量领域.

借鉴 MEMS 倾斜仪和 MEMS 加速度计在山地滑坡监测领域的成功应用，根据海底水合物丘区域水深压力大、范围广、地形变化缓慢等特点，本文提出了基于 MEMS 传感网络的海底水合物丘区域地形及浅地层形变原位监测系统及装置。所提出的监测系统包括多条水平阵列和垂直阵列，可以同时监测海底地形及浅地层形变，解决了 MEMS 传感网络中多节点传感器的数据同步采集和存储问题。此外，柔性的监测缆可以实现海底表面大面积的布放，而且与海底沉积物具有良好的变形耦合性。所提出的 MEMS 传感网络在浙江舟山近海潮滩、中国南海神狐海域水合物试采区以及南海琼东南海底渗漏区开展了多次成功应用，验证了监测系统的监测能力和可靠性。

S64-O-4

近海海底沙丘场的演化、相互作用及其环境意义

马小川 [1*]

1 中国科学院海洋研究所，中科院海洋地质与环境重点实验室

* mxch@qdio.ac.cn

沙丘场由不同比例的沙丘组成，可以反映外部环境条件包括风成环境和水下环境，然而对沙丘场相遇时的相互作用我们仍知之甚少。基于观测数据，我们对北部湾西南近岸区域发现的受陆架潮汐系统（以往复潮流为主）控制的海底沙丘发育区进行研究，并探讨近岸海底沙丘的场域演化和相互作用。我们通过分析边界附近相邻沙丘场内沙丘的相对关系，确定了六种沙丘场相互作用模式，发现这些模式与净输沙强度和沙供应的差异特征有关。研究发现，在区域沉积物净输运规律的控制下，向沙丘场边界的方向沙丘会变得更陡、更对称。区域净推移质物质运移决定了相临沙丘场中沙丘的汇聚迁移，并形成了沙丘场边界上具有线性、对称和陡峭形状的沙丘。从 2014 年到 2016 年，沙丘场边界附近的沙丘有向沙丘场内部迁移的趋势，这一趋势削弱了这些沙丘自身的不对称程度或扭转了其不对称特征。这一变化特征反映了沙丘场边界附近海底沙丘长期累积的相对平衡的物质输运状态（形成对称沙丘剖面）和近期物质输运的不一致，也可能意味着，2014-2016 年期间研究区区域潮流场及其相关的沉积物净输运特征发生了系统的、微小的变化。这些结果表明，在双向流系统下，场边界附近的沙丘行为能够反映海底沙丘场-场的相互作用并揭示相关细微的环境变化。这一发现可以为具有双向流（风或水）系统的行星的表面过程提供了新的见解。

S64-O-5

高分辨率水深数据揭示了海底峡谷内部沉积物输送通道的细节

曾凡长 [1,4]，王大伟 [1,2,3*]，孙悦 [1,2]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 中国科学院大学

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

4 中山大学，地球科学与工程学院

* wangdawei@idsse.ac.cn

海底峡谷作为沉积物输运通道，广泛分布于大陆和岛礁边缘。然而，海底峡谷内的海底冲沟并没有引起太多关注。这项工作侧重于海底冲沟在物质运输中的作用及其对峡谷演化的影响。高分辨率测深数据揭示了琼东南盆地陆坡区 C18 峡谷中 223 公里长的排水网络。与河流网络相似，在排水网络中分析了不同等级支流的形态特征。结果表明，海底冲沟占 96%以上，其余为峡谷分支和水道。其他地貌细节，如小型海底滑坡和周期阶坎，表明峡谷内重力流活动频繁。这一观察结果证明，重力流是海底冲沟形成的主要因素，并控制了海底峡谷的早期形态。这项研究强调了海底冲沟在深水沉积过程和大陆边缘地貌演化中的重要作用。

S64-O-6

海底浊流演化过程及其冲击管线的大涡模拟

郭兴森 [1*]

1 伦敦大学学院，土木与环境系

* xingsen.guo@yeah.net

本研究采用大涡模拟（LES）与密度传输方程相结合的方法模拟了高密度浊流的运动演化过程及其与平行悬空管道的相互作用，该方法已通过非 Boussinesq 的突然释放型浊流试验验证，模拟与试验结果具有良好的一致性。模拟结果表明，高密度和低密度流体间形成了剪切区，每种流体都朝着相反方向移动，这导致了一系列涡流和大量混合区产生。近底边界的低密度流体在高密度浊流头部附近被夹带，形成一层水膜，将浊

流头部与海床分开，即所谓的滑水效应，从而降低了浊流头部的密度和底部摩擦。另外，结果表明，过去忽视密度混合影响的相关研究可能低估了滑水现象出现的可能性和风险，本研究提供了新的见解和证据来支持浊流具有更强的灾难效应。此外，本研究还对浊流冲击具有不同间距的平行悬空管道进行了 LES 模拟并量化了其冲击力。结果显示，流体绕过管道 1 产生的湍流尾迹加强了密度传输和速度变化，并导致管道 2 上的冲击力随着管道间距的增加而增强，管道间距达到 8D 后逐渐减弱并稳定。值得注意的是，当管道间距超过 2D 时，管道 2 上的拖曳力和升力似乎会振荡，这表明两条管道的间距应小于 2D，以最大限度地减少管道 2 上的水动力荷载。

S64-O-7

CFD 视角下底坡对海底浊流沉积构造的控制

黄河清 [1*]

1 安徽工业大学，环境流体研究所

* heqing@ahut.edu.cn

海底浊流沉积构造形成机制的解析对与之相关的油气资源的勘探开发有着重要的意义。鉴于底坡坡度是密度差之外的浊流的重要驱动力，其必然对浊流的流动及沉积构造的形成起着重要的作用。本研究使用一经多项经典浊流实验数据验证的包含了可跟踪底部由于颗粒物的沉积、卷吸及推移质搬运等所带来的变动的 CFD 模型，模拟含多粒径颗粒物的浊流通过8种不同底坡坡折渠道的多次流动与沉积，结果表明坡度控制着海底浊流如下三种不同的沉积构造的的形成：1）小坡度时的沿下游方向厚度及粒径渐减小的沉积构造（downstream normal grading）；2）中等坡度（2～3°）时的向上游迁移的循环台阶构造（upstream migrating cyclic steps）；3）在中等坡度及更大的坡折处形成一向上游迁移的内部具类似鲍玛沉积序列的隆起（rise at slope break with internal rhythmic bedding similar to Bouma sequence）。向上游逆行的循环台阶（cyclic steps ）被发现广泛存在与大陆架、坡、隆起处的海底峡谷中渠道内及堤坝上的浊流沉积中以及河流沉积中，关于其逆行机制有内潮汐（internal tide currents）、反沙丘（antidunes）、激流水跃的长波特性（long-wave features bounded by hydraulic jumps）等，但其引发机制和形成条件尚未被阐明。通过解析在不同时间段由推移质搬运、沉降或卷吸及不同粒径的颗粒物对总底床高度变化的贡献表明：循环台阶的形成条件为分选差的浊流在接近所含颗粒物临界启动的底坡上的流动，其在初始平滑渠道上的形成及迁移机理为：1）推移质搬运在近入口处及坡折处形成微小波动并分别向下、上游传播；2）波动造成粗沉积物沉积在波谷内，形成一种粗、细颗粒间隔排列的初期波状地形；3）进一步由差异沉积形成向上游迁移的循环台阶。本研究首次通过 CFD 数值模拟系统呈现了坡度对浊流流动及其沉积构造形成的控制作用和揭示了浊流逆行台阶的形成机理，其中坡道转换处的隆起可能是部分被动大陆边缘的陆隆的成因，对于我们预测现代浊流事件会带来的地形的演变或由浊流沉积构造反演其古代形成条件，在地理学、海洋地质学、地形学、地层学及海底油气的勘探开发方面都会有一定的参考价值。

S64-O-8

深海滑坡灾害的物质点法模拟

董友扣 [1*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* dongyk@cug.edu.cn

深海滑坡可以沿着斜坡搬运大量沉积物，是危害最大的海洋地质灾害之一。评估深海滑坡的流滑机制并量化分析其对海底结构物的冲击对工业生产至关重要。采用物

质点法对滑坡的滑动特性进行了总应力分析。设计了三组不同的土体、海床参数，展现了三种不同的滑动形态：延展、块体和扩张。随后复现了流滑体对部分暴露管线的冲击过程，并对冲击力的稳定值进行了分析，分析中考虑了流滑体的惯性、抗剪强度和静压力的影响。

S64-O-9

海底峡谷群复杂地形下浊流运动沉积过程动力学特性研究

陆杨[1]，刘晓磊[1*]，王大伟[2]

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* xiaolei@ouc.edu.cn

深切入陆架或陆坡的海底峡谷是一种典型灾害地貌，也是沉积物以浊流形式向深海搬运的主要通道。其中，陆坡限制型峡谷（又称盲谷或无头谷）中的浊流输运过程由于缺乏现场观测资料尚不清楚，相关研究依赖于传统地球物理和地质调查手段。本研究选定位于南海珠江口盆地的 17-19 条陆坡限制型海底峡谷为研究区，通过地球物理和沉积物柱状样测试结果，评估并分析了历史和当前浊流事件的发生发展过程。进一步，基于经过验证的多相流计算流体动力学（CFD）模型模拟了浊流在陆坡限制型峡谷群中的运动和沉积过程，分析了浊流触发位置、运动速度及沉积物浓度等参数对其输运过程的影响。另外，区别于以往数值模拟研究中仅考虑单一峡谷中的浊流运动，本研究从浊流运动特性、沉积物展布范围及优势沉积位置等方面重点探讨了海底浊流事件对真实峡谷群地形的运动和沉积响应。由于陆坡限制型峡谷的数量在世界范围内的海底峡谷中占据主导地位，因此，这项研究对于理解沉积物由陆向海的源汇过程具有重要意义，并可为海底陆坡区域的油气资源开发等工程活动提供理论指导。

S64-O-10

海底滑坡运移特征的多相流数值模拟研究

马林伟[1*]，吴时国[2]，马本俊[1]，王大伟[2]，孙金[2]

1 哈尔滨工程大学，哈尔滨工程大学青岛创新发展基地

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* mlw1209@163.com

海底滑坡是海洋沉积物失稳-搬运-沉积物质循环系统重要组成部分，滑体失稳搬运对沿途军用、民用设施产生冲击、错断、掩埋等危害，其运移过程中水-土耦合动力特征是评估海底地质灾害规模和强度是主要指标，也是地球系统科学不可或缺的科学命题。

目前，海底滑坡的识别、分类、力学机制的研究已经取得丰硕成果，表明海底滑坡特征是由海底沉积物岩土特性、内外荷载诱因决定了破坏机理，而近海底流场-地形特征对海底滑坡运移特征有一定的制约，但缺少以大尺度三维模型和近场流场流速结构设置的流固耦合计算对滑坡灾害运移过程的定量化研究。而海底滑坡失稳后的滑移运动特征的流固耦合数值模拟是定量化研究该过程的重要手段，前人的研究一般未考虑三维地形特征、近底流场和沉积物不同块体和粒径等参数对海底滑坡运移特征的影响。

鉴于此，我们对琼东南北部的宝岛油井场 40 km^2 的区域进行整体建模，通过稳定性分析结果的失稳空间参数建立滑坡体的堆积体，以多相流的颗粒分析，进行不同颗粒粒径的沉积相的运动特征和流场、流线分析，期望还原滑坡失稳后沉积物运移特征，包括厘清该过程中运移的速度、冲击力、搬运距离、沉积堆积形态的影响因素。流固耦合计算结果初步结果证实了地形特征、流场、

沉积物多相流各相设置参数特征对滑体搬运的路由、各相与海水的相对速度变化和沉降特征影响规律。

S64-O-11

海底滑坡触发海啸的致灾机理研究

戴自立[1*]，李小锋[1]，蓝柏森[1]

1 上海大学，力学与工程科学学院

* zilidai@shu.edu.cn

海底滑坡作为一种常见的海洋地质灾害，其运移过程可能扰动周围水体进而引发大规模海啸，从而严重威胁陆地海岸带和离岸设施的安全。因此，开展海底滑坡引发海啸的形成机理研究具有重要的理论和现实意义。本研究设计开发了一套模拟海底滑坡运动堆积过程的水槽模型试验系统，再现了海底滑坡运动诱发海啸的致灾过程，分析了海啸波的波长、波高、频率、波速等与滑坡体积、运动速度、水深之间的内在联系。此外，本研究基于光滑粒子流体动力学方法（SPH），建立了模拟海底滑坡运动过程的多相流数值模型，通过与模型试验结果对比，验证了 SPH 模型的准确性和适用性。最后，利用建立的 SPH 数值模型，分析了南海白云滑坡的三维运动特征及其触发海啸的致灾过程。

S64-O-12

采矿车辆部署和回收过程对多金属结核区底部附近环境影响的模拟

李博闻[1*]

1 中国石油大学（华东），海洋与空间信息学院

* 20200111@upc.edu.cn

实验室模拟实验的数据不足以解决海底采矿车采矿过程引起的海底沉积物扰动问题及其对水环境的影响。本研究采用三脚架模拟海底采矿车展开与回收过程，分析在此过程中悬浮泥沙在水体中的变化及其影响。研究发现，西太平洋海床上方 5700 米处也存在潮流方向的变化现象，但这种现象并不涉及涨憩与落憩。海浪或海流对多金属结核区海底沉积物的侵蚀和再悬浮量远远低于模拟采矿车调配和填海过程中的侵蚀和再悬浮量。同时，底部沉积物的再悬浮导致了密度异常和盐度的增加。

S64-P-1

西沙宣德台地周缘多期次海底滑坡分布规律及演化特征

伊善堂[1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* 1010550631@qq.com

基于高精度多波束水深地形及地震数据识别，发现西沙宣德台地周缘广泛发育重力流通道并伴有多期次海底滑坡形成，台地斜坡纵向侵蚀冲刷槽和环礁周缘水道是重力流物质输运的主要载体，重力流的发生对海底滑坡的刻画和改造具有重要贡献。宣德环礁北侧、西侧和南侧斜坡均可见台地斜坡早期滑塌堆积物，且北侧早期滑塌体上覆盖新海底滑坡体，并由深至浅呈逆状发育。

根据滑坡发育形态，环礁周缘各沉积物可分为上部陡峭体、中部滑移体、底部挤压体 3 种。堆积体上均有重力流发育，南侧可见多条潮汐水道，西侧以水道和多期次生小型滑坡为主，北侧重力流类型较丰富，既有大型多期次滑坡和逆向滑坡，还发育有弯曲水道，东侧斜坡坡脚没有明显的沉积物堆积体。

地震相特征显示，晚中新世时期（T_3-T_2），台地周缘海底滑坡开始大规模发育，沉积物搬运形式以重力流为主，该时期沉积

物块体能力大、搬运距离远、沉积厚度大；上新世时期（T_2-T_1），沉积物搬运由重力流主导转变为碎屑流为主，侵蚀能力减弱，偶见滑塌事件发生，此时，碳酸盐台地的纵向生长加快，形成了台地边缘滑坡；第四纪时期（T_1 以上），随着碳酸盐快速加积，重力流的物源供给充足，滑塌体发育重新活跃，重力流沉积中发现了后期下切作用充填的水道。宣德台地周缘多期次滑塌体发育揭示了台地内部发育的不稳定性特征及分布，对于岛礁开发、保护利用具有非常重要的指导意义。

S64-P-2

基于垂直剖面观测系统的海洋立体观测技术研究

董一飞[1,2]，梁前勇[1,2*]，张志峰[3]，吴学敏[1,2]，张锋[3]，郭斌斌[1,2]，王智刚[1,2]，苏丹仪[1,2]，倪晶晶[3]，吴晓钰[1,2]，贺会策[1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

3 中天海洋系统有限公司

* tomlqy@163.com

我国两轮海域天然气水合物试采环境监测结果证明了短期试采对海洋环境没有影响，但未来产业化开发对环境影响的评估，需要监测范围更广、监测时间更长的环境立体监测体系来支撑。本文针对天然气水合物开采过程的环境监测，研制了由海气交换通量监测及内波预警浮标、水下中继潜标、电能/通信传输光电复合缆、海底接驳观测系统以及云端可视化预警平台等组成的浮标海床基一体化环境监测系统，开展了海洋动态立体系留、多源信息融合交互、声/电冗余互补立体通讯等关键技术研究，重点提出了一种新的 S 型水下动态系泊结构设计方法，并利用仿真软件对系统建模进行了水动力响应分析。该系统实现了对海气界面、海水剖面、海床的海洋动力及化学环境变化情况的实时立体监测，是组建天然气水合物开采区域多点位、多阵列环境监测网的关键节点设备，2019 年 12 月布放于南海水深 1362m 水深处，附近海域坡度 2°，成功完成了海试。

S64-P-3S

结合深度学习的海底麻坑的自动识别及边界检测

刘志豪[1,2]，吴自银[2*]，霍冠英[3]，尚继宏[2]，王明伟[2]，赵荻能[2]，崔丙浩[2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

3 河海大学，河海大学计算机及信息工程学院

* zywu@163.com

海底麻坑是海底地层中油气渗透的重要地貌指示，准确识别出麻坑的位置、数目和边界信息为麻坑形成演化机制和底部地层油气勘探提供基础支撑。现有研究中麻坑的识别以人工解译水深格网识别为主，地震资料辅助判别，工作量繁琐且耗费大量时间。本研究选取中国南海东南部的多波束水深数据，使用地形分割和深度学习目标检测的方法分别获取了区域内麻坑的边界和位置信息，建立了一种系统的麻坑识别方法。针对传统地形分割获取麻坑边界小于实际边界，使用 CV 主动轮廓法提取麻坑准确的边界，较传统的流域分割缓冲平滑获取处理，对新月形、拉长形和复合形麻坑边界提取更准确；针对目标检测识别麻坑精度低，使用不同检测模型、更换特征提取网络，最终麻坑识别的 AP 值为 69.7%；针对单一水深数据特征缺乏，大范围内目标检测网络模型识别不准确，采用边界与检测框的叠加分析，两者进行消歧处理获取麻坑的最终属性信息。该方法提高了麻坑识别效率，并取得了较好识别精度，每个麻坑获取了多尺度的特征信息，对于海洋工程建设，海洋资源勘探和陆坡稳定性分析具有重要的应用价值

S64-P-4S

南海东沙海底沙波/沙纹共存特征及迁移机制研究

张腾龙[1]，刘晓磊[1,2*]，李伟甲[1]，孙均楷[1]，陈天[1]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室 ，海洋地质过程与环境功能实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

海底沙波是由砂质沉积物在风暴浪、潮流、内孤立波等海洋水动力作用下移动形成的韵律性波状地貌，其表层常赋存厘米级的沙纹微地貌，沙波/沙纹活动性与迁移过程是沉积物输运过程与海底底形演化的重要机制。不同于浅海，深海沙波/沙纹演化在时间和空间尺度上差异巨大，目前两者在深海环境中的多尺度共存特征、耦合迁移规律尚不清晰。本研究于 2020 年与 2022 年在南海东沙群岛东北部（117°25′E-117°45′E，21°5′E-21°15′E）进行多波束水深调查，并布放海床基（117°31′E，21°12′N）获取近底单点流速、海床上部流速剖面以及视频图像等资料。结果表明，在 700-900 m 水深处沙波/沙纹共存发育，沙波波长约 60-560 m，波高约 0.7-16.5 m，形态有余弦型、摆线型与双峰型，发育尺度随水深增大，脊线展布随水深增大由近 NNE 向转为近 NE 向；沙纹形态以直线形和弯曲形为主，脊线延伸长约 60-110 cm，波长约 4-8 cm。近底流场主要受 NE-SW 向陆坡流和内孤立波（ISW）引起的 ES 向优势底流影响，导致沙波整体有向下坡迁移趋势；两年迁移距离约为 20 m，理论计算迁移速率约 10 cm/a。沙纹仅受 ISW 影响并在沙波表层发生迁移，速率约 1 cm/min。基于对数剖面法计算了观测期间近底剪切应力时序变化过程，结合浊度数据表明 ISW 引起的优势底流主导了沉积物的推移质搬运，导致沙纹从沙波上坡面迁移至下坡面，陆坡流冲刷沙波波峰沉积物再分配至波谷，造成双峰型沙波减少，两种底流共同影响了研究沙纹日尺度的定向迁移和沙波年尺度的形态演化与迁移过程。本研究揭示了研究区沙波/沙纹在 ISW/陆坡流影响下的物质搬运过程与形态特征规律，对理解深海沙波/沙纹多尺度耦合迁移有重要意义。未来将建立深海沙波/沙纹耦合迁移模型并对迁移量定量化预测。

S64-P-5S

基于自然电位法的海床内部渗流响应特征试验研究

吴若愚[1]，刘晓磊[1,2*]，张少鹏[1]，余和雨[1]，程光伟[1]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

海床内部渗流是指海床内部流体在不同的内外动力作用下通过沉积物孔隙发生运动迁移的现象，该过程对海洋地质灾害的孕育、发展和演化具有重要的影响。目前缺乏可靠、有效的海床内部渗流过程原位观测手段，制约了渗流致灾机制的深入研究。根据流体流动会引起自然电场变化的原理，本文提出了一种通过自然电位表征海床内部渗流的方法，通过开展室内模型试验，模拟气体和液体以不同流速在砂、黏质海床内部的渗流过程，并利用自主研发的高密度自然电位探针实时获取海床内部渗流过程中的自然电位时空变化，分析海床性质、流体类型和渗流流速等条件对海床内部渗流过程中自然电位响应特征的影响。试验结果证实了自然电位法监测海床内部渗流过程的有效性，定性确定了海床内部渗流发生时自然电位变化趋势为下降的特征，定量揭示了砂、黏海床颗粒粒径和渗流流速对海床内部渗流过程中自然电位响应的影响，并在此基础上建立了海床内部渗流过程中自然电位响应特征经验模型。本研究结果可为海底浅层

气、液等流体迁移过程的原位监测与定量表征提供了一种新的思路，对海洋地质过程演变机理认识和地质灾害防控方面也具有一定参考价值。

S64-P-6

地球系统科学时代的海洋地质调查展望

韦成龙[1,2,3]，王瑞[2*]，万晓明[2,3]，裴丽欣[2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

* wo421599468@163.com

近年来，得益于诸多高新技术的发展应用，地球系统科学得到了持续发展。地球系统科学的目标是完整地认识地球，抓住驱动地球系统的关键循环过程(物理、化学、生物、水、能量循环)，研究模式强调综合性、多时空尺度、精细化、模型化、耦合性，是地球系统科学的发展趋势。随着地球系统科学成为地学研究新的指导思想，地质科学进入整合集成研究的新时期，研究范式发生变革。地球系统科学的理念正在对海洋地质产生重大影响，当前的跨学科研究成为海洋地质的新兴趋势。结合我国“海洋强国”战略、海洋生态文明建设等重大需求，梳理了海洋地质调查现状，在地球系统科学框架下，认为在海洋地质调查的理念、装备、方法、数据、合作方面将有新一轮的转型升级。

（1）调查理念：调查时间和空间范畴将会拓展，从相对独立的数据观测和数值模拟，转向新数据获取和大数据支撑模式的调查研究。调查区域重视陆海统筹，涵盖重点海域、海岸带、岛礁、重点沿海经济区带等。科学目标将综合海洋水文、气象、化学、地质地球物理，环境、海洋生态、生物多样性、自然资源调查等领域。

（2）装备技术：系统获取海洋地质基础数据，要求开展多时空尺度、高精度高采样率调查。国家层面，需要建设多样式调查平台，装备向集成化、精细化、多方位发展，专业调查与综合调查相结合，构建“空-天-海-潜”海洋立体探测装备体系。涉海单位层面，海洋地质调查尤其是深海类装备技术建设资金投入巨大，耗时长，形成较强探测能力历时久，单一单位的支撑平台、装备技术难以全面覆盖，可发挥各单位优势，实现调查能力互补。

（3）方法手段：依托于观测与模拟技术的进步，在海洋地质调查方法手段的转型拓展上，将更紧密与空间信息技术、大数据、云计算与人工智能相结合，最终达到深度融合。

（4）数据融合、交换与共享：海洋地质调查数据资料获取成本高，一度成为第一资源。在问题与需求导向的数据综合集成、跨专业跨学科的调查数据融合需求下，部门之间数据资料的融合、交换与共享是一个趋势。完善共享政策，激励各单位以更开放的心态考虑数据融合、交换与共享，有利于打破信息孤岛，对数据更有效地挖掘利用。

（5）合作研究：海洋地质调查的对象是四维动态复杂变化系统，受内外因素共同制约，涉及多尺度、多场和多界面问题。要解决“大科学”海洋地质问题，多单位、跨部门、国际合作研究是必然趋势。

S64-P-7S

孟加拉湾北部若开海域深水水道演化

魏慧[1]，卓海腾[1*]，陈慧[1]，苏明[1]，贾俊民[1]，马宏霞[2]，许小勇[2]，吴佳男[2]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国石油杭州地质研究院

* zhuoht3@mail.sysu.edu.cn

孟加拉湾北部若开海域内，近年来不断在新生界沉积地层中取得深水油气勘探发现。通过若开海域深水区高分辨率 3D 地震反射特征与 RGB 融合属性图，在晚中新世

至更新世识别了水道侵蚀-充填复合体，水道-天然堤复合体，决口扇，朵体，块体搬运沉积，沉积物波等多种沉积结构单元，并对已识别的深水水道特征变化进行统计，结果表明：晚中新世与早上新世，水道规模分别逐渐减小，弯曲度增加，方向均呈 NW-SE 向；晚上新世水道呈 NE-SW 向，且水道上游开始出现大型天然堤，沉积结构单元丰富；早更新世呈 NW-SE 向高弯曲度复合叠置水道，晚更新世呈 NE-SW 向高弯曲度复合叠置水道。早上新世至晚上新世的水道方向变化及大型天然堤的出现，可能是 4ma 青藏高原的剧烈隆升的响应；晚上新世至更新世时期的水道方向变化可能是 2.5-2ma 时期青藏高原隆升间接引起的布河西迁的响应；更新世早晚期的水道方向变化可能是 0.8ma 时期青藏高原隆升，海平面下降及东侧陆架距离研究区近所致。

S64-P-8

遥感技术在海洋区域地质调查中的应用——以岛礁区调查为例

韩艳飞 [1*]

1 广州海洋地质调查局

* hanyanfei0906@163.com

海洋区域地质调查需对海洋所在区域的地形地貌、海底底质、地质构造、新生代沉积基底及盖层性质、矿产类型及其性质、海水水温水色等进行的综合调查，服务于国家能源安全、生态文明和海洋权益维护等方面。在海洋强国的背景下，海洋区域地质调查正在进行不同比例尺的开展，随着科学技术的不断进步，调查手段也呈现多样化，先进的地球物理、地质调查取样、遥感等手段都在有效的应用。其中，遥感技术目前已得到了广泛应用，是可以大范围连续监测的有效方法，在多个专业方向具有较好的应用空间。以岛礁区调查为例，综合采用不同的遥感卫星影像数据，并结合科学流程进行分析，可以更有效地服务于海洋区域地质调查工作。

S64-P-9

一种长期原位监测海底界面演变的新方法：自电位探杆

范智涵 [1]，朱宪明 [1]，贾永刚 [1*]

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* yonggang@ouc.edu.cn

港口码头的淤积、海岸线的侵蚀、桥梁风电桩基周围土冲刷、深海采矿和海底变形等海洋工程建设及海洋地质灾害都与海床界面的演变密切相关。原位监测海床界面的动态变化，可以明晰海洋工程结构物附近海床面的状态，深入了解海床高程的演变过程，具有重要的实用价值和研究意义。本研究提出了一种基于自电位测量的海底界面变化长期原位监测方法，开发了一种传感器无需供电的自然电位原位监测探杆，其垂直测量范围为 1 米，分辨率为 2 厘米。通过是室内实验、浅水码头及西太平洋多金属结核区 5750m 的原位观测结果表明，自电位探杆可以识别海底界面、海水与大气的界面以及不同类型沉积物的界面。即使海底表面覆盖着多金属结核，仍然可以识别海底界面，并区分多金属结核的层位。这项研究为海底界面的原位监测提供了一种新技术，并有助于更深入地理解自电位的测量。

S64-P-10S

南海北部大陆边缘非线性内波对雾状层发育的影响

陈天 [1]，刘晓磊 [1]，贾永刚 [1*]

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* yonggang@ouc.edu.cn

非线性内波可以导致强烈的近底流速，引起沉积物的再悬浮和输运，是大陆边缘雾状层形成的关键因素。然而，由于缺乏详细的现场测量，受高能非线性内波影响的雾状层的结构和变化特征仍然知之甚少。本研究综合了在中国南海北部大陆边缘开展的多年的观测数据，包括海洋水文调查、海洋动力观测、海底边界层观测等，探讨了南海北部雾状层的结构特征及非线性内波对雾状层发育的影响。研究发现南海北部雾状层结构特征存在明显的区域差异。在东沙岛东侧，底部雾状层厚度更大，更稳定，但很少发现强大的中部雾状层。其中，发现的强大的底部雾状层自海底延伸到温跃层的下边界，厚度超过 1500 m，悬浮物浓度高达 0.55 mg L^{-1}。然而，在东沙岛西侧，底部雾状层相对较弱，但是经常发现强大的中部雾状层，其悬浮物浓度高达 0.94 mg L^{-1}。这些中部雾状层呈现出快速的短期变化特征，几小时内厚度变化超过 200 m，悬浮物浓度的差异超过一个数量级。我们推测这是由于东沙岛两侧的非线性内波特性与复杂的海底峡谷系统相互作用的结果。在水深 730 m 的观测结果发现，深海非线性内波仍然可以强烈侵蚀海底沉积物，显著增强底部雾状层的浓度，并将悬浮物向上涌升超过 15 m，表明了非线性内波对于大陆边缘中部雾状层形成的控制作用。此外，非线性内波引起的垂向流速可以达到 0.5 m s^{-1}，并引起雾状层的强烈垂直混合，导致在底部雾状层和中部雾状层内发现多次浓度反转现象。我们的研究表明了非线性内波对跨陆架物质输运的调制作用的重要性。

S64-P-11S

粘土含量对波浪作用下海底边坡失稳影响的水槽试验研究

毕研栋 [1]，黄雨 [1,2*]

1 同济大学，土木工程学院

2 同济大学，岩土及地下工程教育部重点实验室

* yhuang@tongji.edu.cn

随着“21 世纪海上丝绸之路”倡议及“建设海洋强国”等重大战略的部署，我国海洋工程建设及海洋能源开发等人类工程活动蓬勃发展，而影响能源开发和工程建设的海洋地质灾害也备受关注，其中尤以海底边坡失稳及其引发的海底滑坡最为典型。波浪荷载作为最主要的触发因素，其作用下的海底边坡失稳研究具有重要的科学意义和实际价值。但现有研究大多关注砂质或粉质海床，对具有一定坡度的粘质海底边坡却鲜有关注。因此，本文通过室内大型波浪水槽开展了粘土含量对波浪作用下海底粘质边坡失稳影响的试验研究，以进一步了解不同粉粘土混合物组成的海底粘质边坡的粘土含量对波浪作用下的超孔隙水压力累积响应机制及其失稳的影响。试验过程中测量了孔隙水压力和土压力的竖向和水平向分布，并捕捉了海底粘质边坡的整个失稳破坏过程。试验结果表明：波浪浅滩效应导致波高沿坡面逐渐增大，波陡变大，非线性增强，从而使海底粘质边坡的肩部成为最易受扰动的区域。在给定的海底粘质边坡内，超孔隙水压力峰值沿竖直方向逐渐增加；而在水平方向上，肩部土体液化后在波浪的侵蚀作用和流态土体沿坡面的滑移联合影响下，超孔隙水压力峰值的最大值出现在边坡中部。值得注意的是，粘土含量显著影响超孔隙水压力累积响应和海底粘质边坡的稳定性。当粘土含量逐渐增大时，边坡土体更易液化。然而，超孔隙水压力峰值与粘土含量呈非线性关系，需要进一步研究和验证。此外，基于试验结果，分析了海底粘质边坡失稳和流动演化过程与海底砂质或粉质边坡的异同。

S64-P-12S

黏土含量对海底滑坡流动过程影响的水槽实验研究：从

流变学角度解释海底滑坡超远流动性

周书[1]，黄雨[1,2*]

1 同济大学，土木工程学院

2 同济大学，岩土及地下工程教育部重点实验室

* yhuang@tongji.edu.cn

海底滑坡（Submarine Landslides or Mass-Transport Deposits）是指海底斜坡在自重或外部荷载（地震、波浪、海流等）作用下发生局部或大范围失稳破坏，并沿一定的斜坡面向下运动的地质现象。海底滑坡在流动-致灾过程中具有复杂固-液相时空演化、多场多相介质相互作用的重要特征。理解上述的特征形成机制对揭示海底滑坡超远运动距离制和开展海底滑坡灾害风险预测至关重要。已有研究表明海底滑坡超远距离运动受“水滑效应”，“密集颗粒流碰撞”等机制影响。然而，上述机制的探索多考虑海底滑坡物质与环境水体的相互作用，在海底滑坡物质特性对海底滑坡超远流动性的影响方面还有待进一步探索。因此，本文基于大型水槽试验装备，开展黏土含量对海底滑坡流动过程影响的试验研究。试验过程中，通过旋转流变试验精确测量了不同黏土含量的泥浆的流变性能以明确物质特性；通过测量流动过程中速度、基底总压力和水压力以了解流动过程中流态演化。研究结果表明：组成海底滑坡的物质具有典型的非牛顿流体的特性，随着剪切速率的增加，海底滑坡会经历固态-类固态-类液态-液态的转变，并且各个状态之间的转变阈值随黏土含量的增加而增加。这导致在中、高黏土含量（>20%）时，海底滑坡处于固态-类固态流动，而在低黏土含量时主要表现为类液态-液态流动行为。在相对流动速度方面，低黏土含量工况（5%，10%），运动速度随流动距离显著递减；而在中、高黏土含量时，后期运动速度有所提高。在绝对速度方面，黏土含量为 10% 时测得最大运动速度，并且黏土含量高于 10% 之后，运动速度随黏土含量增加而递减。海底滑坡物质的流变学特性解释了上述速度特性，即黏土含量时海底滑坡处于类液态-液态流动，这种流动受环境水体的影响处于持续的能量耗散状态，导致相对速度的不断降低。但是，由于其流动性较强导致绝对速度大。而在高黏土含量时，海底滑坡处于固态-类固态流动，这种流动更易受到流动升力影响而产生水滑效应，这导致在流动后期的相对流动速度增大。但是，由于高黏土含量时物质本身流动性较差，其绝对速度较小。我们的研究发现，物质的流变性能是控制海底滑坡超远距离高速流动的基础，而水滑效应的减阻机制可部分影响海底滑坡流动状态。两者的相互竞争机制导致在中-低等黏土含量状态下海底滑坡的流动速度最大。本研究的发现有望进一步理解海底滑坡的复杂物理过程。

S64-P-13S

南海南部北康盆地海山相关的底流沉积特征

梁子君[1]，刘姗[1,2]，陈慧[1,2]，苏明[1,2*]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），深海远洋多尺度动力过程创新团队

* suming3@mail.sysu.edu.cn

深海海山附近，在洋流长期影响下，形成典型海山相关底流沉积体系，底流沉积和侵蚀单元的外部形态和内部结构特征可为判断区域海洋动力格局提供重要的参考依据。受益于现代先进海洋学观测和数值模拟等技术手段，已广泛发现海山附近环槽-丘状漂积体的样式组合。基于对高分辨率（水平分辨率<100 m）的海底测深数据和高密度覆盖的二维地震剖面的综合分析，对南海南部北康盆地内海山相关底流沉积-侵蚀特征进行识别。在海山北部发现多个环槽和漂积体的组合样式。一方面，多个环槽的发育特征均指示底流自西向东流经海山。另一方面，同时发育的多个环槽-漂积体组合样式可能

进一步指示存在深海涡旋。这些信息可结合未来原位海洋观测和数值模拟研究加以验证。

S64-P-14S

南海东北部河流-峡谷-海沟系统对沉积过程的影响

曾乐田[1,2,3]，王策[1,2,3*]，苏明[1,2,3]，崔贺旗[1,2,3]，贾俊民[1,2,3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室

* wangce@mail.sysu.edu.cn

示踪沉积物从陆地（源）到海洋（汇）的搬运过程是破译地球表生过程的重要手段之一。沉积物通过风、水系及冰川等搬运方式进入海洋，其搬运与沉积过程受到洋流、海底地貌等多个因素的影响。我国南海东北部位于主动大陆边缘与被动大陆边缘相结合的区域，在这种特殊的地质背景下发育的河流-峡谷-海沟海底地貌，构成了陆源物质向深海搬运的重要通道。在该区域，陆架发育浅滩、群岛及水道等地貌单元，陆坡发育众多海底峡谷与水道，并在峡谷/水道尾部向马尼拉海沟汇聚，形成了南海东北部特殊的地形地貌单元。本研究对南海东北部陆架、峡谷到海沟不同区域的表层沉积物进行碎屑锆石 U-Pb 年代学分析，并以海底峡谷为界，将南海东北部分为（1）以河流为源峡谷为汇和（2）以峡谷为源海沟为汇两个次一级源-汇系统，通过定性与定量相结合的方法对不同系统中沉积物进行物源示踪，从沉积记录的角度揭示沉积物从河流到海沟的沉积过程以及海底地貌对该过程的影响。研究表明，在河流-峡谷组成的系统中，台湾浅滩北部沉积物主要来源于高屏溪，西部与南部沉积物主要来源于九龙江，东南部沉积物主要来源于浊水溪。对于陆坡而言，高屏溪是各峡谷水道沉积物的主要来源，闽江也有部分沉积物的贡献。在峡谷-海沟组成的系统中，发育于主动大陆边缘的高屏峡谷是马尼拉海沟的主要供给单元，而位于被动大陆边缘的峡谷沉积物的供给较少。此外，研究发现，被动大陆边缘拥有较宽缓的陆架，其发育的海底地形如浅滩、群岛会对沉积物搬运进行阻挡，导致沉积物堆积或者从两侧发育的水道进行运输，限制了陆架沉积物向陆坡搬运。相比之下，主动大陆边缘的陆架狭窄，峡谷或水道几乎与河流相连，可以促进河流沉积物通过峡谷或水道往海沟搬运。

S64-P-15S

等深流影响下浊流运动及沉积过程数值模拟分析

孙均楷[1,2]，刘晓磊[1,2,3*]，陆杨[1,2]，余和雨[1,2]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 中国海洋大学，海洋环境与生态教育部重点实验室

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

浊流是一种携带大量泥沙沿坡向下运动的高密度流体，等深流是沿等深线水平运动的温盐循环循环底流。当二者相遇时，等深流细粒沉积可成为浊流粗粒沉积的有效封盖层，以此形成良好的油气储层。然而，目前研究主要集中于二者相遇后的沉积结果上，对等深流影响下浊流夹带、湍流混合、细粒漂移等复杂的运动和沉积过程缺乏深入的探讨。本文采用欧拉-欧拉模型描述等深流和浊流，将考虑颗粒沉降速度的泥沙输运方程纳入浊流相，以此描述浊流的沉积过程，并通过定义沉积和悬浮的临界浓度阈值，确定沉积物厚度。考虑不同流速、流向和含沙量，对等深流和浊流相互作用过程进行数值模拟，分析浊流的运动和沉积特征。结果表明，等深流与浊流之间的速度差决定了被等深流夹带走的悬浮泥沙颗粒粒径范围，并

影响了浊流沉积的不对称性，且随着流速差的增大沉积结果逐渐从弧形向尖峰形转变。斜向交互角度主要影响浊流沉积的分布范围，而较高的含沙量则提高了浊流抵抗等深流影响的能力。此外，观察到等深流与浊流交汇处会产生反向旋转的涡流并形成锋面，显著增强了浊流表面的不稳定性，增加了环境流体夹带和湍流混合，从而导致更远的细粒漂移现象。本文不仅对于浊流研究的发展具有重要价值，对于油气的开发利用和海底峡谷迁移演化的理解也具有重要意义。

S64-P-16

风暴过程中滩浅海海床垂向变形高精度压力监测研究

胡聪 [1*]，李相乾 [1]，贾永刚 [1]

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* hucong@ouc.edu.cn

风暴潮引起的海床垂向变形是沉积物破坏的主要原因之一，并对海洋工程设施的安全运行有重要影响。本研究开发了一种用于监测海床垂向变形的原位观测系统，该系统包括 Paroscienctific 高精度水压传感器、波潮仪以及声学多普勒流速剖面仪，并建立了一种高精度水压数据处理方法，该数据处理方法允许我们基于观测到的滩浅海海域水压数据获取水深变化，并进一步分析滩浅海海床垂向变形。该系统和数据处理方法应用于黄河水下三角洲呈岛海域海床垂向变形的原位监测，原位监测期间记录到了三次风暴潮事件，在前两次风暴潮事件之后，监测到的海床垂向变形达到了 8.9741 毫米，并基于原位监测数据建立了海床垂向变形机制。

S64-P-17

深海采矿机履带与海床浅表层沉积物相互作用及地质环境影响的试验研究发展现状及进展

刘媛媛 [1,2*]，贾永刚 [3]，刘云飞 [1]，霍晟琦 [1]，朱娜 [3]，范智涵 [3]

1 华北科技学院，建筑工程学院

2 河北省土木工程灾变控制与灾害应急重点实验室

3 山东省海洋环境地质工程重点实验室

* yvonneyliu@outlook.com

深海矿产资源被视为未来陆地资源的重要补充及替代资源，深海矿产的开采成为我国面临的一项重大战略需求。作为深海多金属结核开采的重要一环，行走于深海软弱浅表层的采矿履带车的性能一直受到关注。基于近二十年的文献研究资料，本文总结了采矿机履带荷载特点及结核分布区沉积物性质；根据采矿机履带构件实际工作特点，分析讨论履带与深海软弱沉积物相互作用的关键要素，并基于不同要素梳理归纳室内模型试验及现场试验的过程及成果；对履带车与海床沉积物相互作用导致的环境影响特点进行探讨。本文回顾了采矿机履带设备与深海海床沉积物相互作用的研究现状，尤其针对室内物理模型试验及现场试验进行系统的梳理归纳，可为未来大规模商业开采并考虑环境影响的采矿车履带的设计优化提供参考。

S64-P-18S

基于 CFD-DEM 耦合模拟与室内坍塌试验的海底滑坡运动特性研究

谭小林[1]，黄雨[1*]，毕研栋[1]，周书[1]

1 同济大学，土木工程学院

* yhuang@tongji.edu.cn

颗粒坍塌保持了海底滑坡在滑坡启动、物质输送以及滑体堆积的基本特征，是研究海底滑坡最常用的模型之一。在水下双分散颗粒坍塌中，由于环境流体和颗粒尺寸差异的影响，其坍塌过程与单颗粒坍塌过程存在显著不同的特性。然而，双分散颗粒坍塌分选和长距离流动的潜在机制，特别是关于孔隙尺度上复杂的流体-颗粒相互作用，尚未得到充分的研究。本研究基于 CFD-DEM 耦合方法的颗粒坍塌模拟和室内坍塌试验，研究了环境流体、颗粒组成和初始几何形状对双分散颗粒柱坍塌动力学的影响。研究表明，环境流体在双分散颗粒坍塌中发挥着不同的作用，但在总体意义上是延缓坍塌过程的。在浸没条件下，双分散坍缩情况下颗粒物质的瞬时前沿位置可能比单分散情况下的更短或更长，但其最终堆积前缘位置总是更长。这可能是由于颗粒坍塌过程中的水滑作用显著降低了流动过程中的摩擦阻力，从而导致较长的跳动距离。与干颗粒坍塌相比，浸没条件下双分散颗粒的分选现象更加明显；同时在较细颗粒占比相对较大的情况下以及在粒径差异相对较小的情况下，颗粒分选现象相对较弱。已经证明，颗粒分选同样有助于增加双分散颗粒的流动性，这可能是由于当混合物连续变形时，较小的颗粒通过较大颗粒之间的间隙向下迁移，导致大颗粒被孤立的小颗粒分离的可能性增加，或者滚动摩擦代替大颗粒之间的滑动摩擦的可能性增加。这一结果可为准确模拟和有效预测海底滑坡的运动演化过程提供重要的科学依据。

S64-P-19

海平面振荡、气候变化和海洋学过程协同控制下的深水异重流沉积发育

苏明[1,2,3*]，罗坤文[1,3]，刘姗[1,2,3]，施建臣[4]，王策[1,2,3]，陈慧[1,2,3]，杨松林[5]，林智轩[1,3]，韦良洁[1,3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 广东省海洋资源与海岸工程重点实验室

4 自然资源部第三海洋研究所

5 中山大学，附属第五医院

* suming3@mail.sysu.edu.cn

异重流沉积不仅对油气勘探有重要意义，其记录了丰富的沉积过程和气候变化的信息，是沉积学和古气候变化研究的重要载体。然而，海相深水异重流沉积很难与盆内浊流区分开来，导致对海相深水异重流沉积的发育控制因素和演化模式知之甚少。因此，亟需更多深水异重流沉积的精细研究来揭示其演化规律和控制因素。研究利用沉积物重力柱（S19），结合沉积物粒度分析、岩芯 X 射线荧光扫描（XRF）、岩芯 X 射线计算机断层扫描（CT）、有孔虫放射性碳同位素测年和体视镜显微观察方法，对南海北部神狐陆坡异重力流沉积进行识别和刻画，研究其在海平面和气候变化以及海洋学过程协同作用下的演化模式。结果表明：

(1)从 MIS3（Marine Isotope Stages）中期（42 cal. ka. BP）到全新世早期，神狐中上陆坡以异重流沉积为主。沉积物粒度双递变粒序、内部侵蚀面以及富含丰富植物碎屑等异重流沉积典型特征在研究岩芯中普遍发育。研究发现异重流沉积粒度累积概率曲线主要为两段夹过渡类型，而在内部侵蚀面处粒度累积概率曲线为多段式。粒度累积概率曲线表明，异重流沉积以悬浮递变沉积为主，当洪峰出现时形成侵蚀面并在侵蚀面之上形成薄层的牵引流沉积。

(2)全新世中—晚期神狐陆坡中上部以内波沉积为主。S19 岩芯中—晚全新世剖面沉积物以悬浮沉积为主，粒度累积概率曲线为一段式和两段夹过渡式类型。该段沉积物的地球化学特征与 MIS2 晚期异重流沉积相似，并与气候和海平面的总体演化特征相矛盾。这可能表明 S19 岩芯全新世中—晚期沉积物来自于内波浅化作用导致的 MIS2 晚期异重流沉积物再悬产物。

(3)S19 岩芯异重流沉积相的时间演化序列表明气候和海平面对其演化具有控制作用。在气候相对温暖湿润、海平面较低的 MIS3 阶段，沉积相为 S3 相和 S2L 相互层，而在寒冷干燥、海平面相对最低的末次盛冰期（LGM）阶段，沉积相以 L 相为主。LGM 之后，随着气候变暖变湿和海平面上升，沉积记录以 S2L 相为主。以上沉积相记录表明，在相对温暖和湿润的低海平面阶段，洪水发生的频率和流量较高，因此产生的异重流强度和向海延伸距离相对较大。相反，在寒冷干燥的低海平面阶段，低频次和流量抑制了异重流的发育。但值得注意的是，在暖湿时期，过高的海平面为陆架海洋学系统（如沿岸流、表层环流等）改造河口的异重流提供充分时间和空间，最终将异重流限制于内陆架内，使陆坡不发育异重流沉积。

S64-P-20

内外荷载与地形耦合下海底斜坡失稳研究

马林伟 [1*]，吴时国 [2]，马本俊 [1]

1 哈尔滨工程大学，哈尔滨工程大学青岛创新发展基地

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* mlw1209@163.com

海底滑坡作为一种最常见的海洋地质灾害，主要发生在大陆坡和岛礁斜坡区。深水油气钻井平台、水下采油设备、油气输运管线等设施都要以海底沉积物为承力基础，发生滑坡灾害会对海底工程设施设备有冲击、冲刷、淘蚀和掩埋等危害，是工程建设中必须查明和避免的工程难题。海底斜坡失稳会对对沿途海底设施冲刷和掩埋是海底滑坡地质灾害重要的危害方式，稳定性分析应包含灾害的主要衡量指标规模和强度。目前的海底滑坡分析主要以二维和假三维模型的分析方法，但海洋工程实践要求更高的安全性和灾害空间关系的可视化，需要将海洋特殊的环境，岩土特性、周围地质灾害的潜在威等情况进行考虑和纳入计算，但是目前的计算分析没有清晰和准确的灾害空间位置和规模，分析结果够提供给工程实践的信息有限，不足以指导和参考。因此，我们对琼东南北部的宝岛油井场 40 km^2 的区域进行整体建模通过建立三维实际地形模型，考虑孔隙水压，在基于地震荷载和天然气水合物分解情况下海底斜坡失稳区，分析区域稳定状态和潜在失稳滑坡的空间位置和规模，评估井场自身和周围灾害的风险。计算结果显示地形仍是斜坡稳定性的决定因素，岩土地层的物理力学性质和外荷载对稳定性的影响具有区间性，灾害的空间分布是链式灾害预报预防的重要依据。

S64-P-21S

流体活动过程对陆坡失稳的控制作用探讨：以南海北部白云陆坡为例

王智娜 [1,2]，卓海腾 [1*]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

* zhuoht3@mail.sysu.edu.cn

陆坡沉积物在重力作用下发生变形、破碎、搬运的失稳过程广泛分布于全球被动陆缘陆坡上，对深水陆坡沉积环境的塑造过程影响巨大。而在陆坡环境中广泛发育的流体活动可能对陆坡失稳过程有重要的控制作用。当前针对陆坡失稳与流体活动的相互作

用关系研究仍然充满争议。这在很大程度上是由于缺少对陆坡失稳过程以及流体活动时代先后关系的判断标准，也缺乏对二者时空演化关系的刻画和分析工作。因此，针对陆坡失稳过程及其与流体活动之间的时空耦合关系问题是对二者之间的发育、演化机制都至关重要的研究内容。

本研究利用三维地震资料，构建了珠江口盆地上新统以来浅层层序地层框架对研究区内的失稳以及流体活动过程的时代进行约束，并通过多种地震解释手段识别出白云陆坡上部浅层陆坡失稳滑塌体以及大规模发育的流体活动特征。结果表明这些滑塌体的发育始于 0.6 Ma 左右，在 0.4 Ma 界面上大规模发育于白云陆坡峡谷群两侧，直至现今海底才被陆坡上部沉积物所掩埋而包括浅层气藏、小规模的管状流体通道以及海底麻坑活动在内的具有异常高振幅地震反射特征的流体活动过程在白云陆坡上部浅层沉积物中分布广泛。探究研究区内流体活动过程和滑塌过程的发育先后关系，发现：（1）在滑塌底界面及其下方保存大量流体活动痕迹，但是滑塌顶界面上并无流体活动痕迹特征；（2）滑塌边缘尤其是滑塌两侧边缘是流体活动的主要聚集区域，滑塌头部区域的沉积物伸展变形区域的流体活动特征反而较少；（3）浅层气、管状流体活动通道的发育与滑塌发育区域并不完全重合，流体活动过程的影响范围比滑塌发育范围更大。这些现象指示发生于研究区域内的流体活动时代可能早于其上覆滑塌体的形成时代，并导致了该区域内大规模的陆坡滑塌失稳。本研究综合分析了陆坡失稳过程与流体活动的时空耦合演化关系，对于认识南海北部白云陆坡沉积物稳定性及整体沉积系统研究均有重要意义。

S65-O-1

南海北部海底碳、硫循环格局及其全球指示意义

胡钰 [1]，冯东 [1*]，罗敏 [1]，陈多福 [1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* dfeng@shou.edu.cn

通过收集和测试获得的南海北部近 250 个站位的孔隙水硫酸盐/钙离子/镁离子/溶解无机碳（DIC）浓度剖面数据，利用空间插值方法和自生碳酸盐岩形成量与硫酸盐通量间的线性关系，量化了整个南海北部海底碳、硫循环格局。在整个南海北部海底，硫酸盐还原作用每年消耗了 4.26 Tmmol 的硫酸盐，其中 71%的硫酸盐通过与深部来源甲烷（3.03 Tmmol）反应被消耗掉，超过了有机质硫酸盐还原对硫酸盐的消耗。这些消耗的硫酸盐共计每年产生 5.49 Tmmol 的 DIC，其中约 22%的 DIC（1.21 Tmmol）在沉积物中形成了自生碳酸盐岩，剩下的约 78%的 DIC（4.28 Tmmol）排放进入了海洋。上述研究结果表明大陆边缘深部来源甲烷对海底微生物而言是一个巨大的、但以往被忽略的碳库和能量来源，海底碳和硫之间的耦合关系有望能用于量化地质历史时期自生碳酸盐岩形成的量、并揭示其气候环境效应。

S65-O-2

气烟囱幕式发育与热效应控制的水合物多期动态成藏

罗钧升 [1]，万志峰 [1*]，张伟 [2]，张金锋 [1]，苏丕波 [2]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所

* wanzhif@mail.sysu.edu.cn

水合物是未来重要的清洁能源，其富集与分解行为受多种因素控制，对温度变化最为敏感。气烟囱作为一种含热流体的构造异常体，其一方面为顶部的水合物形成提供了气源和运输通道，另一方面对水合物产生抑制分解作用。因此，探究气烟囱如何影响水合物的形成赋存具有重要科学意义。

为研究这一问题，本文通过三维地震数据，并结合 GMGS5 中的测井测温数据，精细刻画了琼东南盆地松南低凸起上的典型气烟囱与气烟囱顶部水合物分布特征。在地震上，研究区气烟囱更多发育在凸起断裂带边缘，三个典型气烟囱高度为 500-1000 米，宽度为~3000 米。从测井结合取芯结果来看，该区域储层岩性相似，均为未成岩的 MTD 粘土质粉砂岩。但在岩性相似的储层内，我们发现根据电阻率与纵波速度曲线，仍可划分出多期次水合物富集层。以 W08 井为例，测井 200 米深度内大致有三期水合物富集层，分别分布在 25-40 米，60-120 米，150-162 米。此外，该区域相邻三个气烟囱中划分的期次不一致，这反映了三个气烟囱的活动历史与活动强度不同。三个气烟囱顶部 BSR 的下面都出现了一到两层的强反射层，我们推测这不仅与 BSR 底部富含游离气有关，可能还反映了气烟囱的发育历史，代表了古 BSR。这种种现象表明水合物的形成与底部气烟囱的幕式发育和热活动有重要关系。

为了验证以上猜想并反映底辟区域的水合物温度场，我们以实测地震数据为依据，通过数值模拟建立了一个气烟囱热力学模型，实测温度数据验证显示模型模拟效果良好。数值模拟结果表明，在现今阶段，由于气烟囱热流体与周围地层发生了强烈的热交换，气烟囱内部温度衰减速度很快，但衰减过后的气烟囱温度依然对水合物起到加热作用，使其分解并推动水合物稳定域向浅部移动。在横向上，气烟囱的热效应使得水合物环状分布，且中间薄，两边厚。通过改变气烟囱流体速度、起始层温度等发育参数，水合物的稳定域深度与展布形态均发生不同程度的改变。

本文最后提出了气烟囱幕式发育与热效应控制下的水合物多期成藏的模式，气烟囱不同的发育时期，对水合物产生不同作用，使得水合物的稳定域深度与形态发生改变，最后形成了水合物多期次富集的结果。这项研究对反映深部构造异常体温压场，还原甲烷等温室气体渗漏历史，精确评估水合物资源量具有潜在重要作用。

S65-O-3

原位观测数据表明热液系统低温溢流流体的物质通量被严重低估

李连福 [1]，张鑫 [1,2,3*]，栾振东 [1,3]，席世川 [1]，杜增丰 [1,3]

1 中国科学院海洋研究所

2 崂山实验室

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

热液喷口释放的还原性气体（甲烷、硫化氢等）为深海生态系统提供能量了能量来源，并在生物地球化学循环中扮演着重要角色。与高温喷口流体相比，溢流区流体具有更广泛的释放区域，更长的流体经流时间，以及更适合微生物介导的生物地球化学转化的环境温度和流速，因而在热液系统中温度较低的溢流区通常比高温集中喷口周边拥有更高的生物量。并且，热液系统热通量的研究表明，溢流区的热量输出要比集中喷发区高一个数量级。然而，目前对热液低温溢流区中的挥发性成分浓度及其通量的观测很少，很重要的原因是当前测量方法的限制，通过现有的保压取样方式对溢流区弥散流体的取样常常伴随着较大比例的海水混染，给测量结果带来了很大不确定性，这也极大地限制了我们对低温溢流流体在热液物质释放通量、热液生态系统维持和全球海洋化学循环中的作用的认识。

我们利用拉曼插入式探针系统对弧后热液系统 Iheya North 热液区的溢流区和高温喷发区的喷发流体分别进行了大范围的原位探测，获取了 14 个站位不同类型热液喷口的流体原位拉曼光谱、流体温度和流体流速等数据，并基于超短基线定位系统和视频图像分析的手段厘定了 Iheya North 热液区流体的喷发区域和面积。原位拉曼光谱的观测结果显示 Iheya North 热液区 14 个站位的流体温度数据和气体挥发分的浓度数据

呈现明显的负相关，低温溢流区流体中溶解态气体浓度是高温集中喷发区的数倍至数十倍。基于原位观测数据对 Iheya North 热液区气体释放通量的量化评估表明低温溢流区的气体释放通量比高温喷发区高 10 至 100 倍。通过碳同位素和 Cl 浓度数据分析指示热液相分离作用是驱动 Iheya North 热液区流体中气体浓度分异的主要原因。地震层析图像显示 Iheya North 热液区的海底之下存在低渗透性的岩石盖层，富含 CO_2 的热液流体在上升过程中被这些低渗透性的盖层阻挡，压力的降低使其流体温度达到两相分离的温度，对于富含 CO_2 的 H_2O-CO_2 系统在发生相分离时，流体温度和气体分配浓度呈负相关，这很好的解释了高温喷发流体中气体含量低于低温溢流流体中的气体含量的原因。

本研究揭示了热液系统低温溢流区在热液气体挥发分释放通量中的巨大贡献，综合考虑低温溢流区的气体通量、喷发面积、流体温度、地形等因素，我们认为热液系统的低温溢流流体对热液生态系统的贡献很可能远超高温喷发区流体，在未来的热液系统研究中应给予更多关注。

S65-O-4

天然气水合物与冷泉生态系统协同演化过程的原位实验研究

张雄[1,3]，栾振东[1,3]，杜增丰[1]，席世川[1]，李连福[1]，连超[1]，张建兴[1]，殷子钰[1,3]，马良[1,3]，张鑫[1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

2 崂山实验室

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

冷泉广泛分布在全球大陆边缘及边缘海盆地，从深层到浅层的沉积物甚至海水中释放出富含还原性气体（如甲烷和硫化氢）的地质流体。这些环境孕育着以化能合成为基础的冷泉生态系统。越来越多的研究表明，冷泉的间歇性喷发是一种广泛现象，在整个渗漏周期内，气体渗出的强度变化很大。同时，越来越多的研究报道了冷泉生态系统宏观生物群落组成和数量在十年尺度上的稳定性。然而，由于技术上的挑战，还没有实现对这些群落和冷泉喷发活动的同步监测，冷泉生态系统保持长期稳定性的机制仍不清楚。在这项研究中，我们利用自主研发的深海长期原位监测平台对台西南福尔摩沙海脊的冷泉喷口及其伴生的化能合成生态系统开展了原位监测和原位实验。监测视频显示，冷泉的喷发事件是偶发性的；冷泉生态系统宏观生物总体规模没有明显变化。在原位实验中，我们通过原位拉曼光谱对冷泉喷发流体快速形成水合物过程和水合物分解过程进行了时间序列监测。原位实验结果表明，大量的水合物在冷泉喷发过程中迅速形成，喷发停止后水合物随之分解，释放出甲烷，支持化能合成生态系统。冷泉生态系统主要宏观动物种群的总体规模保持稳定表明了到达生物群落的甲烷通量一直是稳定的。我们认为这种稳定性可能与沉积物中存在的作为甲烷通量 "电容器 "的天然气水合物矿床有关。类似的水合物电容器控制机制可能普遍发生在全球广泛存在的冷泉维系的化能合成生态系统中。

S65-O-5

深海岩浆-热液系统的原位探测及对生物群落能量来源的启示

席世川[1]，孙庆磊[1]，黄瑞芳[2]，栾振东[1]，杜增丰[1]，李连福[1]，张鑫[1*]

1 中国科学院海洋研究所

2 南方科技大学

* xzhang@qdio.ac.cn

地球 75%的火山活动发生在海底，而富 SO_2 的岩浆气与海水混合形成一种超酸性的岩浆-热液系统，并孕育了各种独特的生物群落。然而，关于该类型的热液系统中的微生物与复杂多变的理化环境参数之间的关系尚未清楚。马努斯盆地 DESMOS 火山口形成了一个典型的岩浆-热液系统，我们利用激光拉曼光谱探测系统对该火山口 Onsen 区域的高温喷口流体以及新发现的 Faxian 区域的低温溢流区进行了原位定量探测，并采集了保压流体和 Rimicaris sp.铠甲虾等样品。原位结果表明 Onsen 喷口流体（106 ℃）富含 H_2 (8.56 mmol/kg)，而 Faxian 溢流区（40 ℃）富含 H_2S (7.78 mmol/kg)。通过对 Onsen 区域的流体和 Fxian 区域的 Rimicaris sp.铠甲虾进行宏基因组分析，分别发现了大量氢气和硫化氢的氧化基因，结果表明尽管来自同一岩浆源，但是两个位置由于发生不同的流体-岩石相互作用，而提供了微生物不同的能量来源。上述研究为岩浆-热液系统的流体活动与微生物的能量供给提供了新的见解，对于研究地球早期生命与广泛分布的火山活动之间的联系具有重要的启示意义。

S65-O-6

冷泉碳酸盐岩记录的钼迁移转化过程及同位素分馏效应

贾子策 [1]，胡钰 [1*]，王旭东 [1]，宫尚桂 [1]，李杰 [2]，冯东 [1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 中国科学院大学，广州地球化学研究所

* huyu@shou.edu.cn

* dfeng@shou.edu.cn

氧化还原敏感元素钼(Mo)的含量及同位素(δ^{98}Mo)组成是重建过去地球大气-海洋系统氧化还原状态的有力工具。确定关键地质历史时期古海水的 δ^{98}Mo 特征是了解当时海洋环境并推断环境对生物演化影响的重要基础。碳酸盐岩作为主要的沉积岩类型之一，广泛分布于整个地质历史时期，被视为重建地质历史时期海洋氧化还原环境的重要载体。前人认为冷泉碳酸盐岩具有记录其沉淀时海水 δ^{98}Mo 信息的潜力。但冷泉碳酸盐岩一般形成于孔隙水环境，且不同碳酸盐矿物类型形成的氧化还原条件迥异。针对墨西哥湾和南海海域共十个站位的冷泉碳酸盐岩，通过连续化学分步提取方法，考察不同化学提取组分中 Mo 含量和 δ^{98}Mo 组成。结果表明黄铁矿吸附是冷泉碳酸盐岩中 Mo 的主要赋存形式。碳酸盐相钼同位素($\delta^{98}Mo_{carb}$)值变化范围极大，处于 0.55‰-4.21‰之间。碳酸盐相记录了其形成时孔隙水的原始信息，表明孔隙水的钼同位素受到很多因素影响，如铁锰氧化物吸附/解吸等。本研究明确了不同碳酸盐矿物相的 Mo 含量及 δ^{98}Mo“指纹”特征，为研究早期成岩过程中钼的生物地球化学循环过程提供了新的视角。

S65-O-7

冲绳海槽中段冷泉碳酸盐岩记录的复杂流体活动

李昂 [1,2,3*]，吴能友 [1,2,3]，李清 [1,2,3]，孙治雷 [1,2,3]，蔡峰 [1,2]，冯东 [2,4]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，自然资源部天然气水合物重点实验室

2 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 自然资源部，海洋甲烷监测工程技术创新中心

4 上海海洋大学，上海深渊科学工程技术研究中心

* ang.li_cn@outlook.com

天然气水合物分解导致的海底甲烷渗漏在全球碳循环中发挥着重要作用。浅部地层中冷泉流体活动时运移路径的复杂性减缓了甲烷进入海洋的速度，并且部分解释了为什么海洋水合物失稳对于气候变化的影响在时间上有所延迟。然而，在整个冷泉活动历史中，流体活动地质模式及其与天然气

水合物分解的联系还没有得到很好的理解。本研究中，我们对冲绳海槽中段 D5 浅钻站位的冷泉碳酸盐岩开展了矿物学、同位素和测年分析，结果表明，该碳酸盐岩岩芯主要由文石组成，平均含量约为 86.6%。所有碳酸盐岩样本均具有 $\delta^{13}C$ 中等负偏（-37.2‰ ~ -16.3‰ VPDB）、^{18}O 高度富集（4.3 ~ 5.8‰ VPDB）的特征，并且 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值变化范围很小（0.709167 至 0.709197）。这些同位素特征表明：（a）冷泉碳酸盐岩形成是由靠近海底的硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化作用（SD-AOM）引起的；（b）天然气水合物的分解增强了冷泉活动。碳酸盐岩富文石部位的 U-Th 同位素测年结果约束了冷泉活动活跃时间及其运移模式。D5 冷泉站位浅层沉积物中可能发生了两处富甲烷孔隙流体横向运移事件，这一解释是基于碳酸盐岩岩芯的特点：（a）上段和下段 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 数值的差异聚集；（b）上端和下端岩芯在沉积物中具有快速生长的共同时期。上述结果表明，天然气水合物释放的甲烷在逃逸沉积物过程中由于上覆碳酸盐岩结壳的自身封盖作用（self-sealing）运移方向发生了改变，之后在 6.2-4.6 ka 期间流体侧向运移，加剧了海底隆起 Db4 侧翼处自生碳酸盐岩在横向扩展。研究模式图指示了冷泉碳酸盐岩的生长过程，强调了其与冲绳海槽晚第四纪流体活动模式的相互作用，研究结果为冷泉活动历史中复杂的流体活动模式提供了新的岩石学证据。

S65-O-8

冷泉区微生物介导的金属驱动的甲烷厌氧氧化机制研究

肖曦[1]，罗敏[3]，章楚雯[2]，张亭亭[1]，尹修然[4]，吴学敏[1]，赵静[1]，陶军[1]，陈宗恒[1]，梁前勇[1*]，董西洋[2*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 自然资源部第三海洋研究所，海洋生物遗传资源重点实验室

3 上海海洋大学，海洋科学学院

4 University of Bremen,Faculty of Biology/Chemistry

* tomlqy@163.com

* dongxiyang@tio.org.cn

金属驱动的甲烷厌氧氧化作用(Metal-dependent anaerobic oxidation of methane, Metal-AOM)是海洋沉积物中甲烷重要的生物地球化学过程。目前通过岩相学和地球化学证据，或者微生物富集培养实验表明冷泉区可能发生了 Metal-AOM，然而，已有的原位冷泉系统监测结果仍难以从微生物的角度确证甲烷厌氧氧化与铁锰还原作用之间的耦合关系，也难以进一步分析介导 Metal-AOM 过程的微生物代谢途径和互作机制，导致 Metal-AOM 对甲烷碳汇的贡献，尤其是锰驱动的甲烷厌氧氧化过程(Mn-AOM)对控制现代海洋甲烷释放的重要作用被大大低估，限制了我们对海洋温室气体甲烷排放机制的进一步认识。因此，本研究通过将地球化学、数值建模与微生物扩增子、宏基因组、宏转录组测序相结合，对南海北部“海马”冷泉区开展了跨学科研究。孔隙水地球化学结果 CH_4、$\delta^{13}C$-CH_4、DIC、$\delta^{13}C_{DIC}$ 等显示，“海马”冷泉沉积物产甲烷带发生了强烈的 AOM 作用，而非有机质降解作用；孔隙水中溶解态 Fe^{2+}和 Mn^{2+}离子分别高达 148 和 2289 μM，而沉积物中碳酸盐相铁含量丰富，总锰含量升高，表明大陆架中大量埋藏的高活性铁锰氧化物可以作为甲烷厌氧氧化的电子受体赋存于沉积物的产甲烷带。基于 RNA 和 DNA 的扩增子测序手段，在硫酸盐消耗殆尽的产甲烷带发现了大量活跃的甲烷厌氧氧化古菌(Anaerobic methanotrophic archaea, ANME)；宏基因组和宏转录组测序结果显示，产甲烷带的关键微生物（ANME-1、ANME-2c 和 ETH-SRB1）可能介导了甲烷氧化和铁锰还原作用。从微生物代谢机制来看，ANMEs 通过释放单电子氧化甲烷后，耦合铁锰还原菌进行细胞外的金属还原作用还原固体电子受体（铁锰氧化物），共同完成金属驱动的甲烷厌氧氧化作用。数学建模结果显示，通过 Fe-AOM 和 Mn-AOM 过程消耗甲烷的通量均为 0.3 μmol $cm^{-2}a^{-1}$，金

属驱动的甲烷厌氧氧化作用至少贡献了冷泉沉积物中甲烷总消耗量的 3%。虽然该速率远低于硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化作用，但考虑到全球陆坡有数万个活跃的冷泉系统，Metal-AOM 对于高通量渗漏的冷泉区甲烷碳汇的贡献不容小觑。本研究结果对深入理解深海极端环境下甲烷的生物地球化学过程、科学评估甲烷渗漏的生态环境效应具有重要意义。

S65-O-9

热液硫化物中矿物 FE-S 同位素的共变关系研究

黄晶 [1*]，王淑杰 [1]

1 中国科学院海洋研究所，深海中心

* hjmail@qdio.ac.cn

金属稳定同位素技术的发展为研究热液硫化物矿床的形成机制提供了新的手段。通过对大西洋、印度洋和太平洋的多个热液区的硫化物进行 Fe 同位素和 S 同位素系统研究，我们发现研究区域中热液硫化物的 $\delta^{34}S$ 值在 2.05‰到 5.37‰之间，$\delta^{56}Fe$ 值在 −2.05‰ 到+0.39‰之间，二者分布范围与以往研究的其它热液区的结果大致重叠。进一步对全球已发表的海底热液硫化物的 S 和 Fe 同位素值进行统计总结，我们发现黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 和 $\delta^{56}Fe$ 值之间存在明显的正相关关系，而黄铜矿的 $\delta^{34}S$ 和 $\delta^{56}Fe$ 值则存在一定的负相关关系。通过进一步模拟黄铁矿沉淀-重结晶过程中的 S 和 Fe 同位素行为，我们认为矿物沉淀时的热液的 S 和 Fe 同位素组成、其分馏系数的差异、沉淀时的温度以及矿物-流体之间的同位素交换程度均会导致 S 和 Fe 同位素分布的不均一性；而在热液保持稳定的条件下，硫化物沉淀过程中相似的矿物-流体交换程度可导致黄铁矿 $\delta^{34}S$ 与 $\delta^{56}Fe$ 之间的线性关系。类似的，稳定的液体系下黄铜矿沉淀过程中平衡分馏，可能导致热液硫化物中黄铜矿和斑铜矿的 $\delta^{56}Fe$ 和 $\delta^{34}S$ 值呈轻微的负相关关系。S 和 Fe 同位素的这一共变特征能够为追踪海底热液系统硫化物矿化过程提供新的手段。

S65-O-10

南海深水珊瑚发育阶段及其对底流演变的响应

陈忠 [1,2*]，张斌 [1]，张应威 [1,2,3]，田雨杭 [1,2]

1 三亚海洋生态环境工程研究院

2 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

3 中国科学院大学

* chzhsouth@scsio.ac.cn

深水珊瑚广泛分布于大陆架、大陆坡、海山和深海盆地，其生长繁衍和分布受基底、颗粒有机质、温度、盐度、溶解氧、文石饱和度等局域环境条件的影响,也受海平面升降、季风演变、海流变化、海底流体等外在环境的控制，是古气候及古海洋学研究的绝佳载体，在解决深海通风状况和海气碳循环、洋流演变、深海物质循环等关键问题中发挥重要作用。论文以采集的南海深水珊瑚样品为研究材料，结合前人研究，划分了南海深水珊瑚主要分布区域并阐释了不同区域深水珊瑚种属与多样性特征，测定深水珊瑚碳氧稳定同位素特征以及铀系年代学，揭示了南海深水珊瑚生长影响因素、发育演化阶段特征及其对北太平洋中层水演变的响应。

统计结果表明南海深水珊瑚可分为 15 科 37 属 73 种，其中主要为石珊瑚（68 种），其次为软珊瑚（5 种），可以划分为 8 个分布区。测定的深水珊瑚最老年龄 228ka,处于中更新世（MIS7)。南海深水珊瑚的生长发育可划分为六个阶段。阶段①珊瑚发育处于全新世以来的高海平面暖期，海洋气候环境相对稳定，阶段②至阶段⑥处于低海平面阶段。根据深水珊瑚年龄分布及与全球海平面、南海有孔虫氧同位素变化曲线的对应情况，南海深水珊瑚生长发育划分为全新世以来高海平面暖期和中更新世-全新世低海平面冷期 2 种成因的发育模式。研究揭示南海与

大洋通风性的根本改变影响和控制全新世前后南海深水珊瑚成因模式的切换，中更新世-全新世深水珊瑚的生长发育主要受到北太平洋中层水增强以及进入南海的下层环南极绕极流控制；全新世以来深水珊瑚的发育则主要受到南海通风增强以及沿着 Smin 路径进入南海的北太平洋中层水的影响。

南海深水珊瑚的 $\delta^{234}U_i$ 为 138.9-162.0‰，与南海周缘物质的 $\delta^{234}U_i$ 不同，而与高纬地区风化冰川的 $\delta^{234}U_i$ 相似，研究揭示南海 $\delta^{234}U_i$ 记录是北太平洋中层水侵入南海的直接证据。HS1 时期南海深水珊瑚 $\delta^{234}U_i$ 跃迁与亚北极冰伐碎屑激增时间一致，但早于北大西洋记录，表明增强的北太平洋中层水携带亚北极冰伐融水释放的高 $\delta^{234}U_i$ 信号侵入南海并影响深海生态环境。南海深水珊瑚 $\delta^{234}U_i$ 跃迁时间早于北大西洋深水珊瑚 $\delta^{234}U_i$ 跃迁时间约千年，是北太平洋的气候环境变化在驱动全球气候方面发挥先导作用的新证据。

S65-O-11

深海热液/冷泉生物群的汞同位素特征及汞来源分析

袁晶晶[1]，孙若愚[1*]，刘羿[1]，陈顺[2]，彭晓彤[2]

1 天津大学，地球系统科学学院

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* ruoyu.sun@tju.edu.cn

海洋系统孕育着丰富且结构迥异的食物网，其物质和能量传递的规律对生命起源探索以及未来环境变化预测具有一定的启示意义。海洋是表层地球系统重要的汞（Hg）库，也是无机汞转化为剧毒甲基汞的主要场所，而甲基汞能够随食物网物质和能量的传递进行生物富集和放大。通过研究食物网内和网间的汞循环有助认清海洋生态系统的物质和能量循环。

目前，大部分关于汞的来源、转化和富集的研究主要集中在小于 1000 米的上层海洋光能食物网。近年来，随着国际上特别是我国在深海装备和深海采样技术上的跨越式发展，占海水总体积超过 70%的深层海洋汞的来源及循环也日益受到重视。汞稳定同位素尤其是奇数汞同位素（$\Delta^{199}Hg$ 及 $\Delta^{201}Hg$）是研究海洋汞来源及转化过程的有力工具。例如，近两年开展的关于深海海沟生物群中汞同位素组成的研究表明海沟生态系统的汞主要来自上层海洋光能食物网的甲基汞。

深海海底流体活动能够将地球内部的物质和能量释放到深海环境中。因此，以海底热液及冷泉生态系统为代表的化能自养食物网相比于其它食物网具有完全不同的物质和能量来源，其所孕育的繁盛生物群落是生命起源与演化的主要研究对象，同时也是理解海洋汞循环过程的关键要素。因此，本研究以印度洋洋中脊热液区典型底栖生物（盲虾、贻贝、铠甲虾及鳞足螺等）以及中国南海冷泉区贻贝为研究对象，通过测试总汞/甲基汞含量以及碳、氮、汞稳定同位素组成，发现：1）海底热液能够释放大量的汞进入到深海环境，并沉积在近场硫化物中且被生物群落所吸收/富集；2）上层海洋光能食物网传输下来的甲基汞（$\Delta^{199}Hg = 2.14‰$）对深海热液/冷泉生物群汞（$\Delta^{199}Hg = 0.13‰$）的贡献非常低，后者主要从热液以及周围海水/沉积物吸收并富集汞。此外，通过对热液区硫化物汞同位素的研究发现：3）热液硫化物可能是海洋重要的汞汇，其不但富集热液释放的汞，而且对上覆海水中汞的清除通量也很大（~160 吨/年）。本研究进而认为深海的热液硫化物以及之前报道的海沟沉积物（~160 吨/年）一起贡献了非常大的深海汞埋藏通量，而此通量并未体现在最新的《全球汞评估报告》中。

S65-O-12

琼东南盆地含气流体活动发育特征及其与渗漏型天然气水合物动态成藏关系研究

张伟[1,2,3*]，梁金强[3]，苏丕波[1,2,3]，刘鹏奇[1,2]，季春生[1,2]，鄢伟[1,2]，袁胜[1,2]，王力峰[1,2,3]，王飞飞[1,2,3]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局 ，三亚南海地质研究所

2 中国地质调查局南海地质科学院

3 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

* zwgmgs@foxmail.com

琼东南盆地是南海北部陆坡发育的一个大型”高温超压“盆地，含气流体活动广泛发育且与油气及天然气水合物富集成藏关系密切。通过高分辨地震、钻探及测井等资料综合研究分析，可以了解含气流体活动控制渗漏型水合物动态富集成藏及海底冷泉发育演化的机理。含气流体活动主要相对集中发育于凹陷中心或凹陷与凸起构造转换带，呈现出模糊或杂乱地震反射特征，模糊带呈多种外形，发育规模大小不一，且无固定刺穿层位。地球物理资料显示，含气流体活动与天然气水合物（BSR）时空匹配关系良好，成因密切。含气流体活动形成受控于凹陷中沉积充填的巨厚泥页岩、凹陷高温超压潜能、断裂，突起等构造薄弱带及有机质生烃增压。含气流体及其伴生构造是深部烃源岩有机质生烃向浅层运移聚集的优势通道，烃类气体可以通过这些通道运移至海底浅层水合物温压稳定域，形成天然气水合物藏，因而含气流体活跃区域是有利的水合物勘探和钻探目标。同时，过于强烈的含气流体活动的热效应，可能改变水合物形成的稳定条件或者破坏已形成的水合物藏，导致水合物的不均匀分布及海底渗漏现象，最终在盆地形成海底冷泉系统、浅层水合物藏及深部油气藏”叠置共生“的现象。

S65-P-1

渤海湾近海底流体逃逸活动特征研究

陈江欣[1*]，贾雪倩[1,2]，童思友[2]，Leonardo Azevedo[3]，徐华宁[1]，陈珊珊[1]，杨睿[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 中国海洋大学

3 里斯本大学

* jiangxin_chen@sina.com

海底流体活动对于烃类气体或流体的聚集、运移和逃逸起到重要的作用。渤海浅层气异常发育，研究渤海湾流体活动特征，对于了解渤海油气和规避浅层气有关的海底作业安全问题具有参考价值。基于对研究区单道地震资料及其提取属性资料的解释分析，识别麻坑、丘状体、喷口、海底反射暗淡四种海底流体逃逸特征，气烟囱和断层两种浅层流体运移通道。气烟囱分为严格柱状和不规则柱状，断层运移流体的能力取决于断层的活动性。增强反射和亮点可能是流体横向运移的良好指示物。流体运移模式从可能的流体来源、浅层运移通道、海底微地貌三方面阐述了流体动态迁移过程，揭示了研究区域浅层流体运移体系。

通过对二维地震数据的解释分析，形成以下初步认识：

（1）识别近海底流体活动特征，麻坑、丘状体、流体喷口和海底反射暗淡是渤海湾流体逃逸活动的海底表现，不同类型的浅层流体运移通道是流体流动和复杂构造背景的产物。

（2）气烟囱和活动断层是两种主要的浅层运移通道，在气烟囱两侧观察到的增强反射和亮点代表流体的横向运移，断层的活动性控制沿断层运移流体的能力，可通过近海底反射暗淡，”V”形麻坑识别。

（3）不同成因来源的流体形成海底流体逃逸特征有所差异，浅层流体形成小尺度喷口、“U”形麻坑和海底反射增强；深层流体往往形成大尺度的喷口。

（4）研究渤海湾的流体活动特征和归纳浅层流体运移体系，为分析渤海海洋环境流体以及海上作业时规避浅层气有关的海洋地质灾害提供参考。

S65-P-2

南海北部自生重晶石记录的甲烷渗漏与天然气水合物动态演化的可能联系

冯俊熙[1,2]，李牛[3*]，杨胜雄[4]，梁金强[1]，罗敏[5]，王宏斌[6]，孙晓明[2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局
2 中山大学
3 中国科学院南海海洋研究所
4 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
5 上海海洋大学
6 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
* liniu@scsio.ac.cn

目前的研究表明，在 33 万年以来的低海平面和海平面下降时期，南海北部存在强烈的甲烷渗漏活动，一般认为是静水压力下降导致天然气水合物分解所致。反过来，在相对高海平面时期，甲烷渗漏强度可能会减弱。然而，目前南海北部甲烷运移通量下降事件只有少量的地质地球化学记录。由于自生重晶石沉淀会在硫酸盐-甲烷转换带（SMTZ）上方形成，并且通常会在甲烷扩散通量下降时才能得到保存。因此沉积物中出现依次积累的自生重晶石可以为地史时期甲烷通量持续下降提供可靠的证据。我们对南海北部台西南盆地下陆坡水合物有利区采获的两个沉积物柱样开展了钡的地球化学研究（站位水深分别为 3218 m 和 1730 m）。研究结果表明，在两个柱样现今存在甲烷向上扩散到海底浅表层的现象，伴随着硫酸盐还原和沉积重晶石的溶解及钡的释放等地球化学作用。并且在现代 SMTZ 之上从上到下存在 4 个钡富集层。这些现象指示甲烷扩散通量在过去发生了 4 次明显的下降。根据沉积物和孔隙流体的钡含量判断，早期成岩过程中形成的自生重晶石来源于在海水中形成的生物成因重晶石。根据沉积物中自生钡含量和孔隙水中溶解钡浓度数据，我们计算了形成自生钡富集层所需要的总时长。计算结果表明冷泉渗漏甲烷通量在末次盛冰期以后约 1 万多年内逐渐下降。虽然两个站位距离较远，但是都存在类似的自生钡富集记录。本研究案例加上台西南盆地内其它冷泉活动记录，均指示甲烷渗漏活动在末次冰期和末次冰消期广泛存在。本研究的结果也支持了海平面下降促使天然气水合物分解和冷泉渗漏活动的假说，对水合物动态成藏历史和驱动机制研究具有重要的指示意义。

S65-P-3

墨西哥湾北部冷泉重晶石钡同位素组成特征及控制机理

冯东[1*]，宫尚桂[1]，王旭东[1]，田兰兰[2]

1 上海海洋大学，海洋科学学院
2 中国科学技术大学，地球和空间科学学院
* dfeng@shou.edu.cn

墨西哥湾北部海底冷泉环境广泛发育重晶石，这些重晶石由向上渗漏的富含钡的冷泉流体与近海底孔隙水或海水中的溶解硫酸根沉淀形成。冷泉重晶石作为一种重要的沉积型重晶石类型，对它的钡同位素的组成特征及控制机理目前还不清楚。我们对墨西哥湾北部八处水深 500 米至 2200 米冷泉区采集的重晶石开展了钡同位素、硫氧同位素及锶同位素组成分析。结果表明冷泉重晶石的 $\delta^{138}/^{134}$Ba 值从约-0.20‰到+0.30‰，且具有较高 $\delta^{138}/^{134}$Ba 值的重晶石通常也具有显著正偏的 δ^{34}S 和 δ^{18}O 值。初步分析认为这种趋势与海水硫酸盐在重晶石沉淀过程中所经历的显著的微生物硫酸盐还原作用有关，研究团队正在分析研究区发育的冷泉碳酸盐岩的钡同位素，旨在确定上述猜想的正确性。

S65-P-4S

南海南部冷泉渗漏活动沉积物和孔隙水的地球化学响应特征

吴学万[1]，万志峰[1*]，陈崇敏[1]，张伟[2]，黄伟[2]

1 中山大学，海洋科学学院

2 广州海洋地质调查局，三亚南海地质研究所

* wanzhif@mail.sysu.edu.cn

以强烈的物质循环和甲烷渗漏为特征的冷泉在重建古海洋环境和追溯生命起源方面具有重要的作用。南海南部具有丰富的油气资源，是冷泉研究比较理想的场所，但是截止至目前为止南海南部的冷泉研究还不够深入。我们研究了北康盆地四个重力柱所采集的沉积物及孔隙水的地球化学特征，并结合地震资料，旨在进一步揭示这一区域内的冷泉活动特征。结果显示，所有重力柱的孔隙水在一定深度都出现了极低的 $\delta^{13}C$ 值，且 SO_4^{2-}浓度随深度呈现出递减的趋势。除站位 BH-CL46A 的沉积物外，其余三个站位的沉积物在一定深度都出现了最大的 DIC 含量与其对应的最小的 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值。此外，站位 BH-CL37 沉积物的 Sr、Ba 以及 Ni 的富集因子和 Sr/Mg 随深度变化图像呈现出扭折式的特征。孔隙水中极低的 $\delta^{13}C$ 值指示着强烈的 AOM 过程和自生碳酸盐岩的来源；根据孔隙水中 SO_4^{2-}浓度随深度的变化曲线，以及沉积物中出现最大的 DIC 含量的深度与其对应的最小的 $\delta^{13}C_{DIC}$ 值，我们计算得出了硫酸根甲烷转化带深度；通过站位 BH-CL37 沉积物的元素含量随深度变化图像的分析，我们推测该站位曾经存在过古硫酸根甲烷转化带。结合地震资料分析，我们认为流体速率和地质构造能够极大的影响沉积环境和地球化学特征，从而引起明显的区域性冷泉活动差异。我们此次关于南海南部冷泉的研究证明了冷泉在空间和时间上的变化，探明了南海南部复杂的地质构造在提供不同种类的冷泉方面具有重要作用，为进一步加强冷泉区域差异发育研究奠定了基础。

S65-P-5S

南海冷泉孔隙水地球化学研究

朱金玉[1]，管红香[1*]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

在海底冷泉系统中，深层沉积物中向上扩散的甲烷，与浅层沉积物孔隙水中向下扩散的硫酸盐，在甲烷厌氧氧化古菌和硫酸盐还原菌共同作用下发生甲烷厌氧氧化作用（SD-AOM）。孔隙水研究对识别硫酸盐甲烷转换带（SMTZ）的深度、深海沉积物中甲烷的类型、来源、量化硫酸盐通量和甲烷通量具有重要作用。我们对南海海马冷泉区六个站位（PC3、ROV2、ROV3PC1、ROV1Y、ROV2A、ROV2Y）孔隙水样品进行了离子浓度、溶解无机碳及其碳同位素、顶空气组分及甲烷碳氢同位素的测试分析。研究发现，海马冷泉边缘重力柱（PC3、ROV2、ROV3PC1）的 SMTZ 在 5mbsf 附近，冷泉活动区插管（ROV1Y、ROV2A、ROV2Y）的 SMTZ 普遍较浅，在 25cmbsf 附近。所有站位的硫酸盐还原在 SMTZ 处以 AOM 为主，其余深度段由甲烷厌氧氧化和有机物氧化共同驱动。顶空气成分主要为甲烷，$\delta^{13}C_{CH4}$ 在-97‰～-54‰的范围内，δD_{CH4} 在-260‰～-125‰的范围内，甲烷类型以混合成因气和生物成因气为主。重力柱 SMTZ 处硫酸盐通量范围在 18~67 $molm^{-2}Ka^{-1}$，甲烷通量在 41~81$molm^{-2}Ka^{-1}$ 左右；冷泉活动区（插管）硫酸盐通量较大，较重力柱采集区硫酸盐通量高一个数量级，377~680$molm^{-2}Ka^{-1}$ 左右。孔隙水的地球化学研究为追踪冷泉环境下甲烷来源、重建深海冷泉渗流模式提供了参考。

S65-P-6

ELEVATED NUTRIENTS AND SURFACE CHLOROPHYLL-ɑ ASSOCIATED WITH NATURAL METHANE SEEPS IN THE HAIMA COLD SEEP AREA OF THE QIONGDONGNAN BASIN, NORTHERN SOUTH CHINA SEA

邸鹏飞[1*]，李牛[1]，陈多福[2]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 上海海洋大学

* pfd@scsio.ac.cn

Cold seeps are a significant source of methane to the ocean. However, nutrients and Chl-ɑ in the euphotic layer overlying cold seeps have been poorly studied. Variations in Chl-ɑ, nutrients, environmental parameters, and CH_4 concentrations in the Haima cold seeps were analyzed. Results show that the overlying water exhibits a typical low nutrient and low Chl-ɑ marine environment. Phosphate and Chl-ɑ were significantly elevated, and the average SCM in cold seeps was much higher than that in control stations. Spearman correlation analysis indicated Chl-ɑ in cold seep was positively correlated with salinity and negatively with nutrient and CH_4 concentrations. It implied that the CH_4 concentrations may promote the increase of Chl-ɑ, and may be linked to CH_4 plumes, bringing cold, nutrient-rich waters to the thermocline. However, due to the CH_4 plumes hardly to track, more sampling is needed to determine the effects on Chl-ɑ and phytoplankton in the euphotic layer.

S65-P-7S

东海冲绳海槽北部硫酸盐和金属驱动的甲烷厌氧氧化作用：来自碳酸盐岩的证据

刘磊[1,2,3]，管红香[1*]，许兰芳[4]，孙治雷[2]，吴能友[1,2,3*]

1 中国海洋大学，海洋地质学院海底地质与勘探技术教育部重点实验室

2 自然资源部青岛海洋地质研究所，天然气水合物重点实验室

3 中国海洋大学，环境科学与工程系深海多圈层与地球系统前沿科学中心

4 中国科学院广州能源研究所，水合物实验室

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

* wuny@ms.giec.ac.cn

冲绳海槽北部的自生碳酸盐已被证明是由硫酸盐和铁驱动的甲烷厌氧氧化作用形成的(分别为SD-AOM和Fe-AOM)；然而，涉及的微生物组成仍然认识不清晰。为了更好地了解微生物在特定生物甲烷氧化过程中的类型和作用，本研究使用岩相学、矿物学、元素和脂质生物标志物分析研究了采自冲绳海槽北部水深约540−700m的自生碳酸盐。碳酸盐岩矿物主要是文石、高镁方解石、低镁方解石或白云石。块状碳酸盐岩的极低$\delta^{13}C$值(−59.2‰)，厌氧甲烷氧化古菌的分子化石(ANME；−131‰)和硫酸盐还原菌(SRB；−77‰)表明自生碳酸盐是AOM的产物。生物源甲烷被确认为所有碳酸盐的主要碳源，而生物降解油和热液输入补充了碳源。结合富集的$\delta^{18}O$值(高达+5‰),甲烷流体被认为是天然气水合物分解的产物。特定生物标志物模式所揭示，方解石碳酸盐岩中ANME-2

群落占主导地位。在以方解石和文石为主的碳酸盐中，相对较高含量的亏损 ^{13}C 的异戊二烯和硫酸盐还原细菌相关脂肪酸、强烈的 Mo 富集和生物碎屑反映了其在浅层硫酸盐-甲烷转换(SMT)中由 SD-AOM 驱动所形成。对于其他冷泉碳酸盐，少量的亏损 ^{13}C 的异戊二烯和低含量的 2,6,10,15 四甲基十六碳烷表明 ANME-1 组合占主导地位。含白云石的碳酸盐中极低的含量和碳同位素不亏损的异/反异 $C_{15:0}$ 脂肪酸(−27‰)表明 ANME 和 SRB 的解耦现象。低总有机质、低 Mo 含量、白云石和菱铁矿的出现以及 $\delta^{56}Fe$ 值随着 Fe/Al 的增加而降低指示，这些碳酸盐最有可能形成于 SMT 下方或底部，并由 Fe-AOM 驱动形成。

S65-P-8

冰期旋回中的南海冷泉活动

李牛[1]，王旭东[2]，冯俊熙[3]，陈芳[3]，周洋[3]，王茂宇[4]，陈天宇[4]，Germain Bayon[5]，Jörn Peckmann[6]，程海[7,8,9]，R.Lawrence Edwards[10]，陈多福[2]，冯东[2*]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 上海海洋大学，海洋科学学院

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局，国土资源部海底矿产资源重点实验室

4 南京大学，地球科学与工程学院

5 IFREMER,Marine Geosciences Unit

6 Universität Hamburg,Institute for Geology

7 西安交通大学，全球环境变化研究院

8 中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室

9 中国地质科学院岩溶地质研究所，自然资源部岩溶动力学重点实验室

10 University of Minnesota,Department of Earth Sciences

* dfeng@shou.edu.cn

甲烷水合物广泛分布于大陆边缘，是海洋和大气中甲烷的潜在来源，可能影响地球气候。然而，目前关于甲烷水合物对全球气候变化的响应，尤其是在冰期-间冰期循环时间尺度上的响应还知之甚少。在这里，我们获得了从中国南海的水深 664-871 米的几十到几百米长的含水合物沉积物中提取的冷泉碳酸盐岩的年代。我们的研究发现，在过去 44 万年中，7 次强烈的甲烷渗漏事件中有 6 次与水合物分解有关，并都位于深海氧同位素阶段(Marine Isotope Stages)的间冰期，即深海氧同位素第 1、5e、7c、9c 和 11c 期。数值模拟结果表明这些甲烷水合物不稳定事件可能是由南海中层水快速升温 2.5~3.5℃所触发。这一发现为深海甲烷水合物储层对冰期-间冰期气候和海洋旋回的敏感性提供了直接证据。

S65-P-9S

海底冷泉系统中镁钙同位素组成研究进展

黄永诗[1]，宫尚桂[1*]，冯东[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* sggong@shou.edu.cn

自生碳酸盐岩沉淀是海洋中镁钙和无机碳的“汇”过程，其镁钙同位素组成（$\delta^{26}Mg_{DSM3}$、$\delta^{44/40}Ca_{915a}$）可以记录古海水化学性质、成岩作用等，为研究全球镁钙循环和表生环境的演化提供关键信息。以往对于碳酸盐岩镁钙同位素分馏特征的认知主要基于沉淀实验，然而自然环境中碳酸盐岩的沉淀速率远低于沉淀实验。海底冷泉是探究碳酸盐沉淀过程中镁钙同位素分馏行为的绝佳场所，因此，本文综述了海底冷泉自生碳酸盐岩和孔隙水镁钙同位素组成研究进展：（1）文石 Mg 同位素组成（−1.47‰±0.11‰，N=5）大于高镁方解石 Mg 同位素组成（−3.33‰±0.32‰，N=14）；文石 Ca 同位素组成（0.77‰±0.13‰，N=16）小于高镁方解石 Ca 同位素组成（1.36‰±0.13‰，N=48），表明冷泉碳酸盐岩的镁钙同位素组成一级受控于矿物类型；（2）冷泉沉积孔隙水镁钙同位素组成数值

计算表明，碳酸盐岩沉淀过程中镁钙同位素分馏特征与沉淀速率的关系和沉淀实验结果存在巨大差异，突出了冷泉系统镁钙同位素分馏的复杂性及其研究的必要性。综上，冷泉碳酸盐岩沉淀过程中镁钙同位素分馏程度一级受控于矿物类型，但碳酸盐岩沉淀矿物类型控制因素和同一类型矿物沉淀同位素分馏变化程度及影响因素仍然未知。冷泉系统是探究镁钙同位素分馏机理的重要场所，仍需进一步研究早期成岩过程中碳酸盐岩沉淀 Ca、Mg 同位素分馏特征及控制因素（沉淀速率、孔隙水化学性质等），为镁钙同位素方法示踪海洋钙循环、碳酸盐岩成岩作用等提供必要参数。

S65-P-10S

南海北部陆坡九龙甲烷礁烟囱状冷泉碳酸盐岩 AS 富集机制

陈子恒 [1]，宫尚桂 [2*]，贾子策 [3]，冯东 [4]

1 上海海洋大学，海洋科学学院
2 上海海洋大学，海洋科学学院
3 上海海洋大学，海洋科学学院
4 上海海洋大学，海洋科学学院
* sggong@shou.edu.cn

冷泉碳酸盐岩微量元素富集特征忠实记录了海底极端环境元素循环和沉积环境。研究发现冷泉沉积物具有强烈的 As 富集特征，其成因探究对揭示海底冷泉碳酸盐岩沉积环境、微量元素富集机制具有重要意义。本文对南海九龙甲烷礁的两个碳酸盐岩（A 和 B，采样水深约 750m）进行了横截面碳氧同位素和主微量元素地球化学分析。数据结果表明：（1）两个烟囱具有典型的甲烷成因碳酸盐岩 $\delta^{13}C$ 值偏负信号，且自外向内碳酸盐含量增高，$\delta^{13}C$ 值降低，指示了烟囱形成过程中甲烷通量的增大；（2）相较于烟囱 B，烟囱 A 具有更高的 Mo_{EF} 和 Mo/U 值，指示更加硫化的环境；（3）两个烟囱自外向内 Mo_{EF} 和 U_{EF} 具有递增趋势，但 As_{EF} 却无明显变化，突出了冷泉沉积中 As 与 Mo、U 富集机制的差异性——后者与体系的开放程度和甲烷通量具有紧密联系；（4）相较于烟囱 A，烟囱 B 的 Fe/Al 比值和 As_{EF} 更高，且两者具有正相关性，表明冷泉沉积 As 的富集主要受到 Fe 的供给或铁穿梭机制的影响。综上所述，冷泉沉积中 As 的富集主要与 Fe 的迁移转化相关，但仍需进一步明确冷泉沉积中 Fe 迁移转化过程与不同微量元素耦合关系，为探究冷泉碳酸盐岩中微量元素的沉积环境指示意义提供启示。

S65-P-11

南海北部神狐海域天然气水合物富集区浅层沉积物地球化学特征及年代学框架

郭睿波 [1*]，方允鑫 [1]，匡增桂 [1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，水合物工程技术中心
* 463786492@qq.com

以南海北部神狐海域天然气水合物试采矿体为研究区，对其浅层沉积物进行密集采样，以获取神狐海域浅层沉积物古生物地球化学信息，为探究沉积物的物源及古气候、古环境特征，建立神狐海域浅层年代学框架提供理论支撑。综合研究区浅层沉积物有孔虫生物事件和钙质超微生物事件，为建立神狐海域浅层年代学框架提供浅层关键信息。基于钙质超微化石和有孔虫生物地层学数据，识别出上新世至晚更新世 10 个浮游有孔虫生物地层事件，钻达的地层不超过 3.92Ma，该钻孔可能缺失了上新统上部和更新统下部的地层。基于沉积物的孢粉特征，W20 站位浅层沉积物中的孢粉大多为热带、亚热带植物属种，温带类型较少。草本植物中水生植物 Typha 偶现，结合部分温带属种和高寒针叶属种的出现，说明钻孔内孢粉沉积可能来自于冰期时出露的陆架上延伸的

河流携带沉积。钻孔内孢粉呈现断续增多或减少，多说明孢粉稀少时期为间冰期，河流携带的孢粉沉积较少，多为风力携带，而冰期时孢粉沉积显著增多，大多与沟鞭藻含量增多呈同相变化，推测更可能是河流携带沉积。基于硅藻组合和丰度预测沉积时期推测研究区沉积物沉积时期海平面变化趋势，该站位深度在 1.1～2.8m 之间 Azpeitia nodulifer 占据优势地位，推测该层段所代表时间段为海平面上升时期；在 3.1～15.3m 层段 Azpeitia nodulifer 和 Cyclotella straita 波动起伏变化，Paralia sulcata 含量很低，Coscinodiscus radiatus 和 Thalassiosira oestrupii 含量增加，推测该层段所代表时间段经历了海平面上升-海平面下降的变化过程；在 15.6～21.3m 层段 Cyclotella straita 占据优势地位，推测该层段所代表时间段为低海平面时期；在 21.5～24.3m 层段 Azpeitia nodulifer 占优势地位，指示该沉积时期海平面上升；在 24.6～29.8m 层段 Cyclotella striata 占据优势地位，推测该层段所代表时间段为低海平面时期；而在 30.1～33.8m 层段 Azpeitia nodulifer 占优势地位，推测该层段沉积时期海平面上升；在 34.1m 之上大部分硅藻化石溶蚀，无法依靠硅藻组合变化推测沉积环境的变化。

S65-P-12

冷泉宏生物的碳利用和营养策略

管红香[1*]，刘磊[1]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

在冷泉系统甲烷进入水体前，无脊椎动物及其共生菌扮演着最后一层“甲烷过滤器”---通过有氧氧化消耗甲烷，该过程在阻止甲烷进入水体并引发海水酸化过程中起着极其重要的作用。然而冷泉宏生物与共生菌之间的碳利用和转化，及其共生机制对沉积环境的改造仍不清楚。通过对南海冷泉管状蠕虫的生物标志物和单体碳同位素研究发现，管状蠕虫营养体内的共生菌不断向宿主输送碳源和能量，同时宿主也能够捕获环境中的部分有机物，并与共生菌进行双向能量传递。对南海 F 站位贻贝 *Gigantidas platifron*，海马冷泉区 *Gigantidas haimaensis*、*Bathymodiolus aduloides* 和 *Archivesica marissinica* 进行了脂质生物标志物和单体碳稳定同位素分析。研究发现宿主软组织及其合成化合物与共生菌软组织及专其属性生物标志化合物的 $\delta^{13}C$ 非常相近，表明宿主直接从共生体中获得营养或以这种方式获得大部分碳源。同时，不同宿主动物获取甾类化合物的方式各不相同，与甲烷有氧氧化菌共生的 *Gigantidas platifron* 和 *Gigantidas haimaensis* 主要借助共生菌甾类化合物保持细胞膜的稳定性和流动性，*Archivesica marissinica* 只含有极低含量的甾类并主要存在于足内，而 *Bathymodiolus aduloides* 则通过宿主合成和滤食的方式来共同获得生存需要的甾类化合物，并且宿主合成和滤食的比例大概为 97:3。研究成果为理解深海极端冷泉环境中的物质能量代谢和碳循环提供了思路和参考。

S65-P-13

中元古代黑色页岩有机质成熟度参数演化特征

马巳翊[1*]

1 中国石油勘探开发研究院

* msh01@petrochina.com.cn

近年来，大量研究成果表明中元古代的大气氧浓度高于先前认识，实体化石和分子钟证据也指示真核藻类在中元古代已经出现。然而，中元古代海洋中的真核藻类主要由超微藻、微藻组成，原核生物在海洋初级生产者中也同样具有重要地位，中元古代和显生宙有机质保存模式存在显著差异。这会对沉积有机质的化学结构产生影响，并进而

改变生物标志物分布及其随热成熟度的演化特征。本研究利用黄金管热模拟解析中元古代下马岭黑色页岩生烃过程，发现多个生物标志物成熟度参数的演化趋势倒转，这可能与中元古代有机质的特殊保存路径有关。姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)来源于叶绿素，它们与长链正构烷烃通常在低成熟烃源岩可溶有机质中含量较高。但是，对于下马岭组样品，这些特征正好相反，n-C_{21}-/n-C_{22}+比值在高成熟阶段降低，Pr/n-C_{17} 和 Ph/n-C_{18} 比值随成熟度升高而持续增加。由于叶绿素主要来源于地表水的光养浮游生物，这一现象的可能解释是原核生物主导的生物圈影响了有机物的保存途径。超微藻等中元古代海洋中主要的真核藻类所转化形成的小颗粒有机质，在海洋水柱中沉降的过程中，异养微生物会不断降解这些有机质颗粒，只有一些抗降解能力较强的生物聚合物会被保存到沉积物中。同时，这些异养微生物也被保存下来并成为有机质前驱物的一部分，降低了真核藻类等初级生产者对元古代可溶有机质的贡献，而异养微生物对饱和烃的贡献比例随之升高。由于异养细菌细胞内缺乏叶绿素，因此低成熟和成熟阶段生成的烃类植烷和姥鲛烷含量较低。只有进入高成熟阶段，干酪根大分子结构开始裂解，释放源于浮游植物的生物标志物，Pr/n-C_{17} 和 Ph/n-C_{18} 比值增加，长链正烷烃的相对含量也增加。此外，中元古代黑色页岩重排藿烷类参数随成熟度的演化趋势也不同于显生宙黑色页岩。重排藿烷含量一般随热成熟度的增加而增加，但 XML 黑色页岩的 Ts/Tm、C_{29}Ts/C_{30}H 和 C_{30}DiaH/C_{30}H 比值在低成熟度阶段最高，在 320°C 热解产物中急剧下降，然后随着成熟度的增加而缓慢上升，高成熟度阶段的比值仍显著低于低成熟度阶段。成岩作用影响了干酪根中不稳定官能团的组成，显著提高了下马岭组可溶沥青中重排藿烷的含量，但并未明显影响干酪根大分子结构中的生物标志物组成。中元古代独特的生物保存途径可能导致中元古代烃源岩具有特殊的生物标志物演化特征，应在中元古代烃源岩评价中予以考虑。

S65-P-14

海底冷泉流体活动对沉积有机碳的贡献：基于 ROV 的探测设想

冯东[1*]，宫尚桂[1]，王旭东[1]，梁前勇[2]，罗敏[1]，胡钰[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 中国地质调查局，广州海洋地质调查局

* dfeng@shou.edu.cn

海洋沉积物中的甲烷是地球沉积圈最大的可交换碳储库，海底甲烷渗漏是驱动碳交换的主要方式。在传统认知中，冷泉和水合物发育区超过 90%的海底渗漏甲烷在海底浅表层沉积物中通过甲烷厌氧氧化（AOM）作用被消耗，甲烷碳转换为溶解无机碳（DIC）参与海洋碳循环。冷泉碳循环的最新模型表明，在化能自养生物异常繁盛的现代活动冷泉区，AOM 作用同时还生成了大量的溶解有机碳（DOC），为生态系统中的异养微生物提供碳源，冷泉区可能是深海一个重要的有机碳库。然而，AOM 作用对海底表层沉积物沉积有机碳库是否有贡献及有多大贡献还不清楚。现代海底活动冷泉系统是解决上述科学问题的最佳场所，但活动冷泉区范围通常只有篮球场大小，发生强烈渗漏的区域更小，通过深潜设备例如水下遥控机器人（ROV）开展探测是一种可行的方法。报告将分享研究团队近期在冷泉流体活动对沉积有机碳的贡献方面的一些思考，包括基于 ROV 开展现场实验，样品采集及研究设想等，旨在揭示冷泉系统有机碳的形成过程与机制，完善冷泉系统碳循环理论。

S65-P-15

基于拉曼光谱技术获取高温热液喷口流体的原位 PH 值

李连福[1]，张鑫[1,2,3*]，栾振东[1,3]，席世川[1]，杜增丰[1,3]

1 中国科学院海洋研究所

2 崂山实验室

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

深海高温热液流体的 pH 值是解读热液系统的海底之下复杂地球化学过程的一个重要指标。然而，准确获得高温热液喷口流体的原位 pH 值仍是一个挑战，因为热液流体的 pH 值容易受外部环境因素的影响。例如，热液流体中存在多种电离平衡物质，他们之间的电离平衡会受到温度的显著控制，电离平衡物质浓度变化会影响 pH 值的变化，但也为反演热液的原位 pH 值提供了线索。

原位拉曼光谱探测技术很可能是解决热液 pH 参数测量的理想手段，因为它可以避免热液流体取样与分析过程中温度和压力变化结果。虽然拉曼光谱不能直接获得热液的 pH 值参数，但可以对热液中存在的离子平衡体系，如 H_2S-HS^-、CO_2-HCO_3^-和 HSO_4^--SO_4^{2-}进行定量分析，从而在现场测量 pH 值。

最近，我们在 H_2S-HS^-电离平衡体系的高温定量分析工作的基础上，建立了热液的原位 pH 值测量方法，并将此方法应用于冲绳海槽热液流体的 pH 值的测量中。经测定，Jade 热液区喷口流体的原位测量 pH 值为 6.3，已经超过了特定温度和压力下的中性流体的 pH 值，表明 Jade 热液在高温喷口的 pH 值是弱碱性的。这种碱性可能是由于有机物的热分解增加了氨，或沉积物中碳酸钙的溶解。而常温下测量的 Jade 热液流体的 pH 值为弱酸性（4.7-5.1），这是由于随着温度的降低，热液流体中发生了硫化物的沉淀，反应过程中会产生更多的氢离子，并导致室温下的 pH 值呈酸性。

在未来的研究中，我们还将对热液中的 CO_2-HCO_3^-和 HSO_4^--SO_4^{2-}等电离平衡物质进行原位定量分析，并建立适用于不同 pH 值范围的测量模型，用于原位检测强酸性、弱酸性和碱性的热液口的 pH 值。

S65-P-16S

冷泉环境对甲烷水合物生成动力学的影响

张怡童[1,3]，席世川[1]，杜增丰[1,3]，马良[1,3]，栾振东[1,3]，张鑫[1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所

2 崂山实验室

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

深海活跃冷泉区分布着大量的天然气水合物，已经成为水合物研究的热点地区。深海活跃冷泉区赋存着大量的天然气水合物，自生碳酸盐岩以及冷泉生物群落，是一种复杂的深海极端环境。这种复杂的环境会显著地影响水合物的形成和分解，但是由于原位冷泉环境模拟的复杂性，导致冷泉环境对水合物形成和分解过程的影响还并不清楚。

本实验首次采用了原位获取的底层海水和冷泉流体样品在实验室内进行了多次甲烷水合物形成模拟实验，通过对比实验来探究冷泉环境对甲烷水合物生成动力学的影响。在模拟原位冷泉环境的 14 MPa、3 ℃的温压条件下，在毛细管中进行了甲烷水合物的生成实验。利用时间序列拉曼光谱和视频监测了甲烷水合物生成的整个过程，实验结果表明固体颗粒的加入对水合物的形成有着一定的促进作用，而这一促进作用在冷泉环境的自生碳酸盐岩中表现得尤为明显。与底层海水中 20 分钟的水合物诱导时间相比，冷泉流体中水合物的诱导时间仅需要 2 分钟，这一现象表明冷泉流体中的细小固体颗粒及其与海水相比较低的盐度均促进了水合物的生成。此外，冷泉流体中盐度的下

降可能归因于水合物分解产生的纯水的稀释作用，表明了冷泉环境中水合物记忆效应的存在。这些环境因素的综合影响解释了冷泉原位环境中水合物的快速生成，与前人冷泉环境中的原位水合物实验结果也保持了一定的一致性。

基于本实验的实验结果及以前的研究，我们提出了一个冷泉环境中甲烷水合物的生成模型，可以更好地阐明冷泉环境对水合物形成的影响，并对冷泉环境中水合物形成的动力学过程提供更深入的理解。

S65-P-17S

自然界中天然气水合物的结构转变:来自原位实验的证据

马良[1,3]，栾振东[1,3]，杜增丰[1,3]，张雄[1,3]，张怡童[1,3]，张鑫[1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所

2 崂山实验室

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

许多实验室的模拟已经证明当环境(温度、压力) 等外界条件的改变会导致已形成的稳定 I 型 (sI) 水合物向 II 型 (sII) 水合物发生结构转变，但是在自然界中尚未观察到这种水合物的结构转变现象。随着技术的发展以及对天然气水合物研究的深入，越来越多的地区发现了 sII 水合物。在目前自然界中已发现的 sII 水合物中，均含有 C_2H_6 或 C_3H_8 等大分子的烷烃气体。对于 sII 水合物的形成机理我们尚不清楚，尤其是在同一地区同一气源的条件下。我们无法分辨 sII 水合物是否在原位直接形成以及 sI 水合物是否会发生向 sII 水合物的转变。

我们在海马冷泉区利用活跃的冷泉喷口模拟了裸露天然气水合物的形成，并利用原位拉曼光谱技术对距离此喷口小于 6m 处的自然裸露水合物进行了原位探测。原位实验结果表明，即使在大分子气体 (C_2H_6, C_3H_8) 存在的冷泉环境中，天然气水合物也优先以 sI 水合物的形式形成。在随后的演化过程中，甲烷溶解度和水合物稳定性等因素会导致已形成的 sI 水合物在海水中进行结构重组，自发的转变为 sII 水合物。基于此，我们提出了一个自然界中 sI 水合物向 sII 水合物自发性结构转化的模型。下覆气源的供应和与海水的直接接触是裸露水合物结构发生转变的关键因素。我们认为这种自发的结构转变可能在浅表层沉积物中很常见，特别是在大分子存在的活跃冷泉区。该研究能够为原位环境中 sII 水合物的形成以及活跃冷泉区的浅表层沉积物中天然气水合物的结构分布模式提供一个新的视角。

S65-P-18

海马冷泉碳酸盐岩形成环境及触发机制研究

杨威[1,2]，任金锋[1,2]，匡增桂[1,2*]，许辰璐[1,2]，赖洪飞[1,2]，吴能友[1]，董田[3*]

1 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

3 中国地质大学（武汉），资源学院

* kzg21001@163.com

* dongtian@cug.edu.cn

冷泉碳酸盐岩及双壳忠实地记录了过去富甲烷冷泉流体渗漏活动的历史演化过程，同时也反映了冷泉活动区的古环境演化特征。本文以琼东南海域海马冷泉区的海底碳酸盐岩和生物双壳样品为研究对象，系统开展碳酸盐岩矿物学、岩石学、同位素地球化学以及质谱 ^{14}C 测年研究，探讨海马冷泉区碳酸盐岩的成岩环境、富甲烷渗漏流体的组成、甲烷来源以及演化特征、确定甲烷释放的年代，并探讨天然气水合物分解的触发机制。

研究结果显示，海马冷泉碳酸盐岩样品中可见石英、生物碎屑、黑色团粒和文石发育。生物碎屑以双壳类和有孔虫类为主，其中有孔虫类常见完整的有孔虫壳体，壳体内

部多被文石充填；而双壳类通常为细小的碎片。文石在冷泉碳酸盐岩中最为常见，发育较好的文石通常呈葡萄状，从暗黑色的团粒或沿着孔洞壁呈放射状生长，在阴极发光下不发光。冷泉碳酸盐岩的矿物组成包括石英、钾长石、斜长石、方解石、文石和粘土矿物。其中，文石是冷泉碳酸盐岩的主要组分，含量为 55.8~83.6%，平均为 77.0%。高 Mo-EF 和低 Al 含量指示低陆源碎屑输入和缺氧的沉积环境。在对稀土元素进行表层海水标准化后，生物壳体、文石和基质的稀土元素配分曲线均表现出 Ce 元素富集，指示了还原的沉积环境。

冷泉碳酸盐岩 $\delta^{13}C_{VPDB}$ 为-49.13~-39.45‰，具有显著的负异常，表明其碳源主要为生物成因。其中 1 号位置所取样品的 $\delta^{13}C_{VPDB}$ 为-41.24~-39.45‰，较 2 号位置（$\delta^{13}C_{VPDB}$ 为-49.13~-44.52‰）高，可能受到了海水溶解无机碳（DIC）的影响。冷泉碳酸盐岩 $\delta^{18}O_{VPDB}$ 为 2.93~4.41‰，表明可能存在天然气水合物分解。冷泉碳酸盐岩样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 没有明显的变化，范围为 0.709165~0.709198，与现代海水的 $^{87}Sr/^{86}Sr$=0.7092 非常接近，表现出典型的现代海水特征，即浅层 Sr 来源，无其他的 Sr 源输入。^{14}C 同位素测年也表明这些冷泉碳酸盐岩样品主要为现代的海底碳酸盐沉积物（碳酸盐沉积物：21.20~27.33 ka BP, 生物壳体：7.42~7.50 ka BP）。生物壳体的 ^{14}C 同位素测定可以获得冷泉碳酸盐岩形成的准确年龄，基本确定冷泉碳酸盐岩形成于 7.42~7.50 ka BP，处于高海平面阶段，进一步证明高海平面是甲烷渗漏、冷泉碳酸盐岩形成的触发因素之一。

S65-P-19S

冷泉羽状流声学特征数值模拟

彭文睿[1]，邢磊[1,2*]

1 海底科学与探测技术教育部重点实验室，中国海洋大学海洋地球科学学院

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* xingleiouc@ouc.edu.cn

冷泉羽状流是全球海洋环境中广泛分布的自然现象。当前，数值模拟是获得海底冷泉羽状流地震响应的主要途径，前人研究所依据的含气泡介质声速模型不能完整描述海底冷泉的物理性质，采用的声波方程也不适用于高频地震波数值模拟。

基于南海“F”站冷泉多波束探测、浅地层剖面等数据，确定研究区冷泉羽状流的基本形态特征。冷泉羽状流中气泡的形态由其赋存状态、体积函数、泡内气体、液体的粘性以及气泡间的热交换等因素决定，声波传播到气泡会产生气泡空化和气泡共振等现象。综合考虑上述因素，使用 Keller-Miksis 方程和 Van der Waals 方程，推导出描述含气泡液体对声波传播的衰减系数和传播速度，建立含气泡介质声速模型。结合上述模型以及随机介质理论最终确立海底冷泉羽状流声学模型。结合含气泡液体中的声波的线性传播特征及声波波动方程，使用有限差分方法进行正演模拟。

本工作建立了准确的含气泡介质声速模型及海底冷泉羽状流气泡模型，通过准确的声波方程，实现对海底冷泉羽状流的精确数值模拟。结果实现了对海底冷泉羽状流精确的数值模拟，为进一步研究羽状流产生的地震响应奠定基础。

S65-P-20S

南海北部陆坡海底表层沉积物黄铁矿硫同位素组成及其对海洋硫循环的启示

姜新宇[1]，宫尚桂[1*]，梁前勇[2]，冯东[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* sggong@shou.edu.cn

* dfeng@shou.edu.cn

地质历史时期海洋硫循重建借助于地球化学手段，海洋沉积物自生黄铁矿硫同位素组成（$\delta^{34}S_{py}$）是最常用的指标之一。在早期成岩过程中，$\delta^{34}S_{py}$ 随着与埋藏作用伴随的深度积累效应逐渐偏正，该过程可通过同沉积黄铁矿形成模型和微区硫同位素分析能够很好的限定。然而，亦有大量证据表明，在一些海洋环境海底表层沉积物 $\delta^{34}S_{py}$ 随着深度首先呈现逐渐偏负至一定程度后保持稳定，目前对造成这种现象的原因并不清楚。研究团队前期的工作表明，南海东沙海域采集的重力活塞柱状样 DS-08（水深 889 m、柱长 7.0 m）中从表层到 2 米处 $\delta^{34}S_{py}$ 值从-16.8‰减小至-42.8‰，2 米以深 $\delta^{34}S_{py}$ 值基本保持不变。结合沉积物中黄铁矿的形态学和含量，孔隙水硫酸盐浓度及硫同位素组成，沉积物的总碳、总有机碳、总氮、总硫含量和粒度和浮游有孔虫 ^{14}C 年龄等数据，发现柱状样中不同形态的黄铁矿晶型（草莓状、八面体）和草莓状黄铁矿较大的平均粒径变化范围（6.3 μm–16.6 μm），表明黄铁矿是在沉积物孔隙水中沉淀形成的，可用于探究早期成岩过程中黄铁矿硫同位素组成。海底至 2 米处随着深度的增加，$\delta^{34}S_{py}$ 值从-16.8‰减小至-42.8‰，表明最表层沉积物中微生物硫酸盐还原过程产生的硫同位素分馏程度<40‰，且随着深度增加而增大。综合认为，较高的沉积速率和高有机质供给特征下沉积物中 $\delta^{34}S_{py}$ 值更负，这一特征截然不同于以往认知高沉积速率/有机质供给导致 $\delta^{34}S_{py}$ 值偏正。研究初步揭示了沉积物浅表层 $\delta^{34}S_{py}$ 值随深度增加而降低现象的机制，突出了沉积物中 $\delta^{34}S_{py}$ 值的不同沉积环境响应特征，为利用 $\delta^{34}S_{py}$ 揭示早期成岩环境和海洋硫循环提供了新的启示。

S65-P-21

南海北部多类型天然气水合物成藏机制调查研究

孙治雷[1*]，孙运宝[1]，张喜林[1]，李昂[1]，曹红[1]，徐翠玲[1]，耿威[1]，董刚[1]，陈烨[1]，张栋[1]，徐思南[1]，李世兴[1]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* zhileisun@yeah.net

南海北部某区位于主动大陆和被动大陆过渡带，冷泉活动发育，并赋存有丰富的天然气水合物资源。利用二维、三维多道地震，近底精细地质调查取样和地球化学调查，发现本区海底浅层沉积物内渗漏型水合物和中深层沉积物内扩散型水合物均发育，但在垂向上的空间匹配性并不明显，表明两种类型水合物的成藏过程相对独立；对运移通道系统解析后，发现始新世－渐新世有效连通了中上侏罗统烃源岩层与浅层地层，为深层热解成因烃类向浅层的迁移提供了重要通道，早中新世-中中新世坳陷阶段构造演化发育了大量浅层断裂体系，可与深部断裂体系形成较好接力，将烃类流体运移至水合物稳定带形成渗漏型水合物，并形成海底冷泉系统；对浅表层水合物发育区的冷泉碳酸盐岩测试分析后，发现主要以微纳米白云石颗粒为主（64-84 wt%），其碳同位素 $\delta^{13}C_{V\text{-}PDB}$ 为 34.64 - 39.16，VPDB ‰，流体包裹体以 CO_2（50.07%）和 N_2（37.5%）为主，含有少量的 CH_4（9.3%）、C_2H_6（0.96 %），表明成岩流体主要为无机成因。该工作第一次将区域内的渗漏型和扩散型水合物作为一个整体系统开展调查研究，对于理解多类型水合物成藏规律，准确评价其资源量提供了重要参考依据。

S66-O-1

深海鱼类的起源：深渊的适应与入侵

何舜平[1*]

1 中国科学院水生生物研究所

* clad@idsse.ac.cn

There are about 30,000 species of fish on the earth, some of which are distributed in fresh water, most of which are distributed in the continental shelf within 200-300 kilometers of the coast, and less than 10% of them live in the deep sea below 2,000 meters. The origin and evolution of these deep-sea fish have always been a mystery. In this study, a series of morphological and genomic characteristics were compared between a snailfish living below 7,450m sea level and the other teleost living on the surface. The result found the adaptive mutation has occurred on the skeletal, cellular, and molecular levels in response to the high pressure of abyss environment. From the perspective of molecular evolution, this study has presented that the origin and evolution of deep-sea fish are related to the geological structure changes of the ocean bottom.

S66-O-2

大数据时代的深渊微生物研究

王景[1]，赵维殳[1]，肖湘[1*]

1 上海交通大学，深部生命国际研究中心

* zjxiao2018@sjtu.edu.cn

受益于近年来我国在载人和无人深潜技术和深海装备领域的重大突破，使得大范围系统性获得深渊沉积物和水体样本成为了可能，结合以测序技术为代表的多组学技术的大力发展，以及人工智能在生命科学领域的前沿探索，深渊微生物的研究迎来了大样本量、大数据量、多数据类型和多学科交叉的“大数据”时代。充分利用“大数据”所提供的优势解析深渊微生物所涉及的生物学和生态学的科学问题，并进一步通过微生物大数据为海洋学和地球科学提供新的线索，是新时代所面临的关键机遇与挑战。本报告对深渊微生物研究的历程与现状进行了小结，并通过对标国际人类微生物组、地球微生物组以及 TARA Oceans 计划等其他先行的微生物大数据研究范例，对“大数据”时代开展深渊微生物研究的新思路和新范式进行了梳理和展望，展示了依托“奋斗者”号载人潜水器取样开展的 MEER (Mariana Trench Environment and Ecology Research Project) 计划初步成果。

S66-O-3

基于环境 DNA 分析揭示马里亚纳海沟底栖生物多样性

张海滨[1*]，刘君[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* hzhang@idsse.ac.cn

深渊区是深度超过 6000m 的深海海域，其特殊的生态环境可能造成了其独特的生物类群，但是目前我们对深渊底栖生物多样性的认识还比较有限。本研究中，我们利用环境 DNA 数据分析，比较了西北太平洋马里亚纳海沟（~6500m）和冲绳海槽（~1000m）底栖生物群落结构和生物多样性。结果表明这2个深海区域存在大量的底栖真核动物及后生动物类群，而更浅处的海槽区比深渊区具有更多的底栖生物种类，说明深渊区生物多样性相对偏低。而且这 2 个深海区域的底栖生物类群存在明显差异，仅有较少部分的生物类群可能在二者之间共享。另外发现环节动物是海槽区多样性最高，而且丰度较高的一个动物类群，但是线虫却是海沟区多样性和丰度都最高的动物类群。研究结果提高了我们对深渊底栖生物多样性的认识，为进一步研究不同深渊区底栖生物多样性提供研究基础。

S66-O-4

横穿“挑战者深渊”的深部地壳结构：构造变形和强烈的蛇纹石化地幔层

贺恩远 [1]，丘学林 [1,4*]，陈传绪 [2]，王元 [3]，徐敏 [1]，赵明辉 [1,4]，游庆瑜 [3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院深海科学与工程研究所

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 中国科学院大学

* xlqiu@scsio.ac.cn

全球最深海沟“挑战者深渊”位于伊豆-小笠原-马里亚纳俯冲带的最南段，该区域的俯冲板块年龄古老，俯冲角度陡峭，基底变形强烈，被认为是典型的“冷俯冲带”。由于极限水深的制约，长期以来对该区域的深部结构探测不足，对其地质表象背后的俯冲过程和运行机制认识较少。2017 年 1-3 月，研究团队搭载 TS03 航次在马里亚纳俯冲带南段横穿“挑战者深渊”布设了一条 230 km 长的广角深地震测线 TS2017-2，该测线垂直海沟走向，包括了多个构造单元。沿测线共投放和回收 18 台主动源海底地震仪（OBS）。其中，在海沟内成功投放和回收了我国最新研发的万米级 OBS，坐底最大水深为 10060 米，使我国成为世界上首个成功获取万米级海洋人工地震剖面数据的国家。基于以上数据，我们通过正、反演走时模拟的方法获得了沿测线的深部 P 波速度结构。结果显示，正在进入俯冲系统的太平洋板块洋壳厚度为 6.5-7.2 km，属于正常的太平洋洋壳，但是其地壳速度远远低于后者；八台 OBS 地震剖面中均观测到了来自输入板块上地幔内部的反射震相 PnP，由此确定了上地幔内存在反射界面，计算发现该区域存在厚 4.0-6.5 km，速度为 7.0-7.5 km/s 的上地幔异常层。我们认为输入板块地壳速度和上地幔速度的降低与板块挠曲产生的拉张型断层有关，这些断层不仅破碎了地壳，也为海水进入上地幔提供了通道，导致干燥地幔橄榄岩发生蛇纹石化。结合区域的多波束地形和地球物理数据，我们提出该上地幔异常层为强蛇纹石化地幔层，其形成可能与蛇纹石化地幔橄榄岩的机械强度快速变化有关。

S66-O-5

挑战者深渊玄武岩揭示沿马里亚纳海沟最南端俯冲的太平洋 MORB 具有印度洋型同位素特征

徐文景 [1]，彭晓彤 [1*]，Robert J. Stern[2]，徐夕生 [3]，许恒超 [1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 University of Texas at Dallas,Department of Geosciences

3 南京大学，地球科学与工程学院

* xtpeng@idsse.ac.cn

为什么地球表面的最深点——挑战者深渊——如此深（10,909 米）尚不清楚，但部分原因一定是下沉板块的年龄和密度。当前沿伊豆–小笠原–马里亚纳（IBM）海沟俯冲的西北太平洋洋壳为早白垩纪–侏罗纪，但沿马里亚纳海沟最南端俯冲的太平洋洋壳的时代和性质尚不清楚。我们研究了全海深载人潜水器“奋斗者”号首次从挑战者深渊采集的玄武岩，包括俯冲板片和上覆板片玄武岩。$^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年结果表明俯冲板片玄武岩形成于早白垩世（～125 Ma），表明其是太平洋板块的一部分，而不属于南部卡罗琳微板块（渐新世）。这些玄武岩略微富集不相容元素，但具有与其他西北太平洋玄武岩（MORB）相似的微量元素和 Hf 同位素组成。与此同时，这些玄武岩具有略微富集的 Sr–Nd–Pb 同位素组成，表现出印度洋型地幔域同位素特征——这些特征可能是地幔柱–洋中脊相互作用的产物且在 IBM 弧岩浆 Dupal 异常特征形成过程中起到重要作用。

来自上覆板片的一件弧前玄武岩（FAB）样品给出 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为～55 Ma——与IBM 初始俯冲时间在误差范围内一致。

S66-O-6

深渊持久性有机污染物赋存及来源

谢婧倩 [1*]，吴强 [1]，罗敏 [2]，陈多福 [2]，张高信 [3]，李英明 [3]

1 上海海洋大学，海洋生态与环境学院

2 上海海洋大学，海洋科学学院

3 中国科学院生态环境研究中心，环境化学与生态毒理学国家重点实验室

* jqxie@shou.edu.cn

海斗深渊通常被认为是一片远离人类影响的原始净土。最新研究却表明深渊区域已受到各种污染，但缺少对污染物在深渊中环境行为、富集影响因素和污染来源解析。本研究针对西太平洋马里亚纳海沟、新不列颠海沟和玛索海沟中沉积物和钩虾开展海沟持久性有机污染物（POPs）赋存及来源研究。结果表明，1）深渊沉积物存在较轻的 POPs 污染，新不列颠海沟污染大于马里亚纳海沟和玛索海沟。沉积物污染水平一定程度上受总有机碳（TOC）影响。深渊沉积物 POPs 污染源自海表面输入，且存在非工业多氯联苯（PCBs）污染；2）深渊钩虾 POPs 污染较为严重，主要受区域和物种影响。马里亚纳海沟钩虾中有机氯农药（OCPs）和多氯联苯（PCBs）富集程度大于玛索海沟和新不列颠钩虾。钩虾 *Alicella gigantea* 污染富集能力大于钩虾 *Hirondellea gigas*。生物-沉积物富集因子（BSAF）和 $\delta^{13}C$ 同位素结果表明钩虾中 POPs 来源于与上层生物发生物质交换，而非直接来自于生存环境的沉积物中。

本研究结果揭示了深渊区生物和非生物介质中有机污染现状、主导因素、污染物在介质中的传递过程和环境行为，并为揭示污染来源提供理论依据。

S66-P-1S

新不列颠海沟沉积物水提溶解有机质性质及其控制因素

孙琦 [1]，胡廷苍 [2]，罗敏 [1]，陈多福 [1*]

1 上海海洋大学

2 聊城大学

* dfchen@shou.edu.cn

深渊海沟（Hadal Trench）指的是水深大于 6000 米的海洋极端区域，最近的研究表明,深渊海沟凭借其“漏斗状”地形和活跃的构造环境成为深海有机碳埋藏和降解的热点区域。为了研究深渊沉积物水提溶解有机质的组成以及对生物地球过程的指示，本研究对采集于新不列颠海沟两个剖面（东支和西支）的陆坡、海沟轴部和海盆区共 8 个站位的沉积物水提溶解有机质（DOM）进行了分析。结果显示两个轴部站位沉积物溶解有机碳（DOC）含量明显高于深海盆地，但略低于西支陆坡站位，并且各站位 DOC 含量与沉积物总有机碳含量呈显著正相关（$r=0.9$，$P<0.01$），指示海沟区有机质的供应是影响 DOC 浓度的重要因素。此外，光谱数据发现轴部沉积物水提 DOM 荧光类腐殖质组分含量要高于陆坡和深海盆地，DOM 分子特征指示轴部沉积物中有更多的富含羧基的脂环分子（CRAM）和多环芳烃类化合物，两者共同说明海沟轴部沉积物中有更多的惰性 DOM 组分产生，并且还分布有较多的荧光活性类蛋白组分，这可能与轴部较强的微生物活动和有机质降解过程相关。

S66-P-2S

深渊海沟沉积物中活性铁氧化物对有机碳的保存作用

姜伟华 [1]，罗敏 [1*]，陈多福 [1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* mluo@shou.edu.cn

全球海洋表层沉积物中大约有 20%的有机碳（OC）通过与活性铁氧化物（Fe_R）结合而免受微生物降解，长期稳定保存在沉积物中。深渊海沟被认为是深海有机质沉积中心和微生物活动的热点区，并且可能是深海陆源有机碳重要的汇。Fe_R 对 OC 的绑定作用可能是深渊海沟沉积物中 OC 稳定和保存的关键因素。我们拟对全球多个海沟，包括日本海沟、马里亚纳海沟、新不列颠海沟、克马德克海沟、阿塔卡马海沟、南桑德韦奇海沟和阿留申海沟的沉积物铁结合有机碳（Fe_R-OC）的含量、占总有机碳比例（f_{OC-FeR}）以及来源开展研究。目前已完成从阿塔卡马海沟和克马德克海沟的海沟轴部和临近深海平原 12 个站位采集的沉积物短柱样的 Fe_R 提取实验，测定了 Fe_R 含量， Fe_R-OC 的含量和稳定碳同位素组成（$\delta^{13}C$）。结果表明，尽管阿塔卡马海沟沉积物中总有机碳（TOC）含量（0.87%±0.47%）显著高于克马德克海沟（0.28%±0.08%），并且其 OC 埋藏速率与 Fe_R 含量也相对较高，但阿塔卡马海沟沉积物活性铁氧化物结合有机碳的百分比（16.9%±8.0%）却低于克马德克海沟（31.6%±9.8%）。这可能由于不同海沟沉积物中 OC 分子结构不同，与 Fe_R 结合难易程度和结合强度也有差异。同时，两条海沟沉积物中 Fe_R-OC 的 $\delta^{13}C$ 总体高于 TOC 的 $\delta^{13}C$，表明 Fe_R 主要结合海洋有机碳。阿塔卡马海沟两个海沟轴部站位 AT-S10 和 AT-S2 沉积物氧化还原界面活性铁氧化物沉淀伴随着 Fe_R-OC 比例显著升高，说明共沉淀作用在捕获 OC 中发挥重要作用。在氧化还原界面之下的次氧化-缺氧沉积物中，尽管 Fe_R 含量较低，但 Fe_R-OC 比例随埋藏深度增加而升高，暗示 Fe_R 与 OC 的相互作用很大程度上提高了沉积有机碳的稳定性。本研究将填补深渊海沟环境中 Fe_R-OC 的数据空缺，为准确评估 Fe_R 在全球范围内对 OC 的保存提供重要数据支持，有助于深入认识 OC 在深渊沉积物中的保存机制，评估深渊海底 OC 埋藏在海洋碳循环中的作用。

S66-P-3

马里亚纳海沟南端俯冲板片上的热液锰沉积

许恒超 [1]，彭晓彤 [1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

俯冲带系统是海洋表层与地球深部物质循环的关键场所，在这里岩石、沉积物和海水随板块俯冲进入地球深部。锰元素是海洋中重要的金属元素之一，由于锰氧化物的高吸附性能，锰元素影响着海洋中大量金属元素的循环。基于锰元素的质量平衡计算发现，俯冲带锰元素的输入通量远远大于岛弧区锰的输出通量，然而，造成这种质量不平衡的原因尚不清楚。2016 年，“蛟龙”号载人潜水器在马里亚纳海沟南端“挑战者”深渊外侧隆起断层处进行了多次下潜，采集了大量的锰氧化物沉积体。利用地球化学、矿物学以及微观分析技术，我们对这些样品进行了系统分析，发现了不同类型的热液流体来源锰氧化物。这些热液成因锰氧化物主要包括高铜、锌元素含量的黑锰矿和低铜、锌元素含量的层状锰酸盐。两种不同类型热液成因锰氧化物的形成可能与俯冲板片弯折断层密切相关。在海沟外侧隆起区，板块弯折诱发断层发育，这促进了海水下渗，并引起剧烈的水岩反应。由于板块弯折程度的差异和断层深度的不同，不同俯冲时期水岩反应类型的差异导致了流体中不同的金属元素含量。由于外侧隆起区弯折断层的大量发育，这里不仅沉积了不同类型的热液成因锰氧化物，也使得大量的锰元素在俯冲前释放到海水中，因此我们的发现可能是俯冲带锰元素质量不平衡的一个合理的解释。

S66-P-4S

马里亚纳海沟深渊沉积物中芽单胞菌和绿弯菌的代谢潜力和互作机理研究

杜江涛[1]，胡琳[1]，刘如龙[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

* rlliu@shou.edu.cn

不同微生物的种间相互作用是维持微生物群落结构和功能的基础，在驱动生物地球化学循环和维持生态系统健康方面具有决定性的作用。已有的微生物相互作用机制的研究大多是基于少数模式微生物，而对自然环境中的微生物群落中的微生物种间互作机理的认识较少。深渊海沟是深海有机碳再矿化的热点区域，在深海碳循环中扮演着重要的角色。然而，目前对深渊海沟微生物如何相互作用及其相互作用机理等尚不清楚，限制了对深渊元素循环机制的认识。本研究系统地分析了马里亚纳海沟深渊活性微生物之间的相互作用网络，发现在深渊沉积物活性微生物群落中占据主导地位的绿弯菌和芽单胞菌具有显著的共现关系，揭示这两类细菌之间可能存在紧密的相互作用。通过宏基因组分箱技术获得了 73 个芽单胞菌 MAGs 和 189 个绿弯菌 MAGs。代谢网络重建和对比发现两类微生物在代谢潜力上存在显著的差异。与绿弯菌相比，芽单胞菌在碳水化合物转运代谢，细胞壁/膜/被膜合成，胞内转运、分泌和小泡运输方面具有明显的强化。同时，芽单胞菌的氮代谢途径更加完整。而绿弯菌的硫代谢通路相对更加完整，且其具有较强的代谢多种惰性有机质的潜力，其中间代谢产物可能为芽单胞菌提供底物。基因组代谢模型预测两类深渊细菌可以交换多种辅酶因子和维他命，在介导两者之间的协同代谢方面具有重要的作用。研究结果有助于更加深入地认识深渊芽单胞菌门和绿弯菌门的生命代谢过程，增进了对深渊海沟中生物地球化学循环和潜在微生物驱动机制的理解。

S66-P-5

基于深渊和全球海洋沉积物研究海表温度和水深对 OH-GDGTS 指标的影响

肖文杰[1,2,3]，张传伦[2,4]，吕晓霞[5]，杨义[5]，Frank Wenzhöfer[3,6,7]，Ashley A. Rowden[8,9]，Ronnie N. Glud[3,10]，许云平[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院深渊生物前沿科学研究中心

2 南方科技大学，海洋科学与工程系深圳市海洋地球古菌组学重点实验室

3 University of Southern Denmark, Department of Biology (HADAL, Nordcee & DIAS), 丹麦

4 南方海洋科学与工程广东省实验室 (广州)

5 中国地质大学 (武汉)，海洋地质资源湖北省重点实验室

6 Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar- and Marine Research,HGF-MPG Group for Deep Sea Ecology & Technology，德国

7 Max Planck Institute for Marine Microbiology

8 National Institute of Water & Atmosphere Research (NIWA) Ltd,Coast and Oceans National Centre，新西兰

9 Victoria University of Wellington,School of Biological Sciences，新西兰

10 Tokyo University of Marine Science and Technology,Department of Ocean and Environmental Sciences，日本

* ypxu@shou.edu.cn

羟基-类异戊二烯甘油二甲基甘油四醚化合物（OH-isoGDGTs）是一类微生物膜脂生物标志物，具有指示海洋温度的潜力。与不含羟基的 isoGDGTs 化合物及其指标（如 TEX_{86}）相比，关于 OH-isoGDGTs 的研究明显偏少。然而，最近研究显示海洋沉积物的 OH-GDGTs 可能同时受到海洋表层水温度（SST）和水深的影响。在本研究中，我们在两条深渊海沟（克马德克海沟和阿塔卡玛海沟）采集了沉积物样品（采样水深范围

2560 至 9560 米），分析了沉积物的 OH-GDGTs 化合物。结果显示：OH-GDGTs 以不含五元环的 OH-GDGT-0 化合物为主（平均占比为 72±8%），这可能反映了母源微生物对周边寒冷海水的适应机制，因为随着生长温度的下降，产 OH-GDGTs 微生物倾向于合成更多的 OH-GDGT-0 化合物和更少的含五元环的 OH-GDGTs-1 和 2 化合物。在此基础上，我们整理了前人发表的全球 OH-GDGTs 数据，统计分析显示 OH-GDGT-0 占统治地位是深海沉积物的普遍现象，这与土壤和浅海环境中 OH-GDGTs 组成明显不同。因此，前人主要基于近海沉积物提出的 OH-GDGTs-SST 转化公式并不适用于深海环境，会导致重建的 SST 值明显低于深海实际年平均海表温度。基于此，我们同时考虑了海表温度和水深对 OH-GDGTs 的影响，提出了更加精确的 OH-GDGTs 古温度代用指标。新的指标可同时适用于浅水区和全球海洋，其重建的温度偏差也明显小于早期的全球转化函数结果。因此，在利用 OH-GDGTs 指标重建海洋（尤其是深海）表层水温度时必须要考虑水深的影响，原因可能是深海沉积物中有更大比例的 OH-GDGTs 是来自于非表层水甚至底栖微生物的贡献。

S66-P-6

日本海沟沉积物有机质降解和甲烷循环

罗敏[1*]，IODP Exp. 386 Science Party[2]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 IODP Exp. 386,IODP Exp. 386

* mluo@shou.edu.cn

深渊海沟被认为是深海有机质的沉积中心和微生物活动的热点区。日本海沟的沉积过程以频繁的地震引起的快速事件沉积和有机质埋藏为特征。我们将展示国际大洋发现计划 IODP 386 航次 15 个钻孔的孔隙水地球化学数据，以起全面认识日本海沟有机质降解和甲烷循环过程。孔隙水总碱度和铵根含量随深度显著增加，表明发生活跃的有机质降解过程。大部分硫酸根浓度呈现较浅的硫酸盐-甲烷转换带（SMTZ，~3-10 mbsf），基本与大陆边缘沉积物的 SMTZ 深度相当，反映了日本海沟中活跃的甲烷厌氧氧化耦合硫酸盐还原作用。在 SMTZ，溶解无机碳（DIC）的 $\delta^{13}C$ 比有机碳和甲烷的 $\delta^{13}C$ 高的多，表明下伏产甲烷带内产甲烷作用残留较富集 ^{13}C 的 DIC 的贡献。

结合太阳号 SO191 和 SO251 在日本海沟获得的孔隙水数据，我们将利用反应-运移模型确定整条海沟尺度上的有机质降解和甲烷周转速率。我们的初步研究结果显示，有机质硫酸盐还原、甲烷厌氧氧化和产甲烷作用在海沟内的空间上变化显著。模拟结果显示，沉积速率的增加引起厌氧有机质降解速率增加，进而导致更高的甲烷厌氧氧化速率和更浅的 SMTZ。我们强调在海沟这种地震频发的构造环境中，边坡失稳导致的快速沉积作用将大量相对活性的有机质输送到海沟中，进而引发强烈的有机质降解和快速的甲烷周转。我们认为深渊海沟中的事件沉积作用在控制有机质降解和甲烷生物地球化学循环以及深部生物圈生命活动发挥关键作用。

S66-P-7

马里亚纳海沟挑战者深渊区岩石中一种新的微生物矿化方式研究

柳双权[1]，彭晓彤[1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

深渊作为地球海洋最深的区域，以压力大、温度低、无光、构造活跃、地震密集、生命奇特为特点。微生物如何生存和适应这种极端环境在很大程度上仍然保持未知。在这里，我们在来自马里亚纳海沟南部挑战者深渊的岩石表面发现了微生物膜，富含球状

物。地球化学分析表明这些球状物内部为纳米级针铁矿和有机物的混合体。扫描电镜和透射电镜的 EDS 分析，表明这些球状物富含碳和磷，表明它们潜在生物来源。球体的横截面显示了由针状纳米晶核心和胶体包膜组成的双层结构。振动光谱分析表明，这种胶体包膜是由细胞外聚合物质(EPS)组成的。这种矿化与所有其他已知的铁氧化细菌诱导的铁矿化完全不同，表明以前未知的铁与微生物在深渊环境中的相互作用。本研究结果强调了铁矿化的重要性及其在深渊环境中对生态系统的贡献。

S66-P-8

FE ISOTOPES AND RARE EARTH ELEMENTS VARIATIONS IN MARINE FERROMANGANESE DEPOSITS

陈顺 [1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，中国科学院深海科学与工程研究所

* chans@idsse.ac.cn

铁锰结壳和结核的铁同位素组成是研究海洋过程和海洋中铁的生物地球化学循环的可靠替代物。然而，这种同位素系统作为铁锰沉积成因机制示踪剂的潜力仍然有限。全岩元素组成表明，TVG6 和 TVG10 的铁锰氧化物为热液成因类型，JH(结核)和 21V-S7(结壳)为水成成因类型，而 JL（海沟的铁锰氧化物）为水成成因。除 TVG6 和 TVG10 外，样品的铁同位素组成变化较小，δ56Fe 范围为 0.002‰~ 0.543‰，并呈现出随着锰含量增加 δ56Fe 值增加的总体趋势。此外，JL 和 TVG6 的铁同位素组成比其他样品重。微区显微观察和 DNA 分析表明，JL 和 TVG6 样品中存在锰氧化细菌。我们认为，微生物可能诱导铁锰矿床中的矿物沉积，从而导致更重的同位素特征。生物成因假说为进一步理解深海铁锰结核/结壳的形成提供了另一个视角，对未来经济金属的勘探具有重要意义。

S66-P-9S

适用于蛇纹岩化区域甲烷-氢气水合物的热力学稳定性的模型

朱志伟 [1]，曹运诚 [1*]，郑子涵 [1]，吴能友 [2]，陈多福 [1,2]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* yccao@shou.edu.cn

天然气水合物是在高压低温条件下由水和气体组成的结晶固态物。微观上由水分子通过氢键连接组成的空腔和包裹在其中的各类气体分子构成。典型的气体分子包括甲烷、乙烷、丙烷和二氧化碳。氢气与常见气体分子不同，形成的氢气水合物若要达到稳定，在低温条件下需要极高压力。甲烷可以作为热力学促进剂来降低氢气水合物形成压力，且甲烷分子较小，使得氢气在水合物空腔中具有较高占有率。大洋洋壳超基性岩（橄榄岩、科马提岩等）和基性岩（例如玄武岩）与水相互作用可发生广泛的蛇纹岩化反应，主要发生在大洋中脊和弧前系统。理论上蛇纹岩化产生的无机成因甲烷和氢气可以为水合物的形成提供充足的气源。北大西洋和北冰洋之间 Fram 海峡的超慢速扩张脊是典型蛇纹岩化区域，其地震剖面上发现了甲烷水合物发育的似海底反射层(BSR)。理论上可通过计算水合物相平衡条件确定这些蛇纹岩化海底区域是否存在甲烷-氢气水合物。考虑氯化钠浓度对 CH_4、H_2 和 H_2O 化学势的影响，本文将海水的盐度（考虑主要成分为 NaCl）应用到 Vander Waals -

Platteeuw 模型中，其中 CH_4 和 H_2 的 Langmuir 常数和逸度分别通过经验公式和 Peng - Robinson 状态方程计算，Pitzer 模型则被用来计算甲烷-氢-氯化钠系统中 H_2O，H_2 和 CH_4 的活性系数。再结合范德华理论和分子势能模型建立新的可以预测在纯水和氯化钠溶液中甲烷-氢气水合物三相平衡热力学模型。结果表明，在纯水溶液中，模型计算结果和文献中收集的实验数据有良好的吻合，平均绝对百分比误差为 6.68%。与以往模型相比，建立的新模型适用温度-压力范围更广，计算结果的精确度相对更高。模型考虑了溶液中盐离子对于水合物稳定性的影响。盐水条件下甲烷-氢气水合物模型的计算结果显示：保持其他条件不变时，温度越大，NaCl 浓度越高，氢气摩尔分数越大，甲烷-氢气水合物形成所需的压力越大，但该模拟结果的准确性仍需实验进行验证。本文的研究可以为广泛的大洋区蛇纹岩化海底区域寻找甲烷-氢气水合物提供理论基础。

S66-P-10S

海底基岩风化环境砷的生物地球化学循环研究：以菲律宾海盆中央裂谷区为例

杨亚丽[1]，李季伟[2*]，彭晓彤[2]

1 中国科学院大学，地球与行星科学学院

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* lijiwei20025@idsse.ac.cn

海底基岩风化区，因水岩反应强烈，物质与能量交换频繁，形成一类在全球洋底广泛存在的典型金属元素释放环境，但目前对其内部砷循环尚不清楚。本研究以基岩风化严重的西菲律宾海盆中央裂谷区为例，利用矿物学、地球化学和地质微生物学交叉手段，对比研究了代表基岩风化产物的粘土沉积物和代表正常远洋沉积的硅藻软泥中的砷含量、赋存状态及其与砷循环相关的微生物组成和分布特征。矿物学结果显示，粘土沉积物主要由绿泥石、辉石、斜长石、云母、角闪石等组成，同时还有较丰富的超微铁锰结核。地球化学分析表明，粘土沉积物主要物源为部分蚀变玄武岩，其总砷含量为 18.42±1.40 mg/kg（n=50），硅藻软泥中总砷含量仅为 1.16±0.16 mg/kg（n=13），指示体量巨大的洋底基岩风化产物可能是深海沉积环境中的主要砷源之一。分布提取表明，粘土沉积物中强吸附态砷（r=0.72, p≤0.01）、无定形铁铝锰氧化物结合态砷（r=0.75, p≤0.01）均和总砷含量具显著的线性正相关性。激光剥蚀表明，粘土中超微铁锰结核总砷浓度为 48.07-74.28 mg/kg，显著高于粘土沉积物总砷含量，指示超微铁锰结核具有明显的砷富集作用。本研究测得超微铁锰结核砷含量约 3.70×10^{-4}μg/粒，进而推算出全球含氧海底沉积物中超微铁锰结核的总砷含量达到 $5.56\text{-}32.60\times10^{15}$ kg。因此，在深海基岩风化环境下，风化产物为主要砷源，而超微铁锰结核为主要砷汇。通过宏基因组学方法，在粘土样本中检测到包括 *arsC*、*ACR3*、*aoxA*、*aoxB*、*arxA* 等砷代谢相关功能基因，其中砷氧化还原基因相对丰度最高的是负责砷酸盐还原的 *arsC*。基于 *arsC* 蛋白质序列构建系统发育树，结果表明 *Pseudomonas* 可能是粘土沉积物中主要产生砷酸盐还原酶的微生物之一，推测其在此环境的砷循环中负责将粘土沉积物中的 As(V)还原为 As(III)，以增加砷的迁移能力，使砷从基岩风化产物中进入海水或间隙水中，再在表层偏氧化条件下被二次氧化并富集于超微铁锰结核中。因此，海底基岩风化区是一类典型的深海富砷环境，在微生物的参与下，砷完成了从基岩矿物释放、迁移并富集于超微锰结核的这一系列过程，是全球砷循环中的重要一环。

S66-P-11S

海沟沉积物中黑碳的来源、分布和埋藏通量

张曦[1]，许云平[1*]，肖文杰[1]

1 上海海洋大学，海洋科学学院 上海深渊科学与技术工程研究中心

* ypxu@shou.edu.cn

尽管人类活动和自然火灾导致了黑碳（BC）在环境中的广泛分布，但在深渊区（水深>6000 m 的海洋最深处）的沉积物中却从未报道过。在这里，我们测量了 6 条分布广泛的海沟沉积物中的 BC 和 TOC 的浓度及其 $\delta^{13}C$ 和 $\Delta^{14}C$。尽管海沟内部和不同海沟间的 BC 具有异质性，但 BC（占 TOC 的 12.4±7.8%）的 $\delta^{13}C$ (−27.7‰ ~ −22.3‰) 和 $\Delta^{14}C$ (−346‰ ~ −893‰) 通常比 TOC ($\delta^{13}C$：−24.4‰ ~ −19.9‰；$\Delta^{14}C$: −71‰ ~ −891‰)更负，表明陆生 C3 植物的老碳贡献更大。$\Delta^{14}C$ 双端元混合模型表明，与新不列颠海沟（50.1±8.4%）和布干维尔海沟（44.7±5.7%）相比，克马德克海沟（74.3±11.5%）和阿塔卡马海沟（71.0±16.5%）的 BC 中化石碳的比例更高。这种差异与区域社会经济发展、植被覆盖度和与陆地的距离有关。从本文研究的海沟扩展到全球的深渊区，BC 的埋藏通量为 1.19±0.70 Tg yr^{-1}，相当于每年全球海洋 BC 埋藏的 10.4±6.1%。因此，深渊区是一个以前被忽略的，但十分重要的深海 BC 汇。

S66-P-12S

马里亚纳海沟深渊硅藻沉积物孔隙水 DOM 光性和分子特征

郑可心[1]，胡廷苍[2*]，罗敏[1]，陈多福[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 聊城大学，地理与环境学院

* hutingcang@lcu.edu.cn

* dfchen@shou.edu.cn

水深超过 6000m 的深渊海沟代表了地球上水体环境中最深的区域，研究发现深渊区沉积物中较高的微生物活动强度和有机质含量与多种来源有机质的供应密不可分，其中马里亚纳海沟向海斜坡二个站位发育有硅藻沉积。为了深入研究深渊区硅藻沉积物中有机质的降解过程，我们对有机质降解的中间产物-溶解有机质（DOM）的特征进行了研究，测定了二个硅藻沉积站位和一个背景站位的孔隙水营养盐浓度、溶解有机碳（DOC）浓度、并运用紫外-可见波段吸光度、三维荧光光谱和傅立叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR MS）分析了 DOM 的光性和分子组成特征。硅藻站位沉积孔隙水中硝酸盐明显亏损，同时磷酸盐浓度高于背景站位，指示硅藻沉积可能有高的微生物活动强度和有机质降解速率。基于各站位沉积物 DOM 的荧光指数范围和沉积环境，沉积物孔隙水 DOM 可能来源于海源有机质的微生物降解。硅藻沉积物中类蛋白质组分荧光强度占比低于背景站位，类腐殖质组分则高于背景站位，同时，质谱分析结果发现硅藻沉积物中的 DOM 具有高的芳香系数和较多的高不饱和化合物和 CRAM 化合物组分，以上指标共同指示硅藻沉积物中的 DOM 比深海背景站位的 DOM 更加惰性，这可能是由于硅藻沉积物中较强的微生物活动在消耗活性组分的同时，产生了更多的惰性 DOM 导致。

S67-O-1

珠江口盆地构造演化旋回及其新生代沉积环境变迁

郑金云[1*]，高阳东[1]，张向涛[1]，张青林[1]，劳妙姬[1]，冯轩[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* zhengjy3@cnooc.com.cn

基于珠江口盆地中-新生代岩浆活动、断陷结构样式及其改造、典型构造变形样式、沉积中心的转换等特征的对比分析，盆地中-新生代的构造演化可划分为 4 个阶段、7 个期次：①中侏罗世-晚白垩世早期（~170-90Ma）为古太平洋板块俯冲主控的陆缘岩浆弧-弧前盆地演化阶段；②晚白垩世-始新世中期（~90-43Ma）为太平洋板块俯冲后撤背景下弧后周缘前陆/造山后塌陷-主动裂谷演化阶段；③始新世中期-中中新世（~43-10Ma）为华南挤出-古南海俯冲拖曳主导的被动陆缘演化阶段；④晚中新世以来（~10-0Ma）为菲律宾 NWW 向仰冲主导的挤压张扭演化阶段。~90Ma、~43Ma、~10Ma 分别实现了由安第斯型俯冲向西太平洋型俯冲、由主动裂谷向被动陆缘伸展、由被动陆缘伸展向挤压张扭的转换。在此过程中，伴随着古南海和南海的发育-消亡，新生代裂陷期沉积环境由东向西、由南向北逐渐海侵，裂后期由南向北阶段性差异沉降，由陆架浅水向陆坡深水转换，这使得珠I/III、珠II、珠IV坳陷的石油地质条件具有显著的分带差异性。

S67-O-2

基于多源数据与物理模型联合驱动的深层高分辨率处理技术

耿建华[1*]，高顺莉[2]，魏赟[2]，吴树梁[1]，张泽明[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中海石油（中国）有限公司，上海分公司

* jhgeng@tongji.edu.cn

提高深层地震分辨率是地震勘探领域长期的研究课题。以反射系数反演提高地震数据分辨率为例，地震数据与反射系数之间存在高度的复杂非线性关系，而基于传统物理模型驱动的高分辨地震处理技术，由于物理模型的不精确性以及算法实现等因素的影响，往往难以获得理想的高分辨率处理结果，但是，物理模型具有良好的泛化能力。近年来，数据驱动的深度学习技术显示出强大的复杂非线性映射能力，利用测井数据和井旁地震数据，通过深度学习网络训练，可以建立起地震数据与反射系数序列之间非线性映射关系，为地震反射系数反演提高分辨率处理提供了新途径。但是，深度学习需要大量、完备的标签数据进行网络训练，否则网络存在经验风险，泛化能力不足，而标签数据来自有限的测井数据。因此，我们将物理模型驱动与数据驱动联合起来，发挥各自优势，在深度学习的框架下实现反射系数反演，从而极大地提高了深层地震数据的分辨率。模拟与实际数据测试检验了方法的可行性与有效性。

S67-O-3

南海大型油气田形成条件分析

张强[1*]，李林[1]，杨涛涛[1]，王雪峰[1]，杨志力[1]

1 中国石油杭州地质研究院，海洋油气地质研究所

* zhangqiang_hz@petrochina.com.cn

通过截至 2021 年底 IHS 数据，南海总计发现各类油气藏与含油气构造 557 个，探明可采储量 76.5 亿吨油当量。通过对已发现的 557 个油气田及含油气构造统计发现，南海以中-小型油气田及含油气构造为主，其中小型 209 个，占总数量 30%；中型 235 个，占总数量 42%；大型、特大型油气藏与含油气构造分别为 75 个和 5 个，分别占总数量的 13%和 1%（图 1）。但从探明可采储量看，南海大型、特大型油气田储量占南海总储量 77%，其中大型占 46.7%，特大型占 30.3%（图 2）。结合南海区域地质背景及典型地质条件解剖，认为南海大型油气藏富集受控于五大地质条件：（1）断坳继承的大型坳陷是大中型油气田形成的前提条件，（2）煤系

烃源岩规模及有效性是大中型油气田形成的物质基础，（3）两类储层发育是大中型油气田富集的重要条件，（4）优质输配与保存条件是大中型油气田形成的保障，（5）油气藏类型与成藏组合控制了大中型油气田分布，以上认识对南海油气勘探开发具有重要的理论与实践意义。

S67-O-4

珠江口盆地珠一坳陷古近系油气差异富集规律及勘探潜力

陈维涛[1*]，高阳东[2]，彭光荣[1]，李振升[1]，许新明[2]，蔡嵩[2]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

2 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* chenwt2@cnooc.com.cn

南海北部珠江口盆地是中国近海重要的含油气盆地，伴随着新近系勘探程度的提高，珠一坳陷古近系已经成为重点勘探领域。针对珠一坳陷洼陷众多，地质条件差异显著的特点，系统梳理珠一坳陷洼陷形成机制、富生烃洼陷古近系油气富集规律，探索古近系勘探潜力。珠一坳陷古近系具有“多洼多隆、洼隆相间”的构造格局，洼陷贫富差异巨大。先存断裂活化机制、控洼断裂活动强度和结构样式控制了洼陷烃源岩的展布和规模，是洼陷是否富烃的主控因素。洼陷的供汇规模影响沉积充填，对于潜在富生烃洼陷和边缘新洼陷是否规模生烃具有重要的影响，低供汇比洼缘往往具有“小而肥”特征，是新洼探索的重要类型。岩浆活动一定程度上影响了湖盆的富营养化和后期烃源岩演化，对湖盆生排烃具有一定的积极意义。富生烃洼陷和潜在富生烃洼陷是现阶段古近系勘探的重点。对于文昌组，油气成藏以“自生自储、旁生侧储”的近源成藏为主，洼陷结构和源汇系统控制了油气富集，其中缓坡带和转换带是大型源汇体系发育的位置，往往也是晚期抬升油气汇聚的地区，是最为有利的勘探区带。恩平组紧邻文昌组烃源层系，油气成藏具有“相对近源、相对浅埋、相对优储”的特征，有效储盖组合和断砂疏导体系是其成藏的关键。恩平期处于弱裂陷阶段，具有“浅水广盆、整体富砂、局部富泥”的沉积特征，泥岩盖层控制了油气的分布和富集，其分布越稳定、厚度越大的地区，油气越富集。早期消亡型和长期继承型两类断裂均切割文昌组和恩平组，“源、断、砂”立体输导控制恩平组油气聚集。珠一坳陷古近系整体勘探程度较低，勘探潜力巨大，富生烃洼陷、潜在富生烃洼陷、部分新洼陷均具有古近系勘探的烃源基础，邻近烃源、断裂发育是古近系的成藏优势，有利源汇系统和优质储层发育是古近系勘探的关键。现阶段应立足已证实富生烃、潜在富生烃洼陷及部分新洼陷，分层系开展恩平组和文昌组针对性研究，落实关键成藏要素，优选有利成藏区带，有序推动古近系勘探。

S67-O-5

南海东北部潮汕坳陷晚侏罗世海底扇发育特征及油气地质意义

孙鸣[1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，海洋油气地质研究所

* 569811200@qq.com

关于南海东北部中生代的构造属性问题存在以下几种观点，一种观点认为南海海相中生界代表特提斯的东延，珠江口盆地东北部东沙-澎湖-北港隆起 NW 侧的韩江、东山-浅滩凹陷及 SE 侧的潮汕坳陷与台西南盆地为南海中生代特提斯期沉积盆地，主要依据是南海北部侏罗纪以来的海相中生代地层及超微化石等证据，但在特提斯东延的通道等方面依据不够完善；另一种观点认为

南海海相中生界主要受太平洋域影响而并非特提斯，主要依据是认为华南和印支地块之间的黑水河裂谷在晚三叠世已经关闭，之后华南和印支地块之间不再存在向西延伸的海水通道，但该观点不能够很好地解释如香港菊石等具有亲特提斯域特征的古生物化石出现的原因；还有一种观点综合前两种，认为南海及其围区中生代构造演化受特提斯域和太平洋域的交替复合影响。而对于这两大构造域如何控制海域中生代盆地的构造和沉积演化过程也一直是国际地学界关注的热点。依据 LF35-1-1 井揭示的潮汕坳陷中生代地层岩性和古生物特征，结合邻区钻井地层资料和华南陆地露头揭示的地层与沉积信息，大部分学者认为南海东北部海域潮汕坳陷晚三叠-晚侏罗世属于海相沉积，其海相地层尤其是上侏罗统沉积物主要来自正北和西北方向的自早侏罗世末期就已隆升成陆的华南陆缘物源区。

但近年来，广州海洋地质调查局利用单源单缆准三维地震采集技术获得的三维地震数据体，更为清晰地揭示了潮汕坳陷中生代地层的地震反射结构。通过对三维数据体的地震地层解释，发现在潮汕坳陷中生代晚侏罗世发育一套大型强振幅进积体，其内部可见向北西方向下超的地震反射特征，前积明显，平面呈扇形。由于其发育在晚侏罗世半深海-深海相背景下，推测该进积体为南向或东南向供源的海底扇沉积。这一推断，明显与现今普遍认为的南海东北部中生界尤其是侏罗系的物源主要来自正北和西北方向相悖。

笔者在前人关于潮汕坳陷构造演化研究的基础上，整体遵循地质与地球物理相结合的研究理念，综合利用 3D 地震数据以及大量区域 2D 测线，系统剖析该强振幅进积体的发育与分布特征，分析潜在物源方向，揭示其发育的构造沉积背景和形成演化过程，预测油气资源潜力，探讨油气地质意义，进而促进潮汕坳陷中生界深水深层的油气勘探实践，提高勘探成效，同时为南海东北部中生代构造演化研究提供地质依据。

S67-O-6

珠江口盆地陆丰凹陷古近纪张扭应力背景下断裂结构样式及控藏机制

邱欣卫[1*]，张素芳[1]，贾连凯[1]，孙阳子[1]，胡求红[1]，张明[1]，陈科洛[1]，郑仰帝[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* qiuxw2@cnooc.com.cn

珠江口盆地北部的珠一坳陷古近纪多受张扭应力场控制，表现为凹陷边界普遍发育雁列式断裂，形成众多构造转换带；凹陷内部断裂也多具张扭性特征，对圈闭形成、砂体展布有重要影响，但目前基于张扭应力背景下分析断裂的结构样式及其控藏作用研究还很薄弱。本文以陆丰凹陷为例，利用最新的三维地震资料，结合最新钻井情况和相关分析化验结果，基于张扭应力背景下的断裂发育机制，详细梳理关键区域的断裂解释，解析构造成因，揭示张扭应力场形成的动力学机制，进而分析了走滑断裂对圈闭形成、砂体展布、油气运聚的控制作用。研究结果表明：（1）明确了走滑断裂主要发育在晚文昌-早恩平期，形成机制主要与吕宋-琉球板块边界转换断层远程效应引起的区域构造应力场转变相关；（2）区域应力场的转变，使断裂走向发生变化，发育多组断裂相交而成的断块圈闭；（3）晚文昌-早恩平期辫状河三角洲受张扭断裂体系影响，砂体沿断裂走向表现为鱼跃式变迁特征；（4）张扭断裂体系沿走向易形成泄压区和增压区，对油气的运移和封堵具有重要控制作用。本文研究成果对解剖类似构造应力场发生转变引起的张扭断裂体系样式，及其对油气成藏的控制作用有重要意义。

S67-O-7

珠江口盆地古潜山成山演化及构造控储机制认识

吴哲[1,2*]，陈淑慧[1,2]，李洪博[1,2]，张丽丽[1,2]，劳妙姬[1,2]，吴婷婷[1,2]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

2 中海石油深海开发有限公司，研究院

* wuzhemelody@126.com

珠江口盆地进入主动潜山勘探阶段，系统的前瞻性基础研究将有利于从全盆视角明确有利潜山区带和目标。珠江口盆地基底主要为燕山期岩浆杂岩，以中酸性侵入岩为主，中生代岩浆活动以 105~165Ma 最为强烈，并发育了 NE-NEE 走向和 NW-NWW 走向两组中生代断裂。区域构造研究表明中生代期间，珠江口盆地处于古太平洋板片俯冲作用控制的陆缘岩浆弧构造环境，形成复合火山岩-侵入岩“双层”岩性组合。进一步明确中-新生代构造作用控制的潜山成储演化，揭示潜山风化壳储层发育模式，首次提出“燕山期造缝主导，裂陷期增缝，新构造活化开启”的裂缝储层发育机制，恢复了中-新生代潜山成储演化过程、形成了潜山风化壳识别技术和成山过程约束下的潜山成储演化分析技术，为珠江口盆地古潜山研究奠定了重要理论基础。

S67-O-8

惠西南断拗转换期复合沉积体系研究

向巧维[1*]，高阳东[2]，彭光荣[1]，王菲[1]，李智高[1]，李敏[1]，张琴[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

2 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* xiangqw@cnooc.com.cn

珠江口盆地惠西南地区古近系恩平组处于断拗转换期，具有近源、浅埋、富砂的特点，钻井揭示恩平组油气显示丰富，呈逐年增加趋势，随着 HZ26-6、HZ27-5 油区的相继发现，恩平组勘探成为未来重要增储领域之一。该地区恩平组时期发育“扇-辫”复合体系，主要体现为平面上、垂向上扇三角洲与辫状河三角洲交互发育，扇-辫转换较为复杂，使得储层物性差异大，为了精细刻画“扇-辫”复合体系，确定有利砂体，以动态源-汇分析思路为指导，综合运用沉积区钻井、三维地震以及岩矿等资料，对该地区恩平组沉积体系特征进行梳理及精细区分，确定扇、辫边界，结合断裂活动性及组合特征分析，厘清扇三角洲与辫状河三角洲的控砂机制，确定有利砂体分布相带，形成一套“扇-辫”复合沉积体系精细识别技术。研究表明：①相似地貌背景下发育不同成因机制的沉积体系，其主控因素为沉积期控沉积断裂的活动性，小幅度多频次活动的断裂背景下可发育大型辫状河三角洲，少频次大幅度活动的断裂背景下易形成扇三角洲。②四种断裂控砂样式控砂：同期生长型、凹面墙角型、单断陡坡型及凸面转换型。其中，同期生长型断裂可发育大型辫状河三角洲，沉积体规模大，物性好；凹面墙角型断裂可形成较大规模的扇三角洲，沉积体规模中等，物性较好，凸面转换型断裂带虽不供源，但由于砂体搬运较远，且易受水动力改造，反而能发育物性较好的砂体。③不同沉积体系在成因机制、测井相、地震相、岩相以及成份结构等方面均有不同特征，通过对五大特征的精细区分对比，确定了空间上扇、辫转换边界。该技术的运用成功地指导了后续井的钻探，获得规模性储量，并很好地为该地区储量计算边界的确定提供了依据。

S67-O-9

海域盆地深层优质储层主控地质因素分析

傅强[1*]，赵世杰[1]，滕骧[1]，卞雅倩[1]，朱志伟[1]，滕闻[1]，邢乐乐[1]

1 同济大学，同济大学海洋与地球科学学院

* fuqiang@tongji.edu.cn

我国东部海域盆地蕴含有丰富的油气资源，随着勘探开发工作的深入，埋深超过4000 米的深层油气储层是新的增储上产勘探开发的热点。由于埋藏深，岩石致密，造成海域深层储层物性普遍较差，寻找深层优质储层成为海域油气勘探必须解决的科学问题。本研究以我国东部海域深层优质储层主控地质因素为研究目标，通过渤海、东海、南海不同层位深层优质储层地质主控因素研究，得出：沉积作用、成岩作用、异常压力的形成、火山及岩浆作用、油气的早期充注是控制深层优质储层形成的主控因素。其中，渤中凹陷深层古近系沙河街组砂岩处于中成岩期—晚成岩期,砂岩粒度细,咸水低温钙质沉淀胶结,这些因素对深部储层孔渗的发育与保存不利;高温及高异常压力的存在,使得粉砂岩储层中矿物成分大量溶蚀,形成了受异常压力保护的原生粒间孔隙,以及长石、碳酸盐岩胶结物与岩屑等溶蚀形成的次生孔隙,从而构成了深埋条件下的相对高孔渗储层。东海丽水西凹古新统灵峰组砂岩砂岩处于早成岩 B 期到中成岩 A 期；砂岩储层经历了差异化的成岩演化过程，深层孔隙流体中含有的二氧化碳参与了储层的成岩作用，异常压力的发育造成深层砂岩储层具有较高的物性特征。南海北部潮汕凹陷古生界储层主要受控于火山与岩浆侵入加热，造成储层岩石矿物碎屑塑性增强，压实程度加剧，造成储层变差，此外机械压实作用、自生黏土、硅质、碳酸盐胶结等的胶结作用使中生界砂岩孔隙度变差，是降低砂岩储层物性参数的主控因素。

S67-O-10

珠江口盆地番禺 4 洼古近系储层特征及展布研究

张晓钊[1*]，邱欣卫[1]，蔡国富[1]，李振升[1]，李颖薇[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* zhangxzh31@cnooc.com.cn

番禺4洼和珠江口盆地大多数洼陷一样，具有典型的上下构造层的二元结构。下构造层是早期的陆相沉积地层，具有典型的“厚文昌、薄恩平”的特征，文昌组最大分布面积约 700km2，最大沉积厚度约 2500m，恩平组地层很薄，但分布广泛，以冲积平原相为主；上构造层以海相沉积为主，以三角洲平原相带为主；随着海平面的继续上升，珠江组上段和韩江组地层的泥岩含量增多，位于古珠江三角洲前缘相带。经过近 40 年的勘探，中浅层的有利目标数量越来越少，转型古近系勘探势在必行。传统的叠后地震反演只能得到波阻抗信息，解决地质问题的能力受限。叠前反演可以得到除波阻抗之外的多个弹性参数信息，大大丰富了描述储层的手段，增强了对复杂储层的描述和流体检测能力。但是在中深层地区，道集有效角度较小，传统的叠前三参数弹性参数反演及 AVO 属性反演均无法取得较好效果。本文通过射线域公式推导，将射线弹性阻抗表示为纵波阻抗和横波阻抗的函数，明确泊松阻抗在射线域的含义，对新的射线弹性阻抗进行分析，进而从道集内提取具有泊松阻抗意义的反射率数据，为岩性预测提供一种更为准确的计算方法，为小角度地区叠前反演提供了一条简洁的解决方案。该方法在珠江口盆地番禺4洼古近系储层空间展布研究中取得较好效果，通过钻井证实了该方法的有效性，并为该地区下一步勘探指明了方向。

A 井首次在番禺 4 洼文昌组取得油样，打开了番禺 4 洼古近系勘探的新局面。直接带动番禺 4 洼番禺 4-4 地区展开勘探。（1）本文厘清了射线域弹性阻抗与泊松阻抗之间的物理联系，为提供泊松阻抗反射率数据提取，提供物理依据。（2）针对于低速泥岩识别问题，在道集资料由于角度太小，无法准确提取曲率项导致叠前弹性参数反演及叠前 AVO 属性反演不准确的情况，提供一条新的解决思路。（3）本文方法针对番禺 4 地区古近系储层甜点预测具有较好效果，能够识别储层甜点平面展布，为下一步勘探指明了方向。

S67-O-11

小型源-汇系统砂体定量表征技术在油气勘探中的应用——以珠江口盆地惠陆低凸起为例

吴琼玲[1*]，高阳东[1]，彭光荣[1]，肖张波[1]，赵鹏[1]

1 中海石油（中国）有限公司，深圳分公司

* wuql16@cnooc.com.cn

珠江口盆地勘探逐渐转向深层古近系，古近纪经历强烈的裂陷作用，洼陷分隔性强。勘探实践表明低凸起区源-汇系统具极大的勘探潜力，但低凸起区作为主要物源区，稳定性弱、供给量较少，控制因素复杂导致砂体预测难度大。为对其进行有效的预测评价，本研究利用地震、测录井、岩心资料、分析化验等资料，采用地震沉积学方法，对惠陆低凸起小型源-汇系统耦合过程进行定量表征：1）通过多元综合判识恢复了古地貌和古物源体系，明确惠陆低凸起多水系差异供源，决定储层物质基础；2）通过对多级断-坡体系及其控砂机理的深入解剖，建立差异控砂表征技术，明确惠陆低凸起不同区带砂体的展布样式和规模；3）系统研究了“源－渠－汇”耦合关系及其时空演化规律，相关性函数定量拾取 5 大体系参数，实现了源-汇系统耦合下的砂体定量表征。该研究成果揭示了 LF-A 区文三段沉积体的勘探潜力，并得到钻井证实，推动发现了 LF-A 油田。珠江口盆地发育多个低凸起、勘探前景巨大，此技术创新对低凸起区小型源-汇系统的勘探有较好的指导作用，值得推广应用。

S67-O-12

西湖凹陷平北地区断裂差异控藏特征

李坤[1,2*]，殷际航[1,2]，徐国盛[1,2]，薛煜恒[1,2]，盛烈豪[1,2]，刘建斌[3]

1 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室

2 成都理工大学，能源学院

3 中海石油（中国）有限公司上海分公司

* lk1210_7758@qq.com

以三维地震精细解释为基础，采取平衡剖面技术等方法，系统梳理平北地区断裂发育体系差异，对断裂活动时空差异演化特征及控藏作用进行综合分析。结果表明：平北地区新生代广泛发育 NNE 向、NE 向断裂、少量发育近 EW 向、NW 向的断裂，北部孔雀亭地区以 F1、F2、F8 等主干断裂为界自西向东可分为五个断阶带，按其断裂走向和组合样式由北向南可分为孔雀亭北部反向断裂带、孔雀亭南部同向断裂带；南部武云亭地区以 F10、F11、F12、F14 等主干断裂为界自西向东可分为五个区带，按其断裂走向和组合样式由北向南可分为北部反向断裂带、南部同向断裂带。北部 F1 等主干断裂为断阶分界断裂，南部 F14 断裂等控制近洼带的形成，剖面上断裂呈多级“Y”字形、同向断阶等构造样式，断裂体系具有明显的深浅分层、南北分段差异。其断裂演化过程按其时空差异演化模式可分为断陷期、断-拗转换期和拗陷反转期三个阶段，受区域构造应力方向和性质转变影响，整体而言孔雀亭地区第三断阶区的断裂活动性较强，F4 断裂活动性最强，平下段活动速率达到最大，为 24.31m/Ma，武云亭地区近洼带内的断裂活动性较强，F14 断裂活动性最强，宝石组活动速率最大，为 38.68m/Ma，整体而言断裂活动性表现出“东部区带整体大于西部区带，武云亭地区整体大于孔雀亭地区”差异演变特征。研究得知，平北地区断裂的发育演化与油气成藏密切相关，断裂对油气的控制作用主要表现为：断裂的伸展活动控制了

地层沉积及烃源岩的展布，自宝石组沉积期至平下段沉积期，古近系烃源岩规模具有由中-南部向南北两侧迁移的特征，与控洼断裂活动强度演化规律一致；断裂的组合差异影响发育不同的圈闭类型，在凸起部位，也就是大型边界控洼断裂附近，主要有断块圈闭和堑垒叠置型圈闭，在凹陷内部，圈闭类型较多，主要有断块圈闭、断鼻圈闭、半背斜圈闭和背斜圈闭；断裂的多期继承性活动是油气运聚的优势通道，平北地区油气藏大多沿断裂带及汇聚脊分布。

S67-O-13

被动大陆边缘深水盆地油气—进展与潜力

朱伟林 [1,2*]，孙和风 [3]，赵世杰 [1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国海洋石油集团有限公司

3 中国海洋石油国际有限公司

* zhuwl@tongji.edu.cn

统计资料表明，进入 21 世纪以来全球发现的大油气田主要分布在深水区，而深水油气几乎 70-80%都分布在被动大陆边缘的盆地内。研究者普遍将被动大陆边缘盆地分为贫岩浆（非火山）型的、富岩浆（火山）型的和过渡型三类，而贫岩浆型的被动大陆边缘盆地以其早期发育裂隙为特点，发育了湖相和海相二套优质烃源岩，是深水油气勘探的最佳选择，至今为止大部分深水油气来自于这类盆地。最近几年，随着深水勘探的深入，不断在富岩浆型的被动大陆边缘盆地内获得突破，尤其是 2022 年位于 Top10 第一位的就是来自于这类盆地，同时，全球此类盆地分布范围广，相信将会有良好的勘探前景。

S67-O-14

南海北部深水区烃源岩发育分布及油气成藏规律研究

龙祖烈 [1,2]，陈聪 [1,2*]，石创 [1,2]，黄玉平 [1,2]，翟普强 [1,2]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

2 中海石油深海开发有限公司，研究院

* chencong8@cnooc.com.cn

白云凹陷作为南海北部深水区油气勘探的热点地区，斩获多个大中型油气田，但近年来中深层探索成效欠佳，烃源的复杂性和区带级成藏差异已成为影响深水区勘探方向的核心问题。

针对该问题，本次研究从白云凹陷洼陷结构、沉积迁移、烃源岩类型、主力气源岩及不同区带成藏要素进行了综合研究。认为白云凹陷文昌及恩平组发育半深湖相、浅湖相、三角洲-煤系及海侵相 4 类烃源岩。控洼断层与沉积中心呈自南向北、由东向西有序迁移，与周缘四类源-汇体系共同控制了烃源岩垂向演变及平面分布，其中北部文昌组发育规模浅湖相烃源岩、南部发育局限半深湖相烃源岩，恩平期物源及海侵线控制了西部煤系烃源岩及东南部海侵相烃源岩的发育。

此外，根据不同类型烃源岩品质及生气特征，落实了文昌组文三-文四段浅湖相泥岩具有湖-陆双源供给，品质优，在高变地温背景下此类源岩具备早期快速生油、晚期持续大量生气，为该区主力气源岩。探索形成了深水区“源-热-相”控、“断裂-砂体-构造脊”耦合的油气成藏规律，烃源与大型构造脊/断裂（底辟）有效配置控制白云凹陷油气差异分布与贫富差距。其中白云凹陷北部及东部广泛发育的文三-文四段浅湖相烃源岩与构造脊有效接触，且通源断裂发育程度高活动性强，珠江组海相砂储层物性良好，上覆海泛泥岩广泛分布，形成良好的生储盖组合，而形成大中型商业性浅湖相成因油气聚集。主洼南部及西南区因大型构造脊鼻端远离

洼陷中心局限分布的半深湖相烃源岩，且晚期近东西向活动断裂发育程度高不利于油气优势汇聚，该区仅见零星分布的半深湖相成因油气聚集。通过上述研究，明确了后续将持续围绕文三-文四段浅湖相烃源岩有利分布区，具有强源-断脊配置关系的东北部近源勘探寻找大中型油气田的勘探思路

S67-O-15

南海北部白云深水区高变地温梯度砂岩渗透率定量预测

陈淑慧[1*]，彭光荣[1]，张丽[1]，柳保军[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* chenshh5@cnooc.com.cn

(目的)地温梯度如何影响砂岩成岩演化和储层物性的变化是地学界研究的热点问题。(方法)本文以具有高变地温梯度特征的白云深水区为例，通过大量不同地温梯度地区的样品分析，以地温梯度 0.1℃/100m - 0.2℃/100m 为递进间隔，对比分析了研究区不同地温梯度区间内不同粒度砂岩储层渗透率随埋藏深度的变化趋势，(结果)建立了砂岩渗透率的定量地质预测模型，展示了砂岩的储集物性与地层地温梯度之间的内在联系。(结论)结果表明，一定埋深范围内，随地温梯度升高，渗透率每下降一个数量级，埋深下限差异呈台阶式减少；相同地温梯度区间内，高成分成熟度、低塑性岩屑的含砾砂岩、粗粒砂岩、中粒砂岩和细粒砂岩其渗透率下降程度不同，相邻粒径砂岩等效渗透率埋深下限差异相近，随地温梯度增加，相邻粒径砂岩等效渗透率下限埋深差异呈规律性减小；低渗与特低渗砂岩储层的地层深度段随地温梯度升高而明显变小，粗粒砂岩特低渗深度下限可成为深水常规勘探的极限深度。本研究对于揭示地温梯度对砂岩成岩演化作用的影响及物性渗透率的变化具有重要的科学意义，对油气勘探有积极的指导作用。

S67-O-16

白云凹陷西南断阶带沉积体系研究——地震相变精细刻画对深水区源汇体系的揭示作用

赵世杰[1*]，朱伟林[1]，高阳东[2]，付晓伟[1]，汪旭东[2]，向绪洪[2]，张冠宇[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* zhaoshijie9267@tongji.edu.cn

白云凹陷作为珠江口盆地面积最大的沉积盆地，是珠江口盆地深水油气勘探的重点突破口，具有重要的战略价值。然而，白云凹陷西南断阶带受限于复杂的断裂体系、较低的勘探程度以及较差的地震品质，对于其深层（文昌组—恩平组）沉积体系及其演化过程尚不清楚，这将极大限制白云凹陷乃至南海北部深水油气勘探。本次研究基于 PSDM 深度域三维地震资料，结合测井、录井分析，精细刻画了白云凹陷云开低凸起渠道展布特征以及西南断阶带文昌组—恩平组三级层序格架内构造演化特征及其沉积的控制作用，认为白云西南构造演化可分为三期四幕：断陷期（文 6 期） 、强烈断陷期I幕（文 5 至文 4 期）、强烈断陷期II幕（文 3 至文 1）及断拗转换期（恩平期）。初始断陷期（文 6 期）及强烈断陷期I幕（文 5-文 4 期）以近物源多物源为特征，云开凸起带断槽及转换带控制了沟谷的发育，进而控制了扇体的分布。在此阶段，西南中部 F3 断裂持续控盆，将云开低凸起入洼物源一分为二，其中 F3、F3-1 转换带控制了文六—文五段物源通道，而在文四段受新张裂 F2-1 影响，南部辫状河三角洲进一步增强，北部 F3、F3-1 转换带对物源控制显著减弱，最终呈现西南部文下段主物源向南迁移的规律。拆离断陷II幕（文 3 至文 1）保持了近物源特征，但沟谷并不发育。在此阶段，F3 断层无显著影

响，F5 断层主要在凹陷东侧活动。白云西南以西侧物源供给为主，东侧强烈的断层活动阻碍三角洲向东的进一步推进。断拗转换期（恩平期）则形成了西侧及西北侧大型物源，控制了三角洲的发育。在此阶段，盆地规模进一步扩大，由文昌组近源沉积转为远源沉积。恩四段、恩三段 F3 断层仍然对西部三角洲向湖推进具有控制作用，恩一、二段断层对沉积的控制作用显著减弱。恩四段—恩三段主物源方向仍为西东向，至恩一、二段西部物源减弱，西北部大型三角洲进入断阶带，主要物源方向具有向北迁移特征。大量碎屑锆石研究表明，白云凹陷在晚始新世—早渐新世期间物源具有重大转变（Wang et al., 2019; Zeng et al., 2019）。本次白云凹陷西南部沉积体系的研究则进一步在平面上证实了晚始新世—早渐新世存在有显著的物源转变现象，关键界面为 T72。

S67-O-17

开平凹陷拆离演化模式控烃控藏作用研究及勘探实践

蔡嵩 [1,2*]，梁杰 [1,2]，贺勇 [1,2]，黄鹏亮 [1,2]

1 中海石油深海开发有限公司，研究院

2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司，研究院

* caisong@cnooc.com.cn

开平凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷，是珠江口盆地构造最复杂的凹陷之一，海水深度约 200-500 米，开平凹陷历经 40 年勘探无法突破，勘探历程一波三折。制约开平凹陷的勘探进程主要有以下难题与挑战：1、成盆机制及洼陷结构复杂，开平凹陷断裂十分发育，长期对洼陷结构认识不清；2、烃源岩发育层段和分布不明，由于洼陷结构认识不清，导致对烃源岩的发育层段认识不明；3、含油层系多而零散，勘探突破方向和层系不明。针对上述关键问题，本次研究创新提出开平凹陷为北断南超的“拆离-变质核杂岩”型复式半地堑，明确开平凹陷“早断陷 —中拆离 —晚底侵” 三期裂陷演化模式，结合原型盆地恢复和古地貌精细恢复技术，明确开平主洼文昌早期为断控宽深半地堑，发育厚层烃源岩，认识到文昌晚期-恩平期宽缓湖盆，开平主洼南部斜坡带发育规模储层，创新提出南部斜坡带为最有利成藏区，打破勘探禁区的思想禁锢，实现了勘探思路“向南走”的重大转变，终在开平凹陷获得勘探重大突破。

上述创新认识成功应用于开平凹陷的油气勘探，推动了开平南部斜坡带开平 11-4 构造的钻探，取得了良好的实施效果，实现了两个首次。首次在“双深”（深水、深层）领域发现规模性储量，首次在开平地区发现高产轻质油藏。珠江口盆地(东部)仍有多个新洼陷待突破，新洼陷突破是勘探发现重要的增储领域，本次研究形成的创新认识对珠江口盆地新洼勘探具有非常高的推广价值。

S67-O-18

辫状河薄层致密砂岩沉积特征及地震预测方法 —以鄂尔多斯盆地代家坪地区延长组长 81 段为例

娄仝阳 [1]，封从军 [1*]，孙萌思 [2]，陈治强 [1]

1 西北大学，地质学系

2 延安大学，石油工程与环境工程学院

* fengcj@nwu.edu.cn

鄂尔多斯盆地延长组长 81 段发育辫状河薄层致密砂岩，这套致密砂岩是该盆地延长组致密油气的主力产层之一。 本文综合应用岩心、钻井、地震等资料，采用地震波形和地震相叠合约束的方法识别鄂尔多斯盆地代家坪地区长 81 段辫状河薄层砂岩，厘定薄层致密砂岩沉积微相类型和储层特征；建立辫状河道砂体宽厚比定量拟合公式，精细刻画辫状河道薄层致密砂岩的叠置样式和空间展布形态。

代家坪地区长 81 段为辫状河三角洲平原沉积，主要包括辫状河道、决口河道、河漫滩和沼泽 4 种沉积微相类型；长 81 段储层岩石类型主要是岩屑长石砂岩，砂体厚度主要集中在 5-25m 之间，具有较低的孔隙度和渗透率，是典型的薄层致密砂岩储层。采用地震波形和地震相叠合约束的方法识别了长 81 段辫状河薄层砂体并总结出纵向切叠型、纵向分离型、横向迁移型和单河道 4 种砂体叠置样式，建立了河道规模的宽厚比定量预测公式，为井位部署提供准确指导。从河道砂体侧翼向河道砂体中心部署的水平井产量是相反方式部署的水平井的产量的 1.8 倍。辫状河道薄层致密砂岩顶平底凸的透镜状地震相展布特征对指导致密油水平井井网部署和提高油气采收率具有实际意义。

S67-P-1

陆丰 14-4 油区微古地貌研究助力古近系油气开发

向巧维[1*]，彭光荣[1]，李敏[1]，石宁[1]，李晓艳[1]，卫哲[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* xiangqw@cnooc.com.cn

陆丰 14-4 油区作为古近系低渗-特低渗油藏开发的“排头兵、开路者”，油藏埋深超过 3500m，地震资料品质差，井控程度低，取心资料少，油藏内部微古地貌及断裂活动对沉积储层的控制机理不明确，砂体展布及连通关系预测难度大，优质储层展布认识不清；为了有效解决目标靶区面临的困境，提升低渗-特低渗油藏开发效果，通过对 LF14-4 油区文昌组五段重点油层的精细解释，解剖古近系“源-汇”体系，分析断裂及微古地貌对沉积格局的控制，确定物源主通道，厘清“地震-沉积”响应特征，开展沉积微相研究，明确各油藏砂体的空间展布，结合储层微观差异对比及主控因素分析，明确“源-渠-边-汇”三维空间控沉控储机理。研究表明：①陆丰 13 东洼受边界断裂、次级骨干断裂控制形成不同级别半地堑，次级骨干断裂形成多条转换带，使得陆丰 14-4 油区具备多物源通道供源条件。②陆丰 14-4 油区文五段时期自下而上为湖平面上升的退积过程，整体以缓坡沉积为主，WC530-540 时期西南及东南部均提供物源，形成的两套辫状河三角洲体系广泛分布，WC520-510 时期随着湖平面的上升，西南三角洲朵叶萎缩较快，东南部三角洲持续发育。③陆丰 14-4 油区由于受西南、东南两支辫状河三角洲的共同影响，储层物性变化较大。西南物源搬运距离较远，以中粗砂岩为主，分选磨圆较好，但抗压实能力较差；东南物源搬运距离较近，以含砾粗砂岩为主，分选磨圆一般，但抗压实能力较好，对于储层物性较为有利。

S67-P-2

珠江口盆地陆丰凹陷深层储层发育控制因素与压裂改造

赵鹏[1*]，肖张波[1]，李晓艳[1]，张明[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* zhaopeng29@cnooc.com.cn

陆丰凹陷深层古近系文昌组是陆丰凹陷主要的油气富集层段，储层大多具有低渗透特征。储层形成于三角洲（扇三角洲）前缘水下分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝等微相。储层孔隙类型包括原生粒间孔隙、溶蚀孔隙、晶间孔等。优质储层母岩一般为沉积岩母岩，碎屑组分中石英含量高、杂基少、胶结程度弱。由于石英等刚性颗粒含量高，抗压实能力强，原生孔隙得以大量保存，自然产能良好。溶蚀孔隙主要包括长石溶蚀、凝灰质溶蚀等，蚀变形成的黏土矿物内部发育晶间孔。沉积作用、成岩作用及火山作用是影响深层储层发育的主要地质过程。岩石成熟度是对优质储层发育影响的首要因素，形成于高能水动力条件下的高成熟度砂岩

储集性能有利。单层砂体厚度与储层的孔隙度与渗透率呈现了良好的正相关关系，机制与岩石成熟度、填隙物含量、外部流体有关。厚层砂体较薄层砂体有相对开发的成岩体系，影响孔隙流体性质与成岩矿物的形成，有利于深层优质储层的发育。砂岩本身的抗压实能力和埋藏方式影响压实成岩作用，砂岩中刚性颗粒（石英、石英岩岩屑、花岗岩岩屑等）含量越高，岩石的抗压实能力越强，埋藏过程中保留较多原生粒间孔。“早期抬升，缓慢埋藏”的埋藏方式对原生孔隙的保存十分有利。火山作用导致部分储层粒间填充显著的凝灰质，其埋藏过程中发生溶蚀、增孔的建设性成岩作用，但蚀变形成的复杂黏土矿物损伤孔隙结构，黏土矿物晶间孔对渗透率贡献微弱。具有自然产能的低渗储层和具可压裂性的工程甜点储层的规模性发育，成为深层文昌组油气富集和大中型油气田形成的关键因素。2021 年陆丰 15 构造扇三角洲油藏成功实施了海域探井首次储层压裂改造，优选刚性颗粒含量高、凝灰质含量低、原生孔隙相对发育的工程甜点储层，经压裂改造测试获得了工业产能。

S67-P-3

珠一坳陷古近系文昌组烃源岩差异发育规律及主控因素

于飒[1*]，李洪博[1]，舒梁锋[1]，石创[1]，王梓颐[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* yusa@cnooc.com.cn

珠江口盆地珠一坳陷各次级凹陷贫富差异显著，大量低勘探程度的洼陷烃源潜力不明。近几年的研究与勘探实践表明，裂陷期湖盆的形成与演化对烃源岩的差异发育起决定性作用。本文结合古近系钻井、地震相、沉积相特征，系统梳理洼陷结构、构造演化、烃源特征、沉积环境参数等，明确了古近系多幕裂陷及构造转换对烃源岩差异发育的控制作用。研究表明：①研究区早、晚文昌期烃源岩发育差异较大，烃源岩有机质丰度整体呈现下文昌优于上文昌的特征，下文昌组中深湖相泥岩为主力烃源层系；②早文昌期各洼陷具备相对均一的湖盆环境、相似的古气候条件，发育统一属性的优质烃源岩，烃源厚度与品质主要受控洼断裂活动的强弱和陆源输入规模控制，局部受火山灰影响；③晚文昌期受惠州运动构造转换影响，各洼陷发生构造方向迁移、基底隆升、拆离作用及岩浆活动等不同程度的构造变异，湖盆环境呈现出继承型中深湖盆、湖盆空间迁移、湖盆快速变浅等分异特征，导致可容空间及沉积样式变化，控制烃源岩在形态、分布、品质等方面的差异性。该研究认识对明确低勘探程度区烃源岩展布及资源潜力、寻找有利勘探区带有重要指导意义。

S67-P-4

先存体系控制下低角度型凹陷深层陡坡带优质储层发育展布特征——以珠江口盆地恩平 17 洼为例

何金海[1*]，杜家元[1]，彭光荣[1]，邱欣卫[1]，汪晓萌[1]，牛胜利[1]，龚文[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* hejh15@cnooc.com.cn

恩平 17 洼为南海北部珠江口盆地已证实的富生烃洼陷，经过 40 年的勘探，在洼陷南北两侧隆起区先后发现了一系列中浅层油田，探明储量超亿吨。已钻井分析表明，制约该地区深层勘探的关键因素是优质储层发育展布规律。基于最新岩石学、年代学、井壁心、薄片，结合重处理三维地震资料，从区域构造背景、先存构造和岩浆活动三个方面开展综合分析，通过研究先存体系控制下恩平 17 洼的洼陷形成演化过程、古沟谷体系发育的时空展布规律，重建恩平 17 洼

陡坡带的沉积体系，总结恩平 17 洼深层陡坡带优质储层展布特征，为恩平 17 洼深层勘探和类似地区深层储层研究提供借鉴。分析认为：①中生代受古太平洋板块向欧亚板块俯冲方向和角度的变化，在南海北部陆缘珠江口盆地发育三组先存体系，这三组先存体系在新生代右旋伸展应力背景下选择性活化，控制形成低角型恩平 17 洼，进而控制了恩平 17 洼沉积沉降中心的迁移；②新生代以来，恩平 17 洼北部隆起区先存断层的选择性活化控制了陡坡带火山活动和古沟谷体系的发育和展布，进而影响陡坡带母岩类型、限制性源汇体系的发育和沉积体的卸载特征；③恩平 15 断裂构造带花岗岩物源，沿先存断层活化形成的断槽搬运至陡坡带沉积的恩平组扇三角洲沉积体为优质储层发育区。

S67-P-5

珠江口盆地阳江凹陷始新统古湖泊环境、湖盆充填类型与优质烃源岩发育模式

蔡国富[1*]，彭光荣[1]，吴静[1]，朱定伟[1]，李振升[1]，汪晓萌[1]，杜晓东[1]，熊万林[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* caigf2@cnooc.com.cn

阳江凹陷是珠江口盆地近年获得重要油气勘探突破的凹陷，但其优质烃源岩形成条件尚不明确。综合应用有机、无机地球化学和地震资料，分析了珠江口盆地阳江凹陷始新统文昌组烃源岩特征，探讨了其古湖泊环境和湖盆充填类型，建立了优质烃源岩发育模式。研究发现：①阳江凹陷文昌组发育厚层半深湖相烃源岩，有机质丰度高，有机质类型以 I—II_1 型为主，文昌组下段横向非均质性强，TOC 平均值为 2.2%~3.5%，文昌组上段均质性强，TOC 平均值为 2.3%~2.6%，以浮游藻类成因有机质为主。②阳江凹陷中、小型物源输入与裂陷活动耦合创造了有利于半深湖发育的可容空间，温暖湿润的气候条件是水生浮游藻类勃发的前提，火山喷发提升湖盆局部初始生产力，强还原性的水体环境有利于有机质的保存。③依据不同裂陷活动、物源供给、古气候和古环境差异耦合作用结果，划分出了 3 种湖盆充填类型，其中平衡充填型湖盆在洼陷带发育厚层泥岩与薄层砂岩交互的波动深湖岩相组合，欠充填型湖盆具有满盆广覆厚层均质泥岩的特点，过充填型湖盆基本不发育半深湖相烃源岩。④平衡充填型湖盆具有以“生产力+保存条件”双因素控制的优质烃源岩发育模式，湖泊初始生产力高，总体处于中等还原环境，形成类型好、有机质丰度高的非均质烃源岩，欠充填型湖盆具有以“保存条件”主控的优质烃源岩发育模式，湖泊生产力中等，但水体还原性强，形成有机质丰度中等的均质烃源岩。综合分析认为恩平 21 洼、恩平 20 洼和恩平 27 洼的文昌组叠合了平衡充填型与欠充填型湖盆优质烃源岩，具有较高的生烃潜力。研究结果对阳江凹陷以及珠江口盆地其他新区洼陷烃源岩预测具有一定指导意义。

S67-P-6

珠江口盆地 A 洼陷恩平组岩性圈闭识别方法

贾连凯[1*]，贾培蒙[1]，阙晓铭[1]，马永坤[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* cyy_jialk@126.com

目前，砂岩储层尖灭的判别方法主要是针对砂泥岩互层段通过地震振幅变化和地震属性分析进行的，而针对受区域性分布泥岩屏蔽作用影响下的砂岩储层尖灭的判别方法较少研究。受区域性泥岩一定程度的屏蔽作用影响，泥岩之下的薄砂岩与围岩的弱反射特征往往被淹没，常规的识别方法难以有效判断砂岩的尖灭线形态，影响岩性圈闭的落实。本文通过三维地震资料分析提出了

一种针对该地区恩平组上段砂岩尖灭线的地质地球物理综合判别方法，即以地震反射特征为主线，以正演模拟为验证，以地震属性和反演为辅助，以地质模式为依托，综合刻画砂岩尖灭线。研究结果表明，通过该方法所刻画的砂岩尖灭线与实钻结果大体吻合；结合砂岩尖灭线和局部构造背景以及顶底板泥岩封堵条件，初步落实了该地区恩平组上段的岩性圈闭；该方法对受区域性分布泥岩屏蔽作用影响下的砂岩储层岩性圈闭的落实具有重要借鉴意义。

S67-P-7

陆丰南地区古近纪幕式裂陷构造转换及其对沉积体系的控制

沈梦蓉[1*]，彭光荣[1]，肖张波[1]，黄鑫[1]，吴琼玲[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* shenmr2@cnooc.com.cn

珠江口盆地晚古新世-早渐新世发生多次构造运动，尤其在陆丰南地区，多期构造转换对区域沉积演化产生了深远影响。本文结合钻测井、地震等资料，对研究区珠琼运动I、II幕各阶段洼陷结构、断裂体系、沉降中心迁移及沉积体系发育规律展开了深入研究。研究表明，下、上文昌及恩平组各沉积时期，研究区发生显著的构造转换，并控制了盆地的沉积充填过程：1）发育 T83、T80、T72、T70 等多个构造不整合界面，断裂走向自东向西沿洼陷走向发生顺时针转变，断层活动由南向北转变，进而导致沉降沉积中心由南向北迁移；2）构造运动促使地层发生整体抬升和翘倾剥蚀，在岩浆叠加改造下控制了主要物源区分布和物源优势汇聚方向，使主体物源由全盆多方供源向轴向远源转变，汇聚方向自西向东迁移；3）裂陷期各沉积体系的演化与两幕构造转换呈现较好对应关系，湖盆沉积环境由深盆向浅盆转变，优质烃源岩发育的深湖亚相层系厚度由厚转薄，大型三角洲发育呈现自西向东迁移的规律。幕式裂陷作用对沉积体系的控制机制复杂，此方向研究对南海古近系油气勘探储层发育及成藏有利区预测和评价具有一定意义。

S67-P-8S

珠江口盆地白云凹陷泥岩物源与沉积环境特征及其对有机质富集的影响

陈玥[1,2]，朱晓军[1,2*]，蔡进功[1,2]，朱伟林[1,2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 同济大学，海洋资源研究中心

* xjzhu@tongji.edu.cn

选取白云凹陷始新统文昌组和恩平组泥岩样品进行元素地球化学和岩石热解测试，分析凹陷内不同层位、不同区域泥岩的物源、沉积环境、古生产力及有机质特征，探究珠江口盆地深水区始新统泥岩的沉积环境及其对有机质富集的影响。研究结果显示，白云凹陷始新统泥岩物源和沉积环境表现出时空差异性：(1)凹陷始新统泥岩主要为酸性与中性火山岩混合来源，其中文昌组泥岩源岩偏酸性、恩平组偏中性，在区域分布上呈现凹陷西部偏中性、东部偏酸性的特征。(2)凹陷始新统泥岩主要沉积于温暖湿润气候，文昌组泥岩沉积于水体较深的淡水贫氧环境、古生产力较高、有机质丰度较低，恩平组泥岩沉积于水体较浅的淡水富氧环境、古生产力较低、有机质丰度较高，在区域分布上表现出古水深南深北浅、古生产力南高北低以及凹陷北部富氧、向南逐渐转变为贫氧-缺氧环境。综合分析发现，白云凹陷泥岩有机质富集主要受陆源输入、古生产力和水体氧化还原环境的共同影响。凹陷泥岩有机质富集在不同沉积期的条件差异大，文昌期，

凹陷处于温暖干燥气候，陆源有机质输入少，有机质来源主要为水生生物，凹陷内水深较深且发育贫氧环境，有利于有机质保存；恩平期，外部物源输入大，有机质来源包括陆源和水生有机质，水体环境整体为氧化环境，凹陷西部陆源碎屑输入量高，有机质丰度在区域内较高。本研究揭示了白云凹陷始新统泥岩形成特征及其对有机质富集的影响，为研究区烃源岩的有效评价和南海北部深水区油气勘探提供科学依据。

S67-P-9

致密砂岩储层成岩差异演化对油气成藏影响研究 ——以陆丰凹陷陆丰 A 地区文三段为例

阙晓铭[1*]，邱欣卫[1]，吴琼玲[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* quexm@cnooc.com.cn

为厘清珠江口盆地陆丰 A 地区文三段致密砂岩储层成岩与成藏耦合关系，采用薄片、碎屑锆石、扫描电镜、流体包裹体、元素等测试手段，在致密砂岩储层成岩作用特征分析的基础上，开展致密砂岩储层的孔隙演化史和油气充注史研究，认为成岩史与成藏史之间的耦合关系控制了致密砂岩储层的油气成藏。研究结果表明：1）陆丰 A 地区文三段储层表现为低-中孔、特低渗特征，为惠陆低凸起物源控制下的小型粗粒辫状河三角洲，东西两翼受不同物源控制，西侧井区以岩屑石英砂岩为主，微量元素及碎屑锆石年龄指示源区以沉积岩源区为主，东侧井区为岩屑长石砂岩，碎屑锆石年龄谱以早白垩世单峰为特征，主体源区为花岗岩母岩，受早文昌期火山活动影响，均不同程度接受火山物质沉积，凝灰质含量平均 10%，最高达 30%；2）文三段储层主要经历了压实、胶结、溶蚀等成岩作用，其中压实作用和凝灰质是造成储层物性变差的最主要因素，而胶结作用则是导致储层致密化的根本因素，储层致密化时间约在距今 12Ma，晚期长石溶蚀增孔对储层物性有重要改善作用；3）储层主要经历了韩江组沉积期（14Ma 至 7Ma）和万山组沉积期（7Ma 至今）两期油气充注，受成岩演化差异控制，西侧井区以早期成熟度偏低原油（Rc 为 0.66%）充注为主，东侧井区早、晚期原油都充注，成熟度为 0.72%~0.75%，原油密度较西侧井降低；因此，陆丰 A 地区文三段致密砂岩储层成岩与成藏之间存在“先成藏后致密”和“边致密边成藏型”两种耦合关系，分别对应东西两侧致密油成藏模式。

S67-P-10

珠江口盆地开平主洼南部斜坡带古近系原油成因来源及成藏特征

马宁[1*]，龙祖烈[1]，杨兴业[1]，石创[1]，黄玉平[1]，温华华[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* mndd2007@163.com

开平凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷，凹陷分为西洼、西南洼、主洼、北洼、东洼共 5 个次洼。近期开平主洼南部斜坡带 KP-1 构造在古近系恩平组、文昌组测井解释出多套油层，并首次获得了深水古近系轻质油田的发现。前人主要围绕开平主洼北部的新近系开展勘探和研究，但尚未开展对开平凹陷古近系恩平组、文昌组的原油成因来源、成藏特征的分析，本文通过对开平凹陷烃源岩、原油的有机地球化学特征的分析，结合流体包裹体特征，对开平凹陷古近系恩平组、文昌组原油的成因和成藏特征进行综合分析，为开平凹陷下一步古近系油气藏勘探提供了理论依据。

根据已钻井及地震反射特征分析认为文三-文四段为开平凹陷的主力烃源岩。开平主洼南部斜坡带 KP-1 D 块文三-文四段钻遇高有机质丰度的湖相烃源岩，有机质类型为II1-II2 型。烃源岩生物标志化合物特征综合分析认为该套烃源岩为浅湖-半深湖相烃源岩。由于 KP-1 D 块位于洼陷边缘，预测洼陷中心发育更优质的深湖相烃源岩。

根据开平主洼南部斜坡带恩平-文昌组原油及砂岩抽提烃生物标志化合物组合特征将其分为 A、B、C 三类：A 类原油主要来源于文昌组半深湖-深湖相烃源岩，分布在 KP-1 构造 A、B 块恩平-文昌组，B 类原油主要来源于文昌组浅湖-半深湖相及半深湖-深湖相烃源岩，分布在 KP-1 构造 A、B 块恩四段及文二段-文三段,D 块文三段，C 类原油主要来源于文昌组浅湖-半深湖相烃源岩，分布在在 KP-1 构造 D 块文四段。

显微观察显示，KP-1 构造恩平-文昌组储层石英颗粒内成岩裂纹中检测到大量发黄绿色-蓝绿色荧光油包裹体（主峰波长大于 492nm）及发蓝色荧光油包裹体（主峰波长 440-485nm），分别对应 A 类油及 B 类油充注。根据与油包裹体分析确定 KP-1 南部缓坡带存在三期原油充注：17Ma-13Ma，13Ma-5Ma 和 5Ma-现今，其中 13Ma-5Ma 为原油主要充注期。A 类油从 17Ma 至今持续充注，B、C 类原油以晚期充注为主。KP-1 构造 A、B 块恩平-文昌组油藏主要通过 F1、F2 断裂垂向输导成藏，而 KP-1 构造 D 块文三-文四段油藏原油通过 F3 断裂垂向输导至文三段，同时附近文昌组浅湖-半深湖相烃源岩生成的原油沿砂体侧向运移至文三-文四段成藏。

S67-P-11

珠江口盆地深水区白云凹陷超压底辟成藏作用及其勘探意义

柳保军[1*]，张向涛[1]，彭光荣[1]，王卓超[1]，赵靖舟[2]，石宁[1]，张博[1]，李 军[2]

1 中海石油深海开发有限公司，南海东部石油研究院

2 西安石油大学，地球科学与工程学院

* liubj2@cnooc.com.cn

珠江口盆地深水区白云凹陷深部发育多种类型的底辟构造，多口钻井钻遇中深层近千米的超压油气显示，揭示底辟构造与超压系统共同控制了天然气规模成藏，但底辟构造成因演化与超压控藏作用之间关系缺乏深入研究。结合 3 口关键钻井和三维地震资料，详细解剖了白云凹陷两个典型底辟构造带的构造成因及其演化，结合深层超压系统成因、演化过程与分布，建立起超压底辟构造带底辟演化、超压形成过程和油气充注之间的相互关系。研究揭示白云凹陷底辟构造带经历了裂陷期构造带形成和裂后新构造运动期天然气底辟上涌等两幕演化阶段；白云凹陷中央底辟构造带在裂陷期 32.0-23.3Ma 形成大型火山岩隆，新构造运动时期（13.8Ma 至现今）深部超压流体沿着火山岩隆周缘及顶部微小断层向上涌流形成气烟囱。白云东区底辟构造带为大型天然气底辟区，位于白云主洼南部主控断裂变换构造带内，裂陷期为一南北向分布的由转换背斜、南北向弱走滑断裂和深洼带等组成，13.8Ma 之后由于深部烃源岩的热成熟和强烈的生烃增压作用，促使变换构造带内裂缝快速生长传播，在海底附近形成凹陷区最大规模浅层气流体底辟区，烃类在珠江组下段沿变换带的侧向继承性构造脊优势运聚，形成了白云东气田群。总之，白云凹陷大规模超压底辟成藏作用发生在 13.8ma 以来，深层生烃超压转导作用与早期的岩隆、构造变换带叠加形成了现今白云凹陷典型的底辟成藏区，具备深层复式成藏的特征，目前已在珠江组下段主力层取得天然气发现突破，在超浅层和深层古近系-古潜山均发育大型构造-岩性复合圈闭，为油气优势聚集的区域，具备大型天然气气田的形成条件，为近期深水区天然气勘探突破领域。

S67-P-12

南海北部深水区烃源岩发育条件及主力气源岩研究

陈聪[1,2*]，龙祖烈[1,2]，汪旭东[1,2]，黄玉平[1,2]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

2 中海石油深海开发有限公司，研究院

* chencong8@cnooc.com.cn

南海北部白云凹陷经过多轮勘探，获得番禺低隆起及白云主洼东部地区两大气区发现，探明天然气近 2000 亿方，但因其处于洋陆转换带具备“高热”背景，且受制于该区高地温工程作业的特殊性及洼陷区勘探程度低的影响，钻遇烃源岩探井极少，并受不同程度油基泥浆污染，且热演化程度较高，无法准确获取有效烃源信息，致使该区烃源问题长期无法落实，天然气母源类型不清，油型气抑或煤型气尚未有效界定，气源岩为文昌组抑或恩平组尚存争议，气源灶位置为洼陷区抑或斜坡区源岩亦不明了。

针对该问题，本次研究一方面基于文昌-恩平期古气候-古氧相-古水深-湖盆古生产力及不同层系岩相组合特征界定优质源岩发育条件，对于富泥背景下沉积的具有代表意义的探井三级层序格架下泥岩生烃潜力进行对比，优选出具有较好生烃潜力的烃源层系。另外，依托文昌-恩平组不同类型烃源岩催化加氢热裂解产物中正构烷烃单体碳同位素组成特征差异，并与已发现原油（凝析油）正构烷烃单体碳同位素组成进行对比，有效规避了油基泥浆及高成熟凝析油生物标志物开展油源对比的局限性问题；此外，通过对文昌-恩平组半深湖、浅湖、三角洲-煤系及海侵相源岩生气模拟实验，建立不同类型烃源岩生气特征及不同热演化阶段天然气碳同位素演化特征，并开展天然气生成动力学建模，确立深水区不同区带天然气成因类型及主力气源岩与气源灶。

通过研究认为，早恩平~文昌期气候温润~湿热，湖陆生物繁盛，文昌期白云凹陷为宽深断陷，局限物源，物源方向水体较深处湖-陆水体交互区湖盆水体营养性强、生产力高具优质烃源岩发育，已揭示泥岩文三-文四段泥岩整体较优；已发现原油正构烷烃单体碳同位素组成与文昌组浅湖相烃源岩具有可比性，研究区原油及凝析油可能为文昌组浅湖相源岩供烃，半深湖相及海相或海侵泥岩基本无成藏贡献。已发现天然气主体为文昌组浅湖相泥岩所生，三角洲相及半深湖相成藏贡献较低，白云西存在富氢煤贡献；选取隆起区、斜坡区及洼陷区不同构造部位虚拟点天然气生成动力学建模，根据已发现气藏天然气同位素特征、热演化程度及成藏气约束，落实了斜坡~洼陷区文昌组文三~文四段浅湖相烃源岩为已发现商业性气藏主力气源岩与气源灶。

S67-P-13

珠江口盆地渐新世古水深恢复及其意义

舒梁锋[1*]，彭光荣[1]，张丽丽[1]，李洪博[1]，于飒[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* shulf@cnooc.com.cn

珠江口盆地渐新世地层记录了裂陷到拗陷转换阶段的历史，但是其渐新世古水深特征及其演化目前仍不太清楚。本文以超深水白云南洼为例，采用沉积地层和古生物特征分析的方法，并结合前人研究成果，对珠江口盆地渐新世古水深进行恢复重建，并探讨其变化控制因素。研究发现，早渐新世（33.9-28.4Ma），白云南洼物源以来自周缘西部物源为主，水体较浅；28.4Ma 之后，水体逐渐加深，白云南洼物源接受来自周缘西部物源和北部古珠江物源，并形成大规模的陆架边缘三角洲-深水扇体系。渐新世共发生四次大的海侵，分别是 30、28.5、25.5 和

23.8 Ma，整个阶段经历了海平面由浅变深再变浅的过程，其中早渐新世水深最浅，中渐新世 26Ma 左右水深达到最大。

渐新世海平面变化受多种因素控制，早期变化受区域性构造运动事件“南海运动”影响，在中晚期(25.5-23.8Ma)海平面变化可能受到地球轨道变化驱动的全球性事件影响，塑造了区域性气候环境，进而影响华南地区物源供给，在珠海组一段和二段时期南海北部区域多个洼陷广泛发育陆架边缘三角洲。

本次研究通过恢复沉积期陆架边缘三角洲沉积构型结合古生物调研分析，重建珠江口盆地渐新世古水深变化，这对于深刻认识断拗转换期古地理特征、古地貌重建以及盆地的油气勘探均具有重要意义。

S67-P-14

珠江口盆地首个潜山油气田惠 6-6 成藏特征和富集机理

牛胜利[1,2*]，刘杰[1,2]，张向涛[1,2]，冯进[1,2]，温华华[1,2]，蔡俊杰[1,2]，丁琳[1,2]，吴哲[1,2]，杨兴业[1,2]，史玉玲[1,2]

1 中海石油深海开发有限公司

2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

* niushl@cnooc.com.cn

位于南海东部海域的惠 6-6 构造于 2019 年底，在中生界潜山及古近系获得油气勘探重大突破（探井油气层净厚 300 多米，潜山上部地层测试平均日产天然气 43.5 万方，原油 321.1 方），是珠江口盆地潜山首个规模商业发现油气田，也是浅水区中深层凝析气勘探的首个规模商业发现（潜山和古近系探明地质储量超 5000 万方油当量）。为进一步指导该区油气勘探，对惠 6-6 潜山油气田成岩成山、成储、烃源岩、运移通道、聚集方式和气藏封盖等石油地质条件开展了深入研究，分析了各成藏要素的配置关系，提出了该潜山油气田的富集机理。

研究结果表明：①珠江口盆地主体中生代时期处于陆缘岩浆弧构造背景，具有“复合火山岩-深层侵入岩”双层岩性组合特征，经历了燕山期、喜山期的岩浆弧建造成岩、改造成山过程；②惠 6-6 中生代潜山具有复合岩性，上部是闪长岩，中下部是花岗岩和构造片岩（原岩为玄武安山岩）的复合体；储层具有风化裂缝带+内幕裂缝带双层结构，“复合应力主导-优势矿物-流体溶蚀改造”共同控制储层发育；③有机质类型为I—II1型，以混合型 II1 为主，TOC 最大值 8.1%，油气兼生，10Ma 以来晚期爆发式生气,惠州 26 洼天然气具有较大资源规模；④油气成熟度差异指示 3 期充注，早油晚气；第一期弱成藏期：较低成熟半深-深湖相原油（Rc≈0.50-0.70%）充注潜山；第二期主力成藏期：成熟浅湖-半深湖相原油（Rc≈0.78-1.31%）主要在潜山储层充注成藏；第二期原油驱替第一期原油；第三期重要成藏期：较高成熟天然气-凝析气充注为主（Rc≈1.10-1.50%），形成潜山上气下油格局；⑤惠 6-6 油气田具有宽窗强势供烃、立体网状输导、致密岩性叠置封盖的富集机理。

惠 6-6 大中型油气田的发现，揭开了珠江口盆地富烃洼陷周缘潜山油气勘探序幕，对中国东部晚期构造活跃的中新生代盆地潜山油气勘探具有启发意义。该油气田的发现，是中海油落实党中央国务院关于加大国内油田勘探开发工作的实例，是强化地质科技创新、攻关珠江口盆地潜山勘探“卡脖子”技术的案例。

S67-P-15

珠江口盆地西江 33 洼深层有利储层发育主控因素

马永坤[1*]，邱欣卫[1]，汪晓萌[1]，阙晓铭[1]，周清波[1]，赵芳[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* 348146637@qq.com

西江 33 洼是珠江口盆地一个低勘探程度洼陷，油气差异聚集特征明显，油气在深层有利区带规模成藏。晚期断裂缺乏和中深层恩平组区域泥岩盖层广泛发育，决定油气分布纵向上更易聚集于深层，其内部层系油气聚集差异主要受储层条件影响，因此该地区深层油气勘探，深层储层有效性成为一个关键。本文主要从沉积、成岩及与之相关的因素来分析西江 33 洼深部有利储层发育的主控因素。研究认为：1）源-汇条件优越的前提下，低地温梯度下成岩演化趋缓，中等结构成熟度、高成分成熟度砂体抗压实能力强，形成低热成熟度型优质储层，与盆地内其它地区相比同深度条件下保存了更多孔隙度，有效储层埋深下限可达 4500m。结合埋藏史构建时间-温度指数（TTI）加以表征储层，低 TTI 是该地区有利储层的一个重要参数。2）恩平组和文一二段处于辫状河三角洲前缘砂体储集性能较好，孔隙度通常大于 12%，渗透率大于 10mD。在局部古隆起滩坝发育条件下，发育高渗透率砂岩（>50mD）。低杂基含量和较少自生成岩矿物是该层系有利储层发育关键因素。3）文三段受局部物源和沉积相带影响，储层物性差异较大。优质储层成岩相为低泥质弱胶结相，深埋条件下仍具有较渗透率（>5mD）。低渗储层成岩相为凝灰质充填强压实相，凝灰质类型主要以酸性凝灰质为主，成岩作用以原地蚀变为主，不能有效改善储层物性，凝灰质充填是储层致密的关键影响因素。

S67-P-16

流体体积模量反演方法研究及其在南海深水区应用

朱焱辉[1*]，张卫卫[1]，汪旭东[1]，徐乐意[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* zhuyh3@cnooc.com.cn

当前南海东部深水区具有“亮点”特征的天然气藏几乎勘探殆尽，勘探重点逐步转入非典型“亮点”特征的天然气藏勘探，但是该类目标的含气性预测一直困扰着该区的勘探。AVO 技术和叠前反演技术一定程度上解决了此类问题。然而，叠前反演获得的弹性参数（诸如 Vp/Vs、λρ 等）同时受到储层岩性、物性、流体性质的影响，简单地利用这些弹性参数预测储层的含气性存在较强的多解性，同时也难以表征含气饱和度。

流体体积模量是流体的固有物理参数，其本身不受储层岩性、物性变化的影响，可以有效反映储层的流体性质。基于此本研究创新性地提出了一种流体体积模量反演方法，提高了非典型“亮点”勘探目标的含气性预测精度。该方法主要分为三步：第一步，开展面向储层预测的岩石物理建模，建立储层参数和弹性参数的岩石物理关系；第二步，利用深度学习技术，学习岩石物理建模中得到的弹性参数和储层参数的岩石物理关系，并基于叠前反演获得的弹性参数，实现储层参数（泥质含量、孔隙度）的定量预测；第三步，在可靠的地层泥质含量体和孔隙度体的基础上，求解流体模量反演方程，实现去岩性、物性影响的储层含气性预测。

实际应用表明，这种新方法可以区分孔隙度差的气井和孔隙度好的水井。A 井和 B 井为气井，其孔隙度为 19%。C 井为水井，孔隙度为 24.4%。流体模量可以区分差物性气井（A 井、B 井）与好物性水井（C 井），但弹性参数 λρ 不能区分。同时，气井 D 和含气水井 E 可以通过该技术进行识别，而传统的叠前反演结果无法识别。上述研究表明，新方法确实提高了流体预测的准确性。

南海深水区已经多年未有商业气田发现，该区的天然气勘探非常困难。在该技术的指导下，近期在南海北部发现了另一个新的商业深水气田。这一发现成功地振兴了该区的天然气勘探。勘探实践证实了该技术的可行性和有效性。

S67-P-17

珠江口盆地惠西南地区凝析油气差异成藏模式分析

杨兴业[1*]，龙祖烈[1]，熊万林[1]，高翔[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* yangxy34@cnooc.com.cn

珠江口盆地位于南海北部，在古生代和中生代褶皱基地上发育起来的中、新生代盆地。从古近纪到第四纪期间沉积地层发育完全，包括古近系的文昌组、恩平组和珠海组，新近系的珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四系地层。文昌组-恩平组沉积期发育湖泊、河流和湖沼相沉积，其中文昌组半深-深湖相沉积发育，恩平组以浅湖-沼泽相沉积为主，是本区最为重要的两套有效烃源岩层系。惠州凹陷处于珠一坳陷中部地区，惠西南地区是珠江口盆地传统的原油富集区，近年来在新近系珠江组上段和古近系恩平组、文昌组以及基岩潜山储层中陆续发现凝析油气，展示出珠江口盆地珠一坳陷深层天然气勘探前景。本次研究利用对凝析油样开展轻烃和生物标志化合物地球化学特征分析，探讨了惠西南地区凝析油的成因和成藏模式的差异。

惠西南地区凝析油主要分布在 H6-1 构造古近系至潜山和 H1-1 构造珠江组上段储层。凝析油总体具有低密度、低粘度的特点，但 H6-1 构造凝析油的密度、黏度、含蜡量和凝固点均略高于 H1-1 构造。惠西南地区凝析油地球化学特征指示存在两种不同的母质来源。H6-1 构造凝析油以腐泥型母质来源为主，主要来源于低等水生生物相对丰富的半深-深湖相泥岩；H1-1 构造凝析油以腐殖型母质来源为主，主要来源于陆源高等植物输入相对较多的浅湖-沼泽相泥岩。两类凝析油的成熟度存在明显差异，H6-1 构造凝析油成熟阶段晚期的原油伴生气，对应 Ro 约为 1.2%~1.3%；H1-1 构造凝析油成熟度相对较低，对应 Ro 约为 0.9%~1.1%。H6-1 构造凝析油主要来源于文昌组烃源岩，H1-1 构造凝析油主要来源于恩平组烃源岩。

受构造沉积演化控制，惠州凹陷文昌组和恩平组两套烃源岩在空间上有明显的迁移特征。惠州凹陷在文昌组下段地层沉积期，受控于凹陷南缘断裂，在凹陷南部的惠州 26 洼发育半深湖-深湖相烃源岩；从文昌组上段至恩平组地层沉积期断陷作用由凹陷南缘转换到了凹陷北缘，惠州 21 洼恩平组烃源岩相对发育。惠州 26 洼文昌组半深-深湖相油型烃源岩在相对高成熟阶段生成的凝析油主要运移至南部紧邻烃源岩的 H6-1 构造的古潜山-古近系地层成藏，而惠州 21 洼恩平组浅湖沼泽相倾气型烃源岩在相对低成熟阶段生成的凝析油气沿断裂运移向上运移，受到珠江组末期~韩江组沉积的区域性海相泥岩封盖，主要在珠江组上段砂岩储层中聚集形成凝析油藏，少量凝析油发生侧向运移，进入珠江组下段和珠海组储层。

S67-P-18

珠江口盆地西江凹陷恩平组物源转换与沉积充填演化

汪晓萌[1*]，邱欣卫[1]，马永坤[1]，赵芳[1]，周清波[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* wangxm20@cnooc.com.cn

为了阐明西江凹陷古近系恩平组的物源供给方式及沉积充填演化规律，在等时层序格架内，充分利用全区覆盖的三维地震、周缘二维地震及钻遇恩平组沉积期地层的 25 口钻井资料，以古地貌-古环境分析、锆石 U-Pb 定年、地震敏感属性分析及典型地震相综合识别为主要技术手段，对西江凹陷恩平组不同沉积时期的沉积环境、古地貌特征、锆石形态及年代组成、砂体发育特征等进行分析，认为恩平组早晚沉积时期的物源供给方式及沉积充填特征发生了明显的变化。恩平组沉积早期：由于文昌组沉积末期，凹陷西南部发生大规模隆升剥蚀，古地貌整体呈南高北低的构造格局，沉积沉降中心位于西江 33 洼，陆相断陷湖盆特征明显，西江 33 洼以盆内短程物源(中生代火成岩基底母岩)供给为主：南部缓坡带发育沿北西-南东方向展布的前积弱反射并不断向洼陷中心进积的浅水辫状河三角洲，凹陷北部陡坡

带同生控凹断裂活动强烈，沿构造转换带发育一系列受沟谷及断裂联合控制的近源扇三角洲，可见蠕虫状杂乱发射和楔状反射。番禺 4 洼由于文昌末期的大规模隆升剥蚀，恩平早期裂陷作用弱，地势平缓，水体浅，发育受东沙隆起供源的辫状河三角洲。恩平组沉积中期：西江凹陷发生广泛湖侵，T72 界面上可见典型的上倾尖灭，但仍以四周隆起盆内短程物源供给为主，围绕西江中低凸起主要发育湖侵辫状河三角洲，北部陡坡带控凹断裂活动速率减弱，发育小规模的扇三角洲。恩平组沉积晚期：由于沉积范围扩大，主要为开阔湖盆沉积环境，受准平原化作用影响，以盆外大型远源水系(华南褶皱带前寒武纪-古生代变质岩基底母岩)供给为主，而凹陷内的西江中低凸起被湖水覆盖，物源效应减弱，沿凸起四周发育一系列中小型扇三角洲及滩坝砂体。此时，东沙隆起仍然持续供源，因此凹陷内部发育两支大型辫状河三角洲，一支为盆外物源供源的大型辫状河三角洲，一支为东沙隆起供源的辫状河三角洲，二者在番禺 4 洼交汇。西江凹陷早晚恩平期的物源转换，导致恩平组下段和上段在沉积模式与充填样式发生变化，该研究为西江凹陷的储层预测研究提供了支持。

S67-P-19

断陷盆地缓坡带源-断-砂耦合控藏研究

贺勇[1*]，蔡嵩[1]，黄鹏亮[1]，梁杰[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

* heyong2@cnooc.com.cn

断陷盆地缓坡带发育有多种类型圈闭，是油气运移与聚集的有利场所，为油气勘探的重点区带。断陷盆地缓坡带的油气成藏受诸多因素协同控制与影响，包括构造活动与断裂特征、沉积充填与砂体展布特征、烃源岩发育情况及分布特征等。作者基于测录井数据、地震数据、分析化验结果等资料，以珠江口盆地陆丰凹陷为研究对象，开展烃源岩特征、断层特征、砂体展布特征、源-断耦合类型、断-砂耦合类型及源-断-砂耦合特征与油气成藏分析，揭示断陷盆地缓坡带油气富集规律，以期为陆丰地区及其它断陷盆地缓坡带的精细油气勘探提供借鉴。基于断层与源岩、砂体的产状、接触及切割关系等，归纳总结断陷盆地缓坡带 7 种源-断耦合类型，13 种断-砂耦合类型，在此基础上总结了 43 种源-断-砂耦合类型，并将其划分为I类、II类、III类等三大类。研究认为源-断-砂耦合类型对缓坡带油气成藏具有显著的控制作用，其中I类源-断-砂耦合类型对于油气成藏最为有利。在烃源岩区断层切割成熟烃源岩，且断层具有凸面脊，更有利于油气从烃源岩中高效排出与运移；在目的层段，连片砂体相对于油源断层上倾，且与断层凸面脊耦合关系好，更有利于油气汇聚成藏；而砂体相对孤立或相对于油源断层下倾，并与断层耦合关系较差，对油气成藏不利。陆丰地区勘探实践证实，砂体厚度较大，连片性好，整体而言源-断-砂耦合条件优越的井区有较大规模的商业储量发现；而砂体连片性相对较差，整体的源-断-砂耦合条件相对不好的井区则没有规模成藏或未见任何油气显示。最终，根据源-断-砂耦合控藏理论指导陆丰地区的油气勘探，在恩四段构造-岩性圈闭中取得规模性油气发现，测试获得高产，是陆丰地区首个隐性圈闭商业性油气发现，具有重要的领域意义与经济价值。

S67-P-20

基于深度学习的储层定量预测技术及其在南海北部的应用

孟昶[1*]，朱焱辉[1]，白海军[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* mengchang@cnooc.com.cn

随着深水勘探逐渐走向深层，勘探目标的岩性日益复杂化，储层预测在深水勘探中扮演着愈发重要的角色。现今常用的基于叠前反演的储层预测研究以定性预测为主，难以较为准确地得到地层泥质含量，同时也难以定量预测诸如凝灰岩、玄武岩等特殊岩性。此外，常规基于“线性转换法”得到的孔隙度数据体精度也较为有限，难以满足深水深层的勘探需求。因此，亟需一种储层定量预测的方法以提高深水勘探成功率。

岩石物理是连接储层参数和弹性参数的桥梁。岩石物理模型实现了从储层参数到弹性参数的转换，而从弹性参数到储层参数的定量转换迄今缺乏较为成熟可靠的技术手段。深度学习可以高效的学习输入参数与输出参数的内在关系，利用深度学习技术可以高效准确地实现从弹性参数到储层参数的定量转换。针对深度学习技术存在的一些缺陷，本文针对性地采用了一些优化方法，包括引入了 Sigmoid 激活函数与 Adadelta 寻优算法，解决了常规深度学习技术存在的梯度消失和全局寻优能力有限的问题。基于改进后的深度学习算法，利用叠前反演结果，本文提出了一套基于深度学习的储层定量预测技术。

A 构造其沉积相变化快，岩性，物性关系复杂，非均质性强，区块评价难度大。在 A 构造评价过程中应用了基于深度学习的储层定量预测技术，其钻前预测的孔隙度与实钻结果吻合较好，证明了本技术的有效性。为了进一步证明该技术的先进性，和常规方法预测结果进行对比后发现，深度学习预测的孔隙度精度有较大提高。

B 构造属于洲-扇过渡体系，同时受火山碎屑影响，其物性变化规律非常复杂，储层预测难度大。在 B 构造评价过程中，利用深度学习技术开展了孔隙度预测。预测结果和后续钻井实钻情况也较为吻合，证明了本技术的有效性。同时利用本技术也预测了火山碎屑的含量，钻前预测结果和实钻结果一致，进一步证明了本技术的有效性。

S67-P-21

珠江口盆地白云凹陷古近纪构造变形特征及勘探意义

王福国 [1*]，汪旭东 [1]，贾富昊 [1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* wangfg2@cnooc.comc.cn

白云凹陷是珠江口盆地天然气勘探主战场之一，目前勘探正面临转向古近系深层阶段，针对深层的探索，发现深层缓坡带砂岩变少，与伸展型半地堑储层发育模式矛盾。利用重处理连片的 PSDM 三维资料，开展白云凹陷古近系构造幕解析，按不整合面发育的动力学机理对盆地演化阶段重新划分：构造层序纵向上由之前的一个被动裂陷幕，修正为被动裂陷-主动裂陷-被动裂陷三个幕次，使得白云凹陷古近纪构造-沉积特征相互匹配；平面上也由单一伸展型充填模式，修正为主动裂陷-被动裂陷叠加型、主动裂陷侧向迁移型及主动裂陷新生迁移型三种充填类型，为古近系沉积体系迁移演化提供了分析格架，有力支持了盆地级上下文昌组界面厘定；从而建立了白云凹陷古近纪变形新模式。该模式为其它凹陷构造对比研究提供了新思路，也为南海海盆扩张过程提供了新证据。

S68-O-1

轻烃组成影响因素及其在天然气成藏地球化学中的应用

黄士鹏 [1*]，姜华 [1]，朱光有 [1]，江青春 [1]，陶小晚 [1]，曾富英 [1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

* shipenghuang@petrochina.com.cn

轻烃作为天然气地球化学研究中的一个分支，在天然气成因类型、成熟度、气源对比、运移方向和运移相态研究中发挥着重要作用。通过分析中国 9 大含油气盆地 40 多个大中型气田（气藏），395 个气样（产出层位从新元古界震旦系到新生界第四系）的轻烃、烷烃气地球化学组成数据，结合国际上典型盆地/地区的烃源岩、天然气轻烃地球化学组成，总结了轻烃的三种成因机制，探讨了不同烃源岩沉积环境和有机质类型、成熟度、运移等因素对轻烃组分和单体烃碳同位素的影响，明确了轻烃地球化学指标的适用性和可靠程度，取得以下认识：（1）轻烃的形成主要有机质热解成因、催化成因和微生物作用成因，地质条件下轻烃生成的不同阶段，存在不同的成因机制组合；（2）腐泥型和腐殖型有机质生成轻烃的特征存在明显差异，生烃演化过程中，不同阶段轻烃类别相对组成不同，总体上前者富含链烷烃，后者富含芳烃；生物气 C_{6-7} 轻烃组成表现为富含链烷烃、环烷烃，而贫芳烃的特征；在同位素组成上，腐泥型有机质形成轻烃的单体烃碳同位素明显轻于腐殖型轻烃。这些化学和同位素组成差异是用来鉴别不同成因天然气类型，并进行气-气、气-源对比的重要依据；（3）基于轻烃生成过程中，随着成熟度增加各组分含量的相对差异，诸如 2,4-DMP/2,3DMP、芳烃/正构烷烃等参数均可以用来指示天然气的相对成熟度；（4）天然气在运移过程中，受地质色层效应和在水中的溶解度差异影响，可以利用芳烃/链烷烃来判断天然气的运移方向和运移相态。

S68-O-2

泥岩中可溶有机质非烃组分的演化及地球化学意义

都鹏燕[1*]，蔡进功[2]，雷天柱[3]

1 延安大学，石油工程与环境工程学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 中国科学院大学，西北生态环境资源研究院

* pengyandudu@gmail.com

随着油气勘探的深入，深层、超深层油气资源受到越来越多的重视，深层有机质生烃的认识尚不成熟，有待研究。泥岩中有机质具有不同赋存态，其中可溶有机质在深层对生烃的贡献相对最大，而且可溶有机质中的非烃组分具有很明显的生烃贡献。本研究将采集东营凹陷沙河街组 21 个暗色泥岩样进行可溶有机质分子构成特征研究，研究样品均匀分布在 2600m~4500m，对样品进行索氏抽实验收集可溶有机质，对可溶有机质进行族组分分离提取饱和烃、非烃组分，分别对饱和烃、非烃组分衍生处理进行气相色谱测试分析，从而研究可溶有机质的微观组成特征，分析各组分之间的演化关系，得到可溶有机质非烃生烃特征。研究结果表明：

（1）非烃中的酸、醇、酮类化合物组成特征差异显著。醇类化合物的碳数分布范围最大，其次为酮类、正构酸化合物；正构酸化合物的主峰碳主要为 C16，伯醇主峰碳为 C22，其他醇、酮化合物的主峰碳在 C16~C25 范围内；醇类化合物含量最大，正构酸化合物含量最小；正构脂肪酸、伯醇总体具有一定的偶数碳优势，其他类型的化合物奇偶优势不显著；正构酸的分子组成中短链小分子含量相对较多，醇、酮化合物的分子组成中大分子相对较多。

（2）非烃中酸、醇、酮三类化合物演化不完全同步，三类化合物的含量演化趋势相似，都以 3500m 为界先减小后增加；正构酸和伯醇的奇偶碳优势指数值的演化恰好相反，但在整个剖面上两类化合物都偏偶数碳优势，其他化合物以 3500m 为界，深浅层的碳优势相反；正构酸和醇类化合物的分子组成也以 3500m 为界，浅层小分子组成相对减小，深层小分子组成相对增加，而酮类化合物的分子组成在整个剖面上小分子相对含量在逐渐增加。

（3）酸、醇、酮和其他化合物的相对含量演化特征表明，在深度演化过程中其他非烃化合物向酸、醇、酮类化合物转化。随深度增加，饱和烃分子组成的奇偶碳优势变化和轻/重分子组成的变化与非烃的酸、醇、酮

化合物的分子变化的恰好对应，揭示了可溶有机质的非烃组分向烃转化。

S68-O-3

深大坳陷对超深层油气资源富集成藏的重要作用性研究

李梅[1*]，潘文庆[1]，张君龙[1]，陶小晚[2]，刘绍新[1]，柴绪兵[1]，刘洋[1]

1 大庆油田有限责任公司新疆分公司

2 中国石油勘探开发研究院石油天然气地质研究所

* 3154116119@qq.com

在塔里木台盆区超深层油气勘探征战中北部坳陷的富满顺北大油气田的出现，给油气地质科学家带来了一系列的机理科学问题的挑战。深入研究表明深大双坳陷的叠和作用，对超深油气藏油气藏的成盆成烃成储成藏，起着决定性的作用，要想在超深层获得油气藏发现的大突破，要加大研究古坳陷沟通上面的新坳陷的油气成矿作用。深大坳陷在超深油气成藏控制作用有三层次的决定性重要作用。第一，深大坳陷的致密层，对原生古油藏起着保存作用。深大坳陷，深大裂谷，发育在盆山结合处，板块边缘，属于陆陆碰撞的俯冲带，或者是洋壳消失的缝合带，通常发育着细粒的泥岩，黑色岩类而富含有机的烃源岩层，在顶部发育塑性流动大的膏盐岩，以及致密的碳酸盐岩层，对油气起着封堵作用，甚至对原生古油藏进行保护。在后期地质演化过程中，古油藏调整或者裂解成气。

第二个层次关于深大坳陷内及周缘所产生的众多继承性断裂带。按照深大裂陷的发育机制，当两个大陆地块发生了碰撞，一个大陆要俯冲到另一个大陆之下：一个大陆是上盘，另一个大陆是下盘。上盘的前缘要形成一个前陆盆地，这个大陆的物质就可以转移到另外一个大陆之中，形成所谓的前陆盆地，就是最早一期的古坳陷。汤加火山爆发，形成的机制就是大洋洲两个洋洋壳板块碰撞，形成世界第二大的汤加海沟，深大坳陷。还有在克拉通岩石圈拉张的过程中，软流圈地幔低速带层上涌，尤其是在地壳薄弱处中，强烈上拱，致使陆壳发生垮塌形成有多组断裂发育的深大坳陷，因为是一个薄弱的环境，住往多组断裂具有继承性。通过分析塔里木台盆区近 七十多条的走滑断裂具有继承性，加里东期的走滑断裂，往往也会在海西期活动，甚至喜山期也会活动。塔里木盆地二叠系大火成岩省，是地幔柱出露地表的表现，火山喷发的管道就是一个超级的深大裂陷，把地球的地幔、岩石圈、深地壳中的固体流体气体携带到地壳沉积岩中。

第三个层次关于深大坳陷是沟通地球深部与浅部的桥梁作用。现今的超深层勘探已进入了古坳陷与现今坳陷叠合的立体复式油气成藏勘探中。在克拉通破坏时，沿地壳浅部薄弱带迁移，薄弱带就是深大坳陷，在深大坳陷中，固体矿产流体矿藏以及气体矿田共生一处。有利的勘探区就是浅部薄弱带一深大坳陷，就是现在所谓的逼近烃源岩的勘换，深大坳陷就是实现金矿、油气等资源勘查突破的重要主攻方向。深源气体一般沿深大断裂运移，进入气藏后，使得天然气组分中非烃气体的含量异常，导致气藏组分的复杂化，增加了认识难度。

S68-O-4

深层油气运移成藏过程评价技术及其应用

史玉玲[1*]，彭光荣[1]，龙祖烈[1]，温华华[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* shiyl5@cnooc.com.cn

珠江口盆地现已探明储量以新近系为主，深层恩平组虽有零星发现，但储量占比较低；传统认为恩平组普遍含砂率高、储盖组合差，难以成藏。本研究以珠一坳陷恩平组岩性组合、断裂断距及纵向油气分配比的地质统计为基础，创新采用构造变形与烃类

充注一体化物理模拟，再现恩平组不同“断-砂组合”下油气富集模式，得出“地层砂地比越高、断距越大，油气越容易穿越盖层向上运移；35%以下砂地比或 100m 以下断距有助于油气恩平组层内运聚”的新认识，优选惠州 21/27 构造带恩平组为有利勘探层系。以惠州 21/27 构造带为靶区，首次耦合断裂断距-有效正应力-SGR-形态，分析断裂纵、横向分段差异输导能力。深层油气运移受储层物性影响大，本研究分别建立浅层、深层砂岩输导体输导标准，采用多方位趋势和甜点属性双约束的高精度岩相建模技术，逼近真实再现非均质砂体。最终以源-断-砂-脊关键成藏要素为基础，结合油气来源、充注期次、成藏动力，构建含油气系统精细地质模型，完成惠州 27-5 构造恩平组油气立体-动态运移成藏过程恢复。有如下主要认识：

1、惠州 21/27 构造带三面环洼，发育典型文昌组半深湖-深湖相源岩、浅湖相源岩和恩平组湖沼相源岩，基于盆地模拟成因法分析，认为文昌组生烃中心主要集中在惠州 26 洼，而恩平组生烃中心主要集中在惠州 21 洼，惠州 21/27 构造带处于惠州 26 洼和惠州 21 洼油气有利的汇聚区内，供烃充足。

2、惠州 21/27 构造带发育南北两排张扭性油源断裂，其输导性存在差异，导致油气差异成藏。基于对断裂断距、有效正应力、SGR 和形态分析，北部断裂主要沟通惠州 21 洼文昌组和恩平组烃源岩，活动性较强，有利于油气垂向运移至惠州 21-8/1 浅层珠江；南部断裂主要沟通惠州 26 洼文昌组烃源岩，其活动性较弱，且具垂向输导能力，以深层恩平组输导为主，运移至惠州 27-5 北块；据有效应力分析，早期断裂具有分割性，南北两块成藏相对独立。

3、基于靶区高精度油气立体运聚模拟分析，15.97Ma 之前，惠州 26 洼、惠州 21 洼生成的油气主体满足自身泥岩吸附的同时，以中深层运聚为主；13.8Ma 左右，烃源岩大量排油，开始沿着南北油源断裂向惠州 21/27 构造带运聚成藏；10Ma 左右，烃源岩部分进入高成熟阶段，生成大量湿气，运移至潜山、文昌组和恩平组差异聚集成藏。惠州 27-5 构造油气成藏模式则为“富洼供烃、差异输导、分块分层成藏”。

S68-O-5

中国海相油气成藏理论新进展

朱光有[1*]，姜华[1]，黄士鹏[1]，马德波[1]，张明[1]，陈玮岩[1]，管树巍[1]，范俊佳[1]，曾富英[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

* zhuguangyou@petrochina.com.cn

海相碳酸盐岩是我国陆上油气勘探的重要组成部分，近年来勘探取得了一系列勘探突破，为保障我国能源安全发挥重要作用。本文结合近期我国三大克拉通盆地油气勘探成效，系统梳理了中国海相油气成藏理论和技术的最新进展，形成了 4 方面的认识：（1）我国三大克拉通海相油气勘探成效显著。塔里木盆地发现了富满、顺北两个地质储量达 10 亿吨级的超深层断控特大型油气田；四川盆地川中北斜坡区万亿方大气区建设初见规模；鄂尔多斯盆地在奥陶系盐下马五 6 亚段-马四段白云岩发现了多个勘探新区带；（2）储层预测与成储过程示踪方面取得了一系列重要进展：利用镁 (Mg)同位素示踪白云岩化过程，推动了白云岩成因机理的发展；通过深部断溶体等多类碳酸盐岩储集空间特征及保持机制的研究，明确碳酸盐岩洞穴储层勘探深度下限远远超过可钻深度；断溶体刻画、礁滩体表征、储层透明与定容表征技术的进步，推动了高效勘探进程，显著提高了钻井成功率;（3）成藏过程与流体示踪方面进展显著：利用轻烃、同位素、生标等技术创新，提升了油气源对比的有效性。多种方法的成藏定年技术取得重要进展，可有效指导成藏有利区的确定；油气藏演化与重建技术不断发展，推动了我国复杂构造背景下的海相碳酸盐岩成藏过程由定性分析向定量研究转变;（4）系统分析了我国海

相碳酸盐岩油气成藏富集规律与主控要素，明确我国海相油气成藏具有油气藏大面积分布、油气柱幅度大、高产井受烃源岩与规模储层联合控制、走滑断裂控制富集区、油气藏超长寿命保持的鲜明特征；（5）中国海相盆地深层超深层资源潜力巨大，潜在发育5个万亿方级大气区和一个十亿吨级大油田。我国海相油气成藏理论的发展丰富了特色小克拉通盆地油气成藏理论，推动了石油地质理论的不断进步，并在我国油气勘探实践中发挥重要作用。

S68-O-7

塔里木盆地上埃迪卡拉统微生物白云岩储层特征及成因——以盆地西北缘露头区为例

郑剑锋[1,2*]，朱永进[1,2]，陈永权[3]

1 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室

2 中国石油杭州地质研究院

3 中国石油塔里木油田公司，勘探开发研究院

* zhengjf_hz@petrochina.com.cn

埃迪卡拉系奇格布拉克组白云岩是塔里木盆地寒武系盐下超深层领域重要的勘探层系之一，但当前该层系勘探尚未取得重大发现，其中白云岩储层成因认识不深是制约勘探突破的重要因素之一。以塔里木盆地西北缘露头区为研究对象，在对上震旦统奇格布拉克组岩石特征系统描述的基础上，优选样品开展了$\delta^{13}C$、$\delta^{18}O$、$^{87}Sr/^{86}Sr$、微量稀土元素和U-Pb同位素年龄检测，分析了白云岩的类型、特征及储层发育的主控因素。明确了：（1）塔里木盆地西北缘露头区奇格布拉克组厚约 132-189m，根据相序组合可以划分为4 个段，主要发育叠层石、凝块石、泡沫绵层石3 种微生物白云岩和鲕粒、粘结颗粒2 种与微生物作用相关的颗粒岩，自下而上构成碳酸盐缓坡背景下的内缓坡潮坪—潮下微生物丘滩沉积序列；（2）奇格布拉克组白云岩的$\delta^{13}C$、$\delta^{18}O$和$^{87}Sr/^{86}Sr$的平均值分别为3.50‰、-2.95‰和0.709457，与同时代海水特征相似；同时具有较低有序度（平均值为 0.68）、ΣREEs（平均值为9.03ppm）特征，以及球粒陨石标准化下具有轻稀土元素含量大于重稀土元素含量的“右倾”配分模式，激光 U-Pb 同位素年龄（538~618Ma）对应震旦纪，综合揭示白云岩形成于准同生期海水成岩环境，白云石化流体主要为海水。（3）发育内幕丘滩型和风化壳岩溶型两类白云岩储层，沉积微相、高频层序/构造运动控制的大气水溶蚀作用和早期白云石化作用是储层发育的主控因素。研究成果对塔里木盆地震旦系奇格布拉克组白云岩领域油气勘探中的储层预测具有重要意义。

S68-O-8

深部碳酸盐岩储层形成过程模拟实验技术及应用

佘敏[1*]

1 中国石油天然气股份有限公司杭州地质研究院

* shem_hz@petrochina.com.cn

碳酸盐岩是中国油气勘探非常重要的领域，特别是近年来在深层、超深层取得了重大勘探成效，如靖边气田、安岳气田、普光气田、哈拉哈塘油田和富满油田，逐渐增强了对我国深层海相油气勘探的信心。由于碳酸盐矿物的高化学活动性，溶蚀作用形成的次生孔隙对储集空间有重要的贡献，我国海相碳酸盐岩油气勘探的实践也证明了这一认识。碳酸盐岩溶蚀模拟实验是研究碳酸盐岩溶蚀有利条件和分布规律的重要方法，可以通过模拟地层环境来再现碳酸盐岩溶蚀作用的过程和结果。

中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室自主设计的高温高压溶解动力学模拟装置（图1），具体由岩石内部溶蚀系统、岩

石表面溶蚀系统和高温高压原位可视化检测系统组成。岩石内部溶蚀系统反应釜采用高温高压岩心夹持器，且岩心夹持器两端分别连接压差传感器和压力传感器，实现了水岩反应过程中岩石柱塞样品渗透率值实时在线连续测定，量程为 0.1～10000mD；岩石内部溶蚀系统装有两个柱塞管式反应釜，通过管线和阀门的选择，可开展一个温度条件对应单一的成岩阶段模拟，也可以同时模拟两个不同温度条件的跨构造期成岩过程；高温高压可视化原位检测系统是指，反应釜采用熔融毛细硅管，冷热台加温，连接激光拉曼光谱仪，实现高温高压下水岩反应过程中流体原位分析；对于每个反应釜来说，两端通过阀门开关，即可选择开放-连续流或封闭-静态的模拟环境。

碳酸盐岩溶蚀模拟实验技术有两个方面的发展，一是逐渐利用耐高温高压岩心夹持器作为反应釜，采用岩石柱塞样，进行流体在碳酸盐岩内部孔隙中运移与反应的溶蚀模拟，本文称之为碳酸盐岩内部溶蚀实验；二是加强实验装置原位在线检测的功能，主要包括液体渗透率值和高温高压流体原位分析。利用跨构造期溶蚀实验，提出了埋藏溶蚀流体酸性保留机制，近酸源处，流体垂向运移，由于温度高、流速快，溶蚀孔隙类型以溶缝为主，形成酸性流体运行通道，从而确保酸性流体在长距离运移中保留酸性至目的层位改善储集空间。

S68-O-9

激光原位碳酸盐 U-PB 定年实验方法改进与石油地质应用

陈玮岩[1*]，鲁雪松[1]，桂丽黎[1]，柳少波[1]，吴石头[2]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油地质实验研究中心

2 中国科学院地质与地球物理研究所

* chenweiyan@petrochina.com.cn

激光原位碳酸盐 U-Pb 定年技术方兴未艾，在石油地质中应用潜力大，但由于碳酸盐岩 U 含量低（< 10 mg/g）、普通铅含量较高，且 U、Pb 分布非均质性强，缺少基体匹配标样等因素使得碳酸盐 U-Pb 定年的精度差和成功率低，限制了该技术的广泛应用。本文针对目前激光原位碳酸盐 U-Pb 定年技术中存在问题，基于 LA-SF-ICP-MS 仪器，通过对实验方法的改进，提出一种合理确定样品剥蚀参数的方法，在同一个序列中根据样品 U 含量高低对标样和未知样品设置不同大小的激光光斑和剥蚀频率，既保证标样和样品剥蚀坑深/宽比一致，避免元素分馏差异造成的系统偏差，也有效节约了珍贵的标样。根据碳酸盐岩 U、Pb 含量低且分布不均的特点，利用网格法筛选和边筛边布点的方法快速筛选出高 U 和低普通 Pb 的点位，有效提高靶点筛选和布点效率以及定年的成功率，节省时间和经济成本。通过对实验方法的改进，有效提高了碳酸盐 U-Pb 定年的精度和成功率，并将该技术应用于传统方法难以测准的两个实例——川中地区低 U、高普通铅的热液鞍状白云石和准南高泉背斜白垩系清水河组砂岩储层中的低 U、高普通铅的年轻方解石胶结物，得到可靠的年龄数据，对研究区成岩-成藏过程研究提供了关键时限的约束。

S68-O-10

局部白云岩化作用研究-以阿克苏地区蓬莱坝剖面鹰山组为例

谭聪[1]，刘策[1*]，王铜山[1]，李秋芬[1]，朱玺[2]，付景龙[3]，姜华[1]

1 中国石油勘探开发研究院

2 辽宁省化工地质勘察院有限责任公司

3 中国石油华北油田分公司勘探开发研究院

* 340330888@qq.com

通过对蓬莱坝剖面鹰山组的系统野外测量、岩性描述、样品采集、薄片观察以及地球化学分析，对鹰山组小规模局部发育的白云岩的成因进行了详细分析。研究结果显示蓬莱坝剖面鹰山组可划分为上下两段，整体岩性为灰岩，鹰下段为亮晶藻砂屑灰岩，具有明显的高能颗粒滩相沉积特征，上段为球粒泥晶灰岩，以低能滩及滩间海沉积为主。剖面被多条断层切割，局部白云岩主要发育在鹰下段断裂附近，呈透镜状、准层状分布，白云化程度具有以断裂为中心沿层面向周边逐渐减弱的特点。白云岩地球化学分析结果显示其 Fe、Mn 含量低，与周边灰岩相重叠，Na、K 含量与灰岩之间也没有区分，反映了白云化流体为海源。Sr 元素含量明显高于周边灰岩表明云化作用并非发生在表生环境下。稀土元素则具有轻稀土元素富集，重稀土元素亏损的特征，Eu 表现出明显负异常，Ce 元素轻微亏损，表现出与现代海水相似的特征。白云岩样品碳-氧同位素相比于灰岩更轻指示流体的蒸发性质。综合研究认为蓬莱坝剖面鹰山组围绕断裂发育的局部白云岩的形成阶段可能发生在浅埋藏阶段，白云化流体可能来源于由断裂沟通的中上寒武统地层蒸发卤水，是一类不同于典型构造-热液白云岩的与小型构造白云岩。

S68-O-11

基于层次分析法的塔河地区岩溶输导体系性能评价

高济元 [1,2]，张恒 [1,2*]，蔡忠贤 [1,2]

1 中国地质大学（武汉），油气勘探开发理论与技术湖北省重点实验室

2 中国地质大学（武汉），资源学院

* hzhang1219@cug.edu.cn

塔里木盆地塔河油田是我国海相碳酸盐岩层系发现的储量最大的岩溶缝洞型油气田，油气输导条件非常复杂。前人大量研究成果表明，主干断裂（贯穿式断裂）对塔河地区油气运移起到了重要的输导作用并进行了相应的性能评价。但由于塔河地区输导网络由以风化壳为主的表层岩溶带、大型岩溶管道、沿着断裂带分布的短洞道和孤立洞穴构成，存在复杂性和跨尺度性，单纯的评价主干断裂的输导性能并不能全面反应整个岩溶输导网络输导能力，主干断裂之间油气的调配方式、输导路径和输导能力能力尚未找到合适的评价方法。

本文基于三维地震资料、测井数据和生产资料，综合考虑前人研究成果，针对塔河北部岩溶型输导体系输导能力评价问题，引入层次分析法的决策方法，定性和定量结合综合评价塔北地区 T_7^6 层位中线性体、构造面和岩溶缝洞三大类影响输导能力因素，从而对岩溶输导体系的输导性能进行评价，具体包括线性体拓扑学参数、线性体与主应力方向、主干断裂评价之后的优势运移段、断裂发育面积、海西晚期古构造、表层岩溶带发育厚度、表层缝洞发育程度、缝洞体发育程度八个参数。研究结果显示：（1）塔北地区岩溶输导体系输导能力由断裂裂缝、构造条件和缝洞型储集空间共同决定；（2）层次分析法对主干断裂之间次级断裂输导性能评价具有较好的引用效果；（3）塔北地区深大走滑断裂之间油气运移的优势部位集中在近东西向走滑断裂。上述成果对明确油气成藏期和改造调整期优势油气输导路径、预测有利油气聚集区以及寻找有利勘探目标具有重要的意义。

S68-O-12

准噶尔盆地西部坳陷二叠系含油气系统与天然气勘探潜力

龚德瑜 [1*]，何文军 [2]，刘超威 [2]，王瑞菊 [1]，吴卫安 [1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院

2 中国石油新疆油田分公司

* deyugong@petrochina.com.cn

准噶尔盆地天然气探明率低，亟需寻找战略接替领域。下二叠统风城组是盆地最重要的一套烃源岩，但对其生气潜力研究较少。基于天然气的组分、稳定碳同位素组成以及轻烃化合物组成，本次研究在准噶尔盆地西南部发现了四种类型的天然气。第一类天然气为来自沙湾凹陷深部石炭系和下二叠统佳木河组高–过成熟腐殖型烃源岩的煤型气。第二类天然气来自下二叠统风城组湖相烃源岩，可进一步细分为 A 和 B 两个亚类。前者为来自沙湾凹陷的高成熟油型气，后者为来自玛湖凹陷成熟度较低的油伴生气。第三类天然气为第一和二类天然气的混合物。第四类天然气为油藏破坏后发生生物降解而形成的次生生物气。一部分天然气遭受了细菌的改造，以丙烷的选择性降解最为明显。基于储层流体包裹体分析结合埋藏史和热史的恢复，确定了研究区油气主要发生了两期充注和一期调整：第一期油气充注发生在晚三叠世–早侏罗世，烃类包裹体均一温度约为 70–100 ^{o}C。该阶段，沙湾凹陷二叠系烃源岩生成的油气沿断裂和不整合面向构造高部位运移，并聚集成藏。侏罗纪末，研究区发生了大规模的抬升事件，天然气散失殆尽，油藏则遭受了严重的生物降解，形成大量次生生物甲烷。第二期充注发生在早白垩世，烃类包裹体均一温度约为 100–125 ^{o}C。该阶段，研究区再次开始沉降，二叠系烃源岩生成大量高成熟煤型气和油型气，再次运移至构造高部位成藏。上述发现证实了准噶尔盆地西南部发育石炭系和风城组两套规模有效气源灶，揭示了崭新的天然气勘探领域。

S68-O-13

四川盆地上震旦统灯影组储层特征与成因分析

周慧[1*]，翟秀芬[1]

1 中国石油勘探开发研究院，石油天然气地质所

* zhouhui03@petrochina.com.cn

川中古隆起深层碳酸盐岩勘探始于 20 世纪 40 年代，经过 80 多年的勘探，已发现威远气田、安岳气田和蓬莱气区，探明储量达 8651.5 亿方。四川盆地灯四段、灯二段均发育微生物白云岩储层，其中，灯二段储集岩以凝块白云岩、藻砂屑白云岩为主，储集空间以孔洞、格架孔、粒间（内）溶孔、凝块间溶孔、溶缝为主；灯四段储集岩以纹层白云岩、凝块白云岩、细晶白云岩为主，储集空间以粒间（内）溶孔、格架孔、晶间（溶）孔和洞穴为主。灯影组微生物岩储层表现为低孔低渗型储层，具裂缝-孔隙型特征，储层主要分布在灯四段上部和下部、灯二段中-上部，宏观上受两个区域不整合控制。四川盆地灯影组地貌格局是在沉积基础上叠加了岩溶侵蚀而形成的，主要成岩作用包括：多期多类型岩溶作用、胶结作用、烃类充注作用、充填作用，认为储层的成因主要受控于：（1）微生物丘滩体是储层形成的物质基础，其中的菌藻类腐烂形成了早期孔隙，且微生物岩形成格架，增强抗压能力，为岩溶改造奠定基础；（2）多期多类型岩溶作用进一步改造了储集空间，形成了多类岩溶储层；（3）烃类充注作用有利于早期孔隙的保存。

S68-O-14

超深走滑断裂内部结构刻画技术及应用

常少英[1*]，邓兴梁[2]，王孟修[1]，刘玲利[1]

1 中国石油杭州地质研究院

2 中国石油塔里木油田公司

* changsy_hz@petrochina.com.cn

超深缝洞型碳酸盐岩已建成300万吨原油生产基地、其中超深断控缝洞型碳酸盐岩油气藏占主导地位。但目前面临着不同断裂、同一断裂不同段控储模式不清，弱能量断溶体不易识别、断溶体连通性不清晰，以及“小串珠”产量高、“大串珠”产量低，“低串珠”产油、 “高串珠”产水等生产问题。在断溶体构型地质模式认识的基础上，利用动态、静态

生产资料，进行断溶体几何外形特征、规模及内部岩相的表征，进而探究断溶体轮廓及内部结构刻画的可行性。创建了 “四化法”走滑断裂内部结构量化描述技术：①自适应波形匹配法道集优化。②数据多维度分解、小尺度走滑断裂特征强化，同时，应用地震波形分解技术去除上覆地层强反射特征，凸显弱能量断溶体；应用多尺度断裂检测技术描述断溶体边界。③地震-90 度相位化，在强反射背景下，通常由储层变化所导致的地震阻抗异常并不都伴有明显的振幅异常，但是都会引起明显的相位变化。发现-90 度相位分量对储层较为敏感，将-90 度相位角度的分量提取出来，多道组合在一起，得到-90 度相位角度的相位分量数据体，利用负 90° 相位分量对储层反映敏感这一特点，开展该类储层预测，提高有效性缝洞储层预测的精度。④走滑断裂内部结构解释智能化。碳酸盐岩断溶体构型地震表征关键技术，为断溶体油藏高效井位优选提供了新的思路，支撑了断溶体油藏由点状溶洞向三维立体断溶体的开发思路转变，钻井成功率由 75%左右提升到 94%。

S68-O-15

灰岩岩溶界面识别方法

李闯 [1*]

1 中国石油勘探开发研究院西北分院

* 45793297@qq.com

塔里木盆地中部奥陶系碳酸盐岩储层与碎屑岩地层的界面上发现了两种特殊的地质现象：1）页岩沉积时期局部发育石灰岩，与下伏石灰岩沉积呈准连续性；2） 在顶部石灰岩层的不整合面上发育了岩溶碳酸盐岩储层，储层阻抗与上覆页岩层的阻抗相似。这就是为什么地震记录中可能会出现“时间错误”的原因，它涵盖了实际的储层和地层信息。为此，提出了一种厚度受限的残差信号匹配追踪算法，以探索更准确的地震信息，用于地质体的表征。首先，将原始地震数据分解为许多具有不同频率的原子，作为地质体厚度的约束。然后，分辨率低于地质体的分解低频原子被拒绝，而表征地质体的顶级原子从剩余原子中筛选出来，以重建地震信号。最后，将重新获得的地震数据用于预测储层和石灰岩地层的分布。根据该方法在 R 井地区实际应用中重建的地震剖面，恢复了“串珠”顶部的真实位置，并结合地震反演，成功识别了部分沉积在泥岩底部的碳酸盐岩储层。该方法为进一步的地震资料解释和井深设计提供了依据。

S68-O-16

岩石物理分析在碳酸盐岩小尺度储层预测中的应用

王振卿 [1*]，王宏斌 [1]，代冬冬 [1]，李闯 [1]

1 中国石油勘探开发研究院西北分院，西部勘探研究所

* cugwzq@163.com

塔里木盆地碳酸盐岩的勘探已从深层逐步走向超深层，超深层碳酸盐岩已成为重要的勘探领域；塔北碳酸盐岩的勘探由轮南低凸起逐步下坡到塔河，哈拉哈塘、顺北和富源，塔中碳酸盐岩的勘探目标也从塔中台缘礁滩体走向岩溶风化壳。

哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩是塔里木油田原油上产的重点层系，在良里塔格组沉积后发生了短暂暴露，大气淡水对碳酸盐岩的岩溶作用是该区储集体形成的主要机制。在北高南低的古地貌背景下，可溶性大气淡水汇聚成多条由北向南的明河，并沿明河附近的断裂、裂缝、天坑进入碳酸盐岩地层，形成管道状水流通道，即暗河系统。因可溶性水流量大，岩溶作用时间长，往往可形成体积巨大的溶洞或密集分布的孔洞，在潜山区—层间岩溶区形成了一系列地下暗河成因的大型岩溶缝洞体储层。塔河南部金跃和富源地区储层主要受断裂-裂缝系统的控制，大气淡水和地下热液沿着断裂-裂缝系统对灰岩进行溶蚀改造。

塔中西部地区台内滩储层主要发育在上奥陶统良里塔格组，地层平面分布稳定。在礁滩体生长和海平面变化相对下降引起的多期暴露淋滤作用，以及埋藏期构造裂缝和溶蚀作用下，形成多套准层状分布的礁滩相储集体。塔中东部地区的台缘礁滩储集体在地震剖面上具有明显的“丘状反射”特征，礁滩体内部具有强串珠反射或杂乱反射等特征，而塔中西部地区更为广泛的台内滩储集体作为塔中碳酸盐岩重要的产能接替区，其地震响应特征不明显，缺少明显的强“串珠”特征。

总之，大型缝洞体在地震上的表现主要是“串珠”特征，而裂缝性储层由于其尺度小，地震响应不明显。针对串珠状储层可应用地震属性和叠后波阻抗反演等技术实现了对台缘礁滩体的预测，但由于小尺度储层响应弱，地震预测较为困难，可通过检测裂缝的手段来预测小尺度储层的方法。

S68-O-17

基于纳米 CT 扫描及核磁共振技术的微观孔隙结构对致密油赋存影响分析 —以鄂尔多斯盆地姬塬长 8 储层为例

宋星雷[1]，高辉[2*]，封从军[1*]，易萍[3]，王琛[2]，李腾[2]

1 西北大学，地质学系

2 西安石油大学，石油工程学院

3 中国石油长庆油田分公司，油气工艺研究院

* ghtopsun1@163.com

* fengcj@nwu.edu.cn

致密砂岩储层微观孔隙结构显著影响了致密油的赋存特征。本文应用岩心常规物性测试、场发射电镜扫描、薄片鉴定、高压压汞等实验，对鄂尔多斯盆地姬塬长 8 致密砂岩储层进行微观孔隙结构研究。选取代表性岩心样品，借助纳米 CT 扫描技术、核磁共振技术开展致密油赋存静态和动态评价实验。阐述致密砂岩储层微观孔隙结构对致密油赋存的影响，确定成藏过程中致密油的赋存机理，对鄂尔多斯盆地致密油的成藏过程研究有理论指导意义。研究结果表明：鄂尔多斯盆地姬塬长 8 储层物性较差，储层非均质性强。原油充注物理模拟实验可以分为三个阶段，快速增长期，缓慢增长期及稳定期。充注时油总是优先进入到中等孔隙和大孔隙中，中等孔隙和大孔隙是致密油分布的主要区域。致密油的赋存受孔隙类型、孔隙结构参数、喉道参数及孔隙喉道组合方式等的影响。大孔隙和中等孔隙越多，孔隙连通性越好，致密油的赋存量越大，赋存形态有油膜状、团簇状、多孔状和孤立状等。粒间孔和长石溶孔发育程度越高、喉道越粗、有效喉道越发育、孔喉匹配性越好，赋存量越大。含油饱和度与中值压力、排驱压力成负相关，而与分选系数、中值半径、最大孔喉半径、退汞效率呈现正相关性。

S68-O-18

珠江口盆地陆丰凹陷中生界花岗岩潜山储层发育主控因素及成藏模式

何雁兵[1*]，肖张波[1]，易浩[1]，刘君毅[1]，郑仰帝[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，研究院

* heyb5@cnooc.com.cn

陆丰 13 洼是陆丰凹陷储量发现规模最大的次洼，同时也是珠江口盆地古近系油气勘探和研究程度最高的地区，随着古近系目标日趋减少，亟待寻找接替新领域，而古潜山是重要的勘探新领域之一，陆丰 7-9 潜山丰富的油气显示展现出该领域较大的勘探潜力。陆丰 7-9 潜山位于陆丰 13 西洼与陆

丰13东洼之间的转换带，紧邻优质烃源岩，具有双源、宽窗供烃优势。陆丰 7-9 潜山基底岩性以花岗岩为主，年龄为 147.0±1.4 Ma，主要经历了中生代逆冲挤压作用和新生代断陷裂谷作用，潜山圈闭初始发育于中生代白垩系，定型于古近系，且高点位置长期稳定，有利于油气的运聚和保存。综合井壁心薄片、黏土 X 射线衍射及测井等资料，将陆丰 7-9 花岗岩潜山自上而下划分为 3 个带，分别是风化带、内幕带和基岩带，其中风化带进一步细分为黏土带、风化砂砾岩带、风化裂缝带，内幕带进一步细分为致密带和内幕裂缝带，实测与测井解释物性均表明，研究区风化砂砾岩带储层物性优于内幕裂缝带，储层物性最优。陆丰 7-9 潜山脆性长英质矿物含量较高（平均值为 88.1%）、暗色矿物含量较低（平均值为 2.9%），因此在构造应力作用下易形成裂缝，也为风化淋滤及后期溶蚀改造提供了有利的物质基础。陆丰 7-9 潜山古地貌控制了潜山风化砂砾岩带优质储层的发育，鞍部宽缓区有利于风化壳的保留；内幕裂缝带优质储层的发育受早期先存断裂及后期构造的联合控制，先存断裂持续活化有利于内幕带优质储层的发育。断裂、不整合面及潜山内部网状裂缝系统构成了陆丰 7-9 潜山主要的油气运移通道，主要发育“侧源-断裂-不整合面”和“侧源-断层-网状裂缝”2 种供烃模式。陆丰 7-9 潜山为晚期成藏，原油充注期为 13~0Ma，不同成藏要素之间时空耦合关系较好，形成了双洼近源宽窗供烃、断裂-不整合面-网状裂缝联合输导式的晚期成藏模式。

S68-P-1

准噶尔盆地阜康凹陷东部天然气成因类型及成因——对低成熟煤成气勘探的启示

袁苗 [1*]，刘超威 [2]，龚德瑜 [1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

2 中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司

* 315422571@qq.com

阜康凹陷位于准噶尔盆地东南部，是噶尔盆地最大的生烃凹陷。目前，阜康凹陷及其周缘的油气勘探程度较低，具有很好的勘探前景。通过对阜东斜坡带 8 个天然气样品及其伴生轻烃化合物的系统分析，并对比源自邻区典型石炭系和侏罗系煤系烃源岩天然气地化特征，本文系统讨论了阜东斜坡带天然气的成因和来源。阜东斜坡带天然气均为湿气，干燥系数为 0.76–0.93，平均 0.84。甲烷和乙烷碳同位素组成均与煤型气的热演化趋势接近。在与天然气伴生的 $C_{5–7}$ 轻轻化合物中富含甲基环己烷而正构烷烃含量低，反映生源类型以高等植物为主。经验公式估算的成熟度为 0.76%*R*o–0.93%*R*o，且庚烷值和异庚烷值也较低。天然气碳同位素组成和分子组成以及轻烃化合物特征均与吐哈盆地低熟煤成气十分相似，且与五彩湾气田石炭系高熟煤成气表现出显著区别。因此，阜东斜坡带天然气为来自阜康凹陷侏罗系烃源岩的低熟煤成气。

S68-P-2

柴达木盆地英雄岭地区页岩油富集规律与成藏机理研究

贾鹏 [1*]，范晶晶 [1*]，黄福喜 [1]，高阳 [1]，宋涛 [1]，汪少勇 [1]

1 中国石油勘探开发研究院，油气资源规划研究所

* jiapeng7819@163.com

* fjj6766343@126.com

柴达木盆地是我国西部唯一以新生界为主的大型陆相含油气盆地，受青藏高原快速隆升影响，新生代气候干旱，发育巨厚咸化湖相沉积，因此古近系下干柴沟组上段形成了全球独具特色的巨厚高原咸化湖盆式

陆相页岩油资源。结合近几年在页岩油勘探领域的重大突破，系统分析了英雄岭页岩油藏富集规律与成藏主控因素，建立了柴达木盆地独特的页岩油藏富集模式。研究表明：①岩性主要为泥/页岩和灰质泥/页岩，咸化湖盆低丰度页岩的“二元式”生烃模式，导致烃源岩普遍具有生烃早、烃转化率高等特征；②“干旱-咸化-欠补偿古环境、高频震荡古水体”形成纹层型和混积型两类页岩沉积组合；③干柴沟页岩油受源储组合控制，具有“微短距运移”和“原位滞留”两种生排聚配置类型；④中上部发育稳定分布的盐岩，顶板封盖形成自封闭系统，造就了源内持续充注，地层能量充足；⑤提出英雄岭地区发育构造隆起宽缓型页岩油藏、断裂-溶蚀强改造型页岩油藏和斜坡-凹陷稳定型页岩油藏等三种油藏类型，对应的可分为纹层-缝控复合富集型、缝-断控微短距运移复合型、纹层滞留富集型等 3 类“甜点”富集模式。

S68-P-3

岩石物理驱动的烃源岩 TOC 含量地震反演方法

肖张波[1*]，张卫卫[1]，张志伟[1]，易浩[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* xiaozhb@cnooc.com.cn

烃源岩有机碳含量是评价有机质丰度的主要指标，目前还没有有效的岩石物理模型可以较为精确的模拟其性质，导致难以实现基于地震资料开展烃源岩TOC定量预测。岩石物理驱动下地震流体识别研究有助于认识地下油气储层含流体特征及分布规律。本文通过理论岩石物理建模，明确有机碳含量 TOC 岩石物理敏感分析烃源岩甜点参数敏感弹性参数，建立起明确弹性阻抗敏感弹性参数与烃源岩甜点参数 TOC 的关系对TOC 含量变化敏感，并在此基础上构建能表征 TOC 含量与弹性参数先验关系的统计岩石物理模型，进而通过贝叶斯理论框架构建TOC 与弹性阻抗的联合分布，求取最大后验概率估计为最终烃源岩有机碳含量 TOC 反演结果。技术方法成功预测了陆丰 13 洼文四段优质烃源岩的展布，反演结果和井上吻合度达到 80%以上，证明了该方法的可靠性。结果表明文四段烃源岩有机质丰度整体较高，其有机碳质量分数普遍高于 2%，为进一步评价落实该洼陷的资源量规模，明确油气富集区，搞清成藏规律提供了可靠依据，同时为新区新洼陷的烃源岩评价提供技术支持。

S68-P-4

准噶尔盆地上三叠统白碱滩组烃源岩生烃潜力研究

王瑞菊[1]，龚德瑜[1*]，陶树[2]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

2 中国地质大学（北京），能源学院

* deyugong@petrochina.com.cn

准噶尔盆地是中国西部地区大型含油气叠合盆地之一，油气资源十分丰富。近年来，随着油气勘探向中浅层高效勘探转移，准噶尔盆地白碱滩组作为新的领域受到重视，目前白碱滩组三角洲相砂岩储层已经明确具有规模性，但对其烃源岩的研究较为薄弱，成为制约该领域突破的重要因素。本次研究通过对准噶尔盆地白碱滩组暗色泥岩发育特征、有机地化特征和盆地模拟生烃量计算，分析了白碱滩组烃源岩的生烃潜力。准噶尔盆地上三叠统暗色泥岩有机质类型主要为 III 型和 II_2 型，部分 II_1 型，少量 I 型，有机质为混源输入，高等植物输入占优，偏腐殖型，总体上具有良好的生烃（特别是气）能力，相对较好的母质类型主要沿盆 1 井西凹陷－阜康凹陷方向分布。综合多项有机质丰度指标分析认为，准噶尔盆地上三叠统白碱滩组暗色泥岩有机质丰度总体较高，平面分布上具有中南高，边缘低的特征，发育有 4 个 TOC 含量高值中心，分别在索索

泉凹陷、阜康凹陷、盆 1 井西凹陷和玛湖凹陷。中央坳陷中的阜康凹陷与盆 1 井西凹陷 TOC 含量最高，普遍大于 1.85%；玛湖凹陷也有部分井位 TOC 达到 1.85%，但范围较小，大部分仍为 1.6%-1.85%之间；乌伦古坳陷西南部索索泉凹陷烃源岩 TOC 含量则全部处于 1.6%-1.85%之间，未达到 1.85%；陆梁隆起烃源岩分布较为局限，TOC 含量在 1.35%以下。仅从 TOC 含量来看，白碱滩组暗色泥岩 TOC 含量均值为 1.4%，主峰在 0.8%～1.6%，低于 0.6%的数据约为 10.1%，故准噶尔盆地白碱滩组为一套较好－好烃源岩，但结合 S1+S2 和氯仿沥青“A”等综合评价结果变差，这与有机质类型关系密切。纵向来看，白碱滩组烃源岩略好于郝家沟组。对于白碱滩组烃源岩的评价对于中浅层规模成藏潜力具有指导作用。

S68-P-5S

川中古隆起北斜坡下寒武统沧浪铺组沉积储层特征

邓豪爽 [1,2]，宋金民 [1,2*]

1 成都理工大学，能源学院

2 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室

* songjinmin@sohu.com

近年来，随着四川盆地沧浪铺组油气勘探取得显著成果，尤其是 2020 年 10 月川中古隆起北部 JT1 井沧浪铺组获高产工业气流，这使得众多学者开始重视起此层系。本文选取四川盆地川中古隆起北斜坡沧浪铺组典型剖面及重点井位，通过野外实测剖面、钻井岩心观察、薄片鉴定、阴极发光等手段，对沧浪铺组沉积储层特征进行研究。结果表明，北斜坡沧浪铺组地层厚度在 130m-300m 之间，沉积环境以台地边缘相、陆棚相、潮坪相为主。主要发育鲕粒白云岩、残余鲕粒粉-细晶白云岩、鲕粒灰岩和粉砂质泥岩等岩性。储集空间类型为粒内溶孔，粒间溶孔，晶间（溶）孔和裂缝，溶孔内沥青较为发育。明确白云石化，溶蚀作用，构造破裂作用为主要建设性作用，胶结作用，压实压溶作用为主要破坏性作用。并确定成岩演化序列为颗粒沉积→海底胶结→白云石化作用→大气淡水溶蚀→压实压溶→重结晶作用→埋藏溶蚀→沥青充填→构造破裂作用。通过以上研究得出研究区沧浪铺组储层发育受古地理条件、沉积相及成岩作用共同控制。川中古隆起北斜坡沧浪铺组储层的规模展布，显示出其具有较大的勘探潜力。

S68-P-6

三氧同位素指标在古老地层碳酸盐岩中的初步应用

段鹏珍 [1*]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质所

* duanpengzhenz@163.com

目前，基于三种氧同位素（^{16}O-^{17}O-^{18}O）获得的高维度指标 $\Delta'^{17}O$（$\Delta'^{17}O=\ln(\delta^{17}O/1000+1)-\lambda*\ln(\delta^{18}O/1000+1)$），在不同地质载体中的应用和研究方兴未艾，受到众多研究人员的关注和重视。近年来，该指标在不同时空间分布的不同类别的碳酸盐岩中的应用逐步展开，促进了测试技术的成熟进步和相关理论的发展完善。本研究将立足于中国不同地区的古老地层，通过对不同时间和成因的碳酸盐岩 $\Delta'^{17}O$ 指标的测试分析，总结归纳各碳酸盐岩三氧同位素指标数据的规律和影响因素，深化理论认识；并结合传统指标，期望为约束碳酸盐岩成岩条件以及过程提供新的证据，同时从新的角度理解优质油气储层的发育机理和特征。基于此，本研究预计将三氧同位素指标应用于寒武-震旦等古老地层白云岩的研究，期望利用新的高维度指标区分出不同成岩过程及相应的影响因素，推动对“白云岩成因之谜”的进一步认识和理解。

S68-P-7

四川盆地震旦-寒武系天然气成因探讨

齐雪宁[1*]，李志生[1]，郝爱胜[1]，王晓梅[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院

* qixuen69@petrochina.com.cn

深层-超深层是我国天然气勘探的重点领域，原油裂解是深层高演化油气藏经历的一个重要演化过程，同时，沥青伴随原油从生成到终止的过程，储层沥青是原油裂解后的残余物。在四川盆地安岳大气田震旦系、寒武系储层中发现大量的沥青。目前国内外对深层高演化地层油气勘探潜力评价及天然气晚期成藏的研究，大部分都局限于干酪根深层热解成气潜力评价(Dieckmann et al., 2000；陈建平等，2007)，或者储层中油藏的热裂解成气性质及动力学模拟(Ungerer et al., 1988；Hill et al., 2003)，而较少关注到高演化阶段残余沥青的成烃潜力及成烃性质，事实上，储层沥青在一定条件下可以作为高演化阶段的优质烃源(王兆云和程克明，1997；赵文智等，2005)。 为了研究在不同演化阶段储层沥青生烃演化特征，我们对储层沥青进行封闭体系热模拟实验，探讨储层沥青生烃机制。通过模拟产物的天然气组分和和动力学计算,及模拟产物天然气和四川盆地震旦-寒武系碳同位素特征对比，震旦-寒武系天然气主要为古油藏原油裂解气，晚期干酪根直接裂解成气对气藏贡献小。而古油藏裂解气中，沥青质裂解气约占有机质演化全过程总生气量的 4%～8%，主生气期早于原油裂解气预测沥青裂解气约占安岳气田天然气探明储量的 8%-22%。

S68-P-8

基于 KNN 分类算法常规测井与电成像测井综合识别微生物碳酸盐岩岩相

李昌[1,2*]，王鑫[1,2]

1 中国石油杭州地质研究院

2 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室

* petrolic@sina.com

微生物碳酸盐岩由于微生物构造发育，再叠加强烈成岩作用改造，使得其岩-电关系更加复杂，单纯利用常规测井已无法区分藻凝块云岩、藻叠层云岩及藻砂屑云岩。虽然具有高分辨率的电成像测井能有效识别微生物构造特征，但对于块状的砂屑云岩和硅质泥晶云岩，仍存在多解性。因此常规测井与电成像测井结合是目前最有效及高精度识别的手段。传统的图版法，虽然可以实现岩相识别，但效率低，因此机器学习法成为了主要的技术手段。然而利用机器学习方法也面临两个问题：（1）常规测井与电成像测井具有不同的分辨率和维度，造成融合难的问题；（2）取心井岩心样本数量有限，对机器学习识别精度具有一定影响。为此，本文采用选择适应小样本的 K 邻近分类算法（KNN）。首先通过 KNN 方法识别岩相粗分类，通过电成像测井识别岩石的沉积构造样式，最后基于专家经验，将岩相粗分类与岩石构造特征组合，确定最终细分类岩相类型，这样有效解决了不同维度样本融合难的问题。以四川盆地 GM 地区灯影组灯四段地层为例，基于岩心描述及薄片信息，将岩相划分为 9 种细分类型：藻叠层云岩、藻凝块云岩、藻纹层云岩、藻砂屑云岩、砂屑云岩、粉晶云岩、硅质云岩、泥晶云岩和泥质泥晶云岩。首先常规测井识别 6 类粗分类岩相：藻云岩（藻叠层云岩、藻凝块云岩、藻纹层云岩和藻砂屑云岩）、砂屑云岩、粉晶云岩、硅质云岩、泥晶云岩和泥质泥晶云岩。然后电成像测井识别 7 类构造特征：叠层、凝块、

纹层、块状、斑点状、层状和薄层状。提取电成像动态图像的纹理特征及方向梯度参数，作为样本训练参数，采用 KNN 方法定量识别 7 类岩石构造特征。最后根据专家经验，将 6 类岩相和 7 类构造特征组合，最终识别 9 类岩相。实际应用表明识别符合率 85%以上。有效支撑了四川盆地 GM 地区灯影组沉积微相的精细研究工作，推动了该地区的勘探和开发工作。该方法能够充分利用常规测井和电成像测井各自优势，实现高效率及高精度岩相测井识别，值得推广。

S68-P-9

四川盆地九龙山地区构造演化及其对震旦系灯影组成藏的控制作用

姜华[1*]，谷志东[1]，李秋芬[1]，翟秀芬[1]，鲁卫华[1]，刘桂侠[1]，谭聪[1]

1 中国石油股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

* 641466544@qq.com

四川盆地德阳-安岳裂陷发现以后，震旦系灯影组台缘带勘探成为勘探重点。自高石梯-磨溪地区发现灯影组二段及四段规模气藏后，近期以蓬探 1 井为标志的磨溪北斜坡区勘探新领域已经发现，并具备成为万亿方规模的新领域。在此背景下，处于灯影组四段台缘带的川北地区九龙山背斜是否存在规模成藏条件，成为近期研究的热点。其有利条件有三点：一是九龙山构造震旦系上覆多套地层发现气藏，如二叠系已钻有多个工业气流井，证明整体保存条件良好；二是九龙山构造背斜完整，且处于灯影组四段台缘带，储盖配置优越；三是紧邻裂陷内优质筇竹寺组烃源岩，成藏条件好。但仍有几个瓶颈问题亟待解决：一是九龙山构造是一个典型的基底卷入的背斜构造，定型期为喜山期，圈闭形成与油气关键充注期是否匹配决定成藏有效性及规模性；二是九龙山构造自印支运动开始经历多期改造，并发育有基底断裂和与盆缘多期构造活动相关的断裂及变形，对圈闭是否具有破坏性需要谨慎认识。基于以上问题，本次研究综合使用地震、钻井及露头资料，综合分析烃源岩、储层等基本石油地质条件，并以关键构造期恢复为手段，明确关键成藏期源储配置关系，进而明确九龙山地区成藏过程。

通过研究主要获得三方面认识：

（1）结合典型构造演化剖面分析，明确九龙山构造为一个双重背斜，即在喜山期定型的大型基底卷入显性背斜内部，发育受广西运动控制的隐性背斜。这一隐性背斜的发现，将有效圈闭形成的时间提前至二叠系沉积前。

（2）通过三维构造演化恢复，明确在多期构造演化过程中，随着应力方向的变化，不同时期背斜走向不同并不断前移，但总体上九龙山地区长期处于构造高部位。长期存在的圈闭背景为该区域规模油气聚集提供保障。

（3）依据单井埋藏史及三维盆地模拟分析，明确该区域灯影组上覆筇竹寺组烃源岩成熟期早于川中高石梯-磨溪地区，且现今成熟度 Ro 达到 3.5-4.0%，烃源岩已处于过成熟演化阶段，但因圈闭形成期较早，在二叠纪中晚期已经形成有效圈闭捕获周缘已成熟烃源岩形成的原油，其后圈闭不断调整，不断发生不同来源原油及晚期天然气充足，且随埋深增大最终发生裂解，形成的天然气最终在喜山期成藏。

S68-P-10

鄂尔多斯盆地中生代构造沉积响应及矿产资源效应

李元昊[1*]，郭雅倩[1]，李昂[1]

1 西安石油大学，地球科学与工程学院

* liyuanh@xsyu.edu.cn

鄂尔多斯盆地为多旋回叠合盆地，也是我国重要的富含煤、油、气、铀矿等多种能

源矿产生产基地。中生代盆地的形成演化过程受印支运动、早燕山和晚燕山运动的影响较强，进而制约了矿产资源的形成富集及空间分布。

三叠纪盆地演化主要受印支运动控制，主要与扬子板块向北挤压秦岭隆升背景息息相关。早三叠世盆地发育刘家沟、和尚沟，构造背景相对稳定，沉降沉积中心位于盆地华池-铜川一带，地层分布稳定（200-300m），发育河流、三角洲和湖泊沉积体系，气候更为干燥，形成了一套红色沉积建造。中三叠世纸坊组早期以砖红色沉积物为特征，晚期早印支运动已对盆地南部产生挤压效应，盆地基底快速下降（300-500m），沉降沉积中心进一步向南迁移。晚三叠世延长期发育大型拗陷湖盆沉积，河流、三角洲、深湖环境沉积均较为发育，沉积了中生界最主要的烃源岩，盆地沉降速度最快的时期（900-1000m）。

侏罗纪盆地主要受早燕山运动影响，与古太平洋板块向西俯冲的远程效应有关。燕山运动早期（早中侏罗世）主要发育富县、延安、直罗和安定组地层。三叠纪末，盆地因晚印支运动上升，延长组地层广遭剥蚀形成侵蚀谷地，其上沉积了富县组。延安组煤层发育，反映了构造稳定、物源供屑较弱、盆地为补偿性沉积，沉积沉降中心位于吴起-延安一带。直罗组地层整体具有西厚东薄分布特征，厚度主要在 150～400m 之间，盆地沉降及堆积中心近南北向展布，厚达400m，沉积中心位于定边-延安一带。安定组厚度较小且变化幅度小。中燕山造山运动，盆地晚侏罗世在西部地区堆积了一套以芬芳河组为代表的磨拉石建造组合，主体呈南北向展布。

早白垩世，受太平洋板块运动远程效应影响，鄂尔多斯盆地总体处于伸展构造环境，区域沉降，广泛接受沉积。依次形成了宜君组、洛河组、环河-华池组、罗汉洞组、泾川组沉积。下白垩统以干旱环境为主，可以分为两个大的沉积旋回，一期是宜君组-环河华池组，二是罗汉洞-泾川组。均经历了由干旱-潮湿演化过程，在洛川组及罗汉洞组发育较大范围的风成砂丘沉积。沉积地层厚度总体具周边薄中西部地区厚为一向西倾的斜坡，东缓西陡不对称向斜形态明显。

总之，中生代时期，盆地经历了应力体制的转换，影响了盆地沉降、物源供应、气候变化等，导致了沉降、沉积中心的迁移及沉积体系的变化，影响了矿产资源的形成、富集及空间分布。

S68-P-12

四川盆地灯影组二段葡萄花边白云岩成因与成储机理研究

翟秀芬[1*]，谷志东[1]，姜华[1]，刘桂侠[1]，袁苗[1]

1 中国石油勘探开发研究院，石油天然气地质研究所

* zxfzjq@163.com

上震旦统灯影组微生物碳酸盐岩在扬子地台分布广泛，是深层油气重要的勘探对象，具有地层老、埋藏深、演化复杂的特征，其沉积与成储机理尚待深化。本文以上扬子地区典型剖面和重点探井灯影组葡萄花边白云岩为研究重点，在大量调研前人资料的基础上，利用岩心-露头观察、薄片鉴定、阴极发光和场发射扫描电镜等技术对灯影组微生物碳酸盐岩进行分类评价，重点阐述微生物包覆作用机理及对储层品质的影响。主要认识包括：（1）将灯影组微生物包覆作用在形态学上分为水平叠层状、包壳颗粒状和衬垫式环边充填状三种结构类型，它们均由交互的亮-暗纹层组成，其沉积原理可分为微生物席与微生物膜生长两大类，葡萄花边主体以微生物膜生长为主。（2）高分辨率场发射扫描电镜下观察到微生物活动的直观证据，包括管状鞘丝体和形态各异的胞外聚合物，根据其分布与白云石形态特征划分出微生物控制作用、微生物诱导作用和微生物影响作用三种微生物成矿作用方式，并探讨了不同成矿作用方式下孔隙形成与演化特

征。（3）提出硫酸盐还原球菌造矿过程具有三段性演化特征，第 1 阶段以小于 1μm 的哑铃状微球附着解理面生长为主，第 2 阶段以粒径大于 5μm 的单球—哑铃状中球附着解理面生长为主，第3阶段以粒径大于25μm的大球集合体在孔隙空间内生长为主。（4）提出微生物造矿机理决定白云石晶体展布与原生孔隙结构，影响后续成岩改造；从储层形成机制看，微生物包覆作用有利于形成岩石抗压骨架，避免早期经历过强的压实改造，为后续岩溶改造奠定了基础。（5）不同微生物包覆作用储集性能具有差异，包覆空腔与包覆颗粒储集空间以空腔溶孔、铸模孔、粒间孔为主，层状生长储集空间以窗格孔、鸟眼孔为主，总体来看包覆空腔与层状生长储层物性总体优于包覆颗粒结构储层。相关认识对于深化微生物岩成矿与成储机理研究提供了直接的证据，为有利储层评价提供重要的参考依据。

S68-P-13

深层碳酸盐岩储层地震预测技术研究

张明[1*]，徐右平[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院

* zhangming01@petrochina.com.cn

四川盆地磨溪北斜坡灯影组埋藏深度达 7000m 以上，储层缝洞尺度小，地震响应微弱，且深层地震资料分辨率低，给储层的精细刻画带来较大困难。针对勘探难点，本次研究开展了处理解释一体化技术攻关。在宽频保幅处理基础上，探索 Q 叠前深度偏移技术提高深层地震资料分辨率，并采用高分辨率地震反演与深度学习断裂检测技术相结合刻画缝洞体展布。攻关成果有效刻画了灯影组有利区，为下一步勘探奠定了基础，同时形成了一套针对超深层碳酸盐岩的地震精细处理及储层预测关键技术，对国内其他类似探区的储层研究也具有较好的借鉴作用。

Q 叠前深度偏移技术在最终层速度体和 Q 体的基础上，消除由于浅层能量吸收所导致的深层振幅、频率衰减及相位畸变等问题，有效补偿由于地层吸收所损失的振幅频率成分，使剖面的分辨率有了较大提升。Q 偏移后地震数据的主频得到提高，频谱得到拓宽，能更好的反映丘滩体丘状、杂乱的地震反射特征。

岩石物理分析结果表明，灯影组孔隙白云岩储层波阻抗较低，致密白云岩波阻抗较高，因此，利用波阻抗反演能够定量预测储层厚度。常规稀疏脉冲反演结果受地震分辨率影响，与井的吻合程度较差。针对该问题，探索了基于相控的高分辨率反演方法。首先，对地震数据进行波形聚类分析，生成不同类型地震相的测井曲线样本集；然后建立不同地震相类型的贝叶斯反演框架，在该框架下分别优选样本集的共性部分作为初始模型进行迭代反演；最后在反演迭代过程中，以样本集的最佳截止频率为约束条件，得到高分辨率的反演结果。与常规稀疏脉冲反演相比，基于相控的高分辨率反演纵向上分辨率明显提高，灯四段顶部的一套储层、中下部的两套储层都与井吻合，说明该方法反演结果更可靠。

受深层地震资料品质影响，常规相干算法结果分辨率低，很难描述工区断裂特征。为了精细刻画灯影组小断裂，探索了基于卷积神经网络图像分割的深度学习断裂检测方法。该方法将图像分类问题转换为图像分割问题，用来实现断裂的高精度识别。与常规相干算法相比，基于深度学习的方法预测结果分辨率高，小断裂展布特征明显。

本次研究针对深层碳酸盐岩储层地震勘探难点，在 Q 叠前深度偏移基础上，根据储层厚度预测、小断裂预测研究成果，成功刻画了灯影组两类有利区带：I 类区储层厚度大于 90m，处于今构造及古地貌高部位，小断裂发育或紧邻裂陷槽；II 类区储层厚度大于 90m，小断裂相对发育，区域面积相对较小，处于构造斜坡。

S68-P-14

甲烷团簇同位素在天然气水合物气源研究的应用

宁子杰[1*]，曹珺[2,3]，傅飘儿[2,3]，孙甜甜[2,3]，陆红锋[1,3]，邓义楠[1,3]

1 广州海洋地质调查局，天然气水合物工程研究中心

2 广州海洋地质调查局，实验测试所

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

* ningzijie@outlook.com

天然气水合物被认为是 21 世纪最具潜力的新型能源之一，其气源的研究对水合物的勘探开发具有重要指示意义。目前，世界各地发现的海域天然气水合物气体以甲烷气为主，气源主要为微生物成因，仅墨西哥湾等少数地区的天然气水合物具有典型的热解成因或混合成因特征。前人开展其气源研究主要利用气体成分及碳氢同位素进行定性判别。近年来人们对天然气水合物的气源类型已有一些了解，但对其深入研究依然欠缺，主要表现在：①判别天然气水合物气源的方法较为单一，且存在一定程度的不确定性，对混合成因及热成因气的研究程度偏低；②天然气水合物气源研究以定性为主，难以定量混合气中微生物气和热成因气的比例，无法追溯其各自烃源岩的贡献。

甲烷团簇同位素温度计作为近年来发展的新技术，逐渐成为研究天然气成因的重要工具。其原理基于同位素交换反应，当温度降低时重的同位素 ^{13}C 和 D 倾向于聚集形成 $^{13}CH_3D$ 和 $^{12}CH_2D_2$ 同位素体，依据 ^{13}C-D 及 D-D 键的丰度与温度的关系来计算甲烷形成/平衡时的温度，进而追溯甲烷气体来源，并为解释天然气形成环境和化学机制提供约束条件。Stolper et al. (2014)首次将甲烷团簇同位素方法应用于识别热成因气和生物成因气，并对两种成因气体进行了定量分析。后期研究发现甲烷形成和储存过程中的动力学过程可能会导致同位素不平衡，干扰测温应用，或误导气体成因判断。例如，对热解成因的甲烷开展团簇同位素测试，发现 $\Delta^{13}CH_3D$ 在实验过程中更接近同位素平衡，而 $\Delta^{12}CH_2D_2$ 则低于平衡状态 30-40%，可能代表了两种不同动力学同位素效应。对微生物成因甲烷研究表明甲基营养型甲烷的 $^{13}CH_3D$ 和 $^{12}CH_2D_2$ 相对于平衡状态存在大量亏损，而氢营养型甲烷的 $^{13}CH_3D$ 丰度接近平衡状态，$^{12}CH_2D_2$ 亏损相对较低，因此团簇同位素也为监测产甲烷微生物群落的活动提供了强有力的工具。由此可见，甲烷团簇同位素无论是对热解甲烷气还是不同类型的微生物甲烷气体的判别，均具有独特的优势和可行性。作者依托广州海洋地质调查局引进的 253Ultra 高分辨率质谱仪，开发完善了甲烷团簇同位素前处理及测试方法，对南海神狐海域天然气水合物开展测试，成功区分了微生物成因和热成因甲烷气，进一步验证了该方法在水合物气源研究中的可行性。我国天然气水合物的开发正处在产业化的关键期，该方法的开发有助于在未来天然气水合物气源研究中发挥重要作用。

S68-P-15

南海北部恩平凹陷断裂体系对油气富集的控制作用

朱定伟[1*]，彭光荣[1]，吴静[1]，许新明[1]，李孔森[1]，赵鹏[1]

1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* zhudw3@cnooc.com.cn

恩平凹陷位于南海北部珠江口盆地珠一坳陷西部，是中海油深圳分公司最西端的原油产地。恩平油田群的构造主要为断层圈闭，断层是主要的油气运移通道。恩平凹陷断裂体系对油气的富集具有明显的控制作用，主要体现在四个方面：一是低角度控洼断层控制优质烃源岩的展布，二是陡坡带大型弧形断层控制油气高效输导体系，三是控运断层演化过程控制新近系油气富集程度，四是控圈断层侧向封堵差异性控制远洼区的油气运移。

1、低角度控洼断层控制优质烃源岩的展布

恩平 17 洼发育两条控洼断层：NE 走向的北边界断层 F1 和 SN 走向的西边界断层 F3。F3 在文昌期 NW 向拉张作用下产生右旋走滑分量，深切基底，使可容纳空间增大，不仅洼陷面积较传统单断型半地堑面积更大，而且(半)深湖相烃源岩的分布范围更广。F1 是早白垩世形成、晚白垩世-古新世反转的低角度正断层，形成自迁移型的层序结构，烃源岩分割槽更靠近东南部缓坡带，向西北部陡坡带供烃的范围相对更大，能为北部披覆带提供充足的油源。

2、陡坡带大型弧形断层控制油气高效输导体系

陡坡带大型弧形断层高效输导模式突破了对传统箕状半地堑油气运移的认识，该模式主要有三方面特征：一是陡坡带两条弧形断层是在中生代先存断层的基础上继承性发育的，在油气主成藏期活动强度大，能成为油气大规模运移的通道；二是弧形断层下降盘发育继承性的沟谷，易于在卸载区形成陡坡扇体，成为生烃洼陷向陡坡带大规模运移油气的“中转站”；三是两条弧形断层向洼陷中心延伸 7-8km，深切烃源岩和“中转站”，能将油气直接垂向运移至北部披覆带的中浅层。

3、控运断层演化过程控制新近系油气富集程度

从古近纪到新近纪继承性发育、且主成藏期生长指数达到门限值的控运断层利于油气的垂向输导和中浅层油气的规模富集，而新近纪才开始发育或主成藏期活动强敌较弱的断层不利于油气的垂向输导。控运断层的这种差异性控制了恩平凹陷各构造带成藏规模的显著差异。

4、控圈断层侧向封堵差异性控制远洼区的油气运移

断层对油气藏的控制作用体现在断层输导油气和封堵油气的双重作用。本文从断层活动速率、生长指数、泥岩涂抹因子(SSF)、断层泥比率(SGR)等角度建立了油气“穿断运移”模式和定量评价方法，预测了恩平凹陷远洼区控圈断层的侧向开启部位和层段，推动了远洼区多个商业油田的发现。

S68-P-16

川中古隆起受断裂控制的多期热流体活动及其储层改造效应

潘立银 [1*]

1 中国石油杭州地质研究院

* plyin@126.com

川中古隆起自震旦纪以来发育走滑断裂系统，具有重要的成储成藏意义。以高石梯—磨溪地区栖霞组碳酸盐岩为例，以激光原位 U-Pb 定年、团簇同位素及碳-氧-锶同位素为手段，重构了研究区中二叠世以来的流体活动历史。结果表明，栖霞组碳酸盐岩经历过至少三期热流体活动，在时间上可与区域构造演化相关联：（1）第一期热流体活动发生于栖霞组沉积末期，与峨眉山地幔柱上涌导致的区域拉张背景有关；（2）第二期热流体活动发生于中二叠世末期至晚二叠世，与峨眉山玄武岩大规模喷发的时间重叠；（3）第三期热流体活动发生于中-晚三叠世，可置于盆地反转构造格架内。热流体明显与先存走滑断裂在拉张—挤压背景下的多期继承性活动有关，并以裂缝作为优势循环通道，通过交代、溶蚀等方式对碳酸盐岩尤其是先存孔隙型白云岩储集性能具有明显改善效果。

S68-P-17

一种陆相深层页岩油地质甜点地震预测方法----以中国东部南堡凹陷为例

刘玲利 [1*]，常少英 [1]，王孟修 [1]，高骞 [2]

1 中国石油杭州地质研究院
2 中国石油大学（北京）
* liull_hz@petrochina.com.cn

渤海湾盆地南堡凹陷页岩油地层分布广泛，是未来中国的勘探开发接替区。但目前面临着页岩油储层埋藏深，源储间互频繁，甜点预测难的问题，常规地震反演方法难以识别页岩油储层甜点分布区。利用地球物理资料并结合泥页岩岩石物理特征,利用测井技术、地震叠前反演技术和地震多属性分析技术可以开展泥页岩储层各向异性(如裂缝及微裂缝评价),储层弹性参数及岩石力学各向异性特征分析，建立一套适用于深层页岩油甜点预测方法，主要包括四个关键步骤：① 深度学习预测横波速度、孔隙度、泥质含量、单井岩相等参数；②利用叠前地震道集数据，综合地质、测井等信息，利用岩石物理分析方法建立各种不同岩相与各岩石物理参数之间的统计关系，采用贝叶斯分类技术对不同的岩相进行“相”分类，利用不同岩相的深度压实差异统一岩相的空间变化趋势，然后将不同“相”的岩石物理关系和深度趋势作为反演约束加入叠前同时反演过程中，最终直接反演出各弹性参数和各种“相”的分布。③ 页岩油甜点地震岩石物理分析：利用杨氏模量及泊松比计算脆性指数，横波阻抗预测 TOC，横波速度预测孔隙度；④各向异性分离裂缝预测技术，从 AVO 意义上研究振幅随偏移距的变化，寻找振幅与振幅随偏移距变化趋势的差异即可描述裂缝密度,振幅增大的极大值所对应的方位为裂隙方位，振幅减小极大所对应的方位为裂隙垂直方位。通过以上技术方法的应用，完成了页岩油三个甜点参数预测；明确南堡凹陷泥页岩主要发育在沙河街组一段，集中分布在沙一段最大湖泛面上下 40 米左右。该项技术具有较好的推广价值。

S68-P-18S

数值模拟车镇凹陷生烃作用导致的孔压变化及对油气成藏的影响

王明文[1,2]，廖宗湖[2]，罗纲[1*]，周书红[1]

1 武汉大学，测绘学院
2 中国石油大学（北京），地球科学学院
* gluo@sgg.whu.edu.cn

孔隙流体压力对油气的生成、运移、成藏都十分重要。在车镇凹陷区域，前人研究和油气开发实践都发现了孔隙流体超压（孔隙流体压力与静水压之差）普遍存在。但是，目前我们对该区域生烃作用与超压形成的定量研究及其超压与油气上生下储成藏规律的关系，并不十分清楚。为了调查这些问题，本文整合了区域已有的地震、测井和区域构造应力场数据，使用有限元软件 Abaqus，建立了车镇凹陷车古 25 区块的一个流固耦合的二维孔隙弹性有限元模型，模拟计算了生烃过程中烃源岩处产生的异常孔隙流体超压及油气沿着断层进行下排运移的成藏过程，并研究了油气倒灌成藏过程中的动力学条件。研究结果显示孔隙流体超压能促进油气的运移，提高油气聚集效率。但是当超压过大时，拉张裂缝和剪切断裂可能会出现，致使油气耗散，改变油气的成藏结果。在烃源岩处的超压主要由生烃作用产生，在储层处的超压主要由不均衡压实作用产生。我们也发现断层作为油气运移的优势通道，孔隙流体超压会改变断层内油气的运移方向和路径，因此，断层的高渗透性和孔隙流体超压的存在可以解释油气上生下储的倒灌成藏方式。模拟的孔隙流体超压结果和钻井泥浆重量当量超压及钻杆测试应力结果（Drill stem tests (DSTs））吻合很好。

S69-O-1

陆架瀑布流向超临界浊流的转换过程研究

吴南 [1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

在浅海陆架地区，表层海水在夏季蒸发并在冬季冷却下沉形成密度及盐度梯度，导致高密度和高盐度海水沿着陆架搬运，此类特殊过程被称作高密度陆架瀑布流 (Dense Shelf Water Cascade)。高密度陆架瀑布流是一种季节性海底环流，广泛发育于世界多个大陆边缘地区，是浅海陆架-深海平原之间进行物质交换的重要过程之一。

澳大利亚东南缘 Gippsland 盆地陆架地区发育季节性高密度陆架瀑布流，该环流的存在使得此地区海底地貌极为复杂。本研究使用多波束地貌、三维地震反射、岩心、沉积物粒度数据，拟揭示高密度陆架瀑布流与海底地貌的相互作用过程与机制。基于多波束地貌、三维地震反射数据解释结果表明，Gippsland 盆地陆架地区主要发育冲坑（cyclic scour）、周期阶坎（cyclic step）、水道（submarine channel）、峡谷（submarine canyon）、海底滑坡(submarine landslide)、冲沟(submarine gully)等多种地貌类型。基于岩心、沉积物粒度分析数据表明，Gippsland 盆地陆架地区沉积物以粗粒为主，多发育 Ta 型鲍马序列。综合研究表明，Gippsland 盆地内高密度陆架瀑布流在搬运过程中可与海底滑坡相互作用，转换为超临界浊流并侵蚀改造现代海底，形成多种不同海底地貌类型。针对高密度陆架瀑布流与超临界浊流的转换过程及机制研究，可以解剖海底地貌演化规律、沉积过程、预测未来地质灾害发生的地点。其次，可以更好地了解高密度陆架瀑布流的分布、水动力学及沉积学意义。

S69-O-2

渤中凹陷石臼坨凸起南部陡坡带东段古地貌控砂机制及源-汇分析

纪友亮 [1,2*]，周勇 [1,2]，张新涛 [3]，高星星 [1,2]，徐春强 [3]，黎明涛 [1,2]，柳永军 [3]

1 中国石油大学（北京），地球科学学院

2 油气资源与探测国家重点实验室（中国石油大学（北京））

3 中海石油(中国)有限公司天津分公司

* jiyouliang@cup.edu.cn

渤中凹陷石臼坨凸起南部陡坡带东段古近系沉积时期发育了五种古地貌和四种源－汇系统。基于工区的三维地震、钻井岩心、测井及分析化验等资料，以层序地层学理论为指导，从古地貌和“源－汇”系统研究角度分析渤中凹陷石臼坨凸起南部陡坡带东段古近系物源体系及沉积体系，明确了物源形成与供源作用、古地貌与沟谷输导系统、沉积体系分布的关系，建立了“源－渠－汇”系统及古地貌控砂模式。论文首先以层序地层学理论为基础，将石臼坨凸起南部陡坡带东段古近系自下而上划分为 6 个三级层序（ SQs4+k、SQs3、SQs12、SQd3、SQd2、SQd1），建立了陡坡型、断裂缓坡型及斜坡型及远源型四种层序地层样式。在层序地层格架内，精细刻画了石臼坨凸起南部陡坡带东段前古近系基岩组成与分布，结合沉积古地貌恢复定量探讨石臼坨凸起南部陡坡带东段不同区带古地貌特征及汇水区的差异。研究表明，凹陷发育早期（ SQs4+k~SQd3），源区汇水面积大，石臼坨凸起主体、428 凸起及 427 凸起都供源，以盆内物源（石臼坨凸起）供源为主；凹陷发育晚期阶段（ SQd2、SQd1），石臼坨凸起逐渐被淹没，源区汇水面积大幅度缩减，从以盆内物源供给向盆外物源（燕山褶皱系）供给转换。在宏观物源示踪基础上，刻画了石臼坨凸起区物源通道类型、特征及其与砂体间配置关系，并将石臼坨凸起古近系“源－汇”系统划分为近源

型源汇系统、远源型两大类源汇系统，其中近源型源汇系统可进一步划分为近源-陡坡断崖-扇三角洲源汇系统、近源-陡坡断阶-扇三角洲源汇系统，远源型源汇系统可进一步划分远源-缓坡断阶-辫状河三角洲源汇系统、远源-斜坡型-辫状河三角洲源汇系统、远源-缓坡断阶-辫状河三角洲-湖底扇源汇系统三大类。

S69-O-3

琼东南盆地陵水凹陷中中新世海底扇“源-汇”体系及其形成机制

姚兴宗[1,2]，封从军[1,2*]，张功成[1,2,3]，屈红军[1,2]，孙瑞[3]，张敏[4]，李达明[5]

1 西北大学，大陆动力学国家重点实验室

2 西北大学，地质学系

3 中海油研究总院有限责任公司

4 延长油田有限公司，勘探开发技术研究中心

5 中勘资源勘探科技股份有限公司

* fengcj@nwu.edu.cn

深水区油气勘探是目前世界范围内油气勘探可以取得持续突破的关键。中央峡谷水道气田的发现证实了陵水凹陷是一个富生烃凹陷，同时表明陵水凹陷深水储层仍具有极大的油气勘探潜力。基于钻井资料和三维地震资料，本文采用地震相分析、地震属性分析、相干切片分析等方法，识别了陵水凹陷中中新世发育朵叶型和水道型两类海底扇，理清了海底扇“源-汇”体系，并讨论了海底扇的形成机制。研究结果表明：1)中中新世陵水凹陷主要发育“三角洲供源-海底峡谷输送-斜坡或盆底海底扇沉积”的深水“源-汇”体系；2）中中新世陵水凹陷海底扇形成的主控因素是相对海平面下降；3）底流作用破坏了海底扇的正常沉积，并对砂体进行改造，从而形成了厚度更大的水道型海底扇。通过分析陵水凹陷中中新世海底扇的沉积体系，以期能够为南海琼东南盆地后续深水区层油气资源的勘探开发提供有效地质认识。

S69-O-4

南海北部水下沙丘的沉积动力观测

赵玉龙[1*]，刘志飞[1]，张艳伟[1]，马鹏飞[1]，张晓栋[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* yeoloon@tongji.edu.cn

南海东北部上陆坡存在着大量波高数米到十数米的巨型水下沙丘，前人研究推测其形成可能与内孤立波活动有关，但缺乏现场观测证据。本次研究利用布设在海底的深水三脚架，对南海北部水下沙丘的沉积动力过程开展观测。结果显示，经过南海北部水下沙丘的主要为下陷型内孤立波，其引起的最大水平流速可达 1.3 m/s 以上。由于沉积物粒度极大（中值粒径~330 μm），只有强盛的内孤立波经过可造成水下沙丘沉积物再悬浮和再搬运，且仅有极细砂部分（<100 μm）会发生再悬浮。海底沉积物的再悬浮与内孤立波主体经过引起的底剪切应力增强有关，但由于底层海水层间剪切极强，再悬浮沉积物主要局限在底部边界层中，无法进入上覆水层。下陷型内孤立波尾部经过时，由于补偿作用，在其后形成一个强流的回流区，内孤立波尾部和回流区之间水流发生汇聚上涌，最大垂直流速可达~ 20 cm/s。再悬浮沉积物通过该上涌水流被带出底部边界层进入上覆水层，并被回流沿陆坡向下搬运。强盛的内孤立波引起的沉积物高浓度事件可持续约 1 小时，最大可影响到海底以上 50 m 范围的水层，显示内孤立是南海北部砂质沉积物向深海搬运的重要动力机制。

S69-O-5

莺歌海盆地晚中新世海底水道沉积过程研究

田冬梅[1*]，姜涛[2]

1 浙江海洋大学，海洋科学与技术学院

2 海洋地质资源湖北省重点实验室

* tiandongmei527@126.com

海底水道是地球上广泛发育的沉积物输送系统，可以将大量的陆源碎屑物输送到数百公里外的深水环境，不仅是大陆边缘源-汇体系的重要组成部分，而且其最终沉积物是海洋油气勘探的重要目标。南海西北部莺歌海盆地晚中新世发育了海底水道，由于该区域海底水道形成过程复杂，导致水道的沉积物分布规律、堆积模式和成因机制尚不清楚。利用已有的三维地震、测井及钻井资料对莺歌海盆地晚中新世发育的海底水道进行了精细解剖，明确了水道的沉积结构及其沉积物展布规律，通过对水道沉积水动力机制的分析，再现了该水道沉积过程，探讨了莺歌海盆地海底水道的演化过程的成因机制，构建了海底水道沉积模式。主要研究结果为 1）根据平面形态和剖面结构，将莺歌海盆地晚中新世海底水道平面上分为3段，纵向上分为 2 个地震单元；2）西侧水道复合体侵蚀水道中段早期沉积物，导致水道中段早期以滑塌沉积为主并加宽了水道；3）水道形态直接影响沉积物的分布和堆积模式，例如限制性强时，水道以垂直加积作用为主，限制性弱时，在二次流作用下水道以横向迁移沉积为主；4）水道下游早期沉积砂体厚度大、分选磨圆好，为优质储层发育区。研究成果深化了对南海大陆边缘海底水道沉积过程、优质储层展布及控制因素等的认识。

S69-O-6

底流与重力流交互作用下朵叶体沉积特征——以东非鲁武马盆地中新统为例

陈宇航[1*]，鲁银涛[2]，范国章[2]，左国平[2]

1 西安石油大学，地球科学与工程学院

2 中国石油杭州地质研究院

* cyh@xsyu.edu.cn

底流与重力流交互作用是深水沉积的研究热点，对海底扇的沉积具有明显影响。侧向迁移水道是二者交互作用的产物，已有很多成功研究范例，但是对朵叶体的相关研究相对较少。朵叶体是海洋油气储层重点目标，而且位于海底扇末端的朵叶体发育在非限制性环境内，更容易受到底流的影响，因此朵叶体在底流与重力流交互作用下的沉积特征的相关研究兼具科学与生产意义。本研究基于地震、测井及岩心资料，确定底流作用下鲁伍马盆地（东非海域）中新统朵叶体的沉积演化特征。研究结果表明：受向北流动底流的影响，早期水道向南侧向迁移，并在北岸形成大规模天然堤，南侧不发育，因此水道两侧地形北高南低，导致后期的朵叶体主要发育在水道南侧。朵叶体延伸方向呈近东西向或呈北北西-南南东方向延伸。近东西向延伸的朵叶体在沉积时重力流与底流流向近似垂直，朵体表现为南厚北薄，呈流线型，且内部反射特征由强振幅逐渐过渡为弱振幅，表明在底流影响下，偏细粒物质向北迁移，导致朵叶体沉积粒度向北逐渐变细。北北西-南南东方向延伸的朵叶体表明其沉积时期底流和重力流流向近乎相反。朵叶体内部地震反射特征在轴部为低连续强振幅，为高能量的粗砂质沉积。以轴部为界，朵体南端为高连续弱振幅，北端却为高连续中强振幅，表明北端沉积粒度较南端更粗。分析认为在沉积时期，朵叶体偏北侧部分更容易受底流影响，因此细砂组分向北偏转，沉积在朵叶体北端。而朵叶体南侧虽然也受底流的影响，但由于轴部重力流能量较

强，其影响被重力流抑制，因此南部偏泥质沉积。本研究表明底流对朵叶体沉积具有明显的影响，且沉积物粒度分布受底流与重力流流向共同控制。研究结果有助于完善深水沉积的源汇过程研究，且对储集砂体预测及井位部署具有重要指导意义。

S69-P-1S

冲绳海槽中中新世以来沉积通量研究

王海芹[1]，丁巍伟[1,2,3*]，方鹏高[2]，王菲[3]

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室

2 东海实验室

3 上海交通大学，海洋学院

* wwding@sio.org.cn

冲绳海槽作为青藏高原和琉球岛弧之间最大的负地形，是东亚陆源物质向海输运的接收末端，封闭的构造环境使得其与开放大洋的物质交换十分有限，新近纪以来的沉积保存完整，记录了大量与区域构造事件、海平面变化、气候变化及河流水系的演化等事件相关的信息。基于对覆盖冲绳海槽全区的多道地震数据的解释，本文建立了该区的层序地层格架，计算不同地质历史时期的沉积通量，来对海槽的沉积过程进行半定量化约束，并对其控制因素及可能的物源进行探讨。研究结果表明冲绳海槽中中新世以来沉积通量总体呈现增长趋势，但不同区域由于东亚季风、海平面变化和区域构造作用的影响在不同的时代会有差异，其中中、北段在中更新之前受到夏季风和相对较低的海平面影响，沉积通量均为快速增加趋势，但北段在中更新世之后由于海平面上升，经由河流搬运的沉积物主要堆积于陆架河口区，沉积通量开始显著下降。南段在早更新世发生拉张以前，沉积通量总量较低，其后随着台湾岛的隆升、弧后拉张和全球气候变化的影响而快速增加。沉积中心随着海槽的渐进式扩张，也不断向南迁移。早更新世之前的沉积物源主要来自长江及华南的山间河流如钱塘江、瓯江等，而在这之后华南的山间河流，特别是台湾河流的沉积贡献较大。

S69-P-2

珠江口盆地西江主洼地区构造转换背景下的层序地层与沉积充填特征

黄鑫[1*]，彭光荣[1]，陈维涛[1]，王文勇[1]，何叶[1]

1 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，南海东部石油研究院

* hhxphx@126.com

近年来前人围绕西江主洼的研究工作主要集中在烃源条件、油气成藏、断裂体系演化几个方面，受限于地震资料品质，针对古近系文昌组层序地层与沉积充填特征方面的研究鲜有进展，造成现有认识往往与钻井结果不符，导致优质烃源岩及储层“甜点”的时空展布规律认识不清，严重制约了古近系的勘探进程。本次依托地震、钻井、古生物等资料，厘定、识别出 5 个层序界面、4 个三级层序，其中 Tg 和 T80 分别对应于珠琼一幕、珠琼二幕构造运动，T83 响应于文昌组内部惠州运动，其运动级别确定为珠琼运动下幕一级，T84 和 T82 则响应于洼内更次一级的构造运动或明显的湖盆面升降变化。在西江凹陷北部前新生代地层主要识别出北东向和北西向两组先存断裂体系，西江主洼地区的北东向断裂明显被北西向断裂错断，西江主洼以西恩西低凸起构造带则发育大量北西向先存断裂，构成北西向先存断裂带，建立西江凹陷北部受先存断裂差异活化及应力场转变主控的迁移型层序演化模式：WCSQ1 裂陷初始期，多中心分段发育；WCSQ2 东部强裂陷期，东厚西薄、北东向“窄条”状展布；WCSQ3 裂陷转换期，西厚东薄，北东向席状展布，WCSQ4 裂陷萎缩期，近席状展布。在文昌组识别出辫状河三

角洲、扇三角洲、湖相 3 种沉积体系。指出 WCSQ3 深湖窄盆，富泥少砂，“陡坡型”半地堑，和 WCSQ3 深湖宽盆，砂泥共存，“坡坪式”半地堑 2 种主要的沉积充填特征。明确烃源岩-储层配置关系：中深湖相优质烃源岩主要位于 WCSQ2 东部和 WCSQ3 西部洼陷中心;辫状河三角洲储集体主要发育于缓坡带 WCSQ3 和 WCSQ4;扇三角洲储集体主要发育于陡坡带 WCSQ2 和 WCSQ3。建议将以 WCSQ3 烃源岩为主要贡献的 WCSQ3 和 WCSQ4 南部缓坡带以西的辫状河三角洲储集体，和 WCSQ2 烃源岩为主要贡献的 WCSQ2 和 WCSQ3 北部陡坡带大型扇三角洲储集体作为后续勘探工作的重点。

S69-P-3

拆离断层在珠江口盆地白云凹陷断坳演化阶段的作用及其沉积响应

聂鑫[1*]，高红芳[1]，杜文波[1]，朱荣伟[1]，孙美静[1]，郭丽华[1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* nie_xin@126.com

自裂陷运动发生以来，南海北部新生代经历了复杂的沉积演化历史，珠江口盆地作为南海北部陆缘的典型盆地，对研究南海的张破裂历史至关重要。基于前人对珠江口盆地“陆架－陆架边缘－陆坡区”层序地层开展的工作，以及大量深部反射多道地震数据和精细地震解译成果，我们认为：盆地所处位置的沉积环境的差别以及地壳应力的在不同位置的不均衡分布，使得不同盆地有着不同的地层结构，造就了珠江口盆地珠一坳陷发育了“下断上坳”双层地层结构以及珠二坳陷白云凹陷发育 “断陷—断坳—坳陷” 3 层地层结构，这两种样式的差异化发育，说明陆架和陆坡区经历了差异性裂陷作用，其中，陆坡区发育的拆离断层对地层结构的差异化发育有着重要的控制作用。

该项研究总结了珠江口盆地新生代演化的三个阶段：第一阶段：断陷形成地堑半地堑阶段（断陷期）；第二阶段：断陷——断块式上升——横向空间扩展+热沉降阶段（断坳期）；第三阶段：断陷结束以后热沉降阶段（坳陷期）。陆坡区由于拆离断层的大量发育，发育了一定厚度的断坳期同沉积地层，也使得第一阶段形成的断陷发生了旋转，地层产生了掀斜。拆离断层控制的地层和早期的地层之间呈角度不整合。研究表明，拆离断层发育时期为陆坡盆地的断陷期和断坳期，陆架上珠一坳陷第二阶段断坳期响应不明显，表现为二套地层结构为主；陆坡盆地白云凹陷，多了一套断坳转化的沉积，表现为三套地层结构为主。不仅如此。拆离作用的出现还最大程度的调节了整个地壳的伸展，引起了岩石圈的薄化，增加了可容纳空间，最后助力于后续的南海海盆的出现。

该项研究对认识南海局部和区域构造演化、沉积响应以及南海扩张动力学机制和演化模式具有重要意义，也可为南海北部深水油气勘探提供理论支撑。

S69-P-4S

南海琼东南盆地深水区沉积物物源特征及输运机制

华苑君[1]，黄强太[1,2*]，张城磊[1]，陈文超[1]，曹玉东[1]，于昊彤[1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室

* huangqt7@mail.sysu.edu.cn

深海沉积物作为地球表面物质“源-汇”系统循环的最终汇，对古海洋、古环境、古气候等方面的研究具有重要意义。南海作为西太平洋最大的边缘海，接受了大量的沉积物，是研究南海周边地区及河流系统沉积的源-汇运输过程的天然实验室。琼东南盆地位于南海北部，其深水区（＞300 m）自晚中新世-第四纪以来沉积了巨厚的地层。然而，琼东南盆地深水区沉积物的潜在物源区复

杂多样，其沉积物供给能力和影响范围在盆地不同位置和不同地质演化历史时期存在差异。此外，深海沉积物的输送方式也有所不同，琼东南盆地深水区的输运机制尚不明确，其深水区沉积物沉积特征、物源示踪和输运机制研究可为南海北部深水区油气勘探提供科学基础。

本文采用沉积学、矿物学和地球化学等方法对琼东南盆地深水区两个沉积重力柱样品进行了综合研究，粒度分布、矿物组分、微量元素特征、Sr-Nd 同位素特征在垂向深度上均呈明显阶段性变化。沉积物样品为含钙质粘土质粉砂，主要矿物为绿泥石、白云母、高岭石，原始地幔标准化曲线和球粒陨石标准化分布模式表现为 Th、U、Pb、Nd 富集，Ba、Nb、Sr、Eu 亏损，轻、重稀土分馏明显，LREE 相对富集，平均δEu 值为0.644，具有明显的 Eu 负异常特征。Sr 含量随深度变化有较大波动。εNd 值变化较小，范围为-11.08 至-10.09。

本文认为琼东南盆地深水区上更新世—全新世沉积物为混合来源，物源区有红河、台湾、珠江、海南岛、湄公河和越南中部。大量陆源沉积物输入南海和有利的海底地貌条件使红河成为琼东南盆地深水区沉积物的首要来源。源自红河的大量沉积物进入海洋后，受北部湾南部表层环流、西边界流和上升流影响，沿陆架边缘和峡谷地貌向深海盆地进积。台湾和珠江对包含琼东南盆地深水区在内的整个南海北部的沉积物都有显著贡献，为第二大和第三大物源区。作为将台湾来源沉积物输送到南海的主要机制之一，深水流的搬运距离和能力可能比前人研究提出的更为强大，使得台湾成为琼东南盆地现代沉积物的第二大物质来源，而来自珠江的沉积物主要由广东沿岸流搬运。海南岛物质来源所占比例较小，但源区与沉积地点的距离较短，沉积物可沿陆坡进积。来自湄公河和越南中部山区小河流的沉积物可能由沿岸流和西边界流搬运，但对琼东南盆地深水区沉积物物源的贡献有限。

S69-P-5S

沉积物碎屑锆石在恢复盆地母岩类型中的作用——以东沙隆起为例

赵晓逸[1*]，向绪洪[2]，邵磊[1]，乔培军[1]，鲁毅[1]，马琼[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092

2 中海石油（中国）有限公司深圳分公司，广东深圳 518054

* exiaoyi@tongji.edu.cn

在沉积盆地充填埋藏过程中，陆源碎屑物质不仅记录了盆地构造演化历史，也直接保留了盆地源区母岩的相关信息。开展沉积物物源体系分析，精确掌握沉积物各时期物质组成特征，是揭示同时期源区母岩类型的关键。在盆地源区构造演化复杂、原剥蚀区因断裂走滑或由构造隆升区转为沉降区的情况下，准确恢复沉积物源区特征尤显困难和重要。在沉积物源汇对比中，选取最大限度代表母岩类型的替代指标是成功的关键。沉积物岩性组分、重矿物组合、全岩元素地球化学及单矿物地球化学均是常用的母岩示踪指标，重矿物锆石由于形成时封闭温度高，性质稳定，广布于各种岩石中，是目前源汇对比研究中最为常用的单矿物。采用碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系组合分析技术能够有效地揭示沉积物源区的岩石类型、时代及组合特征，是恢复重建盆地源区岩石组合的重要手段。

南海在新生代以板块俯冲形成的增生楔基底为背景，通过断陷拉张发育而来，在断陷初期形成隆坳相间的古地理格局，基底岩性组合复杂。东沙隆起为盆地内典型的隆升高地，一般认为其是中生代古太平洋板块俯冲形成的陆缘火山弧，多口探井揭示其以中生代岩浆岩为主，含少量始新世喷出岩。本研究利用碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系综合分析手段，对东沙隆起周边凹陷沉积物样品展开研究，结合三维地震资料，认为东沙隆起

除广泛发育的中、新生代岩浆岩外，还发育大量中生代沉积岩。始新世时期，东沙隆起中生代岩浆岩和沉积岩为珠江口盆地提供了大量沉积物。东沙隆起中生代沉积岩的确定对重建南海北部地区中生界分布具有重要意义。

S69-P-6S

峡谷地形下浊流输运微塑料过程及其沉积控制因素研究

谢晓天[1]，陆杨[1]，刘晓磊[1,2*]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

海洋微塑料具有粒径小、难降解的特点，极易被海洋生物摄食。由于微塑料具有较大的比表面积，其中的增塑剂和吸附的水溶性污染物也会以微塑料为载体通过摄食在食物链中传递、富集，对生态系统造成了巨大的潜在威胁，因此受到了国内外研究者们的广泛关注，成为当前学界公认的热点和难点问题。随着海洋观测技术体系的快速发展，发现海底沉积物是微塑料的主要赋存母体，目前国际主流观点认为海底浊流是输运海洋微塑料至深海的主要机制。而海底峡谷又是浊流向深海输运的主要通道，然而目前浊流在峡谷中输运微塑料的运动和沉积过程尚不清楚。因此，本研究旨在通过物理模型试验探究浊流运动条件（浓度、流速）和峡谷地形形态（直线、弯曲）的变化对微塑料沉积分布特征的影响。本文主要以南海北部珠江口盆地的十余条陆坡限制型峡谷为基准，概化了试验峡谷地形的几何参数（坡度、宽度、深度），研究浊流携带的微塑料在两种峡谷地形上保存能力的变化以及每种微塑料的沿程分布特征。进一步，改变浊流沉积物的体积浓度和出口流速，通过高分辨率水动力、泥沙浓度的实验室量测结果，分析微塑料沿程丰度和物理形态（种类、尺寸、形状）的分布规律变化。由于目前浊流输运微塑料的过程缺乏直接观测结果，取样分析亦无法获悉浊流携带微塑料运动沉积的具体过程。因此本研究与一定程度上与现场观测和取样研究形成了互补，对预测海底峡谷地形中微塑料的富集位置及其引发的生态环境效应具有重要指导意义。

S69-P-7S

南海东北部非线性内波及其沉积物输运通量的季节差异性

阮威涵[1]，张艳伟[1*]，吕丹妮[1]，刘志飞[1]，赵玉龙[1]，张晓栋[1]，凌晨[1]，马鹏飞[1]，俞恂[1]，张靖雯[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

* ywzhang@tongji.edu.cn

非线性内波是一种具有大振幅窄波形，短周期，强流速，高耗散的内波，极易引发破碎和能量耗散，具有较强的沉积物搬运潜力。南海东北部是全球非线性内波最为发育的海区之一，内波在吕宋海峡生成，西向传播并在陆架区浅化，破碎和耗散。然而大振幅非线性内波的时空特征及陆架区沉积物对强耗散非线性内波的响应仍缺乏长期连续观测研究。本研究中，我们在南海东沙浅水陆架布放一套内波沉积动力过程锚系观测系统，获取连续一年的高时间分辨率流速剖面、温度、沉积物浓度等参数，用于研究大振幅非线性内波的时间/垂向特征及沉积物搬运过程。结果显示，非线性内波发生显著的 A 波滞后和 B 波提前的周期变化，这种周期变化受控于吕宋海峡正压潮的调控。此外，中尺度涡和黑潮入侵引发的强流场能够有效的调控非线性内波的传播路径。 这种大振幅非线性内波能够引起强烈的沉积物再悬浮，由此引发近底部沉积物的高水平通量。观测期间非线性内波引发的近底部沉

积物侧向总输运能够媲美极端事件台风引发的沉积物总输运。

S69-P-8S

南海琼东南盆地早渐新世锆石 U-Pb 年龄及其对物源限定和构造响应

杨允柳[1]，何云龙[1*]，解习农[1]，李珊珊[2]，曹立成[1]，黄灿[3]，肖鸿议[2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院
2 中海石油(中国)有限公司海南分公司
3 中海石油(中国)有限公司湛江分公司
* ylhe@cug.edu.cn

琼东南盆地早渐新世物源变化和构造活动是对南海西北部形成演化过程的响应。然而，由于钻井样品较少，琼东南盆地晚渐新世(崖城组)的物源研究尚浅。本次研究应用碎屑锆石 U-Pb 测年分析了崖城组物源及其区域构造意义。崖城组从下到上共三段的沉积物的锆石 U-Pb 年龄谱表现出不同的特征。崖三段 U-Pb 年龄谱为 235 Ma 左右的单峰，而较年轻的崖二段 U-Pb 年龄谱具有两种不同特征: 一种为 248 Ma 和 441 Ma 有两个主峰，缺乏小于 200 Ma 的锆石;另一种为 95 Ma 和 252 Ma 两个主峰。通过对比已发表不同沉积物样品的锆石 U-Pb 年龄谱，重建了琼东南盆地早渐新世物源演化格局：崖三段和崖一段主要源区分别为海南岛和盆地内局部隆起，崖二段的沉积物 U-Pb 年龄的突变表明，其物源分别来自海南岛西部和越南中部。另外琼东南盆地与红河沉积物的 U-Pb 年龄谱差异表明，红河进入琼东南盆地的时间晚于早渐新世，早渐新世物源的突变可能是对红河断裂左旋走滑运动的响应。

S69-P-9S

裂谷萎缩期的深水沉积特征及意义：来自中国东部灵山岛的记录

张济东[1]，梁超[1*]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院
* liangchao0318@163.com

裂谷盆地长期以来都是“源-汇系统”研究的重要主题，其沉积受控于构造、气候、海平面、汇水流域特征以及盆内地形结构等的复杂相互作用。深水同裂谷系统形成于小型的、孤立或部分连通的沉积中心，通过狭窄的陆架与陆地汇水流域相联，具有较高的沉积物供给，因而发育有广泛的重力流及其自生过程，形成了复杂的沉积构型与地层序列。本研究从中国东部灵山岛中挖掘出一个裂谷萎缩期深水沉积的罕见实例。该岛位于苏鲁造山带中部的日青威盆地，发育有晚中生代的莱阳、青山两期裂谷充填序列，船厂、灯塔、千层崖等野外露头记录了日青威莱阳期被动裂谷盆地萎缩阶段（~125Ma）的深水沉积过程，其中位于千层崖剖面的 QCY-1 井（75.95m）为探索该阶段的深水沉积特征、演化及其控制因素提供了独特的机会。本研究综合利用岩芯、野外露头、薄片等资料，基于岩性、粒度、颜色、事件层边界和沉积构造等特征，识别出五种事件层类型：浊流沉积物、碎屑流沉积物、混合事件层、块体搬运沉积物、背景泥质岩，其中由净砂岩和富泥质砂岩组成的混合事件层在岩芯中占主导地位。岩芯下部以泥质混合事件层为主，其为流体尾流远距离流出的沉积物，可进一步转化为浮泥，另外可见少量厚层的、砂-泥比值较高的、具有漂浮筏状泥质岩碎屑的砂质混合事件层，它记录了大型流体的沉积。到岩芯中部，中-厚层砂质混合事件层比例逐渐增大，同时“条带状”过渡流相的混合事件层反映了粘土负载流体在低梯度盆地底部的减速。岩芯上部的总体砂-泥比值进一步增大，各种类型的事件层均占有一定比例，

为滑塌型、洪水型重力流沉积物复杂互层。值得一提的是，多数混合事件层具有厚层的共生泥岩盖层，暗示其形成于限制性的沉积环境。岩芯中不同类型事件层的垂向分布表明，该序列为进积的限制型海（湖）底扇远端或者盆地底部平原的沉积物。此外羽状交错层理砂岩以及双泥岩层的发现表明，该区所处的陆内裂谷盆地在该时期与海洋连通，存在潮汐驱动的底流作用，因此岩芯中发育的部分逆粒序砂岩可能不是异重流的产物，而是源于深水底流对于重力流沉积物的改造。综上，研究认为构造抬升对该地区深水地层演化具有一级控制作用，与之伴生的频繁的地震活动可以触发滑动、滑塌以及碎屑流沉积，而与洪水频率、规模有关的异重流沉积（受气候控制）是该盆地沉积物的主要来源，此外，深水底流沉积或其对重力流沉积物的改造也不可忽略，上述因素共同驱动了日青威裂谷盆地萎缩期的深水相和层序的演化。

S69-P-10

琼东南盆地向上游方向单项迁移水道的结构、控制因素及演化历史

李俞锋[1,2*]，蒲仁海[2]，张功成[3]

1 西南科技大学，环资学院

2 西北大学，地质学系

3 中海油研究总院有限责任公司

* 526376337@qq.com

近十年来，在向上游方向单项迁移的水道中发现大量油气，这已引起海洋地质学家广泛关注。然而其结构、控制因素及其演化历史依旧不是很清晰。本文利用北礁凹陷三维地震资料，记录在下中新统发育的一套向上游方向单项迁移的水道。结果表明：①这套水道主要由向上游方向单项迁移的7个水道所组成，这些水道长约 5-10km，宽约0.5km，向下斜坡逐渐消失；②堆叠模式主要以多个水道-堤岸复合体单项迁移为特征，从水道轴部到边部，其地震振幅由强到弱逐渐过渡；③这 7 个水道深泓线沿斜坡方向迁移角度逐渐变小，单个水道向下斜坡方向，其深泓线迁移角度逐渐增加；④这类水道轴部缺乏多边形断层的发育，而边部发育大量多边形断层；⑤这 7 个单项迁移水道与斜坡垂直，而同时代与斜坡平行的 2 个水道未出现单项迁移特征，而以垂向加积为主。与其它地方陆源硅质岩性的单项迁移水道不同，本文水道被认为是碳酸盐岩颗粒所组成，水道-堤岸复合体为轴部粗颗粒过渡到边部细颗粒的碳酸盐岩，其物源不是来自北部陆源硅质碎屑区，而是来自南部（西沙隆起）碳酸盐岩钙质碎屑区，水道提供其运移通道。它们的控制因素为：碳酸盐岩沉积物供应、相对海平面波动、沿斜坡流动的等深流、局部斜坡构型。局部斜坡构型控制了浊流与等深流交互作用的方位（夹角），从而确定了水道的叠置模式（单项迁移还是垂向加积）。深泓线迁移角度可用于评价等深流强度的重要参数。在沿斜坡方向的时空演化上，等深流与浊流交互时，上部浊流细颗粒物质被等深流“吹拂”到下游方向，即等深流中携带了部分浊流上部物质向下游方向运动，致等深流速度降低，再与（下游方向的）第二个水道中浊流交互时，仅能携带第二个水道中的少量浊流物质，这样从上游到下游，等深流携带浊流物质越来越少，致它们堤岸沉积物质也越少，从而沿斜坡的下游方向，它们深泓现迁移角度也就越来越小。本文研究可丰富等深流与浊流交互作用。

S69-P-11

转换构造作用与深水沉积体系-以西非科特迪瓦盆地研究为例

李全[1*]，刘正[1]，姜烨[1]，张科[1]

1 中海油国际公司，海外评价中心

* quincy225@126.com

转换型被动大陆边缘盆地（西非科特迪瓦盆地）独特成盆过程决定其自西向东陆架由窄向宽、陆坡由陡及缓的变化特征。在转换动力作用下海域形成的构造地貌、断裂组合样式空间差异控制了陆源碎屑物质向深水区输送的路径和沉积物卸载位置差异，进而影响了盆地“外源”深水富砂体系和“内源”碳酸盐岩礁滩体系的时空分布。

由于科特迪瓦盆地转换动力作用自西向东逐渐减弱，致使断裂剖面和平面组合样式均显示出较大差异，西部以走滑作用为主，断裂呈现平面“平行”、剖面“雁列”组合样式；中部以走滑-伸展交互作用为主，断裂呈现“马尾”组合样式，并伴随张扭和压扭构造；东部以伸展作用为主，断裂呈现“梳状”组合样式。陆架斜坡由西至东，宽度从约 50km 过渡到 240Km。斜坡角度从陡到缓逐渐过渡。斜坡地貌也在转换应力和区域挤压应力叠加作用下发生相应迁移和转化，进而控制深水重力流水道的发育样式和迁移方式。

转换动力作用驱动的盆地构造格局差异，导致盆地自西向东层序地层格架、沉积充填样式、以及深水区富砂体系卸载位置的差异。盆地西部转换边缘重力流砂体具有“断裂约束、近源堆积、走向卸载”特点，扇体规模相对较小，粒度粗；盆地中部过渡边缘重力流水道受构造地貌和 A、B 两大水系控制，具有“地貌约束、远源输送、末端卸载”特点，砂体面积大，但厚度薄，以中细粒朵叶复合体为主；盆地东部离散边缘扇体受伸展断裂形成的斜坡洼陷控制，具有“地貌约束、坡折控砂”特点，形成中粗粒斜坡水道-朵叶叠加复合体，砂体厚度大，储层物性好；

科特迪瓦盆地转换作用对深水沉积体系分布控制研究，有助于预测转换型被动大陆边缘盆地深水优质储层的时空分布，指导油气勘探。

S69-P-12

珠江口盆地物源转换过程与成因机制：对古珠江形成演化的启示

龚承林 [1*]，李一超 [1]

1 中国石油大学（北京），地球科学学院

* chenglingong@hotmail.com

华南珠江流域的形成演化是东亚地形倒转的重要响应，是南海北部源汇系统研究的焦点。古珠江的启动与西扩时限及其成因机制一直存在争议。利用锆石 U-Pb 年龄与锆石 Eu 异常开展物源示踪与物源区地壳厚度重构，厘定珠江口盆地物源转换时限与区域隆升事件，以关键构造事件的物源记录为突破口重建古珠江水系。锆石 U-Pb 年龄结果表明：珠江口盆地中始新统锆石年龄谱为燕山期单峰特征；上始新统-上渐新统锆石年龄谱呈现燕山期主峰与印支期、加里东期次峰；自下中新统，锆石年龄谱上除燕山期、印支期和加里东期峰值，还出现了晋宁期及更老年龄组分。锆石 Eu 异常结果表明：白垩纪华南陆缘地壳厚度由 40 km 显著增厚至 70 km，晚古新世至晚始新世青藏高原地壳厚度由 50 km 增厚至 65 km。物源示踪研究认为：珠江口盆地发生了晚始新世由盆内基底供源向盆外珠江北东支流供源、早中新世由盆外珠江北东支流供源向珠江北东支流与西部支流混合供源的两次物源转换。区域地壳厚度重构研究认为：晚白垩世华南沿岸山系隆升，形成东亚“东高西低”地形；晚始新世青藏高原初次隆升，奠定东亚“西高东低”地形基础。研究进而建立了“晚白垩世沿岸山系隆升-晚白垩世至中始新世古珠江启动-晚始新世珠江口盆地盆内基底向盆外珠江北东支流物源转换”以及“晚始新世青藏高原隆升-晚渐新世至早中新世古珠江西扩-早中新世珠江口盆地珠江北东支流向北东支流、西部支流混合物源转换”的成因关联，认为华南古珠江启动于晚白垩世-中始新世，并于晚渐新世-早中新世发生西扩。

S69-P-13

应用沉积正演和地震正演研究浊流和滑坡在深水沉积中的作用及其地震识别标志

万力[1,2*]，Suzanne Hurter[2]，Valeria Bianchi[2]，Tristan Salles[3]

1 中国石油勘探开发研究院，石油地质实验研究中心

2 澳大利亚昆士兰大学，地球与环境学院

3 悉尼大学，地球科学学院

* wanli.ada@outlook.com

浊流和块体滑坡是深水沉积环境中的主要沉积过程。然而，与陆相沉积相比，深水沉积钻测井资料较少，高分辨率高质量地震资料收集难度大，因此这两种沉积过程在深水沉积体系形成中扮演的作用，以及其对应沉积物在地震剖面上的识别仍然有待加强。本研究结合了沉积正演和地震正演来区分浊流和块体搬运沉积在深水沉积中的作用以及明确其在地震上的识别标志。沉积正演底形为澳大利亚西陆架上的珀斯峡谷区域，模拟结果为三角洲-峡谷-海底扇体系。研究首先比较了3个单一阶段沉积正演模型，模型 A 为滑坡主控，模型 B 为浊流主控，模型 C 为滑坡浊流共同控制，对比了 3 个模型中的沉积体系分布和沉积侵蚀量。随后，研究建立了一个多阶段多沉积过程的沉积正演模型，模型 D，通过标记粒度来区分浊流沉积和滑坡沉积，明确了二者的空间分布，尤其是在峡谷体系中的分布，也依据浊流和滑坡的相对作用对陆坡搬运通道进行分类，并研究了二者共同作用的峡谷演化过程。最后，基于模型 D 进行地震正演，并将地震正演的结果和文献调研中的实际地震相进行了对比。

研究表明滑坡作用形成新峡谷，并且能够快速的拓宽延长峡谷，由此可为浊流提供更多搬运通道。浊流可作为改造沉积过程，平滑峡谷内壁，在弯曲处形成非对称侵蚀，并在峡谷头部形成向岸侵蚀，由此促进滑坡形成，并同样增加峡谷的宽度和长度。滑坡沉积广泛分布在陆坡和海底朵叶上，受陆源碎屑供给体系影响小，垂向上，他们主要分布在峡谷和朵叶的底部，填平地貌低洼处，在沉积中上部，识别特征为巨厚的不规则沉积。浊流沉积主要分布在河流供给区域，包括原有峡谷、相邻峡谷、以及对应的海底扇。垂向上，浊流沉积和滑坡沉积呈拼接状，浊流可强烈侵蚀下伏滑坡沉积。在地震正演剖面中，共识别出 14 种地震相，可代表河流、浊流和滑坡在三角洲、峡谷、海底扇中的沉积。在顺物源剖面中也可识别出三角洲楔状体、滑坡后壁、以及朵体上超等现象。研究有助于预测滑坡沉积和浊流沉积在深水环境中的分布，也有助于提高深水沉积地震解释的精确度。

S69-P-14

南海东北部陆坡脚至深海平原的超临界浊流底形

王毕文[1*]，钟广法[1]，王嘹亮[2]，郭依群[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* bww@tongji.edu.cn

超临界浊流成因的沉积底形是近年来的研究热点。南海已报道的此类底形大多发育于陆坡环境，而陆坡脚和深海平原的相关研究还十分有限。本研究使用高质量单道地震数据（纵向分辨率 3 m），表层重力柱状样和大洋钻探资料，对南海东北部笔架海山以南、马尼拉海沟以西（水深 3000-4200 m）陆坡脚至深海平原部位的底形进行了研究。结果表明，研究区表层重力柱状样含大量浊积砂层，指示此区域的底形为浊流成因。底形波长 0.3-4 km，波高 3-18 m，波长/波高比值 85-800，波脊逆坡迁移，波脊延伸平行于等深线，据此将其解释为超临界浊流成因底形。根据底形的内部反射结构，可进一步将其分为两类，分别为不对称且逆坡迁移的周

期阶坎，和基本对称且逆坡迁移的逆行沙丘。此外，还见有不对称且顺坡迁移的底形，根据其波长/波高比值最高可大于 200 推测为顺坡迁移的逆行沙丘。顺坡而下，底形从超临界流周期阶坎，依次转化为逆坡迁移的逆行沙丘及顺坡迁移的逆行沙丘。底形的发育始于第四纪（~2.6 Ma），空间上可大致划分为三个区域，其中两个位于笔架海山之间通道向深海平原的出口部位，另外一个位于马尼拉海沟西壁。从第四纪早期至晚期，笔架海山以南的两个底形区面积减小，分别从 6800 减小至 5300 km^2 和从 6600 减小至 4750 km^2，马尼拉海沟西壁底形区的面积增大，约从 11000 增大为 13600 km^2。底形的形成可能与台湾造山带在晚第四纪快速隆升导致输入到南海的物源供应增加有关。本研究得到国家自然科学基金项目资助（项目编号：41876049, 41676029）。

S69-P-15

南海北部深水区古近系沉积物源汇过程及古地理意义

向绪洪 [1]，张丽丽 [1]，鲁毅 [2]，乔培军 [2]，陈淑慧 [1]，吴梦霜 [1]，马琼 [2]，邵磊 [2*]

1 中海油（中国）有限公司，深圳分公司

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* lshao@tongji.edu.cn

中生代末南海地区逐步从主动大陆边缘转为被动大陆边缘。珠琼运动一幕使南海北部处在拉张作用下，在基底中生代先存断裂的控制下，发育了一系列 NE-SW 向断裂，使南海北部形成一系列呈 NE-NEE 向展布、南北隆凹相间的古地貌景观，珠二坳陷即是其中呈 NE 向展布的半地堑之一。在早中始新世文昌期，珠二坳陷以湖相沉积为主，发育了白色砂岩夹灰色页岩与浅灰色泥岩的滨浅湖相及灰色泥岩夹钙质及碳质薄层、富含孢粉和藻类化石的中深湖相沉积，坳陷边缘发育扇三角洲沉积，沉积物碎屑锆石年龄以燕山期单峰为主，反映沉积物源以盆地周边的中生代近源隆起区为主。

晚始新世恩平期，白云凹陷西侧普遍发育泛滥平原煤系地层以及河流三角洲沉积。该时期沉积物碎屑锆石年龄谱系特征显示，从开平凹陷向东、到白云凹陷中西部，受昆莺琼古河携带的西部物源控制，沉积物主要来自神狐隆起，在碎屑锆石年龄谱系中以极高加里东期峰值为特征；珠江物源主要影响珠一坳陷，仅有少量进入到白云凹陷北侧。

渐新世珠海组，白云凹陷逐步从海陆过渡相转为滨海和浅海沉积，在凹陷西侧和北侧以发育大型三角洲为特征。该时期深水区是局限海湾的沉积环境，凹陷北侧出露地表，陆架坡折位于凹陷南侧，陆架坡折带下方的荔湾凹陷则发育了一定规模的深水扇，从北向南沉积环境从海陆过渡相-浅海相-陆坡深水相逐步过渡，构成一套从陆向海完整的沉积体系。

受到南海东部岩石圈破裂扩张的影响，位于珠二坳陷西侧的琼东南盆地该时期发育比较强烈的正断层活动，差异沉降明显，总体呈东西向展布，隆凹相间。南海形成早期，海侵地层具有从东向西逐步扩展的特征，反映出当时古地理为西高东低，使河流由西向东搬运成为可能。

珠海组沉积物碎屑锆石年龄谱系特征显示，珠江沉积物已经越过番禺低隆起搬运到白云凹陷中部、西部；昆莺琼古河流域面积向西进一步拓展，碎屑锆石中元古代及太古代锆石明显增多，使南海西部物源仍然持续输送到白云凹陷，造成白云凹陷同时接受珠江和昆莺琼古河双物源的供给(邵磊等，2022)。由于大型三角洲及三角洲平原相的存在，该时期也是白云凹陷煤系地层最为发育的时期（张功成等，2020）。

从古近纪河流发育特征可以看出，南海北部新生代初始古地理主要受古太平洋板块与欧亚大陆中生代末的俯冲拼合作用控制，以 NE-NEE 向展布、南北向隆凹相间的地貌形态为特征，整体地形西高东低，使早期河流呈近东西向、沿坳陷长轴方向进行搬运。

S70-O-1

超深水海底飞行节点地震仪与高精度弹性波成像技术

耿建华[1*]，刘文智[2]，胡耀星[3]，刘玉柱[1]，王顺礼[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 哈尔滨工程大学，智能科学与工程学院

3 中国科学院，地质与地球物理研究所

* jhgeng@tongji.edu.cn

海底节点（OBN）地震勘探是当前深水、超深水地震勘探的前沿技术。针对当前超深水 OBN 地震数据采集存在效率低、成本高等问题，项目开发了一款具有水下自主定位与航行功能的海底四分量飞行节点地震仪（OBFN），工作水深 3000 米，水下工作时长 30 天，并开发了 OBFN 大规模布放与回收控制软件平台，发展了面向 OBFN 四分量地震数据的弹性波成像理论与方法，实现了 OBFN 地震数据高精度弹性波速度建模与成像。研发的 OBFN 在南海荔湾凹陷超深水盆地开展了海试，获得了~3000 米水深级高质量海底四分量地震记录。

S70-O-2

深水海底稀疏节点地震数据弹性波成像方法

于鹏飞[1*]，储明志[1]，孙敏傲[2]，耿建华[3]

1 河海大学，海洋学院

2 中国石化石油物探技术研究院

3 同济大学，海洋与地球科学学院

* hhu_ypf@hhu.edu.cn

随着现代海上油气勘探数据采集方式和处理技术的飞速发展，海上油气勘探正在由浅海走向深海、由海面走向海底、由单分量走向多分量。近些年，深水甚至超深水油气资源勘探已经成为国内外勘探地球物理界关注的热点和难点。海底是弹性的，海面拖缆单分量采集已经越来越不能满足工业界的需求，海上多波多分量采集在海上油气资源勘探中越来越被工业界重视。海底四分量（4C）地震采集通过将 4C 检波器耦合在海底能采集到地下弹性参数的有效信息，因此利用这些多分量数据进行弹性波成像，能识别海底岩性和流体、检测裂隙及识别海底一些特殊构造（气烟囱等）等。

目前海底地震数据采集方式主要有两种：海底电缆、海底节点地震。海底电缆采集在深水勘探时对深水电缆的重量和耐高压性要求有很大挑战。海底节点地震采集因为不需要缆绳，越来越引起勘探地球物理界关注，但是在深海油气勘探中，由于海底节点造价昂贵、布放成本高，导致采集往往非常稀疏。稀疏节点 4C 地震数据在进行弹性波成像时会产生成像采集脚印、同相轴不连续、信噪比低等问题，目前仍缺乏针对稀疏节点 4C 地震数据的弹性波成像方法和技术，这也是海底节点地震采集并没有被工业界推广使用的原因，因为相对较高的数据采集成本与记录信息的有效利用不成比例。

声-弹耦合方程能同时模拟流-固混合介质中弹性的速度（位移）分量和声压分量的传播，并且基于声-弹耦合方程，能同时实现海底 4C 地震数据的张量延拓。因此，我们基于声-弹耦合方程提出了一种面向海底稀疏节点地震数据的弹性波成像方法，包括弹性逆时偏移、弹性最小二乘逆时偏移、联合拖缆-节点地震联合弹性波成像方法。本方法能一定程度改善稀疏节点地震数据成像中存在的采集脚印问题、提高成像分辨率、压制成像噪音等问题，获取地下更高质量的弹性波成像结果。

S70-O-3

东海 OBS 多分量地震数据波场分离与波形反演成像

王腾飞[1,2*]，程玖兵[1,2]，刘学义[2]，刘玉柱[1,2]，耿建华[1,2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* twang0221@tongji.edu.cn

联合水检-陆检的海底四分量地震观测、数据处理与解释技术在油气、天然气水合物勘探开发和岩石圈结构探测等领域得到了大量应用。主动源海底地震技术由空气枪震源激发产生地震波，经海水进入地下非均匀介质中，会发生纵波（P 波）与横波（S 波）之间的模式转换和波场耦合。然而，受自由表面多次波与海底界面波的干扰以及P-S波耦合效应的影响，基于海底多分量数据的弹性参数反演和地震成像仍然面临许多挑战。

针对海底多分量地震数据处理中波场分离与弹性参数建模问题，基于典型海底介质模型合成多分量数据与实际海底地震记录的波型成分、特征及影响机制的认识，建立了一种面向浅水低信噪比数据的上-下行 P/S 分离方法和处理流程，提出了可以克服源端水层鸣震影响的波动方程转换波走时反演方法，并与初至波波形反演、叠前深度偏移方法结合，对东海 QY 探区海底多分量地震资料进行处理，使反射 PP 波和 PS 波成像效果得到了明显提升。

S70-O-4

拖缆与 OBS 反射地震数据融合

张宝金[1*]，徐云霞[2]，成谷[3]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

2 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

3 中山大学，地球科学与工程学院

* zhangbaojinchg@163.com

海洋拖缆与密集海底地震仪（OBS）同步地震调查时，可以分别对拖缆与 OBS 数据的反射波进行成像处理，各自得到一个成像剖面。两个剖面的频率信息呈现明显差异，拖缆数据因检波点鬼波影响低频较弱，而 OBS 数据的低频信息较丰富。本文给出一种以联合反演为基础，把拖缆和 OBS 成像结果进行融合处理的方法，可丰富海洋拖缆地震资料的低频信息。具体实施步骤为：1.对海底地震仪（OBS）数据通过重定位、重定向、波场分离、速度分析及镜像偏移处理获得反射成像叠加剖面。2.对拖缆数据反射波进行去噪、多次波衰减、速度分析、叠前时间偏移处理，获得时间偏移剖面。3.利用速度分析结果构建初始波阻抗模型，并分别提取 OBS 成像剖面和拖缆成像剖面的子波。4.利用以上数据进行联合波阻抗反演，将反演结果转换为反射系数模型。5.构造宽频带地震子波，并与反射系数模型进行褶积处理，获得融合处理结果。本方法对南海一个 OBS 和拖缆联合调查工区数据进行了处理。融合后的地震数据与原 OBS 数据及拖缆数据的频谱对比，融合后的数据频带相对拖缆数据而言，将原始拖缆数据的低频端由 16Hz 拓展到 5Hz，丰富了低频成分，结果表明这种方法达到了各取所长优势互补的效果。

S70-O-5

海底地震仪探测西南印度洋中脊 50°E 横波速度结构与岩性特征

牛雄伟[1*]，李家彪[1]，阮爱国[1]，丁巍伟[1]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

* xwniu@sio.org.cn

当缺少穿透莫霍面的大洋钻探岩石样品时，使用海底地震仪（OBS）主动源地震探测同时采集的压缩波（P 波）和剪切波（S 波）信息，可以获得洋壳的波速比和泊松比结构，有望区分洋壳的岩性。但岩石物理实验发现在 50 Mpa 环境下海底采集的基性和

超基性岩石样品的 Vp/Vs 波速比有一定的重叠区，并不能由波速比区分基性和超基性岩。因此，如何使用主动源地震波信息来研究洋壳的岩性存在较大的挑战。

本研究基于 2010 年中国大洋科考 21 航次第 6 航段采集的 OBS 主动源 P 波和 S 波数据，使用射线追踪试错法正反演，获得了扩张轴下方的 P 波速度（Vp）、S 波速度（Vs）、Vp/Vs 和泊松比结构。为避免使用 Vp/Vs 波速比和泊松比用来区分辉长岩和蛇纹石化橄榄岩带来的不确定性，同时使用 P 波速度梯度结构、波速比值和泊松比来区分辉长岩和蛇纹石化橄榄岩。最终推测西南印度洋中脊 50°E 岩浆活动中心和 NTD 下方洋壳层 3 的岩性为辉长岩。在洋壳层 3 未发现明显的蛇纹石化橄榄岩。本研究获得的达 10 km 厚的玄武岩-辉长岩型 Penrose 洋壳为超慢速扩张西南洋中脊 50°E 存在充足岩浆供给提供了证据（Niu et al., 2015, 2023)。

S70-O-6

大量岩浆作用下南海岩石圈的两阶段破裂模式

张江阳 [1,2]，赵明辉 [1,2*]，孙珍 [1,2*]，孙龙涛 [1,2]，徐敏 [1,2]，杨宏峰 [3]，王强 [4]，庞雄 [5]，郑金云 [5]，姚永坚 [6]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 香港中文大学，理学院地球与环境科学项目

4 福建省地质工程勘察院，自然资源部丘陵山地地质灾害防治重点实验室

5 中海石油（中国）有限公司深圳分公司

6 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* mhzhao@scsio.ac.cn

* zhensun@scsio.ac.cn

在大陆岩石圈伸展减薄到最终破裂形成洋盆的过程中，岩石圈流变性质的差异可能导致地壳和岩石圈地幔减薄-破裂顺序的不同，从而导致构造过程和岩浆作用的差异，并形成不同特征的大陆边缘。南海是亚洲最大的边缘海，其深部构造和沉积特征记录了岩石圈从伸展到破裂的全部过程，是研究大陆向海洋转变过程的理想场所。本研究开展了垂直于南海北部陆缘，穿过 IODP 钻井区的海底广角地震探测（OBS）实验。速度模型显示从南海北部的陆坡区到洋盆，地壳厚度由~20 km 减薄至约 6km。在云荔凸起和洋-陆转换带（COT）下方，分别发现了近 10 km 厚和 3-4 km 厚的下地壳高速层（HVLC），认为其由岩浆底侵造成。而在高度延伸的靠近大陆一侧的凹陷下方几乎没有发现 HVLC。地震数据显示，底侵区下方的上下地壳厚度比较低，可能是由岩浆吸积和下地壳流动引起的。依据岩石圈减薄程度和岩浆厚度的经验关系，厚度达 10 公里的下地壳高速层，应为云荔凸起下岩石圈发生强烈减薄甚至破裂引起。据此,研究人员提出南海岩石圈的两阶段破裂模式：第一阶段是发生于~43 个百万年-38 个百万年的岩石圈地幔薄化破裂。该时间节点以前岩浆作用不强，地壳伸展以大型拆离断层为特征。~43 个百万年以后地幔强烈薄化促进了岩浆的大规模底侵；第二阶段是发生于~31 个百万年-29 个百万年的地壳破裂，破裂点位于现今的洋-陆转换带下方，地壳破裂正式形成南海洋盆。

S70-P-1

不稳定环境下基于十字交叉定位的 OBS 时钟漂移校正方法

李丽青 [1*]，高红芳 [1]，刘玉萍 [1]，陈 玺 [1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* 995032693@qq.com

海底地震仪（OBS）投放后的实际落点位置通常采用最小二乘法进行反演，依据的是地震波在海水中传播的时距曲线。常规处理首先对 OBS 数据进行时钟漂移，然后对

OBS 实际落点进行反演。正常情况下，时钟漂移量通过投放前、后的两次对钟时差来获得，将这个时差线性分配到整个时间段做校正就可以获得准确的时间序列。但是，当两次对钟之间环境发生巨大变化，则时钟漂移不再符合线性规律，如何校正时钟漂移？

本文从实例出发分析了南海某工区 OBS 数据，判断 OBS 数据时序混乱，最小二乘无法获得准确的 OBS 位置。调查后发现由于特殊原因 OBS 回收后放在甲板未及时对钟，而甲板上温度非常高，环境的剧烈变化使得时钟变得不稳定，不符合线性漂移规律。本文研究了十字交叉定位方法，首先获得 OBS 准确位置，然后再求取正确的时钟漂移量。

十字交叉定位法基于地震波在水中传播时的时距公式。假设海水中地震波传播速度 1500m/s，时距公式中有 4 个未知数 x,y,z,t。理论上这样的非线性方程可以用非线性拟合法求解，但是，由于时间序列不准确，以及各种干扰的影响，拟合的结果不稳定。而十字交叉定位通过正演模拟十字交叉方向（主测线和联络测线）位置偏移时的线性动校正曲线来反演 OBS 的空间位置。首先建立 OBS 在主测线方向、联络测线方向、深度方向偏移时各种模型，正演模拟不同模型时初至波线性动校正曲线，根据线性动校正曲线变化特征，建立 OBS 位置漂移方向判断标准。研究发现，当水平位置有偏差，则动校正曲线一端会抬头，另外一端会下沉。主测线校正曲线抬头一端（即时差小的一端）即为 OBS 在主测线的偏移方向；同样的，联络测线校正曲线抬头一端即联络测线偏移方向，时差越大，位置偏移量越大。当水平方向的位置准确时，线性动校正曲线呈凹型、凸型或水平直线，曲线两端的时差接近 0，凹型时实际水深比当前值更深，凸型时实际水深比当前值更浅，水平直线则说明水深准确。根据这个规律，首先校正主测线方向的偏移，向曲线抬头一端移动 OBS，计算线性动校正曲线，直到曲线两端没有时差，获得主测线方向上准确位置；然后同样的方法获得联络测线方向的 OBS 位置。当 OBS 水平位置准确了，根据校正曲线凹、凸调整水深值，直到动校正曲线为水平直线，此时的水深值也准确了。

相比常规二次定位，十字交叉法不需要钟漂校正即可反演出准确的 OBS。之后，根据时距曲线，通过线性拟合即获得准确的时间漂移量。

S70-P-2

角度域四分量主动源 OBS 数据高斯束偏移成像

石星辰 [1]，毛伟建 [1*]

1 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院，大地测量与地球动力学国家重点实验室

* wjmao@apm.ac.cn

主动源海底地震仪 (OBS）采集技术能够有效克服传统海底电缆在深水区的布放和采集困难，获取高质量、宽方位和长偏移距的四分量 (4C) 数据，从而为构建深海、超深海地下介质的弹性图像提供了可能。海底 4C 的优势主要体现在：布设在海底界面的多分量检波器可以接收到转换横波信息；联合使用水听器数据和检波器数据有潜力区分地震波的上、下行性质。以上这些特点有助于获得更高分辨率、更准确的成像结果。

角度域成像有潜力进一步提高成像质量。首先，在角度域，可以方便地消除一些假象。其次，角度域成像可以提取角道集。角道集在反演地下介质弹性性质方面有着重要作用。利用角道集可以更新速度模型。而更好的速度模型有助于获得更好的成像结果。

深海情况下，OBS 的布设通常采用非常稀疏的检波点观测系统。这导致成像时同相轴不连续、照明不均衡，特别是在浅部区域。这种不连续会导致特定角度的欠采样，降低角道集的质量和准确性。此外，低覆盖的角道集也更容易受到噪声的污染。以上这些问题给角道集的提取带来了很大的挑战。

为此，我们提出了一种角域共检波点域 4C 高斯束偏移方法来生成弹性角道集。高

斯束偏移事实上（1）可以借助倾斜叠加实现自动去噪；（2）基于平面波性质实现角度域的插值，从而有潜力生成高质量的角道集。此外，在共检波点域中执行偏移可以更好地处理 OBS 数据的稀疏性和不规则采样。通过引入完整的边界条件来考虑压力和质子分量还可以有效地解决检波点端鬼波问题。

角度计算方面，我们通过震源和检波点的传播方向以及纵横波波速比来计算反射界面的法向；然后，通过震源波场的传播方向和反射界面的法向来计算入射角。以上这些计算所需的参数很容易在高斯束射线追踪的过程中获取。成像条件方面，我们基于常规四分量偏移的成像条件引入角度采样函数，将积分限制到想要的角度，从而实现角度域的成像。在实现角度域成像之后，我们可以从获得的结果中提取角道集。这一过程相当于从（距离，深度，角度）成像体中沿着某一特定距离获取（深度，角度）成像剖面。此外，稀疏采样和不规则的观测系统会引起偏移结果产生假象。在处理稀疏 OBS 数据时，我们可以对偏移算子施加基于地层倾角的限制以避免偏移画弧噪声的产生。

我们将该方法应用于合成 4C OBS 数据集，从而证明该方法可以实现准确的角度域成像，提取高质量的角道集。在角道集上也能明显观察到我们的 4C 方法消除检波点端鬼波的能力。

S70-P-3S

南海荔湾凹陷 OBS 测线速度建模与成像

刘雯[1]，刘玉柱[1,2*]，伍正[1]，张建明[1]，杨涛[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

我国南海地处亚欧板块、太平洋板块和印度-澳大利亚板块交汇处，地质作用和演化过程复杂，油气资源潜力很大。深水盆地是油气勘探的重要目标，虽然对于荔湾凹陷目前有了一定的地质认识，仍存在两个问题：（1）海底崎岖严重，地质地理条件复杂，严重影响了地震成像的质量；（2）荔湾凹陷是一个岩浆底辟改造过的残余盆地，由于受到过大型底辟和重力滑动等复杂动力作用改造，使得该凹陷的沉积结构变得十分复杂。因此目前迫切需要得到荔湾凹陷区域盆地尺度精细结构的认识。传统的拖缆海洋地震采集使用海面激发的气枪阵列作为震源，检波器布置于拖缆上在海面接收地震波，这样的采集方法无法提供地层深部层析成像所需的大偏移距，因此需要布置宽方位 OBS 整列来获取大偏移距地震资料。

本文使用的 OBS 与拖缆实际资料来自 2022 年于南海荔湾凹陷采集的长测线，测线总长度 340 千米，布置 OBS50 台，间隔 4 千米，海面放炮 6800 炮，拖缆和 OBS 同时采集。提取 OBS 资料中初至波走时、直达波走时和拖缆中反射波走时信息，基于层剥离方法，首先进行海水速度建模，然后进行地层初至走时层析建模地层速度，最后使用层析速度结果进行偏移成像。我们提出了一种基于 OBS 直达波走时和拖缆反射波走时的海水速度建模方法，在宽方位的 OBS 观测系统中，直达波可以提供的更宽的角度覆盖，能够提高反演的水平分辨率，得到更精确的海水速度分布。同时使用拖缆采集的海底反射波走时进行联合层析，能够补充 OBS 因为分布相对稀疏造成的部分区域照明不足，进一步提高海水速度精度。得到精确海水速度模型后，固定海水速度不变，进行了初至走时层析，获得地下速度分布。从层析速度模型可见荔湾凹陷盆地构造，盆地下方 10 千米处可见高速体，对应岩浆底辟作用。最后使用反演后的速度模型进行了 RTM，得到成像结果。成像与层析速度对应准确，可见明确的反射界面，易于拾取，以此为基础后续可以进行多层反射走时层析，进一步提高速度模型精确度。

本文基于层剥离层析的思想，先后进行了海水速度建模和地层速度建模，得到了南海荔湾凹陷区域的精确速度分布，然后进行了 RTM 成像得到成像结果。在海水建模部

分，本文提出了一种基于 OBS 直达波走时和拖缆反射波走时的海水速度建模方法，利用直达波的宽角度覆盖得到具有高水平分辨率的海水速度分布，同时使用拖缆采集的海底反射走时联合层析补充由 OBS 分布稀疏造成的照明不足。

S70-P-4S

OBS 多分量数据与拖缆数据联合全波形反演方法与其在南海深水区的应用

杨涛 [1]，刘玉柱 [1,2*]，杨积忠 [1,2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

近年来，世界重大油气发现 70%来自于大西洋两侧深水领域，全球海洋石油资源的 44%分布在深水区。所以，深水区的石油资源储备不容忽视，地震勘探走向深水、超深水是海洋油气勘探的一个重要趋势。面向油气勘探的 OBS 主动源多分量数据建模在浅海得到应用，深水区较少，超深水基本没有。相比传统拖缆采集方式，OBS 采集方式观测孔径大，穿透深度深，透射波发育，有利于重建深部宏观背景速度。但因采集成本昂贵，OBS 很难长距离密集布设。当采集密度过小，基于 OBS 数据的波形反演速度建模结果会受到观测脚印的影响，成像质量差。

拖缆是一种低成本、高密度的采集方式。本文结合 OBS 和拖缆数据的优势，提出一种 OBS 多分量数据与拖缆数据联合的多参数全波形反演方法。该方法不仅可以保留 OBS 数据在重建地下深部宏观背景速度的优势，而且引入的拖缆数据可以有效压制 OBS 的观测脚印。该方法测试了南海深水某工区 OBS 和拖缆联合采集数据，有效识别出游离气位置，改善了工区成像效果。

S70-P-5S

基于 SCHOLTE 波频散特性的海底横波速度反演

江佳萌 [1]，于鹏飞 [1*]

1 河海大学，海洋学院

* hhu_ypf@hhu.edu.cn

界面波的频散特性在估算浅海沉积物的横波速度 (V_S) 结构方面得到了广泛应用。与海洋转换体波勘测方法相比，由于海底 P-S 波转换系数较弱导致 P-S 波的信噪比低，海洋界面波具有更大优势。界面波频散曲线对 V_S 的敏感性是利用界面波反演 V_S 结构的前提和根本优势。在海洋环境中，沿着水–沉积物界面传播的界面波被称为 Scholte 波，它是 P 波和 SV 波耦合作用的结果。Scholte 波在物理特性上类似于陆地上的 Rayleigh 波，在一定的频率和波长条件下，两者可以相互转换。

目前 Scholte 波频散特性的研究大多集中在浅海环境，而深海环境占据了地球表面的绝大部分，具有丰富的油气资源和矿产资源。因此，深海 Scholte 波频散特性的研究对于深海资源勘探提供可靠的地质参数和定量信息具有重要意义。精确描述海底 Scholte 波传播特征对反演海底沉积物 V_S 结构至关重要，在本研究中，我们对深海 Scholte 波的频散特征进行分析，并进行了海底沉积物 V_S 结构反演。我们主要关注深水环境下海水声速随深度变化的情况，提出了海水分层的层状海水–海底 (Horizontal Layered Seawater–Seabed, HLSS) 模型，并基于该模型从以下几个方面展开研究：首先根据边界条件推导了 Scholte 波频散方程及振幅深度分布曲线，并分析深海环境对 Scholte 波频散特征的影响；其次通过波场数值模拟的方法，结合 MASWaves 软件的应用从模拟记录中提取频散曲线，并与理论计算结果进行对比验证。结果表明考虑海水速度变化对提高 V_S 反演的精度至关重要。然后，我们利用 Scholte 波的频散曲线进行了 V_S 反演。通过分析 Scholte 波数据，基于相关的

反演方法，重建深海海底的 V_S 剖面，为深海地质勘探和工程建设提供更加准确的地下介质信息。最后，通过与钻孔数据和其他地质信息的对比，验证 V_S 反演结果的准确性和可靠性。

S70-P-6S

基于 SIMSIAM 和 RNN 的海底地震数据重构

张嘉玮 [1]，于鹏飞 [1*]

1 河海大学，海洋学院

* hhu_ypf@hhu.edu.cn

海底地震数据的采集和记录通常在深海环境中进行。然而，深海环境因素可能会导致传感器性能下降、数据损失或噪声增加。另外，由于采样成本和技术限制，海底地震数据通常是稀疏的，这限制了对地下结构的准确分辨和细节解析。因此，海底地震记录数据的重构一直是地震资料处理中的重要方法。为了克服这些问题，本文提出了一种结合自监督对抗性训练下的简单自我表征学习 (SimplifiedSelf-ImitationLearningwithMI-matchedTransformations，SimSiam)和循环神经网络(RecurrentNeuralNetwork，RNN)的海底地震数据重构方法。SimSiam 是一种自监督学习方法，可用于数据的表示学习和特征提取。它通过最大化重构输入和原始输入的相似性来优化模型，在无监督设置下进行训练。通过使用 SimSiam 模型，我们可以将海底地震数据转换为更具信息丰富性和可解释性的表示形式，以更好地捕捉地下结构的特征和模式，提高重构过程中的特征提取和数据恢复准确性。本文的方法首先将海底地震数据输入 SimSiam 模型，通过编码器生成隐藏表示，并使用生成器模块进行重构，从而学习数据的特征表示。然后，将 SimSiam 提取的特征表示作为 RNN 模型的输入，通过学习地震信号的时序模式来重构数据。这样，海底地震数据可以转换为时间序列形式，以便使用 RNN 模型进行处理。最后，我们使用经过训练的 RNN 模型对海底地震数据进行重构。在重构过程中，本文将结合领域知识和实际情况对 SimSiam 和 RNN 模型的设计和参数进行调优和优化，以提高重构结果的质量和准确性。我们可以使用均方根误差和平均绝对误差等指标评估重构结果与真实地震数据之间的差异，并通过检查梯度变化和边界一致性来评估重构数据的平滑性和连贯性。这些评估方法可以帮助验证重构算法的有效性、准确性和可解释性，并指导模型的进一步改进和优化。

S70-P-7S

基于多层级的 SWIN TRANSFORMER 的海洋地震数据去噪方法

陈金新 [1]，陈国新 [1*]，李俊 [1]，齐宇力 [1]，高翎森 [1]，卢瑞宇 [1]

1 浙江大学，海洋学院

* zjucgx@zju.edu.cn

海洋地震勘探是获取海底地层和构造的主要手段，被广泛地使用在地质科学研究和工程任务之中。然而，随着勘探开发的程度的提高，勘探的目标逐渐地从浅层、简单的地质构造往向复杂的深层区域转移。因此勘探开发的难度也随之加大。同时，这些区域往往不利于地震波的激发和接收，导致采集的 OBS 数据中往往受到更强烈和更复杂的噪声的影响。近年来，深度学习方法以及被广泛的应用于地震噪声压制领域，但是现有的方法大多集中于针对合成数据的简单噪声假设，如高斯随机噪声、线性干扰等，针对更加复杂且更具有挑战性的多种噪声混叠的 OBS 实际地震数据的噪声压制方法研究进展还比较缓慢。

针对这个问题，本文基于网络结构和训练数据的构建提出了一种基于端到端的学习网络名为 MA-SCUNet 来进行实际噪声压

制，提高地震记录的信噪比。该网络采用主要有两个模块组成：1、本文将 Swin-Conv 块替换 Unet 的主要模块，集成合 Swin Transformer 模块的非局部建模能力和残差连接卷积层的局部建模能力，实现编码-解码结构的下采样和上采样。2、设计一种有效的多尺度特征融合跳跃连接方法 Channel Attention Block，代替了原始 Unet 编解码之间的特征进行简单叠加的跳跃连接，实现了对输入数据的多尺度融合。为了训练网络，我们根据实际记录的波形、振幅强弱等特征，构建相应的合成信号集，同时截取若干实际噪声一同构建数据集。我们注意到地震数据中的正值和负值同样重要，这与图像处理中通常采用全正值处理方法不同。因此，我们采用残差策略学习噪声的分布特征，并根据地震数据的特殊性，选择 ELU 作为激活函数，以保留神经元输出的负项。

在合成数据和 OBS 地震数据的数值实验表明，与传统方法和主流的神经网络方法相比，本文的方法能够有效的抑制地震资料的噪声，实现低频混叠复杂背景噪声下有效信号的高质量恢复，提升地震资料的信噪比。

S72-O-1

深海富稀土沉积物中 REE 赋存物相分步淋滤定量研究

孙晓明[1*]，廖健林[1]，陈洁云[1]

1 中山大学，中山大学

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

本研究得出以下几点新认识：（1）深海富稀土沉积物中几乎不存在离子吸附态稀土；（2）磷酸盐相控制了全岩沉积物稀土总量的 69.3–89.4%，而铁锰相矿物占 8.2–22.0%; (3) 70.0–80.5% Ce 赋存于铁锰相矿物之中，表明其在氧化条件下优先被铁锰氧化物吸附；（4）水成型微结核从周围流体中捕获较高浓度的稀土元素和钴、镍等关键金属，而快速沉淀的热液型结核则稀土富集程度较低；（5）除稀土元素之外，在溶解锰相矿物的步骤中还能提取可观数量的钴、镍等高价值关键金属; (6)深海富稀土沉积物的形成受到多重因素控制：水深低于碳酸钙补偿深度，以减少碳酸钙质生物壳体的稀释；极其缓慢的沉降速率；能保证磷酸盐供应的上覆水体生物体沉降；有利于铁锰氧化物的沉淀的氧化条件。

S72-O-2

深海成矿系统与成矿作用

石学法[1*]，任向文[1]，李兵[1]，符亚洲[2]，黄牧[1]，于淼[1]，毕东杰[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室，山东省深海矿产资源开发重点实验室，山东青岛，266061

2 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室，贵州贵阳 550002

* xfshi@fio.org.cn

深海蕴藏的金属矿产主要有：分布于深海盆地富含 Cu、Ni、Co、Mn 等元素的多金属结核，分布于海山、岛屿斜坡上富含 Co、Ni、Zn、Pb、Ce、Pt、REE 等元素的富钴结壳，分布于大洋中脊和弧后盆地扩张中心的富含 Cu、Fe、Zn、Pb 及贵金属 Au、Ag、Pt 等元素的海底热液硫化物，分布于深海盆地富含 REE 的深海稀土沉积。从全球构造角度来看，自大洋中脊-深海洋盆-海山-岛弧和弧后盆地，这些金属富集区在海底呈规律性展布。它们的成矿作用通过构造运动和流体活动（海水）有机地联系在一起，在成因上具有内在的联系，构成了一个复杂的海底多金属成矿系统。按其构造属性和成矿专属性可以划分为 4 类成矿系统：洋中脊热液成矿系统、深海盆地结核-稀土成矿系统、海山结壳成矿系统和岛弧-弧后盆地热液成矿系统。

从全球和区域尺度进行了海底金属成矿系统的对比研究，初步阐述了多金属结核、富钴结壳、热液硫化物、富稀土沉积的成矿地质背景、古海洋背景和时空分布规律，探讨了海底金属大规模成矿的内在机制和海

底金属矿化集中区形成规律及必然性。深海多金属矿产在空间的分布特征体现了系统固有的特点，即具有层次性和结构性。不仅表现在不同的金属矿床分属于不同的构造单元和沉积环境，而且各种类型的金属矿床之间往往形成连续的过渡系列。就成矿作用而言，结核、深海稀土、结壳构成了具有内在成因联系（水成作用-成岩作用）的成矿系列。在热液活动影响区，多金属结核、深海稀土和富钴结壳往往更多地受到热液活动的影响，形成了水成-热液的成矿系列。

多金属结核、富钴结壳和深海稀土主要产出于相对稳定的构造环境中，而扩张的构造环境则为热液硫化物的形成提供了必要成矿背景。金属富集区在洋底分布的规律性，可能是深部不均一性的表现，而表生金属富集区沿赤道呈带状展布，除与地质背景有关外，还受特殊的古气候古海洋、化学背景和高生物生产力控制。项目资助：国家自然科学基金项目（批准号：No.91858209）和中国大洋协会专项项目（批准号：DY135-R2-1-01）

S72-O-3

深海沉积物中稀土元素的 LIBS 原位探测方法研究

张鑫[1*]，杜增丰[1]，卢渊[2]，韩焱[1]，董建江[2]，曲政晓[2]，李洪壮[2]，田野[2]，栾振东[1]

1 中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋地质与环境重点实验室

2 中国海洋大学，物理与光电工程学院

* xzhang@qdio.ac.cn

深海富稀土沉积物的稀土资源量是陆地稀土资源量的 1000 多倍，具有重要的潜在应用价值和战略意义。深海富稀土沉积物的发现为稀土产业的发展提供了新机遇，开发深海稀土资源原位探测技术具有重要意义。现阶段，探寻深海沉积物稀土元素的常用方法，大多依赖于钻探获取柱状沉积物、岩芯样品、电视抓斗取样等，通过实验室的 X 射线衍射、放射检测和电感耦合等离子体质谱等方法进行分析，但由于取样后的实验室分析，检测周期长、时效性差，无法为深海稀土沉积物矿藏的勘探提供实时参考，实际应用中急需深海沉积物稀土元素的原位探测技术装备。到目前为止，深海沉积物稀土元素的原位探测仅有核方法一种，而且尚未见广泛应用。此外，该方法只能针对特定稀土元素，无法同时实现多类稀土元素的探测，并且较长的检测周期进一步限制了海洋的实际应用。

LIBS 技术是一种基于高功率脉冲激光与物质相互作用，击穿产生瞬态等离子体，通过研究等离子体的辐射光谱实现元素定性和定量分析的光谱技术。LIBS 技术具有无需样品预处理、多元素同时探测、设备及操作简单、检测速度快的特点，已被证明在深海原位探测方面有很大的应用潜力。针对深海沉积物中稀土元素的原位定量探测这一难题，作者的原位探测思路是通过淋滤将富稀土泥中的固态稀土元素转变为易于定量探测的溶解态形式，然后再通过 LIBS 技术在深海进行原位定量探测。作者首先在实验室内开展模拟研究，发现 2 mol/L 的硝酸，富稀土泥和硝酸的固液比为 1:2 时，对稀土元素的溶出效果最佳。在此基础上，基于 5 种深海富稀土沉积物标准物质（RZMS），进行了稀土元素 LIBS 光谱采集，建立了深海稀土元素 LIBS 特征峰的数据库，可望用于后期的深海勘探发现。在最佳探测参数（最佳探测延时为 300ns，最佳能量 20mJ，最佳聚焦方式为 20mm 短焦距非球面透镜）下，对 Yb I 398.79 nm、Eu I 459.40 nm、Eu II 412.97 nm 和 YO 616.51 nm 的检测限分别为 10.68ppm、20.24ppm、125.99ppm、28.84ppm。

以上结果表明了水下 LIBS 技术用于深海沉积物中稀土元素原位定量探测的可行性，基于 LIBS 技术的深海沉积物中稀土元素的原位定量探测样机研发，将在后续工作中进行。

S72-O-4

深海稀土成矿年代学研究

李登峰[1*]，孙晓明[1]，彭锦洲[1]

1 中山大学，海洋科学学院

* lidf3@mail.sysu.edu.cn

深海富稀土沉积物是近年来发现的一种富集中重稀土的新型海洋矿产资源。然而目前这类矿产资源缺乏精确的年代学和元素富集机制的系统研究，是深海稀土资源勘查亟待解决的理论础问题。深海富稀土沉积物成矿年代学能有效限定沉积速率等关键参数，揭示其与各地质事件之间的时间耦合关系；深海沉积物稀土富集机制能限定其在矿物中的元素地球化学行为，是稀土迁移富集的关键科学问题，均具有重要的研究意义。研究选取西太平洋典型富稀土沉积物远景区的 IODP 样品和我国调查采集的富稀土沉积物区样品为研究对象，建立了生物磷灰石 U-Pb 年代计，同时与 IODP 样品年龄框架进行校正，获得精确的稀土初始成矿时代。该研究得到了国家自然科学基金(NSFC)(42272066)资助，并申请使用了广州海洋地质调查局和国际大洋发现计划(IODP)提供的样品。生物磷灰石 U-Pb 年代学在中山大学海洋科学学院海洋沉积物地球化学实验室测试完成。

S72-O-5

深海富稀土沉积物地球化学分类及其成因指示

王樱静[1]，石学法[1*]，刘季花[1]，黄牧[1]，蔡亚春[2]，胡宁静[1]，朱爱美[1]，于淼[1]，毕东杰[1]

1 自然资源部第一海洋研究所

2 崂山实验室

* xfshi@fio.org.cn

碳酸盐补偿深度之下的深海沉积物按照 Fe/Mn 分为富稀土沉积物和非富稀土沉积物。富稀土沉积物按照 CaO/P2O5 进一步分为稀土元素富集沉积物和稀土元素稍富集沉积物。非富稀土沉积物按照 CaO/P2O5 进一步分为稀土元素稍贫沉积物和贫稀土元素沉积物。稀土元素富集沉积物形成于低沉积速率和高生物磷酸盐累积量沉积环境。稀土元素稍富集沉积物形成于低沉积速率和低生物磷酸盐累积量沉积环境。稀土元素稍贫沉积物形成于高生物磷酸盐累积量，高沉积速率的沉积环境。贫稀土元素沉积物形成于低生物磷酸盐累积量，高沉积速率的沉积环境。

S72-O-6

西太平洋深海沉积物中稀土元素的迁移机制及控制因素

黄菲[1,2]，付宇[1,2*]，李登峰[1,2]，彭锦洲[1,2]，何文韬[1,2]，李赛宇[1,2]，孙晓明[1,2,3]，何高文[4]

1 中山大学，海洋科学学院

2 广东省海洋资源与海岸工程重点实验室

3 中山大学，地球科学与工程学院

4 中国地质调查局广州海洋地质调查局 ，海洋矿产资源重点实验室

* fuyu26@mail.sysu.edu.cn

生物磷灰石和铁锰（氢）氧化物通常被认为是深海沉积物中重要的稀土元素和钇(REY)的载体。研究表明，REY 可以从铁锰氧化物的溶解中释放，并迁移到生物磷灰石中。然而，REY 从铁锰氧化物迁移到生物磷灰石的机制及过程尚不明确。为此，本文通过原位微区主微量元素分析及面扫技术，结合 Nd 同位素分析，报道了来自西北太平洋稀土富集区的结核与鱼牙共生的不同类型样品的地球化学数据，进一步解释着早期成岩阶段中深海富稀土沉积物中的迁移机制及控制因素。根据形貌及地球化学特征，可将样品对应划分为早期成岩阶段不同类型

的产物：I）铁锰结核完全包裹鱼牙；II）铁锰结核半包裹鱼牙。随着锰氧化物解吸作用的增强，铁锰结核中 REY 的含量从边缘到核心逐渐降低。这可能记录了早期成岩作用亚缺氧条件下 REY 由溶解的铁锰氧化物向生物磷灰石的迁移路径。结果显示：（1）生物磷灰石在早期成岩过程以吸附作用为主；（2）生物磷灰石在强成岩作用中以取代作用为主，部分自生磷灰石中的晶间孔隙在受到再结晶作用时闭合，导致 REY 的再分配和再分馏；（3）从 I 型到 II 型，生物磷灰石中的 εNd 的平均值从-6.69 增加到-5.56，表明 REY 主要来源于底水和孔隙水。本研究的发现有助于阐明 REY 在早期成岩过程中的运移机制和地球化学行为。本研究得到国家重点研发计划（2018YFA0702605）、国家自然科学基金（批准号：U2244222，42272066，92262304）以及广州市科技计划（批准号：202102020969）的共同资助。

S72-O-7

深海关键金属的资源潜力评价

任向文 [1,2*]，闫仕娟 [1]，石学法 [1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

2 崂山实验室，海洋地质实验室

* 15527152@qq.com

战略性关键金属指现今社会必需、安全供应存在高风险的稀有金属、稀土金属、稀散金属和部分其它金属（如 PEG、Cr、Co 等）。基于我国对关键金属的定义，可将我国深海关键金属定义为：国际海底区域固体矿产中富含的关键金属，这些金属具备被开发利用的可行性，并对保障我国关键金属供应链安全具有战略接续作用，可包括 Co、Ni、Mn、Cu、REEs，以及 Pt、Mo、Li、Te、W。本研究统计了上述 10 种金属 2018-2021 年 247 类（HS 编码）含金属商品进出口数据，估算了东太平洋结核（CCZ）、西太平洋结核(BPC)和西太平洋结壳(PCZ)年产 300 万吨矿址的资源潜力。基于 10 种金属进出口贸易、国内储量和深海铁锰矿床矿址资源量数据，从深海金属对国内金属的替代性、进口金属的替代性、金属的经济重要性和对外依存度四个方面，对 10 种金属在多金属结核中的资源潜力进行了评估。综合评价结果显示，（1）2021 年，钴湿法冶炼中间产品、其他钴锍及冶炼钴时所得的中间产品及粉末、钴矿砂及其精矿年进口量（折合金属后）共计 99.4kt，PCZ 5.0 个矿址，或 CCZ 15.8 个矿址，或 BPC 7.4 个矿址，可替代 2021 年中国进口量。（2）2021 年，镍铁、镍矿砂及其精矿、其他未锻轧非合金镍（折合金属后）共计 951kt，PCZ 75 个矿址，或 CCZ 24 个矿址，或 BPC 72 个矿址，可替代 2021 年中国进口量。（3）PCZ 的 5.0 个矿址，或 CCZ 的 4.0 个矿址，或 BPC 的 5.7 个矿址，可替代 2021 年中国的 Mn 金属进口量。（4）2021 年，三项含铜商品进口量为 10580kt，相当于 CCZ 一个矿址 Cu 年产量的 329 倍，估计需要约 88 个合同区,现有 C-C 区结核无法保障中国三项含铜商品进口。（5）10 种深海关键金属的重要性依次为 Co、Ni、Mn、Cu、REEs、Pt、Mo、Li、Te 和 W。

S72-O-8

西北印度洋海底风暴观测研究

陈坚 [1,2*]，李云海 [1,2]，李东义 [1,2]，王亮 [1,2]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋与海岸地质研究室

2 福建省海洋物理与地质过程重点实验室

* chenjian@tio.org.cn

根据 2020 年 12 月至 2022 年 2 月布放在西北印度洋卡尔斯伯格脊南侧，水深 3450 米处的海底三脚架和距底 207 米的近底锚系上的 ADV、ADP 及其声散射强度 DSI 数据，在 14 个月的观测期间近底海流可以划分为平静期和活跃期两种类型，其中平静期流速

一般在 5cm/s 以内，流速朝向西北方向为主；活跃期流速发生明显的增大，可以超过 10cm/s 的，达到对海底新沉积物的临界起动流速，发生次数有 12 次，持续时间在 12-33 天不等，一般 16 天居多，发生的近底厚度至少达到海底面以上 207 米。活跃期有几次出现浊度明显增大现象，即该活跃期出现了海底风暴现象。近底观测的水温和活跃期发生近于同步的升高，发生的季节主要出现在冬季和夏季，春季相对平静。近底流速功率谱分析，海底急流发生的周期除了有与潮汐有关的 12.4 小时和 23.9 小时以外，还出现了 65.6 小时、102.4 小时、12.5 天和 28.5 天的低频振荡。初步研究认为海底发生急流与冬夏季强烈的印度季风影响下，上层海水频繁出现的海表旋涡有关。

S72-O-9

皮加费塔海盆多金属结核成矿响应于南极冰盖演化

邓贤泽 [1]，王海峰 [1*]，何高文 [1]，邓希光 [1]，杨永 [1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

* dengxianze137@163.com

多金属结核因富含钴、镍等元素，具有极高经济价值，成为保障未来钴、镍资源安全的重中之重(Glasby et al., 2007; Kuhn et al., 2017)。2012 年，首次在西太平洋皮加费塔海盆发现了高丰度的球状结核，其具有低反射率纹层、柱状结构，主要矿物是水羟锰矿，Mn/Fe 比值较低，属于水成结核，其成矿过程受到南极底流影响(Deng et al., 2021; Ren et al., 2022)。南极底流是南极表层水在南极冰架下冷冻形成的，海冰形成而令表层水密度升高，富氧的高密度表层水沿冰架下沉至南极大陆架底部，并向北流经大西洋、太平洋、印度洋(Pei et al., 2021)。笔者推测，南极冰盖的扩张与融化、南极底流演化与皮加费塔海盆多金属结核的成矿过程在地球系统尺度应该是相互耦合的。为了厘清南极冰盖与皮加费塔海盆多金属结核的耦合关系，本文通过 Os 同位素-铁锰通量经验公式联用确定了皮加费塔海盆多金属结核的成矿年代学，利用扫描电镜(SEM)、电子探针(EPMA)、激光剥蚀电感耦合质谱仪（LA-ICP-MS）分析了多金属结核的显微结构和化学成分，试图揭示南极冰盖的扩张、融化对西太平洋多金属结核成矿的制约作用。

笔者通过显微观察将皮加费塔海盆多金属结核由内而外划分为 4 个生长世代、3 期沉积间断。通过 Os 同位素-铁锰通量经验公式联合定年，确定初始成核时代~34Ma，三期沉积间断分别为>25Ma、13.8~18.3Ma、3.4~3.7Ma。有趣的是，多金属结核初始成核、再生长事件与南极冰盖扩张时代吻合，停止生长事件与全球暖期临近。此外，多金属结核中指示南底流氧化还原条件的 Mn/Fe 比值和 U 含量同步变化，与南极冰盖冰量准差相互耦合。多金属结核中 Mg/Ca 比值与南极冰盖演化相互耦合。上述证据表明南极冰盖的扩张、融化影响了南极底流的强度与氧含量，南极底流进一步控制了西太平洋皮加费塔海盆多金属结核的成矿与化学成分。西太平洋皮加费塔海盆多金属结核成矿作用响应于南极冰盖演化，可以为研究南极冰盖演化提供长时间尺度的沉积记录。

S72-O-10

太平洋多金属结核与周围沉积物细菌群落结构及成矿作用

何心怡 [1,2]，李小虎 [1,2*]

1 上海交通大学，海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所，海底科学实验室

* xhli@sio.org.cn

多金属结核广泛分布于太平洋海底，富含多种金属元素，具有极高经济价值。多金属结核的成矿过程受多种因素影响，其中生

物作用受到广泛关注。本研究基于东、西太平洋结核及其周围沉积物样品，利用 16S 全长测序技术对其细菌群落结构进行分析，发掘成矿菌种，同时利用扫描电镜（SEM）和能谱仪（EDS）探究结核内生物活动，为认识结核内生物成矿作用提供新的证据。研究共获得 38269 条序列，分属于 33 个门，鉴定到 68 个纲，121 个目，118 个科，108 个属以及 29 个种。变形菌门（Proteobacteria）占据主导地位，其中 γ-纲为优势纲。结核与沉积物之间存在各自特有种属：如 Ulvibacter 只在 ESB 中存在，未在 ENBt 中检出；Filomicrobium 只在 ENBt 中存在，未在 ESB 中检出；盐单胞菌属（Halomonas）、wb1-A12、Blastocatella 和 IS-44 只在 WSA 中检出，螺旋菌属（Leptospirillum）只在 WNAt 中检出。可明确的菌种均来自变形菌门的 α-和 γ-纲，分属于盐单胞菌属、食烷菌属（Alcanivorax）、Moritella、假交替单胞菌属（Pseudoalteromonas）、Jannaschia、Roseovarius、Halopseudomonas 和慢生根瘤菌属（Bradyrhizobium），其中多个细菌能通过自身代谢运输与氧化锰离子。在结核中记录了各种生物形态与微化石，主要有微球结构、球体细菌、纤维结构、胞外聚合物（Extracellular Polymeric Substance, EPS）、放射状生物骨骼、环状生物骨骼等。EDS 分析显示矿化生物标志多为表面富集铁、锰等金属元素的细菌、微球或环状结构、EPS、伪晶等。微球结构和球形细菌簇可能通过形成微结核进一步成矿。生物成矿作用与机制假说丰富了结核形成成因，有利于后续发掘成矿功能基因、解释更多菌种与矿物作用类型，进而为开发大洋结核资源提供理论依据。

S72-O-11

SAINT HELENA 地幔柱对南大西洋中脊热液成矿作用的影响

张侠 [1*]

1 青岛海洋科技中心，深海多学科交叉研究中心

* xzhang4@qnlm.ac

大量海底热液活动分布于热点附近，暗示着地幔柱组分可能会对其成矿作用过程造成影响。然而，前人的研究却并未关注到这一问题。德音热液区位于南大西洋中脊 15°附近，有证据表明其岩浆源区组成受到了 Saint Helena 地幔柱来源组分的影响。由于岩浆作用与热液系统密不可分，该区岩浆源区中地幔柱来源物质势必会对其上覆热液系统造成影响。因此，德音热液区是研究地幔柱组分对海底热液成矿系统影响的理想场所。本文通过黄铁矿微区元素组成，硫化物原位 Pb 及 He-Ar 同位素组成，对该区硫化物成矿物质来源进行了探讨，在此基础上揭示了 Saint Helena 地幔柱组分在德音热液区成矿作用中发挥的重要作用。相对于正常洋中脊硫化物，德音热液区黄铁矿具有明显升高的 Ba/Co 比值，可能反映了地幔柱来源物质的影响。该区硫化物原位 Pb 同位素组成与受地幔柱影响的玄武岩一致，而与不含地幔柱组分的南大西洋中脊玄武岩存在显著差异，表明地幔柱组分可能间接对该区硫化物贡献了部分 Pb（及其他亲铜元素）。此外，硫化物 He 同位素组成同样支持地幔柱来源物质的贡献。Pb-He 同位素混合计算表明，地幔柱组分约占该区硫化物成矿物质来源的 3%。除德音热液区外，在全球范围内，已经在热液附近发现了大量的热液喷口，我们认为，地幔柱对热液系统的贡献可能是一个普遍过程。本研究对加深水圈-岩石圈相互作用及现代海底热液成矿作用理论具有重要意义。

S72-P-1

西太平洋嘉偕平顶山群海岛演化沉积环境特征

韦振权 [1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* wei_zhenquan@163.com

通过对浅剖资料综合解释和对深海浅钻取样获得的基岩的详细分析，建立了嘉偕平顶山群的沉积地层格架，了解了嘉偕平顶山群富钴结壳合同区内的基岩类型和平面分布特征。重点对沉积环境具有重要指示意义的生物礁灰岩和鲕粒的进行了详细研究，结合多波束地形资料和大洋钻探结果综合分析，探讨嘉偕平顶山群海岛演化阶段的沉积环境特征。

研究表明，维嘉海山沉积盖层可分为 3 套：1）早白垩世晚期-晚白垩世沉积，岩石主要包括生物礁灰岩、内碎屑灰岩、灰泥等；2）古新世-始新世沉积，缺失渐新世沉积，早期古新世岩石类以鲕粒灰岩、内碎屑灰岩、生物礁灰岩为主，这一时期有晚期岩浆侵入喷发作用；晚期始新世以固结有孔虫灰岩为主，局部发育礁灰岩；3）中新世-第四纪沉积，主要为钙质远洋沉积有孔虫软泥。

维嘉和维偕平顶海山自山顶至坡度发育钙质远洋沉积、灰岩、火山碎屑沉积和重力滑塌沉积。钙质远洋沉积主要发育在海山山顶及山顶边缘，平均厚度为 32m，最大厚度为 120m；维嘉平顶海山山顶存在三个沉积中心，最大沉积厚度均大于 100m。火山碎屑沉积主要发育于山顶边缘和斜坡上部。在维嘉平顶海山四周均发育重力滑塌区，发育规模不等的岩崩角砾和碎屑流沉积。

嘉偕平顶山群发现大量生物礁灰岩和鲕粒灰岩，指示该海山群平顶区域在演化历史上曾出露海平面或者位于海平面附近，形成岛礁。在海山的海岛演化时期，维嘉海山平顶边缘为多个台地边缘礁所围限，在其内部局部区域形成了半封闭的泄湖，发育泄湖相灰泥沉积；在维嘉平顶山的平顶边缘发育众多水道，导致这些区域发育潮下高能浅水环境沉积物的成岩产物——鲕粒灰岩；在海山平顶钙质远洋沉积物覆盖区域发现多个刺穿沉积层的火山构造，指示海山主体形成后再次发生岩浆侵入和喷发活动，古新世时期发育的生物礁灰岩和鲕粒灰岩可能与晚期岩浆活动造成海山隆升有关。

S72-P-2

浅地层剖面数据在海底稀土矿产资源勘查中的应用

马金凤 [1,2,3*]，任江波 [1,2,3]，曾凡祥 [1]，何高文 [1,2,3]

1 GMGS,GMGS

2 1.自然资源部海底矿产资源重点实验室，广州海洋地质调查局，广东广州, 510075，自然资源部海底矿产资源重点实验室

3 2.南方海洋科学与工程广东省实验室（广州），广东广州, 511458，南方海洋科学与工程广东省实验室

* guai99@163.com

利用深水声学探测手段可以快速实现海底矿产资源区的圈定，在少量采样数据、AUV 海底影像的辅助下能够进行勘测区域矿产储量的评估，具有极大的经济效益，但目前对海底矿产资源的声学回波属性尚无深入研究，缺少一套声学响应分析的方法，限制了疑似矿产资源区的快速圈定。为此，课题组在浅地层声呐数据处理的基础上，提取了浅地层剖面数据的回波属性、图像纹理属性、提出了联合振幅/相位的精细层界提取方法、提出了相对衰减因子这一指标用于基于浅剖数据的底质分类，并深入研究了深水浅地层声学回波响应机制，利用稳健方法下提取的品质因子，并辅以各类声学响应属性，进行了海底矿产资源浅地层声学响应的机制分析。

S72-P-3

西菲律宾海中央裂谷带铁锰结核、结壳地球化学特征及成因

周娇 [1,2*]，杨楚鹏 [1,2]，蔡鹏捷 [3]，刘松锋 [1,2]，聂鑫 [1,2]

1 自然资源部海底矿产资源重点实验室，中国地质调查局广州海洋地质调查局
2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心
3 南京大学，地球科学与工程学院
* 18680286843@qq.com

我国学者从上世纪八十年代开始，陆续在东太平洋 CC 区、中太平洋麦哲伦海山、西太平洋帕里西维拉海盆和马里亚纳海脊等开展铁锰结核结壳研究，利用地球化学、矿物学和微观构造等手段取得了一定的成因认识。但关于西菲律宾海地区的铁锰结核/结壳的研究相对较少，本文基于西菲律宾海中央断裂带铁锰结核与结壳的矿物学、微量稀土元素与 Be 同位素测年，明确该区铁锰结核与结壳的地球化学特征并进一步揭示其成因，为该区铁锰结核与结壳的研究与勘查工作提供基础。

X 射线粉末衍射分析结果显示，铁锰结核早期矿物组分主要含有斜长石、石英、云母、水羟锰矿、钙长石、高岭石、绿泥石等矿物，晚期仅有斜长石、石英、水羟锰矿。铁锰结壳早期矿物组分主要有斜长石、石英、水羟锰矿等矿物，晚期除了斜长石、石英、水羟锰矿还具有钙锰矿。地球化学结果显示，结壳的 Mn/Fe 为 0.96~3.97，Co+Ni+Cu 含量在 4499~6324ppm，富集稀土元素，具有显著的正 Ce 异常和负 Y 异常；结核的 Mn/Fe 为 0.90~1.52，Co+Ni+Cu 含量在 1617~9549ppm，结核近核部的稀土含量相对较低，具有显著的正 Ce 异常和负 Y 异常。基于结核与结壳的 ^{10}Be 比活度与层厚计算，指示结核与结壳的增生始于中新世中期(9.32~12.03Ma)，结壳略早于结核形成，两者的生长速率分别为 2.26 mm/Ma 与 2.5mm/Ma。综合研究区结核与结壳的生长速率、矿物学、结构和化学特征，指示结核与结壳形成主要受控于水成作用，其中结核的生长早期 8.88~3.95Ma 与 3.95~1.70Ma 两阶段同时受到了热液作用的影响。最终建立了研究区铁锰结核、结壳晚中新世以来生长模式图。

S72-P-4

面向多金属结核资源评价的大数据挖掘与融合技术探索

李维禄 [1*]

1 国家海洋信息中心
* liweilu@nmdis.org.cn

深海多金属结核因其富含铜、钴、镍、锰、稀土和铂族等关键金属元素，是一种具有潜在经济价值的战略性矿产资源，其空间分布和资源潜力预测评价是海洋地球科学研究的热点。受常规评价数据和传统资源评价方法的限制，难以实现多源异构数据的整体空间相关性考虑和复杂非线性空间分布模式的刻画，基于大数据分析方法开展多源异构资源评价信息的挖掘分析和集成融合是提高多金属结核资源预测评价精度和效率的必经之路。对此，探索性开展多金属结核矿产地质模型知识谱系、基于数据科学的成矿特征信息挖掘、基于大数据空间决策的融合集成，以及多金属结核资源定量评价对比验证，创新性分析挖掘常规/非常规资源评价数据及其与矿床的相关关系，构建符合地质约束的大数据空间决策支持推理模型，为深海矿产资源评价提供基于大数据分析的技术解决途径。

S72-P-5

基于聚类分析的西太平洋粘土矿物分布特征研究

舒雨婷 [1*]，刘志杰 [1]，孔敏 [1]，余佳 [1]，李维禄 [1]，田先德 [1]

1 国家海洋信息中心
* 307640163@qq.com

运用数据挖掘技术中的 Q 型聚类因子分析，对西太平洋 1200 个表层粘土矿物数据进行聚类，研究分析了西太平洋粘土矿物

的组成及分布特征，揭示其蕴含的环境意义和物源信息。结果表明，聚类的结果与物源对研究区的贡献有明显对应关系，能够有效的反应出不同来源的粘土矿物分布特征。粘土矿物数据共分为 3 类，I 类粘土矿物组合为伊利石-蒙皂石-绿泥石-高岭石，II 类和 III 类粘土矿物组合均为蒙皂石-伊利石-绿泥石-高岭石。但 II 类粘土矿物组合中以蒙皂石、伊利石含量为主，均值分别为 51%和 32%；III 类粘土矿物组合中以蒙皂石含量为主，均值为 72%，远高于研究区平均值，其他粘土矿物含量均较少。

I 类区域沉积物主要是受到长期风尘输入的影响，伊利石含量最高，但在近陆地区域同样受到了海流输送的陆源影响，高岭石含量明显较高。III 类区域主要位于帕劳海脊，个别位于西马里亚纳海脊，该区域粘土矿物主要来源于火山物质的输入，大量蒙皂石的输入冲淡了其它其他粘土矿物的含量。II 区为 I 区和 III 的过度区域，风尘、陆源和火山物质的输入对其均有一定影响。

S72-P-6

西太平洋麦哲伦海山群富钴结壳微区年代地层学及古海洋学

刘实佳 [1,2*]，王海峰 [1,2,3]，易亮 [3]，祝幼华 [4]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，大洋和极地研究所

2 自然资源部海底矿产资源重点实验室

3 同济大学，海洋与地球科学学院

4 中国科学院南京地质古生物研究所

* sjliu2020@163.com

西太平洋 ME 海山富钴结壳岩石切片进行高分辨率扫描电镜结果显示，钙质超微化石或印模不仅存在于填充金属氧化物基质间隙的碳酸盐和磷酸盐中，也存在于 Fe-Mn 氧化物基质本身中。基于对基质中钙质超微化石的生物地层学分析，可获得关于每个金属氧化物单元的沉积古生物学信息并确定其沉积年龄。同时，结合原位微区古地磁极性测试，获取结壳样品的古地磁年龄控制点，通过对比古地磁年代表和钙质超微化石的化石带，建立结壳样品的高精度年代地层学剖面，重建影响西太平洋富钴结壳生长的古海洋学条件。钙质超微化石的生命活动与气候冷暖、洋面升降、碳酸盐补偿深度、大洋水动力均有着密切关系。

由于结壳以极低的速率从海水中吸附 Co、Ni、REE 等微量元素富集成矿，厚结壳的微纹层提供了从白垩纪晚期以来在太平洋海山上沉积的完整记录，反映的古海洋事件可以与同期世界范围内重大地质事件作对比。通过从垂直和水平方向剥离岩石探针薄片，对每个金属氧化物单元沉积层进行原位微区同位素分析，每个层面的矿物学和化学成分变化通常反映了海洋环境在不同时期的演变，包括生物生产力的提高、最小氧气带（OMZ）的扩大、大量生物碳酸盐的产生、相对较高的 CCD 和较高的碳酸钙溶解速率等。麦哲伦海山区的底层流发育强度不仅是控制结壳生长的根本因素，还是决定结壳生长水动力条件的主要因素。冷的富氧南极底层水不仅为结壳的形成提供了良好的氧化环境，而且造成广阔的区域性的沉积间断，从而为结壳提供了生长场所。

S72-P-7

西南印度洋中脊#26 段区域地质特征及其对超慢速扩张脊超热液活动的启示

董振 [1,2,3]，梁锦 [2*]，曹志敏 [3]，贺惠忠 [1]，陈亮 [1]，吕修亚 [1]，孙金烨 [4]

1 自然资源部南海调查中心，海洋环境探测技术与应用重点实验室

2 自然资源部第二海洋研究所，海底科学重点实验室

3 中国海洋大学，海洋地球科学学院

4 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* kamleung@aliyun.com

超慢扩张洋中脊具有形成大型海底热液活动的潜力（Tao et al. 2012）。由于缺少详细和准确的洋中脊扩张中心区域地质特征，制约了目前洋中脊地区海底热液活动的勘探和开发（Murton et al. 2019）。本文基于西南印度洋中脊#26 段（Cannat et al. 1999）获得了舰载多波束与深拖摄像照相数据，采用了系统的海底地形地貌和基底地质特征的识别与分类方法（Klischies et al. 2019）。研究结果表明该区域存在4处海底热液异常区，其分布特征与局部火山和构造作用存在密切关系。其中，HN2 和 HN4 热液异常区主要沿裂谷两侧原生火山构造分布。而 HN1 热液异常区主要与离轴区域发育的次生火山构造有关，如环型构造系统当中残余火山口的岩浆作用再活化。本区域内存在的 4 处热液异常可能受到西南印度洋中脊#27 段近期的岩浆作用增强事件影响，并且可能与洋中脊区域局部岩浆作用和后期构造再活化作用有关（Tao et al. 2020）。因此，西南印度洋中脊的斜向扩张段或非转换不连续带地区可能发育有广泛的海底热液活动和大型海底多金属硫化物矿床。

S72-P-8

南大西洋中脊洵美矿化区微构造识别及对成矿的制约

李兵[1,2*]，李传顺[1,2]，叶俊[1,2]，王赛[1,2]，党院[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 山东省深海矿产资源开发重点实验室

* bli@fio.org.cn

南大西洋中脊26°S附近的洵美矿化区，是目前在该洋脊发现的最大的硫化物矿化区，包括 7 处矿化点。大洋 52 航次对该矿化区开展了 AUV 测量，获得了高精度的测深数据，为开展局部微构造环境识别提供了依据。综合 AUV 测深数据与硫化物产出位置信息，在洵美海丘判别出 4 类硫化物产出的微构造环境：

（1）“线性火山脊”末端（Type I），在洵美海丘西侧，线性火山建造的南部末端，该构造环境下断续发育有硫化物矿点，洵美 1 号是此类局部环境下产出，该类环境下热液活动较为少见，其控制构造可能为同岩浆断裂。

（2）活跃的岩浆丘体高地的斜坡（Type II），位于洵美海丘内部裂谷中。硫化物呈断续发育，洵美 2 号和 3 号矿化点均是产出该构造位置，其中洵美 3 号发育热液喷口，说明底部仍然有可以维持热液循环的热源，这类环境在新火山脊热液区上常见，主要是受到岩浆构造的冷却裂缝控制。

（3）内部裂谷的裂谷壁（Type III），主要集中在类似洋中脊正常对称性扩张的东侧，该位置发育地堑式断裂带，洵美 5 号和 6 号矿化点产自该构造位置，其中靠近脊轴的 5 号矿化点发育热液喷口，这类构造环境与北大西洋 TAG、Logatchev 等区环境相似，受到边界断裂的控制。

（4）岩浆建造间的“撕裂带”（Type IV），位于内部裂谷的火山锥与西侧离轴岩浆建造之间的地带，属于少见的构造环境，而洵美区最大的矿点洵美4号矿化点就是发育在这个环境中，此外，较老的洵美 7 号矿化点也是在这个环境中。

四类微构造环境中，Type IV 较特殊。裂谷内火山锥可能是本应该随着海底扩张而移动到西侧离轴位置，但是由于其他原因未能移动。其地貌学的证据：（1）内部裂谷的火山锥与西侧离轴岩浆建造区之间，存在地形上的空缺，而这个空缺面积正好与火山锥相似；（2）在火山锥与西侧岩浆区之间发育硫化物堆积区，而这个堆积区整体呈现串珠状，同时可见少量的火山建造，类似拉张环境下的撕裂轨迹。持续的拉张环境下，没有足够的岩浆进行充分补给，导致撕裂带的形成，而撕裂带下部为丰富的裂隙，为热液成矿提供了流体通道，目前看来，该撕裂过程形成时间较长，导致洵美 4 号矿化点，也是洵美区面积最大的矿化点的产出。

S72-P-9

西太平洋深海富稀土沉积年代学研究

毕东杰[1,2]，石学法[1,2*]，黄牧[1,2]，于淼[1,2]，刘建兴[1,2]，沈芳宇[1,2]，刘季花[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 崂山实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* xfshi@fio.org.cn

深海富稀土沉积地层年代学研究是深海稀土成矿作用相关研究的关键基础。西太平洋深海富稀土沉积发育层位较深，主要位于海底之下~2m 以深层段（Bi 等，2021）；同时，深海富稀土沉积沉积速率极低，主要发育于碳酸盐补偿深度（CCD）以下的深水盆地，且缺乏有孔虫等钙质组分（石学法等，2021；Bi 等，2021）。西太平洋深海富稀土沉积上述特征造成许多测年手段均不适用，准确建立其地层年代格架成为困扰学术界的一大难题。

本研究选取西太平洋 1 个站位典型深海沉积物钻孔岩心（水深 5097 m，长度 3.12 m）为研究对象，综合使用古地磁测年、铀系测年和放射性 ^{10}Be 测年的方法准确建立了该钻孔岩心地层年代格架。结果显示，该站岩心上、下部沉积物沉积速率存在明显变化，表现为明显的“二段式”特征。其中，以~175 cm（~1.1 Ma）为界，上部沉积物沉积连续，且沉积速率较高，为 167 cm/Ma；下部沉积物沉积间断广泛发育，沉积速率极低，为 12.5 cm/Ma。此外，马里亚纳海沟沉积物也表现出非常相似的沉积速率变化特征（Yi 等，2020）。可见，研究区沉积物在~1.1 Ma 沉积速率的剧烈变化的控制因素应该为区域性（或全球性）事件。西太平洋深海富稀土沉积形成于~1.8 Ma 之前的低沉积速率期，指示低沉积速率是深海稀土发育的必要条件。研究区极富稀土沉积发育时间（~11.5 Ma~9.5 Ma）与全球性构造事件—巴拿马深水水道关闭事件具有非常好的一致性（O’Dea et al., 2016; Tian et al., 2018），推测巴拿马水道深海关闭造成的南极绕极深层水加强（Ling et al., 1997; Kirillova et al., 2019），可能是控制深海富稀土沉积，尤其是极富稀土沉积发育的重要控制因素。综合分析认为，低沉积速率是深海稀土富集的必要条件，强底流活动可能是深海稀土富集的重要控制因素。

S72-P-10S

印度洋沃顿海盆深海沉积物中稀土元素的迁移和富集机制

李佳[1,2]，石学法[1*]，黄牧[1]，于淼[1]，毕东杰[1]，沈芳宇[1]，胡倩男[1,2]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与地球物理研究室

2 山东科技大学，地球科学与工程学院

* xuefashi@fio.org.cn

以印度洋沃顿海盆富 REY 沉积物 GC34 为研究对象，分析沉积物岩心的矿物学和地球化学特征。GC34 主要沉积物类型为硅质远洋粘土、远洋粘土、沸石粘土和含沸石粘土。ΣREY 在沸石粘土中含量最高，在硅质远洋粘土中最低。ΣREY 与 CaO 与 P_2O_5 均有显著的正相关关系，尤其是在 REY 含量较高的样品中。单矿物原位微区分析表明，生物磷灰石是 REYs 最主要的赋存矿物（ΣREY 最大值为 27457.43 μg/g、平均值为 6351.13 μg/g）。此外，REY 与 Fe_2O_3、MnO 之间也具有较好的相关性，表明微结核是 REYs 重要的赋存矿物（ΣREY 最大值为 8900.28 μg/g、平均值为 2956.28 μg/g）。全岩沉积物和生物磷灰石稀土元素 PAAS 标准化配分模式表现出 Ce 负异常，M-HREYs 富集，继承了海水的 REYs 模式，表明海水和孔隙水是深海沉积物中 REYs 的主要来源。

结合全岩沉积物、生物磷灰石和铁锰微结核中 LREE、MREE 和 HREY 的分馏特征，以及 ΣREY、δCe 和 MREE/MREE*随深度的变化特征，分析深海沉积物中 REYs 的迁移和富集机制。研究认为，深海沉积物中 REYs 的迁移和富集主要发生在两个阶段：（I）沉积物-水界面和浅层沉积物初次富集，Fe-Mn 微结核和生物磷灰石直接从环境溶液中吸附和/或替换 REYs，导致 REYs 在生物磷灰石和微结核中初步富集。（II）深层沉积物中 REYs 的二次富集，由于生物磷灰石经历复杂的解吸、再吸附过程和微结核的释放过程，导致生物磷灰石中 LREE 和 MREE 亏损，HREY 富集，ΣREY 相对恒定，深层沉积物中微结核中 REYs 整体亏损。根据上述 REYs 迁移和富集过程，建立深海沉积物 REYs 迁移富集模式。

S72-P-11

鱼牙核心结核中的稀土元素迁移及其对深海稀土成矿的指示

沈芳宇[1]，石学法[1*]，毕东杰[1]，黄牧[1]，于淼[1]，李佳[1,2]，张艳[1]

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 山东科技大学，地球科学与工程学院

* xfshi@fio.org.cn

深海富稀土沉积物（深海稀土）自发现以来受到了世界的广泛关注，具有成为陆地稀土替代资源的潜力。近年来，人们针对深海沉积物中稀土元素（REE）的赋存矿物开展了很多研究，发现稀土元素主要富集在生物磷灰石（鱼牙）中，其次是铁锰微结核。然而，关于其中稀土元素的来源和迁移、富集机制尚缺乏足够认识。本研究以位于西太平洋 Marcus-Wake 海山群的一个具有鱼牙核心的铁锰结核为主要研究对象，对其开展了岩相学分析、矿物定量面扫分析（TIMA）及原位微区主、微量元素含量测试，结合收集的已发表数据，揭示了该铁锰结核的成因，分析了结核中的铁锰（氢）氧化物与核心部分鱼牙之间的元素迁移，并探讨了深海沉积物中稀土元素可能的富集机制及其对深海稀土成矿的指示意义。

研究发现，该铁锰结核的核心鱼牙部分仅釉质被保留，牙质部分被铁锰（氢）氧化物所充填。地球化学结果表明，结核外部的铁锰（氢）氧化物为水成成因，具有较高的稀土元素总含量（∑REE），而充填在牙质内的铁锰（氢）氧化物 Mn/Fe 比值更高，有早期成岩作用的影响，∑REE 略低。结合已发表的深海结核数据，我们发现，随着成岩作用的进行，铁锰（氢）氧化物中的稀土元素被释放，过程中伴随着轻重稀土的分异。同时，元素定量面扫和微区原位分析结果发现，相对“封闭”的牙釉质内部元素分布不均一，REE 和 Na 含量均由内向外递减，指示铁锰（氢）氧化物成岩过程释放的 REE 通过离子替换的方式进入牙釉质。对比深海富稀土沉积物中的生物磷灰石和铁锰微结核数据，我们认为铁锰微结核早期成岩作用对于生物磷灰石中稀土元素的超常富集起到重要作用。

S72-P-12

西太平洋中中新世气候转型的沉积记录

王海峰[1,2*]，邓希光[1]，易亮[2]，何高文[1]

1 广州海洋地质调查局

2 同济大学

* wanghaifeng112@163.com

中中新世气候转型（MMCT）是一次深刻的全球降温事件，对理解全球变暖向降温的气候转变具有重要意义。笔者调查了一个年代久远的沉积物岩心 GC18，以揭示西太平洋沉积过程与 MMCT 期间全球气候变化之间的潜在联系。主要结果如下：（1）综合自生 10Be/9Be 定年、磁性地层学和天文调

谐，GC18 岩心的定年主要发生在 11-15Ma，沉积速率为 0.5-2mm/kyr；（2） 沉积物岩心地球化学化学扫描获得的元素有十种，包括 Al、Si、P、Ca、Sr、Mn、Fe、Ti、Ni 和 Ba，这些元素可以聚为四组，分别代表了不同的沉积物源环境变迁；（3） 确定的四组可作为风成尘埃（Al 和 Si）、生物碎屑（P、Ca 和 Sr）、深海氧化还原变化（Mn、Fe、Ti 和 Ni）和海洋生产力（Ba）的替代物。基于这些结果，我们发现所有提到的四个过程都以偏心周期为特征，这表明轨道强迫在 MMCT 过程中起着主导作用。综合而言，西太平洋的沉积档案记录了中新世中期各种气候过程之间的相互作用，值得进一步研究。

S72-P-13S

海底铁锰结壳对铂族元素超常富集机制

李政坤 [1]，孙晓明 [1,2*]，李登峰 [2*]，梁咏嘉 [2]，李赛宇 [2]，彭锦洲 [2]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 中山大学，海洋科学学院

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

* lidf3@mail.sysu.edu.cn

最近的几项研究报告了铂和海洋铁锰氧化物中的含铁矿物之间的强烈联系。然而，由于这些铁锰氧化物中的 Pt 丰度较低（数百 ppb），研究难度大，铁锰氧化物中 Pt 富集的机制和控制因素尚不清楚。六方纤铁矿（Feroxyhyte）是海洋铁锰氧化物的重要组成部分，被认为在铂的富集中起着重要作用。本研究使用六方纤铁矿作为海洋铁锰氧化物中铁矿物的代表，研究 Pt 在水-六方纤铁矿表面界面的吸附行为和分子尺度吸附机制。本研究采用了多种离子盐参与下的 Pt 吸附/解吸实验和 X 射线吸收精细结构（XAFS）分析法来开展研究。吸附/解吸实验结果表明，磷酸盐、铵盐和低 pH 环境会抑制六方纤铁矿上 Pt 的富集。Pt-L_{III} 边 XAFS 分析表明，Pt 在六方纤铁矿表面被氧化，将 Pt(II) 转化为 $Pt(IV)(OH)_6^{2-}$。综合实验结果，本研究提出了六方纤铁矿富集铂的机理假说。$Pt(II)Cl_4^{2-}$被认为是海水中 Pt 的主要形式。由 $PtCl_4^{2-}$水解产生的 $PtCl_n(OH)_{(4-n)}^{2-}$通过脱水缩合吸附到六方纤铁矿表面，然后在六方纤铁矿的催化下，被氧气氧化为 $Pt(IV)(OH)_6^{2-}$。我们的结果阐明了 Pt 在六方纤铁矿上吸附和固定的分子尺度机制，并为 Pt 的地球化学行为提供了见解。

S73-O-1

基于 OBS2021 测线的西南次海盆深部结构初探

姚永坚 [1,2]，张佳政 [3*]，黎雨晗 [4]，王利杰 [1,2]，赵明辉 [3]，徐子英 [1,2]，朱荣伟 [1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 自然资源部海底矿产资源重点实验室

3 中国科学院南海海洋研究所

4 德国亥姆霍兹基尔海洋研究中心

* jzzhang@scas.ac.cn

针对西南次海盆在慢速扩张过程中地壳结构及性质如何变化？洋壳增生方式与岩浆供应量的关系如何？等关键科学问题，2021 年 7-8 月，搭载广州海洋地质调查局“海洋地质十二号”船，在南海西南次海盆残留扩张脊中段的东侧成功完成了一条跨海盆的二维 OBS 深地震探测长剖面（OBS2021），实验总共投放 30 台 OBS，最终成功回收 28 台，使用了四种类型的 OBS，包括 18 台法国 MicroOBS、3 台德国 GeoproOBS、6 台德国 GeosynOBS 和 3 台国产 IMF-OBS，海上放炮数量达到 3612 炮，放炮时间间隔~60 s，放炮测线长~540 km，OBS 采样率为 2 ms，采集了 4 通道数据（包括水听器、水平分量 X、水平分量 Y 和垂直分量 Z）。为了能够兼顾探测范围足够广、目标区分辨率足够高但 OBS 数量又有限的问题，采用 OBS 站位不等间距分布，在推测的薄洋壳区将 OBS 间距设置 8 km，残留

洋中脊附近 OBS 间距设置 15 km，测线两端靠近洋陆过渡带 OBS 间距设置 20 km。实验使用的震源为总容量 6400 in3 的 BOLT 气枪枪阵，布放深度为 8~10 m，由于在枪阵上安装了 DGPS 接收器，后期无需对炮点进行位置校正。我们利用 Seismic Unix 软件包对 OBS 记录的原始数据进行了滤波、增益等可视化处理，最终生成了 28 台 OBS 的综合地震记录剖面。初步分析发现，四种类型 OBS 均能够记录到清晰的直达水波（dw）、沉积层折射波（Ps）、基底反射波（PsP）、地壳折射波（Pg）、地幔折射波（Pn）及 Moho 面反射波（PmP）。通过对比分析不同 OBS 台站记录的地震数据，其数据集具有两个显著特点：一是单个台站的走时拟合结果良好，成像反演结果得到了深达地幔的速度信息。另一个特点，靠近洋陆过渡带的 OBS 记录震相最远偏移距能够达到上百公里，但是洋盆区的 OBS 最远偏移距通常五六十公里；在残留扩张中心两侧震相特征不同，其东南侧震相的最远偏移距明显远于西北侧。这些现象揭示了西南次海盆不同构造位置地壳属性的差异性，即洋陆过渡带地壳结构明显不同于洋盆区，而且洋盆东南侧的地壳结构也不同于洋盆西北侧。

S73-O-2

南海西北次海盆共轭陆缘张-破裂特征与机制

曾程辉[1,2]，孙珍[1*]，张翠梅[1]，赵中贤[1]，郑金云[3]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

* zhensun@scsio.ac.cn

大洋钻探（IODP）和深部地球物理探测证实南海北部陆缘不同于贫、富岩浆型陆缘，属于中度岩浆型陆缘。因此基于南海北部陆缘研究中度岩浆型陆缘的典型结构并建立伸展-破裂模型，对认识洋陆转换方式和机制具有重要理论意义。而南海西北部陆缘在岩浆量、断裂样式、地壳结构等方面与中北部、东北部陆缘具有明显差异，针对其伸展变形和薄化破裂的研究仍然存在诸多争议，这限制了对南海陆缘和中度岩浆型陆缘结构的全面认知。

我们对横跨西北次海盆共轭陆缘和大陆天折裂谷的 7 条多道地震剖面开展沉积-断层-地壳结构的分析，计算断层活动速率与地壳拉伸系数，探讨西北部陆缘同张裂期岩浆活动、地壳变形与破裂过程，取得以下认识：（1）西北部陆缘早期（55-38.6 Ma）断层活动速率可达 150-500 m/Myr，同张裂期沉积呈楔状；晚期（38.6-33 Ma）断层活动速率下降 30%-50%，同张裂期沉积更加均厚。从早期到晚期，陆缘地壳韧性变形成分占比增加；（2）垂直陆缘走向，从陆架到上陆坡，脆韧转换带与上下地壳分界面深度相近；从下陆坡到洋陆过渡带（COT），断层数量与位移距明显减少，脆韧转换带抬升至地壳浅层（5-10 km），推测 COT 大部分地壳韧性变形；（3）平行陆缘走向，大陆天折裂谷自西向东~90 km 距离由初步伸展变为临界破裂，断层水平位移距占比从 18%逐渐增加 55%。而 COT 自西向东~90 km 距离断层水平位移距占比从 30%减小 5%；（4）根据同张裂期沉积掀斜、削截特征，推测西北部陆缘岩浆侵位发生在~38 Ma 时期，岩浆侵位促进陆缘地壳在该时期韧性变形成分占比增加。岩浆自陆架向洋盆呈增多趋势，促进陆缘地壳脆韧转换带逐渐抬升；（5）在海底扩张开始初期（1-2 Myr），COT 地壳将发生以韧性为主导的伸展变形，断层面逐渐旋转躺平，水平位移距占比降低，COT 区域不断变宽（从~30 km 增加至~75 km）并形成新的可容空间，沉积物不断充填形成共轭前积反射；（6）西北部陆缘上、下地壳拉伸系数在共轭洋陆过渡带区域具有一致的增加趋势（从 2-3 增加至 4-6），大陆天折裂谷临界破裂时刻的结构和初始海底扩张的共轭陆缘结构均受控于相向的铲式断层，我们认为西北部陆缘以纯剪切方式发生破裂，并且破裂后的洋陆过渡带韧性伸展过程仍然

对称，因此洋盆两侧洋陆过渡带（单侧 30-35 km）和沉积层前积反射（单侧~20 km）具有一致宽度。

S73-O-3

矿物颗粒动态演化对贫岩浆型裂谷边缘洋-陆过渡带地幔岩出露的控制作用

刘仲兰 [1*]，王元 [1]

1 吉林大学，地球科学学院

* zliu1991@jlu.edu.cn

贫岩浆型裂谷是一种重要的岩石圈伸展模式，以发育超过 100 公里宽的洋-陆过渡带为主要特征。在洋-陆过渡带，地幔直接出露地表与海水发生强烈的水-岩反应，影响了全球氢-氧元素的循环(Liu et al., 2023)。但是，地幔岩出露地表的动力学过程还存在较大争议。多道地震深反射等观测资料推断倾向相互交切的拆离断层作用（flip-flop detachment, 以下简称拆离断层）是贫岩浆环境下地幔出露的主要机制（Reston and McDermott, 2011; Sauter et al., 2013）。然而，考虑了断层下盘挠曲过程的理论计算(Buck, 1993; Olive and Behn, 2014)认为贫岩浆环境下的较厚岩石圈（Schlindwein and Schmid, 2016; Chen et al., 2023）不利于拆离断层的发育。

本文推断矿物颗粒减小对岩石圈强度弱化作用是控制较厚岩石圈环境下发育拆离断层的重要过程。为此，我们将关联矿物颗粒大小与应力及应变速率的经验公式 Paleowattmeters (Austin and Evans, 2007)耦合到高精度的二维热力学数值模型中，以探讨橄榄石粒度在岩石圈伸展过程中的动态演化以及其对拆离断层发育的影响。

包含矿物颗粒动态演化的数值模型在洋陆过渡带形成了与观测吻合的拆离断层模式。数值试验表明，变形过程中矿物颗粒减小导致的变形机制转变（从位错蠕变向扩散蠕变转变）和有效粘度的降低有利于韧性应变集中，促进了脆性变形发育。通过分析扩张速率、热液循环冷却强度以及能量分配系数（决定机械能中用来减小矿物颗粒的比值）等参数对结果的影响，数值试验进一步证明，除了岩石圈厚度（强度）之外，韧性变形带内应变集中的速率也是控制拆离断层发育的重要控制因素。只有当能量分配系数适中，韧性变形带以中等的速率弱化，与观测相吻合的拆离断层才能发育。选取合理的岩石圈温度、下地壳强度等参数，包含矿物颗粒动态演化的数值模拟结果在断块尺度上（～5km）与西伊比利亚-纽芬兰裂谷边缘吻合较好。

S73-O-4

南海中央海盆渐新世末洋脊跃迁前后洋壳结构特征及构造意义

王利杰 [1*]，孙珍 [2]，路允乾 [1]，张宝金 [1]，刘玉萍 [1]，耿明会 [1]，张如伟 [1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国科学院南海海洋研究所

* wlje12345@163.com

渐新世末，洋脊跃迁是南海重大构造变革事件，造成了陆缘盆地大规模结束断陷，并开始发育多个大型深水沉积盆地。洋壳结构记录了洋脊跃迁前后岩浆活动和构造变化，对认识洋壳增生过程和洋脊跃迁的动力学机制具有重要意义。本研究基于大量地球物理资料，系统获取了中央海盆北部渐新世末（25-23.6 Ma）废弃洋脊（17°N）及跃迁前后洋壳结构。结果显示，废弃洋中脊具有明显的分段性，被近 2 条近南北和北北西-南南东走向不连续的转换断层分割，且呈现出不同的洋壳结构特征。西段（117°以西），洋壳跃迁前和残留洋脊区域，基底相对平坦、Moho 反射清晰连续，且基底呈现小幅度隆升，与不同学者使用磁异常条带识别的残留

洋脊位置基本一致。跃迁后洋壳基底同扩张断裂相对发育，基底起伏较大，发育埋藏的N65°同扩张断块，与磁异常条带斜交。残留洋脊处地壳厚度较跃迁前、后地壳呈现明显增厚现象，表明跃迁时西段岩浆供给相对充足，与快速洋脊特征类似。中段（117°至118°附近），洋脊跃迁前、后均发育大量同扩张断块，且断块走向由跃迁前 N70 °转变为跃迁厚度N60°。跃迁后基底相对其他区域发生明显隆升，推测可能与马尼拉俯冲形成的挠曲有关。另外，中段区 Moho 反射跃迁前可连续追踪，跃迁后洋壳变得零星、少量可识别，地壳厚度变化较大，表明中段洋脊跃迁时岩浆供给量相对少，与慢速扩张洋脊类似。东段（118°附近至马尼拉海沟），地壳呈现明显向海沟倾斜，跃迁前基底相对平坦，厚度小。后期洋壳发育大规模海山，残留洋脊和扩张后地壳厚度变化较大。

深反射地震上，在跃迁前 C8(25Ma)至废弃洋脊区域识别了大量下地壳反射。与前人识别的不同，这些下地壳反射呈现网格状相互交叉的特征。在垂直扩张方向测线上，呈现不同角度向洋反射和向陆反射。在平行扩张方向测线呈现，向海沟（东）和向西不同反射反射，呈现不同角度。下地壳反射往残留洋脊和东部区方向减少到基本不发育的现象，这表明下地壳反射可能指示远离洋脊复杂的构造、岩浆和热液作用的结果，可能与洋脊跃迁关系不大。而跃迁前后地壳结构和下地壳反射的时空变化，渐新世末的洋脊跃迁可能与周缘应力场的转换诱发因素有关。

S73-O-5

不对称大陆张裂控制不对称的洋脊扩张

卓木林[1]，廖杰[1,2,3*]

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室

* liaojie5@mail.sysu.edu.cn

大陆张裂到海底扩张是一个连续过程；大陆张裂样式往往会影响后期的洋脊扩张过程。南海海盆的南北陆缘存在显著的不对称性，北部陆缘具有更宽、更薄的大陆边缘，其伸展程度明显高于南部陆缘。与之相对应的是，南海洋脊扩张也呈现出显著的不对称，其中洋脊北侧的洋壳厚度大于南侧。我们推测南海陆缘张裂的不对称性可能控制了洋脊扩张的不对称性。为了检验这一想法，以及探讨背后的机制，我们应用二维热-力学耦合的地球动力学数值模型，系统模拟大陆张裂对洋脊扩张的影响作用。模拟结果揭示：（1）岩石圈不对称的大陆张裂能够控制不对称的洋脊扩张，在强烈减薄的大陆边缘一侧出现了厚洋壳；这与观测到的南海北部陆缘强烈减薄以及洋脊北侧的厚洋壳一致。（2）不对称大陆张裂原因是：裂陷初期弱上地幔与地壳变形解耦，形成多剪切带，后期软流圈地幔上涌使变形集中，形成不对称张裂。（3）不对称洋脊扩张的原因是继承了不对称的陆缘张裂：在强烈减薄的大陆边缘一侧，上涌的软流圈地幔抬升了上地幔温度，促进了岩浆发育，导致洋壳厚度大于另一侧。我们的动力学数值模拟实验揭示了大陆张裂对洋脊不对称扩张的控制作用，为解释大陆边缘与大洋地质观测提供新视角。

S73-O-6

南大西洋中段桑托斯盆地构造、地壳结构与岩浆活动----一种新类型的中间型被动陆缘

高金尉[1*]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，深海地球物理与资源研究室

* gaojw@idsse.ac.cn

大西洋共轭被动陆缘通常被分为端元类型的贫岩浆型和富岩浆型。南大西洋可以划分为北段、中段和南段，两侧陆缘因其构造作用不同而具有独特的特征：北段由于走滑作用而形成转换陆缘，南段则因为地幔柱作用而发育具有明显向海倾反射层（SDR）的富岩浆型被动陆缘。然而，南大西洋中段被动陆缘受强烈的斜向拉张作用和南段地幔柱的影响，其构造变形、沉积、地壳结构和岩浆活动特征在走向上有所变化，与端元类型的被动陆缘也明显不同。桑托斯盆地位于南大西洋中段、巴西东南部，靠近南大西洋南段富岩浆型被动陆缘，地理位置特殊且极为富含油气。本研究利用穿过桑托斯盆地的多条长电缆多道地震反射剖面、三维地震反射数据和钻测井资料，结合卫星重磁数据和重震联合模拟，对桑托斯盆地所在被动陆缘的构造、地壳结构和岩浆活动进行详细刻画，厘定了该陆缘近端带到洋陆过渡带的特征，揭示了该被动陆缘的类型。研究发现：（1）桑托斯盆地所在陆缘发育超长的高度-极度减薄陆壳，最长可超过 600km，基底被铲式正断层密集切割，形成了一系列地垒地堑系统；（2）近端带（Proximal domain）地壳未发生明显减薄，地壳上部可能由张裂早期具有向海倾反射层（SDR）特征的溢流玄武岩构成，断裂构造不明显；（3）颈缩带（Necking zone）向陆一侧地壳有明显减薄，向海一侧发育向海倾的掀斜断块；（4）远端带（Distal domain）地壳极度减薄，以垒堑构造为特征；（5）洋陆过渡带（COT）地震反射特征杂乱，且具有高磁高重的特征，未发现拆离断层和向海倾反射层（SDR）；（6）钻测井和三维地震数据显示，该陆缘颈缩带和远端带发育多期次裂谷期溢流玄武岩，这些溢流玄武岩顶、底界为强振幅、连续反射特征，内部为近平行、弱-中振幅、不连续至较连续的反射特征，与裂谷期碎屑岩和碳酸盐岩沉积没有明显差异。结果表明，桑托斯盆地所在陆缘既没有发育明显的大型拆离断层也没有在颈缩带至洋陆过渡带发现向海倾反射层；而是具有超长的减薄陆壳、独特的掀斜断块-垒堑构造系统以及具有杂乱反射特征的或者近平行、弱-中振幅、不连续至较连续反射特征的多期次裂谷期岩浆活动，显示桑托斯盆地所在陆缘为一种新类型的中间型被动陆缘，可称之为多岩浆型被动陆缘 （pliomagnatic passive margin）。上述结果表明大西洋也发育中间型被动陆缘，丰富和补充了被动大陆边缘类型的划分。

S73-O-7

南海后扩张期大陆边缘闭合过程及成因机制

解习农[1*]，任建业[1]，姚永坚[2]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* xnxie@cug.edu.cn

南海南部沙捞越运动开启了南部陆缘微地块多幕碰撞的闭合过程，早中新世末沙巴运动终结了南海扩张，直到中中新世末民都洛运动，导致古南海消亡和南部陆缘全部闭合，随后南海东缘的洋-弧俯冲促使南海部分洋壳俯冲消亡于菲律宾海板块之下，这样构成了从南部陆缘到东部边缘逐渐关闭的半封闭边缘海。本文通过构造变革界面识别、褶皱冲断带同期及后期沉积记录等方面的系统研究来揭示南海南部和东部陆缘在南海后扩张期的演化历程。研究表明南海南部和东部边缘经历了多个微板块从俯冲到碰撞的演变历程，由于南海周缘板块边界条件差异，形成了陆-陆碰撞、弧-陆碰撞、洋-弧俯冲等多个特征迥异的板块边界。南海南部陆缘属于古南海俯冲拖曳构造区，婆罗洲西北沙捞越-曾母地块率先碰撞，随后经历了婆罗洲东北沙巴-南沙地块碰撞、西南巴拉望-卡加延岛弧碰撞。中中新世以来，沙巴运动和民都洛运动导致南部多个微板块碰撞和古南海呈剪刀式从西向东逐渐关闭和消亡，总体形成了以微地块碰撞、深海槽发育和造山带前缘巨厚沉积充填为特色的南部碰撞陆缘。东部陆缘属于菲律宾俯冲-碰撞构造区，南海东部洋壳自中新世开始向菲律宾海板块俯冲，但直到中中新世末在民都

洛一带率先出现弧-陆碰撞，向北直到上新世在台湾地区出现弧-陆碰撞，东部边缘早-中中新世以洋壳消亡为特征，导致南海几乎一半洋壳淹没在菲律宾海板块之下，弧-陆碰撞仅局限于东部陆缘南北两端，且随着菲律宾海板块进一步斜向俯冲，导致台湾岛上新世以来强烈褶皱和快速隆升。澳洲-印度板块、菲律宾海板块与欧亚板块相互作用控制了南海边缘海闭合过程，南海正在进行的关闭过程主要集中在东缘和南缘，东缘呈现了以南海洋壳消亡为特征的闭合过程，而南缘则呈现以微陆块碰撞为特征的古南海闭合过程。因此，南部后扩张期陆缘演变可为边缘海闭合过程研究提供极佳的范例，同时对国家海洋权益保护和南海大陆边缘动力学研究具有重要意义。

S73-O-8

南海高铝玄武岩的岩石学成因及其对南海打开相关岩浆过程的启示

王巍[1]，田丽艳[2*]

1 中国地质科学院，深地科学与探测技术实验室

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* lytian@sidsse.ac.cn

近年来，国际大洋发现计划（IODP）在我国南海北部陆缘开展了一系列钻探航次。这些科学航次获取的信息推翻了南海属于贫岩浆型陆缘的早期观点，为研究南海的生命史提供了重要约束。然而，对于南海早期由陆地向海洋的快速转变能否得到地球化学和岩石学数据的支持，以及这一过程是否与板块俯冲或地幔柱活动有关，仍然存在争议。针对上述争议科学问题，本研究通过IODP 航次在南海扩张早期洋盆（U1500 站位）和成熟洋盆（U1503 站位）获取的玄武岩进行全岩主、微量地球化学及斜长石矿物主量元素研究，并结合前人发表的南海扩张后期古扩张中心玄武岩的地球化学数据，以系统研究南海盆地演化所伴随的岩浆作用过程。研究结果表明，南海各站位玄武岩总体上表现出比全球洋中脊玄武岩更高的 Al 含量，特别是在低 MgO 含量下，这与现代岛弧玄武岩特征相似。然而，这些高 Al 玄武岩具有复杂的岩石学成因。例如，部分 U1503 站位玄武岩形成于富水地幔低程度的部分熔融，而其他站位玄武岩，包括 U1500 站位，更多受到斜长石堆晶作用的影响。此外，U1503 站位富水岩浆在微量元素特征上表现出强烈的俯冲信号，且俯冲信号随着 Al 含量的增加而增加。结合南海及其邻区复杂的构造背景以及前人建立的多种构造－地球物理模型，我们推测 U1503 站位玄武岩可能是古南海向北俯冲地幔楔部分熔融的产物。由此可见，南海的打开可能更多地受到了古南海向北俯冲的重要影响，而非地幔柱活动。此外，U1500 站位玄武岩中斜长石矿物 An 值随岩浆铝含量的增加而显著增加的特征，表明斜长石漂浮机制不能用来解释其斜长石的堆晶。我们认为 U1500 站位玄武岩中过量的斜长石矿物堆晶需要寄主岩浆的快速上升，这一结论支持了南海初始扩张时发生过快速的裂谷拉张和强烈的岩浆活动。

S73-O-9

南海大陆边缘同张裂期岩浆活动的数值模拟研究

李付成[1*]，孙珍[1]，杨宏峰[2]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋重点实验室

2 香港中文大学

* lfc@scsio.ac.cn

贫岩浆型与富岩浆型大陆边缘在传统意义上的界限有时不那么清晰，如在很多贫岩浆型大陆边缘经常会发现大量的同张裂期岩浆物质，前人常会把这种情况归为“intermediate cases”，如何去理解他们是地质界一直争论的话题。针对这类陆缘的工作多

基于地震剖面的解释，然而缺乏定量去讨论它们的控制因素以及演化路径。我们尝试以地球动力学模拟为手段，以南海陆缘为例，研究贫岩浆型大陆边缘在张-破裂时的岩浆活动。我们的研究发现，地壳的部分熔融在张裂环境下同样会出现，而且壳幔的破裂顺序是主要的控制因素，它们决定了地壳在受热时，何时能达到固液线。部分熔融在位置上会先出现在陆内，然后向陆缘传播，这样会导致岩浆的年龄由陆向海变年轻；熔融体在形态上会呈现出带状分布，基本平行于 Moho 面。同时我们发现熔融体的分布与减薄地壳存在对应关系，基本以 20km 为界。上述发现，与南海同张裂期岩浆的位置和年龄变化有很好的对比关系。

S73-O-10

我国自主研发“海豚”漂浮式海洋地震仪首次海上试验结果分析

刘博文 [1,2]，牛雄伟 [1*]，李家彪 [1]，丁巍伟 [1]，朱心科 [1]，汪贞杰 [3]

1 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

2 中国地质大学（武汉），海洋学院

3 浙江省地震局

* xwniu@sio.org.cn

漂浮式海洋地震仪是新型天然地震观测设备，将补充海洋区域的地震观测，完善全球深部结构成像。自然资源部第二海洋研究所在部专项和科技部重点研发计划的资助下，自主研发了一款漂浮式海洋地震仪，并命名为“海豚”地震仪。“海豚”地震仪携带的宽频带水听器在水深 1000 m 处开展数据采集，采样时间间隔为 0.02 s，频带宽度为 0.1 Hz-2 kHz。实现了准实时数据传输，周期式上浮或地震触发式上浮到水面，通过卫星传输回国内实验室。本研究基于 2021 年 2 台“海豚”地震仪和 2022 年 5 台“海豚”地震仪在南海北部海试期间采集的地震数据及仪器位置信息，对数据进行了格式转换、时间漂移校正、位置校正、水中走时校正、带通滤波等处理，获得了如下初步认识：（1）识别出清晰的 6 级以上地震 49 次，震中距为 500-8800 km；5-6 级地震 24 次，震中距为 550-2800 km；4-5 级地震 3 次，震中距 680-830 km，P 波到时与使用格林函数合成的 P 波到时结果一致，验证了“海豚”地震仪有较好的数据质量；（2）使用双差法获得了中国南海北部相对速度异常结构，结果显示地壳厚度相对较薄和沉积层相对较厚的区域表现为低速异常，与南海北部的地震反射剖面和地震折射剖面的结果基本一致，初步认为较厚的沉积层和较薄的地壳是导致研究区出现低速异常的原因。

S73-O-11

南海北部陆缘岩浆侵入沉积地层的热模拟研究

赵芳 [1*]，夏少红 [1]，范朝焰 [1]，曹敬贺 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* fzhao@scsio.ac.cn

岩浆侵入到富含有机质的沉积地层中易发生接触热变质作用并加速有机质的成熟，引发的地层变形和热流体活动等伴生构造广泛存在于岩浆活跃的沉积盆地，其独特的地质特征、形成演化机制以及环境资源效应等方面引起了国内外研究者的广泛兴趣。本研究利用一维热模型(Silli 1.0)，数值模拟了南海东北部陆缘丘状热液喷口下部一个大型岩床复合体侵位到富有机质的三叠纪地层中产生的热效应变化及流体释放量。热模型中岩床复合体的厚度设置为 100m，宽度为 25km，侵位温度设置为 1100℃，侵位深度为 3.8 km。同时，热模型也综合考虑了组成岩床复合体的岩床数量、单个岩床的厚度变化以及区域地层侵蚀事件对模拟结果的影响。当岩床复合体的规模设置为 2500

km^3 时，侵位后变质带内 CH4 的释放峰值约为 17.5 Mt CH_4/yr。在岩床侵位后的 10000 年内，围岩变质带内可产生约 42-550 Mt CH_4。由此，模拟结果支持了这些丘状热液喷口是由深部岩浆侵入体的接触变质作用释放的流体和热量驱动形成的。本研究揭示了岩浆侵入沉积地层引发的超压流体是驱动沉积层流体活动的重要诱因，明确了深部岩浆活动对驱动盆地尺度的流体活动的重要作用。

S73-O-12

琼东南盆地岩石圈非均一伸展破裂过程的热-流变学响应

李朝阳 [1*]，姜效典 [2]，赵俐红 [1]，宫伟 [2]，支鹏遥 [1]

1 山东科技大学，地球科学与工程学院

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* lichaoyang@sdust.edu.cn

大陆边缘作为地球壳幔物质循环、盆地裂陷沉降、地震与火山活动等地质作用最为密集的场所之一，其伸展张裂模式和动力机制是“威尔逊旋回”的重要基石，也是板块构造理论的关键组成部分（李家彪, 2011; 汪品先, 2020; 丁巍伟, 2021）。南海是西太平洋地区面积最大的边缘海，夹持于太平洋构造域和特提斯构造域两大超级汇聚带之间，俯冲带海量的物质输入诱发了深部地幔上涌，不同于经典的“大西洋模式”，南海岩浆作用具有“先贫后富”和“东强西弱”的双重特征，海盆由东向西非对称递进式扩张，岩石圈伸展破裂过程也具有明显的东西差异（姚伯初等, 1994; 李家彪等, 2012; 李春峰等, 2020; 林间等, 2020; Zhu et al., 2022）。琼东南盆地位于南海岩浆作用由东向西减弱的关键衔接区，印支板块侧向挤出和南海海盆扩展两大应力系统也在此地激烈交锋，深刻影响了盆地构造-岩浆演化过程，塑造了盆地内独特的“东西分块”构造格局（Zhang et al., 2013; Lei et al., 2021; 孙珍, 2022）。因此，解析琼东南盆地“东西分块”构造格局的成因机制，是研究南海陆缘岩石圈非均一伸展破裂理论的重要切入点。

本研究在多道地震反射剖面和 OBS 地震剖面的约束下，反演岩石圈密度结构和热-流变结构，厘定了下地壳高密度体空间展布特征，识别了岩石圈流变结构类型和壳幔耦合模式，为探究南海北部岩石圈非均一破裂机制提供了热-流变学依据。综合分析，我们得出如下认识：（1）琼东南盆地岩石圈密度结构普遍受控于地幔上隆底侵，特别是乐东凹陷、陵水凹陷和西沙海槽等强烈减薄区，下地壳、上地幔均表现出异于正常地壳的高密度值，最高可达 2.96 g/cm3 和 3.40 g/cm3。（2）不同于琼东南盆地西部乐东凹陷和陵水凹陷的“三明治-1”（JS-1）型流变结构类型，西沙海槽更接近完全破裂，局部地区下地壳已经完全脆化，拆离断层深达莫霍面，表现出类似于洋壳的“三明治-2”（JS-2）型流变结构类型。（3）琼东南盆地东部在地幔上隆底侵范围、岩浆活动强度、高密度异常值、断层切割深度等方面均强于琼东南盆地西部，显示了太平洋板块俯冲对盆地岩浆-构造活动的主导作用。由此诱发的深部地幔横向流动，可能是促使琼东南盆地东、西部岩石圈差异性构造形变的必要条件之一。

S73-P-1

南海北部洋-陆边界深部结构与大陆岩石圈破裂

李春峰 [1,2*]，彭希 [3]，宋陶然 [4]，宛晓莉 [5]，侯文爱 [1]，温永林 [1]，李亚清 [1]，刘宇涛 [1]，唐福贵 [1]

1 浙江大学，海洋科学系

2 浙江大学，海南研究院

3 浙江海洋大学，海洋科学与技术学院

4 海南热带海洋学院，海洋科学技术学院

5 同济大学，海洋与地球科学学院

* cfli@zju.edu.cn

南海从大陆破裂到大洋扩张的演化 过程中经历了复杂的岩石圈伸展、地幔抬升与减压熔融、地幔蛇纹岩化等复杂过程。本文介绍精细反射地震、折射地震、重磁综合分析、大洋钻探、数值模拟等手段对南海北部洋-陆边界复杂地质过程的刻画，阐述相关地球动力学过程与新认识。南海北部的洋-陆边界一般与自由空间重力异常的正-负值过渡位置对应，而更加准确地限定需要结合反射、折射地震资料.稳定大洋岩石圈生成与大陆岩石圈最终破裂之间的洋-陆过渡边界的位置比以往认为的还应往深海盆方向移动.洋-陆过渡带代表了远端带构造作用减弱和岩浆作用逐渐增强的区域.陆坡地壳发育扩张后岩浆底侵、洋-陆过渡带发育同破裂期岩浆喷出结构和侵入反射体.在中生代的古俯冲带弧前区域，新生代的断裂沿着早期的构造开始活动，岩石圈多处发生强烈的共轭韧性剪切作用.随着大陆岩石圈的进一步拉伸减薄，部分靠陆一侧的裂谷中心停止张裂，成为夭折裂谷，以台西南盆地南部凹陷、白云凹陷、西沙海槽为代表，而南海陆缘异常伸展和最终破裂的地方集中在南侧裂谷中心。夭折裂谷下亦发现地幔蛇纹石化，进一步反映了较弱的同破裂岩浆活动。南海初始洋壳的增生沿着大陆边缘走向具有显著的变化，南海东北部洋-陆过渡带下伏地幔明显抬升和部分蛇纹石化，地震纵、横波速度以及折射波衰减特征都支持此观点，反映南海东北部是一个贫岩浆型大陆边缘。未来，南海北部洋-陆过渡带有望成为南海“莫霍钻”的理想备选钻探区。

S73-P-2S

南海洋脊跃迁深部速度结构特征与机制探讨

全余杰[1,2]，关慧心[1]，赵明辉[1,2*]，张佳政[1]，贺恩远[1]，程锦辉[1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* mhzhao@scsio.ac.cn

洋脊跃迁作为海底扩张过程中的普遍现象，其广泛存在于各大洋和边缘海演化历程。同时南海作为西太平洋最大的边缘海之一，其深受欧亚板块、印度-澳大利亚板块、太平洋板块的相互作用，其复杂演化过程已被前人在磁异常研究中所证实，同时也表明南海存在洋脊跃迁现象（Barckhausen et al., 2014; Li et al., 2014; Guan et al., 2021）。南海复杂的演化过程在不同扩张时期增生的洋壳结构表现出怎样的差异性？作为南海海底扩张的重要地质现象，洋脊跃迁的研究主要使用磁异常和浅部的地质结构来分析，对于地壳深部结构研究很少，对于洋脊跃迁在深部结构有着怎样的表现形式，其跃迁的机制也不得而知。

本研究将基于 OBS2021-1 深地震探测测线下方的地壳速度结构对南海北部 20-29 Ma 洋壳以及南海 25 Ma 洋脊跃迁的深部结构和成因机制进行全方面研究。测线数据充分记录了多种带有深部速度信息的 P 波震相（地壳折射震相 Pg、地幔折射震相 Pn、莫霍面反射震相 PmP），这对我们最终的速度结构可以进行充分的约束。使用 RayInvr 正演软件和 Tomo2d 反演软件对测线下方的数据进行正反演结合模拟，获取了测线下方的速度结构，模型揭示了测线下方的速度展布和莫霍面起伏特征；后期希望通过研究区综合地质与地球物理分析，解译南海多期次扩张与洋壳结构差异，获得洋脊跃迁的地壳结构特征，阐明洋脊跃迁的演化过程与动力学机制。本研究获得了国家自然科学基金项目（No. 41730532、91958212、U2244221、42002222、91858207）的联合资助。

S73-P-3S

南海海盆区沉积过程 以及现代湄公河沉积物的输入对南海的影响

王菲[1*]，丁巍伟[2]

1 上海交通大学，海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所，海底实验室

* wangfeiamy@163.com

南海作为欧亚板块东南缘沉积“源-汇”过程的重要终端，虽然面积只占全球海域面积的 0.9％，每年却有超过有 700 亿公吨(Mt)的陆源沉积物通过珠江、红河、湄公河等大型河流以及台湾高山河流等剥蚀速率极高的小型河流系统输送进入南海。其中，湄公河的贡献为 ~215Mt/ yr(Wittmann et al., 2020)，约占年均输入总量的 30%。对南海海盆区沉积物的定量统计，进而精确描述南海自渐新世海底扩张以来的沉积演化过程可以帮助我们建立起南海沉积过程与区域重大构造事件、气候变化、海平面变化等因素之间的系统联系。

基于 IODP 钻探数据和南海海盆区超过 30 条多道地震剖面的地质解释结果，对南海全海盆不同地质历史时期的沉积通量进行计算，从而对海盆的沉积过程进行半定量化约束，重建了南海海盆沉积物的百万年尺度的搬运和堆积过程，并对沉积过程的控制因素以及可能的沉积物源进行了讨论。研究发现：（1）受控于包括青藏高原和台湾岛隆升、海盆扩张等在内的构造运动和气候变化，以及东亚大型河流发育、海底峡谷演化、海平面升降等一系列控制因素的叠加影响，南海海盆沉积通量随时间不断增加，但不同时期增长速率并不一致。（2）上新世期间，南海海盆内沉积物分布格局发生改变。在此之前海盆内沉积物主要集中在海盆北翼，沉积中心主要分布在深水河道/海底峡谷系统的出口和陆坡坡脚处，逐渐向海盆中央扩散；其后沉积中心逐渐向海盆西南方向转移。这可能是由于海平面下降以及现代湄公河沉积物输入量的增加。

基于这种假设，我们通过前人在湄公河流域利用热年代学方法得到的平均剥蚀速率结果进行统计发现，平均剥蚀速率在中中新世时期和上新世以来迅猛增长，上新世以来湄公河流域的平均剥蚀速率甚至达到了早中新世时期的十倍以上。当大部分被剥蚀的陆源沉积物通过湄公河携带输送至大陆边缘，根据物质守恒定律，如此巨量的沉积物输入理应在周缘海域找到对应时期的沉积中心。虽然对现代湄公河的历史演化过程仍然存在一定争议，但随着国际大洋发现计划（IODP）在南海海盆的钻井数据结果分析认为，现代湄公河在晚中新世约~ 8 Ma，于中南半岛东南缘汇入南海。下一步工作计划结合陆上湄公河流域的河流沉积物中宇宙成因核素 ^{10}Be 所记录的古剥蚀速率以及海洋沉积物所揭示的沉积速率分析湄公河沉积物的输入对南海的影响。

S73-P-4

南海中央海盆后扩张期岩浆活动特征与活动期次分析

杜文波[1]，邱燕[1*]，黄文凯[1]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，广州海洋地质调查局

* 328994037@qq.com

据调查和统计，中央海盆的海底耸立着 100 多个海山和海丘及组成的海山链，而且在洋盆沉积层内部还分布着比出露海底要丰富得多的浅层基性岩体。这些赋存在沉积层内部的岩浆岩体，部分是沉积层形成之后的浅层侵入岩体，属于基性辉长岩类，部分属于喷出海底的岩体，后因沉积岩的不断堆积而渐被掩埋。南海中央海盆后扩张期如此活跃的岩浆活动，并不是海底拖网和钻探的样品分析成果所能囊括的。近几十年来在南海的科学调查活动获得了大量的地质-地球物理资料，使得全面分析南海中央海盆后扩

张期形成的海底火山岩和沉积层内部浅层侵入岩等岩浆活动特征成为可能。本文通过解释中央海盆大量的多道地震剖面并结合有关的钻探资料，建立岩浆活动过程的沉积响应模型，在地震剖面上对岩浆活动形成的海山和岩浆底辟构造进行详细分析，不仅可以揭示了火山喷出岩体的岩浆活动特征和活动期次，同时也可揭示赋存在沉积层之内的岩浆底辟构造的活动特征和活动期次，期望能从另一角度为南海新生代构造演化研究提供有价值的参考。

S73-P-5S

南海北部珠江口盆地裂后期正断层三维空间特征与几何学研究

刘远航[1]，高金尉[1*]，陈万利[1]

1 中国科学院深海科学与工程研究所，深海地球物理与资源研究室

* gaojw@idsse.ac.cn

正断层几何学研究有助于认识断层的成核与演化历史，对油气成藏分析具有重要作用。本研究基于南海北部珠江口盆地流花地区高分辨率 3D 地震数据，对研究区裂后期正断层进行了精细解释和建模，分析了这些正断层的几何形态、空间展布与位移分布特征。结果表明：研究区共发育了 289 条裂后期正断层，平面上大部分呈 NWW-SEE 向展布，少量呈 E-W 向展布，剖面上这些正断层的主体发育于 T40 层位与 T30 层位之间，向下可延伸至碳酸盐岩台地内部，向上终止于区域不整合面 T30 附近。根据断层几何形态与位移分布差异以及与碳酸盐岩台地关系，可以将研究区裂后期正断层分为四类：碳酸盐岩台地之上孤立正断层、切割碳酸盐岩台地孤立正断层、共轭正断层、连接正断层。碳酸盐岩台地之上孤立正断层位移分布与理想化椭圆模型大致吻合，位移从核部向边缘大致呈同心椭圆状减小；切割碳酸盐岩台地孤立正断层位移分布也大致呈同心椭圆状，与台地之上的孤立正断层位移分布特征类似，但台地之下由于台地内部反射特征杂乱而难以测量；连接正断层在断面上具有两个核部，而共轭正断层断层连接处则出现了位移的异常减小。根据断层断距分布理论上呈对称椭圆分布的特征，我们推测切割碳酸盐台地孤立正断层在台地之下的延伸深度-1425~-1754ms（TWT）之间，未切穿碳酸盐岩台地。研究区裂后期切割碳酸盐岩台地的正断层和油气藏分布与该地区碳酸盐岩溶蚀孔洞（pipe）分布呈弱相关性，并且溶蚀孔洞的发育具有自下而上的特征，表明孔隙水溶蚀作用和油气腐蚀不是碳酸盐岩溶蚀孔洞形成的主要原因，可能主要由于岩浆成因的酸性流体活动所形成。此外，本研究认为研究区共轭断层断距的异常减小是应变减薄与微裂缝共同作用的结果。

S73-P-6

北部湾盆地海中凹陷渐新世末的反转构造特征及其动力学机制

吴婵[1,2*]，胡望水[3]，李涛[3]，姚永坚[1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 自然资源部海底矿产资源重点实验室

3 长江大学地球科学学院

* wuchan10@126.com

北部湾盆地位于华南大陆西南缘，呈 NEE 向展布，南邻海南岛，西部紧邻哀牢山-红河大型走滑断裂带，东部与珠江口盆地相接，是南海北部陆缘五大含油气盆地之一。反转构造是含油气盆地最重要的构造类型之一，能够为油气成藏提供重要的构造圈闭。此外，它还是区域构造应力场发生变化的标志性产物之一，具有重要的大地构造意义。本文在综合利用区域地质、测井和录井等资料对研究区三维地震资料解释的基础上，重点剖析了研究区渐新世末的反转构造特征，

结合区域大地构造背景，探讨了它的动力学机制。研究结果表明，北部湾盆地渐新世末经历了强烈的挤压作用，导致裂陷期构造层流沙港组和涠洲组发生强烈反转，反转强度自西向东逐渐减弱，在海中凹陷表现最为明显。海中凹陷自西向东，从不对称挤出构造，渐变为叠瓦状逆冲推覆和单一逆冲构造。渐新世末的构造反转导致渐新统涠洲组发生强烈抬升剥蚀，形成了区域性不整合面T60。这一时期的反转是在 NW-SE 向的挤压应力作用下发生的，对应于盆地西缘哀牢山-红河大型走滑断裂带的右行剪切作用，因此，北部湾盆地海中凹陷渐新世末的反转构造是对哀牢山-红河断裂~23Ma 从左行走滑转变为右行走滑的响应和直观表现，也是对渐新世末亚洲大陆东南缘构造应力体制发生重大变革的指示。

S73-P-7

中建南盆地后扩张期 T5 和 T3 不整合面的发育特征及晚中新世以来的构造动力学研究

殷征欣[1*]，蔡周荣[2]，姚永坚[3]，郑浩[1]，董振[1]

1 自然资源部南海调查中心

2 中山大学，海洋科学学院

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* yinzhengxin777@163.com

中建南盆地是位于南海西部陆缘的一个走滑拉张型盆地，具有南海北部张裂和西部走滑的双重构造特征，盆地发育新生界多个区域不整合面，对于研究盆地的沉积-构造演化史、油气资源以及南海的形成过程都具有重要意义。本研究通过对重处理地震剖面的新解释，以及收集和分析越南方面的地质地球物理资料和钻井资料，通过井震联合对比分析，对南海扩张结束后（中中新世以来）T_5 和 T_3 两个区域不整合面的地质属性进行了重新标定，认为：T_5 不整合面是形成于南海海底扩张停止时期的碰撞不整合面，对应于红河-南海西缘断裂带从左旋运动到右旋运动的过渡期，时代为 15 Ma，该界面总体构造活动不强烈，推测沙巴造山运动在中建南盆地的响应已大幅减弱；T_3 不整合面对应于区域性重要板块重组事件和全球海平面快速下降的构造转换面，与红河-南海西缘断裂带右旋走滑运动密切相关，时代为 11.6 Ma，该界面具有明显的剥蚀削截特征，是南海西部大规模碳酸盐岩、水道和扇体开始发育的重要时期，推测为南沙运动或万安运动在盆地内强烈作用的结果。本研究还对对 T_3 以来的中建南盆地南、北部构造发育特征进行对比，结合区域构造动力学分析，认为中建南盆地晚中新世（T_3）以来可分为两个演化阶段：11.6 -8Ma（T_3 - T_{32}）时期中建南盆地仍处于弱伸展的应力场，盆地整体稳定沉积，构造活动较弱；8Ma（T_3 - T_{32}）以来，中建南盆地构造应力场发生反转，南部主要受西南次海盆扩张停止后残留岩浆活动的影响，形成自南向北逐渐减弱的挤压构造应力场，盆地北部受红河断裂右旋走滑运动的影响，形成自北向南的挤压构造应力场，盆地中部则处于构造相对稳定的沉积-构造环境，7-8Ma 可能是红河断裂从左旋到右旋的转换时间。总体来看，独特构造背景下南北向的两大构造应力场控制了晚中新世以来中建南盆地的沉积-构造演化。

S73-P-8

南海西沙群岛宣德环礁断裂时空展布及成因机制

徐子英[1,2*]，唐江浪[1,2]，黄永建[1,2]，周娇[1,2]，李波[1,2]，伊善堂[1,2]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

* xuziying19556511@163.com

为了揭示南海西沙群岛宣德环礁的断裂系统时空展布规律及成因机制。本文基于最新采集的二维地震反射剖面，结合重力、多波束等地质地球物理资料，精细厘定了宣德环礁断裂时空展布，刻画了其内部构造变形及发育时期，探讨了断裂的成因机制和演化模式。研究结果表明：(1)宣德环礁断裂空间上主要沿环礁斜坡区、礁盘及岛礁边缘区发育，以浅部断裂为主，主要呈 NE 走向。断裂性质为正断层，主要发育于中中新世至第四纪。(2)岛礁斜坡区深大断裂的发育成因可能与南海北部陆缘的张裂和南海扩张有关，礁盘及岛礁边缘断裂的发育成因可能与中中新世以来岛礁的快速生长发育及区域不均匀沉降有关。(3)断裂演化可分为晚渐新世前控坳断裂发育期、早中新世-中中新世末控坳断裂生长期、晚中新世-上新世末控礁盘期及第四纪控岛礁期 4 个阶段。宣德环礁内部结构整体稳定，建议岛礁沿岸工程建设避开环礁斜坡区及阶梯状礁体相接位置。该研究弥补了西沙群岛宣德环礁断裂研究的不足，为沿岸工程建设、资源勘探开发等提供科学支撑。

S73-P-9S

多幕拉伸过程诱发被动陆缘超伸展结构形成、废弃和迁移的数值模拟研究：以南海边缘海盆地为例

李瑞隆 [1,2]，赵中贤 [1*]，孙珍 [1*]，李付成 [1]，孙李恒 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国科学院大学

* zxzhao@scsio.ac.cn

* zhensun@scsio.ac.cn

在北大西洋伊比利亚陆缘，前人提出了洋陆转化的多阶段连续伸展减薄模型，即被动陆缘依次经历了伸展、颈缩减薄、超伸展、地幔剥露和最后的破裂过程。但作为西太平洋边缘海的南海陆缘，陆缘地壳并未出现从陆到洋逐渐减薄的趋势，反而发育了多个颈缩和超伸展减薄带，呈现出不同的伸展减薄路径。同时，相较于全球其它颈缩带内有超伸展结构的陆缘，如挪威中部、西北澳大利亚陆缘等，南海陆缘的超伸展结构在盆地和地壳尺度上也具有独特的形态特征，南海废弃裂谷主要由向陆倾斜的大规模拆离断层控制。在挪威中部的 Vøring 盆地的超伸展带地壳减薄至 1km 以下、宽达 200km。而南海超伸展带地壳更窄更厚，发育更不成熟，其平均厚度约为 6km、宽度约为 30km，各裂谷间距约为 100km。对于南海多颈缩和超伸展带的形成，现今适用于其它陆缘的机制并不能完全解释。我们通过分析南海的构造历史，发现多幕拉伸过程的作用常常被忽视。这里以南海为例，利用数值模拟的方法，改变边界拉伸速率，研究多幕拉伸速度变化对被动陆缘超伸展结构形成、废弃和迁移过程的影响。

模拟实验结果表明：幕式拉伸速度的变化能够诱发陆缘裂谷的形成和迁移。边界拉伸速率从相对高速向低速（拉伸速率小于 2mm/yr）转变后，低速过程的冷却作用会改变下地壳强度，诱发初始裂谷中心的废弃和迁移，扩展初始的超伸展结构，形成不对称陆缘。反之从低速向高速转变时，则会集中减薄破裂，形成更加狭窄的超伸展结构。同时，拉伸速率越小，低速运动时间越长，能够形成地壳厚度更薄、废弃裂谷形态更完整的超伸展结构，废弃裂谷与破裂点的间距也会随之拉长。在南海区域流变结构和拉伸速度的约束下，多个幕式伸展的模拟能够生成与南海陆缘超伸展结构比较一致的结果。

S73-P-10S

琼东南盆地-珠江口盆地新生代构造沉降特征及成因

赵学婷 [1]，李春峰 [1,2*]

1 浙江大学，海洋学院
2 浙江大学海南研究院
* cfli@zju.edu.cn

碳封存的多种封存方式中，地质封存被广泛地认为是封存 CO_2 的首要选择。但安全是碳封存工程的首要因素，所以封存地点的选择一直是其中的重要问题。南海北部各盆地以陆源碎屑岩为主，是 CO_2 的潜在储层。本研究以琼东南盆地和珠江口盆地为研究区，分别基于钻井数据，结合多道地震数据以及其他地质地球物理资料，建立各自的孔隙度-深度关系，利用回剥分析法获得区内构造沉降的时空分布特征，进行对比并分析沉降的成因机制。

对于琼东南盆地，在海底之下深度 5 km 以内，可用二次函数很好地表示出孔隙度随深度变化趋势，但盆地西南侧局部出现孔隙度异常，显示了红河断裂引起的高温高压构造条件。可以将琼东南盆地的演化大致划分为三个阶段：同张裂时期的初始沉降（21 Ma 之前）、张裂后期的热沉降（21-5.5 Ma）和异常快速沉降时期（5.5 Ma 至今）。不同构造单元之间的沉降量有着明显差异，最大相差约 2.6 km。初始沉降量与基底形态有一定的对应性，盆地中央坳陷区初始沉降量较大，南北两侧初始沉降量较小。反演得到的初始岩石圈厚度 h_1 均在 90 km 左右，没有较大的波动，这说明琼东南盆地地幔岩石圈张裂之前没有发生差异塑性减薄，沉降曲线上较大的初始沉降量和琼东南盆地的沉积相特征也支持这一观点。地壳拉张因子与琼东南盆地的构造单元有着比较密切的联系，地壳拉张因子 β_c 由凹陷向凸起逐渐减小，数值在 1-4 之间变化，表明盆地在早期张裂过程中经历了地壳局部破裂；地幔岩石圈拉张因子 β_m 在 2-4 之间浮动，变化较小，呈现出区域拉伸减薄的特点。

S73-P-11

南海初始破裂方式的地球物理、钻探和实验证据

孙珍 [1*]，邱宁 [1]，林间 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所 ，边缘海与大洋地质重点实验室
2 南方科技大学，海洋科学与工程系
* zhensun@scsio.ac.cn

陆缘张破裂方式对海底资源的发育状况和分布具有至关重要的影响。根据断裂和岩浆在陆缘破裂过程中的主导程度，学者们将被动陆缘划分为贫岩浆型和富岩浆型，其中贫岩浆型陆缘岩石圈的薄化主要以断裂方式进行，而富岩浆型陆缘主要以岩浆主动上涌的方式推动岩石圈破裂。但最终洋盆的形成都是以岩浆增生方式进行。然后，对于过渡型陆缘岩浆增生会以怎样的方式起始，已有研究非常少提及。大洋钻探证明，南海是不同于贫岩浆和富岩浆的过度类型。为了揭示其破裂起始问题，我们对大洋钻探约束下的多道地震剖面进行了解释和对比，提出南海陆缘破裂起始于点状破裂，破裂点位于长条形的构造脊上，沿构造脊可见多个岩浆上涌侵入区域，但 100 多公里长的构造脊上仅 U1502 钻遇扩张早期的 MORB，而 U1499 和 U1435 站位上钻遇的都是同张裂/裂前沉积，因此推测两个站位所在位置仍为陆壳。继续向南的构造脊上，横向上可明显见到新喷发的岩浆向上叠覆在 U1500 的 MORB 上，每个新喷发的强反射对应着壳内的岩浆侵入和喷发特征，因此推测洋盆的横向上扩展应该以顺次喷发的方式完成。冷却洋壳夹着残余陆缘在伸展应力下经历上断下侵，实现彻底破裂和增生。点状破裂过程得到了三维物理实验的支持。

S73-P-12S

微板块内受拆离断裂控制的裂后岩浆活动：以西沙隆起为例

望畅 [1]，孙启良 [1,2*]，Christopher K. Morley[3]，黄海波 [4,5]

1 中国地质大学（武汉），海洋地质资源湖北省重点实验室
2 青岛海洋科学与工程国家实验室，海洋矿产资源实验室
3 PTT Exploration and Production,Enco Building A., 555/1
4 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海地质重点实验室
5 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
* sunqiliang@cug.edu.cn

大陆边缘裂后岩浆活动通常集中在高度拉伸的盆地或超伸展裂谷内，而在这些构造薄弱带周围，岩石圈相对较厚的微板块并不具备理想的裂后岩浆活动条件。然而，南海西北部西沙隆起之上却发育了强烈的裂后岩浆活动，但岩浆运移机制目前尚不清楚。西沙隆起是南海西北陆缘的微板块之一，地壳厚度约 20km，北部和东部分别与西沙海槽、中沙海槽这两个超伸展裂谷接壤，西部边界与哀牢山-红河断裂、越东断裂相邻。利用二维多道地震数据，在西沙地块东南部识别出了 20 个海底丘状体，根据这些丘状体及其周围的地震反射特征，将它们解释为 5.5 Ma 以来的海底火山，而丘状体下部的垂向杂乱反射则解释为岩浆通道。这些岩浆通道均发育自半地堑底部，而这些半地嵌由一系列 ENE-WSW 向或 E-W 向的拆离断层控制，因此这些拆离断层可能与岩浆通道密切相关。此外，海底地震仪(OBS)数据显示，这些拆离断层延伸至中地壳；同时研究区内存在下地壳高速异常和中地壳低剪切波速层，这表明西沙隆起之下存在岩浆底侵和部分熔融，可能为研究区裂后火山活动提供了岩浆。我们的结果揭示了西沙隆起裂后岩浆活动的运移机制。延伸至中地壳的拆离断层捕获了部分熔融产生的岩浆，并为其在地壳内的垂向运移提供了通道。进入沉积层后，拆离断层仍然是岩浆的主要运移通道；而在沉积层间的刚性差异和区域应力场的影响下，岩浆在半地堑的侧翼和沉积中心开辟了次级运移通道。因此，较大的火山出现在基底高地上方，而较小的火山位于半地堑的内部。这项研究强调了拆离断层对火山系统的关键作用，即在非均质地壳的背景下，拆离断层为相对刚性的微板块提供了岩浆运移通道，并影响了火山的分布。同时，该研究促进了对裂后岩浆活动和大陆边缘动力学演化的认识，并可应用于其他地质背景相似的区域。此外，本研究为不同成因的海底丘状体提供了识别标准，适用于研究区以外的地区。

S73-P-13S

莺歌海盆地新生代构造沉积演化及动力学机制分析

蒋国忠 [1]，谢辉 [1,2*]，赵中贤 [3]，潘荟 [1]

1 广东海洋大学，化学与环境学院
2 广东海洋大学，海洋与气象学院近海海洋变化与灾害预警实验室
3 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室
* xiehuihaoba@163.com

莺歌海盆地的形成演化与红河断裂带走滑历史密切相关，但红河断裂带在新生代对莺歌海盆地各时期构造沉降及沉积的具体影响还不清楚。本文在莺歌海盆地全区较为均匀的选择了 7 口钻井与 23 口虚拟井，通过回剥分析，重建了莺歌海盆地新生代的沉积速率和沉降速率,并结合前人的研究成果进行了对比分析。结果发现，莺歌海盆地裂陷期（45-23 Ma）沉降较快，沉积速率相对较慢，平均沉降速率为 70 m/Myr 的，平均沉积速率为 170 m/Myr。在裂后期(23-0 Ma)莺歌海盆地沉积和沉降具有明显的响应关系，盆地北部和中部的沉降速率和沉积速率都呈现出类似的“两快两慢”的幕式变化特征: 23-15.9 Ma 和 11.7-5.7 Ma 为慢速沉降期和慢速沉积期；15.9-11.7 Ma 和 5.7 Ma-现今为快速沉积和快速沉降；盆地南部则表现出不同的特征，在 11.7-5.7 Ma 呈现出快速沉降和快速沉积。对于中部和北部，在 15.9-11.7 Ma，亚洲季风处于增强时期，化学风化侵蚀作用增强，丰富的物源使得沉积速率上

升，同时也增加了盆地荷载，虽然这一时期红河断裂带运动减弱但沉降速率依然在增大，根据 Westaway 提出的下地壳流运动模型，此时期盆地中部快速大量的沉积物使得脆性上地壳基底向下位移，韧性下地壳由盆地中部向西北部物源区流动造成了此时期的快速沉降，同一时期盆地西北部的构造反转也可能是由此造成的。5.7 Ma-现今沉降速率的上升可能与下地壳流运动和红河断裂段转变为右旋运动有关，因为靠近红河断裂带附近沉降速率增加的较为明显，同时该时期青藏高原的进一步隆升和亚洲夏季风的加强丰富了红河物源，下地壳流再次向西北物源区运动，在二者的共同作用下该时期沉平均降速率超过了 15.7-11.9 Ma 的平均沉降速率。南部的相对快速沉积出现在晚中新世以后，越南东部海域早期存在碳酸盐岩台地，在中中新世越南中部开始隆起后沉积物来源供给充足，台地逐渐被淹没，沉积速率上升。

S73-P-14S

岩浆作用对转换断层演化的影响研究：以大西洋脊 21.5°N 区域为例

陈占营 [1]，查财财 [1*]，张帆 [1*]

1 中国科学院南海海洋研究所

* zhacc@scsio.ac.cn

* zhangfan@scsio.ac.cn

转换断层是地球三大板块边界之一，它们错断并连接全球大洋中脊，起到协调板块运动的作用。通常认为转换断层是一种相对稳定的走滑型板块边界，洋壳在该边界处既不增生也不消亡。但一些观测表明，在洋脊段岩浆作用增强的时候，转换断层也会被破坏，但这一过程的动力学机制尚不清楚。大西洋脊 21.5°N 区域发生了典型的转换断层被岩浆活动所破坏的现象，北大西洋是研究程度相对较高的慢速洋中脊，并且具有精细的多波束测深数据和广泛的主动源地震探测区。本研究充分利用这些数据揭示了洋壳厚度的变化，并对该区域进行系统的地球物理和地球动力学模拟研究，定量揭示岩浆活动对洋中脊-转换断层系统演化的影响，提升对板块边界动力学过程的认识。

本文分析了该区域的多波束水深、重力异常及地磁异常数据，定量化地揭示北大西洋洋壳的时空变化特征。首先通过地震和重力观测数据联合反演，获得该区域洋壳厚度的变化，从而约束其岩浆活动强度随时空的变化特征。在垂直于洋中脊扩张方向上，截取 10 Ma 之内的洋壳厚度起伏剖面，进而定量化地分析洋壳时空演变特征。研究表明随着洋中脊两侧洋壳年龄的增长，洋壳厚度总体呈现递增趋势，其中在 8 Ma 时期，洋壳相对厚度最厚，表明岩浆在这时期供应量增加。通过对洋壳厚度变化的波动性进行分析，可以指示洋壳的年轻程度与其厚度起伏的程度呈现正相关趋势，即随着洋壳年龄的减少，其厚度变化的波动性呈现增加的趋势。此外，研究发现在 2 Ma 时期，洋壳厚度起伏落差最大，表明在这时期岩浆可能沿着脊轴方向发生了聚集性迁移。而后建立洋中脊-转换断层系统的三维地球动力学模型，通过改变转换断层一侧洋脊段的岩浆供应量，探索了其对模型演化的影响，包括深部的地幔熔融以及浅表的几何形态等。以上结果表明，转换断层演化可能受控于岩浆供应量及洋脊分段稳定性等多种地质因素。

S73-P-15S

湛江硇洲岛新生代玄武岩对南海西北部陆缘岩浆活动的启示

徐进 [1,2]，谢辉 [1,2*]，罗子轩 [1,2]，石红才 [1,2]

1 广东海洋大学，近海海洋变化与灾害预警实验室

2 广东海洋大学，广东省高等学校陆架及深远海气候、资源与环境重点实验室

* xiehuihaoba@163.com

南海是西太平洋最大的边缘海，其经历主动大陆边缘转换为被动大陆边缘的过程，存在洋-陆俯冲的构造历史。地球物理证据揭示雷琼半岛发育有海南地幔柱的构造现象。那么残余俯冲与地幔柱是否存在相互作用？这是理解地球圈层物质过程的重要问题。雷琼半岛的新生代火山分布面积广泛，是研究岩浆构成从而揭示其源区的理想材料，目前的认识主要集中在地幔柱成因。本研究通过对湛江硇洲岛两期玄武岩进行年代学、主微量元素及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素分析，集成过去在雷琼半岛开展的大量研究数据，从年代学与元素端元组成得出以下认识：1.硇洲岛玄武岩形成于 3Ma 与 1Ma 两期岩浆活动，均属于期后岩浆活动。2.其同位素组成由 DMM 和 EM2 两端元构成，在部分图解中表现为 OIB-IAB 的过渡，表明雷琼半岛的玄武岩源区并不均一，可能存在中生代的残余俯冲结合地幔柱上涌过程。提高地表结果对深部的指示意义将会是未来研究的重点。

S73-P-16S

南海洋壳结构与岩浆动态增生过程

曾程辉[1,3]，孙珍[1*]，姚永坚[2*]，张翠梅[1]，徐行[2]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* zhensun@scsio.ac.cn

* yjyaomail@163.com

岩浆增生和断裂伸展是洋盆扩张的两种主要方式，研究岩浆供给量与断裂样式的相互关系及时空变化对丰富板块动力学理论具有重要意义。现阶段对洋盆扩张过程的研究主要集中于大洋，而对边缘海洋盆扩张过程的研究较少，这限制了我们对板块动力过程的全面认知。南海位于西太平洋，是中速-慢速扩张边缘海的典型代表，但对其扩张期岩浆所起作用及其与大洋的区别缺乏全洋盆尺度的定量认识。为解决上述问题，我们通过多道地震剖面计算南海洋盆 M 值（岩浆增生占总增生长度的比例）的空间分布特征，分析不同 M 值对应的洋壳结构和断面摩擦系数，结合磁异常条带、扩张速率变化分析南海扩张过程岩浆时空分配特点，发现：

（1）南海洋盆 M 值在 0.5-1 范围内浮动（~1 Myr 内的平均值）。南海西北次海盆主体扩张区域 M 值可达 0.9 以上，向扩张末梢降低至 0.6-0.8；南海东部次海盆扩张早期（＞23.6 Ma）M 值可达 0.9 以上，少部分区域低至 0.6-0.8；晚期东部次海盆（<23.6 Ma）和西南次海盆 M 值沿地震测线或沿磁条带方向在 0.5-0.8 和 0.8-1 之间交替变化；（2）M 值为 0.92-0.94 时，洋盆断层水平位移距小于~0.5 km，倾角 45-60°，断面摩擦系数为 0.6-0.8；M 值为 0.60-0.71 时，洋盆发育低角度拆离断层，水平位移距可达 3-5 km，倾角小于 30°，断面摩擦系数为 0.2-0.4。上述计算表明，南海早期扩张时岩浆供给充足稳定，洋中脊仅发育板式断裂，以正地形为主；晚期扩张岩浆增生比例不均一，洋盆结构受控于低角度断层，以负地形为主；根据 Moho 反射特征和较低的（0.2-0.4）断层面摩擦系数，推测当 M 值小于 0.7-0.8 时地幔开始发生蛇纹石化，但由于断层活动时间较短（0.25-0.5 Myr），水平位移距小于~5 km，推测蛇纹岩化地幔剥露较难剥露至海底；与全球洋盆对比发现，南海洋盆在同等扩张速率下，具有更高的 M 值，断层水平位移距较大西洋拆离断层少四分之一，岩浆供给周期（0.25-1 Myr）是大西洋的四倍。因此我们认为南海作为边缘海，较同等扩张速率的大洋具有更高岩浆供给量。该研究为将来选址钻探提供基本依据，也为建立南海扩张动力模型提供良好基础。

S74-O-1

海洋持续定点震动源研究进展

倪四道[1*]，陈永焱[2]

1 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院，大地测量与地球动力学国家重点实验室

2 中国科学技术大学，地区和空间科学技术学学院

* sdni@apm.ac.cn

地球是动态的行星，地球内部具有复杂的动力学过程。火山爆发、地震等事件是地球内部能量强烈快速释放的重要方式。由于地球内部大部分区域的热能和应变能积累过程非常缓慢，上述剧烈的动力学过程只偶尔在局部区域发生。然而，1960 年以来学者们陆续在几内亚湾、太平洋西部等地区发现一些定点震动源，持续地激发近乎单频（周期包括 16 秒、26 秒、28 秒等）且能量较强的地震波，有时能量可达五级地震的规模。持续定点震动源的激发机理一直尚未厘清，受到了学者长期的关注，著名科普期刊《Discover》也对几内亚湾的 26 秒持续震动源之谜进行了专题报道。近期的研究，学者处理了位于非洲北部的 TAM 台站约 30 年的连续波形记录以及欧洲和大西洋岛屿上十多年的固定地震台站资料，分析了 26 秒及 28 秒持续定点震动源信号强度与数量关系，发现震动源信号的强度分布满足 G-R 关系，时间间隔特征符合泊松关系，海洋涌浪信号对 26 秒信号有短暂的调制作用。在分析了几内亚湾的地质特征基础上，提出持续定点震动源与地下的复杂流体输运管道结构相关，该结构具有分形特征。几内亚湾海底的沉积层或者火山相关的流体,在复杂的管道结构中流动时产生共振，导致定点震动源信号。尼日尔河持续巨量的沉积物携带、几内亚湾的火山下方岩浆持续积累，有可能为持续震动源提供了足够的能量输入。其它地区的持续定点震动源也可能与火山、沉积过程中的流体作用有关。

S74-O-2

2020 年 12 月 22 日青海囊谦低入射角火流星事件 ——来自地震学的约束

郝金来[1*]，邓文泽[2]，李娟[1]，张磊[1]，姚振兴[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国地震局地震台网中心

* haojl@mail.iggcas.ac.cn

2020 年 12 月 22 日 23 时 23 分（UTC 时间），在中国青海囊谦附近，一个火流星穿越大气层产生了明亮闪光。同时流星产生的地面振动在中国地震台网的宽带地震台站上激发了高质量的观测数据。在其中 10 个地震台站上，冲击波激发的 N 波到时清晰可见。我们使用标准的层状大气介质声速模型，采用地震学中的射线追踪方法计算流星产生的冲击波到达地表地震台站的走时，基于网格搜索的方法确定流星轨迹的方位角以及和地平面的夹角（入射角）。最优结果显示方位角和入射角分别为 174.7°和 6.1°，流星以较低的入射角度进入地球大气层。基于前人的研究，我们利用 N 波的持续时间来确定流星体的直径，对流星体直径的估计为 1.3 米～3.1 米。

S74-O-3

2022 年汤加火山喷发引起的全球大气次声波、重力波和二氧化硫排放

白玲[1*]，刘超亚[1,2]，季颖峰[1]，朱伟龄[1,2]

1 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

2 中国科学院大学

* bailing@itpcas.ac.cn

2022 年 1 月 15 日，汤加发生了一次强烈的火山爆发，对大气、海洋和固体地球产生了强烈的振动。在地震和海啸记录中，我们发现了以 0.31 km/s 速度，传播距离超过 10000 公里的次声波信号。这些次声波具有 Lamb 波的基本模式，在浅水中传播过程中，在重力波之前和瑞利波和体波之后的信号较为明显的。在距离火山爆发 400-1000 公里的地方，次声波的压力振幅为 5-10 百帕。次声波产生的跨太平洋海啸波比太平洋附近人口密集国家的常规海啸的引力波早 4-5 小时到达。

S74-O-4

海洋 T 波的数值模拟及激发机制研究—以印度洋为例

黄建平 [1*]，陈亮 [1]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院

* jphuang@upc.edu.cn

海洋 T 波是在深海声道（SOFAR channel, Sound Fixing and Ranging channel）中传播的高频声波信号，其激发和传播与地震、海底火山活动、海啸等因素有关。海洋 T 波对研究地震波衰减、俯冲带结构，以及海水温度分布具有独特意义。然而，T 波的激发机制至今仍存在一定争议。印度洋苏门答腊俯冲带附近地震活动频繁，提供了极为丰富的 T 波原始数据。本文收集并分析了 1990-2021 年间苏门答腊俯冲带附近 132 个 T 波信号的特征，结合数值模拟得出以下几点认识和结论：1）在 11°S~6°S 之间的研究范围内，位于科科斯群岛上的 COCO 台站能够观测到清晰的 T 波，而位于斯里兰卡岛上的 PALK 台站记录到的 T 波能量微弱。数值模拟结果表明，同一震源激发的 T 波的特征受控于俯冲带形态、海陆界面距离以及震源位置。2）通过研究 T 波和 P 波的包络振幅比，发现在 4.5°S~2.5°S 之间的研究范围内存在 T 波的高效激发区域。结合数值模拟结果证实，当地震震源临近海陆转换界面且位于俯冲带附近时，地震能量更容易进入深海声道并激发为 T 波。3）进一步对典型地震的震源机制信息分析表明，当震源深度、震级较为接近时，即使震源机制存在一定差异，地震激发的 T 波也具有较高的相似性。

S74-O-5

利用 OBS 低频噪声约束海底底流方向

吴越楚 [1]，杨挺 [1,2,3*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

* tyang@sustech.edu.cn

海底底流特征研究对于地球水圈和固体圈层相互影响以及地震学、海洋科学、气候科学等学科的交叉具有重要意义。海底底流被认为是造成海底地震仪（ocean bottom seismograph, OBS）观测数据噪声水平高的主要原因，特别是对水平分量的影响。最近的 OBS 水槽实验发现，水流引起 OBS 观测数据中水平分量的低频（< 0.1 Hz）噪声产生了明显的方向性，且该方向垂直于水流方向。这一现象可以通过圆柱绕流来解释，即当流体绕过圆柱体时，圆柱体垂直水流方向两侧的流速最大。在此基础上，对布放在马里亚纳中部海沟附近的 OBS 数据分析结果显示：大多数 OBS 水平分量的低频噪声在整个布设期间其主导方向几乎不变，但也有一些 OBS 水平分量低频噪声的主导方向是分散的。对于布设在海沟中的 OBS，其噪声的主导方向垂直于海沟走向，表明此处的底流方向与海沟走向一致。布设在海山上或距离海沟较远的 OBS 表现出不同的主导方向，可能是地形因素导致了海底底流方向的复杂性。对主导方向的时间序列进行频谱分析发现，大多数 OBS 的频谱在 1 天和 0.5 天出现峰值，表现出日潮和半日潮对海底底流

的强烈影响。本研究提出了约束海底底流特征的新方法，有望在全球大量的 OBS 观测数据中得到应用。

S74-O-6

南海东北部中尺度反气旋涡对的精细结构和湍流混合特征

冯英辞 [1]，唐群署 [2*]，李健 [1]，孙杰 [1]，詹文欢 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

2 浙江大学，海洋学院

* tqsh@zju.edu.cn

南海中尺度涡，是影响海洋环境的重要动力过程，在热量、盐和其他生物地球化学物质的传输中具有重要作用。在过去的几十年里，地震海洋学（SO）作为一种高效的技术，已经成为研究海洋物理特征和过程的重要手段。本研究利用地震观测与现场水文和卫星数据相结合，揭示了该涡对的精细亚中尺度结构、地转流、湍流混合，以及它对物理和生物地球化学过程的贡献。该中尺度涡对位于南海东北部陆架，受黑潮和独特的底部地形的影响。地震反射剖面可清晰识别 100-1500 米的温跃层和亚温跃层的精细结构。在 600-700 米以上的水体中，地震剖面具有连续反射和强的瞬时振幅，表明水体层结较强。而 700 米以下的水体分层一般较弱，呈不连续和局部波浪形反射。中尺度涡对呈两个碗状结构，由交替出现的强弱反射条带组成。卫星和再分析数据均验证了该涡旋的存在。值得注意的是，高分辨率卫星数据仅能识别出一个中尺度涡结构，充分体现了地震海洋学方法在亚中尺度过程探测的分辨率优势。

S74-P-1S

利用地震次声波约束震源属性的可行性研究

杨明翰 [1]，王涛 [1*]，石静 [1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* twang0630@nju.edu.cn

由于固体地球和大气圈的耦合，除了地表的震动以外，地震同样会引起大气的扰动，形成低频的声波信号，称之为地震次声波。地震次声波携带了关于地震震源和介质的信息，通过对次声波信号的观测可以极大的扩展现有的观测系统，甚至可以作为一种行星地震观测的潜在手段。然而，目前对于地震次声波的研究较少，一方面，次声波的产生机制未被很好地定量研究；另一方面，能否像传统地震学一样建立起观测资料和震源模型间的联系尚不明确。这主要是大气介质本身容易受到扰动，从而很难对其进行精确建模造成的。在本研究中，我们对发生在阿拉斯加地区的连续两次 Mw 6.2 重复地震激发的次声波信号进行了分析，由于两次事件在空间 (< 10 km) 和时间 (< 2 hours) 上都非常接近，次声记录有着相同的路径效应和大气扰动影响。我们比较了次声波信号和引发该次声波源区的地震信号的功率谱密度，结果表明地震波转换成次声信号有明显频率依赖性，跟地形起伏相关。此外，我们还计算了地震波能量和次声波能量，发现二者在空间位置上的分布比较相似，这种相似性说明了地震次声波有着揭示地震震源性质的潜力。

S74-P-2S

基于地震台阵及海底光缆分布式声学观测的台风激发地脉动特征研究

方孙珂[1]，何润敬[1]，嵇宸[1]，徐晨淞[1]，林建民[1*]

1 浙江大学，海洋学院

* jmlin@zju.edu.cn

我国东南沿海地区毗邻台风最为活跃的西北太平洋海域，深受台风灾害影响，迫切需要提高对台风物理过程的认识和监测能力。近年来，一种基于台风激发极低频噪声信号的台风“水下”观测新方法逐渐兴起。该类极低频噪声又被称为地脉动（Microseisms，～0.05-0.5 Hz），源自大气-海洋-固体地球之间复杂能量传递和耦合。发展基于地脉动的台风观测及定位研究具有重要的意义，有望为传统台风研究及监测提供跨学科的印证与支持。传统地脉动观测主要基于陆上和海底地震仪，近年来基于光纤的分布式声学传感（Distributed acoustic sensing，DAS）的兴起则为地脉动观测带来新的途径。本研究利用地震台阵和 DAS 开展台风激发地脉信号的远、近场观测，包括：（1）利用地震台阵远距离定位台风“海鸥”（2014 年 9 月）激发地脉动信号源区并研究其激发机制；（2）通过海底光缆 DAS 观测过境台风“梅花”（2022 年 9 月）激发的近场地脉动信号，并以此研究海浪和海流对台风的近场响应。首先，我们基于 ChinArray II 和 Hi-net 地震台阵观测数据，通过一种改进的多台阵联合定位技术成功定位了台风“海鸥”激发的倍频地脉动源区，并结合地脉动理论源区数值模拟，探究台风“海鸥”激发倍频地脉动的机制。当“海鸥”在菲律宾海时，倍频地脉动主要源自其激发海浪与已消散台风“风神”遗留涌浪的相互作用；而当“海鸥”进入南海后，移动速度加快，其不同时刻激发海浪相互作用产生紧随台风中心后方的倍频地脉动源区，且地脉动最低频率取决于台风移动速度。其次，我们利用 DAS 现场观测台风“梅花”通过海底光缆上方时所激发的地脉动噪声信号。研究结果表明，台风“梅花”激发的地脉动主要为~0.08-0.38 Hz，其中高频分量（>0.3 Hz）受潮汐调制。我们进一步利用频率-波数分析成功揭示了台风期间海浪沿缆传播方向的变化，并提出了一种测量局地平均海流的新方法。我们发现台风过境期间海浪传播方向与海流变化均与台风风场相一致，且海流存在明显的潮流分量。上述研究结果为发展基于地脉动的台风监测提供了一定的理论和实践基础。

S74-P-3S

由涌浪激发的地脉动信号的识别与定位研究

陈永焱[1*]，倪四道[2]

1 中国科学技术大学，地球和空间信息学院

2 中国科学院测量与地球物理研究所

* cyongyan@mail.ustc.edu.cn

海洋占据地球超过 70%的面积，对全球气候变化有着决定性的影响。热带气旋能够在海面引起剧烈波动，这些风浪在气旋消失后仍然在海面继续传播，称为涌浪。涌浪可以传播上千公里的距离，并且在浅海区(海水深度<半波长)可以激发出第一类地脉动(Primary Microseism, 简称为 PM)和第二类地脉动(Sencondary Microseism, 简称为 SM)，PM 和 SM 构成了背景噪声中最强的部分。其中，PM 是由涌浪直接作用于浅海岸形成，且传播速度非常快(~3km/s-12km/s)，远远大于涌浪传播的速度(~20m/s-40m/s)，因此通过地震数据对第一类地脉动信号进行追踪，可以实时监测海洋中的海浪和大气活动。我们利用中国台网数据监测了一支 2011 年 8 月 6 日至 9 日期间从南大洋传播到印度洋的涌浪信号。首先，我们利用 YOLOv5 图像识别技术训练并识别所有台站的时频图中可能存在的 PM 和 SM。在中国台网中，云南和海南台网距离安达曼海较近，且信噪比较高，我们采用云南和海南台网数据，利用偏振分析和波形聚束分析(Beamforming)方法分析 PM 信号的方位角范围。结果表明此次海浪由南大洋的一次风暴引发，之后传播到印度洋，最后在拥有广阔大陆架的安达曼海激发了强烈的第一类地脉动信号。

S74-P-4S

日本西南部深海单频微地动能量特征及激发机制研究

黄斌[1,2]，薛梅[1,2*]，郭桢[3]，宋文恺[4]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 同济大学，土木工程学院

4 The University of New Mexico,,Department of Earth and Planetary Sciences

* meixue@tongji.edu.cn

单频微地动通常被认为只能在浅水处激发，深海区域是无法激发单频微地动的。然而随着海底地震观测技术的发展，近年来也有零星研究在深海观测到了单频微地动频段的信号，但是由于数据处理手段的多样性和地震仪器性能的不同，这些发现还需要进一步的观测结果来证实。本研究基于日本DONET 台网部署在北菲律宾海海底 1800 至 4400m 深度处的 16 台海底地震仪所记录到的连续波形数据，在深海区域观测到了单频微地动的非周期性信号。为定性分析广阔海洋地区对激发单频微地动的贡献，我们计算了单频微地动能量与对应频段海浪能量相关性，同时考虑了该频段瑞雷波在传播过程中的能量衰减以及能量转化效率等因素，发现单频微地动的能量水平与台站周边的海浪活动密切相关，并与强台风的出现在时间上有着对应的关系。通过瑞雷波相关的极化分析方法，我们发现单频微地动的能量来源方向丰富，并不统一指向近岸，与台站所处海底地形密切相关。我们的研究表明，深海可以观测到单频微地动的信号，其能量大小和源区分布随时空变化较大，其产生机制可能与强台风相关海浪活动所引发的次重力波与局部海底地形相互作用有关，这为认识单频微地动的产生机理提供了新的视角。

S74-P-5

基于多源观测数据的大陆边缘单频和双频微地震激发机理研究

郭桢[1]，薛梅[2*]

1 同济大学，土木工程学院

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* meixue@tongji.edu.cn

地震背景噪音(seismic ambient noise)是由自然力量（如海洋活动、风、火山活动等）和人类活动激发的持续地面振动，其中 0.05-0.5 Hz 频率范围内的地震背景噪音又称为单频(0.05-0.085 Hz)和双频(0.1-0.5Hz)微地震，单频微地震主要由海洋与浅海倾斜海床直接作用激发，而双频微地震由两列传播方向相反频率相同的海洋非线性作用产生驻波并沿水柱传播到海底激发产生。虽然以上解释可以大致描述单频和双频微地震的产生过程，然而在机理上仍然尚未完全阐明。本研究采用北美东海岸多源监测数据（包括陆上和海底宽频带地震仪记录、海上浮标、wavewatchIII 海浪模型、海洋地形等），通过多种数据处理方式定位了单频和双频微地震的激发源位置，并探讨了其产生机理与海浪、海底地形的关系，研究成果可为未来海底灾害的研究提供一定的思路。

S74-P-6S

基于海底电缆分布式声学传感的流场反演研究

何润敬[1]，方孙珂[1]，嵇宸[1]，徐晨淞[1]，林建民[1*]

1 浙江大学，海洋学院

* jmlin@zju.edu.cn

海流是描述海水运动最直接的物理量，海流的测量是人类认识海洋、开发海洋的重要基础。传统海流测量主要依靠漂流浮标、系泊海流计、声学多普勒海流剖面仪和高频雷达等，而最近一种基于海底电缆光纤的分布式声学传感（Distributed acoustic sensing，DAS）技术提供了一种新型的海流测量方法（Williams et al.，2019）。

2022 年 9 月 10 日至 16 日，台风“梅花”横穿舟山群岛，并从我们进行 DAS 观测的海底电缆上方通过，为我们通过海底电缆 DAS 观测数据反演估计海流信息提供了难得的机会。在数据处理方面，主要包括：首先，通过频率波数域 f-k 滤波，保留特定频率和视速度下的海表重力波信号；其次，将海底电缆不同位置上的 DAS 观测点视为虚拟源，并计算与其它点之间的互相关函数。由于已经过 f-k 滤波，因果（Causal）分量和非因果（Anti-causal）分量被有效分离，得到海表重力波沿缆两个方向分量对应的互相关函数；进而，使用频域波束形成方法计算每个方向的频散谱，并通过最小二乘法拟合海表重力波理论频散方程，得到平均流速和水深参数；最后，利用每小时互相关函数与平均互相关函数之间关系估计每小时流速的时空变化。数据处理结果显示，频散谱中优势能量能够较好地符合海表重力波理论频散曲线，反演水深与实际水深相近，反演流速空间变化与水深变化有一定相关性，时间变化符合局地潮汐规律。

上述研究结果表明，基于海底电缆光纤的 DAS 观测可在台风极端海况条件下有效获取海流信息，可有效改善因传统海流观测仪器分布稀疏而无法大范围观测海流的现状。

S74-P-7

反射地震揭示复杂地形所致海洋混合增强

唐群署 [1*]

1 浙江大学，浙江大学

* tqsh@zju.edu.cn

得益于海洋观测技术的提升，海洋多尺度相互作用与能量串级等问题引起人们日益关注。海洋中循环往复的潮汐运动和风场作用，赋予了海水永不止息的“生命”，是驱动海洋垂直混合、维持大洋径向翻转流的重要能量来源。开阔大洋中海脊、海山、海岛等复杂地形是潮汐能和风能的“汇”，在海水中扮演着搅拌器的作用，使得海洋能量从大中尺度经由亚中尺度往湍流尺度耗散。研究使用高分辨率的反射地震数据，运用水平斜率谱方法，对台湾岛周边（吕宋海峡、南海东北部、台湾东部、琉球海脊）和马里亚纳海脊等两处全球大洋湍流混合强耗散区开展湍流混合研究。通过提取并分析近瞬态的湍扩散系数 K_z 分布，显示湍流混合在地形附近显著增强，普遍高于 10^{-3} m^2/s，甚至可达 10^{-2} m^2/s，在离开地形 60 km 范围逐渐降至 10^{-4}-10^{-5} m^2/s。并据此建立了湍扩散系数随地形变化的经验模型，量化了地形对湍流混合增强的贡献和影响范围，从观测角度揭示了复杂地形影响下内潮能量的正向串级与耗散机制。

S74-P-8

南海深层全日内潮参数亚谐频不稳定的观测研究

胡倩文 [1,3]，黄晓冬 [1,2*]，徐勤博 [1,3]，周春 [1,2]，管守德 [1,2]，许行 [1]，赵玮 [1,2]，杨庆轩 [1,2]，田纪伟 [1,2]

1 中国海洋大学青岛/三亚，深海圈层与地球系统前沿科学中心（FDOMES）及物理海洋学实验室/三亚海洋研究院

2 青岛海洋科学与技术国家实验室

3 中国科学院海洋研究所，环流与波动室

* xhuang@ouc.edu.cn

深层内波激发深层混合，驱动全球大洋的深、底层重水变轻而得以逐渐上升返回海表，在调控地球气候变化的过程中起着关键

作用。实测和模式发现海底地形附近能够产生近惯性内波（NIWs），从而促进深层水体的混合，但目前人们对于深层 NIWs 的生成机制及其能量级串的认识十分匮乏。作为上层 NIWs 的重要生成机制之一，参数亚谐波不稳定（PSI）在深层海洋 PSI 临界纬度附近能否诱导深层内潮能量传递至深层 NIWs 值得深入研究。南海深层混合比太平洋的大 1-2 个量级，可能是西北太平洋深层水最重要的上升流区之一。南海海底地形复杂粗糙，蕴藏着丰富的天文潮与内潮。南海中部 14.5°N 以及 13.4°N 是全日内潮 K_1 及 O_1 的 PSI 临界纬度，对应着最大的全日内潮 PSI 能量传递效率。本研究基于南海中南部的 10 套深海潜标观测资料，对南海 PSI 激发产生的深层 NIWs 进行了系统探索。研究结果显示，南海深层近惯性内波动能（NIKE）具有纬向分布特征，在 12°N-15°N 的深层 NIKE 是 15°N-17°N 的 1-3 倍；南海深层 NIKE 具有底部增强特征，在 3500 米水深的 NIKE 比 4000 米水深的小一个量级。深层 NIWs 与深层全日内潮之间存在很好的时间相关性，具体表现为两者波包有着持续 1-5 个月的峰谷对应关系及两者呈现相似的冬夏强春秋弱的季节变化特征。通过双相干谱分析，揭示了两者间存在显著的相位相干，揭示了深层内潮 PSI 机制。另外，深层 PSI 能量传递效率受到海底地形的调制，这可能与粗糙地形附近的内潮振幅增强并且其模态较平坦地形更高有关。此外，历史 CTD 剖面资料结果显示，南海临界纬度海域的底混合层厚度比其他纬度带的厚数十至数百米，揭示了 PSI 对该纬度带深底层水体混合以及与较上层水体通风的重要作用。该研究为今后开展针对性的深层内波现场观测具有重要的指导意义，对开展 PSI 诱导的深层混合的研究具有重要参考价值。

S74-P-9S

高层建筑中地震波速与共振频率对地震动响应的异同

秦林鹏 [1]，郭桢 [2,3]，王赟 [1*]，廖春奇 [4]

1 中国地质大学（北京），地球物理与信息技术学院

2 同济大学，土木工程学院

3 同济大学，岩土及地下工程教育部重点实验室

4 福建省地震局

* wangyun@mail.gyig.ac.cn

由于环境条件和人类活动等多种因素，介质变化可能会随时间推移累积损害，地震和飓风等自然因素会加剧这种损害。结构健康监测 (SHM) 或地下介质监测对于工程师和地质学家获取有关结构稳固性的可靠信息和最终评估地震风险至关重要，尤其是在地震和飓风频发地区。

中国的高速经济发展，在东南沿海地区产生了众多的高层建筑，受台东地震带强震频发的影响不可忽略，因此我们以距离厦门市海岸线约 1 公里的高层建筑为例，进行地震动响应和建筑健康监测指标研究。该高层建筑主楼地上 43 层，高度 192m，地下 5 层，埋深 21.2m。观测期间记录到的最大区域性地震是花莲 M_w 6.2 地震。震源位于台湾纵谷断裂带北部海域，是欧亚板块和菲律宾海板块的交界处，震中距约为 420km。

我们使用 IRF (Impulse Response Function)和 MWCs (Moving-Window Cross-Spectral)方法研究高层建筑在环境噪声和区域地震事件下的相对共振频率和相对速度变化；使用平滑伪魏格纳-威利时频分析方法(SPWVD)研究地震过程中建筑物的共振频率破坏及恢复过程。

研究发现：

1. 背景噪声下，高层建筑相对共振频率和相对地震速度变化趋势一致，受湿度变化的影响最大。湿度变化稳定时，两项指标存在明显的日变化。

2. 高层建筑的相对共振频率和相对地震速度在震中和震后都呈现出下降和恢复的过程。然而，花莲 M_w 6.2 地震同震期间，大楼中间层和顶层间的相位差变化剧烈，无法用反褶积干涉测量技术准确计算同震期间大楼的地震波速变化。

3. 高层建筑的相对共振频率比相对地震波速变化更为敏感。具体来说，就我们研究的高层建筑而言，相对共振频率变化大约是相对地震速度变化的五倍。

我们的研究结果表明，相对共振频率变化比相对地震速度变化更适用于结构健康监测和高层建筑地震风险评估，因为它们具有更高的灵敏度和更高的时间分辨率精度，并且不受由地震事件引发的层间相位差的干扰。本研究有助于为高层建筑结构和地下介质监测指标的选取提供思路，可能使从事地震风险评估和地下介质和建筑结构监测工作的地球物理学家和工程师受益。

S75-O-1

量化铝土矿和高岭土矿的形成与温度和降水的关系

包秀娟[1]，胡永云[1*]

1 北京大学，物理学院

* yyhu@pku.edu.cn

铝土矿和高岭土矿是典型的表生矿产，在高温高降水的气候条件下经强烈风化作用形成。铝土矿 和高岭土矿表征的气候条件的认识目前仅局限在定性阶段。本文结合气候模拟和地质数据，定量 的展示铝土矿和高岭土矿形成与温度和降水的关系。铝土矿和高岭土矿的形成主要集中在两个时 间段：石炭纪-二叠纪和白垩纪-古近纪。在石炭纪-二叠纪，铝土矿形成的年平均温度集中在 27℃，年平均降水集中在 1814 mm y-1,高岭土矿数据对应的的年平均温度集中在 25.5℃，年平均降水集中在 1517 mm y-1.在白垩纪-古近纪，铝土矿数据对应的年平均温度集中在 24℃，年平均降水集中在 1130 mm y-1,高岭土矿对应的年平均温度集中在 22℃，年平均降水集中在 1195 mm y-1.本研究发现铝土矿和高岭土矿的温度和降水分布的变化与全球平均温度、大陆演变与植被演化有密切的关系。该结果对了解铝土矿和高岭土矿形成的化学风化过程和气候的关系有重要启示作用。

S75-O-2

中元古代营养元素循环与有机质富集

王晓梅[1]，王华建[1]，叶云涛[1,2]，张水昌[1*]

1 中国石油勘探开发研究院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* sczhang@petrochina.com.cn

黑色页岩是富有机质沉积岩，初级生产者的生产力勃发是其形成的必要条件，而营养元素（氮和磷）是决定生产力的关键因素。氮、磷是生物新陈代谢的必须元素，一方面，生物利用氮和磷来合成结构组分，另一方面通过氮、磷化合物获得生长所需的能量。氮和磷的循环影响大多数海洋生物的生存，尤其是光合作用可以将二氧化碳转化为有机碳并释放氧气，从而控制着地质历史过程中地球表层系统的氧化历程。因此，研究深时的氮、磷循环可为深入理解早期地球宜居演化、真核生物和地外生命起源、预测未来气候变化提供新线索。

中元古代是地球演化的特殊阶段，承接着哥伦比亚和罗迪尼亚两期超大陆聚合事件和 GOE、NOE 两次全球性氧化事件，但这一时期地球深部活动强度、大气氧化程度、生物演化水平等仍不能有效确定，究竟是“无聊十亿年”，还是“生机盎然的地球中期”，国际学术界争议不断。对中元古代氮、磷循环的研究尚处于较低水平，为此，我们以我国华北保存完好的中元古代下马岭组为研究对象，系统开展了主微量元素、生物标志物、氮同位素和磷灰石岩相学等研究。结合中元古代全球数据，我们认为中元古代海洋存在动态的氮、磷循环，并可能为大气含氧量的提高、真核生物演化和有机质富集带来积极影响。

S75-O-3

黑色岩系型锰矿床的成矿模式

董志国[1,2]，王长乐[1,2*]，彭自栋[1]，张连昌[1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院大学

* wangcl@mail.iggcas.ac.cn

黑色岩系型锰矿床是指以富含有机质（TOC ≥ 1%）的泥质岩和硅质岩等为直接围岩的沉积锰矿床。一直以来，学术界普遍采用“浴缸边”上涌模式来描述黑色岩系型锰矿床的形成过程，该模式强调富锰缺氧海水上涌至盆地边缘氧化环境发生沉积成矿。考虑到黑色岩系多形成于缺氧环境，因而“浴缸边”模式无法完美诠释锰矿层与黑色岩系密切伴生的现象。由此可见，黑色岩系型锰矿床记录了盆地水体氧化还原条件具有独特的动态演变过程，但目前对于其细节尚缺乏准确阐释和系统论证，亟待开展深入探讨。针对该问题，本文对新疆西昆仑玛尔坎苏一带的石炭纪黑色岩系型锰矿床开展了系统的地质、地球化学和碳-硫-钼同位素研究。通过详细厘定含锰地层的沉积序列，认为晚石炭世玛尔坎苏一带具有“台盆相间”的古地理格局。锰矿层直接赋存于黑色岩系，说明沉积成矿作用发生在断陷盆地的深水低能环境。玛尔坎苏锰矿石主要由碳酸锰矿物组成，锰矿石具有负的碳同位素值（$\delta^{13}C_{carb}$ 平均–12‰），且页岩标准化的稀土元素配分特征与现代水成锰结核非常相似（如正 Ce 异常和负 Y 异常），表明碳酸锰矿层由原始沉积的锰氧化物与有机质在成岩过程中发生反应转变而来，锰的氧化物形成于氧化水体环境。此外，矿体上-下盘黑色岩系中莓球状黄铁矿的粒径普遍偏小（平均直径~5 μm）且变化范围很窄（标准偏差 <2 μm），且黑色岩系的铁组分具有高的 Fe_{HR}/Fe_T 比值（平均为 0.66）和 Fe_{Py}/Fe_{HR} 比值（平均为 0.71），综合表明黑色岩系形成于缺氧硫化的底层水环境。同时，黑色岩系的 Mo_{EF}-U_{EF} 协变模式指示水体中存在活跃的锰氧化还原循环（Mn oxide shuttle），暗示盆地水体具有上部氧化-下部缺氧硫化的分层结构，较低的 Mo/TOC 值则说明这种水体层化与盆地局限闭塞有关。综合沉积古地理和盆地水体氧化还原条件变化，最终建立玛尔坎苏锰矿的成矿模式：成矿前 Mn(II) 离子在局限硫化深水环境进行积累浓集，随后广海含氧水流注入局限盆地造成深水发生广泛氧化并引发锰氧化物大量沉淀成矿，推测海水注入可能与晚石炭世间冰期全球海平面大幅度升高有关。本研究揭示了沉积锰矿与黑色岩系密切伴生的原因，强调黑色岩系型锰矿床受控于盆地相对深水缺氧环境的间歇式氧化，在沉积古地理位置和成矿水文学途径方面明显不同于“浴缸边”上涌模式。

S75-O-4

STURTIAN 冰期后大陆边缘海的深水动态氧化—来自我国南华盆地水文重建的启示

董飞羽[1,2]，李杰[1*]，尹露[3]，刘俊杰[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 中国科学院大学

3 河北地质大学，地球科学学院

4 中山大学，地球科学与工程学院

* jieli@gig.ac.cn

新元古代间冰期是分隔两次全球性冰川事件的一个重要的地质时期，发生了全球性气候和地球表层环境的巨大变化，也见证了真核藻类的繁盛和早期动物的出现。但是目前的研究对于间冰期初期海洋的氧化还原环境还存在争议，限制了我们对这一关键时期环境变化和生物进化之间关系的理解。我国华南地区的南华盆地是间冰期的一个陆缘海盆，保存了间冰期大塘坡组的沉积地层，是研究间冰期海洋环境的热点地区。为了进一步讨论间冰期初期海洋的氧化还原

状态，本文对道坨地区大塘坡组底部的黑色页岩和锰矿进行了高分辨率地球化学综合研究，同时结合南华盆地其他剖面的地球化学研究，建立起了间冰期初期的海洋，尤其是陆缘海盆的氧化还原环境演化。大塘坡组底部黑色页岩具有高的 Mo 和 Re 含量、Mo_{EF}-U_{EF} 变化趋势符合 Mn-shuttle 的特征的，说明南华盆地的水体是存在氧化还原分层的，表层为氧化环境，深水为还原环境，且氧化还原界面在水岩界面附近上下波动。与黑色页岩互层的锰矿样品的 Ce 的正异常、$\delta^{13}C_{carb}$ 的负异常、亲锰元素(Co、Ni、Cu)的自生富集等证据表明，碳酸锰矿床可能是由原沉积于含氧底水的锰氧化物成岩转化而成的，这意味着锰矿形成时底水是氧化的。与底部的黑色页岩相比，上覆的黑色页岩沉积时南华盆地局限性增强，样品的 Mo/TOC 比值较低，Mo 和 Re 含量也较低。此外，大塘坡组黑色页岩的 Mo 同位素数据表明，全球海洋普遍处于缺氧状态。因此，认为 Sturtian 冰期结束之后，全球海洋广泛缺氧，但边缘海域(如南华盆地)出现了间歇性的底水氧化，这些具有动态氧化还原变化的浅海可能为锰矿的沉积提供了有利的环境，同时可能也促进了间冰期的生命演化。

S75-O-5

大塘坡间冰期汞富集的控制因素

杨若飞[1]，樊海峰[1*]

1 中国科学院地球化学研究所，中国科学院地球化学研究所

* fanhaifeng@mail.gyig.ac.cn

新元古代成冰纪 Sturtian 冰期（约 720~660 Ma）和 Marinoan 冰期（约 650~635Ma）之间，存在着一次间冰期，在我国南华裂谷盆地表现为大塘坡组含锰黑色岩系，这套黑色岩系因形成于两次大冰期之间，并伴随锰矿的出现和汞的长阶段富集，因此具有重要的地质学研究意义和资源价值。选取位于深水盆地相的湘潭地区大塘坡组为研究对象，以汞元素及其同位素为核心，结合有机碳（TOC）、总硫（TS）、主微量元素等进行综合分析测试。结果显示湘潭大塘坡组所有样品的 Hg 含量和 TOC、TS 高度相关，其中与铁丝坳组过渡的砂岩和底部锰矿的有机碳和硫含量较低，对应的汞含量低（19.78~297.38 ppb），汞同位素 Δ199Hg 范围 0.02~ 0.19‰（平均 0.07‰），在整个剖面中数值偏低。而中部和上部的黑色页岩层有机碳和总硫含量高，汞元素含量高（121~721.58 ppb），Δ199Hg 值偏高（平均 0.20‰），形成一段近 80m 厚的持续富汞地层。对比前人在浅水陆架地区的五河剖面、半深水斜坡地区的道坨剖面，则并无这样巨厚的富汞地层。该地层的出现揭示了在大塘坡期的深海中存在一个大型 DOC 储库，其有机碳和 Hg 的释放主要受氧化还原环境的控制，并不受古生产力的影响，持续存在的 Hg 高值层位可以示踪这一储库的存在。此外，大塘坡组自下而上的粉砂岩—黑色页岩—粉砂岩序列展示了一个完整的间冰期气候先变暖后变冷，海平面先上升后下降的周期过程，对其研究有助于我们建立更完整的南华盆地大塘坡期碳循环和氧化还原过程。

S75-O-6

雪球地球消融促进大规模成锰作用与超重黄铁矿形成

蔡春芳[1*]，孙鹏[2]，刘大卫[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 长江大学

3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* cai_cf@mail.iggcas.ac.cn

全球最大的南非卡拉哈里(Kalahari)锰矿、亚洲最大锰矿-我国大塘坡锰矿和巴西 Urucum 地区 Santa Cruz 组铁锰矿分别形成于 Huron(休伦)、Sturtian、Marinoan 雪球地球消融之后，同时，地球历史上最重的黄铁

矿也分布在 Sturian 雪球地球消融之后沉积物中，其硫同位素组成主要介于 40‰-70‰，高于当时的海水（～26‰)。这显示锰矿和超重黄铁矿形成似乎与雪球地球消融有关。为确定冰川与锰矿和超重黄铁矿形成之间的联系，开展了有机硫四硫同位素组成、粘土矿物的 B/Ga 和 Sr/Ba 比值以及碳酸盐矿物的 Y/Ho、La/La*和氧同位素组成分析。B/Ga 和 Sr/Ba 比值以及 Y/Ho、La/La*和氧同位素组成均显示大塘坡组一段锰矿层沉积于冰雪消融后的淡水-咸水环境，冰期与间冰期过渡有利于岩石的物理和化学风化，Rodinia 大陆裂解形成孤立的地堑有利于锰的富集，而这时期高生产力则促进锰氧化物成岩转化为锰碳酸盐矿物。“大塘坡型锰矿”形成于这种特定的古构造、古气候和古地理环境。而大塘坡组有机硫$\triangle^{33}S$ 与$\triangle^{36}S$ 具有负相关关系，则形成于微生物硫酸盐还原作用。有机硫$\triangle^{33}S$ 低于当时海水硫酸盐和黄铁矿值，说明有机硫为多期混合成因。第一期形成于淡水环境下的有机硫和黄铁矿量少、$d^{34}S$ 值较低。这期黄铁矿由于地层中存在 MnO_2 而被氧化了；相反，有机含硫化合物因具有抗水解的特点而大部分保存了下来。第二期有机硫和黄铁矿具有很高的$d^{34}S$ 值，形成于微生物还原富 ^{34}S 的硫酸盐。$\triangle^{33}S$ - $d^{34}S$ 关系显示该硫酸盐 $d^{34}S$ 值介于 52‰和 93‰之间，是上覆水柱富 ^{32}S 的硫酸盐被细菌优先还原后残余下来的。世界各地同期黄铁矿具有类似成因，于是，推断上述大型锰矿可能形成于淡水影响的环境中。

S75-P-1S

冰融期气候控制中国主要烃源岩有机碳富集

梅晓敏[1]，蔡春芳[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* cai_cf@mail.iggcas.ac.cn

玛湖油田、长宁气田、塔河油田和安岳气田等亿吨级大型油气田，其油气分别主要来自晚石炭世—早二叠世、晚奥陶世—早志留世、早寒武世和新元古代四个时代的烃源岩。这四个时代的烃源岩均形成于冰川消融时或刚消融后间冰期。准噶尔盆地吉木萨尔凹陷油区主力烃源岩为下二叠统芦草沟组（290~285Ma，Sunet al., 2022），玛湖凹陷油气区主力烃源岩为上石炭统—下二叠统风城组（305~296Ma，Wang et al., 2021），形成于晚古生代大冰期后（340~285Ma，Qieet al., 2019）。四川盆地东南部长宁、威远、威荣、涪陵大气田区探明储量已达万亿立方米，晚奥陶世—早志留世五峰-龙马溪组（445.1±3.5Ma，熊国庆等，2017）是该区各气田的重要烃源岩层，形成于赫南特冰期冰融时（445.16~443.83Ma，陈旭等，2017）。塔里木盆地台盆区主力烃源岩为早寒武世玉尔吐斯组（538.2±1.5 Ma，Yaoet al.,2005），华南安岳气田主力烃源岩为早寒武筇竹寺组、新元古代灯影组，这些烃源岩形成时期对应于华北罗圈冰期（~551Ma）。

烃源岩有机碳富集主要由水体生产力和氧化还原条件控制。上述四时代烃源岩均沉积于中低纬度地区，气温相对较高，且对应着升温冰融后的海侵（或湖侵）阶段；气候模型、古生物和大规模沉积型磷矿显示塔里木和华南在新元古和早寒武均存在强烈上升流，华南晚奥陶世-早志留世存在上升流沉积和较强的温盐环流。强烈的海侵和上升流作用极大地提高了冰融后水体的初级生产力。各时代 CIA 值从冰期到烃源岩形成期均有明显升高，化学风化明显增强；同时 CIA 值在 45～85 之间波动较大，体现了冰融期气候的剧烈波动，其冻融作用可加速岩石物理剥蚀；结合古生产力指标分析，冰融后的物理和化学风化相互促进，共同导致了营养物质陆源输入增加和生产力提高。此外，间冰期冰融后火山作用较强烈，火山喷发的营养物质输入会提高海洋表层生产力，同时形成利于有机质富集保存的缺氧水体环境。前人从斑脱岩沉积和汞元素分析发现五峰-龙马溪组受火山作用影响的层位与高 TOC、高生产力层位有极好的对应关系，各烃源岩形成的其他时代也对应着相对频繁的火山作用。

以上研究表明，间冰期冰融后特殊的升温、波动气候及其相关的海侵、上升流和火山作用共同导致了中国主要烃源岩的有机质富集。

S75-P-2

热液驱动下硅硼钠石碱性矿物成因富集及其对储层的影响

杨磊磊[1,2*]，赵伟全[1,2]，王大为[1,2]，叶浩[1,2]，姜振学[1,2]，刘祎[1,2]，许数[1,2]，宋子扬[1,2]

1 中国石油大学（北京），油气资源与探测国家重点实验室

2 中国石油大学（北京），非常规油气科学技术研究院

* yangleilei@cup.edu.cn

中国准噶尔盆地玛湖凹陷是典型的碱湖细粒沉积，热液活动强烈。玛湖凹陷主力烃源岩层，风城组，发育大量硅硼钠石等碱性矿物，局部产生富集层。风城组富有机质泥页岩为主要烃源岩，与富硅硼钠石层同处于风二段，产生的有机酸极易与硅硼钠石层发生水岩化学反应，从而对储层发育产生影响。在硅硼钠石富集的地层中，不同含量硅硼钠石岩层交替出现，硅硼钠石的含量不同发生溶蚀反应的程度也有所不同，进而对储层发育的影响也不尽相同。然而，目前碱性矿物的成因及对储层的影响存在多种观点，已有的认识无法解释这一硅硼钠石大量富集现象及其对储层的控制作用。本次研究针对风城组碱性矿物成因的猜想，展开实验测试、理论分析和数值模拟计算，深入研究硅硼钠石等碱性矿物的成因和富集机理，明确热液作用对硅硼钠石形成的促进作用。结果表明，玛湖凹陷风城组硅硼钠石的主要产出形式有以下 3 类：呈条带状和板柱状分散在储层内、区域性富集成岩、充填裂缝或粒间孔隙。硅硼钠石的形成与热液活动密切相关。热液上涌不仅加深了储层的咸化程度，发育白云石和方解石等碳酸盐矿物，为硅硼钠石的形成提供了化学沉淀的物质基础。而且后期伴随有机酸的溶蚀和混合作用，弱酸性环境下漫长的成岩作用使硅硼钠石充分地交代碳酸盐矿物，发生富集。由于热液优先随着断裂上涌并运移，硅硼钠石优先在断裂带及附近富集。

S75-P-3S

大洋缺氧事件对钼成矿的贡献

吴思璠[1,3]，李聪颖[1,2*]，孙卫东[1,2]

1 中国科学院海洋研究所，深海中心

2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* licongying@qdio.ac.cn

钼作为代表性关键金属，对战略性新兴产业的发展至关重要。斑岩型钼矿床是钼金属最主要的来源。基于 Audetat（2019）提出的硅酸盐岩浆和流体中金属元素浓度随岩浆演化而变化的模型，天然储库中的钼很难通过岩浆演化这个单一过程达到成矿所需的富集要求（最低品位 0.01%）。而海洋还原沉积物储库中钼丰度很高（50ppm），在俯冲过程中，大量沉积物随俯冲板片进入到岩石圈深部，经过俯冲再循环作用发生了富集和再分配，最终在俯冲带上部形成矿床。因此钼在成矿前经历了预富集过程，且海洋还原沉积物很可能是斑岩型钼矿床的重要物质来源。根据统计发现，大量钼矿形成于白垩纪。这可能与白垩纪时期发生了多次大洋缺氧事件（OAEs）有关。OAEs 期间海洋处于还原环境，海水中的钼从+6 价被还原成+4 价，与硫化物或有机质结合，形成了大量富钼的还原沉积物，从而完成了钼的预富集。通过对比研究 DSDP Site463、ODP Site765 和 ODP Site866 的钼元素含量和钼同位素比值在 OAE1a 期间和前后的变化，结合前人

报道的其他剖面钼元素含量数据，发现虽然钼在 OAE1a 期间普遍富集，但不同区域的海水氧化还原环境、大陆风化程度、沉积速率等因素都会导致钼富集程度的差异。后续研究还将利用钼同位素比值在海洋还原沉积物、地壳、地幔与钼矿床等不同储库间的差异，进一步证明 OAEs 对钼成矿的贡献，厘清钼在完成预富集之后的具体成矿过程。

S75-P-4

全球气候环境控制下的陆相湖盆有机质富集机理——以中国渤海湾盆地东濮凹陷为例

姜福杰 [1,2*]，朱晨曦 [1,2]

1 油气资源与探测国家重点实验室

2 中国石油大学（北京），地球科学学院

* jfjhtb@163.com

陆相湖盆浮游生物的发育、有机质的降解、埋藏和保存是全球碳循环中的关键一环。但是由于湖盆面积小，古湖泊沉积环境更容易受气候条件等因素影响，导致湖泊水体性质的变化，从而控制有机质的富集。因此目前针对古气候周期变化与咸化湖盆古环境、古生物群、有机质富集之间的耦合关系尚未得到系统研究。我国新生代陆相沉积广泛发育，并且发育大量盐岩与泥页岩的互层沉积 。东濮凹陷是我国渤海湾盆地典型的陆相咸化湖盆，在始新世沙河街组沉积了丰富的含盐富有机质泥页岩。因此，本次研究选取了东濮凹陷 W2 井沙三下亚段连续沉积的含盐泥页岩样品，开展了 TOC 含量、主微量元素、有机碳同位素以及孢粉分析，结合 Milankovi 分析对东濮凹陷沙三下亚段全球气候变化的背景下陆相咸化湖盆中生物周期性繁育、咸化湖盆沉积环境变化特征、有机质富集特征与碳循环的耦合关系进行深入研究。结果表明含盐泥页岩发育有石盐和石膏两种蒸发岩矿物，蒸发岩矿物平均值达到 8.24%。随着埋藏深度的不断变化，TOC 含量呈现周期性的增加→降低的趋势。基于 GR 测井曲线以及前人对渤海湾盆地的绝对年龄研究建立了沙河街组二段至三段的 5.22–Myr 浮动天文标尺，并确定研究深度的地质年龄为 38.92 Ma~39.77 Ma。Milankovi 结果表明东濮凹陷沙三下亚段沉积时期湖平面变化受 1.2 Myr 的周期影响，并且控制了湖平面的升降。这主要是由于倾角的增加可能会引发冰川消融，海平面上升，从而有利于陆地地下水或湖水的蓄水量的变化。低的轨道离心率周期则控制了湖盆中深灰色泥页岩和粉砂岩的交替发育，也控制了湖泊古盐度的变化。沉积盆地中浮游生物类型主要包括沟鞭藻、疑源藻类、绿藻化石以及陆源植物碎屑，其中沟鞭藻和疑源藻是沉积有机质的主要来源。结合孢粉分析认为水体古盐度为 11‰时有利于沟鞭藻与疑源藻类的发育，适量陆源碎屑输入也为异养型沟鞭藻的发育提供营养物质，使沉积盆地古生产力高。水体还原环境控制了浮游藻类的埋藏和保存。沟鞭藻囊孢含有孢粉蛋白和脂肪族藻聚糖，是主要供有机质富集的浮游藻类。结合有机碳同位素演化特征，认为陆相咸化湖盆中气候温暖时期浮游藻类大量发育以及有机质能够有效埋藏后，沉积页岩的 $\delta^{13}C_{org}$ 值偏轻；而气候寒冷阶段，陆源高等植物输入较多时，碳同位素的值逐渐增加。这种碳、湖泊水体环境以及气候变化之间的耦合关系可能解释了咸化湖盆中有机碳埋藏对碳循环的响应意义。

S75-P-5

寒武纪黑色岩系型磷成矿作用研究进展

左鹏飞 [1*]，王庆飞 [2]，刘学飞 [2]

1 河南理工大学，资源环境学院

2 中国地质大学（北京），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* zuopf@hpu.edu.cn

磷的富集和沉淀机制是目前沉积型磷矿床研究的热点问题之一。海相磷灰石的形成通常被认为与氧化-还原状态密切相关，然而磷是通过含三价铁矿物的吸附和还原释放富集成矿，还是与缺氧环境下三价铁矿物还原无关，目前尚未明确。扬子克拉通周缘下寒武统沉积了一套发育有多金属矿床和矿化的黑色岩系，同时也是我国主要的大型-超大型沉积磷矿赋存地层。研究显示扬子克拉通北缘黄钾铁矾（I 型）以结核状和片状发育在黑色岩系中，与磷灰石密切共生；另外一种黄钾铁矾（II 型）以脉状和片状发育，与褐铁矿共伴生。黄钾铁矾标准分子式为 $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$，其常见成因除黄铁矿的氧化外，在酸性介质条件下也可直接生成，常产于矿山废水、火山喷气口、高盐度卤水、酸性地下水中、热液矿床蚀变带和冰川等环境。电子探针结果显示 I 型黄钾铁矾 Fe/Al 介于 1.0~2.5，而 II 型黄钾铁矾几乎不含 Al。矿物面扫描和背散射图像显示，I 型黄钾铁矾与磷灰石无明显界限，且含 V、Al、Cr、Ba 等元素。结合矿物生成期次，I 型黄钾铁矾推测形成于成岩早期阶段，II 型黄钾铁矾是由黄铁矿的直接氧化形成。因此，“铁氧化还原”可能在磷的富集沉淀中起到“泵”的作用。该过程中铁的三价氧化物从水或者沉积物中吸附磷，并在还原条件下释放磷；而三价铁还原为二价铁，生成黄铁矿或被氧化形成 I 型黄钾铁矾。

S75-P-6S

贵州松林剖面下寒武富多金属黑色页岩的地球化学特征及其对镍钼富集成矿的指示

杨柳[1]，于汇洋[1]，杨涛[1*]，韩涛[2]，高军波[3]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 中国科学院地球化学研究所，中国科学院贵阳地球化学研究所

3 贵州大学，资源与环境工程学院

* yangtao@nju.edu.cn

埃迪卡拉纪-早寒武世是地质历史中重要的转折时期，在这一阶段，大气、海洋的氧气含量明显波动，生命演化产生现今几乎所有生物类群，大规模金属-非金属元素富集成矿。在中国华南下寒武黑色岩系地层中，由滇黔桂向苏皖方向，存在一条由磷块岩、镍钼钒矿至重晶石矿的成矿演化带。前人对磷块岩、重晶石矿的成矿模式已经进行了充分研究，但对镍钼富集层成矿模式及当时海水地球化学特征仍缺乏系统性研究。本研究对贵州省松林剖面镍钼富集层及上下围岩进行了系统的地球化学工作，通过氧化还原指标、稀土元素配分模式及镍、钼同位素特征，重建了这一时期松林剖面所处沉积盆地的海水氧化还原状态和生产力变化。根据黑色页岩及矿层的 δ^{60}Ni 值和 δ^{98}Mo 值与样品 Fe、Mn 元素含量的正相关关系，推断松林剖面黑色页岩中的 Ni、Mo 初始富集主要通过浅层氧化海水的 Fe-Mn shuttle 作用。这些铁锰（氢）氧化物在浅水生成并向下沉淀的过程中，会经历部分溶解及 Ni、Mo 的释放，在厌氧（可能有轻微硫化）的水体环境下生成新的硫化物矿物相，这些相优先利用轻的同位素，使得缺氧水体富集较重的同位素。但由于沉积盆地与广海联通条件较好，因此海水初始 Ni、Mo 同位素组成恒定，Fe-Mn shuttle 的初始富集塑造了松林剖面现在的同位素演化曲线，之后氧化物的溶解和元素再循环（包括早期成岩作用向水体释放更重的 Ni 和 Mo 组分）对初始曲线进一步改造。总而言之，松林剖面黑色页岩及矿层镍钼同位素变化受控于铁锰（氢）氧化物的吸附、溶解和其在同沉积-早期成岩过程中的再循环。综上，我们建立了华南下寒武黑色页岩中镍钼富集层成矿模式，包括上涌带来营养物质和大量 Fe、Mn，促进初级生产力发展，提高有机质的向下输送。过量的有机质会导致沉积盆地氧气快速消耗并形成短暂的缺氧-硫化环境，这一过程沉积盆地内积累了大量的 Ni、Mo 等元素。随着上涌带来营养

物质的枯竭，生命元素 P 和 Fe、Mn 含量逐渐降低并持续波动。Fe-Mn shuttle 作用显著控制了沉积物中 Ni、Mo 的含量和其同位素组成。经过同沉积及早期成岩作用，沉积物内的 Ni、Mo 组分发生进一步改造，但发生的这一整体变化不会改变初始的 Fe-Mn shuttle 的作用信号。这一成矿模型指出镍钼富集层的沉淀过程和热液活动无关，但是不否认原始海水中 Ni、Mo 的来源是否源于被动大陆边缘的热液活动区。

S75-P-7S

中元古代早期海洋铁化缺氧上升流系统控制了海洋氧化条件的时空非均质性

冶明泽 [1]，张水昌 [1]，叶云涛 [1,2]，吴明昊 [1]，王晓梅 [1*]

1 中国石油勘探开发研究院，油气地球化学重点实验室

2 北京大学，地球与空间科学学院

* wxm01@petrochina.com.cn

在中元古代时期 (1.6-1.0 Ga)，海洋中氧气匮乏和营养元素不足常被认为是复杂多细胞真核生物直到新元古代晚期才开始大量出现的原因。华北中元古代早期 (~1.6-1.4 Ga)沉积了厚达数千米的海相碳酸盐岩，然而，该期间出现了一套富有机质的洪水庄组 (~1.46 ~ 1.45 Ga)黑色页岩。追溯从贫有机质沉积到富有机质沉积的转化过程对于解释可利用营养物质来源具有重要理论价值。为了揭示这些富有机质沉积物背后的潜在驱动因素，我们使用多种指标 (Fe_{HR}/Fe_T, Fe_{py}/Fe_{HR}, Mo_{EF}, U_{EF}, V_{EF}, and $[Ce/Ce^*]_{SN}$, C_{org}/P, $\delta^{15}N$) 研究了洪水庄组沉积期间海水营养元素 (N、P) 和氧化还原条件的变化。我们的研究结果表明，上升洋流事件提供了可利用的营养物质，进一步影响了不同地区不一致的氧化还原演化。上升流带来的持续的深海 Fe(II)消耗可以准确追溯营养元素 N 的动态循环过程。

S76-O-1

新特提斯洋活动与中东成岩-成储-成藏的耦合关系——以美索不达米亚盆地东南部油田为例

王欢 [1*]，窦立荣 [1]，张兴阳 [1]，沈安江 [2,3]，尹继全 [1]，罗贝维 [1]

1 中国石油勘探开发研究院，中国石油勘探开发研究院

2 中国石油杭州地质研究院

3 中国石油天然气集团有限公司碳酸盐岩储层重点实验室

* emma_wang@163.com

中东油气富集区处于特提斯构造域内，新特提斯洋活动与中东上白垩统 Mishrif 组成岩演化与古成藏事件密切相关。以美索不达米亚盆地东南部油田为例，综合原位 U-Pb 定年、微量-稀土元素面扫描、二元同位素测温以及包裹体分析，明确了新特提斯洋闭合阶段 Mishrif 组构造-成岩-成储-成藏耦合关系。晚白垩世早期，新特提斯洋缓慢收缩引起的低幅度构造抬升，在 Mishrif 组发育多期次不同级别的层序界面，形成大量粒间、粒内溶孔和铸模孔，识别出 3 个世代典型方解石胶结物，分别为环边粒状胶结物、嵌晶状胶结物和块状胶结物，三者原位 U-Pb 定年为 96.8-85.5Ma，前两者 Fe、Mn 含量低，Sr 含量高，后者 Mn 含量高，Sr 含量低，明确了该时期 Mishrf 组处于准同生期大气淡水和海水混合水成岩环境，成岩活动最为活跃，是形成次生孔隙和多类型早期胶结物发育的主要时期。白垩纪末期，南新特提斯洋快速闭合，地层快速埋深，仅识别出一个世代的块状胶结物，原位 U-Pb 定年为

69.44-67.62 Ma，Fe、Mn 含量高，Sr 含量低，同时胶结物内可见黄色荧光原油包裹体，明确了浅埋藏阶段地层卤水成岩环境和早期油气成藏事件。白垩纪末至早中新统，新特提斯洋逐渐闭合，Mishrif 组稳定埋藏，原油持续充注，胶结物不发育，次生孔隙得到有效保存。早-中中新统，新特提斯洋完全闭合，受扎格罗斯造山运动影响，Mishrif 组快速埋藏至最深，在溶洞及裂缝中发育块状胶结物，原位 U-Pb 定年为 24.7-12.7 Ma，Fe、Mn 含量高，Sr 含量低，该时期胶结物中可见绿色荧光原油包裹体，同时二元同位素测温为 66.1℃和 83.4℃，证实 Mishrif 组的深埋藏阶段地层卤水成岩环境和晚期油气成藏事件。综上，晚白垩世早期，新特提斯洋开始缓慢收缩， Mishrif 组早期次生孔隙发育；晚白垩世末期，南新特提斯洋快速闭合，地层快速埋深，有机酸对早期次生孔隙扩溶，早期原油成熟并充注；晚白垩世末-早中新统，新特提斯洋逐渐闭合，早期油气的持续充注抑制储层内胶结物的发育，次生孔隙得到有效保存；早-中中新统，新特提斯洋快速闭合，Mishrif 组快速埋藏至最深，晚期成熟原油充注，次生孔隙持续扩容并形成现今有效储层和丰富的油气聚集。

S76-O-2

北非地区构造演化及油气富集规律

冯志强 [1*]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* fengzq.syky@sinopec.com

北非总面积 450 万平方公里，油气资源富集，已发现 2P 可采储量约 1755 亿桶油当量，待发现可采资源量 1072 亿桶油当量。北非经历了罗迪尼亚裂解—潘吉亚大陆形成和潘吉亚裂解—现代汇聚两大构造旋回，形成古生界克拉通和中-新生代裂谷-被动陆缘两大构造层，发育两套优质烃源岩层系。早古生代冈瓦纳大陆裂解，形成原特提斯和古特提斯洋，北非处于区域拉张-伸展阶段，在早古生代陆内坳陷陆表海环境形成区域性分布的早志留系烃源岩，有机碳含量高达 12%（平均 4.6%），古生代晚期（海西期）劳亚与冈瓦纳汇聚，形成北东向挤压构造带，发育宽缓海西古隆起背斜构造，虽晚期发生新特提斯裂谷作用，但西部陆内坳陷作用弱，保存好于东部，形成油气富集的古生界含油气系统。中生代晚三叠世以来，潘吉亚大陆从东向西裂解，在中侏罗世-白垩纪形成新特提斯洋，发育裂谷方向平行于陆缘的裂谷（海槽）-陆表海环境，在长期局限海、低纬度作用下，沉积区域性中侏罗碳质泥岩和晚白垩富含有机质泥页岩，形成优质烃源岩层，同时浅水、低纬度环境形成侏罗系-第三系碳酸盐岩储层，新生代三角洲砂岩储层，到中新世，新特提斯在西部阿特拉斯碰撞造山、在地中海东部开始初期碰撞形成构造带控制了油气差异富集，东部陆上发育中生界含油气系统，海上发育新生代含油气系统。

S76-O-3

特提斯域南带油气差异富集主要因素分析

白国平 [1,2*]，赵美奇 [2]，周妍 [2]

1 北京大学，能源研究院

2 中国石油大学（北京），地球科学学院

* baigp@cup.edu.cn

依据原、古、新特提斯洋缝合线和区域走滑断层的展布，特提斯域分为北、中、南三个构造带，每个构造带又分为南欧北非段、中亚中东段、中国西部印度段和中国中东部东南亚段。本研究基于最新的油气田/藏和含油气盆地数据以及相关公开文献，采用含油气系统综合分析方法，揭示特提斯南带油气分布规律、含油气系统和成藏组合地质特征与时空叠置样式，进而探讨控制油气差异富集的主控因素。

特提斯域南带已发现4600余个油气田，探明和控制可采储量为10,917.47亿桶石油、4,991.39万亿立方英尺天然气和866.76亿桶凝析油，合计 20,102.21 亿桶油当量，占特提斯域油气总储量的81.4%。油气分布高度不均一，区域上主要分布于中东地区（其储量占南带总量的87.7%），其次是北非地区（8.9%）、澳大利亚—巴布亚地区（2.6%）和印度-巴基斯坦北部地区（0.8%）。层系上，油气主要富集于白垩系（占32.3%）、侏罗系（21.4%）、二叠系（14.6%）和三叠系（12.1%）。已发现的油气主要源自侏罗系、志留系和白垩系烃源岩，它们分别贡献了37.6%、28.6%和26.0%的油气储量。

中东地区所处的阿拉伯板块经历了原、古、新特提斯洋演化阶段，发育了志留系、侏罗系和白垩系含油气系统，形成蒸发岩封盖的二叠系-三叠系、蒸发岩封盖的侏罗系、泥页岩封盖的白垩系和蒸发岩封盖的新生界四个主要成藏组合，含油气系统和成藏组合垂向上多呈相互叠加的样式展布。北非的西部、中部和东部亚段经历了不尽相同的构造-沉积演化史，其西部主要发育了志留系含油气系统，形成了蒸发岩封盖的古生界-三叠系一个主要成藏组合；中部主要发育了白垩系含油气系统以及古近系含油气系统，形成了侏罗系、白垩系和古近系三个主要成藏组合；东部发育侏罗系/白垩系和新生界两个含油气系统，形成了白垩系和新近系两个主要成藏组合。澳大利亚-巴布亚发育了三叠系和侏罗系两个含油气系统，形成了三叠系、侏罗系和白垩系三个主要成藏组合。经历了强烈破坏作用的印度-巴基斯坦北部地区仅发育白垩系和新生界两个含油气系统，形成了白垩系、古近系和新近系三个成藏组合。

中东地区的主力含油气系统发育最齐全，主要成藏组合分布广泛且垂向上相互叠置，从而造就了中东地区油气的异常富集。

S76-O-4

阿拉伯板块基底构造继承性活动与油气大规模聚集

殷进垠[1*]，王大鹏[1]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* yinjy.syky@sinopec.com

中东地区拥有世界多半的常规油气储量以及世界上规模最大的油田和气田，它们全部分布在阿拉伯板块之上，包括板块西部稳定的地台区和东北缘受扎格罗斯造山影响的褶皱带-前陆区。中东地区已发现油气储量的90%以上都赋存于构造圈闭。近年在伊朗发现的Namavaran和Eram等大型构造-岩性油气田，成为勘探家追逐的新勘探区带类型。本文从阿拉伯板块长期处于特提斯洋被动陆缘弱伸展环境和多次受远、近程俯冲-碰撞影响背景下，分析了基底断裂多期继承性活动对储层沉积、构造变形和油气成聚集-保存的控制作用，以及通过对油气成藏和改造过程的追踪，揭示了研究区油气成藏可分为前扎格罗斯和扎格罗斯两大阶段：前扎格罗斯阶段油气主要在 Arab 系多幕式聚集，扎格罗斯阶段则改造 Arab 系油气藏并使之发生调整乃至破坏，在Zagros系构造内聚集成藏，并指出扎格罗斯褶皱带-前陆区是构造-岩性油气藏的未来勘探方向。

S76-O-5

古、新特提斯洋盆闭合阶段的地质响应 ——以波斯湾超级含油气盆地为例

罗贝维[1*]，尹继全[1]，张旺[2]，王欢[1]，肖萌[1]

1 中国石油勘探开发研究院，中国石油勘探开发研究院

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* luobeiwei@petrochina.com.cn

近年提出的“单向列车”地球动力学模型较好的串联了特提斯构造域的宏观耦合机制和油气富集效应。与特提斯洋闭合相关的“卸货”阶段因与定藏更为相关，更应受到石油地质学者的关注和解剖。围绕全球油气最为富集的波斯湾超级含油气盆地，综合构造解剖、岩心及实验分析手段，系统评价了古、新特提斯洋盆闭合阶段的地质响应。8 条地质-地震大剖面的解剖，从宏观角度明确了古、新特提斯洋闭合对中石炭世末期海西造山和晚白垩世阿尔卑斯造山相关的地质影响。200 余样次的岩心、薄片和同位素地球化学资料从微观层面证实了不整合相关的岩溶响应。古特提斯洋盆闭合相关的海西造山运动促使中阿拉伯隆起、盖瓦尔凸起、布尔干凸起和卡塔尔隆起等正向单元进一步抬升，促使二叠系与下伏地层广泛成角度不整合接触，进而奠定了一系列 NE-SW 向的隆坳相间构造格架。新特提斯洋盆闭合相关的阿尔卑斯造山运动具有汇聚速度慢、碰撞破坏小的弱造山特征，上、下白垩统之间的角度不整合集中表现在扎格罗斯山及阿曼山周缘地区，进而促进了多类型圈闭的发育。特提斯洋闭合阶段在远离造山带的区域常表现对储层的建设性成岩作用。薄片观察、阴极发光及成岩流体恢复表明，汇聚作用相关的压扭及断层活动影响了缓坡型碳酸盐岩沉积环境。森诺曼阶末期的碳酸盐岩储层广泛具 δ13C 值偏正，δ18O 偏负，及较高 87Sr/86Sr 比值的特征，证实储层广泛受到淡水溶蚀、构造破裂等多种建设性成岩作用。古、新特提斯洋闭合阶段的宏、微观论证能有机耦合控制油气富集的构造格局、储层演化及圈闭定型机制，与之相关的关键地质要素的澄清则为全球范围内其他陆块的勘探机会优选以启示。

S76-O-6

从全球原型盆地演化看中东地区油气富集

张光亚[1*]，黄彤飞[2]，温志新[2]，于炳松[3]，王兆明[2]，童晓光[4]，辛仁臣[3]，李曰俊[6]，陈汉林[5]，喻志骅[2]，王彦奇[2]

1 北京大学，能源研究院

2 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院

3 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

4 中国石油天然气勘探开发公司

5 浙江大学，地球科学学院

6 中国科学院地质与地球物理研究所

* zhanggy2022@126.com

在全球古板块重建基础上，通过对全球划分的 4091 个地质单元不同地质历史时期所处的大地构造特征和原型盆地性质厘定，并以 468 个重点盆地为关键标定，恢复了全球 13 个地质时期的原型盆地类型、古、今位置分布及其演化规律，探讨了其与烃源岩和油气富集的关系。研究表明，全球原型盆地主要经历了四个演化阶段：罗迪尼亚超大陆裂解、分离，主要形成克拉通盆地、被动陆缘盆地；冈瓦纳大陆形成控制了前陆盆地发育；冈瓦纳大陆漂移及潘基亚超大陆形成，控制古生代被动陆缘盆地和弧后盆地、前陆盆地共同发育；潘基亚超大陆的裂解主要控制裂谷盆地、被动陆缘盆地发育。

原型盆地的形成及演化控制了油气成藏条件及油气富集。全球主要烃源岩主要发育于拉张环境下的被动陆缘盆地和裂谷，与大陆裂解、海平面上升、海侵广泛有关；侏罗纪和白垩纪烃源岩最为发育。在全球最为富集的中东地区的阿拉伯等盆地，是新近纪前陆盆地叠加在中-新生代被动边缘盆地和古生代克拉通盆地之上的叠合型盆地，有多套烃源岩和成藏组合，构造圈闭大而多，这些有利的油气地质条件，使之成为油气资源极为丰富的含油气区。

恢复不同期次的盆地原型及其多期叠加改造历史，预测其生储盖分布，恢复其成

藏过程，可以有效指导勘探，对我国油公司海外战略选区具有重要应用价值。

S76-O-7

特提斯东段含油气盆地特征及油气潜力

朱伟林[1,2*]，孙和风[3]，付晓伟[1]，赵世杰[1]，周增园[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国海洋石油集团有限公司

3 中国海洋石油国际有限公司

* zhuwl@tongji.edu.cn

受特提斯构造域单向漂移-聚合-碰撞和东南亚地区内微板块之间的相互作用，在该地区形成了聚敛型大陆边缘、离散型大陆边缘和板内裂谷三种类型的含油气盆地，其盆地类型、烃源岩类型和成熟度、晚期构造是控制油气富集丰度、油气类型的主要因素。近十年来，东南亚发现的油气总可采储量约 18.71×10^8 油当量，总可采储量约占全球同期发现储量的 4.8%，新发现储量表现为气多油少，天然气占 82.8%，但油气藏规模小，可采储量平均为 $254\times10^4m^3$ 油当量。分析认为特提斯东段仍有较大油气资源潜力，下步油气勘探的方向主要应集中在成熟盆地新领域，如岩性圈闭、潜山等。待发现油气资源主要分布深水区，尤其是成熟盆地深水区、中-古生界盆地、非常规油气等。

S76-O-8

100MA 东南亚构造转折与特提斯东段演化

栾锡武[1*]

1 山东科技大学，地球科学学院

* xluan@sdust.edu.cn

本文旨在基于喜马拉雅逃逸构造的背景，提出并证明白垩纪中期（约 100 Ma）东南亚古边缘的构造恢复模型。早在喜马拉雅和青藏高原大规模伸展和地壳塌陷模型被广泛认可之前，就提出了逃逸构造模型，这是目前喜马拉雅和亚洲演化构造的两个基本模型。喜马拉雅山和青藏高原下印度板块和欧亚板块碰撞产生的厚堆积地壳物质经历了两种类型的发散：平行逆冲带和垂直逆冲带。伸展模型提出了青藏高原韧性地壳物质从碰撞带向东向外的增厚流动，而喜马拉雅逃逸构造模型提出了在喜马拉雅东部构造带东南的碰撞带内刚性欧亚大陆块的横向挤压。尽管物理建模工作和数值建模工作都无法证明哪种模型更有利于 SCS 的开放，由于复杂的地理条件和缺乏实地调查数据作为约束，关于东南亚构造演化的论文更经常引用逃逸构造模型，特别是海洋 SCS 盆地开放的主要机制。逃逸构造模型实际上需要数百公里的水平位移和 EHS 东南部以走滑断层为界的地块的严重变形。然而直到现在，我们没有令人信服的证据表明，如果阿廖山-红河剪切带进入南海扩展中心，如果任何主要走滑断层穿过巽他兰到达婆罗洲西北边缘，以促进大陆块的挤压。根据地震剖面解释，克里夫甚至认为，挤压构造不能被认为是 SCS 形成的可行机制，尽管它可能确实形成了莺歌海盆。本文讨论了最近发表的数据，这些数据使我们能够更好地理解走滑断层的几何形状和演化。这些数据包括南海北部边缘的基底性质和东西部差异、越南东南部的白垩纪走滑位错和 105-100 Ma 的白垩纪中期事件。最近在南海进行的 IODP 钻探极大地加深了我们对南海构造和演化的理解，但也提出了新的问题。关于 SCS 模型的争论更加激烈。本研究的目的不是解决 SCS 形成的原因，而是为长期以来关于 SCS 扩展机制的争论提供一个 100 Ma 以来的起始边界条件。

S76-O-9

四川盆地克拉通内裂陷形成演化及其与原、古特提斯洋开合的关系

李双建[1,2*]，何治亮[3,4]，李英强[1,2]，高键[1,2]，冯小宽[1]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，四川勘探开发中心

2 中国石化深部地质与资源重点实验室

3 中国石油化工股份有限公司

4 北京大学，能源研究院

* hawkingli@163.com

特提斯构造演化过程中大洋扩张、消减和洋-陆碰撞对周缘板块或陆块上沉积盆地的充填演化具有明显控制作用，四川盆地的多旋回构造-沉积演化与原、古、新特提斯洋的演化有密切关系。近年来，围绕着四川盆地震旦纪和二叠纪两期克拉通内裂陷的油气勘探不断取得突破，引起了人们对古裂陷形成过程及其控油气作用的广泛讨论，但是关于古裂陷形成的板块动力学机制的研究较少。本文从野外露头、钻井沉积记录入手，分析了四川盆地震旦纪、二叠纪两期古裂陷的形成演化过程，探讨了原、古特提斯构造对古裂陷发育的控制作用。研究认为：四川盆地震旦纪古裂陷雏形发育陡山沱期、发育高峰期为灯影组灯四段，早寒武世盆地的构造环境逐步由拉张转变为挤压，拉张裂陷的动力学背景与扬子北缘原特提斯洋俯冲形成的后缘拉拽作用有关，挤压作用受扬子南缘与冈瓦纳大陆北缘微陆块碰撞控制，扬子陆块南挤北张的构造环境由早寒武世一直持续到志留纪；四川盆地二叠纪古裂陷雏形中二叠世茅口组茅三段，发育的高峰期为晚二叠世长兴组沉积期，古裂陷形成的动力学背景主要与扬子北缘古特提斯洋俯冲形成的后缘拉拽作用有关，古裂陷的消亡与古特提斯洋分支-勉略洋的闭合有关。总之，四川盆地震旦纪、二叠纪两期克拉通内裂陷发育的高峰期均为扬子克拉通被动大陆边缘盆地发育期，与原、古特提斯洋由扩展向俯冲消减转变时间具有一致性，由此也可以说明洋壳俯冲的拖拽作用可以使稳定克拉通发生陆内伸展，成为盆地沉降的一种动力学机制。

S76-O-10

特提斯构造域中段盆-山耦合过程控制下的储层时空分布研究——以塔西南坳陷白垩纪为例

常嘉[1*]，刘可禹[1,2,3]，刘建良[1,2]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院

2 中国石油大学（华东），深层油气重点实验室

3 崂山实验室

* changjia0713@163.com

特提斯构造域演化后期强烈构造变形导致特提斯洋闭合带古地理特征复杂，常规手段很难有效恢复。盆地-地貌动力学（*Badlands*）模拟软件基于物质和能量守恒原则，并考虑流体及气候、降水等因素，叠加复杂构造运动，模拟大时空尺度下的盆、山沉积-剥蚀演化过程。塔西南坳陷地处特提斯造山带北缘，发育完整的中-新生代沉积序列，记录了印度板块与亚欧板块碰撞以来西昆仑造山带北缘的沉积-构造演化过程。本次研究首次使用 *Badlands* 地层正演模拟方法，建立塔西南坳陷白垩纪沉积演化模型，该模型提供盆地尺度的沉积物运移及盆地充填的连续量化过程。利用地震、平衡剖面及地层数据恢复白垩系初期的古地貌模型。并加载海平面、构造、降雨量及岩石剥蚀等参数，建立塔西南坳陷白垩纪共 7900 万年的沉积演化模型，再现了造山带剥蚀、沉积物搬运与盆地沉积充填的全过程，定量分析盆-山耦合过程对古地貌演化及白垩系沉积的影响。研究结果表明，古隆起的发育可更好地匹配地质资料中沉积物厚度及分布形

态。物源主要来自西昆仑造山带，约 75%，麦盖提斜坡提供约 24%的物源。古隆起在早-中白垩世提供少许物源，伴随白垩系逐渐超覆于古隆起，物源供应量逐步减少，直至晚白垩世被完全掩埋。沉积物分布受晚三叠纪时期古特提斯洋碰撞闭合影响，水动力主要来自河流。早白垩纪时期，造山带快速隆升，冲积扇、辫状河三角洲砂体沿山前快速堆积，沉积厚度由南向北逐渐减薄。受炎热干旱气候影响，山间河流无法延伸至盆地腹部，仅在西昆仑山前汇聚形成一条主河流自东南向西北延伸。晚白垩纪早期，塔里木板块南缘与甜水海地块拼贴完成，造山带隆升减缓，辫状河三角洲发育规模减小。降水量增加致使主河道北移至盆地腹部。晚白垩纪中-晚期，造山带隆升及盆地沉降速率进一步放缓，降雨量波动频繁，盆内发育潮坪、潟湖及台地相，主河道演变为两条新河道从盆地中部的隆起分别向东南、西北方向延伸。白垩纪沉积序列完整连续表明盆地未遭受突发性构造事件。晚白垩纪末期，新特提斯洋俯冲导致塔西南坳陷抬升，白垩系遭受剥蚀。塔西南坳陷白垩纪沉积过程受盆-山动态构造演化及海平面、古气候等因素影响，古气候与古降水控制造山带剥蚀速率，海平面变化与盆地沉降影响盆地沉积速率。白垩系储层以早-中白垩纪辫状河三角洲砂体为主，分布于乌泊尔、棋北构造带内。该模型可做为认识特提斯构造域盆-山耦合过程的重要工具，并在储层识别中提供新见解与假设。

S76-O-11

以固碳视角探讨黑色页岩的沉积环境

毛小平 [1*]

1 中国地质大学（北京），能源学院

* maoxp9@163.com

黑色页岩的发育，既关系到页岩油气勘探本身，也关系到相关学科。其它沉积型矿产如铝土矿、磷矿、锰矿等常与黑色页岩共生，页岩的发育是其重要环境标志或找矿标志；大火成岩省、大洋缺氧事件、古气候等也以它作为参照，甚至大洋缺氧事件的最重要的证据就是黑色页岩的发育；目前的碳中和等也需研究碳的埋藏。因此，本文对页岩的发育及其有机质的富集的研究，具有重大意义。

目前主流观点认为黑色页岩发育于较深水环境，主要为深水陆棚。本文结合生态学论述了页岩沉积时有机质的富集环境。得出，受水体溶解氧、光照的影响，初级生产力在浅水环境最高，各类有机质均发育于极浅水环境(<20-40m)（俞焰，2017）；页岩和煤具有相同的成矿模式，近陆远水，越靠近陆地，有机质越富集；中上扬子地区五峰组 Sr/Ba 比值<0.15(冯洪真,1993)，指示为淡化海环境，发育多层斑脱岩(尹海鉴等，2012)，无海绿石；而宝塔组、临湘组 Sr/Ba>2(谢尚克,2010)，指示为正常盐度，无斑脱岩，砂岩段含海绿石。斑脱岩指示浅水封闭环境，如在贵州开阳陡山沱组，两个磷矿层之间有 1-3cm 的斑脱岩夹层，磷矿层发育叠层石，为封闭的浅水、海退背景；而海绿石意味着深水环境。铜仁地区南华系大塘坡组锰矿的母岩为碳质页岩，TOC 高达 2.0-3.7%，据硫同位素 $\delta^{34}S$ 判断为封闭水体（裴浩翔，2020）。开阳大型磷矿床就富集于具有水下低隆局限水体(刘建中等，2019)。反观开阔陆棚环境，我国周边海域受洋流、潮汐等作用，在陆棚及陆坡区域主要沉积粉砂、细砂岩，而黏土极少(耿明会,2017)，甚至连半封闭的渤海湾盆地，也主要以细砂为主。将今论古，古代也存在洋流、潮汐作用，其开阔环境难发育页岩。

大洋缺氧事件常以黑色页岩发育为重要证据(Hu,2005; 刘昕羽,2020)。然而，从本文看，黑色页岩的发育和大洋没有一点关系。大洋的最低含氧带 OMZ (Oxygen Minimum Zones)是受海底温度、海洋表面温度产生的梯度，及洋流、潮流综合作用影响所致，在 800-1000m 内的一个最低含氧带而已，和全球气候变化关系不大。

因此，黑色岩系，特别是黑色页岩发育于较泻湖或封闭的海湾环境-收纳矿物质、有机质、火山灰的最好的容器。

S76-O-12

特提斯演化控制下的油气差异富集效应 —基于波斯湾盆地与四川盆地的比较分析

何治亮[1,2*]，金之钧[2,3]，李双建[3,4]，白国平[2]，吕雪雁[3]，郭金瑞[3]，高键[3,4]，殷进垠[3]，李英强[3,4]，郑定业[3]

1 中国石油化工股份有限公司

2 北京大学能源研究院

3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

4 中国石化深部地质与资源重点实验室

* hezhiliang@sinopec.com

特提斯构造域中油气资源富集规律及其差异性，是国内外油气地质界的研究热点。中东地区的波斯湾盆地与我国境内的四川盆地位于特提斯域南北两侧，均记录了从原特提斯洋、古特提斯洋到新特提斯洋开-合演化的全地质过程，是各自地区油气异常富集的盆地。在特提斯域板块构造演化分析的基础上，通过波斯湾盆地和四川盆地盆地结构与油气成藏条件的解剖，对特提斯域板块裂解-聚合过程中油气富集成藏的控制作用开展了系统对比研究，并指出了油气勘探方向。

（1）中-新元古代以来波斯湾盆地和四川盆地的构造演化具有“早期相似、晚期各异”的特征。受原特提斯洋、古特提斯洋与新特提斯洋形成演化所控制，波斯湾盆地和四川盆地经历了多阶段发育与改造过程，构成了两大伸展-聚敛旋回，具有“裂谷-克拉通拗陷（被动大陆边缘）-前陆” 多类型盆地原型纵向上的有序叠加的特点。

（2）特提斯域长期处于中低纬度以及板块裂解-聚合过程中形成的局部缺氧环境是烃源岩大规模发育的关键，单向裂解过程中连接大洋的欠补偿的裂谷深凹、被动大陆边缘的盆地-斜坡与陆架凹陷、克拉通拗陷的盆内凹陷和前陆盆地的欠补偿前渊是烃源岩分布的有利部位；台地边缘、台内水下高地和古隆起、断裂带是有利碳酸盐岩储层发育区。与盆地演化阶段和全球性干热气候事件密切相关的膏盐岩盖层，是油气大规模保存的关键。

（3）特提斯演化控制下波斯湾盆地和四川盆地油气富集具有相似的主控因素，原型盆地叠加过程中适度的构造-沉积分异与构造改造，成藏要素的时空匹配有利于大型油气田发育。油气宏观分布受源-盖组合的控制，局部的油气分布受圈-储配置控制。板块大小位置、基底稳定性、海平面变化、古气候、构造变形改造是波斯湾盆地和四川盆地油气差异富集的关键原因，不同构造改造强度与油气藏类型、富集程度和分布密切相关。

S76-P-1

利用古地磁学方法恢复钻孔岩芯原始方位可靠性的探讨——以塔里木盆地钻井为例

谌微微[1]，杨风丽[1*]，庄园[1]，徐铭辰[1]，胡虞杨[1]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* Yangfl@tongji.edu.cn

针对非定向钻孔岩芯原始方位难以确定的科学问题，利用塔里木盆地 5 口钻井（TKQ101、SHUN9、TAT19 井、TZ18 井和 TS108 井）不同回次的 40 块志留纪无定向砂岩样品，在古地磁学、岩石磁学和磁化率各向异性（AMS）等方面的研究基础上，分析了校正后的 AMS 最大轴 K_1 轴指示的古水流方向，探讨了利用剩磁恢复岩芯原始方位的可行性。

AMS 和岩石磁学分析表明，样品地层产状近水平、钻孔方向基本垂直于地层产状，除了 TKQ101 井样品含少量赤铁矿外，其它井样品的携磁矿物主要以磁铁矿为主。40 块样品的系统退磁实验结果显示出差异性，其中，TKQ101 井和 SHUN9 井第 4 回次岩芯样品退磁后，分离出的高低温两组剩磁分量差异明显，经恢复后的钻井原始方位具有一致性，校正后的 AMS 最大轴指示的古水流方向也与地质证据相吻合，说明 TKQ101 井和 SHUN9 井第 4 回次岩芯在分别逆时针旋转 240.3°和 156.4°后即可获得原始标志线方位；而 SHUN9 井第 5、6 回次及其他 3 口钻井岩芯（TAT19 井、TZ18 井和 TS108 井）退磁曲线呈单分量特征，通过 AMS 最大轴 K_1 轴指示的古水流方向和地质证据验证后，揭示只有在利用黏滞剩磁分量处理后，才能进行可靠的原始方位恢复。需要旋转的角度为：SHUN9 井第 5、6 回次岩芯标志线的方位需要分别逆时针转 221.2°和 318.2°，TAT19 钻井第 3、5 回次岩芯标志线方位需分别逆时针转 270.0°和 155.9°，TS108 井和 TZ18 井岩芯标志线的方位需分别逆时针转 244.4°和 256.6°。综上分析认为，利用古地磁学黏滞剩磁方法恢复不同回次的钻孔岩芯原始方位，其研究结果与地质证据相吻合，可靠性强，且该方法简单、高效，值得使用。

S76-P-2S

天然气充注时间和烃源岩生烃演化对天然气成因的指示—以四川盆地东部中二叠统为例

朱彦先[1]，何治亮[2,3*]，郭小文[1]，何生[1]，高键[4,5]，李双建[4,5]，李慧莉[4,5]

1 中国地质大学（武汉）构造与油气资源教育部重点实验室

2 中国石油化工股份有限公司

3 北京大学，地球与空间科学学院

4 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

5 中国石化深部地质与资源重点实验室

* hezhiliang@sinopec.com

四川盆地位于中国华南板块，其构造格局和沉积环境受特提斯域构造沉积演化的控制。四川盆地深层-超深层碳酸盐岩天然气勘探获得重大突破，其油气成藏具有多源混合供烃、多期生排烃、多期成藏和后期调整改造的特征。针对深层-超深层碳酸盐岩天然气来源和成因，前人研究认为天然气均属于为原油裂解气，主要来源于寒武系筇竹寺组、志留系龙马溪组和中下二叠统烃源岩。为了确定四川盆地深层-超深层碳酸盐岩天然气是否存在干酪根裂解气的贡献，本研究以四川盆地东部中二叠统茅口组三段为例，从烃源岩生烃演化与天然气充注的时间耦合关系方面对茅三段储层天然气来源和成因进行研究。

四川盆地东部茅口组下部主要的烃源岩为寒武系筇竹寺组页岩，五峰-龙马溪组页岩和中二叠统茅口组一段泥灰岩。茅三段发育大规模热液白云岩储层，其油气成藏具有多源供烃、多期成藏和后期调整的特征。基底断裂切穿多套烃源岩，是油气垂向运移的优势通道。

利用三维地震资料精细解释，认为四川盆地东部 15 号基底断裂带活动时期为峨眉地裂运动晚期，印支晚期和燕山早期。

茅口组热液白云岩储层中在距今 222 Ma 和 175Ma 左右存在 2 期天然气充注。天然气充注时期，茅三段地层温度分别小于 100 ℃和 120℃，均小于原油裂解温度，说明两期天然气并非储层原油裂解形成。烃源岩生烃演化史模拟结果表明：在距今 175.2 Ma 之前，筇竹寺组烃源岩成熟度为 2.0% – 3.5%，已进入过成熟阶段，可以生成干酪根裂解气；五峰-龙马溪组烃源岩成熟度为 0.7% – 1.3%，主要处于大量生油阶段；茅一段烃源岩成熟度约为 0.5% – 0.7%，仅能生成少量油。

综合上述研究成果认为 15 号基底断裂带在印支晚期和燕山早期的断裂活动导致

了两期天然气充注。15 号基底断裂带活动导致断裂与筇竹寺组烃源岩沟通，筇竹寺组烃源岩中生成干酪根裂解气或者残留的液态烃裂解气充注到茅三段储层聚集成藏。此研究成果指示在四川盆地深层-超深层碳酸盐岩储层中存在从烃源岩中直接排出的天然气贡献。

S76-P-3S

基于 CNN-BIATTENTION-BILSTM 算法的四川盆地东部嘉陵江组储盖组合预测

陈伟[1,2]，江青春[3]，叶玥豪[1,2]，宋金民[1,2*]，李智武[1,2]，李柯然[1,2]，金鑫[1,2]，杨迪[2]，冯宇翔[1,2]，范建平[1,2]，王斌[1,2]，邓豪爽[1,2]

1 成都理工大学，能源学院

2 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室

3 中国石油勘探开发研究院

* songjinmin@sohu.com

特提斯域是全球油气储量的重要突破增长点，四川盆地是特提斯域中最重要的油气勘探区之一。早三叠世嘉陵江组在印支早幕运动的影响下，水下隆起隆升，形成局限-蒸发台地，颗粒云岩和膏岩沉积，构成了嘉陵江组储盖组合，为含油气系统发育提供了良好的基础。然而，由于台内滩储层纵向上沉积厚度较薄、非均质性较强，以及膏岩滑脱造成地震预测较困难。为满足实际勘探需要，本文在大量地球物理测井数据基础上，通过引入 CNN-BiAttention-BiLSTM 算法，将沉积序列转换为时间序列对川东地区嘉陵江组储盖组合进行预测。预测结果表明，CNN-BiAttention-BiLSTM 算法对川东地区嘉陵江组岩性预测准确率达到 97%，对颗粒云岩和膏岩实现了精确预测。得出川东地区嘉陵江组的有利探勘区主要分布于宣汉-达州-渠县-梁平-石柱一带。本次研究表明，测井-机器学习算法在引入沉积-时间序列信息后，对岩性的时空变化具有较强的建模能力。此外，加入注意力机制后模型发掘测井数据中岩性时空变化的能力进一步增强，两阶段注意力机制具有最强的建模能力。在实际勘探中，运用该方法能有效识别横纵向上具有强非均性的勘探目标，具有较高的实际应用价值。

S76-P-4S

阿联酋西南部中白垩统 MISHRIF 组储层特征及成因机制研究

马小刚[1]，宋金民[1*]，李柯然[1]，罗贝维[2]，段海岗[2]，杨沛广[2]，李立基[3]，夏舜[1]

1 成都理工大学，油气藏实验室

2 中国石油勘探开发研究院

3 广西省资源自然厅

* songjinmin@sohu.com

特提斯洋形成演化的过程中，阿拉伯板块在上白垩统发育了一套 Mishrif 组储层，目前对于 Mishrif 组岩相特征、沉积相特征以及优质储层划分的研究有待深入。在钻进的基础上，通过沉积-岩石物理-地球物理等多种手段对 Mishrif 组岩性特征、沉积相带以及储层储集空间、孔隙结构进行了系统研究。结果表明：①Mishrif 组岩性以灰岩为主，礁灰岩、亮晶生屑灰岩、泥晶生屑灰岩和生屑泥晶灰岩等发育，可见砂屑。Mishrif-1 段为一个弱镶边-缓坡型台地，礁滩相广泛发育在台缘、台内环境。Mishrif-3 段为一个碳酸盐岩缓坡，礁滩相广泛发育，呈点状分布。②Mishrif 组孔隙发育受沉积相带类型控制，优质储层发育在生物礁、厚壳蛤礁滩、生屑滩微相。压汞-气测显示生物礁、厚壳蛤礁滩属高孔高渗储层，但核磁共振测试孔径分布有差异，生物礁孔径分布在 8~120μm（R35 平均=8.5），厚壳蛤礁滩孔隙主要分布在 0.06~7μm（R35 平均=8.5）。压汞-气测

Mishrif-1 段生屑滩高孔中高渗、中孔中低渗储层均有发育，高孔高渗型核磁共振孔径分布在 9~120μm（R35 平均=3.2），中孔中渗型核磁共振孔径分布在 0.1~7μm（R35 平均=3.2）。Mishrif-3 段生屑滩属中孔中渗储层，核磁共振孔径分布在 1.2~50μm（R35 平均=6.4）。孔径分布受颗粒大小控制，纳米级方解石颗粒是原生方解石沉淀，片状及块状方解石与重结晶作用有关，生物礁微相仅发育纳米级方解石颗粒，厚壳蛤礁滩微相发育一定量块状方解石，Mishrif-1 段生屑滩微相以纳米级方解石颗粒为主，Mishrif-3 段生屑滩微相中纳米级方解石颗粒、片状方解石、块状方解石颗粒均有发育。片状、块状方解石颗粒导致储层物性下降。微米 CT 进一步表明生物礁微相以II级联通域为主，大量微小孔隙相连，厚壳蛤礁滩微相同时发育II级III级联通，生屑滩微相I、II、III级联通域均有发育。

S76-P-5S

志靖-安塞地区延长组包裹体特征及油气充注史 ——以长 71、72 亚段为例

吴文杰[1]，王健[1*]，吴楠[1]，梁祎琳[1]，刘显凤[1]

1 长江大学，地球科学学院

* wangjian2017@yangtzeu.edu.cn

鄂尔多斯盆地蕴藏着十分丰富的天然气资源，盆地中部志靖-安塞地区中生界三叠系延长组储层成藏期次有待明确。选取研究区内四口典型井8块中生界三叠系延长组页岩油储层样品，运用流体包裹体岩相学分析、显微测温、盐度分析以及荧光光谱分析方法，结合该地区埋藏史-热史恢复，确定了志靖安塞地区中生界三叠系延长组长7油气成藏期次。结果表明，鄂尔多斯盆地志靖安塞地区延长组长 7_1、长 7_2 致密砂岩储层中流体包裹体可分为两期：第I期包裹体主要发育液态烃类包裹体及伴生大量盐水包裹体，主要呈串珠状赋存在裂缝充填石英和裂缝充填方解石内荧光颜色为蓝色、蓝绿色，伴生盐水包裹体均一温度在 90-110℃之间；第II期包裹体主要为气液两相烃类包裹体，及气态包裹体和沥青包裹体。多呈带状分布在裂缝充填石英中，其伴生盐水包裹体温度介于 120-130℃之间。研究区三叠系延长组长 7_1、7_2 段储层经历了两期油气充注：第一期发生在早白垩世晚期，第二期发生在晚白垩世早期。本次研究有助于认识鄂尔多斯盆地志靖安塞地区延长组油气成藏机制，并可为该地区下一步有利区的油气勘探提供理论支撑。

S76-P-6

塔里木盆地顺托果勒低隆起走滑断裂带流体活动时空分布及油气地质意义

高键[1,2*]，李慧莉[1,2]，曹自成[2,3]，郭小文[4]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

2 中国石化深部地质与资源重点实验室

3 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院

4 中国地质大学（武汉），资源学院

* gaojian2018.syky@sinopec.com

塔里木盆地是特提斯构造域的重要研究平台,记录了从原特提斯、古特提斯到新特提斯三大阶段的丰富地质记录。本次研究采集顺托果勒地区 8 条断裂带上 23 口钻井岩心的构造裂缝充填方解石脉，开展岩相学、微区原位 U-Pb 定年、微区元素-同位素地球化学和流体包裹体等多项研究，系统分析了区域范围内断裂流体活动特征和油气动态成藏过程，明确了该区走滑断裂活动动力学机制和控储控藏机制。顺托果勒低隆起发育三期方解石脉。第一期方解石脉在东西部数条断裂带内普遍发育，方解石岩石化学特征指示流体来源于中-下奥陶统地层水；方解

石原位 U-Pb 年龄为 474~ 444 Ma，时代为加里东中期。第二期方解石脉主要在顺北 5 号带以东断裂带内发育普遍，方解石岩石化学特征指示来源于下部寒武系地层水和埋藏期深部热流体；方解石原位 U-Pb 年龄为 441~403Ma 和 374~326Ma，时代集中分布在加里东晚-海西早期。第三期方解石脉在 5 号带、4 号带和顺南地区少数样品较为发育，方解石岩石化学特征指示埋藏期深部热流体特征，方解石原位 U-Pb 年龄为 295.9~232 Ma，时代主要为海西晚期。三期方解石脉形成时期与断裂活动期次相吻合。方解石脉含烃包裹体产状和特征指示加里东晚-海西早期和海西晚期两期液态烃充注和液态烃热裂解演化过程。

研究区走滑断裂带断裂流体活动主要受原特提斯洋、古特提斯洋俯冲、碰撞有关的大陆边缘增生造山过程的远程效应影响。加里东中期I幕（中奥陶世末），原特提斯洋北侧库地洋向中昆仑地体俯冲，塔里木克拉通与西南缘西昆仑地体发生拼合，研究区由于受 NE 和 NW 向的挤压应力作用发生构造隆升运动，同时由于区域性压扭应力的作用，该区走滑断裂发生剧烈活动，并发育多条 NE 向、NW 向走滑断裂，此时基本奠定了该区的断裂体系格架。加里东中期III幕（晚奥陶世末），塔里木盆地东南缘原特提斯域的阿尔金洋闭合，塔里木板块与阿尔金地体东南缘发生拼合，在受到近 SN 向挤压应力作用下，主要是 NW 向逆冲断层继承性活动；加里东晚期-海西早期，受南缘昆仑洋持续俯冲影响，走滑断裂发生继承性活动。海西晚期（晚石炭世-二叠纪），塔里木盆地北缘的南天山洋从东往西发生剪刀差式闭合，来自北侧的强烈挤压，正断层发生了广泛的反转走滑。多期断裂活动破碎围岩并改造成储，加里东晚期-海西早期、海西晚期走滑断裂与油气成藏期匹配，不同时期断裂对油气成储成藏控制作用明显。

S76-P-7

四川盆地东南部地区茅口组一段眼球状灰岩成因机理

韩月卿 [1*]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，油气勘探研究所

* hanyq2018.syky@sinopec.com

近期，川东南地区多口井在中二叠统茅口组一段（茅一段）眼球状灰岩中见到良好的油气显示，但其成因机理 一直颇有争议。基于重点钻井岩心和野外露头观察，通过岩石薄片、扫描电镜和微量元素分析，结合区域地质背景，探讨眼球状灰岩的特征及成因机理。结果表明：川东南地区茅一段眼球状灰岩发育卷曲变形构造、液化底劈、液化脉、热液脉和生物壳体反扣等现象，具有地震震动改造的特征。眼球状灰岩主要由方解石、石英、白云石、滑石、黄铁矿以及有机质组成，滑石以交代生屑或呈星点状、团块状、纤维放射状、岩流产状等形态赋存。微量元素分析结果表明“眼皮”形成于比“眼球”更为缺氧的环境中，沉积期受火山活动的影响。茅一段眼球状灰岩是在峨眉山 大火成岩省地质背景下由地震活动与沉积-成岩综合作用形成的，地震活动会引起较为动荡的瞬时水流，间歇性破 坏碳酸盐岩的稳定沉积条件，造成不同组分的混合形态不同，使得沉积物的成分和产状存在差异，从而形成具有特 殊沉积构造的眼球状灰岩。

S76-P-8

深层页岩裂缝建模及活化潜力评价——以四川盆地永川页岩气藏为例

卞昌蓉 [1*]，孙自明 [1]，郑淳方 [1]，李慧莉 [1]

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* biancr.syky@sinopec.com

天然裂缝对深层油气藏有重要的影响，原地应力场的分布影响了天然裂缝的有效性，并控制了压裂缝的展布，对优化布井、指导压裂和提高产量具有重要的意义。本次研究以永川深层气藏为例，建立多尺度的天然裂缝模型，采用有限元数值模拟和应力场反演的方法建立三维应力场模型，综合分析井周天然裂缝的启闭性及活化潜力，目的是优化布井和指导水力压裂。

1. 多尺度天然裂缝建模，主要是在地震相约束下追踪地震属性，得到确定性的离散裂缝模型，并采用地质统计学方法对地震裂缝密度属性进行定量标定，建立弥散裂缝模型。这种方式建立的混合裂缝模型，提供了离散裂缝的走向、长度和确定的空间位置，弥散裂缝的走向和密度。并采用空间搜索的方法，建立井周裂缝模型。
2. 应力场建模，主要基于三维岩石力学属性模型和多尺度天然裂缝模型，采用应力场反演和有限元数值模拟的方法，并用已钻井数据对网格、力学模型进行精细校正，提高井周应力场精度。
3. 天然裂缝启闭性研究，主要采用摩尔库伦参数对所有方位角的天然裂缝进行临界应力条件分析，将天然裂缝的活化潜力分为三大类，具有走滑倾向的临界应力裂缝，具有拉破裂作用的开启裂缝，和受到挤压的闭合裂缝。

本次研究建立深层页岩多尺度的天然裂缝模型，采用相约束的蚂蚁体追踪算法建立井周的天然裂缝模型；考虑深层页岩非均质性、裂缝各向异性建立了三维应力场模型；并采用摩尔库伦准则判定了天然裂缝的活化潜力。开展裂缝在地应力条件下的启闭性研究，对压裂层段的选择和提高产能有重要实际意义，为深层页岩气藏、致密油气的布井、压裂设计和高效开采提供建议。

S76-P-9

沉积-成岩过程中多类型流体对储层矿物演化的持续控制作用

杨磊磊[1,2*]，魏国[1,2]，胡静[1,2]，赵伟全[1,2]，李小伟[1,2]，刘祎[1,2]，王大为[1,2]

1 中国石油大学（北京），油气资源与探测国家重点实验室

2 中国石油大学（北京），非常规油气科学技术研究院

* yangleilei@cup.edu.cn

深层碳酸盐岩储层时代老、埋藏深、成岩过程漫长且复杂，伴随着埋深逐渐加大，储层经历了大气淡水、海水、有机酸、热液、富 CO_2/H_2S 等多类型流体的多期次充注，引发流体-岩石作用，伴随着矿物溶蚀、沉淀和转化，孔隙逐渐形成，又逐渐被充填破坏或被保存，演化过程极其复杂。流体-岩石作用所引发的矿物“溶蚀增孔”和“胶结减孔”等改造对孔隙起着至关重要的作用，是优质储层形成与否的关键。基于此，本次研究选取四川盆地灯影组四段（灯四段）地层，在传统地质解剖、岩石学测试、室内物理模拟实验的基础上，创新性地引入温度-流体-化学多场耦合的多相态、多组分反应溶质运移模拟技术，深入探究超深层碳酸盐岩储层成岩过程中的流体-岩石作用机理，明确矿物溶蚀、沉淀和转化机理，模拟计算不同成岩阶段多类型流体对储层孔隙的叠加改造作用，建立温度-流体-化学多场耦合的成岩物理-数值模拟系统，定量恢复地质时间尺度的孔隙演化过程，从而揭示碳酸盐岩储层的形成机制。结果表明：灯四段储层受到大气淡水、海水、有机酸和热液 4 种流体 6 期改造影响，且不同类型流体对储层改造能力存在差异。控制孔隙度的主要成岩作用为溶蚀作用、白云石化作用与胶结作用，矿物间以方解石-镁方解石-白云石之间的转化为主。不同类型的流体对储层的改造差异较大，充足的大气淡水为建设性流体，而海水、有机酸和热

液均为建设性—破坏性共存的流体。多期次流体对储层的改造有叠加效应，储层最终的物性条件取决于多期次流体的综合改造，同时流体改造的顺序对储层孔隙度的演变影响也极大。本次研究明确了灯四段储层多期次复杂的流体充注过程，定量恢复了储层孔隙度叠加演化曲线，对深层碳酸盐储层的评价及油气资源的勘探开发具有重要的指导意义。

S76-P-10S

东喜马拉雅构造结形成时间快速隆升时期——来自缅甸中央盆地沉积学的证据

鲁毅[1]，崔宇驰[1]，Si Si Thu[1]，Kyaw Kyaw Khing[1]，Myo Min Aung[1]，朱伟林[1]，邵磊[1*]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

* lshao@tongji.edu.cn

东喜马拉雅构造结快速隆升时间以及雅鲁藏布江和伊洛瓦底江是否曾经相连已经争论了超过半个世纪。本文采用锆石 U-Pb 年代学等方法，对缅甸中央盆地新生代地层的“源-汇”路径开展研究，对该问题进行探讨。缅甸中央盆地始新统发育大量铬尖晶石、各坳陷间锆石年龄谱各不相同，表明该时期沉积物以盆地周边隆起为主要物源，不存在统一的源区；渐新世之后，源自区域变质岩的重矿物组合比例逐渐增加，盆地各坳陷碎屑锆石年龄谱特征趋于一致，均以 40-70Ma 的主峰以及 80-110Ma 次峰为特征，表明沉积物源区进入抹谷变质带，伊洛瓦底江雏形已经形成；由于缅甸中央盆地渐新统至下中新统完全没有喜马拉雅造山带信息，可以认为，该时期雅鲁藏布江-伊洛瓦底江并未相连。晚中新世-更新世，喜马拉雅造山带特征组合十字石和蓝晶石以及 110-130Ma 年龄峰的出现，表明伊洛瓦底江已经侵蚀到东喜马拉雅构造结，达到现今流域规模。因此，东喜马拉雅构造结快速隆升的时间大约发生在晚中新世。

S76-P-11

古特提斯东缘上二叠统大隆组页岩中石英类型与成因：对深层页岩气勘探的影响

高平[1*]，肖贤明[1]，何治亮[2]，李双建[3]

1 中国地质大学（北京），能源学院

2 中国石化科技部

3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* gaoping1212@cugb.edu.cn

古特提斯东缘上扬子地区上二叠统大隆组发育一套富有机质的黑色页岩，为四川盆地页岩气勘探的新层系（王威等, 2020）。近期，川北地区大隆组深层页岩气勘探取得了重大突破，发现该套页岩发育优质储层，并具有较高的含气量和日产气量（新华网, 2023），但是其优质储层形成机制尚不清晰。石英矿物作为富有机质页岩中最主要的无机矿物之一，对页岩优质储层形成与可压裂性具有重要影响，从而影响页岩产气量（Jarvie et al., 2007; 何治亮等, 2020）。但是，大隆组页岩中石英的类型与成因尚不清晰，影响了该套页岩储层的含气性评价。

以川北地区 HB1 井大隆组深层页岩（埋深：5636~5645 m）为研究对象，利用光学显微镜观察和扫描电镜-阴极发光观察，识别不同类型石英矿物，并开展硅质成岩作用研究；利用 X 射线衍射和主微量元素分析，明确了石英的硅质来源，表征了不同成因石英的相对含量及其变化趋势；结合储层孔隙度，探讨了自生石英矿物对深层页岩储层物性的影响，并评估石英矿物对大隆组深层页岩气勘探的影响。研究结果表明：（1）大隆组页岩相对富集有机质，TOC 含量介于 1.88~18.46%，有机质处于过成熟阶段（EqVRo= 2.77~3.10 %）。大隆组页岩发育

在克拉通内裂陷盆地中，远离物源区，其主要由盆地内石英和碳酸盐矿物（主要为方解石）组成，盆地外碎屑石英并不常见。盆地内石英主要包括硅质生物骨骼石英、硅质纳米石英、微晶石英集合体、颗粒交代石英和基质分散微晶石英，这些石英均属自生成因；（2）大隆组页岩中自生石英主要来自于硅质生物（主要为放射虫）骨骼碎片的成岩演化。大隆组页岩中夹有多层凝灰质层，火山物质（主要为斜长石）的成岩蚀变也可以提供一部分硅质，从而形成基质分散微晶石英；（3）自生石英对深层页岩储层孔隙的发育和保持具有双重影响。大量自生石英颗粒（如微晶石英聚合体、硅质纳米石英和硅质生物骨骼碎片）可以形成抗压实骨架，有效避免了有机质孔隙的压实；然而，硅质胶结作用（如孔隙填充石英、颗粒交代石英）会降低页岩储层的孔隙度。总体而言，古特提斯东缘大隆组页岩具有“高有机碳含量、高孔隙度和高脆性矿物含量”的特征，有机质孔隙得到了较好的保存，具有巨大的页岩气勘探潜力。

S76-P-12

四川盆地五峰组—龙马溪组深层页岩气富集特征与勘探方向

聂海宽[1,2,3*]，孙川翔[1,2,3]，俞凌杰[1,2,3]，李沛[1,2,3]

1 页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室
2 中国石化页岩油气勘探开发重点实验室
3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
* niehk.syky@sinopec.com

五峰组—龙马溪组深层页岩气（埋深大于 3 500 m）是四川盆地页岩气勘探开发重要的战略接替领域，在多口深层页岩气水平井获得工业气流并已提交探明储量。深层页岩气藏具有高温、高压、高地应力特征，页岩气井产量递减快和 EUR（最终可采储量）低，总体尚未实现规模性商业开发。基于深层页岩气勘探开发的现状和高温高压条件下页岩物性、三轴应力和甲烷等温吸附等针对性实验，综合分析了四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组深层页岩气富集特征与勘探方向，认为：①深层页岩孔隙度和水平渗透率比中浅层页岩出现较大程度的降低，含气结构以游离气为主。②深层页岩偏应力和轴向应变等参数增大，导致破裂难度增加。③受构造位置和形态、裂缝特征和流体活动期次等控制，深层页岩气保存条件更复杂。④为实现深层页岩气经济开发，深化地质认识是基础，探索针对性压裂改造工程工艺是关键。⑤*Metabolograptus persculptus* 带—*Parakidograptus acuminatus* 带（LM1—LM3 笔石带）硅质页岩、含灰硅质页岩是深层页岩气富集高产层段和水平井穿行的有利靶窗，厚度超过 10 m 的焦石坝、武隆、长宁和泸州等地区是深层页岩气最有利富集区。研究指出深层页岩气勘探应优先在宽缓构造且埋深小于 5 000 m、LM1—LM3 笔石带页岩厚度大于 10 m 的“深水深层型”页岩气区进行勘探开发部署，开发工程应增加开发井水平段长度，并采用密切割、强加砂、双暂堵等工艺，以最大程度地改造深部页岩储集层。

S77-O-1

震积岩：断裂带活动的记录仪

卢银[1*]，Nadav Wetzler[2]，Shmuel Marco[3]，方小敏[4]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室
2 Geological Survey of Israel
3 Tel Aviv University,地球物理系
4 中国科学院青藏高原研究所，大陆碰撞与高原隆升重点实验室
* yinlu@tongji.edu.cn

全球绝大多数断裂带的地震观测历史<100 年，且缺乏连续的百年-千年尺度历史地震及考古地震记录。因而，我们对特定断裂带长期活动特性和大地震（Mw ≥7 级）复发规律的理解，依赖于古地震的研究结果。陆地探槽古地震学，通过在断裂带上挖掘探槽，可以将强震（Mw ≥6 且造成地表破裂）记录延长至过去数千年。通过测量破裂长度、范围及垂直与水平位移量等地表破裂参数，可以评估地震的震级。

然而，在水下环境（如湖泊与海洋），陆地探槽古地震学这一套成熟的技术方法却难以应用。这主要是由于一方面，难以接近水下环境中的断裂带；另一方面，水下沉积环境的沉积速率较高，断裂带的破裂面常被沉积物所覆盖。此时，我们须借助（湖泊/海洋）沉积古地震学的技术方法来恢复强震历史。这种方法，基于强震普遍具有水下事件沉积响应的现象，通过解析地层中保存的由地震驱动的事件沉积（震积岩），可将强震记录延长至过去数万年。但此前公认的是，沉积古地震学无法像陆地探槽古地震学那样定量评估古地震烈度或震级。这极大地削弱了沉积古地震学的可应用性，阻碍了它的进一步发展。

借助中东地区死海盆地 ICDP 高质量岩芯，我们提出通过模拟震积岩变形所需加速度来定量反演古地震烈度，恢复了全球最长的连续大地震记录（22 万年）；突破了“沉积古地震学无法定量评估古地震烈度/震级”的传统认识（Lu et al., 2020, Science Advances）。此外，借助位于青藏高原东北部柴达木盆地的中-德深钻岩芯，我们重建了一条 2 百万年长度的震积岩序列（Lu et al., 2021, GRL）；将古地震事件、古地震复发模式与区域形变相联系，揭示了与区域强烈变形有关的晚上新世幕式逆冲过程。

S77-O-2

过去~1630 年九寨沟钙华沉积记录的青藏高原东缘高频的地震丛集

时伟[1*]，蒋汉朝[1]，徐红艳[1]，范佳伟[1]，卫晓彤[1]，郭桥桥[1]，张斯琪[1]

1 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室

* jzxshiwei@163.com

板内地震活动以聚类和迁移性地震为特征，主要由于板内断层上的一次地震可以引起其他断层上的应力改变。青藏高原作为全球板内地震最活跃的地区，当前正处于以巴颜喀拉块体为主要活动区的昆仑-汶川地震序列之中。巴颜喀拉块体高滑动速率的大型边界走滑断层为大地震的发生提供了孕震环境；青藏高原东缘(东边界)一系列低滑动速率板内断层在 2008 年 M_S 8.0 汶川地震之前被评估为低地震风险区。随后发生的 2013 年 M_S 7.0 芦山地震和 2017 年 M_S 7.0 九寨沟地震表明青藏高原东缘具有发生高频地震的潜力。研究区高山峡谷的地貌特征导致探槽古地震失效，严重限制了区域地震活动性研究。青藏高原东缘的断层系统在长时间尺度上是否服从板内地震丛集特征目前并没有得到证实。

本研究以 2018 年在九寨沟火花海采集的钙华岩芯(2.46 m)为研究对象，进行区域湖泊古地震研究。首先，我们对火花海岩芯进行宏观描述，主要包括岩性、颜色和沉积相变化；并进行 XRF 元素扫描。随后，将岩芯以 1 cm 间距分成 246 个样品，进行磁化率分析。选取 6 个事件层和相邻非事件层进行碎屑含量和粒度分析。九寨沟地震导致火花海溃坝，钙华停止生长，因此将最顶部年龄限定为 2017 年，结合 5 个 AMS ^{14}C 年龄建立钻孔的年龄-深度模型。

火花海钻孔中薄层(2-6 cm)灰黑色钙华沉积被定义为事件层，以高磁化率、碎屑含量，高 Fe、Ti 和 Si 浓度，低 Ca 浓度为特

征，共识别 9 次事件层。火花海岩芯的沉积年龄为 389-2017 年，跨度为 1628 年。精确的定年结果实现了事件层 E1-E4 与历史地震之间精准校正。其中，E1 敏感的响应了九寨沟地震基岩滑坡引起景区湖泊浑浊度的增大。基于 E1-E4 多指标对区域历史地震的响应特征为判别标准，我们认为 E5-E9 也是对区域地震事件的敏感响应。基于烈度衰减模型，我们得到触发九寨沟流域基岩滑坡烈度阈值为 7.3-7.5；M_W-R 关系指示虎牙断裂尤其北段可能是早期地震事件的主要发震断层，且具有较高的未来地震危险性。

钙华沉积疏松多孔的特征为湖泊环境事件提供了新的记录形式。火花海岩芯记录的 9 次地震事件层呈三个丛集分布，复发周期为~500-600 年。我们的结果证明了岷山隆起带周边断层的地震活动性以板内地震丛集为特征。考虑到青藏高原东缘的断层系统之间的相互作用，我们认为龙门山断裂带也存在高频地震丛集的潜力。

S77-O-3

阳宗海湖泊沉积对小江断裂带历史地震的响应过程及机制

范佳伟[1,2,3*]，翟大有[4,5]，徐红艳[1]，卫晓彤[1]，靳长飞[4,5]，蒋汉朝[1,2,3]，时伟[1]，刘兴起[6]

1 中国地震局地质研究所，地震动力学国家重点实验室

2 新疆帕米尔陆内俯冲国家野外科学观测研究站

3 中国地震局乌鲁木齐中亚地震研究所

4 云南大学，云南省古生物研究重点实验室

5 云南大学，教育部“云南重大生物演化事件及古环境”国际合作联合实验室

6 首都师范大学，资源环境与旅游学院

* jwfan@ies.ac.cn

小江断裂带是青藏高原东南部川滇块体的边界断裂带，中强地震频发、地震地质灾害严重。历史和仪器观测地震数据显示，最近 500 年该地区发生过 27 次 6 级以上、8 次 7 级以上地震，并在 1833 年发生过云南历史上最大的 8 级地震。这些数据表明，小江断裂带具有很强的地震活动性，并存在未来发生强震的危险性。历史资料显示，1500 年宜良 7 级（以上）地震和 1833 年嵩明 8 级地震的震中距阳宗海不到 10 km，这两次地震对阳宗海湖区的地貌、水文和生态环境造成了严重伤害。我们于 2021 年利用 UWITEC 重力钻在阳宗海的湖口、湖心和湖滨区域共采集了 14 根短岩芯（每根岩芯长度在 67~109 cm 不等），通过高分辨率的年代学、沉积学和地球化学分析，并与历史记录的地震和洪水事件进行对比研究，发现 1500 年宜良地震在阳宗海产生的浊流沉积层呈块状结构、粒度显著变粗、分选明显变差，并且浊积层由湖滨区域向湖心区域变细增厚。这些浊积层为湖盆边坡失稳、破裂产生的瞬时沉积。1833 年嵩明地震在阳宗海产生了合并浊流沉积，并且湖心沉积物出现了微断裂。浊积层与下伏地层之间具有明显的侵蚀面，浊积层内部具有向上变细的正粒序结构。浊积层中锰元素含量显著升高，表明湖水快速形成氧化条件；总无机碳含量显著升高，意味着湖水显著减少、湖面快速降低。这一次地震事件造成了阳宗海湖盆边坡的同震沉降以及湖泊流域的水文系统破坏。这些合并浊流沉积为湖盆边坡破裂、滑塌产生的瞬时混合沉积。与地震事件层相比，阳宗海的洪水事件层较薄、具有水平层理、沉积速率相对较慢，沉积物粒度较细、有机碳氮比值接近 20（有机质主要来自陆生植物），并且主要分布在湖口区域。此外，我们将地震事件层与其对应的历史地震事件的宏观烈度值和烈度衰减方程统计值进行对比研究，发现能够触发阳宗海湖盆边坡失稳、破裂，从而产生浊流沉积的烈度值为 7.5~8.1（MMI）；能够引起阳宗海湖盆沉降、流域水文系统破坏，从而产生具有锰和总无机碳含量异常高值的合并浊流沉积（含微断裂）的烈度值约为 10.1（MMI）。这些数据意味着距阳宗海 32 km 以内的 7 级以上地震，或 112 km 以内的 8 级以上地震均有可能被记

录到，并且湖区不同烈度的地震事件能够被不同沉积特征所反映。因此，未来通过对阳宗海长岩芯开展进一步研究，能够提供该地区长序列的古地震事件记录。

S77-O-4

细粒泥质风暴沉积物识别及其还原硫同位素地球化学特征

江凯禧[1*]，林春明[2]，张霞[2]，赵彦彦[3]，郎咸国[4]，苏明[1]，王策[1]，雷亚平[1]，刘佳睿[5]

1 中山大学，海洋科学学院
2 南京大学，地球科学与工程学院
3 中国海洋大学，海洋地球科学学院
4 成都理工大学，沉积地质研究院
5 加州大学洛杉矶分校，地球、行星与空间科学系
* jiangkx5@mail.sysu.edu.cn

海洋风暴沉积物可形成和保存于多种环境，如陆架、海岸、滩涂、潟湖、河口、沿岸沼泽和湿地等。岩性特征与当地沉积环境、早期沉积物组成及风暴期的物质来源和输送方式密切关联，可粗略划分为砂质风暴沉积物、风暴砾石与巨砾、风暴贝壳层及泥质风暴沉积物等。除泥质风暴沉积物外，其它风暴沉积物的判识方法相对较为成熟，一般可综合采用地层学、沉积学 (如典型沉积结构与构造)、微体古生物学、生物埋藏学和地球化学等多参数的组合来识别，但尚未形成统一标准。泥质风暴沉积物被认为易在泥质沉积物堆积区 (发育“background mud”)，如河口、沿岸湖泊、潟湖、沼泽和湿地等环境中，在风暴浪和风暴流的作用下形成。通常由黏土、淤泥等细粒物质组成，混有泥砾、粉砂、贝屑、植物碎片和碳屑等，缺乏明显的层理、侵蚀面和沉积构造，而容易被遗漏和误判。

本文研究人员在晚第四纪钱塘江下切河谷 SE3 孔的古河口湾环境顶部发现了泥质风暴沉积 (厚约 62 cm)，时代为距今 8500~9000 年。通过地层、沉积、元素、同位素和有机地球化学等系统分析，不仅有力证实了泥质风暴沉积的存在，并发现其记录到了高能风暴峰期 (HESPP) 和衰能风暴晚期 (WELSP) 两个沉积阶段。该段泥质风暴沉积物的黄铁矿硫同位素 ($\delta^{34}S_{pyr}$) 呈现“罕见”变化，即 HESPP 时期 $\delta^{34}S_{pyr}$ 值为 +5.8‰～+15.8‰，WELSP 时期为−9.0‰～−19.7‰，在厘米尺度内发生了急剧的偏移。从而提供了一个独特的机会来评估风暴对沉积物 $\delta^{34}S_{pyr}$ 变化特征的影响。我们提出，HESPP 时期黄铁矿的 ^{34}S 富集很可能是由于风暴对沉积物的再沉积和高沉积速率的综合作用引起，这涉及到导致 ^{34}S 黄铁矿富集的多种物理和化学过程；相反，在 WELSP 期间，相对较低的沉积速率和有限再沉积作用使早期形成的富 ^{32}S 黄铁矿的同位素信号得以保存。因此，$\delta^{34}S_{pyr}$ 值的显著偏移变化反映了 HESPP 和 WELSP 之间沉积条件的急剧转变，表明风暴活动引起的非稳态沉积促进了“重”同位素黄铁矿的形成。故这种急剧的 $\delta^{34}S_{pyr}$ 值转变，很有潜力作为泥质风暴沉积物识别的标志性特征之一。

S77-O-5

中国东南部福建沿海全新世晚期复合洪水事件的地球化学证据

余凤玲[1,2*]，庄自贤[1,2]，李楠楠[1,2]，黄昭权[1]，刘圣涛[1,2]

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 厦门大学，近海海洋环境国家重点实验室
* fengling.yu@xmu.edu.cn

在全球变暖的背景下，海平面加速上升加剧了极端沿海灾害的影响。为实现海岸地区的安全与可持续发展，亟需更好地了解极

端沿海灾害的频率和驱动机制。为此，我们于2018年福建樟漳江口地区采集了岩心K5，并进行了粒度、有机碳同位素、元素含量等地球化学指标，以及7个AMS ^{14}C测年分析。结果表明，Core K5 的年龄跨度约为4300-500 cal yr BP，粒径组成和地球化学特征表明，本地区发生了多次极端淹水事件，且显示出自全新世晚期以来日益频繁的趋势；其中，至少6个层位中保存了来自陆地和海洋区域的沉积物，很可能指示了洪水-风暴潮叠加的复合洪水事件，频谱分析结果显示其发生周期约为740年、650年和400年；复合洪水事件的发生时间和周期与研究区周边地区的其他相关记录有较好的一致性，因此，我们将这些过度冲刷沉积物归因于强台风引起的强降雨和风暴潮。我们认为，该地区的超强台风活动与太阳活动引起的太阳辐射量变化密切相关，强台风实践的日益频繁则可能是全球气候变暖和海平面上升所致。

S77-O-6

河口海岸高能事件沉积过程及记录

涂俊彪[1*]，范代读[1]，Alexis Kaminski[2]，William Smyth[3]，George Voulgaris[4]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 University of California, Berkeley,Department of Mechanical Engineering

3 Oregon State University,College of Oceanic and Atmospheric Sciences

4 University of South Carolina,School of the Earth, Ocean and Environment

* jtu@tongji.edu.cn

在传统沉积学理论中，一般认为：1）变形构造通常是地震成因；2）缺乏沉积构造的块状沉积则主要发育于浊流沉积。然而我们近年来的观测结果表明：发育于强潮河口的涌潮同样能够产生软沉积变形构造和块状沉积：前者是由于涌潮所产生的强劲的瞬时压力而导致先前沉积的规则潮汐韵律层发生变形；后者则是由于较粗颗粒沉积物在强涌潮作用下发生快速的再悬浮，当短暂的涌潮高能事件发生后，水体动能急剧下降，悬浮泥沙快速沉积，难以形成沉积构造。此外，在高浊度泥质河口底边界层内，强劲的潮流剪切与细颗粒泥沙相互作用可形成 Kelvin-Helmholtz 剪切不稳定，这与地震成因的软沉积变形在结构上是相同的，但该结构能否在沉积记录中得以保存能需进一步探索。以上结果对于解释古代沉积记录中一些特殊沉积构造的成因似乎提供了新的思路。

S77-O-7

沉积汞记录示踪二叠纪与三叠纪之交火山活动

沈俊[1*]

1 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* shenjun@cug.edu.cn

地球深部演化过程对表层系统的影响是地球系统科学的核心问题之一。大规模火山活动是联系地球深部和表层系统的重要纽带，其常常伴随着气候环境突变和生物演变异常事件（如生物大灭绝）。然而，如何在记录生物和环境事件的沉积岩中开展高精度火山事件—环境波动—生物演变关联研究，长期以来一直困扰着地学界。其主要研究瓶颈在于火山沉积记录的不完整性：如火山活动的直接产物（碱性熔岩和火山灰黏土岩）通常只在靠近喷发口区域分布，而在远离火山喷发中心的区域往往缺乏火山活动的直接记录。因此，在缺失直接火山记录的沉积地层中挖掘有效指示火山活动的替代指标，是破解地质重大转折期火山活动对生命演化与环境扰动影响这一科学难题的关键。汞是唯一可以在大气中以气态单质形式存在并可进行长距离传输的有毒重金属。在地史时期，火山活动是地球表层系统外来汞的主要来源，大规模火山活动可以释放大

量的汞至地球表层，其通过大气传输，引起地表陆地和海洋圈层大范围的异常沉积。本报告以二叠纪与三叠纪之交关键转折期为研究实例，探究汞示踪大火成岩省沉积记录的原理和存在的问题。

S77-O-8

硫化物是沉积汞的主要宿主？——来自澳大利亚苏拉特盆地下侏罗纪地层的案例研究和全球回顾

朱玉晴[1]，David Bryan Kemp[1*]，Andrew La Croix[2]，黄春菊[1]，Jun Shen[3]，李昱[1]，华夏[1]

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

2 University of Waikato,School of Science

3 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* davidkemp@cug.edu.cn

沉积汞（Hg）浓度现在被广泛用作地质记录中火山活动的替代物，特别是用于追踪大型火成岩省（LIP）的喷发事件的时间。大多数研究假设有机物是沉积物和岩石中汞的主要宿主，因此，汞通常被归入总有机碳（TOC）含量，以确定归因于火山活动的异常的汞富集。然而，汞的其他可能宿主包括硫化物、粘土矿物和铁锰氧氢化合物。特别是，硫化物矿物在还原环境中对汞有很强的亲和力，而且确实是地壳中最重要的汞库。同样，有机物的来源对汞的丰度也有潜在的强烈影响，因为不同类型的有机物的汞结合潜力不同。在此，我们研究了有机物含量和类型对汞浓度的影响，并调查了澳大利亚苏拉特盆地下侏罗纪沉淀砂岩和长青地层的浅海和近岸沉积岩中的汞的承载方式。我们的结果表明，尽管普遍缺乏还原条件，而且有机物来源有很大的变化，但硫化物可能是这些岩石中汞的主要宿主。对以往工作的回顾表明，在大多数情况下，与硫化物相比，有机物可能是一个不太重要的汞宿主。综上所述，我们的结果表明，只要可行，研究人员应注意使用 Hg/S，以更有力的方式检验古代沉积岩中的火山汞富集情况。

S77-O-9

华北克拉通新太古代被动陆缘沉积序列指示太古宙-元古宙大氧化事件受控于岛弧拼贴的快速生长和稳定

彭雅莹[1*]，Timothy Kusky[1]，王璐[1]

1 中国地质大学（武汉），地质过程与矿产资源国家重点实验室

* yayingpeng1999@foxmail.com

25 亿年太古宙-元古宙界限被认为是地球距离月球形成后的第二个重要演化节点，在该界限附近全球大量克拉通趋于稳定，同时沉积岩和同位素地球化学的研究指示地球发生了首次全球性大氧化事件（24.5-23.2 亿年）。基于这样的耦合，前人提出了克拉通的演化和大气氧化之间存在因果关系的猜想，但依旧缺乏直接的地质证据。华北克拉通内部保留了 25 亿年左右的大陆快速生长记录，并在中部造山带保留了完好的沉积岩序列。这为研究深部板块构造过程和浅表生物大气演化之间的相互作用提供了可能性。

本研究在华北克拉通中部造山带识别出一期 25.6-25.1 亿年的被动大陆边缘层序。该序列为滨海相砂岩-砾岩向浅海台地相碳酸盐岩过渡，并以厚层碳酸盐岩-页岩沉积为特征，记录了活跃的生物沉积作用。该序列结合鲁西变沉积岩（25.2-25.3 亿年表壳岩），揭示了新太古代华北克拉通东部陆块大陆通过多个岛弧拼贴生长，并指示该大陆在靠近太古宙-元古宙界限的时候逐渐趋于稳定成熟。全球数据显示，地球早期稳定克

拉通和生物成因碳酸盐台地往往耦合存在。这指示在克拉通形成过程中，新生的岛弧链不仅可通过火山活动、造山隆升的风化为微生物提供营养物质来源；大量岛弧拼贴后，更可以形成了稳定浅海台地，为早期光合微生物提供了生长环境。从板块构造演化的角度而言，岛弧碰撞后的边缘沉降形成了一个新的稳定环境生态位，标志着大陆初始成熟并预示着太古宙-元古宙边界的全球大气圈剧变。因此，本研究为大气圈的氧化受控于板块构造引起的大陆快速生长和稳定提供了关键的地质证据。

S77-O-10

东北印度洋晚中新世生物勃发事件记录与机制研究

胡玥[1]，吴欣莹[1]，姚炜琪[1*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程

* yaowq@sustech.edu.cn

晚中新世生物勃发事件（The Late Miocene Biogenic Bloom）以高生物硅和碳酸钙堆积速率为特征记录在海洋沉积物中，其分布与触发机制仍存有争议。目前海洋沉积记录表明，晚中新世生物勃发事件主要集中在中低纬海域，其中太平洋和大西洋记录较多，印度洋仅局限在西北海域，缺乏对东北印度洋古生产力演变的证据。本研究利用大洋钻探计划 ODP 758 站点沉积物，基于海洋重晶石（$BaSO_4$）重建晚中新世（12-5 Ma）的输出生产力和海水硫酸盐同位素组成。研究结果显示，输出生产力在 12-9 Ma 维持较低水平，随后显著增加，标志着该海域生物勃发事件的发生。一方面，全球海平面与硫酸盐同位素变化趋势耦合，指示海平面下降诱导风化作用增强；另一方面，亚洲季风加强，可能促使该海域上升流增强，给表层海水带入了更多的营养盐，共同促使海洋生产力的提高。本研究补充了晚中新世东北印度洋的古环境演变记录，有助于深入认识生物勃发事件的发生机制。

S77-O-11

马尼拉海沟不同模态浊流观测研究

刘猛[1]，汪志文[2]，喻凯琦[1]，徐景平[1*]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 国家海洋环境监测中心

* xujp@sustech.edu.cn

海底浊流能在短时间内将上百万立方米的陆源物质搬运数百至上千公里到达深海盆地，是海底能源探测和海底灾害防控的重要研究对象，对海洋碳输运和埋藏有重要意义。马尼拉海沟位于西太平洋俯冲带，受频繁的地震和台风影响，是海底浊流多发地，但目前对于海沟中浊流运动沉积过程的直接观测研究仍十分匮乏。为此，本研究通过 2019-2021 年在马尼拉海沟布放的深海浊流观测潜标，首次获取了海沟近 4000 米深处浊流的高时间分辨率流速、浊度等数据和捕获的浊流沉积物，发现了海沟中存在“龟”型和“兔”型两种不同模态的浊流，且其形成维持机制和水力学特征有明显区别。观测研究表明，“龟”型浊流速慢（~ 40 cm/s）但持续时间长（~ 150 小时），携带低浓度（体积浓度：~ 0.01%）的细颗粒沉积物，且受潮流调制导致浊流呈现潮周期多脉冲形态；而“兔”型浊流流速快（~ 150 cm/s）但持续时间相对短（~ 40 小时），携带较高浓度（体积浓度：~ 1.2%）的粗颗粒沉积物。沉积物粒度是浊流发育“龟”型和“兔”型两种不同模态的关键因素。粘土矿物等分析表明“龟”型浊流可能来自于上游峡谷壁的滑塌，而“兔”型浊流可能来自于台湾岛西南高屏峡谷，为由台风触发的浊流。最终两次浊流事件致使共近 8.7 Mt 的沉积物被搬运至深海，约占台湾岛高屏河年均入海泥沙量的 17.8%。

S77-O-12

马尼拉海沟 S02 柱状样浊流沉积特征、物源及其环境效应

任晰熙[1]，徐景平[2]，孟宪伟[3]，王厚杰[1]，吴晓[1*]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

2 南方科技大学，海洋科学与工程系

3 国家海洋局第一海洋研究所

* wuxiao@ouc.edu.cn

海底浊流是一种由重力驱动的底流，能在短时间内将近岸的沉积物搬运至上百公里以外的深海平原，可对深海物源及沉积环境产生较大影响。位于南海东北部的马尼拉海沟，极端天气及构造活动频繁，且其头部为多条海底峡谷的交汇处，是研究深水浊流的理想靶区。本文对采自马尼拉海沟头部的 S02 重力柱状样开展了粒度和地球化学元素特征综合测试分析，结果显示：46-60 层位沉积物的粒度参数相较其他层位发生较大变化，具体表现为阶梯状向上变细的粒序层，在每一个“阶梯层”内部，沉积物分选性差，砂含量大幅增加，结合萨胡沉积环境判别式，判定该层位为一次大型浊流发生多次整体性沉降而形成。稀土元素及 Nd 同位素特征指示 S02 柱状样物质来源较为稳定，主要受台湾河流控制，南海北部大陆架也有一定影响，并且浊流发生可通过高屏峡谷将台湾源的碎屑物质直接搬运至研究区。浊流层常量元素、重金属元素及有机碳特征则显示：受“粒度控制率”影响浊流沉积物地球化学元素及有机碳平均含量较低，比较特殊的是 CaO 元素发生了富集，这是由于浊流的发生将碳酸盐补偿深度以上水深较浅区域的沉积物搬运到了研究区。同时，相较海沟较低的沉积速率，单次大型浊流活动就可沉积正常深海沉积数百年甚至上千年的物质，并且浊流层被后续沉降的泥质沉积物覆盖，可有效防止年轻有机碳进一步氧化降解，因此浊流发生对深海环境和碳埋藏的影响是不容忽视的。

S77-P-1S

川西小金河古堰塞湖沉积中软沉积物变形构造研究

许玲玲[1]，齐哲[1]，郎咸国[1*]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

* langxianguo19@cdut.edu.cn

青藏高原东缘是一个构造活动相对活跃的地带，川西地区位于青藏高原东缘，在近2万年以来该地区频发的地震活动形成了许多古堰塞湖沉积。湖相沉积中记录的软沉积物变形构造对川西地区古地震、古灾害事件的研究具有重要意义。但是目前关于该地区构造活动诱发的古地震事件的频率、周期以及烈度仍缺乏详细厘定。我们在川西小金河流域系列古堰塞湖沉积中发现了多期软沉积物变形构造，其类型丰富、现象清晰、期次明显、侧向连续，是厘定川西地区构造活动的难得材料。为此在该古堰塞湖沉积湖盆的不同位置选择了三个典型剖面（团结村、鸡心硐、鸡心堡剖面），针对该系列剖面开展了详细的沉积学研究。其中团结村剖面出露厚度约 130m，主要为一套薄-中层状粉砂-泥岩的粒序沉积以及厚层泥岩沉积，发育至少 15 期球枕构造，同时也发育了滑塌变形构造；鸡心硐剖面出露厚度约 61m，主要为一套薄-中层状粉砂-泥岩的粒序沉积，发育软沉积物变形构造以大型重力滑塌变形为主，并伴随液化变形；鸡心堡剖面出露厚度约 20m，主要为一套砂岩-泥岩粒序沉积，发育多种类型软沉积物变形构造包括液化变形构造、球枕构造、火焰状构造、泄水构造等。尽管这些变形构造的形成机制均与沉积物在未固结状态下受到外因触发之后引起孔隙水超压而引发的液化有关，但是发现各剖面软沉积物变形构造类型在湖相沉积的空间分布存在明显差异，这些差异与软沉积物变形构造的岩性组合、流体结构、沉积

物粒度以及沉积环境等在垂向或水平方向上存在一定的关联性。并且根据软沉积物变形类型与触发因素的研究得出地震、崩塌和滑坡等灾害性地质事件是最可能的驱动因素。为进一步约束灾害事件的发生频率，我们选择了典型的软沉积物变形层开展了光释光测年以及沉积速率分析，最终识别出川西小金河流域古堰塞湖沉积在21.5±3.2ka至9.1±1.0ka年间共记录古地震事件15期。该研究表明古堰塞湖沉积中软沉积物变形构造可以有效反映古地震的发育频率，是重建古构造活动良好的研究材料。

S77-P-2

过去~1630年九寨沟自然保护区植被演替对强震事件的快速响应

徐红艳[1*]，时伟[1]，蒋汉朝[1]，范佳伟[1]，卫晓彤[1]

1 中国地震局地质研究所

* xuhongyan@ies.ac.cn

植被尤其是森林植被，在全球碳循环、生态系统稳定性等方面具有重要作用。森林的演替受到气候变化和突发事件如地震以及人类活动的影响。地震对植被的影响往往是短时间尺度的，当地植被在震后几十年可以恢复到震前水平；植被演替具有规律性，从植被破坏到出现先锋物种、逐渐演替为优势物种直至恢复到震前的水平。因此，利用植被演替的特征可以进行古地震事件的重建，植被恢复时间越长，对应震级越大。直接观测植被演替的时间较短，孢粉组合变化代表了植被演替过程，详细的孢粉分析可以重建长时间尺度的强震序列。2017年Ms7.0九寨沟地震形成了大量山体滑坡，造成了严重的人员伤亡、经济损失和自然景观破坏。震后火花海溃坝，露出了湖底。本研究以火花海2.46m长的连续钙华岩芯为对象，以详实的碳十四测年和孢粉分析，识别出过去1630年8次植被快速演替事件，多表现为低孢粉浓度、高灌木和蕨类孢子含量，之后桦木属、松属发育，推测反应了研究区的数次强震事件。孢粉记录的事件层与沉积记录并不完全一致，可能和孢粉变化的时效性和代表区域植被变化相关。过去280年，人类活动影响显著，松属花粉含量增加，植被演替不如之前显著。该研究证实了岷山隆起区高的地震危险性以及强震对高山峡谷区植被演替的重要驱动。

S77-P-3

IODP岩芯揭示南海北部0.8-0.4 MA期间滑坡事件沉积模式

卢银[1*]，刘志飞[1]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* yinlu@tongji.edu.cn

南海周缘侵蚀强、深海沉积速率高，海底滑坡-浊流频发。但我们对这些事件沉积的发生过程、驱动机制及历史仍然了解有限。通常，利用反射地震资料，可以从地层识别出埋藏古滑坡沉积。然而，受反射地震数据的垂向分辨率限制，往往只能识别10米以上厚度的事件层。因而，依据常规方法，尚难以在10万年及以下时间尺度上识别海底大型事件沉积、获取事件年龄。位于深海盆地边缘的岩芯，沉积连续、相对易于定年，同时保存了深海背景沉积与古滑坡沉积；事件沉积期次、年龄可由事件层顶、底处的背景沉积所限定。借助岩芯，可以在万年尺度上识别海底滑坡等大型事件沉积的发生期次、限定其年龄。

南海盆地北部0.8-0.4 Ma期间的沉积序列 (如IODP 367-U1499A) 保存了频繁出现的滑塌-软沉积变形和浊流沉积组合 (总厚约50 m)，可以在反射地震剖面中被追踪。然而，受反射地震垂向分辨率限制，尚无法分辨该段地层记录的究竟是单次大型海底

滑坡事件，还是聚集式发生的多次中-小型事件。对此问题的解答将直接关系着对事件沉积过程、期次的正确理解和对事件年龄的可靠限定。通过对 IODP 岩芯开展高分辨率事件沉积学研究，将揭示 0.8-0.4 Ma 期间，南海北部发生的主要事件沉积的类型、期次、年龄与驱动机制。

S77-P-4S

南海北部青山咀全新世滨岸贝壳层沉积地球化学特征及其对事件沉积的指示意义

刘佳威[1]，江凯禧[1]，苏明[1,2*]，王策[1]，陈慧[1]，雷亚平[1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* suming3@mail.sysu.edu.cn

贝壳层主要由高密度的生物骨骼残骸堆积形成，提供了关于过去环境、气候、生态系统及极端事件的重要信息。海相贝壳层中的生物残骸通常来自海洋生物，如各类软体动物或珊瑚，并混合有砾石、粗砂、细砂、黏土及植物碎屑等。按贝壳搬运特征可分为原地和异地埋藏型贝壳层，前者如冷泉区原生贝壳层和碳酸盐台地原生贝壳层，后者如风暴贝壳层、海啸贝壳层及潮滩贝壳堤等。其中原生埋藏贝壳层因其保存的贝壳形态非常完整和分布位置特殊而相对容易被识别，但异地埋藏型贝壳层则多为高能水动力事件成因且彼此高度相似而难以被准确区分。事件成因海相贝壳层是国外事件沉积学研究的重点关注对象之一，相关研究成果丰富，而我国事件成因贝壳层的研究报道则相对较少。过去数十年，前人研究主要集中在贝壳层的沉积学、年代学和生物埋藏学特征上，对其岩石矿物组成和无机有机地球化学的综合研究较少，制约了对贝壳层成因和形成机制的准确研判。本文研究人员于2021年11 月在南海北部的粤西台山市海宴镇青山咀发现了保存良好的滨岸贝壳层露头，并开展了详细的野外勘察。野外露头地层学、沉积学和贝壳埋藏学特征指示其极有可能为事件成因。选取厚度最大的 QS1 露头剖面为关键点，以 1~2 cm 等间距系统采集了贝壳层样品，以及邻区若干海岸坡积物、海滩沉积物和近海表层沉积物样品作为对照，在贝壳 ^{14}C 定年、沉积组分肉眼鉴定、生物埋藏学分析及沉积物涂片分析的基础上，重点开展全样主微量元素、全样 XRD、有机碳同位素和全样氮同位素分析。研究发现青山咀滨岸贝壳层很可能形成于中晚全新世，主要由高密度的来自潮滩和浅海的单壳和双壳类贝屑组成，贝屑重量百分含量主要介于55%~82%，其次为石英、花岗岩岩屑、长石、云母等岩石矿物碎屑。整体呈块状结构，与上下地层突变接触，底面侵蚀，贝壳破碎度由差到好，贝屑边缘为锋利和圆润。与参照样对比，贝壳层样品元素组成上表现为 Ca 和 Sr 的显著富集。通过元素地球化学的统计学分析指示贝壳层物源主要来自海滩沉积物，近岸浅海物质也有部分贡献。基于野外露头地层、高程测量、沉积和贝壳埋藏学数据，并结合贝壳层样品矿物学和地球化学参数，综合研判青山咀贝壳层很可能为风暴事件沉积的产物。

S77-P-5S

LATE HOLOCENE TYPHOON ACTIVITY AFFECTING TAIWAN RECONSTRUCTED USING HYPERSPECTRAL IMAGING AND XRF CORE SCANNING

Joffrey BERTAZ[1,2*]，Kévin Jacq[3,4]，Christophe Colin[2]，Zhifei Liu [1]，Maxence Debret[3]，Hongchao Zhao[1]，Andrew Tien-Shun LIN[5,6]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 Université Paris-Saclay，GEOPS

3 Université Rouen Normandie，M2C

4 Univ. Savoie Mont Blanc,Laboratoire Commun SpecSolE, Envisol

5 National Central University,Department of Earth Sciences

6 National Central University,Carbon Storage and Geothermal Research Center

* joffrey.bertaz@universite-paris-saclay.fr

The paleo typhoon activity reconstruction in East Asia with associated climatic and environmental forcing mechanisms is a key to understand and model the typhoon frequency and intensity in the context of the ongoing anthropic global warming. About 4 typhoon-driven hyperpycnal flows have been recorded by mooring systems in every recent year on Taiwan margin. Core MD18-3574 was collected on the western levee of the Gaoping canyon (south of Taiwan) and is highly laminated recording the deposition of the hyperpycnal flows occurring in the canyon and on the slope since 4 ka. We combined non-destructiveXRF core scanning and hyperspectral imaging withgrain size and XRD bulk mineralogy analyses to investigate the sedimentological and geochemical variations to characterize laminae deposition mode. Weidentified turbiditic deposit in the coreand studied paleo typhoon frequency and intensity. We highlightthat typhoon activity is controlled by SST, monsoon system and ENSO conditions.

S77-P-6S

川中地区北部下寒武统沧浪铺组一段风暴岩特征及沉积地质意义

田立洲[1,2]，宋金民[1,2*]，叶玥豪[1,2]，刘树根[2,3]，李智武[2]，金鑫[1,2]，杨迪[2]，赵玲丽[1,2]，丁一[1,2]，任佳鑫[1,2]，王翰[1,2]，李柯然[1,2]，邓豪爽[1,2]

1 成都理工大学，能源学院

2 都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室

3 西华大学

* songjinmin@sohu.com

川中地区北部下寒武统沧浪铺组风暴岩发育。研究区沧浪铺组发育砾屑层、粒序段、平行层理和丘状交错层理等风暴沉积构造，可划分出 5 个风暴沉积序列：序列 I 由砾屑段（A）、平行层理段（C）和丘状交错层理段（D）组成，在正常浪基面之上沉积；序列 II 由平行层理段（C）、丘状交错层理段（D）和水平层理泥岩段（E）组成，位于风暴浪基面附近；序列 III 由底冲刷面和砾屑段（A）和粒序段（B）构成，于正常浪基面和风暴浪基面之间；序列 IV 由粒序段（B）和平行层理段（C）组成，距离风暴中心远，沉积环境更靠近风暴浪基面附近；序列 V 由底冲刷面和砾屑段（A）构成，为平均海平面与正常浪基面之间且靠近正常浪基面。风暴岩的发现证实了沧浪铺组一段为陆棚-斜坡-台地边缘的沉积模式，为沧浪铺组的岩相古地理恢复提供了约束；指示着上扬子板块在沧浪铺期处于低纬度地区；同时，风暴作用形成连片分布的颗粒滩，有利于储集层的发育，有助于对研究区颗粒滩储集相带的分布进行预测。

S77-P-7

鄂尔多斯盆地晚三叠世事件沉积类型及特征—— 来自岩心及露头的证据

李元昊 [1*]

1 西安石油大学，地球科学与工程学院

* liyuanh@xsyu.edu.cn

鄂尔多斯盆地晚三叠世发育大型拗陷湖盆沉积，沉积期并非一直处于缓慢均匀的沉积状态，而是夹杂着多种类型事件沉积，主要有地震事件沉积、火山事件沉积、重力流事件沉积、洪水事件沉积、热液事件沉积、缺氧事件沉积。地震事件沉积主要表现为沉积期发生的多种软沉积物变形构造，软沉积物变形构造类型较多，主要有液化流动变形构造（砂岩脉、砂岩墙、液化角砾等）、滑塌变形构造体系（阶梯状断层、混杂堆积、褶皱）、负载构造变形体系（重荷模、滴状构造、砂球、球枕层、泥球）、泥岩触变变形构造及复合变形构造等。火山事件主要是地层中夹大量的薄层凝灰岩，凝灰岩有多种颜色，以灰色、棕灰色、棕黄色为主，多层分布，单层最厚超过 1m，一般 0.2-3cm，区域分布广泛，形成了延长组地层对比的主要标志层。重力流沉积在长 7-长 6 深水区最为发育，以砂质碎屑流和浊积岩最为发育。洪水事件沉积表现为深湖期细粒沉积中的异重流发育。热液事件沉积主要是长 7 深水区中的结核型碳酸盐沉积，在铜川霸王庄等剖面中较为发育。缺氧事件以大范围厚层黑色页岩发育为代表，反映了沉积期水底缺氧特征，沉积页岩中夹有黄铁矿，鱼鳞、介形虫等化石，在长 7_3 段最为典型，形成了中生界主力烃源岩。上述多种事件沉积在长 7-长 6 深水区中最为发育，反映晚三叠世延长组沉积时较为活跃的构造背景，与盆地南部的秦岭造山带形成具有较好的耦合关系。

S77-P-8

河谷区高能溃决洪水沉积与扇三角洲沉积的区别

刘维明 [1*]

1 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所，山地灾害与地表过程重点实验室

* liuwm@imde.ac.cn

高能溃决洪水是指大量的水体突然释放而产生的低频率、能量大于 20 kJ/(s^1m^2)，一般洪峰大于 0.1 M m^3 s^{-1} 的洪水。对于这种沉积的特征 Carling（2013）进行过系统的总结，分为底部，并且这些沉积多为洪水在沿着河谷中传播产生。但是在河谷中还存在很多其他沉积物，比如河床沉积、河漫滩、堆积扇和三角洲沉积，这些沉积中由于河床砾石和河漫滩沉积特征相对单一，不会识别和辨认成高能溃决洪水沉积的。但是一些堆积扇和三角洲沉积往往沉积结构同样复杂，局部特征与高能洪水沉积类似，极易混淆高能洪水的识别。这里我们系统的总结了高能洪水沉积与其他两种沉积类型之间的区别。比如，堆积扇由于山洪作用下推移质的大量运移，而产生高能洪水沉积的底部沉积序列 1 和 2，但是不会产生类似于 3 和 4 的大量粉砂质的沉积。高山峡谷区的三角洲沉积往往含有很多粗颗粒的沉积，并且三角洲的一些部位，也会产生很多粉砂质的沉积，这些沉积组合最易与高能洪水沉积混淆。但是通过仔细分析二者的沉积空间分布特征，也会发现很多明显的不同，比如三角洲沉积从顶部到底部会粒度出现从的快速变细，形成很长的低角度斜坡沉积，而多处于河弯处的高能洪水沉积没有类似现象；堰塞湖中三角洲沉积由于堰塞湖的快速溃决暴露而多存在很多内部错动，同样高能洪水沉积一般没有此现象。因此，在河谷区由于侵蚀作用的存在，需要从多证据的角度来识别和分区高能洪水、堆积扇和三角洲沉积，只有形成完整的证据链，才能避免误判。

S77-P-9

末次冰消期黄河入淮事件的地球化学识别方法

张磊[1,2*]，秦小光[2]，刘嘉麒[2]，孙春青[2]

1 中国地质科学院地质力学研究所，活动构造研究室

2 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

* zhanglei1921@163.com

黄河改道进入淮北平原（简称“黄河入淮”事件），深刻改变了该区域的自然环境状况，甚至影响了中国历史发展的进程，是政府部门和科学家们共同关注的重大问题。前人主要通过历史文献记录等方法确定黄河入淮事件，该方法很难与沉积记录对应，而且对于史前黄河入淮事件的确定也是鞭长莫及。淮北平原沉积物记录了第四纪多期黄河入淮事件。本研究对淮北平原 8 m 长的岩心进行了详细的主、微量地球化学分析，并将其与中国南、北方黄土的地球化学组成进行对比。结果表明，淮南岩心上部（0～2 m）主、微量地球化学组成非常均一，下部（2～8 m）地球化学主、微量地球化学组成波动范围较大。上部岩心沉积物（0-2 m）的反映物源的 TiO_2/Al_2O_3、SiO_2/Al_2O_3、Th/Nb、La/Nb、Zr-Th-Sc 组成和 REE 配分模式等均与中国北方黄土高原黄土的组成非常一致。这表明，黄土高原可能是淮南岩心上部（0～2 m）沉积物的主要物源，淮南岩心 0～2 m 沉积物是一期黄河入淮事件的记录。该结果为识别黄泛沉积（黄河入淮事件的记录）提供了地球化学新方法。淮南岩心 2 m 处 ^{14}C 年龄为 13.2 ka，该期黄河入淮事件可能是末次冰消期（13.2 ka）黄河上游冰川融水增加以及下游降雨量增加共同作用导致的。

S77-P-10S

海平面和气候控制下的南海北部 70KA 以来的浊流沉积

赵璇[1]，李伟[1*]，张强[1]

1 中国科学院大学南海海洋研究所

* wli@scsio.ac.cn

沉积物由陆上浅水区向深海的搬运过程一直以来是海洋沉积研究的重点，浊流沉积对于海底扇、海底峡谷和深海油气藏的形成以及对古气候、古地震的记录具有重要意义。但关于海平面高低对浊流沉积活跃性以及究竟是气候变化还是海平面主导浊流沉积依旧存在争议。南海北部陆坡陡峭、物源丰富、广泛发育滑坡和海底峡谷，为浊流的触发提供有利的先决条件。本研究选择了位于南海北部东西两侧陆坡区合计长约 11 米的三个柱状样进行沉积物粒度测试，通过粒级-标准偏差法提取出环境敏感组分，将岩心记录中的浊流沉积与海平面和气候变化联系起来，探讨在不同情况下，两者对于浊流沉积的重要性。两钻孔浮游有孔虫测年显示，底部地层距今约 70ka, 记录了 MIS5 来的变化特征与气候变化具有较好的对应关系。借助高分辨率岩心图片、XRF 扫描和粒度参数，对柱状样中的浊流沉积层进行了划分和统计分析，共识别了 21 层浊积层，环境敏感组分变化特征与东亚季风变化较为吻合，12ka 以来东北部浊流频发时期与强降水时期相吻合。结果显示，浊流沉积年代与海平面快速变化时期有明显的对应关系，在低海平面和海退时期尤为显著，在冰期旋回周期内，海平面的快速变化是陆架出露时期的浊流沉积活动的主要控制因素；当海平面相对稳定、物源近且供给充足的情况下，气候驱动的沉积物输送量增加会相对削弱海平面的影响，使得浊流沉积活动在高海平面时依旧保持活跃。

S77-P-11

东南极普里兹湾源-汇沉积过程及未来大洋发现计划（IODP）钻探目标

黄晓霞 [1*]

1 中国科学院，深海科学与工程研究所

* huangxx@idsse.ac.cn

冰川作用是世界上最有效的搬运方式，可将大量的沉积物搬运至陆架-陆坡-深海区域，南极大陆边缘丰富的地貌和沉积特征记录了南极冰盖演化过程，是了解过去南极与南大洋环境气候变化的主要载体之一。普里兹湾是南极第三大海湾，位于兰伯特(Lambert)冰川入海处，形成了广阔的埃默里(Amery)冰架。先前普里兹湾的研究均聚焦在其陆架区域，有关其渐新世以来的沉积过程和响应的研究程度很低。本研究以普里兹湾海域75000公里二维地震测线及该区域内的ODP Leg 119、Leg 188钻孔为基础资料，建立了陆架-陆坡地层层序格架，详细刻画了该大陆边缘主要沉积特征， 旨在揭示了该区域沉积终端与冰川、气候、环境的响应关系。

本研究的认识之一是证实普里兹湾自早渐新世以来存在南极底层水，并影响其沉积过程。现代观测数据证明现今普里兹湾海域是存在南极底层水(Antarctic Bottom Water: AABW)的，但是有关AABW最早形成时间以及演化过程一直是一个未解决的科学问题，因为无法对其进行直接观测。本研究在普里兹湾陆坡识别出了一系列巨型漂积体(sediment drifts)，结合ODP钻孔信息对其定年后发现漂积体均从 34 Ma 开始沉积。 沉积物厚度计算结果显示，从无冰期（ 大于34 Ma）到全冰期(小于34 Ma)，沉积中心有明显的向西和西北方向方向迁移的趋势，而沉积中心主要由沉积物漂积体组成。基于沉积物漂积体是AABW（底流的一种）作用的结果，可推断从早渐新世到现今，普里兹一直存在AABW，并影响该区域的沉积过程。本研究的认识之二在于发现早期东南极冰盖（East Antarctic Ice Sheet）形成的新证据。二维地震资料显示东南极普里兹湾陆坡位置保存了一系列完整的斜坡沉积（clinoforms）。根据有限的ODP钻孔信息（ODP1165, 1166, 1167）推测斜坡沉积形成于约39-34 Ma，依据斜坡沉积的形成时间可进一步推测东南极冰盖在该时间段非常活跃，冰川活动使得大量的沉积物从南极内陆搬运到陆架至陆坡并快速沉积。斜坡沉积的形成同时也表明该时期海平面是处于上升过程的，从而为其提供了充足的沉积空间。本研究系列中发现的斜坡沉积及漂积体均是该区域未来IODP理想的钻探目标。

S77-P-12

渐新世梁家楼地区深水沉积过程与地层记录

李宏伟 [1*]，范军侠 [1]

1 中国石油勘探开发研究院

* hongweili@petrochina.com.cn

渐新世梁家楼地区发育深水重力流沉积，在大套泥、页岩沉积与薄层泥质白云岩沉积中留下了湖底扇砂质沉积的地层记录。发育于烃源岩之中湖底扇砂岩储层，是梁家楼油田油气开发的重点产层。受资料分辨率限制，以往对重力流的来源、湖底扇砂体在深水沉积中的分布难以准确描述，影响了研究区的滚动勘探与油气挖潜。

为了重新认识深水重力流沉积过程与湖底扇分布，开展了高分辨率层序序地层划分、对比经与湖底扇储层成像工作。首先将测井资料的沉积旋回信息与地震资料的地层接触关系相结合，以前积反射层的下超面（页岩夹泥质白云岩薄层）作为最大湖泛面与等时面，以重力流沉积旋回的转换面、突变面、地震削截面作为层序界面，建立了湖底扇沉积的等时层序地层格架；在此基础上，沿等时面提取了不同小层的振幅厚度数据，然后在大数据分析平台上，运用数据分析与数据成像技术，精细刻画了梁家楼湖底扇在空间上的展布。

研究结果表明，梁家楼湖底扇的沉积过程并非一期成因，而是由先、后两期沉积旋回组成的重力流沉积，其地层记录表现为下部发育的是重力流势能增强期的前积朵叶沉积，上部发育的是重力流势能减弱期的浊

积水道充填，二者在发育部位上相互排斥，在发育程度上互补；梁家楼湖底扇的来源也并非如以往所认为的单一物源，而是由两支重力流水道输入深水湖盆而形成的两支湖底扇砂体。

梁家楼湖底扇的沉积过程表明，渐新世时期，梁家楼所处的深水湖盆经历了来自南部古隆起区的洪水事件。高能携砂水流依靠势能向深水湖盆中心悬浮搬运，在湖盆内部发生沉积物体积分配，形成若干反旋回的湖底扇朵叶体沉积；随着重力流势能的减弱，重力流沿朵叶体之间的水下古地貌低势区回填，形成若干正旋回的浊积水道充填沉积。水道回填的部位正是前期朵叶体之间的古地貌低势区，因此，除了浊积水道与朵叶体边缘部分叠置区之外，重力流沉积的地层记录往往是保存不完整的，主水道越是发育的部分，朵叶体的发育程度越差，反之亦然。

研究工作为梁家楼油田的滚动勘探提供了新的钻探目标，为油气挖潜与注水井网的重新调整与部署提供了可靠的地质依据。

S77-P-13

中国邻近海区部分极端事件的沉积记录

徐方建[1*]，李安春[2]，窦衍光[3]，胡邦琦[3]

1 海南大学，海洋学院

2 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

3 中国地质调查局，青岛海洋地质研究所

* xufangjiangg@163.com

不同区域多时间尺度古环境重建，特别是对极端事件历史及其规律、机制的研究，已成为科学界致力解决的重要科学问题之一。南海北部深海盆记录显示，近 40 kyr 以来沉积物主要来自台湾西南部输入背景下，37-35 kyr BP 期间受到吕宋北部的短暂事件输入影响。东海陆架泥质沉积中心记录到 4 次快速沉积事件：12.3-12.1、7.5-7.3、5.9-5.2 和 1.5-1.3 kyr BP，与 Younger Dryas 事件、7.3 kyr 冷事件、第二新冰期(5.5 kyr 强降温事件)以及北大西洋 1.4 kyr 浮冰事件均有良好的对应；粒度资料同样揭示出了 YD 和 8.2 kyr 冷事件，细粒敏感组分揭示出的 5.5 kyr BP 前后东亚冬季风增强，与世界范围内的 5.5 kyr 强降温事件也非常一致。冲绳海槽 7.6-6.9 kyr BP 海水表层温度大幅下降，也对应了 7.3 kyr 强降温事件；3.6-2.7、2.0-1.0 和 0.6-0 kyr BP 期间海水表层温度较低，分别对应于新冰期(Neoglacial Period)、黑暗时代冷期(Dark Age Cold Period)和小冰期(Little Ice Age)等事件。近期的岩心资料揭示出，海南岛东部海域 9.9-9.5 kyr BP 和 8.8-8.1 kyr BP 至少存在两次沉积环境突变事件。中国邻近海域沉积物的斑块状分布和较高的时空分辨率，使得从沉积记录中提取极端事件信息成为近年来的研究热点。实际上，单个岩心建立的极端事件序列是不完整的，甚至每个站位的结果也是多解的，通过多个地点岩心沉积层序的分析，可降低信息提取的不确定性。

S77-P-14

晚第四纪渤海南岸海侵历史与沉积演化过程

张欣[1*]，刘健[1]，王懿萱[2]

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 中国科学院青海研究研究所

* qdzx1990@163.com

晚第四纪以来，中国东部海岸带共发生过三次大规模海侵，并形成了以海相和陆相交替出现为特征的沉积地层，是研究晚第四纪古环境演化的良好载体。然而，对于 MIS 3 时期海平面高度以及是否发生海侵等问题仍有争议。本研究以现代黄河三角洲地区一个长度为 80 m 的 YRD-1401 钻孔为研究对象，开展了详细的沉积学与年代学综合分析，钻孔所揭示的第一和第三海相层分别以滨岸和近岸浅水潮下带环境为特征，光释光和 ^{14}C 测年数据表明其形成于全新世和 MIS 5。

而第二海相层为潮坪沉积，石英和长石释光测年共同对其进行年代限定，两者年代较为一致，表明该潮坪沉积发育于 MIS 3 早期。通过对 YRD-1401 孔潮坪沉积埋深进行构造沉降和压实效应校正，提出渤海南岸的古海平面在 MIS 3 早期位于现今海平面 26.8–19.9 m 之间。海水在 MIS 3 早期进入渤海并形成滨岸–潮坪沉积，而 MIS 3 中–晚期海平面下降，此时以河流沉积为主。结合周围地区钻孔资料，提出渤海在 MIS 6 甚至更早期间受海水影响程度较弱，以河流和潮汐河流环境为主；MIS 5 时期广泛发育海相沉积，海相性较强；MIS 4 期间全球海平面下降，海水退出中国东部陆架区，古河流在此期间发育并对下伏沉积进行侵蚀；MIS 3 早期，海水再次进入渤海但强度较小，渤海南岸发育滨岸–潮坪沉积环境；MIS 3 中–晚期，全球海平面下降，此时中国东部陆架区再次以河流沉积为主；全新世以来，渤海地区海平面上升，再次发育大规模海相沉积。该项研究的意义在于揭示了渤海南岸近 20 万年来沉积演化过程，提供了渤海南岸 MIS 3 早期发生海侵的沉积学与年代学证据，并据此重建了该时期的最高海平面位置。

S77-P-15S

全新世长江口沉积物微生物膜脂 GDGTS 的高分辨率古环境重建

袁梦[1]，葛黄敏[1]，年小美[2]，许云平[1*]

1 上海海洋大学，海洋科学学院

2 华东师范大学，河口海岸国家重点实验室

* ypxu@shou.edu.cn

长江口作为中国最大的河口，接受大量来自陆地和海洋的沉积物，其沉积物记录了丰富的东亚季风演化及海陆变迁信息，是研究东亚季风区演化和海平面变化的理想区域。脂类生物标志物具有特定的生物来源，对外部环境变化反应灵敏且具有相对较高的保存潜力，在地质演化过程中具有一定的稳定性。本研究采集了位于长江口 1 个 40 米的钻孔沉积物，运用高效液相色谱质谱仪分析了微生物细胞膜脂的甘油二烷基甘油四醚（Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers; GDGTs），并计算了基于 GDGTs 的温度（TEX86, MBT）、pH（CBT）和有机碳来源(BIT)指标，重建了全新世以来长江口的环境演化。GDGTs 及其衍生指标显示近一万年来长江口环境发生了显著变化。甲基支链 GDGTs 指标（br GDGTs IIIa/IIa 和 BIT 指数）表明陆源物质输入在长江口沉积物中存在显著变化,而两个温度指标 TEX_{86} 和 RI-OH 变化趋势相对较一致，均记录了全新世早-中-晚期的温暖-降温-温暖过程，并伴随百年尺度的温度波动。由于全新世以来气候和海平面变化引起的自然灾害（如风暴潮）对人类生存和发展影响巨大，因此，通过对长江口柱状沉积物进行有机生物地球化学分析，对认识千年尺度气候变化机制、了解长江流域径流量变化以及预测未来环境变化具有重要意义。接下来我们的计划是：1）查询文献资料，与我们的结果进行对比；2）开展更高分辨率的样品分析，已验证长江口沉积物是否记录了诸如新仙女木、8.2 Ka、中世纪暖期、小冰期等快速气候事件。

S77-P-16

冲绳海槽中部陆坡区东亚冬季风和物源演化的沉积记录

李德勇[1*]，徐学远[1]，刘喜停[1]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* ldyc411@ouc.edu.cn

冲绳海槽位于中国东海大陆架和琉球岛弧之间，受独特的地理位置、复杂的水动力环境和晚第四纪以来持续沉积作用的影响，冲绳海槽内高沉积通量的沉积序列记录了丰富的气候环境演化信息。本文基于冲绳海槽中部西陆坡 S01-10 重力柱岩心的粒度参数、AMS ^{14}C 年龄和稀土元素特征，获得

了该区域 14 ka 以来的气候和沉积物源演化记录。

本次研究我们利用粒度参数（MZ）、物源判别指数（DF）以及稀土元素判别图（$(Gd/Yb)_N$-Yb_N 和 $(La/Yb)_N$-$(Gd/Yb)_N$）三种指标，综合分析了冲绳海槽中段陆坡沉积物源演化及其与东亚季风和东海环流的耦合关系。结果显示，14 ka 以来冲绳海槽中部陆坡沉积物源演化包括五个阶段：阶段 I（14000-11500 a）和阶段 II（11500-7800 a），S01-10 孔沉积物的 MZ 明显减小，砂含量增加，粉砂和黏土含量降低，沉积物粒径明显变粗。将 MZ、DF 与湖光岩玛珥湖沉积物 Ti 含量、$\delta^{18}O$ 同位素曲线进行对比，我们认为该时期东亚冬季风强盛，气候寒冷，海平面下降至现今海平面以下 80-120m，东海陆架大范围暴露，古黄河河口可能推进至陆架外缘，东亚冬季风驱动的低温底流将大量来源于古黄河的陆源物质输送至冲绳海槽中部陆坡区。同时，稀土元素判别指标 $(Gd/Yb)_N$-Yb_N 和 $(La/Yb)_N$-$(Gd/Yb)_N$ 的分布特征也更接近于古黄河物源。阶段 III 至阶段 V（7800-1920 a），S01-10 孔沉积物的 MZ 和 DF 指标指示，东亚冬季风小尺度持续波动，整体上逐渐减弱。同时随着海平面不断上升，古黄河河口后退至岸线附近，古黄河陆源物质运移至冲绳海槽中部陆坡区的距离变长、难度增大，然而，此时黑潮重新进入冲绳海槽，携带了大量来自于台湾岛的陆源物质，因此，S01-10 孔沉积物显示古黄河和台湾岛物源的特征。

S77-P-17

冲绳海槽西南端岩芯能够揭示近千年来的地震与气候事件吗?

朱博文 [1,2,3*]

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 中国科学院海洋研究所

3 中国科学院大学

* zhubowen@cug.edu.cn

晚全新世以来，冲绳海槽西南端具有极高的沉积速率，地震、台风等事件频发，重力流沉积广布。同时，该区域海洋流场结构极其复杂，存在作用于各水深的黑潮、中尺度涡、逆流和内波等多尺度动力过程。然而，我们对这些极端事件和海洋动力过程的沉积响应了解甚少，区域内异重流（暖湿气候？）和浊流沉积（地震？）的触发因素仍存争议。因此，亟需开展精细的沉积学研究，结合极端事件的测器/文献（史料）记载、数值模拟与现场观测，综合剖析岩芯记录的复杂信息。

本文通过汇总统计该区域岩芯已公开的数据资料，识别出研究区近千年来发育十余期浊流（以底部发育侵蚀面的正粒序层理为特征）和异重流（以逆-正粒序层理为特征）沉积，结合文献和史料记载，发现重力流沉积与气候和地震事件并无时间上的相关关系；通过数值模拟与现场观测，恢复了该区域的海洋流场结构，发现内潮能量耗散最强和逆流流速最快的深度（250m 水深）及位置（北棉花峡谷—棉花峡谷）一致；通过以重矿物为“指针”的物源示踪研究，发现重力流沉积的物源均为东海陆架和台湾河流的混合。因此，该区域的深水重力流沉积来源多样，台湾河流和东海陆架均为其物源区；触发因素复杂，地震、气候和海洋动力过程都可造成不同源区/位置沉积物失稳。

因此，在不能完全排除海洋动力过程影响的前提下，要慎重考虑该区域岩芯沉积特征对地震与气候事件的记录能力，避免陷入“相关性等于因果”的逻辑误区。

S77-P-18

北部湾东部全新世早中期沉积记录及其古环境演变

瞿洪宝 [1,2*]，陈波 [1,2]，张从伟 [1,2]，王嘉琳 [1,2]，林明智 [1,2]，孙龙飞 [1,2]

1 海南省海洋地质资源与环境重点实验室
2 海南省海洋地质调查研究院
* yaobkj@126.com

对取自北部湾东部琼州海峡西口附近BKY2 孔（109°25′18.03936″E，20°11′01.64371″N，水深 25 m，长 30 m，取芯率 96.3%）上段 13.2 m 岩芯沉积物进行了AMS14C 测年和粒度分析，获取了全新世早-中期高分辨率的古环境演化记录。结果显示，该段主要为全新世早-中期（10.5 ~ 6.5 ka）形成的海侵沉积，13.12 m 为其全新世沉积底部，缺失 6.5 ka 以来的沉积。千年尺度上，BKY2 上段粒度组成呈现明显的三段式变化特征：10.5 ~ 9.5 ka BP，平均粒径迅速变小，砂含量逐渐减少并达到最低值，粉砂、粘土含量逐渐增加，分选变好，愈加负偏；9.5 ~ 8.0 ka BP，沉积物平均粒径总体上在小范围内波动，在 8.5 ka 左右出现急剧震荡，粘土含量出现最高峰值；8.0 ~ 6.5 ka BP，沉积物平均粒径呈现持续增加的趋势，砂含量相对增加，分选性也波动变差。

BKY2 孔沉积物粒度变化与区域海平面变化密切相关，反映了海平面变化对区域物质输运和沉积格局形成的控制作用。随着海平面逐渐上升，海水约 10.2 ka BP 开始逐渐侵没研究区，受到波浪和潮汐等影响，海岸侵蚀、邻近物质输入或先期沉积物的再改造是该时期主要的物质来源，沉积物逐渐变细，形成了全新世初期海侵滨岸沉积，反映了随着海平面上升该区陆-海沉积模式的转换。随着海平面继续快速上升，在 8.5 ka BP 左右琼州海峡自西向东完全打开，来自海峡内部及东侧的沉积物开始成为研究区物源的一部分，沉积速率明显加快。8.0 ka 以来，海平面上升速度有所减缓，粒度特征呈现出百年尺度上波动，而通过海峡的潮流对海峡底床下切侵蚀作用持续增强，大量海底物质被输送到海峡两侧开阔海域外消能堆积，琼州海峡内部成为研究区主要的物质来源，由于物源充足，该时期为快速沉积期。

BKY2 孔粒度信息揭示了研究区古沉积环境的变迁以及琼州海峡形成和演化过程这一区域重大地质事件，海峡的打开并作为北部湾连接南海的另一通道而稳定下来，对研究区水动力环境和物质输入产生了巨大影响，形成了与以往完全不同的沉积环境和沉积体系，对研究北部湾现代沉积格局的形成以及深入了解半封闭陆架系统的沉积动力学过程具有重要意义。

S77-P-19S

华南埃迪卡拉纪黑色页岩中的氧化还原敏感元素富集程度与广泛海洋缺氧

郝禹霏 [1,2,3]，刘鹤 [1,2]，陈茜 [1,2,3]，孙卫东 [1,2,3]，黄晶 [1,2*]

1 中国科学院海洋研究所，深海极端环境与生命过程研究中心
2 崂山实验室，深海多学科交叉中心
3 中国科学院大学
* hjmail@qdio.ac.cn

地球历史上第二次大氧化事件，即新元古代氧化事件（NOE）被认为会导致埃迪卡拉纪页岩中的氧化还原敏感元素（RSE，如 Mo、U、V、Cr 等）的异常富集。然而，近年来的研究发现很多地区埃迪卡拉系的页岩并没有表现出 RSE 富集的特征。本研究通过广泛的数据搜集和整理，利用氧化还原敏感元素的含量、富集系数、与 TOC 的比值，结合以铁数据判定的氧化还原环境，从更广泛的时空分布对华南埃迪卡拉纪陡山沱组页岩进行了深入研究。

研究表明，华南埃迪卡拉系页岩中的 RSE 总体含量不高，这指示了埃迪卡拉纪海洋的广泛缺氧。我们同时发现，也有一些异常值具有较高的富集程度，说明在南华盆地间歇性地发生了局部 RSE 富集事件，这可能是 RSE 通过多种路径从表层海洋向深海输送的结果。该研究展示了一个广泛的缺氧和低 RSE 含量的埃迪卡拉纪海洋，但此时表层海洋的 RSE 和硫酸盐含量可能增加，

表层与深海物质交换明显加强，这些将有助于 NOE 期间的海洋氧化。

S77-P-20

日本中部侏罗纪增生楔中的深海二叠系-三叠系界线剖面特征

丁望 [1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，海洋战略研究所

* dingwang357@gmail.com

二叠纪末发生了地史上规模最大的生物灭绝事件，对事件的研究大多集中在岩层保存较为完好的特提斯海浅水域，推断极端气候可能是大灭绝的重要环境背景。泛大洋深海域占据了当时地球上最大的面积，其深海远洋沉积理应保存了丰富的环境变化信息。前人的研究认为深海无氧事件可能是二叠纪末海洋生物灭绝的重要因素。然而，深海远洋沉积在晚侏罗纪的洋壳俯冲过程中受到严重破坏，深海二叠系-三叠系界线剖面很少完整地保存下来，一些碎片剖面现今分散在日本列岛侏罗纪增生楔内。我们发现并研究了日本中部滨名湖地区侏罗纪增生楔（秩父带）中的一个剖面。基于岩性变化和新获得的放射虫化石，我们重建了滨名湖剖面的远洋沉积岩性序列，从老到新为二叠系乐平统灰色硅质岩，黑色硅质岩，硅质粘土岩和黑色有机质粘土岩的混合，硅质粘土岩，黑色硅质岩，以及中三叠统安尼阶灰色硅质岩。岩性序列的对称性变化（以黑色有机质粘土岩为中心）以及放射虫化石年龄表明该剖面可能代表了发生在二叠纪-三叠纪之交的深海无氧事件。其中，黑色有机质粘土岩有机碳含量为 4.85~6.78 %，明显高于围岩，可能与海洋厌氧浮游生物和细菌大爆发导致的海洋初级生产力提高有关，推测为无氧事件发展到高潮的产物。黑色有机质粘土岩层发生了强烈的剪切变形，表现为硅质粘土岩团块分散在黑色有机质粘土岩基质中，剪切方向为右行剪切，和区域剪切方向一致，表明该层可能是区域俯冲过程中滑脱面的位置。此外，剖面内靠近黑色有机质粘土岩层的地方发现有陆源碎屑岩，表现为砂岩颗粒分散在泥岩基质中，这可能代表了俯冲后期增生楔中杂岩体的形成过程。和其他深海二叠系-三叠系界线剖面相比，滨名湖剖面记录了相对完整的从中-晚二叠世到中三叠世早期的地层层序变化，无氧事件背景下形成的黑色有机质粘土岩层可能在俯冲过程中发育了滑脱面因而发生强烈变形。

S77-P-21S

科林斯裂谷晚更新世事件沉积记录的粒度见解

康文君 [1]，李顺利 [1*]

1 中国地质大学（北京）

* lishunli@cugb.edu.cn

海峡和航道是连接海洋和湖泊的关键枢纽，它们调节水、沉积物和生物的交换，并影响当地和全球气候。海峡控制的流体放大机制下的沉积物堆积包含反映沉积体系内部动力学运行时空尺度的粒度信息，尤其是海峡沉积物通量引起的相关洋流，可能促进了浅水沉积物（事件成因和非事件成因）从较浅的陆架向盆地沉积中心的搬运。研究团队基于对科林斯裂谷 M0079A 钻孔沉积物的粒度分析，探讨了晚更新世科林斯裂谷的水动力条件和物源。通过频率分布、粒径-标准差和概率值累积曲线提取了对沉积环境较为敏感的粒度组分。研究结果表明，0.15-0.25 μm 范围内的粒度组分连续变化指示科林斯裂谷南部长而弯曲河流正常时期的河流沉积物供应（高密度羽流），0.593-0.613 Ma 时间节点，科林斯裂谷南缘水系逆转后，该组分间断变化指示短而直河流洪水期间的沉积物供应（异重流），同时层内的许多典型事件沉积特征可能是由地震触发的。当沉积物以半远洋沉积形式供应时，0.3-

0.5 μm 范围内的总粒度组分比例成为悬浮沉降沉积物的指标，尤其是当海湾与海洋周期性连接时，其含量稳定在 0.8%附近。在海相时期，岩心显示出较粗的沉积物，这可能与科林斯海峡开放相关的环流（顺时针方向循环）有关，可能促进了事件性洪水驱动的异重流沉积物从较浅的陆架向科林斯裂谷主轴沉积中心的搬运，从而解释了海相沉积物堆积期间的粗粒沉积物。因此，该研究说明了盆内海峡的建立如何影响相邻沉积中心深水轴的事件性沉积流体动力学细节，并提供了通过粒度组分区分事件和非事件性河流沉积物供应的见解。

S77-P-22

理塘断裂 5 万年以来的古地震记录及大震复发行为研究

钟宁 [1,2*]，张献兵 [1]，杨镇 [1]，于皓 [1]，梁莲姬 [3]，蒋汉朝 [4]

1 中国地质科学院地质力学研究所，地质安全工程研究中心

2 中国地质科学院地质力学研究所，中国地质调查局新构造与地壳稳定性研究中心

3 北京工业大学，建筑工程学院

4 中国地震局地质研究所北京，地震动力学国家重点实验室

* zdn2018@126.com

理塘断裂带是川滇块体内部错断整个川西高原的一条左旋走滑活动断裂带，曾引发 1948 年理塘 M7.3 级地震，产生了约 36-70km 的地表破裂带。理塘断裂是理塘断裂带的一条分支断裂，为一条全新世活动断裂，表现为左旋走滑兼有正断分量，主要展布于理塘盆地及其西北山谷中。为了解理塘断裂的地震复发特征，选择理塘盆地厚约 3.2-18.9 米河湖相沉积为研究对象，在 8 个剖面中识别出 9 种类型的软沉积物变形构造（碟状、负载、火焰、球-枕、假结核、触变楔、液化角砾、液化底劈、碎屑脉）。结合区域地质背景和断裂活动，地震是它们最可能的触发机制，代表强液化或流化作用。依据软沉积物变形的类型、最大液化距离与地震震级关系等方法，理塘剖面可能记录了 19 次≥6.0 级的古地震事件。结合 7 个光释光测年数据和已发表的古地震资料，初步建立了 5 万年以来理塘断裂的古地震序列，地震复发表现为丛集性特征，复发周期约为 500-1000 年；近 5000 年以来强震复发间隔逐渐缩短，地震危险性增强。值得注意的是，理塘断裂、毛垭坝断裂和康嘎-德巫断裂的古地震探槽均发现约 3 万年的一次古地震，可能是整个理塘断裂带全段破裂的级联破裂事件。本研究为理解理塘断裂带的强震活动性、大震复发特征，探讨大地震孕育机制提供了基础资料。

S78-O-1

量化了显生宙煤和蒸发岩的形成与温度和降水的关系

胡永云 [1*]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* yyhu@pku.edu.cn

在古气候研究中，煤和蒸发岩被定性地作为潮湿和干燥气候环境的替代指标。然而，煤和蒸发岩与气候要素之间的定量的关系，尤其与温度和降水的定量关系尚不清楚。结合显生宙系列气候模拟结果和煤与蒸发岩地质记录，我们建立了煤和蒸发岩与温度和降水之间的定量关系。

在中晚古生代（4.19-2.51 亿年前），煤主要形成在赤道附近，对应的年平均温度主要集中在 25°C，年平均降水量集中在 1300 mm。古生代成煤植物主要为蕨类植物，蕨类植物是低等维管植物，对水的传输能力弱，因此，古生代的植物主要分布在温暖潮湿的赤道地区，煤也形成在赤道附近。

至中生代（2.51-0.66 亿年前），裸子植物在陆地繁盛，裸子植物比蕨类植物传输水分的能力更强，也更能适应降水量较少的内

陆环境。随着大陆移动到北半球中高纬度，植物也延伸到北半球中高纬度，煤开始出现在约 50 ºN，这里是多风暴和多降水的湿润区，煤形成所对应的温度约为 10℃，年平均降水约为 900 mm。与此同时，白腐菌的出现热带地区（白腐菌起源于约 2.95 亿年前），白腐菌能够有效地降解木质素，植物很难保存，所以，在中生代的大部分时间，热带地区几乎没有煤的形成。

在新生代（0.66 亿年前-现在），气候持续变冷，现在的全球平均温度比白垩纪晚期低将近 10°C，降水量也随之下降。但在新生代，被子植物占统治地位，其生理功能比蕨类和裸子植物具有更好的光合作用和适应气候环境的能力，因此，虽然新生代温度和降水下降，但煤的地理分布与中生代相似，主要形成于北半球中纬度。

蒸发岩总是出现在南北半球的副热带干旱区。在石炭纪早期之前，几乎所有的蒸发岩都出现在南半球。至古生代晚期，因为盘古大陆的北移，蒸发岩出现在北半球副热带地区。蒸发岩形成的年平均温度集中在 27 ºC，对应年平均降水量约为 800 mm。

一个特别有意义的结果是，虽然显生宙全球气候在温室和冰室之间多次变换，温度波动幅度超过 10 ºC，但煤和蒸发岩形成的年平均净降水量（降水减去蒸发）不随时间变化。煤形成所对应年均净降水集中在 300 mm，蒸发岩对应的年均净降水集中在 100 mm。这说明在煤和蒸发岩的形成过程中，相关的物理、化学和生物过程所需要的水分是不变的。

S78-O-2

造山运动控制了 32 亿年以来的全球剥蚀作用

李高军 [1*]

1 南京大学，地球科学与工程学院

* ligaojun@nju.edu.cn

剥蚀作用包括了化学风化溶解作用和侵蚀作用两部分，其通量即基岩转化为地表生物化学循环可利用物质的通量。剥蚀速率控制了磷灰石的风化通量，而磷灰石作为一种易溶矿物向海洋提供了磷这一关键营养元素。因此剥蚀和沉积通量的增加也促进了有机碳埋藏。另一方面，造山作用及其引起的物理剥蚀和化学风化的增加被认为导致了新生代全球变冷和大气 CO_2 含量下降。尽管物理剥蚀对大气 O_2 和 CO_2 含量起到了关键的调节作用，但全球的深时剥蚀历史至今仍不清楚。这里我们以大数据的方法分析了排除岩性、风化强度、沉积物分选和成岩作用等影响因素后的 38 亿年来沉积岩地球化学成分变化。分析结果显示元素沉积信号的变化主要由河流供应（包括溶解态和非溶解态）相对于热液供应的变化引起。重建的全球剥蚀记录与通过锆石的 Eu 异常重建的 32 亿年来活动大陆地壳的平均厚度高度相关，显示出板块构造运动开始后造山作用对其的控制作用。我们进一步认为造山运动减弱引起的低剥蚀速率可能导致了地球在距今 18 亿年至 8 亿年的时间段内海洋营养元素持续的贫乏和生命演化的停滞。

S78-O-3

板块运动驱动热带辐合带迁移

韩晶 [1]，聂绩 [1*]，胡永云 [1*]，William R. Boos[2]，刘永岗 [1]，杨军 [1]，袁帅 [1]，李想 [1]，郭佳琦 [1]，蓝佳雯静 [1]，林琪凡 [1]，包秀娟 [1]，魏梦宇 [1]，李智博 [1]，满凯 [1]，殷子涵 [1]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

2 University of California, Berkeley,Department of Earth and Planetary Science

* jinie@pku.edu.cn

* yyhu@pku.edu.cn

热带辐合带(ITCZ)位置的变化对区域降水、季风、台风等天气与气候系统有着重

要影响。在当前和未来变暖的气候中，ITCZ 的位置迁移已经得到了广泛的研究。然而，在过去的地质时间尺度上，人们对 ITCZ 的位置变化知之甚少。利用过去 5.4 亿年的切片模拟试验，我们发现 ITCZ 位置的迁移主要是由大陆构造决定的。大陆位置控制 ITCZ 位置主要通过两个相互竞争的的物理机制实现，分别是两半球太阳净辐射的不对称性和跨赤道海洋热输送。太阳净辐射在两个半球的不对称性主要是由陆地-海洋反照率的差别以及大陆所在的纬度造成的，仅用陆地分布就可以对其进行预测。跨赤道海洋热传输与大洋环流以及海表风应力的两个半球不对称性密切相关，而地表风应力半球不对称又受到海洋表面积半球不对称的控制。半球间净辐射的不对称和跨赤道海洋热量输送作用相互竞争，它们之和等于跨赤道的大气热量输送，即决定了 ITCZ 所处纬度位置。该研究结果使得人们可以根据海陆分布来理解大陆演化对全球海洋-大气环流的影响，这是地质时间尺度上地球固体圈层与流体圈层之间的一个重要耦合关系。

S78-O-4

一站式地学学术文献平台 DDE SCHOLAR

王海文 [1]，王新兵 [1*]

1 上海交通大学，电子信息与电气工程学院

* wanghaiwencn@foxmail.com

DDE Scholar 系统是集学术搜索、分析与可视化为一体的智能地学文献平台，从多数据源实时更新学术数据。截止至目前，平台收录了发表在 535 个期刊来源上的超过 3,600,000 篇论文和 4,000,000 位学者信息。系统面向涵盖地学领域学者、论文及其所含图文数数据、机构、关键词、刊物、科研项目等的地学学术大数据，基于已有地球科学叙词表提取并建立地球科学数据元(DataElement)，用于后续提供简单明确的数据汇交标准，便于数据管理、各类知识图谱构建等。在此基础上，运用所提出的地学知识挖掘与表示技术，建立面向地理各级学科的关键词脉络体系及领域论文引用脉络体系；构建涵盖地理学术元素间语时空多重关联的地学学术知识图谱同时建立文献关联、作者关联、学科关联等，进而挖掘学者、机构研究领域、领域代表学者及地理实体关键属性，从而帮助科研人员从海量地理学术数据中发现知识并建立关联。

S78-O-5

DATAEXPO：面向地学开放科学研究的数据巡航系统

卢彬 [1]，唐顾 [1]，甘小莺 [1*]，梁诗宇 [1]，王新兵 [1]，周成虎 [2]

1 上海交通大学，电子信息与电气工程学院

2 中国科学院地理科学与资源研究所

* ganxiaoying@sjtu.edu.cn

大数据时代，科学数据呈现爆发式增长。互联网上积累了丰富的地学数据集，这为数据驱动的科学研究打下了坚实的基础。然而，由于散落在互联网上的数据网页缺乏统一的语义标记、组织方式个性化，这为准确查找相关数据带来了巨大的挑战。为了解决这一问题，依托“深时数字地球”国际大科学计划（DDE），研发了数据巡航系统 DataExpo，提出了一种基于深度学习的多源地学元数据自动汇聚方法，实现数据网页的准确分类和网页结构化信息提取，构建了以元数据为中心的地学知识图谱。DataExpo 致力将地学长尾数据、暗数据、公开数据的“藏身之地”一网打尽，并将他们进行统一分类管理，便于科研人员对地学数据的使用。

对于开放科学研究，DataExpo 设计并提供了数据发现，搜索和推荐服务。对于数据发现，地学科学家仅需提供一批特定领域的关键词，DataExpo 将以电子邮件的形式将发现的数据网站列表返回给专家。同时，这些数据也会被自动收入我们的数据库中并持续开放给用户。以岩浆岩专题数据发现为例，

通过数据发现服务，我们发现的网站不仅包含多学科数据库，也囊括了专业的地学数据库。同时，我们的数据发现结果除了来源于一些官方网站外，还包含了一系列由个别学者开发的个人网站，此类通过常规检索难以发现的长尾数据具有重要的潜在研究价值。此外，我们将 DataExpo 的多个查询结果与 Google Dataset Search、Findata、Mendeley 数据库等进行了结果对比，结果显示 DataExpo 发现的数据完整性更具有优势。此外，DataExpo 研发了时空地图检索服务，用户可通过时空地图检索功能在地图和时间标尺上的选择进一步细化检索结果。以皓石为例进行数据检索，当用户想进一步分析位于美国加利福尼亚州的锆石数据，用户可以使用时空地图搜索服务，发现如位于圣路易斯水库研究区的 EarthChem Data 等数据。

迄今为止，DataExpo 已支撑了 DDE 的 18 个地学学科开放数据挖掘工作。通过与国内一流的地学研究团队开展深入合作，协助构建了学科专业专题数据库。与现有的数据集服务系统相比，DataExpo 通过整合互联网上各种类型的数据，自动识别关键元信息，成功地帮助了地球科学家发现、检索和推荐数据。未来，我们将进一步优化 DataExpo 对数据发现的深度与广度，持续提高数据检索和推荐的精准性，助力推动开放科学时代的数据驱动研究范式变革。

S78-O-6

DDE REPORT：AI 驱动的地球科学研究报告

亓杰星 [1]，吴律文 [1]，盛书茜 [1]，丁家昕 [1*]，王新兵 [1]，周成虎 [2]

1 上海交通大学，电子信息与电气工程学院

2 中国科学院地理科学与资源研究所

* jiaxinding@sjtu.edu.cn

在大数据、云计算、人工智能技术的推动下，地球科学领域正在进入一个数据驱动的时代。然而，处理数据时仍然存在许多挑战，如数据来源和格式的不一致、数据量大、复杂性高以及时间和资源限制等问题。为了解决这些挑战，借助“深时数字地球”国际大科学计划（DDE），DDE Report 项目团队开发了一种简单易用的工具，使用户能够更快地创建和分享自定义报告，从而更好地了解其数据并作出更明智的决策，便于科研人员快速跟进地球科学的研究和发展路线。

DDE Report 为地球科学工作者提供许多功能和便利之处，例如帮助用户更轻松地创建报告，自动化数据收集和处理，易于共享等。该项目采用谱聚类算法和 LLR 算法从论文的标题、摘要中抽取研究术语并对论文的相关性进行计算，选择分数最高的术语作为该聚类的标签关键词。同时，基于基金委网站爬取的元数据，DDE Report 团队开发了基金文本分析系统，统计相关关键词在历年基金中出现的频次，以及近年内频次变化趋势，以表示该关键词在某个领域下的热度变化趋势。此外，该项目还利用最先进的人工智能技术，在各个主题下的基金和论文数据上进行微调，生成每个主题下的摘要总结，并利用深度语义相似度衡量模型对生成的摘要进行可靠性分析，向用户提供生成摘要文本的原始依据。

迄今为止，DDE Report 团队使用谱聚类产生 407 个聚类，并根据聚类中包含的论文数量、论文平均发表年份、平均被引量等指标对聚类进行综合考虑，筛选出 49 个主要聚类。与现有的数据报告系统相比，DDE Report 通过论文、基金等多源数据的分析和先进 AI 技术的使用，自动识别和分析地球科学学术资源，通过实时动态更新和评论，为研究人员、机构、社区提供构建交流、学习的平台，促进地球科学的发展。

S78-O-7

面向知识和数据共享的大洋沉积物数据库建设

胡修棉 [1*]，许小龙 [2]，马超 [3]，马鹏飞 [4]，蒋璟鑫 [1]，王学天 [5]，王家昊 [1]，陈曦 [6]，杨

壹达[6]，蔡媛[1]，肖开训[1]，蔡灿[6]，张鹏程[3]，韩卿臣[3]

1 南京大学，地球科学与工程学院
2 南京信息工程大学，软件学院
3 成都理工大学，沉积地质研究院
4 同济大学，海洋与地球科学学院
5 中国矿业大学（北京），资源与地球科学学院
6 中国地质大学（北京），科学研究院
* huxm@nju.edu.cn

国际大洋钻探计划（IODPII、IODP I、ODP、DSDP）是地球科学历史上规模最大、影响最深的国际合作研究计划，自 1968 年实施以来，钻探航次 312 个，钻孔超过 4091 个，采集岩芯超过 42 万米。绝大部分岩芯是沉积物。基于这些岩芯的观测与分析，产生了大量的科学数据。然而，这些数据是多源的，也是异构的，如沉积物相关的核心数据以不同的格式分布在 LIMS（web.iodp.tamu.edu）、MarE3（www.jamstec.go.jp/sio7/）、ESO（iodp.pangaea.de）等数据仓储平台，同时散布在各种各样的科学文献中，年龄模型相关的数据主要分布在 Neptune（nsb-mfn-berlin.de）以及航次报告中，这些都极大地限制了对这些科学数据的再利用。

在国家自然科学基金委、深时数字地球（Deep-time Digital Earth）联合支持下，大洋沉积物数据库（Ocean Sediment Database，OSD）建设开始于 2021 年，致力于汇集半个多世纪以来的大洋钻探计划相关的大洋沉积物数据。目前，OSD 包括沉积物组成(宏观描述、微观描述、粘土矿物)、沉积地球化学（有机地球化学、无机地球化学、孔隙水化学）、物理性质（水分和密度、漫反射颜色）等八大类沉积物相关的核心数据以及生物事件年龄、磁性地层年龄数据，沉积岩钻孔 2247 个，总数据条目超过 162 万。入库数据由学科专家进行了标准化处理，标准字段有 426 个。OSD 为关系型数据库，已部署在 DDE 云资源上。现阶段可满足用户通过空间、物质等属性对 OSD 中的数据进行检索和下载。正在开展数据与年龄模型的关联工作以及沉积物知识图谱向数据库的嵌入工作，未来计划建设成一个科研平台，搭建物质演化、CCD 重建等一站式在线工具，满足知识和数据共享的进一步需求。

S78-O-8

大洋钻探沉积地层时间数据库

马超[1*]，蔡灿[2]，张鹏程[1]，韩卿臣[1]，胡修棉[3]

1 成都理工大学，沉积地质研究院
2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
3 南京大学，地球科学与工程学院
* machao@cdut.edu.cn

大洋钻探计划（IODP，ODP，DSDP）积累了侏罗纪以来丰富的沉积地质数据，是记录连续记录该时段地球系统演变的实物档案。其沉积地层时间是进行地质研究的重要元素，但这些数据存储方式和形式分散性，阻碍了大洋钻探沉积物综合研究的效率。为解决这一问题，本文集成了多个数据源，创建了沉积物空间时间数据库（SedS&T 数据库），旨在为沉积学钻孔建立时间-深度转换关系，将深度域数据转换到时间域，提高数据的可用性。SedS&T 数据库整合了三个现存数据库（Pangaea、LIMS、Neptune）、大洋钻探出版物和已发表文章的信息，汇编了多种年龄数据，包括生物地层、磁性地层、化学地层、放射性测年和旋回地层。目前，该数据库包含 50236 条数据，涵盖 188 个航次、1797 个钻孔，分布全球各大洋，且将持续更新和维护。SedS&T 数据库提升了大洋钻探数据的可发现性、可访问性、可重用性、互操作性和可持续性，为研究海洋沉积物和地球历史贡献了宝贵资源，帮助我们更深入地了解地球历史和预测未来气候变化。

S78-O-9

高温地球化学数据库——高质量的细分领域数据库

吕洋[1]，张舟[1*]

1 浙江大学，地球科学学院

* zhangzhou333@zju.edu.cn

随着分析测试技术的发展，地球化学数据产出的速度和规模在急剧增加。然而，已有的数据基础设施（例如 Georoc, EarthChem）中的数据质量存在问题，即数据库中存在不可忽视比例的数据与原文数据不符，并且缺乏岩石、矿物之间的相互关系。为了更好地规范和使用数据，并提高数据的准确性和可靠性，本课题组通过广泛收集并系统清洗高温地球化学数据，建设了高质量的细分领域数据库，用以同行开展相关研究。

本数据库收录的数据为经过了数据清洗和同行复查的数据集。数据库采用了 Postgre SQL 软件建设关系型数据库，按照需求分析、数据表设计、数据库建表、数据预处理、数据录入、前后端框架设计、前后端开发、内部调试、上线服务器试运行、对外开放的步骤进行实施。本数据库的样品包含岩石、矿物、包裹体 3 大类数据，并根据结晶期将数据分为原岩和捕掳体两大部分；样品信息分为岩矿性质、采样地点、年龄信息等 9 项子类；化学成分根据元素性质、组成形式分为 7 项子类；根据不同子数据集的附加信息建立特定的子信息表。本项目数据来源包含已发表文献、未发表数据、数据库网站，并依据原始数据来源，对数据进行系统地检查清洗，录入时针对不同属性设置对应的规范标准。同时，本数据库将通过数据信息进行样品匹配，查询同一形成条件的岩石-岩石对、岩石-矿物对、矿物-矿物对样品。目前已收录有近十万个样品，数据库的数据量仍然保持着高速增长。

随着下一阶段的进行，本数据库将上线“深时数字地球”（DDE）国际大科学计划的系统平台并对外建立用户友好型界面，将根据数据信息设置分类检索、范围检索、关键词检索等多种查询方式。同时，本数据库将与本课题组开发的 Geochemistry π 一站式机器学习工具建立接口，通过机器学习手段挖掘数据特征及其潜在信息。

S78-O-10

Geochemistry π: 自动调参的机器学习 Python 工具

何灿[1,2]，孙建昊[3]，赵健铭[4]，吕洋[1]，王盛鑫[5]，赵文钰[1]，李岸洲[1]，张舟[1*]

1 浙江大学，地球科学学院

2 新加坡国立大学，计算机系

3 中国地质大学（武汉），地球科学学院

4 吉林大学，地球探测科学与技术研究学院

5 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

* zhangzhou333@zju.edu.cn

近年来，机器学习在地球化学领域的应用为相关科学问题带来了新认识。但是，地球化学科研人员需要花费大量时间精力实践机器学习方法。为了降低地球化学家应用数据挖掘方法研究的门槛，我们开发了 Geochemistry π，一款基于 Python 的高度自动化机器学习框架（Framework）。通过一键安装和运行 Geochemistry π，地球化学科研人员只需提供 Excel 表格数据，再从终端界面选择提供的选项，就可获得经过自动调参后的机器学习模型及其相关图表，为进一步分析提供依据。

Geochemistry π 以 Scikit-learn 库为基础，建立了定制化的自动化数据挖掘流程，为数据预处理环节提供统计分析方法，能够训练监督学习和无监督学习两类算法模型。本工具通过构建数据传输和算法功能应用相分离的层级式流水线架构，保证了框架的可扩展性和可移植性。同时，利用 FLAML 库的 CFO 和 BlendSearch 两种超参数搜索方法来实现 AutoML 模块，并结合 Ray 计算框架来加速模型参数优化过程。该工具操作简单，能有效省时省力，并采用 FLAML 和 Ray 框架相结合的方式，保障了模型的最优性能。

总的来说，Geochemistry π 是地球化学领域研究人员快速挖掘表格数据潜在价值的高效易用工具。

S78-O-11

古生物化石标本多模态数据集的建设与应用

徐洪河 [1*]，陈焱森 [1]，郭文 [1]

1 中国科学院南京地质古生物研究所，地层古生物大数据中心

* hhxu@nigpas.ac.cn

数据驱动型研究范式在古生物学与地层学研究中越发普遍，深刻影响着人们对地球与生命演化的认知。近年来，化石记录和地层剖面等结构化大数据在古生物学与地层学研究中得到了广泛应用，在生命宏演化、生物多样性变化、形态空间演化、定量地层对比等研究领域中取得了显著的影响力和突破性的科研成果，促进了古生物学与地层学领域中可量化的、高分辨率的、高精度的科学发现。古生物学与地层学所关注的是深时生命与环境的演变，化石标本作为其重要的研究对象，具有多维度与多模态的特征。在化石标本的数据化过程中，数据的类型与维度需要拓展，多模态数据库的建设必将促进数据驱动型古生物学与地层学研究与发现。古生物化石标本是古生物学与地层学研究中最为重要的研究对象，是生命演化的实证，也是世界自然遗产中的重要资源，对于自然资源普查、地质遗迹保护以及科学传播都必不可少。笔者团队基于古生物学的研究现状和国内外化石标本的收藏情况，提出了古生物化石标本元数据标准，旨在于完善古生物化石标本数据的规范化与标准化、利于化石标本数据的整理、汇交、跨平台操作、检索、共享和使用，也是古生物学大数据在深时数字地球（Deep-time Digital Earth）大科学计划中的实际行动。古生物化石标本元数据标准包含十项元数据元素以及一项元数据实体，即，标题、数据标识符、许可证标识符、关键词、描述、化石标本参数、数据链接地址、创建者、创建时间和访问限制，以及作为元数据实体的数据提交机构。这些元数据元素涵盖了与化石标本相关的所有科学内容，是构建古生物学化石标本数据库的参照。以笔者团队所构建的笔石、孢粉等数据集为例，展示了多模态的化石标本数据集的应用，其可用于化石标本的虚拟察看、可视化展示、地质资源勘查与评估、智能识别以及科学传播等

S78-O-12

地球系统数值模拟装置简介及开放共享方案

张木兰 [1*]，曹美春 [1]

1 中国科学院大气物理研究所

* zml@mail.iap.ac.cn

2022 年 10 月，国家重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”——寰（EarthLab）通过国家验收，正式运行。“寰”是我国建成的首个具有自主知识产权、以地球系统各圈层数值模拟软件为核心的专用地球系统数值模拟装置，具备地球系统的模拟推演、气候-环境-生态的预测预报等多项能力。“寰”采用软硬件协同设计，由国内地学、数学、信息科学等领域的顶级团队共同研发，实现了核心软硬件国产化，核心指标与发达欧美国家相当，部分指标世界领先，是引领我国地球系统科学研究水平步入国际前列的国之重器。

“寰”突破了多圈层模式耦合，全球与区域模式双向耦合，陆地、海洋碳循环与大气 CO_2 全耦合等多项‘卡脖子’难题 ，研发了我国第一个真正自主可控、性能比肩国际先进水平的‘完整’地球系统模式。依托模式研发的短期气候预测系统在 2022 年汛期降水预测中 PS 评分首次历史性超过 80 分，有效保障了国家汛期防灾减灾工作。

“寰”破解了一个模式框架下全球到局地复杂物理化学全过程精细化模拟的难题，

将区域大气污染模拟分辨率提升至了全国1-3公里，局地的细分辨率达50米。新研发的完全自主知识产权公里级大气环境预报溯源系统，首次实现了大气污染物与二氧化碳的一体化模拟与溯源，有效保障了党的二十大等重大活动顺利召开。

2023年，“寰”将继续深化跨学科融合创新，推动复杂地球系统科学与全圈层相互作用研究，建立数据共享平台与合作机制，为应对气候变化、“双碳”战略实施、防灾减灾、生态文明建设等国家重大需求，提供有力的科技支撑。

S78-P-1S

结构化知识抽取与融合

郭志新[1]，周健平[1]，郑冠杰[1*]，王新兵[1]

1 上海交通大学，电子信息与电气工程学院

* gjzheng@sjtu.edu.cn

由于大量的实验数据和结果广泛分布在地学论文、行业报告中。于此同时，大量的采样数据以表格、图片、文本多模态的形式存在。由于数据格式的多样性和数据规模的庞大，使收集、整理相关数据用于构造全球性地学数据库变得异常困难。在这项研究中，我们旨在通过关注关于地理数据的深度问题来自动化分析大量的地理文档。为了实现这一目标，我们结合地学知识构造 DDE 知识数据融合系统，通过对于海量文献文本、图片、表格数据的解析、检索与融合可以获得更高的检索效率，更全的检索范围，更新的知识发现。通过引入人在回路的设计思想，结合地学专家的背景知识，对于目前大模型无法处理的信息，引入人工标注。并以此结果反复迭代知识抽取模型，提升自动化处理流程的数据填充率。目前 DDE 知识数据融合系统支持表格数据解析与融合、地学文本实体识别、多模态知识抽取等功能。基于 DDE 知识抽取融合系统目前为地质所处理 PDF 数据超过 240GB，并以此数据为支撑发表高水平地学学术论文 3 篇。与此同时，为山地灾害组构造泥石流山地灾害知识图谱，支持地学知识超过 10000 条。

S78-P-2S

微生物岩薄片图像长尾数据发掘及其应用

王斌[1,2]，李柯然[1,2*]，张子阳[2,3]，马英杰[2,3]，肖凯文[3]，马超[4]，王洪辉[3]

1 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室

2 成都理工大学，AI4Geoscience Research Group

3 成都理工大学，计算机与网络安全学院（牛津布鲁克斯学院）

4 成都理工大学，沉积地质研究院

* keranli98@outlook.com

微生物岩是碳酸盐岩中研究的一大热点，然而，当前我国学者在微生物岩研究中存在命名标准混乱、划分标准不一致的情况，造成微生物岩薄片图像中产生大量长尾数据。本次研究从大量中文文章和实际工作中搜集并清洗了所有微生物岩薄片图像数据，建立了微生物岩薄片图像数据集。为了充分发掘微生物岩薄片图像数据中的长尾数据并重新构建了长尾数据分类方案，研究引入了基于半监督学习模型 MixMatch。MixMatch 模型分类结果显示，微生物岩薄片图像数据中的长尾数据类型包括泡沫绵层、藻砂屑、葡萄石、鲕粒、核形石、微生物席，其中泡沫绵层组构主要由肾形菌组成，微生物席主要由附枝菌及科德菌组成。实际应用过程中，MixMatch 模型实现了对已鉴定的微生物岩薄片图像的更正，识别出了被忽略的泡沫绵层、藻砂屑及微生物席，证明了长尾数据发掘工作的有效性。

S78-P-3

西太平洋边缘海大洋红层的时空分布及成因

马鹏飞[1*]，程汉[2]，胡修棉[3]，蒋璟鑫[3]，马超[4]，王成善[2]

1 同济大学，海洋与地球科学学院
2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
3 南京大学，地球科学与工程学院
4 成都理工大学，沉积地质研究院
* pma@tongji.edu.cn

作为沉积物和沉积岩最基础和最直观的特征，颜色与沉积组分，特别是有机碳、生物壳体、以及含铁锰矿物等，密切相关。因而，当特定颜色的沉积物在海洋中大规模出现时往往指示了特殊的古海洋环境或者重大的地质事件。基于大洋沉积物数据库（Ocean Sediment Database，OSD）整合的DSDP/ODP/IODP 沉积学数据，我们系统分析了太平洋及其边缘海沉积物的颜色特征。结果发现，西太平洋边缘海盆地（南海、苏禄海、苏拉威西海、菲律宾海、珊瑚海、北忠诚盆地、南斐济盆地、塔斯曼海、埃默拉尔德盆地）广泛发育了始新-中新世大洋红层，并表现出与同时期太平洋大洋红层相似的特征。开阔大洋和边缘海的大洋红层均以陆源碎屑为主（>80%），且沉积通量一般低于 2.0 g/cm^2/kyr。不同边缘海大洋红层的形成时代差异较大，但同一海盆中的红层均几乎同时发育。初步研究认为，板块相互作用控制的古海洋环境和陆源碎屑输入控制了边缘海大洋红层的形成和消失。当边缘海构造背景相对稳定，且与太平洋完全联通时，太平洋氧化的底层水可以顺畅进入边缘海，并与缓慢堆积的沉积物相互作用，使其逐渐致红。而当边缘海构造背景转为活跃，特别是在与太平洋逐渐隔绝后，红层沉积结束，并往往被浊流沉积所取代。

S78-P-4S

基于岩浆活动和差异沉降回溯的拗陷盆地古地貌恢复

余雄飚[1]，刘强虎[1*]，李志垚[1*]，朱红涛[1]

1 中国地质大学（武汉），资源学院
* liuqh@cug.edu.cn
* zhiyaoli@qq.com

坳陷盆地中沉积中心、堆积中心、沉降中心存在“三中心”不重合的现象，难以简单通过地层厚度中心判断“三中心”准确分布位置。本文以大火成岩省背景下西湖凹陷黄岩区渐新世拗陷期盆地为例，根据岩心、钻井和三维地震资料，发现地层厚度大的北部区域岩性粒度粗、红褐色泥岩分布广，地层厚度小的南部区域岩性粒度细，灰绿色泥岩分布范围广、频数多，反映拗陷盆地地层厚度中心同岩性指示水深中心不一致，结合研究区重磁资料，深部岩浆活动是厚度中心和沉积中心不重合的主要原因，热沉降量的恢复是解决问题的关键。基于上述现象，根据三维地震资料运用残余厚度法恢复残余古地貌，利用沉降量定量计算软件消除差异热沉降量的影响，并利用微量元素恢复的古水深对古地貌进行校验，重建拗陷期沉积古地貌，探讨岩浆作用对坳陷盆地古地貌、三中心分布的影响。结果表明北部持续受到岩浆活动的影响，热沉降量大，水深较浅，发育浅水暴露环境三角洲平原体系；南部热沉降量小，水体较深，发育滨浅湖沉积体系，沉积中心位于研究区南部，厚度中心位于研究区北部。局部地壳减薄致使深部岩浆活动，从而导致全区差异沉降，致使拗陷盆地沉积中心和地层厚度中心不重合。通过均衡差异沉降量，最终准确恢复拗陷期盆地沉积面貌。

S78-P-5S

制约地幔交代作用的全球分布：来自针对地幔单斜辉石化学成分的机器学习研究

秦奔[1]，黄放[2]，黄士春[3]，Andre Python[4]，陈云枫[1]，张舟[1*]

1 浙江大学，地球科学学院

2 Kensington,CSIRO Mineral Resources

3 University of Nevada Las Vegas,Department of Geoscience

4 浙江大学

* zhangzhou333@zju.edu.cn

地幔交代作用影响着岩石圈的化学分异、克拉通稳定性和地幔的地球物理特性，是了解地球内部成分演化和动力学过程的一个重要考虑因素。因此，评估全球尺度的地幔交代作用对于理解地幔的不均一性具有重要意义。由于只有少数样品保留了地幔显性交代的矿物，前人提出了不同的地球化学元素比值作为指标来指示交代作用。尽管前人提出的地球化学指标对于局部地区的样品是否经历了地幔交代作用具有较好的判断，但是将前人提出的元素比值应用于全球样品，我们发现通过元素比值判断交代作用的结果和显性交代矿物的证据并不自洽。此外，不同化学指标判断的结果也不一致。因此，我们试图从数据科学角度出发，训练出和显性交代矿物证据自洽，并在化学成分上可区分交代作用的机器学习模型。为此，我们从 GEOROC 数据库中下载并清洗了原始数据，得到单斜辉石主量元素的有效数据约 22000 条，微量元素数据约 3000 条。我们以岩相学出现显性交代矿物和微量元素轻稀土元素含量单调递增分别作为发生交代作用的正标签和负标签，获得了监督学习的训练样本（主量元素数据 2089 条，微量元素数据 872 条）。通过 Xgboost 模型训练这些监督学习的样本，分类准确率可以达到 95 %，并且模型显示所有元素对于其判断均有一定的重要性。随后，利用无监督学习 K 均值模型证明有标签的数据具有全部数据的分簇特征，从而保障训练的模型可以预测无标签的数据（主量元素数据 19516 条，微量元素数据 2094 条）。将训练获得的机器学习模型应用于全球样品进行预测，结果显示大多数区域的单斜辉石均受到了交代作用影响，而个例结果则呈现交代概率分布的不均一性。此外，研究发现交代作用和地震观测数据尚无明显相关性。

S78-P-6

归档、存储与共享的挑战：5.4 亿年以来高分辨率全球气候模拟数据集

胡永云[1]，魏强[1*]，刘永岗[1]，聂绩[1]，杨军[1]，李想[1]，袁帅[1]

1 北京大学，大气与海洋科学系

* q.wei@pku.edu.cn

过去 5.4 亿年以来的显生宙见证了大陆裂解和汇聚、生命演化和繁盛，经历了气候系统的巨大冷暖变化。我们利用地球系统模式 CESM1.2.2，针对 5.4 亿年以来的全球气候进行模拟。每一千万年进行一个时间切片的平衡态模拟，共 55*4 套 1°水平分辨率的模拟试验包含月平均地表温度、降水、地表风场、地表反照率等数百个重要气候要素。针对特定地质事件，我们还进一步增加了时空分辨率，并对关键参数进行了细致的敏感性实验，建立了一系列子数据集。

气候模拟能够提供高分辨率的气候要素全球分布，这不仅弥补了重建资料在时间、空间分布的稀少性和区域代表的局限性，而且可以与地质记录交叉检验，更好地重建深时气候环境演化。本数据库是国际上关于显生宙气候模拟空间分辨率最高的数据库，能够为地质、地球化学、古生物等研究提供量化参考，对理解气候系统的演化机制和未来气候变化预测具有重要意义。

本项目已经整理完成超过 1000TB 的数

据集，部分已经发布在公开数据库。还有近2000TB 的数据正在分析、整理，计划按照用户使用场景提供数据下载和可视化演示。我们还在继续扩展数据库内容，针对具体的地质历史事件(如二叠三叠物种大灭绝、古新世始新世极热事件、早始新世极热事件；晚古生代冰期、白垩纪古近纪恐龙大灭绝、末次冰盛期等）进行更加深入的模拟，计划三年内从现在的 55 套数据扩展为约 300 套，增加约 10 套 0.5°数据，并结合地质记录进行分析，提供和地质记录对比显示的功能。我们将讨论和分享这一古气候数据集在归档、存储与共享过程中的挑战。

S78-P-7S

不同气候态下，热带地表经向温度梯度会发生变化吗?

魏梦宇 [1*]，胡永云 [1]，杨军 [1]，刘永岗 [1]，聂绩 [1]

1 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* weimy@stu.pku.edu.cn

前人研究表明：在暖气候态下，赤道-极地的地表温差减小；在冷气候态下，赤道-极地的地表温差增大。对于热带地表经向温度梯度的变化趋势，通常假定为与赤道-极地温差有相同的趋势。但是，本文通过分析各种数值模拟数据、数据同化资料与再分析资料，发现在不同的外部强迫（如太阳辐射、CO_2 浓度、海陆分布）下，中低纬度地区（40^oS-40^oN 之间）的地表经向温度梯度的变化非常小，不同时期的赤-极温差大小主要取决于高纬度地区的温度梯度变化。通过比较陆地与海洋的经向温度梯度，我们发现海洋经向温度梯度的变化比陆地经向温度梯度变化小得多，这暗示海洋经向热量输送可能是维持中低纬度温度梯度不变的主要原因。为了验证这一假说，我们设计了一系列平板海洋试验。试验结果证明，当经向海洋热量输送从零不断增加时，中低纬度的经向温度梯度减弱；但是，当经向热量输送增加到一定程度之后，若继续增加经向海洋热量输送，经向温度梯度达到饱和、不再继续减弱。这可能是不同气候态下热带地表经向温度梯度基本不变的主要原因。

S78-P-8S

CARBONATE-MOBILE-NET: 基于热力图蒸馏的移动端深度网络模型

马英杰 [1,2]，张子阳 [1,2]，李柯然 [2,3*]，任杉 [2,3*]，宋金民 [3*]

1 成都理工大学，计算机与网络安全学院 (牛津布鲁克斯学院)

2 成都理工大学，AI4Geoscience Research Group

3 成都理工大学，油气藏地质及开发工程国家重点实验室

* keranli98@outlook.com

* 1198481650@qq.com

* songjinmin@sohu.com

随着深度学习 (Deep Learning) 的不断发展，各类深度神经网络在自动驾驶、目标检测、深度估计等计算机视觉任务上已经取得了超过人类的表现，诞生了诸如 ImageNet 等超过 200G 数据量的大型计算机视觉数据集。然而，尽管在地球科学领域中已经有一系列利用 VGG16+YOLO、FAST R CNN、Resnet16 等经典模型在岩石薄片图像领域进行智能处理，但这些模型的训练集图像数量主要集中在 3000~5000 张 (<4G)，难以支撑大型深度模型训练。为了训练大型深度计算机视觉模型，本次研究收集了一个大型碳酸盐岩岩石薄片数据集 CarbonateSichuan-170G，包含叠层石、凝块石、晶粒方解石/白云石、鲕粒、生物碎屑、孔隙及裂缝等 22 类碳酸盐岩薄片，薄片主要来自四川盆地(>70%)及全球其他区域（~30%），所有薄片图像均经过重新鉴定。在 CarbonateSichuan-170G 上，VGG 模型表现低于 Resnet 系列模型，Resenet101 取得了最好的训练精度

(Top-1 accuray 82.4%，Top-5 accuracy 93.7%)，CarbonateSichuan-170G 数据集有效支撑了大型深度模型训练。

为了进一步开发下游任务，本次研究选取了开发适用于偏光显微镜外接 PC 端 CPU 推理和手机等移动端应用，任务的难点在于将训练出的 Resnet 系列模型（Resnet101 大小为 3.9G）压缩到小于 1M 但又尽可能不损失性能模型。为解决模型压缩问题，本次研究提出了一种新的迁移学习方式——CAM-Attention，具体方式为以训练好的 Resnet101 模型的 GradCAM 热力图为模块注意力，训练极端轻量级的 MobileNet 模型，在尽量不损失精度的情况下，新的模型仅有 800k，能有效适配移动端部署的需求。目前偏光显微镜 CPU 推理模型等移动端应用正在进行实验，未来将在成都理工大学能源学院碳酸盐岩鉴定教学课程中进行运用。同时 CarbonateSichuan-170G 和 Carbonate-Mobile-Net 作为地球科学领域深度视觉模型，有望进一步促进人工智能研究与地球科学领域研究的有机结合。

S78-P-9

长期观测记录揭示了自 1960 年以来全球海洋最小含氧带的扩张

周韫韬 [1*]

1 上海交通大学，海洋学院

* ytzhou@sjtu.edu.cn

海洋最小含氧带（OMZ）是海洋中溶解氧水平极低的地区，这对大多数海洋生物的生存都构成了重大挑战。以往的基于观测的研究关注全球缺氧长期特征，而相应的 OMZ 扩张条件仍不清楚。准确估计 OMZ 的空间范围对于确定其发生原因和后果非常重要。在本研究中，我们打算利用已搜集的全球海洋中最密集的多源观测数据。此外，我们提供了一个严格的地理统计建模框架和一个空间一致的蒙特卡罗方法，以估计 1960 年至 2021 年全球 OMZ 的体积，以及相关的不确定性。我们的初步分析结果表明，过去六十年全球 OMZ 体积不断增加。OMZ 的变化对于海洋资源管理具有重大影响，因为其分布极大地影响着海洋生物的分布、海洋栖息地和生物地球化学循环。我们的发现强调了有针对性的保护和管理工作的紧迫性，以减缓 OMZ 扩张对海洋生态系统的影响。

S78-P-10S

AUTOMPM: AUTOMATED MACHINE LEARNING FOR MINERAL PROSPECTIVITY PREDICTION

Junqi Liu[1]，Evelyn Jessica Jaya[1*]，Xinbing Wang[1]，Jie Yang[2]，Nanyang Ye[1]

1 上海交通大学

2 中国地质大学（北京）

* evelynjj@sjtu.edu.cn

矿产前瞻性映射（MPM）经常遇到一个重大障碍，即为多样的机器学习方法选择最佳配置的耗时复杂过程。该领域的从业者经常受到由广泛参数调整需求的困扰，大大降低其准确率及效率。因此，我们引入 AutoMPM，一种创新的自动化矿产预测系统，具有智能模块来选择不同机器学习方法的最佳配置，并通过新颖的加速和优化设计进行优化。AutoMPM 通过采用四阶段数据预处理策略来解决不平衡数据问题，该策略包括插值、特征滤波、数据扩充和数据拆分。同时，该系统采用并行执行设计，允许同时执行一系列独立的操作，从而最大限度地减少时间消耗。此外，AutoMPM 的灵活性使其能够轻松扩展和模块化，适用于不同规模

的数据集，并根据目标任务进行多样化的模块选择。

S79-O-1

中国南海北部 20 万年来冷泉活动演化历史研究

邓义楠 [1*]

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

* dengyinan@126.com

冷泉与天然气水合物密切相关，能引起显著的温室效应，具有重要的资源和环境的研究意义。然而，关于南海连续的水合物演化史及其与全球气候变化的关系至今仍未可知。本研究聚焦南海北部东沙海域钻孔连续沉积的冷泉碳酸盐岩，通过系统高分辨率的地球化学分析，揭示了甲烷渗漏强度变化规律，重建了南海北部水合物 20 万年来演化历史。基于演化历史的约束，发现水合物分解处于地球冰期-间冰期过渡的高海平面期，提出了海水升温是造成全球水合物分解的重要因素，与学界普遍认为的低海平面期弱静水压力为水合物释放的主要触发机制相悖，本研究将促使大家重新审视水合物演化与全球变化的关系。

S79-O-2

BA 和 U 同位素示踪古新世-始新世之交极热事件（PETM）期间海洋生产力和氧化还原状态演化

熊国林 [1]，张飞飞 [1*]，吝祎勃 [1]，张华 [2]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 中国科学院南京地质古生物研究所

* fzhang@nju.edu.cn

古新世-始新世之交极热事件（PETM）是地质历史时期由快速 CO_2 释放导致的最为显著的增温事件之一，被认为是当今全球变化的重要地质类比。然而，PETM 期间全球海洋氧化还原状态演化及其触发因素目前存在较大争议。藏南地区的定日剖面完整记录了 PETM 事件，其岩性组成为浅水碳酸盐岩，我们对该剖面进行了高分辨率的 Ba、U 同位素分析，试图对 PETM 期间生物生产力水平和古海洋氧化还原状态提出约束。结果表明，PETM 期间碳酸盐岩的 $\delta^{138}Ba$ 从 $\delta^{13}C$ 负偏之前的 0.3‰ 快速升高至 0.7 ‰，随后缓慢降低，在 $\delta^{13}C$ 负偏最低值时降低至 0.4 ‰。$\delta^{238}U$ 的整体变化范围为-0.1 ‰ – 0.2 ‰（平均值为 0.03 ± 0.06‰ 1SD），$\delta^{238}U$ 在 $\delta^{13}C$ 负偏之前降低了~0.20 ‰，在 $\delta^{13}C$ 负偏期间存在两次波动，波动幅度~0.15 ‰。我们研究结果表明，PETM 期间由于大量 CO_2 排放导致化学风化增强，导致输入海洋的营养盐增加，触发印度板块北缘的浅海生产力迅速增加，之后随着大气中 CO_2 浓度降低，大陆风化速率降低，输入到海洋中的营养盐逐渐降低，从而海洋的生产力恢复到 PETM 之前的水平。生产力的增加促使底层水体有机物质含量增加，导致海洋底层水缺氧面积增加，但 PETM 期间并未出现显著缺氧面积增加，暗示生产力增加仅限于局部区域。对比二叠纪-三叠纪之交（PTB）和 PETM 两次增温事件，PTB 海洋缺氧程度明显较 PETM 严重，可能是导致两次事件海洋生物灭绝程度不同的重要原因。

S79-O-3

松辽盆地青山口组页岩的微生物贡献及其页岩油地质意义

王华建 [1*]，柳宇柯 [1]，吕丹 [1]，王晓梅 [1]，张水昌 [1]

1 中国石油勘探开发研究院，石油地质实验研究中心

* wanghuajian@petrochina.com.cn

松辽盆地常规石油资源量 110 亿吨，页岩油资源量达 100～150 亿吨。白垩系青山口组是松辽含油气盆地内最重要的一套烃源岩，贡献了盆内 85%以上的常规-非常规油气资源。有机岩石学和地球化学分析显示，青山口组页岩的生油组分主要是层状藻类体，来自于行光合作用的浮游菌藻类，在沉降过程中经细菌降解埋藏，是生油能力最高的 I 型干酪根的主要组成部分。实体化石结果显示，青山口组页岩中球形疑源类占绝对优势（平均 85%），沟鞭藻次之（平均 15%）。沟鞭藻的贡献得到了其专属生物标志（甲藻甾烷）在青山口组页岩中以较低浓度（5.2~332.2 μg/g）被检出的证据支持。但是，低熟页岩抽提物中 C_{30} 藿烷含量（1242.3~4068.3 μg/g）显著高于 C_{29} 甾烷（251.6~2979.0 μg/g），提示能够生成藿烷的原核细菌对沉积有机质的贡献大于能够生成甾烷的真核藻类。2α-甲基藿烷、3β-甲基藿烷和芳基类异戊二稀烃作为蓝细菌、甲烷氧化菌和绿硫细菌的专属生物标志化合物，也在青山口组低熟–未熟页岩中广泛检出，这意味着青山口组有机质的生物母源并非传统认为的真核浮游藻类，而是多元的，且存在较高程度的低等疑源类、原核细菌，乃至古菌的贡献。在青山口组纹层状页岩中，介形虫灰岩纹层和白云岩纹层占比较高。介形虫灰岩虽然主要来自于介形类生物壳体的成岩矿化，但壳内仍含有较高含量的铁白云石。这些铁白云石和白云岩的 $\delta^{13}C_{carb}$ 明显偏重（+4‰～+15‰），指示沉积有机质经历了产甲烷发酵阶段，在生成 ^{13}C 亏损的甲烷后，同步生成 ^{13}C 富集的碳酸氢根，被 Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}等捕获后生成（铁）白云石。由于细菌硫酸盐还原反应对细菌产甲烷作用有强烈抑制作用，这意味着青山口组纹层状页岩有机质并非富集于硫化水体环境，而是贫硫酸盐湖泊环境。白云石结核中的 Sr 同位素与同时期海水更为接近，可能与海水入侵有关。由此表明，青山口组沉积期的海侵事件可能为湖泊中的有机质富集和现今的页岩油富集提供了重要地质约束。总的来看，微生物对松辽盆地青山口组页岩油的形成和富集有着重要贡献，不仅是生油有机质的最主要来源，还是碳酸盐岩纹层形成的最主要推手，在海侵地质事件背景下，为页岩油“甜点层/区”的最终形成起到了至关重要的作用。

S79-O-4

晚白垩世海侵事件诱发的巨量湖泊有机碳埋藏

秦政[1]，刘金高[1*]，崔欢[2]，黄何[3]，徐东滔[4,5]，高远[4,5]，吴怀春[4,5]，王成善[4,5]

1 中国地质大学（北京），地质过程与矿产资源国家重点实验室

2 密西西比州立大学，地球科学系

3 成都理工大学，沉积地质研究院

4 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

5 中国地质大学（北京），生物地质与环境地质国家重点实验室

* jingao@cugb.edu.cn

长周期有机碳埋藏是全球气候和碳循环系统的重要一环。湖泊有机碳埋藏作为全球有机碳埋藏的一个重要组成部分，近年来受到了越来越多的关注。全球性和区域性因素的叠加导致湖泊有机碳埋藏机制相当复杂。前人对陆相含油气盆地的研究表明：湖泊的巨量有机碳埋藏和海水侵入事件之间存在潜在的联系。但由于缺乏结论性的证据，二者之间的相互作用尚不明确。本研究建立了湖相泥页岩的铼-铂族元素配分模式作为准确识别海水侵入事件的专性指标，并将这一指标应用于白垩纪松辽盆地嫩江组富有机质泥页岩的成因研究中。铂族元素指标和其他地球化学证据如：总有机碳（TOC）、有机碳-氮（$\delta^{13}C_{org}$，$\delta^{15}N$）和锇同位素（Os_i）共同揭示了海水侵入事件触发的湖泊有机碳埋藏的动力学机制。通过比对嫩江组的区域气候-构造背景和全球的气候变化特征，

我们发现海水侵入事件在湖泊有机碳埋藏过程中起到了决定性作用。本研究统计的陆地盆地烃源岩层位和海水侵入事件的耦合性表明，海水侵入事件诱发的湖相有机埋藏在地质历史时期是普遍存在的，在大量含油气盆地的烃源岩形成过程中都可能发挥了重要的作用。特别是在高海平面的温室气候时期，海侵诱发的湖相有机碳埋藏可能是一个具有重要意义的碳汇，并对气候变暖形成强烈的负反馈。

S79-O-5

奥陶纪-志留纪转折期重大地质事件与页岩气富集

邱振[1*]，张琴[1]，刘雯[1]，孔维亮[1]，张家强[1]，高万里[1]，董大忠[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，非常规研究所

* qiuzhen316@163.com

我国南方五峰组—龙马溪组页岩气资源丰富，技术可采资源量约 4.5×10^{12} m^3。截止 2022 年底，南方五峰组—龙马溪组页岩气探明地质储量超 2.7×10^{12} m^3，年产量达 240×10^{8} m^3，在我国天然气产量增长中发挥着重要作用。

页岩气作为富有机质页岩层段中自生自储的天然气，它在页岩中形成与富集受到早期有机质沉积及后期构造活动等因素的共同控制。我国五峰组—龙马溪组页岩气近十年的勘探开发实践表明，五峰组—龙马溪组富有机质沉积是页岩气富集的基础，后期有效保存条件是高产的关键。五峰组—龙马溪组沉积时期，即奥陶纪—志留纪转折时期，发生了一系列全球性重要地质事件，如海平面升/降、气候变冷（冈瓦纳冰期）、火山喷发、海水缺氧、生物大灭绝等。同时，在华南扬子地区周缘发生一些区域性构造抬升、火山喷发等事件。这些地质事件对五峰组—龙马溪组页岩沉积产生了重要影响。基于野外剖面与钻井岩心观察与统计、现场生产数据等资料分析，通过开展五峰组—龙马溪组页岩沉积学、沉积地球化学等方面综合研究，认为四川盆地及周缘五峰组—龙马溪组页岩气甜点区（段）形成与分布，受到其沉积时期全球或区域性地质事件—构造与海平面升/降、气候变冷、火山喷发、硫化缺氧及生物大灭绝不同程度的影响，是这些事件沉积耦合作用的结果。尽管这些重要事件相互作用的机理仍存在着一些争议，需进一步探讨，但它们之间的耦合沉积可在不同的区域形成不同的岩石类型及岩石组合。在特定区域，这些岩石或岩石组合富含有机质、发育纹层、富含脆性矿物等，为页岩气甜点段形成提供所需的基本地质条件，从而控制着甜点段形成与分布。需要说明的是，不同于页岩气甜点段，甜点区作为甜点段在区域上的延伸，它的形成需要在区域上具备甜点段发育的所有条件，而其最终规模与分布则受控于后期构造活动的改造强度。

研究进一步提出页岩油气等非常规油气资源沉积富集与重大地质环境突变密切相关，是全球性或区域性构造与海（湖）平面升降、火山活动、气候突变、水体缺氧、生物灭绝与辐射、重力流等多种地质事件沉积耦合的结果。未来需要从地球系统科学出发，以地质事件分析思维深入开展非常规油气沉积学研究，为寻找非常规油气资源发挥重要作用。

S79-O-6

华北中元古碳酸盐岩裂隙型热储成因及其资源与环境意义

姜磊[1*]，欧永良[1]，王子晨[1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院新生代地质与环境重点实验室

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

地热能是未来几十年极具潜力的低碳可再生能源，是应对全球变暖和实现“碳中

和”的重要能源类型。裂隙型碳酸盐岩地层含水层通常具有较好的地热勘探潜力。已有勘探研究表明我国华北克拉通中元古代白云岩裂隙发育，其中含有丰富的地热水资源。然而，由于缺乏对裂缝成因和期次的精确刻画，目前对地热资源的勘探开发及其可持续性方面的认识仍很有限。本研究选取雄安地区高于庄组和雾迷山组白云岩，通过岩石学、矿物学以及稳定同位素、团簇同位素和 U-Pb 定年等方法，重建了储层岩石学特征及裂缝充填白云岩的构造和流体演化历史。在此基础上，通过 X 射线 CT 扫描测定了样品的孔隙率、渗透率和连通性等岩石物理参数，并使用蒙特卡罗模拟方法估算了研究区的总地热储量。结果表明，华北地区中元古碳酸盐岩热储的裂隙成因与多期构造运动相关，早期卡斯特岩溶作用是优质储层发育的基础，后期的深成岩溶作用对储层具进一步改善与提升作用。特别的，本研究明确提出了研究区受中元古期（1540 至 1000 Ma）构造运动影响显著，现今一些有效的裂隙系统可能形成于该时期，提出该时期的构造裂隙可能受深部地幔柱活动控制，并深刻影响着中元古时期的构造样式、风化强度、生物进化、及大气与海洋的氧含量。第二期构造裂隙形成于新元古晚期至奥陶系中期，很可能与华北克拉通破坏的起始阶段重合。而第三期构造裂隙主要形成于白垩系至今，其形成了目前储层的裂隙系统并与华北克拉通破坏的峰值期高度吻合。值得关注的是通过恢复了裂隙储层内部流体的时空演化过程研究发现储层内部流体在各主要成岩阶段均以大气淡水为主。进一步的地热资源量模拟研究表明华北克拉通地区中元古白云岩地层地热资源量均值为 1.10×10^{22} J，若能利用其中的 20 至 30%，将是我国 2021 年总能耗量 26 倍。

S79-P-1S

PUTATIVE ALGAL MICROFOSSILS FROM THE EDIACARAN DOUSHANTUO FORMATION

Princess Aira Buma-at[1]，Dominic Papineau[1*]

1 Department of Earth Sciences,University College London

* d.papineau@ucl.ac.uk

埃迪卡拉纪复杂生命的多样化以及光合藻类的繁盛受到地表气候剧烈变化以及大气氧含量急剧增加的影响。本研究展示了陡山沱组的球状微体化石的结构：显微 CT 图像表明这些微体化石具有三维球状结构。球体大小约 200-700μm，具有 2μm 薄的细胞外边界。该边界显示出随机排列特征，并且具有深色的内部细胞单元。拉曼分析表明球状体单个细胞单元由无序的碳质物质构成，确定了其生物成因，而非成岩作用导致。本研究基于形态学分析，建立了这些微体化石与现代 *Volvox* 藻类的形态相似性，并将这些球状微体化石确定为叶绿藻的古老谱系。大多数球状微体化石内部保存的圆形结构被认为类似于 *Volvox* 藻类的体细胞，而直径大于 20μm 的圆形结构则被解释为与 *Volvox* 藻类的性腺相似。由此，一个潜在的无性生殖的周期被识别，进一步表明了这些埃迪卡拉纪微化石与 *Volvox* 藻类的同源性。如果这些埃迪卡拉纪球状微化石作为 *Volvox* 藻类绝灭的干群或冠群的系统发育位置是正确的，将极大地改变我们现有的基于分子生物钟的认知：即 *Volvox* 藻类在三叠纪期间才从绿藻祖先群里演化形成。我们将这个演化时间节点提前了近 4 亿年。此外，本研究中的微体球形化石直径普遍大于现代的 *Volvox* 藻类，这种大小差异可以归因于营养物质突然涌入海洋，使得底栖海洋群落能够在新元古代冰川事件后迅速增长，此解释得到了新元古代藻类多样化研究的支持。

S79-P-2

塔里木盆地上震旦统早期微生物白云岩古海洋环境记录

张岩[1*]，朱光有[1]，刘金城[1]，李茜[1]，艾依飞[1]，段鹏珍[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质所

* zhangycugb@163.com

塔里木盆地上震旦统奇格布拉克组微生物白云岩分布广泛，不仅是深层/超深层油气的潜在勘探目标，还是古海洋环境演化的良好记录者。本研究对塔里木盆地西北部阿克苏地区西沟剖面奇格布拉克组底部微生物岩进行了详细的岩石学和地球化学研究，旨在了解其沉积期古海洋环境。所研究的白云岩主要包括藻凝块石白云岩、泡沫绵层石白云岩和（残余）晶粒白云岩三种不同的岩相类型；其地化参数受成岩作用和陆源碎屑影响微弱，记录了一个全球可追溯的$\delta^{13}C$“正漂移”及埃迪卡拉缺氧背景下的有氧波动；Mo_{EF}/U_{EF}、U/Th、（Cu+Mo）/Zn、$\delta^{57}Fe$ 指示亚氧环境，Sr、REE 含量、$^{87}Sr/^{86}Sr$、$\delta^{7}Li$ 指示增强的风化作用，$\delta^{66}Zn$、TOC 指示增强的生产力水平；整体上，奇格布拉克组底部微生物白云岩沉积过程中，风化通量的增加，触发了海洋氧化作用，进而造成海洋初级生产力和有机碳埋藏的增加。

S79-P-3

铜和锌同位素恢复塔里木盆地早寒武古海洋环境

艾依飞[1*]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，地质所

* 961900771@qq.com

埃迪卡拉纪-早寒武纪是地球史上的一个关键时期，期间发生一系列重要地质和生物事件使得地球环境剧烈变化。当前寒武纪早期海洋的氧化还原状态存在争议。早寒武纪广泛发育的黑色页岩可以记录同时期海水的古环境信息。以 Cu、Zn 同位素组成为指标，结合氧化还原敏感元素，对塔里木盆地轮探3井下寒武玉儿吐斯组黑色页岩的氧化还原环境展开讨论，以提高对埃迪卡拉纪-寒武纪早期海洋氧化程度的认识。根据岩性变化、Cu 和 Zn 同位素及氧化还原敏感元素记录，可将玉儿吐斯组分为四个阶段。总有机碳（TOC）变化范围很大，从 0.10%到 18.25%不等，平均为 6.34%。玉儿吐斯组 4 个阶段 Mo、U、V 元素与 TOC 及其它氧化还原指标（U/Th 和 V/Cr、EF（Mo）-EF（U）的比例）具有协同关系，表明沉积环境缺氧甚至硫化。大多数 Cu 同位素值低于现代海水值，也表明海洋状态缺氧，未达到目前的海洋氧化水平，与不同地区的其他剖面相比表现出相同的特征。铜同位素的变化范围为 -3.10‰至+1.23‰，锌同位素范围为 0.09‰至 1.46‰。相对较大的 Cu 和 Zn 同位素分馏发生在 I 阶段和 III 阶段，其归因于 Cu 和 Zn 以硫化物的形式最终被固定在沉积物中。在缺氧环境的总体背景下，四个阶段呈现出相对还原-氧化-还原-氧化的环境波动。早寒武的海侵为黑页岩的发育提供了利于有机质保存的缺氧硫化环境。随着海平面的波动，海水逐渐减退，生产力逐渐提高，海洋环境相对氧化。玉儿吐斯组整体 Cu 和 Zn 同位素值自下而上递增的趋势解释为逐渐氧化和初级生产力的提高。

S79-P-4S

对塔里木盆地北部奥陶系油气藏形成与演化的新认识

曾清秀[1]，姜磊[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

塔里木盆地奥陶系超深层（6000-10000米）碳酸盐岩具有重要的油气勘探潜力。由于其地质演化过程、成藏期次和烃源岩组成复杂，其油气系统普遍伴有次生蚀变，导致学术界对油源及其成藏演化过程存在诸多争议。前人研究提出其油气主要来自于寒武系烃源岩，并存在部分下奥陶统烃源岩的贡献，然而并未充分考虑不同油气源混合及次生蚀变对油源对比可靠性的影响；且区内油气储层形成与油气充注受差异构造演化的控制，具有显著的时空差异。本研究联合碳骨架稳定和指向性明确的生物标志物对比法和受热演化与次生蚀变作用影响较小的Re-Os定年法对塔里木盆地北部早期岩溶发育地区的储层沥青及石油开展研究，旨在揭示其油气系统的演化过程。研究结果显示：其中一个304±20 Ma的Re-Os年龄与前人限定的油气成藏年龄结果类似，这说明研究区在印支—海西运动时期广泛发生了一期油气成藏事件，且生物标志物特征支持油源主要来自于寒武系和震旦系烃源岩；另一个Re-Os年龄（615±10Ma）显著老于地层的沉积年龄，其 $^{187}Os/^{188}Os$ 初始值（1.047）显著高于寒武系至奥陶系烃源岩 $^{187}Os/^{188}Os$ 初始值，并落入前人统计的新元古代烃源岩 $^{187}Os/^{188}Os$ 初始值范围，其储层沥青与震旦系泥岩的生物标志物特征具可对比性，因此，该年龄值很可能指示储层中存在一期震旦系烃源岩的油气充注事件。本研究的意义在于：1）为塔里木盆地北部奥陶系储层中存在来自震旦系烃源岩的油气贡献提供可靠的生物标志物及Re-Os同位素定年证据，但无法确定其贡献程度及其对现今油气藏的影响；2）为塔里木盆地奥陶系油气源的复杂性成因提供新的油源解释；3）为盆地内深层-超深层（寒武-震旦系）油气系统的形成与演化提供关键科学数据并提升了勘探信心。

S79-P-5S

南海天然气水合物成藏与气源演化——来自自生碳酸盐岩的约束

王子晨[1]，姜磊[1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，新生代地质与环境院重点实验室

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

分析天然气水合物的气源和成藏分解过程是水合物勘探工作的基础，也是研究地质历史时期海洋碳循环及其气候、环境和生物协同演化的关键环节。然而，由于缺乏可靠的地质记录，天然气水合物的气源和水合物藏的动态演化过程仍缺乏有效的方法进行定量化追踪。甲烷厌氧氧化反应（AOM）过程形成的自生碳酸盐岩（AC）记录了水合物分解形成的富甲烷流体的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 信息，为揭示其气源和成岩流体性质提供了宝贵证据。本研究以AOM速率和甲烷 $\delta^{13}C$ 为变量，模拟了与AOM相关的自生碳酸盐岩沉淀过程，及其 $\delta^{13}C_{AC}$ 和 $\delta^{18}O_{AC}$ 值的变化特征。结果表明，全球水合物区自生碳酸盐的 $\delta^{13}C$ 差异主要受区域水合物藏生物气、热解气比例及其AOM速率的共同影响。模拟结果显示全球典型冷泉区热解成因甲烷的相对贡献约为5至80%（平均为30%，n=6）。此外，通过系统分析南中国海地区自生碳酸盐岩 $\delta^{18}O$ 值（平均~5.8‰，VPDB），认为其成岩流体主要来自水合物分解相关流体，并计算出其平均比例可达46.1%。以上计算说明冷泉碳酸盐岩的低 $\delta^{13}C$ 值和高 $\delta^{18}O$ 值记录了水合物分解的流体信息，结合模拟计算可恢复气源的 $\delta^{13}C$ 值。进而通过汇总全球冷泉自生碳酸盐岩年龄数据，研究发现过去的350000年间天然气水合物分解事件与温暖气候具有较好的耦合性，说明大量水合物分解及甲烷释放与暖期气候具有正反馈关系，为正确理解地质历史时期气候变化和生物灭绝事件的成因提供了新证据。

S79-P-6S

波斯湾盆地南岸白垩纪 OAE2 对储-盖体系耦合控制效应分析

李柯然[1]，宋金民[1*]，罗贝维[2]，段海岗[2]，杨沛广[2]，夏舜[1]

1 成都理工大学，油气藏及开发工程国家重点实验室

2 中国石油勘探开发研究院

* songjinmin@sohu.com

大洋缺氧事件 (OAE, Oceanic Anoxic Event) 是白垩系地球海洋-气候演化的重要事件，以全球性的海洋缺氧为重要标志。OAE2 (Oceanic Anoxic Event 2) 发生在中白垩世森诺曼阶 (开始于 94 Ma.，持续时间小于 1Ma.) ，以海洋的快速缺氧和快速恢复为特征。波斯湾盆地南岸阿联酋地区 Mishrif 组沉积晚期经历了 OAE2 的开始，Mishrif 组上部 Tuwayil 组沉积的页岩、钙质页岩代表了 OAE2 发育的高峰期次，因此波斯湾盆地南岸白垩系地层有效纪录了 OAE2 发生前古海洋平静期—OAE2 发生早期—OAE2 高峰期古海洋-气候演化过程。岩石物理分析显示，Mishrif 组平均孔隙度大于 15%，是极为优质的油气储层，Tuwayil 组具有较强的油气封堵能力，可作为盖层，波斯湾盆地南岸白垩系地层伴随 OAE2 的开始与演化形成了优质的储-盖系统。前人对 OAE2 的成因机制和古海洋、古气候效进行了系统研究，但目前对 OAE2 与油气储层、盖层的演化关系仍不明确。通过对波斯湾盆地南岸 Mishrif 组地层孔隙度纵向演化序列进行分析，OAE2 发生前 Mishrif 组孔隙以铸模孔、生物体腔孔为主，平均孔隙度 20%，OAE2 开始发生时 Mishrif 组平均孔隙度升高 (25%)，铸模孔增加，生物体腔孔减少。OAE2 发生前，Mishrif 组 $\delta^{13}C$ 为 1~2‰，OAE2 开始发生时，Mishrif 组 $\delta^{13}C$ 为 2‰，OAE2 高峰期时，Tuwayil$\delta^{13}C$ 升高至 4‰，孔隙度增加与 $\delta^{13}C$ 升高的耦合性表明了 OAE2 对优质储层发育的控制作用。通过主微量、稀土、钙同位素等多项地球化学指标，波斯湾盆地南岸白垩系 Mishrif 组孔隙演化模式与大气淡水溶蚀相关，Tuwayil 组该层与 OAE2 有机质富集和海平面下降相关。钙同位素模拟显示 OAE2 开始时 Mishrif 组地层受到大气大水淋滤作用增强，受到 3~4 次大气淡水溶蚀改造，促进了铸模孔发育。综合前人在伊拉克地区 Mishrif 组研究成果，OAE2 开始时次氧化的海水增加了文石保存时间，有利于铸模孔形成，因此，OAE2 开始时逐渐缺氧的海水增加了文石保存时间，与更频繁的大气淡水作用控制了优质储层形成，OAE2 通过控制古海洋-古气候变化影响沉积矿物，进而与古气候作用共同形成了油气富集效应。

S79-P-7

晚寒武纪—早奥陶纪沉积环境变化及其与生物灭绝—发展变化的关系

边雷博[1*]，王晓梅[1]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油地质实验研究中心

* leibo19940528@foxmail.com

晚寒武纪-早奥陶纪是下古生代一个重要的生物转折时期。然而，导致这种生物变化的原因仍知之甚少。 我们通过整合大气-海洋-生物的变化重建了该时期古环境，并对寒武纪-奥陶纪环境-生物协变进行了研究。结果表明，从苗岭世中期到芙蓉世早期，水体环境逐渐变为极端硫化条件，并伴有低营养物质输入和限制性的水体循环。这些因素促使了芙蓉世早期全球碳同位素正漂移事件（SPICE 事件）。在江山期早期，强烈的火山活动可能是导致芙蓉世第二次生物灭亡的重要原因。在芙蓉世中晚期（江山期中期至第十期），增强的陆地风化作用导致了

地球降温和陆源营养物质输入增加，有利于生物复苏。在早奥陶世，尽管陆地营养物质输入减少，但大量海水上涌改善了极度硫化的水体条件并为生物发展带来所需养分，其可能为奥陶纪生物多样性发展奠定了基础。

S79-P-8S

中国东北松辽盆地白垩系矿物学演化：对热史和古环境演化的指示意义

董甜[1]，高远[1*]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* yuangao@cugb.edu.cn

中国东北的松辽盆地是世界上规模最大、持续时间最长的白垩纪沉积盆地之一，富含石油和地热资源。尽管现今松辽盆地具有较高的地温梯度，但盆地的地质热史并没有得到很好的约束。“松科 2 井”是松辽盆地白垩纪国际大陆科学钻探工程的第二阶段，获取了连续的早白垩世陆相沉积岩芯，为开展矿物学演化和古环境变化研究提供了宝贵的材料。本研究对“松科 2 井”沙河子组 3346-5705m 岩心样品进行了全岩和粘土矿物分析。全岩矿物主要包括粘土矿物、石英、斜长石，以及部分方解石、钾长石、菱铁矿、黄铁矿。粘土矿物组合包括伊利石、绿泥石和伊蒙间层矿物。4500m 以上粘土矿物以伊利石和伊蒙间层为主。在 4500m 以下伊蒙间层矿物完全被伊利石所取代，且存在更多斜长石、钾长石和方解石。沙河子组的矿物学演化主要受热成岩作用控制，古环境变化起次要作用。结合已发表的“松科 1 井”上白垩统资料，认为全岩和粘土矿物组合保存了白垩纪温室气候环境变化的信息，松辽盆地在白垩纪末期达到最大埋深和热演化峰值。

S79-P-9S

钡同位素显示晚寒武世 SPICE 事件中的生产力变化

周建林[1]，张飞飞[1*]，吝祎勃[1]，杨爱华[1]，任咣营[2]，沈树忠[1]

1 南京大学，地球科学与工程学院

2 临沂大学，地质与古生物研究所

* fzhang@nju.edu.cn

晚寒武世的 SPICE（Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion）事件（约 497-494 百万年前）是古生代最大的碳同位素正漂事件之一，其幅度可高达+4–6‰，SPICE 同时伴随着海洋中三叶虫的物种快速更替事件。SPICE 事件被认为与有机碳埋藏增加有关，可能受海洋缺氧环境扩张或初级生产力增强驱动。然而，SPCIE 事件的主要驱动因素及其与同时期生物事件的关系仍有待深入探索。华北地区寒武系地层发育，完整记录了 SPICE 事件，我们选取了两个碳酸盐岩剖面开展高分辨的 Ba 同位素（$\delta^{138}Ba$）研究重建 SPICE 期间海洋初级生产力的变化。其中，山东九龙山剖面代表了台地相，辽宁西山剖面代表了台地边缘相。我们的研究结果显示，华北地台不同水深阶段的 $\delta^{138}Ba$ 异常波动模式存在明显不同。台地相的九龙山剖面在碳同位素正漂之前显示了较为快速的 $\delta^{138}Ba$ 正漂移和回落，并在碳同位素正漂和回落阶段分别保持稳定和波动上升。台地边缘相西山剖面 $\delta^{138}Ba$ 值随 $\delta^{13}C$ 正漂出现升高移趋势，但在 $\delta^{13}C$ 峰值期间则出现了 $\delta^{138}Ba$ 的负漂移。Ba 同位素的正漂移可以解释为陆表海或边缘海等浅海地区生产力的增加，而 $\delta^{138}Ba$ 的负漂移很可能是由于海洋缺氧导致的已沉淀的富集轻 Ba 同位素的重晶石溶解，与海水氧化还原分层有关。我们的新的 $\delta^{138}Ba$ 结果为 SPICE 事件的触发机制提供了新的关键证据，即在浅水相中，生产力增强很可能是触发 SPICE 事件有机碳大量埋藏的主要因素，为理解寒武纪晚期的一系列生物演化和环境变化以及碳正漂事件的驱动机制提供了新的认识。

S79-P-10

华南扬子地台早寒武世陆棚内凹陷古水文条件演变及其对有机质富集的控制机制：来自岩石学和元素地球化学限制

肖文摇[1,2]，曹剑[2*]，王晓梅[1]，张水昌[1*]

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，油气地球化学重点实验室

2 南京大学，地球科学与工程学院

* jcao@nju.edu.cn

* sczhang@petrochina.com.cn

华南扬子地台早寒武世盆地结构及其古水文条件剖析，对于深刻理解这一关键地质历史时期的古海洋氧化还原结构及其控制机制、以及对这套富有机质黑色泥页岩发育机制具有重要的意义。然而，这一方面研究前人关注较少。本文以陆棚内凹陷钻孔早寒武世牛蹄塘组泥页岩为对象，进行系统的矿物学、岩石学、黄铁矿形态学分析、全岩主微量元素分析，探讨陆棚内凹陷古水文条件演化及其对古海洋环境和有机质富集的控制机制。综合地层对比框架将陆棚内凹陷钻孔早寒武世牛蹄塘组划分为三个阶段：第 I 阶段（晚第二期）、第 II 阶段（早-中第三期）和第 III 阶段（晚第三期）。第 I 阶段高硫酸盐输入和强烈上升洋流形成的高原始生产力加之中等-较强的古水文条件（低 Mo/TOC：均值 1.94×10^{-4}），致使陆棚内凹陷深部硫化水体稳定发育，良好的保存环境（稳定分层水体以及硫化底层水体条件）以及类似现代上升洋流区域的高原始生产力水平因而使得有机质高度富集埋藏（TOC: 3.89~8.69/6.43%）；第 II 阶段随着海平面上升至相对高位，陆棚内凹陷与开阔海洋之间连通性有所增强（有所升高的 Mo/TOC：均值 2.58×10^{-4}），使得开阔海洋富 Fe^{2+}（铁化水体）进入陆棚内凹陷深部区域，加之化学风化减弱导致的硫酸盐含量的下降和上升洋流减弱/消失导致的原始生产力水平降低（现代海洋原始生产力水平），共同促进底层水体从硫化逐渐转换为铁化（水体分层稳定性减弱），导致该阶段 TOC 有所降低（1.11~7.87/3.82%）；第 III 阶段海平面持续降低造成的化学跃层下降和前期强光合作用在长时间尺度造成的水体中溶解氧含量增加，促使底层水体逐渐转换为偏氧化条件，该阶段有所增强的局限水文条件反而不利于有机质的保存，因而差的保存条件和低的原始生产力水平(低于现代海洋原始生产力水平)共同造成陆棚内凹陷该阶段低 TOC（0.24~3.57/1.37%）。这一研究表明早寒武世海平面变化以及古水文条件演化一定程度上控制着华南陆棚内凹陷/泻湖水体氧化还原状态及原始生产力水平，进而影响有机质富集。

S79-P-11S

MARINOAN 冰期结束时海洋硫化的新证据：来自华南南沱组的研究

曾杨丹杰[1]，祝圣贤[1]，郎咸国[1*]

1 成都理工大学，沉积地质研究院

* langxianguo19@cdut.edu.cn

新元古代 Marinoan 全球冰期是地质历史上最严酷的冰室气候，又被称为“雪球地球”。雪球地球结束后，全球克拉通广泛接受了一套独特的碳酸盐岩沉积序列，直接覆盖在冰川杂砾岩之上，称为“盖帽碳酸盐岩”。冰川杂砾岩向盖帽碳酸盐岩的沉积转换代表了冰室气候向温室气候的快速转变。前期研究发现，盖帽碳酸盐岩之下的冰川杂砾岩中发育有大量的黄铁矿结核。这些黄铁矿结核的沉积可能指示了雪球地球结束时，大陆化学风化急剧加强导致硫酸盐输入通量激增而呈现的短暂却广泛的海洋硫化现象。尽

管这些黄铁矿结核形成于早成岩阶段为大量证据所肯定，但仅凭对南沱组顶部黄铁矿结核的研究可能无法全面地揭露冰消期底层海水，特别是冰川沉积物孔隙水的化学状态。基于此，我们对华南南沱组顶部黄铁矿结核的围岩—冰川杂砾岩进行了详细的沉积学与地球化学研究。

我们的研究材料来自华南南沱组盆地相 3 条沉积剖面（YZ 剖面、YX 剖面和 SLK 剖面），它们记录了成冰纪“雪球地球”解体过程中的冰川消融沉积。对于这些冰川消融沉积的沉积岩石学研究发现，华南南沱组顶部除了存在大量黄铁矿结核以外，结核围岩颗粒间隙中同样保存着较多的分散状黄铁矿，包括草莓状黄铁矿和自形-半自形黄铁矿两种形态，以自形-半自形为主。草莓状黄铁矿占比较低，大部分低于 3%，并且草莓状黄铁矿的粒径统计主要分布在 6.5-27.2μm 之间。进一步对全岩黄铁矿硫同位素（$d^{34}S_{py}$）进行分析，结果显示这些黄铁矿具有较高的 $d^{34}S_{py}$ 值：YZ 剖面 10.2-30.8‰，均值 19.9‰；YX 剖面 2.0-25.1‰，均值 12.9‰；SLK 剖面 9.4-16.8‰，均值 13.1‰。$d^{34}S_{py}$ 平均值为 14.7‰。这些值与已报道的黄铁矿结核的 $d^{34}S_{py}$ 值一致，说明分散型黄铁矿与结核具有相同的硫来源。YX 剖面的 $d^{34}S_{py}$ 从底部到顶部存在明显的升高（$d^{34}S_{py}$ 由+2‰升高至+25‰），我们认为此过程指示了水体在硫化过程中，大量硫酸根被硫酸盐还原菌消耗并生成黄铁矿埋藏，导致海洋硫酸盐库逐步萎缩。该研究进一步支持了，在盖帽碳酸盐岩沉积之前，海洋存在短暂但大规模硫化的现象。

S80-O-1

台风对滨海盐沼-光滩过渡带沉积物有机碳累积过程的影响

张子严[1,2]，蔡廷禄[2,3]，武嘉琪[2,3]，刘兵[2,4]，陈一宁[2,3*]

1 浙江大学，海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

3 自然资源部海洋空间资源管理技术重点实验室

4 河海大学，港口海岸与近海工程学院

* yiningchen@sio.org.cn

滨海盐沼是目前国际公认的蓝碳生态系统，在吸收二氧化碳和减缓气候变化方面发挥重要的作用。位于滨海盐沼前缘的盐沼-光滩过渡带是该系统发生有机碳水平输运的关键区域，对沉积物有机碳累积过程有着重要的调制作用。受到长江沉积物沿岸输运的影响，浙江省的潮间带具有较高的沉积速率和有机碳累积速率；同时，该区域台风频发，是我国海洋灾害较为严重的区域。为了进一步理解蓝碳生态系统的固碳能力，需要进一步研究台风等极端事件对于潮间带碳埋藏过程的影响。

本项研究选择杭州湾庵东浅滩作为研究区域，聚焦于潮滩中部的盐沼-光滩过渡带，通过高分辨率地表高程系统监测，结合 RTK 地形测量和机载 LiDAR 测量，获取了 2021 年至 2022 年期间的地表高程变化数据，其中包括“烟花”和“灿都”两次台风事件的记录。利用沉积物有机碳密度测量数据和高程变化数据，可以量化该区域滨海盐沼-光滩过渡带的沉积物碳库变化。

结果表明，该研究区域年际尺度的盐沼沉积物碳埋藏速率为 460 - 588 g $C{\cdot}m^{-2}{\cdot}a^{-1}$，光滩的沉积物碳埋藏速率为 350 g $C{\cdot}m^{-2}{\cdot}a^{-1}$。在两次台风期间，均发生了“光滩侵蚀、盐沼淤积”这一现象，光滩的侵蚀最高可达到 9.0 cm，盐沼的淤积可高达 7.7cm。在台风后的恢复期，光滩发生了快速的淤积，但是盐沼的沉积速率有所减缓。从整体上看，在研究范围内，台风“烟花”和“灿都”使得盐沼沉积物碳库增加了 270 吨有机碳，而光滩沉积物碳库表现为净损失，损失量约为 100 吨有机碳。基于该研究结果，建议在未来的滨海蓝碳管理中需要考虑由于台风等极端事件带来的碳库不稳定性。

S80-O-2

海岸生物膜-泥沙系统对潮流和波浪动力作用的响应机制

陈欣迪 [1*]

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院

* chenxindi1991@hhu.edu.cn

潮滩作为一个复杂的生态系统，其地貌形成和演变是多因子相互作用的结果。潮滩泥沙的动力特性、水沙响应关系以及动力地貌演变的机制研究，是海岸工程领域的重要内容。在传统的海岸动力学研究体系中，海岸泥沙的稳定性研究主要关注泥沙的物理-化学性质。然而，近年来的研究发现，潮滩系统中富含的微生物群落因分泌粘性物质（胞外聚合物，extracellular polymeric substances，EPS）而形成生物膜，能引起泥沙临界起动切应力的显著提高，影响潮滩的地貌演变。因此，研究潮滩底沙中生物膜的时空分布特征，掌握生物膜对海岸泥沙的稳定作用，不仅能更全面的了解潮滩近底边界发生的复杂的物理-化学-生物过程，真实还原多因子相互作用下海岸泥沙的运动特性，对进一步认识潮滩动力地貌过程，丰富海岸动力学和泥沙运动力学的内涵，也具有重要的理论价值和学科意义。

目前，关于潮流、波浪不同水动力环境中生物膜对潮滩底沙侵蚀特性的影响和作用机制研究仍十分有限。因此，本研究首先通过前期现场观测，得到了典型潮滩底沙中生物膜垂向分布的一手数据；再通过室内实验，量化循环剪切作用与波浪不同海岸水动力作用下，生物膜形成与泥沙侵蚀特性、底床稳定性之间的变化关系；最后，对比天然潮滩和室内水槽的观测数据、对比潮流与波浪不同动力作用下的生物稳定效应，厘清动力环境、泥沙侵蚀、生物膜粘附、颗粒微观结构等多尺度指标间的互动响应关系，阐明潮流作用下生物膜影响泥沙抗侵的内在作用机理。

S80-O-3

波浪事件对于潮滩水沙动力及地貌演变的影响机制研究

杨刚 [1*]

1 南京信息工程大学，海洋科学学院

* gang_yang@nuist.edu.cn

强烈的波-流耦合作用能使海床受到的底剪切应力大幅上升，在短期内引起大量泥沙输移，诱发近海区域水沙动力和地貌的剧烈变化，严重威胁近岸潮滩的稳定性。厘清不同强度波浪事件下的潮滩几何形态特征及冲淤深度变化，对于评估海浪的破坏程度和维持岸滩稳定具有重要指导意义。该报告将以澳大利亚 Batemans Bay 内潮滩为例，讲述强风浪事件下近海潮滩区域的水沙动力以及地形改变，定量探究各动力要素的影响;并利用理想数值实验对 Batemans Bay 内部潮滩形成机制进行分析。

S80-O-4

潮滩地形坡度和植被对潮沟系统的影响

耿亮 [1,2*]，龚政 [1]，Stefano Lanzoni[3]，Andrea D'Alpaos[4]

1 河海大学，水文水资源与水利工程科学国家重点实验室

2 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

3 帕多瓦大学，土木、环境与建筑工程学院

4 帕多瓦大学，地球科学学院

* gengliang1991@hhu.edu.cn

潮滩-潮沟系统的形成和演化是潮流、沉积物输运、地形变化和生物过程之间复杂相互影响的结果。在中国江苏海岸，其特点是宽阔且向海倾斜的开敞式潮间带区域和充足的沉积物输入，盐沼植被首先在靠陆一

侧高程较高的泥滩区域生长，逐渐向海扩展。而另一方面，像意大利威尼斯潟湖这样外部沉积物供应较少的遮蔽性潮汐盆地，由于沉积物通过潮沟输运并在潮沟两侧沉积，盐沼通常从大型潮沟的边缘向内陆扩张。因此，当潮滩环境具有不同的剖面形态和坡度条件时，盐沼的时空演化规律也会存在差异，进而影响潮沟系统的形态发育过程和平衡时的排水能力等特征。

本研究基于一个改进的动力地貌模型，对潮汐主导的概化潮滩区域进行了模拟，并分析了植被和潮滩坡度对潮滩-潮沟系统动力地貌学演变的影响。结果表明，当潮滩坡度较大时，由于纳潮量减少，潮沟系统相较于坡度较小的情况发育程度更低，同时潮滩内部较高的高程也更适于盐沼植被的生长，而盐沼边缘分布不均的植被团簇会促使水流集中，并使潮滩中部形成独立且分散的小潮沟。因此，虽然不同的潮滩地形情况下盐沼的发育过程有所不同，但盐沼的存在总是有利于潮沟的形成和延伸，并减少潮滩上的排水距离。然而，初始底形倾斜导致的纳潮量减小意味着潮滩需要排水的总量减少，使得植被所引起的较长潮沟不能充分发挥其排水作用，同时植被对于排水效率的提升作用也随滩面坡度的增加而逐渐降低。

S80-O-5

盐沼前缘陡坎的形态特征与演变趋势的 META 分析

张晓天[1]，周曾[1,2*]

1 河海大学，水文水资源与水利工程科学国家重点实验室

2 河海大学，江苏省海岸海洋资源开发与环境安全重点实验室

* zeng.zhou@hhu.edu.cn

盐沼前缘位于植被区和裸露的光滩交界处，其在全球范围内展现出了多样的形态与演变趋势。陡坎是盐沼前缘的典型地貌之一，其通常被认为是侵蚀后退型盐沼的标志。然而，关于陡坎的研究调查局限于零散且集中的个别区域，关于盐沼前缘陡坎的全球分布、演变趋势的研究较少，且控制陡坎演变的主控因子不明。本研究采用 Meta 分析方法，统计了盐沼前缘陡坎的全球分布特征，同时收集了一系列各地盐沼沉积环境的相关特征参数。结果显示，前缘陡坎在全球范围分布广泛，但现有研究所关注的系列参数，如水动力、泥沙特性、植被等，不能较好地阐明或解释前缘陡坎的演变机制。通过 Meta 分析，本文揭示了各地盐沼前沿陡坎的差异性。与传统观点不同，研究发现前缘陡坎的岸线变化(m/a)相对较慢，意味着前缘陡坎可能对应于相对稳定的盐沼演化阶段。研究的结果有助于深入理解盐沼前缘陡坎的形成机制与演变规律，进而加深对盐沼潮滩生物动力地貌演变机制的认知。

S80-O-6

海岸植被水动力开源模型研究进展

胡湛[1*]，王虹[1]

1 中山大学，海洋科学学院

* huzh9@mail.sysu.edu.cn

盐沼和红树林等海岸植被对于消浪减灾具有重要作用。然而，由于近岸水动力条件和植被结构的复杂性，精确估算其消浪能力一直存在困难。本研究对 SWAN（Simulating Waves Nearshore）和 SWASH（Simulating WAves till SHore）模型进行了改进，以提高模拟计算植物消浪的准确性。具体而言，基于 SWAN 模型，本研究加入了水流对植物消浪的影响，同时可以计算植被拖曳力系数、考虑植被空间形态的变化和多普勒效应。基于 SWASH 模型，本研究根据垂直杆和水平杆消浪理论建立了一个可以模拟复杂形态红树林的数值模型。随后，通过与理论模型、物理水槽实验、野外潮滩观测三个方面的数据对比验证了改进模型的可靠性。此外，本研究还利用 SWASH 模

型对波流同向和反向流态下刚性植被消浪效能变化的机理进行了量化研究，揭示了正向流导致的植物消浪最低值变化规律及机理，并说明了反向流态下植物消浪过程中直接能量耗散与间接能量耗散（波浪破碎）的变化。研究结果表明：1）水流既可以促进也可以抑制植物的消浪作用，这取决于水流流速相对于波浪轨道流速的比值，这与现场观测结果一致；2）基于假设的风暴潮条件，当水流速度为 0.08-0.15 m/s，入射波高为 0.75-0.90 m 时，湿地的消浪作用相比纯波浪情况下被降低了近 10%，这可以作为生态海岸安全性设计的一个关键条件；3）在台风天气下，以植被区域长度 1：4 的比例分布矮小红树林和高大形态红树林是最优分布方式，既能最大限度发挥红树林的消浪能力，也可以保证植被的持久性。本研究开发模型的代码已在网站 https://doi.org/10.6084/m9.figshare.20060291.v1 开源，研究成果可以为基于自然的海岸防护的设计和实施提供有效指导，以期协助开展近一步的研究和海岸管理。

S80-O-7

河口海岸底边界层湍流混合与细颗粒泥沙相互作用过程与机制

涂俊彪[1*]，范代读[1]，Alexis Kaminski[2]，William Smyth[3]，George Voulgaris[4]，刘志宇[5]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 University of California, Berkeley,Department of Mechanical Engineering

3 Oregon State University,College of Oceanic and Atmospheric Sciences

4 University of South Carolina,School of the Earth, Ocean and Environment

5 厦门大学，近海海洋环境科学国家重点实验室

* jtu@tongji.edu.cn

中国东部海岸带广泛分布细颗粒泥质沉积物。底边界层湍流混合直接控制了泥沙的再悬浮、絮凝、垂向扩散和水平输移等过程，进而对河口海岸地貌的塑造和生地化过程产生重要影响；另一方面，较高浓度的细颗粒泥沙又可反作用于湍流混合，改变流体动力结构。为了研究底边界层和细颗粒泥沙相互作用的过程及机制，我们近年来开展了一系列现场原位观测，获得如下认识：1）絮凝体的物理结构受湍流强度的控制，湍流加强可致大的絮状物破碎成小的絮凝体；而在低湍流条件下则有利于较大的絮状物的形成；2）泥质底床的侵蚀往往发生于雾状层或浮泥层，而非固结的床面；3）较高浓度的悬沙能够抑制湍流混合，改变流场结构；4）悬沙层化下的湍流混合过程可用单相流进行近似和参数化。以上结果对于传统底边界层理论具有一定的拓展意义，对理解海岸带地貌过程与演变机制亦有重要的理论参考价值。

S80-O-8

黄河三角洲潮间带盐沼湿地对水沙调控和风暴事件的地貌响应

王柯萌[1]，武国相[1*]，梁丙臣[1]，李华军[1]

1 中国海洋大学，工程学院

* guoxiang@ouc.edu.cn

泥沙供给是影响滨海湿地演变的关键因素之一。黄河三角洲湿地作为典型的河口三角洲湿地，其演变同时受黄河来水来沙和河流-海洋动力联合作用的影响。为研究三角洲湿地对黄河水沙调控的地貌响应，于 2021 年 4-9 月在黄河三角洲清水沟流路北部潮间带盐沼湿地开展了同步水沙-地貌观测。观测结果显示，在夏季，调水调沙和生态补水等人为调控过程对盐沼湿地沉积起主导控制作用。根据估算，调沙期内，盐沼前缘沉积速率~0.9 mm/d，为非调水调沙期

的 6 倍，历时 4 天的调沙期贡献了盐沼年沉积总量的~15%；调水期内，受沿岸流、黄河水沙关系、入海泥沙级配等多因素影响，盐沼沉积速率与非调水调沙期相当。在冬季，风暴事件的湿地沉积速率约为全年平均沉积速率的 5 倍，风暴期间沉积量约占湿地沉积总量的一半。研究表明，三角洲湿地的泥沙供给不仅取决于河流来沙条件，还取决于泥沙从河口到湿地的输送过程。研究认为，在黄河来沙量持续降低的背景下，通过合理优化河流水沙调控措施，提升泥沙从河流到三角洲湿地的输运和捕集效率，可能是泥沙供给减少条件下维持三角洲湿地淤积的有效措施。

S80-O-9

石炭纪末华北陆表海西岸冰川海平面升降的动力地貌过程响应

刘金城 [1*]，张岩 [2]

1 中南大学，地球科学与信息物理学院

2 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院，石油天然气地质所

* sed.geol.liu@gmail.com

临兴气田及其周边地区太原组西铭砂岩—8 号煤层段记录了石炭纪末（格舍尔阶）华北克拉通盆地西部发育的低频（即扒楼沟旋回层）和高频旋回层（HFC-1 至 10）的复杂嵌套构型，反映了随着冰川海平面升降华北陆表海西岸的动力地貌演变过程。对过该层段的岩心、测井、露头和地震资料进行相分析与层序地层分析揭示了研究区扒楼沟旋回层的地层构型从向西南退积的下切谷河口湾充填和障壁/潟湖体系（对应海侵体系域，TST）演变为向上并向东北进积的海岸—陆棚体系（对应高位体系域，HST）和伴随陆上分支河流体系加积作用的向下并向东进积的开阔海岸潮坪和陆棚体系（对应下降期体系域，FSST）。嵌套在扒楼沟旋回层内，高频旋回层的地层构型从 TST 早期的退积—进积混合型（HFC-2, 3, 4）演变为 TST 晚期的退积主控型（HFC-5, 6, 7）、HST 的进积主控型（HFC-8）和 FSST 的河流加积主控型（HFC-9, 10）。通过含牙形石灰岩标志层和火山灰放射性定年约束，研究区扒楼沟旋回层及其嵌套的高频旋回层（HFC-2 至 10）大体上与北美中大陆和东南欧顿涅茨盆地格舍尔阶间冰期—冰期旋回及其嵌套的 400 kyr 旋回同步。扒楼沟旋回层和高频旋回层尺度下可容空间的旋回性变化可归因于三级间冰期—冰期海平面升降和四级长偏心率（约 400 kyr）驱动的海平面波动与构造驱动的源—汇系统重组的相互作用。贯穿扒楼沟旋回层及其嵌套的高频旋回层，硅质碎屑输入逐渐减少，而植物生长逐渐增加，可归因于三级和四级赤道季节性干旱—潮湿气候旋回与构造驱动的源—汇系统重组的相互作用。其中，气候旋回与间冰期—冰期海平面旋回同步。海侵期河流切蚀和下降期河流加积可归因于相对于华北陆表海盆地梯度而言更高梯度的河流剖面。自成因滨线后退、前进和水道迁移修改了三级和四级海平面上升的沉积响应。下降期河道带侧向和远端终结于泛滥平原可归因于在河流剖面梯度大于华北陆表海盆地梯度的情况下，随着相对海平面的稳定下降，河流的持续加积以及河流扇与滨线的自动拆离。本研究有助于更好地理解石炭纪末随着三级和四级冰川海平面升降华北陆表海西岸动力地貌过程和演变机制。

S80-O-10

基于高频地波雷达观测的近岸海流预测研究

任磊 [1,2*]，王雅琦 [1]，韦骏 [2,3]，杨凌娜 [1]，潘广维 [1]，Michael Hartnett[4]

1 中山大学，海洋工程与技术学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 中山大学，大气科学学院

4 University of Galway

* renlei7@mail.sysu.edu.cn

海流预测是海洋气象研究的重要内容之一，也是海洋工程建设中关注的重要环境要素之一。本研究基于岸基高频地波雷达获取的海表流场资料，采用随机森林与AdaBoost相结合的方法构建预测模型，为提升应用模型预测精度与适用性，通过动态选取预测因子的方法对预测模型进行重构，与传统人工神经网络模型的对比结果表明应用模型具有更高的预测精度和更强的鲁棒性。统计结果表明重构模型中代表点预测海流的RMSE小于5 cm/s，相关系数大于0.9。基于机器学习模型获取的海流预测信息可为海洋防灾减灾和海岸营救提供重要的数据支撑。

S80-O-11

潮沟网络的基准形态

徐凡[1*]，周曾[2]，徐元[1]，谢卫明[1]，何青[1]

1 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

2 河海大学，港口海岸与近海工程学院

* fxu@sklec.ecnu.edu.cn

分叉现象广泛存在于各种不同领域和尺度中，是一种有效且经济的信息交流和运输方式。在对分叉模式的秩序和普适规律的研究中，学者们往往侧重于尺度不变性特征。这在河流和生物网络的数学模拟和经验研究中取得了较好的结果。然而，位于全球海岸带的潮沟网络却有显著不同，其结构特征在不同地点和不同尺度上均显示出明显的异质性。在近几十年的研究中，对潮沟网络的生物—动力演变的认识取得较大了进展，但其递归分叉的基本形态模式仍然难以解释的。现有的经验拟合没有给潮沟网络具体存在哪些结构上的共性。这使得无论是已有的理论或是新假设都没有可靠的依据。数值模型虽然可以越来越精确地模拟真实的系统，但却受限于其黑盒子特性，缺少直接的解释能力。本研究利用细胞自动机模型展示了分支可以从一个基本的竞争规则中产生。该模型引出了一族单参数的分叉网络，其尺度依赖性行为与从世界各地收集的潮沟网络的行为吻合。此外，我们从中还发现一例特殊的网络，可作为潮沟网络形态的基准模型，给出了分支模式的一系列特征阈值。

S80-O-12

风暴作用下苏北废弃黄河三角洲浮泥层形成机制与运动特征研究

余和雨[1]，刘晓磊[1,2*]，张淑玉[1]，高涵[1]，汪亚平[3,4]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

3 南京大学，地理与海洋科学学院

4 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

浮泥层的形成与运动深刻影响了三角洲地区沉积物输运、地形地貌演变和生物化学过程。风暴条件下浮泥层的成因机制、支撑条件及运移特性在世界各大现行河口三角洲已得到广泛认识。然而，废弃河口三角洲由于河流改道而丧失沉积物物源供给，浮泥层的物源机制与运动特征认识不足。本研究以世界上最典型的废弃河口三角洲之一——苏北废弃黄河三角洲为典型研究区，开展了海底边界层原位综合观测，获取了具有高时空分辨率的温盐、流速、悬浮泥沙浓度（SSC）、声学回声强度和孔隙水压力数据，研究了苏北废弃黄河三角洲浮泥层物源机制、形成条件及运动特征。观测期间共历经三次风暴事件（有效波高 H_s>1.0 m），结合CTD 和 ASM 的浊度数据计算得到了近底SSC 大于 80 g/L，证实了三次风暴期间均发育有浮泥层（SSC>10 g/L）事件。浮泥层的厚度在一个潮周期内变化频发，最大厚度出现于涨急阶段，高达 0.7 m。浮泥层形成于

涨潮，消亡于落潮，受潮汐控制。基于海床高程、声学底部、水力学底部及孔隙水压力数据，阐明了浮泥层的物源机制主要为平流输运、剪切再悬浮和波致液化。此外，在三次风暴事件期间近底发生了七次流向异常事件，离岸方向上近底 0.56 m 范围内的流速方向与上覆水体相反。结合波边界层厚度和 SSC 数据结果，发现七次流向异常事件为浮泥层形成的波浪支撑的沉积物重力流（WSGFs）。WSGFs 形成于涨潮期间，最大深度平均速度达 7 cm/s。通过浮力-阻力平衡模型和 WSGFs 实测流速数据估算了底部无量纲曳力系数（Cd）和 WSGFs 的运动黏度 ν，计算结果表明 WSGFs 运动过程中的 Cd 具有高变异性，ν 可提高 2-3 个数量级。此外，对比了 WSGFs 的实测速度与不同可侵蚀系数下 1D 垂直平衡模型估算的速度，发现第四次和第五次 WSGFs 事件期间海床可侵蚀性提高了 5-7 倍，间接证实了波致液化对 WSGFs 形成的促进作用。本研究揭示了废弃黄河三角洲浮泥层形成的物源及成因机制，探讨了浮泥层形成的波浪支撑的沉积物重力流动力学特征，以此丰富了废弃河口三角洲沉积物运移理论体系，为废弃河口三角洲区域的海岸防护提供科学指导。

S80-O-13

东海陆架与台湾海峡海流及沉积物动态交换过程新探

刘敬圃 （Paul Liu)[1*]，徐刚 [2]

1 北卡州立大学，海洋地球及大气科学系

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* jpliu@ncsu.edu

本报告拟根据长江以及台湾西部河流入海沉积物在东海陆架以及台湾海峡的沉积及分布的规律， 探讨这两个南北体系在不同季节、不同气象条件下，不同海流影响及相互作用下的悬浮、搬运、沉积及沉积的过程。根据过去及最近的研究成果，更进一步探讨两者在东海陆架及台湾海峡的作用过程及机制。结果表明：长江及浙闽河流物质在夏季风暴及冬季季风作用下可以沿岸向南进入台湾海峡， 而台湾河流物质则在台湾沿岸流及黑潮分支的影响下北上入侵混合沉积在东海陆架。形成了在东亚边缘海独特的多源一汇的沉积格局。

S80-O-14

黄河人工洪水的增沙效应及其对三角洲沉积演化的意义

吴晓 [1*]，王厚杰 [1]，毕乃双 [1]，杨作升 [1]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* wuxiao@ouc.edu.cn

近百年来全球河流大坝快速增加，显著改变了河流系统的天然状况。全球大河入海水沙通量显著降低，加之海平面上升、三角洲沉降等问题，诸多大河三角洲面临严峻的侵蚀风险，威胁着人类的生存空间和经济社会发展。黄河以高输沙量闻名世界，自 2002 年 7 月开始，黄河水利委员会实施调水调沙，迄今已进行近 20 年。调水调沙导致下游再悬浮的床沙成为黄河入海泥沙新的物源之一，为三角洲发育提供了重要的物质供给。然而，随着调水调沙的逐年实施，下游河道抗蚀能力增强，冲刷效率的降低导致黄河入海沙量逐渐减少。2018 年黄河流域进行了新的调控模式探索，利用干流多个大型水库调控，加大小浪底水库下泄通量。自 2018 年 7 月 3 日-29 日 27 天的时间内，小浪底水库入库水沙分别为 56 亿立方米和 1.72 亿吨，同期出库水沙达到 68 亿立方米和 4.12 亿吨，意味着 2.40 亿吨之前淤积在小浪底库区内的泥沙在此期间被排沙出库，排沙比高达 239%，为 2002 年实施调水调沙以来的最大值。这一次调控事件直接导致 1.40 亿吨泥沙抵达河口区，短短 27 天的入海沙量相当于世界其它大河的年入海通量（如密西西比河，多年平均入海沙量为 1.36 亿吨/年）。在短期、大流量的脉冲式的物源供应、变化的泥沙级配以及河口切变锋的综合作用下，河口

三角洲进积明显：陆上三角洲最大进积幅度达到 1.6km，水下三角洲整体淤积，最大淤积厚度为 2.6m。此外，部分出库但淤积在河道的泥沙，在后续的几个月内，仍能被冲刷入海，入海沙量约为 0.84 亿吨，继续滋养河口三角洲地区。研究进一步表明，淤积在水库中的泥沙，如果被合理调控，可以成为缓解全球三角洲蚀退的重要手段之一。

S80-O-15

强非线性波作用下的小尺度砂质海岸动力地貌演变过程研究

李硕 [1]，施华斌 [1*]

1 澳门大学，智慧城市物联网国家重点实验室及科技学院海洋科学及技术系

* HuabinShi@um.edu.mo

海岸带是海洋和陆地的连接带，常受台风浪、海啸等强非线性波侵蚀。近岸冲流带是流体-泥沙相互作用极其活跃的区域，决定了岸滩侵蚀的演变过程。本研究采用固液两相流数学模型揭示强非线性波作用下近岸冲流带的水动力和泥沙运动特性，分析实验室小尺度下砂质海岸对强非线性波的响应。模型采用连续介质假设描述水流和泥沙的运动，利用无网格光滑粒子流体动力学(SPH)方法求解两相控制方程以适应冲流带急剧变化的复杂水面形态与底床地形。模型在溃坝波岸滩侵蚀实验室水槽实验中进行了充分验证，结果显示：溃坝波侵蚀砂质床面过程中，由于床面摩擦力的作用，上冲流在初始岸线区域底部较早发生转向并产生较强涡流，这些涡流增强了该区域泥沙的扬起和悬浮；上冲过程中，床面切应力主要集中在冲流顶端，使得泥沙与冲流产生较强相互作用，从而导致较强的泥沙传输；回流阶段，床面切应力沿程分布均匀。上冲流与回流的床面切应力空间分布的不同导致了泥沙输移的不对称性。回流阶段，砂质岸滩在初始岸线区域经历了一个从侵蚀到沉积的过程，形成了一个台阶，并导致水面形成水跃。

S80-O-16

物源供给减少背景下潮滩系统响应过程及演变趋势

朱士兵 [1]，汪亚平 [1,2*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院

2 华东师范大学，河口海岸国家重点实验室 海洋科学学院

* ypwang@nju.edu.cn

本研究从潮滩生长发育的理论基础出发，基于潮滩形态学和沉积收支平衡理论构建了潮滩演变的概念几何模型，采用反演和正演模拟相结合的方法研究了江苏中部潮滩在黄河自 1128 年改道后近 750 年的历史岸线变迁和未来1000年的演变趋势。最后，基于潮滩生长发育模式的理论基础，从制约潮滩维持淤长的影响因素角度提出了相关防护建议和措施。结果表明：（1）模型模拟的堆积平原长度变化、海岸线增长率和沉积速率结果和潮滩的历史生长发育信息具有很好的对应，模型是可靠的。（2）相对海平面变化将会对潮滩未来演变产生深刻的影响，尤其是人类活动（地下水、油气的开采等）造成的地面沉降需要引起人们足够的重视，其对潮滩演变的影响可能远超由气候变化导致的平均海平面上升作用。（3）模型预测江苏中部潮滩将在 2050 年附近发育达到极限并开始侵蚀。基于实测证实该地区的潮滩正在发生由北向南的侵蚀，预计将来江苏中部潮滩海岸线可能面临全面蚀退或者潮间带消失的风险。（4）提前开展保护行动应对海岸线侵蚀和后退的风险，可以从降低人类活动对潮滩自然演变的不利干预和增强潮滩的沉积物滞留潜力角度采取具体措施。

S80-O-17

东非高原气候波动对尼罗河三角洲全新世地貌环境演变的意义

王艳娜[1]，赵小双[1*]，陈中原[1*]

1 华东师范大学，河口海岸科学研究院

* xszhao@sklec.ecnu.edu.cn

* z.chen@ecnu.edu.cn

尼罗河盆地的水文过程是由在东非高原，以热带辐合带的南北移动所驱动。为降雨的主要调控因子。同时，伴随着与中非刚果气团边界以及位于非洲大陆东北方向南下的东部印度洋暖湿气流的交汇作用，形成了东非大陆气候变化的主要特征。全新世时期的尼罗河流域经历了显著纬向尺度的气候波动。在全新世早期，距今约 10.09 千年-7.0 千年开始，气温逐渐升高，赤道地区的热带辐合带北移，影响到非洲北部，带来较高的温度和丰沛的降水，形成非洲湿润期，影响到整个北非大陆（包括尼罗河流域）的地表环境演变。直到距今约 5.0 千年千年左右，热带辐合带向南回归，非洲北部气候逐渐进入则逐渐干旱化阶段。

目前，在尼罗河上游东非高原关于流域气候波动重建的研究较为突出，但是尚缺乏鲜有研究考虑东非高原气候波动对三角洲滨海环境建造作用的高分辨率探讨影响作用。因此，为了探讨东非高原气候波动对三角洲滨海环境建造的影响作用，研究选取了尼罗河三角洲滨海平原 Manzala 潟湖多个附近的钻孔。通过测年和岩性分析，所采集的钻孔地层均为全新世高分辨率的连续沉积钻孔，能提供了可靠的海平面陆海相互作用重建结果记录。根据沉积物物源元素分析，本研究发现了气候演变的 3 个主要阶段，为干旱区的三角洲海岸地貌环境演变提供了新的证据。

S80-O-18

基于 GEE 的钦州湾与马尼拉湾海岸线时空变化比较分析

张文良[1]，时连强[1*]

1 自然资源部第二海洋研究所，海岸带与海岛研究中心

* lqshi@sio.org.cn

本研究基于 Google Earth Engine（GEE）平台，利用 MNDWI（改进归一化水体指数），结合 Otsu（大津）算法和 DSAS (数字岸线分析系统)，实现了近 30 年中国钦州湾与菲律宾马尼拉湾海岸线的自动提取，并对两地岸线与围填海变化进行比较分析。结果表明，近 30 年以来，钦州湾岸线总体表现为向海推进，海岸线长度减少了 260.48km，年均减少率为 7.44km/a ，平均 EPR 为 6.81m/a，平均 LRR 为 6.16 m/a，自然岸线长度持续减少，人工岸线所占比例持续增加，ICUD 值持续增大，呈现上升趋势，ICTD 值表现为先增长后趋于平稳的态势。近 30 年，马尼拉湾海岸线经历了先增加后减少的过程，岸线整体减少了 1.05km，变化幅度较小，岸线同样表现为向海推进，平均 EPR 为 2.36m/a，平均 LRR 为 2.32m/a，自然岸线占比持续下降，人工岸线占比不断增加，ICUD 和 ICTD 值均持续增大，呈现上升趋势。1980 和 1990 年代钦州湾围填海强度指数小于马尼拉湾，而其他时期围填海强度指数和年均空间扩展速率均大于马尼拉湾。围填海活动对海岸线的变迁影响显著，而港口码头建设、围垦养殖则是围填海的主要驱动因素。

S80-P-1S

调水调沙期间黄河口异重流输沙过程

涂德耀[1]，王爱美[1]，吴晓[1]，王厚杰[1*]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院
* hjwang@mail.ouc.edu.cn

河流是将陆源物质输送到海洋的主要途径，超过 90%的陆源物质通过河流流入海洋，为海洋提供了丰富的沉积物、有机质和营养物质。河口异重流是河流入海的特殊方式，当悬浮沉积物的浓度非常大时，河水密度大于海水密度，高浊度河流羽流俯冲到周围海水之下形成浊流 。河口异重流具有传输速度快，泥沙通量大等特点，会在短时间内对河口三角洲及邻近海域地貌演化及生态环境产生重要影响。自 2002 年黄委会实施调水调沙工程以来，实现利用更少的水输送更多的泥沙入海，期间约占全年 30%的泥沙在短时间内（~10 days）快速入海，是河口泥沙异重流触发的重要窗口期。

本研究基于 2010 年黄河调水调沙期间河口沉积动力现场观测资料，结合 ROMS 海洋模型，研究了河口异重流特征以及其对于河口地貌的影响。首先，分析了异重流的特征，异重流作为一种由河流触发的高含沙沉积物流，其表现为底层高温、低盐、高悬沙浓度的浑浊淡水，具有与海底峡谷浊流相似的剖面流速结构——近底层的高流速，最大流速出现在近底 1m 左右，但由于浮力羽流的存在，在观测期间出现了特殊的“S”型垂向流速结构；异重流主要由粒径为 5~10μm 的细颗粒粉砂组成，该部分粒径泥沙的含量与有机碳具有高度对应关系，由于异重流携带的高浓度细颗粒泥沙，导致河口口门底质沉积物具有不同的细化程度，口门外东侧海域尤为明显。

通过数值模型，模拟了调水调沙期间河口异重流过程，并分析了其输沙过程中水体结构变化，不同输沙机制的影响，及河口沉积地貌演化过程。模型结果显示： 1.异重流生消和水体垂向结构存在周期性变化特征，落潮时段异重流发育较好，水体层化增强；涨潮时段异重流逐渐消亡，水体混合增强。2.异重流输沙过程中河流主导向海输沙，河口交换流，潮泵作用及潮汐应变主导向陆输沙，其中潮泵作用强度最大，Stokes 作用不明显；3.异重流携带大量泥沙快速入海，在河口外形成“扇形”沉积体，沉积高值中心位于正对口门外水深 ~6 m，沉积范围限制在 10 m 水深内。

近几十年来，黄河流域内人类活动（水土保持，水库修建，农业灌溉）引发了黄河河流物质通量、河口沉积动力过程和三角洲地貌演化产生一系列快速响应。由于河口三角洲其独特的重要性（人类居住、湿地生态系统、生物多样性等），针对黄委会实行的调水调沙工程是否能够维持三角洲面积变化有待进一步考究。

S80-P-2S

基于贝叶斯网络算法对河口充填演变规律的分析和预测——伶仃洋河口 湾为例

于洪泽 [1]，邓俊杰 [1,2*]，胡景昱 [1]

1 中山大学，海洋科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海），南海海岸带变化与物质迁移团队
* dengjj6@mail.sysu.edu.cn

河口湾根据自然淤积和充填的趋势会从河口演变为河流。80 年代以来，由于围填海、航道疏浚、采砂等高强度人类活动的干扰，改变了原有河口河流输沙与泥沙沉积的动态平衡演变。人类活动和气候变化都具有较强的不确定性，这些不确定性对于伶仃洋河口湾充填的相对影响一直无法较好量化。贝叶斯网络模型能够定量这些不确定性，该模型已广泛而有效地应用于预测海岸线变化、沙丘演变和风暴潮。本文采用输沙率、海平面上升速率、围垦、航道疏浚和人工挖沙等多项人类活动作为贝叶斯网络结构的影响因子，水体容积变化率作为网络结构的结果因子，构建贝叶斯网络模型。模型使用近一百多年来的历史数据进行训练和验证。验证结果表明随着贝叶斯先验概率分布分辨率的提高，模型的数据描述性能逐渐提升，正确率达到 85%；预测性能达到最佳后开始

快速下降，模型呈现过拟合状态。随着输入相关变量数量的增加，模型验证错误率逐渐降低，这说明模型选用的这 5 个影响因子对伶仃洋河口充填的影响不可忽略。模型对于伶仃洋河口湾几个历史发展阶段的物理现象都有着较为准确的描述，错误率基本在 40%以下。最后，通过模型几个不同的影响因子对结果因子河口水体容积变化率的相对影响大小进行了量化分析，并对未来不同人类活动强度以及海平面上升速率的情景进行了预测。

S80-P-3

台风“塔巴”影响下的东沙海滩动力地貌过程

郭俊丽 [1*]，时连强 [1]，陈沈良 [2]

1 自然资源部第二海洋研究所，海岸带与海岛研究中心

2 华东师范大学，河口海岸学国家重点实验室

* guojl@sio.org.cn

砂质海滩占全球非冰冻海岸的三分之一以上，具有极高的社会经济和生态价值。近几十年来，在全球气候变化、海平面上升以及频繁且严重的风暴事件等影响下，海滩侵蚀呈现普遍加剧的趋势。以常受台风影响的浙江舟山朱家尖岛东沙海滩为例，通过现场观测及数据处理获得了海滩地形、沉积物数据，收集了台风信息及海滩近岸的水动力数据，分析海滩动力地貌变化对台风的响应及影响因素，得到以下主要结果：台风作用下海滩近岸水动力显著增强，对海滩沉积地貌动态变化产生重大影响，滩面侵蚀、沉积物粒径粗化和分选变差是台风影响下海滩响应的主要表现。单个台风“塔巴”引起的增水使得东沙海滩近岸小潮高潮位增长至几乎与大潮高潮位持平，岬湾内台风极值有效波高可达 4.49 m，近底流速也因台风扰动而增大，流向在台风影响下变得紊乱无规律，近底悬沙浓度最高可达 9.07 kg/m^3（平静大潮时的 3.4 倍），水流输沙能力显著增强。“塔巴”影响下的近岸强水动力使得东沙海滩平均侵蚀-18.58 m^3/m。

S80-P-4S

基于微观侵蚀实验的表层沉积物侵蚀特性研究 ——以黄河废弃河口水下三角洲为例

林超然 [1]，包锐 [1]，朱龙海 [1*]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

* zhulonghai@ouc.cn

河口三角洲作为海洋与陆地相互作用最敏感与活跃的界面具有重要的生态环境价值与生态意义。受到自然因素与人类活动，目前河口三角洲特别是废弃河口三角洲侵蚀严重。而表层沉积物侵蚀特征作为影响河口三角洲侵蚀的重要因素，目前在黄河废弃河口的水下三角洲区域仍尚未得到系统的研究。本文通过微观侵蚀系统（U-GEMS）对黄河老清水沟河口水下三角洲采集的原状沉积物样品进行侵蚀实验，探讨该区域表层沉积物的侵蚀过程、侵蚀特征及影响因素，揭示该区域沉积物的可侵蚀性空间分布特征。研究区沉积物的可侵蚀性主要受粒径特征与波浪作用的影响呈近岸强、远岸弱的空间分布格局，临界侵蚀剪应力介于 0.2-0.68 N/m^2，沉积物侵蚀速率则随剪应力的增加而呈线性增加。通过对实验视频记录以及侵蚀物粒径的分析表明不同类型的沉积物侵蚀特征相差较大，粉砂以表面侵蚀模式和Ⅰ型侵蚀类型为主，粉砂质砂则以体积侵蚀和Ⅱ型侵蚀类型为主，并且粉砂质砂的侵蚀速率以及侵蚀速率随剪应力的增长率均要明显大于粉砂。除此之外，通过将本文实验结果与其它河口区域研究成果以及现有经验公式进行对比，发现在固结程度与粒径特征的影响下，黄河废弃河口水下三角洲表层沉积物的可侵蚀性整体大于黄河口潮滩区域与

长江口区域。受经验公式的局地性与团聚体的影响，当沉积物中值粒径小于 20μm 后，现有经验公式难以对其临界侵蚀剪应力进行准确的计算。

S80-P-5S

海岸潮滩泥沙分选过程与沉积层理演变机制研究

吴一鸣[1]，周曾[1*]

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院

* zeng.zhou@hhu.edu.cn

潮滩沉积层理的形成及演变主要取决于周期性的潮汐条件，包括涨落潮、大小潮、季节性及更长时间尺度的潮汐特征，潮滩沉积物供应以及不同组分沉积物特性。风暴作用可以在短时期内极大地影响潮滩的形态和沉积过程，对潮滩沉积层理形态进行再塑造。了解潮滩沉积层理形成演变机制对于揭示潮滩沉积历史、提取潮滩风暴信息以及预测潮滩未来演变趋势具有重要价值。本研究通过建立一维潮滩动力地貌模型，研究了潮滩沉积层理在平静天气下的形成机制以及在风暴作用下潮滩沉积层理的再塑造机制。探讨了不同潮汐条件、沉积物供应、沉积物特性以及风暴特性对潮滩沉积层理的影响。结果表明在平静天气下，随潮流强度往复变化而形成的砂质主导层和泥质主导层分别对应在大潮和小潮期间出现。周期性的潮汐作用下，砂质主导层与泥质主导层交替形成垂直方向上的潮汐韵律层。不同组分沉积物主导的层理厚度也呈周期性变化，在大潮期间形成的层理厚度较大而在小潮期间形成的层理厚度较小。在日尺度上的涨落潮变化也可以形成较薄的潮汐层偶结构。风暴过程会在短时间内造成强烈的扰动，从而在潮滩沉积层理中留下明显的风暴沉积层特征。

S80-P-6S

鸭绿江河口陆源微塑料输运扩散机制研究

王谦[1]，程知欣[1,2*]，尤再进[2]

1 大连海事大学，环境科学与工程学院，大连 116026

2 大连海事大学，港口与航运安全协同创新中心，大连 116026

* chengzhixin@dlmu.edu.cn

微塑料的难降解特性使其成为目前近岸海域污染研究中的严重问题，河口地区的陆源人类活动如渔业养殖是海域微塑料污染的重要来源，因此亟需开展河口地区人类活动影响下的微塑料分布特征和输运机制研究。目前多数关于近海微塑料污染的研究以分析其物理形态、丰度等特征变化为主，对水动力条件对河口微塑料输运扩散的影响机制尚未完全了解。本研究以中朝边境鸭绿江河口（YRE）为例，旨在探索人类活动影响下的岸线变化对河口微塑料分布和动力扩散规律的影响。本研究利用现场观测数据改进有限体积沿海海洋模型（FVCOM）并对三维拉格朗日粒子追踪模型（TrackMPD）进行优化升级，模拟再现微塑料在鸭绿江河口的扩散路径和分布，开展敏感性实验分析河口微塑料运移对不同动力条件的反应。结果表明 2010 至 2020 年间，随着鸭绿江口渔业养殖活动的发展，自然岸线逐渐向人工岸线转换，野外采集的沉积物样品中的微塑料丰度也随之逐渐增加，从其特性其中来自分析渔业活动的微塑料丰度增幅明显。数值模型结果显示微塑料粒子在鸭绿江口的运移受水动力条件影响明显，在重力环流影响下呈现出表进底出的趋势。不同风向和潮汐条件下，微塑料的输运特性也不同。冬季的北风叠加落潮条件会使得大量的微塑料粒子向海扩散，可能带来更为严重的近海污染问题。本研究的结果有助于深入理解河口微塑料的动力输运机制，可以为海岸带管理决策提供理论支持，同时为减轻河口陆源微塑料污染的相关政策制定提供科学依据。

S80-P-7S

基于 LPT 模型的宁波-舟山港群海域淤积泥沙溯源研究

杜朝鹏 [1]，程知欣 [1,2*]，尤再进 [2]

1 大连海事大学，环境科学与工程学院，大连 116026

2 大连海事大学，港口与航运安全协同创新中心，大连 116026

* chengzhixin@dlmu.edu.cn

不同来源的泥沙在码头外海域具有不同的沉降及运移特性，宁波舟山海域的泥沙淤积速度快范围广，严重影响港口码头的正常运营生成，因此研究码头的淤积泥沙来源从而制定有效防范正常具有重要意义。以往的沉积泥沙溯源多依赖地球化学沉积手段，溯源结果不确定性大，时空精度不足，拉格朗日漂浮粒子追踪模型（LPT 模型）是更好地研究悬浮颗粒输运的重要手段，考虑泥沙颗粒沉降再悬浮过程的三维 LPT 模型，目前国内尚属空白。本研究将依据实测的物质运移轨迹数据建立适用于近海的考虑沉降起悬过程的三维泥沙颗粒追踪新模型 Sed-Track，提升模拟的准确度的同时弥补此类算法针对大量颗粒长期追踪时计算效率低的缺陷。本文以宁波-舟山港群中的大榭招商码头为例，应用 Sed-Track 模型追踪近海港口码头的淤积泥沙来源。首先建立区域内三维有限体积海岸海洋模型（FVCOM）模拟水动力场并进行验证，结果表明码头附近的表层余流场速度大于底层，余流方向大致为由北向南，余流较小区域水交换差。以此水动力场为输入条件应用 Sed-Track 模拟码头附近的物质运移，Sed-Track 模型模拟的粒子运移轨迹大致与现场投放的追踪设备运移轨迹相同，表明模型具有一定可靠性。Sed-Track 结果表明涨潮期金塘水道附近流速较高，携带大榭码头附近细颗粒物质向西北输运，落潮期间流速相对小，但码头前沿落潮流向东南，导致金塘水道和甬江的物质输出在码头前沿堆积。在码头前沿与清淤抛沙区（黄牛头）附近投放的泥沙颗粒运移路径都会流经大榭码头，会作为泥沙的源加剧码头的淤积程度。除抛沙区外，码头前沿沉积的底层泥沙有可能来源于在大榭岛和金塘岛之间的金塘水道，以及宁波市区的甬江带来的陆源输入。本研究建立的数值模型可以为海岸地貌和港口工程中的泥沙来源追踪增添一种新技术方法，帮助减轻我国港口码头尤其是桩基码头面临的泥沙淤积问题。

S80-P-8S

鸭绿江中游微塑料的沉积记录

范晓雪 [1]，程知欣 [1,2*]，尤再进 [2]，马野 [1,2]

1 大连海事大学，环境科学与工程学院，大连 116026

2 大连海事大学，港口与航运安全协同创新中心，大连 116026

* chengzhixin@dlmu.edu.cn

水库深处沉积物中的微塑料因常年维持在低温和低氧环境中，使其能够持久性存在，但在环境条件改变时，又会释放回水体中。若被水生生物吸收，很可能通过食物链对人体健康构成威胁。因此，了解微塑料沉积过程以及对人类经济活动的响应，对全球范围的微塑料污染状态分析与污染防控具有重要意义。本研究借助于鸭绿江中游水丰水库水深 40 m 处的柱状样的测年结果，检测了相应年代沉积物中微塑料的丰度、形态、颜色和粒径。分析表明鸭绿江中游的微塑料沉积过程主要依赖于生物残体附着的“压舱”作用、“动物摄食和排泄”作用和“海洋雪”的裹胁作用。对微塑料沉积的溯源分析发现：1964 年以前，微塑料沉积迅速增长，微塑料沉积粒径较小，色彩单一，薄膜和碎片类较多，反映出当时全球塑料工业的产业水平；1964-1991 年间，微塑料沉积粒径较大，色彩丰富，薄膜类和纤维类占比急速提升，微塑料沉积增长缓慢，显露出全球塑料产业结构变化和塑料回收利用率逐年提高的信息；

1991 年以后，微塑料沉积的色彩更丰富，中粒径偏多，薄膜类和纤维类占比明显减少，体现出在世界塑料总产攀升的背景下，全球塑料污染控制的成果。微塑料的沉积历史对全球塑料产量历史变迁有明确的响应，但对中国塑料产量的历史变化响应很不明显，展现出这里的微塑料沉积不是“本土性”的，极有可能是全球天气系统长距离运移的结果，可以用其分析全球环境的塑料污染状态和治理效果。

S80-P-9S

码头下方岸坡变形和桩基水平位移研究

宋学鹏 [1]，马野 [1*]，尤再进 [2]

1 大连海事大学，大连海事大学环境科学与工程学院

2 大连海事大学港口与航运安全协同创新中心

* ye.ma@dlmu.edu.cn

中国沿海重大港口桩基码头存在严重的泥沙回淤问题，码头桩基损伤普遍，维护费用昂贵，桩基在回淤荷载作用下的水平位移是主要的原因，桩基码头使用过程中，岸坡的侧向变形对工程安全影响重大，桩基位移达到一定程度，就会严重影响到码头结构的安全，本研究以某码头为例研发岸坡位移监测技术，并开展岸坡水平位移监测及现场数据采集，建立码头下方潮汐-淤积共同作用下的岸坡变形监测系统，分析监测岸坡位移的变形特征，为探求潮汐-淤积相互作用机制提供依据，利用柔性测倾仪和应力传感器实现对岸坡浅层、深层形变位移，土应力变化及孔隙水压力变化等要素进行现场实时联合监测。本研究针对岸坡变形量随时间呈现非线性增长的特征，开展长时序岸坡水平位移监测，确定泥沙淤积过程对码头下方和后方岸坡变形量的累积影响。本研究结果有助于为港口工程提供数据支持和技术支撑。

S80-P-10S

大亚湾百年尺度沉积物岩芯粒度特征变化研究

张书玮 [1*]，徐景平 [1*]，林云鹏 [1]，夏曦子 [1]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

* 11911731@mail.sustech.edu.cn

* xujp@sustech.edu.cn

海湾对海陆交互作用敏感，受自然、人为活动影响显著，水动力条件复杂，是开展海岸带研究的重点区域。本研究通过对广东省大亚湾大鹏澳中心采集的沉积物岩芯粒度和烧失量（LOI）分析，结合 ^{210}Pb 测年结果，揭示了大鹏澳区域近百年来的环境演化。结果表明，该沉积物岩芯成分以粉砂、砂为主，粉砂粒级平均含量为 64.63%，砂粒级平均含量为 25.51%，粘土粒级平均含量为 9.86%。该岩芯的岩性、粒度参数、烧失量结果呈现出显著的三段式变化：下段（120-42 cmbsf）为黑灰色砂质粉砂，平均粒径（Mz）在三段中最粗（均值 27.36 μm）且无显著变化，LOI 最低（均值 4.20%）且含量较稳定；中段（42-23 cmbsf）为深灰色砂质粉砂，粒径显著细于下段（Mz 均值 20.78 μm），同时其在本段内自下而上逐渐变细，LOI 略高于下段（均值 4.56%），且在本段内自下而上迅速增加；上段（23-0 cmbsf）为棕灰色粉砂，有明显光泽，粒径最细（Mz 均值 12.39 μm），波动明显，变化趋势复杂，LOI 最高（均值 6.66%），含量较稳定。沉积物各项参数显示水动力在下段稳定，中段逐渐减弱，上段变化复杂。基于 ^{210}Pb 放射性活度结果，利用恒定初始浓度（CIC）模型估算出区域沉积速率约为 0.65 cm·yr^{-1}。据此建立年代框架，岩芯记录的时间尺度约为 200 年，且岩芯分段界限位置对应年代为 1950s（42 cmbsf）与 1980s（23 cmbsf），分别与大亚湾航道兴建的时间及中国实施改革开放导致沿海地区人类活动加剧吻合，表明大亚湾沉积环境在人类活动的影响下显著复杂化。综上所述，该大亚湾大鹏澳海域中部沉积物岩芯明确

记录了水动力条件整体弱化下沉积环境突变的特征信息，具有进一步开展海岸带动力过程演化研究的价值。

S80-P-11S

长江口表层沉积物中底栖有孔虫组合环境指示意义及低氧指标

袁洁琼[1]，丁旋[1*]，曹珂[2,3,4]，潘馨[1]，尚亚雯[1]，印萍[2,3,4*]

1 中国地质大学（北京），海洋学院

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

3 中国地质调查局舟山海洋地质灾害野外科学观测研究站

4 青岛海洋科学与技术国家实验室

* dingx@cugb.edu.cn

* pingyin@fio.org.cn

长江口及其邻近的杭州湾地处亚欧大陆东部边缘，是海陆交互作用的重要区域。海水溶解氧是水体重要的理化参数，溶解氧小于 2mg/l 的水体统称为低氧水体。近岸低氧通常发生于大型河口或内陆架海区，长江口也是世界上最严重的低氧区之一。底栖有孔虫作为一种常见的海洋微体生物，因其分布广泛、对环境变化反应灵敏、死后可以在沉积物中长期保存，是反演古海洋环境变化的重要替代指标。前人研究表明不同底栖有孔虫属种低氧耐受性不同，可被用作低氧海水指示依据。

本文以长江口及邻近海域 86 个表层沉积物样品和低氧区柱状样 CDZS38 为研究对象，通过对底栖有孔虫属种的鉴定统计，结合表层沉积物粒度、TOC 等环境参数，使用聚类分析、主成分分析等方法，讨论影响有孔虫属种分布的主要因素及不同环境下组合的差异。总结适用于指示长江口低氧状况的低氧指示组合（LOFA），并计算得出有孔虫低氧指标（LOFI），应用于短柱 CDZS38，重建过去 59 年的低氧历史，为重建地质历史时期近岸低氧、探究其形成发展机制提供依据，主要结论如下：

1. 研究区底栖有孔虫以近岸浅水种和内陆架种为主，壳质类型主要为玻璃质壳；数量较少的胶结质壳和似瓷质壳均分布于粒度较粗、强水动力区域，与富氧水体分布一致。
2. 底栖有孔虫组合在研究区不同区域呈现不同的组合面貌：1.长江口以北南黄海辐射沙脊区以 *Ammonia beccarii*vars.-*A.compressiuscula-Quinqueloculina*spp.组合为特征，代表强水动力的富氧贫营养浅水环境；2. 长江口区以 *Epistominella naraensis- Bolivina cochei-Bulimina marginata* 组合为特征，反映富营养低氧河口环境；3.杭州湾为典型喇叭状河口湾，该区以 *A. beccarii* vars.-*E. naraensis-A. convexidorsa* 组合为特征，指示强潮流作用下的浅水河口湾环境。
3. 长江口区 *E. naraensis*、*Bolivina*spp.、*B. marginata* 等的分布与低氧水体分布一致，低氧耐受性较好，可作为长江口 LOFA。由 LOFA 含量的占比计算 LOFI，其高值分布与低氧区一致。将上述低氧指标应用于 CDZS38 短柱，发现在过去 59 年，LOFA 及 LOFI 高值与低氧历史记录面积及有害藻华面积的高值一致，具有良好的古低氧重建意义。

S80-P-12S

风暴影响下废弃黄河三角洲近底沉积物输运特征研究

高涵[1]，刘晓磊[1,2*]，余和雨[1]，张淑玉[1]

1 中国海洋大学，山东省海洋环境地质工程重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

* xiaolei@ouc.edu.cn

风暴事件引起海水的剧烈扰动，使河口三角洲海底沉积物与底层海水发生强烈相互作用，在海底形成高浓度悬浮泥沙层，极大地影响海洋沉积物输运量与输运方向，加速海底地质灾害的形成及地形地貌的演化。目前，学者们主要通过卫星遥感、现场取样及数值模拟等方法研究风暴对海洋沉积物输运的影响。然而，这些研究往往更关注海洋浅表层水体或整个水体的沉积物输运，对风暴事件下近底部沉积物输运过程的刻画不够细致。苏北废弃黄河三角洲自 1855 年黄河改道后无陆源泥沙补给且侵蚀剧烈，是研究风暴事件下沉积物输运的天然试验场。本研究在该区域开展了海底原位综合观测，获得了高时空分辨率的水深、波高、流速、悬浮泥沙浓度（Suspended Sediment Concentration, SSC）等数据，对比了不同海况下废弃黄河三角洲近底沉积物输运特征的变化，讨论了风暴事件对近底沉积物输运的影响。研究结果表明，观测期间共经历三次风暴事件，风暴期间平均有效波高（0.91 m）和最大波高（3.36 m）是平静海况下的 3 倍和 11.2 倍；垂向（海床面以上 1.5m 范围）平均 SSC 为平静海况下的 2-4 倍，平静海况下 SSC 垂向剖面呈单峰型分布，SSC 在距底 30-40 cm 处达到峰值，风暴事件下 SSC 垂向剖面呈向底增加的指数型分布。近底沉积物总体沿岸向 SSE 输运，风暴事件下会发生重力流事件增强沉积物跨陆架输运。风暴事件下悬沙输运率可达平静海况下的 10 倍以上，观测期间平流输运和潮泵输运是影响和控制净输运的关键因素，平流输运通量占比超 60%，起主导作用。风暴会加强潮泵输运通量占比，降低平流输运通量占比。研究结果有利于进一步理解风暴事件下海底沉积物输运过程，同时对河口海岸带侵蚀淤积的治理也有一定指导意义。

S80-P-13S

水沙驱动下盐沼湿地有机碳累积与输运数值模拟研究

王雨晗[1*]，周曾[1]，袁俊吉[2]，王爱军[3]

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院

2 中国科学院南京土壤研究所

3 自然资源部第三海洋研究所

* yuhan.wang@hhu.edu.cn

滨海盐沼湿地具有极高的初级生产力和碳埋藏潜力，在全球碳循环中发挥着重要作用，是缓解全球气候变暖的重要蓝碳生态系统之一。在生物地球化学循环中，水沙动力过程是驱动盐沼湿地物质与能量传输的关键，然而目前其在盐沼有机碳累积与输运过程、以及控制沉积物中有机碳分布格局的作用机制，尚缺乏深入了解。本研究以江苏沿海典型滨海湿地为研究对象，建立潮汐、波浪、盐沼植被、泥沙输运、地貌变化和有机碳累积等过程的生物动力地貌-有机碳耦合模型，模拟水沙动力作用下沉积物有机碳的垂向累积分布和横向输运动态。结果表明，不同的地貌冲淤过程导致盐沼有机碳垂向分布最终主要呈现 3 种趋势：（1）持续淤积或先冲后淤：碳浓度峰值变大且位置下移，表层碳浓度向 0 靠近，最终碳浓度随深度先增加后减少；（2）先淤后冲再淤：碳浓度峰值变大且位置下移，表层碳浓度增加，最终碳浓度随深度小幅增加后逐渐减少；（3）先淤后冲：碳浓度峰值变大且位置保持在表层，最终碳浓度随深度快速减少并趋于稳定。此外，模型结果表明潮沟对沉积物有机碳输运具有关键作用，表现为潮沟上游向下游输送，部分沉积于潮沟侧岸，因此其累积量高值主要分布于潮沟两侧。本研究总体表明水沙动力主导的碳埋藏与植被生长主导的碳累积叠加效应在滨海盐沼湿地碳固定中的积极作用，但不可忽视水沙动力引起的沉积物有机碳横向输出。

S80-P-14S

极端洪水事件下山溪性强潮河口地貌演变规律

杜益晓[1]，程知欣[1*]，尤再进[2]

1 大连海事大学，环境科学与工程学院

2 大连海事大学，综合交通运输协同创新中心

* chengzhixin@dlmu.edu.cn

径流量是控制河口形态变化的一个重要因素，一次洪水事件即可对河口地形造成重大改变。然而，山溪性强潮河口因洪水事件而产生的形态变化机制还没有被充分探究。本研究以中国鸭绿江河口（YRE）为例，旨在探讨极端洪水事件对河口形态的影响。我们在鸭绿江河口应用了改进的有限体积海岸海洋模型(FVCOM)来重现干旱年份、正常年份和潮湿年份的河床沉积物侵蚀和沉积分布。并进行了敏感度测试，以评估河口系统对河流流量变化的反应。与此同时，我们研究了鸭绿江对河口海床的影响。随着河流流量的增加，河口主河道的床面厚度首先增加，然后在达到 $0.4\times10^4 m^3/s$ 的阈值后降低。同时，随着径流的增加，密度分层现象变得更加强烈。随后，水体的垂直混合在达到一定阈值后被削弱，这反过来又加强了密度分层，改变了河口浊度最大值区域（ETM）的位置。此外，在 $0.6\times10^4 m^3/s$（50 年一遇的洪水）径流量的情况下，河流的影响造成了河口近半数河床侵蚀。ETM 在洪水事件中向海面延伸和移动了约 8 公里。鸭绿江河口西汊道的淤积态势在洪水事件中随着流量的增加而更为显著。本研究的结果表明，河口环流在形态变化中起着关键作用。在一次洪水事件中，河床厚度侵蚀的幅度可以达到初始总厚度的 22%。这种快速变化对港口基础设施的稳定性是一种威胁，应积极采取措施维护河口区域的稳定发展。

S80-P-15S

气候变化驱动百年来北极陆架沉积速率改变

林福东[1]，胡利民[1*]，石学法[2,3]，A.S. Astakho[4]

1 中国海洋大学，海洋与地球科学学院

2 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

4 Il`ichev Pacific Oceanological Institute,Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

* hulimin@ouc.edu.cn

近百年来北极气温快速上升，已经引发了冻土融化、河流径流量增加、海岸侵蚀加剧、海冰减少等一系列环境变化，导致更多的沉积物进入海洋并可能导致近海环境和沉积作用发生改变。本研究主要基于中俄北极联合科考航次在北冰洋边缘海（喀拉海、拉普捷夫海、东西伯利亚海、楚科奇海）获取的 21 个短柱岩芯的 $^{210}Pb_{ex}$ 和 ^{137}Cs 测年数据资料，利用恒定供应速率模式（CRS）评估了北极西伯利亚陆架近百年来的沉积速率的演化特征，并初步探讨了其影因素。结果发现，位于河口（如勒拿河河口、鄂毕河河口等）附近的岩芯近几十年的沉积速率逐渐增加，其中喀拉海鄂毕河河口的岩芯沉积速率自上世纪 40 年代以来（近 80 年）增加了 86%，勒拿河河口的岩芯沉积速率增加了约 200%；东西伯利亚海因迪吉尔卡河河口岩芯自 1950 年以来增加了 171%。近几十年来温度升高影响下的海岸侵蚀增强可能是影响近岸沉积速率升高的主要因素；而拉普捷夫海近岸沉积速率的增加则还可能受河流输入的影响。

S80-P-16

海洋负荷对海岸变形影响的多时相 INSAR 证据：以中国潮汕平原为例

余凤玲 [1]，黄昭权 [1*]，黄永祥 [1]

1 厦门大学，海洋与地球学院

* hzq@xmu.du.cn

海水的重新分布会引起固体地球表面的负荷变形(Farrell, 1972; Agnew, 1997; Yu et al., 2020)，在沿岸陆地表现为地表的水平位移、垂直抬升和沉降。海洋负荷变形不仅是大地测量学和地球物理学的重要参数，而且还可以改进相对海平面变化的研究。 在 InSAR 地表形变研究领域，通常认为在平均潮差比较大的区域，海洋负荷效应比较明显。本工作以潮汕海岸为例，探讨弱潮区受海洋负荷驱动的 InSAR 海岸地表变形。我们使用多时相 InSAR 变形提取方法和基于时空结构的多尺度分析方法，定量化海岸带地表变形的特征。 结果表明，变形异常与海岸线成一定角度呈梯度趋势，变形值相对参考点的 90%置信区间在-8.1mm～8.9mm 之间。空间结构分析表明，InSAR 形变异常与海平面变化密切相关。 负荷模型和 InSAR 结果表明，通常认为的潮汐引起的陆地变形仅占变形的 30%~50%。 正如对变形空间结构和海平面变化数据的分析所揭示的那样，其余的主要贡献来自季风引起的非潮汐海洋负荷。我们还发现非潮汐海洋载荷变形具有月尺度的时滞性，这意味着 InSAR 获取的地表变形同时具有弹性和粘弹性特征。参照海洋潮汐负荷的变形幅度，当平均季节性海平面变化在 30cm 以内时，非潮汐海洋载荷的变形范围估计在 4mm-6mm 左右。 此外，变形空间趋势的局部不均匀变化可以看作是地形地质差异的结果。

S80-P-17S

长江水下三角洲及邻近陆架近 20 年沉积速率变化及对流域人类活动的响应

程鹏 [1]，范德江 [1*]

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

* djfan@ouc.edu.cn

底质沉积物沉积速率是沉积物供给和沉积作用的综合结果，也是表征沉积环境状态的重要指标。以长江水下三角洲及东海内陆架的浅表岩心为研究对象，开展了粒度测试、CT 三维成像和沉积构造分析及放射性 ^{210}Pb 同位素分析，并结合收集整理的 ^{210}Pb 数据集，揭示了长江水下三角洲及东海内陆架 20 年来阶段性沉积演变过程和沉积-侵蚀状态的改变，探讨了长江流域中重大人类活动对水下三角洲以及内陆架沉积作用的影响。结果显示：以三峡建坝（2003 年）为界，长江水下三角洲以及内陆架沉积速率发生了显著的变化。建坝之前长江水下三角洲及内陆架平均沉积速率介于 2cm/yr 到 5.4cm/yr，从水下三角洲到内陆架沉积速率逐渐减少；建坝以后长江水下三角洲及内陆架沉积速率显著降低整体不足 2cm/yr，空间上仍然向南逐渐减少的趋势。长江流域重大人类活动对水下三角洲的影响高于内陆架，长江流域入海泥沙持续锐减背景下，河口三角洲地区的沉积速率降低沉积作用减弱，取而代之的是底质混合作用及生物扰动作用增强，导致三角洲地区纹层构造减少甚至被完全破坏。而内陆架地区有着再悬浮及三角洲侵蚀物质的补充，沉积纹层以块状为主，表现为低沉积速率的较稳定堆积环境。我们依据大量的数据集重建了三峡建坝前后河口三角洲及内陆架的沉积物通量结果显示三峡建坝以后研究区的沉积物通量减少不到 40%。通过计算三峡建坝之后长江水下三角洲侵蚀量约为每年 74±23Mt/yr，且随着持续的人类活动预计河口三角洲的侵蚀将进一步加剧。

S80-P-18

潮控河口湾顶分流河口浅滩延伸规律和机制 – 以珠江东三口门浅滩为例

邓俊杰[1*]，陈聪睿[1]，于洪泽[1]，胡景昱[1]

1 中山大学，海洋科学学院

* dengjj6@mail.sysu.edu.cn

在建设粤港澳大湾区的国家战略背景下，珠江三角洲河口地貌动力演变研究具有重要的科学和实际意义。珠江东三口门以不同的角度往潮控型河口湾注入水沙，在口门前缘发育了水下分流水道及其浅滩。人类活动作用下，随着水下浅滩的不断成陆，分流水道间的浅滩持续延伸，并发生偏转。本文在对近120年海图资料进行定量和地统计学分析的基础上，分析了东三口河口浅滩的延伸和偏转规律，并结合校准和验证过程的十到百年的长周期地貌动力模型探讨了河口浅滩的延伸和偏转机制。珠江东三口门水沙以高角度注入河口湾后，河口浅滩发育后向东延伸，快速向南偏转，偏转较大；以小角度注入后向东南延伸，后向南偏转，偏转较小。东三口门浅滩的延伸速率与方向受到伶仃洋河口湾整体形态的影响，这是由潮流作用导致的冲刷侵蚀造成的。数值模拟试验表明，相对于科氏力，径潮作用对河口湾滩槽格局起到更为重要的作用，河口湾分布式注入的余流汇流沉积是浅滩延伸的重要沉积过程。潮流作用减弱了河流入海口的沉积，维持了分汊水道，促进了远端的岛屿周边泥沙沉积。该研究还有助于进一步认识以潮控河口湾顶的分流河口沉积过程，为河口的可持续管理和规划提供科学依据。

S80-P-19S

长江口及东海内陆架现代生物扰动构造定量表征

张鑫[1]，范德江[1*]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* djfan@ouc.edu.cn

生物扰动作用不仅导致海底沉积物的垂向混合，使得沉积物中的污染物质及环境替代性指标垂向扩散，而且改变了底质沉积物的物理、化学性质，影响早期成岩作用以及海底稳定性。河口及其邻近陆架海域沉积环境独特，生物扰动作用强劲，在沉积层中形成了丰富的生物扰动构造，成为研究生物扰动构造的良好场所。本研究对长江口及其邻近海域的31个站位的沉积物岩心进行CT扫描，利用数字三维成像技术重建了生物扰动形态，阐明了该海域生物扰动构造类型、特征、空间分布，结合沉积物粒度、沉积速率、^{210}Pb 剖面特征等沉积学特征，探讨了生物扰动构造的影响因素，初步分析了生物扰动构造的沉积效应。研究表明：长江口及东海内陆架生物扰动构造较为发育，包括生物扩散构造、运输构造、交换构造和廓道扩散构造等四种类型，运输构造和廓道扩散构造常见；生物扰动深度多数在 20 cm 以内，个别超过 40 cm 者，且从岩心顶部向下生物扰动总体上呈现减少趋势，又包括指数衰减型、波动衰减型、均匀分布型、脉冲分布型等形式；长江口水下三角洲和浙闽沿岸泥质区内的生物扰动较强，而苏北沿岸和泥质区以外的中陆架地区的生物扰动较弱，随离岸越远呈现下降趋势，估算的生物扰动系数介于 0-230cm^2/yr 之间。研究还表明生物扰动构造与沉积物类型以及沉积速率关系密切。

S80-P-20

海平面上升影响钱塘江河口动力地貌演变的数值模拟

谢东风 [1*]

1 浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）

* dongfeng.xie@hotmail.com

由于全球气候变暖，海平面上升增大了低地淹没的风险，并威胁到河口生态系统。海平面上升对河口系统的影响正日益受到管理部门和科技人员的关注。钱塘江河口是典型的强潮河口系统，以往对于海平面上升对钱塘江河口影响的研究较少考虑地貌演变的作用。本文在采用地貌地貌数值模型重现钱塘江河口最主要的地貌单元——大型水下沙坎的基础上，开展敏感性数值试验，预测海平面上升对河口动力地貌演变的可能影响。结果表明，在不同海平面上升情景下，沿程潮差、流速和潮量均有所增大，促进潮汐不对称性，并导致山潮水比值减小，沙坎有向上游移动的趋势。海平面上升使钱塘江河口在地貌演变上更加活跃、尤其是上游河段的年际年内冲淤幅度增大。研究结果可为钱塘江河口的可持续管理提供科学依据。

S80-P-21S

潮滩蟹类与盐沼植被互馈响应的现场观测研究

陈雪 [1]，周曾 [1*]

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院

* zeng.zhou@hhu.edu.cn

盐沼湿地是海陆交界的生态过渡带，具有较高的生物生产力和生态多样性，为多种底栖生物提供了宝贵的栖息地。潮滩蟹类作为一种典型的生态系统工程师，由于其种类繁多、分布广泛、扰动强烈，因此对整个盐沼湿地生态系统的物质循环和能量流动能产生显著影响。本研究在江苏盐城斗龙港进行了围网控制实验，在不同植被覆盖区域设置了蟹类移除组、蟹类添加组和对照组。结果表明蟹类的扰动明显影响了土体的性质，促进了物质的循环，而植被的存在能够有效减少蟹类扰动对土体性质的影响。同时结果表明，不同的蟹类密度对植物也存在影响。当缺乏蟹类扰动时，由于缺少洞穴的存在，土壤的透气性和排水性会因此降低，进而会影响植物的生长；但当蟹类密度过高时，由于过多洞穴的连通，土壤的整体性会降低，同时蟹类会摄食植物根系，进而导致植物的死亡。适中密度的蟹类能够有效地提高土壤的通气性，提高土壤的含氧量，进而促进了植物的生长。

S80-P-22S

人造洪水事件中黄河颗粒态微量金属从水库到河口的搬运、富集与迁移

陈竟博 [1]，刘明 [1*]，范德江 [1]，王厚杰 [1]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* mingliuouc@163.com

河流筑坝和水库调控导致的强洪水事件正在显著改变河流水沙的入海通量和季节分配特征。河流的洪水过程可引起陆源沉积物及相关微量元素在短期内不成比例地快速输送至河口和边缘海。目前对水库筑坝滞留下微量金属的富集特征，人造洪水中的搬运、地球化学循环以及环境效应了解甚少。本研究聚焦于 2018 年 7 月黄河水沙调控的人造洪水事件，期间小浪底水库释放沉积物 412 Mt，洪水峰值流量达到 3780 m^3/s。我们对小浪底水库泄洪前的表层沉积物、人造洪水期间利津站入海的悬浮体和河口表层沉积物分别进行了采集，对其中颗粒态微量金属 (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) 的总量、形态、各赋存相态的变化特征进行了分析，并结合沉积物的粒度 、常量元素 (Al, Si, Fe 和 Ca) 以及碳酸盐含量等信息，揭示了人造洪水事件驱动下黄河颗粒态微量金属从小浪底水

库搬运到下游，再到河口的富集、迁移行为和整体归宿，并探讨了微量金属形态变化的控制因素。

研究发现，除了原生碎屑矿物组分，黄河沉积物微量金属主要赋存于碳酸盐矿物和铁锰氧化物，在次生相中，Cr、Ni、Cu、Zn 倾向与铁锰氧化物组分结合，而 Pb、Cd 主要在碳酸盐组分中富集。作为人造洪水入海泥沙的主要来源，小浪底水库沉积物中微量金属具有相对较高的含量，在泄洪前与细粒沉积物紧密结合。在人造洪水的水动力搬运中，Cr，Ni，Cu 与铁锰氧化物组分的结合大幅增强，并在水体的强烈混合和水气交换作用下，Cr 和 Cu 发生了明显的氧化过程；Pb 和 Cu 显示出从碳酸盐矿物到铁锰氧化物组分显著的迁移行为，并且 Cd 和 Pb 存在向水体中的进一步释放。颗粒态微量金属的富集和迁移总体上显著受控于细粒组分的吸持，尤其是其中的铁锰氧化物和碳酸盐组分，同时也受到氧化作用的影响。入海后的颗粒态微量金属主要沉降在水下三角洲区域，其离岸输运受到河口切变锋的限制。颗粒态金属的富集迁移行为受控于水库来源悬浮体在河口的吸附-解吸过程，有机质絮凝以及氧化还原条件的变化。本研究有助于进一步认识大坝调控下水库-河流-河口连续体中微量元素的搬运过程，对研究人类活动影响下河流物质的陆海交换及其环境效应具有重要的科学意义。

S80-P-23

河口潮滩季节性冲淤变化格局及其控制机制

王爱军 [1,2*]，叶翔 [1,2]，梁灏深 [1]，李海琪 [1,3]，张望泽 [1,4]，吴水兰 [1,5]，陶舒琴 [1,2]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋与海岸地质研究室

2 福建省海洋物理与地质过程重点实验室

3 上海海洋大学，海洋科学学院

4 福州大学，先进制造学院

5 南京信息工程大学，海洋科学学院

* wangaijun@tio.org.cn

河口潮滩作为陆海相互作用最为强烈的地区，在海岸带碳循环、海洋生物多样性等方面发挥着重要作用，其形成演化受沉积物供应、水动力（径流、潮流、波浪、河口环流等）、河口地形等影响。随着人类活动强度的不断增大，河口系统状态正在发生转换，河口潮滩冲淤变化格局也随着发生变化。研究结果表明，闽江口琅岐岛潮间带以细颗粒沉积物为主，但呈现出明显的季节变化特征，秋季和冬季表层沉积物相对较粗，春季和夏季表层沉积物相对较细；冲淤变化观测结果显示，自春季后期开始至秋季中期，潮间带呈现出明显的淤积，而在秋季后期至春季初期，潮间带程序出明显的侵蚀，季节性侵蚀-淤积速率最大超过了 10 cm；水动力观测结果显示，夏季琅岐岛潮间带水动力以潮流作为为主，秋季后期开始波浪作用显著增强。沉积动力学分析表明，以潮流作用为主时，潮间带呈现出淤积状态，随着波浪作用增强，在波-流共同作用下，潮间带呈现出侵蚀；植被的存在具有明显的削弱水动力和促淤作用。

S80-P-24S

两种盐沼前缘植被对水流能量耗散以及悬沙浓度的影响评估

刘兵 [1,2]，陈一宁 [2*]，周曾 [1]

1 河海大学，港口与近海工程学院

2 自然资源部第二海洋研究所

* yiningchen@sio.org.cn

作为典型的盐沼植被，本地种海三棱藨草和入侵种互花米草广泛分布于长江口至杭州湾一带。在杭州湾南岸庵东浅滩野外调查（2020.6-2020.10）中发现，两种植被在盐沼前缘均有分布，海三棱藨草主要以斑块状分布，而互花米草更趋于连续分布。对两种

不同光滩-盐沼前缘系统的水动力和泥沙开展了多组同步对比观测，结果显示：在短距离内，由相邻光滩至海三棱藨草盐沼，单位距离流速衰减率为 0.01~0.02 m s^{-1}，有效波高衰减率几乎为 0（<10^{-3} m），有效波周期下降率约为 0.02 s，湍动能（TKE）密度衰减率约为 0.25 J m^{-3}，悬沙浓度（SSC）增长率为 0.85~11.87 mg L^{-1}；由相邻光滩至互花米草盐沼，单位距离流速衰减率为 0.03~0.05 m s^{-1}，有效波高同样无明显降低（<10^{-2} m），有效波周期下降率为 0.01~0.04 s，TKE 密度衰减率为 0.56~1.14 J m^{-3}，SSC 增长率为 5.78~41.76 mg L^{-1}。观测结果表明了两种盐沼前缘植被对水动力和泥沙的调节具有相似性，盐沼前缘的能量衰减主要集中在低频域，高频域湍流略微增强，这促进了植被区泥沙再悬浮，进一步的频谱分析也同样佐证了上述结果。研究结果解释了不同盐沼前缘植被的水沙调节作用，并为制定“软工程”措施以减轻未来气候变化对沿岸的影响提供了信息。

S80-P-25S

半封闭中潮型海岸潟湖内涨潮三角洲演化过程探讨：现代沉积分析与沉积过程数值模拟的启示

李欣[1*]，邱隆伟[1]，伏健[1]

1 中国石油大学（华东），地球科学与技术学院

* lixin15619940816@163.com

涨潮流所携泥沙经潮汐通道进入潟湖，由于水流扩散、泥沙沉积形成的堆积体称为涨潮三角洲。作为海岸带的主要组成部分，海岸潟湖内涨潮三角洲的发育演化不仅承载着诸如旅游业、养殖业及通过“将今论古”指导油气勘探等重要的社会经济发展任务，也与人民的生命财产安全息息相关，因此，对障壁岛-潟湖沉积体系内涨潮三角洲的研究正日益成为地球系统科学研究领域的焦点之一。以位于山东半岛东北岸的朝阳港半封闭中潮型海岸潟湖内发育的涨潮三角洲为例，通过岩性，粒度，沉积构造，水动力以及沉积地貌等特征的分析对涨潮三角洲的沉积单元进行了划分，对其沉积演化特征及控制因素进行了梳理。在此基础上，尝试在各因素的控制下通过 Delft 3D 对研究区涨潮三角洲的演化过程进行了正演模拟。现代沉积分析与沉积数值模拟的结果表明，半封闭-中潮型障壁岛-潟湖沉积体系内的沉积相包括障壁沙坝，涨潮三角洲，潮汐通道及潟湖泥四种，其中涨潮三角洲相又包括涨潮斜坡，涨潮通道，退潮堤，退潮沙嘴和溢流朵体五个亚相。随着与口门距离的逐渐增加，水动力强度逐渐降低，涨潮斜坡遭受侵蚀的程度明显下降，朵体趋于扇形，朵体迁移速率、展布规模、粒度及厚度逐渐变小。此外，分布于潮汐通道两侧，距离潮汐通道越近的朵体遭受退潮流的冲刷越强，形成的退潮堤，退潮沙嘴及溢流朵体的规模及厚度越大。研究区内影响砂体迁移演化的因素主要包括风、波浪、潮汐等动力因素及坡度、古地形等地貌因素，人工围填，海岸工程及城市建设等人类活动的影响也不容忽视。三种动力因素均促使研究区内涨潮三角洲朵体向潟湖内部迁移，潮汐作用较波浪作用强，在夏半年具有更快的迁移速率。涨潮三角洲的规模还与坡度、到口门及潮汐通道的距离、基底地形三者有关。其中，基底地形奠定了各朵体发育规模及展布的雏形。其次，涨潮三角洲发育的坡度较小，主要介于 1.15°~2.40°。人为因素主要体现在人工围填，海岸工程及城市建设三个方面。近 40 年来，潟湖退化严重，对水动力特征及纳潮量的影响最为显著，致使涨潮三角洲的发育及分布受到明显限制。基于现代沉积分析及沉积数值模拟对朝阳港涨潮三角洲的研究，以期明确半封闭中潮型海岸潟湖内涨潮三角洲发育的控制因素及演化过程，同时为预测其未来演化，更好的保障障壁岛-潟湖沉积环境内人们的生命财产安全及油气勘探等提供理论支撑。

S80-P-26S

静态岬湾模型的优化与应用

华文豪[1]，朱君[1*]，王庆[1]

1 鲁东大学，海岸研究所

* zhujun@ldu.edu.cn

基于静态岬湾理论的抛物线模型应用广泛，国内外不同作者给出了不同的系数参数化方案，研究得到的系数表达形式差异巨大，严重影响了抛物线模型在国内的实际工程应用。本文通过对中国地区 30 多处岬湾海滩平面稳定形态的拟合分析，重新率定了抛物线方程的系数公式；基于新公式开发了可方便拟和海岸稳定形态的 BayBeach 模型，并通过大量实例验证了模型的准确性。拟和的新公式和开发的新模型可服务于海岸侵蚀防护和海滩养护的工程实践。

S80-P-27

海岸潮滩前缘盐沼植被簇团形态特征与演化机制研究

周曾[1,2*]，孔梦婕[1]，戴玮琦[3]，李欢[1,2]

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院

2 河海大学，江苏省海岸海洋资源开发与环境安全重点试验室

3 黄河水利委员会黄河水利科学研究院

* zeng.zhou@hhu.edu.cn

潮滩是海岸带的重要组成部分，是海陆营力相互作用的前沿地带，在保护海岸湿地环境资源、维系海洋生物多样性、提高海岸防护能力、固存蓝碳等方面发挥着重要的作用。近年来，越来越多的学者认识到盐沼植被的生物动力学过程对地貌演化具有重要影响，地貌环境也对植被的生长和消亡起着至关重要的作用，但对于盐沼植被簇团形态以及其地貌效应的研究目前还处于起步阶段。

本研究开展了潮滩前缘盐沼植被簇团的无人机监测，开发了二维潮滩盐沼植被扩张-侵蚀模型，揭示了盐沼植被生长、死亡周期、泥沙来源、波浪强度、海平面上升速率等不同时间尺度的动力过程对于潮滩盐沼前缘交界处的形态的影响。正常天气下模型结果与现场观测数据在盐沼簇团分布特征、扩张速率等方面吻合良好，盐沼植被簇团面积大小的空间分布满足幂律关系，表明盐沼簇团存在自组织行为。在经过风暴后，盐沼植被前缘簇团的数量大幅度削减，特别是小簇团的数量，证实了风暴潮可以平滑盐沼边界的分布。经历过风暴潮后，优先恢复的是半径较小的簇团，然后这些簇团再慢慢生长变大。风暴潮对潮滩的侵蚀由海向陆逐步减小，前缘的小簇团可一定程度上保护后方的植被条带和部分大簇团，但是风暴潮对小簇团造成了巨大侵蚀。模拟两次风暴后盐沼植被生长过程，发现比起两次风暴的相隔时间，第二次风暴发生的时间（在不在生长期前或生长期内）对盐沼前缘植被的簇团影响更大。

盐沼簇团的形成易于捕获泥沙进而加速潮滩淤涨，而淤涨的潮滩也能促进簇团的扩张进而形成连片的盐沼群落，形成正向反馈。海平面上升会对潮滩前缘泥沙和植被产生侵蚀，且越靠近海侧植被越不容易定植。当泥沙的波浪侵蚀参数逐渐增大时，前缘遭受侵蚀的程度也越来越深，盐沼植被的扩张越来越慢，其生物量也越来越少。当盐沼植被衰老损失过多时，潮滩上的泥沙无法快速沉积且会被海水逐渐侵蚀。当盐沼前缘侵蚀加剧时，容易形成前缘陡坎，模型结果指出潮滩环境要素的改变可引发盐沼前缘地貌形态的稳态转换（如从盐沼簇团变成侵蚀性陡坎）。本研究可为盐沼潮滩湿地的演变预测和保护修复提供科学支撑。

S80-P-28S

历史时期江苏沿海风暴潮灾害时空分布特征

李亮[1,2]，郭俊丽[2]，时连强[2]，张永战[1*]

1 南京大学，地理与海洋科学学院
2 自然资源部第二海洋研究所，海岸带与海岛研究中心
* zhangyzh@nju.edu.cn

历史上江苏沿海曾频发两类风暴潮灾害，给当地带来了巨大损失。建立该地区长时间尺度的风暴潮灾害序列对了解过去与预测未来意义重大。以历史文献、地方志、海洋灾害公报等记载的风暴潮资料为基础，建立了风暴潮灾害识别体系，重建了 1300－2019 年江苏沿海风暴潮灾害序列，分析了风暴潮灾害时空变化规律，探究了其与气候异常和黄河、长江入海口变迁之间的关系。结果表明：江苏沿海地区主要受台风风暴潮灾害的影响，1300－2019 年间共发生 246 次风暴潮灾害，平均周期为 2.9 年，且近百年来发生频率有增大的趋势；小波分析结果显示，风暴潮灾害年际变化存在 17 年、61 年和 115 年的时间尺度周期，其中 115 年周期最为明显。海气相互作用影响下，厄尔尼诺活跃年江苏沿海台风风暴潮灾害偏少；气温与台风风暴潮灾害频次有一定的正相关性，但其影响机制尚不明确。盐城、南通和苏州为风暴潮灾害高发地区，常州和无锡发生频率较少。在气候变暖与江苏海岸冲淤变化的作用下，1855 年后盐城和南通地区风暴潮灾害发生频率增加，连云港地区明显增加；随着海岸线的变迁与长江河口的演变，镇江、扬州、泰州与苏锡常地区受风暴潮灾害影响减少。

S81-O-1

极端印度洋偶极子调节东南印度洋三维水体交换规律

陈更新[1*]，Weiqing Han[2]，马雪莹[1]，李元龙[3]，张铁成[4]，王东晓[5*]

1 中国科学院南海海洋研究所
2 科罗拉多大学
3 中国科学院海洋研究所
4 国家海洋信息中心
5 中山大学
* chengengxin@scsio.ac.cn
* dxwang@mail.sysu.edu.cn

The tropical Southeast Indian Ocean (SEIO) is a key area linking the global freshwater and heat exchanges. The Indian Ocean Dipole (IOD) fundamentally modulates the Indian Ocean circulation and thus regulates the basin-wide freshwater balance. However, our knowledge of this effect remains limited.This study suggests that extreme positive IOD events have notable signatures on the three-dimensional freshwater content of the SEIO, leading to the vertically opposite salinity anomalies in the surface and subsurface layers. The wind changes led to the northwestward extension of the South Equatorial Current and intensified Sumatra-Java upwelling. The changing horizontal and vertical currents jointly result in the complicated salinity anomalies. The Equatorial Undercurrent serves as the conduit for water exchange between the equator and the SEIO. This work highlights a strong coupling between the equatorial circulation and the three-dimensional freshwater inventory of the SEIO.

S81-O-2

超强厄尔尼诺影响下的南海极端海温事件：特征及机制差异对比

肖福安[1*]，王东晓[2]

1 广州大学，地理科学与遥感学院
2 中山大学，海洋科学学院
* fuanxiao@gzhu.edu.cn

南海作为西北太平洋最大的半封闭深水海盆，是我国夏季风主要的水汽源与水汽通道，也是印太主要的对流辐合中心。本研究以造成东沙环礁接近 40%的珊瑚礁死亡的 2015 年秋季南海极端暖海温异常事件为切入点，研究发现此次事件难以用传统的观点（即认为受厄尔尼诺的影响，南海海温在秋季开始上升，冬季达到峰值）解释。通过对比 1997/98 的超强厄尔尼诺事件，我们发现热带印度洋海盆尺度的海温异常、MJO、热带气旋等天气气候系统可以改变传统的“ENSO-南海”之间的联系，充分考虑这些因子（尤其是印度洋海温模态的作用），有助于提高厄尔尼诺对极端东亚气候影响的可预测性。

S81-O-3

孟加拉湾海洋热浪年际变化特征及其与 ENSO 及 IOD 事件的联系

林新宇 [1,2]，邱云 [1,2*]，梁坤明 [1,2]

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋动力学研究室

2 福建省海洋物理与地质过程重点实验室

* qiuyun@tio.org.cn

海洋热浪是海洋中的极端高温事件，其持续时间数天乃至数月，影响范围可达几平方公里至数千平方公里，给海洋生态系统带来严重威胁。孟加拉湾是印度洋主要的珊瑚礁区域之一，受海洋热浪等极端气候事件的影响，目前该海域的珊瑚礁正面临着日益严重的白化威胁。本研究分析了孟加拉湾海洋热浪年际变化特征及其与 ENSO 和 IOD 事件的可能联系。分析显示 El Niño 事件会导致孟加拉湾海洋热浪天数的增加，并呈现鲜明的季节多样性。El Niño 对孟加拉湾海洋热浪的影响可以从其发展年的冬季盛期持续至其消亡年的夏季：在 El Niño 发展年冬季及次年春季主要影响湾南部海域，导致该海域海洋热浪天数比正常年份同期分别增加 1 倍左右；在随后的夏季，El Niño 的影响向湾中部转移，影响强度也有所减弱（热浪天数较正常年份增加 60%左右）。冬季和春季海洋热浪天数的增加，是由 El Niño 通过大气遥相关过程激发的异常反气旋引起湾南部太阳辐射增强所主导，此外 El Niño 在冬季引起异常厚的障碍层对海洋热浪的形成与维持也起重要贡献；西南季风减弱导致的潜热释放减少以及赤道远地风和局地风引起的湾中部温跃层加深是夏季海洋热浪天数增加的主因。正印度洋偶极子（pIOD）对孟加拉湾海洋热浪的影响主要出现在其盛期的秋季，导致湾中部海洋热浪天数显著增加，并揭示了 pIOD 对海洋热浪变化的影响机制。

S81-O-4

热带南印度洋偶极子事件强度的年代际变化

张广隶 [1]，王鑫 [2*]，王东晓 [1*]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国科学院南海海洋研究所

* wangxin@scsio.ac.cn

* dxwang@mail.sysu.edu.cn

本研究利用观测数据和 CESM-LE 模式模拟数据探讨了南热带印度偶极子（STIOD）事件强度的变化。正 STIOD 事件表现为热带东南印度洋（SEIO）处的冷 SST 异常和中南印度洋（SCIO）区域的暖海温异常，在北半球夏季达到峰值。STIOD 事件的强度自 1970 年该模态出现以来至今经历了明显的年代际变化。在 20 世纪 80 年期之前，STIOD 较弱，而在 20 世纪 80 年代后期至 21 世纪初期明显增强，21 世纪初期后略有减弱。SCIO 和 SEIO 之间的 Bjnes 反馈强度的变化主导了 STIOD 强度的变化。Bjerknes 反馈的变化与热带印度洋气候平均状态的变化有关。一方面

海温平均态的升高增强了 SEIO 海温驱动大气的效率，使得海温-风场反馈在 20 世纪 80 年代末期之后显著增强。另一方面，印尼穿流和海表经向风场的共同作用改变了 SEIO 区域的跃层深度平均态，导致温跃层深度和局地海温异常的关系变化。CESM1-LE 模式数据所提供的两组不同气候背景态（历史和 RCP8.5）的结果也验证了热带印度洋平均状态变化对 STIOD 事件强度的作用。

S81-O-5

夏/秋型印度洋偶极子的动力机制及其与 ENSO 的关系

陶雨琪 [1]，邱春华 [1*]，钟文秀 [2*]，张广隶 [1]，王麟 [1]

1 中山大学，海洋科学学院

2 中山大学，大气科学学院

* qiuchh3@mail.sysu.edu.cn

* zhongwx9@mail.sysu.edu.cn

印度洋偶极子(IOD)呈现不同的时间演变特征，传统 IOD 事件通常在北半球秋季达到位相成熟，但是也有一些 IOD 事件在夏季成熟。深入研究这两种 IOD 事件的动力机制有助于提高我们对印度洋周围天气和气候的理解和预测能力。研究表明，夏季型 IOD 的出现主要归因于西印度洋(WIO)内部的海气相互作用，而秋季型 IOD 的出现则受到 ENSO 事件的显著影响。对于夏季型 IOD, WIO 大尺度暖海温异常(SSTA)有利于增强对流活动，与之相对应的海表热通量变化是触发夏季型正 IOD 事件的关键因素。对于秋季型 IOD, 东印度洋强烈的异常东风通过 Bjerknes 反馈和海洋 Rossby 波主导了东西两极的形成。而增强的东风异常主要受益于 ENSO 变率的影响。考虑到夏季和秋季 IOD 事件演变过程中的这些显著特征和相关的海气相互作用，在进行 IOD 事件的预测时，应当考虑不同的预测模式。

S81-O-6

印度夏季风降水对 El Niño 多样性的不同响应特征

张茜娅 [1,2]，徐康 [1,3*]，王卫强 [1,3*]，何卓琪 [1,3]

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境国家重点实验室

2 中国科学院大学

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

* xukang@scsio.ac.cn

* weiqiang.wang@scsio.ac.cn

前人研究表明，在 El Niño 事件的衰退年夏季，印度夏季风降水（ISMR）的年际变化和 El Niño 的关系在近几十年来有所减弱，该现象与 El Niño 多样性的出现有关。区别于传统东太平洋增暖的 El Niño 事件（EP El Niño），中太平洋增暖的 El Niño 事件（CP El Niño）在全球变暖的背景下更加频繁发生。我们使用观测数据和再分析数据集重新考察了 ISMR 对两种不同类型 El Niño 事件的响应特征差异及其相关物理机制。结果表明，在 EP El Niño 事件发生的次年，早夏（6 - 7 月）ISMR 减少，而在 CPEl Niño 事件中 ISMR 增多，这主要是由于北印度洋海温对两类 El Niño 事件的响应不同所导致。在 EP El Niño 事件期间，北印度洋的海表温度在次年次年夏季出现第二次增暖现象，引起热带印度洋低层大气出现反对称风场，在赤道以北形成东北风，减少了对印度区域的水汽输送，抑制了印度夏季风的爆发，最终导致 ISMR 偏少。而 CP El Niño 事件中，北印度洋海表温度仅在春季增暖一次，随后暖异常逐渐减弱，且在热带西印度洋上的海温变冷，引起了显著的经向海温梯度正异常，并驱动了低层的西南风异常，导致反对称风减弱，印度夏季风提前发生，ISMR 在早夏偏多；此外，热带印度洋的高空辐散异常以及印度上空的上升运动也共同导致了早夏 ISMR 增多。这些结果表明，要正确

认识 El Niño-ISMR 关系，除了北印度洋海表温度对 El Niño 多样性的响应差异之外，CP El Niño 事件期间热带西印度洋的海温冷却作用也不可忽视。

S81-O-7

长期数值模拟印尼贯穿流路径及其变化

姚凤朝[1*]，谢金池[1]

1 中山大学，海洋科学学院

* yaofch@mail.sysu.edu.cn

印尼贯穿流连接热带太平洋和印度洋，是全球翻转环流的一个重要组成部分，通过调节印太两大洋间的热量和淡水输送，影响全球长期气候变化。由于印尼海域的复杂底地形，印尼贯穿流呈现复杂的空间结构和变化，已有观测还未能全面刻画其路径和变化。我们利用 MITgcm 大洋环流模式，采用实际的大气强迫常，模拟了 1979-2018 年间包括整个印尼海域的西太平洋边缘海环流。模式的空间分辨率设置为 1/12°，能够很好地解析中尺度涡过程。MITgcm 数值模拟结果和望加锡海峡观测项目 INSTANT 及 MITF 的潜标流速观测进行了对比，一致性良好。我们利用连通模拟系统（Connectivity Modeling System）的拉格朗日粒子追踪方法，系统展示了印尼贯穿流的主要路径以及在季节和年际时间尺度上的变化。

S81-O-8

南海－菲律宾海温度变化对东亚寒潮影响范围的调控作用

梁宇霆[1*]，王东晓[1]，周文[2]，簡云韜[3]

1 中山大学，海洋科学学院

2 复旦大学，大气与海洋科学系

3 香港城市大学，能源及环境学院

* liangyt55@mail.sysu.edu.cn

在北半球冬季，寒冷气团的输送过程，使东亚地区出现显著的温度下降，对社会及经济产生影响。本工作显示在天气尺度上，东海及中南半岛的寒冷天气显著增强。通过数值模拟，証明了南海-菲律宾海表温对东海及中南半岛寒冷天气的影响。南海－菲律宾海的表溫上升，增加了大气低层的斜压性，并增强了天气尺度瞬变波动的强度，以及相应的经向风及温度平流输送，导致更广泛的区域受到寒冷气团的影响。研究结果说明海表温度变化对天气过程的调控作用。

S81-O-9

阿拉伯海增温对夏季风季节内降水的影响机制

李保生[1*]，周磊[2]

1 自然资源部第二海洋研究所，卫星海洋环境动力学国家重点实验室

2 上海交通大学，海洋学院

* libaosheng@sio.org.cn

南亚夏季风降水空间分布的变化给印度次大陆和阿拉伯半岛带来了极端天气事件的巨大风险。季风季节内振荡（MISO）显著影响着夏季风降雨的季节内分布，MISO 的变化也决定着气候变暖背景下夏季风降水的空间调整。但是，较少的研究涉及季风季节内振荡的变化趋势及影响机理。在本研究中，我们发现从 1982 年到 2017 年，MISO 变率在阿拉伯海东北部有增加的趋势，并且伴随着夏季风季节内降雨量的增加。这意味着季风季节内振荡在夏季风边缘区有向北扩张的现象，进而影响了阿拉伯海东北侧的降水。降雨量的增加主要是由于水汽供应的增多。通过诊断

表明，阿拉伯海的快递增温是引起边界层风场辐合加强的主要原因。边界层的风场辐合增强了季节内尺度的上升气流，进而造成季节内垂直速度对背景水汽的垂向输送增多，这对阿拉伯海东北部的水汽供应加强贡献最大。最终，MISO 的北扩造成季节内降水在阿拉伯海东北侧降水的增强，这也同时影响着平均降水和极端降水在印度次大陆中西部地区的再分布。比如 2022 年巴基斯坦的世纪洪水，增强的季节内降水变率对此极端事件的贡献不可忽略。该研究的结果可以帮助我们更好地理解和预测南亚夏季风期间的降雨分布。

S81-O-10

南海冬季 SST 的主模态特征及其形成机制

梁湛林 [1*]，王卫强 [1]，曾丽丽 [1]，王强 [1]，王东晓 [1,2]

1 中国科学院南海海洋研究所 ，热带海洋环境国家重点实验室

2 中山大学，海洋科学学院

* liangzl@scsio.ac.cn

南海是东亚地区降水的水汽通道之一，南海冬季海表温度（SST）具有显著的多尺度变化，其海温的“冷舌”现象阻断印太暖池区的连贯性，在一定程度上抑制了印太交汇区的对流活动。本研究采用 EOF、相关分析以及合成分析等统计方法，对南海冬季 SST 的主模态特征进行系统的分析，并对其中的东西反位相模态的特征及其形成机制进行详细阐述。本研究结果有助于进一步提高对南海冬季 SST 变异的影响因子和机理的认识理解。

S81-O-11

西风带对孟加拉湾热带气旋引起的青藏高原经向水汽输送的影响

周晓莉 [1]，周文 [1*]

1 复旦大学，大气与海洋科学系

* wen_zhou@fudan.edu.cn

本文利用 WRF 模式及统计分析方法，研究了 1979-2019 年 5 月孟加拉湾热带气旋引起的经向水汽输送对青藏高原的影响。孟加拉湾热带气旋周围的水汽可以被热带气旋中心东侧对流层上层的南风输送至青藏高原以南。但水汽能否跨越青藏高原南边界取决于孟加拉湾热带气旋与槽、脊的配置。

利用动量方程探讨了长波槽、脊影响水汽跨越青藏高原南边界的物理机制及两种配置的可预报性，并利用 WRF 模式进行了验证。当热带气旋在青藏高原南边界附近继续向北运动的过程中，热带气旋的风场会与西风带槽前的西南风（槽前气旋）或脊前的西北风（脊前气旋）发生相互作用。槽前（脊前）气旋的水汽可以（很难）跨越青藏高原南边界。在靠近槽线（脊线）区域，经向加速度为正值（负值），导致经向速度增加（减小）。因此，当热带气旋风场从槽前靠近槽线的区域进入西风带时，是最有利于水汽在青藏高原范围内向北输送的。通过 WRF 模式的结果验证了槽前气旋与青藏高原南边界的相对位置对水汽输送的重要作用。另外，对于槽前气旋，青藏高原南边界的经向水汽收支与热带气旋的强度为正相关关系，与热带气旋中心到青藏高原南边界的经向距离为负相关关系。然而，对于脊前气旋，经向水汽收支与热带气旋的强度和距离的相关性并不显著。热带气旋与长波槽、脊的配置可以通过孟加拉湾东部和阿拉伯海南部两个关键海区的季节内振荡活动来预测。

最后，讨论了西风带经向位置的季节性变化对双峰值期水汽输送贡献率的影响。5 月、10-12 月为两个峰值期，5 月孟加拉湾热带气旋频率低但水汽输送贡献率却最高。造成此现象的主要原因是西风带经向位置的差异。

S81-O-12

南海西北部夏季中深层西边界流与沉积响应

麦洪涛 [1,2*]，陈慧 [1,2]，王东晓 [1,2]

1 中山大学，海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* maiht6@mail2.sysu.edu.cn

深海峡谷地形是能有效破坏地转流效应、实现物质和能量跨陆坡输运以及垂向交换的天然运移通道。基于船载观测（CTD、LADCP、Ship ADCP）资料和高精度海底地形和二维地震剖面资料，结合海洋再分析模型数据，本研究探讨陆坡峡谷地形内夏季中深层西边界流与沉积输运过程之间关系。

南海西北部中央峡谷（现今西沙海槽）位于海南岛东南部陆坡区，是一条全长超过 500 km，宽约 80km，总体呈 S 型，沿 NE-WS 方向展布的负地形，峡谷西部坡度（> 0.1°）相比东部（<0.02°）更陡（沿峡谷 NW 方向将峡谷分为上中下游，下游方向，左侧为西部），且东坡以发育众多海山为特征。

夏季南海中层西边界流（400-1200m）自南部沿着越南东部陆坡北上，抵达西沙群岛，分为东支流沿陆坡运动，西支流则沿岛礁西侧进入中央峡谷（将此水流定义为 *f1u*）。沿陡峭西侧前进的 *f1u* 在峡谷中下游西侧与反向流交汇，发生垂向强混合过程，流系 *f1u* 结构分为受到强化 *f1m* 继续向 NW 流动以及沿峡谷东侧较弱 SW 流（*f2*），中深层西边流动力结构受到峡谷地形制约形成峡谷内夏季局部环流特征。沿峡谷上中下游多条垂直于峡谷走向的地震剖面分析，沉积地震相揭示西边界流对峡谷内部沉积物侵蚀、物质输运、沉积再分布的响应。本研究对理解大陆边缘演化以及地形-西边界流相互作用具有重要意义。

S82-O-1

中亚造山带东段古生代山弯构造

刘永江 [1,2,3*]，马永非 [4]，冯志强 [5]，李伟民 [6]，李三忠 [1,2,3]，关庆彬 [1,2,3]，陈昭旭 [1,2]，周桐 [1,2]，方启昂 [1,2]

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

2 中国海洋大学，海洋地球科学学院

3 崂山实验室，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

4 防灾科技学院，地球科学学院

5 太原理工大学，地球科学与工程系

6 吉林大学，地球科学学院

* liuyongjiang@ouc.edu.cn

中亚造山带东段位于西伯利亚和华北克拉通之间，经历了多构造体系域叠加和多旋回洋陆转换的复杂演化过程。本研究重新厘定了中国东北地区基本构造格局，建立了中国东北山弯构造演化模型。研究表明，古生代时期东北地区的主要构造单元由两个具前寒武纪基底的古老地块—额尔古纳地块和佳木斯-兴凯地块与两个古生代增生地体—兴安增生地体和松辽增生地体组成，其间由新林-喜桂图洋、贺根山-嫩江洋、龙凤山洋和索伦洋分割。早古生代期间，西部额尔古纳地块东南部为西太平洋型活动陆缘，发育有嘎仙-吉峰-环宇洋内弧和头道桥等洋岛，~500Ma 随着新林-喜桂图洋的关闭，这些洋内弧和洋岛拼贴增生至额尔古纳地块东南缘。随后贺根山-嫩江洋的俯冲和后撤形成了一系列沟-弧-盆体

系，持续的俯冲导致弧陆碰撞和陆缘增生，形成兴安增生地体的主体。同时，东部佳木斯地块西侧发育有龙凤山洋的安第斯型俯冲活动陆缘，在佳木斯地块西缘形成张广才岭陆缘弧。伴随着各大洋的俯冲和陆缘增生，额尔古纳地块和佳木斯地块以及它们的陆缘增生带构成了一个早古生代近东西向展布的陆块链。南部以锡林浩特-龙江古老残块为核心发生陆缘俯冲增生，形成松辽增生地体雏形。索伦洋发生双向俯冲并伴有弧陆碰撞导致的陆缘增生。晚古生代期间，伴随着古亚洲洋的俯冲消减、后撤和最终闭合以及蒙古-鄂霍茨克洋和泛大洋的俯冲挤压，早古生代期间形成的陆块链经历了较大规模的旋转与弯曲，同时，早期的古老地块、增生地体、弧岩浆岩、沉积建造等发生汇聚，最终形成一个以额尔古纳地块和兴安增生地体为西翼，佳木斯地块和张广才岭陆缘弧为东翼，松辽增生地体为核心的大规模山弯构造。项目资助：自然科学基金重点基金项目《东北地区山弯构造研究》（42130305）

S82-O-2

古亚洲洋与古太平洋构造叠加与转换：来自吉黑东部佳木斯地块晚古生代-中生代岛弧岩浆记录与增生杂岩的制约

李功宇[1*]，周建波[1]

1 吉林大学，地球科学学院

* gongyuli@jlu.edu.cn

古亚洲洋与古太平洋构造体制之间的叠加与转换过程，一直是国际地学研究的重大科学问题。然而直到目前，两大构造域转换的具体时间、转换过程与动力学背景等存在诸多分歧。佳木斯地块位于中亚造山带的最东缘，也是古亚洲洋与环太平洋构造域叠加与转换的核心，记录了丰富的古大洋构造演化的关键信息。通过对佳木斯地块周缘晚古生代岛弧岩浆作用以及中生代增生杂岩的系统总结，我们初步识别了佳木斯地块周缘两条岛弧岩浆岩带和两条增生杂岩带，即东缘和西缘平行对称分布的早二叠世和晚二叠世岛弧岩浆岩带以及东缘和西缘同样平行对称分布的那丹哈达增生杂岩带和吉黑高压变质带。根据佳木斯地块“双带-双弧”结构的启示，我们重建了佳木斯地块晚古生代-中生代的构造演化历史，并以此为桥梁枢纽，揭示了古亚洲洋到古太平洋构造体制转换过程：（1）在晚石炭到早二叠世，佳木斯地块作为中亚造山带东缘的一部分，主要受古亚洲洋构造体制南向俯冲/闭合的影响，在吉黑东部地区初步形成扩张环境。随后由于蒙古鄂霍茨克洋的俯冲，沿东缘形成早-中二叠世岛弧岩浆岩带，并进一步为佳木斯西缘的弧后扩张环境叠加提供原始驱动力，导致扩张加剧，进而黑龙江洋打开，佳木斯地块从中亚造山带中分离，向东漂移。（2）在晚二叠世期间，由于黑龙江洋的俯冲，佳木斯地块西缘发生大量岩浆活动，并最终导致中-晚二叠世岛弧岩浆带形成。（3）在晚三叠到早侏罗世期间，由于古太平洋板块在佳木斯地块东缘的西向俯冲，形成那丹哈达增生杂岩带，黑龙江洋在此期间逐渐闭合消失，在古太平洋俯冲和黑龙江洋闭合的共同作用下，吉黑高压变质带在佳木斯地块西缘最终就位。在佳木斯地块东西缘的双带双弧全部就位形成后，中亚造山带东段完成了由古亚洲洋到古太平洋的构造体制转换。本研究受国家自然科学基金项目（42230303）资助。

S82-O-3

燕山褶皱冲断带东部晚三叠世缩短变形：对华北克拉通

与蒙古拼贴体最终聚合时间的约束

陈虹[1]，赵越[1*]，叶浩[2]，张拴宏[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所

2 长江三峡勘测研究院有限公司

* yuezhao2307@163.com

二叠纪至早三叠世期间，古亚洲洋沿天山-北山-阿拉善-索伦缝合带由西向东的闭合形成了中亚造山带（Şengör et al., 1993; Wang et al., 2023; Windley et al., 2007; Xiao et al., 2003, 2018; Zhao, et al., 2018）。该造山带的西段、中段和东段分别在 310-280 Ma、280-265 Ma 和 260-245 Ma 闭合，导致了塔里木、阿拉善和华北地块在 245 Ma 前加入东欧-西伯利亚体系，并成为泛大陆或冈瓦纳大陆的一部分（Han & Zhao, 2018; Zhao, et al., 2018）。最终的闭合事件发生在中亚造山带的东段，并导致蒙古拼贴体在三叠纪中-晚期与华北克拉通的最终拼合，时间必须晚于 235 Ma（Huang et al., 2018; Xiao et al., 2018），这也代表了东亚大陆整体的最终形成，但是对于最终聚合的时代仍需要进一步约束。

华北克拉通北部的燕山褶皱冲断带记录了与古亚洲洋闭合有关的二叠纪-三叠纪后碰撞或陆内伸展，以及与亚洲大陆东缘古太平洋板块俯冲有关的侏罗纪-白垩纪构造变形，同时也保留了三叠纪构造转换过程以及相关的岩浆作用。通过燕山褶皱冲断带内盘山岩体及周缘弧形向斜的构造解析与年代学研究表明，蓟县断裂左行逆冲形成北东东走向褶皱和花岗质岩脉，时代为~217 Ma；随后，盘山岩体的侵入则造成弧形向斜的形成，时间大约为 209 Ma。区域性构造-岩浆作用综合分析表明，盘山岩体和周围地层中花岗质岩脉与晚三叠世花岗岩侵入同期，但与马兰峪背斜中的侏罗纪和早白垩世花岗岩的时代不同，表明马兰峪背斜的形成应始于~223 Ma，从而意味着在中生代早期（晚三叠世），华北克拉通北部边缘受到挤压变形的叠加改造。

华北克拉通南缘的秦岭-大别-苏鲁造山带在约 220 Ma 后的剥露过程中经历了角闪岩相退变质叠加，这与造山带内向东的挤出是同期的。盘山岩体及马兰峪背斜的缩短变形则与大陆内部的挤压变形和华北克拉通南缘向南东的俯冲同步，这明显晚于华北与华南克拉通之间的碰撞。所以，推测华北北部晚三叠世开始的缩短变形可能是华北克拉通与蒙古拼贴体之间的长期板块会聚引起的，这也代表了华北克拉通和蒙古拼贴体在晚三叠世早期沿着索伦缝合带的最终拼贴。

S82-O-4

准噶尔盆地二叠系富有机质页岩沉积古环境与有机质富集因素

陶辉飞[1,2,3*]，谢再波[1]，马东正[1]，秦臻[1]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院，油气资源研究中心

2 甘肃省油气资源研究重点实验室

3 自然资源部黄河上游战略性矿产资源重点实验室

* tophic3@yeah.net

以准噶尔盆地玛湖凹陷 MY1 井下二叠统风城组和吉木萨尔凹陷 J305 井中二叠统芦草沟组富有机质页岩为研究对象，分析了其矿物、元素组成和生物标志化合物特征，在综合前人研究成果的基础上，研究了玛湖凹陷风城组和吉木萨尔凹陷芦草沟富有机质页岩形成的沉积古环境与有机质富集因素。

研究表明，风城组的沉积演化分为 5 个阶段。第 1、2 阶段（风一段）以蒸发咸化为主；第 3、4 阶段（风二段）在热液作用影响下以钙镁碳酸盐沉积、钠碳酸盐沉积的咸化、碱化为主；第 5 阶段（风三

段）在火山作用、湿冷气候条件下沉积凝灰质泥岩、陆源碎屑岩，以淡化为主。相应地，玛湖凹陷所发育的湖盆水深呈周期性变化，总体为逐渐变浅，对应的湖水古盐度演化特征为淡—半咸—咸—半咸—淡。古气候演化特征为半干旱—潮湿—半干旱—干旱—半干旱，但整体以半干旱—干旱气候为主。风城组的沉积受火山活动和古气候的控制，有机质的保存与古水深、水体氧化还原保存条件密切相关；干旱气候导致水体大量蒸发，促进咸化，热液作用提供大量营养物质，促进碱湖形成。

芦草沟沉积时期，吉木萨尔凹陷湖盆水体为相对稳定的还原环境，有机质富集主要受控于古生产力，即生物来源。生物来源在一定程度上与古盐度、古气候及火山－热液活动有关。从芦一段至芦二段，古盐度总体逐渐降低，古气候整体以干旱－半干旱气候为主，芦一段偏向干旱，芦二段偏向湿润；芦一段和芦二段均遭受不同程度火山－热液活动的影响。生物来源组成的总体特征表现为细菌和藻类的丰度大于高等植物，细菌的丰度大于藻类，藻类以绿藻为主，其中细菌中蓝细菌占有一定比例，且芦一段中蓝细菌占比相对较高。根据反映古环境及生物来源的相关参数，可将整个芦草沟组的沉积演化细分为 5 个阶段，其中芦一段（下段）分 3 个阶段，芦二段（上段）分 2 个阶段（图 2）。

S82-O-5

白乃庙弧性质及其与华北克拉通的构造亲缘关系

张琪琪[1*]，张拴宏[1]，赵越[1]，胡国辉[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所

* cagszhangqiqi@163.com

华北地块北缘毗邻中亚造山带东南段，主要由两大近东西向构造单元组成，分别为北侧的白乃庙弧带和南侧的华北克拉通北缘，两者以白云鄂博-多伦-赤峰-开原断裂为界。白乃庙弧带西起内蒙古白云鄂博-达茂旗北部的包尔汉图地区，经白乃庙、正镶白旗、赤峰-翁牛特旗，向东延伸至辽宁北部法库、吉林中部公主岭-方家屯、吉林南部延边地区，近东西向展布>1300 km。一方面，白乃庙弧被认为是发育在华北克拉通北缘之上的安第斯型岩浆弧（Xiao et al., 2003; 肖文交等, 2019）或日本型岛弧（胡骁等, 1990; 高计元等, 2001; 尚恒胜等, 2003），其与华北克拉通有着构造亲缘关系。另一方面，白乃庙弧被认为是一个形成于早古生代时期且具有与华北克拉通不同前寒武纪基底的岛弧（Zhang et al., 2014; Pei et al., 2016; Zhou et al., 2018; Ma et al., 2019, 2020; Chen et al., 2020），其与华北克拉通无构造亲缘关系。

为进一步明确白乃庙弧的性质及其与华北克拉通之间的构造亲缘关系，本文搜集整理了近 20 年来关于白乃庙弧所发表的年代学数据及其同位素组成，并将其与华北克拉通北缘进行了对比。结果显示：1）出露于白乃庙弧带之上的早古生代岩浆岩自西向东分布于内蒙古白云鄂博-达茂旗北部、白乃庙、正镶白旗、赤峰-翁牛特旗、辽宁北部法库、吉林中部公主岭-方家屯和吉林南部延边地区，形成时代主要集中在 470~430 Ma，分布范围局限于白云鄂博-多伦-赤峰-开原断裂带以北，在断裂带南部即华北克拉通北缘并未发育；2）白乃庙弧带与华北克拉通北缘早古生代之前（420 Ma 之前）碎屑锆石年龄分布显示出巨大差异，具体表现为白乃庙弧带具有显著的早古生代年龄峰值，且发育大量中元古代晚期-新元古代碎屑锆石，而华北克拉通北缘则以发育新太古代晚期和古元古代晚期年龄峰值为特征；3）出露于白乃庙弧带和华北克拉通北缘之上的古生代-早中生代长英质侵入岩和火山岩具有截然不同的 Nd-Hf 同位素组成，前者具有正至弱负的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和 $\varepsilon_{Hf}(t)$值，而后者普遍具有负的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和 $\varepsilon_{Hf}(t)$值。这些结果表明白乃庙弧既非安第斯型岩浆弧，也不是日本型岛弧，而是

一个形成于早古生代时期且具有不同于华北克拉通前寒武纪基底的岛弧。

S82-O-6

中天山地块何时并如何卷入中亚造山带地理格局

黄宗莹[1]，袁超[1*]，龙晓平[2]，张运迎[3]，杜龙[4]

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 西北大学

3 中国科学院南海海洋研究所

4 山东科技大学

* yuanchao@gig.ac.cn

中亚造山带作为古亚洲洋俯冲消减的产物，其由众多陆块等拼贴形成。在某种程度上，这些陆块的聚散反映了整个中亚造山带构造格局的演变，从而影响古亚洲洋构造域的资源环境效应。中天山地块作为古亚洲洋构造域的微陆块，对于其何时并如何卷入中亚造山带地理格局的认识，已成为我们理解中亚造山带地理格局演化和古亚洲洋资源环境效应的重要一环。

在前人研究的基础上，通过系统总结相关数据，以中天山地块新元古代至早古生代碎屑锆石及其 Lu-Hf 同位素为研究对象，试图揭示中天山地块何时并如何卷入中亚造山带地理格局，从而为理解古亚洲洋构造域的资源环境效应提供启示。

通过研究发现，在 650-580 Ma 时期，中天山地块和塔里木克拉通地理位置相距甚远，而至 490 Ma 时期中天山地块进入到古亚洲洋构造域，与塔里木克拉通一起受古亚洲洋俯冲体系的影响。通过对中天山地块和塔里木克拉通同时期的 440 Ma 沉积碎屑锆石和 Lu-Hf 同位素对比发现，中天山地块和塔里木克拉通在此时已经开始了物质交换，处于邻区位置。

通过研究中天山地块的数据，发现在 480-470 Ma，中天山地块的地壳开始增厚，这意味着此时中天山地块开始拼贴至塔里木克拉通。随后有大量的新生物质的加入，以及地壳减薄和具有相对高温岩浆的特点，表明中天山地块可能通过软碰撞热焊接的方式与塔里木克拉通最终拼合而卷入中亚造山带地理格局。该地理格局的演化表明天山地块不具备作为塔里木油田重要战略接替区延伸的条件，这为我们理解古亚洲洋构造域资源环境效应提供了重要启示。

S82-O-7

中亚造山带东段构造重建：地质记录与深地震反射信息

周建波[1*]

1 吉林大学，地球科学学院

* zhoujianbo@jlu.edu.cn

中亚造山带增生过程及其成矿作用，历来是我国地学研究的焦点和重大地质问题。由于中亚造山带经历了近八亿年的俯冲-增生历史，为国内外地质学家研究显生宙大陆动力学与成矿作用提供了天然实验室，并产生了诸如中亚显生宙大陆生长、增生型造山与动力学、中亚成矿域大规模成矿作用、北方东部复合造山与成矿等一系列重大科学问题。近年来，项目成员在完成基金委重点项目“中亚造山带 Solonker 缝合带东部延伸的地质记录与深地震反射信息（2022-2027）”和“东北中生代增生杂岩：对古太平洋板块俯冲-增生历史的制约（2017-2022）”以及科技部 973“兴蒙造山带构造叠合与大规模成矿作用（2013-2017）”和深地项目“北方东部复合造山成矿系统（2017-2021）”等基础上，围绕东北地区开展了地质与地球物理综合研究，取得的成果如下：

（1）测定了东北各微陆块基底组成与时代，明确了中亚造山带微陆块基底性质及其与超大陆聚合的关系；（2）厘定了东北主要缝合带的位置与时限，重建了东北亚构造格局与微陆块的聚合历史；（3）建

立了“吉林-黑龙江高压变质带”，指出其为古太平洋板块俯冲启动的标志；（4）分析了那丹哈达增生杂岩性质及其增生序列，限定了古太平洋板块向欧亚大陆俯冲-增生的历史；（5）在松辽盆地中部发现了古俯冲带，并认为是 Solonker 缝合带的东部延伸，证明了松辽地块可能不是单一的微陆块，而至少由南北两部分拼合而成的复合造山带；（6）总结与剖析大洋板块俯冲增生楔及大别-苏鲁超高压带内浅变质岩基础上，提出了大陆深俯冲过程发育增生楔的新认识。本研究得到了国家自然科学基金重点项目资助（42230303, 41888101)。

S82-O-8

塔里木克拉通北缘志留-泥盆纪岩石圈构造减薄与热软化—来自构造变形、岩石学及年代学的制约

宁俊 [1,2,3]，蒋映德 [1,2*]

1 中国科学院广州地球化学研究所，同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院深地科学卓越创新中心

3 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* jiangyd@gig.ac.cn

塔里木克拉通作为中亚造山带南缘重要地质单元之一，其北缘在古生代记录了众多与中亚造山带相关的重要构造演化事件，其中以显著志留-泥盆纪岩浆活动为特征的塔里木北缘早古生代构造-热演化事件已被众多学者所认识。但是，对该区域此次构造-热事件演化过程中的变质岩石学-构造响应仍然鲜有报道，学界对该次构造-热事件认识仍不明朗。

围绕上述科学问题，本次研究选择塔里木北缘的库鲁克塔格地区为研究区域，对研究区进行了详细的野外构造填图、变质-变形观测及岩石学分析，结合锆石/独居石 U-Pb 年代学研究，揭露塔里木北缘早古生代构造-热演化事件的动力学过程。研究表明：

（1）研究区主要发育三期构造变形事件：第一期次构造变形（D1）以近水平面理 S1 及低压/高温变质矿物组合为特征，代表了第一期次构造变形（D1）为一期高温伸展变形事件；第二期次构造变形（D2）以近直立东西走向的面理 S2 及轴面近直立，枢纽近水平的东西走向褶皱 F2 为特征，该构造变形样式主要形成于南北向挤压的第二期构造变形事件（D2）；而研究区内第三期次构造变形事件（D3）则主要发育北西-南东走向面理 S3 及近水平的拉伸线理 L3，该变形主要与区域辛格尔断裂带右行走滑剪切相关。（2）在建立了构造变形框架基础上，通过对不同构造变形域中的独居石/锆石 U-Pb 年代学分析表明，第一期次高温伸展变形事件（D1）发育于 420Ma 甚至更老，而第二期次南北向挤压变形事件（D2）主要发生于 406-402Ma，第三期次右行走滑剪切变形事件（D3）被限定于 360Ma 左右。（3）结合区域已有地质资料，塔里木北缘志留-泥盆纪构造演化可以与南天山以及中天山在早古生代期间共同组成古亚洲洋的南向俯冲大陆岛弧体系。塔里木克拉通东北缘志留-泥盆纪的岛弧特征岩浆岩代表了该岛弧体系的岛弧岩浆活动；而长期的俯冲作用可能导致了塔里木北缘岩石圈的热软化及侵蚀减薄；后期由于俯冲板片的后撤导致中天山从塔里木克拉通裂离，并形成有限的南天山洋弧后盆地，塔里木北缘在此过程中形成了高温/低压水平面理 S1；随后，由于俯冲板片的迅速回弹，导致俯冲体系从伸展的构造环境转变为挤压的构造环境，并形成近直立面理 S2；而晚期右行走滑则可能代表了塔里木北缘发生的斜向汇聚。本研究由国家自然科学基金项目（42022017）、中国科学院国际伙伴计划“一带一路”科技专项（132744KYSB20190039）联合资助。

S82-O-9

深地震反射剖面约束古亚洲洋的消亡方式

谭晓淼[1]，周建波[2*]，邓小凡[1*]，王海燕[3]，侯贺晟[4]，李蕙琳[1]，齐蕊[5]，谢樊[1]，高锐[1,3,4]

1 中山大学，地球科学与工程学院
2 吉林大学，地球科学学院
3 中国地质科学院，地质研究所
4 中国地质科学院
5 清华大学，数学科学系
* zhoujianbo@jlu.edu.cn
* dengxf23@mail2.sysu.edu.cn

中亚造山带，作为显生宙以来全球最大的增生型造山带，其增生演化机制，特别是其前身洋盆古亚洲洋的消亡方式与闭合位置长期吸引研究者们为之探索。在中亚造山带中段已有的研究表明，索伦缝合带是古亚洲洋消亡的最终缝合带，代表了重要的构造与古地理边界。然而其向东追踪，由于蛇绿岩体的零散分布，导致古亚洲洋在中亚造山带东段的消亡位置长期存在着沿北部的贺根山-黑河缝合带；沿南部的西拉木伦缝合带；或二者之间的模糊区域等不同的观点。同时，古亚洲洋的消亡极性也存在着向北俯冲；向南俯冲；双向俯冲消亡的争议。大洋的俯冲与大陆的增生过程会记录在大陆岩石圈内部，因此获取中亚造山带东段高分辨率的岩石圈结构成为解决上述科学问题的关键。

深地震反射剖面技术被誉为探测大陆岩石圈精细结构最高分辨率的技术。特别是利用 500-2000 kg 的大药量爆炸性震源，能够直接获取下地壳、Moho 乃至上地幔的精细结构与横向变化信息，这一深度有利于追踪古大洋俯冲极性与板块缝合带的位置，进而为大陆增生的深部过程提供重要的地震学证据。有鉴于此，我们实施了横过中亚造山带东段的 460 km 长的深地震反射剖面，并对测线上的 26 个高质量大、中炮开展了一系列针对性数据处理，获得了刻画中亚造山带东段深部结构的大炮单次剖面，揭露了大洋消亡与大陆增生的深部过程。

大炮剖面结果显示，在剖面的南北两侧，可追踪多组自下地壳延伸至上地幔的倾斜反射。在剖面北部的贺根山-黑河缝合带下方，最显著的反射在地壳内部以~7°的倾角向北倾斜，穿越 Moho 后以~17°的倾角消失于南蒙古地块下方。在剖面南部的西拉木伦缝合带下方，可追踪一组相似但更为陡峭的南倾反射结构，自壳幔转换带附近以~12°的倾角向南倾斜至华北地块北缘下方，地震波双程走时~19 s 的深度处。在北倾与南倾地幔反射之间，倾斜的地幔反射逐渐向剖面中部汇聚，并构成反 U 型结构。整合剖面展示的几何结构与可利用的地质数据，我们认为在中亚造山带东段，古亚洲洋以离散型双向俯冲消亡，向北俯冲到南蒙古地块之下，向南俯冲至华北地块北缘。大洋消亡促使大洋岩石圈进一步收缩变形，形成反 U 形结构，代表了大洋消亡的位置。对应地表地质，大洋关闭于贺根山-黑河缝合带与西拉木伦缝合带之间，而非二者之一。本研究进一步揭示，大洋的离散型双向俯冲模型结合俯冲过程中的增生与岩浆作用，共同构成了增生型造山带大陆生长的主要模式。

S82-O-10

西准噶尔蛇绿岩:古大洋俯冲增生过程的记录

杨高学[1*]，朱钊[1]，李海[2]，佟丽莉[1]

1 长安大学，地球科学与资源学院
2 西安石油大学，地球科学与工程学院
* ygx@chd.edu.cn

蛇绿岩是保存在造山带中的古大洋岩石圈残片，其形成时代和环境的确定对于恢复古大洋形成演化史和重建古板块构造格局等具有重要的大地构造意义。近年来，随着对早期地球的形成和演化、超大

陆的裂解与聚合、深部高压矿物的厘定和板块构造的起源等研究，进一步拓展了蛇绿岩的研究领域。中亚造山带是世界上最大的增生型造山带之一，也是全球显生宙大陆地壳生长最显著的地区，主要由一系列微陆块、岛弧、海山、增生杂岩及蛇绿岩构成，其形成记录了新元古代—早中生代古亚洲洋演化历程。中亚造山带发育新元古代晚期至三叠纪数条蛇绿岩带，而地处中亚造山带西南缘的西准噶尔地区蛇绿岩发育尤为突出。本文通过系统梳理前人相关研究，总结西准噶尔蛇绿岩最新研究成果，探讨大陆地壳增生方式、恢复古大洋演化历史，从而对西准噶尔构造体制转化提供新制约。西准噶尔地区发育多条震旦纪-石炭纪被构造肢解的蛇绿岩带，具有典型的岩块-基质结构，绝大多数蛇绿岩包括正常洋壳组分和海山/大洋高原残片，其中基性岩具有 MORB 和 OIB 的地球化学特征。基于前人研究，本文认为在西准噶尔古大洋发育过程中，发育不同时代与地幔柱有关的海山/大洋高原，同时存在增生型和侵蚀性两类汇聚板块边界。另外，大洋高原增生不仅是大陆地壳增生的有效途径之一，还可能诱发俯冲极性反转和传递。而在大洋高原形成初期，还可能存在地幔柱诱发俯冲起始机制。尽管取得系列进展，但也存在很多问题，诸如海山/大洋高原的规模和分布如何，其俯冲增生的地质效应缺少详细刻画，西准噶尔乃至整个中亚造山带中俯冲起始时限和过程，还知之甚少。要解决上述系列问题，在后续的工作中，需要详细解剖和深入研究蛇绿岩及其它相关地质记录。

S82-O-11

西准噶尔南部早-中泥盆世埃达克质岩浆作用的识别及其对哈萨克斯坦山弯构造演化的意义

刘博[1*]，任荣[2]，韩宝福[3]

1 东北大学，资源与土木工程学院

2 中国石油勘探开发研究院

3 北京大学，地球与空间科学学院

* liubo@mail.neu.edu.cn

西准噶尔地体(West Junggar Terrane)与哈萨克斯坦中部和东部地体在构造上具有相关性。然而，中古生代岩浆作用在该地体南部很少被报道，导致中亚造山带西南部的构造演化和对比存在不确定性。本文报道了西准噶尔南部阿拉山口地区埃达克质石英闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 390~394 Ma，首次证实了西准噶尔早-中泥盆世岩浆作用的存在。它们具有较低的 Yb(1.00~1.41 ppm)和低 Y(8.9~14.4 ppm)，但高 Sr(301.5~475.9 ppm)、Sr/Y(23-41)和 $(La/Yb)_N$(8.1-11)值，与现代埃达克岩的典型特征类似。鉴于其相对较高的 SiO_2(64.96-67.71 wt.%)，中等的 K_2O(1.53-3.19 wt.%)，但低的 MgO(1.56-2.31 wt.%)，TiO_2(0.28-0.42 wt.%)，Cr(≤13.7 ppm)，Co(2.7 ppm)，Ni(8.0 ppm)，$\varepsilon_{Hf}(t)$值高(+5.6~+10.3)和 Nb/Ta 比值低的特点，可能其是由西准噶尔南部埃迪卡拉纪-中古生代洋内弧岩组成的略增厚的下地壳部分熔融二形成。结合区域资料，我们的新结果支持西准噶尔南部可能在中古生代演化为哈萨克斯坦早-中泥盆世外火山带的东部延伸。因此，早中泥盆世的构造伸展和由此产生的下地壳熔融可能与准噶尔-巴尔喀什洋的板片撤退有关。

S82-O-12

华北克拉通北部晚古生代地幔交代作用与深部碳循环：早二叠世超镁铁质岩的制约

王志伟[1,2*]，孙瑜欣[1,2]，朱泰昌[1,2]，徐引[1,2]

1 河北地质大学，河北省战略性关键矿产资源重点实验室，地球科学学院
2 河北地质大学，河北省战略性关键矿产研究协同创新中心，地球科学学院
* wangzw@hgu.edu.cn

地球是一个多圈层相互作用和不断演化的整体，碳作为主要元素之一，对地球生命的形成演化、环境变化、地球内部的物质组成和演化起到了极其重要的作用。地球深部碳循环机制与过程研究是近年来全球地学研究的前沿和热点问题。近年来，地球浅部和深部碳循环之间的关系获得了越来越多的关注，对于记录和影响地球深部碳循环的岩石地球化学与地球动力学过程的研究取得了很多重要进展。

华北克拉通北部高寺台晚古生代环状杂岩体是一套富单斜辉石的超镁铁质岩，是研究华北北部地幔碳酸盐化熔体交代作用的理想对象，同时也是华北克拉通北部晚古生代岩浆活动与深部碳循环联系的纽带。作者在岩体西部边缘识别出一套早二叠世早期富铁角闪单斜辉石岩，形成时代为 297.8Ma±3.4Ma，结合岩体东部辉石岩早泥盆世和早石炭世的成岩年龄，表明高寺台超镁铁质杂岩体可能是晚古生代多期岩浆侵位的产物。其次，高寺台环状超镁铁质杂岩体缺少大面积辉长岩和闪长岩、硫化物和 Cu-Ni-PGE 矿化，单斜辉石成分具有裂谷带堆晶岩矿物特征，角闪石也具有相对低的结晶温度（933℃~947℃）和压力（287MPa~323MPa）及水含量（4.06%~5.10%），而且区域上尚未发现同期环状杂岩体和蛇绿岩，与岛弧拼贴到陆块后沿俯冲带延伸数百千米侵位的阿拉斯加型环状杂岩体明显不同。另外，前人的研究显示，与铬铁矿中富镁单斜辉石包裹体平衡的苦橄质母岩浆显示出 OIB 的特征，强烈的重稀土分馏、富 Nb 和高 Nb/La，异常高的 Ca/Al 和$(La/Yb)_N$，低的 Ti/Eu、Zr/Sm 和 Hf/Sm，都表明苦橄质母岩浆起源于石榴石相软流圈地幔，且源区遭受过显著的碳酸盐熔体交代。单斜辉石岩中单斜辉石及角闪石成分及其平衡岩浆成分记录了母岩浆与岩石圈地幔相互作用后的岩浆演化过程，也显示出比母岩浆弱的源区碳酸盐熔体交代印记。此外，岩浆房在地壳浅部经历了多期深部岩浆补给和富铁熔体贯入，同时带来热量和挥发分，触发晶粥体活化，促进了岩浆的上升运移。高寺台环状超镁铁质杂岩体具有板内成因特征，可能是陆内岩石圈伸展的产物。华北克拉通北部晚石炭世-早二叠世三个岩浆事件峰期很好地对应着全球三次升温和 CO_2 回升事件，岩石圈伸展能有效促进强烈的中酸性岩浆活动及起源于碳酸盐化地幔的基性岩浆释放出大量的 CO_2，它们可能是晚石炭末期-早二叠世早期全球大气 CO_2 回升的主要贡献者之一。

S82-O-13

以古论今：不规则的大洋如何关闭？

王涛 [1*]

1 中国地质科学院地质研究所
* taowang@cags.ac.cn

大洋的产生与消亡是地球板块运动最主要的特征。对于具有规则边界的大洋闭合及两个独立板块的汇聚、拼合，经典的板块理论已有很好解释。但对于不规则边界的大洋，特别是对应同一板块的不规则大洋如何关闭？如在现今的大洋中，发育很多对应同一个板块的不规则边界的大洋和弯曲的板块边界。这些大洋的发展命运将会如何？它们会如何关闭消亡？这是理解板块运动的关键点和难点，待深入研究。

将古论今，通过研究已经消亡的大洋来寻找答案。本文聚焦古亚洲洋构造域，主要依据花岗岩质岩浆的时空变迁和岩浆演化，通过建立岩浆岩数据库和编制数字化系列图件，追索出古亚洲洋和蒙古-鄂霍茨克洋的闭合过程。依据岩浆激励，揭示古亚洲洋经历了晚古生代双剪刀状闭合，

即西端首先向西剪刀状闭合，然后，主体向东剪刀状闭合。蒙古-鄂霍茨克洋经历了晚古生代-早中生代后撤式俯冲，到晚中生代（侏罗纪）剪刀状闭合，并最终形成蒙古-鄂霍茨克山弯构造和“紧闭褶皱”的岩浆岩带。该大洋闭合的动力学背景是西伯利亚地块旋转和大洋后撤俯冲联合作用，其北侧安第斯型大陆边缘向南后撤旋转，南侧东西方向的洋内弧向北后撤旋转。

该研究为理解和预测现今弧形板块边界及其构造的未来发展提供了依据。例如，东南弧形构造带西侧受控于印度洋板块体制，东侧受控于太平洋板块体制，假如今后某个地质历史时期，太平洋、印度洋关闭，该弧形构造可能发育为紧闭的山弯构造，类似于现今的蒙古-鄂霍茨克带。这提供了将古论今的经典实例。

S82-O-14

基于挠曲模拟的渐新世天山古地形重建研究

Feng Cheng[1*]，Andrew Zuza[2]，Lin Wang[3]，Zhaojie Guo[1]，Wenjiao Xiao[4]

1 Peking University,School of Earth and Space Sciences

2 University of Nevada, Reno,Nevada Bureau of Mines and Geology

3 The Hong Kong University of Science and Technology,Department of Civil and Environmental Engineering

4 Chinese Academy of Sciences,Xinjiang Institute of Ecology and Geography

* cfcf.chengfeng@gmail.com

Ascertaining the characteristics of the crystalline basement of the Junggar terrane has significant implications fortectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belts (CAOB). However, the composition of the Junggar basement remains highly debated. Here we use isopach data to reconstruct along-strike shape of the Junggar basin during the Quaternary. These results are compared with the modeled shape of the Junggar basin that is obtained from flexural modeling. By changing the flexural rigidity of the lithosphere, we test for the optimal strength of the Junggar terrane that provides the best fit to the original shape of the Junggar basin during the Quaternary. Our results show that parts of the Junggar terrane are underlain by a rigid lithosphere, whereas other parts of the terrane are characterized by lowflexural rigidity, suggesting a juvenile crust. This result shows an along-strike variable rigidity of the Junggar terrane, highlighting a complex tectonic evolution of theCAOB.

S82-O-15

晚中新世塔里木盆地沙漠变绿与偏心率最小值和东亚季风减弱有关

聂军胜[1,2*]，王苇航[1]，Richard Heermance[3]，高鹏[1]，邢力[1]，张肖剑[4*]，张冉[5*]，Carmala Garzione[6]，肖文交[7*]

1 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

2 中国科学院青藏高原地球科学卓越研究中心

3 California State University, Department of Geological Sciences

4 南京大学，地理与海洋科学学院

5 中国科学院大气物理研究所

6 Rochester Institute of Technology,Department of Environmental Sciences

7 中国科学院新疆生态与地理研究所

* jnie@lzu.edu.cn

* zhangxj@nju.edu.cn

* zhangran@mail.iap.ac.cn

* wj-xiao@mail.iggcas.ac.cn

沙漠变绿被认为给人类走出非洲提供了绿色走廊，缓解了游牧文明的水资源压力，减少了游牧文明和农业文明之间的战争可能性。因此，了解沙漠变绿和湿润模式及原因是古气候学家广泛关注的重要科学问题。过去的研究表明，地质历史时期季风边缘区沙漠经历了周期性变绿，往往与夏季风周期性增强有关，对应高偏心率和太阳辐射时期。与季风区沙漠相比，非季风区沙漠的轨道时间尺度环境干湿变化知之甚少。本报告在塔里木盆地 West Kepintagh 剖面风成沙地层开展了详细的古地磁、环境磁学和气候模拟研究，研究结果揭示出：（1）晚中新世塔里木盆地内的沙漠经历了周期性变绿，且湿润时期对应偏心率极小值，与东亚夏季风减弱有关。当地球偏心率极小值时，海洋与陆地的气压梯度减小，东亚季风减弱，但此时蒙古高原反气旋活动频率增加，将水汽沿青藏高原北缘输送到塔里木盆地，导致降水增加，塔里木盆地变湿，模拟实验也支持我们对塔里木盆地变湿的解释。（2）未来 3 万年塔里木盆地会变得更加湿润。未来 3 万年是低偏心率时期，太阳辐射和偏心率的变化与晚中新世时期相似，HIRM 表现出逐渐增加的趋势，表明塔里木盆地在未来 3 万年可能会变湿。本研究为理解未来几千年高 CO_2 含量、低偏心率条件下非季风性沙漠的环境变化具有重要意义。

S82-O-16

石炭纪-三叠纪古亚洲洋构造古地磁研究及其古地理演化新认识

任强[1*]，张世红[2]，侯明才[1]

1 成都理工大学

2 中国地质大学（北京）

* renqiang@cdut.edu.cn

Pangea 超大陆自早石炭世形成以来，其周缘陆块的构造古地理演化主要受古亚洲洋和古特提斯洋两大构造域控制。古亚洲洋构造域的俯冲、增生和碰撞过程形成了显生宙以来面积最大的中亚造山带，其中多陆块的古地理演化的运动学和动力学过程一直是地学研究热点，但目前仍存在构造古地理与生物古地理模型的诸多矛盾未能协调。总所周知，古地磁学是定量研究板块运动学和构造古地理位置的有效工具。但是中亚造山带东部地区长期严重缺乏石炭纪-三叠纪高质量古地磁数据，导致古亚洲洋构造域相关地块的构造-生物古地理演化过程不清楚。本次研究在蒙古、图瓦、锡林浩特-松辽和华北地块获取了石炭纪-三叠纪多个高质量古地磁数据，结合已发表的古地磁、地质和古生物数据，得到以下新的古地理认识：（1）图瓦和蒙古地块在~330-315 Ma 位于低纬度地区，并已拼贴形成单一的蒙古-图瓦地块，其与哈萨克斯坦、西伯利亚地块从南到北依次连接为一条长带状陆块，控制北方安加拉植物群分布在一个宽阔的北温带，可延伸至近赤道地区；（2）早二叠世~285 Ma 锡林浩特-松辽地块与华北地块并列不相连的放置于同一古纬度位置，表明锡林浩特地块位于古特提斯洋北缘，代表古亚洲洋主洋盆的可能是贺根山洋而不是索伦洋；（3）晚二叠世-早三叠世（~250 Ma）贺根山洋完全闭合，同时索伦洋以剪刀式的方式最终闭合，并控制了安加拉和华夏植物群的混生过程。

S82-O-17

显生宙植被登陆对全球气候的影响

李素[1*]，聂军胜[2]

1 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

2 兰州大学，资源环境学院，西部环境教育部重点实验室

* lis@lzu.edu.cn

显生宙以来植被开始登陆，古亚洲洋俯冲闭合形成的劳亚大陆与冈瓦纳大陆汇聚形成盘古超大陆，同时地表气候系统也发生了剧烈的变化。然而，植被演化、超大陆旋回与气候变化之间的关系仍不明确。本文利用新分析的 2960-2250Ma 南非页岩和汇总的 3500-0Ma 细粒碎屑沉积岩的主微量元素、氧同位素及锂同位素数据生成这些记录的长期变化趋势，并结合显生宙以来煤相对丰度和沉积物中有机碳/黄铁矿硫平均值表征的有机碳埋藏量变化，与超大陆旋回、地壳组成演化、植被演化、气候和大气二氧化碳含量演化进行了对比。研究结果发现植被登陆的古生代之前，全球气候变化与化学风化具有很好的耦合关系，气候暖期化学风化强烈，气候冷期化学风化变弱；植被登陆之后，尤其是在 430-30Ma 期间，化学风化强度与气候关系解耦，陆地有机碳埋藏与大气二氧化碳含量存在很好的耦合关系：大气二氧化碳含量低的冷期，陆地有机碳埋藏量高，暖期陆地有机碳埋藏量低。我们的研究发现证明，陆地植物的出现扰乱了显生宙前气候与化学风化之间的负反馈关系，植物相关的陆地有机碳埋藏与气候之间的负反馈关系成为显生宙以来地球气候系统的主要稳定机制。

S82-O-18

阿尔金始新世红粘土记录的副特提斯海演化历史

郭本泓 [1]，聂军胜 [1*]，李建星 [2]，肖文交 [3]，潘峰 [4]

1 兰州大学，资源环境学院

2 中国地质调查局成都地质调查中心

3 中国科学院新疆生态与地理研究所

4 中国地质调查局西安地质调查中心

* jnie@lzu.edu.cn

新生代全球气候、青藏高原隆升和副特提斯海演化对亚洲环境-气候变化具有重要的驱动作用。然而，与前两者相比，副特提斯海收缩-扩张历史却知之甚少。本文首次对青藏高原北部阿尔金索尔库里盆地始新世风成红粘土沉积（~51-40 Ma）进行了环境磁学多参数和漫反射光谱研究，始新世期间该盆地靠近副特提斯海的东部。基于始新世红粘土赤铁矿含量重建了第一个详细的副特提斯海始新世收缩-扩张历史，这与塔里木盆地西南部之前的低分辨率副特提斯海古水深记录具有显著的一致性。结果显示，副特提斯海在~51-40 Ma 期间经历了三阶段演化（收缩-扩张-收缩），时间节点是~46.2 和 42 Ma。同时，副特提斯海在~44-42 Ma 期间经历了四次快速海退（具有 400 kyr 周期），主要受到偏心率调制。这些结果对评估高原隆升、全球气候和副特提斯海变化对始新世亚洲气候-环境变化具有重要意义。

S82-P-1

华北克拉通南缘中元古界蓟县系同位素地球化学特征及其地质意义

谭聪 [1]，卢远征 [1]，李鑫 [1]，宋昊南 [1]，吕丹 [1]，马雪莹 [1]，樊茹 [1]，邓胜徽 [1*]

1 中国石油勘探开发研究院

* 340330888@qq.com

华北克拉通南缘洛南地区中元古界蓟县系地层发育齐全、沉积连续，地质变形程度低，很好的保存了该时期古海洋生物和环境演化的原始信息。本文对该地区蓟县系（1.6~1.4Ga）中 382 个白云岩样品的碳、氧、锶同位素进行了分析，获得了该时期华北克拉通最为完整和连续的碳、氧、锶同位素曲线。结果显示华北克拉通南缘蓟县系 δ13Ccarb 主要分布于-1.8~2.0‰之间，旋回性特征明显，可划分为三个完

整旋回；而 δ18O 值主要集中于-3.5~-6.5‰之间，波动频繁，旋回性较弱；87Sr/86Sr 值范围在 0.705090~0.718455 之间，平均值为 0.709995，波动同样具有较为明显的规律性，与碳同位素呈较好的负相关对应，指示了华北南缘蓟县纪海平面的升降变化。洛南剖面的碳同位素曲线与岐山剖面以及华北克拉通北缘燕辽地区前人成果相似性很高，其中巡检司组中上部 δ13Ccarb 显著负漂与燕辽地区雾迷山组顶部至铁岭组底部的碳同位素负漂对应显著。结合前人研究资料可将华北克拉通南缘与北缘燕辽地区蓟县纪地层大致对比。研究结果显示华北克拉通南缘蓟县系碳同位素数据与全球其他地区同时期的碳同位素特征具有一致性，该时期碳同位素值的上升和震荡可能是对哥伦比亚超大陆裂解的响应。

S82-P-2

南天山山前新构造变形的古地磁约束及其对塔里木盆地中新世增强干旱化的启示

乔庆庆[1*]，肖文交[1,2]，黄宝春[3]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 北京大学，地球与空间科学学院

* qiaoqq@ms.xjb.ac.cn

天山造山带是欧亚大陆典型的陆内汇聚造山带之一，新生代以来，在印度-欧亚板块的碰撞下被重新激活，广泛分布的活动构造及频繁的强震活动是天山现今强烈构造变形的证据。随着印度-欧亚板块的碰撞，天山地区遭受了强烈的挤压缩短和间歇性隆升。地质结果和 GPS 观测数据表明天山南、 北两侧以逆断层-褶皱为代表的薄皮推覆构造自晚第四纪以来活动非常强烈, 这些构造带以水平向的地壳缩短和垂向的构造抬升吸收调节了天山地区至少一半的缩短变形。

库车褶皱冲断带（FTB）位于南天山南麓、塔里木盆地北部，晚新生代以来受南北向构造挤压变形，形成近东西向展布的多排构造带。研究区位于库车褶皱冲断带变形前缘的东段，在已有的高精度的磁性地层学基础上，对该褶皱冲断带进行了深入的古地磁和岩石磁学研究，以期将新构造变形与天山隆升联系起来。磁化率各向异性(AMS)结果表明约 5.3 Ma 时，磁组构由“铅笔状”组构转变为“初始变形”组构，即最小磁化率主轴 K3 由沿挤压方向呈带状分布变为垂直于地层，磁化率椭球体由拉长状变为压扁状，指示区域应力减少。这一时间与南天山前陆盆地同构造初始生长地层的时间和同期牙哈剖面垂直轴旋转的时间一致。这些证据表明，南天山山前在区域左旋剪切过程中伴随应变分配的转换挤压。而塔里木盆地中新世晚期以来发生的极端干旱化可以解释为由于天山的生长及其与帕米尔高原的最终碰撞而使周围的西风气流偏离了该地区，受其影响，通过西风带向塔里木盆地输送的水分减少，导致下风方向塔里木盆地的干旱化。

S82-P-3S

佳木斯地块三叠纪花岗岩的成因及地质意义

白文静[1]，董玉[1*]，葛文春[1]，杨浩[1]，王锶淼[1]

1 吉林大学，地球科学学院

* dongyugeo@jlu.edu.cn

造山带是地球岩浆活动和构造变质作用最强烈的地区之一，记录了大量与岩石圈形成和演化密切相关的地质事件。中亚造山带作为显生宙以来全球典型的增生型造山带，其形成与演化与古亚洲洋的开启、俯冲-增生-闭合以及古太平洋的俯冲过

程密切相关。中国东北地区位于中亚造山带的东段，经历了包括古亚洲洋构造域、古太平洋构造域以及蒙古-鄂霍茨克构造域在内的多个构造域的叠加与改造作用，为造山带的演化研究提供了理想场所。然而，目前关于古亚洲洋构造域向古太平洋构造域转换的时间尚存较大争议。佳木斯地块三叠纪岩浆岩作为两构造域转换过程中的重要地质记录，通过系统年代学与地球化学研究，不仅可以为查明三叠纪佳木斯地块构造演化历史提供重要信息，还可以为揭示古亚洲洋与古太平洋叠加转换机制以及古太平洋板块早期俯冲历史提供重要制约。

佳木斯地块依兰-桦南地区三叠纪花岗岩的岩石类型主要为白云母二长花岗、二长花岗岩和二云母二长花岗岩，锆石 U-Pb 测试结果显示这些花岗岩形成于早-中三叠世（250~245 Ma）。研究区花岗岩表现出高硅，富碱，贫铁镁钙的特征，并明显富集轻稀土元素和大离子亲石元素，亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素，具有典型的大陆岩浆弧特征，可能为角闪岩相铁镁质下地壳部分熔融的产物。结合锆石 Hf 同位素结果，其锆石 εHf(t)值为–6.52~+9.79，二阶段 Hf 的模式年龄为 0.6~1.7Ga，表明其岩浆应来源于相对年轻的地壳源区，在岩浆演化过程中可能有部分古老物质的加入。综合东北地区岩浆作用时空格架，认为研究区早-中三叠世花岗岩的形成可能与泛大洋（古太平洋前身）俯冲作用密切相关，而古亚洲洋在三叠纪之前已经基本闭合。

S82-P-4S

华北克拉通三叠纪碱性岩带揭示岩石圈地幔不均一性

刘旭 [1,2]，彭澎 [1,2*]，Ross Mitchell[1,2*]，王冲 [1]，康健丽 [1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* pengpengwj@mail.iggcas.ac.cn

* ross.mitchell@mail.iggcas.ac.cn

俯冲系统引起的交代作用会引起大陆岩石圈地幔的不均一性。幔源碱性岩通常由交代岩石圈地幔的低程度部分熔融形成；未受陆壳混染的硅不饱和碱性岩的同位素组成可以代表地幔源区的特征。华北克拉通在晚三叠世分布有罕见的环绕克拉通分布的碱性岩带，研究表明，它们形成时代基本同时，大多来自岩石圈地幔，是我们研究整个岩石圈地幔性质的重要载体。该碱性岩带主要集中分布在华北克拉通北缘、东缘和南缘，越来越多的年代学工作表明其均形成于晚三叠世，然而，他们的同位素特征却截然不同：北缘和南缘略富集，东缘则是极其富集。在源区性质上，岩石圈地幔的特征显示其分别经历了年轻和古老俯冲物质的改造。在区域构造上，与古亚洲洋、秦岭洋的洋壳俯冲和华南克拉通的大陆深俯冲相对应。华北这一独特的环克拉通碱性岩带很可能提供了一个研究实例，即，俯冲系统对上覆岩石圈地幔的差异性交代作用可能引发克拉通尺度地幔不均一性。另外，晚三叠世大规模碱性岩带的发育可能意味着大规模温室气体从地幔释放到大气层中，可能引发了晚三叠世的全球大气 CO_2 升高和全球变暖事件。因此，大规模碱性岩浆活动很可能是讨论岩石圈地幔演化和圈层间相互作用的重要研究对象。

S82-P-5

中生代晚期以来亚洲大地形演化的孢粉学证据

苗运法 [1,2*]，王雪莲 [1,2]，牛改红 [1,2]，张孜越 [1,2]，张腾 [1,2]

1 中国科学院西北生态环境资源研究院
2 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室
* miaoyunfa@lzb.ac.cn

重建青藏高原隆升过程对认识亚洲气候格局、生物多样性以及地貌景观均十分重要。然而，基于不同代用指标的古海拔重建结果仍存在较大争议。本研究主要基于已发表的文献和课题组前期的工作积累，选取对海拔响应敏感的山地针叶类—松科，并基于该类植物不同属种孢粉组合的百分含量特征，从地形时空继承性的角度探讨中生代晚期以来包括青藏高原在内的亚洲大地形的古海拔演化历史。现代生物学将松科植物划分为 10 属，主要包括松属、云杉属、冷杉属、雪松属和落叶松属等，主要分布在北半球。我们的大数据统计结果表明，除松属广泛分布以外，其余属种生态幅较窄，偏好冷湿环境，在高纬度地区呈现为地带性的低海拔分布，在中纬度则为垂直地带性的高海拔分布，特别是多种类型同时出现时，能够代表较为稳定的高海拔环境（随着纬度的降低，海拔更高）。分子系统学以及化石证据表明针叶类植物起源于石炭纪晚期，尽管不同属种演化的时间不同，但到白垩纪早期其分布格局已经基本形成。其中，在早白垩世的辽宁盆地和二连盆地，主要出现了与松属、云杉属以及雪松属相似的孢粉类型，还包括一些与柏科具有亲缘关系的无口器类型；但在天山-祁连山-秦岭-济南一线以南，这些松科花粉含量很低；结合古生物地理资料，早白垩世北部地区纬度较高，可能代表了偏冷的地带性植被特征（但也可能为较低海拔的垂直地带性特征）；在晚白垩世，东北地区的松科花粉仍然十分繁盛，部分花粉可以向南延伸到中纬度地区，代表着亚洲东部地区较高地形的存在，这与目前迅速发展的其他古高度计的研究结果较为一致；在新生代早期，亚洲东部地区的松科保持繁盛状态而西部偏少，可能预示着这种地形格局一直延续到新生代早期；但到了新生代晚期，东部地区针叶林含量较西部偏低，与目前东高西地的地形吻合较好，表明东部地形较前期下沉，而青藏高原地形已基本形成。结合课题组最新的孢粉古高度计研究结果（Miao et al., 2022, Science），孢粉组合的基本特征在 8 Ma 前后开始与第四纪时期较为接近，可能预示着类似于现今的亚洲大地形和气候环境的最终形成。未来期待与不同学科的专家通力合作，以期形成可靠的系统性认识。

S82-P-6S

中国阿尔泰-东准噶尔汇聚拼贴：来自额尔齐斯增生杂岩的证据

甘敬民 [1]，肖文交 [1*]，毛启贵 [1]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所，矿产资源研究中心
* wj-xiao@mail.iggcas.ac.cn

作为世界上最大的增生型造山带之一，中亚造山带(CAOB, Central Asian Orogenic Belt)主要由哈萨克斯坦、蒙古和塔里木-华北三大拼贴体系汇聚拼贴而成。新疆北部的中国阿尔泰-东准噶尔造山拼贴体东接蒙古拼贴体系，西连哈萨克斯坦拼贴体系，位于两大拼贴体系衔接的关键大地构造位置。传统上，以额尔齐斯断裂为界，中国阿尔泰-东准噶尔造山拼贴体主要由北侧的中国阿尔泰日本型岛弧和南侧的东准噶尔洋内岛弧系统组成。增生杂岩作为俯冲带上盘的重要大地构造相单元之一，相对连续地记录了洋盆的俯冲消亡及不同大地构造单元汇聚拼贴的演化历史，是对造山带进行解剖的最佳研究对象。

对中国阿尔泰与东准噶尔汇聚拼贴的额尔齐斯构造带富蕴段进行研究表明，额尔齐斯断裂两侧均有增生杂岩展布。额尔齐斯断裂南侧增生杂岩主要由北部构造混杂岩带、连续杂砂岩带和南部构造混杂岩带组成。北部构造混杂岩带主要由条带状

放射虫硅质岩、枕状玄武岩(N-MORB)、块状玄武岩(N-MORB 和 OIB)、辉长岩(OIB)和砂岩的岩块及粉砂岩-泥岩基质组成，发育典型的“基质夹岩块(block in matrix)”构造样式；连续杂砂岩带主要由大量块状杂砂岩组成，但其内部分布有长条状展布的硅质岩(±玄武岩)块体；南部构造混杂岩带主要由大量凝灰岩(Arc-related)、凝灰质砂岩、玄武岩(N-MORB 和 OIB)和少量的辉长岩(OIB)、安山岩块体及硅质岩基质组成。额尔齐斯断裂北侧增生杂岩主要由互相叠置的浊积岩、千枚岩、片岩和副片麻岩组成，其中片岩和副片麻岩中夹有透镜状的变基性岩(N-MORB, E-MORB 和 Arc-related)和条带状石英岩块体，同样发育典型的“基质夹岩块”构造样式。

额尔齐斯断裂两侧增生杂岩基质碎屑锆石年代学和 Hf 同位素与其南北两侧的杜拉特洋内弧(Dulate intra-oceanic arc)和中国阿尔泰的岩浆作用、碎屑锆石和 Hf 同位素特征对比分析，表明二者具有相同的物源特征，均显示出杜拉特洋内弧的物源特征，即额尔齐斯断裂两侧的增生杂岩其实为同一套增生杂岩的不同组成部分。额尔齐斯增生杂岩与其南侧杜拉特洋内弧的大地构造相匹配关系表明 Ob-Zaisan 洋发生了南向俯冲作用。增生杂岩中最年轻基质的形成时代为晚二叠世，表明在晚二叠世的时候中国阿尔泰和杜拉特岛弧仍被宽广的大洋所分隔。

S82-P-7

东天山晚古生代地壳多重增生与成矿作用相应

韩春明[1,3*]，肖文交[2,3]，毛启贵[3]，敖松坚[2,3]，宋东方[2,3]，谢明材[1]，李紫源[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，院矿产资源实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化演化国家重点实验室

3 中国科学院新疆生态与地理研究所，中国新疆矿产资源研究中心

* cm-han@mail.iggcas.ac.cn

中亚造山带是全球最大的增生造山带，东天山位于中亚造山带的南缘，是研究中亚造山带地壳增生和成矿作用的理想场所和天然实验室；晚古生代古中亚洋多次俯冲作用，伴随有大量新生地壳物质增生（岩浆作用）和大规模成矿作用发生；东天山地区已经成为我国重要的内生金属矿集区和矿产后备基地，已经受到国际矿床界和矿业界的广泛关注。东天山大规模矿产勘查起始于上个世纪 70 年代的铁矿会战，后续的新疆”305“项目、973 项目、大地调项目和深地资源项目相继在东天山投入了大量的地质工作，导致东天山不断有新的矿床发现。1994 年土屋-延东铜矿床的发现，揭开了东天山矿床发现的序幕，在该地区后来又相继有不同类型矿床的发现，如 MVT 型铅锌矿床（彩霞山）、岩浆铜镍硫化物矿床（图拉尔根、月亮湾、路北、白石泉和天宇等）、VMS 铜铅锌银矿床（红海、黄土坡等）、造山型金矿（天运、黑山）和斑岩型铜钼矿床（帕尔塔格西、东戈壁等），显示了东天山具有很好的资源潜力和成矿前景。东天山地区位于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块的交汇部位，二者以康古尔塔格断裂带（强应变构造带）为界，该断裂带以北为大南湖-头苏泉岛弧带，该岛弧带发育有卡拉塔格矿集区，该断裂以南为阿奇山-雅满苏岛弧带，分布有大量海相火山岩型铁矿（雅满苏、阿奇山、白山泉铁矿），康古尔塔格强应变构造带分布有大量造山型金矿床，如康古尔、石英滩、红石、元宝山等。地壳增生和成矿作用是国际矿床学研究的前沿领域； 东天山作为中亚造山带的重要组成部分，在晚古生代地壳演化过程中经历了板块俯冲、碰撞造山大规模走滑剪切和后造山演化阶段，在每个构造演化阶段都伴随有地壳增生和大量有用金属元素的堆积。按照地壳增生和成矿作用关系，研究区晚古生代主要有如下几种矿床

类型： 1）晚泥盆世—早石炭世增生前形成的 Cu-Mo-Au-Ag 矿床，如土屋、延东、帕尔塔格西等斑岩矿床； 2）早石炭世增生前形成的 Fe-Cu-Pb-Zn 矿床，如雅满苏、小热泉子； 3）晚石炭世—早二叠世增生后形成的造山型 Cu-Ni-PGE 矿床，如黄山、黄山东、葫芦、图拉尔根； 4）晚石炭世—早二叠世增生后形成的造山型 Au-Cu 矿床，如康古尔、石英滩等。上述矿床在形成过程中既有地壳的水平增生，也有地壳的垂向增生作用。不同的构造演化阶段，伴随有不同的成矿发生，导致研究区已经构成了我国重要的内生金属矿床富集区和矿产后备基地。

S82-P-8

古亚洲洋俯冲形成安第斯型高原驱动华北二叠纪干旱化

宋东方 [1*]，肖文交 [2]，敖松坚 [1]，毛启贵 [2]，万博 [1]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

2 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心

* dfsong@mail.iggcas.ac.cn

盘古大陆拼合期间的大陆演化与晚古生代气候变化之间的相互关系，包括全球变冷和全球干旱化，仍然是一个未解之谜。华北北缘石炭-二叠纪地层记录了古亚洲洋增生造山过程和由湿润向干旱的环境变化过程。我们确定了记录华北地区气候变化的二叠纪—早三叠世沉积物的物源，并估算了古海拔，以约束泛大陆东北缘大陆拼合过程的构造-气候相互作用。碎屑锆石 U-Pb-Hf 分析表明，沉积物来源于早前寒武纪古老基底及其上的晚古生代(4.1 - 2.6 亿年前)大陆岩浆弧，缺乏中亚古生代新生弧的物源输入。这些沉积物被解释为沉积于古亚洲洋俯冲作用形成的华北北缘安第斯型弧背前陆盆地。全岩 La/Yb 估算的地壳厚度平均值为 58±11 km，对应的古海拔为 3.8±0.7 km。研究结果表明，华北北部存在一个类似安第斯高原的造山带，该造山带阻挡了来自古亚洲洋的水汽输送，是引发二叠纪干旱化的重要构造驱动机制。

S82-P-9

西南中亚造山带泥盆纪弧-弧汇聚的识别：来自四射珊瑚生物古地理多元分析的证据

张孟 [1,2*]，王国灿 [2]，张雄华 [2]，肖文交 [1,3]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

* mzhang@ms.xjb.ac.cn

弧-弧汇聚广泛发育在现今西太平洋地区，是增生造山过程中常见的地壳拼贴形式之一。由于弧-弧汇聚过程密切受控于洋壳俯冲，岛弧内的岩浆特征往往不会发生显著变化（Maruyama et al., 2011），且类似“日本-伊豆-小笠原”弧-弧拼贴过程中形成的缝合带范围往往较为狭窄，对区域源-汇体系分布的影响非常有限（Soh et al., 1991），因此，弧-弧汇聚和拼贴在地质历史时期的增生型造山带中往往难以被识别。考虑到两块体间不同时期底栖生物相似性的变化是识别两块体构造地理演化的有效手段（Shi, 2001），因此，本研究拟通过对中亚造山带及其邻近区域主要泥盆纪构造单元内四射珊瑚古地理区系的演化，来识别其中的弧-弧拼贴事件。对关键构造单元内早-中泥盆世四射珊瑚数据的补充搜集发现，大南湖-哈尔里克岛弧内早泥盆世与中泥盆世四射珊瑚呈现截然不同的特征，前者广泛发育以 *Syringaxon* 属为代

表的小型单体无鳞板分子，后者则以鳞板带或泡沫板发育的中-大型单体四射珊瑚分子为主。基于聚类分析和非度量多维尺度的多元分析结果显示，早泥盆世，大南湖-哈尔里克岛弧与同处于北方生物大区的东准噶尔、额尔古纳-兴安等地体存在显著的生物地理联系，而与中天山岛弧-南天山杂岩等位于特提斯大区的构造单元存在显著的生物地理隔离，至中泥盆世，大南湖-哈尔里克岛弧则开始与中天山岛弧-南天山杂岩发生大规模的物种交流，指示其在中泥盆世已与中天山岛弧-南天山杂岩等构造单元同属特提斯生物大区。综合考虑四射珊瑚的繁殖方式、古纬度和洋流分布等因素，本研究认为，大南湖-哈尔里克与中天山两岛弧在早泥盆世处于古亚洲洋内不同的纬度带，两者之间隔有广袤的大洋，至中泥盆世，大南湖-哈尔里克岛弧逐渐向中天山岛弧汇聚，导致原本生长在中天山岛弧附近的四射珊瑚分子扩散至大南湖-哈尔里克岛弧附近。综合考虑区域泥盆-石炭纪岩浆岩和物源的演化趋势，以及增生杂岩的时代及分布，推断大南湖-哈尔里克岛弧与中天山岛弧在泥盆纪发生了类似于现今“日本-伊豆-小笠原”的弧-弧汇聚。然而，这一弧-弧汇聚虽然可能导致局部的块体拼贴，但并未导致大范围内岩浆特征和源-汇体系的显著变化，环绕两岛弧的洋盆仍在持续俯冲，并可能于晚二叠世-三叠纪期间伴随多拼贴系统的斜向汇聚发生最终的闭合。

S82-P-10

平行于海沟洋中脊俯冲：解析新疆西准噶尔-天山地区志留纪-泥盆纪造山带结构演化

张继恩[1*]，陈艺超[2]，肖文交[1,2,3]，尹继元[4]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院大学

3 中国科学院新疆生态与地理研究所

4 中国地质科学院地质研究所

* zhangjien@mail.iggcas.ac.cn

近平行于海沟的洋中脊俯冲造成特征的造山带结构变化，以北美加州-加州湾地区为例：（1）洋中脊俯冲之前发育正常俯冲带；（2）洋中脊俯冲时：a）其下方岩浆打入到早期增生楔之中，形成一条产出有埃达克岩和 A 型花岗岩的短寿命岩浆岩带，与长寿命主岛弧岩浆岩带共同构成近平行展布的双岩浆岩带，b）俯冲的洋中脊折返至地表，撕裂早期俯冲带，形成新生洋盆，分隔早期的增生楔-岛弧带和双岩浆岩带，c）被撕裂出来的早期增生楔之上可沉降浅海相-陆相沉积物，停止岩浆活动，形成似被动陆缘。

中亚造山带完整地经历并记录了整个古亚洲洋的俯冲消减过程，包括洋中脊俯冲及其产生的构造样式，产生与现今大洋俯冲类似的造山带结构。位于中亚造山带核心区域的新疆西准噶尔南部-中天山北部-北天山与北美西海岸地区有类似的造山带结构：a）西准噶尔的谢米斯台-玛依勒-巴尔雷克-唐巴勒早古生代（477-415 Ma）增生楔可类比加州西部-Baja California 增生楔；b）增生楔中侵入有稍年轻的岩浆岩，如西准的 446-380 Ma 岩浆岩，一些岩浆岩为埃达克质岩和 A 型花岗岩；c）早期增生楔之上沉降稍晚期的浅海-陆相沉积岩，如西准的泥盆纪地层；d）长寿命中天山岛弧带（477-300 Ma）可对比于 Sierra Nevada-墨西哥内陆的岛弧带，与侵入增生楔中的短寿命岩浆岩带构成双岩浆岩带；e）新生洋盆略晚于双岩浆岩带，如西准达拉布特-白碱滩和北天山巴音沟-奎屯河-贝勒克蛇绿岩洋壳（<414 Ma）；这些新生洋盆撕裂并分隔了双岩浆岩带和早期的增生楔-岛弧。

因此，西准噶尔-北天山-中天山北缘地区在志留纪-泥盆纪发生了近平行于海沟的洋中脊俯冲：a）477-447 Ma 该区域发育正常俯冲带；b）446-415 Ma 发生近平行于海

沟的洋中脊俯冲，发育短寿命双岩浆岩带；c）414-380 Ma 俯冲洋中脊折返至地表，撕裂早期俯冲带，形成年轻的达拉布特-白碱滩-贝勒克洋壳，海沟也由西准噶尔迁移至中天山北缘；d）379-349 Ma 被撕裂的早期增生楔内停止岩浆活动，沉降泥盆纪浅海相-陆相沉积物；中天山北缘继续俯冲，产生持续的岩浆活动和构造变形；新生洋盆进一步形成北天山巴音沟-奎屯河洋盆。

近平行于海沟的洋中脊俯冲模型不仅合理地解释了北疆地区志留纪-泥盆纪的造山带结构变化，而且表明造山带内一些短寿命岩浆岩带可能是俯冲洋中脊对应的岩浆岩带。

S82-P-11

中亚造山带南缘（敦煌赤金地区）晚二叠-中三叠世岛弧变质作用：对古亚洲洋最终闭合的限定

王浩[1*]，肖文交[1]，李睿[1]，陈泓旭[2]，谭舟[1]，毛启贵[1]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所

2 中国地质科学院

* wanghao@ms.xjb.ac.cn

造山带中的高变质杂岩或地体由于具有记录多期次构造-热事件的能力，在重建造山带动力学过程及和大地构造演化历史中起着重要作用。敦煌地区赤金杂岩位于中亚造山带最南缘，由（含石榴石）云母石英片岩、长英质片麻岩、角闪片岩以及斜长角闪片麻岩等强烈变形的中、高等级变质火山-沉积岩组成，对古亚洲洋晚期的时空演化过程具有重要制约作用。而在传统的构造重建中，该套杂岩一直被认为是一个微大陆的前寒武纪基底。本研究通过详细野外考察、地球化学研究和碎屑年龄谱分析，显示了赤金地区陆缘岛弧岩浆底辟的构造、岩性及地球化学特征；通过变质相平衡模拟和矿物温压计计算重建了赤金杂岩的逆时针型的变质 *P-T* 轨迹和高 *T/P* 的构造环境地温梯度（~24 ~ 37°C/km），揭示了赤金杂岩的变质作用受控于俯冲带上盘岛弧岩浆底辟过程。变质角闪石、黑云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 以及锆石 U-Pb 定年表明，在晚二叠至中三叠世（~252-237 Ma）期间，古亚洲洋南向俯冲仍在持续并形成岛弧岩浆-变质作用，限定其最终闭合时限很可能为晚三叠世。本研究为重新定义中亚造山带最南缘的高变质体为“年轻”岛弧变质杂岩而不是传统认为的“古老”陆块基底提供了一个新的视角，同时也为识别全球造山带中变质岩相相似但为不同起源的变质杂岩或地体的构造属性提供了一个可参考的案例。

S82-P-12S

增生杂岩记录了强烈的俯冲侵蚀：以黑龙江增生杂岩为例

徐梦雨[1]，肖文交[1,2*]，刘恺[3]，万博[1]，Ross N. Mitchell[1]

1 中国科学院大学，地质与地球物理研究所

2 中国科学院大学，新疆生态与地理研究所

3 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* wj-xiao@mail.iggcas.ac.cn

地震和钻井资料显示，现今俯冲带广泛发育着俯冲侵蚀。然而，在古老俯冲带中则很难确定俯冲侵蚀所产生的影响，这限制了我们对于俯冲带大陆增生与地壳破坏的关系的理解。本研究通过对中国东北中生代俯冲相关的增生杂岩的解剖，提出了一种识别古老造山带曾经存在强烈侵蚀过程的方法。在黑龙江增生杂岩中的变质沉积基质中出露大量强变形的角闪岩块体，这些块体的原岩为基性大陆弧岩浆，

在约 255 ~ 249 Ma 间侵入上覆板块的下地壳，并在随后 1 ~ 10 Myr 内，持续遭受后续弧岩浆的加热，从而发生角闪岩到麻粒岩相变质。根据现今俯冲带估计，岩浆弧与海沟之间存在约 100-300 km 的弧前地壳。为了解释这些陆弧属性的角闪岩在增生杂岩中出现的原因，本研究提出，随着俯冲侵蚀带走了大量的弧前地壳，俯冲界面向上覆大陆块推进；在 210 ~ 190 Ma 期间，这些角闪岩被刮入俯冲通道，其中的一部分沿着俯冲通道折返，并最终就位于黑龙江杂岩之中。本研究提出，增生杂岩中出现上盘弧地壳的岩石，可能可以作为古俯冲带中曾发生强烈俯冲侵蚀的证据。这一研究这有助于进一步理解活动大陆边缘的地壳生长演化。

S82-P-13

东北亚大陆边缘白垩纪中期的构造转换及其影响

刘恺[1*]，肖文交[2]，张进江[3]，刘俊来[1]，万博[4]，敖松坚[4]，徐梦雨[4]

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 中国科学院，新疆生态与地理研究所

3 北京大学，地球科学与空间学院

4 中国科学院，地质与地球物理研究所

* k.liu@cugb.edu.cn

早-晚白垩世之交，我国东部发生了由强烈的伸展到多期次挤压的构造体制转变。这种转变在我国东北地区的主要表现为，松辽、三江等盆地群由断陷期进入凹陷期；强烈的陆内岩浆活动向东迁移、消失；大型 NNE 向的走滑断裂从左行走滑为主转变为以逆冲作用为主。然而，这种构造体制转变在岩浆弧区域(俄罗斯远东)如何响应？该事件的动力学成因背景又是什么？这些问题制约着我们对于白垩纪东北亚演化的认识。本研究以俄罗斯远东锡霍特-阿林造山带的弧岩浆为研究对象，通过全岩主微量与同位素地球化学、年代学数据，发现俄罗斯远东地区早、晚白垩世的弧岩浆存在明显差异，反映了不同的岩浆成因与构造环境，与我国东北保留的地质记录存在对应关系。本研究认为，早白垩世时期，俄罗斯远东的弧岩浆表现为基性-酸性端元混合、深部-浅部来源共存的特点，暗示岩浆弧区域处在相对伸展的构造应力场，深部岩浆更容易上升至弧地壳；晚白垩世时期，弧岩浆则以高硅的 I-S 型花岗岩为主，暗示岩浆弧处在挤压应力场，深部岩浆难以上升，而是堆积在下部地壳，发生长期的分异过程。这一发现说明，我国东北白垩纪中期的构造体制转换事件在岩浆弧地区亦有明确响应，可能与古太平洋俯冲方向转变或地体增生/碰撞有关。

S82-P-14

中亚造山带南缘东天山康古尔俯冲杂岩二叠纪-三叠纪构造变形历史研究

毛启贵[1*]，肖文交[1]

1 中国科学院新疆生态与地理研究所，矿产资源中心

* qg-mao@ms.xjb.ac.cn

康古尔俯冲增生杂岩位于中亚造山带南缘的东天山造山带北部，沿着位于大南湖岛弧带和雅满苏岛弧带之间的秋格明塔什韧性剪切带分布。康古尔俯冲杂岩带被认为是古亚洲洋在东天山地区最终缝合带之一，是认识中亚造山带南部构造演化与成矿作用的关键，然而由于受后期强烈的构造改造，对该构造带构造属性和演化的认识都存在较大争议（Zhou et al., 2004; Xiao et al., 2004; Qin et al., 2011）。

康古尔俯冲杂岩带由于受俯冲-走滑挤压和伸展作用，以发育糜棱岩化、片理化和片麻岩化为特征，岩体普遍发育“σ”、“菱形”和“舌状”结构(Branquet et al., 2012;

Hu et al., 2021; Xu et al., 2003)。通过康古尔俯冲杂岩带东段的黄山东地区地层褶皱变形和岩体变形、年代学和力学分析研究。识别了 3 类倾伏不对称褶皱(e.g., 盆状“σ”形, S- and Z(W)形)，结合片发育特征，明确褶皱的形成与区域右行走滑和南北挤压作用有关；明确黄山东幔源基性-超基性岩体只是边部发生了右行挤压走滑断裂的脆性变形，发育类似于 S-C 组构特征的片理、旋转碎斑和南向推覆断裂等，黄山东基性-超基性岩体内部基本没有变形。褶皱变形的碎屑岩锆石年代学揭示其最大沉积年龄为 290Ma 和 251Ma，与带内基性-超基性岩-花岗岩形成时代一致，指示伸展时代约为 290-250 Ma。锆石和磷灰石 U-Pb 年代学厘定带内据“X”共轭特征花岗岩的结晶年龄为 249 Ma 和 245 Ma，反应挤压开始于 249 Ma。与区域 U-Pb 年代学研究显示该构造带变形时代为 293-228Ma，最年轻未变型的岩体时代约为 230 Ma 的结果一致。因此，我们提出二叠纪左行走滑伸展形成了黄山弧前沉积盆地和幔源岩浆活动，三叠纪右行走滑挤压形成了三类不对称褶皱和韧性剪切。结合区域变形特征、中亚造山带南缘二叠纪发育“山弯” 构造的特征，三叠纪塔里木板块斜向碰撞的大地构造背景，我们提出了二叠纪“山弯” 构造环境下洋中脊俯冲导致了康古尔俯冲杂岩和大南湖岛弧东西差异走滑伸展和岩浆铜镍硫化物成矿作用，三叠纪塔里木板块斜向汇聚形成了右行挤压走滑。

S82-P-15S

新疆西准噶尔晚石炭世高镁富铌岩浆岩：对中亚造山带南部多洋脊俯冲的启示

刘鹏德[1*]，刘希军[1,2]，肖文交[2]

1 桂林理工大学，广西隐伏金属矿产勘查重点实验室；广西有色金属隐伏矿床勘查及材料开发协同创新中心，广西 桂林 541004

2 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心，新疆 乌鲁木齐 830011

* 1423460547@qq.com

中亚造山带（CAOB）或阿尔泰山脉主要位于西伯利亚板块、华北板块和塔里木板块之间，是世界上最大的显生宙增生型造山带。中亚造山带古生代增生造山和陆壳生长作用与古亚洲洋的演化关系密切。西准噶尔地区位于中亚造山带的西南端，是认识古亚洲洋洋内俯冲和古亚洲洋分支洋盆—准噶尔洋构造演化的关键地区。因此理解准噶尔洋石炭纪构造演化是揭示古亚洲洋和中亚造山带西准噶尔地区构造演化和增生过程的关键。然而，对于西准噶尔地区石炭纪至早二叠世岩浆活动、地幔源区及构造演化仍然存在很大的争议，并且缺乏可靠的岩石学和地球化学证据。本文对西准噶尔玛依勒地区发现的一套高镁和富铌岩浆岩（闪长岩和安山岩）进行系统的地球化学研究，其中闪长岩和辉长闪长岩的 U-Pb 锆石同位素年代学显示其结晶年龄介于 306Ma~312Ma，表明这套岩浆岩形成于晚石炭世，具有正的锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$值特征，相对较年轻的 T_{DM} 模式年龄。玛依勒晚石炭世岩浆岩具有中等含量的 SiO_2（52.27~63.18 wt.%）、Al_2O_3（16.16~20.79 wt.%）和高的 Mg#值（＞45），类似于赞岐岩的低 La_N/Yb_N 和 Sr/Y 比值，属于赞岐质高镁安山质岩类。同时，大多数高镁岩浆岩具有高 Nb 含量（6.27~11.6 ppm）和 Nb/U（10~18），这些特征类似于富铌岛弧玄武岩。因此，它们属于富铌赞岐质高镁安山岩类。利用岩浆岩中单斜辉石温压计算结果表明，玛依勒样品的母岩浆在地幔楔中经历了高温（1137~1199℃）和浅层（0.8~0.17GPa）的部分熔融，揭示了晚石炭纪古亚洲洋南部的发生了洋脊俯冲作用。富铌高镁岩浆岩具有正的全岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$值（5.14~6.42）、$\varepsilon_{Hf}(t)$值（8.8~14.4）和锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$值（9.4~15.8），以及略高的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ 比值，为 0.703214~0.704140。岩浆岩的 Pb 同位素具有太平洋型 MORB 到印度洋型

MORB 过渡的特征，定量模拟计算结果显示其主要是由富集 MORB 地幔成分与≤3%的俯冲沉积物熔体的相互作用或混合形成的。综合前人及本文研究，表明早石炭世时期，西准噶尔地区以正常的洋内俯冲为主；早石炭世早期至早石炭世晚期，构造演化逐渐从正常的洋内俯冲转变为年轻大洋岩石圈的热俯冲；随后主要是发生晚石炭世洋中脊双向俯冲。由国家自然科学基金（92055208，418888101）资助完成。

S82-P-16

古亚洲洋地幔低 TH/U 特征属性及动力学机制

刘希军 [1,3*]，许继峰 [2]，肖文交 [3]

1 桂林理工大学，地球科学学院

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

3 中国科学院新疆生态与地理研究所，矿产资源研究中心

* xijunliu@glut.edu.cn

地幔化学不均一性揭示了现代大洋地幔域可分为两种类型：印度洋型地幔域和太平洋型地幔域，即在给定 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值时，印度洋型地幔比太平洋型地幔具有较高的 $^{208}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}$ Pb 和较低的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 特征。印度洋型地幔域与太平洋地幔域的同位素组成差异是基于空间尺度上对现代大洋地幔进行了域的划分，然而在时间尺度上，这两种地幔域的同位素组成差异在地球历史上可能已经存在，那么这两种地幔域是如何形成的，将从本质上理解和认识地球地幔的演化过程及地球深部动力学机制。研究认为印度型地幔域特征是一个长期存在的地幔特征，目前可以追溯到至少古生代时的特提斯洋地幔域。然而，对太平洋型地幔域的长期性还缺乏时间限制，还不清楚是否同印度洋型地幔域一样从古生代以来就一直存在。现今已消亡的古亚洲洋（Paleo-Asian Ocean, 简称 PAO）是地球历史上存在过的古洋，古板块重建设显示 PAO 是泛太平洋（Panthalassic Ocean）的一部分或者分支洋盆。PAO 古洋壳残余（蛇绿岩）保存在中亚造山带（CAOB）的板块缝合带中，本文对 PAO 蛇绿岩进行了系统的 Pb-Nd 多元同位素体系的研究。研究表明，古亚洲洋地幔具有与全球亏损上地幔相似的高 Sm/Nd（$^{143}Nd/^{144}Nd$）同位素演化特征，但却具有低 Th/U（$^{208}Pb^*/^{206}Pb^*$）太平洋型地幔同位素演化特征。因此，古亚洲洋地幔属性为太平洋型地幔，在时间尺度上可以将太平洋型地幔域特征追朔到 6 亿年时的古亚洲洋地幔。研究结果进一步揭示了印度洋型与太平洋地幔域是两个长期存在的地幔域，泛太平洋域和特提斯洋域不同的板块构造机制对地幔的影响，使得地幔逐渐演化成了现今的太平洋域低 Th/U 和印度洋域高 Th/U 两种类型的地幔，即泛太平洋域自显生宙以来是一个没有完全关闭过的开阔大洋域，其演化过程中，没有发生广泛的壳-幔相互作用，不会造成大量的壳源物质加入到地幔中，这使得泛太平洋地幔域保持了低 Th/U 的地幔特性；然而在特提斯洋域发生了长期的广泛的壳-幔相互作用，这使得特提斯洋地幔域长期的壳源物质加入而改造了特提斯洋地幔，最终形成了特提斯洋地幔域大规模的印度洋型地幔高 Th/U 同位素特征。本研究建立了地幔域属性及深部动力学与板块构造机制及造山带类型之间存在的内在成因联系，证明了板块构造和地球内部动力学之间的耦合机制。

S82-P-17

敦煌构造带南部晚古生代俯冲增生杂岩：对中亚造山带南缘大地构造格局的意义

石梦岩 [1*]，侯泉林 [2]，吴春明 [2]，程南南 [1]，王浩 [3]

1 河南理工大学，资源环境学院
2 中国科学院大学，地球与行星科学学院
3 中国科学院，新疆生态与地理研究所
* shimengyan@hpu.edu.cn

中亚造山带是地球表面最大的显生宙增生型造山带，也是研究造山作用的天然实验室。中亚造山带南缘如何向南扩展，对深入理解增生造山作用过程及中亚构造域与特提斯构造域的衔接关系具有重要科学意义。作为中亚造山带中段南缘的关键构造单元，敦煌构造带的大地构造属性长期备受关注且颇有争议。传统观点认为它是古亚洲洋南侧的前寒武纪大陆地块，并以大陆板块形式参与了古亚洲洋南缘的最终拼贴过程。然而，近年来的研究认为敦煌构造带卷入了古亚洲洋南部的俯冲增生造山过程，属于中亚造山带南缘的增生系统。这一争议限制了对中亚造山带南缘扩展方式及增生造山过程的理解。

就位于碰撞造山带的俯冲增生杂岩，代表古汇聚板块边界遗迹，记录大洋板块消亡和造山带形成过程的重要信息。敦煌构造带南缘红柳峡地区主要出露一套变质杂岩，由变质沉积岩、变质基性岩和大理岩等组成，广泛发育叠瓦式逆冲断层、韧性剪切带、紧闭-倒转褶皱和“基质夹岩块”组构。变质基性岩普遍记录了志留纪-泥盆纪“顺时针型”变质作用 *P-T* 轨迹，其赋存的围岩基质为浅变质的晚古生代海沟浊积岩。整体显示增生杂岩的岩石构造组合特征，但其中变质基性岩的原岩和来源尚不清楚，致使上述推论仍存疑。

针对以上问题，本研究对红柳峡杂岩中变质基性岩的产状和地球化学进行了综合分析。变质基性岩主要以构造岩块的形式裹杂于变质沉积岩中，显示“基质夹岩块”组构，或以构造岩片-推覆体形式产出。不活动微量元素组成显示 3 组不同组分，分别具有类似于洋中脊拉斑玄武岩、洋底高原碱性玄武岩、洋内岛弧钙碱性玄武岩的特征，表明变质基性岩的原岩属于大洋岩石圈物质组分。它们于早志留世至中泥盆世经历不同级别俯冲变质作用。基于此，认为红柳峡变质杂岩是形成于大洋板块俯冲阶段的俯冲增生杂岩，晚古生代之后就位于造山带内。这一结果证实敦煌地区古生代期间存在大洋板块俯冲过程，表明敦煌构造带的大地构造属性应为古生代造山带而非前寒武纪陆块。结合区域地质背景，敦煌造山带很可能属于中亚造山带的南延。

S82-P-18S

环罗迪尼亚超大陆俯冲的构造演化：来自新疆中天山地块新元古代花岗质岩浆活动证据

宋宇嘉 [1*]，刘希军 [1,2,3]，肖文交 [3]

1 桂林理工大学，广西隐伏金属矿产勘查重点实验室
2 桂林理工大学，广西有色金属隐伏矿床勘查及材料开发协同创新中心
3 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆矿产资源研究中心
* syj610@glut.edu.cn

中亚造山带西南部的中天山地块是罗迪尼亚超大陆构造重建中的一个重要地质单元，与罗迪尼亚超大陆聚合有关的新元古代岩浆岩广泛分布在中天山地块。然而，对中天山北缘新元古代早期的构造格局和演化知之甚少，从而限制了对中亚造山带前寒武纪构造演化的认识。因此，对中天山北缘冰达坂地区新元古代花岗质岩浆岩的研究将有助于我们理解前寒武纪基底的构造亲和力和罗迪尼亚超大陆演化。本文报道了冰达坂地区新元古代早期眼球状/片麻状花岗岩的地质年代、全岩地球化学以及 Nd-Hf 同位素数据。研究区内，花岗岩侵入体分布广泛，可细分为 A_2 型和 I 型花岗岩。其中 A_2 型花岗岩形成于 1002-992 Ma，I 型花岗岩形成于 975-911 Ma。

A_2 和 I 型花岗岩样品具有相似的微量元素和稀土元素地球化学特征，与俯冲相关环境中形成的岩浆特征相似。A_2 和 I 型花岗岩 εNd(t) 值分别为-1.64 至+6.87 和-5.72 至-1.20，Nd 二阶段模式年龄分别为 1.78 至 1.08 Ga 和 1.70 至 2.04 Ga，锆石 εHf(t) 值分别为-1.96 至+6.42 和-10.46 至+2.39，Hf 二阶段模式年龄分别为 1.98 至 1.48 Ga 和 2.45 至 1.67 Ga。综上，A_2 型花岗岩可能由再循环新生地壳在俯冲相关的伸展环境中部分熔融产生的，古地壳的参与程度较小；而 I 型花岗岩可能是随后从俯冲到同碰撞挤压的过渡环境中由古地壳部分熔融和少量幔源衍生物质混合形成的。中天山和伊犁地块相似的新元古代岩浆活动表明，新元古代期间二者具有类似的地壳演化历史和密切的构造和古地理关系。然而，中天山-伊犁地块和塔里木克拉通的基底年龄和同位素差异显著，认为中天山-伊犁地块在新元古代早期与塔里木克拉通没有密切的构造亲和力。新元古代早期罗迪尼亚超大陆的聚合过程中，中天山-伊犁地块可能是沿罗迪尼亚超大陆边缘发育的外部造山带的一部分。

S83-O-1

气候演变与低纬驱动钻探计划总体思路

周力平[1*]，党皓文[2]，李铁刚[3]，田军[2]，万世明[4]，熊志方[3]

1 北京大学，海洋研究院，城市与环境学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

3 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

4 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* lpzhou@pku.edu.cn

气候演变的过程与机制是地球系统科学的关键问题。国际大洋钻探计划的两大最辉煌历史成就之一，就是验证了气候演变的“米兰科维奇理论”。全球大洋海域实施科学钻探所获取的连续、高质量沉积物岩芯材料，已经初步建立了百-千年级别分辨率、覆盖新生代历史的全球性气候变化历史，发现了构造尺度、轨道尺度和海洋尺度的气候变化基本规律。然而，现有对新生代气候演变的认识，大多强调高纬冰盖的作用，对低纬水热循环、海洋碳循环以及高-低纬相互作用等关键环节的重要性缺乏深入探索，大大限制了对气候变化规律机制的全面系统的认识。

“面向 2035 国家大洋钻探中国科学执行计划”的“气候演变与低纬驱动”方向，将着重围绕低纬水文循环的气候效应、跨越冰期旋回的水碳循环、高低纬海洋气候相互作用等三个方面，阐述低纬海洋热量与海陆水循环、陆地降雨风化与海洋碳库、低纬过程与高纬过程的联系在不同时间尺度上的现有认识与重大挑战，从“低纬驱动”新视角的理论性探讨出发，对接国际上相关研究的前沿，为未来十年的国际大洋钻探计划的执行提供科学参考；在钻探选址和实施上，将紧密结合相关重大科学问题，突出亚洲边缘海、赤道西太平洋以及南北极关键海道等的科学意义和钻探必要性，通过设置从太平洋到南北两极的钻探航次，利用深钻、深潜、深网等技术联合作业，继续深耕“气候演变的低纬驱动”中国学派理论假说，吸引国际古海洋的研究力量，共同为实现海洋气候领域的科学突破作出贡献。

S83-O-2

南北两极互动中的低纬过程

李铁刚[1*]，熊志方[1]，秦秉斌[1]，唐正[1]，贾奇[1]，王家凯[1]

1 自然资源部第一海洋研究所

* tgli@fio.org.cn

印-太暖池利用水文循环和碳循环，在上-中-深三个水深层面通过大洋隧道、大气

桥梁与高纬过程联系。印-太暖池上层水体的高低纬联系聚焦到水热演化：南大洋积累的过量热通过浅层翻转环流向北输送至低纬海区；而 ENSO 可控制低纬热量向南大洋的输送。印-太暖池中层水体的高低纬联系聚焦到化学物质/性质演化：冰期旋回中南大洋可通过中层水对流（SAMW/AAIW）输送营养物质影响低纬生产力演化。印-太暖池深层水体的高低纬联系聚焦到碳库演化：南极/南大洋诸如西风带移动、生物泵、冰盖/海冰张缩是影响印-太暖池深层储碳的潜在因素；地质历史中 NPDW 加强可显著改变太平洋整体通风状况。上述高低纬联系机制共同塑造了印-太暖池在全球气候系统中的作用。

S83-O-3

低纬水热循环

党皓文[1*]，黄恩清[1]，王跃[1]，周力平[2]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 北京大学，城市与环境学院

* hwdang@tongji.edu.cn

太阳辐射是地球表层系统最主要的能量来源，且集中分布在低纬地区，造就了低纬地区在全球气候系统中的“水热引擎”关键角色。在万年时间尺度上，由于地球公转轨道和自转姿态的变化，低纬地区太阳辐射量的周期性变化，可能直接引发了海洋上层环流与热含量、水汽蒸发聚集、海陆水汽运移等关键过程的显著变化，揭示了全球气候演变“低纬驱动”机制中的水热循环物理基础。而在更长远的新生代构造时间尺度上，低纬大洋水道的开合、岛屿出露和高原隆升、洋盆边界形态的变动等，可以通过改组大洋和大气环流，对低纬水热循环产生重大影响。未来大洋钻探的科学执行，需要瞄准低纬海洋热量以及跨纬度、跨洋盆、海陆间的水热传输等关键科学问题，通过实施低纬关键海域的钻探航次，为解答气候演变的“低纬驱动”物理机制，提供关键证据。

S83-O-4

跨越冰期旋回的水碳循环

田军[1*]，万世明[2]，陈天宇[3]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

2 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

3 南京大学，地球科学与工程学院

* tianjun@tongji.edu.cn

在太阳辐射强迫下，新生代地表气候不仅表现出显著的周期性变化，具有与地球轨道参数 10 万年、4 万年和 2 万年周期相似的冰期旋回特征，其气候态更是以南极和北极冰盖的依次形成为标记，呈现出从暖室期到温室期到冷室期再到冰室期的长期变冷趋势，具有不受轨道驱动的千年时间尺度、跨冰期旋回和构造时间尺度上的演变特征，明显受到地内系统的反馈机制控制。大气二氧化碳通过温室效应调节地表温度、进而调控水汽含量。碳循环与水循环的相互作用通过大气和大洋环流调节经向上的水热输送，并最终影响地表气候。以往的研究重大西洋，轻太平洋，重 AMOC，轻 PMOC，突出巴拿马海道而忽视印尼海道，重视高原隆升导致的花岗岩慢风化作用而轻岛弧隆升导致的玄武岩快风化作用，也缺乏对硅酸盐风化和有机碳埋藏等长期碳汇效应的定量重建。而在千年时间尺度上，即便我们已经认识到了中低纬过程在引领高纬环流与生物地球化学变化中的决定性作用，我们仍然缺乏对高纬度深海储碳和表层海洋生物泵、碳化学演变的研究。未来的大洋钻探应围绕这些科学问题进行布局。

S83-O-5

大洋俯冲带板块运动钻探计划总体思路

林间[1,2*]，俞恂[3]，张帆[2]，张国良[4]，孙珍[2]，周志远[1]，张运迎[2]

1 南方科技大学，海洋科学与工程系
2 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室
3 同济大学，海洋地质国家重点实验室
4 中国科学院海洋研究所
* linj@sustech.edu.cn

大洋俯冲带板块运动是国际大洋钻探中国科学执行计划优先选择的科学主题和方向之一，是地球系统科学研究的关键问题。该方向通过凝练聚焦“现代俯冲过程”、“俯冲带与大地幔楔”、“汇聚大背景下的扩张与南海”三大科学主题，以期解决俯冲带的普适性科学问题，揭示南海与周边大洋板块的相互作用，认知超级大陆与超级大洋的连接。

大洋俯冲带板块运动的大洋钻探将围绕全球普适性关键科学问题开展，符合国家重大需求，并充分发挥中国优势，在科学目标与钻探选址上错位发展；突出亚洲、西太和印度洋的地域特色，连接南海与边缘海，充分发挥“一带一路”的国际特色；进一步提升中国大洋钻探、组织和主导国际重大计划能力，突破大洋钻探“卡脖子”技术，培育下一代战略科学家、青年科学家和综合技术队伍。中国大洋钻探将在大洋俯冲带板块运动方向上深入聚焦，通过深钻、深潜、深网并联合多元化方式，在地球俯冲带研究方面实现突破，丰富创新俯冲带研究中的“中国学派”，并最终形成国际海洋地球科学的重大突破。

S83-O-6

俯冲动力过程科学问题与钻探建议

张帆[1*]，林间[1,2]，周志远[2]，丁巍伟[3]，张国良[4]，李洪颜[5]，徐敏[1]，高翔[4]

1 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室
2 南方科技大学，海洋科学与工程系
3 自然资源部第二海洋研究所
4 中国科学院海洋研究所
5 中国科学院广州地球化学研究所
* zhangfan@scsio.ac.cn

俯冲带汇聚型板块边界，是地球内部的物质与化学成分循环、岛弧与陆壳形成的重要场所。全世界 90%的大地震与海啸发生在俯冲带。大洋钻探对于研究俯冲带动力学过程具有不可替代的作用。钻探获得的岩芯样品可用于研究岛弧的地球化学演化历史，还可研究海沟附近深断层带入地幔的水引起的深部蛇纹岩化等。建议综合多观测手段，包括大洋钻探、地震学、电磁学等，并结合动力学模拟，重建地震、海啸、火山喷发历史；开展跨断层钻探岩石摩擦实验，破裂动力学理论研究。针对大洋钻探研究区域，以马里亚纳海沟为典型，对比其他俯冲带，例如马尼拉海沟、千岛群岛、东南亚环形俯冲带等，研究俯冲起始与演化、俯冲流体作用、岛弧岩浆过程，以及俯冲带大地震控制机制等重要科学问题。

S83-O-7

西太平洋板块俯冲和物质循环对大地幔楔成因的启示

张国良[1*]

1 中国科学院海洋研究所
* zhangguoliang@qdio.ac.cn

“大地幔楔”是俯冲板块在地幔过渡带滞留、并与上覆地幔和上覆板块相互作用而形成。大地幔楔是弧下地幔楔的进一步延伸，也是板块构造体系的拓展，对认识板块俯冲引起的物质循环（如水、碳等）和上地幔组成结构改造有重要意义。大地幔楔通常被地球物理探测在东亚大陆下部

发现，但其成因机制与俯冲板块的联系还不清楚。现今西太平洋保留了各个阶段的板块俯冲体系（不同俯冲板块类型、俯冲角度、俯冲速率），这些俯冲体系的火山活动（岛弧、弧后、盆地板内火山等）可能记录了不同深度和形式的俯冲带-上地幔相互作用模式。通过大洋钻探获取沟-弧-盆体系基岩样本并开展系统研究，是开展俯冲板块与上覆地幔相互作用、以及大地幔楔成因机制的重要途径。该报告将介绍板块俯冲与地幔楔相互作用模式，以及通过大洋钻探研究俯冲物质循环和大地幔楔形成机制的方法和途径。

S83-O-8

板缘张裂的多样性与发育机制

孙珍[1*]，林间[1]，俞恂[2]，张运迎[1]

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质重点实验室

2 同济大学

* zhensun@scsio.ac.cn

三轮国际大洋钻探结合深部综合地球物理探测证实，发育在俯冲背景上的南海，其陆缘与洋盆结构、岩浆活动特点以及沉降沉积特征都表现出与大西洋、印度洋陆缘和海盆的极大不同，因此中国学者们提出了“板缘张裂”的概念，以与经历大陆裂解演化而成的“板内张裂”型陆缘进行区别。这一概念的提出既是对原有板块构造学说的补充，也引发了对板缘张裂型陆缘结构特点、构造多样性及其影响机制的思考。为了进一步系统认识板缘张裂的发育机制及其对全球的意义，团队对南海及全球多个边缘海盆调研的基础上，提出了针对以下四个普适性科学问题的钻探建议：（1）板缘张裂构造多样性的控制因素：从板缘盆地与俯冲板片应力关系的角度，板缘张裂可分为主动、被动和走滑三大类，但每一类盆地内部都表现出极大的结构与破裂方式的横向不均一性，这种不均一性的控制因素尚需不同类型陆缘的钻探检验；（2）板缘张裂海盆的跃迁机制与岩浆活动特点：以南海为代表的板缘海盆，历史上曾发生过至少一次扩张脊的整体跃迁，但残留扩张脊附近未揭示明显热点作用导致洋壳增厚的迹象，同扩张玄武岩地球化学特征有的揭示富集地幔特征，有的正常，对比地球物理成像，推测南海洋盆地幔转换带处平躺的不连续的古俯冲板片造成了深部热点岩浆的不均匀喷出，这种喷出作用是否导致了扩张脊跃迁和洋盆成分的不均一性都需要钻探证实；（3）板缘张裂与板内张裂的差异及机理：沉降史分析表明，板内张裂洋盆的水深变化符合半冷却空间模型，但多数板缘张裂洋盆的沉降作用都不符合半冷却空间模型，对比深部地球物理观测，推测受俯冲作用影响滞留或下沉的俯冲板片所产生的动力地貌效应可能是塑造板缘海盆的一个重要机制，然而这种机制的认识是否正确，还有哪些因素造成了 板缘张裂和板内张裂的差异，有必要开展更多的钻探与地球物理探测和动力学模拟的结合去检验；（4）板缘张裂旋回及 Moho 不整合面的成因机制：基于陆地研究 Wilson 提出了 Wilson 旋回，近期有学者提出大洋有自己的演化旋回，那么边缘海演化是否有旋回？旋回的周期多长，控制因素是什么？这些都需要对包括花东海盆等更多板缘盆地开展深时的研究与钻探，才能更好的回答板缘张裂的旋回问题；另南海和菲律宾海盆等残留洋脊附近常保留了最薄的洋壳，为钻遇 Moho 面提供了合适的钻探站位。基于上述四个方面的科学问题，团队给出了初步的钻探区域建议。并期待通过更多的讨论和建议收集，进一步丰富板缘张裂系统深入研究。

S83-O-9

海洋深部生物圈与碳循环

王风平[1*]，彭晓彤[2]，李江涛[3]，吴自军[3]，李季伟[2]，董良[1]

1 上海交通大学

2 中国科学院深海科学与工程研究所

3 同济大学

* fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋深部生物圈是地球生态系统的重要组成部分，广泛分布于深海沉积物和洋壳岩石圈中，并在全球物质和能量循环中起着重要作用，迫切需要我们综合多学科的研究手段对其进行全面的评估和研究。作为面向 2035 国际大洋钻探中国科学执行计划优先选择的三大专题之一，该专题计划聚焦“深部生物圈与碳循环”、“深海底部的流体活动”和“深部生命与元素循环”三大方向，探索海洋不同地质单元中栖息深部生命的组成、生理代谢特征、环境适应机制及其与地质、地球化学过程的互反馈机制。本专题在实施过程中，将与“大洋俯冲带板块运动”专题紧密结合，围绕“两洋一海”（西太平洋、印度洋和南海），综合利用深钻、深潜、深网等多元化的研究手段，实现在地球深部生命领域的重大发现与理论突破。

S83-O-10

俯冲带深部生物圈碳循环

李季伟[1*]，彭晓彤[1]，李元[2]

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 中国科学院广州地球化学研究所

* lijiwei20025@idsse.ac.cn

俯冲带是地表圈层与地球深部进行物质与能量交换的关键枢纽。每年有数百万吨碳进入俯冲循环，部分碳以变质脱碳、溶解或底辟作用等方式从俯冲板片中脱离，形成全球碳循环的重要环节。同时，俯冲构造应力形成的断裂结构，为下地壳水岩反应提供了流体输运通道，引起的有机碳无机合成或化能生命合成过程，可能孕育着地球最深的生物圈。近年我国载人深潜在马里亚纳海沟最南端弧前区发现的流体成因碳酸盐岩海山，其深部结构及其与俯冲碳关联的揭示，可能会改写全球俯冲碳收支模型。通过大洋钻探，对俯冲带洋壳中碳形态、分布与成因机制开展研究，揭示其与深部生物圈内在联系，定量评估其在全球碳循环中的作用，将具有异常重大的科学价值。

S83-O-11

海底深部流体观测

吴自军[1*]

1 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* wuzj@tongji.edu.cn

从大陆边缘到深海盆地、从洋中脊到俯冲带广阔范围的海底均存在地下流体，这些地下流体在地形、构造、热等地质物理因素的驱动下在沉积物和岩石中穿梭运动。同时，近些年的研究发现洋壳岩石中广泛存在自养或异养微生物，微生物的作用在一定程度上会促进水-岩反应。由于洋壳在全球海底分布广泛，体积庞大，故海底深部的生物地球化学过程对全球海洋物质循环的作用不容忽视。随着深海钻探计划（DSDP）、大洋钻探计划（ODP）和综合大洋钻探计划（IODP）的实施，一些用于开展海底井下观测的技术和装置（CORKs）相继发展起来。通过在海底打深钻，不仅为获取深部沉积物甚至基岩中的流体提供了条件，也为在钻井中开展深部地下流体进行长期观测和取样提供了绝佳的机会。

S83-O-12

海洋沉积物中黑暗固碳研究进展

董良[1*]，王风平[1]

1 上海交通大学，海洋学院
* dongliang@sjtu.edu.cn

微生物广泛分布于海洋水体、沉积物甚至于洋壳岩石圈中，对其逐步深入系统的研究，显著拓展了我们对生命生存极限、生存策略的认知。其中，深部生物圈的黑暗固碳作用为深部生物圈提供了不可忽视的碳源，其功能基因的活性、分布范围及是否具有新的代谢途径都已成为生态学家关注的焦点。已知的研究表明，黑暗固碳作用涉及多种关键酶和代谢途径，这些研究为我们理解深部生态系统中微生物的代谢潜力和适应策略提供了重要线索。然而，由于技术手段的限制，这一研究还十分有限，现有的研究近局限于浅层沉积物，亟待更多的研究进行深入系统的探测。本报告将系统综述现有海洋沉积物生态系统中黑暗固碳作用相关的研究进展，并结合后续大洋钻探的工作计划提出研究展望。

S84-O-1

巍巍祁连，漫漫丝路

张培震 [1*]

1 中山大学，地球科学与工程学院
* zhangpeizhen@mail.sysu.edu.cn

祁连山跨甘肃和青海两省，东连秦岭-大别，西接阿尔金山脉，南瞰柴达木盆地，北望戈壁大漠，是青藏高原向北东扩展的最前缘。祁连山海拔 5000 米以上的山峰终年积雪，向北流淌的河流滋养着连缀而成的狭长绿洲，也就是连接中原和西域的“河西走廊”。除了塑造了绝美的自然风光，祁连山及河西走廊的魅力更多隐藏在历史关键事件中：张骞凿通西域、玄奘西天取经、隋炀帝西巡、霍去病策马----，祁连山及其孕育的“丝绸之路”一直在书写着自己的故事。那么，祁连山什么时候才开始成为地貌上的“巍巍祁连”？什么样的动力过程驱动着祁连山的形成？未来的祁连山在时空上将如何发展？综合构造地质学、深部地球物理学、低温构造热年代学、新生代沉积与地貌学、活动构造学等的研究结果，发现祁连山在地质年代上是一座非常年轻的山脉。从中生代晚期到新生代早期，祁连山及其河西走廊一直处于缓慢的剥蚀状态；印度板块与欧亚大陆碰撞引起的陆内变形可能在约 30 百万年左右才影响到祁连山一带，导致了柴达木盆地的沉降和祁连山的缓慢隆升；随后祁连山与柴达木和河西走廊共同形成了一个巨大的内陆盆地，直到 10-15 百万年前后，祁连山才发生剧烈构造变形，湖盆解体、山脉隆升、断裂活动、褶皱扩展，地貌意义的祁连山才奠定了雏形；第四纪以来，随着气候变化、侵蚀加剧、河流下切，构造变形继续向北东方向扩展，使得河西走廊由原来的前陆盆地变成了背驼盆地，形成了两侧有山的“河西走廊”；未来的祁连山将进一步向北东和南西方向扩展，柴达木与河西走廊盆地都将成为未来祁连山的组成部分。

S84-O-3

天府之国

孟庆任 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所
* qrmeng@mail.iggcas.ac.cn

中国有许多地方曾被冠以“天府”之名，即“富饶之地”之意。成都平原拥有“天府之国”美名已有一千多年历史，它不仅占据自然地理优势，而且有丰厚历史文化内涵。成都平原是四川盆地西部最大的冲积平原，加持在西侧龙门山和东侧龙泉山之间，由岷江倾泻的大量沉积物建造而成。四川盆地形成于中-新生代。三叠纪华北与华南地块碰撞拼合，形成秦岭-龙门山造山带。周缘山系逆冲推覆在上扬子地域形成了四川盆地的雏形。晚中生代华北与扬子地块继续斜向汇聚，导致四川盆地北侧大

巴山和西侧龙门山构造带进一步变形隆升。新生代印度-欧亚大陆碰撞和持续汇聚构建了青藏高原。晚新生代高原向北扩展形成了川西高原和导致龙门山以及横断山脉的强烈崛起。源于川西高原的岷江、沱江和嘉陵江为四川盆地提供了完善的灌溉水系。经过开明治水和李冰修堰，成都平原从此成为沃野千里、水旱从人、不知饥馑的乐土。湿润气候和丰沛降雨是成都平原的先天优势，与其所处地理纬度和周缘地貌直接相关。三国蜀汉丞相诸葛亮首次把成都平原称为“天府之国”，东晋常璩的《华阳国志》和唐代李白的优美诗篇使“天府”美誉名扬天下。宝墩、三星堆和金沙遗址记录了 3000 多年前古蜀国的历史，其文明程度可与中原文明媲美。该报告把地质、地貌、气候和水系演化与人文历史相结合，讲述天府之国的大故事。

S84-O-4

罗布泊与楼兰

秦小光 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* xiaoguangqin@mail.igcas.ac.cn

罗布泊，一个对许多人来说的神秘、遥远地方，不仅其著名的大耳朵形态使其世界闻名，西岸的古楼兰更令人心驰神往，小河的楼兰美女更是惊艳世人。罗布泊，欧亚大陆干极，地处欧亚大陆腹地，距离周围海洋都超 1200 千米，年降水量不到 20mm，蒸发量超过 3000mm，欧亚大陆干旱核心。罗布泊，塔里木盆地的汇水中心，盆地东端、塔里木河的古代尾闾大湖，南以阿尔金山脉与青藏高原为邻，北为天山余脉库鲁克塔格山脉，西邻塔克拉玛干沙漠，东北的克孜勒塔格是库鲁克塔格山地余脉，东南的阿奇克谷地勾连西域与东方，这里的库木塔格沙漠羽毛状沙丘举世罕见。罗布泊风沙天气频繁，风蚀强烈，雅丹面积全国居冠，湖区盐壳浩瀚广袤，全区现均为盐壳、雅丹、风沙等荒漠地貌，为中国三大无人区环境恶劣之冠。

罗布泊的独特地貌与青藏高原的持续隆升密不可分。塔里木和柴达木早第三纪以前同属古特提斯洋，印度板块向北的持续挤压不仅造成青藏高原的隆升，同时在高原北侧造成帕米尔-昆仑-阿尔金山脉向北和天山山脉向南的挤压逆冲，阿尔金山脉抬升分隔了塔里木和柴达木两大盆地，帕米尔隆升则彻底将古特提斯洋赶出塔里木盆地，塔里木盆地的沉积中心也经历了从西部喀什地区向东端罗布泊的迁移转变。

气候也是罗布泊干旱区地貌的直接塑造营力。来自蒙古-西伯利亚的寒流越过天山，在吐哈盆地东端汇合后向南，不仅在哈密南部形成南北向沙丘带，经库姆塔格沙漠翻越阿尔金山脉进入高原的柴达木盆地，而且在罗布泊强烈东北风吹蚀地表，为塔克拉玛干沙漠提供了丰富沙源。

罗布泊西岸是塔里木河三角洲，这里的绿洲人类活动历史悠久，从 3 万年前的旧石器石叶，到一万三千年的石磨盘、一万年前后细石叶、3-4 千年前的小河人、2 千年前后的古楼兰，5-6 百年前的元明灌渠，到清末沿湖伴而居的罗布人。这里的人群来来往往，文化兴衰更替，人群无传承、文化缺延续是这里文明演化不连续的最大特点。

以草编篓、石矛、权杖头、立木、船型棺、半地穴圆形居址为代表的小河人最早来自东方，又融入了不同来源的人群，沿孔雀河繁衍生息，最后因河水枯竭、绿洲退化，不得不向上游和其他有水支流迁徙，离开罗布泊。

以 LA 楼兰古城、LE 方城、LK 和 LL 古城为代表的楼兰遗址群是汉代班勇开始大规模兴建的屯戍遗迹，其铜印“张匝千人丞印”指示的官僚制度，斗检封“官律所平”指示的官方度量衡制度，五铢、货泉等钱币代表的官方金融体系，遗址中木构件榫卯结构代表的中原房屋建造技术，以铜镞铜镜顶针簪丝绸为代表的中原制造技术和文化因素，以象棋子为代表的民间娱乐方式，以蜀黍麦稻羊为代表的食物结构，灌

渠-耕地-涝坝-村落为一体的发达灌溉农业，以双行线为代表的道路交通系统，以楼兰道为纽带的中原西域交通大动脉，较多的外来人口均显示汉晋时期楼兰已是以中原文化为主导的西部国土，是丝绸之路的关键节点、中原入主西域的桥头堡。楼兰的兴盛加速了东西方文化的交流和融合，楼兰衰亡则导致丝绸之路中断、东西方交流的减少。

罗布泊周而复始的湖泊涨缩、绿洲雅丹交替是山区降水、河流丰枯的直接后果，是干旱区气候变化的直观表现。阶段性、脉冲式洪水是绿洲生态的典型特点，也是造成罗布泊文明不连续、人群无传承的根本原因，水多时绿洲出现、周边面临生存压力的人群迁移而来，文化融合、人群交流，水少时绿洲退化、风蚀加强，人群外迁，融合后的文化向周边传播。因此地处东西方之间最近通道上的罗布泊如同一道阀门，其环境变化是古代东西方文化交流与融合的放大器和加速器。

S84-O-5

西湖掌故

汪品先 [1*]

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* pxwang@tongji.edu.cn

天下不知道有多少个西湖，城西的湖泊都可以叫西湖，但是文化积聚如此深厚的，只有杭州的西湖。自唐宋以降，不知道有多少文人墨客赞颂西湖美景，留下了千古绝唱。2011 年更上升到国际高度，西湖被列为联合国“文化景观类”的世界遗产。

西湖景色在山不在水。百余年来诸多学者根据山势地形，提出了西湖成因的各种假说。1979 年从岩芯中发现了半咸水有孔虫化石群，证明原来真是个通海的泻湖，遭受钱塘江沙洲的封堵，方才演变成淡水的西湖。相似的泻湖相地层在太湖底下也有分布，证明是全新世晚期的海侵，淹没了从长江到钱塘江的广大河口区，从而也结束了华东沿海的良渚古文化。但是西湖能够在众多湖泊中脱颖而出，却是千余年来的事情。

西晋“八王之乱”引发的“衣冠南渡”，标志着中国的文化、经济中心开始逐步南移。隋朝江南运河开通，南宋王朝迁都临安，都给杭州提供机会，跃升成为全国的中心，城外的西湖也就相应变为群英聚会的胜地。经过千年的积累和历朝的修建，西湖将文化的精华融入各色景点，以至于这里的每道风景都镶有历史结晶的珍宝，不论是征战还是爱情。如今的西子湖畔，从岳坟到钱王祠，从雷峰塔到慕才亭，每一处都是一部长篇故事的遗址，都是千年文化的见证。

科研与科普：地球系统科学的启示

提升科学传播素养对本科生的培养意义

徐进 [1*]

1 广东海洋大学，海洋与气象学院

* 1791318298@qq.com

科学传播是公众精神素养提升的同时反向促进科研的积极活动。目前科学传播主要发生在科学展教场所，高校内大量科研资源与成果面向社会的推广往往需要借助这些平台作为载体。社会需要丰富科普人员的数量与构成，那么是否能够在高校内建立起一支主要以本科生组成的科学传播队伍呢？笔者曾接受国内高校学生科普素养系统教育，参与科学传播工作并与国内部分科普从业人员进行交流，认为提升科学传播素养对本科生有着深远的培养意义：1.在创新训练初期认识到工作的意义与价值，避免盲目进行数据生产。2.相较于早

期科研活动能够较为稳定的产出阶段性收获，从社会责任角度提升个人成就感。3.为未来更广泛的科学传播活动预设实践指导思想。

西北大学中、小学地学科普进阶式实践与研究

李青彦[1,2*]，张志飞[1,2]，封从军[1,2]，马维谦[1,2]，李哲萱[1,2]，杨建峰[3]，白琳[4]

1 西北大学，地质学系

2 西北大学，大陆动力学国家重点实验室

3 西北大学，附属小学

4 西北大学，博物馆

* lqy@nwu.edu.cn

为落实地学知识在青少年学习中的普及，推动地学科普在中小学生中由“大水漫灌”转向“精准滴灌”，在调研西安市地学科普活动现状的基础上，依托西北大学地质学系世界一流建设学科优势，本研究通过完善科普活动的设计流程，致力于打造体系化、品牌化的科普系列活动，在中小学生中开展了更为有效的地球科学传播和普及活动。

当前，在中小学生中开展的地球科学科普活动的教育内容大都处于碎片化状态，尚未形成系统化的科学知识普及体系。同时，由于不同教育阶段的学生处于不同的认知阶段，现有的科普活动尚不能针对他们的各自特点开展有序的地球科学知识普及教育。本研究对不同阶段的学生特点进行了分析，划分出科普活动的四个进阶阶段：以游戏活动为主的启蒙阶段---幼儿园、以基础知识+实践为主的探索阶段---小学、以搭建知识体系+实验为主的拓展阶段---初中、以竞赛为主的培优阶段---高中。

针对四个不同阶段，本研究积极挖掘区域优势资源和学科资源，对地学科普活动进行了系统化设计，提出了多元化的教育方法与途径。以秦岭---鄂尔多斯盆地为地学科普的主要载体，发挥千年古都西安的文化旅游特色优势，开发出了适合当下教育背景的进阶式地学科普系列活动，分别为：在地学扫盲阶段，开展“DR.Earth 的移动博物馆”活动；在初识地学阶段，开设“博物馆地学课堂”；在拓展学习阶段，推进“中小学校第二课堂”教学；在野外实践方面，创办了“秦岭课堂”；在深入学习阶段，设立了“地学小课题”。

与此同时，本研究积极发挥大学人才培养优势，吸收大学生志愿者作为科普教育的生力军，成立了“西北大学地学科普先锋”等大学生科普组织，积极培养科学普及力量。根据大学生特点，通过集体备课会、校园科普讲解等活动，开设出系列科普课程菜单，打造出一门完整的科普课程，并在西北大学附属小学等学校中开始授课，收到广泛好评。

通过该研究的实践探索，科普工作常态化运转的良性机制已初步形成，社会影响力逐步提升，系列活动正在向品牌化发展。同时，本研究提出的系列活动成为培养当代大学生社会责任担当意识和科学人文素养的重要载体，能够帮助在读大学生深入了解地学学习的价值和意义，提高他们的专业自信，激发他们投身科学的热情，在提高高校人才培养质量方面具有积极意义。

“双减”背景下地学高端科研资源科普化应用于中小学科学课程的探究与实践

白琳[1]，华洪[2*]，韩健[2]

1 西北大学，西北大学博物馆

2 西北大学，地质学系

* huahong@nwu.edu.cn

世界发达国家和部分发展中国家都十分重视从儿童开始的地球科学教育普及。尽管各国地球科学普及教育的内容、模式和方法等有所差异，但对中小学普及地球科学教育重要性的认识是一致的，并日益

深刻。然而截至目前，我国中小学涉及地球科学的知识点基本简单分散在科学、物理、化学、生物、天文，地理等学科，地球科学从小学到中学均无独立科目，往往是把地球科学知识镶嵌于地理的范畴内，这极不利于地球科学的发展。高等院校作为我国科普工作的重要阵地，在科普科教、科普宣传、科普人才队伍培养和科普志愿者队伍建设方面发挥着重要的作用。依托教育学相关理论，以西北大学地质学系自身科研成果和教师学生资源为基础，积极将地学专家、科普共建场馆和知识资料有效整合起来，联合更多的青年科技工作者积极投身科普工作，不断完善中小学生地学科学课程进阶体系；以系统性多种类，多阶段，递进式的科普内容和科普活动为手段，努力将地学知识与中小学素质教育实践探索融会贯通，为广大中小学生提供科学、有趣的地学科普课堂，同时为对地学有兴趣且学有余力的中学生提供进一步提高的机会，发现、培养和选拔一批优秀的地球科学种子人才。通过实践，一方面通过“第二课堂”、“第三课堂”具体化和丰富化本地区青少年地球科学科普教育工作，通过理论与实践相结合的科普宣传方法，增强本地区青少年学生的地球科学学习意识，积极为培养我国爱地学、学地学、用地学的优秀青少年做出贡献；另一方面，有效激发科研人员的科普热情，使高学历人才在精进科研的同时能够更好地服务公众、回报社会，从而充分实现“以科研充实科普创新之实、以科普提高公众素养之质”的良性循环科普模式。

融媒体时代地学科普的机遇与挑战

董汉文 [1*]

1 中国地质科学院地质研究所，地球系统科学研究中心

* donghanwen123@126.com

随着社会的进步和国民素质的提高，公众对科学普及的需求也在日益增加。在科学技术的助力下，科学普及的方式也由过去单一的传统传播方式，向互联网快捷、方便的传播方式转变。但与此同时，自媒体的繁盛带来信息过剩、真假难辨的负面影响。由此可见，在融媒体时代的今天，地学科技工作者在科学普及和传播工作中机遇与挑战并存。在新时代背景下，地学科技工作者需将传统媒体和新媒体有机结合，创新科学普及内容和传播形式，以更好地满足大众的需求。

Aamir Ali 329
Abi Dzikri Alghifari.....848
Ana Cristina Vasquez 503
David B. Kemp 191, 192, 619
David Bryan Kemp 1032
Di Qi.....762
Dominic Papineau.....1061
Dong Zhiwen 701
Erika Rodrigues 150, 573
Evelyn Jessica Jaya.....1057
Fangbin Liu.....511
Feng Cheng.....1104
Haiyan Jin 760
Herath Mudiyanselage Dileep Bandara Herath.....660
Hongyu Zeng 856
Irfan Ahmed Soomro 850
Jirawat Deemuenwai.....475
Joffrey BERTAZ.....1037
Junqi Liu 1057
Junsheng Nie.....511
Kandasamy Selvaraj.....680
Kit-Hung Mark Lee.....334
LázárBoitond.....562
Li Gong.....642
Mengyuan Wang.....630
Mingna Wu 539
Mohd Aadil Bhat.....514
Paul Liu.....491
Peigen Lin.....595
Penghui Zhang 487
PÉREZ-MEJÍAS, CARLOS 546
Princess Aira Buma-at 1061
Qiang Yao.....573
Quek Long Xiang.....375
Richard Bellerby.....786
Ross Mitchell 1108
Sha Li.....151
Shengji Wei.....856
Simon Valentin Hohl 285
Stephan Steinke.....460, 526, 562, 571
Wei Ting 701
Wei Yang 762
Xiaoqing Liu.....643
xin ren 485
Yang Shouye.....503
Yang Zhang 760
Yu Ren.....403
Zhikai Wang 408
Zhongqiang Ji 760
艾丽娜 656
艾依飞 1062
安璐 597
安婷 208
敖红 257, 528, 535
巴凯伦 417
白国平 1014
白琳 1126
白玲 858, 860, 999
白文静 1107
白晓永 704
白亚之 658
白艳 272, 274
包锐645, 647, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 696, 697
包秀娟 524, 1006
鲍红艳 678
鲍晶 264
毕东杰 980
毕海波 593
毕研栋 877
边雷博 1064
卞昌蓉 1024
蔡晨 374
蔡晨阳 140
蔡春芳 1008, 1009
蔡迪 519
蔡国富 922
蔡进功 437, 443
蔡兰兰 314
蔡平河 703, 708, 721
蔡士玺 183
蔡嵩 919
蔡雯沁 642
蔡演军 479, 545, 551
蔡永恩 853
蔡永丰 363
蔡雨馨 384

曹剑.....1066
曹军军.....674
曹君元.....755
曹珂.....838
曹立成.....393, 502
曹玲玲.....677
曹令敏.....343
曹茜.....582
曹文瑞.....306
曹一飞.....826
曹运诚.....908
曾程辉.....983, 998
曾聪.....293
曾凡长.....869
曾罡.....425, 427
曾乐田.....879
曾清秀.....1062
曾庆璐.....742
曾湘.....318
曾心茹.....227
曾杨丹杰.....1066
曾召雨.....628
曾芝郁.....618
曾治惟.....222
查财财.....997
柴愈坤.....831
常标.....628
常虎.....624
常嘉.....1018
常少英.....938
车阳丽.....653
陈安清.....471
陈安然.....460, 526
陈碧莹.....438
陈飚.....242
陈彬.....292
陈斌.....690
陈波.....556
陈博塑.....752
陈昌亮.....413
陈朝军.....548
陈晨.....179
陈炽皓.....274
陈聪.....917, 926
陈大可.....791
陈端新.....243, 845
陈多福.....904, 910
陈法锦.....564
陈芬.....223
陈更新.....1090
陈国新.....969
陈涵.....356
陈瀚.....379
陈红瑾.....621
陈虹.....1097
陈辉.....233
陈积权.....149
陈吉涛.....553
陈际雨.....583
陈佳琪.....696
陈坚.....973
陈建全.....863
陈建文.....828, 830
陈健.....243
陈江欣.....890
陈金牛.....517
陈金新.....969
陈竟博.....1086
陈静怡.....821
陈俊伶.....228
陈柯伟.....811
陈立豪.....255
陈立辉.....427
陈亮.....802, 837
陈凌.....362
陈锰.....171
陈梦.....744
陈咪咪.....434
陈敏.....565, 594
陈麒先.....812
陈启志.....275
陈倩颖.....810
陈泉睿.....715
陈仁旭.....177
陈珊珊.....846
陈淑慧.....918
陈树旺.....143, 711
陈顺.....908

陈思.....412
陈天.....876
陈甜甜.....356
陈万利.....234
陈维涛.....912
陈伟.....1022
陈玮岩.....936
陈文汉.....192
陈文煌.....391
陈显尧.....593, 594
陈小刚.....819
陈欣迪.....1068
陈新.....600
陈新明.....282
陈学恩.....585
陈雪.....1086
陈雪霏.....220, 563
陈雅文.....687
陈洋洋.....819
陈烨.....298
陈一晖.....635
陈一宁.....1067, 1087
陈伊翔.....167, 181
陈英展.....245
陈永焱.....1002
陈宇航.....953
陈玥.....923
陈云.....778
陈占营.....997
陈中原.....204, 1075
陈忠.....235, 662, 888
陈子恒.....895
陈祖兴.....416
谌微微.....1020
谌永强.....447
成里京.....453
成龙.....165
成章宝.....348
程海.482, 485, 489, 544, 547, 549, 550
程锦辉.....394
程玖兵.....339, 416
程鹏.....1084
程阳艳.....785
程艺琳.....703
程知欣.....1078, 1079, 1083
程仲景.....659
程子华.....349
迟占有.....764
仇建东.....512
褚梦凡.....645
褚润健.....608
褚杨.....367
丛静艺.....504
丛帅.....572
崔超.....324
崔峰源.....420
崔佳辉.....544
崔家莹.....853
崔琳.....773
崔琪.....634
代明伟.....361
戴高文.....528
戴海璠.....592
戴慧敏.....288
戴紧根.....279
戴璐.....660, 666, 667
戴远哲.....333
戴自立.....872
党皓文.....141, 1119
党少华.....221, 234, 568
邓成龙.....531, 537
邓广超.....220
邓豪爽.....943
邓江洪.....168, 175
邓俊杰.....1076, 1085
邓林培.....532
邓胜徽.....1106
邓涛.....555
邓文峰.....563
邓贤泽.....974
邓小凡.....386, 1101
邓兴渝.....306
邓义楠.....1058
邓玉玲.....417
翟方国.....797
翟惟东.....730, 741, 783
翟相坤.....551
翟秀芬.....946

邸鹏飞.....893
丁虎.....653
丁家昕.....1049
丁恣.....335
丁明虎.....596
丁茜.....440
丁望.....1045
丁巍伟.....369, 381, 954
丁兴.....179, 439, 452
丁旋.....1081
丁奕凡.....635
丁志豪.....312
东思嘉.....809
董曹沂.....529
董昌杰.....738
董昌明.....582, 586, 783
董冬冬.....337
董飞羽.....1007
董广辉.....207, 209
董海良.....312, 808
董汉文.....1127
董宏坡.....812
董佳佳.....210
董晶.....787
董丽华.....649
董莉.....598
董良531, 535, 639, 673, 698, 725, 1122
董淼.....345, 376
董田.....899
董甜.....1065
董西洋.....297, 311, 313, 887
董西瑀.....485
董雅红.....769
董彦辉.....391
董一飞.....873
董依然.....174, 179
董友扣.....870
董玉.....1107
董昭顷.....593
董振.....978
董志国.....1007
董志文.....605
董重.....186
都鹏燕.....932
窦衍光.....491
杜朝鹏.....1079
杜虹.....743, 771
杜江涛.....906
杜金龙.....633
杜然然.....674
杜恕环.....509, 727
杜文波.....991
杜学斌.....612
杜岩.....454, 464, 582
杜益晓.....1083
杜增丰.....671
杜镇瀚.....212
段安民.....601
段丽琴.....672
段鹏珍.....943
段知非.....507
樊海峰.....1008
范代读.....474, 565, 566, 690
范德江.....1084, 1085
范佳伟.....1029
范建柯.....354
范晶晶.....941
范念念.....521
范晓雪.....1079
范智涵.....876
方富韬.....691, 758
方家松.....731
方孙珂.....1002
方小敏.....252, 253, 259, 271
方引.....828
房强.....611
房亚男.....151
费淑怡.....319
封从军.....919, 940, 952
冯春梅.....226
冯东.....883, 886, 891, 894, 897, 900
冯发波.....332
冯华.....638
冯景春.....664
冯俊熙.....891
冯炼.....714
冯茜.....686
冯晓远.....280

冯英辞.....847, 1001
冯媛媛.....743, 745
冯展涛.....273
冯志强.....1014
冯志轩.....588
符春蔚.....686
付恒.....538
付荟颖.....355
付晓伟.....494
付瑜.....648
付宇.....972
傅开哲.....295
傅强.....914
傅维琦.....765
甘敬民.....1109
甘小莺.....1048
高聪.....456
高东洋.....334
高光.....770
高涵.....1081
高航.....752
高红芳.....390
高辉.....940
高慧君.....594
高济元.....937
高嘉洪.....436
高建华.....492, 520
高健祺.....487
高键.....1023
高洁.....231
高金尉.....985, 992
高科.....854
高磊.....726
高梦妮.....196
高平.....1026
高勤峰.....748
高锐.....373, 381, 382, 386
高山.....466
高树基.....682, 687, 688, 690, 824
高新勃.....261
高旭旭.....767
高艺.....343
高瑛.....803
高咏卉.....319, 770, 799
高于欣.....742
高圆圆.....348
高远.....149, 199, 1065
高臻.....468
葛晗.....868
葛勇强.....868
耿建华.....911, 963
耿雷.....285
耿力.....476
耿亮.....1068
耿明会.....393
宫尚桂.....894, 895, 900
宫先哲.....300, 733
龚斌.....356
龚承林.....960
龚德瑜.....937, 942
龚建明.....836
龚骏.....734
龚姝天.....410
龚亚平.....592
谷挺.....753
顾庭舞.....239
顾雪.....195
关慧心.....401
关亚风.....799
官玉龙.....515
管红香.....892, 893, 896
桂州.....350
郭本泓.....482, 1106
郭斌斌.....584
郭佳琦.....158
郭建.....415
郭静.....558
郭俊杰.....512
郭俊丽.....1077
郭磊.....669, 781
郭宁.....230
郭鹏远.....399
郭睿波.....895
郭文.....159
郭香会.....803
郭小岚.....682
郭晓玉.....373
郭兴森.....869

郭玉龙.....708
郭增光.....278
郭桢.....1003
郭桢丽.....814
郭知鑫.....187
郭志新.....1053
郭宗林.....344
韩博.....788, 789, 790, 791
韩春明.....1110
韩广轩.....793, 817
韩杰鸿.....578
韩晶.....1047
韩梅傲雪.....758
韩民伟.....247
韩双彪.....430
韩松松.....353
韩韬.....238, 563
韩文霞.....252, 254
韩喜彬.....477
韩雪.....505
韩岩松.....239
韩艳飞.....876
韩昱.....737
韩月卿.....1024
韩志勇.....570
韩中.....193, 196
郝金来.....999
郝露露.....448
郝明.....854, 857
郝强.....503
郝彦宾.....288
郝禹霏.....1044
何灿.....1051
何丁.....715, 731
何宏平.....522
何泓锣.....788
何金海.....921
何磊.....820
何茂雨.....307
何梦颖.....501
何培民.....713, 763
何鹏举.....273
何润敬.....1003
何舜平.....901
何天辰.....191
何心怡.....974
何新新.....311
何雁兵.....940
何宇.....174, 179
何云龙.....958
何志.....636
何志兴.....264
何治亮.....441, 1020, 1021
贺恩远.....903
贺娟.....749
贺小标.....437
贺勇.....930
贺治伟.....511
洪德翔.....176
洪海征.....687
洪清泉.....692
洪一荻.....405
洪宇.....465
侯光良.....211
侯佳林.....719
侯立军.....679
侯亮亮.....206
侯明强.....353
侯圣伟.....735
侯书贵.....600
侯雨蓉.....604
胡盎.....729
胡邦琦.....617
胡才博.....275, 865
胡超涌.....634
胡晨.....413
胡聪.....880
胡焕婷.....284
胡佳顺.....360, 366
胡建芳.....198, 814
胡俊.....483, 569, 571
胡利民.....658, 694, 757, 1083
胡良明.....477
胡倩文.....1004
胡清扬.....353
胡森.....331
胡思雨.....229
胡廷苍.....910

胡文庆.....467
胡文瑄.....431
胡小飞.....257
胡晓农.....775, 792
胡修棉.....189, 194, 1049
胡雅璐.....294
胡永云146, 158, 335, 523, 524, 1006, 1046, 1047, 1055
胡玉斌.....809
胡钰.....883, 886
胡玥.....1033
胡湛.....1069
胡哲.....672
胡忠亚.....250
户盼盼.....857
华洪.....1126
华文豪.....1089
华夏.....191
华苑君.....955
郇小荷.....591
黄柏强.....235
黄邦钦.....313, 736
黄宝琦.....460, 476
黄斌.....1003
黄冰玥.....327
黄超.....564
黄春菊.....607, 610, 614
黄丹玥.....308
黄恩清.....637, 638, 642, 643
黄菲.....972
黄海波.....414
黄河清.....870
黄洪亮.....318, 325
黄晖.....865
黄嘉宪.....847
黄建平.....280, 1000
黄建容.....240
黄杰.....661
黄晶.....888, 1044
黄康俊.....160, 699
黄康有.....259
黄蝌.....395
黄璞.....163
黄奇瑜.....387
黄强太.....451, 955
黄荣永.....250
黄瑞芳.....172, 177, 178
黄珊.....246
黄士鹏.....931
黄守毅.....545
黄淑亭.....776
黄淑旖.....804
黄天正.....161
黄文婷.....444
黄雯敏.....377
黄湘通.....507, 508
黄小龙.....384
黄晓冬.....1004
黄晓伟.....433
黄晓霞.....1040
黄鑫.....954
黄永建.....199, 203
黄永胜.....450
黄雨.....877, 878, 881
黄雨菡.....566
黄月丽.....526
黄云.....665
黄昭权.....1084
黄梓荣.....571
黄宗莹.....1099
惠鑫如.....459
霍发力.....780
姬翔.....309
纪开宣.....190
纪友亮.....951
季翔宇.....461
季颖锋.....422
贾承造.....435
贾广臣.....790
贾国东.....622, 692
贾科.....856
贾连凯.....922
贾鹏.....941
贾奇.....463
贾天依.....161
贾鑫.....209, 211
贾琰.....410
贾永刚.....867, 876

贾子策.....886
翦知湣.....663, 716
蹇华哗.....719
江佳萌.....968
江凯禧.....1030
江蕾蕾.....220
江文彬.....406
姜宝玉.....144
姜福杰.....1011
姜海波.....718
姜华.....945
姜辉.....414
姜磊.....1060, 1062, 1063
姜龙.....689
姜仕军.....195
姜伟.....226, 230, 239
姜伟华.....904
姜新宇.....900
姜玉涵.....463
姜兆霞.....170, 506, 515, 533
蒋国忠.....996
蒋宏忱.....728
蒋璟鑫.....619
蒋兰兰.....839
蒋莉.....694
蒋美佳.....770
蒋小伟.....702
蒋映德.....1100
蒋宇翔.....285
蒋忠诚.....286
蒋壮.....285
焦念志.....715, 734
解瑞泽.....305
解习农.....986
金剑.....306
金梅兵.....784
金思丁.....616
金思敏.....619
金孙梅.....211
金晓波.....631
金鑫.....442
金勇.....833
金真平.....609
金之钧.....436, 608
靳华龙.....707
靳锡波.....858
敬嵩.....843
鞠鹏程.....160
康建强.....378
康健.....260
康乐.....560
康曼玉.....692
康文君.....1045
康亚茹.....219
可行.....836
孔凡圣.....365, 373
孔凡兴.....477
匡增桂.....899
赖洪飞.....693
赖伟波.....508
赖燕红.....333
兰凯.....471
蓝佳雯静.....531, 579
郎咸国.....1034, 1066
雷婧.....489
雷明凤.....229
雷世豪.....549
类彦立.....663, 716, 812, 826
冷浩.....317
黎刚.....223, 242, 244, 514, 663
黎家豪.....147
李昂.....886
李保生.....1093
李兵.....865, 866, 979
李炳鑫.....160
李博闻.....872
李昌.....944
李超 495, 507, 508, 516, 517, 707, 723
李朝阳.....989
李琛.....681
李闯.....939
李春峰.....404, 989, 994
李春香.....147
李聪颖.....409, 1010
李大刚.....766
李大玮.....330, 606
李德勇.....1042
李登峰.....972, 982

李冬冬.....577
李栋.....320
李发淳.....851
李方如.....312
李芳亮.....498
李付成.....451, 987
李富超.....796
李刚.....752
李高军.....281, 481, 711, 1047
李功宇.....1096
李广雪.....574
李果戈.....359
李海洲.....314, 315
李瀚瑛.....549
李宏.....320
李宏伟.....1040
李洪乾.....613
李鸿妹.....764
李鸿威.....625
李慧莉.....1023
李纪.....770
李季伟.....909, 1122
李继磊.....444
李佳.....980
李佳柯.....310
李佳霖.....771
李佳洋.....629
李家彪.....362, 373, 376, 387, 410
李嘉盈.....756
李建平.....573, 578
李江海.....411
李江涛.....302, 303, 307, 316, 317
李姜辉.....138
李杰.....1007
李金华.....717
李敬敏.....292
李敬雯.....728
李静凯.....587
李俊云.....548
李柯然.....1053, 1056, 1064
李科.....632
李坤.....916
李乐.....705
李磊.....834
李丽.....659
李丽青.....965
李连福.....884, 898
李亮.....1089
李琳琳.....843, 851, 852, 853
李隆威.....328
李伦.....365
李梅.....435, 933
李猛.....200, 742
李梦昊.....254
李敏.....591
李明杰.....219, 788
李明松.....142, 611, 614, 619
李宁.....864
李牛.....891, 894
李鹏.....441
李琦.....831
李倩.....274, 739
李青苗.....323
李青彦.....1126
李秋环.....379
李全.....959
李瑞隆.....994
李舢.....368
李绍阳.....342
李仕虎.....495, 525
李树峰.....554
李帅.....324
李双建.....1018
李顺利.....1045
李硕.....1074
李斯佳.....365
李素.....1105
李涛.....481
李腾.....800
李铁刚.....458, 463, 634, 663, 1118
李廷勇.....541, 544, 545, 548
李婷.....147
李桐林.....364
李维禄.....977
李伟.....843, 844, 1039
李伟星.....256
李卫东.....347
李文宝.....322

李文辉.....382
李文静.....315
李熙晨.....604, 605
李献华.....137
李骁麟.....630
李小虎.....974
李小强.....617
李晓辉.....445
李晓军.....754
李晓强.....700
李欣.....1088
李欣霞.....535
李新周.....488
李旭.....437, 443
李学刚.....804
李雪.....838
李雪银.....567
李亚龙.....493
李衍冲.....358
李艳.....717
李阳.....612
李仰状.....272
李一兰.....325
李俞锋.....845, 959
李宇奇.....205
李玉江.....859
李煜航.....857
李元昊.....945, 1038
李元龙.....465, 467
李远.....795
李远宁.....746
李媛.....864
李月丛.....575, 623
李悦儿.....247
李云海.....570
李长林.....736
李喆.....603
李铮.....710
李政坤.....982
李政林.....385
李志垚.....613, 1054
李志勇.....214
李智博.....522
李忠海.....274, 355, 366, 415, 420
李子波.....702
栗兵帅.....277
梁超.....958
梁丹.....381
梁甲元.....240, 241, 249
梁锦.....978
梁凯昕.....326
梁美艳.....509
梁明强.....544
梁前勇.....873, 887
梁日升.....237
梁诗晴.....664
梁彦韬.....761
梁宇霆.....1093
梁钰.....603, 641
梁泽源.....543
梁湛林.....1094
梁子君.....878
廖恩惠.....784
廖杰.....385, 402, 424, 426, 447, 985
廖丽.....304, 737
廖林峰.....424
廖启杭.....823
廖然.....799
廖芝衡.....238
廖志博.....805
林宝治.....650, 657
林超然.....1077
林福东.....1083
林根妹.....298, 825
林红磊.....176, 180
林辉.....594
林间.....139, 411, 418, 1120
林建民.....1002, 1003
林璐.....738
林琪凡.....162
林钦.....185
林锐.....674
林森杰.....213, 233
林思彤.....233
林巍.....171
林武辉.....245, 512
林贤彪.....679, 825
林霄沛.....456

林新宇.....1091
林旭.....569
林云鹏.....570
蔺冠宇.....526
刘兵.....1087
刘炳材.....159
刘伯蓉.....279
刘博.....1102
刘博文.....988
刘策.....936
刘超亚.....860
刘成彦.....598
刘传联.....487, 712, 720
刘传周.....176, 180
刘春彤.....231
刘殿兵.....539
刘东伟.....675
刘东艳.....670
刘冬.....714
刘汾汾.....586
刘丰豪.....637
刘峰文.....210
刘锋.....157
刘海泉.....370
刘浩.....573
刘浩天.....452
刘皓晴.....859
刘宏伟.....775
刘慧根.....333, 334
刘吉文.....299
刘纪化.....143, 750, 767, 810
刘佳威.....1036
刘佳宜.....438
刘建国.....665
刘健.....457, 482, 697, 794
刘犟嗣.....185
刘金城.....1071
刘金高.....1059
刘金花.....601
刘锦.....357
刘景春.....814
刘敬圃 （Paul Liu).....1073
刘静.....493, 786
刘静江.....560
刘娟.....302, 607
刘俊来.....369
刘开云.....676
刘凯琳.....736, 749
刘恺.....1114
刘乐.....153
刘雷.....862
刘磊.....893
刘丽军.....358
刘连文.....709
刘亮.....141
刘玲利.....949
刘猛.....1033
刘孟南.....281
刘梦佳.....508
刘明.....1086
刘牧.....156
刘鹏德.....1115
刘茜.....666
刘倩倩.....680
刘强虎.....613, 1054
刘俏.....744
刘青松.....625
刘全有.....428, 432, 438
刘如龙.....300, 906
刘少峰.....418
刘实佳.....978
刘世东.....574
刘世昊.....695
刘世梁.....291
刘姝涵.....676, 678
刘舒薇.....640
刘树文.....294
刘顺宇.....443
刘思炜.....308
刘松林.....801
刘涛.....782
刘铁生.....777, 778
刘维亮.....398
刘维明.....1038
刘伟民.....773
刘文美.....709
刘雯.....967
刘希军.....225, 357, 377, 385, 1116

刘喜停.....471, 477, 491
刘潇.....357
刘小康.....540
刘小莉.....605
刘晓东.....478
刘晓磊.871, 874, 879, 957, 1072, 1081
刘晓晴.....652
刘旭.....1108
刘延俊.....776, 777, 778, 779, 780, 793
刘演.....212
刘彦昊.....568
刘忆思.....737
刘羿.....218
刘永岗.....162, 602
刘永江.....1095
刘宇.....157
刘玉东.....272
刘玉柱.....425, 967, 968
刘彧奇.....347
刘远航.....992
刘媛媛.....880
刘悦.....146
刘长建.....583
刘长炜.....589
刘志飞.....474, 654, 662, 672, 754, 755
刘志豪.....873
刘忠方.....221, 234, 586, 591
刘仲兰.....168, 984
柳保军.....925
柳畅.....863
柳晨.....411
柳双权.....907
柳宇柯.....145
龙上敏.....468
龙祖烈.....917
娄仝阳.....919
卢彬.....1048
卢畅.....188
卢海龙.....724
卢建国.....298
卢健.....504
卢柯舟.....580
卢丽娟.....327
卢绍平.....365, 374
卢腾辉.....202
卢亚敏.....460
卢银.....1027, 1035
卢峥安.....188
卢著敏.....800
芦永秀.....209
鲁建荣.....833
鲁静.....164, 166, 167
鲁鹏.....207
鲁毅.....1026
陆安帅.....689
陆现彩.....726
陆晓婕.....586
陆杨.....871
陆哲哲.....376
陆正遥.....480
鹿化煜.....524, 526, 536, 538
路北辰.....780
路晶芳.....510
栾锡武.....1017
罗贝维.....1015
罗传秀.....660, 664, 666
罗慈航.....148
罗德海.....576
罗纲.....855, 858, 950
罗根明.....281
罗洪添.....768
罗钧升.....883
罗兰.....228
罗力铭.....203
罗笠.....677, 679
罗敏.....904, 907
罗群.....429, 437
罗伟东.....413
罗晓凡.....588, 758
罗遥华.....803
罗怡鸣.....411
罗义勇.....455
罗宇航.....279
罗云.....242
罗芸.....276
骆迪.....837
骆金锋.....571
雒恺.....498

吕大炜.....194
吕国坤.....587
吕洪刚.....785
吕柯伟.....454, 597
吕晓霞.....728
吕洋.....1051
吕怡潼.....640
马波.....397
马超.....202, 607, 1050
马春梅.....212
马归宜.....685
马海悦.....650
马剑.....668
马金凤.....976
马金龙.....498, 499, 518
马坤元.....615
马良.....899
马林伟.....871, 882
马玲.....651
马龙.....153
马敏敏.....208, 210
马宁.....924
马鹏飞.....555, 1054
马强.....182
马瑞罡.....637, 720
马巳翊.....896
马文涛.....465, 631
马骁.....747
马小川.....869
马小刚.....1022
马小林.....632
马星宇.....281
马雅楠.....462
马野.....558, 1080
马一方.....861
马义波.....166
马英杰.....1056
马永坤.....927
马永平.....628
马悦.....639
马忠霖.....316
麦洪涛.....1095
满凯.....602
毛启贵.....1114
毛伟建.....966
毛小平.....1019
毛子强.....253
梅隽毓.....539
梅康.....740
梅晓敏.....1009
梅志国.....576
孟昶.....930
孟凡.....196
孟令鹏.....566
孟庆强.....430
孟庆泉.....265
孟庆任.....184, 1123
密文天.....279
苗运法..259, 262, 267, 269, 270, 1108
闵力.....766
明怡斌.....425
莫钦鸿.....278
缪淼.....855
能惠.....645
倪四道.....999
聂海宽.....1027
聂红涛.....770
聂绩.....530, 1047
聂军胜259, 263, 472, 475, 482, 497, 1104, 1106
聂明.....728
聂森艳.....326
聂鑫.....955
宁德志.....774
宁俊.....1100
宁亮.....457, 467, 563
宁文晓.....262
宁子杰.....948
甯濛.....156
牛改红.....267
牛京菁.....303
牛胜利.....927
牛天祎.....249
牛文涛.....232
牛晓雯.....547
牛雄伟.....384, 964, 988
欧阳盛辉.....711
欧阳雅婷.....582

潘保田.....257
潘彬彬.....668
潘芸.....851
潘立银.....949
潘良康.....550
潘蓉蓉.....602
潘晓仪.....852
潘依雯.....669, 809, 812
潘哲.....748
潘子锐.....509
潘宗栋.....374
泮燕红.....182
庞雄奇.....435
裴宏业.....650
裴继影.....216, 241
裴理鑫.....827
裴鹏兵.....743
裴绍峰.....747
彭辉界.....840
彭澎.....1108
彭诗杰.....589
彭威龙.....434
彭文彬.....263
彭文睿.....900
彭晓彤.....174, 903, 905, 907
彭雪.....164
彭雅莹.....1032
彭用一.....313
骈泽宇.....317
亓杰星.....1049
齐继峰.....807
齐琪.....302
齐雪宁.....944
祁第.....757
綦超.....172
钱生平.....426
钱学生.....844
乔璐璐.....574
乔庆庆.....1107
乔淑卿.....656, 658
谯文浪.....155, 166
秦奔.....1055
秦秉斌.....634
秦健.....778, 779
秦健铭.....199
秦林鹏.....1005
秦伟.....805
秦小光.....1124
秦政.....1059
卿佳容.....402
丘学林.....415, 903
邱春华.....581, 1092
邱临静.....577
邱宁.....407, 834
邱强.....850, 866
邱欣卫.....913
邱燕.....991
邱云.....1091
邱振.....1060
屈亚婷.....205
屈原皋.....331
瞿洪宝.....1043
瞿睿.....422
全鑫.....824
全余杰.....990
阙晓铭.....924
饶诗怡.....223
饶志华.....833
任焕萍.....795
任建业.....413, 414
任金锋.....846
任磊.....1071
任强.....1105
任秋萍.....465
任杉.....1056
任晰熙.....1034
任向文.....973
任智源.....844
阮骄阳.....528
阮威涵.....957
阮小燕.....725
阮笑白.....501, 699
桑石磊.....232
商修齐.....172
邵磊.....962, 1026
邵延秀.....862
邵宗泽.....296
佘敏.....935

申建勋.....171
申茂华.....270
申苗苗.....266
申玉龙.....297
沈奥.....849
沈冰.....161, 718
沈芳宇.....981
沈俊.....144, 1031
沈梦蓉.....923
沈若夏.....224
沈旭章.....359
沈玥.....316
沈蕴文.....669
沈展.....762
沈中山.....537
师卓璇.....382
施华斌.....852, 1074
施旭东.....591
石创.....627
石端平.....589
石宏宇.....348
石佳伟.....606
石静.....332
石巨业.....439
石立坚.....593
石梦岩.....1116
石彭兰.....688
石拓.....744, 745, 813
石星辰.....966
石学法.....517, 655, 970, 972, 980, 981
石雪松.....685
石勇.....492
石宇翔.....197
石正国.....484, 489
时翠.....164
时连强.....1075
时美楠.....473
时伟.....1028
史锋.....529, 538
史恭乐.....152, 552
史贵涛.....321, 325, 603, 676
史宏达.....772
史文婷.....741
史玉玲.....933
舒梁锋.....926
舒启.....587, 602
舒雨婷.....977
宋博文.....268
宋晨涛.....605
宋东方.....1111
宋桂雪.....807
宋海斌.....595
宋海军.....193, 203, 553
宋汉宸.....553
宋虎跃.....551
宋晖.....752
宋金民442, 943, 1022, 1037, 1056, 1064
宋思雨.....148
宋陶然.....345
宋婉婷.....748
宋星雷.....940
宋学鹏.....1080
宋艳伟.....295
宋宜.....240
宋宇嘉.....1117
宋元元.....576
宋泽华.....496
宋治宏.....530
苏贝.....732
苏丹仪.....584
苏宏飞.....237
苏剑钟.....818, 822
苏娟.....806
苏明.....850, 867, 878, 881, 1036
苏妮.....497, 512
苏涛.....258
苏翔.....224
苏奕熹.....765
宿蕾.....307
孙爱芝.....567, 677
孙宝璐.....175, 378
孙道勋.....283
孙道远.....353, 361
孙晶.....835
孙军.....753
孙均楷.....879
孙科.....774

孙李恒.....450
孙鸣.....912
孙平昌.....204
孙萍.....313
孙琦.....904
孙启良.....841, 847, 848, 849, 995
孙启顺.....506
孙启伟.....464
孙若愚.....889
孙诗.....471
孙婉莹.....579
孙炜毅.....462, 488
孙卫东.....178, 179, 398
孙习林.....500
孙显.....765
孙晓明.....970, 982
孙晓娜.....830
孙学诗.....691
孙玉慧.....666
孙珍401, 407, 450, 965, 983, 994, 995, 998, 1121
孙治雷.....901
他开文.....174
覃国铭.....816
覃悦.....363
谭聪.....936, 1106
谭萼辉.....682, 686, 687, 690
谭亮成.....543, 546, 566, 569
谭龙.....665
谭文汐.....176
谭小林.....881
谭晓淼.....1101
谭依莎.....742
谭玉阳.....340
汤锦铭.....688
汤凯.....715, 738
汤坤贤.....763
汤芮.....695
唐春安.....557
唐慧茹.....543
唐盟.....837
唐群署.....1001, 1004
唐世林.....581, 798
唐闻强.....607
唐学远.....597
唐一麟.....663
唐银宁.....667
陶辉飞.....1097
陶建昌.....735
陶雨琪.....1092
田波.....794, 826
田冬梅.....953
田昊.....377
田晋雨.....418
田军.....632, 635, 636, 639, 640, 1119
田立洲.....1037
田丽艳.....404, 987
田野.....489, 549
田雨杭.....235
田芝平.....483
仝港.....697
同号文.....280
佟宏鹏.....176
童金南.....190
涂德耀.....1075
涂俊彪.....566, 1031, 1070
屠奇超.....731
万力.....961
万世明.....496, 656, 707
万随.....640
万志峰.....883, 892
万智翔.....336
汪岷.....758, 761
汪品先.....1125
汪生好.....832
汪晓萌.....929
汪亚平.....1074
王爱军.....1087
王爱美.....503
王安琪.....517
王毕文.....961
王斌.....1053
王博.....147, 149, 559
王策.....879
王婵.....453
王朝文.....470
王成善.....149, 199
王聪.....751

王大伟.....869
王丹.....786
王德利.....684, 709, 740
王德明.....153
王登帅.....779
王东晓.....581, 1090, 1091
王敦繁.....625
王法明.....815, 816, 827
王菲.....991
王风平...305, 307, 308, 309, 719, 1122
王枫.....447
王峰.....515
王福国.....931
王福强.....694
王广华.....229
王海峰.....974, 981
王海芹.....954
王海涛.....265
王海文.....1048
王含笑.....754
王浩.....1113
王浩浩.....861
王厚杰.....503, 572, 1075
王华建.....145, 1058
王欢.....1013
王辉.....516
王惠敏.....212
王纪昕.....409
王佳伟.....745
王嘉麟.....772
王嘉树.....163
王建.....617
王建军.....729
王建强.....829
王健.....550, 1023
王锦怡.....847
王菁菁.....536
王景.....902
王静彬.....441
王军.....289
王俊辉.....472
王凯.....162
王柯萌.....1070
王可欣.....526
王克林.....135
王奎.....790
王蕾.....579
王丽楠.....652
王丽伟.....217, 245
王利杰.....394, 406, 984
王利伟.....681
王龙.....302
王路.....629
王毛毛.....341
王蒙.....615
王蜜.....537
王名斌.....677
王明敏.....698
王明文.....950
王宁.....781, 824
王鹏.....742
王启芳.....214
王启炜.....693
王谦.....1078
王茜.....678
王庆.....848
王庆飞.....154
王汝建.....321, 322, 326, 590
王瑞.....224, 227, 875
王瑞菊.....942
王瑞敏.....718
王姝颖.....237
王淑红.....698
王锶淼.....346
王涛.....707, 1001, 1103
王腾飞.....964
王婷男.....749
王万发.....646
王巍.....353, 987
王伟.....209
王伟权.....813
王卫强.....1092
王文科.....286
王夕予.....172
王曦谦.....546
王先彦.....570
王相力.....723
王小婧.....789

王晓锋.....429
王晓杰.....793
王晓磊.....232
王晓梅.....1006, 1013
王晓雪.....813
王欣欣.....531
王新.....359
王新兵.....1048
王鑫.....455, 468, 490, 530, 537, 1091
王星月.....396
王兴喆.....157
王秀行.....695
王旭.....362
王雪莲.....270
王亚东.....275
王亚松.....751
王亚苏.....195
王妍妍.....806
王彦俊.....796
王艳娜.....1075
王杨.....358
王洋.....822
王遥平.....821, 825
王野.....166
王一雯.....714
王宜然.....175
王艺智.....587
王怿.....152
王益鹏.....654
王樱静.....972
王莹.....739
王永刚.....248
王永智.....246
王勇.....299
王雨晗.....1082
王誉泽.....808
王玥.....683
王跃.....459
王赟.....1005
王云涛.....579
王泽伟.....381
王长乐.....1007
王召民.....598
王振卿.....939
王志伟.....1102
王智娜.....882
王中波.....492
王忠蕾.....510
王子晨.....1063
王梓莎.....262
望畅.....995
危威.....734
韦成龙.....875
韦芬.....216, 227
韦刚健.....183, 220, 518
韦雪露.....230
韦雨鑫.....242
韦振权.....975
卫小冬.....370
位荀.....421
尉建功.....315
魏慧.....875
魏梦宇.....1056
魏强.....603, 1055
魏韧.....608
魏思华.....636
魏巍.....166, 478
魏长栋.....777
翁辉辉.....343
吴保金.....697
吴婵.....992
吴晟.....776
吴驰华.....197
吴迪.....790
吴芬.....563
吴福莉.....252, 265, 268, 278
吴广美.....676
吴国俊.....787
吴怀春.....608
吴会娟.....538
吴济舟.....801
吴家望.....622
吴凯.....169
吴凯凯.....655
吴南.....841, 951
吴琪.....802
吴锜.....806
吴琼玲.....916

吴若愚.....874
吴时国.....234
吴世军.....670
吴思璠.....1010
吴松烨.....227
吴涛.....400, 405
吴田振.....716
吴伟超.....304, 741
吴文杰.....1023
吴晓.....568, 1034, 1073
吴欣莹.....621
吴兴.....172, 180
吴学万.....892
吴尧.....541
吴一鸣.....1078
吴瀛旭.....757
吴玉样.....203
吴月红.....312
吴越楚.....1000
吴哲.....914
吴志鹏.....556
吴忠庆.....352
吴自军.....668, 1122
吴自银.....873
伍家成.....330, 606
武道宇.....461
武国相.....1070
武佳坤.....257
武力.....323, 328
席世川.....178, 885
席祥龙.....217
席寅微.....626
夏斌.....379
夏国清.....197
夏小平.....444
夏学齐.....290
夏越洋.....342
向巧维.....914, 920
向荣.....464
向绪洪.....962
肖福安.....1090
肖国桥.....600
肖奎霖.....866
肖雷雷.....819
肖文交.....136, 1104, 1109, 1113
肖文杰.....906
肖文申.....328, 594
肖文摇.....1066
肖曦.....887
肖湘.....302, 317, 902
肖晓彤.....324
肖张波.....942
谢东风.....1086
谢樊.....381
谢辉.....851, 996, 997
谢婧倩.....904
谢曼平.....264
谢树成.....136
谢巍.....474
谢伟.....673, 734
谢晓天.....957
谢宇龙.....268
谢志昂.....598
辛光耀.....383
邢磊.....900
邢鹏.....280
邢庆会.....817
邢小罡.....796
熊国林.....1058
熊家伟.....181
熊天琦.....755
熊晓虎.....648
徐步青.....646
徐川.....620
徐凡.....1072
徐方建.....1041
徐红艳.....1035
徐洪河.....159, 162, 1052
徐建.....460, 693
徐杰.....470
徐进.....997, 1125
徐景平.....1033, 1080
徐康.....1092
徐可.....741
徐丽丽.....766
徐璐媛.....331
徐梦雨.....1113
徐敏.....684, 688

徐荣.....419
徐天澳.....537
徐万龙.....276
徐维海.....222
徐文景.....903
徐曦.....142
徐星.....146
徐义刚.....183, 184, 185, 188
徐子英.....993
许安迪.....585
许晨曦.....527
许恒超.....905
许汇源.....432
许莉佳.....215, 232, 233, 235, 246
许玲玲.....1034
许小淇.....293
许小勇.....842
许心宁.....706
许延成.....414
许艺炜.....194
许云平...626, 696, 751, 906, 910, 1042
许长海.....417
薛钢.....777, 778, 780
薛进庄.....160, 163, 561
薛梅.....319, 1003
薛乃华.....609
薛书雨.....542
薛艳霞.....545
薛媛.....724
荀鲁盈.....733
押淼磊.....645, 648, 649
鄢伟.....249
闫凯暄.....399
闫明羽.....334
严海波.....439
严蜜.....482
严威.....736
严忠义.....521
颜茂都.....266, 276, 513
颜廷礼.....221
颜文.....222, 223, 242, 244
颜秀利.....682, 683
颜余真.....283, 599
晏宏.....563
杨博.....505
杨策.....460
杨传茂.....449
杨淳渝.....621
杨帆.....368
杨风丽.....857, 1020
杨刚.....1068
杨高学.....1101
杨汉卿.....198
杨宏峰.....379
杨虎.....144
杨慧慧.....213
杨家兴.....490
杨嘉樑.....324, 325
杨建锋.....338, 410, 446, 532
杨金龙.....303
杨进宇.....687
杨婧.....472
杨娟.....821
杨军.....333, 334, 335
杨轲.....577
杨磊.....287
杨磊磊.....1010, 1025
杨柳.....1012
杨梦林.....514
杨明翰.....1001
杨清华.....326, 789
杨群慧.....314
杨瑞东.....155
杨若飞.....1008
杨胜利.....261
杨守业491, 493, 494, 495, 497, 503, 505, 507, 519, 706
杨淑娟.....154
杨顺.....590
杨涛.....968, 1012
杨挺.....1000
杨威.....899
杨晓东.....339, 381, 842
杨兴业.....929
杨雅婷.....240
杨亚丽.....909
杨阳.....337, 562
杨洋.....225

杨一博.....266, 272, 499, 521
杨义.....725, 728
杨永恒.....269
杨永太.....187
杨宇峰.....713, 765, 766, 767, 768
杨允柳.....958
杨再宝.....663
杨长清.....836
杨振.....386
杨智威.....293
杨忠芳.....289
姚凤朝.....1093
姚俊华.....412
姚宁.....199
姚鹏.....496
姚强.....150
姚胜男.....476, 710
姚炜琪.....618, 621, 1033
姚兴宗.....952
姚旭.....606
姚永坚.....982, 998
姚远.....627, 629
姚悦.....833
姚政权.....480, 517
要乐.....552
冶明泽.....1013
叶斌龙.....173
叶程程.....256
叶丰.....681, 685, 724
叶海军.....581, 798
叶嘉杨.....743
叶玲玲.....340
叶思源.....816, 819, 820, 827
叶旺旺.....785
伊善堂.....872
易沅壁.....715, 731
殷进垠.....1015
殷征欣.....993
殷志强.....295
殷子涵.....530
尹露生.....167
尹壮壮.....177
印萍.....1081
由翰飞.....575
于曹阳.....673
于海鹏.....575
于洪泽.....1076
于敏.....309
于名扬.....520
于鹏飞.....963, 968, 969
于飒.....921
于珊.....308
于洋.....367
于有强.....423
于兆杰.....655, 704
于志腾.....139, 387, 405
于智瀚.....361
余晨旻.....200
余飞.....725
余凤玲.....1030, 1084
余和雨.....1072
余克服216, 219, 220, 221, 225, 229, 230, 231, 237, 238, 241, 243, 246, 247, 248, 250, 568
余梦明.....395
余茜倩.....723, 810
余文超.....155, 165
余雄飚.....1054
余逸伦.....146
俞春泉.....355
俞小鹏.....228
俞恂.....423
俞永强.....633
俞志强.....183
俞宙菲.....458
袁超.....1099
袁朝骏.....780
袁东亮.....782
袁国礼.....291
袁嘉灿.....574
袁杰.....531
袁洁琼.....1081
袁晶晶.....889
袁柳婷.....708
袁梦.....1042
袁苗.....941
袁帅.....523
袁野.....397

袁勇.....830
袁子杰.....638
苑霖.....725
岳丽.....309
岳上.....612
岳新利.....684
咎金波.....260, 262
臧婧杰.....566
詹慧丽.....858
詹力扬.....785
詹文欢.....847
战渊超.....301
张宝金.....393, 964
张斌.....794
张伯达.....850
张博.....321
张晨.....431
张城磊.....451
张驰.....146
张春霞.....533
张聪.....806
张大海.....774
张帆139, 245, 347, 348, 349, 351, 404, 512, 997, 1120
张飞飞.....1058, 1065
张干.....646
张岗岚.....448
张功.....789, 790
张光亚.....1016
张广隶.....1091
张国良.....388, 403, 412, 1120
张海滨.....902
张海伟.....486, 543, 547, 549
张瀚之.....251
张航.....863
张昊勋.....619
张浩博.....475
张皓天.....614
张恒.....484, 937
张宏斌.....542
张虎才.....210
张卉.....664
张慧丽.....425
张伙带.....402
张吉.....403
张济东.....958
张继恩.....534, 1112
张继红.....769
张佳政.....396, 982
张嘉玮.....969
张建.....494
张健.....251, 525
张键.....545, 548
张江阳.....349, 965
张江勇.....225
张杰.....360
张洁.....372
张金海.....356
张进德.....290
张靖凡.....815
张静渊.....328
张军波.....420
张俊鹏.....726
张俊文.....701
张开均.....379
张坎.....843
张魁第.....385
张来明.....140, 195, 200
张兰兰.....624
张磊.....1039
张立飞.....432
张立军.....154
张立敏.....421
张丽.....241
张丽娟.....432
张连宝.....750
张良仁.....205
张龙.....170
张路.....374
张曼.....246
张孟.....1111
张敏.....785, 823
张明.....947
张木兰.....1052
张乃予.....722
张培震.....1123
张鹏飞.....445
张鹏辉.....839

张琪琪.....1098
张茜娅.....1092
张强.....911
张冉.....527, 617, 1104
张人禾.....138
张荣飞.....292
张锐.....302, 734
张瑞.....486, 649
张瑞杰.....219, 241
张瑞尧.....614
张睿.....218
张睿敏.....769
张生银.....707
张诗妍.....523
张守文.....791
张书玮.....1080
张淑雯.....740
张舒琪.....236
张帅.....458, 629
张水昌.....145, 640, 1006, 1066
张坦.....616
张涛.....254, 399
张腾龙.....874
张廷山.....190, 202
张婷.....826
张通.....329, 596
张万益.....287
张王滨.....600
张伟.....890
张伟林.....267, 273
张文静.....761
张文良.....1075
张文舟.....576, 800, 805
张曦.....910
张喜.....201
张侠.....975
张贤.....833
张祥光.....797
张小乐.....158
张小涛.....859
张晓华.....306, 310, 311
张晓黎.....679
张晓天.....1069
张晓钊.....915
张肖剑.....1104
张欣.....1041
张新昌.....380
张鑫178, 671, 884, 885, 898, 899, 971, 1085
张雄.....885
张旭博.....404
张雅平.....207
张延.....559
张延广.....271
张岩.....1062
张艳伟.....584, 957
张洋.....647
张一鹤.....288
张一诺.....404
张怡童.....898
张意林.....852
张翼飞.....611
张银国.....840
张应威.....662
张莹刚.....557
张永.....800
张永良.....775
张永雨.....746, 755, 764
张永战.....1089
张勇.....504
张玉红.....582
张玉祥.....449
张彧瑞.....457
张媛媛.....228
张运迎.....450
张泽.....610
张增虎.....746
张振.....623
张之辉.....194
张志刚.....351, 359
张志浩.....284
张志伟.....456
张志文.....381
张仲石.....528, 529, 537
张舟.....1051, 1055
张卓盈.....518
张子严.....1067
章楚雯.....311

章陶亮.....590
章钰桢.....170
赵宝成.....518
赵德博.....480
赵芳.....988
赵峰.....293
赵广明.....818
赵宏超.....662
赵京涛.....698
赵景耀.....540, 544, 550
赵军.....466, 759
赵珂.....612
赵克良.....207
赵蔓.....622
赵梅善.....181
赵美霞.....222, 236
赵明辉.....388, 396, 965, 990
赵明宇.....141, 722
赵宁.....695
赵盼.....363
赵鹏.....920
赵瑞祥.....580
赵世杰.....918
赵思琪.....696
赵思宇.....337
赵涛.....234
赵文涛.....855
赵玟傧.....232
赵翔宇.....599
赵向东.....150
赵小双.....204, 1075
赵晓逸.....956
赵璇.....1039
赵学婷.....994
赵雪琴.....201
赵阳慧.....371
赵莹莹.....578
赵宇鸿.....172
赵玉龙.....952
赵越.....1097
赵云鹏.....790
赵中贤.....994
赵周平.....707
赵子荟.....465
郑大燃.....148, 187
郑冠杰.....1053
郑辉.....805
郑剑锋.....935
郑金云.....910
郑凯阳.....761
郑可心.....910
郑立伟.....686, 689
郑强.....714
郑群凡.....366
郑拓.....422
郑新庆.....214
郑雄波.....776
郑旭峰.....322, 327
郑妍.....500
郑玥.....653
郑越.....732
郑珍珍.....680, 685
郑卓.....561
钟崇铭.....771
钟广财.....675
钟广法.....389
钟国荣.....804
钟嘉森.....682
钟君.....652, 700, 710
钟宁.....1046
钟涛.....561
钟文理.....592
钟文秀.....1092
钟辛易.....350
钟昕.....745
钟一鸣.....673
仲义.....469
周斌珍.....773, 782
周曾.....1069, 1078, 1086, 1089
周怀阳.....314, 315
周慧.....938
周佳鸣.....639
周建波.....1099, 1101
周建林.....1065
周娇.....976
周金戈.....827
周锦涛.....165
周君.....284

周磊.....456, 574
周力平.....1118
周良.....533
周亮.....564
周林滨.....712
周攀.....816
周鹏程.....351
周书.....878
周婉秋.....244
周卫健.....644
周文.....1094
周锡强.....721
周晓成.....348
周晓理.....282, 459, 621
周晓莉.....1094
周辛全.....484
周昕.....474
周新郢.....617
周秀峰.....291
周游.....330, 351
周羽漩.....202
周玉文.....570
周韫韬.....1057
周泽宇.....569
周哲.....729
周智.....216
周中彪.....427
朱犇.....698
朱博文.....1043
朱陈霸.....769, 772
朱定伟.....948
朱东亚.....443
朱高华.....336
朱冠虹.....499
朱光有.....934
朱国平.....319
朱恒睿.....400
朱金玉.....892
朱君.....1089
朱龙海.....1077
朱茂炎.....135, 558
朱仁果.....675
朱士兵.....1074
朱伟林.....917, 1017
朱伟龄.....372
朱玮婷.....788
朱小华.....580
朱小畏.....223
朱晓军.....923
朱晓雨.....709
朱旭东.....792
朱学明.....791
朱彦先.....1021
朱焱辉.....928
朱叶.....344
朱玉晴.....1032
朱志伟.....908
朱卓毅.....284, 691, 730, 758, 759
祝红丽.....446
祝展翼.....333
庄光超.....297, 671, 744, 754
庄文泉.....860
庄雅.....822
庄志远.....584
卓海腾.....875, 882
卓木林.....985
邹建军.....623
邹立功.....767
邹鹏.....339, 416
邹世娴.....526
邹松.....392
邹欣庆.....823
邹仲水.....585
左浩悦.....705
左鹏飞.....1011
左秀玲.....244

展商信息

本次大会会议期间为各单位和企业提供条件，展示与交流产品、科研成果、方法技术等。本届地球系统大会展览厅位于上海富悦大酒店三楼，与大会会场以及学术展板区相邻，为参展机构提供了便捷的学习交流环境。

展位	参展商名称	展位	参展商名称
E01	青岛亚必锐海洋仪器设备有限公司（RBR 中国）	E13	中国地质大学（北京）期刊中心
E02	科荟测试	E14	上海凯来仪器有限公司
E03	北京德严科技有限公司	E15	中国科学院海洋研究所学术期刊
E04	青岛领海海洋仪器有限公司	E16	青岛水德科技有限公司
E05	北京诚驿恒仪科技有限公司	E17	地震学报
E06	上海精导科学仪器有限公司	E18	《中国科学》杂志社
E07	矿物岩石地球化学通报	E19	北京赛斯默微科技有限公司
E08	南京滨正红仪器有限公司	E20	气候变化研究进展
E09	BETA 实验室	E21	上海海奕环境科技有限公司
E10	卡尔蔡司（上海）管理有限公司	E22	上谱分析 SampleSolution
E11	自然资源部第二海洋研究所	E23	Geosystems and Geoenvironment 期刊
		E24	《海洋学报》/ 海洋出版社
		E25	科学出版社
		E26	地球科学进展
E12	南京师范大学 DOM 高分辨质谱分析平台	E27	赢洲科技（上海）有限公司

RBR中国分公司：

青岛亚必锐海洋仪器设备有限公司

直接负责中国区域的销售、技术支持与售后服务

RBR 50 years

电话：0532-8099 9695

邮箱：info@rbr.cn

网址：rbr.cn

传感器

业界领先的传感器

微型测量仪

小体积，大容量

单双参数，波潮可选

标准型测量仪

更多测量参数

温盐深+其他组合

锚定/单点或剖面测量

超高精度压力

数字石英压力传感器

10ppb超高分辨率

观测系统

MLM-1000

感应耦合系统

OEM产品

Argo CTD

Glider CTD

科荟测试

Company 公司介绍 introduction

科荟测试成立于2016年，是一家通过计量认证和质量认证的第三方检测机构,公司是以现代分析仪器为平台，以先进分析测试技术为核心，以优秀青年科技人才为先锋，以社会需求为导向的分析测试技术服务型企业。已建立起气体稳定同位素、元素/同位素地球化学、原位微区元素/同位素等分析方法，测试数据在PR、GCA、OGR、GF、IGR、岩石学报、地球学报等国内外知名期刊上均有发表。

Q 公司资质 UALIFICATION

检测项目及仪器 Testing Items and Instruments

1. 气体稳定同位素分析:C、H、O、N、S等同位素

实验室拥有赛默飞253 Plus稳定同位素质谱仪、Nu Perspective稳定同位素质谱仪及样品制备前处理系统。本套仪器可以完成气相、液相有机物单体、矿物、全岩的C、H、O、N、S等稳定同位素的测定。

2. 同位素地球化学分析:Sr、Nd、Pb、Hf、Li、Fe、Cu、Zn、Mg、Si等同位素

实验室拥有一台赛默飞Neptune Plus多接收等离子质谱仪(MC-ICP-MS)，超净实验室，目前可开展Sr、Nd、Pb、Hf、Li、Fe、Cu、Zn、Mg、Si等同位素分析。

3. 激光原位分析:U-Pb年龄、原位微量元素、Sr、Nd、Hf、S、Li、B等同位素、线扫、面扫

实验室拥有三套193nm激光剥蚀系统，其中两台与电感耦合等离子体质谱仪联用（耶拿PQ-MS和高分辨等离子体质谱仪），可进行锆石、斜锆石、独居石、磷灰石、榍石、碳酸盐等副矿物U-Pb年龄测定及硅酸盐矿物、碳酸盐矿物、硫化物等原位元素测定。一台与多接受等离子体质谱仪（赛默飞Neptune Plus）可开展原位Hf、Sr、Nd、S、Li、B等同位素分析。在此基础上，公司新开发原位元素、同位素线扫及面扫测试方法。

4. 元素地球化学分析:主量元素、微量稀土元素

实验室拥有岛津X射线荧光光谱仪XRF-1800、ICP-OES、主量熔样机，用于主量元素检测。耶拿PQ-MS和高分辨等离子体质谱仪，用于微量稀土元素检测。

科荟测试（天津）科技有限公司　北京科荟测试技术有限公司
电话：13691512045/18611429960　座机：010-60219887/022-82129359
网址：www.kh-test.com　邮箱：kehuiceshi@126.com
地址：天津市武清开发区和畅路6号11号楼105室
地址：北京市大兴区金苑路甲15号A座112室

北京德严科技有限公司

◀ 绍尔背包式岩心钻机

绍尔背包钻机整套设备可容纳于背包中超轻便携适用于崇山峻岭、交通不便和水源缺乏的地区。可代替传统槽探，井探开挖，物化探验证，古地磁取样。

钻进深度：23m / 15m

钻杆口径：26mm / 41mm 支持定制

犀牛S1土壤取样钻机 ▶
（原状、无扰动、单人操作）

用途：农业土壤调查、土壤检测、场地调查、林地土壤调查、水文地质调查、地球化学研究等。钻进无需加水保持土样原状，高速钻进进尺速度快，主机专用小拉车施工地点轻松到达。

采样深度：10m

钻杆口径：51mm

◀ SE 近红外光谱矿物分析仪

SE oreXpress 近红外全光谱矿物分析仪提供精准矿物分析，节省大量勘探成本，提高找矿效率，可快速识别一系列重要蚀变矿物。

- 350-2500nm全谱高性噪比
- 实时快速准确矿物分析
- 精细快速填图利器 热液型矿床勘探首选
- 遥感地质地面实况验证

◀ SDI沉积物取样刻槽机

SDI沉积物取样钻机拥有深水型与浅水型，深水型作业水深可达百米，采样深度9米。浅水型小巧轻便，可在水深4米以内的河流、湖泊、浅海进行底泥采样。SDI所采集的样品均为柱状无扰动样品，极具研究价值。

进口地质工具、勘察装备、户外用品 ▶

LinkOcean, your link to the ocean
领海，世界领先的海洋仪器，从海面到深海

www.linkocean.cn

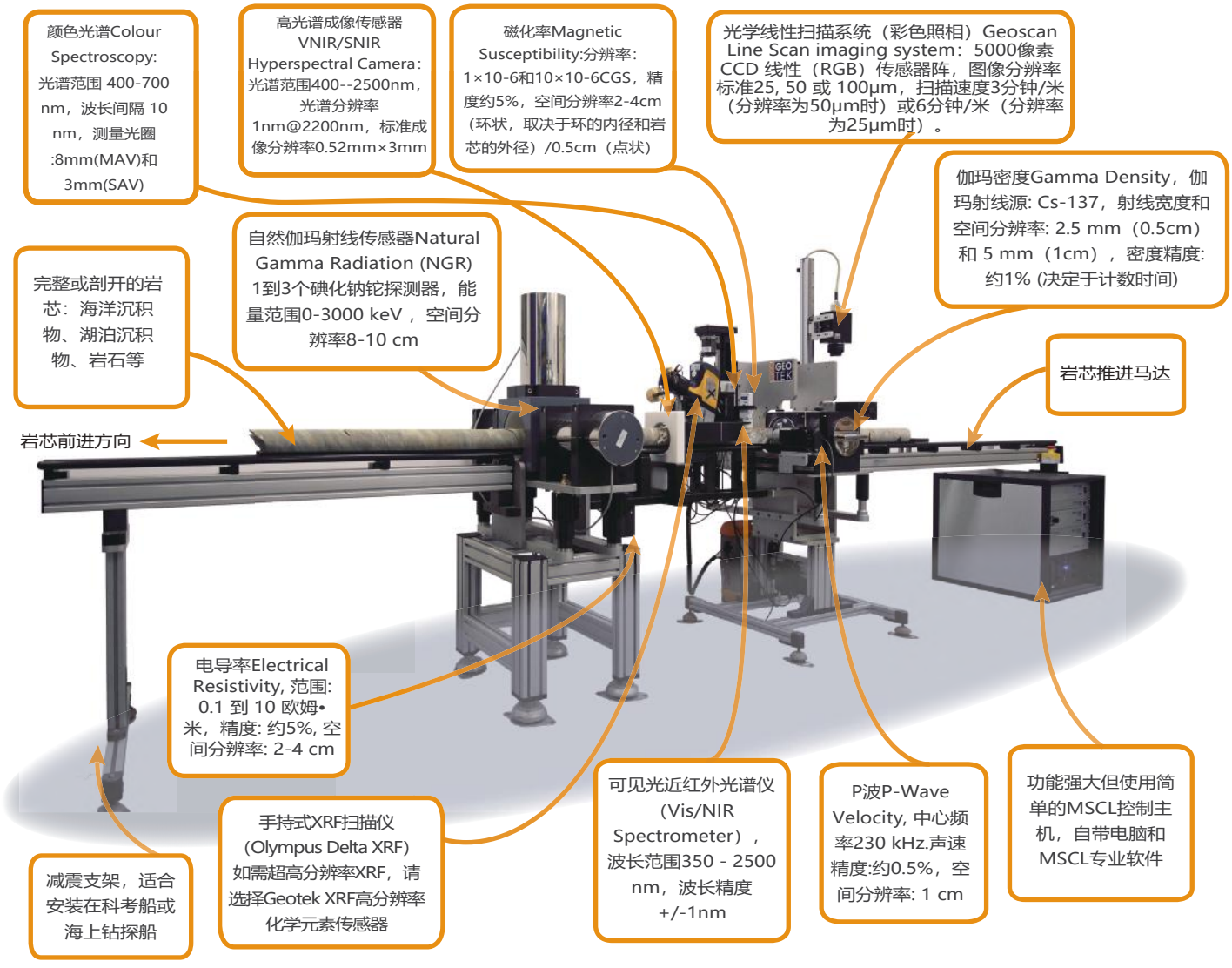
英国GEOTEK公司 • 岩芯宝贵，数据无价

科学家们用的最多的岩芯分析设备，地球上有岩芯的地方就有GEOTEK产品

Geotek岩芯综合测试系统（Multi Sensor Core Logger），是目前全球功能最全的岩芯地球物理和化学性质综合测试分析系统，应用于海底沉积物柱状样、湖泊沉积物柱状样、岩石岩芯等。其特点是不破坏样品，多种测量同步、高效、快速、准确，全自动智能分析。

Geotek全球用户超过300个，中国用户超过40个，是目前国际科研和工程领域使用最多的测量分析仪器。MSCL性能稳定可靠、结实耐用，既适合实验室也适用于野外，已经广泛应用于各国的岩芯库、地质重点实验室、野外实验室、海上调查船、大洋钻探船和工程船等。

最畅销的MSCL-S标准型的10种传感器示意图



青岛领海海洋仪器有限公司（LinkOcean Technologies Ltd.) 地址：266061，青岛市秦岭路18号国展财富中心1-314室
电话：0532-80999236、7、8、9 传真：80999238 www.linkocean.cn info@linkocean.cn

CHINEE

北京诚驿恒仪科技有限公司专业从事进口仪器设备的引进。公司主要面向地质、半导体、石化、环保、新材料等高新技术领域提供先进的分析仪器和试剂耗材，拥有欧美多个仪器品牌的代理权，是美国Savillex品牌的中国独家代理商。

产品简介

Savillex洁净样品前处理系列产品，可有效降低空白值并提高分析质量。Savillex洁净样品前处理系列产品采用纯度最高的PFA为原料，可为消解、蒸发、离子交换、清洁、储存等需求提供整套超洁净解决方案。Savillex的DST酸纯化系列使更多的用户可以负担得起使用超纯酸进行样品消解甚至清洗。随着Savillex洁净样品前处理系列产品的普及，样品制备不再受到限制。

美国Savillex酸蒸馏器DST系列

美国Savillex加热板HPX系列

美国Savillex高纯PFA实验室耗材

美国Savillex ICP雾化器进样系统

电话：010-82382578/82601938
17812521682
邮箱：info@chinyee.cn
网址： http://www.chinyee.cn
地址：北京市海淀区中关村东路18号财智国际大厦A1505

扫码关注诚驿科技

扫码进入驿来商城

上海精导科学仪器有限公司

Aquatec 泥沙解决方案

AQUAlogger310TY 高量程 OBS 浊度计是一种紧凑的仪器，测量浊度大于 10,000FTU，可选的集成温度和压力传感器。它可以在淡水和海洋环境中使用，具有浅水和深水模型。该记录仪还具有一个工具，可以使用原位样品将浊度转换为悬浮泥沙浓度。

AQUAscat 1000 系列悬浮剖面仪在多个工作在不同频率的换能器上传输高频声音脉冲。他们在离散的空间间隔上测量由沉积物和其他悬浮物质散射的声音。然后对后向散射进行处理，计算平均粒径和悬浮泥沙浓度，该仪器最适用于粒径在 20 μm 至 500 μm 之间，浓度在 1 m 内 0.01 g/l 至 20 g/l，或在较短范围内更高的颗粒。

Ultralab 系列水槽波高仪

采用超声波原理，高精度，高采样率地测量实验室水槽浪高数据，测量时不扰动水面，免校准，并可实现多达 128 通道同步测量。

应用范围主要包括船模实验水池、拖曳水池分析波浪波场，可对陡波、碎波、快波，畸形波、不规则波等各类波浪的测量，测量相对速度可达 15m/s。

Sofar 微型波浪浮标

Sofar 微型波浪浮标是一种经济实惠的海洋浮标，可以实时收集和传输波浪、风、海面温度和气压数据。采用 “交钥匙” 的方式，减少用户操作，出厂提供三个月通信费用，实现即买即用。

Oculus M 系列多波束成像声呐

该系列多波束成像声呐是多用途的二维水下高清成像声呐，提供实时清晰声呐图像，不受浑水影响，双频集成一体，兼顾大量程、高清晰的使用场景需求，可固定安装或集成到无人船等移动平台，设备体积小，功耗低，提供 SDK 开发板易集成到各类系统中，主要用于水下 ROV 导航，目标物探测识别，跟踪，避障，水下操作监控，水下搜救等。

水下集成的水文水质传感器

安德拉 4420 单点海流计、DCPS5400 多普勒剖面海流计、浮标用 SVS-603HR 波浪传感器、5218 压力波潮传感器、miniCTD 直读温盐深仪、miniCT 温盐传感器、海水免校准 pH 传感器、浊度、叶绿素、溶解氧、蓝绿藻等，主要应用于水下监测平台、浮标等系统的水文、水质传感器的集成，体积小，功耗低，野外充分验证过，可靠耐用。

矿物岩石地球化学通报

BULLETIN OF MINERALOGY, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY

《矿物岩石地球化学通报》报导国内外有关矿物学、岩石学、地球化学和沉积学最新的、高水平的研究成果和综合述评，交流信息和指导学会工作。本刊快速、新颖、信息量大、出版周期短、成果报道准确、科学价值突出。

栏目包括主题论文、研究成果、综述、科学人生、科普园地、科海钩沉、地学论坛、亮点速读、招聘信息、学会之声等。

主办：中国矿物岩石地球化学学会
中国科学院地球化学研究所
主管：中国科学技术协会

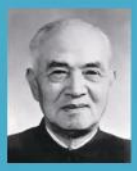
★ 特色栏目 ★

主题论文：每期邀请资深科学家作为特邀主编就某一主题进行组稿/撰稿。

科学人生：分享地学工作者的学术经历、科学精神和科学成就等，已陆续刊发40余篇文稿，介绍了10多位地学大师。

南延宗先生

程裕淇院士


李四光院士

侯德封院士

科普园地：介绍地球科学与相邻学科的科学知识，寓教于乐。

嫦娥五号

天问一号

超级火山

地震波

科海钩沉：讲述与“地学百年”有关的励志教育和启示意义的历史事件。

如：侯德封奖的由来
走进阿波罗月球样品实验室
科学城地标“鸿鹄楼”

地学论坛、亮点速读、招聘信息、学会之声等栏目为广大读者提供咨讯信息。

投稿网址：http://www.bmpg.ac.cn

0851-85895599

痕量分析用实验室器皿及仪器

PFA 酸纯化器（1、2、4L）

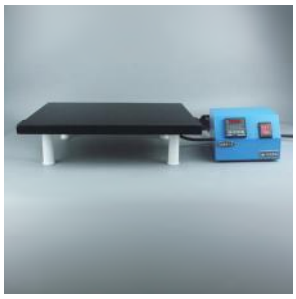
PFA 酸缸（15、20L）

PFA 烧杯

PFA 小瓶清洗桶 4、6L

PFA 溶样罐（Beaker）

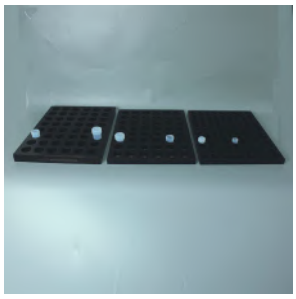
PFA 量筒



防腐加热板

PFA 微柱、层析柱

PFA 反应瓶



多孔加热支架

PFA/FEP 试剂瓶

消解罐

滨海县正红塑料仪器厂　　南京滨正红仪器有限公司

电话：139 139 23002、139 139 23206、139 139 23205
139 139 64005、139 139 67812

ISO 17025 认证的BETA实验室可提供多种精准、快速的测试服务，包括放射性碳测年、稳定同位素测试等。Isobar Science是BETA实验室的子公司，可提供高精度的同位素测试服务，使用的仪器为多接收电感耦合等离子体质谱MC-ICP-MS。

- 骨头 & 牙齿
- 木头
- 贝壳 & 其他碳酸类
- 沉积物
- 植物 & 种子
- 水样

利用我们的专业优势

- 可靠的测试周期
- 本地客户服务团队
- 方便的全球样品转寄点
- 安全的在线报告系统
- 专业的技术支持

www.radiocarbon.cn | www.isobarscience.com/zh-hans/

蔡司 Xradia Context 微米 CT

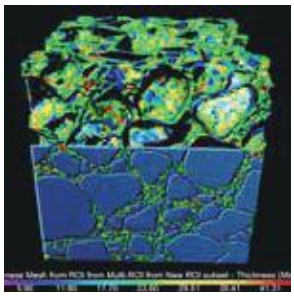
大视野、高分辨率、高衬度的高端亚微米级无损三维成像解决方案

Xradia Context microCT 是一款大观察视野、高分辨率、高衬度的无损三维微米 CT。该产品不仅能够在 3D 全景中展示完整大样品的内部细节，还能针对小样品进行高分辨率成像观察细节特征。Context 微米 CT 建立在历经考验的蔡司 Xradia 平台之上，图像质量、稳定性和易用性均属上乘，并具备高通量成像能力。该系统可为您的材料无损三维表征、微观结构分析、形貌测量、缺陷检测等研究提供解决方案。

技术特点:

- 大视野、高通量成像能力
- 空间分辨率 0.95 µm
- 最小体素小于 0.5 µm
- 高衬度成像能力
- 高信噪比、低伪影
  - 强大的自动漂移校正模式
  - 先进的射线硬化矫正算法
  - 先进的环状伪影去除方法

材料科学



多孔陶瓷材料

电池材料

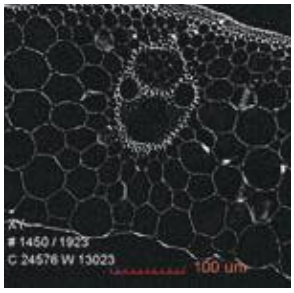
自然资源

岩石矿物分布

致密砂岩

生命科学

小鼠胚胎



植物维管束

工业检测

电子产品组装

摄像头组装

www.zeiss.com.cn

卡尔蔡司(上海)管理有限公司
中国（上海）自由贸易试验区美约路60号（200131）
Tel: (86)21-2082 1188 Fax: (86)21-5048 1193

北京分公司
北京市海淀区学院路甲5号768创意产业园B座北区1211号（100083）
Tel: (86)10-8517 4188 Fax: (86)10-6566 3319

广州分公司
广州市天河区珠江东路16号高德置地冬广场G座3804室（510623）
Tel: (86)20-3719 7558 Fax: (86)20-8769 0609

成都分公司
成都市人民南路三段1号平安财富中心2201-2202室（610041）
Tel: (86)28-6272 6777 Fax: (86)28-6272 6788

全国免费服务热线: 4006-800-720

蔡司显微镜

ZEISS
Seeing beyond

西南印度洋硫化物资源与评价

项目简介 PROJECT BRIEF

洋中脊热液硫化物富含铜、锌、金等多种金属元素，为重要潜在矿产资源。西南印度洋超慢速扩张海底热液活动是当今国际研究热点。2007年首次在超慢速扩张西南印度洋中脊发现了活动热液区，并在大西洋、东太平洋海隆和印度洋取得了大量发现。2011年我国与国际海底管理局签署了西南印度洋1万km²的勘探合同，该国际上第一份国际海底硫化物勘探合同将持续开展15年的资源环境评价与基础研究。

本项目在中国大洋协会领导和支持下，持续10多年联合攻关，提出局部岩浆供给及洋壳渗透率是控制洋脊热液活动形成的重要机制，创建了超慢速扩张西南印度洋中脊成矿模型，建立了从区域到局部的成矿预测方法，创新了洋脊复杂地形与构造背景下的活动/非活动硫化物高效探测技术（瞬变电磁系统和化学传感器等），建立硫化物探测"三步法"，创建了快速探测方法技术体系，取得了一系列开创性重大突破。

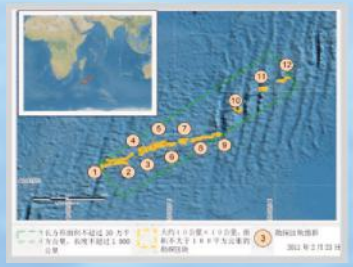
项目负责人：陶春辉

陶春辉博士，自然资源部第二海洋研究所海底科学重点实验室研究员，博导，入选浙江省特级专家、中组部特支人才计划、全国先进工作者。上海交通大学海洋学院兼职副院长。先后担任国际大洋中脊协会洋中脊硫化物资源工作组联合主席、国际海底管理局秘书长深海研究卓越奖咨询委员、中国大洋协会西南印度洋硫化物勘探与资源评价总地质师和"十二五"863主题专家等。

陶春辉一直致力于国际海底资源找矿国家专项与基础研究，在海底硫化物找矿模型、技术方法等方面取得创新性成果，是我国首次在世界三大洋发现海底热液区的科学家。建立了海底硫化物预测与快速找矿方法并实践应用，带队在西南印度洋发现了国际上首个超慢速扩张脊高温黑烟囱，实现了我国在海底硫化物发现"零"的突破，推动我国成为海底硫化物资源勘探先进的国家。致力于大洋资源探测技术创新，推动组建大洋矿产资源立体探测体系；国内首次开发多频海底声学原位测量技术并已产品化，解决了海底沉积物声特性高精度测量难题。获国家科技进步二等奖2项（排名1、7）、中国发明专利优秀奖1项(排名1)、行业及国家海洋局科技成果奖一等奖3项（排名1）。主持国家重点研发计划项目、基金委重大仪器专项、973/863课题和国际海域专项等。以第一/通讯作者在Nature Communications、Geology、EPSL、GCA、GRL、JGR 等发表SCI 论文70多篇、出版专著4部；授权发明专利30件。

项目成果与影响力 OUTCOMES AND IMPAC

国家科学技术进步2项(排名1、7)



推动获得国际首个洋中脊硫化物勘探合同区

出版"十三五'科学出版社重点出版物出版规划项目"
序：金翔龙院士

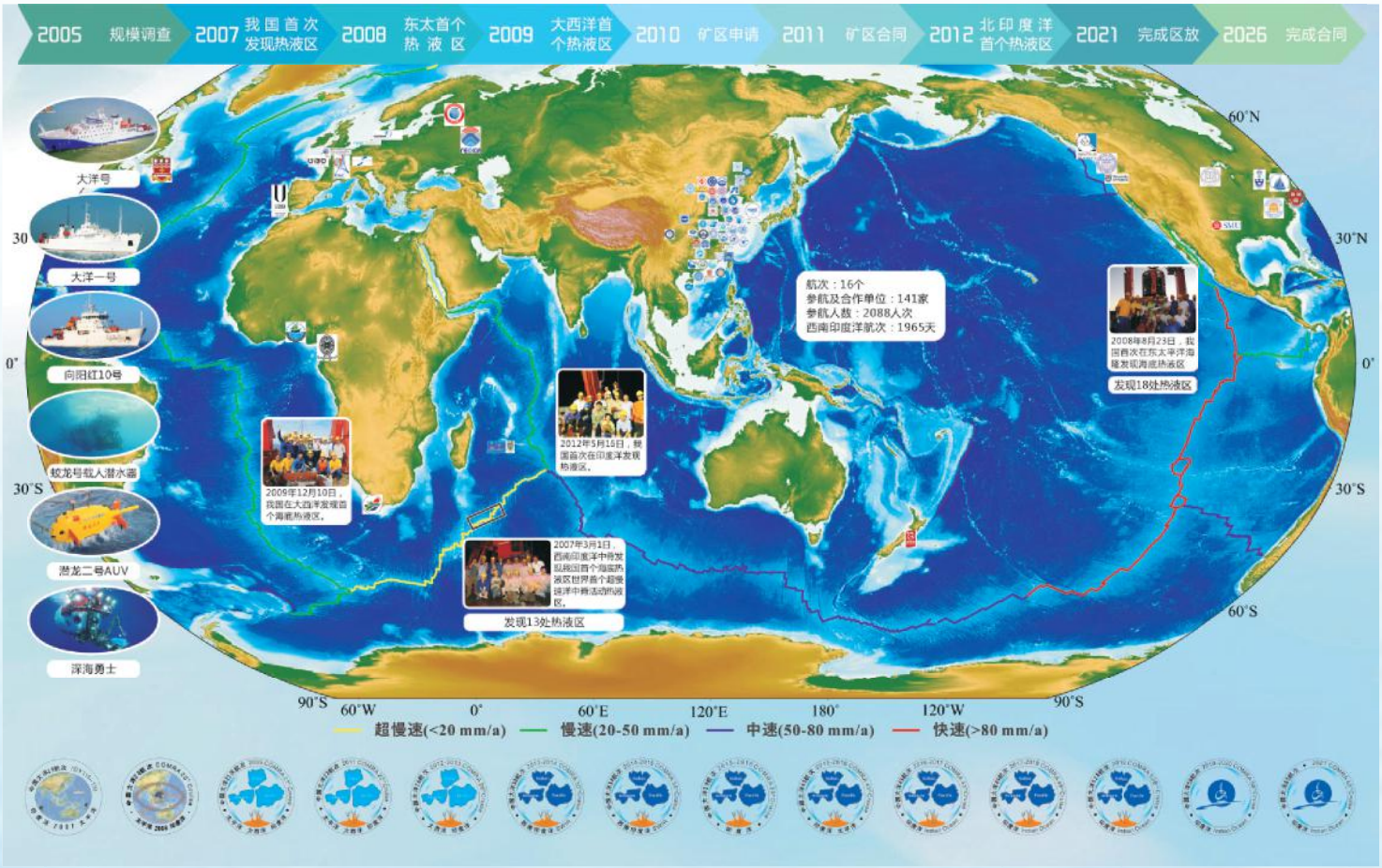
省部级奖3项(排名1)

金翔龙院士

李家彪院士
Interridge共同主席

西南印度洋硫化物资源与评价

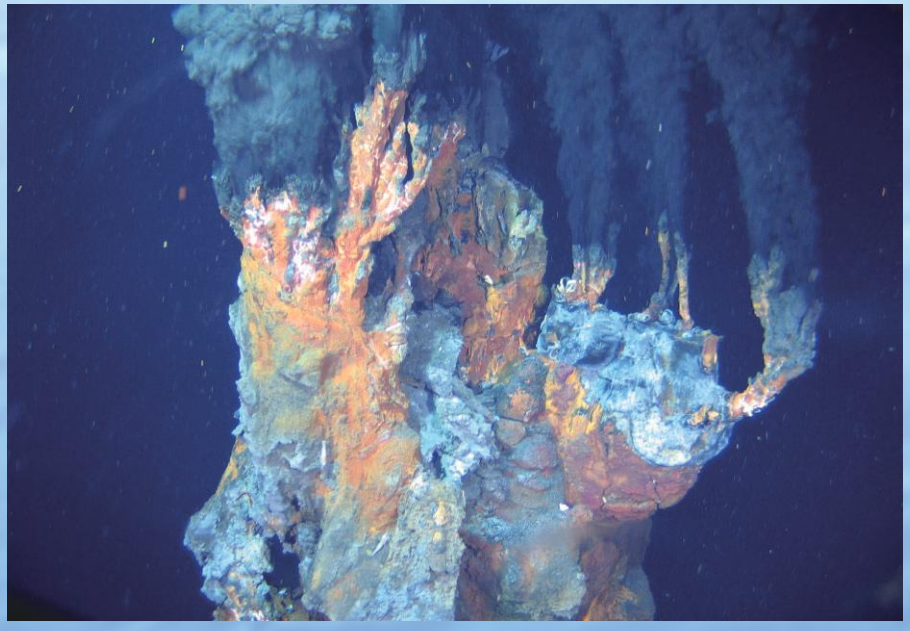
D 三大洋的发现 ISCOVERIES IN THREE OCEANS



W 欢迎加盟 ELCOME to JOIN

项目组常年欢迎地球物理、矿床、构造方向博士后加盟！

项目组可在自然资源部第二海洋研究所、上海交通大学海洋学院、浙江大学海洋学院、南京大学地理与海洋学院、中国地质大学（北京、武汉）、河海大学和成都理工大学招收硕博研究生。同时欢迎联合培养博士生。



扫一扫，了解西南印度洋调查研究最新进展

陶老师

Email : taochunhuimail@163.com

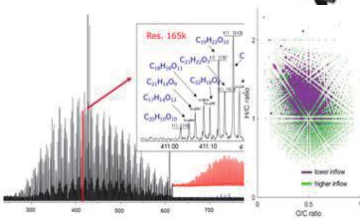
吴老师 13758151829

Email : wut@sio.org.cn

网站: www.deepseavents.org

南京师范大学DOM高分辨质谱测试平台

DOM高分辨质谱分析平台隶属于南京师范大学大型仪器共享服务管理体系，为江苏省分析测试协会理事单位。平台以服务本校科研并兼顾服务社会需求为宗旨，不断提升科研服务水平，为我校的学科建设、科学研究以及高层次人才培养提供了强有力的技术支撑。平台配套仪器包括傅里叶变换离子回旋共振质谱仪，基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪以及**QQQ MS**等多套高端质谱仪，业务范围包括**DOM**测试分析，蛋白质组学分析以及代谢组学分析，服务学科涉及地球科学，生命科学，环境科学以及化学药学等多种学科。在满足本校教学科研同时，也为兄弟高校如南京大学，东南大学，南京农业大学，河海大学，中科院南京地湖所，中科院南京土壤所，兰州大学，西北农林科技大学，福建农林大学，厦门大学，河北工程大学及沈阳农业大学等众多科研机构提供了**DOM**分析测试及数据解析服务。



DOM分析解决的主要科学问题：**C/N/S**等元素地球化学循环，涉及地球科学系统有机质分子组成和差异以及分析地球化学涉及的方法学等关键科学问题。

DOM分析样品主要类型：天然水样（河流、湖泊、地下水、海水等）、土壤浸提液、藻或水草降解液等各类环境样品。

DOM分析流程：固相萃取-质谱测试-结果表达

固相萃取　　质谱测试　　结果表达

服务科研机构

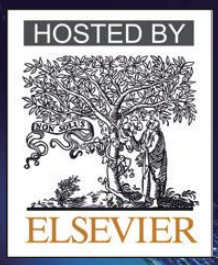
用户近期代表性成果

(1)Ye Yuping, et al., **2023**. Novel insights into the temporal molecular fractionation of dissolved black carbon at the iron oxyhydroxide - water interface. ***Water Research***, 229,119410.

(2)An Shilin, et al., **2023**. Sunlight irradiation promotes both the chemodiversity of terrestrial DOM and the biodiversity of bacterial community in a subalpine lake. ***Environmental research***, 227, 115823.

(3)Lin Yuan, et al., **2021**. Algae Biofilm Reduces Microbe-Derived Dissolved Organic Nitrogen Discharges: Performance and Mechanisms. ***Environ. Sci. Technol.***, 55, 6227.

联系人：刘海龙 博士/高级实验师，liuhailong@njnu.edu.cn，15105195032（微信同号）



HOSTED BY ELSEVIER

open access

PIIJ
Project for Enhancing International Impact of China STM Journals

《GEOSCIENCE FRONTIERS》
《地学前缘(英文版)》

《GEOSCIENCE FRONTIERS》（《地学前缘（英文版）》）是中国地质大学（北京）与北京大学共同主办的英文地学期刊，双月刊，2010年10月创刊，与Elsevier公司合作出版。期刊现任主编为莫宣学院士。2016年被SCIE数据库收录，2022年科睿唯安（Clarivate Analytics）发布的《期刊引证报告》（JCR）中期刊最新影响因子为7.483，在地球科学及交叉学科领域201种期刊中排名第8，稳居Q1区，学科排名前5%。期刊于2019年入选中国科协等七部委组织的“中国科技期刊卓越行动计划”重点期刊项目，多次进入中科院期刊分区1区Top期刊行列，荣获“中国高校杰出科技期刊”“中国最具国际影响力学术期刊”等多个荣誉。

《地学前缘（英文版）》支持全文开放获取（Open Acess，OA）出版，全部发表的论文可在ScienceDirect出版平台上免费下载。

2018 IF	2019 IF	2020 IF	2021 IF
4.160	4.202	6.853	7.483

详情请访问期刊网站：http://www.elsevier.com/locate/gsf
http://www.geosciencefrontiers.com

投稿网站：https://www.editorialmanager.com/gsf

邮　　箱：geofrontier@cugb.edu.cn

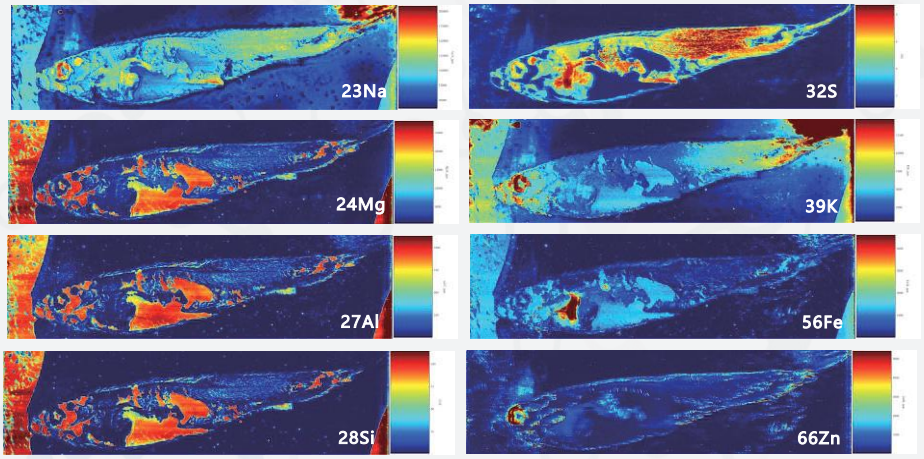
电话传真：0086-10-82322283

QQ　群：310641183

开启全元素快速成像测试服务
LA-LIBS-ICP-TOFMS/μXRF
全国首家采用飞秒激光提供测试服务

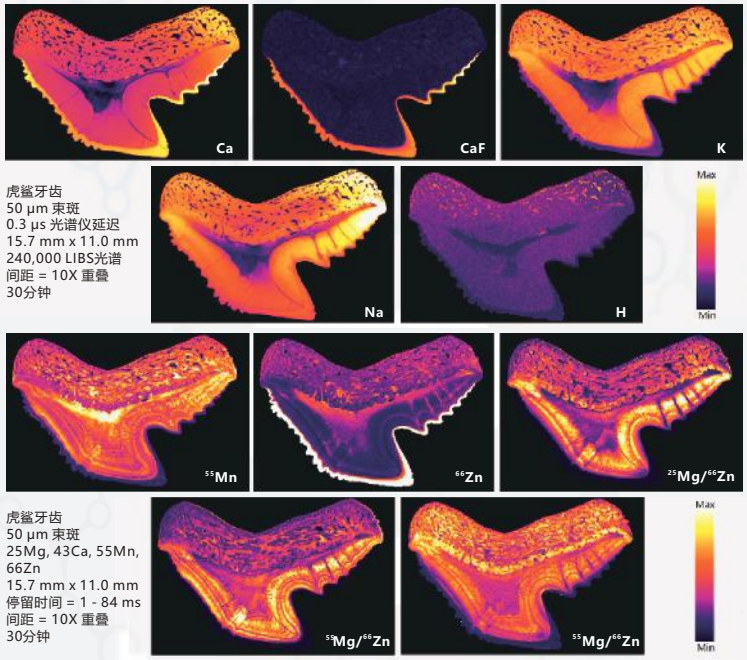
We Want Images
But We Make It Faster!

凯来 ChemLab



LA-ICP-TOFMS斑马鱼样品元素成像

- 样品尺寸：25.26 x 7 mm
- 像素点：约44.2万点
- 成像软件：iolite4
- 光斑直径：20 μm
- 激光频率：200 Hz



LA-LIBS-ICPMS虎鲨牙齿元素成像

元素成像方案

ImageGEO193
(washout 1ms)

ESLuman
(LIBS模块)

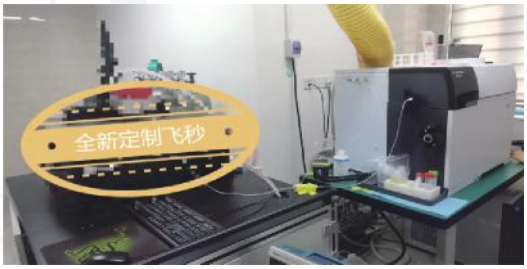
Vitesse
ICP-TOFMS

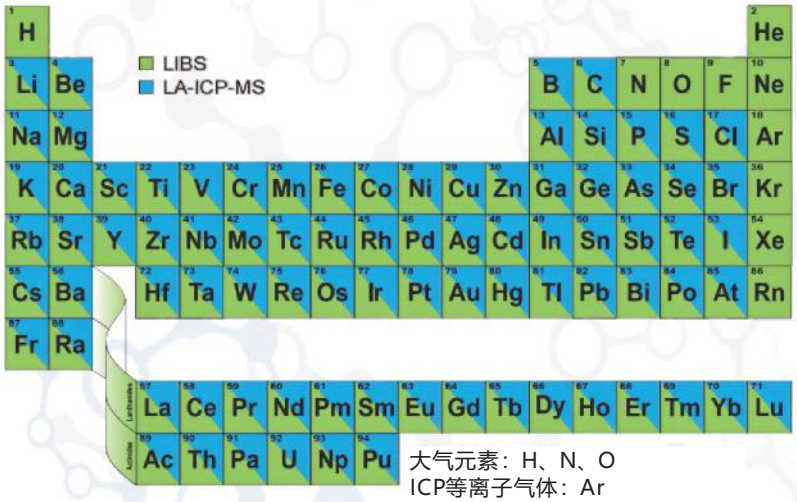
icpTOF R
ICP-TOFMS

Horiba XGT-9000
(分辨率15μm)

Agilent 8900
ICP-MS

Pe NexION 5000
ICP-MS



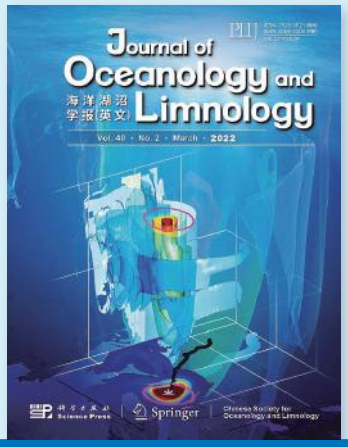


大气元素：H、N、O
ICP等离子气体：Ar
惰性气体：He、Ne、Kr、Xe、

飞秒激光剥蚀系统核心参数：

激光器：	飞秒固态激光源
波长：	343或者515nm。
样品表面能量密度：	>30 J/ cm2，
能量密度：	0-100 %可调。
激光脉冲宽度：	≤500fs；
脉冲重复频率：	1-10000Hz，软件控制。
光斑剥蚀尺寸：	1-500um，连续可调，调节精度1μm，全部由软件控制。

上海凯来谱科技有限公司
上海总部：上海市浦东新区海基六路218弄36号楼
应用实验室：上海市浦东新区海基六路218弄11号楼4-5层
电话：+86 (0) 21-58955763
邮箱：webmaster@chemlabcorp.com
网址：www.chemlabcorp.com



Journal of Oceanology and Limnology
海洋湖沼学报（英文）

报道海洋湖沼科学领域最新研究成果，涵盖物理、化学、地质、生物、生态、水产养殖等多个学科。

主　　编：孙　松
主办单位：中国海洋湖沼学会
承办单位：中国科学院海洋研究所
出版单位：科学出版社和 Springer

- 1982 年创刊，双月刊
- SCIE、SCOPUS、CSCD 收录，北大核心期刊、中国科技核心期刊
- Springer 网站 OnlineFirst发布
- 中国国际影响力优秀学术期刊
- 中国科学院文献情报中心期刊分区：地学类2区
- 地学领域高质量科技期刊分级:T1级

主页：http://link.springer.com/journal/343
投稿：http://mc03.manuscriptcentral.com/c-jol
地址：山东省青岛市福山路 32 号　　邮箱：jol@qdio.ac.cn　　电话：0532-82898754

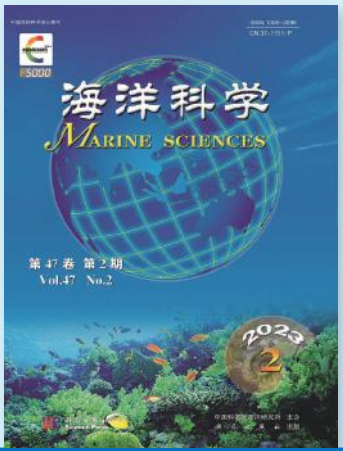
海洋与湖沼
Oceanologia et Limnologia Sinica

水科学领域最早、最有影响的综合性学术刊物之一，发表江河湖海、沼泽湿地等方面的高端科技论文，学科涵盖生物、物理、化学、地质等多个学科及其分支。

主　　编：王　凡
主办单位：中国海洋湖沼学会
承办单位：中国科学院海洋研究所
出版单位：科学出版社

- 1957 年创刊，双月刊
- 北大核心期刊、中国科技核心期刊、SCOPUS、CSCD 收录
- 勤云投审稿系统、在线预出版
- 中国精品科技期刊（F5000）
- 中国国际影响力优秀学术期刊
- 地学领域高质量科技期刊分级:T1级

主页：http://qdhys.ijournal.cn/hyyhz/ch/index.aspx
地址：山东省青岛市福山路 32 号　　邮箱：ols@qdio.ac.cn　　电话：0532-82898753



海洋科学
Marine Sciences

办刊宗旨是密切联系生产实际、服务于我国现代化建设。报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺和新进展。

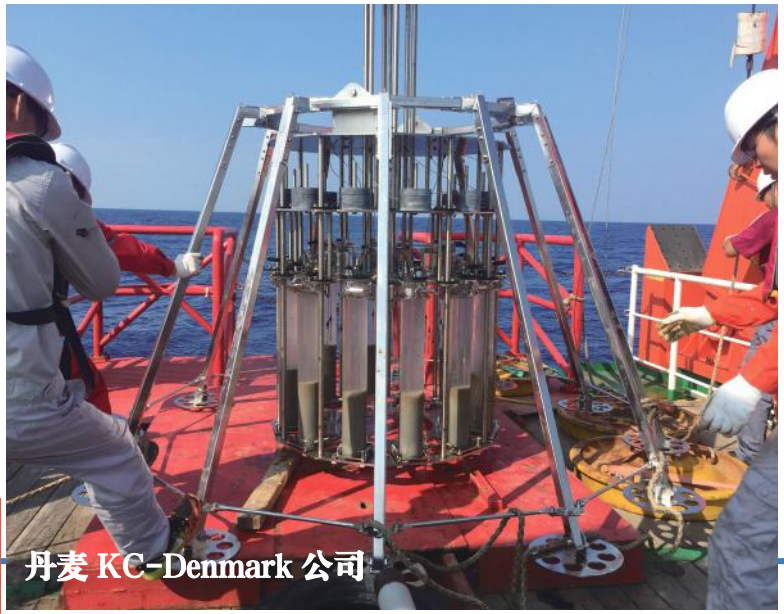
主　　编：杨红生
主办单位：中国科学院海洋研究所
出版单位：科学出版社

- 1977 年创刊，月刊
- 北大核心期刊、中国科技核心期刊
- 勤云投审稿系统、在线预出版
- 华东地区优秀期刊
- 中国科学院获奖期刊
- 山东省优秀期刊
- 地学领域高质量科技期刊分级:T2级

主页：http://qdhys.ijournal.cn/hykx/ch/index.aspx
地址：山东省青岛市福山路 32 号　邮箱：marinesciences@qdio.ac.cn　电话：0532-82898752

水 德 watertools | 让全球优质海洋科技产品触手可及
Make Global High-quality Marine Science And Technology Products Within Reach

◆ 海洋水文仪器 ◆ 海洋化学仪器
◆ 海洋生物仪器 ◆ 海洋声光仪器
◆ 海洋地质仪器 ◆ 综合观测设备


丹麦 KC-Denmark 公司

多通道柱状采泥器

德国 HYDRO-BIOS 公司

浮游生物多联采样网

德国 SubCtech 公司

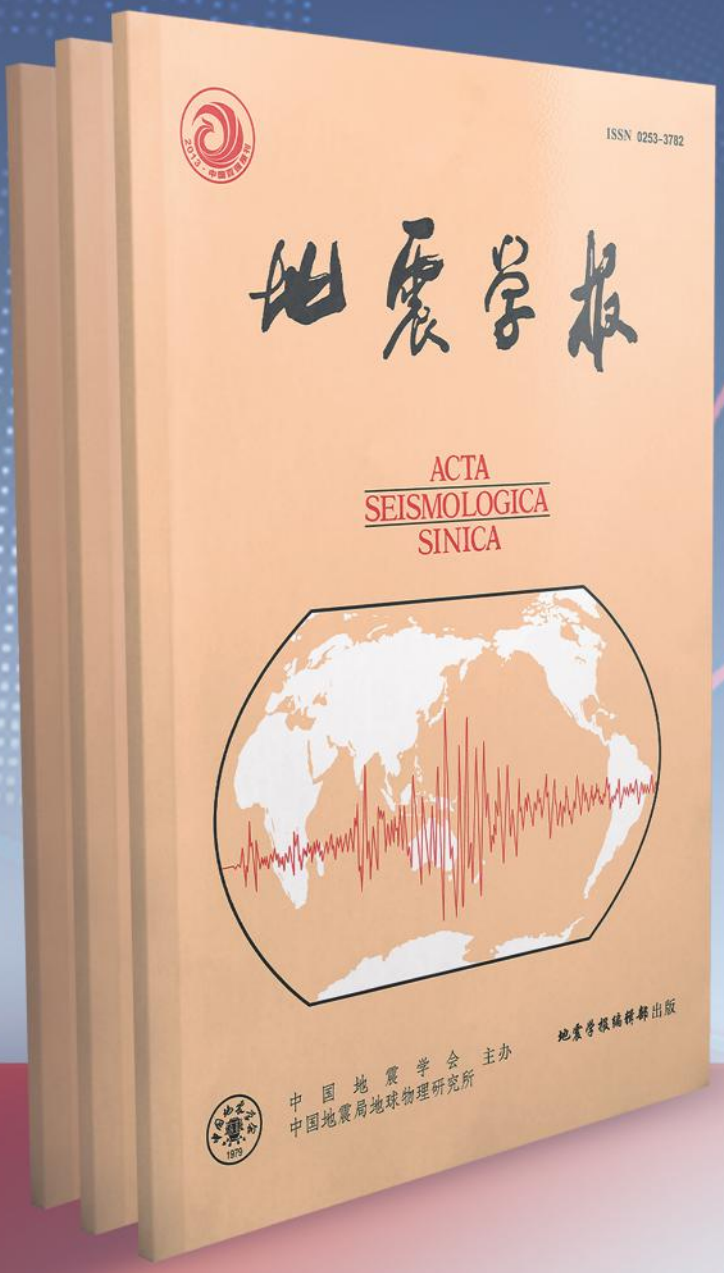
走航式海洋表层多要素测量系统

道万

高精度温盐深仪

◆ 青岛水德科技有限公司 | 电话：0532-87761284 | 网址：www.watertools.cn

1979 年创刊
双月刊



简介 brief introduction

主要刊登地震科学方面具有创新性的研究成果和技术成就，也登载与地震有关的地球物理、地震地质、工程地震等科学领域的学术论文及研究简报；登载本学科不同学术观点的文章；登载与地震科学有关的评述文章；介绍地震科学及与其有关的重大学术问题的研究现状和进展，反映地震科学及其有关的科技工作动态。

已列入北大中文核心期刊、CSCD 核心期刊、中国科技核心期刊、中国科协《高质量科技期刊分级目录》T1 类，同时也被 Scopus，GeoBase，EBSCO，Index Copernicus 哥白尼索引，SJR (SCImago)，РЖ 俄罗斯《文摘杂志》，JST (JSTA) 日本科学技术振兴机构数据库等国际知名数据库收录。

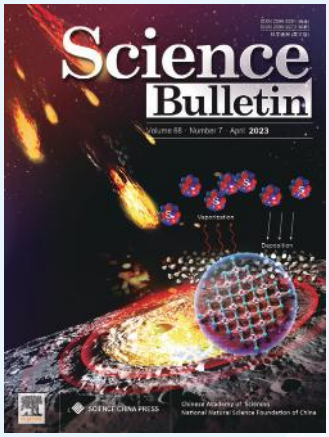
- 主　　编：丁志峰
- 主管单位：中国科学技术协会
- 主办单位：中国地震学会　中国地震局地球物理研究所
- 网　　址：http://www.dzxb.org/
- 电　　话：010-68729330
- 邮　　箱：dzxb79@126.com　dzxb@cea-igp.ac.cn

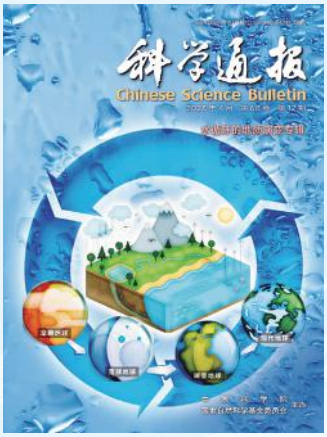
欢迎莅临《中国科学》杂志社展台（E18）交流！

科学通报 / Science Bulletin

主　　编：高福

执行主编（地球与环境科学）：陈发虎





Wechat ID　　Wechat ID

National Science Review

主　　编：白春礼

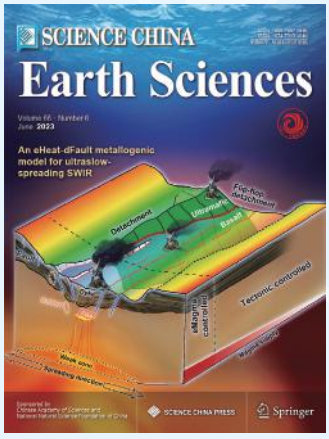
副主编（地学）：周忠和

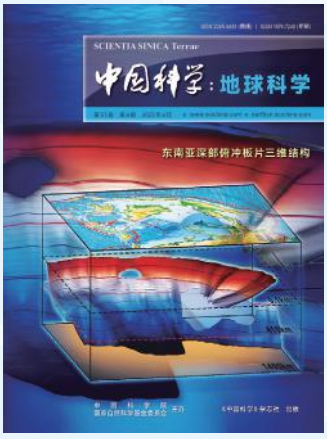
评审组长（地学）：郭正堂

Wechat ID

中国科学：地球科学/ Science China Earth Sciences

主　　编：郑永飞





Wechat ID

National Science Open

主　　编：张跃

执行主编（地球与环境）：倪晋仁

Wechat ID

CESMOVY 赛斯默微科技

宽频带地震计-天然震动观测

加拿大Nanometrics 宽频带系列地震产品

★覆盖60s-360s多个频带范围

★可适用于各种不同的安装、观测方式（地面、浅井、深井，分体式、一体式等）

★多种型号可选，满足不同预算要求。

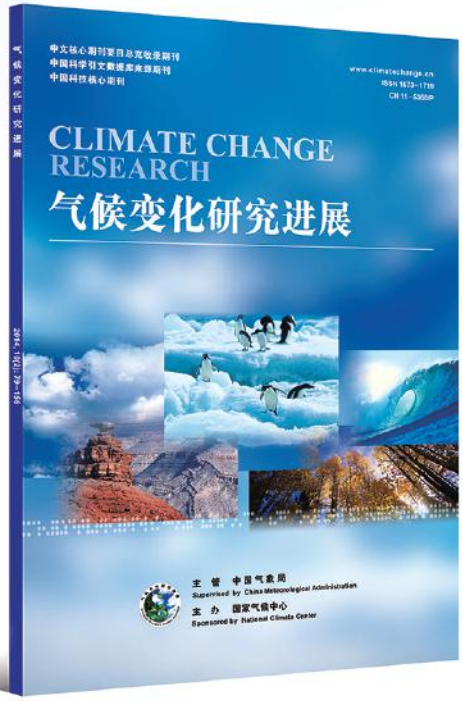
地震计系列产品

Trillium 360 Family	Trillium 120 Family	Meridian Family	Trillium Compact Family
Trillium Vault 360	Trillium Vault 120	Meridian PH 一体机	Trillium Compact
Trillium PH 360	Trillium Horizon 120		Trillium Compact PH
Trillium BH 360	Trillium PH 120	Meridian Compact PH 一体机	Trillium Compact All Terrain
	Trillium BH 120		Trillium Compact OBS
			Trillium Cascadia

气候变化研究进展

主　　编：秦大河

主办单位：国家气候中心



中文核心期刊要目总览收录

Scopus、CSCD、CJCR 收录

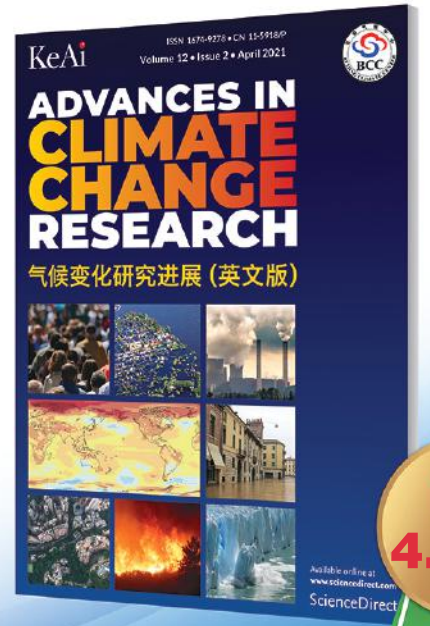
双月刊

ISSN 1673-1719

CN 11-5368/P

主要栏目

- 气候系统变化
- 减缓气候变化
- 气候变化影响
- 温室气体排放
- 对策论坛
- 气候变化适应



开放获取

Scopus、CSCD、SCIE 收录

双月刊

ISSN 1674-9278

CN 11-5918/P

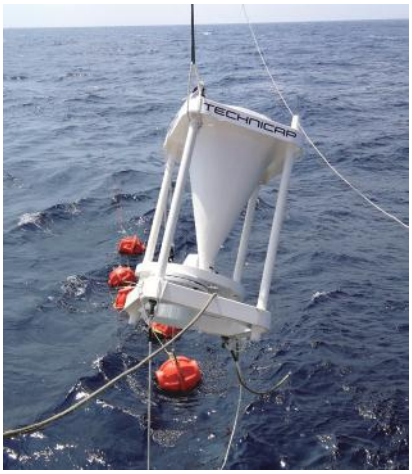
IF: 4.746

http: //www.climatechange.cn

电话：010-58995171　Email: accr@cma.gov.cn; accre@cma.gov.cn

海奕环境科技
Oceanen Environmental Sci.& Tech.

上海海奕环境科技有限公司致力于海洋及水环境领域内仪器的引进及技术开发与咨询，上海市高新技术企业，主营产品有海洋监测仪器、水生生物仪器、水文勘测仪器、水体采样等设备。经过多年发展，目前已是国外品牌仪器（美国 General Oceanics 公司、法国 Technicap 公司、意大利 Idronaut 公司、美国 Sensors & Systems Solutions 公司）等在中国区的总代理和技术服务中心。



法国 Technicap 公司
沉积物捕获器

美国 Sensors & Systems Solutions 公司
全自动 CO_2 在线监测系统

美国 General Oceanics 公司
走航式 CO_2 监测系统

意大利 Idronaut 公司
CTD 多参数水质仪

美国 General Oceanics 公司
多通道采水器

英国 Osil 公司
多管柱状采泥器

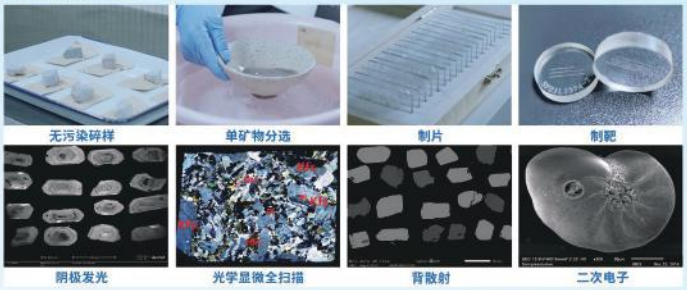
地址：上海市松江区文翔路3788弄龙湖湖畔商务中心16号楼204室　　电话：021-54047221
网址：www.oceanen-tech.com　　邮箱：info@oceanen-tech.com

武汉上谱分析科技有限责任公司
Wuhan SampleSolution Analytical Technology Co., Ltd

公司简介

武汉上谱分析成立于2013年1月，拥有CMA资质认证，GeoPT、G-Probe国际盲样分析检验水平全球领先，是专业的地球化学分析综合测试平台，提供微区原位分析（U-Pb同位素定年、主微量元素、Sr-Nd-Pb-Hf-S同位素）；全岩主微量、Sr-Nd-Pb-Hf-Ca-Cu-Fe-Zn-Mg-Li同位素分析；电子探针；样品前处理等测试服务。

样品前处理



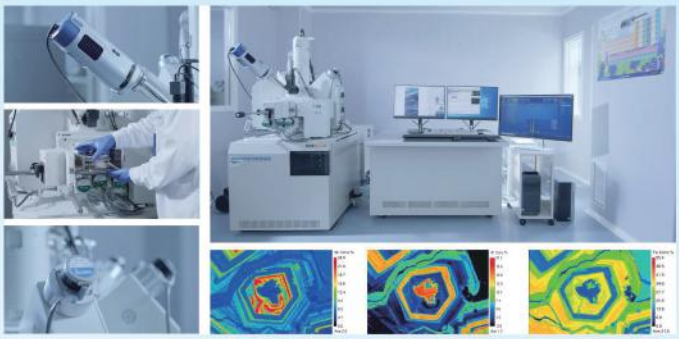
LA-ICP-MS
U-Pb同位素定年和微区原位主微量元素分析

U-Pb同位素定年：锆石、榍石、锡石、独居石、磷灰石、沥青铀矿、磷钇矿、黑钨矿等
微区原位主微量元素分析：硅酸盐、碳酸盐、磷酸盐、硫化物、氧化物以及生物样品等

LA-MC-ICP-MS
激光微区原位同位素分析

Sr	Nd	Pb	Hf	S
长石 单斜辉石 磷灰石 碳酸盐等	磷灰石 榍石 独居石等	长石 黄铁矿 黄铜矿 方铅矿等	锆石 斜锆石等	黄铁矿 磁黄铁矿 镍黄铁矿 黄铜矿等

EPMA
电子探针

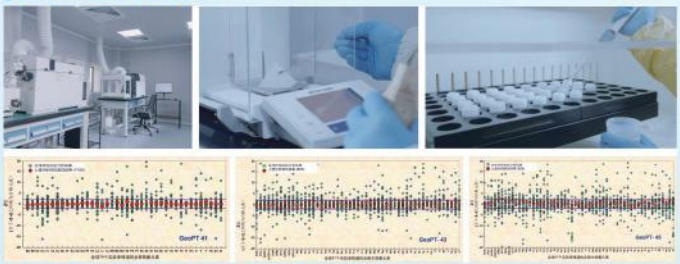


电子探针：定性分析、定量分析、线扫描分析、面扫描分析

XRF
全岩主量元素分析

全岩主量元素分析、二价铁分析

ICP-MS
全岩微量元素分析



GeoPT全球盲样测试 上谱分析实验室排名连续领先

MC-ICP-MS
全岩同位素分析

Sr Nd Pb Hf Ca Cu Fe Zn Mg Li

咨询、送样请联系：

公众号　客服QQ　客服微信

电话:027-87581808　027-63497879
手机:18186495107(吴老师)
18164055108(陈部长)

Your Sample · Our Solution
您的样品 · 我们的解决方案

Geosystems and Geoenvironment

An international journal

Sponsors	Ocean University of China
	Qingdao National Laboratory for Marine Science and Techoology
Publishers	Elsevier | China Ocean University Press
Frequency of Publication	Quarterly

About this journal

Geosystems and Geoenvironment (GeoGeo) is a quarterly international interdisciplinary journal in English that publishes high-quality original research articles and timely reviews in interdisciplinary fields of Earth and Environment Sciences. We cordially invite you to submit a manuscript for our journal. We also would appreciate it if you would circulate the announcement to the faculty members, researchers, and postgraduate students at your institute, encouraging their participation/submission of papers.

Scopus (Expertly curated abstract & citation database)

GeoGeo has been indexed by Scopus! GeoGeo was highly appraised by the review experts:

The journal consistently includes articles that are academically sound and relevant to an international academic or professional audience in the field. Despite being new Its scholarly relevance as evidenced by citations in other journals currently covered by Scopus. There is a modest amount of self-citation, but the cites come from a wide range of good journals. The articles are consistently of high academic quality, consistent with the journal's stated aims.

Editorial Advisory Board

Editor-in-Chief: Lixin Wu
Workplace: Ocean University of China, Qingdao
Title: Professor;
Academician of Chinese Academy of Sciences;
Director of Laoshan Laboratory;
Vice-president of Ocean University of China.
Main areas of research: Ocean circulation and climate

Co-Editor-in-Chief: Sanzhong Li
Workplace: Ocean University of China, Qingdao
Title: Professor;
Director of Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Tecniques, MOE, China
Main areas of research: Marine geodynamics

Advisor: M. Santosh
Workplace: China University of Geosciences (Beijing)
Title: Professor;
National special expert of the Organization Department of the Central Committee of the CPC;
Editor-in-chief of Gondwana Research
Main areas of research: Tectonics; Geochemistry

海洋学报

主编 | 陈大可 院士 1979年创刊，月刊
中国科学技术协会主管
中国海洋学会主办

中国科技期刊卓越行动计划梯队期刊类项目（2019-2023年）
《我国高质量科技期刊分级目录》T1梯队

中国国际影响力优秀学术期刊（2012-2019） 第五届中国精品科技期刊（2020-2023）
多篇论文入选"中国精品科技期刊顶尖学术论文（F5000）" 国家级优秀海洋期刊（2021）

录稿范围

主要刊登物理海洋、海洋气象、海洋物理、海洋地质、海洋化学、海洋生物、海洋工程、海洋技术、海洋信息科学等基础研究和应用基础研究方面具有创造性的、代表我国海洋科学技术高水平的原创文章。

栏目设置

综述
学术论文
研究报道
新闻与观点

扫码关注我们

地址 北京市丰台区马官营家园3号楼433室
电话 010-62179976
邮箱 ocean6@hyxb.org.cn admin@hyxb.org.cn
网址 http://www.hyxbocean.cn

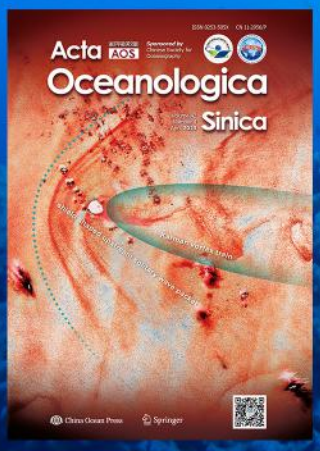
主要收录 荷兰斯高帕斯数据库（Scopus）
中国科学引文数据库（CSCD）
中文核心期刊要目总览
中国科技论文统计源期刊

Acta 海洋学报(英文版) AOS Oceanologica Sinica

Editorial-in-Chief: Dake Chen
Founded in 1982, monthly publication
Sponsored by Chinese Society for Oceanography
Distributed by Springer-Verlag, Germany

Impact Factor of JCR: 1.4
CAS Ranking: Geoscience 2nd REGION
Oceanography 2nd REGION

Scan the QR code
for more information



Acta Oceanologica Sinica (AOS),
an SCI indexed journal, publishes the most recent scientific achievements and results as well as papers in the field of ocean sciences.

Column

original rese arch papers, review articles,
research notes, cover stories as well as news and views.

ADDRESS
Editorial Office of
Acta Oceanologica Sinica
No. 3 Maguanying Jiayuan Estate, Liuliqiao-beili, Fengtai District, Beijing 100161, China
TEL. +86-10-6217 9976
E-MAIL ocean1@hyxb.org.cn
ocean2@hyxb.org.cn
WEBSITE http://www.aosocean.com
ONLINE SUBMISSION
https://mc03.manuscriptcentral.com/actaos

科学出版社·地质分社

祝第七届地球系统科学大会圆满成功

汪品先 等 著

张尉 段晓男 等 译校

朱日祥 等 著

朱日祥 等 著

石学法 等 著

石学法 等 著

傅刚 等 著

谭亮成 等 著

金之均 等 著

张训华 等 著

任鲁川 等 著

吴能友 等 著

中国古生物地层知识库
China Palaeontology Stratigraphy Library

中国古生物地层知识库（CPSL）是首个全面收录我国古生物系统分类成果并集成物种描述信息、地层、剖面相关信息与理论知识的专业数据库，收录近百年来出版的古生物志书中提取的数万种古生物条目数据，将内容知识碎片化、结构化、标准化，进行深度标引和组织，含有全面的物种描述、图片、地层、剖面等信息，并与权威科研机构古生物地层数据进行融合与关联，每年持续更新。

开通试用联系方式：010-64011160，13811587615（同微信）

扫码访问网站

图书专场（京东）

图书专场（当当）

科学出版社地质分社出版范围包括基础地质、古生物地层、地球物理、地质资源与地质工程、矿业工程、石油与天然气、大气科学、海洋科学、地质信息科学等相关专著、基础理论和教材以及专业地图集，出版了大批享誉学术界的优秀地学著作。

扫码业务咨询

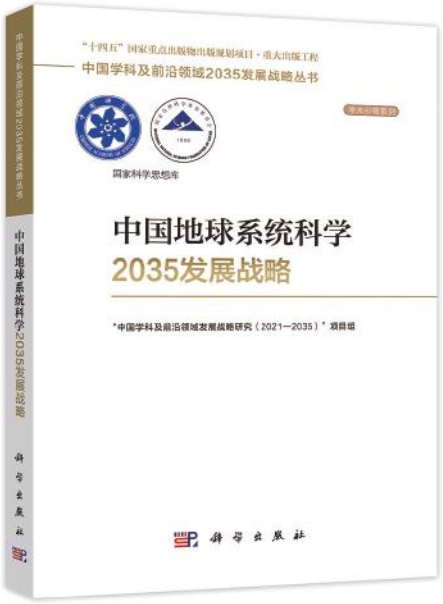
欢迎洽谈出版业务！

电话：010-64011867　010-64034012　17854295941（同微信）

E-mail：cuiyan@mail.sciencep.com

地址：北京市东城区东黄城根北街 16 号

《中国地球系统科学2035发展战略》



地球系统科学作为学科发展的前沿，本质上是地球科学向系统科学的转型。本书选择了既有重大理论和应用价值，又能反映我国优势的三大方面展开：①重新认识海洋碳泵；②水循环及其轨道驱动；③东亚 – 西太的海陆衔接。地球科学的传统理论往往带有地区偏向，本书力图从国际学术前沿和我国自然条件特色的交汇点出发，结合我国近年来涌现的原创性学术进展，找出学术上的突破口，从地球系统科学的高度，提出相关研究方向部署和调整的建议。

面向世界科技前沿　面向国家重大需求
引领关键问题研究　服务社会创新发展

国家自然科学基金委员会、中国科学院联合组织
3000 多位院士专家共同研究撰写
涵盖 18 个主要学科、19 个前沿领域

地球科学进展

主编： 傅伯杰 院士

历程： 1986 年创刊

定位： 地球科学领域综合性学术期刊

宗旨： 评述国内外地球科学研究现状及未来发展趋势；报道地球科学领域跨学科性重大研究；揭示新兴、边缘、交叉学科和领域研究动态

主要栏目

综述与评述；研究论文；院士论坛；发展战略论坛；科技重大计划进展；IODP 研究；学科发展与研究；探索与争鸣；全球变化研究；可持续发展研究；生态学研究；新学科·新技术·新发现；基金项目管理与成果介绍等。

业界影响

- 中国科学院出版基金中文科技期刊择优支持（2020-2023）
- 中国地学领域高质量科技期刊分级目录 T1 区（2020）
- 第三届全国“百强报刊”（2017）
- 第四届中国精品科技期刊（2017）
- 首届甘肃省“十佳期刊”（2016）
- 中国科学院科学出版基金择优支持（2015-2019）
- 地球科学综合类期刊核心总被引频次和综合评价排名前四（2021 版 CSTPCD（核心版）统计）
- 中文核心期刊要目总览、中国科学引文数据库、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊（A）
- ……

网址：http://www.adearth.ac.cn　　邮箱：adearth@lzb.ac.cn

电话：0931-8762293　　QQ 群：114723517

微信号　　视频号　　QQ 群

手持式X射线荧光光谱仪

用于地质勘探、海洋勘探现场矿物分析

赢洲科技 WINZONER

1. 地质勘探
2. 海洋勘探
3. 地质调查
4. 矿产普查
5. 矿石分选
6. 岩土工程
7. 工程地质
8. 环境监控
9. 金属冶炼
10. 矿石品位鉴定
11. 矿物元素分析

赢洲科技（上海）有限公司

地址：上海市闵行区春东路508号2幢408室

电话：021-34636566

传真：021-54845086

网站：http://www.winzoner.com

赢洲科技

* 图例

- **岩石圈** — 粗粝的岩矿
- **水　圈** — 流动的水波
- **大气圈** — 漂浮的气团
- **生物圈** — 抽象鹦鹉螺

地球系统学科交叉，横跨圈层、穿越时空

扫码关注，及时掌握更多大会资讯

地球系统科学大会 公众号

地球系统大会e起来 微信小程序

cess@tongji.edu.cn

www.cess.org.cn