



第八届

地球系统科学大会

THE 8th CONFERENCE ON EARTH SYSTEM SCIENCE

2025.7.2 - 7.5 | 上海

会议手册和摘要集

PROGRAM VOLUME AND ABSTRACT BOOK

主办单位



中国大洋发现计划
IODP-China
专家咨询委员会



国家自然科学基金委员会
地球科学部



同济大学
海洋地质全国重点实验室



海洋负排放
国际大科学计划

学术委员会

主 任 丁仲礼

副主任 陈 骏、侯增谦、翦知湔、朱伟林

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

主办单位

中国大洋发现计划 (IODP-China) 专家咨询委员会

国家自然科学基金委员会地球科学部

同济大学海洋地质全国重点实验室

海洋负排放国际大科学计划

会议秘书处

秘书长 刘志飞 同济大学海洋地质全国重点实验室

手机 | 13816101893 邮箱 | lzhifei@tongji.edu.cn

有关会议各类信息及需求，请随时联系会议秘书，联系方式：

拓守廷	会务协调	手机 13601872997	邮箱 shouting@tongji.edu.cn
俞 恂	会议宣传	手机 15850572880	邮箱 yuxun@tongji.edu.cn
党皓文	科普活动	手机 13764424977	邮箱 hwdang@tongji.edu.cn
李阳阳	学术日程	手机 18810404284	邮箱 cess@tongji.edu.cn
高小丰	会议注册	手机 15021055616	邮箱 cess@tongji.edu.cn
温廷宇	会议展览	手机 13817664860	邮箱 cess@tongji.edu.cn
张 钊	后勤支持	手机 18817759802	邮箱 cess@tongji.edu.cn
陈源珊	会场支持	手机 13916480610	邮箱 cess@tongji.edu.cn
李欣冉	会场支持	手机 18871586598	邮箱 cess@tongji.edu.cn
潘柏夷	嘉宾接待	手机 18817759791	邮箱 cess@tongji.edu.cn

联系地址 | 同济大学海洋地质全国重点实验室 上海市四平路 1239 号

大会网站 | <http://www.cess.org.cn/>

目录

欢迎词

会议基本信息	1
会议注册	1
会议地点	2
口头报告	4
展板报告	4
交通指南	5
会议就餐	5
日程速查	6
沪上游览	6
大会特邀报告	7
青年学者论坛	8
大会特邀专题	9
圆桌论坛	9
主题与专题	10
学术日程索引	16
会议日程	18
摘要集	133

欢迎词



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

大会自 2010 年至今已成功举办七届，会议的规模逐届扩大，从第一届的 500 余人，至第七届已逾 2700 余人。学科交叉的深度和广度也在不断加强，跨越地球圈层的同时，也提倡科学与技术的结合，积极推动中国地球科学的转型。经过多年来地学界同仁的共同努力，地球系统科学大会已经成为中国地球科学的一张靓丽名片。

为了保持这一高层次的中文学术交流平台，不断促进华语世界地球科学领域不同学科之间的深度交流，中国大洋发现计划（IODP-China）专家咨询委员会决定与国

家自然科学基金委员会地球科学部、同济大学海洋地质全国重点实验室和海洋负排放国际大科学计划继续共同举办“第八届地球系统科学大会”。第八届大会将在地球科学和相邻科学蓬勃发展的基础上再上层楼，增加容量，瞄准地球科学理论突破的方向，进一步拓宽地球系统科学的时空尺度，以推进地球系统科学的升级和中国学派的建设，欢迎来自更多学科的海内外华人学者参会交流。

秉承前七届会议的优秀传统，会议将继续使用汉语为主要交流语言。会议最大的特点在于高度的跨学科性、强调并着重讨论，形式上从大会报告到展板到晚上另外组织的讨论及信息发布会。“第八届地球系统科学大会”除了一贯的科学主题，还将突出科学与文化结合的精神，组织特色科普专题。

希望大家在这次会议中有所收获！

第八届地球系统科学大会学术委员会

2025 年 6 月 19 日



会议基本信息

会议注册

7月1日 12:00~21:00

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

7月2~4日 08:00~17:00

会议现场注册地点在“上海富悦大酒店”一楼大厅，接受办理已缴费和现场付费的各类注册。

7月5日 08:00~12:00

会议现场注册地点在“上海富悦大酒店”一楼大厅，接受办理已缴费和现场付费的各类注册。

注册费发票

2025 年 6 月 20 日及以前缴纳注册费的参会代表，同济大学财务处将在会前发送电子发票至您注册邮箱和手机。

2025 年 6 月 20 日后以及现场缴费的参会代表，同济大学财务处会在会议结束 10 个工作日内发送电子发票至您注册邮箱和手机。所有会议注册费发票均由同济大学出具。



“地球系统科学大会”
微信公众号



“地球系统大会 e 起来”
微信小程序

会议现场签到流程

已注册已缴费

已在会议网站注册并缴费的人员，请至“签到（已注册已缴费）”窗口报您的姓名、注册编号或手机号后四位签到并领取胸卡等会议资料。

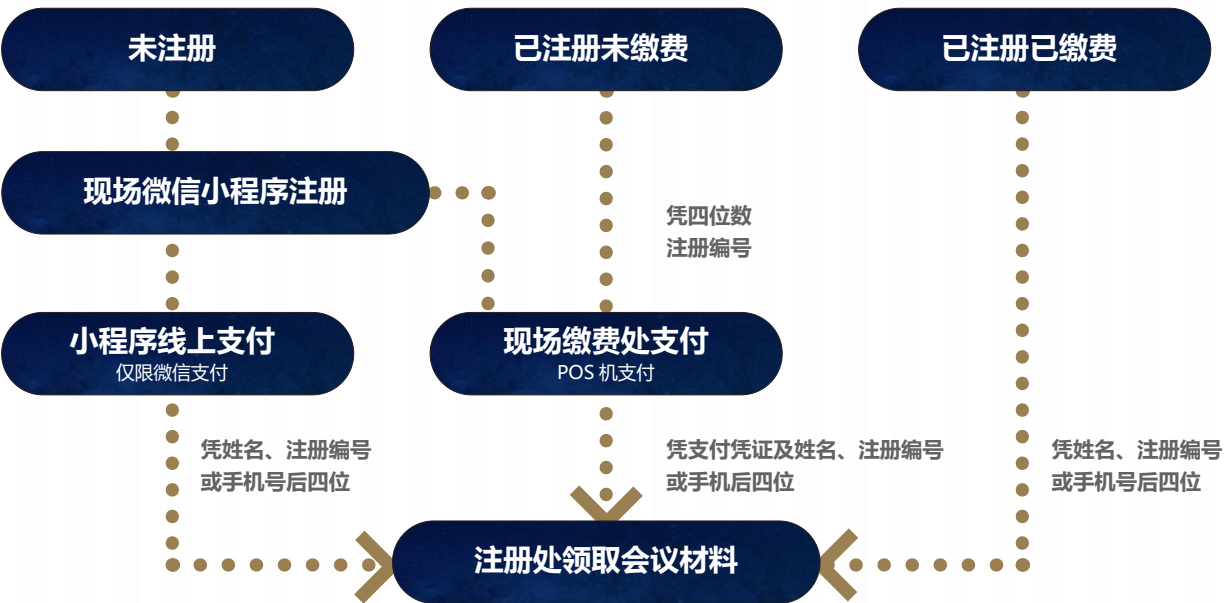
已注册未缴费

凡在会议网站注册但未缴费的人员，请您先到“现场缴费”进行付费（您也可以登录“地球系统大会 e 起来”小程序，通过微信支付注册费）。之后请到“签到（已注册已缴费）”窗口出示付款凭证，报您的姓名、注册编号或手机号后四位签到并领取胸卡等会议资料。

现场报名

未在会议网站注册的人员，请您先到“现场报名（未注册）”窗口，扫码关注微信公众号“地球系统科学大会”，点击下方“注册参会”（也可以搜索微信小程序“地球系统大会 e 起来”或扫描二维码），进入小程序后，请在新的页面点击右上角“我的”栏目进行注册，根据页面提示完善个人信息、选择代表类型、缴费方式，填写发票信息后提交注册信息，完成会议注册。选择微信支付的参会代表可以在新的缴费页面直接缴纳注册费，支付成功后前往“签到（已注册已缴费）”窗口报姓名、注册编号或手机后四位签到领取会议资料。如受单位限制等必须刷卡，选择 POS 机支付的参会代表在提交注册信息后，前往“现场缴费处”刷卡付费，付费后请至“签到（已注册已缴费）”窗口出示付款凭证，报您的姓名、注册编号或手机后四位签到并领取胸卡等会议资料。

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



现场注册费

会议代表 2500 元，学生代表 1800 元。费用包括：会议资料，会场租用，7 月 1 日会议晚餐，会议工作午餐（7 月 2~5 日），茶歇（7 月 2~5 日）；不包括：住宿费和交通费等。

	注册费
会议代表	2500 元
学生代表	1800 元

会议地点

会议地点在“上海富悦大酒店”（上海松江区茸悦路 208 弄），具体位置见会场交通图。

主会场设在三楼东方厅，分会场 1-8 分布在三楼各会议室，分会场 9 安排在三楼上海厅，分会场 10-16 分布在二楼悦华厅、悦贵厅和悦泰厅，学术展板位于三楼明珠厅和富悦厅 3，展商展区位于三楼会场外展厅，详见会场导览。

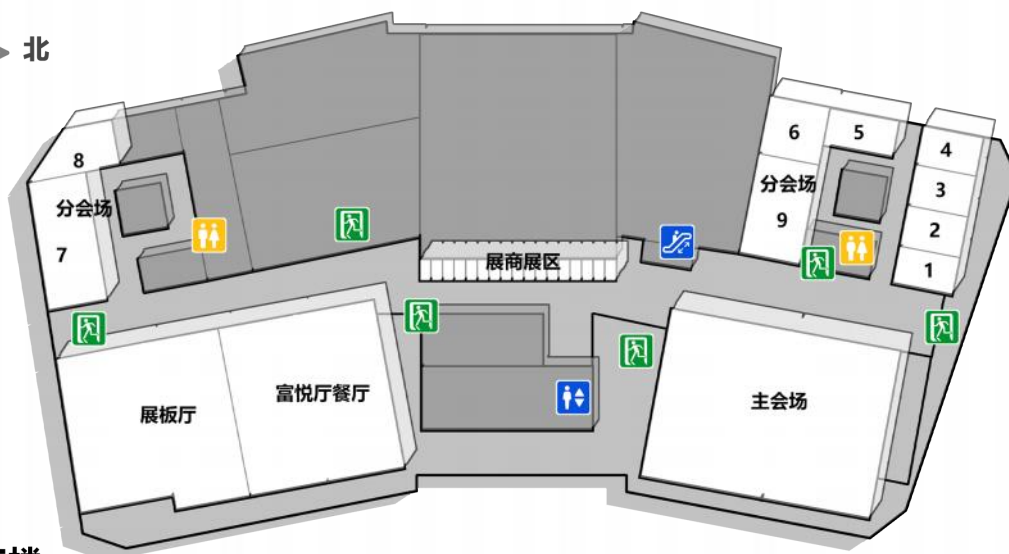
会议住宿

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

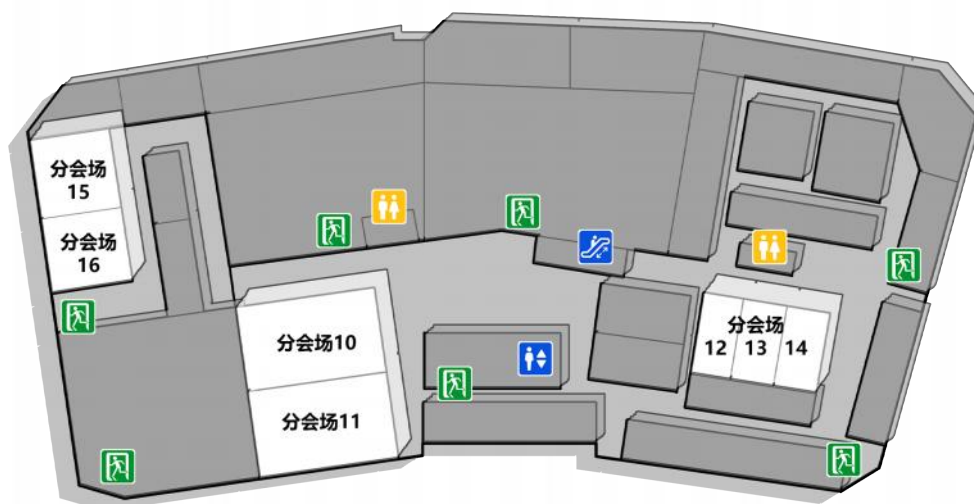




三楼



二楼



一楼



-  扶梯
-  入口
-  安全出口
-  直梯
-  注册处
-  酒店前台
-  卫生间

口头报告

大会特邀报告

每个报告 30 分钟，包括 27 分钟演讲和 3 分钟答疑。

青年学者论坛报告

每个报告 10 分钟，包括 8 分钟演讲和 2 分钟答疑。

专题口头报告

每个报告 15 分钟，包括 13 分钟演讲和 2 分钟答疑。

请于 7 月 1 日将 PPT 报告文件拷贝至会议注册处专用电脑。

大会开始后，也可在 08:00-08:20 及 10:00-10:20 至所属分会场将 PPT 报告文件拷至分会场专用电脑。

展板报告

时间

7 月 2-5 日，每天 13:00-15:00

地点

富悦厅 3+ 明珠厅（上海富悦大酒店三楼）

展板报告须知

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

展板报告每日更换，大会期间展板区将一直开放，请各位报告人注意展板张贴时间：

每天上午 08:00-08:30 期间，请报告人按照会议手册展板专题时间，自行张贴当日专题海报至展板区指定位置（展板编号位于展板楣板处）。

每天下午 17:30-18:00 期间，请报告人将展板报告自行撤回，逾期将会被工作人员摘除，以便安排次日的展板报告。全部展板于 7 月 5 日 16:30 撤离。

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

“优秀学生展板”评选

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

“优秀学生展板评审委员会”将在会议期间参观学生展板展位，评选出“优秀学生展板”，并在 7 月 5 日下午的“大会总结”中颁奖。评选基本要求：展板使用中文汇报，在指定的展板时间内等候在展板前参与讨论，全程出席会议（包括颁奖仪式）。



会场交通图

交通指南

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

注：会议不提供接站服务。

会议就餐

会议提供7月1日晚餐（18:00-20:00），地点在一楼馨香园餐厅；会议提供工作午餐（7月2~5日12:00-13:00），安排在一楼馨香园、曼哈顿餐厅及以三楼富悦厅1+2。会议用餐均凭有效餐券就餐（现场注册时领取），请按照餐券上标识的地点用餐，以免造成人流过于集中。由于就餐时间集中，预计将出现排队情况，请参会代表谅解与配合。

会场周边美食推荐

1. 松江万达广场（距离会场约 500 米）：自地下一层至五层，每层均有众多不同价位的中式、日式、韩式、快餐、甜品等 140 多家门店的各种美食，可以满足参会代表用餐。推荐小杨生煎、陈香贵兰州牛肉面、西塔老太太泥炉烤肉、左庭右院鲜牛肉火锅、潮界、江边城外烤全鱼、萨莉亚意式餐厅等。

2. 松江大学城（距离会场约 5 公里）：

樱花广场：位于上海视觉艺术学院对面，有众多餐饮小店，推荐融柳大铁牛螺蛳粉、哈尔滨烧烤小龙虾烤鱼、香港肥锅港式米线等。

启源生活广场：位于樱花广场旁边，广场有一个窄窄的楼梯能够通向 2 楼，楼上有众多美食。推荐长亭外深夜食堂、袁记云饺、李先生的首尔小馆。

开元地中海商业广场：位于松江新城中心，离松江大学城不远，商场内美食众多。推荐避风塘、青花椒砂锅鱼、牛小新烧肉、新白鹿餐厅等。



日程速查

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

- (1) 可通过报告人、关键词直接搜索感兴趣的学术报告；
- (2) 亦可根据大会主题、专题、时间单元报告、具体报告、报告摘要，一路筛选您感兴趣的学术报告；
- (3) 还可锁定日期、会场，查询此时此刻正在进行的学术报告；
- (4) 对于感兴趣的报告，您可以点击右侧订阅，后面在我的订阅里快速找到。

会议展览供您了解展位编号、展商介绍，方便您一“键”直达，更多功能等您来解锁！



“地球系统大会 e 起来”
微信小程序



沪上游览

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

大会特邀报告

主会场 | 东方厅



大地幔楔与
东亚地质演化

徐义刚

中国科学院
广州地球化学研究所

7月2日 15:30 - 16:00



中亚造山带复式增生
过程及成矿作用

肖文交

中国科学院新疆生态
与地理研究所

7月2日 16:00 - 16:30



奥陶纪末大灭绝
与有颌脊椎动物崛起

朱敏

中国科学院古脊椎动物
与古人类研究所

7月2日 16:30 - 17:00



晚奥陶 - 早志留世
生命 - 地球表层环境
变化的深部驱动

沈延安

中国科学技术大学

7月2日 17:00 - 17:30



北极深部探测揭示洋
中脊增生新机制

李家彪

自然资源部
第二海洋研究所

7月3日 15:30 - 16:00



ENSO 及其影响对全
球变暖的响应

蔡文炬

崂山实验室

7月3日 16:00 - 16:30



火星多时间尺度
环境演变

陈凌

中国科学院地质与
地球物理研究所

7月3日 16:30 - 17:00



深渊微生物环境适应
及其记录的地球过程

肖湘

上海交通大学

7月3日 17:00 - 17:30

青年学者论坛

主会场 | 东方厅
7月4日 15:30 - 17:30

青年学者论坛是地球系统科学大会促进学术交流、推动学科交叉与人才成长的重要平台。本届大会特别举荐了 11 位我国地球系统科学领域取得突出成果的优秀青年学者，通过前沿议题跨学科交流以及青年主导的学术研究，持续推动着地球系统科学的创新发展。

鸟类起源与演化中的功能
形态研究进展

胡 晗
中国科学院
古脊椎动物与古人类研究所

岩层记忆里的天文节拍—
旋回地层学揭示远古地球
的轨道演化历史

黄 何
成都理工大学

板块俯冲动力学与地幔各
向异性的研究进展

孔凡圣
自然资源部第二海洋研究所

橄榄石溶解与功能微生物
筛选在污水碱化增汇中的
应用与机理探讨

孟雅冰
厦门大学

早期真核生物的
宏演化模式

唐 卿
南京大学

赤道西太平洋温度半岁差
信号的驱动机制

吴志鹏
比利时新鲁汶大学

末次冰期大气氧气
浓度重建

颜余真
同济大学

地球深部水循环：
俯冲板片蛇纹岩和下洋壳
的贡献

杨 阳
中国科学院
广州地球化学研究所

人工智能赋能储层地球物
理刻画：多源数据融合和
物理引导

赵峦啸
同济大学

滨海甲烷生物氧化的驱动
机制和调控策略

郑 越
厦门大学

地球大洋板块动力学与地
幔深部演化的超算大模型

周志远
南方科技大学



大会特邀专题

地球系统科学向何处去



地球系统科学的国际走向

周力平
北京大学

7月5日 15:30 - 15:50



从内核到海平面的耦合共振

宋晓东
北京大学

7月5日 15:50 - 16:10



地球系统科学的升级版

汪品先
同济大学

7月5日 16:10 - 16:30

圆桌论坛

地球系统科学进中学

分会场 2

7月5日 08:30~12:00

召集人：周忠和、翦知湓、沈冰

圆桌论坛汇聚院士、高校教授、科研院所专家及一线中学教师，实现跨学段、跨领域对话。紧扣基础教育与科学普及两大核心，探讨地球系统科学在人才培养和公众理解层面的关键问题。强调实践与思考，分享成功经验，共商解决方案。论坛分为两个环节：

主旨报告

聚焦中学阶段地球与行星科学的系统化启蒙教育、重大科研计划科普实践经验、中学地球科学教育的跨学科主题探索，以及地学人才培养的中学视角分享。旨在为地球系统科学科普提供多元视角。

圆桌讨论

深入探讨如何构建地球系统科学框架下的中学地球科学培养体系，寻求将前沿、系统的地球科学理念融入中学教育的有效路径。围绕以提升全民科学素质为目标的地球科学科普工作展开讨论，探索如何更广泛、更有效地向公众普及地球科学知识，服务国家科学素质提升战略。

主题与专题

会议共设立十个主题：

- 主题一：宜居地球与生命演化
- 主题二：深部过程及其浅层表现
- 主题三：水循环的时空变化
- 主题四：地球气候系统的碳循环
- 主题五：海洋负排放
- 主题六：俯冲带洋陆相互作用
- 主题七：生物地球化学演变和微生物
- 主题八：深海探测：资源与灾害
- 主题九：地球系统过程与演变
- 主题十：科普和教育

主题一 | 宜居地球与生命演化

序号	专题	召集人
1	蛇纹石化过程与效应：从地球到行星	陈伊翔、黄瑞芳、张畅、申婷婷
2	深时古地貌古气候	戴紧根、高远、张来明、王成善
3	金属稳定同位素示踪海洋沉积演化	胡忠亚、韩中、魏广祎、李涛、曹晓斌
5	青藏高原隆升与古高度 - 干旱和生物多样性演化	苗运法、潘保田、咎金波、方小敏
6	现代陆地生态系统的起源与演化	黄迪颖、王世骐、泮燕红、江左其杲
7	古生代海岸带演化与晚古生代大冰期	薛进庄、樊海峰、王怿、沈冰、张华
8	分子钟、化石记录与古环境演化	沈延安、宋海军、张驰
9	中生代湖泊系统演化及油气资源效应	王博、李斌会、张恩楼、薛云飞
10	前新生代地球轨道力与全球变化	吴怀春、黄春菊、李明松、马超

序号	专题	召集人
11	微体古生物与全球变化	席党鹏、宋海军、苏翔、金晓波
12	南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性	余克服、许莉佳、李志勇、刘胜
14	元古宙地球 - 生命系统演变	朱茂炎、朱祥坤、李超、罗根明、王晓梅
15	全球变化背景下河流三角洲灾害特征、评估及预测	乔淑卿、毕乃双、龚文平、汪亚平
16	河口海岸生物动力地貌演变与生态功能	周曾、胡湛、张荷悦、汪亚平

主题二 | 深部过程及其浅层表现

序号	专题	召集人
19	洋中脊研究新前沿	杨阳、于志腾、张帆、许阳
20	大洋 / 海盆构造与岩浆过程及挥发分循环	张国良、赵明辉、田丽艳、艾印双
21	地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学	徐义刚、刘锦、张旭博、胡佳顺、罗怡鸣、唐春安
22	南亚 - 东南亚构造沉积与油气	朱伟林、栾锡武、刘可禹、解习农、吴嘉
23	地球表生环境演变与能源资源富集	蔡春芳、贾望鲁、赵明宇、姜磊
25	深渊地质、环境与生命演化专题	彭晓彤、罗敏、荆红梅、杜梦然
26	深海界面过程和化能生态系统	王凡、肖湘、吴能友、何舜平
27	地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟	薛梅、林建民、王涛、周勇

主题三 | 水循环的时空变化

序号	专题	召集人
28	大河流域环境演变与人类文明演进	李小强、周新郢、何洪鸣
30	北极 / 亚北极 - 东亚古气候演变及其关联：记录与模拟	姚政权、郝青振、肖文申、吴志鹏
32	东亚大型水系演化：从青藏高原到边缘海的地质记录	杨蓉、付晓伟、张增杰
33	全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变	潘保田、吕喜玺、黄河清、何洪鸣
34	从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比	李超、张飞、杨一博、于兆杰
35	极地冰盖与冰下地质：环境，过程及演化	王如生、史贵涛、崔祥斌、崔迎春
37	流域沉积系统与地球水循环演变	杨江海、聂军胜、韩喜彬、刘志飞、李明松
38	新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变	杨守业、颜茂都、万世明、马金龙、印萍
39	海洋地质碳封存与碳中和	陈建文、刘强、李久娣、谢明英

主题四 | 地球气候系统的碳循环

序号	专题	召集人
40	多尺度自然与人为过程温室气体排放	张强、陈良富、覃章才
41	碳 - 14 生物地球化学循环	包锐、周卫健、徐胜、张干
42	大陆风化系统与碳中和	陈骏、金章东、李高军、杨一博
43	碳酸盐泵与海洋碳循环	刘传联、孙军、张一歌、罗一鸣
44	巽他陆架海平面、流域和碳循环过程	刘志飞、石学法、万世明、冯晓娟

序号	专题	召集人
45	人类活动干扰下的陆地 - 海洋连续体碳动态	王成龙、刘茂甸、何丁
46	陆 - 海水生连续体有机碳循环过程	姚鹏、冯晓娟、何丁、李宏亮
47	大陆边缘碳循环过程、演变与记录	赵宁、范代读
48	海陆耦合系统与海洋碳循环	仲义、胥金波、赵德博、刘青松

主题五 | 海洋负排放

序号	专题	召集人
49	海洋负排放大数据与数值实验	陈大可、王凡
50	海洋负排放：现场观测与模拟装置	樊伟、王腾飞、孟雅冰
51	微生物碳泵的过程机制与气候效应	焦念志、谢树成、王晓雪
52	海洋负排放的技术路径与示范应用	叶思源、刘纪化
53	海洋负排放：国际标准与全球治理	张传伦、类彦立

主题六 | 俯冲带洋陆相互作用

序号	专题	召集人
54	东南亚超级汇聚环形俯冲系统与环境演变	丁巍伟、孙珍、王煜、李春峰
55	西太平洋中生代残留洋壳	钟广法、张国良、余梦明、徐文景
56	俯冲带地球动力学演化及水碳循环过程	赵亮、高翔、张帆、周志远

主题七 | 生物地球化学演变和微生物

序号	专题	召集人
57	地球系统演变中矿物 - 微生物的相互作用和共演化	董海良、周传明、刘娟、盛益之、鲁安怀
58	脂类生物标志物与元素循环、气候演变	董良、李大伟、杨义、王欢业
59	河流 - 河口 - 海洋连续体中的有机质源汇过程与沉积记录	贾国东、何丁、胡利民
60	自然环境变化和人类活动影响下的硫循环	林志勇、姚炜琪、李春阳、郭庆军
62	全球海床下生态系统与可持续性	王风平、李江涛、杜梦然、王敏晓
63	病毒在生物地球化学循环过程中的作用	周昆、邱轩、徐永乐、肖喜林
64	全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈	庄光超、李江涛、张瑶、高树基

主题八 | 深海探测：资源与灾害

序号	专题	召集人
65	基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析	程怡芳、吴南、陈克杰、王新、贾永刚
66	海底流体活动的现代过程与沉积记录	冯东、张鑫、王旭东、罗敏
67	多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应	何治亮、朱伟林、窦立荣、刘可禹
69	海洋可再生能源开发技术与环境影响	刘延俊、史宏达、宁德志
70	主动源海底地震技术应用与发展	刘玉柱、徐敏
71	地震孕震、地震活动与地震灾害	罗纲、柳畅、许才军、李玉江
72	海洋地质灾害现象、过程及机制	孙启良、李伟、李琳琳

序号	专题	召集人
73	深海矿产与多圈层相互作用	孙晓明、石学法、何高文、 蒋晓东、孙卫东
75	深水浅层气与水合物勘探开发	王秀娟、匡增桂、孙启良、 耿建华

主题九 | 地球系统过程与演变

序号	专题	召集人
76	轨道气候变率及跨尺度效应	郭正堂、田军、尹秋珍、 赵艳
77	温室地球古海洋与古气候	胡修棉、陈曦、何天辰、 李明松
78	晚新生代热带海道闭合及其环境效应	田军、柳中晖、于际民、 黄恩清、郑伟鹏
79	地球系统的突变与反转	林霄沛、刘永岗、吴波、 张通
80	事件沉积记录：过程与触发机理	卢银、孙启良、杨田、 张飞
82	南极古环境	颜余真、孙珍、肖文申、 高亮
83	印度洋及周边地学海洋学问题研究	余星、周锋、周亚东、 周志远

主题十 | 科普和教育

序号	专题	召集人
84	地学科普新途径与新形式	张云飞、徐进、赵宁

7月1日	时间	会场	7月2日	7月3日	7月4日	7月5日
会议报到 12:00-21:00	08:30-10:00	分会场 1 三楼 1 号会议室	专题 64：全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈（1）	专题 64：全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈（3）	专题 20：大洋 / 海盆构造与岩浆过程及挥发分循环（1）	专题 47：大陆边缘碳循环过程、演变与记录（1）
		分会场 2 三楼 2 号会议室	专题 22：南亚 - 东南亚构造沉积与油气（1）	专题 51：微型生物碳泵的过程机制与气候效应（1）	专题 28：大河流域环境演变与人类文明演进（1）	圆桌论坛：地球系统科学进中学（1）
		分会场 3 三楼 3 号会议室	专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理（1）	专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理（3）	专题 65：基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析（1）	专题 77：温室地球古海洋与古气候（1）
		分会场 4 三楼 5 号会议室	专题 23：地球表生环境演变与能源资源富集（1）	专题 02：深时古地貌古气候（1）	专题 02：深时古地貌古气候（3）	专题 73：深海矿产与多圈层相互作用（2）
		分会场 5 三楼 6 号会议室	专题 30：北极 / 亚北极 - 东亚古气候演变及其关联：记录与模拟（1）	专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（1）	专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（3）	专题 80：事件沉积记录：过程与触发机理（1）
		分会场 6 三楼 7 号会议室	专题 42：大陆风化系统与碳中和（1）	专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（1）	专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（3）	专题 75：深水浅层气与水合物勘探开发（1）
		分会场 7 三楼 8 号会议室	专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（1）	专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（3）	专题 06：现代陆地生态系统的起源与演化（1）	专题 06：现代陆地生态系统的起源与演化（3）
		分会场 8 三楼 9 号会议室	专题 14：元古宙地球 - 生命系统演变（1）	专题 72：海洋地质灾害现象、过程及机制（1）	专题 27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟（1）	专题 27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟（3）
		分会场 9 三楼上海厅	专题 21：地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学（1）	专题 57：地球系统演变中矿物 - 微生物的相互作用和共演化（1）	专题 62：全球海底下生态系统与可持续性（1）	专题 62：全球海底下生态系统与可持续性（3）
		分会场 10 二楼悦华厅 1 号	专题 54：东南亚超级汇聚环形成冲系统与环境演变（1）	专题 54：东南亚超级汇聚环形成冲系统与环境演变（3）	专题 58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变（1）	专题 58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变（3）
		分会场 11 二楼悦华厅 2 号	专题 38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变（1）	专题 38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变（3）	专题 66：海底流体活动的现代过程与沉积记录（1）	专题 52：海洋负排放的技术路径与示范应用（1）
		分会场 12 二楼悦贵厅 1 号	专题 33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变（1）	专题 33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变（3）	专题 78：晚新生代热带海道闭合及其环境效应（1）	专题 35：极地冰盖与冰下地质：环境、过程及演化
		分会场 13 二楼悦贵厅 2 号	专题 44：巽他陆架海平面、流域和碳循环过程	专题 34：从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比（1）	专题 09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应（1）	专题 09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应（3）
		分会场 14 二楼悦贵厅 3 号	专题 49：海洋负排放大数据与数值实验	专题 46：陆 - 海水生连续体有机碳循环过程（1）	专题 11：微体古生物与全球变化（1）	专题 11：微体古生物与全球变化（3）
		分会场 15 二楼悦泰厅 3 号	专题 37：流域沉积系统与地球水循环演变	专题 84：地学科普新途径与新形式	专题 82：南极古环境	专题 43：碳酸盐泵与海洋碳循环
		分会场 16 二楼悦泰厅 5 号	专题 67：多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应（1）	专题 16：河口海岸生物动力地貌演变与生态功能（1）	专题 19：洋中脊研究新前沿（1）	专题 19：洋中脊研究新前沿（3）
	10:00-10:30	茶歇				
	10:30-12:00	分会场 1 三楼 1 号会议室	专题 64：全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈（2）	专题 03：金属稳定同位素示踪海洋沉积演化	专题 20：大洋 / 海盆构造与岩浆过程及挥发分循环（2）	专题 47：大陆边缘碳循环过程、演变与记录（2）
		分会场 2 三楼 2 号会议室	专题 22：南亚 - 东南亚构造沉积与油气（2）	专题 51：微型生物碳泵的过程机制与气候效应（2）	专题 28：大河流域环境演变与人类文明演进（2）	圆桌论坛：地球系统科学进中学（2）
		分会场 3 三楼 3 号会议室	专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理（2）	专题 70：主动源海底地震技术应用与发展	专题 65：基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析（2）	专题 77：温室地球古海洋与古气候（2）
		分会场 4 三楼 5 号会议室	专题 23：地球表生环境演变与能源资源富集（2）	专题 02：深时古地貌古气候（2）	专题 73：深海矿产与多圈层相互作用（1）	专题 73：深海矿产与多圈层相互作用（3）

7月1日	时间	会场	7月2日	7月3日	7月4日	7月5日
学术委员和召集人预备会（三楼8号会议室） 19:00-20:00		分会场5 三楼6号会议室	专题30：北极/亚北极-东亚古气候演变及其关联：记录与模拟（2）	专题12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（2）	专题48：海陆耦合系统与海洋碳循环	专题80：事件沉积记录：过程与触发机理（2）
		分会场6 三楼7号会议室	专题42：大陆风化系统与碳中和（2）	专题40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（2）	专题59：河流-河口-海洋连续体中的有机质源汇过程与沉积记录	专题75：深水浅层气与水合物勘探开发（2）
		分会场7 三楼8号会议室	专题76：轨道气候变率及跨尺度效应（2）	专题76：轨道气候变率及跨尺度效应（4）	专题06：现代陆地生态系统的起源与演化（2）	专题55：西太平洋中生代残留洋壳
		分会场8 三楼9号会议室	专题14：元古宙地球-生命系统演变（2）	专题72：海洋地质灾害现象、过程及机制（2）	专题27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟（2）	专题15：全球变化背景下河流三角洲灾害特征、评估及预测
		分会场9 三楼上海厅	专题21：地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学（2）	专题57：地球系统演变中矿物-微生物的相互作用和共演化（2）	专题62：全球海床下生态系统与可持续性（2）	专题32：东亚大型水系演化：从青藏高原到边缘海的地质记录
		分会场10 二楼悦华厅1号	专题54：东南亚超级汇聚环形成冲系统与环境演变（2）	专题07：古生代海岸带演化与晚古生代大冰期	专题58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变（2）	专题41：碳-14生物地球化学循环
		分会场11 二楼悦华厅2号	专题38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变（2）	专题39：海洋地质碳封存与碳中和	专题66：海底流体活动的现代过程与沉积记录（2）	专题52：海洋负排放的技术路径与示范应用（2）
		分会场12 二楼悦贵厅1号	专题33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变（2）	专题45：人类活动干扰下的陆地-海洋连续体碳动态	专题78：晚新生代热带海道闭合及其环境效应（2）	专题56：俯冲带地球动力学演化及水碳循环过程
		分会场13 二楼悦贵厅2号	专题05：青藏高原隆升与古高度-干旱和生物多样性演化	专题34：从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比（2）	专题09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应（2）	专题69：海洋可再生能源开发技术与环境影响
		分会场14 二楼悦贵厅3号	专题71：地震孕震、地震活动与地震灾害	专题46：陆-海水生连续体有机碳循环过程（2）	专题11：微体古生物与全球变化（2）	专题83：印度洋及周边地质海洋学问题研究
		分会场15 二楼悦泰厅3号	专题63：病毒在生物地球化学循环过程中的作用	专题26：深海界面过程和化能生态系统	专题50：海洋负排放：现场观测与模拟装置	专题10：前新生代地球轨道力与全球变化
		分会场16 二楼悦泰厅5号	专题67：多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应（2）	专题16：河口海岸生物动力地貌演变与生态功能（2）	专题19：洋中脊研究新前沿（2）	专题25：深渊地质、环境与生命演化专题
	12:00-13:00	午餐				
破冰晚餐 18:00-20:00	13:00-15:00	展板厅 三楼富悦厅3+明珠厅	专题05、14、21、22、23、30、33、37、38、42、44、49、53、63、64、67、71、76	专题02、03、07、08、12、16、26、34、39、40、45、46、51、54、57、70、72、79、84	专题06、09、11、19、20、27、28、48、50、58、59、62、65、66、73、78、82	专题01、10、15、25、32、35、41、43、47、52、55、56、60、69、75、77、80、83
	15:00-15:30	茶歇				
	15:30-17:30	主会场 三楼东方厅	大会特邀报告	大会特邀报告	青年学者论坛	特邀专题（15:30-16:30） 优秀学生展板颁奖（16:30-16:40） 闭幕式（16:40-16:50）
	19:30-21:00	主会场 三楼东方厅1	联合国“海洋十年”成果发布会			

图例注释

主题一：宜居地球与生命演化 专题01~16	主题四：地球气候系统的碳循环 专题40~48	主题七：生物地球化学演化和微生物 专题57~64	主题九：地球系统过程与演变 专题76~83
主题二：深部过程及其浅层表现 专题19~27	主题五：海洋负排放 专题49~53	主题八：深海探测：资源与灾害 专题65~75	主题十：科普和教育 专题84 及圆桌论坛
主题三：水循环的时空变化 专题28~39	主题六：俯冲带洋陆相互作用 专题54~56		

(1)、(2)、(3)：时间单元序号，分别指该专题第一个、第二个、第三个时间单元；每个时间单元90分钟。只有一个时间单元的专题未标时间单元序号。每个展板只展示一天，当天有展板报告的作者请务必于13:00-15:00期间在本人展板前交流。

大会日程

口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月2日上午
专题 64：全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈（1） 主持人：庄光超				
08:30-08:45	S64-O-1	海洋碳氮循环与全球变化（邀请报告）	高树基	海南大学
08:45-09:00	S64-O-2	温度与营养因子驱动下海洋氨氧化古菌的演变规律	刘吉文	中国海洋大学
09:00-09:15	S64-O-3	边缘海铁驱动的“氧化还原工厂”调控有机碳及微量元素循环机制	周哲	同济大学
09:15-09:30	S64-O-4	海洋氨氧化过程对全球变化的响应	郑珍珍	海南大学
09:30-09:45	S64-O-5	冷泉区微生物介导的金属驱动的甲烷厌氧氧化机制研究	肖曦	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S64-O-6	盐度胁迫触发甲烷氧化菌的氮代谢重排机制及环境效应	汪欢	厦门大学
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月2日上午
专题 22：南亚—东南亚构造沉积与油气（1） 主持人：栾锡武				
08:30-08:45	S22-O-1	东南亚弧形构造带含油气盆地的演化与勘探潜力：从孟加拉湾到班达海	朱伟林	同济大学
08:45-09:00	S22-O-2	Conduit or Barrier? The Sagaing Trough's Dual Role in Hydrocarbon Migration Revealed by 3D Seismic Analysis of Myanmar's Andaman Sea Basin	Thanuja D. Raveendrasinghe	山东科技大学
09:00-09:15	S22-O-3	万安盆地海底滑坡特征及其成因	张知行	山东科技大学
09:15-09:30	S22-O-4	新生代缅甸中央盆地北部油气地质特征	周增园	同济大学
09:30-09:45	S22-O-5	新生代碳酸盐台地对油气系统的影响——以缅甸 M-15 区块为例	王子杰	山东科技大学
09:45-10:00	S22-O-6	东特提斯油气差异富集规律：基于超大陆裂解聚合的视角	付晓伟	同济大学

口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室				7月2日上午
专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理（1） 主持人：王宗灵、齐绍洲				
08:30-08:45	S53-O-1	碳汇新引擎：全球视野下的海洋负排放交易机制与中国路径（邀请报告）	齐绍洲	武汉大学
08:45-09:00	S53-O-2	全国碳交易市场的运行现状分析	杨光星	碳排放权登记结算（武汉）有限责任公司
09:00-09:15	S53-O-3	碳交易市场发展进程与十五五碳排放双控下海洋负排放生态文明价值实现	王汝军	湖北碳排放权交易中心
09:15-09:30	S53-O-4	船舶与海事碳中和国际标准体系建设	倪宝玉	哈尔滨工程大学
09:30-09:45	S53-O-5	多功能海洋（岸）结构物水动力分析与设计方法	赵玄烈	哈尔滨工程大学
09:45-10:00	S53-O-6	《BBNJ 协定》解读与中国应对	王宗灵	自然资源部第一海洋研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 04：三楼 5 号会议室				7月2日上午
专题 23：地球表生环境演变与能源资源富集（1） 主持人：蔡春芳、赵明宇				
08:30-08:45	S23-O-1	新元古代雪球地球冰期消融时的古环境变化（邀请报告）	郎咸国	成都理工大学
08:45-09:00	S23-O-2	海水硫酸盐浓度对地球历史上有机碳循环的影响	赵明宇	中国科学院地质与地球物理研究所
09:00-09:15	S23-O-3	石油有机地球化学对晚埃迪卡拉—早寒武世转折期古海洋沉积特征的限定	贾望鲁	中国科学院广州地球化学研究所
09:15-09:30	S23-O-4	新元古代末期海洋氧化驱动锰碳酸盐岩沉积成矿	张宾	南京大学
09:30-09:45	S23-O-5	多因素控制下的陆相湖盆黏土矿物演化模式及其地质意义	姚雪玉	中国石油大学（北京）

09:45-10:00	S23-O-6	晚寒武世 SPICE 事件的生物响应与塔里木盆地海相富 ^{13}C 原油的来源	程斌	中国科学院广州地球化学研究所
口头报告				
7 月 2 日上午 08:30~10:00				
分会场 05: 三楼 6 号会议室				7 月 2 日上午
专题 30: 北极/亚北极—东亚古气候演变及其关联: 记录与模拟 (1) 主持人: 姚政权、肖文申				
08:30-08:45	S30-O-1	北冰洋地质时期的碳埋藏机制及其对未来碳库变化的启示 (邀请报告)	王汝建	同济大学
08:45-09:00	S30-O-2	晚第四纪鄂霍次克海环境演变	邹建军	自然资源部第一海洋研究所
09:00-09:15	S30-O-3	岁差驱动的水汽循环对北极气候的关键影响	仲义	南方科技大学
09:15-09:30	S30-O-4	楚科奇海沉积物中不同有机组分的双碳 (^{13}C , ^{14}C) 同位素特征及其输送、降解机制初探	王福强	崂山实验室
09:30-09:45	S30-O-5	北冰洋阿蒙森盆地 (70°E 以东) 新生代沉积通量及其对气候变化的响应	王菲	自然资源部第二海洋研究所
09:45-10:00	S30-O-6	第四纪北冰洋美亚海盆底层水氧化还原性质演化历史	石端平	同济大学
口头报告				
7 月 2 日上午 08:30~10:00				
分会场 06: 三楼 7 号会议室				7 月 2 日上午
专题 42: 大陆风化系统与碳中和 (1) 主持人: 陈骏、金章东				
08:30-08:45	S42-O-1	陆表风化度——理解青藏高原隆升驱动大陆风化和全球变化的钥匙	杨一博	中国科学院青藏高原研究所
08:45-09:00	S42-O-2	青藏高原冰川流域的化学风化可能排放了可观的 CO_2	于正良	中国科学院青藏高原研究所
09:00-09:15	S42-O-3	基于水化学和硫、氧同位素探究高原山地流域化学风化特征	陆和平	天津大学
09:15-09:30	S42-O-4	青藏高原东缘流域尺度岩石有机碳风化通量及地质碳收支	王野	南京大学
09:30-09:45	S42-O-5	青藏高原东北部强硫化物风化作用下 Li 同位素的响应	曹阳	中国科学院地球环境研究所

09:45-10:00	S42-O-6	耦联水生生物光合作用的增强碳酸盐风化：潜力、成本和优势（邀请报告）	石亮星	中国科学院地球化学研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月2日上午
专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（1）主持人：郭正堂				
08:30-08:45	S76-O-1	2.7Ma 北半球大冰期导致东亚季风主导周期转型	张浣荻	中国科学院地质与地球物理研究所
08:45-09:00	S76-O-2	黄土高原轨道周期的空间差异	肖国桥	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S76-O-3	太阳辐射触发冰期时东亚异常的冷干事件	陆浩	乌特勒支大学
09:15-09:30	S76-O-4	亚洲冬夏季风在晚上新世北半球大冰期的不同步转变	敖红	中国科学院地球环境研究所
09:30-09:45	S76-O-5	轨道尺度中国东部干湿古气候变化：洞穴石笋多指标记录和古气候模拟的证据	张宏斌	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S76-O-6	太阳辐射在第四纪长期气候演化中的潜在作用	马小林	中国科学院地球环境研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月2日上午
专题 14：元古宙地球—生命系统演变（1）主持人：朱祥坤、罗根明				
08:30-08:45	S14-O-1	水诱导的地幔反转与大氧化事件	吴忠庆	中国科学技术大学
08:45-09:00	S14-O-2	华北中元古界高于庄组富锰沉积物的成因及同位素组成：对大气圈氧化还原状态及真核生物演化的启示	许灵通	中国地质大学（武汉）
09:00-09:15	S14-O-3	燕辽盆地中元古代早期高于庄组碳同位素地层学与海洋碳循环变化：对早期宏体真核生物演化的启示	罗瑾	中国科学院南京地质古生物研究所
09:15-09:30	S14-O-4	14 亿年前大陆化学风化显著增强：来自锂同位素的约束	刘康	中国石油勘探开发研究院

09:30-09:45	S14-O-5	铀同位素 ($\epsilon^{205}\text{Tl}$) 重建成冰纪间冰期海洋氧化还原状态	汪露露	南京大学
09:45-10:00	S14-O-6	新元古代成冰纪间冰期海洋 Mo 同位素组成重建	李津	中国地质科学院地质研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 09: 三楼上海厅				7月2日上午
专题 21: 地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学 (1) 主持人: 刘锦				
08:30-08:45	S21-O-1	超热地核的起源及其对宜居性的影响 (邀请报告)	周游	成都理工大学
08:45-09:00	S21-O-2	地球大龟裂——地球演化的热力学原理	唐春安	大连理工大学
09:00-09:15	S21-O-3	超大陆构造驱动的火山磷脉冲与地球生态系统协同演化	汤艳杰	长江大学
09:15-09:30	S21-O-4	氮、氟与水在地球深部循环过程的实验研究	杨燕	浙江大学
09:30-09:45	S21-O-5	内核的结构与运动和地磁场变化的关联性	杨翼	南京大学
09:45-10:00	S21-O-6	深渊俯冲系统碳循环过程与挑战	赵明辉	中国科学院南海海洋研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 10: 二楼悦华厅 1 号				7月2日上午
专题 54: 东南亚超级汇聚环形俯冲系统与环境演变 (1) 主持人: 田丽艳				
08:30-08:45	S54-O-1	东南亚深部地幔结构、各向异性特征及地质意义	丁巍伟	海底科学与划界全国重点实验室
08:45-09:00	S54-O-2	东南亚环形俯冲系统地震海啸灾害致灾特征分析 (邀请报告)	李琳琳	中山大学
09:00-09:15	S54-O-3	印尼东部 Sunda-Banda 弧的地震大断裂与地质灾害风险	杨晓东	中国科学院南海海洋研究所
09:15-09:30	S54-O-4	菲律宾海板块南向移动的发现及其全球构造气候意义	刘伟	南方科技大学
09:30-09:45	S54-O-5	穆绍海沟: 一个夭折的俯冲起始	吴涛	浙江大学

09:45-10:00	S54-O-6	南海西沙海槽共轭陆缘结构及其对构造演化的指示	王文龙	中国地质调查局 烟台海岸带地质 调查中心
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 11: 二楼悦华厅 2 号				7月2日上午
专题 38: 新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变(1) 主持人: 杨守业、马金龙				
08:30-08:45	S38-O-1	黄河扇成因及形成年代 (邀请报告)	聂军胜	兰州大学
08:45-09:00	S38-O-2	渭河盆地沉积记录的新生代渭河流域环境演化历史	张瀚之	南京大学
09:00-09:15	S38-O-3	新生代东亚大河系统演化——以长江为例	田子晗	中国海洋大学
09:15-09:30	S38-O-4	青藏高原东南缘新生代变形与水系重组	颜茂都	中国科学院青藏高原研究所
09:30-09:45	S38-O-5	长江中下游水体锂同位素分馏过程及自生铁锰氧化物的影响	杨承帆	同济大学
09:45-10:00	S38-O-6	长江中下游心滩沉积物的物源指征: 碎屑锆石 U-Pb 和白云母 Ar-Ar 年代学新结果	谢鸿森	南京师范大学
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 12: 二楼悦贵厅 1 号				7月2日上午
专题 33: 全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变(1) 主持人: 吕喜玺、黄河清				
08:30-08:45	S33-O-1	人类活动与气候变化对渭河流域全新世水文泥沙和地貌过程的影响 (邀请报告)	王先彦	南京大学
08:45-09:00	S33-O-2	青藏高原东北缘先成河响应演化地貌的水系重组研究	潘保田	兰州大学
09:00-09:15	S33-O-3	黄河贯通三门峡的新证据	肖国桥	中国地质大学 (武汉)
09:15-09:30	S33-O-4	中更新世晚期黄土高原加速侵蚀的证据	刘向军	嘉应学院
09:30-09:45	S33-O-5	全新世黄河流域侵蚀环境演变与水系格局演化	何洪鸣	华东师范大学

09:45-10:00	S33-O-6	黄土高原千年尺度河流袭夺事件的地貌与物源响应	李梦昊	西安科技大学
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 13: 二楼悦贵厅 2 号				7月2日上午
专题 44: 巽他陆架海平面、流域和碳循环过程 主持人: 刘志飞				
08:30-08:45	S44-O-1	巽他陆架海平面、流域和碳循环过程: 国际大洋钻探建议进展	刘志飞	同济大学
08:45-09:00	S44-O-2	巽他陆架东部新生代地层沉积构造演化研究 (邀请报告)	吴南	同济大学
09:00-09:15	S44-O-3	西加里曼丹岛河流沉积物碳-铁交互特征及其对有机碳保存的影响	张毅聪	中国科学院植物研究所
09:15-09:30	S44-O-4	陆地风化和海平面波动调控中全新世以来巽他内陆架有机碳有效埋藏	马鹏飞	同济大学
09:30-09:45	S44-O-5	巽他陆架铁结核成因及其环境意义	吴凯凯	自然资源部第一海洋研究所
09:45-10:00	S44-O-6	末次冰消期以来马六甲海峡的形成与演化历史	艾丽娜	自然资源部第一海洋研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 14: 二楼悦贵厅 3 号				7月2日上午
专题 49: 海洋负排放大数据与数值实验 主持人: 张斌、朱学明				
08:30-08:45	S49-O-1	机器学习重构的海表风场揭示热带印度洋增暖的驱动机制 (邀请报告)	王鑫	中国科学院南海海洋研究所
08:45-09:00	S49-O-2	全球变暖背景下海洋环境变化及其影响	成里京	中国科学院大气物理研究所
09:00-09:15	S49-O-3	海洋负排放科学数据平台建设进展及思考	张斌	中国科学院海洋研究所
09:15-09:30	S49-O-4	FIO-ESM 地球系统模式及其全球碳循环模拟	鲍颖	自然资源部第一海洋研究所
09:30-09:45	S49-O-5	基于 cGENIE 地球系统模式对海洋碱化负排放方案的潜力评估	赖毓娴	厦门大学

09:45-10:00	S49-O-6	基于全球“物理—生态”耦合模式的温室气体氧化亚氮海洋释放量评估及其受气候模态影响	冯洋	中国科学院南海海洋研究所
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 15: 二楼悦泰厅 3 号				7月2日上午
专题 37: 流域沉积系统与地球水循环演变(1) 主持人: 聂军胜、李明松				
08:30-08:45	S37-O-1	Spatial Distribution of Water Isotopes in the Himalayan River Basins: Implications for Hydrological Processes, Moisture Sources, and Paleolatitude Reconstruction	Mohd Aadil Bhat	同济大学
08:45-09:00	S37-O-2	古气候调控下中新世古珠江河系时空演变	林理娥	中山大学
09:00-09:15	S37-O-3	冰期旋回气候变化驱动台湾山溪性小河流入海沉积物组成及其水系的演化	简星	厦门大学
09:15-09:30	S37-O-4	基于沉积地球化学方法重建全新世尼罗河物质向地中海输运情况	汪思成	中山大学
09:30-09:45	S37-O-5	末次盛冰期以来亚洲降水氧同位素来源变化与海平面变化的联系	孙炜毅	南京师范大学
09:45-10:00	S37-O-6	通过多序列叠合平均增强天文周期信号检测	黄任达	北京大学
口头报告				
7月2日上午 08:30~10:00				
分会场 16: 二楼悦泰厅 5 号				7月2日上午
专题 67: 多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应(1) 主持人: 朱伟林、白国平				
08:30-08:45	S67-O-1	特提斯域构造—沉积演化与油气差异富集	何治亮	中国地质大学(武汉)
08:45-09:00	S67-O-2	川东二叠纪构造沉积演化与油气差异富集	舒志国	江汉油田分公司
09:00-09:15	S67-O-3	多圈层相互作用对规模性碳酸盐岩储集体发育的控制——以四川盆地为例	李双建	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
09:15-09:30	S67-O-4	多圈层相互作用与鄂尔多斯盆地油气资源形成富集	姜福杰	中国石油大学(北京)

09:30-09:45	S67-O-5	莺歌海盆地南部构造体制及其油气勘探意义的初步探讨	付永涛	中国科学院海洋研究所
09:45-10:00	S67-O-6	南海北部潮汕坳陷侏罗纪储层沉积演化特征及油气意义	强昆生	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 01: 三楼 1 号会议室				7月2日上午
专题 64: 全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈 (2) 主持人: 李江涛				
10:30-10:45	S64-O-7	全球海洋碳、氮、磷的生物地球化学循环 (邀请报告)	王为磊	厦门大学
10:45-11:00	S64-O-8	初级生产力能够促进海洋沉积物中大气汞的累积	李雁宾	中国海洋大学
11:00-11:15	S64-O-9	红树林湿地沉积物微生物群落和温室气体排放对土地利用变化的响应	林根妹	中山大学
11:15-11:30	S64-O-10	海洋锋面对有机物动态的影响及其潜在的碳埋藏效应	劳齐斌	广东海洋大学
11:30-11:45	S64-O-11	摄食的下行控制如何影响层化海洋中化能自养的反硝微生物以及亚硝酸盐极大值层的形成	倪司麟	海南大学
11:45-12:00	S64-O-12	热带寡营养海域上层海水中氧化亚氮产生机制及其气候效应	谷挺	中国地质大学 (武汉)
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 02: 三楼 2 号会议室				7月2日上午
专题 22: 南亚—东南亚构造沉积与油气 (2) 主持人: 刘可禹				
10:30-10:45	S22-O-7	先存构造控制下盆地的差异演化: 以阳江—一统断裂带为例	胡俊成	中山大学
10:45-11:00	S22-O-8	珠江口盆地强改造型洼陷烃源潜力评价与洼陷优选	石创	中海石油 (中国) 有限公司深圳分公司
11:00-11:15	S22-O-9	深水斜坡沉积特征与控制因素——以澳大利亚柔布克盆地为例	姜露珊	山东科技大学
11:15-11:30	S22-O-10	准噶尔盆地构造—沉积演化与“双元结构”油气成藏机制	李晓洁	山东科技大学

11:30-11:45	S22-O-11	印缅造山带中一新生代局部隆升——来自缅甸中央盆地北部海侵证据	周增园	同济大学
11:45-12:00	S22-O-12	乌尔坎次盆地白垩世层序地层与沉积充填演化	方旭晖	山东科技大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 03: 三楼 3 号会议室				7月2日上午
专题 53: 海洋负排放: 国际标准与全球治理 (2) 主持人: 倪宝玉、樊炜				
10:30-10:45	S53-O-7	海运能源规划管理和减排技术国际标准建设	徐建安	哈尔滨工程大学
10:45-11:00	S53-O-8	海上养殖结构设计碳中和技术方向国际标准研究	孙树政	哈尔滨工程大学
11:00-11:15	S53-O-9	绿色船海结构设计与营运减排国际标准建设	周学谦	哈尔滨工程大学
11:15-11:30	S53-O-10	船舶减阻增效减排技术国际标准建设	王超	哈尔滨工程大学
11:30-11:45	S53-O-11	船舶动力装置脱碳技术路线与船舶碳排放核算方法建议	刘龙	哈尔滨工程大学
11:45-12:00	S53-O-12	国际海底管理局框架下的深海采矿与碳封存 (邀请报告)	许学伟	国家深海基地管理中心
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 04: 三楼 5 号会议室				7月2日上午
专题 23: 地球表生环境演变与能源资源富集 (2) 主持人: 贾望鲁、姜磊				
10:30-10:45	S23-O-7	稳定钽同位素指示热带花岗岩风化与稀土成矿 (邀请报告)	雒恺	中国科学院广州地球化学研究所
10:45-11:00	S23-O-8	有机硫同位素组成应用于古海洋环境和油气源岩对比研究	蔡春芳	中国石油大学 (北京)
11:00-11:15	S23-O-9	轨道强迫气候变化控制松辽盆地古龙页岩油富集旋回和甜点层系	王华建	中国科学院地质与地球物理研究所
11:15-11:30	S23-O-10	早中始新世湖泊碳氮循环、环境演化与有机碳富集之间的强耦合	徐川	成都理工大学

11:30-11:45	S23-O-11	西屯脊椎动物群生活在一个盐度变化的浅海环境中	蔡家琛	中国科学院地质与地球物理研究所
11:45-12:00	S23-O-12	地表基质：地质学与生态学可持续发展的桥梁	殷志强	中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 05：三楼 6 号会议室				7月2日上午
专题 30：北极/亚北极—东亚古气候演变及其关联：记录与模拟（2）主持人：郝青振、吴志鹏				
10:30-10:45	S30-O-7	末次冰盛期极涡的拉伸作用增强了中纬度气候变率（邀请报告）	张彧瑞	厦门大学
10:45-11:00	S30-O-8	基于亚洲边缘海硅酸盐风化记录的东亚古季风演化定量重建	赵德博	中国科学院海洋研究所
11:00-11:15	S30-O-9	人类活动导致过去 300 余年东亚沙尘活动和北大西洋海表温度解耦	周鑫	中国科学技术大学
11:15-11:30	S30-O-10	树轮揭示近 300 年来濒危种大树杜鹃较近缘种对气候变化更敏感	张卓亚	西南林业大学
11:30-11:45	S30-O-11	人为增温下冬季北大西洋急流强度偏离了其自然趋势	李苗发	中国科学院地质与地球物理研究所
11:45-12:00	S30-O-12	最近 1.1Ma 以来安徽六安下蜀黄土剖面环境磁学性质变化及其记录的环境演变	曹一江	中国科学院地质与地球物理研究所
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7月2日上午
专题 42：大陆风化系统与碳中和（2）主持人：李高军、杨一博				
10:30-10:45	S42-O-7	显生宙大陆剥蚀和风化的模拟研究（邀请报告）	赵佳曦	北京大学
10:45-11:00	S42-O-8	基于机器学习解构环境变量对化学风化的影响	刘帅	中国科学院地质与地球物理研究所
11:00-11:15	S42-O-9	典型还原环境地下水中 Li 同位素的地球化学行为	张俊文	长安大学

11:15-11:30	S42-O-10	硅酸盐岩化学风化过程中的硼同位素分馏行为研究	王日晶	中国科学院广州地球化学研究所
11:30-11:45	S42-O-11	不同风化机制条件下玄武岩风化剖面镁同位素特征	王琦	西北大学
11:45-12:00	S42-O-12	花岗岩强烈化学风化过程中硅同位素分馏特征：黏土矿物转化与脱硅作用的耦合机制	苏妮	同济大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月2日上午
专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（2） 主持人：尹秋珍				
10:30-10:45	S76-O-7	中中新世大洋蒙特利碳位移事件 40 万年长偏心率周期的成因机制	田军	同济大学
10:45-11:00	S76-O-8	亚北极太平洋轨道尺度上升流变化与全球大气 CO ₂	姚政权	自然资源部第一海洋研究所
11:00-11:15	S76-O-9	陆架碳酸盐埋藏调控了新生代碳循环的偏心率韵律	刘丰豪	同济大学
11:15-11:30	S76-O-10	岁差和半岁差信号对南海珠江口盆地早一中中新世水文气候演变的强迫	张泽	中国地质大学（武汉）
11:30-11:45	S76-O-11	温室白垩纪由岁差引起的千年尺度气候旋回	张治锋	中国地质大学（北京）
11:45-12:00	S76-O-12	基于地球系统模型 cGENIE 的早始新世轨道气候变率对气候—碳循环的响应特征研究	蒋青青	北京大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月2日上午
专题 14：元古宙地球—生命系统演变（2） 主持人：朱茂炎、李超				
10:30-10:45	S14-O-7	晚埃迪卡拉纪古地理演化、真极移与大冰期	温斌	中国地质大学（武汉）
10:45-11:00	S14-O-8	模拟研究真极移维持埃迪卡拉纪大冰期的机制	刘鹏	中国海洋大学
11:00-11:15	S14-O-9	华南埃迪卡拉纪多剖面磁性地层揭示赤道偶极子场及其与早期生物辐射的潜在联系	钟涛	中国地质大学（北京）

11:15-11:30	S14-O-10	探究南沱组内部细粒沉积物成因	杨智超	成都理工大学
11:30-11:45	S14-O-11	中元古代晚期碳同位素漂移与氧化过程的旋回地层学约束——来自华南神农架群乱石沟组的新结果	刘伊暄	中国地质大学（北京）
11:45-12:00	S14-O-12	Nuna 超大陆的逐步裂解	丁继凯	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 09：三楼上海厅				7月2日上午
专题 21：地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学（2） 主持人：胡佳顺				
10:30-10:45	S21-O-7	地球最大火山是怎样形成的？大塔穆火山十年研究进展回顾（邀请报告）	张锦昌	中国科学院南海海洋研究所
10:45-11:00	S21-O-8	洋脊—地幔柱相互作用的氦同位素记录	郭鹏远	中国科学院海洋研究所
11:00-11:15	S21-O-9	Kerguelen 地幔柱的活动历史、地球动力学过程及其环境效应	江强	中国石油大学（北京）
11:15-11:30	S21-O-10	Ontong Java 火山岩地球化学分析揭示热化学地幔柱作用过程	陈双双	中山大学
11:30-11:45	S21-O-11	构建 SS 数据集的深度神经网络：精确定位深地幔中的冰岛地幔柱	尚正涛	南方科技大学
11:45-12:00	S21-O-12	地幔柱—岩石圈相互作用问题中二维与三维数值模拟的对比与分析	张瑞敏	中国科学院大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7月2日上午
专题 54：东南亚超级汇聚环俯冲系统与环境演变（2） 主持人：王煜				
10:30-10:45	S54-O-7	海山俯冲对俯冲带壳幔变形的影响：来自吕宋岛北部的地震学证据（邀请报告）	曹令敏	中国科学院南海海洋研究所
10:45-11:00	S54-O-8	东南亚上地幔与过渡带层析成像	明怡斌	同济大学
11:00-11:15	S54-O-9	婆罗洲上地幔分层各向异性及其地球动力学意义	尤天楠	自然资源部第二海洋研究所
11:15-11:30	S54-O-10	苏拉威西 Una-Una 火山归因于消失的 Sula 板块的撕裂吗？	何小波	浙江海洋大学

11:30-11:45	S54-O-11	班达高曲率俯冲带形成过程：来自岩石圈尺度物理模拟的启示	刘豫威	自然资源部第二海洋研究所
11:45-12:00	S54-O-12	东南亚马鲁古海微板块背向双俯冲地球动力学	陈涛	中国海洋大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7月2日上午
专题 38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变（2） 主持人：颜茂都、李超				
10:30-10:45	S38-O-7	青藏高原东缘低起伏高原面多阶段多成因演化过程（邀请报告）	张会平	中国地震局地质研究所
10:45-11:00	S38-O-8	青藏高原东北部新生代古生态演化：磁性地层学约束下的哺乳动物化石记录解析	冯展涛	中国科学院青藏高原研究所
11:00-11:15	S38-O-9	定量重建晚上新世以来长江流域硅酸盐风化历史	张晋	中国科学院海洋研究所
11:15-11:30	S38-O-10	末次冰盛期以来火山事件对冲绳海槽北部陆源沉积的影响	乔朋宇	汕头大学
11:30-11:45	S38-O-11	冰期一间冰期旋回中季风降水驱动的陆地硅酸盐风化及其全球碳循环意义	赵德博	中国科学院海洋研究所
11:45-12:00	S38-O-12	全新世琼州海峡贯通事件对北部湾沉积物“源—汇”变迁的影响研究	崔振昂	中国地质调查局广州海洋地质调查局
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7月2日上午
专题 33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变（2） 主持人：吕喜玺、黄河清				
10:30-10:45	S33-O-7	廓琼岗日冰川流域径流悬移质溯源（邀请报告）	张凡	中国科学院青藏高原研究所
10:45-11:00	S33-O-8	河流型态发育的能量作用机理与方式	黄河清	中国地质大学（武汉）
11:00-11:15	S33-O-9	雅鲁藏布江水沙过程的非平稳演变及其驱动机制	熊东红	中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所
11:15-11:30	S33-O-10	雅鲁藏布江流域的水系矢量数据研制与季节尺度变化分析	陈曦	中国科学院空天信息创新研究院

11:30-11:45	S33-O-11	基于 SSP-PLUS 的黄土高原土壤侵蚀模拟	张洵	华东师范大学
11:45-12:00	S33-O-12	黄河中游能源化工区生态系统土壤保持服务的时空特征	朱明勇	嘉应学院
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 13: 二楼悦贵厅 2 号				7月2日上午
专题 05: 青藏高原隆升与古高度—干旱和生物多样性演化 主持人: 方小敏、潘保田				
10:30-10:45	S05-O-1	中国沙漠的形成演化 (邀请报告)	鹿化煜	南京大学
10:45-11:00	S05-O-2	古近纪青藏高原隆升与轨道旋回对亚洲气候影响的模拟	张健	中国科学院青藏高原研究所
11:00-11:15	S05-O-3	青藏高原伦坡拉盆地早中新世孢粉植物群	刘佳	成都理工大学
11:15-11:30	S05-O-4	孢粉形态学研究对古环境重建及生物多样性演化的启示和思考	郝秀东	南宁师范大学
11:30-11:45	S05-O-5	中中新世全球变冷和地形抬升作用下的祁连山“湿岛”形成	杨永恒	中国科学院西北生态环境资源研究院
11:45-12:00	S05-O-6	高分辨率孢粉记录揭示的贵德盆地晚中新世—早上新世构造—轨道尺度植被生态演化过程	周学文	兰州大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 14: 二楼悦贵厅 3 号				7月2日上午
专题 71: 地震孕震、地震活动与地震灾害 主持人: 罗纲、陈宇轩				
10:30-10:45	S71-O-1	大凉山断层滑动速度与地震活动的数值模拟研究 (邀请报告)	孙云强	福建农林大学
10:45-11:00	S71-O-2	地震丛集及其对地震概率模型的影响——青藏高原东南缘动力学合成地震目录的启示	陈宇轩	武汉大学
11:00-11:15	S71-O-3	大地震发生前是否存在加速的地壳变形? 以中国板内强震为例	张成阳	西北工业大学
11:15-11:30	S71-O-4	新的活动地块框架下青藏高原及邻区应力场特征与滑动趋势分析	刁洋洋	中国地震局地震预测研究所

11:30-11:45	S71-O-5	青藏高原东南部腾冲地块火山—构造活跃区热液脱气与区域地震活动的成因联系	张皓颖	天津大学
11:45-12:00	S71-O-6	东安纳托利亚断裂带的孕震区探索	赵文涛	武汉大学
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 15: 二楼悦泰厅 3 号				7月2日上午
专题 63: 病毒在生物地球化学循环过程中的作用 主持人: 徐永乐、周昆				
10:30-10:45	S63-O-1	土壤病毒对碳循环的影响机制 (邀请报告)	徐建明	浙江大学
10:45-11:00	S63-O-2	冰尘穴特有的蓝细菌和蓝细菌病毒	黄星煜	中国科学院青藏高原研究所
11:00-11:15	S63-O-3	解密大型海藻关联病毒: 大藻共生体微生物生态系统的隐形调控者	赵久龙	中国科学院青岛生物能源与过程研究所
11:15-11:30	S63-O-4	病毒颗粒被异养细菌转化利用对海洋 DOM 库的潜在影响: 以玫瑰杆菌病毒为例	满红聪	山东大学
11:30-11:45	S63-O-5	黏土矿物对细菌—病毒相互作用及微生物源碳命运的影响	张晓文	中国地质大学 (北京)
11:45-12:00	S63-O-6	病毒介导的典型淡水蓝藻 <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 奇数链脂肪酸的合成	朱秀昌	中国地质大学 (武汉)
口头报告				
7月2日上午 10:30~12:00				
分会场 16: 二楼悦泰厅 5 号				7月2日上午
专题 67: 多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应 (2) 主持人: 舒志国、何治亮				
10:30-10:45	S67-O-7	特地斯东段油气资源潜力分析	朱伟林	同济大学
10:45-11:00	S67-O-8	东南亚特提斯构造域油气差异富集规律与主控因素	王雯雯	中国石油勘探开发研究院
11:00-11:15	S67-O-9	特提斯域中西段显生宙区域应力场演变与岩石圈变形尺度和强度关系	殷进垠	北京大学
11:15-11:30	S67-O-10	西特提斯周期性构造演化对三期含油气系统差异富集控制	郭金瑞	中国石油化工股份有限公司
11:30-11:45	S67-O-11	白垩纪特提斯原型盆地与岩相古地理及其控油气作用	张光亚	北京大学

11:45-12:00	S67-O-12	特提斯域南带油气差异富集与主控因素分析	白国平	北京大学
展板报告：13:00~15:00				
7月2日下午 13:00~15:00				
富悦厅 3+明珠厅				7月2日下午
专题 05：青藏高原隆升与古高度—干旱和生物多样性演化				
S05-P-1	中更新世干旱化和地貌景观变迁促使欧亚大陆古人类扩散		咎金波	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-2	帕米尔高原新生代孢粉—气候—海拔定量重建研究前瞻		苗运法	中国科学院西北生态环境资源研究院
S05-P-3	关于东亚气候演变的一点思考		敖红	中国科学院地球环境研究所
S05-P-4	塔西南中新世等时火山碎屑岩层：组成、年龄、物源、成因及其地质意义		魏晓椿	长江大学
S05-P-5	孢粉记录的新生代亚洲湿润气候的北移演化		吴福莉	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-6	青藏高原北部中中新世植物—昆虫多样性演替及其驱动机制研究		王雪莲	中国科学院西北生态环境资源研究院
S05-P-7	沙漠环境形成的构造与地质条件约束		孙君一	中国地质图书馆（中国地质调查局地质文献中心）
S05-P-8	基于湖相介形类载体的柴达木盆地中—晚中新世古水文重建		宋博文	中国地质大学（武汉）
S05-P-9S	利用孢粉多样性指数重建植物多样性的潜力		江雨轩	中国科学院青藏高原研究所
S05-P-10S	多指标揭示的柴达木盆地封闭时代		唐应德	兰州大学
S05-P-11S	青藏高原尼玛盆地记录的晚渐新世南亚季风演化		肖子儒	中国科学院地质与地球物理研究所
S05-P-12S	渐新世大气 CO ₂ 浓度降低与陆表风化度增强有关		王学婷	中国科学院地质与地球物理研究所
S05-P-13S	青藏高原地区相对花粉产量研究综述		马林原	中国科学院西北生态环境资源研究院

S05-P-14S	大洋缺氧事件（OAE 2）期间塔西南微生物—藻类群落演变及其古气候响应	陈建珍	中国科学院地质与地球物理研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 14：元古宙地球—生命系统演变			
S14-P-1S	摩洛哥小阿特拉斯地区寒武纪早期氧化还原状态重建	熊轶伟	中国科学院南京地质古生物研究所
S14-P-2S	近源热液活动在中元古代大规模铁建造形成中的关键作用	周子龙	中国地质科学院地质研究所
S14-P-3S	新元古代三峡地区盖帽碳酸盐岩成因研究	李紫怡	中国科学院大学
S14-P-4	中元古代海洋动态的营养元素循环调控有机碳埋藏：来自锌同位素的证据	原成帅	中国石油勘探开发研究院
S14-P-5	华北克拉通串岭沟组页岩旋回特征及地月系统演化重建	石巨业	中国地质大学（北京）
S14-P-6S	Eu 异常与 Fe 同位素协同变化揭示 Superior 型铁建造热液铁源：以南澳 Wilgena Hill Jaspilite 组铁建造为例	陈硕	中国地质科学院地质研究所
S14-P-7S	利用碳酸盐岩铈稳定同位素示踪埃迪卡拉纪表层海水的波动氧化过程	盛凯	南京大学
S14-P-8	成冰纪间冰期大气—海洋氧化还原状态研究：来自华南大塘坡组铬同位素与微量元素的证据	马健雄	中国地质科学院地质研究所
S14-P-9	南华盆地深部成冰纪非冰期氧化还原状态演化	王春虹	中国地质科学院地质研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 21：地球宜居性的深部驱动机制与地幔柱动力学			
S21-P-1	从隆升到沉降：地幔热柱引发的岩石圈拆沉效应	史亚男	南方科技大学
S21-P-2	大洋中脊—双热点相互作用：以东南印度洋脊—凯尔盖朗热点—阿姆斯特丹·圣保罗热点为例	罗怡鸣	南方科技大学
S21-P-3S	全球地幔对流模型制约下的夏威夷地幔柱的运动和化学双边分区	张杰	南方科技大学

S21-P-4S	地幔柱与岩石圈相互作用下地形的演化	张钦越	中国科学院地质与地球物理研究所
S21-P-5	隐伏岩石圈之下的“幽灵”地幔柱——阿曼 Dani 地幔柱	胡昊	浙江水利水电学院
S21-P-6	卡拉布里亚弯曲俯冲带地幔流场及形成机制	华远远	中国科学院广州地球化学研究所
S21-P-7	冰岛地区三维电性结构特征与板块边界深部动力学过程探讨	徐珊	中国地质大学（武汉）
S21-P-9S	基于接收函数的华南中部地区地幔转换带厚度变化研究	王冠之	南方科技大学
S21-P-10S	洋底高原构造演化与裂解机制——以凯尔盖朗洋底高原共轭边缘为例	刘远航	中国科学院海洋研究所
S21-P-11S	凯尔盖朗洋底高原裂解过程中的构造响应与沉降演化分析	杨柳	中国科学院海洋研究所
S21-P-12S	大火成岩省的岩浆通道系统研究：来自西北太平洋大塔穆火山的矿物地球化学与扩散年代学的制约	朱恒睿	浙江大学
S21-P-13S	南海地壳结构及扩张期岩浆作用异常：南海热点的提出及对洋脊跃迁的启示	孙海萱	中国科学院南海海洋研究所
S21-P-14	由大陆边缘海地幔不均一水含量揭示板块俯冲作用与大陆裂解的关联	杨帆	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
S21-P-15S	基于卷积神经网络的海底斑点火山识别	邱佳磊	南方科技大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 22：南亚—东南亚构造沉积与油气			
S22-P-2	阿瓦提及周缘寒武系玉尔吐斯组烃源岩生烃演化	刘佳楠	中国地质调查局海口海洋地质调查中心
S22-P-3S	盆 1 井西凹陷地区二叠系风城组地震相特征及沉积相分布	李晓洁	山东科技大学
S22-P-4	基于碎屑锆石年代学的白云凹陷 L3 气田沉积物源追踪研究	刘正华	上海自然博物馆（上海科技馆分馆）
S22-P-5	南海南部陆缘原型盆地的差异演化过程及其区域构造意义	佟殿君	中国地质大学（武汉）
S22-P-6S	渤海海域东南部中生界埋藏型火山结构样式及其发育演化过程	符艾茵	中国地质大学（武汉）

S22-P-7S	西湖凹陷中央背斜带油气成藏差异及其影响因素浅析	向梦娇	中国地质大学 (武汉)
展板报告: 13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 23: 地球表生环境演变与能源资源富集			
S23-P-1S	早始新世气候适宜期 (EECO) 的陆相环境响应: 对中国南海有机富集的影响	郭婧	中国石油大学 (北京)
S23-P-2S	地球系统演化控制沉积型磷矿床的形成	苟苏恒	北京大学
S23-P-3S	基于多尺度变量选择、CatBoost 和算术优化算法的页岩油甜点段预测新方法	樊晓琦	中国石油大学 (北京)
S23-P-4S	陆相湖盆差异咸化机制: 多因素影响和触发条件的定量评估	齐振国	中国石油大学 (北京)
S23-P-5S	冷泉碳酸盐岩中 Cd 的赋存机制与同位素分馏特征及其指示意义	钟桥辉	中国科学院广州地球化学研究所
S23-P-6S	华南下寒武统沉积型磷块岩差异性稀土富集特征与机制	明鑫雨	中国科学院地质与地球物理研究所
S23-P-7S	白云石 U-Pb 定年揭示华南下寒武统磷块岩稀土矿成矿机制	王子晨	中国科学院地质与地球物理研究所
S23-P-8S	从三甲基一烷基苯看我国源自下寒武统黑色页岩原油的差异演化特征	陶明月	中国科学院广州地球化学研究所
S23-P-9	下扬子地区无为盆地中三叠统硬石膏成因及其对深部富锂卤水演化的启示	吴通	中国地质调查局南京地质调查中心
S23-P-10	火山活动驱动的中元古代碳循环调控机制转变与氧化还原动态变化	蒋子文	中国石油勘探开发研究院
S23-P-11	地质历史时期沉积型黄铁矿的矿物学和原位微区同位素组成特征	王伟	中国科学院南京地质古生物研究所
S23-P-12	湘南祁零盆地二叠系沉积型锰矿形成环境与富集机制研究	谭昭昭	地球化学过程与资源环境效应湖南省重点实验室
S23-P-13	中国省级层面碳排放演变路径与陆地碳汇研究	扈永杰	中国石化集团国际石油勘探开发有限公司

S23-P-14S	西湖凹陷中央背斜带花港组储层发育特征及其影响因素	龚雪	中国地质大学 (武汉)
S23-P-15S	陆相湖盆咸化机理及不同盐度有机质富集模式——以渤海湾盆地边缘凹陷为例	齐振国	中国石油大学 (北京)
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 30：北极/亚北极—东亚古气候演变及其关联：记录与模拟			
S30-P-1	黄土记录的 MIS8 期间东亚冬季风的异常减弱趋势及其对冰期动力学的意义	郝青振	中国科学院地质与地球物理研究所
S30-P-2	末次冰期以来日本海不同海洋微体古生物对马暖流指示种记录的差异性表征	董智	自然资源部第一海洋研究所
S30-P-4	全新世以来增强的太平洋暖水向鄂霍次克海的入侵	冯旭光	自然资源部第一海洋研究所
S30-P-5	楚科奇海初级生产力和海冰覆盖的千年尺度动态：机制和影响	任鹏	自然资源部第一海洋研究所
S30-P-6S	晚全新世北大西洋北部（亚北极）海冰对北大西洋涛动和东大西洋模式的响应	万霞	中国海洋大学
S30-P-7S	太平洋水驱动北极楚科奇海中部全新世海冰变化	李彤	宁波大学
S30-P-8S	极度亏损放射性碳对冰期北太平洋中层水通风重建的影响	王安琪	南京大学
S30-P-9S	北极东西伯利亚陆架末次间冰期以来古野火历史及演化机制	刘亚茹	自然资源部第一海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变			
S33-P-1S	黄河夺淮时期里下河入海水系的演变与农业水利响应（1495—1855）	杨旭杰	上海师范大学
S33-P-2S	中全新世环境压力重塑了黄河盆地的定居景观和社会复杂性	周婷婷	中国科学院水利部水土保持研究所
S33-P-4S	拉萨河流域水沙变化及其影响因素分析	张闻多	中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所

S33-P-5S	黄河口堆积“变奏”：晚全新世内百年尺度跃变	林鹏辉	汕头大学
S33-P-6S	黄河何时夺淮入海	刘博慧	汕头大学
S33-P-7	东江流域罗浮镇河流水环境承载率评估与生态补偿	何文鸣	嘉应学院
S33-P-8	泥沙情势改变与鄱阳湖的干旱化	戴仕宝	滁州学院
S33-P-9S	基于多源数据融合与机器学习的高黎贡山生态系统动态风险评估研究	程栋	华东师范大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 37：流域沉积系统与地球水循环演变			
S37-P-1	轨道尺度低纬度水循环变化并非受控于夏季太阳辐射	杨虎	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S37-P-2	100 万年斜率调制周期对晚泥盆世海平面波动的调控作用	陈健	中国科学院广州地球化学研究所
S37-P-3S	全新世以来南黄海中部泥质区沉积物的源汇过程及其控制因素	谷玉	中国海洋大学
S37-P-4S	河流沉积物物源代表性：锆石年龄视角	樊星辰	中国地质大学（武汉）
S37-P-5	非洲南部林波波河现代沉积物组成由陆到海的变化过程及控制因素	杨婧	湖南文理学院
S37-P-6S	一种检测多波束测深数据异常值的方法	韩瑞	山东科技大学
S37-P-7S	台风对平潭近岸上升流系统演化的影响过程及其机制研究	范小芳	自然资源部第三海洋研究所
S37-P-8S	河套盆地 LH-3 钻孔揭示的渐新世以来的环境演变	王萌萌	南京师范大学
S37-P-9S	东构造结是否主导了布拉马普特拉河入海沉积物通量？喜马拉雅中段的突出贡献	于名扬	同济大学
S37-P-10S	高低分辨率 iCESM1.2 模拟水循环中的稳定氧同位素差异分析	刘益彰	北京大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变			

S38-P-1	感潮河流潜流交换过程模拟和驱动因子分析	蔡奕	同济大学
S38-P-3S	硅酸盐岩化学风化过程中流体滞留时间对元素迁移的影响	王嘉浩	中国科学院广州地球化学研究所
S38-P-4	近 20 年来长江三角洲海岸带典型区土地利用动态变化及其环境响应研究	李梅娜	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S38-P-5S	黄铁矿相关指标揭示中国东部边缘海晚第四纪海侵历史	常鑫	中国海洋大学
S38-P-6S	晚第四纪以来椒江口沉积环境演变及粗粒沉积物源汇特征	光霞	同济大学
S38-P-7S	元素地球化学揭示长江三角洲第一硬土层冰期成土风化作用	杨博	同济大学
S38-P-8S	东亚陆缘盆地新生代沉积通量演化及控制因素	王海芹	浙江大学
S38-P-9	渤海湾唐山港海域表层沉积物粒度和黏土矿物分布特征及其物源指示	杨娅敏	中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心
S38-P-10S	河流沉积物反应态铍（Be）的控制因素及对风化程度的指示意义	陈馨钰	同济大学
S38-P-11S	青藏高原东南缘水系演化的深部动力学机制	罗芸	中国科学院地质与地球物理研究所
S38-P-12	东亚大陆边缘入海河流沉积物物源及风化作用研究	何杰	中国地质大学（武汉）
S38-P-13	晚第四纪轨道尺度中纬度东亚内陆硅酸盐风化历史演化—鄂霍次克海沉积记录的证据	冯旭光	自然资源部第一海洋研究所
S38-P-14	长三角北翼苏北盆地 GYN1 孔沉积序列、物源分析及其对长江贯通的启示意义	周效华	中国地质调查局南京地质调查中心
S38-P-15	南海东北部深海平原超临界浊流底形的形成、转换及源汇意义	王毕文	同济大学
S38-P-16	中国东部陆架第四纪沉积环境演化研究进展与展望	姚政权	自然资源部第一海洋研究所
S38-P-17S	江汉盆地晚更新世硬土层风化强度与主控因素研究	孙月	同济大学
S38-P-18	末次冰消期以来南黄海泥质区沉积物源演变及驱动机制	蒋富清	中国科学院海洋研究所
S38-P-19S	基于氢氧同位素的福建木兰溪地区水文循环和滞留特征研究	许林峰	同济大学
S38-P-20	晚第四纪东海细颗粒沉积汇的周期性转换：海平面和东亚冬季风的制约	窦衍光	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

S38-P-21	长江三角洲近海浅层气形成和分布控制机制	段晓勇	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
S38-P-22	东海陆架泥质沉积物中自生黄铁矿对浅层气形成演化的响应	曹珂	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 42：大陆风化系统与碳中和			
S42-P-1	黄土高原风尘沉积物成土风化作用转型	郭玉龙	同济大学
S42-P-2S	大气粉尘高活性铁的暴露年龄控制	欧阳盛辉	南京大学
S42-P-3	光合作用驱动的有机碳泵而非无机二氧化碳脱气主导喀斯特表层水生生态系统的钙同位素分馏	邵明玉	中国科学院地球化学研究所
S42-P-4S	气候与人为活动共同驱动的长江流域硫循环变化	聂浩阳	南京大学
S42-P-5	喀斯特地表水生物碳泵机制及其碳增汇减排效应研究	贺海波	中国科学院地球化学研究所
S42-P-6S	中国盱眙县小麦—玉米轮作情景下玄武岩风化增强的固碳潜力评估	许义江	南京大学
S42-P-7	冈底斯岩基风化的 Sr 同位素特征——来自察隅河流域河水与河砂的启示	阮笑白	中国科学院青藏高原研究所
S42-P-8	基于现代气候场的高分辨率大陆风化模拟研究：以 GEOCLIM 模型为例	黄湘通	同济大学
S42-P-9S	降水主控全球土壤黏土矿物分布	吕恒志	南京大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 44：巽他陆架海平面、流域和碳循环过程			
S44-P-1	植硅体证据反映冰期时暴露的巽他大陆架上的植被	戴璐	同济大学
S44-P-2S	巽他陆架东纳土纳盆地地震地层学研究	王慧婷	同济大学
S44-P-3S	气候控制着西加里曼丹热带湿地的化学风化作用	王祈淮	同济大学
S44-P-4	末次冰期南海南部深海木屑碳埋藏及其碳循环意义	赵宏超	同济大学

S44-P-5S	Effects of grain size sorting, chemical weathering, and source rock on Sr-Nd isotopic compositions of river sediments in the Lower Mekong River Basin: Implications for provenance studies	Pham Nhu Sang	同济大学
S44-P-6S	晚全新世红河流域硅酸盐风化与碳汇效应增强：人类活动的驱动作用	王晓伟	中国科学院海洋研究所
S44-P-7	新型高效水—气平衡装置研发及其应用	肖尚斌	三峡大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 49：海洋负排放大数据与数值实验			
S49-P-1	基于机器学习构建的 $p\text{CO}_2$ 格点数据揭示近 30 年来南大洋碳汇强度被高估	钟国荣	中国科学院海洋研究所
S49-P-2	黄海大型海藻养殖固碳服务价值评估	宋静静	山东省海洋科学研究院
S49-P-3	南海宪北海山附近碳源增强特征	张功	中山大学
S49-P-4S	海表日循环过程对南海碳汇的影响	朱玮婷	中山大学
S49-P-5S	次月尺度过程对南海二氧化碳吸收贡献显著	王小婧	中山大学
S49-P-6S	北冰洋气候变化对未来北极海—气 CO_2 通量变化趋势的影响	潘蓉蓉	自然资源部第一海洋研究所
S49-P-7	一种应用于三维海洋环流模式的人工上升流/下降流参数化方法	肖灿博	中山大学
S49-P-8	海冰调节南大洋的海气甲烷通量	张功	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S49-P-9	二氧化碳浓度升高对非洲夏季风降水的气候依赖性影响：基于多气候背景的数值模拟及海洋负排放关联分析	时晓旭	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S49-P-10S	基于南极边缘冰区走航观测的海冰对海气 CO_2 通量影响研究	何泓锴	中山大学
S49-P-11S	热带太平洋海洋碳汇对拉尼娜和厄尔尼诺的非对称响应机制研究	孙超凡	上海交通大学
S49-P-12	基于机器学习方法的三维溶解氧数据重构（1960-2021）	王彦俊	中国科学院海洋研究所
S49-P-13	海洋数字孪生引擎在海洋负排放中的应用探索	刘健	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

S49-P-14S	降雨加强了南海碳汇	赵晨尧	中山大学
S49-P-15	热带太平洋海洋热浪对海—气 CO ₂ 通量时空演变的影响	张敏	自然资源部第一海洋研究所
S49-P-16S	考虑大气响应后对热带气旋在南海的碳通量贡献再评估	周茂霖	中山大学
S49-P-17S	台风下的海—气二氧化碳通量	陈枫壕	中山大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理			
S53-P-1	构建 ISO/TC8/WG15 海洋负排放与碳中和国际标准体系——中国方案的提出与推进路径	类彦立	中国科学院海洋研究所
S53-P-2	ISO 船舶与海洋技术国际标准化及未来展望	李彦庆	中国船舶集团有限公司
S53-P-4	海上漂浮式光储一体化系统技术标准探究	吴晟	哈尔滨工程大学
S53-P-5	国际标准在应对国际蓝碳治理挑战中的作用	罗刚	自然资源部海洋发展战略研究所
S53-P-6	海带养殖以惰性溶解有机碳（RDOC）形式的溶解态碳汇贡献与评估方法	张永雨	中国科学院青岛生物能源与过程研究所
S53-P-7S	基于微藻生物质新能源开发利用的海洋负排放技术	邢玉臣	哈尔滨工程大学
S53-P-8	中国海洋地质碳封存相关标准编制	陈建文	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S53-P-9	恒河 - 喜马拉雅河系统及孟加拉扇有机碳动态与气候演变的多时间尺度研究	刘建国	中国科学院南海海洋研究所
S53-P-10	山东省海洋标准现状分析	马元庆	山东省海洋资源与环境研究院
S53-P-11	协同创新网络视角下 CCUS 技术专利发展研究——基于广州市和粤港澳大湾区数据的实证分析	杨哲	广东海洋大学
S53-P-12	构建大型藻类养殖沉积物碳汇和惰性溶解有机碳汇国际化的核算标准及方法学	杨威	集美大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午

专题 63: 病毒在生物地球化学循环过程中的作用			
S63-P-1	土壤病毒群落及病毒—原核微生物互作对长期干旱的响应机制	刘聪	山东大学
S63-P-2S	红树林土壤中病毒多样性及其生态效应	吴婕	厦门大学
S63-P-3S	沿海沉积物中病毒和浮霉菌门相互作用的研究	黄书杰	山东大学
S63-P-4	一个在海洋和淡水环境广泛分布的蓝细菌长尾病毒类群的多样性研究	徐永乐	山东大学
S63-P-5S	基于宏组学的病毒高通量分类方法及其在环境病毒多样性研究中的应用	郑凯阳	中国海洋大学
S63-P-6	鄂西大九湖泥炭地病毒群落特征及其影响甲烷排放的潜力研究	邱轩	中国地质大学（武汉）
展板报告: 13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 64: 全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈			
S64-P-1S	厌氧氨氧化主导深海沉积物活性氮移除的机理与适应	申志博	海南大学
S64-P-2S	海洋浮游古菌 MGII 的固碳机制	李民旭	南方科技大学
S64-P-3S	西北太平洋中三甲胺的生物地球化学循环研究	管文嘉	中国海洋大学
S64-P-4S	气候暖化削弱泥质潮间带沉积物的碳汇功能	申志博	海南大学
S64-P-5S	长江口双锋面原核微生物群落组装的协同驱动机制	卢涵	同济大学
S64-P-6S	盐度胁迫下潮汐对地下河口微生物共现网络的调控	李冠霖	同济大学
S64-P-7S	全新世海平面变化调控近海沉积物铁结合态磷（Fe-P）的埋藏	陈源清	同济大学
S64-P-8	Microsampler 孔隙水取样器的研制及在南海沉积物中的应用	王晨景	宁波汉科医疗器械有限公司
S64-P-9S	次表层营养盐驱动末次冰期至早全新世热带西太平洋巨型硅藻席勃发	蔡雯沁	同济大学
S64-P-10S	大型内陆海沉积物中有机碳矿化路径与碱度、溶解无机碳的底栖通量——以渤海和北黄海为例	任建华	中国海洋大学
S64-P-11	ANME-1 古菌的代谢多样性及环境适应机制研究	宿蕾	同济大学
S64-P-12	台风过境对珠江口海域 CO ₂ 、CH ₄ 和 N ₂ O 释放的影响机制研究	高旭旭	山东大学
S64-P-13	亚热带河流氮来源和关键转化过程对不同水文条件的响应	颜秀利	汕头大学
S64-P-14S	南海海马冷泉区表层沉积物有孔虫壳体对冷泉活动的响应	路颖晗	北京大学

S64-P-15S	营养盐梯度驱动浮游植物生长—摄食动态的协同调控：基于 ^{15}N 示踪与改进稀释法的实验证据	刘禹琦	海南大学
S64-P-16S	一株分离自富铁地下水渗流区的嗜中性微需氧铁氧化菌	沈玥	同济大学
S64-P-17S	海洋微生物产生卤代有机物的代谢潜力、活性、和机制研究	黄丽婷	上海海洋大学
S64-P-18S	硅酸盐风化和反风化过程耦合控制长江口泥质带（东海）不同沉积环境中底栖溶解无机碳循环	陈源清	同济大学
S64-P-19S	南海竹节珊瑚碳、氮同位素揭示的工业革命以来海洋环境演变	卜鸣渊	同济大学
S64-P-20S	中国近海不同硬骨鱼中季胺类化合物含量特征及影响因素分析	刘祥涛	中国水产科学研究院 黄海水产研究所
S64-P-21S	砂质海岸带地下河口溶解碳生物地球化学过程和通量及其对近海碳循环的影响	刘佳伟	同济大学
S64-P-22S	NPZD 模型框架下溶解有机氮对再生与新生产垂向分布的探索	陈鹤	海南大学
S64-P-23S	红树林来源有机碳增强了沿海沉积物中的氢营养型甲烷生成	李爽	中国海洋大学

展板报告：13:00~15:00

7月2日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月2日下午

专题 67：多圈层相互作用控制下的特提斯油气差异富集效应

S67-P-1S	塔里木盆地顺托果勒低隆起走滑断裂带流体活动时空分布及油气地质意义	高键	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S67-P-2	特提斯构造演化对阿姆河盆地形成及油气富集的控制	蒋子文	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S67-P-3	新特提斯演化下的上白垩统油气成藏期次——以美索不达米亚盆地 Mishrif 组为例	王欢	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S67-P-4	印度尼西亚库泰盆地中新统深水重力流沉积特征及发育机制	吴高奎	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

展板报告：13:00~15:00

7月2日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 71：地震孕震、地震活动与地震灾害			
S71-P-1	华北平原深浅部断层关系的数值模拟分析：以三河—平谷强震区为例	尹力	中国地震局地质研究所
S71-P-2S	解析 2023 年土耳其—叙利亚双震的应力模式	陈建全	同济大学
S71-P-3S	断层地震破裂动力学数值模拟初步研究	汤大委	武汉大学
S71-P-4S	走滑断层浅部蠕滑与地表应变响应的数值模拟研究	孙明志	武汉大学
S71-P-5S	汶川地震余震持续时间与龙门山地区背景地震率研究	曾鼎	武汉大学
S71-P-6	2025 年 1 月 7 日定日 Mw7.1 地震发震机制及其与余震关系	岳冲	中国地震台网中心
S71-P-7S	基于 InSAR 观测约束的 2025 年西藏定日 Ms6.8 地震同震滑动分布反演	赵卓	福建农林大学
展板报告：13:00~15:00			
7月2日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月2日下午
专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应			
S76-P-1S	上新世以来赤道西太平洋上层水体热结构的轨道尺度演变特征	任钰	同济大学
S76-P-2S	岁差驱动的末次盛冰期以来西太平洋暖池温度季节性变化	袁子杰	同济大学
S76-P-3S	长江中游石笋多指标揭示的 MIS13 弱间冰期东亚夏季风增强与区域水文响应	宁新竹	中国地质大学（武汉）
S76-P-4S	坝上地区 MIS19 间冰期高分辨率气候与植被变化特征	王莹	河北师范大学
S76-P-5	云南埋藏木记录的更新世间冰期亚洲季风季节变率	许晨曦	中国科学院地质与地球物理研究所
S76-P-6S	过去千年欧洲夏季干旱重建	薛惠鸿	比利时新鲁汶大学

大会特邀报告			
7月2日下午 15:30~17:30			
主会场：三楼东方厅			7月2日下午
大会特邀报告 主持人：陈骏			
15:30-16:00	大地幔楔与东亚地质演化	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所
16:00-16:30	中亚造山带复式增生过程及成矿作用	肖文交	中国科学院新疆生态与地理研究所
16:30-17:00	奥陶纪末大灭绝与有颌脊椎动物崛起	朱敏	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
17:00-17:30	晚奥陶—早志留世生命—地球表层环境变化的深部驱动	沈延安	中国科学技术大学
联合国“海洋十年”成果发布会			
7月2日晚上 19:30~21:00			
东方厅 1 号			7月2日晚上
联合国“海洋十年”成果发布会 主持人：乔方利			
19:30-19:40	中国“海洋十年”进展	管松	联合国“海洋十年”海洋与气候协作中心
19:40-19:50	大河三角洲计划	赵宁	华东师范大学
19:50-20:00	全球河口监测计划	陈翀	香港城市大学
20:00-20:10	海洋与气候无缝预报系统计划	王世柱	自然资源部第一海洋研究所
20:10-20:20	海洋负排放计划	骆庭伟	厦门大学
20:20-20:30	海洋负排放与碳中和国际标准	类彦立	中国科学院海洋研究所
20:30-20:40	数字深海典型生境计划	王云涛	自然资源部第二海洋研究所
20:40-20:50	全球海底生态系统与可持续性计划	王风平	上海交通大学
20:50-21:00	深海微生物和生态系统计划	于溪	上海海洋大学

口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月3日上午
专题 64：全球变化下的海洋生物地球化学循环与气候反馈（3） 主持人：张瑶				
08:30-08:45	S64-O-13	地下水中微生物群落特征及生物地球化学循环（邀请报告）	刁目贺	同济大学
08:45-09:00	S64-O-14	微型浮游植物“吞食细菌”揭示海洋碳循环新路径	肖武鹏	厦门大学
09:00-09:15	S64-O-15	水华区藻际环境氧脂素对磷循环的影响及碳汇应用	吴正超	中国科学院南海海洋研究所
09:15-09:30	S64-O-16	海洋藻际异养菌介导的氮循环过程和潜在作用机制	张增虎	中国科学院青岛生物能源与过程研究所
09:30-09:45	S64-O-17	微生物中广泛存在的新型 DMSP 合成酶及其生态功能	王金燕	中国海洋大学
09:45-10:00	S64-O-18	南海颗粒沉降对微生物群落结构及其垂向连通性的塑造作用	马忠霖	同济大学
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月3日上午
专题 51：微型生物碳泵的过程机制与气候效应（1） 主持人：焦念志、王晓雪				
08:30-08:45	S51-O-1	微型生物碳泵：地球系统中气候变化的双向调节机制（邀请报告）	焦念志	厦门大学
08:45-09:00	S51-O-2	珠江口羽流对底层水体溶解有机物组成及特征的影响	谢伟	中山大学
09:00-09:15	S51-O-3	近海是惰性溶解有机碳产生的潜在热点区域	肖喜林	厦门大学
09:15-09:30	S51-O-4	基于高分辨质谱的海洋溶解有机质分子组成及其活性调控机制研究	李朋辉	中山大学
09:30-09:45	S51-O-5	全球代表性河口细菌群落与溶解有机质组成的相互作用及对环境因子的响应	郭桢丽	厦门大学
09:45-10:00	S51-O-6	隐藏在水体有机污染中的潜在负排放路径	吕宗青	自然资源部第一海洋研究所
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				

分会场 03：三楼 3 号会议室				7 月 3 日上午
专题 53：海洋负排放：国际标准与全球治理（3） 主持人：王爱民、杨正先				
08:30-08:45	S53-O-13	海洋负排放与《伦敦公约》环境保护规制	杨正先	国家海洋环境监测中心
08:45-09:00	S53-O-14	基于藻类衍生碳汇的人工上升流工程的增汇潜力评估	樊炜	浙江大学
09:00-09:15	S53-O-15	塑料生物降解助力双碳目标实现及海洋负排放	孙超岷	中国科学院海洋研究所
09:15-09:30	S53-O-16	渔业碳汇标准的研究进展与挑战	张继红	中国水产科学研究院黄海水产研究所
09:30-09:45	S53-O-17	大型海藻负排放理论在解决温室气体减排中的技术路径	杨宇峰	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
09:45-10:00	S53-O-18	珊瑚礁修复技术创新与珊瑚礁碳汇的初探（邀请报告）	王爱民	海南大学
口头报告				
7 月 3 日上午 08:30~10:00				
分会场 04：三楼 5 号会议室				7 月 3 日上午
专题 02：深时古地貌古气候（1） 主持人：戴紧根				
08:30-08:45	S02-O-1	大洋关闭过程中地幔动力对巨型克拉通内盆地形成的控制（邀请报告）	刘少峰	中国地质大学（北京）
08:45-09:00	S02-O-2	白垩纪末期秦岭东部古降水变化及其对恐龙多样性演化的影响	韩非	长江大学
09:00-09:15	S02-O-3	华北板块巨量有机碳埋藏是早阿瑟尔期晚古生代大冰期达到顶峰的主控因素	贾海波	山东科技大学
09:15-09:30	S02-O-4	晚白垩世亚洲地形地貌演化的气候效应模拟	张健	北京大学
09:30-09:45	S02-O-5	晚白垩世海岸山脉和内陆山脉对东亚气候的联合影响	余晨旻	中国地质大学（北京）
09:45-10:00	S02-O-6	中侏罗世高纬度泥炭地碳积累速率的天文驱动野火调控机制	张之辉	山东科技大学
口头报告				
7 月 3 日上午 08:30~10:00				
分会场 05：三楼 6 号会议室				7 月 3 日上午
专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（1） 主持人：许莉佳				

08:30-08:45	S12-O-1	全新世南海珊瑚礁发育的南北差异及相对高纬度避难所意义（邀请报告）	江蕾蕾	广西大学
08:45-09:00	S12-O-2	南海全新世珊瑚礁磁性矿物特征及其气候指示意义	李海	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
09:00-09:15	S12-O-3	珊瑚与模式对比之西沙群岛海水氧同位素气候指示意义探究	党少华	同济大学
09:15-09:30	S12-O-4	珊瑚记录工业革命以来西太平洋暖池的扩张和增强	李小花	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S12-O-5	珊瑚砂和珊瑚骨骼中黑碳赋存特点及其碳封存意义——基于 BPCA 分子标志物法的证据	王镜宇	广西大学
09:45-10:00	S12-O-6	珊瑚礁区地下水排放及其携带的溶解碳通量	汪迁迁	华东师范大学
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7月3日上午
专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（1）主持人：李伟、卢骁				
08:30-08:45	S40-O-1	BVOCs 排放不确定性及其在空气质量模式中的应用（邀请报告）	王雪梅	暨南大学
08:45-09:00	S40-O-2	天然源痕量活性有机气体排放及其在地球系统中的作用与反馈	张艳利	中国科学院广州地球化学研究所
09:00-09:15	S40-O-3	基于高分辨率地球系统模式研究全球城市绿地对大气污染的影响	高阳	中国海洋大学
09:15-09:30	S40-O-4	典型极端事件对天然源排放	王芃	复旦大学
09:30-09:45	S40-O-5	中国自然生态系统非 CO ₂ 温室气体排放清单研究进展	李婷婷	中国科学院大气物理研究所
09:45-10:00	S40-O-6	光热条件与上升流增强了热带西太平洋极短寿命溴代卤代烃的排放	刘珊珊	中国科学院海洋研究所
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月3日上午
专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（3）主持人：赵艳				
08:30-08:45	S76-O-13	轨道驱动触发的 AMOC 突变和多百年变率	尹秋珍	比利时新鲁汶大学

08:45-09:00	S76-O-14	地中海溢出流向北大西洋高纬传输的深度变化	陈新阳	中山大学
09:00-09:15	S76-O-15	中布容事件前后热带东印度洋上层海洋热结构的转变	张俊茹	中国科学院海洋研究所
09:15-09:30	S76-O-16	晚上新世格陵兰冰盖演化周期特征研究	谭宁	中国科学院地质与地球物理研究所
09:30-09:45	S76-O-17	南北半球海冰对轨道参数、CO ₂ 和冰盖的差异性响应	吴志鹏	比利时新鲁汶大学
09:45-10:00	S76-O-18	过去四个冰期一间冰期旋回亚非季风区温度和降水的模拟研究	张仲石	北京大学
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 08: 三楼 9 号会议室				7月3日上午
专题 72: 海洋地质灾害现象、过程及机制 (1) 主持人: 孙启良、李伟				
08:30-08:45	S72-O-1	复发性海底滑坡相互作用机制及控制因素研究 (邀请报告)	吴南	同济大学
08:45-09:00	S72-O-2	气候变化对撒哈拉海底滑坡的影响	唐琴琴	中国科学院南海海洋研究所
09:00-09:15	S72-O-3	退积型海底失稳的新模型: 从局部失稳到大规模海底滑坡	敬嵩	中国科学院南海海洋研究所
09:15-09:30	S72-O-4	格陵兰西北缘早更新世重力流沉积地貌对冰盖演化的响应	谢卓雅	中国地质大学 (武汉)
09:30-09:45	S72-O-5	渤海西部中更新世以来三期古河道的环境演化与东亚季风记录	吴淑玉	中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心
09:45-10:00	S72-O-6	海底滑坡、地层流体活动与冷水珊瑚礁丘	陈端新	中国科学院海洋研究所
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 09: 三楼上海厅				7月3日上午
专题 57: 地球系统演变中矿物-微生物的相互作用和共演化 (1) 主持人: 董海良、鲁安怀				
08:30-08:45	S57-O-1	微生物光电能代谢新途径与能量转化新体系 (邀请报告)	鲁安怀	北京大学

08:45-09:00	S57-O-2	矿物组成对湖泊沉积物中微生物群落构建机制的影响	杨渐	中国地质大学 (武汉)
09:00-09:15	S57-O-3	冷泉和热液区化能自养双壳的地球化学特征及其对渗漏流体和营养方式的指示	贾子策	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
09:15-09:30	S57-O-4	寡营养环境中硫酸盐还原菌利用半导体矿物存活机制研究	钟超	北京大学
09:30-09:45	S57-O-5	地质历史时期氧气驱动的蛋白演化研究：以铁硫簇组装蛋白为例	陈泓羽	中国地质大学 (北京)
09:45-10:00	S57-O-6	产甲烷菌吸收 FeS 纳米颗粒以支持富铁环境中的生长和产甲烷作用	张一迪	中国地质大学 (北京)
口头报告				
7 月 3 日上午 08:30~10:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7 月 3 日上午
专题 54：东南亚超级汇聚环形俯冲系统与环境演变（3） 主持人：丁巍伟				
08:30-08:45	S54-O-13	环形俯冲体系内的物质循环：越南南部新生代碱性—拉斑玄武岩起源于地幔过渡带撕裂大洋板片的上涌（邀请报告）	俞恂	同济大学
08:45-09:00	S54-O-14	俯冲板片结构对弧岩浆作用差异性的控制	于洋	山东大学
09:00-09:15	S54-O-15	从板片到地幔：多硅白云母在地球深部卤素输运中的作用	刘颖卓	中国科学院广州地球化学研究所
09:15-09:30	S54-O-16	俯冲沉积物诱导的岛弧地幔氧逸度不均一性	高名迪	中国科学院广州地球化学研究所
09:30-09:45	S54-O-17	蛇纹石化地幔对俯冲带俯冲方式的影响及对初始碰撞带研究的启示	李付成	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
09:45-10:00	S54-O-18	马尼拉俯冲带碳、氮输入通量和循环效率：对全球俯冲带挥发性元素循环的启示	孙李恒	中国科学院南海海洋研究所
口头报告				
7 月 3 日上午 08:30~10:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7 月 3 日上午
专题 38：新生代亚洲大河源汇系统演化与环境演变（3） 主持人：印萍、万世明				
08:30-08:45	S38-O-13	长江三角洲地质环境和地质灾害问题和挑战（邀请报告）	印萍	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所

08:45-09:00	S38-O-14	晚新生代岛弧隆升—风化及其碳循环效应	于兆杰	中国科学院海洋研究所
09:00-09:15	S38-O-15	基于地球系统科学的海岸带滨海湿地监测研究——以江苏盐城滨海湿地为例	范彦斌	江苏省海洋地质调查院
09:15-09:30	S38-O-16	沉积过程铁同位素分馏及对海洋铁循环的意义	刘佳蓉	中国科学院广州地球化学研究所
09:30-09:45	S38-O-17	台州海岸带第四纪地层对比及沉积环境演化	汪业勇	浙江省海洋地质调查大队
09:45-10:00	S38-O-18	基于长江口表层样的古环境指标厘定及其在东海内陆架全新世古环境重建中的应用	袁洁琼	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7月3日上午
专题 33：全球变化与亚洲大河流域侵蚀环境演变（3） 主持人：潘保田、何洪鸣				
08:30-08:45	S33-O-13	解译“悬河”：末次盛冰期以来黄河下游平原形成演化、黄河改道与史前文明（邀请报告）	赖忠平	汕头大学
08:45-09:00	S33-O-14	亚洲大河泥沙通量变化与修复策略	吕喜玺	新加坡国立大学地理学
09:00-09:15	S33-O-15	黄河流域生态系统变化与生态水文响应	朱求安	河海大学
09:15-09:30	S33-O-16	黄土高原典型地貌区坡面土壤侵蚀特征与驱动机制分析	何琪琳	河海大学
09:30-09:45	S33-O-17	晚全新世人类活动范围扩张促进珠江三角洲发育的环境磁学证据	李明坤	岭南师范学院
09:45-10:00	S33-O-18	冰期低海平面时黄河的溯源侵蚀能到郑州吗？	刘岳昕	汕头大学
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 13：二楼悦贵厅 2 号				7月3日上午
专题 34：从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比（1） 主持人：李超、张飞				
08:30-08:45	S34-O-1	亚热带山溪性河流沉积物的产生机制及其源—汇过程：矿物学示踪（邀请报告）	简星	厦门大学
08:45-09:00	S34-O-2	中国东部边缘海陆架释光和 ^{14}C 测年对比及晚第四纪地层厘定	王中波	汕头大学

09:00-09:15	S34-O-3	东亚大陆架物质再循环示踪研究	李乐	中国科学院海洋研究所
09:15-09:30	S34-O-4	侵蚀砂箱物理模拟方法在造山带侵蚀动力学研究中的应用	闫兵	西安石油大学
09:30-09:45	S34-O-5	第四纪冰期—间冰期旋回中孟加拉扇—印度扇颗粒有机碳源—汇过程及其驱动机制	张斌	中国科学院海洋研究所
09:45-10:00	S34-O-6	中中新世南亚与北非气候演化的模拟研究	张健	中国科学院青藏高原研究所
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 14: 二楼悦贵厅 3 号				7月3日上午
专题 46: 陆—海水生连续体有机碳循环过程(1) 主持人: 姚鹏、何丁				
08:30-08:45	S46-O-1	有机碳在陆—水传输过程中的快速分解及其机制(邀请报告)	冯晓娟	中国科学院植物研究所
08:45-09:00	S46-O-2	激发效应及其对陆—海水生连续体碳循环的影响	戚羽霖	天津大学
09:00-09:15	S46-O-3	基于活性有机碳同位素的海洋颗粒有机碳生物地球化学行为模型拟合	唐甜甜	厦门大学
09:15-09:30	S46-O-4	细菌藿多醇(BHPs)对东海氮循环的潜在指示	段丽琴	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S46-O-5	北冰洋典型边缘海活性有机质的迁移和周转——以氨基酸为例	李中乔	自然资源部第二海洋研究所
09:45-10:00	S46-O-6	大河河口氧化还原条件对活性铁结合的有机碳保存的影响	赵彬	自然资源部第一海洋研究所
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 15: 二楼悦泰厅 3 号				7月3日上午
专题 84: 地学科普新途径与新形式 主持人: 张云飞、赵宁				
08:30-08:45	S84-O-1	《洞见贵州—桥连世界问苍穹》——“游学中国”课程的开发与实践	何守阳	贵州大学
08:45-09:00	S84-O-2	湖光岩玛珉湖科普设计——从古记录到新科普	罗泳驿	广东海洋大学
09:00-09:15	S84-O-3	互动媒体装置在地学科普中的应用探析——以冰岛熔岩中心博物馆为例	邵弋伦	吉林大学

09:15-09:30	S84-O-4	人工智能赋能下《宜居地球》通识课程本研一体化教育模式的探索	胡晨	厦门大学
09:30-09:45	S84-O-5	“地质不是真的科学？”通识教育中的地学科普实践	左旭然	香港中文大学（深圳）
09:45-10:00	S84-O-6	Building Bridges: Cultivating an Inclusive Scientific Community for Early-Career Researchers in Limnology and Aquatic Sciences	Ana Vasquez	同济大学
口头报告				
7月3日上午 08:30~10:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7月3日上午
专题 16：河口海岸生物动力地貌演变与生态功能（1）主持人：周曾、张荷悦				
08:30-08:45	S16-O-1	河口潮滩季节性冲淤变化格局及其控制机制（邀请报告）	王爱军	自然资源部第三海洋研究所
08:45-09:00	S16-O-2	潮沟网络分支形态的“异常”尺度特征	徐凡	华东师范大学
09:00-09:15	S16-O-3	浑浊河口环境中水深反演的机器学习模型时空依赖性研究——以长江口为例	周炳江	复旦大学
09:15-09:30	S16-O-4	泥沙供给驱动的河口潮滩多稳态现象	高瑞超	中山大学
09:30-09:45	S16-O-5	高位池尾水排放影响海滩对超强台风“摩羯”的地貌响应	袁明明	广东海洋大学
09:45-10:00	S16-O-6	盐沼前缘陡坎高度的影响因子研究	张晓天	河海大学
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月3日上午
专题 03：金属稳定同位素示踪海洋沉积演化 主持人：胡忠亚、韩中				
10:30-10:45	S03-O-1	现代海洋钼（Mo）通量与同位素更新：基于深海氧化沉积物的新约束（邀请报告）	王志兵	中国科学院广州地球化学研究所
10:45-11:00	S03-O-2	白垩纪大洋缺氧事件 OAE2 海底硅酸盐风化作用证据及环境意义	葛毓柱	成都理工大学
11:00-11:15	S03-O-3	水诱导的地幔反转诱发太古宙强磁场	吴忠庆	中国科学技术大学
11:15-11:30	S03-O-4	铁同位素示踪河口沉积物铁循环及其早期成岩过程	郑旻	同济大学
11:30-11:45	S03-O-5	华南中—晚寒武世碳酸盐岩钡同位素组成变化及古环境研究	肖壮	南京大学

11:45-12:00	S03-O-6	早侏罗世大洋缺氧事件（T-OAE）期间汞循环及其与 Ferrar LIP 的联系	刘金超	南京大学
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月3日上午
专题 51：微型生物碳泵的过程机制与气候效应（2） 主持人：骆庭伟、张永雨				
10:30-10:45	S51-O-7	藻类碳汇中的微型生物碳泵贡献及其对海洋升温的响应（邀请报告）	张永雨	中国科学院青岛生物能源与过程研究所
10:45-11:00	S51-O-8	热带海湾海洋寄生性甲藻(Syndiniales)的高遗传多样性及真核浮游植物变化研究	邱大俊	中国科学院南海海洋研究所
11:00-11:15	S51-O-9	地球“四极”病毒多样性及其潜在生态作用分析	梁彦韬	中国海洋大学
11:15-11:30	S51-O-10	丝状噬菌体与细菌宿主互作调控生物膜结构和胞外多聚物组成	郭云学	中国科学院南海海洋研究所
11:30-11:45	S51-O-11	病毒裂解与原生动物摄食对微型生物碳泵过程的差异化驱动机制及其碳汇效应	胡晨	厦门大学
11:45-12:00	S51-O-12	贝藻养殖的碳吸收、释放及对水—气 CO ₂ 交换的影响	汤坤贤	自然资源部第三海洋研究所
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室				7月3日上午
专题 70：主动源海底地震技术应用与发展 主持人：刘玉柱、徐敏				
10:30-10:45	S70-O-1	北冰洋加克洋中脊密集冰区海底地震探测进展（邀请报告）	牛雄伟	自然资源部第二海洋研究所
10:45-11:00	S70-O-2	海南地区地震活动特征：受岩浆热液流体的驱动？	林江南	中国地质调查局广州海洋地质调查局
11:00-11:15	S70-O-3	主动源 OBN 多分量地震数据 Scholte 波反演方法与应用	于鹏飞	河海大学
11:15-11:30	S70-O-4	南海超深水盆地荔湾凹陷深部速度建模与成像	刘东悦	同济大学
11:30-11:45	S70-O-5	基于程函方程伴随反射走时层析成像的 OBS 多分量数据纵横波速度建模方法	张建明	中国海洋大学

11:45-12:00	S70-O-6	地震波场向下延拓法在主动源海底地震仪数据中的应用	狄会哲	自然资源部南海调查中心
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 04：三楼 5 号会议室				7月3日上午
专题 02：深时古地貌古气候（2）主持人：高远				
10:30-10:45	S02-O-7	青藏高原由海变陆的历史（邀请报告）	胡修棉	南京大学
10:45-11:00	S02-O-8	特提斯喜马拉雅东部中新世剥露过程及其控制因素	韩续	中国地质大学（北京）
11:00-11:15	S02-O-9	晚三叠世卡尼期湿润事件期间的大气二氧化碳浓度重建	张筱青	Wesleyan University
11:15-11:30	S02-O-10	利用银杏叶片化石追踪古大气汞浓度的变化	张立	中国科学院南京地质古生物研究所
11:30-11:45	S02-O-11	气候变化与若尔盖盆地周缘黄河和长江分水岭的迁移	李正晨	南京大学
11:45-12:00	S02-O-12	晚中生代辽西地区木化石古气候新证据	蒋子堃	中国地质科学院
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 05：三楼 6 号会议室				7月3日上午
专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（2）主持人：刘胜				
10:30-10:45	S12-O-7	新生代珊瑚岛礁白云岩成因机制研究进展与展望（邀请报告）	黎刚	中国科学院南海海洋研究所
10:45-11:00	S12-O-8	西沙岛礁白云岩是海水锂同位素组成的可靠记录	刘晓锋	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
11:00-11:15	S12-O-9	探科 2 井晚中新世一早上新世脂肪酸及其单体碳同位素分布特征对古海洋环境的响应	王佳宝	广西大学
11:15-11:30	S12-O-10	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr 比值及铁锰钙镁元素含量变化对南海甘泉海台最终灾变式沉没的年代约束	张江勇	中国地质调查局广州海洋地质调查局
11:30-11:45	S12-O-11	大陆裂离演化过程对浅水珊瑚礁生长基底时空分布的影响：以南海与红海为例	雷志斌	中国科学院南海海洋研究所
11:45-12:00	S12-O-12	塑岩理化性质与形成原因的初步探索	王刘炜	广西大学

口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7月3日上午
专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（2） 主持人：张艳利、洪朝鹏				
10:30-10:45	S40-O-7	典型生态系统甲烷和氧化亚氮排放观测与核算（邀请报告）	赵瑜	南京大学
10:45-11:00	S40-O-8	基于多物种多平台大气观测量化中国甲烷排放	张羽中	西湖大学
11:00-11:15	S40-O-9	全球和区域甲烷排放反演优化及演变驱动因子解析	卢骁	中山大学
11:15-11:30	S40-O-10	AI+遥感赋能全球近实时甲烷排放监测	白开旭	华东师范大学
11:30-11:45	S40-O-11	碳中和实现过程中人为排放变化对温室气体的非线性影响	刘明旭	北京大学
11:45-12:00	S40-O-12	全球人为源二氧化碳排放的高时空分辨率表征：1970-2023	肖清扬	清华大学
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月3日上午
专题 76：轨道气候变率及跨尺度效应（4） 主持人：田军				
10:30-10:45	S76-O-19	十年分辨率中新世记录揭示的碳—气候耦合动力学及其跨尺度效应	张一歌	中国科学院广州地球化学研究所
10:45-11:00	S76-O-20	全新世期间多年型厄尔尼诺—南方涛动事件频率增加趋势	陆正遥	隆德大学
11:00-11:15	S76-O-21	东营凹陷古近系湖相页岩对厄尔尼诺南方涛动的响应特征	韩豫	中国石油大学（华东）
11:15-11:30	S76-O-22	冰芯的硫酸根离子数据揭示的火山活动及其周期变化规律	张朝鑫	中国地质大学（武汉）
11:30-11:45	S76-O-23	树轮古气候指标变化的周期信号挖掘	步静萱	中国地质大学（武汉）
11:45-12:00	S76-O-24	晚古生代冰期轨道尺度大气经向热输运变率	魏韧	北京大学
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月3日上午

专题 72：海洋地质灾害现象、过程及机制（2） 主持人：李琳琳、吴南				
10:30-10:45	S72-O-7	底流作用对深水沉积体系的影响及其灾害效应（邀请报告）	王星星	中国地质大学（武汉）
10:45-11:00	S72-O-8	深水浊流与海底麻坑的相互作用过程：对海底水道起源的启示	喻凯琦	中国科学院南海海洋研究所
11:00-11:15	S72-O-9	基于 CFD-DEM 耦合方法的海底滑坡运动过程模拟及三维效应分析	荣泽	大连理工大学
11:15-11:30	S72-O-10	南海北部深水沙波时空演变研究	耿明会	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:30-11:45	S72-O-11	地震—海底滑坡—海啸灾害链——基于全球案例的统计分析	杜朋	中山大学
11:45-12:00	S72-O-12	海底火山相关灾害：从喷发到深埋阶段	孙启良	中国地质大学（武汉）
口头报告				
7 月 3 日上午 10:30~12:00				
分会场 09：三楼上海厅				7 月 3 日上午
专题 57：地球系统演变中矿物—微生物的相互作用和共演化（2） 主持人：鲁安怀、董海良				
10:30-10:45	S57-O-7	矿物在早期微生物获取碳氮营养元素中的作用	盛益之	中国地质大学（北京）
10:45-11:00	S57-O-8	海洋浮游古菌 MGII 与地球环境的协同演化	谢伟	中山大学
11:00-11:15	S57-O-9	高温微生物氮循环及铁矿物共演化的地质意义	黄柳琴	中国地质大学（武汉）
11:15-11:30	S57-O-10	古元古代晚期海洋的氧化还原状态与氮循环过程：来自华北板块串岭沟组的证据	孙云鹏	中国科学技术大学
11:30-11:45	S57-O-11	日光催化水钠锰矿协同极端微生物 <i>Rubrobacter radiotolerans</i> 胞外电子传递机制研究	刘菲菲	北京大学
11:45-12:00	S57-O-12	增强岩石风化技术释放微量金属促进产甲烷代谢	张冬磊	中国地质大学（北京）
口头报告				
7 月 3 日上午 10:30~12:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7 月 3 日上午
专题 07：古生代海岸带演化与晚古生代大冰期 主持人：杨琦琦				

10:30-10:45	S07-O-1	泥盆纪—石炭纪植物演化影响的聚煤作用 (邀请报告)	鲁静	中国矿业大学 (北京)
10:45-11:00	S07-O-2	古特提斯洋俯冲带弧火山释气驱动早二叠世 大规模冰川消融和气候变暖	杨江海	中国地质大学 (武汉)
11:00-11:15	S07-O-3	中晚泥盆世森林化进程及环境效应	黄璞	中国科学院南京 地质古生物研究 所
11:15-11:30	S07-O-4	早泥盆世植物根系演化显著促进土壤发育和 化学风化	黄天正	北京大学
11:30-11:45	S07-O-5	华北板块石炭纪—二叠纪之交高分辨率定量 古地理重建：对聚煤和烃源岩富集的启示	申博恒	中国科学院南京 地质古生物研究 所
11:45-12:00	S07-O-6	二叠—三叠纪灭绝事件的植被模拟研究	刘悦	北京大学
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7月3日上午
专题 39：海洋地质碳封存与碳中和 主持人：陈建文、邱宁				
10:30-10:45	S39-O-1	全球海洋地质碳封存进展及我国发展方向	陈建文	中国地质调查局 青岛海洋地质研 究所
10:45-11:00	S39-O-2	中国首个海域碳捕集与封存项目地质力学响 应的不确定性分析	王志强	中国石油大学 (华东)
11:00-11:15	S39-O-3	东海盆地钱塘凹陷晚中生代地质演化与碳封 存潜力及工程可行性研究	冯凯龙	广东海洋大学
11:15-11:30	S39-O-4	海洋地质碳封存中 CO ₂ 羽流监测的电磁地 震联合方法	邱宁	中国科学院南海 海洋研究所
11:30-11:45	S39-O-5	海洋沉积物中粉粒对二氧化碳水合物生长赋 存形态及孔隙特征的影响	孙传淇	浙江大学
11:45-12:00	S39-O-6	方解石化对玄武岩断层稳定性的影响及其对 CO ₂ 海底地质封存的启示	韦俊杰	中国科学院上海 高等研究院
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7月3日上午
专题 45：人类活动干扰下的陆地—海洋连续体碳动态 主持人：王成龙、刘茂旬				

10:30-10:45	S45-O-1	热带山溪性河口系统沉积有机质源—汇过程：雪兰莪河口—近海连续体生物标志物示踪与多因子耦合分析证据（邀请报告）	陶舒琴	自然资源部第三海洋研究所
10:45-11:00	S45-O-2	滨海湿地集合生态系统的横向物质流动及其“蓝碳”保护启示	高宇	中国水产科学研究院东海水产研究所
11:00-11:15	S45-O-3	人类活动干扰下长江河口—东海内陆架区沉积有机质的归宿	王成龙	南京大学
11:15-11:30	S45-O-4	水库蓄水和极端高温干旱事件增加了河流颗粒有机碳的活性	吕纪轩	南京大学
11:30-11:45	S45-O-5	气候变暖或削弱南大洋的碳吸收能力，并加剧汞污染	周诚真	北京大学
11:45-12:00	S45-O-6	珠江口碳源汇对人类活动与气候变化的响应	张思宇	香港科技大学（广州）
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 13：二楼悦贵厅 2 号				7月3日上午
专题 34：从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比（2）主持人：杨一博、于兆杰				
10:30-10:45	S34-O-7	表生系统中铈异常与铈稳定同位素的异同和应用（邀请报告）	李文帅	中国地质大学（武汉）
10:45-11:00	S34-O-8	黄土高原和黄河下游叶蜡生物标志物研究和物源指示意义	刘金召	中国科学院地球环境研究所
11:00-11:15	S34-O-9	高原流域深部碳释放抵消硅酸岩风化碳汇	钟君	天津大学
11:15-11:30	S34-O-10	青藏高原典型湖泊中溶解态 Li 同位素组成特征	张俊文	长安大学
11:30-11:45	S34-O-11	青藏高原北部柴达木深层卤水锂硼资源元素源汇过程及成矿机制	樊启顺	中国科学院青海盐湖研究所
11:45-12:00	S34-O-12	岷江上游河水镁同位素季节性变化及其对暴雨事件的响应	徐阳	中国科学院地球环境研究所
口头报告				
7月3日上午 10:30~12:00				
分会场 14：二楼悦贵厅 3 号				7月3日上午
专题 46：陆—海水生连续体有机碳循环过程（2）主持人：冯晓娟、李宏亮				

10:30-10:45	S46-O-7	亚洲内陆野火演化历史及其与全球碳循环的潜在关系（邀请报告）	苗运法	中国科学院西北生态环境资源研究院
10:45-11:00	S46-O-8	典型水库有机质动态过程、控制因素及生态效应研究	王凯	天津大学
11:00-11:15	S46-O-9	长江口潮间带沉积物溶解有机质的分子变化：铁（II）再氧化的作用	肖衡	同济大学
11:15-11:30	S46-O-10	圣巴巴拉盆地沉积物中核爆- ¹⁴ C 信号及其对陆源有机碳 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响	徐菡悦	中国海洋大学
11:30-11:45	S46-O-11	东海北部（长江口）表层溶解有机质组成在极端干旱年份的季节性变化	方富韬	上海交通大学
11:45-12:00	S46-O-12	基于改进的 LC-FT-ICR-MS 方法揭示微生物对海洋溶解有机质的转化	蔡阮鸿	香港科技大学
口头报告				
7 月 3 日上午 10:30~12:00				
分会场 15：二楼悦泰厅 3 号				7 月 3 日上午
专题 26：深海界面过程和化能生态系统 主持人：王凡				
10:30-10:45	S26-O-1	深海高压环境微生物代谢与元素循环	张宇	上海交通大学
10:45-11:00	S26-O-2	深海流固界面过程的原位观测与现场实验	张鑫	崂山国家实验室
11:00-11:15	S26-O-3	冷泉区微塑料对甲烷厌氧氧化的影响研究	冯景春	广东工业大学
11:15-11:30	S26-O-4	深海化能合成生态系统的多样性演化、潮汐节律适应与共生机制创新	孙进	中国海洋大学
11:30-11:45	S26-O-5	海洋后鞭毛生物多样性与演化	李远宁	山东大学
11:45-12:00	S26-O-6	南海冷泉区大型底栖动物研究进展与展望（邀请报告）	李超伦	中国科学院南海海洋研究所
口头报告				
7 月 3 日上午 10:30~12:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7 月 3 日上午
专题 16：河口海岸生物动力地貌演变与生态功能（2） 主持人：胡湛、汪亚平				
10:30-10:45	S16-O-7	底栖微藻对潮滩泥沙组分变化的影响研究（邀请报告）	张荷悦	河海大学
10:45-11:00	S16-O-8	天文大小潮波动调控湄公河口的微塑料组成和分布	张晓栋	同济大学

11:00-11:15	S16-O-9	滨海蓝碳生态系统沉积物有机碳埋藏及来源研究	任旭	华东师范大学
11:15-11:30	S16-O-10	Spatial and temporal changes of mangrove forests at the Yangon Estuary, Southeast Asia: Reasons and causes	Phyu Phway Thant	华东师范大学
11:30-11:45	S16-O-11	高位池养殖对砂质海岸地形演变的驱动机制与监测技术研究——以粤西东海岛尾水排放岸滩为例	邓龙波	广东海洋大学
11:45-12:00	S16-O-12	红树林对飓风作用的响应研究	梁喜幸	华东师范大学

展板报告：13:00~15:00

7月3日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月3日下午

专题 02：深时古地貌古气候

S02-P-1	渤海湾盆地东营凹陷古近纪孔店期地质结构与盆地原型	李传新	中国地质大学（北京）
S02-P-2S	藏东中始新世卤蕨化石揭示班公湖—怒江缝合带的古环境变化	宗浩然	成都理工大学
S02-P-3	断层连接和地表过程驱动念青唐古拉中部上新世—更新世快速集中剥露	刘伯蓉	中国地质大学（北京）
S02-P-4S	约旦西北部中侏罗世植物群角质层研究	陈泓宇	中国科学院南京地质古生物研究所
S02-P-5S	开鲁盆地中新世构造属性及油气意义	孙一丹	中国地质大学（北京）
S02-P-6S	胶莱盆地首次发现早白垩世松型木属及异木属木化石	郝瑞莹	中国地质科学院
S02-P-7S	中国辽西秀水盆地下白垩统义县组高精度锆石 U-Pb 地质年代学约束	吴思晋	中国地质大学（北京）
S02-P-8S	西藏中部尼玛盆地新生代地形演化的深部动力学机制：锆石 U-Pb 与(U-Th)/He 热年代学约束	高爽	内蒙古工业大学
S02-P-9S	晚中新世喜马拉雅腹地 C ₄ 植物扩张受干旱环境与季节性温度共同驱动	梁乾坤	中国地质大学（北京）
S02-P-10S	提升古地理图时间分辨率的方法探究	宁嘉豪	北京大学
S02-P-11S	藏南冈底斯岛弧锆石 Eu 异常与地壳厚度新理解	任广生	中国地质大学（北京）
S02-P-12	西藏错那地区热泉钙华的地球化学特征及环境指示意义	黄豪擎	中国地质调查局军民融合地质调查中心

S02-P-13S	The Larger Foraminiferal Turnover during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum Event along the Western Margin of Indian Plate Baluchistan Basin (Eastern Tethys, Pakistan): Tectonic and Climatic Implications	Muhammad Kamran	中国地质大学（北京）
S02-P-14S	辽西义县组湖相碳酸盐岩成岩特征及其对古气候和古地貌的指示意义	张一范	中国地质大学（北京）
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 03：金属稳定同位素示踪海洋沉积演化			
S03-P-1	早侏罗世托阿尔期极热事件期间水文循环增强驱动大陆风化作用	韩中	成都理工大学
S03-P-2S	末次冰消期以来冲绳海槽底层水氧化还原环境重建：钼同位素证据	孙呈慧	同济大学
S03-P-3	新太古代晚期海洋 Nd-Hf 同位素解耦特征对大陆风化作用的指示	彭自栋	中国地质科学院矿产资源研究所
S03-P-4	二叠纪末生物大灭绝期间陆地汞传输的时空差异及驱动机制	华夏	北京大学
S03-P-5S	中元古代海洋氧化的钼同位素约束：来自华北克拉通~1.64 Ga 串岭沟组黑色页岩的启示	刘书琪	中国地质大学（北京）
S03-P-6	海绿石化过程中镁、钾同位素变化特征	胡忠亚	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 07：古生代海岸带演化与晚古生代大冰期			
S07-P-1	中一晚二叠世之交火山—气候耦合的晚古生代冰期演化启示	程成	中国科学院南京地质古生物研究所
S07-P-2S	泥盆纪植物登陆与磷矿的联系	马钰涵	中国科学院地球化学研究所
S07-P-3S	铝土矿中高岭石与水铝石类矿物中结构镁的含量及镁同位素特征	陈雨雷	成都理工大学
S07-P-4S	华南早石炭世中晚期有孔虫多样性演化规律及其控制因素	戚俊俊	河南理工大学
S07-P-5	中三叠世秦岭造山带构造隆升与华北南部湿润化气候事件的耦合关系	杨文涛	河南理工大学

S07-P-6S	湖南醴陵早石炭世拟铁线蕨(<i>Adiantites</i>)新记录及意义	李炳鑫	北京大学
S07-P-7S	基于随机森林算法与地球系统模型的双模型重建：从泥盆纪至今土壤有机与无机碳储量及密度的演变分析	钟涛	北京大学
S07-P-8S	志留纪—泥盆纪维管植物群气候分区初探	王徽	北京大学
S07-P-9S	早石炭世石松类根系黄铁矿及其硫同位素特征	杨琦琦	北京大学
S07-P-10S	基于古盐度视角的大塘坡锰矿成矿机制研究	陈起宏	中国地质大学（武汉）
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 08：分子钟、化石记录与古环境演化			
S08-P-1	整合离散和连续形态特征的贝叶斯支端定年方法	张驰	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
S08-P-2	基于地球系统模型评估二叠纪—三叠纪之交海洋微生物介导的甲烷排放	吴玉样	中国地质大学（武汉）
S08-P-3S	灭绝事件中的生物能量学：通过形态简化降低钙化成本	王奉宇	中国地质大学（武汉）
S08-P-4	古—中生代之交的放射虫大小演变及与环境变化的响应	肖异凡	中国地质大学（武汉）
S08-P-5S	离散形态特征相关性演化的模拟研究	刘雪儿	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
S08-P-6S	海洋酸化下腹足动物发生稳定选择的实验和化石证据	李幸	中国地质大学（武汉）
S08-P-7S	古代杂交促进鹿角珊瑚的辐射演化	吴田振	中国科学院海洋研究所
S08-P-8S	南堡凹陷早渐新世页岩地球化学特征及形成环境	张宇	中国石油大学（北京）
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性			

S12-P-1S	西沙群岛晚中新世宣德组沉积相对白云石晶体发育演化的控制作用	花绘	广西大学
S12-P-2S	上新世—更新世南海西沙珊瑚礁碳酸盐岩 Nd 同位素记录东亚季风演化	赵凌楠	广西大学
S12-P-3S	南海北部珊瑚生长率记录的中—晚全新世共 2203 年的 SST 及 ENSO 变化	黄达华	广西大学
S12-P-4S	南海珊瑚记录的大气遥相关型变化	党少华	广西大学
S12-P-5S	晚全新世相对温暖时期热带气旋活动对 SST 升高的响应减弱	韩岩松	同济大学
S12-P-6S	过去 2000 年南海北部冬季海表温度对东亚季风降雨的预测研究	张楚卉	广西大学
S12-P-7S	南海北部珊瑚记录的过去 2000 年春季海表盐度及其对东亚季风降雨的预报意义	赵佰玲	广西大学
S12-P-8S	南海北部公元 665-749 年海水表层盐度变化及其对 ENSO 活动的响应	周煦	广西大学
S12-P-9S	南海北部过去 1400 年珊瑚礁发育阶段及对气候响应	袁欣萌	广西大学
S12-P-10S	南海北部表层海水稀土元素的珊瑚记录及其环境气候意义	顾庭舞	广西大学
S12-P-11S	高温实验模拟文石质珊瑚白云石化过程中稀土元素的变化特征	吴松烨	广西大学
S12-P-12S	海水缓冲条件下硫酸盐还原与白云石沉淀：来自南海南部某珊瑚岛的证据	刘小菊	中国科学院南海海洋研究所
S12-P-13S	南海冷水竹节珊瑚的无机碳同位素组成和生长速率	朱玉晗	同济大学
S12-P-14S	冷水竹节珊瑚骨节微区取样方法评估：潜在的同位素分馏与矿相转变效应	曾治惟	同济大学
S12-P-15S	近 40 年来大亚湾造礁石珊瑚群落结构的演变分析	卢锟	广西大学
S12-P-16S	南海西沙群岛羚羊礁底栖有孔虫群落特征差异性分析	李玫	广西大学
S12-P-17S	南海第四纪珊瑚礁生态系统演化中海胆的调控作用	李钰涵	广西大学
S12-P-18S	西沙群岛珊瑚礁区的尿素分布特征及其来源分析	夏荣林	广西大学
S12-P-19S	南海珊瑚礁不同地貌带沉积物中有机碳含量、组成及来源的空间异质性分析	高洁	广西大学
S12-P-20S	南海全新世珊瑚砂对泻湖填充的碳汇效应	杜思琦	广西大学

S12-P-21S	南海北部涠洲岛珊瑚岸礁波浪破碎与增水特性数值模拟研究	陈海伦	广西大学
S12-P-22S	基于多光谱卫星遥感影像的南海珊瑚礁活珊瑚覆盖度反演方法研究	肖竣友	广西大学
S12-P-23S	基于单细胞质谱组学研究珊瑚共生虫黄藻的化学多样性	张佳宇	广西大学
S12-P-24S	澄黄滨珊瑚共生绿藻 <i>Trebouxiophyceae</i> sp.的分离鉴定与系统发育分析	卢铭垚	广西大学
S12-P-25S	珊瑚礁区海洋热浪加剧与冷浪衰减：时空演变及未来趋势	任天飞	广西大学
S12-P-26S	热驯化提高珊瑚耐热阈值的分子机制研究	马玉玲	广西大学
S12-P-27S	海洋热浪提高霜鹿角珊瑚对夏季高温的耐受性	郑月	广西大学
S12-P-28S	广西涠洲岛珊瑚来源虫黄藻 <i>Cladocopium goreau</i> 的热驯化及高温响应机制	韦丽菲	广西大学
S12-P-29S	联合转录组与蛋白质组学技术解析丛生盔形珊瑚热应激的分子响应机制	余文峰	广西大学
S12-P-30	不同属虫黄藻介导下鹿角杯形珊瑚适应环境变化的分子机制研究	林思彤	中国地质调查局海口海洋地质调查中心
S12-P-31S	靶向接种：潜在益生菌为热胁迫下珊瑚白化“降温”	梁祝清	广西大学
S12-P-32S	南海北部边缘礁区珊瑚—虫黄藻共生体对急性/慢性温度胁迫的响应机制	阳琪芝	广西大学
S12-P-33S	降低氨氮可缓解鹿角杯型珊瑚(<i>Pocillopora damicornis</i>)的 II 型白色瘟疫疾病	孙非龙	广西大学
S12-P-34S	益生菌 <i>Bacillus firmus</i> GXU-Z9 的珊瑚抗病作用与机制研究	秦晓	广西大学
S12-P-35S	造礁石珊瑚病毒群落对急性低盐胁迫的响应模式研究	梁林	广西大学
S12-P-36	海绵共生微生物组在菌株和亚菌株水平互作的解构	王文秀	宁波东方理工大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 16：河口海岸生物动力地貌演变与生态功能			
S16-P-1	海岸植被与潮沟相互作用影响研究	周曾	河海大学

S16-P-2S	湛江观海长廊红树林海滩沉积物分布特征研究	戚月华	广东海洋大学
S16-P-3S	滨海盐沼湿地碳埋藏与横向交换数值模拟：生物动力地貌反馈的作用	王雨晗	河海大学
S16-P-4S	清江口红树林底泥氮磷分布特征及其对微生物群落结构的影响	郭泓瀛	中山大学
S16-P-5S	水下沙波下游沙床冲刷凹陷的形成机制探讨	何艺玮	中国科学院海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 26：深海界面过程和化能生态系统			
S26-P-1	相邻冷泉和热液生境中深海贻贝的微生物群落特征、基因表达模式及适应机制研究	林根妹	中山大学
S26-P-2	地震海洋学及其在深海底界面过程研究中的应用	宋海斌	同济大学
S26-P-3	冲绳海槽冷泉、热液共生区沉积物铁—锰—硫—碳元素循环耦合研究	徐翠玲	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S26-P-4	深海冷泉环境微生物腐蚀研究	吴佳佳	中国科学院海洋研究所
S26-P-5S	南海冷泉溶解有机质从上覆水到底层水的运移与转化：基于高分辨质谱的分子机制解析	唐诗	中山大学
S26-P-6	西太平洋深层环流的观测研究	汪嘉宁	中国科学院海洋研究所
S26-P-7	海洋甲烷立体监测关键技术与应用	梁前勇	中国地质调查局广州海洋地质调查局
S26-P-8	冲绳海槽冷泉—热液共生区微生物群落结构及其驱动的生物地球化学循环过程	陈烨	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S26-P-9	海洋环流全深度多尺度跨学科探索及其气候环境研究启示	王凡	中国科学院海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 34：从源到汇：海陆相互作用过程剖析及记录对比			
S34-P-1	喜马拉雅新近纪硅酸盐化学风化历史：陆—海相黏土矿物与地球化学记录的耦合证据	叶程程	上海师范大学

S34-P-2	14 万年以来南海北部西沙群岛东海脊沉积物物源及其对气候与海平面变化的响应	徐岭灵	海南大学
S34-P-3	近 60 年来南黄海沉积物来源变化及其对河流输沙量减少的响应	卢健	中国科学院海洋研究所
S34-P-4S	18000 年以来风驱沿岸流控制北印度洋边缘海物质交换	康晓莹	中国科学院海洋研究所
S34-P-5	早中新世以来南半球西风带的演化	盖聪聪	中国地质大学（北京）
S34-P-6	全新世济州岛西南泥质区的气候控制机制	丛静艺	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S34-P-7S	珠江磨刀门河口潮汐不对称演变过程及机制研究 珠江磨刀门河口潮汐不对称演变过程及机制研究	何贤钊	中山大学
S34-P-8S	海洋沉积物 Rb 同位素组成及其指示意义	彭炼	中国科学院广州地球化学研究所
S34-P-9S	金沙江上游河水镁同位素季节变化及其水文调控	李臣子	中国科学院地球环境研究所
S34-P-10S	东昆仑山上新世—第四纪冰川流域风化的 Sr 同位素记录	朱文静	中国科学院青藏高原研究所
S34-P-11S	示踪新元古代海洋自生黏土形成——来自 K 同位素的证据	殷一盛	南京大学
S34-P-12S	浙闽主要入海河流碎屑锆石 U-Pb 年龄分布特征及其影响因素探讨	朱心怡	同济大学
S34-P-13S	台湾山地河流沉积物铁化学相态组成特征及控制因素	焦裕杰	同济大学
S34-P-14S	全新世南极乔治王岛燕鸥湖钻孔风化强度记录及其环境意义	赖伟波	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 3 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 3 日下午
专题 39：海洋地质碳封存与碳中和			
S39-P-1	中国近海沉积盆地二氧化碳地质封存适宜性评价	袁勇	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S39-P-2	南黄海盆地烟台坳陷咸水层二氧化碳封存地质条件与选区	骆迪	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S39-P-3S	南海北部潮汕坳陷海域地质碳封存工程可行性研究：基于海洋工程作业适宜性与航运条件分析	杨东臻	广东海洋大学

S39-P-4S	低矿化度碳酸水驱油与 CO ₂ 封存影响因素微观数值模拟研究	刘荣江	中国石油大学（华东）
S39-P-5	海域咸水层二氧化碳封存场地优选评价指标体系及适宜性评价	王建强	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放			
S40-P-1	溶氧浓度对微生物介导的大型海藻有机碳转化影响	张连宝	山东大学
S40-P-2S	中国陆地生态系统干扰数据集研究与应用	王大菊	中山大学
S40-P-3S	基于碳氧同位素研究气候变化背景下东天山两树种的水碳耦合机制	贾祎	中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所
S40-P-4S	稻田甲烷排放：观测数据驱动模型验证与全球核算	胡祺雯	中山大学
S40-P-5S	全球视角下的森林冠层结构对气候变化响应	刘宏鹏	东北林业大学
S40-P-6S	青藏高原南部桑日—错那裂谷带深部碳释放	刘焱	天津大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 45：人类活动干扰下的陆地—海洋连续体碳动态			
S45-P-1S	河控型边缘海有机碳对沉积环境转变的差异性响应	张卓越	南京大学
S45-P-2S	过去一千年以来人类活动对南黄海有机质沉积的影响	张楚楚	南京大学
S45-P-3S	中国滨海湿地沉积物有机碳空间格局和未来情景模拟	裘奕斐	南京大学
S45-P-4S	渤海、黄海和东海沉积物中惰性有机碳的组成及沉积通量	张宇凡	中国海洋大学
S45-P-6	高强度人类活动干扰下大型河口区黑碳的沉积特征及对人类活动的响应	李亚丽	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S45-P-7S	典型有机污染物对澄黄滨珊瑚共生体碳循环功能的差异化影响研究	薛鹏飞	广西大学

S45-P-8	全新世以来冲绳海槽有机碳的埋藏特征及其对快速气候变化事情的响应	张洋	中国海洋大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 46：陆—海水生连续体有机碳循环过程			
S46-P-1	陆—海水生连续体中的铁与碳之歌	姚鹏	中国海洋大学
S46-P-2S	海南东寨港红树林河口—海湾表层沉积物中与活性铁结合有机碳含量变化及粒径影响	符一林	海南大学
S46-P-3	陆源溶解有机碳向海洋输入量的低估	易沅璧	香港科技大学
S46-P-4	东印度洋近海生态系统对印度洋偶极子事件的响应	李宏亮	自然资源部第二海洋研究所
S46-P-5	反风化作用对长江口活性铁归宿的影响及其对有机碳保存的启示	赵彬	自然资源部第一海洋研究所
S46-P-6S	氨基酸和有机酸碳稳定同位素示踪海洋有机气溶胶的来源和转化	吴云飞	厦门大学
S46-P-7	我国主要河流、河口及边缘海颗粒态有机质的热稳定性	姚鹏	中国海洋大学
S46-P-8S	黑潮—亲潮交汇区北太平洋中层水形成过程中惰性溶解有机质的积累	韩露露	中国海洋大学
S46-P-9S	汉江流域水体溶解性有机碳来源及转化过程研究	韩伽骏	上海海洋大学
S46-P-10S	建坝对长江颗粒有机碳迁移转化的影响	王乐	中国海洋大学
S46-P-11S	黄河颗粒物与渤、黄海沉积物中不同粒径有机碳的来源、降解和热稳定性	王乐	中国海洋大学
S46-P-12	利用沉积有机碳表观初始年龄指示珠江三角洲全新世环境演化	丁杨	中国海洋大学
S46-P-13	黑潮来源反气旋涡驱动溶解有机质向南海北部陆坡的横向输运与转化	王超	广东海洋大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 51：微型生物碳泵的过程机制与气候效应			
S51-P-1	海洋生态系统中新型温和噬菌体的功能研究	刘自尧	中国科学院南海海洋研究所

S51-P-2	海洋微生物矿化过程对碳循环的调控及其驱动机制	张立明	中国科学院南海海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 54：东南亚超级汇聚环形俯冲系统与环境演变			
S54-P-1S	马利亚纳海沟最南段底部岩浆岩岩石学、地球化学特征及其意义	洪一荻	浙江大学
S54-P-2S	马利亚纳海沟最南端挑战者深渊玻安岩的岩浆动态演化过程：来自矿物温压计与 MELTS 模拟的证据	林若澜	浙江大学
S54-P-3S	穆绍海沟的微构造变形及其对俯冲起始的启示	赵学婷	浙江大学
S54-P-4	显生宙大洋硫循环主要形式及其对大气氧含量调控作用研究	苗秀全	中国科学院南海海洋研究所
S54-P-5S	南沙地块东南陆缘挠曲构造变形特征及成因机制	韩昕泽	中国科学院南海海洋研究所
S54-P-6	南沙地块新生代沉积通量和沉积分布对构造—古地理演化的响应	王菲	海底科学与划界全国重点实验室
S54-P-7S	琼东南海域基底结构和中生界岩浆岩：古板块俯冲的约束	韦成龙	同济大学
S54-P-8S	南海海山碱性玄武岩的成因：来自角闪石斑晶的地球化学证据	韦懿倩	中国科学院深海科学与工程研究所
S54-P-9S	东南亚环形俯冲的地幔对流模拟	王悠昆	南方科技大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 57：地球系统演变中矿物—微生物的相互作用和共演化			
S57-P-1S	海洋透光层中锐钛矿光催化驱动针铁矿铁释放界面研究	孟令子	北京大学
S57-P-2S	锰矿物调控光合不产氧微生物 <i>Rhodospirillum rubrum</i> 固氮过程	王帅迪	地质微生物与生物地球化学研究中心
S57-P-3S	辉钼矿的生物可利用性支持了早期地球不产氧光合微生物固氮作用	周馨怡	中国地质大学（北京）
S57-P-4S	华南埃迪卡拉系陡山沱组方解石囊团及胶结物的后期成岩成因	史红毅	中国科学院南京地质古生物研究所

S57-P-5S	浮霉状菌介导海洋重晶石形成的机制	潘俊潼	中国地质大学（北京）
S57-P-6S	宣龙式铁矿鲕粒成矿：微生物参与的碳同位素证据	唐甘宇	北京大学
S57-P-7S	半导体—微生物界面超快电子转移动力学机制研究	杜怡美	北京大学
S57-P-8S	深海环境中矿物依赖的光合蓝细菌适应性	祝佳琪	北京大学
S57-P-9S	长江口表层沉积物中微生物介导的铁相变过程及其对沉积物—水界面元素循环的影响	黄宝蓉	同济大学
S57-P-10S	西澳条带状铁建造对早前寒武纪大氧化事件的响应	黄思艺	南京大学
S57-P-11S	湖相热水沉积层系碳酸盐矿物特征与成因机制研究——以银额盆地巴音戈壁组二段为例	葛铭浩	吉林大学
S57-P-12S	热液与生物作用下黄铁矿成因机制研究——以银额盆地黄铁矿为例	高显达	吉林大学
S57-P-13S	山西岚县古元古袁家村条带铁建造研究进展	黄启琳	南京大学
S57-P-14S	含铁粘土矿物对漆酶活性的调控机制	荣子敬	中国地质大学（北京）
S57-P-15S	南海北部微生物群落构建及三域互作	庞诗梅	南方科技大学
S57-P-16S	南海甲烷渗漏区碳酸盐岩沉积与真核生物群落的环境响应研究	黄谕	中国科学院南海海洋研究所
S57-P-17S	不同氧分压下含铁黏土矿物产生羟基自由基机制及其环境意义	熊畅	中国地质大学（北京）
S57-P-18S	不同性质有机分子调控亚铁催化水铁矿转化路径与产物的微观机制	丁跃飞	北京大学
展板报告：13:00~15:00			
7月3日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月3日下午
专题 70：主动源海底地震技术应用与发展			
S70-P-1	基于人工智能的导波频散谱反演重构浅海近地表面速度结构	高玲利	中国科学院精密测量科学与技术创新研究院
S70-P-2	海底分布式光纤传感沉积物结构探测方法及应用	杨积忠	同济大学
S70-P-3	面向 OBS 数据的波形反演方法研究及应用	王建华	北京怀柔实验室
S70-P-4S	Hikurangi 俯冲带地壳精细速度结构初探：基于 MCS 和 OBS 数据	臧虎临	中国科学院南海海洋研究所

S70-P-5S	OBN 纵横波数据表面多次波最小平方上一下行反褶积压制方法	杨晋蓉	同济大学
S70-P-6S	应用海底地震仪接收函数的多层 $H-\kappa$ 叠加方法研究南海西南次海盆沉积层与洋壳结构	林泽晖	中国科学院南海海洋研究所
S70-P-7S	监督学习非规则网格地震数据重建及规则化	莫侗桐	同济大学
S70-P-8S	单分量压力数据模量参数化弹性波最小二乘逆时偏移成像	陈栋	同济大学
S70-P-9S	面向 OBS 观测系统的三维弹性波炮检互易正演模拟	马乐	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 3 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 3 日下午
专题 72：海洋地质灾害现象、过程及机制			
S72-P-1S	海底滑坡对浊流演化过程的控制作用研究	李文婧	同济大学
S72-P-2S	The Influence of Differential Compaction over Submarine Channel on Subsequent Sedimentation Processes	Abi Dzikri Alghifari	同济大学
S72-P-3S	气候变化控制下的南海北部晚第四纪浊流沉积	赵璇	中国科学院南海海洋研究所
S72-P-4S	新西兰希库朗伊陆缘天然气水合物稳定带底界面动态调整的主控因素	江玮航	中国地质大学（武汉）
S72-P-5S	深水滑坡动态变化过程数值模拟——以 2006 年中国台湾恒春海缆震损事件为例	李兴池	中国科学院深海科学与工程研究所
S72-P-6S	海平面上升对南海海啸灾害特征的影响研究	郭福平	西北工业大学
S72-P-7S	海底边界层多功能原位综合观测系统设计、分析与应用研究	闫祥磊	山东大学
S72-P-8S	具有工况自适应贯入机构的海床式多参数原位探测系统研究与应用	张志强	山东大学
S72-P-9S	南海西北陆缘多期次海底滑坡的发育特征及形成机理研究	李俊池	中国科学院南海海洋研究所
S72-P-10S	南海北部板内地震海啸灾害评估	章紫喻	中山大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 3 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 3 日下午

专题 79：地球系统的突变与反转			
S79-P-1	不同强迫类型下的大西洋经向翻转环流反转事件	吴晟	北京大学
S79-P-2S	地球系统突变与反转的临界点识别：新疆天山北坡自然资源管理的风险预警框架	王然	中国地质大学（北京）
S79-P-3S	机器学习结合重建记录与模式数据理解 LGM 以来绿色撒哈拉长期演化	郝光耀	南京师范大学
S79-P-4	末次盛冰期黑潮演变特征的集合模拟研究	郑军勇	中国海洋大学
S79-P-5	小行星撞击对地球气候和生态系统的影响	戴兰	韩国基础科学研究所
S79-P-6S	千年事件中的海平面变化模拟	张宇翱	中国科学院青藏高原研究所
S79-P-7S	晚奥陶纪（440 Ma）冰盖演化的模拟研究	孙宇东	北京大学
S79-P-8S	曹妃甸地区过去 3500 年植被演替与植被突变事件影响因素分析	柴世瑶	河北师范大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 3 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 3 日下午
专题 84：地学科普新途径与新形式			
S84-P-1	Breaking Language Barriers: GeoLatinas' Multilingual Strategies for Empowerment in Earth & Planetary Sciences	Ana Vasquez	同济大学
S84-P-2S	推文里的地球脉动：“南大顶刊导读团队”如何搭建地学前沿的“立交桥”	肖开迅	南京大学
S84-P-3	数字镌刻时光：法国南部金钉子剖面的数字露头采集之旅	邓怡颖	合肥工业大学
S84-P-4	油气勘探评价标准体系构建与应用	李萌	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
S84-P-5	油气勘探行业标准《区带评价技术规范》编制研究	李萌	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

大会特邀报告			
7月3日下午 15:30~17:30			
主会场：三楼东方厅			7月3日下午
大会特邀报告 主持人：郭正堂			
15:30-16:00	北极深部探测揭示洋中脊增生新机制	李家彪	自然资源部第二海洋研究所
16:00-16:30	ENSO 及其影响对全球变暖的响应	蔡文炬	崂山实验室
16:30-17:00	火星多时间尺度环境演变	陈凌	中国科学院地质与地球物理研究所
17:00-17:30	深海微生物环境适应及其记录的地球过程	肖湘	上海交通大学

口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月4日上午
专题 20：大洋/海盆构造与岩浆过程及挥发分循环（1） 主持人：张国良				
08:30-08:45	S20-O-1	水和关键挥发分在地幔过渡带的新化学作用（邀请报告）	胡清扬	北京高压科学研究中心
08:45-09:00	S20-O-2	水—岩相互作用的地球化学示踪：来自高温蚀变玄武岩 Mg 同位素组成的证据	田丽艳	中国科学院深海科学与工程研究所
09:00-09:15	S20-O-3	俯冲洋壳在上地幔和地幔过渡带 C-H 循环的数值模拟研究：以西太平洋俯冲体系为例	王欣欣	中国科学院地质与地球物理研究所
09:15-09:30	S20-O-4	印度洋卡尔斯伯格脊地幔不均一性机制：新特提斯洋内俯冲的产物	黄强太	中山大学
09:30-09:45	S20-O-5	南海洋脊跃迁的深部地壳结构及其机制探讨	赵明辉	中国科学院南海海洋研究所
09:45-10:00	S20-O-6	火山岩高精原位微区分析揭示岩浆演化过程	陈双双	中山大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月4日上午
专题 28：大河流域环境演变与人类文明演进（1） 主持人：李小强				
08:30-08:45	S28-O-1	黄河变迁史：水系格局演化与人类文明	何洪鸣	华东师范大学
08:45-09:00	S28-O-2	珠江口晚全新世孢粉记录的气候变化与人类活动	余少华	中国地质调查局广州海洋地质调查局
09:00-09:15	S28-O-3	西北地区全新世中晚期果树利用及气候适应	孙楠	长安大学
09:15-09:30	S28-O-4	基于近代地图与密集 Landsat 时序数据的上海近 90 年城市用地与地表水体时空演变研究（1927-2017）	柴宝惠	复旦大学
09:30-09:45	S28-O-5	现代活动构造背景下帕米尔弧形构造带东缘的地貌发育及其控制因素	沈俊杰	河南省科学院地理研究所
09:45-10:00	S28-O-6	末次冰消期以来黄海海岸带植被生态演替与特征时段植被格局	白广一	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室				7月4日上午
专题 65：基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析（1）主持人：程怡芳				
08:30-08:45	S65-O-1	深度学习下的卡斯卡迪亚俯冲带十年慢滑重建	王集	南方科技大学
08:45-09:00	S65-O-2	2024 年日本能登半岛 Mw7.5 级地震早期震后形变特征及机制（邀请报告）	马张烽	南洋理工大学
09:00-09:15	S65-O-3	碳封存及能源开采过程中的诱发地震研究	闫晓	同济大学
09:15-09:30	S65-O-4	基于地震波速成像的北智利俯冲带侵蚀强度评估与构造演化	马波	同济大学
09:30-09:45	S65-O-5	浊流运动与其内沉积物组成之间的关系研究	任宇鹏	中国海洋大学
09:45-10:00	S65-O-6	南海东北部多模态非线性内波及其沉积物响应	阮威涵	同济大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 04：三楼 5 号会议室				7月4日上午
专题 02：深时古地貌古气候（3）主持人：张来明				
08:30-08:45	S02-O-13	中生代陆地气候变化与古大气 CO ₂ 浓度重建——来自中国的古植物学证据（邀请报告）	王永栋	中国科学院南京地质古生物研究所
08:45-09:00	S02-O-14	Leaf documentation and Digital Leaf Physiognomy estimate of the Coal Creek Member of the middle Eocene Kishenehn Formation in northwestern Montana, USA	Mackenzie Smith	Sacred Heart University
09:00-09:15	S02-O-15	晚白垩世藏南地区古水系格局的新认识	张佳伟	中国地震局地质研究所
09:15-09:30	S02-O-16	早白垩世辽西地区热河生物群古环境的粘土矿物学证据	董甜	中国地质大学（北京）
09:30-09:45	S02-O-17	锆石记录揭示超高山形成及其对古环境和氧化事件的影响	朱子宜	香港大学
09:45-10:00	S02-O-18	中国东部陆相 Hg 记录揭示 OAE1a 期间强烈火山活动	于欣鹭	中国地质大学（北京）
口头报告				

7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 05：三楼 6 号会议室				7月4日上午
专题 12：南海珊瑚礁：多尺度演化过程与环境适应性（3） 主持人：李志勇				
08:30-08:45	S12-O-13	全球珊瑚礁区海洋热浪时空特征及驱动机制	姚玉龙	中国科学院南海海洋研究所
08:45-09:00	S12-O-14	珊瑚—微生物间的共系统发育关系	李洁	中国科学院南海海洋研究所
09:00-09:15	S12-O-15	潮间带微观尺度造礁珊瑚耐热性差异调控机制研究	俞小鹏	广西大学
09:15-09:30	S12-O-16	氨基酸 $\delta^{13}\text{C}$ 分析揭示细菌和真菌对珊瑚低的营养贡献	王啟芳	自然资源部第三海洋研究所
09:30-09:45	S12-O-17	基于地貌分区建模的珊瑚礁遥感水深反演方法	滕君灿	广西大学
09:45-10:00	S12-O-18	涠洲岛沙质海岸侵蚀及其与珊瑚礁退化的关系研究（邀请报告）	黄荣永	广西大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7月4日上午
专题 40：多尺度自然与人为过程温室气体排放（3） 主持人：高阳、白开旭				
08:30-08:45	S40-O-13	土地利用变化的碳源汇核算与减排潜力评估（邀请报告）	覃章才	中山大学
08:45-09:00	S40-O-14	森林扰动与恢复的生态效应	李伟	清华大学
09:00-09:15	S40-O-15	过去六十年（1961-2020 年）全球土地利用变化产生的碳排放	朱娅坤	宁波东方理工大学
09:15-09:30	S40-O-16	土地农食系统温室气体排放趋势与驱动因素	洪朝鹏	清华大学
09:30-09:45	S40-O-17	过去千年气候变化和土地利用对中国地表碳库的影响	陈炜哲	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S40-O-18	适度水文干旱显著增强中国最大通江湖泊碳汇功能	赵晓松	中国科学院南京地理与湖泊研究所
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月4日上午

专题 06：现代陆地生态系统的起源与演化（1） 主持人：王世骥、江左其杲				
08:30-08:45	S06-O-1	新生代气候环境变化驱动东亚成为犀超科演化中心（邀请报告）	邓涛	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
08:45-09:00	S06-O-2	动物群系统发育贡献方法揭示青藏高原隆升促使中亚和中国北方成为新近纪北半球哺乳动物群的演化中心	王世骥	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
09:00-09:15	S06-O-3	中国第四纪豹属 <i>Panthera</i> 地史分布	江左其杲	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
09:15-09:30	S06-O-4	庆阳三趾马动物群指示的最晚中新世生态环境	孙丹辉	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
09:30-09:45	S06-O-5	哺乳动物生活史的演化——以奇蹄目犀超科为例	卢小康	河南中医药大学
09:45-10:00	S06-O-6	更新世中国季风区林栖哺乳动物的森林动态代用指标	白炜鹏	河北师范大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月4日上午
专题 27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟（1） 主持人：薛梅、周勇				
08:30-08:45	S27-O-1	基于全球地震台阵的远震 S 波地脉动信号探测及源区测定研究（邀请报告）	刘巧霞	中国地震局地球物理勘探中心
08:45-09:00	S27-O-2	频率相关的双频地脉动源研究	肖晗	德国亥姆霍兹地球科学研究中心
09:00-09:15	S27-O-3	海底分布式光纤传感多物理场耦合观测及应用	杨积忠	同济大学
09:15-09:30	S27-O-4	地震环境噪声中来自南海夏季风爆发的信号	周玉龙	自然资源部第二海洋研究所
09:30-09:45	S27-O-5	基于长须鲸声信号反演最古老洋壳结构	尚正涛	南方科技大学
09:45-10:00	S27-O-6	利用单台海底地震仪记录的地脉动噪声提取瑞利波频散曲线	邓涵	上海交通大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 09：三楼上海厅				7月4日上午

专题 62：全球海床下生态系统与可持续性（1）主持人：王敏晓				
08:30-08:45	S62-O-1	海水—沉积物界面扰动过程与生态系统响应（邀请报告）	邓龙辉	上海交通大学
08:45-09:00	S62-O-2	昆仑热液筒群的发现与初步解析	李连福	崂山国家实验室
09:00-09:15	S62-O-3	深海贻贝对极端生境不同阶段适应中的自体与异体联合调控	邸雅楠	浙江大学
09:15-09:30	S62-O-4	南海新生冷泉有氧—低氧层中活跃的甲烷氧化菌属 <i>Methyloprofundus</i>	任天鑫	上海交通大学
09:30-09:45	S62-O-5	冷泉碳酸盐岩的微生物群：代谢相互作用及其如何驱动空间异质性	马曼曼	中国科学院海洋研究所
09:45-10:00	S62-O-6	初古菌门生境转换的基因组适应策略	宿蕾	同济大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7月4日上午
专题 58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变（1）主持人：董良、李大伟				
08:30-08:45	S58-O-1	有机生标 GDGT 指示海洋层结强度的潜力（邀请报告）	柳中晖	香港大学
08:45-09:00	S58-O-2	不同时间尺度黑潮演化及其生物地球化学效应	胡邦琦	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
09:00-09:15	S58-O-3	细菌和古菌膜脂对东海低氧环境的潜在指示研究	段丽琴	中国科学院海洋研究所
09:15-09:30	S58-O-4	旱季盐度主导红树植物桐花树叶蜡氢同位素分馏	王遥平	广东海洋大学
09:30-09:45	S58-O-5	晚中新世—早上新世亚洲夏季风的时空演化：ODP1143 站位记录的重新解释	付鑫宁	中国地质大学（北京）
09:45-10:00	S58-O-6	冬季风驱动的沿岸输运调控东海内陆架过去 3000 年陆源碳降解	刘帅	中国海洋大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7月4日上午
专题 66：海底流体活动的现代过程与沉积记录（1）主持人：王旭东				
08:30-08:45	S66-O-1	晚第四纪以来冲绳海槽中北段冷泉活动岩石记录与历史重建（邀请报告）	李昂	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

08:45-09:00	S66-O-2	冷泉环境下沉积物钨同位素组成特征及其意义	苗晓明	中国海洋大学
09:00-09:15	S66-O-3	碳酸盐结合磷对海洋自生碳酸盐岩形成过程中碱度及磷酸盐水平的指示	胡钰	上海海洋大学
09:15-09:30	S66-O-4	渤海中西部海底流体活动系统的分布与地质控制因素	陈江欣	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
09:30-09:45	S66-O-5	黑海冷泉区纤维状镁方解石在“文石海”中的形成机制与环境指示意义	芦阳	中国科学院南海 海洋研究所
09:45-10:00	S66-O-6	冲绳海槽冷泉碳酸盐岩低钼同位素信号及其指示意义	南航宇	中国海洋大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 12: 二楼悦贵厅 1 号				7月4日上午
专题 78: 晚新生代热带海道闭合及其环境效应(1) 主持人: 田军、黄恩清				
08:30-08:45	S78-O-1	晚中新世西太暖池的初步形成——来自东太上层水体温盐结构演化的证据 (邀请报告)	柳中晖	香港大学
08:45-09:00	S78-O-2	晚中新世印尼海道—深层通道关闭事件及西太平洋深层环流重组	刘姍	中山大学
09:00-09:15	S78-O-3	中中新世气候适宜期大西洋—太平洋协同演变的跨洋盆海水交换的数值模拟研究	魏吉林	中国科学院大气 物理研究所
09:15-09:30	S78-O-4	上新世巴拿马海道闭合如何影响印度洋—太平洋上层海洋环流?	王跃	同济大学
09:30-09:45	S78-O-5	北太平洋层化增强与铁施肥作用共同驱动的晚上新世大气 CO ₂ 演变	杜金龙	同济大学
09:45-10:00	S78-O-6	北半球冰量驱动上新世以来的 PMOC 演化	张亚南	南方科技大学
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 13: 二楼悦贵厅 2 号				7月4日上午
专题 09: 中生代湖泊系统演化及油气资源效应(1) 主持人: 王博、王华建				
08:30-08:45	S09-O-1	松辽盆地成盆演化与全油气系统 (邀请报告)	蒙启安	大庆油田有限责 任公司

08:45-09:00	S09-O-2	松辽盆地晚白垩世古大湖发育与页岩油富集效应	白云风	大庆油田有限责任公司
09:00-09:15	S09-O-3	松辽盆地北部嫩江组介形类壳饰与古水深分析	薛云飞	大庆油田有限责任公司
09:15-09:30	S09-O-4	大杨树盆地下白垩统嫩江组古野火事件及其古环境意义	史恭乐	中国科学院南京地质古生物研究所
09:30-09:45	S09-O-5	中国东北延吉和罗子沟盆地下白垩统大拉子组油页岩沉积古环境重建	赵向东	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
09:45-10:00	S09-O-6	中晚三叠纪长 7 页岩中湖泊最小含氧区和有机质富集区动态演化过程	边雷博	中国石油勘探开发研究院
口头报告				
7 月 4 日上午 08:30~10:00				
分会场 14: 二楼悦贵厅 3 号				7 月 4 日上午
专题 11: 微体古生物与全球变化 (1) 主持人: 苏翔、李保华				
08:30-08:45	S11-O-1	西北太平洋硅质放射虫的深度分布特征及其古海洋应用 (邀请报告)	张兰兰	中国科学院南海海洋研究所
08:45-09:00	S11-O-2	潮间带有孔虫 <i>Ammonia catesbyana</i> (d'Orbigny, 1839) 系统分类分子生物学证据	李保华	中国科学院南京地质古生物研究所
09:00-09:15	S11-O-3	底栖有孔虫群落构建机制: 华南海湾和西沙碳酸盐台地的对比	李涛	中国地调局广州海洋地质调查局
09:15-09:30	S11-O-4	珠江流域强降雨驱动大亚湾核电站附近尖笔帽螺异常暴发	谷阳光	中国水产科学研究院南海水产研究所
09:30-09:45	S11-O-5	重建过去 1500 年西太平洋暖池温跃层动态: 对 ENSO 变率的启示	詹晓灵	厦门大学
09:45-10:00	S11-O-6	利用 eDNA 揭示全新世以来“海马”冷泉的演化	李浩天	中国科学院海洋研究所
口头报告				
7 月 4 日上午 08:30~10:00				
分会场 15: 二楼悦泰厅 3 号				7 月 4 日上午
专题 82: 南极古环境 主持人: 颜余真				
08:30-08:45	S82-O-1	极地雪冰三氧同位素分馏效应: 观测、模拟与气候重建	庞洪喜	南京大学

08:45-09:00	S82-O-2	末次冰消期南极底层水的逐步扩张释放深海 CO ₂	黄璜	崂山国家实验室
09:00-09:15	S82-O-3	阿蒙森海全新世冰架融化记录及驱动机制	陈新	上海交通大学
09:15-09:30	S82-O-4	南极湖泊水文演化	时美楠	中国地质大学 (北京)
09:30-09:45	S82-O-5	末次冰盛期前威德尔海西北部冰山走廊上沉积物来源及其冰川动力学意义	武力	广东海洋大学
09:45-10:00	S82-O-6	冰冻卤水形成条件的时空变化：来自南极罗斯海西部新港文石胶结物的启示	杨名宇	中国地质大学 (武汉)
口头报告				
7月4日上午 08:30~10:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7月4日上午
专题 19：洋中脊研究新前沿（1）主持人：张帆				
08:30-08:45	S19-O-1	软流圈地幔组成与物质循环过程（邀请报告）	刘传周	崂山国家实验室
08:45-09:00	S19-O-2	北极加克洋中脊东段地幔动力过程：基于海底地震观测的方位各向异性研究	贾琰	自然资源部第二海洋研究所
09:00-09:15	S19-O-3	漂移洋中脊岩浆活动示踪地幔不均一	周飞	德国亥姆霍兹海洋研究中心
09:15-09:30	S19-O-4	古俯冲改造地幔残存于现今洋中脊地幔 Mo 同位素证据	陈祖兴	中国科学院海洋研究所
09:30-09:45	S19-O-5	高精度 Mg-Fe 同位素揭示全球 N-MORB 源区存在“幽灵”碳酸盐化辉石岩	孙媛滢	中国地质大学 (北京)
09:45-10:00	S19-O-6	弧后盆地地幔源区的演化：来自西藏洞错蛇绿岩中橄榄岩的强亲铁元素与 Os 同位素的证据	李晓妮	中国科学院地质与地球物理研究所
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月4日上午
专题 20：大洋/海盆构造与岩浆过程及挥发分循环（2）主持人：赵明辉				
10:30-10:45	S20-O-7	岛弧岩浆成分变化对俯冲过程的指示——以马利亚纳和琉球俯冲带为例（邀请报告）	李晓辉	中国海洋大学
10:45-11:00	S20-O-8	氧逸度对俯冲带 CO ₂ -H ₂ O 循环效率的影响：高温高压实验研究	陈伟	中山大学

11:00-11:15	S20-O-9	俯冲起始过程的地幔响应：来自西南马里亚纳海沟弧前橄榄岩的约束	姚俊华	中国科学院海洋研究所
11:15-11:30	S20-O-10	利用勒夫波、瑞利波和高阶瑞利波共同约束马里亚纳海沟附近的地幔蛇纹石化	李宗珊	圣路易斯华盛顿大学
11:30-11:45	S20-O-11	中国南海碳酸盐化硅酸盐熔体的液态不混溶作用：碱性硅酸岩—火成碳酸岩成因联系	程浩	中山大学
11:45-12:00	S20-O-12	南大西洋沃尔维斯海岭中央海山链的成因：来自 IODP391 航次 U1578 钻孔矿物地球化学的制约	朱恒睿	浙江大学
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月4日上午
专题 28：大河流域环境演变与人类文明演进（2）主持人：何洪鸣				
10:30-10:45	S28-O-7	欧亚大陆文化文明交流与气候环境适应研究与展望	李小强	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
10:45-11:00	S28-O-8	树轮重建的近 300 年嘉陵江上游土壤侵蚀变化及其驱动机制	张卓亚	西南林业大学
11:00-11:15	S28-O-9	晚清黄河决徙对山东南运区域地理环境的影响	古帅	山东财经大学
11:15-11:30	S28-O-10	黄河流域史前聚落演化与气候适应的时空耦合研究	周婷婷	中国科学院水利部水土保持研究所
11:30-11:45	S28-O-11	侵蚀驱动下的营力转移：中晚全新世以来长江中游地区的湖泊演化及其环境制约	何茂峰	复旦大学
11:45-12:00	S28-O-12	黄河北徙后里下河入海水系动力与形态的演变	杨旭杰	上海师范大学
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室				7月4日上午
专题 65：基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析（2）主持人：贾永刚、吴南				
10:30-10:45	S65-O-7	深海多金属结核采矿生态修复与双碳战略的潜在协同发展路径探讨	王磊	自然资源部第三海洋研究所
10:45-11:00	S65-O-8	深海采矿海底环境观测系统（邀请报告）	贾永刚	中国海洋大学

11:00-11:15	S65-O-9	深海采矿沉积物羽流输运演化规律研究	梁御璞	中国海洋大学
11:15-11:30	S65-O-10	基于 DAS 监测的水合物开采过程井筒多相流运移特征研究	吴学敏	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:30-11:45	S65-O-11	天然气水合物水平井降压开采过程储层温压场演化规律	杨林	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:45-12:00	S65-O-12	基于时空注意力机制的多空间尺度海洋声速剖面预测模型	王淑雯	自然资源部第二海洋研究所
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 04: 三楼 5 号会议室				7 月 4 日上午
专题 73: 深海矿产与多圈层相互作用 (1) 主持人: 石学法、何高文				
10:30-10:45	S73-O-1	深海磷循环的稀土成矿效应和古环境意义 (邀请报告)	蒋晓东	广东工业大学
10:45-11:00	S73-O-2	深海钴镍稀土关键金属元素超常富集与成矿	任江波	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:00-11:15	S73-O-3	太平洋富稀土深海沉积物年代学研究和成矿模式建立	王汾连	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:15-11:30	S73-O-4	磁学信号对东太平洋沉积物稀土元素富集响应	付宇	中山大学
11:30-11:45	S73-O-5	磷酸盐化事件对西太平洋铁锰结壳稀土元素富集的制约	彭锦洲	中山大学
11:45-12:00	S73-O-6	中印度洋洋盆富稀土深海沉积物元素地球化学特征及其多期次多源富集效应	张霄宇	浙江大学
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 05: 三楼 6 号会议室				7 月 4 日上午
专题 48: 海陆耦合系统与海洋碳循环 主持人: 仲义、咎金波				
10:30-10:45	S48-O-1	亚洲粉尘营元素演化对太平洋生态系统和全球变化的影响 (邀请报告)	咎金波	中国科学院青藏高原研究所
10:45-11:00	S48-O-2	北太平洋多圈层气候系统与碳循环	仲义	南方科技大学

11:00-11:15	S48-O-3	热解碳记录的 5 万年前人类大规模用火开始	姜寿恕	中国科学院海洋研究所
11:15-11:30	S48-O-4	季风引起的近惯性内波主导南海南部沉积物向深层的输入	赵玉龙	同济大学
11:30-11:45	S48-O-5	极地扩张降水控制的北极碳输入增强	夏文月	南方科技大学
11:45-12:00	S48-O-6	横向垂向一体化碳颗粒输运时序矢量监测装备的研发与应用	王凤浩	山东大学
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 06: 三楼 7 号会议室				7 月 4 日上午
专题 59: 河流—河口—海洋连续体中的有机质源汇过程与沉积记录 主持人: 贾国东、胡利民				
10:30-10:45	S59-O-1	革兰氏阴性细菌脂类标志物揭示陆—海过渡带碳埋藏过程 (邀请报告)	杨义	中国地质大学 (武汉)
10:45-11:00	S59-O-2	评估河口和沿海沉积物中有机碳动态的潜在指标——微生物蝶呤	梅康	江苏海洋大学
11:00-11:15	S59-O-3	调水调沙工程的实施对黄河口及其邻近海域溶解有机质化学特征的影响	牛东蕾	中国科学院烟台海岸带研究所
11:15-11:30	S59-O-4	沉积岩—河流河口—近海系统中沉积物有机碳活性特征, 以长江流域—近海系统为例	孙学诗	中国海洋大学
11:30-11:45	S59-O-5	末次冰期以来红树林蓝碳对气候变化的响应: 基于巽他陆架陆海连续体的生物标志物示踪	陈芬	同济大学
11:45-12:00	S59-O-6	北极东西伯利亚大陆架铁结合态有机碳在多年冻土退化动力学驱动下的演变	余昭勇	中国海洋大学
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 07: 三楼 8 号会议室				7 月 4 日上午
专题 06: 现代陆地生态系统的起源与演化 (2) 主持人: 蔡晨阳、蔡悦				
10:30-10:45	S06-O-7	铅同位素指示古新世—始新世极热事件 (PETM) 前期北美高纬度地区气候急剧变化 (邀请报告)	蔡悦	中国科学院南京地质古生物研究所
10:45-11:00	S06-O-8	The lower Barremian dysodile Konservat-Lagerstätte of Bkassine (South Lebanon): Insights on the fossil continental assemblages	Azar Dany	中国科学院南京地质古生物研究所

11:00-11:15	S06-O-9	亚洲低纬度地区晚渐新世和中新世山矾科山矾属植物的多样化	徐晟岚	中山大学
11:15-11:30	S06-O-10	The Late Pleistocene woods from the Maoming Basin (South China): fossil evidence of glacial/interglacial fluctuations of species ranges at low latitudes	Alexei A. Oskolski	University of Johannesburg
11:30-11:45	S06-O-11	整合化石和分子证据构建昆虫生命之树	蔡晨阳	中国科学院南京地质古生物研究所
11:45-12:00	S06-O-12	通过建模组成异质性解决“缺翅目难题”并揭示多新翅类的进化历史	王业浩	中国科学院南京地质古生物研究所
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 08: 三楼 9 号会议室				7月4日上午
专题 27: 地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟 (2) 主持人: 薛梅、周勇				
10:30-10:45	S27-O-7	南海岛礁水动力过程的分布式声学传感观测与研究 (邀请报告)	夏少红	中国科学院南海海洋研究所
10:45-11:00	S27-O-8	基于海底光缆的近岸高时空分辨率海流原位监测研究	宋政宏	中国科学院精密测量科学与技术创新研究院
11:00-11:15	S27-O-9	低频 (<5 Hz) 深海地震 T 波的激发及传播机制	沈智超	美国伍兹霍尔海洋研究所
11:15-11:30	S27-O-10	南海地震 T 波观测与传播特征	肖卓	广西民族大学
11:30-11:45	S27-O-11	中深源地震激发的长持续时间的 T 波	何小波	浙江海洋大学
11:45-12:00	S27-O-12	深水环境下 P 导波的频散特征及反演研究	江文彬	中国地质调查局广州海洋地质调查局
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 09: 三楼上海厅				7月4日上午
专题 62: 全球海床下生态系统与可持续性 (2) 主持人: 李江涛				
10:30-10:45	S62-O-7	探骊得珠: 神龙毛皮贝“龙珠”细胞器在深海冷泉缺氧环境的化能共生演化解析 (邀请报告)	孙进	中国海洋大学

10:45-11:00	S62-O-8	突破古菌难培养瓶颈，获得其参与碳循环过程新认识	余甜甜	上海交通大学
11:00-11:15	S62-O-9	深海热液微生物驱动元素循环和智能计算微生物	周之超	深圳大学
11:15-11:30	S62-O-10	冷泉生物群落的演替与底栖软体动物适应性	陈煜	南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
11:30-11:45	S62-O-11	渤海沉积物中的微生物多样性及潜在的硫氧化过程	陈志怡	山东大学
11:45-12:00	S62-O-12	深海原位与多组学技术联合解析动物-微生物共生互作	王昊	中国科学院海洋研究所
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7月4日上午
专题 58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变（2）主持人：董良、李大伟				
10:30-10:45	S58-O-7	泥炭藓类：从分子组成到碳同位素（邀请报告）	黄咸雨	中国地质大学（武汉）
10:45-11:00	S58-O-8	基于泥炭 brGDGTs 记录重建我国东部 2000 年以来气候变化及与朝代演替的关系	田俐萍	同济大学
11:00-11:15	S58-O-9	洞穴石笋 iGDGTs 的来源及其 TEX ₈₆ 指标在末次冰盛期以来古温度重建中的应用	姚远	西安交通大学
11:15-11:30	S58-O-10	早白垩世热河生物群古气候重建：干冷演变及其对生物的启示	葛朝霞	北京大学
11:30-11:45	S58-O-11	基于长链烯酮重建中国北方达里湖末次冰消期以来冬季温度变化历史	赵家驹	中国科学院地球环境研究所
11:45-12:00	S58-O-12	微生物脂类 GDGTs 识别沉积环境	杨欢	中国地质大学（武汉）
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7月4日上午
专题 66：海底流体活动的现代过程与沉积记录（2）主持人：张鑫				
10:30-10:45	S66-O-7	冷泉沉积物中活跃的氮循环：以南海海马冷泉为例	傅建融	上海海洋大学
10:45-11:00	S66-O-8	南海西沙海域海底流体活动的微震信号时空特征与环境驱动因素	夏少红	中国科学院南海海洋研究所

11:00-11:15	S66-O-9	活性颗粒铁调控 Rainbow 非浮力热液羽流 锌、铜、镍、镉、铅的形态分异	朱逊驰	海南大学
11:15-11:30	S66-O-10	基于时序示踪一气液双相耦合的海底渗漏 通量原位监测方法研究	刘浩然	山东大学
11:30-11:45	S66-O-11	深海冷泉黑碳的地球化学性质及其地质意 义（邀请报告）	王旭东	上海海洋大学
11:45-12:00	S66-O-12	利用 X 射线 CT 成像分析深海冷泉环境多 孔介质中的碳酸盐沉淀特征	潘桦	广东工业大学
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7 月 4 日上午
专题 78：晚新生代热带海道闭合及其环境效应（2）主持人：柳中晖、王跃				
10:30-10:45	S78-O-7	晚中新世印尼海道闭合与东南亚水文循环 演变（邀请报告）	黄恩清	同济大学
10:45-11:00	S78-O-8	中中新世气候模拟的进展与思考	郑伟鹏	中国科学院大气 物理研究所
11:00-11:15	S78-O-9	背景气候对轨道强迫下中新世气候响应的 调控作用	张戥瑞	厦门大学
11:15-11:30	S78-O-10	中中新世东太平洋海区底层水体氧化还原 演变历史的重建	谢雨晗	中国科学院大学 广州地球化学研 究所
11:30-11:45	S78-O-11	中中新世适宜期西北太平洋轨道尺度深海 通风状况	任传亮	中国科学院海洋 研究所
11:45-12:00	S78-O-12	中更新世转型期太平洋深层环流的长期稳 定与短时强化	李科	同济大学
口头报告				
7 月 4 日上午 10:30~12:00				
分会场 13：二楼悦贵厅 2 号				7 月 4 日上午
专题 09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应（2）主持人：王博、王华建				
10:30-10:45	S09-O-7	白垩系青山口组白云岩记录的松辽古湖泊 水体环境演化（邀请报告）	王华建	中国科学院地质 与地球物理研究 所
10:45-11:00	S09-O-8	铝硅酸盐矿化对中生代燕辽生物群特异埋 藏的促进作用	王盛宇	中国科学院南京 地质古生物研究 所

11:00-11:15	S09-O-9	大气 CO ₂ 升高驱动了早 Toarcian 期陆相有机碳的时空差异埋藏	邱若原	中国科学院地质与地球物理研究所
11:15-11:30	S09-O-10	陆相湖盆沉积斜坡的三维地震表征：以鄂尔多斯盆地延长组为例	彭杰	同济大学
11:30-11:45	S09-O-11	四川盆地大安寨段黑色页岩与极端气候事件	毕辰天	中国科学院南京地质古生物研究所
11:45-12:00	S09-O-12	秦岭造山带早白垩世古水系重建与生物扩散	宋思雨	中国科学院南京地质古生物研究所
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 14：二楼悦贵厅 3 号				7月4日上午
专题 11：微体古生物与全球变化（2） 主持人：金晓波、孙晗杰				
10:30-10:45	S11-O-7	钙质微体化石的地球化学特征揭示西太过去两个冰期旋回的营养盐与生物地球化学循环（邀请报告）	金晓波	同济大学
10:45-11:00	S11-O-8	南海放射虫硅同位素组成特征及其硅循环指示意义	张强	中国科学院南海海洋研究所
11:00-11:15	S11-O-9	冰期时日本海低盐深水池形成演化机制	董智	自然资源部第一海洋研究所
11:15-11:30	S11-O-10	上新世以来西太平洋暖池营养跃层与颗石藻生产力的解耦演化	孙晗杰	中国科学院海洋研究所
11:30-11:45	S11-O-11	末次冰期以来南海西沙群岛海洋生物泵与海平面变化	苏翔	中国科学院南海海洋研究所
11:45-12:00	S11-O-12	云南湖泊介形类一新种报道及相关人类活动探讨	蒋萍	云南大学
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 15：二楼悦泰厅 3 号				7月4日上午
专题 50：海洋负排放：现场观测与模拟装置 主持人：王鹏飞、樊炜				
10:30-10:45	S50-O-1	海洋溶解有机碳中红外光谱分析检测方法（邀请报告）	王鹏飞	东北师范大学
10:45-11:00	S50-O-2	Mini-MECS 小型海洋气候环境模拟实验体系关键技术及建设	刘延俊	山东大学

11:00-11:15	S50-O-3	南海北部海域海气甲烷交换通量监测及应用研究	钟超	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:15-11:30	S50-O-4	冬季季风与水动力调控下南海北部浮游动物粪粒沉降与碳输出机制	王路阳	同济大学
11:30-11:45	S50-O-5	基于人工上升流技术的海洋增汇示范工程进展：从鳌山湾到崖州湾的实践探索	樊炜	浙江大学
11:45-12:00	S50-O-6	海洋颗粒物分类探测与碳参数估计	廖然	清华大学
口头报告				
7月4日上午 10:30~12:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7月4日上午
专题 19：洋中脊研究新前沿（2） 主持人：于志腾				
10:30-10:45	S19-O-7	洋中脊熔融过程形成的海洋岩石圈—软流圈界面——北冰洋的电磁观测证据（邀请报告）	张涛	自然资源部第二海洋研究所
10:45-11:00	S19-O-8	大洋转换断层对洋中脊—地幔柱相互作用的影响	张帆	中国科学院南海海洋研究所
11:00-11:15	S19-O-9	软流圈地幔不均一性驱动北冰洋加克洋中脊壳幔成分解耦	许阳	崂山国家实验室
11:15-11:30	S19-O-10	东太平洋洋隆海山玄武岩中高强度的锌同位素不均一性	孙普	中国科学院海洋研究所
11:30-11:45	S19-O-11	西南印度洋脊 53°E 段熔体—晶粥反应对下洋壳和洋中脊玄武岩化学组成的影响	黄晓函	中国科学院广州地球化学研究所
11:45-12:00	S19-O-12	沉积物火山玻璃揭示洋中脊岩浆成分的千万年演化：以北大西洋 Reykjanes 洋脊为例	颜娄旺	中国科学院广州地球化学研究所
展板报告：13:00~15:00				
7月4日下午 13:00~15:00				
富悦厅 3+明珠厅				7月4日下午
专题 06：现代陆地生态系统的起源与演化				
S06-P-1S	大血藤属化石新发现及其现代分布区的形成		宋含章	中山大学
S06-P-2S	西番莲科植物在东亚的遗落和复苏：来自化石和分子的证据		吴燕	中山大学

S06-P-3S	白垩纪中期缅甸琥珀中山茱萸目 <i>Eoëpigynia burmensis</i> 花结构的形态修订	宋向博	中国科学院南京地质古生物研究所
S06-P-4S	北京市北部空气花粉散播特征及其对气象要素的响应	吴双双	中国科学院大学
S06-P-5S	白垩纪具高度特化触角甲虫对金粟兰类被子植物的传粉行为	赵芊	中国科学院南京地质古生物研究所
S06-P-6	The Cretaceous Resinous Interval during the Early Cretaceous: The case of Spanish amber	Sergio Alvarez-Parra	中国科学院南京地质古生物研究所
S06-P-7S	白垩纪末复合气候胁迫下的植被模拟研究	刘悦	北京大学
S06-P-8S	中国北方巨颞虎的演化	郭丁歌	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
S06-P-9	长江三峡地区：更新世犀科动物的物种多样性	胡海虔	云南大学
S06-P-10S	徐州更新世中晚期小哺乳动物化石新发现及其生物年代、古动物地理和古环境意义	常美静	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
S06-P-11S	中生代鸟类及近鸟类恐龙的体重估算	周一肇	南京大学
S06-P-12S	深时极热事件对现代气候危机的启示：基于中新生代五次极热事件的碳循环—生态系统耦合研究	金谕青	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

展板报告：13:00~15:00

7月4日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月4日下午

专题 09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应

S09-P-1S	辽西下白垩统九佛堂组原沫蝉科星状沫蝉 (<i>Stellularis</i>) 研究	吕焱楠	沈阳师范大学
S09-P-2S	白垩世中期缅甸克钦琥珀中网翅总目玉门鞘蠨科的一新属新种	罗德琼	长江大学
S09-P-3S	白垩纪中期缅甸北部克钦琥珀裂唇螺属 (腹足纲, 环口螺超科, 蛹螺科) 的一个新种记述	李啸森	长江大学
S09-P-4S	白垩纪中期缅甸克钦琥珀中密脉蜡蝉科的一新属种	王力宁	长江大学
S09-P-5	外贝加尔与中国东北部下白垩统对比	郑大燃	中国科学院南京地质古生物研究所
S09-P-6	秦岭造山带的热河昆虫群及古地理学意义	张鑫	河南科技学院

S09-P-7	基于米兰科维奇理论的高精度旋回识别与划分——以准噶尔盆地沙湾凹陷 SM1 井早白垩统为例	马永平	中国石油勘探开发研究院西北分院
S09-P-8	淡水湖泊环境中磷酸盐化特异保存化石的形成过程模拟实验	杨子潇	中国科学院南京地质古生物研究所
S09-P-9	中生代水生蠕类多样性与演化历史及其对现代淡水生态系统形成的指示意义	陈军	临沂大学
S09-P-10	古龙页岩典型剖面沉积环境及其演化	苏杨鑫	大庆油田有限责任公司
S09-P-11	海拉尔盆地贝尔凹陷南屯组原油来源及成藏压力定量研究	金玮	大庆油田有限责任公司
S09-P-12	松辽盆地白垩纪青山口组下部湖盆古盐度、古气候、古氧化还原环境演化及有机质富集	崔坤宁	大庆油田有限责任公司勘探开发研究院
S09-P-13S	松辽盆地中生代化石沟鞭藻研究进展及展望	房号男	中国科学院南京地质古生物研究所
S09-P-14	砂砾岩岩性油气藏“甜点”储层地震预测技术及应用效果	陈永波	中国石油勘探开发研究院
S09-P-15	中生代温室期水循环变化及其驱动因素	王博	中国科学院南京地质古生物研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 11：微体古生物与全球变化			
S11-P-1S	末次冰期以来东北印度洋底层水碳酸盐系统演化	田杰	中国科学院南海海洋研究所
S11-P-2	Uncovering the history of oxygenation in deep-intermediate Ocean waters linked to foraminiferal diversity and redox-sensitive elements in the western Arabian Sea	Hidayatullah Khan	中国地质大学（武汉）
S11-P-3	塔里木盆地西部天山分区古新世—始新世浅海钙质超微化石记录	王雪娇	中国地质大学（北京）
S11-P-4S	基于 eDNA 探究东太平洋深海矿区底栖有孔虫分子多样性与环境关系	法文龙	中国科学院海洋研究所
S11-P-5	始新世—渐新世颗石藻形态演化及驱动机制研究	马瑞罡	同济大学

S11-P-6	备赞双角花介复合种的分类与种化	王雨楠	上海自然博物馆 (上海科技馆分馆)
S11-P-7S	青藏高原生物 (<i>Radix</i>) 壳体团簇同位素重建温度应用研究	革定宽	云南师范大学
S11-P-8	末次冰消期南海南部中层水的温盐演变	杨艺萍	中国科学院南海海洋研究所
S11-P-9S	色林错介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 生命效应研究及古气候重建	徐涛	云南师范大学
S11-P-10S	全新世西太平洋暖池温跃层和新几内亚沿岸潜流的千年尺度研究	陈政宇	厦门大学
S11-P-11S	西北冰洋硅鞭藻种群变化及其环境响应	冯晓航	自然资源部第二海洋研究所
展板报告: 13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 19: 洋中脊研究新前沿			
S19-P-1	慢速—超慢速扩张脊辉长岩 Cu-Zn 同位素组成揭示洋中脊岩浆房的动态演化过程	张维骥	自然资源部第二海洋研究所
S19-P-2	深海橄榄岩与软流圈地幔再循环组分的识别	林音铮	崂山国家实验室
S19-P-3S	西南印度洋深海橄榄岩微量元素与同位素特征及其对软流圈中富集组分的制约	黄子航	中国科学院地质与地球物理研究所
S19-P-4S	北极加克洋中脊 85°E 火山区微震活动	李欣然	上海交通大学
S19-P-5	基于地震活动的转换断层深部热液循环特征研究: 以布兰科转换断层带为例	周鹏程	中国科学院南海海洋研究所
S19-P-6	南海东部次海盆扩张末期岩浆与构造作用及地壳结构特征研究	张路	中国地质大学(武汉)
S19-P-7S	南海扩张初期洋壳岩浆作用过程探索及其边缘海成因研究意义	蒋昊	同济大学
展板报告: 13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 20: 大洋/海盆构造与岩浆过程及挥发分循环			

S20-P-1S	马利亚纳“挑战者”深渊内坡堆晶岩的岩石学地球化学特征及成因	沈晨曦	中国科学院深海科学与工程研究所
S20-P-2S	雅浦海沟橄榄岩的地球化学特征对俯冲过程的制约与岛弧蛇纹岩区域对比	王茵	中山大学
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟			
S27-P-1	基于海底地震仪（OBS）的海底火山活动性感知	赵昭	东海实验室
S27-P-2S	海底火山 Axial Seamount 岩浆活动的地球物理学研究进展	王栋	南京大学
S27-P-3S	地震 T 波转换点定位技术及其在太平洋地区的应用研究	谢谨谦	中国科学技术大学
S27-P-4S	基于 OBS 台阵的 T 波反方位角测量研究	张泽铭	广东工业大学
S27-P-5S	厚软沉积层上高层建筑的地震环境噪声健康监测与结构响应分析	秦林鹏	同济大学
S27-P-6S	风暴震的传播特点与形成机制研究	魏安锐	南京大学
S27-P-7S	台风驱动的双频地脉动分裂机制探究：局部风成波激发长周期双频地脉动	李杨	同济大学
S27-P-8S	基于台湾地震台阵观测的地脉动特征研究	万文涛	中国地质大学（北京）
S27-P-9S	基于地脉动观测的南海水动力环境监测研究	徐梓杰	同济大学
S27-P-10S	基于海底光缆分布式声学传感的地震背景噪声观测及潮汐响应分析	梁琪	浙江大学
S27-P-11S	海冰对北冰洋加克洋中脊表层水声速水平分布及低频声传播的调制作用	蔡晓仙	山东科技大学
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 28：大河流域环境演变与人类文明演进			
S28-P-1S	陕西渭河生态系统水—陆—岸一体化近自然型“生命地标”构建	窦佩佩	西安建筑科技大学

S28-P-2S	天山山地青铜至铁器时代生业模式研究：基于 GIS 空间分析和模型模拟结果	苏瑞敏	陕西师范大学
S28-P-3S	16 世纪晚期以来濰河演变与洪泽湖北岸环境变迁	欧柯男	复旦大学
S28-P-4	洛阳地区全新世环境演变及其与人类文化的关系	沈俊杰	河南省科学院地理研究所
S28-P-5S	热解碳记录的 5 万年前人类大规模用火开始	姜寿恕	中国科学院海洋研究所
S28-P-6	黄河因素影响下的山东西部区域人文环境（1855-1911）	古帅	山东财经大学
S28-P-7S	长江中下游全新世干湿古气候变化与区域文明演化	周天禹	中国地质大学（武汉）
S28-P-8S	西南岩溶洞淤泥沉积物年代学和气候学研究	母圆圆	云南师范大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 4 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 4 日下午
专题 48：海陆耦合系统与海洋碳循环			
S48-P-1S	降水增强海平面对第四纪硅酸盐化学风化及其碳汇效应的控制	杨逸飞	中国科学院海洋研究所
S48-P-2S	基于 DPA 的南中国海北部沿岸海洋蓝碳调查研究——以大亚湾红树林为例	余启涛	惠州学院
S48-P-3	中新世暖期亚洲内陆关键区植被气候：联结海陆变化的潜在窗口	王建	中国科学院地质与地球物理研究所
S48-P-4S	黄河调水调沙对渤海沉积物有机碳矿化及孔隙水溶质界面通量的影响	任建华	中国海洋大学
S48-P-5	海底洋流有机碳泵及其在气候调节中的潜在作用	殷绍如	自然资源部第二海洋研究所
S48-P-6	南海北部冷泉区沉积物中铁结合有机碳赋存特征及其控制因素探究	吴杨	中国地调局广州海洋地质调查局
S48-P-7	晚中新世以来南海北部岩石有机碳氧化过程对台湾构造隆升的响应机制	张硕	中国科学院海洋研究所
S48-P-8	斜率驱动晚中新世东亚夏季风千年尺度波动幅度	高鹏	兰州大学
展板报告：13:00~15:00			
7 月 4 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 4 日下午

专题 50：海洋负排放：现场观测与模拟装置			
S50-P-1S	台风后粤西高位池尾水影响海滩沉积物的粒度与粒形响应研究	黄丽萍	广东海洋大学
S50-P-2S	南海南部浮游动物粪粒深海碳输出的时间序列变化及其对海洋生物泵的贡献	黄雨新	同济大学
S50-P-3S	南海西部浮游动物粪粒沉降通量的时间序列变化及其对深海碳输出的贡献	曹君元	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 58：脂类生物标志物与元素循环、气候演变			
S58-P-1S	南海北部沉积物磷的再循环对浮游植物初级生产力的影响	沈美琪	中国地质大学（武汉）
S58-P-2	末次冰期硅藻—固氮蓝细菌共生体 (DDAs) 勃发诱发的生物碳泵增强过程与机制	董良	上海交通大学
S58-P-3	使用长链烯酮甲基/乙基比值约束颗石藻生长速率	张洪瑞	同济大学
S58-P-4	中国东北 Heinrich Stadial 1 时期夏季增暖	朱泽阳	中国科学院地质与地球物理研究所
S58-P-5S	早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件的碳循环扰动及其成因机制	叶泽航	北京大学
S58-P-6S	海洋沉积物 TEX ₈₆ 指标修正与温度校准	周佳鸣	上海交通大学
S58-P-7	太阳辐射对热带太平洋西部海域近千年水文气候变化的调控	张彦成	崂山实验室
S58-P-8S	基于鄱阳湖 brGDGTs 重建东南地区过去 2000 年温度变化	苗瑞	中国科学院地球环境研究所
S58-P-9S	古菌脂类的氢同位素对生物代谢的指示意义	樊嘉琛	中国海洋大学
S58-P-10	植被驱动下的中国黄土高原地表温度空间异质性	卢红选	中国科学院地球环境研究所
S58-P-11	类脂生物标志物对海水温度的指示作用研究	泮枫敏	中国科学院海洋研究所
S58-P-12S	洞穴滴水监测揭示的土壤溶解有机碳变化——以湖北恩施豪猪洞为例	曾书琦	中国地质大学（武汉）
S58-P-13	我国南方沿海全新世降水同位素记录中的台风印记	曹建涛	同济大学
S58-P-14S	中国中部梁子湖细菌 3-羟基脂肪酸的来源：对古气候重建的启示	汪宏海	中国地质大学（武汉）

S58-P-15S	上一更新世转换期南海中层水酸化增强	赵蔓	同济大学
S58-P-16	内蒙古双沟山天池 GDGTs 记录的近 2000 年来古温度变化	战楠	国家地质实验测试中心
S58-P-17S	断陷盆地混源油相对贡献量定量评价——以渤海湾盆地歧口凹陷为例	张宇	中国石油大学（北京）
S58-P-18S	中国东北四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来的温度重建	李平平	国家地质实验测试中心
S58-P-19S	三肇凹陷升平—宋芳屯构造扶杨油层油气地化特征及来源分析	闫思雨	中国石油大学（北京）
S58-P-20S	BDGTs 与 GMGTs 的环境响应机制及其潜在生物标志意义	陈诗洁	上海交通大学
S58-P-21S	甾醇生物标志物的还原转化对古生产力重建的影响	王梦如	同济大学
S58-P-22	四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来不同指标重建温度的对比研究	储国强	中国科学院地质与地球物理研究所
展板报告：13:00~15:00			
7 月 4 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 4 日下午
专题 59：河流—河口—海洋连续体中的有机质源汇过程与沉积记录			
S59-P-2S	海水溶解氧三氧同位素示踪长江口生产、呼吸及混合过程	夏天	上海交通大学
S59-P-3	热带海岛潮间带大型藻类暴发为微型真核生物提供了独特生态位	吴文学	海南大学
S59-P-4	气候和人类活动双重胁迫下热带陆架边缘海有机碳沉积记录及响应：以泰国湾为例	白亚之	自然资源部第一海洋研究所
S59-P-5	利用 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 约束珠江口-南海连续体沉积物有机质的来源	吴俊文	汕头大学
S59-P-6S	全新世以来北极东西伯利亚陆架沉积记录的古野火变化	刘亚茹	自然资源部第一海洋研究所
S59-P-7	末次冰期以来南海南部夏季温度变化特征及指示	朱小畏	中国科学院南海海洋研究所
S59-P-8	东海内陆架晚更新世以来沉积有机碳的埋藏模式	陈立雷	崂山实验室
S59-P-9S	热带气旋对河流入海沉积物的影响及其珊瑚记录——以海南岛为例	刘彩凤	广西大学
S59-P-10S	盐度对海洋细菌支链四醚膜脂物的影响：对古温度和古盐度重建的启示	贺子豪	同济大学

展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 62：全球海床下生态系统与可持续性			
S62-P-1	深海贻贝床，你中有我的深海甲烷过滤屏障	王敏晓	中国科学院海洋研究所
S62-P-2	优势未培养古菌活跃驱动陆架沉积物深部有机碳循环	梁乐文	上海交通大学
S62-P-3	揭示蛇纹石化的地幔岩石微生物群落组成	解瑞泽	上海交通大学
S62-P-4S	不同发育阶段冷泉沉积物—水体界面溶解有机碳的传输及微生物响应机制	王延伟	上海交通大学
S62-P-5	全球海床下生态系统与可持续性	王风平	深部生命国际研究中心
S62-P-6S	基于铁锰结壳记录的北太平洋古生产力、磷循环与深层水环流耦合演化	初勇志	上海交通大学
S62-P-7S	南大洋未培养微生物次级代谢产物生物合成潜力及生态功能	熊艺轩	上海交通大学
S62-P-8S	深海微生物对典型卤代有机物的降解通路研究	徐之澳	上海海洋大学
S62-P-9	深海热液区 CO 氧化菌多样性、分布特征及关键类群代谢功能研究	王莎莎	自然资源部第三海洋研究所
S62-P-10S	一株分离自东海海域洋山港港口碳钢原位富集的嗜中性微需氧铁氧化菌 <i>Ghiorsea aestus</i>	张燕	同济大学
S62-P-11S	深海热液区优势化能自养菌 <i>Sulfurimonas hydrogeniphila</i> 硫氧化调控机制的研究	钟阳昇	自然资源部第三海洋研究所
S62-P-12S	基于单细胞成像技术揭示古菌产甲烷代谢的转录调控机制	董怡静	上海交通大学
S62-P-13S	西北印度洋天休热液区微生物的分布及其对不同洋壳蚀变类型的响应	吕品洁	同济大学
S62-P-14S	冷泉中氮循环的途径、速率及其与碳硫循环的潜在耦合机制	隋维康	上海交通大学
S62-P-15S	西北印度洋天休热液区微生物群落结构及其代谢特征研究	计博文	自然资源部第三海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午

专题 65：基于多源观测、模拟与实验的地震与地质灾害动态分析			
S65-P-1	唐山地区主要断层几何结构与流体扩散对地震活动的复杂控制机制	张苏祥	上海市地震局
S65-P-2S	2025 年西藏定日 Mw7.1 地震的震源参数与滑动分布	王绍俊	中国科学院青藏高原研究所
S65-P-3S	2024 年 8.7 南加州 Mw5.2 地震序列特征分析	李卫东	中国科学院大学
S65-P-4	简单中央圣安德烈亚斯断层的三维结构与复杂行为	程怡芳	同济大学
S65-P-5S	三维地震数据：深海地质灾害研究的“哈勃望远镜”	韩政豪	同济大学
S65-P-6	深海多金属结核区沉积物羽流对海底电场环境影响研究	范智涵	中国海洋大学
S65-P-7	浮标—海床基环境观测系统设计及其在南海天然气水合物区的应用	董一飞	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
展板报告：13:00~15:00			
7 月 4 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 4 日下午
专题 66：海底流体活动的现代过程与沉积记录			
S66-P-1	海马冷泉碳酸盐岩形成环境及触发机制研究	杨威	天然气水合物勘查开发国家工程研究中心
S66-P-2	沉积加载驱动的甲烷冷泉渗漏活动：来自墨西哥湾的证据	冯东	上海海洋大学
S66-P-4	TOC 分析仪与稳定同位素质谱仪联用测定低溶解性有机碳含量水体碳同位素组成	张东	上海海洋大学
S66-P-5	海底冷泉自生碳酸盐钡同位素组成特征及其地质意义	宫尚桂	上海海洋大学
S66-P-6S	甲烷水合物热激分解与降压分解机制：来自于微流控芯片的证据	熊婉利	海南热带海洋学院
S66-P-7	海底冷泉流体活动对沉积有机碳的贡献：基于深潜探测的研究设想	冯东	上海海洋大学
S66-P-8	冷泉碳酸盐中微晶文石的微量和稀土元素特征可以识别原油渗漏	孙跃东	自然资源部第二海洋研究所
S66-P-9S	现代冷泉环境中的原生白云石形成环境	向延龙	上海海洋大学
S66-P-10S	琼东南盆地冷泉发育区浅层超压分布规律及其成因机制初探	陆统智	中山大学
S66-P-11S	海底甲烷渗漏和原油渗漏成因自生碳酸盐岩中铁结合有机碳的光学特征及其对渗漏流体类型的指示	樊柳	上海海洋大学

S66-P-12S	洋流对全球甲烷渗漏空间分布的调控机制	倪鑫	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S66-P-13S	冷泉渗漏通量波动的生物载体研究：以深海偏顶蛤 <i>Gigantidas haimaensis</i> 生长增量的同步矿化响应为例	张晓春	广东工业大学
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 73：深海矿产与多圈层相互作用			
S73-P-1S	地球深部碳循环：洋中脊—地幔柱相互作用的指示	张海桃	自然资源部第一海洋研究所
S73-P-2S	热液活动对东南太平洋富稀土沉积物形成的重要作用	胡倩男	自然资源部第一海洋研究所
S73-P-3S	东北太平洋赫斯海隆东部海域富稀土沉积层形成机制研究	张怡	自然资源部第二海洋研究所
S73-P-4	中更新世西太平洋深海沉积中的多圈层协同演化记录	王海峰	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S73-P-5S	海洋铁锰氧化物中锂的富集：来自合成 $\delta\text{-MnO}_2$ 吸附实验的证据	吴若冰	中山大学
S73-P-6S	深海孔中收发一体 X 射线成分探测技术	蒋镖	成都理工大学
S73-P-7	三维重力广义深度加权反演在采薇平顶海山群的应用	朱莹洁	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
S73-P-8S	采薇海山埋藏型结壳地球化学特征及其资源潜力	李垚	自然资源部第二海洋研究所
S73-P-9S	北太平洋铁锰结核铂族金属富集特征时空差异及影响机制	谢宇	自然资源部第二海洋研究所
S73-P-10	南海及邻域砂矿资源分布特征及成矿模式	周娇	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S73-P-11S	西南印度洋热液区沉积物中 brGDGTs 潜在生物源的鉴定	屈棋楠	自然资源部第三海洋研究所
S73-P-12	深海铁锰结核成矿的有机地球化学研究：机制、方法与展望	姜玉涵	中国地质调查局 广州海洋地质调查局

展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 78：晚新生代热带海道闭合及其环境效应			
S78-P-1S	中更新世转型期北太平洋深层水的含氧量变化	张奕栩	同济大学
S78-P-2S	印尼海道在上新世关闭的古地磁学证据	周恩雄	中山大学
S78-P-3S	晚中新世印尼海道阶段性关闭过程的地形重建	魏思华	同济大学
S78-P-4	上新世以来赤道太平洋海温轨道周期转型的简单模式瞬变模拟	王跃	同济大学
S78-P-5S	轨道驱动的中新世印尼贯穿流季节性响应机制研究	李振	厦门大学
S78-P-6S	末次盛冰期以来海平面上升对热带太平洋海温模态的影响	马雅楠	南京师范大学
S78-P-7S	晚中新世至早上新世时期印度尼西亚海道收缩引起的上层海水温度变化	丁奕凡	同济大学
S78-P-8S	晚上新世 iNHG 后北太平洋副热带环流的增强和南移	唐璐瑶	中国科学院海洋研究所
S78-P-9S	上新世巴拿马海道闭合调控全球季风水热传输	郝治羽	同济大学
S78-P-10S	二维冰盖模式中的上新世暖期西南极冰盖稳定性分析	陈泓嘉	同济大学
S78-P-11S	中更新世过渡期（MPT）期间印度洋深海碳循环的演变及其全球影响	杨明天	同济大学
S78-P-12S	上新世晚期到更新世早期北太平洋 ODP 1208 站位鱼牙钕同位素水团记录	徐静	同济大学
S78-P-13S	MIS7 期以来印度洋偶极子的演化历史及其驱动因素	刘佳澳	中国海洋大学
S78-P-14	巴拿马海道的关闭对全球大洋环流的影响	冯华	自然资源部第四海洋研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月4日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月4日下午
专题 82：南极古环境			
S82-P-1S	基于高度支化的类异戊烯对南极海冰密集度的半定量估计：PIPSO ₂₅ 指数在普里兹湾海域的适用性验证	崔超	中国海洋大学
S82-P-2S	阿蒙森海陆隆岩心磁性矿物特征揭示早上新世以来西南极冰盖动态	张梦薇	中国地质大学（北京）

S82-P-3S	南极白垩纪以来绝对古强度研究	郑婷尹	中国地质大学 (北京)
S82-P-4S	中更新世气候转型期南大洋通风主导的西南太平洋中深层碳库变化	彭正兵	同济大学
S82-P-5S	晚上新世一早更新世亚南极太平洋底栖有孔虫群落反映的深层水团演变	王美乐	同济大学
S82-P-6S	西南极阿蒙森海氧化还原敏感元素对沉积环境变化的响应	周炳富	自然资源部第二海洋研究所
S82-P-7S	中更新世转型期间东南极合作海表层海洋环境演化历史	崔轶博	同济大学
青年学者论坛			
7月4日下午 15:30~17:30			
主会场：三楼东方厅			7月4日下午
青年学者论坛 主持人：朱伟林			
15:30-15:40	鸟类起源与演化中的功能形态研究进展	胡晗	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
15:40-15:50	岩层记忆里的天文节拍——旋回地层学揭示远古地球的轨道演化历史	黄何	成都理工大学
15:50-16:00	板块俯冲动力学与地幔各向异性的研究进展	孔凡圣	自然资源部第二海洋研究所
16:00-16:10	橄榄石溶解与功能微生物筛选在污水碱化增汇中的应用与机理探讨	孟雅冰	厦门大学
16:10-16:20	早期真核生物的宏演化模式	唐卿	南京大学
16:20-16:30	赤道西太平洋温度半岁差信号的驱动机制	吴志鹏	比利时新鲁汶大学
16:30-16:40	末次冰期大气氧气浓度重建	颜余真	同济大学
16:40-16:50	地球深部水循环：俯冲板片蛇纹岩和下洋壳的贡献	杨阳	中国科学院广州地球化学研究所
16:50-17:00	人工智能赋能储层地球物理刻画：多源数据融合和物理引导	赵峦啸	同济大学
17:00-17:10	滨海甲烷生物氧化的驱动机制和调控策略	郑越	厦门大学
17:10-17:20	地球大洋板块动力学与地幔深部演化的超算大模型	周志远	南方科技大学

口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月5日上午
专题 47：大陆边缘碳循环过程、演变与记录（1）主持人：范代读				
08:30-08:45	S47-O-1	河流—近海体系颗粒有机碳输运与积累的全球格局（邀请报告）	王成龙	南京大学
08:45-09:00	S47-O-2	亚热带潮控型河口最大浑浊带颗粒有机碳分粒级物源特征及输运机制	周宴任	厦门大学
09:00-09:15	S47-O-3	全新世至人类世长江三角洲有机碳埋藏研究	苏建锋	同济大学
09:15-09:30	S47-O-4	海平面和亚洲夏季风控制早全新世南海北部陆架有机碳埋藏变化	黄超	广东海洋大学
09:30-09:45	S47-O-5	末次盛冰期以来南海深层水对神狐陆坡底流碳埋藏效率的影响及其对古气候演化的意义	苏明	中山大学
09:45-10:00	S47-O-6	Glacial Photosynthesis to Downstream Fluxes: Resolving Carbon and Nitrogen Dynamics in the Indus River Basin and Their Earth System Implications	Mohd Aadil Bhat	同济大学
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室				7月5日上午
圆桌论坛“地球系统科学进中学”（1）主持人：翦知湔				
08:30-08:40	致辞		周忠和	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
08:40-09:00	中学阶段地球与行星科学系统化启蒙		沈冰	北京大学
09:00-09:20	关键金属重大研究计划的科普宣传：实践与思考		赵太平	中国科学院广州地球化学研究所
09:20-09:40	中学地球科学教育跨学科主题探索		张冉	首都师范大学附属中学永定分校
09:40-10:00	共话成长之路，共筑地学梦想		文晓静	云南师范大学附属中学
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室				7月5日上午

专题 77： 温室地球古海洋与古气候（1） 主持人：胡修棉、李明松				
08:30-08:45	S77-O-1	显生宙大洋经向翻转流演变（邀请报告）	胡永云	北京大学
08:45-09:00	S77-O-2	大西洋形成导致厄尔尼诺类型的转变	吴晟	北京大学
09:00-09:15	S77-O-3	中新世暖期太平洋深层环流—碳循环耦合：基于菲律宾海盆 U1438B 岩芯的氧化还原指标证据	董珂	同济大学
09:15-09:30	S77-O-4	中中新世气候适宜期东赤道太平洋的磷循环研究	刘逸琳	南方科技大学
09:30-09:45	S77-O-5	晚白垩世赤道大西洋构造演化对氮循环和海洋通风的控制	杜勇	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S77-O-6	青藏高原白垩纪—古近纪钙质超微化石生物地层及其古海洋学意义	王亚苏	海南大学
口头报告				
7 月 5 日上午 08:30~10:00				
分会场 04： 三楼 5 号会议室				7 月 5 日上午
专题 73： 深海矿产与多层圈相互作用（2） 主持人：孙晓明、蒋晓东				
08:30-08:45	S73-O-7	深海沉积物稀土元素富集成矿过程中的早期成岩作用研究	王樱静	自然资源部第一海洋研究所
08:45-09:00	S73-O-8	富甲烷沉积物中新型自生磁铁矿对微生物铁还原作用的指示（邀请报告）	林志勇	汉堡大学
09:00-09:15	S73-O-9	劳盆地火山岛弧热液区铜元素形态及其同位素组成	王虎	同济大学
09:15-09:30	S73-O-10	海底热液硫化物复杂磁性特征解译与应用	汪诗舜	自然资源部第二海洋研究所
09:30-09:45	S73-O-11	热液羽状流中的痕量金属分布与生态影响	姚子超	自然资源部第二海洋研究所
09:45-10:00	S73-O-12	拆离断层型热液循环系统金属通量的主控因素	郭志赓	自然资源部第二海洋研究所
口头报告				
7 月 5 日上午 08:30~10:00				
分会场 05： 三楼 6 号会议室				7 月 5 日上午
专题 80： 事件沉积记录：过程与触发机理（1） 主持人：卢银、孙启良				
08:30-08:45	S80-O-1	秦岭山区滑坡遗迹数据库构建与空间分布特征分析：基于遥感解译与机器学习的综合研究（邀请报告）	许冲	应急管理部国家自然灾害防治研究院

08:45-09:00	S80-O-2	岷江上游正构烷烃组成及其对地震前后有机碳来源的指示	李卓芝	中国科学院地球环境研究所
09:00-09:15	S80-O-3	厚层泥质浊流沉积——死海新古地震指示标志	张雨薇	同济大学
09:15-09:30	S80-O-4	阵发性的河口异重流：从过程到产物	吴晓	中国海洋大学
09:30-09:45	S80-O-5	中尺度涡输运深海沉积物的季节性差异	张刘祯怡	同济大学
09:45-10:00	S80-O-6	南海东部海山 80 万年以来滑坡—浊流历史研究（IODP-U1431 站位）	孙爽	同济大学
口头报告				
7 月 5 日上午 08:30~10:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7 月 5 日上午
专题 75：深水浅层气与水合物勘探开发（1）主持人：耿建华、孙启良				
08:30-08:45	S75-O-1	浅层气与水合物目标勘探和试采工艺探索（邀请报告）	李清平	怀柔实验室
08:45-09:00	S75-O-2	海底含水合物沉积物工程力学表征技术与方法	李彦龙	崂山国家实验室
09:00-09:15	S75-O-3	南海北部琼东南盆地浅层气与水合物共生成藏体系	程聪	中国地质大学（武汉）
09:15-09:30	S75-O-4	新西兰西库朗伊俯冲带 MTDs 发育特征及其对水合物与游离气分布影响	胡金子	中国海洋大学
09:30-09:45	S75-O-5	含水合物砂岩超声波衰减特性研究	刘涛	同济大学
09:45-10:00	S75-O-6	剪切应变局部化机制对海底滑坡封堵性的控制作用	韩政豪	同济大学
口头报告				
7 月 5 日上午 08:30~10:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7 月 5 日上午
专题 06：现代陆地生态系统的起源与演化（3）主持人：泮燕红、王亚琼				
08:30-08:45	S06-O-13	我国东部季风区晚第四纪巨型陆生哺乳动物类群的生态功能宏观格局浅析（邀请报告）	滕漱清	南京大学
08:45-09:00	S06-O-14	Revealing evolutionary patterns of early birds with a novel phylogenetic framework	Cockx Pierre	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
09:00-09:15	S06-O-15	白垩纪羽毛的超微结构揭示羽毛的演化	裘锐	国家自然博物馆

09:15-09:30	S06-O-16	早白垩世华北克拉通北缘介形类多样性演化特征及其可能的影响因素	王亚琼	中国科学院南京地质古生物研究所
09:30-09:45	S06-O-17	叶肢介壳中的螺旋结构：从白垩纪至今的演化保守性	胡亮	成都理工大学
09:45-10:00	S06-O-18	潜叶取食诱导晚三叠世银杏类植物产生化学防御	赵涛	云南大学
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月5日上午
专题 27：地球系统中的地震波、次声及低频水声耦合观测及模拟（3） 主持人：林建民				
08:30-08:45	S27-O-13	地震揭示南极海洋锋面的分层湍流与混合增强	唐群署	浙江大学
08:45-09:00	S27-O-14	地震学视角下的大气声重力波——以 2022 年汤加火山喷发为例	张申健	南方科技大学
09:00-09:15	S27-O-15	跨大洋水声传播建模与海底火山超远程水声监测研究	魏士俨	自然资源部第三海洋研究所
09:15-09:30	S27-O-16	大气次声波传播模拟及其在自然事件监测中的应用	吕君	中国科学院声学研究所
09:30-09:45	S27-O-17	基于实际观测和数值模拟的海水对地震动特性影响研究	侯信超	清华大学
09:45-10:00	S27-O-18	基于地震信号快速识别与分析青藏高原东南缘的大型滑坡事件	吴智超	中国科学院青藏高原研究所
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 09：三楼上海厅				7月5日上午
专题 62：全球海床下生态系统与可持续性（3） 主持人：杜梦然				
08:30-08:45	S62-O-13	热液环境中的病毒（邀请报告）	张锐	深圳大学
08:45-09:00	S62-O-14	V-score 和 VL-score 对病毒蛋白家族特征的揭示	周昆	同济大学
09:00-09:15	S62-O-15	海底热液硫化物烟囱体相关微生物的多样性研究	骈泽宇	同济大学
09:15-09:30	S62-O-16	混养型硫酸盐还原菌是沿海沉积物黑暗碳固定的关键驱动者	胡海宁	上海交通大学

09:30-09:45	S62-O-17	北冰洋加克洋中脊爆炸式火山区 85°E 热液羽流中高丰度的异养菌	余娟	浙江大学
09:45-10:00	S62-O-18	南海冷泉活动区甲烷通量差异下的关键元素循环与金属同位素示踪	贺治伟	同济大学
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 10: 二楼悦华厅 1 号				7月5日上午
专题 58: 脂类生物标志物与元素循环、气候演变(3) 主持人: 王欢业、杨义				
08:30-08:45	S58-O-13	脂质生物标志物现代过程与古环境研究(邀请报告)	刘金召	中国科学院地球环境研究所
08:45-09:00	S58-O-14	纯培养和大数据揭示细菌膜脂 3-羟基脂肪酸对 pH 变化的响应机理	王灿发	中国地质大学(武汉)
09:00-09:15	S58-O-15	古菌环化指数: 表征甲烷渗漏强度的生物标志物指标	许晓燕	中国海洋大学
09:15-09:30	S58-O-16	湖光岩玛珥湖中细菌霍多醇(BHPs)的季节性变化及其好氧甲烷氧化指示意义	康曼玉	海南大学
09:30-09:45	S58-O-17	中全新世以来北极东西伯利亚陆架海冰演化及其驱动机制	张钰莹	中国海洋大学
09:45-10:00	S58-O-18	微生物脂类生标单体碳和氢同位素追踪南极微生物代谢变化	陈新	上海交通大学
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 11: 二楼悦华厅 2 号				7月5日上午
专题 52: 海洋负排放的技术路径与示范应用(1) 主持人: 段晓勇、何磊				
08:30-08:45	S52-O-1	海水碱化负排放与环境效应研究	刘纪化	山东大学
08:45-09:00	S52-O-2	海洋碱化对浮游生物群落生态影响	辛孝科	山东大学
09:00-09:15	S52-O-3	微藻碱性养殖尾水驱动的海洋碱化增汇技术研究与应用潜力	朱陈霸	厦门大学
09:15-09:30	S52-O-4	以氢氧化镁为基础的海洋碱化效率及潜在环境效应研究	王学超	南方科技大学
09:30-09:45	S52-O-5	污水输送碱度强化海洋负碳排放技术在实际海洋系统中的研究	卢龙飞	大连理工大学
09:45-10:00	S52-O-6	滨海湿地水域初级生产力与碳汇调控因素探讨	裴绍峰	中国地质调查局青岛海洋地质研究所

口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7月5日上午
专题 35：极地冰盖与冰下地质：环境，过程及演化 主持人：王如生、史贵涛				
08:30-08:45	S35-O-1	南极伊丽莎白公主地麒麟冰下湖探测与研究计划（邀请报告）	姜苏	中国极地研究中心
08:45-09:00	S35-O-2	南极深冰及冰下基岩取芯钻探关键技术及应用	张楠	吉林大学
09:00-09:15	S35-O-3	南极绕极流的量化特征分析	艾松涛	武汉大学
09:15-09:30	S35-O-4	德雷克海峡初始打开发生在约 62-59Ma	高亮	中国地质大学（北京）
09:30-09:45	S35-O-5	基于密集地震台阵的格罗夫山冰下底部沉积结构探测	傅磊	中国地质大学（武汉）
09:45-10:00	S35-O-6	对南极主动源地震勘探的思考：以第 41 次南极考察结果为例	刘国峰	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 13：二楼悦贵厅 2 号				7月5日上午
专题 09：中生代湖泊系统演化及油气资源效应（3） 主持人：薛云飞、王蒙				
08:30-08:45	S09-O-13	晚三叠世湖平面演变的沉积记录及古气候模拟证据（邀请报告）	王蒙	中国科学院南京地质古生物研究所
08:45-09:00	S09-O-14	侏罗纪化石揭示棘头动物门的起源	罗慈航	中国科学院南京地质古生物研究所
09:00-09:15	S09-O-15	中侏罗世道虎沟生物群类天牛科新种及其古生态意义	潘菲	中山大学
09:15-09:30	S09-O-16	内蒙古东部九峰山组热河生物群演替及对 OAE1a 事件的响应机制	薛岩	中国科学院南京地质古生物研究所
09:30-09:45	S09-O-17	山东平邑盆地白垩纪—古近纪界线时期湖泊碳酸盐团簇同位素分析与古温度重建	张东旭	中国科学院南京地质古生物研究所
09:45-10:00	S09-O-18	晚三叠世卡尼期湿润事件的触发机制、气候—碳循环相互作用及空间异质性响应	薛乃华	中国科学院南京地质古生物研究所

口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 14：二楼悦贵厅 3 号				7月5日上午
专题 11：微体古生物与全球变化（3） 主持人：宋海军、席党鹏				
08:30-08:45	S11-O-13	塔里木盆地西部古新世—始新世极热事件（PETM）（邀请报告）	席党鹏	中国地质大学（北京）
08:45-09:00	S11-O-14	介形类辐射演化驱动影响因素浅析	赵都菁	中海油能源发展股份有限公司
09:00-09:15	S11-O-15	Middle Eocene shallow marine successions of Sabzevar Ocean (central Iran): taxonomic and biostratigraphic implications	Mehdi Hadi	中国地质大学（北京）
09:15-09:30	S11-O-16	早—中中新世南海北部上部水体结构变化及其对东亚季风的响应	卢亚敏	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
09:30-09:45	S11-O-17	New insights into Late Devonian phytoplankton palaeobiogeography	Kroeck, David Marius	中山大学
09:45-10:00	S11-O-18	塔里木盆地西部乌拉根组介形虫及特提斯海退事件	史忠叶	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 15：二楼悦泰厅 3 号				7月5日上午
专题 43：碳酸盐泵与海洋碳循环 主持人：刘传联				
08:30-08:45	S43-O-1	东印度洋海水碳酸盐体系的时空分布及生物调控过程	吴茜	中国地质大学（武汉）
08:45-09:00	S43-O-2	基于 BGC-Argo 的观测解析碳酸盐泵和有机碳泵协同过程对海洋碳汇的调控	黄毅彬	厦门大学
09:00-09:15	S43-O-3	中中新世中深层海水氧含量与碳循环	周晓理	同济大学
09:15-09:30	S43-O-4	晚第四纪印度洋深层环流与碳循环的演变	万随	中国科学院南海海洋研究所
09:30-09:45	S43-O-5	现代以及冰期旋回中浮游有孔虫钙化作用机理	秦秉斌	自然资源部第一海洋研究所
09:45-10:00	S43-O-6	颗石藻与碳酸盐泵	金晓波	同济大学
口头报告				

7月5日上午 08:30~10:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7月5日上午
专题 19：洋中脊研究新前沿（3） 主持人：于志腾				
08:30-08:45	S19-O-13	全球洋中脊玄武岩成分随扩张速率变化的新解读（邀请报告）	郭鹏远	中国科学院海洋研究所
08:45-09:00	S19-O-14	地球大龟裂——洋中脊裂谷模拟新进展	唐春安	大连理工大学
09:00-09:15	S19-O-15	北冰洋加克洋中脊 85°E 横波速度结构	牛雄伟	自然资源部第二海洋研究所
09:15-09:30	S19-O-16	联合重力观测与热结构演化模拟探讨超慢速扩张西南印度洋中脊 13–14°E 段的大洋岩石圈结构	谭平川	自然资源部第二海洋研究所
09:30-09:45	S19-O-17	快速和中速扩张洋中脊的壳幔边界结构、蛇纹石化作用和地震反射特征	赵家斌	南京大学
09:45-10:00	S19-O-18	弧后扩张中心热液系统对大洋的 Ba 输送问题探讨	张侠	崂山国家实验室
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 01：三楼 1 号会议室				7月5日上午
专题 47：大陆边缘碳循环过程、演变与记录（2） 主持人：赵宁				
10:30-10:45	S47-O-7	风暴冲击下的人工岛：碳埋藏的双重效应（邀请报告）	吴伊婧	同济大学
10:45-11:00	S47-O-8	台风影响下北部湾沉积物有机质的输入与埋藏特征：来自生物标志物的证据	林云鹏	自然资源部第三海洋研究所
11:00-11:15	S47-O-9	以空间代时间探究海平面上升背景下蓝碳生态系统的时空演变	高宇	中国水产科学研究院东海水产研究所
11:15-11:30	S47-O-10	典型黏土矿物调控下的近海大藻降解过程和碳留存效应	王晓洁	中国科学院青岛生物能源与过程研究所
11:30-11:45	S47-O-11	基于 22 年现场观测数据的中国东南近海海表 $p\text{CO}_2$ 和海气 CO_2 通量研究	卜德志	厦门大学
11:45-12:00	S47-O-12	有机碳同位素分析前酸漂洗法的适宜盐酸浓度与酸化时间及其对有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 和总有机碳的影响：以人工样品 B2151—碳酸钙与 ODP 1172 站位深海沉积物为例	陈健	中国科学院广州地球化学研究所
口头报告				

7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 02：三楼 2 号会议室			7月5日上午	
圆桌论坛“地球系统科学进中学”（2） 主持人：沈冰				
10:30-11:10	议题 1：地球系统科学框架下的中学地球科学培养体系		翦知潜	全体参会人员讨论
11:10-11:50	议题 2：以提升全民科学素质为目标的地球科学科普工作		周忠和	全体参会人员讨论
11:50-12:00	总结致辞		翦知潜	同济大学
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 03：三楼 3 号会议室			7月5日上午	
专题 77： 温室地球古海洋与古气候（2） 主持人：陈曦、何天辰				
10:30-10:45	S77-O-7	PETM 事件前的千年尺度热成因 CO ₂ 释放与生态环境效应（邀请报告）	姜仕军	海南大学
10:45-11:00	S77-O-8	古新世—始新世极热事件期间快速响应的大陆风化加速了浅海碳酸盐埋藏	蒋璟鑫	南京大学
11:00-11:15	S77-O-9	早侏罗世 Toarcian 大洋缺氧事件期间碳同位素负偏移的轨道控制和阈值效应	唐闻强	成都理工大学
11:15-11:30	S77-O-10	脉冲式生物成因甲烷释放导致了早侏罗世 Toarcian 期间的间歇性变暖	邱若原	中国科学院地质与地球物理研究所
11:30-11:45	S77-O-11	温室地球中植被的气候效应	郭佳琦	北京大学
11:45-12:00	S77-O-12	中国东北辽西地区 Aptian 期古大气 CO ₂ 重建及其气候意义	杨汉卿	中国科学院广州地球化学研究所
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 04：三楼 5 号会议室			7月5日上午	
专题 73： 深海矿产与多圈层相互作用（3） 主持人：陶春辉、蒋晓东				
10:30-10:45	S73-O-13	硫化物矿物能量转化作用与深海微生物非传统能量利用新方式	李艳	北京大学
10:45-11:00	S73-O-14	解释磷酸盐化结壳中铂异常富集的反应模型：磷酸盐和有机酸的影响	李政坤	中山大学

11:00-11:15	S73-O-15	基于高斯过程回归的西北太平洋深海盆地结核丰度预测	杨永	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:15-11:30	S73-O-16	多金属结核成矿与南极底流的耦合关系	邓贤泽	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:30-11:45	S73-O-17	印度洋沃顿海盆深海沉积物中生物磷灰石的原位地球化学和 Sr 同位素特征及指示意义	李佳	自然资源部第一海洋研究所
11:45-12:00	S73-O-18	深海热液生物行为与基因节律的多模态研究：从计算机视觉追踪到分子调控机制	孙进	中国海洋大学
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 05：三楼 6 号会议室				7月5日上午
专题 80：事件沉积记录：过程与触发机理（2）主持人：卢银、孙启良				
10:30-10:45	S80-O-7	早侏罗世托阿尔期全球变暖驱动水文循环增强与碳酸盐岩台地危机（邀请报告）	韩中	成都理工大学
10:45-11:00	S80-O-8	黄土高原上风向外围风成沉积与晚第四纪风沙—粉尘活动	强明瑞	华南师范大学
11:00-11:15	S80-O-9	陆生蜗牛记录的季节—天气尺度环境变化	董吉宝	中国科学院地球环境研究所
11:15-11:30	S80-O-10	南海中央海盆 IODP-U1433 岩心 80 万年以来浊流沉积及其意义	李训鹏	同济大学
11:30-11:45	S80-O-11	南海北部陆坡峡谷脊部精细结构、沉积成因及储层发育规律	杨毅凌	中山大学
11:45-12:00	S80-O-12	印支运动约束下的多因素驱动软沉积变形及其指示意义——来自鄂尔多斯盆地西部冲断带的证据	李兴宇	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 06：三楼 7 号会议室				7月5日上午
专题 75：深水浅层气与水合物勘探开发（2）主持人：耿建华、孙启良				
10:30-10:45	S75-O-7	利用叠前地震数据预测天然气水合物储层参数分布：模型与数据联合驱动（邀请报告）	耿建华	同济大学

10:45-11:00	S75-O-8	天然气水合物微观分布的声电响应特性研究	卜庆涛	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
11:00-11:15	S75-O-9	应力作用下低渗粉砂质含水合物沉积物水相渗流特性研究	王海军	哈尔滨工业大学
11:15-11:30	S75-O-10	基于离散元的南海胶结型砂质含水合物沉积物宏细观力学性质研究	王智刚	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:30-11:45	S75-O-11	水合物空间非均质分布对含水合物沉积物力学性质的影响：离散元模拟	窦晓峰	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
11:45-12:00	S75-O-12	不同压力梯度下深海甲烷渗漏环境水合物形成特性	陈涛	广东工业大学
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 07：三楼 8 号会议室				7月5日上午
专题 55：西太平洋中生代残留洋壳 主持人：余梦明、徐文景				
10:30-10:45	S55-O-1	海—陆地质结合重建中生代晚期以来西太平洋台湾—琉球—吕宋岛间海域板块演化	黄奇瑜	成功大学
10:45-11:00	S55-O-2	华南晚中生代陆缘构造及古太平洋俯冲体制	许长海	同济大学
11:00-11:15	S55-O-3	西菲律宾海盆和卡洛琳海盆板块边界和地幔属性研究	张国良	中山大学
11:15-11:30	S55-O-4	南海南部微陆块古地理起源与古太平洋—古南海演化	曹立成	中国地质大学 (武汉)
11:30-11:45	S55-O-5	花东海盆的年龄及其与加瓜海脊、西菲律宾海盆的构造关系	朱佳豪	中国科学院南海 海洋研究所
11:45-12:00	S55-O-6	基于三维斜磁化反演的西菲律宾海盆深部结构研究	黄祖伟	同济大学
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 08：三楼 9 号会议室				7月5日上午
专题 15：全球变化背景下河流三角洲灾害特征、评估及预测 主持人：乔淑卿、毕乃双				
10:30-10:45	S15-O-1	自然系统演化、环境变化和人为活动共同引发河流三角洲生态灾害：以黄海浒苔暴发为例（邀请报告）	高抒	南京大学

10:45-11:00	S15-O-2	气候变化和人类活动影响下大河三角洲沉积演化及其碳储效应	王厚杰	中国海洋大学
11:00-11:15	S15-O-3	不同台风路径对长江口水沙动力的影响研究	谢卫明	华东师范大学
11:15-11:30	S15-O-4	河控或人控：水库调控影响下的黄河三角洲演变	吴晓	中国海洋大学
11:30-11:45	S15-O-5	潮汐对珠江河口八大口门夏季冲淡水的扩展与水龄的影响	张光	中山大学
11:45-12:00	S15-O-6	台风作用下苏北海域波致液化对沉积动力过程的贡献	仲毅	自然资源部第一海洋研究所
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 09：三楼上海厅				7月5日上午
专题 32：东亚大型水系演化：从青藏高原到边缘海的地质记录 主持人：付晓伟、孙习林				
10:30-10:45	S32-O-1	早白垩世一中中新世东亚大型水系演化重建	何杰	中国地质大学（武汉）
10:45-11:00	S32-O-2	黄河三门峡地区及下游钻孔所揭示的三门峡切穿的可能年代	宋盈瑾	汕头大学
11:00-11:15	S32-O-3	构造与气候驱动的大型河流系统演变——以东南亚萨尔温江和伊洛瓦底江为例	张朋	中国地质大学（北京）
11:15-11:30	S32-O-4	碎屑锆石再循环及其对藏东河流演化的制约	李仕虎	中国科学院地质与地球物理研究所
11:30-11:45	S32-O-5	孟加拉湾若开盆地深水区新近纪水道沉积特征及其演化	吴玉何	山东科技大学
11:45-12:00	S32-O-6	喜马拉雅东构造结多阶段快速剥露：尼科巴扇碎屑热年代学证据	陈文煌	中国科学院广州地球化学研究所
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 10：二楼悦华厅 1 号				7月5日上午
专题 41：碳—14 生物地球化学循环 主持人：包锐				
10:30-10:45	S41-O-1	地表系统中黑碳物质（BC）的碳十四同位素示踪研究（邀请报告）	张干	中国科学院广州地球化学研究所
10:45-11:00	S41-O-2	正构烷烃指纹及其同位素示踪河口—近海有机碳来源和迁移过程	押淼磊	华东师范大学

11:00-11:15	S41-O-3	基于碳同位素探索南北极冰川融化在碳循环中的作用	方玲	西北大学
11:15-11:30	S41-O-4	^{14}C 在火山区深部碳示踪中的应用	王丽楠	天津大学
11:30-11:45	S41-O-5	颗粒有机碳向深海海底峡谷输送的路径和机制	林宝治	同济大学
11:45-12:00	S41-O-6	海洋 DOC 光化学降解生成 DIC 的 ^{14}C 同位素特征测定：双同位素稀释法初探与局限分析	卢汐	Stony Brook University
口头报告				
7 月 5 日上午 10:30~12:00				
分会场 11：二楼悦华厅 2 号				7 月 5 日上午
专题 52：海洋负排放的技术路径与示范应用（2）主持人：刘纪化、裴绍峰				
10:30-10:45	S52-O-7	滨海盐沼生态修复：实现海洋碳负排放的有效技术途径	何磊	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
10:45-11:00	S52-O-8	海水 CO_2 矿物封存体系碳酸钙析出影响探究	丁泽晟	浙江大学
11:00-11:15	S52-O-9	基于生态修复的黄河口盐沼湿地负排放技术	谢宝华	中国科学院烟台海岸带研究所
11:15-11:30	S52-O-10	人类活动对辽河口盐沼湿地—大气界面碳通量影响的研究	邢庆会	国家海洋环境监测中心
11:30-11:45	S52-O-11	微藻生物技术进展及其在海洋碳汇中的应用潜力	杜祥	大连理工大学
11:45-12:00	S52-O-12	矿物介导海洋碳泵集成增效	刘冬	中国科学院广州地球化学研究所
口头报告				
7 月 5 日上午 10:30~12:00				
分会场 12：二楼悦贵厅 1 号				7 月 5 日上午
专题 56：俯冲带地球动力学演化及水碳循环过程 主持人：高翔				
10:30-10:45	S56-O-1	俯冲带动力学研究进展与挑战（邀请报告）	李忠海	中国科学院大学
10:45-11:00	S56-O-2	板片挠曲对全球海沟平面曲率的影响研究	张江阳	中国科学院南海海洋研究所
11:00-11:15	S56-O-3	一种可能的新的俯冲起始机制：俯冲侧向传播诱发	王春阳	自然资源部第二海洋研究所

11:15-11:30	S56-O-4	基于 S-net 研究日本海沟处俯冲板块各向异性结构	李轩	同济大学
11:30-11:45	S56-O-5	马里亚纳俯冲板片形态与斑点火山成因机制	林俊国	南方科技大学
11:45-12:00	S56-O-6	雅浦俯冲带热结构及其对地震和岩浆活动的影响	张沐情	中国科学院海洋研究所
口头报告				
7 月 5 日上午 10:30~12:00				
分会场 13: 二楼悦贵厅 2 号				7 月 5 日上午
专题 69: 海洋可再生能源开发技术与环境影响 主持人: 刘延俊				
10:30-10:45	S69-O-1	海上太阳能、风能和波浪能的时空分别规律与互补性研究	郭兵勇	西北工业大学
10:45-11:00	S69-O-2	波浪能随体发电技术与装备	陈卫星	上海交通大学
11:00-11:15	S69-O-3	大型海上浮式光伏系统耦合动力学研究	张显涛	上海交通大学
11:15-11:30	S69-O-4	深远海高机动探测装备的波浪能供电方法研究	薛钢	山东大学
11:30-11:45	S69-O-5	结构参数对离岸 OWC 装置水动力特性的综合影响研究	曲铭	中国石油大学(华东)
11:45-12:00	S69-O-6	垂荡自持式波能装置水动力与获能特性研究	于明琦	中国海洋大学
口头报告				
7 月 5 日上午 10:30~12:00				
分会场 14: 二楼悦贵厅 3 号				7 月 5 日上午
专题 83: 印度洋及周边地学海洋学问题研究 主持人: 周锋、周亚东				
10:30-10:45	S83-O-1	印度洋洋壳的地质分区与基本演化框架	余星	自然资源部第二海洋研究所
10:45-11:00	S83-O-2	西索马里海盆 Davie 断裂带洋壳褶皱变形及构造意义	彭希	浙江海洋大学
11:00-11:15	S83-O-3	印度洋海洋季节内 Kelvin 波在印尼海域的跨赤道传播	徐腾飞	自然资源部第一海洋研究所
11:15-11:30	S83-O-4	源远流长: 基于种群遗传学和数值粒子模拟的印度洋热液区鳞足螺连通机制研究	孙进	中国海洋大学
11:30-11:45	S83-O-5	北印度洋深海典型生境生物多样性维持机制——多尺度调控的营养物质供给	王磊	自然资源部第三海洋研究所
11:45-12:00	S83-O-6	东印度洋生物碳汇研究 (邀请报告)	孙军	中国地质大学(武汉)

口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 15：二楼悦泰厅 3 号				7月5日上午
专题 10：前新生代地球轨道力与全球变化 主持人：吴怀春、李明松				
10:30-10:45	S10-O-1	三叠纪“超级季风”的轨道偏心率尺度演变（邀请报告）	褚润健	中国地质大学（北京）
10:45-11:00	S10-O-2	特提斯西 T-OAE 大洋缺氧事件的高精度年代地层学：来自 GSSP 佩尼谢剖面的全球标准及其对时空异质性的影响	唐闻强	成都理工大学
11:00-11:15	S10-O-3	晚古生代一早中生代旋回地层记录中的天文时间尺度及地月系统参数重建	龚成	成都理工大学
11:15-11:30	S10-O-4	奥陶纪末赫南特期轨道尺度的气候变化	袁菲雪	中国地质大学（武汉）
11:30-11:45	S10-O-5	奥陶纪赫南特期持续时间的天文年代学约束	朱晗宇	北京大学
11:45-12:00	S10-O-6	测井旋回地层学替代指标研究进展与展望	彭诚	中国地质大学（北京）
口头报告				
7月5日上午 10:30~12:00				
分会场 16：二楼悦泰厅 5 号				7月5日上午
专题 25：深渊地质、环境与生命演化专题 主持人：杜梦然				
10:30-10:45	S25-O-1	深渊鱼类的起源、演化和环境适应的分子机理（邀请报告）	何舜平	中国科学院水生生物研究所
10:45-11:00	S25-O-2	深渊钩虾的起源演化及环境适应	张海滨	中国科学院深海科学与工程研究所
11:00-11:15	S25-O-3	深渊海沟沉积黑碳的含量、来源及分布研究	许云平	上海海洋大学
11:15-11:30	S25-O-4	克马德克海沟小规模碳酸盐化碱性玄武岩成因及其与深部碳循环的联系	何源	中国科学院深海科学与工程研究所
11:30-11:45	S25-O-5	马里亚纳海沟“挑战者深渊”俯冲板块的纵横波速度结构特征	贺恩远	中国科学院南海海洋研究所
11:45-12:00	S25-O-6	深海珊瑚的汞同位素特征及其汞来源示踪	刘羿	天津大学
展板报告：13:00~15:00				

7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 01: 蛇纹石化过程与效应: 从地球到行星			
S01-P-1	蛇纹石化过程中氢气、氨和甲酸盐的形成机制实验研究	黄瑞芳	中国科学院南海海洋研究所
S01-P-2S	两阶段蛇纹石化反应过程: 来自秦岭黑木林蛇纹岩的启示	龚美军	西北大学
S01-P-3	俯冲蛇纹岩流体来源及其氧化还原性质: 金属同位素制约	陈祖兴	中国科学院海洋研究所
S01-P-4	蛇纹石化过程中的 Mo-Mg 同位素分馏	李晓辉	中国海洋大学
S01-P-5	深海热液环境富 H ₂ 体系水岩反应过程的原位定量监测: 对生命演化的启示	席世川	崂山国家实验室
S01-P-6	蛇纹岩内流体交代岩的 Mg 同位素研究及其对地幔不均一成因的启示	熊家伟	崂山国家实验室
S01-P-7S	B-Mg 同位素记录菲律宾岛弧成因中的蛇纹岩贡献	乔新月	中国科学技术大学
S01-P-8S	高温高压下橄榄石与碳的反应机制及其对深部碳迁移规律的启示	黄欣婷	中国科学院南海海洋研究所
S01-P-9	藏南雅鲁藏布缝合带日喀则蛇绿岩的多阶段蛇纹石化作用	张畅	中国科学院地质与地球物理研究所
S01-P-10S	西南天山蛇纹岩化方辉橄榄岩的岩石学和变质演化过程研究	唐艳芳	中国地质科学院地质研究所
展板报告: 13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 10: 前新生代地球轨道力与全球变化			
S10-P-1	始新世东亚陆地有机碳埋藏的天文强迫	刘娟	凯里学院
S10-P-2S	天文轨道和火山活动驱动早古新世碳循环扰动和气候演变	张筱玥	中国地质大学(武汉)
S10-P-3S	华南中二叠世轨道驱动的气候变化和生物扰动	刘孟凯	中国地质大学(北京)
S10-P-4S	赫南特阶碳同位素漂移的天文学校准: 来自华南板块海相剖面的记录	欧阳嘉文	中国地质大学(北京)
S10-P-5	轨道信号的沉积保存与天文年代标尺的可靠性研究	王蒙	中国科学院南京地质古生物研究所

S10-P-6	东亚地区早始新世气候适宜期碳循环的天文驱动力	张瑞尧	湖北师范大学
S10-P-7S	末次间冰期期间印尼贯穿流在耦合气候系统模式中的增强：模式与指标的对比研究	魏思华	同济大学
S10-P-8S	四川盆地中二叠统 Roadian-Wordian 阶旋回地层研究	周静琪	中国石油大学（北京）
S10-P-9	中国上泥盆统旋回地层学及古气候变化的天文驱动机制	马坤元	太原理工大学
S10-P-10	温室期偏心率调控的南海陆坡甲烷水合物释放	刘丰豪	同济大学
S10-P-11S	南海琼东南盆地乐东组重力流发育特征及天文轨道驱动因素研究	黄天宇	成都理工大学
S10-P-12S	斜率主导早中更新世东亚低纬水文气候演化	胡建雄	同济大学
S10-P-13S	渤海湾盆地东濮凹陷新生代气候事件的证据：天体年代学和同位素地层学观点	吴宇琦	中国石油大学（北京）

展板报告：13:00~15:00

7月5日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月5日下午

专题 15：全球变化背景下河流三角洲灾害特征、评估及预测

S15-P-1S	远场台风激发的沿岸陷波对南海北部水动力环境的影响——以台风“烟花”为例	胡苏安	中山大学
S15-P-2S	岛屿对珠江口、其相邻海岸与内陆架之间跨陆架输运的影响	胡鹏鹏	中山大学
S15-P-3	黄河三角洲海岸侵蚀特征及影响因素	乔淑卿	自然资源部第一海洋研究所
S15-P-4	波致粉质沉积物海床液化过程及其环境效应研究	任宇鹏	中国海洋大学
S15-P-5	黄河三角洲近海风电场对海表悬浮沉积物时空分布的影响及其生态环境效应	毕乃双	中国海洋大学
S15-P-6	大型浅水等深流沉积的成因探讨——台湾海峡中部浊水溪分离型泥质带	单新	自然资源部第一海洋研究所
S15-P-7S	东海陆架沉积物中痕量金属的跨陆架和沿岸输运	孟鸽	中国海洋大学
S15-P-8S	深圳湾海域一次冬季赤潮的生消过程及其机制分析	朱修全	中山大学
S15-P-9	气候和海平面快速变化调控深海浊流活动	李景瑞	崂山国家实验室

展板报告：13:00~15:00

7月5日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月5日下午

专题 25：深渊地质、环境与生命演化专题			
S25-P-1	深渊动物新类群——石茸：生物学归属与生物多样性	宋希坤	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-2	深渊级分布式声波传感技术及科学应用	张汉羽	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-3	东南印度洋蒂阿蔓蒂那巨型断裂带浅层地质构造和地壳厚度变化研究	高金尉	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-4	马里亚纳俯冲带流体活动驱动的多型锰沉积：矿物和地球化学证据	许恒超	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-5S	事件沉积驱动深渊海底沉积物活跃碳—铁循环	张晗	上海海洋大学
S25-P-6	深渊沉积碳酸盐发现与意义	柳双权	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-7S	马里亚纳海沟不同沉积环境重力柱样有机质垂直分布特征及降解差异	郑可心	上海海洋大学
S25-P-8S	深渊沉积物中病毒的多样性和生态潜力	王镭蒂	中国科学院深海科学与工程研究所
S25-P-9S	深渊新型卤代烷烃脱卤酶的表达纯化、活性以及酶学特性研究	梁启瑞	上海海洋大学
S25-P-10S	马里亚纳海沟沉积物水提溶解有机质特征及生物可利用性探究	耿嘉悦	上海海洋大学
S25-P-11S	日本海沟沉积物自生矿物（六水方解石和黄铁矿）地球化学对事件沉积的响应	余美庚	上海海洋大学
S25-P-12S	深渊海沟铁结合有机质的光学性质和分子组成特征	桑蕾	上海海洋大学
S25-P-13S	深渊海沟有机磷酸酯的来源和环境行为	刘心然	上海海洋大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 32：东亚大型水系演化：从青藏高原到边缘海的地质记录			
S32-P-1	东亚大型河流碎屑锆石相似度定量比较对重构古水系的启示	孙习林	湖北大学

S32-P-2	长江现代沉积碎屑锆石和金红石粒径与 U-Pb 年龄对物源示踪的启示	郭汝军	南京大学
S32-P-3	古东亚河的形成及演化	付晓伟	同济大学
S32-P-4	大河水系演化和全球变冷共同控制上新世—第四纪硅酸盐风化记录：以古黄河为例	李芳亮	海南热带海洋学院
S32-P-5	青藏高原东缘河流动态重组——基于长江第一弯演化的新认识	赵旭东	中国地震局地质研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 35：极地冰盖与冰下地质：环境，过程及演化			
S35-P-1	南极格罗夫山蓝冰区是长周期冰芯气候记录研究的理想区域	史贵涛	华东师范大学
S35-P-2	南极冰盖空气反循环连续取芯快速钻探：系统设计与研究进展	王如生	吉林大学
S35-P-3	南极北维多利亚地中新世以来大规模火山作用的成因：岩石圈拆沉	潘荣昊	中国极地研究中心（中国极地研究所）
S35-P-4	冰下基岩岩心卡断模型构建及协同影响机理分析	王如生	吉林大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 41：碳—14 生物地球化学循环			
S41-P-1S	陆源老化有机碳对北大西洋深海通风年龄重建的影响	王益鹏	中国海洋大学
S41-P-2S	长江—长江口—东海陆架连续体溶解态黑碳的非保守行为初探	伍梦梦	华东师范大学
S41-P-3S	老碳进入海洋生物碳泵	李嘉盈	同济大学
S41-P-4	基于苯多羧酸分子标志物法的吸光性碳质气溶胶芳香连续体解析	莫扬之	中国科学院广州地球化学研究所
S41-P-5	基于植物 $\Delta^{14}\text{C}$ 的深圳市高分辨碳排放空间分布及反演研究	李静	中国科学院广州地球化学研究所
S41-P-6	大气 $\Delta^{14}\text{CO}_2$ 测量揭示中国城市化化石源 CO_2 下降的驱动因素及影响	李平阳	中国科学院广州地球化学研究所

S41-P-7S	具有注意机制的人工神经网络深度学习方法预测海洋生物地球化学数据	刘明志	中国海洋大学
S41-P-8S	基于微流控平台探究海沟孔隙水环境对方解石的保存机制	刘永欣	中国海洋大学
S41-P-9	海沟深渊碳循环	包锐	中国海洋大学
S41-P-10S	海洋沉积物中超细颗粒的分级与有机碳特征研究：基于新型 UPS 装置的应用	郑广金	中国海洋大学
S41-P-11	过去千年南海上层海洋碳储库年龄演变	李琛	同济大学
S41-P-12S	高压环境下裂褶菌的适应机制及其对甲烷合成的调控作用	赵梦实	南京大学
S41-P-13	一种测试土壤中黑碳含量的新方法	李刚	中国气象局兰州干旱气象研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 43：碳酸盐泵与海洋碳循环			
S43-P-1S	硅藻诱导钙化的生物地球化学阈值、机制及其对海洋碳循环的意义	陈麒先	浙江大学
S43-P-2S	实验室培养揭示海洋酸化背景下有孔虫群落的适应机制	曹一飞	中国科学院海洋研究所
S43-P-3	基于冷冻富集技术的超微量碳酸盐碳、氧同位素高精度分析方法及其地质应用	王楠	中国海洋大学
S43-P-4S	基于多普勒激光雷达测风结合涡度协方差技术测定海气 CO ₂ 通量	庞金堰	厦门大学
S43-P-5S	西北太平洋海表 pCO ₂ 空间和季节变化及其调控机制	杨毅	厦门大学
S43-P-6	末次冰期以来东北印度洋颗石藻指示的海洋碳酸盐泵变化	苏翔	中国科学院南海海洋研究所
S43-P-7	苏门答腊岛南部上升流区过去三十万年以来颗石藻碳酸盐泵的变化	周辛全	同济大学
S43-P-8	早中新世生物碳酸盐泵减弱造成海水的二氧化碳缓冲效应增强	马瑞罡	同济大学
S43-P-9S	中新世颗石藻碳酸盐反向泵与海洋碳循环协同变化	孙立舜	同济大学
S43-P-10	碳酸盐泵：现代过程、地质演化与源汇功能	刘传联	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			

富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 47：大陆边缘碳循环过程、演变与记录			
S47-P-1	浙闽泥质区水体输运特征及其生态效应研究：季风模式与台风影响	李云海	自然资源部第三海洋研究所
S47-P-2S	热带中小型山溪性河口及邻近海域沉积物输运与归宿：以马来西亚雪兰莪河口为例	梁灏深	自然资源部第三海洋研究所
S47-P-3	末次冰消期北太平洋冻土退化与有机质迁移的木质素酚类记录	曹梦莉	南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
S47-P-4S	南黄海冷水团跃层多时空尺度演化及其影响因素分析	倪建欣	中国海洋大学
S47-P-5S	浙闽沿岸温盐锋面的多时间尺度变化与影响机制分析及其悬浮体输运响应	张诗睿	中国海洋大学
S47-P-6S	长江口沉积物有机碳垂直分布模式及其控制机理	张巧雯	同济大学
S47-P-7S	基于多源遥感观测的长江口外锋面时空演变耦合机制研究	陈嘉洲	同济大学
S47-P-8S	东海陆架砂泥过渡带早期成岩作用中铁形态特征差异及演化	朱雨萌	同济大学
S47-P-9S	沉积物中矿物对有机质保护作用的微观机制可视化	喻天悦	同济大学
S47-P-10	大亚湾过去 1200 年有机碳埋藏变化及其影响因素	黄超	广东海洋大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 52：海洋负排放的技术路径与示范应用			
S52-P-1	滨海芦苇湿地土壤微生物对增温及其他胁迫因子的响应：对碳固存与生态系统稳定性的启示	裴理鑫	中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心
S52-P-2	典型海洋生态系统甲烷释放通量及影响因素	段晓勇	中国地质调查局青岛海洋地质研究所
S52-P-3S	基于潮滩的海水碱度提升技术：碱性材料及固碳潜力评估	李心语	同济大学
S52-P-4S	微藻生产与污水碱化联合的海洋碱度提高增汇	罗文军	厦门大学
S52-P-5S	硅藻—橄榄石界面作用及其协同固碳效应	余荣达	中国科学院广州地球化学研究所
S52-P-6S	一种用于高效培养微藻的新型薄层喷泉光生物反应器的开发及放大设计	王嘉麟	厦门大学

S52-P-7S	基于新型变频混合技术的薄层喷泉光生物反应器提升螺旋藻能源利用率与生产效率	张铭静	厦门大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 55：西太平洋中生代残留洋壳			
S55-P-1	东海盆地离岸岩浆活动记录的地球化学与同位素证据揭示华南~110 Ma 大陆弧	胡立晨	同济大学
S55-P-2	台湾“古垦丁混杂岩”：古太平洋板片俯冲—增生遗迹	赵奇	中国科学院广州地球化学研究所
S55-P-3	加瓜海脊夭折俯冲起始的深部结构特征	马波	同济大学
S55-P-4	对西北太平洋晚中生代岩浆活动的若干思考	徐文景	中国科学院深海科学与工程研究所
S55-P-5	花东海盆岩石圈与富水弧岩浆的交代变质反应及地质意义	余梦明	同济大学
S55-P-6	吕宋—琉球盆地：与花东海盆同期的另一个中生代残留洋盆？	钟广法	同济大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 56：俯冲带地球动力学演化及水碳循环过程			
S56-P-1S	新生代气候驱动机制转变：从构造脱气到硅酸盐风化	刘少辉	中国科学院地质与地球物理研究所
S56-P-2S	南海东北部洋壳沿马尼拉海沟中-晚第四纪俯冲速率变化：来自地震地层学分析的启示	邹松	同济大学
S56-P-3S	古特提斯洋斜向俯冲闭合与华北板块中晚三叠世古地理响应：来自鄂尔多斯盆地碎屑锆石与地球化学的证据	冯英琪	中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院
S56-P-4S	利用纵横波速度比估算成熟慢速扩张的海洋地壳中因蛇纹石化产生的过量化合结合水含量	李莲君	英国伦敦帝国理工学院
S56-P-5S	人工智能方法构建马里亚纳俯冲带中部精确地震目录	奚弘钊	中国科学院海洋研究所
S56-P-6S	马尼拉俯冲带输入板块热流异常及其对板内水热循环的指示	宋子龙	中国科学院海洋研究所

S56-P-7	新特提斯洋俯冲起始：来自变质底板年代学的约束	沈洁	中国地质调查局 海口海洋地质调查中心
S56-P-8S	东南亚环形俯冲系统地幔对流模式的三维地球动力学模拟研究	田昊	南方科技大学
S56-P-9S	俯冲带挥发分循环的数值模拟研究——以 H 和 C 为例	张睿	中国科学院地质与地球物理研究所
S56-P-10	后石榴子石缓慢相变诱发俯冲板片在下地幔顶部的停滞	湛永强	中国科学院地质与地球物理研究所
S56-P-11S	基于改进深度学习模型 Segformer 的全球海山语义分割研究	刘斯宇	南方科技大学
S56-P-12	雅浦海沟卡洛琳脊俯冲的动力学过程：以二维数值模拟为例	程子华	中国科学院南海海洋研究所
S56-P-13	辽吉构造带碱性岩浆作用与稀有稀土成矿过程简述	鞠楠	中国地质调查局 沈阳地质调查中心
S56-P-14S	洋底高原俯冲对海沟几何形态的影响：以卡洛琳脊—雅浦海沟为例	赵磊	中国科学院南海海洋研究所
S56-P-15S	地震密集台阵揭示华夏地块地壳不均匀性及其构造意义	张晗	中山大学
S56-P-16S	岩石圈抗弯刚度在诱发型俯冲起始中的作用	蒋心怡	中国科学院南海海洋研究所
S56-P-17	古亚洲洋东南段晚古生代穿时性俯冲起始：对华北北缘被动陆缘向活动陆缘转变的启示	曾浩	中国科学院地质与地球物理研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 60：自然环境变化和人类活动影响下的硫循环			
S60-P-1	沉积过程对自生黄铁矿硫同位素的约束机制	刘喜停	中国海洋大学
S60-P-2	富甲烷海洋沉积物自生黄铁矿研究及其对硫、铁循环的记录	林志勇	汉堡大学
S60-P-3	海洋自生黄铁矿对大陆边缘非稳态沉积和成岩过程的响应	刘晨晖	崂山实验室
S60-P-4S	海底沉积物中硫酸盐驱动 AOM 过程的硫同位素分馏模拟及其地质意义	查日环	南京大学

S60-P-5	黄铁矿多硫同位素记录了海水百年一千年时间尺度的氧化还原波动	于晓晓	中国科学院广州地球化学研究所
S60-P-6S	基于海洋沉积黄铁矿的早始新世以来北冰洋古环境研究	毕圣逸	南方科技大学
S60-P-7	氧化还原条件和来源对冷泉沉积物钼同位素组成的控制	苗晓明	中国海洋大学
S60-P-8S	瓜伊马斯盆地深部热液沉积物温度约束下的碳硫成岩作用	吴柄政	中国海洋大学
S60-P-9	海洋生源二甲基硫化物的源汇过程及其对环境变化的响应	高旭旭	山东大学
S60-P-10	超硫化物的环境微生物学：代谢途径、细胞感应与环境监测新工具	王天琪	山东大学

展板报告：13:00~15:00

7月5日下午 13:00~15:00

富悦厅 3+明珠厅

7月5日下午

专题 69：海洋可再生能源开发技术与环境影响

S69-P-1S	水下六自由度机械臂的瞬态动力学分析	王星耀	山东大学
S69-P-2	同轴双浮体波能装置阵列共享系泊性能研究	董晓晨	中国海洋大学
S69-P-3	波浪能装置阵列的激励辨识与协同控制方法	张振全	中国石油大学（华东）
S69-P-4S	波浪能制氢装置研究	游秀	山东大学
S69-P-5	海上风能及潮流能发电装置捕能机理	刘延俊	山东大学
S69-P-6S	混合驱动仿生水下机器人建模与运动控制研究	白发刚	山东大学
S69-P-7S	抛物型防波堤作用下共享系泊振荡水柱波能转换器阵列的水动力与能量捕获分析	魏长栋	山东大学
S69-P-8S	海洋温差能循环中压力能的综合利用与优化研究	田明倩	山东大学
S69-P-9S	基于海洋温差能发电系统的大功率平台实验研究及性能分析	路北辰	山东大学
S69-P-10S	内置波能发电装置的海工浮桥获能与随波平稳特性研究	王俊	山东大学
S69-P-11	弹簧摆浮子波浪能装置双频获能特性研究	黄淑亭	山东大学
S69-P-12S	海洋可再生能源开发技术与环境影响研究	徐子明	山东大学
S69-P-13S	点吸收波能转换器阵列液压动力输出系统的设计与控制	王登帅	山东大学
S69-P-14S	基于动态模态分解的振荡浮子系统降阶与捕能优化控制	马靖然	山东大学
S69-P-15S	融合扩张状态观测器与无抖振终端滑模控制的海洋平台自动化铁钻工高精度控制策略	高涵	山东大学
S69-P-16S	不同透平运行模式对振荡水柱波浪能发电装置能量转换性能影响研究	袁震宇	山东大学

S69-P-17S	基于非线性干扰观测器的自适应反演滑模控制的机器鱼轨迹跟踪控制研究	孙军涛	山东大学
S69-P-18S	WECs 微阵列与 TGL 半潜式浮式平台集成混合系统的数值分析研究	李明辰	山东大学
S69-P-19	基于蓄能—阀控的振荡水柱波浪能系统高效稳定能量转换方法研究	刘延俊	山东大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 75：深水浅层气与水合物勘探开发			
S75-P-1	琼东南盆地高饱和度浅层气富集的主控因素研究	王秀娟	中国海洋大学
S75-P-2	水平井和大斜度井砾石充填中充填材料或标准的选择：实验、数值模拟和建议	史浩贤	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S75-P-3	砂质天然气水合物成藏特征及研究进展	匡增桂	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S75-P-4	南海南部北康盆地海底渗漏原油来源及地质意义研究	黄伟	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S75-P-5S	固体表面润湿性调控下甲烷水合物稳定性的分子模拟研究	王逸雯	武汉科技大学
S75-P-6	琼东南地块体搬运体系沉积特征及其对下覆水合物藏的影响	孟苗苗	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S75-P-7S	南海莺—琼盆地深水浅埋未固结沉积物封盖能力实验研究	时欣磊	成都理工大学
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 77：温室地球古海洋与古气候			
S77-P-1S	天文轨道周期控制下的下寒武统筇竹寺组页岩矿物—有机质差异性分布	张轩昂	西南石油大学
S77-P-2S	早侏罗世极热事件期间中纬度巨型湖泊营养盐循环的风化控制	李嫚	河海大学
S77-P-3S	四川盆地地下侏罗统大安寨段天文年代校准与碳同位素地层学研究：对托阿尔期大洋缺氧事件成因的启示	栾旭伟	中国石油勘探开发研究院

S77-P-4S	早侏罗世大规模碳释放引发由风化作用导致的陆地汞通量的快速增加	朱玉晴	中国地质大学 (武汉)
S77-P-5	白垩纪大洋缺氧事件 1a 期间海洋缺氧与碳酸盐台地演化	许艺炜	中国科学院南京 地质古生物研究所
S77-P-6	西藏南部特提斯喜马拉雅带 Aptian 时期高分辨率有机碳同位素地层学及大洋缺氧事件 OAE1a 的记录	韩凯博	河北地质大学
S77-P-7S	温室气体与轨道强迫对海洋缺氧事件 OAE2 的协同作用	崔琪	北京大学
S77-P-8S	钙质超微化石对东特提斯洋 OAE2 内部 PCE 冷事件的响应	张艺	中国地质大学 (北京)
S77-P-9	中始新世南半球中高纬气候变暖及其驱动机制: 来自元素地球化学和 Li 同位素的证据	王薇	同济大学
S77-P-10S	始新世暖期秦岭东段卢氏盆地沉积过程与气候环境	邵可涵	南京大学
S77-P-11S	同位素质量平衡模型开发与早始新世降水定量重建	梁承弘	南京大学
展板报告: 13:00~15:00			
7 月 5 日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7 月 5 日下午
专题 80: 事件沉积记录: 过程与触发机理			
S80-P-2S	北太平洋赫斯海隆深水区沉积动力过程的垂向分异规律	洪昱恺	自然资源部第二 海洋研究所
S80-P-3	琼东南盆地 W05 钻孔记录的 210kyr 以来多期次深海块体流沉积形成时间厘定	郭睿波	中国地质调查局 广州海洋地质调查局
S80-P-4	南海北部 IODP 岩心揭示的聚集式发生的滑坡事件及其对年代和地质灾害的启示	卢银	同济大学
S80-P-5S	晚第四纪气候和海平面变化对南海北部大陆边缘浊流活动的控制	付亚兰	中山大学
S80-P-6	热带东南亚对北半球高纬快速气候事件的响应机制研究	黄杰	中国科学院海洋 研究所
S80-P-7S	末次冰消期渤海湾西北岸环境演变与气候变化	孙秀云	河北师范大学
S80-P-8	滞后的全新世大暖期促进了青藏高原全新世中晚期过渡阶段融水量的增加	卢红选	中国科学院地球 环境研究所
S80-P-9S	渤海 1.35Ma 以来构造运动控制的第四纪海侵过程: 来自渤海东部 CSH05 孔的新发现	熊伟	中国地质调查局 青岛海洋地质研究所
S80-P-10	新西兰大南盆地岩浆通道系统	曹鑒	辽宁工程技术大学

S80-P-11S	热液事件沉积作用的矿物学与地球化学响应：以银额盆地早白垩世"白烟囱"事件为例	张浩然	吉林大学
S80-P-12S	鄂尔多斯盆地中晚三叠事件沉积控制下的沉积模式及勘探意义	冯英琪	中国石油勘探开发研究院
S80-P-13	新仙女木期间百年尺度东亚冬季风变化	刘星星	中国科学院地球环境研究所
展板报告：13:00~15:00			
7月5日下午 13:00~15:00			
富悦厅 3+明珠厅			7月5日下午
专题 83：印度洋及周边地学海洋学问题研究			
S83-P-1S	印度洋地幔结构特征与成因初探：基于全球地震层析成像模型的约束	余娅娜	自然资源部第二海洋研究所
S83-P-2	印度洋固体圈层的地质、地球物理和地球化学大尺度异常	余星	自然资源部第二海洋研究所
S83-P-3S	西北印度洋脊重磁异常特征	张宁	自然资源部第二海洋研究所
S83-P-4S	基于机器学习的印度洋板内玄武岩地球化学特征提取	李会晨	浙江大学
S83-P-5S	大洋中脊拆离断层系统深部岩浆动力学过程：基于全球尺度玄武岩主量元素压力计的约束	胡航	浙江大学
S83-P-6S	北极超慢速扩张洋中脊地壳增生过程研究	刘向群	南方科技大学
S83-P-7S	伊诺瓦底江冲淡水对孟加拉湾表层盐度影响	黄挺	上海交通大学
S83-P-8	2019/2020 冬季赤道印度洋东部和孟加拉湾南部中型浮游动物对印度洋正偶极子（pIOD）和冷涡的响应	杜萍	自然资源部第二海洋研究所
S83-P-9S	冬季孟加拉湾北部反气旋涡旋对上层混合层结构的影响及生态响应：基于生命周期的分析	田昊然	自然资源部第二海洋研究所

特邀专题 / 颁奖 / 闭幕式（15:30-16:50）			
7月5日下午 15:30~16:50			
主会场：三楼东方厅			7月5日下午
特邀专题（15:30-16:30）主持人：翦知潜			
15:30-15:50	地球系统科学的国际走向	周力平	北京大学
15:50-16:10	从内核到海平面的耦合共振	宋晓东	北京大学
16:10-16:30	地球系统科学的升级版	汪品先	同济大学
优秀学生展板颁奖（16:30-16:40）			
闭幕式（16:40-16:50）			

大会特邀报告

大地幔楔与东亚地质演化

徐义刚^{1*}, 李洪颜¹, 刘亮¹, 杨传茂¹, 钟玉婷¹, 马强¹, 邓阳凡¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* yigangxu@gig.ac.cn

晚中生代以来, 东亚大陆边缘发生了一系列重大地质事件: 西太平洋板块俯冲、燕山运动、华北克拉通破坏、大型陆内含油气盆地、大花岗岩省、南北重力梯度带等等。目前, 华北克拉通破坏与西太平洋板块俯冲相关是学界的重要共识, 但西太平洋板块俯冲系统如何影响东亚地质演化还没有统一的认识。在地理上, 西太平洋和东亚大陆相连, 但两者的关联绝非仅限于此, 而是被隐藏在地幔深部的、巨型俯冲板片像带子一样紧紧地捆绑着在一起。起源于海沟的俯冲作用对俯冲上盘的影响通常在距离海沟 200 公里左右的范围, 而西太平洋板块的俯冲的方式却与众不同, 地震学家揭示它俯冲到地幔转换带并没有穿越地幔转换带 (MTZ), 而是平躺在 MTZ 之中, 其前锋一直可以追溯到大兴安岭、太行山一线, 距离现今海沟 2000 多公里。地质学家将俯冲带俯冲板片之上的楔状地幔称为地幔楔, 俯冲板片与地幔楔之间的物质和能量交换导致了岛弧岩浆的产生, 是板块构造理论的经典内容。由于东亚大陆下的地幔转换带中普遍存在俯冲板片, 因此将滞留板片之上的地幔称为大地幔楔, 虽然它并不成楔状。与弧下地幔楔相比, 东亚大陆下的大地幔楔很大, 其深度一直到 400-500 公里, 远大于弧下地幔楔的深度 (100 公里左右); 在平面上, 它几乎覆盖了重力梯度带以东的广泛区域。作

为一种新发现的深部构造, 东亚大地幔楔的形成机理以及它在地表地质演化中的作用在经典的板块构造理论中以及现在流行的教科书中是找不到的。本文基于年代学、岩石地球化学、地球物理和地球动力学模拟等综合研究, 提出东亚的地质演化与大地幔楔的形成和演化有关, 阐明西太平洋和东亚大陆衔接带是探索地球深浅联动机制的重要场所。

中亚造山带复式增生过程及成矿作用

肖文交^{1,2*}

¹ 中国科学院新疆生态与地理研究所

² 中国科学院地质与地球物理研究所

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

中亚造山带由西伯利亚-图瓦-蒙古山弯构造、哈萨克斯坦山弯构造和塔里木-华北三大拼贴体系组成, 三者在外部大洋基础上发生复式拼贴过程, 先后关闭了古亚洲洋和蒙古-鄂霍茨克洋。西部的哈萨克斯坦山弯构造主体于早古生代弧-弧拼贴形成复合长岛弧链, 于晚石炭-早二叠世开始逐步发生弯曲, 并最终于晚二叠-早三叠世完成全部弯曲过程。东部早古生代发育由西伯利亚为头部、图瓦-蒙古山弯构造为尾部的巨型“蝌蚪”, 在晚古生代-早中生代发生“摇头” (西伯利亚顺时针旋转)、“摆尾” (图瓦-蒙古山弯构造早期大规模旋转并早期弯曲), 往西加入北疆地区与哈萨克斯坦山弯构造发生复式拼贴。塔里木-华北拼贴体系于晚二叠世组成统一陆块链, 并逐渐向北拼贴, 其西段于晚二叠-中晚三叠世闭合, 而东段则闭合于早-中三叠世, 形成天山-北山-阿拉善-索伦缝合带。随后, 图瓦-蒙古山弯构造于晚侏罗-早白垩世最终完成弯曲关闭其围限的蒙古-鄂霍茨克洋, 形成蒙古-鄂霍茨克缝合带。复式增生过程导致巨量新生物物质添加到中亚大陆, 造就了世界级铜金多金属成矿带。

奥陶纪末大灭绝与有颌脊椎动物崛起

朱敏^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
* zhumin@ivpp.ac.cn

奥陶纪末生物大灭绝是显生宙发生的第一次大规模集群灭绝事件，深刻影响了古生代演化动物群和脊椎动物的整体演化进程。脊椎动物自寒武纪出现以来，在奥陶纪、志留纪和泥盆纪依次发生了若干重要演化跃升，包括从无颌到有颌、鱼类登陆等。这些跃升伴随着脊椎动物身体演化潜力的极大增加，塑造了包括人类在内的今日脊椎动物身体构型。颌以及与之相关的牙齿的出现，大大加强了脊椎动物的主动捕食和呼吸能力，使得脊椎动物能向更广阔的生态位特别是顶级捕食者和大型动物的生态位扩展。

分子钟证据表明，颌的起源时间点不晚于中奥陶世。然而，有颌类较为完善的化石记录长期以来是在泥盆纪，更早的有颌类化石几乎是一片空白。近年来在我国志留纪一系列类群多、保存完整的有颌类的发现，为研究有颌类崛起提供了极为珍贵的实证，证实志留纪早期的有颌类无论在形态歧异度还是分类多样性上均已很高。但这一时期有颌类体型很小，分布范围也非常局限。到志留纪晚期，有颌类已经演化出体型较大的属种，并扩散到全球。有颌类在志留纪早期的快速崛起，是奥陶纪末大灭绝之后复苏过程的一部分，深刻改变了海洋食物网结构，并促成了泥盆纪游泳生物革命。基于“深骨”数据平台，我们对奥陶纪至泥盆纪脊椎动物多样性变化模式进行了初步刻画，探讨有颌脊椎动物快速崛起的格局与其中可能的环境机制，为揭示全球环境变化对海洋生态系统的影响提供一个实例。

晚奥陶-早志留世生命-地球表层环境变化的深部驱动

沈延安^{1*}

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

晚奥陶-早志留世地球表层环境和生物圈组成发生了一系列重要变化，大气二氧化碳含量的不断降低促进了赫南特冰期的形成，其中冰川沉积物的分布主要集中于冈瓦纳大陆南缘的极地地区。传统观点认为冰期开始于赫南特阶的底部并于其顶部结束，持续时间较短。伴随着赫南特冰期的开始和结束，发生了两幕生物灭绝事件即晚奥陶世生物灭绝事件。因此，赫南特冰期被认为是导致晚奥陶世生物灭绝的主要机制。但近年来的研究发现，赫南特冰期并非是导致晚奥陶世生物灭绝的唯一原因。大规模火山喷发对晚奥陶世生物灭绝特别是第一幕生物灭绝产生了重大影响。本报告以稳定四硫同位素等为主线剖析晚奥陶-早志留世地球表层环境变化以及它们与冰期形成的时空关系；进一步探讨地球深部活动如何驱动表层环境变化。通过对全球代表性沉积盆地的多手段分析揭示全球环境变化的特征及其导致晚奥陶世生物灭绝事件的过程和机制。

北极深部探测揭示洋中脊增生新机制

李家彪^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学与划界全国重点实验室
* jbli@sio.org.cn

洋中脊是海洋岩石圈的“诞生地”，地球固体循环的开端。洋中脊岩石圈的增生过程及其成因机制是板块构造理论的关键动力环节。洋中脊的扩张速率从快速（80毫米/年）到超慢速（<20毫米/年）不等。

目前广泛接受的被动地幔上涌模型认为:在快速和慢速扩张洋中脊,地壳厚度相对均一;在超慢速扩张洋中脊,传导冷却增强导致洋壳极度减薄,甚至为零。然而,最新的北极深部地球物理探测发现全球最慢速扩张的北极加克洋中脊的地壳并非极度减薄,而是存在超厚地壳,并在时空尺度上大幅值强烈变化,岩浆供给高度不均,这极大地挑战了传统被动上涌模型。通过超慢速洋中脊的系统分析和模拟,我们提出主动地幔上涌这一新的动力学机制。进一步对比全球不同速率洋中脊观测数据,我们认为全球洋中脊系统均受主动和被动地幔上涌双机制控制,其中被动地幔上涌模式在快速和慢速扩张两种类型的洋中脊中占主导地位,而主动地幔上涌模式在超慢速扩张洋中脊中占据了主导地位。

ENSO 及其影响对全球变暖的响应

蔡文炬^{1*}

¹ 崂山实验室

* cwjresearch@gmail.com

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)现象发生和发展于赤道太平洋,可对全球气候产生深远影响,因此理解其对全球变暖的响应机理至关重要。最新一代气候模式结果表明,热带东太平洋呈现出变暖速度快于周边海区的“类厄尔尼诺”型平均态增暖现象。此外,1960年以来观测到的 ENSO 变率显著增强,表现为强厄尔尼诺、强拉尼娜和多年持续型拉尼娜事件的增多,这与模式预估的 ENSO 变率在 2100 年前增强一致。与此同时,热带太平洋平均态的变化和 ENSO 变率的增强加剧了热带和副热带北太平洋之间的双向耦合,增强了西太平洋副热带高压及热带北大西洋海温的变率,加速了南极陆架水的变暖,并加重了变暖导致的全球经济负担。若全球变暖持续到 2300 年,赤道太平洋将发展成东部显著升温的永久性“类厄尔尼诺”状态,而 ENSO 变率将从

2100 年之前的增强转变为之后的快速减弱,表明 ENSO 对全球变暖的强非线性响应。

火星多时间尺度环境演变

陈凌^{1*}

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所

* lchen@mail.iggcas.ac.cn

火星是太阳系中与地球最为相似的行星,两者共同位于宜居带内。因此,火星一直是搜寻地外生命、理解行星宜居性的国际焦点。火星探测的核心是认识其环境演变,特别是水的活动历史。欧美国家对此已开展大量研究,但多集中在火星南部高地早期(30 亿年前)水活动和极区冰盖现代水冰过程,认识存在明显时空空白。基于我国首次火星探测任务“天问一号”获得的科学数据,我们在这一领域开展了多学科综合研究。利用祝融号火星车低频雷达数据,通过深入分析和精细成像,实现了火星地下 80 米深度雷达精准探测,发现在祝融号着陆区,即火星最大撞击盆地——乌托邦平原的南部,数米厚的火壤层之下约 10-30 米和 30-80 米深度呈现分层结构特征,而 30-80 米层还具有明显横向结构变化。综合分析表明,分层结构分别反映约 35-32 亿年前大洪水、16 亿年以来瞬时洪水沉积地层;横向结构变化则对应长时间冻融循环形成的冰楔成因古多边形地貌。虽然基于雷达数据在现今乌托邦平原南部地下 80 米深度未探测到液态水,但对沙丘地貌的地质学研究则证实,140 万年以来这一火星低纬地区表面存在大气降霜降雪来源的液态水,并发生风沙活动与水活动交替的短时间尺度气候干湿变化。这些研究表明,火星经历了由强变弱的长期水活动历史和多时间尺度环境演变过程。进一步对祝融号获取的人类首次火星表面磁场巡视测量数据进行标定分析,发现火星全球磁场强度在约 36 亿年前骤然下降,导致火星环境发生重大转变,也对应于水活动减弱的起点。在这之后全球弱磁场持续存在,为火

星维持长期的水活动提供了关键磁场约束。未来需要针对火星上水的全空间分布与时间演化,水活动、火山活动、撞击作用、风化作用以及磁场发电机运行过程等如何相互影响与联系等重要问题,开展全面探测、系统分析和比较行星学综合研究。

深海微生物环境适应及其记录的地球过程

肖湘^{1*}, 赵维受¹, MEER 团队¹

¹ 上海交通大学, 生命科学技术学院

* zjxiao2018@sjtu.edu.cn

马里亚纳海沟环境与生态计划 (Mariana Trench Environment and Ecology Research, MEER, 深渊计划) 形成于 2021 年 10-12 月的“奋斗者”号载人潜水器第一个常规科考应用航次 (TS21-2 航次), 在航次中, 来自上海交通大学、中国科学院深海科学与工程研究所、华大生命科学研究院等多家单位的 23 位参航科学家对马里亚纳海沟、雅浦海沟、菲律宾海盆进行系统调查。航次中共采集沉积物样本 227 份、分层样本 1729 份、现场培养样本约 400 份、原位水体过滤样本 33 份。超大样本量催生了深渊计划的发起和执行, 迄今已产生深渊宏基因组、转录组、蛋白组数据约 100TB, 构建了当前全球最大的深渊微生物数据集, 也是已知最大的海洋微生物单一生境数据集, 为开展深海微生物高压、低温、寡营养等极端环境适应及其记录的地球过程提供了可能。

研究表明马里亚纳海沟高达 115 MPa 的超高压下激发了极高的微生物多样性和新颖性, 包含 7,564 个物种 (89.4% 为未报告物种), 显示出高度的分类学新颖性。生态驱动力分析表明, 与已报告的其它环境不同, 中性漂移在深渊作用极小, 而同质选择 (HoS, 50.5%) 和扩散限制 (DL, 43.8%) 作为主导的生态驱动力出现。HoS 倾向于选择具有关键功能以适应深渊环境的精简基因组, 例如, 芳香族化合物利用

(寡营养适应) 和抗氧化 (高压适应)。相反, DL 促进了具有更大基因组的多功能代谢。同时进行的水体环境蛋白组研究也发现与芳香族化合物降解相关的酶和抗氧化酶在深渊环境下高表达, 和环境基因组解析的结果一致。为进一步证实环境基因组与环境蛋白组分析得出的结论, 我们选择 6 种在海洋表面难降解底物, 开展了 540 天实验室模拟原位高压下培养研究, 证实高压激发的微生物过氧化推动了这些化合物 (包括含芳香环的 PET 塑料) 的降解。深渊计划的研究揭示了深海高压下广泛存在而迄今被忽视的生物地球化学循环过程。此外通过深渊环境中的原核生物与病毒的迁移, 我们反演了深渊洋流的过程和历史变迁, 这是对现有大深度物理海洋调查的一个重要补充。

青年学者论坛

鸟类起源与演化中的功能形态研究进展

胡晗^{1*}

¹ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* huhan@ivpp.ac.cn

鸟类的起源与演化是脊椎动物演化研究的核心议题之一, 然而由于相关化石多为压扁保存, 长期以来限制了基于三维数据的定量分析方法在该领域的应用。近年来, 随着高精度 X 射线与同步辐射扫描技术的迅速发展, 压扁化石的三维重建成为可能, 结合三维几何形态学等先进的功能形态分析手段, 正推动相关研究迈入系统化、量化的新阶段。基于高精度三维扫描重建, 研究者揭示了始祖鸟与热河鸟等关键化石类群的完整三维形态, 并在此基础上整合大量现生鸟类数据, 从功能形态学角度探讨了鸟类的起源与演化过程, 包

括鸟类食果行为的最早证据以及恐龙/鸟类过渡期的结构特征和运动方式演变等。这些研究成果不仅为鸟类起源与演化这一脊椎动物演化关键事件中的生态信息提供了可靠证据，也展示了高维数据与先进的定量分析方法在古鸟类研究中的潜力和前景。

岩层记忆里的天文节拍—— 旋回地层学揭示远古地球的 轨道演化历史

黄何^{1*}

1 成都理工大学，沉积地质研究院
* huanghe@cdut.edu.cn

太阳系行星轨道演化研究奠定了深时高分辨率地质年代学重建的解决方案。当前，天文动力学模拟虽已实现高精度时空延伸，但受限于太阳系的混沌特性，初始条件的微小偏差在 50 百万年之后会引发指数级误差增长，导致轨道参数不确定性显著增加。为此，旋回地层学作为记录行星轨道运动的独特地质载体，正通过整合高分辨率地层记录与天文模型反演，推动深时天文周期验证及轨道参数重建。本研究通过对地层记录中的天文旋回信号进行深入分析，结合蒙特卡洛贝叶斯计算，获得了过去 7 亿年至 2 亿年前的地球自转参数、地球自转周期和地-月距离。在这一时期，地月距离增加了约 20000 公里（每百年增加约 4 米），日长增加了约 2.2 小时（每百年增加约 1.58 毫秒）。此外，地质历史时期的超大陆聚合和冰川发育也会影响地球自转速率，但通过数值计算得出地球过去 5 亿年至 3.5 亿年自转减速停滞的原因主要归因于当时大陆-海洋结构导致的潮汐耗散减弱，而不是超大陆聚合或冰川作用导致的地球动态椭球度变化。然而，当地球自转速度减缓到一定阈值时（即：一天的时长大于 23 小时 45 分时），潮汐耗散作用将不占主导地位。通过对比同时期的生物演

化数据、海洋地球化学数据等，本研究还发现地球自转的两个主要减速期可能促进了新元古代和古生代的两次全球增氧事件，同时也为早期海洋生态系统的演化提供了必要的条件。

板块俯冲动力学与地幔各向 异性的研究进展

孔凡圣^{1,2*}

1 海底科学与划界全国重点实验室
2 自然资源部第二海洋研究所
* kongfs@sio.org.cn

俯冲作用是地表物质返回地球深部的主要方式，对地球深部物质不均一及地震火山海啸等自然灾害的引发具有重要的控制作用。在海洋板块俯冲过程中，由于热结构或物质组成不均一性等因素，俯冲板块可能发生破裂，表现形式包括断离、撕裂或形成板片洞。俯冲板块破裂会加剧物质与能量交换，导致局部地幔对流、热物质上涌，并引发显著的地震活动和大规模岩浆活动。深入研究板块破裂及其地幔动力响应机制，以及深俯冲板片的平躺滞留过程，对于揭示俯冲带物质循环、大型地质灾害的成因机制具有重要的科学意义，同时也是深化板块构造动力学理论的核心主题之一。通过提高地震各向异性空间分辨率的系列方法创新，创新性获得俯冲带从地壳至下地幔的地震各向异性的分层结构，揭示了俯冲带不同深度圈层新的动力学特征，1) 确立了俯冲板块破裂引发大规模岩浆活动的深部动力学证据；揭示了南海深部动力过程与周边俯冲碰撞的远程关联；2) 发现下地幔存在亚稳橄榄石的地震学证据，提出了俯冲板片在下地幔平躺滞留的新的可能机制。这些研究成果增进了关于俯冲带从浅部至深部关键动力过程的理解，丰富了对板块俯冲破裂的上地幔动力学响应机制和下地幔俯冲板块的滞留平

躺机制的科学认识，为深化全球俯冲带动力学理论研究提供新的科学依据。

橄榄石溶解与功能微生物筛选在污水碱化增汇中的应用与机理探讨

孟雅冰^{1*}

¹ 厦门大学碳中和创新研究中心

* mengyb@xmu.edu.cn

随着全球气候变化的加剧，碳中和目标的实现和海洋碳负排放技术的应用已成为应对气候变化的重要策略。本研究聚焦污水碱化增汇这一新型海洋碳负排放方法，探讨橄榄石颗粒溶解在该过程中的关键作用及其与功能微生物群落的相互作用。通过实验室模拟和现场实验，研究揭示了橄榄石溶解在提升尾水 pH 值和促进碳固定方面的潜力。同时，筛选了具有特定功能的微生物，以进一步增强海洋碳汇效应。上述研究为污水处理技术与海洋碳汇的协同作用提供了新的科学视角，并对未来海洋碳负排放技术的应用具有重要的理论与实践意义。

早期真核生物的宏演化模式

唐卿^{1*}

¹ 南京大学，地球科学与工程学院

* qingt@nju.edu.cn

真核生物的出现是生命演化史上最重要的演化革新事件之一。揭示真核生物起源与早期演化将了解生命演化规律，解密宜居地球以及探索地外生命等重大科学问题提供参考价值。然而，学界对早期真核生物演化的认识目前多停留在对特定化石类型或局部剖面的定性描述层面，缺乏对整个元古宙的古生物地层数据进行有机整合以及系统的定量化研究，导致很难从

宏观层面来评估早期生命演化的整体发展规律，即宏演化模式。本研究通过收集全球已报道的从元古宙到寒武纪早期的生物地层学、年代地层学、化学地层学、岩石地层学等相关地层数据，构建了目前全球数据最完整的元古宙-寒武纪早期综合地层数据库。在此基础上，利用定量地层学约束最优化软件（即 CONOP.Para）计算得到事件最优排序的综合剖面，结合贝叶斯时间-深度模型计算所有化石物种的地层延限，进而绘制出地球从 20 到 5 亿年前高分辨率真核生物多样性演化曲线。该曲线显示成冰纪“雪球地球”事件是地球早期生命演化的重要分水岭：成冰纪之前生物多样性缓慢稳定增长，但随着“雪球地球”事件结束，真核生物演化明显加速，物种多样性剧增且频繁波动，在埃迪卡拉纪和寒武纪早期发生多次生物大辐射和大灭绝事件。该研究揭示了全球性极端气候及地表温度与氧气含量等环境因素的骤变会对早期地球生命演化进程产生重大影响。这些认识对探索地外生命以及评估未来地球宜居性具有参考意义。

赤道西太平洋温度半岁差信号的驱动机制

吴志鹏^{1*}，尹秋珍¹，André Berger¹，郭正堂²

¹ 比利时新鲁汶大学，地球与生命科学研究院

² 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* zhipeng.wu@uclouvain.be

赤道西太平洋在全球气候系统中扮演着至关重要的角色。已有大量研究揭示了赤道西太平洋温度变化中的经典轨道周期，并对其驱动机制进行了合理的阐释。然而，作为赤道地区太阳辐射变化的独特特征和“低纬驱动理论”的核心内容之一，半岁差周期（~10 kyr）的研究仍相对较少。本文基于过去 80 万年的瞬变气候模拟实验和五个钻孔的高分辨率温度重建记录，系统探

讨论了赤道西太平洋温度变化的半岁差信号。研究结果显示,赤道西太平洋的温度变化存在显著的半岁差信号。模拟结果进一步表明,赤道西太平洋表层和次表层上部海温的半岁差信号是对赤道最大太阳辐射的直接响应,而次表层下部海温的半岁差信号则受控于两半球最大太阳辐射。这种不同深度半岁差信号在驱动机制上的差异与赤道西太平洋不同深度上的洋流特征密切相关。此外,天文驱动产生的半岁差信号还受到 CO₂ 和冰盖变化的调控。鉴于赤道西太平洋在全球气候中的重要性,本研究结果有望为解释其他地区的半岁差信号提供一些参考。

末次冰期大气氧气浓度重建

颜余真^{1*}

1 同济大学,海洋与地球科学学院

* yanyuzhen@tongji.edu.cn

多种地球化学指标显示大气氧气含量(pO_2)在地质历史中呈现阶梯式上升的趋势。然而,在较短(小于 2 至 4 百万年)的时间尺度上,我们对 pO_2 的变化情况仍知之甚少。在轨道尺度上, pO_2 的波动反映了氧气在地表储库(大气、海洋和生物圈)之间的再分配。诸多证据均表明,末次冰期深层海洋的溶解氧含量较低。相比之下,关于冰期生物圈碳储量的认识则匮乏得多。末次冰期的氧循环收支有待厘清。本研究通过分析已发表的南极冰芯包裹气体组成数据,发现末次盛冰期的大气氧气总量比全新世平均多出 39 ± 13 (1σ) Pmol ($1 \text{ Pmol} = 10^{15} \text{ mol}$)。我们进一步汇总了末次冰期溶解氧的定量重建数据,估算出整个海洋损失了 62 Pmol 溶解氧,这与冰期大气氧含量的增加相对应。我们认为两者的不平衡反映了末次冰期陆地生物圈损失 240 ± 200 (1σ) PgC。这一变化幅度较前人估算值更小,支持了冰期土壤中惰性碳库(如永久冻土)增长的假说。反之,若对

陆地生物圈和大气 pO_2 变化进行独立估算,可为冰期海洋氧储库提供"自上而下"的约束。

地球深部水循环：俯冲板片蛇纹岩和下洋壳的贡献

杨阳^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所,深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* yangyang@gig.ac.cn

大洋板块的俯冲驱动着地球内部与地表之间的水循环,对维持海平面的长期稳定以及调节全球挥发份循环起着至关重要的作用。传统观点认为,俯冲板块的上洋壳是水的主要载体。然而,近年来的研究表明,俯冲板块中的蛇纹岩和下洋壳在深部水循环中扮演着不可忽视的角色,但其具体贡献以及对俯冲带岩浆作用的影响尚未得到充分量化。

本研究通过对于马里亚纳和汤加俯冲带火山岩的地球化学系统研究,并结合地球物理和岩石热力学模拟,揭示了典型大洋俯冲带中俯冲板片蛇纹岩和下洋壳辉长岩的脱水特征及其在深部水循环中的作用。研究发现,俯冲板片蛇纹岩的贡献主要体现在马里亚纳两个后弧火山中,而在整体弧-盆岩浆化学变化中的作用相对较小。这与马里亚纳俯冲带中厚达 24 公里的蛇纹岩化地幔储存了大量水分形成了鲜明对比。相比之下,来自下洋壳辉长岩的富水流/熔体主导了马里亚纳和汤加俯冲带的弧后岩浆作用。这一特征在伊豆后弧、小安德烈斯岛弧和卡斯凯迪亚弧等多个俯冲带火山中也得到了体现。

通过定量计算,我们发现马里亚纳俯冲带的俯冲洋壳提供的水分足以平衡马里亚纳岩浆活动中的水的输出通量。这表明,蛇纹岩中的大部分水并未进入弧系统,而是逃离了地幔楔进入了对流地幔,从而对全球深部水循环产生重要影响。如果全球冷俯冲带都存在厚层蛇纹岩,将导致地表

水通量的净丢失，从而引起海平面下降，这与地质证据显示的海平面稳定相矛盾。为解决这一矛盾，我们提出俯冲板片蛇纹岩的水通量可能被高估。通过估算全球平均厚度约为 2 公里、蛇纹岩化程度为 15vol% 的俯冲板片蛇纹岩（总水通量约为 3.4×10^7 Tg/Myr），可以维持显生宙期间的海平面稳定。

人工智能赋能层地球物理刻画：多源数据融合和地质引导

赵峦啸^{1*}

¹ 同济大学，海洋与地球科学学院

* zhaoluanxiao@tongji.edu.cn

面向地球能源的储层高精度地球物理刻画对于油气增储上产、CO₂ 地质封存、地热能高效开发能都具有重要意义。基于物理模型的方法难以准确的表征储层与地球物理响应特征之间的复杂映射关系，而基于深度学习模型的方法由于样本标签不足等问题，预测的泛化性能、地质合理性往往不够。因此，在物理和地质引导的储层智能地震预测框架下，一方面可以充分利用深度学习的特征提取和多维融合能力，另外一方面能够有效的利用物理、地质和空间约束引导学习、加快学习，提高模型的泛化能力和预测结果的可靠性。此外，不同的地学信息可以提供不同的“视角”，在深度学习框架下可以实现有效互补，以获得更准确、合理的地震预测结果。

滨海甲烷生物氧化的驱动机制和调控策略

郑越^{1*}

¹ 厦门大学，环境与生态学院，海洋生物地球化学全国重点实验室

* yzheng@xmu.edu.cn

甲烷作为一种兼具显著增温效应和战略减排价值的温室气体，已成为全球气候变化研究的前沿领域。基于 IPCC 第六次评估报告数据，甲烷的百年尺度全球增温潜势是二氧化碳的 28 倍，且其大气寿命仅约 12 年，这一特性使其成为短期气候调控的关键靶点。在甲烷源汇平衡系统中，甲烷氧化菌通过代谢作用消耗大气中 80% 以上的甲烷，构成全球甲烷生物汇的核心组分。然而，甲烷生物汇的复杂物质流网络特征构成机理研究的核心挑战。本研究创新性地提出电子流理论框架：甲烷生物氧化本质上是电子传递链驱动的能量转化过程，解析电子流网络为阐明微生物代谢机制和强化生态功能提供全新路径。本报告以滨海湿地甲烷循环关键区为研究对象，采用多学科交叉研究方法，深入解析了甲烷生物汇的电子流调控机制。主要包括：揭示甲烷氧化细菌利用铁矿物介导的能量代谢新途径，阐明其在滨海湿地甲烷消耗最大层缺氧生境的适应机制；构建“细胞-群落”双尺度电子传递网络模型，完整解析从胞内电子传递链到种间电子互营网的代谢通路；突破传统能量转化理论限制，创新提出“微生物地质电池耦合增汇”机制，建立基于电子流调控的温室气体协同减排新策略，为提升滨海湿地甲烷汇功能提供理论支撑和技术路径。

地球板块与深部地幔耦合演化的超算大模型

周志远¹，林间^{1,2*}，张帆²

¹ 南方科技大学，海洋高等研究院

² 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* linj@sustech.edu.cn

地球板块构造与深部地幔的耦合机制是认知地球演化的核心科学问题。本研究基于超级计算技术，构建了多物理场耦合的高分辨率三维数值模型，实现了从百万

年构造尺度到地幔对流尺度的跨时空耦合模拟。通过整合全球地震层析成像、古地磁重建及矿物物理实验数据,建立包含相变界面、黏度跃变层和热化学异常体的地幔结构初始场,采用自适应网格、并行算法以及粒子示踪技术,建立了四亿年以来全地幔对流与板块运动的热-力-化学耦合高精度模型。本模型通过重塑地幔流动模式,成功再现数个地幔柱的形成过程,模拟的下地幔大低剪切波速省(LLSVP)与地震观测吻合,发现地幔柱的时空分布显著受控于地幔流变性质和板块俯冲作用,这为理解地表构造与深部过程的能量传递、地球深部-浅部关联机制提供了新的思路。研究成果将推动建立新一代地球系统动力学框架,为开展板块构造与其它学科的深度交叉研究提供了重要的理论平台。

分专题报告

S01-P-1

蛇纹石化过程中氢气、氨和甲酸盐的形成机制实验研究

黄瑞芳^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质重点实验室

* ruifanghuang_geo@163.com

蛇纹石化(serpentinization)是地球上最重要的水岩反应之一。它的发生可能在地球形成早期生命的起源和演化过程中起着重要作用。冥古代地球大气主要成分是二氧化碳、氮气和 water 蒸气;地球表面覆盖着(超)基性岩。在岩浆海阶段末期,地表温度逐步下降到 700 °C 以下,早期地球大气与地表(超)基性岩发生蛇纹石化,形成氢气、氨和甲烷,导致地球大气由“二氧化碳+氮气”转变为“氨气+甲烷”,同时为早期地球

生命起源提供物质基础。海底热液区高温、酸化的环境与地球形成初期类似。在洋中脊处分布的海底热液区周围有大量生物群落出现,目前已发现超过 400 种不同物种,既有古菌、细菌等微生物,也有虾、蟹和贝等大型生物。这些生物耐酸、耐碱或耐高温,可以在无光、缺氧的条件下依靠热液区超基性岩发生蛇纹石化反应产生的氢气(H₂)以及费托合成反应产生的烷烃(甲烷、乙烷和丙烷等)得以存活。因此,研究蛇纹石化有利于揭示地球形成早期生命起源的奥秘。

橄榄岩蛇纹石化过程中氢气的形成与橄榄石/辉石的比例以及蛇纹石化反应速率密切相关(Huang et al., 2023)。当实验初始物是橄榄石或者斜方辉石时,低温(≤300 °C)条件下橄榄石的蛇纹石化速率比斜方辉石快得多,该条件下橄榄石蛇纹石化生成的氢气远高于斜方辉石;随着温度升高橄榄石的蛇纹石化速率则比辉石慢得多,该条件下斜方辉石蛇纹石化生成的氢气高于橄榄石。当实验初始物为橄榄石和辉石矿物组合时,橄榄石的蛇纹石化速率比斜方辉石快时,有利于氢气生成;斜方辉石的蛇纹石化速率比橄榄石快时,则抑制氢气的生成。加入氮气、二氧化碳,或者初始流体为高盐度流体、强酸性流体时,斜方辉石的反应速率比橄榄石快得多,抑制氢气生成。

研究表明,水热条件下蛇纹石化生成的氢气与氮气反应形成氨。低温、高压、通入 CO₂ 有利于氨的合成,而氢气的生成量不是影响氨形成的关键因素(Shang et al., 2023)。催化剂是影响甲烷形成的重要因素,铁镍合金能够大幅度提高甲烷的产量,其中甲酸盐为甲烷形成的中间产物(Xi et al., 2025)。当温度为 200 °C 时甲酸盐的浓度最高,随着温度升高(≥280 °C)甲酸盐的浓度大幅度降低(<1 mmol/kg)。

S01-P-2S

两阶段蛇纹石化反应过程： 来自秦岭黑木林蛇纹岩的启示

龚美军¹，朱馨如¹，吴凯^{1*}

¹ 西北大学，地质学系

* wukai@nwu.edu.cn

蛇纹石化过程中，橄榄石和辉石中的 Fe^{2+} 被氧化后进入磁铁矿或蛇纹石，同时水中的氢被还原成氢气。探究蛇纹石化过程中 Fe 在蛇纹石化产物之间的分配规律，并确定 Fe^{2+} 被氧化成 Fe^{3+} 的时间，对于理解蛇纹石化的反应机理和评估进入俯冲带氧化性组分的通量至关重要。本研究选取产出纤蛇纹石石棉矿的黑木林蛇纹岩来探究此问题。黑木林蛇纹岩为发育有假象结构的利蛇纹石蛇纹岩，并广泛发育重结晶构造。黑木林蛇纹岩具有高 MgO/SiO_2 、低 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 和高 Ir-PGE/Pt-PGE 比值，表明其原岩是难熔的地幔橄榄岩。蛇纹岩中残余的原始 Cr 尖晶石具有高 Cr# 和低 Al_2O_3 、 TiO_2 含量，并指示蛇纹岩原岩曾与玻安质熔体发生过反应。此外，与弧前蛇纹岩和弧橄榄岩类似，黑木林蛇纹岩同样相对富 SiO_2 。黑木林蛇纹岩的稀土元素含量较低，且 La 和 Nb 存在正相关，表明其稀土特征继承自原岩。流体活动性元素与 Yb 之间呈正相关关系，指示存在俯冲沉积物的影响。因此，黑木林蛇纹岩可能是在弧前浅部位置，由地幔楔底部的难熔橄榄岩与板片起源富水流体反应形成的。

黑木林蛇纹岩中含有两类利蛇纹石：I-型利蛇纹石发育有假象结构，具有低的 $\text{Mg}_{\text{apfu}} + \text{Fe}_{\text{apfu}}$ ，变化范围较大的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ ， $\text{Si}_{\text{apfu}} + \text{Al}_{\text{apfu}}/2$ 变化较小；II-型利蛇纹石围绕网状结构的“利蛇纹石+水镁石”中心发育，与细粒磁铁矿共生，其 $\text{Mg}_{\text{apfu}} + \text{Fe}_{\text{apfu}}$ 较高， $\text{Mg}_{\text{apfu}} + \text{Fe}_{\text{apfu}}$ 和 $\text{Si}_{\text{apfu}} + \text{Al}_{\text{apfu}}/2$ 之间呈负相关，说明在II-型利蛇纹石中发生了 Fe^{3+} 对蛇纹石晶格中 ^{iv}Si

和 ^{vi}Mg 的替代。这些特征表明，蛇纹石化过程可以分为两个阶段。第一阶段，在低温下橄榄石优先与流体反应产生I-型利蛇纹石和水镁石。第二阶段，水镁石与富 SiO_2 流体反应生成II-型利蛇纹石、磁铁矿和氢气。由于黑木林蛇纹岩发生蛇纹石化时体系的温度较低，斜方辉石反应速率慢，且弧前浅部板片起源流体中溶解的 SiO_2 很少，造成整个体系的 SiO_2 活度极低，从而抑制了反应的进行。由于体系的 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 含量较低，蛇纹石在晚期的重结晶过程中更倾向于形成纤蛇纹石，故而形成了黑木林纤蛇纹石石棉矿。研究表明，富 SiO_2 流体参与下 Fe^{3+} 蛇纹石的形成伴随着氢气的产生。同时，在高度难熔橄榄岩的低温蛇纹石化过程中，体系低 SiO_2 活度和重结晶过程对于形成纤蛇纹石石棉矿至关重要。

S01-P-3

俯冲蛇纹岩流体来源及其氧化还原性质：金属同位素制约

陈祖兴^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所

* chenzuxing@qdio.ac.cn

蛇纹岩由地幔橄榄岩的低温热液蚀变形成，富含水 (>13 wt.%)、流体活性元素 (如 B、Li、Cs、Sr、Ba) 及重 B 同位素，在俯冲带分布于俯冲板块底部的岩石圈地幔和弧前地幔楔中。区分这两类蛇纹岩流体对岛弧岩浆的影响存在挑战，且蛇纹岩流体的氧化还原性质存在争议，阻碍了对俯冲带物质循环和氧化还原作用的深入认识。我们的研究表明，变价金属同位素 (如 Fe-Cu 等) 可以示踪俯冲蛇纹岩流体的氧化还原性质，而 Zn 同位素则可区分不同类型的蛇纹岩流体，为深入理解蛇纹岩在俯冲带水循环和地幔氧逸度演化中的作用提供了重要依据。

S01-P-4

蛇纹石化过程中的 Mo-Mg 同位素分馏

李晓辉^{1*}

¹ 中国海洋大学

* xiaohuili@ouc.edu.cn

蛇纹石化过程中是否发生 Mg-Mo 同位素分馏尚不明确。我们对 IODP366 航次获取的马里亚纳俯冲带的蛇纹石化橄榄岩和弧前蛇纹岩进行了高精度的 Mg-Mo 同位素分析。其中 1 个样品受到了晚期强烈风化作用的影响而产生了大量黏土矿物, 其 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值异常高 ($0.01 \pm 0.04\%$), 而中等蛇纹石化程度的橄榄岩 ($-0.24 \pm 0.04\%$, 2SD, $n=3$) 和深部位置的蛇纹岩 ($-0.24 \pm 0.02\%$, 2SD, $n=3$) 的 Mg 同位素组成与地幔橄榄岩 ($-0.25 \pm 0.04\%$) 一致。浅部位置的蛇纹岩的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值 ($-0.19 \pm 0.04\%$, 2SD, $n=15$) 略高于地幔橄榄岩, 且越接近海底其 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值越高。我们研究发现蛇纹石化流体交代和橄榄岩蛇纹石化过程均不能导致浅部弧前蛇纹岩的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值升高, 而以水镁石溶蚀为主的蛇纹石化作用晚期的热液蚀变可能是主导原因。蛇纹石化作用后期蚀变过程中, 重 Mg 同位素优先分配给蛇纹岩, 计算得到的 $\Delta^{26}\text{Mg}$ 水镁石-流体在 $0.1\% \sim 0.8\%$ 之间。本研究推断, 弧下地幔中蛇纹岩脱水过程不会显著改变岛弧熔岩的 Mg 同位素组成。

低压环境下的蛇纹岩 (蓝蛇纹石蛇纹岩、利蛇纹石蛇纹岩) 具有较高的 Mo/Ce 比值 ($0.42 \sim 27.34$) 和显著高的 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值 ($-0.03\% \sim 2.48\%$), 这不仅与俯冲板片浅部脱水流体 (沉积物孔隙水) 对弧前地幔楔的交代有关, 还受到地幔楔蛇纹岩沿弧前断裂上升至海底过程中发生的海水蚀变作用影响。以变质基性岩为代表的俯冲蚀变洋壳具有较低的 Mo/Ce 比值 ($0.004 \sim 0.049$) 和低的 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值 ($-1.13\% \sim -0.61\%$), 表明在俯冲早期阶段或洋壳蚀变

过程中 Mo 的丢失导致洋壳的 Mo 同位素降低。Mo-Sr-Pb 同位素数据模拟显示, 岛弧火山岩高 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值不能简单的归因于弧下深度板块脱水流体的影响, 相反, 弧前蛇纹岩的俯冲脱水可能是引起岛弧火山岩重 Mo 同位素的主要原因。本研究认为, 在板片俯冲早期阶段, 以沉积物孔隙水为主的浅部板片脱水流体对地幔楔橄榄岩的交代会产生富含重 Mo 同位素的弧前蛇纹岩, 这些弧前蛇纹岩随板片俯冲至弧下深度, 并在弧下脱水、熔融进而影响岛弧岩浆的 Mo 同位素组成。研究结果表明弧前蛇纹岩是岛弧火山岩重 Mo 同位素的重要储层, 并对俯冲带的 Mo 循环具有重要贡献。

S01-P-5

深海热液环境富 H₂ 体系水岩反应过程的原位定量监测: 对生命演化的启示

席世川¹, 黄瑞芳³, 孙庆磊⁴, 栾振东², 杜增丰², 李连福¹, 张鑫^{1*}

¹ 崂山国家实验室, 海洋系统科学与前沿交叉研究部

² 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋地质与环境重点实验室

³ 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质实验室

⁴ 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋研究所实验海洋生物学重点实验室

* xzhang@qdio.ac.cn

深海热液系统环境复杂、变化剧烈, 广泛存在着热液流体与岩石的相互作用。深海超基性岩型热液系统下的蛇纹石化反应和火山作用是重要的氢气来源。氢气是一种特别有效的电子供体, 氢氧化化的能量产率远高于甲烷氧化、硫氧化和所有其他潜在的电子供体的能量产率, 是生命所必需的一种重要的物质和能量来源。近年来, 通过对西太平洋马努斯盆地 DESMOS 区域的超酸性热液流体进行综合原位拉曼定量探测, 结果发现: 喷口流体富含 H₂ (8.56

mmol/kg)，溢流区富含 H₂S，结合 DESMOS 区域普遍发现黄铁矿的现象和热力学模拟计算结果，揭示了两个区域即便来自同一个火山口，但由于海水与岩浆气混合程度的差异而发生不同的水岩反应。我们通过模拟深海热液系统蛇纹石化反应，并基于拉曼光谱技术实现了 200~320 °C，30 MPa 条件下 CO₂ 氢化反应过程时间尺度上的原位定量监测。结果表明甲酸盐是该过程的主要中间产物，随后甲酸盐进一步向甲烷转化。在温度≤230 °C时，最终产物也含有高浓度的甲酸盐。冥古宙地球的原始大气中 CO₂ 含量超过 10 MPa，通过热液活动导致大量 CO₂ 被还原为有机分子，对研究早期生命起源具有重要启示意义。激光拉曼光谱技术已被有效用于深海热液体系的原位定量探测，但实现拉曼光谱、激光诱导击穿光谱（LIBS）、荧光光谱等多光谱联合探测技术在深海热液体系无机分子、金属元素、有机分子等多目标物的原位长期监测是未来深海原位探测技术的重要趋势。

S01-P-6

蛇纹岩内流体交代岩的 Mg 同位素研究及其对地幔不均一成因的启示

熊家伟¹，陈伊翔^{2*}

¹ 崂山国家实验室

² 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* yxchen07@ustc.edu.cn

俯冲大洋岩石圈是深部地幔化学不均一性的重要物质来源，但对其地球化学成分特征的制约仍不完善。除较均一的大洋地壳和地幔外，大洋岩石圈内部普遍发育流体交代成因的异质性岩石单元，例如与蛇纹岩接触的基性岩可经历异剥钙榴岩化（富钙）和绿泥石化（富镁），导致成分的显著分异。然而，此类交代岩的同位素

研究长期匮乏。尽管已有零星研究表明异剥钙榴岩和绿泥石岩较原岩呈现系统性偏轻的 Mg 同位素组成，但该特征的普遍性及榴辉岩相变质对其的影响仍有待揭示。

本研究以西阿尔卑斯 Voltri 地区榴辉岩相变质蛇纹岩其伴生的富钙（异剥钙榴岩）、富镁（含钛斜硅镁石岩脉）交代岩为对象，通过岩石学与地球化学分析揭示：

（1）两类流体交代岩原岩均为富 Fe-Ti 的氧化物辉长岩，围岩蛇纹岩具有正常地幔 $\delta^{26}\text{Mg}$ 和低 $\delta^{18}\text{O}$ 值，其 Sr-Nd 同位素组成与未受外来沉积物流体交代的蛇纹岩一致；

（2）富钙和富镁的交代岩具有偏低的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值，且其 Sr-Nd 同位素较原岩仅略微富集，排除了碳酸盐流体的贡献，指示两类交代作用分别受控于洋底蛇纹石化阶段的富钙流体与俯冲带蛇纹岩脱水释放的富镁流体。研究表明，基性岩与蛇纹岩接触时发生的钙-镁交代作用可诱发显著的 Mg 同位素分馏，因而大洋岩石圈内可通过流体交代自发形成元素和同位素的不均一性。更重要的是，这些交代岩轻的 Mg 同位素特征在榴辉岩相条件下仍可稳定保存，表明其深俯冲可能是深部地幔 Mg 同位素不均一性的潜在贡献者。因此，传统俯冲带物质再循环模型需重视此类岩石的地球化学效应，以更全面解析地幔不均一性的成因。

S01-P-7S

B-Mg 同位素记录菲律宾岛弧成因中的蛇纹岩贡献

乔新月¹，陈伊翔^{1*}

¹ 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* yxchen07@ustc.edu.cn

菲律宾岛弧位于亚欧大陆和菲律宾海板块交界，是晚侏罗-早白垩纪太平洋板块与新特提斯板块相互作用形成的洋内弧，为研究汇聚板块边缘的岩浆过程提供了独特的环境。蛇纹岩既是俯冲板块的重要组

成部分,也可以以弧前蛇纹岩的形式存在于地幔楔中,能够将特殊的元素和同位素特征保存到弧下深度,也是俯冲带深部的重要流体来源。因此了解蛇纹岩在岛弧形成过程中的贡献是研究俯冲带内部物质循环,地幔富集机制和地幔深部动力学过程的关键问题。蛇纹岩具有极高的 B 和 MgO 含量和重 $\delta^{11}\text{B}$ - $\delta^{26}\text{Mg}$ 同位素组成, B-Mg 同位素是研究其在俯冲带中贡献过程的理想手段。宿务岛 Kansi 组火山岩是菲律宾弧中发现的最古老的岛弧岩浆,锆石 U-Pb 年龄为 118-126Ma,主要由玄武岩、安山岩、辉绿岩及火山碎屑岩组成,均表现出典型的弧岩浆地球化学特征,是弧下地幔部分熔融产物。对宿务岛火山岩进行 B-Mg 同位素组成分析,岛弧岩浆具有较高的 B 含量 (6.1~27.4 $\mu\text{g/g}$) 和显著重于 MORB 的 B 同位素组成 ($\delta^{11}\text{B}=-2.6\sim 12.1\text{‰}$, MORB: -7.1 ‰)。同时,宿务岛火山岩 Mg 同位素组成为 -0.28~0.12 ‰ ,绝大部分显著重于 MORB (-0.25 ‰)。不同类型的宿务岛火山岩样品地球化学和同位素地球化学特征表现出一定不同,斑状安山岩的锆石 U-Pb 年龄最老,且具有最重的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 组成 (-0.02~0.12 ‰) 和 $\delta^{11}\text{B}$ 组成 (6.2~12.1 ‰),其 Sr-Nd 同位素特征也表明相对于其余火山岩样品,斑状安山岩中沉积物组分的贡献更少。其余样品的 Mg-B 同位素特征显示出更大范围,且表现出不同程度的沉积物和地壳物质影响。斑状安山岩与其余宿务岛火山岩的系统性差异表明其代表了俯冲早期的地幔源区特征。斑状安山岩的 $\delta^{11}\text{B}$ 和 B/Zr 之间存在显著正相关关系,表明有重 B 且 B 含量较高的流体加入地幔源区,这种特征的流体一般被认为来自于深海蛇纹岩。斑状安山岩的 Mg-Sr-Nd 同位素特征则表明俯冲初期的弧岩浆地幔源区就具有极重 Mg 同位素的特征,该重 Mg 同位素特征不是沉积物或地壳物质的影响,而更可能来自于弧前蛇纹岩的贡献。研究发现,宿务岛火山岩的重 B-Mg 同位素特征分别来自蛇纹岩流体和弧前蛇纹岩的贡献,表明 B-Mg 同位素是识别俯冲带中蛇纹岩组

分的良好工具,蛇纹岩在俯冲带物质循环和水迁移中均有重要作用,是俯冲系统的重要组成部分。

S01-P-8S

高温高压下橄榄石与碳的反应机制及其对深部碳迁移规律的启示

黄欣婷^{1,2}, 黄瑞芳^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

* rfhuang@scsio.ac.cn

蛇纹石化是水与铁镁质矿物(如橄榄石)反应生成蛇纹石的关键过程,其不仅影响地球深部流体化学环境,还可能通过释放还原性流体(如 H_2 、 CH_4)参与碳循环。在俯冲带或地幔热液环境中,橄榄石(Olivine, OL)会与富碳流体或固体碳(如石墨、碳酸盐)接触,并在高温高压(HT-HP)条件下发生复杂的化学反应,对深部碳循环及地表环境演化产生影响。近年研究表明,碳的还原、氧化或固溶体形成的反应不仅控制着碳的赋存形式,还深刻影响碳在流体中的迁移效率及长期封存潜力。然而,针对不同温压条件下橄榄石-碳的反应路径、赋存形式及其迁移机制仍存在争议。本研究拟在恒温 400 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,分别施加 1 GPa、2 GPa 和 3 GPa 的压力,模拟俯冲带环境,系统探讨橄榄石与碳的相互作用,揭示其反应行为及流体迁移规律。实验将结合扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)以及聚焦离子束系统(FIB)等,从多尺度揭示橄榄石与碳反应的微观机制及碳赋存形式的转变机制,同时建立反应速率-压力经验模型。研究表明,碳的赋存形式受控于压力驱动的流体化学环境,压力升高会导致碳的赋存形式由流体溶解态(CH_4)向固态矿物(碳酸盐、金刚石)转变,其迁移能力显著降低。本研究通过多

压力梯度实验设计, 探究了高温高压下橄榄石-碳的反应路径, 揭示了流体中的碳在俯冲带不同深度的迁移规律, 可为蛇纹石化过程中碳的封存效率及还原性流体生成提供新见解。未来在研究中可以将多组分流体 (H_2O 、 CO_2 或盐类流体) 引入到实验中, 模拟蛇纹石化反应体系, 进一步探究碳迁移的机制以及氧逸度对碳赋存形式的影响。

S01-P-9

藏南雅鲁藏布缝合带日喀则蛇绿岩的多阶段蛇纹石化作用

张畅^{1,3*}, 刘传周^{1,2,3}, 朱嘉宁^{1,3}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 崂山实验室

3 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

* zhangchang@mail.iggcas.ac.cn

识别蛇纹岩经历的具体蛇纹石化过程, 对恢复超基性岩演化历史等科学问题至关重要。根据硼 (B) 的流体活动性及其同位素组成在不同环境下的分馏特征, 可通过其元素含量与同位素组成的变化趋势, 揭示不同蛇纹石化过程中流体的来源与性质。基于此, 本研究从西藏雅鲁藏布江缝合带日喀则 (路曲) 蛇绿岩中采集了不同蛇纹石化程度的超基性岩样品。这些蛇纹岩主要呈现两种结构特征: 1) 网状结构 (残留原生矿物核心), 通常反映广泛的流体-岩石相互作用, 以利蛇纹石为主; 2) 渗透性脉状结构, 脉体中蛇纹石多为低温低压条件下形成的利蛇纹石或纤维状纤蛇纹石。路曲剖面新鲜橄榄岩核部的硼含量最低 (低至 0.35 ppm), 其 $\delta^{11}\text{B}$ 同位素组成 (-4.8‰ ~ -6.9‰) 与未蚀变大洋橄榄岩一致 (约为 -7‰)。从核部向南北两端, 蛇纹石化程度逐渐增强, 硼含量呈递增趋势, 但 $\delta^{11}\text{B}$ 值总体呈现先降低 (最低 -22‰) 后升

高 (最高 +7.7‰) 的变化规律。核部新鲜橄榄岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与原始地幔接近, 而北部蛇纹岩 $\delta^{18}\text{O}$ 较低, 南部较高, 分别对应蛇纹石化的高温 (140-200°C) 与低温 (80-100°C) 环境。模拟结果表明, 路曲蛇纹岩硼同位素分馏的主控因素并非温度, 而是流体的 pH 值。该蛇纹岩至少经历了两期蛇纹石化作用, 参与反应的流体具有不同的 pH 值和硼同位素特征: 1) 早期蛇纹石化过程中, 硼含量基本不变, 但 $\delta^{11}\text{B}$ 持续降低, 反映流体 I 具有中性 pH 值及较高 $\delta^{11}\text{B}$ (+14‰ ~ +17‰); 2) 晚期蛇纹石化过程导致硼含量与 $\delta^{11}\text{B}$ 同步升高, 流体 II 可能具有高浓度硼及更接近海水的重 $\delta^{11}\text{B}$ 值 (约 +24‰)。这两期流体可能代表不同构造背景的产物: 第一期为拆离断层活动中形成的演化流体, 第二期则与低温低压下海水沿岩石裂隙渗透有关。

S01-P-10S

西南天山蛇纹岩化方辉橄榄岩的岩石学和变质演化过程研究

唐艳芳¹, 申婷婷^{1*}

1 中国地质科学院地质研究所

* ttshen@pku.edu.cn

俯冲带蛇纹岩的变质演化过程是理解俯冲带流体运移、成岩成矿机制, 以及岛弧岩浆作用等关键地质现象的核心科学问题。西南天山造山带作为典型的大洋冷俯冲变质带, 其广泛出露的高压-超高压变质岩系为研究这一过程提供了理想窗口。前人研究已证实蛇纹岩化异剥橄榄岩经历了超高压变质作用, 与其空间伴生的蛇纹岩化方辉橄榄岩是否具有相同的变质演化历史, 尚存疑问。本研究选取西南天山木扎尔特沟长阿吾子地区出露的蛇纹岩化方辉橄榄岩开展系统研究, 通过精细的岩石学和矿物学分析取得了以下创新性认识: (1)

岩相学特征揭示, 研究样品中发育与蛇纹岩化异剥橄榄岩相似的钛斜硅镁石-钛粒硅镁石共生组合。峰期变质矿物组合确定为: 钛粒硅镁石+橄榄石+叶蛇纹石+绿泥石+铬铁矿+磁铁矿。显微结构中未发现钛铁矿/镁钛矿与橄榄石共生或橄榄石与斜方辉石共生的现象, 这一关键证据表明: 岩石未经历足以引发钛硅镁石类矿物高温脱水分解的热力学条件; 叶蛇纹石未达到完全脱水分解的温度阈值。(2) 基于矿物世代关系与反应结构分析, 识别出两个重要变质反应:

(i) 含钛尖晶石/钛铁矿 + 叶蛇纹石 + 氢氧镁石 = 钛粒硅镁石 + 橄榄石 + 绿泥石 + H_2O (进变质阶段)

(ii) 钛粒硅镁石 + 橄榄石 = 钛斜硅镁石 (退变质阶段)

采用相平衡模拟软件 GeoPS (向华, 2021) 对两个代表性蛇纹岩化方辉橄榄岩样品进行了 P-T 视剖面图计算, 结合矿物组合以及叶蛇纹石成分投图, 精确限定变质峰期条件分别为: $\sim 440^{\circ}C$, > 3.5 GPa 和 $\sim 470^{\circ}C$, > 3.8 GPa, 据此绘制出完整的顺时针变质 P-T 轨迹, 揭示岩石经历深俯冲-折返的动力学过程。本研究首次证实西南天山蛇纹岩化方辉橄榄岩与异剥橄榄岩具有相同的超高压变质历史, 两者均俯冲至 110-130 km 深部地幔环境。更为重要的是, 在冷俯冲体制下, 叶蛇纹石、钛粒硅镁石和钛斜硅镁石等含水矿物因未达到完全脱水温度, 可作为有效载体将大量水输送至深部地幔, 这对理解俯冲带水循环及地幔地球化学演化具有重要启示。

S02-O-1

大洋关闭过程中地幔动力对巨型克拉通内盆地形成的控制

刘少峰^{1*}, 万能¹, 张博¹, 李雪岩¹

¹ 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
* shaofeng@cugb.edu.cn

深部地幔动力在塑造大陆内部形貌及控制巨型克拉通内盆地演化过程中的具体作用尚不明确。本文以典型的巨型克拉通内盆地——鄂尔多斯盆地为例, 结合三维挠曲模型与基于局部修正的全球板块运动学约束的四维地幔流动模型, 定量评估了三叠纪板块俯冲及其后大陆碰撞过程中, 地壳变形与地幔动力对盆地演化的影响。研究表明, 邻近盆地的逆冲带对挠曲沉降的控制作用具有明显的空间局限性; 在校正了山体负载和沉积负载后, 盆地仍保留异常的长波长剩余沉降, 指示盆地沉降尚需额外机制驱动。地幔流动模型显示, 由古特提斯洋斜向俯冲和闭合引发的西向移动动力地形, 与鄂尔多斯盆地的剩余沉降分布高度一致。此外, 该模型还合理解释了鄂尔多斯盆地从原先统一的华北盆地中分离并独立演化为巨型克拉通内盆地的过程。我们认为, 盆地内部双重沉降中心的形成主要受地幔动力控制, 而秦岭-大别造山带的逆冲负载进一步加剧了盆地南部与西南缘的沉降。本研究揭示了板块俯冲、地壳变形与地幔动力在盆地形成过程中的潜在耦合关系。

S02-O-2

白垩纪末期秦岭东部古降水变化及其对恐龙多样性演化的影响

韩非^{1*}, 王强², 周新郢², 王华沛³, 潘永信⁴, 邓成龙⁴

¹ 长江大学, 地球科学学院

² 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

³ 中国地质大学(武汉), 地球物理与空间信息学院

⁴ 中国科学院地质与地球物理研究所

* hanfei@yangtzeu.edu.cn

白垩纪末期，地球发生了众多重大的地质事件，如德干大火成岩省喷发、小行星撞击、非鸟类恐龙灭绝。海相沉积记录表明这段时期地球气候显著波动，表现为若干次冷暖交替事件。我国中部的东秦岭地区分布着众多上白垩统一古新统陆相沉积盆地，这些盆地沉积连续、古生物化石丰富，为研究白垩纪末期陆地气候环境变化与恐龙演化的关系提供了宝贵素材。

我们对陕西山阳盆地开展了系统的年代学、古生物学和环境磁学研究。利用磁性地层学、旋回地层学和生物地层学方法，我们建立了山阳盆地晚白垩世富含恐龙骨骼和蛋化石沉积序列的高分辨率年代学框架。我们在约 68.0 Ma 至 66.4 Ma 的沉积地层中仅发现了三种恐龙蛋类型（瑶屯巨形蛋、长形长形蛋和坪岭叠层蛋），代表着两个主要的恐龙类群（窃蛋龙类和鸭嘴龙类）。综合对比秦岭东部其他盆地，以及山东莱阳盆地、广东南雄盆地等地发现的恐龙类群，我们发现在 72 Ma 前后中国的恐龙多样性有一个明显的降低趋势，这与北美西部的恐龙化石分布特征相似，因此我们认为恐龙多样性在晚白垩世的降低很可能是一个全球性现象。我们进一步对山阳盆地上白垩统沉积开展了环境磁学研究。环境磁学参数揭示出，从~68.0 Ma 开始，山阳盆地的降水逐渐增加，并在~66.2 Ma 时达到峰值，该结果与全球海相记录及我国松辽盆地的陆相古气候记录相吻合。由于水文循环和降水的加剧，洪泛平原的恐龙筑巢区域面积逐渐减少，加剧了恐龙繁衍生息的生存压力。通过对山阳盆地晚白垩世恐龙化石种群变化和古气候记录的全面分析，我们提出水文循环和降水的加剧可能是导致山阳盆地晚白垩世恐龙多样性降低的重要驱动因素，为探究古气候变化对恐龙多样性演化的影响提供了新的数据支撑。

S02-O-3

华北板块巨量有机碳埋藏是早阿瑟尔期晚古生代大冰期达到顶峰的主控因素

贾海波^{1*}，赵永涛¹，吕大炜¹，张之辉¹

¹ 山东科技大学，地球科学与工程学院

* jiahaibohb@163.com

晚古生代大冰期（LPIA）于早二叠世达到顶峰，但其驱动机制仍存在争议。本研究通过揭示华北盆地（NCB）在格舍尔期末期—阿瑟尔期早期有机碳埋藏量（OC）及其速率的重要意义，旨在为解决这一争议提供新见解。华北盆地北缘构造隆升与区域沉降共同作用，为该时期大量有机碳埋藏提供了沉积空间。值得注意的是，阿瑟尔期早期华北盆地北缘加速隆升，导致物源区地势高差增大、沉积物供给量增加，并使得相邻沉降盆地沉积速率加快。阿瑟尔期碎屑楔向盆地方向的延伸扩张还促使陆生植被范围显著扩大，同时提高了古海洋初级生产力。该时期华北盆地有机碳埋藏量约占全球同期总量的 47%，导致大气二氧化碳分压（pCO₂）显著下降。我们认为，华北盆地这一重大有机碳汇对早阿瑟尔期晚古生代大冰期达到顶峰具有重要贡献。

S02-O-4

晚白垩世亚洲地形地貌演化的气候效应模拟

张健^{1,2*}，崔琪¹

¹ 北京大学，大气与海洋科学系

² 中国科学院青藏高原研究所

* zhangjian@itpcas.ac.cn

白垩纪时期东亚处于干旱的沙漠环境，与现今湿润的季风环境极为不同。现今东亚湿润的季风气候形成与青藏高原的隆升有关，而白垩纪时期青藏高原的山脉以及

东亚海岸山脉也已经发生了隆升，那么白垩纪时期东亚干旱气候环境是否与当时高原/山脉隆升有关？针对这一问题，我们利用美国大气研究中心（NCAR）的地球系统模式（CESM1.2.2）模拟晚白垩世早期亚洲古环境。模拟研究表明，即使没有地形的隆升，白垩纪时期东亚主要也是偏干旱的气候环境，但东亚不足以形成沙漠。东亚海岸山脉隆升导致东亚降水显著减少，而青藏高原的隆升仅导致东亚副热带地区降水减少，且青藏高原隆升引起的降水变化低于东亚海岸山脉的作用。当有高原/山脉隆升时，沙漠可扩展到东亚。因此，白垩纪时期东亚偏干的气候环境可能主要受控于全球的古地理，亚洲高原/山脉的隆升有助于东亚变干，形成干旱的沙漠环境。

S02-O-5

晚白垩世海岸山脉和内陆山脉对东亚气候的联合影响

余晨旻^{1,2}, Daniel J. Lunt², 任鑫², 张来明^{1*}, 王成善¹

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 布里斯托大学，地理学院

* lzhang@cugb.edu.cn

地形对气候系统具有重要调控作用，尤其在多山地地形广布的东亚地区，其影响更为显著。晚白垩世时期，东亚地区发育了包括海岸山脉和内陆太行山、燕山在内的复杂地形格局，这些山脉共同塑造了独特的区域气候特征。然而，内陆山脉的具体气候效应及其与海岸山脉的协同作用机制尚未得到充分认识。本研究通过古气候数值模拟方法，系统评估了不同山地配置对区域温度和降水格局的影响。基于两种模型-代用指标对比验证方法，我们发现海岸山脉-太行山-燕山组合的地形配置模拟结果准确度最高、与地质证据最为吻合，表明这是晚白垩世东亚地区最可能的地形格局。

为深入解析山脉调控温度和降水的物理机制，我们采用能量平衡和水汽收支分析方法，对各影响因素的贡献进行量化分解。研究显示，海岸与内陆山脉的协同作用主要通过以下途径影响气候：1）通过改变云物理过程调控地表温度；2）通过调整大气环流和涡度流控制降水分布；3）山脉影响了季风区域的面积和强度。其中，海岸山脉在季风气候演变中起主导控制作用，而太行-燕山山脉系统则通过地形放大效应进一步增强这一气候响应。这些研究成果不仅深化了对晚白垩世东亚地形-气候相互作用机制的认识，更凸显了古地形精确重建在古气候模拟中的重要性，为理解地质历史时期景观演化与气候系统的耦合关系提供了新的理论支撑。

S02-O-6

中侏罗世高纬度泥炭地碳积累速率的天文驱动野火调控机制

张之辉^{1*}, 吕大炜¹, 郑桂波¹

1 山东科技大学，地球科学与工程学院

* zhzhahui@sdust.edu.cn

自泥盆纪以来，泥炭作为重要的陆地碳库持续影响全球碳循环与气候变化过程，并作为成煤的前体物质在地质历史中发挥关键作用。侏罗纪作为地质时期典型的温室气候阶段，以全球范围内广泛发育煤层为特征。然而，该时期泥炭地碳积累过程及其控制机制仍不明确。本研究聚焦中国西北部准噶尔盆地高纬度地区中侏罗统西山窑组 B2 煤层（厚度约 60.9 米），通过自然伽马测井数据的时间序列分析，揭示该煤层沉积速率约为 2.3 厘米/千年，持续时间为约 2.6 百万年。经煤化作用碳损失校正后，泥炭地碳积累速率为 41.10-52.74 克碳/平方米·年，且自煤层底部至顶部呈现逐渐降低趋势。煤层中高含量惰质组呈现典型

炭屑特征，指示泥炭地频繁发生野火事件。碳积累速率与惰质组丰度呈显著负相关，表明频繁野火活动抑制了泥炭地碳积累。频谱分析显示泥炭地碳积累速率可能受控于与 405 千年轨道周期相关联的野火活动。本研究为深入理解中侏罗世泥炭地有机碳埋藏与野火活动的耦合机制提供了新的科学依据。

S02-O-7

青藏高原由海变陆的历史

胡修棉^{1*}，马安林¹，蒋璟鑫¹，许艺炜¹，张世杰¹

¹ 南京大学，地球科学与工程学院
* huxm@nju.edu.cn

青藏高原是世界上最大最高的造山带高原，它的形成深刻影响了新生代以来亚洲乃至全球的环境、气候、生物变迁。海洋的消失代表着陆地造山作用的起点，约束距离最近的中新生代由海变陆的历史是重建青藏高原隆升过程的起点。近年来，从沉积学和地层学角度系统调查和总结了青藏高原不同地区中生代以来最高海相层的发育情况和延续时间。青藏高原由多个地体沿着缝合带拼接形成。本研究将青藏高原消失的海洋根据基底性质分为两类，一类是随着大洋洋壳消亡而继承下来的残留海，另一类是由于海侵导致大陆地壳之上发育陆表海，二者分别以现今缝合带及两侧的海相沉积、陆块之上的海相层为代表。我们的研究表明，青藏高原的海洋消失具有中部早、南北两侧晚的特点。金沙江缝合带和松潘甘孜地体在三叠纪末完成海陆转变，部分地区海相沉积延续到侏罗纪早期。南羌塘海退发生在中侏罗世末至晚侏罗世，北羌塘和班怒带的海退稍晚，发生在侏罗纪末至白垩纪早期，海洋呈现由东向西逐渐退出特征。在北羌塘西侧，阿克赛钦海出现于白垩纪早期，一直持续到晚白垩世。北拉萨海一直持续到晚白垩

世最早期。青藏高原南部的喜马拉雅海、北部的塔里木海海退历史最晚，发生在始新世末期。

S02-O-8

特提斯喜马拉雅东部中新世剥露过程及其控制因素

韩续¹，戴紧根^{1*}，刘伯蓉¹

¹ 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
* djgtibet@163.com

高度活跃的喜马拉雅造山带是研究全球剥露过程最为理想的区域之一，前人基于低温热年代学方法在喜马拉雅地区南坡开展了大量研究，然而由于该地区具有降雨量高、地形陡峭、构造活跃等复杂因素，导致学界对剥露过程的主控因素一直存在争议。特提斯喜马拉雅大部分区域位于高原面之上，构造背景与气候环境相对稳定，更有利于探讨剥露过程的控制因素。然而在特提斯喜马拉雅内的已有研究大多关注于穹窿与南北向正断层，缺乏对特提斯喜马拉雅整体剥露过程的研究。为了重建特提斯喜马拉雅东部的剥露过程，探究其控制因素，本研究在隆子、洛扎等地沿河道采集低温热年代学基岩样品，开展磷灰石（U-Th）/He 测试，基于低温热年代学数据与热历史模拟识别出在喜马拉雅分水岭以南的特提斯喜马拉雅存在一期 8~5 Ma 的快速剥露事件。该事件与亚洲季风增强导致的降水增加同步，表明气候驱动的河流下切加剧是剥露的主要控制因素。为了进一步验证剥露过程与河流下切的关系，本研究提取了区域内的河谷宽度以反映河流的长时间尺度特征。喜马拉雅东部分水岭以南的河谷宽度明显比分水岭以北未被改造的河谷宽度窄，暗示了特提斯喜马拉雅东部分水岭两侧存在不同的剥露期次。研究区的河谷宽度与剥露速率呈负相关，表明了河流侵蚀对造山带剥露的长期调控作用，

为理解构造-气候-侵蚀耦合机制提供了新的见解。

S02-O-9

晚三叠世卡尼期湿润事件期间的大气二氧化碳浓度重建

张筱青^{1,2*}, Dana L. Royer¹, 张立², 王永栋²

¹ Wesleyan University, Department of Earth and Environmental Sciences

² 中国科学院南京地质古生物研究所

* xqzhang927@foxmail.com

晚三叠世卡尼期（约 2.37 亿至 2.27 亿年前）发生了一个关键的气候事件——卡尼期湿润事件（Carnian Pluvial Event, CPE）。该事件被认为与碳同位素负偏、全球变暖以及兰格利亚（Wrangellia）大型火成岩省的喷发有关。在 CPE 期间，陆地气候由干燥转为潮湿，陆地植物群迅速繁盛。在位于广东省与湖南省交界处的南岭一带，广泛发育着晚三叠世到早侏罗世的海陆交互相含煤地层，其中富含包括菊石、双壳类、介形虫等海相、半咸水相动物化石以及大量植物化石。其中以南岭地区卡尼期红卫坑组的植物化石保存最为良好，这为重建当时的大气二氧化碳浓度及进一步研究古气候提供了来自华南低纬度地区的重要材料。基于对采集自南岭地区 CPE 期间同一层位的植物化石（包括本内苏铁类，如科齐侧羽叶（*Pterophyllum kochi* Harris）和西南侧羽叶（*Pterophyllum xinanense* Yang）、乐昌毛羽叶（*Ptilophyllum lechangense* Wang emend. Zhang）以及种子蕨类中华叉羽叶（*Ptilozamites chinensis* Hsü））的叶角质层气孔与同位素分析，我们使用 Franks 叶片—大气交换模型（leaf-gas exchange model）重建了该时期的二氧化碳浓度。我们估算的 CPE 期间的二氧化碳浓度为 391 ppm（在 95% 置信区间内为 265–576 ppm）。关

于三叠纪卡尼期的古大气二氧化碳浓度记录数量较少，现已经发表的估值在 116 至 1140 ppm 之间，且主要基于古土壤指标、气孔指数等经验模型指标和苔藓类植物指标等。尽管我们的古大气二氧化碳浓度重建估值在物种内和物种间存在一定的差异，但均指向较低的二氧化碳浓度，这表明 CPE 很可能发生在一个古大气 CO₂ 浓度较低的时期。

S02-O-10

利用银杏叶片化石追踪古大气汞浓度的变化

张立¹, 王永栋^{1*}, Micha Ruhl^{2*}, Emma Blanka Kovács²

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所，古生物学与油气地层应用全国重点实验室

² Trinity College Dublin, The University of Dublin, Department of Geology & Earth Surface Research Laboratory (ESRL)

* ydwang@nigpas.ac.cn

* ruhlm@tcd.ie

植被是大气汞循环中重要的汇（Sink）之一。在植被参与的大气汞循环中，叶片通过对大气气态汞（Hg⁰）的吸收与积累作用，将汞元素贮存在叶片组织内部。研究表明，现生植物地上组织中所含的汞元素大多来源于大气，其总量的 80% 被贮存在叶片中。由于植物叶片与大气汞之间存在着紧密的联系，因此植物叶片被认为是记录大气汞浓度变化的良好指标之一。然而，关于叶片汞与大气气态汞之间的相关性的约束仍然很少。在地质历史时期，大气中的汞异常通常由古火山活动、古火灾事件等引发。同时期的植物会吸收大气中过量的汞元素，并将这些汞异常变化的信息保存在化石中。大气汞元素含量的波动变化是否能在远古时期的植物叶片角质层中保存并记录下来，仍是目前亟待研究的领域之一。

本研究对三组银杏类植物的叶片样本（包含现生以及化石）进行了总汞浓度测量：1）采集自中国十个不同地区的现生叶片（ $N = 272$ ）；2）在南京一个生长季节内每月采集的现生叶片（ $N = 128$ ）；3）在大柴旦地区下-中侏罗统采集的化石银杏样本（ $N = 23$ ）。通过分析前两组现生银杏叶片样品的总汞浓度，研究认为区域环境中的气态汞浓度背景值可能是影响银杏植物叶片汞浓度的主要因素之一；其他可能的影响因素包括叶片年龄、海拔等。而叶片汞浓度与温度、降水、湿度等常见气候指标并未显示出统计学意义的相关性。对于化石样品，测试结果表明化石角质样本中的汞浓度（平均浓度为 $585.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ）显著高于现代银杏叶（平均浓度 $61 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ）及同层沉积物（平均浓度 $113 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ）。考虑到化石化过程中可能的汞元素迁移，我们认为化石角质中较高的汞浓度，应与叶片生前受到大气汞浓度异常的影响，及叶片在化石化过程中的质量损失有关。据此推测化石样品中高浓度的汞含量，可能由叶片生长过程中吸收并存储了过量的气态汞所导致，并在后续化石形成过程中被保留下来。这很可能与早侏罗世 Karoo-Ferrar LIP 大火成岩省事件造成的全球大气气态汞浓度的变化有关，并影响了同时期银杏类植物叶片中的汞含量。这一初步研究支持了银杏叶片化石角质层中汞浓度变化可能反映早侏罗世古大气中气态汞变化的观点。

S02-O-11

气候变化与若尔盖盆地边缘黄河和长江分水岭的迁移

李正晨¹，王先彦^{1*}，林偲蔚¹

¹ 南京大学，地理与海洋科学学院
* xianyanwang@nju.edu.cn

水系重组是地貌演化的重要组成部分，深刻影响着流域物种演化过程、水资源配置格局，与人类的生产生活息息相关。若

尔盖盆地是黄河流域重要水源地，被誉为“黄河之肾”，其周缘呈现出独特的地貌二元结构：黄河流域一侧夷平面发育，地形平缓；而长江流域一侧发育深切峡谷等瞬态地貌。通过 DEM 解译、河流纵剖面分析及野外地貌填图综合研究，揭示出青藏高原东缘 1.7Ma 以来，第四纪气候变化打破了区域构造-侵蚀的动态平衡，驱动分水岭向黄河一侧迁移，迄今已有超过 30000 km^2 的原黄河流域被长江水系袭夺，这种袭夺效应使黄河年均径流减少 50 亿 m^3 （相当于南水北调西线设计调水量的 1.2 倍）可见黄河上游若尔盖盆地周缘的地质构造与地貌格局，具备承载调水增容的长期稳定性基础。

S02-O-12

晚中生代辽西地区木化石古气候新证据

蒋子堃^{1*}，田宁³，王永栋²，郝瑞莹¹，史骁⁴

¹ 中国地质科学院
² 中国科学院南京地质古生物研究所
³ 沈阳师范大学
⁴ 吉林大学
* jiangmaomao_925@sina.com

燕辽生物群与热河生物群其出现时间与华北克拉通破坏的初始阶段和高峰期在时间上相吻合。燕山期造山运动作为晚中生代全球性构造事件，被认为是导致燕辽生物群与热河生物群更替的直接原因。生物群的繁盛与消亡在时空上与火山活动强度和裂陷盆地发育密切相关，暗示深部动力学过程对地表古地理格局及生态系统的深远影响。尽管如上所述，已有研究对晚中生代重大地质事件（与构造背景相关）与重要生物群演替的关系进行了定性探讨，但涉及植物群落与其环境关系的定量分析至今仍较为匮乏。特别是基于地层连续性的化石木材大量数据开展的古气候与古环

境研究仍十分有限。木本植物的生长轮对古气候和古环境条件极为敏感，是解析古气候的重要指标。选取生长轮类型、叶片寿命及相关参数（如平均敏感度、晚材百分比、缩减率、生长轮显著指数及 csdm 曲线——即计算每个细胞直径相对于平均径向细胞直径的累积代数偏差并绘制为曲线）作为古气候分析的关键指标。叶片寿命是从化石木材生长轮反推古气候时必须考虑的重要因素，因为除生长环境（气候与土壤条件）的直接影响外，叶片寿命对生长轮显著度具有重要调控作用。叶片习性（尤其是落叶或常绿特性）对现生及古植物的气候反馈与生态适应均具有重要影响。因此，常绿与落叶习性会随地质时期和地理位置的变化而呈现差异。然而，针对本研究关注的区域（中国辽西地区）和时段（晚侏罗世至早白垩世），我们对当时植物叶片习性的认知仍存在显著空白。研究采用的古植物学方法基于树木年代学原理。生长轮的古气候意义需通过结合孢粉学等多源古气候数据的迭代推理过程进行综合解译。因此，我们采用多管齐下的古气候重建策略：（1）通过传统古植物学方法，基于化石木材解剖特征（尤其是年轮生长模式）进行木材系统学与古气候分析；（2）通过孢粉学结果验证方法（1）推断的古气候结论。

S02-O-13

中生代陆地气候变化与古大气 CO₂ 浓度重建——来自中国的古植物学证据

王永栋^{1*}，张筱青²，张立¹

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所

² Department of Earth and Environmental Sciences, Wesleyan University, Middletown, CT 06459, USA

* ydwang@nigpas.ac.cn

中生代是深时地球温室气候的典型代表时期，发生了一系列重大地质和环境变

化事件，包括火山活动加剧、古地理格局重大改变、二氧化碳浓度迅速升高、海平面上升以及海洋缺氧事件等，期间还发生以三叠纪-侏罗纪之交和白垩纪-古近纪之交为代表的重大生物灭绝事件以及陆地植被的更替等现象。作为重要的温室气体之一，CO₂ 在全球变暖过程中起着关键作用，并影响地球表面温度。利用替代性指标重建古大气 CO₂ 浓度，对理解中生代“温室效应”至关重要。然而，目前新生代之前的 CO₂ 浓度数据较为匮乏，因此难以可靠地将地球的气候环境变化与古大气 CO₂ 变化关联起来。近二十年来，基于古植物研究的逐渐积累，包括叶片角质层气孔特征的古植物学替代性指标，在重建中生代时期古大气 CO₂ 水平方面展现出巨大应用价值。随着“深时数字地球”（DDE）大科学计划古二氧化碳任务组研究工作的推进，需要将古二氧化碳替代指标数据库、数据标准化更新以及替代参数模型等方面与“显生宙二氧化碳代用指标整合项目”（CO₂PIP）紧密合作并期待取得积极进展。通过统计方法整合替代模型与数据，旨在生成可靠的中生代古大气二氧化碳定量重建结果，尤其关注三叠纪-侏罗纪界线和白垩纪时期的记录及变化。为检验古大气 CO₂ 估算结果的一致性，需要对采自同一化石层位的不同植物类群（比如银杏类）化石物种应用三种方法进行比较。目前正在进行的研究中，对于华南四川盆地、岭南地区晚三叠世、鄂西地区和柴达木盆地早中侏罗世以及东北地区早白垩世等产地的种子蕨、苏铁类和银杏类等若干植物化石类群开展专题研究，结合植物碳同位素分析和叶片气孔-气体参数模型进行古大气 CO₂ 的重建。这些研究将为深入探究三叠纪卡尼期洪泛事件、三叠纪-侏罗纪之交生物大灭绝、托尔期大洋缺氧事件、早中侏罗世气候事件以及早白垩世温室气候环境的波动变化提供来自中国的古植物学证据。

S02-O-14

Leaf documentation and Digital Leaf Physiognomy estimate of the Coal Creek Member of the middle Eocene Kishenehn Formation in northwestern Montana, USA

MacKenzie Smith^{1*}, Xiaoqing Zhang²

1 Sacred Heart University, Department of Biology

2 Wesleyan University, Department of Earth and Environmental Sciences

* smithm1@sacredheart.edu

The Kishenehn Formation is a series of Eocene through Oligocene deposits spanning from southeastern British Columbia, Canada to northwestern Montana, USA. Mammals and freshwater mollusks have been documented from the formation but it is better known for its insect assemblage from the 44 Ma paper shales of the Coal Creek Member along the Middle Fork Flathead River in northwestern Montana. Recently, a paleoclimate reconstruction was performed using the Bioclimatic Analysis/Mutual Climate Range Technique, a coexistence approach, using the fossil plants from the Coal Creek Member. Here, Digital Leaf Physiognomy was employed to subsidize any inherent bias from nearest living relative techniques. *Alnus* was the most common leaf found and experienced margin and hole feeding damage types. These efforts in paleoclimatology, biodiversity and species interactions flush out our understanding of an ancient ecosystem that is regionally important.

S02-O-15

晚白垩世藏南地区古水系格局的新认识

张佳伟^{1*}, 戴紧根^{2*}, 钱信禹³, 涂家润⁴, 张会平¹, 李亚林², 李帅², 赵旭东¹, 刘康⁵

1 中国地震局地质研究所

2 中国地质大学(北京)

3 中国地质调查局陕西地质调查中心

4 中国地质调查局天津地质调查中心

5 中山大学

* jiawei@ies.ac.cn

* djgtibet@163.com

印度-欧亚碰撞前亚洲大陆南缘的古水系格局对于认识深时古地貌演化具有重要意义。研究表明, 古拉萨河在晚白垩世已经存在, 并向西经过上千公里, 汇入海沟盆地。然而, 该认识主要基于最终汇水盆地的物源分析, 对水系格局的样式并未深入探讨。本文报道了位于冈底斯弧后地区的设兴组的沉积学、岩石学以及锆石 U-Pb 年代学数据, 以揭示印度-亚洲碰撞前藏南地区的地表水系格局。来自安山岩夹层和沉积凝灰岩样品的锆石 U-Pb 年龄限定冈底斯弧后盆地设兴组的沉积时代为 110-85 Ma。沉积学研究表明, 设兴组主要形成于河流环境中。定量物源分析表明, 其物源主要来自拉萨地体中北部地区(>60%), 冈底斯岩浆弧贡献的碎屑物较少。该解释结合冈底斯的地壳厚度与古高程演化, 挑战了传统的弧后前陆盆地模型。基于碎屑锆石年龄分布的定量指标(例如年龄组成中第 10 与第 50 百分位数的差值及 χ^2 分布分析)支持设兴组沉积时期处于伸展构造背景。结合弧前盆地的空间分布特征、古流向以及日喀则弧前盆地和海沟盆地的物源和年代学研究成果, 我们认为在设兴组沉积期间, 亚洲大陆南缘曾存在数条穿越冈底斯山的河流系统, 而非一条古大河。该时期藏南的古地貌特征类似现今的台湾岛, 河流近平行发育于中央山脉, 流经平原后, 最终切穿海岸山脉汇入大洋, 如秀姑峦溪、卑南溪、花莲溪。

S02-O-16

早白垩世辽西地区热河生物群古环境的粘土矿物学证据

董甜^{1,2}, 高远^{1,2*}, 陈积权^{1,2}, 张一范^{1,2}

1 中国地质大学(北京), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

* yuangao@cugb.edu.cn

早白垩世热河生物群保存了带羽毛恐龙、鸟类起源、早期被子植物等丰富的古生物化石, 然而热河生物群生存时期的古环境背景研究仍相对较少。本研究对辽西地区下白垩统土城子组、义县组和九佛堂组典型剖面样品开展粘土矿物学研究, 基于粘土矿物组合及伊利石化学风化指数, 重建早白垩世热河生物群古环境。研究结果显示, 粘土矿物组合以蒙脱石、伊利石、伊蒙间层矿物为主, 绿泥石极少, 不含高岭石, 指示早白垩世辽西地区为半湿润-半干旱气候, 可能受季节性降水影响。伊利石化学风化指数普遍低于 0.4, 显著低于同时代东亚其它地区伊利石化学风化指数。通过系统分析现代亚洲地区沉积物伊利石化学风化指数与环境的关系, 发现极低的伊利石化学风化指数出现在高海拔、陡峭地形, 通常包含山脉、山谷、盆地等复合地貌为特征的山区环境。因此推断早白垩世温室气体背景下, 辽西地区为高地形起伏的山区环境, 为热河生物群古环境重建提供了新的矿物学证据, 而热河生物群的物种多样性特征亦与具有显著垂直梯度变化的山区气候相吻合。

S02-O-17

锆石记录揭示超高山形成及其对古环境和氧化事件的影响

朱子宜^{1*}

1 香港大学, 地球科学系

* ziyizhu000@gmail.com

陆陆碰撞产生高耸的山脉, 这些山脉快速侵蚀, 进而可能显著影响海洋中的生命和大气中的氧气含量。锆石中较低的镭(Lu)含量可作为识别源于深部高山高压带的锆石的标志, 这是因为在高压条件下会形成大量石榴子石, 导致共生的锆石亏损重稀土元素(如 Lu)。通过将此技术应用于全球主要河流的碎屑锆石数据库, 研究表明在地球历史中约 19.5-18.5 亿年前和 6.5-5 亿年前是超高山大规模形成的时期, 而中间的时期则没有类似现象。这些超高山是由陆陆碰撞产生的, 伴随着哥伦比亚超大陆(也称 Nuna)和冈瓦纳超大陆(Gondwana)的聚合。这两段时期的超高山形成会导致快速侵蚀和增强的沉积作用, 这与多个地质指标一致, 例如平均变质压力峰值、海水中锶同位素异常增加以及大量 S 型花岗岩的产生。此外, 超高山的快速侵蚀会将大量营养物质释放到海洋中, 并在快速沉积过程中促进有机碳的埋藏, 这些效应预计将导致大气氧含量的增加。这与 18 亿年前条带状铁建造的消失以及新元古代晚期大气氧含量的快速增加相吻合, 后者被称为第二次大氧化事件(GOE-II)。

S02-O-18

中国东部陆相 Hg 记录揭示 OAE1a 期间强烈火山活动

于欣鹭¹, 顾雪¹, 韩凯博², 姚翰威³, 尹润生⁴, 张来明^{1*}

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

2 河北地质大学, 地球科学学院

3 中国地质大学(北京), 科学研究院

4 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室

* lzhang@cugb.edu.cn

白垩纪时期发生了多次大洋缺氧事件(OAEs), 是温室气体条件下全球碳循环扰动的典型表现。其中一次发生在 Aptian

早期距今~120Ma 的 OAE1a, 具有全球性规模。一般认为该事件的发生和发展机制与海底大火成岩省喷发有关, 导致大量轻碳注入到海气系统当中, 造成了全球碳循环和气候环境扰动。OAE1a 以广泛沉积黑色页岩为特征, 在事件地层中记录到了碳同位素的多阶段偏移 (C1-C8)。当前, 针对 OAE1a 的研究主要集中于海相地层, 对于陆相地层研究程度不高, 这限制了对该事件影响下陆地气候-环境演变的理解。因此, 本研究基于中国东部胶莱盆地地下白垩统莱阳群河湖相沉积地层进行高分辨率采样, 对采集到的样品进行总有机碳含量 (TOC)、主量元素含量、有机碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)、汞 (Hg) 元素含量及 Hg 同位素测试。通过分析胶莱盆地碳同位素曲线, 识别到了陆相 OAE1a 的发生, 并与海相 OAE1a 典型剖面进行对比, 明显符合碳同位素各个阶段的偏移特征, 与海相记录具有良好的可比性。另外, Hg 元素含量和 Hg 同位素数据证明火山导致了 OAE1a 的发生。在事件开始前 (C2 顶部) Hg 元素含量显著升高, 对应 Hg 同位素正偏, 显示了火山活动大气沉降的信号; 随后, 在事件开始时 (C3 底部) 出现的 Hg 元素异常富集对应于 Hg 同位素快速负偏, 记录到了大量陆源物质输入的增加; 随着火山脉冲进一步增强, 又出现三次 Hg 元素富集现象并均对应于 Hg 同位素正偏, 表明火山活动维持了 OAE1a 的发展。通过对事件地层建立天文浮动标尺, 得到事件持续时间约为 1.7Myr。其中前两次 Hg 峰值的间隔时间约为 149.21kyr, 可能是同一次火山活动造成的结果。通过与海相地层 Hg 记录的对比, 发现在 C3 和 C5 阶段与不同海相剖面存在 Hg 峰值的对应, 可能记录到了大火成岩省的信号, 表明 OAE1a 时期大火成岩省喷发影响了中国东部陆地气候与环境演变。结合当时区域构造活动分析, 认为同时存在中国东部陆地火山活动的叠加影响。

S02-P-1

渤海湾盆地东营凹陷古近纪孔店期地质结构与盆地原型

李传新^{1*}, 冯佳莹¹

¹ 中国地质大学 (北京), 能源学院

* chuanxin_li@cugb.edu.cn

孔店期是渤海湾盆地新生代早期重要的构造转换阶段, 其地质结构特征和盆地原型对深入理解该区深时构造演化与古地貌重建具有重要意义。本文以渤海湾盆地东营凹陷为研究区, 综合断层系统解析、岩心观察、Ar-Ar 同位素定年及构造平衡恢复等手段, 系统探讨孔店期断陷湖盆的形成过程与构造—沉积响应机制。研究显示, 该时期初始断陷活动与强烈岩浆作用并存, 玄武岩 Ar-Ar 定年结果为 $63.62 \pm 1.59 \text{ Ma}$, 反映盆地已进入伸展构造应力场。孔店组孔二段沉积期断陷湖盆已具备雏形, 孔一段沉积期断裂发育, 湖盆面积扩大, 发育伸展控盆正断层陈南断层、王家岗断层、石村断层和高青断层, 形成北断南超的箕状断陷湖盆, 并控制了沉积体系的展布。剖面构造平衡恢复结果表明孔店期的伸展率达 7.3%, 表明该期为断陷湖盆快速发育的关键时期。本研究明确了孔店期东营凹陷的地质结构与盆地原型, 对新生代构造转换背景下的深层沉积体系及油气勘探具有重要意义。

S02-P-2S

藏东中始新世卤蕨化石揭示班公湖-怒江缝合带的古环境变化

宗浩然^{1,2}, 高毅³, 柴威^{1,2}, 宋艾^{1,2}, 苏涛^{1,2,3*}

¹ 成都理工大学, 油气藏地质及开发工程国家重点实验室

² 成都理工大学, 沉积地质研究院

3 中国科学院西双版纳热带植物园, 热带森林生态学重点实验室
* sutao@cdut.edu.cn

卤蕨属隶属凤尾蕨科, 为多年生大型草本蕨类植物, 该属共有三个现生种, 是红树林生态系统的主要成分之一, 主要分布于全球热带海岸区域及林缘地带。因其独特的生长环境, 卤蕨属具有非常重要的环境指示意义。卤蕨属常见的化石类型以孢子化石为主, 而叶片化石相对稀少, 且大多保存不完整。近期, 本人所在团队于青藏高原东部的洛隆盆地始新世地层中发现了保存状况良好的卤蕨属羽片化石。该化石为羽片中部片段, 尽管叶尖及叶基等结构未能完整保存, 但叶脉特征清晰可辨。该化石标本的主要形态特征为: 羽片中脉突出, 二级脉从中脉斜向延伸, 角度逐渐增大, 并反复交汇, 构成矩形至多边形的网状结构。经过细致的形态学观察与比较, 该化石形态与现生种尖叶卤蕨 (*Acrostichum speciosum* Willd) 最为相似。通过 GBIF 数据库查询大量的标本采集记录表明, 该属现今的自然分布范围涵盖热带和亚热带地区的美洲、亚洲、非洲以及澳大利亚, 其分布区具有温度较高和降水丰富等气候特征。化石记录显示, 地质时期卤蕨属分布范围也极为广泛, 主要报道于北半球不同纬度地区以及南半球低纬度地区。MaxEnt 模型模拟结果表明, 该属植物在始新世最适分布区最广, 随后因全球变冷逐渐退缩至低纬度地区。该化石的发现表明, 中始新世青藏高原东部气候温暖湿润, 海拔可能不超过 1600 米。这一发现进一步证实位于班公湖-怒江缝合带的中央谷地向东延伸至洛隆盆地, 为探讨中央谷地的东缘边界与气候状况提供了关键证据。

S02-P-3

断层连接和地表过程驱动念青唐古拉中部上新世-更新世快速集中剥露

刘伯蓉¹, 戴紧根^{1*}, 韩续¹, Matthew Fox², 徐诗颖³, 王成善¹

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
2 University College London, Department of Earth Sciences

3 中国科学出版社

* djgtibet@163.com

正断层系统是协调上地壳伸展的基础构造, 其发育和演化在塑造地貌的过程中起着关键作用。念青唐古拉山位于青藏高原南部亚东-谷露断层的下盘, 为研究驱动剥露的构造和气候之间的相互作用提供了天然实验室。研究对来自念青唐古拉山中部和南部两个垂直剖面进行磷灰石和锆石 (U-Th)/He 分析。南部剖面记录 AHe 年龄为 9.4-4.8Ma, ZHe 年龄为 11.2-10.8Ma, 而中部剖面显示较年轻的 AHe 年龄为 2.5-2.2Ma, ZHe 年龄为 3.5-2.9Ma。热历史和热运动学模拟确定了中中新世和上新世-更新世两个加速冷却和剥露的阶段。念青唐古拉中部在 3.5-2Ma 以约 5.7mm/yr 的速度经历了极快速的剥露, 研究将其归因于早期独立断层段的连接。尽管自中新世晚期青藏高原南部处于构造稳定阶段, 但自上新世以来持续的快速剥露表明气候因素的影响, 北半球冰期的开始可能加剧了区域侵蚀。研究强调了断层连接和气候在驱动快速剥露过程中的综合影响, 为构造、气候和地表过程间相互作用在塑造青藏高原地貌演变方面提供了新的见解。

S02-P-4S

约旦西北部中侏罗世植物群角质层研究

陈泓宇^{1,2,4}, Abdallah Abu HAMAD³, 王永栋^{1,4*}, Dieter UHL²

1 中国科学院南京地质古生物研究所
2 Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum
Frankfurt
3 The University of Jordan, Department of Applied and
Environmental Geology
4 中国科学院大学, 南京学院
* ydwang@nigpas.ac.cn

位于约旦西北部 Bin Fa'as 峡谷中的中侏罗世 (Bathonian) Arda 组植物群, 为一异地埋藏的植物大化石植物群。关于该植物群的研究较为初步, 仅有基于植物叶片形态的宏观描述, 缺乏对于角质层等微细结构的深入研究。本研究基于采集自该植物群的原位或分散角质层, 鉴定、描述了 7 种形态类型, 皆属裸子植物: 耳羽叶 (*Otozamites*) 及其他本内苏铁类, 掌鳞杉科植物 (cf. *Brachyphyllum*) 及其他松柏类。根据前人研究, 该植物群以本内苏铁类 (*Bennettitales*) 为主导, 伴生有真蕨类及有节类, 未见松柏类植物。本研究描述的松柏类植物, 尤其是鳞叶松柏类角质层, 是约旦西北部中侏罗世植物群松柏类植物的首个记录, 填补了研究区重要植物类群的空白, 完善了对该植物群组成成分的认识, 使其与中东周边地区的其他侏罗纪植物群在组成上更具可比性。经对比, 该植物群与以色列南部内盖夫 (Negev) 的中侏罗世 Imran 组植物群在植物组成上有较高的相似性。根据前人及当前研究该植物群含有大量喜热植物, 如耳羽叶 (*Otozamites*)、毛羽叶 (*Ptilophyllum*) 等; 存在典型的旱生植物, 如鳞叶型的掌鳞杉科植物 (*Cheirolepidiaceae*); 具有较厚、剧烈角质化、气孔下陷、乳突及毛状体发育等适应干旱环境的角质层特征。以上特征均指示表明约旦西北部在中侏罗世时期的气候温暖且相对干旱。

S02-P-5S

开鲁盆地中新生代构造属性及油气意义

孙一丹¹, 李传新^{1*}, 范永琪¹

1 中国地质大学 (北京), 能源学院
* chuanxin_li@cugb.edu.cn

开鲁盆地作为松辽盆地西缘的重要含油气单元, 其中新生代构造演化长期受古亚洲洋闭合与环太平洋构造域叠加作用控制。本文系统总结了盆地构造属性争议、多期构造演化阶段及其动力学机制, 探讨了构造活动对油气成藏的关键控制, 并指出未来需加强深部过程与浅表响应的耦合研究。开鲁地区自中生代起经历了基底形成、初始张裂 (义县组)、伸展断陷 (九佛堂-阜新组)、挤压拗陷 (泉头组-明水组)、差异升降 (古近纪-第四纪) 五个构造演化阶段。中生代裂陷阶段盆地受蒙古-鄂霍茨克洋闭合及古太平洋板块俯冲远程效应影响, 区域伸展作用形成北东向断陷群 (如钱家店凹陷), 发育地堑-半地堑结构, 火山活动频繁 (兴安岭群火山岩)。拗陷阶段 (晚白垩世): 构造应力由伸展转为弱挤压, 盆地整体沉降, 沉积范围扩大, 形成广覆式河流-湖泊相碎屑岩 (如姚家组、嫩江组)。新生代受太平洋板块俯冲方向改变及郯庐断裂带右行走滑影响, 局部发生挤压反转 (如北西向背斜构造), 古近纪沉积局限, 新近纪以区域性抬升剥蚀为主。

S02-P-6S

胶莱盆地首次发现早白垩世松型木属及异木属木化石

郝瑞莹¹, 邹占春^{2,3}, 蒋子堃^{1*}, 许克民⁴, 宁振国⁵, 田宁⁶, 谢奥伟⁷, 史骁⁸, 王永栋⁹, 徐国华¹⁰, 张福霞¹⁰

1 中国地质科学院
2 山东省地质矿产勘查开发局, 第八地质大队
3 山东理工大学, 资源与环境工程学院
4 山东省地质调查院
5 山东省自然资源厅
6 沈阳师范大学, 古生物学院
7 Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum
Frankfurt
8 吉林大学, 地球科学学院

9 中国科学院南京地质古生物研究所

10 五莲县自然资源和规划局

* jiangmaomao_925@sina.com

白垩纪中国东部地区南北植物区系的木化石多样性丰富。近年来,对华北地块硅化木的研究极大增进了我们对于白垩纪植物群落演化的认识。然而,与其他地区相比,山东胶莱盆地白垩纪的木化石研究仍极为匮乏。本研究首次报道了胶莱盆地早白垩世地层中的两种木化石,分别为新种山东松型木(*Pinuxylon shandongense* Hao, Jiang, Tian et Wang sp. nov.)以及宽孔异木(*Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothan)。山东松型木(*Pinuxylon shandongense* sp. nov.)是迄今为止全球已报道的松型木属中时代最早的记录。基于木化石的镜下解剖特征的表型分析,表明该新种与*Pinuxylon pinastroides*的亲缘关系最近。此外,对宽孔异木的镜下解剖特征研究,结合此前对山东油杉型木(*Keteleeriaoxylon shandongense*)的生长轮参数分析,揭示出早白垩世胶莱盆地气候存在季节性变化,在以大范围干旱的气候背景下存在小型的湿润气候区,并且该地区早白垩世的古纬度在北纬 30°之上。这些发现不仅丰富了异木属与松型木属在中国的分布记录,也为中国白垩纪木化石的古气候与古地理研究提供了关键证据。

S02-P-7S

中国辽西秀水盆地下白垩统义县组高精度锆石 U-Pb 地质年代学约束

吴思晋¹, 张丽敏¹, 吴多甲¹, 王天天^{1*}

¹ 中国地质大学(北京), 科学研究院

* tianwang@cugb.edu.cn

白垩纪是典型的温室气候时期,了解白垩世升温过程中陆地生态系统的古气候与古环境演化,为预测未来全球变暖发展

趋势提供了重要的依据。我国辽西地区义县组的河湖相沉积物保存了良好的热河生物群化石,代表了其演化辐射最广的阶段。为义县组建立高精度的年代格架是进行早白垩世古气候、古环境和生物演化并进行区域和全球对比的基础和关键。但目前对义县组的年代学研究结果仍存在很多争议,在整个区域不同盆地可能存在穿时现象,因此我们需要对区域不同地点的义县组地层进行高精度年代学研究。辽西秀水盆地辽法 D1 井恢复了保存良好的义县组沉积记录,为开展义县组高精度年代学研究和陆相古气候研究提供了良好的材料。本研究对秀水盆地辽法 D1 井 4 层凝灰岩进行锆石 U-Pb CA-ID-TIMS 地质年代学研究,结果显示秀水盆地义县组的沉积时间为从~121.4 Ma 持续到~124Ma,沉积速率为~15.9-21.3cm/kyr。本研究的结果结合前人对义县组的高精度年代学约束显示,辽西地区义县组沉积可能持续了约 4.36 Ma。

S02-P-8S

西藏中部尼玛盆地新生代地形演化的深部动力学机制: 锆石 U-Pb 与(U-Th)/He 热年代学约束

高爽¹, 密文天^{1*}, 安宇¹, 罗宇航², 卢海昕¹

¹ 内蒙古工业大学, 资源与环境工程学院

² 兰州大学, 地质科学与矿产资源学院

* migeochemistry@126.com

青藏高原中部新生代高海拔、低起伏地形与深部动力学过程的耦合关系缺乏系统约束,这制约了对高原隆升与地貌演化过程的深入理解。本文以青藏高原中部重要构造单元——尼玛盆地为研究对象,针对其新生代牛堡组砂岩开展锆石 U-Pb 定年与(U-Th)/He 低温热年代学研究,结合前人报道的年代学数据系统揭示了始新世

以来该盆地的物源演化特征及隆升过程，并阐明了高海拔、低起伏地形的动力学成因机制。碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系呈现出多峰叠加的复杂特征，指示盆地沉积物源自拉萨地体、羌塘地体及特提斯喜马拉雅地体多构造单元的混合供给。其中南部坳陷 56–26 Ma 年龄峰与拉萨地体林子宗火山岩活动期高度吻合，而北部同期年龄峰的缺失表明了中央隆起带的构造分隔作用，由此推断新生代早期盆地南北已形成独立沉积系统。低温热年代学数据进一步揭示盆地南北隆升过程存在显著时空差异：北部坳陷在始新世中–晚期（ca. 42–35 Ma）以 0.06–0.23 mm/yr 速率发生快速隆升-剥露，该过程是印度陆块俯冲挤压与拉萨地体岩石圈拆离过程的响应，标志着高海拔、低起伏地形的初始形成阶段；南部坳陷中新世中–晚期（ca. 15–7 Ma）0.20–0.24 mm/yr 的构造剥露速率，可能是由于俯冲印度大陆断离所诱发的断层系统活化，该事件驱动了高海拔、低起伏地形的加速演化。本研究通过尼玛盆地的案例分析，为青藏高原中部新生代高海拔、低起伏地形的深部动力学形成机制提供了可靠的锆石 U-Pb 与（U-Th）/He 热年代学证据，对深入解析青藏高原中部的构造-地貌协同演化过程具有重要科学意义。

S02-P-9S

晚中新世喜马拉雅腹地 C₄ 植物扩张受干旱环境与季节性温度共同驱动

梁乾坤^{1,4}，戴紧根^{1*}，贾国东²，林杰³，韩续¹，罗中原²，侯科莉¹，刘伯蓉¹，王成善¹，Albert Galy⁴

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 同济大学，海洋地质全国重点实验室

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

4 Université de Lorraine, Centre de Recherches

Pétrographiques et Géochimiques

* djgtibet@163.com

晚新生代喜马拉雅地区 C₄ 植物扩张为理解陆地生态系统演变提供了重要窗口。然而，现有研究大多集中在低海拔的前陆地区，对高海拔腹地地区的认识不足。因此，本文对喜马拉雅中部的达涕盆地晚中新世沉积地层（约 8.6~6.6Ma）开展了系统的生物标志物分析，包括甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）、正构烷烃及其碳氢同位素测定。结果表明：约 8Ma 起，烷烃碳同位素持续正偏，指示该地区植被从 C₃ 植物主导逐渐转变为 C₃-C₄ 混合生态系统。区域对比显示，喜马拉雅中部 C₄ 植物扩张时间早于西部（约 7.6Ma）和东部地区（约 7.0Ma）。正构烷烃氢同位素的大幅波动以及 GDGTs 约束的土壤温度变化与 C₃-C₄ 混合生态系统的建立未发现相关性，表明环境水分变化不足以作为促进达涕盆地 C₄ 植物扩张的唯一因素。另一方面，夏季平均气温在约 8.6~8.0 Ma 之间略有升高，说明生长季气温升高对 C₄ 植物的扩张有显著的促进作用。综上所述，喜马拉雅北坡腹地更大的温度振幅和更干燥的环境，创造了有利于 C₄ 植物扩展的生态环境。

S02-P-10S

提升古地理图时间分辨率的方法探究

宁嘉豪¹，刘永岗^{1*}，贺志霖²，郑栋宇³

1 北京大学，物理学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

3 成都理工大学，沉积地质研究院

* ygliu@pku.edu.cn

古地理是进行古气候、碳循环和地貌等研究所需要的重要数据，但是现有的全球古地理图时间分辨率比较低，普遍在 5 百万年左右，常常不能满足需求。本研究基于 Scotese 等人重建的古地理图，测试使用光流法结合线性插值来得到两帧已知古

地理图之间任意时刻的古地理,取得了良好的结果。并且,通过比较发现,在原始古地理数据时间分辨率较低的情况下,基于神经网络的机器学习方法可能会将一个板块错误的分成两部分,而光流法则能较好地避免这种问题的出现。因此,光流法是一种基于已有古地理图基础之上的高效合理获得高时间分辨率古地理数据的方法。

S02-P-11S

藏南冈底斯岛弧锆石 Eu 异常与地壳厚度新理解

任广生¹, 戴紧根^{1*}, 刘翔瑞¹, 韩续¹, 刘伯蓉¹, 孙佳奇¹

¹ 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
* djgtibet@163.com

近年研究表明, 岩浆岩全岩地球化学及锆石微量元素特征(如 Eu 异常)可作为地壳厚度的有效指标。冈底斯岛弧作为印度-欧亚板块碰撞的典型岩浆弧, 其晚中生代—新生代岩浆记录为地壳演化研究提供了理想载体。前人基于岩浆锆石及碎屑锆石地球化学数据重建了该区地壳厚度演化史, 但重建结果与已有研究存在显著矛盾: 65~40 Ma 期间, 估算的地壳厚度的相应海拔高程显著低于定量古高程结果。

为厘清上述矛盾并完善重建模型, 本研究系统整合冈底斯弧已发表的岩浆锆石及碎屑锆石微量元素数据(105~10 Ma, n=4978), 经严格筛选(剔除 S 型花岗岩锆石及后期改造样品)后, 以 88°E 为界进行东西分区分析。通过锆石 Eu 异常(Eu/Eu*)与地壳厚度的定量关系, 结合地壳均衡原理, 发现: ① 65~40 Ma 锆石 Eu 异常呈双峰分布, 低 Eu 异常群体(占~60%)导致地壳厚度低估, 该群体与同期低 ϵ_{Hf} 锆石空间分布一致, 指示其为先存地壳重熔产物; ② 100~80 Ma 锆石 Eu 异常近似呈双峰分布, 高 Eu 异常群体(占~35%)导致地壳厚度高估, 这类群体与同

期埃达克质岩显示的高压源区特征一致, 指示其源于榴辉岩化洋壳部分熔融产出的埃达克质岩。

经异常数据校正后, 获得了 65~40Ma 地壳厚度为 55~60 km, 对应的古高程为约 3500~4300m, 与古高程记录吻合, 表明此时冈底斯山脉已隆升至~3500m, 而新生代碰撞仅导致~500m 额外隆升。本研究提出锆石来源的筛选至关重要, 而地球化学替代指标与定量古高程计相互验证, 则为古老造山带地壳演化研究提供了新范式。

S02-P-12

西藏错那地区热泉钙华的地球化学特征及环境指示意义

黄豪擎¹, 彭清华^{1,2}, 王卫兵^{1*}

¹ 中国地质调查局军民融合地质调查中心
² 成都理工大学, 能源学院
* 389064723@qq.com

青藏高原是我国乃至全球重要的生态环境安全屏障, 它的环境效应也是国际上长期以来的研究热点。通过恢复和重建地质历史时期特别是更新世以来的高原隆升过程及古气候变化等古环境信息, 能够在一定程度上为未来全球环境的演变提供科学依据。热泉钙华作为水热活动的重要遗存和物质记录, 保留了大量古环境和来自地下深部的资源信息。本文主要研究地热地质背景及热泉钙华发育特征、地热水分布情况, 利用水文地球化学信息, 研究地热水循环过程中的水—岩作用、补给来源、混合作用和赋存环境, 估测热储及深度; 开展岩石矿物组构研究, 利用岩石地球化学及年代学信息, 探讨钙华的物质来源, 建立钙华成因模式概念模型, 揭示古水温, 建立水热活动时空格架, 探讨其对青藏高原隆升的意义。

研究区钙华年龄 180.107 ka~174 a, 表明水热活动持续时间相当长, 主要组分为方解石、文石, 伴随钙华由新至老, 矿

物由放射状、纤维状文石集合体，向半自形—自形程度高的方解石晶体转变，结晶粒度逐渐变粗。地热水水化学类型主要为 Cl-Na 或 Cl·HCO₃-Na 型、HCO₃·SO₄-Ca 或 SO₄-Ca 型、SO₄·Cl-Ca·Na 型和 HCO₃·Cl-Na 型，来源于当地大气降水，补给高程 4647 m~5685 m，热储温度 82.3℃~244.8℃，冷水混合比值为 56%~73%，循环深度 1479 m~4677 m，主要受冰雪融水、岩浆水补给。钙华绝大多数 Eu 正异常，ΣREE 含量高，Li、Rb、Cs 等含量普遍很高。钙华成因模式：印度板块向北俯冲过程中与地幔岩石圈发生撕裂，幔源热流沿撕裂的类似“窗口”上涌，引起较大规模的中—下地壳熔融，形成不同深度的局部带状熔融体，在熔融层的烘烤下岩体温度不断加热，区域性规模大的近 EW 向破碎带的热量储存和传导能力更强，深循环地下水温度不断增加，同时与来自深源的富矿质元素流体混合，形成高温高压地热水，到地表析出钙华。钙华形成时的古水温 10.9℃~80.1℃，引起钙华碳氧同位素变化的是地表气候环境系统。钙华与新构造运动关系紧密，划分四个期次（700 ka~470 ka、400 ka~350 ka、270 ka~200 ka、180 ka~至今）的西藏水热活动时空格架，对第四期西藏水热活动的起始时间由 150 ka 提前至 180 ka，认为在“共和运动”导致高原强烈隆升至 4000 m 的平均海拔这一事件发生之前，第四期水热活动就已开启了。

S02-P-13S

The Larger Foraminiferal Turnover during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum Event along the Western Margin of Indian Plate Baluchistan Basin (Eastern Tethys, Pakistan):

Tectonic and Climatic Implications

MUHAMMAD KAMRAN¹, Xi Dangpeng^{1*}, Nadir Fawad², Wan XiaoQiao¹

1 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing

2 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai

* xdp1121@163.com

At the Paleocene-Eocene boundary, Earth experienced major global warming known as the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), causing extinction and turnover in marine biota. This study examines shallow-marine sediments from the Southern Himalayan carbonate platform (Eastern Neo-Tethys) to understand larger benthic foraminifera (LBF) responses to the PETM. Sea-level fall and lower sea surface temperatures during the PETM recovery triggered a major LBF turnover, marked by the disappearance of late Paleocene genera *Ranikothalia*, *Orbitosiphon*, *Miscellanea*, *Daviesina*, and *Lockhartia*, and the rise of early Eocene taxa *Orbitolites*, *Alveolina*, *Nummulites*, and miliolids. Increasing $\delta^{13}\text{C}$ depletion in $\delta^{13}\text{C}$ values reflects environmental changes linked to sea-level fluctuations during the PETM.

S02-P-14S

辽西义县组湖相碳酸盐岩成岩特征及其对古气候和古地貌的指示意义

张一范^{1,2}, 高远^{1,2*}, 陈积权^{1,2}, 董甜^{1,2}

1 中国地质大学（北京），地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* yuangao@cugb.edu.cn

辽西地区下白垩统义县组是热河生物群的主要产出地层，因产出带羽毛的恐龙、早期被子植物等珍稀化石而闻名，但是由于后期构造破坏和风化作用的强烈影响，地层保存较差，热河生物群产出的沉积环境研究程度仍然较低。本研究对义县组湖相碳酸盐岩开展了岩相学观察和稳定同位素、团簇同位素等地球化学分析研究，探讨义县组湖相碳酸盐岩成岩特征及其对沉积环境的指示意义。

岩相学结果显示，辽西地区义县组湖相碳酸盐岩中含有碎屑碳酸盐颗粒，普遍存在重结晶，阴极发光显示出不同颜色、亮度。根据岩石矿物组合、岩相学观察及地球化学分析，本研究认为义县组碳酸盐岩成岩特征可分为三种。第一种以陆家屯地区为例，含有大量碎屑碳酸盐颗粒，且阴极发光呈现不同亮度，其氧同位素明显偏负，为 -14.342‰ ~ -12.443‰ ，受到碎屑颗粒和轻氧成岩流体的双重影响，为浅埋藏阶段发生的成岩作用。第二种以马宋剖面为例，普遍含有白云石，甚至发育白云岩，阴极发光可观察到不同期次重结晶，本研究认为该剖面受到部分白云石化作用的影响。第三种以黄半吉沟剖面为例，岩相学结果表明存在微晶颗粒，阴极发光下可观察到高温石英颗粒，为高度重结晶作用的结果，还可能受到热液流体影响。虽然义县组湖相碳酸盐岩普遍经历了成岩改造，但浅埋藏成岩阶段的低温样品（ $T_{\Delta 47}=29^{\circ}\text{C}$ ）可以表明其沉积环境温度在 29°C 以内。Zhang et al. (2021) 通过对义县组古土壤碳酸盐岩开展团簇同位素分析，重建了义县组古高程，认为义县组沉积时期海拔高度为 $2.8\text{--}4.1\text{km}$ ，对应的山顶古温度为 5.9°C 。本研究获得的 29°C 可能代表山脚环境温度，这一高程-温度梯度特征支持辽西地区义县组沉积时期可能发育盆岭构造地貌的推论。本研究为理解辽西地区义县组古地貌古气候提供了新的定量约束。

S03-O-1

现代海洋钼（Mo）通量与同位素更新：基于深海氧化沉积物的新约束

王志兵^{1*}

1 Guangzhou Institute of Geochemistry

* wangzhibing@gig.ac.cn

Understanding the modern global oceanic Mo cycle and its isotopic budget is essential for establishing Mo isotopes as a quantitative proxy for oceanic oxygen levels. While oxygenated deep-sea pelagic sediments enriched with Fe-Mn oxyhydroxides serve as a primary Mo oxic sink, the isotopic composition of authigenic Mo in these deposits remains poorly constrained. Analysis of Mo isotope data from two Pacific Ocean deep-sea pelagic sediment cores reveals a depth-dependent increase in $\delta^{98}\text{Mo}$ values from $-0.55 \pm 0.04\text{‰}$ to $0.19 \pm 0.03\text{‰}$, likely governed by Fe-Mn cycling during early diagenesis and/or deposition rate variations. By integrating these findings with existing data, we estimate a revised authigenic oxic Mo flux of $1.52 \times 10^8 \text{ mol yr}^{-1}$, with a $\delta^{98}\text{Mo}$ value of $-0.09 \pm 0.23\text{‰}$. These findings significantly advance our understanding of pelagic sediment contributions and enhance the precision of Mo isotope-based paleoceanographic reconstructions.

S03-O-2

白垩纪大洋缺氧事件 OAE2 海底硅酸盐风化作用证据及环境意义

葛毓柱¹, 李涛², Terry Isson³, Philip A.E. Pogge von Strandmann⁴, Hugh Jenkyns⁵, 胡忠亚⁶, 陈曦⁷, 李永祥⁸, 韩中^{1*}

1 成都理工大学, 沉积地质研究院

2 中科院南京地质古生物所

3 University of Waikato, Environmental Research Institute

4 Johannes Gutenberg University, Department of Earth Sciences

5 University of Oxford, Department of Earth Sciences

6 同济大学, 海洋与地球科学学院

7 中国地质大学(北京), 科学研究院

8 南京大学, 地球科学与工程学院

* hanzhong19@cdut.edu.cn

硅酸盐矿物改造途径(包括陆地风化和反风化等)对全球碳循环和气候演变具有重要意义。尽管硅酸盐风化作用传统认为发生于陆表环境,有研究表明其也可能发生于海下环境,但相关证据和环境意义仍需进一步明确。本研究中,我们针对白垩纪 OAE2 开阔海碳酸盐记录中硅酸盐组份开展沉积学、矿物学和地球化学研究。结果表明,硅酸盐组份 Li 同位素呈现异常高值(平均值为 12.7‰),并且与 Li/Th 比成负相关关系。结合沉积学、矿物学和元素地球化学,我们认为上述 Li 信号不能通过大陆硅酸盐风化作用和海相反风化作用进行解释,而是由海底硅酸盐风化作用所致。海底硅酸盐风化作用过程中,来自陆地的活性硅酸盐矿物在海底溶解并形成自生粘土矿物。这个过程中,自生粘土 Li 来源受控于活性硅酸盐矿物溶解和海水两个端元。如果活性硅酸盐矿物溶解加强,自生粘土相对富集 ⁶Li, 导致低 Li 同位素值和高 Li/Th 比;反之,自生粘土 Li 更多来自海水,相对富集 ⁷Li, 导致高 Li 同位素值和低 Li/Th 比。值得关注的是,海底硅酸盐风化中自生粘土矿物的形成能够释放 CO₂。鉴于 OAE2 期间大量陆上和海下火山活动,这有利于海底硅酸盐风化作用中自生粘土矿物形成广泛发生。其所释放大量 CO₂ 可能对 OAE2 期间及其后持续高温起到了建设性作用。此外,现代和地质历史时期高大气 CO₂ 下极端气候事件(如风暴,强降

雨等)频发,促进陆相活性硅酸盐矿物输入海洋和海底硅酸盐风化发生,该研究为理解温室气候下硅酸盐矿物改造和环境演化特征提供了新视野。

S03-O-3

水诱导的地幔反转诱发太古宙强磁场

吴忠庆^{1*}, 王冬¹

1 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

* wuzq10@ustc.edu.cn

跟生命和板块运动一样,大陆也是地球所特有的。岛弧模型和地幔柱的洋底高原模型是大陆起源的两个主流模型。相比较岛弧模型,地幔柱模型能更好地解释太古宙大陆的特征,但该模型在回答陆壳源区富水这一关键特征遇到了困难。我们提出的水诱导的地幔反转模型比较好地解决了这个困难,同时还能解释太古宙多个未解之谜(Wu et al., 2023),包括太古宙强磁场。

在地幔发生整体熔融的情况下,高压下的物性研究表明结晶的地幔浮在岩浆洋中部,将岩浆洋分成外面和基底两个岩浆洋。由于下地幔矿物含水能力低,随着结晶,基底岩浆洋越来越富水,最终出现重力失稳而形成地幔反转,促成大陆和克拉通地幔岩石圈的形成。当反转耗尽基底岩浆洋后,太古宙型的大陆不再产生,太古宙末期对应着大陆形成机制的转变期,这解释了为什么太古宙前后的大陆有完全不同的特性。

水诱导的地幔反转下,下地幔底部高温的岩浆洋被相对冷的硅酸盐矿物替换,加速地核冷却,增强核幔边界的热通量,诱发了太古宙的强磁场。因此太古宙的强磁场跟太古宙大陆的形成是水诱导的地幔反转的两个不同效应。该反转改变了地球质量分布,因而可以形成真极移,早期的古纬度变化并不一定是由于板块运动。

S03-O-4

铁同位素示踪河口沉积物铁循环及其早期成岩过程

郑旻¹, 贺治伟^{1*}, 杨守业^{1*}

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* hezw@tongji.edu.cn

* syyang@tongji.edu.cn

铁(Fe)是制约海洋初级生产力的关键微量元素,因此在调控海洋碳泵效率中发挥着重要作用。大量陆源输入的铁通过河流输送至海洋时极易发生絮凝沉淀留在河口—大陆边缘沉积物中。而近年来的研究表明,这些被“截留”在边缘海沉积物中的铁仍能通过底栖作用释放再次进入海水,成为海洋一个不容忽视的铁“源”。此外,在河口及河控大陆边缘等非稳态沉积体系中,生物扰动、季节性缺氧与沉积物再悬浮的耦合效应加剧了底栖铁的释放。因此,在此背景下,亟需准确评估量化沉积物铁对河口及邻近海域铁收支的贡献。

铁同位素($\delta^{56}\text{Fe}$)是示踪铁来源与铁的生物地球化学过程的有力工具。本研究以长江口及邻近陆架沉积作为研究对象,底层水氧浓度范围为51-181 μM 。研究展示了研究区沉积物固相铁与孔隙水铁的同位素特征,结合沉积物主微量元素与铁的化学相态分析,并应用沉积物反应—运移数值模型,探讨了复杂氧化还原环境下河口—大陆边缘沉积物铁循环的一般模式,定量早期成岩过程中不同生物地球化学过程对铁同位素的分馏效应,厘定沉积物铁来源与溶解铁释放通量。研究结果表明,沉积物底栖铁的释放通量和同位素组成对底栖氧化还原条件敏感,强烈的河口沉积改造作用显著提高了沉积物铁循环的时空异质性,活跃且反复的早期成岩过程可能放大铁同位素的分馏效应。该研究为量化大陆边缘铁的源汇机制提供了同位素约束新方法,对完善全球海洋铁循环模式及评估边缘海碳汇潜力具有重要意义。

S03-O-5

华南中—晚寒武世碳酸盐岩钡同位素组成变化及古环境研究

肖壮¹, 魏广伟^{1*}, 张飞飞¹, 凌洪飞¹

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院

* guangyiwei@nju.edu.cn

中—晚寒武世(~509–485 Ma)是承接寒武纪生命大爆发与奥陶纪生物大辐射的关键过渡时期,代表了早期动物演化的长期停滞阶段(Harper et al., 2019)。该时期发生了多次生物灭绝事件,如 *Redlichiiid-Olenellid* 三叶虫灭绝事件和 *End-Marjuman* 灭绝事件等(Zhang et al., 2021);以及多次全球性的碳同位素漂移事件,如 ROECE (*Redlichiiid-Olenellid* Extinction Carbon Isotope Excursion)、DICE (*Drumian Carbon Isotope Excursion*)和 SPICE (*Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion*)等(Zhu et al., 2006),这些都表明当时的海洋环境受到了巨大扰动。然而,目前关于这一时期海洋环境的研究仍较为有限,这制约了我们对环境变化与生物演化之间因果关系的理解。海洋输出生产力的变化是中—晚寒武世海洋环境变化的一个重要反馈,可能是促使碳循环扰动和恢复的重要因素。但寒武纪生命大爆发之后,海洋输出生产力如何变化,其过程和机制还需要进一步研究。为了更好地重建这一关键过渡期的环境变化特征,深入探讨早期动物演化的长期停滞是否受到了环境因素的制约,需要准确制约海洋输出生产力的变化。随着质谱和分析技术的发展,碳酸盐岩钡同位素在古海洋生产力研究中显示出极大的应用潜力,可以有效避免稀释效应和保存率的影响,准确指示海洋透光带输出生产力的变化。基于上述背景,本研究选取华南王村剖面作为研究对象,该剖面发育了从寒武系乌溜阶至排碧

阶连续沉积的浅海碳酸盐岩地层。基于该剖面碳酸盐岩地层高分辨率的钡同位素及碳、氧同位素数据组合，本研究对中—晚寒武世浅海的生产力水平及环境演变进行了评估和重建，并对环境变化的潜在驱动因素进行了约束。数据显示，王村剖面碳酸盐岩 Ba 同位素组成存在多次变化，可能指示了碳循环扰动及环境反馈。这些发现可以为寒武纪生命大爆发之后的生物—环境协同演化机制提供参考。

S03-O-6

早侏罗世大洋缺氧事件（T-OAE）期间汞循环及其与 Ferrar LIP 的联系

刘金超^{1*}，曹剑¹，Simon W. Poulton²，何天辰³

¹ 南京大学，地球科学与工程学院

² 利兹大学，地球与环境学院

³ 河海大学，海洋学院

* ljc960302@163.com

早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件（Toarcian Oceanic Anoxic Event, T-OAE）是指发生于约 183 百万年前的一次全球性气候环境剧烈扰动事件。冈瓦纳大陆南部的费拉尔大火成岩省（Ferrar Large Igneous Province, Ferrar LIP）在此期间大规模活动，释放大量的 CO₂ 进入大气，诱发全球增温，被广泛认为是 T-OAE 的重要触发机制。地层中沉积汞（Hg）的异常富集长期以来被认为是揭示地史时期 LIP 活动的可靠指标。然而已有研究表明，T-OAE 时期全球 Hg 富集可能主要受陆源 Hg 输入控制，从而限制了其作为火山活动直接记录的有效性。为进一步厘清 T-OAE 期间 Hg 循环的主控因素及其与 Ferrar LIP 活动的联系，本研究选取 T-OAE 时期中国四川盆地这一超大型陆相湖盆中沉积环境不同的两口钻井——近岸区 X3 井和远岸区 LQ104X 井，开展了系统的 Hg 地球化学研究。结果显示，T-

OAE 期间两口钻井样品的过量 Hg（Hg_{ex}）均表现出脉冲式升高，表明地层中出现了明显的 Hg 富集。同时，Hg 同位素非质量相关分馏信号（即，199Hg 和 200Hg）在两口钻井中呈现相反的偏移趋势，其中，近岸区 X3 井表现为负偏，指示陆源 Hg 输入增强；而远岸区 LQ104X 井则呈正偏，反映大气 Hg 沉降的增加。进一步通过基于 Hg 同位素两端元混合模型的蒙特卡洛模拟，结果表明 T-OAE 时期两口钻井中的 Hg 均主要来源于大气 Hg 沉降，表明当时大气 Hg 背景浓度的显著上升。考虑到 183 Ma 正值费拉尔 LIP 的活跃期，四川盆地中的 Hg 富集极大可能是其大规模活动的记录。此外，结合全球 T-OAE 时期样品中氧化还原环境指标和汞富集程度之间的负相关关系，推测当时全球地层中可能普遍存在汞损失，从而使得 T-OAE 时期地层中沉积 Hg 的富集程度很可能被系统性低估。

S03-P-1

早侏罗世托阿尔期极热事件期间水文循环增强驱动大陆风化作用

韩中^{1*}

¹ 成都理工大学，沉积地质研究院

* hanzhong19@cdut.edu.cn

早侏罗世托阿尔期大规模碳排放和全球极端增温加剧水文循环与大陆风化作用，导致海洋化学性质剧变并引发大规模生物危机。作为关键气候调节因子的低纬度硅酸盐风化作用虽对气候变化高度敏感，但其在托阿尔期的响应特征、驱动机制及其气候反馈效应仍存在显著认知空白。本研究选取两个低纬度碳酸盐台地剖面，通过系统分析碳酸盐岩不溶物（硅酸盐）的镁同位素（ $\delta^{26}\text{Mg}$ ）记录，揭示了托阿尔期快速升温时期低纬度带水文循环与风化作用的动态耦合机制。研究表明：两剖面记录

的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 正向偏移（指示大陆风化作用增强）起始于普林斯巴赫阶-托阿尔阶界线之后，与卡鲁大火成岩省（LIP）岩浆活动期同步；该信号在托阿尔期大洋缺氧事件（T-OAE）碳同位素负漂起始阶段达到峰值，对应于费拉尔大火成岩省活动高峰期。这一时空耦合关系表明，单一的大规模碳排放事件难以直接引发环境突变，需通过累积反馈效应突破地球系统临界阈值方能产生决定性影响。基于多指标耦合分析（风化-温度-水文循环）与地球系统模拟的综合研究表明，构造稳定区发育气候敏感型“生产限制”风化机制，其本质是降水-径流系统的增强通过促进物理剥蚀速率来调控化学风化强度。该成果从深时地质记录视角，定量揭示了低纬度大陆风化碳汇在缓冲地球气候系统快速增温过程中的关键作用，为理解地质历史超暖事件与当代人为气候变化提供了新的理论依据。

S03-P-2S

末次冰消期以来冲绳海槽底层水氧化还原环境重建：钼同位素证据

孙呈慧¹，窦衍光^{2*}，杨守业¹

¹ 同济大学，海洋与地球科学学院

² 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* ygdou@qnlm.ac

Mo 元素及其同位素由于其对氧化还原敏感的性质，被广泛地用于研究全球古海洋氧化还原环境变化。本研究利用冲绳海槽中部 OKT-3 岩芯重力活塞沉积物样品，基于氧化还原指标（Mo 同位素、氧化还原敏感元素等）以及沉积地球化学参数，研究末次冰消期以来氧化还原条件和古海洋环境演化。结果显示，钻孔全岩沉积物 Mo 元素含量介于 0.29~1.30 ppm， $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值变化范围为-1.31‰~0.11‰，指示氧化/次氧化环境；末次冰消期 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值变化较复杂，

响应高纬千年尺度的气候波动。其中， $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值在 HS1 期偏负，BA 时期偏正，YD 时期又偏负，表现出与北太平洋中层水增强的同步性。同时 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 值与大西洋经向翻转流的变化趋势呈反相位变化趋势，支持大西洋-太平洋之间存在跷跷板效应。全新世时冲绳海槽底层水含氧量进一步增加，与黑潮增强引起的通风增强有关，受海水表层生产力的影响较小。研究还揭示，输出生产力和有机碳埋藏之间存在解耦现象，底层水氧化状态的变化是影响有机碳埋藏的重要因素。

S03-P-3

新太古代晚期海洋 Nd-Hf 同位素解耦特征对大陆风化作用的指示

彭自栋^{1*}，王长乐²，张连昌²，翟明国²

¹ 中国地质科学院矿产资源研究所

² 中国科学院地质与地球物理研究所

* pengzidong2007@126.com

新太古代晚期是早期地球水圈和大气圈氧化还原状态和物质组成调整的关键阶段，这一时期地球水圈和大气圈开始逐渐氧化，可能为古元古代早期大氧化事件（GOE）的发生奠定了基础。当前关于这一重要调整阶段的诸多细节仍不清楚，比如显生宙的研究工作已经证实了大陆风化作用的类型和强度会影响海洋营养元素供给，进而导致海洋氧化或缺氧，鉴于海洋中生物可利用的磷酸盐含量变化被认为是导致 GOE 的关键因素，揭示新太古代晚期大陆风化作用具体情况就显得尤为重要。华北克拉通新太古代晚期发育大规模的火山—沉积地层序列，其中产出巨量的 BIF，为精细刻画这段时期的地球表生过程提供了极佳的对象。本次研究选取冀东地区的栅栏杖子 BIF，对其开展了系统的岩相学、元素地球化学 Nd-Hf 同位素分析，深入探

讨了新太古代晚期的大陆风化作用及其意义。

栅栏杖子 BIF 产出于冀东地区的青龙河表壳岩系内, 沉积时代为 2.51~2.50 Ga, 赋矿围岩为朱杖子群的二云母石英片岩和黑云母石英片岩。BIF 的主量和微量元素分析显示, 它们具有正的 Eu 异常 ($1.71\sim2.62$), 从负到正的 ϵ_{Nd} 值 ($-1.8\sim+2.0$), 并且其 ϵ_{Nd} 值与全铁含量正相关, 表明其铁质来源于海底热液和陆源输入的共同贡献。BIF 的 Ge/Si 比值与铁 (或硅) 含量间的相关性反映其沉积时铁质对 Ge 的吸附作用, 栅栏杖子 BIF 的硅质主要来源于陆源输入, 不同于前人认为的陆缘和海底热液的混合输入。结合对全球太古代 BIF 的数据整理, 本次研究认为在~3.0 Ga 以前, 海洋的硅质主要依赖海底热液输入, 而随着大陆逐渐增生并且暴露于海平面之上的陆地面积增加, 海洋的硅质主要受控于大陆风化输入。虽然前人基于不同模型获得的地球大陆面积随时间演化趋势有所差异, 但上述模拟均显示陆地面积在 3.0 Ga 至 2.5 Ga 期间巨量增长, 与本文计算获得的海水 Ge/Si 比值显著下降的特征一致。栅栏杖子 BIF 差异的 ϵ_{Nd} ($-1.8\sim+2.0$) 和 ϵ_{Hf} ($+9.1\sim+27.3$) 值反映了同时期表层海水 Nd-Hf 同位素解耦的特征, 说明新太古代晚期大陆风化以弱化学风化为主, 注意是一些易分解矿物, 如磷灰石和楔石在风化过程中分解。如果上述认识是正确的, 那么大量磷灰石的溶解势必会给海洋带来更多生物可利用磷酸盐, 这一作用很可能导致了海洋初级生产力的提升, 进而为 GOE 的发生创造了必要条件。

S03-P-4

二叠纪末生物大灭绝期间陆地汞传输的时空差异及驱动机制

华夏^{1,2}, 胡永云^{1,2*}, 李凌³, 张彦旭³, 沈俊⁴, David B. Kemp⁵, 刘悦²

1 北京大学, 海洋研究院

2 北京大学, 物理学院

3 美国杜兰大学, 科学与工程学院

4 中国地质大学 (武汉), 地质微生物与环境全国重点实验室

5 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院, 地质微生物与环境全国重点实验室, 关键带演化湖北省重点实验室

* yyhu@pku.edu.cn

二叠纪末生物大灭绝事件 (EPME, 约 252 Ma) 期间, 全球经历显著升温, 发生了大规模生物灭绝, 包括陆地植被系统的崩溃。同时, 全球汞循环出现了剧烈扰动, 普遍认为其与大规模火山活动引发的大气汞通量增加有关。然而, 火山活动及由此引发的气候与环境突变对不同地区汞循环产生的影响差异及机制尚且不明。本研究整合了 EPME 期间全球汞沉积记录, 将其按高纬、中纬和低纬陆相地区进行划分, 并进行深度-时间域转换。结果显示, 在陆地环境中, 中、高纬地区的汞富集区间早于当地陆地植被灭绝区间, 而在低纬地区, 汞富集区间普遍晚于当地植被灭绝区间, 指示大气输入与陆地植被系统崩溃可能对陆地汞循环产生了复杂的区域性影响。结合地球系统模式与汞循环模式的模拟研究, 将有助于定量解析火山排放、气候变化及植被覆盖变化对陆地汞通量变化的贡献差异, 阐明汞在火山排放-环境突变-陆地植被系统崩溃过程中的输送机制。

S03-P-5S

中元古代海洋氧化的钼同位素约束: 来自华北克拉通~1.64 Ga 串岭沟组黑色页岩的启示

刘书琪^{1,2}, 贾朝媛², 祝禧艳^{2*}, 苏文博¹, 赵太平³

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化
与环境演变国家重点实验室
3 中国科学院广州地球化学研究所，中国科学院矿
物学与成矿学重点实验室
* zhuxiyan@mail.iggcas.ac.cn

氧气是地球生命演化的重要驱动力。传统观点认为中元古代大气氧含量长期处于较低水平，但最新研究表明该时期可能存在多期次间歇性增氧事件，并与显著的生物演化事件相吻合。华北克拉通燕辽地区~ 1.64 Ga 的串岭沟组不仅保存有目前已知最早的多细胞真核生物化石记录，同时也是中元古代第一套大面积发育的黑色页岩，这与当时广泛分布于不同克拉通内的同期黑色页岩相吻合，代表了一次与哥伦比亚超大陆裂解有关的全球性地质事件。然而，关于这一时期的海洋氧化还原状态仍不清楚。为了解决这一问题，我们重点分析了串岭沟组黑色页岩的钼浓度、钼同位素组成以及氧化还原敏感元素。样品的全岩钼浓度在 0.19 ppm ~ 1.47 ppm 之间，钼同位素组成在- 0.01 ‰~+ 1.42 ‰之间。值得注意的是，在该沉积序列的上部观察到了异常高的钼浓度（4.09 ppm）和钼同位素（1.01 ‰）值，这与高总有机碳含量（TOC = 2.17 %）以及高钼富集系数（ $Mo_{EF} = 3.91$ ）、高钒富集系数（ $V_{EF} = 0.88$ ）和高铀富集系数（ $U_{EF} = 1.35$ ）相吻合。表明此时氧化还原条件最接近于硫化状态，这可能意味着风化作用的增强。钼同位素质量平衡模型表明，海底的最小氧化面积为~ 38 %。或者，最大硫化面积可能限制在~ 45 %。综合研究结果，我们推断中元古代早期可能发生了一次由多种因素增强驱动的短暂氧化事件，这一事件为真核生物的标志性演化提供了有利的环境条件。

S03-P-6

海绿石化过程中镁、钾同位素变化特征

胡忠亚^{1*}，杨守业¹，李伟强²，韩中³

1 同济大学，海洋与地球科学学院
2 南京大学，地球科学与工程学院
3 成都理工大学，沉积地质院
* zhongyahu@tongji.edu.cn

反风化作用是指海水中镁、钾等元素与活性硅反应，形成自生粘土矿物并释放二氧化碳的过程。边缘海地区的反风化作用可能是海洋镁、钾元素循环过程中重要的“汇”，然而这些区域陆源碎屑输入量大，导致很难在沉积物中直接捕捉到“反风化信号”。孔隙水的化学组成变化是解译反风化作用的重要指标，但这存在多解性，比如元素及同位素组成变化不仅与自生粘土矿物形成有关，还受碳酸盐矿物影响，此外，扩散作用也会导致孔隙水的化学组成发生变化。海绿石是典型的海洋自生粘土矿物，富含镁元素和钾元素，颜色鲜艳，深绿到翠绿色，具有铁磁性，粒径较大，可以达到 0.5 甚至 1 毫米，与陆源粘土的区别显著，因而容易识别和筛选。剖析海绿石形成过程中镁、钾元素的迁移规律，有望进一步揭示反风化机理及对关键元素循环的影响。在这项研究中，我们以早寒武纪陆表海环境下沉积的含海绿石灰岩和白云岩为研究对象，利用微钻方法提取海绿石单颗粒，开展了矿物学及元素和镁-钾同位素研究。研究结果表明，本区的海绿石化作用表现为镁、钾、铝和铁元素交代方解石中的钙元素，白云石不容易被海绿石化，海绿石化过程中，镁元素含量迅速升高，镁同位素值很快与海水达到分馏平衡。考虑到方解石中几乎不含钾，因而海绿石中的钾元素都应该来源于海水，但不同海绿石颗粒的钾同位素组成变化较大，超过 0.4‰，并与成熟度有一定关联。因此，明确海绿石化过程钾元素进入矿物晶格的路径以及在矿物中的赋存方式是准确解读海绿石中海水 K 同位素信号的关键。

S05-O-1

中国沙漠的形成演化

鹿化煜^{1*}

¹ 南京大学, 地理与海洋科学学院

* huayulu@nju.edu.cn

中国沙漠是全球沙漠的重要组成部分, 沙漠地区释放的粉尘参与全球生物地球化学循环过程, 在全球环境演化中发挥着重要作用。沉积证据显示, 中国沙漠在晚渐新开始发育, 经历了距今~26 Ma (Ma 指百万年)、~14 Ma、~8 Ma、3.6-2.6 Ma、1.2 Ma 阶段演化过程, 在第四纪初期 (~2.6 Ma) 现代沙漠景观形成。中国沙漠在上新世末、中更新世初和末次冰期有三次显著扩张; 末次盛冰期和全新世湿润期中国沙漠沙地面积和环境的有较大的变化。在中国沙漠演化过程中, 我们强调了全球变冷、尤其高纬度变冷在驱动亚洲中部和东部构造和轨道时间尺度沙漠变化的决定性作用。本报告认为, 在上新世-更新世之交的地球变冷, 使北半球中高纬度地区的水汽循环减弱、物理风化加强、碎屑物质增多, 可提供更多的中国沙漠颗粒物质; 变冷的地球加大了北半球纬度气候梯度, 亚洲冬季风环流随之增强, 为搬运砂颗粒物质提供了动力条件; 同时, 在新生代亚洲中部和中国北方形成的众多盆地, 是沙漠物质堆积的地貌基础, 奠定了中国沙漠分布的格局。因此, 可以认为, 晚上新世-更新世的全球变冷是中国现代沙漠形成的直接驱动因素 (Lu 等, 2010, 2019, 2023); 此前可能存在的“红色沙漠”, 是相对温暖气候地球的产物。

S05-O-2

古近纪青藏高原隆升与轨道旋回对亚洲气候影响的模拟

张健^{1*}, 张沁瑶², 马超²

¹ 中国科学院青藏高原研究所

² 成都理工大学

* zhangjian@itpcas.ac.cn

大量的研究表明新生代青藏高原隆升与轨道旋回分别是亚洲气候在构造时间 (>1 Ma) 与轨道时间 (<1 Ma) 尺度上演化的重要影响因素, 同时构造时间尺度上的青藏高原隆升会调节轨道时间尺度上的气候变化幅度, 这可能是亚洲气候不同时期或不同区域受控不同轨道参数的原因。为了研究这一问题, 我们利用美国大气研究中心的地球系统模式 (CESM1.2.2) 模拟晚始新世与早中新世亚洲气候。模拟结果表明, 晚始新世-早中新世青藏高原的隆升导致亚洲季风变强, 降水增加, 与亚洲沉积记录的结果一致。南亚与东南亚的降水对轨道的响应随青藏高原隆升增强; 晚始新世夏季太阳辐射增加导致华南年降水量增加, 但早中新世降水增加幅度降低; 晚始新世华北年降水量受轨道旋回影响很弱, 早中新世的年降水在夏季太阳辐射增加时反而降低。这些变化主要是因为青藏高原的隆升, 形成一个强大的热源, 导致季风环流增强, 改变区域大气环流特征, 从而调节东亚地区降水对轨道的响应。因此, 在探讨新生代早期轨道旋回对亚洲气候影响时, 需考虑亚洲古地理的演化, 尤其是青藏高原的隆升。

S05-O-3

青藏高原伦坡拉盆地早中新世孢粉植物群

刘佳^{1,2*}, 李伟^{1,2}, 宋艾^{1,2}, 苏涛^{1,2}

¹ 成都理工大学, 油气藏地质及开发工程全国重点实验室

² 成都理工大学, 沉积地质研究院

* liujia@cdut.edu.cn

新生代青藏高原的形成和演化对该区域植物区系产生重大影响。本研究对高原腹地伦坡拉盆地早中新世沉积地层开展精细的孢粉学分析, 并结合单孢粉扫描电镜技术提高剖面中主要孢粉类群的鉴定精度。

研究表明,该时期孢粉组合以栎粉属 *Quercoidites* 为主,双束松粉属 *Pinuspollenites*、云杉粉属 *Piceapollenites*、雪松粉属 *Cedripites*、禾本科粉属 *Graminidites* 含量较高,常见适应干旱环境的藜粉属 *Chenopodipollis*、麻黄粉属 *Ephedripites*、白刺粉属 *Nitrariadites* 等,指示在早中新世研究剖面附近的植被以高山栎林为主,在较为湿润地区分布以云杉和雪松为主的针叶林,林间空地分布以禾本科为主的草本植物。综合前人在伦坡拉盆地开展的植物大化石、孢粉、植硅体等工作,发现在早中新世伦坡拉盆地的植被与现今分布在喜马拉雅南坡和横断山高海拔地区的高山栎和针叶林类似,表明该时期伦坡拉盆地还可以得到充足的水汽供给。伴随着海拔的抬升,青藏高原中央谷地的植被从始新世的亚热带密闭森林转变为开阔林地,再转变为早中新世的高山栎林和暗针叶林,并最终形成现今的高寒草原植被。

S05-O-4

孢粉形态学研究对古环境重建及生物多样性演化的启示和思考

郝秀东^{1*}, 许清海², 宛涛³, 王伟铭⁴, 李树峰⁵, 李树峰⁶

1 南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室

2 河北师范大学, 地理科学学院

3 内蒙古农业大学, 草原与资源环境学院

4 中国科学院南京地质古生物研究所

5 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

6 中国科学院西双版纳热带植物园

* xiudonghao@126.com

2024 年度国家出版基金资助项目——《中国珍稀濒危植物孢粉图鉴》: 本书简要介绍了我国珍稀濒危植物的保护现状、孢粉学在中国珍稀濒危植物中的研究潜力

与孢粉学相关知识及规范,包括孢粉形态学的基本内涵及应用领域、实验室提取方法、现代植物标本的制作方法,以及光学和电子扫描显微镜拍摄孢粉的基本方法。对我国 157 科 395 属 534 种珍稀濒危植物孢粉标本的显微拍照,制作成精美的现代孢粉图版,并描述其植物形态特征、地理分布、生境、保护等级及孢粉形态等信息,采用图文对应的方式进行编排,让读者在领略珍稀濒危植物照片的同时,感受“显微镜下的花花世界”——微观花粉的特征与美丽。全书资料翔实、内容丰富,系统展示了我国珍稀濒危植物孢粉的极面观、赤道面观及萌发器官等细致显微形态结构和特征,为恢复和重建过去地质历史时期珍稀濒危植物的分布范围及其群落结构,进而揭示其演化史与迁移史,提供了重要的微体古生物——“花粉化石”视角。本书主要为孢粉学和环境考古学相关专业的高等院校师生及科研单位研究人员提供研究参考,同时可供古地理学、古气候学、古环境学、考古学、植物学和生态学等有关学者,以及高等院校地理学、地质学和生物学等相关学科的师生参阅。

S05-O-5

中中新世全球变冷和地形抬升作用下的祁连山“湿岛”形成

杨永恒¹, 苗运法^{1*}, 王雪莲¹, 张涛², 方小敏³

1 中国科学院西北生态环境资源研究院

2 兰州大学

3 中国科学院青藏高原研究所

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

亚洲内陆地区何时形成目前祁连山“湿岛”和极旱区共存的地形-气候格局,对理解内陆干旱区生态演化至关重要。Miao et al. (2012) 指出中中新世以来全球气候主导着陆地整体干旱化过程,而地形抬升则推

动了区域气候的差异。基于这一认识,我们进一步关注祁连山和东亚干旱区这一关键区域,特别重聚焦在中中新世(16-12Ma,中中新世气候适宜期(16-14 Ma)至中中新世气候冷期(14-12 Ma))这一全球温度快速降低和高原北部快速隆升时期,以量化全球变冷和构造隆升对内陆干旱区地形-气候格局演化的影响。我们综合了亚洲季风区、西风区、高原盆地区以及祁连山地区最新的气候变化记录,结果显示前三个地区都遵循着与全球降温引起的干旱化一致的气候变化趋势,主要是由于降温导致亚洲季风和西风携带水汽能力的降低引起。相反,受到地形效应的影响,祁连山地区气候逐渐变湿。这种山地气候湿润化,一方面促进了祁连山和柴达木盆地的植被演化趋势分异-山地逐渐形成以针叶林为主的植被景观,而盆地内部在全球降温和地形隆升综合影响下变化不明显;另一方面加剧了盆-山之间的水分差异-降水差由 16-15 Ma 98 mm 增加到 13-12 Ma 的 475 mm。因此,在中中新世气候冷期期间,祁连山形成干旱区“湿岛”。进一步,我们运行了 30 km 高分辨率的 RegCM 4.6 区域气候模式进行降温敏感试验,并与 Miao et al. (2022) 的地形敏感实验对比。结果显示降温引起的内陆干旱区降水减少幅度(-100 %)高于地形抬升导致的降水增加量(+ (30-80) %),而祁连山地区则相反,隆升导致的降水增加(+100 %)显著高于降温引起的降水减少(-10 %)。模式模拟进一步验证了全球变冷与构造隆升对内陆干旱区和祁连山“湿岛”形成的差异影响观点。并在此后,晚中中新世高原北部地形达到目前高度后,全球气候主导了整个内陆地区的气候环境演变。

S05-O-6

高分辨率孢粉记录揭示的贵德盆地晚中新世—早上新世

构造—轨道尺度植被生态演化过程

周学文¹, 高鹏², 聂军胜^{2*}, 惠争闯³, 柳兴万⁴

¹ 兰州大学, 资源环境学院

² 兰州大学, 地质科学与矿产资源学院

³ 河南大学, 地理科学与工程学院

⁴ 西北师范大学, 地理与环境科学学院

* jnie@lzu.edu.cn

晚中新世到早上新世时期, 全球生态系统, 东亚季风、陆地-海洋温度以及大气二氧化碳浓度($p\text{CO}_2$)均发生了巨大转变。目前, 东亚地区现有的植被生态记录主要集中在黄土高原地区, 且只能描述长期趋势或平均状态, 不能捕捉植被生态对气候变化响应的详细过程和周期规律, 阻碍了我们对这一重要气候转型时期东亚地区植被生态演化细节及其与气候变化关系的认识。贵德盆地位于青藏高原东北缘, 气候分区上位于青藏高原高寒区、西北内陆干旱区和东部季风区的交汇地带, 对气候变化非常敏感。盆地内发育了巨厚且连续的新生代地层, 这些沉积物中含有丰富的哺乳动物和孢粉化石, 利于精确的年代控制和古植被重建。本研究对青藏高原东北部贵德盆地晚中新世-早上新世(~6.4-4.6 Ma)沉积地层开展高分辨率的孢粉学研究来重建区域植被生态演化过程。孢粉结果显示, 晚中新世乔木花粉(对应于较湿润的环境)与生物多样性逐步降低, 在中中新世-上新世转型期(~5.5-5.0 Ma), 草本植物花粉(主要为蒿属和藜科花粉, 指示较为干燥的环境)含量占主导, 并在早上新世时期降低伴随着生物多样性的增加。这一植被生态演化过程与同时期东亚地区的生态记录一致。分析认为, 西太平洋暖池温度以及全球气候变化是控制这一时期东亚地区植被生态演化的主要因素。在基于深海氧同位素变化指示的全球显著变冷的~5.9-5.8 Ma 和~4.9-4.8 Ma 期间, 贵德盆地的植被演化具有显著且不同的响应, 我们推测 $p\text{CO}_2$

的变化通过调节温度影响了区域植被的演化。此外, ~5.5-5.0 Ma 时期高分辨率的孢粉记录显示在~5.3 Ma 左右植被生态演化周期发生了显著转变, 在~5.3 Ma 前以~100-kyr 的偏心率周期为主, 在~5.3 Ma 后出现显著的~40-kyr 倾角和~20-kyr 岁差周期, 与同一剖面的环境磁学、粒度与化学风化指标的小波分析结果一致, 推测由于跨越中新世-上新世界限 (~5.3 Ma) 全球变暖使贵德盆地区域环境干湿变率增大, 导致植被对轨道周期敏感性增强, 出现倾角和岁差周期。

S05-P-1

中更新世干旱化和地貌景观变迁促使欧亚大陆古人类扩散

咎金波^{1*}, 方小敏¹, 宁文晓¹, 张伟林¹, 胡喆¹

¹ 中国科学院青藏高原研究所

* zanjb@itpcas.ac.cn

探究早期人类迁徙扩散、生产技术及其与气候环境变迁和地貌过程之间的联系, 始终是古气候学和古人类学研究领域中备受关注的焦点。研究表明, 非洲早期古人类的迁徙扩散与气候环境演化的长期趋势和变化幅度密切相关。然而, 在欧亚大陆, 由于缺乏大空间、长时间尺度的考古记录和古环境记录的综合对比, 导致对古人类扩散与自然环境关系的认识仍然匮乏。

针对更新世以来气候和地貌景观变迁对欧亚大陆古人类迁徙扩散影响的科学问题, 通过研究距今 360 万年以来欧亚大陆中部两处典型黄土剖面的有机碳同位素组成和环境磁学参数变化, 综合分析整个欧亚大陆碳同位素、河流阶地地貌、风沙黄土分布以及古人类遗存等数据, 揭示距今 90 万至 60 万年以来, 全球变冷和青藏高原北部隆升, 导致古人类迁徙的“北方路线”

区域气候波动幅度增大、环境变干、河流阶地广泛发育, 并且风沙黄土分布范围扩大, 欧洲和东亚生态环境由森林转变为开阔的森林草原或草原。

90-60 万年以来气候急剧变干以及生态和地貌景观的巨变, 迫使欧亚大陆古人类迁徙扩散, 寻找食物资源和水源充足的栖息地。同时, 河流阶地的发育也为古人类迁徙提供便利的通道和水源, 阶地砾石还为石器制作提供重要的原材料, 从而促进石器技术进步。该研究发现了欧亚大陆早期古人类迁徙扩散、生产技术改进与气候环境和地貌变迁密切相关的新证据, 深化了该时期古人类扩散演化模式和驱动机制的理解。

S05-P-2

帕米尔高原新生代孢粉—气候—海拔定量重建研究前瞻

苗运法^{1*}

¹ 中国科学院西北生态环境资源研究院

* miaoyunfa@lzb.ac.cn

帕米尔高原作为青藏高原西北部“亚洲水塔”关键节点, 气候上处于中纬西风带与印度季风的交互作用区, 年降水 50-300 mm, 是亚洲内陆干旱化形成演化过程的天然实验室; 同时该地区具有 3000-7000 m 的海拔垂直地貌梯度, 伴随喀喇昆仑断裂带的构造活动, 塑造了“三山夹两盆”的复杂地形格局, 与青藏高原主体隆升关系极其密切。因此, 准确重建帕米尔高原地区的古气候变化和古海拔高度历史, 不仅是揭示亚洲内陆干旱化起始时间、扩展路径及其与北极冰盖扩张耦合关系的核心环节, 更是破解青藏高原阶段性隆升过程的关键突破点。然而, 当前研究受限于年代学争议、干旱化过程不明、海拔记录偏少等瓶颈, 上述研究进展缓慢, 孢粉是揭示植被-气候-地形变化的敏感指标, 对回答上述科学问题具有独特优势。未来研究拟通过 1.

建立帕米尔及其西部山麓和平原地带表土孢粉数据库，量化干旱荒漠（麻黄属含量）、高寒草甸（莎草科和特征耐旱分子如蒿属、藜科的比值）和山地森林（云杉/冷杉比率）与干旱荒漠（麻黄属含量）的空间分布阈值，为新生代地层孢粉的年均降水量以及温度变化重建提供良好的现代过程；2. 采集高分辨率的古地磁定年样品并尽可能结合火山灰年代学以及哺乳动物化石年代学的约束，准确重建帕米尔地区的新生代地层沉积年代，为准确的气候和海拔定量重建提供可靠的年代学基础；3. 开展帕米尔高原东西不同点位新生代沉积地层详细的孢粉学研究，建立可以相互校验的新生代植被-气候-地形变化序列，并使用“孢粉古高度计”以及新方法定量重建古海拔演化历史；4. 模拟帕米尔高原生物-气候-地形耦合关系，解析生物-气候-构造耦合过程及其相互作用机制，为系统揭示青藏高原生态环境形成演化及其适应过程和生物多样性保护优先区划定提供地史依据。

S05-P-3

关于东亚气候演变的一点思考

敖红^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所
* aohong@ieecas.cn

探索过去气候变化对理解当前气候变化具有重要意义。亚洲因独特的气候和地理环境，成为研究全球变化的核心区域。敖红研究员团队通过对兰州盆地始新世-渐新世河湖相地层和黄土高原晚新生代风成沉积开展系统的磁性地层学和环境磁学研究，探讨了东亚气候对新生代全球气候事件的响应。1) 通过兰州盆地河湖相沉积和黄土高原风成沉积的系统性高分辨率磁性地层学与环境磁学研究，突破了相关地层沉积剩磁与环境磁学的机理瓶颈，建立了地层准确年代，提出 34 Ma 南极冰盖扩张

导致东亚气候轨道周期转型、5.3 Ma 全球变暖事件导致中亚与东亚气候“跷跷板”演化、2.6 Ma 北半球冰盖扩张导致轨道-千年尺度东亚冬季风变幅增大等新认识；2) 将黄土环境磁学与古人类演化交叉，揭示出轨道尺度气候变化对晚第四纪古人类种属分异和智人从非洲迁徙至东亚的调控作用。以上研究发展了古地磁学在亚洲新生代陆相地层定年和气候环境变化及古人类演化多学科交叉研究中的应用，为理解东亚气候演变及其对人类演化的影响提供了新的视角和证据。相关研究成果发表在 Nat. Commun. (3 篇)、Sci. Adv. (1 篇)、PNAS (1 篇) 等高水平期刊。

S05-P-4

塔西南中新世等时火山碎屑岩层：组成、年龄、物源、成因及其地质意义

魏晓椿^{1*}，陈汉林²

1 长江大学，地球科学学院
2 浙江大学，地球科学学院
* xcwnju@gmail.com

塔里木盆地西南部（塔西南）新生代沉积了巨厚沉积，但其中陆相地层因化石稀少缺乏良好的年龄约束。近些年，这些陆相地层上部的一套大规模的火山碎屑岩的发现，为研究区的地层年代提供了难得的约束，对确定青藏高原北缘隆升和气候变化发生的时间框架具有重要意义。然而，围绕这套火山碎屑的属性、年代等存在一些争议。本研究围绕这些争议和难点，开展系统的分析，以明确“火山碎屑岩”的物质组成，准确测定其喷发年龄，并论证其与沉积年龄之间的同时性或准同时性。基于野外调查和钻井资料分析，发现塔西南地区中新世火山碎屑岩的分布范围在走向上达 200 余公里，属于等时沉积层。通过沉积学、岩相学、矿物学和元素地球化学

分析, 确定了这些火山碎屑岩是火山碎屑经河流搬运的产物, 其中火山碎屑物质占比超过 75%。利用多放射性同位素定年体系(锆石 U-Pb 定年以及黑云母和透长石的⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年), 并结合火山碎屑的分布、结构、成分等综合信息, 论证了这些火山碎屑物质的喷发年龄和沉积年龄一致, 为约 11 Ma, 从而厘定了该火山碎屑层的绝对地层年龄。通过碎屑锆石 U-Pb 定年、锆石 Hf 同位素、全岩 Sr-Nd 同位素数据分析, 揭示上述火山碎屑物质有两个不同源区: 其中在其木干至棋盘一带的火山碎屑来自东帕米尔塔什库尔干地区的钾质-超钾质岩区, 在柯克亚的火山碎屑来自西昆仑地区。本研究也将为水文事件相关的火山碎屑的定年研究提供一个典型案例。

S05-P-5

孢粉记录的新生代亚洲湿润气候的北移演化

吴福莉^{1*}, 方小敏¹, 高守杰², 谢宇龙³, 王海涛⁴, 唐分俊¹, 江雨轩¹

1 中国科学院青藏高原研究所
2 湖州市城市集团湖州智慧城市研究院
3 中国科学院南京地质古生物研究所
4 中国科学院西北生态环境资源研究院
* wufuli@itpcas.ac.cn

亚洲季风系统的形成打破了新生代早期行星风系控制的带状气候分布模式, 形成东南部湿润-西北部干旱的气候分布格局。由于亚洲中低纬地区相对缺乏较长尺度、连续的、高质量的地质记录, 使得我们对季风系统早期起源和演化路径方面的认识较为欠缺。我们对位于亚热带的云南剑川盆地已具有精确年代限定的始新世地层(42.5-35.6 Ma)开展了详细的孢粉分析, 结果表明在约 41Ma 时, 植被面貌发生了显著的变化, 由此前的亚热带-热带疏林草原转变为亚热带-温带针阔混交林, 并且以麻黄和藜科为主的耐旱植物花粉含量大幅下

降(平均含量由 23.6%下降到 2.6%), 表明此前的炎热干燥气候被温暖湿润气候所取代, 揭示亚洲季风可能在~41 Ma 时取代之前的副热带高压, 开始影响该区。并且由南到北我们综合集成了多个代表性盆地的孢粉结果, 发现在始新世晚期湿润季风气候的前缘间歇性地向西北推进, 并可能在渐新世早期到达约伦敦拉-兰州一线, 接近现代季风的前缘位置。此后在全球变暖影响下, 季风气候可能在中新世中期一度影响到柴达木盆地, 后可能又随着全球变冷和青藏高原的抬升, 干旱气候加剧, 其季风气候的前缘又逐渐退缩到现代位置。

S05-P-6

青藏高原北部中中新世植物—昆虫多样性演替及其驱动机制研究

王雪莲^{1*}

1 中国科学院西北生态环境资源研究院
* wangxuelian@nieer.ac.cn

深时昆虫植食行为被认为是揭示植物进化和理解陆地生物多样性演化规律的重要突破口。青藏高原隆升驱动了亚洲季风演化并塑造了生物多样性格局, 对其生物多样性演替的研究已成为地球科学的前沿热点。但青藏高原昆虫植食行为演化历史的研究仍存在明显不足, 有准确年代控制的系统且连续的昆虫植食记录尤为匮乏, 严重制约了全球范围内对生物多样性演化机制的认识。本研究拟以柴达木盆地 17-7 Ma 时期怀头他拉和瑙格剖面中多层含昆虫植食遗迹的多类型植物化石为研究对象, 采用统计学及数据校准的方法重建中新世气候适宜期昆虫植食行为的演化历史, 利用植物功能型分析、叶缘分析法及气候-叶片多变量分析程序建立高分辨率的植被演化、古气候-海拔变化序列。结果表明: (1) 植物化石(叶片及果实)主要以杨

柳科的杨属、柳属、豆科的豆荚属、桦木科的桦木属以及胡桃科的胡桃属等落叶阔叶类植被为主；（2）化石组合可划分为 30 个形态型，结合 CLAMP 分析得到年均温为 17.1 ± 2.1 °C，古湿热焓为 326.1 ± 3.4 kJ/kg。根据同纬度同期模拟的海平面湿热焓 (337 kJ/kg) 及湿焓法 (公式: $\Delta Z = (H_{\text{sea level}} - H_{\text{fossil}}) / g$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)，得到该地区在 15 Ma 的古海拔为 $\sim 1,120 \pm 300 \text{ m}$ ；（3）初步估计昆虫取食损害的频率为 65%，主要的取食形态包括孔洞取食、表面取食、刺吸式取食、边缘取食、骨架化取食及潜叶取食，这些取食形态可细分为 48 个破坏类型，显示出昆虫类型丰富的多样性，且组成成分及较高取食频率反映的温暖湿润气候能够与 CLAMP 的模拟结果相耦合。并结合同层位的孢粉学证据进行互补和验证，对比区域和全球的古气候记录，探讨中新世以来植物-昆虫协同演化对气候-海拔变化的响应机制，以期预测未来气候变化背景下生物多样性响应提供重要的古生物学依据。

S05-P-7

沙漠环境形成的构造与地质条件约束

孙君一^{1*}，王铭晗¹，宁可佳¹，王瑜²

1 中国地质图书馆（中国地质调查局地质文献中心）

2 中国地质大学（北京），科学研究院

* 476015552@qq.com

中国的沙漠分布于西部、北部，集中于塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地及内蒙古高原等封闭或半封闭盆地中。中国的沙漠总体上分布于昆仑山-秦岭山以北，大兴安岭-太行山以西地区，形成时间在 1.8-2.0Myr 以来。在青藏高原地区等地现今已出现了大量的荒漠化。中国的沙漠区与全球“回归沙漠带”（南北纬 15°~35°）明显不同，可能与东亚季风气候的形成并没有直接的联系。以往认为这些沙漠的形成与

干旱环境有关，但并没有清楚的与构造-地质条件制约的关联性。这些极端环境变化是大气环流与气候还是地形效应引起？而地形效应是否又是大气环流与气候变化的主因？并没有一个清晰的认识。美国西部的沙漠向西即为海岸，是否落基山的形成导致沙漠的形成？初步的研究认为，大陆边缘与陆内山脉的高度变化、相关联地区的高原的形成导致了气候的变化，而气候的变化形成了快速的风化与剥蚀，特别是山脉的快速隆升，有效地制约着气候变化，以及山脉不同高度 C-N-O 的释放与补给。因此，构造运动可导致全球气候变化，而区域性或局部性的构造变迁与气候变化的协同演化可能是亚洲内陆干旱化的主要原因。

S05-P-8

基于湖相介形类载体的柴达木盆地中一晚中新世古水文重建

宋博文^{1,2*}，张克信^{1,2}，季军良²，杨一博³，李祥忠⁴，徐亚东²

1 中国地质大学（武汉），自然资源调查研究院

2 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

3 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

4 云南大学，地球系统科学研究中心

* bwsong1985@cug.edu.cn

柴达木盆地位于青藏高原东北部，新生代以来随着高原北部强烈隆升，盆地发生了剧烈地相对沉降，巨厚的沉积物记录了亚洲内陆干旱化的演化过程和青藏高原东北部的构造活动历史，是揭示构造、气候相互作用的典型区域，是建立青藏高原北部区域性高精度古环境和古气候记录的理想地区。湖相介形类作为重建湖泊古水文变迁历史的关键载体，在地质历史时期古气候和古地理重建研究中扮演着重要角

色，介形类壳体的地球化学成分与其宿生水体的环境参数之间的关系更是近年来古环境重建，特别是非海相古环境重建研究中由定性向定量发展的一个重要手段。保存在柴达木盆地大红沟剖面中新世湖相沉积中的介形类为我们开展柴达木盆地中新世古气候和古地理重建研究提供了宝贵载体，取得了以下主要认识：1) 介形类群落演替显示柴达木古湖在 13.3Ma 之后，由先前的喜淡水介形类占优势转变为以喜咸水介形类占绝对优势，同时介形类群落的分异度显著降低；2) 介形类壳体碳氧稳定同位素值 ($\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$) 在 13.3Ma 之后均表现为强烈的正偏，指示柴达木古湖蒸发作用显著增强，湖泊封闭性增加，干旱化明显加剧；3) 基于介形类壳体锶同位素 (Sr) 和微量元素地球化学分析，重建了柴达木古湖中新世时期古湖泊的古水化学特征，显示柴达木古湖中新世湖水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值显著低于柴达木盆地现代湖水和河流沉积物的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值；4) 基于特征介形类壳体，利用碳酸盐岩团簇同位素古温度 (TD_{47}) 重建方法，重建了柴达木古湖中新世夏季近表层湖水的温度。

S05-P-9S

利用孢粉多样性指数重建植物多样性的潜力

江雨轩^{1,2}, 吴福莉^{1*}, 方小敏^{1,2}, 王海涛^{1,3}, 谢宇龙^{1,4}, 余翠容^{1,2}

1 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与资源环境全国重点实验室

2 中国科学院大学

3 中国科学院西北生态环境资源研究院, 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室

4 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气地层应用重点实验室

* wufuli@itpcas.ac.cn

借鉴植物多样性重建的各种指标，利用孢粉数据开展植物多样性的重建工作，可较好弥补地层记录中植物化石不连续的

局限性。然而，基于孢粉数据重建多样性结果的准确度如何，仍需要通过系统的现代过程研究予以检验或校正。本文基于现有的中国现代花粉数据集，用 5 种多样性指标分别计算了被子植物的孢粉多样性，包括种类数 S 、Berger-Parker 指数 d 、Simpson 多样性指数 D 、Hill 指数 D_r 以及 Shannon-wiener 指数 H ，创新性地引入图像结构相似性指数 (SSIM) 对其结果进行对比分析，结果表明 H 和 d 在植物多样性重建方面具有较大的应用的潜力；本文进一步探讨了不同气候因子对基于 H 指数的植物多样性分布的影响，数值分析结果显示最冷月均温和年降水量与其相关性最高 (r 分别为 0.49* 和 0.38*)，表明年降雨量和最冷月均温可能是影响植物多样性分布的主要因素，且 $NH=0.4$ 大致可作为干旱与湿润气候影响下植物多样性重建的判定界限。该研究开创性地整合现代花粉数据，对比分析了多指标重建中国被子植物多样性地理分布格局的方法，并系统解析了关键气象因子对植物多样性的影响，为构建地质历史时期植物多样性重建方法和探讨多样性演化的气候响应机制及预测奠定了现代过程研究基础。

S05-P-10S

多指标揭示的柴达木盆地封闭时代

唐应德², 刘方斌³, 高鹏^{1*}, 金煜朋², 高石宝², 聂军胜^{1*}

1 兰州大学, 地质科学与矿产资源学院甘肃省西部矿产资源重点实验室

2 兰州大学, 资源环境学院西部环境教育部重点实验室

3 齐鲁师范学院

* gp@lzu.edu.cn

* jnie@lzu.edu.cn

经过多年努力，地学界对青藏高原东北缘形成时代产生了较为一致的认识——青藏高原东北缘地貌状况在晚中新世约

10Ma 已经基本形成。理解精细尺度青藏高原东北缘隆升变形历史对于理解柴达木盆地封闭时间、盆地内蒸发盐形成背景及哺乳动物演化具有重要意义。然而, 目前的数据不足以刻画更加精细尺度青藏高原东北缘的变形细节。已有研究表明, 柴达木盆地“东大门”—鄂拉山和青海南山可能隆升最晚, 因此该区隆升变形过程至关重要。因此我们选取了位于鄂拉山和青海南山之间的茶卡盆地作为研究站点, 通过频率磁化率变化、磁组构、物源分析和构造旋转共同揭示出鄂拉山和青海南山可能在约 6.6Ma 隆升到阻碍东亚水汽进入柴达木盆地的高度, 导致盆地变干, 为盐类的积累和盆地独有的哺乳动物的发育奠定了基础。

S05-P-11S

青藏高原尼玛盆地记录的晚渐新世南亚季风演化

肖子儒^{1,2}, 王学婷^{1,2}, 靳春胜^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

* csjin@mail.iggcas.ac.cn

现代亚洲季风-干旱系统的形成演化是新生代亚洲环境的重大变革。南亚季风从热带向北迁移至中纬度地区的时间一直存有争议, 且轨道时间尺度的亚洲季风演化存在的“十万年周期困惑”仍悬而未决。我们业已通过对青藏高原尼玛盆地的环境磁学研究, 揭示了南亚季风于 25.8 Ma 增强, 并发现 25.8 Ma 之前, 指标序列存在~100 kyr 的短偏心率 and 20 kyr 的岁差周期信号, 但是 25.8 Ma 之后后者信号缺失, 这可能归因于磁学指标的气候敏感性和局限性。因此, 本研究将在这一基础上, 采用粒度指标并经端元分析, 进一步解译尼玛盆地沉积物包含的轨道时间尺度的季风信息, 验证 25.8 Ma 之后岁差信号存在与否, 探讨中国的十万年周期困惑, 并分析高低纬气候

过程的控制作用。研究表明 25.8 Ma 之后: 沉积物细粒组分呈现增加趋势, 反映高原变湿, 应与南亚季风增强有关; 粒度序列具有显著的~100 和 20 kyr 周期, 同时~100 kyr 周期信号包含了适量的~20 kyr 周期信号, 说明~100 kyr 周期是岁差周期的调控周期, 而非冰期-间冰期旋回信号的反映, 进一步表明晚渐新世尼玛盆地轨道时间尺度上的气候过程主要受控于低纬过程而非南极冰盖。

S05-P-12S

渐新世大气 CO₂ 浓度降低与陆表风化度增强有关

王学婷^{1,2}, 杨一博^{3*}, 靳春胜^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院大学地球与行星科学学院

3 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统与资源环境重点实验室

* yangyibo@itpcas.ac.cn

* csjin@mail.iggcas.ac.cn

渐新世大气 CO₂ 浓度长期显著降低的原因, 至今仍是未解之谜。本研究聚焦青藏高原腹地构造活跃区, 选择尼玛盆地达则错剖面, 通过解析硅酸盐化学风化过程对晚渐新世亚洲季风增强和构造活动的响应, 以揭示多时间尺度构造隆升、侵蚀、气候变化、硅酸盐化学风化及 CO₂ 消耗之间的相互作用关系。研究表明: 在构造时间尺度上, 晚渐新世青藏高原构造隆升与南亚季风增强共同驱动的侵蚀作用加剧导致了陆表风化度增强, 进而致使硅酸盐化学风化速率增加。在轨道时间尺度上, 硅酸盐化学风化的强弱旋回呈显著的 405-kyr 长偏心率周期, 其波动幅度与南亚季风驱动的水文气候变化存在同步性, 可能与南亚季风降雨强化引发的风化反馈增强密切相关。本研究首次通过地质记录证实, 在高陆表风化度背景下, 硅酸盐化学风化反馈强度及其 CO₂ 消耗速率增强。鉴于渐新

世全球侵蚀速率增加, 渐新世大气 CO₂ 浓度降低的主控因素可能是陆表风化度增强和气候-风化反馈加强。

S05-P-13S

青藏高原地区相对花粉产量研究综述

马林原^{1,2}, 许清海^{2*}, 张生瑞², 李月丛², 苗运法¹, 曹现勇^{3*}

1 中国科学院西北生态环境资源研究院

2 河北师范大学, 地理科学学院

3 中国科学院青藏高原研究所

* xuqinghai@hebtu.edu.cn

* xcao@itpcas.ac.cn

定量重建土地覆被变化是全球变化研究的核心和热点, 花粉是目前发展最成熟和指示意义最明确的代用指标之一。相对花粉产量(Relative Pollen Productivity, RPP)通过对原始花粉-植被-土地覆被关系进行校正, 逐渐成为定量重建地质历史时期植被丰度和土地覆被变化的关键参数。本文通过回顾青藏高原地区 8 个区域的相对花粉产量估算工作, 探讨了影响区域间相关花粉源范围(Relevant Source Areas of Pollen, RSAP)和主要植物属种相对花粉产量值异同的主要原因, 并检验了花粉产量在古植被定量重建中的适用性。结果显示: (1)沉积盆地类型和大小、植被空间结构和花粉/植被类型数量等是导致区域间相关花粉源范围差异的主要原因。(2)同一植物属种花粉产量差异主要受控于沉积载体、植被景观、物种组成和空间分布、花粉形态多样性和花粉传播方式等因素。(3)以当惹雍错为例, MAT-REVEALS(Modern Analogue Technique-Regional Estimates of VEgetation Abundance from Large Sites)方法的结果有效消除了原始花粉百分比与现代植被之间的矛盾, 表明 RPP 校准可显著提升古植被重建可靠性。本研究成果可为青藏高原古植被定量重建和气候数值模拟提供关键边界

条件, 对理解高寒生态系统对气候变化的响应机制具有重要科学意义。

S05-P-14S

大洋缺氧事件(OAE 2)期间塔西南微生物-藻类群落演变及其古气候响应

陈建珍^{1,2,4}, Ting Zhang², Pengyuan Zhang³, Mingzhen Zhang², Zhifu Wei², Gen Wang², Yingqin Wu², Zengguang Guo^{1,4}, Xueyun Ma², Qian Ming^{1,4}, Gaofeng Kang^{1,4}, Xinyu Huang^{2,4}, Kebin Wei^{2,4}, Yongli Wang^{1*}

1 State Key Laboratory of Lithospheric and Environmental Coevolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences

2 Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Gansu Province, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences

3 Key Laboratory of Petroleum Geochemistry, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, China National Petroleum Corporation

4 University of Chinese Academy of Sciences

* lwang@mail.iggcas.ac.cn

Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2), ~93.9 Ma at the Cenomanian–Turonian Boundary (CTB), was marked by ocean warming, sea-level rise, positive carbon isotope shifts, and widespread black shale deposition. However, its triggers remain unclear, especially in the eastern Tethys due to limited records. The Kuzigongsu Section (KZGS) in the southwestern Tarim Basin (~27°N paleolatitude) offers a continuous Late Cretaceous record. Stratigraphic analysis dates it to 95.14–93.54 Ma, with the CTB at 82.5 m and OAE2 lasting ~780 kyr. GDGT and clumped isotope data show elevated temperatures (27–46 °C). High 2-methylhopane (2-MeHI) values indicate cyanobacterial dominance during mid-to-late OAE2, suggesting major ecological stress.

This study provides rare insight into eastern Tethys conditions and underscores the need to clarify OAE2's driving mechanisms.

S06-O-1

新生代气候环境变化驱动东亚成为犀超科演化中心

邓涛^{1*}

¹ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
* dengtao@ivpp.ac.cn

现代犀牛是数量和种类都相当有限的奇蹄动物，然而在新生代的大多数时间里，犀超科却是异常繁盛的一个类群，在不同的生态环境中适应了植食性动物的不同生活模式，辐射出纷繁的分支。犀超科成为这个地球上除马超科之外最成功的奇蹄目类群。从始新世开始，北半球的大多数陆地生态系统中都有一种或多种犀牛作为动物群的组成部分，犀牛的化石属种数量远远超过同属于奇蹄动物的马类、獾类、爪兽和雷兽。从体型上看，在大多数新生代动物群中，犀牛常常是最大的植食性哺乳动物之一。最原始的犀牛是始新世的獾犀，包含在犀超科獾犀科内，并很快演化出犀超科的另外 4 个科，即跑犀科、两栖犀科、巨犀科和真犀科。獾犀是一类小型到中等大小的角形类成员，适应于快速奔跑，在中国分布于早、中始新世。跑犀也是一类小型、善跑的犀牛，在中国分布于中始新世至晚渐新世。两栖犀类在亚洲和北美的中、晚始新世动物群中相当常见，已知最原始和最早的两栖犀发现于内蒙古二连盆地中始新统的伊尔丁曼哈组，因此亚洲是两栖犀类最有可能的起源地。巨犀是地球历史上最大的陆生哺乳动物，分布于中始新世至早中新世，其进步类型的头顶的位置离地面超过 7 米，体重可达 24 吨，是吃树顶叶子的动物。中国不仅有最原始的巨犀，并且是其多样性最高的地区。真犀科

的典型特征是具有凿状的上第一门齿和獠牙状的下第二门齿组合，它们在早渐新世已扩展到整个全北界并开始适应辐射，取代了中始新世占统治地位的其他奇蹄动物，并一直繁盛到更新世。中国的真犀科化石非常丰富，尤其是晚中新世哺乳动物群中的无角犀类和板齿犀类。对气候变化的敏感反应造成了犀牛高度的多样性。在中国新生代各地质时期，东南和西南地区由于受夏季风影响，气候温热、湿润，分布着喜湿热的犀类；广大的蒙新高原区，受东南和西南季风影响小或不受影响，气候干旱、半干旱，生活了一些耐旱的犀牛；青藏高原海拔高，空气稀薄，温度低，气候恶劣，不适宜动物的大量繁衍，而耐寒的披毛犀在此起源并在第四纪扩散于欧亚大陆北部。

S06-O-2

动物群系统发育贡献方法揭示青藏高原隆升促使中亚和中国北方成为新近纪北半球哺乳动物群的演化中心

王世骥^{1*}，江左其杲¹，张弛¹，倪喜军¹，孟津²，邓涛¹

¹ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
² American Museum of Natural History
* wangshiqi@ivpp.ac.cn

青藏高原隆升对北半球哺乳动物演化具有深远影响。研究表明，新近纪以来高原隆升驱动中亚及中国北方干旱化早于其他区域，促使该地区成为北半球开阔生态系统哺乳动物群的演化中心，并通过持续扩散塑造了现代全球动物地理格局。

方法与数据

研究采用大数据分析，构建北半球（亚洲、欧洲、非洲、北美）9 目 50 科 1246 属大型哺乳动物的属级超树，统计其时空分布（分 6 区域：北半球整体、欧洲、

北美、非洲、东洋界、中亚及中国北方)。创新提出“动物群系统发育贡献方法”，基于物种间系统发育距离计算动物群间亲缘关系，量化历史动物群对现代动物群的影响。

核心发现

我们计算了每 0.3 Ma 中亚、欧洲、非洲、东洋界、北美洲的动物群分别与现代全球动物群（全球现生属）之间的关系，形成 5 条各区域动物群与现代全球动物群的关系曲线。结果发现，新近纪期间中亚及中国北方展现出显著的哺乳动物群演化中心地位，其影响呈现两阶段特征：山旺期（20–15 Ma）和灞河期（11–9 Ma）。灞河期尤为关键，青藏高原北部在 12–10 Ma 抬升至约 3000 米，加剧区域干旱化，引发“中亚托尔通危机”（CATC）——约 11 Ma 全球新近纪最大灭绝事件中，中亚 95% 以上大型哺乳动物灭绝。牙釉质 $\delta^{13}\text{C}$ 记录（准噶尔盆地、柴达木盆地动物群）及齿冠高度指数（AHI）表明，早于 C4 植被扩张，中亚已形成开阔干旱环境，推动食草动物齿冠形态革命（如羊族、真象类崛起）。此后，适应新生态的中亚动物群（含三趾马、早期羊族、真象类等）向北半球扩散：9 Ma 后持续主导欧洲动物群演化；至 4 Ma，其影响超越非洲本土动物群，成为现代萨瓦纳动物群的重要起源；2.6 Ma 进入北美，进一步推动全北界动物群一体化，重塑北美动物群格局。这一系列扩散事件凸显中亚灞河期动物群作为北半球开阔生态系统适应性演化的核心驱动力，奠定了现代陆生哺乳动物地理分布的基石。

理论与意义

本研究提出“动物群系统发育贡献方法”，首次系统揭示中亚哺乳动物群对新近纪北半球生态演化的核心驱动作用。青藏高原隆升通过干旱化促使中亚成为开阔生态系统适应性演化的“创新中心”，其动物群扩散重塑了全球现代陆生生态系统格局。该理论为解析哺乳动物类群起源及生态基础提供了关键框架。

S06-O-3

中国第四纪豹属 *Panthera* 地史分布

江左其杲^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，古哺乳动物

* jiangzuo@ivpp.ac.cn

本研究基于中国第四纪豹属（*Panthera*）化石记录，系统梳理了该属物种的地史分布与演化关系。研究显示，雪豹（*Panthera uncia*）化石记录在青藏高原东北边地区和华北。通过形态学与 DNA 数据的贝叶斯系统发育分析，确认雪豹支系在中更新世以来呈现快速演化特征，并存在多次扩散至高原外的记录，可能与高原隆升事件密切相关。此外，古中华虎（*P. palaeosinensis*）和虎（*P. tigris*）的化石见于河南浍池、甘肃龙胆等地，揭示早期虎类在中国的演化脉络。美洲豹（*P. gombaszogensis*）化石发现于大连骆驼山和周口店，狮类的代表杨氏虎（*P. youngi*）与洞狮（*P. spelaea*）则分布于周口店、萨拉乌苏等地。豹（*P. pardus*）过去的化石记录由于各种原因记录需要系统修订，目前看来最早出现在中更新世早期。综合多学科证据，本研究阐明豹属物种在第四纪的气候与地质事件驱动下，形成了复杂的适应性辐射与迁徙模式，为东亚大型猫科动物演化研究提供了关键依据。

S06-O-4

庆阳三趾马动物群指示的最晚中新世生态环境

孙丹辉^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* sundanhui@ivpp.ac.cn

20 世纪初, 庆阳地区的哺乳动物化石发掘以来自法国的桑志华和来自瑞典的安特生为代表。其中, 桑志华在甘肃庆阳地区对三趾马动物群化石的系统发掘, 是中国古生物学史上具有里程碑意义的科学活动, 标志着我国首次运用现代古生物学方法开展的大规模发掘, 为中国的古脊椎动物学研究和新生代陆相地层对比奠定了重要基础。庆阳三趾马动物群化石地点集中分布于庆阳赵家岔、幸家沟和教子川, 产于晚中新世的三趾马红土。庆阳三趾马动物群以三趾马为标志物种, 其他代表性成员包括鬣狗、大唇犀、瞪羚、中华板齿犀、长颈鹿、鼯鼠和假沙鼠等类群。动物群指示了该地区晚中新世时期为温暖半干旱的稀树草原环境, 揭示了欧亚大陆东西部动物群之间的交流, 并为晚中新世的地层划分与对比提供了关键生物标志。

S06-O-5

哺乳动物生活史的演化—— 以奇蹄目犀超科为例

卢小康¹, 邓涛^{2*}

1 河南中医药大学

2 中国科学院, 古脊椎动物与古人类研究所

* dengtao@ivpp.ac.cn

生活史是哺乳动物演化的重要内容之一。从早期的哺乳动物到现生的哺乳动物, 其生活史过程并不是一成不变的。我们将以奇蹄目为例从几个方面介绍其生活史的演化过程。首先是牙齿萌出顺序的时间变化, 在已知的马和貘等动物表现出演化特点, 而犀的差异较小。个体发育和体成熟的时间在马、貘和犀都表现出显著的变化。此外, 根据中国山旺盆地 1800 万年前的—种化石犀, 我们发现包括雷兽、爪兽、马、貘和犀在内的奇蹄类在始新世时期即采用了单胎繁殖的策略, 也就是说奇蹄类是单胎起源的。

S06-O-6

更新世中国季风区林栖哺乳 动物的森林动态代用指标

白炜鹏¹, 董为^{2*}, 张立民², 刘文晖³

1 河北师范大学, 历史文化学院

2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

3 中国国家博物馆

* dongwei@ivpp.ac.cn

季风对植被的发育具有重要的影响, 进而对以植物为食的动物群的演化产生显著的作用。由于素食动物的多样性与植被协同演化, 因此可以将之作为森林或植被动态的代用指标。选择了 36 个具有代表性的产于中国季风区的更新世哺乳动物群作为研究材料, 用不同的方法统计了这些动物群中林栖种类和素食种类的多样性, 并计算了这些动物群在各个植物分区的合意梯度系数。结果显示, 从早更新世到晚更新世, 随着东亚夏季和冬季季风的不断交替和加强, 森林的活力逐渐波动式下降; 而草原的活力不断波动式增加, 尤其是在秦淮线以北的地区。因此这些动物群多样性的分析可以作为史前森林动态的代用指标之一。此外, 这些代用指标与黄土-古土壤序列和深海氧同位素阶段的对比可以帮助提高生物年代对比的精度及古环境重建。

S06-O-7

铅同位素指示古新世—始新 世极热事件 (PETM) 前期 北美高纬度地区气候急剧变 化

蔡悦^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* cai@nigpas.ac.cn

古新世-始新世极热事件 (PETM, ~56 Ma) 是新生代最具代表性的快速碳循环扰动事件, 其触发机制对理解当代气候变化具有重要启示。本研究基于美国弗吉尼亚州 Surprise Hill (SH) 钻孔的沉积记录, 发现陆源碎屑的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值在碳同位素负漂移 (CIE) 起始前约 16 kyr 显著跃升。该信号指示 PETM 早期北美东海岸沉积物源区年龄从~1 Ga 的格林维尔期 (Grenville) 基底突变为~3 Ga 的太古宙 (Archean) 物质, 且该物源转变持续至 PETM 中后期。区域对比表明, 研究区白垩纪晚期沉积物及基岩露头均源自格林维尔期源区, 而太古宙物源可能来自北美高纬度的北大西洋克拉通。上述现象与气候模型模拟的 PETM 前高纬度降雨带北移及降水激增的预测一致, 揭示北美高纬度气候-风化系统响应早于 PETM 全球碳释放。值得注意的是, SH 钻孔南部浅海 IODP 1051B 钻孔沉积物在 PETM CIE 前出现铅同位素升高, 但在 PETM 期间比值骤降, 指示沿岸格林维尔期源区风化通量剧增导致的混合效应。结合年代学约束, 北大西洋火成岩省 (NAIP, ~62–55 Ma) 引发的区域性隆升与增强的水文循环可能协同促进了太古宙基岩的加速剥露, 从而驱动 PETM 早期沉积物源区的转变。此外, 高纬度降雨增加产生的淡水输入可能导致海水盐度分层, 为 PETM 之前发生的海底缺氧事件提供了触发机制。本研究通过沉积物源信号首次揭示 PETM 前期高纬度气候-风化系统的超前响应, 为解析 PETM 的触发机制提供了新线索。

S06-O-8

The lower Barremian dysodile Konservat-Lagerstätte of Bkassine (South Lebanon): Insights on the fossil continental assemblages

Azar Dany^{1,2,3*}, Sibelle Maksoud^{2,3}, Ninon Robin^{4,5}, Léa de Brito⁶, Pascal Godefroit⁵, Sébastien Olive^{5,7}, Lionel Cavin⁸, Nathan Vallée-Gillette⁵, Kevin Rey^{9,10}, George Heneine³

1 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气应用国家重点实验室

2 黎巴嫩大学, Faculty of Sciences II

3 Lebanese Palaeontological and Evolutive Association

4 Géosciences Rennes, Univ. Rennes - CNRS

5 Institute of Natural Sciences

6 Paris - Muséum national d'Histoire naturelle, Centre de recherche en Paléontologie

7 University of Liège

8 Muséum d'Histoire naturelle de Genève

9 Vrije Universiteit Brussel, Archaeology, Environmental Changes & Geo-Chemistry

10 Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENSL, UJM, LGL-TPE, UMR 5276

* hrzhou@nigpas.ac.cn

Terrestrial ecosystems acquired their modern structure during the Early Cretaceous. The Early Cretaceous is the period of appearance of most orders of flowering plants accompanied with families of insects pollinators. During this period, important fish groups appeared in the marine environment (diverse spiny-rayed fishes) and early diverging ray-finned fish thrived in freshwaters. Dinosaurs and birds underwent an evolutionary radiation; while many placental mammalian emerged. Dysodiles, finely laminated sedimentary rocks rich in organic matter, are found in various deposits in Lebanon. We present information on the fossil assemblage of the dysodiles. We provide a preliminary reconstruction of the associated depositional environment: a freshwater lake found nearby volcanic edifices, surrounded by a typical Early Cretaceous flora (open forest and savanna-like environment). This fossil setting can be compared to the coeval Jehol Biota, Bernissart (Belgium) and Las Hoyas (Spain).

S06-O-9

亚洲低纬度地区晚渐新世和中新世山矾科山矾属植物的多样化

徐晟岚¹, Tatiana Kodrul², Mikhail S. Romanov³, Alexey V. F. Ch. Bobrov⁴, Natalia Maslova⁵, 李树峰⁶, 付琼耀⁷, 黄炜烨¹, 全成⁸, 金建华¹, 黄路亮^{1*}

1 中山大学, 生命科学院/生态学院
2 Russian Academy of Sciences, Geological Institute
3 Russian Academy of Sciences, Tsitsin Main Botanical Garden
4 M.V. Lomonosov Moscow State University
5 Russian Academy of Sciences, Borissiak Paleontological Institute
6 中国科学院西双版纳热带植物园
7 广西自然历史博物馆
8 长安大学
* 571854202@qq.com

现代山矾科山矾属植物主要间断分布于亚洲、澳洲和美洲的热带亚热带地区。化石记录和分子证据都表明该属在始新世起源于欧亚大陆。然而, 由于亚洲(山矾属的现代分布中心之一)该属的植物化石记录还很少, 目前我们对该属在亚洲地区的植物地理史还不是很清楚。本文报道了采自广西南宁晚渐新统和桂平中新统保存完好的 3 种类型的山矾属果化石, 其中广西南宁晚渐新世山矾属果化石是该属亚洲最早的大化石记录。此外, 利用 Biomod2 组合物种分布模型我们还模拟了晚渐新世以来气候变化影响下山矾属植物潜在地理分布的变化。我们的化石记录和模型模拟结果显示山矾属植物在渐新世晚期就已经多样化并自此一直生长于亚洲低纬度地区, 晚渐新世以来的气候变化特别是年均温和年降雨量在推动本区山矾属植物的地理迁移和多样化中起到了关键性的作用。

S06-O-10

The Late Pleistocene woods from the Maoming Basin (South China): fossil evidence of glacial/interglacial fluctuations of species ranges at low latitudes

Alexei A. Oskolski^{1,2}, Luliang Huang^{3*}, Jianhua Jin^{3*}

1 University of Johannesburg
2 Russian Academy of Sciences, Komarov Botanical Institute
3 Sun Yat-sen University
* 571854202@qq.com
* lssjhh@mail.sysu.edu.cn

Drastic climatic fluctuations during the Pleistocene led to large-scale extinctions and migrations of plant species. The distributions of many species contracted during the glaciations, with persistence confined to refugia with favorable habitats, followed by range expansion during interglacials. However, some cold-tolerant species expand during the cold periods, and then contracted their ranges persisting in refugia during interglacials. Both scenarios are well-documented by fossil evidence in the temperate zones of the Northern Hemisphere. In contrast, such fluctuations in distribution range in low-latitude regions have mostly been revealed through molecular phylogeographic studies, lacking fossil evidences.

In this talk, we will present the results of our studies on mummified woods from the Late Pleistocene (33–30 ka cal. BP) of the Maoming Basin (Guangdong Province, South China). These woods represent some of the first fossil evidence of glacial range fluctuations for the low-latitude species. To investigate these fluctuations, we analyzed the modern climatic ranges of these species using WorldClim data, compared them with

available paleoclimatic data (the Coexistence Approach, Oscillayers, and the WorldClim dataset), and applied species distribution modelling (SDM). A crucial aspect of this methodology is the reliable attribution of fossil wood to modern species.

The glacial expansion has been suggested by molecular phylogeographic analyses of several subtropical species from eastern Asia. The mummified woods of *Pinus armandii* Franch. (Pinaceae) and *Magnolia insignis* (Wall.) Bl. (Magnoliaceae) from the Maoming Basin provide the first fossil evidence of this scenario for the low latitudes. The Biomod2 and MaxEnt modelling, coupled with paleoclimatic data, showed that the retreat of these species from the low latitudes of East Asia during the Holocene was driven by the warming of winters for *P. armandii*, and by the increase of summer temperature for *M. insignis*. Such scenario might be common for other montane cold-tolerant plants from subtropical and tropical regions.

Unlike them, *Cryptocarya chinensis* (Hance) Hemsl. (Lauraceae) exhibits a glacial contraction and postglacial expansion of its range. This species had a highly restricted range in the Late Pleistocene, likely due to increased continental aridity and temperature seasonality in the Maoming Basin. Thus, the modern populations of *C. chinensis* in Maoming can be considered as glacial relicts. Additionally, we found mines in its fossil wood created by fly larvae of *Phytobia* Lioy (Agromyzidae, Diptera). These cambial miners have never been reported in *Cryptocarya*.

Beyond these tree species, the fossil woods from the Maoming Basin also represent *Keteleeria* Carr., *Liquidambar* L., *Castanopsis* (D. Don) Spach, *Lithocarpus* Bl., *Erythrophleum* R. Br., *Dalbergia* L. f., and morphotypes of *Rubiaceae* and *Sapotaceae*. The co-occurrence of temperate, subtropical,

and some tropical species at this locality is noteworthy and requires further ecological investigation.

S06-O-11

整合化石和分子证据构建昆虫生命之树

蔡晨阳^{1*}

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所

* cycai@nigpas.ac.cn

昆虫是地球上生物多样性最丰富的类群，已描述物种约 100 万种，占已知动物种类的一半以上。构建符合自然演化历史的昆虫生命之树，是解决昆虫演化相关科学问题的关键。近年来，大规模高质量基因组数据的积累，显著改变了人们对昆虫多样性起源和演化的认识。系统发育基因组学研究为解析昆虫演化历史、明确其在节肢动物中的系统地位，以及解决长期存在的内部争议提供了重要证据。然而，许多高阶元系统发育关系仍未完全解决。未来研究需突破单纯增加物种采样或测序规模的局限，而应注重以下方面：选用更贴合分子进化特征的模型以减少系统误差；整合基因共线性、重复与缺失等基因组结构特征，并结合经典形态学证据；同时，分子与形态数据的整合分析是有效纳入化石证据的基础。基于分子与化石证据的昆虫生命之树，将更全面地揭示昆虫多样性演化历程及其对现代陆地生态系统形成的影响。

S06-O-12

通过建模组成异质性解决“缺翅目难题”并揭示多新翅类的进化历史

王业浩¹，蔡晨阳^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所
* cycai@nigpas.ac.cn

翅的演化推动昆虫成为当今的地球上生物多样性最高的类群。然而，早期分化的有翅昆虫的目间关系及其进化时间尺度仍难确定，部分原因在于神秘且物种稀少的缺翅目昆虫分类位置存在争议。“缺翅目难题”自该目被发现一个多世纪以来，一直是昆虫进化研究中具有争议的核心问题。这一关键难题的解决将直接影响我们对多新翅类昆虫多样化进程和特征进化的解释框架。本研究采用最大规模的蛋白质编码基因数据集，运用多种方法减少系统基因组推断中的常见误差来源，并通过检验历史上提出的缺翅目进化假说，最终确定缺翅目是多新翅类中最先分化的原始类群，而蠼螋（革翅目）与石蝇（襀翅目）形成的新支系“革襀类”（Dermoplectoptera）构成其他多新翅类姐妹群。基于 42 个经过验证的化石和地层校准点，我们追溯至泥盆纪有翅昆虫和多新翅类的起源时期，表明这些类群的崛起与早期陆生植物、真菌和动物多样化过程同步。本研究为理解有翅昆虫早期多样化模式和时间尺度提供了可靠框架。

S06-O-13

我国东部季风区晚第四纪巨型陆生哺乳动物类群的生态功能宏观格局浅析

滕漱清^{1*}

1 南京大学，生命科学学院
* shuqingteng@nju.edu.cn

以生物小体型化为特征的第六次生物大灭绝是当前人类社会面临的重大危机之一。深入理解生物多样性的现状及历史动态，有助于更好地预测和应对人类世时期与社会福祉紧密相关的生态影响。报告人在生态学、生物地理学、古生物学的交叉

领域开展了研究工作，针对我国东部季风区晚更新世和全新世巨型（肉食 > 15 kg；植食 > 500 kg）陆生哺乳动物的灭绝或区域灭绝物种进行了汇总，总结了这些物种的食性特征。除两种肉食动物（虎和最后斑鬣狗）以外，少数物种为粗食或嫩食，而大多数为混食（既粗食、也嫩食）。混食动物的食谱更为广泛，对由气候变化引发的植被变化具有更强的适应性，这意味着我国本土巨型陆生哺乳动物的消失难以完全由气候变解释。利用我国丰富的历史和考古资料，重建了我国过去两千年人口和巨型陆生哺乳动物的空间分布动态图，并量化了气候变化和文化演进在其中的作用，发现“文化过滤”是塑造我国巨型陆生哺乳动物多样性格局的主导因素，而气候变化几乎没有作用。巨型陆生哺乳动物普遍具有难以替代的长距离移动能力，这些物种的消失很可能引起相关重要生态功能的严重退化，并以我们本土物种亚洲象为例，对此猜想进行了验证。

S06-O-14

Revealing evolutionary patterns of early birds with a novel phylogenetic framework

Cockx Pierre^{1*}

1 Institute of Vertebrate Paleontology and
Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences
* pierre.cockx@ivpp.ac.cn

Ancestral state estimation (ASE) is a fundamental tool for investigating trait evolution in organisms. However, most ASE methods oversimplify this process by ignoring the hierarchical structure of traits and their interactions over time. A recently proposed framework, implemented in the *ontophyloR* package, addresses these limitations by reconstructing multiple character histories. Using these novel phylogenetic methods, we

investigated one of the most studied evolutionary transitions in the history of life: the origin of birds. The rich fossil record—particularly from China—offers extensive paleontological data. Analyzing more than 850 anatomical characters organized into key body regions, we show how the evolutionary change happened as birds acquired flight adaptations in a piecemeal fashion (mosaic evolution).

S06-O-15

白垩纪羽毛的超微结构揭示羽毛的演化

王佳佳^{1,2}, 裘锐^{3*}, 陈倩⁴, 刘迪³, 张同博^{1,5}, 李颖⁶, 张鑫俊⁷, 王宝鹏³, 胡东宇⁷, 任东², 汪筱林⁸, 夏晓飞³, 张玉光³, 张维婷¹⁰, 白明^{1,9,11,12}

1 中国科学院动物研究所, 动物生物多样性保护与害虫综合治理重点实验室

2 首都师范大学, 生命科学学院

3 国家自然博物馆

4 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与地层学国家重点实验室

5 宁夏大学, 农学院

6 中国社会科学院, 古科学与文化遗产重点实验室

7 沈阳师范大学, 自然资源部东北亚古生物演化重点实验室

8 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物演化与人类起源重点实验室

9 中国科学院大学

10 河北地质大学, 河北国际古人类联合研究中心

11 青海师范大学, 高原科学与可持续发展研究院

12 廊坊师范学院, 生命科学学院

* qiurui04@126.com

保存完好的中生代羽毛化石为羽毛宏观形态的演化研究提供了重要依据。然而, 由于大多数中生代羽毛化石中缺乏清晰的超微结构细节, 关于羽毛演化过程中其超微结构变化的研究相对较少。本研究通过对白垩纪中期(距今约 9900 万年)的羽毛化石进行剥离溶解实验, 利用扫描电子显微镜和共聚焦激光扫描显微镜成功观测到中生代羽毛的超微结构特征。这些白垩纪

羽毛的形态特征为以下科学假说提供了重要证据: 正羽羽毛的羽小枝起源于绒羽的节状羽小枝; 钩槽联锁机制和级联滑锁系统在白垩纪中期已存在; 白垩纪中期不对称正羽羽毛具有相对较弱的空气动力学性能。此外, 基于黑素体的形态和排列方向, 本研究还重建了这些羽毛化石的原生颜色。

S06-O-16

早白垩世华北克拉通北缘介形类多样性演化特征及其可能的影响因素

王亚琼^{1*}, Byung-Do Choi², 张紫颖^{1,3}, 泮燕红⁴

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 Daegu National Science Museum

3 南华大学

4 南京大学

* yqwang@nigpas.ac.cn

近年来, 随着我国科学家对“华北克拉通破坏与陆地生物演化”多学科交叉与整合研究的进一步深入, 更多有待回答的科学问题跃然纸上。其中的热点问题之一就是, 华北克拉通破坏是如何影响地表环境、陆地生态系统演化以及生物多样性? 前期研究表明, 早白垩世特异埋葬热河生物群在空间上位于华北克拉通的破坏区, 在时间上与华北克拉通破坏的峰期时代一致; 且热河生物群演化伴随生物多样性的增加, 其分布范围及含化石层表现出由西向东的发展趋势, 这恰恰与克拉通破坏区沉积盆地发育、发展及迁移的趋势相一致。目前, 关于陆地生物演化与华北克拉通破坏的研究多集中于特异埋葬生物群或化石类群, 较少涉及非特异埋葬化石类群。虽然, 特异埋葬生物群能为研究一些重要化石类群的形态和演化提供大量精细解剖结构等珍贵素材, 但正因其“特殊性”从而往往无法实现“普遍性”; 因此, 对华北克拉通上非特异埋葬化石类群的研究, 能为我们认识

陆地生物演化与华北克拉通破坏提供另一个更具“普遍性”的视角。华北克拉通北缘广泛发育的陆相沉积盆地保存了全球罕见的最为完整的富含介形类化石的连续的早白垩世陆相沉积序列；这无疑为我们提供了一个更具“普遍性”的视角来探讨陆地生物群演化与华北克拉通破坏之间的关系。现有初步研究发现，早白垩世华北克拉通北缘陆相介形类动物群演化经历了三个主要阶段：阶段 I，以大北沟介形类动物群 *Luanpingella-Daurina-Torinina* 组合为代表，此组合的主要特征为介形类个体较大，缺乏白垩纪陆相广泛分布的 *Cypridea* 类群；阶段 II，以热河介形类动物群 *Cypridea-Ziziphocypris-Rinocypris* 组合为代表，此组合的主要特征为介形类属种多样性急剧攀升，主要贡献来自于 *Cypridea* 及其亲缘类群多样性的增加；阶段 III，阜新、孙家湾介形类动物群 *Mongolocypis-Bisulcocypridea-Candona* 组合为代表，相较于前一组合，此组合无论是在属种多样性还是在 *Cypridea* 类群的多样性都显著减少。结合华北克拉通北缘沉积盆地发育及充填特征，我们发现介形类动物群演化阶段 II 的沉积地层几乎遍布于所有的沉积盆地；介形类动物群演化阶段 III，此阶段沉积地层减少且以红色碎屑沉积为主要特征。初步来看，华北克拉通北缘早白垩世介形类动物群多样性演化与盆地构造发育以及气候变化存在一定联系。

S06-O-17

叶肢介壳中的螺旋结构：从白垩纪至今的演化保守性

胡亮¹，泮燕红^{2*}

¹ 成都理工大学，沉积地质研究院

² 南京大学，地球科学与工程学院

* panyanhong@nju.edu.cn

Clam shrimp have been significant components of lacustrine ecosystems since the

Devonian, serving as important biostratigraphic markers in Mesozoic inland basins based on their carapace morphology and ornamentation. Despite their abundant fossil record as crustaceans, the ultrastructure of the cuticle layer has remained largely uninvestigated in both extant and fossil spinicaudatans. This study examines the carapace ultrastructure of three extant and two Cretaceous fossil spinicaudatans. Detailed observation of the fossil specimen revealed a well-preserved helicoidal (Bouligand) structure within the mineralized exocuticle, composed of apatite, consistent with extant relatives. The originally organic endocuticle in the fossil was found to be pyritized. The comparable ultrastructure and mineralization between the Cretaceous and extant specimens may indicate habitat stasis for these taxa over geological timescales. Furthermore, this study provides novel insights into the cuticle ultrastructure of spinicaudatans, contributing to a better understanding of crustacean cuticle evolution.

S06-O-18

潜叶取食诱导晚三叠世银杏类植物产生化学防御

赵涛¹，万遂¹，李森乐怡¹，冯卓^{1*}

¹ 云南大学，古生物研究院

* zhuofeng@ynu.edu.cn

潜叶取食是昆虫幼虫生活在叶片内部并取食叶肉的一种特殊的取食策略。这种策略不仅能有效提高幼虫的取食效率，同时也为它们提供了天然的庇护。某些昆虫甚至能够操控植物新陈代谢，以满足自身的营养需求。对于植物而言，潜叶取食会导致水分和养分的流失，并降低光合作用效率。为了应对这些威胁，植物演化出化学防御策略来抵抗昆虫的取食。保存有潜

叶取食伤害结构的植物化石为认识地质历史时期陆地生态系统中潜叶昆虫的多样性、它们的宿主植物以及它们对过去气候和生态系统变化的响应提供了重要的信息。然而，关于潜叶取食对化石植物化学成分的影响在很大程度上仍未被探索。本研究利用傅里叶变换红外光谱（FTIR）对四川盆地上三叠统须家河组产出的保存有潜叶取食伤害结构的银杏类植物化石进行了化学分析。由于现生银杏类植物缺少虫害，我们选取了常见的常春藤作为对比。结果显示，常春藤被潜叶取食的叶片区域与未被取食的区域存在显著的化学差异，前者含有更多的羧酸和多糖。这表明，潜叶取食昆虫在影响常春藤生理活动的同时，也遭到了常春藤的化学防御。化石银杏类植物叶片未被取食的区域与被取食的区域化学成分表现出相似的化学防御成分，这表明潜叶取食可能诱发了化石银杏类植物的系统性防御反应。我们的研究不仅为三叠纪银杏类植物对潜叶昆虫的化学防御提供了证据，还展示了通过化学分析深入了解远古时期植物防御机制的可行性。

S06-P-1S

大血藤属化石新发现及其现代分布区的形成

宋含章^{1,2}, Cédric Del Rio³, 陈琳琳², Alex Farnsworth^{2,4}, Paul J. Valdes^{2,4*}, 全成^{5*}, 金建华^{1*}

1 中山大学, 中山大学生命科学学院

2 University of Bristol, School of Geographical Sciences

3 CR2P—Centre de Recherche en Paléontologie—Paris, MNHN—Sorbonne Université—CNRS

4 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与环境资源国家重点实验室 (TPESER)

5 长安大学, 地球科学与资源学院

* p.j.valdes@bristol.ac.uk

* quan@chd.edu.cn

* lssjjh@mail.sysu.edu.cn

大血藤属 (*Sargentodoxa* Rehder et E.H.Wilson) 隶属于木通科 (Lardizabalaceae), 其下仅包含大血藤 (*Sargentodoxa cuneata* (Oliv.) Rehder et E.H.Wilson) 一种。该属主要分布于中国的华中、华东、华南及西南等地区, 在老挝、越南北部也有少量分布。大血藤属可靠的化石记录较少, 主要发现于北美洲的始新统、中新统以及欧洲的始新统、中新统和上新统, 亚洲仅日本的中新统有报道。本文报道了采自法国巴黎盆地下始新统以及中国广西桂平盆地中新统的大血藤属种子化石, 并基于该属植物的现代分布及相关环境变量, 结合古气候数据, 对该属生态位进行了模拟。巴黎盆地的化石是该属迄今发现的最古老的化石, 而桂平盆地的化石则是迄今中国首例大血藤属化石记录, 也是首次在大血藤属现生分布区发现该属化石。大血藤属生态位模拟的结果表明, 该属在古近纪时期于北半球中高纬度地区具有广阔的潜在分布区, 并且自上新世 (3.6Ma) 至今该属的生态位经历了波动性变化, 在约 0.8Ma 时减少到最小。结合前人关于大血藤属种内差异化的研究, 推测中更新世气候转型期 (mid-Pleistocene climate transition) 是大血藤属现代分布区形成的关键时期。

S06-P-2S

西番莲科植物在东亚的遗落和复苏: 来自化石和分子的证据

吴燕¹, Cedric Del Rio², 刘莹¹, 苏涛³, Tatiana Kodrul^{1,4}, Steven Manchester^{5,6}, 岳旭阳¹, 徐晟岚^{1,7}, 吴欣凯^{8*}, 金建华^{1*}

1 中山大学, 生命科学学院

2 Muséum National d'Histoire Naturelle

3 成都理工大学, 沉积地质研究院

4 Russian Academy of Sciences, Geological Institute

5 Florida Museum of Natural History

6 University of Florida, Department of Biology

7 湖南省地质博物馆
8 中山大学, 生态学院
* wuxk9@mail.sysu.edu.cn
* lssjjh@mail.sysu.edu.cn

西番莲科 (Passifloraceae Juss. ex Roussel.) 现生植物包含 4 亚科 27 属 1000 余种, 多为草质或木质藤本, 广泛分布于美洲、非洲和亚洲的热带和亚热带地区。迄今, 对该科的生物地理学研究仍较为有限。此前, 该科的化石记录仅报道自欧洲和南、北美洲的始新世到上新世的地层, 目前亚洲尚无化石报道。本文研究了产自广东三水盆地中古新世埤心组和西藏班戈中始新世牛堡组的西番莲科西番莲亚科 *Passifloroidesperma* 属种子化石 2 种。此二种化石是亚洲首次报道的西番莲亚科大化石记录, 其中发现于三水盆地中古新世的种子化石是该科迄今最早的大化石记录。本研究基于 BEAST2 构建了西番莲科系统发育树, 使用三水化石年代进行节点定年, 完成该科内分化时间估算; 继而利用 R 包 BioGeoBEARS 开展祖先区域重建, 并通过 R 包 Biomod2 对西番莲科和西番莲亚科进行了地史时期的古生态位模拟。研究表明, 当前亚洲古近纪西番莲亚科化石属于西番莲科一个遗落的谱系, 揭示仅聚焦现生类群难以全面解析该科在亚洲的深时演化历史。进一步分析表明, 该遗落的谱系可能在古新世时期经青藏高原从非洲扩散至亚洲, 此发现支持了青藏高原在古近纪全球植物区系交流中扮演“十字路口”的角色, 印证了植物区系成分通过古近纪青藏高原“进出非洲”的扩散模式。同时, 研究显示西番莲亚科可能在晚始新世经历亚洲局部灭绝, 而现生亚洲类群自渐新世起重新迁入亚洲大陆。综合分子系统发育和古生态位重建结果, 推测跨洋长距离扩散在西番莲科现代分布格局的形成中具有关键作用; 此外, 地史时期 PETM 等热事件可能作为重要驱动力, 在该科多样化演化进程中促进物种形成和和谱系分化。

S06-P-3S

白垩纪中期缅甸琥珀中山茱萸目 *Eoëpigynia burmensis* 花结构的形态修订

宋向博^{1,2}, 黄迪颖¹, 王姿晰^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所, 现代古生物学与地层学国家重点实验室

2 中国科学院大学

* zzwang@nigpas.ac.cn

白垩纪中期正值被子植物陆地革命的初期阶段, 缅甸琥珀化石为研究早期被子植物的形态特征和演化历程提供了独特的视角。目前, 缅甸琥珀中已报道的被子植物达 35 种, 其中真双子叶植物占据优势地位。然而, 由于技术手段的限制和化石标本保存的不完整, 早期研究对关键形态特征的解析不够全面。

Eoëpigynia burmensis Poinar, Chambers & Buckley 是缅甸琥珀中保存的一种早期核心真双子叶植物化石, 其模式标本最初被描述为: 具两性花, 花被片下部呈萼筒状, 上部则分裂为四片等大的花萼, 四枚对萼排列的雄蕊, 子房下位, 柱头二裂及三孔花粉。基于这些特征, 该种被归入广义山茱萸科 (Cornaceae), 并认为与现生山茱萸属 (*Cornus*) 最为相似。通过应用高分辨率显微 CT 断层扫描及三维重建技术, 我们对新发现的化石标本进行了深入研究。研究表明, 原始描述中的某些特征 (如萼片受昆虫啃噬、雄蕊被真菌菌丝所覆盖) 可能因标本保存问题而被误解。修订后的形态特征显示: 该种实际具五枚花瓣, 十枚雄蕊呈两轮排列 (外轮五枚对瓣排列并着生于花被片, 内轮五枚对萼排列着生于花盘), 以及柱头三裂。这些新发现的特征明显区别于最初报道的四基数花部结构。

本研究揭示了 *Eoëpigynia burmensis* 花内部形态的复杂结构, 特别是对雄蕊个数及其排列方式的修正, 对其系统分类位置提供了新的见解。这一发现为理解白垩纪

中期被子植物的形态多样性和演化路径提供了关键证据。本研究同时展示了显微 CT 技术在解析植物化石内部结构中的重要性, 后续研究需通过更全面的形态对比和系统发育分析, 进一步明确该属在早期被子植物演化中的系统位置。

S06-P-4S

北京市北部空气花粉散播特征及其对气象要素的响应

吴双双¹, 罗晰跃¹, 杜君星¹, 沈晓艺³, 孙爱芝^{1,2*}

¹ 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

² 中国科学院大学, 北京燕山地球关键带国家野外观测研究站

³ 中国科学院大学, 生命科学学院

* aizhisun@ucas.ac.cn

空气花粉是反映植被和气候变化的重要指标, 同时作为生物气溶胶的重要组成部分, 对空气质量和人体健康有显著影响。最新研究显示, 全球变暖不仅会导致部分类型空气花粉的散播时间延长、数量显著增加, 还会改变花粉颗粒的生物学特性, 给花粉过敏患者和社会带来沉重的健康及经济压力。因此, 研究变暖背景下空气花粉的种类、数量以及时间变化特征, 有助于准确认识花粉-植被-气候关系, 同时能为建设健康的城市环境、指导花粉过敏患者的自我防护提供科学依据。本工作通过对北京市北部(怀柔区)连续三年的空气花粉监测数据, 结合同期的气象数据以及多种环境因子数据, 采用后向轨迹分析、相关分析、随机森林模型等方法, 分析了该地区总空气花粉浓度和八种主要花粉类型(包括桦木科、柏科、松属、杨柳科、榆科、蒿属、苋科、禾本科)浓度与周围植被分布以及气象要素的关系, 并预测了主要致敏花粉——柏科花粉在不同升温背景下的变化趋势。结果显示: (1)北京市北部空气花粉的散播主要受轻风(1.6-3.3 m/s)和微风(3.4-

5.4 m/s)的影响。(2)空气花粉浓度与气象要素密切相关, 尤其是与花粉季前的温度。(3)空气花粉浓度散播高峰期与植物花期相对应。(4)不同升温背景下, 北京市北部柏科花粉浓度呈现非线性变化, 以升温 1.0°C时柏科花粉浓度增长幅度最大。本研究探讨气象因子对北京市北部花粉浓度的影响, 并通过建立随机森林模型对不同升温条件下柏科花粉浓度进行预测, 发现了未来变暖背景下柏科花粉非线性的变化趋势, 这为花粉症患者进行预防、诊断、治疗提供科学指导并为优化城市绿地建设提供了重要参考。

S06-P-5S

白垩纪具高度特化触角甲虫对金粟兰类被子植物的传粉行为

赵芊^{1,2}, 黄迪颖³, 蔡晨阳^{1,2*}

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所, 古无脊椎实验室

² 中国科学院大学

³ 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气地层应用全国重点实验室

* cycai@nigpas.ac.cn

生物身体各部位通常与整体体型成比例地增长, 然而部分生物类群在形态上可能展现出惊人的极端特征, 如部分昆虫物种中延长的附肢和显著的突出结构。然而, 在化石记录中, 昆虫的这类高度特化形态极为罕见, 其起源与功能意义尚未被深入探讨。白垩纪中期被子植物的大量繁盛以及相应的昆虫演化对陆地生态系统的现代化发挥了十分重要的作用。化石记录或直接或间接地表明了短翅花甲科(Kateretidae)这一重要现生被子植物传粉者, 在白垩纪中期也能够发挥传粉作用, 但尚未有与金粟兰类相关的证据。而作为早期单子叶植物姐妹群的金粟兰类, 其与传粉相关的化石证据十分稀少。

我们在产自白垩纪中期（约 9900 万年前）琥珀中发现了一种新的短翅花甲虫：剑角原花甲（*Protokateretes ensifer* sp. nov.）。该物种雄性具有高度特化（极度延长）的触角柄节，其形态特征在现生昆虫中前所未见，展现出引人注目的形态特化。这种高度特化的触角柄节可能在种间求偶过程中发挥作用，尽管其在刮取花粉等微小颗粒中的潜在功能也不能排除。形态差异分析表明，触角柄节的形态在属间具有良好的分类识别价值，并显示出正异速生长的特征。此外，该新种标本与大量保存良好的化石星粉属（*Asteropollis*）的花粉共存，揭示了其可能在白垩纪中期与金粟兰类被子植物之间存在传粉关系。结合此前关于白垩纪短翅花甲及其与被子植物宿主关系的研究成果，剑角原花甲的发现强调了在白垩纪中期被子植物辐射演化过程中，短翅花甲在多个被子植物谱系中的重要传粉作用。剑角原花甲的存在不仅揭示了昆虫高度特化形态在求偶中的潜在功能，还为理解中生代晚期昆虫-被子植物相互作用提供了新视角。

S06-P-6

The Cretaceous Resinous Interval during the Early Cretaceous: The case of Spanish amber

Sergio Alvarez-Parra^{1*}

¹ Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy
* sergio@nigpas.ac.cn

Resins are complex substances produced by specialized plant cells in both gymnosperms and angiosperms, which sometimes trap small organisms (bioinclusions). Traditionally, resin has been considered a defensive and protective

secretion produced in response to environmental stress caused by abiotic or biotic factors. When fossilized, resin is known as amber. A major episode of resin mass production occurred during the Cretaceous period, known as the Cretaceous Resinous Interval (CREI). During this time, a combination of interrelated abiotic and biotic factors likely triggered the extensive production of resin by coniferous trees. Spanish amber provides an exceptional record of the CREI during the Early Cretaceous. To date, more than 100 amber outcrops have been discovered in Spain. Amber pieces from some of these localities contain a remarkably rich and diverse assemblage of bioinclusions, including arthropods, dinosaur feathers, and mammalian hairs.

S06-P-7S

白垩纪末复合气候胁迫下的植被模拟研究

刘悦¹, 郭佳琦¹, 陈一晖¹, 胡永云^{1*}

¹ 北京大学, 物理学院
* yyhu@pku.edu.cn

本研究基于 CESM 地球系统模型与 BIOME4 平衡态植被模型，模拟了白垩纪末期全球植被分布及其对不同气候扰动的响应，揭示了火山活动与小行星撞击协同作用下的生态系统崩溃机制。结果显示，植物面对气候危机的反应，有明显的纬度特征。

单一小行星撞击引发的“撞击冬季”导致北半球植被近乎崩溃，南半球受损相对较轻；德干火山温暖气候场情景下，缓解了因撞击降温引发的植被危机，低纬度地区成为生态避难所。小行星撞击与德干火山的协同作用加剧了晚白垩植被灭绝的不对称性。

植被模拟重现了蕨类植物的短暂扩张（“蕨类尖峰”）与被子植物的长期复苏：蕨类在撞击后早期占据空白生态位，但随着光照恢复，其低光效特性限制持续生存。被子植物则通过高生产力快速崛起，占据主导地位。

本研究为解释化石记录中的半球不对称性及生态演替序列提供了新视角，同时为理解极端气候扰动下的生物响应规律提供了参考。

S06-P-8S

中国北方巨颚虎的演化

郭丁歌^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
* guodingge@ivpp.ac.cn

巨颚虎是一种活跃于旧大陆上新世到更新世的大型食肉动物，它们的分类一直存在争议，一些学者认为仅存在 *Megantereoncultridens* 一个种，还有一些学者则认为除此之外，还存在第二个种：*M. whitei*。我们描述的材料来自甘肃庆阳巴家咀，包含这种粗壮的巨颚虎类型最完整的颅骨，和一些零散的下颌残段。巴家咀的巨颚虎材料表现了一些被认为是较为典型的 *M. inexpectatus* 的特征，譬如：体型较大，头骨粗壮宽阔；P4 窄长，原尖高度退化，p3 单齿根。此外来自龙担的 *M. nihowanensis* 的新颅骨材料提供了巨颚虎种内变化背景信息，一些材料的特征介于 *M. nihowanensis* 与 *M. inexpectatus* 之间的过渡形态，比如一些个体的 P3 和 P4 开始变得相对窄长，且 P3 前附尖、P4 前附尖和原尖有退化的趋势。因而，我们推测中国北方的巨颚虎演化属于同一条支系，存在于早更新世早期的 *M. nihowanensis* 在早更新世中期演化成为更粗壮的 *M. inexpectatus*，一直延续到中更新世。相反，*M. cultridens* 在欧洲则演化成为体型更小、牙齿更特化的 *M. adroveri*，这反映了截然不同的演化

趋势，其背后的成因值得进一步思考和探讨。我们重新厘定了曾经被归入 *M. inexpectatus* 的材料，并重点关注牙齿形态，总结几种巨颚虎之间的差异。

S06-P-9

长江三峡地区：更新世犀科动物的物种多样性

胡海虔^{1*}，魏光飏²

1 云南大学，脊椎动物演化研究中心
2 重庆古生物研究院
* hutiane123@126.com

目前欧亚大陆仅东南亚局部地区有野生犀分布，中国境内野生犀早在上世纪二十年代已全部灭绝。但在长江三峡地区，绝大多数更新世古生物遗址均报道过犀科动物化石的发现。自 1870 年英国古生物学家将重庆地区的材料首次命名为中国犀 *Rhinoceros sinensis* 以来，中国南方几乎所有的第四纪犀化石均被归入了中国犀，虽然近年来一些学者报道了其他类型犀化石的发现，但对中国南方第四纪的犀科动物认识仍有不足。本文对长江三峡地区已报道的史前遗址犀科动物化石进行了系统的分类学梳理，认为长江三峡地区为更新世犀科动物的演化中心，曾出现过独角犀属 *Rhinoceros*、额鼻角犀属 *Dicerorhinus* 和斯蒂芬犀属 *Stephanorhinus*。重庆巫山龙骨坡遗址的爪哇犀 *R. sondaicus*（原来鉴定为中国犀相似种 *Rhinoceros cf. R. sinensis*）、湖北建始龙骨洞的苏门答腊犀 *D. sumatrensis* 和印度犀 *R. unicornis*（原来均鉴定为中国犀）代表了这三种动物在长江三峡地区的首次出现。由于万州盐井沟和建始龙骨洞的犀化石并未开展详细的再研究，而已证实其中混入了爪哇犀、印度犀、苏门犀和斯蒂芬犀，现今还不能排除中国犀是无效命名的可能性。

S06-P-10S

徐州更新世中晚期小哺乳动物化石新发现及其生物年代、古动物地理和古环境意义

常美静^{1,2}, 江左其杲^{1,2}, 李世杰^{1,2}, 郭丁歌^{1,2}, 张逸男^{1,2}, 李强^{1,2*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

2 中国科学院大学

* liqiang@ivpp.ac.cn

徐州地区分布一些晚新近纪和第四纪沉积物并产出哺乳动物化石, 但大多数地点的化石未做详细研究。研究徐州地区的哺乳动物化石, 不仅可以限定该地区的生物年代范围, 明确古动物地理属性, 还可以为重建该区域古环境提供化石证据。本文详细描述了产自徐州太平山 3 号和凤凰山 5 号两个地点的小哺乳动物化石, 其中太平山有 2 目 4 科 6 属 6 种, 凤凰山有 2 目 5 科 8 属 8 种, 太平山的 6 种在凤凰山地点都有出现, 表明两个地点的小哺乳动物化石组合时代可能相同或非常接近。太平山和凤凰山的小哺乳动物化石中, 只有变异相似仓鼠为灭绝种, 其余均为现生种, 低的灭绝种占比显示它们的生物年代应为更新世中晚期。太平山和凤凰山的小哺乳动物化石组合中绝大多数都是古北界物种, 具有明显的北方动物群面貌。森林型(大林姬鼠和灰麝鼯)、森林草原型(根田鼠)和草原型(布氏田鼠)物种的共存指示在更新世中晚期, 徐州地区可能是森林和草原的混合环境。

S06-P-11S

中生代鸟类及近鸟类恐龙的体重估算

周一擘¹, 泮燕红^{1*}, 刘迪², 周忠和³

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 北京自然博物馆

3 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* panyanhong@nju.edu.cn

体重是古生物学研究中的重要生物学指标, 对揭示中生代鸟类及其近亲——近鸟类恐龙的生态位、功能形态演化和古生态恢复具有重要意义。本研究将随机森林方法与生态类型的先验认识相结合, 用以估算中生代鸟类和近鸟类恐龙的体重。基于现生鸟类数据, 包括多种长骨的长度(如肱骨、尺骨、股骨等), 并将树栖、地栖、水生等生态类型作为类别预测因子引入模型。通过交叉验证与网格搜索优化超参数后, 随机森林模型在测试集中表现出优异的预测性能, 显著优于传统的一元及多元回归方法。该方法不仅提高了对保存化石物种体重估算的精度, 也为基于生态类型划分的古生物体重重建提供了新的技术路径, 有助于深入探讨中生代飞行鸟类及近鸟类恐龙的演化与生态分化过程。

S06-P-12S

深时极热事件对现代气候危机的启示: 基于中新生代五次极热事件的碳循环-生态系统耦合研究

金谕青^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* 13676882060@163.com

现代陆地生态系统自中生代以来演化形成的碳-水循环格局, 是维持“宜居地球”的关键力量。然而, 当前人为碳排放引发的全球变暖正推动地球气候系统从冰室状态向温室状态转变, 人类应对气候变化、实现可持续发展的需求已迫在眉睫。本研究创新性地构建“深时-现代”双重视角: 通过整合古生物学、沉积地层学和地球化学等多学科证据, 定量重建中新生代五次典型极热事件(OAE2、PETM 等)的高精度气候参数; 运用深时古气候模拟与碳循环

模型,揭示 CO₂ 浓度梯度变化中气候系统的临界阈值与反馈机制;结合陆相化石埋藏记录揭示陆地生态系统对极端暖化的响应韧性与恢复能力。尽管深时记录不能直接映射未来地球生态系统,但通过碳循环模型与沉积代用指标的空间耦合,可建立气候突变期的生态预警指标体系,为应对人为驱动的气候转型提供地质参考系。

S07-O-1

泥盆纪—石炭纪植物演化影响的聚煤作用

鲁静^{1*}, 彭雪¹, 尹露生¹, 凌紫玉¹, 张培新², 周凯¹, 杨敏芳³, 刘乐¹, 邵龙义¹, Jason Hilton⁴

1 中国矿业大学(北京), 地球科学与测绘工程学院

2 河南城建学院, 市政与环境工程学院

3 中国石油勘探开发研究院

4 伯明翰大学, 地理、地球和环境科学学院

* lujing@cumtb.edu.cn

陆地植物的出现是地质历史时期最重要的生物进化事件之一,也是陆地宜居性演化的开始。陆地植物从泥盆纪到石炭纪的演化可分为五个阶段:1)支系爆发期(早泥盆世)、2)森林首现期(中泥盆世-晚泥盆世弗拉斯阶)、3)种子植物首现期(晚泥盆世法门阶-早石炭世杜内阶)、4)前华夏植物群发育期(早石炭世维宪阶-晚石炭世巴什基尔阶)和5)华夏植物群发育期(莫斯科阶-格舍尔阶)。聚煤作用是植物遗体在古气候、古地理和古构造等有利条件下聚集形成煤矿床,它是碳埋藏和全球碳循环重要路径之一。为深入了解植物对聚煤作用的直接和潜在影响,本文综述了泥盆-石炭纪植物演化与全球聚煤之间的关系,结果表明:阶段1植物仍以早期维管植物(如三枝蕨类等)为主,但植物体型有所增大,并演化出根和原始的小型叶等器官,维管组织含量有所增加。在赤道

热带滨、浅海环境中零星分布由低等藻类形成的腐泥煤。阶段2陆地植物(如古羊齿等)开始演化出树木习性,出现次生木质部和集中的根系,并形成了地球上最早的森林。在赤道附近热带海岸平原地区开始出现由高等植物形成的、零星可采的、以类脂组为主的角质残殖煤。自阶段3至阶段5,植物总体向个体更大、根系更深和木质化组织更多的方向演化,栖息地逐渐拓展至高地和干地。阶段3植物主要包括石松类、节蕨类、前裸子植物和种子蕨等,其中深根系和种子习性的出现标志着植物开始占领更干旱环境。至阶段4,石松类、节蕨类和种子蕨类进一步发展,树木习性在各类群中普遍出现。阶段5植物除乔木石松类、节蕨类、真蕨和种子蕨外,裸子植物科达出现并成为优势成煤植物。阶段3-5也主要在赤道低纬度区聚集了以镜质组和惰质组为主的腐殖煤,但煤层分布范围和厚度逐渐增大,出现零星可采、局部可采到区域性可采煤层。综上所述,植被在陆地的繁盛不仅作为成煤物质直接参与了聚煤,还间接使陆表不可逆的向有利于聚煤的环境发展,使陆地成为与海洋同等重要的碳储库,即1)植物产生的有机酸促进母岩化学风化,增加营养物质和细碎屑沉积物。前者促进了植物在陆地的拓殖,后者在盆地内形成黏土隔水层,促进了更大面积聚煤沼泽的形成。2)陆表植被覆盖率的升高,降低和抑制了物源区物理风化和陆源碎屑产生速率、地表径流强度和盆地内排水效率,进而减弱了聚煤过程中无机陆源碎屑物质的干扰,促进了优质煤炭资源的形成。3)根、茎、叶分化和茎干的升高,提高了植物光合作用效率和初级生产力,促进了厚煤层发育。

S07-O-2

古特提斯洋俯冲带弧火山释气驱动早二叠世大规模冰川消融和气候变暖

杨江海^{1*}

1 中国地质大学(武汉)

* yangjh@cug.edu.cn

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国地质博物馆

3 北京大学, 地球与空间科学学院

* puhuang@nigpas.ac.cn

大洋俯冲将岩石碳输送至地幔并通过火山弧活动以二氧化碳的形式将碳返回至大气中, 从而影响地球气候系统的演化。为重建古特提斯洋低纬度的俯冲构造演化过程, 以及评估该俯冲形成的弧火山系统 CO₂ 排放与晚古生代冰室气候演化的成因联系, 我们对哀牢山构造带西侧的石炭-二叠系沉积序列进行了研究。通过野外剖面实测、沉积岩相分析、砂岩岩相学统观察统计、碎屑锆石 U-Pb 定年和微量元素及 Hf 同位素分析, 确定了地层形成时代为 290-275Ma, 主要物源区由弧火山岩和弧后火山岩构成, 综合区域地层对比和沉积物源数据对比, 结合俯冲相关岩石记录, 揭示了哀牢山古特提斯洋的早期俯冲构造格局, 并形成大规模的低纬地区俯冲弧火山系统, 整个古特提斯洋的低纬俯冲带长度达到 6350km。与现代大陆弧俯冲系统进行类比, 估算了古特提斯洋早二叠世大规模弧火山的释气量为 31,000 至 102,000 Pg C, 在假定其碳同位素比值的基础上开展了 LOSCAR 模型模拟, 表明古特提斯洋的俯冲大陆弧火山释气可以使大气 CO₂ 浓度从 300ppm 升高至 380—64ppm, 但不影响海洋溶解无机碳的同位素比值, 与地质记录的指标数据具有很好的一致性。由此, 我们提出古特提斯洋早二叠世低纬俯冲带的大规模弧火山释气是导致早二叠世大气 CO₂ 浓度上升、冰川消融和气候变暖的重要驱动因素。

S07-O-3

中晚泥盆世森林化进程及环境效应

黄璞^{1*}, 王嘉树², 钟涛³, 王徽³, 薛进庄³

地质历史时期大气 CO₂ 浓度不断发生波动, 由于 CO₂ 具有显著的温室效应, 势必会影响全球气候变化和生物生存环境。多项数据显示, 在中、晚泥盆世期间发生显生宙以来最大幅度的快速降低。与此同时, 森林系统和种子祖先类群在中泥盆世相继演化出来, 至晚泥盆世森林系统更加广泛, 种子植物发生早期辐射演化。据此, 有假说认为在晚泥盆世期间, 木本习性(或森林系统)和种子植物的广泛出现使得陆地碳库增加, 大陆风化加强, 使得大气中的 CO₂ 逐渐消耗。尽管该假说得到了现代生态学观测和实验数据的部分支持, 但受限于早期森林记录的稀缺性和不完整性, 使得难以定量评估中晚泥盆世森林化的进程对全球环境的效应。近些年古植物学相关研究取得了长足的进步, 特别是在华南五通组中发现了这一时期面积最大的森林系统记录, 但这些森林系统主要生活在热带滨岸湿地, 早期森林如何扩殖至干旱半干旱环境目前还尚不清楚, 有待进一步研究。

宁夏上泥盆统中宁组化石丰富, 除报道有中国最早的四足动物 *Sinostega* 外, 还有大量的植物化石, 是西北泥盆系经典地层之一。经过初步工作, 在该组至少发现有四处原位森林记录, 其中一处至少可观察到近 40 根直立茎轴同层保存。这些森林生活在河流环境, 气候环境为半干旱、季节性变化适中的半湿润环境, 表明这一时期森林已经在一定程度上克服了对水分的依赖。同时推测这些森林具有二元结构, 由石松类 *Leptophloeum rhombicum* 构成该森林的主体部分, 并形成冠层, 同时林下层生活着可能的似真蕨类植物。森林中 *Leptophloeum rhombicum* 的密度较大, 但茎轴宽度不定, 表明该森林的年龄结构为异龄林。除直立茎轴外, 在剖面和剖面附近的落石中还观察到大量的根系化石, 这些

根系化石深扎到砂岩和粉砂岩中，一方面显示出了森林植被对河流体系的适应性，另一方面这些根系也对促进了古土壤的发育，并加剧了大陆风化。另外，我们还统计了全球的原位森林，利用水热条件作为基础约束边界，使用 Gplates 软件和 Python 工具恢复中晚泥盆世森林覆盖面积，重建这一时期植物生产力二维分布，根据二维生产力计算陆地风化和有机碳埋藏通量，导入 SCION (Spatial Continuous Integration) 全球元素循环模型中得到关于元素循环和气候变化的模拟结果。初步结果表明，中晚泥盆世森林化的进程加剧了大陆风化，可在短时间内迅速降低大气 CO₂ 浓度。

S07-O-4

早泥盆世植物根系演化显著促进土壤发育和化学风化

黄天正^{1*}，沈冰²

1 北京大学，物理学院

2 北京大学，地球与空间科学学院

* tzhuang@pku.edu.cn

植物登陆对于地球系统产生了重要且深远的影响。陆地植物大小及分布面积的增加促进了物理、化学风化过程与土壤的发育，对水循环，陆地地貌和沉积模式产生了长期影响。前人研究认为植物登陆导致风化增强，在短期内增加了向海洋的营养物质输送，引发了海洋缺氧和晚泥盆世的生物灭绝事件，在更长时间尺度上增加了大气二氧化碳的消耗，改变了化学风化通量的 Mg/Ca，引发了石炭纪冰期事件及晚古生代以来白云石沉积的减少。这种植物演化改造表生地球系统的过程被概括为泥盆纪植物假说。前人对于泥盆纪植物假说的验证主要集中于植物演化及其对海洋生物灭绝和元素循环的影响方面，而对于植物演化如何影响风化过程还缺乏有效的约束手段。得益于新的镁同位素风化指标能够揭示残余土与土壤中不同的镁风化行

为，我们利用镁同位素指标来追踪植物登陆过程如何影响大陆风化。华南地区多个剖面镁同位素风化指标在洛克考夫阶以残余土风化模式为主导，在埃姆斯阶和布拉格阶呈现出残余土风化信号和土壤风化信号混合的特征，而在中泥盆统完全展现出土壤风化特征。这表明在演化最早期仅有 5-10 厘米深的植物根系就已经显著的促进了土壤的发育，并提高了化学风化强度。这一变化远远早于泥盆纪植物假说中中-晚泥盆世植物演化影响海洋生态系统与元素循环的时间点。我们提出植物登陆过程可能在多个阶段中分别在不同程度上改变了土壤结构、化学风化、物理风化等因素，这些因素的叠加在中-晚泥盆世显著的改变全球化学风化通量并影响了海洋生态系统的演化。

S07-O-5

华北板块石炭纪—二叠纪之交高分辨率定量古地理重建：对聚煤和烃源岩富集的启示

申博恒^{1,2}，张华¹，沈树忠^{2*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所，古生物学与油气地层应用全国重点实验室

2 南京大学，地球科学与工程学院

* bhshen@nigpas.ac.cn

我国华北地区的石炭系和二叠系是重要的煤和烃源岩富集层位，古地理研究有助于指导这些资源的勘探。前人针对华北板块的石炭系和二叠系开展了一系列古地理研究工作，取得了一定认识。高分辨率地层时间框架约束下的古地理重建可以准确地恢复华北板块石炭纪—二叠纪的重大地质事件发生的时间、过程和机制，对沉积矿产资源的勘探和开发至关重要。基于前人的古地理重建，本文在前期建立华北板块石炭纪—二叠纪地层时间框架的基础上，通过 OneS 和 GBDB 数据库，汇总了 401 个

地层剖面，并根据该高精度地层时间框架，将这些剖面划分为 6 个时段。该研究采用碳酸盐岩含量、碎屑岩含量和煤含量这三个参数，在 ArcGIS 平台运用克里金插值方法完成相关参数的等值线图件，从而定量识别和建立了陆相河湖体系、湖泊、三角洲、沼泽、滨岸带、潮坪和碳酸盐台地共计七类古地理单元；此外该研究还定性识别和建立了浅海、山间盆地河湖体系和古陆共计三类古地理单元。该研究首次在 ArcGIS 和 GPlates 平台动态展示了华北板块石炭纪-二叠纪的海侵与海退过程。结果表明，海侵与海退沿南北方向分阶段进行：石炭纪受冈瓦纳冰川消融控制，二叠纪则受华北板块北缘构造活动影响；统计了煤、炭质细粒碎屑岩、富有机质碳酸盐岩、富有机质粗粒碎屑岩和富有机质细粒碎屑岩这五类烃源岩的时空分布，发现晚格舍尔期（299 Ma）至阿瑟尔期 3 时段（296 Ma）的古气候相对温暖湿润，是最有利的成煤和烃源岩发育时间，而华北板块西部和南部是最有利的成煤和烃源岩发育场所。

S07-O-6

二叠-三叠纪灭绝事件的植被模拟研究

刘悦¹，郭佳琦¹，彭英鋈²，范俊林³，樊隽轩²，胡永云^{1*}

1 北京大学，物理学院

2 南京大学，地球科学与工程学院

3 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* yyhu@pku.edu.cn

二叠纪-三叠纪界线事件标志着地球历史上最严重的生物大灭绝，显著重塑了全球生态系统格局。关于该时期陆地植被的响应机制，目前仍存在较大争议。本研究耦合 CESM 地球系统模型与 BIOME4 平衡植被模型，重建了界线前后优势生物群系及植物功能型的空间分布特征。通过综合考虑事件前后全球温度变化的综合定量估

算，完成系列数值模拟实验。研究表明，温室气体浓度上升引发的全球增温与干旱区扩张导致适宜生存区急剧缩减，直接促成了陆生植物的灭绝事件。高纬度地区植被表现出更高的灭绝率且较早开始崩溃，而部分低纬度区域则保持相对稳定的避难所特征。这些发现与地质记录高度吻合，为理解生命危机时期的生物响应机制提供了新的视角。

S07-P-1

中-晚二叠世之交火山-气候耦合的晚古生代冰期演化启示

程成^{1,2*}，王丹²，李双应³，张华¹，沈树忠⁴

1 中国科学院南京地质古生物研究所，古生物学与油气地层学重点实验室

2 南通大学，地理科学学院

3 合肥工业大学，资源与环境工程学院

4 南京大学，地球科学与工程学院，关键地球物质循环前沿科学中心，内生金属成矿机制研究国家重点实验室

* ccheng@nigpas.ac.cn

中-晚二叠世之交（G-L），晚古生代冰期进入尾声，古气候波动显著，并伴随峨眉山大火成岩省（ELIP）活动。它们之间的潜在联系可能反映了地球内外圈层的联动机制，但古气候波动与火山活动的具体耦合关系仍需深入探讨。陕西镇安西口剖面记录了 G-L 过渡期的详细古气候变化，是探究该时期火山活动与气候波动关系的理想载体。本研究对西口剖面卡匹敦阶至吴家坪阶灰岩样品，开展了汞含量、总有机碳、碳同位素组成及元素地球化学分析，并结合前期古气候数据，系统揭示了该时期的火山-气候耦合作用特征。结果表明：西口剖面汞异常与碳同位素负偏、气候变暖期存在时空耦合，指示 ELIP 火山活动通过释放二氧化碳等温室气体扰动地表碳循

环,进而引发气候波动;ELIP 的间歇性喷发导致了多次的突发性气候变暖,其累积效应最终促使晚古生代末次冰期(P4)的消亡。这种火山-气候耦合作用模式可能同样影响了晚古生代冰期的消融进程。此外,吴家坪阶下部 $\Delta\delta^{13}\text{C}$ 正偏移(以 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 值升高为特征)可能指示氧含量增加事件,与生态系统复苏、有机碳埋藏增强相关,并伴随着 ELIP 火山活动的衰减。

S07-P-2S

泥盆纪植物登陆与磷矿的联系

马钰涵¹, 樊海峰^{1*}

¹ 中国科学院地球化学研究所, 关键矿产成矿与预测全国重点实验室

* fanhaifeng@mail.gyig.ac.cn

泥盆纪磷块岩矿床广泛分布于上升流区、大陆边缘以及生物生产力高、有机质富集的浅海环境中。在泥盆纪首次出现的富含有机质和营养元素(磷)的陆地植物森林可能在提高海洋生产力、促进有机质积累以及形成泥盆纪磷块岩矿床方面发挥了关键作用。尽管存在这种潜在联系,但植物森林与磷块岩矿床成因之间的具体关系仍未明确。为解决这些空白,我们对华南板块泥盆纪什邡式磷块岩矿床进行了全面调查。我们的研究包括锆石 U-Pb 年龄分析、磷块岩和硫磷铝锆矿的全岩微量元素以及 Sr-Nd-Fe-有机碳同位素分析等多指标地球化学分析,以系统地研究成矿时代、物质来源和沉积环境。此外,我们还对其他具有代表性的泥盆纪磷矿床的数据进行了汇总和综合,以便将我们的发现置于更广泛的地质背景中。新的研究表明,泥盆纪磷矿床主要形成于中泥盆世至晚泥盆世的海洋缺氧至亚缺氧环境中,这一时期是陆地植物迅速繁衍的关键阶段。陆地森林的出现极大地增强了大陆风化作用,致使大量有机质和磷进入海洋,从而导致

海水磷浓度显著上升。沉积物中有机质的分解进一步降低了氧含量并释放出磷,从而形成缺氧水体,为磷矿的沉积创造了理想条件。富含磷且低氧的深海海水上涌,进一步提高了大陆边缘海的磷浓度,最终形成了大规模的磷矿床。总体而言,本研究首次系统地建立了陆地植物森林的兴起与泥盆纪磷矿形成之间的内在联系。这种联系不仅揭示了陆地生态系统的演化如何驱动海洋地球化学发生重大变化,而且为认识古代环境演化与重要矿床成因之间的联系提供了新的视角和理论框架。

S07-P-3S

铝土矿中高岭石与水铝石类矿物中结构镁的含量及镁同位素特征

陈雨雷^{1*}, 黄天正³, 郎咸国⁴, 邢超超⁵, 沈冰²

¹ 成都理工大学, 沉积地质研究院

² 北京大学, 地球与空间科学学院, 造山带与地壳演化重点实验室

³ 北京大学, 物理学院

⁴ 成都理工大学, 油气藏地质及开发国家重点实验室

⁵ 成都理工大学, 地质灾害防治与地质环境保护全国重点实验室

* 434846733@qq.com

铝土矿作为大陆风化作用的产物,其发育过程中伴随着多种黏土矿物的形成和溶解。而在这些黏土矿物的风化序列中,伴随着 Mg 同位素复杂的地球化学行为。以往的关注点主要在结构式中含 Mg 的层状硅酸盐矿物中,而对于风化程度更高的高岭石类矿物和水铝石类矿物是否含有结构镁及镁同位素分馏行为的问题尚未明确。本研究中,我们综合了多个铝土矿剖面的发育特征,通过弱酸分步溶解的方法提取铝土矿中的结构镁,来探究铝土矿形成过程中镁同位素的行为与高岭石类和水铝石类矿物之间的关系。测试结果显示,铝土矿

样品具有极低的 MgO 含量 (0.05~3.17%, 平均 0.36%) 和极重的 $\delta^{26}\text{Mg}$ (+0.56~+1.67‰, 平均 1.22‰)。此种镁同位素组成主要来源于绿泥石、高岭石、和水铝石。其中, 高岭石类矿物和水铝石类矿物中仅含有微量的结构镁 (0.05~0.26%, 平均 0.15%) 和极重的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 组成 (+1.12~+1.57‰, 平均 +1.35‰); 而除一样品外, 绿泥石含量平均仅为 3.0%。而根据铝土矿剖面中发现的矿物的风化序列, 层状硅酸盐矿物 (如绿泥石、伊利石等) 经过风化溶解最终会演化为高岭石, 而高岭石经过进一步的溶解会演化为水铝石类矿物 (如, 三水铝石)。因此, 高岭石类和水铝石类矿物的 Mg 同位素信号由其前体黏土矿物同位素组成和风化中的同位素分馏共同决定。根据计算, 所有样品中绿泥石的 Mg 占样品中总 Mg 的比例与 Mg 同位素组成之间没有显著的相关性。所以风化过程没有影响高岭石类和水铝石类矿物的 Mg 同位素组成。我们认为高岭石类矿物和水铝石类矿物继承了前体黏土矿物中的 Mg 同位素组成。因此, 铝土矿中的镁同位素可以反映大陆风化。

S07-P-4S

华南早石炭世中晚期有孔虫多样性演化规律及其控制因素

戚俊俊¹, 刘超^{1*}, 安海花¹

¹ 河南理工大学

* liuchao661030@126.com

早石炭世是地球构造古地理、气候、海洋环境和生态系统的重大变革期。北方欧美古陆与南方冈瓦纳古陆于早石炭世开始碰撞, 在赤道附近形成中央造山带。伴随造山带的隆升、风化剥蚀和维管植物的扩张, 中高纬冈瓦纳古陆上发育了大规模的冰川运动(晚古生代冰期), 古海洋物理化

学条件及生物面貌也发生了巨大变化, 因而该时期是探究地球重大气候突变期不同圈层-系统相互作用的重要窗口。本研究以东古特提斯华南右江盆地巴马台地不同水深剖面的有孔虫化石记录为研究对象, 结合生物地层学及地球化学指标 ($\delta^{13}\text{C}$ 、Y/Ho、Ce/Ce*), 旨在探讨早石炭世中晚期地球重大气候突变期有孔虫多样性演化规律及其控制因素。研究结果表明华南早石炭世中晚期有孔虫多样性演变趋势与西欧有孔虫多样性记录一致, 表明该时期有孔虫多样性受全球性古海洋环境因素控制。

(1) 早石炭世 Aleksinian-Mikhailovian 之交 (维宪晚期), 维管植物扩张与低纬度带弧-陆碰撞驱使基性-超基性硅酸盐化学风化作用增强 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值降低、Y/Ho 值降低), 消耗了大气中大量 CO_2 , 同时陆源磷等营养物质输入海洋, 促使海洋表面初始生产力大幅提升、有机碳埋藏增加, 并最终导致全球气候变冷 (主幕冰期启动)。有机质大量降解诱发了全球性海洋缺氧事件 (Ce/Ce* 值升高), 致使有孔虫多样性降低。该缺氧事件还伴随全球海洋生物多样性的降低。(2) Mikhailovian 早期-Steshevian 早期 (维宪晚期-谢尔普霍夫早期), 陆壳硅酸盐的持续风化 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值升高) 导致大量 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 汇入海洋, 提高了海水碱度和碳酸钙饱和度, 有孔虫钙化效率增强; 同时, 适宜的海洋表面初始生产力和有机碳埋藏促进了底栖有孔虫多样性辐射。该时期也伴随全球海洋生物多样性的升高。(3) Steshevian 早期-Zapulyubian 早期 (谢尔普霍夫中晚期), 冈瓦纳古陆冰川活动加剧, 引发全球海平面大幅下降 (>100 m)。海平面下降通过栖息地丧失和环境压力压缩浅海有孔虫生态位空间、加剧资源竞争, 导致有孔虫多样性降低。

S07-P-5

中三叠世秦岭造山带构造隆升与华北南部湿润化气候事件的耦合关系

杨文涛¹, 唐文广¹, 杨江海^{2*}, 张鸿禹¹, 杜远生²

1 河南理工大学, 资源环境学院

2 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

* yangjh@cug.edu.cn

构造隆升通过改变区域地形影响气候环境,但在深时地质记录中,很难追溯区域气候变化与构造隆升作用的耦合关系。华北南缘在早-中三叠世经历了由半干旱向半湿润气候的转变,这一过程与秦岭造山带的隆升存在时空耦合。为深入解析该时期气候变化特征及其与秦岭造山作用的潜在联系,本研究选取华北盆地南部三叠统和尚沟组至中三叠统二马营组的连续沉积剖面,通过沉积学、古土壤学与碎屑锆石物源分析开展综合研究。研究结果显示:剖面中发育具钙质结核层的典型钙质古土壤,通过古土壤钙质结核层埋深反演的古降水量显示,二马营组下部沉积期区域年降水量由不足 420 毫米增至 800 毫米以上,指示显著的气候湿润化过程。这一降水增多过程与河流相-三角洲相沉积体系转变相对应,且晚于碎屑锆石年龄谱系记录的显著物源变化。和尚沟组碎屑锆石 U-Pb 年龄以 530-380 Ma 和 1100-700 Ma 为主要特征,指示物源来自北秦岭造山带而二马营组碎屑锆石呈现 2900-2300 Ma、2100-1650 Ma 和 330-230 Ma 三组年龄,指示物源区转为华北南缘隆起。物源区转变揭示秦岭造山带隆升作用向北推进的过程。在此构造演化背景下,我们认为华北南部降水量的增加与南部造山隆升作用密切相关。本研究为从地质记录中识别气候-构造相互作用提供了新证据。

S07-P-6S

湖南醴陵早石炭世拟铁线蕨(*Adiantites*)新记录及意义

李炳鑫¹, 薛进庄^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院

* pkuxue@pku.edu.cn

石炭纪是植物演化的重要时期,种子蕨、真蕨等类群发展出复杂多样的叶片形态,它们在植物分类学及古地理研究中具有重要意义。拟铁线蕨属(*Adiantites*)最初由 Göppert 于 1836 年建立,具有多级羽状复叶,小羽片卵圆至楔形、具有典型的扇状脉。该属分布广泛,形态多样,是欧美地区早石炭世植物群的代表分子。该属此前在中国早石炭世地层的记录基于散落的小羽片或部分末级分枝,在鉴定和对比上较为困难,缺少系统全面的对比研究。在此我们描述了来自湖南醴陵地区早石炭世樟树湾组(维宪期)的一种全新拟铁线蕨叶片,基于大量保存较好的多级分枝及羽片形态,认为其为一个新种。该种具有至少三级羽状分枝,叶轴纤细,叶形松散;末次羽片至少 120 mm;末二次羽片可达 180 mm,宽披针形,其上互生末次羽片;小羽片较大,宽 5-40 mm 宽,长 35-110 mm,互生,倒卵形至楔形,截形,全缘或浅裂,基部收缩;脉从基部呈扇形向外辐射,延伸至先端和边缘,脉等宽。本次报道的新种与此前报道的拟铁线蕨叶片形态有明显差异,具有叶片尺寸大、叶形变化明显等特点,是该属在华南地区的首个确凿记录。

S07-P-7S

基于随机森林算法与地球系统模型的双模型重建:从泥盆纪至今土壤有机与无机碳储量及密度的演变分析

钟涛¹, 薛进庄^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院
* pkuxue@pku.edu.cn

土壤碳库作为陆地生态系统最大的碳库之一, 在全球碳循环和气候调节中具有关键作用。其中, 土壤有机碳 (SOC) 与无机碳 (SIC) 的动态变化直接关联大气 CO₂ 浓度波动、生物地球化学循环及生态系统稳定性。尽管现代土壤碳库的研究已取得重要进展, 但对地史时期土壤碳库的长期演变和分布模式仍缺乏系统性认识。本研究聚焦泥盆纪 (约 420 Ma) 至今的土壤碳库演变, 基于随机森林机器学习算法, 构建现代气候因子 (温度、降水、风化速率) 与土壤碳密度的非线性响应关系, 并结合高分辨率古气候数据集, 反演地史时期土壤碳库空间分布; 同时, 改进 SCION-FLORA 地球系统模型, 通过耦合土壤碳动态模块 (含有机质累积-分解、碳酸盐溶解-沉淀过程) 与古地理重建数据, 模拟构造运动与气候波动协同作用下的碳库演变。通过模型重建和交叉验证, 本研究系统揭示了泥盆纪以来全球土壤碳储量和密度的演变特征, 揭示了不同地质时期土壤碳库总量与密度的波动规律, 并重建得到了以 10 Ma 为间隔的全球碳库空间分布图。结果表明, 大陆构造格局变迁 (如超大陆聚合与裂解) 和气候变化 (如大气 CO₂ 浓度波动、干湿周期演变) 对土壤碳库的分布模式与动态平衡具有显著控制作用。此外, 研究明确了土壤碳库与大气碳库之间的反馈关系, 并评估了土壤碳埋藏对长期碳循环的潜在贡献。不同模型的重建结果在空间格局与时间趋势上具有较高一致性 (误差范围 < 15%), 显著提升了地史时期土壤碳库模拟的可信度。借助机器学习与地球系统模型的协同重建, 本研究较准确地量化了显生宙土壤碳库的时空分布和演化, 突破了传统研究对古土壤记录的依赖。

S07-P-8S

志留纪-泥盆纪维管植物群气候分区初探

王徽¹, 薛进庄^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院
* pkuxue@pku.edu.cn

本文系统收集了志留纪-泥盆纪的维管植物大化石数据, 结合 CESM 模型模拟的高精度古气候数据, 将古植物数据与古气候数据进行空间匹配, 构建了古植物-气候数据集。在此基础上, 采用柯本气候分类标准对降雨量和温度变量进行计算, 初步划分了志留纪-泥盆纪植被-气候分区。结果表明, 志留纪时期, 莱尼蕨和工蕨等简单维管植物主要分布于热带区域, 植被类型以草地为主。进入早泥盆世, 石松类植物开始繁盛, 分布范围扩展至热带和亚热带区域, 尽管气候分区有所扩展, 但植被类型仍以草地为主。中泥盆世, 工蕨和莱尼蕨逐渐衰落, 石松类、枝蕨类及前裸子植物兴起, 气候分区进一步扩展至温带区域, 植被类型呈现出显著的多样性, 包括森林、灌丛和草地。晚泥盆世, 种子植物兴起标志着植物演化的重要转折, 石松和前裸子植物森林占据了热带和亚热带区域, 植被类型以森林和灌丛为主。定量化重建志留纪-泥盆纪维管植物的气候适应特征, 结合古气候模型模拟, 为探讨早期陆地生态系统演化及其环境驱动因素提供了新的视角, 对理解深时生物-气候相互作用具有一定的参考价值。

S07-P-9S

早石炭世石松类根系黄铁矿及其硫同位素特征

杨琦琦¹, 薛进庄^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院
* pkuxue@pku.edu.cn

本文主要对贵州龙里早石炭世黄铁矿化石松根系化石进行系统研究。通过对根系化石切片抛光,在扫描电镜下观察发现:在主根细胞内部形成大量草莓状黄铁矿,小粒径平均约为 $0.9\ \mu\text{m}$ 左右,最大可达 $2.1\ \mu\text{m}$,说明主根区当时可能为封闭的持续硫化环境。黄铁矿中的 S 同位素数据记录了细菌硫酸盐还原过程中发生的分馏,以及硫化物氧化还原过程中反应的额外分馏效应。根据黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S}$ 分布模式可以确定此次分馏主要为生物还原分馏占主导,在主根区或小根团块富集区域(有机物含量丰富)优先利用 ^{32}S ,导致硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 显著偏负,为 -40‰ 至 -20‰ 。主根可能通过释放有机质(如根系分泌物)为硫酸盐还原菌提供电子供体,优先利用较轻的 ^{32}S ,导致生成的 H_2S 中 ^{32}S 富集($\delta^{34}\text{S}$ 负偏)。而在零散的小根区具有较重的硫同位素($\delta^{34}\text{S}\approx+10\text{‰}$),若在一个封闭系统中,硫酸盐储集层被耗尽后,分馏过程终止,还原过程中残留的硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 逐渐升高,所以最后形成的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值会变重(接近早石炭世原始海洋中硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}\approx+15\text{‰}$)。通过对 S 同位素分析,反映根系有机质丰度对微生物群落的空间调控作用,硫酸盐还原菌在根系不同部位产生不同的效果。石炭纪是陆地植物繁盛期,大量有机质埋藏导致硫酸盐还原作用增强,其硫同位素分馏可能作为古土壤有机质生产力的指标。

S07-P-10S

基于古盐度视角的大塘坡锰矿成矿机制研究

陈起宏¹, 魏巍^{1*}, 余文超¹, 杜远生¹

¹ 中国地质大学(武汉), 地球科学学院
* weiwei910911@163.com

通常认为,黔东南华系大塘坡组锰矿的发育与氧化还原条件、热液输入和生物等因素密切相关。南华盆地作为一个半封

闭盆地,在后冰川时期气候、环境动荡的条件下,水体的盐度可能同样会发生变化,从而影响水体的氧化还原状态并调节锰矿的形成过程,然而盐度对于锰矿形成的控制作用却一直被忽视。本研究基于古盐度指标(B/Ga),结合氧化还原等多个古环境指标,对大塘坡锰矿形成时期的水动力条件和锰来源等开展了进一步研究。结果显示,大塘坡组一段锰含量变化趋势与古盐度、氧化还原指标显著相关,揭示出古盐度在大塘坡锰矿成矿过程中的重要作用。此外,锰含量与 Eu/Eu^* 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\epsilon\text{Nd}(i)$ 之间显著相关,表明南华盆地大塘坡锰矿主要为热液来源。间歇性的热液活动不仅提供了锰的来源,同时引入了营养物质,促进了初级生产力和微生物的繁盛和锰矿的富集。有机碳的氧化与冰川融水的输入形成了南华盆地高碱度的水体环境(水体富含 CO_3^{2-} 和 HCO_3^-),而长期缺氧的环境以及海底热液活动导致水体中锰离子大量富集,两者结合促进了盖帽碳酸盐的形成。因此本研究认为,较高的碳酸根离子的输入、活跃的热液活动和微生物的催化作用,是促进大塘坡锰矿富集的重要因素。

S08-P-1

整合离散和连续形态特征的贝叶斯支端定年方法

张驰^{1*}

¹ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所
* zhangchi@ivpp.ac.cn

由于缺乏模型和适配的软件,利用化石进行分异时间估算时普遍使用离散的形态特征数据,而连续的形态特征往往被舍弃或被离散化处理,导致信息的缺失。我们开发了整合离散和连续形态特征的贝叶斯支端定年方法,对离散特征使用 Mk_v 模型而对连续特征使用布朗运动模型,从而能够支持多种数据类型进行全证据定年分

析。计算机模拟的结果显示该方法的估算结果比单纯使用离散特征具有更高的精度。随后我们分别使用翼龙和灵长类的数据集进行了实证研究。相关方法编写于 MrBayes 软件。

S08-P-2

基于地球系统模型评估二叠纪-三叠纪之交海洋微生物介导的甲烷排放

吴玉祥^{1,2*}, 罗根明¹, 宋海军¹, Jacopo Dal Corso¹, 楚道亮¹, 宋虎跃¹, 田力¹, 童金南¹

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院, 地质微生物与环境变化国家重点实验室

2 中国地质大学(武汉), 海洋学院

* wuyuyang@cug.edu.cn

二叠纪-三叠纪之交极热事件伴随有海洋缺氧和海水硫酸盐浓度显著降低的特征, 该特殊环境为甲烷代谢微生物的繁盛创造了适宜条件。然而, 甲烷代谢微生物介导的甲烷排放作为潜在的气候正反馈机制, 其作用强度及气候效应尚缺乏定量化研究。本研究采用地球系统模型 cGENIE 揭示海水溶解氧和硫酸盐浓度对甲烷代谢微生物功能群的调控机制。敏感性实验结果表明, 缺氧和低硫酸盐浓度条件会削弱有机质的再矿化过程, 降低有机质的氧化分解比例, 使更多有机质经产甲烷菌代谢转化为甲烷。与此同时, 升温通过提升甲烷微生物的代谢效率, 进一步强化了海洋甲烷循环, 导致产甲烷、甲烷厌氧氧化及有氧氧化通量大幅提升。加强的海洋甲烷循环将显著提升大气甲烷浓度, 并加剧全球变暖。结合地质记录揭示的二叠纪-三叠纪之交“低氧-低硫酸盐”特征, 本研究发现早三叠世海洋甲烷循环增强 2-3 个数量级, 导致海洋向大气释放的甲烷通量呈指数级增长, 并使大气甲烷浓度升高, 对该时期的全球升温贡献约 $1.2 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 。这一结果揭示了甲烷代谢

微生物通过正反馈对地质时期极端升温的放大效应。

S08-P-3S

灭绝事件中的生物能量学： 通过形态简化降低钙化成本

王奉宇¹, Seth Finnegan², Jacopo Dal Corso¹, 叶法丞³, 吴玉祥¹, 陈晶⁴, 江守一¹, 田力¹, 代旭¹, 楚道亮¹, 宋虎跃¹, 童金南¹, 宋海军^{1*}

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境变化国家重点实验室

2 加州大学(伯克利), 综合生物学学院

3 卧龙岗大学(澳大利亚), 地球、大气与生命科学学院

4 中国地质大学逸夫博物馆(武汉)

* haijunsong@cug.edu.cn

环境压力加剧了海洋生态系统在大灭绝事件期间的崩溃, 但海洋生物在大灭绝过程中的生存策略仍尚不明确。本研究系统分析了二叠纪—三叠纪大灭绝(PTME)期间腕足动物的形态演化, 以及在 PTME 与早侏罗世托尔期大洋缺氧事件(T-OAE)期间有孔虫的形态演化。我们的结果显示, 在 PTME 期间腕足动物的壳褶数量和褶占比(壳褶长度与壳长之比)分别显著减少了 36.4 %和 60.0 %。有孔虫的壳体厚度在 PTME 期间减少了 18.9 %至 42.4 %, 在 T-OAE 期间减少了 36.9 %至 61.8 %。能量成本估算表明, 这些适应性形态演化可使腕足动物在 PTME 期间的钙化能量成本降低一半以上, 有孔虫在 PTME 和 T-OAE 期间的钙化能量成本降低约 20%至 62%, 以补偿由于环境和生态压力导致的钙化成本上升。本研究提出, 形态特征简化(如壳饰减少和壳体变薄)可能是钙质生物在大灭绝事件中通过降低能量需求以应对不利环境的一种潜在生物经济策略。未来仍需在更广泛的生物类群与多次灭绝事件中进一步验证, 以确认该模式的普遍性。

S08-P-4

古-中生代之交的放射虫大小演变及与环境变化的响应

肖异凡¹, 王凯玥¹, 何卫红^{1*}, Noritoshi Suzuki², 杨廷禄³, Thomas L. Stubbs⁴, Michael J. Benton⁵, 宋海军¹

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 Tohoku University, Department of Earth Science

3 东华理工大学, 地球科学学院

4 The Open University, School of Life, Health and Chemical Sciences

5 University of Bristol, School of Earth Sciences

* whzhang@cug.edu.cn

浮游生物是海洋健康的重要指示类群, 对生态系统维持至关重要。针对地球历史上最严重的生物大灭绝事件——约 2.52 亿年前的二叠纪-三叠纪大灭绝 (PTME), 目前关于浮游生物形态响应的研究仍极为有限。本文基于中二叠世至中三叠世放射虫 (该时期初级生产力的关键浮游生物指标) 的宏数据库, 探索其形态演化规律。我们的研究涵盖: 瓜德鲁普世-乐平世生物灭绝 (GLE, 2.6 亿年前), 二叠纪-三叠纪生物大灭绝 (PTME, 2.52 亿年前) 和晚二叠世之后的海洋显著变暖及早-中三叠世海洋环境扰动期。传统理论预测, 大灭绝将导致放射虫物种大量丧失且幸存者体型显著缩小。然而研究发现两次灭绝事件中放射虫的大小演变并不一致: GLE 期间——所有放射虫类群均出现显著体型缩减; PTME 期间——四类放射虫呈现分化响应, 深水类群 (阿尔拜虫目 Albaillellaria、隐管虫目 Latentifistularia) 幸存者体型缩小; 浅水类群 (内射虫目 Entactinaria、泡沫虫目 Spumellaria) 幸存者体型增大。除了在两次灭绝事件中表现出的不一致性, 放射虫大小演化也存在地理差异: 在 GLE 和 PTME 期间低纬度放射虫体型普遍减小, 而中高纬度的放射虫均呈现增大趋势, 反映初级生产力的空间分异。根据相关性分析及多元回归模型分析显示, 中二叠世至中三叠

世放射虫体型变化与陆源风化指标 (锶同位素) 及海水温度显著相关, 而非其他环境因子。这些发现为预测现代浮游生物对未来气候环境变化的生态响应提供了关键实证依据。

S08-P-5S

离散形态特征相关性演化的模拟研究

刘雪儿¹, 张驰^{1*}

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* zhangchi@ivpp.ac.cn

在使用基于模型的方法进行系统发育分析时, 假设了特征之间都是独立的。然而, 实际数据中特征之间相关的情况普遍存在。我们通过计算机模拟, 考察了忽略特征之间相关性对贝叶斯系统发育推断的影响。针对离散的形态特征, 我们应用 Pagel 的模型模拟两个和三个形态特征有相关性的情形, 然后用 M2v(JC69 模型的扩展) 和 F2v(F81 模型的扩展) 模型对生成的数据矩阵进行贝叶斯推断。以检验真实情况有相关性, 而推理时没有考虑相关性时, 目前的贝叶斯方法能否较好地恢复类群间的关系。除此之外, 我们也考虑了速率异质性等情况并进行了模拟。结果表明, 特征间的相关性、速率异质性和缺失数据会导致 Mk 和 Fkv 模型对枝长低估, 但是 Fkv 在复杂的情况下有一定校正作用。Quartet 和 MCI 距离指标的结果表明特征状态间有速率异质性会导致对拓扑结构推断的较大偏差, 在该情况下, 推断树的解析度比较低。但在更复杂和有相关性的情况下, 拓扑结构的偏差变小。当加入时间信息时, 额外的信息有助于改善枝长和拓扑结构的推断结果。

S08-P-6S

海洋酸化下腹足动物发生稳定选择的实验和化石证据

李幸¹, 宋海军^{1*}

¹ 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* haijunsong@cug.edu.cn

稳定选择是生物演化中普遍存在的重要机制, 在限制形态变异方面发挥着关键作用。然而, 在环境压力下形态稳定选择的具体表现及其发生机制还知之甚少。本研究通过对方斑东风螺开展酸化模拟实验, 并结合地质突变期腹足类残存属的形态变化, 探讨酸化胁迫下腹足动物形态的稳定选择。实验结果表明, 方斑东风螺在 pH 7.5–7.1 时受到酸化胁迫, 摄食率和相对生长量开始减少, 氧化应激水平升高。酸化胁迫下方斑东风螺的初始纵横比与纵横比变化呈现显著负相关, 壳体形态空间呈现收缩趋势。在二叠纪-三叠纪大灭绝事件 (PTME) 和古新世-始新世极热事件 (PETM) 中, 腹足动物残存属壳体尺寸减小, 背景层纵横比与纵横比变化同样呈现显著负相关。这些结果表明, 酸化胁迫可能促使腹足动物的极端形态发生可塑性变化向中间形态趋近收敛, 从而获得潜在的生理优势。本研究揭示了古今环境胁迫下腹足动物通过形态可塑性来适应稳定选择, 为理解生物如何跨越剧烈环境变动提供了新的视角。

S08-P-7S

古代杂交促进鹿角珊瑚的辐射演化

吴田振^{1,3}, 类彦立^{1,2,3*}

¹ 中国科学院海洋研究所

² 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

³ 中国科学院大学

* leiyanli@qdio.ac.cn

渐渗是指基因通过杂交和回交从一个物种渗透到另一物种的过程, 该过程可能干扰系统发育关系的重建与分化时间的准确评估。鹿角珊瑚是造礁珊瑚中的优势类群, 但其在辐射演化之前是否经历过基因渐渗, 仍不明确。已有的研究在估算鹿角珊瑚分化时间时并未考虑渐渗的潜在影响。本研究突破了以往少量基因和物种的局限, 基于全基因组蛋白编码序列的系统分析, 提供了鹿角珊瑚进化过程中存在古代杂交与渐渗事件的有力证据。本研究检测到 21.9% 的三联体基因位点 (即来自三个不同物种的同源基因) 存在渐渗信号, 并识别出在分化前发生的多起基因渗入事件, 部分事件中遗传物质贡献率高达 30.9%。通过 MDS (多维尺度分析) 算法, 本研究将 7756 个核基因座划分为三组, 各组间的系统发育信号存在异质性, 导致重建的系统发育关系存在差异。当仅使用渐渗程度最低的一组基因座进行分析时, 估算的鹿角珊瑚辐射演化时间为中新世中晚期。推测早中新世澳大利亚与太平洋岛弧及东南亚边缘的构造碰撞, 以及中中新世至晚中新世期间的全球降温事件, 可能分别为鹿角珊瑚的多样化提供了关键的地理与气候条件。以上研究结果表明古老的杂交与渐渗事件在鹿角珊瑚辐射演化过程中可能发挥了促进作用。另外, 该研究强调在系统发育重建与分化时间推断中, 应充分考虑渐渗对演化信号的潜在影响。

S08-P-8S

南堡凹陷早渐新世页岩地球化学特征及形成环境

张宇¹, 姜福杰^{1*}

¹ 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* jfjhtb@163.com

页岩沉积环境恢复对深入认识有机质富集规律及页岩油资源精细评价具有重要意义。渤海湾盆地渐新世沙河街组一段

(EOS 页岩)具有巨大页岩油资源潜力,已获勘探证实。基于南堡凹陷 EOS 页岩地球化学特征,揭示了其古沉积环境及有机质富集机制。研究表明:该套页岩岩相以长英质和混合组分为主,有机质类型主要为II₁和II₂型,丰度中等-好,整体进入成熟阶段;有机质主要来源于陆源高等植物与藻类。渐新世早期沉积期气候总体温暖湿润,局部炎热干旱,形成陆相淡水环境,高古生产力与周期性气候变化导致水体缺氧性增强,为生物繁殖、生长和保存创造了有利条件。该研究明确了渐新世页岩发育于温暖湿润气候背景下的淡水环境,其有机质富集受控于藻类勃发的高古生产力与缺氧保存条件的耦合作用,为揭示渤海湾盆地渐新世页岩古环境演化规律及页岩油勘探提供了科学依据。

S09-O-1

松辽盆地成盆演化与全油气系统

蒙启安¹, 付秀丽^{2,3}, 崔坤宁^{2,3*}, 苏杨鑫^{2,3}, 郑强^{2,3}, 徐庆霞^{2,3}

1 中国石油大庆油田有限责任公司, 黑龙江 大庆 163002

2 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室, 黑龙江 大庆 163712

3 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

* 16575309@qq.com

中国东北部的松辽盆地资源量丰富,包括多个含油层系与油气藏类型,仅松辽盆地北部石油资源总量达 253.69×10^8 t, 是全球 25 个超级盆地之一。超级盆地构造演化与环境变迁对于盆地内部生储盖组合、含油气系统及资源潜力分析具有重要的油气地质意义。断陷期(火石岭组-营城组)火山大规模喷发,温带-亚热带气候,蕨类、中国蕉羽叶、披针苏铁杉繁盛,恐龙盛行。初期以扇三

角洲、浅湖沉积体系为主,随湖平面上升,沉积范围增大,发育扇三角洲、浅湖、半深湖-深湖、湖底扇,辫状河三角洲。后期火山活动逐渐停止,火山间洼地被逐渐填平,全区地层趋于连片分布,发育辫状河三角洲沉积体系。坳陷期(登娄库组-明水组)下部发育辫状河、辫状河三角洲。向上泉头组发育松花江生物群,为半湿润的中亚热带气候。青山口-姚家组松辽湖盆急剧大规模扩张,亚热带温湿气候,湖水面积近 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,介形虫、叶肢介、鱼类及藻类繁盛,形成了灰黑色富有机质页岩。该时期为全球性大规模的大火成岩省喷发,造成了全球灭氧事件 OAE2,是页岩得以保存的重要因素。嫩江组发生第二次大规模湖侵,湖水面积超过 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。气候变干旱,发育三角洲沉积体系。而后气候逐渐向暖温带转变,盆地缓慢上升,沉降中心和沉积中心逐步向西转移,沉积范围逐渐缩小。以河流相的红色沉积和浅水湖相沉积为主,沉积厚度较薄。反转期(古近系-第四系)气候向暖温带转变伴随着区域性挤压构造运动,整个盆地缓慢上升,逐步萎缩而形成了以不对称坳陷型浅湖为特征的红色碎屑岩沉积。沉降中心和沉积中心逐步向西转移,沉积范围逐渐缩小。以河流相的红色沉积和浅水湖相沉积为主,沉积厚度较薄。沉积特点为近物源,分散的小水系,相带平面分异性差。松辽盆地经历了成盆前三叠纪至侏罗纪海相沉积,成盆间经历了深层天然气为主的断陷期、关键油气藏形成和聚集成藏的拗陷期、反转期的建造和改造作用形成了湖相-火山喷发-河流-湖相-三角洲-滨浅湖-河流沉积演化,发育了四套湖相烃源岩层、三套含油气系统,漫长的构造沉积演化过程及温带-中亚热带-南热带-北亚热带-暖温带的环境变迁,造就了蕴含多种能源、多套含油气系统,成为常规、非常规及新能源勘探开发的超级盆地。

S09-O-2

松辽盆地晚白垩世古大湖发育与页岩油富集效应

白云凤^{1,2}, 林铁锋^{1,2}, 张金友^{1,2}, 康德江^{1,2*}, 李昕^{1,2}, 于婷婷^{1,2}, 张成铭^{1,2}, 付钰^{1,2}

1 大庆油田有限责任公司, 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室

2 大庆油田有限责任公司, 页岩油研究院

* kdj78721@163.com

松辽盆地是一个中新世代的大陆裂谷盆地。自早侏罗世(185Ma)至晚白垩世(65Ma), 库拉(伊泽奈奇)-太平洋板块向古亚洲大陆俯冲, 亚洲大陆东缘岩石圈断裂和地壳断裂快速发展。受此影响, 松辽盆地经历了断陷期、拗陷期和构造反转期, 最终形成 NNE 向展布大型陆相淡水-微咸水湖盆, 总面积约 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。沉积了巨厚的侏罗纪—第四纪地层, 厚度超过 $1 \times 10^4 \text{ m}$ 。根据生物化石和沉积学研究的综合分析, 松辽盆地上白垩统的青山口组和嫩江组分别相当于国际地层中的 Cenomanian 阶和 Coniacian 阶。青山口期和嫩江期松辽大湖经历两次大的湖侵, 湖水面积超过 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。enomanian 早期低海平面上升, Coniacian 期达到高峰, Coniacian 晚期回到低海平面, 与青一段和嫩一、二段的高湖平面周期相对应古松辽湖泊属于近海开口湖。前人研究表明, 其出口位于现今宾县地堑松花江流经地带, 因此推测古松辽湖泊通过古松花江与古东亚细亚海相通。古大湖的稳定发育造就了松辽盆地青山口组和嫩江组两套优质的烃源岩。松辽盆地青山口期湖盆范围广且稳定发育, 深湖相面积超过 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 淡水-微咸水环境、温暖湿润气候、强还原水体的形成环境, 有利于富有机质页岩的形成, 青一、二段沉积巨厚的灰黑色页岩。该段烃源岩有机质丰度高, 在齐家-古龙凹陷半深湖-深湖相区已进入成熟-高熟演化阶段,

为中浅部含油气组合提供了丰富的油气, 也是古龙页岩油主要的赋存层系。富有机质页岩厚度为 90-270m, 具备成熟度高、气油比高、压力系数高、原油密度低等“三高一低”的有利条件, 有利于页岩油的形成与富集。随着古龙页岩油在勘探上的重大战略突破, 泥纹型页岩油具备良好的产油能力已成为国内外专家学者的共识。嫩一、二段沉积时期, 发生了松辽盆地的第二次大规模湖侵。中央拗陷区嫩一段黑色泥岩厚度超过 100m; 嫩二段黑色泥岩厚度超过 160m。嫩一、二段泥页岩成熟度低, $R_o < 0.75\%$ 。大面积分布的低熟源岩生油转化程度低, 保存有丰富的有机质, 为原位转化提供了物质基础。据估算, 嫩一、二段低熟源岩经过原位转化后可产生资源量超 200 亿吨。低熟页岩油资源潜力巨大, 随着研究认识及配套技术的进步, 极有可能成为大庆油田未来可持续发展的重要接替领域。

S09-O-3

松辽盆地北部嫩江组介形类壳饰与古水深分析

薛云飞^{1,2}, 李斌会^{1,2}, 王永超^{1,2*}, 顾凯^{1,2}, 李侗^{1,2}, 张昕^{1,2}, 汤慧馨^{1,2}

1 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室

2 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院

* wyc0168@126.com

古水深演变研究对揭示地质历史时期沉积环境和生物演化规律意义重大, 嫩江组作为松辽盆地重要的烃源岩层段, 其古水深变化蕴含丰富信息。本文运用古生物标志法与沉积学分析法, 探究嫩江组时期古水深演变规律。

介形虫作为对环境敏感的生物, 其壳饰特征对古水深变化具有重要指示作用。嫩一段时期, 开始出现小瘤状壳饰的 *C. (Cypridea) spiniferusa*, 瘤小且仅分布于壳表周围, 化石个体数量少、纵向层位薄。这种细瘤状壳饰反映当时湖侵扩大, 湖水

较深，介形虫为适应深水环境发育该壳饰。嫩二段时期，壳饰演变为刺状瘤，具刺状瘤的化石类型与数量增多，个体大、壳壁薄且多单瓣保存，如 *Periaconthella netchaevae*, *P.portentosa* 等，表明此时水域广阔、深度大且环境安静，刺状瘤壳饰有助于介形虫在深水中生存。嫩三段时期，壳饰以较大瘤状为主，瘤状类型丰富、壳体大，以 *Strumasia sungarinensis*, *S.salebrosa*, *S.accepta* 等为代表，反映湖水由深变浅，介形虫适应浅水环境而改变壳饰。嫩四段时期，瘤状壳饰趋于简单，如 *Talicypridea augusta*，个体数量减少，显示水域变浅、湖盆范围缩小且水体动荡，不利于介形虫大量繁殖。至嫩五段，极少发现瘤状壳饰的介形类，说明湖水进一步变浅，仅能支持简单壳饰介形虫生存。

结合地层中泥页岩颜色、生物生态特征及沉积环境等信息，嫩一段为半深水湖环境，地球化学环境呈还原-强还原；嫩二段处于深水湖环境，为强还原地球化学环境；嫩三段经历从半深水湖到浅湖、滨湖的转变，地球化学环境为还原-弱还原；嫩四段以滨浅湖、河流环境为主，地球化学环境为弱还原-氧化；嫩五段同样是滨浅湖、河流环境，地球化学环境为氧化。

通过揭示嫩江组介形虫壳饰从简单瘤到复杂瘤，再到简单瘤的演化特征，呈现了嫩江组时期古水深由深变浅的演变过程，明确了古水深变化与介形虫壳饰演变、沉积环境、地球化学环境之间的密切联系，对该时期古环境重建及油气勘探应用具有重要价值。

S09-O-4

大杨树盆地下白垩统嫩江组古野火事件及其古环境意义

史恭乐^{1*}，惠建国^{1,2}，彭俊刚¹，董重¹，王婷¹，尹素心¹

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所

² 中国科学院大学

* glshi@nigpas.ac.cn

野火作为一种常见的自然现象，从志留纪植物登陆开始就出现在陆地生态系统中，并且在地球系统的演化中发挥着重要的作用。本文报道了内蒙古东部大杨树盆地嫩江组二段（Campanian 期）地层中记录的古野火事件。利用扫描电镜对木炭化石显微结构观察，发现这些木炭化石来源于植物的木质部、叶片、种子、等多种器官。木炭化石惰质体反射率值介于 1.73%~6.48%，均值 3.35%，指示了这次野火的温度约为 580°C，代表了林冠火的火灾类型。孢粉学研究揭示了野火事件引发的显著植被演替过程。研究发现与野火事件前以树蕨和苏铁（*Cyathidites*、*Cycadopites*）为主。野火发生后的短时间内，水生被子植物睡莲花粉含量显著增加，这一现象可能与火灾加剧地表侵蚀，导致水体富营养化有关。这期间内松柏类植物花粉（*Pinuspollenites*、*Cedripites*、*Psophosphaera*、*Inaperturopollenites*、*Taxdiacepollenites*）含量也开始逐渐上升，具有较强抗火特性的松柏类植物在火灾发生之后数量增长。长的时间尺度来看，松柏类植物凭借其高大的体型和适应性优势，在与其他维管植物的长期竞争中逐渐占据主导地位。

S09-O-5

中国东北延吉和罗子沟盆地下白垩统大拉子组油页岩沉积古环境重建

赵向东^{1*}，王伟²，刘翰林³

¹ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室

² 中国科学院南京地质古生物研究所，现代古生物学和地层学国家重点实验室

³ 中国石油勘探开发研究院

* zhaoxiangdong@ivpp.ac.cn

中国东北下白垩统大拉子组油页岩产出丰富的陆生化石,并且具有重要的油气潜力。然而,其确切的沉积环境尚不明确。本研究在延吉盆地智新剖面 and 罗子沟盆地北沟剖面的油页岩样品中,综合分析了铁组分($\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$, $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$)、黄铁矿硫同位素($\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$)及主微量元素等地球化学指标,旨在重建大拉子组油页岩沉积期间的大陆化学风化强度及湖泊水体氧化-还原条件。本文发现样品呈低化学蚀变指数(CIA)值(57.8 ± 8.6),表明大拉子组油页岩沉积期间大陆化学风化强度较弱。植物化石证据表明,干旱气候条件可能限制了大陆化学风化的强度,从而导致低 CIA 值的出现。所有分析样品的 $\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$ 值均大于 0.38, $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$ 值远低于 0.7,指示底层水处于缺氧铁化状态, HS^- 含量有限。这与低黄铁矿含量、草莓状黄铁矿缺失及 Mo_{EF} 和 U_{EF} 的共变模式等证据所指示结果一致。低 CIA 值表明,湖泊中较少的陆源物质输入可能限制了湖泊中硫酸盐的浓度,进而导致底层水缺氧铁化状态的形成,这一结论通过较高的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 值($12.2 \pm 9.6\%$)、低黄铁矿含量以及 CIA 与 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 值之间呈现显著负相关等证据得到进一步支持。该发现表明,持续稳定的贫硫、铁化湖泊底层水状态促进了大拉子组油页岩中有机质和碳质化石的保存。

S09-O-6

中晚三叠纪长 7 页岩中湖泊最小含氧区和有机质富集区动态演化过程

边雷博^{1*}, 王晓梅¹, 赵文智¹, 张水昌¹

1 中国石油勘探开发研究院
* leibo19940528@foxmail.com

鄂尔多斯盆地在中晚三叠纪因其丰富的不可再生资源 and 记录了二叠纪-三叠纪生物大灭绝后最早的陆地水生生态系统复苏

过程而受到越来越多的关注。尽管前人已尝试阐明湖盆内有机碳沉积机制,但碳循环模式及其相关的环境响应仍尚不清晰,这可能与湖盆内多期火山灰沉积和复杂湖泊沉积构造有关。本研究利用有机-无机地球化学方法重建了湖盆内外的沉积环境演化过程,并提出古湖泊环境中可能发育温跃层最小含氧区域。结果表明,缺氧和有机质富集的区域从长 7-3 下部的湖盆中部逐渐转移至长 7-3 上部的湖盆边缘。缺氧和有机质富集区的动态变化受控于风化强度和火山活动的相对强弱,并似乎与三叠纪中晚期的陆地生物演化同步。此外,围绕古特提斯洋碳同位素和海湖面水平面的相对变化和湖泊环境中高含量还原金属元素表明在中三叠世晚期至晚三叠世早期,鄂尔多斯盆地与古特提斯洋之间存在间歇性的水体联系。我们认为,晚拉丁期的温和到中等强度火山活动促进了生物的基因突变与进化;相反,早卡尼期的强烈风化作用有利于生物繁荣,但也导致了暂时性的较高死亡率,这可能是三叠纪陆地生物辐射发展的序幕。

S09-O-7

白垩系青山口组白云岩记录的松辽古湖泊水体环境演化

王华建^{1*}, 柳宇柯², 刘真吾³, 张金友⁴, 张水昌²

1 中国科学院地质与地球物理研究所
2 中国石油勘探开发研究院
3 中国地质大学(北京)
4 大庆油田勘探开发研究院
* wanghujian@mail.iggcas.ac.cn

松辽盆地白垩系青山口组发育大量结核状和层状白云岩,其成因机制还不清楚。通过对白云岩进行矿物和形貌学分析、原位微区多元素成像分析($\mu\text{-XRF/LA-ICP-MS}$)和多元素-同位素分析等,揭示了青山口组白云岩与古湖泊水体动态演化的密切

相关性。研究发现,白云岩有着明显的纹层状沉积特征,矿物组成以细粒白云石为主,普遍发育铁白云石加大边,并可见有机质、黄铁矿、绿泥石、磷灰石等成岩矿物和石英、黏土等碎屑矿物,表明其经历了初始沉积和次生成岩两个阶段。结核内部的白云石纹层和富铁、富锰的圈层结构表明白云岩形成于同沉积期的缺氧水体环境,并在弱含氧的铁-锰还原环境发生了次生交代,指示古湖泊底水曾被短暂氧化。白云石结核内的低 Y/Ho 值、中稀土元素(MREE)富集、正 Ce 异常、正 Eu 异常和更接近于同期海水值的 Sr 同位素值,进一步表明铁-锰还原环境形成可能与外源流体混入有关。氧化还原敏感元素(如 Mo 、 V 、 U)的富集程度差异也显示白云岩受弱氧化成岩水体改造,出现 V 丢失。由于湖底热液一般为还原性流体,难以形成弱含氧的铁-锰还原环境,偏氧化的海水被认为是更有可能的外源流体,但也不排除同步受到了湖底热液的干扰。 B 含量及同位素($\delta^{11}B$)特征也指示白云岩形成于受海水影响的微咸水古湖泊。虽然白云岩中的碎屑矿物是更重要的 B 汇,且富集轻 B 同位素。基于蒙特卡洛模拟计算出白云石的 B 含量为 $6.9 \mu g g^{-1}$, $\delta^{11}B$ 值为 20.6,进而计算古湖泊孔隙水的 pH 值为 8.2,指示弱碱性的成岩成体环境。虽然高 Sr/Ba 值经常被作为盐度指标,但我们认为白云岩的高 Sr/Ba 值更有可能指示了贫硫酸盐水体环境,因为 Sr^{2+} 比 Ba^{2+} 更容易被碳酸根捕获。偏重的无机碳同位素组成($\delta^{13}C_{carb}$, 4.5‰~9.4‰)表明产甲烷作用在白云岩形成过程中占主导地位,与贫硫酸盐水体中的弱硫酸盐还原反应相一致。由此,我们推测白云岩结核的形成和生长过程可能与产甲烷菌和铁还原菌的微生物活性有关,这些细菌活动导致了古湖泊底部水体的动态演化,形成了铁化-产甲烷过渡区(FMTZ)。但富氧、富硫酸盐海水的侵入可能在古湖泊中形成最小氧化带(OMZ)环境,触发硫酸盐还原反应,改变了水体环境,抑制甲烷生成,并结束白云岩结核

的生长。本研究为松辽盆地青山口组湖相白云岩成因和古湖泊水体环境及动态演化提供了多指标约束。

S09-O-8

铝硅酸盐矿化对中生代燕辽生物群特异埋藏的促进作用

王盛宇¹, 王博^{1*}

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所

* bowang@nigpas.ac.cn

燕辽生物群是我国中生代最重要的特异埋藏化石库之一,报道了大量保存精美的昆虫化石,为探讨中生代昆虫的演化及古生态、古气候变化提供了关键证据。然而,关于这些昆虫化石的具体保存方式及其矿化机制至今仍缺乏系统研究与明确认识。本研究综合运用扫描电镜(SEM)、X射线能谱(EDS)和原位选区X射线衍射(XRD)等多种技术手段,对燕辽生物群昆虫化石及围岩的矿物组成进行了详细研究。EDS与XRD分析结果表明,燕辽生物群的昆虫化石总体以铝硅酸盐矿物矿化保存为主,局部伴随硅化及沸石化特征;化石及其围岩主要由石英、钾长石、钠长石以及粘土矿物组成。统计分析进一步表明,以伊利石为主的粘土矿物在化石区域显著富集。扫描电镜观察发现,部分化石外围存在一层连续的钾长石外壳。化石表面由网络状粘土矿物填充于细粒硅质碎屑之间,通过胶结作用精细保存了昆虫体表的微观结构特征。研究结果表明,铝硅酸盐矿物,尤其是伊利石,在燕辽生物群化石的特异埋藏过程中发挥了关键作用。本研究推测,生物遗体被富含火山灰的细粒沉积物迅速埋藏,形成了局部封闭的微环境;外围形成的钾长石外壳与内部生成的粘土矿物维持了生物体结构的完整性,延缓了有机质的降解,促进了化石微观结构的精细保存。本研究为理解粘土矿物在化石特异埋藏中的关键作用,以及非生物矿化组织在火山

细粒沉积环境中的保存机制，提供了新的证据与理论基础。

S09-O-9

大气 CO₂ 升高驱动了早 Toarcian 期陆相有机碳的时空差异埋藏

邱若原¹，包秀娟¹，David B. Kemp²，郭佳琦³，袁帅³，张旺^{1*}，王华建¹，刘牧¹，张瑞珍¹，万博¹，赵亮¹，胡永云³，金之钧⁴

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

3 北京大学，物理学院

4 北京大学，能源研究院

* zhangwang@mail.iggcas.ac.cn

有机碳埋藏作为地球碳循环的关键调控机制，在平衡大气-海洋系统碳通量的同时，其形成的黑色页岩更是油气资源的重要载体。我国陆相含油气盆地中普遍发育的早侏罗世 Toarcian 期黑色页岩（四川盆地大安寨组，鄂尔多斯盆地富县组，塔里木盆地阳霞组），却展现出显著的有机碳埋藏空间分异特征。为揭示这一异质性形成机理，本研究采用全耦合气候模式 (Community Earth System Model, CESM 1.2.2) 与 BIOME4 植被模型与地质记录结合，首次系统解析了 Toarcian 升温事件中陆地有机碳埋藏的响应机制。数值模拟表明：大气 CO₂ 浓度激增诱发中纬度季风系统发生了极向偏移，导致全球水汽输送格局重组。尽管升温使全球净初级生产力提升，但有机碳埋藏分布却主要受控于降水通量的空间再分配。结果进一步指示在极端温室气候背景下，具有稳定水文输入的湖盆系统展现出更强于干旱盆地的碳封存效率。这一发现不仅为古环境重建提供新视角，更为预测当代气候变化下的碳汇演化规律提供了关键地质参照。

S09-O-10

陆相湖盆沉积斜坡的三维地震表征：以鄂尔多斯盆地延长组为例

彭杰¹，吴南^{1*}，惠潇^{2,3}，张岩^{2,3}

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

2 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院

3 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

沉积斜坡是指由沉积动力过程形成的斜坡地带，广泛发育于海相和陆相盆地。随着三维地震数据的采集与应用，在鄂尔多斯盆地西南缘陇东地区的三叠系延长组中，识别出了多期典型的沉积斜坡结构。这一发现不仅挑战了传统“千层饼式”等岩性地层划分模式，还为深入研究深湖区砂体的成因机制提供了新的视角和思路。本研究利用连片三维地震数据，对各期次沉积斜坡开展三维地震地貌刻画，重建湖盆充填演化历史。研究表明，延长组发育 8 期沉积斜坡（C1~C8），由西南物源向湖盆中央不断生长。C1~C2 主要发育前积层，发育范围仅限湖盆西南部；C3~C8 发育完整的沉积斜坡结构，发育范围逐渐深入湖盆中央。其中，C5~C7 的顶积层因后期构造活动和沉积过程的剥蚀而缺失，C8 则主要发育底积层。针对延长组沉积斜坡的几何特征，研究聚焦前积层，提出前积形态比例（foreset shape ratio, Fsr ），识别出了两类沉积斜坡：斜交型（C1~C2 和 C6~C7, $Fsr \geq 0.6$ ）和 S 型（C3~C5 和 C8, $Fsr < 0.4$ ）。结合坡折带迁移规律，可将湖盆充填演化划分为三个阶段：缓慢生长期（C1~C4）：湖盆可容空间较大，发育垂向加积为主的沉积斜坡；快速生长期（C5~C7）：物源沉积物供给速率快速增大，发育横向进积为主的沉积斜坡；萎缩消亡期（C8 之后）：湖盆逐渐萎缩，在有限的可容空间内，发育加积为主的沉积斜坡。与典型海相沉积斜坡相比，盆地沉积斜坡

具有前积层上段“短且陡”、下段“长且缓”，以及陆相湖盆顶积层易缺失的显著特征。这表明沉积斜坡对重力流砂体的搬运距离和分布模式具有鲜明的控制作用：碎屑流成因砂体更倾向于优先堆积在斜坡坡脚附近，而浊流成因砂体则表现出较长的搬运距离特征。此外，沉积斜坡呈现出由“前积层较厚”向“底积层较厚”的演化特征，揭示了陆相湖盆在沉积充填过程中沉积中心的阶段性迁移。该演化趋势不仅反映了物源供给与湖盆可容空间的协同控制机制，也体现了延长组陆相湖盆在地层记录的连续性与完整性优于海相盆地。该发现为深入研究深水砂体的成因机制、页岩油甜点的分布规律提供了重要的理论指导和参考借鉴。

S09-O-11

四川盆地大安寨段黑色页岩与极端气候事件

毕辰天^{1,2}, 房亚男^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院大学

* ynfang@nigpas.ac.cn

四川盆地下侏罗统自流井组大安寨段黑色页岩是我国陆相页岩气开发的潜力层段，同时被认为记录了早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件（T-OAE，~183Ma）。大安寨段黑色页岩的形成可能与 T-OAE 期间超级火山喷发造成的气候扰动、湖泊缺氧与高生产力有关。但是，大安寨段的精确时间约束至今尚未明确。本研究意在通过对川东一口早侏罗世全取芯井进行高分辨率的磁性地层学、多门类的生物地层学和天文旋回地层学等研究，确定大安寨段的精确沉积时间。然后，对岩芯和典型剖面进行多种地球化学指标研究，重建大安寨段沉积时期的氧化还原环境，从而明确 T-OAE 对四川盆地气候、湖泊生态系统和有机质富集的影响。本研究将对揭示典型油

页岩与全球极端气候的关系具有较为重要的指示作用。

S09-O-12

秦岭造山带早白垩世古水系重建与生物扩散

宋思雨^{1,2}, 郑大燃^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院大学

* drzheng@nigpas.ac.cn

秦岭造山带在早白垩世进入了陆内造山阶段，其古地理格局在很大程度上影响了东亚古水系分布和生物扩散，热河生物群也在这一期间到达秦岭造山带。为探究秦岭的隆升对早白垩世古水系的分布与水生生物分布的影响，本研究以秦岭造山带内的热河生物群为研究对象，针对河南西部白湾盆地白湾组和马市坪盆地南召组、以及陕西南部商县盆地凤家山组，系统采集各门类化石，包括双壳类、叶肢介、腹足类、介形类、昆虫和孢粉化石等进行分析鉴定，结合生物地层学和同位素年代学分析，对其沉积时代和物源进行限定，并为秦岭造山带下白垩统地层提供年代约束。在高精度地层格架的基础上，采用对碎屑锆石年龄解混的方法恢复秦岭造山带内早白垩世古水系演变，同时基于定量生物古地理研究，重建热河生物群在中国中部的潜在扩散途径。本研究揭示了秦岭内部新发现的化石，包括：双壳类（*Arguniella-Sphaerium* 组合）、叶肢介（*Eosestheria-Diestheria* 组合）、腹足类（*Probaicalia vitimensis-Ptychostylus-Reesidella robusta* 组合）、介形类（*Cypridea*）和昆虫（*Ephemeropsis trisetalis*）等。基于生物地层学研究，表明南召组、白湾组和凤家山组可以与辽西义县组和九佛堂组的下部相对比。基于白湾组化石层上下两个样品的碎屑锆石年龄，将化石层的最大沉积年限限定在约 123.6 Ma，证明热河生物群在其

第二演化阶段已经到达了北秦岭地区。通过蒙特卡罗模型 (Monte Carlo simulation) 与正演优化 (Forward Modeling) 分析, 将秦岭造山带下白垩统地层的物源限定在北秦岭内部和桐柏-大别造山带, 表明早白垩世白湾组沉积期间北秦岭白湾盆地、马市坪盆地和商县盆地与华北克拉通之前没有水系交流带来沉积物。推测秦岭造山带内部存在一条东西向的古水系, 我们称之为“古秦岭河”, 该水系主要沿商-丹断裂带分布。结合古水系流向和定量生物古地理研究, 本研究揭示出热河生物群在中国中部潜在的扩散途径: 在东部沿郯庐断裂带方向, 经大别造山带向西到达秦岭造山带; 在西部沿河西走廊, 经六盘山盆地到达秦岭造山带。

S09-O-13

晚三叠世湖平面演变的沉积记录及古气候模拟证据

王蒙^{1*}, 李明松²

1 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气地层应用全国重点实验室

2 北京大学, 地球与空间科学学院

* mengwang@nigpas.ac.cn

古湖平面演变的重建研究可以为探寻陆地表层系统演化提供重要的信息。古水深变化作为大陆地下水含量波动的替代指标, 被认为是反映古水文变化信息的可靠载体之一; 大陆内部古湖平面的变化往往与天文等因素驱动的气候变化控制的陆地上降雨、蒸发与径流状态有关。由于古水深的升降主要受到构造活动、气候变化以及沉积物供给速率等多种因素控制, 精细恢复古水深长期的变化历史受到陆相地层定年工作的困难以及传统技术手段的制约。本次研究利用的沉积噪音模型方法是基于天文旋回理论和时间序列分析方法提出的重建相对古湖平面变化的新方法, 已经在三叠纪、白垩纪以及古近纪等时期被多次

应用。与传统方法比较, 沉积噪音模型能够直接利用古气候替代指标, 客观、高分辨率、长时间尺度恢复古水深的变化。

晚三叠世是地球生命演化史上的一个重要时期, 见证了全球性的重大构造和气候变化事件, 如三叠纪末生物大灭绝事件、瑞替-诺利期之交碳循环扰动事件等。此次研究利用沉积噪音模型重建了晚三叠世中、低纬度的北美纽瓦克盆地和英国圣奥德里湾剖面的古水深相对变化, 同时发现它们在 1.8 Myr 长周期上呈现同相位的变化。同时, 在处于高纬度位置的格陵兰岛詹姆斯地盆地, 反映气候干湿和湖平面变化的洪泛指数与纽瓦克盆地和圣奥德里湾的结果为反相变化关系。地球系统模型可以提供关于区域的净降水这种与古湖平面变化相关的关键信息, 从而加强我们对各种机制和水文循环之间关系的理解。地球系统模型 (CLIMBER-X) 的模拟结果表明在上述相同盆地的位置, 晚三叠世净降水量 (降水量-蒸发量) 受到偏心率和岁差周期的调控。在沉积记录中发现的中、低纬度与高纬度位置相反的气候变化特征也被地球系统模拟的净降水量所印证。岁差极大值和极小值时的年平均净降水量的差值表明, 北美纽瓦克盆地和英国圣奥德里湾剖面的变化一致, 而与詹姆斯地盆地的结果相反。沉积记录与古气候模拟结果的一致性表明, 高分辨率的古水深重建与气候模拟相结合是帮助我们探究全球古水文变化的重要途径。

S09-O-14

侏罗纪化石揭示棘头动物门的起源

罗慈航^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* chluo@nigpas.ac.cn

棘头虫是一类海洋和陆地生态系统中常见的体内寄生蠕虫, 能够感染人、猪、

犬、猫、鱼等各类动物，是一类重要的医学寄生虫。其最典型的特征是其蠕虫状的外形和可外翻的吻突，吻突上有成排的倒钩，用于附着在宿主的消化道内。长期以来，棘头虫一直被认为是一个独立的门，即棘头动物门。由于棘头虫的身体构型高度特化，其系统分类位置一直存在很大争议。加之棘头虫是体内寄生虫，很难保存为化石，此前唯一的化石记录是来自晚白垩世鳄形动物粪便中四枚疑似的棘头虫卵。因此，人们对棘头虫的起源和早期演化知之甚少。我们从侏罗纪道虎沟生物群中新发现了一种原始的棘头虫，被命名为“道虎沟侏罗棘头虫”（简称“侏罗虫”）。我们通过扫描电镜、能谱分析等方法，对侏罗虫进行了精细的解剖学研究，发现侏罗虫的身体整体呈纺锤形，分成明显的三部分，即吻突、颈和躯干。侏罗虫的吻突具硬化的、略向下弯曲的刺。侏罗虫身体上有约 32 对仅延伸至身体一小部分的纵毛列，类似的结构也常见于现生棘头虫。侏罗虫的吻突中央保存了消化道，但躯干整体未发现明显的消化道，其身体末端还有一个类似现生棘头虫雄性交合伞的结构。侏罗虫最奇特的特征是其位于躯干最前方的颚器。颚器整体向前方汇聚，且前部的颚较小，向后逐渐变大，齿的数量也更多。颚器中的齿整体都朝向身体前方，且所有的颚都不超过棘头虫的身体边界。类似的颚器在棘头虫可能的祖先——包含轮虫动物的有颚动物类（包含颚口动物门、微颚动物门和轮形动物门，其中轮形动物门包含了轮虫动物门和棘头动物门）中广泛存在。为进一步确定侏罗虫的演化位置，我们构建一个最新的、包含各类现生和化石蠕虫动物的形态数据矩阵，并开展系统发育分析。结果表明，侏罗虫的演化位置位于棘头虫的最根部，是棘头虫的基干类群。在不包含侏罗虫时，系统发育学分析表明尾盘纲轮虫是其它轮虫的姊妹群，这一结果与之前的形态学研究的结果一致，但与很多分子生物学研究结果相悖。然而，如果形态数据矩阵中包含侏罗虫，系统发育学分析

表明，侏罗虫是尾盘纲轮虫向棘头虫演化的过渡类群，从而在形态学的矩阵分析中获得了与分子生物学分析相近的结果，成功解决形态学研究与系统发育基因组学研究之间的分歧。本研究为探索棘头动物门的起源和早期演化提供重要的线索，表明过渡类型的化石在探究动物身体构型革命性演化中扮演了非常重要的作用。

S09-O-15

中侏罗世道虎沟生物群类天牛科新种及其古生态意义

潘菲¹, David Kroeck¹, 钮科程^{2,3}, 李烂¹, 包童^{1*}

¹ 中山大学, 生态学院

² 厦门大学, 生命科学学院

³ 福建省英良石材自然历史博物馆

* baot3@mail.sysu.edu.cn

类天牛科 (Parandrexidae) 属扁甲总科 (鞘翅目: 多食亚目), 含 3 属 9 种, 全部为化石种, 其化石记录发现于中国中侏罗统、哈萨克斯坦上侏罗统、西班牙下白垩统; 其中类天牛属含 7 种, 显示出较高的形态多样性。本研究基于中国内蒙古中侏罗世道虎沟生物群 (168 Ma-152 Ma) 采集的一件保存完好的化石标本, 鉴定并描述了类天牛属新种白氏类天牛 *Parandrexia baii*, 并探讨其古生态意义。通过对比分析类天牛科已知种的形态特征, 确定了 *P. baii* 的种征: (1) 独特的近 U 形头基部印痕; (2) 丝状触角, 长度接近体长 (不包括上颚); (3) 上颚细长, 顶端呈钩状; (4) 额相对较平; (5) 前胸背板横宽, 具密集刻点; (6) 腹部具刚毛。关于类天牛的食性一直以来因缺乏如肠道内含物、粪化石等直接证据而存在争议。类天牛属类群上颚显著延伸, 但未形成明显的切齿强化结构, 下颚须较长, 前口式头部, 复眼相对较大; 这种相对大的头部与口器特化的形态特征, 与一些现生传粉昆虫 (如

露尾甲科 Nitidulidae 中的传粉类群) 的结构相似。前人研究认为基于上述形态和生物学特征可推测: 类天牛属可能取食同时期裸子植物等, 代表了一些古老的专性裸子植物孢粉食性甲虫类群。道虎沟植物群以裸子植物(苏铁纲占绝对优势)和真蕨类植物为主导, 因此白氏类天牛的发现支持类天牛属取食裸子植物孢粉的推断, 但明确的传粉行为仍有待携带孢粉的标本或植物-昆虫共同进化的直接证据的发现与研究。

S09-O-16

内蒙古东部九峰山组热河生物群演替及对 OAE1a 事件的响应机制

薛岩¹, 赵向东², 李玉玲³, 郑大燃^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

3 中国科学院广州地球化学研究所

* drzheng@nigpas.ac.cn

九峰山组(约 125–120 Ma)分布于中国内蒙古自治区东部大兴安岭北部, 保存了热河生物群中—晚期的代表性组成。该组黑色富有机质页岩产典型东方叶肢介-三尾拟蜉蛄-戴氏狼鳍鱼("EEL")化石组合, 为揭示全球古环境波动与陆相生物群演替的耦合关系提供了关键线索。本研究基于内蒙古自治区那克塔剖面, 系统开展了九峰山组生物地层学与地球化学综合研究:

(1) 首次恢复该组叶肢介动物群面貌, 构建东方叶肢介-叠饰叶肢介(*Eosestheria-Diestheria*)组合; 使用多种地球化学手段, 包括总有机碳(TOC)、铁组分($\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$, $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$)、黄铁矿硫同位素($\delta^{34}\text{Spy}$)、氢氧指数(HI/OI)、以及主、微量元素分析等, 对九峰山组富有机质页岩进行了综合地球化学研究。通过整合高精度地层框架下的古生物群落演替记录与

古环境指标, 本研究尝试建立热河生物群演替与 OAE1a 全球性环境扰动之间的潜在联系。

S09-O-17

山东平邑盆地白垩纪—古近纪界线时期湖泊碳酸盐团簇同位素分析与古温度重建

张东旭¹, 李莎^{2*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 中国科学院南京地质古生物研究所

* shali@nigpas.ac.cn

白垩纪末期是地球历史上气候与生态剧变的重要时期, 湖泊系统作为陆地气候变化的重要响应者, 其热演化过程对重建当时的环境格局具有重要意义。本研究基于团簇同位素测温技术, 对位于东亚地区的平邑盆地马斯特里赫特期末期湖相沉积物开展了高分辨率古温度重建, 旨在探讨中生代末期湖泊系统对全球变暖事件的响应过程。

研究选取了平邑盆地内典型的湖相碳酸盐岩与古土壤钙质结核样品, 综合运用阴极发光岩相学筛选、地温梯度反演模拟及碳氧同位素相关性分析方法, 剔除了成岩作用干扰, 获得了高可信度的团簇同位素温度数据。结果显示, 在马斯特里赫特期末期, 平邑盆地湖泊水体温度由约 25°C 迅速升高至 34°C, 升温幅度显著高于同期海相记录, 表明陆相湖泊系统对全球气候扰动具有更高敏感性。进一步反演湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 值显示, 变暖阶段湖水氧同位素明显变重, 反映出东亚热带-亚热带干旱气候背景下蒸发增强与降水季节性变化对湖泊水体水文组成的显著影响。利用钙质结核的团簇同位素温度与 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 还原出白垩纪末期大气 CO_2 浓度的变化, 揭示了晚白垩世剧烈波动的古气候面貌。本研究为理解

白垩纪末期陆相湖泊系统热演化过程提供了新的温度证据。

S09-O-18

晚三叠世卡尼期湿润事件的触发机制、气候—碳循环相互作用及空间异质性响应

薛乃华^{1,2,3*}, 赵向东⁴, 杨虎⁵

1 中国科学院南京地质古生物研究所

2 Vrije Universiteit Brussel, Archaeology, Environmental changes & Geo-Chemistry

3 University of Münster, Institute of Geology and Palaeontology

4 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

5 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

* naihua.xue@vub.be

了解气候—碳循环的相互作用和地质历史时期极热事件的全球响应模式对于准确预测人为碳排放的后果至关重要。晚三叠世卡尼期湿润事件(CPE, 2.34 至 2.32 亿年前)是一个标志性的极端温室气候事件, 期间出现了全球碳循环和水循环的剧烈扰动, 然而受限于传统的研究手段和分辨率, CPE 的触发机制以及全球水循环变化的具体表现仍不确定。本研究综合利用地球化学、天文旋回地层学、地球系统模型、地质年代学和古生物学等多学科手段重建准噶尔盆地卡尼期湖泊系统的高分辨率(~2 至 10 kyr)古气候演替, 建立由放射性测年数据锚定的天文年代框架, 并基于全球地质记录和地球系统模型定量重建 CPE 期间的全球气候演化。本报告将系统介绍以下内容: 1) CPE 的触发机制: 其快速爆发(~15.8 kyr)可能是火山活动和随后的地表碳循环反馈的结果; 2) CPE 期间高纬度陆地碳循环(湖泊有机碳同位素)在 $\pm 1\%$ 的尺度上与 405 kyr 长偏心率周期呈同相变化关系, 这与渐新世—中新世温室背景下的气候—碳循环相互作用模式一致, 这种地球轨道偏心率调控的气候—碳循环相互作用可能作为一种基本的气候节律在

中生代温室中广泛存在; 3) CPE 期间水循环的特征并非全球一致湿润而是呈现出高度的空间异质性: 在大陆内部干旱化程度增加, 同时在 Pangea 大陆东部低纬度地区和两极形成多个湿润中心。总之 CPE 在触发机制、气候—碳循环相互作用以及全球空间异质性的干湿变化等方面与其他极热事件可能具有一致的关键特征, 了解它们的共性有助于地球系统在响应极端温室气候事件时的运转提供重要线索。

S09-P-1S

辽西下白垩统九佛堂组原沫蝉科星状沫蝉(*Stellularis*)研究

吕焱楠¹, 杜小雪¹, 宁蕾丹¹, 张前旗^{1*}

1 沈阳师范大学, 古生物学院

* qianqizhang@synu.edu.cn

原沫蝉科属于半翅目沫蝉总科, 是现代沫蝉的祖先类群之一, 主要存在于早白垩世的热河生物群中。星状沫蝉属(*Stellularis*)作为该科的一个灭绝属, 其基本特征包括盖翅的 RP 脉不分支以及 M 脉 1-2 支。目前, 该属共报道 8 个种, 除 1 个种产自朝鲜(*S. sinuijuensis* Jon, So, Won et Hyon, 2020)之外, 其余均产自中国: *S. senjituensis* Hong, 1984、*S. apthosa* Ren, Yin et Dou, 1998、*S. longirostris* Chen D., Yao et Ren, 2015(模式种)、*S. bineuris* Chen J. et Wang, 2020、*S. minutus* Chen J. et Wang, 2020、*S. kazuoensis* Zhang, Chen et Zhang, 2024 以及 *Stellularis* sp.。本文根据在辽西喀左盆地九佛堂组一段所发现的 3 块盖翅标本, 建立了星状沫蝉属 3 新种: *Stellularis bifurcare* Ning et Zhang, sp. nov.、*S. latimaculatus* Du et Zhang, sp. nov. 和 *S. pulchra* Lv et Zhang, sp. nov.。其中, *S. bifurcare* sp. nov. 的特征包括: RA 脉和 RP 脉不分支, M 脉二分支, R 脉比 M+CuA 脉

长, CuA 脉二分支, 横脉 *ir* 和 *r-m* 的倾斜方向与 *m-cua* 不同以及翅室不发育等; *S. latimaculatus* sp. nov. 的 RA 脉、RP 脉和 M 脉不分支, R 脉长于 M+CuA 脉, CuA 脉二分支, 横脉 *r-m* 晚于 *m-cua*, 但是早于 *ir*, 盖翅端部的横脉平行并具有不规则的褐色翅斑; *S. pulchra* sp. nov. 的 RA 脉、RP 脉和 M 脉不分支, M+CuA 脉比 R 脉短, CuA₁ 脉二分支, 横脉 *ir*、*r-m* 和 *m-cua* 均垂直于前缘。该发现不仅提高了星状沫蝉属的分异度, 而且丰富了盖翅的形态特征。其中, *S. bifurcare* sp. nov. 是目前该属已知盖翅最长的类群。

S09-P-2S

白垩世中期缅甸克钦琥珀中网翅总目玉门鞘蠊科的一新属新种

罗德琼^{1,2}, 肖传桃^{1*}

1 长江大学, 地球科学学院

2 中国科学院大学, 古生物学与油气地层应用全国重点实验室

3 中国科学院大学

* ctxiao@yangtzeu.edu.cn

玉门鞘蠊是一种形似甲虫的、神秘且已灭绝的昆虫, 其系统分类地位几十年来一直备受争议。本研究基于缅甸北部白垩世中期克钦琥珀中保存完好的一枚玉门鞘蠊成虫化石, 描述了玉门鞘蠊科的一新属新种, *Chunxiangus shii*。该新属和该科其它属的区别主要在于头部和前胸背板的长宽比、前胸背板前缘圆润而后缘微凸、前胸背板和头部无明显的杯状凹陷且覆盖了密集的短刚毛、前翅脉序退化且无明显的颜色图案。*Chunxiangus shii* 可能是典型玉门鞘蠊(如 *Umenocoleus*、*Enervipraeala*、*Laticephalana*) 与更接近蜚蠊形态的玉门鞘蠊(如 *Alienopterix*) 之间的过渡类群。

S09-P-3S

白垩纪中期缅甸北部克钦琥珀裂唇螺属(腹足纲, 环口螺超科, 蛹螺科)的一个新种记述

李啸森^{1,2}, 俞婷婷^{2*}, 肖传桃^{1*}

1 长江大学, 地球科学学院 武汉 430100

2 中国科学院大学, 南京地质古生物研究所 古生物学与油气地层应用全国重点实验室 南京 210008

* ttyu@nigpas.ac.cn

* ctxiao@yangtzeu.edu.cn

尽管裂唇螺属已经有 20 多个现生种记录, 但是化石记录相当稀少, 保存在琥珀中的样本更是极为罕见。本文我们通过结合经典的光学显微镜、显微 CT 扫描和计算 3D 重建技术进行综合的形态学分析, 描述了裂唇螺属的一个新种 *Coptocheilus reflexilabius* sp. nov.。*Coptocheilus reflexilabius* sp. nov 以狭长的圆锥形壳和明显扩张并强烈反射的外唇为鉴定特征与裂唇螺属其他种区分开, 使它成为裂唇螺属在克钦琥珀中的第三个记录。除此之外, 我们根据一些新材料对模式种奇迹琥珀裂唇螺进行了补充描述。通过综合我们的材料和已发表的数据, 我们全面综述了裂唇螺属种类的鉴别特征和形态比较。这些化石记录通过对贝壳鉴定特征的特殊的 3D 保存, 为裂唇螺属的进化形态提供了重要的见解, 克钦琥珀中丰富的裂唇螺属化石(距今 99Ma 前)进一步印证了持续的湿热气候, 这与现存同属对高湿度树栖栖息地的生态偏好相一致。

S09-P-4S

白垩纪中期缅甸克钦琥珀中密脉蜡蝉科的一新属种

王力宁^{1,2}, 肖传桃^{1*}

1 长江大学, 地球科学学院

2 中国科学院大学, 南京地质古生物研究所古生物学与油气地层应用全国重点实验室

* ctxiao@yangtzeu.edu.cn

密脉蜡蝉科 (Katlasidae) 是缅甸克钦琥珀中独有的蜡蝉类群, 其最明显的特征是覆翅的翅脉排列密集, 先前该科只有两个属种。本研究描述了产自白垩纪中期缅甸北部克钦琥珀中的密脉蜡蝉科的第三个属种——*Lucidusmacula lihanjiaegen. et sp. nov.*。该属种与之前的两个属种在形态特征上存在明显差异, 具体表现为: 该新属种的额有一条清晰的中脊线, 前胸背板无明显中脊线, ScP 脉不分叉, RA 脉有 5 条分支, RP 脉至少有 8 条分支, MP 脉有大约 9 条分支, CuA 脉有大约 6 条分支, 覆翅的 ScP 脉和 RA 脉之间有一块亮斑。该新属种代表了类蜡蝉总科 (Fulgoridioidea) 最年轻的化石记录之一。

S09-P-5

外贝加尔与中国东北部下白垩统对比

Daran Zheng^{1*}, Igor N. Kosenko², Haichun Zhang¹

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

2 Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

* drzheng@nigpas.ac.cn

Early Cretaceous non-marine deposits are widely distributed in Transbaikalia and northeastern China, containing abundant fossils represented by the famous Jehol Biota. This biota has long been the research hotspot for the appearance of various fossils, allowing us to track the early evolution of the Modern Terrestrial Ecosystems. The Lower Cretaceous in Transbaikalia contains three evolutionary stages of the Jehol Biota, however, remaining

poorly studied especially without isotopic age constraints. In the past years, we investigated the classic outcrops in Transbaikalia to collect terrestrial fossils and dating samples. A preliminary study is provided to clarify the age of the Lower Cretaceous in Transbaikalia by correlation with well-studied sections in northeastern China and to create a stratigraphical correlation framework for the Lower Cretaceous of Transbaikalia and northeastern China.

S09-P-6

秦岭造山带的热河昆虫群及古地理学意义

张鑫¹, 张海春², 郑大燃^{2*}

1 河南科技学院, 植物保护与环境学院

2 中国科学院, 南京地质古生物研究所

* drzheng@nigpas.ac.cn

秦岭造山带是热河生物群在中国中部的分布区, 是衔接华北克拉通与华南板块早白垩世陆地生物交流的重要区域。秦岭造山带热河生物群主要分布于河南西南部和陕西南部的山间盆地中, 该区域的热河生物群沿商-丹断裂带呈东西向分布, 以南召组、白湾组和凤家山组等湖相沉积地层为载体, 保存了大量精美的动植物化石, 为研究该区域的古生物演化、古环境变迁和区域构造活动提供了关键证据。本研究通过系统调查秦岭地区(河南南召和镇平、陕西商洛等地)热河生物群化石点, 发现了热河生物群若干代表性分子。其中, 昆虫化石包含有三尾类蜉蝣(*Ephemeropsis tisetakis*)、黑山沟中国蜓(*Singeschnidia heishankewense*)、长肢裂尾甲(*Coptoclava longipoda*)、莱阳中蜱(*Mesolygaeus laiyangensis*)和西伯利亚蛇蛉(*Sibapkeria lata*)等。这些昆虫化石属于热河昆虫群第二阶段的代表性分子, 在辽西见于义县组。而白湾组化石层的锆石 U-Pb 同位素年龄

(123.6±0.6Ma)进一步支持上述地层对比,表明热河生物群在第二演化阶段到达了秦岭造山带。早白垩世秦岭造山带构造活动频繁,其形成的断陷盆地 of 热河生物群的埋藏提供了理想条件。秦岭作为沟通华北克拉通和华南板块重要的生物古地理通道,其化石特征表明该地区在早白垩世可能具有生物迁徙走廊和地理屏障的双重作用,为探讨热河生物群的迁移、发展和演化提供了中国中部的关键证据,也为秦岭地区下白垩统综合地层对比,以及古环境重建等奠定了基础。该研究将为深入理解东亚地区早白垩世陆地生态系统的演化提供新的科学依据。

S09-P-7

基于米兰科维奇理论的高精度旋回识别与划分——以准噶尔盆地沙湾凹陷 SM1 井早白垩统为例

马永平^{1*}, 许多年¹, 关新¹, 刘建宇¹

1 中国石油勘探开发研究院西北分院, 西部勘探研究所

* ma_yp@petrochina.com.cn

将天文轨道周期与不同级别的旋回联系起来,旨在使米兰科维奇周期这一高精度时间标尺纳入高频层序地层划分中,实现高精度旋回的识别与划分。以准噶尔盆地沙湾凹陷 SM1 井为例,基于钻井岩性和沉积特征,分别对清水河组 I~V 段自然伽马测井数据进行频谱分析和连续小波变换,结果显示沉积地层中保存完好的米兰科维奇旋回,天文轨道周期对沙湾凹陷沉积过程具有明显影响,并将 29.0~35.3m 旋回厚度解释为受 400kyr 长偏心率周期控制,11.7~15.9m、7.1~8.1m 旋回厚度分别受 125kyr 和 96kyr 短偏心率周期控制。对长偏心率、短偏心率周期进行滤波分析后,与天文模型理论周期曲线进行对比,建立了

清水河组的浮动天文年代标尺,分别以 400kyr、125kyr 偏心率周期滤波曲线作为中期和短期旋回划分的参考曲线,共识别出 12.5 个中期旋回和 41 个短期旋回,为高频旋回划分提供了一种不受人为因素影响的天然标准,保证了研究区旋回划分的科学性和统一性。

S09-P-8

淡水湖泊环境中磷酸盐化特异保存化石的形成过程模拟实验

杨子潇^{1*}, Maria E. McNamara^{2,3}

1 中国科学院南京地质古生物研究所,古生物学与油气地层应用全国重点实验室

2 University College Cork, School of Biological, Earth and Environmental Sciences

3 University College Cork, Environmental Research Institute

* zxyang@nigpas.ac.cn

我国中生代湖相沉积得天独厚,赋存了极其丰富的化石资源,特别是大量特异埋藏的动物化石,为了解多个关键动物门类的解剖学、古生态学和演化历史提供了重要的化石证据。这些特异埋藏化石的保存方式多样,其中磷酸盐化——软体组织结构被沉积的磷酸钙矿物复制——的化石保存精度最高,可以达到细胞级超微形态学尺度,因此具有极高的科学研究价值。然而,目前对磷酸盐化保存机制的了解尚不全面,特别是对淡水环境中的磷酸盐化过程还知之甚少。前人虽然开展了一些实验埋藏学研究,但均关注海相沉积环境。本实验研究旨在检验在模拟的淡水湖泊环境中,实现动物软体组织磷酸盐化的可行性。实验选用来自自然淡水湖泊的水、细粒沉积物和微生物,以及淡水虾 *Neocaridina davidi* 作为实验动物。实验中将 *Neocaridina* 置于湖水中,在 20°C 恒温环境下分别降解 2、7 和 21 天。实验模拟了促进磷酸盐化的环境条件,包括约束流

体扩散（通过将 *Neocaridina* 掩埋在细粒沉积物中）、加强厌氧微生物活动（通过添加预先培养的湖泊沉积中的厌氧微生物）和提高磷酸盐浓度（通过添加磷酸盐 Na_2HPO_4 和 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）。实验结果显示，pH 值在 48 小时内即降低至磷酸钙沉积的 pH 窗口（ $\text{pH} < 6.38$ ）。实验开始两天后即观察到软体组织矿化现象，其中结缔组织和肌肉组织结构被磷酸钙矿物复制，而鳃被碳酸钙矿物复制。这一矿化差异可能反映了生物组织间的原始成分差异促使形成了不同的地球化学微环境，进而导致了不同的矿化过程。本模拟实验中的磷酸盐矿化现象要比前人模拟海相实验中出现得更早；后者在 1–4 周后才观察到软体组织磷酸盐矿化。与前人实验相比，本实验中使用的淡水媒介具有更弱的缓冲能力和更低的初始 pH 值，这可能导致了磷酸盐化所需的地球化学梯度在本实验中能够快速建立，促使磷酸钙矿物更早沉积。鉴于淡水湖泊的缓冲能力比海水更弱，且通常具有较海水更低的 pH 值，淡水湖泊环境比海洋环境更有利于磷酸盐化特异保存化石的形成。显生宙的磷酸盐化化石大多发现于海相沉积中，这可能反映了整体海相沉积的体量远大于淡水沉积，而非磷酸盐化化石形成的相对潜力。

S09-P-9

中生代水生螭类多样性与演化历史及其对现代淡水生态系统形成的指示意义

陈军^{1*}，郑燕¹，王文倩¹，魏广金¹

¹ 临沂大学，地质与古生物研究所

* junchen@lyu.edu.cn

水生昆虫是现代淡水生态系统重要分子，已记录物种超 45000 种，约占大型水生无脊椎动物的 95%。螭类（异翅亚目）是非完全变态水生昆虫多样性最高的类群

之一，物种数量与蜻蜓目接近，约 5000 种。与其它昆虫多数只有幼虫（稚虫）阶段涉水生活不同，水生螭类一般生活史全部在水环境中完成。螭类在地球陆地、淡水和海洋等各种生境均有分布，且食性多样。淡水螭类主要分为水栖、水面栖与半水栖，基本为肉食性种类（划螭科以杂食性为主），主要类群为龟螭（*Gerromorpha*）、蝎螭（*Nepomorpha*）和细螭（*Leptopodomorpha*）三个次目。现有证据表明螭类起源于古生代晚期（分子生物学）或三叠纪早期（古生物学），在中生代完成高阶元支系的分异辐射。水生螭类起源较早，中生代化石异常丰富，三个次目在分子支系分析中也显示处于异翅亚目较基干位置。然而，早期螭类对水生环境的适应性演化时间及历程依然没有定论，这无疑阻碍了我们对水生螭类起源辐射与现代淡水生态系统形成耦合关系的清晰认识。

基于化石证据的古生物学研究可以直观展示不同地史时期灭绝生物的组合面貌，从而为生物演化历史重构提供直接证据。本文对已报道水生螭类化石记录进行了系统梳理与分析，结果显示最早异翅亚目化石记录为产于法国安尼西阶的蝎螭次目分子，且水生螭类三个次目在中生代均有报道，其有效物种数量达 198 种，超过中生代螭类已记录物种数量的 40%，远高于它们在现生螭类所占的比例（约 10%），其中蝎螭次目的划螭科、细螭次目灭绝科 *Archegocimicidae*[†] 与陆生螭次目灭绝科 *Pachymeridiidae*[†] 物种异常丰富，数量明显超过其它科。同时，本文对我国三叠纪克拉玛依昆虫群、铜川昆虫群和白垩纪中期缅甸琥珀生物群等国内外中生代地层产出的新类群进行了报道，这极大地扩展了我们对水生螭类早期时空分布范围及生物多样性水平的认识。进一步的，本文对螭类化石进行了系统发育支端定年、形态空间分异和性状演化序列等分析，以还原早期螭类演化分异历史，特别是螭类对水生环境适应性演化的过程。本文研究结果显示异翅亚目起源后经历了爆发式的支系辐射，

其高阶元分异在三叠纪即已基本完成；于此同时，水生蠕类在三叠纪时期已经完成对淡水环境的适应性演化，从而指示地球现代淡水生态系统的形成过程可能最早在三叠纪就已经开始。

S09-P-10

古龙页岩典型剖面沉积环境及其演化

苏杨鑫^{1,2}, 付秀丽^{1,2}, 杨庆杰^{1,2}, 徐庆霞^{1,2}, 崔坤宁^{1,2*}, 陈百军^{1,2}

1 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室

2 大庆油田有限责任公司, 勘探开发研究院

* cuikunning@petrochina.com.cn

古龙页岩作为松辽盆地白垩系青山口组陆相页岩油气勘探的关键层系，其露头沉积特征及环境演化的精细解析，对揭示陆相湖盆细粒沉积过程及有机质富集规律具有重要科学意义。本文以黑龙江省宾县乌河乡青山口组典型页岩露头为研究对象，综合运用野外沉积学观测、岩石薄片鉴定、元素地球化学分析及有机地球化学测试，系统解析了该剖面的沉积序列、古环境参数及演化模式。

研究结果表明：（1）剖面岩性以浅灰色、灰绿色页岩、纹层状页岩为主，夹薄层介形虫灰岩及白云质灰岩，整体呈现下粗上细的退积序列，由多个水进-水退旋回构成。垂向上，底部发育深灰色水平层理泥岩（深湖相），向上过渡为灰绿色块状泥质粉砂岩（浅湖相），反映湖盆总体水体变浅趋势；（2）地球化学指标（ $\text{Sr}/\text{Cu}=13.84\text{-}26.36$ ， $\text{Sr}/\text{Ba}=0.32\text{-}1.52$ ）揭示古气候为半温暖湿润背景，古盐度呈现阶段性波动：青一段底部 Sr/Ba （0.693-1.447）及 Ca/Mg （0.435-2.85）比值指示半咸水-咸水环境，与高有机质丰度（TOC 最高达 18.25%）显著正相关；青二段后盐度逐渐降低（ $\text{Sr}/\text{Ba}=0.64\text{-}0.87$ ），水体过渡为淡水-半咸水状态；（3）沉积序列显示三期

演化：青一段早期高盐度深湖相发育富有机质页岩，准层序内盐度呈“快速咸化-缓慢淡化”旋回，伴随伽马蜡烷指数（0.15-0.32）波动；中期湖盆收缩，陆源碎屑输入增强（ Ti/Al 升高 15%），形成泥质-粉砂质互层；晚期构造抬升导致风暴事件沉积（丘状层理）及钙质结核发育，标志浅湖环境；（4）湖泊类型高频波动表现为灰绿色泥岩与白云质灰岩互层：前者含絮状钙质团块反映间歇性盐度升高，后者微晶结构指示静水碱性环境，揭示气候旋回控制下的开放湖盆-半封闭湖盆交替演化。

本研究创新性提出气候驱动的“盐度-生产力”耦合机制：季节性降雨引发陆源输入波动，导致湖盆盐度分层与氧化还原条件周期性变化，高盐度期藻类勃发与缺氧底水协同促进有机质富集；同时，准层序尺度内湖泛事件（ $\text{Sr}/\text{Ba}>1.0$ ）触发短期咸化，形成高 TOC 甜点段。研究成果为陆相页岩油气勘探提供了露头尺度的沉积模式，揭示了气候旋回对有机质非均质性的控制规律，对甜点预测及古环境重建具有重要应用价值，对完善陆相湖盆细粒沉积理论具有重要科学意义。

S09-P-11

海拉尔盆地贝尔凹陷南屯组原油来源及成藏压力定量研究

金玮¹, 刘璐^{1*}, 张帆¹, 庞龙¹, 王义章¹, 李春蕾¹

1 大庆油田有限责任公司, 勘探开发研究院

* liulu005@petrochina.com.cn

贝尔凹陷是海拉尔盆地内规模较大的富油凹陷，“十四五”期间，贝尔凹陷南屯组致密油获勘探突破，是海拉尔盆地增储上产的重要领域。

在南屯组细分层的基础上，通过质谱、色谱、同位素、包裹体均一化温度等分析

化验资料,应用多元方程组求解及盆地模拟的方法,深入分析南一段和南二段原油地化特征,定量计算原油来源,模拟成藏压力,并预测下步有利勘探方向。研究表明:

1、贝西南一段(n1)段原油姥植比为1.45, n2 泥岩 1.78, n1 泥岩 1.21, 原油与 n1 泥岩更接近, 原油三环萜烷/C30 藿烷较高, C27 重排甾烷/C27 规则甾烷较高, 与 n1 泥岩更接近, 为弱还原环境, 混源比例计算表明其来自于南一段源岩的贡献比例为 93.2%, 来自于南二段源岩贡献为 6.8%;

2、贝中南二段(n2)原油姥植比为0.81, n2 泥岩 1.18, n1 泥岩 1.45, 原油与 n2 泥岩更接近, 三环萜烷/C30 藿烷低, C27 重排甾烷/C27 规则甾烷高, 与 n2 泥岩一致, 为还原环境, 混源比例计算表明其来自于南二段源岩的贡献比例为 76.9%, 来自于南一段源岩贡献为 23.1%;

3、通过典型井一维盆地模拟,开展成藏压力定量研究。洼槽区南一段烃源岩生烃过剩压力较高,可达 3.0~4.0MPa,利于源储一体成藏;

4、通过流体压力、排烃、运移及充注模拟,明确南屯组油气成藏特征。洼槽内为流体压力高压区,是致密油气有利成藏区,斜坡带和隆起区为低压区,洼槽内和两侧是油气运移和聚集的有利区,洼槽区、贝西斜坡带、霍多莫尔构造带位于油气优势运移通道上,主要表现为北东向油藏带,结合勘探实际,贝西洼槽和贝中洼槽可作为贝尔凹陷南屯组下步甩开勘探的有利区带。

S09-P-12

松辽盆地白垩纪青山口组下部湖盆古盐度、古气候、古氧化还原环境演化及有机质富集

崔坤宁^{1,2*}, 付秀丽^{1,2}, 苏杨鑫^{1,2}, 郑强^{1,2}, 徐庆霞^{1,2}, 朱正茂^{1,2}

1 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室, 黑龙江 大庆 163712

2 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

* 16575309@qq.com

松辽盆地青山口组下部沉积于半深湖至深湖环境中,是松辽盆地最重要的沉积之一,也是陆地生态系统研究的优质领域。古盐度、古气候与古氧化还原、是古环境的重要组成部分,也直接影响了湖泊有机物的富集和保存。

青山口组下部古气候特征:青山口组的代表孢粉组合 *Classopollis* *Cycadopites* *Tricopropollenites*, 被子植物花粉属丰富, Sr/Cu 为 4-19, CIA 值 10-70, SiO₂ 相对较少, Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 相对较多, Fe/Mn100-150, C 值 0.1-0.4, 整体表明了青山口组的风化强度适中,及温暖湿润的气候。这种气候条件提高了湖泊生物群的生产力。

青山口组下部古盐度特征:青山口组藻类化石组合 *Leiphosphaeridia* *Verrucophosaera* *Dinogyniopsis*。青山口组一段和二段下部出现介形虫 *Cypridia*, *Trianglicypris*。青山口组二段中部,托氏三角星到托氏三角星群的变化。Sr/Ba0.8-1.3,表明青山口组处于淡-水微咸水环境,是形成富含有机质页岩的有利条件。

青山口组下部古氧化还原特征: V/(V+Ni) 0.6-0.9, V/Cr0.04-20,反映了硫化和中度还原环境,水层弱,存在一定程度的缺氧。缺氧的还原环境是有机物得以完好保存的理想条件。

青山口组沉积期湖泊相广泛发育。火山喷发、浊积岩沉积和岩浆热流为生物繁殖提供了足够的营养。在温暖湿润的气候条件下,藻类和其他生物的大量增殖和生长促进了湖泊的高生产力,导致有机物的聚集,成为有机物的重要来源。盐度的增加会促进水的分层,生物遗骸被埋在淡水和微咸水造成的缺氧层中,将它们推到湖

底。青山口组一段的水分层更为稳定,这种稳定的水分层也会导致青山口组下部的底水缺氧。低沉积速率有利于有机物的充分形成和保存,它们促进了有机质的大规模富集,为页岩沉积的快速形成以及页岩有机质的后期演化奠定了基础。综上所述,温暖湿润的气候导致湖泊生物群的生产力较高,而微咸水和还原环境的缺氧底水导致青山口组下部沉积过程中有机物的积累和保存,证实了松辽盆地白垩系青山口组优秀的油气资源潜力。

S09-P-13S

松辽盆地中生代化石沟鞭藻研究进展及展望

房号男^{1,2}, 祝幼华¹, 王博^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所, 3) 古生物学与油气地层应用全国重点实验室

2 中国科学院大学

* bwang@nigpas.ac.cn

松辽盆地位于中国东北部松辽平原腹地,是全球规模最大、保存最完整的陆相白垩纪沉积盆地之一,在其中生代地层中保存了丰富的沟鞭藻化石记录。本文系统梳理了该地区近四十年的研究成果,重点聚焦三个核心方向:(1)生物地层学方面,建立了以松辽盆地青山口组 *Kiokansium-Tetrachacyst* 组合带和嫩江组 *Cleistosphaeridium-Dinogymniopsis* 组合带等标志性生物地层单元,为地层划分提供了重要依据;(2)古环境重建方面,通过沟鞭藻囊泡形态学、丰度变化及有机地球化学指标(如 GDGTs、生物标志化合物)等多参数分析,揭示白垩纪中、晚期全球性缺氧事件(OAE2、OAE3)在陆相湖泊的响应特征,并证实多期次海侵事件对湖盆系统的生态扰动;(3)能源地质应用方面,沟鞭藻繁盛期与松辽盆地主力烃源岩发育期(青山口组一段 K_2qn^1 , 嫩江组一、二段 K_2nj^{1-2})的耦合关系为油气勘探提供了关

键生物标志。但是,当前研究仍面临分类系统待完善、缺乏整合形态-分子-地球化学的定量古生态模型等挑战。随着 Micro-CT、扫描电镜等高分辨率成像技术以及大数据、人工智能学习等数字化技术的发展,未来研究应着力开发基于深度学习的沟鞭藻种类智能识别系统,构建高分辨率的古环境重建模型,同时开展全球典型陆相湖盆的沟鞭藻演化对比研究,以深化对中生代温室气候下湖泊生态系统演化的认知,并为非常规油气勘探提供理论支撑。

S09-P-14

砂砾岩岩性油气藏“甜点”储层地震预测技术及应用效果

陈永波^{1*}, 杨超^{1*}

1 中国石油勘探开发研究, 西北分院

* 924373764@qq.com

* 924373764@qq.com

准噶尔盆地环玛湖凹陷西斜坡区三叠系百口泉组二段(T1b2)发育砂砾岩岩性油气藏,成藏主控因素受扇三角洲前缘亚相有利相带、优质储层厚度、孔隙度和油源断裂等四重因素控制,储层单层厚度小、横向变化较快、埋深大,且储层与围岩波阻抗差异小,地震预测难度大,利用单一的地球物理方法无法准确地预测“甜点”储层平面分布,同时也受地震资料信噪比低、保幅性差等因素的影响,预测精度不高,钻探成功率低。为此,采用“五步法”逐级控制的测井—地质—地震一体化研究思路,预测砂砾岩“甜点”储层平面分布范围。利用“分相带道集叠加”OVT域技术精细处理百口泉组(T1b)目标,为储层预测奠定了资料基础。对OVT域三维地震资料进行全三维自动地震层序解释,精细地恢复了古地貌,结合单井相、地震属性准确刻画了扇三角洲亚相边界。通过叠前反演预测优质储层的厚度、范围和孔隙度,利用结构张量矩阵特征值构建断裂属性数据体,从

而预测油源断裂剖面、平面展布特征，其中扇三角洲前缘亚相的储层厚度、孔隙度高值区及存在油源断裂的部位为“甜点”储层发育区。根据研究成果部署的预探井成功率达 92%以上，值得在类似的地质背景条件下推广、应用。

S09-P-15

中生代温室期水循环变化及其驱动因素

王博^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* bowang@nigpas.ac.cn

中生代是地球历史中典型的温室气候时期，了解该时期的水循环特征及其驱动机制有助于人类更好地认识现代温室效应对全球气候和生物的影响。中生代至少包括 6 次全球性的极热事件，分别是卡尼期湿润幕、三叠纪末生物大灭绝事件、托阿尔期早期大洋缺氧事件、白垩纪大洋缺氧事件 OAE 1a 和 OAE 2，以及马斯特里赫特期末期变暖事件。这些极热事件都伴随有全球水循环加剧和大规模碳循环扰动，其间全球气候带有向高纬度扩张的趋势，从而显著改变了全球降水和生物分布，对海、陆生态系统演化具有深远影响。目前普遍缺乏对于极热事件的全球高分辨率对比研究，特别是高分辨率的陆相响应过程研究不足，限制了对极热事件时期全球水循环变化和陆地生态系统演化特征的理解。除极热事件外，中生代超过 94%的时间为背景温室气候时期，轨道周期驱动的低纬度气候系统变化可能是该时期全球水循环变化的主控因素之一。未来亟需对极热事件的全球响应差异、背景温室气候时期水循环规律以及水循环和陆地生态系统的共演化关系等关键科学问题开展系统研究。

S10-O-1

三叠纪“超级季风”的轨道偏心率尺度演变

褚润健¹，张健²，房强¹，吴怀春^{1*}

1 中国地质大学（北京）

2 中国科学院青藏高原研究所

* whcgeo@cugb.edu.cn

三叠纪温室时期的“超级季风”现象，提供了全球季风的深时视角，也为研究无冰盖影响下的季风演变提供了范例。“超级季风”的演化与地球轨道变化紧密相关，特别是与轨道偏心率的长周期变化存在显著联系。然而，轨道长周期尺度下的日照量变化微弱，难以直接解释季风动力过程。本研究对中三叠世（~246-239 Ma）特提斯地区的季风演变过程和可能的驱动机制进行了研究。通过鄂尔多斯盆地中三叠世湖泊沉积物的岩性和磁化率进行分析，重建了该地区高分辨率的水文变化，显示了两万年、十万年和四十万年的轨道周期；气候模式支持了该地区季风主导的水文气候变化特征，从而确定了偏心率-岁差尺度的季风周期。进一步与其它记录进行对比，发现季风变化与当时全球温度、碳循环以及海平面变化呈现出一致的三百万年长周期，La2010d 天文理论方案将该周期归因于一个超长轨道周期信号；地球系统模拟显示轨道和大气 CO₂浓度对“超级季风”动力学的显著影响。综合地质记录和气候模拟，我们认为“超级季风”的长轨道尺度演变过程，不仅受到太阳辐射的影响，而且也对温度和海平面变化等内部过程很敏感。

S10-O-2

特提斯西 T-OAE 大洋缺氧事件的高精度年代地层学：来自 GSSP 佩尼谢剖面的全球标准及其对时空异质性的影响

唐闻强^{1,2}，马超^{1,2*}，龚成³

1 成都理工大学, 沉积地质研究院
2 成都理工大学, 油气藏地质及开发工程国家重点实验室
3 成都理工大学, 成都理工大学地球与行星科学学院
* machao@cdut.edu.cn

托阿尔阶大洋缺氧事件 (T-OAE) 作为早侏罗世一次全球性碳循环扰动与有机质埋藏事件, 受限于多源数据整合不足与高分辨率时间标尺的缺失, 其年代地层结构和空间异质性仍存在争议。本文, 我们聚焦于特提斯西域, 以葡萄牙佩尼谢的 GSSP 剖面为核心, 利用旋回地层学和统计学, 构建了 T-OAE 的综合天文年代学框架。高分辨率的碳同位素记录的天文校准揭示了 T-OAE 起始的年龄为 183.4 ± 0.142 Ma, 这得到了生物地层和相关火山活动研究的支持。在此基础上, 对比区域其他 4 个剖面, T-OAE 终止年龄存在明显的穿时性。最短记录和最长记录之间的持续时间差异超过 1.2 myr。结合气候模拟, 这种空间异质性主要源于不同的大气环流模式: 佩尼谢剖面的碳同位素特征主要受副热带高压影响, 而中纬度西风则主导了其余四个剖面。这些发现重新定义了 T-OAE 的全球年代地层, 为跨不同区域关联极端气候事件提供了思路。这项工作推进了地质时间尺度上海洋缺氧事件的标准化, 同时强调了盆地特定的气候动力学的重要性。

S10-O-3

晚古生代—早中生代旋回地层记录中的天文时间尺度及地月系统参数重建

龚成^{1,2,3}, 马超^{1,2,4,5*}, 唐闻强^{1,2,4}, 余凯⁶

1 成都理工大学, 油气藏地质及开发工程国家重点实验室
2 成都理工大学, 自然资源部深时地理环境重建与应用重点实验室
3 成都理工大学, 地球与行星科学学院
4 成都理工大学, 沉积地质研究院
5 成都理工大学, 计算机与网络安全学院
6 中国石油天然气股份有限公司, 西南油气田分公司

* machao@cdut.edu.cn

地球的轴倾角和岁差变化依赖于岁差常数 k 。 k 的变化源于地球的动态椭球度和可变的自转速率。近年来, 旋回地层学的快速进展为重建地球轨道参数的历史演化提供了潜在的机会。在这里, 我们选取了 4 条来四川盆地三叠系地层以及 6 自晚古生代-早中生代以来的高分辨率地质记录, 结合旋回地层学分析与马尔可夫链蒙特卡洛 (MCMC) 反演方法, 获取了一系列基本天文轨道参数, 并与一种由海洋和固体潮汐耗散驱动的潮汐模型进行比较。基于反演结果, 重建了自晚古生代以来岁差常数 k 、地球日长、地月距离及相关轨道参数的演化历史。研究显示, 岁差常数 k 的动态演化范围介于 60.94 - 55.38 弧秒/年, 对应日长演化区间为 22.09 - 22.72 小时; 地月距离动态范围为 3.6998 - 3.7466×10^8 米, 平均变率为 7.38 ± 2.26 cm/yr, 显著高于当前激光测距观测值 (约 3.82 cm/yr)。上述反演结果不仅与独立地质证据 (包括化石生长节律与前人沉积旋回分析) 相吻合, 也落在 k 的理论估计范围之内。研究揭示, 在超大陆形成时期, 地球经历了从平缓到高能且快速转变的潮汐耗散演化模式。结论进一步支持了晚古生代至早中生代期间高能潮汐耗散过程的存在。通过融合高分辨率地质记录反演与理论模型, 本文精细刻画了地球岁差常数 k 的演化历史, 为地球自转变化的计算提供更多的可能性。

S10-O-4

奥陶纪末赫南特期轨道尺度的气候变化

袁菲雪¹, 黄春菊^{1*}

1 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院
* huangcj@cug.deu.cn

赫南特期 (奥陶-志留转折期) 的精确沉积时限是解析奥陶纪末冰期消长与生物大灭绝事件耦合机制的关键, 但其区域差异仍存在争议, 全球不同地区赫南特期沉积地层的厚度不同, 沉积时限差别很大。

本研究以中国华南地区四川长宁-双河剖面、Shuanghe-1 岩心的高分辨率数据为依托,综合全球已发表数据,通过对不同古气候指标的旋回分析,探讨赫南特期持续时间的差异。基于四川长宁-双河剖面磁化率数据(其中赫南特期沉积厚度为 6.9 m)的米兰科维奇旋回解释分析,获得了赫南特期沉积时限约为 2.1 Myr,与 GTS2020 (2.14 Myr, 445.21–443.07 Ma) 非常接近,验证了天文轨道周期对沉积序列的主控作用。进一步对比湖北王家湾剖面碳同位素地层约束,确定长宁-双河剖面 *P.extraordinarius* 生物带持续时间约为 0.6 Myr, *P.persculptus* 生物带持续时间约为 1.5 Myr, *P.extraordinarius* 生物带出现碳同位素的正向漂移,顶部约三分之一处达到第一个峰值,然后有所降低,之后又开始增大,直至 *P.persculptus* 生物带中部达到第二个峰值,然后降低,到 *P.persculptus* 生物带底部,碳同位素正漂结束,得到 HICE 事件持续时间约为 1.8 Myr。基于 Shuanghe-1 岩心的高分辨率 XRF 数据(其中赫南特期沉积厚度为 4.28 m)进行旋回分析,获得了赫南特期沉积时限约为 2.16 Myr,总持续时间与 GTS2020 近乎一致,其中, *P.extraordinarius* 生物带持续时间约为 1.21 Myr, *P.persculptus* 生物带持续时间约为 0.95 Myr。

然而,通过对搜集到的全球古气候数据进行旋回分析,发现不同剖面赫南特期沉积厚度跨度从 1.495 m–111 m 不等,持续时间 0.45 Myr–1.75 Myr,区域间赫南特阶持续时间跨度差异显著。

这种跨度较大的区域差异主要源于不同剖面识别的限定赫南特期的生物带的标准不一致,不同地区沉积记录的完整性、沉积环境的稳定性也不同,需结合沉积动力学机制解译地层记录的时空非均质性。而四川长宁-双河剖面、Shuanghe-1 岩心在晚奥陶纪位于被隆起所围限的低能、欠补偿的沉积盆地,水体稳定,形成了一种半封闭、宁静、滞留的古海洋环境,记录连续,得到的赫南特期持续时间更加准确。

S10-O-5

奥陶纪赫南特期持续时间的天文年代学约束

朱晗宇^{1*}, 李明松^{1*}, 张俊鹏², 纪开宣¹, 王蒙²

¹ 北京大学, 地球与空间科学学院

² 中国科学院南京地质古生物研究所

* hyzhu@pku.edu.cn

* msli@pku.edu.cn

上奥陶统赫南特阶(Hirnantian)记录了以赫南特冰期与晚奥陶大绝灭(LOME)事件为代表的一系列地球系统剧烈波动。由于高精度放射性同位素定年结果的稀缺,作为奥陶系中最短的年代地层学单位,赫南特阶顶底界线的绝对年龄的不确定度难以得到约束,致使赫南特期与晚奥陶大绝灭事件的持续时间长期存在争议。新近发表的湖北宜昌赫南特阶底界“金钉子”王家湾北剖面和四川长宁双河剖面各三个 CA-ID-TIMS 锆石定年结果为解决相关争议提供了宝贵契机,然而其结果的不确定度仍不足以有效约束赫南特期极短的持续时间。本工作基于化学地层学比对确定了所报道绝对年龄在王家湾地区宜湾 1 井和双河剖面附近双河 1 井岩芯材料上的具体层位,选用高分辨率 X 射线荧光岩心扫描(XRF-CS)所提供的宜湾 1 井和双河 1 井 Rb/Zr 丰度比结果进行旋回地层学分析,确认了两条 Rb/Zr 替代指标序列所稳定记录的长偏心率(405 kyr)与短偏心率(约 100 kyr)信号,并利用 astroBayes 方法分别独立整合了两地的天文年代学与放射性同位素年代学结果,建立并交叉验证了中国华南上扬子地区赫南特阶的沉积速率模型与天文年代标尺(ATS)。本工作为赫南特冰期与 LOME 事件提供了精细的时间框架,支持了近年来“极短赫南特阶”观点对当下主流赫南特阶时间框架的挑战,为揭示奥陶纪末到志留纪初期间地球系统剧烈波动的变化细节奠定了年代学基础。

S10-O-6

测井旋回地层学替代指标研究进展与展望

彭诚^{1*}, 邹长春¹, 曹金戔¹

¹ 中国地质大学(北京), 地球物理与信息技术学院

* pengc@cugb.edu.cn

地球物理测井数据具有连续、高分辨率、多参数等特点, 已被视为前新生代旋回地层学研究的宝贵替代指标。然而, 测井数据质量受井眼环境影响、测井参数与古气候关系复杂等问题却对测井数据的天文旋回分析提出了挑战。近年来, 测井数据的轨道尺度气候响应机理、测井天文旋回识别与替代指标敏感性评价方法等研究方面取得了一系列进展, 为测井旋回地层学替代指标的优选与解释提供了关键支撑, 也促进了地球物理学与旋回地层学的交叉融合。未来, 基于成像测井数据的替代指标发展、多参数联合分析方法的建立、智能化处理与大数据分析手段的引入, 将进一步挖掘测井数据在前新生代地球轨道力研究中的潜力。

S10-P-1

始新世东亚陆地有机碳埋藏的天文强迫

刘娟^{1,2}, 黄春菊^{2*}

¹ 凯里学院

² 中国地质大学(武汉)

* Huangcj@cug.edu.cn

碳源和碳汇是气候系统的主要组成部分, 湖泊是重要的碳汇, 在全球碳循环中起着关键作用。湖泊沉积物对气候反应敏感, 但其对外部轨道强迫的响应机制目前仍不清晰, 特别是对于过去的温室气体而言。在本研究中, 我们研究了始新世中国中低纬度湖泊有机碳埋藏过程以及天文强迫可能扮演的角色。沉积噪音模拟的古湖平面表明, TOC 最大值与湖平面最大值相吻合, 说明较高的湖泊水位会加剧底层水

的缺氧, 从而有利于有机碳的发育和保存。从三个不同盆地钻孔岩芯中获得的跨越始新世的总有机碳(TOC)时间序列数据显示显著的 1.2 Myr 长斜率周期, 说明斜率的周期性变化导致了太阳辐射的纬度变化进而经向温度梯度也发生周期性变化, 进一步驱动了 TOC 有规律的堆积和埋藏, 由于后期沉积作用及生物扰动, 导致其具有显著的 1.2 Myr 长周期。

通过与 La04 理论 1.2 Myr 长斜率周期和 2.4 Myr 长偏心率周期振幅变化进行对比, 发现 TOC 的高值与 1.2 Myr 长斜率周期的振幅高值有关, 此时 2.4 Myr 长偏心率周期振幅处于高值或低值。据此, 我们推断当偏心率和斜率周期的轨道参数配置超过阈值时, 即使在不稳定的环境中, 生产力通量也能达到净碳埋藏通量的阈值。

我们的分析阐明了一个可能的控制有机碳埋藏的长天文气候周期。不同轨道周期的叠加可能通过非线性气候效应引起碳循环的扰动, 从而驱动了有机碳的差异富集过程。总体而言, 我们的地化指标结果说明了地球碳循环对轨道强迫在地质时间尺度上的敏感性。

S10-P-2S

天文轨道和火山活动驱动早古新世碳循环扰动和气候演变

张筱玥¹, David B. Kemp^{1*}, 黄春菊¹

¹ 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* davidkemp@cug.edu.cn

自工业革命以来, 大规模人为碳排放引发的全球变暖对地球气候系统造成了深远影响, 严重威胁着人类社会的安全与和谐发展。古新世时期经历了多个不同规模的增温和碳循环扰动事件, 在时间上与北大西洋火成岩省(NAIP)的活动密切相关, 为理解未来碳排放导致的气候变化提供了重要的类比参考。然而, 与广受关注的古新世-始新世极热事件(PETM, 约 56 Ma)

相比, 其他小幅度气候扰动事件的环境响应和驱动机制仍不明确。

本研究对北海盆地(挪威陆缘)钻孔(6305/8-2)的古新统地层开展综合研究。该钻井靠近 NAIP, 且提供了良好的沉积记录。结合有机碳同位素数据和前人生物地层学研究, 在丹尼阶-塞兰特阶界线(D/SB)附近识别出三次碳同位素负漂事件, 可能对应于三次小规模增温和碳循环扰动事件(LDE、L.C26r 和 D/STE)。元素丰度比值数据(K/Al)表明, 这些事件伴随着显著的化学风化增强。旋回地层学分析显示 D/SB 附近碳同位素负漂事件受 405 kyr 长偏心率周期调控。汞浓度数据揭示丹尼期末发生了火山活动, 可能与 NAIP 第一期次火山活动有关。火山活动导致温室气体浓度和温度升高, 放大了碳循环对轨道强迫的敏感性。本研究为早古新世火山活动、轨道驱动与碳循环的耦合作用提供了新的视角。

S10-P-3S

华南中二叠世轨道驱动的气候变化和生物扰动

刘孟凯¹, 房强^{1,2*}, 吴怀春^{1,2}, 杨天水^{2,3}, 李海燕^{2,3}

1 中国地质大学(北京), 海洋学院

2 中国地质大学(北京), 生物地质与环境地质国家重点实验室

3 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

* fangqiang-geo@hotmail.com

中二叠世是地质历史的重要时期, 发生了如峨眉山大火成岩省的喷发、晚古生代冰期的结束、生物集群灭绝等一系列生物、地质与环境事件。但是高精度地质年代格架的缺乏阻碍了人们对这一系列事件之间的相互关系及其伴随的地球气候、环境波动的深入了解。本文对华南中二叠世仁村坪剖面 and 铁桥剖面海相碳酸盐岩序列的伽马(GR)和磁化率(MS)记录进行旋回地层学分析, 以构建中二叠世高分辨率天文年代标尺, 破译海平面和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 对天文旋回的响应机制。构建了 6.05 Myr 的天

文年代标尺, 卡匹敦阶的持续时间约束为 3.4 ± 0.4 Myr。GR 序列提取的偏心率振幅调制具有 2.3 Myr 的周期(g₄-g₃ 项), 斜率的振幅调制具有 1.04 Myr 的周期(s₄-s₃ 项)。偏心率和斜率的振幅调制在不同时间尺度上控制了海平面变化。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和沉积噪声模型之间的一致性表明, 中二叠世海平面变化和碳循环受到了天文轨道的驱动。在中二叠世温室气体背景下, 斜率的振幅调制的极大值时刻, 低纬度地区降雨量增加, 大陆含水层的升高导致海平面降低, 沉积环境中富 ^{12}C 的陆源物质输入的增加最终诱发百万年尺度碳同位素的正偏移。在 262.5 Ma, 斜率振幅调制的极小值导致大陆含水层下降, 同时偏心率的极大值则导致全球地表温度的年变化率和夏季变化率更高, 冰川缩减, 二者共同导致了海平面的升高, 火山喷发则强化了海水分层, 随之而来的海洋缺氧可能是中二叠世海洋生物集群绝灭的诱因。

S10-P-4S

赫南特阶碳同位素漂移的天文学校准: 来自华南板块海相剖面的记录

欧阳嘉文¹, 房强^{1,2}, 吴怀春^{1,2*}

1 中国地质大学(北京), 海洋学院

2 中国地质大学(北京), 生物地质与环境地质国家重点实验室

* whcgeo@cugb.edu

赫南特阶碳同位素漂移(HICE)是地质历史上幅度最大的碳同位素异常事件之一。高分辨率时间标架的建立对理解 HICE 事件、赫南特期冰川作用与晚奥陶世生物大灭绝(LOME)的关联至关重要, 但长期以来, 这一时期一直缺乏精确的年代学约束。华南板块杭垓剖面赫南特阶厚达 352.7 米, 远超华南赫南特阶"GSSP"剖面(王家湾剖面, 厚度<1 米), 为研究该地质时段提供了独特窗口。本研究通过构建天文年代学校准的 $\delta^{13}\text{C}$ 有机碳记录, 在杭垓剖面共识别出两次 $\delta^{13}\text{C}$ 有机碳正漂移: 首次出

现于 *Normalograptus extraordinarius* 笔石带中下部（增幅约 3%），第二次位于 *Normalograptus persculptus* 笔石带与 *Songxites-Aegiomenella* 生物带界线附近（增幅约 4%）。基于高分辨率磁化率数据的旋回地层学分析建立了天文年代标尺，揭示 HICE 事件持续时间约 1.25 百万年。通过将天文校准的 $\delta^{13}\text{C}$ 有机碳记录与全球数据进行对比，实现了地层精确对比，为揭示晚奥陶世冰期-海平面-生物圈耦合机制提供了关键新证据。

S10-P-5

轨道信号的沉积保存与天文年代标尺的可靠性研究

王蒙^{1*}, 李明松², Elizabeth A. Hajek³, David B. Kemp⁴, 金之钧⁵

1 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气地层应用全国重点实验室

2 北京大学, 地球与空间科学学院

3 Pennsylvania State University, Department of Geosciences

4 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

5 北京大学, 能源研究院

* mengwang@nigpas.ac.cn

在深时全球变化的研究中，轨道强迫作为主要的气候驱动机制，往往在沉积地层中留下了可辨识的信号，这对于揭示气候变化机制和建立高分辨率天文年代标尺至关重要。轨道信号在沉积记录的保存是指由于地球轨道参数（如偏心率、倾角和岁差）的周期性变化而引起的气候变化，这些变化在沉积物中留下了周期性记录。通过分析这些记录，我们可以重建过去的气候变化，为理解地球气候系统提供重要线索。

海相地层能提供相对连续的沉积记录，非海洋和浅海环境中则不同，其沉积记录往往复杂且零散，特别是在河流、三角洲沉积环境，沉积过程变化频繁，天文周期信号的保存和识别存在困难，沉积过程使得在地质记录中保存的轨道信号失真。同时，变化的沉积速率也会导致我们无法准确的识别天文周期所对应的旋回厚度。此

外，在实际地质研究过程中，我们常常仅依赖少量甚至单个的野外剖面或钻孔数据来开展研究，其结果可能存在偏差。因此，在动态的沉积环境，如何评价轨道信号的保存情况以及评估建立的天文年代标尺的准确性和可靠性，一直是天文年代学和旋回地层学研究的热点和难点。为了探究上述问题，此次研究通过随机沉积模型实验和时间序列分析，模拟大量不同的沉积环境来评估轨道信号的保存情况，模型输出的大数据结果可以更好的评估天文周期的可靠性以及识别变化的沉积速率，进而帮助我们检测可靠的天文驱动力以及建立天文年代标尺。

本次基于模拟实验的大数据研究显示，405 kyr 长偏心率周期在大多数沉积环境中都能被检测到，尤其是在沉积率较高且变化率较低的情况下，为旋回地层学和天文年代学的研究增强信心。同时，在实际研究工作中，我们也不能忽视高沉积变化率和低沉积速率对轨道信号的破坏作用。此外，本研究提出的 pCOCO 方法能够更有效检测变化的沉积速率，对轨道信号的识别和天文年代标尺的建立具有重要意义。

S10-P-6

东亚地区早始新世气候适宜期碳循环的天文驱动力

张瑞尧^{1,2}, 黄春菊^{2*}, David B. Kemp^{2*}, 张筱玥², 肖安国², 张朝鑫², 王政², 张蕊¹

1 湖北师范大学, 城市与环境学院

2 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* huangcj@cug.edu.cn

* davidkemp@cug.edu.cn

早始新世气候适宜期是未来全球气候变暖情景的最好类比时期之一，探究东亚地区该时期的碳循环演变规律，对理解未来温室气候条件下该地区的气候变化趋势具有重要科学意义。然而，由于缺乏长时间连续且高分辨率的沉积记录，东亚地区早始新世气候适宜期轨道尺度的碳循环演变规律及其驱动机制仍不明确。西藏贡觉

盆地位于东亚季风区, 沉积序列连续完整, 是研究东亚地区早始新世气候适宜期碳循环演变规律的理想区域。本研究对藏东南缘贡觉盆地米来剖面 1009 m 厚的沉积地层进行了有机碳同位素分析, 开展了旋回地层学研究, 识别出了显著的~142 m、~67 m、~35 m 和~17-11 m 沉积旋回。结合 COCO 和 eCOCO 估算的平均沉积速率 (~35 cm/kyr) 和研究剖面 866 m 处火山岩锆石 U-Pb 年龄 (~50.32 Ma), 确定米来剖面的沉积时代为~52.80-49.98 Ma, 与早始新世气候适宜期同期。基于此, 本研究对米来剖面的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 、Hg、TS、TOC、Al 和 Rb 数据序列进行了综合对比分析, 结果表明北大西洋火成岩省的火山活动可能放大了其沉积记录中的~100 kyr 短偏心率周期信号。同时, 本研究将米来剖面的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 与全球同期其他古气候替代指标及天文理论曲线在 405-kyr 尺度上进行了对比, 研究结果显示: 其与 1209 站点的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{bulk}}$ 、U1514 站点的 Ca/Fe、1262/1263 站点的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{benthic}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{benthic}}$ 几乎同相, 而与贡觉盆地的 Ti/Ca、24°N 夏季平均日照量和 La04 偏心率几乎反相, 这表明偏心率周期对贡觉盆地~52.80-49.98 Ma 期间轨道尺度的碳循环起到了主导控制作用。本研究通过解析天文强迫、火山活动与气候-碳循环反馈的耦合机制, 为深入理解东亚地区早始新世气候适宜期的气候演变规律提供了科学依据, 对预测该区域未来气候变化趋势具有重要理论价值。

S10-P-7S

末次间冰期期间印尼贯穿流在耦合气候系统模式中的增强: 模式与指标的对比研究

魏思华¹, 郑伟鹏², 杜金龙¹, 俞永强², 田军^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

² 中国科学院大气物理研究所

* tianjun@tongji.edu.cn

印尼贯穿流 (ITF) 是调控太平洋与印度洋间热量和淡水收支的关键纽带。尽管 CMIP6 (the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) 模拟结果表明, 在全球变暖背景下, ITF 可能呈现减弱趋势, 但相关研究仍然不充分。LIG (Last Interglacial, 又称作“Eemian”、“MIS 5e”) 最高全球地表温度比现代高约 2°C, 可以作为未来全球变暖的一个参照。

基于中国科学院 CAS-FGOALS 气候模式对末次间冰期 (LIG, 约 130-115 ka) 的模拟表明, ITF 年均流量较 PI 控制试验 (18.46 Sv) 显著增强 30.6%-35.9%, 达到 24.11-25.08 Sv。这一增强现象与类拉尼娜状态密切相关: LIG 期间热带西太平洋与中东太平洋间海表温度梯度及温跃层深度梯度增大, 与西太平洋东风加强互为正反馈机制, 导致西太平洋海平面抬升, 进而扩大西太平洋与东印度洋之间的海平面压力差, 驱动 ITF 体积输送增强。古气候指标进一步支持了我们的结论。一项对东印度洋温跃层水温变化的分析工作发现 ITF 在 MIS 5 期间增强。而且, 西爪哇的花粉记录和哈马赫拉海的沉积物组成指示海洋性大陆在 LIG 期间更为湿润。

S10-P-8S

四川盆地中二叠统 Roadian-Wordian 阶旋回地层研究

周静琪¹, 姜福杰^{1*}, 刘宣威¹

¹ 中国石油大学 (北京), 地球科学学院

* jiangfj@cup.edu.cn

诸多地质事件与生物大灭绝在地质历史时期具有惊人的耦合关系, 但成因及先后关系不明, 缺少可靠的相应地质证据使得针对性的研究相对稀缺, 本文以四川盆地北部露头及钻孔剖面入手, 以 Roadian-Wordian 地层为研究对象, 岩石地层及旋回地层分析为手段, 探究生物灭绝与各地质事件之间的联系。显示: 1) Wordian 阶内部记录到了大规模垮塌失稳引发的重力流沉积体系, 在平面上具有成层性, 裂解行为在 Wordian 阶内部被记录。2) 裂陷槽内钻

孔记录了可信的米兰科维奇周期，268.6Ma 记录到了明显的沉积波动。3) 壳-幔相互作用产生了磁极的倒转，引发了板块的裂解行为，在最终的地幔柱活跃引发大规模火山喷发前，生物栖息地已开始逐步丧失。

S10-P-9

中国上泥盆统旋回地层学及古气候变化的天文驱动机制

马坤元^{1*}

1 太原理工大学，地球科学与测绘工程学院
* kunyuanma@tyut.edu.cn

晚泥盆世是全球性生物和环境事件的多发期，包括著名的弗拉期-法门期之交的 Kellwasser 事件、泥盆纪与石炭纪之交的 Hangenberg 事件和发端于晚泥盆世的晚古生代冰期事件。高精度的地质年龄是认识晚泥盆世地球生物、环境演化历史和进程的关键。基于米兰科维奇理论的旋回地层学为建立高精度的年代标尺提供了新思路和新方法。通过识别沉积地层中米兰科维奇旋回建立的天文年代标尺精度可达 0.02–0.4 Myr。本研究选取出露良好的华南上泥盆统拉利、杨堤剖面和西准噶尔布龙果尔、乌兰柯顺剖面为研究对象，采集磁化率、自然伽马和元素地球化学等古气候替代指标进行旋回地层学研究，通过识别沉积地层中可靠的米兰科维奇旋回，建立晚泥盆世高精度的天文年代标尺，查明晚泥盆世天文轨道旋回的特征和机理。结合晚泥盆世古气候、古环境变化特征，探讨天文轨道驱动力在晚泥盆世重大生物-环境事件中扮演的重要角色。

S10-P-10

温室期偏心率调控的南海陆坡甲烷水合物释放

刘丰豪^{1*}，黄恩清¹，金晓波¹，田军¹

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室
* liufenghao@tongji.edu.cn

大陆边缘的甲烷水合物分解广泛被认为与全球碳循环扰动和气候变化密切相关。然而，甲烷水合物动力学、碳循环异常以及气候变化之间的具体关系仍不明确。在本研究中，我们报告了地球温暖期南海北部陆坡的 11 次异常负漂的底栖有孔虫碳同位素事件，同时观察到颗石藻重结晶的增加。这些现象表明，该区域曾发生间歇性的甲烷释放。上述异常模式通常与底栖有孔虫氧同位素的正漂相对应，表明甲烷水合物的解稳主要受到偏心率调控的冰盖扩张和海平面下降的驱动，而非以往研究中常提及的全球变暖引发的甲烷释放。这一发现与传统观点形成了鲜明对比，为地球历史中甲烷释放与气候变化之间的关系提供了新的视角。

S10-P-11S

南海琼东南盆地乐东组重力流发育特征及天文轨道驱动因素研究

黄天宇¹，金思丁^{2,3*}，曹海洋^{3*}

1 成都理工大学，沉积地质研究院
2 成都理工大学，能源学院
3 成都理工大学，油气藏地质及开发工程全国重点实验室
* jinsiding@cdut.edu.cn
* chycdut@163.com

深水重力流沉积体系作为大陆架-深海平原沉积扩散系统的关键环节，是当前国际海洋地质研究的前沿领域，其形成机制研究对深水油气资源勘探、海底稳定性评估及海洋地质灾害防治兼具重要的科学意义与应用价值。南海作为西太平洋最大的边缘海，位于欧亚板块、太平洋板块和印度-澳大利亚板块交汇处，其独特的地形与构造背景使其成为研究全球气候-沉积响应的理想区域。本研究以南海北部琼东南盆地乐东组（沉积时间约~2.19 Ma）为研究对象，基于 LS36 系列钻井的高分辨率沉积学记录，结合天文旋回理论，系统开展了重力流沉积特征与天文轨道驱动机制的耦合

分析。研究结果显示：（1）乐东组重力流沉积可划分为 3 个发育阶段（I-III），分别对应不同的旋回周期组合；（2）频谱分析揭示沉积旋回存在显著的~405 kyr（长偏心率）、~100 kyr（短偏心率）及~40 kyr（斜率）周期信号，表明重力流事件的发生频率与天文轨道驱动的全球冰量变化及海平面波动具有协同性；（3）通过建立天文年代标尺，发现重力流密集段与偏心率极小期及低斜率期高度吻合，此时陆架暴露面积增大、沉积物供应增强，为重力流形成提供了物源条件。本研究不仅揭示了天文轨道参数通过调控海平面变化间接控制深水重力流发育的动力学机制，也为琼东南盆地深水油气储层预测提供了高精度年代学框架，同时为重建更新世以来南海古气候-古环境演变提供了新的沉积学证据。

S10-P-12S

斜率主导早中更新世东亚低纬水文气候演化

胡建雄¹，黄恩清^{1*}，田军¹

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室
* ehuang@tongji.edu.cn

东亚夏季风是地球气候系统重要的组成，同样是调控低纬水文循环的重要推手。然而，不同指标揭示的早中更新世轨道尺度的东亚夏季风演化机制一直存在争议。例如，响应季风降水的植被孢粉记录显示明显的岁差周期调控，而响应季风降水的化学风化记录则显示明显的短偏心率周期影响。因此，为了更好地了解轨道尺度的低纬水文气候演化，本研究利用南海北部 IODP U1505 站位 0.9-1.8 Ma 期间的高分辨率 XRF 岩芯扫描记录(平均分辨率约为 0.6kyr)，取 Ca、Fe 元素的扫描计数比值以探讨该时间段水文气候在轨道尺度上的演化。海洋沉积物中 Ca/Fe 比值被广泛地用于指示海源与陆源物质输入的相对变化。其中陆源物质的输入主要受海平面升降与降水调控的径流搬运影响。已有研究表明中国边缘海陆架受华南新构造运动影响在近几个冰期旋回才出现大面积初露。因此研

究区陆源物质的输入主要受降水调控的径流变化影响，即 Ca/Fe 比值能用于重建降水历史。频谱分析(Robust Multi-Taper Method Spectral Analysis)和演化谱分析(Evolutive Harmonic Analysis)显示 Ca/Fe 比值在 0.9-1.8 Ma 以 41-kyr 斜率周期为主导，无偏心率和岁差周期出现。该结果说明斜率周期调控了该时期的低纬水文气候演化。

S10-P-13S

渤海湾盆地东濮凹陷新生代气候事件的证据：天体年代学和同位素地层学观点

吴宇琦^{1*}，姜福杰^{1*}，沈卫兵¹，张瑞¹，徐云龙²，徐田武²

1 中国石油大学（北京），地球科学学院
2 中国石化中原油田分公司，勘探开发研究院
* wyqcup1996@163.com
* jfjhtb@163.com

新生代气候转型的陆相沉积响应已得到广泛记录，但湖盆高精度天文年代标尺（ATS）构建、长期水文波动重建及气候事件连续识别仍存在显著挑战。本研究基于渤海湾盆地东濮凹陷 QC2 井自然伽马（GR）测井序列，首次建立了跨越 22.37–52.29 Ma（±0.57 Myr）的长周期天文年代标尺。通过整合有机碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)、总有机碳（TOC）数据集及沉积噪声模拟（DYNOT 和 ρ_1 法），我们解析了轨道尺度气候扰动及其对湖面波动动态的驱动机制。研究结果系统记录了早始新世气候适宜期（EECO, ~50–49 Ma）、卢特期晚期热极值（LLTM, ~41.52 Ma）、中始新世气候适宜期（MECO, ~40 Ma）、普利亚本期氧同位素极大值（PrOM, ~37 Ma）和始新世-渐新世转折期（EOT, ~33.9 Ma）等关键气候事件。结果显示 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 偏移、GR 波动与 TOC 变化均呈现与全球海洋 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 记录同步演化的特征，证实湖盆系统对全球碳循环扰动具有高度敏感性。沉积噪声分析进一步识别出 2.4 Myr 和 1.2 Myr 天文周期对湖面波动的控制作用：2.4 Myr 偏心

率周期协同全球冰冻圈演化驱动了 EOT 和 Oi-2 事件期间的湖平面骤降, 而 1.2 Myr 斜率周期通过调节区域降水-蒸发平衡主导有机碳埋藏效率。本研究不仅构建了陆相系统响应全球气候转型的高分辨率年代地层框架, 更揭示了天文强迫通过水文路径调控区域碳循环的物理机制, 填补了陆-海气候耦合研究中长期存在的"分辨率盲区"。

S11-O-1

西北太平洋硅质放射虫的深度分布特征及其古海洋应用

张兰兰^{1*}, 程夏雯¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室
* llzhang@scsio.ac.cn

作为海洋生态系统能量流动和物质循环的重要一环, 浮游动物(放射虫)因具有不易溶解的硅质骨骼, 正成为追踪海洋环流或水团演化的良好指标。海洋上-中-深层环流活动通过调整水文性质、营养盐分布等环境要素调制海洋浮游生物的生长与物种迁移、及海水中沉降颗粒物的通量变化, 从而在海底沉积物中留下大量的生物记录和地质证据。微体古生物硅质放射虫对气候环境变化响应敏感, 尤其是在当前全球变暖和海水酸化导致海洋硅藻生物量下降的背景下, 在海洋碳硅等生物地球化学循环中扮演着越来越重要的角色。当前, 实验培养与深远海现场观测等存在诸多局限性, 导致对放射虫生物与生态学特征了解甚少。本报告基于研究团队在西北太平洋观测研究认知进展, 展示了西北太平洋不同水深硅质放射虫的物种多样性及其生态环境特征, 尝试从现代观测研究视角, 为古海洋演变过程提供新证据。

S11-O-2

潮间带有孔虫 *Ammonia catesbyana* (d'Orbigny, 1839) 系统分类分子生物学证据

李保华^{1*}, 张楷^{1,2}

1 中国科学院南京地质古生物研究所
2 中国科学院大学
* bh-li@nigpas.ac.cn

Ammonia 是潮间带和晚第四纪三角洲地层中的主要有孔虫物种之一, 长期以来被广泛用作过去环境重建的微体古生物学关键指标。然而, 自 19 世纪以来, 其分类一直存在广泛争议。郑守仪等(1978)在中国山东半岛的微体化石研究中首次建立并采用有孔虫种 *Ammonia confertitesta* Zheng 1978。该种是黄海浅水区表层沉积物中最主要的物种之一。近年来对我国东部近岸沉积有孔虫研究采纳 *Ammonia aomoriensis* (Asano, 1951)种名, 在微体古生物学分析中存在争议。近年来, 该物种在欧洲海洋环境(港口)中被多次报道, 并被广泛地认作非本地物种, 是来源于亚洲水体的、由船舶运输带来的外来入侵种。

分子生物学分析为有孔虫分类学和系统发育研究提供了新的视角。为了获得可靠的 *Ammonia* 系统分类和分布特征, 本研究从黄海西南部海门潮间带的泥质沉积物中采集了大量活体 *Ammonia* 标本, 进行实验室培养和 SSU rDNA 序列的分子生物学分析。研究获得了大量 *Ammonia* 标本的个体间和个体内 SSU rDNA 序列, 并与 GenBank 中的其他相关 *Ammonia* DNA 数据进行了系统发育分析。

系统发育树显示, *Ammonia catesbyana* (d'Orbigny, 1839)、*Ammonia aomoriensis*、*Ammonia confertitesta* 和 *Ammonia* sp. T6 (Hayward et al. 2004) 形成了一个独立的类群 (Clade A), 表明 *A. confertitesta*、*A. catesbyana* 和 *A. aomoriensis* 应为同种异名。*Ammonia catesbyana* 最初是在古巴浅水区被报道和描述 (D'Orbigny, 1839), 具有生物

命名优先权。因此，我们建议将 *Ammonia catesbyana* (D'Orbigny, 1839) 作为该类群的有效命名。

Ammonia catesbyana 的全球分布表明，近年来欧洲港口报道的 *Ammonia confertitesta* Zheng 1978 可能并非来自东亚海域的外来物种，而是一种环境适应下的物种数量“爆发”和被发现。

S11-O-3

底栖有孔虫群落构建机制： 华南海湾和西沙碳酸盐台地 的对比

李涛^{1*}

1 中国地调局广州海洋地质调查局
* lukelita0@163.com

底栖有孔虫是海洋生态系统的重要组成部分，因其种类繁多，数量丰富，且具有与底栖动物相似的分布模式，因此可以利用它们可以指示底栖动物群落结构的变化，并回答更大的科学问题：底栖生物群落分布格局的形成机制。我们分别在华南沿海和西沙碳酸盐台地开展了底栖有孔虫群落构建机制的研究，发现华南沿海底栖有孔虫群落构建以生态位/环境选择为主，而在西沙碳酸盐台地以生态漂变为主，推测底栖有孔虫群落构建机制依赖于研究系统（栖息地）。通过对比两个区域沉积物性质，我们发现沉积物理化参数在华南海湾变化幅度大，代表高度异质的环境，而在西沙碳酸盐台地变化幅度小，代表相对同质的环境。我们认为在高度异质的环境中，各种环境条件以不同方式对物种过滤，从而强烈影响群落结构，同时也掩盖了随机过程的信号；相反，在相对同质的环境中，环境条件的过滤作用弱，而随机过程的信号被放大。因此，我们推测高度异质环境中选择作用的重要性更大，而在相对同质环境中随机过程的重要性更大。进一

步我们研究群落构建过程相对重要性的变化与 β 多样性的关系，提出环境选择强度的增加引起群落 β 多样性和共现网络 β 多样性增加的假设，并利用构建的概念模型进行验证，该假设为揭示 β 多样性模式的形成机制提供有力证据。

S11-O-4

珠江流域强降雨驱动大亚湾 核电站附近尖笔帽螺异常暴 发

谷阳光^{1,4,6,7,8*}，高艳蓬²，梁艳³，方艳³，
Richard W. Jordan⁴，姜仕军^{5,6}，刘庆霞^{1,7}，
黄洪辉^{1,6,7,8}，覃晓青^{1,7}

1 中国水产科学研究院南海水产研究所
2 广东工业大学，环境健康与污染控制研究院
3 中国科学院南京地质古生物研究所
4 日本山形大学，理学部
5 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
6 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）
7 广东省渔业生态环境重点实验室
8 农业农村部外海渔业可持续利用重点实验室
* hydrobio@163.com

中国核电发电量位居世界第二，在推动绿色经济与社会可持续发展方面发挥着重要作用。我国核电站多分布于沿海地区，受陆源输入影响显著，海洋生物异常暴发频发，已对核电站正常运行造成不同程度的干扰，甚至引发机组停运。然而，目前针对海洋生物暴发全过程的系统性研究仍相对缺乏。大亚湾核电站作为我国首座大型商业化核电站，近年来冷却系统频繁受到海洋生物侵扰，尤其在 2020 年夏季，浮游软体动物尖笔帽螺（*Creseis acicula*）突发性大规模暴发，导致多次机组停运，造成严重经济损失。该生物具有脆弱的文石壳体，现有滤网难以有效拦截，严重威胁核电站安全。本研究在尖笔帽螺暴发高峰期，于大亚湾核电站邻近海域开展现场采样，采用 X 射线衍射（XRD）、傅里叶变换红外光谱（FT-IR）、拉曼光谱与微结构

表征、热重-质谱联用 (TG-MS)、元素分析以及 Sr-Nd-Pb 多同位素技术,对壳体的结构特征与地球化学属性进行系统分析。结合珠江流域水文气象变化及大亚湾周边环境数据,首次揭示了尖笔帽螺异常暴发的完整演化过程。研究表明,该次暴发事件主要受珠江流域上游持续强降雨驱动,通过径流将大量营养盐和有机质输入大亚湾,形成有利于尖笔帽螺快速繁殖的生态条件。本研究方法与成果为探索浮游类海洋生物暴发机制提供了新路径,也为提升核电站生态风险防控能力与保障沿海生态系统安全运行提供了重要科技支撑。

S11-O-5

重建过去 1500 年西太平洋暖池温跃层动态:对 ENSO 变率的启示

詹晓灵¹, Mahyar Mohtadi², Stephan Steinke^{3*}

1 厦门大学,海洋与地球学院

2 University of Bremen, MARUM-Center for Marine Environmental Sciences

3 厦门大学,海洋与地球学院

* ssteinke@xmu.edu.cn

厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 是年际气候变率的主要来源,但其对全球变暖的响应仍存在较大不确定性。尤其是 ENSO 及其相关的太平洋沃克环流的长期演变,由于仪器观测记录仅覆盖近几十年,难以揭示年代际乃至更长期尺度上的变化趋势和变率,因此在模式模拟中难以预测。要解决这一问题,有必要获取过去 ENSO 及沃克环流变化的记录。因此,本研究重建了过去 1500 年来巴布亚新几内亚北部俾斯麦海的上层水体结构。通过分析混合层和温跃层浮游有孔虫的 Mg/Ca 比值,分别获得海表温度与温跃层温度记录,进而估算上层海洋热梯度 ($\Delta T^{\circ}\text{C}$)。由于在厄尔尼诺 (拉尼娜) 事件期间,巴布亚新几内亚

北部沿岸的温跃层表现为变浅 (加深),因此 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 的变化可用于探讨 ENSO 的动力机制。 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 估算结果显示,自约公元 1500 年以来 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 呈上升趋势,指示温跃层趋于变浅,表明该区域自该时期起趋于类厄尔尼诺态。

S11-O-6

利用 eDNA 揭示全新世以来“海马”冷泉的演化

李浩天¹, 类彦立^{1,2,3,4*}

1 中国科学院海洋研究所,青岛

2 海洋生物与生物技术功能实验室,青岛

3 南方海洋科学与工程广东省实验室,珠海

4 中国科学院大学,北京

* leiyanli@qdio.ac.cn

冷泉与油气资源有着复杂的联系,有孔虫作为潜在的甲烷渗漏活动指标引起人们广泛关注。然而,有孔虫分子参数与冷泉之间的关系知之甚少。为了弥补这一空白,我们在“海马”冷泉 SY186-1、SY186-3、SY186-5 和 SY186-7 站采集了表层沉积物样本,并在 SY186-3 站采集了沉积物岩心样本。提取环境 DNA 并使用有孔虫特异性引物扩增,对沉积物岩心样品进行 AMS ^{14}C 测年。结果显示:越靠近冷泉中心,有孔虫丰度 (read 数目) 越低,而多样性指标更高,并且与硫元素相关的功能性细菌 read 数目增加。研究表明,硫化物浓度显著影响有孔虫的丰度和多样性,揭示了有孔虫作为冷泉活动生物指标的潜力。进一步分析表明,在 9600 ~ 7500 bp,海平面的快速上升改变了海底沉积物压力,导致油气泄漏,并开始了“海马”冷泉的形成。到距今 7500 年,海平面已经稳定下来,“海马”冷泉逐渐成熟。随后,冷泉活动受到 Bond 周期和太阳活动周期相关的周期性温度波动的调控。本研究从环境 DNA 的角度为环境变化对冷泉形成和演化的影响提供

了新的见解。值得注意的是,这是首次确定 Bond 周期在调节冷泉活动的重要作用。

S11-O-7

钙质微体化石的地球化学特征揭示西太过去两个冰期旋回的营养盐与生物地球化学循环

金晓波^{1*}, 王星星¹, 周辛全¹, 江小英¹, 乔培军¹, 刘传联¹

¹ 同济大学

* 386jinxiaobo@tongji.edu.cn

研究利用西太平洋 KX21-2 钻孔的颗石颗粒无机碳 (PIC) 通量、颗石方解石的碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 来指示颗石藻的生产力及其细胞生长速率。颗石藻是一种海洋单细胞、可钙化的浮游藻类。颗石藻细胞死亡后,其钙化产物颗石会沉降、并保存在海洋沉积物中。由于生命作用的影响,颗石的 $\delta^{13}\text{C}$ 与无机成因方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 具有一定的差值。颗石与溶解无机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的分馏值 (ϵ),可近似于颗石与浮游有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 的差值。 ϵ 越偏正,颗石藻细胞的生长速率越高。同时研究利用 ODP 807 站的浮游有孔虫 *Pulleniatina obliquiloculata* 的镉钙比 (Cd/Ca) 来指示海水磷酸盐。 Cd 是一种痕量的重金属元素,其在水柱中的垂向分布与磷 (P) 非常相似。与锌类似, Cd 可能参与了藻类细胞中酶的合成。浮游有孔虫壳体的 Cd/Ca 在一定程度上可反映古代海水磷酸盐浓度的变化。结果显示,所有指标时间序列均呈现强烈的两万年岁差周期。在岁差频段上,各指标存在以下的关系:高颗石 PIC 通量、偏正的颗石碳同位素分馏值 ϵ (高的颗石生产力与颗石藻细胞生长速率)、低的浮游有孔虫 Cd/Ca (即低的海水磷酸盐浓度、相对高的磷利用率)、较负偏的氮同位素 (较强的固氮作用,已发表的 MD01-2386 钻孔数据)。研究认为

在轨道尺度上,降雨是驱动赤道西太平洋生物地球化学循环的主要原因。高降雨量高会导致更多的铁 (Fe) 输入到海洋。海水中较高的 Fe:N 比值有利于固氮藻类的生长,使得固氮作用加强,同时进一步消耗了海水中的磷酸盐。

S11-O-8

南海放射虫硅同位素组成特征及其硅循环指示意义

张强^{1*}, George E.A. Swann²

¹ 中国科学院南海海洋研究所,边缘海与大洋地质重点实验室

² University of Nottingham, School of Geography

* zhangqiang210@scsio.ac.cn

放射虫是海洋生物硅的重要组成部分,其壳体硅同位素是重建地史时期中-上层水体中海洋硅循环及其气候环境效应的重要潜在工具。然而由于沉积物中放射虫标本难以提纯等原因,至今全球海洋有关放射虫硅同位素 ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$) 的研究成果仍十分稀缺,目前南海有关放射虫硅同位素的研究依然处于空白。

在建立沉积物中放射虫壳体有效分离提纯方法的基础上 (Zhang and Swann, 2003),对南海典型区域水体、表层沉积物和柱状样品中的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 开展了系统研究。结果显示,不同取样站位表层沉积物中 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 组成及硅同位素分馏系数与中-上层水体的平均硅酸浓度存在较好的负相关关系,且南海南部表层沉积物中的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 组成总体上低于北部,较好地响应了南海中上层水体平均硅酸浓度自东北向西南呈梯度增加的变化趋势;同一研究站位,沉积物中 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 组成与水体中 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 值无明显差异,表明沉降保存过程中溶解作用对放射虫硅同位素组成无实质影响,沉积物中 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 能较好地反映上覆水体中 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 原生信号。南海北部末次冰期 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 值总体低于全新世,指示了中-上层水体中硅酸营养含量在

末次冰期显著增加、全新世降低的特征，与南海已有的古生产力重建记录有着较好的对应关系，初步证实了 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{rad}}$ 在重建过去水体中营养盐含量中的有效作用；进而利用测得的放射虫硅同位素分馏系数 $\Delta^{30}\text{Si}$ 平均值重建了同时期水体中硅酸硅同位素 ($\delta^{30}\text{Si}(\text{OH})_4$) 变化历史，并以此探讨了南海末次冰期以来硅酸来源和水团活动变化历史。

S11-O-9

冰期时日本海低盐深水池形成演化机制

董智^{1,3*}，石学法¹，邹建军¹，王世柱²，葛晨东³，刘焱光¹，吴永华¹，豆汝席^{1,3}，邹欣庆³

1 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所，自然资源部海洋环境科学与数值模拟重点实验室

3 南京大学，地理与海洋科学学院

* zhidong@fio.org.cn

海洋盐度收支的变化对大洋环流空间结构、海洋生态系统起着关键的调制作用，北太平洋亚极地海域的盐度收支变化在很大程度上直接决定了北太平洋中层水/深层水的生成规模与影响深度，然而目前对北太平洋过去盐度收支变化及其影响因素的认识仍不清楚。由于黑潮最北分支（对马暖流）的流入，日本海这一半封闭的边缘海对北太平洋亚极地海域的盐度收支变化具有重要影响。为系统理解日本海的古环境演化过程，本研究基于放射虫特征属种记录，汇编了末次冰期以来日本海古海洋记录，结合国际古气候模拟比较计划（PMIP 4）与最新箱式模拟结果，对日本海表层水文特征与深部通风状况、盐度收支变化的演化过程及其驱动机制开展了深入探索。放射虫记录显示对马暖流在 MIS 3 期尽管强度较弱但依然流入日本海，此后伴随着 30 ka 全球海平面的骤降，对马暖流

停止影响日本海，而汇编的日本海浮游与底栖有孔虫的氧同位素记录均证实日本海开始呈现持续低盐异常的趋势。由于日本海是通过四个浅海峡（最深约 130 m）与外海相连，在冰期低海平面时期，日本海与北太平洋的水体交换十分有限，对马暖流入流锐减，加之大气净降水（net precipitation）增加，冰期时日本海形成垂向深度可达~900 m 的低盐深水池（deep low-salinity pool），箱式模拟结果显示盐度最低可达 20.2 psu，日本海转变为北太平洋的淡水“汇”。随着末次冰消期时，全球海平面上升，对马暖流北向输运增强，日本海的低盐深水池逐渐瓦解。盐度变化作为塑造海洋浮游生物群落动态的主要驱动力之一，冰期低盐深水池的存在无疑会对日本海古生产力与碳循环的演化过程产生深刻影响。而冰期日本海作为北太平洋一个重要的淡水储库，还能通过增强冰期北太平洋亚极地海域的盐化过程，改变北太平洋中层环流的强度，对全球气候产生影响。

S11-O-10

上新世以来西太平洋暖池营养跃层与颗石藻生产力的解耦演化

孙晗杰^{1*}，Luc Beaufort³，李铁刚²，常凤鸣¹，南青云¹

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境实验室

2 自然资源部第一海洋研究所

3 法国欧洲地球科学与环境研究中心

* sunhanjie@qdio.ac.cn

西太平洋暖池（WPWP）是全球气候和海洋生物地球化学循环的关键区域，其上层水体结构（如营养跃层和温跃层）的长期演化对浮游生物群落和碳循环具有重要影响。然而，暖池核心区营养跃层深度与颗石藻生产力的耦合关系及其驱动机制仍不清楚。本研究利用位于热带西太平洋暖池核心区 IODP U1490 站的沉积物岩心，

通过下透光带颗石藻种属 *Florisphaera profunda* 的相对丰度重建营养跃层深度变化,并结合颗石藻绝对丰度和堆积速率(MAR)指标,建立了上新世以来暖池区营养跃层和生产力演化记录。研究主要发现:1) 营养跃层的长期演化趋势。5.2–4.4 Ma 期间营养跃层较浅,可能受中美海道关闭影响,导致暖水在西太平洋堆积、混合层加强,促使营养跃层加深,并终结了早先的浮游生物爆发事件;4.4–2.3 Ma 期间,营养跃层深度变化相对稳定,呈现周期性波动;2.3 Ma 至今,营养跃层快速加深,且波动幅度增大,反映上层水体结构持续调整。2) 颗石藻生产力的非同步响应。4.4 Ma 之前,浅营养跃层促进其他浮游生物生长,抑制颗石藻生产力;4.4 Ma 之后,营养跃层加深导致暖池贫营养化增强,反而有利于颗石藻的竞争优势,生产力上升。3) 营养跃层与温跃层的解耦。已发表记录显示暖池温跃层长期变浅,而本研究揭示营养跃层加深,表明二者对气候强迫的响应机制不同,上层水体物理-生物化学过程存在显著脱耦。本研究揭示西太平洋暖池营养跃层与颗石藻生产力的长期解耦现象,并探讨了其与区域环流(如中美海道关闭)和全球气候变化的关联。营养跃层与温跃层的反向趋势表明,暖池生物地球化学过程对上层水体结构的响应具有复杂性,这对理解热带海洋碳循环及古气候模拟具有重要启示。

S11-O-11

末次冰期以来南海西沙群岛海洋生物泵与海平面变化

苏翔^{1*}, 万随¹, 张兰兰², 陈嘉妮^{1,3}, 罗传秀¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质实验室

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

3 中国科学院大学

* suxiang@scsio.ac.cn

珊瑚礁是现今海洋中生物多样性最丰富、生产力最高的生态系统之一。浮游植物高生产力和生物量使珊瑚礁周边海域成为生物泵驱动碳向深海输出的潜在热点区域。然而,在地质历史时期,珊瑚礁对周边海域初级生产力的影响范围和空间效应仍不清楚。本研究通过对南海西沙群岛珊瑚礁区沉积岩芯开展颗石藻与浮游有孔虫定量分析,重建了过去 45ka 该区初级生产力变化和沉积过程。结果显示全新世期间混合层水体生物量和初级生产力显著增加,与礁源碳酸盐输入量上升具有同步性。这与南海开阔海域记录存在显著差异——后者在冰期因东亚冬季风增强导致初级生产力和沉积速率升高。冰期阶段南海初级生产力主要与东亚冬季风增强促进上层水体混合作用有关;而全新世高海平面伴随礁体快速生长和风化作用增强,更多礁源物质被输送到周边海域,导致西沙群岛邻近海域初级生产力和沉积速率同步上升。因此我们认为,海平面和气候共同调控的礁源物质变化是影响珊瑚礁区周边初级生产力和海洋生物泵演变的关键因素。

S11-O-12

云南湖泊介形类一新种报道及相关人类活动探讨

蒋萍^{1,2*}, 王千为³, 范佳伟^{4,5,6}, 谢曼平⁷, 革定宽⁷, 段立曾⁸, 翟大有^{1,2}

1 云南大学, 古生物研究院, 云南省古生物研究重点实验室

2 教育部云南重大生物演化事件及古环境国际合作联合实验室

3 耶拿大学, 地球科学研究所

4 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室

5 新疆帕米尔陆内俯冲国家野外科学观测研究站

6 中国地震局乌鲁木齐中亚地震研究所

7 云南师范大学, 地理学部, 云南省高原地理过程与环境变化重点实验室

8 云南大学, 高原湖泊生态与治理研究院

* PJ11230@163.com

本研究报道了云南省阳宗海与抚仙湖中发现的介形类新物种 *Limnocythere curvispinosa* n. sp. (弯刺湖花介)。阳宗海的研究材料取自两根湖芯钻孔 YZHA (长 13.88 m) 和 YZHB (长 11.25 m), 抚仙湖的材料则来源于水深分别为 16 m 及 77 m 的表层沉积物。基于阳宗海沉积物大颗粒炭屑的 ^{14}C 测年结果, 样品年代序列为 24575 cal yr BP 至今。该物种壳体的主要辨别特征为右壳背边缘发育三根向后弯曲的长刺, 左壳前背角发育一根向前弯曲的短刺。该物种的软体结构鉴定特征主要为三对步足呈现明显的尺寸差异 (第 2 步足 > 第 1 步足 > 第 3 步足), 且雌性外阴呈近半月形。

研究揭示, 弯刺湖花介在阳宗海全新世以来的沉积序列中持续存在, 但表层 1 cm 沉积物中仅检出壳体 1 枚。此外, 阳宗海其他部位表层沉积物及湖区现代样品中均未发现该物种。抚仙湖的表层沉积物中则发现了保存软躯体的该物种个体, 说明抚仙湖中有其现生种群分布。对比研究表明, 两湖的弯刺湖花介种群的生殖模式具有显著差异: 阳宗海全新世种群中含有一定数量的雄性, 存在有性生殖; 而抚仙湖种群营孤雌生殖。此外, 根据弯刺湖花介在阳宗海岩芯钻孔中的丰度变化趋势及现代个体的绝迹可知, 该物种的种群数量在全新世发生了较大变化。公元 986 年至公元 1952 年这一时段内, 该物种丰度达到峰值, 之后急剧减少。结合阳宗海的工业发展历史, 我们认为人类活动强度加剧可能是导致该物种在阳宗海中锐减以致消失的关键驱动因素。

S11-O-13

塔里木盆地西部古新世—始新世极热事件 (PETM)

席党鹏^{1*}, 王雪娇¹, 刘丹¹, 万晓樵¹

古新世—始新世界线处 (~56Ma) 发生的古新世—始新世极热事件 (Paleocene—Eocene Thermal Maximum, PETM) 是新生代最具代表性的快速增温事件。PETM 事件期间发生了碳同位素值负偏和快速增温, 海洋生物和陆地动、植物群发生重大演替。PETM 事件自 1991 年从 ODP609 钻孔中被识别出以来, 一直是国际古生物学界和气候学界研究的热点。滨浅海相地层中化石丰富, 同时受海陆环境的双重影响, 是开展 PETM 事件研究的理想地区。塔里木盆地西部在古新世晚期—始新世早期为浅海相环境, 且经历了一次大规模的海侵, 该时期海相沉积连续, 化石丰富, 地层出露良好, 为开展全球滨浅海环境 PETM 事件提供了理想的研究区域。作者及所在团队在过去的十多年中, 对系统开展了该地区晚白垩世—始新世海相地层, 首次报道了 PETM 事件, 并随后对其进行了系统的研究。在过去十多年的工作中, 我们对巴什布拉克剖面、库孜贡苏剖面和阿尔塔什剖面的 PETM 事件开展了多门类微体化石 (钙质超微、有孔虫、介形虫和沟鞭藻等) 及碳同位素等工作。在塔里木盆地西部的齐木根组, 古新世组合对应钙质超微标准化石带 NP9a 带, 始新世组合对应钙质超微标准化石带 NP9b-NP10 化石带, Rhomboaster-Discoaster (RD) 组合的出现为 PETM 事件发生的重要标志, 浮游有孔虫自下而上划分为 P4、P5、E1 和 E2 等 4 个化石带, 其中 P/E 界线大致位于 P5/E1 之间; 介形虫类群在 P/E 界线上下并未发生明显的变化。碳同位素在 P/E 界线处均发生了明显的负偏。综合生物地层和碳同位素变化, 将 PETM 事件确定在齐姆根组中上部的暗色泥为主的地层中。塔里木盆地西部有望研究全球浅海地区 PETM 事件及生物—环境响应的经典地区。

S11-O-14

介形类辐射演化驱动影响因素浅析

赵都菁^{1*}, 曹洁¹, 史长林¹, 杨娇娇¹, 姚雅琴¹, 范晶晶¹

1 中海油能源发展股份有限公司, 工程技术分公司
* zhaodj@cnooc.com.cn

本文研究渤海湾盆地古近系介形类生物群演化与环境协同性。渐新统东营组发育以东营介属 - 华花介属为代表的介形类群, 前者超 30 种、后者超 60 种, 壳饰(蜂窝、瘤、脊等)多样性与湖泊水深相关, 水体加深促使介形类形态梯形化、背腹结构演化。东营介属、华花介属、纺锤玻璃介属系统演化与环境协同, 始新统沙河街组华北介属、玻璃介属演化亦受水深驱动, 证实水深是介形类属种辐射演化的关键因素。

化石地质年代确定以延限带为核心, 岩心资料通过生物带末现面与初现面精准界定, 探井资料需结合末现面、富集带及大岩屑化石组合判定初现面。种间亲缘关系依据形态及壳饰结构(瘤、脊、刺等发育部位)判断, 差异越小则亲缘关系越近。

华北介属最早出现于沙四段上部(始新世早期)浅湖环境, 以腹脊、原始、隐瘤华北介为初始种, 分别呈近梯形、圆三角形 - 斜梯形、肾形, 壳体结构适应均匀压力。其演化分为三支: 腹脊华北介向深水演化出长脊类群; 原始华北介适应较深水 - 浅湖, 演化出大华北介等; 隐瘤华北介适应浅水环境, 演化出椭圆类群。沙河街三段深断期深水湖盆推动其生态多样化, 分化出多环境适应类群。

东营介属演化以背瘤、扁脊、单脊东营介为主线, 分浅水(背瘤)与深水(扁脊、单脊)分支。东三段水体加深阶段, 背瘤类群向半圆形演化, 扁脊类群分化出深水与浅水类型; 东二段水域扩大期, 种类达 20 种, 壳饰发育鼎盛; 东一段水体收缩期, 深水类型减少, 瘤饰异化, 仅存 5 种。

始新世末期生物大绝灭后, 仅少数介形类延续至渐新世, 新属种(如东营介属)出现。纺锤玻璃介属、华花介属繁盛与全球降温事件(始新世 — 渐新世南极冰盖形成)相关, 气候转为湿润暖温带, 喜冷介形类(玻璃介、东营介等)占据优势, 体现气候对生物群演替的驱动。

研究表明, 水深是介形类演化的核心驱动力, 其壳饰与形态特征可作为古湖泊环境重建的生物标志物; 全球性气候事件通过改变水体条件间接影响生物群组成。本研究为盆地古环境演化及地层对比提供了重要依据。

S11-O-15

Middle Eocene shallow marine successions of Sabzevar Ocean (central Iran): taxonomic and biostratigraphic implications

Mehdi Hadi^{1*}, Dangpeng Xi^{1*}, Marziyeh Zoraghi², Mohammad Parandavar³, Samira Taghdisi Nikbakht⁴

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

2 Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Science

3 National Iranian Oil Company

4 University of Gonabad, Faculty of Science

* mehdi_hadi_s@yahoo.com

* xdp1121@163.com

A rich and diverse assemblage of large benthic foraminifera (LBF) from the Eocene carbonates in the south Sabzevar region (Cheshmeh Hadi section) of central Iran suggests an age range from early Lutetian to early Bartonian. The assemblage includes six species of nummulitid. Detailed analysis identifies these taxa as indicative of shallow benthic zones (SBZs) 12 to 17, spanning from the early Lutetian to the early Bartonian. Moreover, the age model is supported by calcareous nannofossil biostratigraphy,

corresponding to the NP15 and possibly the lower part of the NP16 biozones, as recorded in the central portion of the studied section. In addition, the paleogeography of *Assilina* highlights the Iranian platform as a critical zone bridging the western Neo-Tethys and the Indo-Pacific (Eastern Neo-Tethys), a connection that has been extensively discussed.

S11-O-16

早—中中新世南海北部上部 水体结构变化及其对东亚季 风的响应

卢亚敏^{1*}, 黄宝琦²

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 实验测试研究所

2 北京大学, 地球与空间科学学院

* yaminlu1998@126.com

中新世是新生代全球气候由暖转冷的关键过渡期, 中新世气候适宜期 (MCO) 与中中新世气候转型期 (MMCT) 的气候变化机制为理解现代气候演变提供了重要参照。东亚季风作为联系高低纬度气候的纽带, 其在早-中中新世的演化对揭示全球气候动力过程至关重要。本研究基于南海北部 IODP U1505C 钻孔 18-12 Ma 连续沉积序列, 通过浮游有孔虫生物地层学与同位素地层学重建年代框架, 结合浮游有孔虫组合的稳定氧、碳同位素测试及多元统计分析, 重新划分了中新世期间浮游有孔虫表层种、次表层种、深水种以及暖水种、高生产力属种组合, 重建了表层海水温度 (SST)、生产力水平及温跃层深度 (DOT) 演变序列。结果显示南海北部上部水体演化呈现如下特征: 1) 18.0-17.2 Ma (MCO 之前), SST 上升、DOT 加深、生产力较低, 指示东亚夏季风减弱, 冬季风微增强; 2) 17.2-14.7 Ma (MCO), SST 与生产力波动上升, DOT 变浅, 夏季风强盛; 3)

14.7-13.8 Ma (MMCT), SST 持续上升但生产力激增, DOT 加深反映夏季风衰退, 冬季风强化; 4) 13.8-12.0 Ma (MMCT 之后), SST 下降、生产力递增, DOT 先淡化后稳定, 冬夏季风同步减弱。小波分析揭示该时期东亚季风变化主要受 405 kyr 长偏心率周期调控, 凸显低纬过程对气候系统的关键驱动作用。该研究为揭示中新世气候转型机制及季风系统对轨道强迫的响应提供了新证据。

S11-O-17

New insights into Late Devonian phytoplankton palaeobiogeography

Kroeck, David Marius^{1*}, Yeghiazaryan, Meri², Seroby, Vahram², Danelian, Taniel³, 包童¹

1 中山大学, 生态学院

2 National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Institute of Geological Sciences

3 University of Lille, CNRS, UMR 8198

* kroeck@mail.sysu.edu.cn

具有有机壁的微体浮游植物化石 (包括疑源类 *Acritarchs* 和葱绿藻类 *Prasinophytes*) 是早至中古生代海相沉积序列的重要组成部分, 且常具有高丰度和高多样性。这些化石类群与现生甲藻、绿藻等类似, 对温度、盐度等海洋古环境极为敏感。因此, 有机壁浮游植物化石组合随时间的变化反映了古环境的演变过程, 其分布特征也为古地理重建提供了重要线索, 有助于解答古地理学问题。

本研究报道了亚洲西部亚美尼亚共和国古生代晚泥盆世 (弗拉期-法门期) 丰富的疑源类与绿藻植物群。结合其他化石记录, 这些新数据完善了晚泥盆世有机壁浮游植物的古生物地理格局。与全球其他地区组合的对比表明, 冈瓦纳大陆南部 (如南美) 与中-北部区域 (如北非、阿拉伯、澳大利亚) 间存在显著的地理分区性。这

一格局可归因于南美组合适应冷水环境，而亚美尼亚及冈瓦纳中-北部其他地区的组合代表温带至暖水植物群。此外，瑞亚克洋（Rheic Ocean）闭合导致的区域间扩散受限可能加剧了这种差异。相反，劳俄大陆（如北美、中欧、波罗的）的化石组合与冈瓦纳中-北部更为相似，指示相似的古气候特征以及古特提斯洋通道的存在促进了生物扩散。

S11-O-18

塔里木盆地西部乌拉根组介形虫及特提斯海退事件

史忠叶^{1,2}，周保春²，席党鹏^{1*}

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 上海科技馆分馆

* xidp1121@163.com

始新世中晚期乌拉根组广泛分布与塔里木盆地西部。在昆仑山分区，乌拉根组由下部灰绿色泥岩和上部杂色泥岩组成，在天山分区，乌拉根组由下部灰绿色泥岩和上部石膏组成。乌拉根组富含介形虫，本次研究基于阿尔塔什剖面的初步研究，识别出 17 属 29 种，包括 *Haplocytheridea*、*Cytheridea*、*Ruggieria*、*Paracypris*、*Schizocythere*、*Paijenborchella*、*Pterygocythereis* 等属。其中代表性种包括 *Cytheridea scruposa*、*Cytheridea producta*、*Haplocytheridea spicula*、*Haplocytheridea tonsa*、*Ruggieria pachyodonta*、*Schizocythere vulgaris*、*Cytheretta aligra*、*Cytheretta scrofulosa*、*Paijenborchella trisulcata*、*Schuleridea subgratula*、*Loxoconcha laculata*、*Cytherella mirusa*、*Paracypris elongatissima* 等。通过对介形虫古生态和属种多样性、分布特征等分析，推测乌拉根组形成于海平面频繁波动的浅海环境。此外，在部分介形虫壳体上发现了微型腹足类捕食钻孔，被捕食的介形虫数量约占总数的 2%。

S11-P-1S

末次冰期以来东北印度洋底层水碳酸盐系统演化

田杰¹，向荣^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所

* rxiaang@scsio.ac.cn

碳酸盐系统通过调节海水碱度与溶解无机碳在全球碳循环中发挥重要作用。深海碳酸钙的沉积与保存不仅受到水体碳酸盐饱和度的控制，还与底层水通风状况、生产力输入及陆源物质稀释等因素密切相关。

孟加拉湾的以往研究表明，碳酸钙的分布有不同趋势，河口区和安达曼海主要受生产力控制，呈现冰期高于全新世趋势；沿河道的记录表明保存情况主要受稀释作用影响，其含量在全新世高于冰期；而 90°E 海岭附近的岩芯碳酸钙较为复杂，其变化可能受到多因素的共同影响。本研究基于东北印度洋 90°E 海岭附近不同水深的沉积物岩芯，结合碳酸钙含量、壳体重量、碎壳率等多指标，分析不同岩芯中碳酸钙保存状况存在明显差异的原因，探讨长时间尺度下的时空演变特征，重建末次冰期以来底层水碳酸盐系统演化历史。

S11-P-2

Uncovering the history of oxygenation in deep-intermediate Ocean waters linked to foraminiferal diversity and redox-sensitive elements in the western Arabian Sea

Hidayatullah Khan^{1*}，Chunju Huang^{1*}，Pawan Govil^{2,3}

1 China University of Geosciences, Wuhan,
China, School of Earth Sciences
2 Birbal Sahni Institute of Palaeosciences, Lucknow,
India, Micropaleontology and Geochemistry
3 Academy of Scientific and Innovative Research
(AcSIR), Ghaziabad, India, Micropaleontology and
Geochemistry
* hidayatullah@cug.edu.cn
* huangcj@cug.edu.cn

Understanding redox-sensitive elements (RSE) concentrations not only highlights the environmental changes in this vital marine ecosystem but also emphasizes the importance of tracking oxygen levels in deep-intermediate water and determining the factors responsible for their variation, which encompasses past climate dynamics. Changes in these element concentrations indicate oxygenation history in bottom waters, both within and below the Arabian Sea's oxygen minimum zone (OMZ), and hence serve as effective redox proxies. Since the mid-20th century, dissolved oxygen (DO) levels in the open ocean and coastal waters have declined due to human activities and global change. This ocean deoxygenation is a major issue for modern marine ecosystems, further exacerbating the already low DO levels.

S11-P-3

塔里木盆地西部天山分区古新世—始新世浅海钙质超微化石记录

王雪娇^{1,2*}

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
2 中国极地研究中心(中国极地研究所)
* xuejiaowang410@hotmail.com

塔里木盆地西部位于天山与昆仑山之间, 在晚白垩世至始新世期间处于特提斯海东北部, 被浅海陆表海广泛覆盖。前人研究表明, 在齐姆根组、乌拉根组和巴什布拉克组中记录了三次海退, 并在齐姆根

组中通过碳同位素偏移识别出 PETM 事件(古新世-始新世极热事件)。本研究对塔里木盆地西部天山地区的三个剖面(巴什布拉克、库孜贡苏和斯姆哈纳)中的晚古新世至中始新世沉积中钙质超微化石组合进行了对比研究, 以探讨该地区的生物地层学和古生态特征。研究显示, 齐姆根组记录了最大规模的一次海侵, 钙质超微化石组合指示天山地区的最高相对海平面出现在 NP9a 带中部。从齐姆根组底部开始的海平面逐渐上升可追溯至 NP7 至 9a 带(塔尼特阶), 识别出 *Helolithus riedelii* 和 *Discoaster multiradiatus* 的首现面, 至古新世/始新世界线(NP9a-10 带)附近海平面处于高位, 伴随着 RD 组合(即 *Discoaster araneusgroup-Rhomboasterspp.*)的出现和 *Discoasterspp.* 数量增加。在齐姆根组顶部(NP10-11 带)记录了海退阶段, 钙质超微化石的丰度和多样性下降和大量 *Micrantholithusspp.* 出现。结合此前关于 PETM 事件的研究模型, 恢复阶段在塔里木盆地西部可能未完全记录。第四次海退事件在卡拉塔尔组和乌拉根组中, 自下而上水体逐渐变浅, 通过 *Nannotetrinaspp.*、*Discoaster bifax*、*Reticulofenestra umbilicus*、*Criboecentrum reticulatum* 和 *Chiasmolithus solitus* 的出现, 将其年代确定为 CNE12-13 带(卢台特阶)。从卡拉塔尔组顶部到乌拉根组底部的丰富的 *Discoasterspp.* 表明, 最大水深出现在 CNE12/13 带界线附近, 这一时期的沉积发生在连接外海的贫营养、暖水环境中。随着时间推移, 逐渐变浅的水深形成了一个封闭的盆地, 仅有 *Coccolithus pelagicus* 能够存活。乌拉根组中部大量伊利石和蒙脱石的出现表明了交替的干湿条件, 钙质超微化石的突然消失主要由海平面变化控制。第五次主要海侵事件记录在巴什布拉克组中部, 通过常见的 *Criboecentrum erbae* 化石的存在将其年代定为 CNE17 带(巴尔顿阶/普里阿邦阶)。

S11-P-4S

基于 eDNA 探究东太平洋深海矿区底栖有孔虫分子多样性与环境关系

法文龙^{1,3}, 类彦立^{1,2,3*}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋生物分类与系统演化实验室

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 中国科学院大学, 海洋学院

* leiyanli@qdio.ac.cn

海底资源勘探开发对经济社会可持续发展、构建人类命运共同体意义重大, 进行矿产开发首要任务便是探明该区域的物种多样性与生态分布情况。东太平洋 CC 区 (Clarion-Clipperton Zone, CCZ) 拥有海洋中最丰富的海底多金属结核等沉积物, 该海域生物分布与多样性情况尚未探明, 阻碍采矿工作开展。本研究以 CC 区 A5 区块为研究对象, 共采集 48 份沉积物样品并测量了相应环境因子参数, 以评估该区域有孔虫分子多样性与环境因子的关系。研究表明, 沉积物粒度、叶绿素、硫含量 (S)、总有机碳 (TOC)、常量金属和微量金属等参数的分布呈均匀状态, 碳 (C) 含量和氮 (N) 含量的数据分布均明显呈现出双峰特征。有孔虫的群落组成以单室目 (Monothalamida) 为主, 同时还包含少量的轮虫目 (Rotaliida), 未注释类群 (Other) 在每个站位的占比接近 50%。RDA 分析结果显示, 有孔虫丰度与叶绿素呈正相关, 与氮呈负相关; 多样性参数与粒度呈正相关, 与 TOC 呈负相关。本工作探究了深海矿区有孔虫分子多样性、生态分布情况及其与环境因子的关系, 为我国在东太平洋 CC 区开展深海采矿和环境保护工作提供数据支撑以及行动依据。

S11-P-5

始新世—渐新世颗石藻形态演化及驱动机制研究

马瑞罡^{1*}, 刘传联¹, David Bord², Marie-Pierre Aubry²

1 同济大学

2 美国罗格斯, 新泽西州立大学

* maruigang@tongji.edu.cn

颗石藻是理解晚新生代气候变化的关键, 但其分类鉴定仍存在挑战, 尤其是古近纪已绝灭属种。本研究采用形态测量学和统计学混合模型分析方法, 对始新世晚期至渐新世早期 *Reticulofenestra* 属 (等鞭金藻目——Isochrysidales) 的分类标准进行评估。该方法通过高斯混合模型对远端盾片长度、圆度和中央开口比率等参数进行分析, 实现了传统形态分类与统计识别组分之间的系统比较。在物种层面, 本研究从大西洋-印度洋中低纬度三个站位的 6700 个数据点中识别出九种形态类型。结果表明长度和圆形态能有效区分类群, 验证了其作为主要分类标准的可靠性; 而中央开口比率则表现出较高的组内变异性, 限制了其独立应用价值。综合数据显示该属演化经历三个阶段: (1) 始新世晚期降温事件的初始多样化 (>34 Ma); (2) 始新世-渐新世气候过渡期 (EOT, ~34-32Ma) 多样性峰值后的灭绝; (3) 早渐新世晚期 (<32 Ma) 小型物种适应性辐射带来的稳定化。本研究为半定量形态描述的验证提供了统计学依据, 有助于建立这一重要生态类群的可靠鉴定框架, 深化对浮游植物响应古环境变化的理解。未来基因组研究将对阐明 *Reticulofenestra* 演化过程中基因型-表型-环境的关系至关重要。此外, 从晚古近纪至今, 颗石藻的体型逐渐变小。首次体型缩小事件 (FSR) 发生在 ~3200 Ma, 出现在最成功的现代属种 *Emiliania huxleyi* (或 *Gephyrocapsa huxleyi*)。为了揭示 FSR 背后的驱动机制, 我们利用来自南大西洋的海洋沉积物, 对生活于中始新世晚期至渐新世早期 (约 40-30Ma) 的颗石藻化石进行了形态学分析。数据显示, 大型与小型颗石藻类群出现了策略性分化: 大型类群在灭绝前体型增大约 4 微米, 而小型类

群的体型范围则收缩。此外，从始新世晚期到渐新世早期，所有物种颗石中央开孔的尺寸均减小。我们推测 EOT 上层海洋营养盐浓度的增加可能是形态演化的主要原因。我们提出假说认为：具有较大颗石中央开孔的大型物种更依赖混合营养策略，这使其更适应中-晚始新世的贫营养环境；而中央开孔逐渐缩小的较小物种则更适应渐新世早期的富营养条件。这一推论支持了“浮游植物营养策略多样性被低估”的观点。

S11-P-6

备赞双角花介复合种的分类与种化

王雨楠^{1*}，王亚琼²，周保春¹，范代读³，史忠叶¹

1 上海自然博物馆（上海科技馆分馆）

2 中国科学院南京地质古生物研究所

3 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* wangyn@sstm.org.cn

备赞双角花介 *Bicornucythere bisanensis* (Okubo, 1975) 是东亚沿海常见的一种底栖介形虫，该种有若干个壳体形态极为相似、彼此难以区分的近缘种，共同构成了备赞双角花介复合种。前人根据壳体大小和壳长/壳宽比值，将 *B. bisanensis* 复合种的现生和化石种分为 4 个形态型，即 P、A、M、G 型，并且猜测它们已经通过多倍性分化为两个独立的种。然而，这样的分类忽视了壳体大小介于 P、A、M 型之间的个体，也无法解释为何在四个形态型中唯独 G 型拥有楔形外形。我国东海表层沉积物中大量的 *B. bisanensis* 复合种标本为研究其分类与种化提供了绝佳的材料。

东海的现生 *B. bisanensis* 复合种只包含 M 型和 G 型，对 A-3 至 A 龄期的 755 个壳瓣进行了形态分析。G 型从幼体到成体始终保持楔形外形，M 型在成体阶段由楔形变为亚长方形；G 型成体大小与 M 型的 A-1 龄期大致相当。*B. bisanensis* 复合种的壳

面布满网格，它们与上皮细胞具有一一对应的关系，因此网格分布模式（fossae arrangement pattern，简称 FAP）是重要的遗传特征和区分物种的标志。详细对比 M 型和 G 型壳体表面的 FAP，结果显示二者各自拥有稳定不变的 FAP，但二者的 FAP 非常相似，唯一的区别是 G 型在固定的位置比 M 型少 9 个网格。对东海标本的分析结果表明，M 型和 G 型之间存在着显著的、物种水平的形态差异。

以东海的结果为基础，进一步分析了既有文献和南黄海岩芯中的 82 个标本，包含了 P、A、M、G 四个形态型和一些中间型，时代跨越中新世~现代。它们与东海的标本一起，在形态上分离为三个群：群 I，壳体大小涵盖了 P、A、M 型，外形为亚长方形，FAP 与 M 型相同；群 II，壳体大小在 G 型范围内，外形为楔形，FAP 与 G 型相同；群 III，壳体大小和外形在群 II 之内，但 FAP 介于 M 型和 G 型之间。因为 FAP 是比壳体大小和外形更加保守的遗传形状，并且群 I 中壳体大小呈连续变化，应将 P、A 型合并到 M 型中，从而将 *B. bisanensis* 复合种分为 M、G 两个形态型更加合理。最后，本研究将包含了 *B. bisanensis* 模式标本的 M 型归类为该已知种，将 G 型描述为新种。

G 型相对于 M 型呈现幼稚形态。二者的中间类型（即群 III）出现于上新世，说明 G 型是通过幼态持续方式从 M 型分化而来的，分化始于上新世。

S11-P-7S

青藏高原生物（*Radix*）壳体团簇同位素重建温度应用研究

革定宽^{1,2}，谢曼平^{1,2*}，吴璇^{1,2}，徐涛^{1,2}，胡华秀^{1,2}

1 云南师范大学，地理学部

2 云南省高原地理过程与环境变化重点实验室

在全球气候变暖背景下,研究过去气候变化规律是更好地应对未来气候变化的基础。湖泊生物壳体对环境变化响应敏感且能长久存于沉积物中,成为了重建古气候的重要载体。近年来,碳酸盐团簇同位素在重建古温度上优势明显,故可将生物壳体团簇同位素作测定古温度重要手段以提升精度。但团簇同位素应用研究中,还原温度与实际温度仍有误差。如郭姝雯等对云南和湖南壳体团簇同位素进行对比,发现还原误差主要是由于种属差异所造成的。生物壳体中耳萝卜螺(*Radix*)的误差是比较小的。基于此,本研究以青藏高原为研究区,采集不同生境(羊卓雍措、羊八井和拉萨河)中的耳萝卜螺(*Radix*)测定团簇同位素数据反演温度,运用统计学方法对比研究,力求找到引起误差的原因。

主要得到以下结论:①把壳体团簇同位素值带入校准方程中发现,还原的温度结果与实际差异较大的情况较多,选取了 Petersen 生物碳酸盐/合成碳酸盐、Ghosh (2006) 无机碳酸盐、Ghosh 鱼耳石 (2007)、Tripathi 无机方解石/有孔虫和 Came 海洋腕足类、Dennis 无机方解石、Eagle 双壳类七个校准方程进行拟合发现 Petersen 校准方程重建出来的温度与实测水温较为接近,且适用范围更广,并且在很多生物壳体上都证实了它的适用性,郭姝雯的研究也认为该方程更适用于耳萝卜螺壳体的团簇同位素温度重建。因此选取该式作为校准公式进行温度还原。②耳萝卜螺壳体团簇同位素范围为 0.6643~0.7482‰,对应的团簇同位素温度(T47)介于 7.4~34.9℃之间,温度范围较大,壳体最高温出现在羊八井,最低温出现在拉萨河当中。以拉萨上半年月均最高温为参考温度,整体还原误差范围在±4.3℃~±17.5℃之间,不同生境的误差范围存在一定差异。③三个生境还原温度情况进行单因素 ANOVA 分析,P 值为 0.072,并不具有显著性,说明具有差异性的微水体环境(湖泊、沼泽、

河流)并不会影响还原误差。④最大还原温度误差为±17.5℃,实地水温记录发现该采样点水源为羊八井周边的冰雪融水,温度较低,螺发育长期处于低温水环境中,反演温度偏低。以拉萨整体月均最高温为参考进行计算会出现较大的误差,这也说明了在气候重建工作中采用的参考温度应当注重区域实际情况。通过实际水温对比,羊卓雍措区域整体还原精度较高,而拉萨河和羊八井附近河流还原温度误差较大,从水体性质来看,大型水体水体环境稳定,还原误差较小,由此可认为选取样本时应采用水体环境稳定的区域。

S11-P-8

末次冰消期南海南部中层水的温盐演变

杨艺萍¹, 向荣^{1*}, 钟福昌¹, 万随¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所

* rxiang@scsio.ac.cn

Millennial-scale variations of the intermediate water in the South China Sea (SCS) have not been well understood due to limited data. Here we investigate the temperature and $\delta^{18}\text{O}$ of seawater ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$, a proxy of salinity) evolution history of the intermediate water during the last deglaciation by analyzing Mg/Ca and oxygen isotopes of planktonic foraminifera *Globorotalia inflata* in the southern SCS. The results indicate that intermediate water was warm and salty during the Heinrich 1 (H1) and Younger Dryas (YD) cold events, while it was cold and fresh during the Bølling-Allerød (B-A) warm event in the southern SCS. By comparison with other paleorecords, we find that there was a weak intrusion of the low-salinity intermediate water from the western Pacific into the SCS during H1 and YD, whereas the opposite occurred during the B-A. Our study reveals that the

variability in the intrusion intensity of intermediate water into the SCS from the western Pacific was primarily influenced by the changes in winter wind intensity during the last deglaciation.

S11-P-9S

色林错介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 生命效应研究及古气候重建

徐涛¹, 谢曼平^{1*}, 吴璇¹, 胡华秀¹, 革定宽¹

¹ 云南师范大学, 地理学部
* formelody@126.com

生物壳体的同位素非平衡分馏效应（生命效应）影响着生物碳酸盐（如介形类壳体）的碳氧同位素对重建环境的精度。青藏高原中部处于季风和西风环流交汇区，气候变化具有特殊性，但目前针对该区域长时间尺度上的介形类壳体生命效应作用程度变化研究相对缺乏。由此，本文将青藏高原中部封闭湖泊色林错的 SL16-1 钻孔内获得的化学沉积碳酸盐作为理想条件下沉积的碳酸盐，利用其碳氧同位素值与同一时期的介形类（*Leucocythere parasculpta* 和 *Leucocytherella sinensis*）壳体的碳氧同位素进行对比，探究长时间尺度下的生命效应作用，发现：①全新世以来（近 11300 cal ka B.P.），介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 值受生命效应影响约偏正 3.55‰， $\delta^{13}\text{C}$ 值约偏负 3.17‰；结果与已知相关种属的研究结果存在差异，可能由于环境差异或种属差异引起；②方差分析揭示 $\delta^{18}\text{O}$ 差值在气候转型期（第二、三阶段）呈现显著统计学差异，反映了介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 对湖泊水汽源区变化的敏感响应；③除了生命效应作用最大外，水体环境温度差异、沉淀时间差异等也会影响色林错介形类壳体与无机碳酸盐氧同位素之间的差值。基于色林错介形类

壳体碳氧同位素在反演古气候中的敏感性，发现自全新世以来，色林错地区主要经过了四个气候演化过程：温暖湿润—温暖干燥—温凉干燥—气候暖湿。期间 9.2ka、8.2ka、4.2ka 及“2-kyr shift”全球性气候事件均有明确记录。区域对比表明，发现色林错地区在早中全新世主要受季风环流的影响，在晚全新世主要受到西风环流的控制，而 1.8ka 后再次受到季风主导。

S11-P-10S

全新世西太平洋暖池温跃层和新几内亚沿岸潜流的千年尺度研究

陈政宇¹, Mahyar Mohtadi², Stephan Steinke^{1*}

¹ 厦门大学, 海洋与地球科学学院
² University of Bremen, MARUM-Center for Marine Environmental Sciences
* ssteinke@xmu.edu.cn

新几内亚沿岸潜流（New Guinea Coastal Undercurrent, NGCUC）温跃层是自南太平洋亚热带唯一贯通赤道的西边界流，挟带高盐度的南太平洋热带水体补充至西太平洋暖池（Western Pacific Warm Pool, WPWP）和赤道潜流，其作用于调节赤道太平洋温跃层以及亚热带到亚极地地区的水体热量交换在年际尺度上，NGCUC 与厄尔尼诺-南方涛动（El Niño-Southern Oscillation, ENSO）循环拥有错综复杂的关系，即厄尔尼诺期间，NGCUC 流速核心上浮并延申至海水表层，拉尼娜期间则流速核心下沉。因此，探讨 NGCUC 和 ENSO 之间的关系具有重要意义。

有孔虫是海洋沉积中对了解古海洋和古气候的重要载体，其地球化学变化很好反应了上层海洋与气候变化之间的耦合关系。对新几内亚岛北缘的海底沉积物体挑选三种浮游有孔虫（*G. ruber*、*P. obliquiloculata*、*G. tumida*），获取 Mg/Ca

和 $\delta^{18}\text{O}$ 数据,以重建全新世新几内亚沿岸上层水体结构的变化,去了解(1) NGCUC 流速核心垂向变化对温跃层深度的影响;(2) ENSO 作为控制 WPWP 温跃层深度和 NGCUC 变化的主要机制。

S11-P-11S

西北冰洋硅鞭藻种群变化及其环境响应

冯晓航^{1,2}, 任健^{1,2,3*}, 金海燕^{1,2,3}, 陈建芳^{1,2,3}

1 自然资源部第二海洋研究所

2 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室

3 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室

* jian.ren@sio.org.cn

硅藻等硅质浮游生物是了解现代与过去海洋生态系统及相关环境变化的重要工具。然而目前对硅鞭藻开展的研究较少,其种群最优计数数量尚缺乏定论,导致对硅鞭藻如何响应北极快速变化及其机制尚不明确。本研究首先利用西北冰洋楚科奇海和楚科奇海台区采集的沉降颗粒物和表层沉积物,分析其中的硅鞭藻种群组成,发现 *Octactis speculum* 为优势种,其次是 *Stephanocha medianoctisol*, 其它属种占比极低。通过计数样方和计数梯度实验,确定在硅鞭藻绝对丰度较高时的最优计数数量;硅鞭藻绝对丰度较低的情况下,应进行全片观察与计数。在此基础上,本研究通过比较沉降颗粒物和表层沉积物中的硅鞭藻种群组合,发现虽然两者种群结构相近,但属种相对丰度差别较大,由此推测硅鞭藻在沉降过程中存在差异性溶解。楚科奇海表层沉积物中不同硅鞭藻属种分布于西北冰洋不同区域,可能指示不同的海洋环境。沉积硅鞭藻丰度可能受洋流和海水覆盖的影响。

S12-O-1

全新世南海珊瑚礁发育的南北差异及相对高纬度避难所意义

江蕾蕾^{1*}, 余克服¹

1 广西大学,广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* jianglei@gxu.edu.cn

揭示全新世珊瑚礁发育过程的高、低纬度差异对于理解珊瑚礁对历史气候变化的响应和对现代全球变暖的适应潜力等具有重要意义。本研究分别于南海南部美济礁(MJK1, ~10°N)和南海北部涠洲岛(GS1~GS6, ~21°N)实施了7个全取芯的珊瑚礁钻井,并基于高精度铀系测年技术确定了其垂向发育速率。结合前期资料(南沙群岛 NK1、NY1 和 NY4, 西沙群岛 CK2),重建了南海全新世珊瑚礁的发育历史,分析了全新世南海珊瑚礁发育的高、低纬度差异。结果显示:美济礁发育速率在 7823-7414 a BP (8.95 m/ka)、5528-5005 a BP (7.18 m/ka) 和 4497-3682 a BP (5.60 m/ka) 出现高峰;永暑礁在 4050-3950 a BP 达 28 m/ka, 2343-1600 a BP 为 4.10 m/ka, 642-126 a BP 为 10.65 m/ka;涠洲岛 8252-4193 a BP 礁体发育速率为 0.32 m/ka, 4193-3737 a BP 礁体以 1.08 m/ka 的速率加速发育, 3737-2294 a BP 礁体发育速率为 1.80 m/ka, 2294-1645 a BP 礁体以 1.46 m/ka 的速率减速发育, 1645-570 a BP 礁体发育速率为 0.72 m/ka, 570-86 a BP 礁体以 2.28 m/ka 的速率加速发育, 86--32 a BP 礁体发育速率为 3.28 m/ka。全新世南海珊瑚礁发育过程存在显著的南北差异,主要受气候冷暖所调控:8252-7823 a BP、7414-5528 a BP(全新世大暖期)、5005-4497 a BP 和 1600-570 a BP(中世纪暖期),南海海表温度(SST)较高,美济礁和永暑礁慢速发育;3682-2294 a BP 和 86--32 a BP(现代暖期)南海 SST 较高,美济礁和永暑礁慢速发育,而涠洲岛珊瑚礁快速发育;7823-7414 a BP、5528-5005 a BP(5.5 ka BP 事件)、4497-3682 a BP(4.2 ka

BP 事件)、2294-1600 a BP 和 570-86 a BP(小冰期)南海 SST 较低,美济礁和永暑礁快速发育,而涠洲岛珊瑚礁发育慢。推测在全球变暖的背景下,南海北部珊瑚礁将加速发育,涠洲岛可能成为未来南海珊瑚礁潜在的避难所。

S12-O-2

南海全新世珊瑚礁磁性矿物特征及其气候指示意义

李海^{1*}, 余克服^{1,2*}

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

2 广西大学, 海洋学院

* li_hai@gmlab.ac.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

南海作为西太平洋最大的边缘海,其珊瑚礁不仅是全球生物多样性的热点区,更是气候环境演变的重要记录载体。珊瑚礁通过高效的碳酸盐沉积贡献了全球23%~26%的CaCO₃沉积通量,在全球碳循环中发挥着重要作用。然而,全球变化导致南海珊瑚礁面临白化加剧与生物多样性衰退等威胁,受限于现代观测数据的时间跨度,气候变化的影响难以被评估和预测。全新世是距今最近的自然气候“对照组”,其研究可揭示地球系统的变化机制,并为理解自然气候变率与珊瑚礁演化提供基准。

近年来,南海全新世珊瑚礁研究在气候环境记录、海平面变化及人类活动影响等方面取得显著进展。然而,当前研究存在双重局限:1)珊瑚骨骼记录时间跨度限于数百年,难以解析长周期气候变化的影响机制;2)生物化石受限于保存的非连续性,无法实现高分辨率古环境重建,限制了对全新世珊瑚礁演化与气候变化耦合机制的深入理解。多学科交叉研究为突破现有局限提供了新路径。环境磁学与漫反射光谱技术的应用,既可与其他方法相互验证,又可弥补地球化学方法在长时间序列高分辨率记录上的不足。

因此,本研究以南沙群岛美济礁 MJK-1 井全新世珊瑚礁为研究对象(图1),综合运用岩石磁学、环境磁学与漫反射光谱技术,结合地球化学、扫描电镜分析等方法,系统解析珊瑚礁磁性矿物的性质特征及其对气候变化的响应机制。研究发现:1)珊瑚礁磁性矿物含量与礁体生长速率呈现显著协同变化,细颗粒磁性矿物富集层段对应珊瑚礁快速发育阶段;2)岩石磁学结果表明,细颗粒磁性矿物可能主要由生物成因的磁小体主导,其含量变化与海洋初级生产力水平呈正向关联;3)磁性参数(频率磁化率与非滞后剩磁)的协同变化可有效反映珊瑚礁区生产力的动态特征。本研究首次建立了珊瑚礁磁学信号-生物生产力-礁体生长的多尺度耦合框架,揭示了磁性矿物对海洋生态过程的记录能力,为理解珊瑚礁生态系统应对气候变化的生物地球化学机制提供了新视角,同时拓展了环境磁学在珊瑚礁生态监测与保护中的应用潜力。

S12-O-3

珊瑚与模式对比之西沙群岛海水氧同位素气候指示意义探究

党少华^{1,2*}, 刘忠方¹, 余克服²

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* dangshaohua@tongji.edu.cn

热带珊瑚所记录的海水氧同位素($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$)常被用来反映海水表层盐度(SSS)变化,从而恢复过去的水文气候演化。然而,不同热带海域珊瑚所记录的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 与SSS间的关系存在极大的时空差异,这就阻碍了我们对其所反应实际气候意义的解读。本研究基于1根西沙群岛的珊瑚Sr/Ca和 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(1990-2015年),通过统计学诊断并结合一维模式和敏感性试验,

对该海域珊瑚记录的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 及其所反应的气候意义进行了深入剖析。研究表明,西沙群岛海域珊瑚记录的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 不能用来指示 SSS 变化,该海域珊瑚所记录的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 主要反映了与沃克环流强度紧密关联的区域大气水循环的变化,因此可以用于恢复过去的区域水循环信息和沃克环流强度变化。本研究也同时强调,不同海域珊瑚所记录的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 信号不能简单的作为 SSS 指标,其所反应的气候意义需要重新评估。

S12-O-4

珊瑚记录工业革命以来西太平洋暖池的扩张和增强

李小花¹, 张占清¹, 胡石建^{2*}

1 中国科学院海洋研究所

2 河海大学

* sjhu@qdio.ac.cn

西太平洋暖池 (WPWP, the Western Pacific Warm Pool) 是全球海洋温度最高的海域,是沃克环流和哈德莱环流上升支所在,是驱动热带大气环流的主要热源,是整个地球气候系统的“热量和蒸汽引擎”,其变化对全球气候影响显著。由于观测数据有限,目前对工业革命前 WPWP 是如何变化的了解较少。考虑到 WPWP 的变化会显著影响海表面温度 (SST, sea surface temperature),珊瑚地球化学指标可以定量重建高分辨率的 SST 变化,基于此本研究我们利用西太平洋珊瑚指标重建了月分辨率的 1840 年-1997 年的 WPWP 的面积和强度。研究发现,1840-1997 年 WPWP 的面积和强度分别以 $3.04 \times 10^9 \text{ m}^2/\text{年}$ 和 $4.00^\circ\text{C}/\text{年}$ 的速率扩张和增强。由于人类活动排放温室气体影响,WPWP 在 1960-1997 年扩张和增强速率显著加快,分别为 $1.73 \times 10^{11} \text{ m}^2/\text{年}$ 和 $19.76^\circ\text{C}/\text{年}$ 。未来全球变暖背景下,WPWP 可能会进一步扩张和增强。此外,

在年代际时间尺度上,热带太平洋年代际变率可能是影响 WPWP 变化的主导因素。

S12-O-5

珊瑚砂和珊瑚骨骼中黑碳赋存特点及其碳封存意义——基于 BPCA 分子标志物法的证据

王镜宇^{1,2,3}, 张瑞杰^{1,2,3*}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学,海洋学院

* 20130119@gxu.edu.cn

黑碳 (BC) 是生物质和化石燃料不完全燃烧产生的碳质产物,对全球碳循环具有重要影响。海洋被认为是 BC 的最终汇,而珊瑚礁区作为典型的浅海生态系统,其中关于黑碳的研究仍然较为匮乏。本研究通过分析涠洲岛 (近海) 和永乐环礁 (远海) 的海水、珊瑚砂及珊瑚骨骼样品,采用苯多羧酸 (BPCA) 分子标志物法定量 BC,以揭示其在珊瑚礁区的分布特征及对有机碳汇的贡献。结果表明,海水中的溶解态黑碳浓度为 $1.57\text{-}52.0 \mu\text{g/L}$,远海区域显著低于近海。珊瑚砂中的有机碳 (OC) 含量为 $0.38\text{-}4.37 \text{ mg/g}$,BC 含量为 $18.4\text{-}249.1 \mu\text{g/g}$,近海珊瑚砂的黑碳含量较高,且珊瑚砂中 BC/OC 比值在 1.26%-20.3% 之间,与无机碳含量显著负相关。分析不同粒径的珊瑚砂时,粗粒珊瑚砂显示出更高的 BC 和 OC 含量,可能因粗粒珊瑚砂来源于珊瑚骨骼破碎,而珊瑚骨骼对有机碳的包藏与吸附作用有助于 OC 的保存,这显示出珊瑚砂在碳保存上的独特性。BPCAs 的分子组成信息表明,珊瑚骨骼的 BC 凝结度低于珊瑚砂,可能受生物矿化作用影响,揭示了珊瑚礁区碳循环的独特动态。本研究为评估珊瑚礁在全球变暖和海水酸化下的碳封存能力提供了新的视角。

S12-O-6

珊瑚礁区地下水排放及其携带的溶解碳通量

汪迁迁^{1*}

¹ 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室
* qqwang@sklec.ecnu.edu.cn

虽然海底地下水排放 (SGD) 可以将大量碳排放到沿海水域, 但是关于红树林地下水携带的溶解碳到珊瑚礁区的研究十分有限。本研究, 利用天然放射性镭钍同位素量化了红树林、沙滩和珊瑚礁区 SGD 携带的溶解无机和有机碳 (DIC 和 DOC) 通量, 然后整合到全球 SGD 数据。结果表明, 在时间尺度上, 珊瑚礁区 SGD 平均速率为 $11 \pm 5 \text{ cm d}^{-1}$, SGD 携带的 DIC 和 DOC 通量分别为 98 ± 48 和 $19 \pm 9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。在空间尺度上, 红树林泥滩的 SGD 通量为 7.1 ± 1.3 至 $6.6 \pm 0.9 \text{ cm d}^{-1}$, 沙滩处 SGD 为 7.0 ± 1.3 至 $17.1 \pm 1.9 \text{ cm d}^{-1}$, 相应的 DIC 输出通量分别为 90 ± 13 至 153 ± 44 、 36 ± 7 至 $161 \pm 20 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。对于 DOC, 红树林泥滩的输出通量为 $61 \pm 12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 而潮间带沙滩的消耗通量为 $1.7 \pm 0.3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。该研究强调了红树林泥滩和沙滩含水层在向珊瑚礁输出碳成分方面发挥着重要作用。对珊瑚礁的进一步全球调查显示, 地下水携带的 DIC 通量比得上甚至超过了河流排放、红树林和盐沼区域。这种大量 SGD 携带的 DIC 进入珊瑚礁, 可能对珊瑚礁的生长和退化产生了深远的影响。

S12-O-7

新生代珊瑚岛礁白云岩成因机制研究进展与展望

黎刚^{1*}

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* gangli@scsio.ac.cn

"白云岩问题"作为困扰地质学界百年的科学难题。尽管在新生代海洋中白云石丰度显著低于其他地质时期, 然而厚层白云岩在全球珊瑚岛礁中被大量发现。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 数据表明全球岛礁白云岩化始于中中新世, 包裹体测温和团簇同位素结果显示其主体形成于常温环境, 但这些厚层低温白云岩的形成与熟化机制尚不明确。 $\delta^{26}\text{Mg}$ 和 $\delta^{44}\text{Ca}$ 同位素特征证实白云石中 Mg 主要源自海水, 虽然其分异度普遍较小, 但不同有序度/化学计量数的白云岩仍存在 $\delta^{26}\text{Mg}$ 系统性差异, 暗示岛礁白云岩在熟化过程中存在 Mg 同位素分馏, 这还需更多数据约束。同时, 岛礁白云岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 较同期海水偏正约 1‰ (砂糖状低钙白云岩 $\delta^{34}\text{SCAS}$ 更显著), 表明白云岩化伴随硫酸盐还原作用, 岛礁白云岩不是形成在完全氧化的开放环境中。新生代岛礁白云岩普遍被发现存在明显的化学计量数、晶体结构的分异, 然而, 目前对导致新生代岛礁白云岩化学计量数与晶体结构分异的流体性质差异仍缺乏系统认知, 未来需重点研究成岩流体化学演化规律, 通过深入解析不同类型岛礁白云岩的地球化学特征, 揭示岛礁内部流体过程对低温白云岩形成的关键控制作用。

S12-O-8

西沙岛礁白云岩是海水锂同位素组成的可靠记录

刘晓锋^{1,2*}, Xiao-Ming Liu^{3*}, Xi-Kai Wang³, 翟世奎², 刘新宇⁴

¹ 南方海洋科学与工程广东省实验室 (广州), 珊瑚礁系统科学研究团队

² 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

³ University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Earth, Marine and Environmental Sciences

⁴ 中海石油 (中国) 有限公司湛江分公司

海水的锂同位素组成 ($\delta^7\text{Li}$) 记录了地质历史时期碳-硅循环演化的关键信息, 因此寻找适宜的地质材料以重建海水 $\delta^7\text{Li}$ 值变化至关重要。白云岩作为一种在地质历史上广泛分布且受成岩作用改造的碳酸盐岩, 能否准确记录海水锂同位素组成尚存争议。本研究采用高精度的锂同位素分析技术, 来揭示南海西沙岛礁白云岩中所蕴含的海水锂同位素组成信息, 以期解决上述问题。结果表明, 白云岩样品 (23–3.4 Ma, $n=39$) 的 $\delta^7\text{Li}$ 值在新近纪期间由 24.9‰ 上升至 30.1‰, 与已发表的有孔虫记录高度一致, 且无需经过同位素分馏系数校正即可直接反映海水 $\delta^7\text{Li}$ 值。本研究揭示, 即便经历了早期成岩作用, 原始沉积结构得以保存的白云岩仍可作为重建海水 $\delta^7\text{Li}$ 记录的有效载体。高分辨率的白云岩记录也证实了基于有孔虫记录所观察到的新近纪海水 $\delta^7\text{Li}$ 值约 5‰ 的增加。这种增加被认为反映了大陆硅酸盐风化作用的增强, 并与喜马拉雅山构造隆升为代表的大规模造山运动相关。本研究进一步指示, 前寒武纪广泛发育的具有原始沉积结构的早期海相成岩白云岩, 可能同样记录了海水 $\delta^7\text{Li}$ 与大陆风化作用的变化, 这将为理解前寒武纪全球碳循环提供重要依据。

S12-O-9

琛科 2 井晚中新世-早上新世 脂肪酸及其单体碳同位素分 布特征对古海洋环境的响应

王佳宝¹, 宋宜^{1,2,3*}, 黄建容¹, 余克服^{1,2,3}

¹ 广西大学, 海洋学院

² 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

³ 广西大学, 珊瑚礁研究中心

* songyi_daisy@163.com

探究珊瑚礁对地质历史气候突变期的生态响应是了解珊瑚礁应对古环境变化策略的关键。脂类来源于能够指示特定的生物分类学类群或微生物功能群, 也能够记录生物生长或早期成岩过程中的生态环境信息。然而, 脂类所反映的珊瑚礁区生物在气候突变期对古环境的响应尚未得到印证。我们采用了位于南海北部的西沙群岛琛科 2 井 (CK2 井) 晚中新世-早上新世时期珊瑚礁碳酸盐岩钻孔样品, 利用其中的脂类生物标志物研究南海北部珊瑚礁区脂类的分布特征, 揭示珊瑚礁区微生物群落对古海洋环境的响应。实验结果显示, CK2 井中的脂肪酸以 C16:0 为主峰, 具有偶数碳优势, 且短链脂肪酸占比高, 指示脂肪酸以海洋中的低等菌藻类贡献为主。其中, 不饱和与饱和脂肪酸的比值 (C16:1/C16:0FA、C18:1/C18:0FA 和 PUFA/18:0FA) 与南海北部区域 SST 呈相反的变化, 指示了珊瑚礁区微生物对海温变化的灵敏响应。通过旋回地层学方法识别出 C18:1/C18:0FA 比值与夏季风敏感指标 Rb/Sr 两者的 405 ka 滤波曲线呈现同相位变化, 表明东亚夏季风与珊瑚礁微生物脂类分布密切相关。由此可以推断, 夏季风驱动南海北部上升流活动导致局部海表温度下降, 进而促使珊瑚礁区微生物调整脂类分布以适应海洋环境变化。CK2 井中 $\delta^{13}\text{C}_{16:0\text{FA}}$ 与 $\delta^{13}\text{C}_{18:0\text{FA}}$ 的差值 ($\Delta\delta^{13}\text{C}$) 及脂肪酸多指标 (C16:0/C18:0FA、C18:1/C18:0FA、L/H (FA) 和细菌源脂肪酸) 在突然变冷期 (约 4.5–3.9 Ma) 的协同变化表明, SST 的突然降低导致珊瑚礁区的微生物群落和有机质来源发生显著转变。综上, SST 直接影响了珊瑚礁区微生物对沉积环境温度响应的生理生态过程, 而季风影响海表温度, 是珊瑚礁区微生物脂类分布变化的最终因素。本研究揭示了地质历史气候突变时期珊瑚礁区生物对环境变化的生态响应和演变规律, 从而为探讨全球气候变暖下珊瑚礁区微生物对环境变化的响应提供了一定的见解。

S12-O-10

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值及铁锰钙镁元素含量变化对南海甘泉海台最终灾变式沉没的年代约束

张江勇^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 三亚南海地质研究所

* 121343638@qq.com

碳酸盐台地的持续发育依赖于造礁生物群落处于适宜的海洋-气候环境中并在海平面以下的有光层长期生存。海洋-气候环境属于区域性环境要素, 南海在开始发育碳酸盐台地以来的绝大多数地质历史时期里, 总有局部区域或多个区域发育碳酸盐台地, 这表明不存在天文轨道尺度以及更大时间尺度上能致命影响南海碳酸盐台地发育的恶劣海洋-气候环境。前人研究表明, 在天文轨道尺度以及更大时间尺度里, 地壳升降运动和全球海平面升降通过改变造礁生物栖息地与海平面之间相对位置主导着南海碳酸盐台地的发育演化。西沙海域宣德环礁和永乐环礁研究程度较高, 均揭示出早中新世以来碳酸盐岩地层在构造尺度发育堆积的连续性, 但在这两个孤立碳酸盐台地周围还分布着十多个厚度相差数百米不等的孤立碳酸盐台地, 其中以甘泉海台顶面水深最深。初步认为西沙海域构造活动差异性可能是引起该海域众多碳酸盐台地厚度差异以及发育演化历史差异的核心原因, 推测甘泉海台是某一地质时期因遭受构造活动导致的快速沉没而终止了发育, 查明甘泉海台沉没年代是解开西沙海域孤立碳酸盐台地群发育演化的关键研究内容之一。

为探索甘泉海台最终灾变式沉没的年代, 针对甘泉海台顶部碳酸盐岩岩芯以及侧坡上部表面的碳酸盐岩块体, 进行锶同位素年代学研究。锶同位素年代学在南沙海域美济礁和西沙海域永乐环礁的应用都

十分成功, 为甘泉海台锶同位素年代学研究提供了重要借鉴, 但甘泉海台顶部和侧坡碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化和样品在碳酸盐台地中的相对位置关系远比美济礁、永乐环礁的复杂, 甘泉海台侧坡往往表现出相同微地形区域的多个样品展现出较大 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值范围的特点, 该海台顶部长度仅为 40cm 的碳酸盐岩岩芯也分布着显著不同的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值, 特别地, 本次研究样品中部分样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与铁锰异常高含量直接相关, 后者涉及到生物礁碳酸盐岩早期成岩作用和铁锰结核结壳的形成。通过甘泉海台样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值和铁锰钙镁元素含量的变化特征以及样品之间的相对位置关系, 大致建立了甘泉海台上部地层的形成演化模式, 并基于该演化模式推测甘泉海台最终灾变式沉没的年代很可能为晚中新世末期。本研究提供甘泉海台最终灾变式沉没年代的约束, 为进一步深化研究西沙海域碳酸盐岩台地群发育演化机制打下了基础, 有关锶同位素的讨论也有助于深入理解南海锶循环。

S12-O-11

大陆裂离演化过程对浅水珊瑚礁生长基底时空分布的影响: 以南海与红海为例

雷志斌^{1*}, 夏少红^{1*}, Sascha Brune^{2,3}, Michaël Pons², 张成龙¹, 苟涛¹, 张昌榕¹, 范朝焰¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

3 Institute of Geosciences, University of Potsdam, Potsdam, Germany

* zhibinlei@scsio.ac.cn

* shxia@scsio.ac.cn

浅水珊瑚礁是海洋生物多样性的热点区域, 支撑着约 25% 的海洋物种。其中, 76% 的浅水珊瑚礁现分布于被动大陆边缘,

该构造部位形成于威尔逊旋回中的大陆裂解阶段，暗示大陆裂离演化过程在塑造适宜浅水珊瑚礁生态系统的生存空间发挥着关键作用。然而，该过程的主控因素、动力机制仍有待定量评估。本研究通过耦合地球动力学与地貌演化动力学数值模型，首次系统分析了不同裂谷类型、地表作用过程强度等因素对大陆裂离演化过程中珊瑚礁生长基底规模、时空分布特征的控制作用。结果显示，大陆裂谷在裂陷期与海底扩张期均可为浅水珊瑚礁形成适宜生长的基底地貌；在相同外部条件下，宽裂谷（两侧陆缘宽度累加超过 150 公里，如南海）比窄裂谷（两侧陆缘宽度累加小于 150 公里，如红海）可形成更大规模适宜珊瑚礁生长的基底地貌。进一步分析表明，裂谷内断层活动系统主导了珊瑚礁基底地貌的形成，初始地壳结构深刻影响了该基底地质-地貌单元在陆缘的空间分布特征，而地表作用过程则显著影响着该基底地貌的规模。综合以上发现，我们提出了以裂谷类型与地表作用强度双因素主导的“四象限端元模式”：弱风化型窄裂谷、弱风化型宽裂谷、强风化型窄裂谷、强风化型宽裂谷。该端元模式为理解红海珊瑚礁“北窄南宽”式的平面分布差异特征，以及南海独特的“珊瑚岛礁群”地貌特征提供了机制性解释。此外，研究构建的地球动力学与生物地理学之间的关联框架，还为进一步探索海洋中无机构造演化过程与有机生命过程的相互作用奠定了基础。

S12-O-12

塑岩理化性质与形成原因的初步探索

王刘炜^{1,2*}

¹ 广西大学，海洋学院

² 清华大学，环境学院

* wangliuwei@gxu.edu.cn

自工业革命以来，全球人口的快速增长与经济的飞速发展对地球地貌与环境造成了巨大影响，人类活动对地球系统的改变开创了一个全新的地质年代——人类世（Anthropocene）。本研究在我国西南地区发现了塑料与沉积岩的结合体，并将其命名为塑岩（Plastistone）。在塑岩中，低密度聚乙烯塑料（LDPE）、聚丙烯塑料（PP）与以石英为主要矿物组分的页岩发生了结合；其中，LDPE 与岩石发生了 Si-O-C 化学成键作用。在实验室内通过模拟洪水周期性泛滥的干湿循环实验，进一步研究了塑岩释放微纳米塑料的能力，发现微塑料的释放过程遵从零级动力学，显示出持续的微塑料释放特征。在这一发现的基础上，进一步梳理了塑岩的全球分布和潜在成因，并在实验室中通过人工加速老化实验证实了紫外光照作用是塑料和沉积岩发生化学成键的关键驱动力。在全球变化的大背景下，洪水泛滥事件造成的干湿循环频次增加，这一塑料的赋存形式与其他赋存形式相比，可能存在较高的生态风险。

S12-O-13

全球珊瑚礁区海洋热浪时空特征及驱动机制

姚玉龙¹，王春在^{1*}

¹ 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境实验室

* cwang@scsio.ac.cn

珊瑚礁对持续时间更长、强度更大的海洋热浪（MHWs）非常敏感，热浪经常引发珊瑚白化。然而，全球珊瑚礁在海洋热浪方面的地理差异尚未得到充分研究。在此，我们对 1982-2021 年间 10 个主要区域的海洋热浪平均值、趋势和类别变化进行了全面的全球评估，并进一步探讨了 20 世纪和 21 世纪全球珊瑚礁区域的海表温度（SST）变化，以及全球变暖 1.5°C 下海洋热浪指标的预测变化。结果表明，在大多

数珊瑚礁关键地区，多年平均 MHW 年日数和累积强度增加，而最大强度和平均强度下降。在 1982-2021 年期间，中等和强的 MHW 类别占主导地位。MHW 总天数的经验正交函数（EOF）分析表明，在 EOF1 模式中存在明显的 ENSO 信号，综合分析表明，MHW 总天数在北方春季和夏季达到峰值，导致大规模珊瑚白化。在 SSP245 和 SSP585 两种排放情景下，全球珊瑚礁区的海温变率增加显示出较高的模式共性，红海北部、波斯湾、加利福尼亚湾和加勒比海的海温值较高。未来海洋上层热含量的增加和混合层深度的变浅可能会引发更长、更剧烈的 MHWs。我们的研究结果加深了人们对珊瑚礁区域 MHWs 地理差异的理解，并为了解全球变暖 1.5°C 情况下 MHWs 的变化提供了见解。

S12-O-14

珊瑚—微生物间的共系统发育关系

李洁^{1*}，李嘉鑫¹，琚慧敏¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所
* lijietaren@scsio.ac.cn

全球气候变化影响下，珊瑚共生体环境适应性是种群长期存续的关键。珊瑚与其共生微生物之间的生态-进化关系对其环境适应性十分重要。研究揭示关键共生菌类群-动物内生单胞菌与石珊瑚宿主存在显著的系统发育共生关系和共系统发育模式。通过量化所检测的每对动物内生单胞菌与石珊瑚宿主的共系统发育信号强度，发现每对共系统发育信号强度存在差异，反映出二者共生关系的紧密程度存在差异。针对共生藻与珊瑚宿主的生态-进化模式研究发现，*Cladocopium* 属的共生藻与其珊瑚宿主之间存在共系统发育模式，且其与珊瑚宿主复杂类群（Complex）的共系统发育信号比坚实类群（Robust）更强，但 *Durisdinium* 属的共生藻与珊瑚宿主之间不

存在共系统发育关系。该研究结果提示，与 *Durisdinium* 属相比，*Cladocopium* 与珊瑚宿主之间的共生关系更为紧密，*Durisdinium* 与宿主的关联具有更强的灵活性。进一步分析发现宿主转移事件可能是动物内生单胞菌、共生藻 *Cladocopium* 与珊瑚宿主之间共系统发育模式形成的主要驱动力。该研究加深了对动物内生单胞菌、共生藻与珊瑚宿主之间的协同演化关系的理解，为恢复微生物与珊瑚宿主的有益协作关系提供了科学依据。

S12-O-15

潮间带微观尺度造礁珊瑚耐热性差异调控机制研究

俞小鹏^{1*}，余克服¹

¹ 广西大学，海洋学院
* xiaopengyu@gxu.edu.cn

生态调查发现潮间带微观尺度上造礁珊瑚存在热适应性分化，生长于温度波动区域珊瑚的耐热性更高，这导致这一差异的原因尚不明确。为了揭示导致珊瑚适应性升高的原因，我们以涠洲岛澄黄滨珊瑚为对象，以共生体氮代谢调整为突破口，采用生理学、同位素地球化学、蛋白组和扩增子测序相结合的思路，对比温度波动区域和稳定区域珊瑚共生体营养方式、氮代谢相关蛋白、氮代谢关键酶活性、虫黄藻系群与生理指标，以及固氮菌群及固氮速率的差异筛选导致珊瑚高耐受性的潜在参与者，其次通过交叉移植明确关键参与者及调控机制，最后开展热驯化模拟实验验证上述结果。从共生功能体水平明确温度波动驯化作用通过调节共生体氮代谢过程提高珊瑚耐热性的分子机制，为珊瑚应对全球变暖提供科学依据。

S12-O-16

氨基酸 $\delta^{13}\text{C}$ 分析揭示细菌和真菌对珊瑚低的营养贡献

王啟芳¹, 郑新庆^{1*}

¹ 自然资源部第三海洋研究所

* zhengxinqing@tio.org.cn

珊瑚是海洋生态系统中的重要生物, 为多种海洋生物提供了关键的栖息地。然而, 珊瑚对环境波动极为敏感, 这种敏感性可能影响其获取营养的能力。研究表明, 珊瑚共生微生物(包括共生藻类、细菌和真菌)通过代谢物转移和营养物质循环为宿主提供营养, 但这些微生物伙伴在多大程度上补充珊瑚的自养或异养能力仍不明确。为此, 我们测量了鹿角杯形珊瑚(*Pocillopora damicornis*)及其营养来源(如共生虫黄藻和颗粒有机物)在不同季节的氨基酸碳同位素($\delta^{13}\text{CAA}$)。贝叶斯混合模型显示, 从冬季到夏季, 鹿角杯形珊瑚的自养能力显著增强(从 67.1% 提升至 80.5%), 对颗粒物的摄入减少(从 32.9% 到 19.5%)。此外, 季节间稳定的必需氨基酸 $\delta^{13}\text{CAA}$ 值(如缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸)表明, 不同季节之间微生物对珊瑚的营养贡献差异较小。通过进一步结合文献数据, 我们发现细菌和真菌对造礁珊瑚营养的贡献有限, 整体占比不足 15.1%。线性判别分析也表明, 没有珊瑚宿主被归入这些微生物的 $\delta^{13}\text{CAA}$ 指纹。总体而言, 细菌和真菌不太可能为珊瑚宿主提供足够的必需氨基酸, 这凸显了共生藻类和颗粒摄食在珊瑚营养中的基础作用。然而, 由于这些关键营养途径易受环境波动的影响, 缺乏营养灵活性的珊瑚可能会出现营养供给不足的情况, 在气候变化背景下可能导致其种群数量的减少。

S12-O-17

基于地貌分区建模的珊瑚礁遥感水深反演方法

滕君灿¹, 左秀玲^{1*}, 苏奋振³, 段正贤¹, 余克服^{1,2*}

¹ 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室

² 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

³ 中国科学院地理科学与资源研究所

* zuoxl@gxu.edu.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

由于珊瑚礁底质和地形具有高度的空间异质性, 目前的遥感水深反演方法在获取大范围水深时精度较低。本研究以南海西沙群岛的 11 个珊瑚礁(海洋面积为 607 km^2)为研究区, 结合 Ice, Cloud and Land Elevation Satellite-2 (ICESat-2)数据以及中分辨率的高分一号(GF-1)和高分辨率的 WV-2/3(WV-2/3)多光谱影像, 构建了一种基于地貌分区的多参数模型组合水深反演方法(PMCGS)。该方法使用 ICESat-2 和多光谱卫星影像, 在每个地貌带构建 5 个参数模型, 然后组合每个地貌带的最优模型, 将其外推至同一地貌带内的其他珊瑚礁进行水深反演。结果表明, 礁坪、浅潟湖和点礁的最优参数模型为多波段比值模型, 礁坡和深潟湖的最优模型为二项式模型。经实测水深数据和 ICESat-2 数据验证, 当使用 PMCGS 水深反演方法外推应用至其他珊瑚礁时, GF-1 反演精度为 $\text{RMSE}=0.91\text{ m}$, WV-2/3 为 $\text{RMSE}=0.70\text{--}0.88\text{ m}$, 该精度高于同等分辨率下的单一模型方法。与前人研究相比, 我们的方法在 0–10 m 和 15–25 m 水深处的表现更好, 尤其是在礁坪和浅潟湖这类浅水区。因此, 本研究提出的 PMCGS 水深反演方法可以有效提高中高分辨率影像的水深反演精度, 在获取大范围水深方面具有巨大的潜在应用价值。

S12-O-18

涠洲岛沙质海岸侵蚀及其与珊瑚礁退化的关系研究

黄荣永^{1*}, 肖竣友¹, 余克服¹

¹ 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* rongyonghuang@163.com

珊瑚礁沙质海岸对人类社会与经济的可持续发展具有重要意义, 其变化及驱动机制已成为全球关注的焦点。已有研究指出, 珊瑚礁沙质海岸侵蚀与珊瑚礁退化之间可能存在一定关联, 但迄今大多数证据仍停留在定性层面, 缺乏相关的定量分析。因此, 本文以珊瑚礁发育已有 8200 余年的涠洲岛沙质海岸为研究对象, 基于 1964 年至今共 39 景卫星遥感影像, 分析了植被边界线、水边线及其所围面积的时间变化特征, 并结合皮尔逊相关分析、地理探测器和主成分回归等手段, 解析了活珊瑚覆盖度、海平面上升和热带气旋活动等对涠洲岛海岸演变的影响机制。结果表明, 涠洲岛沙质海岸整体呈现退缩趋势, 但在局部区域表现出显著的时间与空间差异。这些差异可能主要是由珊瑚礁分布与健康状况演变导致的水沙输运变化所引起。植被边界线的变化主要受降水量变率控制, 同时受到岸线侵蚀的制约。在所探讨的因素中, 对涠洲岛海岸稳定性影响最大的是活珊瑚覆盖度, 贡献率为 24.7% (正面), 其次为海平面上升, 贡献率为 22.4% (负面)。热带气旋活动的直接影响接近零, 贡献率仅为 6.4%。然而, 热带气旋活动与活珊瑚覆盖度和海平面上升的交互显著增强了对涠洲岛沙质海岸演变的作用, 两者贡献率分别达到 22.4% 和 15.2%。而活珊瑚覆盖率与海平面上升的交互也产生贡献率为 13.7% 的正面影响。本研究为活珊瑚覆盖度、海平面上升、热带气旋活动及其两两交互作用对珊瑚礁沙质海岸演化的影响提供了定量证据, 阐明了珊瑚礁保护与修复对维持海岸稳定性所起的关键作用, 能为珊瑚礁海

岸的管理与可持续发展决策提供科学依据与数据支撑。

S12-P-1S

西沙群岛晚中新世宣德组沉积相对白云石晶体发育演化的控制作用

花绘¹, 王瑞^{1*}, 沈若夏², 余克服^{1*}

¹ 广西大学, 海洋学院

² 中国科学院地球化学研究所

* wrzfl@gxu.edu.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

“白云岩问题”是地球科学领域中的经典科学问题之一。白云岩常被认为是富含 Mg^{2+} 的流体在微米尺度上与先驱灰岩发生交代作用形成, 但有关先驱灰岩对白云石晶体发育演化的控制作用仍不清楚。基于此, 本文选取西沙群岛琛科 2 井的晚中新世宣德组白云岩 (厚 210.5m) 为研究对象, 利用扫描电镜、电子探针和激光剥蚀等多种微区分析技术, 综合分析沉积相对白云石晶体发育演化的控制作用。研究表明, 宣德组白云岩可划分出礁坪相、潟湖坡相和潟湖盆底相三类沉积相类型, 其内部的白云石晶体由高钙白云石 (HCD) 和低钙白云石 (LCD) 组成。礁坪相、潟湖坡相和潟湖盆底相的白云石晶体分别对应着存在一组或者多组、没有以及一组的 HCD-LCD 环带特征。这表明不同沉积环境的稳定性会导致白云石晶体发育不同的环带特征, 这可能是由于先驱沉积物对白云石成核位点的影响, 进而控制了 HCD 和 LCD 的分布特征。研究成果补充了白云岩发育过程中先驱灰岩控制作用的重要内容, 有助于全面认识“白云岩问题”。

S12-P-2S

上新世-更新世南海西沙珊瑚礁碳酸盐岩 Nd 同位素记录东亚季风演化

赵凌楠^{1,2,3}, 黄钦^{1,2,3*}, 余克服^{1,2,3}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学, 海洋学院

3 广西大学, 珊瑚礁研究中心

* qinhuang@gxu.edu.cn

新生代以来, 东亚季风作为控制区域气候与生态系统演化的关键驱动机制, 其重建研究多依赖洞穴石笋、大洋、湖泊沉积物和黄土等传统载体。然而, 浅水珊瑚礁碳酸盐岩作为古海洋环境与古气候的高分辨率载体, 其关于记录东亚季风演化信息的研究很少。近年来, 由于钕(Nd)同位素受“生命效应”以及成岩作用的影响较小, 已经被广泛用于重建古海洋环流、区域风化作用以及海平面变化等研究。因此, 本研究以中国南海西沙群岛永乐环礁千米深钻(CK-2)的上新世-第四纪珊瑚碳酸盐岩序列为研究对象, 通过岩相学、主微量元素地球化学及 Nd 同位素地球化学分析, 讨论其反演东亚季风演化的潜力。

我们的元素地球化学和同位素地球化学数据表明: 珊瑚礁碳酸盐岩的 Nd 同位素组成(ϵNd)与陆源元素(如 Al、Ti、Zr)含量在 2.6Ma 与 1.35Ma 两个关键节点呈现显著协同变化。2.6 — 2.0 Ma 阶段, ϵNd 剧烈波动, 伴随 Sm/Nd 相对低值, 暗示区域性暖事件触发碳酸盐风化短暂增强, 可能独立于季风调控; 2.0 — 1.35 Ma, ϵNd 回升、Sm/Nd 突变及 Y/Ho 降低, 对应东亚季风增强与冰期海平面下降的叠加效应, 驱动硅酸盐风化通量激增和陆源输入达到峰值。1.35 Ma 后, ϵNd 突降、TREE 通量减少及 Sm/Nd 振荡, 可能反映海平面上升与季风减弱共同导致陆源输入受限, 气候变冷背景下的碳酸盐岩风化占比提升。

鉴于浅海珊瑚礁碳酸盐岩的 ϵNd 特征对源区岩石类型与风化强度的敏感性, 我

们推测东亚季风通过调控大陆风化强度与陆源物质向边缘海的输送的效率, 主导西沙海域表层海水中陆源物质的通量。总的来说, 我们的研究进一步揭示了浅水珊瑚礁碳酸盐岩具有反演东亚季风演化的潜力, 也为其在古海洋环境和古气候中的研究提供了新的视角。

S12-P-3S

南海北部珊瑚生长率记录的中一晚全新世共 2203 年的 SST 及 ENSO 变化

黄达华^{1,2,3}, 余克服^{1,2,3,4*}, 江蕾蕾^{1,2,3}, 姜伟^{1,2,3}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学, 珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

* kefuyu@scsio.ac.cn

厄尔尼诺-南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)主导着全球年际气候变率, 对人类社会产生重大影响。全新世(Holocene)的气候特征与现代高度相似, 对其气候特征的了解能为未来气候变化趋势的预测提供历史相似型。然而, 当前人们对这一时期的 ENSO 变率及其对气候强迫的响应仍然知之甚少并存在较大争议, 极大地限制了对 ENSO 演化特征的理解。在此, 本研究展示了共计 2203 年的珊瑚年生长率, 以重建中一晚全新世期间的海表温度(Sea Surface Temperature, SST)和 ENSO 的变化。我们从南海北部海南岛东部钻取了 113 块化石滨珊瑚(*Porites lutea*), 并采用铀系测年法对其进行了年代测定。通过将珊瑚的 U 系年龄与其 X 射线图像显示的年生长纹层相结合, 我们建立了一条覆盖 5829 — 2643 a BP (year before 1950 CE) 期间共 2203 年的珊瑚年生长率曲线。根据现代珊瑚生长率与器测 SST 之间的关系, 我们定量重建了这 2203

年的年均 SST 序列,发现 5829—2643 a BP 期间的年均 SST 在 24.2—27.5°C 范围内波动变化,均值 $25.6 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (1σ) 较 1982—2023 CE 海温 (26.3°C) 低 $\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 。在这一时期,至少存在 18 个显著的寒冷期,每隔约 ~ 200 年出现一次,并在晚全新世持续时间有所缩短。与重建的 SST 序列相同,根据珊瑚生长率重建的 ENSO 变率在这 2203 年间也呈现出多尺度波动,并从 5829—4200 a BP 期间弱于现代 (1994—2023 CE) 的类 La Niña 态转变为 4200—2643 a BP 期间强于现代的类 El Niño 态。考虑到重建的 ENSO 变率与太阳辐射和火山爆发等外部强迫因素之间缺乏连贯的时间对应关系,我们推测 5829—2643 a BP 期间 ENSO 活动波动性的演化过程是气候系统内部变率作用的结果。

S12-P-4S

南海珊瑚记录的大气遥相关型变化

党少华^{1,2*}, 余克服¹, 刘忠方²

1 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* dangshaohua@tongji.edu.cn

南海珊瑚所记录的海表温度 (SST) 常被用于重建历史时期的厄尔尼诺—南方涛动 (ENSO) 活动,其理论依据是: ENSO 在赤道太平洋冷舌区产生的异常 SST 信号可以通过海—气遥相关作用传递至南海,并被该区珊瑚所记录。这等同于假设—从古至今大气环流的空间格局基本不变, ENSO 的遥相关影响亦保持稳定。为检验这一假设的适用性,并确保南海珊瑚可用于记录气候变化的可靠性,本研究分析了 1 根来自西沙群岛的长约 40 年 (4050—4000 a BP) 的珊瑚 Sr/Ca 序列,并结合同期太平洋暖池和冷舌海区的珊瑚资料进行统计对比分析。结果显示,三条记录对同期 ENSO 变化的响应存在显著差异。通过分析瞬态气

候模式的模拟数据,我们发现这种差异化响应源于当时大气环流空间格局与现代不同,主要体现在沃克环流上升支位置的变化。因此,在利用核心区以外的地质记录解释 ENSO 影响甚至重建 ENSO 活动时,应谨慎对待“ENSO 气候影响稳定不变”的假设。

S12-P-5S

晚全新世相对温暖时期热带气旋活动对 SST 升高的响应减弱

韩岩松^{1,2}, 姜伟^{2,3*}, 江蕾蕾^{2,3}, 余克服^{2,3}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 广西大学, 海洋学院

3 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* jianwei@gxu.edu.cn

气候变化背景下热带气旋 (Tropical Cyclones, TCs) 活动响应机制研究,特别是工业革命以来全球变暖与 TC 频率的关联性解析,已成为气候动力学领域的核心科学命题。基于观测数据的实证研究表明,全球变暖以来全球 TC 生成频率呈现下降趋势,这一现象与气候模式模拟结果具有一致性。然而,这一结论并非学界共识,部分数值实验显示在 RCP8.5 高排放情景下,全球 TC 频率在持续增加。一直以来,关于全球变暖情景下 TC 频率变化的研究存在争议。这主要是因为 TC 数据在时间尺度上相对短暂 (即最早的器测数据在全球变暖之后) 以及不同研究采用的再分析数据集和模式参数化方案具有显著异质性,进而限制我们对 TC 变化及其与气候变化的相互作用机制的准确认识。

南海作为西北太平洋 TC 活动核心区域,其水文响应具有显著区域特异性: 研究表明该海域年均 TC 降雨量逾 500 mm,对区域降水总量的贡献率达 30-57%。在珊瑚代

用指标研究领域，珊瑚剩余氧同位素（ $\Delta\delta^{18}\text{O}$ ）被广泛用作降水和海表盐度重建的指标。同位素分馏研究揭示 TC 降水相较于常规对流降水具有更显著的 $\delta^{18}\text{O}$ 亏损特征（更偏负约 6.5‰）。因此，南海珊瑚 $\Delta\delta^{18}\text{O}$ 有望作为重建南海 TC 频率的指标。

本研究基于南海 YXD4 与 GQD2 化石珊瑚的 $\Delta\delta^{18}\text{O}$ 序列，重建了中世纪气候异常期晚期（1149-1205 CE）和罗马暖期早期（120-61 BCE）南海高分辨率 TC 频率。珊瑚 GQD2 重建结果表明在 1149 ~ 1190 CE 期间 TC 频率相对较低，而在 1190 ~ 1205 CE 期间出现了显著的峰值。基于珊瑚 YXD4 重建的 TC 频率在 120-61 BCE 表现为“高-低-高”的年代际波动。与传统认知不同的是，在相对暖期，SST 降低时可以观察到南海 TC 频率上升的趋势。这主要是因为南海中 2/3 的 TC 生成于西太平洋暖池，该区域在相对暖期持续满足 TC 生成的热力学阈值。因此，在相对暖期，影响 TC 的动力学因子（例如拉尼娜期间的垂直风切变等）比热力学因子对 TC 的生成和发展起到更大的作用，导致 SST 对南海 TC 频率的影响减弱。本研究强调了全球变暖持续背景下动力学因子对 TC 生成频率的影响会呈现增强趋势。

S12-P-6S

过去 2000 年南海北部冬季海表温度对东亚季风降雨的预测研究

张楚卉^{1,2,3}，江蕾蕾^{1,2,3}，余克服^{1,2,3*}

1 广西大学南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

在全球变暖背景下，东亚地区极端暴雨灾害频发，严重威胁人类生存与发展。因此，准确预测东亚季风降雨变化对可持

续发展至关重要。研究表明，南海北部冬季海表温度（sea surface temperature, SST）可作为东亚季风降雨的重要预测因子。但受限于现代观测数据的短暂性，其长期预报的可靠性及机制仍不明确。

造礁珊瑚因其高分辨率的气候记录能力，成为热带-亚热带海域古气候研究的关键载体，其中滨珊瑚骨骼 Sr/Ca 比值是重建 SST 变化的理想指标。本研究基于西沙群岛过去 2000 年的 5 段月分辨率珊瑚 Sr/Ca 序列，重建南海北部季节性 SST 变化，并结合东亚季风区（华北与长江中下游）的降雨/水文重建记录，系统分析了特征时期（1149-1205 CE、665-749 CE、1852-1740 a BP、1980-1927 a BP、2070-2011 a BP）南海北部冬季 SST 对东亚季风降雨预报能力及其驱动机制。

结果显示，过去 2000 年南海北部冬季 SST 与华北降雨（公海湖孢粉记录）呈显著负相关，而与长江中下游降雨（女山湖水文记录）呈正相关，表明南海北部 SST 变化对东亚旱涝格局具有指示意义。然而，1149 - 1205 CE 期间南海北部冬季 SST 与华北降雨间的关系发生解耦，这可能源于中世纪气候异常期 ENSO 变率增强及东亚夏季风加强导致的华北雨季提前。本研究不仅深化了对南海北部 SST-东亚季风降雨关系的理解，也为未来气候预测提供了关键科学依据，有助于提升极端气候事件的预警能力。

S12-P-7S

南海北部珊瑚记录的过去 2000 年春季海表盐度及其对东亚季风降雨的预报意义

赵佰玲^{1,2,3}，江蕾蕾^{1,2,3}，余克服^{1,2,3*}

1 广西大学珊瑚礁研究中心

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

3 广西大学，海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

极端旱涝灾害作为全球性的环境挑战，深刻影响着生态安全和人类社会的可持续发展。尽管现代气象技术已实现较精确的短时降雨预报，但受限于器测数据的时间跨度，季节性降雨的长期预测及历史模型验证仍存在显著空白。海表盐度（Sea Surface Salinity; SSS）作为海水重要的物理参数，可以成为陆地降雨的重要预测因子。南海作为西太平洋最大的半封闭边缘海，其北部 SSS 变化可作为东亚季风区陆地降雨预测的关键指标。本研究基于南海北部西沙群岛滨珊瑚的高分辨率气候代用指标（骨骼 Sr/Ca 和 $\delta^{18}\text{O}$ ），重建了过去 2000 年特征时期（公元前 120-60 年、公元 1149-1205 年、公元 1980-2007 年和公元 1850-2007 年）月分辨率的海水 $\delta^{18}\text{O}$ 序列及 SSS 变化历史。通过季节分解提取其中各个季节的 SSS 信息，揭示过去 2000 年特征时期南海北部季节性 SSS 特征，并对比同时期东亚季风区的降雨及干湿记录（华南董哥洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 、公海湖剩余降雨量等），研究发现：过去 2000 年特征时期南海北部春季 SSS 与后续夏季华南降雨序列存在显著的正相关，即当南海北部春季 SSS 越高时，华南降雨越多。南海北部春季 SSS 能为华南地区的夏季降雨提供超前一个季度的预测信息。这一现象可能是通过土壤湿度的“记忆效应”和陆地-大气-土壤水分反馈机制实现的，大气环流将大量的水汽向陆地输送，为下一季度的降雨提供充足的水汽条件。然而，公元前 100-60 年南海北部的 SSS 较低时，中国华南地区的降雨量较多，两者间的关系出现解耦。这可能与同期西风带南移导致东亚季风系统的重组有关。在全球变暖背景下，历史南海北部 SSS 与东亚季风降雨关系的时空异质性提示，未来极端气候预测需综合考虑海洋-陆地-大气耦合过程的非线性响应，传统预测模型可能面临挑战。

S12-P-8S

南海北部公元 665-749 年海水表层盐度变化及其对 ENSO 活动的响应

周煦^{1,2,3}, 江蕾蕾^{1,2,3}, 余克服^{1,2,3*}

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

海水表层盐度（Sea surface salinity; SSS）作为影响海洋分层和大洋环流的重要因素，是反映区域水文变化的关键指标。南海作为西太平洋最大的边缘海，其 SSS 变化与东亚气候密切相关。但由于器测资料时间序列较短，且时空分布不均匀，目前我们对 SSS 变化的理解有限。本研究以南海北部西沙群岛（16°30'28"N，111°35'10"E）一块 85 年的化石珊瑚为研究材料，测试获取其月分辨率的 $\delta^{18}\text{O}$ 数据，结合对应已发表的月分辨率珊瑚 Sr/Ca 数据，利用珊瑚 Sr/Ca 扣除珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 中的海水表层温度信号，重建了 665-749 CE 南海北部的海水 $\delta^{18}\text{O}$ -SSS 历史。结果显示：该时期南海北部的平均 SSS 未超过现代水平，且呈现出波动变化，665-677 CE 和 683-700 CE 南海北部 SSS 呈上升趋势，700-749 CE 总体呈现下降趋势，振幅较 665-700 CE 期间弱；该时期南海北部 SSS 存在显著的年际周期，这种波动变化可能与 ENSO 活动有关：665-700 CE 热带太平洋由 El Niño 事件主导，导致南海北部降雨量减少，SSS 较高；700-749 CE 呈 La Niña 气候特征，西北太平洋由反气旋控制向气旋活动转变，南海北部降雨量增加，区域蒸发量先增加后减弱，导致 SSS 降低并呈下降趋势。

在全球变暖背景下，随着 ENSO 活动的强度和频率增加，极端 ENSO 事件的频率也在增多，南海北部的 SSS 可能会出现更显著的波动和变化。因此，对南海 SSS 变化及其驱动机制进行研究具有重要意义，

为理解当前气候动态和预测未来气候趋势提供重要参考。

S12-P-9S

南海北部过去 1400 年珊瑚礁发育阶段及对气候响应

袁欣萌^{1,2,3}, 乐远福^{1,2,3*}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

* yuanfu.yue@gxu.edu.cn

南海北部是中国珊瑚礁分布的北缘, 其生态系统对气候变化和海洋环境变化极为敏感, 是研究热带-亚热带过渡带生态响应和韧性的重要区域。本研究聚焦南海北部过去近 1400 年珊瑚礁发育历史, 通过收集 97 个珊瑚的 U-Th 测年数据, 采用 K-means 聚类分析和 U-Th 年龄误差 (2σ) 统计的 2 种方法, 对该区域的珊瑚礁发育阶段进行划分。同时, 利用涠洲岛湿地钻孔孢粉序列定量重建 581-2019 年温度、降水演变, 进而耦合太阳辐射、ENSO、季风强度、副热带高压位置和强度、热带气旋、人类活动等多项气候因子, 系统解析珊瑚礁对陆海气候协同作用的响应规律。研究结果表明, 涠洲岛珊瑚礁的生长速率和群落结构受温度、降水等气候因素显著影响, 划分为以下四个阶段: 阶段 1 (581-950 CE) 对应中世纪暖期, 温度偏高、降雨充沛, 珊瑚生长速率快, 以耐高温的鹿角珊瑚为主; 阶段 2 (951-1600 CE) 涵盖小冰期, 温度下降、季风减弱, 珊瑚群落结构趋于简单, 石珊瑚占比上升; 阶段 3 (1601-1900 CE) 对应 1900 年冷事件, 冷湿气候导致珊瑚生长缓慢, 局部出现白化事件; 阶段 4 (1901 CE 至今) 处于现代暖期, 温度快速升高、极端降雨增加, 珊瑚覆盖率下降, 白化风险加剧。本研究通过量化温度、降水和气候振荡对珊瑚的驱动阈值与非线性响应, 为珊瑚礁保护提供了生态转

折警示, 设置了珊瑚生态红线指标, 并构建了可操作的临界值框架。研究结果深化了对海洋生态系统气候敏感性的认知, 为珊瑚礁保护及全球变暖 2°C 情景下的韧性评估提供了动力学模型参数与科学依据。

S12-P-10S

南海北部表层海水稀土元素的珊瑚记录及其环境气候意义

顾庭舞¹, 姜伟^{1*}, 余克服¹

1 广西大学, 海洋学院

* jianwe@gxu.edu.cn

稀土元素 (REY) 被认为是生物地球化学过程的示踪剂。然而, 海水中 REY 含量较低且缺乏连续的监测数据。珊瑚则可以准确记录周围海水中 REY 的含量变化, 且其浓度比海水的高 3~4 个数量级。本研究基于南海北部滨珊瑚记录的 REY 地球化学指标, 重建近一个世纪以来当地表层海水 REY 的时间变化序列, 进而探究其气候和环境意义。研究发现, 珊瑚总 REE/Ca 值和 Y/Ho 比值与局部 (降雨量) / 区域降水 (太平洋年代际振荡, PDO) 指标都存在显著的相关关系, 表明与降水相关的海底地下水排放 (SGD) 或受 PDO 控制的陆源物质输入是当地表层海水 REY 的主要来源。其中, 热带气旋更是在降雨量方面发挥了重要作用。珊瑚 $\delta^{137}\text{Ce}$ 与东亚冬季风之间显著的正相关关系表明了风积尘埃的远距离迁移也能影响到表层海水的 REY 组成。此外, 南海北部的沿海上升流主要会影响地表海水 Nd/Yb 比值的变化。本研究表明, REY 指标的时序变化可以记录生物地球化学过程, 特别是在作为南海北部降水量的年代际变化 (如 PDO) 的替代指标方面。

S12-P-11S

高温实验模拟文石质珊瑚白云石化过程中稀土元素的变化特征

吴松焯¹, 王瑞^{1*}

¹ 广西大学, 海洋学院
* wrzfl@gxu.edu.cn

稀土元素 (REY) 作为化学性质保守的元素, 在示踪白云石化流体性质方面显示出了巨大的潜力, 但白云岩 (石) 中 REY 的来源目前仍存在较大争议。本研究通过高温水热合成实验, 模拟了文石质珊瑚白云石化过程中 REY 的变化特征。实验以鹿角珊瑚和滨珊瑚为原料, 在 220°C 下进行 0.5 至 12 小时的加热处理。结果显示, 随着白云石含量的增加, 鹿角珊瑚组的 REY 含量显著增加, 而滨珊瑚组的 REY 含量则随着白云石含量的增加而略有下降。这可能反映了前体珊瑚骨架结构差异对 REY 在白云石中的富集的影响。实验中, REY 的分配模式在白云石化过程中并未随白云石含量和 MgCO_3 摩尔分数的变化而改变, 表明白云石化作用本身不会显著改变 REY 的分配模式。此外, 稀土元素的典型指标因子 (如 Ce/Ce^* , Eu/Eu^* , $\text{Dy}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$, $\text{La}_\text{N}/\text{Nd}_\text{N}$, Y/Ho) 与白云石含量和 MgCO_3 摩尔分数间未显示出明显的相关性, 表明白云石化过程中稀土元素的行为可能更多地反映了环境流体的信息。本研究为理解自然环境下白云石化流体的性质及 REY 的地球化学行为提供了重要启示。

S12-P-12S

海水缓冲条件下硫酸盐还原与白云石沉淀: 来自南海南部某珊瑚岛的证据

刘小菊^{1,2}, 黎刚^{1*}

¹ 中国科学院南海海洋研究所
² 中国科学院大学
* gangli@scsio.ac.cn

岛礁白云岩晶格硫 (CAS) 的硫同位素常被认为反映古海水中硫酸盐的硫同位素。本研究以获取自南沙群岛珊瑚岛礁的深钻为研究对象, 对深钻中灰岩及白云岩层开展了 XRD 矿物组成、碳氧同位素体系、 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 及硫同位素的系统分析, 解析了海水缓冲环境中白云岩的形成环境条件。研究表明: (1) 灰岩层上部 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 +20.2‰, 显著低于同期海水硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值, 表明上部强烈淡水成岩改造伴随着硫化物的氧化作用; (2) 白云岩段 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 +23.1‰, 根据 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 年龄, 白云岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 高于基于重晶石及有孔虫重建的海水硫同位素值, 表明白云岩形成过程中伴随有细菌硫酸盐还原作用, 证实海水缓冲环境中形成的岛礁白云岩也形成在相对封闭的环境中; (3) 白云岩层中低钙白云岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 比高钙白云岩段略高, 表明白云岩的有序化作用伴随更强的硫酸盐还原作用。本研究表明, 在岛礁碳酸盐成岩改造中碳酸盐晶格硫同位素仍然存在同位素分馏, 即使是形成在海水流体缓冲环境中的白云岩, 其碳酸盐晶格硫同位素仍然不能直接当做海水硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。

S12-P-13S

南海冷水竹节珊瑚的无机碳同位素组成和生长速率

朱玉晗¹, 周晓理^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* xlzhou@tongji.edu.cn

冷水珊瑚骨骼的无机碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$) 是揭示深海碳循环动态的重要地球化学指标。由于珊瑚骨骼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值受周围海水溶解无机碳 (DIC) $\delta^{13}\text{C}$ 组成的影响, 因此, 通过分析冷水珊瑚骨骼的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录,

可以追溯地质历史时期深海碳储量的演变,为理解全球碳循环的长期变化提供重要依据。然而,珊瑚自身的生物代谢过程,即“生命效应”,同样会对其骨骼的同位素组成产生影响。因此,本研究利用采自南海中部的冷水竹节珊瑚样品,对珊瑚骨骼开展高分辨率测年、氧碳同位素和元素含量分布三个方面的研究,以期更好地约束冷水珊瑚“生命效应”对其钙质骨骼同位素组成的影响,最终服务于更准确地进行古环境指标重建。研究采用加速器质谱 AMS¹⁴C 测年方法,对珊瑚的有机质结节进行高分辨率测年,构建样品年龄框架,并计算径向生长速率,结果显示其径向生长速率从中心到边缘逐渐降低。利用激光剥蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)测试冷水珊瑚钙质骨骼的元素比值,结果显示珊瑚骨骼横截面中心处 Mg/Ca 比值更高,而边缘处较低,这可能源于生长速率的差异,指示了生长速率对元素吸收的影响。利用气体同位素质谱仪 MAT252/253 分析珊瑚钙质骨骼的氧碳同位素组成,结果显示珊瑚骨骼横截面由中心到边缘的 $\delta^{13}\text{C}$ 逐渐变重,相对海水 $\delta^{13}\text{C}$ 的差异逐渐减小,这可能与珊瑚径向生长速率的变化有关,即生长速率越高,碳同位素分馏越强,表明与生长速率变化相关的动力学分馏可能对珊瑚骨骼 $\delta^{13}\text{C}$ 值起到重要影响。

S12-P-14S

冷水竹节珊瑚骨节微区取样方法评估:潜在的同位素分馏与矿相转变效应

曾治惟^{1*}, 党皓文¹, 乔培军¹, 卜鸣渊¹, 李琛¹, 周晓理¹, 翦知湔¹

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* zzweng@tongji.edu.cn

栖息于中-深层海底的冷水竹节珊瑚,其方解石质骨节具有树轮状生长纹层,因

而具备重建高分辨率中-深层海水环境变化的潜力。应用原位分析方法能够获得骨节的径向生长方向的元素组成,但其测试误差相对较大;而更高精度的分析方法,需要通过机械研磨的方式获取足够量的样品,但这一方式可能会引起碳酸岩类矿物的相变,影响测试结果的准确性。针对这一测试难题,本研究综合评估了微钻取样、手持钻以及研磨法等三种采样方法的对照试验,结果表明:微钻取样导致 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值相较于研磨法的结果偏重(约 0.4-0.8‰),可能源于钻头瞬时高温高压环境,促使方解石与水蒸气、二氧化碳发生同位素交换,引起同位素分馏;微钻取样所得元素比值(Li/Ca、B/Ca、Mg/Ca)普遍低于简单的刮磨法(约 10-20%),其中低转速湿法取样影响尤为显著,推测微钻取样可能使得部分方解石相变转化成了文石,造成元素比值偏低。上述结果指示,采用干式研磨取样的方式获取竹节珊瑚方解石质样品,能最大限度降低采样方式导致的同位素分馏和矿物转化对后续测试的影响。

S12-P-15S

近 40 年来大亚湾造礁石珊瑚群落结构的演变分析

卢锟^{1*}, 王广华^{1*}

¹ 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室
* 543281639@qq.com
* wgh@gxu.edu.cn

本研究采用文献调研、现场调查和室内模拟试验等方法对大亚湾造礁石珊瑚的种群结构演变及其成因进行了探讨。2020 年 7 月现场调查共发现造礁石珊瑚 39 种,块状的扁脑(*Platygyra*)、蜂巢(*Favia*)和角蜂巢(*Favites*)等是湾内优势珊瑚。1983/1984-2020 年,大亚湾珊瑚群落演变的主要特征是曾经优势的鹿角珊瑚(*Acropora*)和蔷薇珊瑚(*Montipora*)从湾内基本消失。综合全球珊瑚礁退化大背

景和大亚湾独特的水环境分析发现：大亚湾珊瑚群落退化是多方面因素共同作用的结果，其中珊瑚本身的脆弱性和环境中持续的夏季异常高温与低溶解氧含量的共同作用可能是湾内霜鹿角珊瑚（*A. pruinosa*）退化的主要原因。从湾内珊瑚群落恢复的种源考量，建议加强对刷洲东岛珊瑚群落的保护。

S12-P-16S

南海西沙群岛羚羊礁底栖有孔虫群落特征差异性分析

李玫¹，吴司琪^{1*}

1 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室
* wusiqi@gxu.edu.cn

南海珊瑚礁分布广泛，具有极高的生物多样性，其栖息的有孔虫可以连续分布，是一种理想的珊瑚礁环境生物研究指标。南海西沙群岛羚羊礁发育有礁坡、礁坪、点礁、潟湖和潟湖坡等多种典型礁相。本研究以羚羊礁为研究区域，采集了横跨整个礁区不同礁相的 21 个表层沉积物样品，深入剖析了其底栖有孔虫群落特征的空间差异性。研究结果表明，羚羊礁区的底栖有孔虫群落结构丰富，共鉴定出 45 个属，81 个有孔虫种。不同礁相的底栖有孔虫群落特征存在显著差异，有孔虫指数、Shannon-Wiener 多样性指数、丰度、Margalef 丰富度等指标波动明显。对称礁相的底栖有孔虫种类具有一定的相似性，Q 型聚类分析表明，自羚羊礁两侧向中心将礁相分为三类，主要的有孔虫组合为：①礁坡、礁坪：*Amphistegina lessonii-Calcarina hispida*；②礁坪、潟湖坡：*Calcarina hispida-Neorotalia calcar*；③点礁、潟湖、潟湖坡：*Sorites orbiculus-Quinqueloculina crassa subcuneata*。本研究揭示了羚羊礁底栖有孔虫群落特征的空间分布及差异，有助于深入理解南海环境变

化特征，进而为古环境重建研究提供了科学依据。

S12-P-17S

南海第四纪珊瑚礁生态系统演化中海胆的调控作用

李钰涵¹，吴司琪^{1*}

1 广西大学，广西南海珊瑚礁研究重点实验室
* wusiqi@gxu.edu.cn

珊瑚礁作为“海洋热带雨林”，为超过 25% 的海洋生物提供栖息庇护，具有重要生态意义。近几十年，南海珊瑚礁覆盖度出现显著下降，全球变暖、海洋酸化等气候变化是重要驱动因素之一。作为珊瑚礁生态系统的重要组成部分，海胆种群在维持生态系统稳定性中发挥着不可忽视的作用。为探究地质历史时期海胆对南海珊瑚礁生态系统的长期调控机制，本研究基于南海西沙群岛琛科 2 井岩芯中的生物化石记录，重建了晚上新世以来珊瑚-海胆-珊瑚藻生物组合的分布特征及其演变规律，结合相对水深、海表温度等环境参数，讨论了珊瑚、海胆、珊瑚藻之间的相互影响及其环境驱动因素，揭示了海胆在珊瑚礁生态系统演变中的重要作用。

化石记录表明：珊瑚与珊瑚藻间存在显著竞争关系，而海胆与珊瑚之间则存在以珊瑚藻为中介的间接正相互作用。珊瑚藻类可凭借快速繁殖的能力形成生物覆盖层，这很可能导致光照资源竞争加剧与基底空间侵占。作为关键的藻类摄食者，海胆通过牧食行为调控珊瑚藻群落规模，在地质时间尺度上形成了“海胆密度升高、藻类覆盖减少、珊瑚幼虫附着基质增加”的正向生态反馈机制。本研究建立了“海胆-珊瑚藻-珊瑚”的反馈模型，结合生物对环境变化的响应，从古生态角度为珊瑚礁群落演替提供了解释，衔接了地质历史演化与现代生态过程，为现代珊瑚礁生态保护、环境

压力预警以及渔业资源的可持续发展提供了重要的科学指导意义。

S12-P-18S

西沙群岛珊瑚礁区的尿素分布特征及其来源分析

夏荣林^{1,2}, 宁志铭^{1,2*}, 余克服^{1,2,3*}, 陈颺^{1,2}, 覃祯俊^{1,2}

1 广西大学, 海洋学院

2 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

* zmning@gxu.edu.cn

* kefuyu@scsio.ac.cn

氮是珊瑚礁系统的限制性营养元素, 氮的可利用性显著影响珊瑚礁的生产力和稳定性。作为海洋中广泛存在的生物可利用再生氮源, 尿素在珊瑚礁生态系统中的作用尚不明确。本研究通过系统分析南海西沙珊瑚礁区尿素的分布特征、大气湿沉降通量及沉积物-水界面交换过程并结合 LOICZ 模型分析, 探讨尿素在寡营养珊瑚礁系统中的关键作用。结果表明: (1) 珊瑚礁区尿素浓度底层高于表层, 沉积物间隙水浓度与 DIN 相当, 尿素/DIN 比值可达 0.75~1.87, 在生物可利用性氮的占比显著(超过 40%); (2) 大气尿素沉降和沉积物-水界面的尿素交换是珊瑚礁尿素的主要输入途径, 其输入量分别为 23.2×10^7 mol/yr 和 14.43×10^7 mol/yr, 其中台风事件单次输入可达 70.8 mmol/m²; (3) 珊瑚礁系统表现为尿素源和 DIN 汇, 将尿素归纳至 Redfield 比值体系后, (尿素+DIN)/DIP 比值显著改善并更符合 Redfield 理论值, 有助于解析氮限制下的珊瑚礁高生产力和生物多样性。本研究系统阐明了尿素在寡营养珊瑚礁系统中的重要作用, 为理解珊瑚礁适应贫营养环境的策略提供了新的理论视角。

S12-P-19S

南海珊瑚礁不同地貌带沉积物中有机碳含量、组成及来源的空间异质性分析

高洁^{1,2,3}, 余克服^{1,2,3*}

1 广西大学, 海洋学院

2 广西大学, 珊瑚礁研究中心

3 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

* kefuyu@scsio.ac.cn

有机碳埋藏作用是碳循环过程的重要环节, 但迄今关于珊瑚礁沉积物中有机碳(TOC)的研究却很少, 影响着对珊瑚礁碳循环的准确评估。本文以南海西沙群岛 3 座环礁的 62 个表层沉积物为研究对象, 探讨了珊瑚礁不同地貌带沉积物中有机碳含量、组成及来源的变化。结果显示, 珊瑚礁 TOC 含量在 0.46-2.73mg/g 之间, 呈现潟湖>潟湖坡>礁坪>礁外坡的分布规律, 表明沉积动力显著影响了 TOC 的地貌分异特征。从礁外坡到潟湖, 活性有机碳占比逐渐下降, 反映碳储存机制从快速周转向长时间保存。稳定同位素混合模型显示, 珊瑚虫黄藻是 TOC 的主要来源, 其次为草皮海藻。礁外坡和礁坪中虫黄藻来源有机碳超 40%, 而在潟湖坡和潟湖中虫黄藻贡献度下降, 底栖藻类贡献度增加。礁外坡、礁坪和潟湖坡的 TOC 含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 正相关, 表明初级生产力是该区域主要驱动因素; 而潟湖 TOC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 脱钩, 与平均粒径正相关, 表明物理沉积过程主导潟湖的有机碳埋藏。基于珊瑚礁各地貌带面积加权估算, 珊瑚礁表层沉积物有机碳储量为 1.45Mg/ha, 潟湖贡献了 73.2%的碳储总量。这些结果揭示了珊瑚礁沉积物有机碳的地貌分异机制, 证实了潟湖在珊瑚礁碳汇功能中的核心地位, 为全球蓝碳收支模型及浅海典型生态系统碳管理提供关键科学依据。

S12-P-20S

南海全新世珊瑚砂对泻湖填充的碳汇效应

杜思琦¹, 姜伟^{1*}, 余克服¹

¹ 广西大学, 海洋学院
* jianwe@gxu.edu.cn

珊瑚礁在区域及全球碳循环中扮演着重要角色, 由珊瑚砂构成的沙坪作为碳酸盐岩的主要沉积物, 其在泻湖的填充过程记录了珊瑚礁碳酸盐岩生产与沉积演化的历史过程。本文基于南海西沙、中沙、南沙群岛已有钻孔剖面数据, 汇总了全新世松散沉积物厚度以及密度, 并结合遥感影像获取各岛礁面积, 估算得到沙坪的沉积体积与质量, 进而评估泻湖填充过程中的碳埋藏能力。研究发现, 不同岛礁之间沙坪的沉积效率存在显著差异, 与各区域的地貌特征、水动力条件及潜在生物碎屑供给密切相关。全新世以来, 这些沙坪持续沉积珊瑚砂的过程, 具有类似“碳汇”的功能特征。尽管其碳固定机制不同于红树林等蓝碳系统, 但沙坪的体积增长和沉积能力依然对南海珊瑚礁的碳封存过程提供了重要补充。本研究从地质视角揭示了南海地区珊瑚砂填充泻湖过程的碳储潜力, 为拓展碳汇研究的尺度与维度提供了新的案例, 进而为全球气候变化响应提供了可靠数据支撑与科学依据。

S12-P-21S

南海北部涠洲岛珊瑚岸礁波浪破碎与增水特性数值模拟研究

陈海伦^{1,2}, 梁作栋^{1,2*}, 郑东生^{3,4}, 刘大军^{1,2}, 覃河融^{1,2}

¹ 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室
² 广西大学, 海洋学院
³ 青岛理工大学, 土木工程学院

⁴ 格里菲斯大学黄金海岸校区, 工程与建筑环境学院
* liangzuodong@gxu.edu.cn

本研究揭示了潮位变化对珊瑚礁水动力过程的核心调控机制, 系统阐明了潮位变化-波浪破碎-波浪增水的耦合作用规律。通过以北部湾涠洲岛岸礁为研究对象, 基于 wave2Foam 构建的高精度水动力模型, 经多工况实验数据验证, 定量解析了礁缘带波浪破碎动态响应特征: 潮位下降可诱发破波类型从卷破波向涌破波的系统性转变, 同时揭示波浪增水效应存在潮位阈值依赖性, 其峰值响应与低潮位工况呈现显著关联。研究进一步指出, 传统碎波判定准则在缓坡型珊瑚礁地形中表现出理论局限性, 需结合礁坡形态参数进行动态修正。该成果从水动力学层面完善了珊瑚礁生态系统的稳定性评估体系, 为海岸带韧性防护与礁体修复工程的波浪能耗机制解析提供了理论范式。

S12-P-22S

基于多光谱卫星遥感影像的南海珊瑚礁活珊瑚覆盖度反演方法研究

肖竣友^{1,2}, 黄荣永^{1,2*}, 余克服^{1,2}

¹ 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室
² 广西大学, 海洋学院
* rongyonghuang@163.com

珊瑚礁生态系统对我国南海的生态健康和岛礁可持续发展具有重要意义, 但其正面临全球变化的威胁。然而, 作为衡量珊瑚礁生态系统健康状况的关键指标, 活珊瑚覆盖度迄今仍缺乏可靠且大范围适用的遥感反演方法。鉴于此, 本文基于活珊瑚在可见光范围内的二阶导数光谱特征, 将活珊瑚覆盖度实地调查数据与多光谱卫星遥感影像进行结合, 提出南海珊瑚礁活珊瑚覆盖度遥感反演的一种二阶差分算子模

型。实验结果表明, 该模型活珊瑚覆盖度反演的均方根误差和相对误差分别优于 5.80% 和 2.21%, 且具有良好的时间拓展性和空间拓展性。以此为基础, 本文进一步揭示了南沙群岛与西沙群岛典型珊瑚礁活珊瑚覆盖度的空间分布与分异特征, 结果表明, 在经历了两次大型珊瑚白化时间后, 西沙和南沙的活珊瑚覆盖度均出现了退化现象, 但在 2020 年后, 南沙的活珊瑚覆盖度维持在了一个相对稳定的状态, 并且部分岛礁出现了活珊瑚恢复的情况, 该研究为南海珊瑚礁生态资源的管理与保护提供了关键的技术保障与重要的科学基础。

S12-P-23S

基于单细胞质谱组学研究珊瑚共生虫黄藻的化学多样性

张佳宇^{1,2,3}, 余克服^{1,2,3}, 侯壮豪⁴, 裴继影^{1,2,3*}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

4 中国科学技术大学, 化学化工学院

* pjying@gxu.edu.cn

虫黄藻 (Symbiodiniaceae) 的生态特征在珊瑚共生体的环境适应能力中发挥重要作用。然而, 不同生态特征的虫黄藻与其代谢多样性之间的关系尚未被系统解析。本研究利用单细胞质谱组学技术, 解析了三种生态特征不同的虫黄藻——耐光照的 A 型、广泛分布的 C 型及耐热的 D 型的代谢特征, 以揭示生态适应性与代谢多样性的关联。首先, 优化了细胞固定液静置时间、载玻片亲疏水性及细胞悬液稀释梯度等关键参数, 将单细胞捕获效率提升至 9.8%。随后, 对三种虫黄藻进行代谢组分析, 结果表明: A 型虫黄藻的正亮氨酸含量显著低于 C 型和 D 型, C 型虫黄藻富集 L-缬氨酸, 而 D 型虫黄藻特异性积累二甲巯基丙酸内盐 (DMSP)。高分辨串联质

谱 (HRMS/MS) 碎片离子匹配进一步验证了代谢物的鉴定可靠性。功能关联分析揭示, A 型虫黄藻可能通过调控 NADH 再生途径增强光保护能力, C 型虫黄藻通过调节宿主氨基酸代谢维持共生稳态, 而 D 型虫黄藻依赖抗氧化防御系统提升对环境胁迫的耐受性。本研究为珊瑚共生虫黄藻的适应机制提供了新的分子视角, 有助于理解珊瑚-虫黄藻共生体系在全球气候变化背景下的响应机制。

S12-P-24S

澄黄滨珊瑚共生绿藻

Trebouxiophyceae sp. 的分离鉴定与系统发育分析

卢铭垚¹, 梁甲元^{1*}, 梁祝清¹, 冯宜合¹, 李志聪¹

1 广西大学, 海洋学院

* jyliang@gxu.edu.cn

Trebouxiophyceae 的物种以形态多样、环境适应性强和广泛的共生关系为特征, 在生态系统中扮演重要角色, 并具有显著的生物技术应用潜力。本研究从涠洲岛澄黄滨珊瑚 (*Porites lutea*) 组织中成功分离出一株新型共生绿藻, 暂定名为 *Trebouxiophyceae* sp. GXU-02。分离过程采用梯度稀释法与微吸管单细胞分离技术联用策略获得单克隆藻株。显微观察显示, 该藻细胞呈球形, 叶绿体呈杯状且含显著淀粉核, 符合 *Trebouxiophyceae* 典型形态特征。通过 18S rRNA 基因测序及系统发育分析发现, 其与 *Trebouxiophyceae* sp. BCP-EM2VF32 (KF693789.1) 相似度为 96.20%, 暗示其为该纲下的潜在新种。进一步多基因位点分析 (ITS、*rbcL*) 显示, GXU-02 在系统发育树中形成独立分支, 支持其分类学新地位。此项研究不仅为海洋生态学提供重要的理论依据, 未来该共生藻株的潜在功能研究可能会揭示珊瑚共附生

Trebouxiophyceae 在珊瑚生长、抵御环境变化及加强珊瑚恢复力等方面的重要作用，也为未来的珊瑚礁生态系统保护和生物多样性维持策略奠定基础。

S12-P-25S

珊瑚礁区海洋热浪加剧与冷浪衰减：时空演变及未来趋势

任天飞^{1,2}, 江红蕾^{1,2}, 黄荣永^{1,2}, 余克服^{1,2,3*}

1 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学, 海洋学院

3 南方海洋科学与工程广东省实验室

* jianghonglei@gxu.edu.cn

极端海表温度事件（如海洋热浪与海洋冷浪）对暖水珊瑚礁造成严重威胁，但其在珊瑚礁区的历史与未来时空演变规律及驱动机制仍不清楚。本研究基于景观生态学与海景生态学的多元性原理，采用多尺度、多指标、多方法的综合研究框架，系统评估了全球珊瑚礁区海洋热浪与冷浪的时空动态特征。通过十项互补性指标量化历史与未来气候情景下的事件格局，并运用四种机器学习方法解析关键驱动因子，全面揭示了影响珊瑚礁应对气候变化脆弱性与恢复力的核心机制。主要发现包括：

（1）全球珊瑚礁区海洋热浪的持续时间、频率和强度持续增加，冷浪则显著减弱。红海、波斯湾和南太平洋群岛等区域热浪年均天数增速高达 28 天/十年；（2）高纬度珊瑚礁热浪强度远超赤道区域，凸显这些脆弱区珊瑚避难所保护的紧迫性；（3）预测显示至 2070 年热浪将趋于持续状态，热浪-冷浪面积比自 2040 年起急剧攀升，在 SSP2-4.5 和 SSP5-8.5 情景下将分别达到 100 倍和 196 倍，马绍尔群岛和加勒比海区域尤为显著；（4）年际温度变异系数、海洋热含量变异系数和月际温度变异系数是驱动热浪强度的三大关键因子，未来预测

应更关注指标变异系数而非均值；（5）珊瑚覆盖率与热浪强度呈强负相关，1998 和 2010 年事件后均存在恢复滞后效应。这些发现警示在气候胁迫加剧背景下，亟需建立珊瑚礁保护与修复的长效机制。

S12-P-26S

热驯化提高珊瑚耐热阈值的分子机制研究

马玉玲¹, 俞小鹏^{1*}, 余克服¹

1 广西大学, 海洋学院

* xiaopengyu@gxu.edu.cn

在全球变暖的大背景下，珊瑚可以通过提高耐热阈值来适应更高强度的高温，但耐热阈值提高的相关分子机制还未明确。因此，我们通过室内模拟实验对澄黄滨珊瑚进行二次升温处理，并从功能体角度出发对其生理指标、共生虫黄藻系群、细菌群落多样性以及转录组响应进行分析。结果表明：（1）第一次高温遭受更强的氧化应激，且白化程度更高；（2）微生物分析发现虫黄藻 C1 系群作为主导系群稳定存在，细菌的核心系群主要是变形菌门；（3）转录组发现，第一次升温珊瑚宿主有更高的差异基因数量其中 1578 个基因显著上调，2331 个基因显著下调；第二次升温虫黄藻有更高的差异基因数量有 317 个基因显著上调，361 个基因显著下调；升温恢复后编码蛋白质相关基因上调。因此，这些结果表明热驯化能够提高珊瑚的耐热阈值，并且相关蛋白编码基因的变化可能是珊瑚提高耐热阈值的关键机制。此外，两次升温拥有不同的响应机制。本文从共生功能体出发，探究了珊瑚耐热阈值提高的潜在分子机制，为保护珊瑚礁提供了新的见解。

S12-P-27S

海洋热浪提高霜鹿角珊瑚对夏季高温的耐受性

郑月^{1,2,3}, 俞小鹏^{1,2,3}, 余克服^{1,2,3*}

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

* kefuyu@scsio.ac.cn

近年来, 随着全球气候变暖的持续加剧, 海洋热浪的发生频率、强度及持续时间均显著增加, 已成为当前影响珊瑚礁生态系统的重要威胁。但热浪事件中仍存在部分幸存者并且在后续的高温中保持了更高的存活率。这暗示了海洋热浪对“幸存”珊瑚应对高温的积极影响。为了揭示热浪驯化作用及其调控机制, 我们以 2020 年涠洲岛海洋热浪事件中的霜鹿角珊瑚 (*Acropora pruinosa*) 为研究对象, 采集了 2019 年 (热浪前)、2020 年 (热浪中) 和 2024 年 (热浪后) 三个时间点的珊瑚样本, 结合转录组学和微生物群落分析, 探讨热浪对珊瑚响应夏季高温的积极影响及调控机制。研究发现: (1) 热浪期间白化的珊瑚 (Mid_bleach 组) 基因表达量显著下降, 氧化应激和细胞膜相关基因显著富集, 表明高温导致其遭受严重的生理损伤。而未白化的珊瑚 (Mid_unbleach 组) 通过调节细胞结构和信号传导通路维持了基因表达的稳定。热浪后未白化的珊瑚 (Post 组) 通过增强抗氧化机制 (如氧化还原酶活性) 和调控有机酸代谢过程 (organic acid metabolic process) 提升了其对夏季高温的适应性; (2) 微生物群落分析显示, 热浪前 (Pre 组) 与热浪后 (Post 组) 未白化珊瑚的菌群结构高度相似, 均以变形菌门 (Proteobacteria) 为优势菌群。热浪期间, 白化珊瑚的细菌群落多样性显著降低, 表现为变形菌门丰度下降而放线菌门 (Actinobacteria) 丰度上升; 而未白化珊瑚维持了较高的微生物多样性, 且拟杆菌门 (Bacteroidetes) 丰度显著增加; (3) 虫黄藻群落中, 耐热性较强的亚系群 C1

(*Cladocopium*C1) 在热浪前后均保持优势地位。本研究揭示了热浪事件中的“幸存”珊瑚通过基因表达调控和微生物群落重组, 增强了其对后续夏季高温的耐受性, 这一发现为理解珊瑚礁生态系统应对气候变化的生存潜力提供了重要依据。

S12-P-28S

广西涠洲岛珊瑚来源虫黄藻 *Cladocopium goreau* 的热驯化及高温响应机制

韦丽菲¹, 阳琪芝¹, 蓝梦玲¹, 覃祯俊^{1,2*}, 余克服^{1,2}

1 广西大学, 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学, 海洋学院

* qinzhengjun@gxu.edu.cn

热带珊瑚礁是地球上生物多样性最丰富的生态系统之一。但是由于全球气候变暖, 世界各地珊瑚礁白化频率和程度在增加, 珊瑚礁覆盖大幅下降。中国南海经常发生由于温度变化原因导致的珊瑚白化事件, 因此, 了解涠洲岛珊瑚共生虫黄藻对异常高温事件的威胁的响应和适应性显得十分重要。本研究以广西涠洲岛珊瑚来源虫黄藻 *C. goreau* 为研究对象, 通过对虫黄藻 *C. goreau* 进行高温驯化, 与未驯化的虫黄藻 *C. goreau* 开展高温胁迫的响应及耐受性研究。将驯化后的虫黄藻 *C. goreau* 与未驯化的虫黄藻 *C. goreau* 在 32°C 和 34°C 的高温下进行胁迫, 通过生理数据、转录组和代谢组数据检验虫黄藻 *C. goreau* 的驯化效果及其探索其在高温下的响应机制。实验结果表明, 驯化后的虫黄藻 *C. goreau* 在 32°C 生理、转录组和代谢组数据与空白对照组无显著差异, 但与未驯化的虫黄藻 *C. goreau* 存在显著差异。但温度达到 34°C 时, 驯化及未驯化组的虫黄藻 *C. goreau* 的生理、转录组和代谢组数据均与空白对照组有显著的差异。得出的结论为: 驯化后的虫黄

藻 *C. goreau* 高温耐受能力提高, 但 34°C 时已经超过其耐受阈值。通过转录组与代谢组联合分析揭示虫黄藻 *C. goreau* 在高温胁迫下的分子调控网络。结果表明在转录层面虫黄藻 *C. goreau* 通过热激蛋白、抗氧化基因及钙信号通路调控应激响应。代谢层面通过脂质重塑、抗炎-促炎平衡及能量再分配维持稳态。

S12-P-29S

联合转录组与蛋白质组学技术解析丛生盔形珊瑚热应激的分子响应机制

余文峰^{1,2,3}, 裴继影^{1,2,3*}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学珊瑚礁研究中心

3 广西大学, 海洋学院

* pjying@gxu.edu.cn

珊瑚礁生态系统在全球生态平衡中占据着不可或缺的地位, 然而海洋热浪的频繁侵袭使珊瑚礁面临严重的热白化危机, 其背后分子机制尚不明确。本研究以珊瑚物种 *Galaxea fascicularis* 为对象, 运用转录组学与 TMT 蛋白质组学技术, 探究其在 26°C 逐步升温至 33°C、持续 84 小时的热胁迫下的响应, 结果显示, 随着热胁迫加剧, *Galaxea fascicularis* 最大光量子产率 (Fv/Fm)、叶绿素 a 含量和共生体密度显著下降 ($P < 0.01$), 致使光系统 II 功能紊乱, 珊瑚与虫黄藻共生关系破裂, 且耐热型 *Durisdinium* 属虫黄藻 (D1 和 D1a 型) 在共生体中的占比从 8.07% - 12.28% 降至 $< 1\%$ ($P < 0.05$), 表明珊瑚宿主在中等热胁迫下倾向选择代谢效率更高的 *Cladocopium* 属虫黄藻维持共生稳定; 多组学分析表明, 热胁迫破坏 *Cladocopium* 属虫黄藻蛋白质稳态, 抑制 HSP90A、DNAJA2 表达, 损害卡尔文循环关键酶 FBA 功能, 引发氧化应激, 而珊瑚宿主通过激活甘氨酸/丝氨酸代谢途

径抗氧化、上调 HSP90B 表达引发内质网应激进行代谢重编程; 进一步分析发现, 囊泡运输相关蛋白 RAB10、VAMP7 异常表达和氮限制可能介导珊瑚共生体重组, 本研究揭示了虫黄藻热耐受性与代谢效率的权衡关系, 为理解珊瑚在全球气候变暖背景下的适应策略提供新视角。

S12-P-30

不同属虫黄藻介导下鹿角杯形珊瑚适应环境变化的分子机制研究

林思彤¹, 李凌², 周智³, 林森杰^{4*}

1 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

2 厦门大学

3 海南大学

4 University of Connecticut

* senjie.lin@uconn.edu

共生虫黄藻的种类及其生理生态特性对宿主珊瑚的环境适应能力具有重要影响。阐明不同种类虫黄藻如何介导珊瑚对自然环境变化的响应, 有助于深化我们对珊瑚-虫黄藻共生机制的理解。目前, 关于珊瑚及其共生虫黄藻适应性与耐受性的研究多基于实验室中控制单一变量的模拟条件下开展, 而对自然海区原位珊瑚的系统研究相对较为不足。尤其是在同一海区内, 关于不同虫黄藻种类如何介导珊瑚响应并适应环境变化的分子机制研究更为少见。本研究通过比较分析自然海区中以虫黄藻 *Cladocopium* (热敏感型) 与虫黄藻 *Durisdinium* (热耐受型) 为主导的鹿角杯形珊瑚的转录组数据, 揭示不同虫黄藻种类介导下珊瑚适应环境变化的分子调控机制。研究结果显示, 随着水深的增加, 虫黄藻群落从以 *Durisdinium* 为主导转变为以 *Cladocopium* 为主导。在以 *Durisdinium* 为主导的珊瑚中, 与抗氧化相关的基因大多上调, 表明其具有较强的耐热性和抗氧化能力, 能够在高温强光环境下保持稳态。

相较而言,以 *Cladocopium* 为主导的珊瑚表现出更强的基因表达可塑性,能够通过调节对生长水深的适应性,更有效地应对环境变化。该类珊瑚通过上调应激响应、免疫调节及损伤修复相关基因,不仅增强了对复杂环境胁迫的抵御能力,还提升了光合效率,优化了氮、磷和脂质等关键营养元素的代谢与转运,进一步促进了其生长与钙化过程。综上所述,鹿角杯形珊瑚可通过与不同虫黄藻种类建立共生关系,在抗氧化能力与营养可塑性之间实现动态权衡与调节,从而增强其对复杂环境变化的适应能力。本研究为深入理解虫黄藻种类如何影响珊瑚的生物地球化学过程与共生关系稳定性提供了新的理论依据和研究视角。

S12-P-31S

靶向接种:潜在益生菌为热胁迫下珊瑚白化“降温”

梁祝清¹, 梁甲元^{1*}

¹ 广西大学, 海洋学院

* jyliang86@163.com

背景:珊瑚共附生细菌在参与碳氮硫循环、提供营养或防御病原体方面扮演着重要角色。接种具有益生功能的细菌已被证明可以减轻珊瑚白化。本研究分离获得一株噬纤维菌目(Cytophagales)下的成员 *Reichenbachiellasp.* (H138), 该菌株可能代表一个新种。测试显示,该菌能够合成类胡萝卜素抗氧化剂和过氧化氢酶,并具有较强的复杂多糖降解活性,且该菌所在菌属已被报道在基因组中携带大量 CAZymes 基因。方法:将菌株 H138 以 1×10^5 CFU/ml 的终浓度接种到珊瑚组织上并进行 32°C 的热胁迫实验,追踪表型、生理生化参数和微生物群落的变化。结果:添加 H138 菌株的珊瑚白化迹象得到缓解,光合效率和虫黄藻密度较对照组显著高,且微生物群落发生变化,曾报道与人类及动

物疾病相关的细菌丰度显著降低,而某些光合细菌的丰度显著增加。此外,接种细菌菌株的珊瑚具有更稳定的生态网络。结论:研究揭示了特定噬纤维菌可能通过降解粘液及其他碳源间接提供额外营养补充或调节微生物群落结构帮助珊瑚抵抗热白化。

S12-P-32S

南海北部边缘礁区珊瑚-虫黄藻共生体对急性/慢性温度胁迫的响应机制

阳琪芝^{1,2}, 陈舒畅^{1,2}, 韦丽菲^{1,2}, 蓝梦玲^{1,2}, 余克服^{1,2}, 覃祯俊^{1,2*}

¹ 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

² 广西大学, 海洋学院

* qzj_gxu@163.com

全球气候变化导致海洋极端温度事件频发,南海北部边缘礁区的珊瑚在夏季和冬季容易受到极端高温/低温的胁迫。然而,边缘礁区珊瑚共生体对温度波动的响应机制研究较少。本文以南海北部边缘珊瑚礁区的美丽鹿角珊瑚为研究对象,通过室内模拟急性/慢性高温(34°C)和低温(14°C)胁迫实验,探究珊瑚-虫黄藻共生体在极端温度胁迫下的生理及转录组响应。结果表明,在极端高温/低温胁迫下,均导致美丽鹿角珊瑚触手收缩、共生关系破裂、Fv/Fm 下降,并引发氧化应激,且这些特征在急性胁迫下表现得更加明显。此外,在急性高温胁迫下,共生虫黄藻上调糖基化功能,下调小分子代谢通路,可能是共生虫黄藻的一种维持共生关系的能量与物质再分配机制。在慢性低温胁迫下,珊瑚宿主下调一氧化氮(NO)合成功能,低温胁迫可能影响珊瑚宿主的氮代谢活性。本研究发现,边缘礁区珊瑚-虫黄藻共生体通过调节能量代谢和物质运输,可以适应慢性温度波动环境。相比之下,急性温度波动对珊瑚共

生体造成不可逆的损害，更容易导致珊瑚的白化。

S12-P-33S

降低氨氮可缓解鹿角杯型珊瑚(*Pocillopora damicornis*)的 II 型白色瘟疫疾病

孙非龙¹, 苏宏飞^{1*}

¹ 广西大学, 海洋学院

* 903129623@qq.com

II 型白色瘟疫疾病 (WPL II) 是一种对硬骨珊瑚影响极大的疾病, 作用过程非常迅速。然而, 其病因、病原体和治疗方法仍然难以确定。本研究的实验表明, 作为 WPL II 型病原菌的 *Aureimonas altamirensis* 和 *Aurantimonas corallicida* 可以感染鹿角杯型珊瑚(*Pocillopora damicornis*), 产生特定的病理症状, 包括珊瑚白化、组织脱落和褪色。此外, 在氨氮降低的条件下, 病原体感染珊瑚后的珊瑚病理症状的显著减弱, 表明氨氮可能是 WPL II 的一个毒力因子。珊瑚微生物组分析表明, 氨氮降解主要是通过维持共生菌科的密度, 稳定核心菌和共生菌来抵抗白色瘟疫疾病。*Aureimonas altamirensis* 和 *Aurantimonas corallicida* 已被证明可以引起鹿角杯型珊瑚的 II 型白色瘟疫病, 而氨氮是一种毒力因子。氨氮的降解可以降低因疾病导致的珊瑚死亡率, 是一种具有前景的新方法。

S12-P-34S

益生菌 *Bacillus firmus* GXU-Z9 的珊瑚抗病作用与机制研究

秦晓¹, 苏宏飞^{1*}

¹ 广西大学, 海洋学院

* 903129623@qq.com

在全球变暖和海洋环境污染压力作用下, 珊瑚正面临着严峻的疾病爆发风险, 对全球珊瑚礁生态系统造成了严重的影响。已有研究认为珊瑚有益微生物能够治疗珊瑚疾病, 然而益生菌抗病作用机理尚未清晰。实验室前期实验筛选获得珊瑚抗病益生菌 *Bacillus firmus* GXU-Z9, 本研究尝试从表型、微生物组以及代谢组等多组学探究益生菌的抗病作用及其机理。取得主要研究结果如下:

(1) 单、双回接实验发现益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 能够有效预防 *Vibrio coralliilyticus* 引起的鹿角杯形珊瑚 (*Pocillopora damicornis*) 细菌性白化、组织裂解和虫黄藻流失。

(2) 微生物组学分析发现, 珊瑚共生虫黄藻的群落结构没有受到影响, 但致病菌 *V. coralliilyticus* 引起了珊瑚共附生细菌群落结构紊乱, 并且增加了潜在病原体的吸收和定殖, 而益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 能维持珊瑚共附生细菌群落结构稳定; 代谢组学分析发现, 致病菌 *V. coralliilyticus* 会抑制辅助因子合成和核苷酸代谢, 益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 可以促进不饱和脂肪酸代谢; 进一步进行微生物组和代谢组联合分析, 筛选出显著变化的代谢物和与益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 具有直接联系的代谢物, 包括 N-Alpha-acetyllysine、泛酸、L-脯氨酸、脯氨酸甜菜碱。代谢物添加实验发现 0.05 mg 的泛酸和 N-Alpha-acetyllysine 可有效防止致病菌 *V. coralliilyticus* 感染鹿角杯形珊瑚, 证实泛酸和 N-Alpha-acetyllysine 是益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 抗病效应物。

本研究证实了益生菌 *B. firmus* GXU-Z9 可有效防治致病菌 *V. coralliilyticus* 对鹿角杯形珊瑚引发的感染; 能够维持珊瑚共生细菌和虫黄藻群落结构稳定、增加有益微生物的吸收和定殖; 同时推动不饱和脂肪酸代谢, 直接或间接促进泛酸和 N-Alpha-acetyllysine 的产生来发挥抗病作用。本研究所获得的成果证明了益生菌的抗病功能,

并阐明其抗病机制，为珊瑚疾病的益生菌疗法提供理论依据。

S12-P-35S

造礁石珊瑚病毒群落对急性低盐胁迫的响应模式研究

梁林^{1,2}, 陈飏^{1,2*}, 余克服^{1,2}

1 广西南海珊瑚礁研究重点实验室

2 广西大学, 海洋学院

* biaoichenwork@163.com

气候变化所致的地表径流增强会造成海水表层盐度的急剧下降，并对邻近河流三角洲的珊瑚群落构成严重威胁。造礁石珊瑚属于共生功能体，其环境适应力与白化敏感性会受到病毒的显著影响。但是，珊瑚病毒群落在急性低盐胁迫下的变化规律与响应模式仍不清楚。本研究以珠江口钳虫尾区域健康与低盐白化的珊瑚为研究对象，采用宏病毒组学技术，解析珊瑚病毒群落宏—微观多样性，群落离散程度以及核心病毒组的变化规律及其种间差异，识别指示珊瑚低盐白化的病毒标志物。基于“安娜·卡列尼娜”准则验证，揭示珊瑚病毒群落对急性低盐胁迫的响应特征范式；研究结果将揭示造礁石珊瑚病毒群落对急性低盐胁迫的响应模式，为深入研究珊瑚礁生态系统“病毒—宿主—环境”互作机制奠定基础，为评估亚热带边缘珊瑚群落对气候变化的适应潜力提供科学依据。

S12-P-36

海绵共生微生物组在菌株和亚菌株水平互作的解构

王文秀^{1,2}, 范陆^{2*}, Torsten Thomas^{3*}

1 宁波东方理工大学（暂名），理学部

2 南方科技大学，海洋科学与工程系

3 University of New South Wales, School of Biological, Earth and Environmental Sciences

* fanl@sustech.edu.cn

* t.thomas@unsw.edu.au

海洋共生体或“全生物体”（Holobionts）是由真核宿主、细胞微生物共生体和病毒组成的高度组织化的集合体，蕴含了极大的遗传和功能多样性。目前尚不清楚哪些特定因素导致海洋共生体间遗传多样性的群体共性和个体特性。本项目结合短读和长读长测序和 DNA 邻近连接技术，研究海绵种群中共生菌（单细胞藻类、细菌和古菌）及其病毒的群落组织、相互作用和共同进化的模式。结果表明，海绵动物宿主对共生微生物组的菌株分类水平群落组织有显著影响，表现出类系统发育共生（Phylosymbiosis）模式。但在亚菌株分类水平上，海绵个体之间核苷酸多样性的大量重叠，表明微生物细胞和病毒颗粒在栖息地海绵种群中发生了频繁的水平交换。海绵个体中共生菌及其病毒频繁地免疫-逃避竞争，可能将病毒-宿主共同进化限制在亚菌株水平，驱动海绵共生微生物组个体特异性的遗传变异。研究结果表明，菌株水平和亚菌株水平互作的解构是海绵共生体遗传多样性产生的关键因素。

S14-O-1

水诱导的地幔反转与大氧化事件

吴忠庆^{1*}, 邓忻¹, 宋建¹

1 中国科学技术大学，地球和空间科学学院

* wuzq10@ustc.edu.cn

跟生命和板块运动一样，大陆也是地球所特有的。岛弧模型和地幔柱的海底高原模型是大陆起源的两个主流模型。相比较岛弧模型，地幔柱模型能更好地解释太古宙大陆的特征，但该模型在回答太古宙陆壳源区富水这一关键特征上遇到了困难。我们提出的水诱导的地幔反转模型比较好地解决了这个困难，同时还能解释太古宙

多个未解之谜 (Wu et al., 2023), 包括浅部地幔的氧化。

水诱导的地幔反转描述了地球早期由岩浆洋演化导致的特殊深部水循环。在地幔发生整体熔融的情况下, 高压下的物性研究表明结晶的地幔浮在岩浆洋中部, 将岩浆洋分成外面和基底两个岩浆洋。由于下地幔矿物含水能力低, 随着岩浆的结晶, 最初含一定量水的基底岩浆洋越来越富水, 水降低了基底岩浆洋的密度, 当水富集到一定程度后, 基底岩浆洋的密度不再比上覆地幔高, 基底岩浆洋会出现重力失稳而形成地幔反转 (超级地幔柱), 该反转将水带到地球浅部, 促进大陆和克拉通地幔岩石圈等的形成。因此太古宙大陆是基底岩浆洋演化的产物, 当地幔反转耗尽基底岩浆洋后, 太古宙型的大陆不再产生, 太古宙末期对应着大陆形成机制的转变期, 水诱导的地幔反转可以自然地解释为什么太古宙前后的大陆有完全不同的特性。

水诱导的地幔反转不仅能形成大陆, 还能促成浅部地幔的氧化, 是第一次大氧化事件的关键驱动力。高压下硅酸盐熔体中的二价铁会发生歧化反应, 生成的铁进入地核后, 基底岩浆洋富集三价铁。水诱导的地幔反转将富含三价铁的物质带到地球浅部, 氧化上地幔。大陆的形成和上地幔氧逸度的变化都是水诱导的地幔反转的效应, 它们在时间和空间上是相关的, 这种相关性确实得到了地质数据的支持。该图像也能解释太古宙末期是上地幔氧逸度变化最快的时期, 地幔反转下大量大陆在太古宙末期形成, 上地幔变得越来越氧化, 在水诱导的地幔反转这个关键驱动力及其它地质和生物过程的共同作用下, 地球最终在太古宙结束后不久诱发了第一次大氧化事件, 地球的大气出现可观的氧气。

S14-O-2

华北中元古界高于庄组富锰沉积物的成因及同位素组成:

对大气圈氧化还原状态及真核生物演化的启示

许灵通¹, 余文超^{1*}, Kurt O. Konhauser², 郭华¹, 靳松^{3*}, 马鹏飞¹, 杜远生¹

¹ 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院

² University of Alberta, Department of Earth and Atmospheric Sciences

³ 河北省地质调查院

* yuwenchaocug@163.com

* js521@163.com

前寒武纪锰矿占全球锰矿资源的 77% 以上, 主要形成于大气圈显著氧化的关键时期: 如古元古代大氧化事件 (GOE) 和新元古代氧化事件 (NOE)。前人研究认为地球表层系统的演化在 18-8 亿年间的元古宙中期处于停滞状态, 同时富锰沉积物在全球范围内显著缺失。然而, 最新研究表明中元古代期间发生过多脉冲增氧事件, 并且伴随富锰沉积物的出现。本次研究系统报道了华北燕辽盆地中元古界 (~15.6 亿年) 高于庄组二段底部富锰沉积物的岩相学、矿物学、全岩及碳酸盐组分地球化学特征。沉积学证据表明高于庄组二段富锰沉积物形成于海侵时期的大陆架边缘。弱正 Eu 异常 (最大值为 1.22)、Mn-εNd(t) 正相关性 (n=10, r=+0.74, p(α)=0.01)、全岩与碳酸盐组分判别图指示锰质主要来自远源热液。菱锰矿和锰白云石是主要的含锰矿物, 矿物学特征与负的 δ¹³C_{carb} 值 (-6.72‰至-1.08‰, 平均为-4.43‰) 表明菱锰矿形成于早期成岩阶段; 而锰白云石既可以形成于早期成岩孔隙水, 也可以在沉积物之上的缺氧海水中发生沉淀。但是, 它们的富集均依赖于有机质介导的锰氧化物还原, 因此可以指示脉冲增氧事件的发生。在富锰沉积物达到高峰之后, 层状黄铁矿的出现表明沉积环境短暂地转变为硫化环境。随后, 海洋溶解性有机碳 (DOC) 储库扩张导致 δ¹³C_{carb} 与 δ¹³C_{org} 解耦。扩张的 DOC 储库很可能是在高于庄组三段真核生物化石出现的前夕被

氧化。值得注意的是,只有当海水中额外的 DOC 和还原剂被耗尽后,地表系统的氧化环境才能够相对稳定并维持多样化的真核生物群落。因此,研究认为,高于庄组二段沉积时期发生的增氧事件以及 DOC 储库扩张之后的氧化降解通过有效清除海水中的还原性物质、促进关键营养元素积累,为高于庄组三段真核生物的出现奠定了基础。

S14-O-3

燕辽盆地中元古代早期高于庄组碳同位素地层学与海洋碳循环变化:对早期宏体真核生物演化的启示

罗瑾¹,李国祥¹,朱茂炎^{1*}

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所
* myzhu@nigpas.ac.cn

华北燕辽盆地高于庄组(~1.56 Ga)宏体真核生物化石及氧化事件的发现,为探讨中元古代早期生命与环境协同演化提供了重要线索。然而,由于缺乏可靠的层序对比框架,这两个关键事件之间的时序关系尚不明确。因此,本研究选取赋存宏体真核生物化石的迁西城西峪剖面与宽城尖山子剖面,分别代表浅水与深水沉积环境,对高于庄组 III-IV 段开展了高精度碳同位素分析,旨在限定该阶段海洋氧化事件与真核生物演化的层序关系,并探讨中元古代早期海洋碳循环的演变特征。

通过系统性的沉积旋回与碳同位素地层学对比,本研究构建出四次区域内可对比的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 波动,其中第三次 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 波动(N3)为最显著的地层对比标志。目前已报道的“脉冲式”氧化事件发生在第二次 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 波动(N2)区间内,而宏体真核生物化石层位于氧化事件之上,暗示了氧化事件与宏体真核生物化石的演化存在更复

杂的联系。此外,尽管整体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 波动范围较小(-3‰~+1‰),但在N3期间,浅水与深水之间呈现出了约 2.5‰的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 梯度。相较之下, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值则表现出幅度更大且相对稳定的梯度(约 7‰),表明在中元古代早期海洋的碳同位素系统存在一定程度的解耦。我们推测,中元古代早期海洋中的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 梯度主要受控于氧化还原分层水体中不同类型的微生物群落及深海 DOC 库的影响,而 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 的变化则受到中元古代海洋较大的 DIC 库的缓冲。此外,在 N3 阶段深水 DOC 的氧化可能导致 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的显著负偏,从而形成观察到的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 梯度。本研究揭示了真核生物演化与环境变化之间可能存在正反馈机制,为认识中元古代早期海洋碳循环变化及古海洋境提供了新的研究视角。

S14-O-4

14 亿年前大陆化学风化显著增强:来自锂同位素的约束

刘康¹,张水昌^{1*},王晓梅¹,叶云涛¹,张鹏远¹,肖文摇¹,柳宇柯¹,吕怡潼¹

¹ 中国石油勘探开发研究院,石油地质实验研究中心

* sczhang@petrochina.com.cn

中元古代(1.6–1.0 Ga)以温室条件为主导的气候特征理论上有助于大陆化学风化作用的进行。然而,该时期不同类型风化指标揭示的气候条件和风化状态却存在矛盾。鉴于此,本研究以河北下花园地区下马岭组 Unit 4 和 Unit 5 岩心为研究对象,基于 $\delta^7\text{Li}$ 值、元素比值及黏土矿物组合等多种指标,精细刻画了该时期大陆化学风化作用的演化历史。结果显示,在 Unit 5 铁层沉积期存在一次显著的 $\delta^7\text{Li}$ 值负偏(-3.5‰)事件,其幅度与古新世—始新世极热期(PETM)相当,同时具有较高的化学蚀变指数($\text{CIA}_{\text{corr}} > 80$)。物源分析结果进一步显示,这次风化增强事件与热带地区

偏基性岩石的出露增加有关。更为关键的是，大陆风化作用增强引起的营养元素向海输入增加，可能有效提升了海洋初级生产力水平，进而促进有机碳埋藏增加及大气氧含量的显著升高。因此，本研究证实在 14 亿年前已存在较为活跃的大陆风化动力学过程，同时，热带地区易风化岩石的出露增加可能是中元古代大陆风化作用与气候变化的重要触发机制。

S14-O-5

铈同位素 ($\epsilon^{205}\text{Tl}$) 重建成冰纪间冰期海洋氧化还原状态

汪雨露¹，曹梦春¹，吝祎勃¹，吴非²，唐卿¹，张飞飞^{1*}

¹ 南京大学，地球科学与工程学院

² 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* fzhang@nju.edu.cn

重建 Sturtian 冰期和 Marinoan 冰期间冰期 (~663-654 Ma) 的海洋氧化还原状态对理解地球早期多细胞动物起源和早期演化与表生环境演变之间的关联至关重要。华南南华盆地保存了较为完整的成冰纪间冰期沉积记录，通常被称为大塘坡组。本研究选取了南华盆地高地和长行坡的两个钻芯，对大塘坡组基底黑色页岩开展了高分辨率铈同位素分析，以重建间冰期海洋氧化还原的精细演变过程。研究结果表明， $\epsilon^{205}\text{Tl}$ 值的变化区间为 -4.9~ -0.7，平均值为 -2.8，低于地壳平均值 ($\epsilon^{205}\text{Tl}_{\text{UCC}} = -2.1 \pm 0.3$)，但高于现代海水值 ($\epsilon^{205}\text{Tl}_{\text{seawater}} = -6 \pm 0.6$)。在两个剖面的下半段均观察到一次明显的铈同位素负偏，指示在大塘坡组基底发生过一次海洋氧化事件。随后， $\epsilon^{205}\text{Tl}$ 值逐渐向较高值变化，表明海水恢复广泛缺氧状态。质量平衡模型估算表明锰氧化物沉积为大塘坡组中铈的主要汇之一（高地剖面： $f_{\text{oxic}} = 7\text{--}14\%$ ；

长行坡剖面： $f_{\text{oxic}} = 13\text{--}20\%$ ）。此外，新的 $\epsilon^{205}\text{Tl}$ 数据为解释该时期广泛发育于黑色页岩中的大塘坡式锰矿（菱锰矿）的成因也提供了新的证据，含锰碳酸盐段的 $\epsilon^{205}\text{Tl}$ 值支持其为斯图特冰期后锰氧化物前体转化的观点。铈同位素数据表明锰氧化物沉积是南华盆地铈的重要汇，若该过程反映富氧环境，则短暂增氧事件与藻类首次显著辐射时期耦合，可能为多细胞生物的出现奠定了生态基础。这些发现揭示了成冰纪间冰期海洋氧化还原波动与早期生物演化之间的复杂关联。

S14-O-6

新元古代成冰纪间冰期海洋 Mo 同位素组成重建

李津¹，朱祥坤^{1*}

¹ 中国地质科学院地质研究所，同位素地质研究室

* xiangkun@cags.ac.cn

成冰纪（南华纪，720–635 Ma）是地质历史上环境变化和生命演化的关键时期，发生了至少两次全球性的大冰期（“雪球地球”）(Hoffman et al., 1998; Hoffman and Schrag, 2002)，即 Sturtian 冰期和 Marinoan 冰期。成冰纪（南华纪）真核浮游藻类开始繁盛 (Brocks et al., 2017; Hoshino et al., 2017)，最早的动物（海绵）可能已经出现 (Erwin et al., 2011; Love et al., 2009; Sperling et al., 2010)。成冰纪（南华纪）之后的埃迪卡拉纪开始出现了大量多细胞后生动物，海洋显示出截然不同的生物景象。因此，这两次大冰期可能对后生动物的多样化起着相当大的推进作用。我国南华系是目前已知的全球唯一发育有从 Sturtian 冰期到 Marinoan 冰期连续沉积的地层，间冰期地层（大塘坡组（湘锰组））主要由黑色页岩和灰色页岩组成，具有连续、完整、有机碳含量高的特点，系统、完整地记录了整个间冰期海洋环境的珍贵信息。本文通过对大塘坡组与湘锰组的钼同位素

($\delta^{98}\text{Mo}$)、铁组分及微量元素 (Mo、U) 数据, 旨在更好约束非冰川期海洋的局部与全球氧化还原状态。研究发现斯图特冰期消融后, 全盆地范围锰质碳酸盐岩的广泛沉积导致显著的 $\delta^{98}\text{Mo}$ 分馏, 掩盖了原始海水信号; 而湘锰组黑色页岩记录的更深处硫化水体 $\delta^{98}\text{Mo}$ 组成呈现从+0.81‰升至+1.28‰的趋势, 暗示氧化程度增强。湘锰组几乎完整保存了非冰川期海水 $\delta^{98}\text{Mo}$ 组成的连续记录: 斯图特消冰期前半段海水 $\delta^{98}\text{Mo}$ 可能为+0.81‰, 在锰氧化物沉积阶段降至+0.81‰, 至成冰纪非冰川期后半段又升至+1.28‰, 这一动态变化为成冰纪非冰川期大气氧含量的波动上升提供了支持依据。

S14-O-7

晚埃迪卡拉纪古地理演化、真极移与大冰期

温斌^{1*}, 王瑞敏², 刘鹏³, 沈冰², 刘永岗², 郎咸国⁴, 殷宗军⁵, David A.D. Evans⁶, 周传明⁵, Ross Mitchell⁷, 李三忠³

1 中国地质大学 (武汉)

2 北京大学

3 中国海洋大学

4 成都理工大学

5 中国科学院南京地质古生物研究所

6 Yale University

7 中国科学院地质与地球物理研究所

* wenbin@cug.edu.cn

晚埃迪卡拉至寒武纪时期, 地球不同圈层经历了一系列深刻变革, 包括固体圈层罗迪尼亚 (Rodinia) 超大陆的最终裂解和冈瓦纳 (Gondwana) 大陆的聚合形成, 雪球地球极端气候事件之后又一次全球大范围冰期发生以及早期动物的发展及辐射等, 是地球演化历史的一段重要转换时期。因此, 诸多学者认为这一时期地球内部与表层圈层系统的重大演化转变对整个地球宜居性演变具有深刻影响。但是目前关于这一时期的多圈层协同演化, 如内外圈层

耦合仍存在巨大争议。本报告将在前期阶段性研究进展基础上从古地磁定量约束角度, 在真极移框架下再现该关键时期全球构造古地理动态演变过程, 试图将地球固体圈层的构造古地理时空演变与地表环境气候 (冰期) 事件联系起来介绍地球深部与表生环境-生态系统相关性演化进行初步探讨。

S14-O-8

模拟研究真极移维持埃迪卡拉纪大冰期的机制

刘鹏^{1*}

1 中国海洋大学

* liupeng2020@ouc.edu.cn

地质记录表明, 在埃迪卡拉纪晚期 (约 5.8-5.6 亿年前) 广泛存在冰川。然而, 对于这种全球性连续的冰期得以维持的原因仍然不明确。我们利用地球系统模型 (CESM 1.2.2) 和风化模型表明, 在真极移 (TPW) 控制下, 部分陆地从冰川覆盖区移动至无冰的热带地区, 这些新暴露出来的陆表更易风化, 使大气中的二氧化碳浓度在 5.75-5.65 亿年前低于 280 ppmv, 在 5.8 和 5.6 亿年前低于 140 ppmv。埃迪卡拉纪大冰期的大气二氧化碳浓度波动可能被限制在 5.8 亿年前的两倍范围内。因此, 真极移可能耦合了地球内部和地表的相互作用, 从而影响后面发生的生命大爆发事件。

S14-O-9

华南埃迪卡拉纪多剖面磁性地层揭示赤道偶极子场及其与早期生物辐射的潜在联系

钟涛^{1,2,4}, 李海燕^{1,2,4*}, 丁继凯^{1,2,4}, 张世红^{1,2}, 吴怀春^{1,2}, 杨天水^{1,2}, 王瑜^{2,3,4}

1 中国地质大学（北京），地质微生物与环境全国重点实验室
2 中国地质大学（北京），深时数字地球前沿科学中心
3 中国地质大学（北京），地质过程与成矿预测全国重点实验室
4 中国地质大学（北京），科学研究院
* hai2216@cugb.edu.cn

全球埃迪卡拉纪古地磁记录中普遍存在异常现象，其成因存在真极移和地磁场异常的争论。已有研究在华南郑家埡剖面陡山沱组 Shuram 碳同位素负偏层段建立了连续磁性地层框架（约 567.3–572.8 Ma），揭示了该时期存在快速视极移（APW，速率达 $243 \pm 17^\circ \text{Myr}^{-1}$ ）（Zhong et al., 2024）。为了验证这一结果，在距郑家埡剖面 1 公里外的两个剖面（乡儿湾和南乡儿湾）的相同层位进行古地磁学和岩石磁学研究。岩石磁学结果显示，载磁矿物为磁铁矿和赤铁矿。逐步热退磁实验结果显示，两个剖面的样品分离出两组相差近 90° 的特征剩磁方向（HC1 与 HC2），与郑家埡剖面的两组特征剩磁方向相同。这表明 HC1 和 HC2 均具有区域一致性，因而不是次生重磁化方向，而是原生剩磁方向。HC1 对应的磁极 DST₃₋₁ 位于 -52.7°N , 21.4°E , $A_{95} = 7.3^\circ$, $n = 18$ ，HC2 对应的磁极 DST₃₋₂ 位于 -33.3°N , 171.9°E , $A_{95} = 3.2^\circ$, $n = 67$ 。已建立的天文年代标尺（Li et al., 2022）约束了磁极 DST₃₋₁ 和 DST₃₋₂ 之间的超快 APW 速率，达 $223.4 \pm 20.4^\circ \text{Myr}^{-1}$ ，与 Zhong et al. (2024) 的结果一致，表明此时的地磁场可能以赤道偶极子场占主导，且其存在时间被约束为 $\geq 572.8\text{--}569.9 \text{ Ma}$ ，与早期生物辐射事件（ $\sim 575\text{--}565 \text{ Ma}$ ）的时间一致，表明二者之间可能存在一定的关系。

S14-O-10

探究南沱组内部细粒沉积物成因

杨智超^{1*}，黄天正²，邢超超¹，郎咸国¹

1 成都理工大学，沉积地质研究院
2 北京大学，地球与空间科学学院
* 1973945471@qq.com

新元古代 Marinoan 冰期（ $\sim 650\text{--}635 \text{ Ma}$ ）是地质历史上最极端的“雪球地球”事件之一。在最广为接受的硬雪球地球气候模式中，全球海洋冰封隔绝海气交换并阻止碳埋藏，使得地幔脱气释放的二氧化碳在大气中持续积累，直到极高的二氧化碳突破了冰盖扩张-反照率降低这一正反馈机制，使得全球冰盖在短时间内迅速融化。然而，华南地区 Marinoan 冰期沉积中普遍呈现出两段冰碛杂砾岩沉积中夹杂一段细粒沉积岩的情况，与硬雪球地球全球海洋冰封状态下的沉积并不相符。但是，受限于该时期地层对比较为困难，沉积学证据难以区分局部冰盖短时间融化和区域甚至全球尺度上的冰川进退过程。这两个过程的主要差异是 Marinoan 冰期内部是否存在气候波动，即是否符合硬雪球地球预测的大气二氧化碳持续积累，但不足以影响冰川进退的气候模式。气候变化会影响大陆风化，进而被陆源碎屑沉积所记录。为解决华南地区细粒沉积的成因问题，本研究选取华南地区 Marinoan 冰期代表性剖面——青林口和铁匠岩剖面的南沱组为研究对象，通过沉积学、矿物学、主量元素及镁同位素（ $\delta^{26}\text{Mg}$ ）分析，揭示了在南沱组细粒沉积中存在风化增强而后在冰碛岩中再次减弱的现象。这表明在华南地区 Marinoan 冰期内部存在气候波动导致了冰盖动态进退，进而产生了冰缘海相沉积过程。Marinoan 冰期中的气候并非单调的全球冰封模式下的二氧化碳逐渐积累，大陆风化及受限的海气交换可能导致大气二氧化碳浓度的波动。在这样的气候背景下，冰川与大气二氧化碳如何形成反馈平衡，维持长达 15Ma 的全球性冰期可能需要新的解释。

S14-O-11

中元古代晚期碳同位素漂移与氧化过程的旋回地层学约束——来自华南神农架群乱石沟组的新结果

刘伊暄¹, 李海燕^{1*}, 张世红^{1*}, 张娜娜¹, 杨昆昆¹, 李怀坤², 王志先³, 杨天水¹, 吴怀春¹

1 中国地质大学(北京), 古地磁与环境磁学实验室

2 天津地质矿产研究所

3 神农架国家公园

* hai2216@cugb.edu.cn

* shzhang@cugb.edu.cn

全球中元古代海相地层记录了 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 从约1300 Ma前的接近0‰上升至约1250 Ma后平均超过+3.5‰的显著变化。这一碳同位素漂移现象被归因于地表环境氧化作用的增强,但其触发机制尚不明确。最新化学地层研究表明,华南中元古代晚期神农架群完整保存了这次 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 漂移的记录。本文报道了对华南神农架群约1270 Ma乱石沟组开展的多参数岩石磁学和旋回地层学研究结果。

本研究对乱石沟组上段165米厚的白云岩层系统采集1528件样品,测试了磁化率(MS)、非滞剩磁(ARM)、饱和等温剩磁(SIRM)及S比值等参数。该剖面发育保存完好的紫红色泥质白云岩与浅粉色白云岩岩性旋回,其变化特征清晰反映在磁学参数中。岩石磁学和岩相学分析表明,磁学参数变化主要受碎屑赤铁矿含量控制,可作为陆源输入的替代性指标。

旋回地层分析识别出20.2-13.6米、5.6-4.5米、1.11-0.76米和0.64-0.42米四个显著旋回层级,其厚度比值为31.6-21.9:8.8-7:1.7-1.2:1-0.7,分别对应405 kyr和100 kyr偏心率周期、22.4-20.9 kyr斜率周期以及17.3-12.8 kyr岁差周期的米兰科维奇旋回。基于405 kyr调谐的时间序列分析显示,与岩性旋回对应的陆源输入变化与405 kyr长

偏心率周期具有良好相关性。偏心率驱动下增强的碎屑输入可能促进了营养盐通量,刺激了初级生产力,最终助推了中元古代晚期大气和浅海环境氧含量的上升。这一发现为理解全球碳同位素正偏事件与古环境变化的耦合机制提供了新视角。

S14-O-12

Nuna 超大陆的逐步裂解

丁继凯^{1*}, 张世红^{1*}, 赵汉卿¹, David A.D. Evans², Kevin R. Chamberlain³, 时美楠¹, 李海燕¹, 杨天水¹, 吴怀春¹, Richard E. Ernst⁴

1 中国地质大学(北京), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 Yale University, Department of Earth & Planetary Sciences

3 University of Wyoming, Department of Geology & Geophysics

4 Carleton University, Department of Earth Sciences

* djikai@126.com

* shzhang@cugb.edu.cn

Nuna 超大陆何时以及如何裂解仍存在较多争论,其对于理解中元古代晚期全球构造活动具有重要意义。根据大型火成岩省和中元古代大规模大陆裂谷系统发育时间,Nuna 超大陆的裂解时间被推测为大约1.6至1.2 Ga。来自元古代的古地磁数据可以定量约束板块的运动,并直接验证不同的模型。本研究报告了来自华北克拉通32条岩墙的新古地磁结果,这些结果通过了烘烤检验和倒转检验。其中一条岩墙>ID-TIMS斜锆石定年结果将其侵位时间限制在 1235.6 ± 2.0 Ma,这为华北克拉通提供了一个新的有精确定年的古地磁极。结合之前发表的来自Laurentia、NCC、Baltica和澳大利亚1.45-1.04 Ga古地磁和地质数据,它们的视极移曲线对比表明,Nuna的核心与东Nuna大约在1.38 Ga时分裂。此后,东Nuna的分裂发生在大约1.32 Ga之后;而Nuna核心的分裂发生在大约1.26-1.22 Ga。

Nuna 超大陆的逐步分裂过程与 Pangea 的分裂过程相似。

S14-P-1S

摩洛哥小阿特拉斯地区寒武纪早期氧化还原状态重建

熊铁伟¹, 陈波^{1*}

¹ 中国科学院南京地质古生物研究所

* chenbo@nigpas.ac.cn

通过对摩洛哥寒武纪早期碳酸盐岩晶格硫酸盐硫同位素、铈异常和 $I/(Mg+Ca)$ 比值的分析, 发现了寒武纪早期 5 次耦合的 $\delta^{34}SCAS$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 同步正漂移事件, 验证了前人在西伯利亚和华南地区识别同期地层中 $\delta^{34}SCAS$ 和 $\delta^{13}C_{carb}$ 耦合波动现象的可靠性和全球性。碳—硫同位素耦合演变被解释记录了黄铁矿和有机碳埋藏增强事件, 导致大气氧含量上升。旋回地层学分析发现, 525–515Ma 期间的碳—硫同位素曲线同步记录了~2.4 Ma 的超长周期天文旋回信号和典型的米兰科维奇旋回(如 40 万年偏心率、10 万年岁差)。结合铈同位素等风化作用指标, 认为天文轨道力是此阶段碳—硫耦合变化的主控机制。而米兰科维奇轨道信号在埃迪卡拉纪末期-寒武纪早期(约 550–525 Ma)地层中未被识别, 铈同位素数据显示的缺氧底层海水的周期性波动可能是主导该时期碳—硫同位素耦合变化的主要机制。研究结果显示, 寒武纪早期 $I/(Ca+Mg)$ 比值普遍低于氧化阈值($<2.6 \mu mol/mol$), Ce/Ce^* 值(0.90–1.36)显著高于现代浅海环境, 表明该地区寒武纪早期浅海普遍处于相对缺氧状态。寒武系第二阶中部(约 525 Ma)开始, $I/(Ca+Mg)$ 比值与 Ce/Ce^* 同步跃升, 标志着浅海从缺氧向局部氧化-锰化微环境状态的转变。这一转变与铈同位素($^{87}Sr/^{86}Sr$)曲线的由下降到上升的拐点和及模型计算的 CO_2 浓度骤降在时间上高度耦合, 表明构造-气候重组驱动了这个时期海洋状态的改变,

与旋回地层学的分析结果一致。同时, 5 次碳同位素正漂移事件(5p、6p、II、IV、VII)峰值后, $I/(Ca+Mg)$ 比值与 Ce/Ce^* 呈现小幅上升, 反映了大气氧脉冲式积聚(pO_2 升高)逐步改善了浅海氧化还原状态。对比研究发现, 摩洛哥与西伯利亚碳-硫同位素旋回及碘/钙比的呈现高度一致性, 证实寒武纪早期大气氧脉冲增加具有全球普适性, 为寒武纪大爆发提供有利环境。

S14-P-2S

近源热液活动在中元古代大规模铁建造形成中的关键作用

周子龙¹, 朱祥坤^{1*}, 孙剑¹, 李志红¹

¹ 中国地质科学院地质研究所, 自然资源部同位素地质重点实验室

* xiangkunzhu@163.com

铁建造(Iron formations, IFs)作为极度富铁的化学沉积岩, 在全球钢铁工业与前寒武纪海洋化学研究中占有重要地位。然而地质历史时期铁建造形成的控制因素仍然存在争议, 尤其是在大规模铁建造极为稀缺的中元古代。自上个世纪以来, 我国西北地区北祁连造山带内陆续发现了多个大-中型铁矿, 矿石总储量巨大, 详细的野外考察和年代学研究表明这些铁矿是形成于中元古代的大规模铁建造。其中最具代表性的镜铁山铁矿开采历史悠久, 勘探程度较高, 为解决上述科学问题提供了非常好的研究对象。稀土元素(REEs)是研究铁建造成因和水体沉积环境的重要工具, 然而镜铁山样品中异常高的钡含量对稀土元素的精确分析提出了挑战。针对上述问题, 本研究通过新建立的铁共沉淀结合色谱分离的分析流程, 可以去除样品中超过90%的钡以及几乎全部的铁元素, 实现了对富钡铁建造样品稀土元素的精确测定。应用结果表明, 镜铁山铁建造具有明显的 Eu

正异常 (1.52-3.43)，表明显著的高温热液输入。三个同期沉积的铁建造剖面具有明显不同的 Eu 异常变化趋势，表明铁质来源于多个附近的局部热液活动，而不是统一的深部海水上涌。镜铁山铁建造具有变化的 Ce 异常 (0.76-1.62)，并且和锰含量具有正相关性，结合低的 Y/Ho 比值 (18.1-28.4)，表明其沉积于氧化还原分层海洋中 Mn-Fe 化变层之间的缺氧-低氧水体。进一步对全球中元古代碳酸盐岩 Ce 异常和铁建造铁同位素的数据汇编研究表明，中元古代海洋氧化还原条件仍然是长期稳定且富铁的，并且允许大规模的铁建造沉积。前人研究认为，元古宙中期哥伦比亚与罗迪尼亚超大陆之间只经历了微小的转变，导致全球缺少大规模的构造-热液活动。然而镜铁山和全球范围内报道的多个中元古代铁建造（如宣龙等）均表现出强烈的热液输入。因此中元古代海洋中的铁浓度似乎是高度变化的，这可能是局部构造-热液活动的结果。基于这些认识，我们提出中元古代缺乏大规模铁建造的原因是缺少热液活动而不是海洋氧化条件改变。我们的研究强调，与区域裂谷有关的近源热液活动在中元古代大型铁建造的形成中发挥了关键作用。

S14-P-3S

新元古代三峡地区盖帽碳酸盐岩成因研究

李紫怡^{1,2}, 陈波^{2*}

1 中国科学院大学，资源与环境学院

2 中国科学院南京地质古生物研究所

* chenbo@nigpas.ac.cn

新元古代经历了两次全球性冰期：Sturtian 冰期（717–659 百万年前）和 Marinoan 冰期（645–635 百万年前），称为“雪球地球”事件。帽碳酸盐岩沉积（Cap carbonates）是“雪球地球”结束后紧接着沉积在冰川沉积物之上的厚层碳酸盐岩，它

们分布于全球 50 多个地点，最大沉积厚度可达到 200 米。目前普遍认为“雪球地球”冰期结束后大量碳酸盐岩沉积是全球气候快速升温、大量冰川融化、以及大气中 CO₂ 浓度大幅增加所致，但具体的碳酸盐岩形成机制仍存在很大争议。本研究选取华南三峡地区黄牛崖剖面、乡党坪剖面、南沱村剖面和雾河剖面陡山沱组的 12 块样品进行微区主微量元素分析、Sr 同位素分析、团簇同位素温度计等，得到 REE 配分模式图指示混合水体和热液参与信号，Sr 同位素值高于海水值且同一块样品上不同区域存在明显差异，基质和胶结物的形成温度均高于 100°C。综合以上信息及前人资料，推测盖帽碳酸盐岩沉积有以下三个阶段：1. 海底碱度累积；2. 碳酸盐岩早期沉积；3. 后期热液流体通过早期沉积的裂隙系统渗入。

S14-P-4

中元古代海洋动态的营养元素循环调控有机碳埋藏：来自锌同位素的证据

原成帅¹, 王晓梅^{1*}, 刘盛邈³, 艾嘉仪⁴, 叶云涛¹, 王添翼², 张水昌¹

1 中国石油勘探开发研究院，石油地质实验中心

2 北京大学，地球与空间科学学院

3 中国地质大学（北京），科学研究院

4 中国石油大学（北京），地球科学学院

* wxm01@petrochina.com.cn

中元古代（~1800-800 Ma）海洋的黑色页岩间歇性沉积与当时长期稳定的环境背景形成了鲜明的对比。现有的概念模型普遍认为，营养元素供给的变化在调节中元古代海洋生产力和有机碳埋藏方面发挥了至关重要的作用。然而，目前仍缺乏有效的地球化学指标来将这些证据链有效地关联起来。

锌是一种生物必需的微量营养元素，且海水锌同位素组成（ $\delta^{66}\text{Zn}$ ）对碳循环的扰动具有高度敏感性，有望为理解中元古

代海洋生物地球化学循环提供新视角。本研究以澳大利亚北部麦克阿瑟盆地的 Velkerri 组中部 (~1400 Ma) 的富有机质黑色页岩为研究对象, 通过运用锌同位素体系以及传统的地球化学手段, 解译影响中元古代海洋营养元素循环的驱动机制及其对有机碳循环扰动的关联。

Velkerri 组中部黑色页岩的锌同位素地层呈现出明显的两阶段演化特征。在第一阶段, 显著的 $\delta^{66}\text{Zn}$ 负偏出现在大陆风化增强和稳定上升流强度的背景下, 指示该时期地表径流 (轻锌同位素源) 主导了营养元素向盆地的输入。在第二阶段, $\delta^{66}\text{Zn}$ 正漂移与同期 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 正偏、Zn/TOC 比值的下降呈耦合关系。这些变化指示了增强的海洋初级生产力促进了盆地有机碳埋藏效率, 而这一过程又反过来影响了海洋营养元素储库、大气脉冲式增氧以及生物多样性的演化进程。这些证据表明, 动态的中元古代海洋营养循环可通过一系列反馈机制, 驱动当时的地表碳循环出现短期“失衡现象”。

S14-P-5

华北克拉通串岭沟组页岩旋回特征及地月系统演化重建

石巨业^{1*}, 金之钧², 刘全有², 樊太亮¹, 高志前¹, 葛振威¹

¹ 中国地质大学 (北京), 能源学院

² 北京大学, 新能源研究院

* shijuye@cugb.edu.cn

中元古代是地球历史上生命与环境演化的关键时期。然而, 受限于天文理论模型的缺乏、太阳系混沌效应以及深时地质记录的稀缺, 从地层中揭示天文节律及太阳系演化历史仍面临巨大挑战。华北克拉通燕辽地区的长城系串岭沟组黑色页岩, 以其高有机质丰度和适中成熟度, 曾被认为是中国大陆最古老的烃源岩层系。由于

黑色页岩沉积的连续性, 该地层成为识别天文旋回及地月轨道参数重建的理想载体。

本研究系统分析了中元古代典型黑色页岩旋回特征, 并汇编了中元古代日长 (LOD) 重建结果。通过识别华北克拉通中元古代多套黑色页岩中的米兰科维奇周期, 利用 TimeOptMCMC 模拟重建了岁差常数 k 和日长 (LOD)。在串岭沟组黑色页岩, 结合前人火山灰年龄, 重建了 $1632.43 \pm 0.2 \text{ Ma} - 1642.33 \pm 0.2 \text{ Ma}$ 的高精度浮动天文年代表, 发现了新的超长轨道周期 (约 1.56 Myr 和 1.0 Myr), 即 $3(s_4-s_3) - 2(g_4-g_3) = 0$ 的 2:3 共振状态, 这些周期可能揭示了中元古代太阳系的混沌状态。此外, 基于沉积噪声模型, 恢复了元古代温室气候时期高频海平面变化, 结果表明存在明显的 1.0 Myr 周期, 可能由超长斜率周期驱动, 进一步验证了“海绵大陆”假说。通过 Ba/Al 指标贝叶斯反演, 计算得到的地月轨道参数显示: 日长为 18.06 ± 0.05 小时, 地-月距离为 $341,530 \pm 390 \text{ km}$, 岁差常数为 $87.14 \pm 0.25 \text{ arcsec/yr}$, 较接近“海洋模型”, 揭示了月球在中元古代的衰退速率可能较慢。该成果为理解中元古代气候演变及地月系统演化提供了新的视角。

S14-P-6S

Eu 异常与 Fe 同位素协同变化揭示 Superior 型铁建造热液铁源: 以南澳 Wilgena Hill Jaspilite 组铁建造为例

陈硕^{1,2}, 孙剑^{1*}, 朱祥坤¹

¹ 中国地质科学院地质研究所, 深地探测与矿产勘查全国重点实验室

² 中国地质大学 (北京), 地球科学与资源学院

* sunjiantc@163.com

Superior 型铁建造作为全球重要的铁矿石资源, 其成因长期存在争议。早期模型认为其铁源主要来自大陆风化, 但随着铁

建造中显著 Eu 正异常的发现, 学者逐渐转向热液来源假说。然而, 该热液源假说多依赖于稀土元素证据, 铁与稀土元素是否同源仍然存疑。由于 Fe 同位素可有效示踪铁源及热液运移分馏过程, Eu 异常与 Fe 同位素的空间协同变化可为 Superior 型铁建造的热液铁源提供新依据。本研究以澳大利亚南部 Wilgena Hill 铁建造 WILDD004 钻孔样品为对象, 结合前人报道的 Hawks Nest (HKDD4) 与 Giffen Well (GWDD1) 钻孔数据 (地层对应 Wilgena Hill Jaspilite 组, 横向跨度约 100 km), 系统分析了 Eu 异常 (Eu/Eu*) 与 $\delta^{56}\text{Fe}$ 的相关性。Hawks Nest 和 Giffen Well 样品显示出正的 Eu 异常和较高的 $\delta^{56}\text{Fe}$ 值, 而 Wilgena Hill 样品则显示出较弱的 Eu 正异常 (Eu/Eu* = 1.17 - 2.41) 和 $\delta^{56}\text{Fe}$ 负值 (-0.60‰ - -1.63‰)。三个钻孔 Eu 正异常的一致存在以及 $\delta^{56}\text{Fe}$ 和 Eu/Eu* 之间系统空间相关性, 为 Superior 型铁建造铁的热液来源提供了直接的、基于铁同位素的地球化学证据。

S14-P-7S

利用碳酸盐岩铈稳定同位素示踪埃迪卡拉纪表层海水的波动氧化过程

盛凯¹, 张飞飞^{1*}, 吝祎勃¹

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院
* fzhang@nju.edu.cn

埃迪卡拉纪 (635~540Ma) 海洋氧化事件与地球早期生命的出现和繁盛有着紧密的联系, 并为之后寒武纪的生命大爆发奠定了基础。然而, 现有的不同地球化学指标 ($\delta^{98}\text{Mo}$, $\delta^{238}\text{U}$, Ce/Ce* 等) 对这一时期海洋氧化过程的记录存在显著差异。近年来, 铈 (Ce) 稳定同位素 ($\delta^{142}\text{Ce}$) 被认为是示踪海洋氧化还原过程的潜在指标。本次研究以华南地区安王山剖面埃迪卡拉系陡山沱组-灯影组的碳酸盐岩为研究对象,

首次建立了高精度和高分辨率的 Ce 同位素演化序列, 结合多指标地球化学分析, 为揭示埃迪卡拉纪陆架边缘表层海水的氧化过程提供了更多新的见解。研究发现: 陡山沱组呈现出较低的 $\delta^{142}\text{Ce}$ 值, 而灯影组的 $\delta^{142}\text{Ce}$ 值显著升高, 指示灯影期表层海水氧化程度较陡山沱期显著提升。值得注意的是, 在陡山沱组无机碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 负漂段, $\delta^{142}\text{Ce}$ 同步出现显著负偏。这一耦合关系揭示深海有机碳 (DOC) 大规模氧化产生的还原性流体上涌, 延缓了表层海水的氧化进程。灯影组沉积后至埃迪卡拉纪末期, $\delta^{142}\text{Ce}$ 值开始持续波动上升, 最终达到现代浅水碳酸盐岩的 $\delta^{142}\text{Ce}$ 值, 指示表层海水的氧化程度可能已经接近现代表层海水的氧化水平。相较于传统 Ce/Ce* 指标, $\delta^{142}\text{Ce}$ 展现出更高的氧化还原敏感性, 可有效区分缺氧-次氧化-氧化过渡状态。本研究证实 $\delta^{142}\text{Ce}$ 作为新型氧化还原指标在重建地球早期海洋氧化事件 (如 GOE 和 NOE) 中的独特优势, 特别是追溯海洋从弱氧化到高度氧化条件的演化过程具有重要应用潜力。

S14-P-8

成冰纪间冰期大气—海洋氧化还原状态研究: 来自华南大塘坡组铬同位素与微量元素证据

马健雄¹, 李津¹, 朱祥坤^{1*}

¹ 中国地质科学院地质研究所, 同位素地质研究室
* xiangkun@cags.ac.cn

新元古代成冰纪时期, 地球经历了极端的冰川事件, 可能对当时的海洋环境和早期多细胞生命的演化产生了深远影响。斯图特冰期与马里诺冰期之间的间冰期阶段, 大量锰元素富集, 可能与当时活跃的构造活动和海水化学条件的变化有关。本

研究选取华南地区大塘坡组锰矿和黑色页岩,通过系统的铬同位素、铁组分及微量元素分析,探讨这一时期大气与海洋的氧化还原状态。大塘坡组锰矿主要为碳酸锰,铬主要来自于海水。锰矿铬同位素组成($\sim 0.05\text{‰}$)明显高于上地壳平均值($-0.124\pm 0.1\text{‰}$)。黑色页岩中铬富集程度较低, $[\text{Cr}]_{\text{auth}}$ 为 $0.06\sim 0.33$,铬同位素组成与上地壳平均值在误差范围内一致,显示了铬主要来自于碎屑组分。锰矿碎屑含量较少,铬同位素结果主要反映了海水的铬同位素组成。黑色页岩中碎屑含量较高,铬同位素结果主要反映了碎屑的铬同位素信息。黑色页岩铁组分结果显示沉积环境为缺氧或硫化状态,但Mo、V和U富集程度较低。这些发现表明,在成冰纪间冰期,全球海洋和大气的氧化程度仍较为有限。间冰期初期大气氧含量至少达到现代水平的1%,在整个间冰期海洋缺氧面积可能较大,导致Mo、V、U、Cr富集受到限制,直到冰期结束。

S14-P-9

南华盆地深部成冰纪非冰期氧化还原状态演化

王春虹¹, 朱祥坤^{1*}

¹ 中国地质科学院地质研究所, 深地探测与矿产勘查全国重点实验室

* xiangkunzhu@163.com

新元古代成冰纪以两次全球性雪球地球冰期为特征,其间存在约9.8 Ma的非冰期。该非冰期是地球生命演化的关键阶段,见证了真核藻类的繁盛和早期后生动物的起源,其进程与冰期后海洋营养物质输入及氧化还原条件的变化密切相关。尽管成冰纪海洋的氧化还原分层结构已形成广泛共识,但氧化或硫化条件的时空范围仍存在争议。例如,U、Fe同位素表明非冰期海洋曾发生短暂渐进式氧化,而S、N同位素则支持再氧化事件;但Mo同位素和Fe

组分数据却显示深水盆地(如地堑)在非冰期整体处于缺氧硫化状态。为厘清成冰纪非冰期海洋氧化还原条件的时空演化及其驱动机制,本研究以华南湘潭地区成冰纪非冰期深水相湘锰组为对象,通过高分辨率黄铁矿Fe同位素($\delta^{56}\text{Fe}$)与元素地球化学分析,重建深水氧化还原环境演化序列,并结合前人成果探讨其空间分异规律。

湘锰组黄铁矿 $\delta^{56}\text{Fe}$ 值变化显著($-0.06\sim 1.19\text{‰}$),结合Fe组分参数($\text{Fe}_{\text{hr}}/\text{Fe}_{\text{t}}$ 、 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{hr}}$),可将其演化划分为四个阶段:阶段I($\delta^{56}\text{Fe}$: $-0.08\sim 0.16\text{‰}$, 均值 0.02‰): $\text{Fe}_{\text{hr}}/\text{Fe}_{\text{t}} > 0.38$ 且 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{hr}} > 0.8$,指示硫化环境。该时期大陆化学风化增强,为海洋带来大量的营养物质及硫酸盐,在斜坡-深水盆地中,细菌硫酸盐还原产生 H_2S ,并不断积累,形成硫化环境。阶段II($\delta^{56}\text{Fe}$: $0.29\sim 0.76\text{‰}$, 均值 0.53‰): $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{hr}} < 0.7$,反映短暂缺氧铁化环境。 $\delta^{56}\text{Fe}$ 显著偏正($> 0.5\text{‰}$)表明部分氧化条件。阶段III($\delta^{56}\text{Fe}$ 均值 0.51‰): $\text{Fe}_{\text{hr}}/\text{Fe}_{\text{t}}$ 和 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{hr}}$ 同步上升,且 $\text{Fe}_{\text{t}}/\text{Al}$ 稳定,指示硫化环境恢复,无外源活性Fe输入。阶段IV($\delta^{56}\text{Fe}$: $0.54\sim 1.15\text{‰}$): $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{hr}}$ 下降(< 0.7),结合低TOC含量,表明海平面下降导致初级生产力降低,化变层界面加深,深水转为缺氧铁化环境,可能与冰期前全球海退相关。

综上,华南成冰纪非冰期深水总体以缺氧为背景,但经历了硫化-铁化的动态波动。该演化过程受控于表层初级生产力变化及全球海平面升降,揭示了冰期-间冰期转换中海洋氧化还原条件对气候-环境耦合响应的复杂性。本研究为理解成冰纪生物演化与地球系统协同机制提供了关键地球化学约束。

S15-O-1

自然系统演化、环境变化和人为活动共同引发河流三角

洲生态灾害：以黄海浒苔暴发为例

高抒^{1*}

¹ 南京大学，地理与海洋科学学院
* shugao@nju.edu.cn

河流三角洲生长的自然节律，加上海面上升、风暴加剧、人类活动的叠加效应，导致进入一定演化阶段之后的岸线蚀退和侵蚀加剧，可形成海岸侵蚀灾害。此外，河流三角洲地貌变化还可能形成生态灾害，如黄海沿岸的浒苔暴发案例。2008 年首次发现黄海绿潮，从长江三角洲北翼紫菜养殖筏架脱落进入漂浮状态的浒苔被认为是其成因，这也认为是人类活动触发生态灾害的典型案例。然而，绿潮治理实效和后续研究表明，紫菜筏架只是或然性原因，并非区域性浒苔暴发的必要条件。1980 年前后的江苏海岸带综合考察结果显示，多个浒苔物种，包括漂浮浒苔，早就在江苏潮滩环境生长。但为何直到 2008 年才观察到大规模浒苔暴发？江苏潮滩从高潮位到低潮位依次分布盐沼、泥滩、泥砂混合滩、粉砂细沙滩，而浒苔定植于泥滩。作为其生命策略，浒苔在每年 4-5 月放弃假根进入漂浮状态。20 年之前，江苏中南部潮滩潮间带宽广，漂浮浒苔随涨落潮运动，被圈闭于潮滩潮间上部并发生堆积，难以进入外海水域。然而，此后大规模围垦活动与海面上升、沉积物供给减少因素相结合，三角洲和潮滩前缘生长趋于停滞，海堤前移而岸线后退，潮间带宽度急剧减小。因此，漂浮浒苔在高潮位附近堆积的条件不复存在，多个潮周期之后，逐渐积累的漂浮浒苔最终在向海方向上形成浓度梯度，使其得以向外海扩散。这一机制比紫菜筏架机制更为复杂，说明潮滩沉积环境变化和围垦活动也可导致黄海浒苔暴发。

S15-O-2

气候变化和人类活动影响下大河三角洲沉积演化及其碳储效应

王厚杰^{1*}，吴晓¹，毕乃双¹，胡利民¹，卢泰安¹，徐金亚¹

¹ 中国海洋大学，海洋地球科学学院
* hjwang@mail.ouc.edu.cn

河口三角洲是地球表层系统的重要单元，是陆地-海洋物质和能量跨圈层交换与循环的关键场所。三角洲接受了河流输入的大量淡水、沉积物和营养物质，沉积速率高，在地质历史上是陆-海系统中有机碳埋藏和转运的热点区域，对全球碳循环具有重要的影响。同时，三角洲沉积环境以高度动态变化为显著特征，沉积物输运活跃，海底沉积不稳定，动力扰动作用下沉积物再悬浮与有机碳再矿化过程导致三角洲区域的有机碳埋藏效率较低。受气候变化和人类活动的共同影响，现代河流入海沉积物通量快速减少、沉积物粒度组成变化，海平面上升以及极端动力过程增强，全球大河三角洲面临严峻的威胁和挑战，突出表现在三角洲海岸侵蚀加剧，海底不稳定性增强。三角洲沉积体系的逆转性演化降低了有机碳的埋藏效率，增强了沉积有机碳的再矿化，三角洲的碳储角色也随之发生动态转变，在全球尺度上改变陆-海系统有机碳的转运与收支平衡。深入研究气候变化和人类活动影响下大河三角洲快速演变及其对陆-海有机碳收支的调控效应，是当前全球变化研究中的重要科学问题，对实现“碳达峰”“碳中和”目标也具有重要的现实意义。

S15-O-3

不同台风路径对长江口水沙动力的影响研究

谢卫明^{1*}, 吴雪枫¹, 任剑波¹, 朱春燕¹,
徐凡¹, 王宪业¹, 郭磊城¹, 何青¹

¹ 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室
* wmxie@sklec.ecnu.edu.cn

本研究通过台风期间现场水沙运动观测资料分析和数学模型系统研究, 探讨了长江口动力场和泥沙运动对不同路径台风的响应过程。研究发现: 1) 5~20 m 水域是波浪发生显著浅水变形的区域, 波能耗散是导致波浪动力场变化的主要原因; 2) 涌浪是台风期间泥沙侵蚀增强的主要动力机制, 波流共同作用导致的侵蚀能力, 是潮流或波浪作用导致侵蚀能力的 2~6 倍; 3) 近底边界层观测研究表明, 台风浪是引起悬沙浓度增大的主导动力因素, 近底悬沙浓度是常态天气的 3~4 倍; 4) “北上型”和“远区型”台风影响下, 长江口深水航道近底层输沙表现为向陆净输运。“登陆型”台风则相反, 近底层净输沙方向向海; 5) 台风期间输沙率较常态大潮增大约 2-6 倍。研究成果弥补了目前关于台风路径对长江口水沙运动影响研究的不足, 丰富了长江口风暴沉积动力过程的量化认识, 可为河口海岸防灾减灾提供科技支撑。

S15-O-4

河控 or 人控: 水库调控影响下的黄河三角洲演变

吴晓^{1*}, 王厚杰¹, 毕乃双¹, 杨作升¹

¹ 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* wuxiao@ouc.edu.cn

近半个多世纪以来, 全球水库大坝数量呈指数增长, 全球河流系统呈碎片化趋势。水库的建设与运行引起河流天然水文过程发生显著调整, 改变了入海径流量与季节分配, 进而对河口-海洋生态系统产生重要影响。黄河是世界级大河, 自 1960 年三门峡水库投入使用以来, 流域内建设了三千多座水库大坝, 使得黄河成为人类

干预最为强烈的河流之一。水库大坝的运行使得黄河径流量与时空分配发生巨大变化, 进而导致河口物理化学特征改变, 引起河口三角洲的显著调整。研究表明, 随着调水调沙的实施, 黄河三角洲演化已经完全受控于 800km 以上的小浪底水库调控效果的控制。在调水调沙运行得到的年份, 黄河三角洲向海进积, 而在调水调沙中断的年份, 三角洲发生蚀退。

S15-O-5

潮汐对珠江河口八大口门夏季冲淡水的扩展与水龄的影响

张光¹, 龚文平^{1*}

¹ 中山大学, 海洋科学学院
* gongwp@mail.sysu.edu.cn

本研究利用耦合海洋-大气-波浪-泥沙输送 (COAWST) 模型系统, 定量评估了潮汐动力学对珠江口 (PRE) 八个口门在洪季 (夏季) 的羽状流扩散和水龄的影响。结果表明, 潮汐在调节河口输送和混合过程中起着至关重要的作用。就潮汐对羽状流扩散的影响而言, 潮汐增强了黄茅海口崖门和虎跳门出口释放示踪物的重叠, 分别延长了它们在黄茅海河口内向东和向西的浓度分布。然而, 对于伶仃洋河口, 西浅滩东侧潮汐增强的辐聚显著抑制了不同口门的羽状流在伶仃洋上游的横向扩散 (overlap), 导致横门、洪奇沥、蕉门和虎门出来的羽状流的示踪物高浓度区主要呈自西向东分布。关于潮汐对水龄的影响, 潮汐通常会使表层水龄增加 1 至 4 天, 同时使底层水龄减少 5 天以上, 导致表层与底层水龄差从无潮汐情景下的 8.9 天大幅减小到现实情景下的 4.5 天。这种减小主要归因于增强的垂直混合, 它使湍流增强 (增加了 5 倍), 向下浮力通量增加 (增加了 1.4 倍), 并使水体分层减少 41%。此外,

潮汐与海底地形之间的相互作用会调节底部摩擦力和垂直粘度，削弱浅滩上的河口环流和向海示踪物通量，但是增强了下游深槽中的河口环流和向海水和示踪物通量。因此，潮汐会增加浅滩的水龄，但会减少下游深槽和凸出体（bulge）区域的水龄。这些发现凸显了潮汐动力学在调节 PRE 洪季水龄和淡水通量方面的关键作用。该研究为河口输运过程提供了新颖的见解，强调了潮汐对水质和生态动态的更广泛影响。研究结果为河口水道污染管理提供了科学的方案，具体包括：(1) 根据潮位（大潮-小潮）进行污染物负荷分配；(2) 针对特定口门（侧向口门-主口门）的污染物排放调控，以在动态水动力作用下维持生态系统健康。

S15-O-6

台风作用下苏北海域波致液化对沉积动力过程的贡献

仲毅^{1*}，朱子晨¹，杜军¹，王勇智¹，宋德海²，乔璐璐²

¹ 自然资源部第一海洋研究所

² 中国海洋大学

* marineyzhong@163.com

波致液化是在波浪周期性载荷作用对海底沉积物造成的一种地质危害。目前沉积动力学数值模型尚未充分考虑这一关键地质过程。台风作为一种极端天气事件，在短时间内引起强烈的海洋动力变化，其极端大浪将导致显著的沉积物液化现象，进而影响沉积动力过程。本研究在三维水动力-泥沙耦合数值模型基础上引入波致液化过程。以具有较高含沙量的苏北海域为例，研究了从黄海东部北上的台风“布拉万”过程下的泥沙动力响应特征。台风期间波致液化深度可超过 5 m，波致液化加剧了沉积物侵蚀，再悬浮的高浓度泥沙中，液化导致的悬沙浓度占比超过 30 %。台风过境前后黄海西部锋面附近水体和泥沙呈现出强烈的波动式输运特征，台风过境后的一

天是跨锋面输运的关键时间，主要驱动力是海水在苏北近岸堆积引起的正压梯度力导致的跨锋面流。本研究利用泥沙输运模型评估了波致液化对高含沙量海域沉积动力过程的贡献，完善了现有沉积动力学数值模型，同时为有着锋面系统的层化海域的泥沙输运过程对极端事件的响应提供了深刻理解。

S15-P-1S

远场台风激发的沿岸陷波对南海北部水动力环境的影响——以台风“烟花”为例

胡苏安¹，龚文平^{1*}

¹ 中山大学，海洋科学学院

* gongwp@mail.sysu.edu.cn

在全球变暖背景下，台风的强度和发生频率预计将持续增加。本研究重点关注远场台风的影响：这类台风激发的大尺度波动（周期长达数天、波长可达数千公里）能够在大陆架上传播，其具备捕获并传递大气风场系统大量能量的能力，可在远离风场的广阔海域引发显著的沿岸海洋环境变化。本研究利用验潮站观测数据、再分析资料和数值模式输出，探究了台风“烟花”（2021）激发的沿岸陷波（CTWs）对南海北部水动力环境的影响。分析结果表明，台风“烟花”诱导的 CTWs 在波峰和波谷阶段呈现明显不同的特征：波峰阶段 CTWs 产生的沿岸流与背景环流反向，波谷阶段则转为同向。这一过程伴随着跨岸流的变化——CTWs 波峰阶段表层向岸、底层离岸的跨岸流，在波谷阶段会转变为表层离岸、底层向岸的流动。这些变化进一步导致 CTWs 波峰阶段温度、盐度和密度出现下沉现象，波谷阶段则转为上升。线性 CTW 模型的结果证明，上述特征与传统 CTW 理论相符。通过区域海洋模式系统（ROMS）的敏感性实验，探讨了局地风场和台风“烟花

"CTWs 对南海北部水动力影响的关键因素：局地风场与 CTWs 在波峰阶段相互竞争，在波谷阶段协同作用，其中海表以局地风场主导，海底则以 CTWs 主导。该研究对沿岸及大陆架区域的水动力和生态研究具有重要科学意义。

S15-P-2S

岛屿对珠江口、其相邻海岸与内陆架之间跨陆架输运的影响

胡鹏鹏¹，龚文平^{1*}

1 中山大学，海洋科学学院
* gongwp@mail.sysu.edu.cn

跨陆架输运对河流-河口-陆架连续体中的物质交换至关重要。本研究采用耦合海洋-大气-波浪-沉积物输运（COAWST）模型系统，探讨珠江口、邻近海岸与内陆架之间的岛屿对跨陆架输运的影响。通过基于收支平衡的方法计算跨陆架输运量，结果表明：在大屿山与澳门之间的出口作为河口-海岸交换的关键通道，枯季净离岸输运量为 $1.97 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ，洪季增至 $2.61 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ；在海岸-内陆架界面，枯季净向岸输运量达 $11.35 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ，洪季则转为离岸输运达 $-0.74 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 。诊断分析显示，相较于无岛屿情景，岛屿通过增强向岸平流使大屿山-澳门出口的枯季净向岸输运增加 41.37%，通过放大离岸正压梯度使洪季净离岸输运提升 422%。在海岸-内陆架界面，枯季岛屿通过增强底压扭矩（BPT）和非线性平流分别强化向岸与离岸输运，二者近乎平衡；而洪季岛屿增强的斜压与地形联合效应（JEBAR）几乎抵消了平流作用，使 BPT 主导的向岸输运增加 63%。该研究为陆海相互作用研究和海岸带管理提供了理论依据。

S15-P-3

黄河三角洲海岸侵蚀特征及影响因素

乔淑卿^{1,2*}，石学法^{1,2}，王建步¹，周林¹，于永贵^{1,2}，毕乃双^{2,3}

1 自然资源部第一海洋研究所
2 青岛海洋科技中心
3 中国海洋大学
* qiaoshuqing@fio.org.cn

三角洲是人类和生物群落的重要栖息地。由于海平面上升和人类活动干预的加剧，世界上许多大型河流三角洲正面临着海岸侵蚀的问题，包括黄河三角洲、湄南河三角洲和恒河三角洲等。黄河陆上三角洲从 1976 年到 2014 年间，面积从 3884 km² 增加到 4441 km²，仅在 1996-2000 年三角洲面积出现萎缩。但黄河水下三角洲在这期间遭受严重侵蚀，1996-2001 和 2002-2014 年期间估计分别有 $2.3 \times 10^8 \text{ t/yr}$ 和 $1.1 \times 10^8 \text{ t/yr}$ 的沉积物被侵蚀搬运到邻近的海域。黄河三角洲海岸侵蚀不仅受到入海水沙减少、调水调沙和尾閤摆动的影响，还受到人工岸线建设等因素的影响。

S15-P-4

波致粉质沉积物海床液化过程及其环境效应研究

任宇鹏¹，许国辉^{1*}，王厚杰^{1*}，毕乃双¹，吴晓¹

1 中国海洋大学
* xuguohui@ouc.edu.cn
* hjwang@ouc.edu.cn

强风暴浪作用下，沉积物底床能够发生液化，除了由于承载力丧失威胁工程结构物安全以外，液化沉积物的持续波动还会导致底床内沉积物颗粒的持续分选，继而引起细颗粒沉积物以及埋藏的环境要素物质（营养盐、微塑料等）大量释放，是对海洋沉积物源-汇系统的重要补充，也为

河口三角洲区域风暴事件过程导致的沉积物输运和环境效应提供新的研究视角。本研究采用室内物理模型实验的方法,模拟波浪作用下沉积物底床液化发生、发展以及波动过程,探究液化所引起的沉积物波动分选、地层的重新构建以及在此过程中埋藏环境要素物质的再释放。

S15-P-5

黄河三角洲近海风电场对海表悬浮沉积物时空分布的影响及其生态环境效应

毕乃双^{1*}, 陈颖¹

¹ 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* binaishuang@ouc.edu.cn

风电作为可再生能源体系的核心部分,近年来呈现爆发式增长态势。海上风机作为一种新型海上构筑物,不仅会影响海洋生态系统,还会改变周边水环境要素。黄河三角洲海域近年来建设了大规模的风电场,其对沉积物输运的影响及环境效应的相关研究还未见报道。本文基于多源遥感数据与自主研发的尾流识别算法,研究黄河三角洲近海风电场对邻近海域悬浮沉积物时空分布及生态环境的影响,量化风机引起悬浮沉积物浓度(Suspended Sediment Concentration, SSC)的变化,并揭示相关主控因素,阐明风机群对悬浮沉积物分布的协同效应及生态环境效应,结果表明:风机显著增强附近海域的悬浮沉积物浓度。风机周边形成显著的高SSC条带,是邻近水体的1-2倍。在时间变化上,冬季单风机引起的净海表悬浮沉积物总量值在较夏季高2-3个数量级。在一个潮周期内,高SSC尾流表现出与局地潮汐周期相近的波动特征。在空间分布上,尾流长度可达2 km,宽度可达100 m。风机群的协同效应造成SSC进一步升高,高值区显著延伸。风电场影响邻近海域生态环境,风机下游海表

温度在夏季显著降低,在潮流的作用下形成大片温度低值区。风电场造成的垂向水体混合和高SSC对水体透光度的降低共同导致海表叶绿素a浓度在风机尾流处显著降低,尾流处叶绿素a浓度与SSC呈显著负相关。

S15-P-6

大型浅水等深流沉积的成因探讨—台湾海峡中部浊水溪分离型泥质带

单新^{1*}, 石学法¹, Robert Dalrymple², 乔淑卿¹

¹ 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质室
² Queen's University
* xshan@fio.org.cn

等深流是一种因地球自转形成的、沿等深线行进的洋流/海流。由等深流形成或改造的沉积物称为等深流沉积。传统沉积学理论认为深水区域稳定的洋流和沉积物供给是形成等深流沉积的关键,而浅水区域由于波浪与潮流的改造作用强,不利于等深流沉积的形成和保存。受限于上述传统认识,目前有关等深流沉积的报道多见于水深大于60 m的开阔外陆架以及更深水区域,而小于60 m水深的等深流沉积几乎未见报道。一些浅海泥质丘状沉积体虽然具有等深流沉积的特征,但是长期以来被解释为潮流成因。然而,仔细审视发现这与局地潮流强度及方向等水动力背景明显不符。那么,这些浅海泥质丘状沉积是否为等深流沉积,是否具有特殊的形成机制,是亟待解决的重要科学问题。

针对上述科学问题,本研究综合沉积岩芯观察、地震剖面解释、物源示踪及环境动力分析,在台湾海峡内浊水溪三角洲的前三角洲区域(水深40-80 m)发现了等深流成因的长丘形泥质堆积体,揭示了台湾海峡独特的地形地貌条件是浅水等深流

沉积得以形成、保存的关键。海峡横向宽度骤然收缩,产生类似“狭管效应”的地形约束,导致洋流流速显著增强。同时,台湾浅滩和澎湖列岛等地貌单元构成天然屏障,有效削减了来自南海传入波浪的能量,为等深流沉积体的稳定发育提供了低能环境。此外,海峡内潮流动力表现为南北双向输入、垂向叠加的特征,而水平方向的潮流流速相对较弱,对沉积物的搬运能力有限。因此,等深流作用在前三角洲区域占主导地位,控制了该区域的沉积过程和沉积体塑造。通过进一步对比研究发现,浅水等深流沉积相较深水等深流沉积呈现出更复杂的内部结构,且受到波浪和潮流的改造,记录了浅海环境复杂的水动力条件和沉积过程。在此基础上,本研究重建了浅水等深流沉积体从最初与海岸相连,到最终与海岸分离的沉积演化历史,阐明了海平面变化、河流输入以及地形演化等因素对浅水等深流沉积体演化的复杂调控机制。

S15-P-7S

东海陆架沉积物中痕量金属的跨陆架和沿岸输运

孟鸽¹, 刘喜婷^{1*}

¹ 中国海洋大学, 海洋与地球科学学院
* liuxiting@ouc.edu.cn

海洋沉积物中痕量金属的运输与分布对沿海及海洋生态系统的生物地球化学过程具有重要意义。本研究聚焦于东海内陆架沉积物中痕量金属(Cd、Ni、Zn、Cr)的空间分布特征及其运输机制。研究结果表明,痕量金属浓度从近岸向外陆架呈递减趋势,且在长江口附近浓度显著偏高。这一分布模式主要受河流输入的影响,金属主要通过陆源物质的运输实现再分布。此外,这些金属的分布与细粒沉积物密切相关,细粒沉积物作为痕量金属的主要载体,通过沿岸海流促进了其沿岸方向的运

输。除了沿岸运输外,跨陆架运输也在痕量金属分布中扮演了重要角色。在29°N附近处发现的显著舌状金属浓度异常表明,痕量金属能够从内陆架向外陆架甚至深海进行跨陆架运输。这些发现揭示了沿岸运输与跨陆架运输机制在控制痕量金属分布中的复杂相互作用。深入理解这些过程对于评估痕量金属运输对海洋生态系统的影响及其在全球生物地球化学循环中的作用具有重要意义。

S15-P-8S

深圳湾海域一次冬季赤潮的生消过程及其机制分析

朱修全¹, 王嘉希¹, 胡苏安¹, 胡鹏鹏¹,
王攀登¹, 张恒^{1,2}, 龚文平^{1,2*}

¹ 中山大学, 海洋科学学院

² 中山大学, 广东省海洋资源与近海工程重点实验室

* gongwp@mail.sysu.edu.cn

研究结合卫星遥感数据和现场走航观测数据,对2024年1月在深圳湾海域发生的赤潮事件进行分析。研究表明,赤潮爆发前夕,深圳河的径流携带大量营养盐进入深圳湾中,加之水体温度适中,共同营造了有利于赤潮藻类生长的环境条件。赤潮爆发期,风速较低,潮差较小,水体层化强。强烈的水体分层作用使营养盐聚集在表层光照充足的区域,有利于赤潮藻类的聚集与增殖;之后,风速与潮差增大,水体混合增强,同时水体浊度增大,赤潮开始消散。研究表明深圳湾赤潮事件的爆发与消散过程是由多种环境因素共同作用的结果,其中水温、营养盐的供应、光照条件、水体透明度以及水体混合等因素在赤潮的发展与消散中起到了重要作用。研究结果为理解和预测赤潮现象提供了一定的科学依据,对于深圳湾水生生态环境的管理和保护具有指导意义。

S15-P-9

气候和海平面快速变化调控 深海浊流活动

李景瑞¹, 单新², 石学法^{2*}, 刘升发², 乔淑卿², 张辉², 吴凯凯², 苗晓明³, 姜睿⁴, Somkiat Khokiattiwong⁵, Narumol Kornkanitnan⁵

1 崂山国家实验室, 海洋战略资源绿色智能开发研究部

2 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与地球物理研究室

3 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

4 青岛海洋科技中心, 海洋地质过程与环境功能实验室

5 Department of Marine and Coastal Resources, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, Marine and Coastal Resources Research and Development Institute

* xfshi@fio.org.cn

深海浊流活动的长期演化被认为与构造活动、气候演化和海平面变化息息相关。然而, 短尺度(如千年尺度)气候突变与深海浊流活动之间关联与否、机制如何, 由于缺乏可靠的沉积学证据尚不清晰, 是大陆边缘沉积模式建立中的一个难点。本研究以孟加拉扇多根重力柱样为研究对象, 采用传统沉积学手段及 X 光扫描等现代科技手段相结合的方法, 识别了深海浊流沉积层。结合已发表的浊流活动记录, 恢复了末次盛冰期以来的深海浊流活动历史。结果发现, HS1 时期源区沉积物供应的减少及入海物质通量的降低, 通过高效、快速的源汇过程导致下扇区西侧浊流活动的终止(16.6 ka-15.4 ka), 随后的 Bolling/Allerod 暖期、新仙女木冷期及海平面快速上升事件可能引起了孟加拉扇在中扇区浊流活动的调整。该研究表明, 北半球高纬度地区的气候突变与南亚低纬度地区的深海浊流活动之间存在密切联系。这些关于千年尺度气候突变和海平面快速上升对沉积过程影响的见解, 对理解快速气候变化背景下

的区域物质-能量循环和深海扇的发展具有深远的意义。

S16-O-1

河口潮滩季节性冲淤变化格局及其控制机制

王爱军^{1*}, 叶翔¹, 陶舒琴¹

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋与海岸地质研究室

* wangaijun@tio.org.cn

潮滩是潮汐作用下形成的细颗粒沉积物堆积体, 在世界范围内分布广泛, 在碳汇和海岸防护中发挥着十分重要的作用。随着河流输沙的减少, 河口潮滩冲淤格局发生了变化, 直接影响了潮滩功能发挥, 亟需开展河口潮滩短周期的冲淤变化过程研究, 为科学评估潮滩功能提供科学依据。根据在福建闽江口琅岐岛潮滩开展的不同季节互花米草盐沼内的沉积动力要素(水深、流速、波浪、悬沙浓度)和现场冲淤观测及表层沉积物的粒度分析结果, 琅岐岛潮滩表层沉积物在夏季主要以粉砂和黏土组成主的细颗粒沉积物为主, 冬季则主要以砂和粉砂组成的粗颗粒沉积物为主; 潮间带上部的互花米草盐沼总体以持续淤积为主, 潮间带中部和下部表现出周期性的冲淤特征, 总体以夏季淤积、冬季侵蚀为总特征, 并且潮间带中部的冲淤变化幅度较潮间带下部大; 冬季潮流流速、波浪作用及悬沙浓度均大于夏季, 冬季潮周期内近底部悬沙以净向海输运为主, 而夏季则以净向岸输运为主。综上所述, 闽江口潮滩冲淤变化主要受动力过程控制, 冬季波浪作用导致表层沉积物发生再悬浮, 并被较强的潮流净向海输运, 导致滩面发生侵蚀; 夏季, 波浪作用较弱, 水体中的悬沙易发生沉降, 较弱的潮流将泥沙净向岸输运, 导致潮间带发生淤积。

S16-O-2

潮沟网络分支形态的“异常”尺度特征

徐凡^{1*}, 周曾², 徐元¹, 何青¹

1 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

2 河海大学, 港口海岸与近海工程学院

* f xu@sklec.ecnu.edu.cn

分支网络是自然景观中的关键要素, 一直以来在地球科学及多个交叉领域都备受关注。长期以来的共识认为, 分支网络通常表现为优化状态, 并呈现出满足幂律标度关系的分形特征。然而, 在滨海湿地和泥滩地区的潮汐网络却表现出不符合传统幂律描述的尺度特性, 这一现象长期以来令人困惑。我们的研究表明, 这种非典型尺度特性实际上是一种普遍存在的偏离, 背离了能够完全占据空间的理想分形分支网络状态。通过分析全球不同地区的潮汐网络卫星影像, 我们发现这种偏离存在一种固有的“惰性”特征, 即渠道越容易形成, 网络的空间填充效率反而越低。我们进一步建立了一个理论模型, 该模型不仅再现了理想的分形分支网络, 还能解释观察到的“惰性”现象。模型表明, 分支网络可以在局部竞争机制下自然形成, 而无需严格遵循传统认为的优化驱动过程。这一结果揭示了分支网络的双重性质, 其中“惰性”特征与广为人知的优化过程相辅相成。这一发现为调控潮汐网络形态发育提供了更灵活的策略, 并对滨海管理、湿地修复以及河流和行星表面系统研究具有重要启示。

S16-O-3

浑浊河口环境中水深反演的机器学习模型时空依赖性研究——以长江口为例

周炳江¹, 高宇^{2*}, 赵斌¹

1 复旦大学, 生命科学学院

2 中国水产科学研究院东海水产研究所, 长江口渔业生态重点实验室

* yu.gao@mq.edu.au

长江口是一个受河流径流、潮汐作用和悬浮泥沙输运影响的动态河海界面, 这给水深反演带来了重大挑战。现有方法在清水环境中表现出色, 但在浑浊、含沙量高的水域中的性能以及在不同时间尺度上的稳定性仍有待深入探究。

本研究利用低分辨率海图和多时相卫星影像 (sentinal-2 日数据、月合成影像), 评估了多种机器学习模型 (如随机森林 (RF)、极限梯度提升 (XGBoost) 和 k - 近邻算法 (KNN)) 的时空依赖性。结果表明, 与单日影像相比 ($R^2 > 0.3$) 相比, 月合成影像数据能显著提高反演精度 ($R^2 > 0.5$)。模型融合提高了整体精度 ($R^2 = 0.6$)。在时间变化上, 浅水区 (< 10 米) 和在深水区 (> 10 米) 的 RF 与 XGBoost 模型具有较高的一致性 ($r > 0.94$); 然而, KNN 算法虽然在深水区与 RF 和 XGBoost 的 r 达 0.7, 但在浅水区则小于 0.4, 期预测结果存在系统性高估。

这种不一致性表明, 在特定的时空条件下, 单一模型可能会引入较大的不确定性。虽然模型组合可以优化整体精度, 但无法完全适应动态的沉积环境。本研究强调, 在进行水深反演时, 需要将时间尺度分析与特定情境下的模型选择相结合, 为数据匮乏地区的河口监测提供了方法学参考。

S16-O-4

泥沙供给驱动的河口潮滩多稳态现象

高瑞超¹, 胡湛^{1*}

1 中山大学, 海洋科学学院

* huzh9@mail.sysu.edu.cn

河口潮滩作为陆海交互作用的关键界面，对海岸带生态安全和人类活动具有重要影响，但其脆弱性也日益凸显。本研究基于 1984-2020 年 Landsat 5/7/8 卫星数据，系统提取全球 241 个主要河口的 SSC 与潮滩面积时序变化。使用 Mann-Kendal 测试分析发现，在 SSC 有显著变化趋势的河口中，73% 的河口 SSC 和悬沙浓度变化趋势有明显一致性。

同时我们发现其中 15 个河口在 SSC 发生剧烈变化后发生潮滩面积的状态转移（面积变率超过 30%），这表明系统存在至少双稳态。15 个突变案例中，93%（14/15）属于波浪主导型河口。通过 delft3d 理想模型发现，河口潮波比以及潮滩颗粒粗糙度的分布可能是引发潮滩状态转移的关键因素。

S16-O-5

高位池尾水排放影响海滩对超强台风“摩羯”的地貌响应

袁明明¹，黄丽萍¹，邓龙波¹，戚月华¹，李高聪^{1*}

¹ 广东海洋大学，电子与信息工程学院
* gcli@gdou.edu.cn

高位池养殖作为华南沿海典型人为干预型砂质海岸开发模式，其环境效应与海岸地貌动力响应的互馈机制亟待科学阐释。本研究以粤西东海岛高位池养殖区为研究对象，基于 2411 号超强台风“摩羯”事件全过程的水动力-地形-沉积物多源数据耦合分析，系统探讨人类活动与极端气象事件协同作用下的海岸冲淤演变特征和机理。研究显示：台风前，高位池尾水持续排放已造成近端滩肩退化（平均侵蚀深度 1 m）及沉积物显著粗化（0.86-1.07 ϕ ），与远端未扰动区（1.84-2.02 ϕ ）形成粒径梯度；台风侵袭阶段，2.34 m 风暴增水引发复合水动力重组，导致研究区呈现空间异质性地貌响应——远端滩肩后退 1 m 并伴随岸线内

迁，近端尾水影响区则出现 1 m 以上淤积体且后滨沙丘蚀退超 5 m，粗砂组分相对增量达 20%；台风过后半个月，远端通过自组织机制启动滩肩重构，而近端因人工冲沟再生形成新的物质输移路径。研究证实，尾水排放引起的滩肩结构脆弱化与台风浪潮动力系统的非线性叠加，是导致砂质海岸侵蚀加剧的核心驱动机制。本成果为解析人类活动干预下的海岸系统脆弱性提供了动力学范式，对受损海岸带的韧性提升与适应性管理具有重要决策支持价值。

S16-O-6

盐沼前缘陡坎高度的影响因子研究

张晓天¹，周曾^{1*}

¹ 河海大学
* zeng.zhou@hhu.edu.cn

盐沼前缘陡坎在全球范围内有广泛观测。作为一种侵蚀型地貌，陡坎的高度变化与滨海湿地的泥沙通量、碳固存能力以及生态系统的韧性息息相关，具有显著的科研与应用价值。然而，迄今为止，陡坎高度的主要影响因子未知，不同沉积动力过程对陡坎高度的贡献亟待阐明。本研究调查了全球 60 个区域的陡坎高度与沉积环境特征，并提出了基于平均海平面（MSL）的分段方法，将陡坎高度划分为平均海平面以上部分及以下部分，从而成功建立了陡坎高度与不同影响因素之间的相关关系。通过数值模拟，不同相关性之间的内在机制得到了进一步的探索与阐述。对于陡坎的平均海平面以上部分，其高度与潮差呈显著正相关，而波浪几乎不起作用。这是由于潮差直接决定了盐沼区域的淹水深度。对于平均海平面以下部分，其高度与有效波高呈显著正相关，与潮差呈微弱正相关。这是由于波浪对光滩区域的侵蚀作用，而随着潮差的增加，光滩区域的水深增加，间接促进了波浪的传播。对于泥沙供给，

其短期内决定了陡坎的形成速率，而长时间尺度下，泥沙供给缓和了潮滩区域的侵蚀，使得陡坎的海平面以下部分高度减少。

S16-O-7

底栖微藻对潮滩泥沙组分变化的影响研究

张荷悦^{1*}

1 河海大学，港口海岸与近海工程学院
* zhangheyue@hhu.edu.cn

潮滩是海陆物理、化学、生物复杂相互作用形成的动态平衡地带，其泥沙组分特征影响海岸系统演化、生态功能及海岸工程安全。潮滩底栖微藻通过分泌胞外聚合物（EPS）提高泥沙粘聚力，可在水动力主导的分选框架下减少细颗粒侵蚀及增加黏性颗粒的絮凝沉积，影响滩面泥沙组分变化。然而，潮滩环境复杂多变，底栖微藻的分布、生态效应具有季节变化和空间异质性，目前尚不清楚其在不同季节、不同高程上对泥沙组分变化的相对贡献程度。本研究以江苏盐城条子泥潮滩为研究区，通过连续季节野外观测与采样分析，获得了条子泥潮滩底栖微藻种类、生物量、泥沙粒径的同步观测数据，剖析了底栖微藻与泥沙组分的时空变化及相互关系；在此基础上，结合野外控制实验，揭示了不同水、沙动力条件下，底栖微藻对泥沙组分变化的影响程度。发现底栖微藻生物量和泥沙组分特征之间存在相关关系，其相关关系随季节、垂向深度发生变化；底栖微藻对潮滩泥沙组分变化的影响程度依赖于动力条件，呈现非线性的特征。

S16-O-8

天文大小潮波动调控湄公河口的微塑料组成和分布

张晓栋^{1*}，刘志飞¹，Pham Trung Hieu^{2,3}，赵玉龙¹，Pham Nhu Sang¹，林宝治¹

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室
2 VNU-HCM University of Science, Faculty of Geology
3 Vietnam National University Ho Chi Minh City
* zhangxiaodong@tongji.edu.cn

河口区是河流与海洋的交汇地带，河海间相互作用和密集人类活动使其成为微塑料分布和聚集的重要区域。潮汐作为影响河口沉积动力过程的主要因素之一，在影响微塑料分布和向海输运中同样发挥着重要作用，但其确切影响仍知之甚少。本研究调查了湄公河口枯水季小潮、中潮和大潮期间水体和沉积物中微塑料的组成和丰度变化，旨在揭示潮汐波动对河口微塑料分布的影响及机制。结果显示，表层水体（~1 m）、近底层水体（~8 m）和河床沉积物中的微塑料组成具有很高相似性，主要包含聚丙烯（PP，42 ± 25%）、聚乙烯（PE，35 ± 21%）和聚对苯二甲酸乙二酯（PET，16 ± 14%）。在小潮和中潮期间，相较于近底层水体，表层水体中低密度的PP和PE丰度明显较高、高密度的PET丰度较低。但在大潮期间，表层水体中PP和PE丰度发生明显下降，并明显低于近底层水体。PP和PE丰度与悬浮颗粒物中的黏土组份（<3.9 μm）呈现显著的正相关性，推测微塑料可能与黏土组份结合成絮凝体在河口水柱中悬浮和沉降。基于对河口水柱盐度剖面的同步观测，发现水体在小潮和中潮期间呈现出垂向层化或部分混合现象，但在大潮期间发生充分混合。这表明天文大小潮波动改变了河口水体的垂向结构，从而影响河口悬浮微塑料的垂直分布和向海输运。本研究从沉积动力学视角研究了潮汐对于典型大型河口微塑料分布的影响，对于认识河口微塑料污染及其生态效应具有重要意义。

S16-O-9

滨海蓝碳生态系统沉积物有机碳埋藏及来源研究

任旭¹, 杜金洲^{1*}, 梅雪菲¹, 杜金秋²

¹ 华东师范大学, 河口海岸学全国重点实验室

² 国家海洋环境监测中心

* jzdu@sklec.ecnu.edu.cn

滨海湿地作为淡水与海洋生态系统的关键交汇区, 兼具河流输送与海洋沉积的双重特性, 是地球表层物质循环和能量流动的重要枢纽, 其独特的咸淡水混合环境孕育了盐沼、红树林等典型滨海蓝碳生态系统, 这些系统通过植被光合作用和沉积过程展现卓越的碳汇能力。研究以上海崇明东滩盐沼湿地、广西北部湾珍珠湾红树林湿地为研究对象, 以 ²¹⁰Pb 年代学为框架, 借助粒度、总有机碳 (Total Organic Carbon, TOC)、总氮 (Total Nitrogen, TN)、稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 等指标揭示人类活动及极端事件影响下滨海湿地有机碳埋藏通量变化及其来源变化。研究表明崇明东滩湿地有机碳埋藏通量受到泥沙沉降通量和植被群落特征的双重控制, 综合沉积指标和三端元混合模型分析表明, 尽管三峡大坝建立导致长江输沙量和颗粒有机碳 (POC) 通量减小, 但研究区短期沉积状态保持稳定。北部湾珍珠湾红树林区域有机碳埋藏通量则受到泥沙沉降通量和红树林面积变化的双重控制, 三端元分析表明“毁林造塘”在一定程度上影响了该地区红树林源贡献占比的同时还间接影响了河流源有机碳的输入, 海水养殖的兴起对该区域有机碳埋藏具有重要影响。研究成果可为滨海蓝碳生态系统碳汇功能及潜力的准确评估提供科学依据。

S16-O-10

Spatial and temporal changes of mangrove forests at the

Yangon Estuary, Southeast Asia: Reasons and causes

Phyu Phway Thant^{1,2}, Zhijun Dai^{1*}, Xuefei Mei¹

¹ East China Normal University, State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research

² Myanmar Maritime University, Department of Port and Harbour Engineering

* zjdai@sklec.ecnu.edu.cn

Mangrove forests are increasingly threatened by natural processes and anthropogenic pressures. This study investigates dynamic changes in mangrove forests along the Yangon Estuary using Landsat satellite imagery and machine learning classification. Results indicate a net gain of 4,294.18 ha in mangrove extent over the 35-yr period, marked by two distinct phases: an initial decline from 1,175.52 ha in 1988 to 531.02 ha in 2011, followed by a robust recovery reaching 5,469.7 ha by 2023. Shoreline change analysis reveals that 92% of the estuary experienced seaward progradation. The primary driver of mangrove loss shifted from agricultural conversion to aquaculture post-2008, while sedimentary dynamics—including increased upstream sediment flux, tidal reworking, and minimal tropical storm disturbances—supported mangrove resilience and expansion. These findings offer a valuable benchmark for understanding the complex interplay between human activity, sediment dynamics and mangrove ecology.

S16-O-11

高位池养殖对砂质海岸地形演变的驱动机制与监测技术研究——以粤西东海岛尾水排放岸滩为例

邓龙波¹, 黄丽萍¹, 祁雅莉^{1*}, 戚月华¹,
袁明明¹, 李高聪^{1*}

¹ 广东海洋大学, 电子与信息工程学院

* qiyali1122@163.com

* gcli@gdou.edu.cn

高位池养殖作为华南沿海典型的水产养殖模式, 通过改变海岸带水沙输运格局加剧砂质海岸侵蚀。本研究聚焦养殖尾水排放对岸滩冲淤过程的驱动机制, 集成大疆 M300 RTK 无人机 LiDAR 与地面 GNSS RTK 测量技术, 对东海岛典型岸滩开展多周期地形监测, 揭示人类活动与自然动力耦合作用下的地貌响应规律。主要结论如下: (1) 技术验证: 通过 GNSS 控制点验证, 无人机 LiDAR 数据精度达 0.080 m (RMSE), 证实其在厘米级岸滩微地形监测中的可靠性, 为人类活动干扰区海岸带监测提供了高效技术手段; (2) 空间分异特征: 尾水排放导致岸滩呈现显著空间异质性。中部滩肩完全侵蚀(最大侵蚀高度 3.14 m), 南部陡坎持续后退(最大侵蚀高度 5 m)并伴随侵蚀沟快速淤积(最大淤积高度 2 m), 而北部滩肩因水动力遮蔽效应保持稳定; (3) 动力耦合机制: 对比分析表明, 受尾水干扰区域地形变化强度较自然岸滩提升 2-3 倍。潮汐动力与尾水排放的相位叠加(尤其涨潮期排放)形成复合冲刷效应, 是导致侵蚀-淤积过程加剧的核心驱动力。本研究表明, 无人机 LiDAR 技术能有效捕捉人类活动引发的快速海岸演变细节, 研究成果为养殖区岸线韧性评估提供了量化依据。

S16-O-12

红树林对飓风作用的响应研究

梁喜幸¹, 戴志军^{1*}, 梅雪菲¹

¹ 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

* zjdai@sklec.ecnu.edu.cn

红树林是抵御热带风暴的重要天然屏障。然而, 关于红树林抵御飓风作用的弹性机制目前仍不明确。基于此, 以美国佛罗里达红树林为研究区域, 量化其对飓风作用的响应。结果表明, 过去三十年间, 佛罗里达南部的红树林面积经历了四次明显下降, 且每次下降之后均呈现出缓慢的恢复趋势。在热带气旋期间, 红树林的损失从海洋向陆地呈指数式递减, 而在常态天气期间, 红树林边缘向海扩张。此外, 三级以上的飓风是导致佛罗里达红树林面积锐减的主要原因, 海平面上升则与红树林损失关系不大。鉴于热带气旋频率和强度均呈增长态势, 预计到 2050 年佛罗里达的红树林损失总量可能达到 533 平方千米, 到 2100 年则会进一步上升到 1956 平方千米。

S16-P-1

海岸植被与潮沟相互作用影响研究

周曾^{1,2*}, 张荣成¹, 韦以璋¹

¹ 河海大学, 江苏省海岸海洋资源开发与环境安全重点实验室

² 河海大学, 水灾害防御全国重点实验室

* zeng.zhou@hhu.edu.cn

潮滩前缘盐沼植被簇团可以通过改变水动力及泥沙运动等过程影响潮沟系统的地形地貌, 而潮沟系统的地形特征也会影响盐沼簇团的生长、扩张与侵蚀, 但对盐沼簇团与潮沟系统地貌演变的相互作用机制尚缺乏认识。针对这一问题, 本研究构建了考虑盐沼植被动态演变的潮滩生物动力地貌耦合模型, 模拟了盐沼植被簇团生长扩张与潮沟系统地貌演变过程, 分析了不同初始数量的盐沼植被簇团与潮沟系统的空间格局及形态参数间的双向反馈。结果表明, 潮沟先迅速向海陆两侧延伸, 后发育出大量分汊; 盐沼簇团向周边扩张后未被潮沟切割区域逐渐连成片。少量盐沼

簇团能够增加潮沟密度,促进边缘冲刷式潮沟系统的发育。潮沟的走向受盐沼簇团分布位置及数量的影响,多个盐沼植被簇团间的水流集中比单个簇团的边缘水流冲刷更易形成潮沟。在盐沼植被簇团与潮沟系统共同发育初期,潮沟系统发育受盐沼植被簇团的促进作用较大,后期潮沟内比簇团边缘更易形成水流汇聚,盐沼簇团的影响逐渐由促进作用转为稳定作用。此外,潮沟的存在限制了盐沼植被的横向扩散,切割了盐沼植被簇团,影响盐沼植被的空间分布格局。本研究揭示了盐沼植被簇团与潮沟系统地貌耦合演化机制,可为盐沼潮滩生态系统保护修复提供科学依据。

S16-P-2S

湛江观海长廊红树林海滩沉积物分布特征研究

戚月华¹, 袁明明¹, 唐杰平^{1*}, 李高聪¹, 陈德志², 祁雅莉¹

¹ 广东海洋大学, 电子与信息工程学院

² 自然资源部第四海洋研究所

* JPTang@gdou.edu.cn

红树林具有重要的生态和观赏价值,探讨红树林海滩沉积物的空间分布特征与水动力、红树林植被的关系,对于维护红树林生态系统的繁茂具有重要意义。本研究旨在探讨湛江霞山区观海长廊红树林海滩沉积物的空间分布特征与水动力、红树林植被的关系。在研究区域采集了 6 条断面共计 59 个表层沉积物样,同时测量了采样点的高程,以及采样期间的波浪和水流等动力数据,并分析了 6 条断面的沉积物运输趋势。结果显示:研究区表层沉积物平均粒径 $-0.75\sim 5.15\phi$;分选系数平均值 1.26,沉积物分选性较差;偏态平均值 0.19,正偏与极正偏沉积物在研究区分布较广;峰态值为 $0.36\sim 2.31$,平均值 1.14,研究区南部及北部的向海侧峰态窄。研究区有效波高 $0.05\sim 0.17\text{m}$,波周期 $1.44\sim 3.38\text{s}$,水流

流速 $1.44\sim 7.44\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。表层沉积物类型有砾石、砂、粉砂和黏土四大类,其中含量最多的为砂,其次为粉砂,砾石和黏土含量很少,砾石仅在研究区北部靠岸区域有少量分布;砂含量由岸向海方向呈现减少趋势;粉砂在空间分布上分布趋势和砂相反;黏土组分含量较少,在向海区域含量相对较多。研究区的波浪作用要显著大于海流作用,且在涨潮初期和落潮末期动力作用最强,导致沉积物产生向岸运移趋势,这一过程能够增加海滩高程和稳定性,对于红树林生长发育具有积极作用。

S16-P-3S

滨海盐沼湿地碳埋藏与横向交换数值模拟:生物动力地貌反馈的作用

王雨晗^{1*}

¹ 河海大学

* yuhan.wang@hhu.edu.cn

了解盐沼碳封存过程和生物动力地貌反馈的作用对于保护、管理和适应沿海蓝碳生态系统的气候变化至关重要。开发了一个生物动力地貌模型,模型考虑了碳的垂向埋藏与横向交换过程,并根据实地测量数据验证模型。之后利用模型研究盐沼中的碳动态,并探索水动力、植被生长、沉积物输移与地貌变化对碳封存和空间模式的综合影响。研究发现,考虑沉积物与碳的横向输移会导致碳沉积梯度大于生物量,尤其是在沼泽前缘附近。水动力通过在碳生产控制的前缘悬浮沉积物并将碳输移至其沉积的沼泽中,增强了沼泽碳埋藏与交换的空间异质性。在研究案例中,盐沼前缘的碳输移损失占碳生产投入的 43%,而碳埋藏仅占 40%。盐沼的碳封存能力主要取决于边缘带的水动力复杂性,在某些情况下,边缘带的水动力条件可能会将盐沼从碳汇转变为碳源。本研究的建模框架

有助于更准确地预测碳封存如何响应景观形态和水动力的变化,为旨在最大限度地发挥蓝碳生态系统减缓气候变化效益的保护策略提供宝贵的见解。

S16-P-4S

清江口红树林底泥氮磷分布特征及其对微生物群落结构的影响

郭泓瀛¹, 谭清碧¹, 赵司玥¹, 孙思旗¹, 牛丽霞^{1*}

¹ 中山大学, 海洋工程与技术学院
* niulixia@mail.sysu.edu.cn

本文以乐清湾清江口红树林区为研究区,基于2023年6月底泥检测数据,研究了不同植被区域(互花米草、红树林及混合区)氮磷营养盐的分布特征,揭示了底泥理化参数对氮磷营养盐的驱动作用,探讨了氮磷营养盐对微生物结构的影响。结果表明,红树林底泥总氮水平范围为873-964 mg/kg,总磷水平范围为780-1300 mg/kg,高值区分别分布在混合区和互花米草区,表明互花米草对氮磷营养盐累积的促进作用。基于Pearson相关分析和主成分分析,硫酸根、氧化还原电位、电导率等参数对氮磷营养盐的分布特征具有显著影响。基于微生物多样性指数可知,互花米草区显示出较高的多样性水平。在微生物门水平,红树林底泥微生物群落以变形菌门和脱硫杆菌门为主,丰度范围分别为23.0%-54.4%(均值40.0%)和7.2%-17.5%(均值12.9%)。采用Spearman相关分析、主成分分析和冗余分析,揭示了底泥理化环境对微生物优势种的贡献,结果显示,不同优势物种对底泥环境因素的响应差异显著,且因子间存在耦合关系,主要贡献因子为碳、氮、磷等。研究结果可为乐清湾红树林保护和生态修复提供重要支撑。

S16-P-5S

水下沙波下游沙床冲刷凹陷的形成机制探讨

何艺玮^{1,2}, 马小川^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室
² 中国科学院大学
* mxch@qdio.ac.cn

水下沙波是由沉积物和水流相互作用形成的一种韵律性地貌,沙波的形成影响了周围的流体结构和沉积物的输运路径,从而间接改变底床的形态。为了探讨沙波背流面复杂的沉积物-水动力耦合机制,利用多波束地形数据、ADCP流速数据和高分辨率流体力学模型(CFD),还原沙波背流面沙床的侵蚀-沉积过程并结合水流结构特征,分析沙床冲刷凹陷的形成机制。结果表明:沙床冲刷凹陷,仅发育在高角度沙波背流面的下游区域,其深度可达1-1.5m,长度通常为6-16倍的波高,范围远大于水流分离的形成区域。存在冲刷凹陷的沙波,其背流面发育典型的流动分离区,湍流动能自流动分离区向外扩散至冲刷凹陷的边缘消散。依据侵蚀-沉积现象及水动力结构特征将冲刷凹陷划分成3个区域,其中包括:以涡流侵蚀作用为主的区域A、以较弱沉积作用为主的区域B、以层流侵蚀作用为主的区域C。对于沙波背流面冲刷凹陷形成机制的探讨,为研究沉积物-水动力相互作用机制提供了理论基础。

S19-O-1

软流圈地幔组成与物质循环过程

刘传周^{1,2*}, 刘通², 张维骥³, 许阳¹, 林音铮¹, 熊家伟¹

1 崂山国家实验室
2 中国科学院地质与地球物理研究所
3 自然资源部第二海洋研究所
* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

软流圈是地球内部最重要的圈层之一，为地球上绝大多数火山提供热源或物源，是讨论地球形成演化、壳幔相互作用等一系列地质过程的重要参考体系。软流圈的对流也是地球表层板块构造运动的主要“引擎”。因此，软流圈地幔的物理性质和化学成分一直都是固体地球科学研究的前沿。长期以来，基于洋中脊玄武岩的化学组成，学界普遍认为软流圈具有相对均一的组成，并将这种均一的成分归咎于高温下的对流作用。然而，近年来对于深海橄榄岩、下洋辉长岩、洋中脊玄武岩的大量研究表明，软流圈的成分存在不同尺度的不均一性，其变化范围可以从洋盆尺度到矿物尺度。这些证据充分证明了发生在软流圈的地幔对流作用并没有完全均一化其成分。赋存于软流圈中的成分不均一体，其形成演化历史可能与不同的构造过程有关，如大洋俯冲与大陆俯冲、岩石圈地幔拆沉减薄、地幔过渡带乃至下地幔富集组分的加入。前人的研究也充分显示，来自慢速、超慢速洋脊的不同类型岩石更好地记录了软流圈成分的不均一组成，因此未来有必要加大对于慢速、超慢速洋脊的地质、地球物理、数值模拟等多学科交叉研究，更好地解析软流圈不均一组成与重大地质历史事件之间的关联性。

S19-O-2

北极加克洋中脊东段地幔动力过程：基于海底地震观测的方位各向异性研究

贾琰^{1*}，李家彪¹，孔凡圣¹，JASMinE 组¹

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学与划界全国重点实验室

* jiayan@sio.org.cn

地震方位各向异性是研究洋中脊动力学的核心手段之一，各向异性参数的测量及其可能的空间变化能够指示洋中脊壳幔变形及相关动力过程。前人针对洋中脊动力学的研究表明，不同板块扩张速率背景下，地幔流动以及岩浆供给运移模式显著不同。相较于快速和慢速扩张洋中脊，超慢速扩张洋中脊的地幔动力学研究非常匮乏。尤其是作为全球最慢速扩张的北极加克洋中脊东段区域，由于极寒、密集冰层覆盖等环境因素造成的调查条件限制，地幔动力学相关研究基本为空白。本研究计划利用中国第 12 次和第 14 次北极科学考察获取的北极加克洋中脊海底地震调查的数据，应用横波分裂方法，约束加克洋中脊东段壳幔方位各向异性结构，探究各向异性优势方向和强度可能的空间变化，刻画地幔流的三维运动模式，回答其岩浆供给和运移模式以及地幔流对岩石圈厚度变化的动力学响应，揭示全球最慢速扩张加克洋中脊特殊的软流圈动力过程。

S19-O-3

漂移洋中脊岩浆活动示踪地幔不均一

周飞^{1*}，Jerome Dymant²，Ingo Grevemeyer¹，刘传周³

1 GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel

2 Institut de Physique du Globe de Paris

3 崂山实验室

* feizhou1993@gmail.com

洋中脊下方的地幔不均一性近年来被地球化学的研究广泛揭示，修正了传统板块构造学说中假设的均一地幔模型。然而随着洋壳年龄的增长，沉积物层的逐渐加厚限制了地球化学对地幔不均一性在离轴时间尺度上的理解，导致对洋盆下方的地幔不均一的分布及其对洋中脊的影响仍不

清楚。本文中,我们利用海洋磁数据识别岩浆活动时空变化,并示踪西南印度洋中脊东段 27Ma 岩石圈下方的地幔不均一。岩浆与非岩浆扩张模式可分别由强弱磁异常决定,而两种扩张模式在洋脊轴两侧同一时间段内的组合方式即反映了岩浆活动的强度。研究区为典型的超慢速扩张洋中脊,岩浆供给较弱且岩浆房缺失,因此我们将岩浆活动由强烈到贫瘠的剧烈变化联系于富集与亏损地幔的组成差异。并且在假设地幔不均一斑块在垂直与倾斜洋脊段形态大致相同的情况下,可推算出洋脊相对于下方地幔以 5km/Myr 的速度向 N30°E 方向漂移。基于以上信息,我们在三个主要聚集区重构了 10-60km 宽的富集地幔斑块(相对于古老难溶地幔)。我们的工作表明海洋磁数据可用来揭示,对超慢速扩张洋中脊岩石圈形成起到关键作用的地幔组成差异,在远离洋脊轴区域的分布。

S19-O-4

古俯冲改造地幔残存于现今洋中脊地幔 Mo 同位素证据

陈祖兴^{1*}

1 中国科学院海洋研究所
* chenzuxing@qdio.ac.cn

“幽灵”弧岩浆地球化学特征广泛存在于洋中脊玄武岩中,但其成因机制仍存在争议。本研究在圣赫勒拿地幔柱影响的南大西洋洋中脊玄武岩中识别出与俯冲流体影响的岛弧玄武岩相似的重 Mo 同位素信号($\delta^{98/95}\text{Mo} = -0.21\text{‰}$ 至 $+0.11\text{‰}$),且具有相对较低的(La/Sm)_N、Nb/Zr 和 Ce/Pb 比值以及不富集的 Sr-Nd 同位素组成。这些地球化学特征既不能通过亏损地幔与再循环洋壳或岩石圈地幔物质的相互作用来解释,也无法归因于圣赫勒拿地幔柱对其地幔源区的影响。结合地震层析成像和板块重建模型,这些独特的地球化学特征反映了中生代时期冈瓦纳超大陆西南缘俯冲流体改

造地幔的贡献。这一发现不仅为古俯冲流体改造地幔在塑造现今洋中脊玄武岩地幔不均一性中的重要作用提供了关键证据,同时也为理解全球洋中脊玄武岩中“幽灵”岛弧特征的形成机制提供了全新视角。

S19-O-5

高精度 Mg-Fe 同位素揭示全球 N-MORB 源区存在“幽灵”碳酸盐化辉石岩

孙媛滢¹, 何永胜^{2*}, 祝红丽³, 黄建⁴, 柯珊¹, 孙卫东³

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
2 中国地质大学(北京), 科学研究院
3 中国科学院海洋研究所, 深海极端环境与生命过程研究中心
4 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院
* heys@cugb.edu.cn

大洋中脊玄武岩(Mid-ocean ridge basalt, MORB)作为对流上地幔沿洋底扩张中心减压熔融产物,携带了上地幔化学不均一的信号(例如放射性同位素的 DUPAL 异常和化学组成不均一等)。这通常被解释为上地幔受到了冈瓦纳大陆裂解或自 200Ma 以来俯冲事件的影响。在此过程中再循环壳源物质进入 MORB 源区并参与了富集(Enrich-)MORB 到正常(Normal-)MORB 的形成。零星分布的 E-MORB 通常被归因于受到地幔柱或源区地幔小尺度局部不均一影响,然而对于存在更为广泛的 N-MORB,其源区的再循环壳源组分特征仍是未解之谜。本研究对来自太平洋、大西洋和印度洋的 16 个 MORB 进行了高精度 Mg-Fe 同位素分析,结合前人数据,全球 N-MORB 的 Mg-Fe 同位素组成不均一、呈现负相关趋势且 $\delta^{26}\text{Mg}$ - $\delta^{56}\text{Fe}$ -CaO/Al₂O₃-(Dy/Yb)_N 耦合。在排除了蚀变和岩浆过程的影响后,此协变关系被认为继承自母岩浆:重 Mg-轻 Fe-高 CaO/Al₂O₃-低(Dy/Yb)_N 端元主要来自地幔橄榄岩部分熔融,并可

能经历了一定程度的分异；而轻 Mg-重 Fe-低 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -高 $(\text{Dy}/\text{Yb})_N$ 端元应含有辉石岩熔融熔体的贡献。由于碳酸盐化源区衍生熔体通常具有高 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ，因此轻 Mg 端元的低 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 特征进一步指示其源区岩性可能为经历过（熔融）脱碳作用的“幽灵”碳酸盐化辉石岩。此外，我们发现与前人报道的元素（例如 Rb、Ba、U 和 Th 等俯冲相关元素的富集）和放射性同位素大尺度空间异质性分布相似，全球 MORB 的 Mg-Fe 同位素组成也呈现了洋脊尺度的空间分布差异。轻 Mg-重 Fe（作为源区“幽灵”碳酸盐化辉石岩指标）的 N-MORB 多分布在印度洋和北冰洋。这表明伴随俯冲事件的发生，再循环（碳酸盐化）壳源物质会进入上地幔形成辉石岩，在洋中脊处发生减压熔融时辉石岩较低的固相线（相对于橄榄岩）会促使其优先熔融，参与 MORB 的形成并最终表现为 MORB 中观察到的化学不均一。本研究由国家自然科学基金（No. 42122019）资助。

S19-O-6

弧后盆地地幔源区的演化： 来自西藏洞错蛇绿岩中橄榄 岩的强亲铁元素与 Os 同位 素的证据

李晓妮^{1,2}，张维骥⁴，刘通^{1,2}，张畅^{1,2}，
林音铮³，张振³，朱嘉宁^{1,2}，李宏宇^{1,2}，
刘传周^{1,3*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化
与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

3 崂山实验室

4 自然资源部第二海洋研究所，海底地质国家重点
实验室

* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

在全球蛇绿岩中，具有不同演化历史的地幔橄榄岩共存现象十分常见，尤其是在俯冲带构造背景下。班公湖—怒江缝合

带的洞错蛇绿岩被认为形成于侏罗纪时期慢速扩张的弧后盆地环境。本研究通过对洞错蛇绿岩中两类地幔橄榄岩的系统地球化学分析，探讨弧后盆地下方软流圈地幔的演化过程与熔融机制。

第 I 类橄榄岩在矿物学和主量元素组成上表现出饱满的成分特征，含 5–9 vol.% 的单斜辉石，尖晶石 $\text{Cr}\# < 0.20$ ，全岩 Al_2O_3 含量为 1.5–2.1 wt.%，其全岩稀土元素配分相对平坦，而辉石中则表现出不同程度的轻稀土元素亏损。第 II 类橄榄岩更为难熔，单斜辉石含量 < 2 vol.%，尖晶石 $\text{Cr}\# > 0.55$ ，全岩 Al_2O_3 含量为 0.3–0.5 wt.%，全岩稀土配分呈 U 型特征，显著富集轻稀土元素。基于尖晶石 $\text{Cr}\#$ 和全岩与辉石稀土元素估算，第 I 类橄榄岩经历了约 2–8% 的无水熔融过程，第 II 类橄榄岩经历了约 20–24% 的含水部分熔融。

第 I 类橄榄岩具有与深海橄榄岩类似的相对平坦的强亲铁元素配分模式，而第 II 类橄榄岩类似于典型的弧前橄榄岩，具有强烈分异的强亲铁元素配分模式，并表现出正的 Ru、Pt 异常以及高于球粒陨石的 Pt/Pd 和 Ru/Ir 比值。这些特征表明第 I 类橄榄岩代表洋中脊贫水条件下软流圈低程度部分熔融残余，而第 II 类橄榄岩由于经历高程度含水熔融，硫化物发生大量分解并可能形成独立铂族矿物或合金，从而造成强亲铁元素的强烈高度分异。两类橄榄岩的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值范围相似，但其推算的相对于原始上地幔的 Re 亏损年龄在 0.2–1.0 Ga 之间，显著老于洋壳增生时代（159–167 Ma），表明这些地幔橄榄岩均记录了古老熔融事件。

第 II 类橄榄岩代表了洋内俯冲导致高程度含水熔融形成的地幔楔，第 I 类橄榄岩则代表弧后扩张条件下软流圈发生低程度贫水熔融的残留。弧后扩张引发软流圈上涌，逐渐取代了先存的弧下地幔楔，后期蛇绿岩就位导致两类橄榄岩被构造叠置在一起。

S19-O-7

洋中脊熔融过程形成的海洋岩石圈-软流圈界面——北冰洋的电磁观测证据

张涛^{1*}, 李家彪¹, 丁巍伟¹, JASMinE 组¹

¹ 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* tao_zhang@sio.org.cn

海洋岩石圈-软流圈的界面 (LAB) 被认为是维持地球板块运动的必要因素。经典的岩石圈热模型将此界面定义为某一等温线, 但是大量地震观测到 LAB 存在速度陡变, 与深部平缓的地温梯度不符。超慢速洋中脊区域在离轴单位距离内涵盖大的年龄跨度, 是研究此问题的最佳区域之一。2024 年夏季的 JASMinE-2 航段中, 我们在超慢速扩张的北极加克洋中脊开展了首次冰下大地电磁 (MT) 剖面测量。垂直洋中脊的剖面长约 125 km, 覆盖了洋脊北侧 0 至 20 Ma 年龄的岩石圈。电性结构中最为显著的特征是, 在 50-65 km 深处存在一个水平的各向异性高导层, 我们推断其为相对较低程度的熔融。低度的熔融可以降低多个数量级的地幔粘滞系数, 从而形成了岩石圈-软流圈间的解耦薄弱带, 即地质定义的 LAB。这表明, 至少在 20Ma 以内, LAB 是由洋中脊的熔融过程形成的, 因此海洋岩石圈的厚度是均一的, 不受热冷却的控制。电性 LAB 深度与地震反射层以及径向各向异性一致, 暗示了其全球普适性。

S19-O-8

大洋转换断层对洋中脊—地幔柱相互作用的影响

张帆¹, 刘斯彪^{2*}, Lars H. Rüpke², 罗怡鸣³, 陈明², 张旭博¹, 赵磊¹, 张一诺¹, 陈占营¹, 林间^{1,3}

¹ 中国科学院南海海洋研究所

² GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research
Kiel, Kiel, Germany

³ 南方科技大学

* sliu@geomar.de

大洋转换断层在洋中脊系统中起着关键的调节作用, 但其在地幔柱热异常和物质异常沿分段洋脊扩散中的具体影响仍不明确。本研究对全球 24 个地幔柱-洋中脊-转换断层系统的主要几何和构造特征进行了分析, 并将地幔柱与洋中脊的位置关系划分为了三种不同的类型: 地幔柱位于脊轴、轴外和转换断层/破裂带。本研究系统性地探讨了与转换断层相关的多个因素 (包括断层长度、地幔柱与洋脊或转换断层的距离、洋脊扩张速率等) 如何影响地幔柱沿洋脊的扩散距离。研究结果表明, 转换断层可能阻碍、连接, 或在某些情况下促进地幔柱沿轴向的扩散, 其影响取决于地幔柱与洋脊-转换断层系统之间的空间关系。相对较长的转换断层 (>200 km) 会阻碍地幔柱的流动, 减少其向对面脊段的扩散; 而位于转换-破裂带之下或其附近的地幔柱羽流则有助于维持不同脊段之间的物质连通性。在某些特定条件下, 例如地幔柱位于转换断层中心附近时, 其扩散范围反而略有增加。综上所述, 转换断层对洋脊-地幔柱相互作用的影响是多样而复杂的, 并非单一阻碍作用, 而是受到其几何特征及地幔柱位置的共同制约。与马里恩 (Marion) 和加拉帕戈斯 (Galápagos) 系统的对比分析进一步表明, 转换断层相关效应可有效解释沿不同洋脊段地幔柱影响的差异性观测结果。

S19-O-9

软流圈地幔不均一性驱动北冰洋加克洋中脊壳幔成分解耦

许阳^{1*}, 刘传周^{1,2}, 林音铮¹

1 崂山国家实验室, 海洋系统科学与前沿交叉研究部

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* geoxuy@126.com

在板块扩张过程中, 软流圈地幔上涌经历减压熔融作用, 其熔体组分冷却形成新生洋壳(以洋中脊玄武岩为代表), 而残留固体则构成岩石圈地幔。尽管洋中脊玄武岩(MORB)因其易获取性成为研究软流圈地幔特征的重要探针, 但其成分特征可能仅反映了参与熔融过程的地幔组分。软流圈地幔中普遍存在古老难熔的地幔组分, 其对现代洋脊岩浆活动的物质贡献极其有限。相较于洋中脊玄武岩, 深海橄榄岩作为部分熔融作用的残留相, 能够更完整地保存原始的地幔组分信息。本研究聚焦软流圈地幔的成分特征这一科学问题, 选取北冰洋加克洋中脊为研究区, 首次揭示了该洋脊中部贫岩浆区(SMZ)与东部火山活动区(EVZ) 70 件深海橄榄岩样品的岩石学和地球化学特征。主微量元素成分分析表明: (1) 所有样品均经历<15%的部分熔融程度; (2) 单斜辉石的稀土元素呈现轻稀土亏损与轻稀土平坦两种类型, 其中后者记录了瞬时熔体渗透引发的再富集过程; (3) 橄榄石均表现出轻稀土元素的显著富集, 暗示加克洋中脊深海橄榄岩经历普遍的熔岩反应过程; (4) 沿洋脊走向的地幔橄榄岩成分变化与热力学条件无显著相关性。值得注意的是, 计算得到的软流圈地幔熔融程度显著高于地震反演洋壳厚度对应的理论值, 这暗示研究区软流圈中存在继承性难熔地幔。我们的研究为理解超慢速扩张洋脊的壳幔关系提供了新的视角。

S19-O-10

东太平洋洋隆海山玄武岩中 高程度的锌同位素不均一性

孙普^{1*}, 牛耀龄², 陈艳虹², 段梦¹, 李东永³, 陈硕¹, 郭鹏远¹, 龚红梅¹, 王晓红¹

1 中国科学院海洋研究所

2 中国地质大学(北京)

3 中国海洋大学

* pu.sun@qdio.ac.cn

板内玄武岩(如中国东部新生代玄武岩、洋岛玄武岩)被报道有高水平的锌(Zn)同位素($\delta^{66}\text{Zn}$, 相对于 JMC1Lyon)变化, 并被解释为源自俯冲的、富重 Zn 同位素的碳酸盐的地幔交代。在洋中脊玄武岩(MORB)中观察到的 Zn 同位素变化相对较小($\delta^{66}\text{Zn}$ 为 0.21-0.35‰)。这可能反映了洋中脊之下的地幔中 Zn 同位素组成相对均一, 也可能由熔体在地幔中和在洋壳岩浆房中的混合和均一化造成。为探究洋脊之下的地幔 Zn 同位素组成和变化, 我们对 5-15°N 东太平洋洋隆(EPR)两侧的海山玄武岩进行了 Zn 同位素分析, 并发现了高水平的 Zn 同位素变化($\delta^{66}\text{Zn} = 0.19\text{--}0.52\text{‰}$)。这是目前在大洋玄武岩中观察到的最大程度的 Zn 同位素变化。这些海山玄武岩未受到地幔柱的影响, 与洋中脊玄武岩具有共同的地幔源区, 但在地幔中未经历向洋脊之下的迁移和汇聚, 也未经历洋壳岩浆房中的混合和均一化, 结晶分异程度也更低, 因此可以更好地保存地幔不均一性信息。我们前期对这套海山样品的研究发现了其中高程度的元素([La/Sm]_N = 0.3-3.6)、Sr-Nd-Pb-Hf 同位素(如 $\epsilon_{\text{Nd}} = 6.0\text{--}10.6$)和 Fe-Mo 同位素变化($\delta^{56}\text{Fe} = 0.03\text{--}0.36\text{‰}$; $\delta^{98/95}\text{Mo} = -0.23$ 至 -0.06‰)。EPR 海山玄武岩 $\delta^{66}\text{Zn}$ 值与以上元素和同位素指标均呈现良好的相关关系, 反映了洋脊之下的地幔高度的 Zn 同位素不均一性。但与板内玄武岩不同的是, EPR 海山玄武岩的 $\delta^{66}\text{Zn}$ 值与 CaO、CaO/Al₂O₃ 呈负相关, 说明其高度的 Zn 同位素变化与俯冲碳酸盐的交代无关。 $\delta^{66}\text{Zn}$ 值与不相容元素(如 K、P、Rb、Nb、La)的丰度和比值(如 La/Sm 和 Sm/Yb)的良好相关性($R^2 >$

0.75)，支持其源区经历过低部分熔融程度的熔体的地幔交代作用。这种熔体交代是古老的（> 400 Ma），最有可能发生在大洋岩石圈之下的岩石圈-软流圈交界（LAB）处。软流圈顶部的地震波低速层内充斥着富集不相容元素的熔体，这些熔体会交代上覆的大洋岩石圈地幔，在其底部形成一个极度富集的地球化学储库。当俯冲的大洋岩石圈地幔物质循环至上地幔，会造成上地幔中元素和同位素尺度的高度不均一性。

S19-O-11

西南印度洋脊 53°E 段熔体—晶粥反应对下洋壳和洋中脊玄武岩化学组成的影响

黄晓函¹，杨阳^{1*}，赵太平¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所

* yangyang@gig.ac.cn

洋中脊玄武岩（MORB）是地球上最为丰富的岩浆岩类型，长期以来一直是研究地幔组成的关键基石。然而，近期的研究表明，熔体在晶粥中的运移过程可能会显著分馏堆晶岩中的不相容元素比值，甚至可能对 MORB 中的不相容元素比值产生影响。这一发现对传统的地幔成分解释构成了挑战。为了验证这一假设，我们对超慢速扩张的西南印度洋脊 53°E 段（以极度贫乏的岩浆供应为特征）的原始至演化的侵入岩及 MORB 的地球化学组成进行了详细分析。研究结果显示，富橄榄石橄长岩经历了两个阶段的熔体-晶粥反应过程：第一阶段的反应记录在间隙单斜辉石中，表现为高 Mg# 以及 Zr/稀土元素比值的变化，其变化幅度可达 4 至 5 倍；第二阶段的反应记录在橄榄石中，当橄榄石的低 Fo 值时，镍（Ni）含量出现异常高，这一特征与具有类似长英质微量元素特征（高 Yb，低 Ti/Ti* 和 Sr/Sr*）的辉长质岩脉反应密切相

关。研究表明，熔体-晶粥反应显著影响了低熔体供应洋脊侵入岩的矿物化学特征，尤其表现为 Zr 相较于稀土元素的富集程度显著增强。然而，与洋壳侵入岩中明显的 Zr/稀土元素高异常相比，53°E 段和全球范围内的 MORB 的 Zr/稀土元素比值变化甚微。这表明，高度分馏的反应性熔体对 MORB 不相容元素比值的影响极为有限，其原因可能是具有强烈 Zr/稀土元素分馏特征的反应性熔体的体积极为有限。相反，MORB 中的其他不相容元素比值，如 La/Sm，在高 Mg# 时表现出较强的多样性。这一现象强调了地幔组分在控制 MORB 地球化学特征方面所发挥的主导作用。

S19-O-12

沉积物火山玻璃揭示洋中脊岩浆成分的千万年演化：以北大西洋 Reykjanes 洋脊为例

颜娄旺¹，杨阳^{1*}，陈宣谕^{1*}，徐义刚¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所，深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* yangyang@gig.ac.cn

* xuanyuchen@gig.ac.cn

洋中脊玄武岩的时空变化是理解地幔动力学过程的关键。然而，传统岩石地球化学研究受限于大洋钻探对老洋壳样品的稀疏取样，难以获得岩浆活动的连续时间记录。本研究实践了一种新方法：通过系统筛选并分析洋脊附近深海沉积物中的玄武质火山玻璃，重建洋中脊岩浆成分的长期演化历史。

以北大西洋 Reykjanes 洋脊为研究对象，我们从 IODP395 航次的沉积物钻孔样品中提取玄武质玻璃，获取了自约 13Ma 以来具有高时间分辨率的主-微量元素数据，成功建立了洋脊玄武岩成分的连续时间序列。结果显示，玻璃成分记录了冰岛地幔柱对

北大西洋 Reykjanes 洋脊岩浆活动的持续影响, 并揭示其自 13 Ma 以来逐渐减弱的趋势, 首次在千万年尺度上厘清了地幔柱-洋脊相互作用的长期演化特征。

此外, 我们还对不同类型火山玻璃的成分特征与来源关系进行了识别和归类, 初步厘清了北大西洋洋中脊与冰岛火山喷发对沉积物中火山玻璃的共同供给机制。本研究表明, 沉积物火山玻璃可作为重建洋中脊岩浆活动与地幔源区演化的关键新载体, 为全球洋脊系统长期演化研究提供了新的技术路径与方法框架。

S19-O-13

全球洋中脊玄武岩成分随扩张速率变化的新解读

郭鹏远^{1*}

1 中国科学院海洋研究所

* guopy@qdio.ac.cn

统计全球大洋中脊玄武岩 (MORB) 的地球化学成分发现, 全球 MORB 的成分随洋中脊扩张速率有系统性变化, 即: 慢速扩张脊产出的 MORB 成分变化小, 而快速扩张脊产出的 MORB 成分变化大。Kin & Sinton (2007) 将该现象解释为快速扩张脊下存在显著的岩浆房。由于岩浆在岩浆房中发生了混合, 使得快速扩张脊产出的 MORB 成分变化有限; 相反, 在慢速扩张脊下岩浆房不发育, 岩浆的混合作用有限, 所以产出的 MORB 成分变化较大。然而, 如果仅有单纯的岩浆房混合, 所导致的快速扩张脊 MORB 成分与慢速扩张脊 MORB 成分的平均值应该相等, 这与基本观察不一致 (快速扩张脊的 MORB 总体上更亏损)。Niu & Hékinian (1997) 认为快速扩张脊的岩石圈较薄, 相较慢速扩张脊厚的岩石圈, 在快速扩张脊下可发生高程度部分熔融, 产出的 MORB 成分相对亏损, 即“岩石圈盖层效应”。但是“岩石圈盖层效应”模型解释不了慢速扩张脊既产出有富集型

玄武岩、也有亏损型玄武岩的现象, 因此该模型也存在不足。基于对南太平洋 Pukapuka Ridge 和 Sojourn-Brown Ridge 的岩石地球化学分析, 作者发现这些海山链均有一个向洋脊方向成分逐渐变亏损的趋势, 因此提出了不均一地幔向洋脊方向流动的模式。本文认为不均一点脊向流动过程是产生全球 MORB 成分随着扩张速率系统变化的主控因素。

S19-O-14

地球大龟裂——洋中脊裂谷模拟新进展

唐春安^{1,2*}, 陈甜甜¹, 耿涛³

1 大连理工大学, 土木工程学院

2 深圳零一学院, 深地科学研究中心

3 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院

* tca@mail.neu.edu.cn

洋中脊裂谷作为板块边界的关键构造, 其动力学机制仍存在争议。传统数值模拟多基于板块水平拉张应力驱动理论, 强调岩石圈伸展-减薄-破裂的线性过程, 但难以解释裂谷结构的非均一性、岩浆活动的时空不均一性及洋中脊裂谷系统的全球统一机制。近年来国际研究聚焦于热-流-力耦合模拟, 但仍面临岩石圈-软流圈相互作用机制简化过度等挑战。基于粘性流体机制的数值模拟难以反映岩石圈破裂的脆性特性及其重要的热力学效应。

本研究运用岩石破裂过程 RFPA 模拟方法, 通过构建热膨胀驱动力作用下的岩石圈破裂过程分析模型, 揭示了洋中脊裂谷发育的阶段性特征。发现控制洋中脊裂谷分布的主要因素是岩石圈厚度, 与全球克拉通分布有关。热积累形成的热膨胀首先诱发垂向张裂隙, 深部熔体上涌的热胀作用加剧初始裂谷的进一步张裂, 最终形成“裂隙网络→熔体通道→稳态扩张”的递进演化模式。模拟结果再现了洋中脊三联点、热点相关的未来裂谷、快慢速洋脊扩

张过程及其相关的潜热不均匀分布的机制。相较于传统模型,本研究量化了深部地幔过程(如热积累膨胀)对浅表破裂的调控机制,成功再现了岩石圈破裂及其洋中脊裂谷形成的过程,对深海资源勘探和地球系统模拟具有启示意义。

S19-O-15

北冰洋加克洋中脊 85°E 横波速度结构

牛雄伟^{1*}, 李家彪¹, 丁巍伟¹, 虞嘉辉¹, 杨文蕊¹

¹ 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学实验室
* xwniu@sio.org.cn

开展主动源二维海底地震探测作业时,如果放炮测线偏离设计测线较远距离,将会对二维结构成像带来一定的误差,尤其是在地形变化剧烈的洋中脊区域。使用三维层析成像方法,建立三维工区模型,使用真实的炮点和 OBS 台站位置,有助于获得更准确的速度结构。2021 年“Joint Arctic Scientific Mid-ocean ridge Insight Expedition (JASMIInE)”在北冰洋加克洋中脊采集了较高质量的 OBS 数据,但由于密集浮冰影响,导致放炮测线与 OBS 站位剖面有较大的偏移距,因此,有必要使用三维层析成像建模方法开展该区域的速度结构成像。本研究使用 JIVE3D 软件,基于高分辨率的海底多波束地形数据,建立了垂直于加克洋中脊 85°E 扩张轴剖面的三维 P 波速度结构。相对于使用二维模型获得的速度结构,扩张轴下方 P 波速度更低,远离扩张轴,洋壳顶部速度横向变化更剧烈,但整体洋壳速度结构和厚度变化趋势一致,也间接表明了二维结构的可靠性。为进一步探明洋壳岩性和深部流体活动,基于此二维 P 波模型,使用垂直洋中脊的 9 台 OBS 拾取的 1257 个 S 波震相,通过试错法正演,获得了垂直洋中脊剖面下方的泊松比初步结构。洋壳层 2 泊松比的变化范围为 0.36-0.40,

扩张轴下方偏低。洋壳层 3 泊松比的变化范围为 0.28-0.38。整体偏高的泊松比结构可能表明该区域洋壳内存在较多裂隙或较多流体等。

S19-O-16

联合重力观测与热结构演化模拟探讨超慢速扩张西南印度洋中脊 13-14°E 段的大洋岩石圈结构

谭平川^{1*}, 李家彪¹, 陈杰², 于志腾¹, 王春阳¹

¹ 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室
² Ecole Normale Supérieure, PSL Research University, Laboratoire de Géologie
* tanpc@sio.org.cn

大洋洋中脊的热动力学过程主要由软流圈上涌和岩浆注入引起的加热作用,以及热液循环驱动的冷却作用共同调控。在几乎无岩浆活动的超慢速扩张洋中脊,如 13-14°E 的西南印度洋中脊(SWIR)段,其轴部岩石圈被认为是全球洋中脊最厚、最冷的区域之一。因此,该区域是探索热液循环在最大程度上影响大洋岩石圈结构机制的理想场所。本研究基于热液对流数值模型,通过系统调整热液循环的渗透率和深度,构建了一系列不同厚度的轴部岩石圈热结构模型。随后,利用纯热传导方式,将这些热结构沿扩张方向延伸至 450 千米,以模拟岩石圈在远离扩张轴后的冷却演化过程。在此基础上,计算并分析了沿扩张方向的重力异常,并与实测重力数据进行了对比。结果表明 SWIR 13-14°E 段的岩石圈厚度为 15-17 千米,热液循环主要局限于 6-9 千米深度以上的区域。这一热结构特征与最新的微震观测结果一致,为全球中洋脊热状态研究提供了新的定量约束。

S19-O-17

快速和中速扩张洋中脊的壳幔边界结构、蛇纹石化作用和地震反射特征

赵家斌¹, 王勤^{1*}, 阮友谊¹, 江文彬²

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院

² 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* qwang@nju.edu.cn

前人研究发现快速和中速扩张洋中脊的两侧发育切穿洋壳的水热循环系统, 导致壳幔温度降低, 上地幔橄榄岩发育高温(叶蛇纹石稳定域, 400–600 °C)或低温(纤蛇纹石、利蛇纹石稳定域, <400 °C)蛇纹石化作用。大洋岩石圈具有突变型和层状过渡型两种壳幔边界结构: 前者是指辉长岩直接覆盖于橄榄岩之上, 后者表现为辉长岩与橄榄岩互层, 而蛇纹石化作用对洋中脊 Moho 反射的影响还缺少系统研究。

本研究基于东太平洋洋隆的热结构, 构建了具有不同蛇纹石化作用的壳幔边界岩石学模型。通过统计岩石的高温高压波速测量结果, 获得了玄武岩和辉长岩的波速随压力的变化, 更新了 200 MPa 下橄榄岩蛇纹石化程度与密度和波速的相关性, 从而建立了快速和中速扩张洋中脊的波速和密度模型。合成地震记录表明, 快速和中速扩张洋中脊的 Moho 反射特征由壳幔边界结构和蛇纹石化作用共同控制。对于突变型壳幔边界, 低程度蛇纹石化作用(<10%)或 60–80%高温蛇纹石化作用将导致 Moho 反射呈脉冲型。前者对应岩石学壳幔边界, 后者对应高温蛇纹石化橄榄岩的底部。叠瓦型 Moho 反射的形成可能与壳幔边界的起伏或蛇纹石化程度的不均一性有关。层状过渡型壳幔边界形成弥散型 Moho 反射, 熔体将增强 Moho 反射性。当突变型壳幔边界发育 10–60%或大于 80%高温蛇纹石化作用, 或同时发育高温和低温蛇纹石化作用时, Moho 反射亦为弥散型。

当突变型壳幔边界的高温蛇纹石化程度随深度由 60–80%线性减少至 0%时, 无 Moho 反射。通过对比东太平洋洋隆 9°N 的多道反射地震记录, 洋中脊两侧上地幔顶部的局部区域可能发育约 30%高温蛇纹石化作用。本研究为通过地震学方法研究洋中脊的岩浆、构造和水热循环过程提供了新思路, 为厘定扩展速率与洋壳生长机制的关系以及大洋岩石圈-水圈相互作用提供了岩石物理约束。

S19-O-18

弧后扩张中心热液系统对大洋的 Ba 输送问题探讨

张侠^{1*}

¹ 崂山国家实验室

* xzhang4@qnlm.ac

钡(Ba)在海水中表现为营养盐型行为, 在上层海水中亏损, 而在深海和上升流区域比较富集。因此, 海水 Ba 循环被认为与初级生产力有关, 可用来示踪短期碳循环。热液流体中 Ba 的含量比海水高数个数量级, 在海洋 Ba 循环中扮演了总要角色。然而, 目前科学界关于热液系统对大洋 Ba 输送问题还存在很大争议, 弧后热液系统对大洋 Ba 同位素贡献尚未可知。本研究以冲绳海槽扩张中心热液重晶石为研究对象, 对其 Ba 同位素组成开展了系统分析测试, 尝试回答上述问题。研究表明, 冲绳海槽热液重晶石表现出中等范围的 Ba 同位素组成变化, 主要受控于重晶石结晶过程中的 Ba 同位素瑞利分馏过程。热液流体中 30–50%的 Ba 移除可以解释重晶石中的 Ba 同位素组成变化。重晶石结晶导致了冲绳海槽热液流体 Ba 同位素组成重于海洋中的 Ba 汇, 因此冲绳海槽(甚至弧后热液系统)可能是大洋中重的 Ba 源, 这与热液流体-海水混合过程中 Ba 的非保守型行为造成的轻 Ba 同位素优先移除有关。

S19-P-1

慢速—超慢速扩张脊辉长岩 Cu-Zn 同位素组成揭示洋中 脊岩浆房的动态演化过程

张维骥^{1*}

¹ 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学实验室
* zhangwq@sio.org.cn

经典的洋壳增生理论认为洋壳的内部分异由岩浆房中分离结晶过程完成: 原始洋中脊玄武岩 (MORB) 在岩浆房中发生分离结晶后喷发形成玄武岩和辉绿岩墙群 (Layer 2), 残留的主要由堆晶矿物构成的岩浆房固结后形成辉长岩 (Layer 3)。如果这一假设成立, 那么 MORB 和洋中脊辉长岩在成分上应当具有“熔体-堆晶岩”的对应关系, 然而已有大量研究显示洋中脊辉长岩的成分远比 MORB 所记录的更为宽泛, 这表明简单的岩浆房分离结晶机制不足以充分解释洋壳的化学分异过程。

本报告通过对比洋中脊辉长岩和 MORB 的 Cu-Zn 同位素组成差异来探讨洋中脊岩浆房的演化过程。全球 MORB 的 Cu-Zn 同位素组成 ($\delta^{65}\text{Cu} \sim 0\text{‰}$, $\delta^{66}\text{Zn} = 0.2\text{--}0.3\text{‰}$) 随着分离结晶过程程度的增加并未呈现明显的变化趋势, 表明岩浆房分离结晶只能产生微小的 Cu-Zn 同位素分馏。本研究分析了来自西南印度洋脊 IODP U1473A 钻孔和大西洋中脊 Kane 海洋核杂岩的不同演化程度的辉长岩样品的 Cu-Zn 同位素组成, 涵盖橄长岩、橄榄辉长岩、氧化物辉长岩。研究结果显示洋中脊辉长岩的 Cu-Zn 同位素分馏程度 ($\delta^{65}\text{Cu} = -0.7\text{‰}$ 至 $+0.9\text{‰}$, $\delta^{66}\text{Zn} = 0.1\text{‰}$ 至 0.5‰) 远远超过简单的分离结晶过程的预期范围。本研究认为洋中脊辉长岩的显著的 Cu-Zn 同位素分馏是受到岩浆房晚期粒间熔体对辉长岩的熔-岩反应过程改造产生的。

因此, 洋中脊岩浆房的演化是一个动态过程: 1) 早期岩浆房处于扩张脊正下方

受到大量原始岩浆补给, 此时岩浆房通过分离结晶作用产生 MORB 的喷发, 进而形成上洋壳, 此过程不会产生明显的 Cu-Zn 同位素分馏; 2) 晚期岩浆房远离扩张脊轴后, 岩浆供给趋于停止, 此时岩浆房中残留的粒间熔体丧失向上喷发的能力, 但这些低孔隙度的粒间熔体会交代周围的辉长岩, 造成 Cu-Zn 同位素的高度分馏。

本研究还进一步厘定了 N-MORB 型洋壳的 Cu-Zn 同位素组成 ($\delta^{65}\text{Cu} = 0.05\text{‰}$, $\delta^{66}\text{Zn} = 0.25\text{‰}$), 二者与已有的 N-MORB 的组成基本一致, 表明 MORB 的 Cu-Zn 同位素组成可以很好地反映源区性质。此外, 本研究结果还表明大洋下地壳内部的熔体迁移过程可以造成成矿金属元素 (Cu-Zn) 的再次分配, 并可能产生局部富集成矿元素的层位, 这为更晚期的热液淋滤成矿作用提供了物质基础。

S19-P-2

深海橄榄岩与软流圈地幔再 循环组分的识别

林音铮^{1*}

¹ 崂山国家实验室
* yzlin@qnlm.ac

软流圈地幔经历了漫长的演化历史, 却并未在高强度的地幔对流中丢失不均一性的成分特征。作为软流圈地幔不均一组分中的重要组成部分, 不同成因的古老地幔组分可能随着地幔对流再循环至现今洋脊下方的熔融区。这些再循环地幔组分通常经历早先熔融, 而具备难熔的成分特征, 因而对熔融产生的熔体贡献较小。相对而言, 深海橄榄岩作为软流圈地幔部分熔融的直接残留, 能够有效地保留软流圈地幔中难熔组分的信号, 因而也是识别再循环地幔组分的理想对象。

西南印度洋脊兼具多阶段构造演化历史与广泛出露的深海橄榄岩, 是识别与研究再循环地幔组分的理想场所。本研究选

取来自西南印度洋脊中段的深海橄榄岩，对其开展了系统的全岩及矿物成分分析。结果显示部分样品具有非常难熔的成分特征，表现为较低的全岩 Al_2O_3 含量以及较高的尖晶石 $\text{Cr}\#$ 值等。结合现今洋脊区域上普遍缺失洋壳的特征，可推断橄榄岩样品记录了先存的部分熔融事件。辉石矿物中极度亏损的微量元素含量进一步表明样品很可能经历了含水条件下的部分熔融。基于以上发现，西南印度洋脊中段下方可能存在再循环的弧下地幔楔组分，其成因很可能与洋脊形成过程中的超大陆演化历史相关。

再循环组分的成因与地球的板块构造运动以及不同圈层之间的物质循环息息相关，对于理解深部壳幔圈层间的物质交换过程具有重要意义。本研究提供了利用深海橄榄岩识别区域软流圈地幔中再循环地幔的实例，也将对未来更多再循环地幔组分的识别提供方法参考与理论依据。

S19-P-3S

西南印度洋深海橄榄岩微量元素与同位素特征及其对软流圈中富集组分的制约

黄子航¹，许阳²，林音铮²，刘通¹，刘传周^{1,2*}

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所

² 崂山实验室

* chzliu@mail.iggcas.ac.cn

富集型洋中脊玄武岩（E-MORB）广泛分布于全球洋中脊，但其来源长期存在争议。部分学者认为富集组分可能来自再循环的大陆下岩石圈地幔（SCLM），但缺乏能够直接代表该来源的、具有富集地球化学特征的深海橄榄岩直接证据。本研究对西南印度洋中脊（SWIR）Knorr 162-9-37 站位的深海橄榄岩进行地球化学分析，结果显示其具有富集的微量元素与同位素特

征，且这些橄榄岩代表了太古代克拉通交代地幔的残留。该发现首次直接证明了再循环 SCLM 可作为软流圈中富集组分的重要来源。

Knorr 深海橄榄岩的全岩微量元素呈现了轻稀土元素富集，大离子亲石元素富集，高场强元素（HFSE）显著亏损的特征，这些特征明显区别于经历了熔体抽取后的残留软流圈组分；同时，其放射性同位素特征（高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ）亦显著富集， ϵNd 值为 -4.1 至 -8.1，低于全球 MORB 和典型深海橄榄岩水平。HFSE 负异常和低 Ti/Eu 比值与 Group-II 金伯利岩源区的碳酸盐交代过程联系密切，上述特征符合古老的大陆下克拉通地幔经历碳酸盐熔体交代的特点。结合前人研究中 Knorr 深海橄榄岩与南非太古代克拉通捕虏体在矿物学、Re-Os 同位素年龄特征上的一致性，进一步支持了这种软流圈中再循环古老克拉通地幔的残留可作为软流圈中富集地幔成分的来源。这些克拉通地幔经历高程度部分熔融，具有长期稳定性，在漫长地质时间中被碳酸盐熔体持续交代，进而形成富集的微量元素和演化的同位素组成。随后，在超大陆裂解或地幔柱活动的作用下被破坏并进入软流圈中长期存留，并且其富集的地球化学特征未被对流同化，最终成为 MORB 和 OIB 富集源区的组成部分之一。

这种机制可以为 SWIR MORB 与亏损的深海橄榄岩之间的 Nd 同位素差异提供新的解释，过去这种差异常常被归因于再循环的辉石岩或榴辉岩。同时，该机制也为印度洋及非洲域 MORB 的富集特征提供了可能来源。因此，本研究揭示了克拉通地幔再循环对软流圈中富集地幔成分形成的关键作用，为理解地幔化学不均一性及 E-MORB 的成因提供了新的视角。

S19-P-4S

北极加克洋中脊 85°E 火山区微震活动

李欣然^{1,2}, 于志腾^{2*}, 李家彪^{1,2*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* ztyu@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

加克洋中脊作为全球扩张速率最慢的洋脊系统, 是研究超慢速洋脊的地壳形成与岩石圈演化机制的重要窗口。传统理论认为超慢速洋脊以地壳显著减薄和岩石圈增厚为特征, 这是由于扩张过程中伴随着强烈的传导冷却效应和深部的熔融物质受限导致的。但在西南印度洋中脊与加克洋中脊的研究表明, 洋脊轴部地壳厚度呈现显著非均一性, 最大厚度可以达到 9 km (Li et al., 2015; Zhang et al., 2024), 挑战了原有的认知, 但深部的岩石圈结构一直不够清晰。微地震是脆性变形的直接响应, 可以提供脆性岩石圈结构的关键信息 (Yu et al., 2024)。受冰层覆盖限制, 北极加克洋中脊的被动源地震观测数据长期匮乏, 其深部岩石圈结构与构造活动特征亟待深入揭示。

本研究基于 2007 年 AGAVE 航次在 85°E/85°N 火山区布设的小型冰上临时地震台网数据, 结合 2021 年 JASMinE 航次主动源地震折射实验获得的地壳速度结构 (Zhang et al., 2024), 对 527 个微震事件进行震相拾取和重定位, 获得了 79 个地震, 平均定位误差小于 5km。结果显示: (1) 微地震集中发育于轴部裂谷带内阿斯加德火山链下方, 与 1999 年大规模地震群发生区域相似; (2) 微地震主要在高地形火山区的边缘带, 而高地形的火山区下方无地震; (3) 微地震的最大深度为~15 km, 主要集中在 3-13 深度范围内, 比前人获得的地震深度浅 5 km (Koulakov et al., 2022), 但在其他超慢速洋脊段获得的地震最大深度分布一致 (Chen et al., 2023)。研究表明, 该区域微地震活动的分布主要受控于超慢速洋脊中心的火山系统: 85°E 火山区下方存在高温的熔融区, 阻碍了浅部地震的发生,

并导致脆性岩石圈的厚度为 15 km, 显著小于之前认为的 20 km; 阿斯加德火山链下方大量的地震与 1999 年的火山喷发活动密切相关。

S19-P-5

基于地震活动的转换断层深部热液循环特征研究: 以布兰科转换断层带为例

周鹏程¹, 张帆^{1*}, 张江阳¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* zhangfan@scsio.ac.cn

洋中脊-转换断层系统作为海底热液循环的关键通道, 其流体-岩石相互作用机制对理解岩石圈动力学过程具有重要意义。本研究基于布兰科转换断层带海底地震仪阵列 1 年的观测数据, 采用深度学习辅助的自动化检测算法及双差定位方法, 构建了包含约 1.3 万个微震事件的高精度地震目录。研究发现: 在断层带西段的东布兰科凹陷区, 地震活动集中于地壳内部, 表现出明显的浅源特征, 且震源深度向现代热液喷口系统呈现规律性变浅趋势; 而在东段的布兰科海岭和戈达尔凹陷古热液系统周边, 则检测到大于 10km 深度的较深地震活动, 其地震频次较活跃热液区大大降低。这些差异特征揭示了: (1) 流体渗透作用通过改造断层带性质, 控制了地震活动的垂向分布; (2) 活跃与古热液系统对应流体循环模式具有显著差异。该研究为理解大洋转换断层带流体-构造相互作用机制提供了新的观测约束。

S19-P-6

南海东部次海盆扩张末期岩浆与构造作用及地壳结构特征研究

张路¹, 李莲君², 蔡晨^{3*}, 邓小凡^{3*}, 高锐³, 胡祥云¹

1 中国地质大学(武汉), 地球物理与空间信息学院

2 伦敦帝国理工学院, 地球科学与工程学院

3 中山大学, 地球科学与工程学院

* caich28@mail.sysu.edu.cn

* dengxf23@mail2.sysu.edu.cn

超慢速扩张洋脊通常以岩浆供给匮乏和构造控制显著为特征, 地幔橄榄岩易发生蛇纹石化并被掘出至浅部地壳。为探讨南海东部次海盆扩张停止前的岩浆-构造相互作用及其对地壳结构的影响, 基于跨越消亡洋中脊的两条海底地震仪(OBS)折射地震剖面, 采用走时反演(Tomo2d)方法获取P波与S波速度结构, 构建Vp/Vs分布模型, 并揭示地壳的岩性分布与成因机制。

西侧OBS-BF2剖面全长约230 km, 拾取初至P波(Pg+Pn)走时3979条, PmP反射139条, 转换波PSP和SmS反射分别为1271和95条; 东侧OBS2020-2A剖面长约200 km, 分别拾取2642条P波, 86条PmP及1135条PSP和87条SmS。逐层剥离反演结果显示, 残余洋脊下方0-2 km深度范围内上地壳P波速度显著降低(~2.8-4.5 km/s), 明显低于洋脊两侧的~4.5-6.0 km/s, 推测主要由扩张停止后喷发的高孔隙度玄武质熔岩堆积所致。Vp/Vs模型揭示多个中上地壳高值异常(>1.90)区域, 分布于OBS-BF2剖面的50-80, 100-120和140-155 km处, 以及OBS2020-2A剖面的350-370 km处。该类高Vp/Vs特征异常指示蛇纹石化橄榄岩的存在, 表明地幔物质沿着构造通道(如拆离断层)上升并进入地壳浅部。这些观测综合表明, 南海东部次海盆扩张末期岩浆活动明显减弱, 海底扩张受控于强烈的构造伸展, 海水沿活动

断裂进入深部, 诱发橄榄岩广泛蛇纹石化并形成大洋核杂岩(OCC)型洋壳结构。

S19-P-7S

南海扩张初期洋壳岩浆作用过程探索及其边缘海成因研究意义

蒋昊^{1*}, 俞恂¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* Fantasysky1230@163.com

南海是西太平洋地区最大的边缘海之一, 特殊的地理位置和构造环境使其成为研究和板块构造理论的天然实验室, 来自IODP-U1500站位的南海初生洋壳玄武岩是认识南海形成初期洋壳增生模式和岩浆过程的重要对象。我们选取了U1500站位中不同深度成层分布的玄武岩, 以不同层位代表时间序列, 开展玄武岩全岩地球化学和斜长石斑晶微区原位地球化学研究。玄武岩样品中含有大量的斜长石斑晶, 其中多发育有环带结构, 表现为正环带、反环带和韵律环带, 指示了玄武岩形成过程中较为复杂的岩浆过程。根据不同层位玄武岩的全岩地球化学特征, 我们将这些样品划分为顶部、中部、底部三个阶段, 整体来看从底部到顶部, 玄武岩表现出从类似于N-MORB到类似于E-MORB的转变趋势。通过元素地球化学和同位素地球化学组成的相关性分析, 我们认为三个阶段玄武岩在地球化学组成上的变化是由玄武岩来源的源区不均一性和岩浆房过程共同控制。斜长石斑晶的元素地球化学研究进一步表明, 除了岩浆演化外, 岩浆房中的补给作用也较为重要。综合全岩和矿物斑晶的地球化学研究, 可将U1500站位玄武岩的成因模式总结如下: 洋陆转换初期软流圈地幔上涌经历部分熔融, 形成的岩浆上升喷出后形成底部层位的玄武岩, 这一阶段岩浆补给作用较强; 随着岩浆补给作用

减弱、岩浆补给不足后，熔体与围岩发生熔体-岩石相互作用，岩浆喷出减弱；顶部层位的玄武岩则记录了一期新的更为富集的岩浆的喷出，反应了源区的变化。U1500 站位玄武岩记录了一个多期岩浆脉冲式喷出的演化模式，一方面指示了地幔源区不均一性对于岩浆产出的重要影响，另一方面指示了南海初始扩张是一个渐变的过程。

S20-O-1

水和关键挥发分在地幔过渡带的新化学作用

胡清扬^{1*}

¹ 北京高压科学研究中心，北京中心

* qingyang.hu@hpstar.ac.cn

地球表面 70%以上被海洋覆盖，而地球深部也可能隐藏着“汪洋大海”，在深部的极端高温高压环境下，水与矿物或其他挥发分可能发生浅部观察不到的新化学现象。本次报告以数年来研究组聚焦的深部水岩反应为基础，使用基于金刚石对顶砧的高温高压实验，结合第一性原理的结构搜索算法，预测并合成了一些含水的新型矿物，它们具有鲜明的地球物理特征。研究结果拓展了水和其他关键挥发分的新化学反应，展示地幔过渡带这一重要挥发分储库存在独特的物理化学作用，探索水组建的复杂物质体系及其构建的化学新世界。

S20-O-2

水-岩相互作用的地球化学示踪：来自高温蚀变玄武岩 Mg 同位素组成的证据

田丽艳^{1*}，王巍²，沈晨曦¹，韦懿倩¹

¹ 中国科学院深海科学与工程研究所

² 中国地质科学院，深地实验室

* lytian@idsse.ac.cn

蚀变洋壳组成研究是了解水-岩相互作用、海底热液循环过程和示踪全球尺度地球深部和浅部物质交换的前提，但针对蚀变玄武岩的地球化学测试数据仍很匮乏、关于数据的解释也存在较大争议。本研究对国际大洋发现计划（IODP）U1502B 钻孔高温蚀变玄武岩的 Mg 同位素组成及其在洋壳中的分布开展了系统研究，发现其显示出 Mg 丢失且轻 Mg 同位素组成(-0.88‰至-0.13‰)的特征。尽管高温蚀变过程中玄武岩的绿泥石化导致蚀变玄武岩 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值偏重，但后期碳酸盐矿物的沉淀最终造成蚀变玄武岩 Mg 同位素组成整体偏轻。结合该钻孔已经发表的全岩 Li 同位素数据，可以示踪洋壳蚀变过程中可能存在的多期蚀变、水-岩比值和次生蚀变矿物沉淀等信息。

S20-O-3

俯冲洋壳在上地幔和地幔过渡带 C-H 循环的数值模拟研究：以西太平洋俯冲体系为例

王欣欣^{1*}，赵亮^{1,2}，杨建锋^{1,2}

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所

² 中国科学院大学

* xinxiwang@mail.iggcas.ac.cn

作为地球上最大的物质循环系统，俯冲带是表层 C-H 进入地球深部的重要通道，也是探索深部 C-H 循环不可或缺的关键场所。基于地球深部挥发分相关的高温高压实验研究表明，俯冲沉积物中的 C-H 主要在浅部地幔从俯冲板片脱离，随后储存于上覆岩石圈地幔，或上涌至岛弧区域释放；而洋壳中的 C 则能够随俯冲板片抵达对流上地幔，甚至深入地幔过渡带。目前，数值模型已揭示沉积层通过底劈作用发生脱碳的演变过程，但针对洋壳俯冲至地幔过

渡带深度时, C-H 挥发分的迁移、汇聚和释放过程的定量化研究仍极为匮乏。

鉴于此, 我们以西太平洋俯冲体系作为研究区域, 构建二维岩石学-热力学耦合的洋-陆俯冲模型。通过系统改变相关的模型参数组合, 旨在重构上地幔和地幔过渡带 C-H 循环的动力学演变过程。数值研究初步结果显示, 俯冲洋壳在浅部地幔因变质作用产生的脱碳量较低, 当其停滞于地幔过渡带后, 熔融作用成为主要的脱碳机制; 此外, 俯冲过程的动力学演变与俯冲板片热年龄、洋壳初始含 C-H 量及板块汇聚速率等参数密切相关。

S20-O-4

印度洋卡尔斯伯格脊地幔不均一性机制: 新特提斯洋内俯冲的产物

黄强太^{1*}, 陈文超¹, 张城磊¹, 于昊彤¹, 钟宇杰¹, 徐小媚¹, 廖意扬¹

¹ 中山大学, 海洋科学学院
* huangqt7@mail.sysu.edu.cn

西北印度洋卡尔斯伯格脊上地幔由于早期熔体抽取以及再循环地壳组分的再富集过程, 发育极端的元素和同位素组成不均一性。卡尔斯伯格脊上地幔富集组分的性质及其成因机制仍存在争议, 从而制约了对西北印度洋演化历史的重建。在本团队新报道的卡尔斯伯格脊南段新鲜 MORB 高精度数据集的基础之上, 结合已报道的地球化学数据、层析成像以及板块重建, 我们揭示了卡尔斯伯格脊普遍存在再循环岛弧地幔以及“深时”俯冲过程对现今洋中脊火山作用的控制作用。

卡尔斯伯格脊 MORB 不同于典型的洋中脊玄武岩, 表现出“岛弧型”微量元素配分模式, 即富集流体元素而相对亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素。熔融模型及 Sr-Nd 同位素混合模型揭示了卡尔斯伯格脊南段

下方存在再循环岛弧地幔。进一步汇总卡尔斯伯格脊已报道的地球化学数据, 并将其与全球 BABB-like MORB 数据集进行比较, 我们揭示了卡尔斯伯格脊下方普遍存在再循环岛弧地幔。层析成像研究揭示了现今卡尔斯伯格脊附近下方存在滞留的新特提斯洋洋内俯冲板块; 板块重建研究表明现今卡尔斯伯格脊形成于该俯冲带所影响的区域之上。

卡尔斯伯格脊下方的再循环岛弧地幔可以用印度-欧亚板块双俯冲模式来解释。早白垩时期, 由于发育在赤道地区的新特提斯洋洋内俯冲带的活动, 导致部分岛弧地幔发生部分熔融, 使得其残余物具有较高的 Zr/Nb 元素比值以及俯冲改造的特征; 而现今卡尔斯伯格脊形成并发育于在先前洋内俯冲的位置之上, 导致了其上地幔存在再循环的岛弧地幔。

S20-O-5

南海洋脊跃迁的深部地壳结构及其机制探讨

赵明辉^{1,2*}, 全余杰^{1,2}, 关慧心¹, 贺恩远¹, 徐敏^{1,2}, 孙珍³, 张佳政^{1,2}, 程锦辉¹, 丘学林^{1,2}

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室
² 中国科学院大学
³ 自然资源部广州海洋地质调查局
* mhzhao@scsio.ac.cn

洋脊跃迁事件是海底扩张阶段受强烈构造和岩浆作用的普遍现象, 地球物理资料表明洋脊跃迁事件存在于南海多期次扩张过程中, 在 25 Ma 左右南海发生了显著的南向脊跃。然而关于洋脊跃迁前后的深部结构特征和驱动机制尚不清楚。2021 年国家基金委共享航次实施了 OBS2021-1 深地震探测测线, 该测线横穿南海东部次海盆发生洋脊跃迁 (J3) 位置。数据处理结果表明, OBS2021-1 测线数据质量良好,

经过炮点和 OBS 校正后, OBS 综合地震记录剖面可识别出多组清晰的 P 波震相, 包括 P_w 、 P_g 、 P_mP 以及 P_n 震相。使用 RayInvr 和 Tomo2D 正反演软件确定了 OBS2021-1 测线下方的地壳速度结构。通过整合地震和磁测数据, 我们重建了南海的脊跃过程。研究结果表明, 渐新世-中新世沉积层在残余洋脊周围呈对称分布, 限制跃迁时间在 23 Ma 之前。在洋脊跃迁期间, 海洋地壳增厚, 扩张速率降低; 地幔潜在温度升高 50°C, 突显了与该事件相关的热变化。区域构造分析表明, 中南半岛向东南挤压和菲律宾海板块顺时针旋转可能驱动了南海板块逆时针旋转。这种旋转使扩张脊从其原始的地幔上升流区移位, 促进了与地幔流对齐的新洋脊的生成。该项研究说明南海海底扩张受到了邻近板块运动的控制, 提升了对南海地质构造演化的理解。

S20-O-6

火山岩高精原位微区分析揭示岩浆演化过程

陈双双^{1*}

¹ 中山大学, 地球科学与工程学院
* chenshsh29@mail.sysu.edu.cn

通过分析火山岩的单矿物和火山玻璃的精细结构和原位微区成分, 可以有效地约束晶体生长过程中的环境变化、限定岩浆物质来源和岩浆演化过程、示踪岩浆源区和原始岩浆成分。

我们对日本海 Site794 和 Site797 拉斑玄武岩的单斜辉石和斜长石进行原位微区成分分析, 通过观察到的复杂多样的矿物环带结构、环带结构的成分不均一特征、以及斜长石斑晶和基质明显较高的原位微区 Sr 同位素特征, 共同表明了西太平洋俯冲板片流体/沉积物的混入导致了日本海深部富集岩浆成分的非均质性。日本海初期拉伸相对缓慢, 导致源自上地幔的亏损

MORB 型熔体补给缓慢, 补给迁移的亏损熔体与早期形成的富集熔体充分混合。由于放射性元素的半衰期相对较长, 导致了 Site 794 火山岩和矿物斑晶的较亏损的不相容元素成分和较富集的 Sr 同位素成分。总言之, 日本海火山岩高精原位微区分析表明, 日本海弧后盆地的扩张速度是不断变化的, 由早期的慢速扩张逐步转变为晚期的快速扩张。

我们对日本海碳酸盐捕虏体和包裹体进行综合岩相学和原位微区成分分析, 阐述了碳通量的补给影响日本海新生代岩浆演化过程, 揭示了弧后盆地上地幔和下地壳的碳通量的相互作用。我们提出了一个岩石成因模型来说明岩浆房中的结晶云被富含碳酸盐熔体的岩浆侵入并引起堆积晶体的蚀变产生自形假晶碳酸盐颗粒, 喷出的岩浆俘获了这些自形假晶碳酸盐颗粒并喷出, 形成了弧后盆地的粗面玄武岩-粗面岩。研究结果揭示了碳酸盐熔体交代变质过程在这种岛弧-弧后岩浆活动中起到了重要作用。

根据日本海和长白山新生代火山岩的高精原位微区分析, 我们提出了日本海郁陵岛和长白山的双层岩浆房模型, 郁陵岛两层岩浆房分别处于 30–40 km 和 60–80 km 深度, 长白山两层岩浆房分别处于~10 km 和 40–60 km 深度。我们的三维全波形地震层析成像结果与地球化学结果完全吻合, 都证实了郁陵岛下方的双层岩浆房模型。

S20-O-7

岛弧岩浆成分变化对俯冲过程的指示——以马里亚纳和琉球俯冲带为例

李晓辉^{1*}

¹ 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室
* xiaohuili@ouc.edu.cn

俯冲带是物质循环的重要场所,俯冲组分在地幔源区的输入控制着岛弧岩浆成分的变化。目前对俯冲组分的研究主要关注蚀变洋壳和沉积物,而对海山、残余板片、蛇纹岩等的识别及其循环机制的探讨还相对缺乏。另外,随着俯冲的持续,板片可能会发生撕裂甚至断裂,进而引起板片之下软流圈地幔沿着撕裂处上涌,改变岛弧岩浆组成,这一过程的地球化学证据却鲜有报道。岛弧岩浆从地幔楔产生并上升的过程中需穿过厚层地壳,难免会受到地壳物质的混染,但详细混染过程还缺乏精细刻画。

对西太平洋马里亚纳和琉球俯冲带的研究为明确上述问题提供了重要参考。马里亚纳俯冲带的研究发现初始裂谷阶段部分橄榄石内熔体包裹体显示出显著高的放射性 Pb 同位素组成,表明 HIMU 型海山的俯冲对初始裂谷阶段地幔源区的重要物质贡献,海山俯冲可能在俯冲带物质循环过程中较为普遍,为俯冲带岩浆源区的组成及海山循环过程提供新的认识;玄武岩 Mo 同位素具有显著的穿岛弧变化特征,轻 Mo 同位素的残余板片物质可以进入弧后岩浆源区,参与弧后地幔的岩浆物质循环;弧前蛇纹岩具有重的 Mo 和 Mg 同位素组成,Mo 同位素的变化受到了俯冲早期浅部板片来源流体交代作用的影响,而后蛇纹石化阶段水镁石的溶解导致 Mg 同位素升高,强烈蚀变的弧前蛇纹岩的俯冲可以改变岛弧岩浆的 Mo 和 Mg 同位素组成,是岛弧岩浆的重要物质来源。

在琉球俯冲带的研究中发现台湾北部玄武岩表现出典型岛弧火山岩元素特征及轻的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值,这一过程涉及到板片下软流圈地幔沿板片撕裂上涌,提供足够热量,使得板片“富白云石”碳酸岩受热熔融并产生低 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值熔体,这些熔体交代地幔楔,导致地幔楔不均一并发生部分熔融,进而形成低 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的岛弧火山岩;冲绳海槽基性、中性和酸性岩内的单斜辉石地球化学特征存在差异,晚期中酸性火山岩内单斜辉石环带明显,表明岩浆演化过程中受到

了来自深部的玄武质同源岩浆的填充,并发生了陆壳岩浆房内不同岩浆物质的混合;演化程度高的橄榄石 $\delta^{18}\text{O}$ 值低于地幔,指示晚期岩浆在上升演化的过程中受到了较为显著的高温热液蚀变的陆壳物质混染;晚期结晶橄榄石内熔体包裹体中都具有少量高 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 组分的存在,表明岩浆在晚期上升演化过程中捕获了陆壳组分,明确了陆壳混染对陆缘弧后盆地晚期岩浆演化阶段的重要物质贡献。

以上研究涉及了板块俯冲过程中俯冲组分输入、地幔楔不均一性过程、岛弧/弧后盆地岩浆混染等俯冲带物质运移传输的连续过程,为全面理解俯冲带岩浆演化过程及物质循环机制提供了重要数据和理论支撑。

S20-O-8

氧逸度对俯冲带 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 循环效率的影响: 高温高压实验研究

陈伟^{1*}, 张国良^{1*}

¹ 中山大学, 海洋科学学院

* chenw395@mail.sysu.edu.cn

* zhanggliang5@mail.sysu.edu.cn

阐明控制俯冲带 CO_2 和 H_2O 循环效率的因素,对于理解全球气候演变及地球内部动力学过程至关重要。俯冲带折返的变泥质岩显示出巨大的氧逸度($f\text{O}_2$)差异(FMQ-4 to FMQ+12, FMQ 指橄榄石-磁铁矿-石英氧逸度缓冲对)。然而,目前尚不清楚 $f\text{O}_2$ 如何影响俯冲泥质岩的固相线以及 CO_2 和 H_2O 的载体矿物(比如,碳酸盐矿物和多硅白云母)的稳定性。本研究通过高温高压实验限定了不同氧逸度条件下含 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 泥质岩的相平衡关系。研究发现,随着氧逸度升高,泥质岩的固相线以及碳酸盐、多硅白云母的稳定性显著降低。结合地球历史上大气-海洋氧含量变化与俯冲

带地温梯度长期冷却的背景，我们评估了板块构造启动以来俯冲泥质岩中 CO_2 和 H_2O 的循环效率。研究结果表明：在新元古代氧化事件（NOE）之前，还原性泥质沉积物的俯冲促进了 H_2O 和 CO_2 进入地球深部，而高氧化性泥质岩则完全脱挥发份。因此，地球早期大量还原性泥质岩的俯冲有效降低了大气 CO_2 含量，同时向深部地幔输送了大量 CO_2 和 H_2O ，促进了地球宜居环境的形成。

S20-O-9

俯冲起始过程的地幔响应： 来自西南马里亚纳海沟弧前 橄榄岩的约束

姚俊华¹，张国良^{2*}

¹ 中国科学院海洋研究所，海洋动力环境观测与预报重点实验室

² 中山大学，海洋科学学院

* zhanggliang5@mail.sysu.edu.cn

俯冲带的起始过程是板块构造理论中的核心科学问题之一，关乎于理解俯冲系统的形成机制与早期演化历史。然而，目前关于俯冲起始阶段弧前地幔组成及与熔体相互作用的认识仍非常有限。伊豆-小笠原-马里亚纳（Izu-Bonin-Mariana, IBM）作为典型的洋内俯冲带，为探究俯冲起始机制提供了天然实验室。尽管前人对 IBM 北段（Izu-Bonin 与马里亚纳中段）进行了广泛研究，但其俯冲早期记录遭到了后期弧后扩张和板块后撤等多阶段构造—岩浆事件的改造。相比之下，IBM 南段的西南马里亚纳海沟（Southwest Mariana Trench, SWMT）由于其较浅的俯冲深度、缺乏成熟弧火山体系等特征，具有保存俯冲起始记录的潜力。本研究选取西南马里亚纳海沟弧前橄榄岩样品，系统开展了岩石学、矿物学、全岩

主微量元素分析。研究显示，相比于 IBM 北段弧前弧橄榄岩，SWMT 弧前橄榄岩具有显著的高 SiO_2 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ 含量和较低的 MgO 、 Ni 含量和高于一个数量级 REE 总量，并可划分为高 Cr# 与低 Cr# 两个组别，分别代表与高 Si 玻安岩熔体及埃达克质熔体发生熔体-岩石反应的地幔残留体。高 Cr# 组样品的铬铁矿显示出与玻安质熔体强烈反应的特征（Cr# 达 0.86， $\text{TiO}_2 < 0.25 \text{ wt.}\%$ ），并包含具有显著 Sr 正异常的角闪石包裹体，进一步反映了玻安质熔体与弧前地幔的相互作用。低 Cr# 组样品中单斜辉石表现出具有与埃达克质熔体相似的稀土元素配分模式（如高 Sr/Y、低 Y 和 HREE 含量），揭示了板片流体/熔体对地幔的交代作用。SWMT 弧前橄榄岩清晰记录了多种俯冲早期熔体与橄榄岩的反应过程，反映出该区域在俯冲初始阶段复杂的熔体活动。此外，SWMT 与 IBM 北在橄榄岩地球化学、熔体类型及熔体-岩石反应机制上的显著差异，揭示了同一俯冲带不同位置之间可能存在不同的演化阶段与动力学背景。该研究系统揭示 SWMT 弧前橄榄岩的地球化学特征及其对俯冲起始过程的指示意义，主要取得三方面突破：1) 建立能够识别俯冲初始阶段熔体-地幔相互作用的地球化学判别指标；2) 发现初始俯冲系统残留地幔具有“低亏损”特征，挑战传统的“高度亏损”模型；3) 提出 IBM 俯冲带南-北差异演化新机制。研究成果不仅为完善 IBM 俯冲带时空演化框架提供关键制约，更为解析俯冲带起始机制提供了新的研究视角。

S20-O-10

利用勒夫波、瑞利波和高阶 瑞利波共同约束马里亚纳海 沟附近的地幔蛇纹石化

李宗珊^{1,2*}，Douglas A. Wiens¹，杨挺^{2,3,4}

¹ 圣路易斯华盛顿大学，地球、环境与行星科学系

² 南方科技大学，海洋科学与工程系

3 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
4 上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站
* lizs@mail.sustech.edu.cn

马利亚纳俯冲带具有最古老之一的俯冲板块、广泛发育的外缘隆起断层以及多个位于弧前的大型蛇纹岩海山，因而长期被认为是一个富水系统。先前的工作通过布设的 20 台宽频带海底地震仪（OBS）和 16 个岛基台站的数据记录，利用提取到的基阶瑞利波分析了马利亚纳海沟中段的地壳和上地幔结构（Cai et al., 2018）。该研究发现，俯冲板块地幔顶部的低速异常延伸至莫霍面以下 24 km，表明俯冲板块发生了大规模的蛇纹石化，并揭示俯冲板片带入地球深部的结合水总量远超早期估计。然而，基阶瑞利波受海水深度变化影响强烈，使其对海洋地壳及最上层地幔的分辨能力有限。与之相反，勒夫波对水层完全不敏感，高阶瑞利波对水深的敏感度亦较低，因而这两类数据可以为浅部结构约束提供关键补充。

本研究通过基阶瑞利波和短周期基阶勒夫波、高一阶瑞利波的联合反演，构建更精确的马利亚纳海沟附近的地壳和上地幔横波速度结构，从而减少海沟输入水量估计的不确定性。利用三分量背景噪声互相关，成功提取了 6-14 s 的基阶勒夫波频散曲线和 6-9 s 的高一阶瑞利波频散曲线，二者皆主要对海底以下 30 km 深度范围内的结构敏感。使用基于贝叶斯-蒙特卡洛算法的基阶瑞利波、基阶勒夫波及高一阶瑞利波联合反演技术，我们构建出一个新的三维横波速度模型。新的 V_s 模型与之前的 V_{sv} 模型（Cai et al., 2018）具有一定相似性，但显著提升了地壳和最上层地幔结构的分辨率，从而改进了解释尤其是对俯冲带水通量的估计。结果显示，弧前外侧下方的横波低速异常更集中于板块界面上下，而非像之前模型中那样广泛分布于上覆板片莫霍面下方。根据新模型估计的俯冲板块地幔蛇纹石化程度，与同一区域来自主动源 V_p 模型的估计更为接近，验证了新模型的可靠性。此外，之前模型中远离海沟

的进入板块上地幔低速异常被一个典型的大洋地幔结构替代，这表明进入板块的蛇纹石化起始于距海沟不足 100 km 处，与外缘隆起断层的空间分布更加一致。

S20-O-11

中国南海碳酸盐化硅酸盐熔体的液态不混溶作用：碱性硅酸岩—火成碳酸岩成因联系

程浩^{1,2}，张国良^{1*}

1 中山大学，海洋科学学院

2 中国科学院海洋研究所

* zhanggliang5@mail.sysu.edu.cn

碳酸盐化硅酸盐熔体作为深部碳循环与岩浆演化的重要载体，其成因及液态不混溶机制是理解碱性硅酸岩与火成碳酸岩成因联系的核心（Schmidt and Weidendorfer, 2024）。中国南海独特的地质背景（如地幔源区高度富碳特征；Zhang et al., 2017）为研究此类熔体的形成与分异提供了天然实验室。然而，目前对天然碳酸盐化硅酸盐熔体的液态不混溶过程及其元素分配规律仍缺乏系统性观测证据，制约了对其成岩贡献的深入解析。本文以中国南海海山为研究对象，系统分析了全岩数据及熔体相原位数据。研究结果发现，该区天然熔体存在两种程度的液态不混溶：Group 1 表现为高度富碱硅铝相熔体与贫硅磷钙相熔体的分离；以及 Group 2 的中度富碱硅酸盐熔体与贫碱磷钙相熔体的分离。淬火的两相熔体中多密布气孔，可能与熔体发生不混溶时以 CO_2 为主的混发分等逸出有关，使得分离出来的碳酸盐熔体演化为本文观察到的贫碱含硅的磷钙相熔体。样品主量元素分析均显示：Na、K、Si、Al 优先富集于硅酸盐相，Ca、P 富集于磷钙相熔体，Fe、Mg、Mn、Ti 则无明显分配偏好。Group 2 中微量元素呈现与实验岩石学分配

系数一致的规律性分异 (Martin et al., 2013; 如 Nb、Ta 等高场强元素在碳酸盐相的亏损), 而少量样品未表现显著分配倾向 (除 Ba, U, Pb, Sr 外), 这可能与物理化学条件 (如熔体成分、温度和压力等) 对分配行为的控制差异有关。结合地球深部碳迁移背景, 本文认为不混溶作用导致碳酸盐化硅酸盐母熔体分异为富硅酸盐和富磷钙质端元, 分别演化为碱性硅酸岩与火成碳酸岩的母体熔体。这一发现为深部碳循环机制提供了关键证据: 地幔碳酸盐化源区的部分熔融可形成初始碳酸盐化硅酸盐熔体, 其后续不混溶过程解释了碱性硅酸岩和火成碳酸岩的成因联系。南海海山链的天然样品不仅验证了实验岩石学的理论模型, 更为深部碳迁移、岩浆演化及碳酸岩成岩机制提供了直接的自然观测依据, 对理解地幔-岩石圈相互作用及全球碳循环具有重要意义 (Yaxley et al., 2022)。

S20-O-12

南大西洋沃尔维斯海岭中央 海山链的成因: 来自 IODP391 航次 U1578 钻孔矿 物地球化学的制约

朱恒睿¹, 吴涛^{1,2*}, 李春峰¹, 鲁江姑³,
杨明²

¹ 浙江大学, 海洋学院

² 浙江大学, 海南研究院

³ 自然资源部第二海洋研究所

* taowu@zju.edu.cn

非洲板块上的沃尔维斯海岭火山链是地球海底最长的线性地貌之一, 然而其岩浆活动的成因至今仍存在争议。为深入理解该火山链的形成机制、演化历史及地球化学特征, 国际大洋发现计划第 391 航次和第 397T 航次在该火山链上完成了六个钻孔的采样 (U1575~U1578、U1584 和

U1585)。前人研究发现沃尔维斯海岭在 70Ma 时分叉形成三条不同的海山链并延续至今, 但对于中央海山链的成因并不了解, 而 U1578 钻孔位于中央轨迹, 因此可以帮助我们理解中央海山链的成因。

本研究对 U1578 钻孔玄武岩中的矿物原位主量与微量元素组成及斜长石的原位 Sr 同位素进行了综合分析。橄榄石-尖晶石铝交换温度计表明最高结晶温度为 1418 ± 31 °C, 显著高于典型洋中脊玄武岩 (MORB) 约 225 °C, 指示该区域岩浆源区存在明显的热异常。基于单斜辉石的地球化学组成和晶体结构特征, 可识别出三组具代表性的单斜辉石群体: 第一组具有较高的 Mg# (84 ~ 88)、Ni 含量 (>200 ppm) 和 Cr 含量 (>5000 ppm); 第二组为中等 Mg# (77 ~ 84)、Ni (100 ~ 200 ppm) 与 Cr (1000 ~ 5000 ppm); 第三组则表现出较低的 Mg# (<77)、Ni (<70 ppm) 和 Cr (<30 ppm)。结合单斜辉石温度压力计, 本文提出了两个代表性的岩浆环境 (MEs), 以揭示其岩浆通道系统的演化过程: ME1 为深部 (约 15 km)、高温 (~1160 °C) 的原始岩浆储库, 对应于第一组和第二组单斜辉石的结晶环境; ME2 则为浅部 (7~10 km)、低温 (<1140 °C)、演化程度较高的岩浆储库, 为第三组单斜辉石的结晶环境。此外, 岩浆通道系统中存在多期次岩浆补给与混合作用, 导致矿物表现出多样性的成分环带特征 (如正环带、反环带、扇形环带和振荡环带)。斜长石的 Sr 同位素组成在空间上呈现高度的不均一性 ($0.7038 \pm 0.0001 \sim 0.7046 \pm 0.0001$), 整体接近特里斯坦型幔端端元的特征。U1578 钻孔自下至上的玄武岩单元中斜长石的 Sr 同位素由相对亏损向放射性富集方向变化, 表明地幔源区中放射性富集物质的参与比例增加, 可能源于高夫型地幔端元组分的加入。综上, 南大西洋沃尔维斯海岭的中央轨迹来源于一个异常高温且地球化学成分富集的地幔源区, 并经历了复杂的深部岩浆过程, 这些特征与地幔柱或热点活动高度契合。

S20-P-1S

马利亚纳“挑战者”深渊内坡堆晶岩的岩石学地球化学特征及成因

沈晨曦¹, 田丽艳^{1*}, 董彦辉²

¹ 中国科学院深海科学与工程研究所

² 自然资源部第二海洋研究所

* lytian@idsse.ac.cn

马利亚纳海沟是西太平洋板块边缘沟-弧-盆体系构造演化的关键区域, 位于其南端的“挑战者”深渊是地球表面最深点。堆晶岩是岛弧地壳剖面下部的重要组成部分, 但目前针对“挑战者”深渊内坡堆晶岩的研究目极少。本研究对“奋斗者”号载人潜水器在深渊内坡采集的 4 件堆晶岩样品, 开展了详细的岩石学、全岩及矿物地球化学研究。研究表明, 堆晶岩为橄榄辉长岩和辉长岩, 以富 MgO、贫 FeO 为特征, 是岩浆早期堆晶的产物; 且其具有轻稀土元素 (LREE) 亏损的特征, 表现出高场强元素 (HFSE) 负异常和 Eu、Sr 正异常。具体来说, 单斜辉石具有极高的 Mg# (80-92)、较高的 Al₂O₃ 以及低 Na₂O 和 TiO₂ 含量, 显示出 LREE 亏损以及具有 Sr 和 HFSE 负异常; 斜长石具有较高的 An 值 (71-91), 以上特征都显著区别于岛弧和弧后盆地的堆晶岩。此外, 斜方辉石在本研究样品中缺失, 表明堆晶岩的母岩浆不是玻安质成分。根据单斜辉石计算的橄榄辉长岩平衡熔体与弧前玄武岩 (FAB) 具有相似的稀土配分模式, 但更加亏损 LREE; 计算得出的辉长岩平衡熔体则呈现出 La、Ce、Pr 等元素轻微富集的特征。因此, 我们认为“挑战者”深渊内坡堆晶岩来自于弧前环境, 其母岩浆与 FAB 类似, 但来自更加亏损的源区, 且受到俯冲流体的改造。

S20-P-2S

雅浦海沟橄榄岩的地球化学特征对俯冲过程的制约与岛弧蛇纹岩区域对比

王茵^{1,2}, 张国良^{1*}

¹ 中山大学, 海洋科学学院

² 中国科学院海洋研究所

* zhanggliang5@mail.sysu.edu.cn

俯冲带是维持板块运动的重要引擎, 在物质循环、能量交换等方面具有重要作用。西太平洋分布着大量的岛弧系统, 雅浦岛弧位于西太平洋马利亚纳弧系的南部, 被认为是早期或不成熟岛弧 (Kim et al., 2009)。本研究通过系统分析雅浦海沟橄榄岩的主量元素和微量元素组成, 结合雅浦岛弧区域的对比研究, 揭示了该岛弧系统的地幔演化过程。样品总体呈现高 MgO/SiO₂ (0.94-1.07) 和低 Al₂O₃/SiO₂ (0.01-0.02) 的亏损特征, 部分样品呈现低的 MgO/SiO₂ 比值并发现有滑石组合, 指示其经历了富 SiO₂ 流体交代作用。样品尖晶石的 Cr#(Cr/(Cr+Al)) 显著高于深海橄榄岩, 部分样品可达 0.8, 符合岛弧橄榄岩典型特征。通过角闪石地质温压计计算获得橄榄岩变质条件为 T<620°C、P<6.06 kbar, 表明其形成与高温板片衍生流体的蛇纹石化作用相关。稀土元素地球化学特征显示, 研究样品呈现 U 型稀土配分模式, 指示其经历了流体-岩石相互作用过程。部分样品微量元素含量较高, 可能与富集型流体进行交代有关。区域对比研究表明, 除雅浦岛弧最北部部分样品 (Cr#<0.6) 显示岩石圈橄榄岩特征外 (Yao et al., 2023), 而大部分表现为典型岛弧成因属性 (Ohara et al., 2002b, Chen et al., 2018)。

S21-O-1

超热地核的起源及其对宜居性的影响

周游^{1*}

¹ 成都理工大学, 地球与行星科学学院

* youzhou.sim@gmail.com

地球在形成过程中的吸积热, 尤其是由巨大碰撞引发的加热过程, 对其后续的热演化和化学演化具有关键影响。尽管已有研究认识到撞击可能导致地核加热, 但其具体加热幅度及热量在地核内部的空间分布仍缺乏明确约束。这种不确定性部分源于: 地球形成后内部温度难以重建, 因为高能环境下的温度记录难以在地质体系中中长期保留; 此外, 传统观点认为, 形成早期产生的超高温状态会通过岩浆洋的迅速冷却而快速散失。在本研究中, 我们采用平滑粒子流体力学 (SPH) 方法, 系统探索了不同撞击角度、速度与质量条件下的巨大撞击对地核加热的影响。基于模拟结果, 我们建立了一个依赖撞击参数的地核加热尺度关系, 并据此推导出撞击后地核的径向温度剖面。我们的结果表明: (1) 大碰撞事件可以给地核造成显著的加热, 形成超热地核。在经典 (canonical) 撞击情景下, 地核平均温度升高约 3000 K, 较上覆地幔高出约 500 K。(2) 热量可以在地核内部形成显著的热分布不均匀性, 造成地核外侧产生一个高温的热分层。(3) 超热地核的冷却控制了地磁场的启动, 进一步结合参数化冷却模型, 我们估算地核将在撞击后约 2.9 亿年内地核冷却至接近绝热状态, 该时间尺度与月球形成时间和地磁场启动的地质证据所指示的时间跨度相一致。

S21-O-2

地球大龟裂——地球演化的热力学原理

唐春安^{1,2*}

¹ 大连理工大学, 海岸与海洋工程全国重点实验室

² 深圳零一学院, 深地科技研究中心

* tca@mail.neu.edu.cn

地球演化历史上曾多次出现过冷-热交替现象。与此同时, 地质活动的静止期与活跃期也循环出现。尽管板块构造理论已经发展了半个多世纪, 但对地球冷-热周期波动与地质活动之间的关系, 却一直没有很好的解释。本报告介绍了一种新的地球演化热力学模型。该模型以地球内部热能为地球演化的主要源动力, 以地幔介质相变 (包括固-液或液-固相互转换) 的热效应为冷-热周期诱发模式, 以热膨胀和扩容诱发的内力为地球活动的主要营力, 以热能耗散过程存在的均变和灾变两种模式。基于热力学第一定律, 建立了地球演化过程的热平衡方程, 推演了地球演化过程中的温度波动周期规律, 模拟了岩石圈在热膨胀力驱动下的裂解过程, 发现了板块起源的龟裂模式, 探索了岩石圈破裂与聚合导致地球周期性冷-热波动的基本规律, 并揭示了这种冷-热周期波动与重大地质事件的内在联系。

报告分四部分层层递进: 第一部分“地球龟裂”从岩浆海冷却形成完整岩石圈切入, 诠释了克拉通形成的龟裂机制及其板块起源的“锅盖效应”模式; 第二部分“地球演化”以数学语言揭示地球演化与地热衰减的隐秘关联, 提出了生物进化与灭绝实为地球演化过程冷-热波动的副产物; 第三部分“地球事件”打破学科壁垒, 将大火山岩省、红层沉积、雪球事件等地质现象统一于热力学框架之中, 指出二叠纪生物灭绝等灾难的本质是岩石圈“热失控”引发的链式反应; 第四篇“地球简史”以能量守恒为主线, 浓缩了地球从冥古宙到人类世的演化全景, 警示全球变暖是自然热脉冲与人类活动的叠加共振。

S21-O-3

超大陆构造驱动的火山磷脉冲与地球生态系统协同演化

汤艳杰^{1*}, 马超², 英基丰²

1 长江大学, 资源与环境学院

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* yjtang@yangtzeu.edu.cn

显生宙地球系统的长期演化受深部构造活动与表层生物地球化学过程的协同调控。本研究系统整合显生宙火山岩地球化学大数据与古环境记录, 揭示超大陆旋回通过调节火山磷脉冲, 驱动全球磷循环与生态系统演化的跨圈层作用机制, 这种跨圈层作用塑造了地球的古环境格局, 也为理解现代地球系统提供了历史视角。

板块构造与磷循环的深层联系: 自太古宙以来, 地球的冷却导致岩浆熔融程度下降, 促使火成岩磷浓度上升, 反映了地球内部热力学状态对表层元素循环的深远影响。超大陆聚合期(罗迪尼亚、泛大陆阶段)通过板块俯冲将富磷物质输入地幔, 形成火山活动的磷脉冲事件。这种深部物质循环机制是理解地球系统长期演化的关键。同位素证据与锆石年龄谱显示, 约 21 亿年前全球板块构造启动导致火成岩磷浓度呈现两阶段演化: 前板块阶段磷波动平缓, 后板块阶段因俯冲带冷物质循环引发剧烈震荡。这一转折标志着地球系统从“构造主导”向“构造-生物协同”模式的转变。

氧化事件与磷循环的反馈调节: 氧化事件通过增强边缘海相沉积磷埋藏与减少俯冲带远端沉积磷通量, 形成对后续火山岩磷浓度的负反馈调节。这一过程在次级氧化事件中同样显现, 表明氧化事件与磷循环之间存在着复杂的反馈机制。这种调节机制不仅影响了古海洋的化学组成, 还对全球气候和生物多样性产生了影响。通过调节磷的生物可利用性, 氧化事件在地球系统演化中扮演了关键角色。

关键地质时期的磷-生物协同演化: 奥陶纪与石炭纪火山磷有效性峰值与陆地植物关键演化节点存在时空耦合关系: 奥陶纪火山磷有效性峰值对应非维管植物登陆事件; 石炭纪火山磷有效性峰值对应维管

植物辐射与裸子植物起源事件。火山岩风化释放的溶解磷通量峰值通过支持植物全基因组复制事件, 推动了生物量的跃升。这一过程不仅促进了陆地生态系统的扩张, 还对全球碳循环产生了重要影响。

火山-生物协同作用的气候效应: 植物扩张使硅酸盐风化速率提升, 导致大气 CO₂ 浓度下降, 触发了晚古生代冰期。火山-生物协同作用形成双向反馈: 板块俯冲带持续提供富磷岩浆, 而植物驱动的风化作用通过增强碳-磷耦合循环, 重塑了全球气候状态。这种协同作用不仅反映了地球系统的复杂性, 还突出了跨圈层相互作用在气候调节中的关键作用。

主要认识: 超大陆构造控制了全球磷循环格局, 火山磷脉冲是显生宙陆地植物辐射与冰期事件的共同触发因素; 板块构造启动标志着地球系统从“构造主导”向“构造-生物协同”演化模式的转变。

S21-O-4

氮、氟与水在地球深部循环过程的实验研究

杨燕^{1*}

1 浙江大学, 地球科学学院

* yanyang2005@zju.edu.cn

挥发分(例如水、碳、氮、卤素等)在地球内外之间的循环过程是认识其来源、分布、资源环境效应以及宜居行星演化的关键。地球深部不仅是水的储库, 也是氮和氟的重要储存。那么氮、氟与水在地球深部的循环过程怎样? 是否存在关联? 作为固体地球的基本组成单元, 矿物是挥发分在地球深部传递和赋存的主要载体。因此, 为了探究该问题, 我们以云母、长石、蛇纹石、磷灰石、橄榄石等矿物为研究对象, 实验探究了高温高压下氮和氟的稳定性、分配行为及其对脱水过程的影响, 取得以下发现: (1) 氮以铵的形式存在多硅白云母层间和长石的空隙中, 长石中的铵

比多硅白云母中的铵具有较强的热稳定性。长石的脱铵速率与脱氢相近，而多硅白云母的脱铵速率高于脱水速率，并促进脱水。在高温高压下，铵与晶格中的氧形成氢键，提高多硅白云母和长石的晶格稳定性。这些发现从矿物晶格的层面表明铵的存在能够使云母和长石把水和氮携带至地球内部更深处；（2）氮的循环效率依赖于板片俯冲过程中氮的分配行为。含氮体系下，多硅白云母的稳定域提高 1-3 GPa。10 GPa 和 800 °C 时，多硅白云母和流体之间氮的分配系数为 0.031。随着压强升高，多硅白云母转化为钾锰钡矿（K-hollandite），氮在 K-hollandite 与流体之间的分配系数约为 0.008-0.064，据此估计最多 20% 的沉积物氮被钾锰钡矿带入深部地幔；（3）氟通过阻碍 OH 和晶格在高温下的弱化而提高金云母的热稳定性；磷灰石中的氟不仅比水稳定，而且能够提高氟和水的稳定性；氟促进橄榄石中硅空位水的进入，并且提高硅空位水的稳定性。这些工作表明，含氟的金云母、磷灰石和橄榄石具有较强的保存水的能力；（4）含氟蛇纹石分解之后，硅镁石族矿物是深部地幔重要的储氟载体；在 2-8 GPa 范围内，氟在硅镁石族矿物和流体之间的分配系数为 3-25。据此估算 8 GPa 时，硅镁石族矿物能够继承蛇纹石中 93% 的氟。含氟硅镁石族矿物能够至少稳定至地幔转换带，从而使得蛇纹石中的氟能够被高效地传递至深部地幔。

S21-O-5

内核的结构与运动和地磁场变化的关联性

杨翼^{1*}

1 南京大学，地球科学与工程学院
* yiy@nju.edu.cn

地球的固态内核从液态外核中缓慢结晶而成，其结构和动力学演化不仅反映了地球深部演化史的关键过程，也与地磁场

的演化密切相关。内核的径向结构，特别是间断面类型的层状结构，不仅揭示了内核结晶过程的非均一性，还可能记录了与地磁场变化相关的深部动力学阶段转折点。现有地震学研究已表明，内核内部可能存在多个间断面，包括“最内核”（半径约 300 公里）、“内内核”（半径约 600 公里）以及位于内核浅部的“过渡面”（距内核边界下方约 200 公里）。结合近年来对内核年龄较年轻（约 5.6 亿年）的认识，这些间断面所对应的形成时期，与寒武纪以来的三次超静磁期之间表现出显著的对应关系，亟待进一步探讨其物理性质及其与超静磁期之间可能存在的深层耦合机制。另一方面，内核的另一个关键特征是其可观测到的差速旋转。最新研究显示，内核在近几十年内的差速运动并非匀速，而是呈现出约 60–70 年的振荡周期。这种周期信号不仅在偶极子磁场的强度变化中被观测到，以及其他多个地球物理参数（地球自转周期变化甚至是全球的平均气温和海平面变化）中均有观测，且它们的相位具有一定的一致性，这意味着地球从地心到地表形成了一个跨圈层的耦合共振系统。因此，内核的生长（结构）与运动可能对地磁场的不同时间尺度的变化产生调制作用，是理解地球圈层耦合与宜居性的深部驱动机制的重要科学问题。

S21-O-6

深渊俯冲系统碳循环过程与挑战

赵明辉^{1,3*}，田丽艳²，贺恩远¹，关慧心¹，刘在荣²，程锦辉¹

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室
2 中国科学院深海科学与工程研究所
3 中国科学院大学
* mhzhao@scsio.ac.cn

多圈层碳循环涉及大气圈、水圈和岩石圈之间的碳转移，在控制地球气候宜居性方面发挥着至关重要的作用。21 世纪初，科学界就认识到地球内部（地幔/地核）可能是巨大的碳库，地球上 90% 以上的碳可能储藏在地球深部（Dasgupta & Hirschmann, 2010）。碳可以通过多种方式和途径实现能量物质循环，而俯冲过程和岩浆作用是地表系统和地球内部之间碳循环的主要途径。俯冲带深部碳循环是碳元素在地球圈层间迁移的“传送带”，俯冲带的任何“风吹草动”足以影响表层系统，控制地球的地幔物质组成，影响大气中 CO₂ 的浓度，是全球气候变化、驱动地球演化与生命环境协同发展的核心调控器，在塑造宜居地球过程中极为关键（Duncan et al., 2017; 朱日祥等, 2021; 徐义刚等, 2024; 沈树忠等, 2024）。

马里亚纳南端“挑战者深渊”是洋-洋俯冲和冷俯冲带的典型代表，是全球最深的俯冲带（平均水深大于 6000 m，最大深度 10909 m，号称地球第四极），具有俯冲板片年龄老（125 Ma）、高角度俯冲、板片弱耦合、强拉张等特征；且上覆板片发育多期次的岩浆活动（Ribeiro et al., 2013; Tian et al., 2019; Stern et al., 2020）。这些独特的地质背景使其成为研究俯冲碳循环的极佳窗口，是极端环境碳行为研究取得重大突破的关键靶区，是全球深部碳循环极为重要的组成部分。然而，受限于深海探测技术与采样技术的限制，“挑战者深渊”俯冲系统中，关于深渊俯冲板片碳输入规模目前尚缺乏完整认识，深渊俯冲碳循环过程的系统研究仍未开展。“挑战者深渊”系统是俯冲带的端元案例，为中国科学家团队在国际地球科学领域取得领先优势和重大突破提供了机遇和舞台。未来拟开展多学科联合攻关：（1）如何准确估算水深大于 6000 m 的俯冲板片的碳输入规模？（2）如何示踪碳循环路径与过程？（3）计算模拟俯冲碳输入的归宿及脱碳机理如何？从而建立多学科数据相互约束的、完

整的碳循环过程地质模型，服务于地球宜居性这一世界前沿科学问题。

S21-O-7

地球最大火山是怎样形成的？ 大塔穆火山十年研究进展回顾

张锦昌^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* jzhang@scsio.ac.cn

地球内部如何运行？一直是前沿的科学问题，火山作为地球内部物质输送到地球表面的通道，是解决这个问题的一把金钥匙。地球上有成千上万座火山，规模最大的称为大火成岩省，海洋里的大火成岩省就是洋底高原。关于洋底高原的成因机制存在着争议，学者们主要提出两个成因模型，一个是地幔柱模型，另外一个板块模型。研究聚焦西北太平洋的沙茨基海隆，它是排名全球第三大的洋底高原，区内的大塔穆火山是地球上最大的单体火山。大塔穆火山的地形、地壳结构支持地幔柱成因，然而其地磁测量、大洋钻探结果却和洋中脊特征一致。最新的数值模拟结果揭示地幔柱与洋中脊相互作用才是大塔穆火山形成的主控机制。通过对比其他类似海底构造发现洋底高原与洋中脊有密切关系，地幔柱与洋中脊相互作用是不是全球洋底高原形成的必要条件？这个是未来研究要解决的重要科学问题。

S21-O-8

洋脊—地幔柱相互作用的氮 同位素记录

郭鹏远^{1*}

1 中国科学院海洋研究所

Easter-Salas y Gomez 海山链是由 Easter 地幔柱产生的。前人报道过邻近的东太平洋隆起存在高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ (11.7 Ra) 的熔岩, 但截止到目前并未有 Easter 海山链 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 数据的报道。我们对 Easter 海山玄武岩玻璃进行了系统的 He 同位素分析测试。研究结果显示, Easter 海山链 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 峰值 (18-19 Ra) 在 Easter 岛周围的海山 (110°W), 与根据不相容元素和放射性同位素推断的地幔柱中心 (106°W) 偏移了 300-400 km。由于靠近地幔柱中心 (具有厚的岩石圈) 的熔体表现出类似 MORB 的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值, 而高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 熔岩喷发在岩石圈较薄的近洋脊区域, 因此我们推测高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 组分比低 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 组分具有更高的固相线, 其成分更亏损, 物理上更难熔。由于洋脊-地幔柱相互作用, 地幔柱物质会向洋脊之下流动从而发生减压熔融。随着减压熔融的进行, 富集的组分逐渐被熔融、抽离, 而越来越多亏损且难熔的组分参与到熔融过程, 最终产生了空间上从地幔柱到洋脊逐渐降低的 [La/Sm]_N、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 逐渐升高的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 的岩浆。因此, 我们认为 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 峰值在空间上与地幔柱中心解耦恰恰反映了洋脊-地幔柱相互作用过程。类似的例子还包括冰岛地幔柱与 Reykjanes 洋脊相互作用, Amsterdam-St. Paul 地幔柱与东南印度脊的相互作用。

S21-O-9

Kerguelen 地幔柱的活动历史、地球动力学过程及其环境效应

江强^{1*}, Fred Jourdan², Hugo Olierook², Renaud Merle³

¹ 中国石油大学 (北京), 地球科学学院

² 澳大利亚科廷大学, 地球与行星科学学院

³ 瑞典乌普萨拉大学, 地球科学系

中生代以来印度洋开启过程中 Kerguelen 地幔柱的活动形成了 Kerguelen 洋底高原这一次南极 (Subantarctica) 地区规模最大的洋底高原以及东经九十度海岭这一地球上长度最长的线性火山海岭。本研究针对 Kerguelen 洋底高原和东经九十度海岭的玄武岩开展了系统的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年工作, 获取了一批高质量、高精度的年龄数据。新的数据表明, (1) Kerguelen 洋底高原白垩纪期间的高速喷发活动持续了三十多个百万年, 结合板块重建和地球化学方面的约束将其归因于 Kerguelen 地幔柱与洋中脊之间长时间的相互作用; (2) 东经九十度海岭的年龄数据从北向南逐渐年轻, 火山迁徙速率从南到北发生过 4 个阶段的变化, 通过比较火山迁徙速率与板块漂移速率, 探讨了在此期间 Kerguelen 地幔柱的运动历史; (3) Kerguelen 洋底高原的火山喷发与早白垩世的大洋缺氧事件发生时间一致, 结合包裹体中 CO_2 含量的测试和 Monte Carlo 模拟的结果, 探讨了 Kerguelen 洋底高原与大洋缺氧事件之间的因果关系。

S21-O-10

Ontong Java 火山岩地球化学分析揭示热化学地幔柱作用过程

陈双双^{1*}

¹ 中山大学, 地球科学与工程学院

* chenshsh29@mail.sysu.edu.cn

西太平洋翁通爪哇高原 (OJP) 是地球上规模最大的海底高原。尽管已有多种成因模型被提出, 但这一巨型火山构造的起源仍存在争议。主流假说包括热地幔柱、板块边界活动或陨石撞击成因。首先, 热地幔柱假说认为, 大型海底高原由高温低密度的地幔柱头部喷发形成, 类似大陆溢

流玄武岩的形成机制。然而，OJP 有限的隆升与沉降特征与纯热力学地幔柱模型的预测存在矛盾。其次，板块边界假说主张，在板块分离过程中，正常地幔温度下极度富集的岩石圈上地幔发生减压熔融，导致巨量岩浆快速侵位。但 OJP 钻探基底的同位素年龄与其周边磁异常条带年龄并不吻合，表明该高原形成于板内环境，而非洋中脊邻近区域。最后，陨石撞击假说因缺乏地质证据支持其外源成因，且无法解释海底环境中大规模岩浆活动及部分地球化学观测结果，目前鲜少被学界接受。综上，现有单一模型均无法全面解释 OJP 的所有地质特征。

我们对 OJP 区域 Site1183、Site1185、Site1186、Site1187 玄武岩进行全岩 Sr-Nd-Pb 同位素测试分析、对 OJP 拉斑玄武岩的单斜辉石和斜长石进行原位微区成分分析，发现 OJP 玄武岩地壳厚度和地球化学组成（ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 、Zn/Mn、FC3MS、Sm、Yb、Zr 和 Sm/Th）的空间变化，从地壳厚度较厚（顶部）到地壳厚度较薄（侧翼）的地球化学变化趋势较为明显。此外结合成熟的热力学模型（REEBOX PRO），定量模拟了海底扩张与地幔柱两种场景下产生 OJP 大规模岩浆活动与熔岩化学成分所需的地幔条件，并基于最优热化学地幔柱模型重新计算高原隆升幅度。热化学地幔柱引发的隆升重新评估结果与 OJP 海底侵位特征相符，而纯热地幔柱模型预测的隆升幅度则显著偏高。

S21-O-11

构建 SS 数据集的深度神经网络：精确定位深地幔中的冰岛地幔柱

尚正涛^{1,2}，杨挺^{1,2,3*}

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 鹏城实验室

3 上海余山地球物理国家野外科学观测研究站

SS 前驱波在探测上地幔不连续面的起伏与热结构方面具有关键意义，而构建高质量的 SS 数据集则是开展相关分析的基础。然而，目前该过程仍高度依赖人工操作，缺乏高效、可靠的自动化算法。尽管深度学习技术已在 P 波和 S 波分析中取得显著成果，其在 SS 震相系统化选择方面的应用仍较为有限。

我们提出了一种名为 PhaseSelectNet（PSNet）的深度神经网络架构，该架构包含 Time-Net 和 Polarity-Net 两个子网络，旨在实现 SS 数据集的高效和高质量构建。Polarity-Net 是首个面向 SS 震相极性识别设计的深度学习模型，显著改善了因极性误判导致的波形叠加误差，提升了叠加结果的稳定性与可靠性。Time-Net 与 Polarity-Net 均基于包含高质量与低质量 SS 波形的全球地震记录进行训练。测试结果表明，这两个子网络不仅具备识别高质量 SS 地震记录的能力，还能分别提供精确的 SS 到时和极性信息。

我们将 PSNet 应用于冰岛及周缘地区，揭示冰岛地幔柱与大西洋中脊的相互作用机制。PSNet 构建的高质量 SS 数据集共包含 11830 条地震记录，SS 反射点在研究区域分布较均匀，突破了传统方法受限于台站分布的局限性，如接收函数等。成像结果发现冰岛东南部为地幔转换带（MTZ）厚度最薄的位置，表明该区域可能是冰岛地幔柱在 MTZ 深度附近的上涌中心。

这一发现为理解冰岛地区的构造演化提供了新的视角。过去约 24 百万年以来，冰岛裂谷系统呈现出持续向东南方向迁移的趋势，并且北大西洋中脊在该区域也出现明显的弯曲。我们推测，该构造演化过程源于来自冰岛东南部的高温岩浆物质沿岩石圈底部持续上涌，进而削弱了岩石圈的热力学强度。这一过程促使新的破裂带更易在现有裂谷的东南侧发育，并驱动裂谷轴随时间向东南方向迁移。

S21-O-12

地幔柱—岩石圈相互作用问题中二维与三维数值模拟的对比与分析

张瑞敏¹, 李忠海^{1*}, 付荟颖¹, 冷伟², 史亚男³, Jason P. Morgan³

¹ 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

² 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

³ 南方科技大学, 海洋科学与工程系

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

地幔柱是联结地球深部与表层构造板块的重要地球动力学现象。数值模拟是研究地幔柱及其与上覆岩石圈相互作用的关键手段。尽管三维模型在捕捉地幔柱几何特征方面具有优势,但在处理具有复杂流变的地质过程时,二维模型因其高效的计算性能,尤其在大规模和高分辨率模拟中,更具实际应用价值。因此,二维与三维模型在前人研究中均被广泛采用。然而,由于几何维度的差异,在相同参数条件下,两者可能产生不同的模拟结果,因此有必要建立合理的二维与三维模型之间的尺度转换关系。本研究在两种不同的地幔柱演化情景下,对二维(I2VIS)与三维(I3VIS)模型进行系统对比。在仅存在柱头的情景中,为使二维模型逼近三维结果,需将地幔柱直径缩小至三维模型的65%–100%,温度降低0–60 K;而在柱头连接连续柱尾的情景中,二维模型需显著减小柱尾直径(至30%–45%),同时略微升高温度(增加20–100 K),方可接近三维模拟的结果。进一步的分析研究表明,这些差异主要源于二维与三维模型在地幔柱物质守恒形式上的不同:面积守恒(2D)与体积守恒(3D)。上述数值与理论分析建立了二维与三维地幔柱模型之间的定量对应关系,构建了三维地幔柱的二维等效模型,为已有研究的理解提供理论参考,也为今后的模拟工作提供了有益指导。

S21-P-1

从隆升到沉降:地幔热柱引发的岩石圈拆沉效应

史亚男^{1*}, Jason P. Morgan², 陈凌³

¹ 南方科技大学, 海洋高等研究院

² Institute of Marine Sciences (ICM), CSIC

³ 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* shiyn@sustech.edu.cn

Mantle plumes are commonly believed to generate uplift of their overlying lithosphere, while also impacting climate and life. However, sedimentary deposits show a component of subsidence during plume-lithosphere interaction, challenging traditional uplift-only models of plume-lithosphere interaction. We investigate whether plume-induced delamination can induce subsidence as well as uplift through computations of plume-lithosphere interaction. When a denser lithospheric keel can delaminate, initial plume ascent will induce ~2 km of uplift, followed by a more rapid ~2 km of subsidence over a few millions of years as the dense lithospheric keel delaminates. Delamination, distinct from back-arc extension and slab-induced flow, may explain observed subsidence patterns during continental flood basalt activity, such as those seen in the Columbia River Flood Basalt.

S21-P-2

大洋中脊—双热点相互作用:以东南印度洋脊—凯尔盖朗热点—阿姆斯特丹·圣保罗热点为例

罗怡鸣¹, 林间^{1,2*}, 周志远^{1*}, 张旭博², 张帆², 张锦昌², 陈瀚^{3,4}

1 南方科技大学, 海洋高等研究院
2 中国科学院南海海洋研究所
3 中山大学, 地球科学与工程学院
4 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
* linj@sustech.edu.cn
* zhouzy@sustech.edu.cn

本文研究了印度洋凯尔盖朗(K)和阿姆斯特丹·圣保罗(ASP)双热点对印度洋东部地幔演化和地壳增生的影响。利用三维地球动力学模拟平台 ASPECT, 结合全球板块重建模型约束, 详细展示了洋中脊-双热点系统地幔上涌、熔融及地壳增生的过程。模型结果表明, K 热点显著提升了超过 1500km 范围内的地幔温度, 导致整个东南印度洋中脊(SEIR)平均地壳厚度增加了 1-2km。通过模型对比, 发现只有洋中脊-双热点相互作用模型才能解释 SEIR 沿轴的关键地壳变化。重力分析显示, K 热点与附近洋中脊的长期相互作用形成了显著的地壳异常, 而 ASP 热点与 SEIR 约 10 Ma 的相互作用则产生了局部异常。洋中脊-热点距离以及地幔柱通量是控制相互作用强度的关键因素。K 热点因其相对较高的地幔柱通量, 对洋中脊的影响范围是 ASP 热点的两倍。此外, 模型还表明 K 热点与 ASP 热点可能存在直接相互作用, 导致 ASP 地幔柱物质向 K 地幔柱流动。

S21-P-3S

全球地幔对流模型制约下的夏威夷地幔柱的运动和化学双边分区

张杰¹, 胡佳顺^{1*}

1 南方科技大学, 地球与空间科学系
* hujs@sustech.edu.cn

北太平洋的夏威夷-帝王海山链存在一个显著的约 60° 弯曲, 即著名的夏威夷-帝王弯折(HEB)。针对其成因, 已有多种解释, 包括约 47 Ma 时太平洋板块运动方向的突然变化、弯折前夏威夷热点的快速

南移, 或两者的共同作用。最新地球动力学模型指出, 其中约 30–35° 的弯曲可归因于约 50 Ma 时太平洋板块因北太平洋洋内俯冲停止而发生的运动方向突变; 其余 25–30° 则被认为源自夏威夷热点的南向漂移。然而, 基于几何拟合和板块重建分析, 有研究表明仅有南向漂移不足以完全解释 HEB 的形成, 热点运动需要更强的西向分量才能更好地拟合海山链的几何形态。但地球动力学角度并未充分支持夏威夷热点存在显著西向漂移。

本研究通过结合几何分析与板块运动学约束, 明确指出要准确再现夏威夷-帝王海山链的空间形态, 必须引入明显的纵向(即经向)热点漂移。我们基于全球地幔对流模型的模拟结果进一步发现, 除了南向漂移外, 夏威夷热点还经历了约 6° 的西向漂移和约 2° 的东向漂移, 其中西向运动受控于东北太平洋洋内俯冲的拉动。尽管海山链的形成需要同时考虑南向与西向漂移, 但我们的分析显示西向运动对弯折角度的贡献可达 20°, 高于南向漂移的影响, 这一发现挑战了传统观点。结合地球动力学模型预测的约 47 Ma 太平洋板块运动方向突变, 我们的综合模型成功重现了夏威夷-帝王海山链的整体形态, 表明板块-地幔系统的重新定向是 HEB 最终形成的根本原因。该模型同时揭示夏威夷地幔柱导管呈西南倾斜, 有助于解决地震学研究中关于夏威夷地幔柱起源的长期争议。除了解释 HEB 的几何特征外, 我们的模型还成功再现了过去 800 万年中夏威夷海山链的地球化学演化过程: HEB 形成前, 地幔柱导管呈现出典型的同心分带模式; HEB 形成后, 演化为沿南北方向的双侧分带结构, 对应于现代的 Loa-Kea 地球化学趋势。进一步分析表明, 夏威夷地幔柱源自大型低波速省(LLSVP)边缘区域, 为理解深部地幔-地表过程耦合提供了新视角。

S21-P-4S

地幔柱与岩石圈相互作用下地形的演化

张钦越^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* 1260982016@qq.com

地幔柱-岩石圈相互作用对地形地貌的塑造作用及机制是国际研究的热点与前沿问题。非洲的埃塞俄比亚高原和北美的哥伦比亚高原是在两个年轻地幔柱作用下形成的，但它们的地形表现出强烈差异：埃塞俄比亚高原的平均地形比周围区域高约 1.5km，而哥伦比亚高原比周围低约 0.7km，造成这种强烈差异地形的过程和原因还未知。地球物理证据表明，两地同为地幔柱与岩石圈相互作用形成。因此，我们利用高分辨率二维热-力学数值模拟来系统性研究岩石圈热结构、分层粘度结构、地幔柱热、化学属性，对地幔柱与岩石圈相互作用下地形演化的影响，探究两地地幔柱与岩石圈相互作用下地形的演化过程。结果显示不同的岩石圈粘度结构和板内构造力的影响下地表表现不同特征，如大尺寸、温度更高的地幔柱与粘度更小的薄岩石圈相互作用时地表产生更大的隆起和断层，地幔柱向两侧扩散时地形的凹陷也会更大；在有远场力的作用下地表的小断层形成垂直于拉伸方向的裂谷。

S21-P-5

隐伏岩石圈之下的“幽灵”地幔柱——阿曼 Dani 地幔柱

胡昊^{1*}, Simone Pilia², Dapeng Zhao³

1 浙江水利水电学院, 应用地质与地球物理前沿研究所

2 King Fahd University of Petroleum and Minerals, Department of Geosciences

3 Tohoku University, Department of Geophysics, Graduate School of Science

* hhshiyi@163.com

近几十年来对地幔柱的研究，已经基本厘清了其形态、起源深度等关键科学问题。然而，目前已知的地幔柱均存在地表板内热点火山、热点轨迹和明显的富集型地球化学特征等。前人的研究揭示了地幔柱发育周期自成熟到衰落阶段，而更早期的发育过程并不清楚。利用在阿联酋-阿曼区域内布设的 118 台宽频带地震仪记录的远震事件进行 P 波和 S 波走时层析成像，揭示了一个隐藏在大陆岩石圈下方的蘑菇状低速异常体，其形态与地幔柱非常相似。结合研究区地幔转换带厚度变化、全球深部成像结果、抬升的剩余地形和洋岛型玄武岩相似的碧玄岩地球化学特征，认为这个低速异常是由隐伏于岩石圈下方的“幽灵”地幔柱产生。该结果首次揭示了处于发育早期的地幔柱，对认识地幔柱的完整发育过程具有重要意义。

S21-P-6

卡拉布里亚弯曲俯冲带地幔流场及形成机制

华远远^{1*}, 赵大鹏², 于洋³, 徐义刚¹, 黄小龙¹

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 日本东北大学

3 山东大学

* huayuan@ig.gig.ac.cn

弯曲俯冲带的形成机制仍存在认知不足。针对这一问题，本研究通过联合反演区域近震与远震事件的 P 波走时数据，构建了卡拉布里亚弯曲俯冲带的三维各向同性与各向异性速度层析成像模型。结果表明，在亚平宁半岛中北部地区，亚得里亚海板块在东、西两侧均存在俯冲作用。西倾板片持续向东后撤，对双向俯冲带下方的地幔产生挤压作用。该挤压效应驱使地幔物质通过维苏威火山下方的板片窗口向第勒尼安海方向运移，形成近东西向的地

震波各向异性特征。随着双俯冲板片间距的减小,板片后撤速率逐渐降低,导致沿亚平宁-西西里构造带的差异性后撤行为。这种速率差异与卡拉布里亚板片西南缘地幔流的共同作用,最终形成了观测到的卡拉布里亚俯冲带弯曲形态。本研究为弯曲俯冲带动力学机制提供了新的认识,揭示了板片后撤与地幔流之间的复杂耦合过程。

S21-P-7

冰岛地区三维电性结构特征与板块边界深部动力学过程探讨

徐珊¹, 胡祥云^{1*}, 白宁波², 陈望平¹, 孙和平³, Gillian Foulger⁴, Andreas Junge⁶, Knutur Arnason⁵, Alexey Kuvshinov⁷

1 中国地质大学(武汉), 地球物理与空间信息学院

2 河南理工大学

3 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

4 Durham University

5 Iceland GeoSurvey

6 Goethe University Frankfurt

7 ETH Zurich

* xyhu@cug.edu.cn

冰岛位于北美板块与欧亚板块的交界处,在大西洋中脊和地幔物质上涌的相互作用影响下,产生了一系列地震、火山与裂谷系统,是板块运动最活跃、壳幔物质交换最强烈的地区之一,也是研究大洋起源、演化与板块驱动力的天然实验室。冰岛的地质历史相对年轻,其地质构造和地貌特征仍在快速演化中。这为研究地壳形成和演化的动态过程提供了宝贵的机会。地壳上地幔的电阻率变化范围达4个数量级以上,因此它了解岩石圈与软流圈结构、温度和热状态等都具有重要参考价值。在上地壳中,电阻率强烈依赖于孔隙度、热液蚀变和温度,在下地壳和地幔中,它主要受温度、水含量、熔体含量和岩石化学成分的影响。大地电磁法是探测壳幔电

阻率分布的一种最重要的方法,具有不受高阻层屏蔽的影响、对低阻层反映灵敏等吸引人的优点。本研究在冰岛全境开展了系统的大地电磁阵列观测,通过三维反演构建了冰岛地区三维岩石圈电阻率结构模型,结合航磁、地震等地球物理数据,揭示了冰岛地区壳幔结构的特征及其动力学成因,最终提出了一个区域构造演化模型,为理解活跃板块边界区的深部过程提供了重要约束。

S21-P-9S

基于接收函数的华南中部地区地幔转换带厚度变化研究

王冠之^{1*}, 陈永顺¹

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

* 12131064@mail.sustech.edu.cn

We investigated the 410-km and 660-km mantle discontinuities and mantle transition zone (MTZ) thickness beneath the central Southern China Block using receiver function analysis of seismic data from 84 portable stations. Our findings reveal a significant 10–25 km thinning of the MTZ beneath the Cathaysia Block, with an anomalous thinning zone approximately 200 km in diameter centered at (23.7°N, 114.5°E). This feature potentially indicates the upwelling of the Hainan mantle plume into the upper mantle. The persistent upwelling of hot mantle materials has created extensive low-velocity anomalies in the upper mantle beneath the Cathaysia Block (above 410 km depth) and contributed to the formation of widespread Cenozoic basalts in the Leizhou Peninsula and coastal regions.

S21-P-10S

洋底高原构造演化与裂解机制—以凯尔盖朗洋底高原共轭边缘为例

刘远航^{1,2}, 董冬冬^{1*}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学, 海洋学院

* dongdongdong@qdio.ac.cn

裂谷系统的广泛研究对于了解地壳伸展运动与板块构造演化具有重要和基础性意义。然而, 有别于陆内被动大陆边缘裂谷系统, 前人对洋底高原裂谷系统的研究较少, 对于厚大火成岩省地壳伸展机制缺乏深入的认识。本文研究基于凯尔盖朗洋底高原共轭边缘的高分辨率地震资料, 结合船载重力数据与地形数据, 通过解释的构造-地层格架, 以及中继区内断裂几何形态与位移分布, 来约束裂谷系统的构造演化。来自不同伸展域内的构造-地层格架表明, 凯尔盖朗裂谷演化以洋脊跃迁为界, 主要经历了两期的构造运动, 形成了广泛的沉积间断。断层的几何形态与断距分析表明, 裂谷断层系并未产生大规模的顺序拉张, 基底断层通过应力集中的方式发育并控制了域内的构造演化。中继区内断层生长呈现阶段特征, 调节并传递了应力发展。

S21-P-11S

凯尔盖朗洋底高原裂解过程中的构造响应与沉降演化分析

杨柳^{1,2}, 董冬冬^{1*}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学, 海洋学院

* dongdongdong@qdio.ac.cn

洋底高原是在深海盆地中最显著的大火成岩省, 其结构记录了地幔柱岩浆作用的演化信息。位于东南印度洋的凯尔盖朗高原和布罗肯海岭在白垩纪时期曾拼接在一起组成大凯尔盖朗高原, 在始新世时期大凯尔盖朗高原发生裂解并开始分离。作为裂解晚期及全球第二大洋底高原, 凯尔盖朗高原的结构与演化研究对于认识洋底高原具有重要意义。本研究拟利用该地区船测多波束数据、钻井数据、多道地震数据及重磁数据等对凯尔盖朗高原共轭端元的构造及演化特征展开对比分析。将本研究识别出的典型破裂面及不整合面的空间展布与前人结果对比, 基本吻合, 同时我们对前人描述较为模糊的构造现象开展进一步解释。此外, 对南北两侧共轭端元进行沉降史研究, 总结出张裂过程中的垂向运动学特征: 在 44Ma 破裂事件后, 部分构造单元沉降速率变快; 34Ma 以后总体沉降速率减缓, 此时共轭端元进入热沉降阶段; 南北两侧沉降速率存在明显差别, 推测是共轭端元构造尺度不同所导致。

S21-P-12S

大火成岩省的岩浆通道系统研究: 来自西北太平洋大塔穆火山的矿物地球化学与扩散年代学的制约

朱恒睿¹, 吴涛^{1,2*}, 陈双双³, Gareth N. Fabbro⁴, 鲁江姑⁵, 杨明²

1 浙江大学, 海洋学院

2 浙江大学, 海南研究院

3 中山大学, 地球科学与工程学院

4 英国东英吉利大学, 环境科学学院

5 自然资源部第二海洋研究所

* taowu@zju.edu.cn

海洋大火成岩省通常具有异常增厚的洋壳和复杂的岩浆通道系统, 同时研究大火成岩省的岩浆通道过程对于深入理解地

球的动力学演化过程具有重要意义。沙茨基海隆是位于西北太平洋的全球第三大洋底高原，其西南部的大塔穆火山为该海隆最古老且体量最大的火山构造，其洋壳厚度最大可达 30 千米，如此巨厚的洋壳表明来自地幔的大量岩浆供给。为了解释其成因，前人提出了地幔柱-洋中脊相互作用等模型，然而岩浆在壳幔尺度的具体演化过程及其时间尺度仍不清楚，因此本文将通过矿物地球化学与扩散年代学对大塔穆火山的岩浆通道过程展开研究。

本研究基于大洋钻探计划（ODP）第 198 航次的 1213 号钻孔获得的玄武岩样品，分析了大塔穆火山中的单斜辉石与斜长石的主量与微量元素组成。结合矿物地球化学特征与矿物温度压力计，本研究识别出两类不同的单斜辉石与两组斜长石：类型 1 单斜辉石具有较高的 Al_2O_3 （约 3 wt.%）、 CaO （17–19 wt.%）和 Na_2O （0.3–0.4 wt.%）含量，其结晶深度较大，形成于斜长石开始结晶之前；类型 2 Cpx 则表现出较低的 Al_2O_3 （约 1.5 wt.%）、 CaO （14–16 wt.%）和 Na_2O （0.2–0.3 wt.%），其结晶深度较浅，且形成于大量斜长石发生分离结晶过程之后。斜长石可分为两组：第一组为斑晶核部，结晶压力较高（727–733 MPa），An 值约为 85；第二组为斑晶边部及基质斜长石，结晶压力较低（<204 MPa），An 值低于 75。基于上述研究结果，本文提出了一个两阶段的岩石学演化模型，以揭示大塔穆火山的岩浆活动过程：第一阶段发生于下地壳环境（约 25 km 深度），对应较高的结晶温度（>1220 °C）；第二阶段则发生于上地壳较浅部位（约 7 km 深度），对应较低的结晶温度（约 1140 °C）。MELTS 热力学模拟结果显示，大塔穆火山的结晶序列为橄榄石-单斜辉石-斜长石，其中斜长石在浅部环境中逐渐取代单斜辉石成为主要的分离结晶矿物相。此外通过斜长石 Mg 元素的扩散发现，从上地壳浅部储库至洋底喷发的岩浆运输时间通常在数小时至数天之间（6.27–93.9 小时），与快速扩张洋中脊系统的岩浆上升速率相当，但显著慢

于富挥发分的岛弧爆发性火山或金伯利岩系统的岩浆上升速率。本研究有助于深化对全球洋底高原形成与大火成岩省演化机制的认识。

S21-P-13S

南海地壳结构及扩张期岩浆作用异常：南海热点的提出及对洋脊跃迁的启示

孙海萱^{1,2*}

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

* 2472223896@qq.com

洋脊跃迁是洋盆和弧后盆地的常见现象，通常被归因于岩浆或构造过程的驱动。~ 23.6 Ma，南海发生了一次全洋盆宽度的洋脊跃迁。与此同时，跃迁后的洋脊向西南方向快速拓展，促进了西南次海盆的打开。然而，该洋脊跃迁的驱动机制仍存在争议。地球化学研究揭示，在南海扩张过程中地幔源区曾受到源自地幔柱的热异常与成分异常影响。该发现为岩浆过程驱动洋脊跃迁的动力学机制提供了证据，但這些深部异常的地表表现尚不明确。本研究基于多条地震剖面，对南海海盆基底深度进行约束，并对沉积物压载效应进行了校正。通过将观测获得的基底深度减去热沉降模型预测值，得到了基底深度异常。此外，我们将通过地震剖面得到的地壳厚度与先前基于重力方法的结果进行整合，更新了南海海盆的地壳厚度分布。结果揭示，在残余扩张中心的两側存在明显的区域性基底隆升与地壳加厚现象。我们进一步估算了该地壳异常区域的隆起浮力通量与岩浆体积通量，分别为 0.078 Mg/s 与 0.17 m³/s，并将这些异常归因于深部上涌流导致的热异常与成分异常，并将该具有一定规模和持续时间的上涌流称为南海热点。通过将南海热点的浮力通量与全球数据集进

行对比发现, 该热点属于低浮力通量类型, 可能由深部地幔柱拆离出的次级地幔柱所供给。我们进一步猜测南海热点与洋脊在扩张期发生了相互作用, 引发了~23.6 Ma 的洋脊跃迁与拓展。本研究中对南海热点的量化研究为理解南海的扩张过程及相关的岩浆活动提供了新视角。然而, 南海热点的成因仍有待进一步探讨, 未来可通过大洋钻探对洋壳的采样以及对南海海盆深部地幔结构的地震-大地电磁联合探测等手段深入研究。

S21-P-14

由大陆边缘海地幔不均一水含量揭示板块俯冲作用与大陆裂解的关联

杨帆^{1*}, 黄小龙^{2*}, 徐义刚², 杨亚楠², 华远远², 于洋³

1 南方海洋科学与工程广东省实验室 (广州)

2 中国科学院广州地球化学研究所

3 山东大学

* f_yang015@gmlab.ac.cn

* xlhuang@gig.ac.cn

大陆的聚合与裂解是地球的基本构造演化模式。板块俯冲在大陆裂解过程中所起的作用一直备受争议。前人研究认为板块俯冲可能会引发地幔流循环, 为大陆岩石圈的伸展以及最终裂解提供所需的剪切力。然而, 这一假设常常因缺乏将板块引发的地幔流与裂解过程联系起来的地质证据而受到质疑。我们的研究为此提供了新的地质证据。我们通过对南海初始扩张与扩张期玄武玻璃的系统研究, 发现了南海从初始破裂到结束地幔水含量的高度不均一性。南海初始扩张期间 E-MORB 的关键元素比值 H_2O/F , H_2O/Ce 高于扩张末期西南次海盆 E-MORB 的 H_2O/F , H_2O/Ce , 指示更多的含水再循环洋壳物质的贡献。南海洋壳的岩浆增生比例 (M 值) 显著高于开放大洋, 而我们也发现地幔含水再循环

洋壳物质贡献与海盆拉张过程中 M 值成正比, 意味着南海初始拉张过程中地幔含水再循环洋壳物质为南海初始裂解提供了额外岩浆来源。我们提出这些额外的岩浆最可能由俯冲板片触发南海北缘地幔过渡带顶部低速层上涌熔融所引发。这些俯冲诱发的额外岩浆供给使得大陆边缘海早期扩张阶段形成了一种过渡型陆缘结构, 这也为过渡型大陆边缘的成因机制提供了一种解释。

S21-P-15S

基于卷积神经网络的海底斑点火山识别

邱佳磊¹, 张涛², 史亚男^{4*}, Jason Phipps Morgan³

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 自然资源部第二海洋研究所

3 Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), Barcelona

4 南方科技大学, 海洋高等研究院

* shiyn@sustech.edu.cn

海底火山地形特征识别作为新兴交叉领域, 正逐步融合机器学习技术实现海底地形识别。然而该领域面临三大核心挑战: 火山构造标记数据集稀缺性、类别不平衡性分布以及现有模型架构的局限性。传统方法在表征火山地形的空间连续性特征及层级结构模式方面存在显著不足, 尤其对于斑点火山等板内火山作用类型的识别效能欠佳。本研究采用人工标注的火山地貌数据集, 初期以支持向量机 (SVM) 作为基准分类器进行实验, 发现其在处理复杂空间模式时存在显著局限性。研究策略转向基于迁移学习的卷积神经网络 (CNN) 架构, 通过整合日本火山岛弧区及中国自然资源部第二海洋研究所高分辨率多波束数据, 结合网格化标注方案与数据增强策略, 显著提升了模型对火山地貌特征的表征能力。本成果凸显了高质量标注数据集与创新型数据预处理技术在火山地貌识别中的基础性作用。通过融合太平洋科考航

次获取的高精度地形数据，研究建立了领域知识与深度学习相融合的方法论框架，为海底火山构造自动化识别技术的创新发展提供了理论支撑与实践范式。该技术路径对拓展深海地质过程认知具有重要科学价值。

S22-O-1

东南亚弧形构造带含油气盆地的演化与勘探潜力：从孟加拉湾到班达海

赵世杰^{1,2*}，朱伟林^{1,2}，付晓伟^{1,2}，彭文绪³，孙和风³，周增园^{1,2}

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质全国重点实验室

3 中海油国际公司

* zhaoshijie9267@163.com

东南亚弧形构造带位于特提斯东段，具有多板块裂解、拼合的复杂背景。由于构造演化复杂、盆地类型差异大，东南亚弧形构造带油气勘探难度高、总体研究程度低，储量发现与特提斯域其他地区严重不匹配。本文以东南亚弧形构造带时空演化及其含油气盆地构造-沉积响应为主线，系统梳理该区含油气盆地的类型、分布、沉积充填及含油气系统，明确油气富集规律。研究认为，弧形构造带具有“三期四段六带”时空分布特征，即：古-中生代裂解漂移期、始新世-早中新世主裂谷期以及中中新世以来的大规模碰撞期三个演化期；北段印缅造山带、中段安达曼海右旋走滑拉分带-苏门答腊斜向俯冲带-爪哇正向高角度俯冲带、过渡段西苏拉威西单向俯冲带、南段班达海弧-陆碰撞带四段六区带。裂解漂移期以海相沉积为主，是南段主力烃源岩发育期，形成“冈瓦纳裂解期烃源岩-裂谷期三角洲、漂移期碳酸盐岩储层”的含油气系统；主裂谷期具有“中段陆、南北海”的沉积格局，是中段主力烃源岩发育期，具

有“裂谷期优质烃源岩-弧后三角洲与碳酸盐岩台地规模储层-早中新世区域性盖层-主裂陷期通源活动断层输导-大规模碰撞期反转构造圈闭”的含油气系统；大规模碰撞期形成现今大型水系发育的沉积格局，是北段与过渡段主力烃源岩发育期，具有“高热流与逆冲推覆构造负荷烃源岩-大型流域碎屑岩储层-源内输导-构造岩性圈闭”的含油气系统。俯冲带时空差异演化控制了东南亚弧形构造带北段“早改造晚成藏”、中段“烃-储一致”、过渡段“晚改造晚成藏”以及南段“晚改造早成藏”的油气差异富集规律。综合各盆地群油气资源富集特征，认为裂谷期陡坡带是老区勘探挖潜增储的主力区，边缘海深水盆地是主要的油气勘探接替区，中-古生界与古潜山是未来勘探前景区。

S22-O-2

Conduit or Barrier? The Sagaing Trough's Dual Role in Hydrocarbon Migration Revealed by 3D Seismic Analysis of Myanmar's Andaman Sea Basin

Thanuja D. Raveendrasinghe¹，Xiwu Luan^{1*}，Zijie Wang¹，Long Jin¹

1 山东科技大学，地球科学与工程学院

* xluan@sdust.edu.cn

The Andaman Sea Basin, a Cenozoic back-arc basin in Myanmar's northeastern Indian Ocean, exhibits significant hydrocarbon potential shaped by complex tectonic processes. This study investigates how the Sagaing Trough, a key Cenozoic deformation structure, influences hydrocarbon migration and accumulation on the Tanintharyi Shelf, contrasting the prolific Yetagun gas field with the unsuccessful M15-B-1 well using integrated 2D/3D seismic, well logs, and

stratigraphic data. The Tanintharyi Shelf transitioned from a Paleogene Neo-Tethyan margin to a Neogene transtensional basin due to Indian-Eurasian oblique subduction, creating depositional shifts from Early Miocene carbonates to post-Middle Miocene clastic systems. Middle Miocene marine shales with Type II/III kerogens act as the primary source rock, but maturation varies spatially: sufficient burial and geothermal gradients (40 - 45°C/km) in the East Andaman Basin (EAB) enable thermogenic gas generation, while inadequate sediment thickness (<1 km) and lower gradients (35 - 40°C/km) hinder maturity on the shelf. The Sagaing Trough, a rhombic graben with step-down faults showing negative flower structure, directs hydrocarbons northeastward from the EAB into structural traps at Yetagun. Faults juxtapose permeable deltaic sandstones against impermeable shales, forming tilted fault-block traps enhanced by 2 - 3 km of Late Miocene to Quaternary seals. Conversely, the M15-B-1 well, targeting Early Miocene carbonates akin to the Yadana field, failed due to the trough's barrier effect: trough-bounding faults obstructed updip migration from the EAB, while thin seals and limited overburden compromised trap integrity. Shallow-water regulatory constraints further restricted viable targets. Seismic anomalies and pockmark trains indicate episodic leakage, underscoring overpressure-fault interactions. Successful exploration requires prioritising structural traps linked to the trough, where fault conduits enhance recharge. Future efforts should focus on the Andaman Basin Central Fault Zone's western flank, where Early Miocene turbidites and en echelon folds offer promising reservoir potential. Similarly, the deep-water Martaban Basin blocks with thicker sediments and higher heat flow present an exciting avenue for future exploration. Post-Middle Miocene canyon systems along

the shelf's periphery may also host turbidite reservoirs. The Sagaing Trough's dual role as conduit and barrier highlights how Cenozoic deformation governs hydrocarbon distribution in transtensional basins. This study emphasises integrating structural-stratigraphic analyses and high-resolution seismic data to mitigate risks, offering insights applicable to oblique subduction-affected back-arc basins globally.

S22-O-3

万安盆地海底滑坡特征及其成因

张知行¹, 栾锡武^{1*}

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* Xluan@sdust.edu.cn

万安盆地位于南海西南缘, 属新生代走滑拉张型含油气盆地, 其形成与南海西缘断裂带三期构造活动密切相关。盆地构造演化受控于印澳板块-欧亚板块相互作用、南海多幕式扩张及万安断裂走滑运动, 海底滑坡发育受构造-地层-断裂-流体多场耦合作用控制。本研究基于三维地震数据及钻井资料, 揭示海底滑坡呈空间分异特征: 主要分布于构造活跃陡坡带及三角洲前缘区, 地震响应表现为杂乱反射、地层削截及滑塌堆积体。渐新世-中新世裂谷伸展与走滑改造阶段, N-S/NE-SW 向断裂活动导致地层破碎与应力集中, 叠加扇三角洲/辫状河三角洲体系在陡坡带的快速堆积, 显著增强斜坡失稳风险。中中新世构造反转事件通过垂向载荷再分配与侧向挤压, 触发大规模重力滑移体形成。海平面波动与湄公河物源输入的沉积速率突变进一步驱动滑坡发育动力学过程。研究表明, 海底滑坡是构造活动、沉积响应与流体运移协同作用的结果。研究首次构建"构造-沉积-流体"多场耦合动力学模型, 阐明了南海深水斜坡失稳机制, 为油气储层预测提供沉积架构约束, 同时为深水工程地质灾害

风险评估建立理论框架,对南海资源开发与安全保障具有双重科学价值。

S22-O-4

新生代缅甸中央盆地北部油气地质特征

周增园^{1,2,3}, 彭文绪⁴, 孙和风⁴, 付晓伟^{1,2,3}, 朱伟林^{1,2,3*}, 赵世杰^{1,2,3}

1 同济大学, 同济大学海洋与地球科学学院

2 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

3 同济大学, 海洋资源研究中心

4 中国海洋石油国际有限公司

* zhuwl@tongji.edu.cn

特提斯构造域为世界公认的油气富集区,该构造域缅甸大陆边缘及邻区经历了印-缅洋陆俯冲和印-亚大陆碰撞,构造演化复杂,盆地类型差异大,油气勘探难度高,总体研究程度低。通过钻井、岩心、地震、测井、岩石学、全岩地球化学和有机地球化学等方法,识别出了盆地北部区域滨浅海相、三角洲相、河流相以及火山碎屑岩相沉积;元素地化指标和有机地球化学证据,表明中央盆地北部受古近纪海侵影响,水体带入的浮游藻类等生物与东部陆源高等植物碎屑混合,为盆地烃源岩层系的有机质供给提供基础。上白垩统-始新统砂岩储层孔隙度在 4.16%~8.63%之间,局部高孔隙度可达到 15.3%~20.3%,渗透率主要分布在 $0.061 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围。储集层在成岩作用过程,受压实作用逐渐增强的影响,刚性颗粒被压实而排列紧密时,孔隙变小,颗粒间吼道大大变窄,储集层物性受不利影响,但刚性岩屑的碎裂缝,与溶蚀粒间孔连通好的情况下,对改进储层质量有显著帮助。但频繁的火山活动引发高温条件下的火山物质进入盆地水体,并发生凝灰岩蚀变作用,加之泥质细粒级火山玻璃经水解脱玻化等影响,最终导致储层质量降低。缅甸含油气盆地呈现“气为主、油为辅”和“陆生油、海生气”

的资源分布特征。鉴于缅甸目前的油气勘探还处于初期阶段,陆上盆地勘探主要集中在南部沙林盆地,盆地海域面积占比高,且深水区占一定比例,认为缅甸陆上勘探空白区,尤其是缅甸北部低勘探地区和海域盆地深水区是缅甸的油气重点勘探领域。

S22-O-5

新生代碳酸盐台地对油气系统的影响——以缅甸 M-15 区块为例

王子杰¹, 栾锡武^{1*}, Thanuja D. Raveendrasinghe¹, 金龙¹

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* xluan@sdu.edu.cn

作为新生代边缘海,安达曼海因其丰富的油气含量闻名,同时其复杂的油气成因与其弧后大陆边缘的构造背景相关。作为新生代具有良好储集性质的碳酸盐台地,在安达曼海海域广泛发育,其形成和分布,影响着该地区的地质构造和油气运移。

研究区所在的 Tanintharyi 陆架之上,同样存在碳酸盐台地的分布,其储集性质目前仍不明确,但已有多种地质构造表明(如气烟囱,麻坑等)该地区存在油气泄露,也表明碳酸盐台地的优异储集性质。

1. 麻坑

海底麻坑是由于流体(水或气体排出)进入水柱,在柔软的细粒沉积物中形成相对较浅的海底凹陷从而表现出来的侵蚀特征。研究区三维地震数据分析显示,海底东部存在海底麻坑,形成新月形麻坑链。该序列位于该地区的高地貌周围,整体长度大约为 12 km,宽约 2 km,深度约为 250 m,该麻坑链位于 200-150m 的浅水处,靠近 Tanintharyi 陆上。这些海底麻坑在地震剖面上表现为海底面的同相轴被破坏,与“V”或“U”形的正常麻坑地震剖面反射特征

剖面表现不一致,推测为由于海底流水波动或者麻坑处于激活期所导致。

2.气烟囱

气烟囱作为天然气运移过程所表现的痕迹,是由活动热流体(天然气)形成的一种特殊的伴生构造,这种纵向型通道构造是流体泄压的一种方式。气烟囱与麻坑在研究区常相伴而生,但存在区别的是,气烟囱的宽度和密集程度在横向上存在明显分布差异性。体现在靠近陆架一侧气烟囱宽度明显增大,而远离陆架一侧,气烟囱宽度明显减小,表现为输送流体的细小管道,但密度明显大于靠近陆架一侧。这与横向空间内不同位置的封闭性质有着重要联系:中中新世和晚中新世的深海-半深海页岩沉积,给油气运移提供了良好的封闭条件,但由于沉积厚度向陆架一侧逐渐减薄,外加实皆断裂走滑运动加剧所导致的流体运移,使得靠近陆架一侧的页岩盖层难以封存,从而导致了气烟囱的形成。

3.实皆断裂的影响

早,中中新世河流三角洲砂质沉积层为排出流体不仅提供了良好的储层和运移通道,也提供了良好的孔渗条件,但由于实皆断裂不断的走滑影响下,Martaban盆地在超压环境下所形成的热成因气得以通过砂岩运移至东安达曼盆地,乃至碳酸盐台地中,使研究区内超压系统所导致的流体运移进一步复杂化。

S22-O-6

东特提斯油气差异富集规律: 基于超大陆裂解聚合的视角

付晓伟¹,朱伟林^{1*},赵世杰¹,周增园¹

¹ 同济大学,海洋地质全国重点实验室
* zhuwl@tongji.edu.cn

特提斯构造域是全球油气最为富集的区域之一,但其东段油气潜力相对较差,远无法与中东对比,且不同盆地石油地质条件差异显著。本研究基于特提斯东段构

造演化过程(包括与冈瓦纳大陆相关的主要地块碰撞、裂谷及漂移),系统分析各类盆地的发育演化特征及其石油地质条件,发现这些地块可分为3大类。地块的基底性质、形态与规模决定了其上含油气盆地的形成与保存:印度、华南、华北及塔里木等大型克拉通地块抗变形能力强,能够保存与前冈瓦纳盆地相关的多期叠合盆地,形成多套含油气系统,具备很好的油气资源潜力;而拉萨、羌塘及缅泰马等狭长地块,基底弱,易受后期碰撞、俯冲等构造活动的强烈改造,仅最新构造阶段形成的盆地可有效保存,局部区域可能具备有利的石油地质条件;东印尼微陆块群也同样是最新一期盆地可保存,并富集油气。本研究为特提斯东段构造域油气差异富集规律提供了新的视角。

S22-O-7

先存构造控制下盆地的差异 演化:以阳江—一统断裂带 为例

胡俊成¹,万志峰^{1*}

¹ 中山大学,海洋科学学院
* wanzhif@mail.sysu.edu.cn

在复杂构造背景下,基底中往往会保存早期先存构造,而先存构造的活化对裂陷盆地的形成与演化有着重要的控制作用。南海北部基底整体上存在两组先存断裂,控制形成珠江口盆地基本格局。作为盆地东西结构分界的阳江—一统先存断裂带,其新生代活化对断裂带内阳江东凹与带外恩平凹陷的差异演化起着重要作用。本文基于三维地震,在研究区开展先存断裂体系识别及划分,结合洼陷结构、主干断层活动性及沉积活动变化,分析在伸展应力背景下先存断裂体系差异活化及其控盆、控沉作用。研究结果表明,在研究区存在NE-NEE、NW-NWW及SN-NNE向三组先

存断裂, 其中 NE-NEE 向断裂规模最大, NW-NWW 向断裂规模次之, 而 SN-NEE 断裂规模最小, 其为 NE-NEE 与 NW-NWW 向先存断裂在前新生代演化过程中的伴生断裂。阳江-一统断裂受三组先存断裂叠加改造影响, 带内洼陷主要呈地堑或复式半地堑, 带外受先存断裂改造较弱, 主要为简单半地堑。在裂陷期, 随着伸展应力与两组主要先存断裂夹角变化, NE-NEE 向先存断裂先行活化控洼, 洼陷呈现强伸展强沉积到弱张扭弱沉积的转变, NW-NWW 向先存断裂选择性活化, 对洼陷控制呈弱张扭至强张扭的变化, SN-NNE 先存断裂局部活化, 对洼陷沉积控制较弱。基于以上认识, 在前人研究成果上, 建立研究区洼陷演化模式, 揭示在后期伸展应力转变背景下, 复杂先存构造背的差异活化及控盆控沉机制。

S22-O-8

珠江口盆地强改造型洼陷烃源潜力评价与洼陷优选

石创^{1,2*}, 龙祖烈^{1,2}, 郑立庆^{1,2}, 明承栋^{1,2}, 张小龙^{1,2}

1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 南海东部石油研究院

2 中海石油深海开发有限公司, 南海东部石油研究院

* shichuang@cnooc.com.cn

探寻洼陷规模有效烃源岩发育情况是实现洼陷油气勘探突破的关键, 也是寻找大中型油气田的基础。珠江口盆地洼陷众多, 受构造运动和岩浆活动影响, 许多洼陷在裂陷中晚期经历强风化剥蚀, 主力烃源岩发育层系被抬升剥蚀改造。围绕这类洼陷勘探成效较差, 未发现规模油气田。该类强改造型洼陷风化剥蚀对烃源岩影响程度不明, 地层抬升, 源岩浅埋, 残余源岩生烃潜力、勘探价值待进一步研究。为了分析强改造型洼陷残余源岩特征及生烃

潜力, 通过有机地球化学—无机元素相互作用研究定量评价抬升剥蚀作用影响范围, 分析残余源岩生烃特征; 利用数值模拟分析抬升剥蚀时期和厚度对源岩演化影响; 结合洼陷构造样式和岩浆活动综合研究, 分析改造型洼陷残余源岩生烃潜力; 根据裂陷高峰期控洼断裂活动速率、源汇比、烃源岩剥蚀改造等综合分析开展洼陷优选。研究结果显示: 风化剥蚀造成纵深 0~80m 范围烃源岩有机碳和生烃潜量显著降低; 数值模拟分析得到抬升剥蚀造成洼陷烃源岩热演化降低, 但由于抬升剥蚀发生早, 剥蚀厚度相对较小, 对烃源岩热演化影响相对较少, 在一定程度上延缓了烃源岩进入生烃门限的进程; 缓坡改造型洼陷由于缓坡地层旋转掀斜造成陡坡地层旋转下沉, 陡坡带半深湖相优质烃源岩主体保留, 埋深加大, 有利于烃源岩成熟; 裂陷期岩浆活动加快残余源岩熟化, 一方面, 岩浆增温促进周缘洼陷烃源岩快熟, 另一方面, 岩浆活动带来大量的催化性成分, 促进烃源岩生烃演化; 重构模型定量评价抬升剥蚀作用减少洼陷油气资源量约 8%。根据烃源岩落实情况、控洼断裂活动速率、源汇比和烃源岩剥蚀改造等参数开展新洼分级分类评价, 在此基础上优选强改造型新洼陷, 为南海东部海域新洼勘探部署提供技术支持, 助力开辟新的储量接替区。

S22-O-9

深水斜坡沉积特征与控制因素——以澳大利亚柔布克盆地为例

姜露珊¹, 栾锡武^{1*}

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* xluan@sdu.edu.cn

深水斜坡沉积规律对深水油气勘探开发以及深水地质灾害防护具有重要的研究意义。为揭示澳大利亚柔布克盆地新生代

深水斜坡沉积特征与控制因素, 利用高分辨率二维及三维地震资料结合井资料, 首先厘定研究区新生代地层格架及斜坡层序地层构型, 在地震剖面上识别出 7 个三级层序界面和 6 个地震层序, 并识别出新生代斜坡沉积地层主要有进积型、加积-进积混合型和退积型地层构型。其次利用多属性提取技术对柔布克盆地西北缘新生代深水斜坡沉积特征进行精细刻画, 识别出海底峡谷、前积型碳酸盐岩沉积、进积型硅质碎屑三角洲沉积和滑塌沉积 3 种斜坡沉积类型。研究表明, 不同时期发育的斜坡沉积体受不同因素控制或共同控制, 中渐新世—晚中新世, 斜坡沉积主要受相对海平面升降、古气候变化和物源供给的共同控制, 而晚中新世之后, 向北漂移的澳大利亚板块与班达岛弧发生碰撞, 构造活动及海平面变化为主控因素。

S22-O-10

准噶尔盆地构造—沉积演化与“二元结构”油气成藏机制

李晓洁^{1*}

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

2 山东科技大学, 能源与矿业工程学院

* 1424079894@qq.com

准噶尔盆地位于中国西北部, 作为一个典型的含油气叠合盆地, 盆地内部的烃源岩发育、储层分布以及油气的成藏规律受其多期构造-沉积演过程的控制。本文基于三维地震资料、测井数据和岩心样品等地质资料, 对准噶尔盆地不同构造单元的沉积充填序列、构造演化特征以及其对于油气成藏的控制进行了系统分析。研究结果表明: 1) 自石炭纪时期, 准噶尔盆地经历了海相-陆相转换、前陆盆地演化、陆内改造三个构造演化阶段, 在这些构造影响下形成了侏罗系-白垩系上组合储盖与石炭系-二叠系的下组合烃源岩共同组合的“二元结构”; 2) 晚二叠世-早三叠世前陆盆地

时期发育扇三角洲-湖相沉积体系, 这为准噶尔盆地优质储层的形成奠定了物质基础, 而在多期构造活动(燕山期-喜山期)下形成的各种断裂和褶皱带又构成了盆地油气运移的通道及圈闭条件, 展现了油气成藏优势; 3) 由于准噶尔盆地油气运移过程沿着不整合面及断裂带呈现“阶梯式”形态, 因此在斜坡区域与冲断带形成了多层系的复合成藏模式, 盆地具有显著的“储-源分离”特征。

本文的研究对象油气地质条件比较复杂, 能够作为构造控藏研究的典型例子, 研究成果能够为复杂含油气叠合盆地的研究提供理论依据, 对于盆地深层及油气资源评价具有重要的指导意义。

S22-O-11

印缅造山带中—新生代局部隆升——来自缅甸中央盆地北部海侵证据

周增园^{1,2*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 同济大学, 海洋资源研究中心

* zhou_zengyuan@tongji.edu.cn

印-缅增生楔自晚白垩印度板块俯冲在缅甸活动边缘下形成以来, 其南北向延伸并在早-中始新世与渐新世-中新世界线附近两期抬升剥蚀过程中, 与东-西盆地物源演化、沉积充填及古环境演化有着密切的耦合关系。许多学者进一步限定了西缅地块与亚洲-印度的碰撞和印-缅增生楔隆升时间, 西部海洋侵入对中部盆地古环境的演化影响才得以初露端倪。本文系统地沉积地球化学数据记录了从晚白垩-早中新世, 即印度板块俯冲及增生楔形成以来, 西部海域向中央盆地北部的海水侵入(海岸线向陆地移动), 这主要受古气候指标(即 CIA 值、Sr/Cu 及 Rb/Sr 比值)、古盐度指标(Sr/Ba、Th/U、(Zn+Ni)/(Ga*5)和 Y/Ho

比值)古还原环境指标 V/Ni 比值以及有机生物标志化合物指标(例如类异戊二烯烃的 Pr/nC17 和 Pr/nC18)支持的弱还原-还原-咸水-的湿热古环境模型,规则甾烷 C₂₇-C₂₉ 相对百分含量比例及三环萜烷 C₂₁-C₂₄ 补充支持的海洋藻类生物与陆生高等植物碎屑混合的模式,中生代海侵是当前缅甸石油资源形成的重要基础。

S22-O-12

乌尔坎次盆地白垩世层序地层与沉积充填演化

方旭晖¹, 栾锡武^{1*}, 王盈雪¹, 王亚珂², 王子杰¹

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

2 山东黄金集团

* Xluan@sdust.edu.cn

乌尔坎次盆地作为澳大利亚西北大陆架帝汶海的重要构造单元,是东盟海域油气勘探的关键区域。尽管该盆地已历经六十余年的勘探开发,其中-新生代构造演化、沉积体系展布及充填过程等基础地质问题仍存在显著的研究空白。本研究基于层序地层学理论,整合区域地质资料与最新地球物理数据,采用井-震结合方法系统开展沉积地层研究,取得以下创新性认识:(1)在研究区内识别出卡洛期、瓦兰今期、晚白垩世和晚渐新世 4 个关键区域不整合面;(2)首次建立白垩系高精度层序地层格架,划分出 P1-P5 五个层序界面和 SP1-SP4 四个三级层序;(3)通过构造-沉积耦合分析提出:赛诺曼期-坎潘期南澳大利亚边缘裂谷作用产生的远场应力,中断了西北大陆架裂后热沉降过程,诱发内陆抬升与陆架倾斜,进而导致晚白垩世大规模侵蚀事件和碎屑向盆搬运;盆地边缘持续倾斜背景下发育的前积三角洲-浊积扇体系,最终因马斯特里赫特期海侵事件导致陆架淹没而终止发育。研究成果为理解被动大陆边缘

盆地构造-沉积响应机制提供了新的案例支撑。

S22-P-2

阿瓦提及周缘寒武系玉尔吐斯组烃源岩生烃演化

刘佳楠², 姜正龙^{1*}

1 中国地质大学(北京), 海洋学院

2 中国地质调查局, 海口海洋地质调查中心

* jiangzl@cugb.edu.cn

塔里木盆地的阿瓦提坳陷周缘的柯坪野外露头及东部满加尔坳陷内探井均证实玉尔吐斯组地层具有极大生烃潜力。阿瓦提坳陷内沉积的玉尔吐斯组地层勘探程度较低,研究区构造演化、烃源岩分布等认识不一。论文选取坳陷内四条主干地震测线开展剖面解释工作,结合收集的周缘地区玉尔吐斯组烃源岩地化数据,通过三条测线平衡剖面恢复及单井生烃模拟研究,进一步认识坳陷内玉尔吐斯组地层的生烃过程,为阿瓦提坳陷内油气勘探提供依据。取得认识如下:

阿瓦提坳陷内玉尔吐斯组地层整体处于弱还原-还原环境,沉积厚度在 30~160m,以泥灰岩、灰泥岩及泥页岩沉积为主。

有效烃源岩厚度呈沿东南向的条带状展布,厚度在 5~35m,以暗色泥页岩为主,有机碳含量预测在 0.03%~16.5%,推测有机质类型主要为II型。

玉尔吐斯组地层在整个生烃过程中平均地温变化范围为 85~250℃,平均埋深为 10569m。坳陷从加里东中期进入低成熟阶段,海西中-晚期进入高成熟阶段,现今处于过成熟-生气阶段。

坳陷在加里东-燕山期为南北隆起演化的枢纽带,定型于喜马拉雅期。坳陷的沉积、沉降中心表现为由东部向西部的逐渐迁移。有三次主要生烃期,海西中-晚期为大量生烃时期,坳陷东部、东北部较西部

生烃滞后, 坳陷东部、东北部是较为有利的油气勘探区域。

S22-P-3S

盆 1 井西凹陷地区二叠系风城组地震相特征及沉积相分布

李晓洁^{1*}

¹ 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* 1424079894@qq.com

盆 1 井西凹陷及周缘地区的二叠系风城组是油气勘探的重要目标, 由于钻遇风城组的井数目较少, 目前风城组的勘探程度较低, 多类型油气藏勘探区域与各沉积相带分布地区密切相关, 利用地震相分析技术预测各种沉积相带的分布就具有重要意义。本文基于三维地震资料、测井数据和岩心样品, 对比分析井下岩心、测井响应、单井沉积相与井旁地震反射特征, 建立了风城组主要沉积相类型与地震相之间的对应关系, 基于对地震资料的分频与重构, 采用波形分类和人工神经网络算法地震相边界识别方法, 提取该地区风城组地震相信息, 指出主要地震相平面分布范围, 并且结合单井沉积相、连井沉积相对比剖面及沉积古地貌特征, 对风城组沉积相带的分布特征进行预测, 揭示沉积相平面分布规律, 低位域盆底扇充填, 以扇三角洲平原、前缘相粗碎屑沉积物为主; 湖侵域随着湖平面迅速扩张, 发育退覆式扇三角洲沉积体系, 近湖盆处以滨浅湖云质砂岩滩坝沉积为主, 在地势较高的平台处可形成高能滩, 湖盆中心以半深湖-神户相泥岩沉积为主; 高位域沉积时期平面相对稳定, 主要为泥质粉砂岩与泥岩互层沉积, 顶部发育滨浅湖滩坝砂岩。这为盆 1 井西凹陷地区风城组下一步多类型油气藏的勘探区域部署具有重要理论指导作用、

S22-P-4

基于碎屑锆石年代学的白云凹陷 L3 气田沉积物源追踪研究

刘正华^{1*}

¹ 上海自然博物馆(上海科技馆分馆), 自然史研究中心

* liuzhh@sstm.org.cn

近年来, 深水沉积区域所孕育的大型油气田已成为全球油气勘探领域竞相追逐的热点。我国南海北部深水油气勘探始于珠江口盆地白云凹陷的 L3 气田深水扇的发现, 但由于地质资料的缺失以及沉积盆地碎屑沉积物源分析方法的局限性, L3 气田优质储层的成因、沉积过程和控制因素存在很大争议。虽然早期通过碎屑组分分析、重矿物组合、全岩地球化学分析和地震层序等方法, 确认了华南沿海花岗岩母岩区是南海北部深水盆地的沉积物源, 特别是确立了从渐新世晚期开始发育的古珠江在沉积物质搬运过程中发挥了载体作用, 其携带华南沿海的碎屑物质进入珠江口盆地各个凹陷。使得 L3 气田所在的白云凹陷在内的各个凹陷的储积体的沉积充填以单向输送沉积为主, 局部由隆起带供给。随着沉积物源区判断有效方法的不断完善, 特别是碎屑锆石年龄谱系的兴起。大量来自南海北部的碎屑锆石年龄谱系研究证实了自始新世和早渐新世南海西部古隆起发育了“昆-莺-琼”古河流系统, 一直向南海东部地区输送大量沉积物, 为珠江口盆地珠二坳陷也提供了碎屑物质来源。这为重新研究 L3 气田优势砂体(珠江组和珠海组)的物质来源提供了新的思路。

本次研究根据最新钻遇的岩芯样品, 利用碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系分析, 结合岩芯沉积相资料, 对 L3 井的晚渐新世(珠海组)-早中新世(珠江组)的砂体开展沉积特征、沉积物源演化及其沉积充填过程研

究,进一步探讨了北侧古珠江和西侧物源对于 L3 气田渐新世-中新世储层的贡献。研究发现: L3 气田晚渐新世以来发育的浅海三角洲沉积特征的砂体,其沉积物锆石年龄谱呈多峰分布的特点,表现出西部古河“昆莺琼”物源和北部古珠江物源信号的叠加,且随着砂体叠加由老到新,其晋宁期的锆石谱峰呈增强趋势,说明北部古珠江物源供给在逐步增加。白云事件以后,随着水体的加深, L3 在珠江组的优势砂体表现为显著的陆坡深水沉积特征,其沉积物碎屑锆石 U-Pb 年龄谱表现出显著的北部古珠江物源信号,说明早中新世时期西部物源区已逐渐减弱,主要由北部古珠江物源为白云凹陷提供碎屑物质供给。

S22-P-5

南海南部陆缘原型盆地的差异演化过程及其区域构造意义

佟殿君^{1*}, 方璇¹, 任建业¹, 符艾茵¹

¹ 中国地质大学(武汉), 海洋学院
* djtong@cug.edu.cn

晚白垩世以来,在欧亚板块、印-澳板块和太平洋板块总体俯冲会聚背景之下,南海所在区域先后经历了古南海俯冲消亡、南海的扩张以及碰撞造山等复杂的演化过程,期间伴随着诸如曾母地块、南沙地块和礼乐地块渐次裂离华南陆缘并向南漂移与婆罗洲和卡加延岛弧发生拼贴碰撞,由此导致了南海南部陆缘原型盆地的结构和构造样式的差异。本文基于南海南部陆缘大量的地震资料以及关键钻井信息,通过不同地块所发育的盆地的构造-地层综合解析,识别出了不同原型盆地发育的关键构造界面,包括代表盆地新生代初始裂陷作用的 T100 界面,代表沙捞越造山运动 T80 界面,响应新南海中央海盆初始扩张的 T70 界面,以及响应西南次海盆停止扩张以及

沙巴造山的 T50 界面。结合构造和沉降特征,建立了各主要盆地的原型盆地发育序列,其中,曾母盆地可分为裂陷盆地(T100-T80)、前陆盆地(T80-T50)和被动大陆边缘盆地(T50-海底)3个盆地原型;沙海槽盆地可分为断陷盆地(T100-T60)、坳陷盆地(T60-T50)以及前陆盆地(T50-海底)3个盆地原型;礼乐盆地可分为裂陷盆地(T100-T70)、坳陷盆地(T70-T50)和前陆盆地(T50-海底)3个盆地原型。结合区域动力学变形过程和关键构造事件的分析,表明南海南部陆缘由西向东不同原型盆地的差异演化过程,是其对古南海自西向东呈剪刀式俯冲关闭以及新南海自东向西渐进式扩张过程的响应。

S22-P-6S

渤海海域东南部中生界埋藏型火山结构样式及其发育演化过程

符艾茵^{1*}, 宋志斌¹, 刘双¹, 任建业¹, 佟殿君¹

¹ 中国地质大学(武汉), 海洋学院
* fay11306@163.com

渤海海域东南部中生界埋藏型火山结构样式及其发育演化过程符艾茵, 宋志斌, 刘双, 任建业, 佟殿君中国地质大学(武汉), 海洋学院埋藏型火山是地质历史时期喷发,但后期被沉积物覆盖,不暴露于地表的火山构造,早期受风化、淋滤等作用下可形成良好的储层。火山岩储层是油气勘探的重要领域之一,近年来,渤海海域中生界火山岩取得了一系列重大油气勘探突破,证实了这套火山岩具有较好的勘探潜力。渤海海域渤南地区位于华北克拉通东部,晚中生代古太平洋板块俯冲后撤诱发强烈的岩浆作用,在渤南地区形成巨厚火山岩沉积,这些火山岩记录了深部地质过程信息,对认识

华北东部乃至东亚区域构造演化具有重要意义。通过渤南地区新采集的高品质 3D 地震剖面 and 钻测井资料的构造-地层综合解释,对火山喷发旋回、火山结构样式及其发育演化过程开展了系统的研究。结果表明,渤南地区中生界下白垩统义县组火山岩可划分为 3 个亚旋回:亚旋回Ⅰ以基性玄武岩为主;亚旋回Ⅱ以中性安山岩、粗面岩为主;亚旋回Ⅲ以中酸性英安岩为主,在纵向上整体构成了基性-中性-酸性完整的火山喷发旋回序列。在此基础上,根据火山外部形态和内部地震反射特征,在渤南地区识别出穹窿状、丘状、层状、盾状和楔状火山机构,且以层状火山为主,所形成的火山岩相以中酸性喷溢相、爆发相和基性溢流相以及火山沉积相为主。构造演化史重建恢复了中生界埋藏型火山的演化历史,古生代期间,渤南地区先后经历了海相和海陆过渡沉积过程;印支运动期间,受 NS 向挤压应力场作用,形成逆冲推覆构造并导致前中生代地层的强烈剥蚀;早白垩世期间,由于古太平洋板块俯冲后撤,渤南地区强烈伸展并伴随着左旋走滑,诱发大规模岩浆活动,形成规模巨大的火山群;晚白垩世,在区域挤压应力场作用下,火山岩遭受了大面积抬升剥蚀。新生代以来,受控于太平洋板块斜向俯冲作用,渤南地区持续伸展裂陷形成了厚度巨大的新生代沉积,中生界火山岩潜山在此过程中得到深埋改造。

S22-P-7S

西湖凹陷中央背斜带油气成藏差异及其影响因素浅析

向梦娇^{1*}, 李昆², 陈紫延¹, 李林洋¹, 张成¹

¹ 中国地质大学(武汉), 海洋学院

² 中国石化, 上海海洋油气分公司

* 2933907290@qq.com

大量的油气勘探实践表明, 西湖凹陷具有良好的石油地质条件。不断探讨分析西湖凹陷中央背斜带油气成藏规律,不但有利于该地区的油气勘探开发,而且对西湖凹陷其它区域的油气勘探同样具有参考价值。本研究充分利用测井、试油试气、录井显示、地球化学等资料,深入探究油气层分布规律以及油气性质特征。并根据烃类包裹体同期盐水包裹体均一温度——埋藏史投影定年法,进行油气成藏期次划分以及成藏时期确定。在此基础上编制了相关成果图件,从烃源岩、疏导体系以及圈闭发育程度三个方面剖析了造成油气成藏差异的主要成因

西湖凹陷中央背斜带油气类型总体上以气层为主,油层在苏堤较在玉泉-龙井发育;其分布规律存在一定差异,其中苏堤构造带油气层分布以花下段为主,而玉泉构造带以花上段为主。油气性质也存在一定差异,天然气非烃组分玉泉构造带 CO₂ 含量较高,苏堤构造带 N₂ 含量较高;由天然气干燥系数、甲烷碳同位素共同指示天然气成熟度北高南低;天然气均为热成因气,以煤型气为主,苏堤构造带具有部分油型气贡献;全油及族组分碳同位素揭示,油气主要来自平湖组源岩,玉泉构造具有花港组贡献;苏堤构造带为有机成因,玉泉构造带为无机壳源成因。成藏时间和成藏期次上也有所区别,花港组地层中玉泉构造比苏堤构造成藏期次少,且苏堤构造成藏时间较晚。

研究区湖组烃源岩有机质高,具有大规模生烃条件。北部平湖组烃源岩成熟时间较南部早,晚期生烃作用较弱,而南部平湖组烃源岩存在两个生烃高峰。中央背斜带内部主要发育早期 NNE 向和晚期发育近 EW 向两组断裂,晚期 EW 向断裂在中央背斜带南部分布较多。中央背斜带圈闭类型以背斜型为主,中北部呈左阶雁列式分布,南部构造圈闭为带状分布。通过分析西湖凹陷中央背斜带不同地区的烃源条件、疏导体系以及圈闭发育,研究不同区

带油气分布特征，总结油气富集的分布规律以及差异成藏的主控因素。

S23-O-1

新元古代雪球地球冰期消融时的古环境变化

郎咸国^{1,2,3*}，祝圣贤^{2,3}，曾杨丹杰^{1,2,3}

1 成都理工大学，沉积地质研究院

2 成都理工大学，油气藏地质及开发工程全国重点实验室

3 成都理工大学，深时地理环境重建及应用自然资源部重点实验室

* langxianguo19@cdut.edu.cn

新元古代雪球地球事件包括斯图特冰期（Sturtian）和马里诺冰期（Marinoan）。这两次冰期的结束标志着地球气候系统从极端冰室气候向温室气候的迅速的转变，雪球地球假说认为这一转换仅持续 10^3 至 10^4 年之间。值得注意的是两次冰期事件的化冰序列呈现显著的差别，比如马里诺冰期后，全球范围内沉积了一套数米厚的碳酸盐岩，称之为盖帽碳酸盐岩。然而在斯图特冰期结束后，盖帽碳酸盐岩沉积则十分局限。这一显著差异导致学界对于这两次冰期结束后的海洋生物地球化学循环及变化机制仍存在争议。

为此，我们对华南板块斯图特冰期化冰沉积记录-成冰系铁丝坳组和马里诺冰期化冰记录——成冰系南沱组进行了详细的沉积学和地球化学研究。铁丝坳组发育大量的黄铁矿，主要呈现为结核状、层状以及分散状三种形态。其中分散状黄铁矿具有低钴（Co）含量、低钴/镍（Co/Ni）比值以及高硫同位素组成（ $\delta^{34}\text{S}$ ）。进一步观察发现，分散状黄铁矿内部包含微晶、簇晶以及等轴晶体等多种晶体形态，且每个等轴黄铁矿晶体内部的硫同位素组成（ $\delta^{34}\text{S}$ ）表现出相对均匀的分布特征。南沱组顶部则存在大量黄铁矿结核，除此之外，结核围岩颗粒间隙中同样保存着较多的分散状

黄铁矿，包括草莓状黄铁矿和自形-半自形黄铁矿两种形态，以自形-半自形为主。草莓状黄铁矿占比较低，大部分低于 3%，并且草莓状黄铁矿的粒径统计主要分布在 6.5-27.2 μm 之间。进一步对全岩黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 进行分析，结果显示这些黄铁矿具有较高的 $\delta^{34}\text{S}$ 。为深入探究铁丝坳组和南沱组 $\delta^{34}\text{S}$ 变化，我们运用了瑞利分馏模型与一维扩散-对流-反应（1D-DAR）模型，对铁丝坳组和南沱组顶部的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 动态变化进行了模拟分析。结果发现，尽管两次冰期的 $\delta^{34}\text{S}$ 值表现出显著的差别，但是铁丝坳组和南沱组顶部都记录了相似的海洋氧化还原条件，即两次冰期结束时海洋中存在活跃的微生物硫酸盐还原作用及广泛的缺氧硫化。这一研究结果对于理解新元古代快速气候变化背景下的海洋生物地球化学循环响应提供了新证据。

S23-O-2

海水硫酸盐浓度对地球历史上有有机碳循环的影响

赵明宇^{1*}，肖可青²，Lisa Curti³，Caroline L. Peacock³

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院生态环境研究中心

3 University of Leeds

* mingyu.zhao@mail.iggcas.ac.cn

有机质的降解在全球碳循环和氧循环中起着关键作用，大气中分子氧的上升与有机碳的埋藏密切相关。然而，驱动这一降解过程的具体机制——以及最终被封存的碳比例——仍存在争议。在本研究中，我们通过微宇宙实验证明，硫酸盐浓度显著影响有机质的降解，尤其是在缺氧、低硫酸盐条件下，降解速率明显降低。这些结果表明，缺氧且硫酸盐匮乏的环境（如前寒武纪海洋和某些现代湖泊）能够提高有机质和磷的埋藏效率，同时抑制其再循环，从而导致初级生产力维持在较低水平。

因此,太古宙晚期、大氧化事件以及新元古代时期海水硫酸盐浓度的上升,可能极大地扩展了地球生物圈的容量,从而加速了早期生命的多样化进程。

S23-O-3

石油有机地球化学对晚埃迪卡拉—早寒武世转折期古海洋沉积特征的限定

贾望鲁^{1*}, 王素素¹, 陶明月¹, 彭平安¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* wljia@gig.ac.cn

晚埃迪卡拉至早寒武世是后生动物和海洋化学环境演化以及有机碳埋藏的重大地质历史转折期。世界各地已经发现了许多源自这一时期黑色页岩/泥岩的巨型油气田, 同一盆地石油在很大程度上反映了区域烃源岩的同位素和分子组成特征, 而不同沉积盆地的对比研究可能为这一时期的海洋沉积特征提供关键证据, 这对于热演化程度普遍较高的古老沉积岩尤为重要。塔里木盆地和四川盆地是我国两个十分重要的深层-超深油气勘探区, 来自晚埃迪卡拉至早寒武世优质烃源岩的油气勘探潜力大。受限于超深层钻井取芯数量, 利用有机地球化学方法恢复盆地内沉积环境的难度较大。

针对这些问题, 我们最近对塔里木盆地和四川盆地西北部海相原油/沥青的 C-S-N 同位素和生物标志物进行了深入分析和比较, 得出两个主要结论: (1) 两个盆地可能来自晚埃迪卡拉至早寒武世优质烃源岩的原油普遍具有偏轻的碳同位素和偏重的硫同位素组成, 其中塔里木盆地原油的 C-S 同位素组成由西向东呈上升趋势, 表明原油同位素组成可以指示盆地级古海洋沉积环境的变化。此外, 两个盆地原油/沥青的 C-S-N 同位素组成差异明显, 可能指示

了不同大陆古海洋沉积环境的差异。(2) 石油/沥青中普遍检出了芳基异戊二烯类烷烃和三甲基-异己基苯的生物标志物组合, 指示硫细菌的贡献和透光带水体硫化具有一定的普遍性, 为这一大规模有机碳埋藏期的古海洋氧化还原条件提供了重要的有机地球化学证据。此外, 两类生物标志物相对含量的变化还指示了原油总体热演化阶段的差异性。

总体来看, 尽管时间分辨率较低, 但原油能够为研究关键地质历史时期古老优质烃源岩的资源与环境意义提供关键的有机地球化学证据。

S23-O-4

新元古代末期海洋氧化驱动锰碳酸盐岩沉积成矿

张宾¹, 曹剑^{1*}, 胡凯¹, 边立曾¹, 姚素平¹

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院

* jcao@nju.edu.cn

新元古代成冰纪后是地球表层环境变化和生命演化的关键转折期, 富集多种具有经济价值的沉积型矿产, 是宜居地球演化及其资源环境效应的研究热点。基于目前发现的种类繁多的真核生物和后生动物化石记录以及间歇性碳循环波动, 新元古代氧化事件背景下全球海洋趋于氧化的观点被普遍接受。然而多种地球化学指标却指示该时期为整体缺氧的氧化还原分层的海洋。导致上述争议的原因可能包括(但不限于)以下两方面: 一是地球化学数据因采样原因多来源于陆架边缘封闭环境, 但局限环境条件并不能代表整个海洋的氧化还原特征; 二是不同的结论来源于仅能指示局部氧化还原条件的地球化学指标的局限性, 矛盾的古海洋氧化还原条件认识是不同地球化学指标的差异体现。这些矛盾制约了对同期海洋元素地球化学循环样式和关键元素富集成矿机制的认识。

本文以华南扬子陆块北缘开阔海洋背景下埃迪卡拉系陡山沱组 IV 段发育的全球同期唯一黑色页岩型锰碳酸盐矿床为例,综合氮同位素 ($\delta^{15}\text{N}$)、铁组分 ($\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$ 和 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$)、钼同位素 ($\delta^{98}\text{Mo}$) 以及黄铁矿形态特征等多指标分析,系统地重建了陡山沱组锰碳酸盐岩沉积期古海水从表层到深部在垂向上的氧化还原条件变化,为揭示古海洋氧化还原结构及锰碳酸盐矿物形成过程提供理论依据。结果显示,陡山沱组黑色页岩和锰碳酸盐岩的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于缺氧海洋沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值 ($\sim 0\%$),接近但略低于现代氧化海洋沉积物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值 ($5\%\sim 6.7\%$),指示表层透光带氧化的古海洋环境,其氧化程度接近但略低于现代海洋。黑色页岩的 $\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$ 和 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$ 值高且相对集中,指示稳定的硫化底层水环境,这得到了直径普遍小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的草莓状黄铁矿的证实。相比而言,锰碳酸盐岩的 $\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$ 和 $\text{Fe}_{\text{py}}/\text{Fe}_{\text{HR}}$ 值均较低变化且范围大,表明锰成矿期底层水的氧化还原状态不稳定,同时黄铁矿含量少且直径大,指示相对氧化的底层水环境。此外,锰碳酸盐岩具有负的 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值,明显低于黑色页岩的 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值,反映锰碳酸盐岩沉积于较黑色页岩沉积期更为氧化的古海洋环境中,表明黑色页岩和锰碳酸盐岩沉积期氧化还原界面存在明显波动。古海洋氧化还原环境的波动证实陡山沱组锰碳酸盐矿物的形成经历了锰的氧化还原过程,锰碳酸盐矿物中的锰来源于锰氧化物的还原作用。

本研究证实新元古代末期海洋趋于氧化,这为生物的演化提供了生存空间,同时海洋的氧化和波动的氧化还原界面是驱动锰的氧化还原循环和锰碳酸盐矿物沉淀不可或缺的外部环境因素。地质历史时期地球系统演化格架中的生物-环境协同演化和关键元素生物有机成矿机理有待进一步深入研究。

S23-O-5

多因素控制下的陆相湖盆黏土矿物演化模式及其地质意义

姚雪玉¹, 金之钧^{1,2*}, 姜福杰¹, 郑晓薇¹, 齐振国¹, 黄任达², 梁新平²

¹ 中国石油大学(北京), 地球科学学院

² 北京大学, 能源研究院

* 1289028970@qq.com

沉积岩中黏土矿物类型、含量和产状等对古气候-古环境重建,有机质保存,油气生成,储层孔隙结构、孔隙类型、物性、可压性等方面均有控制作用,直接或间接地影响油气开发的全过程,使得黏土矿物成为石油勘探开发研究中的重要对象。然而,前人针对陆相页岩黏土矿物的相关研究多集中在温度等因素对其的控制作用,忽视了微生物在早成岩阶段对黏土矿物转化的促进作用。而有关微生物改造作用的研究又多集中于海相、海陆过渡相地层,缺乏针对陆相湖盆的相关研究。本文以松辽盆地明水组-沙河子组泥页岩为例,基于XRD分析、元素分析、有机地化分析等数据及黏土矿物转化动力学模型研究的方法,对陆相泥页岩黏土矿物在沉积-成岩演化过程中含量变化及转化特征进行研究。研究结果表明:松辽盆地黏土矿物含量较高,浅埋深地层($<1000\text{m}$)主要以蒙脱石和伊利石为主,深埋藏地层($>1000\text{m}$)主要以伊利石、伊蒙混层为主。在半深湖-深湖相区早成岩阶段的泥页岩地层中发现产甲烷菌、硫酸盐还原菌等微生物促进蒙脱石向伊利石发生转化的现象。而半深湖-滨浅湖相区早成岩阶段的泥页岩地层受沉积环境的影响,并未发生微生物促进黏土矿物转化的作用。基于上述研究结果,本文建立了两类黏土矿物转化模式:湖盆边缘仅受温-压等因素控制的传统黏土矿物转化模式和盆地沉积中心受微生物-温度-压力等多因素协同控制的黏土矿物转化模式。研究发现早期成岩阶段形成的黏土-有机复合体能

隔离氧气并抑制微生物活动,促进有机质保存。且黏土矿物在成岩转化(如蒙脱石伊利石化)过程中释放层间水,生成微裂缝及层间孔,同时有机质生烃产生的异常压力可诱导黏土片层间形成纳米孔隙,提升页岩油气的储集空间。研究结果对黏土矿物在早成岩阶段受到微生物影响的转化模式进行了补充,完善了陆相湖盆黏土矿物演化序列,对丰富陆相页岩油气生烃理论及黏土矿物作用具有重要意义。

S23-O-6

晚寒武世 SPICE 事件的生物响应与塔里木盆地海相富¹³C 原油的来源

程斌¹, 王浩哲^{1,2}, 韦志伟^{1,3}, 廖泽文^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 中国有色桂林矿产地质研究院

* liaozw@gig.ac.cn

晚寒武世(芙蓉世) SPICE 事件(Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion, 497-494 Ma)以无机碳酸盐稳定碳同位素的正漂移为显著特征,是地质历史时期全球最大的碳循环扰动之一,伴随着海洋生物灭绝、浮游生物革命与规模性有机碳埋藏等过程。该事件的触发机制、生物响应及油气资源效应等问题仍不清楚。本工作对塔里木盆地上寒武统(芙蓉统)不同沉积相(浅海相、斜坡相、深海相)地层剖面及台盆区海相原油开展了系统的生物-油气地球化学研究工作。通过对比不同沉积相剖面上的有机-无机碳同位素演化曲线,明确了 SPICE 事件在海洋不同沉积相环境中的不同步性,揭示了浮游生物在不同深度海洋区域的动态演化过程,强调了晚寒武世海洋生物灭绝与更替受到海水深度梯度的控制。晚寒武世海洋浮游生物为适应大气 CO₂ 浓度降低的极端环境而调

整了生存策略,通过摄取海水中 HCO₃⁻ (CO₂ concentrating mechanism, CCM 机制)来维持生命活动,维持了海洋初级生产力的相对稳定,为上寒武统烃源岩的发育奠定了基础。通过开展塔里木盆地不同沉积相特征对比与油-源对比,提出了晚寒武世时期塔里木盆地台盆区泻湖相沉积环境可能发育了上寒武统烃源岩,并对台盆区富集¹³C/亏损²H 的海相原油具有重要贡献。

S23-O-7

稳定钕同位素指示热带花岗岩风化与稀土成矿

雒恺¹, 马金龙^{1*}, 韦刚健¹

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* jlma@gig.ac.cn

稳定钕同位素在关键地球化学过程中的分馏行为仍然缺乏足够的了解,限制了其作为一种新兴示踪指标在化学风化中的应用。天然粘土矿物和铁(氢)氧化物由于其强大的吸附作用,在 Nd 的迁移中起着关键作用,但这些矿物中稳定 Nd 同位素分馏的控制尚不清楚。本研究首次提供了热带-亚热带花岗岩风化剖面中全岩腐岩样品和顺序提取样品的稳定 Nd 同位素($\delta^{146}\text{Nd}$)数据,目的是阐明稳定 Nd 同位素在花岗岩风化过程中的行为,评价 Nd 通量及其对风化壳型稀土矿床形成的影响。研究结果显示全岩腐岩样品的 Nd 含量为 23.4 ~ 175 μg , $\delta^{146}\text{Nd}$ 值为 -0.063‰ ~ 0.117‰,其中腐岩中的大部分 Nd 以可交换相的形式存在,主要被高岭石吸附。在低离子强度和不同 pH 条件下,高岭石表面分别形成具有吸附较轻和较重 Nd 同位素的内-外球络合物,导致腐岩的 $\delta^{146}\text{Nd}$ 值显著变化。铁(氢)氧化物对腐岩的 $\delta^{146}\text{Nd}$ 值起次要控制作用,其中水铁矿优先吸附较重的 Nd 同位素,而赤铁矿和针铁矿则更加偏好于较轻的 Nd 同位素。此外,基于花岗岩风化剖面尺度,

我们计算了花岗岩风化过程中的 Nd 通量, 计算得到的 Nd 元素通量为 $-0.22 \sim 0.27 \text{ g/cm}^2/\text{Myr}$, Nd 同位素通量为 $-0.004 \sim 0.002\text{‰}/\text{mg/cm}^2/\text{Myr}$ 。Nd 通量为正值与稀土富集带相关, 表明持续的风化驱动 Nd 的再迁移控制着稀土矿床的形成。我们的研究表明, $\delta^{146}\text{Nd}$ 值是风化壳型稀土矿床中稀土元素富集和矿化的有效示踪指标, 我们建立的风化通量驱动模型为理解表生环境中的 Nd 循环提供了一个基本框架, 并揭示了溶解和吸附之间的动力学竞争控制着具有经济价值的稀土矿床的形成。

S23-O-8

有机硫同位素组成应用于古海洋环境和油气源岩对比研究

蔡春芳^{1*}, 刘栩延¹

¹ 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* cai_cf@cup.edu.cn

自然界沉积有机硫(OS)与黄铁矿硫一样, 主要来源于细菌硫酸盐还原作用产生的 H_2S 。沉积岩中有机硫化合物硫同位素组成一般比黄铁矿重, 但一些有机硫也显示轻于黄铁矿, 同时, 有机硫具有抗水解特点, 于是, 能提供一些独特的环境信息。燕辽盆地中元古代下马岭组从下而上, $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{OS-py}}$ 从 <0 增加 $+9.6\text{‰}$, 显示海水活性铁和溶解氧气逐渐增高; 扬子地台新元古代大塘坡组有机硫同位素组成高于黄铁矿, 且 $\Delta^{33}\text{S}$ 与 $\Delta^{36}\text{S}$ 之间具有负相关关系, 显示有机硫形成于细菌硫酸盐还原作用, 超重黄铁矿和有机硫形成于极其富 ^{34}S -硫酸盐的还原作用; 早寒武世玉尔吐斯组有机硫同位素组成低于黄铁矿则可能反映存在溶解有机碳库, 有机硫在水柱中发生硫化; 晚泥盆世 Upper Kellwasser Horizon (UKH) 初期, $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{OS-py}}$ 低且 $\text{FeHR}/\text{FeT} > 0.8$, 显示静水硫化水柱, 强烈

的细菌硫酸盐还原作用和蒸发岩沉积, 导致 FF 期间, 海水极端贫硫酸盐; 二叠-三叠纪过渡时期, 富 $^{32}\text{S}-\text{H}_2\text{S}$ 上涌而被氧化导致海洋表层 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CAS}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{OS}}$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 都发生负偏移; $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{OS-py}}$ 值可以反映海底是否缺氧。

沉积有机硫经过深埋将发生裂解而形成液态和气态有机含硫化合物, 而随油气其他组分一起运移到油气藏中。如果油气生成过程发生在渐进埋藏体系中, 挥发性有机含硫化合物和二苯并噻吩硫同位素组成, 可以很好地用于与烃源岩干酪根有机硫同位素组成进行对比, 从而确定油气的来源。应用这一方法, 塔里木盆地台盆区油气来自寒武系, 四川盆地开江-梁平海槽周边二叠-三叠系天然气来自上二叠统, 海槽南边来自志留系和中二叠统。

S23-O-9

轨道强迫气候变化控制松辽盆地古龙页岩油富集旋回和甜点层系

王华建^{1*}, 刘真吾², 李山², 柳宇柯⁴, 高爽³, 吕亦然¹, 吴怀春², 张水昌⁴

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所

² 中国地质大学(北京)

³ 中国矿业大学(北京)

⁴ 中国石油勘探开发研究院

* wanghuajian@mail.iggcas.ac.cn

中国在持续加强陆相页岩油勘探开发力度, 页岩油甜点层是决定单井生产效益的关键。本文研究了松辽盆地古龙页岩油的富集旋回周期和主控因素, 发现过成熟区页岩油富集主要受控于 173 kyr 斜率振幅调制周期形成的有机质丰度旋回, 而不是与岩性组成和储层质量有关的石英和黏土矿物含量。有机质和矿物含量的频谱分析揭示调控中高纬度水循环的 173 kyr 周期和斜率周期主要控制了松辽盆地古湖泊内的碳循环、有机碳埋藏和绿泥石生成, 调控

低纬度水循环的偏心率和岁差周期则主要控制了松辽盆地内的降水量和陆源矿物输入通量,表明松辽盆地晚白垩世气候变化受源自低纬度的季风和中纬度西风的联合驱动,使得有机质丰度和矿物组成也成为有效的气候代理指标。根据过成熟区青山口组页岩油原位富集特征以及与有机质丰度的显著相关性,推荐 173 kyr 周期对应的 12~13 m 沉积厚度作为页岩油开发的箱体高度,处于青山口组页岩压裂所生成的最优缝高范围(10~15 m),斜率最大值时形成的有机质丰度和页岩油含量高值点可作为水平井钻进靶层。因此,轨道强迫的气候变化可能不仅控制了松辽盆地有机碳埋藏和岩性组成的沉积韵律,也控制了现今的古龙页岩油富集旋回。

S23-O-10

早中始新世湖泊碳氮循环、环境演化与有机碳富集之间的强耦合

徐川^{1*}, 单玄龙², 郝国丽²

1 成都理工大学, 地球物理学院

2 吉林大学, 地球科学学院

* xuchuan23@cdut.edu.cn

早中始新世是显生宙的一个关键阶段,因为其代表地球历史上最后一个长寿命的温室期,查明其碳氮地球化学循环机制将有助于我们理解早中始新世全球变暖的环境演变和资源富集效应。目前这种浓厚的兴趣主要集中在海洋系统中,而对早中始新世湖泊系统的碳和氮的地球化学循环过程了解甚少。针对这一科学问题,我们对珠江口盆地中始新统文昌组富有机质泥岩进行了系统的稳定碳氮同位素和生物标志物分析,揭示了沉积物中记录的古气候扰动和古环境演化信息,并建立了基于碳氮循环的文昌组概念性环境和生物地球化学模型。碳同位素数据表明地球化学碳循

环主要受湖水中溶解 CO₂ 浓度和化学自养条件的显著影响,文昌组泥岩样品中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 的负偏移是对早中始新世温暖古气候和高大气 CO₂ 浓度的积极反馈。增强的化学风化作用促使初级生产力提升和湖泊还原环境的加剧,在生产力和缺氧之间形成反馈回路,这种温暖湿润气候的驱动机制在单元 I 和单元 III 中尤为显著。而伴随着大气 $p\text{CO}_2$ 的下降,正偏移的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 值暗示了存在气候冷却区间(单元 II 和单元 IV)。盐渍化事件导致该时期强限制环境下的缺氧半咸水水柱,而 $\delta^{15}\text{N}$ 的正偏移也暗示了反硝化速率的增强。 $\delta^{15}\text{N}$ 的正偏移与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 和 TOC 丰度的正偏移同步变化,这意味着硝酸盐浓度的升高与湖泊还原环境和生物生产力的增强同步,进而促进了华南早中始新世湖相富有机质泥岩的广泛发育。研究揭示早中始新世碳氮循环、环境变化和有机碳富集之间的强烈耦合性,将为理解古气候暖化时期湖泊碳氮循环和有机质富集机制提供关键约束。

S23-O-11

西屯脊椎动物群生活在一个盐度变化的浅海环境中

蔡家琛¹, 孙浩然², 赵文金^{3*}, 王建华⁴, 朱敏³

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院大学, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

3 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

4 曲靖师范大学

* zhaowenjin@ivpp.ac.cn

富存于云南曲靖地区下泥盆统西屯组的西屯脊椎动物群主要以盔甲鱼亚纲的多鳃鱼类和华南鱼类、盾皮鱼纲的云南鱼类以及硬骨鱼纲的肉鳍鱼类冠群的辐射演化为特征。目前虽已有大量文献对该动物群及其沉积与构造背景进行了研究,但对于这些早期脊椎动物所生活的环境,仍缺乏客观一致的解释。我们基于对曲靖市周边

地区的详细野外地质调查及对西屯组剖面的实测数据,通过对主量元素、微量元素和稀土元素地球化学指标的综合分析,初步阐明了西屯组的沉积环境背景、恢复了西屯脊椎动物群的生境,为早泥盆世鱼类与环境的协同演化提供了可靠依据。对西屯组沉积期的构造背景、物源、古气候、古盐度以及古氧相等地球化学指标的分析结果表明:滇东地区下泥盆统西屯组主要沉积于富养的浅海环境,且伴随有三次海水淡化事件,西屯脊椎动物群的主要含鱼层的形成与第一次海水淡化事件有关。镁铁质陆源碎屑的增加为海水带来丰富的营养物质,提高了海水初级生产力,促进了鱼类的繁盛。

S23-O-12

地表基质:地质学与生态学可持续发展的桥梁

殷志强^{1*}

1 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心,地表基质研究室

* yinzhiqiang@mail.cgs.gov.cn

地表基质是地球表层支撑和孕育土壤、森林、草原等各类自然资源的基础物质。地表基质与植被生态间的约束-响应关系是科学开展植被恢复的先决条件。尽管地球关键带(ECZ)概念提出已有20多年,但学界在量化地下地质过程对生态系统动态的调控作用方面仍存在认知缺口——尤其是岩石圈过程与植被格局间的关联机制尚未明晰。中国地质研究人员最近提出了地表基质概念,为刻画岩性多样的基岩风化-生态过程交互界面(通常深度<20米)提供了革新性研究框架。作为ECZ的架构基底,地表基质调查数据不仅可填补关键带研究空白,更能通过地质-生态耦合助力可持续植被恢复与土地资源管理,这对实现联合国可持续发展目标15(陆地生物)和2(零饥饿)具有重要意义。该概念的提出

标志着地球科学研究范式的转变——不再将地质要素视为静态背景参数,而是作为生态系统的动态建构者。地表基质异质性通过物理结构(孔隙-裂隙系统等)、矿物元素组成和化学属性的差异得以表征,深刻影响着植被类型、群落结构及覆盖度(如NDVI、NPP等指标)。当前,地表基质异质性对植被生态的关键约束过程与调控机制已成为自然资源领域的研究热点与前沿方向。未来亟需针对不同气候带开展地表基质关键约束过程的纵深研究,为植被恢复和土地管理提供科学依据。

S23-P-1S

早始新世气候适宜期 (EECO)的陆相环境响应: 对中国南海有机富集的影响

郭婧^{1,2*}, 姜福杰^{1,2}

1 中国石油大学(北京),油气资源与工程全国重点实验室

2 中国石油大学(北京),地球科学学院

* 576922262@qq.com

早始新世气候适宜期(EECO)代表了新生代早期温室气候的高峰。然而,陆相湖盆对EECO的环境响应及其对有机质富集的影响仍缺乏全面的理解。我们整合了中国南海珠江口盆地开平凹陷文昌组地层的沉积学、天文年代学和地球化学数据,重建了EECO期间的古环境演化和有机质富集模式。我们建立了文昌组下段地层的天文时间尺度(ATS),时间跨度从55.3Ma至43.9Ma。在约51.5-48.7Ma,文昌组地层记录的2.4Ma长偏心率调制周期、1.2Ma斜率的调制周期和405ka周期的最大值发生重叠。这一天文记录与富有机质泥页岩的沉积及其记录的温暖湿润的气候同时发生,这为中国南海陆相湖盆提供了EECO事件的有力证据。本研究首次详细记录了中国南海对EECO事件的古环境响应,

表现为高陆源输入、缺氧水体条件和高古生产力。EECO 事件前后古环境的响应表现出明显的差异。EECO 之前 (Pre-EECO), 开平凹陷经历了短暂的预热, 环境响应与 EECO 时期类似, 但持续时间和环境响应程度都不及 EECO, 这一记录突显出陆地记录的高敏感性。EECO 之后 (Post-EECO) 的古环境响应与 EECO 期间相反, 这一时期气候变冷, 陆源输入和古生产力降低, 湖盆氧化。皮尔逊相关分析表明, EECO 气候通过影响湖泊的古生产力和保存条件, 控制了有机质的富集。大气 CO_2 水平升高和陆源输入增加促进了藻类繁殖, 增强了湖泊的生产力。有机质的保存受到水体分层和底层水缺氧的控制, 这一过程是由陆源输入增加和湖面升高所驱动的。我们的研究增强了对全球变暖期间陆地环境反馈机制的理解, 并为预测未来气候变化提供了新的视角。

S23-P-2S

地球系统演化控制沉积型磷矿床的形成

苟苏恒^{1*}, 包秀娟², 胡永云¹

1 北京大学, 物理学院

2 中科院地质与地球物理所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* suheng_gou@stu.pku.edu.cn

沉积型磷矿床是以细晶磷灰石为主要矿物的海洋沉积型矿床, 传统成矿理论认为沉积型磷矿床的形成受到海洋上升流、大陆架浅海环境和大陆风化磷输入的影响。本研究使用地球系统模式 (CESM1.2.2) 对显生宙的气候环境进行模拟, 结合沉积型磷矿地质记录, 发现显生宙地球系统各圈层的协同演化控制了沉积型磷矿床的形成。气候作用影响岩石圈的大陆风化向海洋的磷输入, 导致沉积型磷矿床主要形成于暖期的中低纬度地区。海洋中的季节性上升流为沉积型磷矿床提供低氧、高溶解磷的

沉积环境。三圈环流造成不同纬度上大陆两侧的海洋辅合辅散的不同, 导致沉积型磷矿在低纬度主要分布于大陆西侧, 在中纬度主要富集于大陆东侧。本文结果对使用气候模拟研究其他沉积型海洋矿床有指示意义。

S23-P-3S

基于多尺度变量选择、CatBoost 和算术优化算法的页岩油甜点段预测新方法

樊晓琦¹, 姜福杰^{1*}, 陈迪¹

1 中国石油大学 (北京), 地球科学学院

* jfjhtb@163.com

页岩油甜点段的评价对于非常规油气的高效开发至关重要。然而, 页岩油富集机理及其复杂, 传统方法难以准确描述富集主控因素与甜点之间复杂的映射关系, 使得评价结果与实际地质情况之间存在偏差。因此, 本研究提出了一种基于多尺度变量选择、CatBoost 和算术优化算法的页岩油甜点段预测新方法。该方法利用研究区页岩的烃源岩特征 (总有机碳含量 (TOC)、游离烃量 (S_1)、含油饱和度指数 (OSI)、镜质体反射率 (R_o)、有机质类型、氯仿沥青“ A ”), 储层特征 (有效孔隙度、渗透率、裂缝密度) 和可压性特征 (脆性指数、杨氏模量、泊松比、应力差), 实现地质工程指标的定量表征。本研究基于指标的内在机制和排他性, 结合多尺度变量选择算法, 选择页岩油甜点段分类的最优特征。随后, 采用 CatBoost 算法对甜点段进行分类。为优化模型性能, 采用六种不同的元启发式算法对 CatBoost 的超参数进行调优。同时, 采用 K 折交叉验证方法来防止数据过拟合。混合模型的准确率通过 overall accuracy (OA), precision, recall, 和 F1 score 等统计评价指标进行评价。结果表明, 最优特征为 S_1 、

有效孔隙度和脆性指数,模型的 OA 值较特征优化前提高了 12.85%。在对页岩油甜点段进行分类时, CatBoost-AOA 算法的 OA 值达到 98.30%, 优于其他分类算法与元启发式算法的组合。此外, 该模型的预测 precision 为 97.50%, recall 为 97.30%, F1 score 为 97.23%, 表明该模型的性能非常出色。本研究识别出了四个相对集中的甜点段, 创新形成了页岩油甜点段预测的关键核心技术。

S23-P-4S

陆相湖盆差异咸化机制: 多因素影响和触发条件的定量评估

齐振国¹, 姜福杰^{1*}, 房舟¹, 姚雪玉¹, 周静琪¹, 张宇¹, 张宇琦¹

¹ 中国石油大学(北京), 地球科学学院
* jfjhtb@163.com

盐度对湖泊生态系统、有机质富集以及烃源岩的形成都有重要的影响。但湖泊咸化影响因素众多, 且很多现代湖泊和古湖泊中都发现了差异咸化的现象。然而, 目前对湖泊咸化机制的研究多以定性、单因素分析为主, 尚未有学者在多因素影响下定量地分析湖泊差异咸化机制、梳理各机制的触发条件。古近纪是重要的咸化含油气盆地发育时期, 渤海湾盆地是其中的典型代表, 盆地古近系为主力烃源岩层系, 且在平面、垂向上均存在差异咸化沉积。该时期渤海湾盆地局部气候多变, 并且盆地边缘凹陷存在热液、海侵以及差异的地表径流等特征, 是研究古湖泊差异咸化机制的绝佳场所。本次研究通过对渤海湾盆地东部边缘凹陷古近系富有机质泥页岩样品元素、生标、硫同位素等测试, 定量分析多因素下的湖盆差异咸化机制, 并重点关注每种机制的独特触发条件, 结果表明: 蒸发作用在气候达到一定干旱程度

($Sr/Cu > 25$) 时起主导作用; 幔源热液对于湖泊咸化影响较小, 当其与地层卤水一起上涌时, 才能够引起湖泊咸化; 海侵能够给湖泊带来大量盐类物质, 若海侵时期与干旱时期耦合, 海盐输入与蒸发作用将加剧咸化; 地表径流能够有效稀释水体, 降低盐度, 但是盐度大于 8‰ 时稀释作用才较为显著, 在靠近河口区域最为明显。总体上, 干旱蒸发和(大规模)海侵能够使湖泊大范围咸化, 是控制不同时期湖泊咸化差异的主要因素; 而深部热液和地表径流受局部的构造和地层特征影响, 控制了湖泊不同位置的咸化差异。综合研究表明, 在复杂的地质条件下, 湖泊咸化成因往往需要结合各咸化机制的触发条件进行定量分析。

S23-P-5S

冷泉碳酸盐岩中 Cd 的赋存机制与同位素分馏特征及其指示意义

钟桥辉^{1,2}, 李杰^{1*}, 冯东^{3*}

¹ 中国科学院广州地球化学研究所, 深部地球过程与资源国家重点实验室

² 中国科学院大学

³ 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* jieli@gig.ac.cn

* feng@scsio.ac.cn

冷泉系统是现代海洋中重要的还原性环境, 其独特的生物地球化学条件对金属元素的迁移与赋存产生深远影响。镉(Cd)作为一种氧化还原敏感元素, 其在冷泉环境中的循环机制及其同位素分馏过程尚缺乏系统性研究。发育于冷泉系统中的自生碳酸盐岩是记录局部地球化学条件变化的重要载体。本研究选取墨西哥湾和南海冷泉碳酸盐岩样品, 系统反演了其中 Cd 的地球化学分布特征与碳酸盐相 Cd 同位素组成。结果显示, 自生 Cd 主要赋存于碳酸盐矿物中, 而非硫化物相, 有机相中 Cd 的含量可

以忽略。这表明在早期成岩过程中,海水和/或孔隙水中的 Cd 倾向于与碳酸盐矿物结合,而非通过与硫化氢共沉淀而固定。此外,以文石、高镁方解石、低镁方解石和白云石矿物组成为主的冷泉碳酸盐岩,其 $\delta^{114/110}\text{Cd}_{\text{carb}}$ 值存在显著差异。这些变化主要受控于甲烷-硫酸盐转换带的深度(间接受甲烷渗漏强度的控制)和海水 Cd 的补充速率等的影响。部分近纯文石碳酸盐岩的 $\delta^{114/110}\text{Cd}_{\text{carb}}$ 值还受到有机质的影响,而富白云石碳酸盐岩的 $\delta^{114/110}\text{Cd}_{\text{carb}}$ 值很可能受碳酸盐矿物控制。不同类型的冷泉碳酸盐岩的 $\delta^{114/110}\text{Cd}_{\text{carb}}$ 组成与其相应的上覆底层海水表现出不同程度的 Cd 同位素分馏,若结合精细的地球化学约束,特定矿物相冷泉碳酸盐岩具有记录古海水 Cd 组成的潜力。综上,冷泉系统早期成岩过程中 Cd 的分布特征及碳酸盐相的 Cd 同位素分馏行为,为理解表层系统中 Cd 的生物地球化学循环及其同位素地球化学提供新的视角。

S23-P-6S

华南下寒武统沉积型磷块岩 差异性稀土富集特征与机制

明鑫雨¹, 姜磊^{1*}, 王子晨¹, 梅文华¹, 陈代钊¹, 蔡春芳²

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所

² 中国石油大学(北京)

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

稀土被誉为“现代工业维生素”,是具有战略地位的关键金属资源。我国主要以富轻稀土(低价)的碳酸盐型矿床为主,而中、重稀土(高价)在一些沉积型磷矿床(如:深海软泥、磷块岩)中尤为富集。由于沉积型磷块岩矿床($\text{P}_2\text{O}_5 > 18\%$)的形成经历了复杂的沉积、成岩过程,目前学术界在其稀土元素的富集机制上存在诸多争议。本文系统对比了华南下寒武统不同品位的磷块岩型稀土矿床剖面的主、微量及稀土元素特征,包括贵州织金磷矿、

云南羊场磷矿、云南昆阳磷矿,并重点剖析了稀土富集机制。研究结果显示,各矿区的磷灰石样品均富集中、重稀土。贵州织金磷矿区(128~1893ppm,平均 1004ppm; $n = 38$)与云南梅树村期矿床,如羊场磷矿(116~930ppm,平均 427ppm; $n = 60$),昆阳磷矿(142~343ppm,平均 237ppm; $n = 13$)呈现出显著的差异性稀土富集特征。织金磷矿的磷灰石颗粒主要呈短柱形(微生物岩状)团块、核形石,指示水动力条件较低、水体较深;羊场磷矿与昆阳磷矿的磷灰石颗粒主要呈现圆形或次圆形,偶见鲕粒状,指示较强的水动力条件、水体较浅。各矿区均表现较低的 Ce/Ce* 值:其中羊场磷矿区(0.19~1,平均 0.33; $n = 60$)与织金磷矿(0.34~0.46,平均 0.38; $n = 38$)显著低于昆阳磷矿(0.40~0.65,平均 0.5; $n = 13$)。结合稀土含量研究认为稀土富集可能受沉积水体的氧化程度控制。综合 LaN/SmN 值(0.52~1.92,平均 1.23; $n = 141$)和 LaN/YbN 值(0.24~2.17,平均 1.28; $n = 141$),及 Y/Ho 比值(29.9~78.97,平均 59.21; $n = 141$),研究认为各矿区稀土均源自海水,并在成岩水体中富集。综合 ΣREY 、Nd、U 含量、及 Ce/Ce* 的相关性,结合沉积学特征,研究提出低沉积速率叠加强氧化水体有利于稀土富集,各矿区稀土元素差异富集可能受沉积期大气氧含量及磷块岩沉积环境共同控制。结合前人对上述各矿区磷矿资源量的报道,结合实测的稀土含量,经估算,梅树村期磷块岩稀土资源量超过 1100 万吨,占研究区稀土总量的 98%,是新增中、重稀土潜在资源的重点对象。

S23-P-7S

白云石 U-Pb 定年揭示华南下寒武统磷块岩稀土矿成矿机制

王子晨^{1,2,3}, 明鑫雨^{1,2,3}, 梅文华^{1,2,3}, 蔡春芳⁴, 姜磊^{1,2,3*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

3 中国科学院大学

4 中国石油大学(北京)

* lei.jiang@mail.iggcas.ac.cn

磷块岩是我国战略性稀土资源增储的关键突破对象,但在其成矿时间及稀土富集机制方面,学术界尚存争议。磷块岩中普遍发育的碳酸盐岩矿物可能记录了重要的古海水和成矿背景信息,能够有效助力揭示稀土成矿机制,但这一点在前人的研究中尚未得到充分重视。本研究对华南下寒武统织金戈仲伍剖面、昆阳磷矿梅树村剖面以及羊场磷矿进行了系统的全岩稀土元素分析与白云石胶结物 U-Pb 定年对比研究。结果显示,戈仲伍剖面稀土品位最高(960~1893ppm,平均 1445ppm; n=22),其 Ce/Ce*值平均为 0.4 (n = 22); 羊场磷矿品位次之(116~930ppm,平均 427ppm; n=60),其 Ce/Ce*值平均为 0.3 (n = 60); 昆阳磷矿品位最低(142~343ppm,平均 237ppm; n=12),其 Ce/Ce*值平均为 0.5 (n = 12)。这些结果表明,不同矿区的稀土富集特征存在显著差异,且水体总体呈氧化特征,稀土含量较高的矿体相对氧化程度更高。对白云石胶结物的 U-Pb 年龄分析结果表明,少量白云石胶结物的 U-Pb 年龄为 532±6 Ma,与地层沉积年龄接近,支持其为同生期海水成岩产物;而大部分白云石胶结物的 U-Pb 年龄较年轻(平均 420 Ma, n=21),结合 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 特征,表明这些白云石经历了封闭成岩体系的 U-Pb 年龄重置。对白云石 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 初始值的计算结果显示,稀土含量较高的羊场磷矿的 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ (0.4~10.5,平均 4.6; n=7) 高于昆阳磷矿 (0.9~9.5,平均 3.3; n=9)。鉴于 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 初始值与大气氧含量正相关性,研究认为华南下寒武统磷块岩中稀土元素的差异性富集,可能主要受到成矿期大气氧含量演化的控制。

S23-P-8S

从三甲基-烷基苯看我国源自下寒武统黑色页岩原油的差异演化特征

陶明月^{1,2}, 贾望鲁^{1*}, 王素素^{1,2}, 彭平安^{1,2}

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 中国科学院大学

* wljia@gig.ac.cn

三甲基烷基苯是一类重要的分子标志物,根据侧链可划分为芳基类异戊二烯(TMIPB)、三甲基正烷基苯(TMnAB)、2, 3, 6-三甲基异己基苯(2, 3, 6-TMiHB),可用于指示来源、沉积环境、成熟度等。晚埃迪卡拉-早寒武世是地球历史上古海洋化学环境的重大转折期,在四川、塔里木等大型盆地均发育规模性优质烃源岩。塔里木盆地深层-超深层油气资源的发现,四川盆地西北部广泛出露来源于下寒武统烃源岩的沥青和油苗,对来源于下寒武统黑色页岩的深层-超深层油气勘探具有重要的研究价值。塔里木盆地已经有三甲基-烷基苯的报道,而川西北地区储层沥青可能由于出露地表遭到强烈的生物降解的原因,一直未见三甲基烷基苯类分子标志物的报道。本研究在多类三甲基-烷基苯结构鉴定的基础上,详细对比了川西北地区储层沥青游离烃、键合烃以及塔里木盆地塔中和塔北地区不同类型原油中三甲基烷基苯的分布规律,旨在为源自下寒武统黑色页岩原油的差异演化特征提供新的判断依据,并对对早寒武世富有机质沉积的水体环境的差异提供新的制约。通过对三甲基-烷基苯的研究,主要得到以下四点结论: 1. 本研究检出了三大类三甲基-烷基苯,包括 2, 3, 6-TMIPB、TMnAB(主要为 2, 4, 5-/2, 3, 5-、2, 3, 6-、2, 3, 4-三甲基系列)和 2, 3, 6-TMiHB(C₁₅),三类三甲基-烷基苯在同一盆地不同类型样品以及不同

盆地之间相对含量差异大。2.本研究还构建了一个新的三元图, 2, 3, 6-TMIPBs 和 2, 3, 6-TMiHB 与 TMnABs 的比值揭示了川西北地区储层沥青复杂成因过程, 包括至少两期原油充注、早期充注油中沥青质不同程度的次生裂解, 以及次生裂解产物与来自高成熟烃源岩的晚期充注油的混合作用。3.塔里木盆地不同类型油 C₁₅ 2,3,6-TMIPB、2,3,6-TMiHB 和 TMnABs 的相对浓度三元图揭示了原油热成熟度差异。对比塔里木盆地和四川盆地三甲基-烷基苯的分布发现, 两个盆地源自下寒武统黑色页岩的原油出现差异演化特征的主控因素是有机质来源。4.川西北地区储层沥青中检测到丰富的 2,3,6-TMIPBs 和异海绵烷。这一发现, 结合全球范围内埃迪卡拉纪上部至寒武纪下部烃源岩及其生成原油中多种 C₄₀ 芳香族类胡萝卜素的分布特征, 表明古海洋中普遍存在透光带硫化, 这一现象对该关键地质时期的生物演化可能具有重要意义。

S23-P-9

下扬子地区无为盆地中三叠统硬石膏成因及其对深部富锂卤水演化的启示

吴通^{1,2}, 张传林^{2*}, 何建华³, 黄亚浩⁴, 蒋苏扬⁵, 方朝刚¹, 章诚诚¹

1 中国地质调查局南京地质调查中心

2 河海大学, 海洋学院

3 成都理工大学, 能源学院

4 长江大学, 资源与环境学院

5 中国人民解放军陆军工程大学

* zchuanlin1968@gmail.com

中三叠世, 沿长江下游两岸形成一系列的巨厚硬石膏沉积区, 其中包括下扬子地区的无为盆地。为了研究硬石膏成因及钻遇的富锂卤水来源, 对获取的岩心和卤水进行了水文和同位素地球化学、硬石膏原生流体包裹体组分测试。白云岩的碳氧

同位素分析表明, $\delta^{13}\text{CPDB}$ 值在-2.9‰~-0.4‰之间, $\delta^{18}\text{OPDB}$ 值在-8.1‰~-5.6‰之间, $\delta^{13}\text{CPDB}$ 与 $\delta^{18}\text{OPDB}$ 具备较好的正相关性, 表明在形成过程中受到了热流体强烈的成岩改造作用。 $\delta^{18}\text{O}$ 值与古温度的关系式计算出白云岩的形成温度为 47~56 °C。白云岩原生盐水包裹体均一温度范围落在 121.6-139.4°C之间, 盐度为 4.40wt%NaCl, 硬石膏原生盐水包裹体均一温度为 180-185°C 和 210-215°C 之间, 盐度分布在 12.8wt%NaCl-15.5wt%NaCl, 异常高的流体温度和较大范围的盐度变化指示在原生沉积时有大量热卤水的涌入至长期蒸发的古海水中。采用显微拉曼对硬石膏原生盐水包裹体的组分进行分析, 得出原始卤水水化学类型为 Cl-SO₄-Na-Ca 体系。卤水的水化学分析显示与硬石膏原生包裹体盐水类型一致, 微量元素 Li、Be、B 的富集表明卤水的物源与深部热液的供给有密切联系。上述研究揭示, 中三叠世时期, 区域高盐度热水由大别造山带向长江下游两岸各汇水盆地的排泄汇聚, 并与盆地内本身的咸化古海水混合蒸发浓缩, 导致大量蒸发岩在盆地内沉积, 最终在下扬子无为盆地周冲村组形成硬石膏矿床和伴生的富锂卤水。

S23-P-10

火山活动驱动的中元古代碳循环调控机制转变与氧化还原动态变化

蒋子文^{1*}, 蔡春芳², 窦立荣¹, 王红军¹

1 中国石油勘探开发研究院

2 中国石油大学(北京)

* 18656156279@163.com

约 14 亿年前多期火山活动对地球碳循环重组与氧化还原演化的深远影响。本研究通过综合碳同位素、汞(Hg)浓度与同位素特征、化学风化指数(CIA)等多重地球化学指标, 识别了中元古代多期次的陆

上火山喷发与大型火成岩省 (LIP) 事件及其对地球化学过程和古海洋环境的影响。结合机器学习驱动的汞通量重建, 我们揭示了这些火山事件的区域性与全球性效应。基于多箱生物地球化学模型的模拟结果表明, 持续的火山二氧化碳释放引发了碳-硫-汞循环的重组, 推动了碳循环调控机制由硅酸盐风化主导向有机碳封存转变, 进而促进了中元古代海洋-大气系统的渐进氧化与早期真核生物多样化的环境条件建立。本研究挑战了中元古代环境停滞的传统观点, 提出火山作用诱发的碳循环重组是氧化还原演变和生物圈复杂化的关键驱动因素, 为理解地球向宜居环境转变过程提供了新的视角。

S23-P-11

地质历史时期沉积型黄铁矿的矿物学和原位微区同位素组成特征

王伟^{1*}, 胡永亮^{1,2}, 关成国¹, 周传明¹

¹ 中国科学院, 南京地质古生物研究所

² 中国科学院大学

* wwang@nigpas.ac.cn

黄铁矿是地壳中分布最广泛的硫化物, 通常出现在富含有机质和缺氧的沉积环境中, 沉积型黄铁矿是重要的地质和环境指示矿物, 同时, 由于黄铁矿的分布和丰度与有机质富集有关, 它也可以作为油气源岩识别的标志。作者对华南埃迪卡拉系蓝田岩芯样品中不同形态黄铁矿进行了详细的岩石矿物学与原位硫同位素组成分析, 研究表明因形成环境的差异, 不同形态黄铁矿在矿物学形态、与围岩的接触关系及同位素组成等方面均有较大差异; 形成于开放水体环境、未经成岩作用改造的草莓状黄铁矿的硫同位素组成最有可能代表底层水体的硫同位素分馏状态。为进一步揭示黄铁矿单颗粒生长环境的复杂性及

水环境中硫同位素分馏体系的多变性应用扫描电子显微镜 (SEM)、能谱 (EDS)、拉曼光谱和纳米离子探针 (NanoSIMS) 技术, 分析了蓝田岩芯不同层位自形/半自形黄铁矿颗粒的晶体结构特征、元素和矿物组成特征、以及原位硫同位素组成特征。研究结果表明微米尺度下单个自形/半自形黄铁矿颗粒内存在极端的硫同位素组成差异, 强调黄铁矿生长过程中微环境的快速变化和不同硫来源的复杂混合机制。EDS 分析表明所研究单个自形/半自形黄铁矿颗粒的 S/Fe 原子比显著高于理论值 2.0, 可能是微量元素 (如 Ni、Co) 置换黄铁矿晶格中的 Fe 元素导致。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 值与黄铁矿 S/Fe 原子比略呈正相关性, 拉曼光谱分析表明黄铁矿颗粒内可能存在磁黄铁矿, 其出现点位具有较低的 S/Fe 原子比和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 值。然而, 黄铁矿与磁黄铁矿转化过程中同位素分馏程度较小, 因此磁黄铁矿的存在对黄铁矿颗粒内显著 $\delta^{34}\text{S}$ 值差异影响有限。此外, 研究也表明沉积岩中草莓状黄铁矿 S/Fe 原子比平均值大于自形-半自形黄铁矿, 其形成过程中更加富硫。草莓状黄铁矿 As、Cu 微量元素含量与微区硫同位素值 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$) 呈负相关, 自形-半自形黄铁矿 As、Cu 微量元素含量与 $\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 值呈弱正相关。不同形态黄铁矿中微量元素含量差异反映了其形成环境差异, 草莓状黄铁矿中 As 和 Cu 微量元素含量的降低可能与其结晶程度的提高有关。

S23-P-12

湘南祁零盆地二叠系沉积型锰矿形成环境与富集机制研究

谭昭昭^{1*}, 徐军伟¹, 李素欣¹

¹ 地球化学过程与资源环境效应湖南省重点实验室

* 694740915@qq.com

主流观点认为海相沉积型锰矿中的碳酸锰是在氧化底水环境下先以原生 Mn (III/IV) 氧化物和羟基氧化物沉淀, 后经过成岩转化作用还原为 Mn^{2+} 的产物 (Johnson et al., 2016; Dong et al., 2023)。然而, 越来越多的学者却发现锰碳酸盐能从缺氧海水中直接沉淀 (Herndon et al., 2018), 进而并富集成矿 (Chen et al., 2023), 这种直接沉淀机制在解释沉积型锰矿床成因方面的应用潜力仍需进一步证实。本次工作湘南祁零盆地二叠系沉积型锰矿床钻孔岩心剖面为研究对象, 对其开展矿物学、主微量元素和碳同位素分析, 以期阐明其成矿过程及机理。氧化还原敏感元素比值表现为: 现代氧化沉积物<小江边组<孤峰组下段<孤峰组上段 (缺氧硫化), 表明其水体还原性逐渐增强。其次, 小江边组碳酸更梦矿石中大于铁氧化物, 而孤峰组则普遍发育草莓状黄铁矿, 其中孤峰组下段草莓状黄铁矿平均直径分布在 $6.7\sim 12.1\mu m$, 孤峰组上段草莓状黄铁矿平均直径则分布在 $4.1\sim 6.5\mu m$ 。综上, 本次研究表明小江边组沉积时期底水为次氧化环境, 孤峰组下段底水为次还原环境, 而孤峰组上段为缺氧硫化环境。锰碳酸盐岩具有发育溶蚀结构的钙质核心, 是锰碳酸盐从钙质成核质点直接沉淀的关键证据。方解石注入富锰还原水体时, 遭受溶蚀但提高了水体碱度, 残余方解石提供了锰碳酸盐成核质点, 同时锰氧化物和硫酸盐的还原, 促使缺氧水体中锰碳酸盐饱和度大幅增加, 进而导致锰碳酸盐矿物大量沉淀并富集成矿。此外, 锰碳酸盐全岩样品的 $\delta^{13}C$ 值 (-0.14‰) 略低于同期海水 (1.61‰ , 来自围岩), 表明锰矿石中的 ^{13}C 来源于海水和热液无机碳的混合, 这也支持热液锰在缺氧的底层水中直接沉淀这一新的成因机制。

S23-P-13

中国省级层面碳排放演变路径与陆地碳汇研究

扈永杰^{1*}

1 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 埃及公司

* yjhu.sipc@sinopec.com

自 19 世纪以来, 作为气候变化主要驱动因素的全球温室气体排放量持续增加。本研究分别采用 STIRPAT 模型和 CEVSA 模型, 对中国省级层面的碳排放峰值与陆地生态系统碳汇进行估算。基于 1997-2019 年期间的增长特征和峰值时间标准, 将中国 30 个省份的能源消费与二氧化碳排放模式划分为四类: (i) 单阶段增长型 (5 个省份), (ii) 双阶段增长型 (10 个省份), (iii) 2013 年前后达峰型 (13 个省份), (iv) 2017 年前后达峰型 (2 个省份)。STIRPAT 模型预测显示: 第三类北京在基准情景与高速情景下的二氧化碳排放峰值均出现在 2025 年左右; 第一类新疆维吾尔自治区和第二类浙江省的预期达峰时间为 2025-2030 年; 第四类陕西省有望在 2030 年前实现碳达峰。基于清单的估算表明, 1982-2015 年间中国陆地碳汇量约为 $266.2Tg\ C/年$, 可抵消同期人为二氧化碳排放量的 18.3%。本文提出的省级碳排放、达峰时间与陆地碳汇估算结果, 对实现碳中和目标具有重要参考价值。

S23-P-14S

西湖凹陷中央背斜带花港组储层发育特征及其影响因素

龚雪¹, 李昆², 向梦娇¹, 李林洋¹, 张成^{1*}

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 中国石化上海海洋油气分公司, 勘探开发研究院

* zhangch@cug.edu.cn

西湖凹陷中央背斜带自南向北依次分为苏堤、玉泉和龙井等 3 个构造带。复杂的地质结构和多期构造事件导致其油气成藏过程极为复杂, 油气资源丰富但分布差

异性显著。储层作为天然气赋存的主要场所，其发育特征及演化历史对天然气分布及成藏规模具有重要的影响。花港组中致密储层较为发育，查明储层发育特征、成岩演化和致密化过程，进而预测优质储层发育区已成为该地区天然气勘探的重要制约。

本研究综合利用钻井、岩芯、壁芯、化验分析和测试等资料，聚焦于中央背斜带储层发育特征差异，通过系统的储层沉积学、岩石学和物性特征分析，深入探究了储层沉积学和岩石学特征以及储层物性空间变化。从沉积与成岩两方面入手，剖析了造成储层发育特征差异的主要成因。在此基础上，明确了不同类型成岩作用对储层致密过程的贡献，为优质储层储集体发育区预测提供了关键依据。

中央背斜带不同构造带间花港组储层的类型、规模、岩石学特征及储集空间类型显著不同。自北向南，储层发育特征表现为单砂厚度减薄、砂岩粒度变细、层厚减薄、含砂率减小、含泥率增大。在花港组上段，南北储层物性差异不大，总体以中低孔中低渗储层居多。而在花港组下段，南北储层物性差异较大，南部仍以中低孔中低渗储层为主，北部则以特低孔特低渗储层为主。储层致密化程度从南向北逐渐增高，南部苏堤构造带储层致密化时间晚于北部玉泉构造带，碳酸盐胶结作用是除压实作用外储层致密化的关键因素。这些差异反映了沉积环境演变与成岩作用对储层质量演化的协同控制。

S23-P-15S

陆相湖盆咸化机理及不同盐度有机质富集模式——以渤海湾盆地边缘凹陷为例

齐振国¹，姜福杰^{1*}，姚雪玉¹，胡涛¹，房舟¹，张宇¹，张宇琦¹，周静琪¹

¹ 中国石油大学（北京），地球科学学院

* jfjhtb@163.com

相较于海洋，湖盆因规模相对较小，对气候和地质事件具有更高的敏感性，导致其水体环境频繁变化。这种动态变化显著影响有机质富集和优质烃源岩的形成。值得注意的是，古盐度变化会改变古生物群落，引发水体分层现象，并影响古生产力和古氧化还原条件。

渤海湾盆地作为全球唯一新生代超级盆地，发育多套烃源岩层系。前人研究表明不同层段古盐度存在显著差异。本研究通过分析总有机碳含量（TOC）、主微量元素含量、硫同位素、生物标志物信息及微体藻类化石鉴定，系统阐明了渤海湾盆地孔店组（E_{2k}）、沙河街组（E_{2-3s}）和东营组（E_{3d}）烃源岩的有机质丰度（TOC）、陆源碎屑输入强度（P/Ti）、热液影响程度（ δEu ）、古气候演化（Sr/Cu、CIA）、古盐度（Sr/Ba、Gam/C_{30H}）、古生产力（P/Ti、CaO）及古氧化还原条件（Pr/Ph、V/Cr）等关键地球化学参数。

研究表明，海侵事件和气候干旱是渤海湾盆地古近系水体咸化的主要因素，但局部地区古盐度受深部热液活动和陆源碎屑输入强度的共同影响，造成湖泊平面咸化差异。据此，识别出渤海湾盆地古盐度差异控制下的三种有机质富集模式：①当古盐度介于 0‰-7‰时，盐度升高促使水体营养元素富集，引发水体分层，古生产力与还原性同步增强，形成“生产力-保存条件协同控制型”富集模式；②盐度为 7‰-14‰时，较高盐度导致部分淡水生物适应性降低，虽古生产力有所下降但保存条件持续改善，形成“保存条件主导型”富集模式，TOC 仍随盐度升高而增加；③当盐度超过 14‰时，更多淡水生物大规模死亡导致古生产力显著降低，尽管还原性持续增强，但受极低生产力制约，TOC 随盐度升高而降低，呈现“生产力控制型”特征。

S25-O-1

深渊鱼类的起源、演化和环境适应的分子机理

何舜平^{1*}

1 中国科学院, 水生生物研究所/深海科学与工程研究所

* clad@ihb.ac.cn

There are about 30,000 species of fish on the earth, some of which are distributed in fresh water, most of which are distributed in the continental shelf within 200-300 kilometers of the coast, and less than 10% of them live in the deep sea below 2,000 meters. The origin and evolution of these deep-sea fish have always been a mystery. In this study, a series of morphological and genomic characteristics were compared between a snailfish living below 7,450m sea level and the other teleost living different depth. The result found the adaptive mutation has occurred on the skeletal, cellular, and molecular levels in response to the high pressure of abyss environment. From the perspective of molecular evolution, this study has presented that the origin and evolution of deep-sea fish are related to the geological structure changes of the ocean bottom.

S25-O-2

深渊钩虾的起源演化及环境适应

张海滨^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* hzhang@idsse.ac.cn

端足类钩虾在海洋中分布广泛, 作为深渊生态系统中的优势物种, 是研究不同海沟间基因交流及生物对深渊环境适应性的理想材料。本报告综述了钩虾的生物学

基本特征、深渊钩虾的起源与演化以及生物多样性现状, 并介绍了钩虾在全球深渊海沟中的分布规律及影响因素。此外, 以深渊中广泛分布的 *Hirondellea gigas* 等钩虾为例, 阐述了钩虾的群体遗传多样性以及在不同海沟之间的基因流, 并探讨了钩虾适应深渊极端环境的机制。

S25-O-3

深渊海沟沉积黑碳的含量、来源及分布研究

许云平^{1*}, 朱玲桦¹, 肖文杰², 莫星辉¹,
Ronnie N. Glud²

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

2 南丹麦大学, 深渊中心

* ypxu@shou.edu.cn

黑碳 (Black Carbon; BC) 是生物物质和化石燃料不完全燃烧产生的含碳物质, 可在沉积环境中长期保存, 是惰性碳库的重要组成部分。BC 可通过河流输送和大气沉降进入海洋, 并在海洋沉积物中保存。最近的研究发现, 深渊海沟由于频发的地震、独特的 V 型地貌和快速的沉积速度, 具有明显高于深海平原的 BC 埋藏效率。然而由于海沟极大的深度带来的挑战, 目前关于海沟 BC 的报道还非常有限。全球海洋分布着 20 多条深渊海沟, 在初级生产力、陆源输入和海洋地质结构等方面具有高度的异质性, 因此要全面理解海沟 BC 的含量、来源和分布特征需要对多条海沟开展研究。本研究采集了阿留申海沟三个断面的沉积物, 水深范围 4305~7237 米; 测量了总有机碳 (TOC) 及其碳稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$), 并采用苯多羧酸法 (BPCA) 和化学热氧化法 (CTO-375) 确定了 BC 的含量和 $\delta^{13}\text{C}$ 值。结果显示, BC 占 TOC 的 17%-45%, $\delta^{13}\text{C}_{\text{BC}}$ 值 (-24.83~-22.34‰) 与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 值 (-24.45~-21.66‰) 相比略微偏负。用 CTO375 法测得的 BC 含量随着距离陆地距离的增加逐渐降低, 从海沟陆侧的 $20\pm 4\%$

逐渐降低到洋盆的 $12\pm3\%$ 。与之相反的是, BC/TOC 比值从 $25\pm0.04\%$ 增加到 $36\pm0.05\%$, 这可能归结于 BC 的惰性使其在长距离输送过程中优先保存。与马利亚纳、新不列颠、克马德克、阿塔卡玛、布干维尔、穆绍海沟等六条海沟的 BC 含量 ($4\sim12\%$) 和 BC/TOC 比值 ($7.8\sim29\%$) 相比, 阿留申海沟均偏高。此外, 阿留申海沟的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{BC}}$ 明显比前期报道的六条海沟 $\delta^{13}\text{C}_{\text{BC}}$ (-27.7‰ 和 -22.3‰) 偏正。这种差异可能说明阿留申海沟附近存在更频繁的燃烧活动, 氧化程度高导致 $\delta^{13}\text{C}$ 富集, 或者存在由于海底火山引起的 BC 原位生产。使用 BPCA 法测得的 BC 含量在轴部出现最高值 $0.18\pm0.01\%$, 陆侧 ($0.13\pm0.02\%$) 比洋侧 ($0.07\pm0.01\%$) 高, 整体含量比使用 CTO 法测得结果低。比值 ($\text{B5CA}+\text{B6CA}$)/BPCA 变化趋势是由陆侧 (0.78) 向轴部 (0.80) 升高, 随后在洋侧 (0.75) 降低到最低值, 表明陆侧和轴部更多的来源于高温燃烧, 例如火山和野火等灾难性燃烧。未来需要对海沟 BC 的来源、颗粒态和溶解态的转化及其生物可利用性进行深入研究。

S25-O-4

克马德克海沟小规模碳酸盐化碱性玄武岩成因及其与深部碳循环的联系

何源¹, 彭晓彤^{1*}, 朱祥坤², 杜梦然¹

¹ 中国科学院深海科学与工程研究所

² 中国地质科学院地质研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

汤加-克马德克海沟是西南太平洋板块向西俯冲到澳大利亚板块之下的产物。TS29 航次的 FDZ140 和 FDZ156 两个潜次在克马德克海沟俯冲板片小海山中发现碳酸盐化玄武岩。这些样品通常呈块状或“杏仁”状, 基质呈间粒或间隐结构。碳酸盐矿物主要为方解石, 常形成球状或不规则状

集合体形式, 也可呈自形-半自形、骸晶状斑晶或自形-他形基质矿物产出。根据其岩相学和微量元素特征, 这些方解石属岩浆过程产物而非次生矿物。这些碳酸盐化玄武岩属于碱性系列, 具有类似于路易斯维尔海山玄武岩的微量元素配分特征。随 Mg# 降低, 全岩 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 以及不相容元素 (如 Zn、Pb、Sr、REE) 含量明显升高, 而相容元素 (如 Ni、Co) 含量则明显降低, 但与 CaO 不具正相关性。因此这些元素变化趋势主要反映了源区岩性和部分熔融程度。主量元素变化趋势以及微量元素比值 (如 Dy/Yb、Ti/Eu、Zr/Hf) 指示其起源自碳酸盐化榴辉岩源区。克马德克碳酸盐化玄武岩的成因机制暗示深部碳循环可能对洋内小规模火山作用起控制作用。

S25-O-5

马利亚纳海沟“挑战者深渊”俯冲板块的纵横波速度结构特征

贺恩远^{1*}, 丘学林¹, 黎雨晗², Ingo Grevenmeyer², 徐敏¹, 赵明辉¹, 王元³, 陈传绪⁴

¹ 中国科学院南海海洋研究所

² 德国亥姆霍兹基尔海洋研究中心

³ 中国科学院地质与地球物理研究所

⁴ 中国科学院深海科学与工程研究所

* eyhe@scsio.ac.cn

全球最深海沟“挑战者深渊”位于伊豆-小笠原-马利亚纳俯冲带的最南段, 该区域的俯冲板块年龄古老, 俯冲角度陡峭, 基底变形强烈, 被认为是典型的“冷俯冲带”。由于极限水深的制约, 长期以来对该区域的深部结构探测不足, 对其地质表象背后的俯冲过程和运行机制认识较少。2017 年 1-3 月, 研究团队搭载中科院深海所“探索一号”科考船在马利亚纳俯冲带南段开展了为期 68 天的科学考察 TS03 航次, 完成了

两条横穿海沟的万米级主动源海底地震仪（OBS）测线（TS2017-1 和 TS2017-2）。总长 230 km 的 TS2017-2 测线横穿“挑战者深渊”，沿测线共投放 20 台 OBS，回收 18 台，其中 09 站位于海沟轴部，仪器坐底水深达到 10060 米，记录了俯冲带深部丰富的地震数据。

研究团队对 TS2017-2 测线主动源地震数据先后开展了纵波和横波速度结构研究。纵波速度结构显示太平洋输入板块的地壳和上地幔 P 波速度值远低于正常洋壳。而且，我们在八台 OBS 数据中均识别到了自俯冲板块上地幔内的反射震相（PnP），由此确定了 4.0-6.5 km 厚，速度为 7.0-7.5 km/s 的上地幔异常层，推测输入板块内速度的降低和上地幔速度异常层可能与俯冲挠曲断裂和水化有关（He et al., 2023）。

考虑到纵波速度对岩石物质属性的多解性，研究团队继续对该批次数据开展横波速度和纵横波速比研究，发现该上地幔层的纵/横波速比值超过 1.80，最高达到 1.95。通过与实验室的岩石参数对比，提出该速度异常层为高度蛇纹石化地幔层，其形成与蛇纹石化地幔橄榄岩的机械强度快速变化有关。而且，波速比剖面显示输入板块地壳和上地幔的纵/横波速比值向海沟的方向增加，但速度值减小，表明板块挠曲断裂和水化程度向海沟的方向增强。此外，通过与全球其他典型俯冲带的多波束地形、速度值和波速比对比，发现“挑战者深渊”区域的输入板块经历了强烈的挠曲断裂、水化和地幔蛇纹石化过程（He et al., 2025）。本次研究对于认识典型端元“马里亚纳”型俯冲系统的俯冲过程和岩石变形机制，以及深渊生命活动性具有重要的指示意义。

S25-O-6

深海珊瑚的汞同位素特征及其汞来源示踪

刘羿^{1*}，他开文²，张睿¹，孙若愚¹，彭晓彤²

1 天津大学，地球系统科学学院

2 中科院深海科学与工程研究所

* liuyigeo@tju.edu.cn

海洋是神经毒性甲基汞生成的关键区域。深海在地球表层与深层之间的物质能量交换中扮演着核心角色。通过颗粒物沉降和深水团形成等过程，表层海洋的汞不断向深海输送，并最终沉积埋藏。深海冷水珊瑚广泛分布于全球深海峡湾、大陆架边缘、海底山脊及海山环境，其食物来源主要依赖于上层海洋下沉的有机物。我们研究了马里亚纳海沟弧前区以及南海中央盆地五种不同科的深海珊瑚汞含量和同位素组成，发现珊瑚虫的奇数非质量分馏（odd-MIF）值（ $0.37 \pm 0.09\%$, 0.26-0.66‰）值介于报道的热液/冷泉和海沟生物群之间，且不随海水深度发生变化。进一步分析发现，其 odd-MIF 值与上部海洋中下层（400-1000 米）均匀混合的甲基汞非常接近，表明上部海洋产生的甲基汞已显著渗透至深海珊瑚。深海珊瑚可能通过捕食上部海洋下沉的颗粒有机物，大部分继承了其携带的甲基汞同位素信号。

S25-P-1

深渊动物新类群——石茸：生物学归属与生物多样性

宋希坤^{1*}，彭晓彤^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* xksong@idsse.ac.cn

* xtpeng@idsse.ac.cn

深渊指水深大于 6000 米的海沟区域，正成为国际深海科学研究前沿，但航次成本高、装备要求高、样品采集难度高。依托“奋斗者”号“全球深渊深潜探索计划”系列航次，该计划在环大洋洲克马德克、蒂阿曼蒂那、普伊斯哥、爪哇等 5 条海沟、117

个潜次，系统采集岩栖动物样品 2000 多号，包括大量万米级水深样品。航次期间，该计划在深渊岩石表面发现一个广泛分布、栖息密度高的优势动物新类群——石茸，但因个体小(毫米级)，全身布满沉积颗粒，其生物学归属仍是个谜题。本报告将介绍近些年该计划所获得的、尚未发表的初步结果，包括：1) 通过 micro-CT、同步辐射等显微技术获得的石茸形态学组装方式；2) 结合宏基因组测序等研究手段，获得的石茸基础生物系统学归属证据、物种多样性概况；3) 通过海底原位图像识别，石茸在多个海沟间的平面和垂直分布特点。

S25-P-2

深渊级分布式声波传感技术及科学应用

张汉羽^{1*}，徐团伟²，吴时国¹

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 中国科学院半导体研究所

* zhanghy@idsse.ac.cn

分布式声波传感 (Distributed Acoustic Sensing, DAS) 是近年兴起的长距离、大剖面、动态测量技术，在地震预报，冰裂冰滑移、山体滑坡、城市交通监测和海洋内波、台风、波浪、地震，微裂隙等领域广泛应用。但目前它需要将解调仪安置在陆地或岛屿，通过接入海底光缆来实现海洋环境感知。如此观测的缺点是传感区域不能任意挪动，导致能感知的海洋区域受限，尤其是深海深渊。本文提出一种利用实验站、着陆器等深海通用平台将小型化、低功耗的解调仪放置在海底，利用载人潜水器将小直径、轻量级光缆进行海底铺设，实施深海深渊环境原位观测的轻量化分布式声波传感技术方案。基于该方案研制装备，我们开展了俯冲带、裂谷等海域的多次实测验证，实现了深海深渊海底地震波、微震、隐伏裂隙、浊流、冷泉微颤等现象的科学观测，验证了该方案的有效性。本

研究系统性地解决了分布式声波传感技术进入深海执行深海深渊探测/监测任务的瓶颈问题，是在海洋地球物理领域继多道地震、海底地震仪之后，具有潜力发展成深海通用探测方法的新型技术。

S25-P-3

东南印度洋蒂阿蔓蒂那巨型断裂带浅层地质构造和地壳厚度变化研究

高金尉^{1*}，董冬冬²，白永良³，腾明耀¹

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 中国科学院海洋研究所

3 中国石油大学 (华东)

* gaojw@idsse.ac.cn

蒂阿蔓蒂那巨型断裂带-破碎海岭与凯尔盖朗海底高原源自晚古近纪凯尔盖朗大火成岩省的破裂，形成了全球为数不多的由拉张伸展作用形成的深渊。然而由于蒂阿蔓蒂那断裂带地处东南印度洋西风带，距离陆地遥远，海况相对恶劣，导致该地区极其缺乏地质地球物理研究，其构造变形特征、地壳结构、张裂类型和破裂机制等一系列重大科学问题尚未得到解决。本研究基于穿过蒂阿蔓蒂那超大型断裂带-破碎海岭的多道地震反射剖面 and 源于卫星测量的 1 弧分网格自由空间重力异常数据，通过地震成像刻画和重力均衡反演，结合前人在其周缘和盖尔盖朗高原的研究结果，解析蒂阿蔓蒂那超大型断裂带-破碎海岭构造变形特征和研究区及其共轭盖尔盖朗高原的区域地壳结构特征。研究结果初步显示，蒂阿蔓蒂那超大型断裂带-破碎海岭由多个铲式正断层和拆离断层形成的复合地堑-地垒体系构成，其主正断层断距可达 3.5s 双程反射时间 (以地壳平均速度 6.45km/s 计，约合 11.3km)。蒂阿蔓蒂那超大型断裂带地壳厚度 4-8km，向破碎海岭

方向,厚度增加至 13-19km;而与之共轭的盖尔盖朗高原,其厚度可达到 18-24km;二者之间的东南印度洋地壳厚度几乎在 5-7km 之间,符合典型洋壳的特征,显示反演结果可信。从蒂阿蔓蒂那超大型断裂带-破碎海岭与凯尔盖朗海底高原的构造样式、海底地形和地壳厚度结果上看,凯尔盖朗大火成岩省及其周围洋壳的拉张与破裂受控于一种复杂的拉张减薄机制。这种机制以非对称的、局部由拆离断层控制为特征。

S25-P-4

马利亚纳俯冲带流体活动驱动的多型锰沉积:矿物和地球化学证据

许恒超^{1*}, 彭晓彤¹

1 中国科学院深海科学与工程研究所
* hcxu@idsse.ac.cn

俯冲板片弯折引发的海水下渗是驱动俯冲带流体循环的关键过程,然而与此类流体活动相关的多金属成矿过程仍存在认知空白。本研究基于“蛟龙”号与“奋斗者”号载人深潜器在马利亚纳俯冲带获取的系列样本,系统揭示了该区三类流体成因锰沉积的矿物和地球化学特征及其形成机制。距马利亚纳外围隆起区伊丁石化流体喷口 60 米处发育的离散状锰沉积(I类),呈现出明显的三层生长结构。中间层主要由富含 Cu、Zn 的黑锰矿构成,其显著 Ce 负异常特征和极高的 Mn/Fe 比值,说明其成矿过程可能受到了还原性流体上涌的影响。喷口边缘致密锰壳(II类)以 10 Å 和 7 Å 锰矿相为主,地球化学组成与马利亚纳岛弧典型层状热液锰矿床具有高度的相似性。在海沟轴部发现的锰铁氧化物-石英复合体(III类)呈现典型高温热液特征:锰相以钡镁锰矿为主,铁相由赤铁矿与针铁矿构成,呈现出明显的 Eu 正异常特征。通过石英中 Ti 含量温度计(TitaniQ)反演获得的

成矿温度区间也进一步验证了高温流体成矿物在深渊海底的出露。研究揭示的锰沉积不同成矿事件(I→III类)可能对应于俯冲前缘不同深度的流体释放过程。尽管当前发现的成矿规模相较于弧后盆地和洋中脊均较小,但其特有的多金属元素循环特征可能对俯冲带界面元素再循环及深渊化能生态系统产生重要影响。

S25-P-5S

事件沉积驱动深渊海底沉积物活跃碳-铁循环

张晗¹, 罗敏^{1*}

1 上海海洋大学,海洋科学与生态环境学院
* mluo@shou.edu.cn

深渊海沟(水深大于 6000 米)代表着海洋中最深且研究程度最低的区域。最近的研究表明深渊海沟是深海有机碳埋藏和微生物呼吸的热点区。这些热点区的形成被认为与俯冲带频发的地震导致的事件沉积有关。本研究对采集于日本海沟 M0081F 和 M0084F 站位的孔隙水溶解有机碳(DOC),游离氨基酸(DFAA),沉积物铁组分和黄铁矿分析测试,发现日本海沟沉积物存在高含量 DOC 和代表活性 DOC 组分的 DFAA 的积累,结合航次报告中其他孔隙水地球化学数据和沉积物颗粒有机碳(POC)含量,我们将沉积物 POC 和可还原性铁(氢)氧化物分为三个反应活性不同的组分,对应降解生成三个不同反应活性的 DOC 和惰性 DOC,利用反应-运移模型对实测的地球化学数据进行拟合,结果显示 M0081F 站位在 20 米以下 DOC 的活性显著升高,对应 DOC 的降解速率显著增加,导致约 6mM DOC 被消耗。类似的, M0084F 站位在 20 米以下 DOC 含量快速降低和 NH₄⁺显著升高,是由于 POC 和 DOC 的活性升高,对应 POC 和 DOC 的降解速率增加。我们的研究与传统认为孔隙水 DOC 通常较惰性的观点不一致。同时,

POC 和 DOC 的降解以及甲烷厌氧氧化同时伴随铁（氢）氧化物的还原，释放 Fe^{2+} ，大部分又以形成黄铁矿形式保存在沉积物中。我们的定量研究结果表明地震引起的事件沉积带来了大量活性 POC 埋藏在日本海沟，POC 降解导致大量孔隙水 DOC 的积累，相对活性 POC 被埋藏至深部后，引起更深强烈的 POC 和 DOC 消耗过程。深渊海沟特殊的沉积过程导致不同于普通深海环境的沉积物碳循环过程，对认识海洋碳循环和深部生物圈有一定指示意义。

S25-P-6

深渊沉积碳酸盐发现与意义

柳双权¹，苏翔²，杜梦然¹，陈顺¹，彭晓彤^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 中国科学院南海海洋研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

海斗深渊（以下简称“深渊”）专指海洋中水深超过 6000 米的区域，该深度远低于当地碳酸盐补偿深度（CCD），因此理论上不应存在大量正常沉积的碳酸盐。然而，近年来少量研究在 CCD 之下区域发现了沉积碳酸盐，其主要成因是浅海碳酸盐沉积物通过浊流等事件沉积方式快速搬运至 CCD 以下区域，并得以埋藏保存。随着近年来对全球 9 个深渊区开展的载人深潜调查，我们在多个海沟中发现了丰富的沉积碳酸盐，主要可分为两类：一类为来自表层海洋的钙质（微）化石，另一类为在深渊环境中形成的自生碳酸盐。对钙质化石的研究表明，其来源于地质历史时期钙质浮游生物的大量繁盛、沉降及埋藏；而自生碳酸盐则是深渊底部有机质强烈成岩及甲烷厌氧氧化作用的产物。

本研究证实，即使在位于 CCD 面以下的俯冲带区域，碳元素仍有可能以沉积碳酸盐的形式进入地球内部。这一发现对于评估全球碳俯冲输入的形式与通量具有重

要科学意义。此外，深渊海沟中广泛分布的自生碳酸盐也表明，深渊区具备多样化的碳埋藏机制，深渊并非无机碳酸盐沉积的“禁区”。

S25-P-7S

马里亚纳海沟不同沉积环境重力柱样有机质垂直分布特征及降解差异

郑可心^{1,2,3}，胡廷苍⁴，罗敏¹，戚羽霖⁵，陈多福^{1*}

1 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院

2 崂山国家实验室，海洋系统科学与前沿交叉学部

3 中国海洋大学，化学化工学院

4 聊城大学，地理与环境学院

5 天津大学，地球系统科学学院

* dfchen@shou.edu.cn

本研究对马里亚纳海沟向海斜坡（MT-GC03，水深 7329m）和深海平原（MT-GC04，水深 5800m）的重力柱沉积物开展分析，通过多指标耦合揭示有机质垂向分布规律及降解差异，主要结论表明，MT-GC03 与 MT-GC04 的 TOC 含量均呈现“表层高、深层低”的垂直分层特征，其中 MT-GC03 的 TOC 均值（0.42）显著高于 MT-GC04（0.36），反映向海斜坡沉积环境可能具有更高的有机质输入或保存效率。DOC 浓度则表现为 MT-GC04（均值 179.2）高于 MT-GC03（均值 163.35），且两站位均在 50cm 沉积深度出现拐点——50cm 以浅的 DOC 浓度显著高于深层，暗示浅表层微生物活动对有机质的降解更为活跃。两站位磷酸根浓度均呈现“表层低、深层高”的垂向模式，在 40-50cm 深度后趋于稳定。MT-GC04 的磷酸根均值（1.79）显著高于 MT-GC03（1.38）。该特征与有机质降解过程中磷的释放规律一致，表明深海平原（MT-GC04）的有机质矿化程度更高。三维荧光与紫外光谱分析显示，MT-GC04 的陆源类腐殖质（C1）相对丰度、腐殖化系

数 (HIX, 0.36)、芳香性系数 (SUVA₂₅₄, 1.31) 及自生源腐殖质指标 (BIX, 0.93) 均显著高于 MT-GC03, 且 C1 在表层 50cm 深度富集, 反映其有机质经历更充分的芳香化与腐殖化过程。而 MT-GC03 的生物源类蛋白质 (C2) 相对丰度高于 MT-GC04, 且 C2 在深层的相对丰度高于表层, 表明向海斜坡沉积环境保留更多未完全降解的生源蛋白组分。MT-GC03 的 E2/E3 值 (均值 6.55) 显著大于 MT-GC04 (4.05), 与 C1 和 C2 的分布规律一致, 进一步证实 GC03 站位有机质分子量更低, 降解程度相对较弱。

马利亚纳海沟不同沉积环境的重力柱样中, 深海平原 (MT-GC04) 因微生物降解强度更高, 形成以惰性腐殖质为主的有机质组成; 而向海斜坡 (MT-GC03) 则保留更多生物源类蛋白质, 垂向剖面的物质分布差异与 50cm 以浅微生物活跃带的降解作用密切相关。本研究为深海沉积环境有机质转化机制提供了新的证据。

S25-P-8S

深渊沉积物中病毒的多样性和生态潜力

王锴蒂¹, 彭晓彤¹, 荆红梅^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所, 深海科学与智能技术全国重点实验室

* hmjing@idsse.ac.cn

病毒是海洋生态系统中最丰富的微生物类群, 在生物地球化学循环和群落动力学方面发挥着重要调控作用。然而, 它们在深渊海沟中的群落组装驱动力、基因组进化和潜在生态功能等仍知之甚少。我们基于来自克马德克和蒂阿曼缇娜海沟中 40 个沉积物样本的宏基因组获得了 35481 个病毒分类单元。蛋白共线性网络分析表明这些病毒具有高度新颖性和栖息地特异性。溶原病毒在这两个海沟沉积物中占主导地位, 并采取了 Piggyback-the-Winner 的生存

策略。基于病毒-宿主互作模式推测病毒的辅助代谢基因参与宿主的生物地球化学循环和代偿代谢过程。两个海沟中和不同采样深度之间的病毒群落组装主要由随机过程特别是扩散限制所驱动, 且深渊区具有高静水压但较低的基因组突变率 (pN/pS 和 SNVs/kb) 进一步证实了这一点。这些生态位依赖性分布模式和基因组特征共同反映了病毒的生存和适应策略, 从而为深部生物圈中病毒的显著多样性、生态潜力、进化和适应机制提供了新的见解。

S25-P-9S

深渊新型卤代烷烃脱卤酶的表达纯化、活性以及酶学特性研究

梁启瑞¹, 刘如龙^{1*}

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* rlliu@shou.edu.cn

卤代有机物作为一类持久性有机污染物 (POPs), 常被用作溶剂、杀虫剂和化学合成的中间体, 被释放到自然环境中, 进而严重威胁生态环境和人类健康。因此, 人类积极寻求多种降解该类有机污染物的方法。在自然环境中也会产生天然卤代有机物, 并且自上世纪起就不断有报道证明自然界中存在具有脱卤代谢功能的微生物, 生物降解因其环境友好特性而备受关注。卤代烷烃脱卤酶 (Haloalkane Dehalogenase, HLD, EC 3.8.1.5) 作为降解卤代烷烃的关键酶, 其来源广泛, 并且不需要氧气、能量或辅酶/辅基的参与, 便能把卤代有机物转化为环氧化物和羟基化合物, 因此被广泛研究。课题组在对来自多个海沟中采集的沉积物微生物样品进行宏基因组测序和功能预测中, 发现深渊中存在丰富的 HLDs 资源。深渊来源的 HLDs 长期处在低温高压等极端环境下, 可能存在特殊的底物普适性、酶活性和适应性。本研究通过

系统发育分析, 揭示了深渊 HLDs 独特的遗传进化特征。同时, 根据蛋白质 3D 建模和生物信息学分析, 预测了深渊 HLDs 的物理、化学性质与结构特征, 最终筛选出潜在高效酶, 并成功进行异源表达与亲和层析纯化, 获得了一种深渊绿弯菌来源的新型卤代烷烃脱卤酶。酶活性实验发现了其具有广泛的底物谱, 可以代谢多种不同结构的有机氯、溴和碘化合物。其最适反应温度为室温范围, 远低于常规来源 HLDs 的最适温度, 是一类具有典型低温特征的脱卤酶。针对深渊 HLDs 的研究, 可能打破常规来源 HLDs 以及其他类型脱卤酶催化条件相对苛刻的困境, 为发展新型生物修复技术提供优质酶资源, 推动此类技术的进步和完善。深渊 HLDs 的极端环境适应性可能使其在工业废水处理、污染场地修复等领域具有重要应用前景, 兼具环境效益和经济效益。

S25-P-10S

马里亚纳海沟沉积物水提溶解有机质特征及生物可利用性探究

耿嘉悦¹, 郑可心², 胡廷苍³, 陈琳莹¹, 张东¹, 罗敏¹, 陈多福^{1*}

1 1. 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

2 2. 中国海洋大学, 化学化工学院

3 3. 聊城大学, 地理与环境学院

* dfchen@shou.edu.cn

深渊海沟具有独特的漏斗构造和内部洋流循环, 有利于有机质向沟槽轴线迁移聚集, 是深海有机质埋藏的热点区域。同时, 深渊沉积物孔隙水溶解有机质 (PWOM) 特征显示了活跃的微生物活动, 但目前对沉积物吸附 (水提) 溶解有机质组成特征和生物地球化学行为缺乏系统的理解。本研究测定了马里亚纳海沟南坡水深约 7000 米的 MT05 站位 (硅藻沉积物) 和南部深海海盆水深约 5800 米的 MT04 站

位 (泥质沉积物) 沉积物吸附态水提取溶解有机质 (WEOM) 的浓度、稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 及光谱特征 (紫外-可见吸收光谱与三维荧光光谱), 并通过与对应站位孔隙水溶解有机质 (PWOM) 对比分析, 揭示了深渊海沟沉积物 WEOM 性质及微生物可利用性差异。结果表明, 沉积物 TOC、WEOM 和 PWOM 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 均值依次降低, 可能主要是海底沉积物微生物碳泵作用导致。平行因子分析显示, 与 PWOM 相比, WEOM 中类腐殖质占主导, 可能现与类腐殖质的结构特征有关。紫外、荧光光谱参数联合分析表明, 相较于 PWOM, WEOM 显示了自生源少, 分子量小, 芳香性高, 且苯环上多带有羰基、羟基、羧基及酯基类取代基特征, 微生物可利用性低, 可能是矿物选择性吸附导致。本研究揭示了深渊区 WEOM 的性质和微生物可利用性, 并为理解深渊区沉积物有机质的稳定化与转化过程提供了新的视角。

S25-P-11S

日本海沟沉积物自生矿物 (六水方解石和黄铁矿) 地球化学对事件沉积的响应

余美庚¹, 罗敏^{1*}

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* mluo@shou.edu.cn

深渊海沟被认为是深海有机质的沉积中心和微生物活动的热点区, 通常位于汇聚型板块边界, 全球 80% 的地震都集中在深渊海沟及其附近海域, 是了解地震诱发机制、填补大地震长期记录空白的绝佳研究场所。日本海沟的沉积过程以频繁的地震引起的快速事件沉积和有机质埋藏为特征。国际大洋发现计划 IODP 386 航次的孔隙水地球化学数据表明日本海沟轴部呈现较浅的硫酸盐-甲烷转换带 (SMTZ, ~3-10 mbsf), 基本与大陆边缘沉积物的 SMTZ

深度相当反映了日本海沟中活跃的甲烷厌氧氧化耦合硫酸盐还原作用。甲烷厌氧氧化作用会产生碳酸氢根与硫氢根，最终转化为自生碳酸盐和自生黄铁矿等自生矿物保存在 SMTZ 中。IODP386 航次对于事件沉积的研究多采用地球物理和沉积学手段，本研究通过自生矿物地球化学手段示踪事件沉积。通过对日本海沟沉积物进行铬还原性硫的提取，对不同深度的沉积物提取出的黄铁矿含量及其硫同位素进行分析，对沉积物岩心柱中发现的自生六水方解石矿物进行主、微量元素测试、碳氧同位素测试和锶同位素测试，对沉积物岩心柱的古 SMTZ 进行识别，结合 IODP 航次报告的数据和通过地球物理及沉积学手段识别出的事件沉积层，以地球化学手段识别古 SMTZ 并进一步示踪事件沉积。我们的初步研究结果显示，火山成因物质的蚀变和产甲烷作用残余富含 ^{13}C 的 DIC 对自生六水方解石的形成有贡献，自生六水方解石出现的位置可能指示古 SMTZ 位置，沉积物岩心柱识别出的古 SMTZ 数量与识别出的事件沉积层数量相一致，表示古 SMTZ 可能指示事件沉积。

S25-P-12S

深渊海沟铁结合有机质的光学性质和分子组成特征

桑蕾¹，罗敏^{1*}

¹ 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院
* mluo@shou.edu.cn

有机碳通常通过吸附或共沉淀的方式与活性铁氧化物（FeR）结合，从而降低其被微生物的降解程度，是土壤和海洋沉积物中的有机碳能够长期保存的关键因素。深渊海沟指水深大于 6000 米的深海区域，由于其独特的漏斗状地形、频发的海流和地震活动，使深渊海沟具有与深海平原不同的沉积特征，使得深渊海沟是深海有机碳埋藏和微生物活动的热点区域。本研究

对阿塔卡马、克马德克、新不列颠、阿留申和南桑德韦奇 5 条深渊海沟的轴部和深海平原共 14 个站位的沉积物进行活性铁及铁结合有机质的提取处理，对提取出的铁结合态有机质进行溶解有机碳浓度（DOC）、紫外-可见光谱、三维荧光光谱分析，并用平行因子分析法解析三维荧光光谱。同时，使用傅里叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR MS）分析阿塔卡马海沟沉积物铁结合有机质的分子组成。研究发现，阿塔卡马、克马德克、新不列颠、阿留申和南桑德韦奇 5 条海沟沉积物的 fOC-FeR 平均值高于深海沉积物的 fOC-FeR 平均值，进一步证实了即使在深渊海沟这种极端环境中，活性铁依然能够有效的保存有机碳；同时，光谱结果和质谱结果都显示活性铁更易结合腐殖程度高、芳香性高的有机质；海沟轴部由于特殊的漏斗状地形和频繁的地质活动，沉积物向轴部运移，在运移过程中，活性的有机质会被优先分解，因此相比于临近的深海平原，铁结合有机质化合物组成更加复杂且更加惰性。

S25-P-13S

深渊海沟有机磷酸酯的来源和环境行为

刘心然¹，谢婧倩^{1*}，陈楚楚¹，罗敏¹

¹ 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院
* jqxie@shou.edu.cn

深渊海沟通常被认为远离人类污染，是世界上最后一片净土。然而，已有少量研究发现深渊区高浓度污染物的存在。深渊生态系统脆弱，一旦破坏将造成严重危害。有机磷酸酯（OPE）是一类广泛用于提高材料阻燃性能的化学物质，属于新污染物，对环境和人体健康的潜在危害也引起了广泛关注。研究中采集了马里亚纳海沟水体、沉积物和钩虾样品以及新不列颠海沟和玛索海沟的沉积物和钩虾样品，分析了不同介质中 OPEs 的分布特征。马里亚

纳海沟中 OPEs 浓度为 $17.4-102\text{ ng L}^{-1}$, 500 m 和 4000 m 处出现高值, 主要受到赤道潜流和地形罗斯波的影响。海沟沉积物中 OPEs 浓度为 $82.7-422\text{ ng g}^{-1}\text{dw}$, OPEs 进入到沉积物后不容易回到水体, 且生物可利用性低。钩虾中的 OPEs 为 $29.1-215\text{ ng g}^{-1}\text{lw}$, 主要来源于上层腐肉。进一步分析表明, 海沟高浓度的 OPEs 主要是由于出现了“溶剂亏损”和“溶剂稀释”作用的影响。

S26-O-1

深海高压环境微生物代谢与元素循环

张宇^{1*}

¹ 上海交通大学, 海洋学院

* Zhang.yusjtu@sjtu.edu.cn

深海储存了气候系统中超过 90% 的热量盈余和 1/3 的人类碳排放, 对海洋碳封存时效可达百年以上, 是地球气候系统的调节器。深海微生物是深海碳、氮等元素循环的主要驱动者, 每年周转约 20 Gt 的有机碳和 0.3 Gt 的无机氮。厘清微生物的代谢过程及其对碳氮循环的调控作用是准确评估深海碳、氮存储的关键环节。但是受制于深海高压环境的特殊性, 目前该领域发展遇到瓶颈: 一方面高压环境下深海微生物演化出与浅海微生物截然不同的代谢方式, 导致我们无法将浅海的认知直接推广至深海; 另一方面深海高压条件下对微生物代谢过程的原位观测或保真观测非常困难, 数据稀缺且准确度不高。突破上述科技瓶颈的关键在于建立高压环境保真采样、准确检测、长期培养的设备平台, 并依托该平台对深海微生物的代谢过程和元素循环进行长期准确的观测研究。本团队攻克高精度深海计量泵送技术、全海深级光学玻璃承压透镜与金属丝电极密封技术、气液混合高压流体精确泵送技术等关键技术, 研发了深海微生物时间序列原位培养设备、

深海沉积物原位固定取样器、光学和电化学高压检测模块、深海环境实验模拟设备、水下水上协同试验系统等系列设备, 建立了国际领先的全海深级深海微生物实验设备平台体系。基于自主研发的深海实验平台, 发现高压环境下有机物的厌氧氧化和好氧氧化同时发生的现象, 揭示高压可以通过重构深海氧化还原反应分区改变有机碳转化途径和碳氮硫耦合循环的机制, 突破微生物通过氧气浓度选择有氧和厌氧反应降解有机物的传统认知; 进一步发现高压下易降解有机物矿化效率下降、难降解有机物矿化效率上升, 证明高压可以通过调控矿化效率改变有机碳转化速率, 为准确评估海洋碳循环规模提供基础科学数据。

S26-O-2

深海流固界面过程的原位观测与现场实验

张鑫^{1,2*}, 孙卫东^{1,2}, 栾振东², 杜增丰², 李连福^{1,2}, 席世川¹, 王思羽¹, 何婉莹¹

¹ 崂山国家实验室

² 中国科学院海洋研究所

* xzhang@qdio.ac.cn

深海热液和冷泉系统是典型的深海极端环境系统, 其流固界面处持续发生高温高压下的水-岩反应和地球化学转化, 释放大 量物质与能量, 孕育独特的化能生态系统。然而, 这些过程具有显著的时空非均匀性, 传统基于瞬时取样的分析方法难以真实反映其动态演化机制。针对上述科学问题, 我们研发了国际首套可同时适用于深海热液 (高达 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, 70 MPa) 和冷泉环境的激光拉曼探针 (Raman insertion Probe, RiP), 并构建了国际首个“深海原位光谱实验室”系统, 搭载“海洋之眼”着陆器, 已在南海冷泉区持续开展累计超过 1000 天的原位观测工作。基于该平台, 我们在南海首次发现裸露天然气水合物, 提出并验证其“电容器”假说; 发现冷泉区 S1 型水合

物可在海水条件下向 S2 型转变, 并通过原位实验首次证实水合物可携带甲烷穿越海水氧化层进入大气, 潜在影响全球气候变化。在热液系统研究中, 我们发现并命名了“昆仑”热液筒群, 并基于自主研发的耐 450 °C 高温光学传感器成功量化其氢气通量高达 4.8×10^{11} mol/yr, 约占全球无机成因氢气通量的 5%。首次在深海热液区发现自然状态下的超临界二氧化碳, 并发现其富含氮气, 弥补了热液生命起源假说中氮源缺失的关键难题。进一步发现全球深海热液低温溢流区气体通量为高温喷发区的 10–100 倍, 需重新评估其在跨圈层物质循环中的贡献。此外, 结合深海极端环境模拟平台与耐高温原位光学传感器, 我们建立了适用于蛇纹石化与费托合成等反应的实时监测体系。基于表面增强拉曼光谱, 实现了纳摩尔级有机分子检测, 首次观测到高浓度甲酸盐生成, 提出“早期地球存在甲酸盐海洋”新假说, 拓展了原始有机物合成路径的研究视角。上述研究展示了原位观测与现场实验在揭示深海流固界面过程中的不可替代作用, 为理解深海极端环境的物质循环、生命起源与资源潜力提供了关键支撑。

S26-O-3

冷泉区微塑料对甲烷厌氧氧化的影响研究

冯景春^{1*}, 黄永吉¹, 吴淇漩¹

¹ 广东工业大学, 生态环境与资源学院
* fengjc@gdut.edu.cn

甲烷厌氧氧化是深海冷泉系统物质能量循环的关键环节, 然而目前人类活动已经显著影响到了深海环境, 以微塑料为代表的新型污染物在深海环境里面广泛存在, 但是目前微塑料对冷泉区化能合成的相互影响机制目前尚不明晰。我们通过海底原位富集实验与实验室高压环境模拟实验探究了微塑料对甲烷厌氧氧化的影响, 研究

表明, 微塑料会影响冷泉环境的碳、氮、硫代谢, 对甲烷厌氧氧化速率和微生物群落动态变化均有显著响应, 海底原位富集实验表面塑料际表面会显著富集参与甲烷厌氧氧化的微生物, 塑料颗粒和塑料剂对甲烷厌氧氧化呈现综合的影响, 对海底甲烷释过程的环境影响有着重要的科学意义。

S26-O-4

深海化能合成生态系统的多样性演化、潮汐节律适应与共生机制创新

孙进^{1*}, 贺星¹

¹ 中国海洋大学, 海洋生物多样性与进化研究所
* jin_sun@ouc.edu.cn

研究聚焦深海化能合成生态系统(冷泉/热液), 揭示其生物多样性、节律适应及共生机制。在南海海马冷泉发现了 65 个物种(35 特有种), 并证实西太平洋为物种扩散中心。潮汐驱动深海阿尔文虾的基因表达节律(8,122 个 12 小时周期基因), 功能分化为细胞核内过程与胞质代谢模块, 独立于昼夜节律基因。共生机制高度创新: 神龙毛皮贝通过“龙珠”结构克隆垂直传递厌氧共生菌, 支持化能合成。研究为理解极端环境生物适应、生命起源及全球深海生物多样性演化提供证据。

S26-O-5

海洋后鞭毛生物多样性与演化

李远宁^{1*}

¹ 山东大学, 海洋研究院
* yuanning.li@email.sdu.edu.cn

后鞭毛生物 (Opisthokonta) 是真核生物中最古老且物种多样性最高的超群之一, 涵盖了所有动物、真菌及其单细胞祖先。然而, 后鞭毛生物的内部系统发生关系仍存在争议, 厘清其进化关系对于理解真菌和动物的多样化进程至关重要。一个关键的争议点在于动物最古老的祖先到底是海绵 (Porifera) 还是栉水母 (Ctenophora)。Porifera-sister 假说认为海绵是动物最古老的类群, 而 Ctenophora-sister 假说则支持栉水母是动物最基部的分支。我们通过综合分析 15 个系统发生基因组研究的数据集, 并采用模型标准化分析测试了两大假说: 结果显示, Ctenophora-sister 假说在所有条件下均能重现, 而 Porifera-sister 假说仅在特定复杂模型中得到支持, 结果可能受过参数化影响, 研究结果支持栉水母是动物最古老祖先的观点。此外, 为全面评估后鞭毛生物的系统发生关系, 我们筛选了来自 33 个门的 348 个高质量基因组或转录组数据, 采用不同的直系同源基因鉴定方法, 构建了三套数据集, 建立了迄今为止物种数量最丰富的后鞭毛生物生命之树, 并解决了 85% 的节点关系。通过子抽样分析, 我们发现基因集差异是导致系统发生不一致的主要原因, 强调了直系同源基因鉴定的重要性。同时, 我们发现动物单细胞祖先的系统发生关系易受其他支系取样密度的影响, 信号较弱, 显示出单细胞动物的进化关系仍是系统发生学的难题。

S26-O-6

南海冷泉区大型底栖动物研究进展与展望

李超伦^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态重点实验室

* lcl@scsio.ac.cn

冷泉是深海中典型的化能合成生态系统之一。大型底栖动物既是冷泉生态系统重要的优势生物类群, 也是冷泉生态系统生境营造者, 全面系统了解大型底栖动物群落生态特点是解析冷泉生态系统的结构和功能的基本前提。本文介绍了南海冷泉生态系统大型底栖动物物种组成、营养结构、环境适应等方面的研究进展, 同时建议未来需要进一步加强深海冷泉生物多样性形成与维持机制、化能共生体系构建与运转机制、深海化能营养宏生物生产力与生物要素地化循环的耦联、冷泉生物多样性监测、评估与保护策略等重点领域的研究工作, 需要发展和建设宏观与微观、现场与模拟相结合的深海冷泉综合研究技术平台。

S26-P-1

相邻冷泉和热液生境中深海贻贝的微生物群落特征、基因表达模式及适应机制研究

林根妹^{1,2*}, 徐翠玲^{3,4}, 卢建国^{1,2}, 吴能友^{3,4}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

3 崂山实验室

4 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* lingm5@mail.sysu.edu.cn

冷泉和热液是岩石圈与外部圈层进行物质、能量转移和交换的重要途径, 同时作为化能合成生态系统为深海生物及其微生物提供了特殊生境。一系列调查研究表明, 冷泉和热液在多处区域存在空间并置现象, 从而在构造地质、生物生态和元素循环等方面可能存在相互作用或耦合关系。深海贻贝 *Bathymodiolus* 同时分布于冷泉和热液两种生境中, 已被报道在其鳃组织中专门存在甲烷营养内共生菌。然而, 关于在不同生境条件下的深海贻贝各组织微生物群落特征和功能基因表达模式的比较,

相关信息仍然有限。本研究通过采集西太平洋冲绳海槽相邻冷泉和热液环境中的深海贻贝样品,对各个组织进行取样,并结合 16S rRNA 基因测序和转录组测序方法解析微生物群落特征和基因表达模式。结果发现对于不同生境中的贻贝,其鳃组织的微生物群落则更为相似,且与其他组织的微生物群落结构相比具有明显差异。在冷泉和热液的贻贝鳃组织中,共生 *gamma* 变形菌甲基单胞菌科 (Methylomonaceae) 均为优势类群,这类微生物极有可能发挥着甲烷氧化的重要功能;而在其他组织中,冷泉贻贝和热液贻贝的优势微生物类群分别为假单胞菌科 (Pseudomonadaceae) 和肠杆菌科 (Enterobacteriaceae),这些微生物则可能在深海重要元素循环中发挥重要作用。基因表达方面,与非内共生组织相比,内共生鳃组织中微生物识别、细胞凋亡和免疫、抗氧化、重金属解毒相关基因表达水平显著上调。深海贻贝具有组织相关性的微生物群落特征和基因表达模式,并可能发挥的独特代谢功能以适应冷泉和热液等极端生态系统,使其成为相邻冷泉和热液两大生态系统之间物质交换和能量流动的重要载体之一。本研究丰富了对于深海贻贝组织相关微生物群落特征和基因表达模式的认识,可为揭示冷泉-热液生态系统之间的沟通融合、评估两个极端生境之间相互促进的资源聚集效应奠定基础,并为进一步阐明西太平洋极端环境区域流-固相互作用机制提供重要科学依据。

S26-P-2

地震海洋学及其在深海底界面过程研究中的应用

宋海斌^{1*}, 张锟¹, 耿明会², 孟令寒¹

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

² 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* hbsong@tongji.edu.cn

地震海洋学是应用反射地震方法研究海洋内部结构及其变化,揭示中小尺度海洋动力过程及其与海底相互作用的一门交叉科学与新兴技术。地震海洋学具有分辨率高、采集数据速度快、可利用大量已有资料等优势在物理海洋学、海洋地质与地球物理学研究方面具有广阔的应用前景。

本文首先介绍近期地震海洋学在次表层涡旋、内孤立波与温盐阶梯方面的最新研究成果,然后以南海东沙海域为例着重探讨地震海洋学在深海底界面过程研究中的初步应用。东沙海域是特别有意思的一个海区,上陆坡坡度平缓,内孤立波在此浅化,近期的研究还发现了此地有斑块状巨型沙丘和广泛发育的雾状层。内孤立波浅化、沙丘、雾状层这三者应该具有密切的关系,其中的演变细节值得深入探查研究。内孤立波在向倾斜地形(陆坡或陆架)传播的过程中会发生一系列的变化,其中之一是极性反转。我们通过对大量历史地震数据以及一些前人研究成果的统计,结果表明,南海东北部的内孤立波极性反转的发生位置大体上介于海底深度 200 m 到 100 m 之间的地方。我们在浅化内孤立波垂向结构、混合参数分布、细结构变化、含圈闭涡核内孤立波、高频内波形成等方面进行了深入研究。利用地震海洋学方法在南海北部陆架和上陆坡区域发现了 15 个雾状层,大部分属于底部雾状层,这些雾状层的延伸长度从几千米到几十千米,厚度十几米到一百米,其顶界所处水深在 135 m 至 715 m 范围之间。雾状层在地震海洋学及其属性剖面上表现为强振幅、高频、相位连续特征。东沙海域的沙丘呈斑块状分布在通常平缓的大陆坡上(坡度 $\leq 0.58^\circ$),海底主要由粉砂和粗砂覆盖。沙丘表现出明显不同的分布模式、几何形状和迁移行为。波长范围为 47 至 555 米,高度为 0.1 至 19.8 米,波峰线长度为 100 米至几十公里,主要方向为北东-南西。根据其分布和特征,沙丘进一步分为 (i) 弯曲型、(ii) 新月形、(iii) 网状、(iv) 限制型和 (v) 叠加型。大多数沙丘向西北和东南方向迁移。我们

推断,在南海北部的东沙地区,沙丘的形成和迁移是由于内孤立波造成的。在东沙海域的浅化过程中,当内孤立波传播并经历极性转换、反射、折射和衍射时,会发生波-波和波-地形相互作用。这些过程在东沙地区带来了可变和复杂的局地水动力条件,耗散了大量的能量,侵蚀了海底,并提供了维持超大沙丘形成和迁移所需的沉积物和能量。我们的研究加深了我们对地形和地貌演变、沉积动力学和中尺度运动之间复杂关系的理解。

S26-P-3

冲绳海槽冷泉、热液共生区沉积物铁-锰-硫-碳元素循环耦合研究

徐翠玲^{1*}, 吴能友¹, 孙治雷¹, 李清¹

¹ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
* xcl1130@163.com

作为典型的弧后盆地,冲绳海槽广泛发育海底热液和冷泉系统,对该区域的碳循环和水合物、热液硫化物资源成矿具有重要影响。以往冷泉碳酸盐岩的记录显示,热液来源的金属驱动了冷泉区甲烷的厌氧氧化作用(Fe/Mn-AOM),从而降低了冷泉碳泄漏强度。然而,由于缺乏现代孔隙水地球化学数据,导致对研究区域内铁、锰、硫和碳循环之间动态相互作用的认识仍不清晰。针对上述问题,本文利用冲绳海槽中段的海底浅钻和重力柱沉积物样品,开展了孔隙水地球化学研究,研究数据首次记录到热液锰供应增强了有机质矿化作用,从而降低了弧后盆地中有机碳的埋藏效率。研究证实:通过 Fe/Mn-AOM 作用可显著改变孔隙水碱度,并促进碳酸盐岩沉淀,从而实现冷泉碳泄漏的截留。此外,该研究还提出了一种新的海底白云石形成机制,认为其与产甲烷带内 Fe/Mn-AOM 作用有关,而非前人认为的沉积物风化、

逆风化控制的白云岩化作用。上述研究对理解弧后盆地中甲烷的产生和消耗具有重要意义,也为认识甲烷丰富但硫酸盐贫乏的太古代海洋提供了科学依据。

S26-P-4

深海冷泉环境微生物腐蚀研究

吴佳佳¹, 王鹏^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所, 海洋关键材料全国重点实验室
* 15154261982@139.com

不同于室内模拟环境下的金属材料深海腐蚀研究,现场深海腐蚀试验由于成本与难度的原因仅被少数几个国家的科研人员实施。深海腐蚀试验场的选择往往要求其能代表开放大洋环境,而深海极端环境(如冷泉、热液)下的金属材料腐蚀研究鲜有报道。微生物作为冷泉生态系统的初级生产者,可影响金属材料的腐蚀,因而金属材料在深海冷泉区的腐蚀可能与普通深海环境的不同。本工作将 11 种金属材料(7 种合金钢、2 种铜合金、316L 不锈钢、TC4 纯钛)搭载“科学”号科考船,于深度约为 1120 米的南海 Formosa 冷泉区暴露 660 天。发现除纯钛外,其它 10 种材料都遭受腐蚀。其中,合金钢和铜合金发生全面腐蚀,且前者的腐蚀速率为后者的 3 倍多。Cu、Mn 和 Cr 元素对合金钢的腐蚀没有显著影响,镍元素可抑制合金钢的腐蚀,同时,铁素体+珠光体复合结构的耐蚀性低于单相回火索氏体和贝氏体的。相较于文献报道的普通深海腐蚀数据,合金钢在深海冷泉区的腐蚀速率要高于普通深海环境的,同一合金钢的腐蚀速率可提高 15.9%左右。由于深海冷泉区与相近深度的普通深海环境在溶解氧浓度、温度、盐度等方面接近,合金钢的高腐蚀速率可归因为特定微生物的影响,比如高丰度的铁氧化菌属 *Mariprofundus*、硫氧化菌属 *Sulfurimonas*、

硫还原菌属 *Sulfurospirillum* 等。铜合金在深海冷泉区的腐蚀速率与普通深海环境的没有显著差异,这可能与 *Thiogram* 等菌属的腐蚀促进活性低有关。由于缺乏足够的不锈钢深海点蚀数据,暂不能确定是否深海冷泉环境促进了不锈钢的点蚀,其表面的微生物主要以甲烷氧化菌属 *Marine_Methylophilic_Group_2*、甲基营养菌属 *Methylophilus* 等。

S26-P-5S

南海冷泉溶解有机质从上覆水到底层水的运移与转化:基于高分辨质谱的分子机制解析

唐诗¹, 严振伟³, 易沅璧³, 沈渊⁴, 谢伟^{1,2}, 何丁³, 李朋辉^{1,2*}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 香港科技大学, 海洋科学系

4 厦门大学, 海洋与地球学院

* liph8@mail.sysu.edu.cn

冷泉是海洋生态系统中的关键热点区域,其中溶解有机质(DOM)的生物地球化学过程对区域碳库和全球海洋碳循环产生显著影响。为阐明冷泉活动对 DOM 产生、运输和转化的影响,我们采用傅里叶变换离子回旋共振质谱(FT-ICR MS)分析了南海北部冷泉区和非冷泉区水柱和沉积物上覆水中的 DOM。研究结果表明,冷泉上覆水含有更多的特异性分子,与非冷泉区相比,含硫分子的占比更高。在气泡上升过程中,约有一半的冷泉特异性分子被输运到相应的底层水。这些分子具有较低的 H/C、较高的分子量,其中高度不饱和化合物占主导(82.3%)。相比之下,具有较高 H/C、较低分子量的分子则在传递过程中丢失。此外,在激发效应的驱动下,活跃冷泉的底层水体表现出一些易降解分子(H/C > 1.5)的

形成,这些分子具有较低的芳香度(Almod < 0.25),同时具有较高芳香度的含氮富羧基脂环分子(CRAM)发生降解。这些发现表明冷泉活动对深海 DOM 特性及其动态有深远影响,可为更好地理解冷泉生态系统生物地球化学过程及其对海洋碳循环的影响提供支撑。

S26-P-6

西太平洋深层环流的观测研究

汪嘉宁^{1*}

1 中国科学院海洋研究所

* wjn@qdio.ac.cn

基于长期连续潜标观测,系列研究揭示了西太平洋深层环流的路径、流量和变异,完善了对西太平洋深层环流的认知。大洋深层环流的路径会受到地形的约束,海盆间的深层水仅能通过一些关键通道进行交换。研究发现深层环流下分支通过雅浦-马里亚纳海沟连接区深水通道进入西马里亚纳海盆,然后可通过九州-帕劳海脊深水通道从西马里亚纳海盆进入北菲律宾海盆。进入北菲律宾海盆的绕极下层水因地形的阻挡无法流出该海盆,只能通过混合吸热上升变为北太平洋深层水,而后通过关键深水通道流出西太平洋。研究发现深层流上分支会在新几内亚岛以北通道向东流出西太平洋,并呈现显著的季节变化。上述通道流量的平均态和季节变异与通道两端压力差异或向西向下传播的行星 Rossby 波等密切相关,季节内变异由地形 Rossby 波和行星 Yanai 波等引起。

S26-P-7

海洋甲烷立体监测关键技术与应用

梁前勇^{1,2*}, 冯东³, 吴学敏¹, 胡钰³, 郭斌斌¹, 陈多福³, 邸鹏飞⁴

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

3 上海海洋大学

4 中国科学院南海海洋研究所

* tomlqy@163.com

海洋天然气水合物是资源量丰富的高效清洁能源, 是未来全球能源发展的战略制高点。甲烷泄漏是水合物开采工程重大风险之一, 高效、安全、绿色开采是实现水合物产业化开发国家重大战略的关键。其次, 甲烷是全球第二大温室气体, 海洋也是地球上最大的甲烷储库。因此, 建立海洋甲烷立体监测及定量评估技术对海洋油气、水合物开发工程及“双碳”战略具有重要作用, 对海洋甲烷循环机制研究及全球气候变化评估具有重要意义。本研究围绕海洋天然气水合物开采环境监测需求, 历经 13 年攻关: (1) 创新构建了针对深海甲烷渗漏的沉积物-海水-大气“三层两界面”原位监测装备体系。针对深海环境甲烷原位监测技术装备缺乏问题, 研发了沉积物孔隙水原位长期取样装置、海底沉积物-海水界面甲烷渗漏通量原位测量装置、海水剖面甲烷立体实时监测锚系潜标、海-气界面甲烷通量自动测量浮标等 4 大类装备, 实现了海底沉积物、海水、大气等海洋系统甲烷渗漏运移过程原位长期监测, 填补了领域空白。(2) 建立了海洋甲烷从海底到大气全过程的原位快速调查技术方法。针对水下甲烷原位测量技术不成熟及快速调查方法缺失难题, 建立了甲烷渗漏羽状流三维声学快速精准探测、海水甲烷浓度剖面快速测量、船载走航海-气甲烷交换通量自动测量、海表大气甲烷遥感动态测量等技术, 羽状流识别正确率大于 85%, 海水甲烷浓度测量偏差从 $\pm 300\%$ 降低至 $\pm 10\%$, 建立了我国首份海洋甲烷环境基线调查技术标准, 为水合物、浅层气等资源开发、海洋环境保障等国家重大工程提供了技术支撑。(3) 创新建立了海底沉积物和海水

甲烷运移扩散定量评价方法。针对深海沉积物和水体甲烷溶解扩散模拟方法不成熟的问题, 首次构建海底沉积物甲烷扩散通量计算模型, 与前人研究成果相比, 发现全球海底甲烷扩散通量被低估了 75%; 建立了真实水动力环境下甲烷渗漏-反应-运移模型和甲烷气泡水体运移评价模拟求解器, 揭示了甲烷气泡动力学、气液固多相流动等多效应相互作用机制, 为深海甲烷循环机制、海洋负碳研究奠定了理论基础。据此, 构建了国际先进的海洋天然气水合物开采甲烷立体监测及定量评估技术, 实现渗漏甲烷海底、水体、大气立体全方位实时监测, 支撑我国两轮海域可燃冰试采成功, 并推广应用于海上油气开发、海洋风电建设、海洋环境保障等国家重大工程, 产生了重大的社会、生态、经济效益。

S26-P-8

冲绳海槽冷泉—热液共生区微生物群落结构及其驱动的生物地球化学循环过程

陈烨¹, 孙治雷^{1*}, 徐翠玲¹, 吴能友^{2*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 崂山实验室

* zhileisun@yeah.net

* wuny@ms.giec.ac.cn

冲绳海槽是西太平洋典型的弧后盆地, 其西部陆坡广泛分布冷泉系统。该狭长盆地内热液与冷泉活动共同发育, 热液物质的输入可能显著影响冷泉系统及周边沉积物的生物地球化学过程与物质循环。本研究选取冲绳海槽冷泉—热液共生区的不同类型沉积环境(包括冷泉强渗漏区、弱渗漏区、临近热液区及普通沉积物), 分析微生物群落结构特征及其在生物地球化学循环中的潜在生态功能。研究发现, 该共生区域的微生物群落结构受到热液与冷泉活动的显著影响。靠近热液区的微生物丰度相对较低, 且群落结构呈现出较高的相

似性。其中,典型的热液微生物物种 *Hyphomicrobiaceae* 在这些区域表现出明显的富集现象。此外,受热液流体的强烈影响,该区域溶解态锰的含量较高,这一因素显著地改变了微生物群落的结构。研究还揭示了 *Bathy-1*、*JS1*、*Methanofastidiosales-6*、*ANME* 和 *Methanomassiliicoccales* 等微生物在强冷泉渗漏区域的显著富集现象。这些微生物的高丰度与冷泉渗漏强度密切相关,因此可作为评估甲烷渗漏强度的潜在生物指示剂。在冷泉—热液共生区域,存在三种主要的甲烷氧化过程。在甲烷强渗漏区域,甲烷氧化主要通过 *ANME* 古菌介导的厌氧甲烷氧化 (Anaerobic Oxidation of Methane, AOM) 过程完成;而在甲烷弱渗漏区和普通沉积物中,甲烷氧化则以 *Methylobacteriaceae* 介导的好氧甲烷氧化为主。在靠近热液区的站位,甲烷氧化过程则主要由 *Methylobacteriaceae* 介导的硝酸盐驱动的厌氧甲烷氧化 (Denitrification-Associated Anaerobic Oxidation of Methane, D-AOM) 主导。由于该区域有机质降解强度较高,产生了大量的 NH_4^+ , 这些 NH_4^+ 在好氧氨氧化古菌 *Nitrosopumilaceae* 的作用下被进一步氧化生成 NO_2^- , 从而为 D-AOM 提供了关键的底物来源。微生物网络分析则发现甲烷弱渗漏区的沉积物微生物网路图具有较高的平均度和平均加权重度,但具有较低的聚类系数和模板化。

S26-P-9

海洋环流全深度多尺度跨学科探索及其气候环境研究启示

王凡^{1*}

1 中国科学院海洋研究所

* fwang@qdio.ac.cn

当前,海洋科学研究向“四极”发展趋势愈加凸显,呈现研究对象时空广度和深度日益加大、多学科交叉融合日益加深的“大科学”特征,亟需推动形成变革性的海洋科学解决方案,促进可持续发展。深海事关全球海洋治理和可持续发展,孕育着诸多地球系统科学前沿问题,是全球海洋治理和科学认知拓展的新疆域。深海科技创新向来是海洋科技强国的舞台,其里程碑式的科学发现和理论创新主要出自发达国家。深海是开展多圈层相互作用研究和变革性技术应用发展的理想场所,更是地球科学下一个重大理论突破口。国家自然科学基金委创新研究群体项目“深海界面过程与化能生态系统”通过跨学科、跨圈层、跨尺度研究实践,构建了国际一流的深海综合探测体系,突破技术挑战建成深海实时潜标观测网,获取关键观测证据推动海洋环流“全深度”“三维结构”和“多尺度”变异规律的认知提升,提出了全球变暖背景下海洋动力、热力特征被强化的新观点;突破深海原位探测、原位实验、原位培养技术突破,取得深海界面通量、元素循环、生命过程研究的新认知,为深刻理解海洋与气候环境变化、深海特殊生命过程、元素循环及其宜居环境和生命起源意义提供了新启示。

S27-O-1

基于全球地震台阵的远震 S 波地脉动信号探测及源区测定研究

刘巧霞^{1*}, 倪四道², 邱勇¹, 周勇³

1 中国地震局地球物理勘探中心, 中国地震局地球物理勘探技术研究所

2 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

3 中国科学院南海海洋研究所

* llqxx@126.com

从背景噪声中识别体波信号是地震学研究发展的难题,尤其是 S 波震相其能量弱,易被 P 波和面波淹没,更难识别。P 波已在全球范围被广泛观测到, S 波噪声信号的研究仅有两例。为解决 S 波地脉动信号的识别难题,本研究拓展了远震体波三分量反投影技术和频率-波数域分析法,用于基于全球地震台阵的 S 波信号识别及源区时空演化特征研究。首先利用中国科学台阵二期数据,不仅探测到了全球范围持续稳定的远震 S 波地脉动信号,给出了其时空演化规律和可能的激发机制,同时也从西太平洋台风记录中同时识别到远震 P 波和 S 波,并利用其源区位置恢复出了西太平洋台风运动轨迹。然后,基于包括 USArray 在内的全球不同方位的 13 个地震台阵,探讨解答了远震 S 波地脉动是否能够像远震 P 波一样在全球范围被探测到这一基础科学问题。上述研究成果对更有效地利用 Rayleigh 波, Love 波乃至体波背景噪声信号进行地球内部结构成像工作以及水平切向极化方向地脉动信号的激发机理研究具有重要意义。

S27-O-2

频率相关的双频地脉动源研究

肖晗^{1,2*}, Toshiro Tanimoto², Zack J. Spica³

1 德国亥姆霍兹地学研究中心, 地震学 2.4

2 美国加州大学圣塔芭芭拉分校, 地球科学系

3 美国密歇根大学, 地球与环境科学系

* xiaohan@gfz.de

地脉动是一种由海洋过程产生的持续性地震噪声,主要分为初级地脉动和次级地脉动两类。单频地脉动的频率较低(0.05–0.1 Hz),由海浪直接与海底的相互作用产生;而更常见的双频地脉动则具有较高的频率(0.1–0.5 Hz),主要源于相向传播海浪之间的非线性交互作用。过去,研究人员主要依赖陆地地震台站和少量海

底地震仪对地脉动进行研究与定位,但由于缺乏高分辨率的海底观测数据,双频地脉动源的精确定位一直是一个挑战。

理论研究普遍认为,双频地脉动的主要来源包括两类区域:一是由海浪在沿海反射形成驻波引起的浅海区域;二是开放海域,尤其是风暴频发区域。此外,也有研究指出,多个风暴系统之间的相互作用可能会触发强烈的地脉动活动。目前,对于陆地上观测到的双频地脉动主要来源位置仍存在较大分歧。

本研究整合了分布式光纤声学传感(DAS)技术与海底地震仪(OBS)数据,重点分析了美国俄勒冈海岸地区不同频率双频地脉动的空间分布情况,为厘清地脉动源究竟起源于深海还是沿岸提供了新的证据。DAS 技术通过海底光纤缆线实现高精度地震信号探测,为地脉动源的识别与定位提供了新手段。通过结合 DAS 和 OBS 数据,我们更准确地识别出次级地脉动的来源位置。研究发现,传播至陆地的次级地脉动具有明显的频率依赖性:高频(>0.3 Hz)次级地脉动主要源于靠近海岸线的区域;在中频段(0.2–0.3 Hz),沿岸与深海的能量贡献相当;而在低频段(0.1–0.2 Hz),次级地脉动的主要来源则位于深海区域。

S27-O-3

海底分布式光纤传感多物理场耦合观测及应用

杨积忠^{1,2*}, 杨晓东^{3,4}, 罗耀^{3,5}, 孙梦宇^{4,6}, 常叶龙⁷, 卢柱峰^{4,6}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

3 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

4 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质实验室

5 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院中国-斯里兰卡联合科教中心

6 中国科学院大学
7 华南理工大学, 土木与交通学院
* 10yangjizhong@tongji.edu.cn

5 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋地质与
环境重点实验室
* kongfs@sio.org.cn

分布式光纤声学传感 (Distributed Acoustic Sensing, DAS) 技术是近年来发展的一种新型观测技术, 能够将长距离的海底通信光缆转变成空间密集的应变传感器阵列进行海洋观测。DAS 具有高时空分辨率、数据实时传输、长时间观测以及环境适应性强等优势, 在填补传统海洋观测的数据空白方面具有巨大潜力。本研究通过在南海北部汕头海上风电场的陆地控制中心接入 DAS 解调仪, 将 30 公里海底光缆转换成由 7091 个应变传感器组成的空间间隔为 4 米的密集阵列。本研究报道了为期一个月的 DAS 与传统设备联合海洋观测的最新结果。数据采集期间 DAS 阵列记录到一系列地方震和区域地震, 并观测到海浪、船舶, 以及由海陆相互作用产生的单频、双频微地动和 Scholte 波在内的多种海洋信号。我们将 DAS 数据的频谱图与传统物理海洋设备采集的有效波高和风速数据进行对比, 结果显示出高度的一致性。本研究利用国产 DAS 设备在南海海域开展连续观测, 成功记录了丰富的海洋环境与自然灾害信号, 证明了 DAS 作为下一代海洋观测设备, 在我国海域开展观测研究的巨大潜力。

S27-O-4

地震环境噪声中来自南海夏季风爆发的信号

周玉龙¹, 孔凡圣^{1*}, 张翰^{2,3}, 刘张聚¹, 牛雄伟¹, 阮爱国¹, 卢绍平⁴, 范建柯⁵, 谭平川¹, 卫小冬¹, 丁巍伟¹, 李家彪¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

2 自然资源部第二海洋研究所, 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

4 中山大学, 地球科学与工程学院

地震环境噪声是指地表在自然现象和人类活动的持续作用下形成的一种环境场, 其中海洋是其主要噪音源之一。作为环境噪声场中能量最强的组成部分, 地脉动主要由大气-海洋系统与固体地球之间的动力耦合所激发。因双频地脉动被认为蕴含丰富的气象和海洋学信息, 近年来被广泛应用于全球波候和海冰密集度变化监测以及海洋风暴准实时定位等研究中。大量研究表明, 生成双频地脉动的反向传播海洋波列主要由海洋-大气低压系统 (如热带气旋) 激发, 而单向季风系统可能难以提供足够的海洋动力条件以激发双频地脉动。因此, 环境噪声中是否蕴含着对季风系统的响应, 以及季风与双频地脉动之间的关联机制, 是当前亟待解决的重要科学问题。南海作为西太平洋最大的边缘海, 在夏季西南风和冬季东北风的交替控制下, 呈现出显著的季风转换特征。本研究联合应用南海海底地震仪阵列数据、周边陆地地震观测资料以及海洋气象学数据集, 在系统分析整个观测期间地震环境噪声频谱和时频特征的基础上, 首次深入探讨了南海夏季风激发双频地脉动的可能机制。

海底地震仪数据的时频分析结果表明显示, 在 2020 年 5 月 18 日至 31 日的非台风作用期间, 短周期双频地脉动频带 (0.25–0.5 Hz) 内存在两个显著的能量峰值。结合频率偏振分析得出的源区和海洋气象学数据分析的结果, 表明该强烈的短周期双频地脉动信号与 2020 年南海夏季风爆发 (5 月 23 日) 之间存在密切关联。在南海夏季风爆发前, 风场由东北风转变为西南风, 西南风驱动海浪向东北方向传播, 其与前期东北风驱动的反向波列发生相互作用, 激发双频地脉动, 对应于观测到的首个功率峰值。随着季风转换前存在的东北风驱动的涌浪逐渐消散, 双频地脉动能量逐渐变弱。在 5 月 22 日至 26 日期间, 随着与季风相关的气旋在台湾海峡附近发展,

向西南方向传播的海洋波列重新生成，并与南海西南风驱动的东北向传播波列发生相互作用，使得双频地脉动在短暂减弱后再次增强。此外，当海洋波列从深水区行进至浅水区时，双频地脉动在浅滩效应的调制下得到显著增强。本研究首次应用海底地震数据从地震环境噪声中成功识别出来自南海夏季风爆发的信号，拓展了地脉动与大气-海洋-固体地球各圈层间相互作用的关联性，强调了应用地脉动进行季风短期预测和强度监测的潜力。

S27-O-5

基于长须鲸声信号反演最古老洋壳结构

尚正涛^{1,2}，杨挺^{1,2,3*}

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 鹏城实验室

3 上海余山地球物理国家野外科学观测研究站

* tyang@sustech.edu.cn

长须鲸发出的叫声是目前已知海洋中最强烈、传播最远的动物声音之一，其声源级高达 189 分贝（以 1 米处 1 微帕为参考），可在数百公里之外被监测到。长须鲸声信号具有显著的特性：持续时间约 1 秒，呈纺锤体状；频带较窄，集中在 15–25 Hz 之间，峰值频率约为 20 Hz，且在呼叫过程中频率逐渐下降约 5 Hz；该声音以 7 至 40 秒的间隔重复，连续发声可持续数十小时。因为其高强度，这种信号在水体中传播时，不仅会产生直达波和在海面与海底多次反射的波，还可穿过海底，在洋壳内部界面发生反射与折射。

在西太平洋约 5100 米深的最古老的海盆上，我们部署的宽频带海底地震仪“磐鯤”记录到了大量长须鲸声信号，利用其直达和反射等特征信号开展了定位长须鲸游行轨迹及反演洋壳结构的工作。

在数据处理中，我们首先通过瑞利波极化分析确定了海底地震仪水平分量的实

际方位，进行了方位角校正。随后，我们利用水平分量刻画了直达波的质点运动轨迹，并结合正交回归算法计算了鲸鱼相对于台站的方位角。同时，依据 World Ocean Atlas 2023 提供的台站附近的实际声速剖面，计算了直达波与多次反射波的时距曲线。结合人工标注的每次鲸鱼发声产生的直达波与多次反射波的到时差，确定了鲸鱼与台站之间的距离。定位结果显示，鲸鱼在离台站 5 到 15 公里的范围内游行。

我们将所有高信噪比的长须鲸声信号按偏移距（即长须鲸与台站间的距离）排列成道集，并以直达波作为子波，对每道信号进行反褶积处理，从而压制直达波及其多次反射波，增强了洋壳内部界面反射和折射信号。反褶积结果显示，台站及其附近区域下方的地壳中存在多个反射界面。我们进一步对反褶积后的信号开展了速度谱分析，初步获得了这一古老洋盆的洋壳速度结构。

这一工作创新性地利用了长须鲸声信号这一环境友好型的震源，有效地反演了深海中的最古老洋壳结构，为海洋地球物理学研究开辟了新思路和新方法。

S27-O-6

利用单台海底地震仪记录的地脉动噪声提取瑞利波频散曲线

邓涵^{1*}，安超¹，蔡晨²，田晋雨¹

1 上海交通大学，船舶海洋与建筑工程学院

2 中山大学，地球科学与工程学院

* winterborn@sjtu.edu.cn

瑞利波频散曲线广泛应用于约束海底横波速度结构。传统方法通常利用多个台站记录的垂直加速度计算互相关函数或利用远震信号得到瑞利波到时提取频散曲线。在本研究中，我们发展了一种从单台站记录的地脉动噪声中提取瑞利波频散曲线的

方法。该方法的基本思想为地脉动噪声在单台站产生的压强与垂直加速度的理论比值为频率和瑞利波相速度的函数。我们将该方法应用于 Cascadia 地区提取了 3 - 10 s 之间的瑞利波频散曲线, 并发现该方法提取的频散曲线与互相关函数法提取的结果一致。受海底环境影响, 互相关函数法通常只能提取较长周期的瑞利波频散曲线, 而本方法能够提供高频时的结果。我们进一步利用提取结果反演地下结构, 发现该频率区间的频散曲线能够对浅部沉积层提供较好的约束。

S27-O-7

南海岛礁水动力过程的分 布式声学传感观测与研究

夏少红^{1*}, 周博¹, 王新洋¹, 张昌榕¹, 范朝焰¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室
* shxia@scsio.ac.cn

岛礁水域复杂的水动力过程是塑造岛礁地形地貌的重要控制因素, 也是制约岛礁工程建设与风险管控的关键科学问题, 但传统观测手段难以在岛礁区域实现米级空间分辨率和秒级时间分辨率的连续监测。我们利用分布式声学传感 (DAS) 技术, 对南海宣德环礁赵述岛水域的水动力过程进行了高时空分辨率的观测与分析。通过自主铺设光缆并部署 DAS 主机, 揭示了岛礁区域 DAS 记录到的低频信号 (LFS)、中频信号 (MFS) 和低频信号 (HFS) 的时空特征及其与潮汐、风场和地形的复杂耦合关系。频谱分析和空间分布特征研究表明, LFS 和 HFS 在高潮位期间的信号强度显著高于低潮位, 且从礁脊向潟湖方向逐渐衰减。陆地光缆在吹填区记录的低频信号强度高于沙滩区, 反映出不同海岸类型对拍岸浪破碎过程的影响。本研究结果对于评估防波堤和岛礁海岸边坡的稳定性、

优化资源开发策略以及制定生态保护措施具有重要意义。

S27-O-8

基于海底光缆的近岸高时空 分辨率海流原位监测研究

宋政宏^{1*}, 曾祥方¹, 倪四道¹

¹ 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院, 精密大地测量与定位全国重点实验室
* songzh@apm.ac.cn

海流对于物质运移、能量交换以及海洋动力学模拟具有重要的作用。近岸及河口地区由于潮汐、河流以及复杂海岸线等影响, 海流复杂难于建模, 需要高时空分辨率的连续原位观测。现有的观测手段可以为近岸海洋研究提供丰富的观测资料, 但仍需要高时空分辨率的近岸原位流速观测, 弥补各种观测手段之间的不足。随着光纤传感技术的发展, 海底光缆为密集的海底原位观测提供了一个新的解决方案。

我们利用 10 公里海底光缆结合分布式光纤传感技术记录到海洋表面重力波造成的海底准静态变形信号。受海流影响, 沿光缆陆地方向和海洋方向的海洋表面重力波速度存在差异。利用这一非对称性, 我们反演得到了海流速度的时空分布, 其中时间分辨率为 5 分钟, 空间分辨率为 1 公里。观测的海流速度与观测区域附近的流速计观测结果相吻合, 揭示了半日和全日周期的潮流成分。

这个研究表明分布式光纤传感技术与近岸海底光缆结合, 提供了一种新的原位近实时测流手段, 可以实现百公里范围高密度的长期(乃至永久)的海洋活动监测, 为沿海研究提供数据支撑及科学参考。

S27-O-9

低频 (<5 Hz) 深海地震 T 波的激发及传播机制

沈智超^{1*}, 吴文波¹, Jörn Callies²

1 美国伍兹霍尔海洋研究所, 地质与地球物理系

2 美国加州理工学院, 地质与行星科学学院

* szchao40@gmail.com

地震 T 波是海区地震在固体壳幔圈层中激发的弹性波与海洋圈层耦合而成的水声波, 能在海洋声学通道中长距离传播。其走时特征对海温高度敏感, 可有效反演海温变化。然而, 关于低频(<5 Hz)深海地震 T 波的激发及传播机制, 学界一直存在争议, 限制了其在地震海洋测温研究中的应用。目前, 争议主要围绕海底地形散射、海表面散射以及由海洋内波引起的不均匀体散射三种代表性假说理论。在这次报告中, 我将结合数值模拟与实际观测系统地研究低频深海 T 波的激发及传播机制。首先, 通过整合高精度海底地形、海表与内波谱统计模型, 准确构建固体壳幔与海洋介质模型, 并基于此开展数值模拟, 定量对比不同理论下的低频深海 T 波合成波形。针对 Romanche 和 Blanco 转换断层的波场模拟结果表明, 海底地形散射是低频深海 T 波传播与激发的主导机制, 而海表与内波贡献较小。尤其是小尺度地形特征能显著增强深海 T 波的激发效率。此外, 在实际数据中, 我们发现 Romanche、Chain 和 Blanco 等转换断层处重复地震事件激发的 T 波波形展现出高相似性。鉴于海底地形的时间稳定性以及液态海洋的短时强动态特征, 该高相似性观测不仅进一步验证了海底地形散射的主导机制, 而且其走时特征也清晰地揭示了赤道大西洋的变暖趋势。因此, 低频深海 T 波由海底地形散射主导的激发及传播机制, 使其能可靠约束海温变化, 进一步拓展了地震海洋测温研究的可用数据集。

S27-O-10

南海地震 T 波观测与传播特征

肖卓¹, 王月¹, 夏春畅¹, 周勇^{2*}, 徐敏²

1 广西民族大学, 人工智能学院

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* zhouyong@scsio.ac.cn

地震海洋声波(T 波)是指当地震在固体地球内部发生时, 部分震动能量会传递到海洋中并以声波的形式在水中传播产生的波动。得益于海洋声学通道(SOFAR)的存在, T 波具备低波速、低衰减和长距离传播的特征, 能为海洋地质监测和结构探测提供重要信息。然而, 我国周边海域对于 T 波的观测和分析较少, 其转换机制和传播规律亟待系统研究。本研究综合利用 2012 年至 2024 年南海海岛固定地震台、流动台阵以及海底地震阵列观测的天然地震波形数据, 分析了南海 T 波的频率、偏振特性和传播速度等关键特征。研究发现, 南海区域存在多 T 波震相的现象。结合海岛流动台阵的波束形成分析以及海底地震阵列的走时拟合技术, 发现吕宋海峡和冲绳海槽是南海地震弹性波转换为海洋声波的关键区域。基于对多元海洋地震观测资料的分析, 本研究首次揭示了南海 T 波的形成和传播机制, 证实了边缘海地质构造对南海岩石圈-水圈耦合过程及能量交换的调控作用。研究成果不仅丰富了对南海 T 波传播理论的认识, 也为南海地质灾害及其他突发事件监测提供了新的技术途径。

S27-O-11

中深源地震激发的长持续时间的 T 波

何小波^{1*}

1 浙江海洋大学, 海洋科学与技术学院

* xiaobo.he@zjou.edu.cn

浅源地震激发的 T 波已经广为大家所观察,但是俯冲带的中源地震能否激发 T 波,以及激发 T 波的特征仍待详细的研究。本研究关注于俯冲带中源地震的 T 波,发现其激发的 T 波呈现一场长持续时间的特征,能够达到 800-900 秒,远远长于浅源地震的 200 秒的特征。我们通过详细分析地震与台站之间的方位关系,对这一长持续时间特征进行讨论。提出该特征可能与俯冲带的海底地形强烈变化有关。表明海水与固体介质之间的强耦合对 T 波特征起了决定性作用。

S27-O-12

深水环境下 P 导波的频散特征及反演研究

江文彬^{1*}

¹ 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 数据处理研究所

* jiangwb1@mail.ustc.edu.cn

地球表面约 70% 面积被海洋所覆盖,其中水深超过 1 km 的深海区占海洋总面积的近 90%。深海蕴藏着丰富的油气和矿产资源,近年来全球重大油气发现的 70% 来自水深超过 1 km 的海域,未来重要的清洁能源天然气水合物(可燃冰)大部分赋存于深海浅层沉积物中。因此,深海浅层精细速度结构成像十分重要。P 导波由浅层多次反射波与折射波干涉叠加形成,具有频散特征,广泛应用于陆地与浅水环境(水深小于 100 m)的浅层纵波速度结构反演。然而,在深水环境下(水深大于 1 km),地震拖缆记录的 P 导波到时晚于海底反射波,导致近偏移距 P 导波被深部反射波所掩盖,无法直接观测到深水 P 导波并识别其频散能量。我们的研究发现,深水环境下气枪震源同样能激发在海底浅层结构中传播的 P 导波。利用波场向下延拓方法可以从深海拖缆地震数据中提取出高质量的 P

导波信号。本研究深入分析了深水 P 导波的频散特性,并提出伪模式频散理论实现其频散曲线的近似计算。南海西南次海盆和天然气水合物矿区深水拖缆地震数据反演结果表明,深水 P 导波可为深海浅层速度成像提供除折射波和反射波之外的约束信息,其频散曲线反演有助于提高深海浅层地震成像分辨率。

S27-O-13

地震揭示南极海洋锋面的分层湍流与混合增强

唐群署^{1*}

¹ 浙江大学, 浙江大学海洋学院

* tqsh@zju.edu.cn

海洋多尺度相互作用与能量串级等问题引起人们日益关注,亚中尺度过程是否是海洋湍流的主要能量来源尚存争议。反射地震成像能够直接捕捉中尺度到细尺度的多尺度过程,且据此推断湍流过程。本研究获得了南极布兰斯菲尔德洋流(Bransfield Current)的高分辨率锋面结构图像,精准刻画出洋流三维空间形态,并识别出数百个长度约为 200 米的地震强反射斑块。这些斑块主要由水温变化引起,并以 0.24 ± 0.13 米/秒的速度移动。斑块在海流中分布不均,数量上朝锋面前缘呈指数增长,超过 95% 的斑块集中在距离锋面前缘 10 公里以内。联合水文数据,获得锋面处 Thorpe-scale 扩散率超过 $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$,地震获得平均扩散率 $2-3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$,均支持存在强混合。并推测这些斑块指示了分层湍流的存在,如内波破碎片段、水团入侵界面及水团翻转现象,分别对应内波破碎、锋面不稳定和剪切不稳定的湍流耗散机制。该观测结果对近期受到质疑的经典理论框架提出了挑战,支持能量从内波子区经由分层湍流(各向异性湍流)向各向同性湍流子区串级,并非直接从内波子区串级到各向同性湍流子区。

S27-O-14

地震学视角下的大气声重力波——以 2022 年汤加火山喷发为例

张申健^{1*}, 汪荣江^{2,3}, 陈晓非¹, Torsten Dahm³, 徐贝贝⁴, 张勇⁴

1 南方科技大学, 地球与空间科学系

2 中山大学, 地球科学与工程学院

3 GFZ Helmholtz Centre for Geosciences

4 北京大学, 理论与应用地球物理研究所

* zhangsj@sustech.edu.cn

理解如火山喷发和陨石空爆等剧烈大气事件产生的大气声重力波(acoustic-gravity waves, AGWs)对事件能量释放的定量估算及次生灾害链的防控具有重要意义。本研究基于地震学简正振型理论, 发展了一种高效的大气声重力波快速模拟方法, 并以 2022 年汤加火山喷发事件为例, 系统揭示了声重力波传播中的频散特性。通过全波形震源反演, 发现此次喷发的大气等效爆炸源位于 18 公里高度, 能量当量约为 9EJ, 且其能量释放过程与火山喷发柱的形成高度相关。更进一步地, 该方法可拓展应用于大气-海洋-固体地球多圈层耦合系统中的波形模拟, 为跨圈层耦合信号研究提供新工具。

S27-O-15

跨大洋水声传播建模与海底火山超远程水声监测研究

魏士俨^{1*}, 杨燕明¹, 刘鹏隆¹

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋声学与遥感研究室

* weishiyan@tio.org.cn

跨大洋水声传播通常指传播距离超过一万公里、低频声波与深海海洋环境大尺度、连续相互作用的物理过程, 是超远程

水声探测的理论基础。本研究发现在水声信号跨大洋传播过程中, 水平绕射效应会显著改变声传播路径、信号到达方位角及传播损失特性, 使传统"声影区"转变为"声照亮区", 从而显著提升水声事件的跨洋传播与超远程检测能力。本文提出了一种直角坐标系下的三维跨大洋声传播模型, 该模型具有空间分辨率不变的特点, 可同时适用于近场和远场声学仿真。以 2022 年汤加海底火山喷发为例, 成功模拟了火山 T 波从太平洋到大西洋的跨洋传播过程(传播距离>16000 km)。仿真结果表明: 太平洋火山激发的 T 波在南美洲南端发生显著绕射, 通过非大圆路径传播至大西洋中部, 被阿松森岛水听器阵列(H10N)成功捕获。通过对比不同波导条件下的声场特征, 发现南极周边海域声速剖面的变化是引发水平绕射效应的主导因素。定量分析显示, 当考虑水体声速变化的累积效应时, 声传播损失最大可降低 60dB。此外, 还利用位于 SOFAR 声道轴的两套水听器阵列, 对西马塔海底火山进行了为期 14 个月的超远程水声监测, 并对其喷发频次和强度进行了分析。

S27-O-16

大气次声波传播模拟及其在自然事件监测中的应用

吕君^{1*}, 滕鹏晓^{1*}, 程巍¹

1 中国科学院声学研究所, 噪声与音频声学实验室

* lvjun@mail.ioa.ac.cn

* px.teng@mail.ioa.ac.cn

许多自然事件在孕育、发生和发展的过程中都会产生次声波。次声波频率低、传播衰减小, 通过次声传感器可远距离的获取这类事件的信号, 作为事件监测和预警的一种有效手段。次声波在大气传播过程中, 受大气风场、温度等参数的变化影响非常大, 导致在远区接收到的次声波波形、幅值、相位等参数与声源近区的相关

参数相比发生较大变化,进而引起对事件分析的较大误差。因此,在考虑大气参数变化条件下对次声波远距离传播进行有效模拟,并将模拟结果应用于自然事件次声源的分析,可有效提高结果的准确性。

大气次声波传播模拟主要包括射线追踪法和全波解法。射线追踪法可以全面描述次声波从声源发出至接收点的整体传播路径;全波解法不仅可以描述波的传播路径,还可以显示传播路径上的声能变化。射线追踪法的应用可以优化传统声源定位算法,使声源定位结果更加准确。全波解法可以用于优化声源能量的算法,提高计算准确度。中国科学院声学研究所最早于上世纪 60 年代开始研制次声传感器,探测并收集了大量地震、泥石流滑坡、雪崩、台风、日食及大规模大气活动等自然事件的次声信号,研究了大气次声波传播的模拟算法,并将其应用于自然事件次声波的分析中。针对传统次声源定位算法——逐步多通道相关算法(PMCC)无法计算声源高度的缺陷,提出了基于三维球坐标系下声学射线追踪算法的反投影重建模型,结合已有实验数据重建射线轨迹,定位了一次陨石爆炸次声源的高度,并通过与美国 NASA 的实测结果对比,验证了算法的有效性。近年来,随着广域次声源定位技术的发展需求,通过引入传播模拟算法,有效解决了广域次声源定位的传统算法误差问题,为广域次声监测网次声事件定位提供了一种有效可行的方法,相关技术已应用于实时监测系统中。

S27-O-17

基于实际观测和数值模拟的 海水对地震动特性影响研究

侯信超¹, 张磊², 徐艳杰^{1*}

1 清华大学, 土木水利学院水利水电工程系

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 深地技术与装备研究中心

* xuyanjie@tsinghua.edu.cn

海洋结构工程所在的近海岸多位于地震活跃的俯冲带区域。因此,确保海洋结构工程的抗震安全至关重要。然而,目前关于海水对地震波传播影响的认识仍十分有限,严重制约了海洋结构工程的抗震安全评价。本研究以日本 2024 年能登半岛地震为案例,分析了日本 K-Net 地震台网提供的陆地和海底测站记录数据,重点分析了实测海底地震动的时、频域特性,发现海底地震动竖向记录低频段能量占总能量的 96.7%,而陆地测站记录低频段能量仅占总能量的 82.4%,这表明海水会抑制海底地震动竖向分量的高频成分。由于离散分布且数量有限的实测台站数据难以还原上覆海水下地震波场的传播过程,本研究进一步基于谱元法建立了包含真实地形和海水层的数值模型,探究海水对地震波传播的影响机制。数值模拟结果与实测记录吻合良好,且均反映出海、陆地震动特性的显著差异。数值模拟结果显示,海水层的存在压制了海底地震动中 P 波和面波震相。此外,海水与海床地形的耦合作用使场地特征周期向长周期偏移,与海洋结构自振周期重叠,增加了海洋结构工程的抗震安全风险。因此,建议海洋结构工程的选址及抗震设计充分考虑海水对地震波特性及与地形耦合效应的影响。

S27-O-18

基于地震信号快速识别与分析 青藏高原东南缘的大型滑坡事件

吴智超^{1,2}, 白玲^{1,2*}

1 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

2 中国科学院大学

* bailing@itpcas.ac.cn

青藏高原东南缘因其剧烈的构造运动与极端气候条件,形成了频发大规模滑坡

等地质灾害的高风险区，严重威胁当地基础设施与居民安全。近年来，该区域多次发生重大滑坡，导致河流堵塞，亟需开展高效、可靠的地震监测和数据分析。

本研究依托中国地震台网和我们在研究区布设的宽频带地震台站，构建从地震信号自动采集到滑坡识别与演化分析的完整流程。针对区域内的滑坡高风险带，本研究首先采用互相关叠加与振幅衰减模型开展事件搜索，并借助震级比指标对检出事件进行筛选，以判识滑坡信号；随后，基于互相关与振幅定位算法，对滑坡事件进行时空反演分析，揭示滑坡的演化特征；最后，综合分析信号峰度和能量等参数，对滑坡的如失稳启动、高速滑移与堆积停止等阶段进行划分，并评估滑坡规模。

为验证系统的有效性，我们选取 2017 年茂县叠溪镇、2021 年米林县色东普沟等典型滑坡事件作为案例，结合时频分析与动力学过程反演，对系统的可靠性及效率进行验证。研究表明，该系统能够在短时间内完成滑坡事件的快速识别与演化阶段划分，为青藏高原东南缘高风险滑坡区的实时监测提供技术支持与科学依据。

S27-P-1

基于海底地震仪（OBS）的海底火山活动性感知

赵昭^{1*}，深尾良夫²，杉岗裕子²，位栋梁¹

¹ 东海实验室

² 东京大学，地震研究所

* 497221732@qq.com

海底火山活动性经常伴随着大量 T 波，在深海低速层（所谓的 SOFAR 通道）中可以长距离传播而被海底地震仪清晰探测和记录到。在 1999 年 1 月到 12 月期间，部署在日本房总(Boso)和三陆（Sanriku）地区的海底地震仪系列记录到了大量 T 波活动性，判定为马里亚纳海沟的活火山活动。OBS 系列能够将海底火山活动性的起始时间精

确定到分钟级，同时能够清晰反映出海底火山的持续时间，喷发过程，以及中间的一些过程演变。海底地震仪记录在频率域中展示出了显著的由低频到频的几个优势频带。同时，在频率域和时域中均发现了明显的 12 小时周期变化。这预示着深海火山喷发活动或者海水声波传播可能有 12 小时周期变化，海底地震仪的数字记录有望为潮汐，内波，海水深层盐度温度等物性研究提供强有力的支撑。

S27-P-2S

海底火山 Axial Seamount 岩浆活动的地球物理研究进展

王栋^{1,2}，阮友谊^{1*}，Teh-Ru Alex Song²

¹ 南京大学，地球科学与工程学院

² University College London, Earth Sciences

Department

* youyir@nju.edu.cn

火山活动在地球环境与生命演化中起着至关重要的作用，研究火山系统的岩浆活动过程对了解地球演化历史、预防火山喷发灾害有着重要意义。然而，尽管发生在海底的岩浆活动占到了全球岩浆活动的 75%，但海洋中恶劣的观测条件和有限的观测数据使得我们对海底火山的岩浆活动知之甚少。

Axial Seamount 是一座位于太平洋东北部的海底火山，地处 Juan de Fuca 洋中脊和 Cobb 热点的交汇处，具有十分活跃的岩浆活动和喷发历史。2014 年，Ocean Observatories Initiative（OOI）大洋观测计划在 Axial Seamount 的火山口布设了实时监测的观测台网，并成功观测到了 Axial Seamount 在 2015 年 4 月 24 日发生的最近一次喷发事件。利用 OOI 计划的观测台网，我们首次采用瑞利波导纳方法计算了 Axial Seamount 火山下地壳横波波速的时变特征。波速随时间变化的结果表明 Axial Seamount

东南侧的下地壳在 2015 年喷发前的数周内发生了岩浆堆积事件, 该事件导致了 Axial Seamount 火山通道系统内的超压积累, 并最终诱发了 2015 年 4 月 24 日的喷发。

此外, 我们还首次观测到了 Axial Seamount 产生的超长周期信号。此类信号通常与火山通道系统中岩浆和气体的运移紧密相关。该信号自 2014 年 OOI 台站布设以来就一直存在, 并包含了两个剧烈的活动期: 2015 年喷发前的 3 个月和 2019 年 5 月中旬到 7 月上旬。2015 年喷发前活动期内的信号出现频次同浅层地壳地震活动性、海底地表形变以及下地壳横波波速时变特征有着高度相关性, 很可能指示了同一岩浆堆积事件; 2019 年中期的活动期也与 2015 年喷发后岩浆亏损供给事件的起止时间紧密吻合, 进一步表明了 Axial Seamount 在整个喷发周期中发生着复杂的岩浆运移活动。

在本研究中, 我们运用了瑞利波导纳法、超长周期信号探测等地球物理分析方法, 并结合了前人研究的多种地球物理和大地测量的观测结果, 对 Axial Seamount 在 2015 年喷发周期内的岩浆活动进行了充分的研究分析与论证, 提出了具有普适性的喷发机制, 有利于进一步研究海底火山的岩浆活动和喷发过程。

S27-P-3S

地震 T 波转换点定位技术及其在太平洋地区的应用研究

谢谨谦¹, 周勇², 倪四道^{3*}, 沈智超⁴

1 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

3 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院, 大地测量与地球动力学国家重点实验室

4 美国伍兹霍尔海洋研究所, 地质与地球物理系

* sdni@whigg.ac.cn

海洋地震的准确定位对于地震海啸预警、海域断层结构解析以及地震孕育过程

的研究有着重要的意义。其中, T 波是海区地震激发的地震波在海底转换成的水声波, 具有在海洋声学通道中长距离传播、能量衰减小、记录信号强的特点, 可用于提高海洋地震定位精度。水听器布设于海水圈层中, 能够记录广阔海域范围内的高质量地震 T 波信号。然而, 基于单台水听器的海洋地震事件精定位存在挑战, 尤其是 T 波转换点的准确测定。由多台水听器组成的水听器台阵记录了地震 T 波时空传播特征, 可通过阵列分析技术有效提取, 从而提高定位精度。已有研究表明, 利用印度洋海域全面禁止核试验条约组织 (Comprehensive nuclear-Test-Ban Treaty Organization) 的水听器台阵, 对其记录的直达和转换 T 波进行台阵分析提取走时与方位角信息, 显著提升海洋事件定位精度。

太平洋区域地震频发且海域辽阔, 同时也有着丰富的水听器台阵记录到的 T 波数据。本文基于太平洋水听器台阵观测记录, 采用渐进式多道互相关 (Progressive Multi-Channel Correlation) 及 F-统计量检测方法, 测定 T 波的入射方位角。结合入射方位角测定结果与海底地形数据, 推断可能的转换点及转换路径。将上述方法应用于近年来太平洋地区的地震事件, 成功定位 T 波传播过程中的转换点。通过理论到实时对比验证了转换点的可靠性, 其准确位置为后续海洋事件准确定位提供了关键约束。

S27-P-4S

基于 OBS 台阵的 T 波反方位角测量研究

张泽铭¹, 周勇^{2*}, 谢谨谦³, 陈浩朋¹, 于传海², 徐敏²

1 广东工业大学, 测绘遥感系

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

3 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

* zhouyong@scsio.ac.cn

T 波作为在海洋声学通道中传播的主要地震信号，因其能量衰减小、传播距离远等特性，在海底地震事件定位、海洋噪声源探测及 T 波传播特性研究中具有重要意义。T 波反方位角的准确测定是实现事件精确定位的关键步骤。

全面禁止核实验条约（CTBT）国际监测系统（IMS）部署的大洋尺度 T 波监测台阵，通常由间距约 2 km 的水听器三角阵列组成，能够高效地监测全球范围内的水下核爆炸事件。尽管潜标布设的水听器受到环境干扰较小，但其位置固定性差且成本较高；相比之下，海底地震仪（OBS）虽然受海底地震波的干扰，但由于其位置固定、观测分量丰富（包含三向加速度计和水压计）、并且布设成本相对较低，因此适合构建区域性临时监测网络。然而，关于 OBS 台阵对 T 波反方位角测量误差的研究仍显不足，难以有效指导实际监测台阵的设计与布设。为此，本文首先基于三角阵测向原理，分析 T 波反方位角测定的基本方法及其潜在误差来源。然后，利用 2021 年南海地球物理共享航次采集的 OBS 台阵数据（共 23 个台站，台间距为 0.5 到 1.0 km），分别采用渐进式多道互相关（Progressive Multi-Channel Correlation, PMCC）方法和 F-统计量方法获取 T 波信号的反方位角，并对结果进行误差统计分析。此外，本研究还探讨了台阵几何构型（如阵列间距、形状等）对反方位角测量精度的影响。本研究不仅为 T 波反方位角测量误差提供了定量评估的基础，同时也为未来 T 波监测台阵的优化设计与布设策略提供了理论支持。

S27-P-5S

厚软沉积层上高层建筑的 地震环境噪声健康监测与结构 响应分析

秦林鹏¹，郭桢^{1*}

1 同济大学，土木工程学院

* zhenguo@tongji.edu.cn

地震波与环境振动信号的观测与解析，为结构健康监测（Structural Health Monitoring, SHM）提供了重要手段。本研究针对城市环境中建筑结构的脆弱性识别需求，提出了一种基于地震环境噪声观测与机器学习相结合的创新性 SHM 框架。通过在上海同济大学衷和楼的实地案例研究，利用地震环境噪声数据，应用水平垂直谱比（HVSr）方法与极化分析，提取了建筑及其场地的动力特性参数，如共振频率、方位角和倾斜角。进一步地，构建了多输入多输出（MIMO）机器学习模型，以预测各楼层的动力特性变化。结果表明，地震环境噪声能够有效表征楼层动力特性，机器学习模型预测精度较高。基于模型输入权重变化，完成了各楼层脆弱性评估；同时，通过分析强风事件期间楼层间地震波速变化，发现波速异常区域与结构脆弱区域高度吻合。研究验证了地震波与环境振动信号在建筑结构实时监测中的应用潜力，为城市建筑结构的健康评估与灾害预警提供了新的技术路径。

S27-P-6S

风暴震的传播特点与形成机制研究

魏安锐¹，王涛^{1*}

1 南京大学，地球科学与工程学院

* twang0630@nju.edu.cn

风暴震（stormquakes）是飓风天气期间触发的海底震源，它们广泛地分布在被动陆缘的大陆架边沿，这为现有的地震目录补充了大量的来自非板块边界的事件。其持续、高能、相干的面波信号为缺乏天然地震的地区提供了新的观测数据，将极大改善以往地震学成像的影区困境。然而，

目前对风暴震的传播特点、形成机制等问题的研究还不够完善,使得风暴震携带的地下介质信息无法得到充分地挖掘。我们使用 FK 分析(FK-Analysis)和反向投影(Back-Projection)方法对全球 40 个台阵的数据进行了综合处理与分析,为北美东海岸产生的风暴震提供了全新的时空约束。其次,我们发现风暴震的信号可以传播非常远,使用 USArray 定位到的风暴震源(北美东海岸)信号可以在阿拉斯加(震中距 6,000km)和欧洲(震中距 6,000km,跨越大西洋)的台阵看到清晰的面波信号;FK 分析则指出这样的信号甚至可以传播到 10,000km 以外的亚洲大陆,被台阵记录。然后,我们通过对全球台阵数据的统计分析,探讨了风暴震信号传播是否具有优势的方向倾向,对震源机制、传播距离进行了研究。最后,结合不同分量波形的分析结果,对风暴震的形成机制提供了新的认知视角。

S27-P-7S

台风驱动的双频地脉动分裂机制探究:局部风成波激发长周期双频地脉动

李杨¹, 薛梅^{1*}

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室
* 08036@tongji.edu.cn

双频地脉动(double-frequency microseisms)通常由两个频率接近、相向传播的涌浪通过非线性相互作用激发,其频率约为海浪主频的两倍。一般认为,短周期双频地脉动(short-period double-frequency microseisms, SPDF)主要源自局地风浪的相互作用,而长周期双频地脉动(long-period double-frequency microseisms, LPDF)则多归因于远场涌浪及其与海岸反射波形成的驻波过程。然而,在台风等极端天气下,局部强风场可能掩盖远场涌浪

的驻波贡献,传统理论对 LPDF 激发机制的适用性存在争议。为此,本研究基于布设于舟山群岛的宽频带地震台网观测数据,聚焦 2024 年台风 Bebinca 与 Pulasan 期间双频地脉动的时空演变特征,探讨台风驱动下 LPDF 的激发机制。频谱分析结果显示,LPDF 仅在台风经过琉球群岛附近时被激发,并在台风眼过境台站时迅速消失,指示能量输入受台风风场及海浪场的动态调制;相比之下,SPDF 在整个台风影响期间持续存在,反映其主要由局地风场驱动的特性。极化分析进一步揭示,LPDF 的主导波为 Rayleigh 波,且其传播方位随台风路径演变,整体与台风风场方向及东海大陆架地形约束的波浪传播路径基本吻合。结合风场、风成浪和涌浪的时空变化数据,相关性分析表明,LPDF 能量与局地风成浪有效波高高度相关(相关系数 0.5–0.8),而与远场涌浪的相关性较弱(0.1–0.6)。综合观测与分析结果,本研究提出:在台风强迫下,LPDF 由局地强风驱动的风成浪激发产生。这一发现不仅揭示了台风期间双频地脉动分裂现象的物理机制,也为理解极端天气下大气-海洋-固体地球的相互耦合过程提供了新的科学依据。

S27-P-8S

基于台湾地震台阵观测的地脉动特征研究

万文涛^{1,2}, 王赞^{1*}, 薛梅²

¹ 中国地质大学(北京), 地球物理与信息技术学院
² 同济大学, 海洋与地球科学学院
* wangyun@mail.gyig.ac.cn

台湾岛地处菲律宾海板块和欧亚板块的碰撞边界,近南北走向的中央山脉贯穿台湾中部,将全岛分为东部和西部。复杂的构造环境使得台湾岛东、西两侧呈现截然不同的海底地形和水深变化,成为研究西太平洋边缘海地脉动噪声特征与海陆耦

合机制的重要窗口。我们以 2022 年台湾地区 42 个宽频地震台站的全年连续观测数据为基础,综合利用 F-K 聚束分析和噪声互相关函数的非对称性方法,揭示了不同频段地脉动噪声源的时空演化规律。研究发现:(1)台阵探测到周期 10-20s 的单频地脉动(SF) Rayleigh 波,视速度约 3.2 km/s,其后方位角分布具有季节性变化特征:冬季集中在台阵的北北西(325-335)和北北东(10-35)方位海域;夏季集中在西南(225-240)方位海域;春季和秋季则表现为冬、夏源区能量交替的过渡特征。(2)周期 2-10s 的双频地脉动(DF)的 Rayleigh 波方位分布在不同季节相对稳定,其中短周期双频地脉动(SPDF, 2-5s)集中在台湾海峡及东海大陆架浅水区域;长周期双频地脉动(LPDF, 5-10s)则主要来自台湾岛东、西侧海岸线及大陆坡周围。(3)台风“Malakas”(2022 年 4 月)演化期间单频地脉动后方位角与近岸海浪方向变化一致,且偏离台风中心。同时其能量响应相对于台风最大风速滞后约 20 小时。这说明台风激发的 SF 主要由远离风区的涌浪传播至海岸后与地形耦合产生。上述研究结果可为理解边缘海地脉动噪声源的时空分布和激发机理提供一定的参考。

S27-P-9S

基于地脉动观测的南海水动力环境监测研究

徐梓杰¹, 郭桢^{1*}, 薛梅², 于有强², 刘渊², 李杨², 宋文凯², 周少贤², 高佳², 黄斌², 张航²

¹ 同济大学, 土木工程学院

² 同济大学, 海洋与地球科学学院

* zhenguo@tongji.edu.cn

南海是我国重要的海上通道与战略门户,以岛礁建设为代表的南海海洋工程正飞速发展,但其复杂的海洋动力环境对工程构成显著威胁,因此具有开展监测的必

要性。本文探索了一种基于岛礁地震背景噪声信号的海浪动力间接监测方法,聚焦海浪与固体地球耦合激发地震背景噪声的机制与传播特征,采用南海西沙群岛六个岛礁的背景噪声记录,计算了 0.05–0.5 Hz 频段内信号的功率谱密度与极化参数,研究了四个频段(SF: 0.05–0.085 Hz; DF1: 0.1–0.2 Hz; DF2: 0.2–0.3 Hz; DF3: 0.3–0.5 Hz)的能量时空分布特征。进一步对比分析了地震背景噪声与 WAVEWATCH III 数值模拟结果,结合背景噪声功率衰减与传播方向特征,识别了岛礁地震背景噪声的激发海域:低频段信号主要源自菲律宾群岛及台站东南海域的大陆边缘,高频段信号多由岛礁近岸水动力作用激发。研究揭示了南海岛链地形对西太平洋波浪传播的衰减和调制作用,并首次描述了南海岛礁地震背景噪声的频谱响应与耦合源区特征,提出了其在低频海洋动力过程感知与反演中的应用前景。

S27-P-10S

基于海底光缆分布式声学传感的地震背景噪声观测及潮汐响应分析

梁琪¹, 张文焘¹, 杜梦芸¹, 孙星亮¹, 林建民^{1*}

¹ 浙江大学, 海洋学院

* jmlin@zju.edu.cn

海洋潮汐观测是理解海洋动态变化规律的窗口,也是人类海上活动的重要约束条件。其中,海洋潮汐的周期性变化会调制海底地层的上覆岩层压力及内部孔隙压力的动态变化,影响其水力和弹性特性,进而引起海底地层的地震波速度变化。近年来,分布式声学传感(Distributed Acoustic Sensing, DAS)技术将海底光缆转化为密集分布的等效声震传感单元,可实现长距离、高时空分辨率以及近实时动态

的信号采样,为海洋观测提供了新的途径。本研究利用舟山海域预先敷设的海底通信光缆“暗光纤”记录连续四天的地震背景噪声,分析其时、空、频特征及地震波速度的时变情况。研究主要从噪声干涉与噪声源方位估计两方面展开。首先,利用背景噪声干涉及空间叠加实现在短时间窗(1小时)内提取高信噪比的虚震源道集(Virtual Source Gather, VSGs),并利用频域波束形成拾取海底界面波的小时频散谱;其次,利用多段光缆组成非平行阵列结合多重信号分类(Multiple Signal Classification, MUSIC)算法形成高分辨率的速度-方位谱确认噪声源的主导方位,对海底界面波频散谱进行校正,以克服非稳相区噪声源的影响。通过分析不同频率下的界面波速度时变情况与附近浮标观测的潮位对比发现,海底界面波速度变化趋势与潮位变化具有一定的相关性,以半日潮为主导。研究结果揭示了利用海底光缆监测潮汐的可能性。

S27-P-11S

海冰对北冰洋加克洋中脊表层水声速水平分布及低频声传播的调制作用

蔡晓仙^{1,2}, 张涛^{2*}, 卫翀华³, 姜杰^{2,4}

1 山东科技大学, 地球科学院工程学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

3 中国科学院声学研究所

4 中国科学院南海海洋研究所

* Tao_zhang@sio.org.cn

北冰洋广泛存在的海冰覆盖及其动态变化,对表层海水声速分布与低频声波传播特性产生重要影响。厘清海冰对水下声学环境的调制机制,对于认识极地声场演变规律具有重要意义。本研究在北冰洋加克洋中脊重冰区域布放低频主动声呐浮标,获取了百米尺度分辨率的表层海水声速水平分布数据。结合温盐剖面观测和卫星

SAR 海冰浓度数据,系统分析了海冰覆盖程度与表层声速场之间的关系,并进一步利用 OASES-Bellhop 模型模拟了海冰对低频声传播路径和到达时间的影响。我们发现表层声速在 1438–1443 m/s 范围内波动,与局地海冰浓度呈显著正相关。当海冰覆盖率增加时,上层海洋形成稳定的混合层结构,垂直梯度小,表层声速升高且分布更均一;海冰减少则导致上层水盐度下降,分层结构扰动增强,声速梯度增大,表层声速降低且波动增强。模型模拟进一步表明,在 10–25 Hz 频段,冰覆盖使初至波传播路径明显缩短、到达时间提前(最大提前约 12 ms);而 30 Hz 以上频段海冰影响较小。研究表明,海冰通过调制浅层水体结构与边界条件,显著改变了北冰洋低频声传播特性。

S28-O-1

黄河变迁史：水系格局演化与人类文明

何洪鸣^{1*}

1 华东师范大学, 地理科学学院

* hongming.he@yahoo.com

黄河流域作为中华文明的发源地,其复杂的水文地貌演化与人类社会发展的互动关系在全新世尺度上表现出高度耦合性。本文基于地貌剖面、沉积物记录、考古遗址分布与历史文献资料,系统分析黄河干支流河道迁移、堤防溃决、泛滥频率等水文事件的时空演变特征,识别出中全新世(约 8.5–4.0 ka BP)以来的多次河道变迁节点,并与仰韶文化、龙山文化、夏商周时期至汉唐明清等关键历史阶段相对应。研究发现,黄河流域的河道重构不仅受到气候波动驱动,更与土地利用、聚落扩张及水利工程密切相关,特别是在中下游平原区表现为“河道–聚落–制度”作用演化机制。通过引入地貌–社会模型,本文提出黄

河流域文明的持续性与其对洪水风险、水源稳定性和土地再造能力的协同响应密切相关。研究强调了河道变迁作为地表环境演化的关键控制因子，亦是理解区域文明兴衰与制度调适的自然编码机制。

S28-O-2

珠江口晚全新世孢粉记录的气候变化与人类活动

余少华^{1*}, 陈芳¹, 吴聪¹, 卢亚敏¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局
* yuyushaohua@foxmail.com

晚全新世是人类活动高度集中的时期,见证了人类社会的快速发展和中华文明的繁荣。历史记录显示,人类社会的发展与当时的自然环境密切相关。在这一时期,珠江口地区迅速堆积了厚层泥炭,详细记录了过去的气候环境和人类活动。孢粉分析技术是重建古代植被和环境、揭示区域气候变化的重要方法。珠江口海域钻孔提供的孢粉记录完整地反映了珠江三角洲晚全新世的气候变化和植被演化。本研究通过对珠江口两个钻孔进行高分辨率的AMS14C测年和孢粉分析,重建了晚全新世以来珠江口的沉积过程、气候变化和人类活动历程。结果表明:朝代更替和历史上的重大变革事件在孢粉沉积记录中有所体现;人类活动,如刀耕火种、大量砍伐森林、开垦土地、战争影响以及政策制定,显著改变了珠江三角洲的植被特征,留下了历史痕迹。同时,温暖湿润的气候促进了人口的南迁和水稻种植业的发展。此外,小冰期等气候事件在孢粉沉积中也有显著反映,表现为蒿属植物(*Artemisia*)的明显增加,表明人类活动和气候变化共同对植被和环境产生了重要影响。加强对珠江口海岸带植被环境演变的研究,有助于理解未来河口演变的速率与过程,以及人类活动对三角洲环境的影响,为经济和社会的可持续发展提供基础数据。

S28-O-3

西北地区全新世中晚期果树利用及气候适应

孙楠^{1*}, 罗凡¹, 尚雪³, 李小强^{2*}

1 长安大学, 地球科学与资源学院
2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物演化与人类起源重点实验室
3 中国科学院大学, 人文学院
* sunnan@chd.edu.cn
* lixiaoliang@ivpp.ac.cn

全球变化与可持续发展是当前人类社会面临的两大挑战。人类如何响应全球变化并采取相应的对策是科学界讨论的热点。农业是受气候环境变化影响最显著的人类活动之一,其起源和发展也是人类充分适应气候环境变化的结果。果树作为农业系统中的重要组成部分,其利用方式的演变影响了人类社会的发展进程。但目前学界对果树利用的演变历史仍缺乏系统认识。中国西北地区新石器文化连续,遗址密度高,果树遗存丰富,本研究基于研究区木炭指标结合孢粉、果核、考古证据及古气候记录,得出以下初步认识:(1)因受到气候、植物群落组成及农业发展阶段的影响,约 5 cal ka BP 开始,西北地区先民开始对核果和浆果类果树进行有意识的保护。约 4 cal ka BP,园艺技术(果树修剪)在西北半湿润地区出现,并且该技术以关中为中心,分别向西、向北扩散,于 3.7~3.5 cal ka BP 扩散至西北干旱半干旱区,表明此时园艺技术已经成熟。(2)园艺的出现要求先民改变土地利用策略,对土地进行集约化管理,且通过扦插这种复杂技术栽培的果树需要长时间的劳动投资以及从事该项劳动的专业技术人员,西北地区约 5 cal ka BP 开始出现的城市化进程为该园艺的发展创造了条件。

S28-O-4

基于近代地图与密集 Landsat 时序数据的上海近 90 年城市用地与地表水体时 空演变研究 (1927-2017)

柴宝惠^{1*}

¹ 复旦大学, 历史地理研究中心

* bhchai@fudan.edu.cn

理解城市用地的长期时空动态及其与地表水体变化的关系, 对于可持续城市规划和水资源管理至关重要。本研究通过综合利用近代地图与密集 Landsat 影像时间序列, 分析了上海过去 90 年间城市用地与地表水体的时空变化及其互动关系。本研究探讨了以下问题: (1) 过去 90 年间, 上海的城市用地与地表水体发生了何种程度的变化? (2) 城市用地与地表水体的时空变化模式与趋势是什么? (3) 城市用地的时空变化与地表水体的变化之间存在何种关联? 本研究包含两个关键部分: (1) 城市用地与地表水体的长时段时间序列重建, 以及 (2) 城市变化与地表水体变化的时空分析。在第一部分中, 分别利用近代地图和密集 Landsat 时间序列数据提取历史时期与当代的城市用地与地表水体信息, 并将提取结果整合, 重建长时段时间序列。对于 1927 年和 1965 年的机打泥地图, 基于支持向量机 (SVM) 和图像分割方法提取城市信息, 并采用 SVM 与图像形态学方法提取地表水体。利用 1984 年至 2017 年间所有可用的 Landsat 时间序列数据, 采用连续变化检测与分类 (CCDC) 方法获取初始年度土地覆盖信息, 并通过水体指数聚类, 改进年际水体范围提取结果。在第二部分中, 从城市变化、水体变化以及城市土地与地表水体之间的转变等多个视角进行时空分析。研究结果表明, 上海过去 90 年间的城市化进程呈现出波动性变化, 其速率、类型和方向对城市地表水体产生了显著影响。城市发展在早期数十年间导致地表水

体显著减少, 但在近十年间有所回升: 尽管密集河网大部分消失, 但新建了运河等其他水体。研究还发现, 地表水体转化为城市用地这一土地利用变化, 在推动城市发展中的作用逐渐减弱。本研究通过多源空间数据重建长期城市用地与地表水时间序列, 并结合多视角时空分析, 为深入理解长时间尺度下城市用地与地表水体关系的演变提供了范例。

S28-O-5

现代活动构造背景下帕米尔 弧形构造带东缘的地貌发育 及其控制因素

沈俊杰¹, 常宏^{2,3*}, 鲁鹏¹, 陈盼盼¹, 关冲⁴, 魏东岚⁵, 唐倩玉⁶

¹ 河南省科学院地理研究所

² 中国科学院地球环境研究所黄土科学全国重点实验室

³ 中国科学院第四纪地质与全球变化卓越创新中心

⁴ 中国地质调查局西安地质调查中心(西北地质科技创新中心)

⁵ 辽宁师范大学, 地理科学学院

⁶ 安阳师范学院, 资源环境与旅游学院

* changh@loess.llqg.ac.cn

在活跃造山带, 河流发育与地貌演化是构造过程的重要记录载体。目前, 关于构造活动区域的地貌演化与构造、岩性及气候之间的关系仍存在诸多争议。帕米尔弧形构造带东缘 (EPS) 位于帕米尔高原与青藏高原结合地带, 现今构造活动极为显著, 是研究河流地貌演化及其对构造活动的响应的理想场所。在本研究中, 我们系统整合数字地貌分析与断裂带 (包括断层位置、活动性、宽度)、岩性以及气候条件, 在 EPS 提取了面积高程积分 (Hypsometric Integral, HI) 值, 定量研究河流地貌演化与构造、岩性及气候条件等因素的关系。结果显示, EPS 的 HI 值介于 0.0129-0.6453, 均值为 0.3981, 在构造、岩性和气候的共同作用下, 整体处于地貌发

展的壮年期。HI 值显示, 断裂带区域 (0.4101) 显著高于整个区域 (0.3981) 和非断裂带区域 (0.3880), 这主要因为构造活动控制区域地形起伏增强和物源变化, 从而为河流提供势能并促进了地表侵蚀。此外, 无论是在断裂带区域还是非断裂带区域, HI 值均表现出火成岩>变质岩>沉积岩的排序规律, 且断裂带区域的 HI 均值普遍高于非断裂带区域, 这表明构造活动显著改变了局部沉积物的供应格局, 并深刻影响了岩性与地貌发育之间的关系。进一步分析显示, 在非断裂带区域, 不同岩性的 HI 均值排序为冰川 (0.5167)>火成岩 (0.4866)>变质岩 (0.4386)>湖相沉积岩 (0.4250)>陆相沉积岩 (0.4119)>海相沉积岩 (0.4093)>海陆交互相沉积岩 (0.4015)>第四系沉积物 (0.3363), 反映岩石可侵蚀能力差异是影响岩性与地貌的关系的关键因素。同时, 地貌发育与年平均气温 (MAT) 的空间分布呈现显著相关性, 而与年平均降水量 (MAP) 的关系则表现出更高的复杂性, 表明气候通过复杂的非线性机制调控地貌演化, 其中年平均气温是气候对地貌发育的主要控制因素, 这主要由于 EPS 的构造隆升和断裂活动通过调节地形降水效应和冰雪消融速率, 控制了区域河流的冰雪融水补给量, 进而影响侵蚀速率、河流搬运能力和地貌演化过程。上述分析表明, 构造活动是驱动帕米尔东缘河流地貌演化的关键因素, 这为理解活动造山带中构造、气候和地表过程之间的相互作用提供了重要的视角和基础数据。

S28-O-6

末次冰消期以来黄海海岸带植被生态演替与特征时段植被格局

白广一¹, 赵克良^{1*}, 段佰川², 南青云³, 李小强¹

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

2 自然资源部第一海洋研究所

3 中国科学院海洋研究所

* zhaokeliang@ivpp.ac.cn

黄海海岸带-大陆架是东亚地区海陆生态系统相互作用以及古人类生存活动的重要区域, 对气候变化较为敏感。在末次冰消期以来气候整体升温过程中, 海平面波动快速上升, 但海平面上升的特征时段海岸带的植被演替序列和植被格局变迁尚未有定论。本研究聚焦于南黄海中部 T1 钻孔, 通过孢粉分析重建植被演替历史及气候变化过程, 结合本区域其他已发表的孢粉记录重建末次冰消期以来黄海海岸带特征时段植被生态格局, 并探讨植被生态演替的驱动机制及其与人类文化演变的关系。

S28-O-7

欧亚大陆文化文明交流与气候环境适应研究与展望

李小强^{1*}, 周新郢¹

1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

* lixiaoqiang@ivpp.ac.cn

东亚和西亚的农业起源中心和文明的策源地均与大的水系相联系, 也被称为“大河文明”。早期文化文明的扩散和传播穿越了广袤的欧亚大陆, 保存了早期文化辐射和交流, 文明碰撞和融合的大量且关键信息。小麦农业早在 5200 BP 已传播到我国新疆阿尔泰地区, 并逐步向东扩散和传播, 4100-4000 BP 传入河西走廊地区, 3900-3000 年与东亚旱作和稻作农业融合, 形成早期的农业多样化, 中国早期小麦“栽培带”与文化文明繁荣地区相一致。我们在中亚乌兹别克斯坦的 Tada 遗址发现距今 9000-8000 BP 的小麦农业, 由此向西追溯到伊朗北部的山地考古遗址, 出土了距今 10000 BP 的裸大麦、脱粒小麦、人骨、动物骨骼和石器等大量遗存。其中, 小麦农业与西亚“新月形沃地”的原始农业类型和小麦种

类等存在显著差异,可能是进入东亚地区普通小麦农业的源区。由此勾勒出伊朗里海山地-中亚阿姆河流域-新疆阿尔泰-河西走廊-中国北方黄河流域的跨大陆“北方欧亚草原”传播路径。而中亚地区 4000 BP 左右的黍粟遗存、织物和桑蚕的发现,提供了东亚文化文明向西扩散和传播的实证。哈拉帕文明 4500 BP 粟黍遗存以及中亚距今 1714-1750 年水稻遗存的发现也揭示,绕喜马拉雅山的南部通道是早期文化文明传播的重要路径。早期文化文明跨欧亚大陆的传播和交流,需要继续深入开展西亚、中亚和东亚的农业起源理论与机制研究,揭示农业演化和多样性形成过程,传播和交流的路径、通道和时空格局,将东西亚文化文明交流过程及机制研究与气候环境演变相联系。

S28-O-8

树轮重建的近 300 年嘉陵江上游土壤侵蚀变化及其驱动机制

张卓亚^{1*}, 付国豪¹, 王晶晶¹, 何洪鸣², 葛海龙¹, 方克艳⁴, 周鑫³

1 西南林业大学, 水土保持学院

2 华东师范大学, 地理科学学院

3 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

4 福建师范大学, 地理科学学院

* zhangzhuoya@swfu.edu.com

大多数关于土壤侵蚀的研究都集中在近几十年,这限制了我们对土壤侵蚀过程在全球环境变化背景下如何演变理解。1850 年工业革命以来,包括气候和人类活动等的土壤侵蚀因素都发生了重大变化。研究近 300 年的土壤侵蚀及其驱动机制,对于了解流域土壤侵蚀的演变和人类活动的作用至关重要。本研究借助树轮指标重建的近 300 年嘉陵江上游径流量,结合 MUSLE 模型,对嘉陵江上游 1722—2020 年土壤侵蚀变化及驱动机制展开研究。该

研究尝试了树轮重建在流域环境变化历史过程的应用可能性,也为揭示长序列侵蚀产沙规律及流域水土保持提供了科学依据。

S28-O-9

晚清黄河决徙对山东南运区域地理环境的影响

古帅^{1*}

1 山东财经大学

* shuaigu11@126.com

1855 年黄河在铜瓦厢决口改道,截断运河,对山东南运区域的自然地理、经济格局、生态环境以及社会生活产生了复杂而深远的影响。文章考察了晚清黄河北徙后发生的决溢事件、水流路线以及河道治理等问题,从而进一步探究黄河决徙对山东南运区域的具体影响。黄河决徙背景下,运河成为地方性河道,山东南运区域的漕运因之而衰落,对山东南运区域的交通、经济、水环境与地方社会造成了严重冲击。除大运河外,黄河决徙还对南旺湖、蜀山湖、洸河、汶河等河湖环境产生较大的影响,在黄河与运河的共同作用下,更是促使了南四湖的最终形成。黄河决徙所造成的自然灾害导致的迁民问题也较为重要,鲁西南菏泽、巨野、郓城、嘉祥一带的灾民向济宁、鱼台、沛县等滨湖区县的迁移,对山东南运区域的地方社会的诸多层面造成了深远影响。

S28-O-10

黄河流域史前聚落演化与气候适应的时空耦合研究

周婷婷¹, 何洪鸣^{2*}, 崔建新³

1 中国科学院水利部水土保持研究所, 中国科学院水利部水土保持研究所

2 华东师范大学, 地理科学学院

3 陕西师范大学, 西北历史环境与经济社会发展研究院

* hongming.mobile@gmail.com

作为中华文明起源的核心区域, 黄河流域史前聚落分布模式为理解人地关系演进提供了关键证据。尽管已有研究揭示了该区域聚落的时空扩展特征, 但对极端气候事件驱动下的适应性响应机制仍缺乏系统性探讨。本研究通过整合考古遗址数据与古环境记录, 运用空间统计(核密度估计、最近邻分析)与聚类分析方法, 系统重建了前仰韶时期(9000-7000 cal. BP)至青铜时期(4000-2000 cal. BP)黄河流域聚落分布的演化轨迹及其与极端气候变化下的自然灾害关联。结果显示: (1) 聚落密度呈现显著的流域分异: 中游地区始终维持高密度状态, 上游河湟谷地自仰韶时期(7000-5000 cal. BP)形成次级密度核心, 下游地区直至青铜时期方出现密度高值区; (2) 聚落群数量增长与规模缩减并存, 聚落之间出现分化, 社会出现更加精细化的划分, 反映社会复杂化进程加速, 为早期国家政权的出现奠定了基础; (3) 聚落选址呈现明确的气候适应特征, 仰韶至龙山时期聚落平均海拔升高 56.9846m、远水遗址点在龙山晚期实现反超(与前一时期差值达 12.3%), 与同期洪水沉积记录具有显著时空耦合性。并且侵蚀沉积数据表明, 下游沉积地区在社会发展中起到重要支持作用。本研究证实, 全新世中期气候波动(如 4.2 ka 事件)通过改变洪灾频率与农业边际, 驱动史前社会采取高程迁移、群体分化等适应性策略, 这种环境压力与政权扩张的协同作用最终促成早期国家在黄河中游的孕育。

S28-O-11

侵蚀驱动下的营力转移: 中晚全新世以来长江中游地区的湖泊演化及其环境制约

何茂峰¹, 卜风贤^{2*}

1 复旦大学, 历史地理研究中心

2 陕西师范大学, 西北历史环境与经济社会发展研究院

* bfengxian@hotmail.com

侵蚀驱动下的营力转移机制对理解长江中游地区湖泊环境演化具有重要意义。本研究通过历史文献定量与古环境指标综合分析, 旨在系统揭示中晚全新世以来江汉平原-洞庭湖地区从自然主导到人为驱动的环境演变过程。结果表明: 1) 构造沉降与泥沙输送主导了早期江汉平原地区的湖泊发育, 其空间收缩由荆江三角洲扩展与主泓南迁主导, 同时推动洞庭湖以 15 平方公里/百年的速率扩展, 形成区域水沙动态平衡, 气候变化对长江中游地区的侵蚀沉积环境演变产生了双向影响。2) 洞庭湖水沙动态、侵蚀特征及营力驱动机制呈现从自然主导到人类干预的显著转变。人类活动自 1000 aBP 以来逐步主导环境演变, 土地利用显著加剧侵蚀, 使沉积速率、粒度粗化与河道迁徙呈正相关。600 aBP 后人类完全掌控环境进程, 导致洞庭湖从深湖系统向浅水生态转型。3) 长江中游河道变迁经历自然调蓄向人类干预的转型, 早期云梦泽-洞庭湖双湖系统通过分流调蓄维持河道稳定, 唐宋后荆江三角洲推进促使云梦泽解体并触发洞庭湖南扩, 而明清时期持续泥沙输入最终导致两湖系统功能衰退, 揭示了流域地貌演化的滞后性与非线性特征。本研究为理解侵蚀驱动下的地貌重构与人类干预机制提供了关键证据。

S28-O-12

黄河北徙后里下河入海水系动力与形态的演变

杨旭杰^{1*}

1 上海师范大学, 人文学院

* 1595256337@qq.com

里下河地区是淮河下游里运河以东较为独立的流域，其入海水系发源于平原湖荡，由范公堤口门东流，经入海河流宣泄至黄海，主要的入海大港有射阳河、新洋港、斗龙港、王家港和竹港。明清时期，黄河南徙水沙是里下河地区自然环境演变的主要营力，塑造了里下河入海水系的形态。黄河北徙后，里下河入海水系水文动力发生了深刻变化，陆源入海水沙锐减，潮流作用显著增强，里下河地区湖泊萎缩、径流减少，入海河流难敌海潮，河口受冲刷而横向展宽，呈现喇叭状河口；咸潮循河深入内地，叠加旱情，致使里下河平原屡遭咸害，严重危害农业生产和民众生活；海沙则随潮上溯，淤积河道，阻碍了河水宣泄。作为响应，里下河平原民众于各河道兴筑拦水坝，并废闸为堰，以蓄积淡水、缓解咸害；为开发滨海平原，盐垦公司建设圩堤，并堵截河水，以抵御潮患、排盐灌溉。此类水利活动虽在短期内缓解了里下河地区的用水矛盾，推动了滨海农业的发展，却加剧了河道的长期淤塞与水系的破碎化，恶化了区域水环境，无益于农业的可持续发展。黄河北徙重构了里下河入海水系的演变动力与形态特征，改变了人类水利活动的应对方式，而入海水系较强的水力联动及其演变引发的自然环境变迁，则使民间自发的水利措施难以为继，亟需国家力量进行统筹协调与综合治理，以实现区域水环境的优化。

S28-P-1S

陕西渭河生态系统水—陆—岸一体化近自然型“生命地标”构建

窦佩佩¹，朱子健¹，陈姣²，白钰³，赵坤⁴，达良俊^{2*}

¹ 西安建筑科技大学，未来技术学院

² 西安建筑科技大学，交叉创新研究院

³ 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，生

态与环境工程院

⁴ 上海应用技术大学，生态技术与工程学院

* ljda@xauat.edu.cn

城市的河流生态系统是生物栖息的重要场所，作为重要的自然生态廊道，在维持区域生物多样性、支撑生态系统稳定性方面具有不可替代的作用。本研究聚焦黄河最大支流渭河陕西段，基于水-陆-岸一体化的近自然修复理念，针对快速城镇化导致的流域生境破碎、本土生物多样性丧失与生态系统功能退化等问题展开科学研究。

（1）采用样线-样带-样方相结合的取样方法，开展河岸带植被现状调查与多样性评估。（2）梳理国内外流域生态修复与生物多样性恢复的理论与实践经验，结合渭河现有生态特征，探究基于协同演替机制的生态修复路径。（3）提出以本土物种为基础、强调生态系统完整性与原真性的近自然型“生命地标”群落构建思路。研究结果以期为渭河流域生态系统的科学修复与韧性提升提供科学支撑，拓展流域近自然生态修复实践路径，支撑区域环境治理与可持续发展。

S28-P-2S

天山山地青铜至铁器时代生业模式研究：基于GIS空间分析和模型模拟结果

苏瑞敏¹，崔建新^{1*}

¹ 陕西师范大学，西北历史环境与经济社会发展研究院

* cuijx@snnu.edu.cn

山地不仅是一种独特的地貌类型，更是人类社会生活的重要地理单元和自然经济综合体。天山作为史前欧亚大陆农牧文明交流的重要枢纽与南北疆分界线，深刻影响着该地区古代人群的饮食结构和生存策略，其多样的山地生态系统为多元生业模式的形成提供了条件。本研究基于天山

南北两麓青铜时代至早期铁器时代的骨骼同位素数据,利用 GIS 空间插值方法分析该区域碳氮同位素的空间分布特征。与以往离散点统计方法相比, GIS 空间分析给传统生业模式研究增加了空间维度。分析结果显示,受山地影响,青铜至早期铁器时代天山南北坡人群生业模式具有明显差别。为了对比可获取资源和同位素重建的生业模式之间的关系,本文通过 MaxEnt 模型对这一时期与 C3 与 C4 植物在天山南北的潜在适生区进行了模拟。结果表明:作物适生区模拟结果总体上与碳同位素分布具有较好的一致性,但在天山中部北麓与部分天山南麓地区呈现差异,结合 MixSIAR 模型与其他考古证据分析认为这主要是由于该地区游牧人群的生存策略以及独特的地理位置导致的。研究结果揭示了天山山地生业模式的复杂性与适应性,表明史前时期人类对于作物的选择受到自然环境与文化因素的共同影响。本文有利于推进史前时期天山不同生态系统下人群生业模式的研究。

S28-P-3S

16 世纪晚期以来潍河演变与洪泽湖北岸环境变迁

欧柯男¹, 杨霄^{1*}

1 复旦大学, 历史地理研究中心
* yangx0607@126.com

16 世纪晚期,随着黄河下游的筑堤,决口地点下移,使今睢宁、宿迁和泗洪一带的水系格局发生显著变化。潍河受黄河来水补给,径流与泥沙含量显著增加,使潍河流域的地貌格局发生深刻变化。潍河中游形成以灵璧五湖为代表的湖泊群,而潍河尾闾则自北向南摆动,由入黄河逐渐改为入洪泽湖。初为障潍入黄,1579 年归仁堤被建造起来。随着黄河河势的变化,归仁堤的功能逐渐发生变化,并持续使用至 1781 年左右。归仁堤对潍河水沙的阻挡,

造就了进洪泽湖北岸地区河流堆积倾斜平原与湖积微斜平原间的地貌分异,使洪泽湖北岸呈现岗地与湖湾相间分布的地貌格局。

S28-P-4

洛阳地区全新世环境演变及其与人类文化的关系

沈俊杰^{1,2}, 鲁鹏^{1,2*}, 杨柳³, 陈盼盼^{1,2}, 莫多闻⁴, 王辉⁵, 张小虎⁶, 刘涛⁵, 郭晓涛⁵, 田燕^{1,2}

1 河南省科学院地理研究所
2 联合国教科文组织国际自然文化遗产空间技术中心郑州分中心
3 河南科技大学, 人文学院
4 北京大学, 城市与环境科学学院
5 中国社会科学院考古研究所
6 河南省文物考古研究院
* bulate_0@163.com

洛阳作为中国文明起源和发展的重要地区,尚缺乏完整的全新世环境演变与人类活动的关系研究。本文综合采用沉积学、地球化学、年代学等方法对保庄剖面开展系统研究,构建其全新世地层年代框架,分析洛阳地区的气候、沉积、水文和地貌演化特征,揭示其蕴含的环境演变信息,探讨全新世以来的环境演化与人类活动的关系,有助于进一步理解全新世人类生态系统演化特征。结果显示:保庄剖面沉积连续,为全新世以来的沉积剖面;全新世以来,洛阳地区气候波动变化幅度较小,保障了人类文化的可持续发展;早-中全新世,沉积物主要为风成黄土和古土壤,晚全新世人类活动加剧促进冲积作用不断增强,人们通过修建具有防洪功能的城墙积极应对这种沉积变化。

S28-P-5S

热解碳记录的 5 万年前人类大规模用火开始

姜寿恕¹, 赵德博^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所

* zhaodebo@qdio.ac.cn

火活动是人类参与碳循环的一个关键环节。然而, 人类大规模用火的确切时间仍然不确定。在这里, 我们研究了过去 30 万年以来, 东亚区域的热解碳记录的火活动历史。这一记录表明, 自大约 5 万年以来, 火活动强度显著增强, 并与季风气候脱钩, 这种模式与欧洲、东南亚和巴布亚新几内亚-澳大利亚的火活动历史是一致的。通过整合大量的考古数据, 我们认为, 现代人类的人口增长和全球扩张加剧, 再加上寒冷冰期人类用火需求不断上升, 导致从 5 万年前开始, 火活动强度大幅提升。这表明, 人类通过火活动对碳循环造成的可观测影响可能早于末次冰期。

S28-P-6

黄河因素影响下的山东西部区域人文环境 (1855-1911)

古帅^{1*}

¹ 山东财经大学

* shuaigu11@126.com

在黄河变迁史上, 1855 年黄河铜瓦厢北徙无疑是一次重大历史事件, 其给铜瓦厢以下, 尤其是山东西部地区的地理环境亦带来巨大影响。文章分别从土壤与民生、齐东地方社会、荒地开发与利津地方社会、民风民俗嬗变、交通、市镇与商贸五个方面, 重点探讨了黄河铜瓦厢北徙后对山东西部区域人文环境产生的影响。由于山东西部地区地理环境存在内部差异, 在黄河因素的影响下, 不同类型人文景观的变迁在该区域内部亦表现各异, 但总体看来, 晚清山东西部地区与“水”和“土”相关的各人文景象又都或多或少地有着黄河的印迹, 显示出地理环境的整体性。加深对黄河铜瓦厢北徙对山东西部地理环境影响的研究,

不仅有利于促进黄河变迁史的研究, 更有利于推进对山东西部区域历史地理进程的认知。

S28-P-7S

长江中下游全新世干湿古气候变化与区域文明演化

周天禹¹, 尚丽雯¹, 张宏斌^{1*}, 黄俊华², 程海³, 谢树成¹

¹ 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境全国重点实验室

² 中国地质大学(武汉), 地质过程与成矿预测全国重点实验室

³ 西安交通大学, 全球环境变化研究院

* zhanghb@cug.edu.cn

洞穴石笋作为第四纪气候演化研究的关键载体, 具有稳定保存、记录较连续等特点, 可以记录长时间尺度的高分辨率气候信息。全新世(约 11.7 ka BP 至今)以末次冰期结束和气温回暖为开始标志, 是最年轻的间冰期, 其气候变化与人类文明的发展也息息相关。本研究以湖北省恩施建始豪猪子洞的三支全新世石笋样品 HZZ-11、HZZ-45、HZZ-80 为基础, 开展了 U-Th 定年, 稳定同位素分析和原位微量元素测试, 获取了 11.1-2.5 ka BP 东亚夏季风和长江中游水文气候演化的多阶段特征。

结果表明, EASM 在早全新世快速增强, 约 9.3-5.6 ka BP 达到最强, 并自中晚全新世起逐渐减弱。同时, 水文气候经历了“干-湿-干-湿”的四段式演变, 反映出古环境对太阳辐射、冰盖消融及 ENSO 活动的多重响应。气候变化不仅塑造了自然环境, 也深刻影响了人类社会的发展进程。本研究结合区域考古资料分析, 发现稳定且相对干燥的气候背景有利于区域农业生产和社会秩序的维持, 并促成了新石器晚期至青铜时代初期的文明兴盛, 如屈家岭文化和石家河文化的高度繁荣。而强烈的气候扰动, 尤其是突发性的极端湿润事件, 往往对社会体系造成冲击, 特别是 4.2 ka

事件期间的两次极湿期分别与石家河文化与后石家河文化的迅速衰落密切对应，其后长达 500 年的水文波动期内，长江流域考古遗迹稀少，表明人类社会处于持续动荡且人类文明发展陷入低谷。这些证据深入理解“气候—文明”耦合机制提供了宝贵的实证基础，也为预测未来人地关系变化趋势提供历史参照。

S28-P-8S

西南岩溶洞淤泥沉积物年代学和气候学研究

母圆圆¹，李廷勇^{1*}

¹ 云南师范大学，地理学部
* cdlty@163.com

洞穴泥沙沉积物(CSS)是洪水事件的直接证据，对区域气候和水文变化的重建具有重要意义。然而，长期以来，难以获得可靠的测年结果限制了利用洞穴沉积物重建古气候的研究。本研究采用 ²³⁰Th 测年、AMS-¹⁴C 测年和石英单颗粒 OSL 测年方法，对中国西南地区岩溶洞穴中的 CSS 进行年代学分析，评估了 OSL 测年在此类沉积物中的适用性。OSL 与 AMS-¹⁴C 测年结果在误差范围内一致，表明 OSL 方法可以为 CSS 建立可靠的沉积年代序列。通过对 CSS 进行粒度分析和地球化学指标分析，结合考古证据，揭示了晚全新世以来水文气候变化与人类活动对区域环境的影响：4.3-0.8 ka BP 以气候变化为主导，湿润期促进农业扩展与文化繁荣；自 0.8 ka BP 以来，人类活动成为环境变迁的主导因素。区域水文气候变化受太阳总辐射、ITCZ 的经向迁移、火山活动及 ENSO 活动等外部因子的共同调控。本研究证实了石英单颗粒 OSL 测年技术为 CSS 建立可靠的年代标尺，CSS 的粒度、地球化学等指标记录了区域干湿气候变化。

S30-O-1

北冰洋地质时期的碳埋葬机制及其对未来碳库变化的启示

王汝建^{1*}，肖文申¹，石端平¹，张静渊¹

¹ 同济大学，海洋与地球科学学院
* rjwang@tongji.edu.cn

现代北冰洋是一个弱的碳汇，并且 CO₂ 在逐渐增加，酸化程度加剧，将强烈影响钙质浮游生物生长，未来是否会成为强的碳汇未知；北冰洋碳的生物地球化学过程主要影响因素包括陆地冻土、海底冻土、河流碳的释放以及海洋生物碳泵的效率，碳循环对气候变化的响应和反馈机制都尚未清楚，还有待深入研究；北冰洋地质历史时期的碳循环机制和埋藏过程受到冰盖/海冰，沉积环境，陆地碳源输入等多种因素的共同制约；在第四纪冰期与间冰期旋回中，颗粒无机碳与有机碳的溶解/分解、保存效率、稀释作用和成岩作用等复杂因素都有待深入研究。随着北极的变暖，准确评估未来北极陆地-海洋碳的排放机制及其对未来碳库变化的作用和影响是人类面临的重要挑战。

S30-O-2

晚第四纪鄂霍次克海环境演变

邹建军^{1,2*}，王庆超¹，冯旭光^{1,2}，石学法^{1,2}

¹ 自然资源部第一海洋研究所
² 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室
* zoujianjun@fio.org.cn

鄂霍次克海位于东亚夏季风影响北缘，是现今北半球季节性海冰常年发育南界和现代北太平洋中层水的通风源，对全球气

候变化的响应和反馈十分敏感，是研究环境变迁的天然实验室。受研究材料限制，目前我们对海盆尺度上鄂霍次克海环境演变过程的认识还存在明显不足。在本文中，我们通过对典型沉积岩心进行分析，并集成历史记录，研究了晚第四纪鄂霍次克海陆源碎屑通量、海表温度、海冰活动、表层生产力、中层水通风变化历史，提出了海冰主控的“冰期型”和海冰-洋流主控的“间冰期型”环境演变概念模型。我们发现鄂霍次克海环境演化受外部强迫、内部反馈、高低纬气候过程的共同控制。

S30-O-3

岁差驱动的水汽循环对北极气候的关键影响

仲义^{1*}

1 南方科技大学，海洋高等研究院

* zhongy@sustech.edu.cn

在全球持续变暖的情况下，由于低纬度和高纬度之间的遥相关，北极气候将对北太平洋经向热输送的变化更加敏感，但其潜在机制仍知之甚少。在此，我们重建了过去 400 kyr 的亚北极湿度变化，以探讨低高纬相互作用对北极水文气候的调节作用。我们的重建是基于降水驱动的亚北极太平洋沉积物输入变化，该变化揭示了在过去四个冰期-间冰期旋回中占主导地位的相对较低的偏心率变化下，亚北极湿度存在强烈的岁差旋回。结合气候模式模拟，我们强调了岁差驱动了北太平洋副热带环流（NPSG）北缘的经向转移，并调节向亚极地和北极地区的热量和水汽传输的效率。我们的研究表明，NPSG 为应对未来全球变暖而向北移动的预测将导致北冰洋更加湿润，海冰损失加剧。

S30-O-4

楚科奇海沉积物中不同有机组分的双碳（¹³C，¹⁴C）同位素特征及其输送、降解机制初探

王福强^{1*}，吴莹²，刘炎光³，石学法³

1 崂山实验室

2 华东师范大学

3 自然资源部第一海洋研究所

* fqwang@qnlm.ac

北极占海洋总面积的 1%，输入了全球 10% 的淡水，并储藏了全球近一半的有机碳，在全球碳循环研究中扮演重要角色。全球变暖导致北极冻土层加速退化、河流淡水输入增加、河流营养物质输入通量增加、海冰和环流变化加剧，对北极有机碳的埋藏速率和保存效率产生明显影响。因此，北极成为研究全球气候变化对陆源有机碳输入和埋藏影响的有效场所。楚科奇海由于生产力高，生物粒径大，水温低等特点，“生物泵”效率远高于其他区域，进而使楚科奇海成为研究海洋和陆源有机碳循环的理想场所。基于此，本研究以楚科奇海表层沉积物及沉积短柱为研究对象，采用有机组分（脂类，氨基酸，腐殖酸及酸碱不溶有机物）的碳同位素（ $\delta^{13}\text{C}$ ， $\Delta^{14}\text{C}$ ）方法，揭示楚科奇海陆架、陆坡区不同有机物的来源、输送及降解机制。结果揭示：楚科奇海沉积物中有机质在向海输送过程中主要发生易降解有机质的降解过程，而海源输入的“年轻”有机质的影响主要为氨基酸，但是海源向沉积物贡献的含量相对较少，这也导致从楚科奇海陆架向陆坡区输送使，沉积物中有机质的载荷逐渐变小；腐殖酸在陆架、陆坡区的含量相对较低且稳定，说明大部分陆源腐殖酸在近岸区域发生降解或者埋藏，没有向深水区输送；脂类在传输的过程中主要是易降解组分的降解和难降解组分的向海输送，从而使深海脂类具有更负的碳同位素值（ $\delta^{13}\text{C}$ ， $\Delta^{14}\text{C}$ ）；

酸碱不溶有机物是陆源物质向海洋输送有机质的主要贡献者, 由于该组分主要由难降解有机质组成, 导致该组分在向海输送过程中逐步富集, 对沉积有机质的相对贡献增加。而 R14 站位可能受到甲烷渗出的影响, 导致腐殖酸、脂类具有更负的碳同位素值 ($\delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{14}\text{C}$), 具体的影响过程需要进一步的分析、验证。

S30-O-5

北冰洋阿蒙森盆地 (70°E 以东) 新生代沉积通量及其对气候变化的响应

王菲^{1*}, 丁巍伟^{1,2}, 谭平川¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

2 上海交通大学, 海洋学院

* wangfei@sio.org.cn

北冰洋对全球气候变化具有高敏感性和显著反馈作用, 其沉积记录蕴含丰富的构造、气候及环境演化信息。目前对北冰洋百万年尺度的沉积演化过程仍缺乏系统研究, 尤其是对其如何响应北极气候从温室向冰室转变过程的理解不足。本项目以北冰洋阿蒙森盆地 70°E 以东为研究靶区, 利用覆盖研究区的高分辨率地震数据, 构建海盆层序地层格架, 通过定量化计算新生代以来不同地质时期海盆的沉积通量, 总结沉积物时空展布特征, 揭示不同地质时期沉积物的搬运-堆积过程对气候变化、构造运动的响应, 探讨可能的沉积物源和沉积物搬运路径。所得沉积通量计算结果和沉积物展布特征将帮助揭示中始新世到中新世这一从温室向冰室条件过渡的关键气候转折期的海盆沉积特征, 为北极地区新生代百万年时间尺度气候演化提供新的视角。

S30-O-6

第四纪北冰洋美亚海盆底层水氧化还原性质演化历史

石端平^{1*}, 肖文申¹, 贺治伟¹, 王汝建¹

1 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

* stone0526@tongji.edu.cn

北冰洋平均每年吸收约 118 Tg 的碳, 是全球潜在的碳汇。在长时间尺度和冰期-间冰期气候变化中, 北冰洋环流模式、海冰和冰盖发育状况发生重大改变, 必将导致海水通风作用 (含氧量)、生物生产力和碳的保存等方面的变化, 进而影响北冰洋在全球碳循环中的作用。本项研究旨在通过分析西北冰洋美亚海盆 ARC7-LIC 岩芯的氧化还原指标, 重建过去约 2 百万年来的北冰洋美亚海盆底层水氧化还原性质演化历史。

由于北极沉积物中的 Mn 等氧化还原敏感元素受到陆源输入影响严重, 更多反映气候信息而非氧化还原信息, 所以我们选用了可以直接反映沉积环境氧化还原性质的铁同位素和钼同位素。铁同位素自 2 Ma 至 1 Ma 呈现逐渐偏负的趋势, 在 MPT 前明显变为偏正, 之后冰期-间冰期波动较为明显, 主要呈现间冰期偏负、冰期偏正的现象。钼同位素的整体变化趋势基本与铁同位素相反。因两者在氧化还原分馏中相反的化学表现, 数据整体呈现出较为一致的环境变化, 即研究阶段美亚海盆的沉积环境在早期呈现逐渐缺氧的趋势, 在 MPT 前明显变为含氧状态, 在之后的冰期-间冰期旋回中主要呈现冰期相对含氧、间冰期相对缺氧的状态。根据物源信息及现代北冰洋氧含量分布推测, 冰期时氧的主要来源可能是欧亚冰盖或东西伯利亚冰盖的融冰水下沉所携带的氧。结合有机碳含量和有机碳同位素判断间冰期有机质保存差、耗氧量高, 可能是造成间冰期相对缺氧的原因之一。

S30-O-7

末次冰盛期极涡的拉伸作用 增强了中纬度气候变率

张彧瑞^{1*}, Hans Renssen², Heikki Seppä³,
李振¹

¹ 厦门大学, 海洋与地球学院

² University of South-Eastern Norway, Department of
Natural Sciences and Environmental Health

³ University of Helsinki, Department of Geosciences
and Geography

* yuruizhanglzu@gmail.com

极涡是位于极地上空的持续性、大尺度气旋环流, 对中纬度地区冬季天气具有重要影响。北极极涡的季节性演变和年代际变率对欧亚大陆和北美地区的冬季气候变化及其可预测性中扮演关键角色。然而, 关于极涡在冰期-间冰期这样的长周期气候变化中的作用, 此前尚未有深入研究。本研究利用 PMIP4 (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase 4) 的四组气候模式模拟数据, 探讨 LGM 期间极涡的变化及其对中纬度气候的影响。

研究结果表明, 在 LGM 条件下, 北美劳伦泰冰盖的存在改变了下垫面性质, 引起异常的波动向上传播, 使极涡向北美大陆冰盖方向延伸并呈现拉伸形态。这种拉伸的极涡将寒冷的北极空气推向更南, 对冬季产生的冷却效应远超出了劳伦泰冰盖的覆盖范围, 与夏季温度形成鲜明对比。此外, 这种拉伸形态的极涡变率增强, 使得极端冷空气更容易入侵到中纬度地区, 从而增大了中纬度地区冬季气候变率。进一步分析发现, 极涡变化引发的温度变化有助于理解不同模式对中纬度欧亚大陆气候模拟的差异, 若剔除极涡变化的影响, 模式之间的温度模拟结果差异可减少高达 5°C。这些结果说明, 极涡对中纬度地区气候的影响具有显著的背景气候依赖性, 并能够在冰期-间冰期气候变化中发挥重要调节作用。这一发现深化了对极地与中纬度气候相互作用机制的理解, 并对理解当今全球变暖的背景下极涡的瞬态响应和长期

演变提供了重要启示, 有助于提高对未来中纬度气候变化的预测能力。

S30-O-8

基于亚洲边缘海硅酸盐风化 记录的东亚古季风演化定量 重建

赵德博^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

* zhaodebo@qdio.ac.cn

陆地硅酸盐风化主要受控于温度和降水的影响, 因此是季风降水定量重建的一个重要切入点。国际大洋钻探计划在东亚边缘海钻取了诸多高质量的长岩芯, 为重建东亚大陆陆地硅酸盐风化演变提供了良好的材料, 同时也为定量重建季风降水演化提供了契机。构造时间尺度晚新生代东亚季风降水演变尚均存在较大争议。目前东亚季风演变机制存在两大假说: 高原隆升学派认为, 晚新生代青藏高原的持续隆升, 形成“热力泵”改变海陆温差, 驱动季风环流的变化; 气候学派则发现, 地球二氧化碳浓度高、温度高的时期东亚夏季风更强, 认为全球气候是影响东亚夏季风演化的主要机制。然而, 因缺少时间尺度足够长且连续的高分辨率季风记录, 这两种因素究竟如何调控东亚夏季风降水演变仍不清楚。针对这些问题, 本研究基于南海北部的 IODP U1501 站位钻孔沉积物开展了沉积矿物和地球化学以及古气候模拟的综合研究。研究首先基于陆地硅酸盐矿物在风化过程中的行为特征, 即当温暖湿润的季风增强(减弱)时, 强烈(减弱)的化学风化作用使得沉积物中的粘土矿物含有更多(少)的高岭石和相对少(多)的伊利石这一关系, 利用线性回归方法建立了现代东亚河流的粘土矿物组合与降水、温度的定量模型。然后将该模型应用到钻孔

沉积岩芯中,剥离了风化指标中的温度效应,定量重建了 3000 万年以来的东亚夏季风降水演化历史。地质记录结合古气候模拟显示,3000 年以来,全球气候的冷暖波动始终调控着东亚季风降水的强弱。但大约 2100-1300 万年前,喜马拉雅-青藏高原的剧烈隆升打破了这种状态。高原的抬升重塑了大气环流格局,强化了东亚夏季风降水,使得即便在晚中新世以来的全球长期变冷的背景下,东亚地区依然保持着相对湿润宜居的环境。这项研究揭示,受大气二氧化碳浓度调控的全球温度变化塑造了东亚夏季风降水演变的大趋势,而喜马拉雅-青藏高原的地形隆升则像热力泵,在特定时期显著改变了季风的表达方式。季风演变是这两大引擎联动的结果:其既受高原隆升的“地形遥控”,也响应于全球气候冷暖变化的“温度节拍”。因此,自早中新世以来东亚夏季风的长期演变受到了全球气候和高原隆升的双重驱动。

S30-O-9

人类活动导致过去 300 余年东亚沙尘活动和北大西洋海表温度解耦

周鑫^{1*}, 刘轩侨¹, Lambert Fabrice², 蒋诗威¹, 王敏¹, 涂路遥³, 李智博⁴

1 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

2 Pontifical Catholic University of Chile, Department of Physical Geography

3 南京师范大学, 海洋科学和工程学院

4 北京大学, 物理学院

* xinzhou@ustc.edu.cn

东亚沙尘影响了区域环境和公众健康,研究过去沙尘的变化规律及驱动机制能够为预测未来沙尘变化提供参考。基于器测数据的研究表明,年代际尺度上东亚沙尘变化受大西洋多年代际振荡(AMO)影响,与北大西洋海温变化密切相关。然而,器测之前东亚沙尘变化与 AMO 之间的关系如

何?在更长时间尺度上,东亚沙尘活动和北大西洋海温之间又是什么关系?受限于高分辨率沙尘数据的缺乏,上述问题研究尚少。本研究利用我国东北小龙湾玛珥湖沉积物,重建了过去 1500 年年代精准、高分辨率(平均~4 年)的沙尘活动记录。结果显示,过去 1500 年东亚沙尘活动有显著的年代际周期特征,且与 AMO 整体呈负相关,指示了北大西洋海表温度对东亚沙尘在年代际尺度上的驱动与器测时期长期一致;在 AMO 波动较小的时期,二者的相关性也较小,说明这些时段北大西洋海表温度的影响减弱。然而,~1600 AD 之后,AMO 的变幅较大,但二者的相关性相对较小;过去 1500 年东亚沙尘活动与北大西洋海表温度的对比和相关性分析也显示出二者变化趋势在~1650 AD 之后解耦,东亚沙尘活动阈值计算结果同样指示沙尘活动在这一时期可能超出自然变化阈值。结合历史文献资料,本研究认为人类活动导致了东亚沙尘活动在 1650 AD 之后迅速增加,使得过去 300 余年来东亚沙尘活动与北大西洋海温变化解耦。研究结果能够为未来沙尘变化的评估提供新的证据和视角。

S30-O-10

树轮揭示近 300 年来濒危种大树杜鹃较近缘种对气候变化更敏感

张卓亚^{1*}, 杨填填¹, 侯雨卉¹, 王晶晶¹, 周鑫², 安文玲³, 许晨曦³

1 西南林业大学, 水土保持学院

2 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所

* zhangzhuoya@swfu.edu.cn

濒危保护是生物多样性保护的核心内容,大树杜鹃作为世界上最大的杜鹃,是青藏高原东南缘生物多样性保护热点区域中极度濒危的树种。大树杜鹃对气候变化的响应与适应特征仍然不清楚,限制了对

未来气候变化趋势下大树杜鹃保护策略的科学制定。本研究首次建立大树杜鹃 (*Rhododendron protistum* var. *giganteum*) 和近缘种广布种大王杜鹃 (*Rhododendron rex* Subsp. *rex*) 两种高山杜鹃近 300 余年来的树轮宽度年表。研究通过树轮气候响应、VS 模型生长幅模拟和生态弹性研究,发现区域暖干化趋势下,濒危树种大树杜鹃相对于广布种表现出更明显的生长下降趋势,呈现生长衰退。大树杜鹃对比大王杜鹃对于干旱尤其是生长期前期响应更加敏感,全球变暖导致的非生长季干旱化趋势可能对其生长的冲击更大。大树杜鹃比大王杜鹃生态幅更窄,对极端事件的抵抗力更低,适应当前不断增强的大幅度的极端气候变化的能力更弱。未来变暖趋势下,偏干样点的大树杜鹃面临更严重的衰退风险,需要加强保护,杜鹃幼苗的培育建议在溪谷等更偏湿的位置进行。

S30-O-11

人为增温下冬季北大西洋急流强度偏离了其自然趋势

李苗发¹, 蔡炳贵^{2*}, Slobodan B. Marković^{3,4}, 旺罗¹, 郝青振¹, Andy Baker⁵, Milivoj B. Gavrilov³, 江理渊², 王芳², 王学峰¹, 王立胜¹, 马志邦¹, 肖举乐¹, 郭正堂^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 福建师范大学, 地理科学学院、碳中和未来技术学院

3 University of Novi Sad, Chair of Physical Geography, Faculty of Sciences

4 Serbian Academy of Sciences and Arts

5 University of New South Wales, Connected Waters Initiative Research Centre

* bg-cai@fjnu.edu.cn

* ztguo@mail.iggcas.ac.cn

北大西洋急流对欧洲-北大西洋区域的气候有着深远的影响,尤其是在冬季。观测表明,冬季北大西洋急流 (NAJw) 在过去~140 年呈增强的趋势。但是,尚不清楚

这一长期趋势是否偏离了自然轨迹。我们利用欧洲东南部的四个高质量石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录,首次重建了 NAJw 强度过去 2500 年以来的变化历史。结果表明,NAJw 在罗马温暖期 (公元前 300 年至公元 200 年) 和中世纪温暖期 (公元 900 年至 1250 年) 都有所减弱,但是在人为增温背景下 (自公元 1850 年以来) 却呈增强趋势。这表明 NAJw 当前的变化趋势已经偏离了自然轨迹。自公元 1850 年以来 NAJw 强度的这种异常的增强趋势,可能是由于人为强迫下的北大西洋暖洞的出现造成的。我们的结果表明在持续的全球变暖背景下,NAJw 在未来可能会进一步增强。

S30-O-12

最近 1.1Ma 以来安徽六安下蜀黄土剖面环境磁学性质变化及其记录的环境演变

曹一江¹, 郝青振^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

作为我国南方地区重要的风尘堆积,下蜀黄土是淮河流域和长江中下游地区最重要的长尺度陆相古气候记录之一。相比于黄土高原黄土,绝大多数下蜀黄土剖面的沉积序列较短,前人对其环境磁学的研究较为薄弱。针对该问题,本文选取了迄今为止沉积底界最老,黄土-古土壤旋回清晰且受周围地形影响小的六安下蜀黄土剖面,对其进行了系统的岩石磁学和环境磁学分析,建立了多参数高分辨率的磁学参数变化序列,对不同磁学参数的变化特征及其所指示的气候环境意义进行了详细的分析,重建了 1.1 Ma 以来的气候和环境演变。获得了以下主要结论和认识:

(1) 六安剖面的下蜀黄土-古土壤序列中,古土壤层的磁性矿物以超顺磁 (SP) 和单畴 (SD) 磁铁矿和磁赤铁矿为主,同

时含有少量赤铁矿；黄土层的磁性矿物以高矫顽力矿物（赤铁矿和纤铁矿）为主，同时含有少量假单畴（PSD）磁铁矿，磁性矿物总量较少，且硬磁性矿物相对含量较高。

（2）六安剖面的下蜀黄土-古土壤序列具有与黄土高原黄土-古土壤序列相似的磁性增强机制，即成壤作用产生的细颗粒（SP 和 SD）亚铁磁性矿物导致了古土壤的磁性增强。但剖面下部的早更新世地层，磁性矿物发生了明显的溶解，造成了磁性的减弱。

（3）基于多参数的环境磁学指标，六安地区 1.1 Ma 以来，从早更新世进入中更新世时气候干冷化，中更新世前期气候呈小幅振荡，在中布容气候转型（MBT）之后，六安地区的冰期-间冰期气候变幅增大，反映东亚冬季风和东亚夏季风同时增强。六安剖面是第一个发现中布容气候转型（MBT）的下蜀黄土剖面，提供了该气候事件在长江中下游地区的地质证据。

本研究进一步丰富了下蜀黄土的环境磁学研究，对长江中下游地区的古环境演变，特别是东亚季风演变的研究具有重要意义。

S30-P-1

黄土记录的 MIS8 期间东亚冬季风的异常减弱趋势及其对冰期动力学的意义

郝青振^{1*}，彭淑贞²，高新勃³，Marković, S⁴，李盛华⁵，张俊杰⁶，李丰江¹，韩龙⁷，付玉¹，武雪超⁸，旺罗¹，许冰¹，乔彦松¹⁰，于际民⁹，郭正堂¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 泰山学院，旅游学院

3 中国地震局地质研究所

4 University of Novi Sad, Department of Physical Geography

5 香港大学，地球科学系

6 Leibniz Institute for Applied Geophysics

7 郑州大学，生态与环境学院

8 同济大学，海洋与地球科学学院

9 崂山实验室

10 中国地质科学院地质力学研究所

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

1Ma 以来深海底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 记录了冰期内冰量逐渐增加，冰期终止期快速消融的“锯齿状”冰量变化模式，理解这一模式对于冰期动力学研究至关重要。我们对黄土高原会宁、西峰驿马关和洛川三个典型剖面的研究，研究了过去 88 万年每个冰期内的东亚冬季风（EAWM）变化趋势，并开展了全球古气候集成记录。黄土粒度变化记录揭示出，EAWM 在大多数冰期内表现出增强趋势，与底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的“锯齿”模式基本一致。然而，MIS8 期间，东亚冬季风显示出异常的减弱趋势，是过去 88 万年内的唯一例外的冰期。基于北极冰盖、西伯利亚高压和 EAWM 之间的联系，我们提出 MIS 8 期间，EAWM 的减弱趋势反映了在冰期终止期之前，北极冰盖就呈现出减小趋势，与底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 值的增加趋势相反。这一结论得到了全球关键区古气候记录的支持，这些证据显示，MIS 8 是过去 90 万年中独特的冰期，其特征是北半球中高纬度气候温和，而南半球高纬度的气候寒冷。我们提出，在 MIS 8 期间南极冰量增加，导致了温度偏低的南极底层水（AABW）增加，进一步引起全球大洋深层水水温降低，从而通过“温度效应”引起深海底栖有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 值的增加。即，MIS 8 期间 $\delta^{18}\text{O}$ 的趋势变化受到深海温度变化信号的严重叠加。MIS8 中后期地轴斜率和两极夏季太阳辐射的配置也支持上述解释。本研究结果揭示出古气候标准曲线底栖 $\delta^{18}\text{O}$ 记录古气候解释的局限性和复杂性，提出 MIS 8 是更深入研究两极驱动第四纪冰期-间冰期变化的的重要窗口。

S30-P-2

末次冰期以来日本海不同海洋微体古生物对马暖流指示种记录的差异性表征

董智^{1*}, 石学法¹, 邹建军¹, 刘焱光¹

¹ 自然资源部第一海洋研究所, 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

* zhidong@fio.org.cn

日本海是西北太平洋的一个半封闭性边缘海, 对海平面波动和全球气候变化的响应极为敏感, 被视为研究东亚地区古海洋与古气候演化过程及其控制机制的关键海区之一。在理解日本海放射虫属种的垂向深度与空间分布特征的基础上, 通过对日本海西南部 KCES-1 岩心、日本海中部 LV53-22-1 岩心和日本海西北部 LV53-18-2 岩心系统地开展了放射虫属种分析工作, 并结合其他已发表岩心数据, 探讨了末次冰期以来日本海表层水文特征与深部通风的演化历史及其控制因素。基于新归纳的对马暖流指示种组合和日本海特征水指示种组合, 重建了末次冰期以来日本海表层水文特征和深部通风状况的演化历史, 发现在 MIS 3 期间日本海西南部存在较弱的对马暖流并伴随着较为显著的东海沿岸水的输入, 以及较差的深部通风状况。MIS 3 期间全球变冷的气候背景和受海平面下降影响而较浅的对马海峡共同限制了对马暖流对日本海的影响。通过对比日本海西南部和东南部的对马暖流演化, 本研究发现对马暖流在 MIS 3 期存在空间异质性, 表明对马暖流的时空格局随全球气候变化而转变, 这一现象在对马暖流第二分支路径上尤为明显。放射虫结果与已发表的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录共同表明, 末次盛冰期后对马暖流流入信号的首次出现是由于 19 ka 海平面上升, 对马海峡逐渐打开, 对马暖流指示种与东海沿岸水指示种得以共同流入。而较强的对马暖流流入信号和冰融水脉冲事件(海平面快速上升)之间的这种一致性也在末次冰消期的 MWP-1A 和 MWP-1B 事件所证

实。末次冰消期时日本海内部不同对马暖流指标记录的差异性表征, 可能主要是由于部分微体古生物指标对于记录强度相对较弱和相对低盐的对马暖流流入信号并不敏感或者对于低盐环境的耐受程度不同。从日本海中部和近岸侧收集的微体化石记录和地球化学数据表明, 末次冰消期时持续的对马暖流流入信号也可能被对马暖流、东海沿岸水和亲潮之间复杂的相互作用所掩盖, 特别是在日本海近岸区域。在全新世高海平面时期, 日本海普遍存在一种由对马暖流为主导的表层海洋环境, 这与其他微体古生物记录资料的结果相吻合, 标志着对马暖流发育成熟并形成与现今相似的日本海表层环流格局。

S30-P-4

全新世以来增强的太平洋暖水向鄂霍次克海的入侵

冯旭光¹, 邹建军¹, 石学法^{1*}, 姚政权¹

¹ 自然资源部第一海洋研究所

* xfshi@fio.org.cn

亚北极太平洋环流是热量和物质传输的主要动力, 其动态变化对于西北太平洋以及周围边缘海的生物地球化学循环等过程产生了重要影响。鄂霍次克海是西北太平洋区域主要的边缘海, 该区域是北半球大规模季节性海冰覆盖的最南部边界, 同时也是北太平洋中层水的主要源区。观测发现, 在东堪察加流(西亚北极环流的西部分支)的驱动下, 大量温暖的太平洋水进入到鄂霍次克海, 对鄂霍次克海的海冰覆盖以及中层水形成产生重要的影响。然而由于研究材料的限制, 目前关于太平洋水入侵鄂霍次克海的认识主要基于器测记录, 缺乏更长时间尺度的深入了解。本文利用鄂霍次克海中部站位的黏土矿物和黏土组分的微量元素等指标, 并结合附近站位的沉积记录以及 TraCE-21ka 气候模型等数据, 重建了过去 2 万年来太平洋水入侵

鄂霍次克海的演化历史。研究发现,早全新世以来,伴随着气候的快速变暖,阿留申低压显著增强,亚北极太平洋环流同步增强,进而造成更多太平洋水入侵鄂霍次克海地区,深刻的影响着鄂霍次克海的海洋环境演变。本研究加深了对亚北极太平洋海洋环流演化及其控制机制的科学认识,对进一步研究太平洋水入侵鄂霍次克海的动态变化及其环境效应具有重要意义。

S30-P-5

楚科奇海初级生产力和海冰覆盖的千年尺度动态: 机制和影响

任鹏¹, 刘焱光^{1*}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

* yanguangliu@fio.org.cn

北极海冰是全球气候系统重要组成部分, 对地球反射、初级生产力和深水形成有重大影响。楚科奇海作为连接北太平洋和北冰洋的重要区域, 受气候持续变暖的影响, 其海冰正发生显著退化。本研究我们采用生物标志物与微体古生物相结合的手段, 探究中晚全新世以来楚科奇海初级生产力和海冰覆盖的变化机制及影响因素。硅藻、生物硅和海冰指示物的记录表明: 在中全新世海冰覆盖面积较小, 太平洋入流水的流量低, 楚科奇海的初期生产力水平较低, 太平洋入流水是该阶段的主要影响因素; 在晚全新世, 海冰覆盖面积增加, 太平洋入流水流量增大且稳定, 楚科奇海的初级生产力水平提升, 此阶段海冰是主要影响因素。此外, 对比楚科奇海各海区的全新世海冰记录, 发现各海区受到环流模式的影响, 其海冰变化存在不同步模式。

S30-P-6S

晚全新世北大西洋北部(亚北极)海冰对北大西洋涛动和东大西洋模式的响应

万霞¹, 肖晓彤^{1,2*}, 沙龙滨^{3,4}, Camilla S. Andresen⁵, Ruediger Stein^{1,6,7}, Seung-Il Nam⁸

1 中国海洋大学, 深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 崂山实验室

3 宁波大学, 东海研究所

4 宁波大学, 地理与空间信息技术学院

5 丹麦格陵兰岛地质调查局

6 德国不莱梅大学, 地球科学学院和 MARUM-海洋环境科学中心

7 阿尔弗雷德·魏格纳研究所, 亥姆霍兹极地与海洋研究中心

8 韩国极地研究所, 冰川与地球科学部

* txiao@ouc.edu.cn

北极海冰的变化被认为是影响现代和过去气候演变的关键因素之一。由于亚北极的北大西洋北部同时受到穿极流冷水与北大西洋暖水的影响, 气候条件相对复杂, 北大西洋北部海冰的年际和年代际变化主要受到海-气耦合机制调控, 然而该区域海冰千年尺度的驱动机制仍不明确。本研究通过格陵兰岛东南陆架岩芯的多指标记录重建研究区域过去约 3500 年以来的海冰变化, 结合已发表的海冰记录, 进一步分析北大西洋北部区域海冰的演变特征及控制机制。研究表明, 在 3500 - 1300 yr BP 期间, 丹麦海峡以南的东格陵兰岛陆架区的海冰覆盖增加, 而以北的东格陵兰岛陆架与斯瓦尔巴德群岛区域的海冰覆盖减小, 根据对应两个时期大气环流模式的变化特征, 北大西洋北部区域海冰的南北振荡变化与北大西洋涛动 (North Atlantic Oscillation, NAO) 和东大西洋模式 (East Atlantic Pattern, EAP) 从负位相 (NAO-/EAP-) 到正位相 (NAO+/EAP+) 的转变密切相关; 而在 1300 - 0 yr BP 期间, 丹麦海峡以北和以南区域的海冰同时扩张则是由 NAO 和 EAP 从同位相状态转变为异相

位状态 (NAO-/EAP+) 所导致。因此, 北极北大西洋区域海冰受到 NAO 与 EAP 的共同调控, 并在现代海冰变化中得到了验证。

S30-P-7S

太平洋水驱动北极楚科奇海中部全新世海冰变化

李彤¹, 李冬玲^{1*}, 刘焱光^{2*}, 沙龙滨¹

¹ 宁波大学

² 自然资源部第一海洋研究所

* lidongling@nbu.edu.cn

* yanguangliu@fio.org.cn

北极的气候与环境系统正处于快速变化之中, 海冰的覆盖范围及厚度急剧缩减。楚科奇海作为太平洋水输入北冰洋的关键通道, 独特的地理位置使其成为全球气候变化响应的敏感指示区。本研究基于楚科奇海中部高分辨率沉积岩芯 ARC2-R11 的硅藻属种与生物硅记录, 揭示了该海域全新世以来海冰的长期动态过程以及太平洋水输入 (PWI) 的变化特征。硅藻重建的海冰记录表明, 在中全新世期间, 楚科奇海中部海冰呈长期减少的趋势, 这一趋势与楚科奇海东部以及北部的记录一致; 同时, 该区域的初级生产力波动上升, 该变化主要受温暖且营养丰富的 PWI 输入增加的控制, 与海平面上升导致的 PWI 通量增加相关。在晚全新世, 楚科奇海中部和东部的海冰记录继续呈减少的趋势, 而北部海冰却有所增加。海冰的区域异质性可能与太平洋年代际振荡和阿留申低压 (AL) 导致的太平洋水不同分支强弱变化有关; 晚全新世的阿留申低压强度减弱且位置偏西, 有利于中部分支白令海陆架水 (BSW) 的增强, 从而促进楚科奇海中部海冰持续减少; 与此同时, 西部分支阿纳德流 (AW) 的减弱导致了北部海冰的扩张。研究揭示了太平洋水在全新世时期已开始对楚科奇海环境具有主导性调控作用, 研究结果为

理解全新世北极-太平洋区域海-气-冰耦合过程提供新的证据与见解。

S30-P-8S

极度亏损放射性碳对冰期北太平洋中层水通风重建的影响

王安琪², 姚政权^{1,3*}, 董智^{1,3}, 石学法^{1,3*}, 刘焱光^{1,3}, Sergey Gorbarenko⁴, 邹建军^{1,3}, 石丰登^{1,3}, 宫勋⁵, Alexander Bosin⁴, Yuriy Vasilenko⁴, 王昆山^{1,3}, 白亚之^{1,3}, 任艺君^{1,3}, 张伟滨^{1,3}, 冯晗^{1,3}, 邹欣庆^{2*}

¹ 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

² 南京大学, 地理与海洋科学学院

³ 青岛海洋科技中心, 海洋地质实验室

⁴ 俄罗斯科学院太平洋海洋研究所

⁵ 中国地质大学 (武汉), 海洋学院

* yaozq@fio.org.cn

* xfshi@fio.org.cn

* zouxq@nju.edu.cn

北太平洋中层水 (NPIW) 作为北太平洋最大的原生水团, 其通风过程在调节气候变化和全球碳、氧循环中发挥着关键作用。然而, 地质碳输入对放射性碳 (^{14}C) 通风年龄的影响, 使得中-深层太平洋通风历史的重建面临巨大挑战, 这进一步增加了 NPIW 演化及其对气候变化响应机制解释的复杂性。本研究通过分析鄂霍次克海西南部沉积岩芯中底栖有孔虫的底栖-浮游 ^{14}C 年龄差 (B-P ^{14}C age offsets)、稳定氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$) 和碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 记录, 探讨了末次冰期及冰消期期间 NPIW 的变化。结果表明, 末次冰期期间 B-P ^{14}C age offsets 超过约 9000 年, 表明受到显著的地质碳影响, 其来源可能为鄂霍次克海西南部的 $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 混合气体水合物。因此, 在末次冰期冰盛期 (LGM) 期间, 冰期北太平洋中层水 (GNPIW) ^{14}C 通风年龄可能被高估, 支持了冰期 NPIW 通风较现代更好的推测。此外, 北太平洋的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{bf}}$ 汇编记

录的综合分析显示,在 LGM 期间,鄂霍次克海和白令海均有中层水形成,其深度分别可达到 1590 米和 1000 米。与 LGM 相比,Heinrich Stadial 1 (HS 1) 期间白令海的中层水对流显著增强,深度延伸至至少约 1467 米。这一过程不仅增强了 NPIW 的形成,还有效冲刷了来自鄂霍次克海的地质碳,使得西北太平洋和东北太平洋 NPIW 通风趋于均匀化。这一机制不仅降低了地质碳对鄂霍次克海和西北太平洋 NPIW ^{14}C 通风年龄的潜在影响,同时也显著增强了 HS 1 期间 NPIW 的通风强度,可能促使西北太平洋与东北太平洋在中层深度展现出更为一致的通风格局。本研究通过分析地质碳对 GNPIW ^{14}C 通风年龄的影响,深化了对末次冰期及冰消期 NPIW 演化过程的认识,调和了先前 NPIW 通风重建中的差异。

S30-P-9S

北极东西伯利亚陆架末次间冰期以来古野火历史及演化机制

刘亚茹¹, 姚政权^{1,2*}, 石学法^{1,2*}, 冯晗¹, Yuri Vasilenko³, Alexander Bosin³, Anatolii Astakhov³, 刘焱光^{1,2}, 胡利民^{2,4}, 张伟滨¹, 白亚之^{1,2}, 王昆山^{1,2}, 任鹏¹, 葛淑兰^{1,2}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

2 青岛海洋科技中心

3 V.I. Il'ichev Pacific Oceanological institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences

4 中国海洋大学

* yaozq@fio.org.cn

* xfshi@fio.org.cn

野火作为陆地生态系统的重要组成部分,在全球气候演变和碳循环中发挥着至关重要的作用。北极地区是当前全球气候变暖最显著的区域,重建其地质历史时期的野火活动,有助于深入理解古野火变化

对气候波动的响应机制,并为预测全球变暖背景下的野火发生趋势提供科学依据。然而,由于北极地区长时间尺度和高分辨率的野火记录比较稀少,目前对地质历史时期北极野火活动的特征和驱动机制仍不清楚。本研究通过对取自北极东西伯利亚陆架的 LV90-8-1 岩芯(80° 43' 0.4" N, 152° 29' 55.68" E; 水深 2300m、柱长 5.26 m; 年代框架建立至 120 ka BP)中的 263 个样品进行黑碳(BC-Soot)含量、通量(BC-MAR)、稳定碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{BC}}$)组成及总有机碳氮进行分析,结果表明:在轨道尺度上,MIS5c-e、MIS4 以及 MIS1-2 期,野火活动较少,相对暖湿或冷干的气候限制了野火的发生。在气候相对过渡的 MIS5a-b 和 MIS3 期间,野火活动明显增加。在 MIS5a-b 和 MIS3 期内的千年尺度变化中,野火活动与 Dansgaard-Oeschger (DO) 旋回密切相关,表现为在 Glacial-Interstadials (GI) 暖期时野火活跃,这与温度升高、植被扩张及可燃物干燥度增加有关;而在 Glacial Stadials (GS) 冷期时野火减少,表明严寒气候抑制了植被生长从而导致可燃物的匮乏。野火在轨道尺度和千年尺度上的变化证实了野火的发生与气候、植被等因素之间存在密切但复杂的联系,结合当前北极东西伯利亚野火频发的现状,本研究对提升未来全球变暖背景下野火发生的预测能力与应对措施具有重要的科学意义。

S32-O-1

早白垩世一中中新世东亚大型水系演化重建

何杰^{1*}, Eduardo Garzanti³, 姜涛¹, 王华²

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 中国地质大学(武汉), 资源学院

3 意大利米兰比可卡大学, 环境与地球科学学院

* jiehe19920402@163.com

青藏高原新生代的隆升使得亚洲东部的水系发生了巨大的重组。红河被认为是

曾经存在多个支流的巨大水系，其演化仍然存在较多争议。厘清红河的演化对于深入理解青藏高原这个地球上构造极其活跃地区气候和造山之间相互作用有着极其重要的意义。本研究基于课题组完成和文献中红河现代沉积物、源自青藏高原现代河流上游河流沉积物和内陆盆地沉积物、以及南海北部盆地钻井岩心沉积物的全岩、重矿物、Sr-Nd 同位素以及碎屑锆石 U-Pb 定年数据，为整个东南亚的新生代水系演化提供了新的线索。研究发现，晚白垩世流经四川盆地、楚雄盆地、思茅盆地和呼拉特盆地的南向横贯大陆古河流在古近纪因区域隆升而断开。古珠江开始发源于东部，以北江和东江为主，然后逐渐向西侵蚀，最终在新近纪时期扩展到青藏高原东南部边缘。古红河在新近纪时期逐渐演化成为一条大的水系，包括古金沙江和流经扬子板块西部的一条支流。在早—中中新世时期，当金沙江在第一弯被长江袭夺取后，古红河失去了来自于青藏高原的源头支流。现今的红河和珠江的水系格局在中中新世时期已经开始形成。

S32-O-2

黄河三门峡地区及下游钻孔所揭示的三门峡切穿的可能年代

宋盈瑾¹，赖忠平^{1*}

¹ 汕头大学，海洋科学研究院

* zhongping_lai@stu.edu.cn

大河流域的演化受控于气候变化及构造运动，研究大河流域的形成有助于更好的理解地表的演化过程。黄河作为中国的第二大长河，其形成与演化一直是地学领域研究的重点问题，然而有关黄河贯通的年代仍存在比较大的争议，具有> 34 Ma, 1.6 Ma, 1.2 Ma, 0.8 Ma, 0.15 Ma 等多个差异较大的观点。本研究厘定黄河切穿三门峡

的年代的尝试主要从以下三个方面进行：

①三门峡地区最老一级河流阶地的年代；②三门峡古湖干涸的年代；③黄河下游地区出现沉积相及物源响应的年代。本研究在黄河下游地区采集了四个岩芯样品，进行了年代学和沉积学等测试。在收集总结前人研究资料的基础上，研究结果认为黄河切穿三门峡的年代可能在 1.2 Ma 左右。

S32-O-3

构造与气候驱动的大型河流系统演变——以东南亚萨尔温江和伊洛瓦底江为例

张朋^{1,2*}，蒋少涌⁴，李任远⁵，梅廉夫³

¹ 中国地质大学（北京），海洋学院

² 中国地质大学（北京），极地地质与海洋矿产教育部重点实验室

³ 中国地质大学（武汉），构造与油气资源教育部重点实验室

⁴ 中国地质大学（武汉），地质过程与成矿预测全国重点实验室

⁵ 中海石油（中国）有限公司，国际分公司

* p8.zhang@cug.edu.cn

青藏高原及邻区是研究高原隆升、气候变化与地表剥蚀耦合关系的天然实验室。过去的一种观点认为南亚季风（South Asian Monsoon）在晚中新世期间（10-8 Ma）明显增强，但另一种截然相反的观点认为这一时期的南亚季风是减弱的。在这里，我们报道了对安达曼海底扇的最新研究进展。总的来看，我们认为安达曼海底扇的形成是过去 10-7 Ma 以来气候和构造作用复合作用的结果。这项研究成果主要利用了物源分析（如重矿物组分和碎屑锆石年代学）和地震数据分析的技术，对安达曼海底扇钻遇地层进行了详细分析。通过综合现代河流的沉积负载通量、潜在物源区物质组成特征以及我们的测试和地球物理结果，我们提出晚中新世安达曼海底扇沉积物主要来自东拉萨地块和西缅地块北部（即藏东南伊江和萨江的上游流域），少

量沉积物可能来自中缅马苏地块和保山地块；相反，上新世和全新世的沉积物除了来自东拉萨地块和西缅地块北部之外，还有腾冲地块的明显贡献。基于这样的结果，我们推测萨尔温江的初始发育可能早于 10 Ma，并且伊洛瓦底江重组为现今的空间状态是比较晚的事件（上新世之后）。这两条大河将来自藏东南源区的沉积物不断向安达曼海输送，引发了安达曼海底扇的快速堆积（堆积速率超 530 m/Ma）。这一时期的高沉积速率与南亚季风在晚中新世以来的增强以及藏东南地壳的强烈变形时相吻合的。故此，我们认为气候和构造因素不止造成了青藏高原的强烈剥蚀，而且控制着晚中新世-第四纪期间东南亚大型河流的演变。

S32-O-4

碎屑锆石再循环及其对藏东河流演化的制约

李仕虎^{1*}, Yani Najman², Pieter Vermeesch³, Dan N. Barfod⁴, Ian Millar⁵, Andy Carter³

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 Lancaster University

3 University College London

4 University of Glasgow

5 British Geological Survey

* lsh917@mail.iggcas.ac.cn

碎屑锆石再循环及其对藏东河流演化的制约

青藏高原东南缘地区发育长江、澜沧江和怒江等大型河流，其演化历史与新生代青藏高原的隆升具有密切联系，其独特的三江并流和长江第一湾地貌成为研究高原隆升和河流演化的研究热点。碎屑锆石、钇-铈、氩氩等作为最常用的物源手段，被广泛用于限定藏东南河流袭夺和河流贯通过程。然而，虽然该地区已经发表了大量的碎屑锆石数据，但这些结果并未很好的限定藏东南的河流演化过程，一些结果甚

至存在截然相反的解释。本研究对藏东南三叠纪以来的沉积盆地碎屑锆石、数据钇-铈、氩氩进行了系统的总结，并对关键部位的新生代沉积盆地开展了新的研究，结果发现藏东南不同块体晚三叠纪以后的沉积岩具有相似的碎屑锆石物源特征，反映了古特提斯洋闭合后物源混合的特征。这表明新生代沉积盆地的碎屑锆石反映了锆石的再循环沉积过程，因而不能灵敏的反映藏东南河流的袭夺或贯通事件。钇-铈和氩氩数据具有某些独特的特征，可能更好的反映河流的演化过程，但仍需要更多的研究和数据。

S32-O-5

孟加拉湾若开盆地深水区新近纪水道沉积特征及其演化

吴玉何¹, 栾锡武^{1*}

1 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* Xluan@sdust.edu.cn

深水沉积体系是大陆边缘重要的沉积单元，其形成受控于构造运动、海平面变化及沉积物供给机制，是深海油气勘探的重要目标之一。而深水水道是深水沉积体系的重要组成部分，研究这些深水构造单元，对于理解研究区域的构造演化、沉积特征、油气资源的分布能提供重要的指导意义。本研究来源于国家自然科学基金项目（92055211、42249801）和中国-东盟海洋合作基金项目（12120100500017001）资助。本文基于孟加拉湾若开盆地高分辨率三维地震数据，并结合孟加拉湾公开的钻井资料，识别更新世时期深水水道的具体演化方向，研究水道的曲率以及影响水道演化方向的因素。根据资料显示，若开盆地位于孟加拉湾东北部，该盆地深水水道系统以高沉积速率、复杂构造背景和多次叠置为特征，其物源供给大部分来自北方的恒河-布拉马普特拉河，携带大量喜马拉雅侵蚀碎屑。并且，由于该盆地位于印

度板块向缅甸板块俯冲的前缘,导致盆地西部发育一系列逆冲断裂带,直接控制水道走向。通过在地震剖面上进行追踪和解释,利用精确的时间切片技术,结合均方根振幅属性,相干振幅属性和水平振幅,本研究识别了水道-堤岸复合体由初期的一条弯曲水道演化出三条分支水道,再由三条分支水道演化出四条水道。通过将水道前后的发育方向的趋势进行对比,水道的整体位置在不断偏移,局部位置水道发育方向出现与整体偏移趋势不同的突变,并且水道边缘伴随着天然堤的生成,部分区域存在滑坡。

S32-O-6

喜马拉雅东构造结多阶段快速剥露: 尼科巴扇碎屑热年代学证据

陈文煌^{1*}, 张乐¹, 闫义¹, 曹凯², 张新昌¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

² 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* chenwenhuang@gig.ac.cn

喜马拉雅东构造结是地球上构造活动最强烈、岩石隆升和剥露速率最快(高达10 mm/yr)的地区之一,而且雅鲁藏布江在此发生急剧的转弯,形成雅鲁藏布江大峡谷。目前,关于东构造结快速剥露的机制主要存在着两种模型:“构造结扩展”模型(e.g. Seward and Burg, 2008; King et al., 2016)和“构造动脉瘤”模型(e.g. Zeitler et al., 2001, 2014)。这两种模型也对应着不同的时空剥露模式,基于前者快速剥露的位置随时间迁移,而后者认为快速剥露的位置固定于雅鲁藏布江大峡谷。然而,目前对东构造结的剥露历史,特别是其快速剥露起始的时间存在着很大的争议。位于东北印度洋的孟加拉-尼科巴深海扇体系作为雅鲁藏布江-布拉马普特拉河的最终沉积

区,是了解东构造结隆升和剥露历史的重要窗口。基于 IODP 362 航次生物地层研究,我们对尼科巴扇早中新世以来的14件砂/砂岩样品进行了碎屑金红石 U-Pb 年龄和碎屑锆石裂变径迹年龄分析。通过沉积年龄相对于碎屑热年代学最小峰值年龄的滞后时间,获取了东构造结剥露速率的变化。结合前人发表的孟加拉扇11件砂/砂岩样品的碎屑热年代学记录(Najman et al., 2019),我们提出了东构造结始于~10 Ma的多阶段剥露模式。对应于<1 Myr的滞后时间,我们识别出两个类似于现今的超快速剥露(~10 mm/yr)阶段,分别为7.4–5.2 Ma和3.7 Ma–Recent。其中7.4–5.2 Ma这一阶段仅记录于尼科巴扇,而~3.7 Ma以来的阶段同时记录于尼科巴扇和孟加拉扇。这一多阶段快速剥露模式,与我们先前基于尼科巴扇沉积物微量元素、Sr-Nd 同位素和沉积速率变化获得的两阶段快速剥露模式(Chen et al., 2020, EPSL)基本相符,而且提供了更加详细的剥露速率的变化。两个超快速剥露阶段累计长达~6 Myr,对应的剥露量高达~60 km。因此,东构造结的快速剥露不太可能像“构造动脉瘤”模型所要求的集中在雅鲁藏布江大峡谷这一特定位置,而更可能在构造作用驱动下随着时间发生空间迁移。

S32-P-1

东亚大型河流碎屑锆石相似度定量比较对重构古水系的启示

孙习林^{1*}, 王艳艳², 田云涛³, 张增杰³, 郭汝军⁴

¹ 湖北大学, 资源环境学院

² ETH Zürich, Institute of Geology

³ 中山大学, 地球科学与工程学院

⁴ 南京大学, 地理与海洋科学学院

* sunxi-lin@163.com

青藏高原的隆升改变了欧亚大陆的气候和地貌格局,进而引起了大河水系形态的重组和拓展。近年来青藏高原周缘大河水系演化研究成为地学研究的前沿及热点问题。目前对于东亚大型水系演化的研究仍存在较大的争议。沉积物物源示踪是古水系重建的有效手段之一。碎屑锆石 U-Pb 方法是应用最广泛的物源示踪方法。对于使用锆石 U-Pb 方法重建古水系多基于一个假设,即沉积物物源信号相似的样品来自于同一河流。然而,由于不同的河流可能位于同一构造板块之内或者沉积物再循环导致不同板块内的沉积物高度均一化,从而使得不同河流内的沉积物也可能具有相似的物源信号。因而基于上述假设重建的古水系形态可能存在多解性。现代河流沉积物的源区范围明确,不同河流之间锆石 U-Pb 年龄的相似性能够对上述假设的可靠性提供很好的参考。本研究收集了黄河、长江、珠江、红河和雅鲁藏布江的现代河流碎屑锆石 U-Pb 数据。对这些河流内的碎屑锆石 U-Pb 数据进行 K-S 检验, Kuiper 检验、相关系数(Cross-correlation),相似性(Likeness)以及多维标度(MDS)五种相似度计算,然后探讨不同河流现代沉积物相似性关系。结果显示,不同河流样品碎屑锆石 U-Pb 年龄之间的相似度在上述五种方法上与同一河流沉积物比较没有系统性的差异,暗示着利用单一锆石 U-Pb 年龄难以区分沉积物来自于一条或多条河流的沉积,因而使用碎屑锆石 U-Pb 年龄单变量相似性计算方法重建古水系需谨慎。与此同时,本研究尝试锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素($\epsilon_{\text{Hf}}(t)$)的二维 MDS 计算,结果显示上述五条河流的样品有很好的区分度,因而锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素($\epsilon_{\text{Hf}}(t)$)的二维 MDS 计算可能是重构古水系的有效方法。

S32-P-2

长江现代沉积碎屑锆石和金红石粒径与 U-Pb 年龄对物源示踪的启示

郭汝军¹, 孙习林^{2*}, 李长安^{3*}, 张增杰⁴, 魏传义⁵, Urs Klotzli⁶, 王先彦¹

1 南京大学, 地理与海洋科学学院

2 湖北大学, 资源与环境学院

3 中国地质大学(武汉), 地理与信息工程学院

4 中山大学, 地球科学与工程学院

5 中国地震局地质研究所, 地震动力学国家重点实验室

6 University of Vienna, Department of Lithospheric Research

* muscovitesun@gmail.com

* changanli@cug.edu.cn

碎屑锆石和金红石的 U-Pb 年龄是研究区域构造历史、沉积物源区以及古水系重建的常用方法之一。在碎屑矿物的生成和搬运过程中会发生物理和化学风化作用,但在沉积物运移过程中,大坝效应往往被忽略。本研究将金红石数据(等效球粒直径和 U-Pb 年龄)与已发表的锆石数据相结合,以研究长江干流及主要支流碎屑颗粒大小和年龄的变化。粒径与年龄的相关性图解表明:相对较老的碎屑锆石和金红石年龄通常具有较小的粒径,而较大的粒径则对应较年轻的颗粒。新生代的锆石和金红石仅存在于等效球径大于 63 μm 的颗粒中,且主要富集在 125 - 250 μm 的粒径范围内。在中下游发现的具有特征新生代年龄的碎屑锆石和金红石只能来自金沙江和大渡河,其搬运距离至少为 3000 km。在宜宾和宜昌两地观察到新生代锆石含量出现了两次显著下降,且在同一地点粗粒(125 - 250 μm)锆石的比例也急剧下降,这表明由于金沙江上的高坝和三峡大坝(TGD)的影响,新生代锆石的搬运经历了两次衰减过程。源自大渡河的新生代金红石则经历了一次与三峡大坝相关的衰减过程。本研究结果表明,大量水坝的存在会增加物源示踪研究中的偏差。

古东亚河的形成及演化

付晓伟^{1*}, 杨蓉², 杨守业¹, Eduardo Garzanti³, 陈春峰⁴, 傅强¹, 朱伟林¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 浙江大学, 地球科学学院

3 University of Milano-Bicocca, Department of Earth and Environmental Sciences

4 中海石油(中国)有限公司上海分公司

* fu_xiaowei@tongji.edu.cn

东亚边缘新生代早期地貌特征与现今截然不同, 存在众多裂谷盆地, 但对这一时期水系格局的研究很少, 传统观点认为裂谷盆地的盆岭地貌阻碍早新生代大型河流的发育。本研究通过系统地源-汇对比、盆地沉积充填演化分析, 并结合区域构造, 认为中始新世东海盆地发生了一次区域性重大物源转换事件, 此前以~110 Ma 单峰锆石年龄谱(指示近源物源)为主的特征, 开始转变为多峰年龄谱, 流域范围显著扩大至远源陆内。综合其它物源指标分析, 推测流域已延伸至华北地块东南部及苏鲁-大别造山带。晚始新世, 流域进一步扩展至朝鲜半岛, 并成为主要物源区之一。大量的碎屑物质一直搬运至处于裂谷阶段的南海, 为南海的初始张裂范围提供了关键证据。至中新世, 这条河影响到台湾地区, 并在台湾北部一带形成大型三角洲。这些都表明新生代早期东亚边缘曾长期被一条大河主导, 其直线长度可能超 1500km, 本研究称其为古东亚河。古东亚河的发现为东亚新生代早期地貌及水系演化提供新的视角。

S32-P-4

大河水系演化和全球变冷共同控制上新世-第四纪硅酸盐风化记录: 以古黄河为例

李芳亮^{1*}

1 海南热带海洋学院, 海洋科学技术学院

* fangliang@hntou.edu.cn

硅酸盐风化被视为维持地球气候稳态的关键过程; 但由于风化指标记录常常受到多种(非风化)因素的干扰, 风化强度如何响应晚新生代气候仍不清楚。东亚大河流域整合了大陆尺度的风化信息, 但“从源到汇”系统的演变如何影响风化信号需进一步厘清。本研究汇编了东亚陆缘及流域各沉积物源区的钕同位素(ϵNd)、锆石铀-铅年龄和化学风化指数(CIA)等已发表数据以及大陆架 CSDP-2 站位新数据, 以了解大河演变历史, 评估水系演化对风化指标记录的影响。东亚陆缘沉积物 ϵNd 值从 3.6 Ma 之前的-18.8 增加到 1.0 Ma 以来的-11.3, 分别与华北克拉通和青藏高原-黄土高原的同位素值对应。锆石年龄进一步表明该物源变化, 显示类似现代的黄河水系在早更新世末期已完全贯通。全流域贯通促进了从内陆高原向边缘海的沉积物输送, 因此, 在上新世以来全球降温背景下, 东亚陆缘风化强度(CIA)下降幅度显著大于其他亚洲地区。本研究认为大河水系向上游高地扩展以及全球变冷共同控制了风化强度记录的下降趋势和幅度; 强调了在解译大陆边缘沉积物风化信号时, 深入理解源汇系统的演变的重要性。

S32-P-5

青藏高原东缘河流动态重组——基于长江第一弯演化的新认识

赵旭东^{1*}, 张会平¹, 李伊菲¹

1 中国地震局地质研究所

* xudong@ies.ac.cn

青藏高原东缘大型河流水系格局的形成, 通常被认为是一系列河流袭夺与流向反转事件引发的水系重组的结果。然而, 关于这些水系重组的发生时间及其驱动力

制尚存在较大争议。其中，长江第一弯的河流袭夺事件作为典型案例，长期以来备受关注，同时也是争议焦点之一。本研究通过对位于长江第一弯以南的大理盆地晚中新世至第四纪地层的沉积物源分析，发现约在 740 万年至 640 万年前，南流的金沙江曾为大理盆地供给沉积物。如果东流金沙江在晚中新世之前就已建立，那么则可以推断在长江第一弯地区至少发生过两次河流改道事件，分别在 740 万年前之前和 640 万年前之后。结合地貌演化数值模拟结果，本研究进一步提出，除构造活动外，长江第一湾下游虎跳峡发生的一次大型滑坡及其引发的堰塞湖溃决事件，亦可能在水系重组过程中发挥了重要作用。滑坡引发的堵江及湖水溢流，不仅加速了水系的重塑过程，也为理解区域河流演变机制提供了新的视角。本研究强调，滑坡堵江事件在青藏高原东缘河流系统动态重组中可能起到关键性作用，为探讨青藏高原东缘水系演化历史及其动力学过程提供了新视角。

S33-O-1

人类活动与气候变化对渭河流域全新世水文泥沙和地貌过程的影响

王先彦^{1*}

¹ 南京大学，地理与海洋科学学院
* xianyanwang@nju.edu.cn

中国黄土高原作为典型人地相互作用区，其全新世河流系统演化是亚洲季风气候波动与人类土地利用共同作用的结果。本研究基于 Landlab 景观演化模型，耦合河流水文泥沙与生态水文模块，定量重建了渭河流域中晚全新世（8500-3000 BP）的径流和泥沙量变化。模型验证表明，生态水文模块的引入使半干旱区径流模拟误差降低至±9.3%，尤其为公元前 6000 年人类诱

发侵蚀的早期证据（较传统认知提前 2000 年）提供了支撑。结果发现径流量变化主要受控于气候变化（贡献率>95%），人类活动在公元前 1000 年前的影响不足 5%；泥沙通量自公元前 5000 年起即显著响应早期农业活动，输沙量变异幅度较自然背景值增加 200%-300%；流域人类土地利用占比达到一定阈值（约公元前 1000 年）时，系统发生非线性突变：水文泥沙对气候变化的敏感性提升 1.8 倍，下游淤积速率加速，形成“垦殖-侵蚀-淤积”的正反馈链。此外，研究结果还揭示公元前 3000 年后洪水高频区从渭河中游向黄河下游迁移的现象，其机制为人类活动增强的泥沙波向下游递进式运移。本研究阐明了黄土高原“气候胁迫-人类扰动-河流响应”的级联效应，对预测全球变化背景下流域可持续管理具有参考意义。

S33-O-2

青藏高原东北缘先成河响应演化地貌的水系重组研究

潘保田^{1*}，董子娟¹，胡振波¹

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

酒东盆地作为青藏高原东北边缘典型活动构造带的代表，其南北缘分别被祁连山和正在隆起的金塔南山限定，构成了盆山相间的地貌格局。起源于北祁连山的系列河流作为这一地貌系统的先成河向北贯通金塔南山，发育 7 处谷地和沿程阶地序列。通过研究这些谷地内的河流阶地序列、形成年代和上覆河流相沉积物的岩性和结构，发现：1、金塔南山作为青藏高原向东北扩展的最外围山体，其南北部分别表现出滑脱和断弯褶皱变形模式，并从 36 万年前开始在东西方向上分段出现山体地貌；2、金塔南山东西方向分段隆起的山体地貌限定了来自北祁连山的分散水系，形成彼此

独立北流的双井子河、讨赖河和洪水坝河；3、伴随金塔南山构造隆起和气候变干，这些河流先以下切、然后改道、最后再并流的响应方式完成水系重组，形成现今统一的北大河才能向北继续贯通不断抬升的山体；4、河流下切发育阶地对应于气候由间冰阶向冰阶的过渡期，而河流改道遗弃原河谷成为风口的时代发生在更冷的冰阶并耦合强烈的构造抬升，从而提出流经构造边缘带的先成河水系重组是快速构造抬升与气候冷-干变化耦合驱动的结果。

S33-O-3

黄河贯通三门峡的新证据

肖国桥^{1,2*}，潘卿¹，孙宇奇¹，赵卿宇²，林欣如¹

1 中国地质大学（武汉），地理与信息科学学院

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* xgqiaocug@gmail.com

作为中华民族的母亲河，黄河何时、因何形成？对于这一问题，尽管历经 170 余年的科学研究，目前仍存在较大分歧，成为地理学和地质学领域著名的世纪谜题。对于黄河贯通入海的年代，主要存在如下观点：1）早于 4000 万年；2）约 800 万年；3）360-120 万年之间；4）25-15 万年之间；5）一万年以来。而对于黄河的贯通机制，同样存在多种观点：1）青藏高原隆升；2）黄河上游湖泊溢流；3）气候波动导致的侵蚀基准面（海平面）变化。

我们通过华北平原沉积物源、中游汾渭盆地地貌和沉积环境演化、古气候变化及年代学等一系列综合分析，对黄河贯通的年代和机制进行了研究，发现：1）在黄河下游地区，通过华北平原多个钻孔的碎屑锆石物源研究，发现从距今约 160 万年开始，中游和上游的物质可持续被搬运到下游，说明黄河在 160 万年贯通入海；2）在黄河中游地区，通过汾渭盆地沉积学和年代学的研究，发现该盆地内的三门古湖

在距今约 160 万年干涸，并开始沉积黄土，说明距今 160 万年前三门峡被切开，黄河的贯通排干了三门古湖；3）在黄河源地区，通过对河谷地貌的实地考察和遥感分析，发现黄河源地区的谷地为冰川作用形成的 U 形谷，冰川的侵蚀作用很可能破坏了冰期之前的黄河阶地，提出前人基于黄河源地区现存河流阶地年代的研究很可能低估了黄河源谷地的发育历史；4）通过古气候研究，发现 25 万年前后华北平原地区发生了显著的干旱，导致华北平原的荒漠面积扩张，从而导致了华北平原黄土粒度和沉积速率的增大，否定了早期基于华北平原黄土粒度和沉积速率变大提出黄河贯通的假说；5）通过对青藏高原隆升历史和第四纪气候变化特征分析，我们提出第四纪气候和海平面的大幅度波动导致了黄河在约 160 万年贯通三门峡，不支持前人提出的青藏高原隆升和黄河上游湖泊溢流引起黄河贯通的假说。

S33-O-4

中更新世晚期黄土高原加速侵蚀的证据

刘向军^{1,3*}，涂华²，王懿萱³，赖忠平²

1 嘉应学院，地理科学与旅游学院

2 汕头大学，理学院资环系

3 中国科学院青海盐湖研究所，地学室

* xiangjunliu@126.com

黄土高原（CLP）是世界上水土流失最为严重的地区之一，其侵蚀历史的研究是学术界的热门话题。目前，关于黄土高原侵蚀成因主要有两种观点。一种观点认为，黄土高原的侵蚀主要受气候变化和构造运动的控制，导致整个第四纪期间侵蚀加剧。另一种观点则认为，侵蚀加剧是由于人类活动的日益增强。在本研究中，我们确定了黄河二级支流泾河下游河床以上 165 米处的一个河流阶地的形成年代，该阶地是由于河流下切基岩而形成的。通过对阶地

沉积物的宇宙成因核素埋藏年龄和光释光年龄的测定,我们发现泾河的下切始于 60 万至 28 万年前的某个时期,至今已下切了 165 米。根据新测定的年代,并结合之前报道的黄河阶地年代和黄土高原的侵蚀阶段,我们认为泾河在大约 30 万年前由于区域构造运动开始加速下切,从而推动了其中上游黄土的加速侵蚀。高分辨率卫星图像和无人机(UAV)图像显示,黄土高原后期发育的沟壑嵌套于早期形成的沟壑之中,呈现出分层叠加的地貌形态。因此,我们提出黄土高原的侵蚀是分阶段进行的,每个侵蚀阶段都从下游地区开始,并向上游传播。目前黄土高原的地貌是至少三个主要侵蚀时期的累积结果,从卫星图像中可以清晰地辨别出这些侵蚀时期的痕迹。本研究认为,黄土高原侵蚀加剧的主要驱动力是全新世之前的构造抬升,这导致流经黄土高原的所有等级河流加速下切,从而加快了黄土的流失。

S33-O-5

全新世黄河流域侵蚀环境演变与水系格局演化

何洪鸣^{1*}

1 华东师范大学,地理科学学院
* hongming.he@yahoo.com

全新世以来,黄河流域在气候波动与人类活动共同驱动下,经历了显著的侵蚀环境变迁与水系格局重构,对区域地貌演化与文明发展产生深远影响。本文综合黄土—古土壤序列、湖泊沉积、冲积扇与河流阶地等多源地质记录,结合模型模拟结果,系统揭示了黄河流域自全新世早期以来侵蚀强度的时空演化特征及其对水系结构的反馈机制。研究表明:全新世中期暖湿期内,植被覆盖增强,坡面侵蚀减弱,黄河中游形成相对稳定的阶地与主干道水系形态;而全新世晚期气候趋于干旱,人类活动加剧,如农垦扩展与水土破坏,导

致侵蚀强度快速上升,引发河道淤积、分汊及下切频繁发生,河套、关中与豫北平原等地的水系格局频繁演化。尤其在历史时期,频发的洪水事件进一步推动了黄河下游“游荡性”增强,呈现出复杂的支流重组与主河改道现象。本文构建了基于侵蚀强度—水系稳定性响应关系的演化模型,提出黄河流域存在“侵蚀—输沙—水系演化”非线性耦合路径,强调地貌过程与社会活动之间的互动机制。相关成果有助于深化对流域演化规律的理解,并为当前水土保持与流域管理提供科学参考。

S33-O-6

黄土高原千年尺度河流袭夺事件的地貌与物源响应

李梦昊^{1*}, 胡振波², 潘保田²

1 西安科技大学,地质与环境学院
2 兰州大学,资源环境学院
* limh19@lzu.edu.cn

碎屑沉积物物源分析方法为深入理解河流系统侵蚀与沉积物输运过程提供了基础研究手段,前人对河流系统在构造或轨道时间尺度的物源响应开展了大量研究,但鲜有千年尺度研究。本文发现源于中国黄土高原北部的黄河支流无定河,响应上游约 2000 年前的河流袭夺事件,下游河段形成阶地、流域内水系格局重组,但碎屑锆石 U-Pb 年代学物源分析结果显示下游沉积物组成未发生显著变化。尽管水力学计算表明上游泥沙能够在当前水动力条件下被快速搬运至下游,但受干旱半干旱环境下沉积物输运效率较低以及人类活动的影响,显著延长了沉积响应的滞后时间。在全球变暖和黄土高原湿润化的趋势下,我们预测在未来无定河碎屑物源信号能够更高效的传输。这一结果揭示了旱区河流沉积动力学的复杂性,为解析东亚季风区人

类活动、气候变化与地貌演化之间的耦合机制提供了新见解。

S33-O-7

廓琼岗日冰川流域径流悬移质溯源

张凡^{1*}, 刘超¹, 曾辰¹, 赵洋¹, 杨威¹

¹ 中国科学院青藏高原研究所

* zhangfan@itpcas.ac.cn

河流泥沙输移是地球系统多圈层相互作用的综合体现。悬移质是径流泥沙中最为活跃、数量占比最大且影响最为广泛的泥沙组分。在气候变化影响下, 高寒山区水沙过程及其影响因素发生了较大变化。本研究选取青藏高原廓琼岗日冰川流域为研究区, 通过野外径流悬移质监测、泥沙物源示踪和水文模型等研究手段, 明确了不同主控因素影响下悬移质来源及其驱动机制。由于冰川区侵蚀强烈, 仅占流域总面积 14.7%的冰川区, 对流域出口悬移质的平均贡献达到 $52.8 \pm 17.1\%$ 。在融雪、冰川融水、降雨不同因素主导下, 流域出口断面悬移质的溯源结果显示了不同物源贡献的动态变化。在融雪主导期, 悬移质来源主要集中在冰川区 (53.5%) 和融雪侵蚀作用的极高海拔裸地 (22.5%)。冰川融水主导期, 冰川区的贡献比例进一步提高至 70.8%。降雨主导期, 悬移质来源主要集中在冰川区 (34.2%) 和降雨侵蚀作用的高海拔裸地 (36.4%) 和极高海拔裸 (23.8%)。驱动悬移质输移的径流组分和悬移质来源组成密切相关。上述结果为研究气候变暖背景下青藏高原大江大河源区以及冰川流域径流悬移质的演变过程具有重要的参考价值。

S33-O-8

河流形态发育的能量作用机理与方式

黄河清^{1,2*}

¹ 中国地质大学 (武汉), 地理与信息工程学院

² 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地水循环与地表过程实验室

* huanghq@igsnrr.ac.cn

河流发育形成许多类型的平面形态, 包括顺直、弯曲、分汊、辫状和游荡型, 但长期以来对这些河型的形成机理、过程和条件的认识还缺乏坚实的理论基础。基于河道中水流运动的连续性、阻力和推移质挟沙力三大基本原理, 我们利用变分方法和最小作用量原理对冲积河流河道形态自动调整的机理从能量作用的角度给予了系统阐释。在此基础上, 我们提出采用理论推导得到的无量纲数 H (河道水流剪切力的相对增值与河道宽深比的增值之比) 的取值来辨析不同河型发育的能量作用机理、过程与条件。这一假说主要包括三个方面: (1) $H=0.3$ 时, 水流的能量正好能满足河道输水输沙所需, 而当 H 不等于 0.3 时, 河道将向 $H=0.3$ 的状态调整其形态;

(2) 当 $H=0.3$ 左右, 河道过水断面的能耗最小, 水动力作用力最大, 河道平面形态单一顺直; (3) 当 $H<0.3$ 或 $H>0.3$ 时, 河道过水断面宽浅或窄深以消耗富余能量, 水动力只起部分控制作用, 复杂的平面形态如弯曲、辫状、分汊将会得到发育。利用澳大利亚中北部河流和黄河上游银川河段为主要检验区, 详细分析 H 数在分汊、弯曲和辫状河段的取值情况, 发现不同河型的 H 数的取值差异极大, 表明 H 数是一个能够用来辨识不同河型的敏感参数。此外, 野外调查表明, 分汊、弯曲和辫状河型的发育不仅与水动力有关, 而且也与河底和河岸的泥沙组成、滨河植被、峡谷等非水动力因素密切相关。

S33-O-9

雅鲁藏布江水沙过程的非平稳演变及其驱动机制

熊东红^{1*}, 赵冬梅¹, 张闻多¹

1 中国科学院大学, 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所

* dhxiong@imde.ac.cn

青藏高原作为“亚洲水塔”, 不仅是全球气候变化的敏感区, 也是我国乃至亚洲生态安全屏障的重要组成部分。该区正在发生的气温升高、降水模式改变、冰冻圈退化等气候及环境变化, 深刻影响着寒区河流水沙的动态过程。雅鲁藏布江流域(雅江)是青藏高原最大河流, 生态环境脆弱, 水文过程响应机制复杂。系统揭示其水沙演变及其对气候变化、冰冻圈退化及植被恢复驱动机制, 对于深入理解该区域及下游地区水-能源-粮食系统生态安全至关重要。研究基于雅江流域拉孜、奴各沙、羊村与奴下四个典型水文站 1955—2020 年的水沙观测资料, 查明了近 65 年来流域水沙通量的时空变化特征, 解析其源汇过程, 揭示气温、降水、蒸散发、积雪融化及植被恢复等因子对水沙输移的耦合响应关系。通过多尺度时频分析, 厘清水沙过程的非平稳性特征, 定量识别主控因子的时段性转换。

研究表明, 雅鲁藏布江流域水沙过程在气候变化与生态恢复双重驱动下呈现显著的空间异质性。观测数据显示, 流域内主要水文站点径流普遍上升, 而悬浮泥沙通量则表现出上下游分异: 下游悬浮输沙量正以每年 12.3×10^4 t/yr 速度显著降低, 中上游悬浮输沙量则呈上升趋势; 拉孜-日喀则段贡献约 80% 的泥沙通量, 是主要泥沙来源区; 羊村-奴下段以泥沙沉积为主, 拦截上游约 17% 的泥沙。多因子归因分析表明, 流域上游气温升高与积雪融化的协同作用在一定程度上缓解了降水减少对径流与泥沙的负面影响; 中下游区域则因降水增加而显著加剧径流响应。植被恢复对水

沙通量的调节呈现明显的时空尺度依赖性: 羊村站在整个研究期内与径流和输沙通量持续负相关, 奴下站在 1985—2005 年表现出 1—2 年和 6—10 年周期的显著负相关, 而奴各沙(1960—1996)与拉孜站(2000—2020)在 1—2 年周期内则呈现正相关。进一步分析显示, 1998 年前流域水沙变化以气候因子(尤其是气温与降水)主导, 1998 年后下游降水增加驱动径流上升, 而下游泥沙减少主要归因于植被恢复。研究揭示了寒区流域水沙演变的时空耦合机制, 为高寒山区水资源管理、水土保持与生态系统修复提供科学支撑。

S33-O-10

雅鲁藏布江流域的水系矢量数据研制与季节尺度变化分析

陈曦¹, 胡秋岭^{2*}, 崔要奎³

1 中国科学院空天信息创新研究院, 遥感与数字地球全国重点实验室

2 北京师范大学, 地理科学学部

3 北京大学, 地球与空间科学学院

* 1328785338@qq.com

雅鲁藏布江流域作为世界上海拔最高的跨境河流系统, 对中国西南地区的水资源储备具有举足轻重的作用, 在生态、环境、人文及战略上具有重大价值。本研究基于 2001 至 2020 年全球地表水数据集(Global Surface Water, GSW)以及数字高程模型(DEM)等多源遥感数据, 首次实现了雅鲁藏布江流域季节尺度的长时序水系矢量数据研制。在此基础上, 通过对矢量数据的形态学及拓扑特征分析, 反映了该流域三级阶梯式分布的子流域水系的季节变化和空间差异。本研究首次在流域尺度以季节为时间间隔分析地表河流水系的拓扑敏感性、整体性和分离性, 以及水系网络节点的平均度、特征路径长度等定量特征演变, 有助于深入理解地质地貌、气

候变化和人类活动对高海拔跨境河流的深刻影响。

S33-O-11

基于 SSP-PLUS 的黄土高原土壤侵蚀模拟

张洵^{1,2}, 何洪鸣^{1*}, 高照良^{2,3*}

1 华东师范大学, 地理科学学院

2 西北农林科技大学, 水土保持科学与工程学院

3 中国科学院水利部水土保持研究所

* hmhe@geo.ecnu.edu.cn

* gzl@ms.iswc.ac.cn

[背景] 土壤侵蚀是目前全球土壤所面临的重大威胁, 是最常见的土地退化形式之一。其受到自然因素(如气候变化)和人为因素(如土地利用变化)的共同影响。如何有效减少土壤侵蚀、提升土壤保持功能是维系生态系统稳定的关键要素。作为我国土壤侵蚀最严重的区域之一, 黄土高原地形气候等自然条件复杂, 人类活动频繁, 变化情景下地区土壤侵蚀量仍有待补充。[方法] 本研究以黄土高原为研究对象, 以 2020 至本世纪中叶(2050 年)为研究时段, 通过构建 PLUS 模型模拟的土地利用数据与降尺度后的 CMIP6 气候数据, 耦合不同的土地利用情景及未来气候情景(SSP126-EP, SSP245-NG, SSP585-EG), 结合通用土壤流失方程模型估算了未来 30 年不同情景下的土壤保持价值。[结果](1) 多模式集合平均模式(MME)对未来降水量模拟效果的可靠性更高。各情景下未来降雨量空间上与历史时期类似, 但是有向西南方向偏移的趋势, 空间呈南高北低的特征; 降雨量在时间上尺度至本世纪末均呈显著升高趋势, 其中 SSP585 增幅最大, 于黄土高原西南及东南部分区域有显著的增加趋势, 而 SSP126 最为稳定。不同情景土地利用的结果表明未来情景下黄土高原土地利用分布总体与过去整体格局一致, 但是在部分区域产生了较为明显

的变化。(2) 各时段各情景土壤侵蚀分布格局类似, 大多集中于中部的黄土丘陵沟壑区(陕西北部), 而在 SSP585-EG 情景下西南部区域强烈侵蚀的区域面积增大。就 2020-2050 平均侵蚀量而言, $SSP245-ND < SSP126-EP < SSP585-EG$, 其中 SSP126-EP 时段间波动较大, 三个时段平均侵蚀量分别为 20.23、17.68、20.42 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$, 呈“V”型; SSP245-ND 与 SSP585-EG 呈逐时段增加趋势, 相较而言 SSP585-EG 变化更大, 平均侵蚀量分别为 17.64、20.26、22.46 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。侵蚀面积演变情况与上述情况类似, SSP126-EP 下的侵蚀波动性较强, SSP245-ND 与 SSP585-EG 下的侵蚀有加剧的情况, 而 SSP245-ND 相较于后者增长较为缓慢。[结论] 结果揭示未来黄土高原土壤侵蚀在 SSP585-EG 及 SSP245-ND 可能会加剧, 在南部部分区域需要重视并采取措施应对。上述结果可为实施水土保持政策及未来土地利用规划提供相关理论依据及实践指导。

S33-O-12

黄河中游能源化工区生态系统土壤保持服务的时空特征

朱明勇^{1*}

1 嘉应学院, 地理科学与旅游学院

* 271695861@qq.com

土壤侵蚀是黄河中游地区的一个重要环境问题, 对该地区的生态安全和可持续发展具有重要影响。土壤保持服务是生态系统提供的最重要的调节服务之一, 其时空特征研究对黄河中游地区的土壤侵蚀控制和生态系统保护起重要作用。在过去几十年里, 黄河中游地区实施了多个生态恢复项目(如退耕还林还草), 使该地区生态系统的土壤保持服务得到改善。这种变化需要得到有效的评估。通过通用土壤流失方程(USLE)和基于各种数据集(如遥感图像、DEM、气候和土地利用/覆盖图)

的地理信息系统（GIS）操作，对土壤保持服务进行了定量空间分析。将生态系统的土壤保持量（通过潜在土壤侵蚀量（无植被覆盖时的侵蚀）减去实际土壤侵蚀量得到）作为土壤保持服务的指标。结果如下：

（1）2000 年，研究区的土壤保持服务总量和平均能力分别为 72.2 亿吨/年和 142.2 吨/公顷·年，2010 年分别为 101.9 亿吨/年和 200.8 吨/公顷/年。研究区东南部的土壤保持能力远高于西北部；（2）森林生态系统表现出比其他类型生态系统更高的土壤保持量。此外，生态系统的土壤保持量随着坡度的增加而增加。（3）不同单元（生态系统、坡度带和行政区）的土壤保持率（土壤保持与潜在土壤侵蚀的百分比之比）的变化相对较小，研究区的生态系统保留了约 90% 的潜在侵蚀土壤。（4）研究区土壤保持服务的空间特征主要受区域尺度上的地形控制。研究表明，生态恢复工作显著提高了研究区生态系统的土壤保持服务能力。

S33-O-13

解译“悬河”：末次盛冰期以来黄河下游平原形成演化、黄河改道与史前文明

赖忠平^{1*}

¹ 汕头大学，海洋科学研究院
* zhongping_lai@stu.edu.cn

黄河已是‘悬河’，其治理是国家战略。黄河下游平原末次盛冰期以来气候-海平面-人类活动耦合下的侵蚀-沉积模式是理解黄河改道、史前文明和悬河治理的关键。其过程包括冰期溯源侵蚀、冰消期-早中全新世河谷充填-并开始出现泛滥沉积、和晚全新世频繁决堤泛滥。目前对这些过程和机制尚不清楚，尤其缺乏系统的、高分辨率的年代学研究。本研究通过对从郑州到黄河入海口二十多个钻孔的高分辨率年代学、

沉积学、及研究区遗址资料等集成分析，重建了光和下游平原 LGM 以来的侵蚀-沉积模式。本研究将报告以下几个研究议题的结果：（1）黄河何时开始改道泛滥？

（2）黄河何时开始夺淮入海？（3）~4.2 ka 史前文明崩溃与洪水或气候的关系如何？

（5）LGM 低海面时黄河溯源侵蚀的范围、过程和机制。由于 LGM 时长江的溯源侵蚀可达江汉平原的枝江（Lai et al., 2025, Headward incision of large rivers in response to glacial sea-level fall. Science Advances, in press），那么，黄河呢？本研究将为悬河、改道和黄河三角洲及滨海治理和风险管控等迫切问题提供决策的基础数据。

S33-O-14

亚洲大河泥沙通量变化与修复策略

吕喜玺^{1*}

¹ 新加坡国立大学地理学，内蒙古大学
* geoluxx@nus.edu.sg

在气候变化与人类活动共同作用下，亚洲大河的泥沙通量发生了显著变化。在青藏高原和喜马拉雅山等高山源头区域，河流泥沙通量呈现上升趋势。然而，由于大量水电工程的建设，这些增加的泥沙难以顺利输送至下游以及沿海地区。为此，亟需通过排沙等调度措施，加强泥沙向下游及沿海区域的输送。我们建议重新评估当前大坝设计中普遍采用的大容量死库容模式，提倡采用较小死库容的设计理念。这一调整将有助于缓解下游泥沙匮乏的问题，从而为应对三角洲下沉和相对海平面上升提供有效缓冲。

S33-O-15

黄河流域生态系统变化与生态水文响应

朱求安^{1*}, 詹豪¹, 王乐¹, 任立良¹, 薛凯², 颜亦琪³, 王艳芬²

1 河海大学

2 中国科学院大学

3 黄河水利委员会水文局

* zhuq@hhu.edu.cn

全球范围内, 生态系统变化的区域水文响应的日益受到关注, 植被面积变化与生长状态改变对水文过程影响的分离与量化仍不明确。本研究利用整合了汇流过程的动态植被模型, 定量解析黄河流域草地生态系统变化对水文过程的影响机制。结果表明: 1981-2020 年间尽管草地表面积略有减少, 但 2000 年后草地生长状况(以叶面积指数表征)呈现改善趋势。草地变化(含面积与生长状态)使土壤储水量和蒸散发整体增加 2.03%和 5.66%, 其中 2000 年后增幅达 2.90%和 9.40%; 同时导致径流量整体减少 2.41%, 2000 年后降幅加剧至 4.3%。在四十年研究期内, 草地生长状态变化对径流变化的贡献率约 95%, 显著高于草地面积变化的影响。不同草地退化情景模拟表明: 退化会减少蒸散发与土壤储水从而增加径流, 而草地恢复则呈现相反效应。

S33-O-16

黄土高原典型地貌区坡面土壤侵蚀特征与驱动机制分析

何琪琳^{1,2*}, 张风宝²

1 河海大学

2 中国科学院水土保持研究所

* heqilin1203@163.com

在黄土高原典型区, 坡面土壤侵蚀过程在不同地貌类型与多等级降雨条件下呈现出显著的空间异质性。降雨为主导驱动因子, 既通过直接效应诱发产流过程, 又通过径流路径对侵蚀过程产生间接增强作用。地形因子, 特别是坡度与坡向, 对坡

面产流产沙过程具有重要调节功能, 南坡与西坡区域流失强度显著增强。土地利用类型在水土保持功能上差异明显, 裸地对降雨和地形扰动最为敏感, 森林、果园和灌丛地依托植被覆盖与根系固土效应, 展现出较强的控蚀能力与过程稳定性。

各类地貌单元对不同水文与地表情景的响应机制存在显著差异。丘陵沟壑区(HG)在高强度降雨、高坡度及耕地、裸地条件下表现出最强的产流产沙能力, 是黄土区主要的侵蚀风险源; 土石山区(RM)对极端降雨和植被破坏高度敏感, 水土过程波动大, 需加强重点防护; 沙地沙漠区(SD)因表层结构疏松、抗蚀力低, 在中高坡度和裸地条件下易发生严重流失; 河谷平原区(VP)在缓坡与汇流区虽整体产流能力偏弱, 但在暴雨与特定坡向条件下仍存在集中侵蚀风险; 高塬沟壑区(GR)在各类组合情景下均维持低强度、低波动的水土响应, 反映出其坡面结构完整性与调蓄控蚀能力优势。

结构方程模型分析表明, 径流是连接降雨与土壤流失过程的核心中介变量, 在 RM 区表现出最大直接效应(0.74), 表明其在侵蚀路径中的主导地位。土地利用类型通过削弱地表植被结构、破坏土壤抗剪强度, 间接增强产流与侵蚀过程, 在 RM、VP 与 SD 区域表现尤为显著。植被因子在多数地貌类型中对径流与侵蚀具有显著的直接抑制效应, 在 RM、HG 与 GR 区调控能力最强。地形因子影响则因地貌差异呈现空间分异性, 其中 GR、RM 与 SD 区以正向促进水土过程为主, VP、HG 与 LP 区则体现出一定的负向调节作用。

本研究结果为区域水土保持与土地资源管理提供了重要理论依据与实践导向。建议针对高风险区域(如 HG、RM、SD), 优先实施地形坡改、植被恢复和生态护坡工程, 遏制极端降雨驱动下的侵蚀波动; 在 VP 区域应注重建设小流域拦蓄与汇流调控系统, 防范暴雨集中径流引发的突发性侵蚀; 在 GR 等稳定区域, 应维持现有土地利用结构, 强化系统调蓄功能。未来土

地利用优化应坚持“生态优先、因地制宜、分类管控”的原则，提升不同地貌单元水土系统的韧性与稳定性，实现黄土高原地区水土资源的可持续管理与生态功能提升。

S33-O-17

晚全新世人类活动范围扩张 促进珠江三角洲发育的环境 磁学证据

李明坤^{1*}

¹ 岭南师范学院，地理科学学院

* limk@lingnan.edu.cn

晚全新世人类活动向大河流域中上游扩张引发内陆侵蚀加剧，导致全球主要三角洲普遍出现加速充填与物源重组现象。珠江作为华南最大水系，其独特的地质背景为研究流域侵蚀-三角洲沉积响应机制提供了理想窗口：西江中上游地区覆盖全球最大的连片岩溶区，而西江下游、东江、北江流经华南花岗岩地区。尽管有研究发现近千年来我国西南岩溶区侵蚀加剧，但这是否加剧了珠江三角洲快速发育，在以往研究中未受到足够的重视。为此，本研究通过环境磁学分析，构建可靠的物源指标，为人类活动范围扩张促进珠江三角洲发育提供关键证据。

首先，基于现代珠江全流域沉积物磁性特征数据库，系统建立了岩溶区与花岗岩区的磁学指纹识别模型，发现岩溶区沉积物磁化率值较高、磁铁矿占比较多等特征。然后，通过对珠江三角洲主要沉积区——西部平原 C01 孔及陆架区 GZF251 孔的磁学分析，结合已发表钻孔数据发现：1) 过去 3 ka 沉积序列中，磁学参数呈现向岩溶区端元显著偏移趋势，其中近 1 ka 磁性增强的信号尤为显著；2) 陆架区物源转换较三角洲平原滞后约 1 ka，揭示珠江口阶段性充填的过程；3) 在排除成岩作用对磁性信号的影响后，证实磁学参数变化忠实

地反映了物源变迁。这与历史文献记载及湖沼沉积重建结果高度吻合，即珠江三角洲显著的人类活动信号出现在 2 ka BP，而西南岩溶区的大规模农业开发始于宋代（约 1 ka BP）。最后，结合史料推测，由于秦国入侵南越国、安史之乱等战争的影响，在约 2 ka BP 和近 1 ka BP 的两次中原向华南的大规模移民不仅加剧了流域侵蚀，也促进岩溶区侵蚀的泥沙向珠江口的输入。

本研究发现岩溶区侵蚀对珠江三角洲演化的关键驱动作用，提出大河三角洲发育研究应突破传统的“流域人为侵蚀加剧—三角洲发育加速”的二元模式，应建立全流域-三角洲-陆架系统的全链条分析框架。

S33-O-18

冰期低海平面时黄河的溯源 侵蚀能到郑州吗？

刘岳昕¹，赖忠平^{1*}

¹ 汕头大学，海洋科学研究院，海洋灾害预警与预防广东省重点实验室

* zhongping_lai@stu.edu.cn

冰期-间冰期旋回中的气候与海平面变化是驱动大河冲积平原侵蚀/堆积过程的重要营力。黄河是世界上最大的河流之一，其下游形成了“地上悬河”，河床高出周围地面约 3-13 米的。地上悬河一旦发生决口，将对数亿居民的生命财产安全构成重大威胁。研究全球气候和海平面变化背景下黄河下游演变需要结合高分辨率年代学数据，但目前这类数据十分匮乏。我们在黄河下游平原顶点冲积扇的郑州地区获取了两个钻孔岩芯，应用光释光和放射性碳（¹⁴C）测年方法进行了高分辨率的年代测定，并结合贝叶斯年龄-深度模型构建了钻孔年代框架。高分辨率年代结果揭示了郑州地区的黄河深切河谷中存在约 64-20 ka 的沉积间断。结合已发表的钻孔岩芯年代资料，我们发现类似的沉积间断普遍存在于黄河下游的古深切河谷中，并且深切河谷的谷

深由海向陆变浅、所含的沉积间断横跨了海平面下降和低海平面时期。我们推测这源于末次冰期海平面下降引发的黄河溯源侵蚀。这一深切河谷可延续到位于黄河中游的、距现代海岸线约 737 km 的孟津地区,即冲积平原到基岩河道的转换区域。黄河下游深切河谷中,在约 20-16 ka 期间沉积了约 15-10 m 厚的沉积物,这层沉积物由陆向海变薄,是在冰消期早期气候变暖的驱动下、在深切河谷快速充填的结果。地貌动力学模拟的结果表明,冰期海平面下降引发的长期溯源侵蚀作用与亚轨道尺度气候变化引起的堆积/侵蚀旋回共同塑造了小浪底以下的黄河下游平原的侵蚀/堆积历史。这与 LGM 时长江的溯源侵蚀可到达宜昌附近的枝江的结论 (Lai et al., 2025, Headward incision of large rivers in response to glacial sea-level fall. Science Advances, in press) 相互印证。

S33-P-1S

黄河夺淮时期里下河入海水系的演变与农业水利响应 (1495—1855)

杨旭杰^{1*}

1 上海师范大学, 人文学院
* 1595256337@qq.com

[摘要] 里下河地区是淮河下游里运河以东较为独立的流域,其入海水系沟通了范公堤以西的里下河平原和堤东的滨海平原,主要的入海河流有射阳河、新洋港、斗龙港、王家港和竹港。明中期以降,黄河南徙水沙成为里下河入海水系演变的主要营力,显著改变了其河流形态。巨量水沙涌入里下河地区,致使里下河平原湖荡淤浅,水患严峻;黄河三角洲迅速延伸,尾闾决口南徙,淤高南岸地势,改变了近黄河流的走向;黄河泥沙随潮淤积于江苏海岸,并循河上溯,致使滨海平原加速淤

涨,里下河入海河流河道延展,曲流发育,且为潮沙壅塞,泄水不利。为宣泄里下河积水,抵御咸潮上溯,人类对里下河入海水系进行治理,疏浚河道、改易河形,增开范公堤水口并兴置水闸,一定程度上抵御了自然灾害,缓解了里下河地区的水利矛盾,推动了海岸带农业的发展。由黄河夺淮引发的里下河地区水沙环境的变化,塑造了里下河入海水系的形态,人类水利活动的改变,则是对区域水环境变迁的响应。

S33-P-2S

中全新世环境压力重塑了黄河盆地的定居景观和社会复杂性

周婷婷¹, 崔建新³, 何洪鸣^{1,2*}

1 中国科学院大学, 中国科学院水利部水土保持研究所

2 华东师范大学, 地理科学学院

3 陕西师范大学, 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院

* hongming.mobile@gmail.com

作为中华文明起源的核心区域,黄河流域史前聚落分布模式为理解人地关系演进提供了关键证据。尽管已有研究揭示了该区域聚落的时空扩展特征,但对极端气候事件驱动下的适应性响应机制仍缺乏系统性探讨。本研究通过整合考古遗址数据与古环境记录,运用空间统计(核密度估计、最近邻分析)与聚类分析方法,系统重建了前仰韶时期(9000-7000 cal. BP)至青铜时期(4000-2000 cal. BP)黄河流域聚落分布的演化轨迹及其与极端气候变化下的自然灾害关联。结果显示聚落选址呈现明确的气候适应特征,仰韶至龙山时期聚落平均海拔升高 56.9846m、远水遗址点在龙山晚期实现反超,与前一时期差值达 12.3%,与同期洪水沉积记录具有显著时空耦合性。并且侵蚀沉积数据表明,人类活

动加剧了土壤侵蚀的发生，但土壤侵蚀带来的水土流失等环境变化使聚落分布也在发生不断变化。基于土壤沉积数据，黄河流域上游湖泊沉积速率在 8000-3000 BP 期间呈现显著高值区间（0.08-0.125 cm/a），峰值达到 0.125 cm/a。中游地区 8000-6000 BP 期间土壤沉积速率达到全世最大值（0.15-0.8 cm/a），该时段形成的肥沃冲积层为史前农业提供了理想的生产基底，这与仰韶文化（7000-5000 BP）的兴盛期形成显著时空耦合关系，下游沉积地区在社会发展中起到重要支持作用。研究表明，全新世中期气候波动通过改变洪灾频率与农业边际，驱动史前社会采取高程迁移、群体分化等适应性策略，这种环境压力与政权扩张的协同作用最终促成早期国家在黄河中下游的孕育。

S33-P-4S

拉萨河流域水沙变化及其影响因素分析

张闻多¹，赵冬梅¹，张宝军^{1*}，熊东红^{1*}

¹ 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所

* bjzhang@imde.ac.cn

* dhxiong@imde.ac.cn

定量归因气候变化和人类活动对流域水沙变化的影响，对流域制定未来的管理措施至关重要，尤其是在生态脆弱的高寒地区，其更易受到气候变化和人类活动的影响。研究分析了 1956-2020 年拉萨河流域径流和泥沙的时空变化及其潜在影响因子（降水、潜在蒸散发、土地利用和水库）的变化；利用 SWAT 模型定量评估了其对径流和泥沙变化的贡献。结果表明：1956—2020 年，径流量和输沙量年际变化呈不显著的增加趋势；年降水量和潜在蒸散发呈显著增加趋势，分别以 0.94 和 1.07 mm/yr 的速率增加；由于生态工程的实施，土地利用变化主要表现为林地面积增加，其次是草地和裸地面积减少。研究发现流

域径流和泥沙在 1995 年和 2005 年前后发生突变，因此将研究期进一步划分为基准期(P₀, 1956-1994)、变化期 I(P₁, 1995-2004)和变化期 II(P₂, 2005-2020) 3 个子阶段。归因分析表明，气候变化是 1995-2004 年流域径流和泥沙增加的主导因素。LULC 导致 1995-2020 年流域径流和泥沙下降，其贡献分别从 P₁ 的 0.40%和 4.73%显著增加到 P₂ 的 50.24%和 51.79%。水库运行是 2005-2020 年径流和泥沙减少的次影响因素，分别贡献 42.07%和 43.72%。研究结果为合理调控水资源提供了科学依据，为流域生态工程实施效益评估提供了数据支撑。

S33-P-5S

黄河口堆积“变奏”：晚全新世内百年尺度跃变

林鹏辉¹，赖忠平^{1*}

¹ 汕头大学，海洋科学研究院

* zhongping_lai@stu.edu.cn

河口三角洲沉积速率的变化为研究流域人类活动与三角洲响应提供了窗口。尽管已有研究指出晚全新世黄河三角洲存在快速堆积，但受限于该时期有限的高分辨率年代学资料，关于沉积速率突变的具体时段及其驱动机制仍不清晰。本研究基于黄河三角洲三个钻孔的高分辨率光释光年代学数据，识别出~3-1.5 ka 形成了~20 m 厚的沉积物：沉积速率在~3-2 ka 相对稳定，约为 9.2 mm/a；而在 2-1.5 ka 突增至约 24.2 mm/a，为 3-2 ka 的 2.6 倍。与收集的多种指标记录对比，我们认为人类活动通过改变流域沉积物供应与输送主导了河口三角洲的堆积：在 2-1.5 ka，农业活动与冶铁活动的加剧显著增加了沉积物供应；同时，河道筑堤工程增强了河道内沉积物向下游的输送。这些过程与降水量降低的背景趋势叠加，加速了黄河三角洲的建造。

S33-P-6S

黄河何时夺淮入海

刘博慧¹, 李茜茜¹, 赖忠平^{1*}

¹ 汕头大学, 海洋科学研究院

* zhongping_lai@stu.edu.cn

冰期与间冰期的气候和海平面波动, 重塑了低地平原的沉积-侵蚀过程和水系 (Lai et al., 2025, Headward incision of large rivers in response to glacial sea-level fall. Science Advances, in press)。黄河河道以鲁中山脉为界, 在华北平原 (现代黄河以北的平原区) 和黄淮平原 (现代黄河以南到淮河主流之间的平原区) 之间频繁迁移。以前的沉积学与年代学研究多集中于黄河北流区域的华北平原, 可对现代黄河以南的黄淮平原的沉积演化以及黄河南流夺淮入海的研究相对匮乏。本研究选取济宁地区 (两个钻孔) 和周口地区南部 (一个钻孔), 运用释光测年建立钻孔的年代框架, 并进行沉积相分析, 探究黄河夺淮入海的年代。同时整合区域钻孔年代学数据, 初步重建了末次盛冰期 (LGM) 与 4 ka 时期的地表高程。研究发现, 3 个钻孔的年代学与岩性分析都显示了 > 30 - 7 ka 的沉积间断, 并在此阶段形成了风化的硬粘土。济宁钻孔分别在 7 ka 和 5 ka 开始出现间歇性洪泛沉积, 而周口南部钻孔直至 1 ka 以来才接受洪泛沉积。结合钻孔年代与古地貌重建, 我们初步厘定了黄河夺淮入海的起始年代。我们认为, LGM 至全新世中期 (20 - 7 ka), 黄河主河道位于现代黄河以北地区, 这是由于在 7 ka 以前北部平原区由于经历了 LGM 的溯源侵蚀, 地面高程低于南部的黄淮平原, 因而黄河不南泛; 周口地区 LGM 古高程 (砂姜土地表) 分别高于两侧的黄河古河道和淮河古河道, 并发育了分别流向黄河和淮河的小支流; 全新世中期 (7 - 4 ka), 黄淮平原东部的济宁地区开始出现有黄河洪水, 但黄河的南流影响范围小、且沉积厚度不足 0.5 m; 约 4 ka 以来, 黄河开始拥有了南北泛滥的自由。

S33-P-7

东江流域罗浮镇河流水环境承载率评估与生态补偿

何文鸣^{1*}, 朱明勇¹

¹ 嘉应学院, 化学与环境学院

* hwmjim@163.com

评估了东江流域罗浮诸河监测断面作为评估断面, 罗浮镇水环境综合承载力的高承载区主要在中部的浮中村、高坑村及勤光村等部分区域, 而低承载区主要分布在南部的练优村、东部的中和村、新南村等部分区域。

对 11 条主要河流水环境承载力评估与预警结果表明了河流 COD 环境承载力、氨氮环境承载力、总磷环境承载力、综合水环境承载力均富余。25.0%<COD_{AVG}=41.4%<67.8%, 10.5%< 氨 氮 _{AVG}=27.8%<56.6%, 15.0%< 总 磷 _{AVG}=38.5%<93.2%。26.2%<综合水环境承载力 _{AVG}=41.9%<84.4%。综合水环境承载率及预警等级: 罗浮河综合环境承载力处于比较紧张状态, 实施黄色预警 (微警)。信西河综合承载力略超过 50%, 实施比较充裕的蓝色无警蓝色区间。

东江流域横向生态补偿机制将在流域内废弃矿山综合治理、污染治理、水土流失、农村环境综合整治、绿化造林发挥越来越重要的作用。在水源地补偿标准设计时, 应综合考虑罗浮河作为东江上游的一部分的生态环境建设投入为提供高标准供水服务而实施的环境综合整治、农业非点源污染治理、城镇污染处理设施建设和运营、水利设施修建等项目的投入成本; 同时包括发展机会成本为实现水质水量达标供应所需的移民安置投入、限制产业发展造成的损失, 产转型的成本等。

S33-P-8

泥沙情势改变与鄱阳湖的干旱化

戴仕宝^{1*}

¹ 滁州学院, 地理信息与旅游学院
* shibaodai@163.com

In river systems, water and sediment are closely interrelated. The state of water and sediment determines the evolutionary trajectory of a river basin, and changes in these conditions can lead to transformations in the basin's structure. Poyang Lake, the largest freshwater lake in China, has its formation and evolution closely linked to the development of the Yangtze River Basin. In recent years, Poyang Lake has exhibited a noticeable trend towards aridification, drawing significant attention from researchers. This paper systematically analyzes and summarizes relevant studies, concluding that changes in sediment dynamics are responsible for the aridification of Poyang Lake. As the human-induced changes in sediment conditions are irreversible, the trend towards aridification in Poyang Lake is likely to persist.

S33-P-9S

基于多源数据融合与机器学习的高黎贡山生态系统动态风险评估研究

程栋¹, 何洪鸣^{1*}

¹ 华东师范大学, 地理科学学院
* hmhe@geo.ecnu.edu.cn

高黎贡山地处横断山区与中缅边界, 是我国西南地区重要的生态安全屏障和生物多样性热点区域。受全球气候变化和人类活动影响, 该区域生态系统正面临结构

退化、功能弱化和潜在风险加剧等问题。为全面掌握高黎贡山生态系统现状及其演变趋势, 提升生态安全管理与预警能力, 本文构建了集生态系统组成调查、服务功能评估与风险预警于一体的综合研究框架。

本研究融合遥感影像、气象、土壤、土地利用与物种分布等多源数据, 建立高黎贡山生态系统基础数据库。在野外样带与样方监测的基础上, 采用物质量核算方法与 NPP 定量指标法, 对涵养水源、固碳释氧、生物多样性保护等关键服务功能进行系统评估。进一步引入随机森林、卷积神经网络等机器学习模型, 识别生态系统的风险因子, 划分风险等级, 并预测未来不同情景下的生态变化趋势。研究最终构建了高黎贡山生态系统动态监测平台, 提出生态风险预警体系和管理建议。成果可为典型脆弱生态区的保护修复、优先区识别和区域生态安全战略提供数据支撑和决策参考。

S34-O-1

亚热带山溪性河流沉积物的产生机制及其源—汇过程：矿物学示踪

简星^{1*}

¹ 厦门大学, 海洋与地球学院
* xjian@xmu.edu.cn

我国东南沿海地区具有构造背景的多样性（大陆一侧构造稳定、台湾构造活跃），发育了多条岩性差异巨大的中小型山溪性河流，受季风-台风双重控制，近岸海域受强潮、沿岸流、暖流、上升流等复杂海水动力的影响，是研究自然变化与人类活动等多因素控制下的山溪性河流-近海沉积源-汇系统的理想区域。本报告将就“山溪性河流沉积物如何产生，源-汇过程如何影响入海沉积物组成”这一关键科学问题，汇报课题组在福建入海河流现代沉积体系

研究中所取得的最新成果和认识, 解剖地表流域沉积物的产生过程和机制, 探讨亚热带多因素背景下的山溪性河流-近海沉积源-汇过程。

S34-O-2

中国东部边缘海陆架释光和 ^{14}C 测年对比及晚第四纪地层厘定

王中波^{1*}, 唐楠¹, 林鹏辉¹, 李日辉², 梅西², 吴淑玉³, 褚宏宪³, 孙军², 陆凯², 赖忠平¹

1 汕头大学, 海洋灾害预警与防护广东省重点实验室

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

3 烟台海岸带地质调查中心

* zhbwang@stu.edu.cn

可靠的年代学对于重建海洋沉积过程和海平面波动至关重要, 但目前中国边缘海陆架晚第四纪沉积地层厘定存在争议。本文基于北黄海中部的 DLC70-2 孔和东海外陆架 TBF-1 孔沉积物, 分别开展 AMS ^{14}C 、石英光释光 (OSL) 和长石后红外释光 (pIRIR) 测年进行地层厘定。其中, 对比 DLC70-2 孔岩性特征和有孔虫组合, 识别出三个海侵层 (U1、U3 和 U5)。U1 沉积单元中 2 个 OSL 年龄和 6 个 AMS ^{14}C 年龄分布在 4.9-10.3 ka 之间, 表明其为 MIS1 海相沉积。U2 的 3 个 OSL 和 1 个长石 pIRIR 年龄介于 45.1-67.0 ka 之间, 表明其形成于 MIS 4- MIS 3 早期。由于石英 OSL 信号饱和 ($D_e > 150 \text{ Gy}$), U3 单元 5 个 OSL 年龄指示 53 ka 最小年龄, 但上部 75.8 ka 的长石年龄表明其形成不晚于 MIS 5。OSL 和 ^{14}C 年龄交叉对比显示, 前全新世沉积物的 ^{14}C 年龄存在低估现象。U5 的 190.7 ka 长石年龄表明其最晚形成于 MIS 7。对比渤海和黄海 10 个岩芯发现, 其晚第四纪以来的地层和环境演变与周边海岸黄土/古土壤演变年代一致。东海 TBF-1 孔 17 个

OSL 年龄和 15 个 ^{14}C 年龄对比显示, OSL 年龄在 2.00 至 28.00 m 范围为 9.5 - 67.3 ka, 而 ^{14}C 年龄在 0.02 - 17.52 m 范围为 6645 - 41435 cal a BP。回归分析表明, OSL 和 ^{14}C 年龄具有高度一致性, r^2 值分别为 0.91 和 0.90。对于全新世沉积物, OSL 和 ^{14}C 测年均适用, 但 ^{14}C 年龄也存在年龄偏轻现象。对于全新世以前的沉积物, 在 OSL 信号饱和范围 (D_e 值 $< 166 \text{ Gy}$) 内, 对比长石后红外释光 (pIRIR) 测年, OSL 年龄是可靠的。然而, LGM 河流相沉积物的贝壳 ^{14}C 年龄 (11620 - 10390 cal a BP) 被显著低估, 这是由于其易发生重结晶和过度生长, 导致与环境发生碳交换。而三角洲沉积的泥炭层 ^{14}C 年龄被确定为 36420 cal a BP, 与对应的 OSL 年龄 ($39.6 \pm 3.9 \text{ ka}$) 一致。因此, 通过对那些被低估的 ^{14}C 年龄和饱和 OSL 年龄的评估, 我们重新厘定了我国东部陆架主要的沉积相及其各自的形成时期, 其与海平面升降 - 冰川周期表现出显著的一致性。

S34-O-3

东亚大陆架物质再循环示踪研究

李乐^{1*}, 李芳亮^{2*}, 杨守业³

1 中国科学院海洋研究所

2 海南热带海洋学院

3 同济大学

* lile@qdio.ac.cn

* fangliang@hntou.edu.cn

东亚边缘海沉积记录普遍显示, 在冰期-间冰期旋回中, 化学风化强度存在显著差异: 气温较低、降水较少的冰期, 风化强度却普遍高于温暖潮湿的间冰期, 这一现象与经典风化理论相悖。为解释这一反常现象, 近年来提出了“沉积物再循环”假说, 认为陆架出露区沉积物的再搬运过程可能在风化信号中起到关键作用。然而, 迄今关于冰期物质再循环的直接证据仍较

为缺乏。本研究聚焦于黄海陆架 CSDP-2 钻孔所揭示的近 140 ka 以来沉积序列,利用铀(U)-钕(Nd)同位素联合示踪技术,追踪物质搬运过程。结果显示,不同时期沉积物的 Nd 同位素特征保持一致,表明碎屑物质的源区未发生显著变化。U 系同位素破碎年代学计算结果则揭示,冰期沉积物的搬运时间显著长于间冰期。此外,结合年代学分析发现,冰期沉积层存在明显的沉积间断。这些证据共同表明,冰期期间由于海平面下降导致大陆架暴露,早期已沉积物再次出露并经历剥蚀—搬运—再沉积过程,进而增强了风化信号。本研究为理解边缘海“源—汇”系统对海平面变化的响应机制提供了新视角,并揭示了陆架沉积物再循环在调节碳埋藏通量及其对全球气候反馈中的潜在作用。

S34-O-4

侵蚀砂箱物理模拟方法在造山带侵蚀动力学研究中的应用

闫兵^{1*}

1 西安石油大学,地球科学与工程学院
* byan@xsyu.edu.cn

造山带作为大陆和大洋沉积盆地碎屑物质的核心物源区,其侵蚀动力学过程直接控制着沉积物通量的空间分配特征及源-汇体系的耦合机制。然而,该过程涉及构造隆升、地表侵蚀与气候系统的相互作用,其动力学机制受到多种因素的协同影响。侵蚀砂箱物理模拟实验是 21 世纪以来快速发展的一种正演模拟方法,被广泛应用于造山带构造、气候、侵蚀相互作用的研究,研究内容包括:(1)造山带抬升速率和降雨速率对剥蚀过程的控制作用,(2)侵蚀基准面变化对地貌均衡状态和剥蚀过程的影响,(3)对分水岭迁移对造山带两侧降雨不均匀分布的响应,(4)走滑挤压作用

对造山带流域特征和分水岭迁移袭夺的控制作用,等多个方面,并且取得了重要的理论认识。本研究利用侵蚀砂箱物理模拟方法对青藏高原北部的河流地貌演化进行了研究,揭示了走滑断层边界对侵蚀过程及其动力学机制、源-汇体系变迁和盆山耦合等方面的控制作用,为系统研究造山带侵蚀动力学机制提供了重要的方法参考和理论启示。

S34-O-5

第四纪冰期—间冰期旋回中孟加拉扇—印度扇颗粒有机碳源—汇过程及其驱动机制

张斌^{1,2}, 徐兆凯^{1*}, 于兆杰^{1*}, 杨逸飞^{1,2}, 万世明¹

1 中国科学院海洋研究所
2 中国科学院大学,海洋学院
* zhaokaixu@qdio.ac.cn
* yuzhaojie@qdio.ac.cn

作为喜马拉雅山-青藏高原风化剥蚀产物的主要沉积区域,世界上最大的两个海底扇—孟加拉扇和印度扇中颗粒有机碳埋藏研究对于理解全球碳循环和气候演化具有重要意义。本文基于典型岩心沉积物的有机质碳同位素、总有机碳含量及其物质堆积速率等指标,揭示了该区域第四纪冰期-间冰期旋回中不同来源颗粒有机碳定量源-汇过程及其机理。结果表明:所研究有机碳主要来自陆表 C3 和 C4 植被以及海洋浮游植物;其中陆表 C4 植被成因有机碳的贡献比例在冰期(间冰期)阶段相对较高(低);陆表 C3 植被和海洋来源有机碳的贡献率则呈反相变化;陆源和海源有机碳物质堆积速率均在冰期增加而间冰期降低。研究区颗粒有机碳埋藏通量的轨道尺度变化主要受喜马拉雅山-青藏高原冰川剥蚀和季风降水驱动,前者控制着陆源有机碳和营养物质的入海以及海洋生产力变化,而后者则影响着陆源区的植被类型及其所形成有机

碳的保存状况。基于定量估算可知,第四纪冰期阶段该区域颗粒有机碳埋藏通量约为 0.8×10^{12} mol/year, 约可占当时大气中温室气体总 CO_2 减少量的 5% (即约 4 ppmv), 而海源有机碳在其中的贡献比例约为 41~45%。第四纪冰期阶段孟加拉扇-印度扇的颗粒有机碳埋藏效应可能是当时碳循环中的一个不可忽视的汇, 从而有助于全球气候的转冷。

S34-O-6

中中新世南亚与北非气候演化的模拟研究

张健^{1*}

¹ 中国科学院青藏高原研究所
* zhangjian@itpcas.ac.cn

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

季风增强, 可以部分地归因于特提斯海道的最终闭合。

S34-O-7

表生系统中铈异常与铈稳定同位素的异同和应用

李文帅^{1*}

¹ 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院
* wenshuai0615@gmail.com

铈异常和铈稳定同位素作为地球化学指示剂, 在陆-海体系的沉积物研究中备受关注。铈异常反映氧化还原环境变化, 常用于重建古海洋氧化状态; 铈稳定同位素 (如 Ce-142/Ce-140) 则揭示物质来源和地球化学循环过程。两者相似点在于均以多价态铈元素为基础, 灵敏记录环境变化; 差异在于铈异常以 Ce^{3+} 到 Ce^{4+} 的氧化作用为核心, 而铈稳定同位素则更关注控制同位素分馏的物理化学过程。目前研究显示铈异常和铈同位素的结合使用有望在表生地球化学研究中发挥更大作用。

S34-O-8

黄土高原和黄河下游叶蜡生物标志物研究和物源指示意义

刘金召^{1*}

¹ 中国科学院地球环境研究所
* liujinzhao@ieecas.cn

叶蜡生物指标已经成为古环境重建和物源解析的主要代用指标之一。其特有的属性包括: 1) 分布广泛; 2) 结构稳定; 3) 物源清晰等。其中, 植物衍生的叶蜡生物标志物成为其中最重要的代用指标被广泛应用。

叶蜡正构烷烃源自叶片表层腊质, 作为单体生物标志物具有明确的分子式和化学属性。我们通过对黄河中游黄土高原全方位的植物和表层土壤叶蜡生物标志物分析发现, 叶蜡生物标志物在黄土高原区域尺度存在显著的“植物类型效应”, 但是季节性变化相对较弱。接着, 我们结合黄河下游不同载体(植物、表土、沉积物和悬浮物)叶蜡生物标志物分析。结果显示: 岸边表土中叶蜡正构烷烃的分子指标反映了其上覆植被的输入; 汛期悬浮物的叶蜡正构烷烃分子指标体现出黄土高原不同地质时期土壤的混合特征, 而受水动力条件影响, 非汛期悬浮物表现出相应的季节性差异, 该研究暗示黄河下游来自黄土高原的物源侵蚀已经从表面侵蚀转化为切向侵蚀。另外, 黄河下游叶蜡正构烷烃氢同位素也存在显著的“植物类型效应”。基于此, 我们发现黄河下游悬浮物中单子叶植物和双子叶植物的物源输入比分别为 70%和 30%。本研究一定程度上为叶蜡生物标志物指示黄河有机质的物源研究提供了新的见解。

S34-O-9

高原流域深部碳释放抵消硅酸岩风化碳汇

钟君^{1*}, 丁虎¹

¹ 天津大学, 地球系统科学学院
* jun.zhong@tju.edu.cn

造山带地区显著的地热活动对地表过程产生显著且深远的影响, 而地热活动对流域碳循环的影响仍缺乏评估。本研究通过对青藏高原南缘雅鲁藏布江水化学及同位素进行分析, 并收集温泉水数据, 以探究深部碳释放对河水碳的贡献进而评估其对地质碳收支的影响。研究发现深部流体显著影响河水化学及同位素组成, 通过化学平衡模型计算可得: 深部碳对干流碱度影响从上游 19.2%到下游 1.4%, 在支流对碱度最高贡献可达 34%。瑞利分馏结果受温

度影响明显, 该研究试图估算深部碳释放最低值, 因此使用温泉口平均温度。利用瑞利分馏模型, 计算可得至少有 82%的深部碳通过脱气作用释放, 剩余 18%以碱度形式混入河流。结合上述结果计算可得, 深部碳释放至少可以抵消~44%的硅酸岩风化碳汇作用。本研究重点阐明构造活动区河流中变质碳的释放作用, 弱化了造山运动加速化学风化的结果, 这一初步结果表明, 在未来的研究中应开展更加系统性的工作以更加精确地评估青藏高原变质碳的通量。

S34-O-10

青藏高原典型湖泊中溶解态 Li 同位素组成特征

张俊文^{1*}, 夏子寒¹, 闫雅妮¹, 赵志琦¹

¹ 长安大学, 地球科学与资源学院
* zhangjunwen@chd.edu.cn

锂(Li)同位素具有指示大陆风化过程的潜力, 是重建地球深时大陆风化强度的重要替代指标。然而, 现代地表过程中 Li 的来源及其同位素分馏的控制因素尚存争议, 从而限制了利用 Li 同位素准确示踪地球现代过程和历史时期的风化强度。本研究大量采集了青藏高原典型湖泊和泉水样品, 分析了水样中主要离子含量和 Li 同位素组成等。结果表明: 不同样品中 Li 含量变化范围非常大, 其中湖泊样品的变化可达 5 个数量级, 最高约 1000 mg/L; 湖泊样品中 Li 同位素组成($\delta^7\text{Li}$)变化范围为 +5.4‰到+30.8‰, 泉水样品的 $\delta^7\text{Li}$ 值相对较小, 变化范围为+1.8‰到+8.8‰。分析表明, 湖泊中的 Li 主要来自早期热泉, 深部水岩作用和岩浆水是最初来源, 而地表岩石风化的贡献相对较小。样品 $\delta^7\text{Li}$ 值随 Li 含量升高、Li/Na 比值降低呈升高趋势, 指示了随着湖泊中 Li 的富集其同位素发生了显著分馏, 且随着滞留时间的增加, Li 同位素分馏越显著。本研究结果对于深入理解构造活动区地表水体中 Li 的来源及其同

位素组成控制因素,并准确利用 Li 同位素示踪地表过程有重要意义。

S34-O-11

青藏高原北部柴达木深层卤水锂硼资源元素源汇过程及成矿机制

樊启顺^{1*}, 韩光², 潘彤³, 张西营¹, 杨福康¹, 李庆宽¹, 杨浩田¹

1 中国科学院青海盐湖研究所

2 青海省柴达木综合地质矿产勘查院

3 青海省地质矿产勘查开发局

* qsfan@isl.ac.cn

印度-亚洲板块的碰撞在青藏高原北部柴达木盆地的中西部地区形成了多个背斜和褶皱带,其中蕴藏着富含 K-Li-B-Rb-Cs 成分的深部卤水资源。大部分深部卤水中 Li-B 浓度远超中国盐湖卤水矿床的最低工业开采品位,凸显了其潜在的资源价值。关于单一背斜储层中深部卤水中 Li-B 富集的成因已有报道,然而,关于整个盆地深部卤水中 Li-B 的空间分布、主要来源及富集机制等关键科学问题仍需进一步研究。通过对柴达木盆地深部卤水、盐湖卤水及河水的 H-O-Li-B 同位素组成和水文地球化学参数进行了详细分析。结果表明,柴达木盆地深部卤水中 Li-B 的含量及 $\delta^7\text{Li}$ - $\delta^{11}\text{B}$ 值表现出空间异质性和成矿分带性。在四个成矿分带(I-IV)中, Li-B 含量存在显著差异,其中边缘成矿分区(I和IV)表现为低 B-Li 特征,而中心成矿分区(II和III)则表现为高 B-Li 富集特征。深部卤水中硼锂的富集模式受多种地质过程的共同控制,包括补给来源、蒸发作用、湖盆迁移及黏土矿物吸附作用。与第四纪盐湖卤水的对比表明,深部卤水硼锂的补给模式(南部高锂、北部高硼)及富集机制与浅层盐湖卤水相似,主要涉及地热流体作为主要补给来源,以及湖盆中的蒸发作用作为富集过程。地球化学数据进一步表明,深部卤

水具有高 Na^+ 和 Cl^- 浓度,同时 $\delta^{18}\text{O}$ 值显著偏正,暗示了强烈的水-岩相互作用或岩浆流体的贡献。深部卤水中 B-Li 浓度从分区 II 到分区 IV 呈递减趋势,而平均 $\delta^{11}\text{B}$ 值则逐步增加。相比之下, $\delta^7\text{Li}$ 值表现出不一致的变化模式。总体而言,深部卤水中 $\delta^{11}\text{B}$ - $\delta^7\text{Li}$ 值的逐步增加,归因于黏土矿物吸附作用,与古近纪-新近纪沉积中心受周围造山带隆升驱动的渐进迁移相吻合。这些发现揭示了柴达木盆地深部卤水中硼锂富集的空间差异性、同位素变化和成矿机制。

S34-O-12

岷江上游河水镁同位素季节性变化及其对暴雨事件的响应

徐阳¹, 金章东^{1,2*}, 张飞¹, 苟龙飞³, 李臣子^{1,4}, 邓丽¹

1 中国科学院地球环境研究所, 黄土科学全国重点实验室

2 西安交通大学, 全球环境变化研究所

3 长安大学, 地理系

4 中国科学院大学

* zhdjin@ieecas.cn

碳酸盐岩风化被认为是调节短时间尺度(百年-千年)碳循环和气候变化的重要机制。全球变暖背景下,极端天气与水文事件频发,碳酸盐岩风化如何响应极端气候事件还不清楚。镁(Mg)同位素对原生矿物溶解较为敏感,对示踪流域侵蚀和化学风化极具潜力和优势。本研究选择青藏高原岷江上游镇江关水文站开展河流水化学和 Mg 同位素($\delta^{26}\text{Mg}$)研究,来探讨碳酸盐岩风化对暴雨事件的响应过程。结果显示,碳酸盐岩风化主导了岷江上游季节性河水水化学,季节性河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 发生了系统性变化(幅度为 0.2‰),从非季风期的-1.20‰升高到季风期间的-1.00‰。值得注意的是,河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 在季风期间的 6 次

暴雨事件中均有快速响应。研究发现：1、河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值与悬浮沉积物浓度和物理侵蚀速率均有较好的正相关关系 ($r^2 = 0.56$ 和 0.64)，表明河水中轻的 Mg 同位素可能优先进入到了固体中，从而导致河水 Mg 同位素变重；2、碳酸盐岩不一致溶解、粘土形成与次生碳酸盐沉淀不太可能控制河流 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的快速变化；3、极高剥蚀和悬浮负荷下，粘土矿物层间或表面的 Mg^{2+} - Na^+ 阳离子交换驱动了河流 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的变化。本研究表明岷江上游河水 Mg 同位素季节性变化由季风期间水文变化调控，特别是对暴雨事件敏感响应，为探讨极端高剥蚀下阳离子交换对河水 Mg 同位素的调节作用和全球 Mg 循环提供了实地观测证据。

S34-P-1

喜马拉雅新近纪硅酸盐化学风化历史：陆-海相黏土矿物与地球化学记录的耦合证据

叶程程^{1*}，杨一博²，刘玉东²，严忠义²，方小敏²

1 上海师范大学

2 中国科学院青藏高原研究所

* ycc_sh@163.com

作为喜马拉雅-青藏高原造山带最南缘的构造单元，喜马拉雅地区以其极端地形（平均海拔 $>4000\text{ m}$ ）、全球最强的季风降水系统（年降水量 $>2000\text{ mm}$ ）及显著的硅酸盐风化通量，成为表生地球化学研究的重点区域。现有研究虽已证实该造山带主体形成于新近纪，但对其风化历史的认识仍存在重要局限：该区域缺乏连续完整的新近纪风化序列，制约了风化过程与全球碳循环反馈机制的解析。本研究以尼泊尔 Siwalik 群著名的 Karnali 剖面（ $\sim 16\text{--}5.3\text{ Ma}$ ）及其底部新发现的 K 剖面（ $18.2\text{--}16\text{ Ma}$ ）为研究对象，通过系统的黏土矿物学、元素地球化学及形态学分析，再整合区域

已有的风化数据，首次建立了该地区 18.2 Ma 以来完整的新近纪陆地风化连续记录。研究结果表明：硅酸盐风化强度呈现两阶段显著增强特征，分别发生于 $\sim 17\text{--}14\text{ Ma}$ 和 $\sim 8\text{--}3\text{ Ma}$ ；两阶段之间（ $14\text{--}8\text{ Ma}$ ）则为持续的风化减弱期。这一演化特征与印度河扇和孟加拉扇的海相黏土矿物记录具有良好一致性。综合分析表明，中中新世气候适宜期（ $\sim 18\text{--}14\text{ Ma}$ ）的全球变暖可能促进了早期风化增强，而随后的全球变冷（ $14\text{--}8\text{ Ma}$ ）则导致了区域风化的长期减弱；其中 $\sim 8\text{--}3\text{ Ma}$ 的风化加剧可能受区域构造活动（如流域格局调整）与气候因素（如南亚季风强化或洪泛平原扩展）的共同调控。

S34-P-2

14 万年以来南海北部西沙群岛东海脊沉积物物源及其对气候与海平面变化的响应

徐岭灵^{1,2}，武力³，刘时桥⁴，韦成龙⁴，徐方建^{1*}

1 海南大学，海洋科学与工程学院

2 海南大学，生态学院

3 广东海洋大学

4 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

* xufangjiang@163.com

海洋沉积物中保存着气候变化与海陆相互作用的重要环境记录。尽管南海北部沉积物已得到广泛研究，但其西南部深海盆地沉积物的物源演化机制及其对气候的响应机制仍缺乏系统性认识。本研究选取西沙群岛东海脊沉积物柱状样品，通过主微量元素（包括稀土元素）分析解释其物质来源与气候变化响应特征。基于稀土配分模式识别出台湾西南部、珠江流域以及吕宋岛弧为其潜在的物质来源，并铈异常（ Ce/Ce^* ）和铕异常（ Eu/Eu^* ）作为稀土特征参数，结合高斯混合模型模拟计算了不同时期物源的相对贡献。进一步通过元素比值（ Ca/Ti 、 K/Rb ）探讨了沉积物对过

去 14 万年来气候变化与海平面波动的响应机制。研究结果表明：（1）沉积物主要来自台湾西南部和珠江，吕宋岛弧的贡献则可以忽略。物源变化及相对贡献比例受冰期—间冰期海平面波动显著调控。冰期，台湾岛和珠江的贡献分别约为 42% 和 58%；间冰期，它们的贡献分别约为 52% 和 47%。此差异源于南海北部陆架地貌的分异响应，冰期海平面处于低位时，古珠江入海口向海迁移，缩短了沉积物的迁移距离，使得更多珠江来源的沉积物达到深海沉积，而台湾南部陆架相对较窄不受海平面波动的影响，因此，在冰期珠江的相对贡献增多，而在间冰期相对较少。（2）Ca/Ti 比值整体上呈现与海平面波动的协同变化，但氧同位素 3-4 阶（MIS3-4）发生的碳酸盐事件影响了其变化幅度。（3）沉积物在低海平面时（MIS 2 和 MIS 6）的 K/Rb 比值低于高海平面时期（MIS 1, 3 和 5）的比值，指示沉积物化学风化强度增强。这可能源于冰期陆架暴露导致早期沉积物经历二次风化，而间冰期高海平面时东亚夏季风增强引发的原生化学风化信号更易被记录。本研究揭示了海平面变化、气候驱动和沉积物源—汇过程的多尺度耦合机制，为理解深海沉积对全球变化的响应提供了新的视角。

S34-P-3

近 60 年来南黄海沉积物来源变化及其对河流输沙量减少的响应

卢健^{1*}，李安春¹，张晋¹，马小川¹

1 中国科学院海洋研究所，海洋地质与环境重点实验室

* lujian@qdio.ac.cn

黄河与长江通过巨量泥沙的入海排放，对南黄海的沉积环境产生了显著影响。在过去的几十年间，由于气候变化和人类活

动的加强，两条大河的入海输沙量出现了急剧下降。然而，河流入海泥沙排放减少对南黄海沉积物来源的具体影响，目前尚不明确。为研究这一问题，我们选取了 1958 年和 2012 年在南黄海相同站位采集的表层沉积物样品，分别进行了粒度、粘土矿物以及细粒组分（小于 2 μm ）的化学元素组成测试。分析结果显示，两次采样中表层沉积物的粒度组成存在明显差异：与 1958 年相比，2012 年样品中粘土组分减少，粉砂含量增加，平均粒径变粗。粘土矿物组成和细粒级组分的元素比值研究显示，南黄海表层细粒沉积物的主要来源为黄河与长江。值得注意的是，在 1958 年至 2012 年间，尽管两条河流的入海泥沙排放量均有所减少，但黄河沉积物的影响范围却有所扩大，而长江的影响范围则相对减弱。这种来源变化可归因于黄河与长江向南黄海输运沉积物机制的不同。本研究为理解全球范围内河流泥沙排放持续减少背景下边缘海的源汇过程提供了新的视角。

S34-P-4S

18000 年以来风驱沿岸流控制北印度洋边缘海物质交换

康晓莹^{1,2}，于兆杰^{1*}，万世明¹

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院大学

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

孟加拉湾和阿拉伯海作为印度洋北部两个理化性质差异显著的边缘海，由于南亚大陆的隔绝作用，其物质交换只能通过印度沿岸流进行。重建印度沿岸流的演化历史并揭示其演变规律对于预测北印度洋未来海洋环境变化具有重要意义。然而，目前尚无此沿岸流的可靠重建记录发表。本研究基于印度半岛南部海域岩心的黏土矿物学分析，结合模型模拟，重建了过去 18,000 年印度沿岸流的演化历史。结果显示：在千年尺度暖期，盛行夏季风增强了

由阿拉伯海流向孟加拉湾的沿岸流，带来较多的蒙脱石；在冷期，盛行冬季风增强了由孟加拉湾流向阿拉伯海的沿岸流，带来较多的伊利石和绿泥石。全新世期间，正印度洋偶极子加强了由阿拉伯海流向孟加拉湾的沿岸流。结合气候模拟中全球变暖将导致正印度洋偶极子频发的认识，未来气候变暖可能会抑制孟加拉湾低盐水向阿拉伯海的输送，从而进一步加剧二者之间的盐度差异。

S34-P-5

早中新世以来南半球西风带的演化

盖聪聪^{1,2}, Andrew P. Roberts³, 李逸文¹, 朱晨光¹, 陈艳虹¹, 吴怀春^{1*}, 刘青松 (LIU Qingsong)^{2*}

1 中国地质大学（北京），海洋学院

2 南方科技大学，海洋科学与工程系

3 澳大利亚国立大学，地球科学学院

* whcgeo@cugb.edu.cn

* qslu@sustech.edu.cn

南半球西风带是大尺度海洋环流的重要驱动力，影响着全球热量和淡水的分布，对中纬度乃至全球气候具有重要的调控作用。然而，南半球西风带具有异质性，其行为在南太平洋和其他区域明显不同。因此，为了更全面地认识西风带，必须加强对不同区域，尤其是南太平洋西风带演变的研究。

本文对中纬度南太平洋 U1370 钻孔 17-2 Ma 的沉积序列进行了系统的岩石磁学和地球化学研究。结果表明，8.4 Ma 之前，中纬度南太平洋的风尘组分来源于南美洲中部；8.4 Ma 以后，风尘组分的物源和现今一致，主要来自澳大利亚。进一步的古气候模拟结果显示，风尘物源转换的原因因为西风带的结构变化。8.4 Ma 之前，西风带在南太平洋分裂成较弱的副极地急流和较强的副热带急流，副热带急流将南美风

尘抬升至高空并经由西风带传送至南太平洋。

前人对西风带的研究多聚焦于其强度和/或纬度变化对气候和环境的影响，而低估了西风结构改变的影响。本研究指出西风高空结构（是否存在分裂急流）的改变对风尘传输具有重要意义。

S34-P-6

全新世济州岛西南泥质区的气候控制机制

丛静艺¹, 张勇^{1*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* qimgzy@163.com

济州岛西南泥区是东海外陆架北部的重要沉积汇，保存了全新世以来高分辨率沉积记录。目前，其沉积演化对气候变化的响应尚不清楚。本研究利用泥区内部和外缘的重矿物、粘土矿物和底栖有孔虫记录，结合沉积速率分布，研究了气候和相关洋流变化对沉积物供应、运输和沉积的响应机制。结果表明，自 8.2 ka 以来，来自长江和黄河的沉积物开始由黄海沿岸流和黄海暖流携带搬运。东亚季风和 ENSO 及其驱动的海岸流的强度主要控制了济州岛西南泥质区的沉积物供应。全新世气候变化驱动下的黄海暖流和黄海沿岸流强度变化通过影响涡旋系统的位置和捕获效率，从而控制沉积中心在不同时期的形成和迁移。该研究揭示了气候变化及其相关洋流变化在泥区沉积演化中的关键作用，为认识和预测未来海洋环境变化提供了科学依据。

S34-P-7S

珠江磨刀门河口潮汐不对称演变过程及机制研究珠江磨

刀门河口潮汐不对称演变过程及机制研究

何贤钊^{1*}

1 中山大学, 海洋工程与技术学院

* hexzh23@mail2.sysu.edu.cn

潮汐不对称是河口潮波变形的典型特征, 事关河口水资源安全、物质输运及滩槽演变, 其演变特征及机理是河口动力研究及治理的重要科学问题。本文围绕河口潮汐不对称演变特征及其机制问题, 以珠江磨刀门河口西江干流水道为研究区域, 采用实测潮位数据分析和 Delft3D FM 水动力数值模拟方法, 探究潮汐不对称的大小潮、洪枯季和阶段性变化特征, 剖析潮差、径流和岸线变化对潮汐不对称的影响。结论如下: (1) 由海向陆, 潮汐偏度平均值由-0.21 (三灶站) 增加至 0.22 (马口站), 潮汐不对称类型由涨潮历时优势型转变为落潮历时优势型; (2) 潮汐不对称存在显著的大小潮和洪枯季差异。在大潮时期, 较大的潮差引起更剧烈的潮波变形, 潮汐偏度绝对值平均增加 0.08, 潮汐不对称程度更强; 洪季强径流调制下河口落潮历时较枯季延长, 但当流量高于阈值流量 (1.107×10^4 ~ 1.619×10^4 m/s), 径流动力的进一步增强导致河口落潮历时缩短; (3) 受外海潮汐动力和人类活动影响, 磨刀门潮汐不对称具有阶段性演变特征, 并于 1986-2000 年间发生突变, 潮汐偏度整体平均下降 0.41, 潮汐不对称向涨潮历时优势型转变。研究结论可为河优型河口水资源管理和河口工程建设提供理论指导。

S34-P-8S

海洋沉积物 Rb 同位素组成及其指示意义

彭炼¹, 王志兵^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所

* wangzhibing@gig.ac.cn

约束海洋沉积物 Rb 同位素组成与海洋 Rb 元素通量收支平衡对厘清全球 Rb 元素循环具有重大意义。海洋沉积物早期成岩作用被认为是海洋中最重要的 Rb 汇之一, 然而现在还十分缺乏对该过程的研究。本研究通过对近岸 (南海万山) 与远洋 (西太平洋) 沉积柱的 Rb 元素组成及 Rb 同位素分馏特征的系统分析, 探讨了海洋沉积物在全球 Rb 元素循环中的重要作用。研究结果表明, 南海万山沉积物的 Rb 含量显著高于西太平洋沉积物 (分别为 113.30~155.20 ppm 和 64.60~126.10 ppm), 且二者的 Rb/Al 比值均高于背景值, 指示海洋沉积物在海洋 Rb 元素的汇集过程中发挥重要作用。南海万山沉积物 Rb 同位素 (-0.07‰ ~ -0.20‰ , 均值为 $-0.14 \pm 0.04\text{‰}$) 轻于西太平洋深海沉积物 ($+0.01\text{‰}$ ~ -0.19‰ , 均值为 $-0.09 \pm 0.04\text{‰}$), 二者的 Rb 同位素随深度都出现逐渐变重的趋势, 但是都轻于海水 Rb 同位素 ($+0.13 \pm 0.04\text{‰}$), 暗示了海水与沉积物之间的相互反应是影响沉积物 Rb 同位素组成的关键过程。

进一步分析显示, 海洋沉积物 Rb 同位素组成与物质来源 (如 Th/Sc、Nb/Th)、粒度分选 (如 TiO_2/Zr 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) 等因素无显著关联, 而与化学蚀变指数 (CIA) 呈负相关, 与风化壳中分馏方向相反, 暗示沉积物经历了显著的后期改造。分析显示早期成岩作用使得沉积物 Rb 同位素组成变重: 随着成岩作用的进行, 沉积物中 Na/Al、K/Rb 比值升高, Rb 同位素组成逐渐变重, 这一过程可归因于海水中重 Rb 同位素的渗入。沉积物中 $\delta^{87}\text{Rb}$ 与 Rb/Al 比值负相关, 结合海洋沉积物同位素均轻于海水, 证明海洋沉积物是海洋中轻 Rb 同位素的汇。我们的研究证明海洋沉积物在早期成岩过程中优先吸收海洋中轻的 Rb 同位素, 从而使海水 Rb 同位素逐渐变重, 为厘清全球 Rb 元素循环及示踪大陆风化过程提供了重要的地球化学证据。

S34-P-9S

金沙江上游河水镁同位素季节变化及其水文调控

李臣子¹, 金章东^{1*}, 苟龙飞¹, 徐阳¹, 邓丽¹

1 中国科学院地球环境研究所
* zhdjin@ieecas.cn

前人研究发现河流镁同位素 ($\delta^{26}\text{Mg}$) 与碳酸盐岩风化强度 (CWI) 呈负相关并指出河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 是示踪大陆碳酸盐岩风化的潜在指标。然而, 河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 变化及其分馏作用的受控因素还存在许多争议, 需要更多野外观测证据来验证其示踪碳酸盐岩风化的稳健性和普遍性。鉴于高侵蚀风化特征的构造活跃区是验证“构造-风化-气候”假说的天然实验室, 我们通过对青藏高原东缘金沙江上游流域, 开展高分辨率 (每周一次) 河水样品 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的季节性变化研究, 并发现河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 对季风气候下不同水文过程具有敏感的响应。研究显示 2021 年石鼓水文站点控制的金沙江上游流域内河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 在 -1.02% 至 -0.83% 之间变化, 其河水 Mg^{2+} 由碳酸盐岩风化主导, 其次为蒸发盐岩溶解。然而, 基于保守混合方程表明不同岩石端元的保守混合无法完全解释河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的变化, 其 $\delta^{26}\text{Mg}$ 实测值相对于保守混合的理论值系统正偏, 偏离的程度高达 0.51% 。考虑到次生碳酸盐沉淀时优先利用轻的 ^{24}Mg 进而导致河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的正偏, 以及 $\delta^{26}\text{Mg}$ 实测值偏离理论值的幅度与河水径流量的负相关关系, 我们提出河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的变化主要受到与水文过程相关的次生碳酸盐沉淀控制。具体而言, 在季风降雨的高径流量期间, 较短的水岩反应时间减少了 Mg 同位素分馏, 导致河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的低值; 而在干旱和少雨的低径流量期间, 较长的水岩反应时间增加了 Mg 同位素分馏, 导致河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的高值。这项研究为理解水文变化对河水 $\delta^{26}\text{Mg}$ 的潜在影响提供了新见解。

S34-P-10S

东昆仑山上新世—第四纪冰川流域风化的 Sr 同位素记录

朱文静^{1,2}, 杨一博^{1*}, 程丰³, 阮笑白¹, 刘玉东¹, 严忠义¹

1 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与资源环境全国重点实验室
2 兰州大学, 资源与环境学院
3 北京大学, 地球与空间科学学院
* yangyibo@itpcas.ac.cn

近现代过程研究表明冰川流域风化因冰川作用加速基岩矿物 (硅酸盐, 碳酸盐, 硫化物) 的磨蚀和溶解过程, 进而影响碳循环和全球气候。但是如何示踪过去地质历史期间流域内冰川发育历史及其对流域风化的影响过程存在巨大挑战, 其中一个重要原因是冰川发育和风化过程的指纹信息难以得到有效保存, 缺乏示踪深时冰川发育及其风化过程的指标体系研究。昆仑山垭口盆地位于青藏高原东北缘, 具有上新世-第四纪 ($4-2\text{ Ma}$) 连续湖相沉积, 其团簇同位素结果显示在 2.7 Ma 以后年平均温度较现在降低 $8.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 已达零度以下, 具备了冰川和冻土发育的气温条件。本文通过对盆地内细粒湖相沉积物开展高分辨率碳酸盐组分 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值和元素分析, 探究流域风化对可能流域冰川活动的响应。结果表明, 2.7 Ma 后多项指标发生显著转型。 2.7 Ma 气候变冷使湖泊碳酸盐含量由 16% 降至 9% , 碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值减小, TOC 和 TN 同步降低, 粗颗粒沉积物增加, 指示湖泊蒸发减弱、生产力下降及湖面降低。碳酸盐组分 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值呈阶段性演变特征: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值 2.7 Ma 前在 $0.7108\sim 0.7120$ 大幅波动, 与碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 相关性明显; $2.7\sim 2.6\text{ Ma}$ 快速升高, $2.6\sim 2.4\text{ Ma}$ 稳定在 0.7114 左右, $2.4\sim 2\text{ Ma}$ 在 $0.7110\sim 0.7116$ 范围内呈现低幅震荡, 且与碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 相关性显著降低。初步的分析表明 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的相关性

转型与昆仑山垭口盆地冰川发育引发的流域风化模式改变有关,揭示昆仑山垭口地区或于 2.7 Ma 开始出现冰川活动,为地质历史时期冰川发育和风化研究提供重要依据。

S34-P-11S

示踪新元古代海洋自生黏土形成—来自 K 同位素的证据

殷一盛^{1,2}, 魏广祯^{1*}, 郑新源^{2*}, 张飞飞¹, 凌洪飞¹

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 明尼苏达大学, 地球与环境科学学院

* guangyiwei@nju.edu.cn

* zhengxy@umn.edu

在地质历史时期,大陆硅酸岩风化与大气 CO₂ 浓度之间的反馈作用被认为是维持长尺度表生环境稳定的重要途径。与此同时,大陆硅酸盐风化还能向地表径流释放各种离子和营养物质,从而宏观调控着海陆物质交换以及海水化学组成。然而,有学者提出反向风化在维持地表环境稳定中也起到了不可忽视的作用(Isson and Planavsky, 2018),特别在前寒武时期,因为太阳还未演化到现代的光照强度,所以彼时的地球能接收到的热能有限。而相比于显生宙以来多次出现的冰期,地球在前寒武纪时期并未经历频繁的冰室气候,因此有学者认为在前寒武纪时期较强的反向风化抵消了大陆风化过程消耗的 CO₂,即向大气重新释放了相当量的 CO₂,从而维持了地表气候的稳定。但是,到目前为止并没有充分的地质证据估计前寒武纪时期的反向风化速率。基于以上问题,本研究采集了埃迪卡拉纪早期华南板块的两个盖帽碳酸盐岩剖面,通过分步淋滤的方法去除了碳酸盐组分从而获取碎屑组分的 K 同位素组成($\delta^{41}\text{K}_{\text{sili}}$)。结果显示,两个剖面的 $\delta^{41}\text{K}_{\text{sili}}$ 值(平均值为 -0.02 ± 0.08 , 2SD)均显著高于现代地球表层沉积物的值,加上

较高的 K/Al 以及 K/Th 比值,这些被碳酸盐矿物包裹的碎屑很有可能以当时被保存下来的自生黏土为主。较高的 $\delta^{41}\text{K}_{\text{sili}}$ 值也说明此时海水中存在大量海相自生黏土形成,这导致同时期的海水 $\delta^{41}\text{K}$ 组成也明显高于现代水平。通过对当时海洋 K 同位素质量平衡进行蒙特卡洛模拟分析,本研究发现同时期反向风化可能是现代海水的 3~10 倍,在冰期之后,大量地表径流携带着阳离子汇入海洋,为海洋自生黏土的形成提供了物质来源,这一过程维持着冰期后温暖的气候条件,也为即将到来的后生动物演化提供了必不可少的环境。

S34-P-12S

浙闽主要入海河流碎屑锆石 U-Pb 年龄分布特征及其影响因素探讨

朱心怡¹, 黄湘通^{1*}, 刘梦佳¹, 杨守业¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* xiangtong@tongji.edu.cn

河流碎屑锆石 U-Pb 年龄组成综合体现了锆石源区经历的构造、岩浆与变质活动,是指示沉积物物源和从源到汇过程的良好示踪剂,在揭示河流演化和量化沉积物相对贡献方面发挥了关键作用。然而,一些基于现代河流碎屑锆石的研究表明,锆石年龄谱信号还受沉积物搬运、分选、混合过程的影响。因此,在从河流源-汇系统中检验锆石年龄谱的控制和影响因素具有重要的理论和实践价值。本文以浙闽流域 7 条主要入海沉积物中的碎屑锆石 U-Pb 年龄为例,通过激光剥蚀-电感耦合等离子体(LA-ICP-MS)技术揭示其碎屑锆石 U-Pb 年龄分布特征,通过全样、碎屑锆石粒度和形态学的分析,揭示水动力分选可能对流域年龄谱的影响。研究发现,浙闽河流碎屑锆石 U-Pb 年龄分布具有显著的空间差异,但 7 条河流碎屑锆石年龄谱都有 120-

180 Ma 燕山期的早白垩世峰。钱塘江的碎屑锆石 U-Pb 年龄以 80-180 Ma、190-524 Ma、677-916 Ma 三个主要年龄群为特征；椒江仅有 1 个~125 Ma 的燕山期年龄峰；瓯江碎屑锆石中具有 113-190 Ma 和 1707-1897 Ma 两个特征年龄群；闽江碎屑锆石有 76-244 Ma、374-457 Ma、732-816 Ma、1622-1935 Ma 4 个主要年龄区间；木兰溪碎屑锆石主要的锆石年龄峰为白垩纪峰~100 Ma 和侏罗纪峰~142 Ma；晋江流域的碎屑锆石年龄都集中在 78-175Ma；九龙江的碎屑锆石有 75-120 Ma、120-180 Ma 和 192-313 Ma 3 个年龄峰。浙闽流域碎屑锆石年龄的空间分布特征与中生代以来太平洋板块向欧亚板块俯冲所导致的中国东部大规模岩浆活动有关。另外，锆石形态学研究发现浙闽地区七条主要入海河流的锆石粒度大小与年龄不具有显著相关性 ($R^2=0.0035$, $P<0.05$)，说明是物源而非水动力分选对锆石年龄谱有显著影响。然而，锆石磨圆度与锆石年龄呈现出锆石年龄越老，磨圆度越高的趋势，说明锆石颗粒形体分布受长期搬运和沉积旋回过程的影响。

S34-P-13S

台湾山地河流沉积物铁化学相态组成特征及控制因素

焦裕杰¹，苏妮^{1*}

¹ 同济大学，海洋地质全国重点实验室

* nsu@tongji.edu.cn

铁(Fe)作为生物地球化学循环中的关键元素，其化学相态组成对理解沉积物的来源、迁移及环境变化具有重要意义，研究河流 Fe 相态组成特征和控制因素对于揭示海陆相互作用中 Fe 的循环过程十分关键。台湾地区具有独特的地质构造和高剥蚀速率，是研究山地河流 Fe 化学相态及其控制因素的理想区域，本研究通过六步顺序提取法分析了台湾岛浊水溪与立雾溪河

岸沉积物、悬浮颗粒物及基岩中的 Fe 化学相态，探讨了 Fe 相态组成特征及主要控制因素。浊水溪与立雾流域沉积物和悬浮物中的 Fe 化学相态以弱活性铁(Fe_{PR})为主，占总铁(Fe_T)的 50%以上，高活性铁(Fe_{HR})和不活性铁(Fe_U)含量较低，Fe_T 含量与 Al 含量、总有机碳(TOC)含量及化学蚀变指数(CIA)呈显著正相关，表明 Fe 更倾向于富集在富含有机质的细粒硅酸盐矿物中。台湾地区河流沉积物 Fe 化学相态组成与全球河流、典型大河 Fe 相态组成存在差异，Fe_{PR} 含量较高，反映出流域弱-中等化学风化的特点，Fe_{HR} 含量与化学风化指标无明显相关性，说明现代化学风化对河流沉积物 Fe 相态影响较小。此外，台湾岛基岩以沉积岩和变质沉积岩为主，结合物理剥蚀速率与基岩 Fe 相态组成，发现浊水溪上游与下游不同岩性构造带的剥蚀速率不同，且极端气候事件会导致沉积物中不同岩性的贡献改变，进一步证明了沉积物的物源异质性对于 Fe 化学相态组成的控制作用。研究揭示了台湾山地河流 Fe 化学相态组成及主要控制因素，证明了源岩性质在控制 Fe 地球化学行为中的重要性，通过对比发现山地河流 Fe 相态组成与全球河流存在显著差异，不仅为理解台湾地区山地河流的表生过程提供了新的视角，也为全球 Fe 化学相态研究提供了重要的区域案例。

S34-P-14S

全新世南极乔治王岛燕鸥湖钻孔风化强度记录及其环境意义

赖伟波¹，李超^{1*}，肖文申¹，陈金牛¹，邵和宾²，姚敏³，杨守业¹

¹ 同济大学，海洋地质全国重点实验室

² 中国极地研究所，自然资源部极地科学重点实验室

³ 西北大学，大陆动力学国家重点实验室

* cli@tongji.edu.cn

大陆硅酸盐风化是地球表生系统中的重要碳汇，对地质历史时期的气候调节起关键作用。尽管温度通常被认为是影响风化的主控因素，但在低温环境下，如高纬极地地区，这种关系并不完全适用。南极大陆作为全球平均温度最低的地区，在全球变暖背景下，其气候变化的敏感性使其成为研究化学风化特殊性的关键区域。南极的化学风化主要以基岩直接风化为主，受沉积再旋回影响较小，因此成为研究硅酸盐化学风化的理想场所。

本研究以南极乔治王岛燕鸥湖钻孔 GA-1 为对象，通过建立年龄框架、粒度测试、矿物鉴定和地球化学分析，重建了全新世以来燕鸥湖的环境演化历史。研究发现，在 5.3 至 4.5 千年前，燕鸥湖受火山活动影响，火山物质输入和沉积速率显著增加。矿物和稀土元素地球化学指标显示，燕鸥湖物质来源稳定，主要来自附近的基岩，尤其以玄武岩为主。化学风化指标 CIA 和 Rb/Sr 表明，燕鸥湖化学风化程度较弱至中等，主要受温度控制。较高的温度直接促进化学风化，同时增加季节性冰融水，加强风化过程。燕鸥湖的 CO_2 消耗速率平均为 0.6 mol/kg ，与北半球中纬度边缘海相当。本研究推测，这可能与菲尔德斯半岛母岩是可风化性高的玄武岩有关，同时冰川活动促进基岩新鲜面暴露，从而增强化学风化和 CO_2 消耗速率。

S35-O-1

南极伊丽莎白公主地麒麟冰下湖探测与研究计划

姜苏^{1*}，范晓鹏²，李冰³，张楠²，左恒⁴，郭井学¹，常志勇³，李霖¹，Pavel G. Talalay²，孙波¹

¹ 中国极地研究中心（中国极地研究所）

² 吉林大学

³ 中国地质大学（北京）

⁴ 中国科学院南京天文光学技术研究所

南极冰下湖位于数千米厚的冰层之下，其封闭环境长期与外界隔绝，是研究极端环境微生物和生态系统演化、地球气候变化、南极冰盖演化等重大科学问题的理想场所。自 2012 年以来，美国、英国、俄罗斯先后开展了南极冰下湖探测，取得的初步成果展现出令人瞩目的科学前景。

过去十年来，中国极地研究中心在东南极伊丽莎白公主地开展了大量航空地球物理调查，获取了超过 15 万公里的航空测线，证实该区域内存在一形似“麒麟静卧”的大埋深冰下湖，并将其命名为“麒麟冰下湖”。初步研究结果显示，麒麟冰下湖长约 42km，宽约 10km，埋深超过 3600m，最大水深很可能超过 200m，其温度和压力条件是南极其他冰下湖的典型代表；同时，我国在伊丽莎白公主地积累了丰富的调查研究数据，可为钻探选址提供详实资料；此外，该冰下湖位于我国南极泰山站附近，可依托泰山站提供后勤支撑保障开展钻探工作，因此麒麟冰下湖是开展冰下湖科学研究的优选地点。

基于我国在极地冰下环境探测关键技术装备的前期积累，“十四五”期间，我国首次提出开展南极大埋深冰下湖探测与研究的重点专项任务。麒麟冰下湖以其独特的优势成为首选钻探目标。通过实施钻探选址与科学钻探工程，实现麒麟冰下湖的原位探测与样品采集。为最大程度地减少对冰下环境的污染，将采用热水钻探与热融钻探相结合的方式钻穿冰下湖，并且在钻探过程中实时监测微生物污染情况。基于原位观测数据与样品分析结果，将揭示麒麟冰下湖的形成过程、湖水主要来源、湖内微生物群落构成与功能以及生命系统维持机制等重大科学问题。

S35-O-2

南极深冰及冰下基岩取芯钻探关键技术及应用

张楠^{1*}, 孙友宏², Pavel Talalay¹, 范晓鹏¹, 宫达¹, 李冰², 王如生¹, 洪嘉琳¹, 李亚洲², 武威¹, 韩博¹, 刘昀忱¹, 孙宇宸², German Leitchenkov³, Ilmur Abdrachmanov³, Mstislav Vorob'ev³, Damir Khalimov³, Vladimir Lipenkov³, 魏福海⁴, 程绪宇⁴, 王焘⁴, 胡红桥⁴, 姚旭⁴, 乔刚⁵

1 吉林大学, 建设工程学院; 极地科学与工程研究院

2 中国地质大学(北京)

3 俄罗斯海洋与地质矿产资源研究所

4 中国极地研究中心

5 同济大学

* znan@jlu.edu.cn

南极冰下环境是南极科学研究的前沿领域, 针对南极冰下环境探测最直接的手段就是采用钻探的方式获取冰下地质样品并进行冰盖及冰下环境原位测量。吉林大学自主研制了地深冰下基岩无钻杆取芯钻探关键技术装备, 并于 2018-2024 年间, 两次应用该装备在南极现场开展的我国首次冰下基岩钻探工程和冰盖参数测量。报告主要介绍了该系统装备的关键技术, 以及现场应用情况及取得的重要进展, 并对未来我国在南极开展深冰及冰下基岩钻探取样的计划和科学意义进行了展望。

S35-O-3

南极绕极流的量化特征分析

艾松涛^{1,2*}, 蔡祎^{1,2}

1 武汉大学, 中国南极测绘研究中心

2 武汉大学, 测绘学院

* ast@whu.edu.cn

作为唯一环绕全球的洋流, 南极绕极流(ACC)是全球气候系统的重要组成部分。自上世纪 30 年代以来, 人们在 ACC 输送的定量估算上开展了大量科研工作,

但由于数据限制和方法差异, 所得结果差异较大。本研究基于 2002—2020 年的 Argo 浮标定位数据, 通过外推算法精细化海洋次表层流速, 并利用新的分层插值方法结合蒙特卡洛模拟估算流经德雷克海峡的 ACC 输送。研究发现, ACC 主流沿着 66.6°方向通过德雷克海峡, 在跨海峡方向上的平均流速为 0.08m/s, 平均净输送为 171.3Sv (1 Sv = 10⁶ m³/s)。德雷克海峡对 ACC 有着显著的挤压和加速作用, 通过海峡后流速大小平均增加约 58%。ACC 输送主体集中在中上层水流和极锋与亚南极锋区域, 其中上层 1000m 输送量占比 55%, 两锋面输送量占比 72.7%。德雷克海峡的流速与输送分布共同揭示了 ACC 的部分结构特征, 可为整个 ACC 环流及其对全球洋流影响的进一步研究提供参考。

S35-O-4

德雷克海峡初始打开发生在约 62-59Ma

高亮^{1*}, 郭晓倩¹, 裴军令², Javier N. Gelfo³, 胡新炜¹, 李莎⁴, 江湔¹, 时美楠¹, 由雪莲¹, 顾芳¹, 张运迎⁵, 孙珍^{5,6}, 何治亮⁷, 李若霜¹, 仝亚博⁸, 杨振宇⁹, 赵越^{1,8}

1 中国地质大学(北京), 极地地质与海洋矿产教育部重点实验室

2 东华理工大学

3 Universidad Nacional de La Plata

4 中国科学院南京地质古生物研究所

5 中国科学院南海海洋研究所

6 中国地质调查局广州海洋地质调查局

7 中国地质大学(武汉)

8 中国地质科学院地质力学所

9 首都师范大学

* lgao@cugb.edu.cn

尽管德雷克海峡被认为是全球大洋环流和气候的关键组成部分, 但由于对南极半岛古地理位置的约束不足, 其初始打开年代仍存在争议。本研究对南极半岛巴钦斯群岛开展了锆石 U-Pb 年代学研究, 提供

了约 59 Ma 时的南极半岛古地磁极（纬度=76.9°S，经度=332.1°E，A95=5.9°）的关键年龄约束，并对南极半岛阿纳格拉姆岛和南设得兰群岛乔治王岛开展了锆石 U-Pb 年代学与古地磁研究，获得新的约 55 Ma 时的南极半岛古地磁极（纬度=77.4°S，经度=23.5°E，A95=4.4°）。结合现有证据，南极半岛与巴塔哥尼亚安第斯山脉的初始分离被限定在约 62 至 59 Ma 之间，是由南极半岛顺时针旋转引发。该板块分离事件导致德雷克海峡浅水贯通、南极绕极流的初始形成，大洋环流重组，并解释了古新世的全球降温事件。

S35-O-5

基于密集地震台阵的格罗夫山冰下底部沉积结构探测

傅磊^{1*}，王靖宇¹，崔迎春²，宗师²，周进举³，刘澜波⁴

1 中国地质大学（武汉），地球物理与空间信息学院

2 中国极地研究中心

3 中国矿业大学

4 山东大学

* fulei@cug.edu.cn

南极冰盖及其冰下底部环境对科学研究和全球生态具有极为重要的意义，其内部保存着丰富的古地球气候和地质信息。然而，传统的冰雷达技术虽能有效刻画冰盖内部结构分层及冰下湖的上界面，但由于电磁波在冰层中的衰减效应，使其难以对冰下沉积层及湖底界面的物性特征进行详细描述。相比之下，地震学方法通过利用天然地震波数据对地下介质进行高分辨率探测，展现出独特的优势。本文基于中国第 40 次南极陆上科学考察队在格罗夫山地区布设的 47 个线性短周期地震仪所记录的地震数据，选取震中距 30°—90°、震级大于 5.0 的远震事件，采用 P 波尾波自相关技术对冰下介质进行成像分析。结果显示，测线下方存在冰下山峰，其两侧冰下结构

不同。山峰西侧地区冰盖与基岩之间存在明显的沉积层而山峰东侧并未发现这一现象。此发现不仅有助于深入理解冰盖的动力学行为、冰下地貌特征以及地球化学过程，还能为揭示远古气候变化信息以及冰盖的历史演变提供重要依据。

S35-O-6

对南极主动源地震勘探的思考：以第 41 次南极考察结果为例

刘国峰^{1*}，陆恺²，王猛¹

1 中国地质大学（北京），地球物理与信息技术学院

2 中国极地研究中心

* liugf@cugb.edu.cn

南极大陆 98% 以上的面积被冰雪覆盖，地震勘探被视为进行冰盖内部以及冰下地质环境成像的高分辨率方法。在南极开展地震勘探面临有限保障条件下的激发震源的选择、便捷观测系统的设置以及特殊介质地震波特征和数据处理方法等诸多待解难题，在中国第 41 次南极考察期间，我们开展了锤击震源、可控震源等在冰下基岩以及冰下湖的探测工作，获得了多项探测成果。通过采集的不同数据，我们对粒雪层、内部冰盖以及冰下湖、冰下基岩等目标进行了成像研究，得以从数据角度，重新考量在南极开展地震勘探的采集、处理和解释问题。本次会议，我们将介绍不同强度震源下南极地震数据的特征和成像结果，并梳理在南极开展地震探测的采集、处理和解释等的关键，并提供一套可参考的方法策略。

S35-P-1

南极格罗夫山蓝冰区是长周期冰芯气候记录研究的理想区域

史贵涛^{1*}

¹ 华东师范大学, 地理科学学院
* gtshi@geo.ecnu.edu.cn

蓝冰是冰川在运动过程中遇到冰下地形阻挡, 翻越冰下基岩裸露出来的冰体。相比连续冰芯, 蓝冰冰芯具有获取简单、时间尺度长等特点, 是开展长周期冰芯气候记录研究的重要载体。格罗夫山位于中国南极内陆考察断面上, 是我国开展南极地质及陨石研究的重要区域。由于冰下山脉阻挡, 兰伯特冰川流经此地地上翻形成典型蓝冰区。已有研究结果表明, 格罗夫山蓝冰区上游区域的出露表层蓝冰年龄可达 140 ka 左右, 结合该区域的陨石居地年龄 (>200 ka), 显示该地区是寻找古老蓝冰和冰芯古气候记录研究的理想地点。结合冰雷达探测和浅层冰分析结果, 初步筛选了几个适合开展蓝冰冰芯钻探的区域, 为格罗夫山蓝冰冰芯古气候记录研究奠定了基础。

S35-P-2

南极冰盖空气反循环连续取芯快速钻探: 系统设计与研究进展

王如生^{1*}, 崔志豪¹, 洪思琪¹

¹ 吉林大学, 极地科学与工程研究院
* wangrs@jlu.edu.cn

南极冰盖冰芯快速钻探是极地冰川科学研究的重要手段之一, 对于极地地球系统科学的研究具有重要意义。然而, 在极端恶劣和严酷的工作条件下, 冰芯快速钻探技术和设备成为极地冰川科学研究的瓶

颈。传统的冰芯钻探系统在冰层中有效钻探的平均速度为每天 20-30 米, 因此一个月的最大钻探深度约为 500 米。本报告主要介绍, 通过关键技术突破, 研发一套南极冰芯钻探设备, 能够在 3-5 天内以 30-50 米/小时的速度, 在 500-1000 米深度的南极冰层中进行空气反循环连续取芯钻探。该系统主要包括一套集成化、轻量化、自动化和智能化的全孔空气反循环快速连续取芯钻具模块、地面快速钻进模块、钻杆快速加接模块和冰芯自动识别、检测和封装模块等。

S35-P-3

南极北维多利亚地中新世以来大规模火山作用的成因: 岩石圈拆沉

潘荣昊¹, 崔迎春^{1*}, 陈绍聪¹, 张浩¹, 王雪娇¹

¹ 中国极地研究中心(中国极地研究所), 自然资源部极地科学重点实验室
* cuiyingchun@pric.org.cn

新生代岩浆活动在南极北维多利亚地地区广泛分布, 并认为与西南极裂谷系的形成演化有关。然而, 西南极裂谷系开始伸展于~100 Ma, 岩墙作用出现于~48 Ma, 代表高岩浆通量的大规模火山作用产生时间更晚, 自约~15 Ma, 岩浆活动相比于裂谷伸展活动明显滞后几十个百万年。这种裂谷作用与岩浆作用, 特别是与火山作用之间时间解耦的产生机制仍不清楚。在本研究中, 我们从岩浆产生的基本条件入手, 基于已发表全岩主、微量和放射性同位素数据, 评估了镁铁质岩石(MgO 含量>7.5 wt.%)成分在空间和时间上的变化, 识别了地幔源区岩性, 并估算了岩浆产生时的温度-压力条件。镁铁质岩石成分在时间和空间上都存在显著多样性, 表明在晚白垩纪裂谷形成之前, 地幔源区可能已经历过

交代作用, 表现为高 FeO/MnO 比值、高 FCKANTMS 值, 以及区别于橄榄岩熔体的 CIPW 端元特征等, 显示软流圈地幔中广泛存在富集组分(主要为辉石岩)。地质温压计表明, 这些岩石产生的温度在 1168-1426 °C, 压力在 0.9-2.9 GPa, 特别是在~15 Ma 之后, 随时间的推移, 岩浆产生的温度-压力都逐渐升高, 暗示了软流圈的上涌。这些岩浆产生的温度范围也明显高于通过岩石圈地幔包体恢复的地热梯度线, 因此我们提出, 在早期裂谷阶段, 小程度的软流圈熔体渗入、与上覆岩石圈发生反应并导致其强度降低, 但由于地热条件不足, 未能生成大量岩浆。中新世以来, 脆弱的岩石圈发生剥离和下沉, 这一过程导致了深部高温软流圈的被动上涌, 进而引发大规模熔融, 产生大量岩浆, 促成了北维多利亚地中新世以来广泛的火山活动。

S35-P-4

冰下基岩岩心卡断模型构建及协同影响机理分析

王如生¹, 崔志豪^{1*}, 涂桂刚¹, 范晓鹏¹, 宫达¹, 洪思琪¹, 吕欣雨²

¹ 吉林大学, 建设工程学院

² 大连海事大学, 船舶与海洋工程学院

* 729633177@qq.com

在极地研究领域, 获取极地冰盖下基岩样本对于重建古气候、探索古生命、研究冰下地质构造等具有重要意义。然而, 冰下基岩岩心钻探极具挑战性, 迄今为止, 成功的案例很少, 所获得的冰下基岩样本不足。与传统岩心钻井方法相比, 水力反循环连续取心具有显著的优势。为了确保其成功实施, 岩心破碎是一个关键问题。本文以最大破碎力为判据, 研究了冰下基岩岩心破碎机理。通过弹性力学分析, 建立岩心破碎模型, 结合岩心破碎实验和破碎面表征, 分析劈裂角、岩心直径和岩心长度三个关键因素对破碎力的协同作用。

研究的最终目的是阐明岩心破碎机理, 为水力反循环自动等距岩心破碎技术的成功实施和进一步发展提供理论支持。

S37-O-1

Spatial Distribution of Water Isotopes in the Himalayan River Basins: Implications for Hydrological Processes, Moisture Sources, and Paleolatitude Reconstruction

Mohd Aadil Bhat^{1*}, Daidu Fan¹, Ramees R. Mir¹, Tanveer Dar², Si-Liang Li³

¹ Tongji University, State Key Laboratory of Marine Geology

² University of Massachusetts Amherst, Department of Earth, Geographic, and Climate Sciences

³ Tianjin University, Institute of Surface-Earth System Science, School of Earth System Science

* aadilgeo@tongji.edu.cn

The Himalayan River Basins (HRB) play a crucial role in regional hydrology, ecology, and paleoclimate studies, yet limited isotopic data has hindered basin-scale hydrological understanding. This study presents new stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ and d-excess) data from the Indus River Basin, combined with a comprehensive compiled dataset across the HRB, to generate high-resolution isoscapes using a Geographically Weighted Regression Model (GWRM). The model incorporates multiple predictors—precipitation, temperature, evapotranspiration, runoff, elevation, slope, aspect, and land use/land cover—to accurately represent surface water isotopic variations. The $\delta^{18}\text{O}$ and d-excess isoscapes reveal distinct spatial gradients from south to north and west to east, reflecting topographic and climatic influences. The GWRM effectively quantifies fractional

contributions from different water sources and establishes a second-order polynomial relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and elevation, improving upon traditional linear isotopic lapse rates. This refined relationship enhances paleoelevation reconstruction accuracy.

S37-O-2

古气候调控下中新世古珠江 河系时空演变

林理娥¹, 卓海腾^{1*}, 苏明¹, 陈维涛², 李智高², 丁琳²

¹ 中山大学, 海洋科学学院

² 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

* zhuoht3@mail.sysu.edu.cn

河流体系是大陆边缘沉积物沉积和输送的关键通道, 其类型、形态和结构演变可有效指示古构造、物源供给、气候和海平面变化等丰富信息。早—中中新世时期(约 23.8–13.8 Ma), 古珠江大型河流体系在多因素联控下经历了多期侵蚀、沉积和埋藏过程, 形成了多期、多类型、面貌壮观的大型古珠江河道系统, 为解读古代地质信息带来了绝佳契机。本研究综合利用三维地震、钻测井及岩心等资料, 结合层序地层和地震沉积学的综合分析方法, 划分了 14 个高频层序(SQ1-SQ14)及对应体系域, 识别出了辫状河道、曲流河道等不同的河道类型, 系统揭示了高分辨层序格架下古珠江河道体系的时空展布特征、沉积演化规律及控制因素。研究发现, 在早中新世阶段(对应层序 SQ1-SQ7), 古珠江主河道体系主要发育在低位体系域内, 总体反映出了海平面控制的趋势; 相比而言, 至中中新世时期(对应层序 SQ8-SQ14), 古珠江河道体系规模在低位、海侵和高位体系域内均急剧变大, 叠置程度、下切深度较前期均明显增加, 且定量重建后的河流总径流量、沉积物通量显著增大, 这一现象突破了传统海平面控制下的下游

控制模型, 推测应为气候主导下的上游控制机制调控。综合分析推测, 古珠江河系的重大转变与中中新世气候适宜期

(MMCO) 存在显著耦合关系: 温暖湿润气候带来的强降水显著提升了径流量(研究估算增幅达 40-60%)和沉积物通量(提升约 1.8 倍)及沉积物输送效率, 驱动研究区中中新世古珠江河道体系发生了规模跃升与结构重组, 进而主导了古珠江河道体系沉积格局和时空演化。本研究建立了古珠江河道沉积体系与地球古气候变化的耦合响应模型, 为揭示季风气候背景下源-汇系统演变规律提供了新视角。

S37-O-3

冰期旋回气候变化驱动台湾 山溪性小河流入海沉积物组 成及其水系的演化

简星^{1*}

¹ 厦门大学, 海洋与地球学院

* xjian@xmu.edu.cn

台湾山溪性小河流的现代沉积过程及记录受到了广泛关注, 而冰期旋回时间尺度上的入海沉积物组成及源-汇过程如何演变, 鲜有报道。本研究以台湾浊水溪三角洲钻孔沉积物为对象, 通过多物源指标分析, 尝试重建末次冰期以来沉积物(包括泥质和砂质组分)的物源演化过程。结果显示, 末次冰期时低海拔的海岸平原和西部麓山未变质新地层为浊水溪河口沉积物提供主要碎屑物质, 而冰消期以来, 高海拔的雪山山脉和中央山脉浅变质老地层贡献增多, 借此提出气候变化控制下的水系袭夺和河网变化驱动浊水溪沉积物源演变的新假说。本研究认为浊水溪输出的细粒沉积物并非全是最近的沉积旋回周期内的风化产物(主要继承于沉积基岩)。我们的研究结果揭示, 低纬度的山溪性小河流, 作为东亚边缘海沉积源-汇系统的重要组成,

具有动态多变的物源信号,影响不同时间尺度的陆-海物质循环和沉积物源示踪研究,强调了冰期旋回气候变化在构造活跃区山脉侵蚀、山地流域水系演化及其沉积物供给-输运过程的关键角色。

S37-O-4

基于沉积地球化学方法重建全新世尼罗河物质向地中海输运情况

汪思成¹, 吴家望^{1*}, 刘志飞², Gert J. de Lange³

1 中山大学, 海洋科学学院

2 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

3 乌特勒支大学, 地球科学系

* wujiaw5@mail.sysu.edu.cn

地中海是一个半封闭的盆地,其沉积物保存了周边陆地气候环境的关键信息。起源于非洲热带/亚热带地区的尼罗河是世界上最长的河流,也是地中海最重要的河流淡水和物质来源。本研究聚焦东地中海黎凡特盆地,选取从尼罗河三角洲前缘至开阔海域、具有精确年代框架的4个沉积柱岩芯,针对其陆源碎屑组分开展地球化学分析,系统揭示了全新世以来尼罗河物质向东地中海的输运情况。Ti/Al、Zr/Al, Y/Al 比值的一致变化呈现了显著的风尘输入信号; K/Al 反映了北部欧洲河流输入信号, Mg/Al、Sc/Al 则反映了土耳其沿岸的河流输入的信号。结果显示,尼罗河主导了黎凡特盆地及尼罗河深海扇区域的物源;不同水深站位的沉积速率和沉积通量的变化反映了尼罗河物质入海沉积的输运模式差异。自~14 ka,尼罗河沉积物输入量由高值持续下降,在~8 ka 达到低点,在早全新世基本稳定。这一变化反映了尼罗河径流与流域植被的综合结果。在~6 ka 后,撒哈拉风尘的影响明显增强。

S37-O-5

末次盛冰期以来亚洲降水氧同位素来源变化与海平面变化的联系

孙炜毅^{1*}, 刘健¹, 宁亮¹, 严蜜¹, 王晓晴¹

1 南京师范大学, 地理科学学院

* weiyisun@njnu.edu.cn

石笋记录的降水氧同位素作为一种广泛分布的气候代用指标,对季风、水循环过程具有重要的指示意义,但其不同区域的气候意义和动力机制尚不清楚。本研究基于耦合氧同位素的地球系统模式 iCESM 开展的 iTraCE 试验,并开展了水汽源地标示试验,发现末次冰盛期以来亚洲降水氧同位素在南亚和中国东部存在显著的区域差异性,具体表现为南亚同位素成偏轻趋势,而中国东部同位素值变化相对较弱甚至偏重。近源太平洋水汽显著增加影响了中国东部降水氧同位素,海平面上升是引起该现象的原因:一方面,引起东亚边缘海面积增加,加强局地水汽;另一方面,造成海洋性大陆升温、对流活动增强,触发热带太平洋东风异常,进而输送更多水汽至东亚。

S37-O-6

通过多序列叠合平均增强天文周期信号检测

黄任达^{1,2}, 李明松^{2,3}, 邱若原⁴, 王友伟⁵, 张瑞^{1,2}, 金之钧^{1,2,3*}

1 北京大学, 能源研究院

2 页岩油气富集机理与有效开发全国重点实验室

3 北京大学, 地球与空间科学学院

4 中国科学院地质与地球物理研究所

5 University of Virginia

* 18724415345@163.com

由于随机影响和自生动力学的作用,在浅海和陆相地层中检测米兰科维奇旋回

具有一定的挑战性。为了应对这一问题，我们基于动态时间规整算法提出了一种叠合平均算法，通过多条序列的叠合来压制随机噪声，从而增强信噪比，以便检测天文信号。我们首先基于天文解合成了模拟古气候序列，来对该方法进行评估。结果显示，对两个序列进行叠合平均后，白噪声强度显著降低了约 27%，红噪声强度降低了约 17%。蒙特卡洛模拟的进一步评估表明，该方法能够显著压制噪声水平。将该方法应用于准噶尔盆地上古生界风城组表现出与合成序列相一致的噪声压制水平，进一步证实了该方法的稳健性。研究认为，该方法能够支持在复杂的沉积环境中开展天文年代学研究，以及天文驱动古气候演化的研究；有助于研究凹陷、盆地乃至全球尺度上受天文和非天文因素共同影响的沉积过程。

S37-P-1

轨道尺度低纬度水循环变化并非受控于夏季太阳辐射

杨虎^{1*}，时晓旭¹，王旭龙²，刘青松³，仲义³，刘晓东²，孙有斌²，蔡演军⁴，刘飞⁵，Gerrit Lohmann⁶，Martin Werner⁶，翦知湑⁷，Tainã M. L. Pinho⁶，程海⁴，卢丽娟⁵，刘骥平⁵，杨清华⁵，胡永云⁸，成星⁹，张靖宇³，杨朝渊¹，陈大可¹

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

2 中国科学院地球环境研究所

3 南方科技大学，海洋磁学中心

4 西安交通大学，全球环境变化研究院

5 中山大学，大气科学学院

6 德国 AWI 极地与海洋研究所

7 同济大学，海洋与地球科学学院

8 北京大学，海洋研究院

9 陕西地质调查中心

* yanghu@sml-zhuhai.cn

一个世纪以来，北半球夏季太阳辐射一直被认为是驱动轨道尺度气候变化的关键因素。在高纬度地区，气候变化主要表现为冷热波动和冰盖的消长，表现出强烈

的偏心率和地球斜率信号；而在低纬度地区，气候变化的规律似乎截然不同，其主旋律体现为干湿变化，并以岁差信号为主导。传统观点认为，岁差调节了南-北半球夏季太阳辐射差，从而驱动热带辐合带的南北移动。然而，越来越多的绝对定年地质记录表明，低纬度不同地区的降雨量变化往往与夏季太阳辐射变化存在相位差。其背后的原因众说纷纭。在本研究中，作者提出了一种新的可能性，即低纬度水循环并非受控于夏季太阳辐射，而是由移动的近日点控制。具体来说，岁差会改变近日点在一年内发生的时间和纬度。当近日点发生时，近日点纬度附近的太阳辐射强度达到最大值，驱动热带复杂带出现强烈的降雨。由于近日点纬度随时间变化，不同纬度的最强降雨值自然是异相的，出现在不同的时间。作者的假设挑战了传统的米兰科维奇理论。在新的理论框架下，不同季节的太阳辐射在决定低纬度水循环的演变方面同样重要。认识这种规律对理解水循环的演化历史并预测其未来走向具有重要意义。

S37-P-2

100 万年斜率调制周期对晚泥盆世海平面波动的调控作用

陈健^{1*}，李明松²，张一歌¹

1 中国科学院广州地球化学研究所，深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 北京大学，地球与空间科学学院

* chenjian1@gig.ac.cn

F-F 灭绝事件是显生宙五个生物大灭绝事件之一。已有研究提出，海平面波动可能通过控制滨海缺氧区扩张，导致了这次生物大灭绝。层序地层学研究刻画了晚泥盆世的海平面波动。然而，海平面波动的驱动机制仍不清楚，主要因为在晚泥盆世

的大部分时间,两极冰川很可能不存在。而海水热胀冷缩变化所引起的海平面波动(thermo-eustasy)幅度也小于估计值。

本研究对美国伊利诺伊盆地的 New Albany 页岩的高分辨率 Ti/Al 序列进行了旋回地层学分析,据此建立了地质年代标尺,进一步对 Ti/Al 和化学风化指数(CIA、CPA)序列进行了调谐。利用调谐的 Ti/Al、CIA 和 CPA 数据进行频谱分析以识别天文周期。通过计算天文周期信号相对于总功率的功率比,识别出长周期的偏心率调制周期和斜率调制周期。此外,通过对比长周期调制与 Euramerica 海平面记录,我们尝试揭示长周期调制与三级至四级海平面波动之间的关系,并探讨陆地含水层变化(aquifer-eustasy)能否调节晚泥盆世的海平面变化。

旋回地层结果显示 $1/4.35\text{ m}^{-1}$ 和 $1/3.13\text{ m}^{-1}$ 频率的周期信号很可能对应 405-kyr 偏心率周期,沉积速率主要在 0.5 cm/kyr 至 1.1 cm/kyr 之间变化。调谐的 Ti/Al、CIA 和 CPA 的频谱分析显示,在 Frasnian 期 MN 1 至 MN 10 牙形石带以及 Famennian 期 *Pa. triangularis* 至 *Pa. marginifera utahensis* 牙形石带中,海平面上升与约 100 万年斜率调制周期的极小点相对应。此对应关系表明约 100 万年的斜率调制周期可能通过陆地含水层变化机制(aquifer-eustasy)控制晚泥盆世海平面波动。即在温室气候条件下,当该长周期减弱时,向极地输送的水汽和热量减少,导致中高纬度地区的陆地含水层补给下降而全球海平面则上升。此外,在冰期的 Annulata 生物事件期间,海平面下降与约 100 万年斜率调制周期的极大点相对应。这表明,该调制周期在达到极大时,可能增强了水汽向极地的输送,从而促进冰川生长,进而导致全球海平面下降。本研究揭示了长周期斜率调制周期可能在温室气候期间通过陆地含水层变化

(aquifer-eustasy)、在冰期期间通过冰川机制(glacio-eustasy)调控了晚泥盆世海平面波动。

S37-P-3S

全新世以来南黄海中部泥质区沉积物的源汇过程及其控制因素

谷玉¹, 刘喜婷^{1*}

¹ 中国海洋大学, 海洋与地球科学学院

* liuxiting@ouc.edu.cn

海洋铁循环在全球碳、硫、铁生物地球化学循环中起着重要作用。南黄海作为我国重要的边缘海,其沉积物中的铁含量丰富,且受到黄河、长江等河流输入的显著影响。然而,南黄海沉积物中颗粒铁在陆架沉积物中的归宿机制尚不明确。本研究以南黄海中部泥质区(CYSM)岩芯 YSCW-1 为研究对象,结合沉积物粒度、氧化还原敏感元素(U 和 Mo)以及铁形态分析,探讨自全新世以来沉积环境和氧化还原状态对活性铁(Fe_{HR})的控制机制。根据岩性、粒度、铁组分和地球化学特征,将岩芯划分为 U1-U4 四个单元。研究表明:CYSM 岩心沉积物中颗粒铁富集于细粒陆源沉积物,源自大陆化学风化,但在不同沉积单元中的颗粒铁归宿存在差异。U1 阶段(9.3-9.0 ka)主要受黄河输入控制,在氧-亚氧环境下,以黄铁矿铁为主;U2 阶段(9.0-7.3 ka)为低盐、氧化的河口环境,碳酸盐铁增加;U3 阶段(7.3-3.1 ka)现代黄海环流形成,环境稳定,黄铁矿铁占主导;U4 阶段(3.1 ka 至今)为氧-亚氧条件,主要以磁铁矿形式存在,伴随有机质矿化过程中铁还原的增强。研究表明,沉积环境与氧化还原状态共同控制了陆架区活性铁的形态变化过程。

S37-P-4S

河流沉积物物源代表性: 锆石年龄视角

樊星辰¹, 曹立成^{1*}, 窦衍光², 姜涛¹

¹ 中国地质大学(武汉), 海洋学院

² 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* licheng.cao@gmail.com

研究源汇系统和地质历史演化需要选用特定指标表征地质单元(如物源区)的端元信号, 锆石 U-Pb 年代学在众多指标中脱颖而出, 其广泛应用积累了较大样本量, 并且与地质事件密切相关。定义端元信号的锆石年龄数据往往选用基岩、河流沉积物抑或是两者的组合, 两类数据既有优势也有局限: 基岩与岩石成因学直接相关, 但样品难以覆盖各岩性且易受到专著效应的影响; 河流沉积物可反映流域内“平均化”的基岩信号, 基于该假设已有大量研究通过现代沉积物全岩和单颗粒信息探究地壳演化, 然而母岩矿物丰度差异、复杂沉积搬运过程等因素使得该“平均化”结果的代表性仍存争议。

针对上述问题, 本研究立足全球视角, 系统收集并筛选了基岩和河流沉积物的谐和锆石 U-Pb 年龄数据, 基于 HydroSHEDS 划分了不同流域级别的各子流域分布, 选用频谱曲线交叉相关系数、累计频率曲线 K-S 检验等多个年龄统计学指标来定量表征各子流域内部基岩(分为碎屑沉积岩和火成岩)和沉积物的物源信号相似性。结果表明, 特定流域的不同相似性指标存在一定差异, 但空间分布整体具有一致性, 可见小型河流较大型河流的相似性更高, 特别是东南亚构造拼贴带、科迪勒拉山系等地区的相似性较高。此外, 河流沉积物与火成岩基岩的物源相似性较碎屑沉积岩也更强, 指示后者的不均一性更强。为进一步揭示河流沉积物物源代表性的潜在控制因素, 从水文性质、岩性组成、构造、气候四个维度选取了多个典型指标(包括流域面积、各类岩性面积占比、地震活动性、最近板块边界距离、年平均降水量等), 获取其各子流域平均化后的空间分布特征并与物源信号相似性开展对比分析。初步发现构造因素的控制相对明显, 尤其是峰

值地面加速度、地震活动性与年龄频谱曲线交叉相关系数的相关性更强, 同样重要的还有样本量的控制, 单位面积内样品数和年龄数均与年龄相似性指标呈正相关。本研究表明利用河流沉积物表征基岩物源信号有一定的适用范围, 可供后续区域性物源研究借鉴参考, 同时鉴于不同物源指标在表征地质过程的差异, 有待开展锆石年龄以外指标(如云母 Ar-Ar 年龄、全岩 Nd 同位素等)的物源代表性研究。

S37-P-5

非洲南部林波波河现代沉积物组成由陆到海的变化过程及控制因素

杨婧^{1,2}, 聂军胜^{2*}

¹ 湖南文理学院, 地理科学与旅游学院

² 兰州大学, 地质科学与矿产资源学院

* jnie@lzu.edu.cn

边缘海陆源沉积物常被用来推断源区山体抬升、风化和剥蚀历史。然而, 大型河流泥沙从源区到边缘海的搬运过程可能经历多次沉积、储存、再搬运和新物质的加入等过程, 导致进入边缘海的沉积物与初始源区沉积物的组成可能具有较大差异。因此, 厘清现代大河泥沙从源到汇的源汇过程, 对于准确解读边缘海沉积物中记录的陆源环境信号具有重要意义。本研究以林波波河及其入海口边缘海的现代沉积物为研究对象, 采用多指标物源分析方法, 包括 Sr-Nd-Hf 同位素、重矿物组合及碎屑锆石 U-Pb 年代学, 示踪泥沙从源到汇的物源变化。结果表明, 林波波河中游陡坡区域是现代边缘海沉积物的主要物源区。与赞比西河及其他大河的对比显示, 边缘海沉积物主要来源于靠近入海口的最陡峭地段。研究强调了河流纵剖面形态对泥沙从源到汇运输的控制作用, 为理解沉积物源-

汇关系提供了新视角，并有助于解析非洲南部地区的地貌演化与区域气候变化过程。

S37-P-6S

一种检测多波束测深数据异常值的方法

韩瑞^{1,2}, 韩喜彬^{2*}, 张怡², 袁寰², 崔晓东¹, 洪昱恺², 赵俐红³, 李小虎²

1 山东科技大学, 测绘与空间信息学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学国家重点实验室

3 山东科技大学, 地球科学与工程学院

* hanxibin@sio.org.cn

深海多波束地形数据在采集过程中, 由于受到海况、海洋噪声以及设备本身等多种因素的影响, 导致数据出现异常值。因此, 剔除数据中的异常值以还原真实的海底地形, 对于研究海底地形地貌及其解译具有重要意义。然而, 对于地形起伏较大的海域, 传统的多波束水深数据异常检测方法难以高效识别并剔除异常值。为此, 本文提出利用 CUBE 滤波结合孤立森林 (IForest) 对水深数据进行建模, 通过 CUBE 滤波对多波束测深数据进行初步筛选, 去除明显异常值, 进行特征提取, 利用孤立森林算法进行精细检测, 识别局部区域异常, 通过滑动窗口进行阈值动态设定实现异常数据的精准识别, 并进行了试验验证。结果表明, 与传统方法相比, 本文方法精确度提高至 94.02%, 通过动态阈值设定和局部特征分析, 显著提升了海底高起伏区域异常检测的准确性和适应性, 适用于多波束测深数据的精准分析与处理。从而能够更快、更准确地进行大规模海底地形数据的处理、成图和分析。

本研究提出的 cube-IForest 算法在数据检测中具有较好的适用性, 研究成果不仅为其他领域的异常数据检测提供了有价值的参考数据, 而且有助于海洋测量技术向更高水平的科学化和自动化发展。在实际

应用中, 需要根据数据集的规模及实时性要求, 合理选择参数。其次, 数据收集条件的变化, 如水下地形, 设备性能和环境因素的变化, 可能会给检测过程带来不确定性。

S37-P-7S

台风对平潭近岸上升流系统演化的影响过程及其机制研究

范小芳^{1*}

1 自然资源部第三海洋研究所

* 2950065788@qq.com

上升流作为连接海洋表层与深层的重要通道, 在调节区域海洋动力结构、物质输运及生物地球化学过程等方面发挥着重要作用。受大气强迫、地形约束与背景流场等多重因素影响, 近岸上升流的时空演化过程尤为复杂, 特别是在台风频繁活动的西北太平洋区域, 其演化特征与动力机制仍缺乏深入理解。本研究聚焦于典型台风影响下的近岸上升流系统演化过程, 以台湾海峡西北部平潭近岸上升流为研究对象, 基于 2013 年夏季座底观测与卫星遥感资料, 系统性地分析了该上升流系统的演化特征及其对台风“苏力”和“谭美”的响应过程与机制。研究表明, 平潭近岸发育着以西南季风驱动为主的典型上升流系统, 表现出明显的冷水上涌及跨岸输运特征。在台风的影响下, 强风应力向海洋输入了大量的机械能, 扰动了原有的流场结构, 抑制甚至中断了冷水上涌过程, 从而显著削弱了上升流系统维持与发展的条件。但由于台风影响时间较短, 使得上升流系统在气旋过境 5-7 天后可恢复至原有的水动力环境。在台风“苏力”和“谭美”影响期间, 局地风场、流场及余水位均出现显著波动, 并呈现出以 4-10 天为周期的低频振荡特征, 揭示了风应力变化与区域地形、背景流场

之间的耦合作用机制。总体而言,局地风场变化是近岸上升流系统破坏及其恢复过程的主导动力因素。本研究有助于深化对台风背景下近岸上升流系统演化机制的理解,为近岸海洋动力过程的预测与海洋环境管理提供科学依据和参考。

S37-P-8S

河套盆地 LH-3 钻孔揭示的渐新世以来的环境演变

王萌萌¹, 王平^{1*}, 杨雪松²

1 南京师范大学, 地理科学学院

2 华北油田公司巴彦勘探开发分公司

* tigerwp@njnu.edu.cn

河套盆地位于黄河中游,是研究流域沉积演化与气候变迁耦合机制的重要区域。该地区广泛分布的新生代厚层河湖相沉积,为揭示新生代以来的地貌与气候演化过程提供了关键地质记录。本文基于中国石油华北油田分公司在临河坳陷钻取的 LH-3 钻孔(钻深达 4400 m),其中 4400–3508 m 为渐新统临河组,3508–2480 m 为中新统五原组,2480–932 m 为上新统乌兰图克组,932 m 以上为第四系。本研究共采集 137 份岩芯样品,开展了粒度、色度、主量元素组成及磁化率等多项指标分析。结果表明,自渐新世至中新世,色度校正值 a^*/L 呈上升趋势,磁化率值呈下降趋势,反映出中新世时期区域气候趋于湿润。在上新统与第四系的界限附近, a^*/L 值明显下降,磁化率也发生显著变化,指示气候向干燥化转变。粒度数据显示,上新统样品平均粒径约为 20 μm ,第四系样品粒度则在 30–278 μm 之间波动。结合已有的沉积相研究,上新统乌兰图克组主要由湖相泥岩、泥质粉砂岩及粉砂岩组成,而第四系下部为河流相沉积,LH-3 钻孔在约 900 m 处各项指标的突变,揭示了晚上新世湖相向河流相的沉积环境转变。元素地球化学结果表明 CIA 值在渐新统较高,随后整体呈下降趋

势,仅在上新统出现短暂升高,反映新生代以来化学风化强度呈阶段性减弱的特征,与全球气温下降事件相吻合。LH-3 钻孔的综合多指标分析揭示了河套盆地新生代以来沉积环境与气候演化的协同变化特征,为深入理解东亚内陆地区的古气候演化及其沉积响应提供了重要证据。

S37-P-9S

东构造结是否主导了布拉马普特拉河入海沉积物通量? 喜马拉雅中段的突出贡献

于名扬^{1*}, 刘志飞¹, 赵玉龙¹, 林宝治¹,
H.M. Zakir Hossain², Suchana Taral³,
Tapan Chakraborty⁴, Christophe Colin⁵

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 Jashore University of Science and Technology, Department of Petroleum and Mining Engineering

3 Pondicherry University, Department of Earth Sciences

4 Indian Statistical Institute, Geological Studies Unit

5 Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS

* mingyangyu@tongji.edu.cn

雅鲁藏布江–布拉马普特拉河代表了喜马拉雅碎屑物质入海的最大沉积物路径系统之一,查明其沉积物来源对理解印度季风和喜马拉雅构造的长期演化至关重要。长期以来,快速剥露的东构造结被认为主导着布拉马普特拉河的沉积物通量,但最近受到一定质疑。为此,本研究系统调查了雅鲁藏布江–布拉马普特拉河从东构造结至孟加拉三角洲表层沙和粉沙粒级沉积物的 Nd-Sr 同位素组成,试图解答在现今时间尺度上东构造结对流域入海沉积物的贡献。结果显示,布拉马普特拉河上游的沙和粉沙具有较高的 ϵ_{Nd} 和较低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$,呈现出对东构造结的继承;而布拉马普特拉河下游沉积物则具有较低的 ϵ_{Nd} 和较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$,反映出喜马拉雅中段南向河流的直接输入。通过 Nd-Sr 同位素混合模型定

量计算,我们发现东构造结对布拉马普特拉河下游沙的贡献占比为~41%,而对粉沙的贡献占比仅为~26%,这与传统观点不符。我们的研究显示,布拉马普特拉河下游~20%的沙和~55%的粉沙来自于喜马拉雅中段南向河流。本研究认为,喜马拉雅中段广泛发育的低级变质岩在强降雨条件下遭受强烈侵蚀,是造成该区对布拉马普特拉河入海沉积物贡献显著的主要原因。这为喜马拉雅入海沉积物的源汇过程研究提供了新的思路。

S37-P-10S

高低分辨率 iCESM1.2 模拟水循环中的稳定氧同位素差异分析

刘益彰^{1*}

1 北京大学,物理学院大气与海洋科学系

* yzLiu@stu.pku.edu.cn

水同位素(尤其是 $\delta^{18}\text{O}$)作为水文循环和气候变化研究的重要示踪剂,其分馏效应在降水、蒸发和凝结过程中的响应机制,为解析大气环流、温度变化及水汽输送提供了关键依据。表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 主要受温度驱动的蒸发-降水过程调控,而深海 $\delta^{18}\text{O}$ 则成为示踪深海环流和全球气候演变的重要指标。本研究基于 iCESM1.2 地球系统模式,首次系统评估了工业革命前(PI)气候条件下高低分辨率配置对水同位素模拟的影响。数值实验采用全耦合模式框架,设置高分辨率(大气模块为有限体积动力内核,水平分辨率为 $1.9^\circ \times 2.5^\circ$,海洋分辨率约为 1°)与低分辨率(大气 T31 谱动力内核,水平分辨率为 $3.75^\circ \times 3.75^\circ$,海洋分辨率约为 3°)两组配置,所有边界条件均保持 PI 气候默认设置,其中低分辨率实验通过调整比湿相关参数使模式能够达到平衡。模拟结果表明低分辨率相较于高分辨率模拟,在 double ITCZ 区域表现出降水减

少和海表温度(SST)降低的特征,而赤道中东太平洋则呈现降水增多与 SST 升高的现象,年平均降水氧同位素的空间分布和高分辨率基本一致,在副热带大西洋局部偏负约 1.25‰。深层环流方面,低分辨率模拟的北大西洋年平均 SST 更低,海表盐度更低,混合层深度较浅(差异约 200m),AMOC 强度偏低约 6Sv ($15\text{--}50^\circ\text{N}$, 500-3000m 经向流函数最大值),导致模拟的北大西洋深层(>2000m)海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏负 0.1-0.3‰。高低分辨率模拟的海表 $\delta^{18}\text{O}$ 的空间分布基本一致,其差异与盐度差异呈现显著相关性。低分辨率实验在太平洋和印度洋整体偏正 0-0.4‰,南海区域偏负 0-0.6‰,北大西洋偏负 0.8-1.8‰。与 GISS 现代观测数据的对比显示,低分辨率模拟在多个海区展现出更优的匹配度。本研究证实,低分辨率水同位素模拟仍能有效刻画现代水循环和同位素空间分布特征。该发现为古气候氧同位素数值模拟提供了重要方法学支持,特别是通过与地质记录(如化石壳体 $\delta^{18}\text{O}$)的对比分析,可验证模式模拟结果并校正古海水温度重建结果,也为解析地质历史时期水文循环与海洋环流演变机制提供新的研究路径。

S38-O-1

黄河扇成因及形成年代

聂军胜^{1*}, 邢力^{1,2}, 佘同鑫^{1,2}, 高鹏¹, 胥勤勉³, Alex Pullen⁴, 王鑫², 耿豪鹏², 潘保田²

1 兰州大学,地质科学与矿产资源学院

2 兰州大学,资源环境学院

3 中国地质调查局,天津地质调查中心

4 Clemson University, Department of Environmental Engineering and Earth Sciences

* jnie@lzu.edu.cn

历史文献表明,黄河下游河道经历了大规模迁移,形成了赋存油气与自然资源的沉积结构,并为文明发展提供了基础。然而,河道摆动也孕育了自然灾害。全面

理解黄河下游河道摆动格局的形成时间及其内在机制,是更好的管理自然灾害和自然资源勘探的基础。本文首先提出地貌学和沉积学证据,表明黄河下游河道沉积物组成了地球上最大的巨型河流扇,且黄河下游河道的摆动可以用巨型河流扇形成理论解释。然后,我们通过年代学模型与沉积学证据揭示该巨型河流扇形成于 160 万年前,与 10 万年周期振幅增强的起始时间同步。运用巨型河流扇形成理论,我们认为这一全球性事件可能促进了黄河中游快速整合,使其具备切穿分隔中下游三门峡的能力。这与一些研究提出的溯源侵蚀驱动的连通机制存在差异。自此,沉积物在现今华北平原持续堆积,使其成为河流泛滥灾害最严重的区域之一,并形成最显著的地上河。该巨型河流扇的存在表明陆地沉积物存储量极少,使得通过边缘海沉积速率反演内陆侵蚀存在局限性。

S38-O-2

渭河盆地沉积记录的新生代 渭河流域环境演化历史

张瀚之^{1*}, 鹿化煜¹, 陈泽宇¹, 吕帆¹, 周亚利², 蔡东旭¹, 吕恒志¹, 王先彦¹, 程丰³, 李石磊⁴, 陈骏⁴

1 南京大学, 地理与海洋科学学院

2 陕西师范大学, 地理科学与旅游学院

3 北京大学, 地球与空间科学学院

4 南京大学, 地球科学与工程学院

* hanzhizhang@nju.edu.cn

渭河流域地貌演化过程与区域气候环境演化、黄河流域水系演化、青藏高原东北部地貌演化等过程紧密联系。渭河盆地位于现代渭河中、下游,中始新世以来持续沉降,是区域流域水系的汇水盆地。盆地内沉积了中始新世-全新世相对完整连续的新生代河湖相沉积,是新生代区域水系演化、地貌发育过程和区域风化强度演化的良好记录。结合沉积物碎屑锆石 U-Pb 年

龄谱和扫描电镜矿物定量识别等手段,系统研究了渭河盆地物源演化和风化变化过程。结果表明,与现代类似的渭河流域水系格局可能在渐新世以来相对稳定。北秦岭自中始新世逐步抬升,在中中新世以来逐步向东扩展。此外,基于沉积物长石矿物组合,获得了渭河盆地 46 Ma 以来区域化学风化强度的重建序列。研究表明,渭河盆地流域化学风化强度在始新世为中等,渐新世最强,中新世到上新世相对稳定,而更新世最弱。值得注意的是,始新世到渐新世全球温度降低,而渭河盆地呈现化学风化强度增强的趋势。结合全球温度、区域构造活动、气候环境演化历史等,分析认为,降水和湿度是控制区域风化强度演化的主要因素。

S38-O-3

新生代东亚大河系统演化——以长江为例

田子晗^{1,2}, 索艳慧^{1,2*}, 李三忠^{1,2,3}

1 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

2 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

3 崂山国家实验室

* suoyh@ouc.edu.cn

新生代以来,在印度-欧亚持续汇聚及太平洋板块俯冲-后撤作用的联合控制下,东亚大陆整体地形发生显著反转,进而奠定了多个大型河流系统的基本格局。此外,青藏高原持续抬升促进了东亚季风的形成和强化,上述构造-气候变化对东亚-东南亚大型河流系统的演化及源-汇过程产生深刻影响。

发源于青藏高原唐古拉山向东流入西太平洋的长江是东亚地区最大的河流,探讨其形成过程是研究东亚新生代构造-气候-地貌综合演化效应的重要窗口。本研究聚焦现代长江河流系统形成的关键事件——

长江三峡贯通, 结合多类型地质资料, 通过数值方法动态重建地表过程演化, 展现构造-气候-地貌耦合效果在地表作用的具体表现。我们的工作重建了晚白垩世以来长江流域主体区域的地貌(地形及水系)演化过程, 分析了三峡贯通的时间及机制, 并结合众多沉积学、地球化学资料加以验证。在上述工作基础上进一步探讨了东亚新生代以来的构造-气候-地貌耦合关系, 包括印度-欧亚汇聚、太平洋板块俯冲-后撤、东亚季风系统建立等因素对河流演化、源-汇关系等方面的影响。

S38-O-4

青藏高原东南缘新生代变形与水系重组

颜茂都^{1*}

¹ 中国科学院青藏高原研究所

* maoduyan@itpcas.ac.cn

青藏高原东南缘以低梯度地貌为特征, 缓缓东南向倾斜, 发育了长江、珠江、红河、怒江和澜沧江等六大水系。这些河流, 特别是怒江、澜沧江和金沙江, 间距很近, 上游几乎相互平行, 被称为三江流域。它们的演变对区域数十亿人、生物多样性、古气候等产生了巨大影响。目前这些水系的演化还存在很大争议。本报告拟从青藏高原东南缘的构造变形机制、断裂活动、旋转变形和古高度演化等进行梳理, 结合长江和红河的演化, 来探讨高原东南缘地貌-水系的时空耦合演化。总的来说, 高原东南缘新生代经历了多期次变形, 其中晚始新世晚期和中中新世是个重要时间节点。如北部在始新世晚期已达到当前海拔高度, 高原东南缘始新世晚期为刚性地块旋转变形, 之后则为山弯构造变形, 哀牢山-红河断裂在~35 Ma 开始左旋走滑; 而高原东南缘的南部则在中中新世中期达到现今高度, 哀牢山-红河断裂在~17-12 相对平静, 到约 12-5 Ma 转换为右旋走滑。相应的, 尽管南

流的古红河水系是否存在还存在一定争议, 一些研究表明高原东南缘的古水系(长江和红河)可能在晚始新世、中新世发生了水系重组, 可能揭示区域在构造-地貌-古水系演化等具有一定的耦合过程。但目前相关构造-地貌-古水系耦合演化的证据相对较少, 亟需更多的工作来验证。

S38-O-5

长江中下游水体锂同位素分馏过程及自生铁锰氧化物的影响

杨承帆^{1*}, 杨守业¹

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

* cfyang@tongji.edu.cn

化学风化是调控全球碳循环平衡及维持地球宜居性的重要机制, 锂同位素被认为是示踪化学风化的有力指标, 在解读硅酸盐风化与气候相互关系方面发挥了重要作用。表生风化过程中锂同位素研究已在全球范围内广泛开展, 长江、黄河、恒河以及亚马逊等大河流域是重点关注区域, 相关研究为充分解读风化过程中锂同位素分馏机制提供了理论基础。到目前为止, 河漫滩风化对水体锂同位素组成的影响仍存在争议, 我们对河流搬运过程中次生矿物的形成及其影响仍了解甚微。本研究以长江中下游水体、悬浮物及悬浮物铁锰氧化物相态为研究对象, 开展了元素、阴离子及 Li-Sr 同位素测试分析, 探讨河漫滩风化在锂同位素分馏过程中的作用。

研究结果表明长江中下游水体锂通量主要由硅酸盐风化贡献, 其次为蒸发岩溶解和城市污水贡献。悬浮物及其铁锰氧化物相态锂同位素值显著低于水体, 在校正非硅酸盐端元贡献后, 水体锂同位素变化符合稳态批示分馏模型, 反映了原生矿物溶解和次生粘土矿物形成之间的动态平衡。悬浮物铁锰氧化物组分 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与河

水高度一致,表明这些铁锰氧化物是在水体搬运过程中自生形成的,我们进一步推断,自生铁锰氧化物的形成可能对地质历史时期锂同位素分馏产生重要影响,但由于人类活动影响导致现代河流悬砂浓度下降,铁锰氧化物的影响难以被观测到。根据最新统计的全球入海河流锂同位素组成,我们推测河漫滩风化对现代河流锂同位素分馏的影响微弱,这些发现深化了我们对高人口密度流域河流水化学的理解,本研究指出自生过程可能是调控锂同位素的关键因素,后续工作应该在高侵蚀性并自由流动的河流系统中进一步评估。

S38-O-6

长江中下游心滩沉积物的物源指征:碎屑锆石 U-Pb 和白云母 Ar-Ar 年代学新结果

谢鸿森¹, 王平^{1*}, 刘品钦¹, 张万峰², 陈玺贇¹

¹ 南京师范大学, 地理科学学院

² 中国科学院广州地球化学研究所

* tigerwp@njnu.edu.cn

基于碎屑矿物同位素年代学的物源判别已经成为研究河流演化历史的重要手段,特别在长江、黄河等大河研究中积累了大量的数据。然而,这些碎屑沉积物样品多采自河道边滩,受到季节性支流汇入、人类活动等的影响较大。本研究充分避开了上述影响,选择长江中下游的 4 处心滩,宜昌关洲、武汉罗霍洲,九江单家洲和马鞍山白沙洲,采集了河流砂样,进行了碎屑锆石 U-Pb 年代学(4 件,共 120 颗)、⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学(4 件,共计 342 颗)的分析。碎屑锆石 U-Pb 年龄结果显示,四个样点的年龄谱峰形高度相似,主要包括 100~200 Ma(晚三叠-早中生代,秦岭-大别山造山带)、360~500Ma(早古生代)、700~1000 Ma 的宽峰(新元古代)、以及

1700~1900 Ma 和 2400~2600 Ma(克拉通基底)的古元古代峰值,反映了长江流域广泛发生的构造-岩浆事件,以及沉积物的再旋回特征。宜昌样品中最年轻的锆石年龄为 36 Ma,武汉为 42 Ma,这些喜马拉雅期的岩浆锆石可能指示了上游远源碎屑输入。虽然长江下游存在大面积的新生代(中新世至上新世)的玄武岩,但它们的锆石产率极低。相比之下,碎屑白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄则揭示了更显著的近源特征,展现出与区域基底构造—岩浆活动良好的对应关系。例如,宜昌关洲样品白云母年龄主要集中在 800 Ma,与三峡地区(黄陵背斜)新元古代花岗质基底年龄相符;武汉样品白云母呈现侏罗纪-白垩纪的宽峰分布,指示物源可能集中在江汉盆地东缘的大别山地区;宜昌和武汉的样品中都包含了一部分 13~65 Ma 的年轻锆石颗粒,可能代表了上游远源贡献。而九江样品中则缺乏年轻颗粒,白云母年龄集中在白垩-三叠纪 100~300 Ma,与华南陆块岩浆与变质年龄相对应;马鞍山样品中则出现了异常年轻的(<10 Ma)白云母(2%),甚至小于上游喜马拉雅期年龄,且宜昌、武汉以及九江都不存在如此年轻的白云母颗粒,因此这些白云母很可能与下游晚新生代火山-岩浆事件有关,而非远自上游的远距离传输。

S38-O-7

青藏高原东缘低起伏高原面多阶段多成因演化过程

张会平^{1*}

¹ 中国地震局地质研究所

* huiping@ies.ac.cn

青藏高原东缘高海拔低起伏高原面与深切峡谷并存这一典型地貌特征的形成演化过程及其机制,一直是国际地球科学学界研究的热点。综合现有文献发现,其形成和演化过程是多阶段地质过程叠加的结果,可划分为古新世-始新世之前的“古大

河侵蚀夷平”、中新世 - 上新世的“水系袭夺改造”和上新世以来的“冰川锯侵蚀调整”三个关键阶段，各阶段受不同动力机制主导，且存在显著的继承与改造关系。1) 晚白垩世至早古近纪，区域处于低海拔稳定环境，发育统一的南流古大河系统，通过长期侵蚀形成广泛分布的低起伏夷平面。物源分析显示，四川盆地等沉积盆地的碎屑锆石年龄与松潘 - 甘孜地块高度一致，指示存在统一的“源 - 汇”体系。2) 始新世末起，印度 - 欧亚碰撞远程效应导致区域抬升，古大河系统因分水岭迁移和水系袭夺解体。三江流域河流水系重组，部分支流因失去汇水区域成为“被袭夺河”，其流域因侵蚀速率骤降而保留低起伏特征，周边深切峡谷则形成鲜明对比。低温热年代学揭示，30 Ma 以来，深切河谷剥露速率显著加快，而残留面区域保持稳定，形成“高海拔低起伏面 + 深切峡谷”的二元地貌格局。3) 上新世以来，高原东缘抬升至现代海拔 (>3500 m)，冰川侵蚀作用成为主导。冰期 - 间冰期旋回下，冰川锯效应通过刨蚀山脊与填充谷地抑制地形高差，同时构造抬升与冰川侵蚀速率的动态平衡维持了高海拔面的稳定性。区域冰川地貌解译显示，晚更新世冰期时冰川覆盖广泛，冰蚀作用使山顶面趋于平缓。低温热年代学数据表明，10 Ma 以来高原内部剥蚀量约 0.5-5 km，而边缘峡谷区达 10 km 以上，反映冰川对不同构造单元的差异化改造。因此，这一演化过程是构造、河流、冰川等多因素耦合的结果：古大河系统奠定夷平基础，水系袭夺导致地貌分异，冰川作用与构造隆升共同塑造现代地貌。现今残留的低起伏面并非单一成因，而是不同阶段地质过程的叠加产物，其形成机制的揭示为理解高原东缘地貌演化提供了整合框架。

S38-O-8

青藏高原东北部新生代古生态演化：磁性地层学约束下的哺乳动物化石记录解析

冯展涛^{1,2*}，张伟林^{1*}，方小敏，Guillaume Dupont-Nivet²，颜茂都¹，Bastien Mennecart⁴，张思蕊⁵，张涛³，咎金波¹，宋春晖³

1 中国科学院青藏高原研究所

2 雷恩第一大学

3 兰州大学，地质科学与矿产资源学院

4 巴塞尔自然历史博物馆

5 中国科学院地球化学研究所

* fengzht@itpcas.ac.cn

* zhangwl@itpcas.ac.cn

青藏高原东北缘是探究构造活动、气候变化与生物演化耦合关系的重要区域。该地区发育的新生代沉积盆地记录了季风湿润气候向干旱环境演变的生态过程，这一过程既响应了高原隆升，也受到全球气候变化的影响。青藏高原东北缘的陇中盆地因地层出露完善、保存了大量渐新世—更新世时期哺乳动物化石，成为开展区域构造变形、古气候与古生物研究的绝佳窗口。过去几十年来，国内外研究团队在该地区开展了大量地层年代测定和古气候重建工作，积累了丰富的数据。然而，陇中盆地各次级盆地的沉积地层和哺乳动物化石年代的认识目前在学术界仍存在分歧。此外，基于哺乳动物化石开展的古环境重建多数集中于某一单一物种或局限于个别次级盆地，限制了对高原东北部构造-地貌-剥蚀风化-生物耦合演化的系统理解。本研究通过对陇中盆地的新生代地层、古生物化石、构造地貌和季风演化等方面研究进展进行全面系统的梳理，重新评估了兰州、西宁、临夏三大次级盆地的沉积地层、沉积相与磁性地层年代，以及限定了 17 个渐新世—第四纪哺乳动物化石群的精确年代。在此基础上，本研究汇总了这 17 个化石群的已发表化石名录，并参考这些物种已发表生态习性，对其进行“生态分数”

赋值, 据此计算出各化石群的平均生态分数及其对应的栖息环境类型, 从而实现对每个化石群环境特征的半定量重建。结果显示: 陇中盆地由渐新世—早中新世的开阔林地, 过渡至中中新世的茂密森林, 并自晚中新世起逐步演化为以稀树草原和干草原为主的半干旱景观。这一生态演变趋势与东亚季风降水的长期变化高度契合。结合已有沉积相、物源和沉积速率证据, 本研究进一步揭示了自晚始新世至更新世期间, 陇中盆地如何在青藏高原东缘隆升与全球气候变冷的共同作用下, 由低海拔、地形起伏小且干燥的开阔林地, 演变为高海拔、高起伏、季风季节性显著且以 C_4 植物为主的干旱草原生态景观。

S38-O-9

定量重建晚上新世以来长江流域硅酸盐风化历史

张晋¹, 万世明^{1*}, Peter D. Clift², 靳华龙¹

¹ 中国科学院海洋研究所

² University College London

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

深海记录揭示新生代气候整体变冷, 但是变冷机制不明确。喜马拉雅-青藏高原隆升引起的硅酸盐风化作用增强被认为是导致大气 CO_2 浓度下降和新生代变冷的重要原因。然而, 硅酸盐风化如何响应构造和气候变化以及对全球碳循环的长期影响仍然不清楚, 其中关键原因是缺乏亚洲大陆长时间尺度的风化和剥蚀通量的定量重建。研究人员以南黄海陆架 CSDP-1 岩芯沉积物为研究材料, 在前期物源和沉积环境研究的基础上, 通过粘土组分的常微量元素组成和陆源通量分析, 结合已发表的数据, 重建了过去 3.5 Ma (百万年) 以来长江流域硅酸盐风化强度和风化通量的演化历史。结合以前的研究, 我们认为, 在长时间尺度上, 大陆硅酸盐风化强度 (程度) 的变化主要受控于全球温度, 而侵蚀通量

则是控制硅酸盐风化通量即碳消耗的关键因素, 风化通量受硅酸盐风化强度变化的影响较小。由于构造活动对侵蚀通量的重要控制作用, 源自喜马拉雅-青藏高原的大型河流不同构造演化阶段对长期碳循环的影响可能是变化的。在较慢的侵蚀时期, 由于构造相对稳定, 硅酸盐风化主要响应于气候变化, 对地球气候起到负反馈的“地质空调”作用; 在快速侵蚀时期, 很可能与构造相对活跃有关, 硅酸盐风化消耗了更多的 CO_2 , 从而构造隆升驱动着全球气候变冷。这一机制既解释了晚新生代全球气候的加速变冷, 又避免了地球在几百万年内耗尽大气中的 CO_2 而温度失衡, 从而这两种风化过程可能协同调控着全球气候长期变化。

S38-O-10

末次冰盛期以来火山事件对冲绳海槽北部陆源沉积的影响

乔朋宇¹, 王中波^{1*}, 郭玉龙², 王峰¹, 梅西³, 陆凯³, 张勇³, 杨守业²

¹ 汕头大学, 海洋灾害预警与防护广东省重点实验室

² 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

³ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* zhbwang@stu.edu.cn

边缘海沉积物是研究源汇过程和古环境演变的重要地质记录。第四纪期间, 冲绳海槽接收了来自长江、黄河以及东海周边小河的大量陆源沉积物, 然而 LGM 以来火山活动对北部冲绳海槽的影响显著, 导致碎屑物质来源及其影响因素存在不确定性。为确定北部冲绳海槽的物源和古环境变化, 本文利用 AMS ^{14}C 测年、粒度和地球化学组成等指标, 对陆坡 GHN007 岩芯的沉积物进行了综合分析。结果表明, GHN007 孔沉积物由三个沉积单元组成, 由下而上分别对应末次冰盛期和末次冰消期

(U3, 22.2 - 16.1 cal kyr BP)、全新世早期(U2, 12.8 - 7.3 cal kyr BP)和全新世晚期(U1, 7.3 - 2.4 cal kyr BP)。其中, U3和U2出现的沉积间断(16.1 - 12.8 cal kyr BP)是由Sz-S火山事件导致的沉积崩塌造成的。物源示踪揭示, U3陆源碎屑物质主要来源于黄河, 其在陆坡形成了三角洲远端泥质沉积; 12.8 - 7.3 cal kyr BP期间, 海平面快速上升古黄河口逐渐后退, 导致北部冲绳海槽的沉积物堆积速率下降, 虽然近源的九州河流物质贡献相对增加, 但黄河仍是U3单元的主要陆源碎屑物源; 7.3 cal kyr BP以来, 黑潮增强, 台湾东部河流物质增加, 是U1的主要物质组成。岩心Na/Al比值揭示出K-Ah和Sz-S事件火山灰层地球化学组成突变及上覆地层渐变, 说明源自九州的火山物质在河流和洋流系统搬运过程中发生多旋回沉积作用, 对冲绳海槽沉积物形成持续3 - 4 kyr的火山物质影响。此外, 北部GHN007孔沉积间断以及中南部岩芯浊流沉积表明, 火山事件对冲绳海槽沉积影响显著。本研究强调了火山事件对大陆边缘连续沉积的扰动作用, 这值得在未来高分辨率古海洋学和古环境研究中给予更多的关注。

S38-O-11

冰期-间冰期旋回中季风降水驱动的陆地硅酸盐风化及其全球碳循环意义

赵德博^{1*}

¹ 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

* zhaodebo@qdio.ac.cn

轨道时间尺度上, 基于太平洋和印度洋钕同位素、大西洋铅同位素以及以色列石笋锂同位素记录重建结果显示, 陆地硅酸盐风化历史与全球底栖有孔虫氧同位素曲线变化一致, 表现为冰期风化强度减弱

而间冰期增强, 认为其主要受到温度变化的控制。而诸多末次冰期以来季风区风化重建工作显示, 硅酸盐风化可以受到季风降水的强烈影响。因此, 目前关于轨道时间尺度季风区硅酸盐风化研究存在的一个主要争议是, 其演化主要是受控于具有十万年周期的全球温度变化, 还是具有显著两万年周期的季风降水演化。这也是我们一直无法准确评估硅酸盐风化在冰期-间冰期旋回中对大气CO₂含量变化做出多少贡献的主要原因。这很大程度上限制了我们对于硅酸盐风化在全球碳循环中的理解。本研究利用硅酸盐风化历史重建(IODP U1429 站位铁同位素以及 K/Al)、CCSM3和 GEOCLIM 模型模拟以及对全球现代河流沉积物地球化学数据集的再分析, 发现亚热带和热带季风区的硅酸盐风化强度随岁差周期波动, 且主要受季风降水控制。值得注意的是, 在冰期, 通过硅酸盐风化作用消耗的二氧化碳量相较于间冰期较低, 但却保持在相对稳定的水平, 约为2.47 Tmol/yr。我们推测, 冰期冰盖的扩张将较强的硅酸盐风化区域限制在中-低纬度区域。随着岁差调控的南北半球的太阳辐射量变化, 降水带(风化带)在南、北半球间的中-低纬度区域摆动, 相对稳定的风化面积导致了相对恒定的二氧化碳消耗量。该冰期-间冰期尺度水文气候变化对全球硅酸盐风化调控的理论, 有助于我们深入理解地质历史上和未来硅酸盐风化在全球碳循环中扮演的重要角色。

S38-O-12

全新世琼州海峡贯通事件对北部湾沉积物“源-汇”变迁的影响研究

崔振昂^{1*}, 侯月明², 夏真³, 甘华阳³, 梁开³

¹ 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 三亚南海地质研究所

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局，海洋油气地质研究所

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局，海洋生态环境研究所

* cuizhenang@163.com

北部湾作为南海西北部的半封闭海湾，其沉积物来源一直是海洋地质研究的热点。全新世期间，琼州海峡东西贯通是北部湾海域的一项重大地质事件，对沉积物物源及海洋环流系统的演化产生了深远影响。然而，由于地质记录的相对匮乏，目前对于区域全新世沉积演化的认识仍受到一定限制。为深入探讨该事件对北部湾沉积物物源及洋流系统的影响，本研究对北部湾中部海域的 SO-31 沉积物岩心进行了系统的地球化学分析。基于垂直地球化学剖面特征，将 SO-31 岩心沉积物地层划分为三个单元，分别反映了研究区内海平面波动及沉积物物源的动态变化过程。通过 SO-31 岩心 Th/Cr vs. Th/Sc 散点图分析表明，在约 11400 ~ 7700 a BP 期间，沉积物质主要来源于红河；而在约 7700 a BP 前后，研究区物源组成发生了显著转变，表现为琼州海峡贡献比例增加而红河贡献比例下降。这一结果表明，琼州海峡的开放在约 7700 a BP 左右对北部湾中部地区的沉积物供应产生了重要影响。上述发现不仅为琼州海峡开放事件的研究提供了关键的地球化学证据，同时也进一步深化了我们对北部湾全新世沉积演化及“源汇”转换机制的理解。

S38-O-13

长江三角洲地质环境和地质灾害问题与挑战

印萍^{1*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* yinping@mail.cgs.gov.cn

长江三角洲分布着我国最大的城市群和最重要的经济体，长江三角洲一体化发展战略立足陆海统筹发展，以港口、跨海

通道、临港工业园区等陆海联通基础设施和城市发展为主线的重大基础设施建设，对地质工作保障提出了更高更新和更高的要求。长江三角洲位于长江与钱塘江冲积作用下形成的复合三角洲，地势平坦、河网密布，沉积地层厚度大，以淤泥质软土为主，地下水位高且动态变化显著，水下三角洲及近岸海区受河流-海洋动力交互作用，动力环境复杂，海底地形多变。叠置在复杂的地质环境背景上的城市化进程的加快和人类活动的增加，长江三角洲面临着最严峻的地质环境问题和地质灾害的挑战。系统梳理长江三角洲的历史地质调查成果，以大数据信息化技术支撑问题驱动、需求驱动的地质成果集成，针对长江三角洲陆海一体化发展规划落地实施开展关键地质科学问题研究，预测河口三角洲发展趋势并提出地质安全防控措施，是新时期地质工作保障国家战略的重要举措。

报告将基于长江三角洲相关地质调查研究团队近期联合开展的地质调查成果集成和关键地质问题讨论，介绍长江三角洲陆海一体化调查研究工作的主要进展和关键科学认识，梳理主要的地质环境问题和地质灾害挑战，在全球变化变化、环境保护和可持续发展要求的背景下，提出长江三角洲陆海一体化地质调查工作的思路和建议。

S38-O-14

晚新生代岛弧隆升—风化及其碳循环效应

于兆杰^{1*}，万世明¹，Christophe Colin²，杨业³

1 中国科学院海洋研究所

2 法国巴黎萨克雷大学

3 天津大学

* yuzhaojie@qdio.ac.cn

在百万年时间尺度上，硅酸盐风化消耗大气 CO₂，是驱动气候变化与碳循环的

重要过程。“隆升-风化”假说提出新生代以来板块碰撞，大陆高原隆升，促进了大陆风化和大气 CO₂ 消耗，可能引起全球气候变冷(Raymo and Ruddiman, 1992)。这一假说的提出被认为是新生代气候变冷机制研究的重要突破，但其碳循环平衡问题仍存诸多科学争议。相较于已获广泛关注的亚洲大陆风化碳汇效应，岛弧风化的地质演变和气候效应极不清楚，其对新生代气候变冷的贡献可能被严重低估，是研究风化-气候耦合作用的新方向。海水溶解态的同位素组成既能保持陆源同位素组成而跟海水区分开来，又对通量的变化比较敏感，被认为是追踪风化通量的有效手段。但现有同位素指标大多只能反映全球风化通量的变化，无法精细化重建局部风化通量，限制了大陆和岛弧风化入海通量演变的对比研究。溶解态 Be 和 Nd 元素在海洋中的停留时间短于大洋水团混合时间，有潜力分别重建大陆和岛弧风化通量演变，并做对比研究。本报告将介绍晚新生代以来海水 Be、Nd 等同位素初步结果，结合传统的矿物学和元素地球化学记录，探索岛弧风化历史重建及其碳循环效应。

S38-O-15

基于地球系统科学的海岸带滨海湿地监测研究——以江苏盐城滨海湿地为例.

范彦斌¹，罗敏^{2*}

1 江苏省海洋地质调查院，海防中心

2 江苏华东地质环境工程有限公司，生态修复与保护中心

* 2351317346@qq.com

盐城滨海湿地以其卓越的生产力、丰富的生物多样性以及显著的生态服务价值而著称，然而，该生态系统亦遭受了人类活动的显著干扰。盐城滨海湿地生态系统的退化速度令人担忧。本研究采用地球系

统科学的方法，对 2000 年至 2024 年期间的江苏盐城湿地生态系统进行了深入监测，并综合运用了其他地球科学领域的知识，旨在探究人类活动干扰下盐城滨海湿地的演变规律，并分析这些规律与社会经济发展之间的相互作用。最终，本研究基于恢复生态学的理论与实践，提出了针对性的保护和恢复策略，为未来湿地系统科学研究提供了重要的参考价值。

S38-O-16

沉积过程铁同位素分馏及对海洋铁循环的意义

刘佳蓉^{1,2}，马金龙^{1*}，韦刚健¹，叶丰¹，朱冠虹¹

1 中国科学院广州地球化学研究所，深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* jlma@gig.ac.cn

铁(Fe)是一种营养元素，海洋溶解 Fe 是限制海洋初级生产力的重要因素。目前的研究表明海洋中 Fe 主要来源之一是大陆边缘沉积物的溶解(包括还原性溶解和非还原性溶解)，溶解 Fe 也会被清扫进入颗粒物或形成自生矿物，因此沉积物同时又是海洋溶解 Fe 的汇，这为制约大陆边缘沉积物对海洋 Fe 的贡献带来了挑战。为研究沉积过程 Fe 同位素分馏及陆缘沉积物对全球 Fe 循环的贡献，本研究对来自珠江口的沉积物样品进行 Fe 同位素分析，同时采用化学连续提取方法分四步提取了碳酸盐相、Fe(氢)氧化物相、有机相和残余相，并测定了各相态元素含量以及 Fe(氢)氧化物相和残余相中 Fe 同位素组成。结果显示，全岩 $\delta^{56}\text{Fe} = 0.11 \sim 0.33\text{‰}$ ，平均值为 0.19‰ ；Fe(氢)氧化物相和残余相中的 Fe 占总 Fe 的 90%以上，其中 Fe(氢)氧化物相具有最轻的 Fe 同位素组成($\delta^{56}\text{Fe} = 0.06 \sim 0.17\text{‰}$)，而残余相具有最重的 Fe 同位素组成($\delta^{56}\text{Fe} = 0.32 \sim 0.48\text{‰}$)。Fe

(氢)氧化物相与残余相之间显著的 Fe 同位素分馏 ($\Delta^{56}\text{Fe}_{\text{residue-oxide}} \approx 0.3\text{‰}$) 说明轻 Fe 具有更强的活动性, 形成自生矿物, 而残余相来自河流搬运的风化产物。全岩 Fe/Al 比值高于珠江悬浮物, 指示了沉积物中 Fe 的富集, 说明沉积后形成自生矿物。Fe (氢)氧化物相 $\delta^{56}\text{Fe}$ 与粒径和 Fe 含量均有显著的正相关关系, 说明沉积后形成的自生矿物具有更偏重的 Fe 同位素组成, 指示氧化环境。随深度减小, Fe (氢)氧化物相中 Fe/Ti 和 $\delta^{56}\text{Fe}$ 均增大, 说明沉积柱顶部是更加氧化的环境。本研究证明在氧化的河口沉积环境下, 沉积物作为海洋 Fe 汇, 优先利用同位素重的 Fe, 从而导致海洋溶解态 Fe 减少, 溶解 Fe 的同位素组成变轻。因此, 在计算全球大陆边缘沉积物向海洋输送的 Fe 净通量时, 还应该考虑沉积物作为汇储存的 Fe 通量。

S38-O-17

台州海岸带第四纪地层对比及沉积环境演化

汪业勇^{1*}, 田元¹, 张旭¹

1 浙江省海洋地质调查大队
* 565613215@qq.com

选取台州海域 2 口钻孔岩芯作为研究对象, 综合运用岩石地层学、磁性地层学、年代地层学、生物地层学、气候地层学及地震地层学分析方法, 并结合收集的钻孔数据, 对台州海岸带陆海统筹第四纪地层进行对比研究。通过深入研究陆海统筹第四纪地层层序, 梳理区域海侵海退历史脉络, 重建区域沉积环境演化。基于台州海岸带陆海统筹第四纪地层层序、海侵海退历史、沉积环境演化的综合研究, 建立第四纪地层格架。本研究为深入理解长三角区域第四纪地质演化提供了重要补充, 并为区域地质调查、海岸带工程建设以及环境保护等领域的相关工作提供了参考依据。

S38-O-18

基于长江口表层样的古环境指标厘定及其在东海内陆架全新世古环境重建中的应用

袁洁琼^{1,2}, 丁旋^{1,2*}, 印萍³, 赵宝成⁴

1 中国地质大学(北京), 海洋学院
2 极地地质与海洋矿产教育部重点实验室
3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
4 上海市地质调查局
* dingx@cugb.edu.cn

河口、海岸带环境演化受海平面变化、季风、沿岸环流及人类活动等的共同影响, 是研究气候、环境变化的理想区域, 东海大陆架巨厚的泥质沉积体由长江等河流泥沙堆积形成, 从长江口向南延伸至闽浙沿岸, 记录了丰富的古环境信息。为探究东海陆架泥质区全新世以来沉积特征演化及其对气候环境变化的响应, 本研究以长江口外现代表层沉积物样品和浙闽沿岸瓯江口外 D12 孔为研究对象, 进行了有孔虫、粒度、黏土矿物等分析。首先基于长江口表层沉积物, 进行了古环境替代性指标的重建, 包括: 厘清了东海内陆架主要底栖有孔虫属种的环境意义、进行了底栖有孔虫-古水深恢复模型的构建、以及尝试使用有孔虫壳体微区元素 (LA-ICP-MS) 方法初步建立了活体底栖有孔虫 (*Ammonia annectens* 和 *Ammonia compressiuscula*) 壳体 Mg/Ca 与水温的经验公式, 为古环境定性重建、古水温定量重建提供依据。其次, 基于 D12 岩芯钻孔重建了瓯江口外全新世以来古环境变化, 包括古水深、古水温的定量重建, 探究了浙闽泥质体形成演化过程及其对东亚季风的响应; 并由有孔虫壳体 Mg/Ca 分析了 8 kyr 以来底水温变化及其影响因素。主要认识如下:

1. 长江口表层沉积物底栖有孔虫以近岸浅水种和内陆架种为主, 在研究区不同环境条件下呈现不同的组合面貌, 并识别

出低氧（富营养）组合、高氧（贫营养）指示组合等，可用于古环境定性反演。

2. 长江泥沙物质是浙闽沿岸泥质体的主要物源，14–8 ka 期间受低海平面的限制，泥质体尚未发育；8 ka 后东亚季风强弱及沿岸流是泥质体形成的主控因素。8–4 ka 时期满足了长江物质大量供给、东亚冬季风控制下增强的浙闽沿岸流的泥沙输运及上升流的阻隔等因素，是泥质体大规模形成阶段。4–2 ka 长江口外及浙闽沿岸沉积速率均为低值时期，泥质体发育减缓，2 ka 至今受极端洪水事件及人类活动等影响，泥质体堆积速率再次升高。

3. 内陆架区底栖有孔虫 LA-ICP-MS 方法 Mg/Ca 测试及水温反演效果良好；重建了 D12 孔 8 ka 至今底水温变化情况：底水温在 8–4 ka 较高，4 ka 至今略低，与黑潮强弱及东亚季风的调控有关。8 kyr 以来底水温及气候变化研究共识别了 7 个降温事件，分别发生于 7.2、5.5、4.8、4.2、3、1.4、0.2 ka 左右，与北大西洋、格林兰岛、南海、黄海等地气候快速变化事件记录一致。

S38-P-1

感潮河流潜流交换过程模拟和驱动因子分析

蔡奕^{1*}，邢婧文¹

¹ 同济大学，土木工程学院

* caiyi@tongji.edu.cn

河流潜流带是地表水与地下水的过渡带，其内部的物质和能量频繁交换，水力梯度、化学梯度及生物梯度表现明显，生物地球化学作用强烈，对河流生态系统平衡调控具有重要意义。对感潮河流而言，在潮汐周期性涨落和地下水季节性波动的共同作用下，潜流交换过程极其复杂，其特征参数具有一定的动态性和随机性，这给传统定点定时监测方法带来了挑战。本研究基于 COMSOL Multiphysics 多物理场

耦合数值模拟平台，构建了耦合理查德方程与对流-弥散方程的河流潜流交换二维动力学数值模型，通过原位监测数据实现模型率定与验证，系统探讨了河道潮位波动幅度、环境水力梯度及含水层水文地质参数对感潮河流潜流交换通量与范围的影响。结果表明：潮汐动力显著增强河流的潜流交换强度，相比于非感潮河流，0.3 m 潮差条件下河流潜流带范围可扩增 29.5 倍；净潜流交换通量与沉积物渗透系数呈强正相关，与河道潮位波动幅度呈弱负相关；交换范围则与二者均呈显著正相关。敏感性分析显示：沉积物渗透系数对净通量与交换范围均最为敏感；相较于河道潮位波动，环境水力梯度对净通量的影响更显著，但对交换范围的调控作用则较弱。

S38-P-3S

硅酸盐岩化学风化过程中流体滞留时间对元素迁移的影响

王嘉浩^{1,2}，马金龙^{1*}，韦刚健¹，雒恺¹

¹ 中国科学院广州地球化学研究所，深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

² 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* jlma@gig.ac.cn

硅酸盐岩化学风化在地球表层系统中发挥着非常重要的作用，其不仅影响表生环境中元素的循环和再分配，还对全球气候变化与碳循环起着重要调控作用。目前，化学风化作用的动力学机制仍然存在争议。水岩反应的持续时间即流体滞留时间是揭示风化作用机制与元素循环的一项重要指标。最近的研究表明硅酸盐岩风化速率受到流体滞留时间的显著影响，这进一步证实了流体滞留时间在风化过程中的重要性。然而，滞留时间的传统计算方法依赖于复杂模型的建立与同位素组成的分析，这相对难以获得且无法在现有的剖面中进行广

泛应用，极大地阻碍了我们对风化作用机制及元素再循环的认识。

针对上述科学问题，我们基于风化剖面中的元素含量，提出一种新颖的计算风化剖面中流体滞留时间的方法，并引入总滞留时间与单位长度滞留时间两个概念。通过汇编海南、广东和云南等地区的玄武岩与花岗岩风化剖面，系统分析了硅酸盐岩化学风化过程中流体滞留时间与元素迁移及剖面中局部环境变化之间的关系。结果显示，总滞留时间与风化产物的 pH 值及易活动元素的风化通量显著相关，表明随着总滞留时间的增加，流体的化学组成与流体中不同元素的相对饱和程度也随之改变，进一步影响了易活动元素的化学迁移速率。单位长度滞留时间与矿物组成和氧化还原条件密切相关，揭示了局部水含量对次生矿物形成以及氧化还原过程的影响。此外，单位长度滞留时间与硅元素的迁移率存在显著相关性，并且能够很好的指示当地渗透进入风化剖面的降水量，这反映出硅元素在溶解与沉淀过程中受到了流体滞留时间的影响。我们的研究将计算滞留时间的新方法扩展应用于不同类型的硅酸盐岩风化剖面，使得我们对化学风化机制有了更加深入的理解。

S38-P-4

近 20 年来长江三角洲海岸带典型区土地利用动态变化及其环境响应研究

李梅娜^{1*}，印萍¹，段晓勇¹，曹珂¹

¹ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
* 110450017@qq.com

本文以长江三角洲海岸带典型区（南通、上海、嘉兴、宁波和舟山）为研究区，利用美国 LandSat 卫星列遥感影像和我国资源卫星系列遥感影像，采用自动监督分类并结合目视解译，获取了研究区 1995 年、

2000 年、2005 年、2010 年和 2020 年共 5 期土地利用信息，分析土地利用变化特征和趋势，探讨长江三角洲典型区城镇发展、海岸带围填海的时空变化及环境效应。长江三角洲海岸带典型区（南通、上海、嘉兴、宁波和舟山）1995 年至 2020 年，土地利用变化明显，耕地大幅度减少，比例从 1995 年的 68.8%降为 2020 年的 55.7%；城镇建设用地迅速扩张，年平均增加 192.8km²。在快速城市化过程中，人口、单位面积能源消耗等快速增加，环境问题凸显，大量的耕地转为建筑用地，围填海使滨海湿地面积快速减小和消失，导致 CO₂ 和污染物释放与吸收严重失衡，海洋环境受流域和沿海城镇化建设的影响明显，长江口及邻近海域近 20 年来赤潮频发，研究区陆域和海洋环境压力增加。

S38-P-5S

黄铁矿相关指标揭示中国东部边缘海晚第四纪海侵历史

常鑫¹，刘喜婷^{1*}，王厚杰¹

¹ 中国海洋大学，海洋地球科学学院
* liuxiting@ouc.edu.cn

晚第四纪以来，中国东部边缘海经历了多次海侵事件，对沿海地区的沉积环境产生了重要影响。但受到指标和年龄数据的影响，晚第四纪海侵历史仍缺少良好的限制。自生黄铁矿是海洋沉积物中重要的自生矿物，对海平面演化十分敏感。我们利用黄铁矿相关指标对中国东部边缘海晚第四纪以来的海侵历史进行了研究。在浙闽沿岸的沉积记录中，黄铁矿和海相沟鞭藻记录共同揭示了 MIS5 以来的三次海侵事件。三次海侵事件的强度逐渐增强，显著改变了沉积物中有机碳来源和黄铁矿硫同位素信号。在山东半岛泥质区的研究中，我们利用 C/S 与 Sr/Ba 相结合的方式识别出两套海侵地层，分别对应于 MIS3 和 MIS1。当海平面在全新世达到最大值后，C/S 明显

升高,这可能与区域现代环流的形成有关。总体来看,黄铁矿相关指标与其他指标相结合,能够有效限制中国东部边缘海晚第四纪海侵历史和区域沉积环境演化。

S38-P-6S

晚第四纪以来椒江口沉积环境演变及粗粒沉积物源汇特征

光霞¹,黄湘通^{1*},朱心怡¹,杨守业¹,杨磊²,印萍³

1 同济大学,海洋与地球科学学院

2 浙江省海洋地质调查大队

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* xiangtong@tongji.edu.cn

河流沉积物的源汇过程对边缘海的沉积环境及长期碳循环具有重要意义。中国东南部中小河流河口沉积物源汇过程受长江影响,但在晚第四纪以来,不同粒径沉积物在沉积环境影响下具有不同的源汇特征。本研究采用椒江口 TQ1 孔岩芯,利用 XRF 元素扫描、重矿物组合和锆石 U-Pb 年龄分布,结合定年数据和岩芯粒度特征,判定晚第四纪以来椒江口粗粒沉积物源汇特征和沉积环境演变。结果表明,XRF 元素扫描结果受粒度影响较大,晚第四纪以来,椒江口经历三次海侵。粗粒级沉积物主要分布在距现今海平面以下 30-40 米、70-115 米以及 145-155 米之间,其锆石 U-Pb 定年及重矿物组合表明粗粒沉积物主要来源于椒江,长江沉积物影响较小。因此,研究中国东南部中小河流河口沉积物源汇过程中应考虑粒级的影响。

S38-P-7S

元素地球化学揭示长江三角洲第一硬土层冰期成土风化作用

杨博¹,郭玉龙¹,杨守业^{1*}

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室

* syyang@tongji.edu.cn

晚新生代 CO₂ 下降和气候变冷机制以及低地再风化过程是学界关注的前沿问题,目前沉积物在低地的再风化过程研究较为薄弱。长江三角洲硬土层是低地再风化和冰期风化的典型产物,对研究源于青藏高原的沉积物在低地的再风化过程具有独特优势。本研究对长江三角洲第一硬土层展开元素地球化学分析,发现其元素地球化学组成与上下层位差异明显,CIA 和 WIP 等风化指标显示硬土层风化程度显著升高。研究得出初步结论:第一硬土层细粒级物质和石英含量高,是母质沉积物沉积后成土风化导致长石减少、石英富集的结果;ST 孔硬土层比 TY 孔硬土层成土风化程度更高,其最表层沉积物暴露时间比 TY 孔硬土层早 10-19 ka,更长的冰期暴露时间使得沉积物成土风化时间更长。长江三角洲第一硬土层母质沉积于 MIS3 期及以前,40-59 ka 海平面下降致使早期沉积物暴露,不同地区因距海岸线距离不同暴露时间存在差异。

S38-P-8S

东亚陆缘盆地新生代沉积通量演化及控制因素

王海芹¹,丁巍伟^{1,2*},王菲²

1 浙江大学,地球科学学院

2 自然资源部第二海洋研究所,海底科学与划界全国重点实验室

* wwding@sio.org.cn

东亚大陆边缘位于太平洋板块和欧亚板块的汇聚碰撞边界,是全球构造、气候最活跃的地区,也是新生代以来的沉积“源汇”过程的重要载体,记录了板块构造活动、东亚季风的演化和海平面的变化等诸多信息。本文对不同纬度代表性边缘海盆的新生代沉积通量进行了计算与统计,包括高纬度的鄂霍次克海,中纬度的日本海和东海,以及低纬度的南海,以了解东亚陆缘不同纬度沉积动力过程和关键控制因素的差异。结果表明东亚陆缘新生代沉积通量演化呈现显著的纬度分异特征:中-低纬度海盆(南海、东海、日本海)受构造-季风-河流耦合作用主导,青藏高原的隆升使得东南部河流(长江、红河、珠江、湄公河等)重组演化,在晚中新世(11.6-5.3 Ma)在东亚冬季风控制下,沉积通量减少约 1/3,上新世(5.3-0 Ma)在东亚夏季风及台湾岛隆升作用下,沉积通量增加约 2~3 倍,而日本海没有大河输入,其沉积通量主要受季风影响和局部构造运动所影响。高纬度海盆(鄂霍茨克海)则受降温气候-构造协同控制:中-晚中新世(16~5.3 Ma),两次全球降温事件(~14-13 Ma、~7-5.5 Ma)及高海平面影响下,海盆沉积通量减少;上新世阿穆尔河流域的增大与萨哈林岛隆升(5.3-2.5 Ma)使鄂霍茨克海沉积通量发生增长。

S38-P-9

渤海湾唐山港海域表层沉积物粒度和黏土矿物分布特征及其物源指示

杨娅敏^{1*}

1 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心
* yangyamin@mail.cgs.gov.cn

通过对渤海湾唐山港海域 161 个站位表层沉积物粒度和黏土矿物分布特征分析,探讨不同区域沉积物物源及其控制因素。

粒度参数特征和端元模型显示,研究区沉积物大致可分为 3 个区和 EM1—EM4 四个端元:东北部以 EM3 端元砂和粉砂质砂为主;中部曹妃甸深槽区以 EM4 端元砂质粉砂和粉砂质砂为主;南部和唐山港附近以 EM1 和 EM2 端元粉砂为主。黏土矿物主要由伊利石(72%)和蒙脱石(12%)组成。物源分析表明,渤海湾唐山港海域表层沉积物中细颗粒组分主要来源于黄河-海河混合的陆源碎屑,其东北部和曹妃甸深槽区可能有部分古滦河三角洲粗颗粒物质的加入。渤海环流和潮余流控制着本区细颗粒沉积物主要向南部和唐山港附近运移,粗颗粒物质向东北部和中部曹妃甸区搬运沉积。

S38-P-10S

河流沉积物反应态铍(Be)的控制因素及对风化程度的指示意义

陈馨钰¹, 邓凯^{1*}

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室
* kaideng@tongji.edu.cn

大陆风化过程是调控地质历史时期气候变化的重要机制。基于硅酸盐沉积物的元素地球化学组成,前人已提出多种化学风化指标,并将其广泛应用于表征各种地表环境下的风化程度。其中,随着大气¹⁰Be/⁹Be 风化剥蚀指标的兴起,沉积物中反应态组分⁹Be(铁锰氧化物为主)占全样的比例(f_{reac})被认为反映了原生矿物在化学风化过程中的释放,有指示化学风化程度的潜力。然而,对于 f_{reac} 反映风化程度的可靠性,目前仍缺乏系统性研究。

通过搜集已发表文献中沉积物的⁹Be数据并计算 f_{reac} ,发现全球 f_{reac} 范围为0.05-0.82,平均值为 0.35 ± 0.14 ($n=419$)。但由于不同研究中选取的淋滤方式不同且分析粒级不同,导致难以提取全球性的河流沉

积物 f_{reac} 变化趋势。因此,本研究通过对比不同淋滤方法和不同粒度条件下 f_{reac} 的数据,评估其对 f_{reac} 计算的潜在影响。比如,较强的酸淋滤方法会将更多的 ^9Be 淋滤出来,并存在溶解硅酸盐的风险,导致 f_{reac} 计算值偏高。此外,通过将 f_{reac} 与其他风化程度指标进行对比(如化学蚀变指数 CIA 和 α 指数),讨论 f_{reac} 作为风化指标的可行性以及优劣势。总体上, f_{reac} 在高剥蚀地区较低,与这类地区风化时间短且风化程度弱一致,并且我们发现 f_{reac} 与 CIA 呈现出正相关性。后续研究可以考虑进一步比较不同淋滤方式对 f_{reac} 测定的影响,并针对特定岩性给出合适的淋滤方法,提升 f_{reac} 这一风化程度指标的可靠性。

S38-P-11S

青藏高原东南缘水系演化的深部动力学机制

罗芸^{1,3*}, 杨建锋^{1,3}, 赵亮^{2,3}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所, 深层油气理论与智能勘探开发重点实验室

3 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

* yunluo132@gmail.com

大型河流体系的形成是岩石圈构造活动、气候演化和地表过程共同作用的结果。青藏高原东南缘发育有三条在至少两百千米内呈近平行且低间距分布的大江,但深部构造活动与浅部地表过程如何共同塑造这一独特水系格局仍缺乏系统性认知。针对该区域水系演化,前人提出了两种主流假说:其一为多次河流袭夺作用主导的水系重组过程;其二为印度板块向东挤出导致的构造边界迁移控制。然而,这些假说均未通过多圈层耦合动力学模型进行定量验证,主要受限于深部动力学与浅部地貌过程耦合模拟软件的缺失。为此,我们开发了深部-浅部耦合数值模拟软件,集成三

维热力学数值模拟软件 LaMEM 与地貌模拟软件 FastScape。为探究深部动力学过程对浅部水系演化的影响,我们设置了三维热力学模型,分别模拟下地壳流与印度板块挤入两种主流的深部动力学模型,并定量分析了对该区域水系演化的影响。^{[P]_{SEP}}

S38-P-12

东亚大陆边缘入海河流沉积物物源及风化作用研究

何杰^{1*}, Eduardo Garzanti³, 姜涛¹, 王华², 刘恩涛¹

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 中国地质大学(武汉), 资源学院

3 意大利米兰比可卡大学, 环境与地球科学学院

* jiehe19920402@163.com

东亚大陆边缘由于其独特的地质构造、气候和水文背景,发育全球罕见的活跃的沉积物输送和沉积体系,是开展沉积物源-汇沉积体系研究的理想地区。新生代青藏高原隆升导致亚洲东南部产生了巨大的地势落差,造成了亚洲地区季风 and 现代地貌格局的形成,使得亚洲东南部及其相邻海域发生强烈的物质与能量交换,造就了众多大江大河。风化作用是源-汇沉积体系中的重要环节,气候、构造、地形、植被和岩性在不同程度上控制着地表沉积物化学风化,这些河流流域的化学风化控制着表生地球化学过程,对全球碳循环和沉积物入海物质和化学通量具有重要影响。本研究基于东亚大陆边缘的现代黄河、长江、珠江、红河和中国东南沿海小河流、越南中部小河流、台湾及海南岛河流沉积物的全岩、重矿物、粘土矿物、主微量元素分析以及 Sr-Nd 同位素分析,在充分考虑物源供给、水动力分选、再旋回等作用影响的前提下,通过多指标的综合运用和相互验证,揭示出东亚大陆边缘地表物质风化和输运过程,总结东亚大陆边缘地区源汇

体系及风化作用变化特征，为全球气候变化提供参考。

S38-P-13

晚第四纪轨道尺度中纬度东亚内陆硅酸盐风化历史演化-鄂霍次克海沉积记录的证据

冯旭光¹，邹建军¹，石学法^{1*}，姚政权¹，陆正遥²，仲义³

1 自然资源部第一海洋研究所

2 瑞典隆德大学

3 南方科技大学

* xfshi@fio.org.cn

化学风化指地表岩石在水、氧等作用下发生化学成分变化，致使其成分分解，易溶物质流失，难溶物质残留原地，并产生新矿物的过程。它在塑造地球表层形貌、元素地球化学循环以及全球碳循环中起着重要作用。因此，了解硅酸盐风化控制因素（特别是其与气候要素温度和降水的联系）尤为重要。

目前，晚第四纪轨道时间尺度上关于硅酸盐风化的研究主要集中在低纬度地区，而对中高纬度地区的研究相对较少。鄂霍次克海地处东亚季风边缘区域，该区域沉积了大量来自黑龙江流域的碎屑物质，是认识中纬度东亚大陆硅酸盐风化历史的理想区域。

本研究通过对鄂霍次克海西南部 LV55-38-3 孔开展黏土矿物、元素地球化学等指标分析，重建了 200 ka 以来中高纬度东亚内陆的硅酸盐风化历史。结果显示，晚第四纪以来鄂霍次克海沉积物源区的硅酸盐风化记录（化学蚀变指数（CIA）、修改化学蚀变指数（CIX）、K/Al 比值、蒙皂石/伊利石比值）呈现出冰期减弱、间冰期增强的特征，与中高纬度地区（8 - 12℃）的温度变化具有良好的对应关系。同时，风化记录还具有更高频的岁差周期，对应于低纬度东亚夏季风降水的变化，这指示

鄂霍次克海沉积物源区的硅酸盐风化过程对温度和降水变率均有明显响应。

研究发现，温度变化主要受北半球冰盖的影响，而降水变化主要受低纬度夏季风的调控。本研究强调了轨道尺度下高纬度冰盖和低纬度季风对东亚季风边缘区硅酸盐风化历史的重要控制作用。

S38-P-14

长三角北翼苏北盆地 GYN1 孔沉积序列、物源分析及其对长江贯通的启示意义

周效华¹，蒋仁^{2*}，刘凯¹，曾剑威¹

1 中国地质调查局南京地质调查中心，第四纪与海岸带地质室

2 中国地质调查局南京地质调查中心

* 40436583@qq.com

中国东部的苏北盆地作为古长江的汇水盆地和沉积中心，盆地的沉积过程记录了长江的形成演化历史。苏北盆地位于淮河、长江等水系影响区域内，并且通过对长江下游沉积中心南移等分析认为古长江水系应在贯通三峡东流之后最先汇入处。通过对盆地内不同时期沉积物物源特征进行分析对于重建盆地古水系和恢复沉积盆地沉积演化历史以及构造演化历史意义重大。通过对 GYN1 孔（842.3m）不同时期沉积物的碎屑锆石 U-Pb 年龄分布特征和重矿物组合特征等变化，并结合不同地区可能的沉积物源区特征信号进行包括对比分析和相关性分析等，判断了地区沉积物潜在源区分布以及不同时期物源特征变化，对地区水系变迁、潜在沉积物质供应水系演化过程和古长江水系贯通时限和贯通模式等得到进一步认识，即（1）始新世时期，苏北盆地主要为近源的中酸性火成岩源区为主，其可能的沉积物物源区应以扬子克拉通东部地区发育的系列中酸性火山盆地占绝对优势地位。（2）在早中新世时期开

始出现典型的变质矿物，远源以及变质岩物源区扩大，其沉积物源区应以秦岭一大别造山带以及华夏板块为主。（3）中中新世时期，远源物源区以及变质岩源区继续扩大，同时物源贡献率计算结果显示扬子克拉通北部以及松潘—甘孜褶皱带贡献率也有增加。（4）晚中新世时期，出现来自长江上游昌都地块的典型锆石年龄，同时此时期基性火成岩物源区扩张，说明此时期长江上游的扬子克拉通西部大面积出露的基性火成岩物源区以及昌都地块等已经参与对苏北盆地的碎屑物质供给。（5）上新世时期，整体上秦岭一大别造山带源区贡献率增加幅度较大，此时期沉积物的化学风化程度也大幅度降低。但是在此时期变质岩物源区有所波动，说明此时期应以近源沉积为主，所以此时期发源于秦岭一大别造山带的淮河水系应占主要影响，长江水道此时期在苏北盆地南北摆动。（6）第四纪时期，整体锆石年龄分布较为简单，与始新世时期类似，不同的是其变质岩以及基性火成岩源区占优势地位，含较多秦岭一大别造山带的碎屑物质。此时期以近源沉积为主，应主要受淮河水系影响。

S38-P-15

南海东北部深海平原超临界浊流底形的形成、转换及源汇意义

王毕文^{1*}，钟广法¹，王嘹亮²，胡鹏³，
Matthieu J. Cartigny⁴，李阅³，匡增桂^{1,2}

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 浙江大学，海洋学院

4 杜伦大学，地理学院

* bww@tongji.edu.cn

超临界流底形在地球表面广泛分布，对深海地貌塑造具有关键作用。尽管水槽实验已成功复现这些底形间的转换过程，但其在地质记录中的实证仍显不足，凸显

了实验室与自然环境的认知差距。本研究通过整合高分辨率地震资料分析与数值模拟，对南海东北部深海平原的底形形成和转换展开研究。在浊流形成的约 20,000 平方公里第四纪沉积波场中，识别出周期阶坎、逆坡迁移型与顺坡迁移型逆行沙丘以及平床等四类超临界-过渡流态底形的共生现象。这些底形表现出复杂的横向转换特征，包括三类向低弗劳德数底形的转换和三类反向转换。研究发现，即使底形谷-谷坡度微小至 0.1° 的变化，也能引发流动衰减与增强的交替，导致数十至数百公里范围内底形类型的反复转换。与此同时，这些底形自第四纪开始发育，其波长、波高及分布范围均呈现随时间逐渐增大的趋势，这一特征明确指示了自第四纪以来台湾造山带进入快速隆升剥蚀阶段，为深海平原持续输送大量沉积物，进而形成超临界浊流底形。至晚第四纪，该区域的隆升速率达到峰值。通过分析深海平原沉积演化历史来反演周边构造运动及沉积物源供给变化，已成为研究南海与华南大陆及周边岛屿源-汇过程的关键手段。未来可结合地球化学示踪技术，建立源-汇体系的时空演化模式。

S38-P-16

中国东部陆架第四纪沉积环境演化研究进展与展望

姚政权^{1*}，石学法¹，刘焱光¹，乔淑卿¹，
刘建兴¹，王昆山¹

1 自然资源部第一海洋研究所

* yaozq@fio.org.cn

中国东部陆架位于亚洲大陆与西太平洋的过渡区域，是连接全球最大的沉积源-汇系统的重要纽带，记录了东亚构造变形、亚洲季风系统形成与演化、海平面变化及东亚重大水系变迁等诸多重要信息。在总结前人研究的基础上，结合最近 20 年来中国海洋专项获得的数据资料和研究成果，

综述了中国东部陆架区第四纪以海侵-海退变化为主要特征的沉积环境变化,探讨了陆架沉积环境变化与区域构造、海平面和东亚季风气候变化的联系;基于目前在长江、黄河流域及东部陆架区开展的沉积物源-汇研究,讨论了长江和黄河贯通入海的可能时代及控制因素;提出新生代以来陆架地质环境演变与东亚构造历史、季风系统演化、海平面变化、重大水系调整及陆架有机碳埋藏的耦合机制研究是未来在中国东部陆架实施科学钻探的重点科学目标。

S38-P-17S

江汉盆地晚更新世硬土层风化强度与主控因素研究

孙月¹, 苏妮^{1*}, 杨守业¹

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* nsu@tongji.edu.cn

江汉盆地位于长江中游,是长江切穿三峡后东流的第一个大型卸载盆地,盆地内发育巨厚且连续的第四纪沉积物。晚第四纪时期海平面的波动与冰期的暴露风化导致江汉盆地古河间暴露发育硬土层,作为低地再风化和冰期风化的典型产物,厘清硬土层的地球化学特征及风化强度是揭示其形成与低地再风化过程的重要基础。本研究以江汉盆地 HL 孔硬土层为研究对象,使用光释光定年建立硬土层沉积时的年代框架,结合粒度参数明确硬土层的沉积环境;利用 TESCAN Intergrated Mineral Analyzer (TIMA) 自动定量矿物分析系统对硬土层的重矿物组成进行分析,判断沉积物的物质来源;利用 X 射线荧光光谱 (XRF) 法测定硬土层主量元素含量,厘清水动力分选和沉积旋回对风化指标的影响,明晰硬土层的风化程度。研究表明,HL 孔硬土层的沉积时间为 11~77ka B.P.。硬土层的粒度参数、粒度分布频率曲线、C-M 沉积图等特征显示,硬土层平均粒径为 6.3~9.0 ϕ ,组分以粉砂为主,粘土次之,

砂含量少,样品的粒度频率曲线主要呈单峰型,C-M 沉积图显示以静水悬浮沉积为主,推断沉积物沉积前所受搬运营力性质单一且沉积时处于静水低能的河湖相。硬土层与其上覆和下伏地层的重矿物组合为角闪石、绿帘石、楣石、铁质金属矿物、辉石、锆石等,基于重矿物组合、稳定重矿物三元图解判定江汉盆地 HL 孔硬土层的物质来源主要为长江源。帕克风化指数 (WIP) 与化学风化蚀变指数 (CIA) 揭示江汉盆地 HL 孔硬土层处于中等风化程度,CIA 变化范围为 67~76, WIP 变化范围为 33~45,且在一定程度上受到水动力分选和沉积旋回的影响。江汉盆地 HL 钻孔硬土层的发育受气候和海平面变化影响,大致可分为 3 个阶段:第 1 阶段 (55~30 ka B.P.),末次冰期中气候相对温湿的 MIS-3 期沉积与成土交替作用时期:沉积物沉积速率慢,经历边沉积边风化成土过程,风化相对较强;第 2 阶段 (30~11 ka B.P.),末次冰盛期短暂的暴露成土期,海平面的降低使得江汉盆地长江水位枯竭,加积作用基本停止,硬土层经历短暂的风化成壤过程;第 3 阶段 (11 ka B.P.至今),全新世以来,海平面的上升抬高了长江水位及湖泊的形成使得硬土层被其上覆的河湖相沉积层掩埋,成岩作用开始直至今。

S38-P-18

末次冰消期以来南黄海泥质区沉积物源演变及驱动机制

蒋富清^{1*}, 任传亮¹, 南青云¹, 熊志方², 段佰川², 周晓静³

¹ 中国科学院海洋研究所

² 自然资源部第一海洋研究所

³ 大连海洋大学

* fqjiang@qdio.ac.cn

南黄海泥质区沉积记录了末次冰消期以来的中国东部和全球古气候和古环境演化的历史。尽管对于南黄海泥质沉积的物

源、古气候和古环境研究方面取得了一定进展,但仍存在许多问题和挑战,需要更多高分辨率的物源和气候示踪指标的综合研究,以提高对南黄海泥质沉积演化过程及其环境意义的认识。本研究基于南黄海泥质区高分辨的沉积岩芯中的黏土矿物指标,系统解析了末次冰消期以来黄海南部泥质沉积来源的时空演变及其驱动机制。依据黏土矿物蒙皂石-(伊利石+绿泥石)-高岭石矿物组合进行物源判别,黏土矿物的物源在 13.0ka 和 10 ka 等关键时间节点发生了显著变化: 14.0-13.1ka, 沉积物中黏土矿物组合与长江沉积物类似,表明其主要源自长江;而 13.1-10ka, 黏土矿物组合则与古黄河沉积类似,明显不同于长江黏土矿物组合,表明这一时期的黏土矿物以古黄河贡献为主。10ka 以来,沉积物中黏土矿物既有长江的贡献,同时仍保留部分古黄河物质输入。对比分析结果表明,泥质沉积物源的时空变化主要受到海平面快速上升驱动,并且受到东亚季风气候变化以及黄海暖流和沿岸流系统的影响。频谱分析表明,过去 13.1ka 以来,黏土矿物中伊利石与蒙皂石的含量呈现约 1.5kyr 的周期性波动特征。这一周期既与北大西洋冰筏碎屑记录揭示的 Bond 事件周期高度吻合,亦与黑潮主流的周期性变化节律一致。上述现象表明,南黄海泥质区的黏土矿物输运-沉积过程在千年尺度上受低纬热带海洋动力过程驱动。

S38-P-19S

基于氢氧同位素的福建木兰溪地区水文循环和滞留特征研究

许林峰¹, 杨承帆^{1*}, 彭佳程¹, 杨守业¹

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

* cfyang@tongji.edu.cn

水循环是地球上水以不同形态在不同圈层间转换和流动的自然过程,是地球气候系统、生态系统的重要组成部分。水体氢氧稳定同位素一直被用于评估大气环流模式性能、示踪水汽来源及水团混合等过程,是理解水文循环的重要指标。福建木兰溪位于中国东南部亚热带季风区,属于山溪型小河流,是浙闽中小河流的典型代表。近年来,伴随着气候变暖和极端降水频发,中国东南部山溪型流域内水文化学过程受到极大影响。本研究以福建木兰溪流域为研究区,基于一个水文年内周分辨率的河水、地下水以及降水氢氧同位素数据,结合福建地区气象、河流水文资料,旨在探讨中国东南部典型山溪型河流的水文循环过程。研究表明,木兰溪河水、浅层地下水和雨水的氢氧同位素变化范围分别为 $\delta^2\text{H}$:-66.10~-29.08, $\delta^{18}\text{O}$:-9.94~-4.83 (河水); $\delta^2\text{H}$:-56.21~-32.02, $\delta^{18}\text{O}$:-8.47~-5.52 (浅层地下水); $\delta^2\text{H}$:-107.50~10.47, $\delta^{18}\text{O}$:-14.98~-0.60 (雨水)。雨季降水受海洋水汽及降雨量效应的影响,氢氧同位素组成较早季更轻,该特征在河水和浅层地下水中也有所反映,但响应存在延迟。此外,本研究基于正弦波拟合等手段计算了水体滞留系数和年轻水比例,结果表明河水的平均滞留时间为 0.77 年,其中年轻水的比例为 31.5%,浅层地水平均滞留时间为 2.29 年,年轻水比例 13.7%。这些结果揭示了木兰溪流域内水文的异质性,以及水汽来源、水体滞留的动态变化,为后续开展流域生物地球化学研究奠定了基础。

S38-P-20

晚第四纪东海细颗粒沉积汇的周期性转换: 海平面和东亚冬季风的制约

窦衍光^{1*}, 石学法², 杨守业³

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
2 自然资源部第一海洋研究所
3 同济大学海洋地质全国重点实验室
* douyanguang@gmail.com

长江沉积物源汇体系关键地质过程的研究, 对于深入理解东亚大陆边缘地球表生过程、物质循环和沉积演化特征具有重要意义。本文基于冲绳海槽 CSHC-15 孔高分辨率黏土矿物和 REEs 分析, 从沉积物源汇转换的视角来分析东海细颗粒沉积汇周期性转换的关键过程与机制。研究发现, 200 ka 以来 CSHC-15 孔黏土矿物来源具有明显的“中国大陆源”与“台湾岛源”周期性突变特征, 指示了冰期-间冰期旋回过程东海细粒沉积汇在东海内陆架与冲绳海槽间周期性转换。海平面的升降是启动或触发东海入海沉积物从源到汇搬运过程沉积汇转换的关键因素。海平面上升或下降到临界深度(距今-25 m 或-50 m)引起的东海陆架可容空间变化, 以及陆架锋面的消长, 是导致晚第四纪东海细颗粒沉积汇周期性转换的直接因素。海平面波动对东海陆架沉积层保存的源区气候信号具有非线性的过滤作用。CSHC-15 孔粘土矿物指标岁差和斜率周期的缺失指示了亚轨道-百年时间尺度东亚夏季风气候信号被快速变化的海平面信号所“淹没”, 粘土矿物的沉积记录不能提取季风降雨等源区气候信息。蒙皂石/(伊利石+绿泥石)、伊利石结晶度两个黏土矿物参数强烈的 10 万年偏心率周期, 体现了海平面和东亚冬季风变化的共同影响, 表明东海陆坡-冲绳海槽深水源-汇体系能够对长时间尺度(偏心率及以上周期)气候变化做出响应和反馈。本研究发现了东海细颗粒沉积汇周期性转换规律, 其过程与机制的分析将推动东海晚第四纪沉积地质学研究的进展。

S38-P-21

长江三角洲近海浅层气形成和分布控制机制

段晓勇^{1*}, 印萍¹, 曹珂¹

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 海岸带地质研究室
* duan-xy@qq.com

东海陆架长三角海岸带作为东亚重要的沉积物汇区, 记录了第四纪以来海平面变化、季风演化与人类活动的综合影响。本研究基于多站点沉积岩芯的高分辨率地球化学、同位素及粒度分析, 结合区域沉积动力学模拟, 揭示了晚更新世以来沉积环境演变规律及其对浅层生物气生成与释放的调控机制。研究区沉积物主要源自长江输入, 全新世高海平面期沿岸流作用形成厚达百米的泥质沉积体。粒度与沉积速率数据表明, 中全新世东亚冬季风增强导致浙江-福建沿岸流输沙能力提升, 距今 4000 年前沉积速率峰值达 38 cm/kyr, 与长江物质向陆架边缘扩展密切相关。近 2000 年沉积速率回升趋势揭示了人类活动对沉积通量的显著影响。氧化还原敏感元素 (Cd/U、Mo/U) 垂向分异显示, 甲烷-硫酸盐过渡带 (SMTZ) 作为关键地球化学界面, 上层沉积物呈现氧化特征 (Cd/U $\approx$ 0.27), 下层转为还原环境 (Cd/U $\approx$ 0.02), 该界面波动记录了有机质降解路径转变与甲烷生成强度的时空差异。碳同位素 ($\delta^{13}\text{C-CH}_4$ 、 $\delta^{13}\text{C-CO}_2$) 剖面揭示生物甲烷的生成-运移过程: YS4 岩芯 25-38 mbsf 段 $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ 值达-78.91‰, 与 $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ 同步变化, 指示甲烷厌氧氧化作用 (AOM) 对碳循环的调控; SMTZ 下方同位素分馏减弱反映甲烷扩散受限与次生微生物气生成。沉积物孔隙水地球化学模拟表明, 晚更新世以来海侵过程导致有机质埋藏量增加, 叠加沿岸地下水循环强化, 共同驱动了浅层气藏的阶段性富集。人类世以来, 海岸带工程活动改变沉积物压实过程, 诱发浅层气垂向运移, 表现为声学透明带、麻坑地貌等地质记录。数值模拟显示, 当前沉积物中甲烷通量较工业革命前增加 23%, 其释放通过改变孔隙压力场影响海底稳定性, 对沿岸基础设施构成潜

在风险。本研究建立了“沉积物源-有机质转化-气体运移”耦合模型，为长三角海岸带资源开发与灾害防控提供了地球科学依据。

S38-P-22

东海陆架泥质沉积物中自生黄铁矿对浅层气形成演化的响应

曹珂^{1*}，李雪¹，印萍¹，孙甜甜¹

¹ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* cdutck@163.com

海洋沉积物中的有机碳埋藏在全球碳循环中十分重要，河口和近海陆架作为碳埋藏的主要发生场所，较高的有机碳埋藏使这一区域普遍发育浅层气。现代沉积物中的浅层气大多为生物成因，其主要成分为甲烷(CH₄)。近海沉积物中的甲烷不仅是一种潜在的地质环境致灾因子，也是重要的温室气体。近海沉积物中甲烷的生成机制、分布特征以及环境影响因素尚缺乏系统的研究工作，其产生、迁移与转化规律亟需深化。

本研究通过整合沉积学、地球化学、气体组分、微体古生物、微生物群落结构、自生矿物等多指标分析，揭示东海浅海陆架沉积物中浅层气甲烷特征、生成和演化机制与自生黄铁矿分布、特征及硫同位素之间的关系。发现自生黄铁矿作为沉积物氧化还原条件的重要标识，在研究区与甲烷具有高度的协同性，在 SMTZ 界面以下呈现了随深度增加，黄铁矿的颗粒数增加，微晶和集合体粒径变大和晶型成熟度增强的趋势，石膏和黄铁矿的共生组合显示甲烷厌氧氧化作用对沉积物碳、硫循环的调控及其对早期成岩作用的影响。

S39-O-1

全球海洋地质碳封存进展及我国发展方向

陈建文^{1,2,3,4,5*}，袁勇^{1,2,3,4,5}，骆迪^{1,2,3,4,5}，李清^{1,2,3,4,5}，赵化淋^{1,2,3,4,5}，王建强^{1,2,3,4,5}，孙晶^{1,2,3,4,5}

¹ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

² 青岛市海洋地质碳封存工程研究中心

³ 青岛市海洋地质碳封存重点实验室

⁴ 海洋地质碳封存山东省工程研究中心

⁵ 青岛海洋科技中心海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* jwchen2012@126.com

海洋二氧化碳地质封存是将工业碳排放源或油气开发过程中捕集的二氧化碳，以超临界态注入到海底咸水层、废弃或开发中油气藏等地质体中，实现与大气长期隔离的过程。海洋地质碳封存作为 CCUS 的应用场景之一，是沿海地区实现碳减排的有效途径。

截止到 2025 年 4 月 15 日，全球海洋地质碳封存项目共 28 个，其中：已完成 9 个、正在实施 5 个、规划建设中 14 个。正在实施的 5 个项目分布在挪威、英国、澳大利亚、巴西和中国，每年可封存 CO₂ 约 590×10⁴ t。14 个规划建设项目中有 9 个位于欧洲，其他 5 个分别位于美国、澳大利亚、马来西亚和中国。根据理论研究和工程项目现状，将全球海洋地质碳封存划分为基础研究、潜力评价、工程示范和商业应用 4 个阶段，其中，挪威、巴西、澳大利亚处于商业应用阶段，欧盟、英国、美国、日本处于工程示范阶段，中国处于潜力评价早期和工程示范试验阶段。按源汇匹配性和工程条件总体全球已有海洋地质碳封存项目可分为伴生气封存、驱油封存、枯竭油气藏封存和全链条咸水层封存 4 种类型，挪威 Sleipner 和 Snøhvit、荷兰 K12-B、巴西 Lula 和中国 EP15-1 项目的二氧化碳均来自油气开采过程中的伴生气；巴西 Lula 是一个驱油项目。这些项目的实践活

动度中国海洋地质碳封存具有重要的指导意义。

全球海域二氧化碳地质封存示范项目实施表明：目标级和场地级潜力评价是选址的基础；应针对不同条件开展分类选址；地质风险监测贯穿示范工程全生命周期。我国海域不同盆地应针对不同目的和条件开展示范工程选址论证：海上油气田二氧化碳伴生气咸水层封存项目是优先示范项目，二氧化碳驱油气与封存协同具有现实应用价值，枯竭油气藏封存项目是示范工程的重要选择，全链条规模化海上咸水层封存项目是未来发展方向。

S39-O-2

中国首个海域碳捕集与封存项目地质力学响应的不确定性分析

王志强¹，刘树阳^{1*}，刘峻嵘¹

¹ 中国石油大学（华东），石油工程学院
* shuyang_liu@126.com

恩平 15-1 CCS 项目是中国首个海域碳捕集与封存（CCS）项目。由于缺乏详细的观测数据，地质力学响应存在较大的不确定性。本文构建了热-流-固-化（THMC）多场耦合数学模型，研究了地质力学响应的不确定性。首先，采用蒙特卡洛采样技术生成了 616 组模拟案例；随后应用 Sobol 敏感性分析方法，分析了 13 个参数（包括储层、封盖层及操作参数）对地质响应的影响程度。结果表明，不确定性分析中 90.10% 的案例最大地表隆起小于 8 mm。当储层渗透率为 1 mD 时，最容易导致地表隆起超过 100 mm 及岩石的破坏。本研究可为海域 CCS 项目地质力学响应分析提供参考。

S39-O-3

东海盆地钱塘凹陷晚中生代地质演化与碳封存潜力及工程可行性研究

冯凯龙^{1,2,3*}，朱伟林²，贾宝柱¹，陈威振³，杨哲⁴，周增园²

¹ 广东海洋大学，船海学院
² 同济大学，海洋资源研究中心
³ 成都理工大学，自然资源部深时地理环境重建与应用重点实验室
⁴ 广东海洋大学，管理学院
* fengkailong@gdou.edu.cn

本研究聚焦于东海盆地钱塘凹陷晚中生代地质演化，旨在通过海洋地质与海洋工程的交叉研究，深入剖析钱塘凹陷的地质碳封存潜力。通过华南陆缘-东海盆地岩浆活动与基底特性重建区域构造格架，结合碎屑锆石定年与井震联合解释，厘定中生代地层时代及空间展布规律。开展陆-海对比研究，通过碎屑锆石物源谱系-粒度分析-沉积相耦合，揭示物源体系演变及其与构造-沉积的响应机制，构建弧-盆耦合背景下构造控盆-沉积充填模式，阐明盆地演化对有利储碳层与封盖层组合的控制规律。融合西太平洋陆缘地质演化与碳封存工程需求，综合评价钱塘凹陷海域碳封存的地质适宜性与工程可行性，通过整合岩石物性数据、海域海况数据、港口海运条件等资料，形成“地质过程约束-储盖参数提取-工程阈值匹配”技术链条，为长三角碳中和目标实现提供科学支撑与工程预研基础。

S39-O-4

海洋地质碳封存中 CO₂ 羽流监测的电磁地震联合方法

邱宁^{1*}

¹ 中国科学院南海海洋研究所
* ningqiu@scsio.ac.cn

二氧化碳捕集利用与封存技术（CCUS）是实现全球碳中和目标的重要手段。沿海发达工业地区的能源消费密集，CO₂ 排放量大且陆上封存选址困难。深部咸水层因其广泛分布、安全稳定、理论封存容量占中国总量的 95%以上，成为理想的 CO₂ 封存场所，尤其是考虑离岸咸水层封存，以解决陆上选址难题。在深部咸水层中，CO₂ 的流动和分布受多种因素影响，包括孔隙率、渗透率、注入温度和压力等。此外，复杂的地下地质结构可能导致 CO₂ 泄漏，因此离岸 CO₂ 封存的监测，尤其是对 CO₂ 羽流运移的监测至关重要。

近期研究表明，地震波速度与 CO₂ 饱和度的关系在某一界限后不再显著，传统的地震勘探方法在监测 CO₂ 羽流运移时存在挑战。深部咸水层通常含有微咸或半咸水，具备高孔高渗特征，CO₂ 注入后可导致局部高电阻响应。可控源电磁法（CSEM）能够显著响应由于 CO₂ 饱和度变化所引起的电阻率异常，特别对中高饱和度的超临界 CO₂ 反应良好。CSEM 通过接收海底反射和折射的电磁信号，分析电阻率分布，具备较强的抗干扰能力和高信噪比。

离岸 CO₂ 封存是减少 CO₂ 排放的有效方法。海洋覆盖地球 71% 的表面，作为全球最大的碳汇，其封存潜力超过 2×10^{12} 吨，且环境风险低于陆地封存。海底沉积物在高压低温条件下为 CO₂ 长期注入提供了良好条件。2023 年，中国在南海启动首个离岸 CO₂ 咸水层封存项目，预计可封存超 150×10^4 吨 CO₂。因此，研究海洋地质封存 CO₂ 封存羽流识别监测具有重要意义。

目前，关于海洋地质封存 CO₂ 封存注入过程的电磁地震响应特征的系统研究仍较少，亟待深入探讨。本研究将分析 CO₂ 羽流监测的电磁地震联合方法的可行性，为监测工作提供科学依据，并对离岸 CO₂ 注入监测和地质封存具有重要的指导意义。

S39-O-5

海洋沉积物中粉粒对二氧化碳水合物生长赋存形态及孔隙特征的影响

孙传淇¹，孙建业^{2*}，郝锡萃²，李承峰²，杨灏辰¹

¹ 浙江大学，建筑工程学院

² 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* sun_jian_ye@163.com

深入解析海底沉积物中水合物生长赋存模式及沉积物孔隙特征的演化规律，可为揭示海洋地质碳封存中微观反应机理及优化碳封存技术方案提供理论支撑。本研究利用低温扫描电子显微技术表征了以日本 Nankai 海槽水合物储层为例的含粉粒级配沉积物中二氧化碳水合物的生长赋存特征，并结合低场核磁共振技术讨论了沉积物中粉粒对水合物生长过程及沉积物孔隙尺寸的影响。结果表明，粉粒扩展了水合物的生长空间，使水合物更加松散地填充孔隙空间，并且粉粒的存在使含水合物沉积物的孔隙尺寸显著降低；沉积物中一定量的粉粒会由于增加水-气接触面积而提高沉积物中水合物的生成速率。

S39-O-6

方解石化对玄武岩断层稳定性的影响及其对 CO₂ 海底地质封存的启示

韦俊杰^{1,2}，宋学行^{1*}，张丰收²，孙楠楠¹，魏伟¹

¹ 中国科学院上海高等研究院，中国科学院低碳转化科学与工程重点实验室

² 同济大学，土木工程学院

* songxh@sari.ac.cn

大气 CO₂ 浓度持续攀升已引发全球气候变暖与海洋酸化等环境危机，CO₂ 地质封存技术因其显著的碳封存潜力和工程可行

性,近年来成为全球研究热点。值得注意的是,广泛分布于海底扩张带和俯冲带的玄武岩断层富含铁镁质矿物,可与封存CO₂发生碳酸盐化反应生成方解石等次生矿物。这一矿物相变过程可能显著改变断层的摩擦学特性,进而影响地震成核机制,对海底封存系统的长期安全性带来潜在挑战。为系统评估这一地质风险,本研究创新性地采用未蚀变玄武岩掺入梯度含量方解石(0-100 wt.%)的实验方法,通过速度步进与滑动-保持-滑动剪切试验,深入探究方解石化作用对断层力学行为的调控机制。实验表明:方解石化显著改变断层力学行为,纯方解石断层摩擦系数达0.75,较未蚀变玄武岩提升11.9%;随着方解石含量增加,摩擦稳定性参数a-b值呈现由负转正的趋势,表明断层行为从速度弱化向速度强化转变;同步发生的摩擦愈合能力衰减与蠕变松弛增强,进一步抑制震间期应变能积累。微观表征显示方解石晶体通过塑性变形与压溶蠕变形成稳定滑动界面,XRD与SEM-EDS证实碳酸盐胶结结构的发育。本研究发现玄武岩断层中方解石含量超过20%即可产生显著抗震效应。当人工注入或地层中天然扩散的CO₂诱发玄武岩断层发生方解石化时,新生成的碳酸盐矿物通过矿物相变和能量积累机制提升系统稳定性。这对海底CO₂封存工程场址安全评估提供了关键实验依据。

S39-P-1

中国近海沉积盆地二氧化碳地质封存适宜性评价

袁勇^{1,2,3,4}, 陈建文^{1,2,3,4*}, 李清^{1,2,3,4*}, 骆迪^{1,2,3,4}, 赵化淋^{1,2,3,4}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 海洋地质碳封存山东省工程研究中心

3 青岛市海洋地质碳封存工程研究中心

4 青岛市海洋地质碳封存重点实验室

* jwchen2012@126.com

* qing.li@live.cn

海洋二氧化碳地质封存是碳减排的有效途径,可为沿海地区实现碳中和背景下的可持续发展提供技术支撑。本研究构建了以“封存潜力”、“地质条件”和“工程条件”为核心的必要指标体系和以“碳封存工程实施的安全性”和“钻井工程可实施性”为核心的关键指标体系,结合层次分析法

(AHP),通过双指标体系耦合分析实现对中国近海10个沉积盆地的适宜性评价。其中,必要指标包含11个二级必要指标评价。评价结果表明,中国近海沉积盆地经历了裂陷期和裂后期两个地质演化阶段,形成了“下断上拗”的双层结构,新生界厚度大、分布广,地震活动性总体较弱,且具有中、低地温场特征,其新生界发育5套储碳-封盖组合,具有较好的二氧化碳封存地质条件;中国近海沉积盆地中,珠江口盆地、东海陆架盆地、渤海盆地为离岸二氧化碳地质封存的首选盆地,可为环渤海经济区、长江三角洲经济区和粤港澳大湾区实现碳中和目标提供较大的二氧化碳地质封存空间;北部湾盆地、南黄海盆地为次选盆地;琼东南盆地、莺歌海盆地为候选盆地。

S39-P-2

南黄海盆地烟台拗陷咸水层二氧化碳封存地质条件与选区

骆迪^{1,2,3,4*}, 袁勇^{1,2,3,4}, 陈建文^{1,2,3,4}, 李清^{1,2,3,4}, 赵化淋^{1,2,3,4}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

2 海洋地质碳封存山东省工程研究中心

3 青岛市海洋地质碳封存重点实验室

4 青岛市海洋地质碳封存工程研究中心

* luodi0927@sina.com

海域咸水层二氧化碳地质封存作为碳减排的有效途径,可为我国沿海地区实现碳中和目标下的可持续发展提供重要技术支撑。南黄海盆地烟台拗陷因其与沿海碳

源分布具有良好的空间匹配性，成为极具潜力的二氧化碳封存区。本研究系统分析了烟台坳陷二氧化碳封存的地质条件，基于适宜性评价优选了碳封存有利区带。研究表明：烟台坳陷作为 NEE 向展布的地堑式或半地堑式凹陷群，其新生界发育有 4 套完整的储碳-封盖组合体系；该区域地壳稳定性良好，具有较低的地温梯度与大地热流值，呈现典型的“冷盆”特征，整体具备优越的二氧化碳封存地质条件。进一步研究表明，烟台坳陷新生界主要发育逆冲背斜、重力滑塌背斜、挤压背斜、断背斜和断块构造等 5 种构造圈闭类型，为碳封存提供了良好的储集空间，在平面上可划分 4 个封存有利区带，展现出良好的二氧化碳地质封存前景。相关研究成果，可为我国未来开展二氧化碳离岸地质封存场址优选提供科学依据和技术支撑。

S39-P-3S

南海北部潮汕坳陷海域地质碳封存工程可行性研究：基于海洋工程作业适宜性与航运条件分析

杨东臻¹，贾宝柱¹，冯凯龙^{1,2*}，张田³，杨哲⁴，张冠宇⁵，滕骥⁶，周增园²

1 广东海洋大学，船海学院

2 同济大学，海洋资源研究中心

3 中船第九设计研究院

4 广东海洋大学，管理学院

5 上海石油天然气公司

6 中共玉溪市委党校

* fengkailong@gdou.edu.cn

潮汕坳陷地处我国南海北部海域的珠江口盆地，作为南海北部陆缘中生界地层保存最为完整的海域盆地之一，展现出巨大的海域地质碳封存潜力。尽管学界在南海北部碳封存领域已开展诸多研究，但针对潮汕坳陷封存潜力的探索仍显不足，特别是关于碳封存工程可行性的系统研究尤

为匮乏。本研究聚焦潮汕坳陷，着重剖析该区域碳封存工程可行性所涉及的关键条件。通过广泛收集并深入分析研究区的水深、风力、波浪等海况数据，科学评估海洋工程作业的适宜性。同时，结合潮汕坳陷与大湾区碳源区的碳源-汇匹配关系，全面考量航运条件。旨在为潮汕坳陷海域碳封存工程的可行性提供前瞻性的研究成果，为后续相关实践提供理论支撑与决策依据。

S39-P-4S

低矿化度碳酸水驱油与 CO₂ 封存影响因素微观数值模拟研究

刘荣江¹，王利¹，刘峻嵘¹，刘树阳^{1*}

1 中国石油大学（华东），石油工程学院

* shuyang_liu@126.com

在全球能源转型背景下，碳封存技术对减少温室气体排放至关重要。低矿化度碳酸水驱结合了低矿化度水驱与碳酸水驱优势，通过改变储层润湿性、CO₂ 传质改善原油物性等，显著提高驱油效率；同时，注入的 CO₂ 可封存于油藏中，减少碳排放。但是，目前该技术中低矿化度水与碳酸的协同作用机理和数值模拟方法还有待完善。本研究耦合 Navier-Stokes 方程、相场法方程和对流扩散方程，构建了低矿化度碳酸水驱油微观数值模型，研究了注入速度、油相粘度和储层润湿性等关键因素对低矿化度碳酸水驱的影响。结果表明，注入速度对采收率的影响呈现出明显的非线性特征，该特征主要由簇状区域的采出程度所主导；在低矿化度碳酸水驱油过程中，CO₂ 经传质作用进入油相，使油相粘度降低，相较于传统水驱，其提高采收率的效果显著；低矿化度碳酸水可促使储层润湿性向水湿方向转变，使得其提高采收率的效果相较于水湿条件更为突出。

S39-P-5

海域咸水层二氧化碳封存场地优选评价指标体系及适宜性评价

王建强^{1*}

¹ 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
* wangjianqiang163@163.com

二氧化碳(CO₂)捕集利用与碳封存(CCUS)是全球气候目标实现不可或缺的减排技术组合,已成为中国碳中和技术的重要组成部分。海洋二氧化碳(CO₂)地质封存作为CCUS的应用场景之一,是沿海地区实现碳减排的有效途径。海域咸水层二氧化碳封存场地优选评价指标体系是海洋二氧化碳地质封存的必要工作。本研究根据目前国内外已有研究成果和工程实践,综合考虑了碳封存工作目的、封存目标、数据基础、工程条件等方面,从封存容量及可注入性、盖层封闭条件及封存安全性、场地工程条件及经济性三个方向出发,构建了海域咸水层二氧化碳封存场地优选评价指标体系。在此基础上,采用层次分析法等评价方法,对多个海上封存场地的海上CO₂封存场地进行优选评价。评价结果能表征不同潜在封存场地的储集能力及封存风险,为后续可行性研究筛选目标封存场地提供依据。

S40-O-1

BVOCs 排放不确定性及其在空气质量模式中的应用

王雪梅^{1*}, 陈伟华¹

¹ 暨南大学, 环境与气候学院
* eciwxm@jnu.edu.cn

生物源挥发性有机物(BVOCs)在全球VOCs排放中占比高达90%,其反应活

性强、物种多样性大、排放受环境调控显著,是影响臭氧(O₃)和二次有机气溶胶(SOA)形成的关键前体物。本研究以MEGAN模型为基础,开展了中国区域BVOCs排放的估算、数据本地化构建及其在空气质量模式中的应用研究。通过整合实地调研、GLASS LAI和1:100万植被数据,显著提升了LAI、PFT及EF参数的精度,异戊二烯排放估算误差从-26%降至+9%。模拟结果显示,BVOCs排放在中国南部和部分山区具有显著高值,其时空分布特征与森林类型及气象因子密切相关。敏感性试验与不确定性评估揭示,排放因子和温度/光照因子是影响排放估算的主要来源。进一步的空气质量模拟表明,BVOCs排放可引起O₃敏感区划分变化(影响面积达13~14%),并使O₃和SOA日均浓度分别上升约12.7 μg/m³和3.0 μg/m³。本研究强调了提高BVOCs排放估算精度对O₃污染防治政策制定的重要意义,建议未来模型需进一步考虑虫害、高温、CO₂及O₃胁迫等环境因子对BVOCs排放的影响。

S40-O-2

天然源痕量活性有机气体排放及其在地球系统中的作用与反馈

张艳利^{1*}, 曾建强¹, 冉浩汎¹, 鲁钰婷¹, 王新明^{1*}

¹ 中国科学院广州地球化学研究所
* zhang_yl86@gig.ac.cn
* wangxm@gig.ac.cn

天然源痕量活性有机气体(BVOCs)主要由指植物等自然源释放到大气中的挥发性有机物,在大气化学、气候变化及生态系统中发挥着重要作用。由于BVOCs具有排放量大活性强等特点,其与地球系统之间的相互作用已成为全球变化研究的热点。BVOCs可通过大气氧化生成二次有机

气溶胶和臭氧等二次污染物，影响空气质量和气候变化；同时，BVOCs 还可通过影响温室气体浓度和碳循环过程，形成正负反馈机制，影响地球系统。近年来对 BVOCs 排放测量的研究，无论从实验室到野外原位实测，从离线到在线测量，还是从叶片尺度到生态系统尺度都有了一定的进展，然而由于 BVOCs 种类繁多、排放强度受环境条件强烈调控、大气反应活性高，且缺乏统一的测量标准，其排放通量的准确测量仍存在极大挑战，导致不同尺度 BVOCs 排放量的估算都存在数倍差异。此外，随着极端天气（热浪、干旱等）频发，如何实现全球变化背景下 BVOCs 的准确估算仍是当前研究中的重大难题。为应对这些挑战，未来应在高精度高灵敏度测量技术、不同尺度本地化排放模型的开发、大数据融合等方面加强对全球和区域 BVOCs 排放的高精度监测与模拟，深化对其在地球系统中作用与反馈机制的理解，为科学应对气候变化提供数据支撑和理论依据。

S40-O-3

基于高分辨率地球系统模式研究全球城市绿地对大气污染的影响

高阳^{1*}，寇文彬¹

¹ 中国海洋大学，环境科学与工程学院
* yanggao@ouc.edu.cn

就大气的主要污染物臭氧和细颗粒物而言，挥发性有机物是重要的前体物。随着人为源减排力度加大，生物源排放的挥发性有机物发挥着重要作用。城市化进程中，城市绿化导致绿地面积增大。然而，由于城市中绿地分布较为分散，从全球尺度上识别绿地具有较大的困难。卫星识别作为一种重要的工具，传统常用的 MODIS 卫星在 500 米的分辨率，没有办法识别城市绿地。本研究基于欧空局 10 米的卫星光

谱数据，结合人工智能方法，构建了全球 10 米的土地覆盖数据，大大提高了城市绿地的识别率。在此基础上，基于高分辨率地球系统模式，探讨了城市绿地对大气污染的影响。

S40-O-4

典型极端事件对天然源排放

王芃^{1*}，张艳利²，Alex Guenther³，张宏亮⁵，Drew Shindell⁴

¹ 复旦大学，大气与海洋科学系
² 中国科学院广州地球化学研究所
³ 美国尔湾大学
⁴ 美国杜克大学
⁵ 复旦大学，环境科学系
* w_peng@fudan.edu.cn

生物源排放与气象条件的相互作用对空气质量影响日益显著，但干旱与高温的复合效应机制尚未明晰。本研究通过耦合 MEGAN 2.1 模型与 CMAQ 空气质量模型，系统评估干旱对中国异戊二烯排放及空气质量的非线性影响。结果表明：除轻度干旱外，四种干旱响应方案均降低异戊二烯排放，其中中国南方严重干旱条件下排放量可完全终止；综合考虑轻/重度干旱的 SMD 方案显著提升模型在重旱区天然源排放模拟精度，多数方案使四川盆地臭氧和二次有机气溶胶分别降低 5 ppb 和 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在温室气体浓度持续升高加剧高温热浪的背景下，研究进一步揭示高温与人为污染协同作用的新机制：土壤氮与萜类化合物的同步排放增强大气氧化能力，通过催化 NO₂ 转化使中国热浪期臭氧浓度较常温时段激增 21%，同时萜类排放推高二次有机气溶胶负荷。值得注意的是，干旱主导的异戊二烯抑制效应与高温驱动的多源生物排放增强机制形成显著时空分异——前者在干旱区降低二次污染，后者在高温区加剧复合污染。这种差异化响应揭示了极端气候事件的级联效应：温室气体诱导的气候变暖不仅延长热浪持续时间，更通过生

物源排放路径放大空气污染风险。研究结果强调需在空气质量管理中统筹考虑气候-天然源-人为排放的交互作用，为应对全球变暖背景下的区域性复合污染提供科学依据。

S40-O-5

中国自然生态系统非 CO₂ 温室气体排放清单研究进展

李婷婷^{1*}, 刘昕怡^{1,2}, 田佳慧^{1,2}, 袁文平³, 王旭辉³, 洪松柏³, 汪宜龙⁴, 朱求安⁵, 于丽君⁶, 夏江周⁷, 覃章才⁸, 肖涵⁸, 梁敏琪⁸, 李施华⁸, 李子萌³, 王璎璇³, 徐敏⁵

1 中国科学院大气物理研究所

2 中国科学院大学

3 北京大学

4 中国科学院青藏高原研究所

5 河海大学

6 河南省科学院

7 天津师范大学

8 中山大学

* litingting@mail.iap.ac.cn

甲烷 (CH₄) 和氧化亚氮 (N₂O) 是重要的非二氧化碳温室气体，对气候变化具有显著影响。自然生态系统在全球 CH₄ 和 N₂O 源汇格局中占据重要地位，但中国国家温室气体排放清单中相关自然源排放核算仍存在缺失和较大不确定性。本研究基于统一驱动数据和多模型方法，重建了 1980–2024 年中国自然陆地生态系统 CH₄ 与 N₂O 排放源汇清单，系统评估了其时空变化特征及主要驱动机制。本研究整合 ERA5 气象数据、ChinaSoilInfoGrids_1km 土壤数据、China Land-Use/Cover Datasets 和氮沉降资料，结合湿地、森林、草地等不同生态系统特性，采用过程模型、统计模型与机器学习方法，进行多模型模拟与验证。通过统一数据源和模型交叉验证，提升了源汇估算的精度和一致性。结果显示，1980–2024 年间，中国自然生态系统结构发

生显著变化，植树造林导致森林面积增加，而草地退化和湿地垦殖导致相应生态系统面积减少。与此相应，温室气体源汇格局呈现以下演变：（1）森林 CH₄ 吸收增强，全国自然生态系统 CH₄ 吸收量由 1.5 Tg 增加至 1.8 Tg；（2）湿地 CH₄ 排放减少，由 1.8 Tg 降至 1.2 Tg，主要受湿地面积变化和水文管理影响；（3）N₂O 排放增加，由 454 Gg 升至 562 Gg，西南地区为主要高排放区。综合评估表明，1980–2024 年自然生态系统累积排放非 CO₂ 温室气体 6.11 Pg CO₂-eq，其中 CH₄ 源汇基本抵消，N₂O 排放占主导，年际波动幅度约为 135 Tg CO₂-eq。本研究结果揭示了气候变化与人类活动共同驱动下，中国自然生态系统非 CO₂ 温室气体源汇格局的长期变化过程，为提升自然源排放核算的准确性和完善国家温室气体清单提供了数据支撑。

S40-O-6

光热条件与上升流增强了热带西太平洋极短寿命溴代卤代烃的排放

刘珊珊¹, 倪洁², 杨桂朋^{2*}, 何真²

1 中国科学院海洋研究所，海洋生态与环境科学重点实验室

2 中国海洋大学，化学化工学院

* gpyang@ouc.edu.cn

极短寿命溴代卤代烃 (VSLBrHs) 的海-气排放已知贡献了全球平流层和对流层臭氧消耗的 30%。然而，目前关于其在公海中的分布实测数据仍然稀缺，这使得难以准确评估公海释放对全球卤代烃收支的重要贡献。为此，本研究于 2022 年在热带西太平洋 (WTPO) 开展，旨在探究 VSLBrHs 的空间变化特征及其主要控制因素。研究发现，高生物生产力及其衍生的溶解有机质 (DOM)，以及上升流过程，显著影响了海水中 VSLBrHs 的分布与生成；

而大气中的 VSLBrHs 浓度主要受到海洋排放的控制。基于海水与大气浓度的同步观测结果, CH₂Br₂、CHBr₃、CHBrCl₂ 和 CHBr₂Cl 的平均海-气通量分别估算为 1.01、6.65、9.31 和 7.25 nmol·m⁻²·d⁻¹。在上升流区域, 这些气体的海-气通量分别是非上升流区域的 9.0 倍、4.6 倍、2.9 倍和 6.8 倍。此外, 原位孵育实验表明, VSLBrHs 的酶促生物合成路径在温度和光照胁迫条件下以及富含腐殖质类物质的水体中被显著增强。因此, 我们初步认为, WTPO 丰富的光热条件以及上升流的存在, 使其成为 VSLBrHs 排放的潜在热点区域。本研究为理解 VSLBrHs 的环境动态提供了关键见解, 并强调了区域海洋环境状况对大气温室气体组成的重要影响。

S40-O-7

典型生态系统甲烷和氧化亚氮排放观测与核算

赵瑜^{1*}

¹ 南京大学, 环境学院
* yuzhao@nju.edu.cn

甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)是除二氧化碳(CO₂)外最重要的温室气体, 对全球气候变化具有重要贡献。生态系统(湿地、森林、农田等)是 CH₄ 和 N₂O 的重要自然与人为交互排放源, 其排放量可占总量的 60%以上。因此, 高精度动态核算生态系统 CH₄ 和 N₂O 排放, 不仅是科学理解温室气体与气候变化互馈机制的基础, 也是制定减排政策、评估减排效果的重要依据。然而, 生态系统 CH₄ 和 N₂O 排放具有时空动态性强、机理复杂、影响因素多的特性, 导致现有排放核算存在时空精度差、不确定性大、多尺度监测和模型核算差异大等问题。为此, 我们通过设计真实传质仿真箱体和自动控制气路系统, 研发了适用于温室地气交换观测的动态通量箱法, 实现了对温室气体地气交换通量准确、

连续、高频的动态观测; 利用该动态通量箱系统, 对我国典型森林、草地、湿地、城市绿地、农田和内陆水体等生态系统 CH₄ 和 N₂O 地气交换通量开展了同步观测, 结合环境气象条件同步测试, 阐明了典型生态系统 CH₄ 和 N₂O 地气交换的时空变化特征及影响因素; 基于高质量多源观测数据融合, 发展机器学习算法, 初步核算了全国尺度典型生态系统——湿地 CH₄ 和 N₂O 排放量, 明确我国湿地 CH₄ 和 N₂O 排放演变趋势及关键驱动机制。

S40-O-8

基于多物种多平台大气观测量化中国甲烷排放

张羽中^{1*}, 梁若思¹, 赵瑜佳¹, 赵爽¹

¹ 西湖大学, 工学院
* zhangyuzhong@westlake.edu.cn

大气中的甲烷是仅次于二氧化碳的人为温室气体, 甲烷来自于多种人为和自然排放源。我们利用卫星和地面观测数据, 量化了中国化石燃料生产、消费和农业生产等甲烷排放源的排放格局和变化趋势。本研究以东北和长三角为例, 分别研究了两个区域的水稻和天然气消费的甲烷排放。研究发现, 甲烷卫星观测能有效刻画水稻各个生长阶段甲烷排放的变化, 降低区域排放因子的不确定性。利用地面的乙烷观测, 我们估算了长三角城市中天然气甲烷排放的贡献, 发现该过程与废水处理、垃圾填埋相比不可忽略。综合利用包括卫星在内的多平台温室气体监测数据, 从中解析不同时空分辨率的甲烷排放信息, 可为长期追踪甲烷排放的变化和“碳中和”战略实施提供支撑数据。

S40-O-9

全球和区域甲烷排放反演优化及演变驱动因子解析

卢骁^{1*}

1 中山大学, 大气科学学院
* luxiao25@mail.sysu.edu.cn

大气甲烷是强有力的短寿命温室气体, 也是对流层臭氧的前体物, 控制甲烷排放是协同应对气候变化和控制大气污染的有效手段。近年来, 大气甲烷浓度还在不断上升。当前, 从全球到区域尺度的甲烷排放清单具有显著的不确定性, 制约了对甲烷浓度上升的准确归因及区域尺度的精准减排。本研究结合“自下而上”过程模型及“自上而下”大气反演方法, 综合利用地面和卫星大气甲烷及同位素观测, 优化全球和中国甲烷排放时空格局的认识, 并解析近年来甲烷浓度变化的驱动因子。

S40-O-10

AI+遥感赋能全球近实时甲烷排放监测

白开旭^{1*}

1 华东师范大学, 地理科学学院
* kxbai@geo.ecnu.edu.cn

甲烷作为仅次于二氧化碳的重要温室气体, 其全球近实时排放监测对于气候变化研究与减排政策制定具有重大科学价值。然而, 传统卫星遥感反演方法在精度、时效性和虚警率等方面存在显著局限, 当前甲烷监测领域仍面临严峻的技术挑战。针对上述关键科学问题, 本研究创新性地整合人工智能技术与多源遥感数据, 构建了一套完整的技术体系, 主要包括: 基于机器学习与多目标优化的波谱特征增强算法、引入空间连续性约束的稀疏光谱重构匹配滤波算法(SSRMF), 以及融合羽流特征工程的甲烷排放通量机器学习估算模型

(CH4Vision)。实验结果表明, 该技术体系显著提升了甲烷柱浓度反演精度(较基准产品提升 14%, 有效数据覆盖率提高 136%)、有效抑制了甲烷羽流检测噪声与虚警(反演偏差降低约 90%, 虚警率下降超过 70%), 并显著改善了排放通量估算准确性(精度提升 13%)。基于该技术体系, 本研究成功实现了油气田、煤矿、水稻田等重点排放源区甲烷异常排放的近实时识别与定量监测(典型案例包括成功检测山西煤矿复杂地表背景下的甲烷羽流), 在监测精度、空间覆盖度和时效性等方面取得突破性进展, 同时大幅提升了排放量估算的可靠性, 为全球温室气体排放监管提供了重要的技术支撑。

S40-O-11

碳中和实现过程中人为排放变化对温室气体的非线性影响

刘明旭^{1*}

1 北京大学, 环境科学与工程学院
* liumingxu@pku.edu.cn

为减缓气候变暖, 我国计划到 2060 年前实现碳中和目标。同时, 为进一步改善空气质量, 提出“减污降碳”政策以达到双赢。然而, 由于地球圈层间的复杂关联性, 温室气体含量的变化可能是非线性的。一方面, 甲烷的变化与大气氧化性密切相关。基于第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)中多组地球系统模型的预测结果, 从 2015 年起实现碳中和进程中, 尽管全球臭氧水平显著下降, 平均羟基自由基浓度居然显著增加(0.071–0.16% yr⁻¹), 其中, 我国华北地区大气氧化性逐年增加可高达 0.47%。究其原因, 甲烷和一氧化碳等排放降低, 导致羟基自由基汇的减弱, 抵消了其化学生成来源的下降。另一方面, 我国在碳中和过程中会大幅削减活性氮排

放。根据地球系统耦合模拟的结果，活性氮排放的下降使我国氮沉降相比 2015 年减少 49-57%。该变化使得植被生长氮限制作用加强，陆地自然植被碳汇能力下降 16-20%。本研究表明，碳中和实现过程中，不仅温室气体排放降低，其他短寿命大气污染物的减排，会对温室气体的收支产生非线性影响，需要重视这种反馈机制，以采取更为合理的排放控制策略。

S40-O-12

全球人为源二氧化碳排放的高时空分辨率表征：1970-2023

肖清扬¹，郑博²，同丹³，刘欢¹，刘晓东¹，胡瀚文¹，王化璇³，徐若翀³，王玥璇子³，贺克斌¹，张强^{3*}

1 清华大学，环境学院

2 清华大学，深圳国际研究生院

3 清华大学，地球系统科学系

* qiangzhang@tsinghua.edu.cn

高分辨率人为源二氧化碳排放分布表征对于碳通量反演和气候变化减缓至关重要。然而，由于点源缺失、国家和排放源特异性数据有限以及历史数据断层，现有网格化二氧化碳排放产品在时空分布上不确定性显著。本研究收集了人类活动的海量时空数据并建立了多源时空数据融合框架，在此基础上构建了 1970-2023 年 0.1°空间分辨率的月度二氧化碳排放数据集。该数据集整合了超过 10 万个工业点源、80 万条海运航线和 14 万条航空航线的地理定位信息，以及覆盖 73 个国家超过 100 个部门的能源生产、燃料消耗和工业生产的国家-月度数据。通过数据质量控制与空间计算、模式识别与缺失数据填补，以及针对居民源和交通源的时空一体化建模，实现对全球超过 75%排放的定位和超过 70%排放基于真实国家-月度数据表征。人为源二氧化碳排放呈现出显著的行业与国家特征及动

态演化：2008 年金融危机造成能源与工业部门排放的显著下降、新冠疫情则显著影响交通部门的排放。制造业和运输业排放的季节性波动主要受假期影响，而居民源排放变化则主要由温度驱动。研究还观测到排放季节模式随时间发生演化。本研究构造的时空排放特征数据集能够支持其他全球和区域排放清单的时空表征。

S40-O-13

土地利用变化的碳源汇核算与减排潜力评估

覃章才^{1*}

1 中山大学，大气科学学院

* qinzhangcai@mail.sysu.edu.cn

随着数据积累与模型技术的进步，区域陆地生态系统及土地利用变化的净碳通量研究不断深化。然而现有及潜在土地利用与土地利用变化（LUC）活动相关的碳源、汇规模及其归因仍存争议，尤其在气候变化减缓与碳中和背景下显得更为突出。基于最新数据与新模型（簿记模型 LUCE、机理模型 IBIS、机器学习模型 mSOC 等），本研究围绕历史 LUC 和未来植树造林做了一些初步探讨。分析发现，LUC 活动总体上导致全球净碳排放，其中毁林、再造林等森林相关活动主导碳通量变化。但我国因森林的主要贡献，已逐步由 LUC 净碳源转为净碳汇。未来全球植树造林的减排潜力仍存在极大的不确定性，新造林区域预估的固碳潜力需从生态（如碳汇持续性）与社会经济（如土地竞争与政策可行性）双重视角审慎评估。

S40-O-14

森林扰动与恢复的生态效应

李伟^{1*}

1 清华大学，地球系统科学系

* wli2019@tsinghua.edu.cn

土地利用变化是全球碳收支中仅次于化石燃料排放的第二大碳排放源，其中热带森林扰动（砍伐和退化）是主要的碳排放来源，但其估算存在较大的不确定性。本研究通过结合高分辨率森林分布和生物量数据，研究识别了四种退化类型，发现边缘森林是热带雨林中面积最大的退化类型，并定量了热带森林退化的碳排放和生物物理效应。研究进一步揭示了火灾与边缘效应的复合扰动对非洲边缘森林退化的加剧作用，其直接机制为火侵入森林内部，间接机制为局地环流增强；研究发现湿森林主要受直接和间接作用共同影响，而干森林主要受直接作用影响。在中国植树造林方面，研究发现其降低了森林破碎化程度，将边缘森林转化为内部森林后，产生了 26% 的额外净降温效应，其中额外生物地球化学效应为 13%~16%，生物物理效应为 27%~33%。

S40-O-15

过去六十年（1961-2020 年） 全球土地利用变化产生的碳 排放

朱娅坤^{1*}，覃章才²

1 宁波东方理工大学（暂名），环境与可持续工程学院

2 中山大学，大气科学学院

* ykzhu@eitech.edu.cn

土地利用变化是全球人为碳排放的一个主要来源。然而，由于数据和模型的差异，目前对土地利用变化引起的排放的估计差别很大，这使得按地点和土地利用变化活动来识别和管理排放热点具有挑战性。在此，我们基于新的簿记模型（LUCE）估算了全球土地利用总转变相关的碳通量。1961-2020 年，土地利用变化引起的全球碳排放量和清除量分别为 215 和 142 Pg C，

平均净排放量（ E_{LUC} ）为每年 1.21 Pg C yr⁻¹。拉丁美洲、东南亚和撒哈拉以南非洲在全球碳排放和碳清除（ E_{LUC} ）中占主导地位，占 60 年累计排放量的 69%，或 2001 至 2020 年间约占 86%。与森林相关的土地利用变化活动（如毁林、重新造林）在很大程度上造成了地区和全球的碳通量。我们的研究结果为识别土地利用变化引起的排放热点以及管理土地以减缓和保护气候提供了新的思路。

S40-O-16

土地农食系统温室气体排放 趋势与驱动因素

洪朝鹏^{1*}

1 清华大学，深圳国际研究生院

* hongcp@sz.tsinghua.edu.cn

土地农食系统是重要的全球温室气体排放源。相较于能源系统，土地农食系统的排放问题尚未获得同等程度的关注度和系统性认知。深入解析其排放特征与驱动机制，对减缓气候变化和实现该系统的可持续转型具有关键作用。基于此，研究构建了全球土地农食系统排放多维数据库，发展了排放驱动因素解耦和消费端核算方法，评估了不同层面排放变化驱动因素，揭示了全球贸易隐含的温室气体排放。相关成果深化了对全球及区域土地农食系统排放的科学认知，为制定针对性减排策略提供了依据。

S40-O-17

过去千年气候变化和土地利 用对中国地表碳库的影响

陈炜哲^{1*}

1 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* wzchen@cug.edu.cn

过去千年, 中国经历了显著的气候和人为土地利用变化, 但这些变化对陆地生态系统碳库的影响尚未得到定量评估。本研究利用重建的气候和土地覆盖数据驱动 ORCHIDEE 地表过程模型, 估算了公元 850 年以来中国植被和土壤有机碳的时空变化。模拟结果表明, 过去千年 (850-1850), 中国的陆地碳库的动态变化与全球陆地碳储量和大气 CO₂ 浓度的变化相吻合。从中世纪暖期到小冰期, 尽管中国平均降温 0.6°C 促进了土壤碳的累积, 但由于早期人为土地利用的影响, 陆地碳储量仍然减少了~5.7 PgC。851-1980 年, 中国陆地碳储量减少~12.6 PgC, 这些碳排放已被过去四十年 CO₂ 施肥效应和造林工程造成的碳汇完全抵消。进一步的分析强调了中国不同区域植被和土壤碳库对过去千年气候和地表覆盖变化的不同响应特征。本研究结果揭示了中国长时间尺度地表碳库变化和原因, 以及其对全球碳循环的影响。

S40-O-18

适度水文干旱显著增强中国最大通江湖泊碳汇功能

赵晓松^{1*}, 赵乐莹¹, 范兴旺¹

¹ 中国科学院南京地理与湖泊研究所
* xszhao@niglas.ac.cn

通江湖泊具有独特的水陆动态转换特征, 其碳交换过程对全面评估全球碳收支具有重要意义。本研究针对中国最大淡水湖泊鄱阳湖, 构建了 2003-2022 年高空间分辨率的 CO₂ 通量数据集。结果表明, 该湖泊在研究期间整体呈现碳汇特征, 但存在显著年际差异, 2010 年为最强碳源 (52.57±4.71 gC m⁻²), 2011 年则达到最大碳汇强度 (-186.36±7.27 gC m⁻²)。水文节律和植被变化是驱动 CO₂ 通量变化的核心要素, 其中水位涨落时间的影响最为显著 (p<0.001)。具体而言, 湖水位上涨延后

10 天可使碳汇量增加 19.20 gC m⁻², 而水位消退提前 10 天则提升碳汇 11.63 gC m⁻²。中等水文干旱条件下, 湖泊湿地碳汇最强。但水位过早或过快消退会削弱碳汇效应, 如 2022 年极端干旱事件通过加剧植被水分胁迫和增强生态系统呼吸, 导致碳汇量较正常干旱年份下降超 20%。本研究为从碳中和视角评估湖泊及其流域水资源管理的生态效应提供了科学依据。

S40-P-1

溶氧浓度对微生物介导的大型海藻有机碳转化影响

张连宝^{1*}

¹ 山东大学, 海洋研究院
* lianbao.zhang@sdu.edu.cn

海洋是地球上最大的碳库, 在降低大气二氧化碳浓度、缓解气候变化方面具有重要作用, 增加海洋碳汇是实现碳达峰、碳中和的重要途径。大型海藻是重要的海洋初级生产者, 每年将大量二氧化碳转化为有机碳并储存在海水中, 是海洋碳汇的重要途径之一。但大量有机碳的输入会促进微生物的呼吸作用, 导致水体溶解氧浓度降低。在缺氧环境中存在大量微生物可通过厌氧呼吸降解有机物, 但目前对缺氧环境下微生物介导的大型海藻有机物转化研究较少, 对其中涉及到的微生物机制认识不足, 对缺氧环境中大型海藻降解对生态系统影响没有进行全面分析, 这限制了大型海藻负排放技术的发展。本项目通过室内培养实验, 研究添加大型海藻后有氧和缺氧环境中生物和理化因子变化规律差异。重点关注细菌和古菌这两大类海洋碳循环的主要微生物类群, 结合有机碳浓度和有机碳库性质等重要理化因子, 通过构建生物环境响应模型等统计学方法, 分析微生物群落演替和有机碳转化之间的关系。

S40-P-2S

中国陆地生态系统干扰数据集研究与应用

王大菊^{1*}, 任培阳¹, 覃章才¹, 袁文平²

¹ 中山大学, 大气科学学院

² 北京大学, 碳中和研究院

* wangdj23@mail2.sysu.edu.cn

森林收获、农田收获和草地放牧分别是三大陆地生态系统主要的人为干扰, 对陆地生态系统的碳预算产生重大影响。由于缺乏长时期高分辨率的陆地生态系统干扰数据集, 中国陆地生态系统人为干扰对碳循环的影响还没有被估计。结合省级、市级或县级的普查数据和遥感数据, 我们针对森林、农田和草地生产了收获强度和放牧强度数据集, 分别为中国长期森林碳收获与分配 (Long-term harvEst and Allocation of Forest Biomass, LEAF, 2003-2018, 30m×30m) 数据集、农田碳收获 (Harvested carbon in cropland, HCC, 1981-2020, 1km×1km) 数据集、长时期高分辨率放牧强度 (Long-term high-resolution grazing intensity, LHGI, 1980-2022, 250m×250m) 数据集, 共同组成中国陆地生态系统干扰数据集。与已有的数据集相比, 我们生产了时空分辨率更高的数据, 并且取得了更好的点上和面上验证精度, 其中 LEAF 数据的市县级验证 R^2 为 0.82, LHGI 的像素尺度验证 R^2 接近 0.7, 县级验证 R^2 为 0.84。中国森林收获、农田收获和放牧强度在其研究期间都表现出显著的增加趋势, 表明人类干扰持续增强。长时期高分辨率的中国陆地生态系统干扰数据集增加了我们对森林收获、农田收获和草地放牧时空模式的理解, 是陆地生态系统碳循环建模重要的基础数据集, 有望为气候变化减缓做出贡献。

S40-P-3S

基于碳氧同位素研究气候变化背景下东天山两树种的水碳耦合机制

贾祎^{1,2}, 张瑞波^{1*}

¹ 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 树木年轮重点理化实验室

² 新疆大学, 生态与环境学院

* river0511@163.com

全球变暖导致区域降水差异巨大, 干旱区是气候变化剧烈且对气候变化响应最敏感的区域。东天山是新疆唯一一片雪岭云杉和西伯利亚落叶松混交的天然林区。深入理解气候变化对东天山两个树种树木径向生长的影响对于未来干旱区森林经营具有重要意义。本研究结合树轮宽度、BAI、稳定碳氧同位素等多种树轮参数, 综合理解气候变化对雪岭云杉和西伯利亚落叶松生长的影响。研究表明: 相对湿度通过影响气孔导度影响西伯利亚落叶松 iWUE, 也与 BAI 密切相关。温度的升高扩大了雪岭云杉呼吸的最适范围, 使气孔导度增加, 促进光合作用, 间接地提高了 iWUE。雪岭云杉的 iWUE 序列整体呈上升趋势, 其中大气二氧化碳浓度的贡献最大, 温度和大气二氧化碳值的协同效应对 BAI 有显著贡献, 而温度和相对湿度的协同作用为负值, 对 iWUE 产生抑制。雪岭云杉的 Ci/Ca 值有显著上升, Ci 的增加有利于光合作用的碳固定。当前阶段, 温度升高带来的影响远大于降水量的提高, 气候背景仍处于干旱时段。干旱反映到相对湿度上, 削弱了大气二氧化碳浓度的提升对西伯利亚落叶松径向生长的促进作用, 气候变化使西伯利亚落叶松整体呈衰退趋势, 肥化效应体现在雪岭云杉的径向生长上。预计未来东天山森林的演替将伴随着西伯利亚落叶松衰退和雪岭云杉增加。本研究可为全球变化背景下森林可持续经营和森林碳源汇研究提供重要参考。

稻田甲烷排放：观测数据驱动 的模型验证与全球核算

胡祺雯¹, 李婷婷², Josep G. Canadell⁴, 黄耀^{2,3}, 张稳², 覃章才^{1*}

1 中山大学, 大气科学学院

2 中国科学院大气物理研究所

3 中国科学院植物研究所

4 澳大利亚联邦科学与工业研究组织

* qinzhangcai@mail.sysu.edu.cn

水稻种植作为主要人为甲烷(CH₄)排放源, 是全球甲烷减排的关键领域。然而, 全球及区域尺度的甲烷排放量估算仍存在较大不确定性。本研究通过构建模型-数据-方法多维分析框架, 系统提升了稻田甲烷排放的定量评估能力。我们对水稻田甲烷过程模型CH₄MOD进行了全球尺度的验证与敏感性分析, 明确了水管理、有机质添加等关键驱动因子。在此基础上, 构建了一个涵盖气候、土壤、水稻种植制度和人为管理措施的5弧分分辨率全球稻田数据库。创新性地采用过程模型CH₄MOD、机器学习与IPCC排放因子法, 实现1961-2020年间稻田甲烷排放动态的多方法协同模拟, 系统揭示了稻田甲烷排放的时空演变特征及其主要驱动机制。本研究强调, 应加快数据与模型的深度整合, 以实现更可靠的排放核算, 并制定针对不同地区的减排战略, 在保障粮食安全的基础上推进气候变化缓解目标的实现。

S40-P-5S

全球视角下的森林冠层结构 对气候变化响应

刘宏鹏¹, 王承远¹, 张智洋¹, 刘源¹, 刘成荫¹, 范文义¹, 李明泽¹, 王恩姮¹, 毛学刚^{1*}

1 东北林业大学, 林学院

全球气候变化正深刻影响森林生态系统结构与功能, 尤以冠层结构变化最为显著。作为生态系统生产力、恢复力与稳定性的核心, 林冠对气候变化高度敏感, 其变化进一步影响碳储存、生物多样性与气候调节等生态系统服务。因此, 亟需在宏观时空尺度上系统解析冠层结构的分布与对气候的响应机制。

本研究聚焦于森林冠层结构对气候变化的响应机制, 借助Google Earth Engine平台, 通过整合NDVI、FVC、LAI和CI四项遥感指标, 利用熵权法构建全新的森林冠层结构指数(FCSI), 在公里网格尺度上实现了2005-2021年全球森林冠层结构的大尺度、高分辨率、长期监测; 进一步结合Theil-Sen趋势分析、Mann-Kendall检验与PLSR模型, 解析了六种森林类型冠层结构对降水和温度等主要气候因子的响应机制。

主要发现包括:

1. FCSI呈赤道向两极递减趋势, 南半球下降速率为北半球两倍, 局部区域(南纬32°-47°)呈上升趋势, 显示区域气候异质性的重要作用。
2. 全球27.9%森林FCSI显著上升, 主要分布在中国中东部、东北亚和北美; 18.1%下降, 集中于亚马逊、西伯利亚等地; 其余无显著变化。
3. 落叶阔叶林、落叶针叶林与木本稀树草原的FCSI显著增长, 而常绿阔叶林与混交林变化不显著, 常绿针叶林则略有增长。大多数类型呈现“下降-上升”交替波动模式。
4. 降水是落叶阔叶林、常绿针叶林、木本稀树草原与混交林的主导因子(VIP>1.4), 月平均最高日温度和云量则分别驱动落叶针叶林与常绿阔叶林变化。昼夜温差与

云量对所有森林普遍产生正向影响，而温度与蒸气压的影响具类型差异。

本研究的发现丰富并验证了森林生态系统理论框架：FCSI 的纬度递减趋势支持了生态热力学关于气候驱动下结构复杂度的假设，南北半球响应差异及局部上升区突出了区域气候异质性的关键作用。不同森林类型对气候因子的特异性响应，印证了生态容差与环境滤过理论中的“驱动力阈值”观点；而 FCSI“降-升”波动模式则体现了森林生态系统在外部胁迫与内部反馈调节中的动态平衡机制。

S40-P-6S

青藏高原南部桑日-错那裂谷带深部碳释放

刘焱¹，张茂亮^{1*}，刘伟²，谢显刚³，王丽楠¹，徐胜^{1*}

1 天津大学，地球系统科学学院

2 内蒙古工业大学，资源与环境工程学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

* mzhang@tju.edu.cn

* sheng.xu@tju.edu.cn

造山带和断裂系统的构造脱气是深部 CO₂ 释放的重要来源。作为构造最活跃的陆-陆碰撞造山带，喜马拉雅-青藏高原造山带深部碳排放的研究程度相对较低。本研究基于温泉水、温泉逸出气和土壤气的化学组分和碳同位素组成以及土壤 CO₂ 通量测量，阐明了青藏高原南部桑日-错那裂谷带深部 CO₂ 来源、释放规模及其控制因素。基于质量平衡模型，温泉溶解无机碳（DIC）、温泉气体 CO₂ 和土壤微渗漏 CO₂ 中深源 CO₂ 的占比分别为 73.9%、68.8% 和 35.7%。在喜马拉雅地块，地热流体中深源 CO₂ 主要来自地壳不同深度碳质岩石的变质脱碳作用。深源 CO₂ 通过断裂及其裂缝向上运移，并以温泉 DIC、温泉逸出气和土壤微渗漏 CO₂ 等形式释放。桑日-错那

裂谷带温泉水、温泉逸出气和土壤微渗漏 CO₂ 的深源 CO₂ 释放量分别为 1543±26 t yr⁻¹、762±52 t yr⁻¹ 和 0.46±0.09 Mt yr⁻¹，总深源 CO₂ 释放量为 0.46±0.09 Mt yr⁻¹。

S41-O-1

地表系统中黑碳物质（BC）的碳十四同位素示踪研究

张干^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所

* zhanggan@gig.ac.cn

黑碳（BC）物质是地表系统中碳的主要存在形式之一，也是地表系统中碳循环中的惰性/慢循环物种，在全球碳循环中扮演重要角色，具有显著的环境、气候和健康效应。BC 物质是有机质地质热演化和不完全燃烧的产物，以稠环芳香结构为骨架，主要存在现代生物质燃烧和地质/化石燃料两大来源端元，而碳十四同位素是区分这两大来源端元的有效地球化学示踪剂。广州地化所环境碳十四实验室针对地表环境样品 BC 的碳十四分析，建立了基于热光法的大气颗粒物 OC/EC 分离制备、基于催化加氢技术（Hypy）的 BC 分离制备、和基于苯多羧酸（BPCA）的跨圈层介质不同形态的 BC 提取制备技术系统，并应用于大气、水体等多介质环境中 BC 物质的 14C 测量与示踪。本报告将对相关技术体系和应用作简要的综合介绍，以与同行交流。

S41-O-2

正构烷烃指纹及其同位素示踪河口-近海有机碳来源和迁移过程

押森磊^{1*}

1 华东师范大学，河口海岸全国重点实验室

From the Jiulong River Estuary (JRE) to the adjacent Western Taiwan Strait (WTS), the ^{13}C abundance of higher plant-derived $n\text{C}_{27+29+31}$ and fossil-derived $n\text{C}_{26+28+30+32}$ gradually increased, while their ^{14}C abundance gradually decreased. This pattern indicates that the ^{14}C younger and more active OM was degraded continuously, while the ^{14}C older and less active OM was continuously buried. Furthermore, the low ^{14}C abundance of microbial-derived $n\text{C}_{14+16+18}$ displayed a decreasing trend from upstream to downstream and to southern coasts. This suggests that microbial activity during transport primarily utilized fossil OM from the diluted water. However, the ^{14}C abundance of $n\text{C}_{14+16+18}$ was significantly higher on the northern coasts and closer to that of TOC, suggesting that microbial activity in the north may preferentially consume the relatively ^{14}C young, pre-aged OM carried by southbound coastal currents.

S41-O-3

基于碳同位素探索南北极冰川融化在碳循环中的作用

方玲^{1*}, 王宁练¹, Minkyong Kim², Eun Jun Yang³

1 西北大学, 城市与环境学院

2 Kyungpook National University, Department of Oceanography

3 Korea Polar Research Institute, Division of Ocean Sciences

* lingfang@nwnu.edu.cn

放射性碳 (^{14}C) 测量技术的发展以及破冰科研船的应用, 极大地促进并支持了在极地地区开展 ^{14}C 相关研究。在气候变化背景下, 对极地海洋中 ^{14}C 的研究已为海洋碳循环提供了深刻的见解。位于南极西部

的阿蒙森海 (Amundsen Sea) 和北极斯瓦尔巴群岛的国王湾 (Kongsfjorden) 正因气候变暖而经历快速的冰层消融。为研究汇算冰川融化导致的碳通量, 我们对阿蒙森海和国王湾冰架消融区附近采集的水样进行了有机碳的 ^{14}C 的分析。结果表明, 在阿蒙森海和国王湾, 深层水在融水输入的影响下正在经历不同的生物化学过程的变化。为深入理解融水在下游生态系统中的作用, 还需进一步开展采样工作。总结气候变暖引发的海冰和冰川消融对海洋生物地球化学循环的影响、未来可能面临的环境挑战以及研究方向。

S41-O-4

^{14}C 在火山区深部碳示踪中的应用

王丽楠^{1*}, 钟君¹, 徐胜¹

1 天津大学, 地球系统科学学院

* linanwang_1113@tju.edu.cn

火山活动是深部碳释放的重要途径, 通过火山喷发、温泉逸出气、喷气孔、土壤微渗漏、溶解无机碳等形式释放大量的 CO_2 。作为大气 CO_2 的自然来源, 深部碳释放对气候变化具有重要意义。目前已有研究对火山区深部碳释放进行探究, 但在来源的辨析及通量的估算方面仍存在一定问题。本研究选取长白山火山区为研究对象, 系统量化其深部碳释放通量。该地区具有丰富的热液活动, 并在 2002-2005 年发生了火山扰动。由于不同碳源之间的特征值存在差异, 碳同位素已被广泛应用于示踪深部碳和相关过程。 $\delta^{13}\text{C}$ 受到 CO_2 脱气过程的显著影响, 而该过程对 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响相对较小。 ^{14}C 作为强大的示踪剂, 可以提供更加准确的碳源信息。本研究调查了河流、温泉、冷泉、土壤气体和植物的碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{14}\text{C}$)。结果表明, 不同研究对象的碳同位素组成均受到了火山

脱气的影响。根据碳同位素混合模型估算得出溶解态深部 CO₂ 通量为 $0.33 \times 10^4 \text{ t yr}^{-1}$ ，从水-气界面释放的深部 CO₂ 通量为 $4.54 \times 10^4 \text{ t yr}^{-1}$ ，土壤热液 CO₂ 释放通量为 $5.83 \times 10^4 \text{ t yr}^{-1}$ 。基于现有研究和本研究的结果，长白山火山区在火山脱气和硅酸盐岩风化的影响下以净碳源形式存在。本研究强调了 ¹⁴C 作为示踪剂在研究火山区深部碳释放方面的优越性，这对探究全球 CO₂ 平衡和气候变化具有重要意义。

S41-O-5

颗粒有机碳向深海海底峡谷输送的路径和机制

林宝治^{1*}，刘志飞¹，赵美训^{2,3}，赵玉龙¹，张艳伟¹，俞恂¹，马鹏飞¹，张晓栋¹，张海龙^{2,3}

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

2 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

3 崂山实验室

* bzlin@tongji.edu.cn

颗粒有机碳（POC）在海洋中的沉降和埋藏组成全球碳循环的关键部分，调节着全球气候变化。发育海底峡谷的深海是 POC 埋藏的主要区域之一。然而，POC 从陆地和沿岸转移到深海海底峡谷的搬运途经和机制仍然知之甚少。本项研究选取南海东北部台湾岸外高屏海底峡谷中游 TJ-G 站，利用沉积物捕集器于 2017 年 5 月至 2018 年 5 月期间收集~500 m 和~2055 m（距离海底~30 m）水深的时间序列颗粒物样品，开展颗粒物 POC 含量及其稳定碳（ $\delta^{13}\text{C}$ ）和放射性碳 14（ $\Delta^{14}\text{C}$ ）同位素分析，旨在研究深海高屏海底峡谷的 POC 输运途经及其控制机制。结果显示，500 m 处 POC 的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{14}\text{C}$ 值与海洋浮游生物产生的 POC 同位素值接近，而 2055 m 处 POC 较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{14}\text{C}$ 值介于海源 POC 和台湾河流输入陆源 POC 和陆坡沉积有机

碳之间。500 m 处 POC 通量明显低于 2055 m 处 POC 通量。2055 m 处 POC 通量高值出现在夏季（7-9 月），与该处水体悬浮颗粒物浓度的增加（ $> 0.5 \text{ mg L}^{-1}$ ）相对应。高屏溪洪水引发的海底浊流是造成水体高悬浮颗粒物浓度的主要原因。浊流将大量的陆地 POC 搬运到深海，导致深海 2055 mdc 处 POC 的陆源组分和通量大幅度升高。2055 m 处其余时间的 POC 通量较低，对应较低的水体悬浮沉积物浓度。非浊流期间，潮流可使邻近陆坡沉积有机碳发生再悬浮，从而搬运到深海发生沉降。因此，浊流和潮流驱动 POC 向深海海底峡谷搬运和沉降，在边缘海颗粒有机碳源汇过程发挥着重要作用。

S41-O-6

海洋 DOC 光化学降解生成 DIC 的 ¹⁴C 同位素特征测定：双同位素稀释法初探与局限分析

卢汐^{1,2,3*}，Steven R. Beaupré¹

1 Stony Brook University, School of Marine and Atmospheric Sciences

2 北京大学，海洋研究院

3 厦门大学，碳中和创新研究中心

* luxi_19900209@hotmail.com

海洋溶解有机碳（DOC）是海洋中最大的有机碳库，其中约 96% 为难降解组分（Refractory DOC, RDOC），平均 ¹⁴C 年龄在 4000 年以上。尽管 RDOC 在海洋碳循环过程中有着关键的作用，对其源汇的调查却因技术限制而众说纷纭、其收支的计算也长期难以达成平衡。RDOC 的诸多生成与移除途径中，光化学降解平均速率及其不确定性显著高于其他已知源、汇。溶解无机碳（DIC）作为 DOC 光降解的主要产物，其同位素特征（如 ¹⁴C 丰度）可为解析 RDOC 光化学产物的碳源属性提供关键

证据。但现有方法往往仅能测定 DIC 光化学生成量 (DIC_{hv})，无法同步获取其 ^{14}C 同位素组成，制约了对 RDOC 光化学降解过程碳源-产物关系的定量评估。本研究基于优化的 MoDIE (Moderate DI^{13}C Isotope Enrichment, 适度 ^{13}C 同位素富集) 方法, 提出一种双同位素 (^{13}C 与 ^{14}C) 稀释法, 旨在同步测定 DIC_{hv} 的产量及其 ^{14}C 同位素组成; 并通过数值分析与蒙特卡洛模拟分析了这一方法的实际可行性。研究建议, 在常用 ^{14}C 标识中选用 ^{14}C 现代碳比例 (Fm) 近似表示 ^{14}C 同位素丰度, 可显著简化计算过程。研究发现, 当环境 DIC 初始 Fm 值 (Fm_{dark}) 接近待测 DIC_{hv} 的 Fm 值 (Fm_{hv} , 通常为 0–1.2) 时, 测量结果不确定度最低。然而, 即便在实验设定条件最优化的情况下, 该方法仍需对海水样品进行严格脱气预处理, 以消除原始 DIC 对同位素稀释的干扰, 确保 Fm_{hv} 测量可靠性, 这一技术瓶颈导致双同位素稀释法在实践中的可操作性受限。进一步分析建议, 直接构建光化学反应系统分离并捕获 DOC 光降解产生的 DIC_{hv} , 辅以真空纯化、捕集与定量分析, 仍是获取近自然条件下 DIC_{hv} 的 ^{14}C 特征的有效途径。本研究为同位素稀释技术的优化及其在海洋碳循环示踪研究中的跨领域应用提供了理论框架与方法学参考。

S41-P-1S

陆源老化有机碳对北大西洋深海通风年龄重建的影响

王益鹏^{1,2}, 包锐^{1,2*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与技术教育部重点实验室

2 青岛海洋科学与技术中心, 海洋地质实验室

* baorui@ouc.edu.cn

海洋和大气 CO_2 之间的碳交换对全球气候变化起着重要作用。末次冰期以来, 深海封存了大量的碳, 随着大洋深层水的

通风增强, 这部分深海碳以各种迁移转化形式释放大气碳库中。在百年乃至千年尺度上, 大洋水团通风的变化对深海碳埋藏、碳释放起着重要的调节作用。然而, 基于放射性碳同位素 (^{14}C) 定年技术测定的深海碳通风年龄变化, 以及相应的古海洋通风状况重建存在多角度解释, 干扰了末次冰期以来深海碳循环与全球气候变化的内在机制研究。本研究探讨了北大西洋 Heinrich Stadial 1 (HS1) 期间深层水团在陆源老化有机碳再矿化的影响下, 其通风年龄的演变趋势。研究数据表明, HS1 期间北大西洋沉积物中老化有机碳 (Organic Carbon, OC) 主要来自于陆源, 并随冰筏碎屑物输运至北大西洋。与此同时, OC 的 ^{14}C 年龄比同层位有孔虫 ^{14}C 年龄大 13345 ± 692 yrs, 深海通风年龄极大值为 $5,169 \pm 660$ yrs。与前人数据相比, HS1 期间北大西洋深海水团的真实通风年龄可能被放大了数千年。因此, 海洋内部陆源老化 OC 的再矿化一定程度上影响了基于有孔虫 ^{14}C 重建的深海通风的演化。本研究以全新的角度解释了 HS1 期间北大西洋高纬深海水团的异常通风年龄, 为极端气候事件背景下的全球碳循环模型提供了重要的科学依据。

S41-P-2S

长江—长江口—东海陆架连续体溶解态黑碳的非保守行为初探

伍梦梦¹, 方引^{1*}

1 华东师范大学, 河口海岸学国家重点实验室

* yfang@sklec.ecnu.edu.cn

黑碳是生物质与化石燃料不完全燃烧过程中形成的富碳残留物, 溶解态黑碳 (DBC) 作为黑碳降解的中间产物, 可通过河流输送和大气沉降的方式进入海洋, 成为海洋溶解有机碳库的重要组成部分。双碳同位素的证据表明, DBC 从河流到外

海的输送过程中表现出非保守行为。高度动态的河口和陆架是连接河流和开阔大洋的关键过渡带,可能是 DBC 迁移与转化的热点区域。然而,目前对 DBC 在河口-陆架系统的非保守行为仍缺乏系统认识。本研究以具有全球代表性的长江-长江口-东海陆架连续体为研究对象,探讨了 DBC 的非保守行为及其形成机制。初步的研究结果表明:(1)夏季长江-长江口-东海陆架连续体 DBC 的剖面分布主要受控于长江冲淡水 and 台湾暖流的物理混合过程,二者在 DBC 的浓度和组成上存在显著差异。(2)尽管水团的物理混合过程是塑造 DBC 剖面分布的主导因素,但在连续体的不同区域发现了 DBC 的差异性非保守行为。在长江河道中,DBC 主要通过吸附在悬浮颗粒物上而被移除;在长江口,光降解与 Ca^{2+} 桥接效应的共同作用导致 DBC 被去除;而在东海陆架区,DBC 的增加则是由沉积物-水界面扩散引起。通过解析此类大型河流-河口-陆架连续体中 DBC 的非保守行为,可为揭示相对缓慢循环的 DBC 在全球碳循环中的关键作用及其形成的气候效应提供科学依据。

S41-P-3S

老碳进入海洋生物碳泵

李嘉盈^{1*}, 刘志飞¹, Thomas M. Blattmann², Timothy I. Eglinton², 林宝治¹, 赵玉龙¹, 张晓栋¹, 曹君元¹, 宋弘喆¹, Negar Haghipour²

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

² ETH Zürich, Geological Institute, Department of Earth and Planetary Sciences

* lijiaying_@tongji.edu.cn

海洋生物泵将无机碳固定成颗粒有机碳,从海洋表层向底层输出。浮游动物粪粒的垂向沉降是颗粒有机碳向下输出的关键途径,构成海洋生物泵的重要组成部分。以往研究大多关注浮游动物粪粒的碳沉降通量与碳输出贡献,粪粒有机碳特征及其影响机制的讨论较少。本研究利用南海南部

两台沉积物捕集器(水深分别为 500 m 和 2190 m)在 2022 年 8 月至 2023 年 5 月收集到的沉降颗粒物样品,开展时间序列浮游动物粪粒有机碳沉降通量、含量与天然放射性碳-14 同位素分析,旨在研究浮游动物粪粒有机碳特征的时空变化及其控制因素。结果显示,500 m 处,粪粒碳通量平均值为 $0.42 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,碳含量平均值为 11.8%, $\Delta^{14}\text{C}$ 值变化范围为-62‰至 6‰,平均值为-19‰。2190 m 处,粪粒碳通量平均值为 $0.62 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,碳含量平均值为 11.1%, $\Delta^{14}\text{C}$ 值变化范围为-356‰至-14‰,平均值为-57‰。两个深度处,粪粒有机碳特征均具有明显的季节性变化,在夏季和春季,粪粒碳通量较低,碳含量与 $\Delta^{14}\text{C}$ 值较高。在 2022 年 11 至 12 月陆源碎屑输入明显增加时期,粪粒碳通量出现最高值,构成颗粒有机碳向下沉降的重要载体(约占总有机碳通量 20%),这可能与深层海流的侧向搬运密切相关。此时,粪粒碳含量与 $\Delta^{14}\text{C}$ 值明显偏低,说明浮游动物摄食更老的碳源如陆源粘土矿物,并通过粪粒向海洋深层输出沉降。中深层浮游动物粪粒 $\Delta^{14}\text{C}$ 值整体低于真光层水体溶解无机碳 $\Delta^{14}\text{C}$,且深层(2190 m)粪粒 $\Delta^{14}\text{C}$ 值普遍低于中层(500 m),也受到浮游动物再摄食与重新包装的影响。本研究首次提供浮游动物粪粒有机碳特征受到深海环境调控的相关信息,为研究海洋生物泵机制与深海有机碳循环提供新的见解。

S41-P-4

基于苯多羧酸分子标志物法的吸光性碳质气溶胶芳香连续体解析

莫扬之¹, 怡欣¹, 钟广财¹, 张干^{1*}

¹ 中国科学院广州地球化学研究所,先进环境装备与污染防治技术全国重点实验室

* zhanggan@gig.ac.cn

吸光性碳质气溶胶（包括黑碳和棕色碳）是大气中重要的短寿命气候强迫因子，对全球气候变暖具有显著影响。然而，当前对其光吸收特性及来源的认识仍不充分。芳香化合物/结构是吸光性碳质气溶胶中的主要光吸收成分，本研究采用苯多羧酸

（benzene polycarboxylic acids, BPACs）分子标志物法，定量分析了中国八个城市（包括北京、上海、广州）PM_{2.5}中不同相态碳质组分的稠环芳香碳（polycyclic aromatic carbon, PAC），并评估了其稠合度特征。分析覆盖了水溶态、溶剂萃取态、不可萃取态及黑碳/元素碳四种形态。结果显示，供暖区 PM_{2.5} 中的 PAC 主要以溶剂萃取态形式存在，占比达 $55.0 \pm 2.0\%$ ；而在非供暖区，元素碳中的 PAC 比例显著高于供暖区（ $31.3 \pm 6.2\%$ vs. $17.5 \pm 7.4\%$ ）。不同相态的 PAC 在分子量和稠合度方面也存在显著差异，其稠合度和分子量由高到低依次为：元素碳 PAC > 不可萃取 PAC > 溶剂萃取态 PAC > 水溶态 PAC。进一步将 PAC 的光吸收特性与芳香结构特征联立分析发现，除水溶态 PAC 外，其余形态的 PAC 的光吸收能力及波长依赖性分别与芳香碳的相对含量及稠合度密切相关，表明 PAC 是决定水不溶态碳质组分光吸收性能的关键因子。此外，通过 BPAC 的单分子双碳同位素分析发现，高稠环度芳香碳（B6CA + B5CA）与低稠环芳香碳

（B4CAs + B3CAs）在现代碳比例上无显著差异（Fm: 0.40 ± 0.10 vs. 0.37 ± 0.11 ），但低稠环芳香碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 显著更轻（ $-26.2 \pm 1.2\text{‰}$ vs. $-24.5 \pm 1.7\text{‰}$ ）。这可能表明，低稠环芳香碳来源于高稠环芳香碳在大气中的氧化剥蚀过程，或为其二次生成产物。

S41-P-5

基于植物 $\Delta^{14}\text{C}$ 的深圳市高分辨碳排放空间分布及反演研究

李静¹，林勃机¹，王伟民²，冯文彪¹，李平阳¹，成志能¹，李军¹，张干^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所，先进环境装备与污染防治技术全国重点实验室

2 广东省深圳生态环境监测中心站

* zhanggan@gig.ac.cn

在全球气候变化与城市化进程加速背景下，精准量化城市化石燃料 CO₂ 排放（FFCO₂）及其空间分布特征，对于制定科学、高效的减排策略具有重要意义。深圳市作为中国经济最发达的超大城市之一，受快速工业化和城市扩张影响，碳排放呈现出明显的空间异质性。然而，传统排放清单（如 ODIAC 和 MEIC）在高分辨率空间刻画方面仍存在一定局限。

为弥补该不足，本研究于 2023 年 2 月在深圳市布设了 70 个草本植物采样点，按照 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 网格均匀分布，测定植物 $\Delta^{14}\text{C}$ 值，其范围为 -78‰ 至 -20‰ ，平均为 $-44 \pm 12\text{‰}$ 。基于 $\Delta^{14}\text{C}$ 测值估算得到各样点 FFCO₂ 排放浓度范围为 1.1 至 28 ppm，平均为 $12 \pm 5.7\text{ ppm}$ 。克里金插值结果显示，FFCO₂ 排放空间上呈现显著梯度特征：以西北部工业区为高值中心，沿东南方向逐渐递减，凸显出工业布局对城市碳排放空间结构的主导作用。该空间分布格局与 ODIAC 清单显著不符，ODIAC 倾向于高估人口密集区域的排放，而低估工业区域的排放强度。

在此基础上，研究进一步以 ODIAC 和 MEIC 为先验排放信息，结合实测 $\Delta^{14}\text{C}$ 数据、大气输送模型 FLEXPART 以及贝叶斯反演方法，成功估算出 2022 年深圳市月均化石燃料 CO₂ 排放总量为 $58.8 \pm 4.0\text{ Mt CO}_2$ 。这一方法体系不仅有效整合了实地观测与大气建模信息，还显著提升了排放量反演的空间精度与可信度。

综上，本研究将植物 $\Delta^{14}\text{C}$ 测量与贝叶斯反演技术有机融合，系统刻画了深圳市化石燃料碳排放的高分辨率空间分布特征，验证了该方法在城市尺度碳排放精细监测中的可行性与应用潜力。结果表明，通过

加强对工业等重点排放源的识别与调控，有望实现城市碳减排与精准治理的双重目标。该研究为未来构建更科学、更高分辨率的城市碳排放监测体系提供了有力的技术支撑与实践范式。

S41-P-6

大气 $\Delta^{14}\text{CO}_2$ 测量揭示中国城市化石源 CO_2 下降的驱动因素及影响

李平阳^{1,2,3}, 林勃机^{1,2,3,4}, 成志能^{1,2,3}, 李静^{1,2,3}, 李军^{1,2,3}, 陈多宏^{5*}, 张涛⁵, 林润^{1,2,3}, 朱三元^{1,2,3}, 刘军⁵, 林玉君⁵, 赵时真^{1,2,3}, 钟广财^{1,2,3}, 牛振川^{6,7,8}, 丁平⁹, 张干^{1,2,3*}

1 中国科学院广州地球化学研究所, 先进环境装备与污染防治技术全国重点实验室

2 中国科学院广州地球化学研究所, 广东省资源环境利用与保护重点实验室

3 中国科学院广州地球化学研究所, 粤港澳大湾区环境污染研究与控制联合实验室

4 中国科学院大学

5 广东省生态环境监测中心, 生态环境部环境保护区域空气质量监测重点实验室

6 中国科学院地球环境研究所, 黄土科学全国重点实验室

7 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室

8 西安加速器质谱中心

9 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* chenduohong@139.com

* zhanggan@gig.ac.cn

中国清洁空气政策自 2013 年实施以来在自下而上排放清单中成功缓解了化石燃料 CO_2 ($\text{CO}_{2\text{ff}}$) 排放, 但基于自上而下观测的实证研究及其驱动机制仍存空白。本研究通过典型中国城市大气 $\Delta^{14}\text{CO}_2$ 与 $\delta^{13}\text{CO}_2$ 联合观测, 系统量化了 $\text{CO}_{2\text{ff}}$ 浓度及其燃料贡献比例。结果显示: 特大城市呈现显著减排趋势 (如广州在 2011-2022 年 $\text{CO}_{2\text{ff}}$ 浓度下降 35%), 但中小城市尚未显现类似拐点。广州的这种减排源于三大驱

动要素: 煤炭消费量削减 23%、天然气占比提升 17% ($\delta^{13}\text{C}$ 示踪证据), 以及燃烧效率提升 ($R_{\text{CO}}/\text{CO}_{2\text{ff}}$ 比值下降 63%)。值得注意的是, 基于 30 年观测序列的城市 $R_{\text{CO}}/\text{CO}_{2\text{ff}}$ 降幅超越清单估算值, 表明现行排放清单可能低估了燃烧效率改进及其对 CO 减排的贡献。研究证实我国 $\text{CO}_{2\text{ff}}$ 排放达峰进程已进入关键期, 特大城市率先实现结构性转型。实证表明, 煤改气政策与技术升级可协同推进大气治理与气候变化目标。研究强调, 亟需建立自上而下观测体系 (如放射性碳测量) 与传统清单的融合框架, 以精准捕捉政策驱动的排放动态演变, 为多目标协同优化路径提供科学支撑。

S41-P-7S

具有注意机制的人工神经网络深度学习预测海洋生物地球化学数据

刘明志¹, 王益鹏¹, 仲国强², 刘永欣¹, 刘晓晴¹, 史际帆³, 车阳丽¹, 包锐^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术实验室

2 中国海洋大学, 计算机科学与技术学院

3 复旦大学, 智能复杂体系基础理论与关键技术实验室

* baorui@ouc.edu.cn

预测海洋生物地球化学数据对于生物地球科学的综合数据分析至关重要。然而, 由于资金, 技术等限制导致某些重要的海洋化学数据难以获得, 例如 ^{14}C 。随着人工智能的发展, 机器学习技术被用于预测海洋生物地球化学数据。然而, 目前的方法往往难以有效地捕捉海洋数据的复杂特征, 导致预测精度次优。在这项研究中, 我们开发了一种新的深度学习方法, 称为具有注意力机制的人工神经网络 (ANN-att), 用于预测海洋生物地球化学数据。我们基于海洋生物地球化学中两个广泛使用的海洋数据集 GLODAP v2.2022 和

MOSAIC 2.0, 并比较和评估了 RF、ANN 和 ANN-att 的预测性能。我们的结果表明, ANN-att 方法的预测精度在 GLODAP y2.2022 数据集中比其他方法提高了 6%, 在 MOSAIC 中提高了 30%。此外, 我们通过预测西太平洋表层海洋溶解氧和中国边缘海有机碳沉积物 14-碳分布进一步验证了 ANN-att 在预测非线性特征较强的海洋生物地球化学数据方面具有显著优势。

S41-P-8S

基于微流控平台探究海沟孔隙水环境对方解石的保存机制

刘永欣¹, 刘明志¹, Michael Strasser², 包锐^{1*}

¹ 中国海洋大学, 化学化工学院

² University of Innsbruck, Institute of Geology

* baorui@ouc.edu.cn

碳酸盐矿物溶解对全球碳循环具有关键作用。有研究发现, 原位监测到的方解石溶解速率低于实验室测定值, 推测是水体中溶解有机碳 (DOC) 有机质能够快速且牢固地吸附于方解石晶面, 改变其表面性质, 从而对碳酸盐矿物的稳定性产生显著影响。本研究报道了国际大洋钻探计划 (IODP) 386 航次在水深大于 7000 米的沉积层发现了一种自生碳酸盐矿物。我们利用微流控技术, 系统地观测不同浓度和分子量 DOC, 以及 pH 对方解石晶体保护的调控作用。具体而言, 我们在经光刻刻蚀制备的石英微流控芯片中进行流动反应, 可视化监测方解石矿物在不同溶液条件下的溶解过程。同时, 通过分子动力学模拟, 我们在模拟海沟高压低温环境下研究 DOC 分子与方解石晶面的相互作用, 以验证微流控实验观测的分子机制。研究表明, 海底环境中的 DOC 对碳酸盐矿物溶解具有重要调节作用。高分子量 DOC 的表面吸附

显著增强矿物稳定性, 推迟其溶解并促进碳封存; 此发现对理解深海碳循环、改进碳酸盐保存模型和预测海洋酸化影响具有重要意义。

S41-P-9

海沟深渊碳循环

包锐^{1*}

¹ 中国海洋大学

* baorui@ouc.edu.cn

深海元素循环作为海洋科学研究领域的前沿方向, 始终吸引着全球科研工作者的目光。其中, 海沟深渊碳循环更是地球系统科学研究的关键着力点, 是人类探索深海这片广袤未知领域的重要突破口。在西太平洋, 构造活动极为活跃, 频繁的海底地震等地质事件不断重塑着海洋环境。研究海底地震事件对海沟深渊有机碳的输入、转化和封存的影响, 堪称探索深海多圈层物质能量循环的关键切入点。每一次地震, 都会打破原有的深海物质平衡, 大量有机碳或被输送至深渊, 或在复杂环境中经历转化, 其封存过程也随之发生改变。通过深入探究这一过程, 不仅能够填补深海极端环境下元素循环理论的诸多空白, 还能帮助我们更好地理解地球系统的运行机制, 为全球气候变化研究、深海生态保护等提供重要的科学依据, 具有极其重要的科学意义和深远的研究价值。

S41-P-10S

海洋沉积物中超细颗粒的分级与有机碳特征研究: 基于新型 UPS 装置的应用

郑广金¹, 沈梦瑶¹, 李浩帅¹, 包锐^{1*}

¹ 中国海洋大学, 化学化工学院

* baorui@ouc.edu.cn

海洋沉积物中超细颗粒 (<10 μm) 因其高比表面积, 常富集有机碳 (OC), 在全球碳循环中扮演关键角色。然而, 传统筛分方法难以实现对 <10 μm 颗粒的精细分离和有机地球化学特征分析。为此, 本研究开发了一种新型的超细颗粒分离装置

(UPS), 结合悬浮颗粒生成器 (SPG) 与颗粒尺寸分离装置 (PSSD), 可将海洋沉积物中 <10 μm 颗粒细分为 8 个粒径级, 并对其 OC 含量与稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 进行测定。

结果显示, 该方法在各粒径级别上具有 77.7%–88.7% 的质量回收率与 75%–94% 的筛分精度, 且分离出的超细颗粒 OC 含量明显高于整体沉积物, 表现出 OC 随粒径减小而升高的趋势。不同站位粒径组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布揭示了近岸区陆源输入增强、而中外陆架以海洋源有机质为主的空间变化特征。

本研究所提出的 UPS 方法克服了以往方法中样品损耗大、筛分不精、污染风险高等问题, 为海洋超细颗粒中有机质的来源识别与保存机制研究提供了可靠技术手段, 并对深入理解海洋沉积物中碳循环过程具有重要意义。

S41-P-11

过去千年南海上层海洋碳储库年龄演变

李琛^{1*}, 党皓文¹, 翦知湔¹

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室
* 1900_chenli@tongji.edu.cn

南海上层水体碳储库年龄的时空变化受西向传输的赤道太平洋老碳信号影响, 与太平洋中低纬海区的环流格局息息相关。目前, 受限于高分辨率连续海洋记录的匮乏, 对南海表层碳储库年龄的认知主要局限于全新世及更长时间尺度上, 制约了近千年来 ^{14}C 年龄校正的精度。

本研究选取南海北部活体采集的大型黑珊瑚样品, 通过系统对比其有机质骨节的年生长纹层与放射性碳同位素记录, 首次重建了过去八百年以来南海北部上层水体的碳储库年龄。研究显示, 黑珊瑚的生长环带与碘元素环带高度一致, 证实该样本具有连续 800 余年的生长历史, 其平均生长速率约为 0.01 毫米/年。这一结果首次印证了南海黑珊瑚的年际生长环带模式, 并为后续研究提供了精确的年分辨率年代框架。

在此基础上, 放射性碳同位素校正年龄与环带年龄的对比分析揭示, 南海北部碳储库年龄 (R) 与区域年龄校正值 (ΔR) 在小冰期均出现显著低值。本研究首次建立了南海过去千年以来高分辨率的碳储库年龄序列, 为南海的 ^{14}C 年代学校正提供了重要参考。值得注意的是, 在不同的时间尺度上(全新世和近千年), 南海碳储库年龄的变化趋势均与南太平洋保持同步。其中, 小冰期储库年龄的显著降低现象在南太平洋同步出现, 共同指向小冰期老碳西向传输过程的受阻, 暗示着亚热带环流圈的整体收缩。

S41-P-12S

高压环境下裂褶菌的适应机制及其对甲烷合成的调控作用

赵梦实¹, 刘常宏^{1*}

¹ 南京大学, 南京大学生命科学学院国家医药生物技术全国重点实验室
* chliu@nju.edu.cn

裂褶菌 (*Schizophyllum commune*) 是分布最广的真菌之一, 具备极强的环境适应性。本研究聚焦于一株从洋底深部沉积物中分离得到的裂褶菌 (*Schizophyllum commune* 20R-7-F01), 探讨其在高压环境下的耐压适应机制及其对甲烷合成的调控

作用。通过构建 35 MPa 高压模拟系统，并结合多组学技术，我们系统地解析了裂褶菌在高压胁迫下的适应机制。研究发现，裂褶菌在高压环境下通过三重协同机制有效应对胁迫：（1）激活抗氧化防御系统，显著提高超氧化物歧化酶（SOD）和过氧化氢酶（CAT）的活性；（2）通过 $\Delta 9$ -去饱和酶介导合成不饱和脂肪酸，重塑细胞膜的流动性；（3）通过 RecA/RadA 依赖的 DNA 修复通路，维持基因组的稳定性。此外，高压胁迫还显著提高了裂褶菌的甲烷产量，达到正常水平的 2.5 倍，而且甲烷合成关键酶基因（Lac、MCT、DH）的表达与活性氧（ROS）水平呈显著正相关，表明氧化胁迫通过调节 ROS 水平作为代谢开关，直接激活甲烷合成通路。基于此，我们提出了“胁迫-代谢偶联”（stress-metabolism coupling）模型，揭示裂褶菌在高压环境下通过 ROS 信号枢纽协同调控细胞防御与能量代谢的分子机制。本研究为极端环境微生物的适应性机制提供了新的见解，并为深海生物资源的开发及厌氧生物技术的应用提供了理论依据。（已经发表的研究）

S41-P-13

一种测试土壤中黑碳含量的新方法

李刚^{1*}

¹ 中国气象局兰州干旱气象研究所
* 505044897@qq.com

土壤中的黑碳（Black Carbon, BC）研究近年来越来越受到广泛关注，因其在土壤碳循环、气候变化和农业可持续发展方面具有重要作用。

黑碳能够改善土壤结构，增加有机质含量，提高土壤肥力，促进作物生长。其次，黑碳在土壤中具有长期稳定性，可以作为碳汇，减缓温室气体排放。最重要的是，黑碳对重金属和有机污染物具有一定

的吸附能力，可以修复受污染土壤。因此，精确的测量土壤中黑碳的含量是非常有必要的。

DRI-2001A 热光碳分析仪器是一款应用热光法测试原理、设计精良、非常成熟的碳分析仪器。主要适用于 IMPROVE-A 方法测量大气气溶胶中的有机碳（OC）和元素碳（EC）含量。但由于土壤中受无机盐以及粉尘的影响，DRI-2001A 仪器对土壤中黑碳含量的测试能力有所不足。

在热光反射法（TOR）的基础上，经过多次试验，我们把 5 步升温法修改成 2 步。即在测试土壤样品时，第一步在无氧环境下，我们把温度直接升到 550 摄氏度；在有氧环境中，我们把温度直接升到 700 摄氏度。在新方法的升温过程中，由于升温迅速，导致新方法忽略掉了裂解碳（OPC）。从而得到土壤中有机碳和黑碳的含量。

新的测试程序，能够针对土壤样品进行 OC、EC 的测试。与原有程序相比，总碳含量接近，新程序重新分配了 OC、EC 的切割点。业内专家认为黑碳结果合理（由于样品前处理过程中受到酸化处理，故 OC 的测试结果不如 EC，舍去。）目前利用此方法已经陆续开展了针对新疆土壤中黑碳含量的测试工作。

S42-O-1

陆表风化度——理解青藏高原隆升驱动大陆风化和全球变化的钥匙

杨一博^{1*}，方小敏¹

¹ 中国科学院青藏高原研究所
* yangyibo@itpcas.ac.cn

新生代青藏高原隆升产生了巨大的环境效应，不仅影响了亚洲季风-干旱气候格局形成和演化，还通过侵蚀风化影响了大陆风化过程乃至全球气候变化。然而，青

藏高原隆升如何影响大陆风化以及全球气候存在诸多争议。本研究从青藏高原隆升导致陆表风化度增加的角度提出青藏高原隆升影响大陆风化并加强大气 CO₂ 消耗进而影响全球变化的三种具体方式。在青藏高原南部地区, 通过构造隆升和南亚季风加强新鲜物质剥露从而加强硅酸盐风化; 在青藏高原东部毗邻的广阔东亚低地, 通过加强东亚季风从而加强富镁上地壳岩石的风化; 在青藏高原北部及毗邻地区, 通过加强干旱化和粉尘释放从而加剧下风向陆表风化速率。

S42-O-2

青藏高原冰川流域的化学风化可能排放了可观的 CO₂

于正良¹, 邬光剑^{1*}

1 中国科学院青藏高原研究所
* yuzhengliang@itpcas.ac.cn

冰川、化学风化和碳循环之间的耦合作用在地质时间尺度上驱动着全球气候变化。大陆型冰川流域的化学风化速率普遍较小、碳汇速率偏弱; 海洋型冰川流域的风化强度较大, 但碳汇效应存在较大争议。本研究选取了藏东南 2 个典型冰川流域(珠西沟和日弄曲)为研究区, 并以地理环境相似的非冰川流域(索姆浦曲)作为对照, 开展为期 3 年的高时间分辨率监测。研究表明, 次生方解石沉淀显著改变了研究区冰川融水/河水离子组成, 珠西沟冰川融水中 Ca²⁺ 的去除比例高达 93±2%, 且次生方解石沉淀主要发生在冰下排水管道内。日弄曲冰川融水和索姆浦曲河水有将近一半的 Ca²⁺ 被移除, 去除比例分别为 47±9% 和 58±18%。研究区冰川融水/河水 δ³⁴S_{SO4} 落入硫化矿物端元, 指示 SO₄²⁻ 主要来自硫化物氧化。化学风化过程存在明显空间差异: 非冰川流域硅酸盐岩风化对河水溶质贡献比例超过 30%, 是该区域重

要的化学风化过程, 而冰川流域以硫化物氧化和碳酸盐岩风化为重, 两者对冰川融水溶质的贡献比例均超过了 90%。非冰川流域的净碳汇速率为 +0.99×10⁵ mol/km²/y, 指示该流域为碳汇区; 两个冰川流域在地质时间尺度的净碳汇速率分别为 -5.30×10⁵ mol/km²/y 和 -2.15×10⁵ mol/km²/y, 硫化物氧化产生的硫酸快速溶蚀碳酸盐岩向大气释放 CO₂, 抵消硅酸盐岩风化产生的碳汇速率。若将研究结果结合前人获取的数据外推至整个青藏高原, 冰川流域 CO₂ 释放通量可能高达 2.34×10¹⁰ mol/yr, 占到青藏高原主要大河流域硅酸盐岩风化碳汇总量的 29%, 说明冰川区因化学风化释放了相当可观的 CO₂, 构成碳循环的重要组成部分。

S42-O-3

基于水化学和硫、氧同位素探究高原山地流域化学风化特征

陆和平¹, 钟君^{1*}, 李思亮¹

1 天津大学, 地球系统科学学院
* jun.zhong@tju.edu.cn

地表岩石化学风化在调节大气二氧化碳浓度方面发挥着重要作用。在碳酸参与硅酸盐岩风化过程中, 硅酸盐矿物溶解后经河流搬运至海洋, 并以碳酸盐矿物的形式沉淀下来, 该过程被认为是一个碳汇。然而, 大量研究表明, 硫酸参与的碳酸盐风化可抵消硅酸盐岩风化所消耗的二氧化碳, 甚至可能成为碳源。因此, 明确风化过程中参与的酸性来源(碳酸、硫酸)以及识别流域主导的岩石风化类型和其通量, 对于准确评估区域乃至全球的碳收支和碳循环具有重要的科学意义。青藏高原作为全球最大的高海拔山地系统, 因其特殊的地质构造背景和显著的气候梯度, 已成为全球碳循环研究的热点地区。现有多项研究

已对高原不同山地流域的硅酸盐、碳酸盐和硫化物风化过程所产生的净二氧化碳通量进行了定量估算,揭示了其在全球碳循环中的重要地位。然而,由于青藏高原地域辽阔,其内部岩性组合、地貌形态及气候条件差异显著,导致不同地区之间的岩石风化速率、主控因子及其对碳循环的贡献存在显著的空间异质性。因此,深入研究特定区域内的风化特征及其控制机制,对于提升我们对青藏高原整体风化过程及其碳汇/碳源功能的认识至关重要。帕隆藏布江与易贡藏布流域位于青藏高原的东南缘,是受季风影响显著的典型高山峡谷河流系统,二者在气候条件、水文过程以及流域地质背景上均存在较大差异。本研究通过系统采集帕隆藏布江与易贡藏布的河水样品,结合水化学参数与硫、氧同位素($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$)特征分析,旨在揭示该区域岩石风化的主控机制以及硫酸盐的来源。研究结果显示,河水 pH 值在 7.1 至 8.8 之间,呈现弱碱性;阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,其电荷当量浓度排序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$;阴离子中 HCO_3^- 浓度最高,依次为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Cl^- 。 SO_4^{2-} 浓度在 15 $\mu\text{mol/L}$ 至 3665 $\mu\text{mol/L}$ 之间,平均为 468 $\mu\text{mol/L}$,显著高于世界主要大河的平均值(约 390 $\mu\text{mol/L}$),表明该区存在强烈的含硫矿物风化过程。此外, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ (−6.4‰至 11.4‰) 与 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (−12.5‰至 4.6‰) 呈现出明显的空间变化,反映了不同子流域之间硫酸盐来源和形成机制的差异性。同位素反演示踪结果表明,研究区内硫酸盐的主要来源为黄铁矿的氧化作用,且其释放过程受到地层岩性分布、地形等因素的共同控制。

S42-O-4

青藏高原东缘流域尺度岩石有机碳风化通量及地质碳收支

王野¹, 陈旻^{1*}, 李石磊¹, David William Hedding², 陈骏¹

1 南京大学, 表生地球化学教育部重点实验室

2 University of South Africa, Department of Geography

* chenyan@nju.edu.cn

大陆风化及地质碳循环控制着长尺度碳平衡,是维持地表宜居性的重要过程。构造活跃的山区流域地质碳收支往往是几个地质碳源、汇的叠加结果,但其中某些过程,如岩石有机碳(Petrogenic Organic Carbon, OC_{petro})风化,仍然缺乏全面的定量研究,这阻碍了对造山过程净碳效应的全面理解。为此,本研究以微量元素铼(Re)作为地球化学定量指标,探究了青藏高原东缘流域尺度上的岩石有机碳风化过程,包括量化岩石有机碳风化通量以及流域尺度上的净碳收支。具体来说,本研究采集并分析了长江、澜沧江、怒江、黄河和雅鲁藏布江等五条流经青藏高原东缘的大河上游的河水及河床沉积物的铼浓度、总有机碳含量以及主量离子浓度。然后,通过溶解质端元混合分析,本研究识别了河水中主量离子的来源,继而划分了铼的来源。最后,基于蒙特卡罗模拟,本研究量化了流域尺度上的岩石有机碳风化通量以及多个地质过程叠加的净碳收支。在 10^4 – 10^7 年的时间尺度上,青藏高原东缘的岩石有机碳风化通量和净碳收支分别为 $1.95 (\pm 0.60) \text{ tC} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 和 $1.81^{+0.34}_{-0.49} \text{ tC} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$,暗示了青藏高原东缘目前表现为地质碳源。本研究不仅深化了我们对岩石有机碳风化过程的理解,还揭示了造山过程的地质碳效应在不同阶段存在动态转变的特征。

S42-O-5

青藏高原东北部强硫化物风化作用下 Li 同位素的响应

曹阳^{1,3}, 张飞^{1,2*}, 胡雅丹¹, 王永涛¹, 杨柳¹, 侯思璐¹, 夏明哲⁴, 程宏飞⁴

1 中国科学院地球环境研究所

2 崂山实验室

3 长安大学, 水利与环境学院

4 长安大学, 地球科学与资源学院

* zhangfei@ieecas.cn

在过去数十年间, Li 同位素 ($\delta^7\text{Li}$) 被认为是示踪不同时间尺度大陆风化过程的有效示踪剂, 大量研究将目光聚焦于现代全球河流 $\delta^7\text{Li}$ 的系统变化规律, 旨在揭示 $\delta^7\text{Li}$ 与大陆风化之间的内在联系, 并以此为基础探寻地球过去气候变化的原因。迄今为止, 这些前期的研究大多集中在世界大江大河, 如亚马逊河、刚果河、恒河、叶尼塞河等, 并认为风化强度、温度、滞留时间、水文变化等因素均会影响 $\delta^7\text{Li}$ 的分馏行为。然而, 在硫化物氧化风化主导的高侵蚀地区 (如冰川、高山等), Li 同位素的地球化学行为及其环境响应机制目前仍存在认知空白。值得注意的是, 硫化物氧化产生的硫酸可同时作用于碳酸盐岩与硅酸盐岩体系, 前者通过碳酸盐岩溶解作用释放岩石圈碳库, 后者则维持碳循环的源汇平衡, 两者对全球碳收支具有截然不同的地球化学效应。因此, 阐明高寒冰川区河流 Li 同位素动态行为对硫化物氧化风化的响应规律, 对深入理解大陆风化-碳循环耦合机制具有重要科学意义。本研究选择青藏高原东北部一处典型的主要以冰川融水供给的河流——老虎沟为研究对象, 通过 3 年高分辨率 (每周一次) 河水采样, 首次揭示了在硫化物氧化风化主导的冰川地区中 Li 同位素的动态响应过程。研究表明, 经大气校正后的河水 $\delta^7\text{Li}$ 呈现规律性季节波动 ($\sim 5\text{‰}$), 即丰水期呈现低值而枯水期呈现高值, 表明极端冰川环境下 $\delta^7\text{Li}$ 主要受水文控制。这种水文响应与前人研究一致, 分馏机制主要依赖于不同的水力停留时间导致的 Li 在水-岩两相间的吸附差异, 主要表现为丰水期高径流带来的较短停留时间会导致更少的轻 ^6Li 被次生矿物

吸附, 从而使得河水 $\delta^7\text{Li}$ 降低, 反之亦然。此外, 研究还发现季风期河水 $\delta^7\text{Li}$ 与 $\text{K}/(\text{Na}_{\text{sil}}+\text{K})$ 、 $\text{SiO}_2/(\text{Na}_{\text{sil}}+\text{K})$ (硅酸盐岩风化强度指标) 呈显著负相关, 这表明强降雨会加快侵蚀从而促进硫化物氧化, 并驱动硫酸溶解导致一致性硅酸盐岩风化过程, 进而使河流 $\delta^7\text{Li}$ 值降低。这一新发现为揭示季节性水文变化对硫化物氧化及 Li 同位素行为的影响机制提供了新视角, 也为利用 Li 同位素重建古风化史和碳循环提供了新的认识。

S42-O-6

耦联水生生物光合作用的增强碳酸盐风化: 潜力、成本和优势

石亮星¹, 曾思博^{2*}, 刘再华¹

1 中国科学院地球化学研究所

2 西南大学

* swsibozen@swu.edu.cn

将碎石粉末应用于陆地或海洋生态系统 (称为增强岩石风化, ERW) 被认为是一种有效的二氧化碳去除 (CDR) 机制, 可以缓解持续的气候变化。碳酸盐具有溶解速度快、环境友好等特点, 是潜在的 ERW 材料。然而, 碳酸盐相关的 ERW 的 CDR 潜力、成本和有效性尚未得到探讨。通过使用碳酸盐平衡方程和 CMIP6、GCM 和 LCA (生命周期评估) 模型, 我们分析了基于碳酸盐的 ERW 策略 (增强碳酸盐风化, ECW) 的 CDR 潜力、碳足迹和成本。预计目前 ECW 的全球潜在碳去除率 (PCR) 可达 ~ 2.66 (RCP4.5) 和 ~ 2.82 (RCP8.5) Gt CO_2 a⁻¹, 到本世纪末累计 CO_2 去除率可达 241.32 Gt CO_2 a⁻¹ (RCP4.5) 和 246.64 Gt CO_2 a⁻¹ (RCP8.5), 可中和未来全球二氧化碳排放量的 $\sim 23.11\%$ (RCP4.5) 和 $\sim 23.62\%$ (RCP8.5)。此外, 我们发现 ECW 的全球 CDR 势对全球气候变化敏感, 未来高纬度

地区的 CDR 会因全球变化而增加。此外，我们比较了六个具有高 CDR 潜力的主要国家实施增强硅酸盐风化（ESW）和 ECW 的成本，发现 ECW 每单位 CO₂ 所需的岩粉比 ESW 低 1.73-2.6 倍。然而，由于溶解无机碳（DIC）的稳定性在许多研究中存在争议，我们提出以 ECW 考虑水生光合作用的作用，通过水生光合作用的生物泵对增加内陆水域 ECW 的碳储量具有重要意义。对于未来的生态环境保护实施，我们强调需要开发一种增强耦合碳酸盐风化与水生光合作用相结合的策略（ECCW），既可以抵消二氧化碳脱气的负面影响，又可以将 ECW 的总 CDR 提高到比预期更高的程度。目前，ECCW 仍处于发展阶段，其大规模实施需要进一步的实验室和现场试验，以确定其 cdr 效率、环境影响和风险。

S42-O-7

显生宙大陆剥蚀和风化的模拟研究

赵佳曦¹，刘永岗^{1*}，左浩悦¹

¹ 北京大学，物理学院大气与海洋科学系

* ygliu@pku.edu.cn

大陆硅酸盐风化通过消耗大气二氧化碳来调节全球气候，是地球长周期碳循环的关键过程。准确重建地质历史时期，特别是跨越整个显生宙（过去约 5.4 亿年）的大陆风化速率及其时空演变，对于深入理解地球系统各圈层相互作用、古气候波动机制以及生命演化环境背景具有重大意义。然而，传统的风化模型往往难以充分捕捉控制风化作用的多重因素（如气候、地形、岩性、植被等）及其复杂的非线性相互作用。其中，作为风化先决条件的物理剥蚀速率预测存在较大不确定性，这限制了我们对长尺度风化历史的认知精度。针对上述挑战，本研究创新性地引入机器学习方法，旨在提升大陆剥蚀速率和化学风化速率预测的准确性。我们整合了全球范围内

高分辨率的地形、气候场、岩性、植被等多源数据，构建并训练了决策树和随机森林模型，用以预测关键的全球剥蚀速率，并进而改进风化模型。结果显示，相较于已有的模型方法，机器学习模型在现代全球尺度的剥蚀速率和硅酸盐风化速率预测上展现出显著的性能提升和更高的准确率。在此基础上，我们将优化后的模型应用于显生宙的古环境模拟。结合最新的古地理重建、CESM 古气候模拟输出以及对古岩性、古植被演化的估计，我们重建了显生宙以来全球大陆硅酸盐风化的时空演变序列。模拟结果揭示了大陆格局的演变，包括超大陆的聚合与裂解、大陆面积、平均纬度分布以及造山带活动，是控制显生宙风化通量长周期趋势和重大转折的核心因素。全球温度、水文循环（径流）的变化对风化速率具有次要影响。地表岩性的空间分布及其随板块运动的变化，以及陆生植被的起源、扩张和演替，对全球和区域风化速率产生了阶段性调制作用。本研究不仅展示了机器学习在解决复杂地球系统科学问题上的强大潜力，显著提高了剥蚀和风化速率预测的精度，而且通过对显生宙大陆风化历史的重建，为理解地球长周期碳循环-气候系统的协同演化提供了新的量化约束和更可靠的模拟工具。

S42-O-8

基于机器学习解构环境变量对化学风化的影响

刘帅^{1,2}，刘文景^{1,2}，赵明宇^{1,2*}，徐志方^{1,2*}

¹ 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈与环境协同演化国家重点实验室

² 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* mingyu.zhao@mail.iggcas.ac.cn

* zfxu@mail.iggcas.ac.cn

量化硅酸盐岩与碳酸盐岩风化对全球二氧化碳的吸收贡献，是揭示地球系统气候调控机制的核心环节。然而，构建高可

靠性的岩石风化模型，并精准解析多环境驱动因子对化学风化过程的协同作用，始终是该领域的关键挑战。针对这一问题，本研究以青藏高原为研究区域，综合运用多种机器学习算法，结合区域气候环境与构造因素，构建了碳酸盐岩与硅酸盐岩风化速率预测模型，模型拟合优度达 $R^2 = 0.84\text{--}0.96$ ，展现出良好的预测能力。

研究取得以下重要成果：

(1) 基于神经网络的影响因子权重分析显示，径流是控制硅酸盐岩与碳酸盐岩风化速率的主导因素，其次是温度、植被、岩性等其他环境变量，证实其在风化过程中的关键调控作用。

(2) 利用偏依赖分析 (PDP) 方法，系统剖析了多环境及构造因子与硅酸盐岩风化的复杂耦合关系。研究定量解析了降雨影响硅酸盐岩风化速率的多元路径：一方面，降雨通过增加地表径流，加速岩石物理侵蚀与化学溶解；另一方面，通过改变土壤湿度和植被覆盖度，间接影响风化过程。研究进一步发现，降雨对硅酸盐岩风化的直接影响较弱，其作用主要通过径流这一关键中介变量实现。

本研究将机器学习技术深度应用于岩石风化领域，不仅建立了高精度的岩石风化预测模型，更通过定量分析手段，系统揭示了多环境因子间的交互作用机制。研究成果为解析地球化学风化过程提供了新的技术路径，对完善全球碳循环模型、深化气候调控机制研究具有重要的科学意义。

S42-O-9

典型还原环境地下水中 Li 同位素的地球化学行为

张俊文^{1*}，闫雅妮¹，刘齐¹，赵志琦¹

1 长安大学，地球科学与资源学院

* zhangjunwen@chd.edu.cn

锂 (Li) 同位素被广泛视为示踪地球现代和深时风化过程的替代指标，但已有

研究发现影响 Li 同位素分馏的因素仍然非常复杂。本研究聚焦于 Li 同位素对氧化还原条件变化的响应。尽管 Li (在自然界中仅呈 +1 价态) 及其同位素不直接受氧化还原条件变化的影响，但其地球化学行为可能会通过宿主矿物的变化间接影响，比如 Fe-Mn 氧化物，这些矿物对氧化还原变化极为敏感。本研究采集了江汉平原地区地下水和沉积物样品，分析了样品的 Fe、Mn 含量以及 Li 同位素组成 ($\delta^7\text{Li}$) 等，旨在探讨 Fe-Mn 氧化物还原性溶解对地下水溶解态 $\delta^7\text{Li}$ 值的影响。结果表明，地下水的 $\delta^7\text{Li}$ 值变化显著 (+3.2‰ 至 +34.0‰)，且明显高于沉积物样品 (-1.0‰ 至 +2.4‰)。值得注意的是，地下水的 $\delta^7\text{Li}$ 值随着溶解 Fe、Mn 浓度，以及 Fe/Na 和 Mn/Na 比值的增加而降低。这一现象可能是由于 Fe-Mn 氧化物还原溶解过程中，较轻的 ^6Li 被释放到地下水中，沉积物连续提取结果支持该观点。混合和分馏模型表明，次生矿物的形成会升高地下水的 $\delta^7\text{Li}$ 值，而 Fe-Mn 氧化物溶解则会使其下降。其他因素，如人为活动和水岩相互作用 (滞留时间)，也可能对本研究中不同深度地下水的 $\delta^7\text{Li}$ 值产生影响。这些发现对 Li 同位素作为示踪剂在研究地球历史过程与古气候变化之间的关系方面具有重要意义。

S42-O-10

硅酸盐岩化学风化过程中的硼同位素分馏行为研究

王日晶^{1,2}，马金龙^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所，深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 中国科学院大学

* jlma@gig.ac.cn

硅酸盐岩风化作为全球碳循环主要的汇和表生地球化学循环的关键过程，不仅控制着全球气候的演变，还影响着表生环境地形地貌的演化。硼 (B) 及其同位素因其

独特的物理化学性质，在地质过程中表现出显著的分馏效应($\delta^{11}\text{B}=-70\sim+75\text{‰}$)，使其成为示踪硅酸盐岩化学风化作用和物质迁移转化过程的潜在有效指标。尽管风化过程中的硼同位素分馏研究已取得一定进展，但在硅酸盐岩风化过程中的硼同位素分馏机制尚缺乏系统性的认识。因此，深入理解硅酸盐岩风化过程中的硼同位素分馏机制，对于推进其在地球表层过程示踪中的应用具有重要的理论与实践意义。

本研究旨在系统探讨硅酸盐岩风化过程中硼同位素($\delta^{11}\text{B}$)分馏机制，特别关注花岗岩与玄武岩在表生化学风化过程中的B同位素行为。通过对比分析两种不同岩性的风化剖面，研究其在风化过程中的矿物组成、pH变化、同位素分馏特征及元素迁移模式，揭示硼同位素在风化作用中的分馏机制及其指示意义。花岗岩主要由长石和云母等矿物组成，总体硼含量更高；玄武岩则富含斜长石、蒙脱石及高岭石，初始硼含量相对较低，溶解速率更快，风化过程中硼释放更为迅速。两者风化过程中的pH演变趋势显著不同：玄武岩因阳离子大量迁移，风化环境pH普遍较低；而花岗岩受限于风化程度及缓冲能力，其pH相对较高。这一pH差异显著影响了水体中硼的形态分布($\text{B}(\text{OH})_3$ vs. $\text{B}(\text{OH})_4^-$)，进而主导了硼在次生矿物上的吸附行为与同位素分馏效应。研究结果表明，在表生风化过程中，原生矿物在溶解过程中作为潜在B源，次生矿物形成和吸附解吸附过程中都观察到了显著的B同位素分馏。花岗岩剖面中 $\delta^{11}\text{B}$ 值变化范围较宽(-18.46‰ 至 -8.92‰)，反映出较强的同位素分馏效应，可能与其矿物组成和风化速率、硼释放缓慢以及次生粘土矿物对B的吸附偏好相关。相较之下，玄武岩剖面中的 $\delta^{11}\text{B}$ 值变化范围较窄(-3.60‰ 至 $+1.87\text{‰}$)，分馏效应相对较弱，主要由于快速风化下B迅速迁移，减弱了与次生矿物的平衡交换。

本研究进一步强调，硼同位素分馏过程受pH调控的硼物种分布与矿物表面电荷状态的双重影响，次生矿物的种类与吸附

特性在调节 $\delta^{11}\text{B}$ 变化中发挥关键作用。通过对不同岩性风化体系中 $\delta^{11}\text{B}$ 特征的系统对比，本研究不仅揭示了硅酸盐岩风化过程中硼同位素的主要分馏机制，也为利用 $\delta^{11}\text{B}$ 示踪陆地风化强度、评估岩石风化以及重建古环境pH变化提供了理论依据与方法支持。

S42-O-11

不同风化机制条件下玄武岩风化剖面镁同位素特征

王琦¹，黄康俊^{1*}，谢淑云²，马龙¹，张攀¹

1 西北大学，地质学系，大陆演化与早期生命全国重点实验室

2 中国地质大学（武汉），地球科学学院，地质过程与成矿预测全国重点实验室

* hkj@nwu.edu.cn

硅酸盐岩风化在调节地球宜居性方面具有关键作用，对全球碳循环具有重要影响。镁同位素作为示踪硅酸盐岩风化指标日益受到关注，但其在不同风化机制中的分馏行为仍存在认知空白。本研究选取中国峨眉山两个不同海拔的玄武岩风化剖面（金顶剖面和雷公田剖面）为研究对象，分析其矿物组成、元素含量和镁同位素组成。基于野外观察、风化指标和数值模拟结果，确定金顶剖面为风化限制型，雷公田剖面为运输限制型。实验结果表明风化强度随海拔升高而降低； $\delta^{26}\text{Mg}$ 值在不同风化机制中呈现显著差异。在风化限制型剖面中， $\delta^{26}\text{Mg}$ 值随风化强度的增强而增大(-0.23‰ 至 -0.01‰)，其主要受控于原生矿物溶解和次生粘土矿物形成；在运输限制型剖面中， $\delta^{26}\text{Mg}$ 值保持相对稳定(-0.07‰ 至 0.06‰)，其主要受控于次生粘土矿物形成与转化。结合全球已发表的玄武岩风化镁同位素数据，我们发现 $\delta^{26}\text{Mg}$ 值与 τ_{Mg} 呈负相关关系，表明镁同位素分馏程度随风化强度增强而增加。本研究强调

了不同风化条件下的镁同位素行为的显著差异,进一步证明了镁同位素作为限制大陆硅酸盐岩风化指标的实用性。

S42-O-12

花岗岩强烈化学风化过程中硅同位素分馏特征:黏土矿物转化与脱硅作用的耦合机制

苏妮^{1*}, 赵云², 杨守业¹

1 同济大学海洋地质全国重点实验室

2 上海交通大学, 海洋学院

* nsu@tongji.edu.cn

大陆风化作用是连接地球各圈层相互作用的重要地表过程。硅(Si)作为地壳中含量第二丰富的元素,在硅酸盐风化过程中扮演关键角色。尽管风化过程中形成的次生黏土矿物(如高岭石)的硅稳定同位素比值(以 $\delta^{30}\text{Si}$ 值表示)相较于母岩矿物显著偏负,但在强烈化学风化条件下黏土组分中硅同位素分馏的控制机制仍不甚明晰。本研究以中国东南部一处深度约25米的花岗岩风化剖面为对象,通过分析风化层全岩样及黏土组分($<2\ \mu\text{m}$)的矿物学、元素地球化学及硅同位素组成,探讨硅酸盐风化过程中硅同位素的分馏行为。该剖面以强烈化学风化(化学蚀变指数 $\text{CIA}>85$)为特征,化学元素的迁移和损耗程度

(CDF)最高可达0.63。剖面下部C层的CIA值介于70至90, $\tau_{\text{Si,Ti}}$ 值随CIA与CDF值的升高而显著降低;在高度风化的A层中, CIA超过90, 高岭石成为主要的次生矿物,有效滞留硅并抑制脱硅作用,导致 $\tau_{\text{Si,Ti}}$ 值随CDF的降低从-0.57逐渐上升至-0.12。以高岭石为主的黏土组分具有较低的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值(平均 $-1.72\pm0.39\text{‰}$),显著低于风化层全岩样(平均 $-0.66\pm0.14\text{‰}$),主要归因于石英的稀释效应。这种显著的硅同位素分馏,与脱硅程度及黏土矿物转

化(如伊利石向高岭石转变)密切相关,表现为黏土组分中Al/Si比值显著升高,而K/Si、Mg/Si及 $\delta^{30}\text{Si}$ 值随风化增强明显降低。进一步分析全球不同地区的风化层、土壤及河流沉积物数据显示, $\delta^{30}\text{Si}$ 值与CIA值呈负相关关系,揭示在强烈化学风化条件下(如 $\text{CIA}>90$),硅同位素组成(尤其是黏土组分)作为硅酸盐风化强度指标的敏感性优于CIA。这些发现为理解现代及地质历史时期硅从陆源向海洋沉积汇的迁移过程提供了重要科学依据。

S42-P-1

黄土高原风尘沉积物成土风化作用转型

郭玉龙^{1*}, 郭利成², 杨一博³, 杨守业¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 中国科学院青藏高原研究所

* ylguo@tongji.edu.cn

弱风化沉积物在异地二次风化可能是大陆风化调节全球气候变化的关键机制,研究异地二次风化的最大难点在于剥离原位风化信号,这是因为沉积物在产生、剥蚀、搬运过程中,均伴随持续的化学风化作用。

前期研究中提出CIQ新指标,可用于定量解析沉积物矿物组成特征,计算石英富集系数,进行风化信号的剥离和量化。黄土、古土壤沉积物的成土风化较弱,其矿物、地球化学组成符合沉积动力分选规律,为高石英含量、弱风化的粗粒沉积物与低石英含量、强风化的细颗粒沉积物二元混合。由于石英抗风化,红粘土沉积强烈的成土风化导致沉积物整体粒度及地球化学组成与石英含量出现解耦。据此方法,我们提取了黄土高原白水剖面黄土-古土壤-红黏土序列的成土风化强度。结果显示该区风尘沉积物成土风化由上新世供应限制型转为第四纪的动力限制型。上新世粉尘

堆积速率低, 温度降雨较为适宜。而第四纪粉尘堆积速率激增, 黄土物质异地风化程度降低。虽然最近 1.65Ma 以来黄土高原降雨温度升高, 但由于粉尘堆积速率升高导致成土风化强度较低, 验证了矿物供应充足, 气候条件限制风化。计算表明, 更新世黄土-古土壤成土风化的 CO_2 消耗值显著高于上新世。这表明更新世粉尘通量升高可能驱动全球变冷, 也可以更大程度起到地质空调作用, 维持构造时间尺度气候的稳定性。

S42-P-2S

大气粉尘高活性铁的暴露年龄控制

欧阳盛辉¹, 赵万苍², 李乐^{3*}

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 西南大学, 地理科学学院

3 中国科学院海洋研究所

* lile@qdio.ac.cn

大气粉尘中的高活性铁(Fe_{HR}), 直接影响海洋沙尘来源铁的生物可利用性, 从而影响海洋初级生产力和全球碳循环。然而粉尘中的 Fe_{HR} 含量在不同地貌间参差各异, 其潜在因素尚未探明。前人基于室内实验提出假设, 认为矿物中 Fe_{HR} 含量受其反应时间的化学动力学控制。鉴于缺乏能测量反应时间的手段, 该假设还未在野外尺度得到有效验证, 铀同位素破碎年代学为这一研究提供了新的思路。本研究选取了亚洲代表沙漠和河流沉积物, 分析测试了沉积物的主微量元素、铀同位素活度比等参数, 获取了降水温度参数。探究表面暴露年龄、化学风化强度、岩性和气候指标之间的关系, 以厘清 Fe_{HR} 的控制因素, 并进一步验证 Fe_{HR} 含量受控于反应动力学的假设。研究结果表明, 表面暴露年龄对 Fe_{HR} 在总铁(Fe_{T})中的占比呈现出显著的一级反应动力学控制, $\text{Fe}_{\text{HR}}/\text{Fe}_{\text{T}}$ 与化学风化强度呈现较弱的负相关, 而与气候和岩性参数

无明显相关性, 这表明受控于表面暴露年龄的反应动力学过程在铁形态转化中起着关键作用。表面暴露年龄对高活性铁的反应动力学控制可能会在区域构造隆升、大气二氧化碳吸收与冰川活动之间引发正反馈循环, 从而驱动气候持续变冷。

S42-P-3

光合作用驱动的有机碳泵而非无机二氧化碳脱气主导喀斯特表层水生生态系统的钙同位素分馏

邵明玉¹, 刘再华^{1*}

1 中国科学院地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室

* liuzaihua@vip.gyig.ac.cn

钙同位素被认为是追踪表层水生系统生物地球化学过程可靠的地球化学示踪剂。次生碳酸盐沉淀被认为是天然水体钙同位素组成变化的潜在驱动机制。然而, 以往的研究认为 CaCO_3 沉淀引起的钙同位素分馏主要归因于无机过程 (CO_2 脱气), 而光合作用引起的 CaCO_3 沉淀过程中对钙同位素分馏的控制很大程度上是未知的。受碳酸盐风化控制的地表水占全球海洋钙通量的绝大部分, 并表现出明显的生物泵效应, 可有效促进 CaCO_3 沉淀; 因此, 岩溶地表水是评估光合作用对 $\delta^{44/40}\text{Ca}$ 影响的理想区域。我们在中国西南部沙湾模拟实验场开展了一项系统比较研究, 以评估水生光合作用驱动的 CaCO_3 沉积对 Ca 同位素分馏的影响。我们构建了五个由五种不同土地利用类型控制的人工地下水-地表水系统, 以模拟以不同钙输入和水生光合作用梯度为主的流域。我们综合利用了水化学、元素分析、稳定同位素测量、矿物学特征, 傅立叶变换离子回旋共振质谱法和同位素分馏模型等地球化学手段, 以阐明无机碳泵和内源有机碳泵的耦合作用

对这些以碳酸盐风化为主的水生生态系统中 Ca 同位素组成的影响。结果表明, 地下水和地表水的钙同位素组成在 0.40‰至 0.92‰之间(相对于 NIST 标准 SRM 915a)。地表水中的 $\delta^{44/40}\text{Ca}$ 值高于地下水中的 $\delta^{44/40}\text{Ca}$ 值, 我们发现次生 CaCO_3 沉淀决定了地表水中的 $\delta^{44/40}\text{Ca}$ 值。我们的结论是, 水生生态系统中的碳酸盐沉淀过程主要归因于无机碳泵(由 CO_2 脱气驱动的 CaCO_3 沉淀)和内源有机碳泵(由水生植物光合作用吸收 CO_2 驱动的 CaCO_3 沉淀), 这两个过程加强了地下水和地表水之间的 Ca 同位素差异($\Delta^{44/40}\text{Ca}(\text{P-S})$)。我们的研究结果还表明, 生物过程会导致的 $\Delta^{44/40}\text{Ca}(\text{P-S})$ 是非生物过程的 2.5 倍。本研究强调了水生光合生物驱动的光合作用对钙同位素分馏的影响, 在未来的研究中, 应将这一机制作为解释陆地水生系统钙同位素变化的因素之一。

S42-P-4S

气候与人为活动共同驱动的长江流域硫循环变化

聂浩阳¹, 陈旻^{1*}

¹ 南京大学, 表生地球化学教育部重点实验室

* chenyan@nju.edu.cn

硫循环在风化领域作为与碳循环紧密相关的元素地球化学行为因而受到人们的广泛关注。长江流域自上个时间六十年代以来经历了明显的酸化过程, 主要体现在硫酸根离子通量的显著提高, 这一变化已经在众多文献中被广泛报道。我们收集了过去几十年的水化学数据, 并重建了硫通量的变化趋势, 结果显示硫酸根离子通量从早期的不足一千万吨每年增加到 2013 之后的约三千万吨每年。这一变化的主要原因是以煤炭燃烧、化肥施用以及污水排放为代表的人为活动向流域内排放了大量的硫元素, 这一点与前人的认识是基本一致

的。在重建结果的基础之上, 我们收集了过去几十年人为活动的变化趋势, 并采用了一个由排放量和降水控制的土壤离子输入输出模型, 首次将长江流域硫循环对人为活动的响应进行了定量分析, 而且这一模型还可能用到对全球其他流域的硫循环重建与预测。同时我们还发现, 青藏高原地区在过去的一百年平均温度增加了约 1.5 度, 部分地区增加了约两度, 作为重要的冰川和冻土发育地带, 高原的硫循环对气候变化的响应可能呈现与极地河流类似的敏感性。一些研究结果表明, 温度每增加一度, 自然风化速率增加约 15%。高原地区的冰川分布自上个世纪以来受气候影响已经萎缩了约 20%, 增强的冰川融水和滑移速度正在加快对新鲜风化物质的供应, 使得冰川流域的硫化物氧化风化对硫循环的影响愈发显著, 我们的结果显示这一过程对上流硫通量的贡献可能在 12%~18%。人为硫排放与气候驱动的高原硫风化增强共同影响了长江流域的硫循环变化, 同时在这些过程中不可避免地产生了显著的碳效应。

S42-P-5

喀斯特地表水生物碳泵机制及其碳增汇减排效应研究

贺海波^{1*}, 刘再华¹

¹ 中国科学院地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室

* hehaibo@mail.gyig.ac.cn

生物碳泵是水生生态系统中重要的碳固定与储存机制, 对于实现“碳中和”目标具有关键作用。喀斯特地区的地表水体因受强烈的碳酸盐岩风化影响, 富含溶解无机碳(DIC), 这一特征增强了水体的“DIC 施肥效应”, 从而显著强化了生物碳泵的碳汇能力。本研究通过对水体的连续监测, 评估碳收支状况, 精确刻画水生源有机碳, 并综合考虑碳酸盐缓冲体系对碳收

支的影响,量化了生物碳泵效应在不同时间尺度上的规模及其控制因素。此外,研究预测,将裸岩和裸土地转变为草灌地,可提升喀斯特水生碳汇能力 42.3%至 51.5%。这一结果表明,合理的土地管理措施可显著增强喀斯特地区水体的碳汇功能,为区域碳中和战略提供了科学依据。

S42-P-6S

中国盱眙县小麦—玉米轮作情景下玄武岩风化增强的固碳潜力评估

许义江¹, 王少华², 陈旻^{1*}, 王一剑², 贾晓¹, 莫朋军¹

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 江苏省地质调查研究院, 碳中和资源工程研究中心

* chenyang@nju.edu.cn

增强岩石风化 (ERW) 指通过粉碎富镁钙硅酸盐岩石, 加速与大气中 CO₂ 的反应, 以液相 (如 HCO₃⁻) 或固相 (如碳酸盐矿物) 的形式储存碳。近年来, ERW 盆栽试验和田间试验在全球范围内取得了一定进展, 并建立了几种碳去除 (CDR) 核算方法, 如基于土壤的质量平衡模型、土壤二氧化碳通量监测、土壤碳酸盐和土壤渗滤液中溶解无机碳 (DIC) 的积累。然而, 针对 ERW 大规模应用中的碳核查仍未达成共识。

我们的目的是探索在中国江苏省盱眙县冬小麦-玉米轮作条件下将玄武岩粉应用于农田后的碳捕获潜力和相关农业效益, 并在田间规模上比较不同的碳验证方法。当地新鲜玄武岩被研磨成两种粒度分布, <1000 um 和 <100um, 并分别以 1 kg/m² 或 5 kg/m² 的施加量分散到实验田中, 分别标记为 C1、C5、F1、F5。每个实验田都设置了土壤孔隙水提取器, 以每 1-2 个月一次的频率收集水样和雨水; 每季作物收获后, 收

集植物样品和土壤样; 进一步分析元素含量差异和无机碳含量变化。

以土壤全样铝含量为参比计算土壤全样镁钙损失, 结果显示 C1-F5 土壤 [Ca+Mg] 分别损失了约 51.7、124.5、40.1、49.6 和 82.8 mol/m² (考虑 0.3 m 厚的层)。由于降雨量充足, 没有发现明显的土壤碳酸盐积累。土壤孔隙水 DIC 含量表明, C1-F5 在玉米生长过程中储存 0.60、0.37、0.66、0.95、0.89 molC/m², 在小麦生长过程中分别储存 0.07、0.08、0.14、0.14、-0.13 molC/m²。土壤孔隙水 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 占总阳离子电荷的 70% 以上, 而 HCO₃⁻ 仅占总阴离子电荷的 30% 左右, 可能受土壤背景和 DIC 不稳定性影响。

土壤孔隙水 DIC 是一种直接的原位碳汇, 尽管存在一定技术限制, 但可以作为农田系统 ERW 固碳的下限, 并有潜力为碳市场所认可, 进一步推广 ERW 的应用。

S42-P-7

冈底斯岩基风化的 Sr 同位素特征——来自察隅河流域河水与河砂的启示

阮笑白^{1*}, Albert Galy², 杨一博¹

1 中国科学院青藏高原研究所

2 CRPG-CNRS

* ruanxiaobai@itpcas.ac.cn

Sr 同位素是研究大陆剥蚀风化过程的重要手段。现代观测发现, 喜马拉雅山脉河流具有较高的 Sr 含量与 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值 (0.7295), 虽然这些河流的 Sr 通量在全球总通量中占比有限, 但足以维持海水 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值不断升高。喜马拉雅河流同时具有高 Sr 含量与 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值的原因是富含放射性成因 Sr 的变质碳酸盐溶解, 易风化的碳酸盐在变质过程中获得了硅酸盐的高 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值特征。在喜马拉雅山脉北侧, 拉萨地块南部的 Trans-Himalaya 地区

(冈底斯山脉)是欧亚板块与印度板块碰撞前形成的大陆弧,大陆弧物质来源为壳幔混合,具有较喜马拉雅物质更低的 Sr 同位素组成,因此应当产生较低的风化 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 信号。然而,我们在藏东南林芝处于 Trans-Himalaya 地区内的察隅河流域发现,河水的溶解 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值约为 0.733-0.734,与现代布拉马普特拉河相当,更重要的是,河砂醋酸提取相(碳酸盐)也同样具有相当的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值。流域风化贡献的正演计算表明溶解 Sr 主要来自碳酸盐风化,而河砂醋酸提取相的碳氧同位素指示其以碎屑碳酸盐为主,说明冈底斯流域也存在高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 碳酸盐源岩,并且是重要的风化 Sr 来源。这与喜马拉雅的情况类似。最新的孟加拉扇沉积物物源分析表明 Trans-Himalaya 物质长期存在,这提醒我们需要重新审视新生代 Trans-Himalaya 剥蚀风化以及其对全球 Sr 循环的影响。

S42-P-8

基于现代气候场的高分辨率大陆风化模拟研究:以 GEOCLIM 模型为例

黄湘通^{1*}, 柳宇¹, 崔育华¹, 杨守业¹

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室
* xiangtong@tongji.edu.cn

大陆风化作为调控地表长期碳循环的主要作用,是维持地球气候长期稳定的重要反馈机制。近年来的研究指出,硅酸盐岩风化、硫化物氧化导致的碳酸盐岩溶解以及有机碳的氧化与保存,共同构成了影响地表碳循环的主要机制。因此,对大陆风化过程的硅酸盐岩风化、硫化物氧化以及岩石有机碳氧化的速率与通量进行量化研究,是开展大陆风化综合研究的关键。本研究在 GEOCLIM 碳循环模型的框架下,利用现代高分辨率($0.1^\circ \times 0.1^\circ$)的地表温度、径流、地形和岩性场数据,借助数值方法

模拟了不同 CO_2 条件下全球硅酸盐岩风化、硫化物氧化以及有机碳氧化的碳汇效应。通过对高分辨率数值模拟结果进行细致挖掘与空间对比,我们深入剖析了全球主要流域、不同气候区以及构造带的风化通量差异。借用机器学习的方法,进一步探讨了气候、构造以及地表过程对风化速率和通量的影响与控制。本研究为厘清气候、构造及风化之间的耦合关系,揭示不同 CO_2 背景下的大陆风化变率,预测全球变暖背景下大陆风化的响应过程和反馈强度提供了定量化结果与研究范式。

S42-P-9S

降水主控全球土壤黏土矿物分布

吕恒志¹, 鹿化煜^{1*}

1 南京大学,关键地球物质循环前沿科学中心,地理与海洋科学学院
* huayulu@nju.edu.cn

黏土矿物经风化、搬运、沉积和埋藏过程在地球系统内部不断循环,与碳、水循环密切相关。全球黏土矿物的现代分布与气候条件和母岩组成具有紧密联系。地表因素相互作用,控制着硅酸盐及其他矿物的风化强度。然而,黏土矿物与气候之间的定量关系尚不明确,部分原因是缺乏各个因素对于黏土矿物形成作用的定量评估。本文通过外推到大尺度的黏土矿物丰度分布,测试了全球范围内土壤黏土矿物与各气候环境因素之间的定量关系。研究发现,年均降水量主控全球土壤黏土矿物分布,而其他环境变量(年均温、海拔、坡度、岩性、山坡土壤厚度和山坡风化壳厚度)对黏土矿物分布有次要作用或局部影响。研究还发现,在全球尺度,风化强度和黏土矿物的形成存在如下定量关系:

(1) 年均降水在 1800~2000 mm 以下时,随着年均降水的增加,伊利石含量减少,高岭石、三水铝石含量增加;(2) 年均降

水在 600~800 mm 以下时, 蒙皂石和铁氧化物含量随降水量增加而增加, 但在 600~800 mm 和 1800~2000 mm 之间, 随着降水量增加, 它们的含量反而减少; (3) 当年均降水超过 1800~2000 mm 时, 处于极端风化条件, 大部分黏土矿物对年均降水变化不敏感, 三水铝石则对应更高的降水量阈值, 为 2200~2400 mm。我们初步建立了土壤黏土矿物组成与年均降水的定量关系, 为基于沉积序列中的黏土矿物组成定量重建过去降水变化提供了理论依据。

S43-O-1

东印度洋海水碳酸盐体系的时空分布及生物调控过程

吴茜¹, 孙军^{1*}

¹ 中国地质大学(武汉), 海洋学院

* phytoplankton@163.com

本研究报道了 2020 年秋季和 2021 年春季东印度洋(EIO)的碳酸盐体系参数 pH、溶解无机碳(DIC)、碱度(Alk)和二氧化碳分压($p\text{CO}_2$)的时空分布。总体而言, 我们在研究区域观察到碳酸盐体系参数的显著季节性变化。与 2020 年秋季相比, 2021 年春季表层的 pH 较低, DIC、Alk 和 $p\text{CO}_2$ 较高。两个季节碳酸盐体系参数与不同粒径的叶绿素和不同类型的营养盐的相关关系也表明了浮游植物群落的变化和浮游植物利用的营养盐的变化主导了碳酸盐体系的变化。2020 年秋季和 2021 年春季 CO_2 的平均海气通量分别为 10.00 和 16.00 $\text{mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$, 表明在研究期间 EIO 是 CO_2 的源。垂直分布上, pH 随深度增加先下降后上升, 而 $p\text{CO}_2$ 的变化趋势与 pH 值相反; 总体上深层的 DIC 和 Alk 浓度高于上层。此外, 在表层 DIC 的不同控制过程中, 2021 年春季的混合过程和海气交换强于 2020 年秋季, CaCO_3 沉淀和光合作用弱于 2020 年秋季。通过培养实验探讨了生物

过程对碳酸盐体系参数的调节作用, 2020 年秋季, E87-36、EQ-12 和 E87-11 站位表层海水的 DIC 吸收速率分别为 52、28 和 33 $\mu\text{mol L}^{-1}\text{d}^{-1}$, 主要受光照、浮游植物组成和丰度的影响。2021 年春季, E87-30、EI-02、E87-13 和 E80-01 站位的群落呼吸速率均随深度减小, 水柱积分的平均群落呼吸速率分别为 1.10、1.48、0.54 和 1.77 $\text{mmol m}^{-3}\text{d}^{-1}$, 主要取决于微生物的种类和丰度, 也表明了无光层的呼吸过程在调节 DIC 变化和海洋碳循环方面也发挥了重要作用。

S43-O-2

基于 BGC-Argo 的观测解析碳酸盐泵和有机碳泵协同过程对海洋碳汇的调控

黄毅彬^{1,2*}, Andrea Fassbender³, 黄邦钦¹

¹ 厦门大学海洋生物地球化学全国重点实验

² 厦门大学海洋与地球学院

³ 美国国家海洋与大气管理局太平洋海洋环境实验室

* Yibin.huang@xmu.edu.cn

海洋生物泵通过将表层无机碳转化为颗粒有机碳(POC)、颗粒无机碳(PIC)和溶解有机碳(DOC)等不同碳库组分, 驱动碳从表层向深海的输送, 对全球碳循环具有重要调控作用。然而, 传统观测多聚焦于单一碳库组分, 缺乏对碳酸盐泵和有机碳泵协同过程的系统观测与定量, 限制了对生物泵时空变异机制的深入认知。本研究利用超过 100 组携带多种化学与生物光学传感器的生物地球化学剖面浮标(BGC-Argo)原位高频观测, 实现对“亚热带—亚极地—海冰覆盖区”不同生态系统中有有机碳泵(POC+DOC)和碳酸盐泵(PIC)过程的时空格局的同步观测。高分辨率的浮标观测显示碳酸盐与颗粒有机碳输出通量呈现显著的纬向梯度, 与传统的沉积物捕获器观测结果高度一致。特别是在南大洋亚极地海域(47°S–57°S), 观测

到活跃的钙化无机颗粒物的生产和输出 ($0.35 \pm 0.006 \text{ Pg C yr}^{-1}$)。同时, 浮标与卫星遥感均发现该区域水体“叶绿素-颗粒物后向散射”比值升高现象, 表明存在钙化型颗石藻大量繁殖, 进一步佐证了“南大洋最大钙化带 (Great Calcite Belt)”的存在。结合水体无机碳系统模拟结果显示, 在季节尺度上, 有机碳泵增强了海洋二氧化碳吸收 ($2.80 \pm 0.28 \text{ Pg C yr}^{-1}$), 而碳酸盐泵通过短期增加表层 $p\text{CO}_2$, 削弱了部分二氧化碳吸收 (减少 $0.27 \pm 0.21 \text{ Pg C yr}^{-1}$)。但本研究发现 POC 垂直输出效率与 PIC 生产通量呈现很好的正相关关系, 表明致密的碳酸钙颗粒有助于有机碳颗粒快速下沉, 提升整体碳输送效率, 暗示在更长时间尺度上, 碳酸盐泵对海洋碳汇具有正向促进作用。本研究通过结合新型海洋自动化观测、卫星遥感与无机碳模型模拟, 实现了对有机碳泵与碳酸盐泵联动过程及其对海洋碳汇效率调控机制的定量评估, 为理解和预测全球碳循环变化提供了新视角。

S43-O-3

中中新世中深层海水氧含量与碳循环

周晓理^{1*}, 杨淳渝¹, Anya V. Hess^{2,3}, Yair Rosenthal², 黄荣⁴, 常燎⁴

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 罗格斯大学, 海洋与近岸科学学院

3 美国伍兹霍尔海洋研究所

4 北京大学, 地球与空间科学学院

* xlzhou@tongji.edu.cn

全球气候在中中新世时期 (17-11 Ma) 由暖转冷, 在此期间碳循环也发生了显著变化。最近的一项研究认为, 中中新世开阔大洋中有机物的再矿化速率增加, 这可能消耗了更多的氧气, 导致海洋中的溶解氧含量降低。然而, 直接反映这段时期海水氧含量的记录很少。对此, 我们结合多个站位底栖有孔虫的 I/Ca 比值和磁小体化

石的形态分类 (Chang et al., 2018; Lu et al., 2020), 重建了中中新世时期太平洋中深层海水的氧化还原状态。底栖有孔虫的 I/Ca 在整个中中新世时期一直较高 ($>5 \mu\text{mol/mol}$), 这表明即使中中新世比现在温暖得多, 太平洋中深层海水的氧含量可能依然较高。不同站位的 I/Ca 和磁小体化石数值总体上保持不变, 表明中中新世期间深海氧含量没有发生显著变化。东南太平洋 (SEP) 是个例外, 该站位磁小体化石数据表明, 在中新世气候适宜期 (MCO), 中层水体的氧含量有所增加, 之后则有所下降。这与最近的一项研究结果一致, 该研究认为, 在 MCO 时期东赤道太平洋的缺氧区缩小了 (Hess et al., 2023)。此外, 我们的数据还表明, SEP 的深层水体在 MCO 期间的氧含量略高于中中新世气候转型期, 但变化幅度较小, 氧含量峰值也晚于 SEP 的中层水体。这表明, 在中中新世时期, 深层水体的氧含量受到气候变化的影响远小于上层和中层水体。

S43-O-4

晚第四纪印度洋深层环流与碳循环的演变

万随^{1*}, 向荣², 张兰兰², 党皓文³, 易亮³, 杜岩², 苏翔¹, 刘建国¹, 罗传秀¹, 杨艺萍², 王昊寅⁴, 杜恕环¹, 黄云¹, 翦知湔³

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

3 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

4 海南热带海洋学院, 海洋科学技术学院

* wansui@scsio.ac.cn

印度洋占据全球大洋~20%的体量, 能与南大洋、太平洋和大西洋进行直接的“洋际”间水团交换, 具有独特的水文特征, 是全球大洋环流体系中的一个关键区域, 对全球气候变化和碳循环有着重要作用。然而, 由于印度洋洋盆深、沉积速率低、钙

质壳体保存较差等因素，目前对冰期旋回中印度洋环流的动力演化及其对全球碳循环的作用仍缺乏探究。本项研究利用东北印度洋东经 90°海岭 I106 与 I105A 岩心材料，采用碳-14 通风年龄、底栖有孔虫 B/Ca 比值与氧碳稳定同位素、碳酸盐含量等手段，重建了晚第四纪印度洋深层水团

(IDW) 的 ^{14}C 通风年龄和碳酸盐化学等参数的演化剖面，结果表明冰期 IDW 通风作用显著减弱、储碳增加，是冰期重要的深海碳库，而冰消期 IDW 的通风效应逐步加强、释放 CO_2 ；通过与南大洋的记录（包括南极中层水 AAIW 与环南极深层水 CDW 等）进行空间对照分析，揭示了印度洋深海储碳与南大洋经向翻转流的变化密切相关，能通过 IDW 向南运移和南大洋上升流的途径向大气中释放 CO_2 ，进而对冰消期全球变暖过程中大气 CO_2 浓度升高有重要贡献。

S43-O-5

现代以及冰期旋回中浮游有孔虫钙化作用机理

秦秉斌^{1*}

1 自然资源部第一海洋研究所

* bbqin@fio.org.cn

浮游有孔虫是广泛分布于全球大洋的钙质原生动物，贡献了现代大洋 23-56 % 的碳酸钙 (CaCO_3) 生产，以及 32-80 % 的 CaCO_3 沉积通量。揭示浮游有孔虫钙化作用机制不仅关系到能否准确评估气候与环境变化对海洋钙化生物和生态系统的影响，也属于全球碳循环研究领域的重要内容之一。研究基于全球大洋表层沉积物以及柱状沉积物中特定浮游有孔虫种壳体重量，发现无论是在现代还是冰期旋回中，温度是影响浮游有孔虫钙化作用的主控因素之一。钙化生成 CaCO_3 过程将向大气释放 CO_2 ，因此在全球变暖的气候背景下，浮游

有孔虫钙化增强可能减弱海洋碳汇效应，形成全球变暖的正反馈。

S43-O-6

颗石藻与碳酸盐泵

金晓波^{1*}，刘传联¹，张洪瑞¹，马瑞罡¹，周辛全¹，孙立舜¹，高健祺¹

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* 386jinxiaobo@tongji.edu.cn

颗石藻 (coccolithophores) 是一类钙化的单细胞藻类，广泛分布在全球各大洋中。颗石藻细胞大小一般不超过 20 微米，其细胞体周围覆盖了一层方解石质的“鳞片”，称为颗石 (coccoliths)。颗石藻死亡后，散落的颗石可在水柱中沉降，最终保存到海洋沉积物中，称为钙质超微化石

(nannofossils)。颗石方解石平均占据了约一半的远洋碳酸钙沉积，也是南大洋悬浮颗粒方解石的主要贡献者。因此，颗石藻可能主导了海洋碳酸盐泵，但仍存在以下问题：（1）全球大洋海水中悬浮颗粒无机碳有多少是颗石藻，特别是占据全球大洋 70% 面积的贫营养海区；（2）颗石藻的生物碳（软组织）泵与碳酸盐泵之间的比例是多少？其决定了颗石藻的生长对于海洋是二氧化碳的源还是汇；（3）颗石藻与其它藻类特别是硅藻的竞争关系，其可能影响了全球大洋颗粒无机碳与有机碳的沉积“雨率” (rain ratio)；（4）地质历史期间颗石藻的及其钙化作用强度是如何演化的？其可能对过去地球系统的碳循环与气候变化起着关键的作用。针对以上问题，我们在不同的时间维度上进行了研究：（1）现代海水中颗石藻的分布及其生理作用对环境的响应；（2）沉积物捕获器中颗石藻生长序列的年际变化；（3）从大洋钻探的样品中，探究地质时间尺度上的钙质超微化石的演化。主要研究结果如下：（1）南海夏季海水次表层的叶绿素最大层中，颗粒悬浮无机碳的约 20-25% 为颗石藻

Emiliana huxleyi (Ehux)与 *Gephyrocapsa oceanica* (Geoc); (2) Ehux 的双泵比值 (PIC:POC) 范围约为 0.5-1, 而 Geoc 的 PIC:POC 范围约为 1-1.5。它们都是二氧化碳的汇; (3) 南海北部 Ehux 与 Geoc 的生态分布与冬、春季的生长序列可能与硅藻的竞争有关, 受到海水氮硅比值的影响; (4) 在距今 1 百万年前(Ma), 全球范围内颗石藻钙化作用显著加强。这可能导致海洋颗粒无机碳对颗粒有机碳沉积的提升, 或使 1 Ma 后间冰期大气二氧化碳浓度上升约 20 ppm。

S43-P-1S

硅藻诱导钙化的生物地球化学阈值、机制及其对海洋碳循环的意义

陈麒先¹, 李逸凡^{1,2}, 陈镇东^{1,3}, 江宗培¹, Wei-Jun Cai⁴, 沈蕴文¹, 丁泽晟¹, 邸雅楠¹, 朱陈霸⁵, 焦念志⁵, 潘依雯^{1*}

1 浙江大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

3 台湾中山大学, 海洋系

4 University of Delaware, School of Marine Science and Policy

5 厦门大学, 碳中和创新研究中心

* evelynpan@zju.edu.cn

硅藻在海洋中贡献约 40%的初级生产力, 并驱动近一半的颗粒有机碳输出。近期发现硅藻可诱导 CaCO_3 沉淀, 可能深刻影响海洋碳、钙和硅循环, 但其生物矿化阈值和机制尚不明确。本研究通过模拟海洋环境培养中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*), 系统确定了硅藻诱导钙化的环境条件与启动阈值。结果显示, 钙化在文石饱和态 (Ω_{arag}) 超过~8 时启动, 且钙化率与 Ω_{arag} 呈线性相关, 属“生物诱导”过程。通过 pH 微电极和 Zeta 电位分析仪直接分析细胞表面, 证实硅藻细胞表面微环境中富集的 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 和 $[\text{Ca}^{2+}]$ 促进了 CaCO_3 形成。

野外观测亦验证了东海硅藻水华期间的 TA 异常偏移。硅藻诱导钙化连接了无机与有机碳通量, 可能提升碳输出和封存效率。研究结果拓展了对生物泵和碳酸盐泵协同作用的认识, 为评估海洋碳循环与未来气候变化提供了新的视角。

S43-P-2S

实验室培养揭示海洋酸化背景下有孔虫群落的适应机制

曹一飞¹, 类彦立^{1,2,3,4*}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋生物分类与系统演化实验室

2 海洋生物与生物技术功能实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

4 中国科学院大学

* leiyanli@qdio.ac.cn

随着温室气体排放加剧, 海洋吸收了 1/3 人为 CO_2 导致海水酸化, 给大部分海洋生物特别是钙质生物带来生存威胁, 然而海洋酸化对于有孔虫各类群的影响目前仍有争议。本研究采集黄海陆架 4 个站位点的沉积物样品, 在 400 ppm、800 ppm、1200 ppm、1600 ppm 共 4 个 CO_2 分压梯度下连续升高培养八个月, 利用高通量测序的方法对沉积物中的有孔虫群落 eDNA 进行测序分析。测序结果中共有 178 个 OTUs 共计 738,597 条 reads 匹配到有孔虫。统计结果显示, 底栖有孔虫群落总序列数在 400-1600 ppm 呈现先下降后上升的趋势, 而多样性则呈先上升后降低的趋势, 转折点出现于 1200 ppm。在更强的海洋酸化环境压力下 (1600 ppm), 有孔虫多样性下降, 但有些机会主义种在短时间内迅速繁衍。例如 *Elphidium*、*Allogromiidae* 和 *Epistominella* 的相对丰度之和与实验 CO_2 浓度呈显著正相关, 并可建立线性关系 $Y=0.000986x-0.314$ ($p<0.01$), 而 *Miliammina*、*Textularia* 和 *Robertina* 是对 CO_2 浓度较为敏感的属, 他们的相对丰度

之和与实验 CO₂ 浓度呈显著负相关, 并可建立线性关系 $Y=0.01453x-20.749$

($p<0.05$)。当温室气体浓度上升导致海洋酸化, 有孔虫群落结构将发生改变, 导致高镁方解石有孔虫壳体沉积向低镁方解石转变, 本研究为海洋酸化监测和生态风险评估提供了新的工具和方法, 为海洋保护的政策制定提供科学依据。

S43-P-3

基于冷冻富集技术的超微量碳酸盐碳、氧同位素高精度分析方法及其地质应用

王楠^{1*}, 王业凯¹, 赵彦彦¹, 李东永¹, 张洋¹, 李三忠¹

1 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

* wn@ouc.edu.cn

碳酸盐稳定碳 (¹³C) 和氧 (¹⁸O) 同位素组成是海洋沉积学和古气候重建研究的关键指标。传统连续流动同位素比值质谱 (CF-IRMS) 测定超小碳酸盐样品 (微克级) 的稳定同位素时, 由于受到低样品气体浓度和高空白贡献的限制, 无法实现高精度分析。本研究基于低温冷冻富集的原理, 开发了一种预浓缩装置 (Precon) 与多用途气体进样装置 (GasBench II) 和同位素质谱 (IRMS) 联用的系统, 可对 10⁻⁹ mole 级浓度的痕量 CO₂ 气体进行高效富集和纯化, 将分析所需碳酸盐的样品质量降低 2 个数量级, 从 100μg 降低至 1μg。通过对三个国际碳酸盐标准物质 IAEA603、NBS18 和 GBW04416 的测试结果表明, 该方法 δ¹³C 和 δ¹⁸O 的测试精度约 0.1‰

(1σ)。通过对浮游有孔虫的单个壳体、不同生长阶段形成的房室等超小碳酸盐样品进行高分辨率、微区的同位素表征, 利用碳、氧同位素来重建其生命周期内、高分辨率的环境变化信息, 如季节性的温度

变化、生产力水平、多水层环境信息等。该方法大大扩展了 CF-IRMS 方法进行微量碳酸盐分析的适用性, 为微尺度下的碳酸盐地球化学研究提供了一个强大的分析工具, 可显著提高古环境研究的时间和空间分辨率, 对于推进古气候研究、成岩过程和痕量碳酸盐分析等相关方向的研究具有重要意义。

S43-P-4S

基于多普勒激光雷达测风结合涡度协方差技术测定海气 CO₂ 通量

庞金堰^{1,2}, 杨毅^{1,2}, 许毅^{1,2}, 李岩^{1,2}, 上官明佳^{1,2*}, 郭香会^{1,2*}

1 厦门大学, 海洋与地球学院

2 厦门大学, 海洋生物地球化学全国重点实验室

* mingjia@xmu.edu.cn

* xhguo@xmu.edu.cn

随着红外气体分析仪和各种算法校正的不断改进, 船载涡度协方差法 (EC) 已广泛应用于海气界面二氧化碳 (CO₂) 通量的测定。但是通过超声风速仪测定垂直风的过程中, 由于船舶上层建筑对风场的干扰, 最终得到的垂直风速往往会发生畸变。对于该问题普遍使用的方法是将平均相对风向限制在 ±90° (从左舷到右舷), 这样可以获得受船体结构污染较小的垂直风速。然而, 通过人为选择来自船头方向的风速数据是无法完全避免和解决气流畸变对风速的影响。为了避免船体结构引起的气流畸变问题, 首次使用多普勒激光雷达测定高空 66 米到 322 米的垂直风速, 并通过 EC 计算海气 CO₂ 通量。结果表明, 基于 EC 得到的 CO₂ 通量与块体法非常吻合, 分别为 2.06 ± 1.46 和 3.15 ± 2.82 mmol m⁻² d⁻¹。这表明基于激光雷达的风测量技术可以很好地应用在 EC 中计算海气界面 CO₂ 通量。

S43-P-5S

西北太平洋海表 $p\text{CO}_2$ 空间和季节变化及其调控机制

杨毅¹, 郭香会^{1*}, 慈东箭¹, 许懿¹, 李岩¹, 郭利果¹, 戴民汉¹

¹ 厦门大学, 海洋与地球学院

* xhguo@xmu.edu.cn

西北太平洋是全球海洋最重要的碳汇区之一。然而, 海表二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 及海-气 CO_2 通量的空间和季节变化尚未完全得到解析。基于 2019 年春季和 2020 年夏季和冬季航次, 我们对西北太平洋 (10-33°N, 120-158°E) 表层海水 $p\text{CO}_2$ 及相关无机碳参数进行了调查。结果显示, 表层海水 $p\text{CO}_2$ 呈现显著的季节和空间变化。夏季, 海表 $p\text{CO}_2$ 随纬度增加而增加 (10-14°N、14-27°N 和 27-33°N 分别为 408.4 ± 5.1 、 418.2 ± 9.0 和 $455.5 \pm 12.4 \mu\text{atm}$), 与海表温度呈负相关, 同时, 经温度归一化的 $p\text{CO}_2$ (NpCO_2) 随纬度增加而增加。冬季, 海表 $p\text{CO}_2$ 随纬度增加而降低 (10-14°N、14-27°N 和 27-33°N 分别为 379.4 ± 3.8 、 372.9 ± 9.1 和 $354.5 \pm 3.6 \mu\text{atm}$), 但 NpCO_2 却随纬度增加而增加 (10-14°N、14-27°N 和 27-33°N 分别为 356.7 ± 7.7 、 387.2 ± 13.1 和 $434.4 \pm 4.4 \mu\text{atm}$)。除温度效应外, 局部区域内的过程也起到重要作用。夏季和冬季 10-14°N 子区域西部 (130°E 以西) 较低的 NpCO_2 主要由降水引起; 14-27°N 子区域较高的 NpCO_2 主要受蒸发影响。27-33°N 子区域位于亚热带模态水区, 其高的 NpCO_2 主要由大气 CO_2 入侵 (增加 $p\text{CO}_2$) 和水平平流 (降低 $p\text{CO}_2$) 共同导致。

S43-P-6

末次冰期以来东北印度洋颗石藻指示的海洋碳酸盐泵变化

苏翔^{1*}, Nilufar Yasmin Liza¹, 万随¹, 向荣¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质实验室

* suxiang@scsio.ac.cn

作为海洋中主要的碳酸钙生产者之一, 颗石藻在碳循环中发挥着关键作用, 其钙化程度是海洋碳酸盐泵强度的有效替代性指标。通过对东北印度洋沉积柱状样中颗石藻属种和颗石重量定量分析, 结果表明末次冰期以来东北印度洋颗石藻属种组合和钙化程度均发生显著变化。颗石藻优势属种为 *Florisphaera profunda* (56.71%), *Gephyrocapsa oceanica* (25.04%) 和 *Emiliania huxleyi* (10.72%)。其中 *G. oceanica* 占据了颗石总碳酸钙重量的 74%, 是颗石藻碳酸盐泵的主要贡献者。*G. oceanica* 属种含量冰期较低、全新世升高, 与海洋初级生产力变化相一致, 但颗石钙化程度持续减弱, 表明该时期碳酸盐泵强度不断降低, 可能与该区域季风降雨控制的营养盐供给和水体层化关系密切。

S43-P-7

苏门答腊岛南部上升流区过去三十万年以来颗石藻碳酸盐泵的变化

周辛全^{1,2*}, 马瑞芳³, 金晓波¹, 刘传联¹

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

² 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

³ 中国科学院西北生态环境资源研究院

* coccolithzhou@126.com

海洋浮游植物颗石藻通过生物矿化作用形成碳酸钙外骨骼，该过程在促进碳酸钙颗粒向海底沉降的同时，会使海水溶解二氧化碳浓度升高，这一双重效应被称为“碳酸盐泵”。该机制与光合固碳作用共同调控着海-气界面的二氧化碳通量。尽管冰期-间冰期旋回中碳酸盐泵的变化可能是大气二氧化碳浓度波动的重要驱动因素，但相关地质证据却极度匮乏。本研究聚焦热带海域碳酸盐泵的演化过程，通过分析苏门答腊岛南部季节性上升流区沉积物中的颗石藻化石，重建了过去 30 万年来颗石藻的钙化程度、在沉积物中的碳酸钙含量及有机碳泵（初级生产力）的变化特征。结果表明：（1）颗石藻碳酸盐泵未呈现显著的冰期-间冰期旋回，钙化程度峰值出现在海洋氧同位素 7 期（MIS7）；（2）颗石藻碳酸钙含量在 30-20 万年间持续降低；（3）颗石藻无机碳/有机碳比值（PIC:POC）在整个研究时段均维持较低水平（ < 0.6 ）。结合初级生产力的变化特征，本研究认为苏门答腊岛南部海域颗石藻生物碳泵在该研究时间段可能始终维持着净碳汇效应。

S43-P-8

早中新世生物碳酸盐泵减弱造成海水的二氧化碳缓冲效应增强

马瑞罡^{1*}，刘传联¹，金晓波¹，刘丰豪¹

¹ 同济大学，海洋地球科学学院

* maruigang@tongji.edu.cn

海水的缓冲系统主要由碳酸盐平衡（ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$ ）构成。当大气二氧化碳（ CO_2 ）溶入海水时，碳酸氢根离子（ HCO_3^- ）会消耗部分氢离子，维持海水 pH 的相对稳定。这种缓冲能力使海洋成为重要的碳汇，决定了海洋吸收大气 CO_2 的能力。上层海洋中的钙化浮游生物会消耗碱度生成钙质外壳，

降低海水的缓冲效应；反之，当表层生成的生物源碳酸盐在水体中溶解并释放碱度（ HCO_3^- 为主），海水的缓冲能力会增强。生源碳酸钙通常以粪粒或聚合物方式与有机质共同从上层海洋向深海输出。当有机碳降解，环境中的 pH 值会显著下降，进而造成碳酸钙浅层溶解。这一过程在地质历史时期的气候演变中被忽略。以早中新世为例，这一时期标志着新生代以来重要的气候转型，当时大气 CO_2 浓度处于新生代最低水平（ $\sim 250\text{-}400$ ppm）。显著的生产力升高造成了热带海洋中碳酸盐的溶解，但其影响未被量化。为填补这一空白，我们通过形态计量学方法分析了南海北部 U1505/U1501 站位， $\sim 24\text{-}21$ Ma 颗石藻沉积记录。通过测量颗石藻重量损失计算溶解速率与总量，并估算了由此带来的碱度通量。结果显示，早中新世碳酸盐溶解速率增强至约 $43 \pm 17 \mu\text{mol CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，碱度释放总量高达 $4.5 \pm 1.9 \text{ Tmol yr}^{-1}$ （以全部热带海洋面积为例），约相当于全球河流输入总量的六分之一。同时，颗石藻 Sr/Ca 比值表明初级生产力同步提升，暗示有机质呼吸作用是溶解的主要驱动力。箱式模型模拟表明，在水体溶解率提高 1.5 倍的情况下，可抵消中等碳排放情景下约 28% 的大气 CO_2 增幅。当与生物有机碳输出耦合时，这种缓冲效应会进一步增强，这可能解释了早中新世大气 CO_2 浓度相对较低且稳定的特征。

S43-P-9S

中新世颗石藻碳酸盐反向泵与海洋碳循环协同变化

孙立舜¹，金晓波¹，苏翔²，刘传联^{1*}

¹ 同济大学，海洋地质全国重点实验室

² 中国科学院南海海洋研究所，中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室

* liucl@tongji.edu.cn

颗石藻是一种钙化的海洋浮游藻类，它们既有生物碳泵又有碳酸盐反向泵的功能。通过定量估算颗石藻生产的颗粒无机碳与有机碳比值（PIC:POC），可以量化这两种碳泵之间的相对强度，这对于理解海洋碳循环具有重要意义。海洋沉积物中颗石质量堆积速率（Mass accumulation rate, MAR）能够反映地质历史时期碳酸盐反向泵强度，同时颗石形态参数能够记录颗石藻细胞的 PIC:POC。本文对南海大洋发现计划 IODP U1505C 站位中中新世（12-15 Ma）沉积物中的颗石进行了定量属种统计与形态测量。我们发现，较高的颗石藻 PIC:POC 和颗石 MAR 均对应同站位底栖有孔虫碳同位素（ $\delta^{13}\text{C}$ ）正偏，而后者反映了海洋碳循环，说明该时期颗石藻碳酸盐反向泵与海洋碳循环协同变化。底栖有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 正偏与陆源营养物质输入减少有关，寡营养的表层海水使得硅藻生产力减少。这为颗石藻的勃发创造了条件，最终导致了颗石藻碳酸盐反向泵的增强。

S43-P-10

碳酸盐泵：现代过程、地质演化与源汇功能

刘传联^{1*}，金晓波¹，张洪瑞¹，马瑞罡¹，周辛全¹

¹ 同济大学，海洋与地球科学学院

* liucl@tongji.edu.cn

碳酸盐泵（即碳酸盐反向泵，Carbonate Counter Pump）是指海洋生物利用溶解二氧化碳形成碳酸盐壳体，并向海底沉降的过程。碳酸盐泵与生物泵、微型生物碳泵和溶解泵一起是海洋储碳的主要机制，共同影响着海洋碳循环。碳酸盐泵的现代过程主要包括碳酸钙的生产、沉积与保存过程。浮游钙质生物主要包括颗石藻、浮游有孔虫、翼足类等是远洋碳酸钙的主要生产者，但这些生物对碳酸钙生产的绝对或相对贡献并不清楚，而且不同海

区也存在差异性。如北太平洋海区现代碳酸钙的~79%由颗石藻产生，翼足类占~14%，有孔虫占~6%。同时，钙质生物的群落组成及丰度在生物泵和碳酸盐泵强度转化中发挥了主导作用，如南大洋 Scotia Sea 北部当翼足类壳体在钙质生物群落中占优势时，碳酸盐泵增强。碳酸钙沉积与保存机制与过程对于理解碳酸盐泵的碳汇功能也极为重要。“海洋碳酸钙循环概念模式”指出碳酸钙的溶解有 5 种机制，不同海区碳酸钙沉积与保存过程也存在差异性。碳酸盐泵的地质演化在重要气候转型期发挥了重要作用。颗石藻同时兼具“生物泵”和“碳酸盐泵”的双重作用，既是海洋 CO₂ 的汇又是 CO₂ 的源，是理解生物泵和碳酸盐泵转换的良好载体。更新世颗石藻演化与碳循环、气候研究发现颗石藻钙化作用的增加会促进海洋碳酸盐泵，既而增加间冰期开端的大气 CO₂ 浓度。南大洋氧同位素 11 期由于颗石藻钙化作用增强导致碳酸盐泵强度增加，从而造成该期高二氧化碳浓度时间延长。末次冰消期由于颗石藻钙化加强，引起生物泵相对减弱，从而造成二氧化碳浓度升高。南海中中新世颗石藻碳酸盐反向泵与海洋碳循环呈协同变化。这表明在中中新世气候转型期间，颗石藻碳源汇功能发生了转换，而这种转换可能对该时期大气二氧化碳浓度的下降发挥了重要作用。以上例子均表明碳酸盐泵与气候变化密切相关，如何定量估算碳酸盐泵？常用方法和指标包括：CaCO₃（百分含量和通量）、颗石与有孔虫的丰度与形态（特别是质量）、元素指标如 CaXRF 等。对于颗石藻来说，有机碳部分(POC)和无机碳部分(PIC)的比值 PIC:POC 可以用来指示其生物泵和碳酸盐泵的强弱转化，目前已经建立了基于颗石形态的颗石藻 PIC:POC 定量估算方法。

S44-O-1

巽他陆架海平面、流域和碳循环过程：国际大洋钻探建议进展

刘志飞^{1*}, 马鹏飞¹, Till J. J. Hanebuth²,
Christophe Colin³, Thanawat
Jarupongsakul⁴, Noor Cahyo D. Aryanto⁵,
Edlic Sathiamurthy⁶, Karl Stattegger⁷,
汪品先¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 Coastal Carolina University, Department of
Marine Science

3 Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS

4 Chulalongkorn University, Department of
Geology, Faculty of Science

5 National Research and Innovation Agency
(BRIN), Research Centre of Geological
Resources

6 University Malaysia Terengganu, Faculty of
Science and Marine Environment

7 University of Kiel, Institute of
Geosciences

* lzhifei@tongji.edu.cn

巽他陆架是世界海洋低纬区最大的大陆架, 冰期低海平面时曾出露成陆, 发育过大型古河流和热带雨林, 为研究海洋大陆的地貌变迁及其对全球气候的影响提供了宝贵材料。以题为“Evolution of the Pliocene-Pleistocene Tropical Sunda Shelf (SE Asia): Reconstructing Sea Level Change, Drainage System Development, and Carbon Cycling”的国际大洋钻探建议, 计划穿过陆架区最主要的4个沉积盆地(Pattani Basin, Malay Basin, West Natuna Basin, East Natuna Basin)钻探10个站位, 获取多套5百万年来的沉积记录, 重建上新世—更新世热带巽他陆架的海平面升降、河系演变和碳循环历史, 以检验低纬海洋大陆的地貌变迁及其碳储库演变是否驱动了上新世—更新世全球变冷。该报告将介绍最近两年联合巽他陆架周边国家(泰国、印度尼西亚、马来西亚、越南、柬埔寨、新加坡、中国)取得的进展, 具体包括: (1) 以海平面变

化、流域演化和碳循环为主题的短岩芯、表层沉积物和地震剖面预研究成果; (2) 以推进大洋钻探为目标的巽他陆架多边和双边全方位合作与交流; (3) 在国际大洋钻探新形势下的巽他陆架研究计划和展望。

S44-O-2

巽他陆架东部新生代地层沉积构造演化研究

吴南^{1*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

东纳土纳盆地位于巽他陆架东部, 其新生代地层发育海相—陆相沉积旋回与古河道沉积体系, 为解析巽他陆架古环境演变提供了关键地质证据。然而, 目前针对该盆地的地震地层学研究仍较为薄弱, 导致对盆地尺度沉积构造演化过程尚不清晰。本研究拟基于东纳土纳盆地二维与三维地震数据, 结合测井等地质资料, 识别盆地内关键地质界面, 构建区域性地震地层格架, 揭示中新世以来的沉积充填与构造响应过程。地震地层学分析表明, 东纳土纳盆地的新生代沉积构造演化整体呈现出“先伸展、后稳定、再挤压、最终稳定充填”的演化模式, 其沉积演化过程可系统划分为四个阶段: 同期断陷阶段(晚渐新世, 约28–23 Ma)、断陷后拗陷阶段(渐新世末至中新世早期, 约23–17 Ma)、同期构造反转阶段(中新世中期至晚期, 约17–11.6 Ma)以及构造反转后阶段(晚中新世至第四纪, 约11.6 Ma至今)。在同期断陷期, 东纳土纳盆地发育一系列南西-北东向的半地堑构造, 主要发育强振幅、楔状发散地震相, 指示地层在断层控制下向断陷处加积。该时期沉积环境以陆相冲积扇和湖相为主, 反映出干旱气候背景下的快速构造沉降。断陷后拗陷期为盆地构造活动趋缓后的热沉降阶段, 沉积层与下伏断陷期地层整合接触。地震相以平行—亚平行反射

为主，连续性显著增强，地层厚度分布均匀，盆地边缘可见向心超覆特征，显示盆地逐步拓展与均衡沉降。该时期盆地经历显著海侵，沉积环境由前期陆相逐渐过渡为滨浅海至外陆架环境。构造反转期受远程构造应力场影响，盆地边界地层隆升，在地震剖面上形成明显的区域性不整合界面，即“Muda 不整合”。受隆升影响，沉积环境水体变浅，沉积体系由早期浅海环境向三角洲、滨岸及河流相过渡。盆地边缘与浅水区广泛发育潮控及沼泽环境，远端深水区则仍保留浅海环境，并发育生物礁。反转后期，东纳土纳盆地进入构造活动微弱的稳定沉降阶段，沉积演化主要受控于全球冰期—间冰期旋回与海平面波动。地震相总体表现为连续性良好的平行—亚平行反射，地层厚度分布均一。晚中新世末构造反转结束后，海水重新漫入盆地，形成 Muda 组下段的浅海相沉积。随后的更新世冰期—间冰期旋回引发陆架周期性暴露与再淹没，盆地广泛发育三角洲、河口与海相沉积互层。本研究通过识别东纳土纳盆地关键地质界面、建立盆地尺度地震地层格架，厘清了巽他陆架东部新生代地层沉积-构造演化历史，填补了该区高分辨率地震地层研究的空白，对重建巽他陆架的古气候与古地理演变具有重要科学价值。

S44-O-3

西加里曼丹岛河流沉积物碳—铁交互特征及其对有机碳保存的影响

张毅聪^{1,2,3}，赵云鹏^{1,2,3}，刘志飞⁴，冯晓娟^{1,2,3*}

1 中国科学院植物研究所，饲草种质高效设计与利用全国重点实验室

2 国家植物园

3 中国科学院大学，资源与环境学院

4 同济大学，海洋与地球科学学院

* xfeng@ibcas.ac.cn

陆源有机碳经由“河流-河口”系统向近海输移并最终埋藏于海洋沉积物中，是全球碳循环的重要组成部分。海洋沉积物中的活性金属氧化物对有机碳的稳定与长期保存发挥着重要作用。印度尼西亚地区频繁的火山活动不断向地表环境输送富含铁铝的矿物母质，可能导致河流中活性铁铝氧化物的显著富集，从而促进金属结合有机碳（bound OC）的生成与积累，进一步增强沉积有机碳的稳定性。然而，目前针对热带河流，尤其是流经火山区泥炭地的河流，其沉积有机碳空间分布规律和保存机制尚不清晰，制约了对热带流域沉积碳汇能力的准确评估。

为此，本研究以印度尼西亚西加里曼丹岛卡普阿斯河及其流域内 12 条沿海泥炭地河流为研究对象，采集了河流表层沉积物（0–5 cm）及河岸土壤样品。通过测定总有机碳（TOC）等相关理化参数、结合柠檬酸-连二亚硫酸钠-重碳酸盐（CBD）提取实验以及整合分析文献数据，探讨了研究区河流沉积物中碳-铁交互作用强度及其关键调控因素。研究结果表明，卡普阿斯河沉积物中的有机碳与活性金属氧化物在由内陆向河口方向表现出协同富集趋势，碳-铁交互作用逐渐增强。沿海泥炭地有机质的溶解释放以及流域土壤侵蚀输入，共同构成了河口区域沉积有机碳的重要来源。因此，流经火山区的热带河流域凭借其强烈的风化作用及丰富的陆源物质供应，成为全球尺度上陆地向海洋输送有机碳及金属结合有机碳的重要通道；其中河口区域作为陆源活性金属氧化物的“锈汇”，对于沉积有机碳的长期稳定与保存具有显著意义。

S44-O-4

陆地风化和海平面波动调控中全新世以来巽他内陆架有机碳有效埋藏

马鹏飞^{1*}, 刘志飞¹, 陈睿杰¹, Suthinun Jannarm^{1,2}, Penjai Sompongchaiyakul², Piyaphong Chenrai³, Akkaneeewut Jirapinyakul³, Thanawat Jarupongsakul³

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 Chulalongkorn University, Department of Marine Science

3 Chulalongkorn University, Department of Geology

* pma@tongji.edu.cn

作为平衡大气二氧化碳含量 ($p\text{CO}_2$) 的最重要过程之一, 陆架有机碳 (OC) 埋藏对全球碳循环和气候演化至关重要。尽管已有大量研究评估了不同陆架区 OC 埋藏的总量和过程, 但在地质历史中, 特别是在重大气候转型期间, 控制 OC 有效埋藏的机制和气候效应仍未得到充分研究。本项研究以低纬区最大的陆架 (巽他陆架) 为目标, 系统分析了内陆架中全新世以来岩芯沉积物的年龄、成因组分、粘土矿物、陆源碎屑粒度、干样密度等, 结合沉积通量计算和海平面模拟, 精确重建了内陆架区域 OC 有效埋藏过程以及沉积环境和沉积动力过程。研究发现, 有效埋藏的 OC 主要为海源, 且与粘土矿物 (特别是蒙脱石) 通量直接相关。中全新世以来, 陆地风化和海平面波动共同调控了研究区粘土-OC 埋藏。陆地风化影响了粘土矿物的生成和向海搬运, 而海平面则控制了粘土矿物在内陆架的传输过程。结合区域有机碳大数据和机器学习方法评估了巽他陆架西部中全新以来有机碳埋藏总量和速率的变化。结果显示, 中全新世以来巽他陆架 OC 埋藏总量和速率逐渐降低, 即便是不考虑周边陆地化学风化强度的降低, 这一持续减弱的 OC 埋藏效率也可以通过负反馈机制贡献约 6% 的全球 $p\text{CO}_2$ 升高。本项研究证实了巽他陆架区域海平面波动、陆地风化和 OC 埋藏之间密切的相互作用。

S44-O-5

巽他陆架铁结核成因及其环境意义

吴凯凯¹, 石学法^{1,2*}, 刘升发^{1,2*}, Bassinot Franck³, Colin Christophe⁴, 张辉¹, Mohamed Che Abd. Rahim⁵

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与地球物理研究室

2 青岛海洋科技中心, 海洋地质实验室

3 法国气候变化与环境研究所

4 巴黎萨克雷大学, 地球科学学院

5 马来西亚国民大学, 环境科学与自然资源学院

* xfshi@fio.org.cn

* liushengfa@fio.org.cn

海洋铁结核与资源、气候和环境信息密切相关。然而, 大陆架上铁结核的成因仍不清楚。本研究介绍了从巽他陆架中部岩芯中获得的铁结核的放射性碳同位素年龄 (AMS^{14}C)、元素和矿物组成。结果表明, 从岩心底部到顶部, 铁结核的形成年龄范围为 10.5 至 7.5 cal ka BP。铁结核中发现的主要矿物是针铁矿, 它以胶体形式固结粘土和其他矿物。值得注意的是铁、硅和铝显示出明显的环带韵律变化。研究表明, 铁结核是在近地表的水环境中形成, 风化的硬质粘土层是铁结核发育的主要地层。在低海平面时期 (10.5 cal ka BP 之前), 古河道可能为铁结核中浅色和深色同心层的形成提供了干湿变化的条件。在 10.5 cal ka BP 至 7.5 cal ka BP 之间, 巽他陆架逐渐被淹没, 导致部分铁结核从附近的河道中搬运来。在 7.5 cal ka BP 之后, 古河道被完全淹没, 巽他陆架上的铁结核停止形成。与此同时, 由于水动力分选作用, 海底的铁结核与沉积物和海洋生物混合在一起。铁结核的存在可以指示古河道位置, 有助于重建浅海大陆架低海平面时期的古河道系统。

S44-O-6

末次冰消期以来马六甲海峡的形成与演化历史

艾丽娜¹, 刘升发^{1,2*}, 张辉¹, 曹鹏¹, 吴晓³, Che Abd Rahim Mohamed⁴, 石学法^{1,2*}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与地球物理研究室

2 青岛海洋科技中心, 海洋地质实验室

3 中国海洋大学, 海洋与地球科学学院

4 马来西亚国民大学, 科学与技术学院

* liushengfa@fio.org.cn

* xfshi@fio.org.cn

马六甲海峡是连接巽他大陆架与安达曼海的关键通道。本研究基于高分辨率年代学框架, 研究了海峡中柱状沉积物的粒度特征、地球化学组成以及 Sr-Nd 同位素特征。通过示踪沉积物中自生组分和碎屑组分的 Sr-Nd 同位素记录, 揭示了马六甲海峡的形成演化历史。研究发现, 在约 10~7 ka 期间海峡发生了显著的物源转换, 并在约 10 ka 时发现了巽他陆架沉积物的信号。结合 16.28 ka 以来物源转变和沉积环境的变化, 可将马六甲海峡的演化划分为三个阶段: 第一阶段 (10~15 ka), 海峡以河口与河口湾环境为主, 物源主要来自马来西亚半岛、苏门答腊岛以及安达曼海东侧陆架; 第二阶段 (全新世早期 10~7 ka), 海峡初始形态形成, 河道狭窄且浅, 进入海峡的沉积物和水团有限; 第三阶段 (约 7 ka 至今), 为高海平面期, 海峡完全打开, 形成潮流和西北向海流为主导的高能水动力环境。研究结果表明, 海峡形成早期可能无法提供类似现代的高能沉积环境, 而自 7.26 ka 以来的最高海平面促进了马六甲海峡贯通流的形成。因此海平面变化是控制海峡形成演化的首要因素, 而季风气候的影响相对次要。

S44-P-1

植硅体证据反映冰期时暴露的巽他大陆架上的植被

戴璐^{1*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* dailu2288@163.com

迄今为止, 对于冰期时南海南部古巽他大陆上主要覆盖何种植被的问题仍存在着两种不同的观点, 一种认为当时存在着巨大的“稀树草原走廊”, 另一种认为是热带森林。两种观点代表了截然不同的湿度状态, 假如暴露的区域均被热带雨林所覆盖, 这会导致空气中更多的碳被固定。因此, 正确重建当时的古植被对于认识冰期时全球碳循环模式具有重要的意义。近几年, 我们在南海周边陆地开展了现代植物植硅体形态分析以及陆地表土植硅体分析, 为使植硅体成为热带地区古植被和古气候重建的可靠指标做了大量的基础工作。现代植物植硅体分析工作揭示了某一类热带木本植物可以产生具有形态鉴定意义的植硅体, 例如颗粒球形、刺球形等。泰国与马来西亚表土植硅体组合的对比分析表明, 两者的主要成分存在明显的差别, 前者的禾本科短细胞植硅体含量较高, 后者的木本植硅体含量高。南海南部钻孔植硅体组合更倾向于与马来西亚表土组合类似, 而不是相对干旱的泰国, 表明了钻孔周边依然是热带雨林环境。我们正在加强东南亚现代植物的植硅体形态研究, 未来将进一步精确解读化石植硅体组合的古环境意义。

S44-P-2S

巽他陆架东纳土纳盆地地震地层学研究

王慧婷¹, 吴南^{1*}

1 同济大学, 同济大学海洋地质全国重点实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

纳土纳盆地北接我国曾母盆地, 西连西纳土纳盆地, 东邻砂拉越盆地, 作为巽他陆架最重要的沉积盆地之一, 其充填演

化过程完整记录了巽他古陆的形成与演化信息。然而,针对东纳土纳盆地的系统性地震地层学研究仍较为薄弱,缺乏可适用于全盆地尺度的统一地震地层格架。本研究基于覆盖近 10 万平方公里的区域性高精度二维反射地震数据,综合地震相特征、反射终止关系,并结合区域地质事件,识别并追踪了 7 个关键地震反射界面(H0-海底)与 6 个相应的地层单元(SU1-SU6)。H0 为晚始新世界面(约 38 Ma),在地震剖面上表现为中等至强振幅、连续性较差的反射特征,对应杂乱基底与上覆新生代沉积物之间的不整合面。H0 之上的楔状强振幅反射层充填于正断层控制的半地堑组合中,反映出盆地早期强烈的陆内伸展-裂谷作用。H1 是早渐新世界面(约 28Ma),在盆地西南部隆起区表现为弱至中等振幅、连续性差的角度削蚀不整合,对应纳土纳隆起(Natuna Arch)的隆升剥蚀,其余区域表现为与之对应的中等至强振幅反射、连续性中等的假整合。H1 之上过渡为缓倾的席状中等至强振幅和弱振幅交替反射层,指示盆地在拗陷期热沉降主导的沉积特征。H2(又称 Muda 组底部不整合)是晚中新世(约 11.6Ma)盆地构造演化的重要分界面,为强振幅、连续性好至中等反射,在盆地西部隆起区呈上覆地层超覆、下伏地层强烈削截不整合,下部一系列高角度正断层截断于该界面,对应于早中新世至晚中新世构造反转期,构造应力由伸展转为水平挤压导致的区域强烈隆升剥蚀。此后,盆地转入海平面主控的弱构造沉积阶段。H3 是早上新世界面(约 5.3Ma),为中等至强振幅、连续性好反射,系碳酸盐建造顶界面。H3 下部的一套席状、弱振幅、上超反射,标志晚中新世末到早上新世的区域性海侵。H4 为中上新世界面(约 3.6Ma),表现为强振幅、连续性好、局部见碗状下凹、常伴断续、强振幅“串珠状”反射,反映该时期活跃的流体活动。H5 是早更新世界面(约 2.5Ma),为强振幅、连续性中等、局部侵蚀下切反射。H5 之上发育的多期水道下切记录了更新世冰期旋回

引起的陆架暴露-淹没过程。本研究进一步将盆地新生代构造演化过程分为四个阶段:晚始新世—早渐新世的断陷期、早—晚渐新世的拗陷期、早—晚中新世的构造反转期,以及自晚中新世以来的反转后期。东纳土纳盆地区域性地震地层格架揭示了盆地沉积构造充填演化历史,为巽他陆架古气候重建和未来大洋钻探站位优选提供了关键依据。

S44-P-3S

气候控制着西加里曼丹热带湿地的化学风化作用

王祈淮^{1*}, 刘志飞¹, Noor Cahyo Dwi Aryanto², 马鹏飞¹, 林宝治¹, 戴璐¹, Muhammad Ma'ruf Mukti², Eko Puswanto², Purnama Sendjaja², Hananto Kurnio², Defri Hastria², 赵宏超¹, 赵云鹏³, Wahdaniah Mukhtar⁴, Anastasius Bandi⁴

1 同济大学海洋地质全国重点实验室

2 Research Centre for Geological Resources, National Research and Innovation Agency (BRIN)

3 中国科学院植物研究所

4 Department of Mining Engineering, Tanjungpura University

* qihuai@tongji.edu.cn

硅酸盐化学风化作用是调节全球碳循环的重要机制,深入了解化学风化的过程及其控制因素对于研究全球气候变化至关重要。然而此前研究对于热带湿地的风化作用鲜有涉及。因此,本研究系统采集了位于印度尼西亚西加里曼丹热带湿地地区 14 条河流的共 43 个表层沉积物样品,通过分析其粘土矿物组合和主量元素特征来评估热带湿地的化学风化作用及其控制因素。结果显示,西加里曼丹热带湿地河流沉积物的粘土矿物组合可分为两种类型:西部沿海河流由蒙脱石(28-52%)和高岭石(31-55%)为主,而南部卡普阿斯河以高岭石(51-70%)为主。这些河流沉积物的全岩(<63 μm)

和粘土粒级(<2 μm)组分中的 Na 和 Ca 几乎淋失殆尽,而 K 和 Mg 则显示出中等程度的亏损,其化学风化指数都展现出强烈的化学风化状态(CIA>80)。西加里曼丹西北部出露的基性火山岩是造成西部沿海河流含有较高蒙脱石的原因,而南部卡普阿斯河流域出露的中酸性岩石在强烈化学风化作用下形成更多的高岭石。研究认为,高温多雨的热带气候是控制西加里曼丹强烈化学风化作用的主要因素,岩性则作为次要因素影响强烈化学风化作用的产物(比如含有较高的蒙脱石)。

S44-P-4

末次冰期南海南部深海木屑碳埋藏及其碳循环意义

赵宏超^{1*}, 刘志飞¹, 林宝治¹, 赵玉龙¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* hongchao_zhao@tongji.edu.cn

海洋沉积物中陆源有机碳埋藏是大气 CO₂ 的净汇,可以在地质时间尺度上调节全球气候。木屑是陆源有机碳的重要载体,但其在深海沉积物中埋藏情况尚不清楚。本研究对南海南部 MD05-2892 岩芯冰期沉积物中保存的木屑进行木屑丰度、有机碳含量和有机碳稳定同位素测试,分析深海木屑碳埋藏量及其对冰期碳循环的贡献。研究结果显示,南海南部冰期沉积物中木屑呈现稳定的有机碳含量(27.9%)与碳同位素数值(-27.6‰),表明这些木屑源自相同的 C3 植物。在末次冰期 14.3–20.8 cal ka BP 期间,沉积物中木屑丰度较高(0.15 ± 0.14%),而在 2.0–14.3 cal ka BP 期间,深海沉积物中缺乏木屑,这意味着冰期深海木屑埋藏增加可能与出露陆架发育 C3 植物有关,而间冰期深海木屑缺失可能与淹没的陆架 C3 植物有关。结合木屑丰度、有机碳含量以及其它发表的数据,本研究提出南海南部末次冰期埋藏的 C3 植物可能封存了 0.39 ± 0.39 Gt 碳,为同时期大气 CO₂

降低贡献了 3 ± 3%。如果其它低纬海域也存在类似的现象,那么冰期深海沉积物中增加的 C3 植物埋藏可以有效地降低大气 CO₂ 浓度。本研究提出深海环境中冰期木屑埋藏而间冰期木屑缺失是一种新的碳循环机制。

S44-P-5S

Effects of grain size sorting, chemical weathering, and source rock on Sr-Nd isotopic compositions of river sediments in the Lower Mekong River Basin: Implications for provenance studies

Pham Nhu Sang^{1*}, Zhifei Liu¹, Yulong Zhao¹, Pham Trung Hieu², Sopheap Thav³, Sopheap Den³

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092, China

2 Faculty of Geology, VNU-HCM University of Science, Ho Chi Minh, 700000, Vietnam

3 Faculty of Forestry Science, Royal University of Agriculture, Phnom Penh, 120000, Cambodia

* sang@tongji.edu.cn

Sr-Nd isotopic compositions of river sediments from the Lower Mekong River Basin were analyzed to assess the effects of grain size sorting, weathering, and source rock lithology. Mainstream sediments show higher ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and lower ε_{Nd} than tributary sediments. Clay fractions have more radiogenic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and higher ε_{Nd} than silt and sand. Moderate correlations of Rb/Sr and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr with SiO₂/Al₂O₃ and K₂O/(CaO + Na₂O) indicate that grain size and weathering affect Sr isotopes, while Sm/Nd and ε_{Nd} show

weak correlations, suggesting Nd isotopes are less impacted. Despite these, significant Sr-Nd differences between mainstream and tributary sediments, with strong negative correlations in all fractions, highlight the influence of source rock lithology. To minimize the effects of sorting and weathering, Sr-Nd isotopes from uniform-size fractions, particularly silt, are recommended for provenance studies.

S44-P-6S

晚全新世红河流域硅酸盐风化与碳汇效应增强：人类活动的驱动作用

王晓伟^{1,2}, 万世明^{1*}, Peter D. Clift^{3,4}, 赵德博¹, 蔡观强⁵, 杨逸飞¹, 张晋¹, 于兆杰¹, 靳华龙¹, 宋泽华¹, 唐艺¹, 张硕¹, 李安春¹

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院大学

3 伦敦大学学院, 地球科学系

4 什切青大学, 海洋与环境科学研究所

5 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

硅酸盐风化是全球碳循环的关键环节, 其通过消耗大气 CO₂ 对气候变化产生重要影响。近年来, 研究指出晚全新世大河流域的硅酸盐风化受到人类活动的广泛影响, 但人类活动对硅酸盐风化及其碳汇效应的影响程度尚不清楚。本研究以南海北部湾 45A 岩芯为研究对象, 利用粘土矿物、常量元素和陆源物质通量等指标重建了红河流域 3800 cal yr BP 以来的风化剥蚀演化历史, 并探讨了硅酸盐风化、气候和人类活动之间的相互作用。结果显示, 在 3800~1500 cal yr BP 期间, 红河流域硅酸盐风化主要受气候控制, 随着气候变冷变干, 风化程度逐渐减弱。然而, ~1500 cal yr BP 以来硅酸盐风化程度显著增强, 与气候变化之间的关系解耦, 而与人类活动的增强

表现出高度一致性, 表明 1500 cal yr BP 以来人类活动对硅酸盐风化的影响超过了气候变化。为了定量评估人类活动对硅酸盐风化碳汇效应的影响, 本研究估算了硅酸盐风化引起的 CO₂ 消耗通量。结果表明, 红河流域人类活动增强导致硅酸盐风化引起的 CO₂ 消耗通量增加了 1.5 倍, 而在全球范围内, 人类活动可能使硅酸盐风化引起的 CO₂ 消耗通量增加了 1 倍。本研究提出了一种全新的人类活动—化学风化负反馈机制, 强调了晚全新世以来人类活动增强的硅酸盐风化在减少大气 CO₂ 和全球碳循环中发挥了重要作用。这种人类活动驱动的风化机制为理解人类活动与自然过程的相互作用提供了新的视角, 将有助于预测全球变暖背景下的气候变化。

S44-P-7

新型高效水—气平衡装置研发及其应用

肖尚斌^{1*}, 刘流², 刘佳¹, Hans-Peter Grossart⁴, Andreas Lorke³

1 三峡大学, 水利与环境学院

2 云南师范大学, 地理学部

3 University of Koblenz-Landau, Institute for Environmental Sciences

4 Potsdam University, Institute of Biochemistry and Biology

* shangbinx@163.com

迄今为止, 水体中溶解的绝大多数气体仍不能被直接检测, 学术界因而不得不使用顶空平衡技术来分离水中的溶解气体, 通过气相色谱仪或其他类似仪器检测顶空气相中待测气体的浓度, 并利用亨利定律计算水体中的溶解气体浓度。这种方法十分繁琐、耗时, 成本高且存在人为操作可能引起较大误差的弊端。

从上世纪九十年代初以来, 国际学术界来自不同国家的诸多学者研发了不同原理的水-气平衡技术和装置, 期望耦合快速发展且日益成熟的在线气体检测仪, 实现

水体中溶解气体浓度的快速检测。尽管当前基于已有技术开发的相应装置对甲烷的实验响应时间逐渐缩短（2-34 分钟），但是仍然不能达到野外观测对高时空分辨率的需求。

三峡大学生态水利团队从 2010 年实施水库温室气体排放主题的“973”课题开始研发水-气平衡装置。经过近 10 年无数次的实验、失败、改进后，在与德国科学家的合作之下，研发工作取得了突破进展。2020 年 7 月 30 日，研发团队在 Hydrology and Earth System Sciences (HESS)上发表题为“A Fast-Response Automated Gas Equilibrator (FaRAGE) for continuous in situ measurement of CH₄ and CO₂ dissolved in water”的论文，系统介绍了装置的原理、结构、实验室验证过程以及野外测试情况。新的水-气平衡装置研发过程中充分吸收和利用了前人技术的积极成果，融入了诸多创新性单元，产品具有制作简单、成本低、抗堵塞、维护方便、重现性好和响应时间极短等优势。对甲烷而言该装置由低浓度至高浓度的响应时间仅需 12s，由高浓度向低浓度的时间约 15s；若以增加响应时间（16s）为代价，可使平衡率高达 91.8%。当该装置与 Picarro 温室气体分析仪联合使用时，对溶存 CH₄ 和 CO₂ 浓度的测量范围为 10⁻⁹-10⁻³ mol/L，测量极限可达 10⁻¹⁰ mol/L。新装置极大地提高了科研工作者的效率（数量级的提高）和检测结果的稳定性。

依托该装置，研究团队和合作者在水库、河口、湖泊、池塘等不同的水生态系统中开展了研究，并揭示了诸多碳和氮循环的新规律和机制。研究成果发表在 water research、Ecological Indicators、Science of The Total Environment、Communications Earth & Environment 等期刊上。

S46-O-1

有机碳在陆-水传输过程中的快速分解及其机制

冯晓娟^{1*}，刘婷¹，王新¹，潘琪¹

¹ 中国科学院植物研究所

* xfeng@ibcas.ac.cn

气候变化通过加剧水文循环和元素迁移，可能显著改变有机碳在陆-水传输过程中的分解。传统研究多将陆地与水体系统割裂，难以系统解析有机碳分解对气候变化的响应机制。本研究系统解析了有机碳在陆-水传输过程中的分解规律，揭示了陆水连续体中有机碳快速分解的双重机制。

土壤水饱和作为陆-水碳传输的物理前提，通过限制氧气扩散并协同增温诱导的微生物呼吸增强，显著提升间歇性缺氧发生频率。基于中国 24 个纬度梯度上 20 个不同有机质和矿物组成特征的土壤的模拟实验，本研究发现，70%的受测土壤在间歇性缺氧条件下有机碳（SOC）分解速率与有氧环境相当或更高，最高可达有氧分解速率的 2.3 倍。替代电子受体的还原遵循热力学反应序列：硝酸根在前 20 天贡献了 78%CO₂ 释放，而第 20-90 天铁还原贡献率达 90%。特别是，在铁还原阶段，SOC 的缺氧分解速率显著高于有氧分解。机制解析显示，铁还原通过双重机制加速 SOC 的缺氧分解：既提供电子受体维持氧化还原反应，又通过矿物还原溶解作用释放易分解碳源。随机森林模型表明富含可还原性铁、有机碳及铁还原微生物的土壤在间歇性缺氧条件下极有可能加速损失 SOC。

伴随土壤水饱和产生的径流携带溶解性陆源有机碳进入水体。这些陆源碳与藻类来源易分解碳混合后，其分解可能被加速（正激发）或抑制（负激发）。通过对湖泊、河流和湿地 3 种水生生态系统中的 30 个水样进行同位素示踪培养实验，发现 70%的水体在易分解碳输入后，本底溶解有机质分解速率显著增强（平均激发效应 +17.3 μg C L⁻¹ day⁻¹）。其中，高芳香性 DOM 和共生型微生物（如 *Patescibacteria*）的协同作用使湿地激发效应强度达河流和湖泊系统的 6.5 倍。全球尺度估算表明，此类正向激发效应可使内陆水体 CO₂ 年排放

量增加 0.43 Pg C（相当于当前通量的 10%）。

上述结果表明，气候驱动的土壤碳缺氧分解与水体激发效应形成级联放大机制，加剧陆-水连续体有机碳的快速流失。研究呼吁在富营养化及褐变显著的水域加强碳管理，并强调铁循环在水饱和土壤碳循环中的调控作用，为全球碳循环模型优化提供关键参数。

S46-O-2

激发效应及其对陆—海水生连续体碳循环的影响

戚羽霖^{1*}

1 天津大学，地球系统科学学院
* yulin.qi@tju.edu.cn

有机质是分布在地球各个圈层的重要化学物质，是物质和能量传输的主要媒介，与生态系统和碳库的源汇效应紧密相关。所以研究有机质是评估其生态环境效应的基础，也是地学领域一直以来的研究热点和难点。滨海地区是陆地和海洋的交错过渡地带，有机质的分解速率低，单位面积碳储量在各类陆地生态系统中最高。从陆地系统到河口-湿地-陆架区这一陆海交错区域的碳循环以及有机质迁移、转化、埋藏的过程可能远比我们现有的认知更为复杂。

滨海地区人口密度高、土地利用复杂、水盐梯度大，是有机质分解、转化、沉积的重要场所，也是揭示海洋中陆源有机碳“失汇”的关键地带。本研究围绕激发效应（priming effect, PE）导致的有机质组成、结构和源汇变化机制，通过室内模拟实验，对环渤海地区海陆界面和特殊事件影响下激发效应对有机质的作用和强度进行研究，并筛选可以指征激发效应的分子标志物，进一步量化相关的驱动因素。模拟实验表明激发效应广泛存在于陆水界面的环境中，尤其是在环境梯度大、人来活动剧烈

的河口地区，筑坝和人为活动对河口地区的碳汇功能影响深远。

S46-O-3

基于活性有机碳同位素的海洋颗粒有机碳生物地球化学行为模型拟合

唐甜甜^{1*}，李佳宸¹，王腾腾¹，刘洁¹

1 厦门大学，海洋生物地球化学全国重点实验室
* tiantian.tang@xmu.edu.cn

活性有机碳是海洋颗粒有机碳的基本组成，活性有机碳在海陆界面迁移过程中选择性降解，控制了颗粒有机碳分子组成和反应活度，影响了有机碳的输出效率。本研究基于河口-近海-开阔海盆这一连续体上颗粒态活性有机组分氨基酸、脂肪酸等的碳稳定同位素比值的分布，依据输出过程中不同活度性有机碳的同位素协同变化特征，建立了反映不同活度有机碳生物地球化学行为差异的活度模型，实现了对多分子同位素地球化学行为的模型拟合，定量评估了不同活性有机碳的来源、降解与输出过程，从有机碳活度角度阐释了典型海洋生态系统生物泵效率的差异及控制因素。

S46-O-4

细菌藿多醇(BHPs)对东海氮循环的潜在指示

段丽琴^{1*}

1 中国科学院海洋研究所
* duanliqin@qdio.ac.cn

细菌生物标志物——细菌藿多醇（BHPs）对有机质来源追踪和环境变化响应具有重要指示作用。本研究系统分析了东海海水颗粒物和沉积物中细菌藿多醇

(BHPs) 的分布特征及其环境指示。结果表明, 沉积物中的 BHT-II 来源于低氧海水中的厌氧氨氧化细菌 *Ca. Scalindua*, 其与厌氧氨氧化功能基因 *amx-16S rRNA* 丰度呈正相关, 与溶解氧浓度呈负相关, 可用于指示厌氧氨氧化和低氧状况。2-甲基 BHT 主要来源于表层固氮蓝细菌, 其与蓝细菌丰度、固氮功能基因 *nifH* 丰度和固氮速率显著正相关, 可用于指示固氮过程。氨基藿四/五醇主要来源于好氧甲烷氧化菌, 虽与好氧甲烷氧化菌功能基因 *pmoA* 丰度和甲烷浓度显著相关, 但其在沉积过程中优先降解需谨慎使用。利用 BHPs 特征指标重建了东海内陆架南部低氧区百年来氮循环演变历程。发现百年来沉积有机质中海源贡献比例逐年增加, 但在 2000 年之后低氧明显减弱, 这可能是水体分层显著减弱的结果; 低氧、厌氧氨氧化和固氮活动呈现共变现象, 表明低氧促进了厌氧氨氧化, 这可能在一定程度上会诱使固氮活动增强以补偿氮损失。

S46-O-5

北冰洋典型边缘海活性有机质的迁移和周转——以氨基酸为例

李中乔^{1*}, 朱卓毅², 胡利民³, 陈敏⁴, 任健¹, 金海燕¹, 李薇薇¹, 李宏亮¹, Anatolii S. Astakhov⁵, 石学法⁶, 陈建芳^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海洋生态系统动力学实验室

2 上海交通大学, 海洋学院

3 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

4 厦门大学, 海洋与地球学院

5 俄罗斯科学院远东分院, 太平洋研究所

6 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与地球物理实验室

* lizq@sio.org.cn

* jfchen@sio.org.cn

在气候变化的背景下, 北冰洋边缘海的海洋初级生产力显著提升, 进而促进了活性有机质的生成, 对区域生物地球化学循环产生深远影响。其中, 氨基酸作为活性有机质的关键组分, 其分布与转化过程能够有效示踪有机质的迁移路径和周转特征。本研究基于中国第六次北极科考及中俄联合北极考察航次, 聚焦楚科奇海和东西伯利亚海, 通过采集悬浮颗粒物及表层沉积物样品, 结合氨基酸分析及有机碳稳定同位素技术, 系统研究了颗粒态与沉积态有机质的来源及降解特征。研究不仅阐明了有机质在北冰洋边缘海的迁移与转化机制, 更为揭示北极碳-氮循环的生物地球化学过程提供了重要科学依据。

S46-O-6

大河河口氧化还原条件对活性铁结合的有机碳保存的影响

赵彬¹, 韦钦胜¹, 韩逸², 王小静³, 衣萌林², 张宇¹, 王楠⁴, 王保栋¹, 姚鹏^{2*}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋生态研究中心

2 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

3 自然资源部第一海洋研究所, 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

4 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

* yaopeng@ouc.edu.cn

与活性铁氧化物(Fe_R)的结合是促进海洋环境中沉积有机碳保存的关键因素。然而, 以往的研究多聚焦于海洋表层沉积物, 对活性铁结合的有机碳(OC-Fe_R)的长期保存机制仍缺乏深入了解。本研究重点关注长江口不同氧化还原条件影响下 OC-Fe_R 从水体悬浮颗粒物(SPM)到表层沉积物, 再到深层沉积物的迁移转化过程, 以期进一步理解海洋环境中有机碳与活性铁结合的影响机制。沉积物间隙水溶质剖

面显示, 长江口泥质区的溶氧渗透较深, 早期成岩过程以铁锰还原为主, 存在快速的铁氧化还原循环; 而在缺氧区, 沉积物溶氧渗透较浅, 铁锰还原作用相对较弱。相较于水体 SPM, 泥质区 OC-FeR 占总有机碳的比例 ($f_{\text{OC-FeR}}$) 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC-FeR}}$ 值较高, 可能是由于间隙水中的二价铁在水-沉积物界面处发生再氧化, 导致 FeR 与部分海洋有机碳结合。然而, 缺氧区较浅的溶氧渗透深度限制了铁的再氧化过程, 导致 SPM 与缺氧区表层沉积物之间的 $f_{\text{OC-FeR}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC-FeR}}$ 无显著差异。在深层次沉积物中, 长江口泥质区强烈的铁还原作用使 $f_{\text{OC-FeR}}$ 随深度的增加逐渐降低, 而其他区域 $f_{\text{OC-FeR}}$ 变化不显著。考虑到沉积物埋藏过程中铁的氧化还原循环对 OC-FeR 的影响, 全球海洋环境中 OC-FeR 的埋藏通量 ($\sim 38.4 \text{ Mt/yr}$) 显著低于先前的估计 ($\sim 52 \text{ Mt C/yr}$)。

S46-O-7

亚洲内陆野火演化历史及其与全球碳循环的潜在关系

苗运法^{1*}, 王梓莎¹

1 中国科学院西北生态环境资源研究院干旱区生态安全与可持续发展全国重点实验室, 兰州, 730000
* miaoyunfa@lzb.ac.cn

晚新生代亚洲内陆最为显著的重大事件包括青藏高原隆升至冰冻圈以及温带干旱区的形成。地表生命不仅是高原隆升和气候变化忠实的记录者, 更能通过埋藏形成有机“碳汇”, 并行于岩石剥蚀风化吸收 CO_2 的无机“碳汇”过程, 从而建立起与全球碳循环的关系。微炭屑作为植物不充分燃烧脱氧形成的惰性碳残体, 是最直接的生物碳埋藏贡献者。研究团队通过长期工作, 在实现了基于孢粉学方法的微炭屑形态参数自动识别及统计技术的基础上, 结合现代过程与地层序列进一步探讨了微炭屑指标时空代表性; 从全球碳循环视角看, 野

火过程中植被燃烧导致短期内有机碳的大量释放, 会影响到区域乃至全球碳收支平衡。比如在亚洲内陆, 干旱-半干旱环境下植被碳储量虽低于湿润地区, 但野火发生频率和强度的变化, 会显著影响土壤碳库、植被碳汇能力, 进而在全球碳循环中扮演不可忽视的角色。在构造时间尺度上, 通过青藏高原北部晚新生代微炭屑序列的重建, 不仅揭示了野火强度在气候相对湿润时期往往偏弱的基本特征, 同时能够有效指示“ CO_2 降低-海洋降温-全球变干”的逻辑内涵。在未来研究中, 一方面将加强野火与气候环境变化特别是可靠的海洋温度记录的耦合, 揭示野火在半球空间尺度上的代表性和更深入的驱动机制; 另一方面, 逐步加强对亚洲内陆地区野火碳排放、植被恢复固碳等过程的精细量化研究, 并结合气候模拟手段明确野火和海洋碳同位素的关联, 强化野火在全球碳循环中作用机制的研究。

S46-O-8

典型水库有机质动态过程、控制因素及生态效应研究

王凯^{1,2,4*}, 何丁³, 史权⁵, 何晨⁵, 赵辰³, 庞宇³, 易沅壁³, 方红卫⁴

1 天津大学, 地球系统科学学院
2 浙江大学, 地球科学学院
3 香港科技大学, 海洋科学系
4 南方科技大学, 海洋科学与工程系
5 中国石油大学(北京), 化学工程与环境学院
* wang_k@tju.edu.cn

河流筑坝作为干扰河流物质运输最显著的人类活动, 人为改变了天然河流的水文条件, 干扰了河流中有机质的传输、转化及沉积模式, 影响了河流沟通大气碳库、陆地碳库和海洋碳库的重要功能。正确理解有机质在水库中的循环过程对全面了解全球碳循环有着重要的意义。我们通过一系列研究评估了三峡水库等典型水库中有

机质动态过程、控制因素及生态效应，初步刻画了水库独特的碳循环模式。该工作为正确评估水库碳收支以及人类行为对陆地碳循环的干扰提供了有力支撑。

S46-O-9

长江口潮间带沉积物溶解有机质的分子变化：铁（II）再氧化的作用

肖衡^{1,2}，周哲^{1,2*}，李江涛^{1,2}，杨守业^{1,2}

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质全国重点实验室

* zhezhou_research@tongji.edu.cn

海岸带沉积物是有机质（OM）转化的关键地带，其中铁（Fe）的氧化还原循环扮演着核心角色。然而，在潮汐波动和沉积物再悬浮等驱动的动态氧化还原振荡下，铁再氧化对溶解有机质（DOM）分子水平的影响仍缺乏深入理解。本研究采集了长江口动态潮滩的泥质和砂质沉积物中的缺氧孔隙水，进行了受控的氧化-沉淀模拟实验。采用傅里叶变换离子回旋共振质谱

（FT-ICR-MS）表征 DOM 分子组成。研究发现，铁再氧化驱动了 DOM 组成的显著转化，并影响了营养元素（P、S、N）的有效性。与对照组相比，铁再氧化过程（氧化及后续过滤）导致 DOC 浓度最终降低了 37% ± 17%（其中初始氧化阶段平均降低 22% ± 12%）。与此同时，观察到含硫和含氮有机分子式（CHOS 和 CHONS）的相对丰度显著增加，表明在再氧化过程中发生了重要的非生物硫化和氮掺入。再氧化过程中形成的铁（氧）氢氧化物也与新的、更复杂聚合物结构的形成有关，使 DOM 库向更芳香、更惰性的方向转变。这些发现表明，铁再氧化是控制 DOM 组成的关键过程，通过形成难降解 DOM 来潜在促进碳封存，并在动态海岸环境中调节营养盐的有效性。我们的结果强调了在理解海岸带碳和营养

物生物地球化学时，考虑这些快速非生物氧化还原转化的必要性。

S46-O-10

圣巴巴拉盆地沉积物中核爆-¹⁴C 信号及其对陆源有机碳 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响

徐菡悦^{1,4}，李红春^{1,2*}，赵美训^{1,3*}，于蒙¹，William M. Berelson⁵

1 中国海洋大学

2 台湾大学

3 崂山实验室

4 自然资源部第三海洋研究所

5 南加州大学

* hcli1960@ntu.edu.tw

* maxzhao@ouc.edu.cn

在陆-海水生连续体系统中，海洋沉积有机碳的放射性碳特征（ $\Delta^{14}\text{C}_{\text{org}}$ ）反映了自然控制因素（来源特征、输运过程）与人为影响（核弹试验产生的 ¹⁴C）之间复杂的相互作用，并表现出显著的区域差异。然而，这些因素——尤其是核弹 ¹⁴C 信号——的定量约束仍未得到充分认识。通过对南加州圣巴巴拉海盆（SBB）两个沉积岩芯进行同位素（ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\Delta^{14}\text{C}$ ）和元素（TOC、TN、C/N）综合分析，我们发现了 20 世纪 60 年代中期同步出现 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{org}}$ 富集（~90‰）现象，这可能归因于核弹来源 ¹⁴C 的输入。通过收集大气和海水 ¹⁴C 的变化，确定了核爆信号对沉积有机碳 $\Delta^{14}\text{C}$ 影响，同时基于二元混合模型：(1)通过源解析排除了来源效应；(2)利用时间关联的海洋端元重建了陆源有机碳的放射性碳特征。在此基础上应用 Galy 岩石源-生物圈源混合模型框架估算沉积陆源有机碳组分的变化，并将其与河流悬浮颗粒物（SPM）进行对比，阐明了两根岩芯的时空差异，进而解析河流搬运过程对陆源有机碳埋藏的影响。通过本研究，我们同步量化边缘海系统中

核弹 ^{14}C 对沉积有机碳记录的影响和转运介导的有机碳的改造过程。

S46-O-11

东海北部（长江口）表层溶解有机质组成在极端干旱年份的季节性变化

方富韬¹, 朱卓毅^{1*}, 易沅壁², 何丁²

¹ 上海交通大学

² 香港科技大学

* zhu.zhuoyi@sjtu.edu.cn

理解溶解有机质（DOM）如何应对极端气候事件，对于预测气候变化下海洋碳循环反馈及生态系统响应至关重要。本研究调查了 2022 年极端干旱年份长江口及其邻近海域 DOM 组成的季节性变化。我们在 3 月、7 月和 10 月于长江口外海域开展了现场调查，利用氨基酸和傅里叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR MS）技术阐明了 DOM 组成的季节性变化。7 月表层总悬浮物浓度（ $18.1 \pm 10.4 \text{ mg/L}$ ）低于 3 月（ $47.9 \pm 67.7 \text{ mg/L}$ ）或 10 月（ $45.2 \pm 51.0 \text{ mg/L}$ ）。季节性分析显示，3 月陆源（高度降解）DOM 的贡献较高，而 7 月海源（新鲜的、浮游植物衍生）DOM 更为突出，10 月 DOM 的微生物转化过程显著增强。这些趋势得到了氨基酸分子指标（降解指数：3 月为 2.4 ± 0.4 ，7 月为 3.8 ± 0.6 ，10 月为 3.1 ± 0.5 ）和 FT-ICR MS 指标（富含羧基的脂环分子丰度：3 月为 $58.3 \pm 1.0\%$ ，7 月为 $57.9 \pm 1.8\%$ ，10 月为 $61.8 \pm 1.2\%$ ）的支持。向海输送过程中， $\text{O}_3\text{S}+\text{O}_5\text{S}$ 化合物显著减少，表明与非干旱年份相比，陆源光敏感 DOM 组分的移除增强。7 月异常低的惰性组分比重和高的活性组分比重表明，气候变化影响了 DOM 动态，预计将引发即时有机碳循环反馈和海洋生态系统响应。

S46-O-12

基于改进的 LC-FT-ICR-MS 方法揭示微生物对海洋溶解有机质的转化

蔡阮鸿¹, 严振伟¹, 易沅壁¹, 何丁^{1*}

¹ 香港科技大学

* dinghe@ust.hk

全球海洋储存着~6600 亿吨溶解有机碳（dissolved organic carbon, DOC），主要来源于海洋微生物的自养固碳、陆源输运、沉积物间隙水渗透、气溶胶沉降、海底热液溢出等途径。新产生和输入的 DOC 在海水中经微生物转化，绝大部分变成无机形式的碳，一小部分转化为生物难以快速降解的有机碳。后者是海水 DOC 碳库的主要组分，因其储量巨大且与大气二氧化碳的动态交互影响着全球气候，被认为是一种重要碳汇。揭示海洋 DOC 的化学性质和生物转化对认识其碳汇效应至关重要。然而，海水 DOC 是一类高度复杂的有机分子集合，当前手段难以全面表征其元素组成和结构特征，是海洋生物地球化学领域的热点与难点。

近二十年以来，超高分辨率的傅里叶变换离子回旋共振质谱（FT-ICR-MS）被广泛运用于海水 DOC 分子解析。传统的直接进样 FT-ICR-MS 法主要针对 bulk DOC 开展分子指纹解析和平行比对，极大促进了研究人员对其复杂化学组成及在地球系统中循环的理解。然而，天然海水 DOC 分子高度复杂，许多分子仍无法被传统方法区分。本研究引入一种改进的 FT-ICR-MS 分析方法，利用在线液相色谱串联 FT-ICR-MS（LC-FT-ICR-MS）检测 DOC 分子如何在微生物改造过程中发生转化。对比传统的直接进样 FT-ICR-MS，改进的 LC-FT-ICR-MS 一定程度将不同极性的 DOC 分子区分开来，进一步加深了对 DOC 的生物可利用性的认识。即便是广泛接受的惰性 DOC 组分——富羧基脂环族化合物

(CRAM) 也被区分出差异化的生物可利用性, 且很大程度受其自身分子极性的影响。极性较低的 CRAM 会优先被微生物降解, 而微生物会产生极性较高的 CRAM, 其分子氧化态、芳香程度、含杂原子氮都显著提高。这些改造作用提高了 CRAM 的惰性程度, 且在全球海水 DOM 数据中得到验证。本研究基于改进的分析化学技术结合微生物生态研究手段, 进一步研究海洋 DOC 的分子组成和微生物转化, 加深了对海洋 DOC 分子的微生物转化和碳汇效应理解。

S46-P-1

陆—海水生连续体中的铁与碳之歌

姚鹏^{1*}, 赵彬², Mohamod Faheem Ashfaq¹, 韩逸¹, 韩露露¹, 衣萌林¹, 王金鹏³

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所

3 生态环境部华南环境科学研究所

* yaopeng@ouc.edu.cn

有机碳在地球系统中的保存是一个重要的碳汇过程, 与矿物结合是有机碳稳定保存的一种关键机制, 含铁矿物在其中发挥了举足轻重的作用。地球系统中铁与碳之间的相互作用是一个复杂的动态变化过程, 是一首吟唱亿万年的歌, 绵延至今。本研究聚焦表层地球系统陆-海水生连续体中铁结合态有机碳从陆地到海洋输运过程中的迁移转化、河口与近海沉积物中的铁的氧化还原对有机碳保存的影响及微生物作用机制、陆海环境中铁结合态有机碳的选择性保存、含铁矿物对有机碳的长期保存作用等几个方面, 综述最新研究成果, 并对未来的发展方向进行展望。

S46-P-2S

海南东寨港红树林河口—海湾表层沉积物中与活性铁结合有机碳含量变化及粒径影响

符一林^{1,2}, 常冬雪³, 涂智贤³, 梁宁^{1,2}, 李克园⁴, 朱逊驰^{2,3*}, 鲍红艳⁴, 高树基²

1 海南大学, 生态学院

2 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室

3 海南大学, 海洋科学与工程学院

4 厦门大学, 海洋与地球学院

* xczechu@hainanu.edu.cn

随着大气 CO₂ 浓度升高, 全球暖化加剧, “碳达峰”“碳中和”战略应运而生。基于自然解决方案的保碳、增汇被认为是实现“双碳”目标的有效途径, 滨海生态系统因其“蓝碳”属性日益引起人们的重视。既往研究证实活性铁(氢)氧化物在陆地土壤和海洋沉积有机碳的保存中发挥重要作用, 但在红树林沉积有机碳保存中的角色不明。本研究选择海南省东寨港国家级红树林自然保护区为研究区域, 采集红树林河口-海湾表层沉积物, 按照不同粒径(30.8–63 μm、63–125 μm、125–200 μm、200–2000 μm)划分, 借助 CBD 化学提取法, 研究沉积物总体及与活性铁结合有机碳、木质素含量及碳稳定同位素组成, 以期揭示铁-碳相互作用在不同沉积环境和粒径条件下对有机碳及其木质素组分保存的影响。结果显示, 研究区域内沉积物有机碳含量变化范围为 0.02%–2.45%, 其中红树林和养殖区显著高于湾外区域, 表明陆源输入和静水环境利于碳积累; 30.8–63 μm 细粒径组分中有机碳含量显著高于 200–2000 μm 粗粒径组分含量, 表明细颗粒对有机碳保存具有主导作用。与活性铁结合有机碳占总有机碳比值的平均值为 20.63%, 最高可达 54.10%, 揭示铁对有机碳保存发挥重要作用。不同粒径组分中有机碳同位素的平均值变化范围为-26.50‰到-26.31‰, 其中与活性铁结合有机碳同位素的平均值变化范围为-28.55‰

到-26.68‰。不同粒径间有机碳及与活性铁结合有机碳同位素组成差异均不显著

($p>0.05$)，但与活性铁结合有机碳较整体有机碳同位素组成更偏负($p<0.01$)。在不同子区域，沉积物粒径对木质素及与活性铁结合木质素含量变化的影响不同：河口区各细分粒径中，200–2000 μm 粒径组分中木质素含量最高(5.16 mg/10 g dw)，红树林区域 125-200 μm 粒径组分中木质素含量最高(12.0 mg/10g dw)。红树林区，与活性铁结合木质素浓度在 125-200 μm 粒径范围最高(2.65 mg/10g dw)。本研究强调了活性铁对红树林沉积物有机碳保存的重要作用，有望为滨海红树林等湿地生态系统的碳汇管理与生态修复提供科学依据。

S46-P-3

陆源溶解有机碳向海洋输入量的低估

易沅璧¹, Andrew J. Tanentzap², 何晨³, Julian Merder⁴, Helena Osterholz⁵, 鲍红艳⁶, Jeffrey A. Hawkes⁷, 蔡阮鸿¹, 李思亮⁸, 史权³, 徐胜⁸, 张传伦⁹, 刘丛强⁸, 赵美训¹⁰, 何丁^{1*}

1 香港科技大学, 海洋科学系

2 Trent University

3 中国石油大学(北京)

4 Carnegie Institution for Science

5 Leibniz Institute for Baltic Sea Research Wameminde

6 厦门大学

7 Uppsala University

8 天津大学

9 南方科技大学

10 崂山实验室

* dinghe@ust.hk

数十年来，陆源溶解性有机质(DOM)对海洋的贡献一直是个未解之谜。由于陆地特定生物标志物的不稳定性、生物地球化学分馏效应导致的碳同位素特征混叠，以及陆源与海源 DOM 化学组成的相似性等因素，追踪海洋中的陆源 DOM 极具挑战。

本研究通过联用高效液相色谱与超高分辨率质谱技术，首次系统性解析从河流输运至海洋的陆源特征分子，并定量评估其对海洋有机碳库的贡献。结果表明：陆地来源对海洋有机碳库的贡献量被低估了 1.7 至 2.5 倍，这一发现亟需对海洋碳循环模型进行修正。具体而言，研究团队在全球河流、边缘海及开阔洋中检测到 269 个具有显著陆源特征的分子式；室内培养实验进一步证实这些分子式对生物降解和光化学分解具有强抗性，其空间分布呈现从内陆水体到海洋的连续梯度特征，表明它们具有同源性且广泛存在于水圈系统中。通过建立陆源分子式丰度与溶解有机碳(DOC)浓度的定量关系，我们估算平均 21.7% (置信区间 16.7%-25.0%) 的海洋 DOM 来源于河流输入。

S46-P-4

东印度洋近海生态系统对印度洋偶极子事件的响应

李宏亮^{1,2*}, 王新洋^{1,2}, 张静静^{1,2}, 陈建芳^{1,2}

1 自然资源部第二海洋研究所, 自然资源部海洋生态系统动力学重点实验室

2 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室(自然资源部第二海洋研究所)

* lihongliang@sio.org.cn

印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)作为热带印度洋的核心气候模态，与太平洋的厄尔尼诺-南方涛动相似，其特征表现为东-西向海表温度异常的双极结构。该气候模态通过激发异常的海-气耦合作用，调控上升流等海洋物理过程，进而影响海洋生态系统。在全球变暖背景下，西印度洋的增温速率显著高于东部海域，导致系统向持续性正位相 IOD 状态转变。这种纬向热力不对称性预计将显著改变 IOD 事件的触发频率与强度特征，21 世纪以来极端正位相 IOD 事件的发生频率已呈现显著增

加趋势。在此背景下,揭示海洋生态系统对 IOD 事件的响应机制具有重要科学意义。印度洋近海广泛分布的珊瑚礁生态系统对气候极端事件具有高度敏感性,其生态脆弱性可能导致区域渔业资源的可持续性波动。在东印度洋强层结的沿岸海域,浮游植物的生物量变化主要发生在次表层。当前研究多依赖卫星遥感叶绿素 a 观测数据,难以有效捕捉此类次表层生物地球化学过程,致使东印度洋热带沿岸生态系统对 IOD 事件的响应机制仍存在认知空白。为解决这一科学问题,本研究融合了卫星遥感观测、船载现场观测和数值模式输出数据,系统揭示了东印度洋沿岸浮游植物生物量对 IOD 正/负位相的差异化响应特征及其机制,为预测气候变暖背景下印度洋生态系统演变提供了新的理论依据。

S46-P-5

反风化作用对长江口活性铁归宿的影响及其对有机碳保存的启示

赵彬¹, 姚鹏², 王小静³, 谢琳萍¹, 张宇¹, 段晓萌¹, 唐景荣¹, 韦钦胜^{1*}, 王保栋¹

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋生态研究中心

2 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

3 自然资源部第一海洋研究所, 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

* weiqinsheng@fio.org.cn

大河河口的反风化作用(即自生铝硅酸盐矿物的形成)对沉积物中多种元素的循环具有重要作用,但是该过程对活性铁氧化物和有机碳归宿的影响还不清楚。本研究对长江河口悬浮颗粒物、表层沉积物和箱式柱状样中铁矿物形态、有机碳及其同位素组成进行了分析,结合间隙水溶质剖面,以期揭示河口沉积物中铁矿物和有机碳在反风化作用影响下的迁移转化过程。结果显示,河口颗粒物中铁氧化物的占比

显著高于沉积物,表明沉积物中存在强烈的铁还原作用。但是,颗粒物和沉积物中 Fe/Al 比值无显著差异,表明铁矿物经历了铁还原作用后并没有损失,而是转化成其他的形态;从铁矿物的组成来看,由颗粒物到沉积物的输运过程中,碳酸盐态铁和黄铁矿变化较小,而硅酸盐态铁显著升高,表明大量铁还原作用产生的二价铁进入到自生铝硅酸盐矿物中,证明了反风化过程对铁矿物归宿的影响。间隙水溶质的剖面也显示,河口泥质区扰动层下的钾离子、铁离子同步减少,硅酸盐浓度保持稳定,表明沉积物中存在强烈的反风化作用。长江口反风化过程中铁氧化物的损失量和沉积物中钾的吸收量呈显著的正相关关系,化学计量比显著低于其他热带河口(如亚马逊河口),这主要归因于热带河口颗粒物中更高的铁氧化物占比和更强烈的铁还原作用,导致其自生铝硅酸盐矿物中铁的占比较高。整体上,由颗粒物到沉积物的输运过程中,有机碳和铁氧化物同步减少,非活性的硅酸盐态铁增加,有机碳的年龄也增加,这表明铁矿物和有机碳存在共老化机制。本研究证明了反风化作用对河口碳、铁等元素循环具有重要的调节作用。

S46-P-6S

氨基酸和有机酸碳稳定同位素示踪海洋有机气溶胶的来源和转化

吴云飞¹, 康佩虹¹, 刘洁¹, 汪冰冰¹, 唐甜甜^{1*}

1 厦门大学, 海洋与地球学院

* tiantian.tang@xmu.edu.cn

海洋气溶胶是全球最重要的自然气溶胶系统之一,它可以通过改变大气辐射平衡,或作为云凝结核和冰核等影响云的形成等过程,影响气候变化。海洋气溶胶中

的有机组分来源复杂,它不仅受到海洋源排放的影响,还会在大气传输过程中与陆源气溶胶混合,并在大气中被光氧化等过程所改造。因此探究海洋气溶胶中典型有机组分的来源及其转化行为对于理解全球气候变化具有重要意义。本研究利用单体稳定同位素分析技术,探究了两个典型海洋环境,近海(东山)和开阔大洋(南海),气溶胶中氨基酸和有机酸的浓度和碳稳定同位素比值的变化特征,以此解析海洋有机气溶胶的源汇格局及其在海气界面物质交换中的相对贡献。

S46-P-7

我国主要河流、河口及边缘海颗粒态有机质的热稳定性

姚鹏^{1*}, 王乐¹, 王政¹, 陈思宇¹, 韩逸¹, 韩露露¹, 赵彬², 王金鹏³

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所

3 生态环境部华南环境科学研究所

* yaopeng@ouc.edu.cn

陆源有机质的归宿是全球碳循环的热点和难点问题。稳定性是影响陆源有机质在海洋中的归宿一个重要因素。热稳定性所代表的有机质反应活性是衡量陆源有机质稳定性的一个重要方面,但目前对陆源有机质热稳定性的时空变化及控制机制了解还很少,制约了对其碳汇效应的认识。本研究对我国主要河流(长江、黄河和珠江)沿岸土壤和颗粒物、河口及其邻近边缘海的沉积物中的有机质进行了热重分析,并结合稳定碳和放射性碳同位素、木质素和叶绿素及铁结合态有机碳分析等,研究了这些陆海连续体不同介质中颗粒态有机质热稳定性的时空分布及在输运过程中的变化,并从同位素、生物标志物和有机碳-矿物相互作用等几个方面对其主要影响因素进行了分析,以揭示其控制机制。研究

结果有助于深入认识陆源有机质在河口与边缘海的归宿。

S46-P-8S

黑潮-亲潮交汇区北太平洋中层水形成过程中惰性溶解有机质的积累

韩露露¹, 黄蓉², 曾可², 张晓华², 姚鹏^{1*}

1 中国海洋大学, 化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 中国海洋大学, 海洋生命科学院

* yaopeng@ouc.edu.cn

溶解有机质(Dissolved Organic Matter, DOM)是海洋中最大的活性碳库,尽管对其来源、组成和分布已经有了很多认识,但目前对其在海洋动力混合过程中的变化过程和控制机制了解很少。本研究于2022年6月在西北太平洋黑潮-亲潮交汇区采集水体样品,分析了溶解有机碳(Dissolved Organic Carbon, DOC)浓度、有色溶解有机质(Chromophoric DOM, CDOM)的紫外-可见光吸收和三维荧光光谱及微生物群落组成特征,以研究该区域水团混合过程中DOM的迁移转化过程和主控因素。研究发现,CDOM中的保守组成可以用来示踪水团混合,其与盐度结合组成的端元模型可以定量区分不同水团的贡献,利用水团贡献比例得到的DOM特征理论值与实测值的差异进而可以用来表示水团混合过程中DOM组成的添加或去除。结果表明,在黑潮-亲潮交汇、混合形成新的北太平洋中层水(new North Pacific Intermediate Water, new NPIW)的过程中,在微生物的作用下,DOM的活性组分被选择性消耗,而惰性组分(recalcitrant DOM, RDOM)浓度增加。具体来说,黑潮-亲潮交汇后,首先形成混合水,在这一过程中亚硝化古菌

(Candidatus Nitrosopelagicus)和浮游细菌

(AEGEAN-169) 共同作用, 实现类腐殖质组分和类蛋白组分的同时积累; 混合水下沉, 进入 NPIW, 与此同时, 硫化细菌 (SUP05) 消耗类蛋白组分, 亚硝化古菌 (Nitrosopumilaceae) 和海洋细菌 (SAR324) 共同作用, 持续产生类腐殖质组分, 最终使 NPIW 呈现高分子量、高腐殖化和高降解程度的特征。本研究阐明了海洋水团混合过程中 DOM 组成的迁移转化过程, 揭示了微生物活动对 DOM 迁移转化的影响, 为深入理解海洋环境中 RDOM 的产生和维持机制提供了新见解

S46-P-9S

汉江流域水体溶解性有机碳来源及转化过程研究

韩伽骏¹, 张东^{1*}, 孙瀚林¹, 吴娜², 贺美丽², 张俊文², 杨小溪¹, 于婧淼¹

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

2 长安大学, 地球科学与资源学院

* d-zhang@shou.edu.cn

溶解性有机碳(Dissolved organic carbon, DOC)是全球碳循环的重要碳库, 为微生物和水生植物提供碳源, 其浓度与同位素组成可以反映环境中有机污染物输入与转化以及降水过程和土地利用变化对水体生态系统的影响。汉江是丹江口水库水体重要来源, 但目前对汉江流域水体 DOC 来源及转化过程尚不清楚。通过收集丰水期汉江流域干流、支流及沿岸地下水水体样品, 分析水体 DOC 浓度以及碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$)组成, 结合水化学指标和水体氢氧同位素组成, 辨析自然因素与人为活动对流域水体 DOC 的影响。结果表明: (1) 干流、支流和地下水中 DOC 浓度均值分别为 2.34 mg/L(n=28), 2.59 mg/L(n=30)和 1.56 mg/L(n=17), 干流、支流和地下水 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ 值均值分别为 -28.3‰(n=28), -28.9‰(n=30)和 -25.6‰(n=17); (2) 土壤有机质分解是上游自然背景地区水体 DOC 主要来源, 对干

流水体 DOC 的贡献比例范围为 60%~89%, 均值为 77%, 生活污水输入及内源释放对汉江中下游平原地区 DOC 来源影响增加, 对干流水体 DOC 的贡献比例均值分别为 28% 和 23%以及 18%和 18%; (3) 地下水还原环境中 DOC 降解显著, 造成 DOC 浓度降低, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ 值升高。研究结果支持丹江口水库上游水体 DOC 来源以自然过程控制为主, 人为活动以及内源释放影响不大, 为汉江流域水资源管理提供重要的科学依据。

S46-P-10S

建坝对长江颗粒有机碳迁移转化的影响

王乐¹, 赵彬², 吴莹³, 姚鹏^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所, 海洋生态环境科学与技术重点实验室

3 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

* yaopeng@ouc.edu.cn

河流是陆源有机碳入海的主要通道, 在全球碳循环中发挥了重要作用。近年来, 气候变化和人类活动显著改变了河流有机碳的生物地球化学过程, 对河口及近海生态系统产生了重要影响。长江是我国最大的河流, 每年向东海输送大量陆源有机碳, 其中一半以上为颗粒有机碳(POC)。尽管对长江及其河口 POC 的来源、组成和输运通量等已经有了一些认识, 但目前对人类活动, 特别是大型水库的建设, 对长江 POC 迁移转化过程的影响的了解还很少。本研究于 2021 年 3 月和 8 月在长江干流和长江口共采集了 111 个颗粒物样品, 测定了颗粒物的粒度、比表面积(SSA)、POC 含量及其稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)、叶绿素 a (Chl-a) 和木质素等参数, 研究了长江输送的 POC 在从河流到河口输运过程中的迁移转化, 并结合历史数据, 讨论了建坝对长江输运的 POC 来源和组成的影响。

基于蒙特卡洛模拟的端元模型表明, 长江 POC 主要为土壤和淡水浮游植物来源, 长江口 POC 中有更多海洋来源有机碳的输入。长江和长江口颗粒物中木质素的主要植物来源为草本被子植物。有机碳和木质素含量及通量的历史变化均表明, 三峡大坝的建设改变了长江中下游有机碳的来源和组成, 有更多的淡水浮游植物来源 POC 被输入海, 而后梯级水库的建设, 显著降低了三峡水库的入库泥沙, 加剧了中下游河道侵蚀, 使得更多的陆源难降解 POC 入海。该研究丰富了对长江-长江口 POC 来源和组成时空变化的认识, 深化了对该系统 POC 迁移转化过程和控制机制的理解。

S46-P-11S

黄河颗粒物与渤、黄海沉积物中不同粒径有机碳的来源、降解和热稳定性

王乐¹, 赵彬², 葛田田³, 王旭晨³, 姚鹏^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所, 海洋生态环境科学与技术重点实验室

3 中国海洋大学, 化学化工学院

* yaopeng@ouc.edu.cn

陆源有机碳主要以颗粒态的形式经由河流向海洋输运, 河流颗粒物及边缘海沉积物往往具有不同的粒径, 不同化学特性的有机碳赋存在不同粒径颗粒物/沉积物上, 在输运过程中发生水动力分选作用, 使得不同来源、组成、年龄和活性的陆源有机碳埋藏在河口与边缘海的不同区域。从分粒级的角度研究河流输运的陆源有机碳的迁移转化过程有助于深入认识陆源有机碳在边缘海的归宿和碳汇效应。黄河作为全球输沙量最大的河流之一, 每年向渤、黄海输送大量陆源颗粒有机碳 (POC), 对渤、黄海的碳循环和生态环境产生重要影

响。然而, 目前对黄河 POC 及渤、黄海的沉积有机碳 (SOC) 的来源、组成和活性等的粒径分布特征和水动力分选过程了解还很有限。

本研究于 2014 年 6-7 月在黄河小浪底和利津站位采集颗粒物样品共 6 个, 2013 年 8 月在渤、黄海采集表层沉积物样品 8 个, 分别利用水淘选分级法和筛分分级法对其进行了分级处理, 测定了分级之后的黄河颗粒物和渤、黄海表层沉积物中 OC、碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{14}\text{C}$)、木质素及热重等参数, 研究了黄河-渤、黄海系统颗粒态有机碳的来源、降解特征和热稳定性的粒径分布特点及其迁移转化过程。结果表明, 无论是在黄河颗粒物, 还是在渤、黄海沉积物中, OC 含量均随着粒径的减小逐渐增大。随着输运距离的增加, 渤、黄海沉积物中各粒级 OC 含量逐渐升高。双同位素三端元模型结果表明, 预老化土壤有机碳和古老化石有机碳占河流颗粒有机碳的绝大部分; 相较而言, 渤、黄海表层沉积物有机碳以海源现代有机碳为主。不同来源有机碳的粒径分布没有显著差异。随着沿岸距离的增加, 渤、黄海沉积物的木质素降解程度有增大趋势, 但不同粒级之间差异也不明显。热重结果表明, 黄河颗粒物的热稳定性明显高于渤、黄海沉积物, 碳反应指数 (CRI) 与有机碳含量及 $\Delta^{14}\text{C}$ 均呈现负相关关系, 说明有机碳含量越低, 年龄越老, 热稳定性越高。随着粒径的减小, 黄河 POC 的热稳定性有下降趋势, 但渤、黄海沉积物热稳定性的粒级差异不明显。研究结果丰富了对黄河-渤、黄海系统有机碳的源汇格局和迁移转化过程的认识, 有助于更好地理解河流输运的陆源有机碳在边缘海的归宿。

S46-P-12

利用沉积有机碳表观初始年龄指示珠江三角洲全新世环境演化

丁杨^{1,2}, 王张华^{3*}, 时硕³, 李红春¹, 熊海仙⁴, 赵美训^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 青岛海洋科技中心, 海洋生态与环境科学功能实验室

3 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

4 中山大学, 海洋科学学院

* zhwang@geo.ecnu.edu.cn

* maxzhao@ouc.edu.cn

河口三角洲是连接陆地和海洋生态系统的关键带, 是重要的沉积碳库, 拥有巨大的碳汇能力。碳-14 技术和方法已被广泛应用于研究河口三角洲现代-近代碳循环过程, 但在长时间尺度(千年-万年)碳循环研究的应用还相当匮乏。本研究选取了珠江三角洲顶部(DS01)和现今口门(MZ)的两根钻孔岩芯开展时空对比研究, 测定了不同沉积地貌时期典型沉积物样品的粒度和比表面积、总有机碳(TOC)及其碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{14}\text{C}$)等参数。通过计算 TOC 校正 ^{14}C 年龄与沉积年龄的差值, 获得了 TOC 的表现初始年龄(Apparent Initial Radiocarbon age, 简称为 AIR, 代表沉积物沉积时有机碳的年龄), 在此基础上讨论了不同阶段海平面和气候变化及人类活动对沉积有机碳埋藏的影响及其可能的控制机制。结果表明, AIR 可有效识别珠江三角洲全新世沉积环境变化对有机碳来源和年龄的影响。珠江三角洲早全新世海平面快速上升, 沉积速率高, 陆源有机碳被快速填埋, AIR 较年轻。中全新世海平面上升趋缓并达最高, 沉积速率趋缓, 季风和潮汐主控, 三角洲建造, 沉积环境改变及老碳侵蚀和输运降解的共同作用下, AIR 显著偏老。晚全新世海平面下降, 沉积速率高, 沉积环境变化和人类活动围垦填海等, 导致 AIR 较老。研究结果为评估全新世环境演变对珠江三角洲有机碳来源和埋藏的影响提供了地质证据, 有助于深入认识河口三角洲长时间尺度碳循环过程。

S46-P-13

黑潮来源反气旋涡驱动溶解有机质向南海北部陆坡的横向输运与转化

王超^{1,2*}, 郭卫东², 梁清隆²

1 广东海洋大学, 海洋与气象学院

2 厦门大学, 海洋与地球学院

* chaowang@gdou.edu.cn

作为全球西边界流核心分支, 黑潮通过直接入侵、中尺度涡旋输运和跳跃模态等动态过程, 主导南海北部上层海洋能量与物质输运。其中, 吕宋海峡附近生成的反气旋涡(K-ACEs)因携带高温高盐黑潮水向西迁移, 成为调控陆坡区碳循环的关键载体。尽管黑潮涡旋对南海物质输运的物理机制已有研究, 但其驱动的溶解有机质(DOM)跨陆架通量及伴随的生物地球化学转化过程长期缺乏量化证据, 制约了对西太平洋-南海碳交换的系统认知。本研究基于 2020 年 4 月基金委南海北部共享航次, 在南海北部陆坡区对一个黑潮来源反气旋涡(K-ACE1)进行了加密断面观测。通过分析溶解有机碳(DOC)浓度、类腐殖质荧光溶溶解有机物(FDOM_H)丰度, 结合等密度混合模型和历史涡旋数据, 研究了黑潮来源反气旋涡驱动的 DOM 向西输送至南海陆坡过程中的转化、通量与机制。研究发现, K-ACE1 相比于非涡旋区具有更高的黑潮水比例(85%), 确认了其黑潮来源属性以及较为稳定的涡旋结构。K-ACE1 区 300m 以浅水柱 DOC 和 FDOM_H 存在显著垂向分异: DOC 在涡旋上层 200 m 内存在少量去除(<6%), FDOM_H 在 50 m 以浅因光漂白发生明显去除过程(8%-34%), 但在 50m 以深则表现出显著添加过程(36%-43%)。基于“净”FDOM_H(ΔFDOM_H)与“净”表观耗氧量(ΔAOU)的定量关系, 发现 K-ACE1 区比非涡区具有更高的 FDOM_H 生成效率(每消耗 1 单位 O₂ 生成的 FDOM_H 量)和生成速率, 因而该区域可能是微生物介导的惰性溶解有机

碳 (RDOC) 生成的热点区域, 这与黑潮来源反气旋涡更高的温度、黑潮源 DOM 横向输入、以及局地生源颗粒供给可能密切相关。结合 1993-2020 年历史涡旋数据, 进一步估算出黑潮来源反气旋涡驱动的横向 DOC 输送至陆坡区的通量为 $1.8 \pm 0.2 \text{ Tg C/年}$, 约占南海跨陆架 DOC 通量的近 60%, 这表明南海北部陆坡区可能是黑潮源 DOM 重要的汇, 并有机会沿陆坡输入至海盆暗层, 因而可能是西太平洋 DOM 进入南海深层的另一条重要途径。

S47-O-1

河流—近海体系颗粒有机碳输运与积累的全球格局

王成龙^{1*}, 裘奕斐¹, 郝喆², Junjie Wang³, 张楚楚¹, Jack Middelburg³, 汪亚平¹, 邹欣庆^{1*}

1 南京大学, 地理与海洋科学学院

2 南京师范大学, 海洋科学与工程学院

3 Utrecht University, Department of Earth Sciences

* clwang@nju.edu.cn

* zouxq@nju.edu.cn

河流-近海体系作为连接陆地和海洋两大碳库的纽带, 是理解有机碳循环的关键区, 是全球碳循环研究的薄弱环节。目前, 河流-近海体系颗粒有机碳输运和积累研究在区域尺度上已取得一系列重要成果, 但其全球格局更为复杂, 是受到重点关注和亟待解决的热点和难点问题。为解决这一难题, 该研究以放射性碳同位素 ($\Delta^{14}\text{C}$) 为示踪指标, 结合陆地 (气候、地貌、土壤、植被和人文) 和海洋 (气候、物理、化学、生物和沉积物) 的多源环境因子数据, 构建机器学习模型, 首次刻画了全球尺度河流-近海体系颗粒有机碳来源、组成及年龄的高分辨率空间格局。

研究发现, 颗粒有机碳年龄呈现高纬偏老, 低纬偏年轻的纬度分异, 且河流-近

海体系存在“老-新”、“新-老”、“老-老”、“新-新”四种分布模式。“老-新”模式主要分布于亚北极和美国西海岸等地, 河流输送的有机碳较老, 入海通量有限, 近海以年轻的海源有机碳沉积为主, 是大气 CO_2 的汇。中-低纬大河流域及河口区主要呈现“新-老”模式, 河流输送的有机碳较年轻, 但在河口剧烈的物理扰动下快速分解, 古老有机碳得以保存, 是大气 CO_2 的源。“新-新”模式主要分布于东南亚、加勒比海和南海等低纬地区, 稳定的沉积环境虽有助于年轻有机碳保存, 但高温致使这种保存并不稳定, 因此可能是大气 CO_2 的源或弱汇。“老-老”模式主要分布于北极和台湾岛等山地岛屿, 冻土碳和化石碳在陆架的搬运过程中氧化分解, 是大气 CO_2 的弱源。该研究明确了河流-近海体系颗粒有机碳输运和积累的全球模式, 发现了不同模式下有机碳储存效率的空间异质性, 揭示了有机碳来源和保存方式对其归宿的影响, 研究成果为理解河流-近海体系颗粒有机碳归宿提供了新认识。

S47-O-2

亚热带潮控型河口最大浑浊带颗粒有机碳分粒级物源特征及输运机制

周宴任¹, 余凤玲^{1*}, 刘雨泽^{1,2}

1 厦门大学, 海洋与地球学院

2 四川省内江市资中县交通运输局

* fengling.yu@xmu.edu.cn

河口最大浑浊带 (Estuarine Turbidity Maximum, ETM) 作为陆源颗粒有机碳 (Particulate Organic Carbon, POC) 向海洋输运的关键枢纽, 对河口物质有着重要的“过滤效应”。然而, 已有研究对 ETM“过滤器”内 POC 的粒级和物源组成特征及其动态迁移机制的探讨尚不够深入。本研究以亚热带潮控型河口—九龙江口为研究对象,

结合定点观测和沉积物捕获器的方法,以 1 小时为间隔,连续、系统地采集了 ETM 的水文参数、悬浮 POC (过滤法)和沉降 POC (沉积捕获器),并结合粒度分析、 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素示踪和经验正交函数统计方法,分析了 ETM 内 POC 的分级效应和物源组成,并揭示了潮流速度对 POC 运输的实时调控机制。

研究发现,悬浮和沉降 POC 均以细颗粒 ($<63\ \mu\text{m}$) 为主导 (占比 43-52%),其中极细颗粒 ($0.7\text{-}10\ \mu\text{m}$) 在高流速期比例显著增加;而粗颗粒 ($>153\ \mu\text{m}$) 虽占比较低,但在涨潮高流速期比例可能增加。通过三端元模型量化分析发现,POC 来源呈现显著时空分异:悬浮 POC 表层以河流端元为主 (35.5%),底层则以沉积物端元为主 (35.1%);沉降 POC 中沉积物端元占比更高,且在涨潮高流速期可升至 65%。悬浮 POC 浓度 ($0.8\text{-}8.4\ \text{mg/L}$) 与潮流速度 ($0.6\text{-}0.9\ \text{m/s}$) 呈显著正相关,而沉降通量峰值 ($0.23\ \text{g/cm}^3\cdot\text{h}$) 出现在低流速期 ($<0.2\ \text{m/s}$)。悬浮态与沉降态 POC 的来源均受到潮流速度大小、方向及持续时间的控制,其机制包括再悬浮作用、水团交换以及源区 POC 的可利用性等因素。通过 EOF 分析进一步发现,潮流方向与持续时间是控制 POC 源—汇转换的关键因子。基于这些发现,本研究提出了潮控型河口 ETM 区域 POC 运输概念模型,该模型在亚热带潮控型河口量化了潮汐动力对 POC 运输的调控机制,着重阐释了潮流速度及其变化对 POC 迁移过程的影响。研究结果深化我们对潮控型河口 ETM“过滤效应”的认识,为进一步评估河口 ETM 在海陆碳循环中的角色提供科学依据。

S47-O-3

全新世至人类世长江三角洲有机碳埋藏研究

苏建锋^{1*}

1 同济大学

* jfsu@tongji.edu.cn

全新世期间,巨型三角洲中的有机碳(OC)埋藏被认为在调节长期大气 CO_2 浓度变化中发挥了重要作用,但这一功能在进入人类世后已被人类活动显著改变。由于缺乏对全新世三角洲有机碳埋藏速率的精确估算,限制了我们对于碳循环演变过程的全面理解。本研究基于 50 个全新世钻孔和 216 个现代表层沉积样本的数据,系统分析了长江三角洲(YD)有机碳来源的变化、其控制因素,并定量评估了从中全新世至人类世期间的有机碳埋藏速率演变。结果显示,YD 的有机碳埋藏经历了三个显著阶段:8-2 千年前,受东亚夏季风减弱影响,陆源有机碳贡献下降,但三角洲仍以缓慢推进和相对稳定的有机碳埋藏速率(约 $0.79\ \text{Mt/yr}$)持续发育;自 2 千年前起,人类活动成为主导驱动力,使有机碳埋藏量增加了 78% ($1.40\text{-}1.44\ \text{Mt/yr}$);三峡大坝蓄水后,YD 进入以侵蚀为主导的破坏阶段,有机碳埋藏速率下降了 59%。考虑到水下三角洲的侵蚀过程,YD 已从净碳埋藏状态转变为净碳释放状态,每年约向浙闽泥质带输出 $0.81\ \text{Mt}$ 的有机碳。上述发现强调了沉积物埋藏速率在调控巨型三角洲有机碳埋藏过程中的关键作用,并指出在人类活动深刻影响下,全球其他三角洲也可能正经历由“碳汇”向“碳源”的转变,进而对全球碳循环产生深远影响。

S47-O-4

海平面和亚洲夏季风控制早全新世南海北部陆架有机碳埋藏变化

黄超^{1*}

1 广东海洋大学,海洋与气象学院

* Huangc@gdou.edu.cn

海洋作为重要的碳汇,在全球碳循环中发挥着关键作用。陆架边缘海作为陆地与海洋之间的过渡带,其面积仅占全球海洋表面积的约 20%,却储存了海洋中超过 80%的有机碳,使得大陆架边缘海成为研究有机碳埋藏过程、历史和机制的天然实验室。南海是西太平洋低纬区最大的边缘海,是低纬亚洲大陆风化剥蚀产物的主要堆积地,水动力过程复杂,陆海相互作用强烈,物质来源方式多样,是沉积有机碳的重要沉积区。南海海域有机碳沉积过程又受到气候、海平面以及人类活动等众多因素的影响,因此,成为研究沉积有机碳埋藏的重要区域。然而,目前有关南海北部陆架有机碳埋藏在长时间尺度上的演变仍然认识不足。本研究基于对南海北部近海陆架获取的 HKA-1 岩芯开展高分辨率的多种代用指标的分析,探讨南海北部陆架早全新世有机碳埋藏通量演变及其驱动机制。研究表明, HKA-1 岩芯中的有机碳主要来源于陆源有机质,其埋藏通量主要受海平面变化和亚洲夏季风强度的影响。其中,在 9200–7800 cal yr BP 期间,有机碳埋藏通量较高,这与相对较低的海平面和较强的亚洲夏季风有关;而 7800–7200 cal yr BP 期间有机碳埋藏通量的快速下降则与海平面迅速上升以及夏季风减弱有关。7200 cal yr BP 之后,随着海平面趋于稳定,季风降水成为影响有机碳埋藏的主要影响因素。这项研究不仅强调了陆源有机碳在边缘海碳循环中的重要作用,也为理解大陆架有机碳埋藏对海平面波动和气候变化的响应机制提供了新的认识。

S47-O-5

末次盛冰期以来南海深层水对神狐陆坡底流碳埋藏效率的影响及其对古气候演化的意义

苏明^{1,2,3*}, 罗坤文^{1,3}, 李亚丽², 欧贺杰¹, 马文斌¹, 高雅^{1,3}, 江凯禧^{1,4}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室

4 北京师范大学, 实验室安全与设备管理处

* suming3@mail.sysu.edu.cn

有机碳埋藏效应对全球大气二氧化碳浓度变化具有重要控制作用,深入理解有机碳埋藏的控制因素及演化规律对深入理解古气候演化以及预测未来气候变化有重要意义。前人研究发现,全球深海有机碳主要埋藏于深水底流沉积中,因此深入分析底流沉积有机碳埋藏的控制因素及其规律对理解其与气候演化的耦合关系有重要意义。本研究综合沉积物粒度、总有机碳含量及其同位素、总氮含量、烷烃和浮游有孔虫同位素定年数据,对南海北部神狐陆坡 C1-7 重力柱岩芯开展深层水主控下的底流沉积碳埋藏效率及其影响因素研究。综合以上数据,分析了末次冰期以来南海深层水的流速变化特征、有机质来源及其埋藏通量的变化历史。研究表明,南海深层水在 MIS2 期具有较高的流速,其次是 MIS3 期,而 MIS1 期总体流速较低。烷烃和有机碳同位素结果表明,埋藏的有机碳总体上由海源有机碳贡献,但陆源有机碳的贡献比例在 MIS2 期明显高于 MIS1 和 MIS3 期。MIS3 和 MIS2 期的海源有机碳埋藏量明显高于 MIS1 期,其质量百分比分别为 0.260%、0.248%和 0.098%。陆源有机碳的埋藏量在 MIS2 期明显高于 MIS3 和 MIS1 期,其质量百分比分别为 0.114%、0.035%和 0.045%。综合对比有机碳的埋藏量与有机碳输入量和南海深层水性质变化的关系,发现南海深层水的高流速和低含氧量特征可明显提升有机碳的埋藏效率。其中, MIS3 和 MIS2 期南海深层水高流速和低含氧量特征,结合该时期的高有机碳供给,使得该时期的有机碳埋藏通量明显高于 MIS1 期,其平均埋藏通量分别为 1181.9、1187.7 和 235.1 g m⁻² kyr⁻¹。综合以

上分析认为,南海深层水主控下的底流沉积是全球碳循环过程中的“汇”,末次盛冰期南海深层水主控下的底流沉积有机碳埋藏可能对该时期全球大气二氧化碳浓度的降低有重要贡献。

S47-O-6

Glacial Photosynthesis to Downstream Fluxes: Resolving Carbon and Nitrogen Dynamics in the Indus River Basin and Their Earth System Implications

Mohd Aadil Bhat^{1*}, Daidu Fan¹, Ramees R. Mir¹, Nadir Fawad¹

¹ Tongji University, State Key Laboratory of Marine Geology

* aadilgeo@tongji.edu.cn

Glaciers in the Indus River Basin of the Western Himalayas are not only key water sources but also dynamic biogeochemical engines influencing carbon (C) and nitrogen (N) cycles on regional and global scales. This study explores the photosynthetic origins, transformation, and fate of glacier-derived dissolved organic matter (DOM) and nutrients along the glacier-to-river continuum. Systematic sampling reveals a 2.5–23.4% increase in DOM, with changes in composition driven by microbial and photodegradation. $\delta^{13}\text{C-DIC}$ values (–5.3‰ to –4.2‰) indicate evasion of isotopically lighter CO_2 during DOM degradation. Concurrent shifts in NO_3^- , NH_4^+ , and NO_2^- reflect tightly coupled C-N cycling. Fluorescent DOM and isotope data trace DOM from glacial primary production to downstream systems. These results highlight glaciers' dual role as carbon sinks and sources, bridging atmospheric CO_2 uptake to aquatic

export, and underscore their importance in Earth system processes under climate change.

S47-O-7

风暴冲击下的人工岛：碳埋藏的双重效应

吴伊婧^{1*}, 苏建锋¹, 杨阳², 范代读^{1,3}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

² 南京师范大学, 海洋科学与工程学院

³ 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋地质过程与环境功能实验室

* walada@qq.com

在全球气候变化的背景下,高强度风暴事件日益频发,使得风暴沉积对河口地区有机碳(OC)埋藏过程的影响日趋显著。与此同时,人类活动在河口区域建设了大量工程设施,其中,人工岛的兴建已成为21世纪滨海围垦工程的一个重要形式。然而,我们对于河口风暴沉积过程及其OC埋藏如何响应人工岛建设仍缺乏系统性的研究。本研究通过对比杭州湾舟山绿色石化基地附近间隔一年重复采集的两个沉积岩芯的岩性、元素与有机地球化学特征,以及 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 剖面,探讨了人工岛建设对风暴沉积和OC埋藏的影响。分析发现,在人工岛建成后,一次风暴诱发的海底滑坡形成了前所未有的厚层沉积,并呈现出明显的沉积结构差异。这一极端事件在促进OC埋藏的同时,也因剧烈侵蚀造成了OC的丢失,最终导致OC净亏损。此外,这一厚层沉积中的有机碳再矿化作用增强,可能进一步降低OC的埋藏效率。研究结果表明,人工岛的建设可能增加海岸对新型地质灾害的暴露风险,并削弱河口碳储存能力,因此在人工岛的规划与建设中需更加全面地评估其环境影响。

S47-O-8

台风影响下北部湾沉积物有机质的输入与埋藏特征：来自生物标志物的证据

林云鹏¹，李云海^{1*}

¹ 自然资源部第三海洋研究所

* liyunhai@tio.org.cn

台风等极端天气事件会引发近岸与陆架海域高强度的水动力扰动与陆海物质的快速响应，进而影响到边缘海沉积物中的有机碳的沉降与埋藏过程。本研究通过台风“摩羯”（2024）过境北部湾后采集的浅表层事件沉积层（0.5~1cm 厚）及其下伏正常沉积层的生物标志物对比分析，探讨了台风影响下近岸与陆架海域沉积物有机质的演化过程。野外调查显示，台风后整个研究区表层沉积物中均覆盖着一层厚 0.5~1cm 的黄褐色的细粒沉积层，由近岸延伸至离岸超过 100 km 的北部湾中部海域。该沉积层主要由粉砂粒级组成，TOC 含量高达 0.61%~1.34%（平均 0.90%），而研究区次表层沉积物（正常沉积层）颗粒较粗，平均砂含量可达 44.8%，TOC 含量仅 0.06%~0.62%（平均 0.30%）。该异常的沉积层可能是由台风过程导致的沉积物输运进而形成的事件沉积层。生物标志物的结果显示该事件沉积层中总正构烷烃、总甾醇和总脂肪酸高于次表层沉积物数倍，但不同类型的生物标志物显示出差异性的空间分布特征。陆源正构烷烃与海源正构烷烃的空间分布特征显示出明显的差异，表明来源是主导沉积物中正构烷烃分布的因素；而陆源与海源的植物甾醇则表现出相似的空间分布特征，表明沉积物及其所携带的甾醇的搬运与沉积过程是控制沉积物中植物甾醇的最主要因素。研究区中部是植物源甾醇离岸搬运的最主要通道，这一搬运趋势在台风的影响下显著增强。胆甾醇和粪甾醇等动物源甾醇则表现出明显的近岸输入特征，其主要来源于研究区北部众多

近岸小型河流的输入，并且在台风过境后输入通量显著增加。脂肪酸的结果显示，台风过境后饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸均显著增加，且最主要的增加区域均位于近岸海域。研究区脂肪酸主要为水生源脂肪酸，陆源脂肪酸含量仅占 20%左右，这一比例在台风事件沉积与次表层沉积中基本一致。其中陆源脂肪酸主要来源于研究区北部近岸河流输入，呈现出近岸高值的特征。因此，台风不仅增加了北部湾北部小型河流输运入海的有机质通量，更是通过研究区中部的离岸通道将陆源与海源有机质离岸输运至 100 多公里以外的陆架海域，这一过程显著改变了研究区正常夏季条件下有机碳的产生与埋藏过程。

S47-O-9

以空间代时间探究海平面上升背景下蓝碳生态系统的时空演变

高宇^{1,2*}，周炳江^{1,3}

¹ 中国水产科学研究院东海水产研究所

² 皇家墨尔本理工大学

³ 复旦大学，生命科学学院

* yugaofudan@gmail.com

评估海平面上升（SLR）背景下蓝碳生态系统的时空动态，对于理解陆地-水体系统的长期相互作用具有重要意义。然而，由于年均海平面上升幅度仅为毫米级，生态系统响应通常需要数十年才能显现，限制了在碎片化时空尺度上基于单点观测的有效性。针对这一挑战，本文采用“以空间替代时间”的研究方法，整合高程滩涂（H）、低程滩涂（L）及光滩等不同潮汐淹水梯度区间，量化海平面上升对蓝碳生态系统的生态影响，并结合实际淹水比率与潮位高程模型对方法进行验证。研究结果表明，在相对海平面上升速率为每年 4.34 毫米（2001–2010 年）的情境下，当前

的低程滩涂 (L) 可类比约 116 年后高程滩涂 (H) 的生态状态。沿潮汐淹水梯度, 海平面上升改变了水文动态, 导致地上生物量减少、植物物种多样性升高、土壤总碳氮含量下降, 以及叶面积指数 (LAI) 降低。基于植被增强指数 (EVI) 与地表水体指数 (LSWI) 构建的复合指标进一步提升了生态系统变化的预测能力, 其中 EVI/LSWI 比值 (ELR) 有效表征了潮汐淹水对植被的影响, 高程滩涂 (H) 区域表现出较高的 ELR 值, 而 EVI 与 LSWI 之差值 (ELD) 在识别洪水动态及植被变化方面具有良好的指示性。本研究为揭示蓝碳生态系统对海平面上升响应提供了新的量化框架, 并为气候变化背景下的生态保护与管理策略制定提供了科学依据。

S47-O-10

典型黏土矿物调控下的近海大藻降解过程和碳留存效应

王晓洁¹, 张永雨^{1*}

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所, 海洋生物与碳汇研究中心

* zhangyy@qibebt.ac.cn

作为近海沉积物的重要组分, 黏土矿物通过天然河流和大气沉降等途径持续输入大陆边缘海域。我国黄海已连续 18 年爆发大规模浒苔绿潮, 每年数百万吨沉降藻体可对近海沉积碳库产生重要影响。以往研究大多聚焦下沉浒苔藻体的微生物降解过程及其碳留存效应, 而关于沉积物中黏土矿物组分对该过程的调控作用和机制极少了解。本研究选取典型黏土矿物-蒙脱石, 通过模拟实验系统探讨了其对浒苔微生物降解过程中碳释放动态和碳归宿的调控作用。研究结果显示: (1) 蒙脱石可明显减缓浒苔藻体生物质的分解速率, 降低藻源 DOC 释放和 CO₂ 的生成; (2) 蒙脱石可增强藻源 DOC 的稳定性, 延缓其矿化过程; (3) 蒙脱石长期作用下, 大藻经微生物降

解后的碳遗留量提升了 50% 以上, 可显著增强大藻的沉积碳汇效应。最后, 结合宏基因组学和超高分辨率质谱 (FT-ICR MS) 等方法进一步揭示了蒙脱石对浒苔微生物降解过程和碳留存效应的调控机制。

S47-O-11

基于 22 年现场观测数据的中国东南近海海表 pCO₂ 和海气 CO₂ 通量研究

卜德志¹, 郭香会^{1*}, 翟惟东², 许懿¹, 李岩¹, 戴民汉¹

1 厦门大学, 海洋与地球学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

* xhguo@xmu.edu.cn

边缘海的海气 CO₂ 通量是全球海洋碳循环的重要组成部分。长期现场观测对于科学评估复杂多变的边缘海海气 CO₂ 通量至关重要。中国东南近海具有显著的 CO₂ 汇潜力, 但该区域海气 CO₂ 通量的研究仍然有限。本研究整合了 2001 至 2022 年间 51 个航次获取的海表 CO₂ 分压 (pCO₂) 及辅助参数数据, 估算了中国东南近海的海气 CO₂ 通量。结果表明, 海表 pCO₂ 呈现显著的时空差异: 冬季海表 pCO₂ 最低 (349±20 μatm), 且季节内变化幅度最小, 主要受垂直混合过程调控; 春季 pCO₂ 升高 (357±21 μatm), 温度成为主导因子; 夏季受沿岸上升流、河流输入及生物活动影响, 区域性差异显著 (371±35 μatm); 秋季海表 pCO₂ 达到全年峰值 (392±27 μatm)。海气 CO₂ 通量亦表现出强烈的季节性变化: 冬、春、夏、秋四个季节海气 CO₂ 通量分别为 -9.4±5.5 mmol m⁻² d⁻¹、-3.7±3.9 mmol m⁻² d⁻¹、-0.6±2.8 mmol m⁻² d⁻¹ 和 3.8±7.0 mmol m⁻² d⁻¹。冬季整个研究区域表现为中等强度碳汇, 高风速增强了该季节的 CO₂ 吸收; 春季厦门湾附近碳汇强度减弱, 甚至转变为碳源; 夏季空间差异

较大,台湾海峡大部分区域表现为碳源,而其南北两侧为弱汇,海气 CO_2 通量整体接近平衡;秋季空间差异进一步增加,且表现为 CO_2 弱源。研究区域海气 CO_2 通量年均值为 $-2.6 \pm 6.8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,表明该海域为中等强度的年际 CO_2 汇。从年际变化趋势上,海表 $p\text{CO}_2$ 升高导致的通量增加与大气 $p\text{CO}_2$ 上升引起的通量减少近乎抵消,年际通量没有明显变化。未来需继续通过现场观测与模拟研究,进一步阐明边缘海通量变化的调控机制及演变趋势。

S47-O-12

有机碳同位素分析前酸漂洗法的适宜盐酸浓度与酸化时间及其对有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 和总有机碳的影响:以人工样品 B2151—碳酸钙与 ODP 1172 站位深海沉积物为例

陈健^{1*}, 赵松¹, 张一歌¹

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* chenjian1@gig.ac.cn

在古气候、古环境和油气勘探领域,有机碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$) 和总有机碳 (TOC) 是两个常用的有机地球化学指标。在分析 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 和 TOC 前,必须去除沉积物或沉积岩中的碳酸盐。酸漂洗法是去除碳酸盐的常规方法之一。该方法的关键因素(盐酸浓度和酸化时间)可能会影响 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 和 TOC 的准确结果。目前,尚未有研究明确合适的盐酸浓度和酸化时间,且它们对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 和 TOC 的具体影响仍不明确。

本研究旨在确定对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 和 TOC 影响最小的盐酸浓度和酸化时间。研究对象为人工样品、深海沉积样品及它们酸化后

的样品。人工样品是通过将标样 B2151 (Elemental Microanalysis) 与合成碳酸钙(阿拉丁)充分混合制成的。沉积物样品来自塔斯曼海 ODP 1172 站位。我们使用不同浓度盐酸(1、2、4、6 mol/L)和酸化时间(0、1、12、24 小时)处理了两个样品,每个样品生成 16 个酸化样品。对酸化后的样品进行三次超纯水漂洗和离心,然后使用冻干机干燥。使用 Thermo EA-Delta V 同位素比质谱仪和元素分析仪对原样和酸化样品分别进行 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 与 TOC 分析,也对其进行扫描电镜分析。

结果显示,人工样品中有机质的主要来源为高等植物纤维素,碳酸盐的主要来源为合成碳酸钙;沉积物样品中,有机质主要由硅藻产生,碳酸盐则由颗石藻产生。此外,在任意 1–6 mol/L 盐酸浓度、0–24 小时处理条件下,碳酸盐均可被完全去除。大多数酸化样品的 TOC 值比去碳酸盐后的理论 TOC 值至少低 50%。经 1–6 mol/L 盐酸、0–24 小时酸化后的人工样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 值比其真值低 0.3‰–0.4‰。在 1–4 mol/L 盐酸、0–12 小时的处理条件下,人工样品和沉积样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 基本保持稳定且一致。但这些值略高于 6 mol/L 盐酸、24 小时处理的样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 。本研究表明,在进行高碳酸盐样品的酸漂洗和后续 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 分析时,低到中等浓度的盐酸(1–4 mol/L)和短至中等处理时间(0–12 小时)是较为合适的条件,可有效去除碳酸盐并对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 的干扰较小。然而,无论采用何种盐酸浓度和酸化时间,酸漂洗后的 TOC 分析均能显著低估沉积物中有机碳含量。

S47-P-1

浙闽泥质区水体输运特征及其生态效应研究:季风模式与台风影响

李云海^{1*}, 林云鹏¹, 丛帅²

1 自然资源部第三海洋研究所
2 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* liyunhai@tio.org.cn

台风过程对陆架物质输运具有不可忽视的“事件性”影响, 其研究对准确认识海洋沉积动力过程及其生态环境效应有重要的意义。本研究通过现场观测资料结合数值模式揭示了浙闽沿岸水体输运的季节性特征及其在不同台风影响下的复杂变化。在季风作用下, 浙闽近岸水体的沿岸向输运呈现夏北冬南的季节性反转模式, 离岸向输运主要发生在夏季(最大流速 $>50\text{ cm/s}$), 且垂向上存在表层离岸-底层向岸的强分层结构, 该模式可能通过穿刺锋、超级离岸流等机制共同驱动泥质区沉积物在夏季进行离岸输运。台风的风场会显著破坏夏季北向的浙闽沿岸流并驱动浙闽近岸水体的南向输运, 但该过程具有显著的路径效应: 浙闽近岸北部过境的台风(如“灿鸿”)影响范围显著覆盖到长江口, 因此不仅引发了类似冬季浙闽沿岸流的水体强力南向输运(流速 $>60\text{ cm/s}$), 更是驱动了长江冲淡水大规模的南向输运, 显著改变夏季浙闽近岸的水体理化性质, 引发了显著的生态效应从而增加了沉积物中有机碳的沉降与埋藏; 相比之下, 浙闽近岸南部过境的台风(如“莫拉克”、“苏迪拉”等)虽引发研究区产生了短暂的水体南向输运, 却因台风路径较远未影响到长江口, 且在风向转变后迅速恢复为北向输运, 因此对浙闽近岸水体南向输运的影响较小, 效果并不显著, 其造成生态影响也远远弱于台风“灿鸿”。台风影响下浙闽泥质区水体输运的变化会进一步对泥质区沉积物进行搬运改造, 并且其搬运改造过程与机制显著异于正常季风影响下的季节模式。本研究的发现体现了台风过程对浙闽泥质区沉积动力格局的重塑潜力, 其作用机制与季风驱动机制之间存在着本质差异, 这一过程可能会对浙闽泥质区沉积物有机碳的埋藏与循环产生不可忽视的效应。

S47-P-2S

热带中小型山溪性河口及邻近海域沉积物输运与归宿: 以马来西亚雪兰莪河口为例

梁灏深¹, 王爱军^{1*}, Bong Chui Wei², 陶舒琴¹, 叶翔¹

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋与海岸地质研究室
2 马来亚大学, 海洋与地球科学研究所
* wangaijun@tio.org.cn

中小型山溪性河流在陆源物质向海搬运过程中发挥着十分重要的作用, 尤其是热带地区中小型河流更易受人类活动影响, 但目前关于热带中小型山溪性河流入海泥沙在河口及临近海域的输运过程和最终归宿的认识还不够清晰。本文以马来西亚雪兰莪河口为研究区域, 通过现场观测与计算、样品采集与分析, 系统研究了热带中小型山溪性河口及临近海域沉积物输运过程及其最终归宿。研究表明, 雪兰莪河口及临近海域水体环境参数具有显著的时空变化特征, 干季期间波浪作用强, 海底沉积物再悬浮强度大, 整个水柱垂向混合显著, 马六甲外海水沿巴生水道向巴生海峡入侵显著, 使得河流冲淡水和悬浮泥沙被圈闭在河口及近岸地区, 悬浮泥沙在涨、落潮流的作用下沿岸向西北和东南方向输运。湿季期间波浪作用弱, 径流强, 水体悬沙主要来源于河流输入, 河口及临近海域水体层化显著, 冲淡水可扩散至外海地区, 但悬泥沙则主要堆积的河口附近海域, 在径流和潮流的作用下向东北、西南、西北方向输运。无论是干季还是湿季, 河口地区近底层悬沙都主要净向西北方向输运。综上所述, 雪兰莪河流携带的泥沙在进入河口及近岸海域后, 在波浪、潮流、径流、外海水入侵等动力因素的综合影响下, 主要发生沿岸输运并堆积在河口及近岸海域, 其中三分之一的泥沙参与河口两

侧潮滩建造,从而使得河口两侧发育大片潮滩。

S47-P-3

末次冰消期北太平洋冻土退化与有机质迁移的木质素酚类记录

曹梦莉^{1*}, Jens Hefter², Hendrik Grotheer^{2,4}, Ralf Tiedemann^{2,3}, Lester Lembke-Jene², Gesine Mollenhauer^{2,3,4*}

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 海洋元素与同位素平台

2 阿尔弗雷德-魏格纳研究所

3 不来梅大学, 地球科学学院

4 不来梅大学, MARUM-海洋环境科学中心

* caomengli@sml-zhuhai.cn

* gesine.mollenhauer@awi.de

人为气候变化对北极温度产生深远影响。北极变暖与海平面变化将导致大范围冻土融化及有机质迁移。通过研究末次冰消期升温事件的沉积记录,可以探究冻土迁移的发生条件及其伴随的陆地植被变化。分别注入鄂霍次克海与白令海的黑龙江与育空河,其流域在末次冰消期曾长期被冻土覆盖。至今,育空河大部分流域仍旧被冻土覆盖,而黑龙江流域内的冻土已经完全消失。本研究选取这两条河流入海口处的海洋沉积柱,采用适用于重建陆地高等植物的木质素酚类作为生物标志物,并与已发表的长链脂类生物标志物数据进对比。

我们发现,白令海沉积物中生物标志物的沉积速率(MAR)及湿地指标 3,5 Bd/V 与 Paq 在冰消初期(19-14.6 ka BP)开始上升,而同期鄂霍次克海的木质素 MAR 未见明显变化。我们在两个沉积柱中均观察到,在温暖的波令-阿勒罗德期(Bølling-Allerød, 12.9-14.6 ka BP)、前北方期(Pre-Boreal, 9-11.5 ka BP)以及新仙女木降温事件(Younger Dryas, 11.5-12.9 ka BP)期间,生物标志物沉积速率、湿地指数和木质素

降解指标均出现显著峰值。但鄂霍次克海的木质素参数 S/V 与 C/V 比值在前北方期之前未发生改变。两个流域内的被子植物贡献率与湿地范围均在前北方期达到峰值,之后逐渐降低并趋于稳定。黑龙江流域的冻土融化始于前北方期,而冰消初期白令海海冰退缩与海表温度上升可能刺激了育空河流域冻土的早期融化。

在现代北极河流系统中,木质素与正构烷烃通常分别通过地表径流和深层沉积侵蚀两种不同途径入海。但本研究发现两类生物标志物的沉积速率高度一致,表明在海平面快速上升及陆架被淹没的条件下,陆源生物标志物可能通过相同途径输送。这一发现证实北极陆源有机质的运移归宿存在时空尺度上的差异性。

S47-P-4S

南黄海冷水团跃层多时空尺度演化及其影响因素分析

倪建欣¹, 刘世东^{1*}, 李广雪¹, 乔璐璐¹, 张诗睿¹

1 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

* liushidong@ouc.edu.cn

南黄海冷水团是黄海夏季层化水体中的典型低温高盐现象,其跃层结构的时空演变对区域海洋环境及生态系统具有重要调控作用。本研究基于 GOCI 卫星遥感、现场观测与 ERA5、MODIS、ESACCI-L4 海表温度再分析数据,系统揭示了南黄海冷水团温盐跃层的多时空尺度演化特征及其环境效应。南黄海跃层有着明显的季节性变化:春季,太阳辐射增强,海水表层升温,跃层生成并逐渐增强;夏季,跃层强度达到顶峰,阻碍水体垂直交换;秋季,太阳辐射减弱,表层海水降温,跃层强度衰退、深度变浅;冬季,跃层基本消失,水体垂直混合均匀。其生命周期受太阳辐射与风应力共同调控。年际变化显示,冷水团核心区的跃层强度呈显著增强趋势,

可能与黄海暖流入侵减弱及区域风场年际振荡密切相关。空间分布上,南黄海冷水团跃层呈现出明显的区域差异,从冷水团中心向外侧强度减弱、深度变浅,并且空间分布也会由于季节的变化而随之改变。本研究能够深化理解陆架海层化过程及其环境调控作用,为应对区域生态系统响应气候变化提供科学依据。

S47-P-5S

浙闽沿岸温盐锋面的多时间尺度变化与影响机制分析及其悬浮体输运响应

张诗睿¹, 刘世东^{1*}, 乔璐璐¹, 李广雪¹, 倪建欣¹

¹ 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* liushidong@ouc.edu.cn

浙闽沿岸锋面调控水团混合和物质输运,是影响陆源物质向海输送的关键动力系统。本研究基于浙闽沿岸 2002-2025 年多源观测数据,综合运用现场水文测量、悬沙分析和 SST 再分析资料,采用阈值法定量识别锋面结构,系统探究了该区域温盐锋面的多尺度特征及其动力机制。浙闽沿岸锋温盐面的生成与维持主要受温度梯度场空间分布的控制。锋面核心区温度梯度存在显著季节差异,冬季梯度值明显高于夏季,这与冬季锋面强度增强的特征一致。在冬季强锋面事件期间,锋面核心区 SST 梯度值显著高于背景场。温度梯度的时空变化与风场强迫密切相关:北风增强时,离岸 Ekman 输运加强,浙闽沿岸流向东南扩展,温度梯度场向海侧迁移,锋面得以维持,同时锋面核心区与黑潮水的混合效率提高;而北风减弱时,温度梯度减小,锋面退化,陆源物质滞留时间延长。本研究提出“风场-温度梯度-锋面”协同作用模式,阐明了风场通过调控温度梯度影响锋面空间形态及物质输运路径的机制。通过长序

列统计揭示了风场与温度梯度的季节—年际耦合关系及其对锋面演变的驱动作用,为理解大陆边缘陆架海锋面动力学提供了新的视角,未来研究可进一步探讨气候变暖背景下锋面系统对风场异常的响应敏感性。本成果在海洋碳汇评估及气候变化应对等领域具有潜在应用价值,尤其可为大陆架高沉积速率区的碳输运与埋藏过程研究提供机制支撑。

S47-P-6S

长江口沉积物有机碳垂直分布模式及其控制机理

张巧雯¹, 范代读^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* ddfan@tongji.edu.cn

陆地与海洋碳库的平衡关系是控制年至百年尺度大气二氧化碳浓度和全球气候变化的关键。世界上最大的 10 条河流贡献了全球河流 40%入海悬沙量和入海淡水量,大河控制下的陆架边缘海的高沉积速率使其成为海洋最重要的碳汇中心。然而大河三角洲的高沉积速率同时对应着较低的有机碳累积效率使其被称为有机碳的“焚烧炉”。长江-东海内陆架沉积系统是典型的大河河口;其径流、潮流等的强烈相互作用以及沉积物与有机碳输入条件导致控制东海内陆架沉积有机碳埋藏与再矿化的因素十分复杂。目前对长江口-东海内陆架沉积物的有机碳垂直分布模式的探讨多仅聚焦于年龄框架的搭建及洪水等事件层的识别或早期成岩作用的影响,对再矿化对沉积物柱样有机碳整体的分布模式的影响关注较少。本研究基于机器学习方法对长江口沉积物有机碳垂直分布模式进行总结并通过粒度、放射性同位素、木质素参数、总有机碳参数等数据对控制其形成的机理进行探讨。长江口沉积物有机碳垂直分布呈现分层分布的模式;单个有机碳分布单元由上至下呈现逐渐减少的分布模式。不同

有机碳分布单元具有相似的结构且由沉积物水界面向下呈现逐步减少的现象。有机碳垂直分层分布的形成或与洪水或台风事件、人类活动等相关。

S47-P-7S

基于多源遥感观测的长江口外锋面时空演变耦合机制研究

陈嘉洲^{1*}, 范代读¹, 杜云飞¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* 1041657739@qq.com

海洋锋是高能的中尺度物理过程, 对海洋生态、营养物质和污染物等的扩散和分布有显著影响。本研究以长江口及其邻近海域为核心区域, 聚焦气候变化驱动下物理锋面与生物锋面长期演变及其耦合机制的系统解析。前期研究系统揭示了长江口叶绿素 a 浓度的年际变化、季节性振荡和空间分布特征。分析表明, 叶绿素 a 浓度变化呈现明显的“高值期—低谷期—回升期”三阶段演变, 且变化受气候模态、人类活动和水动力过程的复合影响。PDO 通过调控风场与径流量变化, 对叶绿素 a 的长期趋势具有显著的系统性驱动作用, 而 ENSO 事件则主要引发短期极端波动。在此基础上, 本研究进一步扩展了空间尺度与机制深度, 使用多源卫星观测、再分析气候数据与高分辨率数值模式, 识别长江口外海域主要物理锋面的位置变化、强度演变及其季节性、年际乃至年代际振荡特征; 并且结合叶绿素 a 空间分布, 探讨生物锋面形成与迁移过程中的物理-生态交互机制。通过构建多尺度物理-生态耦合框架, 可以量化气候变化及极端事件对长江口外海域生态系统结构与功能的潜在冲击, 揭示物理动力过程与生物响应之间的联系, 为未来气候胁迫下的区域生态保护、资源管理与可持续利用提供理论基础和决策支持。

S47-P-8S

东海陆架砂泥过渡带早期成岩作用中铁形态特征差异及演化

朱雨萌¹, 范代读^{1*}, 苏建锋¹, 吴伊婧¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* ddfan@tongji.edu.cn

铁的早期成岩作用是陆架海洋沉积物中生物地球化学循环的关键环节, 然而不同沉积环境下铁早期成岩表达的差异仍不明确。本研究对东海陆架砂泥过渡带处 EH2-23A、EH2-23B 两根柱样开展沉积物粒度、有机碳分析、²¹⁰Pb 和 ¹³⁷Cs 测年、孔隙水地球化学参数分析等实验, 并采用化学序列提取法对 Fe_T (总铁) 及 Fe_{carb+AVS} (碳酸盐结合态及酸挥发性硫化物铁)、Fe_{ox1} (弱晶型铁氧化物)、Fe_{ox2} (晶型铁氧化物)、Fe_{mag} (磁铁矿)、Fe_{PRS} (弱活性铁)、Fe_U (非活性铁) 六种铁形态含量进行测试。结果表明, 砂质沉积物沉积年龄较老, 有机质主要为难降解的残留有机质, 早期成岩作用已进行的较为彻底。泥质沉积物年龄在百年尺度内, 有机质则主要为现代陆源有机质及海源有机质的混合, 早期成岩作用缓慢进行, 处于东海陆架较弱水平。泥质沉积物中不同铁形态含量占比随深度变化较小, 铁的早期成岩作用进行程度较为一致, 而在砂质沉积物中由上至下 Fe_{HR} (活性铁, Fe_{HR}=Fe_{carb+AVS}+Fe_{ox1}+Fe_{ox2}+Fe_{mag}+Fe_{py}) 减少, Fe_{PRS} 和 Fe_U 增加, 铁的早期成岩作用进行程度逐渐增大, Fe_{HR} 与 TOC 呈正相关, 推测 Fe_{HR} 对 OC 的保护作用相较于泥质沉积物更加显著。

S47-P-9S

沉积物中矿物对有机质保护作用 的微观机制可视化

喻天悦¹, 范代读^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* ddfan@tongji.edu.cn

当前关于沉积物中矿物对有机质保护作用的微观机制研究, 正逐步从宏观吸附与分子模拟拓展到纳米尺度原位观测。已有研究表明, 粘土矿物可通过层间吸附、内球面配位、团聚体包埋等机制, 实现对有机质的多重保护, 尤其在海洋与河口沉积环境中对碳长期稳定性具有重要作用。目前研究存在两个不足: 一是缺乏对不同类型有机质在矿物微观结构中动态行为特征的直接证据, 二是很少有实验能在自然还原条件下追踪多类有机质的分布与迁移过程。本研究基于微流控平台, 构建模拟还原海水环境的透明矿物胶体床, 可视化纳米尺度下沉积物中矿物对有机质的保护机制, 明确不同类型有机质在矿物层间、表面及团聚体内的结合层级与稳定性差异, 为揭示河口沉积环境中粘土矿物主导的碳稳定机制提供纳米尺度的实验证据。

S47-P-10

大亚湾过去 1200 年有机碳埋藏变化及其影响因素

黄超^{1*}, 黄江¹

1 广东海洋大学, 海洋与气象学院

* huangc@gdou.edu.cn

海湾作为近海海洋的重要组成部分, 是链接陆地和海洋的重要界面, 陆源物质输入和生源物质沉降使得这一区域成为有机碳的主要埋藏区域。本研究选取大亚湾中部沉积岩芯, 在可靠深度-年代模型基础上, 通过沉积物质量累积速率和总有机碳含量计算了大亚湾过去 1200 年有机碳埋藏

速率变化, 利用有机碳含量及相关地球化学参数指示大亚湾有机碳来源变化, 并结合大亚湾气候环境与人类活动历史记录探究大亚湾过去 1200 年有机碳埋藏的影响因素。

S48-O-1

亚洲粉尘营养元素演化对太平洋生态系统和全球变化的影响

咎金波^{1*}, 方小敏¹, B. A. Maher², 康健¹, 胡喆¹

1 中国科学院青藏高原研究所

2 兰卡斯特大学

* zanjb@itpcas.ac.cn

粉尘循环是地球系统表层岩石圈、水圈、冰冻圈、大气圈和生物圈之间相互作用的重要纽带。然而, 地质时期亚洲内陆粉尘活动和 Fe 元素等营养物质组成的变化对地球生态系统以及碳循环影响的认识仍然匮乏, 制约了对亚洲粉尘释放在全球生物地球化学循环和气候环境变化中重要角色的理解。

通过对世界最厚的 671m 西昆仑山黄土粉尘地层年代学、地球化学以及矿物学组成的分析, 揭示亚洲中纬度干旱区的粉尘释放和营养元素浓度, 自 360 万年以来呈现出阶段性增加趋势, 对北太平洋和南海生物地球化学循环产生重要影响。尤其在约 80 万年中更新世转型期, 亚洲内陆干旱区输送至北太平洋的二价铁通量增加了约 120%, 促进了北太平洋生物繁盛, 改变了浮游植物种群结构, 消耗了大量 CO₂, 造成了全球气候进一步变冷。中更新世气候转型期, 全球变冷一方面导致干旱化加剧和西风环流显著增强, 另一方面还促进了青藏高原北部山地基岩冰川侵蚀和寒冻风化作用, 产生了大量新鲜碎屑物质和含二价铁硅酸盐矿物, 为粉尘释放和黄土广泛

发育提供了充足的物源，是驱动亚洲内陆粉尘活动和营养物质演化的主要因素。

此外，对应于中更新世风沙活动增强、植被和哺乳动物种类的巨大变化，欧亚大陆生态环境和地貌景观发生显著变迁，导致食物资源和水源充足的古人类栖息地的分布发生急剧变化，促使古人类的空间分布变得更为广泛，并且发展出新的石器技术。

S48-O-2

北太平洋多圈层气候系统与碳循环

仲义^{1*}

1 南方科技大学，海洋高等研究院
* zhongy@sustech.edu.cn

北太平洋多圈层气候系统及其海洋碳循环机制是地学界的前沿科学问题。然而精准构建该区长时间尺度沉积物的年代学框架还存在难题，传统古海洋学指标也具有多解性，从而导致对海-陆耦合与高低纬度驱动机制认识不清。针对上述科学问题，申请人通过在研究方法和研究思路的创新，厘清了北太平洋地区沉积物的复杂磁性机制，揭示出海-陆耦合过程是北极冰盖演化与全球碳循环的重要驱动因素，确定了北太平洋高-低纬度水汽传输动力学机制，为北太平洋多时空碳循环控制机制提供了新思路。基于前期的北太平洋研究，未来拟进一步拓展到北极地区，针对亚北极太平洋地区源-汇输入、海洋环流动力学及其生物地球化学响应机制，从更大的时空尺度上认识北太平洋多圈层气候系统与全球气候系统的空间相关性、动态耦合性，为全球变暖背景下的气候预测、气候驱动机制的研究提供理论依据。

S48-O-3

热解碳记录的 5 万年前人类大规模用火开始

姜寿恕¹，赵德博^{1*}

1 中国科学院海洋研究所
* zhaodebo@qdio.ac.cn

火活动是人类参与碳循环的一个关键环节。然而，人类大规模用火的确切时间仍然不确定。在这里，我们研究了过去 30 万年以来，东亚区域的热解碳记录的火活动历史。这一记录表明，自大约 5 万年前以来，火活动强度显著增强，并与季风气候脱钩，这种模式与欧洲、东南亚和巴布亚新几内亚-澳大利亚的火活动历史是一致的。通过整合大量的考古数据，我们认为，现代人类的人口增长和全球扩张加剧，再加上寒冷冰期人类用火需求不断上升，导致从 5 万年前开始，火活动强度大幅提升。这表明，人类通过火活动对碳循环造成的可观测影响可能早于末次冰期。

S48-O-4

季风引起的近惯性内波主导南海南部沉积物向深层的输入

赵玉龙^{1*}，刘志飞¹，林宝治¹，张晓栋¹，李嘉盈¹，曹君元¹

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室
* yeoloon@tongji.edu.cn

由于地处欧亚大陆与太平洋之间，南海上层的海洋动力过程广泛受到东亚季风活动的影响，在南海南部形成夏季顺时针、夏季逆时针的表层环流格局。对南海南部深层颗粒物的研究发现，在冬季风强盛时，颗粒有机碳的通量显著增加。通常认为，深海颗粒有机碳通量的增加与冬季风引起的表层生产力提升密切相关。然而，表层

颗粒物快速向深层输入的具体机制仍不明确。本研究通过对布设在南海南部深水锚系所获海流剖面数据开展分析,发现冬季季风产生的风应力可在海洋中激发近惯性内波。根据旋转谱分析和近惯性海流相位迁移方向,发现近惯性内波主要向下传播,并能影响到水深 1500~2000 m 的水层。与通常由热带气旋或风暴引起的短时性近惯性内波相比,季风引发的近惯性内波持续时间可达数月,但其能量较弱,流速变异仅为 1~2 cm/s。近惯性内波的发生与深层颗粒物总通量以及颗粒碳通量之间存在显著的耦合关系。因此,我们认为季风引起的近惯性内波不仅是能量和动量向深水传播的重要动力机制,也是南海南部海洋表层颗粒物快速向深海输入的主要机制。该发现为海洋颗粒有机碳向深海输入提供了新的动力学解释,对海洋碳循环的研究具有重要科学意义。

S48-O-5

极地扩张降水控制的北极碳输入增强

夏文月¹, 仲义^{1*}, 刘青松^{1*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

* zhongy@sustech.edu.cn

* qslu@sustech.edu.cn

全球碳循环受人类活动影响并与气候和生物地球化学过程耦合,其中北极永久冻土层储存巨量有机碳。受北极放大效应影响,北极地区的陆源输入在中布容事件(MBE, ~430 ka)之后明显增多。受限于极地沉积物的分辨率较低及定年困难等因素,泛北极地区的研究对于揭示长时间尺度上碳埋藏的驱动机制至关重要。在此,我们基于白令海 U1343 岩芯磁学指标重建了陆架边缘区 80 万年的陆源输入。研究结果表明,MBE 后北美陆源物质向白令海和北冰洋的输送同步增强,揭示了北极系统对气候变化的整体敏感性及跨区域物质输

送的紧密耦合机制。MBE 之后亚热带环流圈的极向扩张增强了经向水汽/热量传输,可能是导致高纬度冻土融化的主要原因。该发现为理解北极碳埋藏对气候反馈的长期规律提供了新的约束。

S48-O-6

横向垂向一体化碳颗粒输运时序矢量监测装备的研发与应用

王凤浩¹, 费梓航², 郭磊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

2 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

* 201894900036@sdu.edu.cn

海洋碳循环的监测是守护地球生态平衡的重要科学支撑,而入海碳颗粒的输运机制对于揭示陆架海区碳颗粒“源汇”过程及其“碳汇效应”都具有重要意义。传统的海洋碳监测装备多为单一垂向或横向式,且无法做到连续观测、实现长期时序取样,同时观测结果并不精确。本研究研发了一套集含碳颗粒物捕获与碳通量原位长期监测一体化的装备,可以实现颗粒物输运的全过程精准还原。该装备底部为坐底式观测平台,基座底部设计有贯入式插针,基座上水平 4 个方向均设计了等深梯度颗粒捕获管,捕获管前端管口均安装有浊度计,基座中央安装有控制舱及海流计,其上方安装了垂向斜出式捕获管,进而实现对海底多方向输运来源颗粒物的捕获与监测。同时本研究创新性地捕获管内部设计了定时弹片结构,可依据时序对捕获管内柱状样品进行精准分割,结合本研究提出的输运通量数据解析方法,可精准获取各个观测站位不同深度、不同方向、不同时间段的碳颗粒输运通量随时间变化规律。本研究通过获得的原位监测数据与原位获取样品的分析测试结果,可实现对海洋目标环境下多向碳运移交交互信息时序监测,还

原有机碳横向输运过程，为海洋横向碳汇规律探究提供方法。

S48-P-1S

降水增强海平面对第四纪硅酸盐化学风化及其碳汇效应的控制

杨逸飞^{1,3}，徐兆凯^{1,2*}，赵德博^{1*}，万世明^{1,2}

1 中国科学院海洋研究所，海洋动力环境观测与预报重点实验室和海洋地质与环境重点实验室

2 青岛海洋科技中心，海洋地质实验室

3 中国科学院大学，海洋学院

* zhaokaixu@qdio.ac.cn

* zhaodebo@qdio.ac.cn

印度-太平洋交汇区（印太交汇区）的硅酸盐化学风化是大气二氧化碳（CO₂）的一个中的汇。然而，在冰期-间冰期循环中印太交汇区的硅酸盐化学风化能够消耗多少大气 CO₂ 仍不明确。本研究在 GEOCLIM-dynsoil-steady-state-master 模型基础上，开发了基于 MATLAB 的改进模型，并结合 HadCM 3 数据集对 120 ka 以来的印太交汇区硅酸盐化学风化进行了系统的数值模拟研究。为了在更长时间尺度上进行预测以及提高预测精度和稳定性，我们构建了多种机器学习模型：包括生成式对抗网络（GANs）、长短时记忆网络（LSTM）与门控循环单元（GRU）结合的深度学习架构，以及传统支持向量机算法和集成学习方法（随机森林、Bagging 和 Boosting）。通过多模型对比验证，发现随机森林算法和 GANs-LSTM-GRU 神经网络具有最佳预测性能。基于上述研究框架，我们系统约束了过去 700 ka 以来印太交汇区的硅酸盐风化历史。结果表明，硅酸盐风化通量在冰期较高，可以达到~1.86×10¹² mol/yr，消耗了约 7 ppmv 的 CO₂。与间冰期相比，冰期期间大陆架的暴露导致硅酸盐风化通量增加了 33%。进一步的，极端降水进一步

放大了这一效应，使增幅达到 55%（约 9 ppmv）。这些结果突显了海平面变化和水文因素在热带陆架风化中的重要性。我们的研究为过去气候转变提供了关键见解，强调了印太交汇区在全球碳循环调控中的作用，并为未来气候变化的预测提供了约束条件。

S48-P-2S

基于 DPA 的南中国海北部沿岸海洋蓝碳调查研究——以大亚湾红树林为例

余启涛¹，金洱霖¹，白旻^{1*}，冯冬宁¹，李海乐¹，陈怡欣¹

1 惠州学院，地理与旅游学院

* baiyang@hzu.edu.cn

在全球气候变化背景下，海洋蓝碳生态系统对实现碳中和目标具有重要战略意义。本研究以南中国海北部沿岸大亚湾红树林为研究对象，针对当前海洋蓝碳研究面临的多源数据融合困难、监测精度不足及动态机制不明等科学问题，创新性地构建了基于深度挖掘（DeepSeek）人工智能、Python 编程语言与 ArcGIS Pro 地理信息系统的 DPA 技术框架。研究首次实现了 GEDI 激光雷达（60 个样本数据）、Sentinel-2 多光谱影像（10m 分辨率）与无人机 LiDAR-高光谱数据（0.1m 分辨率）的三维协同观测，通过 PyTorch 框架完成多模态特征融合，显著提升了生物量反演模型的精度。研究揭示大亚湾红树林年均碳储量达（0.0042±0.0003）Tg C，为区域碳汇评估提供了重要基准。基于 DeepSeek 深度学习平台与 ArcGIS Pro 空间分析模块开发的“数据驱动-机理耦合”预测系统，实现了碳储量时空动态的高精度可视化与决策支持。研究结果表明，DPA 技术框架提升了红树林碳储量估算的总体精度，有效解决了多源异构数据融合的技术难题。本研

究不仅为大亚湾红树林保护与区域碳中和战略提供了科学依据，其创新的技术方法体系对全球滨海湿地蓝碳研究具有重要参考价值。研究成果可推广应用于其他海洋蓝碳生态系统监测，推动我国在海洋碳汇评估领域的标准化与智能化发展，为全球气候变化治理贡献中国方案。

S48-P-3

中新世暖期亚洲内陆关键区植被气候：联结海陆变化的潜在窗口

王建¹，周新郢^{1,2}，李小明^{1,2*}

1 中国科学院，古脊椎动物与古人类研究所

2 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* lixiaomiao@ivpp.ac.cn

中新世气候适宜期(MCO, 17-14 Ma)是发生在新生代长期变冷趋势下的重要暖期，期间海陆耦合系统与海洋碳循环发生重大变化，被视为当前排放情景下气候预测的理想相似期。然而，由于高质量陆相记录的稀缺，增温期间内陆关键区生态植被的响应机制及其与海洋变化的可能联系仍存诸多谜题。本研究以半干旱区的宁夏同心盆地和干旱区的新疆准噶尔盆地为研究对象，通过磁性地层学和生物地层学构建可靠年代框架，基于孢粉、总有机碳同位素、碳酸盐碳氧同位素、粒度、磁化率和哺乳动物化石等多种指标证据，重建了两个区域跨越中新世暖期的植被-气候历史。在此基础上进行时间序列分析和海-陆记录对比，初步探讨了区域植被气候变化的驱动机制及其与海洋变化的潜在联系。

位于东亚季风边缘区的同心盆地黄家水剖面研究获得如下新认识：(1)花粉、碳氧同位素及磁化率数据显示区域植被-气候经历两阶段演变，MCO前期(17-16 Ma)为暖干气候下稳定的干旱草地，MCO后期(16-14 Ma)为多次林地和草地环境的快速

交替；(2)同心盆地的两阶段变化模式与秦安、庄浪等可靠年代的长序列记录较为一致，支持东亚季风对区域水文气候格局的主控；(3)谱峰及小波相干性分析显示，MCO后期季风边缘区的多次林地出现同时或稍滞后于海洋碳库多次 C_{max} 事件，~16 Ma 开始两者在 40 万年周期上相关，暗示其变化很可能存在耦合关系。而位于内陆干旱区的准噶尔盆地夺勒布勒津剖面研究显示，15.5–14.0 Ma 期间区域 C₄ 植被显著扩张，很可能与降水配置结构变化有关，表现为在有利于 C₄ 植物生长的气候背景下更高的季节性和更多的夏季降水。进一步的气候模拟、古植被数据集成及古气候证据对比，将 MCO 期间亚洲中部夏季降水模式的转变归结于印度季风增强引起的远程水文效应。

我们的初步研究表明，跨越 MCO 期间亚洲内陆关键区植被气候均经历重大阶段性转变，且不同地区的响应特征存在差异，表现为季风边缘区（半干旱）持续变暖背景下海洋因素对内陆植被气候调控更为显著，干旱区则因降水配置变化而发生生态转型。上述工作对理解暖期海-陆相互作用过程、探索古植被对过去高温高碳变化的响应等具有启示意义。

S48-P-4S

黄河调水调沙对渤海沉积物有机碳矿化及孔隙水溶质界面通量的影响

任建华¹，朱茂旭^{1*}

1 中国海洋大学，化学化工学院

* zhumaoyu@ouc.edu.cn

日趋频繁和强烈的人类活动正通过地表径流、大气沉降以及地下水渗流等多种过程深刻重塑全球近海的生物地球化学循环格局。黄河巨量的泥沙入海通量，尤其是在每年定期实施的调水调沙（Water-

Sediment Regulation, WSR) 期间, 显著影响渤海的物质输运及埋藏过程。尽管 WSR 短期高通量物质输入已被证实是控制河口物质输出的重要干预机制, 但该过程对渤海沉积物的物质组成与生物地球化学过程的影响尚不十分清楚。本研究在 WSR 前后两个时期采样, 系统评估了 WSR 引发的高通量物质输入对渤海沉积物有机碳矿化过程、孔隙水溶解无机碳 (DIC)、总碱度 (TA) 及营养盐 (DIN、DSi、DIP) 浓度及界面通量的动态影响。研究结果显示, WSR 通过增强活性有机碳及铁锰氧化物的输入, 促进了沉积物中有机碳的快速分解, 沉积物有机碳矿化速率由 WSR 前的 $4.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 增至 WSR 后的 $5.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。与此同时, 矿化路径分布也发生了显著改变: WSR 前, 有氧呼吸、硫酸盐还原与铁异化还原对有机碳矿化的贡献分别为 39%、20%和 27%; 而在 WSR 后则为 29%、18%与 39%, 表明 WSR 明显减弱了有氧呼吸过程、增强了铁异化还原过程。估算表明, WSR 明显提高了营养盐水体的扩散通量, 使 DIN、DSi 和 DIP 的扩散通量分别提高了 2.1 至 6.4 倍; TA 与 DIC 平均通量比 ($F_{\text{TA}}/F_{\text{DIC}}$) 由 WSR 前的 1.15 下降至 WSR 后的 0.96, 这意味着 WSR 可能会减弱渤海底层水酸缓冲能力, 进而加剧其季节性酸化趋势。

S48-P-5

海底洋流有机碳泵及其在气候调节中的潜在作用

殷绍如^{1*}, F. Javier Hernández-Molina², 范维佳¹, 李家彪¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

2 Andalusian Earth Sciences Institute, Marine Geosciences Division

* yinshaoru@163.com

海底洋流在深海沉积过程中的作用至关重要, 但其对全球尺度有机碳埋藏的贡献仍缺乏系统量化。本文研究表明, 全新世期间有机碳在底流沉积(漂积体)中的通量较高, 全球平均约为 0.09 克/平方厘米/千年。在多个具体沉积体区域, 该通量常常比周边区域及全球同等水深带高出 1 至 2 个数量级。这种高有机碳通量主要归因于沉积速率的显著增加。在过去约五千万年间, 所研究的底流漂积体区域的沉积速率总体呈上升趋势, 这一变化与大气 CO_2 浓度的下降及全球气候的持续降温相一致。本研究提出, 海底洋流碳泵功能的增强可能加速了大气和海洋中二氧化碳的去除, 从而在始新世热极末期之后的全球变冷过程中发挥了积极作用。

S48-P-6

南海北部冷泉区沉积物中铁结合有机碳赋存特征及其控制因素探究

吴杨¹, 梁前勇^{1*}, 柳华春², 王金鹏³, 肖曦¹, 董一飞¹, 郭斌斌¹, 倪鑫¹, 赵静¹

1 中国地调局广州海洋地质调查局, 天然气水合物工程技术中心

2 广州市疾病预防控制中心

3 生态环境部华南环境科学研究所, 水环境模拟与污染控制重点实验室

* tomlqy@163.com

铁结合有机碳 (Fe-OC) 被称作海洋有机碳 (OC) 的“生锈碳汇”, 在河口与近岸环境备受关注, 但其在深海沉积物中的环境行为尚不明晰。本研究着眼于南海琼东南盆地深海冷泉沉积物中 Fe-OC 的环境行为与保存机制, 着重探讨甲烷厌氧氧化 (AOM) 过程的影响。结果表明, Fe-OC 在总有机碳中的相对比例 ($f_{\text{Fe-OC}}$) 为 4.5%-40.0% (平均 $15.9\% \pm 8.1\%$)。在甲烷渗漏区的硫酸盐-甲烷过渡带 (SMTZ), $f_{\text{Fe-OC}}$ 值升高 9.5%, 显示铁氧化物存在对甲

烷衍生碳的保存,这在 Fe-OC 同位素特征 ($\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 $-26.2\pm 1.8\text{‰}$, 偏负) 上也有体现。此外,研究发现富含甲烷的沉积物中,总有机碳、Fe-OC 与碳酸氢盐-柠檬酸盐缓冲连二亚硫酸盐可提取铁 (BCD-Fe) 的比值是控制 Fe-OC 分布的主因;甲烷含量低的区域,BCD-Fe 和总有机碳作用更显著。这些发现为理解深海冷泉 Fe-OC 埋藏过程提供新视角,凸显 AOM 驱动的铁-碳耦合及对深海碳封存的重要性。

S48-P-7

晚中新世以来南海北部岩石有机碳氧化过程对台湾构造隆升的响应机制

张硕¹, 万世明^{1*}, 靳华龙¹

1 中国科学院海洋研究所

* wanshiming@ms.qdio.ac.cn

全球范围内,每年岩石有机碳氧化过程中 CO_2 的释放量为 $\sim 68^{+18}_{-6}\text{MtC}$,与硅酸盐化学风化及其之后的碳酸盐沉降(全球第一大碳汇)固碳量相当。因此,探究岩石有机碳氧化通量的变化规律和机制,对于完善全球碳收支模型、揭示地球系统对碳扰动的反馈机制、明确气候变化与碳循环的关系具有重要意义。目前,长时间尺度特别是构造时间尺度(百万年)上,岩石有机碳氧化通量的动态变化规律及控制机制目前还缺乏相关研究。开展相关研究工作,对于准确评估构造时间尺度上岩石有机碳氧化及埋藏通量如何影响全球碳收支,从而构建地质时间尺度碳循环模型、明确地球不同圈层之间的相互作用具有重要意义。台湾造山带于 6.5 Ma 开始隆起,是全球最年轻的山脉之一,具有构造运动活跃、地形陡峭、降水丰富、水系发达的特征,且广泛出露新生代海相地层,具有极高的碎屑沉积物和岩石有机碳入海通量,是开展岩石有机碳相关研究的理想场所。

由于研究材料及研究方法的限制,台湾构造隆升在岩石有机碳氧化及埋藏过程中发挥的作用尚不清楚。本研究以南海北部国际大洋钻探计划(IDOP)钻孔及其潜在源区的沉积物为研究材料,利用激光拉曼光谱厘定沉积物中岩石有机碳理化性质,明确南海北部岩石有机碳来源,并计算搬运及沉积过程中的氧化率。结果显示,在 3 Ma 以前,南海北部岩石有机碳主要来源于珠江,岩石有机碳的氧化率在 65%—75%。3 Ma 以来,南海北部的岩石有机碳主要来自台湾,其氧化率由 2.8 Ma 时的 61%逐步降低至 0.1 Ma 时的 24%。通过与古气候及构造演化历史的对比,我们认为台湾岩石有机碳在搬运-沉积过程中氧化逐渐降低的过程中,台湾构造隆升扮演着关键角色。构造隆升引起台湾地表剥蚀速率上升,使得台湾省岩石有机碳剥蚀-输运-埋藏过程加快,氧化程度降低,埋藏通量上升。本文采用的新方法——激光拉曼光谱测定沉积记录中岩石有机碳理化性质,利用统计学手段对岩石有机碳氧化和埋藏的相对比例进行计算,上述方法克服了传统方法的不足,将岩石有机碳氧化研究的时间尺度扩展至百万年,为今后的相关研究提供了新思路。

S48-P-8

斜率驱动晚中新世东亚夏季风千年尺度波动幅度

高鹏¹, 沈田田², 聂军胜^{1*}, 陈浩起², 佘同鑫², Alex Farnsworth^{3,4}, 金煜朋², 肖文交^{5*}

1 兰州大学,地质科学与矿产资源学院甘肃省西部矿产资源重点实验室

2 兰州大学,资源环境学院西部环境教育部重点实验室

3 School of Geographical Sciences, University of Bristol

4 中国科学院青藏高原研究所,青藏高原地球系统与资源环境全国重点实验室

5 中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆矿产资源研究中心

* jnie@lzu.edu.cn

近期研究发现晚第四纪东亚夏季风千年尺度波动幅度受北半球夏季太阳辐射、冰盖以及大气 CO₂ 的控制, 引起了东亚古季风轨道-千年跨时间尺度联系研究的热潮, 为东亚古季风研究注入了新活力。然而, 目前大气 CO₂ 浓度超过了 400 ppmV, 在高大气 CO₂ 浓度背景下, 东亚夏季风轨道-千年跨时间尺度的联系规律如何? 与晚第四纪时期相比的异同是什么? 这些问题的回答需要从高大气 CO₂ 浓度的地质历史时期生成高分辨率的东亚夏季风记录, 进而为理解未来气候变化提供科学参考。晚中新世大气 CO₂ 水平与现今相似, 对理解未来气候变化有借鉴意义, 是国际地学界关注的热点时期。过去针对该时期东亚夏季风的研究偏重利用黄土高原红粘土沉积, 揭示出晚中新世东亚夏季风显著增强。但在轨道和千年时间尺度上, 红粘土序列的沉积速率相对较低, 且沉积后风化作用强烈, 不利于高频周期信号的提取, 阻碍了人们对于晚中新世轨道-千年跨时间尺度联系规律的认识。青藏高原东北部尖扎盆地沉积了一套风成沉积物, 其沉积特征与秦安剖面红粘土类似, 但沉积速率更高, 约为 5 厘米/千年, 为我们开展上述研究提供了良好载体。在此背景下, 我们基于青藏高原东北部尖扎盆地的晚中新世风成沉积物, 利用环境磁学方法建立了该区域高分辨率 (~1-kyr) 的干湿变化记录。研究发现, 晚中新世东亚夏季风具有显著的 40 万年、10 万年和 2 万年周期, 支持低纬驱动季风变化的假设。千年尺度波动幅度主要受斜率及其相关周期控制, 这一模式与晚第四纪的岁差和偏心率驱动结果不同, 我们认为这种差异可能与晚中新世缺乏北半球永久性冰盖有关。在晚中新世, 高纬度地区的夏季平均太阳辐射变化通过调控海洋表层水的盐度和密度, 影响了大西洋经向翻转环流的强度, 进而驱动了东亚夏季风的千年尺度变化。该研究首次将东亚夏季风的千年尺度变化追溯至 800 万年前, 揭示了

轨道参数对千年尺度的气候变化具有跨尺度调控作用。研究结果为古气候模型的构建和未来季风变化的预测提供了新视角。

S49-O-1

机器学习重构的海表风场揭示热带印度洋增暖的驱动机制

王鑫^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境实验室

* wangxin@scsio.ac.cn

近七十年来热带印度洋增暖显著, 动力过程被认为是关键驱动因素。然而, 由于现有数据产品的不确定性, 热力过程的作用仍然存在争议。基于机器学习算法, 本研究实现了 ICOADS 数据和卫星数据的有效结合, 研发了一套 1950 年至 2022 年的月平均海表风场 (MLAWind) 和海气热通量数据集, 其水平分辨率为 1°×1°。基于卫星和浮标观测的评估表明, MLAWind 展现出较高的精度和稳健的泛化能力, 能够准确地描述海表风场的时空变化特征。不同于大多数再分析数据集, MLAWind 揭示自 1950 年以来热带印度洋海表风场呈现显著的减弱趋势, 且该趋势能由海平面高度和温跃层深度的变化侧面验证。由海表风场驱动的热通量变化是热带东印度洋增暖的重要驱动因素, 其贡献约占动力过程的 45%。本研究认为现有的再分析数据普遍低估了热力过程在热带印度洋增暖中的作用。

S49-O-2

全球变暖背景下海洋环境变化及其影响

成里京^{1*}

1 中国科学院大气物理研究所
* chenglj@mail.iap.ac.cn

海洋是地球气候系统中最重要的组分之一，塑造了全球气候格局。在全球变化背景下，海洋物理和生物地球化学状态也发生了系统性变化，给人类及海洋生态系统带来了较大的影响和风险。报告将介绍现代气候变化背景下海洋发生的主要观测变化，包括海洋温度、热含量、盐度、层结、环流、海平面等，并介绍主要的观测系统、测算方法及不确定性。同时，基于最新气候模型或地球系统模型模拟结果对未来变化进行预估。最后，将简要探讨上述环境变化对海洋碳汇的影响。

S49-O-3

海洋负排放科学数据平台建设进展及思考

张斌^{1*}，成里京³，王彦俊¹，窦方坤¹，苗迪¹，王凡²

1 中国科学院海洋研究所，海洋大数据中心
2 中国科学院海洋研究所
3 中国科学院大气物理研究所
* zhangbin@qdio.ac.cn

作为 ONCE 大科学计划的组成部分，海洋负排放大数据平台旨在构建 ONCE 海洋科学数据资源体系；以人工智能、大数据、可视化等新一代信息技术为手段，开展海洋负排放大数据的深度挖掘和产品研制，利用数据提升对海洋负排放过程的认知，支撑海洋负排放策略实施，打造成为开放共享的全球海洋负排放数据与知识网络中心。经过一年的建设，项目组初步构建了海洋负排放数据管理服务平台 V1.0，实现在线化、流程化的数据汇交、数据管理与数据共享。打通数据获取、处理、产品研制链路，形成一体化的海洋负排放数据产品研制技术体系；研制第一版本的海洋溶解氧、 $p\text{CO}_2$ 以及 pH 格点数据产品，b 并面向全球发布并公开共享。本报告将向

与会专家学者介绍数据平台建设进展，并围绕建设过程中存在的问题进行交流讨论。

S49-O-4

FIO-ESM 地球系统模式及其全球碳循环模拟

鲍颖^{1*}，宋振亚¹，乔方利¹，宋亚娟¹，舒启¹，杨晓丹¹

1 自然资源部第一海洋研究所
* baoying@fio.org.cn

自然资源部第一海洋研究所地球系统模式 FIO-ESM 是首个包含海浪的地球系统模式，由物理气候模式和全球碳循环模式组成。FIO-ESM v2.0 物理气候模式包含了海浪和 SST 日变化等小尺度过程，显著提高了对 SST、ENSO 等关键气候现象的模拟能力。其全球碳循环模式包含 NPZD 型海洋生态碳循环模型、考虑碳氮相互作用的陆地碳循环模型以及大气 CO_2 传输模型，并通过化石燃料和土地利用变化的人为碳排放驱动全球碳循环模式，实现了碳循环与气候的相互作用。在物理过程参数化方案对全球碳循环的影响研究中，FIO-ESM v2.0 全球碳循环模式不仅考虑了浪致混合对生物地球化学变量的影响，还考虑了 SST 日变化对气海 CO_2 通量的影响。该模式完成了包括 BGC-OMIP、C4MIP 在内的一系列碳循环模拟实验，并对其海气 CO_2 通量模拟结果进行了分析。

S49-O-5

基于 cGENIE 地球系统模式对海洋碱化负排放方案的潜力评估

赖毓娴¹，马文涛^{2*}，焦念志^{1*}

1 厦门大学，海洋与地球学院
2 自然资源部第二海洋研究所

* wtma@sio.org.cn
* jiao@xmu.edu.cn

《巴黎协定》旨在将全球气温上升控制在 1.5-2°C 以内。实现这个气候目标，仅靠节能减排和生态修复是远远不够的。海洋负排放对于实现这一气候目标至关重要。海洋碱化增汇 (OAE) 是在不加剧海洋酸化的情况下促进负排放的一种有前景的策略。在这项研究中，我们将 MCP 过程耦合到 cGENIE 综合地球系统模型中 (cGENIE-MCP)，并采用 cGENIE-MCP 地球系统模型来评估全球气候和碳循环对 OAE 的响应。研究了不同 CO₂ 排放途径下的 OAE 情景，发现表层碱度增加的幅度取决于应用区域。全球或副热带实施 OAE，表面碱度增加最小，而北太平洋副热带环流 (NPSG) 加碱效果相对较好。在高排放情景下，分层加剧导致表层碱度增强明显。此外，OAE 还有助于降低大气 CO₂ 浓度，降低全球表面温度，减缓海洋酸化。最后，比较了不同排放情景下 OAE 前后 RDOC 的变化趋势，证实了 MCP 介导的 RDOC 动态响应对气候变化具有双向调节作用。

S49-O-6

基于全球“物理—生态”耦合模式的温室气体氧化亚氮海洋释放量评估及其受气候模式影响

马凯¹, Manfredi Manizza², 刘永琳¹, Dimitris Menemenlis³, 黄瑞新⁴, 田汉勤⁵, Kate Zhang⁶, 刘传玉⁸, 杨清华⁷, 冯洋^{1,8*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁全国重点实验室

2 The National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics

3 California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory

4 Woods Hole Oceanography Institute, Department of Physical Oceanography

5 Boston College, Earth and Environmental Sciences Department
6 University of California, Joint Institute for Regional Earth System Science & Engineering
7 中山大学, 大气科学学院
8 中国科学院海洋所, 海洋与环流波动重点实验室
* yfeng1982@126.com

Nitrous oxide (N₂O) is a long-lived potent greenhouse gas that contributes to stratospheric ozone depletion. It has been accumulated in the atmosphere since the preindustrial era with a Global Warming Potential (GWP) that is approximately 300 times higher than that of carbon dioxide (CO₂). Between 1750 and 2022, the concentration of atmospheric N₂O increased by nearly 25%. Increased N₂O emissions lead to negative effects on the stratospheric ozone layer. Although the ocean plays an important role in regulating atmospheric N₂O concentration, its contribution to the global N₂O budget is still poorly constrained. Here, we use the ECCO-Darwin, data-constrained, global ocean biogeochemistry model to examine the oceanic N₂O emissions during the 1992–2017 period. The Objective of this study include: (1) quantify global N₂O emissions based on the ECCO ocean state estimates; (2) analyze trends and variability of N₂O across different biomes and ocean basins; and (3) investigate how modes of climate variability drive N₂O variability in biomes with high N₂O emissions.

S49-P-1

基于机器学习构建的 pCO₂ 格点数据揭示近 30 年来南大洋碳汇强度被高估

钟国荣^{1,2,3,4}, 李学刚^{1,2,3,4*}, 宋金明^{1,2,3,4}, 王凡^{1,2,3,4}, 张斌^{1,3,4}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋生态与环境科学重点实验室
2 崂山实验室
3 中国科学院大学
4 中国科学院海洋研究所, 海洋大数据中心
* lixuegang@qdio.ac.cn

应用机器学习方法构建表层海水二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 格点数据的方法, 近年来在减少海-气界面二氧化碳通量估算不确定性的研究中已有较多应用。然而, 从二氧化碳分压格点数据得出的南大洋碳汇强度与生物地球化学模型得出的结果存在普遍差异。通过使用一种集成学习前馈神经网络方法, 我们发现南大洋夏季和冬季之间 $p\text{CO}_2$ 观测数据量的显著差异使过去的机器学习方法低估了南大洋表层海水 $p\text{CO}_2$, 并进一步导致过去 30 年南大洋碳汇被高估了约 16%。特别是自 2010 年以来, 南大洋的碳汇被明显高估了约 29%。这种碳汇强度的高估可以通过在算法中引入冬季校正来缓解, 在我们将观测数据量季节分布极不均匀对冬季表层海水 $p\text{CO}_2$ 的影响进行校正后, 1992-2021 年期间的南大洋平均碳汇强度从初始的 $-1.01 \text{ PgC yr}^{-1}$ 降低到校正后的 $-0.87 \text{ PgC yr}^{-1}$ 。此外, 表层海水 $p\text{CO}_2$ 被低估最显著的主要是 60°S 以南受海冰覆盖影响的区域。由于冬季海冰覆盖下的表层海水 $p\text{CO}_2$ 远高于大气 $p\text{CO}_2$, 如果未来海冰完全融化, 南大洋碳汇将进一步减少约 0.14 PgC yr^{-1} 。

S49-P-2

黄海大型海藻养殖固碳服务价值评估

宋静静¹, 张明政¹, 刘乾¹, 吴海一¹, 李富超^{1*}

¹ 山东省海洋科学研究院
* lifuchao@qdio.ac.cn

大型海藻因其高效的碳吸收能力, 已成为海洋碳汇体系的关键构成要素, 作为

海洋负排放策略之一, 养殖大型海藻的固碳潜力正逐步被挖掘。本研究针对黄海海域 40 余年的大型海藻养殖, 系统评估了其固碳服务功能。结果表明, 1980-2024 年间, 随着养殖规模的扩大, 黄海大型海藻的藻体固碳物质量显著上升, 2024 年达到 39.55 万吨碳, 较 1980 年增长了 598%。其中, 山东省养殖海藻固碳贡献占比最高, 平均为 61.32%, 其次为辽宁省和江苏省。以 2020 年欧盟平均碳交易价格为基准, 其藻体固碳价值量从 1980 年的 1268 万元增长至 2024 年的 8853 万元。海带、裙带菜和紫菜是主要固碳品种, 其中海带固碳量占比最高, 但呈现逐年降低的趋势, 2024 年占比降至 67.83%, 裙带菜固碳量占比自 2002 年起先升后降, 最高可达 46.26%, 紫菜固碳量占比约为 6.8%。除藻体固碳外, 研究还发现海藻养殖区水体中颗粒有机碳 (POC) 和沉积物中总有机碳 (TOC) 含量显著高于自然海区, 以山东省桑沟湾为例, 春夏两季海带养殖区水体 POC 平均值为 $0.79 \pm 0.07 \text{ mg/L}$, 沉积物 TOC 平均值为 $8.17 \pm 1.28 \text{ mg/g}$, 均显著高于自然海区。基于上述研究, 采用生命周期评价法, 核算了养殖 1 吨鲜海带产品的碳足迹为 $-121.68 \text{ kg CO}_2\text{e/t}$, 其中的 CO_2 清除量为 $170.23 \text{ kg CO}_2\text{e/t}$, 排放量为 $48.55 \text{ kg CO}_2\text{e/t}$ (育苗期占 3.42%, 养成期占 96.58%), 以 2024 年黄海大型海藻养殖量计算, 当年可移除 97.59 万吨 CO_2e 。上述研究表明, 大型海藻及其养殖过程能够显著提升海洋碳汇效能, 增强区域海洋生态系统固碳服务功能, 可为应对全球气候变化和保障海洋生态环境可持续发展提供有力支撑。

S49-P-3

南海宪北海山附近碳源增强特征

张功^{1,2}, 韩博^{1,2*}, 杨清华^{1,2}, 陈大可²

1 中山大学, 大气科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

边缘海将陆地、海洋、大气、生物群和沉积物连接成了整体, 在全球碳循环中发挥着至关重要的作用。南海是世界第二大边缘海, 地形环境复杂, 分布着众多海山。海山作为洋流的障碍, 影响着海洋的生物分布, 并能够提高海洋生产力、生物量和生物多样性。然而, 由于缺乏现场观测, 海山对海-气 CO_2 通量的影响尚未得到很好的研究。2021 年 9 月, 依托南海中部综合航次调查航次, 采用船载涡动相关技术(EC)直接测量了海-气 CO_2 通量, 同时辅以海洋温盐深观测和海洋数值模拟, 旨在厘清南海北部 CO_2 源/汇格局, 并揭示海山对海-气 CO_2 通量的影响。结果表明, 南海北部是大气 CO_2 的源, 平均排放速率为 $0.28 \text{ mmol m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。但在海山边缘海域, CO_2 排放速率明显增大, 约为非海山区域排放速率的 2 倍。这意味着海山对 CO_2 的排放具有增强作用。海山附近海-气 CO_2 排放增强的原因主要与海山引起的上升流有关。上升流将富含 DIC 的深层海水输送到上层海洋, 补充并增强了海表二氧化碳分压($p\text{CO}_2\text{w}$)。此外, 上升流将富含营养的深层水带入透光带, 增加叶绿素 a 的浓度, 刺激了生物活动, 形成一个排放 CO_2 的生产区。同时, 我们的研究也表明, 在观测期间内, 海表温度对海山附近的 $p\text{CO}_2\text{w}$ 的影响较小。

Seamounts enhance the local emission of CO_2 in the northern South China Sea,
<https://doi.org/10.1029/2023GL107264>

S49-P-4S

海表日循环过程对南海碳汇的影响

朱玮婷^{1,2}, 韩博^{1,2*}, 刘长炜^{1,2}, 王小婧^{1,2},
陈枫壕^{1,2}, 李雅如^{1,2}, 杨清华^{1,2}

1 中山大学, 大气科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

南海是中国最大的边缘海, 其与大气之间的 CO_2 交换是全球碳循环的重要组成部分。尽管已有研究估算了全球大洋海表环境变量(海表温度、10 m 风速)昼夜变化对海气 CO_2 通量的贡献, 但却忽视了边缘海地区(例如南海)。本研究利用基于走航观测数据和机器学习方法构建的月尺度南海海表 CO_2 分压数据、由海洋混合层模型模拟的全球每日大气 CO_2 分压数据和小时级的 ERA5 再分析数据集, 结合块体公式和高桥公式计算得到 2003~2020 年南海逐小时的 CO_2 通量, 基于此评估了海表环境变量日循环变化对南海碳汇的潜在贡献。结果表明: 南海海表环境存在显著的日循环变化, 会产生平均振幅接近 $0.5 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$ 的 CO_2 通量日变化, 这与短时观测结果一致; 但是, 由于南海海表温度和 10 m 风速的日循环超过一半日数都处于正交相位, 二者协变作用下产生的净 CO_2 通量比南海月平均 CO_2 通量小两个量级; 综合来看, 除了在近岸海域, 南海海表日循环过程在长时间平均只贡献了较弱的大气 CO_2 源。

S49-P-5S

次月尺度过程对南海二氧化碳吸收贡献显著

王小婧^{1,2}, 韩博^{1,2*}, 张功^{1,2,3}, 刘长炜^{1,2},
杨清华^{1,2}

1 中山大学, 大气科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
3 江西省林业科学院
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

过往研究经常使用大气与海洋的月平均数据来估算大范围海域多年平均海气 CO_2 通量, 这种做法会忽略海表次月尺度过程的贡献, 在南海这样天气过程和次季节

振荡活跃的海域可能带来不可忽视的误差。本研究基于海表 CO₂ 分压与海表温度 (SST) 之间的经验关系, 结合逐日的大气再分析资料与 SST 数据, 基于块体公式重新评估了南海 2003 至 2020 年间平均海气 CO₂ 通量。结果表明, 次月尺度过程约占南海总 CO₂ 通量的 10%, 并可能在春季反转南海整体 CO₂ 通量的符号 (方向)。在南海近海表层的次月尺度中, 除部分区域的海洋涡旋外, 海表风速的变化是主要驱动因素。海表风速与 SST 在 20 至 30 天的协谱贡献了南海主要的次月尺度碳汇。因此, 使用 10 天分辨率的海表环境产品能够更准确地估算南海海气 CO₂ 通量。

S49-P-6S

北冰洋气候变化对未来北极海一气 CO₂ 通量变化趋势的影响

潘蓉蓉¹, 舒启^{1*}

1 自然资源部第一海洋研究所
* shuqi@fio.org.cn

海洋能够吸收大气中约 30% 的 CO₂, 是重要的碳汇。然而, 在气候变暖背景下, 北冰洋海气 CO₂ 通量的未来变化趋势仍不明确。我们利用最新一代 CMIP6 地球系统模式评估和预测了北极海气 CO₂ 通量的变化趋势, 并分析其变化的原因。结果表明, 北极海气 CO₂ 通量呈现非单调性变化, 在 21 世纪有先增加后减少的趋势。此外, 北极海气 CO₂ 通量还有向北移动的趋势, 即未来吸收大气 CO₂ 能力较强的地区将向北极高纬度移动。北极海气 CO₂ 通量先增加的主要原因是: 北极海冰的快速融化加剧了海气相互作用, 以及 CO₂ 在海洋与大气之间传输速率的增强, 其中北极海冰的减少是最大的贡献因子。北极海气 CO₂ 通量后减少的主要原因是: 海冰快速消融使冰区转变为更多的开阔海域, 在气候变暖驱

动下海水中 CO₂ 溶解度降低和海气 CO₂ 分压差减少, 其中北冰洋海气 CO₂ 分压差减少是最大的贡献因子。

S49-P-7

一种应用于三维海洋环流模式的人工上升流/下降流参数化方法

肖灿博^{1,2*}, 来志刚^{1,2}, 樊炜³, 陈鹰³

1 中山大学, 海洋科学学院
2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)
3 浙江大学, 海洋学院
* xiaocb@sysu.edu.cn

鉴于大规模海洋负排放工程的环境风险尚不明确, 数值模拟仍是评估其碳增汇潜力及生态效应的关键手段。针对人工上升流/下降流, 现有研究主要局限于全球尺度的模拟, 其参数化方案基于两个核心假设: 以通量形式表征工程对物理-生物地球化学过程的扰动效应, 并在工程所在网格内构建匀速补偿流场以维持体积守恒。然而, 这种简化处理在高垂直分辨率的三维海洋环流模式中适用性受限。为此, 本研究基于小尺度动力过程的理论框架, 发展了一套新型参数化方案。该方案突破传统方法的局限性, 既可兼容 FVCOM、ROMS、MITgcm 等高分辨率区域海洋模式, 又能耦合于全球尺度地球系统模型, 显著提升了模式对人工上升流/下降流工程的表征能力。通过建立跨尺度的统一参数化框架, 本研究为海洋负排放工程的多尺度数值模拟研究提供了通用化的技术支撑, 对系统评估工程效益与生态风险具有重要科学价值。

S49-P-8

海冰调节南大洋的海气甲烷通量

张功¹, 杨清华^{1,2*}, 韩博^{1,2}, John Prytherch³, Brett F. Thornton⁴, 陈大可¹

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

2 中山大学, 大气科学学院

3 Uppsala University, Department of Earth Sciences

4 Stockholm University, Bolin Centre for Climate Research

* yangqh25@mail.sysu.edu.cn

南大洋是大气中甲烷(CH₄)的一个微弱吸收汇,但由于缺乏对边缘冰区(MIZ)的观测,其吸收量还不确定。利用“雪龙2号”破冰船的涡度协方差和大体积公式通量测量结果,我们发现南大洋东部在夏季是一个CH₄汇。在海冰浓度较低(10%-40%)的区域,CH₄向下通量最强,因为海冰融化导致温度和盐度较低,增加了CH₄的溶解度。在海冰浓度较高(>50%)的区域,由于海冰的阻挡作用,CH₄通量较弱。我们估计,研究区域在南半球夏季一个月内的甲烷吸收量抵消了全球海洋甲烷年排放量的1.2%-2.6%。这表明南极MIZ在全球CH₄预算中的重要性超过了之前的想象。

S49-P-9

二氧化碳浓度升高对非洲夏季风降水的气候依赖性影响:基于多气候背景的数值模拟及海洋负排放关联分析

时晓旭^{1*}, 杨虎¹, 刘骥平¹

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

* shixiaoxu@sml-zhuhai.cn

本研究利用AWIESM2地球系统模型开展工业革命前、中全新世、末次间冰期、末次冰盛期和海洋同位素第3阶段共5种气候背景下的二氧化碳(CO₂)浓度加倍实验,探讨CO₂升高对非洲夏季风(ASM)降水的影响及其与海洋负排放过程的潜在

关联,发现CO₂对ASM降水的影响存在显著气候依赖性:在间冰期暖背景(PI、MH、LIG)下,热力学效应主导,大气水汽含量增加促使北非降水显著增多(如LIG背景下中东部萨赫勒地区降水增幅达1-1.5 mm/day),尽管海洋负排放相关的大西洋经向翻转环流(AMOC)减弱会部分抑制降水增益,但整体仍呈湿润趋势;而在冰期冷背景(LGM、MIS3)下,动力效应主导,热带环流减弱导致北非大部分地区降水减少(如MIS3背景下萨赫勒南部降水减少0.5-1 mm/day),且此时AMOC强度对CO₂响应不显著,降水变化主要受大气过程调控。机制上,间冰期暖背景下北半球大陆净能量输入(NEI)增强及海陆热力对比扩大,维持了季风环流强度,抵消了部分CO₂引起的热带环流减弱效应;冰期冷背景下南半球高纬度海冰融化导致经向温度梯度减小,加剧了Hadley环流减弱进而抑制降水。研究揭示了不同气候状态下CO₂通过“热力学-动力”效应平衡对ASM降水的调控机制,为理解海洋负排放背景下(如AMOC变化)的非洲季风系统演变提供了数值实验依据,对耦合碳循环-气候模型预测具有参考价值。

S49-P-10S

基于南极边缘冰区走航观测的海冰对海气CO₂通量影响研究

何泓锸^{1,2}, 张功^{2,4}, 韩博^{2,3*}, 杨清华^{2,3}, 刘长炜^{2,3}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 中山大学, 大气科学学院

4 江西省林业科学院

* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

本研究利用雪龙2号科考船上搭载的走航观测系统,于2020年12月至2021年1月在南极边缘冰区进行了海气二氧化碳

(CO₂) 通量测量。涡动相关法 (Eddy Covariance Method) 方法和块体公式 (Bulk Formula) 方法都表明, 观测海区是大气 CO₂ 的碳汇。研究发现海洋吸收二氧化碳的能力随着海冰密集度升高而增加, 指出海冰融化和海表温度较低是促进海洋吸收 CO₂ 的关键因素。此外, 根据涡动相关法和块体公式估算的 CO₂ 通量差异推断, 边缘冰区中海冰融化会导致海表 CO₂ 分压的观测低估约 40%, 而同时冷皮层效应使得块体公式在本航次中对海气 CO₂ 通量的估算低估约 22%。此外, 本研究表明, 海冰通过包括海冰融化、海表梯度等复杂的机制调节海气交换, 需要进一步更精确、综合的观测来更好地理解 and 参数化这些过程。

S49-P-11S

热带太平洋海洋碳汇对拉尼娜和厄尔尼诺的非对称响应机制研究

孙超凡¹, 廖恩惠¹, 朱学明^{2*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

* zhuxueming@sml-zhuhai.cn

Asymmetrical ocean carbon responses to La Niña and El Niño complicate global carbon budget estimation. Using multiple ocean CO₂ data products and an advanced ocean biogeochemical model, we identified significant asymmetries in the magnitude, spatial distribution, and duration of ocean carbon fluxes in the tropical Pacific. La Niña events enhance ocean CO₂ outgassing (0.1–0.2 PgC/yr) with a broader poleward extension (15°S–15°N) for up to three years, whereas El Niño events suppress outgassing (0.2–0.4 PgC/yr) with a narrower extension (10°S–10°N) lasting up to one year. The location of

maximum air-sea carbon flux anomaly shifts westward during La Niña and eastward during El Niño. These asymmetries arise from differing anomalies in winds, precipitation, and ocean circulation. Furthermore, the cumulative carbon flux remains slightly imbalanced, affecting the global ocean carbon sink capacity. The findings provide critical insights for ocean-based negative carbon emission strategies.

S49-P-12

基于机器学习方法的三维溶解氧数据重构 (1960-2021)

王彦俊^{1*}, 宋金明¹, 李学刚², 钟国荣², 郑双强¹, 李晓峰³

1 中国科学院海洋研究所, 海洋大数据中心

2 中国科学院海洋研究所, 海洋生态与环境科学重点实验室

3 中国科学院海洋研究所, 海洋环流与波动重点实验室

* yjwang@qdio.ac.cn

由于全球变暖以及人类活动导致的营养盐过量输入, 海洋脱氧现象正逐步加剧。然而, 全球溶解氧 (DO) 原位观测在时空上的稀疏分布, 极大地限制了我们对海洋溶解氧时空变化特征的认识。本研究采用并改进了 SOM-FFNN 方法, 对全球溶解氧数据进行了重建。所得数据集具备月尺度的时间分辨率、1° × 1° 的空间分辨率, 覆盖自海表至 2000 米的 41 个标准深度层, 时间范围为 1960 年至 2021 年。在研究中, 我们将重建结果与 Ito (2024) 数据集、NOAA 的 GOBAl-O₂ 数据集, 以及 Copernicus 数据中心提供的生物地球化学模式数据集进行了对比。结果表明, 我们的数据集在时空变化特征方面与其他数据集保持一致, 且与观测数据的误差非常接近, 显示出良好的数据可靠性。此外, 本数据集在时空覆盖范围方面具有更大优势, 可

为全球海洋脱氧趋势的评估提供关键的数据支撑。

S49-P-13

海洋数字孪生引擎在海洋负排放中的应用探索

刘健^{1*}, 宇婧婧¹, 何敏¹, 林楚勇¹, 李琦¹

1 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)
* liujian@sml-zhuhai.cn

随着全球气候变化加剧,海洋负排放作为缓解碳压力的关键途径,亟需创新技术支持。本报告介绍自主研发的海洋数字孪生引擎(DTO)在海洋负排放领域的应用前景,该引擎可以深度集成海洋碳循环、生物地球化学等数值模型,结合高维空间可视化算法与多源数据融合技术,构建高分辨率、高仿真的动态孪生系统,实现对碳汇过程的精细化模拟与可视化呈现。其核心优势在于高度仿真海洋负排放的复杂耦合机制,提供智能决策支持以评估不同方案的效率与生态风险,并通过多维交互可视化直观展示碳通量演变规律。该技术未来有望成为海洋负排放科学研究与规模化实践的数字基座,为全球碳中和目标提供技术范式。

S49-P-14S

降雨加强了南海碳汇

赵晨尧¹, 韩博^{1*}

1 中山大学, 大气科学学院
* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

降雨通过湍流、稀释和湿沉降作用快速改变海表的理化性质,从而影响海气CO₂通量的传输。南海作为北太平洋季风降雨盛行的边缘海,降雨对其碳汇能力的调控机制仍不清楚。本研究基于卫星观测

和再分析数据,全面评估了2003-2019年降雨对南海碳汇的影响。研究发2003-2019年降雨使南海碳吸收增加0.31-0.61 Tg C/yr,相当于南海碳排的2%-4%。本研究强调将降雨纳入海洋碳吸收模型的重要性,揭示其作为全球碳循环中一个此前被忽视但重要的贡献因素,为区域气候变化研究和碳中和政策提供科学依据。

S49-P-15

热带太平洋海洋热浪对海—气CO₂通量时空演变的影响

张敏¹, 程阳艳², 张皓宇¹, 黄传江¹, 王刚¹, 赵昌¹, 张远凌¹, 杨清华³, 宋振亚¹, 乔方利^{1*}, 李欣宇³

1 自然资源部第一海洋研究所
2 中山大学, 海洋科学学院
3 中山大学, 大气科学学院
* qiaofl@fio.org.cn

热带太平洋贡献了全球海洋50%的碳排放,是主导全球海-气二氧化碳(CO₂)交换的核心区域,同时也是持续性海洋热浪(marine heatwaves, MHWs)的频发区域。已有研究表明在与强厄尔尼诺事件相关的持续性海洋热浪期间,海洋向大气释放CO₂明显减少,但其对海洋热浪的时空响应尚未可知。本研究发现中东热带太平洋的CO₂源区与平均每年海洋热浪天数超45天的高发区域之间存在高度一致性,其重合区域覆盖率高达海洋热浪高发区域的80%。通过中东热带太平洋的平均每年海洋热浪天数和发生频率,可分别重建海-气CO₂通量在年际及更低频时间尺度上的时空变化。在该区域,每发生100天海洋热浪可使海-气CO₂通量减少0.4-0.8 molC/m²/yr,相当于减少约0.1 PgC的CO₂排放。在研究区域内,过去海洋热浪期间的CO₂排放共减少了10%-40%,其中在近赤道带(5°S-5°N)的影响最为显著(CO₂排放共减少了30%-40%)。相比之下,重合区域的东部沿海上

升流区域的海-气 CO₂ 通量变化主要受季节性混合层变化的影响，因此在年际尺度上并未受到与厄尔尼诺信号相关海洋热浪的显著影响。通过建立海洋热浪与海-气 CO₂ 通量变化之间的时空关联，我们的研究为未来热带太平洋海洋热浪引发的海-气 CO₂ 通量的时空演变提供了新见解。

S49-P-16S

考虑大气响应后对热带气旋在南海的碳通量贡献再评估

周茂霖^{1,2}, 韩博^{1,2*}

1 中山大学, 大气科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

海洋碳汇在全球碳循环中起到重要作用，而热带气旋作为频发的极端天气事件，其强风、降水及海洋扰动可能显著影响海气 CO₂ 交换过程。尽管已有研究探讨了热带气旋对全球大洋碳通量的影响，但结论存在较大分歧，且多聚焦于海洋响应，忽视了大气的响应，而大气的状态对 CO₂ 交换过程有着直接的影响。南海作为全球最大的边缘海之一，兼具活跃的碳循环与热带气旋活动，是研究这一过程的理想区域。然而，直接观测在时空上受限于热带气旋极端条件，目前研究常以单一气旋个例推广至全部气旋和南海全域进行评估，潜在误差较大。本研究选取 IBTrACS 热带气旋最佳路径数据、ERA5 再分析资料及以 Holland 热带气旋风压关系为代表的模型，在考虑大气对热带气旋响应和避免局地个例外推而导致误差的情况下，对热带气旋在 2003-2020 年期间在南海对碳通量的贡献进行重新评估，初步结果表明：考虑气旋强迫的大气扰动后，单个热带气旋对南海碳通量的贡献较前人结论提升 10%~25%。本研究有助于提高在热带气旋有逐年增多增强趋势的气候变化大背景下，其对南海乃至全球大洋碳通量贡献的认识。

S49-P-17S

台风下的海-气二氧化碳通量

陈枫壕¹, 韩博^{1*}

1 中山大学, 大气科学学院

* hanbo5@mail.sysu.edu.cn

台风作为一种极端天气现象，通过强烈的风力、降水和海洋混合过程，显著改变海-气界面的物理和化学特性，进而影响海-气二氧化碳通量。主要机制包括：海水混合与上翻，台风引发的强风和海浪导致海洋上层混合层加深，深层富含二氧化碳的海水被带到表层，可能增加二氧化碳向大气的释放；气压和温度变化，台风带来的低气压和海表水温度降低会改变 CO₂ 在海水中的溶解度；海气界面湍流，强风增强海气界面的湍流，促进 CO₂ 的交换速率；降水效应，台风伴随的强降水可能稀释海表盐度，间接影响 CO₂ 的溶解和通量。

S50-O-1

海洋溶解有机碳中红外光谱分析检测方法

王鹏飞^{1,2*}, 尹钰^{1,2}, 李施², 李慕洋², 戴磊²

1 东北师范大学, 物理学院

2 哈尔滨工程大学, 物理与光电工程学院

* pfwang@nenu.edu.cn

海洋溶解有机碳(DOC)作为海洋碳循环的重要组成部分，对于理解海洋碳汇和实现碳中和至关重要。然而，目前海洋 DOC 的检测方法在复杂的海洋环境中无法满足快速、实时、高精度测量的需求。由于含碳化合物在中远红外区域表现出特征性吸收光谱，利用中红外光谱技术能够实现对其定性和定量测量。本团队利用自研

中红外超连续谱激光器, 结合硫系光纤传感器实现了对海洋 DOC 的检测, 具有现场实时在线、多形态样品兼容、分子特征识别、适应极端环境等优势。

S50-O-2

Mini-MECS 小型海洋气候环境模拟实验体系关键技术及建设

刘延俊^{1,2*}

1 山东大学, 海洋研究院
2 山东大学, 机械工程学院
* lyj111ky@163.com

海洋作为地球最大碳库, 是全球气候系统的核心要素。发展海洋负排放是实现碳中和的关键路径, 但其研究涉及复杂的自然过程与人类活动。海洋气候环境模拟实验体系 (Marine Environmental Chamber System, MECS) 既能解析现代海洋环境演变机制, 又能通过历史重大气候事件反演实验, 获取核心参数建立预测模型。作为 MECS 实验体系的重要组成部分, Mini-MECS 是中尺度海洋生态水平上的小型环境模拟实验系统, 可开展海洋碳汇与负排放工程、全球变化与环境效应、生态系统动力学、海洋沉积与(古)地质环境、海洋装备与技术研发等研究工作。Mini-MECS 系统包含模拟舱、给排水系统、检测系统、控制系统、供配电系统以及基础用房等配套系统或设施, 能够实现温度、pH、盐度、溶解氧、CO₂ 等部分理化参数的检测、控制, 为颗粒物沉降过程等重要或重大科学实验提供实验环境。为后续 MECS 通过环境参数的全面调控, 模拟全球变暖、海洋酸化、海洋缺氧、硫化海洋等重大地球事件提供可靠的建设与运行方案。本报告将对 Mini-MECS 研发及建设中的关键技术和成效进行介绍。

S50-O-3

南海北部海域海气甲烷交换通量监测及应用研究

钟超^{1,2*}, 陆敬安^{1,2}, 梁前勇^{1,2}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 天然气水合物工程技术中心
2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心
* zc_jf_999@126.com

南海北部琼东南海域是全球深水天然气水合物最具资源潜力的区域之一, 通过近年来海洋地质、地球物理勘查发现该海域海底多处位置出现天然气冷泉, 存在甲烷气体自然渗漏现象, 甲烷气泡进入海水层形成羽状流向上运移, 可能从海水中扩散进入大气。因天然气水合物动态活动造成的甲烷泄漏是岩石圈向外部圈层进行物质和能量输送的重要途径, 对海洋环境有着深远影响。海气交换通量代表海洋与大气之间的能量交换幅度, 研究海气交换通量变化特征对监测海气界面碳循环过程和全球气候变化具有重要意义。本论文设计了一种海气通量自动测量系统, 开展了同一时空尺度下海洋大气和表层海水甲烷的现场同步技术研究, 实现了交换通量结果计算自动化, 解决了海水—大气界面甲烷含量及交换通量的快速实时测量等核心问题。在琼东南海域完成了海试并验证了该系统设计的可行性。通过数据表明, 在一定程度上提高了海气甲烷交换通量的测量精度和观测效率, 为进一步探究海气界面甲烷源汇过程、时空分布特征及多尺度海气相互作用提供了新的技术手段。

S50-O-4

冬季季风与水动力调控下南海北部浮游动物粪粒沉降与碳输出机制

王路阳^{1*}, 刘志飞¹, 曹君元¹, 林宝治¹,
张晓栋¹, 黄雨新¹, 王佳锐¹, 李嘉盈¹,
崔丽娜¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室
* wang_luyang@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒密度高, 沉降速度快, 是颗粒有机碳 (POC) 从海洋表层向深层输出的重要途径, 构成海洋生物泵的关键组成部分。然而, 现有研究主要集中于中高纬度海域的表层至中层水体, 对热带边缘海的中深层粪粒通量及其调控机制仍缺乏系统认识。因此, 本研究利用南海北部 TJ-A1B 深海锚系系泊的两台沉积物捕集器收集到的沉降颗粒 (2023 年 8 月至 2024 年 6 月) 为研究材料, 对其浮游动物粪粒的形状、大小、数量通量和碳通量进行识别和量化, 研究粪粒沉降通量的时间序列变化及其对深海碳输出的贡献。结果显示, 南海北部浮游动物粪粒由椭圆形、长柱形、球形和无定形共四种形态类型组成, 粪粒平均数量通量 (FPN) 在 500 m 和 1970 m 深处分别为 $2649 \text{ pellet m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $5943 \text{ pellet m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 对应的平均碳通量 (FPC) 分别为 $0.0917 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $0.1634 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。粪粒的 FPN 和 FPC 通量具有明显的季节性变化, 12-2 月为峰值期, 8-9 月为次峰值期, 其时间序列变化受东亚季风的显著调控。在垂向上, 粪粒通量随深度增加而增大, 揭示了中深层浮游动物群落和深层海流的侧向搬运对粪粒碳输出的重要作用。此外, 无定形粪粒在 1970 m 处的生物体积低于 500 m 处, 表明粪粒在沉降过程中可能受到浮游动物再摄食、表层湍流的破碎分解、以及中深层浮游动物原位排泄的共同影响。在南海北部, 粪粒碳通量对颗粒有机碳的贡献率 (FPC/POC) 为 1.1%-17.5% (平均为 6%)。东亚季风系统、浮游动物群落活动、以及深层海流的侧向搬运对粪粒的沉降过程及其对深海碳输出都发挥着关键调节作用。

S50-O-5

基于人工上升流技术的海洋增汇示范工程进展：从鳌山湾到崖州湾的实践探索

樊炜^{1*}, 邹之昱¹, 岳露露^{1,2}, 曲梦杰²

1 浙江大学, 海洋学院
2 浙江大学海南研究院
* wayfan@zju.edu.cn

本研究系统展示了两代海洋增汇示范工程的创新成果与应用前景。首期工程“山东鳌山湾海藻增汇示范工程”, 作为国内首个人工上升流增汇系统, 通过集成海洋能原位供能平台、大数据控制中心、碳汇监测系统及大型海藻养殖系统 (500 亩海域), 实现海带单株增产 36.1 克, 碳汇能力提升 1.6 吨/亩, 为企业新增养殖海域 5000 亩, 年经济效益超千万元。该模式被联合国 IPCC 特别报告 (2019) 收录推广, 并获美国能源部低碳路线图引用, 为我国海洋碳汇工程提供可复制的技术范式。当前推进的“海南南山角珊瑚礁增汇示范工程”创新采用陆海协同架构: 陆域建设地下水冷却系统与太阳能供电基地, 海域部署人工渔礁分区、生态监测网络及人工上升流通风系统, 通过温控与通风技术抑制珊瑚白化, 强化生物多样性保护。作为国际大科学计划载体, 本工程将构建珊瑚礁碳汇数据库与生态模型, 验证环境干预措施的增汇效能, 为全球珊瑚礁生态系统修复提供技术支撑与可持续发展范式。两期工程标志着我国在人工上升流增汇技术领域实现从近海养殖系统优化 (鳌山湾) 向珊瑚礁生态修复 (南山角) 的迭代升级, 为“蓝碳”增汇贡献了中国方案。

S50-O-6

海洋颗粒物分类探测与碳参数估计

廖然^{1*}, 马辉¹

1 清华大学, 深圳国际研究生院
* liao.ran@sz.tsinghua.edu.cn

海洋是地球上最大的碳库之一。海水中碳参数的快速原位测量对海洋碳分布调查以及碳源/汇评估具有重要意义。颗粒物是海水主要组分, 是海水中碳的主要存在形式之一, 参与海洋碳循环过程。本研究将探索一条可能路径, 即通过分类探测海洋颗粒物包括种类、数量等参数, 来估计海水碳参数。为此, 本研究团队在深圳市周边海域的多个点位、长时间采集海水水样, 对水样进行颗粒物分类探测、水质参数测量以及碳参数测量, 形成数据集。利用数据分析发现, 颗粒物参数、水质参数与碳参数之间有关联关系。通过构建机器学习模型, 建立了从颗粒物参数和水质参数中估计碳参数的数值模型。经过分析各参数贡献后发现, 颗粒物参数贡献最大。由于本团队在前期已经发展了海洋颗粒物原位分类探测仪器并在西太平洋和我国海域成功投放使用, 因此海水碳参数的快速原位测量及其时空分布调查将变得更容易实施。本报告将介绍上述研究的初步成果并展望未来海水碳观测的可能路径。

S50-P-1S

台风后粤西高位池尾水影响 海滩沉积物的粒度与粒形响 应研究

黄丽萍¹, 邓龙波¹, 袁明明¹, 李高聪^{1*}

1 广东海洋大学, 电子与信息工程学院
* gcli@gdou.edu.cn

风暴潮和高位池尾水排放过程是华南砂质海岸冲淤动态的关键影响因素, 探讨它们对沉积物粒度和粒形信息分布格局的影响机理对于砂质海岸生态减灾修复具有重要意义。本文以粤西受高位池养殖尾水排放影响海滩在 2203 号台风“暹芭”登陆后

第 2 天和第 6 天的沉积物为研究对象, 分析粒度参数(平均粒径、分选系数、偏态和峰态)和粒形参数(球度、宽长比、凸度、圆度和对称度)的特征值和空间分布特征及其异同原因。结果表明: (1) 台风登陆后第 2 至第 6 天, 受影响岸滩靠岸侧沉积物粗化且分选性变差, 中间区域沉积物细化且分选性变好, 未受影响岸滩靠岸侧变粗和靠海侧变细, 分选系数无统一变化规律; (2) 受影响岸滩靠岸侧向扁平方向变化, 未受影响岸滩靠岸侧向圆形方向变化; (3) 未受影响岸滩的粒度与粒形参数相关性变化较受影响岸滩更为显著, 其平均粒径与宽长比, 峰态与宽长比、凸度和对称度的相关性均上升。本文提供了一个风暴和高位池尾水排放过程共同影响下粒度粒形分布格局的影响机制的案例, 研究结果有助于深化对沉积动力学的研究以及对海水养殖与砂质岸滩地貌演变过程的作用机理方面的认识。

S50-P-2S

南海南部浮游动物粪粒深海 碳输出的时间序列变化及其 对海洋生物泵的贡献

黄雨新^{1*}, 刘志飞¹, 曹君元¹, 林宝治¹,
赵玉龙¹, 张晓栋¹, 王路阳¹, 王佳锐¹,
吴琼², 崔丽娜¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室
2 河海大学, 海洋学院
* huang_yuxin@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒作为海洋水柱中颗粒有机碳输出的关键载体, 是海洋生物泵固碳的重要方式。以往研究对浮游动物粪粒在热带深海中的行为了解甚少, 粪粒对颗粒有机碳输出的贡献并未得到充分讨论。本研究以南海南部南薇海盆深海锚系(TJ-SB)上装备的两台沉积物捕集器(水深分别为 500 m 和 1590 m)收集的时间序列沉降颗

粒物（2023 年 8 月至 2024 年 7 月）为研究材料，结合东亚季风特征，研究南海南部浮游动物粪粒对深海颗粒有机碳输出的贡献。结果显示，粪粒的年平均数量通量在 500 m 和 1590 m 水深处分别为 $1.19 \times 10^4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $2.52 \times 10^4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，对应的碳通量分别为 $0.183 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $0.356 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。粪粒通量在时间序列上受东亚季风影响显著，500 m 和 1590 m 水深处均呈现冬春高、夏秋低的季节性变化。浮游动物群落对粪粒的原位生产和再打包利用使大体积组分（椭球形、长柱形粪粒长度 $>300 \mu\text{m}$ ，球形粪粒直径 $>200 \mu\text{m}$ ）贡献增加，而陆架物质的侧向搬运为深部带来更多小体积粪粒，导致粪粒通量在垂向上呈现深部（1590 m）比浅部（500 m）数值增加的现象。粪粒碳通量对颗粒碳通量的贡献受其他颗粒碳形式的显著影响，平均贡献占比仅为 3.34%。本研究揭示了东亚季风对浮游动物粪粒碳输出的控制作用，认为浮游动物群落结构和沉积物侧向搬运增加了粪粒的深海碳输出，从而影响深海生物泵效率。

S50-P-3S

南海西部浮游动物粪粒沉降通量的时间序列变化及其对深海碳输出的贡献

曹君元^{1*}，刘志飞¹，李嘉盈¹，林宝治¹，赵玉龙¹，张晓栋¹，宋弘喆¹，张靖雯¹

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

* junyuan_cao@tongji.edu.cn

浮游动物粪粒是海洋颗粒有机碳的重要组成部分，其沉降过程是颗粒有机碳从海洋表层向深海输出的重要途径，对研究海洋生物泵过程具有重要意义。该研究利用南海西部 TJ-W1 锚系站位上两个沉积物捕集器（水深分别为 500 m 和 1170 m）连续四年时间序列（2020 年 6 月至 2024 年 7 月）的沉降颗粒样品，通过统计分析浮游

动物粪粒的数量通量和有机碳通量，研究粪粒沉降对深海有机碳输出的贡献。该研究共识别出椭球形、长柱形和球形三种类型的浮游动物粪粒。在所有样品中，粪粒的数量通量在 500 m 和 1170 m 平均分别为 3.02 和 $1.14 \times 10^4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，对应的粪粒碳通量平均分别为 0.20 和 $0.14 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。不同类型的粪粒对总通量的贡献不同，椭球形和球形粪粒合计占数量通量的 95%，长柱形的粪粒数量很少（占 5%），但其对有机碳通量的贡献占 20% 以上。粪粒在沉降过程中受到微生物分解或其他浮游动物的摄食，导致粪粒的数量通量和碳通量都随着水深的增加而降低。从长时间尺度看，粪粒通量随时间变化较大，呈现出季节性和年际性差异。在冬季风期间，粪粒的通量相对较高，平均值是其他季节的 1.8 倍；在夏季风期间，粪粒的通量很低，平均值仅为其他季节的 0.5%。陆源碎屑的输入对粪粒具有调控作用，东亚季风转换时期，较强的水动力可能造成陆坡沉积物再悬浮，并将一些陆源的物质搬运到深海中，从而造成粪粒通量显著增加。研究粪粒的沉降可以为深海有机碳循环提供新的见解，并揭示气候变化如何对海洋生物泵产生影响。

S51-O-1

微型生物碳泵：地球系统中气候变化的双向调节机制

焦念志^{1*}，2024 年 Nature Reviews Microbiology 文章作者²

1 厦门大学，碳中和创新研究中心

2 海洋负排放国际大科学计划

* jiao@xmu.edu.cn

碳循环的微观过程与全球气候系统的宏观演化之间存在复杂而关键的耦合关系。面对全球变暖加剧与碳中和目标挑战，海洋作为地球最大的活跃碳库，正日益成为气候调节与负排放路径中的核心环节。近

年来, 微型生物碳泵 (Microbial Carbon Pump, MCP) 理论的发展与深化, 为重新认知海洋碳汇机制、构建多尺度耦合的气候反馈模型提供了重要科学支撑。

近年来的研究揭示了 MCP 在地质尺度上对气候变化的“双向调节”功能: 在间冰期等温暖、分层、缺氧环境中, RDOC 持续积累, 形成缓解温室效应的碳汇; 而在冰消期或扰动增强阶段, RDOC 则可能因光解与氧化作用重新释放为 CO₂, 加剧气候回暖。这一可逆“碳阀门”机制不仅重构了 DOC 悖论的科学逻辑, 也为米兰科维奇周期与地质记录中的碳同位素扰动提供了统一解释框架。伴随分子层级与宏观观测的技术进步, MCP 沿着“机制认知—实验验证—拓展集成—现场应用”演进路径, 进入以 BCMS (生物碳泵 BCP-碳酸盐反泵 CCP-MCP-溶解度泵 SCP) 多泵协同的理论体系构建阶段, 搭建起可操作、可监管、可评估的海洋负排放路径, 为“海洋负排放国际大科学计划 (ONCE)”的全面实施奠定了坚实的基础。技术基础。可望为我国的“双碳”战略、以及构建人类命运共同体提供有力抓手。

S51-O-2

珠江口羽流对底层水体溶解有机物组成及特征的影响

谢伟^{1*}, 孙国栋¹

¹ 中山大学, 海洋科学学院
* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

河口羽流对浮游植物的生长和分布具有显著影响, 并通常导致底层水体出现低溶解氧条件, 这些因素共同增加了溶解有机物 (DOM) 的迁移转化过程的复杂性。然而, 河口羽流对 DOM 组成和性质的影响仍不明确。我们通过采集珠江口羽流不同代表区域中溶解有机质样品, 利用光谱技术和傅里叶变换离子回旋共振质谱, 表征了珠江河口羽流底层水体低溶解氧区和非

低溶解氧区的分子组成特征。结果表明, 非低溶解氧区的溶解有机碳 (DOC) 浓度显著高于低溶解氧区; 相反, 低溶解氧区的有色溶解有机物 (CDOM)、微生物源类腐殖质组分 (C1) 和陆源类腐殖质组分 (C2) 的丰度显著高于非低溶解氧区。从分子层面看, 低溶解氧区的 DOM 表现出更高的分子多样性、更低的氢碳比 (H/C_{wa}) 以及更高的氧碳比 (O/C_{wa}) 和硫碳比 (S/C_{wa})。主成分分析显示, 低溶解氧含量抑制了 CDOM、C1、C2 和易分解化合物 (如肽类和脂肪族化合物) 的微生物降解, 导致 CHON 类化合物的生成减少。此外, 研究发现浮游植物是低溶解氧区 CHOS 类化合物的重要来源。本研究从分子水平揭示了河口羽流区 DOM 的来源和归趋, 强调了河口羽流在近岸海洋 DOM 生物地球化学循环中的关键作用。

S51-O-3

近海是惰性溶解有机碳产生的潜在热点区域

肖喜林^{1*}

¹ 厦门大学, 碳中和创新研究中心
* shiningxiao2015@foxmail.com

海洋中 90%以上有机碳的以惰性溶解有机碳 (Refractory Dissolved Organic Carbon, RDOC) 的形式存在, RDOC 的储碳量与大气 CO₂ 库碳储量相当, 二者之间的交换将影响全球气候变化, 因而在调节全球气候变化中起着至关重要的作用。类腐殖质荧光溶解有机物 (Fluorescent Dissolved Organic Matter, FDOM) 广泛分布在黑暗海洋, 通常被认为是 RDOC 的组成部分。本文基于 FDOM 表征技术, 通过长周期生态系统水平室内模拟实验、近海原位时间序列监测和全球海洋文献荟萃分析, 提出 AOU-FDOM 斜率是定量评估微型生物产生 RDOM 效率的指标, 并进一步指出近海是惰性溶解有机碳产生的潜在热点区域,

在 FDOM 水平上探索了微生物在近海环境中 DOM 去除、RDOM 产生中的作用及其伴随的生态环境效应。

S51-O-4

基于高分辨质谱的海洋溶解有机质分子组成及其活性调控机制研究

李朋辉^{1,2*}, 陶建昌³, 林间³, 何晨⁴, 蔡阮鸿⁵, 李芯芯³, 史权⁴, 何丁⁵, 张传伦³

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 南方科技大学, 海洋科学与工程系

4 中国石油大学(北京), 化学工程与环境学院

5 香港科技大学, 海洋科学系

* liph8@mail.sysu.edu.cn

海洋溶解有机质(DOM)是全球碳库的重要组成, 对全球气候有重要影响; 同时 95%以上的海洋 DOM 是生物惰性的, 目前认为微型生物碳泵(MCP)是活性有机质转化为惰性有机质的重要机制, 但目前关于海洋 DOM 的惰性机制仍存在争议。已有研究表明 DOM 的活性受其分子组成影响, 因此厘清海洋 DOM 的分子组成变化规律及其调控因素对于理解气候变化背景下的海洋 DOM 的动态变化及其活性有重要意义。结合野外调查和室内模拟实验, 基于高分辨质谱, 本研究对海洋 DOM 的分子组成及其调控因素进行探究。结果显示, 海洋 DOM 分子组成呈现明显的深度分层。表层 DOM 呈现高氢碳比(H/C)、低芳香性(AImod), 而深层 DOM 呈现低 H/C、高 AImod。这种垂向分布规律可能归结于表层的初级生产和强光辐射, 以及深层的微生物加工。进一步的针对不同来源 DOM 的长时间的微生物培养实验也表明, DOM 来源及其分子组成对其活性有重要影响。尤其是海洋 DOM 的长期培养过程中, 丰度显著增加(产生)和降低(降解)的分子组成性质(标称氧化态(NOSC)、AImod 等)

也有很明显的差异。尤其是不同种类(增加 vs 降低)的分子的 AImod 的分布规律同海洋表层和深层富集分子的 AImod 分布规律一致, 表明微生物在海洋 DOM 的分子组成及活性的调控方面扮演重要作用, 进一步支撑了 MCP 假说。此外, 对不同种类分子的丰度进行研究, 发现分子丰度对于分子类别即活性的影响要弱于其分子组成, 表明基于分子组成的“结构惰性假说”比基于分子丰度的“稀释假说”在海洋 DOM 的惰性机制中扮演更重要的角色。研究结果可为更好地理解海洋碳汇及其气候效应提供支撑。

S51-O-5

全球代表性河口细菌群落与溶解有机质组成的相互作用及对环境因子的响应

郭桢丽^{1,2}, Michael Gonsior³, 刘笑天^{1,2}, 陈峰⁴, 冉祥滨⁵, 洪华龙⁶, 焦念志^{1,2}, 肖喜林^{2*}

1 厦门大学, 海洋与地球学院

2 厦门大学, 碳中和创新研究中心

3 University of Maryland Center for Environmental Science, Chesapeake Biological Laboratory

4 University of Maryland Center for Environmental Science, Institute of Marine and Environmental Technology

5 自然资源部第一海洋研究所, 海洋生态研究中心

6 厦门大学, 滨海湿地生态系统教育部重点实验室

* shiningxiao2015@foxmail.com

河口是溶解有机质(DOM)动态转化的核心区域, 细菌在河口 DOM 降解与转化过程中发挥关键作用。然而, 目前对河口细菌群落与 DOM 间的互作模式仍缺乏系统认知。本研究选取了分布于太平洋西岸的胶州湾(JZB)和厦门湾(XMB)、大西洋西岸的 Chesapeake Bay(CB)以及墨西哥湾的 Mission-Aransas Estuary(MAE)四个典型河口, 系统解析了河口 DOM 组成和

细菌群落的空间异质性及偶联模式，并对关键环境驱动因子进行探讨。采样期间，JZB 和 XMB 水体中自生源 DOM 比例较高，而 CB 与 MAE 则以陆源 DOM 为主。同时，JZB 和 XMB 的细菌多样性显著高于 CB 和 MAE。网络分析结果显示，变形菌门（*Proteobacteria*）广泛参与了河口 DOM 组分的代谢转化。结构简单的细菌群落更倾向利用易降解 DOM 组分（如含硫化物），而复杂群落对难降解 DOM 组分的分解能力更强。结构方程模型结果进一步表明，升温与氮限制可通过降低细菌多样性促使群落结构趋于简单化，进而削弱菌群对惰性 DOM 的利用能力，促进河口生态系统中惰性 DOM 组分的累积。推测在海洋变暖背景下，减少河口营养盐输入将导致细菌群落-DOM 互作模式的改变，进而引起河口负碳排放潜力的提升。本研究突破了单一河口研究的局限性，揭示了河口碳循环的微生物调控机制，并可为河口生态系统有机碳管控、菌群调控等生态管理策略提供理论依据。

S51-O-6

隐藏在水体有机污染中的潜在负排放路径

吕宗青^{1,2,3}，刘笑天^{1,2,4}，何丁^{5,6}，冉祥滨^{1,3*}，冯耀⁷，高文宣^{1,7}，钟晓松¹，焦念志^{2,3,4*}

1 自然资源部第一海洋研究所，生态研究中心

2 厦门大学，碳中和创新研究中心

3 联合国海洋十年海洋负排放大科学计划

4 厦门大学，海洋与地球学院

5 香港科技大学，海洋科学系暨港澳海洋研究中心

6 香港城市大学，海洋污染国家重点实验室

7 中国海洋大学，化学与化工学院

* rbx@fio.org.cn

* jiao@xmu.edu.cn

随着气候变化压力加剧，水体碳汇功能受到广泛关注。化学需氧量（COD）作为核心水质评价指标，长期以来被用来评

估水体有机污染程度，然而该指标未能区分水体中可被微生物降解的活性有机碳与惰性溶解有机碳（Refractory Dissolved Organic Carbon, RDOC），从而导致污染程度被系统性高估。本团队基于物理分离、生物培养及高分辨质谱分析等多手段，研究了中国污染最严重的河口之一——长江口中不同粒径有机碳的组成、生物可利用性及其在污染评估和碳循环中的作用。结果表明，RDOC 在溶解性有机碳（DOC）中占比高达 $65.8\% \pm 9.2\%$ ，由碳、氢、氧组成的 CHO 分子在培养过程中降解比例不足 10%。OC 与 RDOC 在各粒径组分中呈显著正相关，粒径越小，其惰性越强；而大于 $0.45 \mu\text{m}$ 的颗粒态 OC 主要为可降解组分，与 COD 评估密切相关。据此建立的修正公式（ $\text{COD}_{\text{labile}} = 0.47 \times \text{COD}_{\text{bulk}} - 0.03$ ）可更准确反映活性有机碳对 COD 的贡献。

基于已有文献对各类水体 DOC 及其 RDOC 比例的汇总分析，我们估算出 RDOC 的总量约为 691-753 Gt，甚至超过大气二氧化碳的总量。因此，保存且增加水体 RDOC 对于抵御气候变化非常重要。RDOC 具备长期碳储存功能，除了在天然河口口中可能误导有机污染监测结果，在污水处理中也常被误判为污染物并被去除，从而造成大量温室气体排放。现行 COD 导向的治理措施使污水厂释放大量 CO_2 当量，仅因无法识别 RDOC 这一碳汇形态。本研究提出通过改进污染指标以保留 RDOC，可在保障水质的同时促进碳汇增强，实现“负排放”路径。这一理念挑战了传统水质治理逻辑，为未来水体有机污染表征和环境政策制定提供了科学依据。通过发展更精细的有机碳分型监测技术，区分 OC 的生物可利用性，有望在污水处理、河口治理及碳中和战略中发挥重要作用。

S51-O-7

藻类碳汇中的微型生物碳泵贡献及其对海洋升温的响应

张永雨^{1*}, 张增虎¹, 赵寒霜¹, 李鸿妹¹,
冯秀婷¹

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

* zhangyy@qibebt.ac.cn

藻类（包括浮游植物和大型海藻）是海洋初级生产力的主要贡献者和海洋固碳的主要驱动者，通过生物泵方式在海洋储碳和气候调控方面发挥重要作用。然而，藻类与微生物弥补可分。微生物不仅在藻类生长、死亡降解和碳的释放过程中发挥重要调控作用，并在很大程度上决定了藻源碳的归宿和碳汇效应，主要过程包括：1) 微生物可调控藻的生长，促进或抑制藻类固碳；2) 通过微型生物碳泵方式将藻源的活性有机碳转化为惰性有机碳，包括惰性溶解有机碳（RDOC）和惰性颗粒有机碳（RPOC），从而实现碳的长久储存；3) 微生物驱动的碱度提升和贡献无机碳汇等。然而藻类与微生物协同驱动的海洋碳汇对环境与气候变化敏感，海洋升温可削弱藻菌驱动的海洋储碳效应。

S51-O-8

热带海湾海洋寄生性甲藻 (Syndiniales)的高遗传多样性 及真核浮游植物变化研究

邱大俊^{1*}, 王磊¹, 陈永强¹, 颜婧¹, 陈靖夫¹, 郭雨沛¹

1 中国科学院南海海洋研究所

* djqiu@scsio.ac.cn

真核浮游植物，尤其是超微型真核浮游生物，在海洋生态系统中起着重要的作用。与体型较大的微型和小型浮游植物相比，超微型真核浮游生物多样性特征与生态动力学机制仍知之甚少。海洋寄生性甲藻作为一类寄生性囊泡虫，其生态重要性正日益受到重视，但针对热带近岸水域该类群的多样性及时空动态研究十分有限。

采用小亚基核糖体 DNA (SSU rDNA) V4 区高通量测序技术，2019–2021 期间通过分级过滤方法 (0.2–3 μm 和 ≥3 μm) 在三亚湾进行采样，开展三亚湾海域的寄生性甲藻多样性研究。结果确定了三亚湾 Syndiniales I–V 类群高遗传多样性，除已报道的 Group II 25 个系群和 Group I 4 个系群外，发现 4 个新系群。相关性分析表明寄生性甲藻丰度与温度与营养盐存在显著相关性。网络分析结果寄生性甲藻优势类群与核心甲藻优势类群之间潜在的宿主-寄生关系，为后面研究其在海洋有机碳产生的贡献研究提供新的方向，并为其生态功能的阐释提供了新依据。本研究不仅明确了 SSU rDNA V4 区可作为寄生性甲藻多样性研究的有效方法，更系统解析了寄生性甲藻在海洋生态系统中的遗传多样性特征及其季节性变化规律。

S51-O-9

地球“四极”病毒多样性及其 潜在生态作用分析

梁彦韬^{1*}, 汪岷^{1*}

1 中国海洋大学，海洋生命学院

* liangyantao@ouc.edu.cn

* mingwang@ouc.edu.cn

地球“四极”——包括北极、南极、马里亚纳海沟和青藏高原，代表了四类典型的极端环境。病毒作为地球上丰度最高且多样的生物实体，通过侵染和裂解宿主细胞、水平基因转移和宿主代谢重编程等过程显著影响微生物群落，进而影响生物地球化学循环。然而，关于“四极”中病毒多样性及其生态作用的知识仍然非常有限。本报告将介绍我们基于原位大面积调查，采用宏基因组学、宏转录组学等多组学技术对“四极”病毒多样性及其潜在生态作用的部分认识，并为揭示病毒对海洋负排放过程的贡献提供数据支持。

S51-O-10

丝状噬菌体与细菌宿主互作 调控生物膜结构和胞外多聚 物组成

郭云学^{1*}, 汤开浩¹, 林世团¹, 古嘉瑜¹,
王晓雪¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛
礁生态全国重点实验室

* yunxueguo@scsio.ac.cn

海洋异养细菌生物膜的形成与溶解性有机碳 (DOC) 转化过程是海洋碳汇的重要环节, 其中丝状噬菌体作为有效调控者, 通过双重分子机制重塑生物膜三维结构, 驱动活性有机碳 (LDOC) 向惰性有机碳 (RDOC) 的转化。首先, 研究揭示了丝状噬菌体通过编码的“磷酸酶-磷酸酶-激酶”新型毒素-抗毒素系统 KKP 和逆转录酶对生物被膜中丝状噬菌体的激活、传播和防御烈性噬菌体侵染的过程和机制。在生物膜形成的初始阶段, 丝状噬菌体通过其特有的 KKP 系统精准调控宿主生理状态。该毒素-抗毒素系统通过磷酸化介导的可逆翻译后修饰, 动态平衡噬菌体裂解释放与宿主存活的关系。KKP 激活后通过宿主蛋白控制丝状噬菌体的释放, 进而影响胞外多聚物的产生和生物膜的三维结构组成。同时, 释放的丝状噬菌体再侵染过程中产生的核酸碎片以 RDOC 形式释放并封存。KKP 在超过 1000 种原噬菌体中广泛存在, 提示其可能是海洋微生物调控碳循环的普适机制 (Guo *et al.*, *Nature Communications*, 2024)。其次, 随着生物膜发育进入成熟期, 丝状噬菌体携带的逆转录酶启动基因组精简程序。通过上游非编码 RNA 与下游核酸酶的协同作用, 噬菌体剪切去除 24% 的调控区域, 保留复制组装核心基因。这种基因工程策略不仅使噬菌体逃逸宿主免疫监控, 更赋予其持续侵染能力。精简后的噬菌体在生物膜内呈网格状分布, 其丝

状结构作为“生物钢筋”与宿主分泌的 EPS“混凝土”交织, 形成稳定的三维支架 (Guo *et al.*, *Cell Reports*, 2024)。这两项发现表明, KKP 系统调控碳转化的化学进程, 逆转录酶驱动生物膜结构的物理优化, 二者协同作用揭示了丝状噬菌体对海洋“微型碳泵”的贡献。该研究不仅为阐释微生物通过噬菌体介导碳汇形成的提供了理论模型, 更为基于合成生物学定向改造噬菌体-宿主系统、增强海洋碳封存效能提供依据。

S51-O-11

病毒裂解与原生动物摄食对 微型生物碳泵过程的差异化 驱动机制及其碳汇效应

胡晨^{1*}, 焦念志²

¹ 厦门大学, 碳中和创新研究中心

² 厦门大学, 海洋与地球学院

* huchen@xmu.edu.cn

微型生物碳泵 (MCP) 通过将活性溶解有机碳 (LDOC) 持续转化为偏惰性溶解有机碳 (RDOC), 在海洋中形成长期储碳。病毒裂解与原生动物摄食是该过程中重要的两大调控环节, 但其作用模式、耦合关系及在不同环境条件下的碳汇效应尚缺一认识。基于南海现场观测、室内大型生态系统模拟和小尺度控制实验, 本研究从捕食者-猎物动力学角度探讨它们对 MCP 的差异化影响。结果显示: 原生动物对高核酸细菌的选择性摄食在富营养环境中更为显著, 可加速 DOC“快速回圈”; 在营养匮乏环境中, 这种选择性减弱, 有助于维持微食物环稳定并提升细菌群落多样性, 其摄食代谢产物既直接补充 RDOC, 也可通过“引发效应”促进特定细菌类群的碳利用。病毒则依据宿主密度与多样性在裂解与溶源策略之间切换: 裂解增强“病毒回路”对碳流的截留, 溶源延缓 DOC 周转并维持宿主多样性。营养盐梯度与昼夜节律可放

大或抑制上述捕食过程,从而调节 RDOC 生成速率。本研究厘清了病毒裂解与原生动物摄食在不同海洋环境中的协同—拮抗机制,强调捕食者—猎物动力学在连接微食物环结构与碳泵效率中的关键杠杆作用,为量化南海及其他海域 MCP 碳汇贡献提供了数据与过程基础。

S51-O-12

贝藻养殖的碳吸收、释放及对水—气 CO₂ 交换的影响

汤坤贤^{1,4*}, 黄博文^{1,2}, 张永雨³, 马勇^{1,4}, 魏晓琼¹, 刘晨妍¹, 陈嘉伟¹, 李和阳^{1,4}, 张飞^{1,4*}

1 自然资源部第三海洋研究所

2 暨南大学, 生命科学技术学院

3 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

4 自然资源部/福建省海洋生态保护与修复重点实验室

* tangkx@tio.org.cn

* zhangfei502@tio.org.cn

贝藻养殖对海洋碳汇具有重要影响,然而目前对贝藻单养和混养过程中的 DIC 吸收、DOC 释放以及 CO₂ 源/汇情况尚缺乏深入比较和解析。该论文通过开展龙须菜和牡蛎单养以及两者混养实验,结合自主研发的封闭式水—气 CO₂ 同步监测装置,分析了养殖过程海水 DIC、DOC 和上层空气 CO₂ 浓度的动态变化规律及其环境影响因素。发现龙须菜单养具显著碳汇效应,显著降低海水 DIC 和上层空气 CO₂ 浓度,对空气 CO₂ 和水中 DIC 的吸收速率分别达 0.026 mg/(g·h)和 1.081 mg/(g·h)(以 CO₂ 计);牡蛎单养对海水 DIC 浓度影响不大,但显著提高空气 CO₂ 浓度,呈现碳源效应,向空气释放 CO₂ 的速率达 0.110 mg/(g·d);而将一定量龙须菜与牡蛎进行混养可大幅降低海水 DIC 浓度,降低程度甚至大于龙须菜单养,并显著减少牡蛎养殖向空气释放 CO₂ 的量,高比例龙须菜和牡蛎的混养甚至可实现 CO₂ 由源向汇的扭转。龙须菜和

牡蛎重量比为 18:1 时,水—气 CO₂ 交换接近平衡状态。除无机碳外,龙须菜和牡蛎的单养和混养下 DOC 释放速率亦呈现显著差异,龙须菜的 DOC 释放速率显著大于牡蛎,龙须菜和牡蛎混养的 DOC 释放也呈现叠加效应。因龙须菜自身的光合特性,相较于牡蛎而言,其受光暗变化的影响显著,在光照周期内海水 pH 值、DO 和 DOC 浓度上升, DIC 浓度下降,而在黑暗周期内呈现相反的变化。其中 pH 值是影响海水 pCO₂ 和水—气 CO₂ 交换的关键环境因素。该论文结果对科学认识和评价贝类、大型海藻的碳源/汇效应具有重要参考价值。

S51-P-1

海洋生态系统中新型温和噬菌体的功能研究

刘自尧¹, 汤开浩^{1*}, 刘天朗¹, 郭云学¹, 王晓雪^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* khtang@scsio.ac.cn

* xxwang@scsio.ac.cn

盐单胞菌在海洋中分布广泛,是一类代表性异养细菌类群。该类群能够利用多种底物为碳源生长,产生积累在微生物细胞中的天然聚合物-聚羟基脂肪酸酯(PHA)等 RDOC 组分,在海洋 DOC 转化中具有重要作用。本研究利用课题组开发的原噬菌体预测软件 Prophage Tracer,在从南海分离培养的盐单胞菌基因组上发现了一类活跃的新型长尾噬菌体。这类噬菌体诱导激活遵循“复制-包装-切离”的途径。这种特殊的途径赋予了其可以扩增并包装宿主侧翼基因进行侧向转导的能力,具有远高于普遍性转导的效率。此外,这类噬菌体利用由四个裂解基因组成的特殊裂解模块,裂解宿主并控制形成外膜囊泡(OMV)。释放的噬菌体吸附于外膜囊泡上,形成独特的具有侧向转导能力的噬菌体“搭载”OMV 的

复合形式。通过海洋宏基因组和宏转录组分析发现这类噬菌体在海洋生态系统中分布广泛活跃。侧向转导方式是一种特殊的水平基因转移方式,具有影响整个异养细菌群落的生理代谢过程的能力。该成果揭示了基于搭载 OMV 的侧向转导的噬菌体-海洋细菌共进化模式,是一种温和噬菌体参与海洋生物地球化学循环的新机制,影响异养细菌群落对 DOC 的转化,为厘清典型海洋环境重要微生物功能类群的生态过程及其对海洋碳储库的贡献提供了新的角度。

S51-P-2

海洋微生物矿化过程对碳循环的调控及其驱动机制

张立明¹, 汤开浩¹, 费星怡^{1,2}, 翁珏华^{1,2}, 严嘉慧³, 王晓雪^{1,2*}

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 中国地质大学(北京)

* xxwang@scsio.ac.cn

异养细菌是海洋生态系统的基本组成部分,在能量流动和碳循环中发挥重要功能。微生物碳泵(Microbial carbon pump, MCP)的研究表明,异养细菌可以介导海洋活性溶解性有机碳(Labile dissolved organic carbon, LDOC)转化为惰性溶解有机碳(Recalcitrant dissolved organic carbon, RDOC)。细菌代谢产生的 RDOC 副产物可以作为碳酸钙晶体的成核位点,同时由于细菌代谢导致海水的碱度增加,二者都促进了海洋中碳酸钙的沉淀。然而,对海洋微生物矿化机制的认识仍然有限。为了填补这一空白,我们从珊瑚生态系统中分离出几株异养矿化细菌,并发现精氨酸是微生物矿化的重要驱动因子,进而对其驱动机制进行了系列研究。我们的结果能够促进对海洋微生物矿化的认识,并揭示 MCP 和碳酸盐泵的协同作用机制。

S52-O-1

海水碱化负排放与环境效应研究

刘纪化^{1*}

1 山东大学,海洋研究院

* liujihua1982@foxmail.com

海水碱化(Ocean Alkalinity Enhancement, OAE)负排放技术被视为增加海洋吸收大气二氧化碳的关键路径,并在海洋增汇领域受到广泛关注。该技术通过人为手段提高海洋表层碱度,降低海水二氧化碳分压,进而增加海洋对大气 CO₂ 的吸收与封存能力。近年来,随着对海洋负排放技术的深入研究,海水碱化技术的多种实施场景被陆续提出并得到了显著的进展,并在矿料选择、碳汇核算监测以及生态风险管理等多个关键技术领域取得了突破性的进展。这些成果的取得不仅推动了海水碱化负排放技术的进一步发展,也展示了海洋在应对气候变化方面的巨大潜力和广阔前景。

S52-O-2

海洋碱化对浮游生物群落生态影响

辛孝科^{1,2*}, 刘纪化¹, Ulf Riebesell²

1 山东大学,海洋研究院

2 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

* xxin@sdu.edu.cn

全球变暖形势日趋严峻,亟需实现全球碳中和。海洋碱化(OAE)旨在通过提高海洋碱度以消耗海水氢离子,促进海洋吸收二氧化碳,在气候尺度上具有巨大的固碳潜力。然而,海洋碳化学环境变化对海洋生态系统稳定性影响尚不明确。本研究采用室外围格实验研究方法,探究 OAE

对浮游生物群落生态影响并阐明其机制。结果表明：（1）在海气 CO₂ 平衡状态下，OAE 对浮游生物群落的丰度、尺寸结构和生物多样性均无显著影响；（2）在贫营养条件下，海气 CO₂ 未平衡状态 OAE 对浮游生物群落影响较小；（3）在营养盐充足条件下，海气 CO₂ 未平衡状态 OAE 与营养盐促进了硅藻的生长优势，而由碱化过程导致的 pCO₂ 快速降低及种间竞争则显著抑制了颗石藻的生长。本研究揭示了 OAE 对海洋浮游生物群落的生态效应，为评估海洋碱化固碳技术的生态安全性提供了重要的科学依据。

S52-O-3

微藻碱性养殖尾水驱动的海洋碱化增汇技术研究与应用潜力

朱陈霸^{1*}

1 厦门大学，碳中和创新研究中心

* Chenba@xmu.edu.cn

海洋作为地球上最大的动态碳库，其碱化增汇技术（OAE）在增强碳汇能力的同时可缓解海洋酸化，已成为应对气候变化的重要路径。然而，现有碱性材料（如橄榄石）因溶解度低导致成本高昂，且碳捕集技术经济价值不足，严重制约了 OAE 的规模化应用。

微藻作为高效固碳生物，通过光自养作用将 CO₂ 转化为生物质，其规模化养殖过程直接封存大气碳汇。尤为重要的是，微藻养殖产生的尾水具有天然碱度特性，可作为海洋碱化的潜在碱性材料。同时，微藻在固碳过程中可联产蛋白质、色素等高附加值产物，为碳捕集技术提供经济收益，有效平衡负排放技术实施与经济之间的矛盾。

本研究提出耦合微藻养殖与海洋碱化的协同创新模式，通过“固碳-提值-增汇”系

统集成构建闭环技术路径。该模式包含三个核心环节：首先利用微藻生物固碳特性建立规模化碳封存系统；其次通过藻类产物资源化提升技术经济性；最终将碱性尾水作为低成本碱化剂注入海洋，替代传统矿物碱源以增强碳汇能力。这一协同机制突破碱性材料成本与碳捕集经济激励的双重瓶颈，通过微藻固碳与尾水增汇的耦合效应，同步强化碳封存效率与海洋酸化缓解能力，同时形成经济收益驱动的可持续运行模式，为海洋负排放技术规模化应用提供创新解决方案。

S52-O-4

以氢氧化镁为基础的海洋碱化效率及潜在环境效应研究

王学超^{1*}，史佳佳¹，白如琴¹，Apsara P Vijayan¹，刘源昊¹，黄昕¹，牛若禹¹，侯圣伟¹，李芯芯¹，李刚²，Mark James Hopwood¹

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 中国科学院南海海洋研究所

* xuechao314@foxmail.com

海洋碱化被认为是当前最具潜力的二氧化碳去除技术之一，可通过提高海水碱度，将大气中的二氧化碳以溶解无机碳形式长期封存于海洋中。然而，关于海洋碱化过程中碱化效率、长期稳定性及其潜在生态与生物地球化学影响的研究仍较有限，制约了该技术在实际应用中的科学评估与推广。为此，本研究以氢氧化镁为碱化剂，分别于湿季和干季在深圳大亚湾开展了中尺度（50 m³）和小尺度（50 L）海洋培养实验。通过连续监测碳酸盐体系参数如总碱度、溶解无机碳与二氧化碳分压等，量化碱化效率；结合使用环境中的 DNA 分析微生物的群落结构与多样性；并整合多项生物地球化学指标如盐度、营养盐、叶绿素、溶解氧等，评估其潜在副作用。结果显示，氢氧化镁在小尺度（50 L）实验中展

现出更高的碱化效率与更好的稳定性，而中尺度（50 m³）实验则更容易受到环境因素如降雨的影响。所有实验均未观察到显著的生态或生物地球化学负效应，展示了海洋碱化增汇技术良好的应用前景。

S52-O-5

污水输送碱度强化海洋负碳排放技术在实际海洋系统中的研究

卢龙飞¹，周集体^{1*}，冀秋燕¹，李磊¹

1 大连理工大学，环境学院

* zjiti@dlut.edu.cn

全球工业化背景下，二氧化碳的排放加剧了包括全球变暖和海洋酸化在内的环境危机，迫切需要开发海洋负碳排放（ONCE）技术。利用污水输送碱度实现海洋碱度增强（OAE）在理论上是一种有前景的解决方案，该方法借助废水系统输送碱性材料（如 NaOH），可最大限度减少二次沉淀并促进低成本矿物（橄榄石 / CaCO₃）的溶解，但其在实际海洋条件下的固碳效能和工程可行性仍未得到充分探索。本研究通过实验室与现场调查相结合的方式，填补了关键知识空白。实验室试验表明，添加 NaOH（36.7–40.4 mg/L）可将废水 pH 值从 6.8±0.05 提升至 8.8±0.15，实现 98.3% 的二氧化碳分压降低（ $\Delta p\text{CO}_2 = -8800 \mu\text{atm}$ ），固碳效率提高 46.5%（0.828 mol CO₂/mol NaOH）。在沿海水域的现场验证显示，排放点附近 2600 平方米区域内实现负碳排放，pH 值升高（ $\Delta +0.8$ ），总碱度（TA）提升 18%–30%，且可检测到的影响（TA 增加 6%–12%）延伸至离岸 60,000 平方米的海域，证实了自然输送机制（河流冲淡水 / 洋流）有助于大规模二氧化碳去除和酸化缓解。全球实施潜力分析估计，通过废水系统每年可实现 3.52×10⁷吨 CO₂ 的海洋负碳排放能力。为解决碱性材料的可持

续性问题，我们开发了一种制备型垂直直流电泳（PVFE）系统，可实现基于海水电解的碱生产。本研究为污水输送 OAE 从概念框架向实际海洋二氧化碳去除（CDR）策略的转变提供了首个实证依据，为实际部署建立了关键工程基线。

S52-O-6

滨海湿地水域初级生产力与碳汇调控因素探讨

裴绍峰^{1*}，叶思源¹，Edward A Laws²

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，海岸带地质研究室

2 美国 Louisiana State University，海洋学与海岸科学系

* 44666021@qq.com

滨海湿地位于海洋与陆地生态系统的交错过渡带，具有极高的生产力和光合固碳效率，是海岸带蓝色碳汇的重要组成部分。滨海湿地碳汇不仅由芦苇、翅碱蓬、红树林等陆上植被提供，水体中浮游植物的光合固碳和初级生产也是碳汇的重要途径。以往较多的调查和研究集中在陆上植被和土壤微生物固碳，而对于滨海湿地水域浮游植物和底栖微藻的报道较少。近年来随着各国政府和学者对二氧化碳排放和气候变化的关注，滨海湿地多圈层生态系统的碳循环和碳汇过程成为研究热点，而湿地水域藻类初级生产力和光合固碳过程作为多圈层碳循环中重要的一个环节亦应受到足够的重视。本研究以我国典型三角洲湿地和近海河口水域浮游植物和底栖微藻为主要研究对象，探讨水域浮游植物光合固碳和呼吸失碳的生理过程，量化初级生产力动态变化及其对碳汇的影响，探讨初级生产力与碳汇潜力的水文和环境调控因素和多重环境压力的耦合效应，从而为海洋负排放工程技术研发提供理论依据和数据支撑。

S52-O-7

滨海盐沼生态修复：实现海洋碳负排放的有效技术途径

何磊^{1,2}, 叶思源^{1,2*}, Hans Brix³

1 青岛海洋地质研究所, 中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室

2 崂山实验室, 海洋地质过程与环境功能实验室

3 丹麦奥胡斯大学, 生命科学系

* siyuanye@hotmail.com

增强滨海湿地碳汇能力是缓解气候变暖效应的有效途径。为评估生态修复后滨海湿地的碳汇潜力变化, 本研究于 2011—2013 年在辽河三角洲退化滨海湿地区域实施湿地修复工程, 分别选取各 100 亩退化盐沼湿地构建两个增汇实验区, 分别为芦苇 (*Phragmites australis*) 和碱蓬 (*Suaeda salsa*) 为优势种。通过系统性改良湿地基质、优化水文过程及促进植被定殖等工程技术措施, 研究结果表明: 经三年恢复期后, 人工修复芦苇湿地年均生物量达 (6.85 ± 1.01) kg/m², 较天然芦苇湿地 (5.76 ± 0.10) kg/m² 略有提升; 其土壤有机碳 (OC) 封存速率为 (129.3 ± 14.5) g C/(m²·a), 显著高于修复前废弃池塘 (55.2 ± 2.8) g C/(m²·a), 但较天然芦苇湿地 (188.3 ± 14.6) g C/(m²·a) 仍存在显著差异。修复碱蓬湿地年均生物量达 (3.38 ± 0.43) kg/m², 为天然湿地 (0.72 ± 0.03) kg/m² 的 4 倍; 其土壤 OC 封存速率 (96.2 ± 3.6) g C/(m²·a) 相当于天然湿地 (115.9 ± 11.9) g C/(m²·a) 的 83%, 显著高于退化裸滩 (33.9 ± 3.3) g C/(m²·a)。研究表明, 经三年恢复与科学管护, 退化盐沼湿地植被生物量已基本达到天然湿地水平, 但土壤碳封存功能的完全恢复仍需更长时间。提升植被生物量与增加土壤碳库是增加碱蓬湿地碳汇的有效路径, 而促进沉积速率提升对芦苇湿地增汇更具适用性。本研究通过滨海湿地增汇工程化示范, 为我国滨海湿地

退化缓解及生态系统服务功能提升提供了可推广的技术范式。

S52-O-8

海水 CO₂ 矿物封存体系碳酸钙析出影响探究

丁泽晟^{1*}, 柴嘉俊¹, 潘依雯¹

1 浙江大学, 海洋学院

* zeshengding@zju.edu.cn

基于海水的 CO₂ 矿物封存, 是利用含 Ca 和 Mg 元素的碱性矿物, 在海水体系中与捕获的 CO₂ 发生矿化反应, 并将其转化为热力学稳定的碳酸盐 (CaCO₃ 和 MgCO₃) 进行封存, 是一项有前景的点源 CO₂ 减排手段。海水体系因其高盐度、富含钙镁离子、具有成本效益等优势, 在矿物封存领域展现出显著潜力。然而, 海水中的晶体结晶动力学十分复杂, 海水中碳酸钙析出会受到海水中复杂组分的影响, 进而影响到 CO₂ 的矿物封存的反应速率和二氧化碳移除效果。因此, 明晰基于海水的 CO₂ 的矿物封存体系中碳酸钙析出因素探究十分重要。本研究探究了海洋中的 Mg 元素和 P 元素对海水的 CO₂ 的矿物封存体系中碳酸钙析出的影响。随着海水初始 Mg/Ca 和磷酸盐浓度的增加, 矿化反应产生碳酸钙速率变慢, 反应时间延长。在相同 Mg/Ca 条件下, 随着磷酸盐浓度增加, CO₂ 吸收效率逐渐增加。随着 Mg/Ca 的增加, Mg²⁺ 会进入方解石晶体, 取代 Ca²⁺ 的位点, 增加方解石型碳酸钙的成核势垒, 对方解石的生长抑制作用增强, 进而导致 CaCO₃ 中文石比例会不断增加。当 Mg/Ca 较高时, 磷酸根会抑制 CaCO₃ 从无定形碳酸钙 (Amorphous calcium carbonate, ACC) 向文石转变的过程, 进而延长了反应时间, 同时促使 CaCO₃ 以方解石晶型析出。进一步地, 由于 Mg 对方解石的侵入作用, 会促使固碳产物最终转化为碳酸钙镁。本研究明

晰了基于海水的 CO₂ 的矿物封存体系中 Mg 元素和 P 元素对碳酸钙析出的影响, 对海洋碳捕集与封存技术具有重要应用意义。

S52-O-9

基于生态修复的黄河口盐沼湿地负排放技术

谢宝华^{1*}, 韩俊卿¹, 毕晓丽¹, 赵明亮¹, 韩广轩¹

1 中国科学院烟台海岸带研究所

* bhxie@yic.ac.cn

潮沟疏通、微地形改造、滩面抬高等生境修复措施有效改善了黄河口退化盐沼湿地的生境条件, 为盐地碱蓬生长创造了良好条件, 通过机械+人工播种盐地碱蓬的方式, 恢复盐地碱蓬群落, 使植被覆盖度由修复前的 0% 提高到 60%, 植被修复效果显著, 盐地碱蓬密度表现为高潮滩>中潮滩>低潮滩。由于监测周期短, 修复措施对土壤碳含量无明显影响, 土壤 (0-15cm) 总碳和有机碳含量有明显的空间变化, 总碳和有机碳含量区间分别为 10.0 -13.5 g/kg 和 0.6 -1.8 g/kg, 高潮滩与低潮滩的总碳含量较为接近, 但均显著高于中潮滩, 高潮滩的有机碳含量最高, 中潮滩的有机碳含量最低。

S52-O-10

人类活动对辽河口盐沼湿地一大气界面碳通量影响的研究

邢庆会^{1*}

1 国家海洋环境监测中心, 环境监管室

* huihui3349@163.com

碳汇能力是评估生态系统减缓气候变化潜力与碳交易价值的重要依据。因滨海

湿地自身环境的复杂性和脆弱性, 其碳源汇功能会同时受到多种外界干扰的共同影响。以盘锦“退养还滩”修复工程的实施为背景, 利用涡度相关技术等方法手段, 在中长期时间序列上定点跟踪监测自然湿地、养殖池塘和“退塘还湿”修复区净生态系统碳交换, 并评估不同人类活动对生态系统碳汇能力的影响程度和机制。截至目前的工作进展, 结果显示: 自然湿地生长季碳汇能力为 $-824.53 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 养殖池塘区域不同养殖阶段碳源汇功能不同, 其中 2022 年全年碳汇能力为 $-281.53 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 盐沼湿地修复区五年内 NEE 分别为 9.51、-9.95、-4.19、-8.81 和 $-21.62 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 预测盐沼湿地在修复的第 40 年固碳量为 $-456.83 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 推测其具有较强碳汇潜力。如我们保守地按照 30% 的低估来进行矫正, 那么辽河口其他区域的芦苇盐沼湿地的日均碳汇能力可提升 $.57 \sim 1.85 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。该研究有助于精准化评估自然盐沼湿地碳汇和应对气候变化潜力。

S52-O-11

微藻生物技术进展及其在海洋碳汇中的应用潜力

杜祥¹, 朱陈霸², 迟占有^{1*}

1 大连理工大学, 生物工程学院

2 厦门大学

* chizhy@dlut.edu.cn

微藻在地球早期固定大气中 CO₂ 为有机碳, 是地球生态系统的最初建立者, 目前在地球碳循环中贡献仍超 50%, 在实现“碳中和”方面具有重大潜在应用。微藻可生产高价值的营养品和药品 (虾青素、鱼油等), 以及市场规模巨大的水产饵料、大宗饲料 (鱼粉替代)、食品 (人造肉)、可降解塑料、生物燃料等, 有望每年减少 CO₂ 排放 10 亿吨, 而利用微藻提升海洋和土壤固碳能力, 每年封存 CO₂ 可能超 100 亿吨。微藻大规模产业化应用的瓶颈在于

其生产成本过高,针对这一核心矛盾,国内外诸多团队做了大量研究,近些年取得较大进展,本文将详细介绍这些进展,并预测其在海洋碳汇中的应用潜力。

S52-O-12

矿物介导海洋碳泵集成增效

刘冬^{1*}, 余荣达¹, 王旭¹, 沈宇果¹, 霍广铖¹

1 中国科学院广州地球化学研究所

* liudong@gig.ac.cn

面对全球气候变化与 CO₂浓度持续升高的严峻挑战,发展高效负排放技术以实现碳中和是解决上述问题的关键。建立基于海洋——这一地球最大活跃碳库的负排放工程,成为推动全球碳中和目标实现和破解气候困局的关键突破口。本研究揭示了矿物通过双重增效机制显著提升海洋碳汇能力:在碳泵强化方面,矿物通过风化作用提升海水 pH 并促进并诱导形成碳酸盐沉淀、释放营养盐增强硅藻初级生产力增加颗粒有机碳沉降效率以及促进惰性有机碳形成和沉降,因此可提升碳酸盐泵、生物泵和微型生物碳泵的协同碳固存效率;在碳循环优化方面,通过调节海气 CO₂交换平衡及促进有机碳向深海输运,显著延长碳封存时间。基于此,我们提出了"矿物介导的海洋碳泵集成增效"策略,突破了传统海洋增汇技术的单一作用局限,为发展新型海洋负排放技术提供了理论支撑与工程化路径。这一发现对完善全球碳循环模型、推动海洋碳中和实践具有重要科学意义。

S52-P-1

滨海芦苇湿地土壤微生物对增温及其他胁迫因子的响应:

对碳固存与生态系统稳定性的启示

裴理鑫¹, 叶思源^{2*}, 谢柳娟², 何磊², 丁喜桂², Edward A. Laws³

1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心,滨海湿地调查室

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,海岸带地质研究室

3 Louisiana State University, College of the Coast and Environment

* siyuanye@hotmail.com

滨海湿地土壤微生物是驱动碳循环的先锋类群。在全球变暖背景下解析其空间分布特征及对湿地碳循环的潜在影响,对探究滨海湿地生态系统响应机制和预测未来气候变化趋势具有重要意义。本研究通过模拟增温实验,系统探究了黄渤海滨海芦苇湿地土壤微生物分布格局及碳分解动态。研究发现:不同纬度站点间微生物群落结构呈现显著差异,原核生物群落构建以随机过程主导,而确定性过程对真菌群落形成更具决定性作用。尽管存在显著的空间异质性,黄渤海滨海湿地土壤微生物组成呈现明显的跨站点保守性特征,其各站点间共有 OTU 序列数可占本研究总序列数的 83%以上。值得注意的是,黄河三角洲站点展现出最复杂的微生物共现网络结构和最严格的还原环境,而其碳分解速率较其他站点至少高出 28.54%,推测这一现象可能由该站点生态系统孔隙水中潜在的内部富营养化驱动。尤为重要的是,模拟增温条件下高纬度滨海湿地表现出更强的温度敏感性。增温显著提高了微生物生物量,增强了微生物共现网络的复杂性与连通性,促进了碳循环功能菌群的相对丰度,并加速了碳分解速率。这些发现表明,全球变暖可能加剧滨海湿地微生物群落的级联崩溃风险,削弱其碳固存功能;而不当的水文管理措施或将进一步放大这些负面效应,给滨海湿地碳库带来灾难性风险。

S52-P-2

典型海洋生态系统甲烷释放通量及影响因素

段晓勇^{1*}, 印萍¹, 王菲¹, 金睿¹, 曹珂¹, 陈彬¹

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 海岸带地质研究室

* duan-xy@qq.com

海洋生态系统作为重要的蓝碳资源, 在减缓气候变化中发挥关键作用, 但其温室气体排放可能部分抵消碳汇效益。本研究聚焦盐沼湿地与海草床两类典型蓝碳生态系统, 通过原位监测与多参数分析, 揭示了甲烷(CH_4)释放通量的时空特征及调控机制, 为海洋负排放技术路径的优化提供科学依据。盐沼湿地研究以杭州湾南岸为对象, 采用静态箱法结合同位素分析, 发现植被覆盖显著影响 CH_4 排放: 无植被区日间 CH_4 通量 ($214.00 \text{ nmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 高于低 (100.26) 和中覆盖区 (77.54), 夜间差异缩小, 表明植被通过根系输氧和有机质调节抑制产甲烷过程。潮汐周期驱动 CH_4 通量波动, 高潮前后排放增强, 而 CO_2 通量于高潮期降至最低 (仅为峰值的 33%), 可能与海水淹没抑制氧化过程有关。互花米草收割导致土壤暴露和有机质分解, 短期内 CH_4 排放增加 $138.74 \text{ nmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 凸显人为干预对碳平衡的双刃剑效应。此外, 蟹类洞穴活动使 CO_2 和 CH_4 排放分别提升 32.1% 和 47.9%, 生物扰动成为不可忽视的排放源。海草床研究基于北方天鹅湖潟湖的连续监测 (2023.12-2024.03), 发现溶解 CH_4 浓度呈显著潮汐与昼夜节律: 低潮时浓度最高 ($0.077 \mu\text{mol/L}$), 高潮时因海水稀释降至 $0.025 \mu\text{mol/L}$ 。日间 CH_4 浓度 ($0.052 \mu\text{mol/L}$) 高于夜间 ($0.047 \mu\text{mol/L}$), 峰值出现在上午, 可能与光照促进产甲烷菌活性有关。季节性分析显示, 2 月低温期 CH_4 浓度最低 ($0.025 \mu\text{mol/L}$), 而春季升温与营养盐 (NH_4^+ 、 NO_3^-) 增加

共同驱动排放升高。估算单次潮周期内潟湖向开放海域释放 134.42 mol CH_4 , 全球海草床年排放量或达 $0.09\text{-}2.7 \text{ Tg}$, 显著削弱蓝碳净效益。综合结论表明, 甲烷通量受植被覆盖、潮汐动态、温度、生物活动及人为管理的多因素调控。盐沼湿地中植被恢复与潮汐调控可有效抑制 CH_4 排放, 而海草床需关注营养输入与温度升高的协同效应。建议在蓝碳生态修复中纳入 CH_4 监测网络, 优化管理策略以最大化净碳汇效益。本研究为海洋负排放技术的精准实施提供了数据支撑, 强调在碳汇评估中需统筹温室气体收支, 推动基于生态过程的适应性管理示范。

S52-P-3S

基于潮滩的海水碱度提升技术: 碱性材料及固碳潜力评估

李心语¹, 周哲^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* zhezhou_research@tongji.edu.cn

海水碱度提升 (OAE) 是一种重要的海洋负排放路径, 可通过增强海水对 CO_2 的吸收与储存能力, 缓解气候变化。本研究聚焦海岸带潮滩环境, 基于天然海水体系, 系统研究了碱性材料 (包括硅酸盐岩与工业副产物) 添加对海水碳酸盐系统的影响。通过监测溶解无机碳 (DIC) 的增加, 估算不同材料的 CO_2 封存潜力; 同时追踪 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的释放过程, 反映矿物的溶解行为; 测定 Si 和 P 浓度, 评估其营养元素释放潜力。为评估环境风险, 检测了多种重金属元素 (如 Cr、Ni、Zn、Cd 等) 的浓度变化, 并计算重金属污染指数 (HPI)。结果表明, 粉煤灰的碳捕集潜力最高, 其次为橄榄石, 玄武岩几乎不发生溶解反应; 钢渣虽释放大量 Ca^{2+} , 但主要通过碳酸钙沉淀而非提升碱度固定 CO_2 。各材料的重

金属释放量较低，HPI 值均远低于污染阈值。研究表明，在海岸带潮滩环境中，粉煤灰不仅具备较高的固碳效率，同时具有良好的环境适应性，是潜在的 OAE 应用材料之一。

S52-P-4S

微藻生产与污水碱化联合的海洋碱度提高增汇

罗文军¹，朱陈霸^{2*}

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 厦门大学，碳中和创新研究中心

* Chenba@xmu.edu.cn

当前全球碳中和进程受限于传统减排路径瓶颈，亟需发展具备负排放潜力的技术。微藻养殖过程中产出的高碱度养殖尾水可以成为海洋碱度增强（OAE）的新的理想材料。本研究基于成熟微藻养殖产业体系，提出“生物质生产-尾水碱化”协同增效路径：通过建立以螺旋藻（*Spirulina platensis*）为代表的高附加值藻种为核心的碳酸氢盐无机碳源供给系统，在维持现有微藻基产品产业链的同时，同步产出高碱度尾水，可直接整合至以污水碱化为路径的 OAE 工程体系，实现生物质固碳与海洋增汇双路径协同。本研究证实，该技术通过现有微藻养殖体系的自然延伸，实现了环境效益与经济效益的有机融合。在常规微藻养殖过程中自然形成的高碱性尾水，经优化利用可直接作为海洋碱度增强（OAE）的原料，既避免了传统废水处理成本，又为海洋碳汇扩容提供了稳定碱性物质来源。与此同时，微藻主产物仍可持续供应食品、饲料等高价值下游产业。这种“养殖生产-尾水赋能”的协同机制，使碳封存过程与产业经济链条无缝衔接，在无需额外投入的前提下，构建了“减排-增汇-创收”三位一体的可持续发展路径，为传统产业的绿色转型提供了可操作性强的实践范本。

S52-P-5S

硅藻—橄榄石界面作用及其协同固碳效应

余荣达^{1,2}，刘冬^{1,2*}

1 中国科学院广州地球化学研究所，先进环境装备与污染防治技术全国重点实验室

2 中国科学院大学

* liudong@gig.ac.cn

在全球气候变化背景下，开发高效且环境友好的海洋碳封存技术日益紧迫。借助橄榄石风化增强海洋碱度被认为是极具前景的海洋负排放技术。然而，其实际应用面临两个关键挑战：（1）橄榄石在海洋环境中风化常形成富硅钝化层，阻碍了橄榄石风化进程及海洋增碱效果；（2）橄榄石施加对海洋固碳生物，尤其是硅藻的固碳性影响不明，并且硅藻对橄榄石风化的作用亦或有影响。上述挑战的关键科学问题在于：硅藻-橄榄石的界面作用机制及效应尚不清楚。

为解决上述问题，本研究建立了基于底栖硅藻(*Navicula* sp.)与橄榄石的受控共培养系统，采用多尺度分析方法初步揭示了其相互作用机制。高分辨透射电子显微镜观测发现，在海水中，橄榄石风化过程将在其外表面形成钝化层，抑制了橄榄石的进一步风化和碱性离子的释放。而将硅藻加入该体系后，钝化层消失。聚焦离子束制备的薄片截面进一步揭示了橄榄石富含元素的胞外多聚物层，表明硅藻的分泌物破坏了上述惰性层。另外，橄榄石在硅藻作用下风化加速，释放出大量营养元素，促进了硅藻的勃发并提升了其光合作用能力，使硅藻在同等生物量条件下的碳固定率增加了近 3 倍。除此之外，橄榄石风化促进了硅藻生物硅中铝元素的富集，增强了硅藻壳体稳定性和有机碳保存能力。上述结果表明，在富底栖硅藻的关键海域开展橄榄石施加工程，可显著提高实施效率，并增强硅藻的初级生产力及固碳效率。本

研究创新性地建立了一种硅藻-矿物双向互惠的生物-矿物固碳共增强模式：硅藻促进橄榄石风化产生碱度碳汇，同时橄榄石促进硅藻基生物泵效率。上述两种过程同步相互增强，形成正反馈循环，因此是一种具有高潜力和实用性的海洋负排放新策略。

S52-P-6S

一种用于高效培养微藻的新型薄层喷泉光生物反应器的开发及放大设计

王嘉麟¹，胡晨³，何文洛¹，杜方舟¹，焦念志^{1,2}，刘纪化^{4*}，朱陈霸^{2*}

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 厦门大学，碳中和创新研究中心

3 厦门大学，环境与生态学院

4 山东大学，海洋研究院

* liujihual982@foxmail.com

* Chenba@xmu.edu.cn

作为微藻生产的核心，微藻光培养系统是微藻碳汇技术大规模应用的关键因素之一。但目前微藻生产系统的液层厚度较厚（5-30 厘米），导致微藻的养殖成本和能耗较高，限制微藻碳中和技术的大规模应用。这是因为较厚的液层厚度降低了系统内微藻的光利用性，进而导致较低的生长速率（<0.5 g/L/day）和细胞密度（<3.0 g/L）。此外，较低的细胞密度也会增加后续微藻的收获成本和能耗。与开放式系统的液层厚度（20-30 厘米）相比，封闭式光生物反应器的液层厚度较低（3-5 厘米），且具有较高的生产效率。但封闭式光生物反应器受制于其垂直鼓泡式的混合方式，难以实现其液层厚度控制和规模放大的“鱼和熊掌兼得”。这是因为垂直鼓泡的混合方式导致反应器难以在水平方向进行放大---水平方向上的放大会增加液层厚度。事实上，光生物反应器可以通过降低管径和增加高度来实现放大和液层厚度控制，但这

会增加反应器的制作难度和成本（如管式反应器）。

针对上述问题，本研究以创新性喷泉式混合为基础，开发了一种新型薄层喷泉光生物反应器。该反应器的最低液层厚度可达 1.0 厘米，并成功实现 1.8 平米级别的放大，且获得的最高细胞密度和产量分别高达 4.863 ± 0.111 g/L、0.645 g/L/day。更为重要的是，该反应器的液层厚度的控制并不限制其放大：目前已实现单个生产系统 113 平米生产水平的放大，且利用该反应器在冬季的螺旋藻生产效率可达 15-17 g/m²/day。

S52-P-7S

基于新型变频混合技术的薄层喷泉光生物反应器提升螺旋藻能源利用率与生产效率

张铭静^{1,2}，王嘉麟^{1,2}，胡晨²，焦念志^{1,2}，朱陈霸^{2*}

1 厦门大学，海洋与地球学院

2 厦门大学，碳中和创新研究中心

* Chenba@xmu.edu.cn

薄层喷泉光生物反应器（TLF-PBRs）因其低成本、高生物质密度、高生产效率及易于规模化等优势，在低成本微藻生产和高效碳捕集领域展现出巨大潜力。为进一步提升其生产效能并降低能耗，本研究开发了一种创新型变频混合技术（VFMT）。该技术通过往复循环中持续改变喷洒半径，实现培养区域的全覆盖均匀分布，从而显著改善 TLF-PBR 内部的整体混合效果。本研究首先采用直径 50 cm 的 TLF-PBR 培养螺旋藻（*Spirulina* sp.），在 1.0-5.0 cm 液层厚度范围内验证 VFMT 性能。实验结果表明：相较于固定喷洒半径的对照组，VFMT 能够提升 9.34%-40.93% 生物质产率，同时降低 27.73% 的混合能耗。其中 2.5 cm 液层厚度的 VFMT 培养组最大单位面积产率为

36.30 g·m⁻²·d⁻¹，较对照组（33.2 g·m⁻²·d⁻¹）提升 9.34%。进一步将该技术应用于直径 150 cm 的大型 TLF-PBR 时，VFMT 组在 2.5 cm 液层厚度下获得 5.42 g·L⁻¹的最大细胞密度和 30.2 g·m⁻²·d⁻¹的生物质产率，而对照组仅分别为 4.76 g·L⁻¹和 28.2 g·m⁻²·d⁻¹。该研究成果突显了 VFMT 技术在提升能源利用效率和生产效率方面的双重优势，为微藻规模化培养和碳捕集提供了一条可持续、高效、清洁的创新路径。

S53-O-1

碳汇新引擎：全球视野下的海洋负排放交易机制与中国路径

齐绍洲^{1*}

1 武汉大学，气候变化与能源经济研究中心
* cneuus@126.com

随着全球应对气候变化力度的持续加强，碳汇交易机制在推动碳中和目标中扮演着日益关键的角色。本报告将首先概括当前国际碳汇交易市场的发展机制，梳理全球自愿碳市场（VCM）特别是在海洋碳汇领域的发展现状及实践探索；然后分析全球主流海洋碳汇项目的交易情况，介绍 AI 等前沿技术在深海碳汇识别、监测与量化评估中的实际应用案例；随后将聚焦中国国内海洋碳汇交易机制的探索现状与实践案例，识别当前制度瓶颈与技术挑战。最后，基于国际经验与国内实际，提出推动中国海洋负排放碳汇交易机制建设的政策建议，旨在为中国构建高质量、可持续的“海洋负排放碳汇”交易机制提供可行路径。

S53-O-2

全国碳交易市场的运行现状分析

杨光星^{1*}

1 碳排放权登记结算（武汉）有限责任公司
* 343690844@qq.com

介绍中国碳排放权交易市场建设情况，包括：

一、介绍强制碳市场和自愿碳市场、地方试点碳市场和全国统一碳市场，包括设计思路和实践运行情况。

二、介绍碳市场建设政策背景，包括国际背景和国内背景等。

三、介绍碳交易市场设计思路，包括市场管理机制、制度体系、交易机制、运营系统平台和支撑服务机构等。

四、介绍碳交易市场当前运行情况、市场整体运行成效及碳市场未来发展规划等。

S53-O-3

碳交易市场发展进程与十五五碳排放双控下海洋负排放生态文明价值实现

王汝军^{1*}

1 湖北碳排放权交易中心，中碳质量（北京）标准技术有限公司
* 33866818@qq.com

中国碳交易市场历经试点探索（2011 年批复七个试点省市），到全国统一市场建设（2025 年已覆盖电力等四个行业），逐步形成“配额+CCER”的双轨机制，并通过 MRV 体系保障数据质量，成为全球最大碳现货市场。随着“十五五”期间碳排放双控制度体系的全面推行，中国将实施以强度控制为主、总量控制为辅的管控模式，通过地方碳考核、行业预警、项目碳评价

等机制，强化对重点领域的碳排放约束，推动碳达峰目标实现。在此背景下，海洋负排放作为生态文明价值转化的重要路径，依托海洋负排放生态工程等生态系统的固碳优势，通过碳汇交易、司法修复补偿等创新模式实现生态产品价值。例如，江苏盐城完成全国首单“司法蓝碳”交易，福建、山东等地探索海洋碳汇交易平台建设，将海洋负排放纳入碳市场抵消机制，促进生态保护与经济发展的协同。未来，随着碳排放双控政策与碳市场扩容（如 CCER 重启及行业覆盖扩展）的联动深化，海洋负排放将在碳中和目标下释放更大的生态与经济价值，推动中国式现代化向“人与自然和谐共生”转型。

S53-O-4

船舶与海事碳中和国际标准体系建设

倪宝玉^{1*}

1 哈尔滨工程大学，船舶工程学院
* nibaoyu@hrbeu.edu.cn

对比国际标准化组织（ISO）减碳、零碳和碳中和技术标准体系，分析船舶与海洋工程领域的相关技术和标准，总结绿色船海结构与营运减排技术，海上养殖结构设计碳中和技术，船舶减阻增效减排技术，船舶动力装置减碳零碳技术，海运能源规划管理与和减排技术，海上可再生能源技术，包括海洋风电、波浪能、潮流能、海上光伏等方向的技术发展现状、未来趋势，以及参照相关标准体系情况，给出船舶与海洋工程领域的减碳和零碳标准方面的相关建议。

S53-O-5

多功能海洋（岸）结构物水动力分析与设计方法

赵玄烈^{1*}

1 哈尔滨工程大学，船舶工程学院
* xlzhao@hrbeu.edu.cn

多功能海洋结构物（如海港防护设施-波浪能装置融合系统、波能利用型浮式载体等）通过集成防护、能源开发、空间利用等复合功能，成为海洋资源高效利用与绿色低碳发展的重要载体。针对其研制与工程应用中在水动力建模、水动力耦合机理、设计准则等方面存在的问题，本报告主要介绍面向新型海洋结构物设计的水动力分析理论和方法，阐述新型多功能海洋结构物的水动力学特性，并结合具体工程应用探讨其在多功能浮动基础设施研发中的应用。

S53-O-6

《BBNJ 协定》解读与中国应对

王宗灵^{1*}，刘胜浩¹，徐勤增¹

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋生态研究中心
* wangzl@fio.org.cn

国家管辖范围以外区域覆盖全球海洋总面积的 64%，包含公海水体与国际海底区域，是地球最大的生态系统单元。该区域受到诸如全球气候变化、生物多样性锐减以及海洋污染等多重压力的累积影响，但是长期以来缺乏有效的管理和保护措施。然而，由于国际法规碎片化、监管主体责任不清，国家管辖范围以外区域长期处于法律制度空白状态，全球仅 1.2%的公海被纳入有效保护体系。《<联合国海洋法公约>下国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用协定》（又称“BBNJ 协定”）于 2023 年 6 月 19 日通过，并进入各国批准阶段。BBNJ 协定源于国际社会对国家管辖范围以外区域海洋生物多样性保护和可持续利用的需求，弥补法律

制度空白。BBNJ 协定经过近二十年的谈判才得以达成，是一项历史性成就，有助于确保海洋生态系统的健康和恢复力，并为参与和受益于海洋活动创造公平的竞争环境。BBNJ 协定涵盖四个主要问题：海洋遗传资源，包括公平和公正的惠益共享；区域管理工具等措施，包括海洋保护区；环境影响评估；能力建设和海洋技术转让。BBNJ 协定是应对全球海洋生态系统面临的严峻挑战、推动海洋保护与可持续利用的关键举措，是新时期对海洋新资源、海洋活动方式和海洋空间管理的建章立制，攸关全球海洋权益的分配和海洋秩序的调整。通过确立全面且具有前瞻性的治理模式，BBNJ 协定有望在科学依据、法律框架和执行机制等方面取得突破，从而有效应对全球海洋挑战，推动人与海洋的和谐共生。因此，BBNJ 协定的生效将重塑全球海洋治理体系。中国需以“负责任海洋大国”定位，通过科学支撑、法律协同、外交联动三位一体策略，在维护国家核心利益的同时，推动构建公平合理的海洋命运共同体。

S53-O-7

海运能源规划管理和减排技术国际标准建设

徐建安^{1*}

1 哈尔滨工程大学

* xujianan@hrbeu.edu.cn

海运业在全球贸易中占据重要地位，但也面临能源消耗与碳排放的严峻挑战。为促进绿色航运发展，国际社会亟需完善海运能源规划管理与减排技术的标准体系。当前，国际海事组织（IMO）通过能效设计指数（EEDI）、碳强度指标（CII）等法规推动减排，但仍需整合新能源技术（如氢能、氨燃料）、优化航线规划，并建立全生命周期碳排放评估标准。未来应加强国际合作，统一低碳燃料认证、排放监测及数字化管理标准，同时鼓励技术创新与

政策协同，以实现 IMO 2050 年净零排放目标。标准化建设将为海运业低碳转型提供关键支撑，平衡经济性与环境可持续性。

S53-O-8

海上养殖结构设计碳中和技术方向国际标准研究

孙树政^{1*}

1 哈尔滨工程大学，烟台研究院

* sunshuzheng@hrbeu.edu.cn

重点围绕海上养殖结构设计碳中和技术方向，结合海上养殖平台结构设计碳中和技术、海上养殖工船结构设计碳中和技术等，综合国内外相关学者研究经验和研究成果，总结海上养殖装备碳中和与负排放技术发展，为海洋负排放提供技术支持。海上养殖对海洋碳排放有重要影响，养殖装备、养殖产品、养殖废弃物等都会影响碳排放。本研究将梳理海上养殖中各个方面在碳排放中的影响因素，以及负排放相关技术国内外相关标准，为海上负排放提供海上养殖相关的国际标准体系。

S53-O-9

绿色船海结构与营运减排国际标准建设

周学谦^{1*}

1 哈尔滨工程大学，船舶工程学院

* xueqian.zhou@hrbeu.edu.cn

对比国际标准化组织（ISO）减碳、零碳和碳中和技术标准体系，分析绿色船海结构与营运减排技术和各国船级社与国际组织标准，总结基于 IACS Rec 34 Rev2 的远洋船舶结构载荷确定技术、船舶结构轻量化设计与减排技术、基于航行环境与结构状态感知的航行节能减排、结构

视情维护节能减排等方向的技术发展现状、未来趋势，以及参照相关规范和国际标准体系情况，给出绿色船舶与海洋工程结构设计及营运减排国际标准建设提议。

S53-O-10

船舶减阻增效减排技术国际标准建设

王超¹，赵大刚^{1*}

1 哈尔滨工程大学

* zhaodagang@hrbeu.edu.cn

对比国际标准化组织（ISO）在零碳、低碳等碳中和技术标准体系，通过分析船舶减阻增效减排技术各类标准和各国船级社与国际组织发布的标准，梳理比对总结出在船型优化降阻减排、特种船型减阻技术、新型涂层减阻技术、高效螺旋桨技术、风帆和转筒等特种推进装置增效、节能附体增效减排等方面的技术发展现状、存在的问题和不足、未来发展趋势，同时参照已有各类标准，给出在该方向尚需要进一步补充建设的船舶减阻增效减排国际标准。

S53-O-11

船舶动力装置脱碳技术路线与船舶碳排放核算方法建议

刘龙^{1*}

1 哈尔滨工程大学，动力与能源工程学院

* liulong@hrbeu.edu.cn

分析讨论国际海事组织（IMO）净零框架驱动的船舶动力装置的主要脱碳技术路线，重点分析低碳零碳燃料船舶发动机技术，讨论绿色复合燃料船舶发动机技术以及新型混合动力技术在实现零碳排放上的潜力。面向未来船上氢能的利用，探讨岸船循环船舶能源动力技术应用的可能，

探索未来船舶动力装置脱碳提技术路线。对比国际标准化组织（ISO）相关碳排放核算标准，结合当前低碳零碳燃料船舶动力装置脱碳技术路线，提出船舶碳排放核算方法，为船舶碳排放国际标准建设提议。

S53-O-12

国际海底管理局框架下的深海采矿与碳封存

许学伟^{1*}

1 国家深海基地管理中心

* xuxw@ndsc.org.cn

国际海底管理局（ISA）是根据《联合国海洋法公约》设立的管理国际海底区域（“区域”）及其资源的机构，由 168 个成员国和欧盟组成，其核心职责包括制定深海开发规章、协调海洋环境保护及平衡资源开发与生态可持续性等。目前 ISA 正在制定《深海矿产资源开发规章》（以下简称《开发规章》），明确采矿活动需基于预防性办法，要求企业提交包括环境基线数据、环境影响声明、环境监测和管理计划以及闭矿计划等。《开发规章》强调采用国际公认的标准指南，确保开发活动符合《联合国海洋法公约》第 145 条的环保义务。有研究指出，深海采矿可能导致物种灭绝、生境不可逆破坏，并威胁深海固碳能力，是影响碳封存的潜在风险源。深海碳封存潜力巨大，探索深海采矿与碳封存协同发展，对于助力我国深海采矿绿色低碳转型、提升在海洋开发与治理领域的话语权具有重要意义。

S53-O-13

海洋负排放与《伦敦公约》环境保护规制

杨正先^{1*}，韩建波¹，徐雪梅¹

1 国家海洋环境监测中心, 环境监管室
* 472000601@qq.com

环境保护国际法规制是海洋负排放全球治理中的重要研究方向。《防止倾倒废物和其他物质污染海洋的公约》(简称《伦敦公约》)近二十多年持续关注并推进海洋地球工程的国际监管,已形成一系列监管文件及技术成果。海洋地球工程主要包括碳移除及太阳辐射控制,其中其碳移除部分与负排放概念基本等同,包括海水碱化、生物碳移除等多种技术形式。大规模海洋负排放工程的环境影响和风险充满不确定性,现有研究尚难以满足科学评价与监管需求。多种技术在作用机理、成熟度、有效性、经济成本以及环境影响和生态风险等方面差异显著,因此在环境影响监测评价技术、监管政策、法规标准等众多领域亟待强化研究,构建完善的监管制度和监管技术体系,以保障海洋负排放相关现场研究及工程的合理有序开展。本文结合我国海洋负排放发展现状及未来监管需求,融入伦敦倾废公约最新进展,梳理了海洋负排放与《伦敦公约》管辖权与管辖范围界定、监管路径规划及实施方法选择等关键问题,并提出对策建议,以期为我国实施合规的生态地球工程方案及参与国际规则制定提供有益参考,助力海洋负排放技术的合理发展与科学管控。

S53-O-14

基于藻类衍生碳汇的人工上升流工程的增汇潜力评估

樊炜^{1*}, 岳露露^{1,2}, 曲梦杰²

1 浙江大学, 海洋学院
2 浙江大学海南研究院
* wayfan@zju.edu.cn

大型经济藻类养殖在海洋粮食安全与气候治理中具有双重战略价值。人工上升流(Artificial Upwelling, AU)技术已被证

实可有效改善营养盐供给结构及藻类产能,但其碳汇增效潜力尚未得到系统解析。本研究创新性构建三阶评估体系:①基于多参数环境解析的AU复合适宜性系数(K_{AU})空间建模;②通过机器学习模型优选实现AU可拓展养殖面积(EAU)预测;③融合生物量-产量算法与国家海洋碳汇核算标准(HY/T 0349-2022)的碳封存潜力评估。根据我们的适宜性量化标准,中国沿海适合建设AU工程的区域包括5省,8市,11县/区。计算结果显示2022-2027年AU可拓展面积约为3,591 km²/年,较2022年提升2.5倍,新增养殖区年固碳潜力达861,656吨CO₂当量,相当于2022年总量的99.3%。其中浙江省贡献超一半的可增加面积,紫菜的碳汇贡献度最高。养殖面积的大小以及优势养殖藻类的含碳率是影响碳汇量的重要因素。本研究中仅考虑了人工上升流工程对海洋牧场中藻类养殖的增殖作用,基于藻类增殖的基础上所带来的贝类鱼类增殖的链式效应并未包含在内,因此人工上升流的碳汇潜力并不局限于此。

S53-O-15

塑料生物降解助力双碳目标实现及海洋负排放

孙超岷^{1*}

1 中国科学院海洋研究所, 实验海洋生物学重点实验室
* sunchaomin@qdio.ac.cn

随着全球气候变化的日益严峻,双碳目标的实现已成为国际社会和各国政府共同努力的方向。与此同时,塑料污染,尤其是海洋塑料污染,成为生态环境保护中的重大挑战。塑料的长期降解周期和对环境的累积性危害迫切需要创新的解决方案。近年来,塑料生物降解技术作为一种可持续发展的解决方案,逐渐成为研究和应用的热点。塑料生物降解技术通过使用特定微生物、酶或自然界中的生物降解过程,

将传统塑料分解为无害物质，避免了塑料垃圾对生态系统的长期污染。这一过程不仅减少了塑料废弃物对环境的负担，还可以在在一定程度上减少温室气体的排放，为实现碳中和提供有力支撑。生物降解塑料的研发和应用可以大幅减少石油基塑料的生产需求，从而降低碳排放，并通过促进低碳技术的使用，加速向低碳经济转型。此外，海洋塑料污染对全球生态环境、海洋生物及人类健康构成了极大威胁。海洋中大量塑料垃圾的累积不仅影响了海洋生态平衡，还加剧了碳排放问题。通过生物降解技术处理海洋中的塑料污染，不仅可以有效减少塑料垃圾对海洋生态系统的负面影响，还可能为海洋负排放提供新的途径。本报告将结合课题组近年来在海洋微生物降解塑料方面的研究成果，深入探讨塑料生物降解技术的最新进展，分析其在减缓气候变化和推动双碳目标中的多重作用，并讨论未来研究方向和应用前景。

S53-O-16

渔业碳汇标准的研究进展与挑战

张继红^{1*}

1 中国水产科学研究院黄海水产研究所，养殖生态室

* zhangjh@ysfri.ac.cn

碳达峰、碳中和是应对气候变暖的国际行动，如何在保证发展的基础上实现双碳目标是我国面临的机遇与挑战并存。中国的海水养殖产量与规模位居世界首位，渔业在蛋白食物供给的功能外，其生态功能—碳汇功能是目前关注的热点。渔业碳汇是海洋碳汇的重要组成部分，作为新生事物，发展的历程短。渔业碳汇既是科学前沿、又是国家需求，既占领学科制高点、又可成为经济生长点，一旦国际标准建立起来，将产生巨大的经济效益和社会效益以及深远的政治影响。本报告介绍目前渔

业碳汇标准的研究进展，梳理面临的挑战和亟待解决的问题，为渔业碳汇标准体系的构建、推进我国渔业碳汇交易市场的发展，发挥海洋渔业在应对气候变化中的作用提供支撑。

S53-O-17

大型海藻负排放理论在解决温室气体减排中的技术路径

杨宇峰^{1*}

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

* yangyufeng@sml-zhuhai.cn

大型海藻光合效率高，具有高效的固碳增汇能力和甲烷减排潜力。在不断完善大型海藻负排放理论和技术的基础上，应重点开展国际化应用路径探讨：1）开展大型海藻生态系统国际合作研究，在高效增殖近海大型海藻资源的基础上，扩大中国和亚洲沿海国家海水池塘大型海藻养殖规模；2）建立大型海藻负排放国际合作网络，制定大型海藻碳汇国际标准；3）构建大型海藻资源增殖-绿色饲料研发-畜牧业甲烷气体减排产业链，发展基于陆海融合的蓝色经济；4）构建基于大型海藻的绿色低碳型海洋牧场，发展大型海藻新质生产力；5）以一带一路和亚洲国家为重点，将中国大型海藻绿色低碳新范式推广到全球沿海主要国家，对实现基于大型海藻负排放理论技术的海洋渔业可持续发展目标具有重要科学意义和引领作用。

S53-O-18

珊瑚礁修复技术创新与珊瑚礁碳汇的初探

王爱民^{1,2*}，李秀保¹，赵贺¹

1 海南大学，海洋生物与水产学院

2 海南国际蓝碳研究中心

珊瑚礁是地球上生物多样性及生产力最高的生态系统之一，但也是海洋中最脆弱的生态系统；目前，珊瑚礁生态系统一方面受到人类活动（如过度捕捞、沿岸开发等）的严重干扰和破坏，另一方面还受到全球气候变化引起的海水升温和酸化等的直接影响，全球珊瑚礁生态系统呈现严重的退化趋势。我们通过人工干预的方式对三亚蜈支洲岛海域珊瑚礁进行修复性种植，先后采用了三种技术：（1）火山岩修复技术。通过在破碎化珊瑚礁区投放火山岩，从而改变破碎化的基质，诱导珊瑚幼体附着，经常长期的时间变化，形成稳定的珊瑚群落。（2）人工鱼礁修复技术。人工礁体搭载网格板，通过礁体的重量稳定破碎化的基质，离底的距离能够促使移植珊瑚接受更多的阳光进行光合作用，成活率高和生长速度快。（3）珊瑚拼台修复技术。通过钢筋制成框架拼台，实现彼此连接，大大提高稳固能力，大规模珊瑚拼台连接可以抵抗台风侵袭，悬空的结构能够降低悬浮物对移植珊瑚的影响。珊瑚拼台制造成本低、体积小便于运输。三亚蜈支洲岛海域珊瑚礁通过人工种植，加上海洋牧场建设渔业资源恢复。2024 年调查显示三亚蜈支洲近岸海域的活珊瑚覆盖率平均以不及 15%提高到 37.08%共记录了 13 科 40 属 116 种造礁石珊瑚，软珊瑚种类则达到了 26 种，鱼类种类已达到 265 种，鱼类栖息密度达到了 $5 \times 10000 \text{ ind./km}^2$ ，珊瑚礁区内大型无脊椎动物的平均栖息密度为 0.93 个/平方米。我们的试验发现，风信子鹿角珊瑚和丛生盔形珊瑚能够降低水体总碱度及溶解无机碳和二氧化碳分压，并促进大气二氧化碳向海水转移，最终形成碱度汇和碳汇效应。这为深入探讨珊瑚礁生态系统的固碳与储碳能力及碳汇机理的奠定了基础。

S53-P-1

构建 ISO/TC8/WG15 海洋负排放与碳中和国际标准体系——中国方案的提出与推进路径

类彦立^{1*}

1 ISO/TC8/WG15 国际标准化组织/船舶与海洋技术/海洋负排放与碳中和直属工作组，中国科学院海洋研究所

* leiyanli@qdio.ac.cn

海洋作为地球最大的碳汇系统，在应对气候变化中发挥着不可替代的作用。当前，海洋负排放技术正逐步成为实现碳中和目标的重要路径。为落实《巴黎协定》应对全球气候风险，海洋负碳排放国际大科学计划（ONCE）已由联合国批准实施，并在国际标准化组织（ISO）推动成立 ISO/TC8/WG15“海洋负排放与碳中和”国际标准直属工作组。ISO/TC8/WG15 致力于构建涵盖海洋环境碳、生物碳、沉积物碳等关键领域的量化与评估标准体系，并推进海洋牧场、废水碱化、人工上升流、海洋新能源、船舶减排及海事碳中和等前沿技术的标准化。

本报告聚焦 ISO/TC8/WG15 国际标准体系建设实践，提出面向 ONCE 核心技术的国际标准转化路径，系统介绍国际标准立项、技术集成与国际协同的推进策略，旨在为构建海洋碳中和领域的系统性国际标准提供可操作路径。

S53-P-2

ISO 船舶与海洋技术国际标准化及未来展望

李彦庆^{1*}

1 ISO/TC8, 中国船舶工业行业协会

* iso.once@gmail.com

国际标准化组织船舶与海洋技术委员会（ISO/TC8）是全球船舶与海洋工程领域最具影响力的国际标准制定平台，致力于服务船舶设计、建造、运营与环境管理等全生命周期的技术规范需求。其标准覆盖对象广泛，包括远洋和内河船舶、近海结构物、海洋观测与探索设备、船岸接口系统等，是支撑国际海事规则体系运行的关键技术基础。本报告将系统介绍 ISO/TC8 的职责架构、成员构成、与多边组织的合作机制及近年来的重点成果，特别是其在智能航运、绿色燃料、海洋环境保护与教育培训等方向的标准研发进展。TC8 在与国际海事组织（IMO）等立法机构的长期合作中，已形成高效对接机制，已有超过 40% 的标准成果直接支撑 IMO 相关法规制定与履约评估。国际标准不仅是技术共识，更是全球治理规则的重要支撑。面向未来，TC8 提出以“市场导向、时机把握、及时响应”为核心理念，强化技术标准与国际规则之间的耦合关系，加快智能化、低碳化、生态化相关标准的研制进程，为全球船海产业转型与可持续发展提供制度保障与技术支持。

S53-P-4

海上漂浮式光储一体化系统技术标准探究

吴晟^{1*}，姚焱²，梁超³，连宇顺⁴

1 哈尔滨工程大学，烟台研究院

2 天津理工大学，海洋能源与智能建设研究院

3 天津大学

4 河海大学

* wusheng@hrbeu.edu.cn

随着全球能源结构去碳化转型，我国“双碳”目标倒逼光伏产业朝着海洋领域发展。海上集中式光伏发电平台由于水面开阔没有遮挡，日照较长且水面还可以起到降温作用，发电效率可以提升 5%-10%。特别是海上漂浮式结构具有拆装组合方便、

抗风浪能力强、布放操作相对简单，易于同其它产业（例如：海水淡化，海水制氢，海洋牧场等）相结合等优势，这对于我国海上新能源技术走向深蓝、建立长期的海上“绿电”平台，改善能源结构都有重要意义。国内外如挪威、荷兰、日本、新加坡等国家均有相关海上漂浮式光伏发电系统在海上运行，我国近年来逐步推进由近海的桩基式光伏向漂浮式光伏技术的过渡。未来海上光伏必然走向深远海并进行大面积布放，将面临海上施工难度较大、人工运维成本较高、遭受海上突发情况导致发电系统全部崩溃、漂浮式结构对海洋环境影响的评估等一系列问题。报告将从光伏组件、电气系统、支撑结构、储能电池、环境监测与评估、施工运维保障等几个方面，开展标准化探索与规范化研究，拟构建综合、高效、数字化的海上漂浮式光储一体化系统的标准化体系，带动海洋装备、大数据、人工智能等基础科学朝着海洋工程、海洋新能源应用领域的发展，对于加快海上漂浮式光储技术的创新性发展，降低施工与运维成本以及其它风险，推动海上规模化、产业化发展将起到重要的支撑作用。

S53-P-5

国际标准在应对国际蓝碳治理挑战中的作用

罗刚^{1*}

1 自然资源部海洋发展战略研究所，海洋法律与权益研究室

* luogang@cimamnr.org.cn

基于气候变化与海洋之间的科学联系，气候治理与海洋治理在近年来开始彼此关联、相互渗透，正在被推动走向协同治理。《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）及其《巴黎协定》作为全球气候治理的基本法律和主要渠道，都明确承认了海洋及其生态系统的重要作用。在 UNFCCC 体系

下, 基于海洋的气候行动正在不断强化, 海洋与气候变化对话正在持续推进。UN-Oceans 作为一个跨机构协调机制, 不断推动气候与海洋的协同治理。《BBNJ 协定》在多个方面考虑了气候变化的影响。“开启基于海洋的气候变化解决方案”被列为联合国“海洋十年”的十大挑战之一。G20、ESCAP、IUCN 等组织、机制或进程都在积极促成气候与海洋治理的协同。国际海洋法庭、国际法院涉及气候变化的咨询意见案将 UNFCCC 和《联合国海洋法公约》(UNCLOS) 联系起来, 影响深远, 是当前气候与海洋协同治理浪潮奔涌向前的一个新阶段。在这一背景下, 海洋碳汇凭借其巨大的储碳潜力和生态经济价值, 正从科学概念转化为基于海洋的气候行动的重要抓手。中国通过技术创新和国际合作, 发起“海洋负排放国际大科学计划 (Global ONCE)”, 正在成为国际蓝碳治理的引领者。尽管海洋负排放技术已在部分区域得到试点验证, 但其在全球海域的规模化应用, 在现行法律框架下仍面临一些治理挑战。海水碱化、海藻规模化养殖、铁施肥等人工干预技术是否属于《伦敦倾废公约》意义上的“倾倒”或者 UNCLOS 意义上的“海洋污染”, 仍会发生争议。采取人工干预技术是否需要开展环境影响评价, 在公海大规模实施海洋负排放技术是否需要符合《BBNJ 协定》的要求、风险预防原则或方法是否存在滥用等问题仍有待进一步解决。这些争议及未决问题的持续存在, 可能会成为海洋负排放国际治理进程中的挑战, 其产生很大程度上源于法律标准或技术标准的缺失。加强海洋负排放技术国际标准的制定工作, 不仅是引领国际海洋科技创新的需要, 也是推动国际蓝碳治理行稳致远发展的保障。

S53-P-6

海带养殖以惰性溶解有机碳 (RDOC) 形式的溶解态碳汇贡献与评估方法

张永雨^{1*}, 李鸿妹¹, 冯秀婷¹, 张增虎¹, 汤坤贤², 张飞², 焦念志³

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

2 自然资源部第三海洋研究所

3 厦门大学

* zhangyy@qibebt.ac.cn

因大型海藻具有重要的碳汇效应, 碳中和目标任务下大藻养殖成为具有重要规模化实施潜力的增汇工程, 受到全球广泛关注。然而, 由于以往对大藻养殖的碳汇机制尚缺乏充分了解, 导致目前国际上尚缺乏大藻养殖碳汇效应的科学评估标准。目前已知大型海藻的主要碳汇途径包括藻源碳的沉积埋藏和向深海的输出、直接或间接贡献惰性溶解有机碳 (RDOC) 形式的溶解态碳汇、贡献惰性颗粒有机碳形式的悬浮态碳汇、以及贡献碱度形式的无机碳汇等。该报告将海带整个养殖生长周期内对 RDOC 的直接/间接贡献量评估方法进行重点介绍, 包括 RDOC 的定性和定量方式等, 结果表明海带整个养殖周期内贡献的 RDOC 量与其生物质碳增量相当, 是以往被严重低估的重要碳汇形式。

S53-P-7S

基于微藻生物质新能源开发利用的海洋负排放技术

邢玉臣¹, 施悦^{1*}, 王儒贤¹, 李凡¹, 鲁正^{1*}

1 哈尔滨工程大学, 动力与能源工程学院

* 47566384@qq.com

* 604207471@qq.com

海洋微藻具备较高的固定二氧化碳的能力, 且微藻生物柴油凭借其高热值和优

异的抗氧化性能,成为传统石油柴油的理想替代品。然而,较低的提取效率和较高的生产成本严重制约了微藻生物燃料的工业化发展。厌氧发酵技术利用微生物及降解酶在厌氧条件下高效降解能力,对生物质逐级降解并转化,可实现微藻生物质各组分的梯级利用。本文基于选择性发酵技术,以产能效果最佳的小球藻为底物,采用超声波强化接种污泥以提升能源转化效率,并通过全生命周期评价为工艺优化提供科学依据。

试验探究了固碳型微藻种类、预处理方法及接种污泥对厌氧发酵产出生物质能源的影响。研究表明,小球藻在选择性厌氧发酵中表现出优异的碳水化合物和蛋白质降解速率,氢气总产量高达 3.77 mL/g_{微藻},提取油脂为 0.34 g/g_{微藻}。在强化方法中,单独对接种污泥进行强化的生物柴油提取性能优异,经超声波预处理的好氧污泥发酵 16 小时产氢率达 4.91 mL/g_{微藻},脂质提取率为 0.41 g/g_{微藻},分别是好氧污泥的 2.3 倍和 1.35 倍,能量转化效率高达 82.32%。高通量测序结果表明,超声波预处理显著提高了产氢细菌的相对丰度(53.72%),并增强了微生物群落的稳定性。全生命周期评价显示,能值产出率(EYR)达 1.45,可持续发展指数(ESI)为 0.29。

综上,海洋微藻在固碳的同时产出了氢能和生物柴油,对海洋负碳排放有积极的贡献。本研究可进一步为 2024 LCA GUIDELINES 中生物质燃料的制备提供更全面的技术路线,为《2023 年船舶温室气体减排战略》(MEPC.377(80))提供可行策略。

S53-P-8

中国海洋地质碳封存相关标准编制

陈建文^{1,2,3,4,5*}, 袁勇^{1,2,3,4,5}, 王建强^{1,2,3,4,5}, 曹珂^{1,2,3,4,5}, 孙建业^{1,2,3,4,5}, 李清^{1,2,3,4,5},

郝锡萃^{1,2,3,4,5}, 孙晶^{1,2,3,4,5}, 骆迪^{1,2,3,4,5}, 赵化淋^{1,2,3,4,5}

- 1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 油气地质室
 - 2 青岛市海洋地质碳封存工程研究中心
 - 3 青岛市海洋地质碳封存重点实验室
 - 4 海洋地质碳封存山东省工程研究中心
 - 5 青岛海洋科技中心海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室
- * jwchen2012@126.com

海洋地质碳封存作为 CCUS 的应用场景之一,是沿海地区实现碳减排的有效途径。不同于陆地封存,海域二氧化碳地质封存远离人类居住区且有海水覆盖、具有“安全性高、环境风险小”特点,海域二氧化碳地质封存受到欧美等国家和地区的高度重视。截止到 2025 年 5 月底,全球海洋地质碳封存项目已有 28 个,其中:已完成 9 个、正在实施 5 个、规划建设中 14 个。总体来看挪威、巴西、澳大利亚处于商业应用阶段,欧盟、英国、美国、日本处于工程示范阶段。

海洋地质碳封存标准对于开展示范工程和商业应用极为重要,且受到全球开展海洋地质碳封存国家的高度重视,世界各国都在争取这方面的国际话语权。中国海洋地质碳封存工作开始较晚,目前处于起步阶段。原环境保护部(现生态环境部)

(2016 年)颁布了二氧化碳捕集、利用与封存环境评估技术指南(试行),自然资源部为落实《国家标准化发展纲要》,充分发挥海洋在碳达峰碳中和工作中的作用,加强标准化工作的顶层设计,2025 年制定《海洋碳汇标准体系》,其中包括《海洋碳封存标准》,重点编制海洋碳封存等物理化学机制相关的适宜性调查评价、封存潜力评价、碳封存技术、安全评价与风险控制等标准。到目前为止,5 项国标正在制定中,包括《海上 CO₂ 咸水层场地封存量评价》和《海上 CO₂ 咸水层封存场地适宜性方法》;1 项行标《咸水层二氧化碳地质封存潜力评价技术指南》已发布;3 项行标和 1 项团标还在编制中。

总之, 中国对海洋地质碳封存标准研编极为重视, 从顶层设计入手, 相关标准快速编制发布, 这将推动我国海洋地质碳封存示范工程规范化实施, 并促进中国离岸碳封存产业链建设和海洋经济健康发展。

S53-P-9

恒河 - 喜马拉雅河系统及孟加拉扇有机碳动态与气候演变的多时间尺度研究

刘建国^{1*}, Md Hafijur Rahaman Khan¹, 黄云¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所

* jgliu@scsio.ac.cn

了解有机碳(OC)在热带河流—三角洲和深海环境中的来源、搬运和沉积情况, 对于重建过去的环境变化以及评估其在全球碳循环中的作用至关重要。我们通过整合恒河—喜马拉雅河(G-B)水系的现代沉积物数据以及孟加拉扇全新世时期沉积岩芯记录, 展示矿物结合有机碳(OC_{MA})如何作为有效示踪剂, 反映多时间尺度下的沉积动力学和气候变异。在现代G-B系统中, 有机碳的保存主要受沉积物矿物学控制, 尤其是含铝黏—伊利石和蒙脱石—以及土壤发生性连二亚硫酸盐可提取铁氧化物(Fe_d)的作用。伊利石因其稳定的结构和强大的表面吸附能力, 与总有机碳(TOC)呈强正相关。相比之下, 蒙脱石尽管具有较高的比表面积和阳离子交换能力, 却与TOC呈负相关。这归因于其在泛滥平原的次生形成、与有机质有限的相互作用时间, 以及在搬运过程中因膨胀和解吸而释放先前吸附的OC。多元回归分析表明, Fe_d和伊利石共同解释了表层沉积物中90%以上的有机碳保存情况, 凸显了它们在OC_{MA}形成中的主导作用。此外, 碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)和TOC与总氮比率的空间变化揭示了有机碳中的人为贡献, 特别是在

恒河中, 并突出了泛滥平原过程在下游搬运过程中对有机质组成的转化效应。

为了将这些见解延伸到地质时间尺度, 我们研究了来自下孟加拉扇(岩芯E87-30)的一段长约16千年的沉积记录。在末次冰消期(距今16-9.5千年, ka BP), 低海平面和增强的季风径流使得陆源有机碳通过活跃的通道直接输送, 促进了富含有机碳、以伊利石为主的细粒沉积物的埋藏。而在全新世气候最适宜期(9.5-5.5 ka BP), 海平面上升以及印度-恒河泛滥平原化学风化的增强导致次生蒙脱石的形成增加, 破坏了预先老化的OC_{MA}, 尽管季风条件强劲, 但总有机碳质量积累量仍下降了约25%。这种减少可能是因为沉积物供应减少以及由于水体分层导致海洋生产力降低。

通过整合总有机碳、总氮、碳同位素、氮同位素等常规地球化学指标、黏土矿物学、粒度和沉积数据, 我们表明有机碳—尤其是其矿物结合部分—记录了气候振荡、沉积物源区变化和沉积环境变迁的印记。现代和古代沉积记录一致表明, 有机碳不仅作为气候档案, 而且作为世界上最大的河流—海洋系统之一的源—汇过程的动态示踪剂的作用。这些发现强调了在不断变化的气候条件下, 矿物—有机质相互作用和季风驱动的沉积物通量对长期碳封存和河流CO₂排放的调节作用的重要性。

S53-P-10

山东省海洋标准现状分析

马元庆^{1*}

¹ 山东省海洋资源与环境研究院

* mayuanqing@shandong.cn

山东作为我国海洋经济大省, 拥有丰富的海洋资源和产业基础。标准化建设是推动海洋经济高质量发展、实现海洋强省战略的关键支撑。本报告从管理机构建设、标准制修订、标准宣贯实施、标准体系建

设以及标准国际化发展等方面，重点探讨了山东省海洋标准的管理和发展现状，并提出了加快新兴领域标准制定，强化标准协同性与动态更新，推动产学研合作与国际标准接轨等未来发展方向，以全面推动海洋标准体系提质升级，支撑海洋经济高质量发展和海洋强省建设。

S53-P-11

协同创新网络视角下 CCUS 技术专利发展研究——基于广州市和粤港澳大湾区数据的实证分析

杨哲¹，杜军^{1*}，赵银亮²，冯凯龙^{3,4}，许如娜¹，梁家彬¹，贺孔南¹

1 广东海洋大学，管理学院

2 上海师范大学，哲学与政法学院

3 同济大学，海洋资源研究中心

4 广东海洋大学，船海学院

* yangzhe@gdou.edu.cn

在全球绿色低碳转型背景下，二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术是实现深度减排的关键路径。本文基于协同创新网络视角，以 1990—2024 年广州市及粤港澳大湾区 CCUS 技术专利数据为样本，运用社会网络分析方法，揭示区域专利合作网络的结构特征与演化趋势。研究发现：粤港澳大湾区 CCUS 技术专利申请量显著增长（2018—2024 年达 605 件），但合作网络密度低（0.0193），节点连接稀疏，跨区域协同不足；广州市虽为核心枢纽，但其区域内合作占比从 85.7%降至 27.9%，技术辐射能力弱化；产学研合作呈现“企业主导、高校边缘化”特征，企业间合作占比 35.6%，高校间合作为零。对此，本文提出通过“跨区域制度设计—空间网络重构—产学研生态重塑”的三维策略，以提升区域创新效率，助力“双碳”目标实现。

S53-P-12

构建大型藻类养殖沉积物碳汇和惰性溶解有机碳汇国际化的核算标准及方法学

杨威¹，祁第^{1*}

1 集美大学，极地海洋研究院

* qidi@jmu.edu.cn

大型藻类养殖具有巨大的碳汇潜力，是国际社会公认的海洋 CO₂ 去除（mCDR）路径之一。在“双碳”目标持续推进的政策背景下，准确核算大型藻类养殖过程中的碳汇量是碳交易的基础，有利于实现碳汇资源的优化配置。在 2024-2025 年间，集美大学极地海洋研究院主导编制了《温室气体自愿减排项目方法学 大型藻类养殖》。并以此为基础，为福建省连江县四家大型藻类养殖水产企业核算了藻类养殖碳汇，协助完成了“全国首例沉积物和惰性溶解有机物海洋渔业碳汇交易”，实现了养殖户、碳汇开发主体，以及生态环境的多方共赢。本次报告主要介绍此次碳交易全过程，包括碳汇方法学的构建，碳汇监测、核算、核证、登记、以及碳交易等多个环节，为后续推进大型藻类养殖碳汇国际化的标准及方法学提供一些借鉴。

S54-O-1

东南亚深部地幔结构、各向异性特征及地质意义

丁巍伟^{1,2*}，牛雄伟^{1,2}，李家彪^{1,2}

1 海底科学与划界全国重点实验室

2 自然资源部第二海洋研究所

* wwding@sio.org.cn

俯冲带不仅是板块构造中重要的汇聚边界，更是地表物质向地球深部输送的关键通道。据估算，每年约有近 30 亿吨物质

通过俯冲板块进入地球深处。这一过程不仅导致地幔物质的不均一性，更在挥发分元素向地球内部循环的过程中占据主导地位。由于俯冲大洋岩石圈的密度大于地幔，俯冲板块会逐渐下沉至地球内部，最深可达核幔边界。然而大量地震观测表明，在环太平洋和地中海等地的俯冲带中，俯冲板块往往会在过渡带发生长距离的水平滞留。最典型的案例是日本本州俯冲带，太平洋板块在东亚下方水平延伸超过 1500 公里，被认为是华北克拉通破坏和东亚板内火山活动的主要诱因。与东亚不同，东南亚主要受太平洋构造域和特提斯构造域相互作用控制。东部太平洋-菲律宾海板块的俯冲与西南部印度-澳大利亚板块的俯冲共同塑造了地球上规模最大的弧形俯冲体系和边缘海复合体。这种板块形态的变化伴随着下伏地幔深部结构和对流模式的重大调整，导致动力学机制日趋复杂，对现有板块构造理论框架提出了挑战。

2019 至 2020 年间，我们在南海海域开展了大规模广角反射/折射地震探测实验。基于海域地震数据，结合 1039 个陆地地震台站的协同观测，我们最终建立了东南亚地区高分辨率三维速度结构模型。通过引入 P 波方位各向异性参数，我们的研究同时实现了地壳至 1600 公里深度地幔三维各向异性结构的精细成像。不同深度的层析图像揭示了复杂多样的方位各向异性特征，为理解东南亚陆域及相邻海盆的构造变形与地球动力学过程提供了全新约束。

S54-O-2

东南亚环形俯冲系统地震海啸灾害致灾特征分析

李琳琳^{1,2*}，丁巍伟³，崔家莹¹，陈鑫¹，杜朋¹

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

3 自然资源部第二海洋研究所，自然资源部海底科学重点实验室

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

东南亚环形俯冲系统是全球海域地震、火山、海底滑坡及海啸等海洋地质灾害最活跃的区域之一，孕育了历史上影响范围最广、伤亡最惨重、机制最复杂的多个典型海啸事件，例如：2004 年印度洋苏门答腊-安达曼地震海啸、1883 年/2018 年印尼喀拉喀托火山海啸、2018 年印尼苏拉威西走滑地震-滑坡-海啸，同时该区域也是全球人口密度最高、经济活力最强的区域之一；但受限于区域经济和海洋探测能力，该区域海洋地质灾害的研究程度较低。报告将针对东南亚环形俯冲系统历史典型海啸事件的触发机制进行深入剖析，结合环形俯冲带构造特征，在爪哇海沟、帝汶海槽、塞兰海槽等海啸高发区域设定多组不同震级的断层滑移情景，并利用 COMCOT 海啸模拟程序进行批量数值模拟，定量揭示该区域俯冲带地震海啸的水动力学特征，同时报告将梳理该研究区域“非典型”源（海底滑坡、周缘火山等）海啸灾害评估和预警的最新研究进展。

S54-O-3

印尼东部 Sunda-Banda 弧的地震大断裂与地质灾害风险

杨晓东^{1*}，林间^{1,2}，Walter Mooney³

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 南方科技大学，海洋科学与工程系&海洋高等研究院

3 USGS, Earthquake Science Center

* xdyang@scsio.ac.cn

印尼东部的 Sunda-Banda 弧位于印-澳、欧亚、太平洋和菲律宾四大板块的汇聚区域，是全世界构造最为复杂、地震灾害最为严重的区域之一。目前印-澳板块正以 75 mm/yr 的速率与 Sunda 板块汇聚，自西向东，大地构造格局从 Java 的大洋俯冲转换到 Banda 的弧-陆碰撞，形成了一个从弧前到

弧后的复杂构造变形带。目前该区域已经发生了 30 多次破坏性地震,其中有 3 次大地震引发了海啸,即 1977 年 Sumba Mw8.3 地震、1992 年 Flores Mw7.9 地震和 1994 的 Java Mw7.8 地震。尽管区域地震活动强烈,但是 7 级以上的地震分布不均,主要集中在 Java 的弧后逆冲断层上,在弧前板块边界断层和俯冲下盘分布极少。然后, GPS 观测显示弧前的 Timor 海槽和弧后的 Flores-Wetar 断裂分别吸收了印-澳板块与 Sunda 板块之间每年 10-20 mm 和 6-30 mm 的汇聚量。这种历史地震记录和 GPS 观测之间的差异,究竟是反映了 Sunda-Banda 弧前更长的地震周期,还是弧前实际上无法产生大型地震,目前仍不清楚。这使得对该地区地震灾害的精确评估面临巨大挑战。本研究综合利用多道地震剖面、多波束地形、天然地震、GPS 和 InSAR 观测等数据,明确了区域主要地震大断裂,量化了断裂的类型、规模、断距和滑动速率等关键参数,并结合地震活动特征,分析了强震分布不均的主要原因,理清了区域主要发震大断裂,评估了未来潜在地震风险。

S54-O-4

菲律宾海板块南向移动的发现及其全球构造气候意义

刘伟^{1,2}, 刘青松^{1,2*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 南方科技大学, 海洋高等研究院

* qslu@sustech.edu.cn

菲律宾海板块位于太平洋板块、欧亚板块和印-澳板块的交汇区域,其古纬度变化直接关系到东南亚和西太平洋地区的板块重建,在全球古地理重建中具有重要意义。传统的研究认为菲律宾海板块自形成以来一直在北向移动,然而前人古地磁研究的时间分辨率有限,部分数据质量存疑,在 30-20 Ma 之间还缺少可靠的古地磁数据。本研究对菲律宾海板块 DSDP 445 孔进行高

分辨考虑的古地磁研究,以沉积速率的稳定性进行构造分层,确定了每个构造层的古纬度: $11.9^{\circ} \pm 1.9^{\circ}$ (~29.2 Ma), $9.1^{\circ} \pm 3.7^{\circ}$ (~27.4 Ma), $8.8^{\circ} \pm 2.6^{\circ}$ (~25.6 Ma), $13.5^{\circ} \pm 2.8^{\circ}$ (~24.6 Ma), $15.0^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ (~23.3 Ma)。这一结果表明菲律宾海板块并非一直北向移动,而是表现为 30-25 Ma 之间南向移动, 25 Ma 之后北向移动。25 Ma 前后菲律宾海板块运动方向的改变,被认为是澳大利亚板块与菲律宾海板块碰撞的结果。注意到太平洋板块在 25 Ma 发生逆时针旋转,印-亚汇聚过程中印度板片在 25 Ma 发生断裂,显然 25 Ma 发生了一次明显的全球板块构造重组事件。考虑到全球海洋碳、氧同位素记录在 25 Ma 亦出现了显著偏移。本研究认为, 25 Ma 的全球构造重组不仅改变了板块运动格局,还影响了全球气候系统,进而对碳、氧同位素记录产生深远影响。

S54-O-5

穆绍海沟: 一个夭折的俯冲起始

吴涛^{1*}, 张文², 刘亮³, Simon A. Wilde⁴, 李春峰^{1*}, 金鑫⁵, 钱加慧⁶, 鲁江姑⁸, 车晓超⁷, 宋陶然⁹, 朱恒睿¹, 洪一荻¹, 董玮琳¹, 张国良^{10*}

1 浙江大学, 海洋学院

2 中国地质大学(武汉)

3 中国科学院广州地球化学研究所

4 科廷大学

5 浙江海洋大学

6 中山大学, 地球科学学院

7 中国地质科学院地质研究所

8 自然资源部第二海洋研究所

9 海南热带海洋学院

10 中山大学, 海洋科学学院

* taowu@zju.edu.cn

* cfli@zju.edu.cn

* zhangguoliang@qdio.ac.cn

俯冲带研究对于理解固体地球演化至关重要。穆绍海沟长期以来被视为一处新生俯冲带,其启动时间被认为小于 1Ma,

但一直缺乏精确岩石年龄等确凿证据支持。为了解决这个问题,科学号 581 航次在西太平洋穆绍海沟获得了大量岩石样品。本研究对其中的变基性岩开展了系统的矿物学、年代学和地球化学研究。矿物地球化学、相平衡模拟,结合锆石和磷灰石 U-Pb 年代学,揭示这些岩石在 27-28Ma 前经历了角闪岩相变质作用(温压条件为 6-10kbar、550-650°C),指示其经历了约 30 公里深度的俯冲-折返过程。地球化学特征显示其原岩为来自俯冲的卡洛琳板块玄武质岩及其沉积物。结合锆石记录的岩浆年龄(约 28Ma)与已发表的磁异常数据,发现该区岩浆作用与变质作用的时间间隔极短(不足 1Ma)。由于该区域未发现典型弧型火山岩,本文认为穆绍海沟实为一处夭折的俯冲起始。其沿卡洛琳板块内部断裂带发育,完整保存了俯冲带初始阶段的珍贵地质记录。此外,基于二维数值模拟结果,我们认为当两个大洋板块碰撞时,诱发型俯冲起始可能优先发生在相对年轻的洋壳内部。

S54-O-6

南海西沙海槽共轭陆缘结构及其对构造演化的指示

王文龙^{1*}, Manel Prada³, César. R. Ranero³, 董冬冬², 代友旭¹

1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心

2 中国科学院海洋研究所

3 西班牙国家研究委员会海洋科学研究所

* wenlongwang2020@163.com

陆缘伸展、破裂及随后的海底扩张是连续的构造演化序列,南海经历了这一全过程,但现有研究多聚焦于破裂后形成的结构,对陆缘破裂前的构造了解有限。西沙海槽作为南海北部陆缘的夭折裂谷,记录了南海陆缘临破裂的构造特征。本研究利用广角地震数据、多道地震数据和重力数据,对横穿西沙海槽剖面的速度结构、

构造特征和密度结构展开研究。结果显示,西沙海槽陆缘地壳结构呈不对称性。地壳厚度从约 25 km 的侧翼向中心区域逐渐减薄至 15 km,海槽轴部区域则骤然减薄至约 10-6 km。地震速度模型表明,以 6.5 km/s 的等值线划分上地壳与下地壳,下地壳在海槽轴部缺失,其下方地幔 V_p 小于 8.0 km/s,可能发生了蛇纹石化作用。海槽两侧陆缘发育分散的小断层,轴部发育可能延伸至地幔的大型断层。西沙海槽裂谷整体减薄和断层结构相对于裂谷中心呈不对称分布,初期广泛的中等强度伸展作用形成两侧陆缘,当伸展作用使地壳减薄至小于 15 km 时,整个地壳呈脆性,变形集中于西沙海槽轴部区域。尽管蛇纹石化地幔流变学强度较弱,却未引发低角度断层发育或大陆破裂。西沙海槽的伸展模式与贫岩浆型大陆边缘极为相似,结合南海前人研究成果,南海演化全过程中的流变学特征表现出显著的横向变化。

S54-O-7

海山俯冲对俯冲带壳幔变形的影响:来自吕宋岛北部的地震学证据

曹令敏^{1*}, IJJUN Perera¹, 何小波², 赵亮³, 黄柏寿⁴, 郝天珧³, 赵明辉¹, 丘学林¹, 贺恩远¹, 万奎元¹, 张云帆¹, 袁怀玉⁵

1 中国科学院南海海洋研究所,边缘海与大洋地质实验室

2 浙江海洋大学,海洋科学系

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 中研院地球科学研究所(台北)

5 Macquarie University

* cao_lingmin@126.com

海山、洋脊等海底地形的俯冲被认为在影响俯冲带动力学过程中发挥着重要作用。本文基于近震 S 波分裂分析,探讨了南海板块在吕宋岛北部俯冲过程中,其伴

随的海山俯冲对上覆地壳、地幔楔及俯冲板块内部变形的影响。

近震 S 波分裂结果显示：（1）北吕宋北部的 SIPB 台站下方 27km 深度地震对应的快波方向基本与由地震源机制得到的 P-axis 一致，推测上覆板块地壳的各向异性与俯冲引起的应力分布有关；（2）在 SIPB 与 PIPB 之间深度约 35 km 的两个地震的快波方向垂直于海沟，与浅层观测结果一致，但不同频率带的延迟时间存在显著差异：低频延迟时间（平均 0.16 s）略大于高频（0.13 s），揭示俯冲板片内海山有关的裂隙与断层可能是垂直于海沟各向异性的深部来源；（3）北部的 PIPB 和 CLVB 快波方位与区域的 P-axis 不一致，可能跟北部海底高原俯冲引起下地壳变形有关；（4）中部的 BAGB 台的快波方位与地表的大型走滑断裂（菲律宾断层）的走向一致，推测断层的剪切变形对各向异性有显著影响；（5）最南端的 PGPB 台站的各向异性参数随震源深度发生变化：浅部 0–60 km 的各向异性来自于上覆板片岩石圈，而较深（> 60 km）的各向异性则反映地幔楔的软流圈流动，可能跟俯冲的南海板块边缘引起的环流相关。

研究区的各向异性的来源从上覆地壳至俯冲板片内的变形均有贡献。这些结果提供了海山俯冲影响俯冲带弧前地区深部变形的直接地震学证据，推测其可能通过裂隙的形成促进无震蠕滑和小地震的发生，有助于深化对俯冲带内部复杂相互作用的认识，并强调海山俯冲在其中的重要作用。

S54-O-8

东南亚上地幔与过渡带层析成像

明怡斌¹，刘玉柱^{1*}，张建明²

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

东南亚地区作为全球构造活动最为活跃的区域之一，其独特的地质特征源于印度-澳大利亚板块、太平洋板块和菲律宾海板块等多个板块的复杂相互作用。本研究基于国际地震中心（ISC）EHB 数据集的初至波走时数据，采用一种不依赖法向量的伴随状态走时层析成像技术，构建了新的东南亚上地幔至过渡带的三维 P 波速度模型。分辨率测试表明，该模型能有效揭示俯冲带及其周边区域的关键构造特征。

研究结果揭示或作证了若干重要构造特征：（1）各主要俯冲带内均清晰显示出高速的俯冲板块特征；（2）巽他陆块下方广泛分布的低速异常可能指示了热弱化的岩石圈；（3）海南岛下方发现的蘑菇状低速异常体为海南地幔柱的存在提供了证据；（4）爪哇海西部异常低速区的形成可能涉及巽他-爪哇板块俯冲、地幔流扰动与海南地幔柱活动的复合效应；（5）安达曼海下方识别出的北苏门答腊板块东西向延伸构造，可能与该海域的顺时针旋转扩张过程相关；（6）在苏门答腊-爪哇俯冲系统下方新识别出三个潜在撕裂构造，分别位于多巴火山、巽他海峡和东爪哇岛下方；（7）菲律宾群岛至南海区域的大规模高速异常揭示了一个包含古南海板块残余的双向俯冲体系。

S54-O-9

婆罗洲上地幔分层各向异性及其地球动力学意义

尤天楠¹，孔凡圣^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学与划界全国重点实验室

* kongfs@sio.org.cn

婆罗洲的复杂拼贴构造记录了中生代以来多块体的汇聚碰撞历史，其上地幔各向异性特征为解析该区域构造演化提供了重要约束。本研究综合利用核幔边界转换 S

波（包括 SKS、PKS、SKKS）分裂、近震 S 波分裂以及接收函数方法，基于 5 个永久台站和 46 个临时台站记录的宽频带地震数据，系统性研究了婆罗洲地壳和上地幔的分层各向异性结构。不同深度层各向异性测量结果的联合分析表明，（1）有地震数据约束的婆罗洲大部分区域存在双层/多层各向异性结构。下层各向异性优势方向平行于巽他板块运动方向，可归因于刚性岩石圈板块与下伏软流圈之间相对运动所导致的橄榄石晶格优先排列；（2）上层各向异性多与主要的区域地质构造特征一致，推测存在于岩石圈。如婆罗洲东部岩石圈各向异性优势方向平行于梅拉图斯缝合带走向，可能与晚白垩世梅拉图斯缝合带拼贴过程相关；而婆罗洲西部和北部上层各向异性则记录了新生代以来古南海俯冲、大陆碰撞以及砂拉越造山运动等重大构造事件的叠加影响。

S54-O-10

苏拉威西 Una-Una 火山归因于消失的 Sula 板块的撕裂吗？

何小波^{1*}

1 浙江海洋大学，海洋科学与技术学院
* xiaobo.he@zjou.edu.cn

Una-Una 火山位于印度尼西亚 托吉安群岛（Togean Islands），属于苏拉威西岛（Sulawesi）的一部分。它是一座活跃的火山，曾在 1983 年 7 月 14 日 发生剧烈喷发，对岛屿生态和人类活动造成重大影响。Una-Una 火山的岩浆主要为玄武质-安山质，富含挥发性成分。其与俯冲板块脱水形成的岛弧火山不同，其与长白山火山类似，属于板内火山。对于其成因，目前讨论较少。本研究结合区域成像模型以及地震震源机制特征，提出 Una-Una 火山与 Celebes 板块俯冲无关，而是与消失的 Sula 板块有关。Sula 板块与地幔过渡带的相互作用导

致了板内发生了撕裂，伴随的岩浆上涌形成。

S54-O-11

班达高曲率俯冲带形成过程：来自岩石圈尺度物理模拟的启示

刘豫威¹，丁巍伟^{1*}，王春阳¹，童政毅¹，
闻翔天¹

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学与划界全国重点实验室
* wwding@sio.org.cn

班达弧位于东南亚环形俯冲体系的最东端，以其显著的 180°曲率和复杂的运动学模式著称，其成因涉及洋-陆俯冲、弧-陆碰撞等多种动力学过程。前人基于地震层析成像、接收函数和各向异性分析等多种地震学方法对班达弧俯冲板片的形态、滞留深度、深部交汇方式和地幔流场进行了剖析和刻画，但是对于其高曲率俯冲带的成因机制和动力学模式一直存在不同观点（比如单一板块 VS 双板块），尚未形成统一的理论模型。岩石圈尺度三维物理模拟实验是研究俯冲带变形机制的有效手段，并已得到广泛应用。本次研究通过岩石圈尺度三维俯冲物理模拟实验进行动力学模式的验证，实验过程结合了研究区不同构造单元的形态、结构、变形特征等作为约束，设置相应的大陆岩石圈、大洋岩石圈、上地幔等参数。我们的模拟结果初步表明了大曲率班达俯冲带的形成可能与澳大利亚北缘弧形内凹的陆缘形态（古班达海湾）密切相关。在大洋板片俯冲回撤的过程中，局部存在的大型陆块会因其不规则的边缘形态影响海沟的几何形态演化，导致海沟的最终形态与陆块边缘形态相似。同时，陆壳的加入会导致俯冲速率逐渐减缓，最终可能使俯冲作用停止，使得俯冲板片以较大角度停留在地幔中，而陆壳的较大正

浮力是导致海沟和俯冲带回撤速度降低的主要原因。

S54-O-12

东南亚马鲁古海微板块背向双俯冲地球动力学

陈涛¹，索艳慧^{1*}

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* taochentg@163.com

背向双俯冲的显著特征在于单一海洋板块在两侧同时发生俯冲，这对于揭示板块汇聚及碰撞机制具有关键意义。然而，由于当前观测数据有限且具有较强局限性，其深层地球动力学机理仍未完全阐明。东南亚马鲁古海微板块两侧俯冲板块呈现不对称的倒 U 形构造，为探讨背向双俯冲的地球动力学提供了理想实例。本研究综合采用板块运动学与数值模拟手段，深入探讨马鲁古海微板块背向双俯冲形成过程中深层动力学机制。研究结果表明，马鲁古海地区约在 25 Ma 时经历了一次重大板块重组，导致桑义赫俯冲沿转换板块边界启动，此过程主要由板块三节点的不稳定性驱动；而位于马鲁古海东侧的哈马黑拉俯冲则始于约 15 Ma，主要受菲律宾海板块向西运动的影响。多种上地幔流动模式——包括横向逃逸流、极向流、环向流、海沟垂向流及角流共同维持了背向双俯冲的不对称几何形态。此外位于哈马黑拉俯冲板片上方的海沟法向流可能促进了哈马黑拉海沟的后撤，显著影响了太平洋与特提斯构造域之间的动力学交互作用。这项研究为揭示东南亚复杂汇聚背景下背向双俯冲的地球动力学机制提供了新的视角和理论依据。

S54-O-13

环形俯冲体系内的物质循环：越南南部新生代碱性—拉斑玄武岩起源于地幔过渡带撕裂大洋板片的上涌

俞恂^{1*}，刘志飞¹，曾罡²，Pham Nhu Sang¹，Long Van Hoang³

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

2 南京大学，关键地球物质循环与成矿全国重点实验室

3 Vietnam Petroleum Institute

* yuxun@tongji.edu.cn

欧亚大陆东南缘的环形俯冲带地区新生代晚期喷出大量板内玄武岩，同时形成碱性和拉斑玄武岩，表现出地球化学成分上的连续变化，其来源被认为与地幔过渡带中存在的滞留大洋板片有关。然而，碱性-拉斑玄武岩的成因及其与滞留板片之间的动力学联系却并不明确。本研究针对越南南部邦美蜀（BMT）和波来古（PLK）地区晚新生代玄武岩开展了全岩主微量元素和 Sr-Nd-Mg-Fe 同位素组成的分析。BMT 和 PLK 玄武岩均呈现出碱性向拉斑质过渡的特征，其中 BMT 玄武岩以碱性为主，PLK 玄武岩以拉斑质为主。玄武岩的主微量元素和 Mg-Fe 同位素组成变化规律与玄武岩从碱性到拉斑质转变的特点密切相关。与拉斑玄武岩相比，碱性玄武岩具有更高的 MgO、TiO₂、CaO/Al₂O₃ 含量和更低的 SiO₂ 含量。并且相较于正常洋中脊玄武岩和拉斑玄武岩，碱性玄武岩显示出更低的 $\delta^{26}\text{Mg}$ 和更高的 $\delta^{57}\text{Fe}$ 值，这表明碱性玄武岩的源区为碳酸盐化物质，而拉斑玄武岩的源区为富集型橄榄岩。玄武岩的微量元素比值和 Sr-Nd 同位素组成的变化规律主要体现在空间上，与碱性-拉斑玄武岩分类无关，其中 PLK 玄武岩比 BMT 玄武岩具有更高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和更低的 ϵ_{Nd} 。BMT 玄武岩具有类似洋壳的 Ce/Pb 和 Nb/Th 比值，以及 Sr 正异常，揭示了其地幔源区中存在再循环的下洋壳物质。相比之下，PLK 玄

武岩具有较低的 Ce/Pb 和 Nb/Th 比值以及较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值, 指示其源区再循环沉积物的贡献。综上, BMT 和 PLK 的碱性-拉斑玄武岩形成于同一地区地幔源区的岩性不均一性和熔融过程的差异, 而两者在空间上的地球化学变化则源于上涌俯冲大洋板片的不均一性。结合两地玄武岩的喷发时间, 地幔过渡带中滞留板片边缘的地球物理证据, 本研究提出, 大陆板内碱性-拉斑玄武岩的形成源于地幔过渡带滞留板片撕裂引发的断裂洋壳物质的上涌流, 为认识环形俯冲体系内的物质循环提供新的启示。

S54-O-14

俯冲板片结构对弧岩浆作用差异性的控制

于洋^{1*}, 黄小龙², 徐义刚², 钟孙霖³, 孙敏⁴, Iwan Setiawan⁵

1 山东大学, 海洋研究院

2 中国科学院广州地球化学研究所

3 台湾“中央研究院”, 地球科学所

4 香港大学, 地球科学系

5 印尼国家创新署

* hkrwy0123@163.com

俯冲带岩浆作用是地球表面和内部之间物质循环的基本机制之一, 是维系地球宜居环境形成与演化的关键。俯冲带岩浆作用在地球化学成分和空间分布(如火山至俯冲板块的深度)上均表现出显著多样性。然而二者之间是否存在成因联系及其控制机制仍不明确。本研究通过对爪哇前弧与后弧玄武岩进行硼同位素分析, 结合地球物理约束, 揭示了俯冲板片结构是如何控制弧岩浆作用的多样性。研究表明, 板片撕裂引发的软流圈地幔上涌, 促使前弧位置俯冲板片与地幔楔在更浅部发生强烈熔融。这导致火山活动更靠近海沟, 同时俯冲沉积物熔体的加入使弧岩浆 $\delta^{11}\text{B}$ 值降低。板片撕裂区附近较高的板片表面温

度加剧了俯冲板片脱水程度, 使得爪哇后弧 Muria 和 Rajabasa 火山熔岩的 B/Nb 比值低于 Tangkuban 火山。水通量的降低导致了后弧板片撕裂附近的地幔楔发生更低程度的熔融。爪哇岛弧岩浆成分与空间分布的变化主要受控于俯冲板片结构差异。这一规律具有全球普适性: 在冷俯冲背景下, 随着俯冲深度增加, 水通量增大将引发更高层次的地幔楔熔融, 同时造成弧岩浆作用形成位置更加远离海沟。本研究揭示俯冲板片热结构是控制全球弧岩浆多样性的首要控制因素。

S54-O-15

从板片到地幔: 多硅白云母在地球深部卤素输运中的作用

刘颖卓¹, 王煜^{1*}, 陈春飞², 高名迪¹, 徐义刚¹

1 中国科学院广州地球化学研究所

2 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* wangyu@gig.ac.cn

俯冲带是实现氟(F)和氯(Cl)等挥发分向地球深部循环的关键通道, 然而, 控制卤素在弧后区域传输的机制仍有待阐明。本研究通过对含 F、Cl 蚀变洋壳体系中多硅白云母(phengite)的高压实验(5-11 GPa, 850-1200°C), 揭示了其关键作用。研究表明, 氟的进入显著提高了多硅白云母的热稳定性, 使其作为 F-Cl 耦合载体的稳定存在范围在冷俯冲带中可拓展至约 330 公里深度(~11 GPa)。多硅白云母失稳(冷板片中的分解, 如 11 GPa/900°C; 暖板片中的熔融, >950°C)导致显著的 F-Cl 元素解耦: 氯优先分配进入水溶液或硅酸盐熔体, 而氟则倾向于滞留在固相残余物中(分解时主要形成 KMgF₃ 等富氟矿物相)。计算获得的富 Cl 分解流体(含 19.8-36.5 wt% Cl)成分特征与钻石中发现的部

分天然高盐度高密度流体 (HDFs) 一致, 表明多硅白云母分解是形成这类 HDFs 的可行机制, 但流体的后期演化及源区的不均一性亦可能对 HDFs 的多样性具有贡献。全球尺度估算表明, 多硅白云母每年将大量氟 (约 4.61×10^{12} g) 和氯 (约 7.28×10^{10} g) 输运至火山弧之下的深部地幔。

S54-O-16

俯冲沉积物诱导的岛弧地幔氧逸度不均一性

高名迪^{1*}, 王煜¹, 徐义刚¹

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* gaomingdi@gig.ac.cn

俯冲带岛弧地幔整体较洋中脊地幔更为氧化, 但不同岛弧地幔氧逸度仍存在显著差异, 这种差异可能对岛弧斑岩型矿床的形成具有重要影响。为厘清控制岛弧地幔氧逸度差异的主因, 本研究系统收集并统计分析了全球新生代原始岛弧玄武岩数据。研究发现, 岛弧玄武岩的 K_2O 含量与 Sr-Nd 同位素富集程度、氧同位素值升高, 以及 La/Sm、Th/La 比值增加呈正相关关系。由于这些同位素和元素比值的富集通常指示地幔源区沉积物贡献的增加, 因此 K_2O 含量可作为示踪沉积物贡献的简易指标。进一步统计分析表明, 原始弧岩浆中 K_2O 含量与 V/Sc 比值显著正相关。由于在地幔熔融过程中 V 的相容性随氧逸度升高而降低, 因此 V/Sc 比值升高反映了源区氧逸度的升高。 K_2O 与 V/Sc 的正相关性也意味着沉积物贡献的增加导致了岛弧地幔氧逸度的上升。此外, 通过统计岛弧岩浆橄榄石熔体包裹体数据发现, 熔体包裹体 K_2O 含量与基于橄榄石-熔体 V 分配系数计算的氧逸度呈显著正相关, 进一步验证了沉积物加入提高地幔氧逸度的观点。最后, 高 K_2O 原始弧岩浆与斑岩型矿床在空间分布

上高度一致, 表明俯冲沉积物诱导的高氧逸度可能是斑岩型矿床形成的重要条件。

S54-O-17

蛇纹石化地幔对俯冲带俯冲方式的影响及对初始碰撞带研究的启示

李付成^{1*}, 孙珍¹, 丁巍伟², 张翠梅³

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 深海钻探中心

2 自然资源部第二海洋研究所

3 中国科学院南海海洋研究所

* iamlifucheng@163.com

俯冲带中的蛇纹石化地幔在向地球内部输送水分, 并深刻影响俯冲和碰撞带的动力学变形过程。然而, 由于缺乏有效的约束或检验, 学者们对不同俯冲带乃至同一俯冲带内部的蛇纹石化程度估算差异巨大。为了探索更精准的地幔蛇纹石化估算方法, 本文利用二维热-力耦合数值模型, 研究俯冲角度、地幔厚度及蛇纹石化程度的变化如何影响马里亚纳海沟中部与南部的俯冲过程。模拟结果揭示出三种不同的俯冲动力学模式: 稳定俯冲、地壳折返抬升以及地壳增生, 其形成取决于蛇纹石化地幔的厚度与蛇纹石化程度。

假设地幔发生了完全的蛇纹石化, 随着蛇纹石化厚度的增加, 俯冲板片会表现出不同的变形特征: 对于马里亚纳南部地区, 当蛇纹石化地幔厚度小于 13 km 时, 俯冲带表现为稳定俯冲, 马里亚纳中部发生稳定俯冲则需要厚度小于 14km; 在马里亚纳南部, 当蛇纹石化地幔厚度达到 14–17 km 时发生由浮力驱动的地壳折返抬升, 马里亚纳中部则缺乏地壳折返抬升模式; 当南部地区的蛇纹石化地幔厚度大于 17 km, 中部地区大于或等于 14km 时, 则发生地壳增生。但如果地幔仅发生部分蛇纹石化时, 则需要更厚的蛇纹石化地幔厚度才能导致同样变形方式的发生。这一模拟结果与地

震观测一致,在马里亚纳俯冲带中部和南部,大部分区域蛇纹石化地幔厚度小于 14 公里,那里观测到稳定的俯冲方式。马里亚纳俯冲带南部地区地幔蛇纹石化达到 14-17 公里的区域,科学家们观测到前弧区存在高压变质岩,推测是俯冲折返的地壳。通过计算,发现马里亚纳俯冲带有地幔蛇纹石化厚度>17 公里的区域,但并未观察到地壳增生,推测地幔仅发生部分蛇纹石化(例如厚度为 21 km 时,蛇纹石化程度 ≤ 4.4 wt%,仍未达到增生阈值)。通过将模型预测与地球物理观测结果相结合,我们估算南部马里亚纳最大载水完全蛇纹石化地幔的最大厚度为 17 km,中部为 13 km,意味着南部地区的水输入通量可高出约 30%。

本研究结果有助于细化马里亚纳海沟沿走向水输入变化的约束条件,并突显蛇纹石化在解释俯冲带地球物理异常中的重要意义。同时,为我们即将在 Timor 初始碰撞带开展大地电磁探测研究提供了关键指导,可用于优化探测剖面布设、识别潜在的低阻异常区,并与模型结果对比验证初始碰撞造山带不同的地壳变形样式与空间特征,从而提升对初始碰撞造山带构造演化过程的综合认知,帮助排除不合理的解释方案。

S54-O-18

马尼拉俯冲带碳、氮输入通量和循环效率:对全球俯冲带挥发性元素循环的启示

孙李恒¹, 黄欣婷¹, 张运迎^{1*}, 马飞³, 王贞腾¹, 孙珍^{2*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 中国海洋石油集团有限公司

* zhangyunying@scsio.ac.cn

* zhensun@scsio.ac.cn

作为中生代以来规模最大的汇聚体系,新特提斯构造域为研究地球表层至深部挥发分循环提供了天然实验室。尽管多学科研究表明新特提斯构造域对全球挥发分循环与大气 CO₂分压(pCO₂)变化具有深远影响,但其对现今全球挥发分循环的调控作用仍鲜受关注。新特提斯洋闭合后形成的边缘海(例如:南海)与俯冲带(例如:马尼拉俯冲带)具有独特的岩石-构造架构,暗示源自新特提斯构造域的边缘海盆地可能具有不同于传统开阔大洋模式的挥发分循环特征。本研究基于南海 IODP U1431、U1433 和 U1503 站位的玄武岩与沉积物样品,结合碳(C)、氮(N)含量与同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$),系统揭示了南海沉积物-玄武岩体系中的挥发分输入通量及马尼拉俯冲带的循环效率。结果表明:相较于开阔大洋沉积物,南海沉积物显著富集 C (275–92,711 ppm; $\delta^{13}\text{C}$: -24.1‰ – $+2.3\text{‰}$) 与 N (57–944 ppm; $\delta^{15}\text{N}$: -1.2‰ – $+6.4\text{‰}$),这些 C、N 主要来源于陆源有机质;南海玄武岩 C 含量(112–1,355 ppm)与全球开阔大洋相当,但其 $\delta^{13}\text{C}$ 值显著亏损(-28.1‰ – -12.2‰),指示上覆沉积物有机碳的强烈混染。结合已发表的南海玄武岩 N 含量数据,我们发现马尼拉俯冲带具有更高的单位输入通量(C: $7.12\text{--}7.60 \times 10^7 \text{ mol}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$; N: $3.06\text{--}4.46 \times 10^6 \text{ mol}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)与更低的循环效率(C: 22.7%–24.2%; N: 4.2%–10.6%)。以南海数据为参考,我们估算出新特提斯相关的边缘海俯冲带的 C、N 单位输入通量分别为 $6.25\text{--}6.46 \times 10^7 \text{ mol}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 与 $2.48\text{--}3.18 \times 10^6 \text{ mol}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。这些结果揭示新特提斯洋闭合形成的边缘海与俯冲带具有区别于传统开阔大洋体系的高效挥发分-流体循环模式,是地表 C、N 向地幔迁移的高效通道。本研究强调新特提斯构造域在当代全球挥发分循环(尤其是 C、N 循环)中具有不可忽视的调控作用。

S54-P-1S

马利亚纳海沟最南段底部岩 浆岩岩石学、地球化学特征 及其意义

洪一荻^{1,2}, 吴涛^{1,2*}, 朱恒睿², 田丽艳³,
宋陶然⁴, 鲁江姑⁵

1 浙江大学, 海南研究院

2 浙江大学, 海洋学院

3 中国科学院深海科学与工程研究所, 深海地质与
地球化学研究室

4 海南热带海洋学院, 海洋科学与技术学院

5 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学重点实验室

* taowu@zju.edu.cn

伊豆-小笠原-马利亚纳 (IBM) 俯冲带是全球研究俯冲起始过程的典型区域。历年来, 对于 IBM 中北段的岩浆演化研究已经取得较为系统的认识, 然而, 受极端水深 (>10,000m) 和采样难度的限制, 马利亚纳海沟最南段的研究仍然较缺乏。该区域是否具有与 IBM 北段经历了相同的构造演化? 目前仍不清楚。

本研究基于“奋斗者”号载人潜水器 FDZ061 潜次从马利亚纳海沟最南段 9782-9586m 深度范围内采集的火成岩样品, 通过全岩地球化学、Sr-Nd-Hf-Pb 同位素以及矿物组成分析, 识别了四种不同的岩石类型: 弧前玄武岩 (FAB)、高硅玻安岩 (HSB)、高镁安山岩 (HMA) 以及堆晶辉长岩。这些岩石构成了一套完整的俯冲起始岩浆序列, 样品的主要特征如下: 弧前玄武岩样品显示出较高的 Ti 和 V 含量, 指示其来源于亏损地幔源的减压熔融, 标志着俯冲作用的起始; 高硅玻安岩记录了随后由板块流体引起的地幔交代作用, Ti/V 比值普遍小于 10; 高镁安山岩为玻安质岩浆经过结晶分异后的产物, 镜下发育多个斜长石环带, 呈现出更为演化的地球化学特征 ($\text{SiO}_2 > 65.\text{wt}\%$); 堆晶辉长岩以斜长石和辉石组合为主, Sr-Nd-Hf-Pb 同位素特征与马利亚纳岛弧岩浆存在明显差异, 微量元素特征和矿物学组成与已报道

的 FAB 型辉长岩高度相似, 推测其为俯冲初期原始岩浆的结晶产物, 而非典型的岛弧阶段堆晶岩。因此, 马利亚纳海沟最南段保留了俯冲初期多阶段岩浆活动的记录。

研究结果表明, 尽管该区域的岩浆序列整体与 IBM 系统的北段相似, 但在俯冲板片输入、地幔源区特征等关键地球化学指标上仍然存在一定的差异。如本文中的玻安岩样品相较 IBM 北段呈现出更高的不相容元素比值 (Th/Yb、Zr/Yb 与 Nb/Yb), 说明该区域受到了更为强烈的俯冲板片物质的影响。这揭示了马利亚纳海沟最南段的岩浆演化具有其独特性, 为我们深刻理解整个 IBM 带构造演化历史提供了新的依据。

S54-P-2S

马利亚纳海沟最南端挑战者 深渊玻安岩的岩浆动态演化 过程: 来自矿物温压计与 MELTS 模拟的证据

林若澜¹, 吴涛^{1,2*}, 朱恒睿¹, 鲁江姑³,
洪一荻^{1,2}

1 浙江大学, 海洋学院

2 浙江大学, 海南研究院

3 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学重点实验室

* taowu@zju.edu.cn

玻安岩作为与俯冲起始阶段密切相关的高镁火山岩, 是理解板块构造动力学的关键载体。尽管西太平洋伊豆-小笠原-马利亚纳 (IBM) 北部弧前区域的玻安岩已有大量研究成果, 但马利亚纳汇聚边缘南段 (关岛以南地区) 的玻安岩还未见有相关研究。本研究基于载人潜水器“奋斗者”号在挑战者深渊北坡采集的玻安岩样品 (水深分别为 10810.67m、10810.75m 和 10814.97m), 开展了系统的全岩与矿物地球化学研究。结果表明这些样品具有典型

的玻安岩地球化学特征, 高 MgO (14.6-15.3 wt%)、高 SiO₂ (57.6-57.9 wt%) 和极低 TiO₂ (~0.2 wt%), 富集流体易迁移元素和大离子亲石元素 (Rb、Ba、U、Pb 和 Sr), 并显示 Zr 和 Hf 的轻微富集。辉石普遍发育钙质过度生长边和复杂的环带结构, 记录了多期岩浆补给-混合事件和非平衡结晶过程。矿物温压计揭示存在双储库岩浆系统: 深部储库 (~13.5 km, 1214°C) 和浅部储库 (4.6-6.3 km, 1183°C)。液相线模拟进一步表明其结晶序列为尖晶石→橄榄石→斜方辉石→单斜辉石, 结晶压力为 0.2-0.4 Gpa, 对应 6-14 km 深度。研究还识别出两次过冷事件: 首次发生于岩浆上升至浅部储库过程中, 压力骤变引发钙质过度生长边; 第二次出现在海底喷发时, 与海水相互作用快速冷却形成淬火结构。挑战者深渊玻安岩复杂的矿物结构与独特的地球化学特征共同揭示了俯冲起始阶段玻安岩岩浆系统的复杂动力学特征: 频繁的岩浆补给-混合事件与快速的上升-喷发过程。

S54-P-3S

穆绍海沟的微构造变形及其对俯冲起始的启示

赵学婷¹, 李春峰^{1*}, 邓永康¹

¹ 浙江大学, 海洋学院

* cfli@zju.edu.cn

卡罗琳板块与太平洋板块之间的穆绍海沟为了解初始俯冲过程提供了一个重要的地质窗口。本研究利用高分辨率多波束测深和二维多道地震反射剖面, 详细描述了穆绍海沟沿线的微构造变形。结合地震剖面、重磁异常和地形梯度, 经过低通滤波处理和光照梯度效果叠加的测深数据揭示了更多构造细节, 包括独特的线性构造变形特征、增生楔形态的变化, 以及穆绍海沟向东延伸至上覆穆绍海脊内的显著凹

陷构造等, 这些特征可能与转换断层、应力局部化和俯冲终止动力学有关。我们的分析表明, 穆绍海沟区域的构造变形呈现出明显的纵向分段性, 并被新发现的凹陷特征所分割。此外, 微构造变形支持穆绍海脊内的脊内谷代表卡罗琳板块与太平洋板块边界的解释。两板块间的汇聚变形共同抬升了板块边界, 形成了洋脊内谷, 并在谷内发育了一组近乎平行的线状槽道。基于这些观测, 我们进一步提出了未来在关键变形部位开展深海钻探的目标, 以期约束俯冲起始和终止的构造演化模式。

S54-P-4

显生宙大洋硫循环主要形式及其对大气氧含量调控作用研究

苗秀全¹, 张运迎^{1*}, 孙珍¹, 孙李恒¹, 黄瑞芳¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所

* zhangyunying@scsio.ac.cn

大气氧含量是影响地球宜居性的重要因素, 其与生物的形成和演化息息相关。显生宙以来, 大气氧含量的变化与大洋硫循环密切相关。在大洋硫循环过程中, 海水硫酸盐主要通过黄铁矿和蒸发岩两种形式被埋藏。黄铁矿的埋藏会将还原性的 Fe²⁺ 和 S²⁻ 固定下来, 并释放氧气, 而蒸发岩的埋藏则对大气氧含量没有影响。然而, 现有研究仅计算了沉积成因黄铁矿而忽略了水-岩相互作用形成的黄铁矿, 且低估了蒸发岩埋藏通量, 导致显生宙大洋硫循环的主要形式是以黄铁矿埋藏还是蒸发岩埋藏为主及其对大气氧含量调控作用存在较大争议。因此, 本研究通过对南海 IODP U1502B 钻孔中水-岩反应成因黄铁矿为进行岩相学、矿物学和原位 S 同位素研究。绿片岩相蚀变矿物组合以及黄铁矿正的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 (1.93–5.96‰), 指示南海黄铁矿为高

温热液成因。基于硫同位素质量平衡模型以及显生宙水-岩反应成因黄铁矿 S 同位素组成, 计算得出显生宙水-岩反应成因黄铁矿埋藏通量为 $7.23\text{--}14.9 \times 10^{11} \text{ mol yr}^{-1}$, 与沉积成因黄铁矿埋藏通量, 表明水-岩反应对显生宙大洋硫循环具重要的影响作用。高的水-岩反应与沉积成因黄铁矿的总埋藏通量 ($F_{py} = 1.40\text{--}2.91 \times 10^{12} \text{ mol yr}^{-1}$) 及埋藏率 ($f_{py} = 47\text{--}97\%$), 表明黄铁矿埋藏是显生宙海洋硫循环的主导路径, 并持续调控着大气氧浓度。此外, 显生宙黄铁矿埋藏通量与大气氧浓度的骤增事件可能与超大陆聚合事件存在成因关联。

S54-P-5S

南沙地块东南陆缘挠曲构造变形特征及成因机制

韩昕泽^{1,3}, 王利杰², 杨晓东^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 中国科学院大学

* xdyang@scsio.ac.cn

南沙地块位于南海南部陆缘, 其形成演化经历了古南海的俯冲消亡和现今南海的打开扩张, 其东南缘的挠曲变形对于理解南海演变过程至关重要。本研究基于 4 口最新钻井资料和 3 条多道地震数据的追踪解释, 揭示了前隆区挠曲构造变形特征, 结合断层解析和位移量化、构造沉降速率计算, 系统分析了研究区挠曲变形的时代和成因机制。研究结果表明: (1) 挠曲前隆区具有显著时间构造差异, 同裂谷期 (65-28~27 Ma) 受 NW 向铲状正断层控制, 形成半地堑-地垒结构, 漂移期 (28~27-15.2 Ma) 以断拗作用为主, 后漂移期 (15.2-0 Ma) 为稳定批覆沉积, 前渊区可见逆冲推覆构造; (2) 断裂活动强度自同裂谷期向漂移期、后漂移期锐减, 而构造沉降速率在后漂移期急剧增大 (峰值达 201.61 m/Myr), 且拟合曲线呈现前陆盆地

典型挠曲特征, 其空间分异与板片挠曲应力场转变高度耦合; (3) 结合区域动力学背景, 研究认为该区挠曲变形受控于中新世古南海向西北婆罗洲的俯冲消亡, 其俯冲拖曳驱动南沙地块裂离华南陆缘, 并诱发、主导了岩石圈的挠曲变形。

S54-P-6

南沙地块新生代沉积通量和沉积分布对构造—古地理演化的响应

王菲^{1*}, 丁巍伟¹

1 海底科学与划界全国重点实验室, 自然资源部第二海洋研究所

* wangfei@sio.org.cn

南沙地块位于南海南部大陆边缘, 新生代以来经历了陆缘拉张-漂移伸展-俯冲碰撞的多阶段构造演化过程; 同时, 伴随着地块由北向南漂移、由陆相转向海相的古地理环境变化。在新生代东亚季风的形成和加强下, 南沙地块周缘河流如湄公河、古湄南河以及低海平面时期巽他陆架出露时形成的北巽他河将大量的沉积物输送进入南沙地块。堆积下来的沉积物记录了区域构造格局变化和环境变化等重要信息。本研究利用覆盖研究区的 60 余条多道地震剖面, 结合钻井和拖网数据, 建立南沙地块沉积地层格架。通过对不同地质年代沉积通量的定量化计算及时空展布特征分析, 旨在重建南沙地块新生代沉积充填演化历史。研究结果显示, 南沙地块新生代以来沉积通量在 3 个构造阶段呈现持续增长趋势, 在渐新世-早中新世 (33-16 Ma) 的地块漂移期基本保持稳定。在空间上, 沉积物呈现出东部持续减少, 西南方向持续增加的趋势。通过整合沉积中心时空分布与钻井结果及地球化学分析的沉积物来源信息, 古新世-始新世 (65-33 Ma) 陆缘裂解时期, 南沙地块仍处于华南大陆南缘, 沉

积通量总体较低，主要来自北部。渐新世-早中新世时期（33-16 Ma），南沙地块脱离华南大陆开始向南漂移，来自北部的沉积物供给减少，通过中南半岛、巽他陆架以及婆罗洲的河流水系由西南方向输送进入研究区。中中新世以来（16 Ma - 0 Ma），南沙地块与婆罗洲发生碰撞。区域沉积通量迅速增加，堆积在陆坡边缘、水道出口以及南沙海槽，呈现从陆坡坡脚（> 1000 m）到地块中部（~ 500 m）逐渐减薄的特征。

S54-P-7S

琼东南海域基底结构和中生界岩浆岩：古板块俯冲的约束

韦成龙^{1,2*}，许长海¹，王先庆²，王仕胜²

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

* wchl@tongji.edu.cn

本研究围绕琼东南海域基岩，运用钻遇岩石分析、锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素测定以及重磁数据反演等方法，系统解析了该区域中生代基底结构与岩浆岩的时空分布特征。结果显示：研究区基底主要由浅变质岩、花岗岩类、火山岩和少量片麻岩及大理岩等组成，岩浆活动集中在晚侏罗世至早白垩世过渡期(155–145 Ma)和中白垩世(110–90 Ma)两个阶段，区域上近东北向展布。岩浆岩以壳源重熔为主，局部中性-基性岩体具有幔源混入特点，其形成应与古板块俯冲脱水和岩浆底侵作用引发的加热和壳幔物质交换关系密切。琼东南海域基底构造演变复杂，印支期具有特提斯及古太平洋两大汇聚域构造-岩浆交叠结构，晚中生代又遭受古太平洋陆缘汇聚叠加改造作用。这些成果数据对深入认识华南中生代陆缘演变和特提斯及古太平洋汇聚控制作用提供了新的证据。

S54-P-8S

南海海山碱性玄武岩的成因：来自角闪石斑晶的地球化学证据

韦懿倩¹，田丽艳^{1*}，董彦辉²，沈晨曦¹

1 中国科学院深海科学与工程研究所

2 自然资源部第二海洋研究所

* lytian@idsse.ac.cn

玄武岩斑晶的化学成分特征及其演化，可以用来反映岩浆源区及其物理化学条件。本研究对采自南海东部次海盆和西南次海盆内 4 个海山的火山岩样品，开展了详细的全岩和单矿物地球化学研究。研究结果表明，所有的火山岩样品为碱性玄武岩，表现出与洋岛玄武岩（OIB）相似的微量元素特征；结合采样位置和已发表数据，推测是海底扩张停止后岩浆活动的产物。其中，在南海石星海山和中南海山玄武岩样品中发现了少见的角闪石斑晶，其属于钙角闪石分类中的钛闪石，具有高 Ti、Al 但低 Si 的特征，Mg# 平均为 0.66，推测是富水岩浆结晶的产物。根据角闪石斑晶主量元素数据的初步计算结果，估算其熔体水含量高达 4.7 ~ 5.3 wt.%。因此，我们提出，石星海山和中南海山的岩浆地幔源区富水，可能源于海盆下方滞留的俯冲板片的脱水作用。

S54-P-9S

东南亚环形俯冲的地幔对流模拟

王悠昆¹，周志远^{1*}，林间¹

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 南方科技大学，海洋高等研究院

* shazhi.ju@163.com

俯冲带是板块发生聚合作用的边界，也是板块消亡的边界。板块俯冲对地幔对流的影响是巨大的，是地幔对流的一个重要的驱动因素。俯冲边界是海洋板块消亡的地方，板块的俯冲带动了地球的表面物质与深部物质的循环与板块的循环。在俯冲边界通常有能量的集中汇聚，会出现地震、海啸等一系列自然灾害。

东南亚位于亚欧大陆板块、澳大利亚板块和太平洋板块汇聚的边界，是世界上最独特的区域之一。东南亚地区西边是安达曼海、苏门答腊俯冲带，南边有爪哇俯冲带、帝汶海沟，东部有菲律宾俯冲带、马尼拉俯冲带和班达海湾等，内部还存在南海、苏禄海和苏拉威西海等一系列边缘盆地，该区域独特的地理位置以及被周边俯冲带环绕的环境造就了极度弯曲的环形俯冲带，也就是东南亚环形俯冲系统。东南亚环形俯冲系统中的俯冲板片拉力不止是板块运动的主要驱动力，同时也为该区域零碎陆块的拼接提供了驱动力，形成了复杂的海洋岛链，进而控制着海洋环流、大气环流和海气相互作用等。因此东南亚环形俯冲区域的地幔环流模式对于解释其地表的构造活动以及该区域的演化过程有着重要的约束意义。

本次的全地幔对流模型是使用 ASPECT 有限元代码运行的，重点关注区域为东南亚区域，因此也在该区域进行加密。我们的模型计算域为一个代表地球地幔的球壳，模型的内、外半径分别为 3,471 km 和 6,371 km，模型的重力加速度为 10 m/s^2 ，并且在内、外边界均施加自由滑移边界条件。除了在东南亚区域（ 10°S - 30°N ）进行人为加密，我们利用 ASPECT 的空间自适应网格加密功能，对板块边界和粘度进行了自适应加密。目前已经得出了初步结论：东南亚东南角区域的地幔流动存在高速异常，疑似在班达下方存在高速地幔流动通道。

S55-O-1

海—陆地质结合重建中生代晚期以来西太平洋台湾—琉球—吕宋岛间海域板块演化

黄奇瑜^{1,2*}，钟广法²，余梦明²，张国良³，周怀阳⁴，汪品先²

1 成功大学，地球科学系

2 同济大学，海洋与地球科学学院

3 中山大学，海洋科学学院

4 南方科技大学，海洋科学与工程系

* huangcy@mail.ncku.edu.tw

最近海洋地质研究发现形成西南日本中央构造线以南活动大陆俯冲构造体系的中生代 Izanagi 板块和太平洋板块，至今仍各有一小部分残留在台湾-冲绳-吕宋岛间三角形海域，包括花东盆地(~130 Ma)、吕宋-琉球盆地(>124 Ma)，及二者间的早白垩纪加瓜海脊火山岛弧(115-124 Ma)。这些新发现将推翻传统认为北半球中纬度西太平洋地区全为新生代菲律宾海板块的认识。

台湾-冲绳-吕宋岛间海域中生代残留海洋板块和菲律宾海板块间以吕宋-冲绳断层带接触。此走滑断层带长 1400 公里，宽>60 公里，南、北两端分别连接琉球海沟和菲律宾海沟，标记中生代残留海洋板块和新生代菲律宾海板块间转换板块边界，其与琉球海沟交切于宫古水道。中生代宫古水道东-西两侧同为 Izanagi 板块俯冲形成的活动大陆构造体系，但早新生代以后两侧地质完全不同，东侧为西南日本活动大陆构造的延伸，西侧则为东海陆架-台湾造山带被动大陆构造体系。此新生代地质的差异导因于台湾-冲绳-吕宋岛间海域还残留了一小部份中生代海洋板块。

综合亚洲大陆东缘海-陆地质，辅以经典西南日本岛弧依序经历 Izanagi-太平洋板块-菲律宾海板块俯冲演替的认识，西太平洋台湾-冲绳-吕宋岛海域中-新生代海洋板块演化可以『板块走滑斜切-边缘残留模式』说明。

S55-O-2

华南晚中生代陆缘构造及古太平洋俯冲体制

许长海^{1*}, 韦成龙^{1,2}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局, 海口海洋地质调查中心

* xchxch@tongji.edu.cn

岩浆大爆发(例如, Zhou & Li, 2000)、陆内强烈变形(例如, Yan DP et al., 2016)和大规模多金属成矿作用(例如, Mao JW, et al., 2018), 三者并列成为华南晚中生代最显著的地质特征而备受关注。华南晚中生代的花岗质岩浆活动具有多幕性特征。其中, 在东海西部的两次岩浆大爆发, 分别在 180~155Ma 和 128~102Ma 出现; 而华夏地块则出现了三次岩浆大爆发, 发生的时间分别是: 165~150Ma, 145~128Ma 和 102~86Ma (Xu CH et al., 2023)。关于“华南大花岗岩省”形成的构造背景, 多认为与古太平洋板块俯冲背景下的“大地幔楔”(big mantle wedge)构造有关, 提出的模型主要包括安第斯型(例如, Li ZX et al., 2012)和非安第斯型(例如, Niu YL et al., 2015)两种。根据东海钻遇岩石的资料, 我们厘定出了以华夏地块为基底(形成于 2.5Ga 和 1.85Ga)的东海残留岩浆弧, 它与琉球群岛至中国台湾的俯冲杂岩以及华南海内单元一起, 在区域上构成了晚中生代“沟-弧-板内”的陆缘俯冲结构(Xu CH et al., 2023)。其中, 东海弧经历了俯冲启动、岩浆弧加厚、衰退、弧根拆离以及岩浆弧迁移等过程, 这与 Izanagi 板块汇聚东亚大陆的俯冲特性变化高度吻合; 而华南大规模构造岩浆活动, 则与地幔过渡带中的板片滞留(slab stagnation)控制密切相关, 包括板片脱水、岩石圈拆离、地壳含水熔融及壳幔熔体相互作用等过程。华南陆缘存在侏罗纪早期岩浆弧, 它是古太平洋初始斜向俯冲东亚大陆的产物(Xu CH et al., 2017)。上述晚中生代这些复杂的地球动

力学过程, 尤其是受古板块俯冲、大地幔楔控制的岩浆弧与华南海内构造岩浆协同演变及显著差异, 与传统的安第斯型大陆边缘不同, 我们提出了华夏型活动大陆边缘的概念(Xu CH et al., 2023)。

S55-O-3

西菲律宾海盆和卡洛琳海盆板块边界和地幔属性研究

张国良^{1*}, 迟翰韬², 张吉², 徐丰²

1 中山大学, 海洋科学学院

2 中国科学院海洋研究所

* zhanggliang5@mail.sysu.edu.cn

中生代晚期西太平洋经历了重要的构造转换, 并在新生代以来形成了占全球 70% 以上的边缘扩张海盆。最近研究发现这些边缘海盆西侧还存在早白垩海盆(花东海盆)和岛弧(加瓜海脊), 说明这些新生代边缘海盆夹在东、西中生代海洋板块之间而形成。然而, 这些新生代边缘海盆与太平洋板块之间的协同演化, 以及其这些海盆下部的地幔组成属性都不太清楚。西菲律宾海和卡洛琳海是西太平洋最大的两个边缘海盆, 二者与太平洋板块之间的构造接触关系和海盆玄武岩组成, 为认识西太平洋板块俯冲背景下海盆形成和地幔组成分布提供了重要研究视角。本研究分析了卡洛琳板块与太平洋板块边界附近海盆玄武岩的地球化学和年代学, 厘清了二者东部边界的准确位置。卡洛琳海盆沿着与太平洋板块之间的走滑边界而形成, 其扩张期玄武岩在微量元素和同位素组成与西菲律宾海盆非常相近, 而且构造分析结果进一步显示, 这两个海盆初始形成时具有共同的超亏损地幔组成。通过分析东菲律宾海(帕里西维拉海盆)玄武岩及其与西菲律宾海和马里亚纳弧前玄武岩异同, 结果显示马里亚纳弧前玄武岩来自与西菲律宾海和卡洛琳海盆相似的地幔组成, 反映了这种亏损地幔对马里亚纳俯冲早期阶段

岩浆的贡献。然而,帕里西维拉海盆与西菲律宾海和卡洛琳海玄武岩表现出的地幔组成差异,可能是菲律宾海板块向北漂移过程中遇到的另一种亏损地幔。帕里西维拉海盆和西菲律宾海盆被认为是弧后盆地成因,其玄武岩玻璃水含量与正常 MORB 相比略高,反映了长期板块俯冲对海盆下部的上地幔水含量有一定影响。

S55-O-4

南海南部微陆块古地理起源 与古太平洋—古南海演化

曹立成^{1*}, 邵磊², Douwe J. J. van Hinsbergen³, Junaidi Bin Asis⁴

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 同济大学, 海洋学院

3 乌特勒支大学, 地球科学学院

4 沙巴大学, 科学与自然资源学院

* licheng.cao@gmail.com

西太平洋-东南亚是全球微板块最为发育的地区之一, 板块运动和地质历史复杂。伴随年轻大洋打开和微陆块漂移, 多个古大洋板块在此俯冲消亡, 其中古太平洋和古南海板块曾于晚中生代—早新生代占据南海地区, 但现已完全消失, 有限的地表-深部残留记录使其古地理重建极具挑战性。重建古生代—中生代古太平洋-特提斯洋俯冲构造格局向现今东南亚构造拼贴带-西太平洋边缘海构造格局的重大转变, 需明确该地区微陆块, 尤其是南海南部巴拉望陆块和沙巴地块, 的古地理起源。

本研究基于菲律宾西部巴拉望陆块最古老增生杂岩——二叠纪 Bacuit 组及马来西亚沙巴陆块白垩纪地层——Baliojong 大洋板块地层样品的最新碎屑物源-年代学分析结果, 结合系统构建的南海-东南亚地区锆石单颗粒等类型物源数据库, 通过区域对比分析揭示了主要微陆块的古地理起源及其指示古南海演化过程。Bacuit 组以大陆弧物源信号为主, 最古老样品的最大沉积

年龄为晚三叠世, 其~260 Ma 单峰指示古太平洋俯冲最早可能发生于晚二叠世, 锆石 U-Pb-Hf 同位素信号表明其物源信号有别于华南陆缘, 指示巴拉望陆块古地理起源为古太平洋构造域外来陆块。Baliojong 浊积岩各物源和年代学指标均存在较大差异, 明确指示晚白垩世早期不同期次的俯冲增生产物, 锆石 U-Pb-Hf 同位素信号表明其与印支地块南缘-东马地块-西北婆罗洲一带存在潜在的物源联系, 指示形成 Baliojong 浊积岩的古太平洋俯冲带位置更靠近巽他大陆。综合 Baliojong 玄武岩最新年代学、地球化学和古地磁结果, 恢复了该大洋板块地层的完整演化历史, 提出了独立于伊邪那岐板块的古太平洋次级板块在晚白垩世终止俯冲并残留形成古南海的新动力学模型。

S55-O-5

花东海盆的年龄及其与加瓜海脊、西菲律宾海盆的构造关系

朱佳豪^{1,2}, 赵明辉^{1,2*}, Jean-Claude Sibuet^{1,3,4}, 张佳政¹, 程锦辉¹, 全余杰¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 中国科学院大学

3 44 rue du Cloître

4 Ifremer Centre de Brest

* mhzhao@scsio.ac.cn

花东海盆与加瓜海脊位于菲律宾海板块与欧亚板块的交汇处, 是研究西太平洋构造演化的关键区域。长期以来, 花东海盆的年龄及其与加瓜海脊的构造关系存在争议。本研究利用 2022 年获取的 OBS2022-1 广角反射/折射地震剖面数据, 通过 RayInvr 正演和 Tomo2d 反演方法构建了研究区域高分辨率的 P 波速度结构模型。结果显示: (1) 花东海盆地壳厚度约为 4.2-8.5 km, 其东侧靠近加瓜海脊处存在下

地壳高速异常。(2) 加瓜海脊相比两侧洋盆地壳显著增厚, 最大厚度超过 15 km, 具有明显的“山根”结构。(3) 加瓜海脊以东, 地壳由一个厚度约 7 km 的相对较厚的洋底高原组成, 该高原与加瓜海脊之间隔着一条充填着 3 km 厚沉积物的海沟, 其东侧毗邻一个厚度约 6.2 km 的大洋盆地。(4) 结合沉积层序分析和前人研究, 推断花东海盆及加瓜海脊东侧海沟均为中生代白垩纪形成。花东海盆东侧的下地壳高速异常解释为后期岩浆底侵作用。加瓜海脊的高速、巨厚下地壳特征, 结合地球化学证据, 支持其为中生代俯冲作用形成的残留岛弧, 而非简单的隆升洋壳或转换断层。本研究认为花东海盆与加瓜海脊共同构成了西太平洋中生代残留地壳单元, 其形成与白垩纪太平洋板块和新特提斯板块的俯冲相互作用有关。这些发现为理解西太平洋中生代以来的构造演化提供了来自深部结构的新证据。

S55-O-6

基于三维斜磁化反演的西菲律宾海盆深部结构研究

黄祖伟¹, 赵崇进^{1*}, 张罗磊¹, 于鹏¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* zc.jadc@126.com

西菲律宾海盆 (West Philippine Basin, WPB) 位于太平洋板块、欧亚板块和印度-澳大利亚板块的交汇区域, 是研究洋盆演化与板块构造作用的重要窗口。然而, 该区域的地质构造仍存在诸多争议, 如加瓜海脊 (Gagua Ridge) 的成因性质、花东海盆白垩纪洋壳的分布范围等问题尚未厘清。本研究提出一种新的磁数据处理与反演技术框架, 融合奇异谱分析 (Singular Spectrum Analysis, SSA) 与归一化源强度 (Normalized Source Strength, NSS) 方法, 能够有效分离浅源残差磁异常与深源区域磁异常。在此基础上, 采用三维斜磁化反

演方法, 对提取出的深部区域磁异常进行成像, 从而揭示海盆深部磁性结构特征。

研究结果显示, 加瓜岭深部磁化特征呈现出典型的火山岛弧属性, 支持其为太平洋板块早期俯冲形成的不成熟洋内弧的成因机制; 此外, 在加瓜海脊东南侧识别出一处显著的浅部去磁化区域, 推测与南海板块在中新世以来的俯冲活动有关。同时, 我们还推断出位于花东海盆区域可能保存的白垩纪洋壳范围, 为该区域古洋盆构造演化提供了新的物理证据。结合磁性结构分布与构造背景, 本文构建了一个“双岛弧—双俯冲带”共存的深部构造模式: 早期太平洋板块俯冲形成古岛弧与去磁化带, 后期南海板块俯冲再造新岛弧系统及相关地壳构造特征。

本研究成果不仅深化了对西菲律宾海盆演化历史的认识, 也为全球复杂构造区地下结构的识别提供了一种高效、可推广的磁学研究方法。

S55-P-1

东海盆地离岸岩浆活动记录的地球化学与同位素证据揭示华南~110 Ma 大陆弧

胡立晨¹, 李宁², 付晓伟^{1*}, 唐贤君², 冯凯龙¹, 朱伟林¹, 徐曦³

1 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

2 中国海洋石油集团有限公司, 中国海洋石油 (中国) 有限公司上海分公司

3 中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心

* fu_xiaowei@tongji.edu.cn

早白垩世期间, 古太平洋板块的后撤作用被认为是驱动华南岩浆岩带向海沟迁移的主要动力。然而, 陆上区域缺乏弧安山岩且 117~108 Ma 期间岩浆活动明显停滞, 引发了关于构造模型的争议。值得注意的是, 东海盆地离岸区域的岩浆活动长期被忽视。本研究对东海盆地 10 口工业钻井中的 21 件岩浆岩样品开展了系统分析, 通过

薄片岩相学、原位锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素及全岩地球化学测试, 鉴定出~110 Ma (107.9~112.9 Ma) 的花岗岩、安山岩与凝灰岩。样品显著富集大离子亲石元素 (如 Ba、K、Pb、Sr、Nd), 亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、P、Ti) 和轻稀土元素, 且无 Eu 异常。所有花岗岩均属 I 型花岗岩, 具有低 CaO (0.8~2.8%)、高 Na₂O (3.7~4.6%) 含量及低 Nb、Rb、Y、Yb、Ta 含量特征, 指示火山弧构造背景。安山岩的低 Sc 含量 (3.3~15.3 ppm) 支持其形成于大陆弧环境。锆石 Hf 同位素显示略微负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 (-0.1 至 -6.3), 与陆上更负的值 (-5 至 -10) 形成对比, 表明离岸岩浆岩中幔源物质贡献更高。综合证据揭示了一条从闽东北延伸至东海盆地的~110 Ma 大陆弧, 该弧相对于早期陆上弧发生了显著顺时针旋转。我们认为, 古太平洋板块的差异后撤作用促使该弧向东迁移, 同时使华南陆上区域在~110 Ma 期间处于弧后构造背景。

S55-P-2

台湾“古垦丁混杂岩”: 古太平洋板片俯冲—增生遗迹

赵奇¹, 闫义^{1*}, Satoshi Tonai², Yildirim Dilek³, Andrew Carter⁴, Peter D. Clift^{5,6}, Jonny Wu⁷, Jean-Claude Sibuet⁸, 张新昌¹

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 Kochi University, Faculty of Science and Technology

3 Miami University, Department of Geology & Environmental Earth Science

4 University of London, School of Natural Sciences

5 University College London, Department of Earth Sciences

6 Louisiana State University, Department of Geology and Geophysics

7 University of Arizona, Department of Geosciences

8 Ifremer Centre de Brest

* yanyi@gig.ac.cn

晚中生代时期, 古太平洋板片向东亚大陆边缘俯冲, 在日本西南部、琉球群岛和巴拉望都留下了明确的俯冲-增生杂岩的地质证据, 但台湾的构造基底是否保留中生代增生杂岩记录长期存在争议, 影响对东亚大陆边缘俯冲沟-弧体系和古太平洋板片俯冲过程的理解和重建。恒春半岛垦丁混杂岩作为台湾地区的两条重要混杂岩带之一, 其形成过程的多解性指示其可能代表经历多阶段演化的多成因混杂岩 (polygenic mélange), 有望保留早期古太平洋板片俯冲信息, 但仍需进一步的年代学研究予以证实。鉴于此, 通过对台湾恒春半岛垦丁混杂岩中不含标准化石的鳞片状构造开展显微结构、显微化学成分分析以及伊利石 K-Ar 定年, 识别出一部分垦丁混杂岩基质实际上是早白垩世经压溶作用形成的。结合其“岩块-基质 (block-in-matrix)”结构及此前报道的老洋壳岩块 (~135 Ma), 认为垦丁混杂岩并不完全形成于新生代南海俯冲过程, 其中有一部分实际上代表早期与古太平洋俯冲增生相关的 OPS (Ocean-Plate Stratigraphy) 型混杂岩, 可称之为“古垦丁混杂岩”。这些“古垦丁混杂岩”在新生代南海俯冲过程中, 被卷入垦丁混杂岩, 但并未明显受到新生代变形事件的叠加改造, 因为其基质的伊利石 K-Ar 年龄依然保存了早白垩世剪切变形 (96.7 ± 8.6 Ma 和 108 ± 18.4 Ma) 的原始记录。这一发现意味着台湾部分构造基底可能为中生代俯冲增生杂岩体, 而“古垦丁混杂岩”代表这些构造基底单元在初始弧-陆碰撞过程中, 沿恒春断层和垦丁断层局部剥露到地表的产物。

S55-P-3

加瓜海脊夭折俯冲起始的深部结构特征

马波^{1*}, 刘玉萍², 钟广法¹, 吴南¹, 余梦明¹, 王利杰²

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* bma@tongji.edu.cn

本研究利用四条垂直于加瓜海脊(Gagua Ridge)的地震剖面 and 一条平行于海脊的地震剖面, 对该区域的深部地壳结构进行了系统研究。通过改进的多次波压制和绕射波衰减处理技术, 新处理的地震剖面清晰显示西菲律宾海盆向西俯冲至花东海盆之下的构造特征, 俯冲界面可追踪至加瓜海脊主体之下。北部剖面(MC21_4 和 MC21_3a)展示了明显的双层西倾反射体, 上层反射位于约 8-9 秒双程旅行时, 下层位于 10-12 秒, 两者几乎平行, 可追踪 30 公里, 清晰可见洋壳莫霍面反射。相比之下, 南部剖面(MC21_2 和 MC21_1)俯冲界面信号较弱, 且莫霍面反射缺失。平行于海脊的剖面揭示北部区域发育更多走滑断层构造, 而南部走滑断层相对较少, 但基底更深。这些空间差异证实了加瓜海脊代表一个夭折的俯冲起始系统, 其中转换断层带(fracture zone)作为薄弱带促进了岩石圈破裂深度的增加。结合地球化学和速度结构分析表明, 南部区域可能经历了更强烈的地幔水化作用, 导致莫霍面反射信号减弱或消失。该研究不仅深化了对加瓜海脊俯冲起始过程的认识, 也为理解西太平洋复杂板块边界动力学提供了重要证据。

S55-P-4

对西北太平洋晚中生代岩浆活动的若干思考

徐文景¹, 彭晓彤^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所

* xtpeng@idsse.ac.cn

西北太平洋地区目前发育典型的沟-弧-盆体系, 其复杂的构造-岩浆演化历史一

直备受关注, 也是深入认识中国东部晚中生代以来构造-岩浆演化的关键。近年来, “奋斗者”号和“深海勇士”号载人潜水器在西北太平洋地区完成了多航次工作, 北起阿留申-勘察加-库页海沟, 南至马里亚纳-雅浦-穆绍海沟, 从帕里西维拉海盆到九州-帕劳海脊、西菲律宾海盆和花东海盆, 采集了大量新鲜岩石样品, 为深入理解西北太平洋地区晚中生代以来构造-岩浆演化过程提供了新的机遇。

对马里亚纳海沟南部俯冲板片玄武岩研究表明, 这些玄武岩形成于~125Ma, 具有典型的 MORB 特征, 是太平洋板块的一部分, 而不是南部新生代卡罗琳板块。然而这些年轻的太平洋 MORB 却具有典型的印度洋型同位素特征, 暗示(伊泽那岐)扩张中心在早白垩纪距离翁通-爪哇地幔柱较近, 受到深源地幔柱组分的输入影响。这些具有印度洋型同位素特征的 MORB 组分的输入也可以很好地解释马里亚纳海沟弧岩浆 DUPAL 异常。与此同时, 我们也需要深思这些具有印度洋型同位素特征的太平洋洋壳西向俯冲对西北太平洋地区弧岩浆和弧后海盆岩浆岩广泛发育的 DUPAL 异常的贡献。

我们最近对加瓜脊岩浆岩的测年工作表明, 加瓜脊闪长岩和流纹岩形成于约 135.0 ± 2.5 Ma, 稍早于已发表玄武岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄, 与华南晚中生代巨量长英质岩浆活动同期。华南晚中生代花岗岩近百年来广受关注, 其时空分布规律暗示其成因与古太平洋板块的西向俯冲密切相关。当今太平洋板块形成于约 175-170 Ma, 其初始形成后受到多期地幔柱活动的明显影响, 如沙茨基地幔柱(~145 Ma), 翁通-爪哇地幔柱(~125 Ma), 当今太平洋板块自~175 Ma 初始形成和两期地幔柱事件在华南的响应如何, 中国东部陆缘是否有晚中生代俯冲残留痕迹? 加瓜脊是大洋弧? 还是大陆弧? 针对西北太平洋地区已获取大量样品开展系统研究将为这些科学问题提供新的见解。

S55-P-5

花东海盆岩石圈与富水弧岩浆的交代变质反应及地质意义

余梦明^{1*}, 黄奇瑜², Graciano P. Yumul Jr.³, Jonny Wu⁴, 钟广法¹, 赵明辉⁵, 闫义^{6*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 成功大学, 地球科学系

3 菲律宾大学, 环境科学与管理学院

4 亚利桑那大学, 地球科学系

5 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋实验室

6 中国科学院广州地球化学研究所, 边缘海与大洋实验室

* mmyu@tongji.edu.cn

* yanyiy@gig.ac.cn

花东海盆同一批拖网辉长岩样品具有~130 Ma 锆石 U-Pb 年龄和~123-70 Ma 角闪石 Ar/Ar 年龄, 进一步表明花东海盆是西太地区残留的早白垩世洋盆遗迹。然而, 其地球物理特征, 尤其速度结构, 支持花东海盆为新生代海盆的一部分。考虑到花东海盆长期以来作为不同俯冲带的上覆板片, 诸如形成~124-115 Ma 加瓜海脊岛弧和 16 Ma 以来的台湾-吕宋岛弧的俯冲带, 可以预想花东海盆的岩石圈在其漫长的演化历史中经历了富水岛弧岩浆的多期次交代改造。相比于质疑拖网样品的不正当性或者无视地球物理数据, 本研究对拖网辉长岩开展详细的岩石学研究, 以揭示其岩石圈后期经历的富水弧岩浆交代改造过程。

光学显微镜下, 可见众多细小的角闪石微晶, 或成细脉状, 或成集合体状。在电子显微镜下, 可见普遍的单斜辉石角闪石化现象。特别是, 角闪石多的样品, 其在全岩微量元素蛛网图解上呈现更为显著的 Nb-Ta 负异常和大离子亲石元素富集特征, 指示弧岩浆的贡献。另外, 角闪石的主、微量元素特征揭示其非岩浆结晶成因, 而与单斜辉石的角闪石化现象一致, 形成

于高温的弧岩浆与辉长岩的交代变质作用。考虑到花东海盆拖网辉长岩中很多单斜辉石并未完全角闪石化, 以及前人报道同一个样品中不同的角闪石单颗粒表现出逐渐年轻化的角闪石 Ar/Ar 年龄 (123 Ma vs 105 Ma), 我们认为~70 Ma 的角闪石精矿的 Ar/Ar 年龄应是中生代和新生代事件年龄的混合值, 并认为能够指示其下洋壳的弧岩浆交代变质作用与晚中生代加瓜海脊岛弧和新近纪台湾-吕宋岛弧的发育历程紧密相关。由于富水弧岩浆是自下而上的侵入, 相比于下洋壳, 花东海盆岩石圈地幔理应具有更大的几率与富水弧岩浆发生作用, 因此能够深刻改变花东海盆的速度结构。

花东海盆岩石圈的多期次弧岩浆交代变质反应, 表明俯冲带上覆板片具有非常大的潜力成为贮存俯冲板片脱水流体的海绵体, 这为理解俯冲带水循环效率和探索水圈-地幔水平衡提供新思路。虽然如此, 未来对花东海盆洋壳进行钻探获取连续的岩石样品以精细刻画俯冲带上覆板片岩石圈与富水弧岩浆的交代变质反应尤为重要。

S55-P-6

吕宋—琉球盆地: 与花东海盆同期的另一个中生代残留洋盆?

钟广法^{1*}, 黄奇瑜¹, 汪品先¹, 赵崇进¹, 张宝金², 马波¹, 余梦明¹, 于鹏¹, 张国良³

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 中山大学, 海洋科学学院

* gzf@tongji.edu.cn

深反射地震结合重磁等地球物理资料的地质解释认为, 花东海盆东侧, 地处加瓜海脊与吕宋-冲绳剪切带 (LOFZ) 之间的三角形盆地——暂称为“吕宋-琉球盆地”, 并不是始新世西菲律宾盆地的一部分, 而是早白垩世俯冲于花东海盆之下的中生代

板块的残留。吕宋-琉球盆地的面积约为 135,000 km², 是花东海盆的四倍。它是一个典型的洋盆, 在水深、海底组构、沉积充填、基底埋深、地壳厚度及重磁异常等方面, 均呈现出明显不同于其东西两侧西菲律宾和花东盆地的特征。吕宋-琉球盆地西侧与花东盆地之间的边界为早白垩世加瓜岛弧-海沟俯冲带, 该俯冲带的岛弧(加瓜海脊)、海沟(加瓜海槽)及下行俯冲板块形态保存至今, 其前身可能是一个大型转换断裂系统。地震剖面上鉴别出来的正断层、负花状构造和拉分盆地等构造特征表明, 该断裂带主要为转换拉张而非前人所认为的转换挤压性质。LOFZ 可能是一个大型转换断裂带, 从晚中生代持续活跃至今, 构成了吕宋-琉球盆地与西菲律宾盆地的边界。本文研究成果对于重建西太平洋中-新生代板块构造演变、重新认识南海和西菲律宾盆地等新生代边缘海的成因具有重要意义。

S56-O-1

俯冲带动力学研究进展与挑战

李忠海^{1*}, 王杨¹, 崔起华¹, 付荟颖¹, 崔峰源¹, 皇甫鹏鹏¹

1 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

* li.zhonghai@ucas.ac.cn

板块俯冲动力学包含了从俯冲起始经成熟的大洋俯冲到大陆俯冲和碰撞的一系列过程, 它是板块构造最重要的表现形式, 是地球表层与深部物质和能量交换的主要过程, 也是火山、地震等自然灾害的重要发源地。在前人系统的地质-地球物理观测和动力学模拟的基础上, 这里系统总结了俯冲起始、大洋俯冲和大陆碰撞过程中的关键动力学要素, 并指出了未解的科学问题。(1) 俯冲起始往往需要多重驱动力的结合及岩石圈尺度的流变弱化以减少阻力, 因此更倾向

于在既有的缝合带或薄弱带的基础上发生。俯冲起始的地质记录既包含热构造环境形成的岩浆岩和变质底板, 也包含相对冷环境的构造抬升或沉降及其伴生的沉积响应; 根据差异性的地质记录可分为热俯冲起始和冷俯冲起始, 前者倾向于在垂向驱动力的主导下发生, 而后者倾向于水平驱动力主导。(2) 板块平俯冲和地幔过渡带的长距离滞留是成熟俯冲带的两种典型的非常规样式; 平俯冲模式受控于板片低年龄、异常厚洋壳及板片与上覆岩石圈的耦合作用; 板片的滞留模式主要受控于 660km 间断面的阻碍和海沟后撤作用。俯冲板片是将水和碳等挥发分物质携带进入深部地幔的主要途径; 洋壳之下的蛇纹岩层是将水带入深部地幔的主要载体, 其厚度和含水量是地球深部水循环的关键控制因素。俯冲带碳循环受控于机械脱碳、变质脱碳、溶解脱碳、熔融脱碳等的联合作用, 碳循环通量有待进一步量化的约束。(3) 深俯冲的大陆地壳物质可经历变质相变致密化, 从而产生较大的俯冲驱动力, 因此一旦将大陆地壳牵引至较大的深度后, 可发生自驱动的大陆俯冲。青藏高原大陆碰撞动力学包含下盘印度板片的差异性俯冲和撕裂、上盘青藏高原的变形特征和物质平衡、印藏碰撞驱动的中亚内陆远程造山机制等系列关键过程, 并且这些深部过程与地表过程的耦合作用对于青藏高原的塑造及其环境气候效应具有重要意义。综上, 板块俯冲动力学进入了多学科交叉研究的“深水区”, 需要将多重地质-地球物理-地球化学观测与动力学-热力学模拟有机结合, 共同推动相关遗留科学问题的最终解决。

S56-O-2

板片挠曲对全球海沟平面曲率的影响研究

张江阳¹, 张帆^{1*}, 林间^{1,2}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验

2 南方科技大学, 海洋科学与工程系

* zhangfan@scsio. ac. cn

俯冲带是地球上最为活跃和复杂的构造区域之一。在这些区域,海洋岩石圈经历剧烈的挠曲变形,产生了诸如外部隆起和深海海沟等显著的构造特征。海沟沿走向往往展现出多样的几何形态与曲率特征。例如,马里亚纳海沟向俯冲板块一侧(下盘)凸出,而北智利海沟则向上覆板块一侧(上盘)凸出。这种海沟的球面曲率(测地曲率),不仅反映了俯冲系统的几何特性,还可能影响板块的弯曲过程。然而,关于海沟曲率与岩石圈弯曲力学之间的定量关系,目前仍缺乏系统研究。为了系统探索海沟平面曲率与板块弯曲之间的耦合机制,我们首先分析了全球海沟的平面曲率,发现其在统计上大多数呈向俯冲下盘凸出的形态,进而建立了全球曲率分布的统计趋势。在此基础上,我们开发一种结合贴体网格技术的新型三维弯曲模型,其可以精确表示复杂的海沟几何形态,即使在沟槽走向变化很大的区域也能提供较为连续和准确的解。借助这一建模框架,我们系统评估了在不同海沟曲率条件下,实现相同弯曲幅度所需的弯矩和剪切力的变化趋势。模拟结果表明,向上覆板块一侧凸出的海沟(比如智利海沟北部),需要显著更高的内力(包括弯矩和剪切力)来维持相同的弯曲形态;相比之下,向俯冲下盘凸出的几何形态则具有更高的力学效率。这一发现从力学角度解释了为何全球大多数海沟更倾向于向俯冲板块一侧弯曲,揭示了自然界中构造形态选择的潜在优化机制。

S56-O-3

一种可能的新的俯冲起始机制:俯冲侧向传播诱发

王春阳^{1*}, 丁巍伟^{1*}, W. P. Schellart², 童政毅³, 方银霞¹, 李家彪¹

1 自然资源部第二海洋研究所,海底科学与划界全国重点实验室

2 荷兰阿姆斯特丹自由大学,地球科学学院

3 浙江大学,地球科学学院

* wangchunyang@sio. org. cn

* wwding@sio. org. cn

俯冲侧向传播在自然界俯冲带中广泛存在,但其对相邻板块的动力学影响尚不清晰。本文采用大尺度物理模拟实验,模拟洋-洋板块边界俯冲系统中,俯冲板片沿转换断层/破裂带发生的非对称侧向俯冲传播过程,重点探讨不同板间耦合强度(弱、中、强)条件下的动力响应特征。实验结果显示:在强耦合条件下,俯冲板块的侧向传播可导致侧边板块发生弯曲,部分板片物质被拖入地幔,进而诱发局部初始俯冲并演化为自持式俯冲;在弱耦合条件下,侧边板块物质难以被牵引带入地幔,板块间的相对运动主要通过转换板块边界断层/撕裂断层的形式调节;中等耦合条件则表现出过渡特征,侧边板块仅有少量物质被牵引,所形成的负浮力不足以启动新的俯冲过程。尽管模型存在简化,研究结果为高度弯曲板块边界相关俯冲带(如班达俯冲/碰撞带、小安的列斯—波多黎各俯冲带、斯科舍俯冲带)的形成机制提供了新认识。尤其对波多黎各俯冲段的形成提供了解释:其可能源于小安的列斯俯冲段所产生的向下拖曳力,在转换边界的北美板块一侧诱发了新的俯冲起始。

S56-O-4

基于 S-net 研究日本海沟处俯冲板块各向异性结构

李轩¹, 薛梅^{1*}

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室

* meixue@tongji. edu. cn

西北太平洋俯冲带由于地质条件和板块运动的复杂性,成为研究地球动力学的重要区域,其构造运动复杂,涉及太平洋

板块、欧亚板块、菲律宾海板块和鄂霍次克板块之间的相互作用。强烈的构造活动产生明显的各向异性特征，通过横波分裂分析，可以揭示俯冲带板块板内变形、地幔流动及应力场特征。日本 S-net 台网覆盖了日本海沟处近海区域。利用海沟附近的台站接收到的直达横波，可以分析日本海沟处俯冲板块和上覆板块的各向异性结构特征。

本文基于 EARA2024 横波速度模型(Xi *et al.*, 2024)约束地下速度结构，基于 Slab2 板块模型(Gavin *et al.*, 2018)确定俯冲板块边界，用 FMM 快速行进法(White *et al.*, 2020)进行射线路径追踪。利用波形旋转互相关和最小特征值最小化方法获取横波分裂参数，通过聚类分析获取最优参数。本文共选用 33 个 S-net 台站和 12 个地震事件，获得 3 类共 60 个可靠横波分裂解：

1.类型 I (20 个解)：使用日本海区域的深源地震 (380-480 km) 及日本海沟东侧的 S-net 台站组成的地震—台站对，地震射线完全在俯冲板内传播。其快轴方向为 NW-SE、分裂时间范围为 0.10–0.86 s、平均各向异性强度为 0.0076%。

2.类型 II (28 个解)：使用日本本岛浅源地震 (90-110 km) 及日本海沟西侧的 S-net 组成的地震—台站对，地震射线在俯冲板内、地幔楔、上覆板块传播。其快轴方向为 NNE-SSW、分裂时间范围为 0.06–0.66 s、平均各向异性强度为 0.04%。

3.类型 III (12 个解)：使用和类型 II 同样的地震事件，但选取日本海沟东侧的 S-net 台站，地震射线完全在俯冲板内传播。其快轴方向为 NNW-SSE、分裂时间范围为 0.08–0.60 s、平均各向异性强度为 0.0163%。

类型 I、III 快轴方向整体上与日本磁异常条带方向近垂直、反应了海底扩张时期板内冻结的“化石”各向异性结构。然而，类型 III 存在一些与海沟平行的快轴方向，其可能是由射线经过板块在俯冲过程中形成的与海沟走向平行断层区域，这有待进一步验证；类型 II 显示了上覆板块陆壳和俯冲板块洋壳的共同各向异性结果，其平

行海沟方向，可能由于地壳中存在与海沟平行的断层造成。此外，三类结果各向异性强度较弱，分裂时间变化范围较大，反应区域各向异性强度分布不均的特点。

S56-O-5

马利亚纳俯冲板片形态与斑点火山成因机制

林俊国¹，杨挺^{1,2,3*}

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站

* tyang@sustech.edu.cn

马利亚纳俯冲带中部的输入板块上广泛分布着各类海山，海底调查显示，在早期形成的平顶海山之上发生过更为年轻的、间歇性的火山活动，并形成了零星分布的小型锥状或穹状的、似斑点海山（Petit-spot volcanoes）的火山体。与斑点海山一样，其成因机制不明。

我们收集了马利亚纳俯冲带附近多期布设的 OBS 台阵数据，包括南方科技大学（2021-2022）的宽频带磐蜆 OBS 台阵，采用远震体波有限频层析成像技术，对马利亚纳中部俯冲带系统进行了地幔速度结构进行了成像。因为在输入板片上方使用了更多台站和数据，本研究对输入板块下方的地幔结构的分辨率与这一区域过去的工作相比有了明显提升。通过严格筛选震级 ≥ 5.5 Mw、震中距 28° - 105° 范围内的不同时期的 432 个地震事件，从 104 个 OBS 台站的垂直分量中提取 5415 条高信噪比 P 波相对到时数据，其中，低频（0.03-0.1 Hz）2721 条、中频（0.1-0.5 Hz）1205 条和高频（0.5-2 Hz）1489 条。通过分频反演策略，不同频率数据因敏感核不同可以约束不同尺度的波速异常特征。分辨率测试表明对于目标区域的上地幔和地幔转换带（MTZ），这一数据集的横向和垂向分辨率可分别达到 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 及 120 km。

成像结果清楚显示出了马里亚纳俯冲体系上地幔及 MTZ 的速度结构, 包括俯冲板片、地幔楔和俯冲板片之下的地幔结构。一个重要特征是俯冲板片沿走向上的形态变化: 以约北纬 16°为界, 北段的俯冲板片以几乎垂直的状态进入 MTZ; 而南段则表现出明显的回折且在 MTZ 内部滞留的态势。我们进行了一系列的测试证实了这一形态特征是真实的, 而非受数据分布的影响所致。俯冲板片形态变化也与板片内地震活动性的空间分布也相互印证: 以北纬 16°为界, 南段的中深源地震 (>200 km) 显著稀少, 可能反映了因板块回折导致俯冲板片内与正常俯冲板片内部的应力状况发生了变化, 致使地震显著减少。

更为重要的是, 这一回折并滞留在 MTZ 的俯冲板片形态, 以及俯冲板片下方的从 MTZ 开始的低速异常, 为斑点海山的形成机制提供了观测证据: 因俯冲板片的回折致使其后方的富水 MTZ 物质受压上涌加入上地幔, 而上地幔的水溶解度比 MTZ 低, 因此这些上涌 MTZ 物质会发生脱水, 进而导致上地幔熔融。这些熔融会在沿俯冲板片下方上升, 直至岩石圈, 导致了海底浅表的、分散的小规模的岩浆活动, 也就是斑点海山。

S56-O-6

雅浦俯冲带热结构及其对地震和岩浆活动的影响

张沐情^{1,2}, 高翔^{1*}, 谭惠文¹, 朱高华¹, 张广旭¹

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学

* xgao@qdio.ac.cn

俯冲带的热结构通过控制矿物脱水等过程直接决定流体的释放, 进而影响地震的发生和火山的形成, 而俯冲速率是调控热结构的关键因素。西太平洋的雅浦俯冲

带以罕见的极慢俯冲速率 (< 6 mm/yr) 为显著特征, 并伴随着一系列独特的地球动力学现象。观测显示, 板片虽深俯冲至约 350 km, 但地震活动局限于浅层 (< 85 km); 同时, 雅浦地区缺乏现代活火山活动, 但海沟附近却存在一个约 50 km 宽的高热流异常区 (64-119 mW/m²), 显著高于背景值 (约 30 mW/m²)。为探究极慢俯冲速率是否塑造了雅浦俯冲带独特的热结构并影响地震和岩浆活动, 我们运用热结构模拟重点分析了含水矿物的脱水过程。模拟结果表明: 1) 极慢的俯冲速率导致雅浦俯冲带整体更“热”, 绿泥脱水边界更浅, 这种更浅的流体释放或为该区域特有的浅源地震活动提供了关键的成因解释; 2) 在高热流异常区下方, 岩浆生成可能处于一种临界状态, 有限的岩浆量虽未引发大规模火山活动, 但其热效应足以造成观测到的区域性地表热流增高。

S56-P-1S

新生代气候驱动机制转变: 从构造脱气到硅酸盐风化

刘少辉^{1,2}, 赵亮^{2,3*}, 杨建锋¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所, 深层油气理论与智能勘探开发重点实验室

* zhaoliang@mail.iggcas.ac.cn

新生代以来, 地球气候经历剧烈变化, 并主要受大气 CO₂ 浓度调控。在地质时间尺度上, 大气 CO₂ 浓度由固体地球脱气的碳源与硅酸盐风化的碳汇共同调节。然而, 大气 CO₂ 浓度的变化在新生代不同时期的主要驱动因素尚不明确。为此, 我们基于全球板块运动和大洋沉积物分布的重建, 构建了全球尺度的数据同化地球动力学数值模型, 以定量估算新生代以来固体地球 CO₂ 脱气通量。我们使用了两种不同的板块

重构模型，它们不同重构的模型显示了相似的结果，即固体地球俯冲脱气通量与新生代早期（约 42Ma 之前）的大气 CO₂ 浓度变化高度一致。同时，锶、锂同位素等地球化学风化代理指标显示，自 42Ma 之后，风化强度与风化通量都显著增强。这些证据共同说明了新生代以来地球系统的大气 CO₂ 浓度变化经历了从碳源（固体地球脱气）驱动为主到碳汇（硅酸盐风化）驱动为主的两阶段转变。进一步分析各不同构造域的脱气通量演化，结果表明，这一转变归因于新特提斯洋俯冲的终止以及青藏高原主要地区的隆升启动。研究揭示了构造变迁深刻重塑了新生代地球的碳循环与气候演变。

S56-P-2S

南海东北部洋壳沿马尼拉海沟中-晚第四纪俯冲速率变化：来自地震地层学分析的启示

邹松¹，钟广法^{1*}，张宝金²，马波¹，耿明会²

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* gfz@tongji.edu.cn

南海洋壳自早中新世晚期或中中新世早期开始沿马尼拉海沟向东俯冲，迄今已有超过一半的洋壳被消减。然而，关于其俯冲速率及其空间差异的研究仍较为有限。本研究基于南海东北部横跨马尼拉海沟的 8 条二维单道与多道地震测线，结合地震地层学方法，系统分析了中-晚第四纪（1 Ma 以来）南海洋壳俯冲速率的时空演化特征。地震剖面显示，随着南海洋壳向东俯冲，马尼拉海沟充填沉积物逐渐向西迁移。因此，马尼拉海沟充填沉积物向西的迁移速率反映了南海洋壳向东的俯冲速率。通过地震反射终止特征识别出 3 个关键地震层位，分别为 H1（1.0 Ma）、H2（0.5 Ma）和 H3（0.2 Ma）。结合地震相分析，利用

关键上超点的分布，精确划分了海沟充填沉积区与其西侧正常深海平原沉积区及沉积物波发育区之间的地震相边界。总体上，海沟充填沉积以发散充填反射为特征，反映浊流多期叠加；深海平原-沉积物波区表现为平行-亚平行或波状反射，揭示半远洋沉积与浊流溢流作用。地震构造解释显示，马尼拉海沟北段的俯冲系统自西向东可划分为 3 类构造带：正断层带、原逆冲带和逆冲带。正断层带由一系列向海或向陆倾斜的正断层构成；逆冲带以向陆倾斜的叠瓦状逆冲断层为主，并伴随发育 S 形褶皱结构；原逆冲带则表现为盲逆冲断层、正断层与褶皱组合构成的复合构造特征，其宽度在北部（L1-L3）较窄（1.3-4.9 km），在南部（L4-L8）则显著增宽（6.0-14.7 km）。此外，北部原逆冲带内的褶皱发育程度明显弱于南部，呈现出显著的南北差异。通过地震相边界两端上超点的水平距离（转换为马尼拉海沟正交方向的距离）除以相应的时间间隔，从而估算出各个层序时期的俯冲速率。结果表明：北部俯冲速率由早期（1.0-0.5 Ma）的 8.1-10.5 mm/yr 持续增加至晚期（0.2-0 Ma）的 15.5-19.7 mm/yr，呈现加速趋势；南部俯冲速率早期较高（19.1-34.1 mm/yr），中期（0.5-0.2 Ma）进一步上升至 30.6-48.5 mm/yr，晚期则下降至 21.0-32.8 mm/yr，呈现先增强后减弱的波动特征。空间上，俯冲速率由北（8.1-19.7 mm/yr）向南（19.1-48.5 mm/yr）递增，反映了台湾与欧亚大陆之间的弧-陆碰撞效应，在北部区域显著抑制了洋壳的俯冲过程。

S56-P-3S

古特提斯洋斜向俯冲闭合与华北板块中晚三叠世古地理响应：来自鄂尔多斯盆地碎屑锆石与地球化学的证据

冯英琪¹, 姜林^{1*}, 陈玮岩¹, 姜华¹, 高阳², 胡耀², 赵文¹

1 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院, 石油地质实验研究中心

2 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* jianglin01@petrochina.com.cn

中晚三叠世古特提斯洋向华北板块斜向俯冲碰撞, 该时期的构造格局对古气候和生态恢复至关重要, 但华北板块在中晚三叠世内流水系与古特提斯洋是否存在联系存在争议, 越来越多的地质和年代学资料表明, 在 Ladinian-Carnian 之前, 大型内陆湖泊并不存在, 且中三叠世存在一个从鄂尔多斯盆地经秦岭中部进入古特提斯洋的洋-陆系统, 但该通道关闭时间尚不明确。本文以鄂尔多斯盆地西南部孟 53 井、里 79 井等中上三叠统延长组砂岩为研究对象, 开展岩石学、碎屑锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学研究, 并收集鄂尔多斯盆地周缘物源区碎屑锆石数据, 探讨中晚三叠世古特提斯洋闭合过程的动力学背景以及古地理格局。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学表明, 古特提斯洋斜向俯冲开始于早石炭世, 自东向西剪刀式闭合, 闭合具有穿时性, 初步确定闭合时间开始于 246Ma, 结束于 210Ma; 随着晚三叠世古特提斯洋闭合, 该洋-陆通道消失, 秦岭造山带阻断了内蒙古隆起向松潘-甘孜供源, 并且碎屑锆石的累积分布曲线以及岩石成因分析反映盆地构造背景由汇聚转为碰撞; 通过对盆地周缘物源区进行非度量 MDS 分析对比, 判断在晚三叠世秦岭造山带加入供源。除此之外, 岩石地球化学还揭示了洋-陆通道的闭合使得鄂尔多斯盆地西南部在古盐度等做出一定响应, 晚三叠世早期湖盆古盐度升高, 由于 CPE 事件导致全球海平面上升, 海水通过洋-陆通道进入鄂尔多斯盆地内部发生海侵, 之后随通道闭合海水退去, 古盐度下降, 进一步确定了古特提斯洋的闭合时间即通道关闭的时间为 Carnian 时期(237Ma-227Ma)。这一研究成果将有助于进一步认识华北地区中晚三叠世的古地

理格局, 这种不均匀的古地形转变在泛大陆东部的海洋-陆地生态系统中起着关键作用。

S56-P-4S

利用纵横波速度比估算成熟慢速扩张的海洋地壳中因蛇纹石化产生的过量化合结合水含量

李莲君^{1*}, Jenny Collier¹, Tim Henstock², Saskia Goes¹

1 英国伦敦帝国理工, 地球科学与工程学院

2 英国南安普顿大学, 海洋地球科学学院

* l.li21@imperial.ac.uk

成熟的海洋地壳携带的化学结合水可能在俯冲带释放或被输送到地幔深部。慢速扩张洋壳相比于快速扩张洋壳岩性更为复杂, 因此估算地壳中的含水量非常具有挑战性, 需要同时利用地震纵波和横波速度。本研究展示中大西洋加勒比海地区小安德列斯俯冲带附近洋壳内的二维高分辨率纵横波速度模型, 地质岩性模型和因蛇纹石化作用引起的地壳内化学结合水模型。本研究发现水化作用程度具有高度不均一性, 蛇纹石化程度大的橄榄岩占洋壳的 17%。并且, 这些水化区域不仅限于通常认为的海底扩张断裂带, 还出现在岩浆贫瘠段中。地壳中蛇纹石化的橄榄岩的含水能力可达正常地壳基性岩石的四倍, 可能使大西洋俯冲带的估量水通量增加 50%, 这一发现对研究当慢速扩张洋壳俯冲更为普遍的地质历史时期(如超大陆裂解时期)具有重要意义。

S56-P-5S

人工智能方法构建马里亚纳俯冲带中部精确地震目录

奚弘钊^{1,2}, 朱高华^{1*}, 高翔¹, 张广旭¹

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学

* zhugaohua@qdio. ac. cn

马利亚纳俯冲带的显著特点是从未记录到 8.0 级以上的大地震, 这种现象可能与俯冲带大断层的几何形态以及强度等物理性质密切相关。由于这些大断层的物理性质难以直接观测, 小地震的地震分布特征和震源机制可以为此提供重要线索。然而, 马利亚纳俯冲带中部地区缺乏中小地震 ($M < 4$) 的观测数据, 所以对俯冲板块的几何形态与物理性质的研究尚存在不足。本研究收集了 2012 年 1 月至 2013 年 2 月马利亚纳中部的海底地震数据, 并通过人工智能模型 OBSTransformer 进行地震探测, 通过探测与定位共识别了 6536 个地震, 而同期地震目录中仅有 1692 个地震。目前我们已经建立了该地区完整的地震目录, 后续将结合震源机制, 对马利亚纳俯冲带中部的断层性质研究提供重要约束。

S56-P-6S

马尼拉俯冲带输入板块热流异常及其对板内水热循环的指示

宋子龙^{1,2}, 高翔^{1*}, 张沐情^{1,2}, 张广旭¹

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学, 海洋学院

* xgao@qdio. ac. cn

输入板块的热状态控制俯冲带的热结构, 进而影响一系列俯冲动力学过程。实测热流可用于约束输入板块的热状态及板内流体活动等。通过在马尼拉俯冲带北段输入板块开展高密度的海底热流观测, 发现该区域存在显著的热流异常, 热流值范围在 90-130 mW/m², 且呈现向海沟方向逐

渐升高的趋势, 平均热流值约为 108 mW/m², 高于理论背景值(86 mW/m²)及实测背景平均值(96 mW/m²)。该热流异常特征普遍被认为与洋壳顶部含水层中的水热循环有关。据此, 我们构建了俯冲带二维有限元热结构模型, 通过在输入板块顶部玄武岩层设置高的等效热导率来近似包含水热活动的热效应。计算结果显示: (1) 对于传统等厚含水层模型, 需要设置极强的水热活动强度, 才能部分解释靠近海沟的热流异常, 但不能解释所有观测到的热流异常; (2) 对于向海沟方向含水层增厚模型, 虽能够降低水热活动强度, 但仍无法完全解释观测到的热流异常, 比如沉积物较厚区域的实测热流数据更高, 需要来自深部更多的热输送。据此, 在先前模型的基础上, 我们在沉积物较厚区域添加更厚的含水层, 以实现更多深部热量向浅部输送, 计算结果很好地解释了所有观测的热流异常。这表明洋壳顶部含水层在空间上存在显著的各向不均一性。洋壳含水层的不均一性分布及其内部水热循环强度的潜在差异, 显著影响输入板块的热状态及地表热流分布特征。

S56-P-7

新特提斯洋俯冲起始: 来自变质底板年代学的约束

沈洁^{1,2}, 戴紧根^{1*}, 杨凯^{1,3}, 张亮亮¹

1 中国地质大学(北京)

2 中国地质调查局海口海洋地质调查中心

3 浙江大学

* djgtibet@163. com

俯冲起始是板块构造中的一个关键过程, 但由于地质证据有限, 人们对这一过程的了解仍然很少。俯冲板片经过高温变质作用形成的变质底板有可能为我们提供有关俯冲起始过程的重要信息。本文通过整合锆石、磷灰石和榍石的 U-Pb 年龄及其稀土元素分布模式, 重新评估了雅鲁藏布

蛇绿岩中变质底板的形成时间。结果显示,变质底板形成的最早和最晚年龄分别为 145 Ma 和 115 Ma,其原岩的形成时间不晚于 160 Ma。与雅鲁藏布蛇绿岩的形成时间(130-120 Ma)和变质底板的形成时间相比,变质底板原岩的形成时间明显较早,这表明雅鲁藏布新特提洋俯冲起始很可能是沿着不同年龄的大洋岩石圈之间的转换断层或薄弱带或沿着大陆边缘发生。变质底板的年龄结果表明,俯冲起始的时间跨度长达近 25 Myr,可分为两个不同的阶段:(1)以缓慢的俯冲速率和干燥的地幔为特征的停滞阶段(145-130 Ma);(2)以加速的俯冲速率和快速的上板片伸展形成雅鲁藏布蛇绿岩为特征的解锁阶段(130-120 Ma)。此外,我们还记录了比雅鲁藏布蛇绿岩形成时间更年轻的变质底板(后俯冲起始阶段,120-115 Ma),这意味着持续的俯冲可以在较长时期内产生变质底板。这些观测结果为新特提斯洋俯冲起始动力学提供新见解。

S56-P-8S

东南亚环形俯冲系统地幔对流模式的三维地球动力学模拟研究

田昊^{1,2}, 周志远^{1,2*}, 林间^{1,2}, 张帆³

1 南方科技大学, 海洋高等研究院

2 南方科技大学, 海洋科学与工程系

3 中国科学院南海海洋研究所

* zhouzy@sustech.edu.cn

东南亚环形俯冲系统作为全球最复杂的板块聚合区之一,其俯冲板片在穿越地幔过渡带(660 km)后,并非简单停滞,而是在约 1200 km 深处呈现出显著的水平展布与超深滞留现象。该现象与传统“全地幔对流”与“分层对流”二元模型存在明显差异,其内在成因长期悬而未决。为揭示这一深部异常的成因机制,本研究综合采用

最新高分辨率地震层析成像数据、自由空气重力异常观测成果及全球板块重构数据,借助 ASPECT 平台构建了三维热-力学-化学多物理场耦合数值模型,并在全球尺度上进行了网格加密模拟,重现了自 410 Ma 以来的构造演化历程。

数值模拟与数据解析表明,区域内观测到的深部异常并非由板片在相变界面处单一滞留所致,而是多期次俯冲事件在时空上叠加形成的“多期俯冲拼接”效应。具体而言,东南亚环形俯冲系统周缘俯冲板片在浅部(< 660 km)呈现直立的高速异常体($dV_p \approx +1\%$),而穿越过渡带后,异常信号转变为沿 NW-SE 方向展布的水平构造。模拟结果揭示,年轻东南亚环形俯冲系统俯冲板片与古生代俯冲残余在约 1200 km 深度实现水平拼接,在 28Ma 时,板片在持续受到黏滞阻滞作用的影响下不断下沉,并与古残余发生了俯冲拼接作用,形成复杂的深部结构。进一步的参数敏感性分析显示,低黏度模型能更真实地再现板片撕裂、滞留及再循环过程,而延长计算时间则有助于解析深部板片长期演化的特征,为东南亚环形俯冲系统及更广区域的深部构造动力学演化提供了新约束。

尽管本研究未能完全突破“全地幔对流”与“分层对流”二元模型的传统框架,但提出的“多期俯冲拼接”观点实质上揭示了全地幔对流演化过程中的阶段性、偶然性现象,反映了板片在深部演化过程中复杂而连续的动态交互机制。该研究为理解东南亚及南海区域深部异常体的形成机理提供了坚实的数值与观测依据,同时对全球深部热物质运输、板片循环及地幔对流模式的认识具有重要的理论和实践意义。

S56-P-9S

俯冲带挥发分循环的数值模拟研究——以 H 和 C 为例

张睿^{1,2}, 杨建锋^{2,3*}, 赵亮^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 深层油气理论与智能勘探开发重点实验室油气理论与方法学科中心

2 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室岩石圈演化学科中心

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

俯冲带是挥发分参与地球内部循环的重要通道。在进入软流圈地幔时, 俯冲板片受到弯曲应力的作用, 在海沟附近形成外缘隆起, 发育有密集正断层, 从而为流体迁移提供了有效通道。在此过程中, 岩石圈地幔与流体发生广泛的水岩反应, 形成蛇纹石化并释放大量氢气, 同时通过碳酸盐化反应固存流体中的二氧化碳, 实现碳的深部封存。然而, 现今对俯冲带中氢气生成与碳固存能力的定量评估相对匮乏。为此, 我们采用动力学数值建模的方式模拟了俯冲带板片的蛇纹石化与碳酸盐化过程, 并系统测试了蛇纹石化最大深度、俯冲倾角和流体中二氧化碳浓度等关键参数, 明确了这些参数对氢气产量及固碳能力的影响。结果表明, 上述因素显著调控挥发分释放与碳汇构建的效率。我们的研究为俯冲带挥发分定量化研究提供了新手段, 有助于深入理解地球深部挥发分循环及其对早期生命演化环境的影响。

S56-P-10

后石榴子石缓慢相变诱发俯冲板片在下地幔顶部的停滞

湛永强¹, 杨建峰^{1*}, 赵亮¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* yangjf@mail.iggcas.ac.cn

俯冲板片在深部地幔的行为对于我们理解地球演化和地幔动力学过程有着重要的意义。地球观测显示, 俯冲板片在下地幔顶部 1000 km 的深度处可以发生停滞。与板片在 660 km 深度界面的停滞不同, 在 1000km 深度附近, 没有矿物相变发生, 不

存在可以支撑板片停滞的密度跳变界面。前人研究认为下地幔组分的变化, 例如洋壳成分的增加, 或者下地幔粘度的增大可能导致板片在 1000km 的停滞, 然而仍存在较大的争议。本研究从板片角度出发, 利用动力学数值模拟的方法, 提出后石榴子石的缓慢相变可能是俯冲板片在下地幔顶部停滞的主要原因。后石榴子石相变在平衡状态下一般发生在 700-750 km 深度, 由石榴子石转变为布里奇曼石和刚玉。高温高压研究显示, 实际中后石榴子石相变十分缓慢, 尤其是低温条件下, 相变可以持续到约 950 km 深度处。这导致板片内石榴子石可以以亚稳态的形式一直存在到 1000 km 深度附近, 从而降低板片的负浮力。我们的模型结果显示, 这一缓慢的相变过程会导致板片在下地幔顶部 1000 km 深度附近短暂停滞, 当石榴子石完全转变为布里奇曼石后, 板片会结束停滞, 进入到下地幔更深的位置。板片停滞的时间取决于石榴子石的含量、颗粒大小以及板片的热状态, 停滞的时间范围在 25-100 Myr。这一短暂的停滞过程与现今地球物理成像得到的下地幔板片年龄和位置分布有着较好对应关系。我们的研究表明矿物相变的动力过程对俯冲板片在下地幔行为有着重要的影响。在这一过程的影响下, 下地幔的组分和物理性质无需发生变化, 也可以实现板片的停滞。这为理解下地幔组分和演化以及下地幔俯冲动力学过程提供了新的认识视角。

S56-P-11S

基于改进深度学习模型 Segformer 的全球海山语义分割研究

刘斯宇¹, 周志远^{2*}, 林间²

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 南方科技大学, 海洋高等研究院

* shazhi.ju@163.com

全球海山是海底地形的重要组成部分,对板块构造、火山活动及洋壳演化具有关键指示意义。然而,由于海山分布广泛、形态复杂,传统基于卫星重力异常或经验模型的检测方法存在精度不足、分类误差等问题,难以有效识别海山的真实形态。近年来,深度学习在计算机视觉领域取得突破,为海山检测提供了新方法。本研究将全球海山检测建模为语义分割任务,即在二维测深图上对每一个数据点都对其分类为背景类或是海山类,基于全球海底地形数据,手工标注海山数据集,并训练改进的 Segformer 深度学习模型,以实现高精度的全球海山识别与统计分析。

研究首先采用 SRTM15+V2.6 数据,该数据集融合了卫星测高、船测数据,提供 15 弧秒(约 450 米)分辨率的海底地形信息。通过转换数据格式,我们生成 16 位灰度图,并在全球范围内标注多个典型地形区域,包括中洋脊、板块内部火山链、边缘海海山等,以保证模型泛化能力。在深度学习模型方面,我们选用专用于语义分割任务的深度学习 Segformer 并进行针对性改进,包括使用可训练的反卷积层替代原始双线性插值,提高边界识别能力,同时采用 Focal Loss 损失函数,以缓解前景和背景类别不均衡的问题。此外,我们在模型预测后进行后处理,去除陆地区域、过滤低于 100 米的预测结果,并进行形态学优化,以确保检测精度。

实验结果表明,改进的 Segformer 模型在我们的海山验证集上的 mIoU 达到 84.97%, Dice 系数为 94.12%,均优于原始 Segformer 和其他主流深度学习模型。我们在 IHO-IOC GEBCO 海底特征名称地名录选取了部分海山与我们预测的海山形态作对比,结果显示我们在不同形状的海山上的有着优秀的预测性能。利用该模型,我们首次在全球 15 弧秒分辨率的海底地形数据上完成全球海山语义分割,成功预测出全球共计 51,965 座海山。

统计分析表明,全球海山主要分布于太平洋,占比 61.05%,大西洋和印度洋次之,极地海域贡献较小。此外,我们发现海山峰顶深度随洋壳年龄增加而加深,反映了热学冷却和岩石圈沉降对海山长期演化的影响。

本研究首次利用深度学习方法实现了全球海山的高分辨率自动检测,避免了传统方法依赖形态假设的局限性,获得了比以往更准确的海山分布数据以及海山形态数据。未来,我们将进一步优化模型,提高对复杂海底地形的识别能力,并结合地球物理数据,探索海山的形成机制。

S56-P-12

雅浦海沟卡洛琳脊俯冲的动力学过程：以二维数值模拟为例

程子华^{1*}, 张帆¹, 丁巍伟², 林间³

1 中国科学院南海海洋研究所

2 自然资源部第二海洋研究所

3 南方科技大学

* chengzihua@scsio.ac.cn

卡洛琳脊沿雅浦海沟俯冲至菲律宾海板块之下,使雅浦海沟-弧体系的地质地球物理特征和构造过程极为复杂。利用二维数值模拟的方法研模拟卡洛琳脊俯冲对扩张帕里西维拉海盆海沟形态的控制与制约,建立大型海底洋脊俯冲初始模型,模拟海底高原(卡洛琳脊)撞上俯冲带后,纵向上俯冲板片是否发生断裂和新生的俯冲形成,以及岛弧岩浆活动的控制因素,有助于揭示马里亚纳-雅浦俯冲系统海沟形态的演化过程。初步模拟结果显示:(1)卡洛琳脊俯冲进入雅浦海沟后,很快发生板片断离。(2)断离后的卡洛琳脊的高浮力,导致板块俯冲速率下降,使得雅浦海沟处于挤压状态,沟弧距离逐渐缩短 70 km 左右。(3)在无外力的情况下,俯冲会停止,

俯冲板片会停滞在 250 km 深度左右,而在持续的外力的作用下,俯冲会继续,沟弧距离会增大至 100 km。

S56-P-13

辽吉构造带碱性岩浆作用与稀有稀土成矿过程简述

鞠楠^{1*}, 施璐¹, 伍月¹, 刘欣¹, 刘博²

1 中国地质调查局沈阳地质调查中心

2 东北大学

* 285312613@qq.com

研究区处于华北板块、西太平洋板块(东亚陆缘增生带)叠加部位,先后经历了克拉通基底形成-被动陆缘演化-古亚洲洋、太平洋构造域的形成及发展,强烈构造运动并伴随有大量岩浆活动,成矿背景优越,是我国极为重要的大型铜金及多金属矿产资源基地,也为稀有稀土的富集成矿提供了良好的地质条件,辽吉构造带发现稀有稀土矿床(点)10 余处,且多数矿床与碱性岩体密切相关。

作者团队针对以上矿床开展了初步的研究工作,其中,片石山、岗山和李家堡子矿床的成矿岩体为碱性花岗(斑)岩/伟晶岩,施家和赛马矿床的成矿岩体分别为石英正长岩和霓霞正长岩,片石山矿床(67 ± 2.2 Ma)和岗山矿床(110 ± 1.2 Ma)形成于燕山期,施家矿床(226.3 ± 2.4 Ma)和赛马矿床(224.4 ± 6.1 Ma)是印支晚期岩浆作用的产物,李家堡子矿床(2501 ± 11 Ma)与吕梁运动有关(Ju et al., 2019; 鞠楠等, 2022; 姚玉增等, 2023)。由此得知,区域上共发生三期稀有稀土成矿作用,即中生代的燕山晚期和印支晚期以及元古代的吕梁期,且均与板块俯冲作用下的拉张环境有关,而这些岩浆岩或源于富集地幔的部分熔融。

S56-P-14S

洋底高原俯冲对海沟几何形态的影响:以卡洛琳脊—雅浦海沟为例

赵磊^{1,2}, 张帆^{1*}, 周志远³, 刘斯彪⁴, 林间^{1,3}, 程子华¹, 张江阳¹

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 南方科技大学, 海洋科学与工程系

4 德国亥姆霍兹基尔海洋研究中心

* zhangfan@scsio.ac.cn

伊豆小笠原-马里亚纳-雅浦海沟在后撤过程中,海沟几何形态从几乎平直的状态逐渐演变为大曲率弧形。其中,马里亚纳海沟南端和雅浦海沟之间的链接带甚至呈现出 90 度的弯折,推测其卡洛琳脊洋底高原以及卡洛琳板块密切相关。近年来,研究者对该区域进行了广泛的观测,并取得了一系列成果,但是关于洋底高原在俯冲过程中如何影响海沟几何形态、俯冲板片结构等问题,依然需要进一步的深入研究。本研究利用 ASPECT 地球动力学模拟软件,以卡洛琳脊-雅浦海沟碰撞区为例,进行了系统的数值模型测试,来研究洋底高原与俯冲系统相互作用的动力学机制。结果显示,俯冲洋底高原的年龄、形状、规模及密度对海沟几何形态及俯冲板片的形态影响不一:(1)在卡洛琳俯冲背景下,三个交汇板块的年龄为主要控制因素。年轻的卡洛琳板块无法携带大型洋底高原共同俯冲,因而使得海沟后撤减缓;(2)洋底高原规模、形状和密度属于次要控制因素,三种参数的影响排序为:规模(厚度)>密度>形状;(3)卡洛琳脊北缘能够有部分俯冲,来自于太平洋板块俯冲的拖拽作用。另外,本研究还模拟了整个伊豆小笠原-马里亚纳-雅浦海沟演化过程,对此处的海底“构造节”的形成过程提供了参考。

S56-P-15S

地震密集台阵揭示华夏地块地壳不均匀性及其构造意义

张晗^{1*}, 方洪健¹, 高锐¹

¹ 中山大学, 地球科学与工程学院

* hanzhang20@mails.jlu.edu.cn

地壳是记录地块形成与演化的关键载体。不同演化过程的独特遗迹保存在地壳之中, 因此研究地壳结构对于了解这些地块的形成与演化至关重要。尽管此前针对华南开展了大量地球化学采样和地球物理观测工作, 但由于方法的局限性和分辨率不足, 许多观点仍存在争议, 例如, 华夏地块的构造边界。在本研究中, 我们利用了 2022 年在广东东部莲花山断裂带(政和—大埔断裂西南段)采集的短周期密集台阵数据。通过接收函数和 SmS 震相, 我们获取了地壳结构信息。研究结果表明, 通过地震数据可直接观测到断裂带两侧地壳结构和物质组成存在差异。因此, 我们推断莲花山断裂带两侧的块体可能经历了不同的形成或演化历史。沿海和内陆块体的不均匀性可能代表了不同时期微大陆块的拼合, 或者莲花山断裂带可能划分出了古太平洋板块俯冲后撤的边界, 从而导致了可观测到的结构和成分差异。

S56-P-16S

岩石圈抗弯刚度在诱发型俯冲起始中的作用

蒋心怡^{1,2}, 张江阳¹, 张帆^{1*}

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

² 中国科学院大学

* zhangfan@scsio.ac.cn

诱发型俯冲起始是指在外部挤压应力作用下发生的俯冲启动过程, 是板块构造循环中的关键环节, 研究其形成机制对于

深入理解板块运动的动力学具有重要意义。传统观点认为, 年龄较大、密度较高的洋壳更容易成为俯冲系统中的下覆板块。然而, 在西太平洋地区却观测到多个年轻、浮力较大的洋板块俯冲于较年老板块之下的现象, 例如: 卡罗琳板块向太平洋板块俯冲形成的穆绍海沟, 以及印度-澳大利亚板块向太平洋板块俯冲形成的约尔特海沟。作为西太平洋最年轻的两个俯冲系统, 这些区域为研究诱发型俯冲起始提供了理想的天然实验室。近年来, 众多学者在上述区域开展了密集地球物理观测, 并取得了一系列研究进展。研究发现, 这类“非典型”的俯冲起始通常发生在海洋转换断层区域, 需要外部挤压应力的驱动。然而, 挤压应力与俯冲起始位置关系, 仍有待进一步探讨。特别是最新关于穆绍海沟的地震探测和地球化学分析显示, 该海沟可能形成于年轻板块内部, 而非板块边界处。基于上述背景, 本研究利用全球洋壳年龄和海底水深数据, 自南向北分别提取了垂直于穆绍海沟和约尔特海沟的 54 条和 50 条剖面, 并系统分析了剖面洋壳年龄分布、岩石圈挠曲特征, 以及海沟轴与板块边界之间的距离等参数。结果显示, 海沟轴距板块边界的距离与俯冲板块的年龄呈正相关关系。随后, 基于岩石圈挠曲模型, 模拟了不同抗弯刚度的板块在受水平挤压力作用时的挠度、曲率及其应力分布。模拟结果表明, 相较于年老板块, 年轻板块由于抗弯刚度较低, 在相同挤压力作用下会发生更剧烈的挠曲变形, 其变形曲率最大值通常出现在距离板块边界 30–50 km 处。我们据此推测, 该区域可能成为岩石圈发生屈服、进而触发俯冲起始的优先位置。综上所述, 我们的研究表明, 在“非典型”的俯冲起始过程中, 受到水平挤压作用时, 年轻板块由于抗弯刚度较低, 更容易发生高曲率的挠曲变形。并且, 高曲率变形的位

S56-P-17

古亚洲洋东南段晚古生代穿时性俯冲起始：对华北北缘被动陆缘向活动陆缘转变的启示

曾浩^{1*}, 宋东方¹, 肖文交², 黄浩天¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 中国科学院新疆生态与地理研究所

* zenghao@mail.iggcas.ac.cn

俯冲起始（即如何形成新的俯冲带）是运行板块构造体制的关键环节。然而，俯冲起始的机制和过程，尤其是在被动陆缘如何发生俯冲起始，仍然是板块构造理论中研究最为薄弱的方面。本研究报道了内蒙古满都拉地区类似于现今伊豆-小笠原-马里亚纳弧前地壳的岩浆序列，该序列记录了古亚洲洋沿华北北缘的俯冲起始过程。地球化学分析表明，满都拉地区玄武岩和辉绿岩墙源自于弧前扩张中心上升软流圈的部分熔融，随后发育弧岩浆作用，来自俯冲板块的流体输入逐渐增加。锆石 U-Pb 定年揭示满都拉地区的岩浆作用发生在约 284-272 Ma 之间的相对较短的时间间隔内，与伊豆-小笠原-马里亚纳弧前岩浆活动的持续时间相似。我们的结果结合区域数据表明，古亚洲洋沿华北北缘向南的俯冲起始是一个由弧-陆碰撞诱发的穿时过程，它从早石炭纪到早二叠纪不断自西向东传播。本研究为华北北缘被动陆缘向活动陆缘的构造转变过程提供了四维时空视角。

S57-O-1

微生物光电能代谢新途径与能量转化新体系

鲁安怀^{1*}

1 北京大学，地球与空间科学学院

* ahlu@pku.edu.cn

在地球表层系统中岩石圈与水圈、大气圈和生物圈之间交互作用错综复杂。然而，这些过程及其产物如何受到太阳光辐射作用调控，其内在机制与效应长期未能得到重视与理解。近三十年来，我们深耕于太阳光辐射与地表矿物响应机制的研究领域，首次发现暴露于阳光之下岩石与土壤表面普遍覆盖一层由水钠锰矿、针铁矿和锐钛矿等半导体矿物构成的纳米至微米级矿物膜，受太阳光辐射可产生原位、灵敏且稳定的光电流与光电子能量。研究揭示矿物膜的形成不仅与下覆基岩相关，更受到太阳光辐射的精细调控。尤其水、无机物、有机物及生物等多圈层物质的复杂交互作用，也在矿物膜的形成过程中扮演了关键角色。陆地矿物膜中半导体矿物通过径流汇入海洋，在海洋透光层中形成了天然的光催化系统，为海洋初级生产力的提升提供了额外的能量来源，尤其是在能量供给匮乏的海域中，展现了巨大的生态潜力。特别是地表矿物膜和海洋透光层中的天然铁锰钛氧化物半导体矿物产生的光电子能量，能够显著促进非光合微生物的生长，突破了传统微生物光能营养和化能营养的认知框架，提出了微生物光电能营养新类型。将天然半导体矿物引入微生物对太阳能利用领域，催生了半人工光合作用这一全新的太阳能转化系统研究方向，为在地球及类地行星上构建人工微生物体系提供了科学原理。

S57-O-2

矿物组成对湖泊沉积物中微生物群落构建机制的影响

杨渐¹, 蒋宏忱^{1*}

1 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

* jiangh@cug.edu.cn

矿物在自然生境中广泛分布,是具有
一定化学组成和物理结构的天然单质或化
合物。作为支撑生命体生存的载体,它们
的化学和物理性质差异直接影响着其表面
及其附近的微生物种群组成。探究矿物对
微生物群落多样性和组成的影响,不仅能
揭示微生物群落分布规律,同时还对理解
地球化学元素循环具有重要启示。通过研
究不同盐度湖泊沉积物中的矿物组成及其
对原核和真菌微生物群落组成的影响发现:
大量沉积物地球化学参数与矿物组分的相
对丰度显著相关,暗示矿物对沉积物基础
地球化学具有显著影响。同时,霏石、方
解石、白云石、微斜长石、盐岩、黄铁矿、
水草酸钙石等矿物组分显著影响了原核和
真菌群落组成。Spearman 相关性分析暗示
不同矿物对不同微生物种群具有选择性。
矿物组成差异可以解释 39.9%的原核微生物
beta 多样性差异,对于真菌群落仅有 8.8%。
暗示矿物对原核微生物的影响程度高于真
菌群落。上述研究结果强调了矿物组分对
湖泊沉积物中微生物群落组成的影响,对
于预测微生物群落分布及其潜在生态功能
提供了新的环境参数。

S57-O-3

冷泉和热液区化能自养双壳 的地球化学特征及其对渗漏 流体和营养方式的指示

贾子策^{1*}, 钟兆山², 王旭东³, 崔娜⁴, 匡
增桂¹, 王敏晓², 李超伦⁵

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局,天然气水
合物工程技术中心

2 中国科学院海洋研究所,深海研究中心

3 上海海洋大学,海洋科学与生态环境学院

4 广东工业大学,生态环境与资源学院

5 中国科学院南海海洋研究所

* jiazice@126.com

在地质历史时期,冷泉和热液渗漏在
构造活动区和大陆边缘广泛发育。然而,

对于缓慢渗漏未形成大套碳酸盐岩和硫化
物的流体渗漏活动,目前仍缺乏有效识别
手段。在这些渗漏环境中孕育了大量化能
双壳类生物,为探究古代渗漏流体类型及
微生物活动提供了绝佳的载体。

化能自养双壳 *Gigantidas platifrons* 可
以共存于冷泉和热液区两种极端环境中。
我们研究了冲绳海槽伊平屋北山热液区和
中国南海 F 冷泉的 *G. platifrons* 的稳定同位
素和稀土元素特征。结果显示 *G. platifrons*
主要通过 AeOM 过程获取能量。两者的碳
同位素与甲烷碳同位素之间存在很大差异,
可能是受甲烷有氧氧化菌丰度的影响。镧
(La)是甲烷有氧氧化菌执行 AeOM 过程
必需的酶促元素,两个区域的贻贝均存在
明显的镧正异常。与热液贻贝相比,冷泉
贻贝的异常值更高,表明其鳃部附着的甲
烷有氧氧化菌数量更多,与碳同位素所得
结果一致。深部热液流体通常携带大量
钕(Eu)元素,导致热液区贻贝存在正 Eu
异常,因此热液区嗜甲烷贻贝常表现为 La
和 Eu 正异常。化能自养生物的稳定同位
素结合稀土元素特征,可以为示踪极端环
境流体性质和化能自养生物的营养方式提
供指示。

S57-O-4

寡营养环境中硫酸盐还原菌 利用半导体矿物存活机制研 究

钟超^{1,2}, 黄珊¹, 鲁安怀^{2*}, 刘娟^{1*}

1 北京大学,环境科学与工程学院

2 北京大学,地球空间与科学学院

* ahlu@pku.edu.cn

* juan.liu@pku.edu.cn

太古代地球环境恶劣,生命形式简单,
初级生产力有限,海洋有机质匮乏。然而,
异养微生物,如硫酸盐还原微生物(Sulfate
Reducing Microorganisms, SRMs),表现出

活跃的代谢活动，驱动了大规模的黄铁矿埋藏。目前，有关 SRMs 代谢产能及其介导的硫同位素分馏研究主要是在有机质丰富的条件下开展的，无法真实反映出 SRMs 在寡营养的古海洋环境中的代谢情况。本研究首次提出 SRMs 在有机质受限的环境中利用半导体矿物闪锌矿（ZnS）的光电子作为电子供体和能量来源进行代谢和产能的新机制。研究综合运用水化学分析（离子色谱、液相色谱、紫外吸收光谱）、生物光电化学技术、微生物多组学和分子生物学等手段，从基因、蛋白和分子层面揭示了模式硫酸盐还原菌 *Desulfovibrio desulfuricans* G20 在有机质匮乏环境中，通过外膜细胞色素 c、纳米导线、电子穿梭体等多种跨膜途径从胞外闪锌矿摄取光生电子，并通过调控与趋化性和运动相关基因的表达，在闪锌矿表面形成生物膜，提高对光电子在矿物-微生物界面的传递效率。结果显示光电子的摄取显著增强了 G20 胞内电子转移活性、硫代谢能力和 ATP 合成，提升了其在有机质匮乏的极端环境中的生存能力。然而，在现代有机质丰富的环境（如浅海、河口、生活污水等），SRMs 通过胞内酶（如乳酸脱氢酶等）氧化有机底物，将电子传递给异化硫酸盐还原酶（dsrAB），进行硫酸盐还原。研究揭示了不同地质历史时期以及不同初级生产力水平条件下，非光合异养微生物 SRMs 的电子来源与代谢机制的演变规律，为解析生物成因黄铁矿的硫同位素分馏值与 SRMs 代谢活性之间的联系提供了崭新视角。

S57-O-5

地质历史时期氧气驱动的蛋白演化研究：以铁硫簇组装蛋白为例

陈泓羽¹，董海良^{1*}，黄力^{2,3}

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）

3 中国科学院微生物研究所

* dongh@cugb.edu.cn

在地质历史时期，地表环境不断氧化。早期生命演化出一系列蛋白来抵御氧化胁迫。这些蛋白在现代生物中仍然发挥着作用，如大肠杆菌体内的 OxyR，SOD 系统以及 SUF 铁硫簇组装途径。在氧气不断升高的过程中这些蛋白是如何演化，这些蛋白能否快速适应当时的氧化压力仍然是研究空白。本研究将通过对 SUF 铁硫簇组装途径中 SufE 蛋白的起源时间的确定，以及 SufE 祖先蛋白对氧气浓度的适应角度，解开这个谜团。

系统发育与定年分析显示其起源时间约为 2.67 Ga，早于大氧化事件（GOE）且晚于产氧蓝细菌起源时间，对应于地质历史时期氧化绿洲广泛出现的年龄。系统发生分析发现含有这个基因的微生物祖先所在生态位在 2.14 Ga 之后从海洋环境转变为陆生环境。并且该年龄对应于 Lomagundi-Jatuli 碳同位素正漂事件（LJE）该事件，地球化学记录认为当时的氧气浓度能够达到现今大气浓度的 50%（0.5 PAL）。本研究通过祖先序列重建的方法，重建了 SufE 起源蛋白和 LJE 时期的祖先蛋白。蛋白的体外生化实验证明 SufE 起源时能够适应 2% 的氧气浓度，而在 LJE 时期的祖先蛋白能够适应 10% 的氧气浓度。蛋白回补的实验表明，蛋白在体内仍然能够发挥作用。回补了 LJE 时期的蛋白具有比起源时期蛋白更强的耐受氧气浓度的能力，且比现代蛋白的催化能力要弱。结合分析序列关键位点氨基酸信息以及预测的蛋白结构发现，蛋白的关键催化位点在祖先序列中均保守。发生变化的氨基酸位点导致了 SufE 催化口袋的增大而降低了其形成疏水空腔保护硫源免受 ROS 攻击的能力。

综上所述，本研究通过系统发生学、分子钟、生物化学以及遗传学的手段确定了在氧气发生突变的地质历史时期，蛋白

能够快速响应氧气浓度变化发生演化，是氧气驱动蛋白演化的实证。

S57-O-6

产甲烷菌吸收 FeS 纳米颗粒以支持富铁环境中的生长和产甲烷作用

张一迪¹，张冬磊¹，盛益之³，陈泓羽²，李高远³，董海良^{2*}

1 中国地质大学（北京），水资源与环境学院

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

3 中国地质大学（北京），科学研究院

* dongh@cugb.edu.cn

在大氧化事件(GOE)时期，海洋经历了从含铁（富铁）状态到局部富硫（富硫化物）状态的重大转变。在含铁海洋中，硫化物主要被封存在亚稳态水相铁硫簇(FeS_{aq})和纳米晶体硫化物矿物（如马基诺矿(FeS_{Mack})）中。同样，在富硫海洋中，铁也被封存在此类簇和/或硫化物矿物中。然而，对硫和铁需求量很大的古代产甲烷菌如何适应这一关键转变尚不清楚。我们假设 FeS_{aq} 和 FeS_{Mack} 可以作为产甲烷菌硫和铁的来源，以支持细胞生长和产甲烷。将一种模式古代产甲烷菌 *Methanococcus maripaludis* S2 (MmS2)接种于模拟富含 Fe²⁺ 或 HS⁻ 的生长培养基中。利用高分辨率成像技术，包括透射电子显微镜(TEM)和纳米级二次离子质谱(NanoSIMS)，对 FeS_{aq} 和 FeS_{Mack} 的生物吸收进行了成像。并进行了转录组学和蛋白质组学分析，以分析这些条件下的基因表达和蛋白质谱。结果表明，无论在不同的 Fe-S 条件下，MmS2 均保持一致的产甲烷活性和生长。在高 Fe²⁺ 但 HS⁻ 有限的条件下，在细胞内观察到 FeS 颗粒，表明直接吸收 FeS_{aq} 和/或 FeS_{Mack} 作为硫源。这些颗粒诱导了特定的基因表达和蛋白质谱，从而优化了细胞的生长、代谢和能量节约。然而，这种积累并没有在高

HS-条件下发生。这些发现为甲烷菌对早期地球不断变化的铁和硫环境的适应机制提供了新的见解。

S57-O-7

矿物在早期微生物获取碳氮营养元素中的作用

盛益之^{1*}，董海良²

1 中国地质大学（北京），科学研究院

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* shengyz@cugb.edu.cn

矿物在地球表生环境系统中通过调控微生物对营养元素的获取与利用，影响碳、氮等关键元素的生物地球化学循环。固氮作用作为生物获取氮元素的重要途径，受限于固氮酶对过渡金属元素，如钼（Mo）、铁（Fe）和钒（V）的依赖。尽管 Mo 依赖型固氮酶早在中太古代便已繁盛，但受当时海洋中低浓度 Mo 的环境背景制约，其起源机制尚未完全厘清，且微生物如何演化出催化效率较低的 Fe 型和 V 型固氮酶以适应金属元素可利用性变化仍存在争议。因此，在地球演化过程中过渡金属元素的生物有效性对生物固氮过程显得尤为重要。研究表明，微生物能通过分泌金属载体或介导矿物表面的氧化还原反应，在溶解态 Mo、V 和 Fe 匮乏的环境中从矿物中提取过渡金属元素以维持固氮功能，而微生物间的协同竞争影响金属元素的获取与固氮效率。上述结果揭示了地球早期生命获取氮元素的潜在机制，为生物固氮过程的演化提供了新的解释。

在碳元素获取方面，异养微生物通常依赖胞外酶催化大分子有机质的分解。该代谢过程可能在地球早期便已出现，并对有机碳的埋藏与地球碳循环产生深远影响。然而，游离态的胞外酶寿命较短，与矿物结合后其活性与寿命变化的定量机制尚缺乏系统研究。本研究发现，胞外酶活性受矿物表面吸附作用及矿物中结构性 Fe(II)氧

化生成的活性氧分子（ROS）双重调控。矿物的比表面积及吸附位点数量显著影响酶分子的空间分布与构象，进而调节其催化效率和功能寿命。在无氧条件下，矿物表面吸附可降低胞外酶的催化活性，但同时延长其稳定性与寿命；而在有氧条件下，矿物中 Fe(II)氧化产生的羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）通过诱导酶的构象破坏，显著抑制了酶的催化活性并加速其失活过程，且这种抑制效应超过了矿物吸附带来的保护作用。上述结果揭示了矿物介导胞外酶活性变化的关键机制，为理解早期地球及现代氧化还原波动环境下碳循环过程提供了新的视角。

S57-O-8

海洋浮游古菌 MGII 与地球环境的协同演化

谢伟^{1*}，曲立平¹，李濛¹，李敏纯¹，雷振远¹，魏文雅¹

¹ 中山大学，海洋科学学院

* xiewei9@mail.sysu.edu.cn

氧气是很多生物生命活动必不可少的物质，但随之而来的氧化压力也会对细胞造成损伤。其中，以超氧化物阴离子为代表的活性氧是造成氧化损伤的主要物质。海洋浮游古菌 MGII 主要栖息于富含活性氧的海洋表层环境，但其抵御活性氧损伤的机制仍不明确。在本研究中，我们整合分析了南海北部 MGII 古菌的 16S rRNA 基因扩增子和宏基因组组装基因组，结合 250 个已发表的 MGII 基因组，探究其抗氧化机制。结果表明，含铁 / 锰超氧化物歧化酶（Fe/MnSOD）基因的 MGII 类群中，氧气促进型操作分类单元的比例显著高于含镍超氧化物歧化酶（NiSOD）的类群，这表明携带 Fe/MnSOD 的 MGII 成员可能比具有 NiSOD 的成员具有更强的抗氧化能力。对 MGII 基因组的分子钟分析显示，MGII 的 SOD 基因是其祖先在大约 18 亿年前基于水平基因转移从细菌处获得的。在距今

约 9 亿年前，MGIIa 和 MGIIb 发生分化，同时两种 SOD 基因也随之发生了分配，其中 MGIIb 同时继承了两种 SOD 后又在一段时间（约 6 亿年）内发生了连续的物种分化和 SOD 基因在子代中的分配过程，并最终形成了如今 SOD 基因在 MGII 的不同亚群种的分配模式。在整个 MGII 物种和 SOD 功能基因分化的过程中，几乎全部分歧时间节点都伴随着对应历史时期氧气浓度的升高事件，并和海水中 Fe、Mn、Ni 等痕量金属元素的浓度变化呈现一定的对应关系，提示地球氧气浓度及海水部分金属元素浓度的变化，在 MGII 古菌的适应性演化过程中发挥着作用。该研究对于理解海洋微生物与地球环境的共演化过程具有重要意义。

S57-O-9

高温微生物氮循环及铁矿物共演化的地质意义

黄柳琴^{1*}，蒋宏忱¹，董海良²

¹ 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

² 中国地质大学（北京），地质微生物与环境国家重点实验室

* huanglq@cug.edu.cn

地球早期古海洋具有高温、低氧、富铁氨等还原物质等特殊的物理化学特征，经历了长期的环境-微生物协同演化过程，逐渐演变成常温、氧化的类现代环境。环境-微生物的协同演化伴随着古海洋中生命元素的主要赋存形态、生物地球化学转化过程、产生的地质记录/痕迹在不同地质历史时期发生系统性变化。例如，海洋氮库从 NH_4^+ 为主逐渐变成 NO_3^- 为主，铁从溶解态 Fe(II)氧化成含铁矿物（磁铁矿、赤铁矿等）并沉淀成大规模条带状铁建造（BIFs）。随着这些关键元素在古海洋中赋存状态和空间分布的变化，它们在微生物作用下发生着复杂多变的耦合过程，如

表层水体中 NH_4^+ 氧化形成 $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ 后, 在不同地质历史时期, 可被表层的有机质、下层的铁化水体中 Fe(II) 或硫化水体 S^{2-} 还原, 从而可能造成不同的地质效应和沉积记录。然而, 尽管目前有了些框架性认识, 但对环境-微生物协同演化驱动早期地球元素生物地球化学耦合循环演变的具体机制还存在很多未知之处, 如导致生物地球化学过程转变的关键环境因素节点、微生物代谢适应机制等。因此, 本研究利用不同温度的热泉微生物, 模拟海洋降温过程中微生物的自然演替, 分析微生物硝化及反硝化产物随温度发生的变化, 并进一步分析与 Fe(II) 、 S^{2-} 、有机质耦合情况下反硝化过程及产物的变化。结果表明, 高温 ($>65^\circ\text{C}$) 下微生物硝化作用将 NH_4^+ 主要转化为 NO_2^- , 而低温 ($<48^\circ\text{C}$) 则可完全氧化为 NO_3^- , 因此随着古海洋温度降低, 氮库逐步从 NH_4^+ 为主, 变成 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ 混合, 最后以 NO_3^- 为主的演替趋势。在这样的变化下, NO_3^- 若通过异养反硝化作用 (与有机氮耦合) 还原, 其产物也经历高温以 NO_2^- 为主 (尤其 $>55^\circ\text{C}$)、低温以 N_2 为主的变化。与之相反, 若 NO_3^- 通过自养反硝化作用 (与 S^{2-} 或 Fe(II) 耦合) 还原, 则呈现出在高温下不易积累 NO_2^- 、低温下易积累 NO_2^- 的趋势。进一步研究发现, NO_2^- 以及 NO_3^- 在不同温度、化学条件 (模拟古海洋富 HCO_3^- 、 Si 等) 下氧化 Fe(II) 形成的矿物呈现出高温 ($>45^\circ\text{C}$) 以磁铁矿、硅酸盐矿物等 $\text{Fe(II)}\text{-Fe(III)}$ 混合价态铁矿物为主, 随着温度降低形成的主要铁矿物则演变针铁矿等 Fe(III) 矿物。这些认识为进一步精准刻画早期古海洋关键生命元素的赋存状态演变提供了实验数据支撑, 也为深刻理解地球早期生命演化和环境变迁提供重要科学依据。

S57-O-10

古元古代晚期海洋的氧化还原状态与氮循环过程：来自华北板块串岭沟组的证据

孙云鹏^{1*}, 周传明², 史红毅^{2,3}, 欧阳晴²

1 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院

2 中国科学院南京地质古生物研究所, 古生物学与油气地层应用重点实验室

3 中国科学院大学

* ypsun@ustc.edu.cn

古元古代晚期发生了一系列重要的地质和生物演化事件, 诸如 Columbia 超大陆的裂解, 真核生物的出现以及其随后的多细胞化过程。通常来讲, 真核生物的演化与海洋化学条件, 特别是海洋氧化还原状态和氮元素的生物地球化学循环过程具有密切关系。虽然传统观点认为, 元古宙中期海洋中广泛存在的缺氧水体能够显著增强水体反硝化作用的强度并抑制海洋中稳定硝酸根 (NO_3^-) 储库的形成, 近年来的一系列研究却也成功证实了元古宙中期海洋中氧化水体以及异常氮循环过程的存在。为详细探究古元古代晚期海洋的氧化还原状态与氮循环过程以及它们对真核生物早期演化的影响, 本研究对华北板块燕辽盆地的串岭沟组 ($\sim 1.64 \text{ Ga}$) 开展了系统的铁组分、氧化还原敏感元素含量和沉积岩氮同位素 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{sed}}$) 分析。氧化还原指标结果表明, 虽然古元古代晚期的燕辽盆地整体由缺氧铁化的水体占据主导, 但是受初级生产力的控制, 海洋的缺氧程度仍存在一定程度的空间差异性, 初级生产力相对较低的地区能够间歇性的发育贫氧/弱氧化的水体。 $^{15}\text{N}_{\text{sed}}$ 分析进一步揭示了串岭沟组沉积时期海洋中异常的氮循环过程, 相对较高且稳定的 $\delta^{15}\text{N}_{\text{sed}}$ 记录表明该时期的海洋中存在一个稳定且较大的生物可利用 NO_3^- 储库。考虑到古元古代晚期燕辽盆地中缺氧水体的广泛存在, 以及氧化还原指标与 $^{15}\text{N}_{\text{sed}}$ 之间的解耦性, 本文认为古元古代晚期海洋中稳定 NO_3^- 库的形成可能与哥伦比亚超大

陆裂解造成的河流径流 NO_3^- 输入增加有关。古元古代晚期海洋中 NO_3^- 含量的提高很可能为该时期真核生物的出现以及其随后的多细胞化过程奠定了环境基础。

S57-O-11

日光催化水钠锰矿协同极端微生物 *Rubrobacter radiotolerans* 胞外电子传递机制研究

刘菲菲¹, 刘通¹, 郭秋芝², 丁竑瑞¹, 鲁安怀^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院

2 中国地质大学(北京), 水资源与环境学院

* ahlh@pku.edu.cn

地球表层系统中“太阳光-矿物-微生物”相互作用是支撑地球演化、能量转化和物质循环的核心过程。极端微生物对理解矿物-生物共演化, 探索生命边界及地外生命潜力至关重要。本研究选取戈壁这一典型“太阳光-矿物-微生物”相互作用生境, 聚焦于其中的极端耐辐射菌 *Rubrobacter radiotolerans* 与普遍存在的水钠锰矿在日光下的互作用过程, 探讨 *R. radiotolerans* 对水钠锰矿光电子能量利用机制。研究结果显示, 水钠锰矿禁带宽度为 1.72 eV, 能够在可见光照射下激发产生光电子-空穴对。在三电极电化学体系, 0.45 V 恒电压和光照条件下, 水钠锰矿表现出 $38 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 光电流密度, 表明具有良好的可见光响应特性, 具备光捕获及向外转移电子的能力, 为 *R. radiotolerans* 利用光电子能量提供了潜在途径。通过 CCK8 法定量评估了 *R. radiotolerans* 的生长活性, 与无光条件相比, 光照含水钠锰矿体系显著促进了 *R. radiotolerans* 生长, 最终生物量是对照组的 1.6 倍。EEM 荧光光谱分析发现, 光催化水钠锰矿显著改变了体系中溶解性有机质组分, 特别是代表可溶性微生物产物的类蛋

白质荧光峰明显增强, 并与细胞生长活性正相关, 指示光催化过程影响了 *R. radiotolerans* 的代谢或胞外分泌。生物电化学实验结果显示, “光-水钠锰矿-*R. radiotolerans*”相互作用体系产生的光电流密度高达 $287 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, 较无光有矿和无光无矿组分别提高 165% 和 248%, 进一步有力证明了光照条件下水钠锰矿与 *R. radiotolerans* 之间存在协同强化的胞外电子传递过程。本研究首次揭示了极端微生物 *R. radiotolerans* 能够通过强化胞外电子传递, 有效利用日光催化水钠锰矿产生的光生电子能量, 进而促进其生长并影响代谢/分泌活动。此机制为理解极端环境下生命能量获取策略提供了新范例, 深化了对光驱动矿物-微生物共演化的认识。

S57-O-12

增强岩石风化技术释放微量金属促进产甲烷代谢

张冬磊¹, 曾强^{2*}, 董海良^{2*}

1 中国地质大学(北京), 水资源与环境学院

2 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

* Zengq@cugb.edu.cn

* dongh@cugb.edu.cn

超基性-基性岩石的风化是大气二氧化碳重要的碳汇, 能够调控全球的气候变化。除了捕获二氧化碳, 超基性-基性岩石风化能够释放多种微量金属元素(如铁、镍、钴), 是产甲烷代谢途径中关键金属酶的辅因子, 然而超基性-基性岩石的风化对产甲烷古菌活性的影响仍缺乏实验研究。本文研究表明小颗粒的橄榄岩和玄武岩能够通过提供铁、镍、钴显著地促进一株模式产甲烷古菌 *Methanosarcina acetivorans* C2A 的生长和甲烷代谢。多种证据表明产甲烷古菌生长过程中与岩石的紧密结合同样有利于其生长和甲烷代谢。蛋白质组分析表明橄榄岩的加入上调了产甲烷代谢途径中相关金属酶的表达, 进一步验证了微量

金属的重要性。本研究强调了超基性-基性岩石风化过程中微量金属引发的生态效应-促进产甲烷古菌生长和甲烷代谢，为系统地评估增强岩石风化技术的碳封存效果提供新见解。

S57-P-1S

海洋透光层中锐钛矿光催化驱动针铁矿铁释放界面研究

孟令子¹，鲁安怀^{1*}

1 北京大学，地球与空间科学学院

* ahlu@pku.edu.cn

海洋透光层中铁的生物可利用性是限制初级生产力的重要因素。尽管已有研究表明地球表面矿物涂层具有显著的光电转换能力，但矿物光催化作用在活性铁释放中的具体贡献及其微观机制仍不明确，特别是在海洋环境中。本研究以广泛存在于海洋环境中的半导体矿物锐钛矿（ TiO_2 ）为研究对象，系统探讨了其在模拟近海透光层条件下对针铁矿（ FeOOH ）中铁的光催化还原释放作用，并深入解析了其微观机制。实验中精细控制了近海透光层的关键环境因素，包括紫外-可见光照射、海水盐度、典型有机配体（草酸）的浓度以及悬浮颗粒物的组成与浓度。动力学结果表明，在光照与锐钛矿共同作用下，针铁矿中铁的溶解释放速率显著提高，其中亚铁离子（ Fe^{2+} ）在溶解态铁中的占比也显著增加；而无光照或无锐钛矿条件下的铁释放则明显较低。进一步的矿物学显微与光电化学表征揭示了锐钛矿与针铁矿形成了紧密接触的杂合体结构，该结构拓宽了矿物组合的光谱响应范围，显著提高了整体光电转换效率。原位衰减全反射红外光谱（ATR-FTIR）分析进一步表明，在锐钛矿参与的光照条件下，针铁矿的特征峰强度衰减更迅速、更明显，同时草酸铁络合物特征峰的增强速率和强度也显著高于无锐钛矿或无光照对照组。这一结果清晰地

证实了锐钛矿的参与显著加快了针铁矿表面铁物种的还原和脱附过程，同时促进了草酸与铁的络合反应，揭示了矿物光催化作用中锐钛矿对铁释放的微观界面机制。本研究从微观尺度证实了锐钛矿光催化作用在海洋环境中对针铁矿的铁还原释放的重要贡献，揭示了矿物-矿物界面相互作用以及有机配体对矿物光催化过程的协同促进作用。这一非生物驱动的铁释放机制不仅拓展了对矿物光电转换效应的认识，也强调了其在富含悬浮颗粒物和有机配体的近岸水体微环境中对铁循环的重要意义。研究成果为深入理解海洋透光层中铁的来源、迁移和转化提供了新的视角，并为未来进一步探究光化学过程在海洋生物地球化学循环中的作用奠定了坚实基础。

S57-P-2S

锰矿物调控光合不产氧微生物 *Rhodospirillum rubrum* 固氮过程

王帅迪^{1,2}，盛益之^{1*}，周馨怡^{1,2}，张晓文^{1,2}，董海良^{1,2*}

1 地质微生物与生物地球化学研究中心，地质微生物与环境全国重点实验室

2 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院

* shengyz@cugb.edu.cn

* dongh@cugb.edu.cn

太古宙至古元古代海洋的氧化还原变化深刻影响了微量金属元素的生物地球化学循环。大氧化事件（GOE）前，早期缺氧海水中的锰主要以离子态形式存在，部分太古代海洋中溶解态锰浓度高达 50~100 μM 。随着古海洋表层海水氧化加剧，锰逐渐以氧化物形式（如 $\beta\text{-MnO}_2$ ）和碳酸盐（ MnCO_3 ）形式沉淀，导致溶解态锰离子浓度开始下降，这些沉积层提供了关于地球氧化历史的重要信息。在古海洋表层氧化海水与深层缺氧海水之间，存在着锰氧化物矿物与可溶性 Mn^{2+} 离子之间的相互转

化。考虑到锰矿物的沉积可能影响固氮酶关键元素如钼的生物有效性，目前尚不清楚，位于海洋透光带的生物固氮过程是否会受到锰离子以及锰矿物的影响。为探讨这一问题，本研究选取典型不产氧光合固氮菌 *Rhodospirillum rubrum* 和两种常见锰矿物（软锰矿和菱锰矿），通过建立阶段性实验体系模拟早期环境演化，揭示锰矿物调控早期地球环境的光合固氮过程。

实验结果表明，除固氮酶所必需的钼和铁元素外，锰也是 *R. rubrum* 固氮过程中的必需元素。在模拟太古宙富锰环境中（~50 μM ），*R. rubrum* 的生长速率和固氮活性均得到显著促进；而在模拟 GOE 后的相对低锰环境中（<3 μM ），生长速率和固氮活性均有所下降。因此，太古代相对富锰的海水环境可能有利于早期光合固氮过程的发生，并且锰矿床的演化过程中伴随氧化还原波动释放的 Mn^{2+} 对于早期光合固氮过程也可能具有促进作用。此外，在低锰的条件下，软锰矿（ $\beta\text{-MnO}_2$ ）和菱锰矿（ MnCO_3 ）的加入均能够促进 *R. rubrum* 的生长速率和固氮作用。与辉钼矿和黄铁矿等矿物相比，锰矿物不仅能提供微量的钼和铁，还能提供生长所需的锰元素供微生物摄取。

本研究的结果表明，尽管环境氧化导致溶解态锰离子降低，但受氧化还原波动调控所形成的锰氧化物和锰碳酸盐矿物能够作为微生物固氮的物质来源，使得光合固氮系统在元古宙逐步氧化的海洋中仍能维持较高的固氮活性，这说明“锰矿物-微生物协同演化”是前寒武纪海洋氮循环稳定的一个重要保障。

S57-P-3S

辉钼矿的生物可利用性支持了早期地球不产氧光合微生物固氮作用

周馨怡^{1,2}，盛益之^{2,3,4*}，董海良^{1,2,3*}

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
2 中国地质大学（北京），地质微生物与环境国家重点实验室
3 中国地质大学（北京），深时数字地球前沿科学中心
4 中国地质大学（北京），科学研究院
* shengyz@cugb.edu.cn
* dongh@cugb.edu.cn

生物固氮作用，是指固氮微生物通过固氮酶催化大气中的惰性氮气（ N_2 ）还原为活性氨氮（ NH_3 ）的过程，是早期地球生物可利用氮的主要来源。氮同位素地质记录与生物钟模拟结果显示钼固氮酶在中太古代已经繁盛，尽管当时溶解态钼含量极低，其主要赋存于辉钼矿、黄铁矿等硫化物矿物结构中。然而，这些矿物是否可以作为钼的来源来支撑太古代生物固氮作用还不明确。通过在严格厌氧条件下，选取太古宙重要固氮微生物即不产氧光合细菌（*Rhodopseudomonas palustris*），与辉钼矿共培养，以探究钼矿物的生物可利用性。实验结果显示，*R. palustris* 可以利用辉钼矿中的钼作为固氮酶的辅助因子完成固氮过程。该细菌通过分泌钼载体 rhodopetrobactin A、B 以及表达钼转运蛋白从辉钼矿中获取钼。同时，利用 ToF-SIMS 对矿物表面进行高精度分析发现，辉钼矿与微生物相互作用后，其表面化学发生了显著变化。这些发现为早期地球上钼固氮酶被广泛利用提供了新的解释，对现代缺钼环境中的固氮具有重要意义。

S57-P-4S

华南埃迪卡拉系陡山沱组方解石囊团及胶结物的后期成岩成因

史红毅^{1,2}，王瑞敏³，欧阳晴¹，关成国¹，孙云鹏^{1,4}，王伟¹，胡永亮^{1,2}，沈冰³，周传明^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所，古生物学与油气地层应用国家重点实验室

2 中国科学院大学
3 北京大学, 地球与空间科学学院
4 中国科学技术大学, 地球和空间科学学院
* cmzhou@nigpas.ac.cn

Shuram Excursion 是埃迪卡拉纪发生的地质历史时期最大的一次碳同位素负漂移事件。前人对 Shuram Excursion 成因解释有很多, 包括海洋溶解有机碳库氧化、埋藏/大气淡水成岩作用改造、自生碳酸盐岩沉积等。华南扬子板块台地边缘相区埃迪卡拉系陡山沱组上部发育具极负碳同位素值(可低于-30‰, VPDB)的方解石囊团和亮晶方解石胶结物, 被认为是自生碳酸盐岩假说的直接证据。这些具极负碳同位素值的方解石囊团和胶结物被认为是在成岩作用早期形成于沉积物硫酸盐-甲烷过渡带, 与微生物硫酸盐还原和甲烷厌氧氧化作用造成的甲烷或有机物氧化相关的自生碳酸盐岩。这些自生碳酸盐岩沉淀导致了 Shuram Excursion 的形成。为探究方解石囊团和胶结物的形成时间和成因机制, 我们对华南扬子板块台地边缘相区陡山沱组中上部出现的方解石囊团以及白云岩的亮晶方解石胶结物开展了岩石学、地球化学和同位素定年分析。野外露头 and 岩石薄片观察表明囊团主要由方解石和石英组成, 囊团构造形成于成岩压实作用之前。囊团中方解石与围岩白云石在碳同位素($\delta^{13}\text{C}$), 镁同位素($\delta^{26}\text{Mg}$), 团簇同位素(Δ_{47})以及稀土元素(REE)配分模式上都有显著的差异, 表明囊团中方解石的形成晚于围岩碳酸盐的白云岩化作用。方解石激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS) U-Pb 定年结果为 428 ± 22 Ma, 说明这些方解石可能发生在志留纪后期, 可能与该时期华南板块发生的扬子上升构造运动有关。包裹体均一化温度分析显示囊团中方解石和石英的沉淀温度分别为 $134\text{--}160^\circ\text{C}$ 和 $134\text{--}158^\circ\text{C}$, 表明它们并非在早期成岩作用阶段形成, 而是与深埋藏阶段硫酸盐热还原作用相关的甲烷氧化有关。本研究表明华南扬子板块陡山沱组具极负碳同位素值的自生碳酸盐岩形成于晚期成岩作用阶段, 因此与埃迪卡拉

纪海洋碳同位素扰动事件-Shuram Excursion 不存在成因上的联系。

S57-P-5S

浮霉状菌介导海洋重晶石形成的机制

潘俊潼¹, 戴欣², 黄力^{2*}, 董海良^{1*}

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院
2 中国科学院微生物研究所
* huangl@im.ac.cn
* dongh@cugb.edu.cn

重晶石(BaSO_4)广泛存在于海洋中, 其中主量元素和微量元素的组成和同位素分布能够反映沉积过程发生时的溶液信息, 可用于记录海水化学条件的变化, 具有重要的地质学和环境学意义。由于大部分海水相对于重晶石而言是不饱和的, 因此海水中重晶石的形成机制尚未完全清楚。本研究以 *Bremerella* sp. T1 作为模式菌株, 研究海洋中广泛分布的细菌—浮霉状菌介导重晶石形成的过程及机制, 发现 *Bremerella* sp. T1 能够通过产生硫酸酯酶代谢含硫有机物(包括含硫多糖、酯类等), 产生硫酸根离子, 进而生成微米尺度的球状重晶石。通过 SEM、EDX、XRD、TEM、HRTEM、SAED 等表征手段, 发现 *Bremerella* sp. T1 介导的重晶石形成可能经历了以下过程: 细胞表面 EPS 提供成核位点, 吸附并聚集周围溶液中 Ba^{2+} , 形成一种非晶富 P 前驱体; 之后, 细菌代谢产生的 SO_4^{2-} 会逐渐替代前驱体中的 PO_4^{3-} , 最终形成球状重晶石。实验结果表明, 海洋浮霉状菌对海洋重晶石的形成具有一定贡献。浮霉状菌介导的重晶石沉淀可以解释重晶石在水柱中的分布以及重晶石晶体在富含有机物的下沉聚集体中的出现。本研究的结果对重晶石和钡通量在古海洋学研究中的应用具有重要意义。

S57-P-6S

宣龙式铁矿鲕粒成矿：微生物参与的碳同位素证据

唐甘宇¹，赖勇^{1*}

1 北京大学，地球与空间科学学院

* yonglai@pku.edu.cn

宣龙式铁矿是华北地区重要的沉积型铁矿，对中国采矿与工业发展意义重大。本研究采集华北地块串岭沟组样品，运用光学显微镜、环境扫描电镜（ESEM）及激光剥蚀-气体稳定同位素比值质谱（IRMS），系统分析赤铁矿鲕粒与菱铁矿鲕粒的矿物学特征及碳同位素组成。

研究发现，鲕状赤铁矿（平均 $\delta^{13}\text{C} = -16.66\text{‰}$ ）和鲕状菱铁矿（平均 $\delta^{13}\text{C} = -9.46\text{‰}$ ）的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均呈显著负异常。对比无机成因碳酸盐矿物（ $\delta^{13}\text{C} > -5\text{‰}$ ）与有机碳成因碳酸盐矿物（ $\delta^{13}\text{C} \approx -25\text{‰}$ ），证实微生物参与宣龙式铁矿成矿过程。原位激光剥蚀采样结果显示，鲕粒 $\delta^{13}\text{C}$ 值从核部（平均 -8.21‰ ）、壳部（平均 -6.69‰ ）到基质（平均 -12.79‰ ）呈现出先升后降趋势。结合矿物学特征推断：成鲕初期，微生物活动形成自型碳酸盐晶体作为成鲕核心；中期以水动力主导鲕粒形成，微生物作用微弱；后期沉积胶结阶段，微生物重新广泛参与成矿作用。

本研究首次通过碳同位素证据，揭示微生物在宣龙式铁矿鲕粒形成不同阶段的作用机制，为理解微生物-矿物协同演化提供新视角，也为沉积型铁矿成因研究提供重要依据。

S57-P-7S

半导体-微生物界面超快电子转移动力学机制研究

杜怡美¹，黎晏彰¹，李艳^{1*}

1 北京大学，地球与空间科学学院

* Liyan-pku@pku.edu.cn

半导体-微生物系统中能量转换效率的关键限制因素仍未得到充分理解。本研究探讨了 $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}/\text{Shewanella onidensis}$ MR-1 界面超快电子转移动力学对半导体-微生物系统整体效率的影响。在光照下， $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}/\text{MR-1}$ 体系对直接蓝染料的还原效率显著提高，体现了各种 $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}$ 纳米颗粒的胞外光电子转移与 MR-1 中相关氧化还原途径的协同作用。虽然 ZnS 表现出更有利的导带电位（ -1.37 V ），但 CdS/MR-1 在一小时光照后的还原效率为 98%，相比于 ZnS/MR-1 的 31% 提高了 3 倍。通过时间分辨光谱和密度泛函理论计算表明，CdS/MR-1 的效率优势源于其较长的光电子寿命（ 1.14 ps vs. ZnS/MR-1 的 0.18 ps ）和较高的电子迁移率（ $119.71\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ vs. ZnS/MR-1 的 $62.47\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ），为 MR-1 利用光电子能提供了优越的动力学优势。此外，外源性细胞色素 c 实验表明其在调节 $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}/\text{MR-1}$ 界面的胞外和胞内电子转移动力学中有着关键作用。转录组学分析揭示了 CdS/MR-1 和 ZnS/MR-1 中具有相似的光电子转移途径，进一步支持了 CdS/MR-1 体系的优越效率源于其界面的动力学优势，进而导致更多的生物可用光电子的积累。这些发现突出了优化光电子转移动力学对提高半导体-微生物系统中胞外光电子利用效率的重要性。

S57-P-8S

深海环境中矿物依赖的光合蓝细菌适应性

祝佳琪¹，李艳^{1*}，李琪²，黎晏彰¹

1 北京大学，地球与空间科学学院

2 中国科学院水生生物研究所，藻类生物学重点实验室

* liyan-pku@pku.edu.cn

产氧光合作用的出现是地球演化与生命进化历史中关键的时间节点，它促使了

支持复杂生命形式起源与繁衍的富氧地球系统的形成。产氧光合细菌（如蓝细菌）作为重要的初级生产者，广泛分布于多种地表生态环境，包括海洋、热泉、冰川、沙漠等。特别的，蓝细菌及其宏基因组在现代深海热液环境与深部热液活动相关地层的发现，对传统认知中蓝细菌难以在缺乏可见光的深部地球环境存活的观点构成了挑战。

本研究通过建立全球热液系统宏基因组样本库，根据喷口所在深度、中心温度、赋存矿物等条件划分成五种类别，包括浅海热液区域、深海高温热液喷口、氧化过渡带等。通过开展微生物宏基因组与关键产氧光合功能基因的相关性分析，发现蓝细菌基因在深海高温、富黄铜矿的热液喷口环境中的显著富集，涵盖了近乎完整的光系统 I、光系统 II、多种捕光天线蛋白的编码基因。通过追踪宏基因组中常见光合基因的对应该物种，发现具有完整蓝细菌基因的深海高温、富黄铜矿热液喷口样本缺少 *Prochlorococcus* 的 *psb* 基因，排除了样本基因的被动沉降来源。通过构建宏基因组样本与蓝细菌红光适应机制相关基因的相关性分析，揭示了热液喷口附近潜在的产氧光合作用依赖对喷口原位可见光辐射的利用而非红光-红外光的适应机制。在此基础上，探讨深海热液系统中矿物为潜在产氧光合作用提供的生态选择优势与演化驱动力。

S57-P-9S

长江口表层沉积物中微生物介导的铁相变过程及其对沉积物-水界面元素循环的影响

黄宝蓉¹，周哲^{2*}，杨守业²，张亚雷³

1 同济大学，环境科学与工程学院

2 同济大学，海洋与地球科学学院

3 福州大学

* zhezhou_research@tongji.edu.cn

河口是海陆交互作用下元素循环的关键区域，是元素循环受人类活动影响最强烈的地区，沉积环境及成岩作用表现较为复杂，在水动力变化和间歇性再悬浮等一系列扰动过程中，出现氧化还原震荡，对铁等氧化还原敏感元素的影响更为显著。沉积物中微生物介导的铁的早期成岩影响着沉积-水界面多种元素的合成、埋藏与释放。目前，沉积物中铁矿物相随深度的分布研究较为充分，但在揭示和理解由微生物介导的铁矿物相变的动态过程还存在挑战。因此，研究聚焦长江口表层沉积物中生物可利用铁在早期成岩作用下的矿物相变过程，探究沉积作用下微生物介导的铁还原对锰、磷和重金属元素循环的影响。本研究选择长江口陆海梯度不同的沉积物样品，构建了在厌氧环境中巴利阿里铁还原菌与沉积物的共培养体系。采用改进式铁矿物分相态顺序提取方法和流动式时间分辨分析技术（FT-TRA），主要关注活性较高的可生物利用铁的转化和关键元素的迁移规律。研究表明，通过微生物的还原作用沉积物中铁矿物的总结晶度下降，铁矿物相态变化的可能机制是：还原产生的溶解性二价铁会与环境中的碳酸根结合生成碳酸铁沉淀，进一步被磷酸根取代，形成蓝铁矿，随后结合硫化物变为马奇诺矿，并向更高结晶度的铁矿物变化。并且，通过钼酸盐抑制硫酸盐还原显著抑制了铁还原的结果，突出了硫酸盐还原和铁还原在控制铁矿物转化和磷释放方面的协同作用。为了研究河口非稳态沉积环境驱动的元素氧化还原循环的地球化学过程，开展再氧化实验，发现在短期氧化过程中铁最先响应，锰的响应迟滞，三价铁氧化物通过吸附、网捕作用共沉淀磷，因此可以认为在缺氧环境中铁氧化物是磷的源，在有氧条件下可转化为重要的磷汇。深入研究铁的早期成岩过程是理解沉积物-水界面关键元素循环的重要突破口，对更全面认识全球气候变化背景下自然过程和人为扰动

对近海沉积物生态系统的潜在影响具有重要作用。

S57-P-10S

西澳条带状铁建造对早前寒武纪大氧化事件的响应

黄思艺¹, 蔡元峰^{1*}, 张贺¹, 黄启琳¹, 袁静怡¹

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院

* caiyf@nju.edu.cn

条带状铁建造 (Banded iron formations, BIFs) 是一种在前寒武纪广泛分布的铁硅质呈互层状产出的海相化学沉积岩, 记录了前寒武纪地球表层环境演变和海洋生物演化的重要信息。BIFs 与古元古代 (Great Oxidation Event, GOE, 约 2.5-2.2 Ga) 和新元古代 (Neoproterozoic Oxidation Event, NOE, 约 0.8-0.6 Ga) 两次增氧事件存在时间上的一致性。关于 BIFs 成因机制有众多争议, 如光化学氧化、蓝藻产氧化学氧化、光铁氧菌生物矿化和潮汐带中石英磨蚀产生活性氧自由基。本研究对澳大利亚西部 Hamersley 群 BIFs (约 2.63-2.42 Ga) 进行了系统的矿物学和地球化学分析, 探索 BIFs 沉积时水体的氧化还原状态, 以期揭示 GOE 时期西澳 BIFs 矿化机制, 探讨微生物对 BIFs 大规模成矿的潜在影响力。

对西澳 Hamersley 群 BIFs 进行了 XRD 定性和基于 Rietveld 技术的全谱拟合定量分析, 结果表明 BIFs 主要由赤铁矿和石英组成, 其次是磁铁矿和针铁矿, 含极少量铁白云石、白云石等矿物, 富铁和富硅条带矿物种类基本相同, 铁-硅矿物含量按条带韵律交替。BIFs 呈现较为一致的稀土配分模式: HREE 较 LREE 相对富集, 显示正 La 异常、显著正 Eu 异常和正 Y 异常, 表明 Fe、Si 物质来源可能是深海热液和海水混合的结果; 较明显的负 Ce 异常指示了氧化的海水环境。Y/Ho-Zr 判别图中大多数样品介于平均陆壳和/或高温热液与现代海水

之间, 说明 BIFs 形成过程中可能存在陆源物质和海底热液的输入, 而普遍较低的 TiO₂ (≤ 0.21 wt%) 和 Al₂O₃ (< 1.8 wt%) 含量表明陆源碎屑物理输入对 BIFs 形成影响较小。TCDP1 钻孔样 (约 2.45-2.31 Ga) 记录了 Hamersley 盆地 BIFs 沉积终止, 黄铁矿原位 S 同位素结果显示, 样品 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围从 -11.45‰~52.46‰, 结合前人数据, 该钻孔 $\Delta^{33}\text{S}$ 接近于 0, 并存在强 $\delta^{34}\text{S}$ 负漂值, 说明在该时期大气中氧气含量虽整体较低但能够暂时消除 MIF-S 效应, 并氧化风化陆相硫化物输送硫酸盐至海洋, 在硫酸盐还原菌参与下形成亏损 ^{34}S 的黄铁矿。本研究可为进一步理解 BIFs 形成过程中的矿物-微生物共演化机制提供新的信息。

S57-P-11S

湖相热水沉积层系碳酸盐矿物特征与成因机制研究——以银额盆地巴音戈壁组二段为例

葛铭浩^{1,2}, 柳蓉^{1,2*}, 何天鑫^{1,2}, 高显达^{1,2}, 张浩然^{1,2}

¹ 吉林大学, 地球科学学院

² 吉林省页岩与共生能源矿产重点实验室

* liurong@jlu.edu.cn

碳酸盐岩作为内源沉积岩, 其形成过程中往往会记录丰富的地质信息, 所以针对某地区碳酸盐岩矿物的种类和形成机制的研究有助于理解其形成条件和成岩演化, 更对揭示古湖泊环境、地球化学循环及极端环境下的生物地球化学过程具有重要意义。本次研究以银额盆地巴音戈壁组上段碳酸盐岩为对象, 通过岩心观察、显微镜观察、扫描电镜观察、LA-ICP-MS 等手段开展岩石学与矿物学、元素地球化学及同位素地球化学等测试分析, 总结巴音戈壁组上段碳酸盐岩矿物的特征, 探讨不同矿物的成因机制。结果显示: 巴音戈壁组上

段碳酸盐岩矿物的成因主要有热液成因、热液-生物成因和沉积成因三种。①热液成因碳酸盐岩矿物主要为结晶白云石与背生式纤维状方解石脉。显微镜下结晶白云石粒度较粗,与放射状黄铁矿之间存在显著的生交关系,部分具有雾心亮边,电镜下还可观察到部分结晶白云石存在环带状结构。该成因形成的碳酸盐矿物常与钛铁矿、重晶石,萤石等热液矿物共生,富含 Fe、Ba 和 Mg, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 接近幔源值,显示出更多的地幔热液流体贡献。②热液-生物成因碳酸盐岩主要包括泥晶和球形白云石。泥晶白云石在显微镜下粒度较为均一,扫描电镜下其晶形相对完整,但相比于结晶方解石,存在一定的溶蚀现象。球形白云石结构完整,由亚微米级的细小颗粒构成,可观察到显著的球状、簇状特征,且具有较强的荧光性。该成因形成的碳酸盐矿物富含 Mg、Na 和 P, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 介于幔源和古湖水值之间,暗示了热液与生物过程的协同作用。③沉积成因碳酸盐岩主要为结晶方解石和纤维状方解石脉。研究区结晶方解石分为细晶和粗晶方解石,前者粒度较细,常以纹层状产出;而后者粒度较粗,多以星散状分布。纤维状方解石脉在正交偏光下可以看到类似于正弦形态的椎体叠加特征,部分方解石脉则存在显著的多期次特征。该类型碳酸盐矿物由湖泊物理化学条件变化沉淀而成, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 接近壳源值,显示陆源输入的影响。

S57-P-12S

热液与生物作用下黄铁矿成因机制研究——以银额盆地黄铁矿为例

高显达^{1,2}, 柳蓉^{1,2*}, 何天鑫^{1,2}, 张浩然^{1,2}, 葛铭浩^{1,2}

1 吉林大学, 地球科学学院

2 吉林省油页岩与共生能源矿产重点实验室

* liurong@jlu.edu.cn

作为沉积岩中常见的矿物之一,黄铁矿的形态、成分、结构等特征与形成环境密切相关,其生长过程受到多种因素影响,如热液及生物活动等。根据形态,黄铁矿可分为自形黄铁矿与草莓状黄铁矿两类,自形黄铁矿指在结晶过程中按自身结晶习性生长,具有规则几何外形的黄铁矿,根据单体形态又分为普通自形以及块状黄铁矿。草莓状黄铁矿指众多黄铁矿微晶聚集所形成的“草莓状”集合体。然而近些年,一种形态类似树枝状的特殊形态黄铁矿逐渐引起了研究人员的关注,此类黄铁矿多与热液环境以及微生物活动有着紧密联系,本文将其称为“放射状黄铁矿”。银额盆地作为一个矿产资源丰富的陆相湖盆,发育大量种类丰富的黄铁矿,同时还存在丰富的生物活动。盆地内主要发育有 3 类黄铁矿:草莓状黄铁矿、块状黄铁矿与放射状黄铁矿。草莓状黄铁矿主要发育油页岩层段,这些层段 TOC 均值往往较高,莓体微粒大多为正八面体与五角十二面体。较小且集中的莓体粒径以及较低的 $\delta 34\text{S}$ 均值表明草莓状黄铁矿的沉积环境主要为贫氧-半缺氧的适中热液活动环境,并与有机质和微生物硫酸盐还原过程有着密切联系,沉积过程成因机制为典型的 BSR。块状黄铁矿在油页岩层和热液活动层岩中均有发现,在岩心中表现为星散状黄铁矿颗粒,镜下存在热液溶蚀现象,热液元素含量与 $\delta 34\text{S}$ 均值普遍居中,具备沉积与热液双重成因特征。放射状黄铁矿广泛发育于强热液活动层段,在岩心中呈网脉状构造,扫描电镜下可观察到其是由多层薄板叠加而成。从部分氧化还原指标 ($V/(V+Ni)$)、 δU 、UEF、MoEF) 可知其发育环境大多为缺氧环境,而富集的 Fe、Ba、U 等热液元素以及较高的 $\delta 34\text{S}$ 均值指示了其强热液活动的沉积背景,其特殊的沉积形态及其与诸如球形白云石等碳酸盐岩矿物之间的生交关系,也暗示了此类黄铁矿与极端环境下的微生物活动之间存在着紧密联系。

综上所述,在沉积系统中,生物作用和化学反应共同促进了黄铁矿的沉积。丰富的有机物来源和相对稳定的缺氧条件,为黄铁矿的形成提供了理想的条件。在热液系统中,深部幔源物质为黄铁矿化过程提供了丰富的硫源。且在较高温度下,黄铁矿的成核和生长速率也会相对增加。此外,银额盆地内还存在丰富的生物活动,这些微生物的代谢活动也会对盆地内黄铁矿的发育产生影响,如硫酸盐还原菌主导的BSR与甲烷的厌氧氧化-硫酸盐还原。

S57-P-13S

山西岚县古元古袁家村条带铁建造研究进展

黄启琳¹, 蔡元峰^{1*}, 张贺¹, 黄思艺¹

¹ 南京大学, 地球科学与技术学院
* caiyf@nju.edu.cn

华北克拉通古元古代(2.38~2.21 Ga)袁家村条带状铁建造(BIF)记录了早期海洋氧化还原状态与地球化学过程的关键信息。该BIF自远岸至近岸呈现碳酸盐相-硅酸盐相-氧化物相的空间分带特征,本研究聚焦浅水域氧化物相赤铁矿亚相,选取硅酸盐相-氧化物相过渡带样品,通过岩相学观察结合X射线衍射(XRD)、透射电镜(TEM)及拉曼光谱多尺度表征技术,系统解析赤铁矿晶体生长机制及其对古海洋环境的指示意义。研究揭示:(1)硅质条带中石墨化碳质的石墨化程度与区域变质温度一致,可能为原始沉积期微生物活动提供潜在证据;(2)赤铁矿晶体形态具有纳米-微米级空间分异性:铁氧化物条带内微米晶体(1~3 μm)与硅质条带内纳米晶体(0.1~0.5 μm)共存,可能反映有机质对离子扩散的物理限制;(3)赤铁矿纳米晶体的晶面取向差异可能指示微生物-矿物界面处流体化学梯度对其生长的调控作用。基于赤铁矿晶体分带性与碳质赋存特征的关联性,本研究提出古元古代BIF中微生物

介导的铁氧化还原循环与有机质降解驱动的流体化学演化可能通过纳米-微米级矿物响应记录其协同效应。后续拟通过原位微区碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)与铁同位素($\delta^{56}\text{Fe}$)分析,进一步揭示微生物代谢过程与氧化还原界面迁移的时空耦合机制,为地球早期生命-环境协同演化模型提供新的约束。

S57-P-14S

含铁粘土矿物对漆酶活性的调控机制

荣子敬¹, 董海良^{1*}, 盛益之^{1*}

¹ 中国地质大学(北京)
* dongh@miamioh.edu
* shengyz@cugb.edu.cn

酚氧化物酶在土壤碳循环过程中扮演关键角色,有报道称,酚氧化酶可以利用泥炭地氧化过程中累积的羟基自由基(.OH)作为电子受体从而提高自身活性。矿物结构Fe(II)氧化过程中也可以产生.OH,这一过程可能对酚氧化酶活性同样起到促进作用。考虑到矿物本身吸附作用对酶活潜在的消极影响,含铁矿物对酚氧化酶活性的影响可能是双重的,并仍处于未知。本文利用氧化态与还原态含铁粘土矿物,分别研究了矿物吸附作用以及结构Fe(II)氧化对漆酶(一种典型的酚氧化物酶)活性的影响。结果表明,漆酶在矿物表面的吸附降低了酶活,同时缩短了自身寿命;矿物结构Fe(II)氧化过程中,在表面累积了大量.OH,但并未观察到其对酶活有明显的刺激作用。与之相反,.OH对漆酶活性、寿命均产生抑制作用,这主要是由于.OH影响了漆酶构象并造成了结构的部分分解。这些结果揭示了一种未知机制,即不同来源的.OH对酚氧化物酶活性的影响可能截然相反,同时,矿物吸附带来的保护作用不一定适用于酚氧化物酶。

S57-P-15S

南海北部微生物群落构建及 三域互作

庞诗梅¹, 陈松泽², 林子秋^{1,3}, 许勇前¹,
张传伦^{1*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 深圳市生态环境局

3 香港科技大学

* zhangcl@sustech.edu.cn

微生物群落组装机制与互作不仅是理解海洋生态系统动态的核心, 更是解析碳-氮-磷循环耦合、预测气候变化下生物地球化学反馈的关键切入点。然而关于海洋三域(细菌、古菌、真核生物)群落构建和互作的研究较少, 其组装和互作机制仍不明确。本研究通过 16S/18S rRNA 基因测序与网络分析, 比较了珠江口与南海北部开阔海域中游离与颗粒附着微生物群落, 并整合零模型分析量化群落组装过程。研究发现珠江口游离群落呈现随机性主导, 而寡营养的南海北部游离细菌受确定性同质选择调控。颗粒附着群落表现出显著的扩散限制。真核生物类群(领鞭毛虫、共生甲藻)成为跨域互作枢纽, 游离群落则呈现以原绿球藻为主导的资源竞争。本研究将三域互作参数整合至海洋碳汇模型与微生物碳泵(MCP)框架, 可更精准预测碳泵效率及其对全球变化的响应, 为海洋可持续管理提供科学依据。

S57-P-16S

南海甲烷渗漏区碳酸盐岩沉积与真核生物群落的环境响应研究

黄谕^{1,2,4}, 张偲^{1,2,3*}, 冯景春^{2,3*}

1 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室

2 广东工业大学, 滨海与深海生态环境研究中心

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

4 中国科学院大学

* zhsimd@scsio.ac.cn

* fengjc18@163.com

南海冷泉区是研究甲烷渗漏及碳酸盐岩沉积与生态响应的重要天然实验场。本研究结合碳酸盐岩地球化学分析与水体真核生物群落调查, 探讨冷泉系统中矿物沉积与生态结构的潜在关联。地球化学方面, 福尔摩沙冷泉碳酸盐岩样品以文石为主, 富集轻稀土及 U、Mo、As 等元素, $\delta^{13}\text{C}$ 值(-40.72‰至-38.99‰)和 $\delta^{18}\text{O}$ 值(3.34‰至 4.73‰)指示甲烷来源碳与水合物水来源氧, 铀-钍定年显示沉积年代为 4.36–5.41 ka。生态方面, 海马、福尔摩沙与陵水冷泉不同水层的真核生物群落呈现明显垂向分异, 表层富集鞭毛藻类和被囊动物, 中深层则以眼虫类和半索动物为主, 可能反映其对低氧高压环境的适应性。PCoA 与 LefSe 分析进一步证实不同水层群落在系统发育与功能结构上的显著差异, 提示群落结构可能受水体理化梯度与底层甲烷通量等地球化学条件调控。结果表明, 冷泉活动在促进矿物沉积的同时, 也塑造了具有层化特征的真核生物群落, 体现了生物-地球化学过程间的耦合关系。

S57-P-17S

不同氧分压下含铁黏土矿物产生羟基自由基机制及其环境意义

熊畅¹, 曾强^{1*}

1 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

* zengq@cugb.edu.cn

羟基自由基($\cdot\text{OH}$)是具有高度活性的一种强氧化剂, 在自然环境中对元素循环和污染物迁移转化过程起着关键作用。传统上, $\cdot\text{OH}$ 的自然生成主要归因于光化学过程, 例如天然有机质或铁矿物的光活化,

以及氧化还原化学作用（如微生物分泌、土壤与沉积物中还原态铁/天然有机质/硫化物与 O_2 反应释放电子）。本研究揭示了含铁黏土矿物——绿脱石（nontronite）在不同氧浓度条件下 $\bullet OH$ 的生成规律，并探讨了其形成的潜在反应机制。结果表明，氧浓度显著影响 $\bullet OH$ 的生成机制：较高的氧浓度加速 $Fe(II)$ 氧化并显著提升 $\bullet OH$ 产量，而低氧条件限制了 $Fe(II)$ 的反应活性，降低了 $\bullet OH$ 的产量。通过解析 $Fe(II)$ 介导的 O_2 活化生成 $\bullet OH$ 在不同氧气条件下的动力学机制，本研究定量评估了 $Fe(II)$ 对 $\bullet OH$ 生成以及 1,4-dioxane 降解的相对贡献。以还原态绿脱石 N_{Au}-2 作为含铁黏土矿物模型，研究了 $Fe(II)$ 氧化过程以及后续的厌氧储存动态。厌氧储存批实验表明，绿脱石八面体层中 $Fe(II)$ 的电子可由内部位点传递至边缘位点的 $Fe(III)$ ，从而驱动边缘位点活性 $Fe(II)$ 的再生。本研究结果为深入理解自然环境中 $\bullet OH$ 的生成机制及其在污染物降解中的作用提供了重要的理论依据。

S57-P-18S

不同性质有机分子调控亚铁催化水铁矿转化路径与产物的微观机制

丁跃飞¹，刘娟^{1*}

¹ 北京大学，环境科学与工程学院

* juan.liu@pku.edu.cn

在厌氧环境中，溶解的亚铁离子可以加速亚稳态的铁氧化物矿物，如水铁矿向热力学性质更稳定的矿相转变，这对环境铁矿物的生物可利用度、水体的氧化还原状态以及铁矿物参与的污染物迁移和营养元素循环过程具有重要影响。有机物作为环境中广泛存在的物质之一，可以通过不同的官能团与亚铁离子和铁氧化物发生强烈的相互作用，进而改变亚稳态铁矿物相变中次生矿物的类型和相对占比。然而，

有机物影响亚铁催化水铁矿转化路径及产物的分子机制尚不清楚。本研究选择具有不同性质的低分子量有机物作为模式分子，探索并解耦它们在亚铁催化水铁矿转化步骤中的详细作用，结果表明有机分子在整个转化过程的多个阶段都会产生影响：1) 亚铁在水铁矿表面吸附：羧酸分子可以通过占据水铁矿表面的吸附位点，或形成三元表面配合物改变亚铁离子在水铁矿表面的吸附浓度；2) 亚铁-水铁矿界面电子传递：光激发态核黄素可以氧化亚铁离子生成还原电势更低的中间物质，以及羧酸分子可以络合亚铁降低其还原电位，两种方式均能够加速亚铁-水铁矿的电子转移过程，影响中间体 $Fe(III)$ 生成速率；3) 中间体缩合形成次生矿物：羧酸分子与中间体 $Fe(III)$ 络合会降低溶液的有效过饱和度，不利于二次矿物成核形成，同时羧酸分子还可以吸附在二次矿物晶核表面，改变表面能和成核能垒。有机分子通过影响相变各个阶段的反应过程实现对次生矿物的种类和相对占比的调控。研究结果为认识亚稳态铁矿物在含有机物的复杂天然环境中的转化提供了新的视角和方法。

S58-O-1

有机生标 GDGT 指示海洋层结强度的潜力

柳中晖^{1*}

¹ 香港大学，地球科学系

* zhliu@hku.hk

近年来，在全球变暖的背景下，由于海洋层结增强导致的次表层缺氧引起了较大的关注。另一方面，对有机生标 GDGT 的环境指示意义的认识也有很大提高。尽管 GDGT 最初主要用来重建古温度，其它非指示温度的 GDGT 指标，包括 BIT，ACE，MI 和 %Cren 以及最近提出的 IR6ME 和 %H-GDGT，也逐渐显示了指示海洋次表

层含氧量变化的潜力，而次表层含氧量和海洋表层层结强度密切相关。这里我们总结运用 GDGT 指标尝试重建不同时间尺度上的（全新世，上新世，中新世，始新世，OAE2）海洋含氧量/层结强度的几个案例。总体来说，当这些指标值异常明显时，可有效指示海洋层结强度。我们的结果也显示在地球地质历史的相对暖期时，次表层水体 GDGT 产量相对表层水体增加，因此海洋层结增强，次表层含氧量降低。这与近年来基于有孔虫氮同位素重建海洋含氧量变化的结论不一致，有必要进行更细致的研究。

S58-O-2

不同时间尺度黑潮演化及其生物地球化学效应

胡邦琦^{1*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，深海地质与矿产研究室

* bangqihu@qq.com

黑潮是西北太平洋最重要的边界流之一，输送大量热量、水汽和营养物质，对区域水文气候、生态系统及全球碳循环具有深远影响。作为北太平洋副热带环流的重要组成部分，黑潮的动态变化不仅调控东亚季风系统、ENSO 事件及区域降水格局，还通过改变海洋层结、营养盐分布和有机碳埋藏效率，直接作用于海洋生产力与生物地球化学过程。因此，解析黑潮在不同时间尺度（冰期-间冰期旋回、千年至百年尺度）的演化规律及其驱动机制，对理解太平洋-亚洲气候系统耦合、预测未来气候变化下的海洋响应具有重要意义。

末次冰盛期（LGM），黑潮主轴北退至冲绳海槽，表层水输送减弱，但类拉尼娜状态增强东亚冬季风（EAWM），驱动黑潮入侵南海强度增加。冰消期至早全新世，北半球冰盖消融和太阳辐射增强促使黑潮逐渐强化，形成现代环流格局；冲绳

海槽温跃层变浅、盐度南北分异，反映黑潮与长江冲淡水的相互作用。中晚全新世黑潮强度波动增强，长期趋势由轨道参数（如岁差）控制的赤道-极地热梯度主导，百年尺度波动与太阳活动驱动的 ENSO 频率升高相关。晚全新世至今：副热带高压增强及中纬度西风带南移推动黑潮强化北移，冲绳海槽沉积物来源变化（长江与台湾物质此消彼长）反映季风减弱与黑潮对沉积物输送的调控。

黑潮演化对海洋生产力与碳循环具有显著调控效应。在营养盐供给方面，黑潮增强通过输送寡营养表层水抑制冲绳海槽南部生产力，但其加强的垂直混合作用可将次表层富营养盐水体抬升，支撑冰消期（如 14 ka 和 17 ka）的生产力峰值。相反，黑潮减弱期（如中全新世 4-2 ka BP）因陆源输入增加（季风降水）和黑潮分流减弱，台湾东北部海域生产力短暂升高。有机碳埋藏则受控于黑潮驱动的氧化还原条件：间冰期黑潮增强加剧水体分层，底层缺氧环境促进有机碳保存（如冲绳海槽中部全新世早期 TOC 含量升高）；而冰期北太平洋中层水（NPIW）通风增强，氧化条件抑制有机碳埋藏。此外，中晚全新世以来冲绳海槽南部盐度升高（台湾降水减少）与北部盐度降低（长江冲淡水增强）的分异现象，揭示了黑潮与季风协同调控的区域生物地球化学平衡。

未来研究需整合高分辨率沉积记录与地球系统模型，深入解析黑潮变异对边缘海碳汇潜力、极端气候事件（如台风路径）的反馈机制，并评估全球变暖背景下副热带环流“强化-北移”趋势的生物地球化学效应。这一方向对预测气候变化下的海洋响应及碳循环稳定性具有重要意义。

S58-O-3

细菌和古菌膜脂对东海低氧环境的潜在指示研究

段丽琴^{1*}

1 中国科学院海洋研究所
* duanliqin@qdio.ac.cn

细菌和古菌膜脂可通过改变细胞膜组分来适应海洋环境条件的变化,在指示海洋环境上具有巨大潜力。本研究通过外海调查和培养实验系统解析了东海水体和沉积物中细菌霍四醇同分异构体(BHT-x)和古菌类异戊二烯甘油二烷基甘油四醚(iGDGTs)的微生物来源及与溶解氧的耦合关系,定性/定量建立了低氧示踪指标体系。结果表明,东海沉积物中 BHT-II 来源于底层低氧海水中的厌氧氨氧化细菌 *Ca. Scalindua*, 其与厌氧氨氧化功能基因 *amx-16S rRNA* 呈显著正相关,其比值(BHT-x ratio)与 DO 呈显著负相关。iGDGTs 组成也对 DO 变化响应显著。当 DO>2 mg/L 时,海水颗粒物中 iGDGTs 主要受奇古菌主导;DO<2 mg/L 时转为厌氧古菌主导。特别是,iGDGT-0%在水体和沉积物中均与 DO 呈显著负相关($p<0.001$)。控制 DO 条件的微观培养实验表明,BHT-x 在低氧条件下呈现最大值,且与 *Ca. Scalindua* 和厌氧氨氧化功能基因 *amx-16S rRNA* 丰度呈现显著正相关,而 BHT-x ratio 与 DO 呈现显著负相关,这与外海的结论相一致。此外,利用沉积柱 BHT-x ratio 和 iGDGT-0%重建的近几十年东海底层水体 DO 浓度变化趋势与历史监测数据高度吻合,表明 BHT-II 比值和 iGDGT-0%可作为氧化还原变化的有效替代指标。基于全球数据,提出了 BHT-x 比值 0.20 和 0.45 分别作为判断低氧和缺氧状态的定量阈值。

S58-O-4

旱季盐度主导红树植物桐花树叶蜡氢同位素分馏

王遥平^{1*}, 宋之光², 夏嘉¹, 詹兆文³,
Alex L. Sessions⁴, Shaelyn N. Silverman⁴, 高苑¹, 何丁⁵

1 广东海洋大学, 化学与环境学院
2 南宁师范大学
3 中国科学院广州地球化学研究所
4 加州理工学院, 地质与行星科学系
5 香港科技大学
* wangyp@gdou.edu.cn

红树林叶片蜡质氢同位素组成($\delta^2\text{H}$)同时受控于降水与水体盐度,是古水文与古盐度重建的重要潜在指标。然而,盐度调控氢同位素分馏($^2\text{H}/^1\text{H}$)的分子机制尚未明晰。尽管已有研究排除了源水-叶片水系统分馏的主导作用,但生物合成路径中的同位素效应及其季节性差异仍存争议。值得注意的是,针对热带-亚热带干湿季分馏差异的直接对比研究迄今未见报道。本研究通过测定湛江河口旱季与雨季桐花树(*Aegiceras corniculatum*)叶片 C31 正构烷烃和 C16:0 脂肪酸的 $\delta^2\text{H}$ 值,结合叶片水、木质部水、河口表层水及沉积物孔隙水的 $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 双同位素特征,系统解析了分馏机制的季节性分异。结果表明:旱季 C31 正构烷烃($2.5 \pm 0.9\text{‰ ppt}^{-1}$)与 C16:0 脂肪酸($1.0 \pm 0.2\text{‰ ppt}^{-1}$)的净 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 分馏系数均与盐度呈显著负相关,而雨季无此趋势。这一季节性差异凸显旱季盐度对桐花树脂类氢同位素分馏的关键控制作用。进一步研究表明,盐度驱动的分馏效应并非源于水分吸收过程,而是植物应对高盐胁迫的生化响应。该结论支持前期研究提出的核心观点:盐度对氢同位素分馏的影响本质上是生理适应性调控,而非叶片/木质部水的盐度依赖性分馏。基于此,本研究提出创新性假说:旱季高盐环境通过限制 CO_2 扩散降低桐花树光合效能,进而诱导相容性溶质(如甘氨酸甜菜碱)生物合成增强,此过程可能通过降低细胞水活度抑制同位素交换动力学;同时,盐胁迫可能通过加速碳代谢通量,改变 TCA 循环中间体驻留时间,从而影响酶促反应中的同位素平衡。尽管上述机制仍需实验验证,但其为解析红树林植物生物合成分馏与水同位素信号的耦合关系提供了新范式。相较而言,雨季降水驱动的盐度稀释作用使红树林光合

与代谢稳态得以恢复。本研究不仅阐明了红树林脂类同位素分馏的盐度响应机制，更揭示了季节性水文变化对分馏模式的重构作用，对提升古水文-古盐度代用指标的可靠性具有重要理论价值。

S58-O-5

晚中新世—早上新世亚洲夏季风的时空演化：ODP1143 站位记录的重新解释

付鑫宁¹，吴怀春^{1*}，盖聪聪¹，方琳浩²

1 中国地质大学（北京），海洋学院

2 中国石油大学（北京），地球科学学院

* whcgeo@cugb.edu.cn

南海南部位于亚洲季风过渡区，前人研究多认为该区沉积物记录了东亚夏季风（EASM）的演化过程，忽视了南亚夏季风（SASM）对其的潜在影响。本研究以南海南部 ODP 1143 站位沉积物为研究对象，通过生物标志物和环境磁学指标建立了 8.5-4 Ma 东南亚的水文气候演变，指示季风过渡区在晚中新世气候湿润，早上新世降水减少。长链正构烷烃的平均链长指标（ACL）与其他 EASM 和 SASM 指标的对比研究进一步表明，南海南部沉积物并不总是记录 EASM 的演化，而是在晚中新世响应于 SASM。在晚中新世，二氧化碳的下降促使低纬度地区 SASM 增强，并且降水格局向东移动并在东南亚地区占主导地位。在早上新世，随着升温过程，Walker 环流的减弱触发西太平洋副热带高压（WPSH）向西移动，亚洲纬向热带辐合带（ITCZ）发生不均匀移动，导致 EASM 影响范围向西扩张至东南亚地区，而抑制了来自印度洋的水汽输送。本研究指出了 SASM 在晚中新世对南海南部水文条件的重要影响，为晚中新世-早上新世 EASM 和 SASM 的时空演化提供了新的认识。

S58-O-6

冬季风驱动的沿岸输运调控 东海内陆架过去 3000 年陆源碳降解

刘帅¹，李大伟^{2*}

1 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* ldw@hainanu.edu.cn

在河流主导型边缘海陆架区域，控制有机碳(OC)千年尺度降解的机制仍不明确。本研究通过对东海远端泥质带沉积柱样 39-A 的陆源生物标志物(长链脂肪酸)含量和总有机碳放射性碳同位素($\Delta 14C$)分析，揭示了近 3000 年来陆源有机碳表观初始放射性碳年龄(AIR)的动态演化。结果表明，陆源有机碳 AIR 在 3.0-2.2 ka 期间约为 10,175±491 年，而最近 2.0 kyr 以来明显变年轻，约为 6,757±623 年。这一年龄转变与陆源有机碳及长链脂肪酸载荷量的增加相耦合，指示陆源有机碳保存效率的提升。进一步研究发现，陆源有机碳保存效率与 AIR 记录以及东亚冬季风(EAWM)强度变化呈现镜像关系，表明增强的冬季风通过强化沿岸流、减少沉积物再悬浮循环、缩短预埋藏氧化暴露时间，从而促进了过去 2000 年来陆源有机碳的埋藏封存。值得注意的是，在 1.1 ka、0.3 ka 和 0.1 ka 沉积年龄处出现的阶段性 AIR 老化事件，可能与台风诱发沉积物再悬浮导致的粒度分选效应相关：该过程通过增加可分选粉砂组分，延长沉积物再悬浮时间和氧化暴露过程。本研究揭示沿岸流动力学是远端陆架泥质带陆源有机碳降解与年龄演化的主要控制因素，为预测自然气候变化背景下海洋碳汇机制提供了新的理论框架。

S58-O-7

泥炭藓类：从分子组成到碳同位素

黄咸雨^{1*}, 张明明¹, 张一鸣¹

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

* xyhuang@cug.edu.cn

泥炭藓类化合物作为微生物活动的关键生物标志物, 因其稳定的碳骨架和多样的分子构型, 在泥炭沉积古气候与古环境重建中展现出重要潜力。研究表明, 藓类(包括藓烷、藓烯、藓酸等)的分布特征与微生物代谢及环境因子密切相关。前期研究通过藓类通量、异构体比值(如 C₃₁ 藓烷 $\beta\beta/(\alpha\beta+\beta\beta)$ 值)揭示了其在水文波动与氧化还原条件重建中的应用潜力。基于碳同位素的研究进一步拓展了藓类示踪微生物代谢途径的功能。然而, 当前研究仍存在诸多挑战: ①地质记录中藓类 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏事件与现代观测的脱节; ②藓烯与低碳数藓烷($\leq\text{C}_{30}$)的生物来源复杂性尚未清晰解析; ③如何建立有效的示踪甲烷动态的藓类指标。未来亟需结合放射性碳同位素($\Delta^{14}\text{C}$)分析, 通过深化“分子-同位素”多尺度研究, 厘清产藓类微生物的代谢途径, 为湿地甲烷循环与碳汇功能的动态响应提供关键证据。

S58-O-8

基于泥炭 brGDGTs 记录重建我国东部 2000 年以来气候变化及与朝代演替的关系

田俐萍^{1,2}, 陈聪^{2*}, 黄康有², 郑卓², 张潇², 贾国东²

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 中山大学, 地球科学与工程学院

* chenc66@mail.sysu.edu.cn

了解过去 2000 年的气候变化, 可以深入了解人类文明与自然气候变化之间的相互作用, 并改进未来气候和环境变化对人类生存的影响。因此, 我们以位于我国东部大湖塘泥炭为研究对象, 基于来源于细菌膜脂的支链甘油双烷基甘油四醚(brGDGTs)、总有机碳(TOC)和总氮(TN)重建了该地区过去 2000 年古温度和有效湿度的变化。并集成区域生物标志物古温度定量重建结果显示, 东亚地区在小冰期(LIA)和中世纪大暖期(MWP)之间温度变幅为 1-3°C。集成我国东部水文记录表明, 在 LIA 阶段该地区水文变化可能以“三极”模式为主(干-湿-干)。我们的研究结果进一步发现温度降低及区域降雨不平衡可能造成了明朝中晚期旱洪涝并发灾害达到 2000 年以来的峰值, 并进一步造成了该时期疫病和战争频发, 而该极端气候变化可能是由于太阳辐射量降低和海水表层温度变化共同造成的。

S58-O-9

洞穴石笋 iGDGTs 的来源及其 TEX₈₆ 指标在末次冰盛期以来古温度重建中的应用

姚远^{1*}

1 西安交通大学, 全球环境变化研究院

* yaoyuan@xjtu.edu.cn

古菌来源的类异戊二烯 GDGTs(isoprenoid GDGTs, 简称 iGDGTs)广泛存在于各类地质载体中, 基于其化合物比值建立的 TEX₈₆ 指标已被广泛应用于海洋古温度重建。近年来, 一些研究也将 TEX₈₆ 应用于石笋载体来重建陆地古温度变化, 并展现出潜在的广泛应用价值。本研究从洞穴石笋 iGDGTs 的现代过程调查和古温度重建应用两方面展开了较为系统的研究: 1) 结合分子生物学和有机地球化学手段, 系统地测定分析了重庆芙蓉洞与

江西神农宫两个洞穴上覆土壤、不同季节洞穴滴水及石笋中的 16S rRNA 和 iGDGTs 组成。结果表明,两个洞穴石笋中 iGDGTs 及其母源主要来自于洞穴内部,因此 TEX₈₆ 指标将记录过去洞穴温度的变化。由于绝大多数洞穴温度变化基本一致于大气年平均温度变化,该研究为利用石笋 TEX₈₆ 指标重建过去年平均温度变化提供了重要的理论基础。2) 以芙蓉洞 3.7 万年沉积历史的石笋为研究对象,利用 TEX₈₆ 温度指标重建了该地区末次冰盛期以来的温度变化。重建结果显示,自 1.8 万年以来,温度呈现出整体升高趋势直至全新世最暖期(~8 千年)。这个升温趋势一致于大气二氧化碳浓度的升高以及全球冰量的减少,表明二氧化碳和全球冰量可能是末次冰消期温度升高的两个重要驱动因素。

S58-O-10

早白垩世热河生物群古气候重建: 干冷演变及其对生物的启示

葛朝霞¹, 沈佳恒^{1*}, 杨欢², 刘小庆³, 俞志强⁴, 邓成龙^{4,5}, 吴海斌^{4,5}, 周忠和^{6,7}

1 北京大学, 地球与空间科学学院

2 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室, 流域关键带演化湖北省重点实验室, 地理与信息工程学院

3 Purdue University, West Lafayette, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences

4 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变国家重点实验室

5 中国科学院大学

6 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物演化与人类起源重点实验室

7 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心

* jiahengshen@pku.edu.cn

热河生物群是早白垩世陆相生物群的重要代表, 以其丰富多样的化石组合著称, 其中包括被子植物、昆虫、恐龙、鸟类和哺乳动物化石。热河生物群的演化主要分

为三个阶段, 然而, 前人对该时期的气候变化研究仅限于各阶段内部, 缺乏跨阶段的综合分析。因此, 本研究通过测试和整合三个阶段沉积样品中的烷烃含量分布及其相应的单体碳同位素数据, 重建了三个阶段连续的气候变化记录。结果表明, 从第一阶段到第三阶段, 气候整体向干、冷转变, 尤其在第二阶段晚期到第三阶段早期达到最干。具体指标变化为: 从第一阶段到第三阶段, 整体上烷烃平均碳链长增加、水生植物烷烃贡献指数下降、姥姣烷/植烷指数上升以及烷烃单体碳同位素值正偏移, 其中第二阶段晚期到第三阶段早期变化最为显著。基于烷烃单体碳同位素值定量估算, 热河生物群时期年均降水量的变化范围为 300-1100 mm/yr, 最低降水量出现在第二阶段晚期到第三阶段早期。大气环流边界收缩可能是此时期热河生物群所在地区降水减少的原因。本研究基于生物标志化合物记录重建了热河生物群时期三个阶段的古气候变化, 进一步提出热河生物群的大规模辐射演化可能发生于相对干冷的气候背景。

S58-O-11

基于长链烯酮重建中国北方达里湖末次冰消期以来冬季温度变化历史

赵家驹^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所

* zhaojj@ieecas.cn

稀缺的冬季古温度记录限制了对过去温度变化规律及其驱动机制的理解, 并对“全新世温度谜题”等科学问题的研究产生了深远影响。在北半球中高纬度的盐湖和海洋中, 存在一种在冬季-早春低温环境下生长的长链稀酮物种 Group 2i, 其在沉积物中的丰度变化可指示海冰或湖冰的变化, 与冬季温度密切相关。本研究利用沉积岩

芯中长链烯酮的分布特征，重建了中国北方达里湖自末次冰消期以来冷季节物种 Group 2i 的比例演化历史，并结合烯酮 R3b 指标揭示了该地区的冬季温度变化规律。研究发现，在冰消期期间 Group 2i 的比例普遍较高，进入全新世后迅速减少，在 10.4-5.8 ka BP 期间达到最低水平，表明此时冬季气候较为温暖。5.8-3.7 ka BP 期间，Group 2i 的比例逐渐增加，而在 3.7 ka BP 之后，比例快速上升至 80% 以上，指示冬季温度显著降低。在 10.4-5.8 ka BP 期间，Group 2i 比例和 R3b 指标记录表明研究区冬季温度总体上比现在更为温暖。此外，在新仙女木事件，11.5-11.3 ka BP、~8.0 ka BP、7.0-6.5 ka BP 和 5.0-4.8 ka BP 期间，冬季温度的显著降低。在新仙女木事件晚期夏季温度已经显著升高，比冬季温度回升提前约 400 年。我们的研究表明自末次冰消期以来达里湖地区冬季温度在千年和百年时间尺度上的变化与北半球高纬度海冰变化紧密相关。这一发现表明，海冰在调控中国北方冬季温度变化方面发挥了重要作用。

S58-O-12

微生物脂类 GDGTs 识别沉积环境

杨欢^{1,2*}，史颖新²，钱施¹

1 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉），地理与信息工程学院

* yhsailing@163.com

甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）是古菌和部分细菌细胞膜脂的重要成分，能够长期保存于地质体中，并记录微生物生存的环境与气候信息，是重建古温度、古水文和 pH 等的重要生物标志物。然而，水环境（如湖泊、河流、海洋等）中存在大量自生细菌支链 GDGTs（brGDGTs），同时会受到陆源土壤 brGDGTs 输入的影响。这

种双重信号叠加会影响 GDGTs 代用指标的准确性。因此，准确识别沉积环境以及 brGDGTs 的来源比例成为关键科学问题。本研究收集了全球矿质土壤、泥炭、湖泊、海洋和河流五种环境中 GDGTs 的含量和组成数据，结合机器学习算法，建立了沉积环境识别模型。通过随机森林、XGBoost 等六种算法对比，随机森林模型表现最佳（准确率 94%，F1 值 94%，AUC 值 99%）。模型可量化湖泊和海洋沉积物中陆源 brGDGTs 的相对贡献，校正后重建的温度更接近实测值。将模型应用于山西运城盐湖钻孔和河北雄安 XA3 钻孔的沉积环境与古温度变化，提升了古气候重建的准确性。

S58-O-13

脂质生物标志物现代过程与古环境研究

刘金召^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所

* liujinzhao@ieecas.cn

脂质生物指标作为古环境重建最主要的生物指标之一。其特有的属性包括：1）分布广泛；2）易于提取；3）结构稳定，可以在环境中保存上百万年；4）精度高等。其中，脂质生物标志物成为古环境重建的重要指标之一。

叶蜡脂质生物标志物源自叶片表层腊质，作为单体生物指标具有明确的分子式和化学属性。然而，研究者发现叶蜡正构烷烃和脂肪酸在不同的植物之间存在明显差异（即“植物类型效应”）。因此，生物指标（正构烷烃和脂肪酸）“植物类型效应”研究成为制约该指标古环境重建的关键。我们通过对黄土高原和全球叶蜡生物标志物的近 15 年研究，系统提出叶蜡生物标志物“植物类型效应”的概念。同时我们也对叶蜡生物指标和气候因素之间的关系进行了系统研究，发现叶蜡氢和碳同位素对气候因素存在差异性响应。这些现代过程研

究对叶蜡生物标志物进行古环境重建至关重要。

古环境方面,我们发现植物和表层土壤叶蜡 $\delta^2\text{H}_{\text{wax}}$ 值和 GDGTs 衍生的 MBT⁵ME 都随海拔高度具有显著的减小趋势;基于此,结合多指标耦合观点,提出了叶蜡生物指标和微生物衍生 GDGTs 生物指标作为海拔高度的可靠指标,该耦合指标相比单个指标可以提高指示海拔梯度的精度;另外,我们将利用叶蜡生物标志物进行了古气候(古降雨和古温度)重建。

S58-O-14

纯培养和大数据揭示细菌膜脂 3-羟基脂肪酸对 pH 变化的响应机理

王灿发^{1*}, 曾婷婷¹, 陈雨霏², 吴睿婕², 王红梅¹, 杨义³, 杨欢^{1,4}, 黄咸雨^{1,4}, 罗根明^{1,5}

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 南方科技大学, 海洋科学与工程系

3 中国地质大学(武汉), 海洋地质资源湖北省重点实验室

4 中国地质大学(武汉), 地理与信息工程学院

5 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* wangcf@cug.edu.cn

3-羟基脂肪酸(3-OH-FAs)是革兰氏阴性细菌细胞外膜的特异性生物标志物,其在重建古温度与土壤 pH 变化方面具有重要的应用潜力。然而目前对 3-羟基脂肪酸响应环境 pH 变化的机制方面仍缺乏深入了解,极大地阻碍了 3-羟基脂肪酸 pH 代用指标的进一步应用和发展。我们通过结合大数据收集与实验室菌株纯培养实验,系统评估革兰氏阴性细菌群落的 3-羟基脂肪酸生产潜力,探讨了 3-羟基脂肪酸对外界 pH 变化的响应机制。通过 3-羟基脂肪酸的大数据我们发现变形菌门展现出多样化的 3-羟基脂肪酸生产潜力,拟杆菌门菌株产生

相对固定的 3-羟基脂肪酸组合特征,而酸杆菌门的 3-羟基脂肪酸分布则较为分散。结合变形菌门在环境中的广泛分布以及拟杆菌门对长链 3-羟基脂肪酸的高度贡献能力,二者可能是环境中 3-羟基脂肪酸的主要微生物来源。通过在不同的 pH 条件下培养来自变形菌门、酸杆菌门和拟杆菌门的三株菌株发现,3-羟基脂肪酸的 pH 代用指标(RIAN)与 pH 呈正相关关系,与自然土壤样品中的调查结果相反。表明 3-羟基脂肪酸可能具有独特的生理学响应机制:3-羟基脂肪酸烃链末端的支链结构使其在细胞外膜内侧发挥类似“栅栏”的功能,支链比例的增加有助于增强其对 H⁺ 浓度压力的抵抗能力。因此,生理学响应机制难以解释与自然土壤中观察到的 RIAN 与 pH 的负相关关系,暗示自然条件下 RIAN 可能记录的是群落对 pH 的响应。结合变形菌和拟杆菌的相对丰度及其倾向于产生的 3-羟基脂肪酸类型,我们重建了在自然土壤环境群落组成下可能的 3-羟基脂肪酸分布及其 RIAN 与 pH 的关系。结果显示,重建的 RIAN 与 pH 之间的相关性能够很好地捕捉土壤样品中实际的 RIAN 与 pH 的关系。因此,我们认为土壤环境中 RIAN 与 pH 的关系主要反映了革兰氏阴性细菌群落的响应机制,而非单一菌株的膜脂适应机制。综上所述,群落组成的变化是驱动土壤中 3-羟基脂肪酸分布及影响其 pH 响应的关键因素。

S58-O-15

古菌环化指数: 表征甲烷渗漏强度的生物标志物指标

许晓燕¹, 管红香^{1*}

1 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

冷泉区甲烷厌氧氧化(AOM)效率随着流体通量的增加而急剧下降,从缓慢渗

漏时的约 80%降至强渗漏系统中的低于 20%，因此亟需建立可靠的指标以评估渗漏强度及其对碳循环的影响。为揭示甲烷氧化过程并突破现有指标的局限性，本研究通过综合分析南海海马冷泉区 GMGS6-W03 岩芯的地球化学与脂类生物标志物数据，提出了改进的甲烷渗漏强度指标。研究结果显示，AOM 作用由甲烷厌氧氧化古菌与硫酸盐还原细菌（ANME-1/DSS）形成的共生体系主导，表现为低 sn2-羟基古醇/古醇比值（ <1.1 ）、高丰度的甘油二烷基甘油四醚（GDGTs）及相对低的 $\Delta\delta^{13}\text{C}_{\text{ANME-1}}$ -甲烷值（平均-35‰）等。类异戊二烯烃的 $\delta^{13}\text{C}$ 值（-107‰至-72‰）及不溶解复杂混合物（UCM）的存在表明热成因甲烷与原油降解是主要碳源。本研究创新性地将环化指数（RI 和修正后的 RI-OH'）与甲烷指数（MI）相结合，通过解析冷泉系统中碳酸盐岩与沉积物的 GDGTs 来源特征，建立了古菌 GDGTs 环化与甲烷渗漏强度之间的内在联系。研究结果揭示：1）SMT 内 isoGDGTs 主要由海洋奇古菌和 ANME-1 合成，而 OH-GDGTs 1-2 和 OH-isoGDGTs-0 则分别来源于 ANME 与产甲烷菌；2）在冷泉系统中，RI 和 RI-OH'与 MI 整体呈现显著负相关（ $R^2 > 0.65$ ），当 MI > 0.4 时，RI 值稳定低于 2.5 阈值；当 MI > 0.6 时，因 OH-GDGTs 1-2（ANME 来源）显著富集导致 RI-OH'呈逆势升高趋势；3）环化指数在 MI 达到理论饱和点（ ≈ 1 ）时仍保持敏感响应，通过持续升高成功捕捉冷泉流体高强度渗漏的动态变化。通过建立环化指数与 MI 的协同应用体系，突破单一传统指标的局限性，为海底甲烷渗漏动态监测和碳循环模型构建提供了新型生物地球化学工具。

S58-O-16

湖光岩玛珥湖中细菌霍多醇（BHPs）的季节性变化及其好氧甲烷氧化指示意义

康曼玉¹，贾国东^{2*}

1 海南大学，南海资源国家重点实验室

2 同济大学

* jiagd@tongji.edu.cn

Understanding methane dynamics in tropical lakes is crucial for understanding the global methane cycle. Some BHPs, potentially associated with MOB, show promise as biomarkers for aerobic methane oxidation (AMO), but their behavior in natural settings is not fully understood. Here, we present the variations of MOB-associated BHP abundances from a seasonally stratified tropical lake in China over a full year. Our results demonstrate alongside established MOB biomarkers, ethenolamine-BHhexol and N-formylated-aminopentol also have high potential for tracing MOB. These BHPs exhibited strong seasonal patterns, with elevated abundances in bottom waters from May to September and peaks in October. Their distribution indicates intensified hypolimnion AMO during water stratification and lake-wide AMO during overturn, while AMO was mostly limited to the sediment-water interface in other months. These results support the application of BHPs as an effective biomarker for tracing AMO activity.

S58-O-17

中全新世以来北极东西伯利亚陆架海冰演化及其驱动机制

张钰莹¹，胡利民^{1,2*}，宫勋³，肖晓彤⁴，石学法⁵

1 中国海洋大学，海洋地球科学学院

2 崂山实验室，海洋地质过程与环境功能实验室

3 中国地质大学（武汉），海洋学院

4 中国海洋大学，化学化工学院

5 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

* hulimin@ouc.edu.cn

北极是对全球气候变暖响应最敏感的海区之一, 其海冰覆盖对太阳辐射反照率、海洋初级生产力等方面都有重要影响。然而由于现代卫星观测时间较短, 迫切需要构建长时间尺度的海冰记录来厘清其演化规律及其环境效应, 尤其是与当今气候条件相似的历史暖期的高分辨率记录更具有指示意义。本研究基于 2016 年中俄首次联合北极科考在东西伯利亚陆架区获得的柱状样 LV77-36-1 岩芯, 根据贝壳 AMS¹⁴C 测年结果, 恢复岩芯底部年龄约为 8.3ka, 通过分析其有机分子海冰指标 (IP₂₅)、浮游植物生物标志物 (sterols), 获得高分辨率半定量重建海冰密集度指标 (PIP₂₅), 结合海盆尺度古气候记录揭示中全新世以来该区的海冰演化史及海-陆-冰-气耦合过程。研究表明, 该岩芯记录的整体海冰演化规律与泛北极其它海区的全新世古海冰记录大体一致, 认为主要受控于太阳辐射和大西洋气候变化的影响; 而在晚全新世阶段性呈现的显著海冰融化事件 (4.5-2.2ka) 与太平洋入流水强度变化之间存在紧密联系。在海冰发育/消融条件影响下, 海洋初级生产力在 8.3-0.8ka 期间也随之呈显著的阶段性变化; 而在 0.8ka 以来海冰和初级生产力呈现同步升高的解耦趋势, 表明该阶段存在相较于海冰驱动更重要的控制因素, 可能与此时营养盐供应增加有关。本研究提供高分辨率的海冰记录新数据, 有助于更深入认识古今不同气候背景下的北极海冰演化机理及其环境响应, 并对未来模式预测气候变化具有重要意义。

S58-O-18

微生物脂类生标单体碳和氢同位素追踪南极微生物代谢变化

陈新^{1*}, 江向海¹, 王景¹, 王风平¹

1 上海交通大学, 海洋学院

* xinchen1991@sjtu.edu.cn

南极无冰区气候环境恶劣, 具体为低有机碳和氮、极端低温、缺乏生物可利用水、强紫外辐射、频繁冻融等, 其生态系统主要以微生物为主。研究微生物代谢过程对于理解南极极端环境中微生物生存策略和功能至关重要。本研究利用微生物脂类生标单体碳和氢同位素组成, 结合宏基因组学, 解析南极无冰区土壤中微生物代谢类型和过程。研究结果发现, 南极极度贫瘠土壤中一些细菌可以利用大气中微量的还原性气体 (H₂, CO 等) 获取能量并进行固碳, 为其他微生物提供有机碳。在有机质相对丰富的土壤和湖泊沉积物中, 微生物脂类单体碳和氢同位素组成可以准确记录异养微生物利用糖类的代谢过程, 并成功地重建了过去 3000 年异养微生物碳代谢过程。本研究提供了一个新的手段研究南极极端环境微生物代谢过程, 为理解现代和历史时期微生物生存策略提供基础。

S58-P-1S

南海北部沉积物磷的再循环对浮游植物初级生产力的影响

沈美琪¹, 蔡观强^{3*}, 林杰³, 阮小燕⁴, 李学杰³, 杨义^{2*}

1 中国地质大学 (武汉), 地球科学学院; 地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学 (武汉), 海洋学院; 地质微生物与环境国家重点实验室

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

4 中国地质大学 (武汉), 资源学院; 地质微生物与环境国家重点实验室

* caiguanqiang@sina.com

* yiyang@cug.edu.cn

在人类活动的影响下, 河口向近海输送的营养物质大幅增加, 导致氮的过量输

入以及不同程度的磷（P）限制。因此，系统研究近海中水体-沉积物磷循环过程的动态过程，有助于更深入地理解沉积物磷的再循环过程对海洋初级生产力的调控作用。在此，我们分析了从珠江口到南海北部外陆架 38 个表层沉积物中藻类甾醇（菜籽甾醇、甲藻甾醇）和磷的不同形态分布特征，探讨沉积物磷的再循环过程与浮游植物初级生产力在空间尺度上的耦合关系。通过分析藻类甾醇、水体磷酸盐浓度（表层水和底层水）和沉积物中生物可利用磷（Ex-P、OP 和 Fe-P）之间的关系，揭示了沉积物—底层水—表层水之间的 P 交换，影响了局部初级生产力。然而，不同地区的相关性不同。具体而言，陆源输入主导了珠江口区域 OP 的积累过程，而珠江口区域相对较低的初级生产力可能是由于光照限制造成的。在西部海岸，浮游植物初级生产力和生物可利用磷存在不同的关系，在上升流区二者具有较强的相关性，表明沉积物中的 OP 和 Fe-P 的再循环可能加强，并进一步刺激浮游植物生长，有利于有机碳的埋藏。在外陆架区，沉积物 P 与初级生产力的弱相关性表明 P 可能不是该区域初级生产力的主要控制因素。我们的研究结果突出了水动力条件对磷循环过程的显著影响，这对了解地质历史时期海洋缺氧条件下的有机碳埋藏和磷循环具有重要意义。

S58-P-2

末次冰期硅藻—固氮蓝细菌共生体 (DDAs) 勃发诱发的生物碳泵增强过程与机制

董良^{1*}，康曼玉²，赵小小³，靖云阁³，金晓波²，赵云¹，艾旭媛⁴，贾国东^{2*}

1 上海交通大学，海洋学院

2 同济大学，海洋地质全国重点实验室

3 上海交通大学，微生物代谢全国重点实验室

4 美国普林斯顿大学，地球科学系

* dongliang@sjtu.edu.cn

* jiagd@tongji.edu.cn

海洋固氮作用是生物碳泵的关键驱动因素，显著影响全球碳循环与气候变化。在传统固氮区，过去的研究主要通过沉积有机氮同位素（ $\delta^{15}\text{N}$ ）探讨固氮在冰期-间冰期气候周期中的长期变化。然而， $\delta^{15}\text{N}$ 主要反映表层光合带固氮与上涌水体中再生氮的相对贡献，无法准确评估固氮的绝对量。本研究基于南海北部一根沉积柱，提供了一条 10 万年的异形胞糖脂（C5-HGs）记录，该类生物标志物能指示硅藻-固氮蓝细菌共生体（DDAs）的存在。同时结合 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 、有机生产力及物理混合记录。尽管 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 记录与以往研究一致，显示海平面下降时固氮作用逐步减弱，但 C5-HGs 却呈现出相反趋势，表明 DDA 产量增加，即固氮作用增强。这种表观矛盾可由冰期东亚季风增强解释，该气候变化驱动了固氮微生物和非固氮浮游生物的不同步增加，其中后者增幅更大。我们的研究表明，在冰期南海等类似边缘海中，DDA 固氮/生产力增强使其成为一个净碳汇，而这一点补充了 $\delta^{15}\text{N}$ 记录中无法指示的细节。

S58-P-3

使用长链烯酮甲基/乙基比值约束颗石藻生长速率

张洪瑞^{1*}，Heather Stoll²，Ismael Torres Romero²，Reti Wijker²

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 ETH Zurich, Department of Earth and Planetary Sciences

* zhanghongrui@tongji.edu.cn

利用长链烯酮的碳同位素分馏来重建大气二氧化碳的方法已发展了近 30 年，但该方法仍存在许多不明确之处。其中，如何量化颗石藻的生长速率是这些难题中最具挑战性的问题。为了提高生长速率的重建，我们对多品系颗石藻进行了实验室培养，并测量了烯酮组合（包括碳链长度为

37 至 39 的甲基烯酮和乙基烯酮)。我们发现, 甲基烯酮与乙基烯酮的比值可为颗石藻的生长提供新的约束——在生长速率较高的条件下, 颗石藻产生的长链烯酮甲基与乙基的比值更高。尽管长链烯酮的甲基/乙基比值也同时受到温度的影响, 但我们认为, 经过更精细的校准后, 新的长链烯酮烯酮甲基/乙基比值指标可从根本上提升生长速率重建, 并优化大气二氧化碳重建。

S58-P-4

中国东北 Heinrich Stadial 1 时期夏季增暖

朱泽阳^{1*}, 伍婧¹, 储国强¹, Patrick Rioual¹, 卢嘉欣², 旺罗¹, 刘嘉麒¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 山西大同大学, 建筑与测绘工程学院

* zhuzeyang@mail.iggcas.ac.cn

末次冰消期因存在多次千年尺度的突发性气候事件, 是探究温度变化动力学机制的关键时期。然而, 中国东北地区覆盖该时段的定量温度记录匮乏, 阻碍了对该区域温度变化机制与过程的全面认识。本研究基于中国东北火山湖——基尔果天池(又名月亮湖)沉积物序列中支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs)的分析, 重建了末次冰消期夏季温度的定量变化。结果表明: 夏季温度在约 20-18.2 cal. ka BP 期间达到最低值(约 11.1°C), 在 Heinrich Stadial 1(HS1)期间上升约 1.9°C, 在向 Bølling-Allerød(B-A)过渡阶段进一步升高约 2.7°C; B-A 暖期和新仙女木事件(YD)冷期的夏季温度分别为约 14.1°C 和 12.0°C。基尔果天池沉积记录显示, HS1 期间东亚气候变化以夏季增温为主导, 这与北大西洋和格陵兰地区冬季降温的控制模式截然不同。这一差异可解释为: 大西洋经向翻转环流崩溃触发的冬季冷却信号在向东亚传播过程中减弱, 而轨道参数与温

室气体控制的夏季增温成为 HS1 期间东亚温度变化的主控因素。

S58-P-5S

早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件的碳循环扰动及其成因机制

叶泽航¹, David B. Kemp^{2,3,4}, 沈佳恒^{1*}

1 北京大学, 地球与空间科学学院

2 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

3 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境全国重点实验室

4 中国地质大学(武汉), 关键带演化湖北省重点实验室

* jiahengshen@pku.edu.cn

早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件(Toarcian oceanic anoxic event, 简称 T-OAE)是一次发生于距今约 1.83 亿年前的全球性古气候扰动事件, 伴随物种灭绝率上升、风化速率加快、碳同位素负偏及海洋酸化等多种环境变化。尽管学界对其成因提出了多种推断, 但其内在机制仍未完全阐明。为深入理解 T-OAE 期间碳循环特征与演化过程, 本研究测定了英国约克郡(Yorkshire)剖面沉积物中的生物标志化合物植烷单体碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{phy}}$), 重建了该时期碳同位素异常(CIE)的演化特征。数据显示 T-OAE 期间植烷单体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{phy}}$ 记录显著负偏移, 最大偏移幅度达 -6‰, 其变化趋势与总有机碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 的变化基本一致; $\delta^{13}\text{C}_{\text{phy}}$ 与 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 之间显示 $2.7 \pm 1.5\%$ 的系统性差异, 该值与前人研究中所报道的平均生物合成碳同位素分馏值相符。此外, 基于植烷单体同位素数据, 对该时期大气二氧化碳浓度的演化进行了初步估算, 结果显示 T-OAE 期间大气二氧化碳浓度增至背景值的 3 倍, 高于前人基于 C_3 植物重建的 2 倍估值。T-OAE 期间显著的大气二氧化碳浓度升高可能与费拉大火成岩省(Ferrar LIP)的火山释气及侵入性火山活

动相关的热解成因甲烷释放有关，并对该时期的海洋环境及钙化生物生存产生显著影响。

S58-P-6S

海洋沉积物 TEX₈₆ 指标修正与温度校准

周佳鸣¹, 赵小小², 袁心鸣¹, 董良^{1*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 Kiel University, Leibniz Laboratory for Radiometric Dating and Stable Isotope Research

* dongliang@sjtu.edu.cn

甘油二烷基甘油四醚 (GDGT) 作为古菌的特征细胞膜脂, 已被广泛用作海洋古温度重建。本研究通过分子动力学模拟, 揭示了 GDGT 环化修饰对膜流动性的调控机制: 环戊烷环增加会降低膜流动性, 支持其在古菌高温适应中的作用。Crenarchaeol 中的环己烷修饰进一步减少流动性, 但环境样品与培养数据的矛盾表明其温度响应可能受多因素影响。我们汇编了全球海洋沉积物 GDGT 数据, 发现 TEX₈₆ 主要反映次表层特别是温跃层温度, 并提出了新的修正公式 $TEX_{86}^{MD} = \log_{10}(GDGT-2/(GDGT-1+GDGT-2))$ 及新的校准公式。该改进显著提升了温度重建精度, 改善了极地地区的温度重建, 为古海洋温度研究提供了更可靠的工具。

S58-P-7

太阳辐射对热带太平洋西部海域近千年水文气候变化的调控

张彦成^{1*}

1 崂山实验室

* zhangpaleo@gmail.com

The western tropical Pacific (WTP) hydroclimate variability of last millennium has been investigated but its forcing(s) are still disputed. To shed insight in the respective roles of these two drivers, we analyzed biomarkers of a sediment core at the Cattle Pond, Xisha Islands, South China Sea, to illustrate decadal-resolved changes of hydrological conditions in last ~1200 years. Multiple glycerol dialkyl glycerol tetraether (GDGT)-based records, like relative abundance of crenarchaeol to total isoprenoid GDGTs, branched and isoprenoid tetraether, ratio of archaeol to caldarchaeol and methane index, and n-alkanes collectively reveal a rapid increase of water depth, resulting from local rainfall, during the Little Ice Age. Moreover, multidecadal-to centennial-scale variations of inferred rainfall resemble the temporal features of solar irradiance changes, with more rainfall at solar minima, which, together with published paleorecords nearby, indicate solar control on WTP hydroclimate.

S58-P-8S

基于鄱阳湖 brGDGTs 重建东南地区过去 2000 年温度变化

苗瑞¹, Yang Hong², Leng Qin², 陈宇炜³, 肖尚斌⁴, 强小科¹, 李祥忠⁵, 姚远⁶, 赵增浩¹, 卢红选¹, Liu Zhonghui⁷, 王欢业^{1*}, 刘卫国^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所

2 Bryant University, Department of Biological & Biomedical Sciences

3 南昌工程学院, 水利工程学院

4 三峡大学, 水利与环境学院

5 云南大学, 地球科学学院

6 西安交通大学, 全球环境变化研究院

7 The University of Hong Kong, Department of Earth Sciences

* wanghy@ieecas.cn
* liuwg@loess.llqg.ac.cn

量化过去 2000 年的温度变化对于评估不同气候强迫对当前变暖的速率、幅度和后果以及预测未来气候变化至关重要。尽管目前全球已有大量涉及过去 2000 年的温度重建记录,但在百年至千年尺度上,受年代学和指标的限制,对温度变化的定量评估仍存在一定的不确定性。尤其是在我国东南地区,过去 2000 年的高质量温度记录相对匮乏。本研究利用鄱阳湖沉积物岩心中的支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs),定量重建了该地区过去 2000 年的年均温变化。结果显示,鄱阳湖地区在工业前呈明显的降温趋势,且存在明显的中世纪暖期和小冰期,与当地,区域和全球记录一致。在百年到千年的尺度上,鄱阳湖地区的温度变化趋势与总太阳辐照度变化趋势基本一致。特别是在公元 1500~1540 年间出现的过去 2000 年最冷时期,与太阳活动 Spörer 极小期高度吻合。与其他基于生物标志物的定量温度重建的进一步比较表明,MWP 和 LIA 之间的温度偏移随着纬度和海拔的增加而增加,这表明在过去的两千年中,百年尺度的温度波动高海拔和高纬度地区被放大。

S58-P-9S

古菌脂类的氢同位素对生物代谢的指示意义

樊嘉琛^{1,2,3,4}, 管红香^{1,4*}

1 中国海洋大学,海底科学与探测技术教育部重点实验室

2 中国地质大学(北京),海洋学院

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

4 崂山实验室

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

前人的研究普遍认为脂类 $\delta^2\text{H}$ 值和环境水的 $\delta^2\text{H}$ 之间存在显著的相关性,因此植物叶蜡正构烷烃氢同位素组成已被广泛

用作古水文指标。然而,古菌脂类 $\delta^2\text{H}$ 值的生物地球化学指示意义还不明确。最新的研究表明,结合古菌脂类 $\delta^2\text{H}$ 值和双植烷链上环化程度可以精确重建古环境水中原始的 $\delta^2\text{H}$ 值。基于冷泉碳酸盐岩中古菌脂类生物标志物和孔隙水的 $\delta^2\text{H}$ 的耦合分析,结合已报道的古菌培养实验数据,本研究发现:古菌脂类 $\delta^2\text{H}$ 值与环境水 $\delta^2\text{H}$ 值的分馏系数($\varepsilon_{\text{L/W}}$)主要受碳源类型而非氧化还原条件调控,冷泉碳酸盐岩样品中古菌脂类的 $\varepsilon_{\text{L/W}}$ 值和厌氧异养菌未呈现显著性差异,这一特征和生物源甲烷厌氧氧化古菌(ANME, anaerobic methanotrophic archaea)的厌氧甲烷氧化代谢模式相符。考虑到还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH, reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)和还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADH, reduced nicotinamide adenine dinucleotide)作为生物中关键的电子载体和氢负离子(hydride)载体,在能量代谢和脂类合成中起核心作用,以及前人关于古菌能量代谢可能调控了脂类氢同位素分馏的假说,本研究系统探讨了古菌能量代谢对脂类氢同位素分馏的控制机制,以期解析古菌脂类 $\delta^2\text{H}$ 值的地球化学意义提供新的理论依据。

S58-P-10

植被驱动下的中国黄土高原地表温度空间异质性

卢红选^{1*}, 刘卫国¹

1 中国科学院地球环境研究所,黄土科学全国重点实验室

* luhx@ieecas.cn

全面理解驱动全新世温度变化的过程和机制,对解决当前全新世温度争议至关重要。陆-气相互作用在调节区域温度变化中起关键作用,但准确评估其对历史温度变化的影响仍面临巨大挑战。本研究基于

中国黄土高原两个黄土-古土壤剖面的土壤细菌脂类标志物,重建了过去 27,000 年的地表温度变化。结合其他已发表的基于相同生物标志物的古温度重建结果,我们发现尽管地理位置邻近,但在植被覆盖差异显著的区域内,地表温度变化趋势存在显著空间差异:在植被覆盖较好的高原南部和东部,重建的地表温度变化总体上与磁化率、总有机碳含量及区域集成气温一致;而在植被较稀疏的高原北部和西部,地表温度与气温呈现显著偏离,表现为末次盛冰期地表温度较高而中全新世地表温度较低。这些空间差异表明,植被效应的区域性差异是导致地表温度差异的关键驱动因素。现代气象记录进一步支持这一发现:随着降雨量(特别是低于 600 mm 时)和植被覆盖减少,植被对地表与气温差异的调控作用显著增强。本研究揭示了植被对历史地表温度变化的重要影响,对阐明东亚地区全新世温度争议和陆-气相互作用具有重要科学意义。

S58-P-11

类脂生物标志物对海水温度的指示作用研究

泮枫敏¹, 袁华茂^{1*}, 宋金明¹, 李学刚¹, 段丽琴¹

1 中国科学院海洋研究所
* yuanhuamao@qdio.ac.cn

重建海水温度变化历史是预测其发展趋势并应对海洋暖化的前提。细菌膜脂 3-羟基脂肪酸(3-OH-FAs)和支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs)是潜力巨大的海水温度新指标,但其重建边缘海海水温度的准确性会受到陆源输入的严重干扰,并且重建温度具有一定的深度和季节特异性。基于黄东海表层沉积物的研究结果显示,现存温度指标与暖季底层海水温度最为相关,海洋 3-OH-FAs 生产可能在深层海水及温暖季节更为旺盛。基于单体碳同位素的

定量结果显示,黄东海 3-OH-FAs 以海洋自生为主要来源,但陆源 3-OH-FAs 输入仍会混淆海源 3-OH-FAs 所记录的环境信息。海源 3-OH-FAs 的 RAN₁₃ 指标与暖季底层海水温度之间显著相关,可作为暖季底层海水温度的可靠指标。此外,黄东海表层沉积物中含有两个五元环的 brGDGTs 六甲基异构体的甲基化指数与年均表层海水温度显著相关,研究区域表层海水中存在 brGDGTs 的持续生产。用于建立该指数的 brGDGTs 组分主要来自于海洋自生,因此,即使在存在混合 brGDGTs 来源的边缘海,该指数也可有效指示年均表层海水温度的变化。

S58-P-12S

洞穴滴水监测揭示的土壤溶解有机碳变化—以湖北恩施豪猪洞为例

曾书琦¹, 薛书雨², 陈霖², 周易², 周天禹², 张宏斌^{2*}

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院
2 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室
* zhanghb@cug.edu.cn

土壤有机碳是全球碳循环的重要组成部分,储量超过了陆地植被和大气中碳量的总和,其微小扰动对全球气候变化影响显著。土壤溶解有机碳(DOC)作为土壤有机碳的重要组成部分,其变化直接影响着土壤有机碳的动态循环,然而,这一通量在目前的全球碳预估中的关注相对较少,极大限制了我们对于土壤有机碳影响机制的讨论。石笋作为记录环境及气候变化的一大优势载体,其多种指标被认为能够反映土壤有机溶解碳变化,为我们研究土壤有机碳循环提供了便利。

基于此,本文首先基于三维荧光光谱技术(3D EEM)对湖北恩施豪猪洞现代滴

水中的 DOC 变化进行了审查,并结合其他指标(微量元素比值)尝试对其影响因子进行判别,以期理清其 DOC 的现代响应过程。结果发现,扣除瑞利及拉曼散射后的三维荧光数据均表现出类似的季节性波动。其中,荧光指数(FI)普遍 >1.8 ,生物源生指数(BIX) >0.8 ,指示着滴水中的 DOC 可能主要来自于土壤微生物降解。与此同时,我们发现,现代滴水中的 Mg-Sr-Ba/Ca 低值滞后于当地降水峰值(~ 2 个月),且其 FI、BIX 高值对应,反映出明显的降水调控机制。具体而言,当降水量在雨季(4-9月)增多时,FI 及 BIX 逐渐增加,可能与较多的降水激活了土壤中微生物活性有关,导致其分解有机质能力增强,引起 DOC 的输入通量增加。基于以上认识,我们认为,现代环境下,当地降水与土壤 DOC 动态响应,可能能够为未来利用石笋重建土壤 DOC 变化提供参考。

S58-P-13

我国南方沿海全新世降水同位素记录中的台风印记

曹建涛¹, 阮彦明¹, 田俐萍¹, 陈法锦², 黄超², 金晓波¹, 饶志国³, 贾国东^{1*}

1 同济大学

2 广东海洋大学

3 湖南师范大学

* jiagd@tongji.edu.cn

历史台风记录对于揭示台风活动与气候变化的关系至关重要,但它们很少涵盖整个全新世时期。鉴于台风降水的同位素具有显著偏负特征,本研究检验了中国南方沿海湖泊湖光岩全新世以来的叶蜡正构烷烃的 δD 重建的降水同位素记录,以评估其反映过去台风活动的潜力。结果显示: 1) 重建的湖光岩全新世降水同位素在 11.2-9.2 ka BP 和 3.5 ka BP-至今二个阶段相对偏负,分别约为 $-64\pm 10\%$ 和 $-58\pm 7\%$,而 9.2-3.5 ka BP 阶段相对偏正,约为 $-47\pm 8\%$,“早-中-

晚”全新世整体呈现“负-正-负”的模式,这与沿海区域降水同位素指标结果一致,而与典型亚洲季风区石笋氧同位素趋势不同。2) 湖光岩降水同位素存在一系列千年尺度上的数值偏负事件,这些事件与北大西洋 Bond 事件发生时间大体一致,而与典型亚洲季风区石笋氧同位素结果相反。3) 湖光岩全新世降水同位素数值介于现代台风和非台风降水同位素值之间,在早和晚全新世阶段逐渐靠近现代台风降水同位素数值,且与区域台风活动记录结果匹配良好,即强台风时期对应较偏负的湖光岩降水同位素。上述结果说明湖光岩降水氢同位素主要反映台风活动的变化,在早和晚全新世台风活动显著加强,而中全新世较弱。进一步对比结果表明,早和晚全新世,减弱的 AMOC 和变幅增强的 ENSO 有助于西北太平洋强台风的生成,导致更多的强台风登陆我国南方,导致该区域降水同位素显著偏负。

S58-P-14S

中国中部梁子湖细菌 3-羟基脂肪酸的来源: 对古气候重建的启示

汪宏海^{1,2}, 杨义^{1,2*}, 王灿发¹, 谢树成¹

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学(武汉), 海洋学院

* yiyang@cug.edu.cn

细菌 3-羟基脂肪酸(3-hydroxy fatty acids, 3-OH-FAs)是革兰氏阴性菌细胞膜脂质的重要组分,因其在沉积物中的稳定性,近年来被广泛应用于古气候重建。然而,目前的研究多集中于土壤,对湖泊系统的 3-OH-FAs 来源及环境响应机制仍缺乏系统认识。本研究以中国中部梁子湖为研究对象,分析近岸土壤到湖心表层沉积物中 3-OH-FAs 和细菌群落的组成,探讨其来源并

评估它们作为温度指标的潜力。通过三元相图分析发现, 3-OH-FAs 在土壤、湖泊沉积物和水柱中的分布存在差异, 3-OH-FAs 主要来自原位生产。16S rRNA 基因测序结果可以进一步支持这一点。基于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 的双端元模型量化了湖中土壤有机质的输入, 土壤的贡献从近岸沉积物的>50%到湖中心的<20%不等, 反映了近岸土壤贡献的影响逐渐降低。此外, 还评估了基于 3-OH-FAs 建立的温度指标, 根据 RAN_{13} 计算得出的温度估计值接近气象温度, 而 RAN_{15} 等的温度估计值低于测量的温度。水柱的自生贡献会使湖泊沉积物中的 RAN_{15} 和 RAN_{17} 值产生偏差。 RAN_{13} 相对更加可靠, 具有古温度重建的潜力。

S58-P-155

上一更新世转换期南海中层水酸化增强

赵蔓¹, 曹建涛¹, 贾国东^{1*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* jiagd@tongji.edu.cn

工业革命以来受持续排放的人为二氧化碳影响, 海洋表层及内部均呈现明显酸化趋势, 可能对海洋生态系统造成灾难性的影响。然而, 这种趋势在全球海洋是否普遍存在, 发生酸化的具体深度范围及其调控机制目前尚存在许多争议。本研究利用支链甘油二烷基甘油四醚 (brGDGTs) 相关指标重建了南海北部上新世以来中层水的 pH 变化。结果表明, 在上-更新世转换期, 随着大气二氧化碳下降, pH 反而显著降低。结合其他记录进一步发现, 在这一时期, 南海北部中、深层水之间层结加强, 与此同时深层水自身变酸, 两者共同导致了中层水 pH 的降低, 而非受大气二氧化碳变化的影响。我们的研究强调了海洋内部分层对南海碳酸盐系统平衡的影响, 而这在现代观测和预测中常被忽视。

S58-P-16

内蒙古双沟山天池 GDGTs 记录的近 2000 年来古温度变化

战楠^{1*}, 李平平^{1,2}, 孙青¹

1 国家地质实验测试中心

2 北京大学, 地球与空间科学学院

* 643497561@qq.com

区域古温度重建是解析全球气候系统演变的重要组成部分, 尤其是气候敏感区的高分辨率古气候记录, 为揭示气候系统的演变规律和运行机制提供了独特视角。中国东北地区位于东亚季风北缘, 气候敏感, 是古气候研究的理想区域, 但是目前区域内长时间尺度、高分辨率古气候记录相对匮乏。本研究聚焦东北大兴安岭中段的双沟山天池, 基于湖泊沉积物中支链二烷基甘油四醚膜类脂 (brGDGTs), 定量重建了区域近 2000 年来十年际分辨率的生长季温度 (MAFT) 序列, 为理解东亚季风边缘区温度演化历程和气候变化机制提供了新的科学参考。该序列揭示了年代际至百年时间尺度上的温度波动, 识别出了罗马暖期 (0-400 年)、中世纪暖期 (800-1300 年)、小冰期 (1300-1850 年) 等多个重要气候阶段。其中, 950-1050 年为最暖阶段, MAFTs 均值达 13.5°C, 并在 850 年、950 年、990 年、1120 年及 1140 年前后形成多个暖峰。值得注意的是, 尽管 1970 年后区域开启现代增温进程, 升温速率为 0.47°C/十年, 无论是温度绝对值还是升温速率均未超过历史峰值, 说明当前区域变暖趋势仍在自然气候变率的范围内。演化谱分析揭示, 在 99%置信度水平下, 区域生长季温度序列存在 55-57 年和 66-67 年的主周期, 这与太阳 50-60 年的活动周期相吻合, 并且在多个温度转折期也与太阳辐射的极大期和极小期相对应, 表明太阳活动是调控区域温度变化的重要外部因素。此

外, 北极涛动与火山活动也对区域年代际温度变率存在显著影响。本研究为东亚季风边缘区古气候研究提供了一组高分辨率的温度数据, 并深化了对区域气候演化特征与机制的理解。

S58-P-17S

断陷盆地混源油相对贡献量定量评价——以渤海湾盆地歧口凹陷为例

张宇¹, 姜福杰^{1*}

1 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* jfjhtb@163.com

断陷盆地作为中国陆相含油气盆地中重要的油气富集单元, 其烃源岩非均质性分布与多幕构造演化过程共同导致了不同层系源岩对油气藏的差异性供烃贡献。通过系统的原油族群划分、精细油源对比及成藏过程解析, 本研究证实歧口凹陷内东营组三段(Ed_3)、沙一中(Es_{1z})、沙一下(Es_{1x})及沙河街组三段(Es_3)四套关键烃源岩层对主力含油层系具有复合供烃特征。针对多源混源油的相对贡献量定量评价, 本研究选取典型三元混源原油样品构建三角形判识图版, 基于生物标志化合物参数定量解析揭示出明确的源岩贡献分配模式。沿凹陷由近及远空间展布分析表明, Ed_3 层系原油中 Ed_3 源岩贡献率呈现阶梯式递减(50%→6%), 而 Es_1 源岩贡献呈显著递增趋势(42.5%→86%)。该空间分异特征确立了 Es_1 源岩作为主力供烃层系(平均贡献率 69.5%), Es_3 源岩贡献总体有限(均值 8.2%)。研究成果为多期裂陷盆地油气运移路径解析及勘探靶区优选提供了关键地球化学约束。

S58-P-18S

中国东北四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来的温度重建

李平平^{1,2}, 孙青^{1*}, 储国强^{3*}, 战楠^{1,2}, 谢曼曼¹, 尚文郁¹

1 国家地质实验测试中心

2 北京大学, 地球与空间科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所

* sunqing1616@yahoo.com

* chuguoqiang@mail.iggcas.ac.cn

末次冰消期以来的古温度重建为理解不同气候背景下的突变和渐变事件的发生及其驱动机制提供了重要启示。然而, 不同的“温度—时间”序列结果之间存在着显著差异。本次研究, 我们分析了中国东北四海龙湾玛珥湖年纹层沉积物中支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs)的相对丰度变化, 基于其重建了末次冰消期以来(~15.5 kyr BP, BP=距公元 1950 年以前)高分辨率的温度序列, 并将其与该湖泊中孢粉和长链烯酮的温度记录进行了比较。重建结果显示, 老仙女木时期(Older Dryas)的年平均湖水温度是 6.1°C, 随后上升了 2.6°C至博令—阿勒罗德(Bølling-Allerød)的最暖期, 紧接着在新仙女木(Younger Dryas)时期温度下降为 7.8°C, 随后温度逐渐变暖至全新世中期(Middle Holocene, ~6.0 kyr BP), 最后温度下降至现在水平。

虽然不同的代用指标的指示意义及其重建的古温度结果可能存在差异, 但是各类指标均记录了末次冰消期以来存在相似的温度变化。本次结果表明, 四海龙湾玛珥湖记录的末次冰消期以来的温度变化通过“海-气环流系统”耦合于高纬度冰盖动力学过程: 末次冰消期至中全新世温度的逐渐变暖可能与冰盖的体积变化有关, 而温度的突变可能与北大西洋径向翻转环流、东亚冬季风的强度和太阳活动有关。

S58-P-19S

三肇凹陷升平—宋芳屯构造扶杨油层油气地化特征及来源分析

闫思雨^{1*}, 姜福杰¹, 张宇琦¹, 陈迪¹

¹ 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* 854389124@qq.com

随着松辽盆地北部进入非常规油气勘探新阶段, 三肇凹陷扶杨油层作为重点勘探目标层系, 其复杂油气来源与成藏过程亟待厘清。本研究通过系统分析原油、天然气及潜在烃源岩(青山口组一段、沙河子组及营城组)的生物标志物特征, 结合有机地球化学指标, 揭示了油气来源及运聚规律。

原油地化特征显示: 扶杨油层原油具有典型陆相成因特征, 表现为低硫、高蜡、“轻质高粘”特性, 密度与粘度随深度增加呈递减趋势, 指示层析分馏运移效应。生物标志物组合中, Pr/Ph 比值>1、伽马蜡烷指数低及 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 甾烷左倾分布(C₂₇>C₂₉), 与青山口组一段烃源岩高度匹配, 证实母质组合以藻类等低等水生生物为主, 兼具湖相混合型有机质特征。三环萜烷分布(C₁₉₊₂₀TT—C₂₁TT—C₂₃TT)判识图进一步验证原油形成于淡水-微咸水湖相还原环境。

天然气地球化学研究表明: 干燥系数表征为干气类型, δ¹³C₁ 值与 δ¹³C₂ 值在戴金星判别图版中呈现煤型气-油型气过渡特征。纵向分异显著, YIII段以腐殖型为主, YI-II段为过渡型, 扶余油层为腐殖型-过渡型天然气, 腐泥型天然气较少。整体呈现埋深增加, 成熟度升高的演化趋势。碳同位素倒转现象揭示多期次天然气混合作用, 结合成熟度及有机质类型参数, 判识气源具双向供烃特征: 浅部以青山口组一段低熟油型气(I型干酪根)为主, 深部则来源于沙河子组与营城组煤系烃源岩。

烃源岩对比研究表明: 青一段烃源岩 HI 平均值 645.5mg/g, 是典型湖相富有机质的优质烃源岩, 整体成熟度不高, Pr/Ph=1.17、奥利烷指数较低, 指示弱氧化-还原过渡环境; 沙河子组(Pr/Ph=0.77, nC₂₁/nC₂₂₊=2.7-4)与营城组(Ts/(Ts+Tm)=0.43-0.51)则显示更高成熟度, 且沙河子组沙泥岩高等植物所做出的贡献明显要更大。

油-岩指纹对比证实, 原油与青一段烃源岩在甾萜类化合物分布、碳同位素组成及母质类型上具显著亲缘性, 揭示“上生下储”式倒灌成藏模式。而天然气则通过断裂系统实现深部煤系烃源岩(沙河子组、营城组)与浅部湖相烃源岩(青一段)的双向供烃。

本研究成果明确了三肇凹陷扶杨油层“湖相原油倒灌+煤型气垂向运移”的复合成藏机制, 为非常规油气勘探提供了关键地球化学依据。

S58-P-20S

BDGTs 与 GMGTs 的环境响应机制及其潜在生物标志意义

陈诗洁¹, 周佳鸣¹, 余甜甜^{1,2,3}, 王风平^{1,2,3,4*}, 董良^{1,2,3,4*}

¹ 上海交通大学, 海洋学院

² 极地生态与气候变化教育部重点实验室

³ 上海市极地生命过程与环境重点实验室

⁴ 海底科学与划界全国重点实验室

* fengpingw@sjtu.edu.cn

* dongliang@sjtu.edu.cn

深古菌(*Bathyarchaeia*)是一类广泛分布于海洋与陆地沉积环境中的优势古菌类群, 其中 Bathy-8 亚群在海洋沉积物中占据主导地位。然而, 该类群膜脂对环境变化的响应机制仍不明确。本研究以 Bathy-8 富集培养体系开展温度梯度培养实验, 并结合液相色谱串联质谱(LC-MS)对其膜

脂组成进行分析。结果发现,该类群主要合成丁三醇甘油二烷基甘油四醚(Butanetriol dialkyl glycerol tetraethers, BDGTs),同时首次观察到其产生甘油单烷基甘油四醚(Glycerol monoalkyl glycerol tetraethers, GMGTs)。其中,温度升高未显著影响 BDGTs 总相对含量,但其环指数(Ring Index)在 15 °C 时异常升高,20–35 °C 区间随温度逐渐上升,表明 BDGTs 环结构可能存在非线性或低温诱导的调控机制;GMGTs 的相对含量随温度升高而显著增加,表明其可能参与热适应调控过程。本研究从膜脂角度揭示了深古菌对环境胁迫的响应机制,为脂类生物标志物在古环境重建与地球化学过程中的应用提供了新思路。

S58-P-21S

甾醇生物标志物的还原转化对古生产力重建的影响

王梦如¹, 韩佳茜¹, 贺娟^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院
* hj08@tongji.edu.cn

沉积物中藻类生物标志物的含量及其相对比例变化是重建古海洋浮游植物生产力与群落结构演化的重要替代指标。现代表层沉积物中生物标志物的组成特征对于准确解读和重建古海洋记录具有重要的指示意义。虽有研究表明,早期成岩过程中有机质降解对 UK'37、TEX86、 $\delta^{13}C$ 等经典古环境代用指标的影响较小,但在缺氧沉积环境中,部分甾醇类化合物的还原转化可能对基于生物标志物的古生产力重建引入系统性偏差。本研究通过沉积物培养实验,结合悬浮颗粒物和沉积柱有机地球化学分析,系统探讨低氧环境下甾醇的保存,部分甾醇的还原转化速率,解析甾醇还原转化对悬浮颗粒和表层沉积物中生物标志物比例的影响,进而评估该过程对基

于甾醇类生物标志物重建古浮游植物群落造成的可能解释偏差。

S58-P-22

四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来不同指标重建温度的对比研究

储国强^{1*}, 李平平², Patrick Rioual¹, 谢曼曼², 战楠², 李琪¹, 朱则洋¹, 孙青²

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变

2 国家地质实验测试中心, 环境室

* chguoqiang@mail.igcas.ac.cn

末次冰消期以来温度变化是理解古气候渐变、突变过程的基础。本文以我国东北四海龙湾玛珥湖为研究对象,以纹层计年为时间标尺、四醚膜类脂(BrGDGTs)为指标,重建了四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来温度变化,并与前人发表的孢粉和长链烯酮重建温度序列进行了对比。四醚膜类脂重建的温度可能为湖表水温度,Older Dryas 期间平均温度为 6.1°C, Bølling-Allerød 为 8.9°C, Younger Dryas 期间降至 7.8°C, 随后温度波动上升至中全新世(6.0 ka BP)、中晚全新世温度下降。尽管各种指标重建的温度在季节性、解译等方面存在较大的差异、但末次冰消期以来不同指标重建的温度变化大致相似。四海龙湾玛珥湖末次冰消期以来温度变的主要因素可能为:冰量、温盐环流、东亚冬季风、太阳活动。

S59-O-1

革兰氏阴性细菌脂类标志物揭示陆—海过渡带碳埋藏过程

杨义^{1*}, 王灿发², 谢树成²

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境全国重点实验室

* yiyang@cug.edu.cn

革兰氏阴性菌是微生物群落的重要组成部分, 因其独特的细胞结构和代谢多样性, 在陆-海生态系统的物质循环、能量流动和生态平衡中发挥关键作用。基于革兰氏阴性细菌的生物标志物 3-羟基脂肪酸目前已经被广泛应用于陆地古气候重建, 但是其在河流-海洋环境中的来源、功能和古环境意义亟待开展深入探讨。因此, 本研究拟基于 3-羟基脂肪酸来探讨革兰氏阴性菌对环境的适应性及其在碳循环中的作用。通过群落和分子组成、碳同位素信号, 识别湖泊、边缘海环境中 3-羟基脂肪酸来源, 深入挖掘其在海洋碳埋藏过程中的作用。

S59-O-2

评估河口和沿海沉积物中有机碳动态的潜在指标——微生物蝶呤

梅康^{1,2,3*}, 王德利², 陈能汪²

1 江苏海洋大学, 海洋资源开发研究院

2 厦门大学, 海洋与地球学院/海洋生物地球化学全国重点实验室

3 江苏省海洋资源开发研究院

* kangmei@jou.edu.cn

本研究聚焦于蝶呤在海洋环境中的分布、调控及其生态学意义。蝶呤是一类广泛分布于生物体中的有机小分子, 参与光能捕捉、氧化还原反应及碳氮循环等关键代谢过程, 是微生物生长和生理调节的重要前体。通过对东南近海典型水域环境水体和沉积物中蝶呤的时空分布特征进行分析, 研究发现洪水期蝶呤主要来源于浮游植物(如淡水藻类和蓝细菌), 而枯水期异养微生物对蝶呤的贡献显著增加。在还

原性沉积环境中, 二氢新蝶呤和新蝶呤含量较高, 而蝶呤及其代谢产物异黄蝶呤更易保留在水相中。研究进一步揭示了蝶呤与浮游植物生长的密切关系。叶绿素 a 与蝶呤的强相关性表明, 蝶呤的生物有效性可能促进浮游植物生长, 其水平变化可作为海洋藻华发生的潜在指示因子。此外, 沉积物 C/N 比与异黄蝶呤水平间接反映了沿海碳汇能力的变化, 为评估海洋碳汇功能提供了新的生物标志物依据。本研究首次系统阐明了近岸水域和河口沉积物中蝶呤的分布特征、来源及迁移过程, 揭示了蝶呤在海洋碳氮循环中的关键作用。研究成果不仅为蝶呤作为海洋碳汇生物标志物的应用提供了理论支持, 还为近海生态系统健康评估及藻华预警机制的建立奠定了科学基础。

S59-O-3

调水调沙工程的实施对黄河河口及其邻近海域溶解有机质化学特征的影响

牛东蕾^{1,2}, 李艳芳¹, 谭扬¹, 马超^{3,4}, 戚羽霖^{3,4}, 李亚楠⁵, 唐建辉^{1*}

1 中国科学院烟台海岸带研究所

2 中国科学院大学

3 天津大学, 地球系统科学学院

4 天津大学, 表层地球系统科学研究院

5 太原科技大学, 资源与环境学院

* jhtang@yic.ac.cn

溶解性有机质(DOM)在全球碳循环和水生生态系统健康中扮演重要角色。河口作为连接陆地和海洋的关键地带, DOM在此经历扩散、转化、降解、沉积等过程。黄河实施的水沙调控工程(WSRs)在约20天内将全年近半数泥沙和四分之一水量集中输送至河口, 同时巨量DOM快速排入黄河口及邻近海域, 但其迁移转化过程与归趋尚不明确。本研究通过地球化学分析、光谱技术和傅里叶变换离子回旋共振质谱

(FT-ICR MS) 技术, 对比分析了 2022 年 WSRS 实施前 (6 月 8-12 日) 与实施后 (7 月 18-22 日) 黄河口及邻近海域 DOM 的分子组成、光谱特征及其转化机制。研究发现: WSRS 后河口区出现更多高不饱和化合物和陆源 DOM, 其芳香度和腐殖化程度显著升高; 由于大量淡水与泥沙的快速输入, 河口区 DOM 的光降解程度较低; 高悬浮泥沙浓度促进了溶解有机碳 (DOC) 的吸附, 其中含硫化合物的相对丰度和种类均显著减少, 但长期来看 WSRS 可能导致水体 DOC 含量上升。DOM 沿黄河羽流和沿岸流向南输送至莱州湾, 向东扩散至渤海海峡。本研究为短期内高强度大坝调控引发的河口 DOM 动态变化提供了重要科学认知。

S59-O-4

沉积岩—河流河口—近海系统中沉积物有机碳活性特征, 以长江流域—近海系统为例

孙学诗^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* xueshisun@163.com

沉积岩/物中有机碳的活性决定其风化或者沉积源-汇传输过程中碳的可降解程度, 地质时间尺度上可能影响大气二氧化碳浓度变化。本研究采用化学氧化法解析长江流域沉积岩及河流-河口-陆架输运沉积物中惰性/活性有机碳的空间分异规律。研究发现流域出露沉积岩中赋存的化石有机碳以惰性组分为主 (可降解性<10%), 其中富碳煤系物质仍保持较高化学活性; 河流输运过程中, 长江悬浮颗粒物受现代生物质碳输入影响, 惰性碳平均占比显著稀释至 35%; 而在河口-陆架沉积系统中, 经水动力分选与微生物改造, 惰性陆源碳贡献回升至 40%-50%。该空间分异特征揭示: 地质历史形成的惰性碳库在表生地球化学过

程中具有显著稳定性, 但其在碳循环中的归宿受到现代生物地球化学过程的深度调控。

S59-O-5

末次冰期以来红树林蓝碳对气候变化的响应: 基于巽他陆架陆海连续体的生物标志物示踪

陈芬¹, 朱小畏², 贾国东^{1*}

1 同济大学, 海洋地质国家重点实验室
2 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋重点实验室
* jiagd@tongji.edu.cn

红树林作为连接河流-河口-海洋连续体的关键生态枢纽, 在陆海物质交换和碳循环中扮演重要角色。其独特的潮间带生境不仅直接受海洋潮汐和盐度影响, 还与河流输入的淡水、沉积物及陆源有机质形成动态交互, 在固碳和调节全球碳循环中具有重要作用。尽管仅占全球沿海面积的 0.5%, 其高生产力和快速沉积速率使其碳埋藏效率远超陆地森林, 贡献了海岸沉积物有机碳埋藏的 10-15%。然而, 气候变化引发的海平面上升、极端天气及人类活动正威胁红树林生态系统稳定性, 可能导致沉积有机碳重新释放至大气。当前针对环境变化下红树林碳储库动态的定量研究仍显不足。本研究聚焦南海南部巽他陆架——末次冰盛期以来全球红树林分布核心区, 通过脂类生物标志物揭示红树林沉积有机质演变过程。以 Taraxerol 作为红树植物输入的特征指标, 结合 α/β -amyrin 比值等降解参数, 重建末次冰期-间冰期海平面剧变下的红树林碳埋藏与降解历史。研究重点量化红树林有机碳分解对大气 CO₂ 浓度及其 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响, 并评估红树林蓝碳系统在气候波动中的固碳潜力。结果表明, 红树林沉积有机质的侵蚀可能是大气碳的一

个可能潜在来源，同时红树林 $\delta^{13}\text{C}$ 偏负特征可能对全球 CO_2 碳同位素组成具有显著贡献。该成果对评价红树林生态系统生产力、探讨全球生态系统碳循环具有重要的理论意义，同时还能对未来滨海蓝碳规划、修复和管理提供科学依据，为全球变化下河流-海洋连续体碳汇功能的可持续管理提供新视角。

S59-O-6

北极东西伯利亚大陆架铁结合态有机碳在多年冻土退化动力学驱动下的演变

余昭勇¹，胡利民^{1*}，杜佳宗¹

¹ 中国海洋大学，海洋与地球科学学院
* hulimin@ouc.edu.cn

北极冻土有机碳（OC）储量占全球土壤碳的 50%，活性铁矿物吸附保护作用在冻土碳稳定性方面其中重要作用。在全球变暖与极地放大效应下，近几十年来北极多年冻土融化、河流径流增加，不仅导致流域冻土碳通过河流加速迁移入海，而且可能改变铁结合态有机碳的输出通量，由此可能影响冻土碳在陆架边缘海的稳定埋藏及其气候反馈效应。因此，重建铁结合态有机碳埋藏演变记录及其环境响应机制，对于准确评估北极陆架碳汇潜力及其气候效应具有重要意义。本研究通过对北极东西伯利亚陆架沉积物近百年来铁结合态有机碳（OC-Fe_R）的定量分析，发现平均有 19.82±3.81% 的 OC 与活性铁结合，且二者的结合发生在埋藏前的陆地运输和入海沉积过程中。对比河口和海岸侵蚀区域 OC-Fe_R 的埋藏演变特征发现，相比海岸侵蚀区，河口-陆架的 OC-Fe_R 埋藏表现出明显的阶段性，显示出流域冻土环境变化对陆架 OC-Fe_R 的影响。进一步结合勒拿河流域冻土环境数据参数（冻土温度、湿度、活动层厚度和降雨量等）变化特征，揭示了冻

土逐渐融化与突然解冻两种模式对 OC-Fe_R 埋藏的差异化影响：冻土逐渐融化会增强“铁门”机制固碳并抑制河流铁循环过程对 OC 的捕获，从而减少 OC-Fe_R 的陆源输出；而冻土突然解冻阶段，在极热和极端降雨事件的作用下，冻土发育了大规模的热熔滑塌，这导致大量的有机碳从冻土中释放，但在活性铁的保护下，大部分有机碳被有效的埋藏到陆架环境，从而使陆架 OC-Fe_R 的埋藏不再延续上一阶段的持续减少而处于相对稳定状态。尽管冻土融化会释放大量的有机碳，但该过程中活性铁在冻土环境和海洋沉积物中都促进了有机碳的埋藏，从而削弱了冻土碳释放对气候的反馈作用。该研究强调了活性铁在冻土——海洋碳循环中的双重固碳功能，为评估北极碳汇潜力及气候反馈效应提供了关键科学依据。

S59-P-2S

海水溶解氧三氧同位素示踪长江口生产、呼吸及混合过程

夏天¹，胡焕婷^{1*}

¹ 上海交通大学，海洋学院
* huanting.hu@sjtu.edu.cn

长江口是世界上最大的河口之一，近年来水体缺氧问题日益突出。该区域主要受长江冲淡水（CDW）与黑潮和台湾暖流带来的高盐低氧水团（HSLO）以及上升流的影响，环流结构复杂。由于不同的生物、化学、物理过程会造成不同的同位素分馏结果，海水溶解氧的 $\delta^{18}\text{O}$ 已被广泛用于示踪及量化不同耗氧过程。随着测量精度的提升，溶解氧的 $\Delta^{17}\text{O}$ 测量不仅提高了对不同水团的识别精度，也为评估海洋初级生产力提供了新的视角，展现出其作为新型示踪指标的巨大潜力。本研究基于 2024 年 8 月采自长江口附近海域的溶解气体样品开展了高精度三氧同位素测量，以探究该区

域的氧循环过程及氧亏损机制。结果显示, 研究区 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围为 -10.4‰~13.3‰ ($1\sigma=\pm 0.026\text{‰}$); $\Delta^{17}\text{O}$ 变化范围为 71.6ppm~182.9ppm ($1\sigma=\pm 3\text{ppm}$)。基于 $\delta\text{O}_2/\text{Ar}$ 和 $\Delta^{17}\text{O}$ 估算区域初级生产力, 结果表明研究区夏季总初级生产力(GPP)与净初级生产力(NPP)可达 $322 \text{ mmol d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 与 $38 \text{ mmol d}^{-1} \text{ m}^{-2}$, 显著高于南大洋及赤道太平洋地区, 反映出研究区具有较高的初级生产水平。通过进一步分析氧饱和度与 $\Delta^{17}\text{O}$ 及 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\Delta^{17}\text{O}$ 的变化关系, 识别出位于研究区东南部低 $\Delta^{17}\text{O}$ 水团与西北部高 $\Delta^{17}\text{O}$ 水团, 并结合二端元模型发现该区域主要受到垂直观混合作用的影响, 特别在西北部, 其数据特征是表层水与原位呼吸产生的低氧水垂直混合的结果而非与南部低氧水进行了混合。此外, 针对研究区原位产氧量和原位耗氧量进行初步量化发现该区域夏季整体原位产氧量大于原位呼吸量, 具有较大的碳埋藏潜力。

S59-P-3

热带海岛潮间带大型藻类暴 发为微型真核生物提供了独 特生态位

吴文学^{1*}

1 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室
* wuw@hainanu.edu.cn

在人类活动影响增强趋势下, 全球近岸海域藻华现象日益频发。然而, 针对热带海岛河口区潮间带大型藻类的研究不多, 其中聚焦大型藻类暴发对微型真核生物群落影响的研究更是少见。在此项工作中, 我们于海南岛南渡江河口区潮间带冬季和春季大型藻类暴发期间, 利用 DNA 高通量测序技术对包括原生生物、真菌和后生动物在内的微型真核生物群落开展了时空动态研究。结果发现: (1) 该大型藻类为石莼, 但包括了多个种(如: *Ulva tepida* 和

Ulva fasciata 等); (2) 藻类附生微型真核生物群落显著区别于水体浮游群落, 这表明石莼暴发为微型真核生物提供了重要生态位; (3) 本研究进一步解析出影响原生生物、真菌和微型后生动物三大类群的差异性环境因子, 这表明基于 18S rRNA 单个基因的宏条形码可以同步检测微型真核生物三大类群的时空动态。总之, 本研究针对热带海岛潮间带大型藻类暴发期间微型真核生物的结果, 为基于陆海统筹的生物监测提供了重要依据。

S59-P-4

气候和人类活动双重胁迫下 热带陆架边缘海有机碳沉积 记录及响应: 以泰国湾为例

白亚之^{1,2}, 刘铭³, 胡利民^{2,3*}, 乔淑卿^{1,2},
吴斌^{1,2}, 范德江³, 石学法^{1,2*}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋沉积与成矿作用重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋地质过程与环境功能实验室

3 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

* hulimin@ouc.edu.cn

* xfshi@fio.org.cn

边缘海系统埋藏了全球 80%以上的有机碳, 是海洋碳循环的重要环节。低纬热带泰国湾区域海-陆作用强烈, 周边陆源输入和热带季风气候影响显著, 有机碳的“源-汇”过程受陆源输入、沉积动力、气候变化和人类活动等多重因素影响, 具有显著的时空异质性。该区冰期时海平面显著降低, 其上植被发育有明显差异, 沉积有机质演化应对频繁的气候变化和海平面升降响应敏感, 是研究沉积有机质来源、埋藏和气候环境变化响应的理想区域。本研究基于泰国湾表层、中部泥质沉积区箱式短柱以及重力柱的不同时间尺度样品, 利用 ^{210}Pb 以及 AMS ^{14}C 测年, 重建了该区沉积有机

地球化学的不同时间序列。通过分析总有机质及粒度等指标,结合正构烷烃、多环芳烃等有机分子组成及参数,探讨了现代与千年尺度下末次冰消期以来研究区沉积有机质的来源变化、埋藏特征及影响机制。结果显示:泰国湾低海面时期更有利于陆源有机碳的输入和埋藏,约 80%的有机碳来源于高等植物和土壤;冰消期全球温度升高引起海平面上升,陆源碳贡献显著下降,迅速过渡到以海源为主;进入全新世期后,陆源有机碳沉积记录主要受到季风降水的影响,尤其是东亚夏季风和印度季风的耦合作用,季风的增强导致更多的径流输入,沉积速率升高,促进了陆源有机碳的高效埋藏。自 20 世纪 80 年代以来,降解程度较高的陆源沉积有机碳比例明显提高,是由于海平面上升引发了海岸侵蚀的加剧以及红树林的退化。沿岸侵蚀释放的大量预陈化陆源有机质在近岸沉积,而红树林的开发及地下水过度开采等人类活动则进一步加剧了陆源有机质的输入和埋藏过程。泰国湾有机碳不同时间尺度上的埋藏过程,体现了沉积有机碳对气候变化与人类活动响应的高度复杂性。研究显示了海平面和气候变化与热带陆架系统有机碳沉积演化之间的紧密联系,气候变化与人类活动共同塑造了热带边缘海的碳沉积动态过程,为预测未来全球变化情景下的碳循环趋势提供了重要科学依据。

S59-P-5

利用 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 约束珠江口-南海连续体沉积物有机质的来源

吴俊文^{1*}, 黄伊婷¹, 陈吉生¹

1 汕头大学, 海洋科学研究院

* wujw@stu.edu.cn

有机碳的来源分析对于理解边缘海的碳汇格局具有重要的科学意义。在 2021-

2023 年夏季航次,我们对珠江口和南海采集的表层沉积物和沉积物岩心中的总有机碳(TOC)和总氮(TN)含量及其同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$)进行了测定,以确定沉积有机质的分布和来源。珠江口-南海连续体表层沉积物中的 TOC 和 TN 含量分别在 0.20%至 1.46%和 0.04%至 0.20%之间,呈良好的正相关关系。珠江口和南海表层沉积物中的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 分别为-25.99‰至-21.72‰和-23.80‰至-21.99‰。在空间上,珠江口-南海连续体中的 TOC 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 分布具有相反的分布趋势;随着离岸距离的增加,TOC 浓度降低, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 值增加。利用 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ 和 C/N 比的测量值约束了珠江口-南海连续体中有机物的两个主要来源,即海源和陆源有机质。使用双端元混合模型,我们估算了海源有机碳对珠江口、南海陆架和南海海盆的贡献分别为 $56\pm 11\%$ 、 $74\pm 7\%$ 和 $70\pm 10\%$ 。这表明南海沉积物中的有机碳库主要由海洋浮游植物的原位生产主导(平均 $\approx 72\%$)。在南海沉积柱中也观察到与表层沉积物一致结果,即海源有机碳的平均贡献高达 $74\pm 14\%$ 。因此,沉积柱中观测到的生物地球化学指标的变化主要是由海源和陆源有机物的不同贡献引起的。总之,本研究为深入理解河口-陆架-海盆有机碳沉积过程提供了参考,也为我国实现碳中和以及蓝碳研究提供了重要的数据支撑。

S59-P-6S

全新世以来北极东西伯利亚陆架沉积记录的古野火变化

刘亚茹¹, 姚政权^{1,2*}, 冯晗¹, 白亚之^{1,2}, 胡利民^{2,3}, 邹建军^{1,2}, 刘焱光^{1,2}, 王昆山^{1,2}, 石学法^{1,2}

1 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

2 青岛海洋科技中心

3 中国海洋大学

* yaozq@fio.org.cn

野火与气候、植被以及人类活动密切相关,在全球碳循环中扮演了关键角色。北极作为近百年来全球增温最显著的区域,深入研究北极野火及其与气候的相互作用对理解和评估全球变暖背景下的北极气候环境演变具有重要的意义。但目前对针对北冰洋沉积记录的野火发生频率及其与气候的联系研究较少,对两者之间的关系并不清楚。本研究对取自东西伯利亚陆架区 LV 77-42 岩芯(N 73°9'36"、E 155°11'24";水深 32 m、柱长 2 m;AMS¹⁴C 测年建立年代框架至全新世 8.2 ka BP)中 232 个样品进行黑碳分析,结果表明:在过去 8.2 ka,黑碳含量在 0.54 mg/g~1.36 mg/g(平均值为 0.81 mg/g)之间波动;在中全新世暖期(4-6 ka BP)显著上升,这一时期气候较为温暖湿润,植被发育有利于可燃物积累,指示该时期火灾活动频繁。另外,永久冻土融化对黑碳释放的影响也不可忽视。到全新世晚期,黑碳含量变化相对稳定,黑碳含量的变化是气候和人类活动两者共同作用的结果。气候变冷虽然限制了自然灾害的发生,但人类活动(如土地管理和冶金工艺),特别是在较寒冷的气候条件下增加的供暖需求,也对黑碳的排放产生重要影响。因此,黑碳含量变化受到多种因素的共同影响。

S59-P-7

末次冰期以来南海南部夏季温度变化特征及指示

朱小畏^{1*}, 陈芬², 茅晟懿³, 贾国东², 黎刚¹, 颜文¹

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

3 中国科学院广州能源研究所, 广东省可再生能源重点实验室

* miseraboy@126.com

Long chain diol index (LDI) is applied to surface and core sediments in the tropical SCS to test its reliability as a recorder of summer SST. Comparisons of LDI-derived SSTs, using global and regional calibrations, with satellite-derived SSTs in surface sediments reveal the best fitting of LDI to monitor summer SST, thus further providing a means to trace summer SST variations in core sediments. Down-core LDI-SST profile, which changes roughly in line with orbital-forced summer insolation, is correlated with North Atlantic abrupt climate events at the early stage of deglaciation, pointing to feedbacks between the evolution of high-latitude overturning circulation and tropical Pacific hydrology. In the late Holocene, a prevailing El Niño-like climate state may have contributed to sustaining LDI-SSTs at a constantly low level, through surface advection of cold waters from the Vietnam upwelling transported by the eastward jet, both intensifying during the El Niño warm phase.

S59-P-8

东海内陆架晚更新世以来沉积有机碳的埋藏模式

陈立雷^{1*}, 刘健², 李凤²

1 崂山实验室, 海洋战略资源绿色智能开发研究部

2 青岛海洋地质研究所

* llchen@qnlm.ac

东海在晚更新世以来经历了复杂的沉积相态结构变化。然而,从东海沉积演化视角下进行动态有机碳埋藏的全面认识仍然十分匮乏。我们对获取自浙江沿海的时间跨度约 14ka 的岩心 ECS-1302 沉积物进行了总有机碳含量及其双碳同位素(¹³C 和 ¹⁴C)和生物标志物(甾醇、正构烷烃、长链二醇、GDGT)分析。结果显示,经过自然衰变校正的沉积有机碳 ¹⁴C 年龄在大约

11-5ka 间较其它沉积时期呈现异常老化 (5276±1123 年)。同时,多指标表明:研究区处于中心河口湾环境时(约 14-10ka),是陆源有机碳的主要汇;处于受潮汐影响的沿海至大陆架沉积环境时(约 13.5-7.6ka),各种沉积有机碳的含量和陆源有机碳的贡献随着海平面上升而减少;处于由局部环流驱动的内陆架沉积环境时(约 7.6ka 至今),各种沉积有机碳的含量保持高水平,陆源有机碳的相对贡献则保持低水平,且伴随人类活动影响增强,其相对贡献可能略有增加。本研究认为,高能的潮汐作用可以将东海中-外部陆架沉积的前期有机碳重新引入内陆架碳循环,这与形成于冰后期海侵期间的东海中-外部陆架的古长江河口细颗粒沉积物的再改造过程密切相关。

S59-P-9S

热带气旋对河流入海沉积物的影响及其珊瑚记录——以海南岛为例

刘彩凤¹, 姜伟^{1*}

1 广西大学广西南海珊瑚礁研究重点实验室, 广西大学海洋学院

* jianwe@gxu.edu.cn

热带气旋通过极端降水与径流剧增显著改变河口沉积物运输格局,其环境效应可被珊瑚骨骼地球化学信号精准捕获。本研究基于海南岛万泉河、南渡江、昌化江 1960-2023 年径流量、悬浮泥沙浓度数据,结合气象观测、热带气旋数据及珊瑚的高分辨率地球化学指标,定量解析了热带气旋事件对入海沉积物通量的影响及其在珊瑚骨骼中的响应机制。结果表明,热带气旋过境期间河流的径流量显著增强,导致大量悬浮泥沙输入海洋,输沙强度与气旋降雨量呈显著非线性关系。

S59-P-10S

盐度对海洋细菌支链四醚膜脂物的影响:对古温度和古盐度重建的启示

贺子豪¹, Ali Aamir¹, 曹建涛^{1*}, 贾国东¹

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

* caojt19@tongji.edu.cn

陆地湖泊自生细菌支链四醚膜脂物(brGDGT)构成的相关参数被广泛用于古温度和盐度的重建。越来越多的证据显示海洋中也存在大量自生来源的 brGDGT,可能也具有反映海水温度与盐度的潜力。本研究采集长江口-闽浙沿岸-珠江口-琼东近海的表层沉积物,分析带极性头的和不带极性头的 brGDGT (PL-brGDGT 和 core brGDGT),它们分别代表海洋原位和水柱/陆源的累积,在此基础上尝试探讨海洋自生 brGDGT 的相关盐度和温度指标的适用性。结果显示:1) IP-brGDGT 与 core brGDGT 的差值显示陆源 core brGDGT 信号随着水深增加而减少,在水深超过~50m 的站位开始消失。2) 海洋自生 7-甲基 brGDGT 指标分别与盐度、温度存在正和负相关关系,与陆地盐湖研究结果类似。3) 基于 brGDGT 的温度与盐度参数,本研究提出了适用于海洋的盐度与温度经验公式,并进一步应用于南海陆架 16ka 的钻孔中,重建的盐度基本保持不变,反映了较稳定的海水盐度环境。重建的温度数值与趋势与有孔虫记录的中层水温度大体一致。这些结果表明海洋自生 brGDGT 同样可以记录生存环境的温度与盐度,可为海洋深时古温度和盐度重建提供一套可用的有机代用指标。

S60-P-1

沉积过程对自生黄铁矿硫同位素的约束机制

刘喜婷^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

* liuxiting@ouc.edu.cn

近年来研究表明, 海洋沉积物中自生黄铁矿的硫同位素组成 ($\delta^{34}\text{S}$) 并非单纯反映全球硫循环趋势, 而是深受局部沉积环境的制约。首先, 沉积速率决定了有机质与硫酸盐的累积与扩散速率: 高速率沉积促进浅层快速硫酸盐还原, 生成富含重硫的黄铁矿, 而低速率沉积下则出现反复氧化重循环, 黄铁矿呈现较轻的同位素特征。其次, 孔隙度和渗透性影响化学物质在沉积层内的迁移与反应范围, 高孔隙度区有利于硫酸盐下渗与有机质作用, 强化同位素分馏; 低孔隙度区则形成分层反应, 导致同位素信号差异显著。此外, 局部微环境因素如甲烷渗漏也能通过驱动硫酸盐还原微生物活动, 使黄铁矿表现出独特的硫同位素与形貌特征。综上, 只有在定量考虑沉积速率、孔隙结构、化学扩散和微生物驱动机制的前提下, 才能精准解读黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 记录, 实现古环境的重建。

S60-P-2

富甲烷海洋沉积物自生黄铁矿研究及其对硫、铁循环的记录

林志勇^{1*}, 孙晓明², Harald Strauss³, Jörn Peckmann¹

1 Universität Hamburg, Institut für Geologie

2 中山大学, 海洋科学学院

3 Universität Münster, Institut für Geologie und Paläontologie

* zhiyong.lin@uni-hamburg.de

海洋沉积物中的自生黄铁矿是研究地球表层生物地球化学循环与环境演变的重要工具, 其在全球硫、铁循环中扮演重要角色。自生黄铁矿主要形成于在富含有机质的大陆边缘沉积物中, 通常依赖于微生物硫酸盐还原作用, 伴随有机质再矿化或甲烷厌氧氧化作用。自生黄铁矿的形成不仅影响了全球海水中的硫酸盐浓度及硫同位素特征, 还反映了局部沉积环境的微生物活动特征与沉积环境变化, 为古环境重建和气候演变研究提供重要的地球化学信息。大陆边缘沉积物是地球最大的甲烷储库之一, 经由沉积物排放的甲烷对全球碳循环有重要影响。作为微生物硫酸盐还原的活跃区域, 富甲烷海洋沉积物为研究自生黄铁矿形成过程提供了理想的天然实验平台。在富甲烷环境中, 甲烷厌氧氧化过程产生的硫化氢控制着沉积物的氧化还原条件, 共同影响了硫、铁等循环。本文基于现代及古代富甲烷沉积物中的自生黄铁矿, 综合利用微区精细分析 (如原位硫同位素) 和非传统稳定同位素 (如铁、多硫同位素) 研究方法, 系统探讨不同甲烷渗漏环境下自生黄铁矿的 (多) 硫同位素和铁同位素特征, 旨在揭示甲烷活动过程对硫、铁循环的影响, 并试图建立一套有效评估甲烷渗漏活动的普适性指标。

S60-P-3

海洋自生黄铁矿对大陆边缘非稳态沉积和成岩过程的响应

刘晨晖^{1,2*}, 蒋少涌³, 苏新⁴, 杨涛²

1 崂山实验室

2 南京大学, 地球科学与工程学院

3 中国地质大学 (武汉), 资源学院

4 中国地质大学 (北京), 海洋学院

* chliu@qnlm.ac

在大陆边缘海洋沉积环境中, 非稳态沉积和成岩现象频繁出现, 通常表现为碎

屑流、浊流、滑塌、冰期-间冰期过渡期间沉积模式的变化以及与深层天然气水合物分解引发的甲烷上升通量的改变。这些现象的出现无一不直接或间接的对沉积物孔隙水生物地球化学格局产生影响,引发硫酸盐-甲烷过渡(SMT)带所在层位深度的非稳态波动。基于对异常状态孔隙水格局的数值模拟,可以定量识别和重建最近或正在发生的非稳态 SMT 带波动,但是由于孔隙水组分的重置时间通常为几百年或几千年,因此无法据此获知年代更为久远的非稳态历史。并且,在很多情况下,孔隙水硫酸盐浓度随深度呈现线性或拟线性形态单调递减,形成非稳态过程从未发生过的假象。于是,可能存在的非稳态事件就会被忽略,这不仅会对早期成岩作用历史造成误判,而且会导致后续任何由此得出的结论均不再可靠。

自从“古老 SMT”或“化石 SMT”这一术语被提出以来,相继出现了一系列可以用于记录甲烷厌氧氧化(AOM)曾经出现的地球化学指标,诸如碳酸盐碳同位素组成、沉积钡、钼、黄铁矿硫含量和硫同位素组成(包括多硫)以及古菌脂质生物标志物(甘油二烷基甘油四醚)。然而,受限于晚期成岩过程的改造等因素的影响,到目前为止,仅有自生黄铁矿及其硫同位素组成不仅可以有效识别 SMT 曾经稳态出现的层位,而且可以获知其在沉积物中的深度演化历史。

本报告以位于水合物海岭的 ODP 第 204 航次 1245 和 1252 站位和位于布莱克海岭的 ODP 第 164 航次 994 和 995 站位岩芯沉积物中的自生黄铁矿为例,分别从定性和定量角度探讨黄铁矿及其硫同位素组成与非稳态 SMT 波动之间的关系,并验证其对非稳态沉积和成岩事件的响应。从定性的角度出发,我们提出一系列基于沉积速率和甲烷通量变化的概念性稳态和非稳态情景模型,并与岩芯记录的实际情况进行比较和验证;在定量方面,我们基于一维运移-反应模型建立黄铁矿含量和硫同位素组成与 SMT 深度之间的关联,重建地质历

史时期 SMT 深度和甲烷通量的非稳态演化过程。

S60-P-4S

海底沉积物中硫酸盐驱动 AOM 过程的硫同位素分馏模拟及其地质意义

查日环¹, Klaus Wallmann², 杨涛^{1*}, 施小清^{1*}

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 德国亥姆霍兹基尔海洋研究中心(GEOMAR), Marine Biogeochemistry

* yangtao@nju.edu.cn

* shixq@nju.edu.cn

硫同位素组成是识别沉积环境中硫循环过程的重要示踪工具。硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化(AOM)在富甲烷的海底沉积物中显著调控甲烷释放并影响硫循环。与有机质降解主导的硫酸盐还原(OSR)不同, AOM 依赖于硫酸盐还原菌与产甲烷古菌之间的共生作用,其硫同位素分馏行为在自然条件下的表现尚不明确,限制了我们对其代谢行为的理解和对硫同位素地质记录的准确解释,尤其是在经历过古代甲烷释放心事件的富甲烷沉积体系中。本研究结合反应-运移模型与孔隙水观测数据,对南海北部陆坡水合物赋存区的四个典型站位进行了硫同位素分馏模拟,探讨自然条件下 AOM 过程的硫同位素分馏特征及其对沉积记录的影响。结果表明, AOM 在自然条件下通常表现出接近平衡的硫同位素分馏,区别于实验条件下体现出的对甲烷浓度的依赖性。此外,在深源甲烷控制下,硫酸盐-甲烷过渡带的局部分馏会重塑硫的同位素记录,覆盖原有沉积信号。本研究为理解 AOM 的代谢速率特征,以及古环境中甲烷活动对硫同位素记录的重塑提供了新视角。

S60-P-5

黄铁矿多硫同位素记录了海水百年—千年时间尺度的氧化还原波动

于晓晓^{1*}, 林莽¹

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

* ml3964802563@163.com

黄铁矿沉积记录研究对于解析古海洋氧化还原条件、生物地球化学演化及行星宜居性演变具有重要科学价值。相较于传统硫同位素指标 ($\delta^{34}\text{S}$), 黄铁矿多硫同位素体系 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{py}}$ 和 $\Delta^{33}\text{S}_{\text{py}}$) 可提供多维度的地球化学约束。值得注意的是, 具有负 $\Delta^{33}\text{S}$ 异常特征的黄铁矿普遍发育于地质历史重大生物灭绝事件层位, 常被视为水体硫化环境的有效示踪剂。然而, 该解释体系存在两个关键矛盾: 其一, 现代局部厌氧沉积盆地 (如黑海) 尚未发现具有负 $\Delta^{33}\text{S}$ 特征的黄铁矿, 这与传统解释模型存在冲突; 其二, 现有研究未能明确负 $\Delta^{33}\text{S}$ 信号与水体厌氧强度、氧化还原波动频率等关键参数的定量关系。考虑到 $\Delta^{33}\text{S}$ 对硫混合过程的高度敏感性, 本研究提出新假说: 负 $\Delta^{33}\text{S}$ 黄铁矿的形成可能受控于海洋-沉积物界面的动态氧化还原转换过程, 而非稳态硫化水体的直接产物, 且不同频率的氧化还原状态转化可能影响黄铁矿 $\Delta^{33}\text{S}$ 信号的负偏程度。为验证上述科学假说, 我们选取加勒比海 Cariaco Basin 现代厌氧盆地作为研究对象, 对其近 60 万年来不同氧化还原相沉积物中的黄铁矿开展了系统的多硫同位素研究。实验数据显示: MIS 6c-7a 阶段 (20–16 万年前) 黄铁矿 $\Delta^{33}\text{S}$ 值最低达 -0.09‰, 而 MIS2 和 MIS10 阶段样品 $\Delta^{33}\text{S}$ 值仅 -0.03‰; 其他冰期-间冰期转换阶段样品的 $\Delta^{33}\text{S}$ 值则维持在 ~0.1‰。结合 Mo 含量指标 (以 10 ppm 为氧化/硫化相分界阈值) 的标准化分析表明: Cariaco Basin 在 MIS6c-7a 阶段 (持续时间 <4 万年) 至少经历 7 次快速氧化还原转换, 硫化相持续

时间介于 0.7–5.6 kyr; 相比之下, 末次冰消期仅记录单次氧化还原事件, 其波动周期约 25 kyr。值得注意的是, Mo 含量显示末次冰消期的氧化-硫化强度显著高于 MIS6c-7a 阶段。基于 $\Delta^{33}\text{S}$ -Mo 耦合分析, 本研究建立了负 $\Delta^{33}\text{S}$ 黄铁矿的二元成因模型: 1) 显著负 $\Delta^{33}\text{S}$ 值 (~-0.09‰) 对应高频次 (百年-千年尺度)、低强度的氧化还原波动, 反映高效的硫混合过程; 2) 轻微负 $\Delta^{33}\text{S}$ 值 (~-0.03‰) 则指示低频次 (万年尺度)、高强度的氧化还原剧变。对灭绝事件的黄铁矿 $\Delta^{33}\text{S}$ 重评估显示, 晚瓜德鲁普期灭绝事件层位富集显著负 $\Delta^{33}\text{S}$ 黄铁矿, 这暗示当时海洋系统可能经历了极端快速的氧化还原状态切换, 最终导致生态系统崩溃。

S60-P-6S

基于海洋沉积黄铁矿的早始新世以来北冰洋古环境研究

毕圣逸¹, 林志勇², 姚炜琪^{1*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 Universität Hamburg, Fachbereich

Erdsystemwissenschaften, Zentrum für

Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit

* yaowq@sustech.edu.cn

在现代海洋中, 常年海冰覆盖的海域仅存在于北冰洋地区。终年不化的特征导致海冰区具有较高反照率, 从而在全球气候变化中扮演着重要角色。海水结冰时析出盐分形成低温高密水团, 驱动北大西洋深层水形成, 进而影响全球深海环流系统。然而, 北冰洋的古地理条件与其现代特征存在显著差异。始新世早期的北冰洋是一个半封闭盆地, 与全球其他海域的连通性有限, 基本处于孤立状态。直至中新世弗拉姆海峡的打开, 北冰洋才开始与北大西洋连接, 海盆之间的水体交换对北冰洋的海水化学组成与沉积环境造成影响, 逐渐演变至现代模式。全球硫循环在调控全球

碳循环和氧化还原状态的长期演变中扮演着重要角色,但早始新世以来北冰洋古环境改变对硫循环的影响程度尚不清楚。本研究利用综合大洋钻探计划 IODP 302 航次海洋沉积物,重建早始新世以来黄铁矿(FeS_2)的硫同位素记录,结合黄铁矿的矿物学及元素地球化学分析,揭示北冰洋由封闭洋盆向开放大洋转变过程中的硫循环演变进程,为解析新生代全球碳-硫-氧循环提供新视角。

S60-P-7

氧化还原条件和来源对冷泉沉积物钼同位素组成的控制

苗晓明¹, Davide Oppo², 尉建功^{3*}, 李江涛⁴, 李季伟⁵, 杜梦然⁵, 管红香¹, 刘喜停¹, 李杰⁶, 李景瑞⁷

1 中国海洋大学

2 The University of Louisiana at Lafayette

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

4 同济大学

5 中科院深海科学与工程所

6 中国科学院广州地球化学研究所

7 崂山实验室

* weijiangong007@163.com

钼(Mo)同位素因其对氧化还原环境的敏感性,已成为示踪(古)甲烷渗漏事件的重要地球化学指标。然而,当前学界对甲烷渗漏体系中钼同位素组成特征及其控制机制仍缺乏系统认知。本研究在前期工作基础上,通过多类型甲烷渗漏系统沉积物地球化学分析,揭示了沉积物钼同位素组成主要受控于两大关键因素:沉积环境的硫化强度(强/弱硫化条件)和钼源端元的贡献比例(海水 VS 铁锰氧化物)。基于上述控制机制,本研究创新性提出甲烷渗漏系统钼同位素组成的四种模式:(1),强渗漏-低铁锰泵效应体系。该体系沉积物表现为重 $\delta^{98}\text{Mo}$ 特征与高 Mo 富集系数(MoEF),且 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值与 MoEF 呈显著正相关,指示硫化条件下海水钼主导的同位

素分馏过程。(2),强渗漏-高铁锰泵效应体系。沉积物呈现轻 $\delta^{98}\text{Mo}$ 特征,伴随高 MoEF 值, $\delta^{98}\text{Mo}$ 与 MoEF 呈负相关趋势,反映铁锰氧化物载带轻钼源对同位素组成的显著影响。(3),弱渗漏-低铁锰泵效应体系。 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值与 MoEF 均处于较低水平,同位素组成与上陆壳值相近,表征有限硫化作用下的陆源钼主导特征。(4),弱渗漏-高铁锰泵效应体系。沉积物显示轻 $\delta^{98}\text{Mo}$ 与低 MoEF 的组合特征,指示弱硫化条件和铁锰循环过程对钼同位素组成的混合调控作用。研究结果不仅深化了对不同甲烷渗漏场景下钼同位素分馏机制的理解,更为重建古甲烷渗漏事件及其伴生的海底氧化还原条件演化提供了新的科学认知,对完善冷泉系统元素循环模型、解译古环境记录中的甲烷释放信号具有重要科学价值。

S60-P-8S

瓜伊马斯盆地深部热液沉积物温度约束下的碳硫成岩作用

吴柄政¹, 刘佳睿², 刘喜停³, 周震¹, Andreas P. Teske⁴, Samantha B. Joye⁵, 庄光超^{1*}

1 中国海洋大学, 化学化工学院

2 加利福尼亚大学, 海洋科学研究所

3 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

4 北卡罗莱纳大学, 地球、海洋与环境科学系

5 佐治亚大学, 海洋科学系

* zg@ouc.edu.cn

微生物介导的海洋硫循环在地表化学调节及海洋沉积物有机碳矿化相关的氧化还原反应中发挥关键作用。针对海底热液区深部沉积物早期成岩过程中硫-碳元素地球化学行为的研究目前仍存在空白。本研究对加利福尼亚湾瓜伊马斯盆地深部沉积物的碳-硫-铁成岩作用、硫同位素演化特征及微生物活动开展系统分析。地球化学剖

面揭示该区沉积物碳硫比值 (C/S) 异常偏低, 平均值仅 1.4, 显著低于 2.8 的典型海相沉积物碳硫比值。在活跃的热液循环区域, 显著的碳硫比值异常 (1.4-0.67) 可能反映了地热作用强化的硫富集机制: 由高温梯度和岩床侵入导致的沉积物温度升高, 促进了微生物硫酸盐还原作用。活性铁组分的可利用性限制了硫酸盐还原带黄铁矿的形成, 同时促进了硫酸盐甲烷转换带下方元素硫的累积。硫酸盐甲烷转换带下方可检测的甲烷周转速率表明, 铁氧化物介导的厌氧甲烷氧化作用可能是该深部沉积体系中重要的甲烷汇。60-65‰的高硫同位素分馏效应导致在瓜伊马斯盆地富有机质沉积物中形成了显著贫 ^{34}S 的黄铁矿 ($\delta^{34}\text{S}$ 低至 -40‰)。综合研究表明, 深部热液沉积物中硫元素存在动态转化过程, 其中温度和铁氧化还原化学共同主导了碳-硫循环的协同演化机制。

S60-P-9

海洋生源二甲基硫化物的源汇过程及其对环境变化的响应

高旭旭^{1,2}, 杨桂朋^{2*}

1 山东大学, 海洋研究院

2 中国海洋大学, 深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* gpyang@mail.ouc.edu.cn

二甲基硫 (DMS) 是海洋释放的最丰富的, 也是最重要的挥发性生源硫化物, 厘清 DMS 的源汇过程及影响因素对深入理解海洋有机硫循环有重要的意义。本研究综合多个航次的调查结果, 对西太平洋及其边缘海二甲基硫化物包括 DMS、DMS 的前体物质二甲基巯基丙酸内盐 (DMSP) 和 DMS 的主要氧化产物二甲亚砷 (DMSO) 的时空分布格局、DMS 的主要源汇过程及影响因素进行了深入研究, 并探讨了 DMS

对大气沙尘沉降及海水酸化的响应。调查结果发现表层海水中二甲基硫化物呈现明显的时空变化, 春夏季要明显高于秋冬季, 且近海>河口>大洋。微生物消费和光化学氧化是表层海水中 DMS 去除的主要途径, 它们对海域 DMS 去除的贡献率分别为 41.01% 和 40.37%。此外, UVA 辐射对 DMS 光化学氧化速率的贡献最大。相关性结果显示 pH 是影响二甲基硫化物的重要因素。船基培养实验结果表明, 大气沙尘沉降为表层海洋带来了丰富的营养盐, 增加了 Chl-a 的浓度, 并促进了 DMS 高产种的生长, 加速了二甲基硫化物的生产释放。另外, 海水酸化降低了 DMS 和 DMSP 的浓度, 抑制了 DMS 的生产消费以及 DMSP 的降解。

S60-P-10

超硫化物的环境微生物学: 代谢途径、细胞感应与环境监测新工具

王天琪¹, 刘帆¹, 荀鲁盈^{1*}, 夏永振^{1*}

1 山东大学, 微生物技术研究院

* lyxun@sdu.edu.cn

* xiayongzhen2002@sdu.edu.cn

超硫化合物 (包括多硫化物和单质硫) 作为硫循环的关键中间体, 在地球系统科学中发挥着重要作用。我们课题组近年来从分子水平解析了微生物如何代谢、感知和转运这类化合物, 并开发了相关检测工具, 为理解更广泛的环境硫循环提供了新视角。

我们的研究揭示了单质硫 (S_8) 在微生物细胞间的快速转移机制, 证明 S_8 通过膜脂溶解被细胞摄取并转化为可溶性的过硫化物。这一机制普遍存在于不同微生物类群中, 表明单质硫的细胞间转移是环境中微生物群落协同代谢硫的重要基础。进一步, 我们发现超硫化合物能诱导大肠杆菌

MarR 蛋白的谷胱甘肽化修饰,这一发现揭示了微生物如何感知和响应环境中的硫胁迫。

基于对超硫感应机制的理解,我们成功开发了一种高特异性的超硫全细胞生物传感器,该传感器可在微摩尔水平检测多种形式的超硫化合物。该传感器已成功应用于多样化海洋沉积物中超硫含量的分析,揭示了不同海底地形条件下深层沉积物中广泛存在的超硫积累现象,为理解海洋硫循环提供了新的实验证据。此外,该传感器也在锂硫电池电解液中多硫化物的监测中展现出应用潜力。

我们的研究将微观的分子机制与宏观的环境过程相联系,为理解自然环境变化和人类活动影响下的硫循环提供了新的科学工具和理论框架,也为环境监测和能源技术开发提供了应用前景。

S62-O-1

海水—沉积物界面扰动过程与生态系统响应

邓龙辉^{1,2,3,4*}, 董良^{1,2,3,4}, 王风平^{1,2,3,4}

1 上海交通大学,海洋学院

2 上海交通大学,海底科学与划界全国重点实验室

3 上海交通大学,极地生态与气候变化教育部重点实验室

4 上海交通大学,上海市极地生命过程与环境重点实验室

* longhui.deng@sjtu.edu.cn

全球海床下生态系统是地球最大的有机碳储库,蕴藏着海洋中超过 50%的微生物细胞。沉降到海床的有机碳是被降解为无机碳还是进入深层沉积物长期保存,很大程度上取决于海水-沉积物界面发生的复杂生物地球化学过程。全球大多数的海水-沉积物界面或多或少都受到各类物理、化学和生物扰动过程的影响,然而扰动状态下微生物的生理生态及其驱动的碳转化机制方面仍存在许多未知,阻碍了我们对全

球变化下海底微生物群落和碳循环动态变化的理解和预测。为此,我们整合地球化学、微生物学、分子生态学、数学建模、环境模拟以及海底原位过程检测设备研发等跨学科技术手段,以解析各类扰动模式下海水-沉积物界面微生物过程的响应与作用机制。近期研究发现,在水文动力、海底甲烷渗漏和大型底栖生物扰动等一系列物理、化学和生物扰动作用下,存在显著的、一定程度上可预测的微生物群落生态、代谢和碳循环过程的动态响应过程。这些进展预计有助于深化理解海水-沉积物界面生态过程和元素循环的内在机制,也为阐明海床微生物对全球变化的响应机制及缓解潜力提供新见解。

S62-O-2

昆仑热液筒群的发现与初步解析

李连福¹, 张洪运², 席世川¹, 刘成龙¹, 李聪颖¹, 郑剑¹, 黄晶^{2,3}, 郝禹霏^{2,3}, 张鑫^{1,2,3*}, 孙卫东^{1,2,3*}

1 崂山国家实验室

2 中国科学院海洋研究所

3 中国科学院大学

* xzhang@qdio.ac.cn

* weidongsun@qdio.ac.cn

深部蛇纹石化驱动的海底热液系统是寻找海底天然氢气的重要构造类型之一。自 Lost City 碱性热液系统在大西洋中脊被发现以来,引起了广泛讨论。蛇纹石化反应产生的富含氢气的碱性热液流体,孕育和供养了特殊的深海极端生态系统,也释放了大量清洁能源氢气。目前,由蛇纹石化反应驱动的热液系统仅在靠近洋中脊的转换断层(板块边界)附近被发现,而在广袤的板块内部,是否同样存在此类热液系统,至今尚无相关研究报道。

在崂山实验室和基金委共同组织的 NORC2023-583 共享航次中,基于高精度多

波束扫描在西太平洋的东卡罗琳板块内发现了一系列巨型“麻坑”群，利用“奋斗者”号载人潜水器开展了近底探查，观测到猛烈的热液流体活动。这些麻坑发育在穆绍海沟的俯冲板块之上，距离海沟约 80 公里，坑体直径在 450 至 1800 米，深度在 30 至 130 米范围内。这些巨型圆坑的坑壁陡峭，底部较平，与常规麻坑形态差异显著，而与“金伯利岩筒”的形态近似，因此这些圆坑被称为“热液筒”，整个圆坑群被命名为“昆仑”热液筒群。原位探测数据表明，昆仑热液流体的温度高于 18℃，富含氢气组分，浓度约在 5.9-6.8 mmol/kg，并且其喷发的碱性热液流体在碳酸盐补偿深度（CCD）之下形成了巨厚的碳酸盐岩。XRD 分析表明，在高温热液流体释放区域形成的暗黄色碳酸盐岩由铁白云石和富铁的铁白云石组成，而在坑体边缘及更低温的溢流区形成的白色碳酸盐岩则由方解石和少量富钙白云石组成。

综合探测结果表明该热液筒群是一个由俯冲活动引起的海底深部蛇纹石化反应主导的板内热液系统，蛇纹石化产生的氢气滋养了以氢气为能量来源的化能生态系统。昆仑热液筒群的发现不仅刷新了对深海热液系统成因机制的认知，其释放的富含氢气组分的碱性热液流体及形成的特殊形态的海底圆坑可以为地球早期生命提供稳定、持续的演化环境；同时昆仑热液筒群具有高氢气通量特征，为解析海底深部氢气形成与运移机制，寻找潜在的海底氢能开发区域，提供了理想的天然试验场。

S62-O-3

深海贻贝对极端生境不同阶段适应中的自体与异体联合调控

邸雅楠^{1*}，赵若轩¹，徐建洲¹

¹ 浙江大学，海洋学院

* diyanan@zju.edu.cn

热液喷口（HVs）与冷泉（CSs）是典型的深海极端生态系统，其独特的地球化学特性为群落生物提供了特殊生存条件。一旦流体喷口停止活动，剧烈的环境变迁将对深海生物构成生存威胁并重塑整个生态系统。迄今为止，对生物响应极端环境及其“活跃-灭绝”双态变化的适应策略认知仍十分有限。本研究通过两次科考航次，从西南印度洋活跃/灭绝热液喷口及南海冷泉区，采集了在多种深海极端环境中成功繁育的优势物种——深海贻贝。通过对其鳃和消化腺进行转录组分析、多维度压力防御与代谢系统生物指标检测，并结合共生菌宏基因组研究，发现贻贝存在流体特异性的转录调控特征，揭示了不同流体环境下抗氧化防御优势、能量利用差异及关键物质（如硫）代谢分化的自体适应机制。同时，宏基因组分析表明，在化能合成生态系统中，共生菌与宿主在能量利用、硫碳代谢等方面具有功能补偿的异体适应特征。由此，本项目提出流体喷口的双态变化驱动共生贻贝通过自体与异体联合适应机制实现适应、生存成功的科学认知。

S62-O-4

南海新生冷泉有氧—低氧层中活跃的甲烷氧化菌属

Methyloprofundus

任天鑫^{1*}，王风平¹，邓龙辉¹，解瑞泽¹，隋维康¹

¹ 上海交通大学，海洋学院

* xinghai84@sjtu.edu.cn

冷泉是地球上生产力最高的化能合成生态系统之一，大量来自深部的甲烷通过这一系统重新参与到地球的活跃碳循环中。以往的冷泉研究强调厌氧甲烷氧化是阻止甲烷向上层海洋扩散的关键过程，而认为仅分布于浅层含氧沉积物之中的好氧甲烷

氧化菌对冷泉甲烷过滤作用的贡献有限。本研究聚焦南海一处新生冷泉生态系统,通过整合沉积物地球化学分析、二代和三代测序,发现在有氧和低氧沉积层中广泛分布的好氧甲烷氧化细菌属 *Methyloprofundus*。进一步基于高质量宏基因组组装基因组 (MAGs) 分析,成功鉴定出 *Methyloprofundus* 属的三个新类群,并通过宏转录组分析发现,这些不同的菌株能利用两种不同的甲烷单加氧酶系统 (pMMO 和 sMMO),分别实现在有氧和低氧沉积层中较活跃的甲烷代谢转录活动。这些研究结果表明 *Methyloprofundus* 属具有高度代谢可塑性,使其不同物种能够在沉积物有氧-低氧环境中占据特定的分化生态位,并突显了早期冷泉环境中好氧甲烷氧化菌被低估的生物多样性及其对甲烷过滤的重要贡献。

S62-O-5

冷泉碳酸盐岩的微生物群: 代谢相互作用及其如何驱动 空间异质性

马曼曼¹, 王敏晓^{1,6*}, 梁越¹, 郭扬¹, 张
崐¹, 曹磊¹, 付璐璐¹, 胡高伟^{4,5}, 李承峰^{4,5}, Thomas Mock^{1,3*}, 李超伦^{2,6*}

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院南海海洋研究所

3 Univeristy of East Anglia, School of
Environmental Sciences

4 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 自然资源
部天然气水合物重点实验室

5 崂山实验室, 青岛海洋科技中心海洋矿产资源实
验室

6 中国科学院大学

* wangminxiao@qdio. ac. cn

* T. Mock@uea. ac. uk

* lcl@scsio. ac. cn

冷泉碳酸盐岩的形成是甲烷流体、海水化学与微生物群落化学合成活动协同作用的结果,这类地质构造构成了深海底重

要的生物多样性热点。然而,作为主要能量来源的甲烷通量变化会引发显著的生境演替。尽管这种生境演替导致的冷泉碳酸盐岩空间异质性现象具有重要科学意义,但目前对于微生物群落及其代谢功能在其中所起作用的认知仍存在明显不足。本研究通过整合基于遥控潜水器 (ROV) 的原位观测、X 射线显微结构分析、宏基因组测序、实时定量 PCR 以及¹³C-CH₄稳定同位素标记实验等多学科方法,揭示了深海冷泉碳酸盐岩的空间分异主要受控于甲烷通量变化,且这种变化与碳酸盐岩的结构特征及微生物间代谢互作密切相关。研究结果表明,微生物群落的多样性及其代谢活性通过调控甲烷氧化过程,显著影响着冷泉碳酸盐岩的空间异质性格局。本研究为微生物群落驱动的生物地球化学反馈机制在冷泉碳酸盐岩空间异质性形成中的关键作用提供了直接证据。

S62-O-6

初古菌门生境转换的基因组 适应策略

宿蕾¹, Andreas P. Teske², Ian P. G.
Marshall³, 曾子超⁴, 王寅炤⁴, Kurt. O.
Konhauser⁵, 李玉浩⁵, 侯圣伟⁶, 李江涛^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 北卡罗来纳大学教堂山分校, 地球、海洋与环境
科学学院

3 奥胡斯大学, 微生物中心

4 上海交通大学, 生命科学与生物技术学院微生物
代谢国家重点实验室

5 阿尔伯塔大学, 地球科学学院

6 南方科技大学, 海洋科学与工程学院

* jtli@tongji. edu. cn

初古菌门 (Korarchaeota) 是古菌域中一类古老且长期被忽视的谱系,其生理特性与演化历史因自然环境中极低的丰度而鲜为人知,且其生态演化机制与地球早期环境的关系尚不明确。本研究基于 101 个

宏基因组组装基因组 (MAGs) (含 18 个新报道基因组) 的系统发育分析, 揭示了该类群在海洋与陆地热环境间的两次重大生境转换及其适应性策略。通过比较基因组学方法, 我们重构了初古菌门的代谢功能图谱, 发现其基因组内容变化与海-陆生境过渡密切相关, 具体表现为对营养资源、能量代谢途径、渗透压梯度、温度波动、氧气敏感性、重金属耐受性及抗病毒机制等理化条件的特异性适应, 彰显了其基因组可塑性对环境选择的响应能力。研究进一步鉴定出 11 个系统发育类群, 其中 Marine-II、III、VI、VII 和 IX 为代谢特征未知的新谱系。分子定年结果显示, 初古菌门起源于约 28.4 亿年前 (Ga), 并于 2.42、1.52 和 1.29 Ga 经历三次关键多样化事件, 与大陆增生加速、大氧化事件 (GOE) 及超大陆旋回 (形成与裂解) 等重大地质事件高度同步。这些发现表明, 初古菌门的演化轨迹与地球表层环境变迁存在深层耦合。本工作首次系统解析了初古菌门的生态适应与地球环境演化的协同关系, 为理解微生物如何通过基因组创新响应地质历史剧变提供了新范式, 同时架起了微生物进化生物学与古环境研究的桥梁, 对探索生命-环境共进化机制及极端环境微生物适应性策略具有重要启示。

S62-O-7

探骊得珠：神龙毛皮贝“龙珠”细胞器在深海冷泉缺氧环境的化能共生演化解析

孙进^{1*}

1 中国海洋大学, 海洋生物多样性与进化研究所
* jin_sun@ouc.edu.cn

本研究报道了在南海冷泉沉积物中发现的巨型尾腔纲软体动物神龙毛皮贝中一种新型化能共生细胞器——“龙珠” (dracosphaera)。该物种栖息于缺氧沉积物

深层 (>40 cm), 其退化的消化腺演化为高度复杂的网状共生器官。通过三维显微重建、荧光原位杂交 (FISH)、空间转录组学和基因组学分析, 发现龙珠体是由多层膜 (12 μm) 包裹的球形结构, 内含严格厌氧的硫氧化细菌, 每个真核细胞可容纳超过 1600 个共生菌。龙珠体的多膜结构显著抑制氧气扩散, 使宿主在缺氧环境中优先利用氧气, 而共生菌通过硝酸盐还原途径维持代谢。基因组证据显示共生菌基因组高度缩减 (1.14 Mb), 依赖宿主补充甲硫氨酸和酪氨酸合成途径。空间代谢组学进一步揭示消化腺内鞘脂类 (如半乳糖基神经酰胺) 的富集, 暗示其膜结构与神经髓鞘的进化趋同。这一发现首次揭示了动物界专用于化能合成的细胞器, 为极端环境下宿主-微生物协同适应机制及细胞器起源研究提供了新范式。

S62-O-8

突破古菌难培养瓶颈, 获得其参与碳循环过程新认识

余甜甜^{1*}

1 上海交通大学, 海洋学院
* yutiantian@sjtu.edu.cn

以古菌为代表的原核生物在全球元素循环及气候变化中扮演着关键角色。然而, 由于古菌代谢缓慢、培养条件苛刻, 导致绝大多数类群尚未被成功纯化培养, 甚至无法进行有效的富集和生长, 这使得对其生理生化特性及生态功能的研究面临挑战。该研究通过摸索古菌培养方法, 结合同位素喂养和多组学数据, 获得了以下突破和发现: ①解析了海洋沉积物中优势深古菌推动黑暗碳循环的新机制, 首次发现海洋沉积物中古菌在陆源有机质 (木质素) 的矿化过程中发挥重要作用; ②系统阐述了近岸沉积环境产甲烷带中的碳循环过程, 并揭示了多种未培养细菌和古菌的生态功能; ③发现了古菌和古菌互作降解烷烃产

甲烷的新代谢模式，为理解复杂环境中烷烃降解和甲烷生成的微生物机制提供了新的视角。上述研究工作不仅拓展了我们对古菌代谢多样性的理解，还为揭示全球碳循环中微生物驱动的关键过程提供了新的科学依据。

S62-O-9

深海热液微生物驱动元素循环和智能计算微生物

周之超^{1*}

1 深圳大学，高等研究院
* zczhou2017@szu.edu.cn

深海热液系统有着独特的能量来源和元素循环背景。理解深海热液微生物驱动元素循环机制对深化生命与环境相互作用与协同演化的认识有着重要的科学意义。热液微生物个体的生态功能现阶段已经有了初步认识，但对于群落水平代谢模式以及代谢新途径和新类群仍然所知甚少。研究聚焦热液系统中细菌、古菌和病毒群落驱动碳、硫循环过程和环境适应机制，发现了 γ -变形菌氧化热液甲硫醇的新途径，揭示了热液沉积物古菌的“混合营养-功能冗余-代谢传递”碳代谢模式；结合宏基因组和地化热力学阐明了热液羽流微生物驱动硫氧化为主导的适应机制，率先估算了噬菌体驱动羽流硫氧化的能量贡献（320 J/kg 热液流体，总占比 8%）并率先构建了全球噬菌体驱动硫代谢图景。同时，微生物组学与病毒组学的快速发展，推动了对大规模基因组数据处理与分析工具的需求升级。这些创新方法正在揭示生态过程的机制本质——从代谢通量动态变化到元素循环中病毒-宿主互作的内在规律。相关研究发现为深入理解微生物驱动的碳硫循环关键过程及其环境效应、热液环境适应机制提供了新的理论框架，为深入理解热液微生物的生态功能提供科学依据。

S62-O-10

冷泉生物群落的演替与底栖软体动物适应性

陈煜¹，刘雅莉²，李洁^{2*}，张偲^{1,2*}

1 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）
2 中国科学院南海海洋研究所
* lijietaren@scsio.ac.cn
* zhsimd@scsio.ac.cn

冷泉生物群落演替可能受到底栖生物环境适应性和胁迫耐受特征的影响，一直以来都是深海生态研究的热点。目前基于生物分布特征及生活史推演提出的单一顺序演替模型与观测结果存在偏差。我们以海马冷泉为代表，综合原位观测、年代学及地球化学数据，旨在解析冷泉生物群落演替过程及其调控机制。¹⁴C 年代测定及地球化学证据显示，冷泉生物群落的出现顺序不固定，且特定生物群落可耐受的甲烷通量及甲烷溢出通量存在明显差异。除此以外，底质条件也是驱动生物群落演替的重要因素之一。以贻贝、拟蛾螺等为代表的底栖软体动物，是海马冷泉区生物群落的核心类群。通过比较基因组学研究，我们发现在共生依赖的贻贝中，与细菌成分降解（如 b4GalTs）相关的基因家族显著扩增，而捕食型的拟蛾螺则在食欲调节（如 ox2r）和消化系统（如 sult1 和 chst）相关的基因家族中存在显著扩增，表明冷泉底栖软体动物在能量获取和管理策略上存在特异性进化。在面对甲烷通量巨变的情况下，共生依赖的贻贝具有稳定的物质能量来源（其共生菌群），其通过转录水平调控，上调代谢率，以抵抗逆境；而捕食型的拟蛾螺则下调代谢率，以应对环境巨变带来的捕食压力。我们的研究为冷泉生物群落演替过程与调控机制提供了新的认知。

S62-O-11

渤海沉积物中的微生物多样性及潜在的硫氧化过程

陈志怡^{1,2}, 荀鲁盈^{1,3}, 夏永振^{1*}, 宫先哲^{2,4,5*}

1 山东大学, 微生物技术研究院

2 山东大学, 海洋研究院

3 华盛顿州立大学, 分子生物科学学院

4 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

5 德克萨斯大学奥斯汀分校, 海洋科学研究所

* xiayongzhen2002@sdu.edu.cn

* xianzhe.gong@gmail.com

近海沉积物中的微生物丰富且高度多样化, 并通过代谢活动参与沉积物中的生物地球化学循环。在海洋沉积物中, 硫酸盐是用于有机物氧化的主要最终电子受体, 所产生的硫化物通常在上层沉积物中被重新氧化成硫酸盐。然而, 参与硫氧化过程的主要微生物种类、代谢途径和酶尚不明确。在本研究中, 我们借助宏基因组学、宏转录组学、沉积物样本中无机硫含量的检测以及富集培养实验, 来探究渤海沉积物中微生物多样性以及硫化物的氧化机制。结果发现相较于水平分布, 垂直分布的沉积物中微生物的多样性变化更大, 随深度增加而不断减小。变形菌是渤海沉积物中的主要优势菌群, 但深层沉积物中其占比减少, 出现更多稀有门类, 多数门类编码了丰富的硫氧化基因。渤海沉积物中普遍的硫氧化途径为硫化物先转化为零价硫、亚硫酸盐, 最终生成硫酸盐。编码硫化物氧化(*sqr* 和 *fccAB*)、零价硫氧化(*pdo*、*rdsrAB* 和 *hdrABC*)以及亚硫酸盐氧化(*aprAB/sat*)的基因含量丰富, 尤其是表层沉积物, 并在添加硫化钠(NaHS)后表达上调。硫代硫酸盐氧化基因丰度较低, 且氧化速率缓慢说明硫代硫酸盐并非渤海沉积物硫氧化过程的主要代谢中间产物。硫氧化菌以变形菌为主导且主要是异养微生物。已知的化能自养型硫氧化微生物在此并无分布。本研究的发现揭示了渤海沉积物中硫的氧化机制。众多异养原核微生

物广泛参与硫氧化, 确保了表层沉积物中硫化物被高效地氧化。

S62-O-12

深海原位与多组学技术联合解析动物-微生物共生互作

王昊¹, 钟兆山¹, 张垲¹, 连超¹, 曹磊¹, 陈浩¹, 周丽¹, 王敏晓^{1*}, 李超伦^{1*}

1 中国科学院海洋研究所, 深海中心

* wangminxiao@qdio.ac.cn

* lcl@qdio.ac.cn

深海共生动物在其特化的共生组织中与化能合成微生物建立了独特而稳定的细胞内共生关系, 使其能够在冷泉、热液等深海化能生态系统中生存并占据关键生态位。宿主动物通过特异的生理机制将甲烷、硫化氢、氧气和二氧化碳等气体高效运输至共生菌所处的微环境中, 共生菌则利用这些还原性气体的化学能合成有机物, 为宿主提供营养支持。这种“以菌养主”的共生模式结构简单、适应力强、效率极高, 展现出深海生命在极端环境下的独特适应策略。然而, 宿主与共生菌之间精细的互作关系及其调控机制仍未被完全阐明。本研究通过自主研发并集成深海原位快速固定、单细胞转录组测序、多重荧光原位杂交、超微结构成像、全组织成像等多种技术, 建立了一套系统化研究深海化能共生动物与微生物互作的技术路径。以典型的共生动物类群——管虫和贻贝为研究对象, 我们揭示了宿主动物如何在组织和细胞内构建局部“微环境”, 并通过调控分子通路和共生菌代谢功能协同, 实现互利共生。这些结果为理解深海动物的共生机制及其对极端环境的适应提供了新的视角, 也为化能生态系统中动物-微生物互作的研究提供了技术基础和研究框架。

S62-O-13

热液环境中的病毒

张锐^{1*}, 王龙¹, 王寅炤^{2*}

1 深圳大学, 高等研究院

2 上海交通大学, 生命科学与技术学院

* ruizhang@szu.edu.cn

* wyz@sjtu.edu.cn

海底热液生态系统是以高温、极端 pH 值和剧烈氧化还原梯度为特征的极端环境。这些生态系统孕育了独特多样的微生物群落, 这些微生物通过一系列策略适应热液极端条件, 但热液生态系统中病毒群落结构及其环境响应机制的研究仍相对有限。本研究分析了全球热液系统超过 580 个宏基因组和宏转录组数据集, 鉴定出 47,547 个病毒操作分类单元 (vOTUs)。研究揭示了包括嗜热及超嗜热病毒在内的病毒多样性, 其中多数为新发现病毒, 展现出基因组高 GC 含量、高突变率、溶原性感染和胁迫响应基因编码等显著的极端环境适应特征。病毒通过编码参与蛋白质重折叠、DNA 修复和氧化应激缓解的辅助代谢基因 (AMGs), 增强宿主在极端条件下的生存能力。值得注意的是, 嗜热和超嗜热有尾病毒对高温表现出独特的响应机制。研究阐明了塑造病毒群落的环境压力及其适应策略, 揭示了不同热液喷口间病毒的连通性以及病毒向全球各生态系统的扩散规律。这些发现为理解热液系统病毒的生态与进化作用提供了新视角, 凸显了病毒在维系极端环境生命系统韧性与多样性中的重要作用。此外, 病毒编码的耐热酶的发现为生物技术和分子生物学领域提供了潜在应用价值。

S62-O-14

V-score 和 VL-score 对病毒蛋白家族特征的揭示

周昆¹, Karthik Anantharaman^{2*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 University of Wisconsin - Madison,

Department of Bacteriology

* karthik@bact.wisc.edu

深海无脊椎动物通过与微生物形成共生关系, 进化出独特的共生生物群以适应深海极端环境。近几十年来, 对共生微生物的研究推动了多种功能的发现, 拓展了我们对共生生物群的理解。然而, 我们对共生非细胞微生物 (病毒) 的了解仍然十分有限, 限制了对海底共生生物群的全面认识。宏基因组学已成为分析共生微生物的重要方法。传统上, 病毒特有基因及一些标记性基因 (如外壳蛋白基因) 被视为病毒基因组的关键特征, 然而这些基因仅占病毒基因组的一小部分。由于宏基因组片段通常不包含标记性基因, 传统的基因识别和分类方法变得困难, 致使许多病毒基因组未能被识别, 导致信息损失。这促使学界越来越认识到克服这一局限性的必要性。注释病毒基因并预测其功能能够为理解病毒序列和蛋白质家族提供重要线索。我们认为, 通过对破碎的病毒基因组进行功能注释的分析, 可以创新性地产生新的病毒标记。我们提出了 V-scores 和 VL-scores 的概念, 作为定量指标, 用于区分病毒与非病毒的蛋白质家族和基因组。研究表明, 这些指标能有效识别深海无脊椎动物共生病毒基因组、前噬菌体及微生物宿主来源的辅助代谢基因, 并显著改善基因组的分箱 (genome bin) 效率。V-scores 和 VL-scores 作为指标可用于检测宏基因组中病毒基因信号, 支持与病毒基因组学、生态学及进化相关的多项研究, 提高对海底共生生物群中共生病毒的生态学认识。

S62-O-15

海底热液硫化物烟囱体相关微生物的多样性研究

骈泽宇¹, 周昆¹, 宿蕾¹, 祁文龙¹, 张燕¹, 李江涛^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* jtli@tongji.edu.cn

深海热液生态系统颠覆了“万物生长靠太阳”的传统认知, 为地球生命极限和深海生物圈研究开辟了新维度。然而, 该系统中微生物多样性特征及病毒-宿主互作机制仍存在显著认知空白。本研究基于公共数据库与自主采集的 47 个热液硫化物烟囱体样本, 对自主采集的 18 个热液硫化物烟囱体样本(涵盖不同活跃程度与矿物组成梯度)分别进行古菌和细菌 16S rRNA 基因扩增子测序, 质检后获得 2,266,930 条序列, 共计 4,472 个古菌 ASVs 和 8,690 个细菌 ASVs, 系统解析了原核生物和病毒群落在热液烟囱体中的生态分布和生态功能。宏基因组分析共鉴定 41,792 条病毒序列, 构建 27,461 组病毒-原核生物互作网络, 揭示以下特征: 研究显示, Uroviricota 门噬菌体与变形菌门细菌形成主要互作关系, 病毒-宿主网络呈现多重感染特性——单个病毒可同时侵染细菌和古菌, 甚至突破门类界限感染不同微生物类群, 表明深海病毒具有广泛宿主范围。基因组功能注释发现, 病毒携带 1,746 个辅助代谢基因(AMGs), 涉及硫氧化代谢等关键通路; 同时检测到 78 个病毒编码的限制-修饰系统(RM)基因, 而宿主则通过 1,763 个 RM 基因和 2,259 个 CRISPR-Cas 基因构建防御屏障, 揭示双方存在持续分子博弈。该研究在热液烟囱体环境中证实病毒通过广谱宿主侵染能力和代谢基因交流深度介入微生物活动, 其介导的基因水平转移与宿主防御系统的动态平衡, 可能对热液区硫-碳-金属元素循环产生级联调控效应。这些发现为理解极端环境微生物-病毒互作关系和共进化提供了新的理论框架。

S62-O-16

混养型硫酸盐还原菌是沿海沉积物黑暗碳固定的关键驱动者

胡海宁^{1,2,3,4}, 余甜甜^{1,2,3,4}, 侯佳林^{1,2,3,4}, 王风平^{1,2,3,4*}

1 上海交通大学, 自然资源部海底科学重点实验室

2 上海交通大学, 极地生态与气候变化教育部重点实验室

3 上海交通大学, 上海市极地生命过程与环境重点实验室

4 上海交通大学, 海洋学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

硫酸盐还原菌(sulfate-reducing bacteria, SRB)是海洋沉积物有机碳矿化的主导者, 驱动超过 60% 的有机碳降解过程。除了有机碳降解, SRB 中的少数类群在实验室条件下被证实具备自养碳固定能力。然而, 作为海洋(特别是沿海)沉积物中的主要微生物类群之一, SRB 是否在原位环境中真正参与黑暗碳固定(dark carbon fixation, DCF)过程及其采用的机制仍不明确。本研究结合多种分子生物学技术系统探究了沿海(近岸浅海与深海大陆架)厌氧沉积物中的主要 CO₂ 固定微生物类群。DNA 稳定同位素探针(stable isotope probing of DNA, DNA-SIP)和 16S rRNA 基因分析的结果显示, 在仅补充原位浓度硫酸盐、无外源电子供体的条件下, 隶属于 *Desulfobacterota* 门的 SRB 类群在两类沉积物中均被显著富集, 并成为主要的 CO₂ 固定类群。这些 SRB 的生长和 CO₂ 固定活动在添加难降解木质素的条件下依然活跃, 但在缺乏硫酸盐的条件下显著受限。宏基因组与代谢组学分析进一步揭示, 这些 SRB 普遍具备混合营养能力: 既能以硫酸盐为电子受体, 氧化利用 H₂、挥发性脂肪酸和木质素来源芳香族化合物, 也能通过 Wood-Ljungdahl 途径和/或还原甘氨酸途径同化 CO₂。本研究拓展了对海洋沉积物中 SRB 生态功能的认知, 揭示 SRB 通过混合营养策略在 DCF 中扮演的潜在关键作用,

修正了 SRB 仅作为有机质矿化者的传统认识。

S62-O-17

北冰洋加克洋中脊爆炸式火山区 85°E 热液羽流中高丰度的异养菌

余娟^{1,2}, 王叶剑^{1,2*}, 韩喜球^{1,2*}, 王涵林², 张涛², 丁巍伟², 杨驰², 方银霞², 李家彪²

1 浙江大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* yjwang@sio.org.cn

* xqhan@sio.org.cn

冰下热液系统为研究极端环境微生物适应性提供了关键见解, 然而, 爆炸式火山活动对这些生态系统造成的生态影响仍不明确。我们利用“Xuelong 2”破冰船, 在超慢速加克洋脊东部火山带 (85°E) 成功探测到热液活动和爆炸式火山事件的证据。通过系统采集空间热液羽流、表层沉积物和火山玻璃样品, 对微生物群落的多样性进行了研究。研究结果揭示了热液羽流主要由两类微生物主导: (1) 在全球玄武岩型热液系统中广泛分布的化能自养菌 (*Sulfurimonas* 和 *SUP05_cluster*), 它们可能通过 CBB 和 rTCA 循环参与碳固定;

(2) *Alcanivorax* (相对丰度高达 82.5%), 该细菌以降解烃类物质而闻名。沉积物剖面显示, *Alcanivorax* 的丰度随深度递减, 且与 TOC 含量呈显著正相关 ($r=0.75$, $p<0.05$)。此外, *Alcanivorax*-MAGs 表明其具有降解多种有机碳的潜力, 尤其是碳氢化合物的分解。值得注意的是, 这一微生物群落组成模式与溢流式火山带 (Aurora 和 Polaris 热液区) 的热液羽流形成鲜明对比, 后者未检测到 *Alcanivorax*。我们推测, 85°E 热液羽流中 *Alcanivorax* 的显著富集与爆炸式火山活动引起的剧烈扰动有关。这

种机制可能加速了与稳定热液生态系统相比的微生物介导的碳循环速率。

S62-O-18

南海冷泉活动区甲烷通量差异下的关键元素循环与金属同位素示踪

贺治伟¹, 张智超¹, 王虎¹, 李季伟², 李江涛^{1*}

1 同济大学

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* jtli@tongji.edu.cn

冷泉系统中甲烷通量的空间差异是主导海底沉积物生物地球化学演化及元素行为的关键。本研究选取南海海马冷泉不同活动强度站位, 通过分析沉积物固体组分以及孔隙水金属元素与同位素地球化学特征, 旨在揭示甲烷通量梯度对关键成岩环境的塑造作用及其对不同微量元素富集机制的系统性控制规律。研究表明, 甲烷通量增强显著改变了硫酸盐-甲烷过渡带 (SMTZ) 的深度与甲烷厌氧氧化 (AOM) 的强度, 并与铁组分共同证实了沉积环境从背景区的氧化-次氧化向活跃区的强还原-硫化状态的梯度演变。这一环境梯度进而制约了微量元素的富集路径: 背景区的氧化还原敏感元素钼 (Mo) 主要受表层锰氧化物吸附控制。过渡区在甲烷渗漏影响下, SMTZ 内硫化物的形成开始主导 Mo 及亲硫元素镉 (Cd) 的固定。至高甲烷通量活跃区, Mo 的富集机制转变为独特的“颗粒 (Mn) 穿梭强化供应与 SMTZ 核心带高效硫化捕获”模式; 与此同时, 该区域 Cd 的富集则与高生物量相关的有机质络合作用更为显著。而与自生重晶石相关的钡 (Ba) 则通过特征“Ba 峰”清晰标定了现代 SMTZ 界面并揭示了甲烷活动的历史动态。此外, 本研究发现全岩沉积物中 Cr/Mo 比值在甲烷强渗漏区与背景区间存在显著差异 (渗

漏区比值降低)，鉴于 Cr 与 Mo 在硫化环境及黄铁矿中不同的地球化学行为，这一发现预示着黄铁矿中的 Cr/Mo 比值有望成为识别和评估冷泉活动强度的一种新型有效指标。本研究还初步探讨了 Fe 和 Ni 同位素在示踪冷泉系统关键元素循环方面的应用前景。

S62-P-1

深海贻贝床，你中有我的深海甲烷过滤屏障

王敏晓¹，李超伦^{2*}

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院南海海洋研究所

* lcl@scsio.ac.cn

双壳纲贝类在深海化能生态系统中最为常见的优势类群之一，而与化能微生物建立的紧密共生关系是深海双壳类最典型的趋同进化特征之一，鳃是最为典型的共生特化器官。双壳纲贝类与化能共生菌形成的共生体系对于其适应深海还原性生境至关重要。我们对常见的深海化能共生双壳纲贝类与其内共生菌的互作研究进行总结，梳理“双壳纲贝类—内共生菌”共生体系的组成，结合近年来我们利用深海原位实验和显微组学分析的一系列认知，探讨共生体系的营养互作方式、共生体系的建立与维持机制，提出共生的结构基础和胆固醇在含菌细胞中的重要调控作用。此外，通过原位实验，我们发现双壳类与共生菌的特殊体系不仅极大拓展了双壳类的生境，还为他们赋予了重要的生态功能——深海固碳和甲烷封存，我们将探讨未来如何关注这些化能生态系统的建群种，开展深海生境保护监测和修复。

S62-P-2

优势未培养古菌活跃驱动陆架沉积物深部有机碳循环

梁乐文¹，侯佳林¹，李留洋²，隋维康¹，董良¹，邓龙辉¹，张琳¹，吴自军³，Orit Sivan⁴，James A. Bradley^{5,6}，王风平^{1*}

1 上海交通大学，海底科学与划界全国重点实验室；极地生态与气候变化教育部重点实验室；上海市极地生命过程与环境重点实验室；海洋学院

2 上海交通大学，生命科学与技术学院

3 同济大学，海洋地质全国重点实验室

4 Ben-Gurion University of the Negev, Department of Earth and Environmental Sciences

5 Université de Toulon, Aix Marseille Université

6 Queen Mary University of London, School of Biological and Behavioural Sciences

* fengpingw@sjtu.edu.cn

海洋沉积物中蕴藏着大量多样的微生物类群，它们在全球碳循环过程中发挥着关键作用。尽管通常认为海洋沉积物中的微生物细胞数量和有机碳的生物可利用性都随沉积深度增加而逐渐下降，而关于其在长时间尺度上能否持续参与深部碳循环以及其定量贡献仍不清楚。本研究通过分子生物学和多组学方法系统评估了东海陆架沉积物中的微生物丰度、多样性及其代谢活性在垂直空间尺度的变化规律，结果表明虽然总微生物和细菌细胞丰度在埋藏过程中逐渐下降，但是古菌群落，尤其是深古菌(Bathyarchaeia)，随沉积深度增加表现出净增长趋势，并在深部沉积物中超过细菌占据主导地位。进一步组学证据表明这些深古菌门群落普遍具有利用多种复杂有机碳化合物的代谢潜能，且其代谢活性随深度增加而逐渐升高，这很可能是其在沉积物深部成为优势微生物类群的关键原因。在此基础上，本研究通过建立数值模型模拟微生物对东海陆架沉积物中有机碳的降解过程，发现机质降解模式由表层沉积物中以细菌为主导逐渐转变为深部沉积物中以古菌为主导。值得注意的是，模拟结果显示深古菌在千年尺度的沉降过程中

参与惰性有机质降解速率逐渐升高, 最深处高达 89%, 并将其用于细胞维持和生物量合成, 这很可能是深古菌在沉积物深部保持增长成为主要微生物类群的关键策略。综上所述, 本研究证明了陆架深部沉积物中未培养优势古菌的生长状态与代谢活性, 同时定量评估了它们在生物圈与岩石圈之间碳转移效率和通量中发挥的重要功能。

S62-P-3

揭示蛇纹石化的地幔岩石微生物群落组成

解瑞泽^{1*}, 王志成¹, 侯佳林¹, William J. Brazelton², 王风平¹

1 上海交通大学, 海洋学院

2 犹他大学, 生物科学学院

* xieruize@sjtu.edu.cn

海底深部岩石生物圈为探索生命极限与起源提供了关键线索, 但由于采样手段的限制, 该领域仍存在大量未知。近期国际大洋发现计划 (IODP) 第 399 航次从亚特兰蒂斯地块获取了长达 1268 米的上地幔岩芯样本 (主体为蛇纹石化的橄榄岩), 为相关研究提供了理想材料。尽管其微生物的丰度组成、代谢潜能、生理活性及蛇纹石化过程维系生命的机制等核心科学问题亟待解答, 但受限于地幔岩石极低生物量与强 DNA 吸附特性, DNA 提取与污染控制面临重大技术挑战, 严重制约岩石生物圈的研究进程。本研究通过对 DNA 提取方案的系统优化, 结合 16S rRNA 基因扩增子与宏基因组测序技术, 特别针对低生物量样本的复杂性构建了定制化的质控去污流程。基于此, 我们成功解析了岩石-流体系统中的微生物类群 (包括弯曲菌纲、产液菌门、脱卤拟球菌纲、深古菌纲、厚古菌纲、甲烷八叠球菌纲及硝化古菌纲等), 其系统发育特征显著区别于海水与沉积物环境中的常见类群。这些潜在的原位微生物可能通过调控地幔岩-成岩流体间的碳氮

硫循环发挥关键生态功能。研究结果表明, 在高温、富氢、强碱的极端条件下, 地幔岩石中可能存在复杂的代谢网络, 充分展现了微生物在深部极端环境中的适应策略。本研究不仅深化了对深部生物圈生命极限的认知, 更有可能为生命起源研究和地外生命探测提供了新视角。

S62-P-4S

不同发育阶段冷泉沉积物—水体界面溶解有机碳的传输及微生物响应机制

王延伟¹, Weikang Sui¹, JiaLin Hou¹, Ningyuan Lu¹, Jingtian Luo¹, Zian Tong¹, Zhenwei Yan², Yuanbi Yi², Ding He², Longhui Deng¹, Fengping Wang^{1*}

1 Shanghai Jiao Tong University, School of Oceanography

2 The Hong Kong University of Science and Technology, Department of Ocean Science and Center for Ocean Research in Hong Kong and Macau

* fengpingw@sjtu.edu.cn

The continuous and intense exchange of materials between cold seep sediments and overlying water, driven by methane emissions, results in substantial DOC fluxes across the sediment-water interface. This process may have the potential to alter the strategies employed by water column microorganisms in organic carbon cycling. However, systematic comparative studies on the differences in organic matter composition and properties across different developmental stages of cold seeps remain scarce. This study collected samples of porewater, overlying water, and bottom water from three distinct cold seep environments: nascent, mature, and waning stages. By calculating DOC fluxes at the sediment-water interface and employing

spectroscopic and mass spectrometric methods, we aim to capture vertical variations in the composition and properties of DOM. Additionally, metagenomic techniques will be utilized to analyze microbial carbon cycling mechanisms.

S62-P-5

全球海床下生态系统与可持续性

王风平^{1,2*}, 王景^{1,3}, 邓龙辉^{1,2}, 董良^{1,2},
王寅炤^{1,3}, 余甜甜^{1,2}, 张曼萍^{1,3}

1 深部生命国际研究中心

2 上海交通大学 海洋学院

3 上海交通大学 生命科学与技术学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

全球海床下蕴含了地球上最大的有机碳储库,也是上层水圈中快速碳循环与深层岩石圈中长期碳封存之间的界面。海床下生态系统包含栖息于海洋沉积物、洋壳及伴生流体中的所有生命。这一被称为“深部生物圈”的生态系统,其能量主要来源于与阳光隔绝的黑暗地质-地球化学过程。当前人类对海底地下生命的认知仍十分有限,在生物多样性、群落结构、功能机制及其潜在社会服务价值等方面存在显著知识空白。为填补这一知识鸿沟,我们发起“海洋十年”大科学计划(Ocean Decade Program):全球海床下生态系统与可持续性(Global Subseafloor Ecosystem and Sustainability, GSES),旨在系统解析海床下生态系统组成、结构、功能,构建健康评估和预测模型,显著提升对全球海床下生态系统的科学认知、保护与可持续管理能力。通过全球合作、能力建设以及具有包容性的协作模式,GSES致力于开发国际标准、新型研究平台和工具以及生态指标,以促进海床下环境的勘探、开发、监测和管理,洞察海洋沉积物和地壳中的微生物生命,量化其地球元素循环贡献,并理解

它们在全球碳循环和生态系统可持续性中的作用。GSES项目将为海洋的科学研究和治理、气候变化等问题提供思路,并与其他“海洋十年”项目,特别是中国科学家主导的项目如“Digital Depth”,“Global ONCE”等建立紧密合作伙伴关系,展现中国和中国科学家在推动全球海洋科学核心问题解决方面的积极作用和重要贡献。

S62-P-6S

基于铁锰结壳记录的北太平洋古生产力、磷循环与深层水环流耦合演化

初勇志^{1,2}, 李小虎^{1,2*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学实验室

* xhli@sio.org.cn

重建过去的海洋生物生产力及其与海洋环流和气候变化之间的关系,对于理解地球气候系统至关重要。高生产力事件会在铁锰结壳中引发化学和矿物学变化,因此铁锰结壳常被用作重建古海洋碳循环的重要档案。然而,关于北太平洋地区过去出口生产力的变化及其与磷(P)循环和海洋环流之间关系的认识仍较为有限。本研究报告了来自北太平洋的一个铁锰结壳样品(CXD31)中,生物活性元素组成及其Ba/Mn比值的时间序列变化。

该结壳的年代模型综合了磁扫描、铍同位素和钴通量的分析结果,显示其生长速率为 3.3 ± 1.8 mm/Myr。Ba/Mn比值的时空变化与该结壳自距今约2300万年以来沿西北方向漂移路径上的古生产力变化相一致。研究表明,古生产力主要受局部营养循环控制,Ba、Cu、Ni和Zn的浓度与底栖有孔虫的碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)呈显著相关关系。在高生产力时段,Ba/Mn比值和磷浓度达到峰值,我们将其归因于海洋环流的

变化（约发生在 22.5 Ma、16–12 Ma 和 2.7 Ma）。

具体而言，我们提出，这些高生产力和磷富集事件部分由北太平洋深层水（NPDW）形成的终止所驱动，随后南极底层水（AABW）供氧能力增强。同时，南极中层水（AAIW）的加强以及风尘输入的增加也在高生产力时期进一步促进了营养物质的供应。这些结果表明，古海洋生产力、磷和钡的生物地球化学循环与海洋环流之间存在密切耦合关系。

S62-P-7S

南大洋未培养微生物次级代谢产物生物合成潜力及生态功能

熊艺轩¹，侯佳林¹，王风平^{1, 2, 3, 4*}

1 上海交通大学，海洋学院

2 上海交通大学，海底科学与划界全国重点实验室

3 上海交通大学，极地生态与气候变化教育部重点实验室

4 上海交通大学，上海市极地生命过程与环境重点实验室

* fengpingw@sjtu.edu.cn

南大洋，特别是环南极海域具有低温、高辐射、冰冻等极端环境特征，其中蕴藏着丰富的微生物资源，是挖掘新型天然活性产物的重要宝库。目前关于南极次级代谢产物的研究主要集中在冰漠、土壤等陆地环境中，而对于南大洋水体环境中微生物次级代谢产物的挖掘及其在极地生态系统中发挥的生态功能则缺乏深入研究。本研究通过对环南极海域采集到的 256 个样本进行宏基因组学测序和分析，对其中未培养微生物宏基因组拼接基因组 (Metagenome-assembled genome, MAG) 中的次级代谢产物生物合成基因簇 (biosynthetic gene clusters, BGC) 进行鉴定分类，结果显示南大洋未培养微生物具有多样且新颖的次级代谢产物生物合成潜力。通过分析特

定 BGCs 的环境分布差异并结合其主要编码微生物类群的相对丰度信息，研究进一步揭示了次级代谢产物在协助南大洋微生物适应极端环境的潜在生态功能。此外，本研究还在南大洋微生物中发现了一类广泛分布的新颖 RiPPs 家族合成基因簇，其代谢产物很可能具有痕量金属螯合功能，推测对于微生物适应南大洋缺铁环境具有重要生态意义。本研究首次系统地调查了环南极海域微生物的次级代谢产物合成潜力和生态功能，不仅为后续深入挖掘南大洋高价值天然活性产物提供了理论基础，同时也增进了我们对于极地微生物极端环境适应机制的认识。

S62-P-8S

深海微生物对典型卤代有机物的降解通路研究

徐之澳¹，刘如龙^{1*}

1 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院

* rlliu@shou.edu.cn

深海覆盖了地球表面的一半以上，在生物地球化学循环中起着重要作用，是生物多样性的主要储存库。卤代有机物是一类在海洋中富集的难降解有机物，在深海和深渊环境中普遍存在。已有的研究发现降解卤代有机物的脱卤微生物和脱卤代谢途径广泛分布于深海环境，尤其是在深渊微生物的基因组中含有大量可降解卤代有机物的基因，这表明卤代有机物的代谢是深海碳循环重要的组成部分。课题组前期研究已经验证了深渊微生物对卤代有机物的降解具有较高的活性，并且发现马里亚纳海沟沉积物中绿弯菌 (Chloroflexi) 拥有几乎完整的降解多氯联苯和有机氯化物的代谢通路。但深渊环境的生物地球化学特征相对特殊，对于面积更为广大的普通深海区域微生物的卤素循环并不明确。本研究通过采集太平洋海区的普通深海沉积物（3200 米水深），选取两种代表性卤代有

有机物 4-氯联苯(4-PCB)和 γ -六氯环己烷(γ -HCH)作为底物, 构建沉积物共培养体系模拟深海环境进行培养, 以检测培养体系中普通深海微生物降解卤代有机物的活性和机制, 探究降解过程中功能菌群的演替过程, 并与已获得的深渊环境中的数据进行对比, 分析存在的差异。并且使用 GC/MS 对培养体系中的降解中间产物进行检测, 同分子生物学分析进行印证, 为降解通路的推测提供证据。除此之外, 对共培养体系中可培养微生物进行分离培养, 并以添加的代表性卤代有机物作为唯一碳源, 进行单菌落降解实验, 检测该菌种对代表性卤代有机物的降解效率, 同时检测中间代谢产物, 构建代谢通路。

S62-P-9

深海热液区 CO 氧化菌多样性、分布特征及关键类群代谢功能研究

王莎莎¹, 程若琳¹, 邵宗泽¹, 姜丽晶^{1*}

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋生物遗传资源重点实验室

* jianglijing@tio.org.cn

深海热液喷口是地球上最极端的生境之一, 其生产力主要依赖于化能自养微生物, 而非传统的光合作用。这些微生物通过氧化还原反应(如硫、氢、甲烷、铁或氨的氧化)获取能量以固定 CO₂。一氧化碳(CO)可通过有机质热解(非生物过程)或微生物代谢(生物过程)产生, 其浓度在热液流体中可比周围海水高 6-8 个数量级, 表明 CO 可能是热液微生物的关键能源之一。然而, 介导 CO 代谢的微生物多样性、分布规律、代谢潜能及其生态功能仍不清楚。本研究分析了全球 11 个热液喷口的 51 个宏基因组及 5 个宏转录组的 CO 氧化菌多样性。结果表明, 热液区羽流等水体存在着系统发育多样的 CO 氧化酶, 包括 Form I、

Form II CoxL、以及厌氧 CooS。空间分布显示羽流/海水以好氧的 Form I/II CODH 为主、沉积物以厌氧的 CooS 为主。系统发育表明 Form I/II CoxL 进化分支独立, 优势类群包括 α -变形菌(SAR11)、 δ -变形菌(SAR324)等, 其中 SAR324 和 SAR406 兼具 Form I/II 型基因。进一步对来自该生境的 848 个宏基因组组装基因组(MAG)和 1000 个单细胞基因组(SAG)的分析, 发现未培养微生物如 SAR11, SAR406 及 SAR324 是热液羽流中 CO 氧化最优势的类群, 且具有原位活性。SAR11 可能仅以 CO 为能源, SAR324 和 SAR406 可能兼用 CO 作为碳源/能源, 适应不同 CO 浓度环境。同时, CO 氧化过程与反硝化、硫氧化、碳固定等代谢途径紧密耦合, 推动热液区的碳氮硫协同循环。此外, 基于可培养方法从不同热液区分离获得多种化能自养 CO 氧化菌, 如 *Thalassospira*, *Aquipuribacter*, *Mesobacillus* 等, 菌株均可以利用 CO 作为能源, 化能自养生长, 且能耐受高达 30% 的 CO 浓度。表明热液微生物除了利用已知的氢气, 还原性硫化物, 铵, 或金属元素作为能源外, 也可以氧化 CO, 化能自养生长, 形成热液生态系统的初级生产力。综上, 本研究系统揭示了 CO 作为热液微生物“隐形能源”的关键作用, 为理解深海物质循环与生命极限提供了新视角。

S62-P-10S

一株分离自东海海域洋山港口碳钢原位富集的嗜中性微需氧铁氧化菌 *Ghiorsea aestus*

张燕¹, 沈玥¹, Roman A. Barco², 张智超¹, 李江涛^{1*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 University of Southern

California, Department of Earth Sciences

暴露在海水中的钢结构设施容易受到微生物的迅速大量附着和生物腐蚀的影响。先前研究表明,嗜中性微需氧铁氧化细菌(FeOB)在这一过程中起着重要作用。为了进一步研究 FeOB 在钢材腐蚀中的机制,并获得新的纯培养 FeOB 菌株,我们在中国东海海域洋山港港口进行了钢板现场富集培养实验。结果表明,钢板在海水中迅速被腐蚀,并最终从腐蚀钢板中分离出一种 FeOB 菌株,即 Zetaproteobacteria。本研究聚焦于一种新型微嗜氧 FeOB 菌株 YSG-2 的分离。文章详细描述了该菌株的分离、培养、特性表征以及基因组信息。在富集培养过程中采用了琼脂梯度管培养法。16S 和基因组结果显示,该菌株属于 Ghiorsea 属。通过对菌株 YSG-2 及其相似菌株的系统发育分析和 DDH 分析,包括 *Ghiorsea bivora*_TAG-1 和 *Mariprofundus aestuarius*_CP-5 的基因组比对,确认 YSG-2 构成了 *Ghiorsea* 属的一个新种,因此命名为 *Ghiorsea aestus*。YSG-2 是一种能够通过 1%~2% 氧气浓度下氧化 Fe 生长的 FeOB,并形成无定形的生物氧化结构,最佳生长温度为 19°C。扫描电子显微镜(SEM)和荧光显微镜观察发现,YSG-2 菌株的细胞表面被颗粒状的小型铁球包裹,细胞呈杆状,菌株形成的铁氧化结构为铁小球黏连形成的条状结构。完整的基因组分析显示,YSG-2 菌株具有同化硝酸盐还原能力,并携带羟化酶亚基基因,这可能促进其硝酸盐和氢的利用能力。YSG-2 的分离标志着海洋细菌研究的一个重要进展,这是首次从近海海水中分离并培养出 *Ghiorsea* 属的菌株。*Ghiorsea* 是 Zetaproteobacteria 新分类中的一个属。YSG-2 的培养对于揭示 *Ghiorsea* 的代谢机制和铁氧化机制具有重要意义,同时也为进一步研究海水中钢材腐蚀机制提供了重要支持。

S62-P-11S

深海热液区优势化能自养菌

Sulfurimonas hydrogeniphila

硫氧化调控机制的研究

钟阳昇¹, 王莎莎¹, 位光山¹, 姜丽晶^{1*}

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋生物遗传资源重点实验室

* jianglijing@tio.org.cn

硫单胞菌(*Sulfurimonas*)是一类严格化能自养的硫氧化细菌,广泛分布于全球各地的含硫环境中,尤其在深海热液区、海洋氧化还原梯度界面等生态位占据主导地位,在碳、硫、氮等元素循环中发挥着重要作用。硫单胞菌能够利用多种还原性无机硫化物,如 S₂O₃²⁻、S₀、HS⁻等,作为能源氧化获得能量固定 CO₂。其硫代硫酸盐氧化通常依赖 Sox 途径。Sox 途径作为硫氧化细菌高效的能量获取方式之一,在驱动硫的生物地球化学循环具有重要意义。硫单胞菌属的大多数成员具有完整的两套 Sox 多酶复合体系统,然而,关于 Sox 硫氧化系统是如何被调控的,目前仍知之甚少。本研究以分离自西北印度洋热液区高丰度代表性菌株 *Sulfurimonas hydrogeniphila* NW10 为研究对象。基因组分析在 *S. hydrogeniphila* 的 soxABXY1Z1 基因簇上游鉴定了一个新的双组分系统,命名为 SulR-SulS,随后对 SulRS 调控 sox 基因簇的分子机制进行深入的探究。1) 蛋白结构域分析显示 SulR 为 OmpR 家族的调控蛋白, SulS 为典型的跨膜传感器组氨酸激酶。SulRS 氨基酸序列相似度(< 30%)和其所在的 sox 基因簇排列方式分析表明, SulRS 不同于其他硫氧化细菌中已报道的 Sox 系统调控组分,可能是一个潜在的新型 Sox 系统调控组分。2) soxXY1Z1AB 操纵子包含 12 个基因,其中 3 个基因间区被鉴定具有启动子活性(P_x > P_z > P_y)。EMSA 和 DNA 足迹分析结果显示, SulR 蛋白可特异性结合启动子片段 P_x 和 P_y, 结合位点由 4 个间隔不同的直接重复序列组成。启动子片段 P_x

的突变实验表明, SulR 蛋白对 Px 片段上的重复序列 MX2 和 MX4 的亲合力高于其他重复序列。体外磷酸化实验显示, SulR 蛋白的磷酸化显著增强其与启动子片段 Px 的结合能力。此外, 双质粒报告系统证实硫代硫酸盐是 soxXY1Z1AB 基因簇转录表达的激活剂。值得注意的是, 研究还发现 SulRS 可调控 soxCDY2Z2 基因簇的转录表达, 并对其调控机制进行了初步探究。鉴于 sulRS-soxXY1Z1AB 基因簇同源序列在弯曲杆菌门 (Campylobacterota) 硫氧化细菌中的广泛分布, 双组分系统 SulRS 可能是该类群微生物保守的硫氧化调控机制, 在调控其硫代硫酸盐的氧化过程中发挥重要的作用。综上, 本研究为化能自养菌硫氧化代谢调控机制提供了新的认知, 为进一步解析硫单胞菌在极端环境中的适应机制奠定了理论基础。

S62-P-12S

基于单细胞成像技术揭示古菌产甲烷代谢的转录调控机制

董怡静¹, 徐恒^{1*}

¹ 上海交通大学, 自然科学学院
* Heng_Xu@sjtu.edu.cn

古菌的产甲烷代谢是一种具有重要环境意义的独特代谢方式, 对全球温室气体排放和气候变化发挥着重要影响。由于适用于古菌的定量测量手段的缺乏, 人们对这一代谢过程的调控机制知之甚少。在本工作中, 我们基于多轮杂交链式反应—单分子荧光原位杂交技术 (HCR-FISH), 开发了一种适用于古菌的单细胞、单分子定量成像方法。利用该方法, 我们以一种典型的甲基产甲烷菌——东方产甲烷球菌 (*Methanococcoides orientis*) 为例, 定量测量了产甲烷代谢通路中的 12 种关键基因的

单细胞转录动力学。我们发现上述基因的表达时序与产甲烷代谢的需求相匹配, 而一种重要的环境因子——三价铁能够改变上述基因的表达模式, 并通过非酶促的芬顿反应显著提高甲烷产率。通过对大量细胞进行单细胞聚类分析, 我们发现同一环境条件下的细胞群体中存在多个具有独特基因表达谱和时间模式的代谢亚群, 而三价铁的存在则会导致上述代谢亚群的时序重排。进一步的, 通过单细胞动力学分析和生物物理学建模, 我们揭示了产甲烷古菌的基因转录过程服从爆发动力学, 且不同基因的转录调控可能依赖几种共同的调控因子。上述发现为理解古菌产甲烷代谢的调控机制提供了关键信息, 并为研究古菌的其他重要代谢过程提供了一种通用的新方法。

S62-P-13S

西北印度洋天休热液区微生物的分布及其对不同洋壳蚀变类型的响应

吕品洁¹, 李江涛^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* jtli@tongji.edu.cn

深部地下生物圈是地球上最不为人知的前沿领域之一, 洋壳蚀变过程为其提供了大量物质和能量来源, 尽管近年来对其研究逐渐增加, 但与洋壳蚀变相关的微生物群落的生态和功能仍相对未被充分探索。西北印度洋卡尔斯伯格脊天休热液区共 3 处裸露超基性岩和 1 处硫化物为研究对象, 通过岩石矿物与地球化学特征分析, 并基于 16S rRNA 基因扩增子测序技术, 揭示不同岩石蚀变反应类型、关键成矿元素迁移转化规律影响微生物的群落组成与分布特征。JL213U 和 JL214U 岩石样品发生典型还原性蛇纹石化, JL215U 相比还叠加了氧化性伊丁石化。蚀变超基性岩和硫化物的

优势细菌为 γ -变形菌纲 (Gammaproteobacteria)、拟杆菌门 (Bacteroidota)、 α -变形菌纲 (Alphaproteobacteria) 和放线菌门 (Actinobacteria); JL215U 岩石中优势铁氧化细菌为 *Pseudoalteromonas* 和 *Leptospirillum*。功能预测发现 JL213U 和 JL214U 岩石以厌氧化能异养 (Anaerobic Chemoheterotrophy) 代谢为主, JL215U 岩石以好氧化能异养 (Aerobic Chemoheterotrophy) 代谢为主, 以及铁呼吸 (Iron Respiration)。通过对蚀变超基性岩的群落组成调查发现, 群落组成与蚀变类型和特征具有密切联系。

S62-P-14S

冷泉中氮循环的途径、速率及其与碳硫循环的潜在耦合机制

隋维康¹, 佟子安¹, 林贤彪², 邓龙辉¹, 王风平^{1*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 中国海洋大学, 化学化工学院

* fengpingw@sjtu.edu.cn

冷泉是海底深部富烃渗漏至表层海床后, 形成的以烷烃代谢为主导、多种元素循环耦合的化能合成生态系统, 是海底物质和能量循环的重要一环。前人研究大多关注已演化至成熟阶段冷泉中特定的元素循环过程, 缺乏对早期冷泉及其演化至成熟冷泉过程中多元素循环耦合动态变化的认识。本研究聚焦位于南海琼东南盆地形成前、早期和成熟阶段的冷泉生态系统, 综合运用原位地球化学参数检测、宏生物学、微生物组学和 ¹⁵N 稳定同位素标记实验等手段, 探究以氮循环为核心的碳、硫耦合机制与通量随冷泉演化的动态变化规律。

研究发现相较于成熟冷泉, 新生冷泉中存在异常强烈的真核宏生物扰动过程, 塑造了甲烷、硫酸盐、硝酸盐等关键地球

化学参数的非稳态剖面特征, 并同步提高了甲烷氧化、反硝化 (DNF)、异化硝酸盐还原成铵 (DNRA) 等过程相关的功能基因丰度。对 DNF、DNRA 和厌氧氨氧化三种硝酸盐还原途径的速率测算显示, DNRA 作用在新生冷泉中能够强烈发生, 且速率显著高于成熟冷泉; 而成熟冷泉中的反硝化速率则要高于新生冷泉。进一步基于同位素示踪模拟实验, 发现甲烷的添加均能够显著促进这三种氮循环途径的发生, 指示了冷泉沉积物中紧密的碳氮耦合过程。而硫化物的添加则对新生冷泉和成熟冷泉的 DNRA 作用产生不同影响: 在新生冷泉中硫化物会抑制 DNRA 的发生, 在成熟冷泉则表现出对 DNRA 的促进作用。结合宏基因组学分析, 我们认为冷泉发育过程中存在 DNRA 类群由异养类群向耦合硫氧化自养类群的转变。上述研究结果表明, 冷泉发育过程中存在明显的氮循环途径和速率的转变, 这与宏生物群落发育、微生物群落转变和碳氮硫代谢耦合的变化密切相关, 为冷泉演化过程中生物和地球化学过程的动态变化规律提供了新见解。此外, 基于冷泉不同演化阶段速率差异的模型估算显示, 冷泉对全球陆坡 DNRA 通量的贡献可达 80%, 首次揭示了冷泉是此前被忽略的深海 DNRA 热点区域。

S62-P-15S

西北印度洋天休热液区微生物群落结构及其代谢特征研究

计博文¹, 韩喜球², 曾湘^{1*}

1 自然资源部第三海洋研究所

2 自然资源部第二海洋研究所

* zengxiang@tio.org.cn

海底热液区作为典型的海洋极端生境, 其独特的物理化学特征为微生物生存和演化提供了特殊的环境条件。本研究以西北

印度洋 Carlsberg 脊天体热液区硫化物为研究对象, 利用载人潜器采集样品并基于矿物组分和宏基因组测序分析, 进行了微生物群落结构和代谢功能的研究。研究结果表明, 超镁铁岩为围岩且烟囱群体活动较强烈的区域 SU-A1 站点样品中的微生物优势类群为 Campylobacterota、Desulfobacterota 和 Bacteroidota, 存在参与甲烷氧化的 pmoA/B/C 基因 (Methylococcaceae 科) 和丰度更高的氢化酶基因; 玄武岩为围岩且烟囱群体活动较弱的区域 SU-A2 站点样品中的微生物优势类群为 Nitrospinota、Desulfobacterota 和 Gammaproteobacteria, 代谢以硫氧化、硫还原为主; 不活动硫化物样品 SU-Inactive 中的微生物优势类群为 Gammaproteobacteria、Nitrospinota、Alphaproteobacteria 和 Desulfobacterota, 微生物代谢存在参与甲烷还原的 mcrA/B/C 基因 (Methylococcaceae 属), 且具有更丰富的异养代谢。同时, 本研究获得 26 个高质量的属于 CPR 门的 MAGs, 其在 SU-A1、SU-A2 和 SU-Inactive 样品中相对丰度为 4.93%、2.28% 和 1.25%, 主要包括 ABY1, Gracilibacteria 和 Paceibacteria、CPR2、GCA-2792135、Microgenomatia、Saccharimonadia 和 WWE3 等 8 个纲, 均属于发酵型异养代谢, 依靠糖酵解产生能量, 但缺乏氨基酸、脂质、辅因子和核苷酸的完整生物合成途径, 推测其可能依赖于其他群落成员生存。部分 CPR 细菌具有硫氧化 sat 基因和甲烷氧化 pmo 基因, 具有独特的代谢特征。本研究揭示了天体热液区的微生物群落的结构特征其代谢与环境的矿物组成具有较大相关性, 且存在独特代谢特征的微生物类群, 丰富了对海洋热液区微生物对环境适应的认识。

S63-O-1

土壤病毒对碳循环的影响机制

徐建明^{1,2*}

1 浙江大学, 环境与资源学院

2 土壤污染防治与安全全国重点实验室

* jmxu@zju.edu.cn

病毒作为地球上数量最多的生物体, 既可以通过裂解微生物细胞影响碳循环过程, 也可以利用自身携带的辅助代谢基因改变微生物的碳代谢系统。正是由于病毒多样的生活方式, 赋予了碳循环更加纷繁复杂的转化途径。目前有关土壤病毒方面的研究还处于起步阶段, 对于土壤病毒参与的碳循环过程研究甚少, 其机制尚不明晰。基于此, 本研究通过耦合土壤病毒分离富集、稳定同位素标记等技术, 从土壤碳排放和碳固存的角度深入剖析了土壤病毒对碳循环的影响机制。该研究估算了不同生态系统中土壤病毒的裂解作用对土壤有机碳的贡献量, 其中病毒的裂解产物碳含量约占草地土壤有机碳 (SOC) 含量的 0.42%-5.37%, 约占农田土壤的 0.52%-4.37%, 在湿地土壤中最高可占 0.44%。并且, 病毒的裂解作用既可以缓解存活微生物的养分限制, 也可以促进土壤中溶解性有机质难降解组分和矿物结合态有机碳的积累, 并且该过程总是与微生物驱动的氮循环过程耦合发生。通过在不同温度梯度下进行长期培养实验, 发现土壤病毒对微生物呼吸的温度敏感性 (Q_{10}) 的显著影响及其随温度变化的调控机制。即在长期高温培养下 (35°C 培养一年), Q_{10} 受土壤养分的影响大于微生物的影响; 而短期培养 (30 天) 和长期低温培养下 (15°C 和 25°C 培养一年) 的微生物性质对 Q_{10} 的影响更大。此外, 通过利用稳定同位素标记的甲烷 ($^{13}\text{CH}_4$) 探究了不同类型病毒 (胞外游离病毒 FreeV 和溶原状态的病毒 LysoV) 对厌氧甲烷氧化 (AOM) 碳流传递的差异机制。LysoV 可以通过促进 AOM 相关微生物的生存而增强 AOM 效率, 造成了 55% 的 ^{13}C -SOC 的增加和 73% 的 ^{13}C -FeOC 的损失。FreeV 主要通过病毒的裂解作用增加了土壤中 ^{13}C -SOC (+116%) 和 ^{13}C -FeOC

(+36%)的含量。综上所述,本研究量化了病毒对土壤有机碳的贡献,阐明了土壤病毒的“碳汇”效应,解析了病毒对土壤碳排放温度敏感性的调控机制,探索了不同生命周期的病毒对甲烷衍生碳流传递的差异机制。较全面系统地阐明了土壤病毒对有机碳循环的影响机制,为理解土壤病毒驱动的碳循环过程提供了新见解。

S63-O-2

冰尘穴特有的蓝细菌和蓝细菌病毒

黄星煜¹, 陈云杰¹, 刘勇勤^{1*}

1 中国科学院青藏高原研究所

* huangxingyu@itpcas.ac.cn

冰尘穴(cryoconite holes)是冰川表面由吸光性颗粒聚集形成的微型生态系统,其内部活跃着独特的微生物群落,其主要初级生产者是适应极端环境的蓝细菌。在冰尘穴中,由于缺乏复杂的食物网,蓝细菌病毒是蓝细菌的主要消费者。丝状蓝细菌作为初级生产者,通过固氮和光合作用支撑冰尘穴的食物网,而蓝细菌病毒则通过裂解宿主调控其种群动态和基因转移,影响碳氮循环及群落结构。通过对 104 个冰尘穴宏基因的分析,我们识别了冰尘穴蓝细菌中特有的细菌和病毒分支,这对理解冰川微生物的进化策略及气候变化下的生态系统响应具有重要意义。

S63-O-3

解密大型海藻关联病毒:大藻共生体微生物生态系统的隐形调控者

赵久龙¹, 张永雨^{1*}

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

* zhangyy@qibebt.ac.cn

大型海藻与丰富的微生物形成“共生体”,其中包括多样的病毒,是目前为止极少了解的大藻共生体“暗物质”。考虑到病毒除了能调控宿主的群落变化外,还能通过辅助代谢基因的表达影响环境中的元素循环,那么在大藻共生体中,病毒如何调控大藻生长及共生体微生物群落,能否调控周围环境中的微生物群落,如何驱动藻际环境的元素循环等未知的科学问题便亟待解决。

通过宏基因组测序和病毒生物信息学分析,我们发现海带附生和内生环境尽管距离我们如此近,但却栖息着极其新颖的病毒类群(新颖物种比例 99.7%),甚至超过海洋极端环境中病毒类群的新颖性比例。同时,这些病毒可能通过溶原/烈性感染和叶酸生物合成基因的表达来维持对海带健康至关重要的微生物组平衡。此外,海上原位“围隔实验”和宏基因组/宏病毒组分析表明,海带共生体通过改变周围环境条件和病毒及宿主在海带和海水中的迁移,深刻重塑了周围海水和沉积物中的病毒-原核生物互作关系。一些海带附生的病毒沉降后甚至可以感染沉积物中的土著底栖细菌。此外,海带密切相关环境中具有大量噬菌体携带海带多糖降解相关的辅助代谢基因,强调了病毒代谢对大藻关联的海洋碳循环的影响尚未被充分认识。以上结果揭示了先前被忽视的特殊的大藻病毒群落,并提供了对“大藻-细菌-病毒”三角关系的新见解。

S63-O-4

病毒颗粒被异养细菌转化利用对海洋 DOM 库的潜在影响:以玫瑰杆菌病毒为例

满红聪¹, 刘纪化¹, 肖喜林², 徐永乐^{1*}, 陈峰^{3*}

1 山东大学, 海洋研究院

2 厦门大学, 碳中和创新研究中心

3 马里兰大学环境科学中心, 海洋与环境技术研究所

* xuyongle@sdu.edu.cn

* chenf@umces.edu

病毒是海洋溶解有机物 (DOM) 的重要组成部分, 其如何被海洋细菌转化利用尚不明确。本研究以一株玫瑰杆菌长尾病毒为 DOM 底物, 培养海洋细菌 3 个重要类群的代表株系 (α 变形菌 DSS-3、 γ 变形菌 ATCC 27126、黄杆菌 CBW1107-13), 分析细菌代谢对病毒 DOM 的转化及该过程对海洋 DOM 库的贡献。结果显示, 病毒颗粒的 DOM 分子组成与海水 DOM 高度相似。三株细菌均能以病毒颗粒为底物进行生长。培养 6 d 后, 病毒丰度下降至初始的 15.7–21.1%。细菌释放到胞外的亮氨酸氨基肽酶和碱性磷酸酶, 可能在利用病毒颗粒的过程中发挥重要作用。所有菌株均将病毒颗粒转化为多样性更高、惰性更强的 DOM。各菌株培养体系中, CHO 分子的含氧量显著增加; 而 CHNO 分子中的 N107-N1010、N206-N209 类可能构成病毒颗粒被转化后产物 DOM 的分子指纹。此外, 不同菌株间存在特异化代谢路径, DSS-3 高表达硫和氨基酸代谢途径, 选择性消耗含硫组分; CBW1107-13 脂肪酸合成代谢活跃, 产生含硫类不饱和脂肪酸化合物; 而 ATCC 27126 则偏向脂质降解。病毒颗粒及其被转化利用后的 DOM, 在不同环境 DOM 的占比分析显示, 病毒相关 DOM, 尤其其中的惰性组分与水深呈显著正相关, 提示病毒颗粒相关 DOM 可能是深海惰性 DOM 的重要来源。本研究首次揭示了病毒颗粒作为微生物碳源的生态角色, 以及病毒颗粒 DOM 及其被菌株特异性代谢后产生的 DOM 对海洋 DOM 库的潜在影响。

S63-O-5

黏土矿物对细菌-病毒相互作用及微生物源碳命运的影响

张晓文¹, 王海纳^{2*}, 刘焱², 董海良^{1*}

1 中国地质大学 (北京), 地球科学与资源学院

2 中国地质大学 (北京), 水资源与环境学院

* haina.wang@cugb.edu.cn

* dongh@cugb.edu.cn

在地球历史的演化过程中, 病毒与微生物共存数十亿年, 共同塑造了地球生态系统的演化轨迹。通过侵染和裂解微生物宿主, 病毒是全球生物地球化学循环的主要驱动力之一。病毒裂解宿主向环境中释放大量的胞内溶解性有机质 (dissolved organic matter, DOM), 这些有机质可进入微食物环 (microbial loop) 被细菌重新利用, 加速营养物质的循环, 这一过程被称为“病毒分流”(viral shunt)。然而, 目前关于细菌-病毒相互作用的研究主要集中于海洋环境。在沉积物和土壤环境中, 黏土矿物无处不在, 但它们在病毒介导的微生物裂解过程中的作用几乎未知。因此, 本研究以蒙脱石 SWy-3、希瓦氏菌 *Shewanella oneidensis* MR-1 及其特异性烈性病毒 MSO-5 为研究对象, 构建了黏土矿物-细菌-病毒相互作用系统, 探究了黏土矿物对细菌-病毒相互作用及其释放的 DOM 命运的影响。研究结果显示, 黏土矿物的存在延缓了病毒裂解宿主产生的 DOM 的释放, 其调控作用主要体现在以下两个方面: (1) 蒙脱石通过空间分隔作用减少了病毒与宿主的接触机会, 保护了部分宿主细胞免受病毒侵染, 显著延迟了宿主细胞的裂解; (2) 蒙脱石通过吸附作用延缓了有机质的释放, 且病毒裂解宿主细胞产生的苯衍生物、含氮化合物、酮类等小分子化合物优先嵌入蒙脱石的层间域。由此可见, 黏土矿物在细菌-病毒相互作用以及微生物源有机质的释放和保存中发挥着重要的调控作用。随着全球气候变暖, 陆地河流泥沙向海洋的输入增加, 预计黏土矿物-细菌-病毒之间的相互作用将会对全球碳循环产生越来越重要的影响。

S63-O-6

病毒介导的典型淡水蓝藻 *Anabaena* sp. PCC 7120 奇数 链脂肪酸的合成

朱秀昌^{1,2}, 邱轩^{2*}, 党心悦², 谢树成^{1,2}

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

2 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

* qiuxuancug@cug.edu.cn

病毒作为地球上丰度最高的生物实体, 通过劫持宿主代谢途径深刻影响生态系统物质循环和能量流动。在水生生态系统中, 蓝藻作为关键初级生产者与蓝藻病毒(噬藻体)形成的互作关系, 是调控水华动态及碳-氮-磷生物地球化学循环的重要机制。然而现有研究多聚焦于海洋生态系统, 针对淡水蓝藻-病毒系统代谢互作的研究目前研究较为局限。本研究以典型淡水蓝藻 *Anabaena* sp. PCC 7120 及其特异性噬藻体 A-4L 为研究对象, 解析了病毒感染对宿主脂肪酸合成的影响。研究发现病毒侵染可诱导宿主细胞启动奇数链脂肪酸的合成, 并在感染进程中呈现奇数链与偶数链脂肪酸的时序性累积特征。伴随该代谢过程, 宿主细胞内活性氧水平显著上升。这可能是由于总脂肪酸的累积可能形成储能池以满足病毒复制能量需求, 而奇数链脂肪酸独特的甲基分支结构赋予其更强的自由基清除能力, 或代表宿主应对病毒诱导氧化胁迫的适应性防御机制。值得注意的是, 脂肪酸在沉积环境中具有卓越的分子稳定性, 其异常累积特征可能作为新型生物标志化合物, 为追溯地质记录中病毒感染事件提供关键分子证据。

S63-P-1

土壤病毒群落及病毒-原核 微生物互作对长期干旱的响 应机制

刘聪^{1,2}, 陈志杰¹, 王新磊¹, 邓熠鎏¹, 陶琳防¹, 周旭辉^{1,3}, 邓杰^{1*}

1 华东师范大学, 生态与环境科学学院

2 山东大学, 海洋研究院

3 东北林业大学, 生态学院

* jdeng@des.ecnu.edu.cn

土壤水分是影响陆地生态系统功能的一个基本因素。全球变化背景下, 土壤水分条件变化对于土壤病毒群落组成和结构以及病毒-宿主互作关系或产生重要影响。目前已有一些研究表明土壤病毒能够影响土壤微生物群落的结构和功能, 但对于土壤生态系统中病毒及其与宿主相互作用如何响应长期极端干旱的生态学机制仍知之甚少。本研究基于浙江天童山国家森林公园野外干旱样地, 结合荧光显微镜计数、土壤理化性质和酶活分析、宏基因组及宏病毒组测序技术解析极端干旱下土壤病毒丰度和病毒生存策略的变化, 探究病毒群落结构、病毒-原核微生物生态网络、原核微生物抗病毒防御系统以及病毒编码的辅助代谢基因(auxiliary metabolic genes, AMGs)在干旱下的差异。本研究结果表明干旱增强了病毒-原核微生物之间的负向相互作用。干旱显著降低了土壤病毒和原核微生物的群落丰度, 分别下降了 75.2%和 73.1%, 并且干旱明显改变了病毒和原核微生物的群落结构。同时, 干旱导致原核微生物群落的溶原比例以及温和病毒占比明显提高。值得关注的是, 干旱下病毒-原核微生物生态互作网络中负相关比例显著提高了 1 倍, 并且原核微生物基因组中抗病毒防御系统基因的频率和多样性增加, 因此干旱很可能加强了病毒-原核微生物之间负相关作用。干旱下, 土壤病毒对典型 *k*-策略细菌(包括酸杆菌门, Acidobacteria、绿弯菌门, Chloroflexi)施加更强的“自上而下”调控作用。另外, 病毒编码的 AMGs 可能影响原核微生物的生物合成相关代谢功能。本研究阐释了亚热带常绿阔叶林森林土壤病毒及病毒-原核微生物互作对于长期干旱的响应模式和规律, 并进一步加深

了关于全球变化下病毒对原核群落调控机制的认知和理解。

S63-P-2S

红树林土壤中病毒多样性及其生态效应

吴婕¹, 尹丹晨¹, 张锐^{2*}

1 厦门大学, 厦门大学海洋与地球学院

2 深圳大学, 深圳大学高等研究院

* ruizhang@szu.edu.cn

红树林生态系统是地球上生产力最高和最具生态重要性的生态系统之一, 既具有海洋生态系统的特征, 同时也具备陆地生态系统的特点。病毒作为红树林生物地球化学循环的关键驱动因素, 病毒在红树林土壤中的研究极大地落后于其原核和真核宿主, 其生态潜力和与宿主的复杂相互作用仍有待探索。本研究采用可培养和未可培养的方法对红树林土壤病毒的多样性及生态功能进行探索。来自漳江口红树林土壤样品中观察到大量大小不一、形态多样的病毒颗粒。并发现了尾部长达 1154 nm 的长尾噬菌体, 这种长尾巴的特征可能更有效的将生物膜渗透到沉积物中, 也有可能帮助噬菌体颗粒更好的定植在沉积物中, 防止被海水冲走。宏基因组分析表明红树林土壤具有高度的病毒多样性和功能潜力, 编码重要的功能基因, 并介导元素生物地球化学循环。此外, 4 株分离自红树林土壤的纯培养病毒株, 提高了我们对红树林病毒多样性和病毒-宿主相互作用的理解。这些发现扩展了我们对红树林土壤病毒组的理解, 纯病毒株的分离为深入研究红树林土壤病毒的生态作用提供了可能。

S63-P-3S

沿海沉积物中病毒和浮霉菌门相互作用的研究

黄书杰¹, 宫先哲^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

* xianzhe.gong@foxmail.com

浮霉菌门 (*Planctomycetota*) 广泛分布于自然环境中, 在全球碳、硫等元素的生物地球化学循环中扮演着重要角色。然而, 浮霉菌门与病毒的多样性关系及其生态影响尚不清楚, 双方的相互作用机制仍有待深入研究。本研究, 我们从渤海沉积物中获得了 326 个浮霉菌门宏基因组组装基因组 (MAGs) 及其相关的 96 个病毒。基于这一扩展的基因组资源, 我们对这些细菌及其病毒的生理特征与相互作用进行了更新与解析。系统发育分析表明, 渤海沉积物的浮霉菌门可划分为 15 个进化分支, 其中包括 1 个新的纲级分类。病毒注释结果显示, 大多数与浮霉菌门相关的病毒归属于有尾噬菌体目 (Caudovirales), 其中 41 个病毒属于未知类群。功能基因注释显示, 这些病毒携带多种辅助代谢基因 (AMGs), 涉及宿主碳、硫循环相关代谢通路, 提示其可能在环境适应与生态功能中发挥关键作用。为进一步解析病毒与宿主的互作机制, 我们分析了宿主基因组中的抗病毒防御机制, 识别出限制性修饰系统 (RM)、感染后阻断系统 (Abi) 以及 CRISPR-Cas 等典型防御系统。值得注意的是, 我们在这些防御系统附近发现了四个潜在的新型蛋白。体外表达实验结果表明, 这些蛋白不仅具有独立的抗病毒能力, 还能协同增强已有防御系统的抗性。本研究首次系统性揭示了浮霉菌门及其相关病毒在渤海沉积物生态系统中的多样性、进化格局及其功能潜力, 为深入理解病毒-细菌互作关系及其生态作用提供了新的基因组证据和理论基础。

S63-P-4

一个在海洋和淡水环境广泛分布的蓝细菌长尾病毒类群的多样性研究

徐永乐^{1*}, 刘远芳¹, 孟雪¹, 陈峰¹

¹ 山东大学, 海洋研究院

* xuyongle@sdu.edu.cn

蓝细菌病毒是海洋病毒的重要组成部分, 深刻影响着蓝细菌的生物地球化学功能。分离培养是了解蓝细菌病毒的多样性及其与宿主互作的重要手段。相比肌尾和短尾病毒的大量分离培养, 人们对海洋蓝细菌长尾病毒的了解甚少。本研究以分离自长江口的三株 CBS2-like 长尾病毒入手, 搜索组装环境基因组中的同源序列, 探究该病毒类群的基因多样性、生理多样性及环境分布特征。研究发现, 长江口的三株聚球藻病毒与原绿球藻病毒 P-SS2、聚球藻病毒 S-CBS2 和从淡水、河口、近岸、外海环境组装的 8 条同源序列可划分为 12 个不同的属。该类群病毒基因组中存在一些肌尾和短尾病毒中常见的 AMGs, 如光合作用相关的 *psbA*、*hli*、*cpcV*, 碳代谢相关的 *cp12*。其中 *psbA* 系首次在长尾病毒中发现。此外, 1 株海洋聚球藻基因组中高度完整的 CBS2-like 同源序列则提供了该类病毒可进入溶原周期的实例。S-CBS2 超过 20 h 与长江口分离株 3-4 h 的潜伏期差异则表明该类群病毒具有多样的生命周期特征。该类群病毒在淡水和海洋环境中都有分布, 且在河口相对丰度最高。由于淡水与海洋环境中的蓝细菌类别相差甚远, 而淡水环境中 CBS2-like 病毒与海洋环境极为相近的末端酶序列则为该病毒类群的起源与进化提供了新的视点。

S63-P-5S

基于宏组学的病毒高通量分类方法及其在环境病毒多样性研究中的应用

郑凯阳^{1*}, 汪岷^{1*}

¹ 中国海洋大学, 海洋生命学院

* zhengkaiyang@stu.ouc.edu.cn

* mingwang@ouc.edu.cn

随着病毒基因组数量的不断增加, 对大量环境 DNA 和 RNA 病毒的高度不完整片段的分类变得愈发重要。为了应对这一挑战, 我们设计了 VITAP, 这是一款旨在利用宏组学数据改进 DNA 和 RNA 病毒分类的工具。VITAP 通过序列相似性对齐和图论的结合开发了新的分类算法来应对这一挑战。它可对短至 1000 个碱基对的 DNA 及 RNA 病毒序列进行分类, 并为这些分类结果提供置信度水平。与目前主流的病毒分类方法进行基准测试表明, VITAP 保持与其他分类方法相当的准确率前提下, 大幅提高了注释率, 提供了更全面的病毒物种注释信息。此外, VITAP 的优势在于其能够与国际病毒分类委员会 (ICTV) 的最新发布同步自动更新其参考数据库, 使其始终使用最新的病毒分类框架。它在对各种环境 (包括深海病毒组) 中的病毒序列进行分类方面表现出色, 为这些未知生态系统的病毒多样性研究提供了新的见解。最后, 作为一款开源工具, 我们的工作为领域内的研究人员提供了一种高效且友好的病毒基因组分类解决方案。

S63-P-6

鄂西大九湖泥炭地病毒群落特征及其影响甲烷排放的潜力研究

邱轩^{1*}, 熊梓烨¹, 王红梅²

1 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉），环境学院

* qiuxuancug@126.com

泥炭地是地球表层上最为重要的有机碳库之一，也是温室气体排放的热点区域，其碳循环过程深刻影响着全球气候变化。目前普遍认为泥炭地微生物驱动的甲烷代谢过程受到水位波动的强烈影响，但不同研究中微生物的作用效果呈现出较大的异质性。自然界中丰度最高的生物实体——病毒，深度参与生物地球化学循环，但对其在泥炭生态系统中的作用仍鲜有了解。为揭示泥炭地病毒的群落特征与潜在生态功能，及其对水位波动等环境因子的响应机制，本研究以中国中部的亚高山泥炭地——湖北神农架大九湖泥炭地为研究对象，选取高、中、低三个水位点，采集了对应沉积物剖面不同层位的样本。通过扩增子测序、宏基因组、宏病毒组和宏转录组技术揭示了大九湖泥炭地样品中 DNA 病毒、RNA 病毒以及宿主群落的多样性、物种组成和功能。同时，通过耦合理化参数，分析了调控大九湖泥炭地病毒及宿主的群落和功能的关键驱动因素，在此基础上提出了病毒影响泥炭地甲烷排放的潜在生态模式。研究发现：1）距水位线距离（Distance to Water Table, DWT）不仅能够显著调控大九湖泥炭地病毒的群落结构、功能和多样性，也能够显著调控大九湖泥炭地宿主的群落结构、功能和多样性。除了 DWT 外，孔隙水甲烷浓度、氧化还原电位和泥炭总有机碳含量也都显著地影响病毒群落组成。另外，DNA 病毒倾向于改变自身 AMG 功能特征，对泥炭地甲烷排放产生间接影响；RNA 病毒倾向于通过改变自身群落特征，对泥炭地甲烷排放产生更为直接的影响。

S64-O-1

海洋碳氮循环与全球变化

高树基^{1*}

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室

* sjkao@hainanu.edu.cn

在全球气候变化背景下，海洋真光层作为连接大气与深海的关键界面，其碳氮循环过程不仅决定着上层海洋的生产力格局，也深刻影响着温室气体收支与地球气候系统的反馈机制。本报告从生态系统尺度探讨浮游植物与化能微生物的相互作用如何调控海洋碳氮循环及其对全球变化的响应。聚焦固氮作用输入的新氮在生态系统中的转化与归宿、浮游植物与硝化微生物如何通过底物与光环境竞争塑造水体中氮素的垂直分布。在关键层位，硝化、反硝化与硝化耦合反硝化等过程驱动 N_2O 的产生与释放，构成复杂的生物地球化学网络。这一网络的稳定性直接关系到海洋碳汇功能与氮素损失路径的结构变化。同时，温度上升、pH 下降等全球变化因子正以前所未有的速度重塑海洋生态环境，影响浮游生物群落结构与微生物功能组的代谢活性，进而扰动海洋碳氮循环的耦合关系，可能诱发温室气体释放的非线性跃变。未来，亟需通过跨尺度观测与机制实验，构建多组分耦合的生态—地球化学模型，深化对“生物互作—元素循环—气候反馈”的理解，更准确地预测海洋对全球变化的反馈作用。

S64-O-2

温度与营养因子驱动下海洋氨氧化古菌的演变规律

任高杨¹，刘荣华¹，刘吉文^{1*}

1 中国海洋大学，海洋生命学院

* liujiwen@ouc.edu.cn

氨氧化古菌（ammonia-oxidizing archaea, AOA）是海洋氨氧化反应的主要执行者，在全球氮循环中扮演关键角色。海

洋 AOA 起源于陆地类群, 随后通过适应性辐射在不同海洋环境中形成特有谱系。典型代表包括近海优势属 *Nitrosopumilus*、大洋表层特化类群 *Candidatus Nitrosopelagicus* (WCA) 以及大洋深层特征种群 WCB, 氧气可得性可能是驱动 AOA 由近海向深海环境扩张的重要因素。然而, 目前对 AOA 在海洋中的构建过程及其代谢和功能演变机制仍了解较少。本研究发现, 近海 AOA 由 *Nitrosopumilus* 和 JACEMX01 两属共同主导, 二者因最适温度差异形成显著不同的全球分布模式。*Nitrosopumilus* 在近海水体和沉积物中分化出两个具有显著营养摄取策略差异的谱系, 进而发挥不同的元素循环作用。值得注意的是, 近海来源的 *Nitrosopumilus* 成功拓殖深渊环境, 并演化出区别于常规深海 WCB 类群的特有分支, 表明 AOA 向深渊的生态位扩张遵循“近海-深渊”而非“深海-深渊”的迁移路径。深渊活跃的异养代谢反应可能为 AOA 提供了充足的氮源和能源供给, 使原本适应富营养近海环境的 *Nitrosopumilus* 获得了深渊定殖的进化优势。本研究为预测性理解全球变化背景下海洋关键功能微生物类群的演化规律及生态功能提供了理论依据。

S64-O-3

边缘海铁驱动的“氧化还原工厂”调控有机碳及微量元素循环机制

周哲^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院
* 23507@tongji.edu.cn

边缘海是洋-陆交互作用下元素循环的重要场所, 其复杂的水动力条件使得非稳态沉积环境广泛发育, 显著影响有机碳、微量元素等在沉积物-水界面的循环。我们的研究关注非稳态沉积环境下频繁的氧化

还原条件变化, 聚焦铁这一氧化还原敏感元素的生物地球化学过程, 探究其对溶解态有机碳分子改造机制及微量元素界面通量的影响。研究表明, 动态氧化还原条件能显著提升铁氧化物作为电子受体对有机碳矿化的贡献, 其再氧化过程亦能带来显著的有机碳降解并促进部分有机碳分子的聚合, 调控有机碳的钝化进程; 同时, 我们也发现动态氧化还原条件能显著提升极高活性铁结合态微量元素的活性, 潜在提高其从沉积物中的释放通量。本报告将就其中铁介导的具体有机分子改造机制及部分微量元素的分馏过程汇报我们近期的一些研究进展。

S64-O-4

海洋氨氧化过程对全球变化的响应

郑珍珍^{1*}, 童森炜², 沈辉², 韩丽丽³, 汤锦铭², 万显会², 高树基^{3*}

1 海南大学, 海洋科学与工程学院
2 厦门大学, 海洋与地球学院
3 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室
* zzz@hainanu.edu.cn
* sjkao@hainanu.edu.cn

氨氧化主要由氨氧化古菌 (AOA) 和氨氧化细菌 (AOB) 介导, 是连接还原态氮和氧化态氮的桥梁, 同时也是温室气体氧化亚氮 (N_2O) 生成的关键过程。随着全球变化加剧, 深入了解氨氧化过程对全球变化因子 (如温度、pH、营养盐浓度等) 的响应, 对预测未来海洋氮循环和气候变化至关重要。我们在跨环境梯度的水域系统中, 通过多因子调控实验: (1) 证实了氨氧化速率及其最适宜温度受氨氧化微生物群落 (AOA/AOB) 和底物水平共同调节; (2) 发现氨氧化微生物通过上调底物亲和力来抵消酸化导致的底物氨减少, 尤其在 AOA 主导的环境中, 这一调节机制尤为显著, 有效维持了氨氧化速率。我们的研究

为全球变化背景下水体氮循环的研究提供了全新的视角和理论基础。

S64-O-5

冷泉区微生物介导的金属驱动的甲烷厌氧氧化机制研究

肖曦¹，罗敏²，梁前勇^{1*}，董西洋^{3*}

1 广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

2 上海海洋大学，海洋科学学院

3 自然资源部第三海洋研究所

* Tomlqy@163.com

* dongxiyang@tio.org.cn

海底冷泉对全球气候变化和水合物勘探具有重要意义。由微生物介导的金属驱动的甲烷厌氧氧化作用(Metal-AOM)是冷泉系统中消耗甲烷、增加碳汇的重要途径之一。目前通过岩相学和地球化学证据，或者微生物富集培养实验表明冷泉区可能发生了 Metal-AOM，然而，已有的原位冷泉系统监测结果仍难以从微生物的角度确证甲烷厌氧氧化与铁锰还原作用之间的耦合关系，也难以进一步分析介导 Metal-AOM 过程的微生物代谢途径和互作机制，导致 Metal-AOM 对甲烷碳汇的贡献，尤其是锰驱动的甲烷厌氧氧化过程(Mn-AOM)对控制现代海洋甲烷释放的重要作用被大大低估，限制了我们对海洋温室气体甲烷排放机制的进一步认识。

因此，本研究将地球化学、数值建模与微生物扩增子、宏基因组、宏转录组测序相结合，对南海北部陆坡“海马”冷泉区沉积物柱开展了跨学科研究。结果表明，基于甲烷、硫酸盐、溶解态铁/锰离子浓度，溶解态无机碳及其碳稳定同位素等孔隙水地球化学参数，以及沉积物高活性铁组分含量等数据，证明该冷泉沉积物中硫酸盐-甲烷转换带以下的产甲烷带发生了甲烷厌氧氧化和铁锰还原作用；基于 RNA 和 DNA 的扩增子测序手段，在硫酸盐消耗殆

尽的产甲烷带发现了大量活跃的甲烷厌氧氧化古菌(ANME)；通过宏基因组和宏转录组数据表明，不同的 ANME 可能独自或者通过与 ETH-SRB1 合作，在产甲烷带中积极介导甲烷厌氧氧化和金属还原的耦合作用。数学建模结果显示，通过 Fe-AOM 和 Mn-AOM 过程消耗甲烷的通量均为 $0.3 \mu\text{mol cm}^{-2}\text{a}^{-1}$ ，金属驱动的甲烷厌氧氧化作用至少贡献了冷泉沉积物中甲烷总消耗量的 3%。虽然该速率远低于硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化作用，但考虑到全球陆坡有数万个活跃的冷泉系统，Metal-AOM 对于高通量渗漏的冷泉区甲烷碳汇的贡献不容小觑。

本研究结果创新性提出锰驱动的甲烷厌氧氧化过程很有可能是现代海洋甲烷的一个重要但以往被忽视的汇，而大陆架中大量埋藏的高活性铁锰氧化物作为甲烷厌氧氧化作用的电子受体赋存于沉积物的产甲烷带并发挥了积极作用，这对深入理解深海极端环境下甲烷的生物地球化学过程、科学评估甲烷渗漏的生态环境效应具有重要意义。

S64-O-6

盐度胁迫触发甲烷氧化菌的氮代谢重排机制及环境效应

汪欢¹，郑越^{1*}，王立志^{1*}

1 厦门大学，环境与生态学院

* yzheng@xmu.edu.cn

* dzwang@xmu.edu.cn

甲烷与氧化亚氮是两种强效温室气体，对全球变暖具有显著贡献。甲烷氧化细菌以甲烷为碳源和能源，在缓解甲烷排放上具有关键作用。已有研究表明，许多甲烷氧化细菌会产生氧化亚氮，可能抵消其有益的气候效应。湿地是温室气体通量的热点区域，涵盖从淡水到盐水的梯度带，尤其易受海平面上升驱动的海水入侵影响。尽管甲烷氧化细菌在河口及沿海湿地中丰

度较高,但海水入侵通过增加盐度、硝酸盐输入并减少氧气扩散,如何影响其对温室气体循环的贡献仍缺乏深入理解。通过微宇宙培养实验及淡水纯菌研究,结果显示海水入侵显著抑制了甲烷氧化过程,同时大幅增强了氧化亚氮排放。转录组分析表明,高盐度条件上调了同化硝酸盐还原途径,导致好氧条件下亚硝酸盐大量积累。随着环境逐渐转向氧限制及缺氧状态,积累的亚硝酸盐通过反硝化途径被转化为氧化亚氮。进一步通过多物种纯培养实验及现有甲烷氧化细菌基因组的比较基因组学分析发现,同化硝酸盐还原与部分反硝化途径的偶联现象在甲烷氧化细菌中普遍存在,且可能在高盐胁迫下被激活,从而加剧氧化亚氮的产生。这一发现为湿地生态系统中氮循环与温室气体通量的耦合作用提供了新的理论依据,对于准确预测海平面上升对温室气体循环的影响具有重要意义。

S64-O-7

全球海洋碳、氮、磷的生物地球化学循环

王为磊^{1*}, 沈毓心¹

1 厦门大学,生物地球化学全国重点实验室
* weilei.wang@xmu.edu.cn

生物泵是海洋碳汇的核心机制之一,是指浮游植物通过光合作用,将营养盐和无机碳合成为有机碳,并借助生物与物理过程,将有机碳向深海迁移埋藏的过程。强化生物泵的作用能够促使更多 CO₂ 从大气向海洋转移,所以,生物泵研究是海洋负排放技术的重要突破口之一。然而,生物泵的营养盐调控机制复杂、输出路径繁多、空间异质性显著,对其效率的精确估算及调控机制的准确理解,是海洋科学界的前沿课题和重大挑战。报告将回顾海洋生物泵及其物质基础氮、磷生物地球化学

循环的研究现状,分析气候变化情景下碳、氮、磷耦合循环机制及其气候反馈。

S64-O-8

初级生产力能够促进海洋沉积物中大气汞的累积

周正文¹, 束芹¹, 崔永晖¹, 王慧玲¹, 张佳薇¹, 王迎军², Holger Hintelmann³, 阴永光⁴, 蔡勇⁵, 赵美训⁶, 肖晓彤^{1*}, 李雁宾^{1*}

1 中国海洋大学,海洋化学理论与技术教育部重点实验室
2 山东大学,环境科学与工程学院
3 特伦特大学,化学系
4 中国科学院生态环境研究中心
5 佛罗里达国际大学,化学与生物化学系
6 崂山实验室
* txtiao@ouc.edu.cn
* liyanbin@ouc.edu.cn

深海沉积物是全球汞循环中重要的汞汇。浮游植物在从海水中富集汞并将其沉积到海洋沉积物中的过程中发挥着关键作用。然而,初级生产力对深海沉积物中汞累积的影响及其控制因素目前仍不清楚。本研究基于西北太平洋沉积物岩芯,探讨了过去几千年来初级生产力(由海源有机碳表征)对汞累积的影响。通过二元混合模型($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\Delta^{199}\text{Hg}$)分析发现,几个沉积物岩芯中的有机碳主要来源于海洋初级生产,而大气零价汞沉降是西北太平洋汞的主要来源。大气沉降汞与海洋有机碳含量在时间变化上呈现高度一致性,且两者之间存在显著正相关关系($p < 0.01$),表明初级生产力在海水水柱中汞的移除、富集及向深海沉积物迁移等过程中起着重要作用。结合初级生产力与各环境因子的关系以及 PLS-PM 模型结果发现,温度、营养盐和铁是控制海洋初级生产力及沉积物中汞累积的主要因素。在未来全球变暖的背景下,全球海洋初级生产力预计将呈下降趋势,这可能会减少深海沉积物中汞的

埋藏, 增加开放海域汞的生态风险, 进而削弱《水俣公约》的实施效果。

S64-O-9

红树林湿地沉积物微生物群落和温室气体排放对土地利用变化的响应

林根妹^{1,2*}, 林贤彪³

1 中山大学, 海洋科学学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

* lingm5@mail.sysu.edu.cn

沿海湿地具有植物生产力高、沉积速度快、有机质埋藏率高等特点, 全球年碳储量超过 53.7 Tg C, 是重要碳汇。其中, 红树林湿地在全球碳平衡和人类引起的气候变化减缓中发挥着关键作用, 被称为“蓝色碳汇”。然而, 随着人类活动强度持续增加, 在过去 50 年里有 30-50% 的红树林湿地转化为农业和水产养殖生产用途, 显著降低了碳储存能力并加剧温室气体排放, 深刻地改变着湿地生态功能和生态系统服务功能。本研究以珠江口现有红树林湿地及其毗邻由原红树林转化而来的果园、菜地和养殖塘为研究样地, 通过四季采样, 结合环境参数测定、微生物 16S rRNA 测序及温室气体培养实验, 揭示了红树林湿地温室气体排放对土地利用变化响应的空间和季节格局, 解析了土地利用变化对生态系统功能的影响机制。结果发现, 土地利用变化显著降低了沉积物有机质含量、微生物群落丰富度和多样性以及二氧化碳生产速率。将红树林转变为果园和菜地等干旱的土地利用类型, 沉积物有机质含量降低 68%-70%, 还原性底物含量以及微生物网络的复杂性和稳定性显著降低, 甲烷生产由“源”转为“汇”, 而氧化亚氮生产速率增加; 红树林转为养殖用途后, 这些参数呈现相反的变化趋势。二氧化碳生产主要受有机

质含量驱动, 而甲烷和氧化亚氮的生成速率则与微生物群落的丰富度、网络复杂性和稳定性等密切相关, 表明微生物可能可以作为甲烷和氧化亚氮排放等生态系统专有功能的指示指标。因此, 保护微生物“相互作用关系”对于减轻人类活动在水生环境中造成的微生物群落丰富度和多样性丧失的负面影响具有重要意义。此外, 由于饲料的添加和残留积累是水产养殖活动中有机质和污染物的主要来源之一, 我们进一步开展中宇宙实验从时间尺度上探讨饲料添加后沉积物微生物群落结构、温室气体排放、环境参数等方面的变化规律。饲料添加可引发环境理化性质、沉积物微生物群落结构和温室气体产生的快速响应, 而后伴随生态系统的长期恢复过程。进一步定量估算出, 占地球面积约 0.01% 的湿地养殖活动, 能够贡献超过 0.01% 的全球温室气体排放总量, 说明水产养殖活动可能是全球温室气体排放热点。以上发现可以增强对人类活动影响下滨海湿地生态功能变化的认识, 强调生态系统可持续评价和管理的必要性。未来的研究应综合考虑环境条件和微生物群落的多样性、组成、相互作用和活动, 以期更加全面了解生态系统的功能和影响机制。

S64-O-10

海洋锋面对有机物动态的影响及其潜在的碳埋藏效应

劳齐斌^{1*}, 陈法锦¹, 刘思海¹, 陈淳青¹

1 广东海洋大学, 海洋与气象学院

* laoqibin@163.com

海洋锋面因其强烈的物理动力特征, 在调节海洋生物地球化学循环和气候系统中起着关键作用。然而, 受限于现场观测数据的匮乏, 目前对锋面过程中有机物动态响应机制及其对碳埋藏潜在影响的认知仍存在不足。本研究通过开展季节性多航次溶解有机物(DOM)的系统调查, 结合

现场颗粒有机物 (POM) 和理化参数剖面观测, 以及多年卫星遥感数据, 揭示了锋面对有机物动态的控制机制。研究发现, 在锋面强度大、营养盐供给充足的区域, 浮游植物爆发和易降解新鲜 POM 的分解会释放大量 DOM; 而在锋面强度较弱、营养盐受限的区域, 尽管在锋面活动期外源水团输入的 DOM 占比超过年通量的 40%, POM 和 DOM 仍出现不同程度的降解过程, 其中 DOM 表现出更高的降解度。这些结果表明, 锋面活动通过其强度梯度和营养盐可利用性, 驱动着 POM 与 DOM 的空间异质性分解。总体而言, 锋面过程会促进有机物再循环过程, 从而可能降低锋面区的有机碳埋藏效率。这一机制很好地解释了北部湾锋面区表层沉积物中观测到的高生产力-低碳埋藏的解耦现象。

S64-O-11

摄食的下行控制如何影响层化海洋中化能自养的硝化微生物以及亚硝酸盐极大值层的形成

倪司麟¹, 徐敏^{1*}, 杜墨戈³, 高树基^{1,2*}

1 海南大学, 省部共建南海海洋资源利用国家重点实验室

2 厦门大学, 海洋生物地球化学全国重点实验室

3 罗德岛大学

* minxu@hainanu.edu.cn

* sjkao@hainanu.edu.cn

硝化分氨氧化与亚硝氧化两步进行, 分别由氨氧化古菌与亚硝氧化细菌介导, 是有氧海洋中关键的化能自养过程与氮过程, 影响着不同形态氮素间的转化, 其副产物温室气体氧化亚氮也会影响海洋生物泵对全球气候的调节效果。过去几十年间, 尽管研究者对于影响两步硝化微生物生长的各项环境要素 (温度、底物等) 进行了充分研究, 但是生长与死亡共同控制着海

洋中微生物的生物量, 研究者一直不知道浮游动物摄食 (下行控制) 如何分别定量地影响两步硝化微生物的生物量与硝化速率。此项研究的缺乏的关键原因是由于技术瓶颈的限制, 硝化微生物难以被标记、区分, 难以定量其表观生长速率变化。在本研究中, 我们结合了氮同位素加标示踪技术与测定摄食常用的稀释实验方法, 首次实现了对海洋原位环境中氨氧化古菌与亚硝氧化细菌的被摄食速率的定量 (方法学的原始创新)。我们将此项新方法用于野外实验, 首次发现在西太平洋与南海的亚硝酸盐极大值层 (PNM) 中, 亚硝氧化细菌原位的被摄食速率显著高于氨氧化古菌。基于此, 我们运用简单一维数值模型评估了摄食的差异性对两步硝化速率的不同影响。我们提出, 在真光层底部的浮游动物摄食可能更显著的抑制了亚硝氧化速率, 并导致海洋中 PNM 层的形成 (“下行主导”假说)。这是 60 多年以来针对 PNM 形成机制这一经典的海洋学问题, 继“光抑制”、“生长效率差异”等假说之后的又一新的理论见解。该项研究为下行控制如何影响海洋中的关键生物地球化学循环过程以及海洋生态系统的气候反馈提供了关键案例与重要启发。

S64-O-12

热带寡营养海域上层海水中氧化亚氮产生机制及其气候效应

谷挺¹, 孙军^{1,2*}

1 中国地质大学 (武汉), 海洋学院

2 天津科技大学, 印度洋生态系统研究中心

* phytoplankton@163.com

氧化亚氮 (N_2O) 是仅次于二氧化碳 (CO_2) 和甲烷 (CH_4) 的第三大温室气体。而海洋作为 N_2O 的重要天然源, 每年释放约 30% 的全球自然排放量, 尤其是热带寡

营养带的上层海水，因其直接与大气相连，是 N_2O 产生与排放的关键界面。然而，该区域的 N_2O 产生机制及其气候反馈作用仍研究不足，这势必影响海洋 N_2O 源汇估算的精度和对未来气候变化响应的预测能力。

本研究聚焦于典型寡营养区——热带西太平洋和东印度洋上层海水环境，系统探讨 N_2O 的微生物产生路径、关键调控因子与潜在气候效应，结合开展了两项核心研究工作。基于 $^{15}\text{NH}_4^+$ 和 ^{15}N -Urea 底物标记实验，发现氨氧化古菌（AOA）不仅能利用铵，还可直接氧化尿素生成 N_2O 。通过同位素示踪培养结合 pH 响应实验与宏基因组分析，证实该过程在寡营养环境中具有重要贡献，并表现出与铵氧化截然不同的 pH 响应特征。我们建议将尿素驱动的 N_2O 生成过程应纳入全球海洋硝化过程的评估体系，以提升氮循环与海洋 N_2O 通量估算的准确性，特别是在寡营养海域中，这一机制可能对 N_2O 通量的贡献被严重低估。

在此基础上，进一步的微生物群落功能分析揭示了复杂的种间互作网络在 N_2O 循环中的关键作用。研究发现，原绿球藻（*Prochlorococcus*）与 AOA 可能存在潜在的共生互利关系，通过代谢交换协同驱动有氧 N_2O 生成路径，而 *Rhodobacterales* 类群主要参与硝酸盐还原驱动的 N_2O 产生，而 SAR324 类群则可能与 N_2O 还原过程相关，在调节 N_2O 净释放中发挥重要作用。这些微生物之间的耦合互作揭示了热带上层海洋 N_2O 循环的生态复杂性。本研究基于实测数据评估了上层海水中 N_2O 的气候反馈潜能，结果显示上层水体 N_2O 产生的 CO_2 当量可抵消 28.37–73.71% 的碳输出通量，表明海洋生物泵将有机碳运输到深海的同时驱动了 N_2O 泵，这种耦合机制导致了显著的正向气候反馈。

综上，本研究从底物利用机制、微生物生态网络到温室气体气候效应，构建了热带寡营养带上层海水中 N_2O 产生过程的多层次认知框架，揭示了 AOA 主导的尿素

氧化路径和典型微生物类群间的协同互作在驱动 N_2O 生成与调控中的核心作用。相关成果为深入理解热带海洋氮循环与碳氮耦合反馈机制提供了重要依据，也为未来区域 N_2O 排放的模型模拟和全球变暖背景下的碳汇评估奠定了基础。

S64-O-13

地下水中微生物群落特征及生物地球化学循环

刁目贺^{1,3*}，李盛结^{2,3}，Marc Strous³

1 同济大学，环境科学与工程学院

2 德国马普学会海洋微生物研究所

3 加拿大卡尔加里大学，地球、能源与环境系

* mdiao@tongji.edu.cn

地下水占地球水资源的约 2%，孕育着约 30% 的地球微生物，构成一个生物量庞大、类型多样但长期被忽视的“隐秘”水生生态系统。本研究结合宏基因组、蛋白组及同位素标记等手段，系统分析了 265 个地下水样品，揭示了地下水微生物群落的重要功能特征：（1）氢代谢广泛存在且活性显著：氢化酶基因可能是地下水中分布最广、表达最活跃的基因之一，集中于 [NiFe]-氢化酶的 1e、3a、3b 和 3d 亚型。其中，3b 亚型展现出最高的新多样性，3d 亚型在宏基因组中最丰富，3a 亚型簇在蛋白组中表达最显著；（2）*Methylothermobacter* 广泛分布，展现新型代谢潜力：该属在部分地下水样品中相对丰度高达 88%。并分为三个生态型（G1、G2、G3），其中 G3 生态型具备独特的需氧甲烷生产能力，可通过 C-P 裂解酶（PhnJ）将甲基磷酸转化为甲烷和无机磷，实现对有机磷酸盐的资源化利用，是其在富甲烷、缺磷环境中适应生存的关键策略；（3）固氮功能与碳硫循环高度耦合：固氮微生物涵盖 2 个古菌门和 9 个细菌门，占群落比例可达 50%。其中，甲烷氧化菌 *Methylomonadaceae* 在富甲烷地下水中为最主要的活跃固氮群体，产甲烷

菌、厌氧甲烷氧化菌和甲基营养菌亦具固氮潜力。同时，自养与异养型硫氧化菌及硫酸盐还原菌等硫循环相关固氮微生物在多种地球化学环境中广泛存在，展现出高度的代谢多样性。

S64-O-14

微型浮游植物“吞食细菌”揭示海洋碳循环新路径

肖武鹏^{1*}

1 厦门大学

* wpxiao@xmu.edu.cn

随着全球气候变暖加剧，海洋上层水体层化增强，营养盐供应受限，浮游植物面临新的生存挑战。越来越多证据表明，一些微型浮游植物并不完全依赖光合作用，而是通过“吞噬细菌”的方式补充营养，这种兼具自养与异养特征的“吞噬混合营养”策略，可能在未来海洋中扮演更加重要的角色。本研究以南海北部典型的陆架—陆坡—海盆过渡带为研究区域，结合现场短期摄食实验与高灵敏度 TSA-FISH 技术，系统评估了两类典型微型浮游植物——青绿藻（以 Mamiellophyceae 为代表）和定鞭藻（以 Prymnesiophyceae 为代表）——的摄食能力及其对碳循环的贡献。结果表明，在受陆源输入影响较强的陆架区，微型浮游植物异养摄食活性更高，其通过吞噬细菌获得的碳占总初级生产的比例最高可达 5%。尤其在深层光照受限的叶绿素最大层中，混合营养的相对贡献进一步提升。进一步分析显示，不同类群对环境因子的响应存在差异：青绿藻的摄食行为主要受细菌丰度调控，而定鞭藻则与光照强度和硝酸盐吸收能力密切相关。这种类群特异性的策略揭示了浮游植物在环境变化下的适应性机制，也为完善现有海洋碳循环模型提供了新思路。本研究首次在南海实证揭示微型浮游植物的混合营养行为及其生态意义，为深入理解低纬边缘海中“看不见的

碳路径”提供了科学依据，对预测未来气候变化下海洋碳汇功能具有重要参考价值。

S64-O-15

水华区藻际环境氧脂素对磷循环的影响及碳汇应用

吴正超^{1*}，李芊^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所

* zcwu@scsio.ac.cn

* qianli@scsio.ac.cn

水华区是藻类与微生物通过化学信号介导相互作用的热点区域。在河口近海生态系统中，藻际环境中藻-菌相互作用的生态效应及其对藻华动态的影响机制尚未完全阐明。本研究以珠江口近海硅藻水华后期的生物活性代谢产物——多不饱和醛类（PUAs）氧脂素为研究对象，探讨其在微生物驱动磷循环过程中的生态功能。藻华期间，浮游植物群落主要由产生 PUAs 的硅藻为优势种群。通过优化定量分析方法，我们实现了藻华区内外藻际环境中颗粒吸附态 PUAs 的浓度动态的监测。原位受控实验证实，在磷限制的近海环境中，高浓度氧脂素可能通过调控藻际细菌活性，在有机磷再矿化过程中发挥重要作用。藻际细菌能够适应硅藻及其碎屑释放的高浓度 PUAs，可能在硅藻水华后期维持高效的有机磷循环。因此，富含氧脂素的硅藻与藻际细菌之间的互作关系，可能会在生态系统尺度上影响营养盐供应与再生、初级生产、食物网结构，以及与气候相关的海气碳通量。

S64-O-16

海洋藻际异养菌介导的氮循环过程和潜在作用机制

张增虎¹，张永雨^{1*}

1 中国科学院青岛生物能源与过程研究所, 海洋碳汇与能源微生物研究组
* zhangyy@qibebt.ac.cn

在海洋生态系统中, 藻类与细菌的互作是驱动生物地球化学循环的核心过程。藻类作为主要初级生产者, 贡献全球 40% 的固碳量, 其光合作用产物的 10%-50% 由细菌转化利用。氮元素作为藻类生长和藻菌互作的关键物质, 在藻际微环境中由异养菌通过复杂代谢途径调控循环。传统认知中, 藻际异养菌对氮循环的贡献主要体现在为藻类分泌的含氮有机物转化为铵态氮, 反哺藻类生长。然而, 藻际异养菌介导的氮循环网络中, 仍存在诸多尚未充分探索的关键环节。

本研究聚焦藻菌互作介导氮循环的两个关键机制: 氮输入与氮移出。在氮输入机制方面, 针对固氮反应对氧气敏感但藻际环境富氧的矛盾, 通过分离藻际异养固氮菌, 首次证实部分菌株在有氧条件下具备固氮活性, 并揭示其潜在的“有氧”固氮调控机制。在氮移出机制方面, 通过长期监测藻菌共培养体系, 发现惰性有机碳持续积累过程中伴随大量含氮有机物生成, 表明藻菌互作可通过形成难降解含氮化合物, 实现氮元素的长期封存。

本研究系统解析了藻际异养菌介导的氮循环新路径及其潜在机制, 为完善海洋生物地球化学循环理论提供了重要依据, 对理解海洋生态系统物质循环和应对气候变化具有重要意义。

S64-O-17

微生物中广泛存在的新型 DMSP 合成酶及其生态功能

王金燕¹, Jonathan D. Todd^{2*}

1 中国海洋大学, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

2 东英吉利大学, 生命科学学院

* jonathan.todd@uea.ac.uk

Dimethylsulfoniopropionate (DMSP) is an abundant marine organosulfur compound with roles in stress protection, nutrient and sulfur cycling and climate regulation. Here, we report a bifunctional DMSP biosynthesis enzyme, DsyGD, in *Gyneria sunshinyi* and some filamentous cyanobacteria not previously known to produce DMSP. DsyGD produces DMSP through its N-terminal DsyG methylthiohydroxybutyrate S-methyltransferase and C-terminal DsyD dimethylsulfoniohydroxybutyrate decarboxylase domains. Phylogenetically distinct DsyG-like proteins, termed DSYE, with S-methyltransferase activity were found in diverse and environmentally abundant algae, previously unknown DMSP producers. Algae containing DSYE were globally more abundant DMSP producers than those with previously described DMSP synthesis genes. This work greatly increases the number and diversity of predicted DMSP-producing organisms and highlights the importance of DSYE-containing algae in global DMSP production and sulfur cycling.

S64-O-18

南海颗粒沉降对微生物群落 结构及其垂向连通性的塑造 作用

马忠霖¹, Paraskevi Mara², 宿蕾¹, 王龙³, 李慧芳⁴, 张锐³, Virginia P. Edgcomb², 李江涛^{1*}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 Woods Hole Oceanographic Institution, Department of Geology and Geophysics

3 深圳大学, 高等研究院

4 江苏海洋大学, 海洋科学与水产学院

* jtli@tongji.edu.cn

有机颗粒从海洋表层沉降到深层的过程是海洋生物泵的核心，尽管近期研究强调了微生物在生物泵中的重要作用，但沉降颗粒对微生物群落垂直连通性的影响尚未得到充分关注。本研究通过采用多粒径连续水滤和 16S rRNA 扩增子测序，揭示了南海北部陆坡与中央海盆区域多粒级颗粒（30、3、0.22 μm ）上微生物沿水柱剖面的分布特征。我们的结果表明，南海陆坡区与海盆区水柱微生物群落结构具有明显的差异，同一微生物类群对有机颗粒大小的偏好在两个区域也存在差异，突显了沉降颗粒在塑造水柱微生物生态位中的关键作用。比较两个区域微生物群落的垂向连通性发现，微生物通过有机颗粒的沉降从表层扩散到深层的模式在两个区域具有不同的特征：在陆坡区随着最大的有机颗粒沉降到深层的微生物比例反而最少，海盆区则相反，这可能与两个区域不同的生物泵结构有关。本研究强调了海洋生物泵结构差异对微生物垂直连通性的影响，为不同环境条件下海洋生物泵的运行机制提供了新的认知。

S64-P-1S

厌氧氨氧化主导深海沉积物活性氮移除的机理与适应

申志博^{1,2}，谭粤辉^{1,3,4*}，唐世恒^{1,2}，符春蔚^{1,2}，李凤莹^{1,2}，常永凯^{1,4}，韩昱^{1,3,4}，刘建安^{1,4}，刘乐^{1,4}，沈兴艳^{1,3,4}，高树基^{1,4*}

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重大实验室

2 海南大学，生态学院

3 海南大学，海洋科学与工程学院

4 海南大学，海洋科技协同创新中心

* ehuitan@hainanu.edu.cn

* sjkao@hainanu.edu.cn

微生物介导的反硝化与厌氧氨氧化是海洋沉积物中活性氮去除的两大关键过程。与近岸区域不同，在深海这一地球上分布最广却研究匮乏的生态系统中，这两条活性氮去除途径的平衡关系及其调控机制尚

不明确。通过整合本团队在南海的研究成果与全球数据集，本研究首次揭示厌氧氨氧化过程在全球深海沉积物中持续主导活性氮去除的普适性规律。基于温度、溶解有机碳及硝酸盐梯度的控制实验，阐明了深海厌氧氨氧化菌独特的生理适应性特征，即具有强化的低温适应能力、高底物亲和力以及在碳限制环境中的竞争优势。这些特性使厌氧氨氧化微生物能够在低温寡营养的深海沉积环境中超越反硝化菌，从而重构微生物氮转化网络。本研究突破了传统以反硝化主导活性氮移除的氮循环理论框架，为深入解析深海底栖氮循环的调控机制提供了新认知。

S64-P-2S

海洋浮游古菌 MGII 的固碳机制

李民旭¹，陶建昌¹，陈艳伟¹，王文秀²，张传伦^{1*}

1 南方科技大学，海洋科学与工程系

2 宁波东方理工大学（暂名）

* zhangcl@sustech.edu.cn

生物固碳是自养生物将无机碳转化为有机碳的过程，在已知的 7 种常见固碳途径中，尚无研究报道古菌具有还原性三羧酸循环（rTCA）固碳途径。海洋古菌 II（MGII）是海洋中分布最广泛，系统发育多样性最高的海洋浮游古菌类群，具有光能异养/异养等多种代谢途径，但当前暂无 MGII 具有化能自养固碳代谢的报道。本研究基于课题组前期工作中富集培养获得的一个 MGII 深分支类群（MGII_{db}），利用微生物培养技术、生物信息学技术和同位素标记技术研究了 MGII_{db} 的化能自养的固碳代谢特征。MGII_{db} 在海洋中普遍分布，尤其是在深海热液口环境中丰度显著高于表层海水环境。MGII_{db} 基因组中包含完整的 rTCA 固碳途径和氢氧化酶相关编码基因，指示其可能具有化能自养功能。通过添加

碳酸氢钠或二氧化碳、氢气和氮气混合气体培养可显著刺激 MGIIdb 的 rTCA 途径中包括编码铁氧化还原蛋白氧化还原酶、2-氧戊二酸:铁氧化还原蛋白氧化还原酶和柠檬酸裂解酶 (*aclA* & *aclB*) 在内的关键基因的表达, 且氢化酶活性中心亚基基因 *echE* 的表达也显著上调。结合碳同位素标记技术和分子生物学技术, 我们首次定量证明了 MGIIdb 对 $^{13}\text{CO}_2$ 的同化利用, 进一步验证 MGIIdb 具有固碳能力。本研究为海洋古菌参与生物固碳过程提供了全新的认知, 拓宽了古菌在碳循环, 特别是深海生态系统中的潜在生物地球化学作用。

S64-P-3S

西北太平洋中三甲胺的生物地球化学循环研究

管文嘉¹, 周震¹, 李爽¹, 庄光超^{1*}

¹ 中国海洋大学, 化学化工学院

* zgc@ouc.edu.cn

三甲胺 (Trimethylamine, TMA) 作为大气中一种重要的碱性气体, 在云凝结核的形成和生长中起着至关重要的作用, 在海洋中可以作为微生物的能量来源、碳和氮源, 但其在海洋环境中产生和代谢的程度和控制因素尚不清楚。在这项研究中, 我们调查了西北太平洋中 TMA 浓度、生产途径和微生物消耗速率。TMA 浓度处于纳摩尔量级, 范围为 $0.3\text{--}7.6\text{ nmol L}^{-1}$ 。TMA 的氧化速率 ($0.004\text{--}0.516\text{ nmol L}^{-1}\text{ day}^{-1}$) 显著高于同化速率 ($0.0009\text{--}0.0056\text{ nmol L}^{-1}\text{ day}^{-1}$), 至少 87.5% 的 TMA 被用作微生物的能量来源。 α 变形菌是表层水体中主要参与 TMA 代谢的微生物。表层海水是大气 TMA 的净来源, 平均海气通量为 $87.4\pm 147.7\text{ nmol m}^{-2}\text{ day}^{-1}$, 占总 TMA 消耗的 5.4%。宏基因组分析和培养实验表明, 微生物降解肉碱可能是西北太平洋中 TMA 的关键生产途径。本研究阐明了开阔大洋

中 TMA 的源和汇, 增强了对 TMA 海洋生物地球化学循环的认识。

S64-P-4S

气候暖化削弱泥质潮间带沉积物的碳汇功能

申志博¹, 唐世恒¹, 粟文豪¹, 符春蔚¹, 刘建安¹, 刘乐¹, 韩昱¹, 谭萼辉^{1*}, 高树基^{1*}

¹ 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室

* ehuitan@hainanu.edu.cn

* sjkao@hainanu.edu.cn

沉积物有机碳矿化的温度敏感性 (Q_{10}) 对预测气候变化下全球碳循环具有重要意义。 Q_{10} 已在各种陆地生态系统中得到广泛研究。泥质潮间带作为重要的碳汇场所, 在全球气候暖化背景下, 其中储存的有机碳会调节全球大气 CO_2 浓度。然而, 在受潮汐波动影响的潮间带区域, 沉积物一直处于淹水-干燥的动态变化中, Q_{10} 应该随着淹水条件的变化而变化, 并表现出空间差异, 但机制仍然不清楚。在本研究中, 我们在低纬度的热带泥质潮间带采集了完整的沉积物柱, 并进行了 8 个温度为期 48 h (淹水 12 h + 干燥 12 h; 重复两个周期) 的培养实验, 以增温对沉积物 (水)-气界面温室气体排放和溶解性温室气体浓度的影响。结果表明, 在模拟涨潮时的 $Q_{10}(1.4 - 3.6)$ 显著高于模拟退潮时的 $Q_{10}(1.1 - 1.9)$ 。总体而言, CO_2 和 CH_4 排放速率均随温度的升高而增加, 退潮后沉积物-气界面温室气体通量高于涨潮时水-气界面通量。在第一个循环周期中涨潮时水-气界面 CO_2 通量在第 4-6 h 达到最大值 ($51.82 - 296.94\text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$), CH_4 通量在第 6-8 h 达到最大值 ($6.60 - 178.40\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$), 退潮后沉积物-气界面 CO_2 和 CH_4 通量在第 4-8 h 达到最大值 ($49.49 - 303.52\text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $60.36 - 333.10\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$)。随温度的升高, 最大速率出现的时间提前。在第二个循环

周期, 涨潮时和退潮后温室气体通量最大速率出现的时间不再受温度影响。模拟涨潮时的 Q_{10} (1.4 - 3.6) 高于处于长时间干燥的陆地生态系统有机碳矿化的 Q_{10} 值 (1.1-2.3), 也显著高于河岸带土壤有机碳矿化的 Q_{10} 值 (1.4-1.7)。综上, 泥质潮间带沉积物在淹水时对温度更加敏感。研究结果表明, 气候暖化削弱泥质潮间带沉积物的碳汇功能。

S64-P-5S

长江口双锋面原核微生物群落组装的协同驱动机制

卢涵^{1,2}, 马忠霖^{1,2}, 李江涛^{1,2}, 王鹏^{1,2*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* pengwang@tongji.edu.cn

海洋锋面系统的物理-生物耦合机制在调控浮游生物多样性及生态功能方面发挥着重要作用, 其生态效应可以引起原核微生物的生存策略的适应性调整。然而, 锋区水团内部的流动态势等动力机制驱使环境变量呈现出高度的时空变异性, 使非生物(环境)变量难以追踪。特别是在长江口双锋面系统的研究中, 多重环境梯度的协同增加了解析特定生活方式微生物群落响应的复杂性。为了全面认识长江口双锋面系统的原核微生物变化特征, 我们分别测定了锋面两侧水团的物理化学参数并对水体微生物进行 16S rRNA 扩增子基因测序。基于原核微生物多样性分析, 阐述了独特的原核微生物群落组合及不同生活方式微生物群落结构的差异性。基于系统发育 bin 的零模型 (iCAMP), 定量了随机性与确定性生态机制在颗粒附着 (particle-associated/attached) 与自由生活 (free-living) 原核微生物元群落 (meta-community) 与亚群落 (sub-community) 的组装过程的相对重要性。结果显示, 泥状

锋面 (sediment front) 与羽流锋面 (plume front) 所划分的截然不同的水团表现出相对独立的物理化学特征。锋面辐聚效应、垂向次级环流等物理过程放大了作用于原核微生物的生态效应和生态位分化, 重塑颗粒附着与自由生活原核微生物群落结构的组合特征。结果还显示, 随机过程的扩散限制 (dispersal limitation) 与确定过程的同质选择 (homogeneous selection) 主导长江口双锋面系统原核微生物的群落组装过程。同质选择是具有高度环境敏感性的自由生活原核微生物的群落组装主导机制, 颗粒附着原核微生物群落的构建模式则主要由颗粒介导的扩散驱动。复杂动荡的水动力过程影响着原核微生物与颗粒的主动附着与被动脱离过程, 两者协同驱动原核微生物群落的构建模式与驱动类群的转变。本研究强调了水动力过程与特定生活方式在双锋面系统原核微生物群落组装过程的耦合机制与重要性, 为预测原核微生物群落对复杂动力系统环境变化的生态行为与生存策略提供了科学框架。尽管锋面系统的微生物生态学研究已取得一定进展, 但多种生物过程的调控机制在维持生态功能多样性的根本重要性仍不明晰, 如原生动物的捕食压力、浮游植物的生态调控以及病毒的“隐形调控”等。因此, 未来的研究需整合多学科方法, 解析并量化锋面生物因素调控的网络级联效应和贡献。

S64-P-6S

盐度胁迫下潮汐对地下河口微生物共现网络的调控

李冠霖¹, 马忠霖¹, 吴自军¹, 李江涛^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* jtli@tongji.edu.cn

地下河口 (Subterranean Estuary, STE) 是海岸带中地下水与海水交汇的重要过渡区域, 具有显著的理化梯度。潮汐过程调控地下水与海水的交换, 影响 STE 中溶质

迁移、氧化还原状态及水化学组成, 营造出复杂多变的生物地球化学环境。微生物作为 STE 的重要组成部分, 广泛参与营养盐转化、碳氮硫循环及有机污染物的降解, 对地下水生态系统功能的维持具有关键作用。尽管已有研究关注地下水排泄和海水入侵对微生物多样性的影响, 但对 STE 中微生物的生态网络结构与关键类群仍缺乏研究。本研究以北海市潮间带砂质 STE 为研究对象, 结合原位监测的盐度、pH 等理化参数, 实验室测定的地球化学参数与 16S rRNA 基因扩增子测序, 构建 8 组跨潮汐波动与盐度梯度的微生物共现网络, 系统探讨微生物网络的拓扑特征、种间互作关系与关键物种分布。研究表明, 涨潮阶段在海水入侵作用下, 海洋微生物输入增强, 网络结构相对松散, 关键物种多为海洋型或广适性类群; 退潮阶段在淡水排泄驱动下, 网络连通性和模块化显著提升, 关键类群多与有机污染物降解与环境适应相关, 反映出微生物对陆源淡水的响应。盐度作为海岸带的关键环境参数, 不仅指示咸淡水混合程度, 也深刻影响微生物群落的稳定性与互作模式: 中低盐环境下网络冗余性强、鲁棒性高; 而在高盐环境中, 网络对少数关键物种依赖增强, 网络脆弱性上升。随着盐度升高, 微生物种间互作由协同逐步向竞争转变, 反映出其对盐度胁迫的适应性。本研究揭示了潮汐与盐度共同驱动下微生物网络结构与关键物种的动态响应特征, 为理解海岸带微生物群落在环境梯度下的适应策略提供了支持, 并为深入认知地下河口系统的微生物生态过程提供了参考。

S64-P-7S

全新世海平面变化调控近海沉积物铁结合态磷 (Fe-P) 的埋藏

陈源清¹, 吴自军^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* wuzj@tongji.edu.cn

南海北部湾的海相沉积物下伏有大量陆源物质, 这些物质是在末次冰消期海平面上升前陆架暴露时期沉积形成的。由于这些陆源沉积物富含铁(羟基)氧化物(FeOx), 可能通过吸附作用封存了大量磷(P)。然而, 目前尚不清楚这种铁结合态磷(Fe-P)如何响应陆相-海相环境转变, 以及其如何受海陆过渡带(MTT)成岩作用的影响。本研究对南海北部湾不同沉积环境的 7 个岩心开展分析, 通过孔隙水组成、沉积物地球化学(C、S、Fe、P 相态)和微区 X 射线荧光(μ XRF)等手段, 揭示了成岩过程中碳-铁-硫循环对沉积物磷分布的耦合控制机制。基于有机质的 C/N 和 $\delta^{13}\text{C}$ 指标, SO-8 和 SO-43 站位 MTT 界面以下的有机质主要来源于淡水环境。尽管沉积物中硫化铁的形成伴随着铁氧化物(FeOx)溶解, 导致 Fe²⁺和 PO₄³⁻释放至孔隙水, 但 MTT 界面以下铁结合态磷的总量仍超过硫化物的向下通量, 使得大量 Fe-P 得以在 MTT 界面以下保存。虽然 MTT 界面下孔隙水中 Fe²⁺和 PO₄³⁻的共积累暗示 Fe(II)-磷酸盐矿物形成的可能性, 但化学提取和矿物学分析均未识别到这类矿物相, 这很可能与沉积物位于硫酸盐-甲烷转换带之上的位置有关。考虑到大量 Fe-P 最初被埋藏于全新世海相泥质层之下的陆相沉积物中, 本研究提出了末次冰盛期以来自生 Fe-S-P 矿物相的响应模式。这种成岩模式可能适用于全球其他经历末次冰期后海侵的大陆架、边缘海(如黑海、波罗的海)和峡湾地区。通过对比本研究中 MTT 界面下 Fe-P 占总磷比例与其他全球记录, 我们认为相较于先前估算, 海洋环境中 Fe-P 的埋藏可能保存了更大比例的沉积磷库。

S64-P-8

Microsampler 孔隙水取样器的研制及在南海沉积物中的应用

王晨景^{1*}, 庞超¹, 潘名辉¹, 柳波², 胡钰³

1 宁波汉科医疗器械有限公司

2 Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research

3 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* wangchenjing@hantechmedical.com

沉积物, 湿地和土壤孔隙水中的无机碳, 有机碳, 营养盐, 重金属等可溶性元素的取样检测是对温室气体排放, 水体富营养化, 植物营养, 土壤污染, 地质水文调查等众多领域进行定量研究的必要步骤和技术关键。三十多年来, 国内外使用的孔隙水取样器一直被荷兰 Rhizosphere 公司所垄断(Rhizon 系列)。汉科 Microsampler 孔隙水取样器采用了最新的亲水性多孔膜技术, 突破了以往取样渗透率低的瓶颈, 达到了 Rhizon 的性能, 填补了国内的空白。

汉科孔隙水取样器由亲水性多孔聚酯材料制成, 其孔径为 0.2 微米, 支撑柱采用玻璃纤维加固丝, 避免了以往不锈钢柱有可能导致的金属污染; 取样头直径为 2.5 毫米。经测试, 使用 20mL 注射器进行负压反抽; 在纯水环境中, Rhizon 产品吸水速率为 0.32mL/s, Microsampler 取样器吸水速率为 0.31mL/s; 在模拟泥质沉积物中, Rhizon 吸水速率为 0.47mL/min, Microsampler 取样器吸水速率为 0.5mL/min; 在模拟细沙环境中, Rhizon 吸水速率为 6.1mL/min, Microsampler 取样器吸水速率为 6.2mL/min。上海海洋大学的胡钰课题组 2023 年 5 月将汉科 Microsample 孔隙水取样器于南海(水深 1370 米)的海洋沉积物中进行了测试, 并对比了 Rhizon 的结果。

汉科 Microsampler 孔隙水取样器和 Rhizon 在纯水, 泥质沉积物以及细沙环境中的吸水速率基本一致, 在南海海沉积物测试

中, 从汉科取样器和 Rhizon 抽取的孔隙水中的主量元素和微量元素的浓度没有明显区别。

S64-P-9S

次表层营养盐驱动末次冰期至早全新世热带西太平洋巨型硅藻席勃发

蔡雯沁¹, 黄恩清^{1*}, 彭晓彤², 柳双权², 田军¹

1 同济大学

2 中国科学院深海科学与工程研究所

* ehuang@tongji.edu.cn

巨型硅藻 *Ethmodiscus rex* 在晚更新世期间于热带和亚热带海洋中经历了间歇性的大范围勃发, 但其驱动机制仍存在争议。先前的假说强调来自亚洲内陆的风尘输入在触发西太平洋硅藻勃发中的作用。然而, 这一解释在很大程度上忽视了 *E. rex* 的生理能力。在本研究中, 我们通过对西北太平洋环流区沉积岩心的地球化学与同位素分析, 厘定了勃发事件的时间框架及营养盐来源。放射性碳定年结果显示, *E. rex* 的勃发始于末次盛冰期, 持续至全新世早期, 扩展了以往研究提出的时间范围。Si/Ti 与 Ba/Ti 比值的升高、蛋白石含量的增加, 以及整体有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值的升高, 均表明在勃发期间初级生产力增强, 营养盐利用效率提高。然而, 有机质保存程度有限, 表明在沉降过程中有广泛的再矿化作用。尤为显著的是, 勃发期的有机质 $\delta^{15}\text{N}$ 值相较背景值平均负移 2.4‰, 指示营养盐来源于次表层水体。我们将这一信号归因于 *E. rex* 具备调节浮力、下潜至营养盐跃层以下, 并利用深层营养盐库的能力。这些发现表明, 在贫营养的环流海区, 维持 *E. rex* 勃发的主要机制并非风尘施肥, 而是次表层营养盐的摄取和利用。

S64-P-10S

大型内陆海沉积物中有机碳矿化路径与碱度、溶解无机碳的底栖通量——以渤海和北黄海为例

任建华¹, 朱茂旭^{1*}, 王德艳¹, 李晴晴¹, 李铁¹

¹ 中国海洋大学, 化学化工学院

* zhumaouxu@ouc.edu.cn

在内陆海沉积物中, 有机碳矿化驱动的成岩循环与底栖-水层耦合受到诸多复杂因素影响, 其中许多尚未深入研究。本研究结合常规地球化学测量与多组分耦合成岩模型, 定量分析了渤海和北黄海两大内陆海沉积物中有机碳矿化在不同电子受体间的分配特征, 进而估算了沉积物中有机碳传输效率以及溶解无机碳(DIC)和总碱度(TA)的底栖通量。模型结果表明, 沉积物中有机碳的活性比通常观测值低 1-3 个数量级, 整体呈现低降解特性。在 20 cm 沉积深度内, 渤海和北黄海站点的深度积分有机碳矿化速率平均值分别为 3.4 和 2.4 mmol m⁻² d⁻¹, 其中好氧呼吸是最主要的矿化途径(平均占比 54%), 其次为硫酸盐还原(平均 24%)。铁异化还原、异化锰还原和反硝化作用合计仅贡献 16%-33%的有机碳矿化。沉积速率(而非有机碳矿化速率)是控制沉积物中有机碳传输效率的关键因素。因此, 渤海的高沉积速率导致其 20 cm 沉积层内的有机碳传输效率(平均 78%)显著高于北黄海(平均 34%)。尽管这两大内陆海覆盖面积相对较小, 却是重要的有机碳埋藏热点。估算表明, DIC 和 TA 的底栖输出可能在这两海域的底栖-水层耦合中起重要作用。两海域 TA/DIC 通量比表明, TA 输出可能缓解渤海底层水的酸化, 但会加剧北黄海的酸化进程。

S64-P-11

ANME-1 古菌的代谢多样性及环境适应机制研究

宿蕾¹, Andreas P. Teske², Ian P. G. Marshall³, 祁文龙¹, 刘文琪¹, 李江涛^{1*}

¹ 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

² 北卡罗来纳大学教堂山分校, 地球、海洋与环境科学学院

³ 奥胡斯大学, 微生物学系

* jtli@tongji.edu.cn

厌氧甲烷氧化(AOM)是海洋沉积物中抑制甲烷释放的关键过程, 对全球碳循环具有深远影响。作为 AOM 的核心驱动者, 厌氧甲烷氧化古菌 ANME-1 (*Halobacteriota* 门 *Syntropharchaeia* 纲)因其系统发育独特性及广域分布备受关注。本研究基于 132 个非冗余 ANME-1 宏基因组组装基因组(MAGs), 系统解析了其生态位分化与适应性进化机制。研究结果表明, ANME-1 表现出强烈的海洋生境倾向(122/132 MAGs 源自海洋), 主要分布于热液喷口(67 MAGs)与冷泉(44 MAGs)。其跨温度适应性(4-70°C)可能与基因组中热激蛋白(HSPs)及分子伴侣 DnaK-DnaJ-GrpE 复合体的协同调控密切相关。系统发育分析将 ANME-1 分为三个单系亚群(ANME-1a、1b、1c), 其基因组多样性与生态分化具有明显的相关性。ANME-1a 主要分布于海洋热液喷口与冷泉, 依赖高甲烷通量与硫酸盐供应; ANME-1b 跨越海洋-陆地热梯度, 而更多样的反向产甲烷通路以及电子传递途径, 则可能是其适应不同环境的重要因素; ANME-1c 局限于加利福尼亚湾热液区, 暗示对特定生境的代谢特化以及对极端高温生境的特化适应。本研究首次系统揭示了 ANME-1 的代谢多样性及其极端环境适应机制, 为理解 AOM 微生物的生态功能分异、生命-环境共进提供了新视角, 对深海碳汇评估及古气候重建具有重要科学意义。

S64-P-12

台风过境对珠江口海域 CO₂、CH₄ 和 N₂O 释放的影响机制研究

高旭旭¹，刘纪化^{1*}

1 山东大学，海洋研究院
* liujihua1982@sdu.edu.cn

台风作为强烈的气象扰动事件，对海洋生态系统和生物地球化学循环具有显著影响。台风过境期间，强烈的风应力和降水引发海水垂直混合，会促进深层营养盐上涌，在短期内扰动并重塑海洋生态结构，提升海洋初级生产力。台风活动还会改变海气交换过程，促进溶解有机碳和无机碳的转化与释放，导致二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）等温室气体的异常排放。本研究于 2024 年超强台风摩羯过境前后，在珠江口选取两个断面，重点探究了台风对珠江口海域主要温室气体 CO₂、CH₄、N₂O 释放的影响。研究发现台风过境通过物理扰动和海洋环境变化显著增强海洋温室气体释放，但其影响具有高度的时空异质性。未来研究需进一步量化台风在不同海洋环境中的作用，并结合气候变化趋势评估其对全球温室气体收支的综合影响。

S64-P-13

亚热带河流氮来源和关键转化过程对不同水文条件的响应

颜秀利^{1*}，郭小岚¹，姚安琪¹，鲍红艳²，李大伟³，黄志川⁴，吴俊文¹，韩丽丽²，高树基^{2,5}

1 汕头大学，理学院
2 厦门大学，海洋与地球学院
3 中国海洋大学，海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

4 台湾大学，地理系
5 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
* yanxl@stu.edu.cn

随着城市化和工业化的快速推进，大量人为活性氮被输入河口及其近岸海域，导致了富营养化、缺氧等严重的环境问题。河流作为陆源活性氮向海洋输送的关键通道，其年输送通量在过去几十年显著增加。同时，全球气候变暖引发的极端降雨事件以脉冲效益进一步加剧了河流氮的输送。然而，现有研究主要集中于全球大江大河，关于中小型河流中氮的来源、迁移和转化过程的研究仍然较为有限。本研究利用多种形态氮的天然同位素技术，对九龙江流域进行深入研究发现，在非降雨期间氮的动态变化主要由硝化作用和氨吸收控制，且主要来源于点源污染。相比之下，降雨期间氮的变化则同时受到硝化作用和反硝化作用的影响，来源逐渐转向为非点源污染。这一发现强调在制定管理策略时必需考虑这些动态因素的影响，为全球其他亚热带河流的治理与保护提供了宝贵的借鉴。

S64-P-14S

南海海马冷泉区表层沉积物有孔虫壳体对冷泉活动的响应

路颖晗^{1,2}，卢海龙^{1,2*}

1 北京大学，地球与空间科学学院
2 北京大学，北京天然气水合物国际研究中心
* hlu@pku.edu.cn

研究甲烷渗漏环境不同生物地球化学过程，对于增强我们对冷泉生态系统的产生、发展和消亡的认识至关重要。有孔虫是广泛分布在海水和深海沉积物中的单细胞真核生物，被认为是古海洋学和古气候学的重要微体古生物研究对象。近几十年来，在渗漏区发现了深海底栖有孔虫生存的证据，目前研究结果显示冷泉环境中

孔虫组合、壳体次生改造以及壳体同位素组成对指示冷泉环境具有指示意义。已知某些种类的底栖有孔虫能在富甲烷环境中生存,并可能以噬甲烷微生物为食,如 *Uvigerina*、*Bulimina*、*Globobulimina*、*Melonis*、*Cibicidoides* 属等。有孔虫壳体上的次生矿物覆盖在冷泉沉积物中普遍存在,这改变了有孔虫壳体的微观结构、元素组成和同位素特征。一方面,有研究观察到覆盖在壳体表面的富含 Mg、Mn、Sr 和 Ba 的次生方解石涂层。另一方面,微米级黄铁矿晶体和簇状石膏也可能生长在有孔虫壳体上。无论是在活体状态下还是在沉积后被甲烷衍生的自生碳酸盐所掩饰,来自冷泉沉积物中的有孔虫壳体 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏和 $\delta^{18}\text{O}$ 正偏异常可用作追溯过去甲烷渗漏活动的地球化学指标。本研究对南海北部海马冷泉 QDN-HM ($18^{\circ}25'\text{N}$, $115^{\circ}52'\text{E}$, 1445 m) 三个不同渗漏程度站位 (QDN-HM-HK, QDN-HM-YBHK, QDN-HM-YB) 和无渗漏站位 (QDN-HM-BJ) 浅表层沉积物样品进行了对比研究。通过对表层沉积物 (0-10 cm) 中的底栖有孔虫进行鉴定统计,分析了不同程度渗漏环境中底栖有孔虫的群落演化过程,分析了海马冷泉底栖有孔虫优势类群并划分了冷泉机会种类型 (受抑制类群,敏感类群,耐受类群和特别适应类群)。对钙质壳体进行的碳氧同位素结果显示,不同物种的有孔虫壳体显示出不同程度的碳同位素负偏,但氧同位素正偏并不明显,不同壳形和生存层位的底栖有孔虫的碳同位素变化可能体现了不同的适应冷泉特殊环境的生存策略 (表生逃避,内栖转移和内栖适应)。最后对有孔虫壳体进行了 X 射线微型计算机断层扫描 (XMCT),获得了壳体内外部的微观结构及密度变化,揭示了冷泉环境对有孔虫壳体的后期改造过程 (粘土充填、黄铁矿附着),其中对不同大小的底栖有孔虫 *Cibicidoides wuellerstorfi* (200-900 μm) 的壳体密度重建结果展现了冷泉活动对壳体进行的侵蚀和自生碳酸盐覆盖现象。

S64-P-15S

营养盐梯度驱动浮游植物生长—摄食动态的协同调控: 基于 ^{15}N 示踪与改进稀释法的实验证据

刘禹琦¹, 倪司麟², 高树基^{2*}, 徐敏²

1 海南大学, 海洋生物与水产学院

2 南海海洋资源利用国家重点实验室

* sjkao@hainanu.edu.cn

浮游植物作为海洋生态系统能量流动和物质循环的核心参与者,对海洋初级生产力和生物地球化学循环具有重要影响,其种群动态受营养盐供给 (上行控制) 和浮游动物摄食 (下行控制) 的共同调控。稀释法是研究浮游植物被浮游动物摄食速率的经典方法,然而,稀释法无法同时量化营养盐上行控制对浮游植物的影响。其仅采用“饱和添加/不添加”营养盐的简单设计,也无法考虑自然环境中营养盐浓度变化对浮游植物-摄食者关系的影响,导致了众多研究者对此方法学的质疑。因此,必须在稀释法中融入独立的量化上行影响的实验方法进行综合解析。本研究基于对方法学的理解与强项技术,创新性地整合 ^{15}N 同位素示踪技术 (定量浮游植物吸收氮营养盐的米氏动力学) 与改进型稀释法 (多梯度营养盐添加),结合流式细胞分析技术,系统解析了南海与西太平洋海区中营养盐对稀释方法的影响,以及营养盐梯度与摄食压力对浮游植物的协同调控。我们发现在稀释法的实验中去除了 80% 的摄食压力下,聚球藻生物量与营养盐呈现正相关,通过拟合不同营养盐变化下的生长速率,营养盐与聚球藻的生长速率符合米氏动力学,理论上同位素吸收的结果与其类似,其次,在营养盐浓度的增加导致了摄食率的增加。这些发现为完善稀释法这一经典海洋学方法以及完善综合上/下行的海洋生态模型参数化提供了新的理论依据。

S64-P-16S

一株分离自富铁地下水渗流区的嗜中性微需氧铁氧化菌

沈玥¹, 张燕¹, 李江涛^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

* jtli@tongji.edu.cn

通过酶催化铁氧化, 嗜中性微需氧铁氧化菌能够在富铁的微氧环境中产生大量絮状铁氧化物, 对铁的生物地球化学循环产生重要影响。然而, 目前只有少量嗜中性微需氧铁氧化菌从淡水环境中分离。本研究中, 我们从香港仔郊野公园的地下水渗流区中分离到一株新的微需氧铁氧化菌 L31。菌株 L31 是一个可运动的短棒状革兰氏阴性菌。它能够在温度为 9-34°C (最适生长温度为 21-25°C)、pH 值为 5.6-7.0 的环境条件下利用 Fe(II) 进行化能自养生长。在 21°C、pH 为 6.0 的条件下细胞倍增时间约为 19 小时, 产生无定形铁氧化物。系统发育分析表明, 菌株 L31 属于 Betaproteobacteria 纲的 Gallionellaceae 科, 在分离菌株中与 *Gallionella capsiferiformans* ES-2 亲缘关系最密切 (16S rRNA 基因序列有 96.82% 的相似性)。基于表型和系统发育特征, 我们认为 L31 为 *Gallionella* 属中一个新种。

S64-P-17S

海洋微生物产生卤代有机物的代谢潜力、活性、和机制研究

黄丽婷¹, 刘如龙^{1*}

¹ 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* rlliu@shou.edu.cn

海洋生态系统是全球碳循环的重要储库和枢纽, 其生物地球化学过程通过调控

温室气体的释放与吸收, 对维持全球气候系统的稳定性具有关键作用。卤代有机物作为海洋有机碳库的重要组成部分, 因其难降解特性而易在深海环境中沉降与富集, 其生成过程与生物泵和微生物碳泵紧密关联。然而, 目前对海洋水体中卤代有机物的生物卤化过程及其驱动机制仍缺乏系统认知。本研究整合生物信息学、生物学与化学分析手段, 系统探究了海洋卤代有机物的生物合成潜力及其产物特征。首先, 基于全球 300 余套微生物宏基因组数据的分析, 发现多种卤化酶基因在从表层至深渊海沟的全海深垂直水体中广泛分布, 且其相对丰度随深度递增, 揭示了生物卤化代谢在海洋中的普遍性。进一步以海洋优势浮游植物赫氏颗石藻为模式生物, 通过室内培养实验结合燃烧-离子色谱法和高分辨率质谱 (HRMS) 技术, 定量分析了其培养过程中总有机卤 (TOX) 的动态变化, 并对卤代有机物分子结构进行了精准鉴定。实验结果表明, 赫氏颗石藻培养体系的 TOX 含量显著高于对照组, 证实了浮游微生物具有活跃的卤代有机物合成能力。基于 HRMS 的非靶向筛查和碎片谱图解析, 进一步推测了若干未知卤代有机物的可能结构。本研究首次从基因潜力、代谢活性和产物特征三个维度, 阐明了海洋浮游微生物在卤代有机物生成中的关键作用, 为深入解析海洋碳-卤耦合循环的生物地球化学机制提供了新的科学依据。

S64-P-18S

硅酸盐风化和反风化过程耦合控制长江口泥质带 (东海) 不同沉积环境中底栖溶解无机碳循环

陈源清^{1,2}, Christian März², 吴自军^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院

² University of Bonn, Institute for Geosciences

中国东海长江口泥质区作为典型的受大型河流影响的大陆架被动边缘沉积区,其沉积环境受特定水动力、地貌与物质来源组合控制而呈现高度复杂性。厘清该沉积体系的生物地球化学过程,对评估全球碳循环具有关键意义。然而,硅酸盐蚀变过程(包括逆向风化(reverse weathering)与海洋硅酸盐风化(marine silicate weathering, MSiW))对全球碳循环的贡献,在既往研究中长期未得到充分重视。本研究在长江口泥质区收集了 A2、A3 两个沉积物重力柱,将沉积物/孔隙水地球化学深度剖面与 PHREEQC 模拟和通量计算相结合,旨在阐明复杂沉积环境中的地球化学过程及其对碳循环的影响。研究结果显示,强烈地球化学反应导致沉积物有机碳(SOC)保存效率偏低($\text{TOC/SSA} < 0.4 \text{ mg/m}^2$),其矿化作用是孔隙水溶解无机碳(DIC)库的主要来源。无机碳同位素($\delta^{13}\text{C-DIC}$)证据表明,柱 A2 溶解 DIC 库组成受浅层气体运移过程显著影响,该过程同时驱动埋藏在深部的淡水向浅层沉积物运移。柱 A3 的 CH_4 浓度的垂直分布与其 $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ 特征揭示在硫酸盐-甲烷转化(SMT)深度以下存在活跃的产甲烷过程。沉积物和孔隙水中金属元素(例如 K、Li、Ca、Mg)的垂直分布表明,柱 A2 和 A3 中的反风化作用非常活跃,尤其是在从沉积物-水界面到约 100 厘米深度的区间内。此外,自生碳酸盐岩过程从地表一直持续到 SMT 深度。在 SMT 深度以下,柱 A2 和 A3 呈现了两种不同的成岩模式:柱 A2 由于浅层气体迁移引起的甲烷厌氧氧化(AOM)对 MSiW 产生抑制作用,而柱 A3 则表现出更强 MSiW 过程,并伴有明显的产甲烷过程(CO_2 还原路径),从而释放金属阳离子并驱动碳酸盐溶解。本研究中的定量评估显示,孔隙水中约 10% (相对于 DIC 总量)的 HCO_3^- 被反风化作用消耗,释放出的 CO_2 可能成为海洋酸化的潜在驱动因素。此外,在柱 A3 的 SMT 深度以下,

MSiW 对 DIC 储层的贡献率约为 29%,凸显了其在 DIC 循环中的重要作用。总而言之,这项研究为大型河流分布的被动边缘大陆架地区沉积物中的碳循环提供了新的见解,并强调了反风化作用和 MSiW 对碳循环的重要性。

S64-P-19S

南海竹节珊瑚碳、氮同位素揭示的工业革命以来海洋环境演变

卜鸣渊¹, 党皓文^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* hwdang@tongji.edu.cn

南海是西太平洋最大的边缘海,因其独特的地理位置和海洋动力过程,该区域一直是全球气候变化研究的热点。近年来,随着人们对海洋在减缓全球变暖中所发挥作用的认识加深,工业革命以来海洋环境变化的高分辨率记录愈发重要。然而,因现代仪器观测资料覆盖时间较短,且海洋中-深层的沉积档案连续性差、分辨率低,古环境重建研究困难重重。寿命长、分布广,栖息于海洋中-深层硬质基底之上的冷水珊瑚为我们打开了新的视角。以竹节珊瑚(Keratoisididae)为例,它在南海各个区域和水深均有分布,其骨骼由无机的方解石“节间”和有机质“结节”交替构成,前人研究已证明竹节珊瑚钙质和有机质骨骼的碳源分别来自周围海水中的溶解无机碳和海洋上层沉降的颗粒有机物,因此反映了不同的环境信息,也将海洋表层与深层联系了起来。我们的研究围绕采集自南海的活体竹节珊瑚展开,将有机质骨骼沿着同心圆状的环带逐层剥离并测试,发现其 $\Delta^{14}\text{C}$ 值记录了大气核试验的显著峰值,这为珊瑚年代学提供了关键的年龄控制点,也为我们构建珊瑚样品的年龄序列、探究南海深层水对核爆 ^{14}C 的响应特征提供了依据。

进一步的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{bulk}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{bulk}}$ 分析, 可能反映了南海上层初级生产力与陆源输入的历史变化, 不同水深的珊瑚样品的 $\delta^{15}\text{N}_{\text{bulk}}$ 差异, 也为我们探究南海生物泵效率提供了新的研究视角。

S64-P-20S

中国近海不同硬骨鱼中季胺类化合物含量特征及影响因素分析

刘祥涛¹, 崔正国¹, 曲克明¹, 胡清静^{1*}

1 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 渔业环境与生物修复研究室
* huqj@ysfri.ac.cn

海洋鱼类体内氧化三甲胺 (TMAO)、甜菜碱 (GBT)、胆碱 (CHO) 和肉碱 (CAR) 四种季胺类化合物可以通过排泄等过程释放到环境中, 并进一步降解成“冷室气体”有机胺, 然而这些化合物在鱼体中的含量特征及影响因素尚不清楚。我们于 2023 年 6 月在我国黄东海采集 138 条硬骨鱼, 并通过液相色谱-质谱联用仪分析其肌肉组织中四种季胺类化合物的含量。研究表明, 四种季胺类化合物总含量范围是 5.49~96.81 mmol/kg (平均值为 34.07 ± 17.05 mmol/kg)。其中, TMAO 占四种季胺类化合物总含量的 93±6%。通过分析单物种鱼类中四种季胺类化合物含量之间及其与环境参数的关系, 发现在 40%-60% 的样品中 TMAO 分别与 GBT、CHO 和 CAR 呈正相关关系, 推测 TMAO 主要由其他三种化合物转化而来; 此外, 部分鱼类中四种季胺类化合物分别与温度呈现负相关关系, 还与盐度、深度呈正相关, 说明这些硬骨鱼会通过合成 TMAO 等季胺类化合物来适应环境变化。本研究为进一步认识硬骨鱼中季胺类化合物形成机制提供理论依据。

S64-P-21S

砂质海岸带地下河口溶解碳生物地球化学过程和通量及其对近海碳循环的影响

刘佳伟¹, 吴自军^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院
* wuzj@tongji.edu.cn

地下河口 (Subterranean estuary, STE) 碳酸盐系统具有复杂的生物地球化学特征, 使得量化与海底地下水排泄 (Submarine groundwater discharge, SGD) 相关的碳通量存在一定挑战。本研究在潮汐和季节尺度上, 对广西北海高渗透性砂质海岸带含水层中的无机碳生物地球化学特征及相关的 SGD 通量开展调查。结果表明, 在季节性洋流驱动的海陆水力梯度差异下, 雨季研究区含水层受到海水入侵, 并在高潮线以上位置形成漂浮在海水之上的淡水透镜体, 其盐度分布与旱季典型的地下河口分布存在差异。雨季大潮和小潮期间富含有机质的上覆树林淡水透镜体均存在总碱度 (TA) 和溶解无机碳 (DIC) 的生成过程, 主要由好氧呼吸、反硝化和硫酸盐还原等过程驱动; 在上覆砂质沉积物的透镜体区域, DIC 和 TA 浓度与保守混合浓度相比均存在一定亏损, 这可能和高渗透性的砂质海岸带地下水的脱气作用有关; 在高盐区, DIC 的增加和 TA 的减少可归因于好氧呼吸和 Fe^{2+} 等还原性物质的氧化作用。在旱季, 砂质海滩区域咸淡水过渡带的 DIC 和 TA 呈现的非保守行为同样受控于潮汐泵驱动的脱气作用; 高盐区 DIC 和 TA 的化学行为和控制因素与雨季相似。此外, 潮间带含水层中的温度、pH、物理混合作用等因素均对碳酸盐生物地球化学特征产生显著影响。

雨季时 SGD 通量主要由淡水透镜体以及潮汐驱动的再循环海水排泄构成, 淡水透镜体较淡水地下水对潮汐信号的响应更

为敏感。与小潮相比，大潮时陆地淡水和海水间的水力梯度减小，导致淡水 SGD 通量减少，潮汐驱动的再循环海水 SGD 通量增加，由于再循环海水占 SGD 总通量的 90% 以上，雨季大潮总 SGD 通量高于小潮。旱季大潮和小潮的淡水 SGD 通量差异较小，大潮的再循环海水 SGD 通量更大。总体而言，SGD 输送的 DIC 和 TA 通量主要由其季节性浓度变化以及潮汐强度的周期性和季节性变化共同控制，雨季 SGD 向近海输送的 DIC 通量和 TA 通量约为旱季的两倍。尽管高渗透性的砂质海岸带地下河口利于脱气作用的发生，在 SGD 排泄过程中降低 DIC 和 TA 含量，但在雨季和旱季，SGD 输送的 DIC 通量始终大于 TA 通量，这表明 SGD 会降低近海海水的 CO₂ 缓冲能力，成为局部海洋酸化的驱动因素之一。本研究揭示了潮间带含水层生物地球化学过程对 SGD 碳通量的调控机制，为理解沿海生态系统的碳循环提供了新视角。

S64-P-22S

NPZD 模型框架下溶解有机氮对再生与新生产垂向分布的探索

陈鹤¹，高树基^{1*}

1 海南大学，南海海洋资源利用国家重点实验室
* sjkao@hainanu.edu.cn

氮素限制在贫营养海洋表层对初级生产力具有重要影响。传统研究主要聚焦于硝酸盐和铵盐驱动的生产过程，然而，溶解有机氮（DON）维持高效氮循环与微生物生产力日益受到关注。经典的 ¹⁵N 同位素示踪方法由于未考虑 DON 的动态，可能低估了新生产与再生生产的贡献。为更全面理解氮循环过程对初级生产力的影响，本研究在传统 NPZD（硝酸盐-浮游植物-浮游动物-碎屑）模型的基础上，尝试引入 DON、NH₄⁺ 储库以及对不同氮源具有偏好

的浮游植物。模型拓展有望更好地反映贫营养海区中氮的动态分布特征及其对初级生产力的潜在影响，亦可为探讨再生和新生产的时空变化提供一种理论框架。

S65-O-1

深度学习下的卡斯卡迪亚俯冲带十年慢滑重建

王集^{1,2}，陈克杰^{1*}

1 南方科技大学，地球与空间科学系

2 上海创智学院

* chenkj@sustech.edu.cn

慢滑事件 (SSE) 类似于长时间的慢地震，在此期间应力会在几天到几个月内逐渐释放，而一份全面的 SSE 目录对于更好地了解地震周期至关重要。然而，SSE 通常只产生毫米到厘米的表面变形，因此很难从原始的全球导航卫星系统 (GNSS) 时间序列中识别它们，因为这些时间序列通常被低频背景噪声所掩盖。我们设计了一种方法，首先采用变分贝叶斯独立成分分析来提高 GNSS 时间序列的信噪比，然后利用结合双向长短期记忆和两种不同注意力机制的深度学习来识别 SSE。我们将这种新方法应用于 2012 年至 2022 年卡斯卡迪亚俯冲带沿线 240 个站点的 GNSS 三分量时间序列。共检测到 56 个 SSE，比同期现有 SSE 目录中的数量多 18 个。56 次 SSE 的开始时间、持续时间、空间和传播模式与震颤目录一致，有助于对卡斯卡迪亚俯冲带的滑动行为获得新的见解。总的来说，我们的工作为提取隐藏在 GNSS 时间序列中的细微信号提供了一个有效的框架。

S65-O-2

2024 年日本能登半岛 Mw7.5 级地震早期震后形变特征及机制

马张烽^{1*}, 罗海澎², 李成龙³, 韦生吉^{1,4,5}

1 Nanyang Technological University, Earth Observatory of Singapore

2 南方科技大学, 地球与空间科学系

3 中国地震局地质研究所

4 Nanyang Technological University, Asian School of the Environment

5 中国科学院地质与地球物理研究所, 深层油气理论与智能勘探开发重点实验室

* zhangfeng.ma@ntu.edu.sg

2024 年 1 月 1 日, 一场矩震级 7.5 级的地震袭击了能登半岛, 对当地造成了严重的破坏。地震发生后, 半岛北部出现了显著的沉降, 这是正在发生的震后瞬态变形的一个缩影。为了探索背后的机制, 我们使用 InSAR 和 GNSS 数据分析了大约六个月的震后变形。我们的结果表明, 粘弹性松弛是驱动瞬态变形的主要因素, 特别是观察到的沉降模式, 其中最显著的变形是半岛北部超过 6 厘米的沉降。此外, 浅层余滑与同震滑动存在显著的重叠, 通过应力分析表明, 同震滑动会对发震断层背后的断层系统产生解夹效应, 从而触发浅部余滑。而观察到的部分深层余滑则可能归因于本州裂谷所处的弧后盆地下方存在入侵的基性岩, 因此粘弹性形变更为显著。这些观测与机制不仅揭示了当地震后变形的复杂动力学机制, 而且有益于增进我们对当地复杂断层系统和深部结构的理解。

S65-O-3

碳封存及能源开采过程中的诱发地震研究

闫晓^{1*}, 禹海涛²

1 同济大学, 航空航天与力学学院

2 同济大学, 土木工程学院

* xiao_yan@tongji.edu.cn

近年来随着全球范围内能源开采以及二氧化碳地质封存项目的增多, 与之相关的地震活动呈增加趋势。为此, 本文在统一管道-界面单元法框架下建立了热-水-力-化耦合 (HMC) 断层滑移模型, 研究了地应力状态与注水诱发地震关联机制, 分析了碳封存场地不同断层模式下的断层稳定性, 阐明了矿物溶蚀下的断层活化机理。研究发现: (1) 无论断层的初始应力如何分布, 断层抗震滑移量始终大于地震滑移量, 并且抗震滑移呈连续式分布, 地震滑移呈离散式分布, 微震事件逐渐向流体压力扩散前缘移动; (2) 注入诱发的地震活动主要发生在断层抗震滑移前缘的剪切应力集中区, 地震活动可能位于超压区以外, 抗震滑移前缘的剪切应力突然增加是注入诱发地震的主要原因; (3) 断层活化面积和震级大小为: 正断层>走滑断层>逆冲断层, 与天然地震呈现相反的规律; (4) 长期低速 CO₂ 泄漏过程中, 化学反应对断层滑动行为的影响比流体压力的影响更显著; (5) 考虑 CO₂-水-岩相互作用, 高渗透性储层中断层具有更高的稳定性。依据研究成果建立了压裂改造诱发地震风险评估指标体系及控制方案, 预期为能源开采及碳封存控震提供理论指导。

S65-O-4

基于地震波速成像的北智利俯冲带侵蚀强度评估与构造演化

马波^{1*}, 夏越洋²

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 中国地震局地球物理所

* bma@tongji.edu.cn

俯冲侵蚀作为汇聚板块边缘物质循环与构造重组的关键机制, 其强度差异深刻

影响着弧前区地壳结构与地震活动性。本研究基于最新多道地震反射数据与纵波速度 (V_p) 剖面, 揭示了北智利海沟外楔体沿走向的显著分段特征。结果表明: (1) 弧前靠海沟处 V_p 值 (4-5.5 km/s) 较稳定陆壳 (6-6.5 km/s) 显著降低, 与基底侵蚀导致的流体饱和及构造弱化密切相关; (2) 分段对比显示, 北智利沿海沟的低速区范围发生显著变化, 反映出侵蚀强度在不同海沟段位上的变化特征。研究表明, 地震波速成像为缺乏钻探约束的俯冲带提供了侵蚀强度评估的有效手段, 深化了对安第斯型活动陆缘长期演化的理解。

S65-O-5

浊流运动与其内沉积物组成之间的关系研究

任宇鹏¹, 王厚杰^{1*}, 许国辉¹, 吴晓¹, 毕乃双¹

¹ 中国海洋大学
* hjwang@ouc.edu.cn

浊流能够携带大量陆源沉积物向深海输运, 在深海物质输运与循环、地貌演化以及环境演变等方面扮演重要角色。较大的浊流不仅能够对沉积物底床造成强大的侵蚀, 还会严重威胁海底构筑物 (通讯光缆、油气管道等) 的安全, 是一种频发且影响极大的海洋地质灾害。浊流在运动过程中伴随着其内沉积物的沉积以及对沉积物底床的侵蚀, 这既是其与海底沉积物的物质交换过程, 也是影响浊流后续运动能力的关键因素。沉积物颗粒作为浊流的主要构成主体, 其粒度、浓度是决定浊流运动能力的关键影响因素。根据现有的现场观测结果, 目前浊流的流态主要有两种, 一种是低速、长“寿命”的浊流, 具有长距离运动特点; 而另一种则是相对高速、短“寿命”且运动距离短的浊流, 其主要差别在于浊流内部的沉积物粒度组成。然而怎

样的粒度组成, 怎样的沉积物浓度控制着何种状态浊流的运动过程, 目前尚不明晰, 且作为以重力为主要驱动力的浊流, 其运动速度是否会随着浓度的增加持续增加, 也有待研究。剖析浊流流速、流态特征, 与其沉积物组成之间的关系, 是认识浊流运动规律并量化其与海底沉积物交换过程的基础, 对清晰认识浊流的地质作用至关重要。

该研究利用室内试验, 指出不同粒度、浓度的浊流存在不同的流动状态和流体性质。此外, 对于某一特定沉积物粒度组成的浊流, 存在临界沉积物浓度, 在该浓度条件下, 浊流的运动速度最快, 且该临界沉积物浓度与构成浊流的粘粒含量成负相关。

S65-O-6

南海东北部多模态非线性内波及其沉积物响应

阮威涵¹, 张艳伟^{1*}, 吕丹妮¹, 张刘祯怡¹, 庄志远¹

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* ywzhang@tongji.edu.cn

南海是全球内波最为活跃的海区, 内波在东沙陆架发生非线性陡峭化, 呈现多模态特征, 并引发强动力作用和底沉积物响应。然而到目前为止, 对这些多模态非线性内波(NLIW)的季节性规律, 不稳定水动力特征及其引发的沉积物再悬浮的认识仍不足。本研究使用放置在南海东沙 325m 浅水陆架的一个集成锚系观测系统对温度, 流速, 背散射强度等参数进行了为期一年的高分辨率观测。结果表明, 第一模态 (Mode-1) NLIW 在观测时段广泛分布, 他们受控于吕宋海峡的正压潮, 并在跨海盆传播中受到中尺度涡和黑潮入侵的影响而发生频繁的轨迹偏移; 第二模态 (Mode-2) NLIW 受到季节, 中尺度涡和内潮等多尺度过程的调控在冬季呈现周期性的簇状分布,

并发生极性翻转。统计结果显示, 浅化过程中 NLIW 不稳定结构(波列, 涡旋)的出现促进了剪切不稳定和沉积物再悬浮; 此外, 相较于 Mode-2 NLIW, 尽管 Mode-1 NLIW 剪切不稳定较弱, 但它们在近底部有更大的振幅和更强的等温线垂向波动, 由此引发更强和持续时间更久的沉积物再悬浮。

S65-O-7

深海多金属结核采矿生态修复与双碳战略的潜在协同发展路径探讨

王磊^{1*}, 王万鹏², 姜源³, 李浩然⁴

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋生态保护与修复重点实验室

2 自然资源部第三海洋研究所, 海洋生物遗传资源重点实验室

3 厦门大学, 材料学院

4 中国科学院过程工程研究所, 介科学与工程全国重点实验室

* wanglei@tio.org.cn

随着陆地资源枯竭以及深海采矿技术的发展, 人类对深海采矿的热情空前高涨, 其环境影响也备受关注。深海多金属结核富含铁、锰、铜、钴、镍等元素, 是深海采矿最为主要的目标金属矿物资源。本研究立足于深海多金属结核采矿的环境问题, 从环境基线、环境影响和环境管理三方面对现有的深海采矿环境影响评价进行综述, 解析了采矿活动对上层水体、中层海洋及底层生境的潜在影响, 并提出了响应的减缓措施和生态修复手段。结合碳中和目标, 从深海采矿减缓措施和生态修复协同固碳、储碳和碳封存等手段提出了深海采矿的增汇方案, 包括(1)深海多金属结核对上层水体初级生产力的影响和潜在的“施肥”固碳增汇策略; (2)尾排水和采矿颗粒物影响海洋生物碳泵的储碳增汇策略; 和(3)人工结核生态修复协同 mCDR 的碳埋藏增汇策略。并指出了各部分目前亟需解决的

关键科学和技术问题, 讨论了当前采矿工艺下的深海采矿碳扰动解决方案, 展望了新一代采矿技术方法的环境影响新方向和可能存在的碳增汇协同策略。以期为深海采矿的环境影响问题提供可供参考的解决方案, 保障深海矿产资源绿色和可持续开发, 为资源-环境-气候三重协调提供可实现的路径探讨。

S65-O-8

深海采矿海底环境观测系统

贾永刚^{1*}

1 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

* yonggang@ouc.edu.cn

深海底蕴藏着丰富的金属矿产资源, 加快推进深海矿产资源开发对保障能源供给具有重要的战略意义。不同矿产资源的赋存环境及开采方式存在较大差异, 开采过程中必然面对工程地质与环境影响问题, 如: 金属硫化物广泛分布于构造活跃地区, 面临断层、地震、火山等问题; 富钴壳大多位于海山、高原的侧面, 面临山体崩塌、海底滑坡等问题; 多金属结核区沉积物质地松软, 采矿车海底行走导致沉积物力学性质发生改变, 面临地基稳定性下降等问题。此外, 采矿活动还会扰动浅层沉积物、释放金属离子、产生光和噪声污染, 影响海底生态环境系统。基于上述问题, 本研究自主研发了深海采矿海底环境监测系统, 包括矿区沉积物敏感性探测技术与装备、矿区沉积物扰动劣化过程原位长期观测技术与装备、矿区沉积物羽流三维运移扩散原位长期监测技术与装备、矿区水环境要素原位监测技术与装备, 通过海底声学物联系统互相接入进而形成了深海采矿海底观测系统, 获取了深海矿产资源调查、开发海底环境的第一手资料, 为深海采矿环境安全保驾护航。

S65-O-9

深海采矿沉积物羽流输运演化规律研究

梁御璞¹, 刘晓磊¹, 费梓航¹, 郭磊^{2*}

1 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

2 山东大学, 海洋研究院

* 201894900036@sdu.edu.cn

深海采矿活动对沉积物的扰动会引起羽流的产生和扩散, 对海洋生态产生不可修复的破坏作用, 严重制约深海矿产资源的商业化开采, 因此, 研究深海采矿过程羽流输运演化规律对于海洋环境评估, 海洋矿产资源开采具有重大意义。现有的观测技术缺乏针对采矿羽流悬浮颗粒的时序演化研究, 导致难以实现对其输运过程的精准量化表征与预测。在该研究中, 利用自主开发的沉积物羽流捕获监测系统, 在港池环境中进行了深海采矿作业的缩尺模拟试验, 通过改变采矿车的行进速度和采矿功率, 对采矿过程中沉积物颗粒进行现场监测和捕获, 实现对采矿沉积物羽流的形成和运输演化过程的监测。结果表明, 在低功率条件下, 主导粒径从 30-55 μm 转变为 45-75 μm , 输运通量比高功率条件下增加了 32%。并系统分析了采矿功率和行进速度对羽流颗粒演化的影响, 利用流速、浊度和粒径三个关键参数来表征羽流输运过程动力学特征, 为沉积物运输过程研究提供见解。本研究相关发现有助于更精确地解释采矿羽流输运行为特征, 为推进海洋环境评估和可持续性深海矿产资源开采提供了宝贵的数据支撑。

S65-O-10

基于 DAS 监测的水合物开采过程井筒多相流运移特征研究

吴学敏^{1*}, 梁前勇¹, 何向阁², 张敏², 董一飞¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 天然气水合物工程技术中心

2 北京大学

* wxm9211@163.com

在石油、天然气开采过程中, 生产管径改变、储层温压环境变化, 以及井筒内复杂多相流运移, 这些都严重影响井底安全和生产调控, 准确监测井筒环境对于保障生产安全、提高产量至关重要。传统的监测方法在面对复杂的井筒环境和日益增长的监测需求时, 逐渐显现出局限性。20 世纪 90 年代, 分布式光纤传感器技术被引入油气行业, 油气生产井中陆续开始安装分布式光纤传感器, 解决了传统井下监测点离散, 无法实现整个井筒全过程监测的难题。分布式光纤传感作为现代传感技术的重要分支, 集传感、传输功能于一体, 不仅能够将整条光纤长度上空间、时间多维分布状态信息进行连续测量, 还能够将测量信息实时、无损的传输到信息中心, 具有高灵敏度、高分辨率、抗电磁干扰、分布式测量等优点。随着光电子学和相关信号处理技术的进步, 该技术为油气井的高效开发和管理提供了有力支持, 已成为井下生产监测技术的重要发展趋势之一。

本研究将分布式声学传感 (DAS) 技术首次应用于海域天然气水合物试采过程中, 获取了全井筒的分布式声振动信号。这些信号可以明显的区别出海水段、造斜段和水平生产段, 并清晰的监测到了电潜泵工作时引起的 50Hz 左右的工频振动, 信噪比达到了 27dB 以上, 通过对生产段声振动信号的分析, 可以识别出井筒内多相流动的运移状态特征。同时, 开展了关于管道内的多相流运移声振动监测物模实验, 采用不同的气液比、不同管道轨迹作为初始条件, 利用 DAS 系统监测管流声振动信号, 实现井筒内管流声学响应剖面精准刻画, 建立了不同流型流态与声学响应特征的对应关系, 为水合物开采过程中井下工况判断提供了新的技术手段和理论依据。

S65-O-11

天然气水合物水平井降压开采过程储层温压场演化规律

杨林¹, 梁前勇^{1*}, 袁庆盟¹, 吴学敏¹, 王智刚¹, 董一飞¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 天然气水合物工程技术中心
* tomlqy@163.com

天然气水合物被公认为 21 世纪最具潜力的清洁能源之一, 因其资源量非常巨大而受到各国政府的高度重视, 但由于诸多原因, 导致海洋水合物开采难度非常大。中国地质调查局于 2017 年和 2020 年成功在中国南海北部陆坡神狐海域进行了天然气水合物试开采, 证明了资源量最大的泥质粉砂储层水合物安全开采的可行性。天然气水合物开采过程中, 储层内部温度、孔隙压力对分析水合物分解区域、分解状态等至关重要, 也是评估持续产气量、二次水合物形成以及储层稳定性的重要参数。本文以中国南海海域第二轮试采的水合物系统为研究对象, 基于 TOUGH+HYDRATE 软件, 开展水合物水平井降压开采储层温度和孔隙压力的响应规律模拟研究, 旨在分析水平井降压开采过程井周储层温压变化规律, 探究试采过程潜在风险区域(水平井造斜段)的储层温压场分布及水合物分解状态, 评估试采过程近井储层的二次水合物有利形成区域, 增加对水合物开采过程的储层响应规律认识。

S65-O-12

基于时空注意力机制的多空间尺度海洋声速剖面预测模型

王淑雯¹, 吴自银^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* zywu@sio.org.cn

海洋研究人员在研究资源灾害时特别依赖于海洋声速, 这一关键的水声环境指标存在显著的地理和时间变化。近年来, 时空序列预测算法逐渐兴起, 但它们在预测准确性方面仍面临挑战。此外, 目前大多数模型仅能预测单个坐标位置的声速剖面(SSP), 很少有模型能够进行多空间尺度的预测。因此, 本文提出了一种新颖的以数据驱动的方法, 称为 STA-Conv-LSTM, 结合了卷积长短期记忆网络(Conv LSTM)和时空注意力机制(STA)来预测 SSP。

我们利用 2004 年 1 月至 2023 年 6 月期间东太平洋月均声速的 234 个月数据集, 对模型进行训练。研究表明, 使用 24 个月的 SSP 作为输入来预测下一个月的 SSP 能够达到最高的准确性。结果显示, STA-Conv-LSTM 在单点和三维场景中的预测准确率均超过 95%。为了验证该模型的优越性, 我们将其与递归神经网络、LSTM 和优化参数设置的 Conv-LSTM 模型进行了比较。观察到 STA-Conv-LSTM 的拟合准确率为 95.12%, 且均方根误差低至 0.8978, 明显优于其他模型, 展示出在预测准确性和稳定性方面的突出性能。

这一模型不仅能够有效预测 SSP, 还将有助于改善对其他海洋资源和环境灾害因素的空间和时间预测, 从而为资源管理和灾害应对提供重要支持。

S65-P-1

唐山地区主要断层几何结构与流体扩散对地震活动的复杂控制机制

张苏祥^{1*}

1 上海市地震局

* zhangsuxiang@ecut.edu.cn

为深入探讨唐山地区地震活动的动力学机制及其与断层结构的耦合关系,本研究综合地震精定位、震源机制解、高分辨率 V_p - V_s - V_p/V_s 速度结构及流体超压反演结果,系统分析了该区主控断裂带的几何特征、流体行为与破裂特征之间的内在联系。结果表明:(1)通过沿唐山主断裂测线的速度结构与震源机制分布,我们首次识别并证实了唐山断裂带中存在一个结构-流体耦合型的 *stepping-over zone*。该区域处于南北段断裂几何突变带,深部(10–20 km)呈现低 V_p 、低 V_s 、局部高 V_p/V_s 块状异常,震源机制类型混杂,地震活动频繁,具备典型的断层连接构造与流体重新分配特征。其结构特征与1976年唐山M7.8地震震中区域高度重合,未来具有中强震再活动潜能。(2)约50次地震的流体超压值超过10 MPa,集中分布于低 V_s 、高 V_p/V_s 区域,主要位于主断层深部及异常体边界,提示该区具备典型的“断层阀效应”。速度剖面中10 km处常为高速度盖层,而12–15 km为低速异常体,构成了高压流体“蓄-释”系统,地震活动呈现出脉冲式释放特征,类似于漾濞震群区域的流体调控模型。(3)北段断裂近直(倾角88.4°),有利于流体在垂直通道中快速运移至中上地壳,在封盖岩层底部积聚诱发破裂;南段断层倾角较缓(51.6°),流体扩散分散,地震活动性相对较弱。(4)M3以上地震主要分布于8–20 km深部,机制以走滑为主,发生在高 V_s 、 V_p/V_s 正常区域,为构造应力主控型破裂;M3以下地震多位于10–15 km深度,无明显流体异常响应,可能反映局部应力释放型背景破裂。(5)多条外围测线显示中-下地壳存在非连续的低速块状异常体,但未形成主控流体通道;浅层盖层坚硬,具备良好的封闭能力,利于深部能量积聚但对破裂具有约束作用。综上,唐山断裂系统呈现典型的构造-流体-速度结构耦合特征,*step-over* 区作为几何转换与流体集散的双重调控带,可能是未来破裂扩展的关键控制区,具有重要的震源物理与震灾预测意义。

S65-P-2S

2025年西藏定日 Mw7.1 地震的震源参数与滑动分布

王绍俊^{1,2}, 白玲^{1,2*}, 刘超亚^{1,2}, 陈治文^{1,2},
吴智超^{1,2}, Sanjev Dhakal^{1,2}

1 中国科学院青藏高原研究所, 青藏高原地球系统与资源环境国家重点实验室

2 中国科学院大学

* bailing@itpcas.ac.cn

北京时间2025年1月7日9时5分,西藏日喀则市定日县(28.5°N, 87.45°E)发生 Mw 7.1 地震,震源深度约10 km。定日地震发生在青藏高原南部申扎-定结裂谷南段丁木错断裂上,震源机制解表明该地震为具有左行走滑分量的正断层型地震。本文联合差分合成孔径雷达(D-InSAR)和远震地震波资料研究了定日地震的震源参数和破裂特征。

利用震中距30°–90°范围的宽频带地震台站P波资料,通过贝叶斯自举优化算法获得了震源参数的全矩张量。结果显示:定日地震震源参数走向为187°/360°,倾角为47.1°/43.5°,滑动角为–73°/–98.6°,其中ISO分量约为24.2%,CLVD分量约为2%。该地震为正断层型地震,与GCMT、USGS等机构给出的震源参数较为一致。

为了进一步理解震源的破裂特征。利用D-InSAR技术获取了定日地震的同震形变场,联合宽频带地震波资料,通过基于序列蒙特卡罗的贝叶斯方法反演获得了定日地震的均匀滑动模型:走向为187°,倾角为46°,滑动角为–73.59°。基于弹性半空间假设,将断层扩展并离散化,通过线性反演方法,利用降采样后的InSAR形变场数据进行断层滑动分布反演。结果显示:断层破裂主要集中在地壳浅部,局部破裂至地表,与地表实地调查发现的沿丁木错断裂的局部破裂位置较为一致,断层面上最大滑动量约为2.4 m,深度约为5.6 km,发震断层为西倾的丁木错断裂。

2015 年以来定日地震震源区多次发生 5.0 级以上正断层型地震,说明震源区断裂构造活跃,研究定日地震震源参数和断层滑动分布可为区域构造演化及地震危险性评估提供重要数据支撑。

S65-P-3S

2024 年 8.7 南加州 Mw5.2 地震序列特征分析

李卫东^{1,2}, 周鹏程^{2*}, 张帆^{2*}

1 中国科学院大学

2 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* zhoupengcheng@scsio.ac.cn

* zhangfan@scsio.ac.cn

2024 年 8 月 7 日 04 时 09 分 (UTC 时间), 美国加州南部 Bakersfield 发生 Mw5.2 级中等强度地震, 引发显著震感。南加州地震中心 (SCEDC) 在震后一周内报告了近 630 次地震。此次地震序列分布特征表明, 主震并非发生在圣安德烈斯断层, 而是紧邻曾发生 1952 年 Mw7.5 强震 (加州历史最强板内地震) 的 White Wolf 断层 (北东南西走向), 这引起了地震学家的广泛关注和当地居民的高度警惕。尽管加州的圣安德烈斯等活动断层已被地球物理学证据详细刻画, 然而, 包括 White Wolf 在内的一些小的活跃度较低的次级断层系统仍缺乏清晰认识, 这为加州地区的地震风险评估带来了挑战。为此, 本研究通过机器学习方法等, 快速构建了 Mw5.2 主震和余震序列的高分辨率地震目录, 并在此基础上对地震特征和发震断层进行了分析探讨。本研究收集了距离主震 0.6° 以内 31 个地震台站一周的连续地震记录, 并开展了以下工作: (1) 使用 EQTransformer 进行地震检测和震相拾取; (2) 使用 GaMMA 进行地震相关联和地震初步定位; (3) 使用 VELEST 改进速度模型和校正台站走时; (4) 使用绝对定位算

法 HypoInverse 改善定位; (5) 基于水平分量最大振幅计算其地方震级 M_L ; (6) 使用双差定位算法 HypoDD 对地震精定位。在仅使用 SCEDC 常规定位台站数量不足三分之一的情况下, 本研究最终检测到 1247 个地震事件, 是 SCEDC 报告数量的 2 倍, 并成功还原了 94% 的 SCEDC 地震目录。本研究最终得到的重定位地震目录包含 988 个地震, 震级范围为 $0.21 < M_L < 5.52$ 。平均走时残差从 SCEDC 目录的 0.21 s 显著降低至 0.018 s。地震分布显示, 余震序列主要围绕 Mw5.2 级主震附近 5 公里范围内沿北西-南东方向线性成簇展布, 深度集中于 11 ~ 15 km。该地震序列并非发生在 White Wolf 断层而是与其斜交的几个隐伏的次级断层上, 余震序列与 White Wolf 断层最小距离仅为 5 km。此外, 本研究新检测到的大量小震级 ($1 < M_L < 2$) 事件发生率表现出较为规律的昼夜变化, 可能与噪声水平或者浅部的应力扰动相关。本研究对该地区的地震危险性评估具有重要的参考价值。

S65-P-4

简单中央圣安德烈亚斯断层的三维结构与复杂行为

程怡芳^{1*}, Roland Burgmann², Richard Allen²

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 加州大学伯克利分校, 地球与行星科学学院

* chengyif@tongji.edu.cn

中央圣安德烈亚斯断层 (CSAF) 在大尺度上呈现出简单的线性几何结构, 然而, 其地震性和非地震性变形特征沿断层却表现出复杂的变化。本研究利用大地测量观测、地震活动和微震震源机制, 探讨断层带的行为。我们采用了一种改进的震源机制表征方法, 利用 1984 年至 2015 年间沿 CSAF 一段长 190 公里、宽 2 公里的区域内 75,164 次震级 $M \geq 1$ 的地震的相对地震辐射模式。这些数据揭示了 CSAF 的三维精细

结构和震间运动学特征。我们的发现表明，震间断层蠕滑速率、蠕滑方向和断层带应力场的一阶空间变化可以通过一个简单的断层耦合模型来解释。推断出的断层带的三维力学性质显示其力学上较弱且耦合程度较低，这为理解复杂的精细运动学提供了统一的视角，表明分布式滑移亏损促进了小到中等规模地震的发生，局部应力不均匀性以及沿断层的复杂多尺度破裂。通过这一详细的映射，我们旨在将精细尺度的断层结构与 CSAF 未来可能的断裂行为联系起来。

S65-P-5S

三维地震数据：深海地质灾害研究的“哈勃望远镜”

韩政豪¹，吴南^{1*}

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

* nanwu@tongji.edu.cn

三维地震勘探是 21 世纪以来地球科学领域最令人振奋的技术革新之一。借助三维地震技术，地质学家能够在覆盖数千平方公里的海底区域内，以约 10 米的垂向分辨率和优于 10 米的横向分辨率，高精度刻画地下地质构造与沉积特征。这一技术为地质学家提供了前所未有的“透视视角”，如同为地球内部装上了一台“哈勃望远镜”极大拓展了对深海地质过程与演化机制的认知边界。三维地震数据所蕴含的地质信息极为丰富。本研究拟系统回顾近年来基于三维地震数据在海底地质灾害分析方面取得的重要进展，内容涵盖深海纵向流体喷发通道、巨型海底麻坑、深海撞击陨石坑、大规模复发性海底滑坡及超临界海底浊流等灾害过程的识别与致灾机制研究。通过三维地震数据的解译，海底地质灾害的孕育与触发机制得以揭示，为海底防灾减灾及工程设施铺设提供了关键地质信息。可以预见，未来三维地震技术将在海底地

质灾害研究中继续发挥核心作用，为我们带来更多突破性的发现。

S65-P-6

深海多金属结核区沉积物羽流对海底电场环境影响研究

范智涵¹，郭秀军¹，贾永刚^{1*}

1 中国海洋大学，环境科学与工程学院

* yonggang@ouc.edu.cn

电场环境是海底生态系统健康发展的关键，其动态变化是深海采矿环境影响评估的重要指标。针对当前多金属结核区羽流扰动前后电场环境变化规律不清、羽流颗粒对电场环境影响机制不明等难题，本研究在西太平洋多金属结核区原位获取的羽流扰动前后海底电场环境数据集的基础上，系统性探索深海采矿羽流对海底电场环境的影响。利用自主研发的自然电位探杆，原位观测西太平洋多金属结核区海底电场环境，揭示结核区海底电场环境本底特征及羽流扰动后的变化规律；通过水槽模拟试验及室内测试，解析羽流颗粒物性、电性、浓度、运动等对海底电场环境的影响，阐明羽流影响海底电场环境机制。研究成果将加深采矿羽流对海底电场环境影响的认识，服务于深海多金属结核开采环境影响评价。

S65-P-7

浮标—海床基环境观测系统设计及其在南海天然气水合物区的应用

董一飞^{1,2,3}，梁前勇^{1,2*}，吴学敏^{1,2}，郭斌斌^{1,2}，张志峰⁴，张锋³，倪晶晶⁴，苏丹仪^{1,2}，许安迪^{1,2}，王智刚^{1,2}，吴晓钰^{1,2}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

3 浙江大学
4 中天海洋系统有限公司
* tomlqy@163.com

深海资源的安全开采对海洋环境立体观测提出了较高的要求,针对深远海有缆海底观测网面临的海缆铺设成本高、施工复杂等问题,本文介绍了一种能够长期自持工作的、可快速收放的浮标-海床基一体化环境监测系统,该系统为水下单点系泊结构,由海-气交换通量监测浮标、水下中继潜标、电能/通信传输光电复合缆、海底接驳观测系统以及云端可视化预警平台等组成。浮标采用大功率太阳能板及蓄电池配合供电,通过光电复合缆为水下各级节点传输能量,同时接收水下潜标、海底接驳盒的监测数据,并通过卫星通讯的方式发送给岸基接收端,可实现对海-气界面、海水剖面、海床的海洋动力及化学环境变化情况的立体实时监测,并与其他海底观测节点提供湿插拔接口。系统研制完成后于2023年12月布放于南海北部天然气水合物区水深1340 m处,成功完成了海试。

S66-O-1

晚第四纪以来冲绳海槽中北段冷泉活动岩石记录与历史重建

李昂^{1,2*}, 孙治雷^{1,2}, 吴能友², 孙运宝^{1,2}, 张喜林^{1,2}, 徐翠玲^{1,2}, 翟滨^{1,2}, 曹红^{1,2}, 耿威^{1,2}, 陈烨^{1,2}, 张栋^{1,2}, 徐思南^{1,2}, 刘庆省^{1,2}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 自然资源部海洋甲烷监测工程技术创新中心

2 崂山实验室, 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

* ang.li_cn@outlook.com

深海冷泉系统代表了活跃碳自沉积物向海洋转移的过程,构成了全球碳循环的重要组成部分。所在团队在过去十多年中

在我国东海冲绳海槽中北段连续开展了多次调查和系统研究,多频声学探测结果揭示了该区域弧后拉张背景下现今海底游离态甲烷渗漏分布,通过冷泉要素的空间配置揭示了游离态甲烷在沉积物-海底-海水连续空间内的迁移过程,明确了以弧后盆地拉张应力为主、隆起地貌聚集为辅的复合控制作用。之后瞄准海底高密度冷泉典型区,开展了海底浅钻和载人深潜调查,基于获取原位多种冷泉碳酸盐岩的地质记录档案,通过岩石矿物-元素-测年的研究方法,重建了该海域晚第四纪以来冷泉活动的动态历史,取得了一系列原创性的理论认识。具体包括:1)末次冰盛期以来底层水温度上升能够过度补偿快速海平面上升对于天然气水合物稳定带底界面深度的控制,从而引起水合物分解和冷泉活动加强;2)单个冷泉空间尺度中中央运移通道正上方的自封效应能够导致富甲烷流体侧向运移;3)三个冷泉站位岩石记录均表明末次冰盛期以来14-4 ka是整个区域冷泉活动加强时期,其中一个站位岩石记录表明160-203 ka也是冷泉碳酸盐岩快速形成时期。上述研究为深入理解晚第四纪以来中低纬度陆架边缘冷泉地质过程、定量评价冲绳海槽冷泉活动环境效应提供了详实的科学依据。

S66-O-2

冷泉环境下沉积物钨同位素组成特征及其意义

苗晓明¹, 尉建功^{2*}, Davide Oppo³, 刘喜停¹, 李景瑞⁴, 方子遥⁶, 李江涛⁵, 管红香¹, 吴能友⁴, Thomas J. Algeo⁷

1 中国海洋大学

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局

3 The University of Louisiana at Lafayette

4 崂山实验室

5 同济大学

6 中国科学技术大学

7 University of Cincinnati

* weijiangong007@163.com

钨同位素 ($\delta^{186}\text{W}$) 是重建海洋氧化还原历史的潜力指标, 但其在硫化环境中的分馏作用仍然知之甚少。本研究分析南海海马冷泉沉积物发现, 其 $\delta^{186}\text{W}$ 值高达 +0.43‰, 且呈现显著波动, 与黑海等硫化物环境的同位素均一性形成鲜明对比。研究表明, 冷泉自生碳酸盐沉淀是控制钨同位素分异的关键。自生碳酸盐沉淀有限的冷泉沉积物与上陆地壳及黑海沉积物同位素特征一致, 表明陆源输入为主且分馏微弱。而富含自生碳酸盐的沉积层则接近现代海水值, 揭示冷泉碳酸盐在形成过程中可以继承其同位素特征, 未产生明显分馏。这一机制得到冷泉碳酸盐岩高 $\delta^{186}\text{W}$ 值的直接证实。该发现首次揭示冷泉系统通过自生碳酸盐沉淀将海水钨同位素信号高效保存于沉积记录, 拓展了钨同位素在极端环境地球化学研究中的应用维度。

S66-O-3

碳酸盐结合磷对海洋自生碳酸盐岩形成过程中碱度及磷酸盐水平的指示

胡钰^{1*}, 高宇¹, Peckmann Jörn², 陈琳莹¹, 陈多福¹, 冯东¹

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院
2 University of Hamburg, Department of Earth System Sciences
* huyu@shou.edu.cn

海洋沉积物中孔隙水碱度的增加可促进大范围的自生碳酸盐岩的形成。自生碳酸盐岩在地质历史时期中对调控全球碳循环发挥了关键作用。揭示碱度在自生碳酸盐形成过程中的演变特征, 对于理解这些自生矿物在过去碳循环中的作用至关重要。然而, 迄今为止, 基于碳酸盐矿物的孔隙水碱度代用指标尚未建立。本研究聚焦于采自墨西哥湾和南海冷泉区 14 个海底站位的自生碳酸盐岩样品。分析结果显示, 从

含文石、方解石到含白云石的碳酸盐岩序列中, 碳酸盐结合磷 (CAP) 含量呈现出递增趋势。相应地, 这些碳酸盐岩序列在沉积物中的形成深度也逐渐增加, 而通常孔隙水碱度和溶解磷浓度会随着深度增加持续升高, 表明 CAP 主要受控于自生碳酸盐岩形成过程中孔隙水碱度和溶解磷水平。此外, 在含白云石碳酸盐岩中, CAP 含量与碳酸盐结合铵含量呈正相关, 但与有机碳含量无显著关联, 进一步表明 CAP 指示的高碱度特征受到了产甲烷带中硅酸盐风化作用的影响。综上所述, 本研究表明海洋自生碳酸盐岩的 CAP 特征可作为追溯过去孔隙流体碱度与磷酸盐水平的代用指标, 为探究海底成岩作用对全球碳循环的影响提供了新的研究手段。

S66-O-4

渤海中西部海底流体活动系统的分布与地质控制因素

陈江欣^{1*}, 段旻良², 童思友³

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
2 中海石油(中国)有限公司海南分公司
3 中国海洋大学
* jiangxin_chen@sina.com

深入了解海底流体活动系统对海底地质灾害识别和油气勘探具有重要意义, 因为它可以重塑海底并作为地下油气资源的指标。通过对侧扫声呐、单道和多道地震数据以及磁力数据的综合研究首次揭示了渤海中西部各种海底流体活动地貌(即麻坑和丘体等)和浅层流体运移通道组成的复杂流体活动系统。气烟囱、泥底辟和密集的第四纪断层系统是浅地层流体活动的主要形式。根据其分布和地震特征, 气烟囱可分为三类(A型由相对快速的气体逸出形成; B型由幕式流体排出形成; C型由泥底辟的流体逸出形成), 这意味着其形成过程的可变性。沉积物再活化和与基底相关的断层有助于深层流体向浅层运移。

作为向上流动流体的盖层，全新世海洋沉积物的性质和厚度通常决定了渗透率和上覆压力，这会控制麻坑和丘体的分布，因为它们几乎分布在相对较薄的全新世沉积物（厚度<20m）和局部粗糙的表层沉积物之上。研究成果加深了对控制气烟囱形成的成因和其空间分布地质过程的理解，并阐述了气烟囱分类的意义。不同类型气烟囱的分布特征可能意味着不同地质背景和流体活动过程，如流体通过断层的运移或活化沉积物的流动等，这对全球石油系统的评估和碳捕获与封存研究至关重要。

S66-O-5

黑海冷泉区纤维状镁方解石在“文石海”中的形成机制与环境指示意义

芦阳^{1,2*}, Boriana Mihailova³, Thomas Malcherek³, Carsten Paulmann³, Daniel Smrzka⁴, Jennifer Zwicker⁵, Zhiyong Lin², Gerhard Bohrmann⁴, Jörn Peckmann²

1 中国科学院南海海洋研究所，热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 University of Hamburg, Institute of Geology

3 University of Hamburg, Mineralogical-Petrographical Institute

4 University of Bremen, Department of Geosciences

5 University of Vienna, Institute of Mineralogy and Crystallography

* luyang@scsio.ac.cn

气候变化深刻影响着地球生物的演化进程，在不同的气候模式下，海水 Mg/Ca 会发生变化，这被认为是控制海水初始自生碳酸盐相的主要因素，由此建立了自生碳酸盐相与气候模式的对应关系。然而，最新研究发现海水成分的影响机制可能更为复杂，黑海冷泉碳酸盐中独特的纤维状胶结物为此提供了重要线索。本文发现黑海冷泉碳酸盐中的文石和镁方解石与海水深度有关，黑海海水和浅部孔隙水的

Mg/Ca 都接近 4，符合“文石海”条件。在黑海浅部的冷泉区，纤维状镁方解石形成于先期文石留下的孔洞中；而深部冷泉区的胶结物均为镁方解石。通过显微镜阴极发光下的分带、晶体形貌指示的竞争性生长、镁含量的均匀分布和平衡的氧同位素特征，均说明纤维状镁方解石的原生性，其镁含量（4.5 至 12.2 mol%）与碳同位素呈负相关性，揭示硫酸盐-甲烷厌氧氧化产生的硫化氢催化了镁离子进入方解石晶格。与开放的大洋环境不同，黑海深水硫化环境为这种特殊胶结物的形成提供了必要条件。本文的结果不仅揭示了硫化氢催化是高 Mg/Ca 条件下低镁至高镁方解石形成的重要因素，更为理解硫化海洋条件下的碳酸盐胶结作用提供了关键理论依据。

S66-O-6

冲绳海槽冷泉碳酸盐岩低钼同位素信号及其指示意义

南航宇¹, 苗晓明^{1*}, 管红香^{1*}

1 中国海洋大学，海底科学与探测技术教育部重点实验室

* xiaomingmr1992@126.com

* guanhongxiang@ouc.edu.cn

钼（Mo）及其同位素特征是约束甲烷渗漏环境下生物地球化学循环的重要潜力指标。然而，目前研究仅限于探索氧化还原环境变化对 Mo 同位素的控制机制，忽略了环境中不同 Mo 源对冷泉碳酸盐岩 Mo 同位素的影响。特别是在冷泉-热液共生系统的独特背景下，氧化还原条件和 Mo 源变化显著，其同位素特征及其分馏机制仍不清楚。因此，本研究针对冲绳海槽北部（OTN）受热液羽流影响的冷泉碳酸盐岩进行了系统的 Mo 同位素组成特征及其控制机制分析，并与冲绳海槽中部（OTM）和九龙甲烷礁（JMR）未受热液影响的冷泉碳酸盐岩进行了综合对比。首先，依据 $\delta^{56}\text{Fe}$ 信号、Fe/Al 及其与元素指标相关关

系,发现 OT_M及 JMR 冷泉碳酸盐岩表现出与火成岩 $\delta^{56}\text{Fe}$ 相似信号(平均 $\delta^{56}\text{Fe}$ 分别为: 0.09‰、0.04‰),且较低的 Fe/Al、V/Al、Zn/Al 值,表明未受到热液羽流影响。此外,OT_M及部分 JMR 冷泉碳酸盐岩表现出强烈的 Mo 富集特征以及高 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值(平均 $\delta^{98}\text{Mo}$ 分别为: 1.85‰、2.03‰),指示碳酸盐岩形成于强烈的硫化条件下。而部分 JMR 冷泉碳酸盐岩未表现出明显 Mo 富集特征以及低 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值(平均 0.21‰),推测形成于缺氧条件下,受陆源输入的影响。与之相比,OT_N冷泉碳酸盐岩具有普遍较低的 $\delta^{56}\text{Fe}$ 值(最低-0.49‰),较高的 Fe/Al(最高 2.84)及其与 V/Al、Zn/Al 的明显正相关关系,以及异常的 U 富集(U_{EF} 最高 44.87),指示了显著的热液羽流信号。与之对应的是 OT_N冷泉碳酸盐岩具备总体更低的 $\delta^{98}\text{Mo}$ 值(平均 0.25‰,最低-0.55‰)。这是因为,一方面热液羽流本身携带的轻 Mo 同位素输入到了冷泉环境中;另一方面则是热液羽流输送的大量铁离子在冷泉环境中触发 Fe-AOM,在缺氧-弱硫化的条件下,引起 Mo 同位素的强烈分馏。为了明确热液羽流的贡献,我们以热液流体 Mo 和海水 Mo 作为输入端,钼吸附在铁锰(羟基)氧化物作为输出端建立了质量平衡模型,验证了这一想法。本研究结果表明冷泉-热液共生系统下,冷泉碳酸盐岩 Mo 同位素受氧化还原条件和 Mo 源变化的共同控制,对于理解冷泉系统下 Mo 循环过程意义重大。

S66-O-7

冷泉沉积物中活跃的氮循环: 以南海海马冷泉为例

傅建融¹, 罗敏^{1*}, 邓龙辉², 宫尚桂¹, 王旭东¹, 陈多福¹, 冯东^{1*}

¹ 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

² 上海交通大学, 海洋学院

* mluo@shou.edu.cn

* dfeng@shou.edu.cn

尽管氮循环过程已在多种海洋环境中得到广泛研究,但在富含甲烷和硫化氢的冷泉沉积物中仍缺乏深入认知。本研究通过结合孔隙水与沉积物地球化学、宏基因组及反应-运行模型数值模拟的方法,定量分析了海马冷泉区与非冷泉区沉积物中的有机质降解及其关联的氮、硫、甲烷循环过程。在非冷泉区沉积物中,有机质降解速率为 110.6 mmol m⁻²yr⁻¹,主要通过有氧呼吸(51%)降解,其次是硫酸盐还原、锰和铁氧化物还原、反硝化。而在冷泉沉积物中,除有机质降解(127.2 mmol m⁻²yr⁻¹)外,甲烷厌氧氧化为主要的生物地球化学反应(1262 mmol m⁻²yr⁻¹)。冷泉沉积物中异化硝酸盐还原为铵(DNRA)的速率约为非冷泉区沉积物的 5 倍,这与冷泉沉积物中更高的 DNRA 功能基因(*napAB*、*nirB*、*nrfA*)及相关细菌(如 *Thiothrix nivea*、*Thiotrichaceae bacterium* 等)丰度相一致。非冷泉沉积物中 NH₄⁺主要通过有氧氨氧化再循环,而冷泉沉积物中硫酸盐还原耦合氨氧化(SRAO)成为 NH₄⁺的主要汇及固定态氮的损失途径。此外,我们还发现冷泉沉积物中厌氧氨氧化过程受到抑制。我们认为冷泉沉积物是氮转化的热点区域,其活跃的氮循环过程可能源于 DNRA 与 SRAO 过程的增强。

S66-O-8

南海西沙海域海底流体活动的微震信号时空特征与环境驱动因素

夏少红^{1*}, 陈立辉¹, 曹敬贺¹, 范朝焰¹

¹ 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* shxia@scsio.ac.cn

海底流体活动是一种极其复杂的深海能量交换过程,蕴含着地球水圈与下覆岩

石圈之间物质和能量交换的关键信息。由于探测技术的限制,目前关于海底流体活动的触发因素及周期性等问题仍认识不足。本研究中,我们在南海北部的西沙海域布设了一个为期 3 个月的海底地震仪(OBS)观测阵列。除局部地震事件外,我们拾取了大量的短时振动事件(Short Duration Events, 缩写为 SDEs)和长时间震颤(Long Duration Tremors)。我们认为 SDEs 和 Tremors 与海底流体的运移和渗漏有关。研究发现不同台站 SDEs 的产生规律与潮汐变化有着很好的相关性,说明潮汐的变化影响着海底浅层结构的应力状态,进而对海底流体活动产生影响。同时,我们还发现海上风暴可触发海底流体活动,从而大大增强流体的运移或排放。这一发现弥补了风暴期间传统航次调查的观测缺失,我们认为风暴可能是大规模海底流体排放的重要诱因之一。

S66-O-9

活性颗粒铁调控 Rainbow 非浮力热液羽流锌、铜、镍、镉、铅的形态分异

朱逊驰^{1,2*}, 周林滨³, 陈雪刚⁴, 高树基², Eric Achterberg⁵

1 海南大学, 海洋科学与工程学院

2 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室

3 中国科学院南海海洋研究所

4 浙江大学, 海洋学院

5 德国国家海洋研究中心(GEOMAR, Kiel)

* xczhu@hainanu.edu.cn

海底热液系统作为连接岩石圈与水圈的关键通道,深刻影响着痕量金属的生物地球化学循环。尽管已有研究聚焦热液喷口邻近区域的金属沉积或者数千公里尺度的远距离传输,但热液金属的中距离(数十公里)输运机制仍存在认知空白。本研究沿大西洋中脊 Rainbow 热液喷口下游 60 公里断面,采用洁净采样系统高分辨率地

采集热液非浮力羽流上中下层水样,系统解析了锌(Zn)、铜(Cu)、镍(Ni)、镉(Cd)和铅(Pb)等痕量金属的分粒级(真溶态、胶体态与颗粒态)浓度、³He 浓度及其同位素组成的空间变化。结果显示,金属浓度峰值与热液信号空间分布高度吻合,活性颗粒铁与富碳基质的协同作用调控热液源金属与背景海水的保守混合行为。就粒径划分而言,胶体态锌与真溶态铜、镍、镉及颗粒态铅分别主导各自储库组成。本研究揭示了热液输入对深海金属形态转化与迁移行为的调控机制,为生物地球化学模型构建提供了关键参数,尤其对中尺度金属循环的定量模拟具有重要科学价值。

S66-O-10

基于时序示踪—气液双相耦合的海底渗漏通量原位监测方法研究

刘浩然¹, 郭磊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

* 201894900036@sdu.edu.cn

海底天然气水合物渗流动态监测是资源开发与灾害预警的关键环节。本研究创新提出一种基于示踪剂时序分布解析的渗漏通量原位监测技术,集成 fluen 仿真与室内实验方法,研制海底流体通量仪并构建数值模拟体系。装置通过收集室捕获渗流气液流体,由蠕动泵驱动示踪剂(如氯化铷溶液)与渗漏流体的混合循环,结合样品卷管中的时序分布特征,建立渗漏通量反演模型。数值仿真表明,内径 5 mm 出入水管可实现流体充分混合(扩散效率>92%),4 mm 样品管卷有效抑制扩散效应(界面模糊度<10%),保障时间序列分辨率;室内实验验证,蠕动泵在 24 ml/day 速率下运行误差率≤3%,水槽实测流量与理论值相对误差<5%。研究成果为天然气水合物开采区渗流场重构、环境风险

评估提供了高精度、低扰动监测手段,对海底资源开发与地质安全监测具有重要工程应用价值。

S66-O-11

深海冷泉黑碳的地球化学性质及其地质意义

王旭东^{1*}, Jörn Peckmann², Germain Bayon³, 冯东¹

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

2 University of Hamburg, Department of Earth System Sciences

3 Ifremer

* xd-wang@shou.edu.cn

黑碳(Black Carbon, BC)通常是指有机碳含量超过 60%的含碳化合物,通过生物物质和化石燃料的不完全燃烧形成,其多环芳香烃结构赋予其在环境中存续数百年至万年的持久性。尽管河流输送与大气沉降是 BC 向海洋迁移的主要途径,且深海沉积物构成其最终储库,但目前对陆源 BC 入海通量、运移过程的时空分异特征,特别是对海洋溶解态 BC 的碳同位素异常(包括放射性碳年龄偏老、稳定碳同位素特征异常及质量平衡偏差)等关键科学问题仍缺乏系统认知。

BC 的长期固碳能力是控制气候变化动态的因素之一。培养实验表明,甲烷厌氧氧化古菌(ANME)可以产生 BC,但其对海洋 BC 循环的影响尚未得到彻底研究。通过对南海与墨西哥湾冷泉碳酸盐岩中 BC 的地球化学分析,首次发现 $\delta^{13}\text{C}_{\text{BC}}$ 值低至 -45.2‰ 的异常信号,这为自然环境中 ANME 来源 BC 提供了直接证据。贝叶斯混合模型计算表明,微生物源 BC 在冷泉碳酸盐岩中的贡献比例可达 2-33%,源自冷泉的 BC 可能是深海中古老溶解性 BC 的一个合理来源。

S66-O-12

利用 X 射线 CT 成像分析深海冷泉环境多孔介质中的碳酸盐沉淀特征

潘桦¹, 冯景春^{1*}

1 广东工业大学, 生态环境与资源学院

* fengjc18@163.com

理解冷泉碳酸盐的发展过程对于弄清冷泉生态系统甲烷循环的演化历史至关重要。冷泉碳酸盐作为厌氧甲烷氧化的产物,在形成海洋碳循环方面起着关键作用。然而,人们对碳酸盐沉淀的驱动机制仍然知之甚少。本研究采用 X 射线计算机断层扫描技术,对深海冷泉环境中孔隙尺度(毫米至亚毫米)的碳酸氢根离子浓度和沉积层动态进行可视化分析。研究结果表明:(1)碳酸盐沉淀主要由流体饱和度指数驱动,沉淀物优先在砂柱底部积聚,底部具有最低的孔隙体积贡献,占据总孔隙体积的 22.7%,从而产生空间异质性。(2)沉淀过程遵循局部堵塞机制,非线性地降低了相对于孔隙度的导水性,平均粒径 0.51mm 砂柱的孔隙度降低了约 20%,底部区域的水力传导率下降了超过 1 个数量级。(3)流体流动性的差异会引起流体流动网络的重新配置,促使横向迁移并形成新的流动模式。这些发现为碳酸盐形成机制、碳酸盐动力学和海洋生物固碳过程提供了重要的启示。

S66-P-1

海马冷泉碳酸盐岩形成环境及触发机制研究

杨威^{1,2}, 任金锋^{1,2}, 匡增桂^{1,2}, 许辰璐^{1,2}, 赖洪飞^{1,2*}, 吴能友¹

1 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 天然气水合物工程技术中心

* 993533243@qq.com

冷泉碳酸盐岩及双壳忠实地记录了过去富甲烷冷泉流体渗漏活动的历史演化过程,同时也反映了冷泉活动区的古环境演化特征。本文以琼东南海域海马冷泉区的海底碳酸盐岩和生物双壳样品为研究对象,系统开展碳酸盐岩矿物学、岩石学、同位素地球化学以及质谱 ^{14}C 测年研究,探讨海马冷泉区碳酸盐岩的成岩环境、富甲烷渗漏流体的组成、甲烷来源以及演化特征、确定甲烷释放的年代,并探讨天然气水合物分解的触发机制。

研究结果显示,海马冷泉碳酸盐岩样品中可见石英、生物碎屑、黑色团粒和文石发育。石英通常粒径较小,呈次棱-棱角状,分选较差,在阴极发光下呈蓝色。受到陆源物质输入的影响,部分样品可见大量的石英颗粒。生物碎屑以双壳类和有孔虫类为主,其中有孔虫类常见完整的有孔虫壳体,壳体内部多被文石充填;而双壳类通常为细小的碎片。在扫描电镜下可见草莓状黄铁矿发育,直径一般小于 $20\mu\text{m}$,由大量直径约 $1\mu\text{m}$ 的黄铁矿颗粒组成。冷泉碳酸盐岩的矿物组成包括石英、钾长石、斜长石、方解石、文石和粘土矿物。其中,文石是冷泉碳酸盐岩的主要组分,含量为 $55.8\sim 83.6\%$,平均为 77.0% 。高 Mo-EF 和低 Al 含量指示低陆源碎屑输入和缺氧的沉积环境。在对稀土元素进行表层海水标准化后,生物壳体、文石和基质的稀土元素配分曲线均表现出 Ce 元素富集,指示了还原的沉积环境。

冷泉碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 为 $-49.13\sim -39.45\text{‰}$,具有显著的负异常,表明其碳源主要为生物成因。其中 1 号位置所取样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 为 $-41.24\sim -39.45\text{‰}$,较 2 号位置 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 为 $-49.13\sim -44.52\text{‰}$) 高,可能受到了海水溶解无机碳 (DIC) 的影响。冷泉碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ 为 $2.93\sim 4.41\text{‰}$,表明可能存在天然气水合物分解。冷泉碳酸盐岩样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 没有明显的变化,范围为 $0.709165\sim 0.709198$,与现代海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7092$ 非常接近,表现出典型的

现代海水特征,即浅层 Sr 来源,无其他的 Sr 源输入。 ^{14}C 同位素测年也表明这些冷泉碳酸盐岩样品主要为现代的海底碳酸盐沉积物 (碳酸盐沉积物: $21.20\sim 27.33\text{ ka BP}$,生物壳体: $7.42\sim 7.50\text{ ka BP}$),基本确定冷泉碳酸盐岩形成于 $7.42\sim 7.50\text{ ka BP}$,处于高海平面阶段,进一步证明高海平面是甲烷渗漏、冷泉碳酸盐岩形成的触发因素之一。

S66-P-2

沉积加载驱动的甲烷冷泉渗漏活动:来自墨西哥湾的证据

冯东^{1*}, 王旭东¹

1 上海海洋大学,海洋科学与生态环境学院
* dfeng@shou.edu.cn

甲烷的厌氧氧化 (AOM) 是现代海洋沉积物中甲烷的重要消耗过程,主要发生在冷泉环境中,并常伴随浅层自生碳酸盐岩的形成。这些碳酸盐岩记录了冷泉渗漏活动的历史以及环境演化的重要信息。我们综合运用加速器质谱 (AMS) ^{14}C 和铀-钍 (U/Th) 定年技术,确定了墨西哥湾北部大陆坡近 50 个冷泉站点的发育年代。研究发现,水深超过 500 米的冷泉站点样品年龄大多不超过 50 ka,而 500 米以浅的冷泉站点样品年代则普遍更古老。通过与区域沉积速率数据的综合分析,揭示出尽管不同深度的冷泉站点渗漏频率存在明显差异,但较强烈的渗漏活动往往与沉积加载事件密切相关。这表明沉积加载可能是触发甲烷与流体释放的重要驱动机制,对大陆坡稳定性和区域性碳循环过程具有重要影响。

S66-P-4

TOC 分析仪与稳定同位素质谱仪联用测定低溶解性有机碳含量水体碳同位素组成

张东¹, 孙瀚林¹, 陈琳莹¹, 韩伽骏¹, 宫尚桂¹, 冯东¹, 陈多福^{1*}

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院
* dfchen@shou.edu.cn

全球河流输入到海洋的溶解性有机碳(DOC)通量为 0.24 Pg·C/y, 海洋 DOC 库为 662 Pg·C。虽然陆地输出 DOC 通量远低于海洋 DOC 库, 但陆地输入 DOC 对于维持海洋初级生产力, 支持海洋生物多样性具有重要作用。 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 组成是研究这一过程的重要手段, 但目前对于低 DOC 浓度水体样品 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 测试存在一定困难, 表现在: DOC 浓度低于 5mg·C/L 水体样品, 高温燃烧 TOC 分析仪难以准确量化空白的影响, 影响其 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 测定。为解决低 DOC 浓度水体样品 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 测试存在的问题, 选择湿氧化 TOC 分析仪 (OI Analyzer Aurora 1030W, DOC 浓度检测限可以到 10 μg ·C/L), 产生的 CO₂ 气体, 通过 Gasbench II 多用途气体进样装置与稳定同位素质谱仪 (Delta V Advantage) 联用, 建立稳定可靠的低 DOC 浓度水体样品 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 测试方法。结果表明: ① 磷酸是仪器背景 DOC 的主要来源, 纯水以及过硫酸钠氧化剂对于背景 DOC 贡献不大; ② 进样体积为 6ml 时, 可以准确获取 DOC 含量不低于 3 μg 的水体样品 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 组成, 精度优于 0.2‰; ③ 通过降低定量环体积, 可以提高仪器空白 CO₂ 同位素信号强度以及测试精度。研究表明, 湿氧化 TOC 分析仪可以检测低浓度 DOC 水体样品, 将产生的 CO₂ 气体, 导入稳定同位素质谱仪, 可以实现低浓度 DOC 水体样品的 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 值测定。该联用技术可以实现低 DOC 浓度的海水、孔隙水、大气降水以及河水样品 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 测定, 为借助 $\delta^{13}\text{C}$ -DOC 技术研

究海洋碳循环以及流域碳循环提供可靠支撑。

S66-P-5

海底冷泉自生碳酸盐钡同位素组成特征及其地质意义

宫尚桂¹, Peter W. Corckford², Gerhard Bohrmann³, Jörn Peckmann⁴, Qianying Liang⁵, 吝祎勃⁶, Harry H. Roberts⁷, 冯东^{7*}

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院
2 卡尔顿大学, 地球科学系
3 不莱梅大学, 地球科学系
4 汉堡大学, 地球系统科学系
5 广州海洋地质调查局, 自然资源部海洋矿产资源重点实验室
6 南京大学, 矿床研究国家重点实验室
7 路易斯安那州立大学, 海岸与环境学院
* dfeng@shou.edu.cn

海洋中钡 (Ba) 的生物地球化学循环与初级生产力及海水氧化还原环境密切相关。碳酸盐岩作为地层中广泛分布的沉积岩类, 其钡同位素组成为研究古海洋钡循环提供了新的地球化学示踪工具, 但其记录特征易受成岩作用干扰。海底冷泉系统中甲烷厌氧氧化耦合硫酸盐还原作用, 通过快速消耗孔隙水硫酸根、促进重晶石溶解-再沉淀, 并驱动碳酸盐快速沉淀, 为解析早期成岩阶段钡循环的同位素分馏响应及其碳酸盐沉积记录特征提供了理想研究对象。本研究选取南海、墨西哥湾、刚果扇及黑海等 8 个典型冷泉站位的自生碳酸盐样品, 系统分析其矿物组成、主微量元素及碳酸盐相钡同位素特征, 发现其 $\delta^{137}\text{Ba}$ 值变化范围达 0.52‰, 揭示了多源钡混合 (海水、沉积物、重晶石溶解) 及早期成岩过程对碳酸盐相 Ba 同位素的显著调控作用。进一步研究表明, 甲烷通量及沉积物钡源丰度是控制端元混合比例与重晶石溶解-再沉淀的关键因素, 从而主导自生碳酸盐钡同位素组成。该成果阐明了硫酸盐快

速消耗驱动的沉积界面锁循环过程的同位素响应机制，为极端环境（如冷泉、缺氧区）中锁同位素地球化学过程的解析提供了新视角，并为古海洋环境重建中的同位素示踪方法提供了重要参考。

S66-P-6S

甲烷水合物热激分解与降压分解机制：来自于微流控芯片的证据

熊婉利¹，张戡涓¹，许睿哲¹，吴子逸¹，陈楚洋¹，吴祥恩^{1*}

1 海南热带海洋学院，海洋科学技术学院
* 361724081@qq.com

天然气水合物（甲烷水合物）作为储量丰富、分布广泛的非常规能源，其高效、安全的开采对缓解能源危机和实现碳中和目标具有重要意义。本研究采用可视化微流控芯片技术，模拟真实海底沉积物的孔隙特征，研究了孔隙尺度甲烷水合物热激分解与降压分解过程。结果表明，热激和降压分解均表现为多孔型水合物优先分解、单晶水合物最后分解。相较于热激分解的全局特性，降压分解呈现从局部向全局的演化，伴随分解与再形成、渗流与堵塞交替的阶段特征。具体而言，降压分解的第一阶段，孔隙中连续相多孔型水合物优先分解，生成的气液两相大致沿两个优势通道缓慢流动，随后分解逐步向附近的游离相多孔型水合物扩展。随着游离相水合物逐渐解体，各种尺寸的小气泡汇聚并入连续相，产生流动。此阶段有部分单晶型水合物分解，但仍有少量存在于孔隙边界。第二阶段，伴随持续的降压，缓慢流动的连续相气体与孔隙通道壁附着的水合物晶体发生接触，在多个接触点发生局部二次形成。第三阶段，气液两相快速流动，从小范围的二次形成过渡到大面积的二次水合物形成。当进口端与出口端的通道连通

性改善，引发气-液两相在孔隙通道内发生高速移动。这种瞬时流动引发水合物多次二次形成与分解，导致孔隙通道反复堵塞和连通，二次形成的水合物再分解易产生大量微纳米气泡。第四阶段，水合物经历多次二次形成后完全分解，进口端和出口端完全连通，堵塞现象消失。本研究在孔隙尺度实现了天然气水合物分解过程的可视化动态追踪，揭示降压分解中气-液-固三相渗流机制及分解效率的影响因素，为优化开采过程中温压条件的调控提供了新的实验依据和理论参考。

S66-P-7

海底冷泉流体活动对沉积有机碳的贡献：基于深潜探测的研究设想

冯东^{1*}，宫尚桂¹

1 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院
* dfeng@shou.edu.cn

海洋沉积物中的甲烷是全球沉积圈中最大的可交换碳库之一，而海底甲烷渗漏则是调控这一碳库的重要途径。传统上认为，在冷泉和水合物发育区，超过 90% 的渗漏甲烷通过沉积物浅层的甲烷厌氧氧化（AOM）转化为溶解无机碳（DIC），从而参与海洋碳循环。然而，近年来的研究揭示了一种新的冷泉碳循环模型：在现代活跃的冷泉生态系统中，化能自养生物异常繁盛，AOM 不仅产生大量 DIC，还释放出大量的溶解有机碳（DOC），为异养微生物提供丰富的碳源。这意味着冷泉区可能构成深海有机碳的重要储库。然而，AOM 在何种程度上促进了表层沉积有机碳的积累，目前尚缺乏直接且明确的证据。现代活跃冷泉区往往空间尺度有限，强烈渗漏区域尤为局限，如何精准获取相关数据成为研究的关键。借助深潜器进行现场精准探测与精细采样，是破解这一科学难

题的重要技术手段。本报告将分享课题组围绕“冷泉流体活动对沉积有机碳贡献”所开展的最新研究构想，重点介绍基于深潜探测的现场实验设计、样品采集方案，以及后续研究的具体计划，旨在深入揭示冷泉系统有机碳的形成过程及其控制机制，为进一步完善深海碳循环理论提供重要依据。

S66-P-8

冷泉碳酸盐中微晶文石的微量和稀土元素特征可以识别原油渗漏

孙跃东^{1,6}，宫尚桂^{2,3*}，Jörn Peckmann⁴，陈芳⁵，关瑶⁶，冯东^{2,3*}

1 自然资源部第二海洋研究所，海底科学与划界全国重点实验室

2 青岛海洋科学技术中心，海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室

3 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院

4 Universität Hamburg, Department of Earth System Sciences

5 中国地质调查局广州海洋地质调查局，自然资源部海底矿产资源重点实验室

6 自然资源部第四海洋研究所，广西北部湾海洋资源环境与可持续发展重点实验室

* sggong@shou.edu.cn

* dfeng@shou.edu.cn

原油渗漏是海洋中重要的烃类来源并支撑了繁盛的化能自养生态系统。识别冷泉渗漏流体成分对重建化能自养群落的演化历史至关重要，但仍面临显著的挑战。冷泉碳酸盐是记录流体成分的良好载体，前人研究多聚焦于冷泉碳酸盐中的纤维状文石，然而其中微晶文石能否有效记录流体成分仍缺乏系统性评估。本研究综合分析了墨西哥湾北部原油渗漏碳酸盐（GC232，GC185 站位）的岩石学、稳定同位素及元素组成特征，并与墨西哥湾（AT340 站位）和南海（GMGS2-08 站位）甲烷渗漏碳酸盐进行对比。结果表明：所

有样品均以微晶文石为主要矿物相；中等负偏的碳同位素值（平均： $-20.9 \pm 4.5\text{‰}$ ，VPDB）及原油残留的存在表明原油渗漏碳酸盐的碳源主要来自原油的生物降解；与甲烷渗漏碳酸盐岩相比，原油渗漏碳酸盐具有更高的稀土元素（REE）含量和轻稀土富集以及较高的铀（U）、钼（Mo）、锌（Zn）和钴（Co）元素含量，这些元素特征与微生物介导的原油氧化作用密切相关。微晶文石中保存的元素分布模式为识别地质记录中原油渗漏提供了新的指标，尤其适用于缺乏纤维状胶结物的冷泉碳酸盐，为重建地质历史时期化能自养生态群落的演化奠定了基础。

S66-P-9S

现代冷泉环境中的原生白云石形成环境

向延龙¹，佟宏鹏^{1*}，陈琳莹¹，陈多福¹

1 1. 上海海洋大学，海洋科学与生态环境学院

* hptong@shou.edu.cn

低温原生白云石成因一直是困扰沉积学界的难题，近期有学者通过合成实验观察和原子模拟研究提出环境参数的周期性震荡不仅能够促进低温原生白云石的形成，同时还能提高白云石有序度。此观点为原生白云石成因研究指明了一个新的方向，但该模式是否是天然低温原生白云石形成机制尚不清楚。因此，本文选取发育低温原生白云石的南海和墨西哥湾冷泉碳酸盐岩作为研究对象开展矿物组成、白云石有序度、岩相学及微量元素组成和铬可还原性硫的硫同位素组成研究。结果显示：南海和墨西哥湾冷泉白云岩均未见交代结构说明白云石为原生成因。富含白云石样品均为均匀致密的泥微晶结构，且白云石不与文石共生，说明冷泉白云石与文石形成环境差异较大，白云石形成于相对较深的硫酸盐-甲烷转换带（SMTZ）环境。白云石有序度分析结果显示，冷泉白云石可分

为完全无序白云石和有序白云石（有序度为 0.15-0.60）两种主要类型，无序白云石常发育丝状、棒状、膜状结构等，说明微生物作用对无序白云石形成的直接贡献，而有序白云石多呈菱形自形结构，且有序度与全岩白云石含量之间具有显著正相关关系，说明有利于白云石沉淀的环境同时有利于提高白云石有序度。南海大部分冷泉碳酸盐岩样品显示了氧化还原敏感元素 (Co、Cu、Ni、Zn) 与全岩 MgCO_3 含量之间的正相关关系，说明还原性冷泉环境有利于 Mg 进入碳酸盐晶格，但高白云石含量样品反而具有相对贫氧化还原敏感元素的特征，这说明高白云石含量样品形成过程经历了氧化还原环境的波动，可能与冷泉 SMTZ 深浅的动态变化有关。墨西哥湾冷泉碳酸盐岩样品并未显示矿物组成与全岩白云石含量之间的相关性，可能与其较低的元素含量有关。冷泉碳酸盐岩铬可还原性硫 (CRS) 硫同位素分析结果显示，高有序度白云石样品显示了 $\delta^{34}\text{SCRS}$ 与白云石含量之间的正相关关系，说明高有序度及高白云石含量样品 CRS 较重的硫同位素组成 ($\delta^{34}\text{SCRS}$ 重达 19‰, V-CDT) 可能源于较深 SMTZ 冷泉环境下较低的海水硫酸盐周转速率。因此，流体渗漏较弱、SMTZ 深浅波动、海水循环受限的冷泉环境有利于低温有序白云石的形成。对比孔隙水白云石饱和系数与低温原生白云石发育情况，证实并非饱和系数越高越有利于白云石沉淀，同时也证明孔隙水白云石饱和程度的波动可能是引起自然环境中低温原生白云石沉淀的重要原因。

S66-P-10S

琼东南盆地冷泉发育区浅层超压分布规律及其成因机制初探

陆统智¹，万志峰^{1*}

1 中山大学，海洋科学学院

海域浅层异常高压或超压与深水油气及水合物成藏与勘探开发、海底滑坡灾害预警、工程事故风险评价等重大问题密切相关，具有重要的科学意义。浅层超压时空分布差异大，其形成演化控制因素复杂。目前对冷泉发育区浅层超压分布缺乏系统性、规律性认识，浅层超压成因机制亦缺乏定量研究和综合评价。

本研究以南海北部陆坡琼东南盆地深水冷泉发育区为研究对象，结合地震数据、测井曲线、实验测试等资料，微观与宏观并举，定性评价与定量模拟有机统一，初步揭示了浅层超压分布规律，探讨了冷泉发育区地层压力演化规律。

盆地浅层多期次发育的块体搬运沉积体系 (MTDs) 形成孔隙流体封隔层，对气体的扩散和渗漏起到了封盖作用。砂岩储层中天然气水合物和浅层气大规模发育。下部发育有气烟囱、泥底辟、微裂缝等渗流通道。多期次 MTDs 以及下伏水合物的形成，提高了流体运移阻力，阻止气体向上运移和在天然水合物储层中横向移动。下部气体渗漏系统发育，丰富的气体渗漏增加了浅层地层压力。我们基于质量和能量守恒差分方程，通过时间与空间离散的有限元分析方法，模拟了冷泉与水合物发育区浅层超压过程。数值模拟结果证明，超压在天然气水合物储层中普遍发育，从天然气水合物稳定域底部至上覆超压层逐步减小。

S66-P-11S

海底甲烷渗漏和原油渗漏成因自生碳酸盐岩中铁结合有机碳的光学特征及其对渗流流体类型的指示

樊柳¹，胡钰^{1*}，陈多福¹

1 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院
* huyu@shou.edu.cn

准确区分自生碳酸盐岩中记录的海底渗漏类型(甲烷 vs. 原油)对古环境重建及其环境影响的评估至关重要。然而现有方法主要依赖微量元素、总有机碳(TOC)、氮含量以及铁硫化物的硫同位素等间接手段,缺乏对海底自生碳酸盐岩中捕获有机质的研究。本研究以墨西哥湾及南海冷泉区甲烷和原油渗漏自生成因碳酸盐岩为对象,通过 0.5 mol/L 盐酸提取方法,重点分析了铁结合有机碳(OC-Fe_R)的含量及三维荧光、紫外光谱等多维参数,获得的主要结果有:

(1) 甲烷渗漏碳酸盐岩样品 OC-Fe_R 占 TOC 比例(f_{OC-FeR} ; 平均值: $14.8 \pm 10.3\%$)显著高于原油渗漏区(平均值: $3.1 \pm 2.2\%$)。该现象归因于前者以低分子量羧酸为主,更易与 Fe_R 结合,而后者因高分子量和高芳香性受空间位阻抑制。

(2) 原油渗漏自生碳酸盐岩 OC-Fe_R 的生物指数(BIX)与 TOC 含量呈显著负相关($R^2=0.4$, $p<0.05$),而甲烷渗漏无此规律,反映了海底原油渗漏输入的 TOC 为生物难降解和利用的组分。

(3) 原油渗漏碳酸盐岩中海源/微生物类腐殖质组分(C1)与 $\delta^{13}C_{TIC}$ 呈显著负相关($R^2=0.6$, $p<0.01$),甲烷渗漏无此现象,这可能是海源/微生物类腐殖质输入的增加、及随后促进产甲烷及甲烷厌氧氧化作用所致。

鉴于上述原油渗漏和甲烷渗漏样品间的差异,本研究提出低 OC-Fe_R 占 TOC 比例、海源/微生物类腐殖质组分 C1 与 $\delta^{13}C_{TIC}$ 及 BIX 与 TOC 间的负相关特征可用于识别原油渗漏。这些指标体系有望更好地用于识别海底自生碳酸盐岩中记录的原油渗漏事件,从而评估其在过去碳循环中扮演的角色。

S66-P-12S

洋流对全球甲烷渗漏空间分布的调控机制

倪鑫^{1,2}, 梁前勇^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国地质大学(武汉)

* tomlqy@163.com

甲烷作为强效温室气体,其全球增温潜势在 20 年尺度内是二氧化碳的 84 倍。海洋是地球最大的甲烷储库,年产甲烷量约占全球总量的 30%,但海洋甲烷渗漏的全球分布规律及其控制机制仍缺乏系统研究。本研究旨在探索洋流对全球甲烷渗漏空间分布的调控机制,为定量评估海洋甲烷对全球碳循环的潜在贡献提供科学支撑。

研究广泛收集了全球多海域沉积物甲烷渗漏坐标及通量数据,综合运用最近邻分析和核密度估计量化甲烷渗漏的空间分布特征,通过莫兰指数评估渗漏活动与洋流及海洋表面温度的空间自相关性。研究创新性地引入 ST-DBSCAN 和 OPTICS 聚类算法,在多尺度上识别温度梯度和洋流交汇区对甲烷渗漏的调控作用。结果表明,海洋甲烷渗漏呈现显著的空间聚集性($NNI=0.2833$, $p<0.001$),尤其在环太平洋和环大西洋大陆架近岸区域形成多个高密度中心。全局莫兰指数($I=0.0372$, $p<0.05$)验证了甲烷渗漏活动与洋流存在显著的正向空间自相关。约 42%的甲烷渗漏热点分布在冷暖洋流交汇处,其中墨西哥湾流与北大西洋寒流交汇区(458 点, 60.42%)和库罗西奥暖流与亲潮寒流交汇区(274 点, 36.15%)最为显著。

深层洋流可能通过温度梯度影响水合物稳定性、水位和流速波动改变局部压力场以及水团交换影响微生物地球化学过程等多重途径调控甲烷渗漏。在 500km 和 2000km 两个空间尺度上,渗漏分布与中尺度涡旋、锋面结构以及大尺度洋流系统边界表现出高度重合性,凸显了洋流通过温度、压力和地球化学耦合效应对海底甲烷

释放的多层次调控作用。这种多尺度时空分析框架不仅证实了温度梯度和洋流交汇在调控甲烷渗漏中的协同作用，也为未来海洋甲烷监测与碳循环研究提供了重要的方法参考和理论支持。

S66-P-13S

冷泉渗漏通量波动的生物载体研究：以深海偏顶蛤

Gigantidas haimaensis 生长增量的同步矿化响应为例

张晓春¹，冯景春^{1*}，蔡朝锋¹

¹ 广东工业大学，生态环境与资源学院
* fengjc@gdut.edu.cn

冷泉甲烷渗漏通过维持深海化能合成生态系统，在碳循环和极端环境生命维持中发挥重要作用。传统基于自生碳酸盐岩和沉积物的研究方法难以捕捉渗漏短期动态，而深海双壳类壳体生长结构为高分辨率环境记录提供了新载体。本研究利用南海冷泉区偏顶蛤（*Gigantidas haimaensis*）开展年代学研究，通过交叉定年技术构建了 63 年标准化生物年表（ $EPS > 0.85$ ），首次解析壳体生长节律与渗漏活动的动态关联。研究发现：（1）壳体生长增量呈现显著同步性，冷泉渗漏具有 5-10 年平稳期与 2-3 年喷发期交替的非周期性脉动特征；

（2）生长速率在平稳期维持 3-5 $\mu\text{m}/\text{年}$ ，喷发期激增至 40-120 $\mu\text{m}/\text{年}$ ，整体未呈现长期趋势变化；（3）临界预警分析发现独特的双相生长响应模式，表明渗漏系统通过多时间尺度流体通量调节维持稳态。这些发现证实双壳类生长结构可记录年-亚年际分辨率渗漏动态，其展现的环境韧性为解析化能合成生态系统适应机制提供了关键证据。

S67-O-1

特提斯域构造—沉积演化与油气差异富集

何治亮^{1*}

¹ 中国地质大学（武汉），资源学院
* hezhiliang1963@qq.com

特提斯域以全球 17% 的面积占全球常规油气总储量的 53.6%。但特提斯域不同带、不同段的油气分布严重贫富不均。“大而富，小而肥，大而贫，小而瘦”有序共存。特提斯域大地构造背景、局部构造环境、沉积与演化过程是主导控制因素。显生宙以来，特提斯域地球动力学演化表现为鲜明的旋回性、分带性、分段性，原、古、新特提斯三阶段此消彼长独特的地球动力背景控制了丰富多彩的盆地基底、原型、并列叠加样式，以及风格迥异的沉积充填过程与后期改造方式，刚性较弱的结晶基底与刚性较强的褶皱基底，相对宽松的地球动力环境，单因素复合与多因素联合强沉降过程，适宜的热体制，易于形成富含油气的沉积盆地。岩石圈、水圈、大气圈、生物圈多圈层协同作用机制控制了差异性沉降-沉积作用，形成了品质差别巨大的烃源岩、储层和盖层发育展布及其组合关系。单向裂解-碰撞过程中裂谷期、漂移期、聚敛早期的欠补偿环境，相对局限的水文环境，既有利于优质烃源岩形成与保存，也有利于膏盐岩优质盖层的发育。优质储层是同沉积构造与后期隆升-剥蚀、断裂-流体共同作用的产物。特提斯域分带、分段差异演化控制下的热体制和构造变形-隆升，控制了复杂的油气生、滞、运、聚、转、调、散过程。波斯湾盆地和四川盆地是典型代表。两个盆地“早同晚异”，新特提斯晚期构造改造方式与强度差异是主因。两个盆地新特提斯旋回早期相似（裂谷-克拉通拗陷），自印支运动古特提斯洋闭合开始，波斯湾盆地因为持续沉降（被动陆缘-前陆），表现为“繁荣昌盛”的特点；四川盆地则进入陆内环境，沉降-改造交替，饱受

“运动”之苦。波斯湾盆地构造变形改造具有大板块、软碰撞、单向挤压、变形晚、改造弱的特点，发现了一批巨型油气田。四川盆地则表现为小板块、硬碰撞、多向挤压、变形早、改造强的特点，大量曾经的巨型油气田被破坏或改造，仅在基底较稳定、变形较弱的地区油气得以规模性地保存。

S67-O-2

川东二叠纪构造沉积演化与 油气差异富集

舒志国^{1*}

1 江汉油田分公司，勘探开发研究院
* shuzg.jhyt@sinopec.com

川东二叠纪发育多套常规、非常规气藏，其油气富集受构造及沉积演化控制。随着南秦岭古特提斯洋扩张，区域构造体制由克拉通内拗陷演变为裂陷盆地，形成差异化隆凹格局。中二叠晚期拉张断陷、东吴期构造抬升及晚二叠持续断陷作用，构成完整的构造-沉积耦合演化序列，控制了多类型储层的形成与空间分布。构造活动不仅改变了沉积环境，更主导了沉积物供给与保存条件，进而影响了常规、非常规储层分布及油气差异富集。本研究揭示了川东二叠纪构造活动驱动的沉积分异与油气富集机理，为区域油气资源评价提供了新视角。

中二叠晚期拉张断陷及晚二叠持续断陷，形成槽台分异格局，在裂陷槽内沉积了孤峰组/茅四段，吴二段、大隆组三套斜坡-陆棚相页岩，为页岩气富集提供了条件；同时构造运动中带来事件沉积促进了页岩沉积物中较高的生产力，进而造成较高的生产力，茅四段页岩受上升洋流及火山活动影响，吴二段页岩受火山活动，提供大量营养物质，为层状藻、有孔虫等成烃生物大量富集，成烃生物在闭塞缺氧的沉积环境中，造成有机质大量保存提供了条件。

在裂陷槽与台地之间形成台缘礁滩，控制了茅二、茅三段以及长兴组礁滩储层的分布及常规天然气富集。茅口组晚期从早期以建南南高点-复兴地区台缘滩为主，向晚期红星-复兴地区台内滩转变；长兴组礁滩体则分布于开江-梁平陆棚东倾末端，受礁滩建隆作用控制形成差异化地貌。茅四段生屑滩气藏与优质页岩的空间邻近关系，验证了“近源、礁滩岩性圈闭独立成藏”模式，阐明了构造控制下的储层分异与成藏组合关系。

本研究构建了“构造控制—沉积响应—储层分异—油气富集”的耦合模式，揭示了构造活动如何通过调控沉积体系，同时创造油气生成、运移和聚集的立体系统，成功指导了红星地区二叠纪常、非多类型气藏勘探。

S67-O-3

多圈层相互作用对规模性碳酸盐岩储集体发育的控制——以四川盆地为例

李双建^{1*}，何治亮¹，王静彬¹，李英强¹

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院
* 458555603@qq.com

与黑色页岩类似，规模性碳酸盐岩储集体的形成同样是地球多圈层（岩石圈、水圈、大气圈、生物圈）长期相互作用的结果。四川盆地作为中国重要的油气产区，碳酸盐岩储层时空分布广、类型多样、成因复杂，研究多圈层相互作用的控储机制，为理解碳酸盐岩储层发育规律提供了系统视角，对四川盆地及其他类似盆地的油气勘探具有重要指导价值。本文从板块级多旋回构造演化研究入手，分析了规模性储集体与盆地演化背景的关系，建立了构造-沉积分异作用的控储模型；以震旦系灯影组和二叠系茅口组为中点解剖对象，分析了微生物、古海水环境、古气候条件和深

部热流体对规模性储集体形成与改造的控制作用。研究表明,构造-沉积-流体-生物等多圈层协同作用是形成优质碳酸盐岩储集体的关键,高能相带、早期溶蚀、早期白云化和早期油气充注四要素递进式控储。盆地构造背景是优质储层发育的首要控制因素,微生物和高盐度海水环境是早期云化的必要条件,深部热能量交换是部分浅埋藏云化发生的关键。

S67-O-4

多圈层相互作用与鄂尔多斯盆地油气资源形成富集

姜福杰^{1,2*}, 陈石^{1,2}, 江强^{1,2}, 孙小龙³, 胡涛^{1,2}, 陈迪^{1,2}, 朱传庆^{1,2}, 刘汇川^{1,2}, 郑天昱⁴, 王俊辉^{1,2}, 远光辉³, 郑晓薇^{1,2}, 张瑞^{1,2}, 张梓童^{1,2}, 郭婧^{1,2}

1 中国石油大学(北京), 油气资源与工程国家重点实验室

2 中国石油大学(北京), 地球科学学院

3 中国石油大学(华东), 地球科学与技术学院

4 北京科技大学

* jfjhtb@163.com

鄂尔多斯盆地是我国重要的油气资源基地,其油气资源的形成与富集受到多圈层相互作用的深刻影响。本研究从圈层相互作用视角还原了鄂尔多斯盆地原型盆形成、烃源岩发育与成烃、优质储层发育,以及全油气系统成藏过程,探讨了油气资源形成富集的控制因素。鄂尔多斯盆地的形成经历了从太古代到古元古代的基底拼合与横向增生、中新元古代北东向裂谷发育及拗拉槽形成伴随的纵向增生、古生代稳定克拉通背景下边缘大洋俯冲导致的地壳横向增生、中生代华北克拉通破坏引发的强烈纵向壳幔相互作用,以及新生代太平洋俯冲远程效应下的少量纵向作用等5期壳幔相互作用过程,控制了盆地的演化过程与构造格局的变迁。盆地发育长城系泥页岩,下古奥陶系海相泥页岩、泥质碳酸盐岩,以及上古石炭-二叠系煤层3套烃

源岩层。其中,煤系烃源岩 TOC 含量最高可达 52.62%,生烃能力最强。优质烃源岩的形成与特定的大地构造,气候,沉积环境,及生物丰度相关,是岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的相互作用的产物。岩石圈厚度变化引起的地幔能量差异控制了成烃过程,早白垩世出现热流高峰且地层埋深大,是关键点的成烃期。古地理环境和深部水岩反应控制了储层发育及分布:下古生界主力含油气层系为马家沟组,沉积于广阔的浅水陆表海环境;受海西造山运动的影响晚石炭-晚二叠形成了海陆过渡相的含油层系;中生界整体以陆相河湖为主,形成了延长组优质储层;上古生界则形成碎屑岩“接力溶蚀成孔”型储层。以上古生界地层为例,将孔隙度 11%,渗透率 1mD 划分为鄂尔多斯盆地的浮力成藏下限,对应深度为 1150-1720m,据此划分了鄂尔多斯盆地的全油气系统。烃源岩供烃能力、储层物性好坏,及油气充注方式及通道类型的耦合机制约束了鄂尔多斯盆地油气聚集的动力学转换边界及全油气系统模式。深入研究多圈层相互作用机制,对于揭示鄂尔多斯盆地油气资源的分布规律、指导油气勘探开发具有重要意义。

S67-O-5

莺歌海盆地南部构造体制及其油气勘探意义的初步探讨

付永涛^{1,2*}, 王万银^{1,2,3}, 王丁丁³, 周章国¹

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 海洋油气勘探国家工程研究中心

3 长安大学, 地质工程与测绘学院

* ytfu@qdio.ac.cn

莺歌海盆地是我国海底天然气主要产区之一,目前在中央坳陷底辟区开发多个超千亿方天然气田(郝芳等, 2002; 谢玉洪等, 2014; 周杰等, 2023)。在莺北区

三亚组获得三十多年的重大突破、新发现天然气田,评估天然气资源潜力达 1.13 万亿方(武爱俊等, 2024)。盆地的构造演化受控于印度板块—欧亚板块碰撞产生的红河断裂带剪切作用、太平洋板块向欧亚板块的俯冲以及南海扩张(谢玉洪, 2009)。

长期以来缺乏莺歌海盆地中央坳陷深部构造信息,因此对中央坳陷的构造体制和深部油气构造缺乏了解,影响了中深层油气勘探。基于红河断裂带在中央坳陷的展布(中央断裂带)及莫霍面的新认识(Wu Tao et al., 2024, 2025; 付永涛等, 2025),作者分析了重力反演的中央坳陷南部乐东区走滑双重构造的特征,探讨了莺歌海盆地中央坳陷南部的构造体制,进而对油气勘探意义做了初步分析。

乐东区走滑双重构造表明中央断裂带为简单剪切模式的 NNW-SSE 方向左行走滑,发育走滑拉分盆地。稍晚时期,兰江—长山断裂系右旋走滑发育了顺化凹陷,可能对莺歌海盆地南部产生 NW-SE 向挤压作用,进而导致乐东走滑双重构造 NNW-SSE 走向断层被错断,形成阶梯式断层段,水平断距可达 6 km。

在走滑双重构造以东的中央坳陷南部东翼,构造作用是左行走滑和挤压反转。在中央坳陷南部的西翼,构造作用是为左行走滑和 SW 向的超伸展,以及来自兰江—长山断裂系和顺化凹陷的 NW-SE 方向的挤压。

晚期(活动时间晚于 9 Ma 或 5.5 Ma)的近 S-N 向右行走滑断层(RF-1 断层)错断了走滑双重构造,右行走滑位移量约 8 km。晚期近 S-N 向右行走滑规模较小,但其 E-W 向的伸展产生了近 S-N 的张裂,对东方区和乐东区的底辟发育和就位产生重要影响,进而对油气勘探产生重要的控制作用(郝芳等, 2002; 谢玉洪等, 2014; 周杰等, 2023)。尤其是在乐东区多个底辟已经获得超千亿方天然气储量,成功开发了 LD22-1、LD28-1 等天然气田(周杰等, 2023)。

可见莺歌海盆地在北部、中部和南部的构造体制明显不同,这与应力机制、走滑断层构造的多样性有关,有必要对中央坳陷构造体制开展深入的系统性研究,对于莺歌海盆地的构造演化和油气勘探具有重要意义。

S67-O-6

南海北部潮汕坳陷侏罗纪储层沉积演化特征及油气意义

强昆生^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* qks80@163.com

南海北部是否沉积中生界一直以来学术界存疑。本文以层序地层学、沉积学、石油地质学等理论为指导,结合钻井、测井、地震等多种资料,开展地震资料构造精细解释、高分辨率层序地层学、沉积体系、地震储层预测、油藏特征预测等方面研究;研究表明,研究区发育来自西北部主要物源及东南部次要物源。侏罗纪地层残余地层厚度显示,多期复杂的构造运动和火山活动对本区储层的影响巨大,剥蚀现象较为普遍,上侏罗统显示其残余厚度面积最小,中侏罗统显示其残余厚度相对面积扩大,而下侏罗统显示其残余厚度残留面积最大,地层厚度呈现西北部薄东南部厚的特征;侏罗纪地层主要发育 5 类沉积相和 8 种沉积亚相;侏罗系生储盖配置关系良好,砂体展布和储层物性特征有利于油气成藏,总体上,成藏组合主要包括下生上储和自生自储等;发育构造油气藏和岩性油气藏,其中岩性油气藏包括:砂岩上倾尖灭油藏、浊积体油气藏,构造油气藏主要发育断鼻和断块油气藏。砂体和构造的有效配置是规模成藏的关键;三角洲前缘、扇中是优势含油气相带;研究区内具有不同的油气成藏模式,中部低凸起以边界断层为主要运移通道,晚期大规模成熟油气沿断层向上垂向运移充注成藏;

斜坡带成藏模式为以砂体为运移通道，晚期大规模的成熟油气充注成藏模式；深凹区岩性油藏以浊积体砂体以自生自储为主；在早侏罗世沉积时期，由于北部西北部滨岸三角洲前缘水体浅，海平面下降使三角洲前缘砂体受到重力作用和波浪改造作用增强，有利于无外界触发机制下三角洲前缘滑塌浊积的形成，这些浊积砂体是有利的油气储集层。

S67-O-7

特地斯东段油气资源潜力分析

朱伟林^{1,2*}，付晓伟^{1,2}，赵世杰^{1,2}，周增员^{1,2}

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

2 同济大学，海洋与地球科学学院

* zhuwl@tongji.edu.cn

特地斯东段（南亚至澳大利亚西北部）为全球十分重要的油气富集区之一，具有复杂的构造演化历史和丰富的油气资源潜力。通过综合分析区域地质背景、盆地形成演化及类型、烃源岩发育条件及成藏组合特征等，探讨该区域的油气资源分布规律和勘探前景。研究认为，特地斯东段发育一系列中-新生代大-中型沉积盆地，受特地斯洋闭合、印度-澳大利亚碰撞以及印度洋板块俯冲等的影响，在不同时期形成了陆相与海相沉积的多套烃源岩和较优越的生储盖配置条件。已发现的油气田以构造和地层圈闭为其特征，并以天然气为主。资源潜力集中在盆地的深水区、成熟盆地中的新类型与未充分勘探的前陆盆地内。未来勘探过程中要特别关注构造转换带、深水扇体、碳酸盐岩台地（深-浅层）以及盆地深层等目标。

S67-O-8

东南亚特提斯构造域油气差异富集规律与主控因素

王雯雯¹，祝厚勤^{1*}，洪国良¹

1 中国石油勘探开发研究院，亚太研究所

* zhuhouqin1@petrochina.com.cn

东南亚地区位于特提斯构造域东段，构造上处于欧亚大陆、太平洋板块和印度-澳大利亚板块汇聚区，构造演化非常复杂，油气差异富集明显。基于商业数据库、地震和钻井等资料，以构造地质学和石油地质学理论为指导，开展东南亚地区沉积盆地油气差异富集规律和控制因素研究。研究结果表明：东南亚地区油气富集规律总结为三点，一是纵向上油气资源呈现数量级级别的差异富集的特征，80%的油气资源集中在中新世地层，其次为前第三系和上新世地层，二是平面上油气资源主要富集在16个盆地中，呈“三环”分布特征，即以苏门答腊盆地和东爪哇盆地为代表的弧后裂谷盆地为“外环”、以环印支半岛为代表的陆内裂谷盆地为“内环”和以环婆罗洲加里曼丹岛分布的“中环”，三是主要油气资源围绕第三系沉积中心和断裂系统分布；东南亚地区油气富集主控因素分析为三点，一是东南亚地区复杂的、活跃的构造演化有利于板块缝合线和走滑断裂体系多样发育，为油气运移提供了优势通道，高地温梯度和高热流值有利于新生代沉积盆地有机质快速成烃，为烃源岩大量生烃降低了埋藏深度阈值，二是盆地演化与海侵-海退耦合形成多种储盖配置关系、含油气系统类型和成藏模式，古地理位置、古地形与海侵-海退耦合为良好源-储-盖配置关系的形成提供良好条件，三是东南亚第三系沉积盆地油气富集主要受控于古凹槽、古地貌及新构造运动，以南苏门答腊盆地为例，主要的油气田分布在沉积中心边缘，古凹槽控制烃源岩，古地貌控制储层，晚期的挤压反转是圈闭的主要形成期，对早期的构造圈闭具有较好的改造作用，断层的垂

向和侧向疏导作用促进油气短距离运移聚集藏。综上所述,东南亚地区复杂的构造演化、盆地演化与海侵-海退耦合关系和古凹槽、古地貌及新构造运动“三元控藏”决定了该区油气富集的复杂性和差异性,对东南亚地区超前战略选区、新项目评价和油气勘探具有一定的指导意义。

S67-O-9

特提斯域中西段显生宙区域应力场演变与岩石圈变形尺度和强度关系

殷进垠^{1*}, 王大鹏^{2*}

1 北京大学, 能源研究院

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* 383799629@qq.com

* wangdp.syky@sinopec.com

经泛非构造运动, 中东-北非地区成为统一的南方冈瓦纳大陆的一部分, 阿拉伯板块最初作为冈瓦纳大陆的腹地, 伴随原特提斯、古特提斯和新特提斯洋的张开逐渐演化成为特提斯洋的陆缘。泛非运动及其以前的大陆/陆块的拼贴/拼合, 形成了结构碎裂、陆地统一的陆壳岩石圈, 其物质和结构的不均一性影响了阿拉伯板块显生宙以来的盆地发育、古地理面貌及构造变形。尤其是在显生宙三次大的构造旋回中, 由于阿拉伯板块与大陆碰撞带的距离远近差异和区域应力场强度不同, 导致阿拉伯板块在不同演化阶段的构造变形尺度、卷入层次、构造样式的差异。这些结果又影响了其后的古地理演化、沉积物堆积、能量交换和物质保存, 进而控制了中东地区的油气富集。

S67-O-10

西特提斯周期性构造演化对三期含油气系统差异富集控制

郭金瑞^{1*}, 曹喆¹, 范庆凯¹

1 中国石油化工股份有限公司, 石油勘探开发研究院

* guojr.syky@sinopec.com

特提斯域西段的地理范围包括欧洲中南部和非洲北部, 包含 42 个含油气盆地, 油气资源富集, 已发现 2P 可采储量约 2097 亿桶油当量, 待发现可采资源量 1072 亿桶油当量。西特提斯经历了罗迪尼亚裂解—潘吉亚大陆形成和潘吉亚裂解—现代汇聚三大构造旋回, 形成古生代克拉通和中生代裂谷-被动陆缘以及中生代晚期-新生代前陆三大构造层, 发育三套优质烃源岩层系。早古生代冈瓦纳大陆裂解, 形成原特提斯和古特提斯洋, 处于区域拉张-伸展阶段, 在早古生代陆内拗陷陆表海环境形成区域性分布的早志留系烃源岩, 有机碳含量高达 12% (平均 4.6%), 古生代晚期 (海西期) 劳亚与冈瓦纳汇聚, 形成北东向挤压构造带, 发育宽缓海西古隆起背斜构造, 虽晚期发生新特提斯裂谷作用, 但西部陆内拗陷作用弱, 保存好于东部, 形成油气富集的古生界含油气系统。中生代晚三叠世以来, 潘吉亚大陆从东向西裂解, 在中侏罗世-白垩纪形成新特提斯洋, 发育裂谷方向平行于陆缘的裂谷 (海槽)-陆表海环境, 在长期局限海、低纬度作用下, 沉积区域性中侏罗碳质泥岩和晚白垩富含有机质泥页岩, 形成优质烃源岩层, 同时浅水、低纬度环境形成侏罗系-第三系碳酸盐岩储层, 新生代三角洲砂岩储层, 到中新世, 新特提斯在西部阿特拉斯碰撞造山、在地中海东部开始初期碰撞形成构造带控制了油气差异富集, 东部陆上发育中生界含油气系统, 海上发育新生代含油气系统。

S67-O-11

白垩纪特提斯原型盆地与岩相古地理及其控油气作用

张光亚^{1,2}, 黄彤飞^{2*}, 罗贝维², 喻志骅², 张磊²

1 北京大学, 能源研究院

2 中国石油勘探开发研究院

* huangtfei@petrochina.com.cn

研究特提斯域在白垩纪的古构造格局、原型盆地及岩相古地理特征, 对于深化特提斯域油气富集规律认识具有重要作用。本文在早白垩世(125Ma±)、晚白垩世(90Ma±)全球原型盆地和岩相古地理研究的基础上, 聚焦特提斯域在上述两个时期的原型盆地和岩相古地理发育特征, 进而重点讨论白垩纪构造、沉积演化对特提斯域油气成藏条件及富集的控制作用。研究表明: (1) 早白垩世处于潘基亚超大陆裂解的第1阶段(T-K₁), 基梅里陆块群北东向漂移, 新特提洋处于快速张开阶段, 在早白垩世早期新特提洋宽度达到最大, 在特提斯域近劳亚大陆一侧, 在欧洲-北非段、中东-中亚段主要发育被动陆缘盆地、裂谷盆地、弧后盆地, 在中国西部-印度段主要发育被动陆缘盆地、弧后盆地, 中国东部-东南亚段主要发育克拉通内盆地, 在特提斯域近冈瓦纳大陆一侧则广泛发育被动陆缘盆地。(2) 晚白垩世处于潘基亚超级大陆裂解的第2阶段(K₂-现今), 非洲板块、阿拉伯板块、印度板块、澳大利亚板块持续向北东向漂移, 新特提洋处于萎缩的早期阶段, 特提斯域近冈瓦纳大陆一侧的被动陆缘盆地及近劳亚大陆一侧的裂谷盆地与弧后盆地等得到继承与发展。(3) 特提斯域北缘与南缘在早、晚白垩世均广泛发育了厚层砂岩+泥岩+碳酸盐岩为主的岩相组合。(4) 相对稳定的滨浅海-半深海环境有利于白垩纪泥质烃源岩的形成和保存, 发育多套的砂岩、碳酸盐岩储层, 垂向上多套储盖组合有利于油气的聚集成藏, 尤其在冈瓦纳大陆北缘的北非、中东及澳

大利亚板块北部地区, 油气生储盖地质条件更为优越。(5) 中东波斯湾地区受益于白垩纪所处特提斯域独特的板块构造位置、相对稳定的被动陆缘原型盆地类型、滨浅海-半深海沉积充填特征, 以及阿拉伯板块持续位于低纬度环境, 因而具有优越的得天独厚油气地质条件, 白垩纪大规模富有机质烃源岩的形成与保存、垂向上多套储盖组合的发育等, 为该地区油气富集提供了极为丰富的物质基础和先决条件。

S67-O-12

特提斯域南带油气差异富集与主控因素分析

白国平^{1,2*}, 何治亮¹, 张光亚¹, 殷进垠¹

1 北京大学, 能源研究院

2 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* baiguoping@hotmail.com

本文依托最新的全球油气田/藏数据, 在特提斯演化背景下系统研究了特提斯域南带油气差异富集特征及其主控因素。研究发现, 南带仅占特提斯域面积的三分之一, 却聚集了近八成油气储量, 呈现高度非均衡分布。中东段为核心富集区, 阿拉伯盆地尤为典型。通过构造区划厘定、沉积盆地类型划分、烃源岩展布与储盖组合分析以及继承性古隆起刻画, 本文明确提出原型盆地叠加样式、烃源岩规模与分布、储盖组合配套性以及基底古隆起等是南带油气差异富集的关键控制因素。研究成果为揭示特提斯域中、北带及其他区域油气成藏规律提供了重要借鉴, 也为未来油气勘探指明了方向。

S67-P-1S

塔里木盆地顺托果勒低隆起走滑断裂带流体活动时空分布及油气地质意义

高键^{1*}, 李慧莉¹, 曾帅¹

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* gaojian2018.syky@sinopec.com

塔里木盆地是特提斯构造域的重要研究平台,记录了从原特提斯、古特提斯到新特提斯三大阶段的丰富地质记录。本次研究采集顺托果勒地区 8 条断裂带上 23 口钻井岩心的构造裂缝充填方解石脉,开展岩相学、微区原位 U-Pb 定年、微区元素-同位素地球化学和流体包裹体等多项研究,系统分析了区域范围内断裂流体活动特征和油气动态成藏过程,明确了该区走滑断裂活动动力学机制和控储控藏机制。顺托果勒低隆起发育三期方解石脉。第一期方解石脉在东西部数条断裂带内普遍发育,方解石岩石化学特征指示流体来源于中-下奥陶统地层水;方解石原位 U-Pb 年龄为 474~444 Ma,时代为加里东中期。第二期方解石脉主要在顺北 5 号带以东断裂带内发育普遍,方解石岩石化学特征指示来源于下部寒武系地层水和埋藏期深部热流体;方解石原位 U-Pb 年龄为 441~403Ma 和 374~326Ma,时代集中分布在加里东晚-海西早期。第三期方解石脉在 5 号带、4 号带和顺南地区少数样品较为发育,方解石岩石化学特征指示埋藏期深部热流体特征,方解石原位 U-Pb 年龄为 295.9~232 Ma,时代主要为海西晚期。三期方解石脉形成时期与断裂活动期次相吻合。方解石脉含烃包裹体产状和特征指示加里东晚-海西早期和海西晚期两期液态烃充注和液态烃热裂解演化过程。

研究区走滑断裂带断裂流体活动主要受原特提斯洋(古昆仑洋-阿尔金洋)、古特提斯洋俯冲、碰撞有关的大陆边缘增生造山过程的远程效应影响。加里东中期I幕(中奥陶世末),原特提斯洋北侧库地洋向中昆仑地体俯冲,塔里木克拉通与西南缘西昆仑地体发生拼合,研究区由于受 NE 向和 NW 向的挤压应力作用发生构造隆升运动,同时由于区域性压扭应力的作用,该区走滑断裂发生剧烈活动,并发育多条

NE 向、NW 向走滑断裂,此时基本奠定了该区的断裂体系格架。加里东中期III幕(晚奥陶世末),塔里木盆地东南缘原特提斯域的阿尔金洋闭合,塔里木板块与阿尔金地体东南缘发生拼合,在受到近 SN 向挤压应力作用下,主要是 NW 向逆冲断层继承性活动;加里东晚期-海西早期,受南缘昆仑洋持续俯冲影响,走滑断裂发生继承性活动。海西晚期(晚石炭世-二叠纪),塔里木盆地北缘的南天山洋从东往西发生剪刀差式闭合,来自北侧的强烈挤压,正断层发生了广泛的反转走滑。多期断裂活动破碎围岩并改造成储,加里东晚期-海西早期、海西晚期走滑断裂与油气成藏期匹配,不同时期断裂对油气成储成藏控制作用明显。本文提出的利用碳酸盐岩矿物微区原位 U-Pb 定年直接确定走滑断裂形成时间的方法具有普遍适用性和推广价值。

S67-P-2

特提斯构造演化对阿姆河盆地形成及油气富集的控制

蒋子文^{1*}, 窦立荣², 王红军²

1 中国石油勘探开发研究院, 亚太研究所

2 中国石油勘探开发研究院

* 18656156279@163.com

特提斯洋的长期演化深刻塑造了全球油气富集模式,阿姆河盆地是特提斯构造域典型的碰撞-裂谷复合型叠合盆地,其油气成藏过程受控于多期构造演化。基于“单向列车”模型,本研究探讨了特提斯单向俯冲对盆地基底、生-储-盖层形成的控制作用。晚三叠世至早侏罗世,特提斯洋持续北向俯冲,俯冲前缘微陆块拼接形成高刚性的高压变质增生杂岩与钙碱性花岗岩基底,同时伴随弧后伸展与地壳减薄,共同构建了中生代沉积的稳定构造框架。侏罗纪时期,劳亚大陆南缘微陆块群在中低纬度持续缓慢北移延长了湿润气候的持续时间,促进陆相烃源岩的富集。同时,新特提斯

洋扩张导致洋中脊的高热流,加速了岩浆的上升与冷却,基性矿物(如橄榄石、辉石等)结晶和水-岩相互作用,加速了镁离子(Mg^{2+})的消耗,引发全球海水 Mg/Ca 比值降至 <1.2 ,形成“方解石海”环境,抑制了早期白云石化,促进了阿姆河高孔隙度灰岩储层的发育。晚侏罗世,劳亚大陆南缘微陆块碰撞拼贴形成弧后局限海盆,累计沉积膏盐层盖层 $>800m$,为油气封存提供了优越条件。新生代喜山期构造挤压引发构造反转、盆地挠曲及断裂系统重组,形成逆冲断层遮挡型构造圈闭、盐丘/盐垛塑性变形圈闭和侏罗纪碳酸盐岩继承性圈闭,共同调整油气运移路径。部分早期圈闭破坏后,在邻近凹陷区形成新的构造-岩性复合圈闭。本研究深化了特提斯构造域油气富集机制的理解,并为中亚地区复杂叠合盆地的油气勘探提供了关键科学依据。

S67-P-3

新特提斯演化下的上白垩统 油气成藏期次——以美索不达 米亚盆地 Mishrif 组为例

王欢^{1*}, 窦立荣^{1,2}, 张兴阳¹, 尹继全¹,
罗贝维¹, 沈安江^{3,4}

1 中国石油勘探开发研究院

2 中国石油国际勘探开发有限公司

3 中国石油杭州地质研究院

4 中国石油天然气集团有限公司碳酸盐岩储层重点实验室

* emma_wang@163.com

Mishrif 组是美索不达米亚盆地东南部主力油藏,油藏内部原油性质差异大、成藏期次不明。本文以 AD 油田及 HF 油田油田为例,利用 Mishrif 组储层样品开展岩石学、地球化学、流体包裹体研究,结合埋藏史进一步明确美索不达米亚盆地 Mishrif 组胶结物发育及油气成藏期次。Mishrif 组胶结物可划分为 4 个成岩阶段,I 期为沿孔隙边缘分布的等厚方解石(IRC),为准同

生期弱氧化海相胶结物,形成于森诺曼期;II 期为块状方解石 A(BC-A),为海水和大气降水混合的弱氧化流体,形成于中土伦期;III 期为块状方解石 B(BC-B),充填于溶蚀孔中间,为浅埋藏期的弱氧化-还原盆地卤水,形成于晚白垩世至中新世早期。IV 期为充填于溶洞和裂缝中的方解石脉(CV),为深埋藏期还原盆地卤水流体,形成于中新世中期-至今。结合包裹体荧光、原位方解石 U-Pb 年代及埋藏史恢复,明确了 Mishrif 组 3 个油气充注期次:I 期为晚白垩世,同生期-准同生期-表生期成岩作用发育(II 期胶结物),新特提斯洋收缩,充注早期呈黄色荧光的低熟油;II 期为晚白垩世晚期-早中新世,浅埋藏成岩作用为主(III 期胶结物),南新特提斯洋闭合,新特提斯洋收缩,充注晚期呈绿色荧光的成熟油;III 期为早中新世~至今,中-深埋藏成岩作用为主(IV 期胶结物),新特提斯洋完全闭合,同时受扎格罗斯造山运动影响,地层快速沉降,充注晚期呈蓝色荧光的高熟油。Mishrif 组原油呈连续充注,第二阶段为主成藏期。

S67-P-4

印度尼西亚库泰盆地中新统 深水重力流沉积特征及发育 机制

吴高奎¹, 王桐¹, 孙连浦¹, 郭金瑞^{1*}, 陈占坤¹, 郭丰涛¹, 刘志鹏¹, 范庆凯¹

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

* guojr.syky@sinopec.com

印度尼西亚库泰盆地位于特提斯域东南缘,2023 年盆内大型深水浊积岩油气藏的发现掀起了该区深水油气勘探的热潮。针对库泰盆地深水重力流沉积特征认识薄弱、制约持续勘探这一问题,综合测井、地震等资料,建立库泰盆地中新统层序地层格架,识别深水沉积单元结构,揭示重

力流体体系发育演化并探讨其发育机制：将库泰盆地中新统划分为 4 个三级层序（S1-S4），识别出限制侵蚀型水道、弱受限侵蚀-加积型水道、前缘扇朵、斜坡泥质沉积等深水沉积单元；中新世，重力流体体系总体呈进积，垂向上由斜坡泥质沉积（S1）向上过渡为前缘扇朵（S2）、大规模限制-弱受限型水道（S3）与限制侵蚀型水道（S4）；构造隆升、冰期气候及海平面下降耦合作用致使深水物源供给增加是重力流体体系大规模发育的区域性驱动因素，构造反转所致的陆坡坡度增加为斜坡-坡底扇的发育提供了充足动力。

S69-O-1

海上太阳能、风能和波浪能的时空分别规律与互补性研究

郭兵勇^{1*}

1 西北工业大学，海洋研究院

* b.guo@nwpu.edu.cn

以太阳能、风能和波浪能等为代表的海洋可再生能源储量丰富，分布广泛，具有巨大的开发潜力；同时，这些能源具有强随机性和间歇性，利用单一能源发电常导致功率输出不稳定，峰均功率比高。针对这一问题，国内外学者提出了多种海上多能互补发电技术，包括风浪互补、光浪互补等，通过多能互补发电增加发电量，提升功率可预测性，平滑功率输出，共享基础设施，最终降低度电成本。现阶段多能互补发电研究聚焦于多能互补发电系统的建模仿真、性能预测、设计优化等，关于不同海洋可再生能源之间的相关性和互补性的研究相对较少。本报告基于 ERA5 数据库，分析 2000 年至 2023 年全球海洋太阳能、风能与波浪能的时空分布特征及资源稳定性，并利用肯德尔相关系数量化这三种能源间的相关性及互补性，进而识

别出资源丰富、资源稳定且具备综合能源开发潜力优势的区域。

S69-O-2

波浪能随体发电技术与装备

陈卫星^{1*}

1 上海交通大学，机械与动力工程学院

* wxchen@sjtu.edu.cn

深远海无人平台开展长期观测任务对能源需求迫切，如何高效捕获低频随机的波浪能给无固定基础的水下航行器、浮标等无人平台供电，是极为挑战的问题，现有的波浪能随体发电能力较低，难以应用。本报告介绍了团队近年来提出的随体波浪能捕获原理，能量高效转换机制和随机波况调控方法：1）提出了可变形随体捕获机构降低整机一阶振动固有频率的原理，发明了面向水下航行器的中心对称式可变形伞翼波浪能随体捕获机构、面向浮标的中心对称式可变形浮子波浪能随体捕获机构。2）提出了辨识随体捕获机构的非线性流体粘滞阻尼参数方法，建立了计及流体粘滞阻尼效应的全耦合多自由度动力学模型，建立了波浪力、机身惯性力、电磁负载力等对能量转换效率的影响图谱，揭示了流固电关键参数的高效转换能量机制。3）提出了基于波浪特征辨识的短时机械调频结构自适应控制方法，开发了基于发电机输入转速追踪最大发电功率点的功率实时跟踪算法。在此基础上，设计和开发出了面向波浪滑翔器、浮标和水下航行器的多型高效波浪能随体捕获装备，并开展了水池试验、海试和应用。

S69-O-3

大型海上浮式光伏系统耦合动力学研究

张显涛^{1*}

1 上海交通大学, 船舶海洋与建筑工程学院
* zhxter@outlook.com

双碳背景下, 推动能源结构转型迫在眉睫。太阳能产业成为清洁能源产业重要组成部分。考虑到陆上光伏空间资源收紧和淡水水上光伏开发限制, 海上区域已成为光伏开发的重要战略空间。海上漂浮式光伏开发利用符合能源行业发展诉求, 对于推动我国能源产业升级, 实现“双碳”战略目标等具有重要意义。本报告将重点介绍课题组在薄膜型、浮箱型以及桁架型等新型海上浮式光伏系统的研究工作, 包括系统耦合动力学模型、气动和水动力性能、模型试验、俘能性能评估等, 并且简要探讨下未来的研究方向。

S69-O-4

深远海高机动探测装备的波浪能供电方法研究

薛钢^{1*}

1 山东大学
* xuegangzb@163.com

深远海高机动探测装备的持续能源供给是制约其长期作业的核心难题。针对传统蓄电池供电续航短、太阳能供电受光照条件制约等问题, 本研究提出基于波浪能的高效俘能与稳定供电方法, 旨在实现探测装备能源的自维持供给。首先, 基于海洋浮标构型, 设计摆翼结构, 实现波浪能俘获与水下机动驱控的共融; 其次, 依托水下多关节海洋机器人, 设计关节式俘能机构, 实现俘能体与驱控体的一体化融合; 最后, 研究适用于深海探测装备的液压传动系统和拉线传动系统, 实现海洋能俘获与运动驱控过程的高效率、高集成度传动。该研究作为深远海移动平台能源供给提供了创新解决方案, 对推动深远海探测与开发具有重要应用价值。

S69-O-5

结构参数对离岸 OWC 装置水动力特性的综合影响研究

曲铭^{1*}, 包兴先¹, 鲍健²

1 中国石油大学(华东), 机电工程学院
2 中国海洋大学, 工程学院
* quming@upc.edu.cn

能源问题是二十一世纪人类社会面临的重大课题, 也是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题。海洋可再生能源将在未来能源供应体系中扮演重要角色。在海洋可再生能源中, 波浪能开发潜力巨大, 有着总储量大、能量集中等优势。振荡水柱式(Oscillating Water Column, OWC)装置是全球开发最成功的波能利用装置, 在振荡水柱波浪能发电装置研究领域, 波浪和结构参数对装置效率影响是领域研究的热点, 相关学者进行了诸多研究。多参数对 OWC 装置水动力特性的影响存在耦合效应, 这一现象在以往研究中经常被忽视, 导致了尽管相关学者已围绕着 OWC 装置水动力特性开展了大量研究, 但波浪和结构参数对装置水动力特性和水动力过程的影响机理仍尚未明晰, 阻碍了 OWC 装置水动力特性研究和捕能效率估算方法研究的发展。

针对这一问题, 本研究以离岸 OWC 装置为研究对象, 通过大量数值模拟和物理试验工况, 系统研究了不同波浪条件下 PTO 系数 α 、气室长度 B_s 、气室内水深 J_n 、前墙入水深度 J_e 等参数变化对装置捕能效率影响的耦合效应。研究发现: 多参数对振荡水柱装置水动力特性影响的耦合效应不可忽视, 估算装置效率时忽略多参数耦合效应会导致错估(如 PTO 系数 α 较小的气室, 气室长度 B_s 的影响更为显著; 气室长度 B_s 较大的装置, 其效率受气室内水深 J_n 的影响更大); 常见的采用相对波长 L/B_s (入射波长与气室长度之比)表示波浪和结构参数相对关系时仅通过改变入射波

长 L 进行研究的方法存在局限性, 在相对波长 L/B_s 相同时, 仅气室长度 B_s 不同的装置效率差距可达 70%。本研究还从气室内水体运动、气室内液面形态等微观水动力场变化角度分析揭示了多参数耦合效应机理。研究可为 OWC 装置效率估算方法研究和 OWC 装置水动力模型改进提供参考。

S69-O-6

垂荡自持式波能装置水动力与获能特性研究

于明琦¹, 曹飞飞^{1*}, 史宏达¹

1 中国海洋大学, 工程学院
* caofeifei@ouc.edu.cn

海上风能与波浪能作为高密度海洋可再生能源, 因其强伴生性具备联合开发的优点, 逐渐成为研究热点。目前风-浪联合获能系统的研究多集中于概念探索与可行性验证, 尚缺乏对波浪能装置 (WECs) 微阵列形式影响机制的系统研究。

本研究以中国首台抗风浪型漂浮式风力机“三峡引领号” (TGL) 与垂荡式 WECs 微阵列耦合构成的联合获能系统为对象, 采用 AQWA-FAST 联合仿真方法, 构建了考虑气动柔性、风浪作用与多体耦合的频-时域分析模型, 系统揭示微阵列形式对系统动力性能与响应的影响规律。研究表明, 相较于内部布置, 外部微阵列虽对风机水动力系数影响有限, 但两者均可有效降低风机垂荡自振频率处的响应幅值; 在多向规则波条件下, WECs 上游装置通过辐射与绕射作用影响下游装置波场, 导致能量再分配现象; 在风浪耦合海况下, WECs 微阵列对风机动态响应影响有限, 但可减小塔架变形与载荷, 提升低风速下的发电性能。

本研究创新性地提出融合两种 WECs 微阵列的新型风-浪联合获能系统, 深入探讨了阵列内部流体动力耦合与能量传递机制, 明确了其对系统整体动力学行为与能量输出的作用机理。研究结果对提升联合

开发系统效率、推动海洋可再生能源综合利用具有重要意义。

S69-P-1S

水下六自由度机械臂的瞬态水动力学分析

王星耀¹, 黄淑亭^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院
* hst@sdu.edu.cn

多自由度水下机械臂的瞬态水动力特性是一个关键且复杂的问题, 会直接影响运动轨迹预测与控制的精度。本文通过 CFD (Computational Fluid Dynamics) 模拟, 获得了六自由度机械臂在不同角速度和角加速度下的瞬态水动力载荷。瞬态水动力系数通过机械臂质心距离的标准化处理, 并建立了系数的近似函数。仿真数据的对比分析表明, 关节间的形状与相对运动共同决定了瞬态水动力系数。拟合函数可快速、简便地基于输入的运动学参数计算水动力载荷与系数。该函数的精度约为 94.8%, 可满足控制工程需求。本研究深化了对多自由度水下机械臂瞬态水动力特性的理解, 所提出的近似函数能提升机械臂水下作业中的控制精度。

S69-P-2

同轴双浮体波能装置阵列共享系泊性能研究

董晓晨¹, 刘臻^{1*}

1 中国海洋大学, 工程学院
* dongxiaochen@ouc.edu.cn

在大规模开发利用海上波浪能资源时, 降低成本被视为推动该领域发展的关键。当波能装置数量达到实用规模时, 多台设备可能需要以阵列形式进行部署。其中,

共享系泊型波浪能装置阵列是一个极具前景的成本降低方案。通过体间系泊连接的阵列进行布置可以减少锚的数量并最小化系泊线总长度，能够在实现规模经济的同时，在运行、维护任务和辅助设施方面产生协同效应。以四合同轴双浮体波浪能装置组成的不同阵列布局为研究对象，采用频域计算与时域计算结合的方法研究比较了独立系泊阵列和具有不同连接程度的共享系泊阵列在不同海况下的性能。结果表明，共享系泊阵列相比独立系泊阵列优势显著，装置性能优化、系泊性能稳定可靠、系泊成本有效降低，研究结果为波能装置大规模推广与商业应用提供研究基础。

S69-P-3

波浪能装置阵列的激励辨识与协同控制方法

张振全^{1*}

1 中国石油大学（华东），机电工程学院

* zh_zhenquan@upc.edu.cn

为实现波浪能资源的大规模开发利用，采用阵列化方式布放波浪能发电装置，形成规模化的波浪能发电场，是未来的必然趋势。阵列化布放的波浪能装置能够从有限海域内的波浪中摄取更多能量，提高单位面积海域的能量输出量，实现集约化用海。同时，多套波浪能装置协同能够抑制能量输出波动，降低布放、系泊和维护成本，推动波浪能装置走向产业化。但是，阵列化的波浪能装置需要先进的控制策略实现理想的波浪能摄取运动，方可提升阵列装置的整体效率。波浪激励的辨识是先进控制策略实施的基础，针对传统波浪能装置阵列存在激励估计精度与计算效率无法兼得等问题，引入信息交互拓扑方法增强估计器构建灵活性，提出了一种波浪能装置阵列激励局部估计新方法，可根据阵列布局和波况等进行针对性调整，实现了独立和全局估计器间的连续调节，平衡了

估计精度与计算效率；改进了波浪能装置阵列数学模型，显式表明了子系统状态、控制输入和波浪激励之间的耦合关系，提出了基于决策和控制输入协同的阵列模型预测控制新方法，克服了传统阵列控制方法计算效率与捕能效果难以平衡的困难，实现了波浪能装置复杂阵列的高效获能协同控制。

S69-P-4S

波浪能制氢装置研究

游秀^{1*}

1 山东大学，海洋研究院

* youxiu@mail.sdu.edu.cn

波浪能作为一种海洋可再生能源，具有能量密度高、分布广泛、可再生等优势。氢气制备的常规方法包括电解水制氢、生物质制氢等。其中，电解水制氢技术成熟，但能耗较高，目前工业氢气中仅 4%由此方法制得。若利用可再生能源（如波浪能）供电，可显著降低碳排放。波浪能制取氢气的技术路径主要分为直接耦合与间接耦合。直接耦合通过波浪能发电装置直接驱动电解水制氢设备，如振荡水柱式、摆式波浪能转换器与电解槽结合。

波浪能制氢的优势显著：一方面，波浪能作为可再生能源，可减少化石燃料的依赖，降低碳排放；另一方面，波浪能资源分布与海上氢能需求（如海岛供电、航运燃料）高度契合，可实现就地制氢、就地使用。然而，该领域也面临诸多挑战，包括波浪能的不稳定性导致发电功率波动，进而影响电解效率；海洋环境（盐雾、腐蚀）对设备的耐久性要求高；以及当前波浪能制氢成本较高，需通过技术创新和规模化应用降低成本。波浪能制氢技术的发展趋势包括：一是技术融合，如波浪能与风能、太阳能耦合，形成多能互补系统；二是装备升级，向大型规模化（如兆瓦级发电装置）和小型专精化（如海洋观测设

备供电)方向发展;三是产业链协同,通过政企合作推动技术攻关、装备产业化及场景应用,如远海岛礁、深海养殖等领域的氢能供应。

综上所述,波浪能制取氢气在技术路径、优势挑战及发展趋势方面均展现出广阔的前景,但仍需解决设备耐久性、成本及规模化应用等关键问题。

S69-P-5

海上风能及潮流能发电装置捕能机理

刘延俊^{1*}, 王琳¹

1 山东大学, 海洋研究院
* 200799013962@mail.sdu.edu.cn

随着世界经济复苏,全球能源需求逐渐增加,面对日益严重的能源危机和环境污染问题,世界各国地区加快了能源结构转型,着力发展可再生清洁能源以进入低碳能源时代。海上风能与潮流能均是海洋蕴藏的主要可再生能源,应用前景广阔,但由于可再生能源发电在其本质上具有随机性,为了避免可再生发电系统电力供应的不确定性及间隙性,在分布式能源中采取多能复合发电方式比依赖单一能源方式更为可靠,为实现海洋可再生能源联合发电,综合利用开发海上风能与潮流能具有积极意义。因此,本文以海上风能与潮流能复合发电系统为研究对象,围绕风能捕获装置、潮流能捕获装置及复合液压传动系统中的关键技术问题,分别对风能捕获装置中螺旋型垂直风力机气动性能、潮流能捕获装置中组合式潮流能水轮机水动力性能和自启性及基于液压传动的复合发电系统特性和不同工作环境下系统运行策略开展了深入研究。

首先,针对复合发电系统中能量捕获装置主要部分和液压系统中的主要元件分别进行数学模型描述及基本理论分析。介

绍了输入风速数学模型以及三种求解风力机气动性能的基本理论,着重对 CFD 数值模拟仿真中的控制方程、求解方法和湍流模型的选择对数值模拟结果的影响进行引述分析;对水轮机工作时进行受力分析,介绍了输入潮流流速模型并分析对比了两种适用于水轮机的求解方法,选择精度高的 CFD 模拟方法对后文设计的组合式水轮机进行数值仿真分析;对复合发电的液压传动回路中的主要液压元件开展数学模型描述。

然后,提出了一种螺旋型垂直轴风力机,分析螺旋型垂直轴风力机气动性能,对其风轮部分展开结构参数优化研究。风轮作为风力机捕获风能的载体,直接影响到风力机的受力及风能利用率,因此为改善垂直轴风力机的气动特性,分析了在不同风场环境下,风轮转速、风速与能量捕获效率间的关系;揭示了风轮高径比结构参数对风能利用率的影响,从而实现风能捕获装置中风力机结构参数优化设计。

最后,设计了一种由外轮为三个螺旋型升力叶片、内轮为上下呈 90°错位布置的二级 S 型阻力叶片组合形成的组合式潮流能水轮机,使其结构在理论上兼具升力型水轮机和阻力型水轮机的特性,应用 CFD 数值模拟方法对其开展一系列的三维水动力学仿真分析。时将水动力仿真结果进行后处理展示以更直观的对流场状态进行对比,揭示了升力型叶轮螺旋扭角与阻力型叶轮对组合式叶轮受力及自启性的影响趋势。

S69-P-6S

混合驱动仿生水下机器人建模与运动控制研究

白发刚^{1*}, 薛钢¹, 刘延俊², 黄淑亭¹

1 山东大学, 海洋研究院
2 山东大学, 机械工程学院
* baifagang14@163.com

混合驱动仿生机器人融合了传统螺旋桨推进的机动性和仿生摆动推进的高效性,为水下探测和机器人应用提供了潜在优势。本研究综合运用理论建模与数值仿真技术,提出了一种针对混合驱动仿生机器人的航路点跟踪运动控制框架,全面地处理并解决了水下机器人非线性流体动力学、混合执行器动力学、执行器输入饱和以及路径跟踪控制等问题。首先,基于数学理论分析建立了流体动力学与机构动力学的耦合模型。随后,利用计算流体力学技术为仿生机器人创建虚拟仿真水槽,并通过流体动力数据拟合确定关键参数,如阻尼系数和推力系数等。接着,在 Matlab/Simulink 平台上构建了仿真模型,并通过将数值仿真结果与实验结果进行对比,验证了模型的准确性。在此基础上,设计了基于视线法的航路点导航系统与基于 PID 算法的控制系统,并通过跟踪不同航路点序列的仿真验证了该系统的有效性,实现了多模式驱动和切换状态下的路径跟踪控制。最后,采用虚拟现实技术进行可视化与验证。本研究为高性能仿生水下机器人的开发提供了理论基础与实验支持。

S69-P-7S

抛物型防波堤作用下共享系泊振荡水柱波能转换器阵列的水动力与能量捕获分析

魏长栋¹, 刘延俊^{1*}

¹ 山东大学, 海洋研究院
* lyjl11lyjslw@163.com

通过抛物型防波堤对波浪的聚焦作用,可以提高振荡水柱波能转换器的能量捕获效率。此外,用于定位浮动装置阵列的共享系泊系统被认为是降低系泊成本的有效方法。本文基于计算流体力学方法,建立了数值波槽来模拟 OWC 阵列的水动力性能。建立了基于离散元法的系泊数值模型,模

拟了系泊线在轴向弹性、水动力和与海底垂直接触力作用下的行为。数值模型和装置与实验结果相吻合。对比分析了在有抛物型防波堤和没有抛物型防波堤的共享系泊系统下,浮动 OWC 阵列的运动响应、能量捕获性能和系缆张力。结果表明,抛物型防波堤显著增强了 OWC 阵列的升沉和浪涌运动。部署在抛物型防波堤理论焦点的中央 OWC 显示了能量捕获能力的实质性增强。抛物线型防波堤增加了 OWC 阵列系统背风侧的平均系泊力,同时减小了共享聚酯绳系泊力的波动。本文可为抛物型防波堤下浮动 OWC 阵列的布置以及今后共享系泊系统的设计与仿真提供有利的参考数据。

S69-P-8S

海洋温差能循环中压力能的综合利用与优化研究

田明倩¹, 刘延俊^{1*}

¹ 山东大学, 海洋研究院
* lyjl11ky@163.com

海洋温差能 (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC) 作为海洋可再生能源的重要形式,其能量转换效率受限于表层与深层海水间的有限温差。本研究聚焦于 OTEC 循环系统中的压力能,提出了一种基于压力能回收与热力学耦合的循环方法,旨在突破传统温差能转换效率的瓶颈。针对循环中工质相变与低压环境下的能量损失问题,通过构建压力能回收系统,实现了工质蒸发、膨胀做功及冷凝过程中压力能的高效梯级利用。研究基于热力学焓分析理论,建立了压力能回收与温差能转换的耦合模型,量化了不同温度对系统净输出功率的影响规律,并通过计算流体力学 (CFD) 仿真验证了新型压力利用装置的有效性。本研究为海洋温差能系统的工程化设计提供了理论支撑与技术路径,对推动深海可再生能源的高效开发具有重要参考价值。

S69-P-9S

基于海洋温差能发电系统的大功率平台实验研究及性能分析

路北辰¹, 刘延俊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院
* lyjl11@sdu.edu.cn

海洋温差能 (Ocean Thermal Energy Conversion) 是利用海洋中的不同海水层温度差进行发电的一种形式。研究团队设计搭建了以 R134a 为工质的海洋温差能发电系统陆地实验平台, 通过实验研究在改变系统的外界环境温度、流量等可变条件下, 其工质循环系统的性能。研究结果显示, 随着温海水温度以及流量的提高, 系统的净输出功率有所增加; 随着冷海水温度的降低以及流量的提高, 系统净输出增加但在较大功率时增幅小于温海水的变化。调整蒸发压力在增大透平进出口压差的情况下, 对于输出功率的影响是先增大后保持不变。测试中达到最大输出功率 48kW, 透平等熵效率 80%, 系统效率 2%。

S69-P-10S

内置波能发电装置的海工浮桥获能与随波平稳特性研究

王俊¹, 郭磊¹, 刘延俊¹, 黄淑亭^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院
* hst@sdu.edu.cn

将海工浮桥与波浪能转换器相结合, 可为开发经济的近海波浪能资源提供一种可行的选择, 同时能解决波能装置的成本高昂和浮桥运动失稳等问题。本文提出了集成波浪能发电模块的新型波浪能浮桥, 并研究了其能量捕获和平稳性问题。针对波浪能装置提出非线性刚度机构并基于势

流理论和非线性考虑建立了系统混合动力学模型。将获能装置视为线性阻尼器和非线性弹簧装置的组合, 并验证了数值模型的准确性。利用数值模拟对比分析了规则波和不规则波条件下线性 PTO 与非线性 PTO 波浪能浮桥的获能特性及运动平稳特性, 数值结果表明集成波浪能发电模块的波浪能浮桥提高了波浪能量获取能力和随波运动平稳性。并且规则波下线性 PTO 波浪能浮桥可以通过选择合适 PTO 阻尼值, 使浮桥运动响应降低, 而非线性 PTO 波浪能浮桥可以提高双峰宽度, 拓宽能量俘获的频带。非线性 PTO 更适合于低频波浪为主的海况, 而线性 PTO 更加适合于高频波浪为主的海况。

S69-P-11

弹簧摆浮子波浪能装置双频获能特性研究

黄淑亭¹, 杨铭宇¹, 刘延俊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院
* lyjl11yjslw@163.com

获能频带较窄与波浪谱能量分布之间的矛盾使得波浪能浮子装置在真实海域中发电效率并不理想。本文提出了一种新型的弹簧摆浮子波浪能装置, 利用其两个运动自由度的双频特性, 采集了其在由风浪和涌浪组成的双峰谱波浪下的运动数据, 同时提出了一种新型能量捕获源识别方法, 分别从风浪和涌浪两个组成部分评估其获能特性。通过波浪水槽实验对仿真结果进行了验证, 从自由度和频率分布两个方面分析了其双频获能特性, 探究了结构参数的影响。结果表明, 弹簧摆浮子波浪能装置具有明显的双频获能特性, 且具有较宽的高效获能频带。两个自由度的结合是拓宽双频获能频带的主要原因, 弹簧摆臂增强了其摆动自由度的获能功率。由于运动平衡位置的改变, PTO 阻尼的影响变得更加复杂。这种双频特性有效地增强了其在

双峰谱波浪中的获能功率，尤其体现在高频风浪上。

S69-P-12S

海洋可再生能源开发技术与环境影响研究

徐子明¹，刘延俊^{1*}

1 山东大学，机械工程学院

* lyj111yjslw@163.com

随着全球能源结构转型与“双碳”目标的推进，海洋可再生能源作为一种清洁、高效、可持续的新型能源，正日益受到关注。海上风能与波浪能因其资源丰富、开发潜力巨大，已成为当前海洋能源开发的研究热点与实践重点。本文围绕海上风能与波浪能的开发技术路径、耦合利用方式及其对海洋环境的潜在影响展开系统分析，为我国沿海区域能源结构优化与绿色低碳发展提供技术支撑与理论依据。

首先，本文对海上风能和波浪能的资源特性进行了对比评估，指出我国东部与南部沿海具备良好的风-波复合资源条件。基于此，介绍了当前主流的开发技术，包括浮式风电平台设计、波浪能转换装置结构优化，以及多能互补耦合系统的集成模式。针对海上风-波耦合系统运行中的关键技术问题，如耦合载荷作用机制、平台动态响应分析、结构疲劳寿命预测等，本文进一步探讨了多物理场耦合建模与高保真数值模拟方法的应用进展。

其次，本文系统评估了海洋可再生能源开发对典型海洋环境要素的影响，包括对局地水动力过程、沉积物输运、海洋生物栖息地以及声环境的潜在扰动。研究表明，大规模布设的风电场与波浪能装置可能改变局部流场结构，影响底质演变和生态系统稳定性。因此，提出构建“开发-环境”协同评估框架，通过现场观测、遥感监测与生态建模相结合，推动海洋可再生能源开发的生态环境友好型转型。

最后，本文展望了我国海洋可再生能源发展的未来方向，强调在实现规模化、智能化发展的同时，需强化海洋生态保护与环境风险预警机制的建设。建议在工程规划初期引入环境影响预测模型，提升开发项目的全生命周期环境治理能力，为海洋强国战略和全球气候变化应对提供可持续发展路径。

S69-P-13S

点吸收波能转换器阵列液压动力输出系统的设计与控制

王登帅¹，刘延俊^{1,2*}，薛钢^{1*}

1 山东大学，海洋研究院

2 山东大学，机械工程学院

* lyj111ky@163.com

* xuegangzb@163.com

开发波浪能转换器阵列是降低平准化能源成本和促进波浪能转换器商业化的有效途径。本研究提出了一种用于点吸收式波浪能转换器（PA-WECs）阵列的液压功率输出（PTO）系统，并设计了一种控制系统，采用一种称为改进型简化通用智能PID（ISUIPID）控制器和自适应匹配控制器（包括改进型人工猩猩部队优化器（IGTO））的新型算法，以提高和稳定PA-WEC阵列的输出功率。为了验证数学模型和控制系统的有效期，我们在不同的不规则波状态下进行了仿真。结果表明，所设计的IGTO在求解发电机的最优线性阻尼系数时具有更快的收敛速度和更好的收敛精度，所提出的ISUIPID控制器在变化的海况下跟踪液压马达的速度时性能优越。此外，在所设计的控制系统下，PA-WEC阵列的捕获功率和输出功率都得到了提高，并能稳定输出电能。采用所提出控制系统的PA-WEC阵列将成为一个独立、稳定、高效和可持续的供电系统。

S69-P-14S

基于动态模态分解的振荡浮子系统降阶与捕能优化控制

马靖然¹, 高涵², 黄淑亭¹, 刘延俊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

2 山东大学, 机械工程学院

* lyjl11ky@163.com

本研究聚焦于基于动态模态分解(DMD)的浮子阵列系统降阶与捕能优化控制问题。随着全球能源需求的增长和对化石燃料依赖的减少, 海洋可再生能源尤其是波浪能的开发与利用成为研究热点。波浪能具有能量密度高、储量大、工作时间长等优势, 其开发利用对缓解能源危机、实现碳中和目标具有重要意义。然而, 现有波浪能发电装置在高效性和高精度控制方面存在相互制约的问题, 阵列化布放波浪能发电装置虽能提高能量捕获效率, 但也带来了模型维度大、控制复杂等挑战。本研究以振荡浮子式波浪能发电装置为研究对象, 旨在通过动态模态分解技术实现波浪能发电装置的降阶建模与捕能优化控制。首先, 构建了振荡浮子式波浪能发电装置的频域与时域耦合模型, 分析了浮子的运动响应和能量捕获特性, 为后续研究奠定了基础。接着, 将标准动态模态分解方法应用于单浮子系统, 成功实现了系统状态的降阶重构, 验证了 DMD 算法在振荡浮子系统中的可行性, 结果表明仅需少量模态即可复现系统绝大多数动态。进一步地, 引入扩展输入-输出动态模态分解, 解决了标准 DMD 对非线性系统重构能力较弱及无法施加控制的问题, 基于构建的降阶模型进行了系统预测, 为模型预测控制提供了依据。在阵列浮子系统方面, 本研究创新性地提出了将变流体域振荡浮子模型数据驱动的数据整合方法, 扩展了数据驱动技术在波浪能领域的应用。同时, 将动态模态分解与模型预测控制相结合, 实现了阵列式振荡浮子的捕能优化控制, 有效提升了波浪能装置阵列的整体效率。总体

而言, 本研究在波浪能发电装置的降阶建模与捕能优化控制方面取得了重要进展, 为波浪能的大规模开发利用提供了新的技术途径和理论支持。通过动态模态分解技术的应用, 不仅降低了模型的复杂度, 提高了计算效率, 还增强了系统对不同海况的适应能力, 为实现波浪能资源的有效开发和可持续发展贡献了新的解决方案。

S69-P-15S

融合扩张状态观测器与无抖振终端滑模控制的海洋平台自动化铁钻工高精度控制策略

高涵^{1,2}, 马靖然³, 刘延俊^{1,2,3*}, 薛钢^{1,2,3*}

1 山东大学, 机械工程学院

2 山东大学, 高效洁净机械制造教育部重点实验室

3 山东大学, 海洋研究院

* lyjl11lyjslw@163.com

* xuegangzb@163.com

作为海洋钻井平台自动化管柱处理系统中的重要组成部分, 铁钻工的主要功能是在钻机起下钻作业过程中完成钻柱与管柱的上卸扣工作。海洋平台空间有限, 伸缩臂式铁钻工通过可伸缩的臂架设计, 在不使用时可以将臂架收回, 且无需铺设轨道, 提高了平台空间的利用率。而铁钻工具有多种控制模式, 自动化程度高, 可实现上卸扣“一键式”自动化操作, 避免了人工作业可能带来的风险, 提高了作业的安全性、可靠性和效率。

伸缩臂式铁钻工的末端执行器是具有多功能的大重量钳体, 由液压驱动的多关节臂来控制。铁钻工的大惯量属性容易造成加减速冲击大, 系统发热严重等问题。重载机械臂的机液系统具有强耦合效应, 空间位置的改变导致系统负载的频繁变化, 同时系统中存在制造、装配与变形误差以及不可测摩擦力等不确定因素, 导致系统

的动力学模型存在大量参数不确定性与不确定非线性, 导致高精度控制器设计与应用较为困难。

为解决上述问题, 本文提出了一种基于扩展状态观测器的无抖振终端滑模控制方案, 其对于参数不确定性和未知非线性负载扰动具有优越的鲁棒性。本文首先建立了电液伺服系统的三阶积分链模型, 其中不确定性和未知动态被视为集总干扰, 并由扩张状态观测器估计。同时, 设计了一个全阶终端滑模面, 以在有限时间内稳定闭环系统, 滑模控制率中的等效控制项引入了对集总扰动的前馈补偿, 在鲁棒切换项中应用了复合趋近律和一阶低通滤波器, 以实现无抖振与非奇异控制。利用李雅普诺夫定理证明了整个系统的有限时间稳定性。基于 MATLAB/Simulink 平台建立了具有耦合动力学的伸缩臂式铁钻工的仿真模型。仿真结果表明, 所提控制方案对不确定非线性系统的轨迹跟踪问题非常有效。

在此之前, 滑模控制由于鲁棒切换项中符号函数的存在, 导致控制信号的高频振荡, 难以直接应用于电液系统的比例阀/伺服阀的控制; 同时, 受传感器噪声影响, 导致位移反馈信号直接求导所得速度信息, 难以直接用于状态反馈控制。基于扩展状态观测器的无抖振终端滑模控制方案在海洋平台重载铁钻工的应用, 从理论上解决了上述痛点, 真正的将高鲁棒与高响应控制器应用于工业液压的自动化控制中。铁钻工高控制精度的实现和应用对于推动整个海洋钻井技术向自动化、智能化、协同化、高效化、无人化方向发展具有重要意义, 有助于提升我国海洋钻井技术的整体水平和国际竞争力。

S69-P-16S

不同透平运行模式对振荡水柱波浪能发电装置能量转换性能影响研究

袁震宇¹, 刘延俊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

* lyj111yjslw@163.com

振荡水柱 (OWC) 波浪能发电技术在海洋能开发领域获得了广泛应用, 但其捕能效率仍需提高。现有研究中透平与振荡水柱的瞬态相互作用及其对系统效率的影响尚未被充分揭示。本研究创新性地在波浪-气室-透平耦合的数值模型中引入基于最大功率点跟踪 (MPPT) 的动态控制策略并揭示了变转速冲击式透平与 OWC 气室的瞬态耦合作用机制。基于粘性计算流体力学理论, 利用 Star-CCM+商业软件建立数值模型, 研究了规则波作用下三种透平运行模式: 自由转速、固定转速和动态转速对 OWC 气室以及透平气动响应的影响。结果表明: 透平自由转速模式虽简化系统结构, 但其全过程效率最低; 固定转速模式的峰值效率受限于特定的工况, 而基于 MPPT 的透平动态转速模式通过匹配最大功率点大幅提升捕能效率, 相比固定转速最优工况和自由转速工况最高分别提升了 4.97% 和 24.07%, 然而, 透平瞬态运行时的湍流惯性效应导致二级效率较稳态理论值降低了 15%。本研究证实实时反馈流量系数的动态控制可有效协调气室捕能与透平功率输出, 为波浪能电站开发智能调控系统提供了理论依据与优化路径。

S69-P-17S

基于非线性干扰观测器的自适应反演滑模控制的机器鱼轨迹跟踪控制研究

孙军涛¹, 刘延俊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

* sunjuntao222@163.com

深海海洋环境变化复杂, 高扰动环境对水下机器鱼的控制提出了更高的要求,

尤其是在轨迹跟踪的鲁棒性方面。结合普通水下航行器控制器,提出了一种利用简化动力学模型的求解虚拟控制律,并且把尾鳍作为真实控制输入到精确模型的方法。首先,对机器鱼受力分析得到机器鱼的运动学和动力学模型;通过速度误差修正函数降低强扰动对虚拟控制器的影响;利用一种收敛精度取决于单一参数值的非线性干扰观测器观测并补偿环境的强扰动;基于 Lyapunov 理论,推导了虚拟控制器的自适应海流的反演滑模控制率,并且保证了系统的稳定性。然后,通过虚拟控制输入反解出实际尾鳍摆角和偏置的控制率,并将控制输出作为机器鱼精确模型的系统输入,得到可以抵抗强干扰的机器鱼轨迹跟踪控制器。最后,数值仿真结果说明了所设计控制器在强扰动环境下的有效性和鲁棒性。且结果表明该控制器轨迹跟踪误差均在 0.01m 以内,占机器鱼机身尺寸的 1.3%;在期望轨迹改变处跟踪误差显著优于模型预测控制控制器。

S69-P-18S

WECs 微阵列与 TGL 半潜式浮式平台集成混合系统的数值分析研究

李明辰¹, 魏长栋², 李立磊¹, 袁震宇², 刘延俊^{1,2*}, 薛钢^{1,2*}

1 山东大学, 机械工程学院

2 山东大学, 海洋研究院

* lyjl11lyjslw@163.com

* xuegangzb@163.com

为了提高海洋可再生能源行业的发电效率并降低成本,将波浪能装置(WECs)集成到浮式风电机组(FOWT)中是一种极具潜力的技术途径。本研究提出了一个新型的风波能混合概念,其由 TGL 半潜式浮式风机与多个点吸收式 WECs 相结合。基于三维势流理论,使用水动力分析软件

AQWA 进行了数值模拟。首先采用已有的实验数据对半潜式平台和 WECs 的水动力响应进行对比分析,验证了数值模型的可靠性。随后基于 WEC 与风机平台的连接方式不同,设计了两种 WECs 微阵列形式(Y 形微阵列和三角形微阵列),通过数值分析研究 WECs 微阵列对混合系统性能的影响。研究表明,在短波条件下,WECs 微阵列对波浪轮廓的影响较显著。在平台运动稳定性方面,Y 形微阵列表现出更优的性能。在系泊张力方面,混合系统在短波下有优势。在吸收功率方面,多体水动力相互作用显著提高了 WECs 的吸收功率能力。总体而言,本研究可以为其他风波能混合系统的设计与分析提供一定的参考。

S69-P-19

基于蓄能—阀控的振荡水柱波浪能系统高效稳定能量转换方法研究

刘延俊^{1*}, 李立磊¹, 李明辰¹

1 山东大学, 机械工程学院

* lyjl11ky@163.com

针对振荡水柱波能发电系统(Oscillating Water Column, OWC)的研究起步较早,技术发展相对成熟,但其能量转换效率低、发电稳定性差等问题仍未得到有效解决。本研究基于蓄能-阀控的工作原理,提出一种能够提升能量转换稳定性的新型振荡水柱式能量转换系统。通过数值模拟方法,建立了 OWC 系统的水动力数值仿真模型与 PTO (Power take-off) 系统气动分析模型。在此基础上,系统探究了入射波周期、入射波波高和气室开孔率对装置的整体水动力性能与能量获取效率的影响,并将研究所得最优获能状态下的气动参数作为 PTO 系统的输入条件,探究了新型 PTO 系统的工作运行效果。研究表明,随着入射波周期的增大,系统捕能效率呈现出先增

大后减小的趋势，存在最优捕能周期；气室开孔率对装置的捕能特性影响显著，对于低频海域下，应设置较大系统阻尼以获得更高捕获效率；入射波高对装置的捕能特性和共振周期影响较小。此外，所设计的新型 PTO 系统有效提高了 OWC 装置的稳定性，相较常规 PTO 而言，流经透平的流量波动性降低了 53.49%，输出功率波动性降低了 25.46%。

S70-O-1

北冰洋加克洋中脊密集冰区海底地震探测进展

牛雄伟^{1*}，李家彪^{1*}，丁巍伟¹，阮爱国¹，方银霞¹，JASMinE 团队¹

1 自然资源部第二海洋研究所

* xwniu@sio.org.cn

* jbli@sio.org.cn

北冰洋加克洋中脊是扩张速率最慢的洋中脊，其区域构造特征是远离俯冲带和地幔柱/热点，缺少转换断层，可能有最薄的洋壳和岩石圈，被认为是研究海底扩张动力学的理想试验场。然而，受常年密集浮冰影响，也被认为难以开展海底地震探测等洋壳和岩石圈深部结构探测。但中国第 12 次和第 14 次北极科学考察分别布放 43 台和 19 台海底地震仪（OBS），分别回收 42 台和 19 台，获得了截止目前加克洋中脊密集冰区质量最好的主动源人工地震数据。本报告详细介绍了 2 次密集冰区 OBS 人工地震探测过程中自主研发的新设备和原创技术方法，总结了密集冰区海底探测的经验，展示了密集冰区最大震源能量探测深部结构的初步成果，将为照亮超慢速扩张加克洋中脊海底板块扩张动力过程提供关键证据。

S70-O-2

海南地区地震活动特征：受岩浆热液流体的驱动？

林江南^{1*}，夏少红²，张宝金¹，谢小玲³

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国科学院南海海洋研究所

3 海南省地震局

* linjiangnanlzu@163.com

海南地区是南海北部重要的板内地震带，1605 年在琼州海峡发生过 M7.5 级琼山大地震；导致 72 个村庄沉入海底，陆陷成海面积超过 100 平方公里。近年来的研究发现，其下存在地幔柱，地幔柱导致该区在全新世有过剧烈的火山喷发活动。活火山文献资料显示，1883 年和 1933 年还存在岩浆喷发活动。作为地球上重要的一级构造体系之一，地幔柱系统会对区域岩浆火山和地震活动起到关键的控制作用。海南地震台网监测也显示，海南及其周边 M<4 的地震活动频繁，且地震活动主要以大小不同的震群形式分布，与上新世以来的岩浆活动区极为吻合，是否暗示地震可能受深部岩浆热液流体驱动？此外，该地区至少发生过 15 次 5 级以上地震、4 次 6 级以上地震。然而，目前对该区 M>5.0 地震震源区的速度结构和地震序列特征研究不足，导致对其发震构造、机理和地震成因的认识不足；尚不清楚地震活动是否与海南地幔柱带来的岩浆流体活动有关。

本研究基于主动源广角地震探测数据和地震台网数据对 1969 年海南东南海域的 M>5.0 双震震源区和 2023 年北部湾 M5.4 地震震源区开展详细的调查。通过主动源海底地震仪探测记录到的大量 Pg 和 PmP 波到时，我们反演获得精细的地壳三维 P 波速度结构。结果显示，1969 年海南近海双震发生在高低速异常体边界，并且与断裂的深部延伸对应良好。同时，研究区地壳内存在明显的类似岩浆侵入通道的低速异常体。针对 2023 年北部湾地震，我们基于 51 个宽频带地震台 4 个月的连续波形数据

开展了模板匹配、地震精定位和震源机制研究。结果显示 2023 年北部湾地震序列呈 NWW-SEE 展布, 横向延展长度约 5.0 km, 宽度约 1.5 km; 垂直切片显示地震序列呈倾向 NNE、倾角约 52°连续密集分布; 与震源机制解揭示的产状一致, 为右旋走滑地震事件。发震断层的位置和产状与石油勘探识别的 NWW 向的涠 2 号断裂位置吻合。结合多道反射地震剖面、地热以及大尺度深部成像等多学科证据, 我们发现 1969 年双震和 2023 年北部湾地震均位于深部柱状低速区, 呈高热流值特征; 并且海南岛及其周边的地震群在深度剖面上也呈似通道状连续分布的特点; 这些特征表明震源区的低速体和地震活动可能与海南地幔柱的岩浆流体活动有关。据此, 我们推测地壳内的断裂为岩浆运移提供了有利上升通道, 这两个震源区地震的发生则可能是岩浆热液作用导致断层强度和摩擦系数减小, 引起应力失稳触发的。海南地区地震活跃是深部岩浆热液流体和断裂构造或薄弱带协同作用的结果。

S70-O-3

主动源 OBN 多分量地震数据 Scholte 波反演方法与应用

于鹏飞^{1*}, 江佳萌¹, 陈隽琳¹, 耿建华²

1 河海大学, 海洋学院

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

* hhu_ypf@hhu.edu.cn

海底横波速度是海上地球物理勘探非常关键的地下介质参数, 获取准确的海底横波速度结构对于海上油气资源勘探开发至关重要。面波反演作为一种经济、高效的勘探方法, 为探测海底沉积物的横波速度结构提供了有效手段。在海洋环境中, 沿着海水-沉积物界面传播的界面波被称为 Scholte 波, 它是 P 波和 SV 波相互作用的

结果。Scholte 波的传播距离可以远达数百米甚至几公里, 基于 Scholte 波频散特征的横波速度估计已成为海底浅层地下结构成像的重要方法之一。海底节点 (OBN) 通过将四分量传感器 (3 个速度分量和 1 个压力分量) 耦合在海底, 可以采集到丰富的地下弹性波信息。海底 OBN 多分量数据中包含了丰富的 Scholte 波信息, 基于 Scholte 波频散特性的海底横波速度反演是获取海底横波速度结构很好的手段。近些年, 利用主动源 OBN 数据中的 Scholte 波来反演海底浅层横波速度结构越来越受到学者和工业界的重视。但基于面波频散特性的横波速度反演方法存在一定的局限性, 比如反演结果的横向分辨率低, 存在“模式接吻”、“模式跳跃”等现象。谱比法对横波速度和层厚参数具有较高的敏感性, 可以降低复杂地质条件下面波频散模式识别错误等现象造成的反演误差, 提高横波速度反演的稳定性。基于深海和浅海环境下主动源 OBN 多分量地震数据中 Scholte 波的不同波场特征, 提出深海环境下基于变速海水模型 Scholte 波频散的海底横波速度反演方法、浅海环境下基于 Scholte 波频散和谱比法联合反演方法。利用南海 (深海环境) 和东海 (浅海环境) 两个靶区的主动源 OBN 多分量地震数据验证我们提出的利用 Scholte 波反演海底横波速度方法的有效性和实用性。

S70-O-4

南海超深水盆地荔湾凹陷深部速度建模与成像

刘东悦¹, 刘玉柱^{1*}, 张建明², 董良国¹

1 同济大学海洋地质全国重点实验室, 同济大学海洋与地球科学学院

2 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 中国海洋大学海洋地球科学学院

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

深水-超深水油气勘探逐渐成为油气勘探的热点领域。荔湾凹陷位于油气资源储量规模可观的珠江口盆地南部,地处超深水区域,地质构造背景复杂,且勘探开发成本高昂,有效利用地震资料开展对该区域的地质构造研究至关重要。传统反射地震技术在超深水区域面临诸多局限,如探测角度受限等。相比之下,海底地震仪(OBS)凭借其海底部署的独特优势,能够实现更长的排列布设和更宽的观测角度,有效突破了传统拖缆技术的角度限制。走时层析成像是介质参数建模中最常用的手段之一,相较于传统的射线层析,基于程函方程的伴随状态法走时层析成像方法能够适应复杂地质构造情况,建立准确的背景速度模型。作为全波形反演方法的一种替代手段,反射波波形反演(RWI)可以更好地利用纯反射波有效刻画中深层速度结构,改善构造成像质量,提供比走时层析更高分辨率的成像结果。本文将基于程函方程的伴随状态法走时层析成像、反射波波形反演应用于荔湾凹陷海底地震仪(OBS)数据与拖缆地震数据中,进行全测线和荔湾凹陷局部的精细地层速度建模,优化了全深度的速度剖面,更新后的速度模型显著提高了该区域深度域成像剖面的质量。

S70-O-5

基于程函方程伴随反射走时层析成像的 OBS 多分量数据纵横波速度建模方法

张建明^{1*}, 刘玉柱², 董良国²

1 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

* zhangjianming@ouc.edu.cn

海底地震仪(Ocean Bottom Seismometer, OBS)已成为海底地质构造研究、海洋灾害监测预警和海上油气资源勘探等领域的重

要地球物理仪器,尤其在深水油气勘探中具有不可替代的作用。随着全球油气资源勘探逐渐向深水盆地转移,深水勘探已成为能源安全和发展战略中的关键领域。

然而,传统拖缆采集的单分量纵波反射数据在深水盆地中存在观测角度受限和横波缺失等局限性,无法全面反映复杂地质构造。相比之下,部署在海底的 OBS 具有较大的偏移距,采集的多分量数据能够接收到大角度的折射波、反射波以及转换横波,为进一步增强深层地震成像、岩性分类和油气藏表征提供了数据基础,契合深水深层油气资源勘探的迫切需求。

在 OBS 多分量数据处理的过程中,纵波和横波速度的估计是关键技术之一。基于程函方程的伴随状态法走时层析成像(Adjoint State Traveltime Tomography, AST)方法相比于目前被广泛关注的弹性波全波形反演方法具有高效实用的显著优势,近年来在利用地震初至波走时的近地表参数建模和地球速度及各向异性参数反演中取得了显著进展。

然而,在利用地震反射波进行中深层速度建模方面,程函方程伴随状态法反射波走时层析(Adjoint State Reflection Traveltime Tomography, ASRT)技术尚处于初步发展阶段,现有应用主要基于声波假设,且集中在海面拖缆的单一压力分量反射波数据中,仅能反演纵波速度,未能充分利用海底 OBS 多分量数据中丰富的转换波信息。国际上,目前尚未提出利用 OBS 多分量地震数据进行纵横波速度建模的 ASRT 方法。

随着深水油气勘探技术的不断进步,海洋 OBS 多分量数据的采集技术已得到快速发展,国内外各深水海域 OBS 采集的地震数据越来越丰富,但相应高效的纵横波速度反演技术仍存在显著技术瓶颈。OBS 采集的大量多分量反射波数据中包含了丰富的地下构造、岩性和流体信息,但这些信息尤其是转换波信息在利用 ASRT 方法进行中深层速度建模中尚未得到充分利用。

因此,本研究拟发展一套面向海洋 OBS 多分量地震数据的 ASRT 方法和技术 (MCASRT),从而更加高效地利用 OBS 采集的海底多分量地震反射波数据中的纵横波成分,实现中深层纵横波速度的高效反演。为深水油气勘探、开发和监控提供更加高效的纵横波速度建模方法,提高深水油气勘探与开发能力。

S70-O-6

地震波场向下延拓法在主动源海底地震仪数据中的应用

狄会哲^{1,2*}, 徐敏^{3,4}, 姚永坚^{1,2}, 高金耀^{1,2}

1 自然资源部南海调查中心

2 自然资源部,自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室

3 中国科学院南海海洋研究所,热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

4 中国科学院大学,海洋学院

* dihuizhe17@126.com

传统速度建模方法在处理主动源海底地震仪 (OBS) 广角地震数据时,通常只能揭示地壳和上地幔顶部的大尺度结构,难以实现对浅层地质构造的高分辨率成像。本文引入并验证了一种基于地震波传播特征的向下延拓方法,该方法最初应用于海洋多道反射地震 (MCS) 数据处理,现被扩展用于 OBS 数据分析。向下延拓方法通过将观测地震波场向下延拓至虚拟界面或实际海底界面,有效削弱海水层对数据的影响。通过理论合成数据系统评估了该方法在 OBS 数据中的适用性,并应用于马里亚纳海沟最南端“挑战者深渊”区域,获得了一条 OBS 地震速度结构剖面。结果显示,俯冲的太平洋板块 (6.8-7.5 km/s) 和上覆的菲律宾海板块 (7.5-7.8 km/s) 均存在相对较低的上地幔速度,分别对应约 16-38% 和 6-16% 的蛇纹石化程度,表明俯冲板块的含水量高于上覆板块,可能与断裂活动增强孔隙度及裂隙中充填流体有关。此外,上覆板块中的高速异常被解释为富含辉石

的辉长岩,反映了地壳形成及含水熔体过程的重要特征。上述结果揭示了两板块之间显著的结构非均质性,为理解流体在俯冲带地质过程中的作用提供了新的认识。

S70-P-1

基于人工智能的导波频散谱反演重构浅海近地表速度结构

高玲利^{1*}, 唐欢欢¹, 潘雨迪², 石星辰¹, 毛伟建¹

1 中国科学院,精密测量科学与技术创新研究院

2 武汉大学,地球与空间科学技术学院

* gaolingli@apm.ac.cn

海底以下数百米至数千米的近海沉积物的纵波 (P 波) 和横波 (S 波) 速度特性在浅海岩土工程应用及油气勘探中具有重要意义。在浅海地震勘探中,导波作为地震记录中的主要能量成分,蕴含着丰富的浅地表速度信息。近年来,利用导波数据进行浅海速度结构成像日益受到重视,然而其在理论研究和实际应用中仍面临诸多挑战。

传统基于频散曲线的反演方法存在模式识别困难的问题,而依赖梯度优化的反演算法则对初始模型的选择较为敏感。虽然全局优化算法能够避免初始模型的影响,但其巨大的计算成本限制了实际应用。浅地表波形反演技术虽然具备同时反演 P 波和 S 波速度的潜力,但仍受限于计算效率低、易陷入局部极值以及多参数串扰等问题。

为解决上述问题,本研究提出了一种基于数据驱动的频散谱反演网络 (DSINet)。该网络通过建立频散谱到速度模型的直接映射关系,有效规避了初始模型选择和频散曲线识别的难题。DSINet 以 P 波和 S 波速度模型及其对应的理论频散谱作为训练数据,并通过迁移学习技术

增强了网络对实际炮集数据的适应能力。模型测试结果表明, DSINet 能够准确预测 P 波和 S 波速度分布。

为验证方法的实用性, 我们将其应用于东海海域采集的 OBN 数据。利用 DSINet 获得的速度模型进行偏移成像分析时发现: 与传统层析成像速度模型相比, 基于 DSINet 的速度模型显著改善了浅层成像质量, 有效压制了偏移剖面中的画弧现象。此外, 预测结果与测井数据具有良好的一致性, 证实了该方法在浅海沉积层速度建模中的可靠性, 同时为后续全波形反演提供了优质的初始模型。

S70-P-2

海底分布式光纤传感沉积物结构探测方法及应用

杨积忠^{1,2*}, 卢柱峰^{3,4}, 杨晓东^{3,5}

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

3 中国科学院南海海洋研究所, 边缘海与大洋地质实验室

4 中国科学院大学

5 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

* 10yangjizhong@tongji.edu.cn

复杂海洋环境下海底沉积物结构及物性参数的精细探测、定量表征和长期监测, 不仅关系到海洋工程的安全建设与海洋资源的高效开发, 还对提高海底地质灾害监测预防能力具有重大意义。为了克服传统海底沉积物结构探测方法成本高、精度差、时空分辨不足等难题, 本研究利用海底分布式光纤传感技术, 开展海底沉积物结构探测方法研究。利用在粤东汕头海域海上风电场的 30 公里通讯光缆采集到的背景噪声数据, 通过地震干涉互相关和自相关技术, 获得了光缆覆盖区域海底沉积物速度剖面 and 零偏移距剖面, 实现了对海底沉积物结构米级尺度的精细刻画, 有效识别了未知断层, 并结合天然地震信号进行了对

比验证, 证明了海底分布式光纤传感技术在海底沉积物探测方面的应用潜力。

S70-P-3

面向 OBS 数据的波形反演方法研究及应用

王建华^{1*}, 董良国², 刘玉柱², 李清平¹

1 北京怀柔实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

* 291451183@qq.com

随着我国海洋油气勘探的目标从浅水转向深水, 海底地震仪(OBS)主动源采集技术已逐渐成为勘探、开发和监控过程中的重要地球物理手段。当利用波形反演技术处理面向深水油气资源的 OBS 地震数据时, 将会面临如下难题:(1)地球介质本质上是各向异性的, 超长偏移距的 OBS 数据使得地震波各向异性效应更加突出;(2)当利用 OBS 数据的超长偏移距数据进行速度建模时, 反演中的“周期跳跃”问题严重;(3)计算量和内存的需求较大。因此, 本研究发展了一种面向深水 OBS 数据的频率域单频波形反演方法。在反演中考虑 VTI 介质的地震波传播, 合理解释地震波各向异性效应, 基于走时的目标函数可以有效解决“周期跳跃”问题, 通过选用单个频率成分进行反演, 可降低计算量和内存需求。数值实验和实际数据应用证明了该方法可以有效利用 OBS 的超长偏移距数据, 重建地下的速度和各向异性参数。该方法可以用于解决利用超长炮检距 OBS 数据进行深层速度建模时精度不够、分辨率不足的问题, 推动波形反演方法在实际深水油气等资源勘探和开发中的应用。

S70-P-4S

Hikurangi 俯冲带地壳精细速度结构初探：基于 MCS 和 OBS 数据

臧虎临¹，徐敏^{1*}

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质实验室

* mxu@scsio.ac.cn

Hikurangi 俯冲带是全球研究板块俯冲动力学、流体-构造耦合过程及慢滑移地震机制的关键区域。该区域板块俯冲过程中伴随显著的流体释放、构造变形及间歇性慢滑事件，对于理解俯冲带物质迁移与能量转换具有重要意义。然而，目前对该地区俯冲带与流体系统相互作用机制的认识仍缺乏高分辨率的地震速度约束。本研究利用多道反射地震(MCS)和海底地震仪(OBS)数据，对 Hikurangi 俯冲带中段进行高分辨率地震成像，重点探究俯冲海山与流体系统的相互作用机制。通过基于波动方程理论的向下延拓方法，将地震波场从海面延拓至海底或近海底面，消除海水层和崎岖海底地形对地震记录的影响，提高浅部结构的分辨率。再结合初至波走时层析成像技术，成功构建了该区域数个地壳速度模型。初步结果显示：(1)俯冲海山几何形态呈现明显分段特征；(2)识别出多个与构造破碎带相关的流体富集低速区；(3)发现流体活动与慢滑移事件存在时空关联。这些成果为理解俯冲带流体-构造耦合机制提供了新的结构约束。下一步，将使用全波形反演重建俯冲带地壳精细速度结构，以及逆时偏移成像技术以获取高分辨率地震成像结果，进一步深化对俯冲带流体-构造耦合机制的理解，为地震灾害风险评估及俯冲动力学数值模拟提供重要基础支撑。

S70-P-5S

OBN 纵横波数据表面多次波最小平方上一下行反褶积压制方法

杨晋蓉^{1*}，程玖兵¹，王腾飞¹

1 海洋地质全国重点实验室，同济大学海洋与地球科学学院

* cjb1206@tongji.edu.cn

随着海洋油气勘探的不断深入，关注对象逐步由浅层向中深层、由构造向岩性或构造-岩性复合油气藏拓展，对地震资料采集与处理提出了更高的要求。相对而言，基于 OBN 的观测系统布设更为灵活，易实现高覆盖、长偏移距、宽方位角观测，在解决气云区、复杂岩性体（如盐丘、火山岩）边界及其下伏构造成像等应用中优势明显。然而，由于自由表面效应的影响，地下反射波信号受到表面相关多次波的复杂干扰，对反射 P 和 S 波速度建模、偏移成像带来极大困扰。

针对 OBN 观测数据的特殊性，其多次波压制通常采用两种思路：要么对常规拖缆数据多次波衰减方法进行改造或拓展，要么利用海底水陆双检记录的优势，联合分离后的上、下行波数据实施多次波压制处理。本文按照后一种思路，同时兼顾 OBN 记录的纵波与转换波信号，发展上-下行反褶积多次波压制新方法。首先，简要回顾海底四分量地震数据上-下行 P/S 波场分离的基本理论。然后，利用上、下行波数据与地下反射脉冲序列之间存在的多维褶积关系，导出可压制 PP 与 PS 反射波源端自由表面效应干扰的上-下行多维反褶积（MDD）方法，并且构建含正则化或约束优化处理的最小平方反演算法。接着，针对平缓海底和相对简单的地质构造情况，将上-下行多维反褶积退化为计算复杂度较低的上-下行反褶积（UDD）方法，并且基于不同复杂度的二维理论模型合成 OBN 多分量数据，检验最小平方 MDD 与 UDD 多次波压制方法的有效性，并对比其性能差

异。最后，从实际大规模应用计算可行性考虑，开发三维最小平方 UDD 表面多次波压制算法，完成理论模型合成数据与南海某探区 OBN 实际地震数据的初步测试。

S70-P-6S

应用海底地震仪接收函数的多层 $H-\kappa$ 叠加方法研究南海西南次海盆沉积层与洋壳结构

林泽晖^{1,2}，于传海^{1*}，肖卓³，危自根⁴，宗健业⁵，吴越楚⁶，张亚运¹，周勇¹，苟浪^{1,2}，徐敏^{1,2}

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院大学

3 广西民族大学，人工智能学院

4 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

5 成都理工大学，地球物理学院

6 安庆师范大学，计算机与信息学院

* chhyu@scsio.ac.cn

远震 P 波接收函数方法因其对速度界面的高度敏感性，已成为探测地球内部圈层结构的有效工具。随着海洋地震探测技术的进步，接收函数方法已从陆地应用拓展到海洋区域的研究。本研究对南海西南次海盆的宽频带海底地震仪（OBS）数据进行预处理后计算远震 P 波接收函数，并通过 $H-\kappa$ 叠加方法获取洋壳结构信息。然而，海底沉积层会显著影响接收函数的相位特征和走时信息，导致传统的单层 $H-\kappa$ 叠加方法难以准确获取洋壳厚度和 V_p/V_s 值。相比之下，多层 $H-\kappa$ 叠加方法利用不同界面的转换震相信息，可有效避免沉积层的干扰。与背景噪声谱比法（HVSr）和主动源地震探测的结果对比显示，多层 $H-\kappa$ 叠加方法能准确获取沉积层和洋壳的结构信息。本研究表明了 OBS 接收函数在探测海洋区域复杂沉积层和洋壳结构方面的有效性和潜力，为海盆岩石圈结构的精确研究提供了方法参考。

S70-P-7S

监督学习非规则网格地震数据重建及规则化

莫侗桐¹，王本锋^{1*}

1 同济大学，海洋与地球科学学院

* wbf1232007@126.com

地震数据采集过程中，如采用水下 OBN 或 OBS 方式进行地震数据采集时，受限于经费投入和现场复杂条件，检波器往往稀疏分布且位置偏离预设规则网格，导致采集数据位于非规则网格点上。为满足后续高精度偏移成像与反演的需求，须对这些稀疏且非规则分布的地震数据进行重建与规则化处理。尽管深度学习方法近年来在地震数据插值重建方面进展显著，但现有研究大多忽略了实际采集的非规则网格特性，主要关注规则网格上的缺失数据重建问题。为此，本摘要提出一种基于监督学习的解决方案：通过引入非均匀傅里叶变换（NDFT）构建规则网格数据与非规则网格数据之间的正问题模型，进而设计一种可行的深度学习技术路线，实现非规则网格地震数据的重建与规则化。

S70-P-8S

单分量压力数据模量参数化弹性波最小二乘逆时偏移成像

陈栋¹，刘玉柱^{1,2*}

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 同济大学，海洋地质国家重点实验室

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

随着现代海上油气勘探数据采集方式和处理技术的飞速发展，海上油气勘探正在由浅海走向深海、由海面走向海底。近年来，使用海底地震勘探（OBC、OBN 等）

采集到多分量数据进行海底弹性波成像是国内外勘探地球物理界关注的一大热点。在传统的 4C 多分量反演中, 声压分量通常用于声介质反演, 并将反演结果作为初始模型用于位移分量的弹性介质反演。然而, 声压数据记录的转换波携带了海底弹性参数信息, 会对声介质下的反演产生噪音干扰, 因此发展压力数据的海底弹性波成像是十分有必要的。

本文提出了一种面向压力数据的弹性波成像方法, 基于声弹耦合方法模拟了固液混合介质中弹性的速度分量和声压分量的传播, 并利用模量参数化的方式削弱了压力观测数据下的强参数耦合影响。本方法在不提高计算量的前提下, 能一定程度压制成像噪音、提高成像分辨率, 仅使用单分量压力数据便可以获取海底高质量的弹性波成像结果。

S70-P-9S

面向 OBS 观测系统的三维弹性波炮检互易正演模拟

马乐¹, 刘玉柱^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* liuyuzhu@tongji.edu.cn

速度建模对地下构造的刻画以及储层参数的估计起着至关重要的作用。相较于层析成像、叠加速度分析等传统建模方法, 全波形反演 (FWI) 有着高分辨率与精确度的特点, 是地震勘探领域的前沿方向。近年来, 随着海洋油气勘探需求增加, 弹性波 FWI 的发展也越来越受到关注。但受限于横波数据计算复杂度高、波场分离困难、计算成本高昂等挑战, 现研究大多基于声学波动方程。然而弹性介质模拟可以更真实地刻画波场传播机制, 进而有效融合多分量数据信息, 理论上可为地下多参数建模提供更加精细的解决方案。OBS (海底地震仪) 能够记录高信噪比、宽方位角的多分量数据, 为海底勘探提供关键支撑。

但是 OBS 具有稀疏性、密集震源导致计算效率低、多参数耦合及自由界面多次波等问题, 限制了弹性波 FWI 的实际应用。为此, 本研究以东海实际 OBS 数据为对象, 提出基于炮检互易原理的三维弹性波正演框架。本研究首先实现二维弹性波全波形炮检互易正演, 验证炮检互易的可实施性。通过格林函数的互易性, 进行三维弹性波炮检互易理论推导, 最后实现面向 OBS 观测系统的三维弹性波炮检互易正演模拟。该工作可以为后续的三维弹性波炮检互易全波形反演提供理论基础。

S71-O-1

大凉山断层滑动速度与地震活动的数值模拟研究

孙云强^{1*}, 陈常勇¹

1 福建农林大学, 交通与土木工程学院

* chenchangyong2001@163.com

大凉山断层位于青藏高原东南缘, 其与左侧的安宁河-则木河断层共同构成大型走滑断层系统鲜水河-小江断层系统的中间段, 具有较强的地震活动构造背景。但是由于大凉山断层是一条新生的断层带, 且没有历史地震的记载, 因此该断层曾长期被研究者忽视。随着研究的深入, 有研究指出, 大凉山断层将可能逐渐取代安宁河-则木河断层在鲜水河-小江断层系统中的作用, 意味着大凉山断层在未来可能会有更高的滑动速度及更强的地震活动性。因此有必要调查大凉山断层的地震活动特点, 并分析大凉山断层未来的地震危险性。本研究采用三维黏弹塑性有限元模型, 系统探讨了大凉山断层几何对安宁河-则木河-大凉山断层系统滑动速度及区域应变分配的影响, 并合成了满足区域地球动力学背景的人工地震目录。模拟结果表明, 安宁河—则木河断层具有较高的滑动速度和较大的应变率; 而几何结构不连续且相对年轻

的大凉山断层滑动速度较低、应变率较小。此外，若大凉山断层在深部连通为整体结构，其滑动速度将显著增加，同时安宁河-则木河断层的滑动速度和应变分配将明显降低。两条断层带滑动速度变化呈互补关系；且两者滑动速度之和大致保持不变，与鲜水河-小江断层的整体滑动速率相当。进一步，结合人工地震目录和古地震数据，我们也分析了断层系统的地震复发特征，为区域地震危险性分析提供参考。

S71-O-2

地震丛集及其对地震概率模型的影响——青藏高原东南缘动力学合成地震目录的启示

陈宇轩¹，罗纲^{1*}，孙明志¹

1 武汉大学，地球与空间科学技术学院
* gangluo66@whu.edu.cn

大地震的时间丛集常出现于区域和全球仪器地震目录中，而单一断层段上的古地震记录则大多表现出地震的准周期复发特征。前人研究多基于这些观测支持或质疑弹性回跳理论，但鲜有研究能协调解释两者的矛盾。大地震的发生是否存在统一的概率模型，学界亦存争议。本文通过构建三维粘弹塑性有限元模型，模拟了跨越 3 万年的合成地震目录，系统揭示了多断层系统及其单一断层上大震的时间活动规律。模拟结果显示，多断层系统中大震在时间上呈丛集分布，与仪器观测一致，其复发间隔最优拟合伽马分布。单一断层上的时序特征则更为复杂，且与震级相关：主要依赖构造加载的 7 级以上大震呈现准周期性，与古地震记录吻合，其最优概率模型为威布尔分布或布朗过程时间(Brownian passage time)分布；而 6 级以上强震的发震时间接近泊松随机过程，因较小震级事件

更易受断层相互作用和粘弹性松弛应力转移等因素的影响，破裂模式也更为多样。大震复发时序特征的震级依赖性及其对应的最优概率模型，应在概率地震危险性评估中予以考量。

S71-O-3

大地震发生前是否存在加速的地壳变形？以中国板内强震为例

张成阳¹，贾科^{1*}，王皓皓²，郝明²

1 西北工业大学，自动化学院
2 中国地震局第二监测中心
* jk@nwpu.edu.cn

在强震发生前是否存在可检测的断层滑动前兆阶段，这一问题数十年来一直备受争议。近期一项研究(Bletery & Nocquet, 2023)显示，在大地震发生前观测到了滑动的指数加速现象。然而，相关研究(Hirose 等, 2024)利用倾斜计数据未观测到同样的现象。此外，他们的分析主要依赖于发生于俯冲带的大地震，缺乏对板内地震情景的考虑。本报告以中国 15 次板内强震为例，发现这些地震前可能没有明显的变形加速现象。我们还研究了可能导致该方法不确定性的若干关键因素。结果表明，指数加速现象与地震特征相关，并受邻近信号空间分布的影响。

S71-O-4

新的活动地块框架下青藏高原及邻区应力场特征与滑动趋势分析

刁洋洋¹，潘正洋^{1*}，邹俊杰¹，邵志刚¹

1 中国地震局地震预测研究所，中国地震局地震预测研究所
* panzy@ief.ac.cn

本研究通过系统分析青藏高原及周边地区强震活动规律发现,虽然活动地块理论较好解释了边界带 7 级以上强震活动,但以 2021 年玛多 7.4 级地震为代表的 5 次历史震例表明,地块内部断裂带同样存在显著的应力应变积累过程,这暴露出活动地块理论 1.0 模型在概念框架上的局限性。为此,研究团队基于最新的地震地质与地球物理资料构建了包含 II-III 级地块的精细化划分方案,并整合 7761 个震源机制解数据开展区域构造应力场空间反演;同时引入滑动趋势和断层不稳定性双指标,定量评估现今应力场下活动地块边界的滑动危险性,这不仅深化了活动地块边界带强震机理的认知,更为揭示印度-欧亚板块碰撞的深部动力过程提供了新的动力学约束。

S71-O-5

青藏高原东南部腾冲地块火山—构造活跃区热液脱气与区域地震活动的成因联系

张皓颖¹, 刘伟², 能惠¹, 孙传强¹, 张茂亮^{1*}

1 天津大学, 地球系统科学学院

2 内蒙古工业大学, 资源与环境工程学院

* mzhang@tju.edu.cn

热液脱气与地震活动共存是火山-构造活跃区的典型特征,但二者之间的潜在关系仍不明确。本研究通过定量估算青藏高原东南部腾冲地块的热液氦(He)与二氧化碳(CO₂)通量,揭示了岩浆流体对地震触发起到的关键作用。基于温泉气体 He-CO₂ 元素和同位素组成分析,发现在叠加于构造活动区(Tectonically active region, TAR)之上的局部火山活动区(Volcanically active region, VAR)内,存在显著的幔源 He 和 CO₂脱气异常。这一现象与地球物理探测到的地壳深部熔体相一

致,表明岩浆流体正集中向火山下方的热液系统输送。岩浆成因的幔源 He 通量 $[(1.08 \pm 0.84) \times 10^{10} \text{ atoms m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$ 和 CO₂ 通量高值 $[(1.29 \pm 1.00) \times 10^4 \text{ mol km}^{-2} \text{ yr}^{-1}]$ 集中分布于 VAR 地区,而不是 TAR 地区[幔源 He 和 CO₂ 通量分别为 $(0.26 \pm 0.16) \times 10^{10} \text{ atoms m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $(0.32 \pm 0.19) \times 10^4 \text{ mol km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$]。在空间上,VAR 地区的岩浆 He-CO₂ 通量高值与数个地震群和深部低频地震事件的分布具有良好的对应关系,而岩浆流体通量较低的 TAR 地区则以沿活动断裂带分布的构造地震为主。上述结果表明,VAR 地区下方的岩浆流体可以导致孕震带形成超压环境并触发地震,这与 TAR 地区主要受构造应力驱动的地震成核机制有所不同。这一发现揭示了岩浆流体与构造断层的相互作用在共同驱动区域地震活动中发挥的关键作用。

S71-O-6

东安纳托利亚断裂带的孕震区探索

赵文涛^{1*}, 罗纲¹, 蔡永恩²

1 武汉大学, 地球与空间科学技术学院

2 北京大学, 地球与空间科学学院理论与应用地球物理研究所

* 1297305992@qq.com

在 2023 年土耳其双震发生之前,东安纳托利亚断层带的地震风险经常被低估,相关研究的关注度一直很有限。为了弥补这一不足,我们使用地震应力模型和贝叶斯推断方法来反演东安纳托利亚断层系统的震间应力变化。本文的反演使用了 2020 年前的基于 InSAR 和 GPS 数据计算得到的应变率。我们的研究表明,东安纳托利亚断层的大部分地区,特别是其东北段,以及 Goksun-Surgu 断层两端附近的区域,在震间有比较显著的走向剪应力累积,是潜在的孕震区。值得注意的是,2023 年 Mw 7.8 的 Kahramanmaras 地震和 2020 年

Mw 6.8 的 Elazig 地震都发生在本文识别到的孕震区内。此外,在这两次地震的周边地区还观测到了法向应力的增加,这表明两处的摩擦强度在震间是处于增长的状态,存在发生强震的可能性。对于 2023 年 Mw 7.7 地震,本文认为 2023 年 Mw 7.8 的 Kahramanmaras 地震的静态和动态触发机制可能发挥了更重要的作用。本研究采用的方法可以为在断层系统中识别孕震区和评估区域地震风险提供一个新视角,也能为研究断层地震的孕育、发生和传播提供参考。

S71-P-1

华北平原深浅部断层关系的数值模拟分析:以三河—平谷强震区为例

尹力^{1*}, 罗纲², 周本刚¹, 李正芳¹

1 中国地震局地质研究所

2 武汉大学

* yinli2018@ucas.ac.cn

华北平原各个强震区显示出许多相同的深、浅部发震断层结构特征。然而,这种深、浅部的发震断层是否具有相关性、是否耦合及如何相互作用,尚不清楚。本文以华北平原区的典型地震带——三河-平谷强震区为例,基于深反射剖面、地质调查及地形变测量等新成果和认识,建立了研究区包含深、浅部发震断层的三维黏弹塑性有限元模型,通过模拟先存断层的孕震加载及塑性滑动的准静态地球动力学过程,获得了不同构造加载环境下深、浅部断层结构的应力应变演化,探讨了深、浅部断层之间的相互关系。研究发现,深、浅部断层的相互作用及耦合关系受到了边界构造加载条件、深部滑脱层及深部断层的快速蠕滑等因素的共同控制。研究成果对深入理解华北平原区以及其它板内

地震带强震的孕发机制,并进行强震的识别及危险性评估具有重要意义。

S71-P-2S

解析 2023 年土耳其—叙利亚双震的应力模式

陈建全¹, 柳畅^{1*}, Luca Dal Zilio², 曹建玲³, 王辉³, 杨光亮⁴, Oğuz H. Göğüş⁵, 张航¹, 石耀霖⁶

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 Nanyang Technological University

3 中国地震局地震预测研究所

4 中国地震局地震研究所

5 Istanbul Teknik Üniversitesi

6 中国科学院大学

* changliuu@tongji.edu.cn

The 2023 Mw 7.8 and 7.6 earthquake doublet along the East Anatolian Fault (EAF) highlights multi-temporal seismic interactions. By modeling stress evolution from 19 historical $M \geq 6.1$ earthquakes (1822–2023), we demonstrate how static stress changes governed cascading ruptures during the Kahramanmaraş sequence. Stress shadowing from past events delayed the Mw 7.8 earthquake, while cumulative stress loading and coseismic triggering accelerated the Mw 7.6 event. Our findings emphasize how historical seismicity modulates rupture dynamics across segmented fault systems. Critical seismic gaps are identified in the EAF's Elazig-Bingol zone and northern Dead Sea Fault, urging enhanced monitoring and preparedness for potential cascading ruptures. This work advances understanding of earthquake interactions spanning centuries to seconds.

S71-P-3S

断层地震破裂动力学数值模拟初步研究

汤大委¹, 罗纲^{1*}

1 武汉大学, 地球与空间科学技术学院

* gangluo66@whu.edu.cn

大地震破裂往往能跨越断层阶区在多条断层传播, 形成灾害更大的级联破裂。以往数值模拟研究中, 断层多采用均匀初始应力场, 主要探讨平行走滑断层上破裂传播与阶区距离的关系。然而在长期构造演化中, 阶区的存在会使断层上形成不均匀的应力场。为了研究非均匀初始应力场对地震破裂动力学的影响, 本文考虑了三类初始应力场的情况: (a) 完全均匀的简单初始应力场, (b) 在断层走向和倾角方向线性变化的较复杂初始应力场, (c) 长期构造作用下的复杂初始应力场。三维有限元模拟结果表明, 均匀的初始应力场情况下, 破裂跨阶区传播的极限距离是 5km 左右; 较复杂初始应力场会使破裂在重叠阶区的近地表附近来回震荡, 并最大可跨越 20km 的阶距; 阶距较短时, 长期构造作用形成的初始应力场可以使子断层在破裂传播到达前重新成核, 并和发震断层破裂耦合在一起形成更复杂的破裂。这些结果对于断层破裂的动力学分析以及地震灾害评估提供了新的认识。

S71-P-4S

走滑断层浅部蠕滑与地表应变响应的数值模拟研究

孙明志¹, 罗纲^{1*}

1 武汉大学

* gangluo66@whu.edu.cn

断层粘滑和蠕滑的滑动行为(模式)常常被观察到, 识别和量化这些断层滑动行为的时空分布对于分析断层应变积累

和认识地震孕震潜力至关重要。近年来, 随着大地测量观测技术的不断发展, 我们有可能获取到走滑断层附近高分辨率的地表形变数据, 从而构建出跨断层的地壳速度场及应变率场模型。针对走滑断层震间浅部蠕滑的地表应变响应问题, 本研究基于断层运动学滑移约束构建数值模型, 系统模拟了不同滑移模式下的速度场与应变率场, 进而发展了一种新的震间应变率统计方法。最后, 我们以海原断裂的老虎山段为例, 依据大地测量应变率统计结果, 分析其现今蠕滑状态。研究结果表明: 走滑断层附近的应变率场对约束蠕滑发生的位置具有一定的指示意义; 海原断裂老虎山段可能在 4 km 以深位置发生沿走向不均匀的震间蠕滑, 导致其地震活动性较低。本研究强调大地测量地壳应变结果可以深化我们对断层运动学的理解, 增强我们对断层滑动行为复杂性的洞察能力, 但这一步的关键前提是获取目标构造区域更高时空分辨率的大地测量观测数据。

S71-P-5S

汶川地震余震持续时间与龙门山地区背景地震率研究

曾鼎¹, 陈宇轩¹, 罗纲^{1*}

1 武汉大学, 地球与空间科学技术学院

* gangluo66@whu.edu.cn

2008 年 5 月 12 日发生于龙门山断裂带的 Mw 7.9 汶川大地震, 导致了重大人员伤亡与财产损失。之后, 在龙门山断裂带及其周边地区, 汶川大地震的余震频繁发生, 也包括 2013 年与 2022 年两次芦山地震、2014 年康定地震及 2023 年泸定地震都随后发生, 该区域的地震发生率及地震危险成为了人们关注的焦点。本研究收集并分析了 1970 年以来川滇地区 4 级以上的地震目录数据; 使用最邻近识别(nearest-neighbor, NN)方法, 将 2008 年汶川大地震的余震与区域的背景地震区分出来, 拟合计算了

汶川大地震前后龙门山断裂带及其周边地区的背景地震发生率；结合大森定律的余震衰减规律估计了汶川大地震序列的余震持续时间。研究表明：（1）汶川大地震序列 4 级以上余震的持续时间约为 10-60 年；（2）汶川大地震发生后，龙门山断裂带及其周边地区 4 级以上背景地震的发生率上升至 5.33 次/年，达到了震前水平 0.89 次/年的 6 倍。这种区域背景地震发生率的升高，可能与 2008 年 Mw 7.9 汶川大地震之后，该地区应力累积速率的增加有关。本研究对汶川大地震的余震活动持续时间的估算以及对该区域背景地震发生率变化的发现，可以帮助我们更好地认识龙门山断裂带及其周边地区的地震危险，对区域防震减灾具有重要的科学意义和现实参考价值。

S71-P-6

2025 年 1 月 7 日定日 Mw7.1 地震发震机制及其与余震关系

岳冲^{1*}，解滔¹，李晓帆¹，吉平¹，王亚丽¹，王月¹

1 中国地震台网中心
* dacongyue@126.com

2025 年 1 月 7 日定日 Mw7.1 地震是 73 年以来拉萨块体内部最大的正断型地震事件，发震断层为近南北走向的登么错裂谷，定日地震同震位错及其造成中下地壳渗透性变化对周边断层和余震的影响仍有待开展深入的研究。

此外，定日地震空间上距离尼泊尔地震破裂区较近，处于同震—震后库仑应力加载区（万永革等, 2015; 张贝等, 2015; 熊维等, 2015; Li et al., 2017; Yue et al., 2025），申扎定结裂谷南段震后 4~5 年的 ΔCFS 量超过 0.01 MPa，尼泊尔地震对该断层地震具有显著的触发效应，2025 年 1 月 7 日定

日 Mw7.1 地震即发生在该断层段；但时间上，尼泊尔地震引起的震后余滑及岩石圈黏弹性松弛变形等造成的库仑应力加载主要集中在震后前 5 年，随后库仑应力加载速率明显变小（Yue et al., 2024, 2025），定日地震的发生并不处于库仑应力触发的最优势时段内。因此，2015 年尼泊尔 Mw7.8 地震与 2025 年定日 Mw7.1 地震之间具有何种关系，是需要做进一步的研究分析。

S71-P-7S

基于 InSAR 观测约束的 2025 年西藏定日 Ms6.8 地震同震滑动分布反演

赵卓¹，陈常勇¹，孙云强^{1*}，龚炜程²，邱鑫鹏¹，李吉涵¹

1 福建农林大学，交通与土木工程学院
2 中国地质科学院，深地探测与矿产勘查全国重点实验室
* chenchangyong2001@163.com

2025 年 1 月 7 日，西藏日喀则市定日县发生了 Ms6.8 级地震，震中位于拉萨地块和印度板块交界的登么措断裂，是近年来该区域发生的最大地震，造成严重的人员伤亡和经济损失。为深入了解此次地震的同震变形特征，本研究利用 Sentinel-1 降轨数据获取了此次地震的 InSAR 同震变形场，并反演了此次地震的同震滑动分布。基于反演得到的同震破裂模型，计算定日地震在周边断层上产生的同震库仑应力变化，分析其对周围地区的应力影响。进一步，结合区域历史地震序列，计算了该地震序列的相互作用及其对区域地震危险性的影响。研究表明：定日地震的发震断层走向 185.9°，倾角 64.17°，断层最大滑动量为 3.04m，主要集中在 2~6 公里深度范围内。自 2015 年尼泊尔 Ms8.1 地震发生后，后续 5 次地震都分布在库仑应力变化为正的区城，表明地震活动受正应力区调控。

且前序地震对定日地震震中区域的累积应力加载超过 0.01Mpa。定日地震发生后,申扎-定结裂谷带内的郭加东断裂、郭加西断裂及麻布加断裂的库仑应力显著增加,处于较高应力加载状态。综合累积库仑应力变化和历史地震数据,申扎-定结裂谷南段虽暂无强震记载。但,目前该区域累积的库仑应力变化超过了 0.01MPa,且紧邻尼泊尔中部的比哈尔历史地震空区,未来地震危险性较高,应予以重点关注。

S72-O-1

复发性海底滑坡相互作用机制及控制因素研究

吴南^{1*}

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室
* nanwu@tongji.edu.cn

海底滑坡广泛发育于全球各类大陆边缘地带。在某些被动大陆边缘的深海沉积盆地中,滑坡事件长期频繁发生并持续充填,形成相互叠置的多期海底滑坡沉积体,这种滑坡重复发育的现象被称为“复发性海底滑坡”。目前,针对复发性海底滑坡的发生机制及控制因素的研究相对匮乏,尤其是多期次滑坡沉积纵向叠置过程中各期滑坡之间的内部相互作用尚未得到深入探讨。本文基于澳大利亚西北缘海域高精度三维反射地震数据详细解释,揭示了先期海底滑坡沉积对后续斜坡失稳事件的位置、规模、破坏能力及地质灾害潜势具有重要影响:(1)前期滑坡沉积顶界面形成的起伏地形显著控制了后续滑坡体的搬运路径和沉积结构;(2)前期滑坡沉积形成的古地貌能够明显增强后续滑坡事件的侵蚀能力;(3)前期滑坡沉积所产生的头壁陡坎可诱发连锁效应,导致多个后续滑坡事件的发生;(4)前期滑坡沉积厚度的空间分布特征可用于有效预测未来滑坡沉积物的主要堆积中心;(5)沉积物的孔隙度与含水率、

地震诱发的沉积物加固机制以及深部纵向流体运移通道,是导致复发性海底滑坡的重要地质因素。上述研究成果对于全球范围内被动大陆边缘盆地的海底滑坡地质灾害风险评估具有重要的科学意义。

S72-O-2

气候变化对撒哈拉海底滑坡的影响

唐琴琴^{1,2*}, Jacob Geersen³, Christoph Böttner⁴, Sebastian Krastel²

1 中国科学院南海海洋研究所

2 Kiel University

3 Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW)

4 Aarhus University

* qinqin.tang@scsio.ac.cn

非洲西北部被动型大陆边缘,构造活动较弱,地震强度低,陆坡坡度缓($\sim 2^\circ$),累积了巨厚的沉积物。此大陆坡的撒哈拉海底滑坡头部区域水深 1,500-4,000 m,影响范围约 50,000 km²,比海南岛面积的 1.5 倍还大,属于深海巨型海底滑坡。撒哈拉海底滑坡在 60-2 ka 期间曾发生多次滑动事件,但这些滑动事件的影响因素尚未完全明确。通过对高分辨率地震声学数据的深入分析,本研究发现了 6 个主要的滑移面,这些滑移面位于不同深度,平行于下覆沉积地层,并延伸至未扰动区域。在地震反射剖面上,滑移面在未扰动区域表现出与海底反射界面相反的极性,这可能暗示低密度沉积物的存在。研究区域受到非洲西北部陆缘的上升流的影响,其沉积物特性响应冰期-间冰期的气候变化。冰期强劲的季风和加那利海流导致沿岸上升流增强,这种上升流将深海中的营养物质带到表层,促进浮游植物(尤其是硅藻)的大规模繁殖,形成了大量的硅藻泥沉积;而间冰期气候相对温暖湿润,海洋环境的变化导致硅藻生产力下降,取而代之的是广泛的半

深海粘土沉积。硅藻泥具有低密度和高压缩性的物理特性，而半深海粘土则具有低渗透性和高凝聚力，能够覆盖并封闭硅藻泥层。这种沉积物组合容易累积高孔隙水压力，当高孔隙水压力超过海底斜坡沉积物的抗剪强度时，可能出现斜坡失稳而形成海底滑坡。冰期-间冰期气候变化影响了沉积物的类型，不同类型沉积物的硅藻泥与半深海粘土组合进而可能是撒哈拉海底滑坡形成的潜在控制因素。同时，全球被动陆缘低角度多期巨型海底滑坡可能受控于不同深度的地质薄弱层，这种地质薄弱层对应着气候变化影响下沉积物组合的差异特征。

S72-O-3

退积型海底失稳的新模型： 从局部失稳到大规模海底滑 坡

敬嵩^{1,2}，李伟^{1*}，Tiago Alves²，Kamal Omosanya³

1 中国科学院南海海洋研究所，边缘海与大洋地质实验室

2 英国卡迪夫大学，地球科学学院

3 挪威科技大学，地球科学学院

* wli@scsio.ac.cn

海底滑坡是地球上最重要的地质灾害之一，能够引发海啸并造成广泛的海底变形。本研究基于挪威大陆边缘 Storegga 海底滑坡区高分辨率地球物理数据，提出了一个流体超压控制的海底滑坡发育模型，补充了传统滑坡发育过程的机制理论。研究表明，局部失稳、流体超压及地层各向异性的共同作用会引发滑动面拓展，最终导致大规模海底滑坡。我们通过滑动面拓展过程中的能量守恒平衡状态，量化评估了不同力学性质和流体超压条件下软弱层拓展的临界条件，发现：（1）软弱层强度是滑动面拓展的主要控制因素；（2）适度的孔隙超压通过维持能量平衡可促进滑动

面扩展；（3）过高的孔隙压力可能导致流体通过垂直通道排放，阻碍滑动面传播。此外，研究揭示了与天然气水合物相关的活动海底破裂和上斜坡不稳定带，并提出了一种从局部边坡失稳到大规模海底滑坡的力学模型。这些发现为理解不同构造和沉积环境中海底滑坡的演化提供了普适性框架，对地质灾害预测、海洋资源管理和气候适应性战略具有重要意义。

S72-O-4

格陵兰西北缘早更新世重力 流沉积地貌对冰盖演化的响 应

谢卓雅¹，王星星^{1*}，孙启良¹

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

* wangxingxing@cug.edu.cn

格陵兰冰盖变化对全球气候、海平面变化具有重要影响。北半球冰盖自晚上新世-早更新世开始全面扩张，但目前有关更新世早期格陵兰陆缘冰盖的演化过程及其对陆缘地质过程的影响仍不清楚。本研究利用三维地震数据以及区域钻孔数据，对格陵兰岛西北缘早第四纪沉积地层开展地震地貌学研究，以明确该地区早第四纪重力流沉积地貌特征及其与冰盖演化之间耦合关系，揭示冰川陆缘重力流过程对冰盖演化的响应机制。本研究在早更新世（~2.4-1.8 Ma）地层中共识别出四个地震地层界面，分别为 H1（~2.4 Ma）、H2（~2.2 Ma）、H3（~2.0 Ma）和 H4（~1.8 Ma）；并对各界面进行平面属性提取，获得不同时期的重力流成因地貌特征及其展布规律。研究区的早更新世陆坡地貌表现出时空分异性：i）~2.4 - 2.2 Ma 期间，研究区发育两期大规模海底滑坡事件，并伴随有广泛分布的冰川碎屑流沉积。ii）~2.2 - 2.0Ma 期间，研究区滑坡规模显著减小，以小型滑塌及伴随的碎屑流沉积为主，陆

架坡折附近可见冲沟。iii) ~2.0 - 1.8Ma 期间, 随着冰流路径南移, 研究区西北侧冰川碎屑流沉积作用明显减弱, 主要表现为小型浊积水道。研究区重力流成因地貌的时空差异分布主要受控于陆缘冰盖的差异演化, 随着冰盖动力过程及搬运路径的变化, 陆缘重力流沉积过程及相应的沉积地貌也发生分异。研究结果对于理解全球变暖背景下冰川陆缘重力流过程的发育机制及其灾害效应具有重要意义。

S72-O-5

渤海西部中更新世以来三期古河道的环境演化与东亚季风记录

吴淑玉¹, 刘俊^{1*}

1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心
* hnwushuyu@163.com

海域古河道研究是地球科学领域的重要方向, 其核心意义在于解析大江大河演变规律、重建源-汇体系动态过程。作为特殊的沉积地质单元, 古河道不仅是石油、天然气、地下水及砂矿等资源为重要储层, 其空间展布与埋藏特征还对海洋地质勘查、海上平台安装及海底管线铺设等工程建设构成潜在风险。中更新世以来, 渤海陆架区受冰期-间冰期旋回驱动, 发育了多期河流相与海相交互沉积体系, 其密集分布的古河道与复杂埋藏形态, 成为研究古气候变化、沉积环境演变与物源响应机制的理想场所。在西部渤海地区已识别出三个古河道发展阶段, 追溯至中更新世。然而, 控制其沉积形成的因素仍不明确。本研究分析了 DZQ01 及其邻近钻孔的样品, 通过 AMS ¹⁴C 和 OSL 定年建立了时间框架, 并结合粒度端元和 Rb/Sr 分析进行了分析。采用 Generalized Weibull 方法的端元分析成功分离出三个粒度组分: EM1、EM2 和 EM3。EM3 (<26.28 μm) 反映了东亚夏季风

(EASM) 的影响, 而 EM2 (26.28–105.1 μm) 则表明东亚冬季风 (EAWM) 的作用。地球化学指标 Rb/Sr 比值反映了古气候变化的影响。本研究识别出自中更新世以来的五个主要冰川事件。DU₆ 单元记录了两个冰川阶段 (300–272 cal. ka B.P.), 其特征为 EASM 减弱和 EAWM 增强。同样, DU₄ 单元记录了两个冰川阶段 (165–127 cal. ka B.P.), 也表现为 EASM 减弱和 EAWM 增强。DU₂ 单元反映了一个持续的冰川阶段 (71–14 cal. ka B.P.), 以 EAWM 为主导, 导致寒冷干燥的气候条件。总体而言, 青藏高原的隆起和海平面波动显著影响了古河道的形成与演化, 沉积特征与东亚季风 (EAM) 的强度密切相关。

S72-O-6

海底滑坡、地层流体活动与冷水珊瑚礁丘

陈端新^{1*}, 董冬冬¹, 张广旭¹, 朱友生², 赵美霞³, 陈传绪⁴

1 中国科学院海洋研究所
2 中海油田服务股份有限公司
3 中国科学院南海海洋研究所
4 中国科学院深海科学与工程研究所
* chenduanxin07@qdio.ac.cn

海底滑坡体是陆坡最重要的沉积单元之一, 覆盖面积大, 对海底破坏强。地层超压流体释放在陆架和陆坡区广泛分布, 会在海底形成泥火山、麻坑等地貌现象。在海洋工程领域, 海底滑坡和地层流体释放严重威胁海底管道、油气井平台的安全, 通常会在海底施工前尽量避免。但海底滑坡和地层流体释放也并非一无是处。在普遍发育泥质沉积的大陆边缘, 海底滑坡后会在海底形成陡峭的陡崖; 而流体释放可以形成包含自生碳酸盐岩和生物壳体的冷泉沉积物。在全球范围内大量实例证实海底滑坡和地层流体活动为造礁冷水石珊瑚的受精卵附着和发育提供了硬质海底, 进

而在合适的水动力条件和生物化学条件下形成冷水珊瑚礁或冷水珊瑚丘生态系统。

S72-O-7

底流作用对深水沉积体系的影响及其灾害效应

王星星^{1*}, 孙启良¹

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

* wangxingxing@cug.edu.cn

底流是驱动深海沉积体系形成演化的重要动力之一, 对陆缘地貌及地质过程演变具有不可忽略的影响。重力流过程是深海地质灾害的主要类型之一, 其对海底设施造成巨大威胁, 但目前有关底流对重力流过程影响方面的研究尚未引起足够重视。基于地质与地球物理资料的综合研究表明, 南海北部陆缘深水底流作用活跃且类型丰富, 中新世以来底流沉积广泛分布, 受海盆构造格局演化与局部地形影响, 底流沉积表现出显著的时空差异性, 其中底流最为强劲的东北陆缘尤为突出。南海北部早中新世期间的大型线性侵蚀沟槽、中中新世以来的中央峡谷与迁移峡谷群、上新世以来的树枝型峡谷体系等关键沉积地貌的形成过程中, 底流均扮演有关角色。底流作用对于深水重力流过程主要体现在两方面: i) 通过塑造海底地貌而影响后期重力流运动路径; ii) 底流在强劲的动力条件下可以诱发重力流过程。底流沉积过程是目前南海北部深水沉积研究中的薄弱环节, 特别是有关复杂地形条件下底流沉积过程及其与重力流过程的耦合关系, 亟需展布进一步深入研究。研究结果将对于深海地质灾害的孕灾机制理解以及海底滑坡、浊流灾害预测具有重要意义。

S72-O-8

深水浊流与海底麻坑的相互作用过程: 对海底水道起源的启示

喻凯琦^{1*}, 李伟¹, 徐景平², 詹文欢¹, 杨宇平³, Elda Miramontes⁴

1 中国科学院南海海洋研究所

2 南方科技大学, 海洋科学与工程系

3 交通运输部天津水运工程科学研究院

4 University of Bremen, MARUM-Center for Marine Environmental Sciences

* kaiqiyu@scsio.ac.cn

海底麻坑是广泛分布于大陆边缘的一类典型海底地貌特征, 常呈线性排列, 构成所谓的“海底麻坑链”。地球物理解释与海底地貌学分析表明, 海底麻坑链可能在与浊流活动的相互作用下演化形成海底水道系统。本研究采用数值模拟方法, 旨在验证浊流是否能够驱动海底麻坑链向海底水道演化, 并深入探讨其中涉及的水动力过程与沉积作用机制。模拟结果表明, 当浊流进入海底麻坑时, 麻坑侧壁, 尤其是上游侧壁, 发生显著侵蚀。随着浊流继续向下游推进, 其与麻坑下游侧壁发生相互作用, 产生反向流; 该反向流与主流之间的干扰增强了悬浮泥沙在麻坑底部中央的沉降, 促使麻坑逐渐被沉积物填充。随着时间推移, 上游侧壁的持续侵蚀与坑底沉积的共同作用, 导致单个海底麻坑形态发生改变, 逐步实现彼此连通, 最终演化形成连续的海底水道。随着多个麻坑的连通, 浊流在其中的流动趋于水动力平衡, 水道形态亦趋于稳定。在此阶段, 浊流内部形成上下分层的双层流结构: 上部为沿坡向下的主流, 下部为沿坡向上的反向流。本研究不仅深化了对海底水道起源于海底麻坑链的形成机制的认识, 也为理解沉积物、有机碳等颗粒物向深海环境运输的过程及其控制机制提供了重要参考。

S72-O-9

基于 CFD-DEM 耦合方法的海底滑坡运动过程模拟及三维效应分析

荣泽¹, 张放², 郑德凤³, 年廷凯^{1*}

1 大连理工大学, 海岸和近海工程国家重点实验室

2 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

3 辽宁师范大学, 自然地理与空间信息科学省重点实验室

* tknian@dlut.edu.cn

海底滑坡是一种常见的海洋灾害地质现象, 往往会对海底基础设施造成破坏。然而目前对海底滑坡的运动演化形式及三维效应, 特别是有关岩土介质的离散特性以及颗粒间的粘性特征还缺乏认知。本研究采用计算流体力学 (CFD) 和离散元法 (DEM) 建立了描述流体与颗粒相互作用的 CFD-DEM 流固耦合数值模型, 通过单颗粒沉降和颗粒堆积崩塌试验验证了耦合方法的正确性。进一步, 将 JKR 粘聚力模型引入到 CFD-DEM 耦合框架中, 以描述海底滑坡运动过程中颗粒间的粘性特征。最后, 建立三维海底滑坡数值计算模型, 模拟了水下滑坡的运动演化过程, 深入探究了滑坡体的形态学和运动学特征及其影响机制。结果表明, 该耦合算法能够很好地再现海底滑坡的运动和演化过程, 颗粒离散性以及流粒相互作用对滑坡的运动过程有着不可忽视的显性作用; 同时, 滑坡体的粘度特征对滑坡运动的距离、速度和形态变化也有显著影响。研究结果可为海底滑坡运动演化过程的数值模拟和海底滑坡灾害预测提供科学依据。

S72-O-10

南海北部深水沙波时空演变研究

耿明会^{1*}, 宋海斌², 刘胜旋¹, 张耀明¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 同济大学

* gengminghui5591788@163.com

南海北部上陆坡区域深水沙波分布广泛、形态特征复杂多变, 其形成演变受水动力环境、沉积地质条件等多重变量控制。目前南海北部深水沙波研究仍存在时空演变规律不清、后续发展演变趋势不明的问题。我们以东沙岛南部转换迁移和混合迁移沙波区为研究目标, 利用高精度多波束地形数据研究这些波状沙波的分布、形态特征差异。其中 (1) 转换迁移沙波区位于被海山环绕的半封闭区域内, 沙波波长在 191-318m 之间, 波高 2.4-10.6m 之间, 沙波按脊线展布方向可分为 3 个区块, 不同区块沙波相互连接, 沙波不对称指数表明两个区块沙波向东南方向迁移, 一个区块沙波向西北方向迁移, 是深水区内唯一西北向迁移的沙波。(2) 混合迁移区沙波尺寸较前者大, 波长在 258-342m 之间, 波高 6.3-10.6m 之间, 沙波脊线平行展布, 沙波不对称指数表明该区域沙波呈现出南海北部独有的西北和东南向混合迁移特征。两处沙波经过初步分析已大致确定其沙波形态、脊线展布、迁移方向, 所处地形、沉积地质条件各有不同。地震海洋学剖面经过两处沙波区, 捕捉到了不同姿态的披毛状反射结构, 反映了不同的流向和流速。混合迁移沙波区地震海洋学剖面显示该区域沙波上方披毛状反射结构指示该区域水流西北和东南两个方向都有, 另一研究区东南向迁移沙波上方也发现了指示东南向水流的披毛状反射结构。

相比南海北部发育的新月形、限制型沙波, 波状沙波形成不受沉积物供应量限制, 其几何形态和迁移特征能完全反映沉积物类型和水动力环境变化的作用; 较网状和叠合型沙波, 波状沙波形态特征更为简单, 便于探讨环境变量对其控制作用; 相较南海北部其他波状沙波区, 两个相近目标研究区沙波迁移方向有明显差异, 同一研究区内迁移变化区域的沙波对环境变

量的变化反应更为灵敏。利用上述两个目标研究区,探讨各环境变量对沙波分布及特征差异的控制作用,预测沙波后续发展演变趋势,揭示沙波特征时空演变规律。研究结果可以帮助我们认识南海北部地形地貌演变、沉积动力与海洋中尺度运动的密切联系,推动海洋地质地球物理与物理海洋学交叉研究、发展,同时帮助预测南海北部沙波后续发展演变趋势,为海底工程和军事防灾减灾提供参考价值。

S72-O-11

地震—海底滑坡—海啸灾害链——基于全球案例的统计分析

杜朋¹, 李琳琳^{1*}

¹ 中山大学

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

链生灾害研究是当前自然灾害研究的前沿领域,尤其是地震触发的海啸等海洋链生地质灾害,这些灾害是21世纪以来地球上最致命、损失最严重的自然灾害之一。与陆域同类灾害相比,海洋链生地质灾害环境复杂、数据获取成本高、监测和探测难度大,目前全球对海洋链生地质灾害的研究程度远落后于陆域同类灾害,缺乏足够的科学理论和关键技术支撑。地震诱发海底滑坡并进一步触发海啸,是典型的海洋链生地质灾害。近年来,2018年印度尼西亚帕卢地震-海底滑坡-海啸事件等多个案例表明,该类灾害具有突发性和难以预警的特点。随着我国新时代海洋强国战略的深入推进,这类链生灾害对我国人口和基础设施密集的沿海地区以及逐步挺进深海的海洋牧场、海上风电以及深海油气等资源开发构成了严重潜在威胁。然而,当前对地震-海底滑坡-海啸灾害链的理解仍然十分有限。

本研究首先通过系统的文献综述,梳理了自1900年以来124起伴随局地异常海啸或海底电缆断裂的地震事件,整理并提炼了地震、同震海底滑坡和海啸的相关参数。基于这些数据,构建了全球地震-海底滑坡-海啸灾害链数据库,建立了同震海底滑坡与触发地震参数之间的统计关系,并首次从多角度对比分析了同震海底滑坡与同震陆上滑坡的异同。其次,研究进一步梳理了同震陆上滑坡引发海啸灾害链的典型案列,剖析了海/陆同震滑坡-海啸灾害链的触发机制与链生效应,并探讨了不同位置同震滑坡引发的海啸灾害链差异。

研究取得以下新认识:大多数同震海底滑坡发生在近岸浅海区,其引发的局地海啸通常具有极短的到达时间,几乎无法提供有效预警。尤其当触发地震的震中位于陆上或为走滑型地震时,更加剧了预警系统识别和响应的难度。此外,这类海啸的影响范围通常局限于几十公里内的沿海区域,但其局部波高往往超过直接由地震触发的海啸,破坏性更强;与同震陆上滑坡相比发现,尽管传统观点认为同震海底滑坡与陆上滑坡存在显著差异,但本研究发现,两者在地震参数和震源机制等方面表现出较高的相似性,超出了以往的认识。

本研究为深化对地震-海底滑坡-海啸灾害链的认知提供了科学依据,为我国海域链生灾害的风险评估、预警和应急管理提供了重要的科学支持和技术参考。

S72-O-12

海底火山相关灾害:从喷发到深埋阶段

孙启良^{1*}

¹ 中国地质大学(武汉),海洋科学与工程学院

* sunqiliang@cug.edu.cn

地球上超过四分之三的火山活动发生在海洋,它们对生命和基础设施构成巨大风险,并在喷发期间和之后对气候和环境

产生重大影响。本文从整个火山演化阶段（火山喷发阶段、火山岛/火山高地阶段和火山深埋阶段）对海底火山相关地质灾害进行了综合评述。第一阶段的地质灾害是历史记录中较为常见，也是最主要的地质灾害。该阶段地质灾害包括火山碎屑密度流、侧翼崩塌、破火山口崩塌、火山地震、水下爆炸、火山冲击波和熔岩流等，主要由动力效应、热效应、压力波、震动或重力作用引起。它们会对通信（如电缆）、空中/海上运输和基础设施造成损害。它们产生的次生灾害（海啸）更具灾难性，其能够导致巨大的基础设施破坏和大量人员死亡。火山喷发主要受海平面变化、喷发环境和岩性的影响。岩浆喷发后，火山体会矗立在海床上，形成海平面以上的岛屿或海平面以下的水下高地。边坡垮塌和相关海啸是该阶段的主要地质灾害。前者主要受火山侧翼沉积格局（多孔喷发物质与致密熔岩流交替出现）、岩浆活动（岩浆侵入）和地震活动的影响；后者主要受倾角、垮塌体积等的控制。边坡垮塌可能引发火山再喷发，也会造成与同喷发阶段类似的火山碎屑密度流、破火山口崩塌和熔岩流等地质灾害。火山体最终会被沉积物埋藏，而火山物质与周围沉积物差异压实引发的火山体正上方断裂、超压流体和沉积物塌陷，在埋藏阶段形成了长期的地质灾害。该研究将火山地质灾害置于整个火山演化过程中，有助于提高对火山地质灾害的认识。该研究也将有助于火山相关地质灾害的预防，从而减少火山相关地质灾害对人类经济和社会的影响。

S72-P-1S

海底滑坡对浊流演化过程的控制作用研究

李文婧^{1*}, 吴南¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* liwj1820@tongji.edu.cn

海底滑坡广泛分布于全球大陆边缘，其失稳、搬运和堆积过程可显著重塑海底地貌，在滑坡顶部形成数百-数千平方公里的正地形起伏与负向空间。海底滑坡及伴生顶部地貌长期埋藏过程中对后续浊流的流动路径、流变行为及沉积分布产生深远影响。本文以新西兰西北部 Taranaki 盆地作为研究区，结合二维、三维地震资料，识别出一个面积达 250 km²的更新世埋藏海底滑坡。该滑坡表现出典型的退覆式滑动特征，头部发育阶梯状正断层系统，在顶部形成多个槽状负地形，内部滑动块体规模沿东南-西北方向逐渐减小，构成复杂的滑坡顶界面起伏地貌。在滑坡的顶界面上方识别出两条后续浊流水道（C-1 和 C-2），展现出不同的流体响应特征。其中，C-1 纵穿滑坡内部块体区，与未发生滑坡前的水道相比，表现出曲率半径减小（平均减小约 40%）、深度加大（平均增大约 30%）、宽度保持相对稳定的几何特征，表明滑坡块体对水道流动路径构成了强烈约束，同时增强了浊流的侵蚀能力。其次，海底滑坡失稳滑动过程中，内部碎屑流与周缘搬运块体之间因显著的流变学差异产生差异压实效应，导致碎屑流沉积的压实程度远高于周缘块体，进而造成滑坡顶部界面强烈起伏。起伏的顶部界面促使 C-1 伴生的溢流浊流在局部坡度陡峭处发生水跃转化，进入超临界流状态，从而增强了浊流系统的动能与远程搬运能力。C-2 位于滑坡头部正断层伴生的横向槽状负向地形内，该构造对原本顺坡而下的非限定性浊流形成阻挡，在断层高地与滑坡堆积区之间引发流体的反射、回流及偏转等动力响应，进而触发新的沉积路径与搬运过程。海底滑坡内部的差异压实伴生起伏顶界面以及头部阶梯状正断层是广泛存在的沉积构造，因此本研究认为，海底滑坡对后续浊流的流动方向、流动机制、能量及沉积分布等演化过程具有直接且显著的控制作用，对深海沉积动力过程及源-汇体系演化的研究具有重要地质意义。

S72-P-2S

The Influence of Differential Compaction over Submarine Channel on Subsequent Sedimentation Processes

Abi Dzikri Alghifari^{1*}, Nan Wu¹,
Guangfa Zhong¹

1 Tongji University, School of Ocean and
Earth Science

* abi_alghifari@tongji.edu.cn

Sedimentary deposition in deepwater basins creates complex subsurface architectures, essential for understanding geological history, resource potential, and geohazards. During sediments burial, differential compaction occurs due to variations in lithological and water content. In the deepwater Taranaki Basin, this process forms positive relief over the Miocene Submarine Channel. Using 3D seismic reflection data, we investigate: i) differential compaction over the channel, and ii) its impact on later sedimentation of submarine channel and mass transport complex (MTC).

Our results show that: i) lithological differences between sand-prone channel fills and surrounding mud-prone sediments lead to differential compaction; ii) the resulting positive relief diverts subsequent channel flows and influences later MTC depositional patterns. This highlights differential compaction as a key factor in shaping subsurface architecture, sediment dynamics, and geohazard risks in deepwater basins.

S72-P-3S

气候变化控制下的南海北部晚第四纪浊流沉积

赵璇^{1,2}, 李伟^{1,2*}, Christopher J. Stevenson³, 张强¹, 李爽¹, 吴凌云^{1,2}, 蔡致远^{1,2}, 刘喜停⁴, 詹文欢^{1,2}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 中国科学院大学

3 University of Liverpool, School of Environmental Sciences

4 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

* wli@scsio.ac.cn

深水浊流沉积是沉积学和古气候研究的重要载体, 其沉积过程受构造、海平面及气候变化的共同调控。然而与主动大陆边缘相比, 被动大陆边缘浊流沉积对气候变化响应仍缺乏系统研究。南海作为西太平洋最大的边缘海, 其东北陆缘为窄陆架的主动陆缘, 而西北陆缘则是宽陆架的被动陆缘, 为对比研究提供了理想场所。本研究选取了位于西北陆缘的沉积物重力样 QDN-2 和位于东北部的 TXN-1, 通过沉积物粒度分析、岩心 X 射线荧光扫描 (XRF)、有孔虫 AMS¹⁴C 测年对南海北部陆缘浊流沉积进行了识别, 结合多波束地形数据, 系统分析了对晚第四纪南海北部陆缘浊流活动的主控因素。结果显示, 自 MIS3 中期 (43ka) 到 12ka, QDN-2 岩芯仅记录到 2 个浊流沉积层, 并且在末次盛冰期 (LGM) 时期无记录。全新世以来, QDN-2 岩芯并未记录到浊流沉积, 而 TXN-1 岩心中则保存有多期浊流沉积层。通过与临近区域同时期浊流沉积记录对比发现, 南海北部陆缘浊流活动既可以发生在低海平面时期, 也可以出现在高海平面时期, 表明海平面变化并非其主要控制因素。气候驱动的沉积物供给增加 (如强降雨期) 可削弱宽陆架和高海平面对沉积物跨陆架搬运的影响, 为浊流活动的发生提供了必要的物质基础。相反, 寒冷干燥的低海平面时期 (LGM), 有限的沉积物输入削弱浊流活动。同时, 极端气候事件台风也可以直接触发浊流。本研究突出了气候变化对南海北部浊流沉积的主要控制作用, 并强调其在深水沉积层序解释的重要性, 尤

其对于宽陆架被动陆缘的沉积过程重建具有重要意义。

S72-P-4S

新西兰希库朗伊陆缘天然气水合物稳定带底界面动态调整的主控因素

江玮航¹, 孙启良^{1*}, 王星星^{1*}

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院
* sunqiliang@cug.edu.cn
* wangxingxing@cug.edu.cn

新西兰希库朗伊(Hikurangi)陆缘是太平洋板块向澳大利亚板块俯冲形成的活跃俯冲带, 拥有复杂的构造活动和广泛存在的天然气水合物。该区域天然气水合物主要赋存于浅层海底沉积物中, 但是在局部区域存在双BSR赋存现象, 目前鲜有针对该现象的解释。为了解该区域的天然气水合物稳定带调整过程对该区域地质活动的响应机制, 本研究基于地震数据, 结合IODP372航次的U1517点位的相关钻井资料, 计算天然气水合物底界面的理论深度, 反演地温梯度与海底温度, 据此对局部区域剧烈的海底地形变化造成的BSR调整过程做出解释, 并初步建立模型模拟这片区域自渐新世以来的天然气水合物底界面调整过程。模拟结果表明, 该区域在渐新世以来的快速沉积过程是控制天然气水合物底界面的主要因素。构造运动更多通过影响深部热流, 间接影响天然气水合物的动态生成-解离过程, 而浅部海底的侵蚀与滑塌产生的地形剧烈变化则导致部分测线上出现双BSR赋存的现象。研究结果对于该区域的天然气水合物动态调整过程及其灾害效应(如诱发海底滑坡)的理解具有重要意义。

S72-P-5S

深水滑坡动态变化过程数值模拟——以2006年中国台湾恒春海缆震损事件为例

李兴池^{1,2}, 王大伟^{1,2*}, 孙金^{1*}

1 中国科学院深海科学与工程研究所
2 中国科学院大学, 海洋学院
* wangdawei@idsse.ac.cn
* sunjin@idsse.ac.cn

2006年台湾恒春发生震级约Mw 7.0的双地震, 触发的海底滑坡和浊流导致吕宋海峡内15条光缆全部中断, 成为国际海底通信史的重大事件之一。针对该海缆震损事件, 有学者提出了浊流损害机理, 但对于浊流发育及其速度变化过程不明晰。本文针对滑坡发育成浊流过程的浊流速度与坡度、水深等不明显相关问题, 基于Navier-Stokes方程的连续介质模型和光滑粒子流体动力学(SPH)方法, 构建深水浊流运动模型, 模拟滑坡-浊流动态变化过程, 揭示浊流速度不规律的机理, 得到深水浊流动态变化的认识。本研究可为滑坡-浊流灾害尺度评估、海缆/管道抗震设计及海洋地质工程建设等提供科学参考。

S72-P-6S

海平面上升对南海海啸灾害特征的影响研究

郭福平¹, 任智源^{1*}

1 西北工业大学, 航海学院
* renzhiyuan@nwpu.edu.cn

南海及周边区域作为全球人口密集、经济活跃的沿海地带, 面临地震与海平面上升复合灾害的显著威胁。本研究基于数值模拟方法, 探讨南海海啸的致灾机制及其与海平面上升的耦合效应。采用GeoClaw浅水方程模型, 模拟了8级与9.35级地震下不同海平面高度(0m、1.0m、

1.5m、2.5m)对南海及周边区域波高影响。结果表明震级对波高具有非线性放大作用,9.35 级地震下各观测点波高较 8 级地震增长 10-40 倍;海平面上升显著增强海啸灾害强度,在 9.35 级地震中,波幅差值随海平面升高累积,如菲律宾中部及中国大陆沿海区域波幅差值可达 0.2m;灾害风险呈现空间异质性,台湾岛附近、菲律宾北部及南海北部海域波幅最大,而南海中南部波幅较小;沿海城市在海平面上升情景下淹没风险显著增加。

本研究揭示了海平面上升对南海海啸灾害的影响规律,建议针对高敏感区域优化监测体系并提升沿海基础设施韧性,为南海地区的灾害防控与长期规划提供科学依据。

S72-P-7S

海底边界层多功能原位综合观测系统设计、分析与应用研究

闫祥磊¹, 费梓航², 郭磊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

2 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

* 201894900036@sdu.edu.cn

海底边界层是海水-沉积物界面能量-物质交换的关键区域,其动态过程关系海洋工程安全与生态循环。现有设备因结构适配性不足等原因,无法同步获取海水-沉积物剖面的多参数,制约耦合机制研究。研发耐压抗扰一体化贯入系统及多传感器装备,是揭示边界层动态过程的关键。本研究设计了一种集成压差式孔隙水压力测量、高密度电阻率探测及地球化学分析功能的多参数海底边界层原位综合观测系统。该系统创新性地将孔隙水压力传感器、高密度电阻率探杆和多参数地球化学传感模块集成于单根探测杆体,实现了对海底边界层沉积物物理力学特性、电学参数及化学

环境的同步原位监测。静力触探模块通过孔隙水压力测量分析沉积物稳定性;高密度电阻率探测系统通过电极阵列反演垂向电阻率分布,可解析悬浮泥沙浓度动态、海床界面侵蚀淤积及浅表层沉积物孔隙度变化;自主研发的固体离子选择性电极组实现了对 pH、Eh、 ΣCO_2 、 $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ 等关键化学参数的原位检测。经优化改进与功能拓展后,该系统在多个海域进行原位长期观测,成功获取海底边界层动态变化过程数据,为相关地区海底工程地质稳定性及海底边界层动态变化机制研究提供了有力的数据支撑,推动了海底边界层观测技术的发展及其在海洋工程、地质研究等多领域的应用。

S72-P-8S

具有工况自适应贯入机构的海床式多参数原位探测系统研究与应用

张志强¹, 郭磊^{1*}

1 山东大学, 海洋研究院

* 201894900036@sdu.edu.cn

静力触探试验(CPT)是重要的原位试验方法。其贯入装置是实现高效、精准贯入作业的关键。测试数据的可靠性与连续性是 CPT 的关键问题。传统 CPT 系统因复位产生零速度点,影响测试连续性。本文提出并设计出了基于可变滑轮组的负载自适应 CPT 系统,能够减少零速度点,确保测试数据的连续性。之后,文本通过分析沉积物机械特性、分层模式及与机械结构的相互作用机制,建立了基于物理模型设计负载自适应控制逻辑,并用真实 CPT 测试数据进行了仿真测试。结果表明,与传统 CPT 系统相比,该系统在相同贯入阻力条件下,连续性和效率更高,速度精度更有保障。遇到低强度沉积物时,自动降低穿透力并增加冲程;反之,牺牲部分冲程

得以增穿透力。此贯入装置可依土质软硬调节贯入力,实现高效节能、减少效率损失,为沉积学研究助力。

S72-P-9S

南海西北陆缘多期次海底滑坡的发育特征及形成机理研究

李俊池^{1,2}, 李伟^{1,2*}, 敬嵩¹, 赵璇^{1,2}, 詹文欢^{1,2}

1 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋环境与岛礁生态全国重点实验室

2 中国科学院大学

* wli@scsio.ac.cn

海底滑坡多是经过漫长的地质作用,在多种因素共同作用下发生的,部分大型海底滑坡呈现为多期次滑动,滑动过程复杂,但目前对多期次海底滑坡的发育特征及形成机理的认识还不够明确,这限制了对其发育模式的科学认知。基于高分辨率二维多道地震资料和钻孔数据,在南海西北陆缘开平凹陷识别出 6 期海底滑坡形成的块体搬运沉积体,根据区域层序地层格架,发现这些块体搬运沉积体主要分布在下韩江组和粤海组地层中,其中块体搬运沉积体 1 和块体搬运沉积体 2 发生于 16.3~13.8 Ma,块体搬运沉积体 3 到块体搬运沉积体 6 形成于 10.4~5.3 Ma。地震剖面解释结果表明,块体搬运沉积体 1 和块体搬运沉积体 2 内部地质结构变形程度较大,受后期构造活动改造严重,而块体搬运沉积体 3~6 可识别出后壁和侧壁等典型滑坡特征。通过计算研究区各期块体搬运沉积体发生时的沉积速率,发现低海平面时期的高沉积速率可能为海底滑坡发生提供了重要的先决条件,沉积物快速堆积会使得孔隙流体无法及时排出,从而导致沉积物保持较高的孔隙压力,可能形成不稳定的

软弱层,在区域断层活动与地震的触发下发生了多期大规模海底滑坡。

S72-P-10S

南海北部板内地震海啸灾害评估

章紫喻¹, 李琳琳^{1,2*}, 田晴映³

1 中山大学, 地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 广东省地震局

* lilinlin3@mail.sysu.edu.cn

海啸是一种发生频率低但致灾性极强的海洋灾害。南海北部发育多种类型的海啸源,严重威胁华南沿海地区的安全。其中南海北部陆架内发育的滨海断裂带和陆坡断裂带是南海北部陆缘区域的主要控震和孕震构造,具有很强的地震活动性。且这些活动断裂的分布十分靠近华南沿海经济发达地区,一旦地震引发海啸,携带巨大能量的海啸波将会给沿海地区带来灾难性的影响。因此,对南海北部内的潜在板内断层活动开展海啸数值模拟和灾害评估工作对建立海啸灾害数据库,建设防灾减灾系统有着重要的意义。

本研究基于中国地震局对华南地区潜在震源划分报告的最新成果,选取南海北部陆架内的 80 个潜在破裂区进行了海啸数值模拟和沿海风险分析。研究使用 COMCOT 数值模型在南海北部范围内对一系列板内震源开展了模型建立,海啸数值模拟,关键参数敏感性分析和近岸风险评估等工作。结果显示,目前南海北部板内震源的海啸灾害风险被严重低估。近岸站点海啸波高记录表明,震级 > Mw 6.5 的地震事件能在华南沿海触发最大波高 > 0.3 m 的海啸;震级 > Mw 7.0 的地震事件能在华南沿海触发最大波高 > 1.0 m 的海啸;震级 > Mw 7.5 的地震事件能在华南沿海触发最大波高 > 3.0 m 的海啸。受发震位置和复杂沿海地形的共同影响,南海北部潜在震级

较大、发震深度较浅的板内断层活动可在台湾海峡两岸引发近 10 m 的海啸波高。此外,震级、震中位置、发震机制等关键参数对海啸的触发能力有显著的影响。华南沿海地区经济发达,人口密集,但目前对板内地震海啸灾害的认知和应对能力仍十分不足。因此,开展活动断层精细结构探测,建立灾害事件数据库,增强沿海地区应急响应和防灾减灾能力具有重要的现实意义。

S73-O-1

深海磷循环的稀土成矿效应和古环境意义

蒋晓东^{1*}, 孙晓明², 张洪瑞³, Heather M. Stoll⁴, 袁鹏¹

1 广东工业大学, 环境科学与工程学院

2 中山大学, 地球科学与工程学院

3 同济大学, 海洋与地球科学学院

4 ETH Zürich, Department of Earth and Planetary Sciences

* jiangxd@gdut.edu.cn

磷是所有生命形式必需的微量营养素,在涉及遗传物质(DNA、RNA)和能量转移(ATP)的生化反应中起着至关重要的作用,海洋生物可利用磷被认为限制了与全球碳和氧循环相关的初级生产力。陆源风化输入、自生含磷矿物的沉积和热液铁氢氧化物的形成影响整个海洋磷浓度,然而晚新生代太平洋和大西洋海水磷记录与模拟的海洋磷不一致。海洋初级生产将磷从阳光照射的上层海洋中去除,下沉的颗粒有机物的再矿化作用将磷释放到较深的水域,这两个循环对海洋内磷的分布有强烈的影响。中新世中期以来地球气候和海洋温度下降导致微生物呼吸速率减慢,因为微生物代谢活动依赖于温度。这种对呼吸速率的温度依赖性的模拟结果是微粒碳的输出效率翻倍,减少了上层海洋的营

养库存。深海磷浓度的记录将作为这一提议的碳循环正反馈的重要检验。

我们对北太平洋两个 Fe-Mn 结壳进行了高分辨率的原位地球化学分析。这些新记录与中新世以来其他海洋磷浓度记录的汇编进行了比较。结果表明,自中新世中期以来,世界海洋的磷浓度显著增加。我们发现全球溶解磷浓度与生产力无关,但受~15 - 5 Myr 热液活动的影响。海底温度通过影响下沉有机质的降解速率来控制全球海洋磷的变化,由于温度下降~10°C,与中新世相比,更多的磷转移到现代海洋。

深海磷酸盐矿物是稀土的重要赋存载体,然而低生产力下的磷酸盐形成仍然缺乏深入的探讨。对西太平洋东马里亚纳海盆(深度约 6100 m)和菲律宾海(5500 m)的若干深海沉积物样品进行研究,发现其中广泛存在着碳氟磷灰石(CFA)与钙十字沸石矿物共生的现象。通过采用高分辨透射电子显微镜、X 射线近边吸收谱等分析手段,并结合长时间尺度的矿物合成模拟实验,本研究提出了该类 CFA-钙十字沸石矿物共生现象的机制:Ca²⁺从钙十字沸石的内部孔隙迁移到表面,与钙十字沸石表面吸附的磷酸根离子反应,在沸石表面形成无定形磷酸钙,进而转化为细粒 CFA 颗粒。该场景中 CFA 对于海洋磷循环乃至对于深海稀土富集具有重要潜在作用,值得进一步研究。

S73-O-2

深海钴镍稀土关键金属元素超常富集与成矿

任江波^{1*}, 何高文¹, 杨永¹, 邓希光¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 大洋和极地研究所

* dourjb222@163.com

通过对西太平洋富稀土深海沉积物研究进一步证实,深海沉积物中稀土元素的富集与 P 和 Ca 密切相关,并与生物磷灰石

的发育成正比。确定了西太平洋研究区稀土赋载体之间的定量关系： $\Sigma\text{REY}=0.002\times[\text{Al}_2\text{O}_3]+0.004\times[\text{MnO}]+0.057\times[\text{P}_2\text{O}_5]-235.7$ （单位为 $\mu\text{g/g}$ ）。深海沉积物中磷酸盐组分的稀土含量极高， ΣREY 平均为 $27635\ \mu\text{g/g}$ ， $\Sigma\text{REY}/\text{P}_2\text{O}_5$ 大于 0.75，比海洋磷块岩以及陆上沉积型磷矿高 1~2 个数量级，称为“富稀土磷酸盐”。深海沉积物中的磷大部分以富稀土磷酸盐形式存在，稀土富集程度随磷含量的增加而增加。

磷酸盐组分、富稀土沉积物均具有与海水相似的 Ce 负异常、Y 正异常独特稀土模式，指示了主要的海水来源。然而海水的稀土元素含量极低，生物颗粒的可逆吸附，促进海水稀土元素“自上而下”的迁移，并在沉积物-海水界面附近释放和富集。磷酸盐组分的沉积通量和对稀土元素的富集能力远远大于铁锰氧化物，尽管后者强烈的选择性富集对海水稀土模式影响很大，稀土元素最终主要富集在磷酸盐组分中。沉积物内部孔隙水系统较为脆弱，没有稳定的稀土补给，即使铁锰氧化物发生稀土溶解，亦不足以改变磷酸盐组分的稀土组成。稀土元素很少在沉积物内部发生迁移；然而，底流对表层沉积物的侵蚀和分选会进一步累积粗粒生物磷灰石和富集稀土元素。低沉积速率、 ΣREY 背景值高、深水非碳酸盐沉积环境是形成富稀土磷酸盐的关键因素。深海沉积物稀土富集过程中，磷的堆积是基础，富稀土磷酸盐的形成是关键。

多金属结核分布在广阔的深海盆地沉积物表面，是巨大的金属资源，也是了解地球过程的窗口。富钴型多金属结核是典型的水成成因，对海水中的微量元素展示出超常选择性富集能力。研究团队揭示了多金属结核的化学组成与海水以及海水-沉积物界面的微量元素分布之间的内在联系。研究发现，Co、Ni、REE 等氧化还原敏感性元素和高场强元素在多金属结核中高度富集，并选择性地分布在铁氧化物和锰氧化物相中。深海多金属结核对海水微量元

素的富集分两阶段：一是铁锰氧化物胶体（颗粒）沉降过程中对海水微量元素的初始富集，此阶段优先富集铁族元素。二是海水中大量的微量元素的逆吸附，随生物颗粒沉降呈现自上而下迁移，在海水-沉积物界面形成高的元素浓度和通量，为结核对微量元素的二次富集提供了条件。

S73-O-3

太平洋富稀土深海沉积物年代学研究和成矿模式建立

王汾连¹，何高文^{2*}，杨永¹

1 广州海洋地质调查局，大洋和极地研究所

2 广州海洋地质调查局，海洋基础地质研究所

* hegaowen@163.com

深海沉积物富含 REY（稀土元素和钇），是潜在的稀土资源，REY 的富集被认为与鱼牙生物磷灰石有关。然而，REY 富集的机制仍不清楚，部分原因是富含 REY 的沉积物层的地质年代学不明确。本研究对西太平洋和中太平洋三个沉积物活塞岩芯的鱼牙生物磷灰石进行了原位铀同位素地层学研究。此外，对典型层的生物磷灰石进行了原位 U-Pb 年代测定，用以进一步限定 Sr 同位素地层。结果表明，富含 REY 的深海沉积层（ $\text{REY}>1000\mu\text{g/g}$ ）形成年代在 26~15Ma 之间，与 U-Pb 地质年代学一致。巧合的是，这一时期与下环极深水（LCDW）的发育时间相一致，表明 LCDW 循环和 REY 富集之间存在潜在的联系。此外，晚渐新世至中新世中期（~26-15 Ma）具有持续温暖的气候状态，我们推测，这些升高的温度可能提高了远洋鱼类的生产力，LCDW 等底流可以将这些鱼类残骸带到适宜的地方（如海山附近的盆地），经过长时间的成岩作用演化，鱼类残骸形成了富含稀土的生物磷灰石，最终富集在深海沉积物中。

S73-O-4

磁学信号对东太平洋沉积物 稀土元素富集响应

付宇¹, 黄菲¹, 孙晓明^{1*}, 蒋晓东^{2*}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 广东工业大学, 环境科学与工程学院

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

* jiangxd@gdut.edu.cn

稀土元素是当今社会所必须的战略资源, 被誉为“工业维生素”。富含稀土元素的深海沉积物因其巨大的资源潜力已引起国内外学者的广泛关注。近年来研究人员对富稀土沉积物的形成机制与保存条件开展了深入探讨, 然而目前仍无高效的勘探指标和手段探查开阔海域中的富稀土沉积物。本研究基于东太平洋两个沉积柱样品开展地球化学与岩石磁学分析, 发现磁学信号与稀土含量存在密切耦合关系。研究表明, 磷灰石和铁锰(氢)氧化物是主要的稀土赋存载体, 生物成因磁铁矿是样品中主导的磁性矿物。本研究揭示了磁学信号与稀土含量的内在关联机制, 即二者均受控于海洋的生产力与氧化还原环境。基于此, 本研究提出可利用磁学参数作为深海富稀土沉积物勘探的潜在指标。

S73-O-5

磷酸盐化事件对西太平洋铁 锰结壳稀土元素富集的制约

彭锦洲¹, 李登峰¹, 孙晓明^{1,2*}

1 中山大学, 海洋科学学院

2 中山大学, 地球科学与工程学院

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

大洋磷酸盐化事件会间歇性地快速沉淀自生碳氟磷灰石, 并将铁锰结壳磷酸盐化, 显著改变其所含稀土等关键金属元素的浓度。深海铁锰结壳记录了多期次的磷酸盐化事件, 但因以往缺乏精准的年代限定, 不同

期次磷酸盐化事件对结壳稀土元素迁移富集的影响机制研究受限。本研究聚焦西太平洋维嘉海上覆三个不同水深的铁锰结壳, 基于前期已完成自生碳氟磷灰石 U-Pb 定年精确限定磷酸盐化事件发生时代的基础上, 探究其对稀土元素迁移富集规律的控制因素。研究表明三个水成型铁锰结壳均经历磷酸盐化, 且磷化层平均稀土含量较未磷化层高, 指示了磷酸盐化对结壳稀土富集的促进作用。但对结壳 MCSD85 通过已有年龄框架和磷酸盐化事件精确划分不同期次的磷化层位后, 部分磷化层稀土含量低于未磷化层。显微结构与相关元素(磷、铁、稀土元素)分析结果显示, 磷酸盐化事件沉淀的贫稀土微尺度(~1 μm)自生碳氟磷灰石脉或晶体的存在可能是导致这一现象的原因, 这或可解释大西洋磷酸盐化结壳稀土含量低于未磷酸盐化结壳的现象。此外, 统计显示水深与磷酸盐化结壳的稀土含量具有显著相关性, 结合海水稀土浓度剖面 and 未磷化层稀土含量对比, 发现所处位置越深的结壳, 稀土含量普遍越高。本研究为低稀土含量 CFA 提供了显微证据, 进一步揭示了磷酸盐化过程对于铁锰结壳稀土元素迁移富集的制约。

S73-O-6

中印度洋洋盆富稀土深海沉积物元素地球化学特征及其 多期次多源富集效应

张霄宇^{1*}, 徐智杰², 卢艳芳²

1 浙江大学, 海南研究院

2 浙江大学, 地球科学学院

* 549315164@qq.com

深海富稀土沉积作为重要的潜在战略矿产资源, 近年来受到了广泛关注。目前, 关于深海富稀土沉积的成矿机制仍存在争议, 其核心在于成岩过程的多阶段叠加与多物源混合效应。

对此,本研究以中印度洋洋盆的富稀土沉积物岩心和东印度洋盆 GC03 岩心为主要研究对象,通过沉积物矿物学特征和主微量元素地球化学分析,以及生物磷灰石原位微量元素和同位素分析,探讨了深海沉积物成岩过程中的多物源混合以及多期次输入对生物磷灰石的稀土元素富集与 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ - $143\text{Nd}/144\text{Nd}$ 同位素记录的影响。研究同时也提出了不同微量元素在生物磷灰石中富集的三阶段模式,丰富了稀土深海沉积的成矿理论,并进一步指出了富稀土深海沉积作为稀土元素和 Te 等重要金属的潜在战略价值。

S73-O-7

深海沉积物稀土元素富集成矿过程中的早期成岩作用研究

王樱静¹, 石学法^{1*}, 黄牧¹, 胡宁静¹, 许岳², 朱爱美¹, 毕东杰¹, 张艳¹, 刘季花¹

1 自然资源部第一海洋研究所, 地质与地球物理研究室

2 崂山实验室

* xfshi@fio.org.cn

深海富稀土沉积物是新兴的稀土资源,其分布范围和资源储量均高于陆地稀土矿床。深海富稀土沉积物中的稀土元素主要赋存在生物磷酸盐(鱼类骨骼碎片)和铁-锰(氢)氧化物中。已发表的研究认为生物磷酸盐和铁-锰(氢)氧化物的稀土元素来源于海水和孔隙水,但是对海水和孔隙水的稀土元素来源则缺乏讨论。本团队通过对从西太平洋采集的沉积物岩芯 GC12 和 GC26 的岩芯剖面的主量元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素特征进行研究发现,在沉积物-水界面发生的硅酸盐水解是生物磷酸盐中稀土元素的重要来源。对从 GC12 沉积柱不同层位沉积物中筛分的生物磷酸盐的主量元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素特征研究

发现生物磷酸盐能够记录完整的稀土元素来源和富集过程。生物死后,骨骼碎片在水体中沉降过程中,火山物质水解是生物磷酸盐稀土元素的主要来源。骨骼碎片沉降到沉积物-水界面(埋藏深度 100 cm 以浅)时,火山物质水解是稀土元素的主要来源,其次是水解的陆源碎屑(以分风为尘为代表)。在深埋藏过程中(埋藏深度大于 100cm),风尘是生物磷酸盐稀土元素的主要来源。此外,我们的研究发现在沉积物-水界面位置的硅酸盐水解释放的 Fe、Mn 等元素会促进成铁-锰(氢)氧化物的形成,进而促进亲金属氧化物元素,例如 Co、Ni 等,在沉积物中的富集,最终与生物磷酸盐共同促进沉积物中稀土元素和亲金属氧化物元素的富集。因此,早期成岩作用过程的硅酸盐水解是深海沉积物稀土元素富集成矿的重要过程,也是促进多圈层元素交换的动力。

S73-O-8

富甲烷沉积物中新型自生磁铁矿对微生物铁还原作用的指示

林志勇^{1*}, 孙晓明², 林海欣², Harald Strauss³, Andrew P. Roberts⁴, 牛明杨⁵, 方允鑫⁶, 杨涛⁷, Daniel Birgel¹, Jörn Peckmann¹

1 Universität Hamburg, Institut für Geologie

2 中山大学, 海洋科学学院

3 Universität Münster, Institut für Geologie und Paläontologie

4 Australian National University, Research School of Earth Sciences

5 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

6 广州海洋地质调查局

7 南京大学, 地球科学与工程学院

* zhiyong.lin@uni-hamburg.de

大陆边缘沉积物是全球有机碳的重要沉积场所,在微生物作用下,甲烷的产生及迁移转化过程普遍存在于该环境中,对

全球气候变化及生物地球化学循环具有重要影响。由于大陆边缘沉积物中活性铁含量丰富,微生物铁还原作用在浅部沉积物中广泛发生,常导致生物成因磁铁矿的形成。然而,在硫酸盐-甲烷转化带中,由于硫酸盐驱动的甲烷厌氧氧化反应释放硫化氢,形成的硫化环境通常会引起磁铁矿等活性铁矿物的溶解。相较之下,沉积物更深层的产甲烷带缺乏硫酸盐,硫酸盐还原过程相对不活跃,然而多项研究已发现该区域中也存在亚铁离子的富集,暗示铁氧化物在沉积体系中遭受铁还原作用。这一现象目前尚存在较大争议,具体机制尚不明晰。有研究提出产甲烷带沉积物中磁化率的升高或与铁还原导致自生成磁铁矿相关,但以往研究中并未在自然环境中的产甲烷带中观察到自生磁铁矿的形成。本研究结合磁学、矿物学手段对南海不同海域富甲烷沉积站点进行系统研究。在多个站点中均发现大量新型自生磁铁矿的存在,显示此类磁铁矿在富甲烷环境中具有普遍性。同时,16S rRNA 基因分析表明产甲烷古菌(如 *Methanosarcina* 和 *Methanocella*) 在富含磁铁矿的样品中含量丰富,提示它们可能在铁还原及磁铁矿形成中发挥作用。新型自生磁铁矿的发现为揭示沉积物产甲烷带微生物铁还原作用机制提供了重要线索,为沉积物磁铁矿来源带来突破性认识,对准确解读沉积磁学信号和深部铁循环至关重要。

S73-O-9

劳盆地火山岛弧热液区铜元素形态及其同位素组成

王虎^{1*}, 王文朋¹, Michael J. Ellwood², Joseph A Resing³

1 同济大学,海洋地质国家重点实验室

2 Australian National University, Research School of Earth Sciences

3 University of Washington and NOAA-

PMEL, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and the Ocean
* wanghu@tongji.edu.cn

海底热液流体富含铁、铜等金属元素,热液系统可能是海洋中金属元素的重要来源之一,热液来源的金属元素随羽流在海洋中的扩散将直接影响金属元素的生物地球化学循环过程及海洋生态环境。热液系统中铜元素的迁移变化已成为当今海洋学研究的前沿和热点,但目前国际上有关热液羽流中铜元素的相关报道十分有限,对羽流中铜元素的存在形态和同位素特征尚不明晰。

我们通过国际联合航次在西南太平洋劳盆地东北部火山岛弧热液区采集了高温和低温喷口上方羽流样品,分析了羽流中铜元素的存在形态和溶解态铜同位素($\delta^{65}\text{Cu}$)组成和演化特征。结果表明热液羽流是海洋中颗粒态铜的来源之一,由于吸附作用,热液羽流可能是溶解态铜的源,也可能是溶解态铜的汇,主要受热液输入和颗粒物吸附作用的共同影响。同位素分析结果表明由于吸附和络合等因素影响,羽流中溶解态铜同位素组成变化较大(0.25~1.05‰),且在不同环境特征的羽流中, $\delta^{65}\text{Cu}$ 呈现不同的变化特征:来自高温喷口的铜元素,随羽流扩散,其同位素组成逐渐变轻;相反,来自低温喷发的铜同位素则随羽流扩散逐渐变重。

基于上述研究结果,结合流体中铜同位素数据,建立了瑞利分馏模型模拟铜同位素在羽流中的演化过程,模型结果与实测结果一致,表明羽流中铜同位素组成受到有机配体络合、颗粒物吸附以及与海水混合等过程共同影响。

S73-O-10

海底热液硫化物复杂磁性特征解译与应用

汪诗舜^{1*}, 陶春辉¹, 廖时理¹, 蔡明诚²,
吴涛¹, 王明旭¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

2 国仪量子技术(合肥)股份有限公司

* wangshishun@sio.org.cn

海底块状硫化物(seafloor massive sulfides, SMS)作为海洋岩石圈、水圈和生物圈相互作用的产物,蕴含着海底热液活动及其成矿过程的关键信息。不同地质背景下形成的热液硫化物展现出复杂多变的磁性质,然而,现有研究尚未能对此提供一个全面且合理解释。鉴于含铁矿物通常对氧化还原条件敏感,本研究通过对比西南印度洋中脊玉皇热液区新鲜硫化物($\text{Fe}^{2+}/\Sigma\text{Fe} = 72\% - 95\%$)与其风化产物($\text{Fe}^{2+}/\Sigma\text{Fe} = 2\% - 10\%$)的磁性特征,揭示了海底热液区的氧化还原状态是调控硫化物磁性特征的关键因素。磁黄铁矿、磁铁矿和赤铁矿是热液硫化物中的主要载磁矿物。其中,磁黄铁矿由高温热液流体矿化形成,而铁氧化物则与后期的氧化性风化密切相关。基于船上磁化率测量,本研究首次报道了海底取样后热液硫化物的磁化率随时间呈现出先降后升的系统变化,这一发现进一步凸显了热液硫化物磁性质对外界氧化还原条件转变的敏感性。氧化性风化引起热液硫化物整体磁性参数的系统性变化。尤为值得关注的是,当处于快速变化的电磁场中时,新鲜硫化物表面会产生感应电流,从而呈现出负频率磁化率($\kappa_{\text{fd}} < 0$)特征,而硫化物的氧化产物则未观察到这种现象。这一结果表明,海底氧化性风化可能会降低海底块状硫化物矿床的电磁可探测性。综上所述,本研究利用微观矿物分析与磁性测量相结合,厘清了海底热液硫化物磁性质复杂变化的控制因素。热液硫化物中磁黄铁矿与铁氧化物磁性矿物的相对含量可作为氧化还原状态的指标,用于追踪海底热液区的自然与人为环境波动。这一发现为海底热液系统的跨

学科研究提供了新思路,有助于深入理解动态地球系统中的多圈层相互作用。

S73-O-11

热液羽状流中的痕量金属分布与生态影响

武光海^{1*}, 姚子超¹

1 自然资源部第二海洋研究所

* guanghaiwu@sina.com

海底热液羽流的形成始于海水沿地壳裂隙向深部渗透,在岩浆热源或高温岩石作用下被加热至数百摄氏度,并通过水岩反应溶解大量金属元素。高温高压的热液流体在浮力驱动下上升至海底,与周围冷海水发生剧烈混合,导致流体温度骤降,所携带的金属硫化物等矿物质迅速析出,形成富含颗粒物的“烟雾状”热液羽流。羽流随洋流扩散并沉降,支撑深海独特生态系统,同时影响海洋化学循环和矿产分布。当前通过研究热液羽流水体中的痕量金属元素特征,通过建立区域化学基线精准量化热液活动对海洋生态系统及全球元素通量的贡献,同时解析金属元素在环境中的迁移转化规律及其自然循环机制,旨在揭示热液活动对海洋环境和全球元素循环的作用机制,为未来深海矿产资源开发及其生态环境效应评估提供可靠的科学支撑。

S73-O-12

拆离断层型热液循环系统金属通量的主控因素

郭志馥^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学实验室

* guozk@sio.org.cn

TAG 热液区位于大西洋脊(MAR, 26°N), 是典型的拆离断层型热液系统。

热液丘体位于拆离断层的上盘，是大西洋脊上最大的硫化物区之一（~2.7 Mt）

（Grabner et al., 2020），其形成于多期次的热液喷发。总的热液活动周期长达 50 kys（Lalou et al., 1998）。然而，这样周期性热液活动、稳定的热液通道和持续高温（~360°C）高通量（高达 1800 MW）热液喷发的动力学机制依然不明确。前人研究所提出的二维概念模型中涉及到长距离的水岩反应路径、围岩中下渗海水和沿拆离断层的高温热液上升流（deMartin et al., 2007）。但是这种热液循环模型与流体的热力学和动力学特征不符，而且无法解释 TAG 热液区热液喷发的高通量的特征。

我们结合多种观测数据（2m 分辨率的海底地形、微震、反射地震剖面、地震速度的层析成像结果、喷口流体的温度和通量等）的综合解释，利用热液循环动力学三维数值模拟软件—HydrothermalFoam（Guo et al., 2020），在观测数据的约束下对 TAG 热液区的热液循环进行热动力学三维数值模拟。结果显示，拆离断层是主要的下渗通道而非热液上升通道；热液上升通道受控于拆离断层上盘的局部交叉断层，而拆离断层的上盘可以在长时间内保持稳定状态（Buck et al., 2005），因此在每个热液活动的周期热液流体沿着相同的上升通道喷发到海底相同位置（即现今的 TAG 热液丘体）；拆离断层为海水下渗提供了的通道，从而保证了充足的流体通量，但为了形成最终的高温喷口，流体与热源之间必须存在较薄的热传导边界层以保证足够的热传导功率驱动高温热液循环。根据前人的研究结果，驱动热源应该是距离拆离断层较近的高温侵入体，这与三维速度结构中的 1.7 km 附近的速度梯度异常（Zhao et al., 2012）是符合的。

以上多重观测数据综合分析和三维数值模拟定量计算结果表明，拆离断层控制型的位于上盘的热液系统可能代表海底热液系统中最高产（形成大型硫化物矿床）的一类热液循环系统。其核心特征是具有充足的流体下渗通道（大范围的拆离断

层）、稳定且高渗透性的热液上升通道（上盘的局部断层）、流体在深部与热源存在充足的基础面积（沿下盘分布的高温侵入岩）。

S73-O-13

硫化物矿物能量转化作用与深海微生物非传统能量利用新方式

李艳^{1*}，贾昊凝¹，祝佳琪¹，杜怡美¹，黎晏彰¹

1 北京大学，地球与空间科学学院

* liyan-pku@pku.edu.cn

矿物为微生物的生长代谢提供了物质与能量来源，微生物又通过多种途径的代谢活动影响矿物的形成、分解与转化。矿物与微生物之间的交互作用已对宏观的成岩成矿、风化剥蚀、重金属离子释放等地质资源或环境效应产生了重要的影响。值得关注的是，富含硫化物矿物的深海热液环境，是矿物与微生物交互作用活跃的典型能量生境。深入探究深海热液区这一地球高能环境中矿物与微生物交互作用的新机制，将有望发现驱动地球物质与能量循环的新方式与调控新理论。

海底热液系统的物质与能量分布具有典型的非均质性，呈现以喷口为中心的梯度变化特征。通常情况下，物理化学条件如流体浓度、密度、pH、温度等的梯度分布，会导致物质的梯度扩散效应而产生定向输运的能量。海底硫化物烟囱体内外巨大的温差效应，使矿物晶格受不同温度的热能激发而产生非平衡的热振动行为。这种非平衡的晶格热振动可使硫化物半导体矿物产生不同浓度与动能的激发态电子，并在热液喷口显著的温度梯度下发生定向流动。实验研究证明了热能可以在数十厘米厚的海底黑烟囱体上有效转化为电能，产生的天然热电势梯度可达 400 mV/cm，

热能量转化效率达 1%；由于非均衡晶格散射机制，黄铜矿、方黄铜矿等矿物较磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿等其它硫化物矿物具有更低热导率（低至 $0.7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ）。通过模拟计算，揭示了硫空位及不同四面体配位结构单元（ $[\text{CuS}_4]$ 和 $[\text{FeS}_4]$ ）等非对称结构要素对硫化物矿物晶格散射、原子热振动及热电转化效率的影响。利用热电优值作为反映矿物热电性能的综合指标，建立了评价深海热液黑烟囱热电转化效能的定量模型，量化了全球海底火山热电转化效率约为 0.91~2.19%，评估了其对深海电活性微生物固碳效应的贡献约为 $\sim 10^9 \text{ kg/yr}$ 。基于上述研究，提出了以黄铜矿为代表的热液矿物可以转化热能，在烟囱内外热梯度下产生定向流动的电流，为微生物提供了激发态热电子能量。该发现促进了对微生物能量获取与利用方式的理解，为地球深部非光合微生物利用热能这种非传统能量形式产生并积累有机碳提供了新认识。

S73-O-14

解释磷酸盐化结壳中铂异常富集的反应模型：磷酸盐和有机酸的影响

李政坤¹，孙晓明^{1,2*}，李登峰²，梁泳嘉²

1 中山大学，地球科学与工程学院

2 中山大学，海洋科学学院

* eessxm@mail.sysu.edu.cn

许多研究报告称，磷酸盐化铁锰结壳中铂（Pt）显著富集，浓度比非磷化结壳高出数倍。要了解这种铂超常富集背后的机制，需要研究富含各种离子的缺氧水层对磷化事件中铁锰矿物中铂积累和保存的影响。本研究结合吸附/解吸实验、傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析、透射电子显微镜（TEM）观察和 X 射线吸收精细结构（XAFS）分析，使用铁锰结壳中的代表性

铁锰矿物——六方纤铁矿（ $\delta\text{-FeOOH}$ ）和水羟锰矿（ $\delta\text{-MnO}_2$ ）作为模型矿物，研究了铂在磷化事件中的固定和再活化过程。本次研究结果表明，磷化事件中水层离子组成的变化对锰铁矿物对铂的吸附和保存有重大影响。在铂的富集方面， Fe^{2+} 和磷酸根离子强烈抑制了六方纤铁矿对 Pt 的吸附，而柠檬酸通过溶解在水羟锰矿边缘产生额外的吸附位点增强了对铂的吸附，从而使得磷酸盐化结壳中发生铂的二次富集。在铂的保存方面，磷酸盐会导致吸附在六方纤铁矿中的铂的大量释放，而其仅可以释放出水羟锰矿中的少量铂，使得铂的赋存载体从铁矿物转变为锰矿物。傅里叶变换红外光谱分析表明，磷酸盐可以通过竞争表面羟基来再活化六方纤铁矿中的铂。而 XAFS 分步表明，虽然磷酸盐削弱了铂和水羟锰矿之间的结合，但是不能引起铂的显著释放。

S73-O-15

基于高斯过程回归的西北太平洋深海盆地结核丰度预测

杨永^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，大洋和极地研究所

* yong0913029@163.com

西北太平洋富钴型多金属结核是未来最具有深海资源开发潜力的重要海底金属矿产。在地质取样不足的情况下，如何借助地球物理数据，高效获取结核丰度信息并揭示其分布规律是亟待解决的关键地质资源问题。本研究基于西北太平洋深海盆地获取的声学、光学等多源地学数据，利用不确定性度量能力强的高斯过程回归技术，构建多金属结核丰度预测模型，实现了结核丰度智能预测，并同步获得预测误差。预测结果显示，西太平洋高丰度结核（ $\sim 30.0 \text{ kg/m}^2$ ）区域与该海域发育的南极底流存在空间耦合关系，麦哲伦海山与马

库斯-威克海山之间的深海盆地可作为西太平洋富钴多金属结核进一步勘探的潜力区。

S73-O-16

多金属结核成矿与南极底流的耦合关系

邓贤泽^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 大洋和极地研究所

* dengxianze137@163.com

多金属结核富集的钴、镍、铜是新能源汽车、信息技术、新材料和医药等行业不可或缺的矿产资源, 太平洋多金属结核资源潜力巨大, 是保障未来钴、镍、铜供应的重要资源。研究表明, 多金属结核中关键金属富集与海水氧化状态密切相关, 而富氧南极底流在太平洋成矿中发挥作用。然而, 以往研究多聚焦于金属富集的局部视角, 且成矿年代厘定较难, 使得多金属结核中关键金属富集过程与南极底流的耦合关系尚不清楚。本研究从地球系统科学层面出发, 关注多金属结核、南极底流和南极冰盖的内部过程与相互作用, 围绕关键金属富集与南极底流的耦合关系, 以西北太平洋多金属结核为研究对象, 应用定年新技术厘定成矿年代, 建立多金属结核成矿与南极冰盖的时代联系, 利用地球化学指标追踪南极底流演化, 揭示南极底流对关键金属富集的影响。本研究旨在从地球系统科学分析多金属结核多圈层成矿作用, 夯实南极底流促进太平洋结核成矿的假说, 为太平洋多金属结核调查提供理论依据。

S73-O-17

印度洋沃顿海盆深海沉积物中生物磷灰石的原位地球化

学和 Sr 同位素特征及指示意义

李佳¹, 石学法^{1*}, 黄牧¹, 于淼¹, 毕东杰¹, 沈芳宇¹, 胡倩男¹, 张兴超¹

1 自然资源部第一海洋研究所

* xfshi@fio.org.cn

近年来, 随着太平洋和印度洋深海沉积物中稀土元素 (REYs: 包括 La-Lu 和 Y) 的发现 (Kato et al., 2011; Shi et al., 2021), 深海富稀土沉积物被广泛认为是一种潜在的矿产资源, 引发广泛研究。生物磷灰石 (鱼类残骸, 如鱼牙和骨骼) 因其与富 REY 深海沉积物中磷 (P) 含量呈显著正相关, 被认为是深海沉积物中 REY 的主要赋存矿物。本文通过印度洋沃顿海盆 GC26 岩芯沉积物中生物磷灰石的显微观察与原位地球化学特征研究, 从纳米尺度上揭示了 REY 的富集机制, 同时结合原位锶同位素比值分析, 探讨生物磷灰石对锶元素的富集作用及其指示意义。研究发现 REY 通过牙本质中的狭窄通道进入生物磷灰石。生物磷灰石尖部受成岩作用影响较小或不受成岩作用影响, 其稀土元素与同位素组成特征可用于重建古海水环境与演化过程。同时, 根据原位锶同位素地层学结果, 可以判定 GC26 岩芯上部主要受到大陆壳风化产物的影响, 而下部则主要受幔源热液输入的影响。

S73-O-18

深海热液生物行为与基因节律的多模态研究: 从计算机视觉追踪到分子调控机制

孙进^{1*}, 贺星¹

1 中国海洋大学, 海洋生物多样性与进化研究所

* jin_sun@ouc.edu.cn

本研究通过整合计算机视觉技术与分子生物学方法，系统探究了深海热液生态系统典型物种（贻贝、螃蟹、盲虾）的种群动态与生物节律调控机制。基于 YOLO-DeepSORT 深度学习框架，开发了面向弱光环境的深海动物自动化追踪系统，结合图像增强（Gamma 校正与 CLAHE）与多目标跟踪技术，实现了对深海贻贝、喷口蟹和盲虾的高精度行为量化。结果表明：喷口蟹活动未与潮汐显著相关，但检测到异常行为（如突然位移）；深海贻贝首次被发现存在日尺度位移现象；盲虾运动呈现 14.7 天半月节律（余弦模型验证， $p<0.05$ ）及季节性活跃特征（8-11 月移动距离显著升高）。进一步通过转录组学分析盲虾基因表达节律，发现其 12.4 小时潮汐节律主导模式，涉及细胞周期、应激反应等功能，且分子机制独立于经典昼夜节律基因（Clock、Period 等）。研究揭示了潮汐节律基因的反相表达特征（核内 DNA 修复与胞质能量代谢协同振荡），并推测其与陆生生物保守的 12 小时超日节律同源。本研究从宏观行为至微观基因层面，阐明了深海生物适应极端环境的节律策略，为深海生态系统动态监测与演化机制研究提供了跨学科技术框架与理论支持。未来将融合原位传感器数据（温度、流速）与多组学技术，深化环境-行为-基因的耦合解析。

S73-P-1S

地球深部碳循环：洋中脊—地幔柱相互作用的指示

张海桃^{1,2,3*}

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 山东省深海矿产资源开发重点实验室

3 山东科技大学，地球科学与工程学院

* zht@fio.org.cn

深部地球物质组成与动力学过程研究是解析成矿物质来源的关键基础。当前关

于地球深部碳循环的研究虽已揭示圈层间物质交换规律，但俯冲再循环碳能否通过地幔柱传输至洋中脊系统等核心科学问题仍待解答。这一机制的阐明对于理解全球碳循环与深部物质演化具有重要意义。通过系统测试南大西洋中脊玄武岩样品镁同位素组成，研究发现：（1）受地幔柱影响的玄武岩呈现放射性成因同位素富集特征，同时具有显著偏轻的镁同位素组成；（2）受地幔柱影响的玄武岩中含有 5%-10% 的圣赫勒拿地幔柱来源碳酸盐组分；（3）源自圣赫勒拿地幔柱的碳酸盐熔体通过压力驱动的高流量通道，以熔体-固体共存状态侧向迁移至南大西洋中脊系统；（4）构建了“俯冲带-地幔柱-洋中脊”的深部碳循环模型，完整刻画了碳物质从俯冲带经核幔边界、地幔柱直至洋中脊系统的传输路径，揭示了古老蚀变洋壳（汇聚板块边缘）至新生洋壳（离散板块边缘）的碳循环全过程。该研究建立了深部碳循环的“全链条”动力学模型，不仅深化了对离轴地幔柱与洋中脊相互作用机制的认识，更为理解全球碳循环与深部物质迁移提供了全新视角。

S73-P-2S

热液活动对东南太平洋富稀土沉积物形成的重要作用

胡倩男^{1,2}，石学法^{1*}，毕东杰¹，于淼¹，黄牧¹，李佳¹

1 自然资源部第一海洋研究所，海洋地质与成矿作用重点实验室

2 山东科技大学，地球科学与资源学院

* xfshi@fio.org.cn

深海富稀土沉积（简称“深海稀土”）是近年来发现的一种新型稀土资源，富含镧系元素和钇，据估算，深海稀土资源潜力是陆地探明储量的数千倍，资源潜力巨大，可能成为最先开发的深海矿产之一。东南太平洋发育大规模热液活动，产生巨量的热液羽状流，其中大量富集细粒级铁

锰羟基氧化物。与此同时,在深海盆地发育大规模埋藏深度较浅的富稀土沉积物。为了解热液活动对深海富稀土沉积物形成产生的影响作用。本研究对东南太平洋沉积岩心分别进行全岩和粘土组分($<2\ \mu\text{m}$)的地球化学和矿物学对比分析。结果表明,位于东太平洋海隆西侧提基海盆富稀土沉积物粘土组分中粘土矿物含量较低,铁羟基氧化物相结晶程度相对较高。与此相反,东太平洋海隆东侧尤潘基海盆富稀土沉积物粘土组分主要以蒙脱石和无定形相的铁锰羟基氧化物为主。稀土元素主要赋存于结晶程度较低的铁锰羟基氧化物相和磷酸盐相中。稀土元素配分模式表明粘土组分和全岩组分具有与海水相似的稀土配分特征。源于热液羽状流的粘土组分会不断的从海水中清扫出稀土组分,这为受热液影响的东南太平洋富稀土沉积提供了全新的稀土富集机制。

S73-P-3S

东北太平洋赫斯海隆东部海域富稀土沉积层形成机制研究

张怡¹, 董彦辉¹, 韩喜彬^{1*}, 洪昱恺¹, 袁襄¹, 李小虎¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* hanxibin@sio.org.cn

富稀土沉积物是近年来在深海盆地中发现的新型稀土资源。2022 年我们调查发现东北太平洋赫斯海隆东部海盆的 NP-GC01 站(重力柱取样, 588cm 长)的底部发现了富稀土沉积层, 其分布位置远离西太平洋海山盆地地区以及东太平洋 CCFZ (Clarion-Clipperton Fracture Zone) 这两个富稀土沉积物密集分布区, 其稀土富集特征和机制可以进一步丰富和检验已有的富稀土沉积物成矿理论。

NP-GC01 重力柱根据沉积物类型和地球化学特征分为三层, 分别为深海硅质粘土层(0-512cm)、富 Ba 层(512cm-546cm)和富稀土层(546-588cm, 未见底)。深海硅质粘土层平均稀土元素含量(ΣREY)约 226×10^{-6} , 与其它海域的深海粘土基本相当。

富 Ba 层平均 ΣREY 约 514×10^{-6} , Ba 含量最高达到 14534×10^{-6} , 其剖面分布和含量与北太平洋 ODP885/886 井 7.9-12Ma 的沉积物可对比。MnO、 TFe_2O_3 平均含量与东太平洋 CC 区富 Ba 型硅质粘土相似。该层中, 稀土配分模式较为平坦, Ce/Ce* 通常在 1.1 左右, 而 Y 则是略具负异常, 指示了海水的还原环境。富 Ba 层矿物组合包括沸石、微结核、少量重晶石及少量生物成因磷灰石。极高的 Ba 含量以及重晶石的大量出现都说明该层形成时的初级生产力很高, 在高生产力背景下, 硅藻向沉积物中输送了大量的 Ba, 周时沉积物有机质含量较高, 早期成岩过程中硫酸根被还原使得孔隙水中可能有较高的 Ba 含量, 其迁移过程中遇到含硫酸根的海水而重新沉淀。

富稀土层($\Sigma\text{REY}=700-1300\times 10^{-6}$, 平均 ΣREY 约 1209×10^{-6})矿物组合为沸石、微结核及生物成因磷灰石(含丰富鱼牙化石)。与东太平洋 CC 区富 Ba 型富稀土沉积物不同, NP-GC01 重力柱的 Ba 值在此层明显下降, 但平均值(3614×10^{-6})仍高于其他海域富稀土沉积物中的 Ba 含量。该层的 Al_2O_3 平均含量与西太平洋富 Al 型富稀土沉积物相当。在该层中, 稀土配分模式呈现负 Ce 异常、中-重稀土富集及略有 Y 正异常特征。富稀土层的时代从 ODP885/886 的化学地层对比来看, 可能早至始新世, 与 CCFZ 的富稀土沉积物一致而老于西太平洋。在 CCFZ, 富稀土沉积物由于富集 Ba 被认为形成于高生产力背景之下, 而在本研究中 Ba 的变化与稀土的变化相反, 表明生产力不是本研究样品稀土富集的主要原因。

S73-P-4

中更新世西太平洋深海沉积中的多圈层协同演化记录

王海峰^{1*}, 何高文¹

1 广州海洋地质调查局, 大洋和极地研究所
* wanghaifengl12@163.com

中更新世转型 (Mid-Pleistocene Transition, MPT) 发生在距今 125 万年至 70 万年之间, 标志着地球冰期循环从 4.1 万年周期转变为 10 万年周期。然而, 驱动这一转型的潜在机制仍不清楚。本研究对西中太平洋的四根深海沉积岩芯进行了高分辨率的地质年代学和地球化学分析, 以研究自 MPT 以来的区域古海洋变化。通过整合磁性地层学、X 射线荧光 (XRF) 扫描和天文调谐, 建立了综合地层格架。基于与 LR04 $\delta^{18}\text{O}$ 记录调谐的 Mn/Al 比值, 我们为 PCM2 岩芯建立了精细的年龄-深度模型, 表明在 MPT 期间沉积过程稳定, 过去 130 万年间的 SARs 约为 0.5 至 3.5 毫米/千年。我们的研究表明, 在 MPT 之后, 全球降温以及亚洲内陆干旱度增加, 增强了向西太平洋的风尘输入。这些风尘输入触发了铁的施肥作用, 提高了生物生产力, 进而导致有机物分解增加和底层水氧化还原电位降低。这些发现为自 MPT 以来西太平洋深部的多圈层相互作用和古海洋演变提供了新的见解, 突出了风尘通量和生物生产力在这一关键气候转型期间塑造深海环境中的关键作用。

S73-P-5S

海洋铁锰氧化物中锂的富集: 来自合成 $\delta\text{-MnO}_2$ 吸附实验 的证据

吴若冰¹, 李登峰^{1*}, 李政坤², 梁泳嘉²,
廖喜姣¹, 付宇¹, 徐莉¹, 孙晓明²

1 中山大学, 海洋科学学院
2 中山大学, 地球科学与工程学院
* lidf3@mail.sysu.edu.cn

近年研究指出, 锂元素在海洋环境中与铁锰氧化物之间具有较强的亲和性, 然而, 其在关键载体矿物——水羟锰矿表面的吸附机制及其控制因素在分子尺度上仍缺乏清晰认识。本研究通过人工合成水羟锰矿样品, 开展系统的吸附-脱吸附实验, 并结合 X 射线衍射 (XRD)、扫描电子显微镜 (SEM)、高分辨率透射电子显微镜 (TEM)、电子能量损失谱 (EELS) 和傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 等多种表征手段, 探究锂的吸附行为及其微观机制。吸附实验覆盖不同 pH (4-9) 与磷酸盐浓度 (0-1.2mM) 条件, 以模拟海水系统中复杂的化学背景。吸附动力学结果表明, 水羟锰矿在 pH<3 时几乎不吸附锂, 在 pH>3 时吸附度显著上升。同时, 磷酸盐浓度的增加亦可提升水羟锰矿对锂的吸附能力。动力学数据可较好地拟合准二级动力学模型, 表明锂的吸附过程主要受到化学作用的控制。此外, 脱吸附实验结果也显示, 锂与矿物表面形成了稳定的表面络合物, 而非单纯的物理吸附。上述结果共同指向表面络合作用在吸附过程中起主导作用。结构分析显示, XRD 和 SEM 结果未见吸附前后矿物的晶体结构发生明显变化, 而 FTIR 揭示吸附后局部 Mn-O 配位环境上存在微弱扰动。结合 EELS 中检测到的锂信号及表面活性位点的变化, 推测锂以水合离子形式, 通过外层络合方式与水羟锰矿表面的羟基或氧配位基团发生结合。本研究揭示了锂在铁锰氧化物上的选择性吸附机制, 为理解海洋环境中微量金属的迁移与富集过程提供了微观尺度的理论依据。

S73-P-6S

深海孔中收发一体 X 射线成分探测技术

蒋鏖¹, 张庆贤^{1*}

1 成都理工大学, 核技术与自动化工程学院

* shinecore@163.com

X 射线荧光测井技术是重要的测井手段, 可以快速、便捷地测定井壁中元素含量。本研究针对深海高压、高腐蚀等极端环境, 研制了一种深海 X 射线荧光成分原位探测装置, 重点解决了高抗压探测窗材料选型、自主测量孔壁贴靠机构设计、同位素激发源设计和海水影响校正等技术难题。采用 GEANT4 模拟软件分析水层对测量结果的影响, 并优化了 Be 材料作为耐腐蚀和高透射率 X 射线荧光探测窗材料, 开展材料抗压性能模拟分析, 设计厚度为 2mm 的窗口。其次, 通过有限元网格划分和压力分析, 对 X 射线发射及接收系统的机械结构进行了详细设计, 并对不同厚度的 Be 窗及海水层对测量结果的影响进行了模拟分析, 通过设计主动贴壁装置和优化探管结构, 实现小口径测量段在海水压力下有效贴壁, 以减少海水对 X 射线的吸收。最后, 设计了包括 X 光管驱动模块、探测器制冷模块、模拟信号处理模块、数字信号处理模块以及电源模块等多道测量硬件系统, 并开发了 X 射线荧光多道能谱采集和分析软件。最后通过对南印度洋多金属硫化物矿区开展海底 X 射线荧光原位分析实验, 实验结果表明, 系统能在最大 4000m 水深下有效测量 Cu、Fe、Zn、Pb、Au、Ag、Co 等元素。

S73-P-7

三维重力广义深度加权反演在采薇平顶海山群的应用

朱莹洁^{1*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* yj_zhu0312@163.com

在重磁位场反演中, 由于位场的非唯一性, 必须解决反演结果的“趋肤”效应, 为此引入了深度加权函数以削弱“趋肤”效应。但大部分深度加权函数是基于目标地质体在观测点正下方这一前提构建, 但反演中通常无法满足这一条件, 因此也导致反演结果在深部容易发散, 出现“拖尾”现象, 并且水平上也使得反演很难将相邻的目标地质体分开。基于此, 本研究从重、磁位场的正演理论出发研究正演核函数的衰减特性, 在灵敏度深度加权函数的基础上, 引入地质体中心深度参数, 并进行水平修正和垂向修正, 构建修正广义深度加权函数, 从而使得反演结果在垂向和水平上均聚焦到地质体附近。其中, 结合了 DEXP 法、NVDR-ASA 和 NVDR-THDR 边缘识别结果及极值点提取方法估算地质体中心埋深。由此, 在已知信息获取困难的情况下, 可以充分挖掘位场数据本身的信息, 综合提高反演的垂向和水平聚焦能力, 获得紧凑型的反演结果。将修正广义深度加权函数应用到西太平洋海山省麦哲伦海山链的采薇平顶海山群的三维重力反演中, 大致确定了海山岩浆通道的空间位置及海山周围海底的深部密度结构: 剩余密度高值集中分布在采薇平顶海山群山顶中心位置之下、3~10 km 的深度范围, 推测其为岩浆喷发的主通道, 在其周边分布有密度高值区, 可能指示了岩浆溢流的通道, 或者在岩浆喷发时期在洋壳形成的高密度体; 而低密度区域可能指示了低密度结晶体、或断裂的位置; 由于经历了风化剥蚀及长期的沉积作用, 海山周边的密度相对较低, 且推测 3 km 以浅的海山受后期沉积作用更加明显。研究结果为下一步研究热点、大火成岩省等提供地球物理支撑。

S73-P-8S

采薇海山埋藏型结壳地球化学特征及其资源潜力

李垚¹, 马维林^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室
* maweilin308@sina.com

在西太平洋部分海山平台及海山斜坡处, 发现了被沉积物覆盖并且停止生长的富钴结壳, 目前将其定义为埋藏型结壳。为探究埋藏型结壳的地球化学特征以及资源价值, DY80 航次于采薇海山利用浅钻系统发现并采集了 3 站此类结壳, 利用其与其他 8 站裸露型结壳进行矿物学以及地球化学对比研究。发现埋藏型结壳同样具有多层构造, 但上部致密层较薄或者缺失, 这与其早期被沉积物覆盖停止生长有关。镜下观察, 埋藏型结壳与裸露型结壳在显微构造方面没有明显差别, 它们在主要成矿元素 (Mn、Fe、Cu、Co、Ni) 含量以及矿物组成上与裸露型结壳也相似, 但埋藏型结壳中稀土元素 (REY) 含量相较于裸露型结壳有约 400ppm 的富集, 而且其分层样中的铂族元素 (PGE) 含量相较于裸露型结壳同样具有不同程度的富集。结合以往已有的埋藏型结壳数据, 能够发现其稀土价值普遍高于裸露型结壳, 具有很高的资源潜力。通过埋藏型结壳埋藏深度和稀土含量数据对比, 初步认为埋藏型结壳在被沉积物覆盖之后发生了稀土元素的二次富集, 并与其埋藏深度有较高的关联。为了研究埋藏型结壳稀土元素的赋存机制以及富集载体, 正在进一步开展埋藏型结壳微区矿物学以及地球化学分析。

S73-P-9S

北太平洋铁锰结核铂族金属富集特征时空差异及影响机制

谢宇¹, 李怀明^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室
* lihm@sio.org.cn

铂族金属 (PGE) 已被中、美、欧盟、俄罗斯等国家列为关键战略金属清单。我国是全球 PGE 金属最大消费国, 但对外依存度超过 98%。深海铁锰结核和结壳铂族金属 (Pt) 含量是大陆地壳的 100 倍, 被认为是 PGE 金属资源的重要潜力来源。已有研究表明铁锰结核中 PGE 主要来源海水, 海水中 Pt (II) 被氧化成 Pt (IV) 或者被还原成 Pt (0), 被铁锰结核的铁羟基氧化物或锰氧化物吸附并产生富集。但是从全球尺度看, 铁锰结核中 PGE 含量数据积累依然不足, 对于不同区域和时间尺度铁锰结核中 PGE 富集特征认识尚不清楚。本研究选择北太平洋不同铁锰结核成矿条件海区 (东太平洋 CC 区、西太平洋海山区、中太平洋海山区、东北太平洋), 利用采集的铁锰结核样品, 系统开展矿物学、主微量及铂族元素含量分析和对比研究, 讨论北太平洋铁锰结核 PGE 含量、物质来源及赋存状态、时空变化特征及其影响因素, 以为深海铁锰结核中 PGE 找矿提供支撑。结果显示: 1) 东太平洋 CC 区中部和东部结核为混合型 and 成岩成因结核, 主要矿物组成为 10 Å 锰矿, CC 区西部、西太平洋、中太平洋、北太平洋区域结核为水成成因结核, 主要矿物组成为水羟锰矿、水钠锰矿; 2) 研究区铁锰结核 PGE 总质量分数 ($w(\Sigma PGE)$) 为 $53.22 \times 10^{-9} \sim 254.12 \times 10^{-9}$, 其中 Ru 的含量范围为 $(5.2 \sim 18.6) \times 10^{-9}$ 、Rh 为 $(2.51 \sim 15.3) \times 10^{-9}$ 、Pd 为 $(2.09 \sim 5.56) \times 10^{-9}$ 、Os 为 $(0.43 \sim 2.05) \times 10^{-9}$ 、Ir 为 $(0.59 \sim 4.65) \times 10^{-9}$ 、Pt 为 $(39.7 \sim 212) \times 10^{-9}$; 不同成因类型结核 PGE 具有相似的配分模式 (球粒陨石标准化), 均表现为 Pt 显著正异常, Pd 显著负异常, 从 Os 到 Pt 逐渐富集, 从 Pt 到 Pd 则呈亏损趋势; 3) 研究区铁锰结核 PGE 与 Co、Fe₂O₃、Ce 相关系数分别为 0.87、0.83、0.64, 具有正相关性, 与 MnO、Ba、MgO、Mn、Na₂O 的相关系数分别为 -0.79、-0.69、-0.72、-0.64, 具有负相关性; 4) 东北太平洋铁锰结核 PGE 含量由内层向外层呈现递减趋势, 东太平洋 CC 区中部结核 PGE 元素含量由内

层向外层递增, CC 区西部结核 PGE 元素含量由内层向外层先增后减, 西太平洋海山区结核 PGE 元素含量由内层向外层先减后增, 我们初步分析认为局部地质和古海洋过程是影响 PGE 元素富集特征的重要因素。

S73-P-10

南海及邻域砂矿资源分布特征及成矿模式

周娇¹, 杨楚鹏^{1*}, 何高文¹, 高红芳¹, 聂鑫¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 海洋基础地质调查局

* gmgs_yang@foxmail.com

南海及邻域具有多样的地形地貌和丰富的物源, 为海洋固体矿产资源的形成和分布提供了物质来源和堆积环境。为系统查明南海及邻域砂矿资源分布情况, 广州海洋地质调查局海洋基础地质调查研究团队通过系统整理多年来的南海百万区调成果资料, 对南海及邻域 2606 个站位表层沉积物样品的粒度、碎屑矿物鉴定结果分析, 以及进行重矿物的品位计算, 系统分析了整个南海及邻域有用矿物砂矿资源以及建筑用砂资源分布特征并预测了远景区, 总结了砂矿成矿模式。结果表明, 南海及邻域具有远景的矿种主要有锆石、钛铁矿、金红石、锐钛矿、独居石和石榴子石等; 重矿物高品位矿点主要集中在南海东北陆架、菲律宾海盆、南部陆架, 重矿物异常区主要位于周缘陆架浅水区以及越东外陆架浅水海域、菲律宾海盆。锆石品位异常值为 254.20~73906.41g/m³, 平均品位约 6486.46g/m³, 锆石品位异常区的范围最大(491913km²), 且达到工业品位的面积也最大(144941km²); 其次是磁铁矿、钛铁矿、独居石的异常区; 锐钛矿、金红石异常区的分布面积相当; 石榴子石品位异常范围最小。根据砂矿的分布规律、大地构造背景、成矿条件以及成矿元素特征, 圈定了

24 个有用重矿物砂矿成矿远景区和 6 个成矿带。沉积物中砂(0.063~2mm)含量大于 50% 的建筑用砂的远景区 9 个, 主要分布于海南岛西南面到台湾海峡南部一线以北海域, 其次为南海南部礼乐滩、万安滩、曾母暗沙附近海域, 其余海域极为罕见。基于南海砂矿资源分布特征, 初步建立了近岸型、潮流砂脊型、古河道埋藏型、峡口型、陆架坡折带型等五种砂矿成矿模式, 为海砂矿资源进一步勘查提供方向和建议, 为找矿突破指明了方向。

S73-P-11S

西南印度洋热液区沉积物中 brGDGTs 潜在生物源的鉴定

屈棋楠^{1,2}, 宫亚东¹, 魏玉利², 曾湘^{1,2*}

1 自然资源部第三海洋研究所, 海洋生物遗传资源重点实验室

2 上海海洋大学, 海洋科学与生态环境学院

* zengxiang@tio.org.cn

甘油二烷基甘油四醚(GDGTs)作为微生物细胞膜脂的标志性成分, 在地质历史和古环境重建中发挥着关键作用, 支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs)也常作为生物标志物被用于陆地土壤以及海洋沉积物中的温度、pH 的测定与重建。目前仅发现在陆地环境的酸杆菌 *Edaphobacter aggregans* Wbg-1 与 *Candidatus Solibacter usitatus* Ellin6076 为 brGDGTs 的生物合成菌株。已有研究发现在海底热液区存在 brGDGTs, 但未确定其相关产生菌。本研究自西南印度洋中脊热液区沉积物分离了一株 brGDGTs 生产菌温暖杆菌属菌株 *Tepidibacter* sp. T163, 其是一株严格厌氧嗜热菌, 温度生长范围为 10-37 °C (最适生长温度为 24°C); 其可以还原 Fe(III) 和 Mn(IV)。基于 16s rDNA、基因组 ANI 和 DDH 计算, 该菌株属于厚壁菌门温暖杆菌属的一个潜在新种。利用 HPLC-MS 检测菌株培养液的脂质提取物, 发现其能在厌氧

条件下产生包含 brGDGTs-Ia、brGDGTs-IIa、brGDGTs-IIIa 与 brGDGTs-Ib 在内的多种 brGDGTs。基因组比对发现 *Tepidibacter* sp. T163 中除含有四醚合成酶 Tes 同源蛋白外, 还存在 PlsAR、PlsX 等可能与细菌合成 brGDGTs 途径有关蛋白的同源蛋白, 其中四醚合成酶 Tes 同源物与 *Methanosarcina acetivorans* 中 Tes 蛋白相似度达到 35%。本研究表明在海底热液区活动高温热液区厚壁菌门细菌为 brGDGTs 潜在生物来源, 其可以作为海底热液区活动的潜在标志物。也给出了除酸杆菌门外, 厚壁菌门也可能作为在海洋沉积物环境中 brGDGTs 的重要潜在生物源的有力证据。

S73-P-12

深海铁锰结核成矿的有机地球化学研究: 机制、方法与展望

姜玉涵^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 大洋和极地研究所

* ypw9010@gmail.com

深海铁锰结核富含 Ni、Co、Cu 等关键金属, 其成矿机制是有机地球化学研究的核心议题。有机质在成矿中扮演多重角色: 作为金属初始来源与富集载体, 其分解显著调控沉积物-水界面氧化还原环境, 影响 Fe/Mn 氧化物溶解与沉淀, 并促使 Ni、Cu 等伴生金属迁移富集; 溶解性有机配体则通过络合作用影响金属迁移与沉淀过程微生物通过生物成矿或生物诱导成矿 (BIM) 机制贡献关键: 异养菌分解有机质营造还原微环境, 利于 Mn 溶解与再沉积; 自养/兼养微生物直接氧化 Fe/Mn 参与矿物沉淀。微生物胞外聚合物 (EPS) 及形成的生物膜结构高效吸附金属并提供矿物成核界面。分子标志物分析 (例如, 通过气相色谱-质谱联用技术分析正构烷烃的分布模式以区

分海洋藻类/微生物与陆源高等植物的贡献, 利用姥鲛烷/植烷比值 Pr/Ph、藿烷、甾烷等指示有机质成熟度和沉积环境的氧化还原状态, 以及通过脂肪酸谱系追踪有机质的生物来源、降解程度和成岩转化) 与稳定同位素地球化学 (如 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的整体或化合物特异性分析, 用以判别有机质来源、估算古海洋生产力、指示微生物代谢过程, 甚至追踪特定微生物代谢途径如甲烷氧化对成矿的潜在贡献) 是核心研究手段。这些方法有效示踪有机质来源 (区分海陆源贡献), 重建古海洋生产力, 判别成矿环境, 并揭示成岩作用过程与强度。对不同典型深海区域 (如东太平洋 CCZ 高生产力区, 有机质驱动的成岩作用显著, 结核富集 Ni、Cu; 中印度洋盆地; 以及西北太平洋低生产力红粘土区, 则以氢成因为主, 有机质影响相对较弱, 但微生物作用并非完全缺席) 的研究证实了有机质作用的区域差异性, 表现为氢成因与成岩成因主导性的变化, 从而影响结核的化学组成与金属品位。近年新进展深化了对结核形成复杂性的认知, 包括微生物介导成矿的具体机制 (如海洋放线菌的溶解-再沉淀作用) 和有机-无机地球化学耦合研究 (如结合元素赋存相分析提出的“多源成矿”模型, 区分不同金属来源)。展望未来, 有机地球化学在深海铁锰结核的资源勘探、环境基线调查、采矿影响长期监测及全球碳循环研究中具广阔应用前景。然而, 研究与应用仍面临技术挑战: 痕量样品分析、复杂生物地球化学过程解析、采矿技术与环保权衡、以及作业碳足迹评估。因此, 深入理解并创造性应用有机地球化学理论与方法, 对科学评估资源潜力、制定可持续发展策略及保护脆弱深海生态系统至关重要。

S75-O-1

浅层气与水合物目标勘探和试采工艺探索

李清平^{1*}

1 怀柔实验室, 海洋碳封存

* liqingping@hrl.ac.cn

珠江口、琼东南盆地水合物与浅层气是一个同盆共生的体系, 从中浅层向深层垂向分布的天然气水合物、浅层气、深部油气是一个一体化的勘探与立体开发体系。而水合物的开采是涉及相变、传质传热和储层力学变形, 甚至会导致出砂和海底地层滑坡, 是一个非常复杂的热-流-力-化多场耦合过程。随着沉积过程, 水合物会发生分解, 产生大量气体向上运移, 在合适储层形成水合物, 下部会形成浅层气聚集, 在水合物调整过程中储层孔隙度、渗透率以及两相相对渗透率的演化关系复杂, 水合物-浅层气的赋存方式、分解过程等影响储层力学性质的因素众多且规律不明确, 通过对天然气水合物-浅层气系统成藏过程进行解析, 揭示深部油气为浅层气、天然气水合物等成藏提供支撑, 并对多气源综合勘探、联合开发工艺进行探索。

S75-O-2

海底含水合物沉积物工程力学表征技术与方法

李彦龙^{1*}

1 崂山国家实验室, 海洋系统科学与前沿交叉研究部

* liyanlongupc@163.com

海底沉积物中孔隙流体迁移活动频繁, 是海底地层与海水之间物质能量交换的主要场所, 也是海底能源资源开采和海底碳封存的重要场所。海底沉积物的工程力学性质是资源开采、碳封存设计的重要参数。本报告以海底水合物沉积物的力学性能表征与测试技术体系为例, 展示从微纳米尺度、厘米尺度、米级尺度到场地尺度实现海底沉积物地层力学参数全面表征的技术思路, 报告重点如下: ①从微观方面, 以

X-CT 为代表的可视化技术与三轴剪切的结合, 为实现沉积物内部结构损伤与宏观力学参数的联合探测提供了基础; ②在宏观层面, 超声探伤与三轴剪切技术的融合, 为采用地球物理手段实现海底沉积物变形破坏过程监测提供了重要启示; ③力学参数表征的应用出口是地层多场耦合行为的预测, 深入理解海底沉积物中的热-流-固-化多场耦合行为, 是实现海底能源资源安全开采和保障海底碳封存安全性的必要前提。

S75-O-3

南海北部琼东南盆地浅层气与水合物共生成藏体系

程聪^{1,2*}, 姜涛¹, 匡增桂³

1 中国地质大学(武汉), 海洋学院

2 中国地质大学(武汉)广州南沙地大滨海研究院

3 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* ccheng2017@cug.edu.cn

南海北部琼东南盆地浅层气不但具有与水合物共生特征, 而且还可以规模性聚集成藏, 并已在该海域发现超深水超浅层陵水 36-1 大型气田, 开辟了海洋油气勘探的新领域。然而, 他们二者之间相互作用关系及其成藏机理还不甚明确, 一定程度制约了该区天然气勘探开发进程。本研究综合利用岩芯-测井-地震资料, 采用地质-地球物理-地球化学相结合的手段, 对琼东南盆地浅层气与水合物共生成藏体系进行了表征, 详细分析了浅层气与水合物二者相互作用关系, 并提出了共生成藏模式。结果表明, 琼东南盆地富生烃凹陷深部的天然气侧向运移至研究区形成深部天然气藏, 然后通过气烟囱再垂向运移至浅部进而形成浅层气与水合物共生体系。该体系主要包括气体来源、气体运移通道、储层和盖层等多个部分, 其中气体运移输导通道是关键的影响因素。浅层气与水合物共生成藏体系是一个动态平衡的系统, 浅层

气藏可为水合物的形成提供充足的气源；同时，水合物又可以起到盖层的作用，封堵游离气的垂向运移，以此形成更大规模的浅层气藏。由此可见，浅层气与水合物二者在整个系统中是相辅相成、缺一不可的。研究结果有望丰富完善浅层气与水合物成藏理论，为超深水超浅层领域天然气勘探提供坚实地质依据，服务于海洋强国战略。

S75-O-4

新西兰西库朗伊俯冲带 MTDs 发育特征及其对水合物与游离气分布影响

胡金子¹，王秀娟^{1*}，周吉林¹

¹ 中国海洋大学，海洋地球科学学院
* wangxiujuan@ouc.edu.cn

块体搬运沉积（Mass Transport Deposits, MTDs）广泛分布在大陆边缘深水盆地，其发育区地震剖面上一般难以识别似海底反射（Bottom Simulating Reflector, BSR），原因是 MTD 一般与地层和海底平行，其反射特征与水合物层异常具有相似之处，不利于水合物层的识别，因此，在 MTD 发育地区水合物与游离气的研究相对较少。新西兰希库朗伊俯冲边缘开展钻探、测井与取心，发现了水合物、游离气和多期 MTD，是一个集地震活动、水合物、多期 MTD、活动断层等相关问题的热点区域，是开展相关研究的天然实验室。通过测井、地震及其数值模拟相结合，我们发现了多期 MTD 对水合物分布及其调整影响。

S75-O-5

含水合物砂岩超声波衰减特性研究

刘涛¹，聂俊光¹，耿建华^{1*}

¹ 同济大学，海洋与地球科学学院
* 92049@tongji.edu.cn

天然气水合物是一种清洁低碳的能源，准确预测水合物在自然界的分布对其储量估算和商业化开采至关重要。衰减属性对水合物饱和度和赋存形式有较高敏感度，然而水合物储层的衰减机制仍不明确，亟需相关研究。本研究开展了过量水条件下中砂甲烷水合物的生成实验，成功合成了高饱和度水合物，并基于实验过程中所记录的超声波波形提取品质因子，得到了衰减随水合物饱和度变化的特征。为解释实验结果，本研究通过融合多种衰减物理机制，建立了砂岩水合物的衰减岩石物理模型，探究其内在物理机制。

衰减测量结果显示，水合物赋存减弱了砂岩本身的衰减作用。随着水合物逐渐生成，砂岩样品的 Q 值从 8~20 增大至 20~150，而水合物开始分解后，样品的 Q 值也逐步降低。岩石物理模拟结果表明，含水合物砂岩的衰减是由多种机制共同控制的，包括 Biot 宏观流、水合物内部流体包含物引起的波致流，以及气泡共振效应等。实验样品在超声频段的衰减减弱现象主要源于水合物生成过程对孔隙中甲烷气体的消耗，这一过程显著削弱了该频段内起主导作用的气泡共振衰减效应。研究结果初步揭示了砂岩型水合物的超声波衰减规律及内在物理机制，为今后利用衰减勘探水合物奠定了理论基础。

S75-O-6

剪切应变局部化机制对海底滑坡封堵性的控制作用

韩政豪¹，吴南^{1*}，任金锋²

¹ 同济大学，海洋地质全国重点实验室
² 中国地质调查局广州海洋地质调查局
* nanwu@tongji.edu.cn

海底滑坡作为深水盆地重要的沉积类型，因其高压实性与致密性，具备有效阻隔流体逸散的能力，成为海底油气藏、天然气水合物以及二氧化碳封存的重要天然盖层。然而，目前针对海底滑坡封堵性影响因素的研究仍较匮乏，海底滑坡封堵性受控的关键地质因素尚未得到充分揭示。

本研究以琼东南盆地松南低凸起区域T20至现代海底为研究对象，使用三维反射地震数据与测井数据，通过测井-三维地震综合解释及数值模拟方法，探讨控制海底滑坡封堵性的地质因素。

基于三维地震解释结果，研究层段发育三期大型海底滑坡，对盆地深部游离气的纵向运移产生了封堵与局部封堵失效的复合作用。其中，一期滑坡底部的坡坪及残余块体上方发育明显的流体运移通道，反映出游离气已发生纵向逸散，表明这些地貌单元削弱了滑坡体的整体封堵性。相比之下，不发育坡坪及残余块体的滑坡体并未出现流体运移通道，封堵性保持良好。测井解释结果进一步显示，滑坡内部坡坪和残余块体上部区域呈现较低的密度和电阻率，以及较高的孔隙度和渗透率，指示其沉积结构对滑坡压实程度具有显著削弱作用，进而影响其封堵性能。

数值模拟结果揭示，滑坡失稳过程中剪切应变具有明显的局部化特征，并因此在此在滑坡底部形成高度剪切变形的剪切带，且底部地形差异对该剪切带的空间分布形态具有重要影响。具体而言，在平坦地形条件下，剪切带呈现为一条近等厚、具有高度剪切应变的变形带。而在底部地形发育坡坪或残余块体等正向地貌时，剪切应变局部化现象在正向地貌的边缘处尤为显著，而其上方的剪切应变集中程度则相对较弱。

剪切应变对沉积物的粒径、孔径及孔喉结构具有显著影响。在平坦地形底部和正向地形边缘，较高的剪切应变导致沉积物变形程度较强，孔隙充分坍塌，沉积物颗粒沿剪切方向重新排列。因此，这些区域的滑坡沉积物具有较小的粒径与孔径，

且孔喉结构呈水平方向排列，能够抑制流体的纵向运移。相反，在正向地形上方，较低的剪切应变导致沉积物变形程度较弱，孔隙坍塌不充分，滑坡沉积物因此具有较大的粒径与孔径，其孔喉结构趋于各向同性，对流体纵向运移的抑制作用较弱。

本研究表明，海底滑坡内部的坡坪、残余块体及其他正向地形地貌能够引发剪切应变的局部化，进而导致沉积物物性的空间差异性，显著削弱海底滑坡的封堵能力。

S75-O-7

利用叠前地震数据预测天然气水合物储层参数分布：模型与数据联合驱动

耿建华^{1*}，郭咏欣¹，吴树梁¹，李清平²，李丽霞³，樊奇³

1 同济大学，海洋与地球科学学院

2 怀柔国家实验室

3 中海油研究总院有限责任公司

* jhgeng@tongji.edu.cn

天然气水合物作为一种潜在的清洁化石能源备受工业界关注。南海天然气水合物资源量巨大，但储层主要为泥质粉砂岩，其高效开发的基础是寻找富集的天然水合物矿体，因此，水合物饱和度、孔隙度以及泥质含量等关键储层参数预测对水合物储量估算以及指导勘探开采具有十分重要的意义。传统基于模型驱动的储层参数反演方法泛化性强，但由于物理模型不精确使得反演精度与分辨率不高；而基于数据驱动的储层参数反演方法具有高精度、高分辨率特点，但由于测井标签数据很少，基于数据驱动的反演方法泛化能力不足。在半监督学习的框架下，融合模型驱动与数据驱动各自优势，提出了模型-数据联合驱动的天然水合物储层参数（水合物饱和度、孔隙度何泥质含量）反演框架：首先

从叠前入射角道集反演弹性参数，再从弹性参数反演储层参数。在模型-数据联合驱动的叠前弹性参数反演中，引入 Zeoppritz 方程作为物理模型约束，在模型-数据联合驱动的储层参数反演中，引入考虑水合物微观赋存形式的岩石模型作为物理约束，以提高模型-数据联合驱动反演的泛化性。采用循环神经网络与卷积神经网络相结合，构建深度学习神经网络，分别捕捉地震数据与测井数据的时序特征以及地震数据的空间特征。将模型-数据联合驱动的水合物储层参数反演框架应用于南海琼东南天然气水合物储层预测，预测结果较为精确地刻画水合物储层的空间分布特征，与测井数据之间具有良好的一致性。模型-数据联合驱动的叠前地震弹性参数反演与传统模型驱动的叠前地震弹性参数反演相比，显著提高了反演的分辨率和精度。研究建立起来的模型-数据联合驱动的水合物储层参数反演框架具有推广潜力，为海洋天然气水合物高效勘探开发提供关键评价技术。

S75-O-8

天然气水合物微观分布的声电响应特性研究

卜庆涛^{1,2,3*}，李承峰^{1,2,3}，胡高伟^{1,2,3}，陈强^{1,2,3}，刘昌岭^{1,2,3}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所
2 自然资源部天然气水合物重点实验室
3 青岛海洋科技中心海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室
* bqt881110@163.com

水合物的声学特征是水合物地球物理勘探和水合物资源估算的重要特征参数。水合物的微观分布对含水合物储层的声电响应具有重要影响。虽然水合物的微观分布通过 X 射线计算机断层扫描等手段可以获得，但是在同一样品中获得声电参数是较为困难的，难点在于用于微观观测的样品都很小，而小尺寸的超声波和电阻率同

步测试较为困难。在本研究中我们研发了一套实验系统，能够实现同一水合物样品 X-CT 观测与声电探测的同步进行，为天然气水合物样品的微观分布观测和声电测试的同步监测提供新思路。研究发现水合物初期主要在气水交界处生成，中期主要生长于孔隙流体中，后期接触沉积物。本实验装置的研发解决了水合物微观分布与其储层的声电特性之间的定量关系难以确定的问题。本研究对了解水合物储层地球物理勘探的微观控制机制具有重要意义。

S75-O-9

应力作用下低渗粉砂质含水合物沉积物水相渗流特性研究

王海军^{1,2*}，周伟星^{1,2}，李洋辉^{3*}

1 哈尔滨工业大学郑州研究院，先进能源动力技术研究所
2 哈尔滨工业大学，能源科学与工程学院
3 大连理工大学，能源与动力学院
* hitwhj0601@163.com
* liy@dlut.edu.cn

我国南海天然气水合物储层具有低渗、泥质特点，其水相运移具有显著的非达西流动特征。水合物分解引起的有效应力变化会导致储层内部微观结构发生改变，进而影响气水渗流过程。阐明应力作用下含水合物储层内水相渗流演化规律，揭示非达西流动对储层气水运移的影响规律，是准确预测产气效率及持续性的前提。本研究以此为背景，借助宏观原位渗透率测量系统开展应力作用下海洋粉砂质含水合物沉积物水相渗流实验，发现有效应力压缩作用导致沉积物内流道尺寸下降，迂曲度增加，流动阻力上升，水相渗透率降低；随着有效应力增加，相同有效应力下水相相对渗透率随水合物饱和度增加而降低的幅度逐渐降低，表明有效应力可降低水相相对渗透率对水合物饱和度的敏感程度；

起始水力梯度随水合物饱和度的增加而增加, 两者呈指数函数关系, 主要由水合物生成引起流道尺寸减小导致粘滞阻力增加所致; 水相的流动区可分为三段, 分别为无流体流动区、非达西流动区和达西流动区, 基于 Hansbo 模型对该三个区域进行了拟合, 获取了海洋含水合物沉积物的分段非达西渗流模型。研究成果为我国南海水合物矿藏安全高效开采提供理论支撑。

S75-O-10

基于离散元的南海胶结型砂质含水合物沉积物宏观力学性质研究

王智刚^{1,2}, 张旭冉³, 张岩⁴, 袁庆盟^{1,2}, 杨林^{1,2}, 张旭辉⁴, 吴学敏^{1,2}, 梁前勇^{1,2*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 天然气水合物勘查开发国家工程研究中心

3 中国地质调查局

4 中国科学院力学研究所

* tomlqy@163.com

砂质水合物储层是海洋天然气水合物资源理想的开采目标, 但开采过程中的储层出砂、海底塌陷等工程地质风险为开采工程带了巨大挑战。我国于 2019 年在南海琼东南海域发现了具有良好商业开发潜力的高富集砂质天然气水合物储层, 使其成为该海域下一个勘探开发目标。了解该类砂质天然气水合物储层的力学特征和细观机制对水合物安全开采至关重要。在本研究中, 提出了一种新的提高二维 DEM 模型中胶结型水合物饱和度的计算方法, 构建了采用柔性边界的胶结型砂质含水合物沉积物双轴数值模型, 在不同水合物饱和度和围压下进行了一系列的不排水双轴压缩试验模拟。结果表明, 水合物的胶结作用提高了试样的强度, 过高的水合物饱和度容易诱导应变软化, 而增大围压有助于抑制应变软化。胶结失效的主要原因是拉应力破坏, 并且当水合物饱和度增大时, 胶

结键断裂界面的转变被识别出来。最后, 观察到颗粒的不均匀位移、滑动和相对旋转是 X 型剪切带形成的主要原因, 在外部载荷作用下力链发生屈曲、断裂和重构, 且水合物饱和度的增大加剧了组构各向异性。研究结果为捕获砂质含水合物沉积物的不均匀变形及颗粒尺度上的力学行为提供了新的见解。

S75-O-11

水合物空间非均质分布对含水合物沉积物力学性质的影响: 离散元模拟

窦晓峰^{1,2*}, 刘志超², 梁前勇¹, 宁伏龙²

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

2 中国地质大学(武汉), 工程学院

* dxf9082@126.com

准确预测和评估含水合物沉积物的力学行为, 对避免水合物钻采开发过程诱发储层沉降、海底滑坡、井壁失稳以及出砂等地质工程灾害具有重要意义。天然或人工合成的含水合物沉积物中水合物的空间非均质分布已被证明会对水合物分解过程及相应的力学响应产生影响。然后, 由于实验条件的限制, 针对水合物空间非均质分布的有效表征手段及与之对应的含水合物沉积物力学性质评估体系仍有待完善。据此, 本文基于离散元方法, 提出了一种考虑水合物团聚现象的建模方法, 并构建了不同水合物空间非均质分布状态的含水合物沉积物数值样品。通过图像识别定量表征了含水合物沉积物中水合物的非均质度。针对含水合物沉积物样品开展了双轴压缩测试, 从宏、细观两个角度研究了水合物空间非均质分布对含水合物沉积物力学性质的影响。模拟结果表明: (1) 对于具有相同水合物饱和度, 但水合物非均质度存在较大差异的两个含水合物沉积物样品, 当水合物饱和度超过一定值时(本研

究是 10%)，强非均质样品的峰值强度、割线模量和最大剪胀角均小于弱非均质样品。(2) 非均匀的接触力链结构，较少的水合物颗粒参与承载以及较少的水合物颗粒运动重排是强非均质样品对应低峰值强度、割线模量和最大剪胀角的细观原因。

(3) 水合物团聚体的存在会影响剪切带的发展。剪切带倾向于在水合物分布较少或弱水合物胶结的区域形成。(4) 由于水合物团聚体分布的随机性，含水合物沉积物的力学性质，如峰值强度、割线模量和最大剪胀角，随着水合物非均质度的增大呈现波动但总体下降的趋势。

S75-O-12

不同压力梯度下深海甲烷渗漏环境水合物形成特性

陈涛¹，戚紫英¹，张振¹，潘桦¹，冯景春^{1*}

1 广东工业大学，生态环境与资源学院
* fengjc18@163.com

深海甲烷渗漏是海洋重要的碳源及能量来源，这种渗漏不仅影响海洋生态系统，还可能对气候变化产生重要影响。为模拟不同深度的冷泉渗漏环境中甲烷动态演化，本研究通过构建多梯度压力体系(4-13.5 MPa)，系统研究了不同深度下纯水及盐水(3.45 wt% NaCl)体系中的水合物生成速率、形貌演化特征及洁净/水合气泡上升速度，结合 Raman 光谱定量分析了溶解态甲烷浓度演变规律。研究发现：(1) 水合物存在向下生长的情况，其生长时间与甲烷消耗量远大于普通生长情况，但其出现机理尚不明确；(2) 与洁净气泡相比，水合物气泡的上升速率出现不同程度的下降(8%-26%)；(3) 甲烷水合物在气液界面形成后，鼓泡的扰动可促使溶液中的过饱和甲烷溢出，与水形成水合物颗粒并上升聚集形成絮状水合物；(4) 值得注意的是，研究发现即使在较高的热力学驱动力($\Delta T=9.9$ K)及

高的溶解甲烷浓度(0.14 mol/kg)下水合物也不会很快成核；同时在较低压力下(≤ 6 MPa)，无论纯水还是盐水体系均未观察到水合物生成。本研究成果有助于深入理解水合物的形成转化规律，并对渗漏甲烷的迁移转化研究具有重要参考价值。

S75-P-1

琼东南盆地高饱和度浅层气富集的主控因素研究

王秀娟^{1*}，李丽霞²，匡增桂³，杨涛涛⁴，邓炜³

1 中国海洋大学
2 中海油研究总院有限责任公司
3 中国地质调查局广州海洋地质调查局
4 南方石油勘探开发有限责任公司
* wangxiujuan@ouc.edu.cn

浅层气(通常指游离气)广泛分布于未固结的浅海沉积物中，在地震资料中表现为亮点、增强反射或下拉反射特征。根据天然气水合物钻探获取的测井资料估算，前人研究表明在天然气水合物稳定带底界(BGHSZ)之下，游离气饱和度普遍处于中低水平。近期南海琼东南盆地钻探发现了一个典型的通道-堤岸型海底扇体系内发育的超浅层气田，实现了储量超千亿方的历史性突破。本研究综合运用测井资料及方差、均方根振幅、频谱分解等多种地震属性，刻画了富砂储层和块体搬运沉积体(MTDs)中浅层气与水合物的空间分布特征。浅层气在 BGHSZ 下方的通道-堤岸体系中呈多层状通道化或扇状分布模式。相干属性和地震剖面揭示了大量断层、多边形断层及气烟囱构造，这些构造为深部气源流体运移提供了通道，促进了天然气水合物和浅层气的形成。尽管浅层气分布范围显著大于水合物，但水合物的形成会降低沉积物渗透率，抑制气体向上运移，从而促进浅层气富集。此外，块体搬运沉积体及上覆黏土质沉积层作为封盖层，对水

合物和浅层气的成藏具有重要作用。因此，琼东南盆地研究富砂储层中天然气水合物与浅层气富集机制提供了理想靶区。

S75-P-2

水平井和大斜度井砾石充填中充填材料或标准的选择：实验、数值模拟和建议

史浩贤¹，董长银^{2*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，水合物工程技术中心

2 中国石油大学（华东），石油工程学院

* dongcy@upc.edu.cn

为了降低过早堵塞的风险并提高充填效率，轻质和超轻固体材料正被应用于水平井中的砾石充填，以代替普通石英和陶粒。但是，降低水平井和大斜度井砾石充填中固体材料的密度真的合理吗？为了回答这个问题，我们进行了一系列实验和数值模拟，研究了固体材料密度对充填和固砂的影响，并为水平井和大斜度井砾石充填固体材料的选择提出了详细的建议。首先，进行了充填砾石失稳实验，以证明高压实充填对良好固砂效果的重要性。提高和保证充填砾石的压实度是达到预期防砂效果的关键问题。然后，进行了砾石充填模拟实验，研究了不同类型充填固体材料的充填性能和最终效果。研究发现，轻和超轻固体材料的重力沉积效应极其微弱，甚至可以忽略不计，因为它们的密度接近甚至小于载流的密度。压实度仅取决于流体流动的压实度。基于实验结果，开发了一个数值模型和模拟器软件，以进一步揭示固体密度对堆积效应指数的敏感性规律。使用 CB 油田基础数据的案例研究表明，从压实和保砂的角度来看，轻质和超轻质陶粒不是水平和大斜度砾石充填的好选择，特别是在使用高粘度流体的情况下。在水平砾石充填中，涉及阿尔法和贝塔波充填，

固体材料的重力效应确实有助于提高充填的压实度。因此，利用高密度颗粒有利于明显增强重力沉积的效果，从而提高生产过程中的固砂效果。建议仅在一种情况下使用轻质固体材料，在这种情况下，在所有参数优化下都无法避免阿尔法波填料的过早堵塞。对于大斜度井中的砾石充填，由于井筒偏斜和向下流动的方向，阿尔法波充填很难发生。在工作期间，过早堵塞几乎不会发生。因此，使用高密度固体材料可以明显提高填料的压实度，有助于保证填料层的稳定性和固砂效果。一般来说，除了非常特殊的情况外，在大斜度井中砾石充填不需要轻质和超轻质固体材料。本研究为不同井况下砾石充填固体材料类型的决策提供了明确的技术路线。

S75-P-3

砂质天然气水合物成藏特征及研究进展

匡增桂^{1*}

1 广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

* kzg21001@163.com

绝大多数海域天然气水合物系统的分布都遵循垂向结构，即水合物分布在含游离气沉积层之上。然而，我们在南海琼东南盆地发现了一个水合物与游离气分布在同一近水平砂层中的水合物-游离气系统，具有明显的横向结构。广州海洋地质调查局在 2021-2022 年针对该系统钻探了 8 口井，以研究导致该系统形成的控制机制。钻探结果显示，由于深部含热流体的向上对流，显著改变了浅层的热场，使得流体对流区温度较高，游离气得以在对流区水平砂层中稳定存在，随着游离气沿着水平砂层横向运移至对流区周缘，由于温度降低而逐渐形成了水合物。该站点的观察结果表明，高通量的对流传热对砂质水合物的形成具有很大的控制作用，并且可能是一种关键

机制，它允许气体在水合物稳定区域内迁移，并在砂层中形成高饱和水合物。

S75-P-4

南海南部北康盆地海底渗漏原油来源及地质意义研究

黄伟^{1*}，赖洪飞¹，孟苗苗¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

* acahw_1991@foxmail.com

海底油类渗漏是深部流体向上迁移的结果，为研究潜在烃源岩和油气特征提供了重要线索。在南海南部北康盆地，研究人员首次利用重力活塞取样的方式成功获取了海底渗漏原油，并结合地震数据、岩心样品、孔隙水、顶空气及热流等多源信息进行综合分析，系统揭示了这些渗漏原油的地球化学特征及其地质意义。研究表明，深部来源的油气通过与古隆起相关的断层和流体渗漏管道运移到浅层沉积物中，并与现代海洋沉积物发生混合；生物标志物分析显示，渗漏油中既含有海相有机质，也包含一定比例的陆源有机质，热演化程度从低熟到成熟均有分布，反映出复杂的成因背景。综合判断，这些渗漏原油最可能来源于渐新世至下中新世的煤系烃源岩。在生烃超压驱动作用下，油气通过源岩内部裂缝和相关断裂排出，并最终聚集于 T3 不整合面之下古隆起的顶部。随着流体压力持续升高，上覆封闭层逐渐破裂，形成流体渗漏通道，进而导致油气在海底发生渗漏。这一过程还伴随着大量甲烷释放，引发了显著的生物地球化学效应和元素循环变化，使硫酸盐-甲烷转化带（SMTZ）深度变浅，为天然气水合物的形成提供了有利的气体供给条件。本研究在南海南部钻井资料相对有限的背景下，提供了关于烃源岩类型、油气来源及运移路径的关键地质与地球化学证据，同时也深化了对聚集流体渗漏背景下深、浅部地层之间含气

流体活动及其耦合机制的认识，为区域资源勘探和地质演化研究提供了重要基础。

S75-P-5S

固体表面润湿性调控下甲烷水合物稳定性的分子模拟研究

王逸雯¹，曹品强^{1*}

1 武汉科技大学，资源与环境工程学院

* pinqiang2022@163.com

理解和调控天然气水合物的结构稳定性，对于评估海洋天然气水合物储层稳定性演化具有重要意义。本文利用第一性原理分子动力学模拟，在原子尺度上探究了固体表面润湿性对水合物结构稳定性的影响规律。研究表明：当氧化石墨烯的羟基含量为 0-50% 时，羟基的数量及空间排列对水合物稳定性具有明显影响。不同甲烷水合物-固体界面体系表现出不同的水合物界面行为特征与稳定性差异。根据均方位移分析结果，甲烷水合物-氧化石墨烯体系内的水分子均方位移增幅明显低于甲烷水合物-石墨烯体系，降低约 77%，此种现象可归因于氧化石墨烯表面羟基与水分子之间形成氢键，限制了水合物的移动，进而调控了水合物稳定性演化进程。本文初步揭示了羟基含量-固体表面润湿性-水合物稳定性的关联机制，可为通过界面工程调控天然气水合物稳定性提供了新视角，进而为认识海洋天然气水合物储层稳定性机制提供了原子尺度理论基础。

S75-P-6

琼东南盆地块体搬运体系沉积特征及其对下覆水合物藏的影响

孟苗苗^{1*}

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局

* 18811309981@126.com

块体搬运沉积 (MTDs) 作为深水沉积体系的重要组成在资源勘探和地质灾害等方面具有重要意义。琼东南盆地深水区水合物钻探发现水合物层之上发育三套 MTDs, 目前对其沉积特征以及控制因素等研究不足, 进而限制了其对下伏水合物藏影响的认识。本研究以紧邻水合物层的第三套块体搬运沉积 (MTD3) 为重点研究对象, 综合利用地震数据、测井及岩芯资料对 MTD3 的沉积特征进行研究, 并探讨了 MTD3 的物质来源、控制因素以及对下伏水合物藏的影响。研究表明, MTD3 的岩性主要为具有明显的变形特征的泥质沉积, 在测井上表现为低伽马值和低电阻率以及不规则成像特征, 在地震剖面上表现为与顶底连续性较好的强振幅反射有明显的差别低幅杂乱或空白反射; MTD3 在琼东南盆地发育体部滑移区和趾部挤压区, 未见头部拉张区, 平面上呈条带状展布, 面积约 3600km²。MTD3 的沉积物质可能来源于琼东南盆地西北部陆坡, 然后沿中央坳陷带自 SW 向 NE 运移。MTD3 的发育受海底地形地貌、构造和地震活动、沉积速率以及海平面变化等因素的综合控制。位于趾部挤压区的 MTD3 与半远洋沉积共同构成下伏水合物的盖层, 其致密岩性以及浅层超压共同促使水合物的富集成藏。本研究加深了对琼东南盆地第四纪浅层事件性沉积的认识, 并为与块体搬运沉积相关的水合物资源预测提供地质理论指导。

S75-P-7S

南海莺-琼盆地深水浅埋未固结沉积物封盖能力实验研究

时欣磊^{1,2}, 周楠钦^{1,2}, 曾文静^{1,2}, 徐燕玉^{1,2}, 申小冬^{1,2*}

1 成都理工大学, 能源学院

2 成都理工大学, 油气藏地质及开发工程国家重点实验室

* shenxiaodong18@cdut.edu.cn

南海莺-琼盆地赋存浅层天然气, 其盖层主要发育深海泥、块体流和水合物。作为判断油气成藏及资源量的关键因素, 目前对盖层研究主要针对深层固结岩石地层, 而涉及浅层未固结盖层的研究较少。基于自主设计的多功能岩心驱替装置, 模拟靶区泥岩样品在实际海底地层赋存状态下, 测量了未固结沉积物的突破压力与渗透率, 分析不同条件下 (温度、上覆应力、地层水矿化度、矿物成分、含水率等) 对突破压力和渗透率的影响。实验结果表明, 深水浅埋条件下泥质沉积物突破压力值 0.7-1.7 MPa 之间, 渗透率在 0.18 mD 左右, 在海底地层中可以形成稳定的封闭盖层。突破压力随上覆应力增强而增大、随地层水矿化度提高而降低, 随黏土矿物含量提高而增大等。该研究对浅层天然气盖层封盖能力评价, 浅层气资源勘探及盖层封闭机理研究具有重要意义。

S76-O-1

2.7Ma 北半球大冰期导致东亚夏季风主导周期转型

张浣荻^{1,2}, 郝青振^{1,2*}, 庞尔成³, 孙永硕³, 刘玉龙³, 卞秋曼³, 史锋¹, 秦小光¹, 谭程鹏⁴, 高新勃⁵, 邓成龙^{1,2}, 郭正堂^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

2 中国科学院大学

3 山西省地质勘查局二一七地质队有限公司

4 中国地质大学 (北京), 能源学院

5 中国地震局地质研究所

* haoqz@mail.iggcas.ac.cn

东亚夏季风轨道尺度变率如何响应 2.7Ma“北半球大冰期加剧”(Intensification of Northern Hemisphere Glaciation), 是尚未解

决的重大科学问题。研究的难点在于,环境记录的沉积过程往往比较复杂、指标存在多解性,由此导致不同研究揭示的季风周期规律往往互相矛盾。我们对夏季风区北缘的大同盆地 DY-1 钻孔岩心开展了系统的沉积学和古气候学研究,从盆地水文变化的角度,为理解 3.6–1.8Ma 期间东亚夏季风周期演变规律提供了关键证据和认识。对该钻孔样品开展了粒度、色度、频率磁化率等测量。年代标尺是根据毕云鹏等(2022)的磁性地层结果,利用粒度权重模型内插建立的。在指标学研究的基础上,开展了多窗谱分析、连续小波分析、集合经验模态分解等周期分析,系统研究了季风周期性演变、不同周期组分的贡献,取得了如下认识: 1) 最细两个粒度端元组分 EM 和 EM2(众数粒级分别 4.2 和 10.8 μm)之和,即(EM1+EM2)%,可以作为夏季风降水的指标。2) (EM1+EM2)%时间序列的阶段性变化揭示,自 3.6Ma 以来,东亚夏季风的整体强度在~2.7 Ma、1.8 Ma 经历了 2 次阶段性减弱。3) (EM1+EM2)%时间序列的周期分析揭示,在 3.6–2.7 Ma, ~41-kyr 周期(44-kyr)为主要周期,方差贡献最大(达 20.0%);而 2.7–1.8 Ma, ~100-kyr 周期组分(83-和 138-kyr)贡献最大,表明在 2.7Ma 前后,由晚上新世~41kyr 主导周期转为早更新世~100-kyr 周期。4) 上述周期转型与深海氧同位素曲线显示的 2.7Ma 以后~41-kyr 周期增强截然不同,但与北半球高纬度地区的海表温度证据具有吻合性,暗示夏季风 100-kyr 周期的加强可能源于北半球高纬度信号。这一结论暗示,早更新世深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的 41-kyr 主导周期是否客观反映了北极气候变化值得进一步思考,这是第四纪轨道尺度气候动力学研究的新线索。

S76-O-2

黄土高原轨道周期的空间差异

肖国桥^{1*}, 赵得爱², 吴海斌³, 田少华², 戴高文², 郝青振³, 黄春菊², 尹秋珍⁴

1 中国地质大学(武汉), 地理与信息科学学院

2 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

3 中国科学院地质与地球物理研究所

4 新鲁汶大学, 地球与生命研究所地球气候研究中心

* xgqiaocug@gmail.com

中国的第四纪黄土是记录轨道尺度全球气候和东亚季风演化的最佳陆相记录之一。然而,由于黄土高原范围巨大,不同地点的黄土物质来源和气候存在一定的空间差异,物源区的空间差异是否会影响黄土的气候指标尚不清楚。我们详细对比了黄土高原东部六个剖面(靖边、定边、西峰、洛川、宝鸡、渭南)和西部五个剖面(古浪、门源、靖远、兰州、临夏)过去 70 万年高分辨率的黄土粒度的周期特征。结果发现,黄土高原东部粒度变化的主导周期为 10 万年冰量周期,岁差信号较弱;但黄土高原西部的黄土粒度除显示 10 万年的主导周期外,还同时具有较明显的岁差周期。黄土粒度周期在空间上的差异不能用沉积速率的差异和成壤所导致的土壤层合并来解释,因为黄土高原东部的靖边和定边剖面的沉积速率尽管很高,土壤层也没有合并,磁化率具有明显的岁差周期,但粒度记录缺乏岁差周期。物源研究表明,黄土高原东部的黄土更多来自其北部的毛乌素沙漠和蒙古戈壁,这些地区粉尘的产生、搬运、沉积过程主要受控于北半球冰量所影响的东亚冬季风变化,因而显示 10 万年的冰量周期;而黄土高原西部地区的黄土则更多来自青藏高原东北部,该区粉尘的产生、搬运、沉积过程除受到北半球冰量周期的影响外,还同时受中纬西风和青藏高原气候的岁差周期影响,因而同时显示 10 万年和 2 万年周期。因此,黄土高原不同区域黄土的粒度周期受到了物源区的气候周期的影响。黄土高原西部黄土的粒度变化既包含冬季风的信息,同时还包含中纬西风和青藏高原气候变化的信息。黄土高原轨道周期的空间差异性揭示出亚

洲季风区内部不同区域的气候周期可存在多样性。

S76-O-3

太阳辐射触发冰期时东亚异常的冷干事件

陆浩^{1*}, 郭菁菁¹, 尹秋珍², Louise Fuchs¹, 吴志鹏², 孙有斌³, Martin Ziegler¹, Francien Peterse¹

1 乌特勒支大学, 地球科学系

2 新鲁汶大学, 地球与生命研究所, 地球与气候研究中心

3 中国科学院地球环境研究所, 黄土科学国家重点实验室

* h.lu2@uu.nl

目前对过去东亚夏季风变化的认识主要基于中国黄土-古土壤序列和石笋氧同位素记录。尽管这些记录已为东亚夏季风强度及其驱动机制研究提供了重要依据,但由于缺乏能够独立定量重建季风区温度和降水量的指标,二者在轨道时间尺度上的变化关系尚未得到充分理解。本研究选取黄土高原东部的邠山黄土剖面,利用支链甘油二烷基甘油四醚(brGDGTs)指标,定量重建了过去 260 ka 以来的高分辨率地表温度(MAAT)和年均降水量(MAP)变化。重建结果显示,温度和降水量变化均表现出显著的~21 ka 岁差周期信号,但在较长时间尺度上,二者的变化趋势存在明显的差异。通过与瞬变型气候模拟实验(LOVECLIM)结果对比,发现重建的温度和降水量记录主要受北半球夏季太阳辐射控制。然而,在多个岁差时间尺度上,年均降水量变化可能还受到其他因素的调控。值得注意的是,重建的记录揭示了冰期时发生的异常冷干事件,其温度降低特征与模型模拟的生长度日(GDD0)下降相匹配,但模型并未模拟出异常的干事件。这些事件的发生时间与北半球夏季太阳辐射达到临界阈值(可能触发冰期发育)的时间点高度一致。模拟结果也表明,间冰

期时,太阳辐射诱发的冷事件被同期较高的温室气体浓度所抵消,这一现象凸显了温室气体对气候异常事件的调节作用。本研究通过结合 brGDGTs 定量重建与气候模拟数据,系统揭示了东亚季风区温度和降水在轨道尺度上的协同与差异变化特征。研究成果不仅深化了对东亚夏季风动力学的认识,也为预测未来极端气候事件(如持续性干旱和极端冷)提供了古气候参考依据。

S76-O-4

亚洲冬夏季风在晚上新世北半球大冰期的不同步转变

敖红^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所

* aohong@ieecas.cn

亚洲夏季风(ASM)与冬季风(AWM)对人类社会发展具有重要影响,但其现代格局的形成时间和机制仍不明确。本研究基于中国黄土高原单一剖面记录,并结合气候模型模拟,重建了北半球大冰期(iNHG)过程中亚洲夏季风(ASM)和亚洲冬季风(AWM)的协同演化。我们的百年分辨率记录首次揭示了 ASM 和 AWM 在北半球冰期强化期间呈现异步增强特征。这一重大季风重组事件与上新世晚期加速降温密切相关,且该结论得到气候模型模拟的验证。约 270 万年前(与 iNHG 起始同步),ASM 降水格局重组为现代模式,表现为冰期强度空前减弱以及显著的轨道尺度振荡;而 AWM 在 270 万年前略有增强,直到约 260 万年才出现明显强化。现代 AWM 格局的确立比 ASM 重组晚约 10 万年,与 iNHG 的第二阶段同步发生(全球冷却加剧期)。综合全球上新世-更新世气候记录可知,不同区域和季节的气候系统对 iNHG 的响应具有全球异步性和阶梯性特征。若将上新世暖期作为未来变暖的古气候参

照, 我们推断当前观测到的 ASM 持续增强与 AWM 逐渐减弱趋势将持续发展。

S76-O-5

轨道尺度中国东部干湿古气候变化: 洞穴石笋多指标记录 and 古气候模拟的证据

张宏斌^{1*}, Michael L. Griffiths², 程海³, 戴高文⁴, 张旭⁵, 乔梁⁶, 谢树成¹

1 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 威廉帕特森大学

3 西安交通大学

4 长江大学

5 中科院青藏高原所

6 复旦大学

* zhanghb@cug.edu.cn

中国 64 万年洞穴石笋氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)记录为重建轨道尺度东亚季风演化提供了独特视角, 阐明岁差主导的轨道尺度东亚大陆与邻近海域之间季风水汽输送过程。然而, 亚洲季风区的石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录却呈现广泛的空间一致性, 而现代器测数据和水文气候重建均表明东部季风区干湿古气候变化存在显著空间异质性, 这一矛盾凸显出轨道尺度区域干湿古气候气候信息的缺失。

本研究基于长江中游豪猪洞的多指标石笋记录($\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、微量元素), 结合北方石笋和黄土多指标序列及古气候模拟, 系统揭示了深海氧同位素 6 阶段(MIS6)及倒二冰消期轨道尺度中国东部干湿古气候时空变化。结果表明, 轨道尺度, 当夏季太阳辐射偏低(MIS6a, MIS6c)、东亚夏季风减弱时, 中国东部呈现“中部湿润-北部干旱”的反向水文气候格局; 反之, 当夏季太阳辐射偏高(MIS6d, MIS6b, MIS5e)、东亚夏季风加强时, 中国东部呈现“中部干旱-北部湿润”的干湿气候格局; 这一干湿古气候的偶极子特征在

末次间冰期早期和全新世早期达到峰值, 这时期北方达到湿润气候极大值, 而中部地区出现大范围的石笋生长停止或沉积间断, 指示区域大范围干旱。我们提出轨道高倾角和低岁差耦合, 促使夏季西风急流最大程度北移, 直接驱动东亚夏季雨带的向北的纬向位移; 与此同时, 印度洋-太平洋暖池(IPWP)热含量的峰值增强了低纬度对流活动, 激发类拉尼娜态海气耦合响应, 进一步放大区域干湿差异。

S76-O-6

太阳辐射在第四纪长期气候演化中的潜在作用

马小林^{1*}, 党皓文², 马文涛³, 田军², 金晓波², 姜茜¹, 金章东¹

1 中国科学院地球环境研究所

2 同济大学

3 自然资源部第二海洋研究所

* maxl@ieecas.cn

第四纪地球气候以长期降温为主要特征, 有限的大气 CO_2 下降和极地冰盖扩张及相关的正反馈过程并不能完全解释第四纪的降温趋势。米兰科维奇理论指出北半球中高纬夏季太阳辐射量的变化对于第四纪冰期旋回至关重要。然而北半球中高纬夏季太阳辐射量在第四纪长期气候演化中的潜在作用尚不清楚。本研究通过对过去 2 Myr 逐月太阳辐射量进行积分, 结果显示两半球中高纬度夏季太阳辐射量的积分结果与全球平均 SST 演化一致, 提出偏心率引发的两半球中高纬夏季太阳辐射量的演化, 结合大气 CO_2 下降和大洋环流重组及其相关的正反馈过程, 共同驱动了第四纪的长期气候演化和两半球冰盖的生长。

S76-O-7

中中新世大洋蒙特利碳位移事件 40 万年长偏心率周期的成因机制

田军^{1*}, 杜金龙¹, 刘舒薇¹, 汪品先¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* tianjun@tongji.edu.cn

新生代大洋底层海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 呈现显著稳定的 405ka 偏心率长周期变化, 尤其在中新世 (17-13.5 Ma) 期间最为典型, 被称作蒙特利碳位移事件 (MCIE)。由于偏心率对太阳辐射的贡献非常微小, 探究中新世 MCIE 事件期间大洋碳储库显著的 405ka 周期的形成机制成为古海洋学的未解之谜。在大洋底栖有孔虫碳稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 记录曲线上, MCIE 事件表现为一系列 $\delta^{13}\text{C}$ 重值事件 (CM, CM1-6), 具有典型的 405ka 周期, 而且在一个 405ka 周期之内, $\delta^{13}\text{C}$ 的正偏幅度可以超过 1‰。传统的“颗粒有机碳埋藏”假说认为, MCIE 事件主要由 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负的颗粒有机碳埋藏增加造成。但是, 最新的有机碳埋藏数据集显示, MCIE 期间可能是整个新近纪有机碳埋藏最低的时段, 进而从根本上挑战了传统认识, 使得 MCIE 期间 $\delta^{13}\text{C}$ 的 405ka 周期的成因机制成为亟待解决的科学问题。本研究基于溶解有机碳假说, 借助实验室器测溶解有机碳光降解实验, 使用箱式碳循环模式, 开发并耦合了惰性溶解有机碳 (RDOC) 模块, 开展了数值模拟研究。数值试验结果表明, MCIE 期间, 高深部释气作用与火山喷发事件促使海洋惰性溶解有机碳 (RDOC) 容量近乎翻倍, 在有机碳埋藏减少的条件下反而容纳了更多 ^{12}C , 是海水 $\delta^{13}\text{C}$ 正偏的主要驱动因子。在 405ka 周期上, RDOC 的降解速率受到高纬深水形成区局地太阳辐射控制, 与低纬风化通量变化协同作用, 共同驱动海洋 $\delta^{13}\text{C}$ 的周期性节律。本研究将 RDOC 过程纳入深时碳

循环动力学过程, 从碳同位素物质平衡角度初步验证了“溶解有机碳假说”。

S76-O-8

亚北极太平洋轨道尺度上升流变化与全球大气 CO_2

姚政权^{1*}, 石学法¹, 尹秋珍², Samuel Jaccard³, 刘焱光¹, 郭正堂⁴, S. A. Gorbarenko⁵, 陈天宇⁶, 吴志鹏², 南青云⁷, 邹建军¹

1 自然资源部第一海洋研究所

2 Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

3 University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

4 中国科学院地质与地球物理研究所

5 V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Science, Vladivostok, Russia

6 南京大学

7 中国科学院海洋研究所

* yaozq@fio.org.cn

第四纪时期大气二氧化碳浓度表现出显著的冰期-间冰期旋回变化, 其幅度最大可达 100 ppmv, 揭示其变化及机制一直是地球科学界关注的前沿科学问题。在过去的几十年中, 科学家们对过去冰期旋回中大气二氧化碳浓度变化及机制进行了深入研究, 基本确立了极地及亚极地高纬度海洋, 特别是南大洋, 在调控大气二氧化碳浓度变化中的关键作用。然而, 亚北极太平洋作为全球最大的呼吸碳库, 在全球碳循环及大气二氧化碳浓度变化中的贡献并未受到足够的重视。通过对西北太平洋皇帝海山取得的一支长为 7.6 m 的沉积岩芯进行高分辨率年代学、沉积学、地球化学等综合分析与研究, 我们重建了过去 55 万年以来西北太平洋古生产力与海水上涌变化历史。研究结果显示, 该区域生产力和上涌变化呈现显著的冰期-间冰期及轨道周期变化特征, 不仅包含 100 ka 和 40 ka 周期, 还具有显著的 20 ka 的岁差周期特征。结合

数值模拟结果,我们发现,冰盖变化与岁差是造成上述变化的主要控制因素。在间冰期气候温暖且北极夏季日照强烈时,北半球西风带增强和/或北移导致了亚北极太平洋区域富营养盐水体的上涌增强,从而促进了海洋初级生产力的增加。这一增强的上升流不仅提供了丰富的养分,还促使之前封存于北太平洋深海中的二氧化碳释放至大气中,进而显著影响了全球碳循环和气候系统。这些结果说明在晚第四纪冰期旋回中,尤其是在 2 万年的时间尺度上,北半球西风驱动的亚北极太平洋水体上涌过程对大气中二氧化碳浓度变化具有重要的调控作用,这一认识强调了亚北极太平洋在全球碳循环中的角色。

S76-O-9

陆架碳酸盐埋藏调控了新生代碳循环的偏心率韵律

刘丰豪^{1*}, 黄恩清¹, 杜金龙¹, 马文涛², 柳中晖³, Lucas J. Lourens⁴, 田军¹

1 同济大学,海洋地质全国重点实验室

2 自然资源部第二海洋研究所,卫星海洋环境监测预警全国重点实验室

3 香港大学,地球科学系

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

* liufenghao@tongji.edu.cn

地球轨道的周期性变化通过调控入射太阳辐射的总量与分布,进而影响地球的气候模式。各类古环境记录都清晰的展现了轨道驱动的强烈印记。其中,以深海沉积物中的底栖有孔虫稳定氧和碳同位素记录为代表,它们分别指示的全球冰量/深海温度和大洋碳储库的演变在新生代 6600 万年以来具有显著的 10 万和 40 万年偏心率周期,尤以 40 万年周期最为稳定突出,被比喻为地球的“心跳”。在 600 万年以来的“两极有冰”时期,底栖有孔虫氧和碳同位素记录在偏心率周期上呈现反相位变化。这与 6600 万年至 600 万年前“两极无冰”和

“单极有冰”时期两者呈现同相位关系形成了鲜明对比。这种相位反转反映了深海温度、冰冻圈和碳循环之间基本关系的重大变革。当前,随着全球变暖的持续加剧以及北半球冰盖的快速融化,地球似乎正在从“两极有冰”向“单极有冰”状态过渡。因此,理解氧和碳同位素之间的同相位关系变得愈加重要,然而其潜在机制仍不清楚。本次研究,我们展示了中新世深海碳酸根离子饱和度的高分辨率记录。这一指标为海洋碳酸盐系统提供了关键信息。结合模拟结果,我们提出,在偏心率极大值时期,南极冰量的减少和海水温度的升高导致海水氧同位素值下降。同时,增强的季风降雨和化学风化作用将溶解无机碳和碱度从陆地输送至因海平面上升而被淹没的大陆边缘。这一过程引发了大量碳酸盐埋藏从深海盆地向大陆架的重新分布,降低了海水碳酸根离子浓度,并降低了溶解无机碳库的碳同位素值。我们的结果强调了低纬度水文循环在调控温暖气候条件下碳循环的关键作用。

S76-O-10

岁差和半岁差信号对南海珠江口盆地早一中中新世水文气候演变的强迫

张泽^{1*}, 张仲石², 黄春菊³, David B. Kemp³, 王治祥⁴, 张瑞尧⁵

1 中国地质大学(武汉),环境学院

2 北京大学,物理学院

3 中国地质大学(武汉),地球科学学院

4 中国科学院青海盐湖研究所,盐湖地质与环境重点实验室

5 湖北师范大学,城市与环境学院

* zhangze9052@163.com

在全球变暖背景下,中新世气候适宜期(MMCO,约 17–14 Ma)及其后的气候转型期(MMCT,约 14–13 Ma)构成研究暖期气候动力学及冰盖–季风耦合机制的关

键时段。MMCO 特征为大气 CO₂浓度较高（约 500 ppm）、经向温度梯度较弱，而 MMCT 则伴随着东南极冰盖的永久性建立、全球海平面显著下降（约 40–90 米）以及大气 CO₂浓度的明显降低（约 100 ppm），对热带水循环及边缘海沉积体系产生了深远影响。然而，早–中中新世期间东亚季风系统的轨道尺度演化机制及其与冰盖扩张之间的耦合关系仍存在较大争议，主要原因在于高分辨率、连续性的水文气候记录资料仍较为稀缺。本研究以南海珠江口盆地早–中中新世（约 23–10 Ma）海陆过渡沉积序列为对象，基于高分辨率自然伽马测井数据（GR，时间分辨率约为 1.5 kyr）与生物地层学结合分析，系统揭示了该时期珠江口盆地水文气候变化的轨道强迫特征。研究结果显示，早中新世（约 23–13.3 Ma）期间，GR 序列呈现出显著的 21 kyr 岁差及 10 kyr 半岁差周期信号，表明南海陆架沉积体系对岁差驱动的降水–径流变化高度敏感，反映出暖期季风系统与低纬度太阳辐射过程之间的紧密耦合关系。GR 序列中显著的半岁差信号进一步证实，珠江口盆地水文气候对热带太阳辐射变化具有高度响应性。自约 13.3 Ma 起，随着全球气候转冷和东南极冰盖的快速扩张，GR 序列发生明显变化：沉积旋回的振幅显著增强，主导周期由岁差主控转变为偏心率（100 kyr）与斜率（41 kyr）协同驱动。结合沉积相分析，我们认为这一变化反映了全球海平面下降（约 60 米）所引发的南海陆架地貌重塑过程，使得珠江口盆地沉积环境由半深海过渡为浅海–河流三角洲的海陆交互相，其水文气候演化自此受控于天文强迫所驱动的海平面波动，呈现出不同于早中新世的响应机制。

S76-O-11

温室白垩纪由岁差引起的千年尺度气候旋回

张治锋^{1*}，黄永建^{1*}，王天天¹，尹秋珍²，马超³，程海⁴，André Berger²，王成善¹

1 中国地质大学（北京），地球科学与资源学院
2 Université catholique de Louvain, Earth and Climate Research Center, Earth and Life Institute

3 成都理工大学，沉积地质研究院

4 西安交通大学，全球环境变化研究院

* 2024700006@cugb.edu.cn

* 2007012139@cugb.edu.cn

千年尺度（1–10kyr）的气候变化在温室气候条件下一直存在，但其驱动机制尚不明确。本研究通过多指标重建，首次获得了坎潘阶早期（~81Ma）温室气候背景下东亚中纬度地区与南大西洋低纬度地区的百年分辨率地质记录。这些记录揭示了显著的千年尺度干湿气候旋回，其中最突出的 4–5 千年周期（相当于岁差周期的 1/4）与轨道偏心率调制的振幅变化关系，与理论计算的赤道季节性太阳辐射最大值变化曲线完美吻合，证实了这种热带太阳辐射强迫对全球气候的调控作用。其他千年周期主要通过非线性振幅调制和组合音效应从 4–5 千年主周期衍生而来。指标重建与理论计算共同证明，在温室气候背景下，岁差周期可直接激发千年尺度气候变化。这一发现建立了天文参数与千年尺度气候周期之间的确定性联系，意味着在未来类温室气候（特别是人为变暖背景下）高频气候振荡可能具有可预测性。

S76-O-12

基于地球系统模型 cGENIE 的早始新世轨道气候变率对气候–碳循环的响应特征研究

蒋青青¹，李明松^{1*}

1 北京大学，地球与空间科学学院

* msli@pku.edu.cn

早始新世时期, 尽管地球处于两极无冰盖的温室-热室状态并缺乏极地冰盖反馈, 地质记录中仍保留了与天文轨道周期高度对应的准周期信号, 表明轨道变化持续调控着气候-碳循环系统的演化。先前的数值模拟与沉积记录研究主要聚焦于全球平均响应, 然而, 在较高 CO₂ 水平的热室情景下, 不同纬度带和不同区域的关键气候变量(如表层海水温度)对轨道变率的空间异质性响应尚未得到系统量化评估。本研究利用中等复杂度地球系统模型 cGENIE, 分别在 3 倍前工业大气 CO₂ 浓度(Pre-industrial atmospheric level, PAL)与 7 倍 PAL 的 CO₂ 情景下开展平衡态模拟, 重点比较表层海水温度、碳酸盐饱和度和海洋氧化还原指标在低、中、高纬度带对轨道参数的耦合响应特征。通过比较不同 CO₂ 背景下的空间异质性, 本研究有望系统量化轨道和 CO₂ 双重驱动对早始新世气候-碳循环系统时空演变的调控机制。

S76-O-13

轨道驱动触发的 AMOC 突变和多百年变率

尹秋珍^{1*}, 吴志鹏¹, 梁明强¹, Andre Berger¹

¹ Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute

* qiuzhen.yin@uclouvain.be

大西洋经向翻转环流 (AMOC) 是气候系统的关键组成部分, 对全球和区域气候具有重要的影响。古气候重建表明, AMOC 在不同时间尺度上均发生过显著的变化, 其驱动机制较为复杂。利用中等复杂程度的地球系统模型 LOVECLIM1.3, 本研究对过去 80 万年的古气候进行了瞬变模拟。结果显示, 除轨道时间尺度上的变化外, 缓慢变化的太阳辐射也可以触发 AMOC 的突变以及多百年变率。当北半球高纬夏季太阳辐射降低到一定的阈值时,

通过拉布拉多海和北欧海的海冰-海洋相互作用, 能够引起 AMOC 的突然减弱并伴随多百年际振荡。AMOC 的这种变化进而引起了北半球温度、降雨、植被的突变及多百年际振荡。轨道驱动触发的 AMOC 突变在间冰期末期尤为显著; 在冰期, 较低的 CO₂ 和较大的冰盖会进一步调控 AMOC 的变化。

模拟的间冰期末期突变事件的时间与海洋和陆地记录中观察到的突变时间高度吻合, 不仅验证了模拟结果的可靠性, 更为古气候记录中观察到的间冰期末期突变事件提供了合理的解释。过去 80 万年所有的间冰期末期都发生了轨道驱动触发的 AMOC 突然减弱并导致北半球的突然降温, 表明该过程对终止间冰期的温暖气候至关重要。基于过去 80 万年间冰期的结果预测, 下一个太阳辐射的阈值将在 5 万年后出现, 这意味着即使在自然驱动下当前间冰期也会是一个超长间冰期。

S76-O-14

地中海溢出流向北大西洋高纬传输的深度变化

陈新阳¹, 吴家望^{1*}, IODP397 Science Party²

¹ 中山大学, 海洋科学学院

² 国际大洋发现计划 (IODP), IODP

* wujiaw5@mail.sysu.edu.cn

地中海溢出流 (MOW) 作为源于地中海的暖咸水团, 对大西洋环流具有重要影响。尽管已有研究记录了岁差驱动的 MOW 强度变化, 但其向北输送过程中的深度变化仍知之甚少。本研究基于国际大洋发现计划 (IODP) 397 航次在伊比利亚边缘钻取的 U1588 站位, 利用陆源可分选砂 (sortable silt; SS) 和粒度端元模拟分析, 建立了可靠的近底流的水动力指标。通过对比 MOW 向北传输路径上的不同水深站位 (U1389: 644 m; U1588: 1399 m) 的 SS

和底栖有孔虫 $\delta^{13}C$ 记录,重建了 25 万年来 MOW 的垂向变化。

研究发现 MOW 演化呈现两阶段模式:约 10 万年前开始逐渐加深,至 6 万年前达到峰值并持续至今,这与千年尺度气候变率增强时期吻合。这种加深可能源于:1)北大西洋因频繁冰融水事件导致水体密度降低;2)地中海区域干旱化增强致使 MOW 密度增大。在冰期时,MOW 主体深度降至 U1588 站位之下,间冰期则抬升直接影响该站位,其强度变化受岁差调控。U1389 与 U1588 站位的流速差异呈现显著的岁差周期,反映了 MOW 在向北传输过程中的能量衰减,伴随着深度的迁移。在岁差极大值(北半球夏季辐射量极小值),MOW 不仅强度增强,而且盛行深度更深;反之亦然。这是因为 MOW 在增强的同时,伴随着其盐度和密度的增加,因此会加剧 MOW 与周边海水的性质差异,从而导致其在传输过程中衰减更多。我们的结果揭示了岁差周期通过调控 MOW 强度和深度影响其北向输运的重要机制,通过热盐输送实现低纬度向高纬度的气候信号传递。

S76-O-15

中布容事件前后热带东印度洋上层海洋热结构的转变

张俊茹^{1,2}, 常凤鸣^{1,2,3*}, 李铁刚^{3,4*}, 唐璐瑶^{1,2}

1 中国科学院海洋研究所,海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院大学

3 青岛海洋科学与技术试点国家实验室,海洋地质实验室

4 自然资源部第一海洋研究所,海洋地质与成矿重点实验室

* chfm@qdio.ac.cn

* tgli@fio.org.cn

上层海洋温度和分层与区域或海洋盆地尺度的水文变化密切相关,在气候和海洋系统中发挥着至关重要的作用。作为热

量和水分输入的重要区域,热带东印度洋上层水的长期水文演变对区域气候模式和海气相互作用有着重要影响。理解东热带印度洋长期气候变化是揭示热带热量分布和海洋动力学调节机制的关键。然而,热带东印度洋上层水热结构的长期变化及其与区域和大尺度水文气候演变的关系仍不明确。在本研究中,我们利用西北澳大利亚大陆坡上的 Sonne 257 号考察船岩心 18548 和国际海洋发现计划(IODP)U1482 站位的样品,基于浮游有孔虫 Mg/Ca 比值,重建了过去 62 万年的热带东印度洋表层海水温度(SST)和温跃层水温度(TWT)。SST 演化显示出明显的冰期-间冰期变化,主要由偏心率 and 岁差驱动,海平面变化调节着印尼穿越流(ITF)及太平洋与印度洋之间的热量交换。相比之下,TWT 变化表现出更大的幅度和更强的对 ITF 动力学的敏感性,尤其是在冰期。此外,岁差驱动的日照变化通过大气环流和海洋热量输送影响 SST 和 TWT。SST 与 TWT 的差值(ΔT)的周期性变化在大约 400ka 左右发生显著转变,很好地对应了中布容事件(MBE)的时间,标志着上层海洋热结构的重大转变。通过分析这些变化,发现海平面变化和岁差驱动的大气环流是导致这种转变的主要因素。这些发现突显了偏心率和岁差在调节上层海洋热演化中的综合影响,为理解热带东印度洋在中布容事件期间的海洋气候变化提供了重要证据,揭示了海平面变化和大气环流变化在调节海洋热结构中的关键作用。

S76-O-16

晚上新世格陵兰冰盖演化周期特征研究

谭宁^{1*}, 郭正堂¹, 许晨曦¹, 张仲石²

1 中国科学院地质与地球物理研究所,环境演变与碳循环学科中心

2 北京大学,物理学院大气与海洋科学系

* ning.tan@mail.iggcas.ac.cn

上新世-更新世过渡期（3.0-2.5 百万年前，Ma）北极冰盖大范围建立并加强，格陵兰岛永久性冰盖形成，标志着两极冰盖共存的“冰室”地球气候开始。这一时期大气 CO₂ 浓度涵盖了工业革命前至当今水平范围（约 280 至 400ppmv），研究该时期格陵兰冰盖演化与外强迫的关系（太阳辐射、CO₂ 浓度）不仅能够加深我们对格陵兰冰盖发育机制的认识，更有助于理解格陵兰冰盖响应未来增温情景。本文基于高分辨率地球系统模型和冰盖模式，并结合多条 CO₂ 数据模拟获得的格陵兰岛冰盖体积演化序列，重点分析了格陵兰冰盖在上新世-更新世期间的演化周期特征。我们的结果显示格陵兰冰盖演化主周期是斜率周期。固定 CO₂ 浓度试验揭示当格陵兰冰盖体积小小时，其周期变化与 65°N 夏季太阳辐射变化一致性高；当格陵兰冰盖体积足够大时，其响应斜率周期信号进一步放大，冰盖主要呈现斜率周期。与冰筏记录相符的冰盖演化曲线揭示出在 2.7Ma 之后，格陵兰冰盖大范围建立会进一步加强其亚轨道至千年尺度的信号，冰盖动态变化加强，这与晚第四纪格陵兰冰芯记录的千年尺度事件加强具有一致性。与深海氧同位素对比研究发现，格陵兰冰盖对这一时期的 4 万年周期贡献主要在 2.7 Ma 之后，且整体略超前于深海氧同位素变化。这一研究进一步完善了我们对格陵兰冰盖长尺度演化特征，细化了格陵兰冰盖在上新世-更新世转型期的相对作用。

S76-O-17

南北半球海冰对轨道参数、CO₂ 和冰盖的差异性响应

吴志鹏^{1*}，尹秋珍¹，André Berger¹，郭正堂²

1 比利时新鲁汶大学，地球与生命科学研究院

2 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化与环境演变全国重点实验室

自上世纪米兰科维奇理论提出以来，轨道尺度气候变化的研究取得了突破性的进展，现已成为古气候学领域最核心、认识最深入的研究方向之一。然而，关于气候系统对不同驱动因素的区域性响应及其内部过程和反馈机制的认识仍不足。本文基于三维地球系统模型 LOVECLIM 的模拟结果，探讨了南北半球海冰对轨道参数、CO₂ 和北半球冰盖的差异性响应。结果表明，就轨道三要素而言，北极海冰受岁差影响更大，而南大洋海冰受斜率影响更大。此外，相较于北极海冰，CO₂ 在轨道尺度上对南大洋海冰的作用更显著。北极和南大洋海冰对轨道三要素和 CO₂ 的差异性响应，主要归因于南北半球海陆分布格局及反馈机制（如植被反馈）的不同。北半球冰盖对北极海冰的影响显示较强的非线性，取决于冰盖的大小和分布以及北半球夏季太阳辐射的强弱；而其对南大洋海冰的影响与冰量具有较好的正相关关系。

S76-O-18

过去四个冰期—间冰期旋回 亚非季风区温度和降水的模拟研究

张仲石^{1*}，戴高文²

1 北京大学，物理学院

2 长江大学，资源与环境学院

* zhongshi.zhang@pku.edu.cn

北半球东亚、南亚和北非季风系统作为全球气候系统的关键组成部分，其轨道尺度变率机制仍是古气候学研究的关键科学问题。然而当前研究仍面临了诸多挑战，一是季风区温度与降水在轨道尺度上的变率特征及驱动机制尚未明晰；二是各季分子系统间气候响应的异质性缺乏系统认知。为此，本研究基于 NorESM-L 模式对过去

四个冰期-间冰期旋回开展数值模拟,取得以下系统性认识:

在降水方面,模拟结果揭示了显著的季风子系统空间分异特征。东亚季风区呈现独特的"三极"降水模态,表现为华北、华南与长江流域的反相位变化,该模态受北半球夏季太阳辐射调控的副热带高压所主导;南亚季风区则表现为"南-北"偶极子型,其变率主要受哈德莱环流强度及热带辐合带位置调控,夏季太阳辐射是主要驱动因子。

在温度方面,亚非季风区表现出显著的时空分异规律。东亚季风区年均温呈现显著的 10 万年周期,主要受控于温室气体浓度和北半球冰盖变化。不同于东亚季风区,北非和南亚季风区全年冷暖程度主要取决于区域冬季温度,夏季温度的贡献微弱;且北非与南亚热带季风区的年均温表现出 2 万年岁差周期占主导,其变率与北半球冬季太阳辐射显著正相关,表明该区域年均温主要取决于岁差调控的冬季太阳辐射。

我们的模拟研究首次系统揭示了亚非季风区水热配置的解耦机制及其复杂性。在东亚季风区,温室气体主导温度变化而夏季太阳辐射调控降水变率;在北非和南亚热带季风区,冬季太阳辐射控制温度变化而夏季太阳辐射驱动降水变率。这些发现不仅深化了对古季风系统轨道尺度变率机制的认识,也为理解现代季风系统对气候强迫的响应提供了重要的古气候约束。

S76-O-19

十年分辨率中新世记录揭示的碳-气候耦合动力学及其跨尺度效应

张一歌^{1*}, Daianne Starr², Qin Leng³, Duo Chan⁴, Jeffrey Sachnik², Jiaqi Liang³, Hong Yang³, Yangyang Xu²,

Bumsoo Kim², 沈若夏¹, Ran Feng⁵, Ann Pearson⁶

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 Texas A&M University

3 Bryant University

4 University of Southampton

5 University of Connecticut

6 Harvard University

* zhangyige@gig.ac.cn

当今全球气温的上升明显滞后于大气 CO₂浓度的迅速增加。这种滞后现象主要归因于海洋对热量的大规模吸收和储存。该滞后效应的体现是预测未来几十年气候变化中的主要不确定因素之一。本研究通过十年尺度分辨率重建了约 1600 万年前中新世期间约 700 年时间窗口内的大气 CO₂和温度变化,旨在探讨碳-气候耦合系统的动力学特征及其跨时间尺度效应。

中中新世是地球历史上的一个显著温暖期,受频繁火山活动释放气体的影响,全球碳循环发生了明显扰动,全球平均温度比现今高约 6°C。我们对美国爱达荷州 Clarkia 湖具有年纹层的沉积物中的植物化石和脂类生物标志物进行了分析,成功构建了连续且同步的 CO₂和温度变化序列,捕捉到了 700 年间总体变暖和 CO₂升高的趋势,并记录了其上叠加的短期波动信号。

统计分析显示,在数十年时间尺度上,CO₂变化始终领先于温度变化。通过气候模型模拟,进一步证实了海洋热储存在这种延迟响应中的关键作用。传统地球科学研究认为火山活动主要在百万年尺度上影响气候系统。近年来, Huybers 等人的研究表明,轨道驱动的冰期-间冰期气候变化可能通过冰盖负荷和海平面变化影响火山活动频率,揭示了轨道尺度上的耦合机制。本研究首次探索了更短时间尺度上的耦合过程,揭示火山活动可能在十年至百年尺度上对碳循环和气候系统产生显著影响,为理解地球系统中跨时间尺度的耦合机制奠定了重要基础。

这种高时间分辨率的古气候重建，尽管来自遥远的温室世界，却为我们提供了与当今社会发展息息相关时间尺度上的气候变化约束，对深入理解碳-气候耦合动力学具有重要价值。类似这样的古气候证据对于降低 CO₂水平持续上升背景下近期气候变化预测的不确定性至关重要。

S76-O-20

全新世期间多年型厄尔尼诺—南方涛动事件频率增加趋势

陆正遥^{1*}

¹ 隆德大学，地理与生态系统科学系
* luzhengyao88@gmail.com

厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 是气候系统中的最强年际变率。多数 ENSO 事件持续时间为一年，但一部分可以持续两年或更久 (多年型)。与单年型事件相比，它们会带来累积性影响，并与全球范围内更持久的极端天气相关。本研究结合中太平洋化石珊瑚氧同位素重建数据和全新世瞬变全球气候模拟的多模型集合，探讨了近 1 万年全新世 (期间全球气候相对稳定，主要受季节性太阳辐射驱动) 以来，多年型 ENSO 事件的演变规律。研究发现，在过去约 7,000 年的代用指标中，多年型相对单年型 ENSO 事件的发生比例增加了 5 倍，同时 ENSO 周期延长，从 3.5 年增至 4.1 年。这一变化趋势在筛选后的多模式集合结果中得到了定性验证。在全新世期间，由于岁差强迫，热带东太平洋温跃层变浅和海洋上层结增强，导致多年型 ENSO 事件更频繁发生、ENSO 周期延长。这一轨道时间尺度的多年型 ENSO 的增多，叠加近期及未来人类活动引起的全球变暖，可能造成更为常见的持久性的 ENSO 灾害。

S76-O-21

东营凹陷古近系湖相页岩对厄尔尼诺南方涛动的响应特征

韩豫¹，梁超^{1*}，操应长¹

¹ 中国石油大学 (华东)，地球科学与技术学院
* liangchao0318@163.com

全球气候系统从数年到数百年的变化与多种机制有关，包括太阳强迫和厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 等。然而，由于地层分辨率和年代测定的准确性有限，第四纪以前的相关地质记录较为罕见。渤海湾盆地东营凹陷古近系湖相页岩具有保存较好的年纹层，且前人研究表明该页岩层系蕴含了天文轨道信号，因此旋回地层学和年纹层年代学研究可以对其沉积速率和时间标尺进行精确限定，为年际-百年际气候波动的研究提供基础。本研究通过对济阳坳陷重点井岩芯样品的 XRF 元素主成分分析、磁化率、灰度值扫描分析，揭示了百年尺度 (~200 ~ 240 年、~350 年) 暖/干气候和冷/湿气候的变化，可能与太阳活动周期相对应；通过碳酸盐纹层的原位 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分析，结合纹层厚度的统计分析，识别出 2.1 ~ 8.7 年周期，可能与 ENSO 遥相关作用下藻类的周期性勃发有关。在始新世温室时期识别出 ENSO 信号，表明在未来的全球变暖中，明显的 ENSO 变率将可能继续存在。

S76-O-22

冰芯的硫酸根离子数据揭示的火山活动及其周期变化规律

张朝鑫¹，黄春菊^{1*}，肖安国¹

¹ 中国地质大学 (武汉)，地球科学学院
* huangcj@cug.edu.cn

冰芯作为地球气候与环境演化的“无字档案”，记录了大气成分、火山活动、生物地球化学循环等关键信息。其中，硫酸根离子（ SO_4^{2-} ）的沉积特征尤其重要，因其直接关联火山喷发释放的二氧化硫（ SO_2 ）及其后续化学转化过程。火山活动通过硫酸盐气溶胶的辐射效应和酸雨等机制，深刻影响全球气候系统与生态系统平衡，甚至推动生物灭绝事件。因此，研究火山活动的周期性特征及其驱动机制对于未来气候变化具有重要的启示意义。通过对本研究收集来的南极、格陵兰岛和热带地区的冰芯硫酸根离子浓度数据序列的整理和清洗，利用多尺度自适应阈值框架，系统性提取区域火山活动信号的方法及多时间尺度频谱分析和演化图谱分析方法，发现了冰芯硫酸根离子浓度序列记录了年代际到万年尺度的火山活动的周期性变化，包括短偏心率（~100 kyr）、地轴倾角斜率（~41 kyr）及岁差（~23 kyr）的米兰科维奇周期信号和 200 年、88 年、11 年的太阳活动周期信号，揭示了火山活动的不同周期（太阳活动周期及轨道尺度）驱动的潜在关联及其跨尺度耦合机制。

S76-O-23

树轮古气候指标变化的周期信号挖掘

步静萱¹，黄春菊^{1*}

¹ 中国地质大学（武汉），地球科学学院

* huangcj@cug.edu.cn

树木在生长过程中，每年会形成一个新的年轮。年轮的宽度、密度和同位素等指标可以反映当年的生长条件，如温度、降水量和土壤状况。树木年轮作为常用的气候代用指标载体具备定年准确、分辨率高、连续性强、易于获取和数据量大等优点，为重建过去的气候变化提供了巨大的潜力。树轮指标的短周期信号在解释树木生长对环境变化的响应中起着至关重要的

作用。而行星轨道周期则涉及地球与太阳、木星等天体之间的相对位置变化，这些变化可能通过影响地球的气候模式进而影响树木生长。本研究通过分析树轮短周期信号和行星轨道周期的相关性，探索这些天体周期对树木生长的影响，从而为理解地球生态系统的复杂动态提供新视角。本研究通过国际树轮数据库（ITRDB）以及相关文献搜集树轮数据。目前已搜集 6327 条树轮数据，大多分布在北美、亚洲及欧洲，少数分布于非洲、南美及大洋洲。其中大多数代用指标为树轮宽度，少数为碳氧同位素指标及晚材和早材密度。天文旋回分析包括对数据重采样和去趋势等预处理，后进行能谱分析和小波分析，以识别树轮记录的周期信号。已对全球范围内包括中国、韩国、日本、澳大利亚、新西兰等近 400 条单个数据进行了旋回分析，他们都记录了明显的年代际和百年尺度的变化周期，这些周期信号与重建的太阳黑子和总太阳辐射序列中的太阳活动周期具有明显的相关性，并且发现他们与行星轨道及其汇合周期也具有较好的对应关系。据此推测，地球气候系统不但受到太阳活动周期变化的影响，同时也受到行星轨道变化的驱动，导致地球气候变化都具有年代际至百年尺度的变化周期。这项研究不仅有助于理解过去气候变化过程，还可以为预测未来气候变化趋势提供科学依据。

S76-O-24

晚古生代冰期轨道尺度大气经向热输运变率

魏韧^{1,2}，金之钧^{1,2*}，李明松²，胡永云³，张瑞⁴

¹ 北京大学，能源研究院

² 北京大学，地球与空间科学学院

³ 北京大学，物理学院

⁴ 中国石油大学（北京），地球科学学院

* jinzj1957@pku.edu.cn

晚古生代冰期 (LPIA) 为研究天文驱动过程的深时冰室气候演变提供了独特窗口。本研究利用全耦合地球系统模式 (CESM1.2.2) 开展一系列理想化古气候数值模拟, 旨在探究不同轨道参数配置对晚古生代冰期期间经向大气热输送及其反馈机制的影响。结果表明, 偏心率、斜率和岁差强迫对全球温度分布、大气环流和能量传输格局具有显著调控作用。相比于斜率, 研究特别强调了偏心率和岁差信号通过大气动力学过程和能量输送在调控低纬太阳辐射、增强气候不稳定性方面的关键作用, 从而引发显著的非线性全球气候响应。这些发现不仅为理解晚古生代冰期轨道尺度气候变化提供了新视角, 更为揭示该时期生物多样性与环境演化间的相互作用机制奠定了重要科学基础。

S76-P-1S

上新世以来赤道西太平洋上层水体热结构的轨道尺度演变特征

任钰¹, 彭娜娜¹, 王星星¹, Yair Rosenthal², 党皓文^{1*}, 翦知湔¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 Rutgers University, Department of Marine and Coastal Science and Department of Earth and Planetary Sciences

* hwdang@tongji.edu.cn

自上新世暖期以来, 全球气候逐渐变冷, 北半球冰盖逐渐增长, 地球轨道周期所产生的气候效应分阶段增强和转变, 其中一个关键机制是低纬海洋热量和水汽向高纬的传输, 然而目前相关研究仍然不足。基于赤道西太平洋 IODP U1489 站千年分辨率 (岩芯长度约 80 m, 年龄范围为约 4 Ma 以来) 的混合层和温跃层浮游有孔虫壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 记录, 本研究分析了 4 Ma 以来赤道西太平洋上层水体热结构在轨道尺度上的周期演变特征, 结果显示: 浮游有孔虫壳体

$\delta^{18}\text{O}$ 在约 4.0~3.1 Ma 期间的轨道周期振幅极弱, 约 3.1~1.5 Ma 期间呈现显著的斜率周期, 约 1.5 Ma 以来轨道周期振幅增强; 混合层属种 *Globigerinoides ruber* 壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 在约 0.9 Ma 以来显示 100 ka 周期主导; 温跃层属种 *Pulleniatina obliquiloculata* 壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 显示出更强的岁差周期特征, 在约 3.1~1.5 Ma 期间逐渐增强, 约 1.5 Ma 以来岁差信号保持稳定。这些结果揭示, 上新世暖期以来西太平洋暖池区上层水体热结构受岁差调控的低纬日照季节性变化与斜率调控的经向太阳辐射量梯度共同影响, 约 3.1 Ma 和约 1.5 Ma 的轨道周期特征转变分别发生于北半球冰盖增长和中更新世气候转型的早期阶段, 暗示暖池区上层水体热结构变化与高纬和全球气候重大转型之间的潜在联系。

S76-P-2S

岁差驱动的末次盛冰期以来西太平洋暖池温度季节性变化

袁子杰¹, 黄恩清^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* ehuanq@tongji.edu.cn

全新世气温演化及其驱动机制至今仍然存在较大争议, 主要源于气候代用指标重建结果与气候模型模拟之间的差异。近年来, 研究发现这一“模型-记录不一致性”可能与代用指标存在季节偏差有关。本研究基于西太低纬四个站位单壳体浮游有孔虫氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$) 标准偏差, 重建了自末次盛冰期 (LGM) 以来海表温度 (SST) 季节性变化。重建结果显示, LGM 以来 SST 季节性呈现南北半球反向演化趋势: 北半球从 LGM 到早全新世逐渐增强, 中晚全新世逐渐减弱, 南半球呈现出相反的变化趋势。此外, 研究区 SST 季节性幅度的经向梯度随纬度增加而增强, 响应于季节性太

阳辐射变化。结合气候模型 Trace-21ka 的瞬变模拟结果,我们认为西太暖池地区的 SST 季节性主要受岁差变化调控,未表现出对全球冰量变化或大气 CO₂浓度变化的显著响应。根据本研究的重建结果,若如以往研究所提出的那样,热带地区的代用指标更倾向于记录暖季温度变化,则可能在早-中全新世产生大暖期现象,从而解释重建与模拟之间的温度差异。

S76-P-3S

长江中游石笋多指标揭示的 MIS13 弱间冰期东亚夏季风增强与区域水文响应

宁新竹¹, 代言², 张宏斌^{3*}, 程海⁴, 薛书雨³, 周易³, 朱宗敏¹, 谢树成¹

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

2 中国地质大学(武汉), 李四光学院

3 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

4 西安交通大学, 全球环境变化研究院

* zhanghb@cug.edu.cn

深海氧同位素阶段(MIS 13, 约 530–478 kyr BP)作为中更新世一次全球冰量较高的弱间冰期,却表现出异常强烈的东亚夏季风活动,这种特殊的冰量-季风配置明显区别于传统气候模式认知,且具体机制尚不明晰。因此,研究 MIS 13 及前后阶段的季风演化机制对理解轨道尺度气候动力至关重要。

本研究基于长江中游蟠龙洞和豪猪洞多支石笋高分辨率 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 及微量元素记录,结合相邻的三宝洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录及中国北方黄土多指标记录,系统重建了 MIS 13 时期东亚夏季风(EASM)和区域干湿古气候演化历史。结果表明,长江中游洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与北方黄土粒度、磁化率和 $\delta^{13}\text{C}$ 指标记录一致,共同揭示了 MIS 13 阶段东亚季风环流的显著加强。MIS 13 期东亚季风变化整体上受岁差调控

的夏季南北半球日照量差影响,而显著的增强则与较弱北半球冰盖和较大规模南极冰盖调控的跨赤道水汽加强有关。MIS 13 弱间冰期的终止受低倾角与高岁差相位叠加的调控,触发了第四纪 MIS 12 最强冰期的发展,东亚季风强度呈现“断崖式”下跌。MIS 12 冰期内仍存在亚轨道尺度季风振荡,遵循“两极跷跷板”规律,暗示高-低纬度气候动力耦合对东亚气候的影响。进一步分析表明,岁差直接驱动季风降水脉冲,而倾角通过调节经向日照梯度间接放大海陆热力差异,二者协同调控季风强度;全球冰量则通过遥相关(如反照率-大气环流反馈)影响季风演化。

S76-P-4S

坝上地区 MIS19 间冰期高分辨率气候与植被变化特征

王莹^{1,2}, 李月丛^{1,2*}

1 河北师范大学, 地理科学学院

2 河北师范大学, 河北省环境演变与生态建设重点实验室

* lyczhli@aliyun.com

从天文背景、海冰规模和降水等来看, MIS19 间冰期是与现代间冰期最为类似的间冰期之一。认识过去类似间冰期气候和环境变化,有助于我们更好了解现代间冰期自然变化过程、影响因素及驱动机制等。坝上地区位于森林草原交错带,是暖温带到中温带、半湿润到半干旱区的过渡带。独特的地理位置与复杂的气候系统,使得坝上高原成为对全球气候变化响应敏感地区。本研究选取坝上地区察汗淖尔钻孔,使用孢粉、地球化学元素、粒度等指标研究揭示了坝上地区 MIS19 期间的气候变化特征。结果显示, MIS19 期间孢粉组合整体以草本为主,早期阔叶树含量相对较高,地球化学元素计算的干旱指数较低,粒度中值粒径较细,指示这一时期气候相对湿润, MIS19 中期,藜科、禾本科花粉增加,

干旱指数较高, 中值粒径较粗, 气候相对干旱, MIS19 晚期, 阔叶树增加, 蒿属、藜科减少, 干旱指数和中值粒径呈现下降趋势, 气候变得温凉湿润。

S76-P-5

云南埋藏木记录的更新世冰期亚洲季风季节变率

许晨曦^{1*}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

* cxxu@mail.iggcas.ac.cn

季节尺度的气候变化深刻地影响着人类农业生产和社会经济。未来增温场景下, 季节尺度气候如何变化引起气候学家的广泛关注。但是目前研究大多基于现代气象观测数据与气候模型, 但尚未达成一致认识。例如模型结果表明增温会导致印度季风爆发时间提前、雨季持续时间变长, 但器测记录却显示印度季风爆发时间在增温以来无明显变化。现代器测记录时段, 温度变幅较小, 不利用揭示温度对季节尺度气候变化的影响。因此, 亟需开展地质历史时期不同温度场景下的季节尺度气候变化研究。

目前具有季节分辨率的深时古气候代用资料较少, 而沉积地层中的埋藏木在重建过去气候季节性变化方面具有独特优势。但目前成岩作用对埋藏木树轮纤维素氧同位素组成的影响尚不明确。因此, 我们开展不同程度成岩过程模拟与埋藏木样本分析测试, 结果显示: (1)经过高温水解和真菌降解的纤维素样品, 其纤维素氧同位素基本保持不变; (2)一件受不同成岩作用影响的样品, 其高度降解部分和轻度降解部分的年内氧同位素变化模态基本一致。这些结果表明纤维素氧同位素不受成岩作用影响, 可应用于深时古气候重建。

云南玉溪地层中保存完好的更新世冰期-间冰期(MIS8/MIS9 时期)埋藏木为研究过去不同温度场景下气候季节变化提供

了机会。通过高分辨率树轮纤维素氧同位素分析, 已获得 MIS9 间冰期季节-年分辨率树轮氧同位素变化。结果显示, MIS9 时期树轮纤维素氧同位素呈 V 型变化, 生长季初期和晚期树轮氧同位素值均偏高, 中后期偏低。这一季节变化模态与现生马尾松相似, 但间冰期时期树轮氧同位素均值以及变幅均低于现代, 揭示了 MIS9 间冰期时亚洲季风的季节变率可能低于现代, 未来将进一步获得冰期树轮氧同位素季节变化, 以全面对比过去冰期、间冰期与现代气候暖期树轮氧同位素季节变化差异及其机制, 为预测增温情景下季节尺度气候变化提供证据。

S76-P-6S

过去千年欧洲夏季干旱重建

薛惠鸿^{1*}, Hugues Goosse¹, Quentin Dalaiden^{2,3}, Kristina Seftigen⁴, Fabio Gennaretti^{5,6}, 史锋⁷

1 Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute

2 Bjerknes Center for Climate Research

3 Nansen Environmental and Remote Sensing Center

4 University of Gothenburg,

Gothenburg, Gothenburg University Laboratory for Dendrochronology

5 Università Politecnica delle Marche, Food and Environmental Sciences

6 Université du Québec en Abitibi-

Témiscamingue, Institut de Recherche sur les Forêts

7 中国科学院地质与地球物理研究所, 新生代地质与环境院重点实验室

* huihong.xue@uclouvain.be

近几十年来, 欧洲夏季干旱的频率和强度不断增加, 对生态和经济造成了严重影响。然而, 我们仍不清楚过去千年欧洲水文气候的时空变率, 限制了对工业革命以来极端干旱事件的评估。在此, 我们基于数据同化方法, 利用五个气候模式以及超过一百条对湿度和温度敏感的树轮记录,

重建了过去千年的欧洲气候变化。通过与基于观测的再分析数据集和已有的代用记录重建进行对比,表明我们的重建在再现关键气候变量(表面温度,降水和 PDSI)和大尺度环流模态方面展现出显著的重建技巧。对重建结果的分析揭示,欧洲夏季干旱变率主要受暖季斯堪的纳维亚阻塞和温度强迫共同驱动,它们共同解释了超过 50%的 PDSI 年际变率。斯堪的纳维亚阻塞诱发了南北偶极干旱模式,而温度强迫则推动了欧洲空间一致的干旱变化。我们的研究强调了大气环流和温度强迫在历史时期欧洲干旱变化和未来可能变化中的关键作用。

S77-O-1

显生宙大洋经向翻转流演变

胡永云^{1,2*}, 袁帅¹

1 北京大学, 物理学院大气与海洋科学系

2 北京大学, 海洋研究院

* yyhu@pku.edu.cn

使用海气耦合气候模式,我们对显生宙大洋经向翻转流开展了系统模拟研究。结果发现,在古生代早期和中期(540-350 Ma)全球海洋经向翻转流呈逆时针运动,在北半球上升,在南半球下沉,与现在的运动方向相反。这是因为这个时期大陆主要在南半球,北半球是开阔的海洋,北半球风应力的抽吸作用远大于南半球。相对来讲,盐度的作用比较小。在潘基亚超大陆时期,陆地纵贯南北极,风应力作用减弱,海洋经向翻转流很弱,稍微弱的扰动就可以使经向翻转流运动方向反转。在新生代,随着德里克海峡打开和澳大利亚板块北移,风应力驱动的绕南极洋流增强,抽吸作用加大,全球温度降低使得盐度作用加强,北大西洋高盐度海水下沉和南半球西风抽吸的共同作用,使得经向翻转流呈顺时针运动。

S77-O-2

大西洋形成导致厄尔尼诺类型的转变

吴晟¹, 胡永云¹, 刘永岗^{1*}

1 北京大学, 物理学院

* ygliu@pku.edu.cn

不同类型的厄尔尼诺现象,例如东太平洋和中太平洋厄尔尼诺现象,对环太平洋区域乃至全球的影响大不相同。由于观测资料长度的有限,人们对于导致厄尔尼诺多样性的主要机制还未完全了解。我们利用气候模拟研究了距今 2.5 亿年以来厄尔尼诺多样性的演变。结果表明,厄尔尼诺现象一直持续存在,但在不同时期以不同类型为主。从距今 2.5 亿年到距今 8 千万年,赤道太平洋主要以中太平洋厄尔尼诺为主。随着大西洋的出现和中美洲海道的开辟,东太平洋厄尔尼诺占据了主导地位。中美洲海道关闭后(现代地形),东太平洋和中太平洋厄尔尼诺事件大致相当。其中大西洋的形成通过大气环流调节了太平洋的状态,导致东太平洋厄尔尼诺更加频繁地出现。

S77-O-3

中新世暖期太平洋深层环流—碳循环耦合: 基于菲律宾海盆 U1438B 岩芯的氧化还原指标证据

董珂^{1*}, 贾国东¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* 864926388@qq.com

中新世暖期 (Miocene Climatic Optimum, 简称 MCO, 约 17-14 Ma) 作为地质历史中典型的温室气候窗口, 为理解

全球变暖背景下海洋碳循环与深水氧化的耦合机制提供了关键类比。随后的中中新世气候转型期（Middle Miocene Climate Transition, 简称 MMCT, 约 14.2-13 Ma）是全球联动的一个快速气候变化事件，冰盖、洋流和碳循环均发生显著变化，厘清其驱动机制对理解新生代全球变冷有重要意义。太平洋深层水作为全球大洋环流的重要组成部分，其氧化还原状态演变直接影响碳埋藏与气候反馈，但其在中新世的动态过程仍存争议。本研究基于国际大洋发现计划（IODP）351 航次在菲律宾海盆（U1438B 岩芯，水深 4700 米）获取的深海沉积物样品，通过氧化还原敏感元素指标（如 U/Ba）与有机指标（Alcohol Preservation Index, 简称 API）重建了中新世深水氧化还原演化。结果表明，暖期菲律宾海盆深层水体呈现氧化特征，API 值较气候变冷期低约 40%，可能由于暖期极地无冰或冰盖小、深层水通风强、含氧水不断补充有关。进一步对比西太平洋 U1490、806 岩芯的底栖有孔虫碳氧同位素记录，发现中新世太平洋深层水团来源与传输效率的变化（如北太平洋深层水输入减少、南源深水通风减弱）可能共同驱动了区域还原环境的扩张。本研究揭示了中新世太平洋深水氧化还原状态对碳循环的正反馈机制，为评估现代气候变暖下深海碳储库的响应提供了地质证据。

S77-O-4

中中新世气候适宜期东赤道太平洋的磷循环研究

刘逸琳¹, Brandon B. Bell², Elizabeth M. Griffith², 张一歌³, 姚炜琪^{1*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 The Ohio State University, School of Earth Sciences

3 中国科学院广州地球化学研究所

* yaowq@sustech.edu.cn

工业革命后，大量二氧化碳排放导致全球升温引起生态环境扰动。中中新世气候适宜期（MMCO, 14.7-16.9 Ma）是新近纪最温暖的阶段。其大气 CO₂ 浓度处于中高水平（约 450–650 ppm），全球年地表平均温度较工业化前升高了约 5.3–11.5°C，赤道至两极的温度梯度减弱。因此，MMCO 时期被认为是未来气候变暖的潜在类比。该时期底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 及 CaCO₃ 记录均呈现出明显的 100kyr 周期性波动，表明偏心率强迫对气候、生产力和碳循环产生重要影响。然而，MMCO 时期 100kyr 偏心率周期与海洋生物泵、营养盐再循环之间的反馈机制尚不清晰。本研究基于东赤道太平洋 IODP 第 321 航次 U1337 站点的沉积物记录，分析了不同磷组分（包括吸附态磷（P_{ex}）、铁结合磷（P_{Fe}）、自生磷（P_{auth}）、有机磷（P_{org}）、碎屑磷（P_{detri}）、总有机碳质量累积速率（TOC MAR）、蛋白石以及海洋重晶石的质量累积速率（BAR）。并利用引入磷循环的“长期海洋-大气-沉积物碳循环储库模型”扩展版本（LOSCAR-P），重建了在 100kyr 周期的轨道强迫下海洋碳-磷循环的耦合演化机制。我们的结果表明 100kyr 周期的偏心率变化调控了生物泵的效率，并进一步驱动了 MMCO 期间的碳同位素扰动。本研究成果为理解生物泵对气候变化的响应机制提供了新的视角。

S77-O-5

晚白垩世赤道大西洋构造演化对氮循环和海洋通风的控制

杜勇¹, 宋虎跃^{1*}, Thomas J. Algeo¹

1 中国地质大学（武汉），地质微生物与环境国家重点实验室

* hysong@cug.edu.cn

晚白垩世赤道大西洋通道 (EAG) 的开启从根本上改变了海洋环流和生物地球化学循环。现有研究主要集中在 Cenomanian-Turonian 海洋缺氧事件 (OAE-2) 的海洋古环境, 相关研究显示 OAE-2 期间全球海洋氮同位素 ($\delta^{15}\text{N}$) 值较低 ($<0\text{‰}$), 生物可利用氮源以铵为主导。然而, OAE-2 之后, OAE-2 事件后伴随赤道大西洋通道逐渐加深拓宽, 氮循环和氧化还原演化过程仍不明确。本研究基于来自 Demerara Rise 的 ODP 1258 站点 (西赤道大西洋) 的沉积物 $\delta^{15}\text{N}$ 数据, 系统探讨了晚白垩世至 Danian 早期 (约 102-65 Ma) 赤道大西洋的营养盐循环演化过程, 并结合现代大洋 $\delta^{15}\text{N}$ 与最小含氧带 (OMZ) 分布的关联模式解析了古海洋通风 (即氧化还原) 条件演变。数据揭示了与 EAG 构造演化密切关联的两阶段演变: (1) 早白垩世到 Santonian 的其 $\delta^{15}\text{N}$ 值持续偏低 (约 -2‰), 反映了铵态氮主导的氮循环, 反映了受限、缺氧的海洋环境。异常高的总有机碳含量 ($\text{TOC}=5\%-15\%$) 和 Corg/N 比 (>30) 表明缺氧条件下强烈的有机氮回收和营养阱现象, 导致高初级生产力与有机质高效保存; (2) Campanian-古近纪早期的 $\delta^{15}\text{N}$ 逐步从 $+4\text{‰}$ 升高到 $+9\text{‰}$, 标志着氮循环从铵态氮主导转向硝态氮主导, 这一转变由深水通气增强和 OMZ 内增强的反硝化作用驱动。同时, TOC ($0.08\%-0.25\%$) 和 Corg/N 比 (<5) 显著下降, 表明营养阱减弱, 且 EAG 开启后赤道大西洋纬向翻转环流增强。研究发现氮循环重组与大西洋开放临界阈值 ($\Delta\text{lat} > 6.1\pm 0.1^\circ$, $\Delta\text{long} > 13.9\pm 1.5^\circ$, 即赤道大西洋纬度和经度拓展量) 密切相关——当裂谷突破该阈值后, 持续的纬向环流有效促进了深海通风氧化。本研究不仅发现了 EAG 的构造演化过程海洋通风的演化过程, 而且揭示了驱动新生大西洋硝酸盐主导氮循环转型的关键机制。

S77-O-6

青藏高原白垩纪—古近纪钙质超微化石生物地层及其古海洋学意义

王亚苏^{1*}, 姜仕军^{1*}, Denise Kulhanek²,
Davide Persico³, 苏虹⁴

1 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室

2 Christian-Albrechts-University of
Kiel, Institute of Geosciences

3 University of Parma, Department of
Chemistry, Life Sciences and Environmental
Sustainability

4 暨南大学, 生命科学技术学院

* yswang@hainanu.edu.cn

* sjiang@hainanu.edu.cn

青藏高原曾是东特提斯洋的一部分, 发育连续的白垩—古近纪海相地层, 是研究东特提斯洋演化和重大地质事件的天然实验室。对该地区海相白垩—古近纪地层时代的准确厘定和系统研究, 不仅有助于了解特提斯洋演化过程, 而且对研究深部碳循环与温室地球古气候演变亦具有重要意义。

前人研究表明, 该地区海相地层岩石样品中发育有保存精美、种类丰富的钙质超微化石。据统计, 西藏早白垩纪发现了 60 多个化石属种, 晚白垩纪发现了超 100 个化石属种; 古近纪也发现了超过 70 个化石属种。同时, 受强烈的构造运动、成岩作用以及陆源稀释作用影响, 青藏高原超微化石生物地层研究仍相对薄弱且多数剖面的生物地层框架精度较低。

近十年来, 钙质超微化石在生物地层划分、重大地质事件识别及古海洋变化方面的应用得到了进一步的发展。白垩—古近纪超微化石研究主要集中于藏南的定日和岗巴地区, 凸显了藏南地区利用超微化石建立高精度生物地层框架的重要位置, 其他超微化石研究区还包括新疆塔里木盆地、西藏日喀则弧前盆地和藏北羌塘地区等。目前, 利用超微化石在藏南地区可以非常有效地识别出一系列大洋缺氧 (oceanic Anoxic Event, OAE) 事件, 包括

OAE1b, OAE1d, OAE2 等、以及 K-Pg 界线、PETM 事件层位和印度-亚洲碰撞等重大地质事件以及相关的古海洋和古气候变化。此外, 钙质超微化石在白垩纪-古近纪海洋中广泛存在, 当原本丰富的化石开始消失时, 可能意味着构造抬升海洋消失。基于这个逻辑, 可利用超微化石将东特提斯洋最终关闭的时间确定在早始新世时期。研究表明, 超微化石具有生态指示意义的属种可用来指示海水温度和营养条件, 因此通过群落组合计算的营养指数和温度指数可用来识别古环境变化。以上相关研究为钙质超微化石应用于青藏高原生物地层和古海洋学研究提供了重要的范例。

S77-O-7

PETM 事件前的千年尺度热成因 CO₂ 释放与生态环境效应

姜仕军^{1*}, Ying Cui², 王亚苏¹, 胡修棉³, 吴怀春⁴, 杨石岭⁵

1 海南大学, 南海海洋资源利用国家重点实验室

2 Montclair State University, Department of Earth and Environmental Studies

3 南京大学, 地球科学与工程学院

4 中国地质大学(北京), 海洋学院

5 中国科学院地质与地球物理研究所, 新生代地质与环境重点实验室

* sjiang@hainanu.edu.cn

地质记录显示, 在古新世-始新世极热事件(PETM, 56 Ma)发生之前, 曾出现一次短暂的快速碳释放事件, 即 PETM 前负偏事件(Pre-Onset Excursion, POE)。然而, 关于 POE 的碳源性质、释放速率及其与 PETM 之间的关系, 基本处于研究空白。本文以沉积于东特提斯洋浅海碳酸盐台地环境中的新疆库孜贡苏剖面为研究对象, 该剖面富含保存良好的钙质超微化石、有机质及其他生物遗体。通过生物地层学、旋回地层学、地球化学分析以及 cGENIE

地球系统模型模拟, 系统重建 POE 与 PETM 期间表层海洋碳循环、氧化还原状态及富营养化过程的演变, 证实 POE 为一次具有全球影响的气候与环境事件。生物标志物指标表明, POE 在该区域引发的环境扰动程度明显弱于 PETM。基于全球 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 集成记录和 pH 数据的 cGENIE 模型双重反演结果表明, POE 期间的碳释放速率约为 2-13 亿吨/年, 显著低于 2014-2023 年间人类平均碳排放速率(108 亿吨/年)。该过程导致大气 CO₂ 含量增加 350-390 ppm, 全球温度升高幅度可达 2 °C。模拟所得的碳源同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{Source}}$)介于-30.8‰至-44.5‰之间, 指示其主要为热成因 CO₂, 可能主要与北大西洋火成省(NAIP)主喷发阶段之前的岩床侵入活动密切相关, 同时可能伴随生源甲烷释放等生物地球化学反馈过程。

S77-O-8

古新世-始新世极热事件期间快速响应的大陆风化加速了浅海碳酸盐埋藏

蒋璟鑫¹, 胡忠亚², 韩中³, 胡修棉^{1*}

1 南京大学, 地球科学与工程学院

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

3 成都理工大学, 沉积地质研究院

* huxm@nju.edu.cn

古新世-始新世极热事件(PETM)发生在~56 Ma, 是距今最近的一次全球性极端增温事件, 为研究人类世全球变暖及其海洋生物地球化学响应提供了地质案例。海洋是地表最大的无机碳库, 海洋中埋藏的碳酸盐岩在不同的时间尺度响应并调控地表碳循环的变化。“早期酸化—晚期风化诱导的碱化”机制成功解释了 PETM 期间深海碳酸盐沉积物的演化, 然而, 其在浅海环境中是否适用并不清楚。本次研究采用碳酸盐质量累积速率(CAR)重建了印度

北缘特提斯浅海（藏南定日宗浦组）PETM 期间碳酸盐的埋藏历史，同时采用碳酸盐中碎屑组分的镁同位素（ $\delta^{26}\text{Mg}$ ）示踪 PETM 期间大陆风化的演变历史，以探讨 PETM 期间浅海碳酸盐的演化机制。 $\delta^{26}\text{Mg}$ 显示在 PETM 期间发生了~0.6‰的正偏移，伴随[Mg]_{EF}的降低和化学蚀变指数（CIA）的升高，表明 PETM 期间升高的温度驱动了源区大陆风化的增强。CAR 在 PETM 起始和峰期增加了 2-5 倍，与 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{26}\text{Mg}$ 具有良好的耦合趋势，表明大陆风化促进了 PETM 期间浅海碳酸盐的埋藏。全球尺度不同水深梯度的 CAR 数据显示，PETM 期间浅海和深海的碳酸盐埋藏速率具有相反的演化趋势，结合全球大陆风化和海平面的变化，提出 PETM 起始和峰期增强的大陆风化促进了浅海碳酸盐的埋藏，深海碳酸盐在酸化的影响下在 PETM 恢复阶段延迟响应；此外海平面的变化可能通过深海和浅海的碱度转移调控了 PETM 期间碳酸盐埋藏的变化。

S77-O-9

早侏罗世 Toarcian 大洋缺氧事件期间碳同位素负偏移的轨道控制和阈值效应

唐闻强^{1,2}，马超^{1,2*}，刘钰源^{1,2}，吴松涛³，李育聪⁴，何坤³，余凯⁴，叶龙刚^{1,2}，侯明才^{1,2}，张道伟⁵

1 成都理工大学，油气藏地质及开发工程全国重点实验室

2 成都理工大学，沉积地质研究院

3 中国石油勘探开发研究院

4 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院

5 中国石油天然气集团有限公司

* machao@cdut.edu.cn

在早侏罗纪托阿尔期期间，地球经历了与全球变暖和大范围海洋缺氧相关的全局碳循环扰动，称为托阿尔期大洋缺氧事件（T-OAE）。来自世界各地海洋和陆地

的碳同位素数据记录了明显的负偏移（范围从 ~2‰ 到 8.5‰）。然而，控制这种碳同位素负偏移（CIE）幅度差异的因素仍不清楚，并且托阿尔期碳同位素负偏移事件的不同持续时间有许多不同的解释。本研究汇编了来自特提斯洋西部的 9 个高分辨率海洋钻孔和剖面数据，以及来自特提斯东部地区的 2 个大陆钻孔数据。通过旋回分析，发现碳同位素负偏移的持续时间为 ~350-1800 kyr。此外，通过将能量分解分析（PDA）与机器学习方法相结合，认为长偏心率/岁差会影响 T-OAE 过程中碳同位素特征的变化，但在驱动过程中可能存在阈值效应。当长偏心率/岁差低于阈值，甚至在一定范围内时，轨道周期的影响越强，碳同位素负偏移的持续时间越长，偏移程度就越大。本研究丰富了 TOAE 研究中的陆地记录，深入探讨了不同因素对早侏罗世大洋缺氧事件的影响，对于理解大洋缺氧事件的影响机制具有重要意义。

S77-O-10

脉冲式生物成因甲烷释放导致了早侏罗世 Toarcian 期间的间歇性变暖

邱若原¹，喻志超¹，Benjamin J. W. Mills²，黄任达³，张旺¹，Terry Isson⁴，万博¹，张瑞珍¹，赵明宇^{1*}，金之钧³

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 University of Leeds, Leeds, UK

3 北京大学，能源研究院

4 University of Waikato, Tauranga, New Zealand

* mingyu.zhao@mail.iggcas.ac.cn

重建地质历史时期极端气候事件中的碳释放通量，特别是量化生物成因温室气体的释放规模及其气候效应，对于构建高置信度的“过去-未来”气候类比模型具有重要科学价值。在古气候系统研究中，Toarcian 大洋缺氧事件（T-OAE，约 1.83

亿年前)作为中生代最显著的全球变暖事件之一,其碳同位素负偏(CIE)与温室气体释放的耦合机制仍存在关键科学空白。本研究通过整合多代理记录约束,创新性地构建了包含甲烷在沉积物-海洋-大气中循环的全球生物地球化学耦合模型,并采用马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)贝叶斯反演算法,首次系统量化了T-OAE期间甲烷释放通量特征。

数值模拟结果显示,要准确再现T-OAE期间脉冲式碳同位素负偏、大气 $p\text{CO}_2$ 的增长及古温度代用指标反映的4-6°C全球增温幅度,至少需要5200 Gt当量的生物源甲烷持续输入地球表层系统。值得注意的是,该甲烷通量的碳同位素组成($\delta^{13}\text{C} = -50\text{‰}$ 至 -70‰)与生物成因的产甲烷古菌代谢过程的同位素分馏特征高度吻合。数值模拟进一步阐明,甲烷的释放可能已经促进了甲烷生成的激增以及在有机物输入通量增加,硫酸盐枯竭的海洋环境中伴随的甲烷氧化的下降,最终形成"甲烷生成增强-氧化效率降低"的正反馈机制。模型敏感性分析表明,如此规模的生物成因甲烷释放可导致大气 $p\text{CH}_4$ 浓度激增5 ppm以上,并且通过辐射强迫效应驱动全球地表温度产生 $\geq 2^\circ\text{C}$ 的附加增温。此外,海洋甲烷的释放促使海洋溶解氧在千年尺度内的下降,造成底栖生物栖息地的系统性崩溃。这种生物地球化学循环与生态系统响应的非线性耦合,可能是T-OAE期间海洋生物灭绝的重要驱动机制。

S77-O-11

温室地球中植被的气候效应

郭佳琦^{1*}, 胡永云¹, 刘永岗¹

1 北京大学, 物理学院大气与海洋科学系

* jiaqi_guo@pku.edu.cn

温室地球的研究不仅有助于拓展人类对地球历史的认识,更为预测和应对未来气候变化提供启示。植被作为地球系统的

重要组成部分之一,基于其生理功能可以改变地表反照率、粗糙度和蒸散发等因素来调节大气与陆地间的动量、能量和水分交换进而直接影响气候。探究温室地球中的植被的气候效应对于更全面理解气候格局具有重要意义。模拟研究表明,在全球平均温度约为13°C的工业革命前的情景下,全球去除植被可以使得全球温度降低3.65°C,全球平均降水减少6.58%。那么,在温暖的地质历史时期,植被如何影响全球和局地的气候?

为回答上述问题,本研究将地球系统模式CESM1.2.2耦合植被模式BIOME4开展切片试验模拟,以中生代几个代表性的地质历史时期为例,通过比较有无植被的理想试验模拟结果探讨温室地球中植被的存在对气候的影响。研究表明,在温暖的气候背景下,植被的存在可以使得全球平均温度增加3—6°C、全球平均降水增加30—90mm/y。此外,不同地质历史时期植被的气候效应展现出了一些相似的空间特征,比如,(1)中高纬度区域升温明显高于低纬度;(2)中纬度陆地降水减少、高纬度和低纬度陆地降水增加;(3)开放大洋西侧增暖幅度高于东侧,西侧降水增加、东侧降水减少。系列研究将深化对植被气候效应的理解,为之后进一步结合地质记录探讨温室地球中的古气候和古海洋提供参考。

S77-O-12

中国东北辽西地区 Aptian 期古大气 CO_2 重建及其气候意义

杨汉卿^{1,2}, 陈健¹, 胡建芳^{1*}

1 中国科学院广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 中国科学院大学

* huji@ig.ac.cn

早白垩世 Aptian 期是地球气候演变的关键时期,在此期间全球碳循环受到严重扰动,全球在该时期形成了广泛的黑色页岩沉积,海洋中发生了典型的缺氧事件(OAE1a)。前人的研究认为翁通爪哇火山喷发,大量温室气体如 CO₂ 的排放是导致此次全球变暖的主要因素。但目前关于 Aptian 期大气 CO₂浓度($p\text{CO}_2$)的定量数据还严重缺乏,定量重建该时期的 $p\text{CO}_2$ 对于理解地球系统碳循环—气候反馈机制具有重要意义。

本研究以中国辽西地区喀左盆地下白垩统 Aptian 阶九佛堂组钻孔岩芯为研究对象,通过高分辨率有机碳稳定碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)和碳酸盐稳定碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$)分析,利用碳同位素分馏模型,重建了该时期 $p\text{CO}_2$ 的演变。结果显示, Aptian 期 $p\text{CO}_2$ 变化范围为 400~1200ppmv,呈现显著的阶段性变化特征:早 Aptian 期 $p\text{CO}_2$ 浓度较高,之后逐渐降低;中 Aptian 期 CO₂浓度相对较低,且存在较大波动;晚 Aptian 期保持相对稳定的低值。值得注意的是, $p\text{CO}_2$ 峰值与 OAE1a 的发生时间高度吻合,表明 CO₂浓度升高可能是触发海洋缺氧事件的重要驱动因素,而事件期间黑色页岩的大规模埋藏导致的有机碳埋藏通量增加,可能是后续 $p\text{CO}_2$ 下降的关键驱动因素。结合全球古海表温度重建记录,我们发现 $p\text{CO}_2$ 变化与古温度记录呈现正相关性,二者表现为协同变化。这一发现为理解温室气体背景下碳循环—气候系统的耦合响应机制提供了关键证据。

S77-P-1S

天文轨道周期控制下的下寒武统筇竹寺组页岩矿物—有机质差异性分布

张轩昂¹, 闫建平^{1*}

1 西南石油大学, 地球科学与技术学院

* yanjp_tj@163.com

四川盆地下寒武统筇竹寺组页岩沉积时期经历了温室气候和生态系统的演变,记录了重要的古环境和气候信息,同时该层系表现了良好的页岩气勘探开发前景。为了探讨德阳-安岳裂陷槽内筇竹寺组矿物组分和有机质差异性分布的驱动机理,对槽内的 Z20X 井开展 XRD 分析, TOC 测试, FE-SEM 观察和测井旋回地层学研究。(1)将 GR 曲线作为研究对象进行频谱分析和天文调谐,发现筇竹寺组共记录了 26.5 个 405kyr 的长偏心率周期,并以此建立了共 10.72Myr 的天文年代标尺。(2)沉积噪声模型 DYNOT 和 ρ_1 反应的区域海平面变化受到了 150Myr 的斜率调制周期的控制; DYNOT 指示的海平面变化与 PDA 分解后的 O/T 和 E/T 分别呈现反相位和同相位关系,反映了早寒武世时期极地无冰盖的室气候海平面变化受大陆地下储水库的影响。(3) Z20X 井筇竹寺组矿物组分和有机质分布在纵向上具有差异性分布规律,能够反应不同深度段沉积时期陆源物质输入、自生矿物形成和有机质富集之间的耦合关系:底部沉积时期天文轨道驱动较弱,有机质的富集和自生矿物的大量形成受局部热液和上升流的影响;而其他层段长石和黏土矿物的差异性分布受 O/T 和陆源输入的共同驱动,反映了大陆地下储水库的波动对化学风化的影响。

S77-P-2S

早侏罗世极热事件期间中纬度巨型湖泊营养盐循环的风化控制

李嫚¹, 刘金超^{1,4}, 何天辰^{1*}, 张健², 熊怡俊³, 曹剑⁴, 金鑫⁵, Simon W. Poulton³

1 河海大学, 海洋学院

2 中国科学院青藏高原研究所

3 利兹大学, 地球与环境学院

4 南京大学, 地球科学与工程学院

5 成都理工大学, 沉积地质研究院

早侏罗世詹金斯事件 (~183 Ma) 是一次全球快速增温事件, 其环境响应特征表现为大范围海洋缺氧、有机质埋藏增加及生态系统失稳等。尽管近期研究表明陆相湖盆系统对该事件存在类似响应, 但陆地水生环境中控制有机质富集的机制与氧化还原状态和营养元素循环的关联仍缺乏系统研究。本研究通过主微量元素、铁组分、磷相分配等地球化学指标研究, 结合地球系统模式 (CESM) 的古气候空间表征分析, 对早托阿尔期中国两个中纬度巨型湖盆 (四川盆地和鄂尔多斯盆地) 的沉积生物地球化学响应机制开展研究。水体的氧化还原环境分析结果表明, 不同纬度两盆地具有类似的氧化还原状态变化模式, 即从事件前的氧化水体过渡为事件期间缺氧富铁环境, 并最终在事件后恢复氧化状态。然而, 两湖盆的磷的富集情况呈现显著差异, 与水体氧化还原状态不相关。这种差异受不同纬度的气候模式不同导致的差异性风化影响。位于较低纬度且近海的四川盆地在极热背景下, 强烈的季风活动和陆地水文循环使区域呈现较低的化学风化强度, 导致四川盆地河流输入的活性铁与硫酸盐比值降低, 因而湖盆沉积物中黄铁矿与碎屑磷同步富集。相比较, 较高纬度且有山脉阻隔的鄂尔多斯盆地在相对温和的气候-水动力条件下, 发育较强的化学风化模式。该过程向鄂尔多斯盆地输入活性铁速率更高, 维持了鄂尔多斯盆地在事件期间更为持久稳定的缺氧富铁环境。该研究揭示了全球快速增温背景下陆相湖盆区域气候条件和营养盐循环耦合响应的纬度差异性, 为理解深时不同纬度湖盆氧化还原条件和古生产力的时空演变规律提供了重要的模板。

S77-P-3S

四川盆地下侏罗统大安寨段天文年代校准与碳同位素地层学研究: 对托阿尔期大洋缺氧事件成因的启示

栾旭伟¹, 王晓梅^{1*}, 何坤¹, 张鹏远¹, 杨春龙¹, 边雷博¹

1 中国石油勘探开发研究院, 石油地质实验中心
* wxm01@petrochina.com.cn

在全球变暖持续加剧的背景下, 深时温室地球时期多尺度海-陆-气候系统演化及其对生态系统的影响研究, 已成为预测未来全球变化的重要科学参照。早侏罗世托阿尔期大洋缺氧事件 (T-OAE) 作为深时温室地球典型气候扰动事件, 建立高精度年代标尺对理解这一过程至关重要。然而, 基于海相地层的旋回地层学研究提出了两种持续时间: 600-900 kyr 或 300-500 kyr, 而最新火山灰锆石 U-Pb 定年显示该事件可能仅持续约 288 kyr, 这种矛盾凸显了建立新的高分辨率年代标尺的紧迫性。此外, 陆相地层的高沉积速率和对气候的高敏感性使其更易捕捉到轨道参数驱动的周期信号。基于华南板块四川盆地大安寨段自然伽马 (GR) 测井数据的时间序列分析和碳同位素地层的全球对比, 我们构建了 T-OAE 时期高分辨率陆相天文年代标尺 (ATS)。结果显示, 古四川湖沉积记录的 T-OAE 持续约 360 kyr (182.88-182.52 Ma), 可进一步划分为三个阶段: 负偏移启动阶段 (198 kyr)、稳定负平台阶段 (80 kyr) 和正偏移恢复阶段 (75 kyr)。在新建立的旋回地层时间标尺中, 碳同位素负偏移事件 (CIE) 与费尔大火成岩省 (LIP) 同步, 表明费尔大火成岩省可能是 T-OAE 的主要触发因素。此外, 调谐后的有机碳同位素序列具有 25-23 kyr 的周期性 (岁差), 指示 T-OAE 还可能受到轨道因素的影响。研究结果同时显示, T-OAE 期间有机碳埋藏速率是背景值的 2-5 倍。据此,

我们推断古四川湖可能在区域碳循环调节中发挥了关键作用。通过海陆地层的年代校准,本研究为深时温室地球碳扰动模式重建提供了高精度时间窗口,亦为应对未来全球变化的复杂地球系统模拟提供了重要地质参照。

S77-P-4S

早侏罗世大规模碳释放引发 由风化作用导致的陆地汞通 量的快速增加

朱玉晴^{1,6}, David B. Kemp^{1,6*}, 尹润生²,
程晓枫¹, Angela L. Coe³, 沈俊⁶, 黄春菊^{1,6}, 陈文汉⁴, 韦猛闯⁵

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

2 中国科学院贵阳地球化学研究所, 重点矿产研究与勘探国家重点实验室

3 英国开放大学, 环境、地球与生态系统科学学院

4 成都理工大学, 沉积地球化学与生物地球化学国际研究中心

5 中国石化化工股份有限公司西北油田分公司, 勘探开发研究院

6 中国地质大学(武汉), 地质微生物与环境国家重点实验室

* davidkemp@cug.edu.cn

托阿尔期海洋缺氧事件(T-OAE, 约1.83 亿年前)是一次以全球碳循环扰动为特征的重大极热事件。托阿尔期期间全球外生碳储库的碳同位素值负偏被认为与富集轻碳的大规模释放有关, 这种释放可能主要与大规模岩浆活动相关。碳排放导致大气CO₂浓度升高和全球变暖, 尤其引发了硅酸盐风化和水文循环的显著增强。然而, 此类变化的具体过程仍存在不确定性。本研究利用英国约克郡剖面高分辨率的沉积汞(Hg)浓度和同位素($\Delta^{199}\text{Hg}$)数据, 追踪汞来源的变化, 并基于汞-碳(Hg-C)耦合模型模拟 T-OAE 期间汞向海水的输入通量变化。结果显示, 汞同位素($\Delta^{199}\text{Hg}$)的变化表明, 在碳同位素负偏期间, 陆源生物物质汞通量显著增加, 我们认为这主要

由风化作用和径流增强驱动。此外, 模型结果进一步揭示了地表径流和风化作用对该区域汞输入的贡献。具体而言, 陆源汞通量的整体上升伴随着一系列突增事件, 这些突增与先前发现的有机碳同位素短期负偏事件同步, 表明存在千年尺度的脉冲式碳释放。碳释放与陆源汞通量增强的近乎同步耦合关系, 凸显了地球水文系统对大规模碳释放和变暖的极端快速响应能力(反应时间约<3000 年)。

S77-P-5

白垩纪大洋缺氧事件 1a 期 间海洋缺氧与碳酸盐台地演 化

许艺炜^{1*}

1 中国科学院南京地质古生物研究所

* kongjuzixing@126.com

白垩纪时期海洋曾出现多次缺氧事件, 同时伴随着浅水碳酸盐台地大规模淹没现象。大洋缺氧事件 1a(OAE1a)是发生在白垩纪中期的一次全球性古海洋事件。与前述现象不同, OAE1a 期间碳酸盐台地沉积在多数地区仍然得以维持, 仅在特提斯北岸部分区域出现淹没现象。最近的研究显示, 特提斯北岸碳酸盐台地淹没时间远早于 OAE1a 事件, 这似乎表明 OAE1a 期间台地碳酸盐生产力并没有受到显著影响。有趣的是, 在特提斯南岸以及北美地区的台地碳酸盐沉积地层, OAE1a 事件结束之后出现台地淹没现象。OAE1a 前后碳酸盐岩稳定锶同位素数据显示, 海洋碳酸盐生产力在事件期间升高, 而在事件结束以后下降。为阐明这一时空差异性现象, 本研究通过对伊朗南部及太平洋孤立碳酸盐台地的 OAE1a 地层开展铀同位素系统研究, 发现事件期海洋缺氧程度增加了 16 倍, 同时碳酸盐沉积速率显著提升。据此我们认为: OAE1a 期间强化的海洋缺氧环境加剧

了有机质的厌氧氧化作用,该过程通过提升海水碱度有效促进了碳酸盐岩的持续沉积;而事件结束后海洋氧化还原条件改善导致的碱度降低,进而使海洋碳酸盐生产力下降,造成部分地区碳酸盐台地淹没。

S77-P-6

西藏南部特提斯喜马拉雅带 Aptian 时期高分辨率有机碳同位素地层学及大洋缺氧事件 OAE1a 的记录

韩凯博^{1,2}, 刘志琴², 陈曦^{2*}, 刘萱^{2,3}, 郭会芳^{2,3}, 姚翰威², 张艺^{2,3}, David B. Kemp⁴, 王成善^{2,3}

1 河北地质大学, 地球科学学院

2 中国地质大学(北京), DDE 前沿科学中心

3 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

4 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

* xichen@cugb.edu.cn

中生代大洋缺氧事件(OAEs)记录了地球表层大气-海洋系统的重大碳循环扰动及古海洋环境与气候变化。白垩纪 Aptian 时期发生的 OAE1a 是其中最具代表性的事件之一。OAE1a 时期,全球海洋有机质大量埋藏并引发了大范围的海洋缺氧与酸化,全球碳循环发生了显著扰动。具体表现为海陆相沉积物的碳同位素组成在 OAE1a 事件启动阶段(C3)的显著负偏和随后主体阶段(C4-C6)的显著正偏;负偏的幅度最高可达 3‰~4‰;正向偏移幅度最高可达 4‰~5‰。这种碳循环扰动特征也是在全球范围内对该事件进行识别和对比的主要依据。前人针对 OAE1a 事件的研究多集中在西特提斯域和太平洋域,而东特提斯域开阔海特别是浅海区域尚缺乏完整的 OAE1a 事件的详细记录。本文以我国西藏南部岗巴地区察且拉剖面古错村组和东山组作为研究对象,在整合现有的生物年代地层学结果基础上开展高分辨率取样,系统开展

了全岩碳同位素及主微量元素含量等测试,建立了东特提斯域 Aptian 时期高分辨率有机碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)曲线。通过与该时期全球典型剖面的碳同位素记录进行对比,识别出了包括 OAE1a 事件在内的 7 个(C2-C8)碳同位素阶段和 10 个(Ap2-Ap11)亚阶段。沉积环境分析及 TOC/TN(总有机碳/总氮)比值表明有机质主要来源于海洋浮游生物,指示了本研究结果记录了东特提斯域浅海溶解碳库的长期变化特征。察且拉剖面中 OAE1a 事件层位自生海绿石的发育与氧化还原敏感元素(RSTEs)的富集表明 OAE1a 期间东特提斯浅海底层水体总体处于亚氧化状态。A-CN-K 三角图解显示,OAE1a 时期研究区处于相对温暖湿润的状态;化学蚀变指数(CIA)值指示研究区大陆化学风化水平处于中等强度,在 OAE1a 事件期间增加至高强度,结合研究区所处的中高纬度位置,古气候状态分析结果支持前人关于该时期地球低纬向温度梯度的认识。本文为 OAE1a 事件的研究提供了新的东特提斯地区高分辨率记录与全球对比依据,揭示了大洋缺氧事件 OAE1a 时期碳循环扰动精细过程与气候波动的全球性影响。

S77-P-7S

温室气候与轨道强迫对海洋缺氧事件 OAE2 的协同作用

崔琪^{1*}

1 北京大学, 物理学院

* cuiqi@stu.pku.edu.cn

海洋缺氧事件 OAE2 是白垩纪最显著的快速变暖事件之一,以大规模海洋缺氧、有机碳埋藏增强及碳同位素偏移为特征。该事件期间,大西洋和特提斯海域广泛发育了轨道相关的节律性沉积记录,表现为水体氧化还原状态的周期性波动,或是富有机质的黑色页岩与有机质贫乏层交替出现,这为地球轨道强迫调控着 OAE2 时期

的碳循环提供了有力证据。在 OAE2 期间, 由大规模火成岩省释放的温室气体引发了全球升温, 并被猜测会放大沉积记录中的轨道周期信号。本研究基于 CESM1.2 地球系统模式, 将海洋生物地球化学模块与气候模块耦合, 系统考察了全球升温和轨道强迫对全球深水环流、陆源营养盐输入、上层海水层结以及海洋缺氧范围与有机碳埋藏分布的独立与联合作用。数值模拟结果表明: 在极端岁差情景下, 当北半球夏季辐照增强时, 全球深层环流格局发生重组, 伴随营养盐输入和表层层结结构的变化, 触发全球海洋缺氧区的扩张。随着背景温度升高, 这一轨道驱动的缺氧与碳埋藏响应被进一步放大, 显示出极强的耦合效应。本研究不仅深化了对白垩纪 OAE2 事件成因的认识, 也为揭示地质历史时期温室气候下碳循环-气候系统之间的耦合过程提供了新的视角。

S77-P-8S

钙质超微化石对东特提斯洋 OAE2 内部 PCE 冷事件的响应

张艺^{1,2}, 姚翰威^{1,3}, Paul R. Bown⁴, 郭会芳^{1,2}, 韩凯博^{1,5}, Cinzia Bottini⁶, 王成善^{1,2}, 陈曦^{1,3*}

1 中国地质大学(北京), 地质微生物与环境国家重点实验室

2 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院

3 中国地质大学(北京), 科学研究院

4 伦敦大学学院, 地球科学系

5 河北地质大学, 地球科学学院

6 米兰大学, 地球科学系

* xichen@cugb.edu.cn

白垩纪大洋缺氧事件 OAE 2 (约 94 Ma) 是一次全球性古环境突变事件, 也是显生宙极端温室气候的典型代表。然而, 目前针对南半球浅海陆架环境对该事件的响应研究仍较为缺乏, 制约了对该事件全

球性机制的深入理解。本文通过对西藏南部强东剖面的钙质超微化石进行高分辨率的生物地层学和古生态研究, 重建了东特提斯洋 OAE 2 期间的古环境演变过程。钙质超微化石温度指数显示, 在 OAE 2 开始前约 75 ka 气候已开始增温, 并于事件早期达到峰值; 在 OAE 2 启动后约 60 ka, 气候进入不稳定的变冷阶段, 该冷期与北半球(如西欧)已报道的 PCE 冷事件(Plenus cold event, PCE)具有同步性。PCE 结束后, 从 OAE 2 晚期至土伦早期气候持续增温, 与白垩纪高温极盛期(Cretaceous Thermal Maximum)相对应。钙质超微化石生产力指数揭示表层水体生产力的动态变化特征, 其中 PCE 事件期间生产力达到峰值, 表明通过提升海洋初级生产力实现的 CO₂ 封存可能是该碳循环扰动事件的重要反馈机制。本研究证实了在异常增温背景下, 发生于 OAE 2 内部短期(约 100 ka)的 PCE 事件具有全球性气候意义。

S77-P-9

中始新世南半球中高纬气候变暖及其驱动机制: 来自元素地球化学和 Li 同位素的证据

王薇^{1*}, 徐兆凯², 杨承帆¹, 杨守业¹

1 同济大学

2 中国科学院海洋研究所

* wangwei24@tongji.edu.cn

始新世(53-34 Ma)是新生代最后一个暖室气候期, 该时期发生了多次极端气候变暖事件, 如早始新世气候适宜期(EECO), 晚卢台特阶极热事件(LLTM)以及中始新世气候适宜期(MECO)等, 是研究未来全球气候变暖的典型参考范例。然而, 目前对始新世气候变暖事件的驱动机制及其环境效应还不甚清晰, 妨碍了我们对地球气候系统运行机制的理解。本研

究基于国际大洋发现计划 (IODP) 369 航次在东南印度洋曼达岬海盆获取的 U1514 站位岩芯沉积物, 利用粘土矿物学、元素地球化学和 Li 同位素地球化学等方法, 探讨了中始新世 (~42-41 Ma) 气候变暖的驱动机制以及南半球中高纬度大陆风化和海洋环境变化的响应。结果表明, ~42 Ma 南大洋底栖有孔虫氧同位素开始负漂时, 研究站位 Hg 含量异常增多, $\Delta^{199}\text{Hg}$ 趋向 0‰, 指示该时期火山活动增强; 同时研究站位高岭石/伊利石比值升高, 粘土粒级沉积物 Li 同位素发生了显著的负漂, 指示该时期物源区硅酸盐风化强度明显增强, 风化作用趋向于一致性风化的特点; 而在氧同位素正偏阶段, 高岭石/伊利石比值降低, 粘土粒级 Li 同位素正漂, 并恢复到事件前的水平。此外, 在 Hg 富集层位, 生物硅 (BSi) 和有机碳 (TOC) 含量出现显著波动, 表明大陆硅酸盐风化增强和陆源碎屑输入增加与海洋生物生产力和有机碳埋藏量的上升紧密相关。本研究认为, 始新世中期 (~43 Ma) 南半球板块重组伴随的强烈火山活动是导致该时期气候变暖的主要驱动机制, 而一致性风化作用增强和有机碳埋藏增加, 可能是推动该事件结束的关键过程。

S77-P-10S

始新世暖期秦岭东段卢氏盆地沉积过程与气候环境

邵可涵¹, 鹿化煜^{1*}, 梁承弘¹, 高睿学¹, 李广伟², 赖文³, 吕恒志¹

1 南京大学, 地理与海洋科学学院

2 南京大学, 地球科学与工程学院

3 赣南师范大学, 地理与环境工程学院

* huayulu@nju.edu.cn

始新世暖期可为认识未来全球气候变暖提供重要的参考。始新世东亚地区陆地气候和环境的特征还不清楚。秦岭东段的卢氏盆地保存有>1000 m 厚近连续的始新世

河湖相沉积物, 成为揭示中国中部地区这一时段气候环境特征的重要记录。沉积序列反映了盆地与河湖演化的历史, 底部张家村组以红色砾岩、粉砂质泥岩、钙质古土壤为主, 沉积环境自下而上为冲积扇、河道与河漫滩、洪泛平原/滨湖环境, 反映盆地拉张、初期成湖的过程; 上覆卢氏组主要出露泥岩与白云岩, 沉积环境演化为滨浅湖、浅湖/半深湖、滨浅湖/洪泛平原、浅湖/半深湖, 反映湖泊的收缩与扩张; 上覆大峪组主要为红色砾岩、粉砂岩、钙质古土壤, 沉积环境演化为河道与河漫滩、洪泛平原、冲积扇, 反映湖泊消亡后河流与冲洪积物相继充填的历史。卢氏盆地厚层的河湖相沉积、丰富的哺乳动物化石、丰富的碳酸盐沉积指示当时卢氏盆地地表径流活跃、动物种类多样、具有森林、沼泽或湿地环境、发育碳酸盐型湖泊, 处于半湿润半干旱气候背景下, 可能有气候季节性特征。碎屑磷灰石裂变径迹与碎屑锆石 U-Pb 年龄指示沉积序列年代晚于约 60 Ma, 与前人将张家村组-卢氏组化石群对比到中始新世的结论基本吻合, 初步的碳酸盐 U-Pb 年龄与磁性地层研究将沉积序列限定在早-中始新世。卢氏盆地为了解早-中始新世时期中国中部气候环境特征提供了良好的材料。

S77-P-11S

同位素质量平衡模型开发与早始新世降水定量重建

梁承弘¹, 鹿化煜^{1*}, 邵可涵¹, 赵成¹

1 南京大学, 地理与海洋科学学院

* huayulu@nju.edu.cn

早始新世是地球典型的暖期, 重建其降水变化对于认识未来气候具有启示意义。湖泊碳酸盐氧同位素是重要的古环境指标, 但其受到温度、降水等多种因素影响, 限制了对气候变化过程的认识。基于同位素质量平衡模型和 Craig-Gordon 蒸发模型,

我们模拟了湖泊蒸发、碳酸盐形成过程中的同位素分馏，建立了温度、降水、蒸发量等环境因素与碳酸盐氧同位素之间的定量关系。结合现代湖泊表层沉积物同位素数据，评估了温度、环境湿度等因素对湖泊碳酸盐的影响。基于卢氏盆地早始新世典型的湖泊碳酸盐沉积序列，应用新的模型我们定量重建了降水变化。结果显示，相比于现代气候，卢氏地区降水量在 $\sim -50\%$ 至 $\sim +200\%$ 间剧烈波动。这种干湿震荡指示着暖室气候较大的变幅和变率。

S78-O-1

晚中新世西太暖池的初步形成——来自东太上层水体温盐结构演化的证据

柳中晖^{2*}，刘晶晶¹，田军^{3*}

1 河北地质大学，地球科学学院

2 香港大学，地球科学系

3 同济大学，海洋与地球科学学院

* zhliu@hku.hk

* tianjun@tongji.edu.cn

晚中新世时期，印尼海道逐渐收缩，造成印-太暖池发生东移，西太暖池初露现代雏形。那么，通过沃克环流和表层赤道流与西太暖池紧密联接的东赤道太平洋区域，是否也在晚中新世时期发生了上层水体温盐结构的显著变化呢？本研究利用 U1337 站浮游有孔虫表层种 *Globigerinoides* 属（包括 *ruber*、*obliquus*、*extremus*）和次表层种 *Dentoglobigerina venezuelana* 壳体进行了 $\delta^{18}\text{O}$ 值的测试。初步结果显示：表层 $\delta^{18}\text{O}$ 值，在 15-12.3Ma 期间呈现逐渐升高的趋势，大致从 -1.8‰ 上升至 -0.5‰ ，（12.3-9Ma 数据待测试中），而在 9-5 Ma 期间，整体维持在大约 -1.7‰ ；次表层 $\delta^{18}\text{O}$ 值，在 15-12.3Ma 期同样呈现逐渐升高的趋势，大致从 0.5‰ 上升至 1.25‰ ，在 $\sim 12.3-11\text{Ma}$ 期间呈现出显著的降低趋势，降幅超过 1.5‰ ，

（11-9Ma 数据待测试中），9Ma 时达到处于 0‰ ，而后 9-5Ma 期间发生幅度约为 1‰ 的先升高-后降低显著，时间上与晚中新世降温事件较为吻合。考虑到该时期全球冰盖变化并不大，且东赤道太平洋的海水温度变化较小，因而本研究指出东赤道太平洋表层、次表层浮游有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相对变化主要受降水/蒸发作用而引发的海水盐度的影响，即 $\sim 12.3\text{Ma}$ 开始东赤道太平洋表层、次表层海水存在显著的淡化现象。结合印-太暖池的海域表层海水温度变化，我们推测晚中新世时期在印尼海道逐渐收缩的过程中，赤道太平洋的暖水向印度洋输送逐渐受阻，导致西太暖池的形成和扩张，同时在赤道太平洋海域形成降雨中心，影响范围可能向东达东太平洋海域，从而产生了东太平洋上层水体淡化的现象。

S78-O-2

晚中新世印尼海道—深层通道关闭事件及西太平洋深层环流重组

刘珊^{1*}，陈慧¹，苏明¹，Zhi Lin Ng¹，解习农³，Sara Rodrigues²

1 中山大学，海洋科学学院

2 伦敦大学学院

3 中国地质大学（武汉）

* liush296@mail.sysu.edu.cn

大洋通道的构造活动（如德雷克海峡、直布罗陀海峡等）对全球温盐环流和气候具有深远影响。然而，低纬度海道，特别是印尼海道在中新世的闭合过程及其对太平洋-印度洋深层水交换的影响尚存争议。南海作为西太平洋边缘海，自中新世以来受低纬度海道变化的影响，记录了显著的古海洋演变过程。本研究基于南海地震反射数据、ODP 184 航次及 IODP 349 和 367/368 航次的钻孔、测井数据，识别出底流沉积体系、侵蚀环槽等特征，分析其受

底流作用的演化阶段（如起始、停滞、发育等阶段）、并结合 IODP 年代地层学框架、古水深信息、同位素地球化学分析及东南亚边缘海中新世至今底流特征演化，重建南海自渐新世以来的深水环流变化过程。研究结果揭示，南海深水环流的重组与印尼海道-深海通道的阶梯式关闭（初始变浅约 15 Ma，完全闭合约 10 Ma）密切相关。来自东印度洋的深层水大约在 10 Ma 之前对南海环流产生了显著影响，10 Ma 后，位于苏拉威西中部的印尼海道-深层通道的最终关闭导致了太平洋与印度洋之间深层水体连接的中断，并引发了西太平洋深层环流的重组。这一海道闭合时间与赤道太平洋的碳酸盐溶解事件（12.6–8.6 Ma）、深海生物群组更替、晚中新世气候降温等事件同步，可能对中-晚中新世的全球气候和海洋变化产生了重要影响。

S78-O-3

中中新世气候适宜期大西洋—太平洋协同演变的跨洋盆海水交换的数值模拟研究

魏吉林^{1*}，刘海龙²，赵彦³，林鹏飞¹，郑伟鹏¹，张戡瑞⁴，王嘉祯⁵

1 中国科学院大气物理研究所

2 崂山实验室

3 中国科学院青藏高原研究所

4 厦门大学

5 中国海洋大学

* weijilin@mail.iap.ac.cn

晚新生代构造活动与气候响应的耦合过程是地球系统科学研究的核心命题，而中中新世气候适宜期为揭示构造-水热循环协同演变机制提供了关键时间窗口。本研究基于 FGOALS-g3 耦合模式数值模拟实验，聚焦中中新世气候适宜期构造背景下的洋际环流协同演变机制。通过构建包含太平洋海盆尺度上升流的绕岛环流定理，揭示了构造通道开放的跨洋盆水热传输的关键

机制。数值模拟表明，大西洋经向翻转环流（AMOC）通过对巴拿马贯穿流（PTF）的调节，可驱动北太平洋上升流呈现显著变化：AMOC 增强时期，太平洋水体通过巴拿马海道向大西洋输运，触发补偿性上升流；而当 AMOC 减弱甚至崩溃时，PTF 体积输运减弱甚至出现流向反转现象，导致太平洋上升流衰减，同时印尼贯穿流（ITF）显著增强。值得注意的是，PTF 与 ITF 呈现跨构造期的反相位耦合特征，这种“跷跷板”式的水体交换机制可能在上新世巴拿马海道完全闭合之前都持续存在。这为晚新生代关键构造期海道变迁驱动的水-热循环耦合过程提供了数值模拟证据，揭示了构造演化通过调控跨洋盆物质能量传输影响全球碳循环的重要机制，对理解多圈层协同演变规律具有启示意义。

S78-O-4

上新世巴拿马海道闭合如何影响印度洋—太平洋上层海洋环流？

王跃^{1,2*}，郝治羽²，郑伟鹏^{3,4,5}，党皓文^{1,2}，杜金龙^{1,2}，田军^{1,2}，翦知湑^{1,2}

1 同济大学，海洋地质全国重点实验室

2 同济大学，海洋与地球科学学院

3 中国科学院大气物理研究所，地球系统数值模拟与应用全国重点实验室

4 中国科学院大气物理研究所，地球系统数值模拟科学中心

5 中国科学院大学，地球与行星科学学院

* 163wangyue@163.com

新生代以来，随着热带洋流通道（特提斯海道、巴拿马海道、印尼海道）逐渐闭合，环绕全球的赤道洋流随之被隔绝、暖水在三大洋西侧累积、东印度洋-西太平洋暖池呈阶段性增强特征，赤道印度洋和太平洋的纬向温差逐渐增大，赤道与极地之间的经向温度梯度也逐渐增大，大气/海洋环流对水份、热量的经向传输增强，两

极冰盖逐渐发育。传统观点认为早上新世巴拿马海道闭合,可以增强大西洋经向翻转环流,相关的热盐传输对北半球冰盖增大贡献很大,但在现代太平洋和印度洋区域,上层海洋温跃层环流的水热传输远大于深层海洋环流,它们在上新世北半球冰盖发育过程中的作用仍不清楚。本研究遵照 PlioMIP3 计划的试验标准,利用 CESM1.0.4 模式开展了早上新世巴拿马海道开启试验、以及晚上新世巴拿马海道闭合试验、初步分析了印度洋和太平洋的上层海洋热盐结构和温跃层环流特征变化,以及相关的海洋/大气水热传输异常响应,并试图评估热带洋流通道变迁对晚新生代构造尺度气候演变的贡献。

S78-O-5

北太平洋层化增强与铁施肥作用共同驱动的晚上新世大气 CO₂ 演变

杜金龙^{1*}, 谭宁², 田军¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所

* dujinlong@tongji.edu.cn

晚上新世期间,大气 CO₂ 浓度从约 400 ppm 逐步下降至 280 ppm,促使全球变冷,气候逐步更新世冰期旋回。但是,这一大气 CO₂ 下降的原因尚不清楚。过去研究曾提出“层化加强”和“铁施肥作用”两类假说。“层化加强”假说认为,晚上新世北太平洋盐跃层逐步建立,封闭北太平洋碳库与大气交换的途径,促使大气 CO₂ 浓度下降;“铁施肥作用”假说认为,晚上新世以来,海洋接受的风尘铁输入增多,海表生物泵效率增高,吸收更多 CO₂。虽然两者都有一定理论基础,但假说提出后一直缺乏定量检验,两种过程之间的相互关系也不明确。本研究利用生物地球化学数值模式,开展晚上新世碳循环数值模拟研究。

试验结果表明,“层化加强”和“铁施肥作用”能够共同驱动大气 CO₂ 浓度下降约 50ppm,是晚上新世大气 CO₂ 演化的主要贡献者。敏感性试验进一步表明,北太平洋层化加强可能是大气 CO₂ 下降的最初驱动因素,并通过气候—碳循环正反馈驱动了进一步的大气 CO₂ 下降。

S78-O-6

北半球冰量驱动上新世以来的 PMOC 演化

张亚南¹, 刘青松^{1*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

* qslu@sustech.edu.cn

作为控制全球热量和物质分配的关键过程,经向翻转环流的演化机制对于理解晚新生代气候转型至关重要。在温暖的上新世(5.3- 2.6 Ma),可能存在另一种海洋环流模式,并以活跃的太平洋经向翻转环流(PMOC)和北太平洋深层水(NPDW)形成为特征。然而,关于上新世 NPDW 是否存在仍然存在很大争论,其驱动机制就更不清楚。在本研究中,我们重建了白令海深海跨越早更新世——上新世的氧化还原记录,并整合了现有的太平洋记录。研究表明,上新世北太平洋深海氧化历史在空间上存在显著差异,并在北半球冰川作用增强(iNHG)后趋于均一化。这意味着上新世存在着两个深海水团,即 NPDW 和南极底层水(AABW)对深海的共同通风作用;随后,则以 AABW 对深海的通风作用所主导。其中,阿拉斯加冰川融水输入与 NPDW 形成的减弱密切相关,其可能通过表层海洋的淡化阻碍深水的形成。因此,我们认为北半球冰量可能通过冰川融水输入过程调控深海环流的重组及其相关的海洋碳储库变化。这一反馈机制,将有助于降低大气 CO₂ 含量,并维持晚上新世以来的长期降温趋势。

S78-O-7

晚中新世印尼海道闭合与东南亚水文循环演变

黄恩清^{1*}, 胡建雄¹, 田军¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* ehuang@tongji.edu.cn

晚中新世生物勃发事件 (Late Miocene Biogenic Bloom, LMBB) 作为晚新生代重要的古海洋事件, 以全球多洋盆生物成因蛋白石和碳酸盐堆积速率显著增加为特征, 深刻影响全球碳循环进程。其驱动机制尚存争议, 目前主要存在陆源营养物质输入增强与洋流重组导致营养盐再分配两种假说。南海作为西北太平洋最大的边缘海系统, 其独特的陆-海交互作用为揭示陆源营养输入对初级生产力的调控机制提供了理想场所。基于南海南部 ODP 184 航次 1143 站位岩芯, 本研究通过高分辨率 XRF 岩芯扫描获取了 Ca/Ti 和 K/Ti 比值。其中, Ca/Ti 比值重建的碳酸钙堆积速率显示自 9 Ma 开始显著增加, 于 7.6 Ma 达到峰值后逐渐下降, 该趋势与已发表的蛋白石堆积速率一致。已有研究表明 ODP 1143 站位的陆源物质主要源自湄公河流域, 且该河流沉积物以搬运自上游的剥蚀产物为主。由于上游与下游流域岩石风化程度存在差异, K/Ti 比值能用于区分上游与下游物质的相对占比, 进而反映陆源物质输入强度。K/Ti 比值在 9-7.6 Ma 期间同步上升至峰值, 但在 6.5 Ma 后却呈现与生物成因物质堆积速率相反的趋势, 指示海洋初级生产力与陆源营养输入在此时发生解耦。这一转折期与深水型浮游有孔虫丰度减少、温跃层深度加深等变化同步。我们推测印尼海道关闭过程可能通过改变区域海水结构, 进而主导生产力的变化。上述结果表明, 陆源输入与洋流重组可能在 LMBB 事件的不同演化阶段分别发挥主导作用。

S78-O-8

中中新世气候模拟的进展与思考

郑伟鹏^{1,2*}, 魏吉林^{1,2}, 林鹏飞^{1,2}, 张丽霞¹, 满文敏¹

1 中国科学院大气物理研究所

2 中国科学院大学

* zhengwp@mail.iap.ac.cn

中新世时期全球海陆分布和地形地貌逐渐向现代状态过渡, 全球气候存在较大的变率, 在早期和晚期的漫长冰川时期中间存在一个大暖期, 即中中新世气候适宜期 (~17-15Ma 期间), 这一时期全球温室气体浓度较高, 气候相对于当代表现为温暖湿润的时期, 与 IPCC AR6 报告中未来高排放情景相似。然而当前, 中新世时期代用资料和数值模拟都存在着许多争议, 模拟结果与重建资料还有相当大差别, 如何理解并缩小这些差别, 是数值模拟和资料重建工作面临的共同挑战。本报告在中中新世气候模拟比较计划第二阶段(MioMIP2)的框架下, 以一个全球气候系统模式 FGOALS-g3 的中中新世数值模拟出发, 简要介绍中新世气候模拟的进展, 讨论全球气候模拟结果及其不确定性。

S78-O-9

背景气候对轨道强迫下中新世气候响应的调控作用

张彧瑞^{1*}, 魏吉林², 李振¹, 戴楠¹, 郑伟鹏², 石正国³, 张丽霞²

1 厦门大学, 海洋与地球学院

2 中国科学院大气物理研究所

3 中科院地球环境所

* yuruizhanglzu@gmail.com

轨道因子通过影响太阳辐射的时空分布, 驱动了冰期-间冰期气候旋回变化。前人研究发现, 第四纪气候变化受高纬辐照驱动和低纬水汽驱动机制共同调控。然而,

不同气候背景下气候系统对轨道因子的响应机制尚不明确。本研究通过分析对比气候在中新世与现在气候背景下对轨道驱动的模式响应,探讨轨道尺度与构造尺度气候变化之间的耦合关系。

结果显示,中新世对太阳辐射增强和减弱的温度响应大致呈反向变化,但其幅度较弱,且在幅度和空间分布上均不同于现代气候下响应,表现出显著的气候依赖性。与前工业时期相比,中新世的主要差异包括:(1)在温暖的中新世,北半球大陆地区的温度响应较弱,主要由于有限的积雪和海冰导致地表反照率变化减弱,进而削弱了水汽温室效应和云量反馈。(2)在最大夏季太阳辐射下,热带非洲出现更强的降温,主要由中新世更宽广的特提斯洋增强水循环所驱动。(3)在南大洋 60°S 以南,由于受靠近海冰边缘的南半球冬季增温影响,中新世气候在低太阳辐射条件下,呈增温过程。这些结果说明,气候系统对其驱动因子存在多时间尺度的相互依赖性,这为理解不同气候背景下气候系统的演化路径和区域相应差异提供了新的视角。上述发现强调了气候系统对轨道强迫响应的显著气候依赖性,揭示了轨道尺度与构造尺度气候变化之间存在多时间尺度的耦合关系。

S78-O-10

中中新世东太平洋海区底层水体氧化还原演变历史的重建

谢雨晗¹, 叶丰^{1*}, 柳中晖², 田军³

1 中国科学院大学广州地球化学研究所, 深地过程与战略矿产资源全国重点实验室

2 香港大学, 地球科学系

3 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

* yefeng@gig.ac.cn

海洋溶解氧(DO)是评估海洋氧化还原状态的关键指标,影响海洋生态系统和

地球生物地球化学循环,并在全球气候系统中发挥重要作用。中中新世气候适宜期(MMCO, 16.9–14.7 Ma)发生了全球性增温事件(+3–4°C),为研究气候变暖背景下海洋环境的响应提供了理想类比。本研究以东太平洋 IODP-U1337 站位柱状沉积物为研究对象,利用 V、Cd、U、Mo 等氧化还原敏感元素及比值特征,探讨了中中新世东太海区底层水体含氧量的变化。研究结果显示,15–14.03Ma 期间氧化还原敏感元素指标波动下降,说明底层水体氧化性逐渐增强,14.03–12.64Ma 波动上升,还原性逐渐增强,12.64–12.3Ma 再次波动下降,指示氧化性的增强,而总体来看,东太海区在中中新世表现为还原性的逐步增强,在该时期底层水体有缺氧的表现。由于氧化还原敏感元素因成岩作用等因素存在一些局限性,后续应补充同位素指标进一步的验证。

S78-O-11

中中新世适宜期西北太平洋轨道尺度深海通风状况

任传亮^{1,3}, 蒋富清^{1,2,3*}, 孙晗杰^{1,2,3}

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋地质过程与功能实验室

3 中国科学院大学

* fqjiang@qdio.ac.cn

太平洋深水环流模式在调节全球海洋热量的分配,CO₂ 存储等方面发挥着重要作用。然而,对于中中新世适宜期(MMCO; 16.9–14.7 Ma)西北太平洋深水环流模式、通风状况及其对地球轨道参数变化的反馈仍知之甚少。本研究基于西北菲律宾海 IODP U1438 站位 16.7–15.3 Ma 的沉积物颜色反射率 a^* 值的变化,结合粒度、地球化学元素及时间序列分析,探讨该时期底层水体氧化还原环境变化及其对深海

通风的指示意义。研究发现 U1438 站沉积物颜色变化主要受沉积-水界面的氧化还原环境控制, 颜色反射率 a^* 的增加表明底层水更偏氧化, 并且在 16.4–15.6 Ma 颜色反射率 a 呈现显著的~170 kyr 周期性波动, 可能响应轨道斜率调控。中中新世适宜期 U1438 站处于北太平洋深水 (NPDW), 而 NPDW 受南源的绕极底层水 (CDW) 的显著影响, 因此颜色反射率 a^* 值的变化可能反映了 NPDW 与 CDW 南北通量的变化对西北太平洋深海通风的调节作用。16.7–16.4 Ma, U1438B 孔颜色反射率 a^* 没有明显变化, 说明沉积-水界面的氧化还原环境没有较大波变化, 这可能是由于构造地形封闭, NPDW 向西北太平洋的输入较弱, 导致 U1438 站位所处水体较为稳定, 深海通风较差。约 16.4 Ma, U1438B 孔颜色反射率 a^* 的增大与赤道地区底栖有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 和南海底层水体 $\delta^{13}\text{C}$ 的垂直梯度的增加相似, 可能表明 CDW 向北通量显著增加, 增强 NPDW 向西北太平洋的输入, 导致西北太平洋海区通风改善, 底层水体氧化环境增强, 该变化可能受到南北半球温度梯度缩小或西风增强共同驱动。16.4 Ma 之后, 轨道斜率调制的~170 kyr 周期可能对南北半球温度梯度具有调控作用, 影响 CDW 与 NPDW 通量, 最终控制西北太平洋的深海通风。

S78-O-12

中更新世转型期太平洋深层环流的长期稳定与短时强化

李科¹, 田军^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* tianjun@tongji.edu.cn

中更新世转型期 (Mid-Pleistocene Transition, MPT; 600–1300ka), 冰期旋回的周期从 4 万年变成 10 万年左右, 全球洋流也发生显著变化; 但目前对 MPT 期间太

平洋洋流的变化还是一片空白。我们从太平洋深层西部边界流 (DWBC) 流径上从南到北选取了三个站位, 获得了三条来自鱼牙化石钕同位素 (ϵ_{Nd}) 的新记录, 平均时间分辨率约为 1 万年。数据表明, 相较于间冰期, 冰期太平洋持续呈现南北 ϵ_{Nd} 梯度减弱的特征。这一特征很可能反映了冰期期间 DWBC 输运的增强和/或太平洋深层水 (PDW) 与下层环极深层水 (LCDW) 界面的上移。相较之下, 根据钕循环模型的一系列敏感性实验结果, ϵ_{Nd} 的非保守过程——包括东亚风尘沉降增强及火山物质的从沉积物中释放的通量增加——在冰期保持稳定或使 ϵ_{Nd} 梯度变大。冰期-间冰期 ϵ_{Nd} 梯度变化幅度在 MPT 早期与晚期保持一致, 表明 MPT 期间深层太平洋环流未发生根本性重组。然而, 在 MIS 22 期间观测到 ϵ_{Nd} 梯度明显下降, 提示当时发生了一次异常的深层环流事件, 可能与 DWBC 强化和/或 PDW–LCDW 水团界面向上的迁移有关。上述发现, 给 MPT 提出一种新的可能解释: MPT 的冰期旋回转型受到了海洋环流重组事件与风化壳剥蚀的共同影响。MIS 22 期间, 由太阳辐射减弱引发的海冰扩展可能导致深层环流调整, 增强海洋储碳、促进全球变冷, 从而延长了冰期持续时间; 随之扩张的冰盖引发广泛的风化壳侵蚀, 可能进一步促进了北半球更大、更稳定冰盖的形成, 从而推动了 MPT 之后更长且更强烈的冰期循环的出现。尽管本工作作为 MPT 的深层海洋环流与气候演化提供了新的证据, 但全面厘清驱动该气候跃变的机制仍需进一步研究。

S78-P-1S

中更新世转型期北太平洋深层水的含氧量变化

张奕栩¹, 田军^{1*}

¹ 同济大学, 海洋与地球科学学院
* tianjun@tongji.edu.cn

中更新世转型期 (Mid-Pleistocene Climate Transition, MPT) 对应了更新世冰期旋回的一系列剧烈变化过程。基于深海底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 指标, 在 MPT 前后, 冰期旋回主导周期由约 4 万年逐渐过渡为约 10 万年, 同时振幅增大、冰期加强。MPT 的发生时段大致在过去 125 万年至 80 万年之间, 但地球轨道参数和日照强度在这前后都未发生明显变化, 从而使得难以从米兰科维奇理论出发解释 MPT 的发生。因此, 聚焦于地球系统的内部反馈作用, 已有研究提出的 MPT 发生机制假说, 大多以北半球冰盖、大气 CO_2 浓度、深海环流等的变动过程为核心, 但仍然有待于进一步的研究。

大洋经向翻转流作为全球热盐环流的重要组成部分, 在海气交换、水热输送等方面发挥关键作用, 直接影响全球气候。在现代, 大西洋经向翻转流 (Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC) 十分强劲, 而太平洋经向翻转流 (Pacific Meridional Overturning Circulation, PMOC) 则并不存在, 但过去可能并非如此。近年来, 大量研究聚焦于 2 万年前的上一次冰期, 发现当时北太平洋很可能出现了较强的经向翻转流, 并显著改变了深层碳储存和水热输送情况, 表明 PMOC 可能发挥了关键的内部反馈作用。MPT 标志着全球气候的剧烈变动, 当时北大西洋和南大洋的环流格局也发生较大改变。但对 PMOC 的研究还很薄弱, 在北太平洋深海和开阔大洋区域还缺乏相关记录。沉积物自生铀含量 (aU) 对于沉积物孔隙水氧化还原环境十分敏感, 可用于反演过去底层水含氧量, 进而指示经向翻转流强度。

MPT 是冰期旋回大幅改变的过渡时期, 对于 MPT 期间大洋环流等气候系统重要部分的研究, 有助于进一步理解和认识 MPT 的发生原因和气候冰期旋回的根本性质。本研究通过亚极地北太平洋地区大洋钻探计划 ODP 882 站位 (50.36°N, 167.60°E, 水深 3244 米) 的深海沉积物岩芯样品, 分析

其自生铀元素含量和 Cd、V 等还原敏感金属元素含量, 重建了 MPT 前后的北太平洋深层水含氧量, 并结合已有研究的其它指标和模拟结果, 尝试探索北太平洋深层水在 MPT 中的作用与贡献。

S78-P-2S

印尼海道在上新世关闭的古地磁学证据

周恩雄^{1,2}, 闫永刚^{1,2*}, 来振洋^{1,2}, 李旦欣^{1,2}, 付亚兰^{1,2}, 邓晓泰^{1,2}, Thanakan Anchana^{3,4}, Apivut Veeravinantanakul³, Punya Charusiri^{4,5}, 黄宝春⁶, 张培震^{1,2}

1 中山大学, 地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室 (珠海)

3 Mahidol University Kanchanaburi

Campus, Division of Geoscience, School of Interdisciplinary Study

4 Chulalongkorn University, Department of Geology, Faculty of Science

5 Department of Mineral Resources, Thailand

6 北京大学, 地球与空间科学学院

* yanyongg@mail.sysu.edu.cn

海道的开启与关闭在全球气候与环境演化过程中发挥着重要作用。晚新生代时期, 印尼海道的关闭阻碍了太平洋与印度洋之间原本畅通的水体与热量交换, 促使主要洋流体系重组, 进而对区域乃至全球气候产生深远影响。然而, 印尼海道的关闭过程与时限仍然存在较大争议。目前对海道关闭时间的约束主要基于古海洋学重建, 多通过海道闭合过程中引发的气候与环境变化进行确定, 但此类约束通常对应海道闭合过程中的某一阶段, 而不是海道的最终关闭时限。精确重建印尼海道两侧陆块 (巽他地块与澳大利亚板块) 晚新生代的运动历史, 可以为海道闭合过程提供关键约束。为此, 本研究对印支地块晚新生代火山岩开展了系统的古地磁学研究, 获得了巽他地块约 18 Ma、约 3 Ma 和约 0.3 Ma 的三个可靠古地磁极。在此基础上, 重建了自约 20 Ma 以来巽他地块与澳大利亚

板块的运动学历史。结果显示,巽他地块与澳大利亚板块的纬度位置在约 4–3 Ma 时趋于汇合,这为印尼海道最终构造关闭时间提供了关键运动学约束。结合已有古海洋学重建结果,本研究恢复了印尼海道的演化历史,并提出其最终构造关闭时间为晚上新世(约 4–3 Ma)。

S78-P-3S

晚中新世印尼海道阶段性关闭过程的地形重建

魏思华¹, 余梦明¹, 田军^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* tianjun@tongji.edu.cn

印尼海道连接印度洋和太平洋,调节二者之间的水热输送,影响全球热盐环流格局。晚中新世印尼海道经历了阶段性关闭过程。其关闭导致西太平洋暖池的形成与强化,同时阻碍了赤道太平洋与印度洋的水体交换,引发温盐环流重组。这一过程促进了北极冰盖的扩张。尽管晚中新世印尼海道的阶段性关闭对全球气候系统影响深远,相关地形重建工作却很薄弱。我们计划收集最近二十年来印尼海道地区最新的岩相古地理资料,结合重点研发项目对印尼区域构造演化和沉积古地理的研究,对晚中新世印尼海道阶段性关闭过程中的地形进行精细化重建。

S78-P-4

上新世以来赤道太平洋海温轨道周期转型的简单模式瞬变模拟

王跃^{1,2*}, 季翔宇², 魏思华², 丁奕凡², 党皓文¹, 郑伟鹏^{3,4,5}, 田军¹, 翦知湓¹

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

3 中国科学院大气物理研究所, 地球系统数值模拟与应用全国重点实验室

4 中国科学院大气物理研究所, 地球系统数值模拟科学中心

5 中国科学院大学, 地球与行星科学学院

* 163wangyue@163.com

随着上新世以来大气 CO₂ 浓度降低,全球平均温度变冷,水汽含量减少,可能导致气候系统内部反馈过程对不同轨道周期外部驱动的敏感性发生改变,即长期气候背景状态变化可能导致轨道尺度气候周期转型(比如中更新世前后从 4 万年周期主导转为 10 万年和 2 万年周期主导)。为了检验这个假设,本研究综合利用箱式海洋模型、以及二维能量平衡大气模型,以 3 Ma 以来的轨道参数和大气 CO₂ 浓度为驱动,进行瞬变加速模拟,试图揭示外部驱动和内部反馈对热带太平洋表层海温长期趋势以及周期转型的相对贡献。结果表明,1) 简单模式可以成功模拟出与重建记录相似的经/纬向温差协同演变关系,并合理再现冷舌区海温的构造演变趋势和轨道周期转型;2) 不同 CO₂ 背景值条件下,水汽反馈对轨道辐射量的敏感性差别不大,但可以剧烈放大构造-轨道尺度 CO₂ 变化驱动的温度响应幅度,特别是在热带地区更为明显;3) 冷气候背景下的冰反射率反馈强度远大于气候暖期,可导致冷舌区海温轨道尺度变幅显著增大;4) 中更新世前后冷舌海温平均值降低的内部机制主要是水汽反馈,轨道尺度变幅增大的内部机制则是冰反射率反馈,而 10 万年和 2 万年周期的增强则需要大气 CO₂ 驱动与两个内部反馈的共同作用,CO₂ 背景值降低可通过冰反射率反馈而增强岁差周期,偏心率周期则来自 CO₂ 本身的 10 万年周期以及水汽反馈放大作用。

S78-P-5S

轨道驱动的中新世印尼贯穿流季节性响应机制研究

李振¹, 张彧瑞^{1*}, 戴楠¹, 魏吉林², 郑伟鹏²

1 厦门大学, 海洋生物地球化学全国重点实验室

2 中国科学院大气物理研究所, 地球系统数值模拟与应用全国重点实验室

* yuruizhang@xmu.edu.cn

印尼贯穿流 (ITF) 通过调控印太暖池热盐输运在全球气候系统中起核心枢纽作用。本研究基于 FGOALS-g3 气候模型的六组现代与中中新世不同轨道参数配置试验, 分析了岁差对 ITF 季节性变化的调控机制及其构造-轨道协同效应。

结果显示, 岁差通过太阳辐射调控信风强度、海表面高度梯度和 ITCZ 迁移, 进而影响 ITF 输送: 北半球夏季近日点条件下, 增强的东北信风通过风应力与海表面高度梯度扩大太平洋-印度洋压力差, 叠加 ITCZ 北移引发的海洋大陆降水增多与动力高度抬升, 进一步强化压力梯度, 共同驱动夏季 ITF 峰值达 -20 Sv; 远日点则减弱季节差异提升冬季流量。岁差影响流量呈现"双阶段响应"特征, 即近日点夏季增强、春冬抑制, 远日点相反。中新世开放海道重构 ITF 水源并放大轨道强迫效应, 南太平洋水体经新几内亚北部通道的输运占比 76%, 且季节性差异更加显著, 并存在最大 8.76 Sv 的逆流。

本研究阐明 ITF 对构造-轨道的耦合响应, 为理解地质历史时期热带海气相互作用及跨尺度气候预测提供了新视角。

S78-P-6S

末次盛冰期以来海平面上升对热带太平洋海温模态的影响

马雅楠¹, 孙炜毅^{1*}, 刘健¹, Bin Wang², Deliang Chen³, 宁亮¹, 严蜜¹

1 南京师范大学, 地理科学学院

2 夏威夷大学, 气象系

3 清华大学, 地球系统科学系

* weiyisun@nju.edu.cn

热带太平洋海温的平均模态对 ENSO 活动有重要调控作用, 但气候模型在模拟其长期趋势时与观测存在显著分歧。器测资料显示, 20 世纪 70 年代以来赤道太平洋呈现拉尼娜型海温趋势, 而多模式模拟结果却表现出厄尔尼诺型趋势。而产生偏差的原因始终存在争议。我们猜测这一海温模态的偏差可能和模式对海洋性大陆 (Maritime Continent, MC) 地区对流活动的低估有关。末次盛冰期以来, 冰盖的融化引起全球平均海平面上升了约 120 米, MC 地区大面积的古大陆被淹没。这种海陆变迁改变了局地的能量平衡和对流活动, 为我们探究该地对流活动对太平洋海温模态的影响提供了一个自然气候背景。本研究通过耦合同位素的地球系统模式 iCESM1.3 开展敏感性试验, 探讨了 14.5–11 ka 和 11–7.5 ka 两个阶段海陆变化对太平洋海温模态的不同影响。试验结果显示, 第一阶段 (14.5–11 ka) 出露的巽它陆架被淹没, 局地表面温度升高且对流活动显著增强, 激发了东传的开尔文波, 引起异常的赤道东风。该信号通过海洋平流反馈和温跃层反馈被强化, 形成类拉尼娜型海温模态。第二阶段 (11–7.5 ka) MC 东南部出露的萨胡尔陆架的淹没触发了南北不对称的罗斯贝波响应, 海洋反馈过程较弱, 最终引起了赤道太平洋东西对称的环流结构, 东太平洋显著升温, 更倾向类厄尔尼诺的温度梯度。该研究阐明了 MC 对流活动对赤道太平洋海温模态的影响, 为理解现代观测与模拟的太平洋海温模态的偏差提供了新视角。

S78-P-7S

晚中新世至早上新世时期印度尼西亚海道收缩引起的上层海水温度变化

丁奕凡^{1*}, 田军¹

1 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

* dingyf@tongji.edu.cn

东印度洋-西太平洋暖池海区是全球重要的热量和水汽源区。地质历史上, 印度尼西亚海道的开合控制了太平洋-印度洋暖池之间水体和热量的输送, 调控暖池的演变。晚中新世以来, 太平洋板块向西朝欧亚板块持续俯冲, 印度板块与欧亚板块发生强烈陆陆碰撞, 在澳大利亚板块向北运动的过程中, 位于澳大利亚板块西北部的侏罗系洋壳于 10Ma 开始俯冲于欧亚板块之下。这些构造运动使印度尼西亚海道阶段性关闭, 改变了西太平洋和东印度洋之间的洋流体系。

前人重建的古海洋学记录和开展的数值模拟实验都发现, 在上新世时期, 作为西太平洋暖池和东印度洋暖池的连接纽带, 印度尼西亚贯穿流 (ITF) 的水体来源由高温高盐的南赤道太平洋水团转变为低温低盐的北赤道太平洋水团。印尼海道的关闭造成了 ITF 的改变和西太平洋暖池的逐渐强化, 使东印度洋海水表层温度降低, 次表层海水盐度降低, 并影响了澳大利亚大陆和非洲大陆的气候状况。然而, 大多数的古海洋学研究都认为海道关闭在中晚上新世时期, 这与构造模拟重建的结果海道的阶段性关闭始于晚中新世时期不匹配, 缺少对晚中新世以来海道变化的研究。

本研究选择国际大洋钻探计划 (Ocean Drilling Program, ODP) 在赤道西太平洋的 ODP807 站位和在东印度洋的 ODP762 站位, 测试了深海岩芯中表层和次表层浮游有孔虫壳体的 Mg/Ca 比值, 重建了 6-3.8Ma 以来两个站位的表层海水温度 (Sea Surface Temperature, SST) 和次表层海水温度 (Thermocline Water Temperature, TWT) 变化记录, 发现在此期间有两次升温事件。在 5.2-4.9Ma 期间, 西太平洋 807 站位和东印度洋 762 站位 SST 迅速上升, 同时东赤道太平洋 SST 下降, 推测这是由于印尼海道收缩造成的热水在印太暖池区域堆积,

暖池强化。在 4.8Ma 之后, 全球海平面上升, 东西赤道太平洋逐渐升温, 是全球性的升温信号; 同时由于海平面上升造成 ITF 的增强, 使东印度洋 762 站位上层海水混合加强。

S78-P-8S

晚上新世 iNHG 后北太平洋副热带环流的增强和南移

唐璐瑶^{1,2}, 常凤鸣^{1,2,3*}, 王佳^{4,5}, 钱芳^{6,7}, 张俊茹^{1,2}, 李铁刚^{3,8*}

1 中国科学院海洋研究所

2 中国科学院大学

3 青岛海洋科技中心

4 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室

5 青岛地质工程勘察院 (青岛地质勘查开发局)

6 Tulane University

7 Woods Hole Oceanographic Institution

8 自然资源部第一海洋研究所

* chfm@qdio.ac.cn

* tgli@fio.org.cn

北太平洋副热带环流 (NPSG) 在北太平洋地区内外的海洋热量分布和气候调节中发挥着至关重要的作用。然而, 其在关键气候转变期的长时间尺度变化仍然知之甚少。本研究利用浮游有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 和 Mg/Ca 重建了 3.8-1.8 Ma 期间中纬度西北太平洋 DSDP 296 站位的表层海水温度 (SST) 和盐度 (SSS), 并结合黑潮延伸流、加利福尼亚流和阿拉斯加流区域现有的古记录, 研究了 NPSG 环流在晚上新世北半球冰期 (NHG) 期间的变化。在 2.7 Ma 北半球冰川作用加强 (iNHG) 之后, 296 站位的 SST 和 SSS 都明显增加, 表明黑潮加强, 更多的暖咸水涌入中纬度西北太平洋。加利福尼亚流和阿拉斯加流区域的海温在 ~2.7 Ma 之后同时升高, 表明在 iNHG 之后, NPSG 的所有三个边界流都增强了, 从而使 NPSG 环流在这一气候转变之后更加强劲。同时, 黑潮延伸流和加利福尼亚流北部边缘区域的 SST 明显下降, 这暗示了 NPSG

北部边界可能发生了向南移动。对晚上新世北太平洋纬向和经向海表温度梯度的分析表明, iNHG 后北太平洋副热带环流的加强和南移可能是由于赤道太平洋更类拉尼娜态以及北半球高纬变冷所驱动的大气环流重组所致。我们的研究结果可能指示了未来持续的气候变暖将导致 NPSG 环流减弱并向极移动。

S78-P-9S

上新世巴拿马海道闭合调控全球季风水热传输

郝治羽^{1*}, 王跃^{1,2}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

* 2333201@tongji.edu.cn

5 ~ 3 百万年前的上新世暖期 (MPWP), 大气 CO₂ 浓度与现代接近 (350-490ppm), 全球平均温度却比现代高 2~4°C, 两极冰盖消融导致海平面比现代高 25 米左右。按照上新世模式比较计划 (PlioMIP3), 该时段古气候状态的最大不确定性来自于 4Ma 前后的构造古地理变迁 (尤其是巴拿马海道开启/关闭)。为了探明巴拿马海道开/合如何调控全球不同季风区的水/热传输过程, 本研究利用 CESM1.0.4 海气耦合模式, 按照 PlioMIP3 标准配置进行了三个平衡态模拟试验 (工业革命前控制试验、晚上新世巴拿马海道闭合实验、以及早上新世巴拿马海道开启试验), 通过分析表层温/压场、大气风场、降水的敏感性响应, 初步评估上新世暖期海道关闭对低纬季风水热传输过程的影响。

S78-P-10S

二维冰盖模式中的上新世暖期西南极冰盖稳定性分析

陈泓嘉^{1,2*}, 王跃^{1,2}, 田军^{1,2}

1 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

2 同济大学, 海洋与地球科学学院

* chen hongjia@tongji.edu.cn

上新世暖期 (约 3~5 Ma) 的大气 CO₂ 浓度 (405 ppm) 与现代相当, 全球平均温度较现代高 3°C, 两极冰盖消融, 是与未来暖期气候最为相似的地质历史时期之一。但上新世暖期的海平面到底比现代高多少 (通常认为是 25 米, 但也有说 40 多米或 10 多米), 其中西南极冰盖是否消融是个关键, 现代西南极冰盖是对海洋增温最敏感的区域, 其消融特征和机制对未来海平面预测至关重要。为分析上新世暖期的气候与冰盖变化, 本研究试图修改 Xie et al. (2022) 开发的简单冰盖模式 (ISM), 以地球系统模式 CESM 模拟的 PlioMIP2/3 平衡态试验结果作为 ISM 模式的外部驱动条件, 然后设计多组敏感性试验, 初步分析了大气 CO₂ 浓度、巴拿马海道闭合等因素相关的表层温度和降雨对西南极冰盖质量平衡状态的影响, 以及冰盖内部过程 (比如海基冰盖边缘崩解参数等) 产生的西南极冰盖敏感性响应。

S78-P-11S

中更新世过渡期 (MPT) 期间印度洋深海碳循环的演变及其全球影响

杨明天¹, 颜余真^{1,2*}, 田军^{1,2}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 同济大学, 海洋地质国家重点实验室

* yanyuzhen@tongji.edu.cn

中更新世过渡期 (MPT) 是地球气候系统演化过程中的一个关键转折点, 其驱动机制至今仍是学术界关注的焦点。现有证据表明, 冰期大气中二氧化碳分压 (pCO₂) 的减少在 MPT 过程中发挥了重要作用。虽然这些二氧化碳变化通常被认为储存于深海, 但目前对全球尺度深海碳储

存的定量评估仍存在不足,这主要是由于印度洋和南大洋区域数据的匮乏。本研究通过分析印度洋底栖有孔虫 *Cibicidoides wuellerstorfi* 的 B/Ca 比值,重建了古深水 $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ 的变化历史。研究材料来自国际大洋发现计划 (IODP) 363 航次 U1483 站点的样品,时间跨度覆盖 0-1.6 Ma 期间的冰期和间冰期极值,首次揭示了印度洋跨越 MPT 的溶解无机碳 (DIC) 变化记录。在此基础上,本研究进一步探讨了这一记录对 MPT 期间全球海洋碳酸盐系统演化以及海洋-大气-地壳碳循环平衡的启示意义。

S78-P-12S

上新世晚期到更新世早期北太平洋 ODP 1208 站位鱼牙钕同位素水团记录

徐静¹, 田军^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院
* tianjun@tongji.edu.cn

晚上新世到更新世早期,北半球冰盖快速扩张 (iNHG) 使全球气候从“温室”气候向两极均有冰盖覆盖的“冷室”气候模式转变,但对于北半球冰盖扩张的触发因素尚且没有定论。因此,本研究利用位于西北太平洋 ODP 1208 站位 (36.127°N, 158.202°E, 水深 3346m) 的鱼牙钕同位素组成 (ϵ_{Nd}) 重建过去 3.6~1.3 Ma 的北太平洋深层水团历史,以探究北太平洋深层环流演变对北半球冰盖的影响。

1208 站位的鱼牙钕同位素结果显示,在 3.6~1.3 Ma 呈现较强放射性的北太平洋特征,总体在 -2.2~-4.3 之间波动,并且在 iNHG 期间, ϵ_{Nd} 值明显迅速下降 1 个单位。我们认为这可能是由于在北半球冰盖快速扩张期间,呈现非放射性的南源水团向北输送增强,并且北太平洋深水 (NPDW) 形成减弱,混合后导致水团的放射性显著负偏。结合前人研究,显示在中上新世暖

期,由于北太平洋层化作用减弱,有利于 NPDW 生成,并且此时南太平洋深层水团受到夏季海冰范围的抑制,向北输送较弱,随着北半球冰盖扩张的增强和全球温度的下降,北太平洋层化作用增强,抑制 NPDW 的形成,并且南极冰盖扩张使盐析作用增强,南太平洋深水向北输送增强。我们认为北太平洋深层南、北源水贡献比例的变化可能影响经向水汽输送,从而促进了北半球冰盖快速扩张。

S78-P-13S

MIS7 期以来印度洋偶极子的演化历史及其驱动因素

刘佳澳¹, 吴永华^{2*}, 王跃^{3*}, 王星星³, 毕乃双¹

1 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
2 自然资源部第一海洋研究所
3 同济大学, 海洋与地球科学学院
* yhwu@fio.org.cn
* 163wangyue@tongji.edu.cn

印度洋偶极子 (Indian Ocean Dipole, IOD) 是印度洋海盆尺度上最重要的年际变率之一,对区域季风降水及全球气候具有重要调控作用。研究 IOD 在地质历史时期的演化规律,可为预测未来全球变暖背景下 IOD 的变化提供重要依据,但目前尚缺乏对地质历史时期 IOD 变化的统一认识。本研究基于赤道印度洋西部 WIND-CJ04-07 站位浮游有孔虫壳体 Mg/Ca 比值以及氧同位素组成,重建了该海域 25 万年以来海表温度与盐度的演化历史;结合热带印度洋东南部 SO139-74KL 站位研究结果,系统研究了 MIS 7 期以来 IOD 的强度变化。结果表明:赤道西印度洋海表温度与当地夏季日照量显著相关,表现出较明显的岁差周期 (~23 kyr);重建的 IOD 强度变化同样具有显著的岁差周期,当岁差参数处于极小值时,赤道印度洋表层海温呈西暖东冷的类正 IOD 状态。同时,IOD 强度还表

现出显著的偏心率周期 (~100 kyr)，这一周期性特征主要受控于热带印度洋东南部海表温度对冰期-间冰期海平面波动的敏感性响应，其中巽他陆架在冰期低海平面时期的广泛暴露起到了关键性调控作用。

S78-P-14

巴拿马海道的关闭对全球大洋环流的影响

冯华^{1*}

1 自然资源部第四海洋研究所

* fenghua@4io.org.cn

海道关合影响全球大洋环流，是影响地球气候演变的推手，其中巴拿马海道的关闭被认为引起大洋环流重组和北半球冰盖扩张，然而巴拿马海道关闭的时间和后果仍存在争议。我们通过重建上新世以来的赤道西太平洋底层水碳同位素和碳酸盐溶解变化，结合巴拿马海道东西两侧的其他深水记录，研究巴拿马海道的关闭对全球大洋环流变化的影响。我们的记录表明在大约 4.3 Ma 时深海环流发生了重大变化，这与上层温盐环流变化一致，并得到了模式模拟的大西洋经向翻转环流加强的证实。我们的研究表明，与大西洋不同，巴拿马海道的关闭抑制了太平洋热量的北向输送，这与东亚季风的减弱和北太平洋的冷却相对应，为北半球冰盖扩张提供了先决条件。

S79-P-1

不同强迫类型下的大西洋经向翻转环流反转事件

吴晟¹，刘永岗^{1*}

1 北京大学，物理学院

* ygliu@pku.edu.cn

大西洋经向翻转环流 (AMOC) 在全球热量与质量输送中扮演着关键角色。研究表明，AMOC 是气候系统中的重要临界点元素，能够在相对短的时间尺度内从一个稳定状态迅速转变为另一个状态，这种反转通过级联效应可对其他气候系统产生深远影响。目前科学界对 AMOC 是否正在接近临界点仍存在争议，我们通过气候系统模式成功模拟了三种不同类型的 AMOC 反转事件。研究结果揭示：1) 单一轨道岁差的演化可触发 AMOC 反转；2) 植被覆盖的减少可能导致 AMOC 反转；3) AMOC 反转的发生时间与外部强迫的强度密切相关。这些发现为理解 AMOC 反转点的潜在驱动机制提供了全新视角，有助于深化人类对气候系统反转事件的认知和预测能力。

S79-P-2S

地球系统突变与反转的临界点识别：新疆天山北坡自然资源管理的风险预警框架

王然^{1,2}，周伟^{1*}

1 中国地质大学（北京），土地科学技术学院

2 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心，首席科学家工作室

* 531809925@qq.com

新疆天山北坡作为中亚干旱区重要的生态屏障与资源富集带，正面临冰川加速消融、植被覆盖度骤降及水资源时空异化等地球系统突变风险，可能引发区域资源供给链断裂与生态功能不可逆衰退。本文以地球系统临界点理论为核心，集成多源遥感监测 (Landsat、MODIS)、地面生态站点观测与气候情景模拟数据，构建天山北坡“突变-反转”过程的临界点识别模型，提出“三阶四维”风险预警框架，旨在破解高不确定性环境下自然资源管理的主动适应难题。研究揭示：(1) 天山北坡关键突

变阈值包括夏季均温升幅 $\geq 2.1^{\circ}\text{C}$ (RCP8.5 情景下 2040 $\pm$ 5 年)、冰川储量损失超 35% 及山地草甸 NDVI 持续 5 年低于 0.25, 三者交互作用将导致水资源承载力下降 40%;

(2) 基于随机森林算法与因果推断模型, 筛选出冰川退缩速率、地下水埋深变幅、植被光合阻力指数等 12 项核心预警指标, 构建多层次风险信号识别体系, 实现从“潜在扰动”到“系统崩溃”的四级 (蓝-黄-橙-红) 预警响应; (3) 设计“空天地一体化”预警平台, 耦合 InSAR 地表形变监测、生态水文耦合模型与政策推演模块, 在玛纳斯河流域开展实证应用, 成功预警 2022 年春季融雪洪水与灌区土壤盐渍化协同暴发事件, 推动当地水资源调度方案优化与生态补水工程提前启动。本研究创新性提出“自然-社会临界点协同诊断”方法, 突破传统单要素预警局限, 为西北干旱区统筹资源开发与生态安全提供技术范式, 建议纳入新疆国土空间规划“双评价”动态修正机制, 并为“一带一路”沿线类似区域的风险防控提供科学模板。

S79-P-3S

机器学习结合重建记录与模式数据理解 LGM 以来绿色撒哈拉长期演化

郝光耀^{1,2}, 孙炜毅^{1,2*}, 刘健^{1,2}, 宁亮^{1,2}, 严蜜^{1,2}

1 南京师范大学, 气候系统预测与变化应对全国重点实验室

2 南京师范大学, 地理科学学院

* weiyisun@njnu.edu.cn

“绿色撒哈拉”现象在古气候重建记录中广泛出现, 是一种植被快速生长并消退的古气候现象, 但其特征与过程尚未很好的被地球系统模式所捕捉。本研究提出了一个整合现代观测数据与古气候数据的机器学习框架, 以量化植被-气候非线性关系。

我们基于卫星资料和气候观测资料, 训练神经网络, 并将该模型应用于过去的古气候重建记录和古气候模拟数据。通过偏差校正协调代用资料与模式的差异, 我们重建了具有突变特征的撒哈拉植被动态: (1) 早全新世季风增强驱动下, 草地快速扩张; (2) 中全新世植被覆盖达到峰值; (3) 晚全新世开始剧退缩, 转变为现代沙漠生态系统。这种亚千年尺度的植被状态突变表明, 撒哈拉可能是对水文气候阈值敏感的“临界要素”。本研究通过结合机器学习的方法与古气候重建、模式模拟数据, 更有效的呈现出“绿色撒哈拉”的连续时空特征突变以及期间关键的突变节点。

S79-P-4

末次盛冰期黑潮演变特征的集合模拟研究

郑军勇^{1*}, 郭新宇², 杨海燕², 毛新燕¹, 江文胜³

1 中国海洋大学, 海洋与大气学院

2 日本爱媛大学, 沿岸环境科学研究中心

3 中国海洋大学, 环境科学与工程学院

* junyongzheng@ouc.edu.cn

黑潮是北太平洋区域重要的西边界流, 携带大量水体和热量向北输运, 对于西北太平洋和我国近海的水文环境及气候变化具有重要影响。本研究基于高分辨率区域海洋模式, 综合考虑海平面变化及多种地球系统模式输出的大气强迫, 开展了末次盛冰期黑潮路径及体积输运变化的集合模拟研究。集合平均结果表明, 末次盛冰期时期黑潮仍自台湾东部进入东海, 但受海平面显著下降的影响, 其在东海区域的路径整体向海偏移。在延伸体区域, 黑潮主轴位置向南偏移, 主要受控于风应力旋度零等值线的南移。同时, 末次盛冰期黑潮的体积输运整体强于现代, 这主要与海盆尺度风应力旋度增强, 进而导致 Sverdrup 输运增强有关。相关结果对于进一步认识

气候变化背景下黑潮的演变具有重要参考意义。

S79-P-5

小行星撞击对地球气候和生态系统的影响

戴兰^{1*}, Axel Timmermann¹

1 韩国基础科学研究所, 气候物理中心

* landai@pusan.ac.kr

近地小行星对地球具有巨大的潜在威胁, 目前已发现的中型近地小行星“贝努”有可能在 2182 年以 0.037% 的概率撞击地球。这类中型小行星(直径 300 到 1000 米之间)撞击地球陆地表面后会产生大量的粉尘气溶胶, 对气候及生态系统造成严重的威胁。但当前研究对于撞击可能会对地球陆地和海洋生态系统造成的影响尚不明确。本研究利用耦合的地球系统模式(CESM2-WACCM6)模拟了中型小行星撞击地球后在大气平流层中注入的数亿吨粉尘对气候和生态系统的影响。模拟结果揭示出中型小行星撞击产生的粉尘气溶胶会对地球气候、平流层臭氧层和全球生态系统光合作用造成极大的扰动。在平流层注入 4 亿吨粉尘的情形下, 结果表明全球平均地表温度最大降低 4 度、全球平均降水减少 15%、以及平流层臭氧损耗约 32%。撞击产生的“寒冬”大约持续 4 年以上, 造成全球陆地和海洋净初级生产力最大减少了近 36% 和 25%。不同于陆地生态系统的缓慢恢复, 海洋浮游生物的生产力在撞击发生后 1 年内迅速恢复到撞击前的水平。而在撞击发生 1 年后, 通过粉尘沉降进入海洋的铁元素极大地促进了南大洋和赤道东太平洋等铁限制海区的大型浮游植物硅藻的爆发式生长。

S79-P-6S

千年事件中的海平面变化模拟

张宇翱^{1,2}, 张旭^{3*}, Evan J. Gowan⁴, Guido Vettoretti⁵

1 中国科学院青藏高原研究所

2 中国科学院大学

3 英国南极调查局

4 熊本大学

5 哥本哈根大学

* xuang@bas.ac.uk

大量地质证据表明, 北半球气候在深海氧同位素三阶段(Marine Isotope Stage 3, MIS3)时期存在大量的快速震荡, 在北大西洋地区的气温波动幅度可以达到 10-15°C, 已经接近了冰期-间冰期旋回中的变幅。冰量/海平面变化通常被认为受制于气候条件的改变, 但是同一时期的海平面记录缺乏足够的时间精度来指示千年事件与海平面变化间的关系。鉴于此, 利用冰盖动力模型开展瞬变模拟成为研究历史时期冰盖/海平面对千年事件响应的重要方法。通常, 冰盖模拟的方式分为两大类: 1) 利用冰盖-气候耦合的模型, 探讨冰盖与气候变化的相互作用; 2) 利用古气候代用指标驱动离线冰盖模型, 讨论冰盖对气候变化的响应。这两种方式各有优劣, 但要么受制于计算资源而无法开展长时间尺度下的模拟, 要么受制于单一固定的代用指标而忽略了千年事件中气候变化的空间异质性。本研究尝试使用气候模型的瞬变模拟结果驱动冰盖模型, 这种方式缓解了因大气-海洋积分导致的计算资源问题, 同时避免了代用指标选取造成的缺少空间异质性的问题。研究表明, 千年事件对北半球冰量变化的影响主要取决于其暖期(间冰阶)和冷期(冰阶)的持续时长, 且不同冰盖区域响应温度和降水改变的敏感性不同。最后, 针对冰盖模型发展现状, 本研究认为海洋-冰盖界面物理过程的缺失或许是准确模拟千年尺度下海平面演变的重要不确定性来源。

S79-P-7S

晚奥陶纪 (440 Ma) 冰盖演化的模拟研究

孙宇东^{1*}

1 北京大学, 物理学院大气与海洋系

* yudongsun@stu.pku.edu.cn

本研究通过耦合 CESM 和冰盖模式 ISSM, 模拟晚奥陶纪冰期的冰盖演化和气候变化。通过二者的耦合, 冰盖显著生长发育, 成功再现了晚奥陶纪冰期的冰盖发育形态, 最终形成以南半球西风带为界, 覆盖整个超大陆的超级冰盖。耦合模拟相较于传统模拟, 与地质记录有更好的吻合, 同时揭示了大气模块在冰盖发育中的重要作用与相互反馈过程, 展示了一种特殊的高温温室气体水平下的冰盖发育的耦合模式。厘清上述过程不仅有助于认识冰盖的形成与消退机制, 还能揭示冰盖作为气候系统中的重要组成部分如何调节全球气候。

S79-P-8S

曹妃甸地区过去 3500 年植被演替与植被突变事件影响因素分析

柴世瑶¹, 李月丛^{1*}

1 河北师范大学, 地理科学学院

* lyczhli@aliyun.com

植被是生态系统重要的组成部分, 是气候变化的直接承受者与反馈者。晚全新世以来, 气候变化与人类活动共同作用于生态系统, 二者叠加影响下, 生态系统和区域景观发生了巨大变化。为探讨曹妃甸地区晚全新世植被演替历史与驱动机制, 我们基于曹妃甸湿地获取的岩芯进行孢粉分析, 利用景观重建算法、多样性指数、RoC 分析等方法, 对曹妃甸地区过去 3500

年植被进行定量重建。结果表明, 曹妃甸地区晚全新世呈现以草地为主的森林-草地-湿地的植被组合。3500 ~ 3200 cal yr BP 期间植被状况最好, 森林覆盖度最高; 3200 ~ 2400 cal yr BP 森林覆盖度持续下降, 盐地沼泽面积显著扩大; 2400 ~ 610 cal yr BP 期间森林覆盖度略有恢复, 盐地沼泽面积下降; 610 ~ 180 cal yr BP 期间森林覆盖度受到寒冷干旱气候的影响下降, 禾本科覆盖度显著升高; 180 cal yr BP 期间受到强烈人类活动的影响, 森林覆盖度恢复, 草本植物群落转为以菊科、莎草科为优势的现代群落类型。曹妃甸地区植被生态系统在过去 3500 年发生过两次植被突变事件, 分别在 2450 ~ 2250 cal yr BP 期间和 180 cal yr BP 左右。2450 ~ 2250 cal yr BP 期间植被突变事件受到 3300 ~ 2500 cal yr BP 期间持续降低的降水的影响导致生态系统韧性降低, 2400 cal yr BP 左右寒冷干旱的气候触发了生态系统的阈值效应, 导致植被生态系统发生短暂的突变; 180 cal yr BP 左右的植被突变事件则是河流作用和强烈的人类活动的干扰所引起的。

S80-O-1

秦岭山区滑坡遗迹数据库构建与空间分布特征分析: 基于遥感解译与机器学习的综合研究

许冲^{1,2*}

1 应急管理部国家自然灾害防治研究院, 地质灾害研究中心

2 新疆大学, 地质与矿业工程学院

* xc11111111@126.com

滑坡遗迹是山地地区地质灾害的重要表现形式, 其分布特征与环境因子密切相关, 对于区域灾害风险识别与防治具有重要意义。秦岭山地地处我国南北地貌与气

候过渡带,地形起伏剧烈、构造活动频繁,是滑坡灾害高发区域。本文基于光学遥感影像解译、历史成果整合与文献调研,构建了覆盖秦岭全域(约 38 万平方千米)、共计 169888 个滑坡遗迹的大型数据库,显著提升了区域滑坡信息的完整性和精度。选取高程、坡度、坡向、距断层距离、地层年代、年均降雨量、距水系距离、土地覆盖类型和植被指数(NDVI)等九类环境因子,系统分析滑坡遗迹的空间分布规律,结果显示滑坡主要集中分布在海拔 2000–2300 米、坡度 15°–30°区间,距活动断层 0–2 公里范围滑坡密度最高,耕地覆盖和 NDVI 较低区域滑坡发生频繁,表明其发育受地形、水文、地质和人类活动多因素共同控制。进一步提取滑坡高差与滑动距离分析其形态特征,发现不同区域滑坡流动性存在显著差异,黄土覆盖区滑坡具有更强的流动性特征。采用非均匀采样策略构建非滑坡点集,引入随机森林模型进行滑坡易发性评价,模型表现优异,划分出极高、高、中、低和极低五类易发区,其中高易发区主要分布于海东–临夏–定西、陇南–甘南–阿坝以及西安西北部等地。本研究成果可为秦岭及类似山地地区滑坡灾害的精准识别、风险分区与防灾减灾策略制定提供技术支撑,具有良好的推广价值。

S80-O-2

岷江上游正构烷烃组成及其对地震前后有机碳来源的指示

李卓芝^{1,2}, 汪进^{1*}, 金章东^{1*}

1 中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院大学

* wangjin09@ieecas.cn

* zhdjin@ieecas.cn

地震、暴雨等极端事件对自然环境以及社会经济发展造成巨大破坏,极大地威

胁了人民生命财产安全与国家重大战略实施。在构造活跃的山地,地震与极端天气事件的叠加进一步加大了地质灾害风险和脆弱性。然而,由于地震的发生具有低频次和偶然性,关于地震对地表过程的影响时间和程度还知之甚少。水库沉积物能够记录事件前后的侵蚀物质,是研究地震环境效应的良好载体。正构烷烃可以用来追溯有机质来源与空间分布,具有指示区域环境变化的优势。青藏高原东缘的龙门山地区地震活跃、侵蚀快速,是研究构造带有机地球化学指标能否忠实记录来源的理想区域。位于岷江上游的紫坪铺水库保存了 2008 年汶川地震事件前后的沉积物,是研究极端构造事件表生环境效应的一个良好载体。因此,本研究分析了岷江上游流域岷江沿岸、山上不同高程与土壤剖面、以及紫坪铺水库沉积物的土壤总有机碳含量(TOC)及同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$)、正构烷烃组成及其单体同位素($\delta\text{D}_{\text{Alk}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Alk}}$)。

结果表明,山上表土的正构烷烃碳优势指数(CPI)、平均碳链长度(ACL)、 $\delta\text{D}_{\text{Alk}}$ 以及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Alk}}$ 等参数与海拔呈显著的线性相关(r^2 均>0.50, p 值均<0.01)。与沿山样带不同,岷江边表土指标除了 $\delta\text{D}_{\text{Alk}}$ 指标与海拔有较显著的线性关系($r^2=0.51$, $p<0.01$)之外,其他指标如 CPI、ACL、TOC、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 以及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Alk}}$ 对海拔变化的响应是非线性的,这反映了受植物类型、干旱度、温度以及高海拔输入等混合影响。在土壤剖面中,正构烷烃浓度、ACL、CPI 以及 TOC 含量随土壤深度增加而降低, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Alk}}$ 则随着土壤深度增加而升高, $\delta\text{D}_{\text{Alk}}$ 的变化更为复杂。紫坪铺水库沉积物正构烷烃双峰态的分布模式指示了陆源高等植物和低等菌藻类生物或岩石的混合来源。地震前后呈现阶段性变化:地震前阶段和震后阶段 1(2008 年地震后~2010 年前)指标变化较小,但是震后阶段 2(2010~2015 年)和阶段 3(2016~2019 年)变化较大。通过多指标分析发现,地震后大量滑坡侵蚀破坏植被和土壤进入到河流,

这个效应由于强降雨的影响,在震后阶段 2 最为强烈。而随着土壤和植被的恢复,在震后阶段 3,新鲜生物有机碳贡献减少,岩石有机碳贡献明显增加。这一过程指示了地震引发的强烈构造活动与后续强降水共同作用,显著改变了土壤有机碳侵蚀-搬运-沉积过程。

S80-O-3

厚层泥质浊流沉积——死海新古地震指示标志

张雨薇¹, 卢银^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院
* yinlu@tongji.edu.cn

近期研究显示,水下环境中保存的厚层泥质浊流沉积(也被称为“均质岩”),是现代及历史大地震的主要沉积响应类型之一。死海国际大陆钻探计划的深钻岩心(ICDP Core 5017-1)中保存了诸多这类事件层。我们构建了岩心上部~17 m(覆盖过去~2 kyrs)无事件扰动的高分辨率年代-深度模型;并基于这一精细的年代-深度模型,发现这些厚层泥质浊流沉积与区域内的历史和考古大地震有着良好的对应关系。因此,我们认为死海中的厚层泥质浊流沉积可作为新的地震指示标志,并有望推动建立死海断裂带更长时间尺度、更为完整的地震记录。

S80-O-4

阵发性的河口异重流:从过程到产物

吴晓^{1*}, 王厚杰¹, 毕乃双¹, 杨作升¹

1 中国海洋大学, 海洋地球科学学院
* wuxiao@ouc.edu.cn

异重流是指河流携带沉积物直接潜入蓄水体底部并沿盆地底部继续前进的高密度流体。由于其突发性与演变过程的不确定性,较难通过野外观测捕捉。近年来围绕异重流沉积产物开展了诸多研究工作,但由于沉积记录的多解性,不同沉积结果的解读存在一定争议。黄河由于入海泥沙浓度高,其河口地区成为研究异重流的天然实验场。本研究通过黄河调水调沙期河口连续观测数据,揭示了潮流影响下的河口异重流动力过程,从现代沉积的角度为异重流沉积产物的解读提供了新的视角。

S80-O-5

中尺度涡输运深海沉积物的季节性差异

张刘祯怡¹, 张艳伟^{1*}, 阮威涵¹, 吕丹妮¹, 庄志远¹, 钟贻森², 周磊²

1 同济大学
2 上海交通大学
* ywzhang@tongji.edu.cn

中尺度涡是典型的高能海洋运动形式,在全球海洋能量再分布中扮演着关键作用。南海作为西太平洋最大的边缘海,其中尺度涡频发,而中尺度涡对海区内多尺度环流系统的能量输送和物质搬运具时空差异性。我们利用 META3.2 DT 的卫星高度计数据和 GLORYS 模式数据,其中 GLORYS 使用和 META3.2 DT 相同的闭合等值线法对 2013~2014 年南海的中尺度涡进行识别与追踪,重点研究 2014 年夏季中尺度涡与 2013 年冬季中尺度涡的差异性。卫星数据结果显示,南海 2013 年冬季生成 14 个反气旋涡和 20 个气旋涡(持续时间大于 28 天),其平均生命周期 59 天,平均半径 84 km,平均振幅 8.1cm。2014 年夏季生成 18 个反气旋涡和 15 个气旋涡,平均生命周期 57 天,平均半径 63 km,平均振幅 4.4cm。模式数据也显示出同样的中尺度涡特征,2014 年夏季以反气旋涡为主,主要生成于

菲律宾吕宋岛西侧海域,而 2013 年冬季则以气旋涡为主。南海北部的锚系观测结果也表明,2014 年夏季中尺度涡对沉积物影响较大,不仅底部沉积物捕集器通量大,同时 500m 水深沉积物通量也显著增大。2014 年夏季南海中尺度涡的异常沉积效应源于黑潮跨越路径的概率增强至 25.8%,促使强反气旋涡的生成,同时在超强厄尔尼诺背景下,其垂向动力过程突破了传统南海夏季涡旋的输运限制。

S80-O-6

南海东部海山 80 万年以来 滑坡—浊流历史研究 (IODP-U1431 站位)

孙爽¹, 卢银^{1*}

1 同济大学,海洋与地球科学学院
* yinlu@tongji.edu.cn

开展海山滑坡历史及驱动机制研究,对评估海啸等海洋地质灾害至关重要。全球海山滑坡研究多集中在开阔大洋环境,发现海山在火山活动停止后仍会频繁发生侧翼滑坡,致使其周围广泛沉积钙质浊积岩。然而,由于开阔大洋环境沉积速率低,已有的海山滑坡记录分辨率较低,导致目前对海山滑坡过程及驱动机制的认识仍然有限。相比之下,南海残余洋脊附近海山周围沉积了大量钙质浊积岩,其沉积厚度更是开阔大洋环境的数倍。

IODP-U1431 站位位于南海东部的珍珠-黄岩海山链附近,在周围海山停止发育后,U1431 站位岩心中还发育大量钙质浊积岩。此外,该区域地震活动频繁。因此,此站位岩心是建立周围海山高精度滑坡历史,并探究其与地震活动关联的宝贵档案。基于 U1431D 及周围短岩心(U1431A、U1431B、U1431C)的高清岩心图片、毫米分辨率的 XRF 及厘米分辨率的磁化率和伽马密度等数据,我们建立了 80 万年以来

(上部 51 m)的高精度沉积序列,识别出 25 个钙质浊积岩层和 166 个陆源碎屑浊积岩层。此外,我们通过去除这些瞬态事件沉积层,优化了已有的深度-年龄模型,重建了 80 万年以研究区高精度的浊流事件序列。目前已基于钙质浊积岩序列,完成了周围海山的滑坡序列的建立。下一步将重点解析周围海山滑坡的驱动机制。

S80-O-7

早侏罗世托阿尔期全球变暖 驱动水文循环增强与碳酸盐 岩台地危机

韩中^{1*}

1 成都理工大学
* hanzhong19@cdu.edu.cn

早侏罗世托阿尔期(Toarcian)发生的显著碳循环扰动,通常被认为与卡鲁-费拉尔大火成岩省的喷发及快速释放轻碳密切相关,同时伴随全球升温以及托阿尔期大洋缺氧事件(T-OAE,约 183 Ma)的发生。尽管气候快速变暖导致水文循环增强的观点已被广泛接受,但其具体表现形式及其对托阿尔期碳酸盐岩台地沉积体系的影响机制仍存在争议。本研究基于藏南托阿尔期剖面的沉积学分析与碳同位素地层学研究,识别出两次水文循环增强事件及其引发的碳酸盐生产危机。第一次危机始于普林斯巴阶—托阿尔阶(Pl-To)界线时期,表现为陆源碎屑输入显著增加,主要沉积物为砂岩,夹少量混积岩与泥晶灰岩,并发育高能交错层理和平行层理等沉积构造,表明降雨与径流强度的显著增强。对比研究表明,在同一时期,离岸更远的浅水台地由于陆源输入相对较少,仍以碳酸盐岩沉积为主,生物丰度和多样性几乎未受影响。这一现象可归因于全球升温驱动下的水文循环增强,大量陆源物质通过径流输入近岸浅水台地,形成富营养且浑浊的水

体环境,抑制了钙化生物的生存;然而,较远岸地区的台地受此影响较小。第二次危机与 T-OAE 期间的负碳同位素偏移(NCIE)同步发生,表现为浅水台地向较深水缓坡的突变,主要沉积物为泥晶灰岩,并发育高频风暴沉积,这与西特提斯地区的记录一致,指示热带气旋频率的增加。因此,在 T-OAE 期间,热带风暴的物理破坏作用与海洋化学条件的剧烈变化可能共同导致了造礁生物的灭绝,并对特提斯浅水碳酸盐岩台地的彻底转变起到了决定性作用。

S80-O-8

黄土高原上风向外围风成沉积与晚第四纪风沙—粉尘活动

强明瑞^{1*}, 陈杰¹

¹ 华南师范大学,地理科学学院
* mrqiang@scnu.edu.cn

中亚干旱区是北半球重要的粉尘源区。亚洲粉尘载荷不但敏感响应于全球气候系统的变化,而且也是影响该系统演变的重要因素之一。我国分布有广泛的沙漠和黄土沉积,构成了“亚洲风成系统”的主体,由此释放的粉尘可输送至北太平洋,甚至格陵兰岛。亚洲粉尘的释放及其动力机制关系到粉尘地质记录的合理解释。然而,由于源区风蚀强烈,粉尘释放过程难以限定,因此过去大气粉尘变化的原因仍存在很大争议。沙漠-黄土过渡带分布有风成砂与黄土互层的沉积地层,这些沉积甚至出现在与黄土高原毗邻的现代沙漠内部。通过分析黄土高原上风向外围不同地点风成沉积地层层序变化及沉积特征,结合绝对测年,研究结果显示:(1)典型黄土的分布范围曾远大于现代黄土高原,与典型黄土互层的风成砂沉积代表了毗邻沙漠的阶段扩张;(2)与沙漠扩张相伴随的风

蚀作用使得上风向沉积的典型黄土成为黄土高原及其下风向粉尘沉积的物源,该过程合理解释了黄土高原部分时段黄土沉积物质通量显著增加而粒度组成基本不变的事实,以及 MIS5d 阶段北太平洋粉尘沉积通量增高而黄土高原黄土沉积并未增强的现象。这些认识对于深入理解亚洲粉尘释放过程与机制,以及重新认识黄土沉积传统代用指标(如粒度组成、沉积通量)等具有重要意义。

S80-O-9

陆生蜗牛记录的季节—天气尺度环境变化

董吉宝^{1*}, 晏宏^{1*}, 王国桢¹, 宗秀兰¹, 刘成程¹

¹ 中国科学院地球环境研究所
* djb@ieecas.cn
* yanhong@ieecas.cn

陆生蜗牛分布广泛,对气候环境变化,特别是对降水和温度变化非常敏感。前人研究认为,蜗牛壳体氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)主要记录了蜗牛体液水的信息,而蜗牛体液水 $\delta^{18}\text{O}$ 最终来源于降水 $\delta^{18}\text{O}$ 。为验证这一推论,我们对 2021 年整个生长季蜗牛体液水 $\delta^{18}\text{O}$ 开展了高分辨率(每两天采集一个样本)的研究,并且对在这期间采集的非成年蜗牛壳进行了壳内(毫米尺度) $\delta^{18}\text{O}$ 分析。结果显示,体液水 $\delta^{18}\text{O}$ 良好地记录了季节-天气尺度实测降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化,这表明降水 $\delta^{18}\text{O}$ 是蜗牛体液水 $\delta^{18}\text{O}$ 的主控因素。而且,在季节尺度上高分辨率蜗牛壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 也与根据降水 $\delta^{18}\text{O}$ 和温度理论计算的壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出一致的变化,表明壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 忠实地记录了季节尺度的环境变化。此外,利用二次离子质谱仪(SIMS)获得的超高分辨率(微米尺度)壳内 $\delta^{18}\text{O}$ 结果显示,其可以示踪天-周尺度降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的波动,并能够记录 2021 年郑州的“千年一遇”的超大暴雨事件。总之,

我们的研究证实蜗牛壳体高分辨率 $\delta^{18}\text{O}$ 可以作为季节至天气尺度环境变化的代用指标, 揭示不同气候背景下陆地古天气变化。

S80-O-10

南海中央海盆 IODP-U1433 岩心 80 万年以来浊流沉积 及其意义

李训鹏¹, 卢银^{1*}

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

* yinlu@tongji.edu.cn

南海中央海盆是南海周边地区陆源物质重要的“汇”。受到构造、气候等因素影响, 浊流远距离搬运沉积物是深海盆地沉积的重要过程。近年来, 关于南海浊积岩的沉积特征和浊流发生的原位观测取得了诸多进展, 但仍然缺乏对浊积岩的高分辨率研究。以 IODP 第 349 航次 U1433 站位为例, 除少数研究简单列出短时间尺度内浊积岩的发生序列, 多数研究并未关注浊积岩对沉积环境演变的影响, 这也就限制了我们对浊积岩的沉积特征、形成过程和触发机制的理解。

U1433 站位岩心位于南海中央海盆, 其沉积速率 (23.7 cm/kyr) 远高于正常的远洋沉积速率。通过借助高清岩心图片, 结合磁化率和伽马密度数据, 我们从 U1433A 岩心中初步识别出: (1) 7 个泥质浊积岩, 平均厚度为 15 cm; (2) 73 个粉砂质浊积岩, 平均厚度为 15 cm; (3) 43 个砂质浊积岩, 平均厚度为 23 cm; (4) 3 个厚层钙质浊积岩, 平均厚度为 172.4 cm; (5) 3 个火山灰层, 平均厚度为 4.8 cm。根据识别结果, 我们扣除岩心内的事件沉积层, 对 U1433A 岩心原有的年代-深度模型进行优化, 使 U1433A 岩芯的沉积速率更趋近于真实情况。

接下来, 我们将对年代-深度模型的优化效果进行验证, 例如岩心的数据曲线异

常值是否减少, 整体变化趋势是否更具有规律性。此外, 浊积岩的形成过程需要深入分析, 探讨其与冰期-间冰期旋回以及海平面变化之间的耦合关系, 并对浊积岩粗颗粒部分进行重矿物分析, 揭示浊积岩的物质来源。

S80-O-11

南海北部陆坡峡谷脊部精细 结构、沉积成因及储层发育 规律

杨毅凌¹, 卓海腾^{1*}, 樊奇², 李元平³, 王秀娟⁴, 苏明¹, 王智娜¹

1 中山大学, 海洋科学学院

2 中海油研究总院有限责任公司

3 中海石油 (中国) 有限公司深圳分公司

4 中国海洋大学, 海洋地球科学学院

* zhuoht3@mail.sysu.edu.cn

海底峡谷脊部是全球和南海海域天然气水合物的重要富集带。相比研究程度较高的海底峡谷, 脊部的沉积特征和建造过程目前尚未充分揭示。本文选取南海北部白云陆坡峡谷为研究对象, 基于高精度三维地震数据开展峡谷脊部层序地层和地震地貌学系统性研究。通过地震解释识别出五个关键地质界面, 进而将 10.5 Ma 至现今海底划分为四个演化期次 (SU1-SU4)。地震相分析和厚度图表明研究区峡谷脊部演化呈现两阶段特征: 建造期 (10.5-2.6 Ma) 以形成初始地貌形态为主, 生长期 (2.6 Ma-现今) 则表现为持续的垂向加积作用, 其中中更新世以来 (0.6 Ma-现今) 沉积速率显著提升。三维地震地貌学特征发现, 研究区自 10.5 Ma 以来发育大规模波状地层 (波长 0.5-4.0 km, 波高 6.3-12.2 m)。结合其上坡迁移特征, 平面的不规则圆坑状形态, 同时与国内外研究对比, 可排除正断层、滑坡和蠕变等解释。这些不对称的波状起伏可解释为超临界浊流水跃作用下形成的沉积物波。模型计算和地震

属性提取发现, 相比于波峰或底形高点, 沉积物粒度在波谷处较粗, 进而具有更高的水合物富集潜力。

S80-O-12

印支运动约束下的多因素驱动软沉积变形及其指示意义——来自鄂尔多斯盆地西部冲断带的证据

李兴宇¹, 姜在兴^{1*}, 梁承春², 孟赛², 高盾², 黄浩²

1 中国地质大学(北京), 能源学院

2 中石化股份有限公司, 华北油气分公司

* 3006230014@email.cugb.edu.cn

麻黄山西地区地处鄂尔多斯盆地西部冲断带与天环凹陷的过渡带, 是连接中国北方西部与东部不同大地构造单元的枢纽地区, 也是地球物理场与地壳厚度的急速变化带以及强烈地震活动带。受印支期以来的构造运动影响, 研究区形成了复杂的断裂分布特征, 构造特征存在明显的东、西差异, 西部断裂构造发育, 东部构造相对简单, 表现出由东向西断层、构造越发剧烈、复杂。延长组 6₂ 亚段属于麻黄山西地区的重要勘探开发层位, 目前探明储量规模高达 1000 万吨, 其中存在大量指示事件沉积的软沉积变形构造, 而对于鄂尔多斯盆地软沉积变形的研究主要集中在延长组 7 段, 对于延长组 6 段的软沉积变形的过程与触发机理的讨论较少, 目前对这些软沉积变形的空间演化规律及其成因还没有形成较为成熟的认识。同时, 由于缺乏年代学证据的支撑, 所以重大地质历史时期对延长组 6 段软沉积变形的约束较弱, 软沉积变形与构造背景的关系尚未明确。本次研究在岩相划分的基础上, 根据岩心 4D 扫描、测井、地震解释等资料厘定出研究区目的层段的垂向沉积序列, 并分析其成因, 建立了一种典型风暴沉积模式。根

据不同岩相中的软沉积变形特征, 基于岩相的垂向叠置样式, 建立若干典型的软沉积变形岩相组合, 确立了风暴、地震、地震-风暴联合作用共三种软沉积变形的驱动因素及其对应的岩相组合。此外, 通过目标层段的碎屑锆石样品 U-Pb 定年分析, 厘清了目标层段与印支运动的时空关系, 精确化了印支运动对麻黄山西地区目的层段沉积的年代学约束。通过垂向上、平面上软沉积变形的分布, 结合砂厚、砂地比等数据分析, 建立研究区在印支运动背景下受多种灾害事件驱动所形成软沉积变形指示的综合沉积模式图, 既方便了软沉积变形驱动因素的判断, 也明确了印支运动背景下软沉积变形对灾害事件的指示意义, 进一步厘清了多因素驱动下的软沉积变形的时空演化规律。以上认识为事件沉积的过程与触发机理提供了启发, 为研究区优质储层的划分提供了一种新的理论基础与模型, 推动了鄂尔多斯盆地麻黄山西地区延长组的油气勘探与开发, 同时为极端灾害事件的恢复与预测提供了重要启示。

S80-P-2S

北太平洋赫斯海隆深水区沉积动力过程的垂向分异规律

洪昱恺¹, 韩喜彬^{1*}, 张怡¹, 袁寰¹, 范维佳¹, 许东¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* hanxibin@sio.org.cn

本研究通过分析北太平洋赫斯海隆深水区(水深 3600 m)沉积物柱状样(深度 0-469 cm)的垂向参数序列, 揭示了不同深度区间沉积动力过程的分异特征:

表层沉积段(0-100 cm): 砂含量从 4% 突增至 18%, 中值粒径粗化至 20 μm , Fe 元素浓度显著富集(44,000 ppm), 分选系数降低至 2.0, 偏态趋近对称($Sk=-0.2\sim 0$),

反映晚全新世以来高能事件（如浊流或冰筏输入）对粗颗粒陆源物质的快速搬运。

中层过渡段（100-300 cm）：粉砂含量达 56-64%，Ca 元素出现峰值（52,000-54,000 ppm），平均粒径稳定于 6-12 μm ，分选系数升至 2.8，峰态值（ $K_u=1.0-1.2$ ）指示末次冰期底流改造对细颗粒的再分选作用，可能与西边界流增强驱动的生物碳酸盐生产力波动相关。

深部稳定段（300-469 cm）：粘土含量持续升高至 32%，Fe/Ca 比值稳定于 0.6-0.7，负偏态显著（ $S_k<-0.5$ ），分选系数增大至 3.0，符合间冰期副热带环流主导的远洋悬浮沉积模式，低扰动环境利于细颗粒黏土长期积累。

参数协同分析表明：砂含量与 Fe 浓度呈强正相关，证实陆源碎屑输入受亚北极环流南扩调控；粉砂含量与 Ca 峰值同步变化（深度 120-200 cm），揭示冰期西边界流活动对底栖生物生产与沉积物分选的耦合效应；粘土富集段（ $>30\%$ ）伴随分选系数变大（ $\delta>3.0$ ），反映副热带环流北移期的多物源混合过程。

数据揭示该区沉积过程存在“事件驱动-底流改造-远洋稳态”的三阶段垂向分异规律，为北太平洋古海洋环流重建提供新依据。

S80-P-3

琼东南盆地 W05 钻孔记录的 210kyr 以来多期次深海块体流沉积形成时间厘定

郭睿波¹，姜玉涵^{2*}，匡增桂¹

1 中国地质调查局广州海洋地质调查局，天然气水合物工程技术中心

2 中国地质调查局广州海洋地质调查局，大洋和极地研究所

* ypw9010@gmail.com

深海块体流沉积（MTDs）是指在深海环境中，由于重力失稳，沉积物大规模沿陆坡向下搬运而形成的复合沉积体，MTDs

作为一种重要的深水沉积过程，其形成不仅能引发海啸等灾害，还可能对海底基础设施构成地质风险，因此其触发机制一直是海洋地质领域的研究热点。我们通过地震资料在琼东南盆地中央坳陷带松南低凸起东北部第四纪地层中发现的三套垂向上相互叠置的块体流沉积与半远洋沉积（HDs）。此类规律性的 MTDs-HDs 旋回发育难以由随机的短期触发事件（如地震、水合物分解）解释，而更可能受到周期性气候变化的调控，后者通过物源供给、陆坡地形改造、沉积物通量与搬运路径的改变等多级耦合机制，协同控制了 MTDs-HDs 旋回的周期性发育。准确厘定这些多期次 MTDs-HDs 旋回的形成时代，对于理解其沉积过程和揭示其旋回性发育的控制机制至关重要，然而已有对于南海陆坡地区 MTDs 的研究往往没有对 MTDs 形成时间进行探讨，少部分学者主要依据层序地层界面对 MTDs 形成时间进行推断，然而，这种方法并不能准确地揭示各期次 MTDs 的沉积时期。本研究依托 W05 钻孔获取的全井段岩心，选取沉积连续、相对易于定年的 HDs 层段，通过高分辨率的有孔虫氧同位素分析，通过 W05 钻孔高分辨率氧同位素曲线与中国南海地区的 ODP Site1144、Site1146 钻孔记录以及 LR04 标准氧同位素曲线的对比分析表明，W05 钻孔岩心主要记录了 MIS7 至 MIS1 阶段的信息。结合氧同位素曲线以及 AMS ^{14}C 、OSL 测年结果，利用 QAnalySeries 及 MyDTW 软件，成功构建了研究区 MTDs-HDs 沉积旋回的高精度年代学框架。基于此年代学框架，我们确定了三套主要块体流沉积的形成时代：MTDs1 的形成时代约为 75-58ka，MTDs2 的形成时代约为 112-104 ka，而 MTDs3 的形成时代则约为 184-122 ka。对比南海海平面变化曲线可以看出 3 套 MTDs 形成时期均处于海平面由下降转变为上升的相对动荡阶段。这一精确年代学框架的建立，不仅为深入理解研究区多期次 MTDs-HDs 旋回的沉积过程、准确判断其垂向叠置周期性提供了关键时间标尺，更有助于探讨其

与冰期演化、季风演化等长周期性气候变化的潜在耦合关系。此项成果为后续深入剖析南海北部陆坡 MTDs 的触发机制、控制因素以及评估相关地质灾害风险奠定了坚实的年代学基础。

S80-P-4

南海北部 IODP 岩心揭示的聚集式发生的滑坡事件及其对年代和地质灾害的启示

卢银^{1*}, Ed L. Pope², 孙启良³, Michael Strasser⁴

1 同济大学

2 Durham University

3 中国地质大学(武汉)

4 University of Innsbruck

* yinlu@tongji.edu.cn

南海盆地北部 0.8-0.4 Ma 期间的沉积序列(如 IODP 367-U1499A)保存了频繁出现的滑塌-软沉积变形和浊流沉积组合(总厚约 50 m),可以在反射地震剖面中被追踪。然而,受反射地震垂向分辨率限制,尚无法分辨该段地层记录的究竟是单次大型海底滑坡事件,还是聚集式发生的多次中-小型事件。对此问题的解答将直接关系着对事件沉积过程、期次的正确理解和对事件年龄的可靠限定。通过开展事件沉积对比研究,我们发现:(1)类似的事件沉积组合同样出现于 50 km 外的 IODP 349-U1432C 岩芯,(2)年代可对比,均发生于 0.8-0.4 Ma;(3)均以厚层软沉积变形为主要特征,具有高度相似性;(4)均以米级厚度的砂质浊流沉积层开始,其顶部年龄分别为~41.7、~41.5 万年。后续高分辨率事件沉积学研究将揭示 0.8-0.4 Ma 期间,南海北部发生的主要事件沉积的类型、期次、年龄与驱动机制。

S80-P-5S

晚第四纪气候和海平面变化对南海北部大陆边缘浊流活动的控制

付亚兰^{1,2}, 闫永刚^{1,2*}, 代向明^{1,2}, 李冠华³, 惠格格^{1,2}, 张逸鹏^{1,2}, 梁浩^{1,2}, 李志刚^{1,2}, 王伟涛^{1,2}, 张培震^{1,2}

1 中山大学,地球科学与工程学院

2 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

3 汕头大学,理学院

* yanyongg@mail.sysu.edu.cn

浊流是将陆源碎屑物质从大陆边缘向深海输送的重要机制之一,前人通过对全球各地区浊积岩的研究表明浊流与气候和海平面的变化密切相关。在南海多个地区都识别出浊积岩的存在,但对南海北部大陆边缘地区浊流活动与气候和海平面变化之间联系的认识较少。本文通过对南海北部大陆边缘 ZDQ 钻孔顶部 232~1639cm 岩心进行粒度和色度测量,结合磁化率各向异性三轴椭球体投影识别出了三层浊积岩。由于岩心缺乏有孔虫壳体,无法建立氧同位素曲线进行定年,本文采用地磁场相对古强度和地磁漂移事件相结合的磁性地层学方法对其建立年龄框架,结果显示 ZDQ 钻孔顶部 232~1639cm 岩心年龄约为 41~150ka。三层浊积岩均发生在海平面上升、气候温暖湿润期间,推测是由于间冰期降水增多导致周边陆地河流对南海北部的陆源碎屑物输入增加而引起的浊流活动沉积。

S80-P-6

热带东南亚对北半球高纬快速气候事件的响应机制研究

黄杰^{1*}, 万世明¹, 常凤鸣¹, 刘建兴², 杨再宝¹, 孙晗杰¹, 马小川¹, 李安春¹, 李铁刚²

1 中国科学院海洋研究所, 海洋地质与环境重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿作用重点实验室

* huangjie@qdio.ac.cn

全球变暖背景下, 热带东南亚地区对北半球高纬快速气候事件的响应机制尚不明确。本研究通过分析西北婆罗海槽 CG18 孔沉积物的陆源组分及通量变化, 揭示了过去 4 万年该区域对海平面波动与极端气候事件的响应机制。锶钕同位素证实沉积物主要源自西北婆罗洲。轨道尺度分析显示, 虽然该区陆架狭窄, 海平面变化仍主导沉积过程。末次盛冰期海平面最低点出现在约 21 ka, 冰消期发生三次快速上升(对应 MWP-19 ka、MWP-1A 和 MWP-1B 冰融水脉冲事件)。粒度与磁化率记录显示, D-O 旋回冷阶发育洪水引发的异重流沉积。结合现代观测, 发现北半球高纬变冷通过双重机制引发东南亚洪水: 强冬季风携水汽遇地形抬升致洪; 高纬变冷与厄尔尼诺协同作用使热带辐合带收缩, 加剧降雨。持续强冬季风还导致西北婆罗洲石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值异常升高, 此时该指标主要反映水汽来源而非降雨量变化。研究表明, 北半球高纬快速气候事件通过调控海平面、东亚冬季风和热带辐合带, 引发东南亚海平面剧变与洪涝灾害。这对评估该区未来气候风险具有重要参考价值。

S80-P-7S

末次冰消期渤海湾西北岸环境演变与气候变化

孙秀云¹, 李月丛^{1*}

1 河北师范大学

* lyczhli@aliyun.com

末次冰消期是地球从末次冰盛期向全新世温暖期过渡的重要阶段, 也是现代气候和生态系统形成的关键时期。该时期的气候环境变化过程、影响因素及驱动机制

研究已成为当前全球变化研究的热点之一。目前, 我国东部季风区尤其是华北平原地区末次冰消期气候变化历史和气候事件的表现特征还存在诸多不同认识, 高分辨率的气候定量重建研究非常有限。本文选取华北平原东北部的曹妃甸(CFD-1)钻孔为研究对象, 基于钻孔孢粉数据定量重建华北平原东北部末次冰消期高分辨率植被演替和气候变化历史。我们的结果包括 4 个主要环境演变阶段: 第一阶段(12700-10900 cal yr BP), 木本植物花粉平均含量 12.8%, 其中松属花粉平均含量为 5.05%, 栎属花粉平均含量为 3.1%, 栎/松平均值为 0.93; 草本花粉平均含量(87.2%)占主导地位, 为全阶段值最高, 其中蒿属、藜科、荨麻属/蓼草属平均含量分别为 16.6%、18.8%和 28.7%。第二阶段(14800-12700 cal yr BP)木本花粉平均含量为 31.6%, 松属花粉平均含量为 21.87%, 栎属平均含量占比为 3%, 栎/松平均值为 0.2; 草本花粉平均含量占比为 68.4%, 其中蒿属、藜科、荨麻属/蓼草属平均含量分别为 9.4%、17.6%和 12.6%。第三阶段(16830-14800 cal yr BP), 木本植物花粉平均含量 28.6%, 其中松属花粉平均含量为 23.6%, 栎属花粉平均含量为 2.6%, 栎/松平均值为 0.04; 草本花粉平均含量(71.4%)占主导地位, 其中蒿属、藜科、荨麻属/蓼草属平均含量分别为 5.4%、21.5%和 8.8%。第四阶段(19067-16830 cal yr BP), 木本植物花粉平均含量 37.4%, 其中松属花粉平均含量为 16.6%, 栎属花粉平均含量为 0.9%, 栎/松平均值为 0.03; 草本花粉平均含量(62.6%)占主导地位, 为全阶段值最低, 其中蒿属、藜科、荨麻属/蓼草属含量分别为 2.8%、17.9%和 2.6%。研究结果所建立的末次冰消期气候变化框架, 不仅可以弥补研究区过去高分辨率气候记录的不足, 还对预测未来全球变暖背景下区域极端气候事件具有重要的参考作用。

S80-P-8

滞后的全新世大暖期促进了 青藏高原全新世中晚期过渡 阶段融水量的增加

卢红选^{1*}, 王政¹, 刘卫国¹, 王欢业¹

1 中国科学院地球环境研究所, 黄土科学全国重点实验室

* luhx@ieecas.cn

全新世温度变化具有较大的空间差异, 然而这种差异对区域生态系统的影响还不清楚。这里, 我们定量重建了青海湖地区江西沟黄土记录的基于生物标志物 brGDGTs 的全新世以来的地表温度变化, 并与青藏高原过去融水变化进行了对比。我们发现, 与多数全球或者区域的全新世大暖期(9000-5000 年) 发生时间不同, 江西沟的地表温度全新世以来逐渐升高, 并在中晚全新世过渡期(3-5ka) 达到最高值, 之后温度逐渐下降。我们推测这些温度变化可能与太阳活动与残余冰盖的共同作用有关。进一步的研究发现, 推迟的全新世大暖期温度变化与青藏高原融水比例的增加高度一致, 暗示地表温度变化在驱动高原融水发生的重要驱动作用。这项研究解译了中晚全新世转型期"亚洲水塔" 水热耦合的驱动机制, 对于预测未来气候变暖情景下"亚洲水塔" 的水资源变化及其生态影响具有重要参考价值。

S80-P-9S

渤海 1.35Ma 以来构造运动 控制的第四纪海侵过程: 来 自渤海东部 CSH05 孔的新 发现

熊伟¹, 梅西^{1*}

1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所

* meixil2345@163.com

渤海在第四纪经历了一系列复杂的演化过程, 其沉积记录对于重建中国东部陆架的海平面变化和环境演化具有重要意义。本研究基于渤海东部的全取芯钻孔(CSH05, 孔深 102.4m), 开展了以下研究: 首先, 结合交变退磁与热退磁数据, 构建了可靠的磁性地层年代框架。B/M 界线(早中更新世界线, 0.78 Ma) 位于孔深 57.2 m, 钻孔底界年龄约为 1.35 Ma。其次, 对钻孔沉积物进行了有孔虫定量分析, 识别出 9 个海侵层位, 结果表明渤海的初次海侵可追溯至 1.35 Ma, 表明自浙闽隆起解体以来, 海水抵达渤海东缘的时间较前人研究的记录更早。研究发现, 东海北部浙闽隆起与渤海海峡庙岛隆起共同控制了渤海第四纪的海侵过程, 其沉降与解体决定了黄海、渤海地区的海陆格局。庙岛隆起在 1~0.83 Ma 期间经历了进一步沉降, 海水在高海平面期间淹没了渤海中央盆地, 至 0.3 Ma 时庙岛隆起完全解体, 形成了现今的海陆格局。最后, 利用高分辨率光释光(OSL) 测年技术, 确定了渤海晚更新世以来的海侵时间, 结果显示渤海 MIS 3 期海侵仅限于渤海东部和南部, 强度弱于 MIS 5 期, 解释了渤海不同区域海侵记录差异的原因。此外, 综合黄海、渤海长时间序列钻孔的研究结果, 发现黄海和渤海的海侵过程受青藏高原隆升、浙闽隆起与庙岛隆起沉降、黄海和渤海区域沉降以及黄河形成演化等多重因素的影响, 进而建立了黄海和渤海的沉积与构造演化模式。

S80-P-10

新西兰大南盆地岩浆通道系 统

曹镒¹, 孙启良^{2*}

1 辽宁工程技术大学, 矿业学院

2 中国地质大学(武汉), 海洋学院

* sunqiliang@cug.edu.cn

岩浆通道系统是岩浆活动重要研究内容之一, 主要关注岩浆上升与侵位的过程及产物等, 对其进行研究有助于了解岩浆侵入与火山喷发机制, 对地球动力学、资源勘探、气候变化和地质灾害等方面的研究均有重要意义。然而, 目前针对岩浆通道系统发育特征及通道可持续活动时间的研究仍存在不足。因此, 本研究选取新西兰大南盆地为研究区, 基于高精度三维地震资料, 从时空分布、几何形态及侵入机制等方面对新西兰大南盆地的岩浆与热液活动进行分析, 揭示大南盆地裂后期岩浆通道系统以及通道的可重复利用性。通过对研究区内断层发育情况及断层与岩浆体空间关系的分析发现, 研究区内大部分岩床与火山发育在裂谷期形成的断层之上, 并且断层与岩床之间通过岩墙进行连接, 断层、岩墙、岩床与火山共同组成了研究区的岩浆输运系统, 根据其空间关系总结出三种岩浆输运模式: (1) 断层-岩床; (2) 断层-岩墙-岩床; (3) 断层-岩墙-岩床-火山。此外, 研究区内还识别出一处长期的热液通道, 该通道由 3 座垂向连续发育的热液喷口、古麻坑及浅部沉积层中的流体共同组成, 该通道被多次重复利用, 持续/周期性活动超过 54 Ma, 为目前有记录的活动时间最长的流体输运通道。本研究强调通道在沉积盆地内的关键作用, 其能够帮助岩浆突破相对刚性的基底, 也能长期、持续的帮助盆地内的各类流体资源(如烃类等)向上输运。

S80-P-11S

热液事件沉积作用的矿物学与地球化学响应: 以银额盆地早白垩世"白烟囱"事件为例

张浩然^{1,2}, 柳蓉^{1,2*}, 何天鑫^{1,2}, 高显达^{1,2}, 葛铭浩^{1,2}

1 吉林大学, 地球科学学院

2 吉林省页岩与共生能源矿产重点实验室

* liurong@jlu.edu.cn

热液作用以其独特的矿物学特征、地球化学特征、沉积构造以及对古湖泊水体的影响备受关注。银额盆地白垩系巴音戈壁组热液活动范围广泛、特征显著, 为研究热液作用创造了有利条件。为深入了解湖相热液活动对沉积环境演化的影响, 以银额盆地早白垩世巴音戈壁组上段为研究对象, 通过微区原位元素地球化学(LA-ICP-MS)、矿物全分析(TIMA)及 Sr、S 同位素测试, 揭示了一期完整的“白烟囱”热液事件过程与机理。

研究表明, 此次热液活动经历热液喷发前、瞬态热液喷发初期、瞬态热液喷发顶峰和持续性热液喷溢 4 个阶段。热液喷发前阶段, I号区域以陆源沉积为主, 粗晶方解石呈现富 Mn、贫 K、Na、Sr 特点, 区域内 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值较高, 成岩流体来源于湖水, 热液活动较弱, 地表化学风化作用强烈; 随着热液活动加剧, 进入瞬态热液喷发初期阶段(II号区域), 薄板状方解石和白云石出现, 黏土矿物减少, 幔源热液元素富集, U 含量波动, U/Th 比值大于 1, 热液周期性瞬态喷发, 标志热液活动开始; 在瞬态热液喷发顶峰阶段(III号区域), 放射状黄铁矿与方解石交汇, 白云石大量沉淀, 方解石 Mn/Sr 值高, 表明强烈成岩蚀变, 此时 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值最低, $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值反映微生物作用, 热液活动强度达到峰值; 热液能量降低后, 进入持续性热液喷溢阶段(IV号区域), 大量泥晶碳酸盐岩沉积, 水动力环境减弱, 但热液元素仍富集, Si 元素含量下降, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值稳定, 热液喷发方式转变为持续性稳态喷溢, 热液活动强度减弱, 沉积环境趋于稳定。

通过综合分析热液喷发产物、方式、物质来源、强度变化及沉积环境演变, 明确热液活动各阶段的变化规律。热液物质来源受壳源、幔源和湖水影响, Sr 同位素比值变化体现热液源和大陆化学风化作用

的改变; S 同位素表明研究区受硫酸盐还原细菌及热液活动双重影响。热液喷发强度从I号区域到III号区域逐渐增强、IV号区域减弱, Si、Ba 等元素及 REE+Y 分配模式可作为热液强度指示指标。本研究为全球湖相热液活动研究提供了重要参考, 也为微观地质学研究提供了范例。

S80-P-12S

鄂尔多斯盆地中晚三叠事件 沉积控制下的沉积模式及勘探意义

冯英琪¹, 姜林^{1*}, 姜华¹, 高阳², 赵文¹, 胡耀²

1 中国石油勘探开发研究院, 石油地质实验研究中心

2 中国石油大学(北京), 地球科学学院

* jianglin01@petrochina.com.cn

鄂尔多斯盆地是我国陆上最主要的含油气盆地之一, 其中三叠系延长组具有多层段产油, 多类型油气资源立体分布的典型特征。延长组丰富的原油资源及页岩油-致密油-常规油多层段油气差异分布特征引起国内外学者专家的高度重视, 不同类型储层分布规律及主控要素是制约勘探拓展最关键的因素。本次研究综合典型钻井开展多井多层段对比分析等方法, 对延长组沉积相特征进行了详细研究, 分析了延长组从早期到晚期沉积相特征, 明确了各时期沉积平面相分布规律, 绘制沉积相连井剖面以及平面图: 对沉积充填序列与环境气候变化的关系进行了深入探讨, 对长期以来湖平面升降控制储集砂体展布的传统认识进行深化发展, 建立了构造作用与环境气候共同控制下干湿交替的新沉积模式。本次研究认为: 延长组气候具有三分性, 秦岭造山活动等重大地质事件影响气候变化, 突发气候事件与构造活动等重大地质事件协同控制了沉积作用, 共同控制了延

长组如今的沉积格局。延长组早期(长 10-长 8 段)和晚期(长 3-长 1 段)处于干旱时期, 盆地东部底形较缓且缺少大面积汇水区, 以洪水搬运-事件沉积作用为主, 陆上部分形成了别具特色的河流扇体系, 入湖后以三角洲沉积为主; 西部底形较陡, 发育大型辫状河三角洲; 延长组中期(长 7-长 4+5 段)受 CPE 事件影响, 盆地整体气候湿润, 古气候环境虽然直接影响了沉积特征, 使得延长组沉积物搬运与沉积方式发生转变, 以河流-三角洲-湖泊-重力流沉积为主, 十分有利于优质烃源岩的发育。此外, 本文系统分析了干旱环境下低湖平面期特有的沉积相新类型, 即河流扇体系。明确了新类型的发育条件、分布规律及随气候变化产生的沉积相序变化特征。这种新沉积相类型的认识突破了以往延长组以浅水三角洲沉积为主的传统认识, 对丰富陆相盆地沉积理论及指导油气勘探实践均有积极意义。

S80-P-13

新仙女木期间百年尺度东亚 冬季风变化

刘星星^{1,2*}, 杨虎^{3,4}, 康树刚^{1,2}, Jef Vandenberghe⁵, 艾莉¹, 石正国^{1,2}, 程鹏^{1,2,6}, 蓝江湖^{1,2}, 王旭龙^{1,2}, 孙有斌^{1,2}

1 中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院地球环境研究所黄土科学全国重点实验室

3 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)

4 德国亥姆霍兹联合会 AWI 极地 & 海洋研究中心

5 Institute of Earth Sciences, Vrije Universiteit

6 陕西省加速器质谱技术与应用重点实验室

* liuwx@ieecas.cn

新仙女木事件(Younger Dryas, 简称 YD)被公认为北半球最后一次冰消期过程中发生的一次千年尺度寒冷气候事件。气候模型模拟和地质记录均表明, 在 YD 期间, 气候系统经历了多次跨年代际至百年

尺度的快速变化。然而,目前对于 YD 时期最为寒冷阶段内部气候突变特征及其机制的认识仍然较为有限。在本研究中,我们基于中国黄土高原西部两个高分辨率黄土粒度序列,探讨了新仙女木事件期间百年尺度东亚冬季风变率特征。平均粒径结果揭示,在最后一次冰消期过程中,黄土沉积物记录了两处明显的寒冷阶段,分别对应海因里希事件 1 和新仙女木事件,与区域及全球尺度的气候变化背景良好对应。更为重要的是,平均粒径变化进一步表明,在新仙女木事件期间,东亚冬季风系统存在持续的百年尺度变率。我们推测,这种变率主要由北大西洋海冰变化通过极地至中纬度地区的大气快速过程所驱动。此外,我们还观察到,在新仙女木事件中期,百年尺度东亚冬季风变率幅度出现了明显减弱。该变化与大气极锋向北移动及海冰范围退缩密切相关,而这一过程主要受大西洋经向翻转环流恢复所驱动。我们的研究结果表明,相较于 AMOC 本身,AMOC 引发的北大西洋海冰变化在北半球范围内气候信号快速传递过程中起到了更为主导的作用。

S82-O-1

极地雪冰三氧同位素分馏效应:观测、模拟与气候重建

庞洪喜^{1*}

1 南京大学,地理与海洋科学学院

* hxpang@nju.edu.cn

水有三种同位素,即 ^{16}O 、 ^{17}O 和 ^{18}O ,其中 H_2^{17}O 和 H_2^{18}O 组成 ($\delta^{17}\text{O}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$) 的相对变化称为过量氧-17,其定义为: $^{17}\text{O-excess} = \ln(1 + \delta^{17}\text{O}) - 0.528 \ln(1 + \delta^{18}\text{O})$ 。 $^{17}\text{O-excess}$ 是大气水循环过程的一种重要示踪剂,是目前水稳定同位素研究的前沿领域。在对流层,水循环过程中 $^{17}\text{O-excess}$ 变化主要受质量同位素分馏控制,因此对流层水循

环过程中 $^{17}\text{O-excess}$ 变化范围较小(约几十个 per meg, 1 per meg = 0.001‰),受 $^{17}\text{O-excess}$ 高精度测试条件的限制,导致目前国际上水体三氧同位素的研究依然较少。

对流层水体 $^{17}\text{O-excess}$ 变化主要受海洋水汽源区蒸发过程中的相对湿度控制,因此理论上利用极地冰芯 $^{17}\text{O-excess}$ 记录可以对海洋水汽源区湿度条件进行定量重建。我们中山站-Dome A 冰盖断面表层雪 $^{17}\text{O-excess}$ 观测证明低温过饱和条件下水汽冷凝过程三氧同位素发生非平衡分馏,导致极地内陆雪冰中 $^{17}\text{O-excess}$ 降低。目前受 $^{17}\text{O-excess}$ 高精度测试条件的限制,海洋水汽源区蒸发过程和极地内陆低温条件下水汽冷凝过程中大气水汽 $^{17}\text{O-excess}$ 均缺少野外观测数据,这限制了利用极地冰芯 $^{17}\text{O-excess}$ 记录进行海洋水汽源区条件定量重建工作的深入开展。

此外,平流层 O_3 光解过程中氧同位素发生非质量同位素分馏,该过程产生异常高的 ^{17}O ,异常高的 ^{17}O 信号通过平流层水汽的再循环过程和 CH_4 氧化生成水的过程转移到平流层水汽中,导致平流层水汽 $^{17}\text{O-excess}$ 为异常高值(比对流层高约 3~4 个数量级)。我们南极 Dome A 雪坑 $^{17}\text{O-excess}$ 研究表明,Dome A 雪冰 $^{17}\text{O-excess}$ 受平流层水汽输入影响显著,Dome A 雪冰 $^{17}\text{O-excess}$ 变化主要受平流层 Brewer-Dobson 环流强度变化控制,这为利用南极冰盖内陆冰芯 $^{17}\text{O-excess}$ 记录进行 Brewer-Dobson 环流强弱变化定量重建奠定了理论基础。但目前平流层水汽三氧同位素分馏效应不清,这限制了极地冰盖内陆地区冰芯 $^{17}\text{O-excess}$ 记录气候定量重建工作的深入开展。

报告以“极地雪冰三氧同位素分馏效应:观测、模拟与气候重建”为主题,重点讨论未来极地雪冰三氧同位素研究的前沿科学问题。

S82-O-2

末次冰消期南极底层水的逐步扩张释放深海 CO₂

黄璜^{1,2*}, Marcus Gutjahr³, 胡远杨²,
Frerk Pöppelmeier⁴, Gerhard Kuhn⁵,
Jörg Lippold⁶, Thomas A. Ronge⁷,
Shuzhuang Wu⁸, Patrick Blaser⁸, Samuel
L. Jaccard⁸, 罗一鸣², 于际民¹

1 崂山国家实验室

2 中山大学, 海洋科学学院

3 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research
Kiel

4 University of Bern, Climate and
Environmental Physics

5 Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum
für Polar- und Meeresforschung

6 Heidelberg University, Institute of Earth
Sciences

7 Texas A&M University, International Ocean
Discovery Program

8 University of Lausanne, Institute of Earth
Sciences

* huangl7323@gmail.com

末次冰期以来的大气 CO₂ 的升高与深海环流变化及其引发的南大洋碳循环过程密切相关。冰期增强的深海储碳通常被归因于更强深海层化作用, 以及南源水 (SSWs) 的扩张, 而随后的冰消期深海环流的变化则多被描述为北源水 (NSWs) 对深部南源水的取代。然而, 末次冰期以来 SSWs 的来源和空间结构仍存在巨大争议。该研究通过来自威德尔-恩德比海盆的钕同位素数据, 为过去 3 万 2 千年来南极底层水 (AABW) 在大西洋和印度洋扇区的时空分布和输运提供了关键重建数据。结果表明, 在末次冰期, AABW 的分布范围缩小, 来源于太平洋的下部绕极深层水 (LCDW) 占据了南大洋大部分区域。而在末次冰消期, AABW 经历了阶段性扩展, 伴随着南大洋深层分层的瓦解, 并与大气 CO₂ 的上升过程密切同步。与传统观点认为 NSWs 驱动了南大西洋冰消期深层环流恢复不同, 我们的研究表明, AABW 的扩张可能在其中发挥了更为关键的作用。

S82-O-3

阿蒙森海全新世冰架融化记录及驱动机制

陈新^{1*}, 陈桑¹, 江向海¹, 徐利强², 肖文
申³, 王风平¹

1 上海交通大学, 海洋学院

2 合肥工业大学, 资源与环境工程学院

3 同济大学, 海洋与地球科学学院

* xinchen1991@sjtu.edu.cn

过去几十年卫星观测发现, 南极阿蒙森海 (ASE) (西南极冰盖最脆弱的部分) 冰架正在快速融化, 这被归因于海洋和大气变暖共同作用的结果。然而, 由于缺乏 ASE 全新世冰架融化的连续且定量记录, 冰盖模型的可靠性受到限制, 增加在全球气候变化背景下对南极冰盖变化预测的不确定性。本文利用浮游植物脂类生标氢同位素定量重建阿蒙森地区全新世冰架融化记录。海洋沉积物中 GDGTs 记录的海水温度以及珊瑚化学成分表明, 南半球西风带的强度和纬度位置变化通过影响绕极深层水 (CDW) 入侵陆架的强度进而造成中全新世 (约 5-7ka) 该区域冰架的剧烈融化。然而, 我们的研究结果也发现, 晚全新世 (0-4ka) 的冰川排放变化与热带太平洋海表暖化 (厄尔尼诺) 导致阿蒙森海地区风异常引起沿岸上升流变化有关。本研究的结果表明, 除了海洋过程驱动冰架融化, 当前冰盖模型还应考虑热带太平洋控制的南极大气环流变化。

S82-O-4

南极湖泊水文演化

时美楠^{1*}

1 中国地质大学 (北京), 海洋学院

* beijiying@foxmail.com

Meltwater from the Antarctic Peninsula is of interest for influence on ice mass loss and global sea-level rise, while the response of surface melting to climate variability remains poorly understood. Lakes, highly sensitive to hydrologic changes driven by meltwater input, serve as excellent archives for reconstructing past surface melting dynamics. Here, we reconstruct lake level fluctuations and water source directions on Seymour Island over the past 22 kyr using magnetic particle shape anisotropy. Our results reveal millennial-scale hydrologic oscillations (~0.8, 1.2, 1.5, and ~2 kyr), superimposed on two distinct phases of lake level rise since the Last Glacial Maximum. We propose that solar activity and seasonal temperature contrasts are key drivers of these suborbital climate oscillations.

S82-O-5

末次冰盛期前威德尔海西北部冰山走廊上沉积物来源及其冰川动力学意义

武力^{1*}

1 广东海洋大学, 海洋与气象学院
* 460743265@qq.com

晚第四纪南极周边海域的冰川动力演化对全球气候变化具有重要的研究意义。本研究对中国第 28 次南极考察在威德尔海西北部南奥克尼群岛附近采集的沉积物重力岩心 ANT28/D4-9 进行了高分辨率采样(2cm/个)。测试了其地球化学元素和 Sr、Nd 同位素组成特征。Sr-εNd 模式图判断沉积物主要来自威德尔海沿岸, 南极半岛贡献比例有限; 稀土元素特征判别表明沉积物的组成在末次冰盛期前体现出物源由西南极向东南极逐渐转化的趋势。这表明在南极气温变化中, 冰川体系的不稳定性对海流及其搬运能力的改变, 能够记录在海

洋沉积物中, 为研究冰川动力学变化的提供了事实依据。

S82-O-6

冰冻卤水形成条件的时空变化: 来自南极罗斯海西部新港文石胶结物的启示

杨名字^{1*}, Tracy Frank², Chris Fielding³, 常标⁴

1 中国地质大学(武汉), 地球科学学院

2 University of Connecticut, Department of Earth Sciences

3 University of Connecticut, Department of Earth Sciences

4 中国地质大学(武汉), 地质过程与矿产资源国家重点实验室

* yangmingyu@cug.edu.cn

冰冻卤水沉淀的碳酸盐矿物已被证实是追踪南极麦克默多湾(McMurdo Sound)及其毗邻的麦克默多干谷(McMurdo Dry Valleys)中新生代地下卤水来源、特性及分布的重要指示标志。尤其值得关注的是, 该区域多个地层剖面中普遍存在的冰冻卤水沉淀形成的文石胶结物, 反映了卤水形成初期的物理化学条件。为深入探究这一现象, 本研究对连接麦克默多干谷和麦克默多湾的新港(New Harbor)中已获取的所有沉积岩心中的文石胶结物展开系统调查。胶结物的矿物相和同位素分析揭示, 在中中新世气候转型期及早—中更新世过渡期, 该区域的冰川出口区曾存在多种卤水形成环境, 包括冰下湖泊、冰缘湖泊和冰架下峡湾。这些环境的形成与冷基南极冰盖向南极大陆边缘的扩张密切相关。卤水在地下渗透过程中, 于接近 0°C 的低温条件下, 在沉积物-水界面以下迅速诱发文石的沉淀。在水力梯度驱动下, 缓慢渗透的卤水导致更大范围的文石沉淀, 形成的文石以粗粒、块状和嵌晶型胶结特征为主, 显著区别于浅部地层中常见的针状或纤维

状类型。根据文石胶结物推导出的氧同位素值显示,不同环境下的卤水 $\delta^{18}\text{O}$ 值从约-30‰ (VSMOW) 逐渐上升至-5‰,呈向麦克默多湾方向递增的趋势。各处冰冻卤水中 ^{18}O 的不同程度亏损,主要受周期性盐水补给的频率及冰冻浓缩过程中海水与淡水(冰川融水)相对贡献的影响。南极大陆边缘广泛存在的冰冻成卤环境在其他冰期记录中也可能存在,可通过本研究所记录的特征性文石胶结物模式加以识别。

S82-P-1S

基于高度支化的类异戊烯对 南极海冰密集度的半定量估计: PIPSO₂₅ 指数在普里兹 湾海域的适用性验证

崔超¹, 肖晓彤^{1,2*}, 刘焱光^{3,4}, Ruediger Stein^{1,5,6}, Seung-Il Nam⁷, 唐正³, 熊志方³, 张海龙²

1 中国海洋大学, 深海圈层与地球系统前沿科学中心和海洋化学理论与技术教育部重点实验室

2 崂山实验室

3 自然资源部第一海洋研究所, 海洋地质与成矿重点实验室

4 山东科技大学, 海洋科学与工程学院

5 University of Bremen, Faculty of Geosciences and MARUM-Center for Marine Environmental Sciences

6 Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research

7 Korea Polar Research Institute, Division of Glacier & Earth Sciences

* txiao@ouc.edu.cn

南极海冰是全球气候的重要组成部分,调节着全球海洋-大气热通量和物质循环。卫星观测海冰时间仅有四十多年且区域差异较大,其变化在气候模型中仍然没有得到很好的约束。因此,亟需结合各区域特征评估古海冰重建指标的适用性,为气候模型补充准确的古海冰记录。海冰生物标志物——高度支化的类异戊二烯(HBI-二

烯)被认为是重建南极海冰变化的有效手段,被命名为 IPSO₂₅ (Ice Proxy for the Southern Ocean with 25 carbon atoms)。结合浮游植物生物标志物可进一步计算 PIPSO₂₅ (Phytoplankton-IPSO₂₅) 指数,用来半定量重建过去的海冰密集度,但是对 PIPSO₂₅ 指数的研究目前仅局限在南极半岛及周边海域。而在海冰持续时间更长的边缘海(比如罗斯海,东威德尔海和普里兹湾近岸),受到冰架和水团相互作用及冰间湖的复杂影响,缺乏对 PIPSO₂₅ 指数适用性的验证研究。本研究基于中国第 29 次和第 37 次南极科考在普里兹湾获取的表层沉积物,分析了总有机碳和 IPSO₂₅ 的分布,并结合浮游植物生物标志物(HBI-三烯; 菜子甾醇和甲藻甾醇)分别计算了 P_mIPSO₂₅, P_BIPSO₂₅ 和 P_DIPSO₂₅ 指数。通过冗余分析发现,本研究区域的冰藻和浮游植物的生长主要受到季节性海冰变化的影响,而非营养物质限制。通过将单独的生物标志物以及 PIPSO₂₅ 指数与海冰硅藻种属的百分含量以及卫星观测获得的海冰密集度数据分别进行相关性分析发现,在浮游植物生物标志物中, HBI-三烯与海冰硅藻种属的百分含量之间无明显相关性,相对更适合用来计算 PIPSO₂₅ 指数。而且 PIPSO₂₅ 指数,尤其是 P_mIPSO₂₅,显著优化了单独的 IPSO₂₅ 与海冰的相关性,并且与夏季海冰密集度最相关,这可能是由于普里兹湾海冰融化相对更晚,大范围的海冰融化以及产生 IPSO₂₅ 的冰藻的生长集中在夏季。因此,我们认为 P_mIPSO₂₅ 可优先考虑作为普里兹湾海域重建夏季海冰密集度的有效指标。这对于未来基于沉积物岩芯,应用 PIPSO₂₅ 指数半定量重建古海冰变化以及对南极不同区域或气候时期的结果进行对比时产生重要的意义。此外, P_mIPSO₂₅ 可能也具有反映冰架基底融水及冰盖质量损失情况的潜力。

S82-P-2S

阿蒙森海陆隆岩心磁性矿物特征揭示上新世以来西南极冰盖动态

张梦薇^{1,2}, 高亮^{1,2*}

1 中国地质大学(北京), 海洋学院

2 中国地质大学(北京), 极地地质与海洋矿产教育部重点实验室

* gaoliang@cugb.edu.cn

阿蒙森海扇区是西南极冰盖(WAIS)最脆弱的部分, 对该地区历史冰盖动态的不全面了解限制了我们预测冰盖未来行为的能力。国际大洋发现计划在阿蒙森海陆隆实施钻探的 U1532 站位岩心表明, 过去的冰盖动态在深海沉积物中留下了明显痕迹。在寒冷时期, 陆源沉积物主要来自阿蒙森海大陆架及其腹地, 是阿蒙森海陆隆上沉积物的主要组成部分。相反, 在温暖时期, 碎屑物质的供应量极少, 表明 WAIS 从阿蒙森海撤退了。我们的磁学结果表明, 约 4.1-3.8 Ma 是自上新世早期以来阿蒙森海扇区 WAIS 崩塌的最合理时间。沉积物的非磁滞剩磁(ARM)是重建该地区冰盖动态的可靠替代指标。在大约 4.1 Ma 到中更新世过渡(MPT)期间, 沉积物的 ARM 变化揭示了气候恶化的四个关键时间点: 约 3.8 Ma、3.2 Ma、2.4 Ma 和 1.6 Ma。这些变冷事件的特征是岩心中细粒磁性矿物的增加, 反映了 WAIS 向更冷状态的阶梯式过渡。MPT 后西南极存在一个轻微变暖趋势。我们的发现凸显了阿蒙森海扇区 WAIS 对全球温度变化的异常敏感性。

S82-P-3S

南极白垩纪以来绝对古强度研究

郑婷尹¹, 高亮^{1*}

1 中国地质大学(北京), 海洋学院

* gaoliang@cugb.edu.cn

南极大陆保存了约 35 亿年的地质记录, 对研究板块构造和古气候变化具有重要意义。受限于极端环境采样难度和实验成功率, 南极绝对古强度数据相对匮乏, 但其独特的高纬度地磁记录为完善全球地磁场模型提供了关键约束。综合应用 Thellier 法、Coe 法、Shaw 法等多种实验方法研究南极白垩纪以来的绝对古强度, 通过分析南极火成岩的古地磁记录, 以期揭示不同地质时期地磁场演化特征。研究表明, 白垩纪超静磁带期间地磁场强度相对稳定且较低, 而新生代表现出显著波动, 这可能与地球深层动力学相关。

S82-P-4S

中更新世气候转型期南大洋通风主导的西南太平洋中深层碳库变化

彭正兵¹, 王汝建^{1*}, 肖文申¹, 叶圣彬³, 武力², 金晓波¹, 王星星¹, 刘丰豪¹, 党少华¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 广东海洋大学, 海洋与气象学院

3 清华大学, 地球系统科学部

* rjwang@tongji.edu.cn

In this study, we present data on benthic foraminiferal B/Ca, Cd/Ca ($\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{PO}_4^{3-}]$) and carbon isotope related to the carbon pool changes in the intermediate water of the Southwest Pacific across the MPT. Our results indicate that the $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ and $\delta^{13}\text{C}$ associated with carbon storage and release have a high consistency with Southern Ocean upwelling, which is linked to the formation of the AAIW and the AAIW-CDW (Circumpolar Deep Water, CDW) boundary shifts. This highlights the critical role of AAIW in the global carbon cycle. Combined with previous $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]$ studies from the Equatorial Western

Pacific and Atlantic, these results reveal a seesaw relationship between carbon pool in the two oceans across the MPT, and a continuous expansion of the mid-deep carbon reservoir in the Pacific. These findings underscore the critical role of Southern Ocean ventilation in driving changes in the oceanic carbon reservoir, which ultimately impacts global climate change.

S82-P-5S

晚上新世—早更新世亚南极太平洋底栖有孔虫群落反映的深层水团演变

王美乐¹, 党皓文^{1*}, 万随², 徐建³, 翦知湔¹

1 同济大学, 海洋与地球科学学院

2 中国科学院南海海洋研究所

3 西北大学

* hwdang@tongji.edu.cn

南大洋深层水团 (AABW 和 CDW) 是全球大洋环流的两大动力源头之一, 了解其变化规律是解译海洋-气候系统运行机制的关键。基于亚南极南太平洋 IODP 1541 站位 (~3604 米水深) 的底栖有孔虫组合及相关代用指标, 我们重建了 3.5-2.2 Ma 期间南大洋深层水团氧化状态与有机质通量的变化。结果表明: NHG 之前 (3.5-3.2 Ma), U1541 底水通风良好、富氧且有机质通量较低; NHG 期间 (3.2-2.5 Ma), 特别在约 2.7 Ma 前后, 底水环境转变为亚氧状态; NHG 后 (2.5-2.2 Ma) 底层水呈亚氧状态、有机碳通量较高。底栖有孔虫总数和标志性生物相的频谱分析展示出显著的斜率周期。在 3.2~2.7 Ma, 底栖有孔虫总数和亚氧指示生物相斜率周期振幅增强, 而含氧指示生物相振幅减弱, 反映了两个阶段的环境调控差异, ~3.2 Ma 之前南极西部开阔海域大陆架和 ~2.7 Ma 之后亚南极生物生产力

增强显著调控亚南极深层水氧化还原条件的演变。

S82-P-6S

西南极阿蒙森海氧化还原敏感元素对沉积环境变化的响应

周炳富¹, 葛倩^{1*}, 雷子炎¹, 陈东¹, 韩喜彬¹

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* qge@sio.org.cn

通过对西南极阿蒙森海陆架边缘的 A2-02 孔和冰间湖附近的 A11-02 孔沉积物开展沉积物粒度、地球化学元素 (V、Cr、U、Cd、Co、Ni、Mo 等) 及有机碳分析, 结合区域表层沉积物数据, 系统探讨了氧化还原敏感元素 (RSE) 对沉积环境演变的响应机制。研究发现, A11-02 孔因位于冰间湖高生产力区, 其 RSE 受粒度效应影响显著弱于陆架边缘的 A2-02 孔, 两孔的 Co、Ni 和 Mo 的富集由铁锰吸附作用主导。两孔 RSE 赋存均受生产力影响, 但机制不同: A2-02 孔中生物富集和有机质络合主导, 而 A11-02 孔因微生物分解有机质耗氧导致沉积界面缺氧, 促使 V、Cr、U 和 Cd 自生富集。通过整合 RSE、 $\ln(\text{Zr/Rb})$ 、可分选粉砂 (10–63 μm) 及 WDC06A-7 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录, 重建了中全新世以来沉积环境演化序列。结果表明, 4750 a BP 以来 A11-02 孔长期处于弱氧化环境 ($\text{V/Cr}=2.24\text{--}2.50$), 并识别出 7 个氧化还原变化阶段 (S1–S7), 其 RSE 富集与深部水体流通性变化显著耦合: 当变性绕极深层水 (MCDW) 入侵减弱 (如小冰期), 水体氧补充受限, V、Cr、U 和 Cd 富集增强; 反之, 水动力增强时段 (如 S6 暖期) RSE 含量降低。本研究揭示了 RSE 与沉积环境的潜在关系, 这对于研

究南极古环境和理解 RSE 的赋存因素具有重要意义。

S82-P-7S

中更新世转型期间东南极合作海表层海洋环境演化历史

崔铁博¹, 肖文申^{1*}, 王汝建¹, 李青苗¹, 黄鹤然¹, 陈志华²

1 同济大学, 海洋地质全国重点实验室

2 自然资源部第一海洋研究所, 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室

* wxiao@tongji.edu.cn

中更新世转型 (Mid-Pleistocene Transition, MPT, 1.2-0.7 Ma) 是第四纪气候的重大变化事件, 冰期-间冰期旋回由原先的 4 万年周期转变为 10 万年周期。其中一种 MPT 成因的假说认为, 南极冰盖和南大洋海冰在这一时期的持续扩张导致了 MPT 的发生。中国第 36 次南极科考东南极合作海采集的 ANT36_X2-3601 沉积物柱状样记录了晚上新世以来逾 3 百万年的古环境演化历史, 覆盖了整个 MPT 时期。结果显示, 冰筏碎屑 (Ice-Rafted Debris, IRD) 自 2.6 Ma 至 0.7 Ma 的下降可能反映了普利兹湾东南极冰盖从陆基到海基的转变过程; MPT 时期 $\delta^{18}\text{O}$ 在 1.1-0.9 Ma 的显著变重, 则记录了表层水的变冷过程; 较低的生物硅含量和 XRF-Mn/Al 以及浮游有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 变轻可能指示层化作用的增强, 抑制了表层生产力。与西南极的陆源输入记录进行对比, 发现在 MPT 时期, 合作海区域的冰盖总体较为稳定, 西南极冰盖则发生了大规模的消长乃至崩解, 反映了东南极和西南极冰盖对 MPT 响应的差异。

S83-O-1

印度洋洋壳的地质分区与基本演化框架

余星^{1,2*}

1 自然资源部第二海洋研究所

2 海底科学与划界全国重点实验室

* yuxing@sio.org.cn

印度洋在不同学科上有不同的含义。了解一个学科的印度洋内涵, 有利于构建不同学科间的沟通桥梁, 促进学科交叉和地球系统科学研究。相对于太平洋和大西洋, 印度洋是全球最年轻且成熟的大洋, 发育有洋中脊、俯冲带、转换断层、板内热点、海盆、海山、海底高原等典型洋壳单元和构造要素。了解印度洋固体圈层的演化过程对于研究全球板块的最新运动和动力学过程具有重要意义, 对于理解海洋水体循环、生物演化等过程也具有参考价值。

印度洋在地理上的东西分界为 146°49'E 和 20°E, 南部界线 60°S, 北至各大陆边缘, 总面积约 7000 万 km^2 。若南部延伸至南极洲边缘, 则面积可达 7900 万 km^2 。不过, 在地质上, 印度洋呈现不同的面貌, 印度洋洋壳分布与地理范围不同, 即使洋壳面积与地理面积相当, 约 7000 万 km^2 。周边大陆非洲、印度、澳大利亚、南极洲的沿海区域均存在一定的陆架、陆坡构造, 属于陆壳部分。洋壳以洋壳过渡带 (COB) 与陆壳分隔。印度洋的洋壳位于 COB 和俯冲带围限的区域, 与大西洋、太平洋的海底边界则以洋中脊相交的三联点轨迹为准。

印度洋内部“三足鼎力”, 三大洋中脊各自拥有自身的作用域。东南印度洋中脊扩张速率快且绵延最长, 洋壳面积约 4233 万 km^2 。西北印度洋中脊与西南印度洋中脊的作用域分别为 1487 万 km^2 和 1249 万 km^2 。

印度洋最早的海底扩张开始于~155Ma。155-120Ma, 非洲与马达加斯加分离, 形成西索马里海盆。同期, 印度大陆与澳大利亚之间开始北西-南东向扩张, 并一直持续至 90Ma。120-90Ma, 非洲-马达加斯加-印度继续与南极洲分离, 开始西南印度洋中

脊的扩张。之后,西南印度洋中脊不断向两端延伸,使洋脊长度增加。90-45Ma,东印度洋区沃顿洋中脊及其西侧的古东南印度洋中脊近南北向扩张,直至38Ma。在西北印度洋区域,84-62Ma塞舌尔-印度大陆与马达加斯加分离,形成马斯克林海盆。62Ma,塞舌尔与印度大陆分离,形成卡尔斯伯格脊。沃顿洋中脊在38Ma跃迁至Broken海脊和Kerguelen海台之间,形成现今东南印度洋中脊的格局。马斯克林海底高原和查戈斯-马尔代夫-拉卡代夫海脊在~38Ma分离,使卡尔斯伯格脊和中印度洋中脊贯穿形成现今的西北印度洋中脊。澳大利亚在约38Ma开始快速北移,打开了澳大利亚与南极之间的广阔海域。

S83-O-2

西索马里海盆 Davie 断裂带 洋壳褶皱变形及构造意义

彭希^{1,2,3*}, 周媛媛^{1,2}, 王励^{1,2}, 刘昭茜³

1 浙江海洋大学,海洋科学与技术学院

2 浙江海洋大学,智能地球系统研究院

3 中国地质大学(武汉),构造与油气资源教育部重点实验室

* xipeng@zjou.edu.cn

Davie 断裂带是东非近海最长的转换体系之一,它吸收了冈瓦纳大陆早侏罗世裂解后马达加斯加的向南运动。这种巨型的结构具有独特的地形和位场信号。然而,它的北段在坦桑尼亚近海被巨厚的沉积物掩埋,阻碍了对内部结构及其起源的理解。在本项研究中,我们应用二维多道地震来分析 Davie 断裂带的结构特征和演变。地震声波基底上方的几个地震不整合面揭示出一个被动边缘的地层结构。Davie 断裂带主要位于大洋构造域,该区域以洋-陆边界处向陆倾斜的逆掩断层为边界。基底顶部的火山沉积物与下面起伏的莫霍面反射构成典型的大洋构造域。洋壳覆盖区以约40 km波长的地壳起伏为特征,洋壳发生明显压

缩变形,形成了大型的褶皱构造,其上覆盖晚侏罗世沉积物。Davie 断裂带在洋壳内形成了一个增厚的廊带,呈现出正花状构造,伴随基底断裂隆起以及莫霍面加深。综合区域地质背景,我们认为在早侏罗世西索马里海盆扩张之前,Davie 断裂带是位于冈瓦纳大陆的一条原始转换断层。在晚侏罗世期间,运动学变化将扩张方向从NW-SE转换到N-S,导致Davie断裂带走滑运动,在坦桑尼亚近海发生同期转换挤压变形。Davie 断裂带成为了解该转换边缘构造岩浆作用的一个很好的例子,同时也对于理解洋内俯冲起始具有一定的启示。

S83-O-3

印度洋海洋季节内 Kelvin 波 在印尼海域的跨赤道传播

徐腾飞¹, 李淑江¹, 杨颖宜¹, 朱耀华¹, A. Kuswardani², 王永刚¹, 王冠琳¹, 徐晓庆¹, 滕飞¹, Agus Setiawan³, Priyadi Dwi Santoso⁴, Teguh Agustiadi³, Mukti Trenggono⁵, R. Dwi Susanto^{6,7}, Zexun Wei^{1*}

1 自然资源部第一海洋研究所,海洋环境与数值模拟实验室

2 Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Agency for Marine and Fisheries Research and Human Resources

3 National Research and Innovation Agency, Research Center for Deep Sea

4 National Research and Innovation Agency, Research Center for Oceanography

5 Jenderal Soedirman University, Department of Marine Science

6 University of Maryland, Department of Atmospheric and Oceanic Science

7 Bandung Institute of Technology, Faculty of Earth Sciences and Technology

* weizx@fio.org.cn

起源于赤道印度洋的季节内 Kelvin 波沿赤道东传,抵达苏门答腊岛西岸时被边界俘获,以沿岸 Kelvin 波的形式沿苏门答腊-爪哇岛继续东传,经过龙目海峡时,部

分穿过龙目海峡向北传播。海洋季节内 Kelvin 在印尼海的传播对印尼贯穿流的流速结构有显著影响。由于印尼贯穿流是连接太平洋和印度洋的唯一低纬通道，这一过程进而对热带太平洋-印度洋洋际交换也会产生重要的影响。基于潜标海流观测资料，我们指出，海洋季节内 Kelvin 波在穿过龙目海峡后，可沿 100 米等深线继续向北传播进入望加锡海峡并跨过赤道动力学壁垒，最远能够抵达苏拉威西海。印尼海域混合剧烈，降水丰沛，导致其上层海洋层结多变。因此，海洋 Kelvin 波的主导斜压模态在传播过程中发生改变：印度洋以第 1 和第 2 斜压模为主，龙目海峡到望加锡海峡南部（2°51.9' S, 118°27.3' E）以第 2 和第 3 斜压模为主，而望加锡海峡南部到望加锡海峡北部（0°57.09' N, 119°15.95' E）则以第 3 至 5 斜压模为主。此外，来自太平洋的 Rossby 波和局地涡旋等过程对望加锡海峡北部上层海洋季节内变化也有重要贡献。本研究从现场海流观测的角度，描述了赤道印度洋和太平洋行星尺度波动向印尼海的传播和汇聚过程，能够帮助我们进一步理解太平洋-印度洋之间的跨洋盆相互作用。

S83-O-4

源远流长：基于种群遗传学和数值粒子模拟的印度洋热液区鳞足螺连通机制研究

孙进^{1*}

1 中国海洋大学，海洋生物多样性与进化研究所
* jin_sun@ouc.edu.cn

本研究通过整合种群基因组学与物理海洋学数据，揭示了印度洋热液区鳞足螺（*Chrysomallon squamiferum*）的种群连通性及演化历史。基于 8 个地理群体共 125 个体的全基因组 SNP 分析，发现地理距离与遗传分化（*F_{st}*）呈显著正相关，其中

Wocan 和 Longqi-Duanqiao 群体因高近交系数和孤立性被鉴定为优先保护对象。系统发育分析表明，Longqi-Duanqiao 群体为祖先群体，其分化和扩散可能与热液喷口活动历史及南极底层洋流（AABW）驱动的幼虫迁移相关。ABBA-BABA 检测显示南向北基因流占主导，数值粒子模拟进一步验证了洋流对幼虫扩散路径的影响（如 Longqi 至 Tiancheng 的单向扩散）。研究强调，Wocan 和 Longqi-Duanqiao 的遗传独特性需优先保护，且由于印度洋热液区采矿权分散，需国际合作以协调生态保护与资源开发。本研究为深海热液生态系统管理提供了关键遗传学依据。

S83-O-5

北印度洋深海典型生境生物多样性维持机制——多尺度调控的营养物质供给

王磊^{1*}

1 自然资源部第三海洋研究所，海洋生态保护与修复重点实验室
* wanglei@tio.org.cn

北印度洋是全球唯一受季风反转显著影响的海洋区域，夏季西南季风（6-9 月）和冬季东北季风（12-2 月）驱动表层洋流流向逆转，导致水文条件剧烈变化。在季风的调控下，北印度洋形成了季节性上升流而维持了极高的初级生产力，这一方面维持了北印度洋高生物多样性，另一方面也形成了以阿拉伯海和孟加拉湾为代表的中层水体溶解氧低值区（OMZ）。在水体生物多样性方面，西北印度洋上升流区（索马里沿岸、阿曼湾等）是全球重要渔场，盛产沙丁鱼、鲭鱼、金枪鱼等，同时孟加拉湾是丽龟的主要洄游场所，阿拉伯海是蓝鲸、抹香鲸等大型哺乳生物的重要迁徙通道。除此之外，包括特岛圆尾鲣、留尼汪圆尾鲣、红尾鹫、曳尾鲣和白尾鹫

在北印度洋也是重要的珍稀濒危海鸟类，并依据其活动区域划定了具有重要生态或生物学价值的区域（EBSAs）；在底层生物多样性方面，由于北印度洋海底地形复杂，包括卡尔斯伯格洋脊、阿法纳西-尼基廷海山、查戈斯-拉卡迪夫海台、锡兰海底平原等涵盖海山、洋中脊、海台和海底平原多种生境类型，因而体现出较高的底层生物多样性组成且具有明显的空间异质性。而在底层生境生物多样性的营养供给上又存在着以海洋生物碳泵（BCP）主控的颗粒有机物垂直沉降过程、海山聚集效应和活动热液喷口的化能自养生产过程等；在阿拉伯海和孟加拉湾，衔接上层水体和底层生境的中层海洋生境又存在着强烈的低氧层分布，这一方面会影响中层生物的活动和分布，另外也会导致颗粒有机物沉降的分解矿化过程，从而影响对底层生物的营养供给。基于上述现象和问题，本研究综述了北印度洋深海典型生境生物多样性维持的营养供给类型，主要划分为上层水体的高初级生产力维持模式、中层水体 OMZ 的微型生物碳泵（MCP）维持模式、海山和海底平原的颗粒有机物沉降维持模式、洋中脊活动热液喷口的化能自养维持模式。其主控的海洋学和生物地球化学循环过程分别对应上升流、MCP、BCP、化能自养等。通过归类总结，提出了北印度洋深海典型生境生物多样性保护所面临的重要科学问题瓶颈及潜在解决方案。以期为全球海洋治理、BBNJ 协定中的划区管理工具（含公海保护区）、EBSAs 区选定和优化提供科学支撑。

S83-O-6

东印度洋生物碳汇研究

孙军^{1,2*}，谷挺¹

1 中国地质大学（武汉），海洋学院

2 天津科技大学，印度洋生态系统研究中心

* phytoplankton@163.com

印度洋是全球第三大洋盆，在调节全球气候系统、驱动季风循环和构建印度-太平洋暖池过程中发挥着核心作用。然而，相较于太平洋和大西洋，印度洋的碳循环研究明显滞后，尤其是对其生物碳汇机制的认知仍较为薄弱，相关观测数据稀缺，碳汇估算存在较大不确定性。本报告基于近年来课题组在东印度洋开展的多项野外观测与实验研究，系统分析了生物碳泵等多个关键过程及其对碳汇形成的贡献。

研究内容涵盖浮游植物群落结构与初级生产力评估、透明胞外聚合物（TEP）生成、浮游植物沉降速率测定、浮游动物粪便颗粒通量估算、经典食物链对碳传输的贡献分析，以及颗石藻钙化、硅藻硅质化、超微型浮游植物硅累积等典型硬组织泵机制的过程观测。同时，还对东印度洋区域氧化亚氮（N₂O）排放及其气候反馈效应进行了量化评估。

基于多源数据综合分析，初步框算东印度洋年均初级生产力为 718 Tg C，固氮过程贡献约占 0.3–1.3%；浮游动物粪便颗粒通量达 81.6 Tg C yr⁻¹，颗石藻钙化过程产生碳酸钙颗粒 61 Tg C yr⁻¹，TEP 生成 29.4 Tg C yr⁻¹。然而，区域实际碳输出通量仅为 35.9 Tg C yr⁻¹，远低于表层碳生产与颗粒生成潜力。同时，N₂O 排放折算的 CO₂ 当量高达 37.4 Tg C yr⁻¹，几乎可抵消碳汇输出，表明区域碳汇效应受到显著削弱。本研究强调，应将生物碳泵各过程综合考量，并引入温室气体协同评估框架，才能更科学地理解热带海域碳汇功能与气候反馈机制，为印度洋碳汇潜力的全球再评估提供重要依据。

S83-P-1S

印度洋地幔结构特征与成因初探：基于全球地震层析成像模型的约束

余娅娜¹，余星^{1,2*}，胡航^{1,2}，李会晨^{1,2}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室
2 浙江大学, 海洋学院
* yuxing@sio.org.cn

印度洋是冈瓦纳大陆裂解与海底扩张的最终产物, 洋中脊、热点和俯冲带等构造单元构成了印度洋海底表面的基本格局, 这些要素的形成与深部地幔结构和动力学过程密切相关。当前有关印度洋深部结构的研究多局限于特定区域, 对印度洋深部结构的整体认识仍显不足。本研究通过整合多个全球地震层析成像模型, 运用定量化分析方法, 系统梳理了印度洋主要构造单元的深部速度结构, 揭示了印度洋总体的地幔结构特征。获得以下基本认识: 1、印度洋上地幔速度结构呈现显著垂向分层。依据波速异常特征可划分为三层: 浅部(0-150 km)、中部(150-300 km)和深部(300-660 km), 各层速度异常差异明显, 洋中脊扩张主导浅部地幔结构, 热点活动及通道是中深部地幔的主要特征, 上地幔深部速度结构比较均一。2、印度洋洋中脊下方的地幔低速异常与扩张速率有关, 扩张速率越快, 低速异常越宽; 大型转换断层可以导致低速异常间断。3、印度洋热点表现为不同的深部异常特征, 部分热点(如留尼旺、科摩罗、马里昂、克洛泽、凯尔盖朗)均表现为深源地幔柱特征。4、印度洋中存在古老俯冲板块残留, 活动的苏门答腊俯冲带显示不同的俯冲特性, 板块俯冲深度由北向南递增, 中段可能存在板块撕裂现象。

S83-P-2

印度洋固体圈层的地质、地球物理和地球化学大尺度异常

余星^{1, 2, 3*}

1 自然资源部第二海洋研究所
2 海底科学与划界全国重点实验室
3 浙江大学, 海洋学院
* yuxing@sio.org.cn

印度洋洋底固体圈层在地球物理、地球化学与地质构造方面展现出多项全球罕见的大尺度异常, 反映了其独特的板块演化路径与深部过程耦合机制。地球物理上, 印度洋重力洞(Indian Ocean Geoid Low, IOGL)是目前全球已知幅度最大的负地形地球物理异常, 其重力等位面最低处达-106 米, 对应区域上地幔存在显著低速、低密度结构, 可能源于热异常或残留地幔柱活动。此外, 该区域地幔过渡带厚度变化异常, 局部可见俯冲残余板片存在的迹象, 指示古特提斯洋闭合过程的深部印记。印度洋同时是非洲大型低剪切波速省(Large Low Shear Velocity Province, LLSVP)的重要区域, 该低速省指示核幔边界(2900km)的明显速度异常。地球化学方面, 印度洋中脊玄武岩(MORB)显示出“印度洋型地幔”特征, 属于全球最大尺度的地球化学异常——Dupal 同位素异常区。此外, Réunion 与 Kerguelen 等热点玄武岩记录有FOZO、EMI 和 HIMU 等多种地幔端元混合信号, 揭示出印度洋地幔柱活动与深部地幔异质性的复杂耦合关系。地质构造方面, 印度洋拥有全球最典型的超慢速洋中脊系统之一(如西南印度洋中脊 SWIR), 西北印度洋中脊与东南印度洋中脊具有从西北向东南扩张速率逐渐加大的特征。同时印度洋中广泛发育地幔柱/热点火山作用, 并且分布有成对的海底高原, 标志着洋中脊的跃迁历史。综上, 印度洋固体圈层的地球物理低值异常、地幔源区的不均一性及复杂地质演化历史, 为我们理解地球内部动力学、地幔柱活动与板块过程间的耦合关系提供了关键窗口。

S83-P-3S

西北印度洋脊重磁异常特征

张宁¹, 吴招才^{1*}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* wuzc@sio.org.cn

西北印度洋脊作为典型的慢速扩张洋中脊, 其重磁异常研究对于揭示该区域的地质构造、岩浆活动以及海底扩张过程具有重要意义。本研究利用中国大洋 24 航次采集的多波束地形、重力和磁力数据, 通过计算地幔布格重力异常和剩余地幔布格重力异常, 反演了莫霍面深度和地壳厚度, 分析了卡尔斯伯格脊 (CR) 的分段性特征, 进而探讨了区域内洋壳厚度分布和岩浆补给特征。此外, 基于四条垂直于洋中脊走向的磁力剖面, 计算了不同中脊段的扩张速率和年龄特征。结果显示: (1) 洋壳厚度变化特征将洋中脊划分为五个分段, 显示出明显的南北差异。北端的 SI 中脊段为非对称洋脊段, 平均厚度为 3.48 公里, 岩浆活动贫乏, 主要以构造增生为主; 而南端的 SV 中脊段平均厚度达 6.78 公里, 以岩浆增生为主。CR 中脊段的重力异常、地壳厚度和深部密度结构之间的关系受到多种因素的影响, 包括构造增生、岩浆活动和大型间断的作用。(2) 四条剖面在脊轴附近 1Ma 内的洋壳平均全扩张速率分别为 2.5cm/yr、3.2cm/yr、4.5cm/yr 和 3.76cm/yr, 并且新生洋壳在离轴方向上的磁性不均一性可能与构造活动密切相关。

S83-P-4S

基于机器学习的印度洋板内玄武岩地球化学特征提取

李会晨^{1,2}, 余星^{1,2*}, 余娅娜²

1 浙江大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

* yuxing@sio.org.cn

印度洋分布有大量离轴的海底高原和火山链 (如凯尔盖朗海底高原、留尼旺岛、

马里昂岛、东经 90 度海岭等), 主要代表板内热点火山作用。这些板内玄武岩保存了不同于洋中脊的深部地幔柱活动记录, 其成因机制的研究对揭示深部地幔动力学过程具有重要意义。本研究通过整合 GEOROC、EarthChem 等全球地球化学数据库, 经过数据清洗与补充, 遴选了印度洋 17 个海山/海底高原 (3086 行有效主量-微量-同位素数据) 的高精度玄武岩地球化学数据集。通过机器学习和数据分析, 获得以下初步结论: (1) 东南印度洋中脊周边的板内玄武岩相对于西北和西南印度洋中脊周边, 显示更高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, 更低的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$; (2) 科摩罗群岛表现出异常高的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值和较低的 $^3\text{He}/^4\text{He}$; (3) 通过数据降维与聚类, 可将印度洋板内玄武岩分为 4 类: HIMU 型、DMM 型、EM 型和混合型。(4) HIMU 型主要分布于非洲大陆东南侧, 包括科摩罗群岛、莫桑比克海底高原、厄加勒斯海底高原、布韦海山、克洛泽海底高原西部的 Penguins 岛。(5) DMM 型主要分布于查戈斯-马尔代夫海岭、马斯克林海底高原南部、毛里求斯岛、马里昂岛、凯尔盖朗海底高原北部、阿姆斯特丹圣保罗海底高原。(6) EM 型主要分布于马斯克林海底高原中部、毛里求斯和留尼旺岛、克洛泽海底高原东部的 East 岛和 Possession 岛、凯尔盖朗高原北部和南部、阿姆斯特丹圣保罗海底高原、东经 90 度海岭的中段。(7) 混合型为 EM 型和 DMM 型的过渡, 主要分布于凯尔盖朗海底高原中部、Elan Bank、东经 90 度海岭的北段和南段、Broken 海脊。

S83-P-5S

大洋中脊拆离断层系统深部岩浆动力学过程: 基于全球尺度玄武岩主量元素压力计的约束

胡航^{1,2}, 余星^{1,2*}

1 浙江大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所, 海底科学与划界全国重点实验室

* yuxing@sio.org.cn

拆离断层作为大洋岩石圈增生的新模式, 主要发育于岩浆供给中等或较低的慢速-超慢速扩张洋中脊, 通过构造作用主导板块分离过程, 显著区别于传统岩浆主导的增生模式。本文系统整合大西洋中脊 (MAR)、西南印度洋脊 (SWIR)、西北印度洋脊 (NWIR) 及东南印度洋脊 (SEIR) 典型拆离断层发育区的轴部玄武岩地球化学数据, 揭示其深部动力学特征。研究表明, TAG、Atlantis Massif、Atlantis Bank、AAD、Fuji Dome、Logatchev 等活跃拆离断层区的玄武岩平均结晶压力随扩张速率增加而增加, 然而其变化趋势明显偏离全球趋势。平均结晶压力 (3 ~ 7 kbar, 对应深度 10 ~ 23 km), 明显高于受热液影响的轴部 1150°C 等温线预测值。除受热点影响的 Dragon Flag 及离轴约 100 km 的 Kane 脊段外, 拆离断层发育区的玄武岩结晶压力普遍高于全球同扩张速率洋脊结晶压力。这一现象表明熔体供应量对拆离断层的形成具有关键约束作用, 而拆离断层系统通过调控岩石圈热结构, 可能反向影响深部岩浆演化过程。进一步分析表明, 拆离断层区的岩浆在深部岩石圈地幔 (>10 km) 即开始结晶分异, 导致单斜辉石微晶广泛发育, 而缺乏浅部岩浆房。这种岩浆演化模式与拆离断层引发的非对称扩张脊段热结构密切相关, 为理解慢速扩张洋脊"构造-岩浆-热液"耦合机制提供了新视角。

S83-P-6S

北极超慢速扩张洋中脊地壳增生过程研究

刘向群¹, 周志远^{2*}

1 南方科技大学, 海洋科学与工程系

2 南方科技大学, 海洋高等研究院

* zhouzy@sustech.edu.cn

洋中脊是新的洋壳生成的地方, 地幔上涌并发生部分熔融, 形成新的地壳。全球典型的超慢速扩张洋中脊系统包括加克洋中脊、Mohns 洋中脊、西南印度洋脊等。欧亚海盆中的加克洋中脊是地球上扩张速度最慢的洋中脊, 其目前的全扩张速率从西向东逐渐减小, 从 14.6 毫米/年降至 6.3 毫米/年。通过 2001 年对北极加克洋中脊 (3°W–85°E) 的高分辨率测绘与岩石采样, Michael 等人揭示了其沿轴存在三个岩浆-构造带: 西部火山带、中部稀疏火山带和东部火山带。广泛接受的被动地幔上涌和熔融模型预测, 当扩张速率低于每年 20 毫米时, 地壳厚度将明显减小, 出乎意料地是加克洋中脊的地壳厚度变化很大。张涛等人在 JASMIN 区域发现了较厚的地壳, 同时发现其地幔的平均水含量为 245 ppm, 相比于太平洋洋中脊源区 (<200 ppm) 更富水。弧后盆地玄武岩具有较高的水含量, 是由俯冲板片释放的富水成分混入对流地幔中熔融形成岩浆, 喷出地表所形成的。杨阳等人通过建立弧后盆地玄武岩滤波器发现来自加克洋中脊、具有明显岛弧特征、类似于弧后盆地玄武岩的洋中脊玄武岩样品, 发现该区域广泛受到俯冲作用的影响, 发现大西洋和印度洋也存在部分的俯冲作用。西南印度洋 (51.56°E) 地壳厚度异常厚 (达 9.5 公里), 并且该区域的原始玄武岩熔体的水含量非常高, 认为是该地幔混入了古老俯冲带释放的含水物质。

通过地幔布格异常和剩余地幔布格异常计算地壳厚度, 发现厚度变化很大。通过对 M 因子的计算, 发现加克洋中脊的西部火山区的岩浆量最多, 东部火山区的岩浆量次之, 中部稀疏区的岩浆量最少, 这与地球化学模型在该地区的熔融量一致。本文认为加克洋中脊地壳厚度的高度可变是由于俯冲作用所带来的水导致加克洋中脊地幔熔融程度增加。

S83-P-7S

伊诺瓦底江冲淡水对孟加拉湾表层盐度影响

黄挺¹, 孟启承², 薛亮³, 周锋^{2*}

1 上海交通大学, 海洋学院

2 自然资源部第二海洋研究所

3 自然资源部第一海洋研究所

* zhouleng@sio.org.cn

孟加拉湾具有显著的低盐度特征, 这主要受河流输入影响。然而, 作为该区域重要淡水来源的伊洛瓦底江冲淡水 (IDW) 扩展路径至今尚未被清晰阐释。本研究融合卫星反演盐度数据、再分析资料与拉格朗日粒子追踪模拟, 系统揭示了 IDW 的输运动力学机制。研究结果表明: 8-11 月期间, IDW 持续从安达曼海北部向西北方向扩展至缅甸西岸; 与此同时, 恒河-布拉马普特拉河冲淡水 (GBDW) 沿印度东海岸向西南推进。值得注意的是, IDW 在 11-12 月还呈现向西扩展至孟加拉湾中部的特征。混合层盐量收支分析表明, IDW 的水平平流是导致 9-12 月孟加拉湾东部淡化的主要驱动力, 其引发的盐度异常峰值可达每月降低 2 psu 以上。本研究首次通过观测与模型相结合的方式, 全面揭示了 IDW 在孟加拉湾的双重扩展路径, 并阐明了季风强迫环流的调控作用。

S83-P-8

2019/2020 冬季赤道印度洋东部和孟加拉湾南部中型浮游动物对印度洋正偶极子 (pIOD) 和冷涡的响应

杜萍^{1,2*}, 马晓², 李宏亮^{1,2}, 周锋², 寿鹿^{1,2}

1 自然资源部第二海洋研究所, 海洋生态系统动力学实验室

2 自然资源部第二海洋研究所, 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室

* duping@sio.org.cn

光合作用产生的有机碳只有被运送到中深海区才能储存百年以上。已有研究证实, 印度洋正偶极子 (pIOD) 事件和冷涡会促进混合层叶绿素-a (Chla) 增加, 冷涡还可以促进周围海区混合层的浮游动物生物量和丰度增加。然而, 对于深海浮游动物对 pIOD 事件和涡旋的响应, 目前认知还存在空白。2019 年 12 月至 2020 年 1 月, 在赤道印度洋 (EIO) 东部和孟加拉湾 (BOB) 南部采集 0-3000 m 内的中型浮游动物样品, 分析了表层 (0-100 m)、中层 (100-1000 m) 和深层 (1000-3000 m) 中型浮游动物群落对 pIOD 事件和涡旋引起的上层水柱 Chla 异常的响应。结果发现, EIO 东部和 BOB 中南部和东南部的表层浮游动物生物量较高, 这与 pIOD 事件和冷涡对表层和次表层 Chla 浓度的影响一致。然而, pIOD 事件对中层浮游动物的生物量和群落影响不大。涡旋对中层浮游动物的影响取决于涡旋持续的时间和强度。当冷涡持续时间较长、上升流过程较强时, 则会增加中层浮游动物生物量, 且影响中层浮游动物群落。本研究未发现 pIOD 事件和涡旋对深海中浮游动物的明显影响。本研究强调了长时间持续和强冷涡对 BOB 碳输出和固存的重要作用。

S83-P-9S

冬季孟加拉湾北部反气旋涡旋对上层混合层结构的影响及生态响应: 基于生命周期的分析

田昊然¹, 周锋^{1,2,3*}, 叶瑞杰^{1,2}, 马晓^{1,2}, 曾定勇^{1,2}

1 自然资源部第二海洋研究所, 卫星海洋环境监测预警全国重点实验室

2 自然资源部长三角海洋生态环境野外科学观测研

究站

3 上海交通大学, 海洋学院

* zhoufeng@sio.org.cn

近期研究发现, 在包括孟加拉湾北部在内的全球海洋中, 普遍存在具有冷核特征的异常反气旋式涡旋。这类涡旋在调节上层海洋结构和生态过程方面, 与传统的暖核反气旋涡旋存在显著差异。然而, 关于此类涡旋在其完整生命周期内通过物理机制驱动生态响应的过程, 目前仍缺乏系统的认识。在本研究中, 我们结合卫星遥感数据与锚系原位观测, 在 Preparis 海峡西侧监测到一个冬季反气旋涡旋在传播过程中经历了两次正常与异常之间的转变。综合分析表明, 涡旋在传播过程中混合层深度出现了四个阶段的变化, 并且这一特征在该区域具有普遍性。湍动能分量的分析显示, 盐度浮力通量在涡旋生命周期中对混合层深度变化起到了关键作用。同时, 该涡旋还显著影响了叶绿素、溶解氧及营养盐的垂直分布。在混合层及障碍层中均观测到叶绿素浓度的非单调波动, 且混合层内的响应更加明显。本研究揭示的涡旋对混合层结构与生态营养要素的动态调控过程, 有助于深化对中尺度涡旋驱动下物理—生态相互作用的理解, 并为评估其对上层海洋初级生产力与生物地球化学过程的影响提供新的思路。

S84-O-1

《洞见贵州——桥连世界问苍穹》——“游学中国”课程的开发与实践

何守阳^{1,2*}

1 贵州大学, 喀斯特地质资源与环境教育部重点实验室

2 贵州大学, 北阿拉巴马国际工程技术学院

* syhe@gzu.edu.cn

《洞见贵州——桥连世界问苍穹》是贵州大学开发且入选教育部留学服务中心“游学中国”课程体系的重要课程, 课程利用贵州地处喀斯特腹地的区位优势, 围绕喀斯特与环境、工程、人文等内容设置六个教学模块八大主题, 通过主题授课、野外考察、小组研讨及测评互馈等理论与实践相结合的形式, 让国际学生寻找贵州古生物王国里的生物化石, “解码”地球历史的更迭与演化的奥秘, 了解地球生命的变迁。俯瞰喀斯特大地山峦纵横交错的万千峰林, 穿越世界自然遗产地的水上森林, 领略流水溶蚀塑造的沧海桑田, 见证石灰岩上生长的绿色奇迹。造访地下洞穴艺术宫殿, 直击喀斯特作用的鬼斧神工, 感受千姿百态的地下奇观, 探秘“中国地心之门”的生长秘密。深入喀斯特洼地中已知世界的边缘和宇宙认知极限的高地, 解译“中国天眼”(FAST)的地质密码。站上世界第一高桥, 聆听“世界桥梁博物馆”里世界超级工程鲜为人知的秘密, 见证中国唯一没有平原支撑的贵州从“千沟万壑”到“高速平原”的华丽转身。住上苗乡侗寨的吊脚楼里, 品尝贵州美食美酒与名优特产, 感受贵州山地民族与自然和谐共处的智慧与山地文化。课程亮点包括: (1) 直击大自然的鬼斧神工: 探秘亚洲第一长洞, 领略贵州喀斯特的奇山异水; (2) 见证山地里的工程奇迹: 登世界第一高桥, 攀世界天文探索极限之巅——中国天眼; (3) 穿越至贵州古生物王国: “解码”寒武纪和三叠纪古生物化石中地球奥秘; (4) 体验淳朴贵州风土人情: 品尝贵州美食美酒, 感受多彩民俗风情。课程实施将有助于向国际青年学子讲好中国故事, 传播中国好声音, 为全球可持续发展与跨文化共融提供新的注解。

S84-O-2

湖光岩玛珥湖科普设计—— 从古记录到新科普

罗泳驿¹, 黄超^{1*}, 陈彦廷², 黄江¹, 曾锦超², 余明清¹, 吴丽媛¹

1 广东海洋大学, 海洋与气象学院

2 华东师范大学, 河口海岸全国重点实验室

* huangc@gdou.edu.cn

湖光岩玛珥湖是雷琼世界地质公园的核心展区, 作为一个封闭火山口湖, 其独特的水-气-沉积物系统记录了第四纪以来气候环境演化的高分辨率信息, 是开展地球系统科学研究和公众科普的理想载体。然而, 尽管在科学研究上取得了大量进展与认识, 但目前湖光岩博物馆陈设以静态图文及火成岩标本为主, 内容更新滞后, 制约了其科学传播效能。本科普设计基于课题组 2022 年至今对湖光岩大气(温度、湿度、降雨量等气象要素)、水体(水温、pH、营养盐、溶解氧等水文要素)及沉积物(粒度、地球化学、硅藻组合等古气候代用指标)的持续观测数据与研究进展, 结合物联网技术与科普实验设计, 提出“实验可视-数据解读-公众参与”三位一体的科普升级方案, 旨在构建动态更新的地学科普体系。

S84-O-3

互动媒体装置在地学科普中的应用探析——以冰岛熔岩中心博物馆为例

邵弋伦¹, 张峥^{2*}

1 吉林大学, 地球探测科学与技术学院

2 吉林大学, 考古学院

* zz1028@jlu.edu.cn

基于我国地质资源的丰富性以及地学类博物馆、国家地质公园的广泛普及, 地学科普工作在陈列展览、课程设计、图书出版及新媒体传播等方面取得了显著成效, 但随着数智时代的到来, 数字技术为互动式地学科普带来了新的可能性。传统意义

上单向输出式的知识传播在技术的赋能下转为科普者与学习者的双向互动。冰岛熔岩中心(Lava Center)作为冰岛著名的地学科普博物馆, 借助多媒体互动装置、交互传感屏、全景屏幕等数字技术媒介打造出一个沉浸式情境空间, 将观众从“参观者”转为“参与者”, 在亲身体验火山爆发和地震等地质活动的同时, 促进了观众对复杂火山地质活动形成机制的主动探究。因此, 互动媒体装置在地学科普中的应用, 能够超越传统科普手段的限制, 使得原本抽象、难以理解的地质知识转化为观众可以直接感知和体验的内容, 从而增强了科普学习的趣味性和互动性。此外, 互动媒体装置还具备高度的灵活性和可扩展性, 可以根据不同的科普需求和目标受众进行定制化设计, 进一步提升了地学科普的针对性。可以预见, 在我国未来的地学科普工作中, 互动媒体装置将会发挥越来越重要的作用, 成为推动地学科普事业发展的重要力量。

S84-O-4

人工智能赋能下《宜居地球》通识课程本研一体化教育模式的探索

胡晨^{1*}, 焦念志¹

1 厦门大学, 碳中和创新研究中心

* huchen@xmu.edu.cn

在科技创新与科学普及协同推进的国家战略背景下, 教育、科技与人才一体化发展成为提升国家核心竞争力的关键支撑。当前, 全球正处于百年未有之大变局, 人工智能技术的迅猛发展对传统教育体系提出了新的挑战, 复合型科技创新型人才的培养成为时代迫切需求。本研究以人工智能赋能的教学新范式为切入点, 围绕《宜居地球》通识课程的教学改革实践, 系统探讨了科技赋能科学教育的路径与机制。通过理念创新、课程体系优化、师资建设、

课堂互动与课外实践联动，探索了本研一体化教育模式在内容设计、教学方法、培养途径及评估体系等方面的应用成效。结果表明，人工智能技术助力下的通识教育能够有效激发学生的科学兴趣、跨学科思维与创新潜能，促进科学素养与人文情怀的融合培养，为高端复合型科技创新人才的培养提供了可推广的实践框架。该案例为推动科技创新与科学普及深度融合，支撑国家教育科技人才一体化发展提供了实践参考。

S84-O-5

“地质不是真的科学？”通识教育中的地学科普实践

左旭然^{1*}

1 香港中文大学（深圳），人文社科学院通识教育学科部

* zuoxuran@cuhk.edu.cn

地球科学作为一门跨学科的综合性和科学，在高校通识教育中既具有受众广的优势，也面临着大众对其科学性的质疑。大部分学生在高中阶段接受过基础地理教育，对地球科学的框架和重要知识点已有初步了解，然而，通识课程面向全校学生，其中部分文科背景的学生理科基础较为薄弱，尤其在经典力学和无机化学方面，这对地球科学理论的深入理解形成了一定阻碍。此外，作者所在院校采取全英文授课，而地球科学的学科特点导致生词量较大，给中国学生理解地学知识造成了一定阻碍。针对这些问题，本文提出了三方面的教学优化策略：一是在课堂讲授与导修环节，通过数理知识展示地球科学的科学性，强化学生用数理逻辑理解科学概念的意识；二是通过小组作业与翻转课堂的形式提升学生的自主学习能力和批判性思维；三是在考试中允许学生携带“cheating paper”（即包含重要公式和术语的辅助纸张），以减轻记忆英文专业术语的压力，同时帮助学

生认识到地球科学学习的重点在于深刻理解科学原理，而非机械记忆。这些教学实践探索旨在优化地球科学通识课程的教学效果，为跨学科背景下的科学教育提供新思路。

S84-O-6

Building Bridges: Cultivating an Inclusive Scientific Community for Early-Career Researchers in Limnology and Aquatic Sciences

Ana Vasquez^{1,2*}, Mina Bizic², Pascal Bodmer², Rebecca Gladstone-Gallagher², Bianca Rodríguez-Cardona², Raquel Flynn², Ngozi Oguguah², Heili Lowman², Carolina Barbosa², Nikola Stankovic²

1 Tongji University

2 Association for the Sciences of Limnology and Oceanography, Early Career Committee

* anacvv211@outlook.com

Promoting diversity and inclusivity in aquatic sciences is imperative for fostering innovation and addressing global environmental challenges. Through targeted initiatives, the *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography* addresses barriers encountered by early career researchers from diverse backgrounds. ASLO provides opportunities for professional development, networking, and visibility. The *Amplifying Voices* initiative establishes a platform that enables graduate students, fellows, and early career researchers to meaningfully engage with the scientific community, share their research, and build professional networks. By amplifying diverse perspectives, it enriches scientific understanding and stimulates interdisciplinary collaborations. *Amplifying Voices* tackles

structural barriers to participation and enhances access to resources, ensuring that the next generation of scientists is adequately prepared to excel and assume leadership roles in their respective fields.

S84-P-1

Breaking Language Barriers: GeoLatinas' Multilingual Strategies for Empowerment in Earth & Planetary Sciences

Ana Vasequez^{1*}

¹ 同济大学

* anacvv211@outlook.com

GeoLatinas is an organization dedicated to empowering Latinas in the Earth & Planetary Sciences by addressing obstacles to career development and representation. In our survey in 2020, 42% of participants identified language as a significant challenge, with English proficiency often cited as a barrier. Many students from Latin America face limited access to bilingual education, and the high cost of language certification restricts opportunities. Language barriers further affect the ability to publish and present at international conferences, thereby reducing employment and career advancement. GeoLatinas addresses these challenges by offering multilingual support in English, Spanish, and Portuguese. Initiatives such as "Conversando con GeoLatinas," "Dry Runs & Peer Review," "GeoSeminars," and "GeoTraductores" are designed to enhance communication skills and amplify Latin American research. Our collaborations seek to highlight the contributions and visibility of GeoLatinas in geosciences

S84-P-2S

推文里的地球脉动：“南大顶刊导读团队”如何搭建地学前沿的“立交桥”

肖开迅¹, 孟胤全¹, 侯林晓¹, 申博恒¹, 曲扬¹, 王小林^{1*}, 赵丹丹^{1*}

¹ 南京大学, 地球科学与工程学院

* xlinwang@nju.edu.cn

* 602023290044@smail.nju.edu.cn

习近平总书记强调, "科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼, 要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置"。"南京大学地球与行星科学顶刊导读团队"自 2021 年 1 月成立以来, 始终秉持 "服务学术共同体、传播科研前沿" 的核心理念, 以微信公众号为主要载体, 持续开展《Nature》《Science》《Geology》等国际顶级期刊文献的追踪、专业翻译与深度解析工作。截至 2025 年 4 月, 团队已累计发布导读推文 249 期, 解析顶刊文章 2873 篇, 推送阅读量突破 8.5 万次。内容覆盖地球科学、行星科学及相关交叉领域等数十个学科方向, 构建了覆盖全国 38 所高校及科研院所的跨区域学术协作网络, 获得校内外近百位领域专家的学术指导与高度评价。团队创新性构建 "选题筛选 - 专业翻译 - 同行评议" 全流程质量控制体系, 为广大科研工作者提供精准高效的学术信息服务。正如南京大学陆现彩教授评价: "以诚挚的学术姿态产生广泛影响, 切实发挥了励学敦行的引领作用"; 南京大学陈天宇教授称其为 "学院内外深受欢迎的优质学术资源"。团队正以专业化、体系化的工作模式, 助力构建开放共享的学术传播生态, 成为连接科研前沿与学术共同体的重要桥梁。

S84-P-3

数字镌刻时光：法国南部金钉子剖面的数字露头采集之旅

邓怡颖^{1,3*}，樊隽轩²，侯旭东²，沈含笑²，夏如雪¹

1 合肥工业大学，资源与环境工程学院

2 南京大学，地球科学与工程学院

3 中国科学院南京地质古生物研究所

* yydeng12138@foxmail.com

在法国南部的群山之间，有一把来自地球深处的“时间钥匙”——金钉子剖面，即全球年代地层界线层型剖面 and 点位（Global Stratotype Section and Point, GSSP），本研究通过 360-720°全景照片与无人机倾斜摄影技术，实现野外地质剖面的高精度全景图像采集与三维数字化建模，尝试借助数字化技术重新诠释并记录这部由岩石书写的“时光之书”，推动地质学研究 with 数字化手段的跨时空融合，并将数字化成果集成至面向公众免费开放的地质虚拟旅行平台 G.V.W（<https://onesgvw.ddeworld.org/>），用户可通过手机、电脑终端或 VR 穿戴设备突破时空与地理限制，沉浸式“穿越”至数亿年前的地质场景、直观探索法国金钉子剖面的野外地质细节，为地质科普教育、学术研究与公众科学参与提供了全新范式。

S84-P-4

油气勘探评价标准体系构建与应用

李萌^{1*}，刘超英¹，闫相宾¹，杨双¹，蔡利学¹，章朋²

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

2 中国石油化工股份有限公司科技部

* limeng2020.syky@sinopec.com

油气勘探是从盆地到区带再到圈闭，由面到点、逐步深入的过程，应当严格遵守科学的勘探程序。“节奏可以加快、程序不可跨越”，是我国油气勘探几十年勘探经验的深刻总结。随着油气勘探向“常非一体”发展，前期制定的盆地、圈闭标准已不能满足深层、隐蔽、非常规等复杂勘探目标的评价需求，勘探规划与部署亟需的区带标准更是长期缺失。

自 2010 年开始，中国石化持续攻关勘探各阶段评价存在的理论和技术难题，逐步构建了完整的油气勘探目标评价标准体系。

一是攻关基于动态演化和“常非一体”的盆地评价方法。从地质作用与油气响应的动态关系出发，建立了包括静态和动态两个维度的评价指标体系，为低勘探程度盆地类比评价提供了有效方法。提出了烃源岩生烃-排烃-滞留油气动态演化模式，建立基于成因法的常非一体资评方法，为明确常-非油气的配比关系与空间分布奠定方法基础。中国石化牵头修订的《盆地评价技术规范》行业标准于 2011 年发布实施，提升了含油气盆地评价方法的先进性和适用性。

二是攻关“风险-价值”为核心的圈闭评价方法。基于圈闭成藏条件的存在性和有效性，构建了包含 4 项主因子+8 项子因子的圈闭评价指标体系，提出了单个圈闭、多层圈闭不同场景下的含油气概率表征方法。提出了基于蒙特卡洛模拟的资源量不确定性估算方法，提出了至少一层成功条件下资源量概率加和法。中国石化牵头修订《圈闭评价技术规范》行业标准于 2019 年发布实施，实现了与国际评价技术体系的接轨，制定了特殊类型圈闭、近源致密砂岩断缝体 2 个企业标准，支撑了不同类型目标的精细刻画与评价优选。

三是攻关基于地质成因和分类分级的区带评价方法。依据区带地质成因明确了 3 大类 11 亚类的分类方案，提出了适用于叠合盆地的区带划分方法，实现盆地—含油气系统—区带逐级划分。根据不同勘探程

度，构建了预探区带、评价区带的参数指标体系和优选模型；根据不同成因类型，形成了构造、地层、复杂岩性等 6 类典型区带的评价模版。中国石化在 2020 年《区带评价技术规范》企业标准基础上，于 2024 年牵头制定行业标准，将满足国内不同类型地质条件下区带评价要求，为支撑战略选区、矿权评价及规划部署等奠定基础。

完整的油气勘探评价标准体系提高了油气勘探评价与年度部署研究水平，对行业发展起到了基础性、战略性和引领性作用，推动了国内油气勘探高质量发展。

S84-P-5

油气勘探行业标准《区带评价技术规范》编制研究

李萌^{1*}，刘超英¹，闫相宾¹，杨双¹，蔡利学¹，章朋²

1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院

2 中国石油化工股份有限公司科技部

* limeng2020.syky@sinopec.com

常规油气勘探目标评价是由面到点、逐步深入的过程，从盆地评价→区带优选→圈闭落实→油藏描述依次展开。区带评价研究是油公司制定年度勘探计划、中长期规划和勘探项目管理的基础与关键。目前，针对盆地、圈闭、油藏的评价方法较为成熟，均已制定并形成了相对完善的行业标准，但长期缺乏适用于不同地质条件下的区带评价技术标准。因此，有必要制定《区带评价技术规范》技术标准，填补勘探评价标准体系空白。

2024 年，中国石化牵头承担了《区带评价技术规范》行业标准制定项目，中国石油、中国海油共同参加，行标编制过程凝聚了行业共识，汇聚了行业智慧。

该行标体现了普适性原则。对于区带地质综合评价、资源潜力评价、经济评价，评价人员可以根据具体条件选择最适合的

方法，体现出较高的包容性。例如，区带油气地质评价包括烃源条件评价、储层条件评价、盖层条件评价、圈闭条件评价，目前规定了各项地质条件评价的基本内容，评价人员可结合区带特点进一步细化和补充，以满足实际工作需求。根据区带油气地质评价确定油气地质评价综合值，评价人员可根据评价习惯选择专家评价法、概率法或加权系数法。区带经济性评价中确定单位探明地质储量价值，评价人员可根据勘探程度选择刻度区计算或类比法估算。在区带评价优选中，根据区带综合评价指数将区带评价为 I、II、III 类，评价人员可根据工作实际自行确定各类的分值范围。

该行标体现了实用性原则。依据区带地质成因，明确了 3 大类 11 亚类的分类方案，提出了从整体到局部的区带划分原则，确定了构造区带、岩性区带、地层区带的边界条件，适用于国内不同类型盆地区带划分。前人针对区带评价优选提出多种方法，但实施步骤较复杂，且部分方法适用于特定场景或技术条件，难以在不同环境中直接使用。《区带评价技术规范》行标提出了在油气地质条件、资源潜力、经济价值和工程条件评价基础上，采用权重系数法计算区带综合评价指数，便于评价人员理解和使用，可操作性强。根据区带综合评价指数，将区带分为 I、II、III 类，并解释了各类别的含义，评价结果应用于中长期规划、年度部署以及勘探管理等，在油田生产中具有实用性的原则。同时，本标准编写尽可能严谨、准确、简化，编排格式更加清晰。

通过《区带评价技术规范》行业标准的制定，将进一步完善区带评价方法，统一评价标准，为油公司勘探计划、规划编制等提供依据，进一步指明勘探的重点和次序，推动更多油气大突破大发现，保证国家能源安全。

Abi Dzikri Alghifari.....	779	白玲.....	384, 724
Alexei A. Oskolski.....	184	白炜鹏.....	182
Ana Vasquez	879, 880	白亚之.....	666
Azar Dany	183	白旻.....	550
Chunju Huang	243	白云风.....	208
Cockx Pierre.....	186	包锐.....	490, 493, 494
Dangpeng Xi	241	包童.....	215
Daran Zheng.....	219	鲍颖.....	555
David B. Kemp	228, 230, 831	毕辰天.....	213
Fengping Wang.....	685	毕乃双.....	291
Gesine Mollenhauer	544	毕圣.....	672
Hidayatullah Khan	243	边雷博.....	210
Jonathan D. Todd	706	卜德志.....	541
Karthik Anantharaman.....	681	卜风贤.....	395
Kroeck, David Marius.....	242	卜鸣渊.....	716
Luliang Huang	184	卜庆涛.....	802
MacKenzie Smith.....	154	步静萱.....	819
Mehdi Hadi	241	蔡炳贵.....	404
Micha Ruhl.....	151	蔡晨.....	313
Mohd Aadil Bhat.....	444, 539	蔡晨阳.....	185, 191
MUHAMMAD KAMRAN.....	162	蔡春芳.....	349
Paul J. Valdes.....	189	蔡观强.....	652
Pham Nhu Sang.....	521	蔡家琛.....	350
Phyu Phway Thant	297	蔡阮鸿.....	528
Sergio Alvarez-Parra.....	192	蔡文炬.....	135
Stephan Steinke.....	236, 248	蔡雯沁.....	711
Thanuja D. Raveendrasinghe	335	蔡晓仙.....	390
Thomas Mock	677	蔡奕.....	462
Torsten Thomas	275	蔡元峰.....	639, 641
Xi Dangpeng	162	蔡悦.....	182
Xiao-Ming Liu	252	曹飞飞.....	750
Xiwu Luan	335	曹海洋.....	232
Yongli Wang.....	179	曹建涛.....	658, 669
Zexun Wei.....	870	曹剑.....	346
Zhijun Dai	297	曹君元.....	567
艾丽娜.....	519	曹珂.....	472
艾松涛.....	441	曹立成.....	449, 610
敖红.....	174, 809		
白发刚.....	752		
白广一.....	393		
白国平.....	745		
白开旭.....	481		

曹令敏.....	597	陈建全.....	769
曹臻.....	860	陈建文.....	472, 475, 592
曹梦莉.....	544	陈建珍.....	179
曹品强.....	806	陈健.....	447, 542
曹现勇.....	179	陈江欣.....	728
曹阳.....	499	陈军.....	221
曹一飞.....	511	陈克杰.....	718
曹一江.....	404	陈立雷.....	668
曾鼎.....	770	陈凌.....	135
曾浩.....	627	陈麒先.....	511
曾强.....	633, 642	陈起宏.....	203
曾书琦.....	657	陈诗洁.....	661
曾思博.....	499	陈双双.....	326
曾湘.....	691, 797	陈硕.....	284
曾治惟.....	265	陈涛.....	600, 804
查日环.....	671	陈伟.....	317
柴宝惠.....	392	陈炜哲.....	483
柴世瑶.....	850	陈卫星.....	748
常凤鸣.....	815, 844	陈文煌.....	412
常宏.....	392	陈曦.....	419, 832, 833
常美静.....	194	陈新.....	652, 864
常鑫.....	463	陈新阳.....	814
陈飏.....	275	陈馨钰.....	465
陈波.....	282, 283	陈宣谕.....	306
陈聪.....	647	陈昶.....	498, 505, 506
陈栋.....	765	陈烨.....	375
陈端新.....	774	陈伊翔.....	144
陈多福.....	365, 367, 734	陈永波.....	224
陈多宏.....	493	陈宇轩.....	767
陈芬.....	664	陈雨雷.....	199
陈枫壕.....	563	陈煜.....	679
陈峰.....	693	陈源清.....	710, 715
陈海伦.....	268	陈政宇.....	248
陈鹤.....	718	陈志怡.....	680
陈泓嘉.....	845	陈祖兴.....	142, 302
陈泓宇.....	157	谌永强.....	623
陈泓羽.....	629	成里京.....	554
陈嘉洲.....	546	程斌.....	348
陈建芳.....	525	程成.....	198

程聪.....	799	丁继凯.....	281
程栋.....	427	丁巍伟.....	464, 594, 599, 616
程浩.....	319	丁旋.....	461
程怡芳.....	725	丁杨.....	535
程子华.....	624	丁奕凡.....	844
迟占有.....	578	丁跃飞.....	643
初勇志.....	686	丁泽晟.....	577
储国强.....	660, 662	董冬冬.....	332
褚润健.....	225	董海良.....	629, 630, 633, 634, 635, 636, 641, 694
丛静艺.....	435	董吉宝.....	854
崔超.....	866	董珂.....	823
崔建新.....	396	董良.....	653, 655, 661
崔坤宁.....	207, 222, 223	董甜.....	155
崔琪.....	832	董为.....	182
崔轶博.....	869	董西洋.....	700
崔迎春.....	443	董晓晨.....	750
崔振昂.....	458	董一飞.....	726
崔志豪.....	444	董怡静.....	690
达良俊.....	396	董长银.....	805
戴紧根.....	150, 157, 160, 161, 621	董智.....	238, 406
戴兰.....	849	窦佩佩.....	396
戴璐.....	519	窦晓峰.....	803
戴仕宝.....	427	窦衍光.....	167, 470
戴志军.....	298	杜金龙.....	837
单新.....	291	杜金洲.....	297
党皓文.....	265, 716, 820, 868	杜军.....	594
党少华.....	250, 260	杜朋.....	777
邓涵.....	379	杜萍.....	876
邓杰.....	695	杜思琦.....	268
邓凯.....	465	杜祥.....	578
邓龙波.....	298	杜怡美.....	637
邓龙辉.....	675	杜勇.....	824
邓涛.....	180, 182	段丽琴.....	524, 644
邓贤泽.....	791	段晓勇.....	471, 580
邓怡颖.....	881	法文龙.....	245
狄会哲.....	762	樊海峰.....	199
邸雅楠.....	676	樊嘉琛.....	656
刁目贺.....	704	樊柳.....	737
刁洋洋.....	767	樊启顺.....	432

樊炜.....	565, 587	高金尉.....	363
樊晓琦.....	352	高亮.....	441, 867
樊星辰.....	449	高玲利.....	762
范代读.....	545, 546, 547	高名迪.....	602
范陆.....	275	高鹏.....	177, 553
范小芳.....	450	高瑞超.....	294
范彦斌.....	460	高抒.....	287
范智涵.....	726	高树基.....	698, 699, 703, 707, 708, 714, 718
方富韬.....	528	高爽.....	159
方玲.....	488	高显达.....	640
方旭晖.....	341	高翔.....	618, 621
方引.....	490	高旭旭.....	674, 713
房号男.....	224	高阳.....	478
房强.....	229	高宇.....	294, 540
房亚男.....	213	高远.....	155, 162
冯东.....	353, 730, 733, 734, 735, 736	高照良.....	420
冯华.....	847	革定宽.....	246
冯景春.....	370, 642, 732, 739, 804	葛朝霞.....	648
冯凯龙.....	473, 476	葛铭浩.....	639
冯晓航.....	249	葛倩.....	868
冯晓娟.....	517, 523	葛毓柱.....	164
冯旭光.....	406, 467	耿嘉悦.....	367
冯洋.....	556	耿建华.....	800, 801
冯英琪.....	620, 862	耿明会.....	776
冯展涛.....	456	宫尚桂.....	734, 736
冯卓.....	188	宫先哲.....	680, 696
符艾茵.....	343	龚成.....	226
符一林.....	529	龚美军.....	142
付晓伟.....	338, 414, 611	龚文平.....	289, 290, 292
付鑫宁.....	646	龚雪.....	358
付亚兰.....	858	苟苏恒.....	352
付永涛.....	741	古帅.....	394, 398
付宇.....	785	谷挺.....	703
傅建融.....	730	谷阳光.....	235
傅磊.....	442	谷玉.....	448
盖聪聪.....	435	顾庭舞.....	263
高涵.....	756	管红香.....	650, 656, 729
高键.....	746	管文嘉.....	708
高洁.....	267	光霞.....	464

郭兵勇.....	748	何泓锬.....	560
郭丁歌.....	193	何洪鸣.....	390, 394, 417, 420, 424
郭福平.....	780	何杰.....	409, 466
郭泓瀛.....	300	何磊.....	577
郭佳琦.....	828	何茂峰.....	395
郭金瑞.....	744, 747	何琪琳.....	422
郭婧.....	351	何守阳.....	877
郭磊.....	549, 722, 731, 781	何舜平.....	360
郭鹏远.....	307, 325	何天辰.....	829
郭汝军.....	413	何卫红.....	205
郭睿波.....	857	何文鸣.....	426
郭香会.....	512, 513, 541	何贤钊.....	436
郭玉龙.....	503	何小波.....	381, 599
郭云学.....	572	何艺玮.....	300
郭桢.....	387, 389	何源.....	361
郭桢丽.....	569	何治亮.....	739
郭正堂.....	404	贺恩远.....	361
郭志馗.....	788	贺海波.....	505
韩博.....	557, 558, 560, 562, 563	贺娟.....	662
韩非.....	147	贺治伟.....	165, 683
韩伽骏.....	533	贺子豪.....	669
韩凯博.....	832	洪朝鹏.....	483
韩露露.....	532	洪一荻.....	604
韩瑞.....	450	洪昱恺.....	856
韩喜彬.....	450, 793, 856	侯信超.....	384
韩喜球.....	683	胡邦琦.....	644
韩昕泽.....	606	胡晨.....	572, 878
韩续.....	150	胡海宁.....	682
韩岩松.....	260	胡海虔.....	193
韩豫.....	818	胡晗.....	136
韩政豪.....	726, 800	胡航.....	874
韩中.....	164, 166, 853	胡昊.....	330
郝光耀.....	848	胡焕婷.....	665
郝青振.....	405, 807	胡佳顺.....	329
郝瑞莹.....	158	胡建芳.....	828
郝秀东.....	171	胡建雄.....	233
郝治羽.....	845	胡金子.....	800
何丁.....	528, 530	胡俊成.....	338
何高文.....	784	胡立晨.....	611

胡利民.....	651, 665, 666	黄强太.....	315
胡亮.....	188	黄钦.....	259
胡鹏鹏.....	290	黄任达.....	446
胡祺雯.....	486	黄荣永.....	258, 268
胡倩男.....	792	黄瑞芳.....	141, 145
胡清静.....	717	黄书杰.....	696
胡清扬.....	314	黄淑亭.....	750, 754
胡秋岭.....	419	黄思艺.....	639
胡石建.....	251	黄天宇.....	232
胡苏安.....	289	黄天正.....	197
胡祥云.....	331	黄挺.....	876
胡修棉.....	150, 826	黄彤飞.....	745
胡永云.....	168, 192, 198, 823	黄伟.....	806
胡钰.....	728, 737	黄咸雨.....	647
胡湛.....	294	黄湘通.....	438, 464, 507
胡忠亚.....	169	黄小龙.....	334
扈永杰.....	358	黄晓函.....	306
花绘.....	258	黄欣婷.....	145
华夏.....	168	黄星煜.....	693
华远远.....	330	黄毅彬.....	508
黄宝蓉.....	638	黄永建.....	813
黄超.....	537, 547, 878	黄雨新.....	566
黄春菊.....	226, 228, 230, 818, 819	黄谕.....	642
黄达华.....	259	黄子航.....	311
黄恩清.....	233, 711, 820, 838	黄祖伟.....	611
黄豪擎.....	161	计博文.....	691
黄何.....	137	贾国东.....	651, 653, 658, 659, 664
黄河清.....	418	贾海波.....	148
黄璜.....	864	贾科.....	767
黄杰.....	858	贾望鲁.....	346, 355
黄康俊.....	502	贾琰.....	301
黄力.....	636	贾祎.....	485
黄丽萍.....	566	贾永刚.....	721, 726
黄丽婷.....	715	贾子策.....	628
黄柳琴.....	631	简星.....	427, 445
黄路亮.....	184	江蕾蕾.....	249
黄璞.....	196	江强.....	326
黄奇瑜.....	608	江玮航.....	780
黄启琳.....	641	江文彬.....	382

江雨轩.....	177	鞠楠.....	625
江左其杲.....	181	康德江.....	208
姜福杰206, 231, 233, 352, 353, 359, 660, 741		康曼玉.....	651
姜磊.....	354, 355	康晓莹.....	434
姜丽晶.....	688, 689	孔凡圣.....	137, 378, 598
姜林.....	620, 862	匡增桂.....	805
姜露珊.....	339	赖洪飞.....	732
姜仕军.....	825, 826	赖伟波.....	439
姜寿恕.....	398, 548	赖勇.....	637
姜苏.....	440	赖毓娴.....	555
姜伟.....	260, 263, 268, 669	赖忠平.....	421
姜玉涵.....	798, 857	郎咸国.....	345
姜在兴.....	856	劳齐斌.....	702
姜正龙.....	341	乐远福.....	263
蒋镖.....	795	雷志斌.....	254
蒋富清.....	469, 839	类彦立.....	206, 236, 245, 511, 589
蒋昊.....	313	黎刚.....	252, 264
蒋宏忱.....	627	李昂.....	727
蒋璟鑫.....	826	李保华.....	234
蒋萍.....	239	李炳鑫.....	201
蒋青青.....	813	李超.....	439
蒋仁.....	467	李超伦.....	371, 677, 680, 684
蒋晓东.....	783, 785	李琛.....	495
蒋心怡.....	626	李臣子.....	437
蒋子堃.....	152, 158	李传新.....	156, 158
蒋子文.....	356, 746	李春峰.....	596, 605
焦念志.....	555, 567, 570	李大伟.....	646
焦裕杰.....	439	李登峰.....	794
解瑞泽.....	685	李芳亮.....	414, 428
金建华.....	189	李付成.....	602
金玮.....	222	李富超.....	557
金晓波.....	237, 510	李刚.....	496
金谕青.....	194	李高聪.....	295, 298, 566
金章东.....	432, 437, 851	李冠霖.....	709
金之钧.....	347, 446, 819	李海.....	250
靳春胜.....	178	李海燕.....	279
靳松.....	276	李浩天.....	236
荆红梅.....	366	李红春.....	527
敬嵩.....	773	李宏亮.....	530

李怀明.....	796	李廷勇.....	399
李会晨.....	874	李婷婷.....	479
李佳.....	791	李彤.....	408
李家彪.....	134, 312, 759	李伟.....	482, 773, 779, 782
李嘉盈.....	491	李卫东.....	725
李江涛.....	677, 681, 683, 688, 690, 706, 709, 712, 715	李文婧.....	778
李杰.....	353	李文帅.....	430
李洁.....	256, 679	李小花.....	251
李津.....	278	李小花.....	251
李景瑞.....	293	李小强.....	393, 551
李静.....	492	李晓辉.....	143, 316
李俊池.....	782	李晓洁.....	340, 342
李科.....	840	李晓妮.....	303
李乐.....	428, 504	李啸森.....	218
李连福.....	675	李心语.....	580
李莲君.....	620	李欣然.....	312
李琳琳.....	595, 777, 782	李兴池.....	780
李嫚.....	829	李兴宇.....	856
李玫.....	266	李幸.....	206
李梅娜.....	463	李轩.....	616
李萌.....	881, 882	李学刚.....	556
李梦昊.....	417	李训鹏.....	855
李苗发.....	404	李彦龙.....	799
李民旭.....	707	李彦庆.....	589
李明辰.....	758	李艳.....	637, 789
李明坤.....	423	李雁宾.....	701
李明松.....	227, 813	李杨.....	388
李朋辉.....	374, 569	李洋辉.....	802
李平平.....	660	李垚.....	795
李平阳.....	493	李钰涵.....	266
李芊.....	705	李远宁.....	370
李强.....	194	李月丛.....	821, 850, 859
李清.....	475	李云海.....	540, 542
李清平.....	799	李长安.....	413
李莎.....	216	李振.....	843
李仕虎.....	411	李正晨.....	152
李双建.....	740	李政坤.....	790
李涛.....	235	李中乔.....	525
李铁刚.....	815, 844	李忠海.....	328, 615

李卓芝.....	851	刘超.....	200
李紫怡.....	283	刘晨晖.....	670
李宗珊.....	318	刘传联.....	514, 515
梁超.....	818	刘传周.....	300, 301, 303, 304, 311
梁承弘.....	834	刘聪.....	695
梁灏深.....	543	刘东悦.....	760
梁甲元.....	269, 273	刘冬.....	579, 581
梁乐文.....	684	刘菲菲.....	633
梁林.....	275	刘丰豪.....	232, 812
梁琪.....	389	刘国峰.....	442
梁启瑞.....	366	刘浩然.....	731
梁前勇.....	375, 552, 700, 723, 726, 738, 803	刘宏鹏.....	486
梁乾坤.....	160	刘吉文.....	698
梁喜幸.....	298	刘纪化.....	574, 582, 713
梁彦韬.....	571	刘佳.....	170
梁御璞.....	722	刘佳澳.....	846
梁祝清.....	273	刘佳楠.....	341
梁作栋.....	268	刘佳蓉.....	460
廖然.....	565	刘佳伟.....	717
廖泽文.....	348	刘建国.....	593
林宝治.....	489	刘健.....	562
林根妹.....	371, 702	刘金超.....	166
林间.....	140, 328	刘金召.....	430, 649
林建民.....	389	刘娟.....	228, 628, 643
林江南.....	759	刘俊.....	774
林俊国.....	617	刘康.....	277
林理娥.....	445	刘龙.....	586
林鹏辉.....	425	刘璐.....	222
林若澜.....	604	刘孟凯.....	229
林森杰.....	272	刘明旭.....	481
林思彤.....	272	刘明志.....	493
林音铮.....	310	刘鹏.....	279
林云鹏.....	540	刘巧霞.....	376
林泽晖.....	765	刘青松.....	549, 596, 837
林志勇.....	670, 786	刘青松(LIU Qingsong).....	435
刘伯蓉.....	157	刘荣江.....	476
刘博慧.....	426	刘如龙.....	366, 687, 715
刘彩凤.....	669	刘姗.....	835
刘常宏.....	495	刘珊珊.....	479

刘少峰.....	147	刘再华.....	504
刘少辉.....	618	刘臻.....	750
刘升发.....	518	刘正华.....	342
刘世东.....	544, 545	刘志飞.....	516
刘书琪.....	168	刘自尧.....	573
刘树阳.....	473, 476	柳畅.....	769
刘帅.....	500, 646	柳蓉.....	639, 640, 861
刘斯彪.....	304	柳双权.....	365
刘斯宇.....	623	柳中晖.....	643, 835
刘涛.....	800	卢海龙.....	713
刘伟.....	596	卢涵.....	709
刘卫国.....	655	卢红选.....	656, 860
刘喜停.....	292, 448, 463, 670	卢健.....	434
刘祥涛.....	717	卢锟.....	265
刘向军.....	416	卢龙飞.....	576
刘向群.....	875	卢铭垚.....	269
刘小菊.....	264	卢汐.....	489
刘晓锋.....	252	卢骁.....	481
刘心然.....	368	卢小康.....	182
刘星星.....	862	卢亚敏.....	242
刘雪儿.....	205	卢银.....	852, 853, 855, 858
刘亚茹.....	409, 667	芦阳.....	729
刘延俊.....	564, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758	鲁安怀.....	627, 628, 633, 634
刘焱光.....	408	鲁静.....	195
刘伊暄.....	281	鲁鹏.....	397
刘羿.....	362	鲁正.....	591
刘益彰.....	452	陆浩.....	809
刘逸琳.....	824	陆和平.....	497
刘燚.....	487	陆统智.....	737
刘颖卓.....	601	陆正遥.....	818
刘永岗.....	160, 500, 823, 847	鹿化煜.....	170, 507, 834
刘永欣.....	494	路北辰.....	754
刘勇勤.....	693	路颖晗.....	713
刘禹琦.....	714	栾锡武.....	336, 337, 339, 341
刘玉柱.....	598, 760, 765, 766	栾旭伟.....	830
刘豫威.....	599	罗慈航.....	214
刘远航.....	332	罗德琼.....	218
刘岳昕.....	423	罗刚.....	590
刘悦.....	192, 198	罗纲.....	767, 770

罗瑾.....	277	梅康.....	663
罗敏.....	364, 367, 368, 460, 730	梅西.....	860
罗文军.....	581	蒙启安.....	207
罗怡鸣.....	328	孟鸽.....	292
罗泳驿.....	878	孟令子.....	634
罗芸.....	466	孟苗苗.....	807
骆迪.....	475	孟雅冰.....	138
雒恺.....	348	密文天.....	159
吕恒志.....	507	苗瑞.....	655
吕君.....	383	苗晓明.....	673, 727, 729
吕品洁.....	690	苗秀全.....	605
吕喜玺.....	421	苗运法.....	171, 173, 526
吕焱楠.....	217	明鑫雨.....	354
吕宗青.....	570	明怡斌.....	598
马波.....	613, 719	莫侗桐.....	765
马超.....	225, 226, 827	莫扬之.....	491
马健雄.....	285	母圆圆.....	399
马金龙.....	348, 460, 462, 501	南航宇.....	729
马靖然.....	756	倪宝玉.....	584
马凯.....	556	倪建欣.....	544
马坤元.....	232	倪司麟.....	703
马乐.....	766	倪四道.....	386
马林原.....	179	倪鑫.....	738
马曼曼.....	677	年廷凯.....	776
马鹏飞.....	518	聂浩阳.....	505
马瑞罡.....	245, 514	聂军胜.....	172, 177, 449, 452, 553
马维林.....	795	宁嘉豪.....	160
马文涛.....	555	宁新竹.....	821
马小川.....	300	宁志铭.....	267
马小林.....	810	牛东蕾.....	663
马雅楠.....	843	牛丽霞.....	300
马永平.....	220	牛雄伟.....	308, 759
马玉玲.....	270	欧柯男.....	397
马钰涵.....	199	欧阳嘉文.....	229
马元庆.....	593	欧阳盛辉.....	504
马张烽.....	719	潘保田.....	415
马忠霖.....	706	潘菲.....	215
满红聪.....	693	潘桦.....	732
毛学刚.....	486	潘俊潼.....	636

潘荣昊.....	443	邱若原.....	212, 827
潘蓉蓉.....	559	邱轩.....	695, 697
潘依雯.....	511	裘锐.....	187
潘正洋.....	767	曲铭.....	749
泮枫敏.....	657	屈棋楠.....	797
泮燕红.....	188, 194	全成.....	189
庞洪喜.....	863	任传亮.....	839
庞金堰.....	512	任高杨.....	698
庞诗梅.....	642	任广生.....	161
裴继影.....	269, 272	任建华.....	551, 712
裴理鑫.....	579	任健.....	249
裴绍峰.....	576	任江波.....	783
彭诚.....	228	任鹏.....	407
彭杰.....	212	任天飞.....	270
彭锦洲.....	785	任天鑫.....	676
彭炼.....	436	任旭.....	297
彭希.....	870	任宇鹏.....	290, 720
彭晓彤.....	361, 365, 613	任钰.....	820
彭正兵.....	867	任智源.....	780
彭自栋.....	167	荣泽.....	776
骈泽宇.....	681	荣子敬.....	641
戚俊俊.....	200	阮威涵.....	720
戚羽霖.....	524	阮笑白.....	506
戚月华.....	299	阮友谊.....	385
齐绍洲.....	583	桑蕾.....	368
齐振国.....	353, 359	上官明佳.....	512
祁第.....	594	尚正涛.....	327, 379
强昆生.....	742	邵可涵.....	834
强明瑞.....	854	邵明玉.....	504
乔方利.....	562	邵弋伦.....	878
乔朋宇.....	457	佘昭勇.....	665
乔淑卿.....	290	申博恒.....	197
乔新月.....	144	申婷婷.....	146
秦秉斌.....	510	申小冬.....	807
秦林鹏.....	387	申志博.....	707, 708
秦晓.....	274	沈晨曦.....	321
邱大俊.....	571	沈佳恒.....	648, 654
邱佳磊.....	334	沈洁.....	621
邱宁.....	473	沈俊杰.....	392, 397

沈美琪.....	652	苏宏飞.....	274
沈树忠.....	197	苏建锋.....	537
沈延安.....	134	苏明.....	538
沈玥.....	715	苏妮.....	439, 469, 503
沈智超.....	381	苏瑞敏.....	396
盛凯.....	285	苏涛.....	156
盛益之.....	630, 634, 635, 641	苏翔.....	239, 513
施小清.....	671	苏杨鑫.....	222
施悦.....	591	宿蕾.....	677, 712
石创.....	339	隋维康.....	676, 691
石端平.....	401	孙爱芝.....	191
石巨业.....	284	孙媛滢.....	302
石亮星.....	499	孙超凡.....	561
石学法293, 406, 408, 409, 467, 518, 519, 666, 786, 791, 792		孙超岷.....	587
时美楠.....	864	孙呈慧.....	167
时晓旭.....	560	孙传淇.....	474
时欣磊.....	807	孙丹辉.....	181
史恭乐.....	209	孙非龙.....	274
史贵涛.....	443	孙海萱.....	333
史浩贤.....	805	孙晗杰.....	238
史红毅.....	635	孙建业.....	474
史亚男.....	328, 334	孙剑.....	284
史忠叶.....	243	孙金.....	780
舒启.....	559	孙进.....	370, 678, 791, 871
舒志国.....	740	孙军.....	508, 703, 872
宋博文.....	176	孙军涛.....	757
宋海斌.....	372	孙君一.....	176
宋海军.....	204, 206	孙李恒.....	603
宋含章.....	189	孙立舜.....	514
宋虎跃.....	824	孙明志.....	770
宋静静.....	557	孙楠.....	391
宋思雨.....	213	孙普.....	305
宋希坤.....	362	孙启良.....	777, 780, 860
宋向博.....	190	孙青.....	660
宋学行.....	474	孙树政.....	585
宋宜.....	253	孙爽.....	853
宋盈瑾.....	410	孙炜毅.....	446, 843, 848
宋政宏.....	380	孙卫东.....	675
宋子龙.....	621	孙习林.....	412, 413

孙晓明.....	785, 790	田昊.....	622
孙秀云.....	859	田昊然.....	876
孙学诗.....	664	田杰.....	243
孙一丹.....	158	田军.....	231, 811, 835, 840, 842, 846
孙宇东.....	850	田丽艳.....	314, 321, 607
孙月.....	469	田俐萍.....	647
孙跃东.....	736	田明倩.....	753
孙云鹏.....	632	田子晗.....	453
孙云强.....	766, 771	佟殿君.....	343
孙珍.....	603	佟宏鹏.....	736
孙治雷.....	375	万世明.....	457, 522, 553
索艳慧.....	453	万随.....	509
覃章才.....	482, 486	万文涛.....	388
覃祯俊.....	271, 273	万霞.....	407
谭萼辉.....	707, 708	万志峰.....	338, 737
谭宁.....	815	汪宏海.....	658
谭平川.....	308	汪欢.....	700
谭昭昭.....	357	汪嘉宁.....	374
汤大委.....	770	汪进.....	851
汤开浩.....	573	汪露露.....	278
汤坤贤.....	573	汪岷.....	571, 697
汤艳杰.....	323	汪迁迁.....	252
唐春安.....	307, 322	汪诗舜.....	788
唐甘宇.....	637	汪思成.....	446
唐建辉.....	663	汪业勇.....	461
唐杰平.....	299	王爱军.....	293, 543
唐璐瑶.....	844	王爱民.....	588
唐琴琴.....	772	王安琪.....	408
唐卿.....	138	王本锋.....	765
唐群署.....	382	王毕文.....	468
唐诗.....	374	王博.....	211, 224, 225
唐甜甜.....	524, 531	王灿发.....	650
唐闻强.....	225, 827	王超.....	535, 586
唐艳芳.....	146	王晨景.....	711
唐应德.....	177	王成龙.....	536
陶明月.....	355	王春虹.....	286
滕君灿.....	257	王春阳.....	616
滕鹏晓.....	383	王春在.....	255
滕漱清.....	186	王大菊.....	485

王大鹏.....	744	王力宁.....	218
王大伟.....	780	王丽楠.....	488
王大志.....	700	王栋.....	385
王登帅.....	755	王刘炜.....	255
王凡.....	376	王路阳.....	565
王菲.....	401, 606	王美乐.....	868
王汾连.....	784	王萌萌.....	451
王风平.....	661, 682, 684, 686, 687, 691	王蒙.....	214, 230
王凤浩.....	549	王梦如.....	662
王奉宇.....	204	王敏晓.....	677, 680, 684
王福强.....	400	王楠.....	512
王冠之.....	331	王芑.....	478
王广华.....	265	王鹏.....	373, 709
王海峰.....	794	王鹏飞.....	563
王海军.....	802	王平.....	451, 455
王海纳.....	694	王锴蒂.....	366
王海芹.....	464	王祈淮.....	520
王昊.....	680	王琦.....	502
王厚杰.....	287, 290, 720	王啟芳.....	257
王虎.....	787	王勤.....	309
王华建.....	210, 349	王然.....	847
王欢.....	747	王日晶.....	501
王欢业.....	655	王如生.....	443, 444
王徽.....	202	王汝建.....	399, 867
王慧婷.....	519	王汝军.....	583
王集.....	718	王瑞.....	258, 264
王佳宝.....	253	王莎莎.....	688
王佳佳.....	187	王绍俊.....	724
王嘉浩.....	462	王盛宇.....	211
王嘉麟.....	582	王世骐.....	180
王建.....	551	王淑雯.....	723
王建华.....	763	王帅迪.....	634
王建强.....	477	王涛.....	387
王金燕.....	706	王天琪.....	674
王镜宇.....	251	王天天.....	159
王俊.....	754	王薇.....	833
王凯.....	526	王伟.....	357
王乐.....	533, 534	王卫兵.....	161
王磊.....	721, 871	王为磊.....	701

王文龙.....	597	王雨楠.....	246
王文秀.....	275	王煜.....	601
王雯雯.....	743	王跃.....	836, 842, 846
王先彦.....	152, 415	王赧.....	388
王小婧.....	558	王张华.....	535
王小林.....	880	王志兵.....	163, 436
王晓洁.....	541	王志强.....	473
王晓梅.....	283, 830	王智刚.....	803
王晓伟.....	522	王中波.....	428, 457
王晓雪.....	573, 574	王姿晰.....	190
王欣欣.....	314	王子晨.....	355
王鑫.....	554	王子杰.....	337
王星星.....	773, 775, 780	王宗灵.....	584
王星耀.....	750	韦成龙.....	607
王秀娟.....	800, 804	韦俊杰.....	474
王旭东.....	732	韦丽菲.....	271
王学超.....	575	韦钦胜.....	531
王学婷.....	178	韦懿倩.....	607
王雪娇.....	244	尉建功.....	673, 727
王雪莲.....	175	魏安锐.....	387
王雪梅.....	477	魏广祎.....	165, 438
王亚琼.....	187	魏吉林.....	836
王亚苏.....	825	魏韧.....	819
王延伟.....	685	魏士俨.....	383
王彦俊.....	561	魏思华.....	231, 842
王遥平.....	645	魏巍.....	203
王野.....	498	魏晓椿.....	174
王业浩.....	185	魏长栋.....	753
王叶剑.....	683	温斌.....	279
王益鹏.....	490	邬光剑.....	497
王逸雯.....	806	吴柄政.....	673
王茵.....	321	吴晟.....	590, 823, 847
王寅炤.....	681	吴福莉.....	175, 177
王樱静.....	786	吴高奎.....	747
王莹.....	821	吴怀春.....	229, 435, 646
王永超.....	208	吴怀春吴怀春.....	225
王永栋.....	151, 153, 157	吴佳佳.....	373
王悠昆.....	607	吴家望.....	446, 814
王雨晗.....	299	吴婕.....	696

吴俊文.....	667	席世川.....	143
吴凯.....	142	夏荣林.....	267
吴凯凯.....	518	夏少红.....	254, 380, 730
吴南.....	212, 516, 519, 726, 772, 800	夏天.....	665
吴茜.....	508	夏文月.....	549
吴若冰.....	794	夏永振.....	674, 680
吴淑玉.....	774	向梦娇.....	344
吴双双.....	191	向荣.....	243, 247
吴司琪.....	266	向延龙.....	736
吴思晋.....	159	肖灿博.....	559
吴松烨.....	264	肖传桃.....	218
吴涛.....	320, 332, 596, 604	肖国桥.....	416, 808
吴田振.....	206	肖晗.....	377
吴通.....	356	肖衡.....	527
吴文学.....	666	肖竣友.....	268
吴祥恩.....	735	肖开迅.....	880
吴晓.....	288, 852	肖清扬.....	482
吴欣凯.....	189	肖尚斌.....	522
吴学敏.....	722	肖文交.....	133, 553
吴燕.....	189	肖文申.....	869
吴杨.....	552	肖武鹏.....	705
吴伊婧.....	539	肖曦.....	700
吴永华.....	846	肖喜林.....	568, 569
吴宇琦.....	233	肖湘.....	136
吴玉何.....	411	肖晓彤.....	407, 701, 866
吴玉样.....	204	肖非凡.....	205
吴云飞.....	531	肖壮.....	165
吴招才.....	874	肖卓.....	381
吴正超.....	705	肖子儒.....	178
吴志鹏.....	138, 816	谢宝华.....	578
吴智超.....	384	谢鸿森.....	455
吴忠庆.....	164, 275	谢谨谦.....	386
吴自军.....	710, 715, 717	谢婧倩.....	368
吴自银.....	723	谢曼平.....	246, 248
伍梦梦.....	490	谢伟.....	568, 631
武光海.....	788	谢卫明.....	288
武力.....	865	谢宇.....	796
奚弘钊.....	621	谢雨晗.....	839
席党鹏.....	240, 243	谢卓雅.....	773

辛孝科.....	574	许林峰.....	470
邢庆会.....	578	许灵通.....	276
邢玉臣.....	591	许清海.....	179
熊畅.....	642	许晓燕.....	650
熊东红.....	419, 425	许学伟.....	586
熊家伟.....	144	许阳.....	300, 304, 311
熊婉利.....	735	许义江.....	506
熊伟.....	860	许艺炜.....	831
熊艺轩.....	687	许云平.....	360
熊轶伟.....	282	许长海.....	609
徐晟岚.....	184	薛钢.....	749, 755, 756, 758
徐川.....	350	薛惠鸿.....	822
徐翠玲.....	373	薛进庄.....	201, 202
徐凡.....	294	薛梅.....	388, 616
徐方建.....	433	薛乃华.....	217
徐菡悦.....	527	薛岩.....	216
徐恒.....	690	薛云飞.....	208
徐建安.....	585	荀鲁盈.....	674
徐建明.....	692	押淼磊.....	487
徐静.....	846	闫兵.....	429
徐岭灵.....	433	闫建平.....	829
徐敏.....	703, 764	闫思雨.....	661
徐珊.....	331	闫祥磊.....	781
徐胜.....	487	闫晓.....	719
徐涛.....	248	闫义.....	612, 614
徐腾飞.....	870	闫永刚.....	841, 858
徐文景.....	613	颜娄旺.....	306
徐艳杰.....	384	颜茂都.....	454
徐阳.....	432	颜秀丽.....	713
徐义刚.....	133	颜余真.....	139, 845
徐永乐.....	693, 697	晏宏.....	854
徐兆凯.....	429, 550	阳琪芝.....	273
徐之澳.....	687	杨博.....	464
徐志方.....	500	杨超.....	224
徐子明.....	755	杨承帆.....	454, 470
徐梓杰.....	389	杨楚鹏.....	797
许晨曦.....	822	杨东臻.....	476
许冲.....	850	杨帆.....	334
许恒超.....	364	杨光星.....	583

杨桂朋.....	479, 674	杨正先.....	586
杨汉卿.....	828	杨智超.....	280
杨虎.....	447	杨子潇.....	220
杨欢.....	649	姚俊华.....	318
杨积忠.....	377, 763	姚鹏.....	525, 529, 532, 533, 534
杨建峰.....	623	姚炜琪.....	672, 824
杨建锋.....	622	姚雪玉.....	347
杨渐.....	627	姚玉龙.....	255
杨江海.....	196, 201	姚远.....	647
杨晋蓉.....	764	姚政权.....	408, 409, 468, 667, 811
杨婧.....	449	叶程程.....	433
杨林.....	723	叶丰.....	839
杨柳.....	332	叶思源.....	577, 579
杨名宇.....	865	叶泽航.....	654
杨明天.....	845	易沅璧.....	530
杨琦琦.....	202	殷进垠.....	744
杨清华.....	560	殷绍如.....	552
杨守业.....	165, 464	殷一盛.....	438
杨涛.....	671	殷志强.....	351
杨挺.....	327, 379, 617	尹力.....	769
杨威.....	594, 732	尹秋珍.....	814
杨文涛.....	201	印萍.....	459
杨霄.....	397	尤天楠.....	598
杨晓东.....	595, 606	游秀.....	751
杨旭杰.....	395, 424	于传海.....	765
杨娅敏.....	465	于名扬.....	451
杨燕.....	323	于明琦.....	750
杨阳.....	139, 306	于鹏飞.....	760
杨一博.....	178, 437, 496	于晓晓.....	672
杨义.....	652, 658, 663	于欣鹭.....	155
杨艺萍.....	247	于洋.....	601
杨逸飞.....	550	于兆杰.....	429, 434, 459
杨毅.....	513	于正良.....	497
杨毅凌.....	855	于志腾.....	312
杨翼.....	324	余晨旻.....	149
杨永.....	790	余凤玲.....	536
杨永恒.....	171	余娟.....	683
杨宇峰.....	588	余克服.....	250, 257, 258, 259, 261, 262, 267, 270, 271
杨哲.....	594	余美庚.....	367

余梦明.....	614	张东.....	533, 734
余启涛.....	550	张东旭.....	216
余荣达.....	581	张冬磊.....	633
余少华.....	391	张帆.....	304, 312, 615, 625, 626, 725
余甜甜.....	678	张凡.....	418
余文峰.....	272	张飞.....	499, 573
余星.....	869, 872, 873, 874	张飞飞.....	278, 285
余娅娜.....	872	张干.....	487, 491, 492, 493
俞婷婷.....	218	张功.....	557, 560
俞小鹏.....	256, 270	张光亚.....	745
俞恂.....	600	张国良.....	318, 319, 321, 596, 609
喻凯琦.....	775	张海滨.....	360
喻天悦.....	547	张海桃.....	792
袁菲雪.....	226	张晗.....	364, 626
袁华茂.....	657	张汉羽.....	363
袁洁琼.....	461	张瀚之.....	453
袁明明.....	295	张浩然.....	861
袁欣萌.....	263	张皓颖.....	768
袁勇.....	475	张荷悦.....	296
袁震宇.....	757	张宏斌.....	398, 657, 810, 821
袁子杰.....	820	张洪瑞.....	653
原成帅.....	283	张浣荻.....	807
岳冲.....	771	张会平.....	455
咎金波.....	173, 547	张继红.....	588
臧虎临.....	764	张佳伟.....	154
詹晓灵.....	236	张佳宇.....	269
战楠.....	659	张建明.....	761
张宝军.....	425	张健.....	148, 170, 430
张宾.....	346	张江阳.....	615
张斌.....	429, 555	张江勇.....	254
张偲.....	642, 679	张杰.....	329
张畅.....	146	张锦昌.....	325
张朝鑫.....	818	张晋.....	457
张成.....	358	张俊茹.....	815
张成阳.....	767	张俊文.....	431, 501
张驰.....	203, 205	张来明.....	149, 155
张楚卉.....	261	张兰兰.....	234
张传林.....	356	张立.....	151
张传伦.....	642, 707	张立明.....	574

张连宝.....	484	张晓文.....	694
张刘祯怡.....	852	张筱青.....	151
张路.....	313	张筱玥.....	228
张茂亮.....	487, 768	张鑫.....	143, 219, 369, 675
张梦薇.....	867	张旭.....	849
张敏.....	562	张轩昂.....	829
张铭静.....	582	张洵.....	420
张沐情.....	618	张亚南.....	837
张楠.....	441	张彦成.....	655
张宁.....	874	张艳利.....	477
张朋.....	410	张艳伟.....	720, 852
张前旗.....	217	张燕.....	688
张强.....	237, 482	张一迪.....	630
张巧雯.....	545	张一范.....	162
张钦越.....	330	张一歌.....	817
张庆贤.....	795	张怡.....	793
张锐.....	681, 696	张艺.....	833
张瑞波.....	485	张奕栩.....	840
张瑞杰.....	251	张毅聪.....	517
张瑞敏.....	328	张永雨.....	541, 571, 591, 693, 705
张瑞尧.....	230	张勇.....	435
张睿.....	622	张宇.....	206, 369, 660
张申健.....	383	张宇翱.....	849
张诗睿.....	545	张羽中.....	480
张世红.....	281	张雨薇.....	852
张水昌.....	277	张彧瑞.....	402, 838, 843
张硕.....	553	张钰莹.....	651
张苏祥.....	723	张运迎.....	603, 605
张涛.....	304, 390	张泽.....	812
张旺.....	212	张泽铭.....	386
张维骐.....	310	张增虎.....	705
张伟林.....	456	张振全.....	751
张闻多.....	425	张峥.....	878
张侠.....	309	张之辉.....	149
张显涛.....	748	张知行.....	336
张霄宇.....	785	张志强.....	781
张晓春.....	739	张治锋.....	813
张晓栋.....	296	张仲石.....	816
张晓天.....	295	张卓亚.....	394, 403

章紫喻.....	782	赵卓.....	771
赵佰玲.....	261	郑大燃.....	213, 216, 219
赵彬.....	525, 531	郑广金.....	494
赵晨尧.....	562	郑军勇.....	848
赵崇进.....	611	郑凯阳.....	697
赵大刚.....	586	郑可心.....	365
赵丹丹.....	880	郑旻.....	165
赵德博.....	398, 402, 458, 548, 550	郑婷尹.....	867
赵都菁.....	241	郑伟鹏.....	838
赵宏超.....	521	郑新庆.....	257
赵佳曦.....	500	郑新源.....	438
赵家斌.....	309	郑月.....	271
赵家驹.....	648	郑越.....	140, 700
赵久龙.....	693	郑珍珍.....	699
赵克良.....	393	钟超.....	564, 628
赵磊.....	625	钟广法.....	614, 619
赵亮.....	618	钟国荣.....	556
赵凌楠.....	259	钟君.....	431, 497
赵峦啸.....	140	钟桥辉.....	353
赵蔓.....	659	钟涛.....	201, 279
赵美训.....	527, 535	钟阳昇.....	689
赵梦实.....	495	仲义.....	400, 548, 549
赵明辉.....	315, 324, 610	仲毅.....	289
赵明宇.....	345, 500, 827	周炳富.....	868
赵奇.....	612	周炳江.....	294
赵芊.....	191	周曾.....	295, 298
赵世杰.....	335	周传明.....	635
赵涛.....	188	周恩雄.....	841
赵文金.....	350	周飞.....	301
赵文涛.....	768	周锋.....	876
赵向东.....	209	周集体.....	576
赵晓松.....	484	周佳鸣.....	655
赵旭东.....	414	周娇.....	797
赵玄烈.....	584	周静琪.....	231
赵璇.....	779	周昆.....	681
赵学婷.....	605	周茂霖.....	563
赵瑜.....	480	周鹏程.....	312, 725
赵玉龙.....	548	周天禹.....	398
赵昭.....	385	周婷婷.....	394, 424

周伟.....	847	朱伟林.....	337, 338, 743
周晓理.....	264, 509	朱玮婷.....	558
周效华.....	467	朱文静.....	437
周辛全.....	513	朱祥坤.....	278, 282, 285, 286
周馨怡.....	635	朱小畏.....	668
周鑫.....	403	朱心怡.....	438
周煦.....	262	朱修全.....	292
周学谦.....	585	朱秀昌.....	695
周学文.....	172	朱学明.....	561
周宴任.....	536	朱逊驰.....	529, 731
周一擘.....	194	朱娅坤.....	483
周勇.....	386	朱莹洁.....	795
周游.....	322	朱雨萌.....	546
周玉龙.....	378	朱玉晗.....	264
周增园.....	337, 340	朱玉晴.....	831
周哲.....	527, 580, 638, 699	朱泽阳.....	654
周正文.....	701	朱卓毅.....	528
周之超.....	679	朱子宜.....	155
周志远.....	140, 328, 607, 622, 623, 875	祝厚勤.....	743
周子龙.....	282	祝佳琪.....	637
朱陈霸.....	575, 581, 582	祝禧艳.....	168
朱高华.....	621	庄光超.....	673, 708
朱晗宇.....	227	卓海腾.....	445, 855
朱恒睿.....	320, 332	宗浩然.....	156
朱佳豪.....	610	邹建军.....	399
朱茂旭.....	551, 712	邹松.....	619
朱茂炎.....	277	邹欣庆.....	536
朱敏.....	134	左秀玲.....	257
朱明勇.....	420	左旭然.....	879
朱求安.....	422		

CES 2023



扫码关注，及时掌握更多大会资讯

- 地球系统科学大会 公众号
- 地球系统大会e起来 微信小程序
- cess@tongji.edu.cn
- www.cess.org.cn