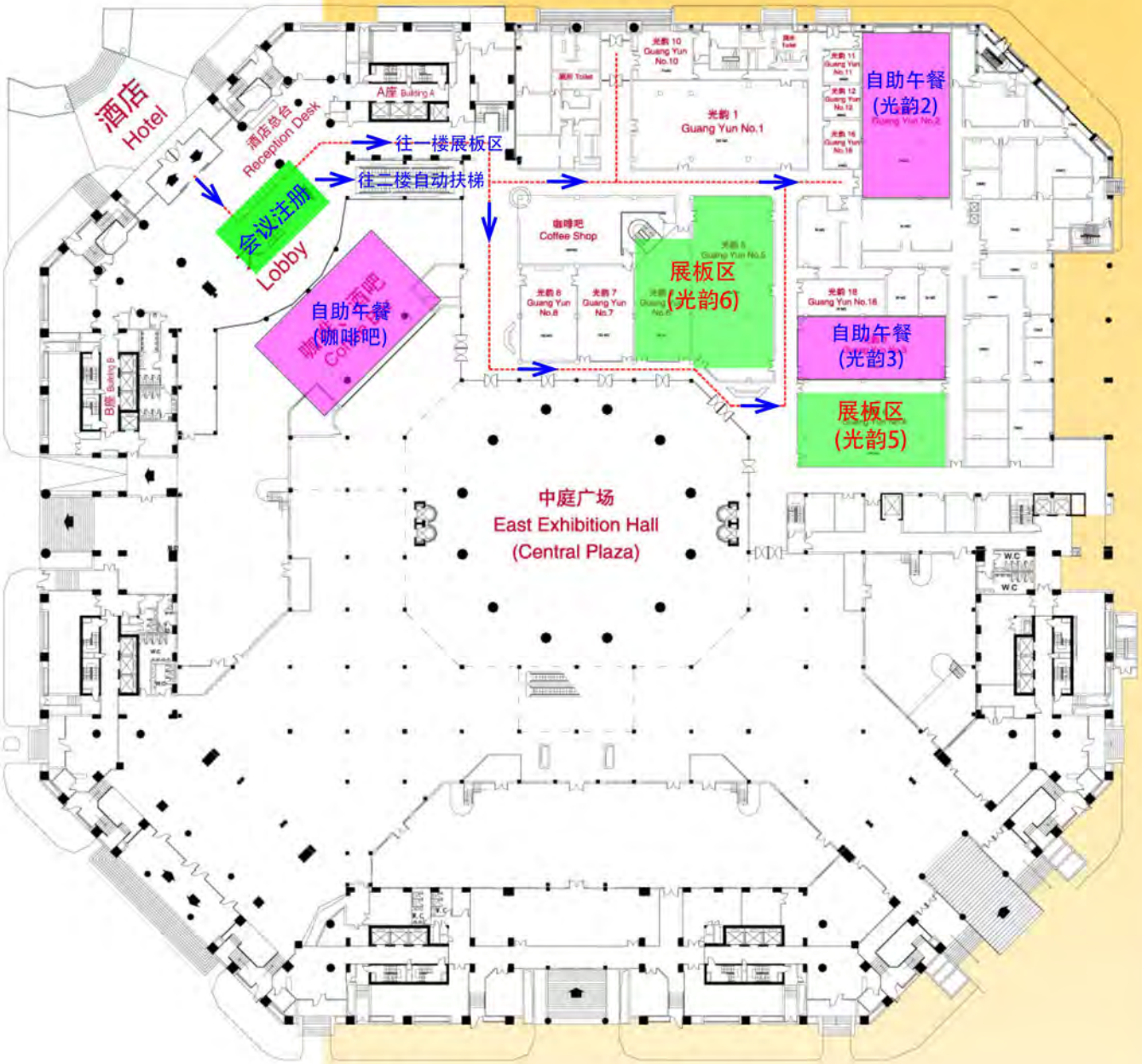
第二届
深海研究与地球系统科学
学术研讨会

2012年7月2~4日 上海

会议日程及摘要集

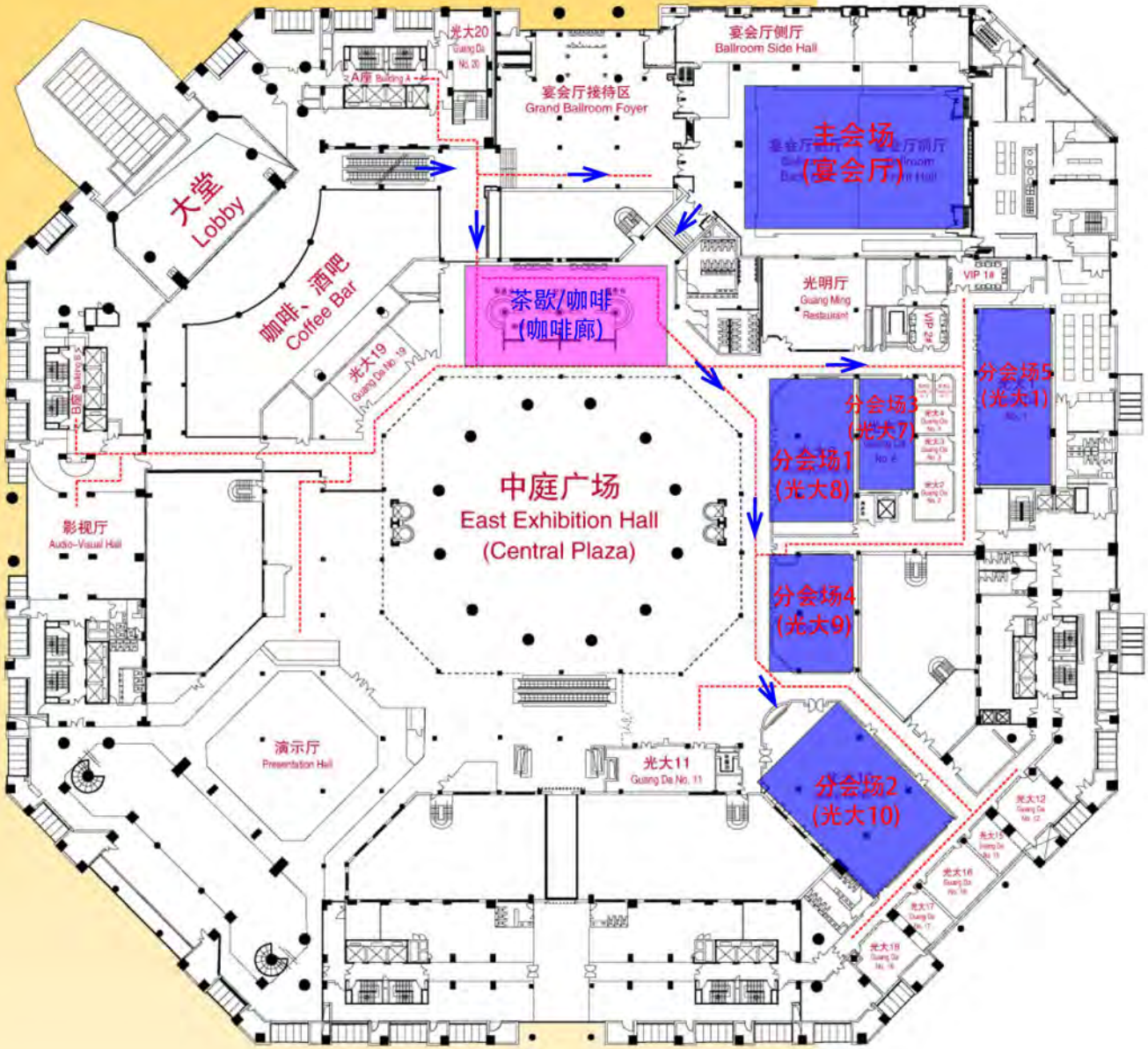
上海光大会展中心1层平面图

SHANGHAI EVERBRIGHT CONVENTION & EXHIBITION CENTER 1st FLOOR PLAN



上海光大会展中心2层平面图

SHANGHAI EVERBRIGHT CONVENTION & EXHIBITION CENTER 2nd FLOOR PLAN



如家快捷酒店
格林豪泰酒店
云悦华尔兹精品酒店
光大国际会展中心大酒店
漕宝路66号
华夏宾馆
地铁1号线漕宝路站
田林东路
柳州路
钦州路
习勤路
漕宝路
聚星苑
聚星苑
兴建路

上海市交通枢纽至会场交通图

地铁1号线

地铁2号线

上海火车站

A. 地铁1号线至漕宝路站，向西步行约800米. 约4元

B. 出租车. 约45元

上海南站

A. 地铁1号线至漕宝路站，向西步行约800米，约4元

B. 出租车. 约20元

光大国际会展中心大酒店：上海市徐汇区漕宝路66号

虹桥机场/虹桥火车站

A. 地铁2号线至人民广场站，转地铁1号线至漕宝路站，向西步行约800米. 约4元

B. 出租车. 约40元

浦东机场

A. 地铁2号线至人民广场站，转地铁1号线至漕宝路站，向西步行约800米. 约7元

C. 出租车. 约180元

绿色会议　保护环境

珍爱地球村，守卫将来人

节约用水，爱惜资源
请带走您未喝完的矿泉水
用自助餐时
请按量取食，避免浪费

会议鼓励胸牌回收
您也可留存纪念
但请勿随意丢弃、污染环境

温馨提示

会务组联络间位于
会议酒店5005室
若需帮助，敬请联系

第二届
深海研究与地球系统科学
学术研讨会

2012 年 7 月 2~4 日　上海

会议日程及摘要集

主办单位

中国综合大洋钻探计划专家委员会

国家自然科学基金委员会地球科学部

国际中国地球科学促进会（IPACES）

同济大学海洋地质国家重点实验室

会议组织机构

学术委员会

主　任：孙　枢

副主任：汪品先、秦蕴珊

成　员：陈　颙、殷鸿福、王成善、侯增谦、柴育成、林　间

主办单位

中国综合大洋钻探计划专家委员会

国家自然科学基金委员会地球科学部

国际中国地球科学促进会（IPACES）

同济大学海洋地质国家重点实验室

会议秘书处

田军、拓守廷、秦顺生、张　利、周　昕、陈源珊

联系方式

秦顺生（会务负责）：139 1607 9741，iodp_china@tongji.edu.cn

张　利（注　　册）：137 7160 4916，iodp_china@tongji.edu.cn

周　昕（注　　册）：136 3663 0063，iodp_china@tongji.edu.cn

陈源珊（接　　待）：139 1648 0610，iodp_china@tongji.edu.cn

田　军（秘书处负责）：138 1610 1472，tianjun@tongji.edu.cn

联系地址：中国 IODP 办公室，同济大学海洋地质国家重点实验室
上海市四平路 1239 号（邮编 200092）

传真：021-6598 8808

网址：http://www.iodp-china.org/second-deepsea-meeting

旅行服务

指定“上海春秋国际旅行社（集团）有限公司”为本届会议的官方旅行服务代理机构，收取全部会议费用，出具会议有关发票。

上海旅游会展推广中心（http://www.meet-in-shanghai.net/）为本届会议赞助提供上海旅游资料。

目　录

欢迎辞 **1**

会议基本信息 **2**

注册 2

会议地点 2

交通 2

口头报告 3

会议就餐 3

会议宴请 3

会后参观 3

展板报告及须知 **4**

专题设置及召集人 **5**

专题清单及报告时间分布 **7**

会议日程索引表 **8**

会议日程 **9**

摘要集 **35**

作者索引 **398**

赞助单位 **415**

欢迎辞

“深海研究与地球系统科学学术研讨会”是地球科学领域以中文作为主要交流语言，大幅度跨学科交叉的学术会议，由中国综合大洋钻探计划专家委员会（IODP-China）、国家自然科学基金委员会地球科学部、国际中国地球科学促进会（IPACES）和同济大学海洋地质国家重点实验室联合主办。

会议最大的特点在于高度的跨学科性，海陆结合、古今结合、观测和理论结合；会议另一个显著特点在于强调并着重讨论，形式上从大会报告到展板到晚上另外组织的讨论，反对只用鼓掌反馈的陈旧模式；会议又一特点在于使用中文作为主要工作语言，为华人学术界提供使用母语交流成果、切磋学问的平台。这三大特点相互连接：地球系统科学要求跨越时空的学科交叉，学科交叉迫切需要面对面的交流，而使用华语有利于交流、尤其是跨学科交流的深入。

第二届“深海研究与地球系统科学学术研讨会”第一号、第二号通知发出后得到海内外学术界热烈响应，众多专家、学者和研究生积极反馈意见和建议，报名参会的海内外单位达到 120 多个，注册人数达到 800 余位。在此，期望本次会议能真正成为华语世界地球科学领域不同学科和学者之间进行深度交流的学术平台。

衷心希望大家在这次盛会中各有所获！

第二届“深海研究与地球系统科学学术研讨会”会议学术委员会

2012 年 6 月 25 日

会议基本信息

注册

7 月 1 日 10:00~22:00：会议现场注册地点在“上海光大国际会展中心大酒店”大厅（上海徐汇区漕宝路 66 号）。已预付费的参会人员请前往领取会议资料和会议费发票。未预付费的参会人员请现场付费，接受各类信用卡刷卡和现金支付方式。由于参会人员较多，会议秘书处一般不直接提供酒店代订服务。会议秘书处与会场周边的几家宾馆协商，6 月 15 日之前预留了一定数量的房间，并提供会议特别优惠价，请与宾馆指定联系人预订房间（非指定联系人无法享受会议优惠）。未预订宾馆房间的参会人员请自行前往相关宾馆联系住宿，会议不承担现场预订宾馆工作。

7 月 2~4 日 7:30~17:30：会议现场注册地点在上海光大国际会展中心大酒店二楼“宴会厅接待区”。接受办理已预付费和现场付费的各类注册。

现场注册费：会议代表 2000 元，学生代表 1000 元，陪同人员 1000 元。费用包括：会议资料，会场租用，招待冷餐会（只提供小点心、酒水饮料，7 月 1 日晚），工作午餐（2~4 日），会议宴请（2 日晚），茶歇（2~4 日）。不包括：全部早餐、7 月 1 日所有正餐和 7 月 3~4 日晚餐、住宿费、交通费和会后参观费等。

会议地点

会议地点在上海光大国际会展中心大酒店（上海徐汇区漕宝路 66 号），具体位置见附图。

交通

会议地点（上海光大国际会展中心大酒店）和会议建议宾馆都在 5 分钟步行路程范围内。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。附图提供了几种到达会议地点的交通方案及其费用，供参会人员参考。

注意：会议不提供接站服务。若确实需要接站，请事先联系会议秘书。

口头报告

大会邀请报告：每个报告 30 分钟，包括 25 分钟演讲和 5 分钟答疑。请提前一天将 PPT 文件拷贝至会议注册处或会场的专用计算机内。

专题口头报告：根据各专题安排一般每个报告 15~20 分钟（包括演讲和答疑）。请提前一天将 PPT 文件拷贝至会议注册处或会场的专用计算机内。

会议就餐

会议的工作午餐（2~4 日）安排在“上海光大国际会展中心大酒店”一楼咖啡吧、光韵 2 和光韵 3，凭餐券就餐（现场注册时领取）。由于就餐时间集中，预计将出现排队情况，请大家积极配合。

注意： 7 月 3、4 日不提供会议晚餐，请自行安排。

会议宴请

会议于 2 日晚 18:00 在“上海光大国际会展中心大酒店”二楼宴会厅（主会场）宴请参会专家及陪同人员，凭餐券入场就餐（现场注册时领取）。

会后参观

会后参观安排在 7 月 5 日，共有如下两条路线可选择，价格均为 300 元/人；费用由报名参观人员在现场报到时直接向“上海春秋国际旅行社（集团）有限公司”支付，会议不作代收。

路线一：上海世博会永久保留场馆（沙特馆，意大利馆）、世博博物馆，新天地。

路线二：上海临港新城（经东海大桥至洋山深水港，航海博物馆，滴水湖）及新场古镇。

费用包含：团体票价，往返巴士，参观导游解说，午餐（不含酒水）及旅游保险费。

展板报告及须知

展板报告时间：

7 月 2~4 日，会议每日中午 12:40-14:00 为各专题安排专门的展板报告时间，会议间其他时段展板区将一直开放。

展板报告地点：

上海光大国际会展中心大酒店一楼光韵 5、光韵 6。

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平台。在本专题指定展板报告时间，报告人须站在各自展板前参加讨论和交流，时间不少于 30 分钟；会议将为报告人提供格式纸条，事先注明报告人站在展板前的时间段。展板时间专题召集人将逐一浏览展板。

全部展板于 2 日上午 7:30 起由报告人自行粘贴至展板区指定位置，注意摘要的编号与展板的编号对应；全部展板于 7 月 4 日 17:30 撤离。

“优秀学生展板”：

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”评选

会议学术委员会和专题召集人将评选出“优秀学生展板”，并在 7 月 4 日下午的“大会总结”会议议程中颁奖。评选基本要求：在指定的展板时间内等候在展板前参与讨论，出席全程会议（包括颁奖仪式）。

专题设置及召集人

会议共设置十七个专题，具体专题及召集人如下：

专　题	召集人	单　位
一、地史时期重大生物事件与环境演变	童金南	中国地质大学（武汉）
	沈树忠	中国科学院南京地质古生物研究所
	王成善	中国地质大学（北京）
	周忠和	中国科学院古脊椎所
二、微生物与极端环境变化	张传伦	同济大学
	方家松	同济大学
三、极地系统科学	孙立广	中国科学技术大学
	王汝建	同济大学
	孙　波	中国极地研究中心
四、气候变化的海陆比较与海平面变化	聂军胜	兰州大学
	康建成	上海师范大学
	王　强	天津地质矿产研究所
五、不同尺度的季风变化	翦知湣	同济大学
	李建平	中国科学院大气物理研究所
	谭　明	中国科学院地质与地球物理研究所
六、海洋酸化：过去、现在与未来	周力平	北京大学
	戴民汉	厦门大学
	余克服	中国科学院南海海洋研究所
七、微型生物与碳循环	焦念志	厦门大学
	张传伦	同济大学
八、地球环境演化与碳循环	储雪蕾	中国科学院地质与地球物理研究所
	谢树成	中国地质大学（武汉）

专　题	召集人	单　位
九、比较行星科学：结构、成份、过程	林　间	美国伍兹霍尔海洋研究所
	钟时杰	美国科罗拉多大学
	丁　忞	美国麻省理工学院/伍兹霍尔海洋研究所
十、大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程	刘　勉	南京大学
	孙卫东	中国科学院广州地球化学研究所
	杨宏峰	美国伍兹霍尔海洋研究所
十一、地球深部过程与物质循环	宋晓东	南京大学
	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所
十二、地球内部碳储库性质及其演化过程	刘　焰	中国地质科学院地质研究所
	许　成	北京大学
	郭正府	中国科学院地质与地球物理研究所
十三、海底金属资源	陶春辉	国家海洋局第二海洋研究所
	曾志刚	中国科学院海洋研究所
十四、天然气水合物与深海油气	杨胜雄	国土资源部广州海洋地质调查局
	吴能友	中国科学院广州能源研究所
	陈多福	中国科学院广州地球化学研究所
十五、海底观测	张燕武	美国 MBARI 研究所
	田纪伟	中国海洋大学
	王东晓	中国科学院南海海洋研究所
十六、南海深部过程	李家彪	国家海洋局第二海洋研究所
	刘志飞	同济大学
十七、深部探测与地球动力学	董树文	中国地质科学院
	侯增谦	中国地质科学院地质研究所

专题清单及报告时间分布

No.	专题名称	召集人	口头报告时间	单元数	口头报告数	展板数
大会报告		学术委员会	2 日下午、3 日下午	2	6	
专题一	地史时期重大生物事件与环境演变	沈树忠、童金南、王成善、周忠和	2 日上午、3 日上午	4	17	13
专题二	微生物与极端环境变化	张传伦、方家松	3 日上午	2	10	16
专题三	极地系统科学	孙立广、王汝建、孙波	4 日上午、下午	2	11	11
专题四	气候变化的海陆比较与海平面变化	聂军胜、康建成、王强	2 日上午、3 日上午	4	21	26
专题五	不同尺度的季风变化	翦知湣、李建平、谭明	3 日下午、4 日上下午	4	20	31
专题六	海洋酸化：过去、现在与未来	周力平、戴民汉、余克服	2 日上午	2	10	13
专题七	微型生物与碳循环	焦念志、张传伦	4 日上午	2	10	23
专题八	地球环境演化与碳循环	储雪蕾、谢树成	2 日下午、3 日下午	2	11	7
专题九	比较行星科学：结构、成份、过程	林间、钟时杰、丁忞	2 日下午、3 日下午	2	10	
专题十	大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程	刘勉、孙卫东、杨宏峰	3 日上午、下午	3	16	14
专题十一	地球深部过程与物质循环	宋晓东、徐义刚	2 日上午、下午	3	15	
专题十二	地球内部碳储库性质及其演化过程	刘焰、许成、郭正府	4 日上午、下午	2	10	
专题十三	海底金属资源	陶春辉、曾志刚	3 日下午、4 日下午	2	12	10
专题十四	天然气水合物与深海油气	杨胜雄、吴能友、陈多福	2 日上午、下午	3	17	38
专题十五	海底观测	张燕武、田纪伟、王东晓	4 日上午、下午	3	14	16
专题十六	南海深部过程	李家彪、刘志飞	2 日下午	1	5	16
专题十七	深部探测与地球动力学	董树文、侯增谦	3 日上午、4 日上午	4	19	33
合计				47	234	267

备注：专题的颜色与索引表颜色对应。

会议日程索引表

	7 月 1 日		7 月 2 日	7 月 3 日	7 月 4 日
8:30-10:00	会议报到 10:00-22:00	分会场 1	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（一）	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（三）	专题七 微型生物与碳循环（一）
		分会场 2	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（一）	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（三）	专题五 不同尺度的季风变化（二）
		分会场 3	专题六 海洋酸化：过去、现在与未来（一）	专题二 微生物与极端气候变化（一）	专题十五 海底观测（一）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（一）	专题十七 深部探测与地球动力学（一）	专题十七 深部探测与地球动力学（三）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（一）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（一）	专题十二 地球内部碳储库性质及其演化过程（一）
10:00-10:20		茶歇			
10:20-11:50		分会场 1	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（二）	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（四）	专题七 微型生物与碳循环（二）
		分会场 2	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（二）	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（四）	专题五 不同尺度的季风变化（三）
		分会场 3	专题六 海洋酸化：过去、现在与未来（二）	专题二 微生物与极端气候变化（二）	专题十五 海底观测（二）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（二）	专题十七 深部探测与地球动力学（二）	专题十七 深部探测与地球动力学（四）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（二）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（二）	专题三 极地系统科学（一）
12:00-13:00		午餐			
13:00-13:50		专题讨论	分会场 5：天然气水合物油气系统		分会场 1：海洋微型生物储碳 分会场 4：极地太平洋
12:40-14:00		展板交流	专题一、二、四、五、十三	专题三、六、十四、十五、十六	专题七、八、十、十七
14:00-15:30		分会场 1	专题八 地球环境演化与碳循环（一）	专题八 地球环境演化与碳循环（二）	专题十二 地球内部碳储库性质及其演化过程（二）
		分会场 2	专题十六 南海深部过程	专题五 不同尺度的季风变化（一）	专题五 不同尺度的季风变化（四）
		分会场 3	专题九 比较行星科学：结构、成份、过程（一）	专题九 比较行星科学：结构、成份、过程（二）	专题十五 海底观测（三）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（三）	专题十三 海底金属资源（一）	专题十三 海底金属资源（二）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（三）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（三）	专题三 极地系统科学（二）
15:30-16:00		茶歇			
16:00-17:30		主会场	大会报告	大会报告	大会总结
17:30-20:00	招待冷餐会（光大 10）17:30-19:00		招待晚宴（宴会厅）18:00-20:00	信息发布会（分会场 2）19:00-21:00	
20:00-22:00		专题讨论	分会场 3：海洋碳汇标准论坛		

备注：

1、分会场口头报告的基本时间单元为 1.5 小时，有多个时间单元的专题分别用（一）、（二）等表示。

2、相同颜色的专题表示学科关联度较高。

主会场	分会场 1	分会场 2	分会场 3	分会场 4	分会场 5
宴会厅（二楼）	光大 8（二楼）	光大 10（二楼）	光大 7（二楼）	光大 9（二楼）	光大 1（二楼）

会议注册	展板区	自助午餐	茶歇/咖啡
酒店大堂	光韵 5、光韵 6（一楼）	咖啡吧、光韵 2、光韵 3（一楼）	咖啡廊（二楼）

会议日程

7 月 2 日　上午			
专题口头报告　8:30-11:50			
分会场 1（光大 8）			
专题一　地史时期重大生物事件与环境演变（一）　主持人：沈树忠、童金南			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-9:05	戎嘉余	中国科学院南京地质古生物研究所	S1-O-01 生物大灭绝与古温度巨变（邀请报告）
9:05-9:20	李超	中国地质大学（武汉）	S1-O-02 元古代海洋化学与生命的协同演化
9:20-9:35	胡永云	北京大学	S1-O-03 冰雪地球形成和融化机制的模拟研究
9:35-9:50	王伟	哈尔滨工业大学	S1-O-04 海底热液区生命起源
9:50-10:05	何卫红	中国地质大学（武汉）	S1-O-05 古—中生代之交海洋生产力下降或者缺氧——来自华南深水相腕足类的证据
10:00-10:20	茶　歇		
专题一　地史时期重大生物事件与环境演变（二）　主持人：沈树忠、童金南			
10:20-10:40	王向东	中国科学院南京地质古生物研究所	S1-O-06 石炭—二叠纪大冰期在华南的沉积和生物响应（邀请报告）
10:40-10:55	黄春菊	中国地质大学武汉	S1-O-07 天文校准二叠纪末期生物大灭绝的时间——海相旋回序列全球对比的证据
10:55-11:10	宋海军	中国地质大学（武汉）	S1-O-08S δ13Ccarb—深度梯度的剧增与二叠纪末生物大灭绝
11:10-11:25	沈树忠	中国科学院南京地质古生物研究所	S1-O-09 二叠纪末生物大灭绝：速度、幅度和环境背景
11:25-11:50	专题讨论		
分会场 2（光大 10）			
专题四　气候变化的海陆比较与海平面变化（一）　主持人：聂军胜、康建成、王强			
8:30-8:35	专题介绍（海陆古气候记录对比与气候耦合）		
8:35-8:50	勾晓华	兰州大学	S4-O-01 西北降水的树轮点对点重建及其与亚洲季风动态联系
8:50-9:05	鹿化煜	南京大学	S4-O-02 海陆记录对比揭示晚新生代全球变冷驱动亚洲中部阶段性变干
9:05-9:20	张虎才	云南师范大学	S4-O-03 高原湖泊记录与海洋信号的相互关联
9:20-9:35	刘青松	中国科学院地质与地球物理研究所	S4-O-04 南北半球气候耦合（邀请报告）
9:35-9:50	聂军胜	兰州大学	S4-O-05 六百万年来黄土红粘土磁化率记录与深海氧同位素记录的对比
9:50-10:00	专题讨论		
10:00-10:20	茶　歇		
专题四　气候变化的海陆比较与海平面变化（二）　主持人：聂军胜、康建成、王强			
10:20-10:25	专题介绍（现代海洋水文气候与海平面变化）		
10:25-10:40	王国栋	上海师范大学	S4-O-06S 中国东海海平面多尺度周期分析与预测

10:40-10:55	俞肇元	南京师范大学	S4-O-07 海面变化中多尺度信号解析其空间分异研究
10:55-11:10	程和琴	华东师范大学	S4-O-08 长江河口区海平面上升幅度及其对河口河槽演变趋势影响预测与防御对策
11:10-11:25	韩国奇	Fisheries and Oceans Canada	S4-O-09 Sea level variability along the Northwest Atlantic continental slope and implications for the large-scale ocean circulation（邀请报告）
11:25-11:40	康建成	上海师范大学	S4-O-10 东海黑潮区温度的月际变化特征
11:40-11:50	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题六　海洋酸化：过去、现在与未来（一）　主持人：周力平、戴民汉、余克服			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-9:00	戴民汉	厦门大学	S6-O-01 边缘海的海洋酸化（邀请报告）
9:00-9:15	荆文萍	厦门大学	S6-O-02S 三亚珊瑚礁系统 pH 以及其他碳酸盐参数的短期变化：潮汐驱动下地下水输入的潜在影响
9:15-9:30	曹龙	浙江大学	S6-O-03 全球海洋酸化模拟研究
9:30-9:45	刘羿	中国科学技术大学	S6-O-04 南海中晚全新世海水酸度记录
9:45-10:00	王丽荣	中国科学院南海海洋研究所	S6-O-05 南海珊瑚礁经济价值评估
10:00-10:20	茶　歇		
专题六　海洋酸化：过去、现在与未来（二）　主持人：周力平、戴民汉、余克服			
10:20-10:45	高坤山	厦门大学	S6-O-06 海洋初级生产过程对海洋酸化的响应（邀请报告）
10:45-11:00	余克服	中国科学院南海海洋研究所	S6-O-07 酸化对珊瑚共生虫黄藻密度和光合作用效率影响的实验研究
11:00-11:15	孙军	天津科技大学	S6-O-08 海洋酸化与浮游植物：过去、现在与未来
11:15-11:30	施祺	中国科学院南海海洋研究所	S6-O-09 近 50 年来南海滨珊瑚骨骼生长变化及其对海温升高和海洋酸化的响应
11:30-11:45	王晓杰	上海海洋大学	S6-O-10 海洋酸化对鱼类神经系统影响的研究进展
11:45-12:00	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十一　地球深部过程与物质循环（一）　主持人：宋晓东、徐义刚			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:55	钟时杰	University of Colorado	S11-O-01 由地幔对流控制的地球过去 5 亿年的动力历史
8:55-9:10	倪四道	中国科学院测量与地球物理研究所	S11-O-02 由 P'P'前驱波得到的小尺度速度异常体及其对化学混合的意义
9:10-9:25	宋晓东	南京大学	S11-O-03 中国大陆地壳和岩石圈结构及构造意义
9:25-9:40	郑天愉	中国科学院地质与地球物理研究所	S11-O-04 从深部结构探测大陆演化的动力构造作用—以中国华北为例
9:40-9:55	丁志峰	中国地震局地球物理研究所	S11-O-05 中国地震科学台阵探测计划
10:00-10:20	茶　歇		

专题十一　地球深部过程与物质循环（二）　主持人：宋晓东、徐义刚			
10:20-10:35	雷建设	中国地震局地壳应力研究所	S11-O-06 我国大陆几个活火山深部细结构及深部起源
10:35-10:50	黄金莉	中国地质大学（北京）	S11-O-07 海南地幔柱的深部结构及起源
10:50-11:05	孙新蕾	中科院广州地球化学研究所	S11-O-08 利用环境噪声研究南极大陆地壳以及上地幔的三维剪切波结构
11:05-11:20	宁杰远	北京大学地球与空间科学学院	S11-O-09 橄榄石相变动力学研究
11:20-11:35	黄金水	中国科学技术大学	S11-O-10 对流地幔的同位素演化
11:35-11:50	郑建平	中国地质大学（武汉）	S11-O-11 华南岩石圈地幔的改造和增生过程：橄榄岩综述
分会场 5（光大 1）			
专题十四　天然气水合物与深海油气（一）　主持人：吴能友			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:50	王秀娟	中国科学院海洋研究所	S14-O-01 南海北部神狐海域天然气水合物分布特征及其影响因素
8:50-9:05	苏正	中国科学院广州天然气水合物研究中心	S14-O-02 南海北部神狐海域天然气水合物成藏模式研究
9:05-9:20	陈忠	中国科学院南海海洋研究所	S14-O-03 南海北部岩浆、火山活动对天然气水合物成藏的影响
9:20-9:35	冯东	中国科学院南海海洋研究所	S14-O-04 冷泉生态系统：探索深海生物地质作用的窗口
9:35-9:50	卞友艳	中国科学院广州地球化学研究所	S14-O-05S 墨西哥湾 GC140 冷泉活动过程：来自自生碳酸盐岩的记录
9:50-10:05	吕万军	中国地质大学（武汉）	S14-O-06 孔隙空间水合物的生长与分布
10:00-10:20	茶　歇		
专题十四　天然气水合物与深海油气（二）　主持人：吴能友			
10:20-10:35	解习农	中国地质大学（武汉）	S14-O-07 南海北部陆缘深水沉积体系层序地层特点
10:35-10:50	柳保军	中海石油（中国）有限公司深圳分公司研究院	S14-O-08 白云深水区东翼陆坡峡谷水道体系特征及沉积环境演变意义
10:50-11:05	邵磊	同济大学	S14-O-09 珠江流域沉积物特征及南海北部的沉积充填
11:05-11:20	苏明	中国科学院广州能源研究所	S14-O-10 南海北部陆坡区神狐海域天然气水合物不均匀性分布特征：证据和解释
11:20-11:35	陈泓君	广州海洋地质调查局	S14-O-11 南海北部陆坡神狐海域峡谷形态及浅地层特征研究——天然气水合物存在与分解的新证据
11:35-11:50	专题讨论		
12:00-13:00	午　餐		

7 月 2 日　下午

专题讨论　13:00-13:50	
分会场 5 （光大 1）	讨论主题：**天然气水合物油气系统：组成、实例及其与深水油气系统的关系** 主持人：吴能友

展板交流　12:40-14:00			
展板区（光韵 5、光韵 6）			
专题一（展板）　地史时期重大生物事件与环境演变　主持人：沈树忠、童金南、王成善、周忠和			
S1-P-01	黄奇瑜	中国科学院广州地球化学研究所	台湾东部海域花东海盆海洋地质研究之意义:晚中生代新特提斯洋东缘(?)与台湾造山带构造演化关系
S1-P-02S	李明松	吉林大学	嘎呀河—图们江：古亚洲洋最东端的关闭位置
S1-P-03	张水昌	中国石油勘探开发研究院	以新元古代-寒武纪界限为例探讨地史时期冰室期和暖室期的交替变化
S1-P-04S	楚道亮	中国地质大学（武汉）	黔西滇东地区早三叠世早期叶肢介化石研究的新进展
S1-P-05S	马小荣	中国科学技术大学	南极 Byers 半岛企鹅粪土沉积物地球化学特征及生态环境意义
S1-P-06S	时美楠	中国地质大学（北京）	华南二叠纪-三叠纪之交沉积物磁学特征及其环境意义
S1-P-07S	杨晓光	西北大学	陕西西乡宽川铺生物群中微生物钻孔及其对寒武纪浅海沉积基底的影响
S1-P-08S	张舟	西南石油大学	川西北二叠系栖霞组小有孔虫动物群
S1-P-09S	周永生	成都理工大学	川东华蓥二叠系-三叠系界线地层地质事件与元素地球化学响应
S1-P-10S	宋虎跃	中国地质大学（武汉）	华南早三叠世海相碳同位素水深梯度变化及意义
S1-P-12	唐烽	中国地质科学院地质研究所	八臂仙母虫(*Eoandromeda octobrachiata*)与早期动物演化
S1-P-13S	向雷	中国科学院地质与地球物理研究所	嗜甲烷菌对前寒武/寒武边界碳同位素偏移幅度台—盆差异的影响
S1-P-14	蒋宏忱	中国地质大学（武汉）	中国东部土壤中氨氧化细菌和氨氧化古菌种群分布
专题二（展板）　微生物与极端环境变化　主持人：张传伦、殷克东			
S2-P-01S	宋玮鹏	中国地质大学（北京）	祁连山冻土水合物区表层沉积物微生物多样性研究
S2-P-02	杨桂芳	中国地质大学（北京）	磴口地区近代湖泊气候变化的有机地球化学记录初探
S2-P-03	方家松	同济大学	微型真核生物对大气氧化和叠层石形成的可能贡献：来自研究酸性矿山废水生物膜和叠层石的线索
S2-P-04S	赵锐	中国地质大学（武汉）	大气 CO_2 浓度升高对氨氧化古菌群落的影响
S2-P-05S	杨欣伟	上海交通大学	希瓦氏菌 WP3 中铁摄入调控蛋白对厌氧呼吸的调控
S2-P-06S	蹇华哗	上海交通大学	深海低温丝状噬菌体 SW1 调控机制及其与宿主相互作用关系的研究
S2-P-07S	吴伟艳	中国地质大学（武汉）	云南热泉中古菌 GDGTs 的分布特征及其对环境因素的响应
S2-P-09S	焦露	中国地质大学（北京）	神狐海域 SH2B 含水合物钻孔岩心沉积物中原核微生物多样性
S2-P-10S	彭超	中国地质大学（北京）	青藏高原冷泉氨氧化古菌和氨氧化细菌丰度及多样性

S2-P-11	徐俊	上海交通大学	深海严格嗜压超嗜热古菌 Pyrococcus yayanossi CH1 环境适应性机理研究
S2-P-12S	张迪	中国极地研究中心	东南极格罗夫山地区寒漠土壤可培养细菌多样性的初步研究
S2-P-13S	李芙嫣	同济大学	西藏热泉古菌脂类的来源性研究
S2-P-14S	郑峰峰	中国地质大学（武汉）	中国淡水湖泊与咸水湖泊（青海湖）四醚膜脂化合物分布特征
S2-P-15	曾湘	国家海洋局第三海洋研究所	南大西洋热液区盲虾共附生微生物多样性分析
S2-P-16	王万鹏	国家海洋局第三海洋研究所	热液区烃降解微生物多样性与环境作用机制
S2-P-17	方家松	同济大学	PDPBC：海洋嗜高压细菌在深海碳循环中的作用
专题四（展板）　气候变化的海陆比较与海平面变化　主持人：聂军胜、康建成、王强			
S4-P-01	黄春菊	中国地质大学(武汉)	中晚始新世－渐新世的海陆气候事件对比——天文驱动的深海和陆相湖盆的沉积记录对比
S4-P-02	陈晔	南京师范大学	苏北建湖岗西全新世沉积环境记录与海平面变化
S4-P-03	赵志军	南京师范大学	苏北盆地兴化钻孔的古地磁地层研究
S4-P-04	饶志国	兰州大学	基于有机质碳同位素的中国黄土高原西部地区高分辨率末次冰期古降水重建
S4-P-05S	胡颖	同济大学	海平面上升对渤海潮流影响的初步分析
S4-P-06	吉云平	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	阳原盆地西部梨益沟地区的火山堆积
S4-P-07	范淑贤	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	大同盆地全新世以来孢粉植被特征与古环境
S4-P-08	窦衍光	国土资源部青岛海洋地质研究所	晚第四纪冲绳海槽陆源碎屑沉积物物源和黑潮变动的 Sr-Nd 同位素制约
S4-P-09S	刘运运	上海师范大学	东海黑潮区 PN 断面夏季盐度的年际/年代际变化和变率
S4-P-10S	孙闻政	上海师范大学	基于海面卫星测高数据的台湾东北海域涡旋多年时空变化—年、季变化
S4-P-11S	谭能志	上海师范大学	1945-2003 年东海黑潮 PN 断面夏季温度的年际/年代际变化及其变率
S4-P-12S	朱炯	上海师范大学	台风过境时海温与风速关系的动力学分析
S4-P-13S	郑茜	云南师范大学旅游与地理学院	泸沽湖全新世孢粉记录的植被与环境变化
S4-P-14S	李稳	中国地质大学（北京）	新西兰坎特伯雷盆地第四纪晚期以来氧同位素地层学及其古气候信息
S4-P-15S	吴莹莹	中国地质大学（北京）	新西兰东南岸外中更世晚期以来的海平面变化－来自 IODP317-U1352 站位的证据
S4-P-16S	王扬扬	同济大学	长江三角洲晚第四纪地层重矿物组合与锆石 U-Pb 年龄谱时序变化及其影响因素分析
S4-P-17S	陈玲玲	同济大学	长江三角洲钻孔海平面变化与古气候变迁记录
S4-P-18S	冷伟	同济大学	长江三角洲主体晚第四纪地层结构对比研究
S4-P-19S	吴伊婧	同济大学	长江口低氧区沉积地球化学特征研究——沉积环境与底层水含氧量演化历史初探
S4-P-20S	尚帅	同济大学	瓯江三角洲 YQ0902 孔古环境与海平面变化初探

S4-P-21S	涂俊彪	同济大学	涌潮作用对钱塘江河口北岸尖山河段边滩地貌的塑造
S4-P-22	付淑清	广州地理研究所	珠江三角洲多旋回风化层与末次冰期气候
S4-P-24S	韩钦臣	上海师范大学	吕宋海峡及其周边海域海水温度的月际变化特征
S4-P-25S	刘亚盼	上海师范大学	吕宋海峡及邻近海域盐度的月际变化特征
S4-P-26S	殷绍如	同济大学	南海北部陆坡东段晚更新世地层分布及其沉积环境意义
S4-P-27	姚衍桃	中国科学院南海海洋研究所	Emerged fossil corals on the northwestern coast of Hainan Island,China: implications for mid-Holocene sea level and tectonic uplift
专题五（展板）　不同尺度的季风变化　主持人：翦知湣、李建平、谭明			
S5-P-01	汪品先	同济大学	寻求轨道尺度上全球季风变化的标志
S5-P-02	李丽	同济大学	上新世以来沉积脂类标志物反映的东南亚古气候演变
S5-P-03	刘传联	同济大学	南海南部 5Ma 以来颗石藻化石记录与古海洋演化
S5-P-04	赵玉龙	同济大学	非洲西北部 90 万年来的逐渐变干趋势及其与印度洋热传输的潜在联系
S5-P-05S	陈全	同济大学	南海西北部末次冰期以来碳酸盐与氧同位素记录及其古环境意义
S5-P-06S	范维佳	同济大学	全新世印尼和南海穿越流变化中的类厄尔尼诺和南方涛动影响
S5-P-07S	冯娟	中国科学院大气物理研究所	El Niño Modoki 对中国南方春季降水的影响
S5-P-08S	李琪	同济大学	南海北部 260ka 以来表层及次表层海水古温度变化
S5-P-09	马文涛	同济大学	1958-2009 南海浮游植物生物量，初级生产力和群落结构的生态模型模拟
S5-P-10S	王跃	同济大学	岁差周期上热带以外亚洲太平洋涛动(APO)对亚洲夏季风的调控
S5-P-11S	苏翔	同济大学	南海晚第四纪颗石记录与东亚季风变化
S5-P-12	罗传秀	中国科学院南海海洋研究所	南海北部表层孢粉南北向、东北-西南向、西北-东南向分布特征
S5-P-13S	董良	同济大学	18 万年以来南海南部海区古温度的有机地化指标重建（$U^{K'}_{37}$ ，TEX_{86})
S5-P-14S	梁丹	同济大学	西太平洋暖池核心区颗石藻属种分析及对气候变化的响应
S5-P-15	孙爱芝	中国科学院地质与地球物理研究所	毛乌素沙地全新世植被变化研究
S5-P-16	万世明	中国科学院海洋研究所	中更新世以来亚洲内陆风尘在西菲律宾海的沉积记录
S5-P-17S	王文广	同济大学	菲律宾 Pinatubo 火山灰沉积的化学风化作用及蒙脱石形成机制探讨
S5-P-18	吴海斌	中国科学院地质与地球物理研究所	上新世古降水重建及其对东亚夏季风演化的指示
S5-P-19	张春霞	中国科学院地质与地球物理研究所	西宁地区始新世/渐新世过渡期粘土矿物组合变化及其环境意义
S5-P-20	陈发虎	兰州大学	中纬度亚洲气候变化的“西风模态”及其可能机制

S5-P-21	陈建徽	兰州大学	中世纪暖期和小冰期亚洲大陆水文气候变化：空间格局和可能机制
S5-P-22S	万随	同济大学	末次冰消期南海深部水的来源及流通状况
S5-P-23S	王宇辰	同济大学	泰国中部河流表层沉积物的粘土矿物和元素地球化学记录
S5-P-24	金海燕	同济大学	赤道太平洋东-西向不对称结构的形成及对全球气候的影响
S5-P-25	赵强	国家海洋局第一海洋研究所	西沙石岛更新世风成碳酸盐岩沉积成岩特征及其古气候意义
S5-P-26	谭亮成	中国科学院地球环境研究所	基于年层石笋生长速率定量重建的我国中部地区近百年温度变化
S5-P-27	沈川洲	台湾大学	季风变化及火山喷发事件的新指标：月分辨率的珊瑚骨骼稀土元素组成
S5-P-28	杨守业	同济大学	海洋环境中陆源与热液蚀变粘土成因的稀土元素地球化学判别
S5-P-29S	张梦莹	同济大学	瓯江三角洲南翼晚第四纪孢粉、藻类记录及其古环境意义
S5-P-30	乔培军	同济大学	利用有孔虫壳体 B/Ca 比值再造古海水 pH 值及[CO32-]的潜力
S5-P-31S	郑良烁	南京师范大学	固相萃取-离子色谱法测定土壤中的 F-，Cl-，NO-2，Br-，NO-3，HPO42-，SO2-4
S5-P-32	史凯	吉首大学	大气污染系统演化的尺度特征、多重分形与自组织临界机制
专题十三（展板）　海底金属资源　主持人：陶春辉、曾志刚			
S13-P-01	朱本铎	广州海洋地质调查局	国际海底区域地理实体命名的意义
S13-P-02	刘志杰	国家海洋信息中心	海底热液硫化物资源研究现状与进展
S13-P-03S	吴涛	国家海洋局第二海洋研究所	西南印度洋脊热液区基岩与热液沉积物物性特征
S13-P-04	王振波	国家海洋局海洋生态系统和生物地球化学重点实验室	大洋 22 航次第八航段 EPR 赤道区附近调查成果
S13-P-05	陈帅	中国科学院海洋研究所	中印度洋脊 Edmond 热液区热液硫化物的矿物学特征及成因
S13-P-06	王晓媛	中国科学院海洋研究所	海底热液柱温度异常自动化计算新方法研究
S13-P-07S	赵慧静	中国科学院海洋研究所	硅、氧同位素对东太平洋海隆玄武质岩浆成因的指示
S13-P-08	郑彦鹏	国家海洋局第一海洋研究所	热液多金属硫化物赋存的板块构造环境及其控矿因素
S13-P-09	李怀明	国家海洋局第二海洋研究所	西南印度洋脊 51°E 区碳酸盐成因研究
S13-P-10	李三忠	中国海洋大学	大洋板内成矿作用、机制与成矿系统
专题口头报告　14:00-15:30			
分会场 1（光大 8）			
专题八　地球环境演化与碳循环（一）　主持人：储雪蕾、谢树成			
14:00-14:05	专题介绍		
14:05-14:25	谢树成	中国地质大学（武汉）	S8-O-01 古生代与中生代之交的碳-氮-硫循环异常与微生物地质作用（邀请报告）

14:25-14:40	汪建国	中国科学院地质与地球物理研究所	S8-O-02 埃迪卡拉纪—寒武纪转折期深海的演化与寒武纪“生物大爆发”
14:40-14:55	严德天	中国地质大学（武汉）	S8-O-03 扬子地区奥陶纪-志留纪转折期古环境演变
14:55-15:10	陈代钊	中国科学院地质与地球物理研究所	S8-O-04 扬子地区古生代关键地质转折期的碳同位素异常与碳循环
15:10-15:25	连宾	中国科学院地球化学研究所	S8-O-05 喀斯特区域被忽视的微生物碳汇
15:25-15:40	黄咸雨	中国地质大学（武汉）	S8-O-06 泥炭藓与嗜甲烷细菌共生行为对泥炭地碳循环的影响
分会场 2（光大 10）			
专题十六　南海深部过程　主持人：李家彪、刘志飞			
14:00-14:05	专题介绍		
14:05-14:20	李家彪	国家海洋局第二海洋研究所	S16-O-01 南海大陆边缘动力学：科学实验与研究进展（邀请报告）
14:20-14:35	赵明辉	中国科学院南海海洋研究所	S16-O-02 南海中央次海盆三维地震探测最新研究进展
14:35-14:50	王桂华	国家海洋局第二海洋研究所	S16-O-03 南海深海环流
14:50-15:05	刘志飞	同济大学	S16-O-04 南海北部深水雾状层（nepheloid layer）的发现及其科学意义
15:05-15:20	陈芳	广州海洋地质调查局	S16-O-05 南海深水底流作用和第三系露头的岩芯沉积记录
15:20-15:30	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题九　比较行星科学：结构、成份、过程（一）　主持人：林间、钟时杰、丁忞			
14:00-14:05	专题介绍		
14:05-14:20	平劲松	中国科学院国家天文台	S9-O-01 嫦娥-1 月球探测在测月学领域的一些新进展介绍
14:20-14:35	汪品先	同济大学	S9-O-02 大气圈多样性及其对研究地球系统的启发
14:35-14:50	林间	美国伍兹霍尔海洋研究所	S9-O-03 用重力和地形资料研究类地行星及月球的地壳结构
14:50-15:05	钟时杰	University of Colorado at Boulder	S9-O-04 重力潮汐成息法可以用来探测月球内部的大尺度结构吗？
15:05-15:20	黄金水	中国科学技术大学	S9-O-05 金星地幔动力学
15:20-15:30	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十一　地球深部过程与物质循环（三）　主持人：徐义刚、宋晓东			
14:00-14:15	徐义刚	中国科学院广州地球化学研究所	S11-O-12 EMORB 和洋中脊扩张速度间的关系：对其源区及成因机制的启示
14:15-14:30	陈立辉	南京大学	S11-O-13 地幔过渡带滞留板片的熔融与中国东部上地幔的碳酸盐化
14:30-14:45	夏群科	中国科学技术大学	S11-O-14 华北中生代岩石圈地幔的高水含量：克拉通破坏
14:45-15:00	刘传周	中国科学院地质与地球物理研究所	S11-O-15 蛇纹岩的俯冲与脱水：西藏赛利普地幔包体橄榄石氧同位素证据
15:00-15:30	专题讨论		

分会场 5（光大 1）			
专题十四　天然气水合物与深海油气（三）　主持人：吴能友			
14:00-14:15	程小岛	北京大学	S14-O-12S 南大西洋盆地群结构对比及其对油气富集的意义
14:15-14:30	何家雄	中国科学院边缘海地质重点实验室	S14-O-13 南海北部边缘盆地油气（水合物）成因及运聚规律与勘探新领域探讨
14:30-14:45	王元	长安大学	S14-O-14S 利用重磁资料研究南海北部中生界分布特征
14:45-15:00	施和生	中海石油（中国）有限公司深圳分公司	S14-O-15 南海北部中生代构造演化及成盆机制探讨
15:00-15:15	闫克平	浙江大学	S14-O-16 等离子体震源：基础原理及在海洋勘探中的应用
15:15-15:30	殷长春	吉林大学	S14-O-17 海洋可控源电磁法空气波研究
15:30-15:40	专题讨论		
15:30-16:00	茶　歇		
大会特邀报告　16:00-17:30			
主会场（宴会厅）			
16:00-16:30	周忠和	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所	P-01 对陆地生物演化与重大环境变化关系的一些思考
16:30-17:00	陈大可	国家海洋局第二海洋研究所	P-02 大洋环流与气候变化
17:00-17:30	郭正堂	中国科学院地质与地球物理研究所	P-03 过去全球变化研究的若干新进展
招待晚宴　18:00-20:00　地点：宴会厅			
专题讨论　20:00-22:00			
分会场 3（光大 7）	讨论主题：海洋碳汇标准论坛 主持人：焦念志		

7 月 3 日　上午

专题口头报告　8:30-11:50			
分会场 1（光大 8）			
专题一　地史时期重大生物事件与环境演变（三）　主持人：王成善、周忠和			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:55	万晓樵	中国地质大学（北京）	S1-O-10 松辽盆地晚白垩世生物序列与环境演变（邀请报告）
8:55-9:10	高远	中国地质大学（北京）	S1-O-11S 松辽盆地大陆科学钻探（松科 1 井）晚白垩世明水组中部粘土矿物特征及其对物源和古气候的指示意义
9:10-9:25	黄永建	中国地质大学（北京）	S1-O-12 白垩纪松辽盆地青山口组一段海侵事件：来自黄铁矿形态学与硫同位素证据
9:25-9:40	胡修棉	南京大学	S1-O-13 西藏新特提斯白垩纪-古近纪古地理与古环境演变
9:40-9:55	佟宏鹏	中国科学院广州地球化学研究所	S1-O-14S 日喀则弧前盆地冷泉碳酸盐岩的发现及其流体来源
10:00-10:20	茶　歇		
专题一　地史时期重大生物事件与环境演变（四）　主持人：王成善、周忠和			
10:20-10:40	孟津	纽约美国自然历史博物馆	S1-O-15 亚洲内陆新生代陆相地层古生物与环境变化（邀请报告）
10:40-10:55	同号文	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所	S1-O-16 第四纪哺乳动物的洲际交流事件
11:10-11:25	陈倩倩	中国科学技术大学	S1-O-18S 沉积色素在重建东南极藻类群落结构中的应用
11:25-11:50	专题讨论		
分会场 2（光大 10）			
专题四　气候变化的海陆比较与海平面变化（三）　主持人：聂军胜、康建成、王强			
8:30-8:35	专题介绍（现代海洋水文气候与海平面变化）		
8:35-8:50	赵华	中国地质科学院水文地质环境地质研究所	S4-O-11 光释光测年简介及应用的若干问题讨论
8:50-9:05	刘宪光	江苏省有色金属华东地质勘查局	S4-O-12 远洋沉积岩芯天然热释光剖面的异常特征与古气候变化的关系
9:05-9:20	李超	同济大学	S4-O-13 晚第四纪以来东海海平面变化影响冲绳海槽沉积物来源的新证据——沉积物搬运时间
9:20-9:35	方晶	天津师范大学	S4-O-14 渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁的形成环境及上覆泥层海相层上限的确认
9:35-9:50	李小艳	国家海洋局第一海洋研究所	S4-O-15 全新世快速气候变化在东海内陆架泥质区的记录
9:50-10:05	向荣	中国科学院南海海洋研究所	S4-O-16 全新世黄东海泥质区沉积环境演化记录
10:00-10:20	茶　歇		
专题四　气候变化的海陆比较与海平面变化（四）　主持人：聂军胜、康建成、王强			

10:20-10:35	陈端新	中科院海洋所	S4-O-17S 相对海平面变化与珠江迁移峡谷水道发育过程
10:35-10:50	刘健	青岛海洋地质研究所	S4-O-18 苏北海岸带老黄河水下三角洲沉积演化研究
10:50-11:05	范代读	同济大学	S4-O-19 MIS5 以来台湾海峡两岸海平面变化对比研究
11:05-11:20	姚政权	国家海洋局第一海洋研究所	S4-O-20 渤海湾西岸晚上新世以来沉积环境演化及其与构造、气候和海平面变化的联系
11:20-11:35	王强	中国地质调查局天津地质矿产研究所	S4-O-21 海面变化记录辨识（邀请报告）
11:35-11:50	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题二　微生物与极端环境变化（一）　主持人：张传伦、殷克东			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:50	曾胤新	中国极地研究中心	S2-O-02 北极楚科奇海边陲区夏季浮游细菌的系统发育多样性
8:50-9:05	张传伦	同济大学	S2-O-03 中美两国热泉中古菌和细菌极性四醚脂类化合物的分布
9:05-9:20	谢伟	同济大学	S2-O-04 腾冲热泉嗜热氨氧化古菌的富集培养
9:20-9:35	李猛	美国密歇根大学	S2-O-05 利用宏基因组学和宏转录组学方法研究海底热液喷口羽状流中的微生物的功能结构、活性及其对深海生源要素的生物地球化学循环贡献
9:35-9:50	王欢业	中国科学院地球环境研究所	S2-O-06S 柴达木盆地古菌二醚四醚比例对盐度的响应
9:50-10:00	专题讨论		
10:00-10:20	茶　歇		
专题二　微生物与极端环境变化（二）　主持人：张传伦、殷克东			
10:20-10:35	殷克东	中山大学	S2-O-07 南海北部深层病毒细菌比的最大值及其海洋生物地球化学意义
10:35-10:50	张卫文	天津大学	S2-O-08 宏基因组学以及宏转录组学分析北太平洋海底微生物群落
10:50-11:05	张晓华	中国海洋大学	S2-O-09 南太平洋表层海水微生物群落结构从超寡营养环流中心到边缘的演化
11:05-11:20	李富超	中国科学院海洋研究所	S2-O-10 鄂霍次克海天然气水合物区柱状沉积物微生物多样性研究
11:20-11:35	张宇	上海交通大学	S2-O-11 甲烷厌氧氧化古菌中的碳代谢途径及电子传递
11:35-11:50	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十七　深部探测与地球动力学（一）　主持人：董树文			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-9:00	董树文	中国地质科学院	S17-O-01 深部探测技术与实验研究专项取得重要进展（邀请报告）
9:00-9:15	郑洪伟	中国地质科学院地质研究所	S17-O-02 中国大陆东南缘三维岩石圈结构的远震 P 波层析成像研究
9:15-9:30	叶高峰	中国地质大学（北京）	S17-O-03 鄂尔多斯地块岩石圈导电性结构特征的大地电磁测深标准网研究

9:30-9:45	O.-D. Sedikou Bilamakazo	中国地质大学（北京）	S17-O-04S 青藏高原东缘地区的壳幔电性结构研究
9:45-10:00	刘长胜	吉林大学	S17-O-05 大深度可控源电磁探测系统研究新进展
10:00-10:20	茶　歇		
专题十七　深部探测与地球动力学（二）　主持人：董树文			
10:20-10:45	高锐	中国地质科学院地质研究所	S17-O-06 SinoProbe-02 喜马拉雅-喀喇昆仑-雅鲁藏布江-冈底斯（HKT）深地震反射剖面：揭示喀喇昆仑断裂与雅鲁藏布江缝合带深部精细结构（邀请报告）
10:45-11:00	卢占武	中国地质科学院地质研究所	S17-O-07 Sinoprobe-02 华南深地震反射剖面（湖南邵阳-福建漳浦）采集实验
11:00-11:15	霍光谱	中国地质大学（武汉）	S17-O-08S 大地电磁二维电性各向异性正演研究
11:15-11:30	丰成君	中国地质科学院地质力学研究所	S17-O-09S 汶川 MS8.0 地震对龙门山断裂带附近浅表层地应力环境影响的模拟研究—以北川、江油地区为例
11:30-11:50	专题讨论		
分会场 5（光大 1）			
专题十　大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（一）　主持人：孙卫东、杨宏峰			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:50	黄方	中国科学技术大学	S10-O-01 铀系不平衡对俯冲带化学地球动力学的制约
8:50-9:05	杨宏峰	美国伍兹霍尔海洋研究所	S10-O-02 海山俯冲会诱发或阻止大地震吗？
9:05-9:20	丁悉	美国伍兹霍尔海洋研究所	S10-O-03S 1960 年 9.5 级智利大地震的震后形变和应力变化以及与 2010 年 8.8 级大地震的关系
9:20-9:35	蒋后硕	美国伍兹霍尔海洋研究所	S10-O-04 深海热液羽状流的计算流体动力学模拟
9:35-9:50	李付成	中国科学院南海海洋研究所	S10-O-05S 俯冲碰撞过程模拟-海山及岛弧的命运
9:50-10:05	王婷婷	同济大学	S10-O-06 北大西洋地区地壳厚度分布研究
10:00-10:20	茶　歇		
专题十　大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（二）　主持人：孙卫东、杨宏峰			
10:20-10:35	林间	美国伍兹霍尔海洋研究所	S10-O-07 研究全球大洋地壳厚度的分布规律，洋中脊地壳增生，以及与地幔熔融异常的关系
10:35-10:50	焦立果	中国地震局地球物理研究所	S10-O-08 由 NGDC 全球岩石圈磁场模型反演中国陆壳磁性结构
10:50-11:05	姚伯初	广州海洋地质调查局	S10-O-09 南海北部陆缘初始张裂（神狐运动）起因之探讨
11:05-11:20	徐敏	美国麻省理工学院	S10-O-10S 大洋岩石圈在洋中脊的形成过程
11:20-11:35	丁兴	中国科学院广州地球化学研究所	S10-O-11 初始大陆地壳成因：来自 Nb/Ta 分异的制约
11:35-11:50	专题讨论		
12:00-13:00	午　餐		

7 月 3 日　下午

展板交流　12:40-14:00			
展板区（光韵 5、光韵 6）			
专题三（展板）　极地系统科学　主持人：孙立广、王汝建、孙波			
S3-P-01S	秦先燕	中国科学技术大学	南极海-陆生态系统界面营养物质流动及近海磷的生物地球化学循环
S3-P-02	谢欢	同济大学	南极 Amery 冰架附近区域多源遥感变化检测分析
S3-P-03S	丁玮	中国科学技术大学	东南极大明湖近岸水体夏季温室气体通量观测研究
S3-P-04	葛淑兰	国家海洋局第一海洋研究所	地磁场强度和长期变对白令海岩心冰消期 14 ka 以来的年代约束
S3-P-05S	司贺园	中国地质大学（北京）	西北冰洋海底表层沉积物中的底栖有孔虫组合及其环境指示意义
S3-P-06	李艳	中科院海洋研究所	基于宏基因组学的北极极区深海沉积物细菌多样性分析
S3-P-07S	程文瀚	中国科学技术大学	有机磷酸酯--潜在的全球污染物
S3-P-08S	楼创能	中国科学技术大学	南海西沙群岛鸟粪珊瑚砂沉积物中铅的来源及近 100 年变化
S3-P-09	曹品鲁	吉林大学	南极冰下基岩钻进关键钻进参数研究
S3-P-10S	洪嘉琳	吉林大学	取冰芯螺旋钻具系统的改进
S3-P-11S	范晓鹏	吉林大学	铠装电缆电动机械钻具反扭装置设计计算
专题六（展板）　海洋酸化：过去、现在与未来　主持人：周力平、戴民汉、余克服			
S6-P-01	周力平	北京大学	微流实验系统应用于海洋酸化研究的初步尝试
S6-P-02S	贺仕昌	国家海洋局第三海洋研究所	南海南部海域海洋酸化及其对珊瑚礁的影响
S6-P-03	陈天然	中国科学院南海海洋研究所	南海北部相对高纬度珊瑚的动态过程与生长率变化
S6-P-04	吴梅林	中国科学院南海海洋研究所	西沙群岛海域附近上层海洋营养盐特征
S6-P-05	赵美霞	中国科学院南海海洋研究所	鹿回头珊瑚礁近 50 年的退化过程与现状
S6-P-06	严宏强	中国科学院南海海洋研究所	鹿回头珊瑚礁海-气 CO_2 交换的季节变化与源-汇特征分析
S6-P-07	袁翔城	中国科学院南海海洋研究所	不同生长期的珊瑚对海洋酸化的响应
S6-P-08S	黄博津	中国科学院南海海洋研究所	南海中北部中世纪暖期海温变化的珊瑚高分辨率记录
S6-P-10S	刘进文	厦门大学	呼吸作用对长江口底层水体缺氧和海洋酸化的影响
S6-P-11S	金晓波	同济大学	苏拉威西海全新世颗石重量变化及其古环境意义
S6-P-12	史大林	厦门大学	海洋酸化降低海洋束毛藻的固氮和生长速率
S6-P-13	杨红梅	中国海洋大学	生标梯烷脂(ladderane lipids)指示东海缺氧区
S6-P-14S	陶士臣	中国科学院南海海洋研究所	新疆湖泊沉积记录的 4.2 ka 气候突变事件

专题十四（展板）　天然气水合物与深海油气　主持人：吴能友			
S14-P-01	曹运诚	中国科学院边缘海地质重点实验室	扩散型天然气水合物成藏模拟——以IODP1327 站位为例
S14-P-02	雷怀彦	厦门大学	南海北部天然气水合物的分解释放
S14-P-03S	欧文佳	厦门大学	南海北部海底沉积物中脂类化合物分布特征及其对天然气水合物的指示意义
S14-P-04	张如伟	广州海洋地质调查局	含水合物储层的 AVA 特征分析与叠前反演预测
S14-P-05	廖国祥	国家海洋环境监测中心	深海油气泄漏事故污染物输移扩散的数值模拟
S14-P-06	张美	中国科学院广州能源研究所	南海北部冷泉渗漏系统中氧化还原条件的研究
S14-P-07	张辉	中国科学院广州天然气水合物研究中心	沉积物颗粒对天然气水合物饱和度的影响：基于南海北部神狐海域钻探沉积物样品的实验研究
S14-P-08	丛晓荣	中国科学院广州能源研究所	南海北部陆坡区晚中新世以来沉降史恢复
S14-P-09	关进安	中国科学院广州能源研究所	The kinetics of methane hydrate formation during unsaturated fluids flowing in sediment pores at Shenhu area, the north slope of South China Sea
S14-P-10	管红香	中国科学院广州能源研究所	南海九龙甲烷礁冷泉碳酸盐岩微生物地球化学研究
S14-P-11	郭依群	广州海洋地质调查局	白云凹陷天然气水合物成藏的构造控制因素
S14-P-12	郝树青	中国矿业大学	非均匀多孔介质甲烷水合化过程渗流多相场耦合模型研究
S14-P-13S	何叶	同济大学	南海北部神狐海域浅层滑坡的形态特征及形成机制
S14-P-14	胡高伟	青岛海洋地质研究所	固结、松散沉积物中天然气水合物形成的声学响应特征对比
S14-P-16	郑荣才	成都理工大学	白云凹陷珠江组深水扇砂质碎屑流沉积学特征
S14-P-17S	陈浩如	成都理工大学	珠江口盆地白云凹陷珠江组深水牵引流沉积及其研究意义
S14-P-18S	林杞	生物地质与环境地质国家重点实验室	南海东沙海域 973-2 站位浅表层沉积物中自生黄铁矿显微形貌特征的初步研究
S14-P-19S	刘晨晖	南京大学	海洋自生黄铁矿的成因识别及其对 paleo-SMI 深度的标识意义
S14-P-20S	曲莹	中国地质大学（北京）	天然气水合物与底栖有孔虫的关系——以973-5 为例
S14-P-21	王春娟	国家海洋局第一海洋研究所	海底天然气水合物分解对海底斜坡不稳定性影响的分析
S14-P-22	王金莲	广州海洋地质调查局	南海东沙海域水合物远景区岩芯沉积和物理性质特征
S14-P-23	邬黛黛	中国科学院广州能源研究所	南海北部冷泉区 AOM 驱动的硫早期成岩循环作用及其对环境识别
S14-P-24	雷宝华	国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室	神狐海域天然气水合物富集区地震分频解释技术研究
S14-P-25S	徐文礼	成都理工大学	珠江口盆地白云凹陷珠江组深水灰岩成岩作用特征

S14-P-26	杨睿	中国科学院广州能源研究所	南海北部神狐海域天然气水合物赋存带 AVO 属性分析
S14-P-27	闫仕娟	国家海洋局第一海洋研究所	渤海重力线性异常场与油气田分布的关联
S14-P-28	蒲晓强	广东海洋大学	高甲烷通量背景下海洋沉积物中碳、硫循环耦合初步研究
S14-P-29	李艳平	南京大学	墨西哥湾超压盆地内流体运移模式—Sr 同位素示踪
S14-P-30S	崔璀	成都理工大学	下扬子地区二叠系深水盆地相页岩与页岩气成藏条件分析
S14-P-31S	王飞	中国矿业大学	基于模糊层次综合评价模型的油气资源评价的研究
S14-P-32S	张虎	中国矿业大学	西湖凹陷平湖组煤层测井识别及煤层发育特征研究
S14-P-33S	黄辅强	中国矿业大学	东海陆架盆地西湖凹陷平湖组煤系烃源岩生烃特征研究
S14-P-34	文华国	成都理工大学	酒泉盆地青西凹陷白垩系湖相热水沉积原生白云岩
S14-P-35	宁伏龙	中国地质大学（武汉）	钻井液侵入水合物地层特性及其对测井和井壁稳定的影响
S14-P-36S	安莉	浙江大学	天然气水合物取芯钻机保压方案理论计算与实验验证
S14-P-37	黄逸凡	浙江大学	深拖式等离子体震源
S14-P-38	殷长春	吉林大学	海洋可控源电磁法发射源姿态影响研究
S14-P-39	张旭东	广州海洋地质调查局	海底地震仪二次定位探讨
专题十五（展板）　海底观测　主持人：张燕武、田纪伟、王东晓			
S15-P-01S	黄兴辉	中国科学院地质与地球物理研究所	海水运动与地转剪切的地震海洋学估算
S15-P-02S	陈江欣	中科院地质与地球物理所	海水密度的地震海洋学反演
S15-P-03S	拜阳	中国科学院地质与地球物理研究所	利用地震海洋学方法估算海水混合率
S15-P-04S	刘伯然	中国科学院地质与地球物理研究所	地震海洋学对南海内部非均质性的研究
S15-P-05S	周春	中国海洋大学	吕宋海峡深层环流的时间变异特征
S15-P-06S	董济海	中国海洋大学	南海内孤立波对物质和能量输运的作用
S15-P-07S	黄晓冬	中国海洋大学	南海北部内孤立波的时空特征
S15-P-08S	肖劲根	中国科学院南海海洋研究所	基于八个准全球模式模拟的南海深层与底层环流特征分析
S15-P-09S	黄元凤	浙江大学	电化学方法制备 Ag/AgCl 准参比电极及其抗硫性能研究
S15-P-10	徐海波	中国海洋大学	用于海洋观测平台的海水超级电容溶解氧电池
S15-P-11	徐惠	浙江大学	全固态钙离子和 pH 选择性电极
S15-P-12S	张丽萍	中国海洋大学	海床土性质改造的试验研究
S15-P-13	方家松	同济大学	关于建立南海 CORK 观测站的初步设想
S15-P-14S	于洋	同济大学	东海海底观测小衢山试验站的交互式控制
S15-P-15	瞿逢重	浙江大学	摘箬山岛海洋立体观测网络
S15-P-16	叶志慧	青岛滩海工程咨询研究院	深海工作站
S15-P-17	韩冰	广州海洋地质调查局	世界大深度载人深潜器现状及发展趋势

专题十六（展板）　南海深部过程　主持人：李家彪、刘志飞			
S16-P-01	孙珍	中国科学院南海海洋研究所	陆坡区裂陷结束后断裂长期活动的动力学机制-以白云凹陷为例
S16-P-02	高金耀	国家海洋局第二海洋研究所	构建高精度和高分辨率的南海 Moho 面模型
S16-P-03	丁巍伟	国家海洋局第二海洋研究所	南海南部陆缘碳酸岩台地——发育过程与构造响应
S16-P-04	郭良辉	中国地质大学（北京）	南海海盆重磁异常线性构造分析及海底扩张模式探讨
S16-P-05	吴招才	国家海洋局第二海洋研究所	海洋地磁异常反演中的关键问题
S16-P-07	王万银	长安大学	利用重、磁资料研究南海地区断裂及凹陷分布
S16-P-08	许鹤华	中国科学院南海海洋研究所	南海张裂动力学机制和演化过程的数值模拟
S16-P-09S	宋洋	中国科学院地质与地球物理研究所	南海大陆边缘盆地构造-热演化模拟研究
S16-P-10	宋海斌	中国科学院地质与地球物理研究所	大陆边缘系统的反射地震研究
S16-P-11	黎刚	中国科学院南海海洋研究所	冰消期 Labrador 洋流历史变化
S16-P-12	张金鹏	广州海洋地质调查局	晚第四纪南海西沙海槽东南部陆坡的沉积过程
S16-P-13S	张琴	同济大学	CHIRP 高分辨率浅地层剖面的数据处理及其应用
S16-P-14S	陈翰	中国科学院南海海洋研究所	南海西沙海槽颗粒物的通量与陆源颗粒的粒度组成
S16-P-15	钟广法	同济大学	粒度数据在南海北部陆坡深水沉积物成因分析中的应用
S16-P-16	高红芳	广州海洋地质调查局	南海西北海盆晚中新世以来浊积体发育特征及海平面变化
S16-P-17	张兰兰	中国科学院南海海洋研究所	南海北部深水站 08E415 现代放射虫的垂直深度分带研究
专题口头报告　14:00-15:30			
分会场 1（光大 8）			
专题八　地球环境演化与碳循环（二）　主持人：储雪蕾、谢树成			
14:00-14:15	张廷军	兰州大学	S8-O-07 多年冻土退化与碳循环
14:15-14:30	丁伟华	中国地质大学（武汉）	S8-O-08S 末次冰期以来大九湖泥炭沉积两次甲烷释放事件及其环境指示意义
14:30-14:45	蔡进功	同济大学	S8-O-09 东海沉积物有机碳赋存特征与保存机制探讨
14:45-15:00	吕晓霞	中国地质大学（武汉）	S8-O-10 中国东部近海表层沉积物的微生物四醚膜脂（GDGTs）分布及其环境指示意义
15:00-15:15	孙惠玲	云南师范大学旅游与地理学院	S8-O-11 生物标志化合物在湖泊沉积记录中的应用
15:15-15:30	专题讨论		
分会场 2（光大 10）			
专题五　不同尺度的季风变化（一）　主持人：翦知湣、李建平、谭明			
14:00-14:05	专题介绍		

14:05-14:25	陈发虎	兰州大学	S5-O-01 中国大陆末次冰消期和全新世冬、夏季温度变化及其与亚洲季风的联系（邀请报告）
14:25-14:45	刘晓东	中国科学院地球环境研究所	S5-O-02 青藏高原隆升与亚洲季风演化数值模拟研究的历史与现状（邀请报告）
14:45-15:00	汪永进	南京师范大学	S5-O-03 “神秘期”海洋/季风环流耦合过程与成因探讨
15:00-15:15	贺娟	同济大学	S5-O-04 应用烯酮氢同位素重建古表层海水盐度——南海北部 MD05-2904
15:15-15:30	石正国	中国科学院地球环境研究所	S5-O-05 基于加速瞬变试验的天文尺度东亚季风响应机制探讨
15:30-15:40	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题九　比较行星科学：结构、成份、过程（二）　主持人：林间、钟时杰、丁忞			
14:00-14:15	肖龙	中国地质大学（武汉）	S9-O-06 火星的古老火山作用及其热演化历史
14:15-14:30	杨安	中国科学技术大学	S9-O-07S 相变对金星地幔对流结构影响的三维数值模拟
14:30-14:45	黄倩	中国地质大学（武汉）	S9-O-08 基于重力和地形的月壳密度和孔隙度区域性解析
14:45-15:00	鄢建国	测绘遥感信息工程国家重点实验室	S9-O-09 Comparison analyses of high degree lunar gravity field models
15:00-15:15	黄乘利	中国科学院上海天文台	S9-O-10 广义地球内部形状理论及其应用于核幔边界形状和大地水准面的计算
15:15-15:30	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十三　海底金属资源（一）　主持人：陶春辉、曾志刚			
14:00-14:05	专题介绍		
14:05-14:20	陶春辉	国家海洋局第二海洋研究所	S13-O-01 西南印度洋多金属硫化物找矿与评价研究（邀请报告）
14:20-14:32	王晓媛	中国科学院海洋研究所	S13-O-02 东马努斯海盆热液活动研究
14:32-14:47	韩喜球	国家海洋局第二海洋研究所	S13-O-03 西北印度洋 Carlsberg 脊的分段性及其构造地貌特征——中国大洋 24 航次调查情况介绍（邀请报告）
14:47-15:02	孙晓明	中山大学	S13-O-04 中印度洋海岭 Edmond 热液区块状硫化物中金银矿物的发现及其意义（邀请报告）
15:02-15:14	刘为勇	国家海洋局第二海洋研究所	S13-O-05 西南印度洋中脊 49.6°E 热液活动区羽状流特征及其热通量贡献
15:14-15:26	黄鑫	中国科学院海洋研究所	S13-O-06S 西南印度洋脊 A 热液区藤壶类壳体和热液沉积物中有机质研究
15:26-15:35	专题讨论		
分会场 5（光大 1）			
专题十　大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（三）　主持人：孙卫东、杨宏峰			
14:00-14:15	邵兆刚	中国地质科学院地质力学研究所	S10-O-12 青藏高原层状地貌形成及其环境效应
14:15-14:30	赵越	中国地质科学院地质力学研究所	S10-O-13 青藏高原西北缘内流水系的起源和演化
14:30-14:45	朱弟成	中国地质大学（北京）	S10-O-14 西藏高原的板块构造过程和构造岩浆演化：地球动力学观点

14:45-15:00	张国良	中国科学院海洋研究所	S10-O-15 IODP U1365 站玄武岩地球化学：对西南太平洋白垩纪 Osbourn 扩张中心岩浆作用的制约
15:00-15:15	张克信	中国地质大学（武汉）	S10-O-16 青藏高原新生代沉积、气候演化及其对构造隆升的响应
15:15-15:30	专题讨论		
15:30-16:00	茶　歇		
大会特邀报告　16:00-17:30			
主会场（宴会厅）			
16:00-16:30	刘康克	台湾中央大学	P-04 南海的生物地球化学及其受气候震荡之影响
16:30-17:00	牛耀龄	兰州大学	P-05 全球大洋岩石圈-软流圈界面（LAB)的性质和板块构造，及对中国东部岩石圈减薄机制的认识
17:00-17:30	周怀阳	同济大学	P-06 海底热液活动及其探测
信息发布会　19:00-21:00　地点：分会场 2（光大 10）			
中国大洋协会			
中国地质科学院			
国土资源部广州海洋地质调查局			
中国地质调查局			
中国极地中心			
中国海洋石油总公司			
中国 IODP			

7 月 4 日　上午

专题口头报告　8:30-11:50			
分会场 1（光大 8）			
专题七　微型生物与碳循环（一）　主持人：焦念志、张传伦			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:50	焦念志	厦门大学	S7-O-01 海洋固碳与储碳
8:50-9:05	党宏月	厦门大学	S7-O-02 海洋微型生物呼吸作用与海洋生态系统固碳储碳功能效率
9:05-9:20	张传伦	同济大学	S7-O-03 河口区生物地球化学过程对环境、气候变化的影响
9:20-9:35	李超	中国地质大学（武汉）	S7-O-04 元古代海洋微型生物碳泵的地质记录
9:35-9:50	赵美训	中国海洋大学	S7-O-05 我国边缘海晚全新世有机质埋藏记录及控制机理
9:50-10:00	专题讨论		
10:00-10:20	茶　歇		
专题七　微型生物与碳循环（二）　主持人：焦念志、张传伦			
10:20-10:35	肖湘	上海交通大学	S7-O-06 从能量代谢角度看深部碳循环
10:35-10:50	刘嵘	中国地质大学(武汉)	S7-O-07 一种可能的高温下微生物快速固碳机制
10:50-11:05	张熙颖	山东大学	S7-O-08 深海沉积物中参与有机氮降解的微生物和蛋白酶的研究以及南海沉积物中 MCG 古菌的宏基因组学研究
11:05-11:20	刘丽华	广州能源研究所	S7-O-09 南海北部陆坡甲烷垂向运移和甲烷厌氧氧化作用数值模拟研究
11:20-11:35	徐杰	香港科技大学	S7-O-10 夏季南海北部陆架的磷限制
11:35-11:50	专题讨论		
分会场 2（光大 10）			
专题五　不同尺度的季风变化（二）　主持人：翦知湣、李建平、谭明			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:55	刘秦玉	中国海洋大学	S5-O-06 热带印度洋和西太平洋对东亚气候年际变化的影响（邀请报告）
8:55-9:10	徐建	西北大学	S5-O-07 末次冰期以来印－太暖池区上层海水性质变化趋势及其古海洋学意义
9:10-9:25	丁旋	中国地质大学（北京）	S5-O-08 帝汶海~30kaBP 以来印度尼西亚穿越流和季风上升流活动记录
9:25-9:40	许云平	北京大学	S5-O-09 晚全新世南冲绳海槽表层水温的高分辨率记录
9:40-9:55	敖红	中国科学院地球环境研究所	S5-O-10 中国南北方更新世夏季风记录在轨道尺度上存在的差异
10:00-10:20	茶　歇		
专题五　不同尺度的季风变化（三）　主持人：翦知湣、李建平、谭明			
10:20-10:40	王绍武	北京大学	S5-O-11 东亚冬夏季风的时间尺度（邀请报告）

10:40-11:00	何金海	南京信息工程大学	S5-O-12 东亚季风格局及其年代际转折的影响和可能机理（邀请报告）
11:00-11:15	翦知湣	同济大学	S5-O-13 热带海洋在轨道至百年尺度上多尺度过程的相互作用
11:15-11:30	谭明	中国科学院地质与地球物理研究所	S5-O-14 亚洲季风降水异常的两种 ENSO 驱动型及与氧同位素比值关系
11:30-11:45	李艳杰	中国科学院大气物理研究所	S5-O-15 北半球夏季印度洋-西太平洋对流年际变率的主导模态及其与东亚夏季风的关系
11:45-11:55	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题十五　海底观测（一）　主持人：张燕武、田纪伟、王东晓			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:55	张燕武	美国 MBARI 研究所	S15-O-01 用自主水下航行器对海洋特征进行自主检测和标靶取样（邀请报告）
8:55-9:10	栾振东	中国科学院海洋研究所	S15-O-02 深水可视化可控超长沉积物取样系统研制
9:10-9:25	张鑫	中国科学院海洋研究所	S15-O-03 基于激光拉曼光谱技术的深海沉积物海洋地球化学原位探测
9:25-9:40	许惠平	同济大学	S15-O-04 东海小衢山综合海底观测站及海洋仪器装备测试实验平台
9:40-9:55	高攀	北京大学	S15-O-05S 海水溶解无机碳（DIC）14C 快速制样方法在南海深部过程研究中的初步应用
10:00-10:20	茶　歇		
专题十五　海底观测（二）　主持人：张燕武、田纪伟、王东晓			
10:20-10:40	王东晓	中国科学院南海海洋研究所	S15-O-06 南海底层水团的年代际变化（邀请报告）
10:40-10:55	郭龙祥	哈尔滨工程大学	S15-O-07S 基于声学方法的水下气幕云探测方法研究：模型与对比
10:55-11:10	赵玮	中国海洋大学	S15-O-08 吕宋海峡深层环流的空间结构及驱动机制
11:10-11:25	管守德	中国海洋大学	S15-O-09S 南海对超强台风鲇鱼的弱近惯性运动响应及机制
11:25-11:40	张志伟	中国海洋大学	S15-O-10 基于 Argo 数据对全球海洋的涡热输运研究
11:40-11:50	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十七　深部探测与地球动力学（三）　主持人：董树文			
8:30-8:55	杨经绥	中国地质科学院地质研究所	S17-O-10 蛇绿岩中的金刚石：一种新的金刚石产出类型及其意义（邀请报告）
8:55-9:10	毛伟建	中科院测量与地球物理研究所	S17-O-11 复杂地质构造带的地震深度成像
9:10-9:25	叶浩	中国地质科学院地质力学研究所	S17-O-12S 北京西山青白口早侏罗世顺层闪长玢岩脉：对区域性褶皱变形时代的限定
9:25-9:40	张拴宏	中国地质科学院地质力学研究所	S17-O-13 华北克拉通中生代岩浆作用的时空迁移：对克拉通破坏过程的启示及意义
9:40-9:55	肖丽	吉林大学	S17-O-14 万米超深科学钻探测井数据分析管理研究
10:00-10:20	茶　歇		

专题十七　深部探测与地球动力学（四）　主持人：董树文			
10:20-10:35	孙东生	中国地质科学院地质力学研究所	S17-O-15S 基于岩芯的非弹性应变恢复地应力测量方法及应用
10:35-10:50	于平	吉林大学	S17-O-16 地球深部探测仪器装备应用于海洋资源勘探策略及建议
10:50-11:05	陈华根	同济大学	S17-O-17 深部探测及深海观测中的三维可视化及虚拟初探
11:05-11:20	朱伯靖	中国科学院计算地球动力学重点实验室	S17-O-18 高温高压岩石孔隙率-渗透率各向异性数值模拟研究
11:20-11:35	杨少华	中国科学院计算地球动力学重点实验室	S17-O-19S 山西省宁武县万年冰洞持续存在机制的数值模拟
11:35-11:50	专题讨论		
分会场 5（光大 1）			
专题十二　地球内部碳储库性质及其演化过程（一）　主持人：刘焰、许成、郭正府			
8:30-8:35	专题介绍		
8:35-8:55	李曙光	中国科学技术大学	S12-O-01 同位素在深部碳循环中的应用—一个正在兴起的前沿研究领域（邀请报告）
8:55-9:15	郭正府	中国科学院地质与地球物理研究所	S12-O-02 中国大陆活火山区温室气体释放通量的研究（邀请报告）
9:15-9:30	郭会荣	中国地质大学（武汉）	S12-O-03 拉曼光谱法测定广阔温度、盐度和高压条件下 CO_2 在盐水中的扩散系数
9:30-9:45	方斌	中国地质大学（北京）	S12-O-04S 西藏绒玛地区温泉逸出气体研究
9:45-10:00	张洪铭	中国地质大学（北京）	S12-O-05S 一个新的研究领域—深部碳循环：回顾与展望
10:00-10:20	茶　歇		
专题三 极地系统科学（一）　主持人：孙立广、王汝建、孙波			
10:20-10:25	专题介绍		
10:25-10:45	李荣兴	同济大学	S3-O-01 近百年极地冰层和全球及典型区域海平面变化机理精密定量研究（邀请报告）
10:45-11:00	孙波	中国极地研究中心	S3-O-02 南极冰冻圈在地球系统中的作用
11:00-11:15	王汝建	同济大学	S3-O-03 中国北极的沉积学与古海洋学研究
11:15-11:30	马大卫	中国科学技术大学	S3-O-04S 东南极企鹅和海豹粪土层细菌群落的变化特征
11:30-11:45	陈志华	国家海洋局第一海洋研究所	S3-O-05 晚第四纪白令海峡南北两侧海盆的冰川与海流记录
11:45-12:00	周生启	中国科学院南海海洋研究所	S3-O-06 海底地热流对北冰洋深海温度变化的影响
12:00-13:00	午　餐		

7 月 4 日　下午

专题讨论　13:00-13:50	
分会场 1 （光大 8）	讨论主题：**海洋微型生物储碳的主要过程与机制** 主持人：焦念志、张传伦
分会场 4 （光大 9）	讨论主题：**极地太平洋：海洋生态—气候动力学的几个问题** 主持人：孙波

展板交流　12:40-14:00			
展板区（光韵 5、光韵 6）			
专题七（展板）　微型生物与碳循环　主持人：焦念志、张传伦			
S7-P-01S	陈颖	上海交通大学	对一类厌氧甲烷氧化菌的单细胞全基因组测序
S7-P-02	商少凌	厦门大学	关于中国海浮游植物储量的年际变化
S7-P-03	孙晓霞	中国海洋大学	赤道东太平洋水体中海洋重晶石晶体形态及其优先溶解机制
S7-P-04	翟惟东	国家海洋环境监测中心	有机物光降解在近海碳循环的作用
S7-P-05	陈建芳	国家海洋局第二海洋研究所	太平洋中西部海域浮游植物的营养盐潜在限制研究
S7-P-06	龚骏	中国科学院烟台海岸带研究所	渤海三河口厌氧氨氧化与反硝化过程的比较研究
S7-P-07S	郭君	厦门大学	西北太平洋冷涡暖涡处细菌培养实验及有色溶解有机物荧光特性与分布研究
S7-P-08S	郭文婷	同济大学	长江口低氧区沉积物中 AOA 和 AOB 多样性初步分析
S7-P-09S	纪建达	厦门大学	西太平洋表层水病毒裂解效应的研究
S7-P-10	刘常宏	南京大学	红树林湿地可培养硫酸盐还原菌的垂直分布特征
S7-P-11	冉莉华	国家海洋局第二海洋研究所	南海北部陆坡浅层沉积物捕获器硅藻记录及其与东亚季风的关系
S7-P-12	王鹏	同济大学	南海表层沉积物古菌群落结构分析
S7-P-13S	韦静静	厦门大学	利用光系统 II D1 亚基基因 psbA 研究东海光合真核藻类的多样性及表达活性
S7-P-14S	吴凯	厦门大学	2008 年夏季南海北部溶解有机碳净生产研究
S7-P-15S	张飞	厦门大学	高 CO_2 环境对于变形菌视紫质携带菌 Vibrio Harveyi (ATCC BAA-1116)的影响
S7-P-16	张锐	厦门大学	深海浮游病毒对细菌丰度及多样性的影响
S7-P-17	张瑶	厦门大学	微型生物有机碳代谢特征差异
S7-P-18	张子莲	厦门大学	海洋细菌胞外多糖的生物可利用性分析
S7-P-19S	郑强	厦门大学	揭开微型生物碳泵（MCP）的冰山一角
S7-P-20	汤凯	厦门大学	海洋浮游细菌溶解有机质利用模式关键指示基因探究
S7-P-21S	李志朋	厦门大学	东海不同环境梯度下营养盐刺激细菌利用 DOC 的响应
S7-P-22S	张新旭	上海交通大学	Understanding the sub-surface metabolic activity and pathways of microbial mediated C/N cycling in North Pond, western flank of Mid-Atlantic Ridge
S7-P-23S	任睿	厦门大学	N、P 元素对南海 CDOM 生成的贡献
专题八（展板）　地球环境演化与碳循环　主持人：储雪蕾、谢树成			
S8-P-01	秦养民	中国地质大学（武汉）	泥炭湿地有壳变形虫生态学及其古水文意义
S8-P-02	储雪蕾	中国科学院地质与地球物理研究所	埃迪卡拉纪分层的海洋与碳循环
S8-P-03S	丁飞	同济大学	有机质赋存形式对生标应用的影响及意义
S8-P-04S	王晓丹	同济大学	长江主要水系的水化学组成与流域季风气候的影响

S8-P-05	于严严	中国科学院地质与地球物理研究所	SoilGen 土壤发育模型敏感性分析与区域校正
S8-P-06S	吴伟超	北京大学	基于二维液相色谱技术的木质素酚单体 14C 研究
S8-P-07	王奎	国家海洋局第二海洋研究所	西、中太平洋的营养结构差异
专题十（展板） 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程 主持人：孙卫东、杨宏峰			
S10-P-01S	刘芳	同济大学	应用“双平面波”相速度反演方法研究印支地块岩石圈和上地幔结构
S10-P-02S	毛翔	北京大学	环北极沉积盆地结构与构造演化特征——来自环北极长剖面的证据
S10-P-03S	李伟	中国地质大学（武汉）	西南印度洋中脊（63.5°E）深海橄榄岩矿物结构水研究
S10-P-04	李春峰	同济大学	苏鲁-大别造山带及其周缘岩石圈三维地球物理刻画
S10-P-05	李怀明	国家海洋局第二海洋研究所	南大西洋地区地壳厚度分布特征及其与地幔热点的关系
S10-P-06	李江海	北京大学	全球沉积盆地群结构与构造演化对比研究——超长剖面研究新认识
S10-P-07	谢广成	长安大学	油气沸腾包裹体群、减压沸腾作用与地壳波浪运动
S10-P-08	杨宏峰	美国伍兹霍尔海洋研究所	Cascadia 俯冲带地震破裂传播的数值模拟
S10-P-09S	张帆	中国科学院南海海洋研究所	大洋板块在海沟的弯曲变形：菲律宾、马尼拉及智利俯冲带的比较
S10-P-10S	李贺	中国科学院广州地球化学研究所	长江中下游 A 型花岗岩磷灰石的研究及其地质意义
S10-P-11S	于淼	中国地质大学（北京）	西南印度洋中脊玄武岩岩石学与地球化学特征及意义
S10-P-12	张兆峰	中科院广州地化所	铀系不平衡分析技术及其在地球化学中的应用
S10-P-13	邱宁	中国科学院南海海洋研究所	南海北部荔湾凹陷长缆反射地震测线揭示地壳结构特征：速度分析和重磁模拟
S10-P-14	刘翠	中国地质大学（北京）	哀牢山构造岩浆带晚二叠世—早三叠世火山岩特征及其构造环境
专题十七（展板） 深部探测与地球动力学 主持人：董树文			
S17-P-01	周建	中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所	东南沿海中生代火山岩带地球化学特征
S17-P-02	刘雪敏	中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所	扬子地块西南缘与地幔柱有关的元素的地球化学空间分布特征
S17-P-03S	叶卓	中国地质科学院地质研究所	利用接收函数方法揭示中国大陆东南缘地壳上地幔结构
S17-P-04	姜弢	吉林大学	矿区可控震源地震勘探的定向地震波数据合成方法
S17-P-05S	吴海超	吉林大学	宽频带天然地震观测仪器及应用
S17-P-06S	曹双兰	吉林大学	动圈式检波器极点补偿法降频的模拟实现及其标定方法研究
S17-P-07S	彭荣华	中国地质大学（武汉）	基于 MPI 的大地电磁三维反演并行计算
S17-P-08	许诚	中国科学院地质与地球物理研究所	极低频电磁法典型矿区模型三维积分方程法正演研究

S17-P-09	董进	中国地质科学院地质研究所	胶黄铁矿与碳酸盐结核——可能的天然气水合物识别标志
S17-P-10S	孟文	中国地质科学院地质力学研究所	新加坡地应力测量研究
S17-P-11S	程惠红	中国科学院计算地球动力学重点实验室	埃及 Aswan 水库触发地震的孔隙弹性耦合有限元分析
S17-P-12S	林晓光	中国科学院计算地球动力学重点实验室	有限元数值模拟中描述地震位错的一种有效方式
S17-P-13	朱伯靖	中国科学院计算地球动力学重点实验室	水库对断层影响广义库伦应力数值模拟研究
S17-P-14	张文涛	中国科学院半导体研究所	基于光纤激光技术的深井地震观测
S17-P-15	刘佳琳	吉林大学	万米超深科学钻探装备安全风险评估方法
S17-P-16	陈宣华	中国地质科学院	柴达木盆地及其周缘中、新生代构造体系的形成与演化
S17-P-17S	董浩	中国地质大学（北京）	华北地区地壳与上地幔三维电性结构特征
S17-P-18S	丁毅	中国地质大学（北京）	地球物理数据共享与应用集成研究
S17-P-19	黄永健	广州海洋地质调查局	南海中央海盆黄岩岛链以北磁异常特征与成因探讨
S17-P-20	刘东盛	中国地质科学院地球物理与地球化学勘察研究所	赤峰-建平一带早中生代麻粒岩与太古代麻粒岩的对比研究
S17-P-21S	刘飞	中国地质科学院地质研究所	西藏雅鲁藏布江缝合带西段-普兰和东波蛇绿岩的侵位特征
S17-P-22	牛晓露	中国地质科学院地质研究所	地幔不均一性-以东波超镁铁岩体为例
S17-P-23S	王辉	中国地质大学（北京）	Pb-PbCl2 不极化电极在长周期大地电磁测深观测中的应用效果
S17-P-24S	王健	同济大学	基于分形磁化模型的美国西部及东北太平洋居里点深度
S17-P-25S	谢成良	中国地质大学（北京）	基于相位张量电性结构分析约束下的 MT 阻抗张量畸变校正方法研究
S17-P-26S	熊发挥	中国地质科学院地质研究所	西藏雅鲁藏布江缝合带西段东波和普兰超基性岩体：存在较大的铬铁矿前景
S17-P-27S	杨永章	中科院上海天文台	滇西铅垂线变化与该地区地震的关联
S17-P-28S	张帆	中国地质大学（北京）	近海地区大地电磁正演模拟及大地电磁测深畸变数据反演研究
S17-P-29S	张乐天	中国地质大学（北京）	华南地区壳幔导电性结构研究
S17-P-30S	唐水亮	吉林大学地球探测科学与技术学院	中国南海卫星重力数据成图技术及成果比较
S17-P-31	徐学纯	吉林大学	华北板块北缘晚古生代花岗岩类地球化学特征及其地质意义
S17-P-32S	王鹏飞	长安大学	南海地区均衡重力异常研究
S17-P-33	徐昌伟	同济大学	深部地球物理探测技术的科普材料研究
专题口头报告　14:00-15:30			
分会场 1（光大 8）			
专题十二　地球内部碳储库性质及其演化过程（二）　主持人：刘焰、许成、郭正府			
14:00-14:20	刘吉强	中国科学院广州地球化学研究所	S12-O-06 地幔碳质包裹体与深部碳循环—流体和熔体包裹体证据（邀请报告）

14:20-14:40	刘焰	中国地质科学院地质研究所	S12-O-07 青藏高原：碳源区还是碳汇区？（邀请报告）
14:40-14:55	崔航	中科院地质与地球物理所	S12-O-08S 地核中的碳——基于高压实验与第一性原理计算的探讨
14:55-15:10	宋文磊	北京大学	S12-O-09S 火成碳酸岩的实验岩石学研究及对地球深部碳循环的意义
15:10-15:25	李营	中国地震局地震预测研究所	S12-O-10 高温高压下全球平均沉积物组成体系中含碳相
15:25-15:35	专题讨论		
分会场 2（光大 10）			
专题五　不同尺度的季风变化（四）　主持人：翦知湣、李建平、谭明			
14:00-14:20	李建平	中国科学院大气物理研究所	S5-O-16 关于季风多尺度相互作用的一些思考
14:20-14:35	冯娟	中国科学院大气物理研究所	S5-O-17S 西南澳洲前冬降水与我国华北盛夏降水减少间的遥相关关系
14:35-14:50	郑佳喻	中国科学院大气物理研究所	S5-O-18S 印太暖池-北太平洋偶极子与东亚夏季风变率
14:50-15:05	邢楠	中国科学院大气物理研究所	S5-O-19S 影响孟加拉湾夏季风爆发的前期信号及可能的物理机制
15:05-15:20	温敏	中国气象局中国气象科学研究院	S5-O-20 东北冷涡活动的季节内振荡特征及其影响
15:20-15:30	专题讨论		
分会场 3（光大 7）			
专题十五　海底观测（三）　主持人：张燕武、田纪伟、王东晓			
14:00-14:30	严晓海	University of Delaware	S15-O-11 综述：海洋深部的卫星遥感观测研究（邀请报告）
14:30-14:45	田纪伟	中国海洋大学	S15-O-12 南海深层不同尺度动力过程关联
14:45-15:00	杨庆轩	中国海洋大学	S15-O-13 南海混合与垂向速度空间结构
15:00-15:15	阚光明	国家海洋局第一海洋研究所	S15-O-14S 近海海底沉积声学原位测量系统的研制和应用以及深海功能拓展
15:15-15:30	专题讨论		
分会场 4（光大 9）			
专题十三　海底金属资源（二）　主持人：陶春辉、曾志刚			
14:00-14:05	专题介绍		
14:05-14:20	叶瑛	浙江大学	S13-O-07 台湾东部近海两类海底热泉及其原位观测与探测（邀请报告）
14:20-14:32	席振铢	中南大学	S13-O-08 接触极化法定性评价深海金属硫化物矿应用前景
14:32-14:44	熊威	国家海洋局第二海洋研究所	S13-O-09S 瞬变电磁法在海底多金属硫化物区的应用
14:44-14:56	殷学博	中国科学院海洋研究所	S13-O-10 海底多金属硫化物中微量元素与超微量稀土元素的准确测定
14:56-15:08	冯志强	成都理工大学	S13-O-11S 西秦岭洛坝铅锌矿床喷流沉积特征及矿床成因探讨
15:08-15:20	黄文星	广州海洋地质调查局	S13-O-12 在古缝合带中寻找古富钴结壳的意义及其可能性
15:20-15:30	专题讨论		

分会场 5（光大 1）			
专题三 极地系统科学（二） 主持人：孙立广、王汝建、孙波			
14:00-14:20	孙立广	中国科学技术大学	S3-O-07 从企鹅海豹古食谱看历史时期磷虾数量变化（邀请报告）
14:20-14:35	李学杰	广州海洋地质调查局	S3-O-08 北极区域地质与北冰洋形成演化
14:35-14:50	黄涛	中国科学技术大学	S3-O-09 全新世企鹅种群动态对气候变化的响应
14:50-15:05	万荣胜	广州海洋地质调查局	S3-O-10 北极航道研究构想
15:05-15:20	陈清清	中国科学技术大学	S3-O-11 北极高纬度地区-新奥尔松地区不同苔原 CH_4 和 N_2O 通量空间变化
15:20-15:30	专题讨论		
15:30-16:00	茶 歇		
大会总结 16:00-17:30			
主会场（宴会厅）			
会议结束 17:30			

摘要集

P-1

对陆地生物演化与重大环境变化关系的一些思考

周忠和

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

对“地史时期全球变化”的关注，反映了地质古生物学家对参与全球变化研究的积极响应。与海相记录相比，对陆地生物群演化与环境背景的研究，客观上存在诸多困难，如区域性构造和环境的影响、连续地层剖面的缺乏、脊椎动物等陆生化石记录的不连续性、以及年代地层划分精度的不足等。尽管如此，对近 4 亿年来地球生物演化的若干重要过程，特别是与人类关系更加密切的陆地生态系统的演化的准确认识，对于当今全球变化的研究同样具有重要的借鉴意义。

对志留纪以来陆地生态系统演化过程中的一些重大环境变化与生物事件进行简要的概括，不难看出，我国在诸多方面独具特色和潜力。

志留纪晚期－泥盆纪：加里东运动引起一系列沉积环境、气候、海平面等改变；大气氧气含量的增加、二氧化碳浓度的变化、F-F 灭绝事件等对陆生维管植物的出现及随后的大规模登陆、早期脊椎动物的辐射、四足动物的登陆等问题或许在中国能找到满意的答案。

二叠纪：泛大陆形成、海陆格局的变化以及由此引起的气候的变化对植物群和脊椎动物的演化和分布的影响最受关注；中国广泛分布的华夏植物群以及北方地区发育的陆相二叠系地层和爬行动物化石为研究这一问题提供了良好的记录。二叠纪－三叠纪之交的大灭绝事件对陆地生物群的影响也十分显著，然而它对中国陆生爬行动物演化的影响还有待更多的工作。

中侏罗世－晚侏罗世转折期（MLJT）：发生了一些全球性古海洋和气候事件，如二氧化碳浓度下降、大火成岩省形成和温度的升降等。同期，我国的陆相地层和古生物记录十分丰富，包括了著名的燕辽生物群、自贡恐龙动物群等，是解答众多生物－环境问题的理想地区。早白垩世：全球构造运动十分活跃，与之对应的是我国华北克拉通破坏和岩石圈减薄的高峰。我国有最丰富的陆相下白垩统的地层和化石记录，包括特异埋藏的热河生物群。我国东北部早白垩世生物的辐射与“灭绝”与之何关？最大带毛恐龙与短暂寒冷事件是否关联？白垩纪中期的极温事件与高二氧化碳浓度怎样对被子植物的辐射产生了影响？对恐龙个体大小及多样性的影响如何？就 K-T 灭绝事件而言，有关恐龙等脊椎动物灭绝的过程，在我国广东、江西等地区或许也能够找到较好的线索。

新生代以来，无论是古新世－始新世之交的全球性高温事件（PETM），还是始新世－渐新世之交的降温事件，对哺乳动物和植物的影响均是国际关注的热点，而且在我国也具有很好的地层古生物记录。中新世气候适宜期与生物多样性的关联、青藏高原的剧烈隆升引发的古地理、干旱与季风事件等对哺乳动物、鱼类演化的影响在我国北方保存有很好的记录。更新世的冰期和间冰期的转回、气候的波动等对人类与哺乳类演化、物种迁移、更替的影响在我国也不乏好的记录。

当今，古生物学与古环境学等学科的交叉合作日趋广泛，针对海洋和陆地生物或者不同地质时期的研究，交叉的程度也不尽相同，但大体可概括为以下四种方式：一是古生物学家在侧重生物学研究过程中，综合考虑其他学科的研究成果；二是古生物学家基于解剖学或统计学方法从化石直接获取古环境信息；三是直接基于化石材料开展的地球化学工作；四是古生物学家与其他学科的学者针对同一地区或地点的多学科合作研究。无论怎样，一些基本的科学问题，诸如环境突变如何对海、陆生物群产生不同的影响、温度升降对生物多样性的影响、地史时期二氧化碳浓度变化与温度变化的相关性、导致生物大灭绝的最主要因素等，均是包括古生物学家在内的地球科学研究者共同面临的挑战。对这些问题的解答或许能够真正为当今全球变化的研究提供可靠的历史依据。

P-2

大洋环流与气候变化

陈大可

卫星海洋环境动力学国家重点实验室，国家海洋局第二海洋研究所

dchen@sio.org.cn

大洋环流与气候变化是地球系统科学研究中的热点问题。我们首先简要回顾大洋环流理论的发展历史和研究现状，特别是全球翻转环流的概念；其次介绍气候变化的分类以及海洋在各类气候变化中的作用，尤其是自然气候变化的全球模态；最后在海气耦合模式的框架内，讨论气候变化的预测和可预测性。报告要点如下：

大洋环流理论的建立是现代物理海洋学的重要成就，但由于忽略了中小尺度涡旋和混合的作用，经典环流理论正在面临挑战。大洋热盐环流的概念已被经向翻转流的概念代替，且翻转流的研究重点正由大西洋转向全球大洋。

由于其巨大的热容量和惯性，海洋包含地球气候系统的大部分记忆。海洋可以通过吸收大量的温室气体和热量延缓全球变暖；可以通过其翻转环流的改变而引发气候突变；也在很大程度上决定了各类自然气候振荡的时间尺度。

自然气候振荡的全球模态在年际至年代际时间尺度上由太平洋主导，而在多年代际至百年时间尺度上则由北大西洋和南大洋主导。太平洋模态相对于赤道呈对称分布，大西洋模态呈反对称分布，南大洋模态呈纬向驻波结构。

海洋的慢变及气候系统的低维特性给气候预测带来希望，但预测结果目前仍存在相当大的不确定性。尽管气候模式在过去几十年里不断更新换代，取得了长足的进展，但现有观测资料还不足以验证模式对长期气候变化的预估。

由强烈海气相互作用主导的短期气候变化有较高的可预测性。发展耦合的数据同化方法、纠正气候模式的系统性偏差、建立多尺度无缝衔接的气候预测模式、维持长期的全球海洋观测系统，是进一步提高气候预测水平的关键。

P-3

过去全球变化研究的若干新进展

郭正堂[1]，谭明[1]，程海[2]，田军[3]，翦知湣[3]，周力平[4]

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 西安交通大学全球环境变化研究院

3 同济大学海洋与地球科学学院

4 北京大学城市与环境学院

ztguo@mail.iggcas.ac.cn

30 多年来，我国科学家在国家科研管理

部门的全力支持下，积极投入全球变化及区域响应领域的研究，借助于长期探索所形成的积累和优势，取得一批具原创性的成果，在国内外学术界产生了重要影响。本报告主要在国家自然科学基金委员会“全球变化及其区域响应”重大研究计划专家组的指导下，基于已发表的文献资料，对近 10 年我国过去全球变化(PAGES)领域的若干进展进行初步的讨论和分析，以期为未来关键科学问题的凝练提供基础资料。

亚洲季风和内陆干旱环境的形成演化及其与构造变动、全球变化的关系一直是地球科学领域广泛关注的、有争议的重要问题。我国学者从上世纪 80 年代起就率先对该问题开展研究，并在近 10 年取得新的进展。其中，中新世陆相风尘堆积及南海海洋沉积序列的建立，为亚洲季风和内陆干旱环境的形成演化提供了关键证据，获得了冬、夏季风和内陆干旱环境 2000 多万年来的演化历史，揭示出青藏高原隆升等区域构造运动至少在中新世初已引起大气环流的重大变革。这些成果逐步改变了国际学术界的主流观点，并正在将相关问题的研究引向深入。

我国科学家的石笋 ^{230}Th 和纹层计数定年在轨道和千年尺度的季风时限研究上取得突破，先后在不同地区建立了高分辨率的石笋氧同位素季风记录。目前，最长的序列覆盖了最近 5 个冰期-间冰期旋回，并在空间覆盖度上逐步扩展。这些记录对研究轨道-千年尺度的季风变化动力学、南-北半球热带季风的相位关系等提供了重要证据，并被用来校正一些关键时段极地冰芯的年龄。石笋高精度的年代标尺促进了对过去气候变化与人类文明演化、冰期-间冰期旋回与地球轨道和 CO_2 浓度变化关系等的研究。

我国在古环境参数定量化重建方面取得突出进展，目前已积累了一大批陆地、湖泊和海洋的生物、物理、化学现代过程样品，建立了相关数据库及多种古环境指标的转换函数，发展了考虑植物生理过程的数值模型，有望在未来实现更加精确的古环境重建研究中发挥重要作用。我国学者针对近千年高分辨率气候记录严重缺乏的现状，根据冰芯、石笋、树轮、历史文献等方法重建了我国典型地区 2000 多年来高分辨率的温度、降水序列及季风指数序列等。一批高质量数据被世界数据中心收录，并被 IPCC-AR4 引用或集成综合。

在上世纪，我国科学家对过去全球变化理论亦有重要贡献。但与科技发达国家相比，由中国科学家提出的全球性环境变化理论或假说总体上偏少，理论性研究的自主性和独立性相对偏低。近 10 年来的研究使局面发生了显著改观。我国学者根据黄土、湖泊和海洋等记录，提出了全球冰量变化对季风有显著影响、南半球高纬气候变化控制印度洋季风轨道尺度变率、南大洋水团通过海洋过程对亚洲环境有重要影响等理论观点；提出地球轨道驱动的季风长周期变化对大洋碳储库具有重要的控制作用，从而为大洋碳同位素长周期变化提出新的解释，揭示出长尺度气候变化对短尺度事件的调制作用。这些研究丰富了过去气候环境变化的全球性理论，对国内外该领域的发展起到重要的推动作用。

P-4

南海的生物地球化学及其受气候震荡之影响

K.-K. Liu[1], Minhan Dai[2], C.-M. Tseng[3], C.-H. Sui[4], L.-W. Wang[1], K.-Y. Tseng[1]

1 Inst. Hydrol. & Oceanic Sci., Central Univ., Jungli

2 State Key Lab of Marine Environm. Sci., Xiamen University, Xiamen

3 Inst. Oceanogr., Taiwan Univ., Taipei

4 Dept. of Atm. Sci., Taiwan Univ., Taipei

kkliu@ncu.edu.tw

South China Sea (SCS), located in the middle of the Indo-Pacific warm pool, has extensive continental shelves to the northwest and south in contrast with the deep basin in the central region. The surrounding landmasses and islands make the SCS a semi-enclosed water body, which may be viewed as the Mediterranean Sea of the western Pacific Ocean. In contrast to the rather arid Mediterranean Sea, the rainfall is high in the SCS because of monsoons and typhoons. The biogeochemistry of the SCS is dynamic and potentially sensitive to climate change. Such a premise has inspired new observations and modeling work that were undertaken in recent years for the exploration of the SCS. A major source of information for this synthesis is the South-East Asia Time-series Study (SEATS). Its main purpose is to understand how physical forcing at various time scales controls biogeochemical cycles in the South China Sea. A better understanding of SCS biogeochemistry is essential for the interpretation of paleo records in the SCS, which have been systematically studied recently, and may facilitate the prediction of future changes in this regional marine ecosystem.

We have analyzed sea surface Chl-a data derived from SeaWiFS and MODIS imagery from the 1 deg x 1 deg square centered at the SEATS station and calibrated the satellite data with ship board observations. The sea surface Chl-a concentration varied mostly between 0.02 and 0.7 mg/m^3 with a mean of 0.17 mg/m^3. Over the annual cycle, the highest values occurred between late December and mid February, and the lowest values between late May and early September. The year-to-year data show significant inter-annual variation. Anomalous hydrographic and biological conditions were observed at the SEATS station in the northern SCS during recent El Niño events. The correlation between Chl-a anomaly and climate indices, such as the Multivariate ENSO Index, will be examined. The purpose is to characterize the biogeochemical responses to climate oscillation and to understand how the large scale climate processes influence the biogeochemistry of the SCS.

P-5

全球大洋岩石圈-软流圈界面(LAB)的性质和板块构造，及对中国东部岩石圈减薄机制的认识

牛耀龄 (Yaoling Niu)[1,2]

1 兰州大学地质科学与矿产资源学院

2 Department of Earth Sciences, Durham University, UK

niuyl@lzu.edu.cn

The oceanic lithosphere begins to form at ocean ridges, thickens with age, reaches its full thickness of ~ 90 km at the age of ~ 70 Ma, and maintains the same thickness independent of its further aging beneath much of the world ocean floor. The relationship, $L \propto t^{0.5}$, between the thickness (L) and age (t) of the lithosphere and the seafloor heat flow data are consistent with conductive heat loss being the primary control [1,2]. However, conductive heat loss continues, yet the lithosphere does not grow any thicker when t > 70 Ma [1-4]. Many models have been proposed to explain this puzzle [2-10],

among which small scale convection at the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) is most popular because such convection is thought to supply heat to prevent the lithosphere from thickening [8-10]. We consider this apparent puzzle may actually be a petrological problem [11-14]. Petrologists consider the LAB as a solidus [15-18], whereas geophysical models treat the LAB as an isotherm (~ 1100°C) [1-4,19,20]. For both isotherm (1100°C) and solidus to "coincide" and to explain $L \propto t^{0.5}$ for $t < 70$ Ma and $L \approx 90$ km for $t > 70$ Ma, the solidus must have a slope dT/dP ≈0 at depths < 90 km, and dP/dT ≈0 at a constant depth of ~ 90 km [18]. All these are wholly consistent with the oceanic lithosphere being defined by the stability of pargasite (amphibole): P ≤ 3 GPa (~ 90 km) and T ≤ 1100°C. That is, the LAB is a pargasite dehydration solidus of volatile-bearing mantle peridotite [18].

The lithosphere thinning beneath eastern China since the Mesozoic resulted from its basal conversion towards oceanic type seismic low velocity zone (LVZ) facilitated by basal hydration weakening [21]. The depth and its variation of the present-day LAB there is determined by the thermal balance of surface heat loss and the continued LVZ formation.

P-6

海底热液活动及其探测

周怀阳

同济大学海洋地质国家重点实验室
zhouhy@tongji.edu.cn

30 多年前在大洋板块扩张边界上海底热液活动的发现是地球科学史的一次革命性事件。有关海底热液活动及相关的各种现象的研究至今仍有力地推动着地球科学和生命科学中很多专业方向的发展。

相对于其潜在的金属资源意义而言，现代海底热液活动更多地是担当了一个研究地球历史上与海底火山作用相关的热液多金属成矿作用天然实验室的角色。通过 30 多年大量的海上调查和室内实验，特别是先后在大西洋洋中脊 TAG 热液区，东北太平洋胡安·德富卡洋中脊 Middle Valley 热液区、弧后扩张中心 Manus 盆地 PACMANUS 热液区三次大规模的大洋钻探工作，人们对海底热液循环和成矿系统、热液活动的营力和控制因素、热液活动的产物及其环境影响等方面的认识极大地促进了陆地上古代同类型矿床的研究，中止了一些无谓的成因争论，提高了相应探矿工作的效率。

随着陆地金属资源的日益匮乏，人们对现代海底热液活动形成的多金属硫化物的潜在资源价值亦愈加关注。根据《联合国海洋法公约》，在国际海底的金属资源是"全人类的共同遗产"。依据国际海底管理 2010 年 6 月通过并颁布的 《"区域"内多金属硫化物探矿和勘探规章》，我国已获得了西南印度洋洋中脊上一万平方公里的多金属硫化物资源勘探合同区。

与研究积累较多的扩张速率较快的洋中脊不同，西南印度洋洋中脊是全球约 65000 公里长的洋中脊中扩张速率最慢的洋脊之一，也是最复杂多变的洋脊之一。西南印度洋洋中脊的水深一般都比较大，大部分洋脊段基本上都是斜向扩张，具有更低的有效扩张速率；洋壳比较薄，但岩石圈比较厚，常有非岩浆成因洋脊段和岩浆成因洋脊段交替出现；火山活动频率比较低，时间比较短，位置不确定，但局部受附近热点影响明显。由于有超基性岩大量出露，西南印度洋洋中脊热液

成矿的物质不仅来源于海水（热液）与玄武岩的反应，还很有可能与超基性岩或地壳深部/上地幔有关。因此，尽管至今人们对西南印度洋洋中脊及其热液系统的认识程度还相当低，我们有理由假设，目前主要基于扩张速率较快的洋中脊及其热液系统的研究所获得的有关热液成矿作用及其特征的一系列经验和认识可能并不完全适用于西南印度洋洋中脊。

然而，在深海海底，面对不同的研究对象需要开展不同时空尺度的探测，技术上的挑战巨大。

S1-O-01

生物大灭绝与古温度巨变

戎嘉余

现代古生物学和地层学国家重点实验室，中科院南京地质古生物研究所

jyrong@nigpas.ac.cn

地史时期生物大规模灭绝是生命演化过程中最重大的集群事件之一。它以历时短（数十万年至百万余年）、涉及全球、多门类、大批分类单元消亡为特征。它加速和催化优势类群的更替，打破了旧有生态系统，致生物演化轨迹发生变更。由于大灭绝事件的差异性和复杂性，解释和揭示它的整体过程、型式及机理，吸引了无数学者的参与，但其研究难度，特别是探索其环境背景并不容易，自上世纪 70-80 年代以来，它已成为全球科学界研究最活跃、讨论最热烈、至今经久不衰的学术主题之一。

大灭绝源于短期全球大灾变环境。发生在白垩纪末、三叠纪末、二叠纪末、晚泥盆世和奥陶纪末的生物灭绝被多数学者认为是显生宙五大灭绝事件，其主因包括：1）天外来客撞击地球（如白垩纪末大灭绝），2）大火成岩区（如大规模火山活动），3）全球气候剧变，4）海洋环境巨变（海面升降、甲烷释放、缺氧、酸化、有毒水体）。奥陶纪末和泥盆纪晚期（F/F）的两大灭绝均与短期气候变凉有关，尤其是奥陶纪末，南方冈瓦那大陆冰盖形成、全球海面快速下降、水温在短期内下降约 5º-8ºC（碳同位素强烈正漂移），3/4 的海洋生物（物种）灭绝，在五大事件中占据第二位。二叠纪末大灭绝是灭绝量值最大、最惨烈的一次，海洋与陆地生态系都受到重创，除大规模火山喷发外，全球温度在 20 万年里升高约 10ºC（碳同位素强烈负漂移），海洋中 95%、陆地上 80%的生物永远消失，生态系几乎毁灭。

气候的变冷或变暖对生物界至关重要，但并不一定意味着会发生灭绝。氧同位素研究表明，寒武纪末到奥陶纪早期全球海水温度超过 40ºC，随后 1-2 千万年里降温约 10ºC，恰有利于无脊椎动物大分化（即奥陶纪大辐射）。新生代早期 PETM 极热事件短期内升高 5º-6ºC，或灭绝（底栖有孔虫）、辐射（哺乳动物），或少变化（浮游有孔虫）。变冷或变暖似是表面现象，关键在于温度变化幅度、变化历程长短和原先温度基础。45 亿年前地球海水温度可能逾 100ºC，无生命迹象。35-38 亿年前海水表温降到 70º-80ºC，盐度仍高。8 亿年前温度降至 20ºC，6.3-7.3 亿年间发生“雪球事件”最低降至-50ºC；当 6.2-5.4 亿年前回升至 35-40ºC 时，多细胞生物始得辐射演化。显生宙的气候变化也反复无常，伴随温度和其他许多因素的变化，生物或繁盛、或消亡，直至今日。但地球无论再热（远低于金星温度）或再冷（远高于火星温度）都有一个度，都在一定范围内变化，从未致生命全部消亡。

地史资料表明，大灭绝是由很多因素相互关联、耦合发生的结果。在众多因素中，全球温度短期内的巨变显得至为关键，因为

它严重影响了生物生理机能的适应和生殖延续。温度变化由什么引发还是未知数。若环境恶化（含温度）超过生存忍耐极限，物种必亡；超过大批物种生存临界时，大灭绝不可避免。中国发育连续地层序列和丰富化石材料，加强地层古生物学与地质学其他领域、地球化学和生物学的交叉，加强海、陆古温度的研究，让它在探索大灭绝原因时发挥作用。物种对环境的适应度和忍耐度（如系统发育、生理、免疫、生殖、预适应、居群规模与分布、形态结构、基因变异、异时发育等）是内因，也需深入探索。

人类遭遇“第六次大灭绝”一说已广为传播。毋庸置疑，地球环境由于人类的破坏已变得相当严酷，确实需要大张旗鼓地呼吁环境保护。但当今与史前在时间和分类尺度、生物多样性和组群、全球环境特征、地球和生态系统等差异太大，不宜直接拷贝。即使说已进入大灭绝期，只见其始、不见其中和其尾，没有经历怎能先下断语？况且，对于全球气候变暖，还很难预料其趋势和走向，很难区分自然与人为因素所致后果，也就很难确定它是否导致生物大灭绝。因此，宜科学地如实告知民众真情实况，需慎提上述说法。

S1-O-02

元古代海洋化学与生命的协同演化

李超[1]，Gordon D. Love[2]，
Timothy W. Lyons[2]， 储雪蕾[3]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室

2 Department of Earth Sciences, University of California, Riverside, CA 92521, USA

3 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室

ucrchaoli@gmail.com

越来越多的研究表明地球上的生命演化，特别是真核生物和早期动物的演化与地球海洋的氧化还原状态密切相关。与早期大气的氧化相比，人们对早期地球深部海洋的化学演化存在很大的争议。传统的海洋化学模型认为，由于大气的逐步氧化，太古代和古元古代铁化的（即缺氧且含游离 Fe^{2+}）深部海洋在大约 18 亿年前就已经彻底氧化。然而，Canfield（1998）基于全球硫化物与硫酸盐硫同位素演化模式则提出了完全不同的“Canfield 海洋”模型，认为早期地球深部海洋的缺氧至少持续到寒武纪初期（~540Ma），太古代和古元古代铁化的深部海洋在 18 亿年前并未氧化，而是硫化（即缺氧且含游离 H_2S）。在此基础上，Anbar 和 Knoll（2002）提出了著名的生物无机桥假说（Bioinorganic bridge），认为中元古代广泛存在的缺氧硫化水体极大地限制了海洋生物固氮元素 Fe、Mo、Co 等的浓度，从而限制了海洋真核生物的演化。

近来，Li et al.（2010）根据华南新元古代南华盆地陡山沱组铁组分、硫同位素和微量元素数据在不同沉积相中的时空差异，提出了新的具有三维差异和动态维持为特征的“三明治”型古海洋化学结构模型。该模型指出，在新元古代埃迪卡拉纪，在海洋表层氧化的水体之下、深部铁化水体之上，存在着一个由细菌硫酸盐还原作用和黄铁矿沉淀作用共同动态维持的从陆缘向远海楔状展布的硫化物带。该动态共存模型随后被国际学者在全球范围内和不同时代地层进行了验证和发展，并发现该模型可能适用于从晚太古代至寒武纪初期长达 22 亿年的前寒武纪海洋。由此，“三明治”型古海洋化学结构模型的提出构成了对目前占主导地位 Canfield 海洋模型的挑战，即地球的深部海洋可能从来就没有完全硫化过，其硫化部分可能仅局限

于陆地边缘近海或局限盆地。这一模型解决了地球早期特别是新元古代多细胞真核生物辐射、早期动物诞生与地球化学记录的缺氧硫化之间的矛盾，也解决了 Canfield 海洋模型与系统基因学揭示的元古代生物酶增加使用 Fe、Mo、Co 等氧化还原敏感元素之间的矛盾。更为重要的是，这个古海洋化学结构模型指出，中元古代硫化的深部海洋可能根本不存在，其对海洋 Fe、Mo、Co 等生物固氮元素浓度的限制完全与区域硫化楔的发展程度有关。这样，基于 Canfield 海洋模型建立起来的元古代海洋化学与真核生命之间的协同演化关系需要重新评估。这一评估暗示中新元古代可能存在演化“超前”的真核生物（群）。

S1-O-03

冰雪地球形成和融化机制的模拟研究

胡永云，杨军

北京大学物理学院大气与海洋科学系

yyhu@pku.edu.cn

7 亿年前的冰雪地球（Snowball Earth）事件是过去 10 多年来古气候研究的一个热点。根据冰雪地球的假说，冰雪地球的形成是因为风化反应导致大气 CO2 含量降低，温室效应减弱；而冰雪地球的融化是由于火山喷发的 CO2 在大气中长期积累，造成温室效应极强。整个假说是基于地质和地磁的证据，这些证据显示，在大约 7 亿年前，位于热带的超级大陆裂解，风化反应加强，从而形成冰雪地球；而一旦陆地表面岩石被冰雪覆盖，风化反应被切断，火山喷发的 CO2 得以在大气中积累到足够高的浓度，形成极强的温室效应。虽然当时地球是否完全被冰封还存在很大的争议，但学术界一直认为，7 亿年前地球确实经历了数次全球性的冰川事件。

为了验证冰雪地球形成和融化和机制，我们使用海气耦合气候模式进行了大量的数值模拟。我们的模拟结果表明，只有当大气中 CO2 含量降低到 20 ppmv 以下，完全冰封的冰雪地球（hard Snowball Earth）才有可能形成。如此低的大气 CO2 含量意味着形成全球性冰封的冰雪地球是相当困难的。假定完全冰封的冰雪地球确实存在，我们的模拟结果表明，其融化需要大约 0.4 个大气压的 CO2，假定 CO2 的累积速率与现在一样，累积 0.4 个大气压的 CO2 需要数千万年到上亿年的积集。这意味着融化完全冰封的冰雪地球是相当困难的。总体来讲，我们的模拟结果并不支持完全冰封的冰雪地球，更支持热带有开放海洋的全球性冰川。在这项研究中，我们也对气候系统中的各项反馈机制进行了研究。

S1-O-04

海底热液区生命起源

王伟

哈尔滨工业大学基础与交叉研究院

chnweiwang@gmail.com

1977 年，美国 Alvin 号载人深潜器在位于东太平洋加拉帕格斯群岛附近 2.5 千米深处的洋中脊首次发现海底热液喷口。在这些活动的黑烟囱周围，存在大量活体生物，主要是以嗜热细菌为基础生命力的食物链和生物群落。鉴于这些生命形式完全独立于陆地和浅海生物群落，在首例海底热液喷口的发现后不久，生命的海底烟囱起源假说就被提出并旋即为众多研究生命起源的学者们所接受。这些学者认为，在原始海洋底部存在类似于今天的海底渗流，其喷出的热液中含有大量 H_2、NH_3、H_2S、HCN、CH_4 等简单分子和 Fe、Zn、Cu、Ni 等过渡族金属元素及其硫化物；同时，由于海水静水压的存在，

喷口处压力高达数百个大气压。

当高温高压热液和冷的海水发生混合时，硫化物快速沉积并形成具有渗透性的烟囱壁；在上述水热环境中，硫化物矿物表面会诱导一系列生物小分子的前生物合成，为早期生命的诞生提供物质基础。

除海底热液区呈现大量活体生物外，生命起源的海底烟囱假说还存在以下地质学、古生物学和分子生物学论据：1）地球生命出现于约 33-38 亿年前。彼时来自星际空间的超大陨石频繁光顾地球，这些撞击事件足以毁灭任何生物分子和有机体。而热液区生命处在海水深处，可以避开这些灾害。2）海底烟囱矿物表面可吸附和富集生物分子，防止后者自由扩散而导致反应几率的降低。独特的矿物晶体结构可以定向吸附有机分子并降低其反应活化能，有利于反应朝着生物进化的方向进行。3）地球生物 16srRNA 的分析比较表明，古菌是地球上最古老的生命形式；而海底热液区生物链中的微生物多属于化能自养古菌，因此原始生命可能诞生于此。4）2000 年，Rasmussen 在澳大利亚 Pilba 克拉通的深海火山块状硫化物中发现了 32 亿年前的丝状体微生物化石。5）现有生物体内都存在一类包含 Fe-S 或 Fe-Ni-S 簇活性位点的酶，其活性中心的结构与海底烟囱中的硫复铁矿极其相似，因此这些金属酶被认为是在海底烟囱处由肽链包合硫铁矿演化而来。

以上陈述表明，地球生命可能诞生于海底烟囱附近，是海底特殊地质环境与

生命化学协同演化的结果；生物体内的一些生物化学过程可能源自海底热液区的地球化学反应模型。这些假设对于揭示地球生命形成的早期进化过程以及探讨地球生命的本质具有重要的启示作用。

S1-O-05

古－中生代之交海洋生产力下降或者缺氧——来自华南深水相腕足类的证据

何卫红*，张阳，张克信，吴顺宝，杨廷禄，乐明亮

中国地质大学（武汉）

*whzhang@cug.edu.cn

古-中生代之交的生物灭绝是显生宙以来规模最大的一次生物灭绝事件（殷鸿福等，1984；Sepkoski, 1981; Erwin, 1994）。这次绝灭事件使腕足类在华南长兴期的种级绝灭率大于 90%（杨遵仪等，1987；Shen and Shi, 1996）。关于二叠、三叠纪海相无脊椎动物分类学方面的研究，已有不少专著纷纷问世（如 Chao, 1927, 1928; Huang 1932, 1933; Yin, 1982; Xu and Grant 1994；Shen and Shi 2007；Fang et al. 2009; 王钰等，1964；赵金科，1965；金玉玕等，1974；张仁杰，1977；赵金科等，1978，1981；侯鸿飞等，1979；廖卓庭，1980, 1987；杨德骊等，1984；李子舜等，1989；杨遵仪等，1987, 1993；曾勇等，1995）。这些专著对海相无脊椎动物的研究主要集中于浅水灰岩相。对深水相无脊椎动物的研究相对较少，主要发生在 20 世纪 70-80 年代和最近几年（廖卓庭，1979, 1984, He et al. 2005, 2007a, 2008, 2011, 2012, Chen Z.Q. et al. 2006, 2009 ; Feng et al., 2007; Luo et al., 2008; Chen J. et al., 2011)。

本研究通过对中国南方二叠－三叠系界线附近多条深水相剖面的海相无脊椎动物（主要是放射虫和腕足类）的研究，发现该动物群有如下特点：（1）动物群属级（甚至种级）分异度低，以浮游生物放射虫、游泳生物头足类、个体小-壳体薄的腕足类和双壳类以及少量有孔虫为特征。（2）放射虫非常

丰富，除了富产球形放射虫 Entactinaria 和 Spumullaria 以外，深水分子 Albaillellaria 或者 Latentifistularia 也十分丰富。（3）腕足类在分类学组成方面，以 Chonetidina 和 chonetid-like Productidina 为主，占种的数量的 50%，其次为 Spiriferida (14%), non-chonetidines Productida (10%), Athyridida (10%)，Orthida （8%）, Orthotetida（4%）, Rhynchonellida （2%）and Lingulida （2%）。腕足类在形态学方面，以个体小（壳宽普遍小于 1cm）、壳体薄、后缘刺发育和壳体内部瘤突发育（如 Chonetidina 和 chonetid-like Productidina）为特征。

长兴期放射虫动物群的属种组成及其时空分布规律、以及放射虫的古生态研究表明，晚二叠世长兴期发生过 2 次放射虫丰度和分异度明显升高的事件，基本对应于华南长兴期的 2 次海侵事件（“海平面变化规律”见殷洪福等，1995；张克信等，1996）；从扬子台地内部向台地边缘（北缘和南缘），放射虫丰度和分异度明显升高，表明台地边缘水体深度大于台地内部；并且扬子南缘水体深度大于扬子北缘水体深度。“扬子南缘水深大于北缘”这一研究结果得到了同期其他海洋无脊椎动物（如腕足类、介形虫）相关数据的支持（He et al., 2005; Yuan et al., 2007）。在黔桂海盆长兴期的地层中，存在凉水分子（*Costatumulus*, *Attenuatella* 等）的混入现象 (He et al., 2005, 2007a)，由此形成了黔桂盆地有特色的腕足动物群。在广西西南部，凉水分子在个体数量上占动物群的 50%以上；并且，在该动物群新出现的属 *Dongpanoproductus* 最近在马来西亚长兴期的地层中发现（Sone et al., 2011）。二叠纪末，这些凉水分子仅在扬子南缘分布，暗示扬子南缘水体深度较大、水温较凉。

长兴期腕足动物群以个体小、壳体薄、后缘刺发育和壳体内部瘤突发育等为特征。这些特点反映该动物群以节省资源（如食物或氧气）或者具有相对高效的滤食功能，指示该动物群生活的水体中食物或氧气相对贫乏。华南二叠－三叠系界线附近，以“混生腕足动物群 Mixed Fauna（廖卓庭，1979）”（被 Chen and McNamara, 2006 改名为“幸存的腕足动物群 Survival Fauna）的发育为特征。该动物群与深水腕足类在分类学组成、壳体形态、壳饰和内部结构等方面存在很多相似之处，表明二叠-三叠纪之交的环境与长兴期深水环境（营养不足或者贫氧）或多或少存在相似之处(He et al., 2012)。因此，二叠－三叠纪之交生物灭绝高峰期的腕足动物群与长兴期深水相腕足类的相似性进一步暗示：生产力(可被无脊椎动物当做食物利用的部分)下降或者水体中溶解氧含量较低是生物大灭绝的重要原因之一。此外，二叠纪末至三叠纪初，多门类海洋无脊椎动物（腕足类、海绵动物、牙形石和有孔虫）具有小型化的趋势，同样指示二叠纪末至三叠纪初海洋缺氧或者生产力下降（Luo et al., 2008; He et al., 2007, 2010）。

S1-O-06

石炭－二叠纪大冰期在华南的沉积和生物响应

王向东

中国科学院南京地质古生物研究所

xdwang@nigpas.ac.cn

The sedimentary successions and four fossil groups from the Carboniferous and Lower Permian of South China have been studied in order to reveal the sedimentary characteristics and evolutionary pattern of main biological groups in East-Tethyan Region during the Late Palaeozoic Ice Age. The Lower

Carboniferous lithology of South China is diverse, ranging from basinal and shelf carbonate rocks to coal measures and continental clastics, while the Upper Carboniferous and Lower Permian are composed mostly of shallow-marine carbonates. In South China, Five major regression events are recognized separately at the topmost Devonian, middle and upper Tournaisian boundary, Tournasian/Visean boundary, uppermost Visean, and the Mid-Carboniferous boundary from latest Devonian to Early Carboniferous, marked by occurrences of sedimentary hiatus, clastic flux or widely distributed dolostone. The Upper Carboniferous and Lower Permian shallow-water carbonate rocks consist of remarkable, high frequency cyclothems. At the Sakmarian- Artinskian boundary, another major sea-level fall is recognized and characterized by extensive sedimentary hiatus throughout South China. All the sedimentary basins of South China were formed in extensional tectonic settings during this time, thus, multiple regressive events that occurred throughout South China should be primarily induced by glacio-eustatic drawdown. In addition, two biotic events characterized by remarkable decline in the diversity of benthic biota and a turnover in the composition of fossil assemblages occurred respectively at the Mid-Carboniferous and Sakmarian-Artinskian boundaries, consistent with two major regressions, and were probably caused by the glaciations in Gondwana.

S1-O-07

天文校准二叠纪末期生物大灭绝的时间——海相旋回序列全球对比的证据

黄春菊

中国地质大学武汉 资源学院海洋系

hcjcathy@yahoo.com.cn

二叠纪末期的生物灭绝是地球地质历史上最严重的生物大灭绝，到目前为止，是什么原因造成了这次大灭绝仍然是一个不解之迷。要想合理解释生物演化和生物大灭绝的可能原因，高分辨率的地质年代表是至关重要的，因为我们只有知道了生物大灭绝的持续时间，才能推测生物大灭绝的可能触发机制与成因机理。通过研究中国四川的上寺剖面的高分辨率的磁化率数据，得出二叠和三叠纪界线（PTB）附近的海相沉积记录是受地球轨道旋回控制的。放射性同位素测定的绝对年龄结合天文旋回调谐的磁化率序列所获得的“浮动”天文年代标尺可以给我们提供一个晚二叠到早三叠纪转换段的高分辨率的绝对地质年代表。从这段磁化率的时间序列可以看出，偏心率旋回在 PTB 转换段的沉积记录中占主导地位，而且在晚二叠纪时期和在早三叠纪初期的天文控制参数发生变化，并且长短周期天文旋回的最小值在PTB大灭绝的之前重叠。这个磁化率曲线所记录的天文旋回周期的变化指示了在PTB大灭绝的前后天文旋回控制的沉积环境／气候变化的响应，这说明，在 PTB 大灭绝之前，气候已经发生变化。

通过与全球其它 6 个剖面的对比，发现二叠纪末期的生物大灭绝段都有 6－7 个旋回组成，这些旋回到底是偏心率旋回，还是轨道斜率旋回（obliquity）或者是岁差旋回（precession）呢？这就需要我们通过同位素

测年的数据来验证。随着同位素测年技术的不断提高，测得的同位素年龄的精度也在不断提高，误差不断缩小，这为我们对天文旋回和同位素测年数据的相互校正提供了可能。利用最新的 U-Pb 同位素测年数据综合天文调谐获得的时间序列，推测出 PTB 大灭绝段的这 6－7 个旋回很可能是斜率旋回或岁差旋回，但仍然不能排除是偏心率旋回的可能，希望将来能采集更多的更长的高分辨率磁化率数据或碳氧同位素数据，同时测得更多的高精度的 U-Pb 年龄的控制点，通过两者的相互校正，获得精准的 PTB 大灭绝所持续的时间，从而推测出 PTB 大灭绝是否由如天文因素控制的气候变化，海平面下降，火山爆发，外来星球的撞击等单一因素造成的，还是多因素的综合效应结果，是一个长期过程，还是一次突发事件造成的。

S1-O-08S

$\delta^{13}C_{carb}$-深度梯度的剧增与二叠纪末生物大灭绝

宋海军*、童金南、熊炎林、孙冬英、田力、宋虎跃

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室

* haijun.song@yahoo.com.cn

二叠纪末的大灭绝是显生宙最大的一次生物集群灭绝事件，导致 90%以上的海洋生物从地球上消失，与此同时长期稳定的无机碳同位素也突然出现巨大的负偏。该灭绝事件与碳同位素负偏在时间上的一致性使得碳同位素成为二叠纪－三叠纪之交研究的热点话题。关于二叠纪末碳同位素负偏以及早三叠世碳同位素剧烈波动的原因目前仍然没有得到统一的认识，主要解释包括：1）二叠纪末的大灭绝造成生物量大幅度降低，从而导致大灭绝前后海洋碳循环体系发生变化；2）海底甲烷水合物的释放；3）透光带缺氧；4）西伯利亚火山喷发，以及由此引发的大量的 CO_2 的释放和富含有机质的沉积物发生热变质作用；5）多重地质事件的叠加。为了探讨二叠纪末碳同位素负偏以及早三叠世碳同位素剧烈波动的原因，我们研究了华南扬子区三个不同水深的二叠系-三叠系界线地层剖面：江西沿沟剖面、浙江煤山剖面和四川上寺剖面。

在现代海洋中海水溶解无机碳的碳同位素（$\delta^{13}C_{DIC}$）-深度梯度曲线与海水溶解氧（DO）-深度曲线趋势呈现出极好的正相关性，而与 CO_2 浓度-深度曲线负相关，这种现象无论是在正常的开阔海洋中[34]，还是在停滞的缺氧海洋中[35]都同样存在。地质历史时期的海洋海水地球化学特征，特别是各种化学指标随海水深度变化规律不能直接测定。因此可以通过不同水深的地质剖面碳酸盐岩 $\delta^{13}C_{carb}$ 来探讨地质历史时期海洋海水地球化学特征，特别是可以根据 $\delta^{13}C_{carb}$-深度梯度来探讨古海水化学特征随深度变化的规律。本文根据三条不同水深的二叠系－三叠系界线地层剖面（沿沟、煤山和上寺剖面）来探讨二叠纪－三叠纪之交古特提斯洋海水地球化学特征。

根据良好的牙形石生物地层资料，我们将沿沟、煤山和上寺剖面碳同位素曲线进了精确对比。对比结果表明二叠系－三叠系界线附近地层中碳同位素变化趋势在三条剖面上呈现出惊人的一致性，在二叠系－三叠系界线上下各有一次明显的碳同位素负偏。沿沟剖面长兴组上部碳同位素基本处于较高的正值，并且显示出相对稳定和缓慢降低两个阶段。煤山剖面从第 19 层到第 22 层具有相对平稳、较高的碳同位素值，而在 23 层到 24 层则呈现出缓慢降低的过程。同样的现象也发生在上寺剖面。而在二叠纪末生物大灭绝界线之上，沿沟剖面大冶组底部碳同位素

整体呈现出先升高后降低的趋势，最高点位于 *Hindeodus parvus* 带的中上部。同样地，煤山和上寺剖面在大灭绝界线之上碳同位素也呈现出先升高后降低的演化趋势。稍有不同的是，煤山和上寺剖面 $\delta^{13}C_{carb}$ 最高点在 *Hindeodus parvus* 带的下部，这可能是浅水相剖面沉积速率的不稳定性造成的。

在二叠纪末生物大灭绝界线处，三个剖面之间出现巨大的碳同位素梯度，反映了古特提斯洋海水化学结构在该时期发生了巨大的变化。$\delta^{13}C_{carb}$-深度梯度的演变以及古生物和地球化学方面的证据表明晚二叠世-早三叠世古特提斯洋主要存在 4 种类型海水化学状态，分别是 1）长兴期早、中期正常环境下三明治结构，也就是上下两层富氧层，中间为贫氧层；2）长兴期晚期贫氧层氧含量进一步减少，范围扩张；3）长兴期末期和早三叠世下层海水缺氧硫化，氧化还原界面上移到透光带内；4）二叠系-三叠系界线处和早三叠世下层海水缺氧硫化，氧化还原界面下移到透光带之下。

巨大的 $\delta^{13}C_{carb}$-深度梯度与二叠纪末生物大灭绝[2]、蓝细菌和微生物岩的繁盛、大规模的火山活动，陆地风化速度的激增在时间上的一致性表明大规模的火山活动以及与其共生的大气 CO_2 的增加、酸雨、森林大火可能导致陆地风化速度的激增与陆地生物的灭绝，同时风化作用的产物将加剧近岸海域富营养化，为蓝细菌的繁盛提供了营养物质，而强大的生物泵作用和全球变暖所导致的洋流循环的减弱或停滞将导致海洋分层、缺氧，最终导致海洋生物大灭绝和巨大的 $\delta^{13}C_{carb}$-深度梯度。

S1-O-09

二叠纪末生物大灭绝：速度、幅度和环境背景

沈树忠

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

szshen@nigpas.ac.cn

二叠纪末生物大灭绝是地质历史时期最大的一次生物灭绝事件，造成当时 95%左右海洋生物和大约 75%的陆地生物灭绝，这次生物灭绝事件长期以来被认为长期环境恶化的结果。然而，最新的研究表明尽管地球当时环境在中二叠世中期地磁场频繁变化和峨眉山玄武岩大规模喷发时就已经开始，但地球生物多样性真正急剧下降发生在二叠-三叠纪之交的 20 万年以内，这次大灭绝造成当时古生代海洋动物群中包括四射珊瑚、蜓、三叶虫在内的大量底栖生物和陆地生物瞬间消亡，只有少量分子残存很短时间并迅速消亡，大灭绝层位及其之后全球范围内微生物岩广泛发育，生物群的群落结构发生显著变化，以单调高丰度的生物群落为主。与此同时发生的有碳、锶、硫、氧等多种同位素快速异常，指示二叠纪末全球范围内温度快速上升，海水缺氧、酸化，二叠纪最末期大规模温室气体释放造成全球快速变暖是造成这次生物圈灾难的主要原因。

S1-O-10

松辽盆地晚白垩世生物序列与环境演变

万晓樵，王璞珺，邓成龙，贺怀宇，席党鹏

中国地质大学（北京）

wanxq@cugb.edu.cn

东北地区发育以松辽盆地为主的大型白垩纪沉积盆地，保存有丰富的多门类化石，是我国陆相晚白垩世生物与环境演变研究的理想地区。作者基于松科 1 井连续岩心记录，结合地表和其它岩心资料，开展岩石地层、生物地层、SIMS 锆石 U-Pb 测年、磁性地层

和天文年代标尺的研究，完善了白垩世生物地层和年代地层序列，恢复了松辽湖泊的演变。松科 1 井可识别 21 个介形类、10 个浮游植物、7 个孢粉和 7 个轮藻化石组合。此外，首次在嫩江组一、二段发现有孔虫化石组合。重要的是其中含有浮游有孔虫 *Archaeoglobigerina blowi, Archaeoglobigerina cretacea, Hedbergella flandrini*。其时代为 Santonian 晚期。

采用 SIMS 锆石 U-Pb 定年，从青山口组下-中部获得 91.4 Ma、90.4 Ma 和 88.3 Ma，从嫩江组下部获得 83.7 Ma 年龄。将地磁极性倒转界线年龄作为岩石地层划分的界线年龄，然后通过线性内插或者外推获得相邻岩石地层单元的界线年龄。结果显示，泉头组与青山口组界线的年龄为 91.4 Ma，姚家组底界年龄为 86.1 Ma，嫩江祖底界年龄 84.3 Ma，四方台组底界年龄 79.1 Ma，明水组底界年龄为 72.2 Ma。归纳生物地层学、年代地层学、磁性地层学和事件地层学研究结果，认为泉头组大体相当于 Cenomanian－Turonian 早期，青山口组相当于 Turonian－Coniacian 早期，姚家组对应于 Coniacian 晚期－Santonian 中期，嫩江组对应于 Santonian 晚期－Campanian 中期，四方台组限于 Campanian 中－晚期，明水组相当于 Campanian 末期－Maastrichtian 期。磁性地层、轮藻和孢粉化石记录显示松辽盆地明水组二段上部可能存在白垩纪/古近纪界线。

综合藻类、介形类和有孔虫的古生态特征，可以推测，在青山口组一段、嫩江组一段至二段下部沉积期松辽古湖泊的盐度较高，代表湖水的咸化阶段。本研究推测海侵可能是嫩江组一段和二段下部湖水咸化的主要原因。青山口组一段的咸化事件可能由蒸发作用或者海水侵入所导致。根据藻类化石和介形类壳体的微量元素，可见青山口组三段可能还有一次湖水的咸化作用，其与蒸发作用增强，湖水体积的萎缩有着某种联系。

本次工作利用湖相介形类壳体为材料进行氧碳稳定同位素测试，得出了晚白垩世的连续曲线。同时还完成了介形类壳体元素地球化学的测试。根据碳氧稳定同位素的演化特征，识别 7 个阶段。青山口组、嫩江组下部碳氧同位素具有良好的相关性，表明其古水文条件以封闭为主。而姚家组的碳氧同位素相关性相对不明显，表明其古水文条件可能以开放为主。古水文开放浅湖沉积介形类壳体氧同位素表现了松辽湖泊温度变化趋势。该介形类壳体氧同位素主要受表层水体温度和注入水体同位素组分的影响。考虑到整个集水盆地岩性变化不大，对流经水体氧同位素变化影响可以忽略不计。总体看，白垩纪湖盆处于温室气候环境，气温较高，当表层水体温度高于 15℃时，温度变化对降水同位素组分的影响较弱，可以近似地把该介形类壳体氧同位素组分的变化看作表层水体温度的函数。壳体氧同位素平均值由下至上总体显示正向偏移的趋势，可能为湖泊水温总体下降的记录。期间存在温度波动。综合氧同位素和 Mg/Ca、Sr/Ca 值的变化特征，显示青山口组二段顶部有一次降温事件，姚家组二段气温再略有下降，而在三段可能存在较大幅度的升温。松辽古湖泊与全球温度变化，既有一致性，也有差异性。

S1-O-11S

松辽盆地大陆科学钻探(松科 1 井）晚白垩世明水组中部粘土矿物特征及其对物源和古气候的指示意义

高远 [1,2]，王成善 [1,2]，赵斌 [1,2]，张晓芳 [1,2]

1 中国地质大学（北京）生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质大学（北京）青藏高原地质研究中心
gaoyuan1801@126.com

松辽盆地大陆科学钻探（松科 1 井）在国际上首次获取晚白垩世 2500 米连续的陆相沉积记录。在精细年代地层格架的基础上，综合应用多种古气候替代性指标开展对比研究，将有望重建东亚地区晚白垩世陆地古气候演变。粘土矿物对于恢复沉积盆地的古气候-古环境、追索物源区和研究成岩作用历史具有重要作用。本研究对松科 1 井明水组中部（晚坎潘期到早马斯特里赫特期）60 米岩心剖面开展粘土矿物分析，探讨其对古气候和物源区的指示意义。该岩心剖面的粘土矿物主要以蒙脱石（70%-100%）和伊利石（5%-89%）为主，仅在个别层位发现少量高岭石和绿泥石（<10%）。剖面下部的滨浅湖相粉砂岩-粉砂质泥岩中粘土矿物以蒙脱石为主（90%-100%），具有碎屑粘土的特征，松辽盆地东部小兴安岭-张广才岭一带 70Ma 火山物质很可能为蒙脱石提供物源。剖面上部的河道相细砂岩-粉砂岩中粘土矿物也以蒙脱石为主（90%-100%），具有自生粘土的特征，可能是早期成岩作用阶段在偏碱性、富镁离子和亚铁离子的孔隙水中形成。剖面上部的河漫滩相粉砂质泥岩-泥岩中粘土矿物以伊利石为主（61-89%），具有碎屑粘土的特征，可能来自近源花岗质岩石的风化剥蚀，或者可能代表了短期的气候变冷事件。研究表明，松科 1 井明水组中部粘土矿物特征明显受物源区变化的影响，并可能保存了古气候演变的信息。

S1-O-12

白垩纪松辽盆地青山口组一段海侵事件:来自黄铁矿形态学与硫同位素证据

黄永建，王平康，顾健，王成善

中国地质大学北京地球科学与资源学院
huangyj@cugb.edu.cn

白垩纪青山口组沉积时期是松辽盆地首次最大湖侵期。该组主要由深湖相黑色泥岩-页岩组成，是大庆油田最重要的烃源岩之一。青山口组一段（K_2qn^1）沉积期间的海侵事件以及当时古湖水性质研究，一直以来都是松辽盆地的研究热点。“松科 1 井”的实施获得了连续的高分辨率沉积记录，为高分辨率的古环境、古气候重建提供了理想的研究材料。本文利用反光显微镜和扫描电镜（SEM），对青一段黄铁矿形态学开展了相关研究。发现青一段泥岩中存在二种基本的黄铁矿形态，即莓球和自形晶，以及由这两种形态衍生而来的集合体形态。通过对莓球黄铁矿大小的统计，发现从松科 1 井 1782-1770m，底层水体为含氧-贫氧状态；底层水体在 1770-1752m 呈静滞-缺氧状态；从 1752-1702m 底层水体呈含氧-贫氧状态。；并在此基础上考察了黄铁矿硫同位素特征。通过对青山口组一段黄铁矿硫同位素组成的研究，发现青一段黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值普遍偏正，变化范围为 14.4～24.06‰，平均值为 18.48‰，与同时期海水硫酸盐同位素比值非常接近，推断在青一段沉积期间，由于海水的部分进入，使得黄铁矿硫同位素具有同时期海洋的特点。从黄铁矿硫同位素特征分析，湖水中硫酸盐浓度并不高，当时海水进入程度有限。

S1-O-13

西藏新特提斯白垩纪一古近纪古地理与古环境演变

胡修棉及其课题组

南京大学地球科学与工程学院
huxm@nju.edu.cn

西藏新特提斯洋的演化过程一直是国内外学者的热点关注问题。前人在地层学、古

生物学、沉积学、构造地质学等方面取得了许多研究成果。但是，一直缺乏系统的沉积环境、沉积盆地和古地理学的研究，更缺乏区域上的对比研究。近年来，我们对新特提斯的白垩纪－古近纪地层记录进行了系统的沉积环境、物源区分析等研究工作，在此基础上试图恢复该时期西藏新特提斯的古地理和古环境演变。

藏南白垩纪－古近纪沉积盆地大体可以划分为：定日－岗巴盆地、萨嘎－江孜盆地和仲巴－日喀则盆地。本报告将在分时代论述这三个沉积盆地的沉积环境；结合物源区分析、构造沉降分析等，探讨藏南沉积盆地的原型盆地性质。在此基础上，恢复区域古地理和古环境的演变过程。重点探讨印度-亚洲大陆初始碰撞前后，印度和亚洲大陆边缘的沉积盆地性质的转变、古地理和古环境的变化过程。

S1-O-14S

日喀则弧前盆地冷泉碳酸盐岩的发现及其流体来源

佟宏鹏[1,2]，陈多福[1]

1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室

2 中国科学院研究生院

tonghongpeng@gig.ac.cn

冷泉碳酸盐岩广泛发育于大陆边缘海底，它是冷泉活动最显著的特征之一，也是古代冷泉活动保存的主要形式。古代冷泉碳酸盐岩的识别主要基于碳酸盐矿物显著贫 ^{13}C 的碳同位素组成、特殊沉积组构（如凝块、团块构造和草莓状黄铁矿）、高丰度低多样性的化学能自养生物化石和贫 ^{13}C 的特殊生物标志化合物等。自从Campbell和Bottjer（1993）提出寻找古冷泉计划以来，越来越多的古代冷泉活动遗迹被发现和研究。目前，几乎在全球各大洲泥盆纪到第四纪地层中均发现了代表古冷泉活动的冷泉碳酸盐岩和/或冷泉生物化石。但是，在我国大陆境内相关报道却非常稀少，本文报道了西藏日喀则晚白垩世弧前盆地深水浊流沉积地层中发现指示冷泉渗漏活动的自生碳酸盐岩结核。

日喀则碳酸盐岩结核呈致密块状和纹层状发育于晚白垩世日喀则弧前盆地昂仁组浊流沉积泥岩地层中，野外露头可见 4 层大致相互平行的碳酸盐岩结核层，断续延伸数米。碳酸盐岩主要由自生碳酸盐矿物（平均约为56.2%，包括低镁方解石和高镁方解石），碎屑石英和长石（约 27.3%），以及粘土矿物（约 16.5%）组成。岩石显微结构上发育有与微生物作用有关的泥微晶凝块、团块及草莓状黄铁矿，反映了以微生物为媒介的甲烷厌氧氧化及硫酸盐还原作用。

日喀则碳酸盐岩结核的碳同位素具有极负的 $\delta^{13}C$ 值，-27.7‰~-4.0‰（V-PDB），反映冷泉渗漏烃类经微生物氧化来源的碳。无油污或沥青残留，不发育沥青包裹体说明日喀则冷泉渗漏烃类不含有石油等重烃类，甲烷可能是其主要组分。剖面附近发育夹页岩的浊流沉积凝灰岩层和膨润土层，表明同时期存在火山活动。火山活动环境有利于烃类快速成熟。因此，日喀则冷泉碳酸盐岩的碳源很可能是热解成因甲烷气。碳酸盐岩的 $\delta^{18}O$ 值为-10.7‰~-4.3‰（V-PDB），显著轻于同期海水（约为-2‰）。且碳酸盐岩的 $\delta^{18}O$ 值与岩石风化程度显示较好的相关性，因此，表生风化作用可能是日喀则冷泉碳酸盐岩较轻氧同位素组成的原因。全岩 5% HNO_3 可溶相的稀土元素含量为 84~195ppm，澳大利亚后太古代页岩标准化配分模式经 La 异常校正后显示无真 Ce 异常，指示弱还原的环境。同时，所有结核中均广泛发育黄铁矿，也指示日喀则冷泉碳酸盐岩结核形成于还原性环

境中。

晚白垩世是典型的“方解石海”时期，但日喀则冷泉碳酸盐岩第 1 和第 2 层结核中发育同期正常海相环境不常见的高镁方解石，指示有 Mg/Ca 比值显著高于同期海水的富镁流体的加入，因此，日喀则冷泉流体具有富镁的特征。第 3 和第 4 层冷泉碳酸盐岩自生碳酸盐矿物完全是低镁方解石，且具有泥微晶结构，指示是原始沉淀来源。较大的渗漏速度会导致 SMI 变浅，使 SMI 附近冷泉渗漏流体更易被海水稀释，无法达到沉淀高镁方解石所需的 Mg/Ca 比值而沉淀低镁方解石。同时，快速渗漏形成的冷泉碳酸盐岩比慢速环境具有相对重的 $\delta^{13}C$ 值，第 3 和第 4 层结核的碳同位素（$\delta^{13}C$ 值-11.6‰~-4.0‰）明显重于第 1 和第 2 层结核（-27.7‰~-18.7‰）。因此，第 3 和第 4 层具有较高的冷泉渗漏速度，而第 1 和第 2 层具有相对较低的冷泉渗漏速度。

S1-O-15

亚洲内陆新生代陆相地层古生物与环境变化

孟津

纽约美国自然历史博物馆
jmeng@amnh.org

地球环境在新生代大约 65 个百万年中经历了许多重要的变化，总体上是一个趋冷的过程。最为引人注目的一些变化，包括古新世－始新世界线上的极温事件，早、中始新世的相对高温环境，始新世－渐新世的降温以及南极永久冰盖的形成，以及中中新世的温暖事件等。认识这些变化的主要证据，来自全球范围海洋沉积物中地球化学、稳定同位素的地史记录。在解释海洋沉积记录得出的全球环境变化框架下，对各大洲陆相沉积的研究，也为新生代环境变化提出了各种证据；在这些环境变化的背景下，对陆地生物群的演替提出了各种假说。

亚洲内陆有大面积的新生代陆相地层，含有不同时代的丰富化石。中亚地区，尤其是中国北部和西部地区，对相关地层、化石做了大量的综合性研究。最近 20 年来，从哺乳动物到孢粉化石的大规模采集和系统研究，古地磁测年，沉积学、地球化学等研究的加强，使我们对上述几个重要环境变化在陆相地层中的表现，以及生物群演替上的相应变化，有了更深入的认识，特别体现在下列一些方面：古新世－始新世交界期哺乳动物群从古老类型向现代类型的过渡；早、中始新世温暖湿润环境中的动物群繁盛；始新世－渐新世和全球降温相关的动物群转换（蒙古重建），从温湿、植被发育的环境，进入干冷、开阔的环境；渐新世－中新世的渐变过渡，早期风成沉积物在最晚渐新世的形成；中中新世的温暖期和繁盛的生物群。这些研究还有很多需要进一步工作的内容，比如在中国西、北地区确认古新世－始新世极温期的碳同位素漂移记录，不同研究中出现的不一致性结论，等等。从整体上，这个区域的陆相新生代，基本上反应了全球环境变化的格局，同时也有一些区域性的特点，与青藏高原隆升可能具有相关性，表现出一些更为复杂的现象。比如，中亚地区风成沉积物形成的时间、源区、动力系统等，都有一些新的研究结果以及更多新的问题。

S1-O-16

第四纪哺乳动物的洲际交流事件

同号文

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

有关动物洲际交流的问题在很早之前就

受到人们关注，早在1940年，辛普森(Simpson)就提出了动物在洲际间的交流主要是通过陆桥（land bridge or filter-bridge）来实现的学说—陆桥说。而近些年来，随着古人类走出非洲学说的盛行，再一次将人类及动物的迁徙问题提升到了当今科学研究的前沿。

动物群的洲际交流与大地构造格局及地球环境的演化历史密切相关，尤其是进入新生代晚期，随着南、北美洲大陆的对接及冰期时代欧亚大陆与美洲大陆之间的海峡变为通途，从而使地球上动物的交流变得更加容易和空前的频繁。到了第四纪后期，随着人类迁居到各个大陆，这对动物界的迁徙产生了另一次革命性影响。

在历史时期，动物随同人类而迁徙的历史和途径是很容易理解和考证的，但对现代人历史之前动物的迁徙规律尚知之甚少。尤其是陆桥究竟是如何控制（过滤）大陆间动物迁徙的种类和数量，至今仍是未解之谜。在南、北美洲之间动物的交流中，很多动物都参与其中，但灵长类动物除外，该类动物在南美洲广泛分布，并且属种多样性极高；在末次冰期期间，欧亚大陆和北美洲之间存在广泛的动物交流，例如现代人、猛犸象、马、驼鹿、驯鹿及野牛等，但广布于欧亚大陆的披毛犀为何却从到达美洲大陆的科学难题至今仍困扰着很多人。

S1-O-18S

沉积色素在重建东南极藻类群落结构中的应用

陈倩倩，刘晓东，孙立广

中国科学技术大学极地环境研究室

chenqq@mail.ustc.edu.cn

湖藻是湖泊生态系统中最主要的生产者，是维持湖泊生态系统平衡稳定的重要组成部分，其数量和结构的改变将影响整个湖泊生态系统。湖泊藻类植物中的光合色素，在生物体死亡之后仍能够保留源信息并记录在沉积物中，包含着丰富的生态环境信息，可以表征特定的生物来源，是一类重要的生物标志物，已经被广泛的应用于地球化学、海洋科学、极地科学等领域的研究中。本研究以采自东南极罗斯海地区的三个沉积剖面 BI、MB6、CL2 为研究对象，利用高效液相色谱-质谱联用的方法（HPLC-APCI-MS）测定了样品中沉积色素的含量，运用藻类色素分析软件（CHEMTAX）恢复了东南极湖泊藻类种群结构变化历史，并探讨了南极海鸟活动对湖泊藻类种群结构的影响。结果表明，东南极罗斯海地区的湖泊中分布着蓝藻、绿藻、硅藻、隐藻和甲藻等多个门类，其中，绿藻、硅藻和蓝藻为优势种群。湖泊初级生产力指标（叶绿素 a）和鸟粪输入量指标（磷元素）呈现明显的正相关关系，表明海鸟活动输入的营养物质促进了湖泊中藻类种群的发展，提高了湖泊初级生产力水平。其中 BI 和 MB6 沉积剖面中主要以绿藻为主，其丰度明显高于其他种群，而 CL2 剖面中各藻类分布则较为均匀。结合其他地球化学指标的分析，我们发现 BI 和 MB6 沉积剖面受到海鸟活动的影响较大，营养物质含量较高，海鸟粪便的输入在促进湖泊藻类总生物量增加的同时，尤其促进绿藻的生长，CL2 沉积柱受海鸟活动的影响较小。此外，BI 和 MB6 沉积柱中叶绿素 a 和叶绿素 b 存在明显的正相关关系（$r=0.86$，$n=40$ 和 $r=0.84$，$n=29$），进一步证实了绿藻是两剖面中的优势种群，企鹅粪输入的营养成分可以导致湖泊中不同藻类生长出现竞争，其相对丰度发生变化，从而导致湖泊生态群落结构发生改变。因此，沉积色素是古生态学研究中非常重要的生物地球化学指标，在研究海鸟活动对南极湖泊藻类生态结构的影响机制中具有重要的意义。

S1-P-01

台湾东部海域花东海盆海洋地质研究之意义

黄奇瑜 [1,2]

1 中国科学院广州地球化学研究所，边缘海地质重点实验室

2 台湾成功大学地球科学系

huangcy@mail.ncku.edu.tw

台湾岛东侧海域花东海盆(19°-24°N, 122°-123°E) 传统上认为是始新世海洋地壳年龄，为菲律宾海板块的一部分。花东海盆以加瓜海脊与新生代西菲律宾海分隔。利用美国研究船 *R/V* Vema 1980 航次于花东海盆用海床底拖方法取得的样品，Deschamps et al. (2000) 分析其中两位置点样品(RD-19, RD-20), 经分析辉长岩中角闪石 Ar^{40}/Ar^{39} 定年，其中 RD-20 样品结果为 123-105 Ma；另外 RD-19 样点（距花东海盆海床之上 2000 m 的地形高区），得到 121-116 Ma。此结果与在台湾东南侧北吕宋火山岛弧兰屿火山岛（中新世-更新世火山角砾岩)喷发层序中,发现硅质岩含 115 Ma 的放射虫化石一致。这些发现的事实使花东海盆具有下列重要的地质意义： 1) 花东海盆是否为新特提斯洋残留尚未削减完的一部分？2) 中生代花东海盆与华南-台湾中生代-新生代造山演化关系；3) 花东海盆与东南亚洲边缘海(包括南海，菲律宾海)的形成及冈瓦讷大陆裂解的关系；及 4) 东海-台湾-南海中生代盆地的大地构造认识。

Deschamps et al. (2000)研究中的 RD-19 样品采自高于花东海盆海床(4000-5500 m 水深)约 2000 m 的海脊(而非海床)位置, 怀疑并非花东海盆海洋地壳的一部分, 而是中生代大印度尼西亚岛弧（Great Indonesian Arc）的一部分，此中生代岛弧已因东亚新生代弧后边缘海的形成而分解，或被新生代火山岛弧所覆盖。中新世以来喷发的北吕宋火山岛弧也可能是在此中生代岛弧之上喷发再建造出来的。此论点是基于对帝汶岛及台湾岛混杂岩中所含基性-超基性岩块的了解。

台湾岛中央山脉中生代高压低温变质的玉里带(白垩纪晚期增生楔) 的形成即为花东海盆(不必是古太平洋)向西俯冲于欧亚大陆(安底斯式)的结果。此中生代增生楔在燕山期之后成为东海－台湾－南海北坡古近纪前张裂基盘，并随着南海岩石圈于中中新世沿马尼拉海沟俯冲于花东海盆（不是菲律宾海板块）之下，又再次形成台湾中新世增生楔的一部分，出露于中央山脉东侧，玉里带于马尼拉海沟俯冲带再次经历退变质，并于 6.5 Ma 以后的弧陆碰撞隆升为前陆盆地及弧前盆地沉积物的来源。

S1-P-02S

嘎呀河－图们江:古亚洲洋最东端的关闭位置

李明松，孙跃武*，张兴洲，葛文春

吉林大学古生物学与地层学研究中心

* sunyuewu@jlu.edu.cn

古亚洲洋是存在于西伯利亚、俄罗斯、塔里木和华北板块之间的古大洋，在新元古代打开，至石炭—二叠纪关闭。尽管有学者认为在中国东部古亚洲洋闭合于贺根山—黑河一线，但是更多的人倾向于认为该大洋在二叠纪末期关闭于索伦—西拉木伦河缝合带。然而，古亚洲洋最东端在吉林延边地区的闭合位置也一直存在争议。为了探寻古亚洲洋最东端的关闭位置，笔者对吉林省延边地区汪清县大兴沟镇和盛植物群进行了古植物学研究，还进行了植物化石夹层碎屑岩碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年代学物源分析，得出了以下结论。

和盛植物群由 18 属 31 种组成，名单如

下：*Lepidophylloides* sp.，*Stigmaria ficoides* (Sternb.) Brongn.，*Trizygia oblongifolium* (Germ. et Kaulf.) Asama，*Calamites cistii* Brongn.，*C.* sp.，*Paracalamites stenocostatus* Gu et Zhi，*Annularia stellata* (Schloth.) Wood，*A.* sp.，*Schizoneura* sp.，*Sphenopteridium pseudogermanicum* (Halle) Sze，*Sphenopteris rotunda* Sze，*Pecopteris arborescens* (Schloth.) Sternb.，*P. candolleana* Brongn.，*P. cyathea* (Schloth.) Brongn.，*P. huichensis* Hsü，*P. marginata* Gu et Zhi，*P.* cf. *P.* (*Asterotheca*) *orientalis* (Schenk) Pot.，*P. yabei* Kaw.，*P.* sp.，*Neuropteris ovata* Hoffm.，*N. plicata* Sternb.，*Odontopteris subcrenulata* (Rost) Zeill.，*Emplectopteris* cf. *E.triangularis* Halle，*E.* sp. (cf. *E. sinensis* Huang)，*Taeniopteris* cf. *T. multinervis* Weiss，*T. yernauxii* Stockm. et Math.，*Cordaites principalis* (Germ.) Gein.，*C. schenkii* Halle，*Cardiocarpus* sp.，*Rhabdocarpus* sp.，*Radicites* sp.。和盛植物群主要组成为真蕨与种子蕨纲以及楔叶纲；多数属种为华夏植物群的重要和常见分子，其中不乏标志或特有分子，如 *Emplectopteris*，*Taeniopteris*，*Pecopteris huichensis*，*P. marginata* 等。和盛植物群具有华夏植物群的性质，时代为亚丁斯克期－空谷期早期；和多数以 *Emplectopteris triangularis—Emplectopteridium alatum* 为代表的早二叠世华夏植物群可以对比。东北东部二叠纪植物地理区系分析表明，嘎呀河—图们江南、北分属华夏和安加拉两大植物地理区。

碎屑锆石测试样品为和盛组植物化石夹层中的粗碎屑岩。碎屑锆石年龄分布区间为 2541－2535 Ma、1897－1832 Ma、458－452 Ma 和 390－80 Ma。测年结果约束的和盛组的最大沉积年龄为 280 Ma，支持了将和盛植物群与和盛组的时代定为亚丁斯克－空谷期早期的认识。物源分析结果表明和盛组物源来自华北板块，缺乏佳蒙地块特征性的新元古代和泛非期锆石，说明早二叠世延边和盛地区属于华北板块。延边地区的石炭－二叠系地层区划可依照嘎呀河－图们江一线划分为华北板块北缘地层区和佳蒙地块南缘地层区。

地球物理上，进行了延边地区和龙－春阳剖面大地电磁测深二维反演，结果显示嘎呀河两侧的电性结构具有明显的差异。

结合古植物地理学、碎屑锆石年代学、地层学以及地球物理学等资料，提出古亚洲洋最东端的关闭位置，即索伦－西拉木伦河缝合带在吉林延边地区的东延可能位于嘎呀河－图们江一线。

本文通过多学科的资料，讨论了古亚洲洋最东端的关闭位置；为东北亚区域构造以及古亚洲洋演化历史重建提供了资料。

S1-P-03

以新元古代－寒武纪界限为例探讨地史时期冰室期和暖室期的交替变化

张水昌[1]，王晓梅[1]，张宝民[1]，王瑞良[2]，边立曾[3]

1 中国石油勘探开发研究院

2 Brookhaven 国家重点实验室

3 南京大学

sczhang@petrochina.com.cn

从新元古代末到寒武纪，在一个短暂的时间内，地球从一个“荒凉的雪球”变成了“宜居的温室”，生命出现爆发。但埃迪卡拉动物群大灭绝和寒武纪末期的大灭绝，也提示着生命在地球上的轮回变化。关于生命瞬时爆发和灭绝的原因目前仍扑朔迷离。鉴于碳氧同位素和微量元素对这些事件的敏感性，

我们对中国西北部塔里木盆地塔东 2 井 4500～5000 深的前寒武纪-寒武系界线附近的岩石样本进行分析，试图来找出这些全球事件的“幕后推手”。

碳氧同位素分析结果显示，在进入寒武系之后，$\delta^{13}C_{carb}$ 和 $\delta^{18}O$ 出现明显的负偏移振荡，且 $\delta^{18}O_{carb}$ 的偏移方向和幅度与 $^{13}C_{carb}$ 具有高度的一致性。在刚进入寒武纪时，$\delta^{13}C_{carb}$ 从+0.22 ‰锐降至-6.0‰（$\delta^{13}C_{carb}$ = -6.2‰），$\delta^{18}O_{carb}$ 同样从-5.1‰降至-14.5‰（$\delta^{18}O$ = -9.4‰），随后碳氧同位素数值出现同步升高，但升高幅度低于降低幅度（$\delta^{13}C_{carb}$ = 5.8‰，$\delta^{18}O$ = 5.3‰）。进入早中寒武世，碳氧同位素的负偏移程度均呈现振荡式降低，振荡幅度逐步减小，其中无机碳同位素数值逐步向 0 值靠近。这种近似平行的 $\delta^{13}C$ 曲线和 $\delta^{18}O$ 曲线表明后期的成岩改造作用对其影响不大，能够反映原始的海水同位素信号，可作为地球上生物量交替变化的直接证据。在前寒武纪-寒武纪这个时期，$\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 的这种震荡趋势在世界上很多地区都有记录，有学者曾将其归因于地外事件的影响。而作为生命营养物质的微量元素（P、V、Ni、Zn 等），在前寒武纪到早寒武世之间，其地层浓度也出现周期性高峰值，且峰值出现时间与碳氧同位素的负异常时期基本吻合。

本次研究认为，这种碳氧同位素异常漂移是有机碳储库的埋藏和剥蚀速率的差值记录。漂移程度的不同明显受控于地球生物量的变化，不仅与可能的地外事件导致的生命爆发和灭绝密切相关，而且与大洋水体、深水上升流以及深水洋流带给表层水体的营养物质的变化有关。在古生代晚期，小行星撞击的地外事件导致地球偏离它的正常轨道，使地球上接受到的太阳能急剧减少，到达地球的光量和分布也产生变化，这些变化可能是 Cryogenian 纪（850-635 Ma）和 Ediacaran 纪（635-542 Ma）等多次出现的“雪球事件”的直接原因。随着外力影响的消失，地球震荡式恢复到它的正常轨道。当运行到某一方向，地球接收到过多的热能，全球变暖，“温室”出现。同时，极地冰川融水汇入大洋，产生的上升流把深海富营养物带到表层，导致浮游生物生产力增加，因此寒武纪时期在世界范围内，均出现高有机碳缺氧富磷沉积。大量的营养元素以及温暖的气候也使得喜氧生物勃发。而高的水温、高的生物生产率，以及高的有机碳埋藏速率使水体中的轻同位素（^{12}C 和 ^{16}O）被大量消耗，光合作用的同位素分馏以及自然蒸发等过程导致 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 富集，沉积物中的同位素变重。当地球运行到另一轨道时，冰期再次出现，但规模变小，所以同位素振动变弱。这一过程中，过量的 CO_2 被储存下来，CO_2 的减少又加剧了变冷的过程，生物量大幅降低，沉积物中的同位素变轻。这种“雪球”和“温室”的循环模式或许能够解释发生在全球范围内的寒武系生物量变化事件。

S1-P-04S

黔西滇东地区早三叠世早期叶肢介化石研究的新进展

楚道亮，童金南，喻建新，宋海军

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室
872833715@qq.com

华南黔西滇东地区在二叠纪－三叠纪转折期处于康滇古陆的东缘，自西向东发育完整的从陆相、经海陆交互相到海相的二叠系－三叠系界线剖面，剖面保存较好，生物较为发育，地层连续，自下而上依次为宣威组、卡以头组和东川组。宣威组是一套黄绿、灰绿、褐黄色细砂岩、粉砂岩、粘土岩、页岩的陆相含煤沉积，偶夹菱铁矿。卡以头组下部是黄绿、灰绿、褐黄色粉砂岩、砾岩、粘

土岩和页岩组合，上部是黄绿、灰绿、褐黄色夹紫红色粉砂岩、粘土岩和页岩组合。东川组由一套紫红色砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩组成。近年来对该区陆相二叠系-三叠系界线地层已有一定的研究基础，研究内容涉及植物大化石和孢粉化石两个方面，而对叶肢介化石研究较少，仅仅对个别属种有所报道，而本文则系统研究了产出于卡以头组的叶肢介动物群。

叶肢介类属于节肢动物门甲壳纲鳃足亚纲介甲目。最早出现于泥盆纪，中生代达到繁盛，之后开始衰退，现代淡水水域中还有许多属种存活，所以有现生叶肢介和叶肢介化石之分。本研究选择了三条黔西滇东地区威宁县的陆相二叠系－三叠系界线剖面，包括岔河剖面、韭菜剖面和小河边剖面，其中岔河剖面研究程度较高，韭菜剖面和小河边剖面是近年来发现的新剖面，研究程度较低。本文通过对卡以头组的叶肢介化石进行研究，丰富了早三叠世陆相地层的生物面貌，建立了与其他区域早三叠世陆相地层进行对比的叶肢介化石组合，一定程度上解决了陆相早三叠世底界的确定问题。

在这三条剖面的界线粘土岩之上共采集叶肢介化石 102 块，各剖面叶肢介化石出现的最低层位依次为：岔河剖面第 71 层（界线粘土岩之上 1.8 米），韭菜剖面第 25 层（界线粘土岩之上 1.6 米），小河边剖面第 8 层（界线粘土岩之上 1.5 米）。经鉴定共得到叶肢介化石 3 属 9 种，其中有一个新种和两个未定种，主要有：*Palaeolimnadia xuanweiensis*，*P. chinensis*，*P. globosa*，*P. pusilla*，*Lioestheria fuyuanensis*，*L. laibinensis*，*L. weiningensis* (sp. nov.，MS)，*L* sp.，*Qishanella* sp.。该叶肢介动物群主要特征为：（1）分异度较低，丰度较高，保存较好；（2）个体大小差异较大，最大的达 4.5 毫米，最小的仅约 1.2 毫米，总体偏小（小于 5 毫米）；（3）生长带多者达 30 余条，少者仅 5 条左右，生长带上未见装饰和其他构造；（4）以 *Palaeolimnadia* 和 *Lioestheria* 两属为主，约占总数的 95%；（5）共生的植物化石有 *Peltaspermum* 和三叠纪的？*Pleuromeia* 以及晚二叠世残余分子 *Gigantopteris* 和 *Pecopteris*，孢粉化石有早三叠世的标准分子 *Lundbladispora* 和 *Aratrispotites* 等。

Palaeolimnadia 分子广泛分布于我国的华北地区的山西、陕西，东北地区的吉林以及华南黔西滇东地区的陆相二叠-三叠系地层中，黔西滇东地区的 *Palaeolimnadia-Lioestheri* 组合与山西的刘家沟组的 *Palaeolimnadia-Lioestheriaa-Leptolimnadia-Paleoleptestheria* 组合（刘淑文，1982）以及陕西岐山“孙家沟组”上部的 *Palaeolimnadia-Protomonocarina* 组合（刘淑文，2000）有一定的对比性，因此本组合出现的层位属于早三叠世。本文中的 *Qishanella sp.*鉴定特征与刘淑文等在陕西岐山发现的早三叠世的新属（刘淑文，2000）基本符合，故将其列入本属，虽然化石保存较好，但仅发现一个，所以暂定为未定种。另外植物和孢粉化石证据也证明这些叶肢介产出层位的时代为早三叠世，因此该叶肢介化石组合可以作为二叠系-三叠系界线的划分标志之一，为大范围内的陆相二叠系－三叠系地层对比提供了一定的化石依据。

S1-P-05S

南极 Byers 半岛企鹅粪土沉积物地球化学特征及生态环境意义

马小荣，刘晓东，孙立广

中国科学技术大学极地环境研究室

xrm@mail.ustc.edu.cn

拜尔斯（Byers）半岛位于利文斯顿岛（南设得兰群岛）最西部，是南设得兰群岛中最大的无冰区。近些年来，国内外许多学者在利文斯顿岛附近开展了大量的调查研究工作，但是有关企鹅海豹等动物聚居区附近生物粪土沉积物地球化学特征的研究目前还很少见。南极海鸟粪土沉积物是海鸟通过生物地球化学过程将海洋生物元素转移到陆地的最终产物，包含了丰富的生态环境信息，是研究极地生态地质学的理想载体。本文对采自南极利文斯顿岛上Byers半岛的一根长55cm的沉积剖面P1进行了深入的元素、同位素地球化学分析。通过C/N比值和有机质来源的分析，发现 P1 沉积剖面中有机质主要来源企鹅粪的输入。沉积样品中 $\delta^{15}N$ 值较高，进一步证实了沉积剖面中企鹅粪的输入。利用部分元素的富集系数、相关性分析、主成分分析等方法识别出该沉积物中 P、F、Cu、Hg、As、S 六种元素具有共同的来源，为企鹅粪的标型元素；沉积剖面中 P、F、Cu、Hg、As、S、TOC 含量与 $\delta^{15}N$ 值表现出明显的相关性，共同指示了沉积剖面企鹅粪输入程度的相对变化。通过与东南极戴维斯站加德纳岛企鹅粪的标型元素比较，发现两个地区的标型元素都含有 P、F、Cu、As、S，反映了南极地区标型元素的共性，但这两个不同地区的标型元素也有各自的特点，加德纳岛企鹅粪标型元素的 Sr 和 Se 没有出现在 Byers 半岛中，这可能和 Byers 半岛基岩和风化土壤中具有较高的背景值有关。上述研究结果为恢复该地区的企鹅种群数量变化及其对气候变化的响应奠定了良好的基础。

S1-P-06S

华南二叠纪—三叠纪之交沉积物磁学特征及其环境意义

时美楠[1,2*]，吴怀春[1,2]，张世红[2]，李海燕[2]，杨天水[2]

1 中国地质大学（北京）海洋学院

2 生物地质与环境地质国家重点实验室

beijiying@yahoo.cn

二叠纪—三叠纪之交（P/T）的生物大灭绝，致使地球上 70%的陆生脊椎动物和高达 90%的海洋生物灭绝，是地史上规模最大的一次生物灭绝事件。对于此次生物大灭绝的原因仍然存在广泛争议，其核心问题之一是对生物大灭绝前后古环境、古气候演变过程及其与生物灭绝的关系认识还不够清楚。

本文对湖北宜昌峡口剖面和四川广元上寺剖面的 P/T 界线地层进行了系统的环境磁学研究。二者在构造上位于扬子地块北侧，沉积建造以碳酸盐岩台地为主。上寺剖面是 1993 年二叠—三叠系界线工作组确定的 4 个层型候选剖面之一，其 P/T 界线具体位置仍存有较大争议，本文采取 28b 层的划分方案。该剖面二叠系—三叠系界线剖面出露良好，沉积连续，界线下部以硅质灰岩、页岩为主，27 层以粘土岩为主，化石以菊石、牙形石为主，含少量放射虫、有孔虫；界线上部以泥质灰岩、微晶灰岩为主，产牙形石、菊石、瓣鳃类及孢粉，划分界线的标准牙形石分子 *H. Parvus* 出现在比较高的 30 层，但其下层位已出现大量三叠纪的标准化石 *Claraia*。峡口剖面地层露头良好，连续出露晚二叠世-早三叠世地层，包括吴家坪组、大隆组、大冶组和嘉陵江组。其中上二叠统岩性主要为黑色中厚层泥质灰岩和黑色中薄层泥页岩，下三叠统剖面主要为大冶组第一段和第二段的下部，岩性主要为中薄层泥晶灰岩夹钙质泥岩。剖面产菊石，双壳类化石和牙形石，其中 11-14 层为牙形石 *Neogondolellalati-dentatus-N.meishanensis* 带，15 层中产出 *Hindeo-dusparvus*，为早三叠世开始的标志。前人将 PT 界线划分在 11 层中。

本文对大峡口剖面界线层（10.04m）及上寺剖面界线层（9.56m）进行间隔 2 厘米的连续采样,采集样品 808 枚，并对样品进行磁化率（ x ）、非磁滞剩磁（ARM）、等温剩磁（IRM）、饱和等温剩磁（SIRM）等磁学参数的测量，结果显示 P/T 之交沉积物磁学特征存在明显差异。峡口剖面 P/T 界线上方样品磁化率是界线下方的 1.44 倍，SIRM 为 1.32 倍，ARM/SIRM 为 0.60 倍，说明界线上方沉积物磁性矿物含量高于界线下方，且粒径较粗。而 P/T 界线上方样品 HIRM 的均值是界线下方的 14.03 倍，说明界线上方“硬”磁性矿物明显增多。由于上寺剖面生物地层存在滞后性，造成生物地层单位和 P/T 界线（28 层中）略高于其他剖面，但是 25-26-27 层与其他剖面具有较好的对比性。且某些事件标记变化在 27 层更为显著，故本文选取 27 层顶进行分析。上寺剖面 27 层之上样品磁化率是其下方的 3.46 倍，SIRM 为 2.00 倍，说明 27 层上方沉积物磁性矿物含量高于 27 层下方。由样品 S 比值、HIRM 随深度的变化曲线得出，上寺剖面 21 层至 30 层下部多数层位以亚铁磁性矿物(磁铁矿)为主，部分层位以不完全反铁磁性矿物（赤铁矿）为主。而 30 层中上部则以亚铁磁性矿物（磁铁矿）为主。对峡口剖面和上寺剖面界线层处样品进行了 K-T 实验显示样品中以磁铁矿为主，含黄铁矿。两个研究剖面界线上方磁性矿物粒径均显示变粗趋势。

二叠纪末期的生物大灭绝对陆地生态系统也造成了极大的破坏，繁盛的植物群大量死亡，对地表的保护作用减弱或消失，地表遭受显著侵蚀、风化作用，陆源输入增加。而磁性矿物向海洋的传输通量随陆源输入加剧而显著增加，进而导致早三叠系沉积物中磁性矿物含量增加。

S1-P-07S

陕西西乡宽川铺生物群中微生物钻孔及其对寒武纪浅海沉积基底的影响

杨晓光，韩健

西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室早期生命研究所

595172706@qq.com

陕西南部西乡县早寒武世剖面产出大量属于宽川铺生物群的磷酸盐化的微小骨骼化石。在其中管状与球状化石表面，微生物钻孔普遍存在，部分钻孔内原位保存了微生物个体，进一步证实了这些钻孔是微生物活动的结果。这些化石之上的钻孔形态为槽状或管状，截面近似圆形，直径约 15-20μm；微生物个体为丝状或棒状，直径约 5-10μm，长度变化较大，可能由于保存状况不同而发生了断裂，初步判断可能为某种钻孔蓝菌类。研究表明，丝状蓝菌类化石在下寒武统碳酸盐岩中广泛存在，因此其钻孔活动能够对其沉积基底能产生较大影响，首先，微生物钻孔直接增加了生物遗体沉积物的孔隙度，降低了基底的硬度，提高了基底的含水量和含氧量；此外，由于微生物钻孔活动，破坏了原来的基底氧化还原界面，使得沉积基底表层中由硫酸盐还原菌微生物席释放的硫化氢含量降低，有利于日后的后生动物向下潜穴以扩展生存空间，由于此时正值寒武纪早期，因此可以推论，微生物钻孔活动或许是寒武纪基底革命的发生的条件之一。

S1-P-08S

川西北二叠系栖霞组小有孔虫动物群

张舟

中国科学院南京地质古生物研究所

zhangzhou66@sina.com

川西北广元旺苍王家沟剖面二叠系栖霞组小有孔虫动物群由14 属27 种组成(含比较种、亚种而不含未定种) ，其中 *Globivalvulina* 属及 Palaeotextularidae 科的物种分异度最高，合计约占总种数的 50%。在系统分类的基础上，建立了 *Globivalvulina* 组合，作为识别该区二叠纪最大海进时期的标志性动物群。川西北地区中二叠世栖霞期广泛的海侵，使底部梁山组滨海沼泽相的砂泥岩向上过渡为栖霞组的浅海碳酸盐沉积，该期广泛的海侵为生物大量繁殖创造了有利条件，较之下伏梁山组中可见少量植物及腕足碎片，栖霞组却含有种类丰富的珊瑚、苔藓虫、有孔虫、藻类等多门类生物群化石。仅小有孔虫而论，*Globivalvulina* 组合中无论是壳体中等偏大、房室较多、壳壁分化为 3 层结构的 *Globivalvulina*，还是壳体较大、双列房室的 *Palaeotextularia*，亦或是筛口孔极为发育的 *Cribrogenerina*，以及具有更为规则形态(壳体中部侧壁透明层加厚明显、中部隆凸) 的 *Pachyphloia*，和多房室、壳体细长或宽大的 *Nodosaria*，都表明其组合中大多数属种与其原始类型相比，较为进化甚至更为进化，而这与最大海侵时期的海洋环境(海水深度的增加、供氧充足及食物丰富) 不无关系，同时川西北栖霞组碳同位素值及地球化学指标均指示该期海平面的快速上升，并导致其具有较高的生物产率。

通过此次对川西北地区旺苍王家沟剖面栖霞组小有孔虫的系统研究，建立了该组地层中的 *Globivalvulina* 组合，同时结合研究区牙形石的相关资料，认为该小有孔虫组合大致对应于空谷阶的中下部。此外组合中含有种类丰富的 *Palaeotextularia*，*Climacammina*，*Cribrogenerina*，*Nodosaria*，*Langella*，*Pachyphloia* 等分子， 均显示了强烈的二叠纪动物群色彩。由此将该小有孔虫 *Globivalvulina* 组合作为识别研究区二叠纪最大海进时期的标志性动物群。

S1-P-09S

川东华蓥二叠系—三叠系界线地层地质事件与元素地球化学响应

周永生，周刚，潘晓添，郑荣才

成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室

358423378@qq.com

包括华蓥山地区在内的有关中国南方三叠系/二叠系（T/P）界线性质的讨论，在地层古生物学界非常热烈。有的学者认为晚二叠世长兴阶生物礁之上存在短暂的沉积间断，是扬子地块浅水台地型PTB剖面的典型代表；有的学者认为华蓥山 T/P 界线是整合接触的，没有海水退走而露出地表的陆相环境显示。自从 Wignall 和 Hallam 提出二叠纪末生物大绝灭是 T/P 连续沉积过程中由海平面大幅度快速上升引起海洋缺氧事件造成的观点之后，许多学者支持此观点，但吴亚生在重庆老龙洞、贵州紫云、江西修水等地发现了众多海平面下降证据，对中国南方 T/P 界线的整合性质及其相关的二叠纪末海平面大幅度快速上升引起生物集群绝灭的原因提出了质疑。针对 T/P 界线是否存在发生海平面下降、海平面变化性质和二叠纪末生物集群绝灭原因等问题，笔者选取华蓥山涧水沟 PTB 界线地层剖面先后 3 次进行实地考察和采样，发现了重要的海平面大幅度下降证据，并依据界线地层牙形石鉴定、岩石薄片描述及 Fe、Mn、Sr 微量元素和 C、O 稳定同位素分析结果，较为深入地讨论了 PTB 界线位置、海平面变化、生物大绝灭原因以及 Fe、Mn、Sr 微量元素和 C、O 稳定同位素对界线地层内各种地质事件的地球化学响应特征。

以华蓥山涧水沟PTB界线地层剖面为例，可从该剖面中识别出分别发育于生物地层和岩性地层中的 2 类 T/P 界线，前者以界线之下产 *Clarkina changxingensis* 牙形石，之上产 *Hindeodus parvus* 牙形石为标志；后者以界线之下发育有海平面频繁下降事件及其相关暴露面、古土壤和渗滤豆层，其上被飞仙关组一段薄板状泥质灰岩沉积超覆为标志，两者相距约 4.56 m。所有的海平面下降、生物绝灭、火山喷发和古海洋由正常海向非正常的高 Sr 海转化等复杂地质事件，都发生在 2 类 T/P 界线之间。

综合涧水沟PTB界线地层剖面中的海平面下降、生物绝灭、火山喷发和正常海向高 Sr 文石海转化等地质事件的相互关系，认为生物大绝灭主要原因既与渐频渐强的火山喷发事件有关，也与全球性海平面频繁下降后于早三叠世急剧上升有关。并且 T/P 之交的海平面下降和生物灭绝事件并不是一蹴而就的，而是分阶段进行的，至少可识别出 3 个期次。

Fe、Mn、Sr 微量元素和 C、O 稳定同位素的规律性变化和相关控制因素也都出现在 2 类 T/P 界线之间，证明元素地球化学特征对PTB界线地层中所出现的各种复杂地质事件都具有良好的响应。可确定华南海域在晚二叠世属于正常海洋环境，而早三叠世则属于生物大萧条期的高 Sr 海洋环境，PTB 界线地层恰处于正常海洋向高 Sr 异常海洋过渡的转化期。

基于长期以来 T/P 之交是否存在全球性海平面下降事件的争论，有无可能因海平面下降幅度有限（约 50 m 的水深范围内），其下降事件在相对较浅的开阔台地礁、滩相沉积区反映更为强烈和明显（如华蓥山涧水沟 PTB 界线剖面），在较深水相的开阔台地潮下、斜坡和盆地的连续沉积区，因水深缺乏直接暴露证据而忽略了海平面下降事件的存在（如华蓥山天池镇 PTB 界线剖面），这是一个非常值得进一步思考的科学问题。

S1-P-10S

华南早三叠世海相碳同位素水深梯度变化及意义

宋虎跃[1]，童金南[1]，Thomas J Algeo[2]，宋海军[1]，田力[1]，陈中强[1]

1 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室

2 Department of Geology, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0013, USA

songhuyue@126.com

二叠纪—三叠纪之交的生物大灭绝事件是显生宙以来最大的生物灭绝事件，同时伴随着海相碳同位素（$\delta^{13}C$）的显著负漂移。近年来，国内外学者对华南、西藏、伊朗、意大利、日本等地的早三叠地层开展了大量的碳同位素地层学研究。研究结果表明碳同位素在早三叠世发生了几次全球性的显著漂移，包括：1）Griesbachian 早期（N1）、Dienerian 中期（N2）、Smithian 中期（N3）和 Spathian 中期（N4）的 $\delta^{13}C$ 负漂移；2）Griesbachian 晚期（P1）、Dienerian 晚期（P2）、Smithian-Spathian（S-S）（P3）之交，Spathian 中晚期（P4）的 $\delta^{13}C$ 正漂移。早三叠世碳同位素的剧烈波动反映了该时期动荡的海洋环境，与该时期海洋生态系迟缓恢复相一致，但引起剧烈波动的起因仍存在着很大争议。目前，关于早三叠世碳同位素剧烈波动的原因主要包括：1） 火山活动；2）海水分层及混合；3）海洋初级生产力的变化等。

现代海洋溶解无机碳（DIC）的碳同位素水深梯度特征对研究海洋分层和初级生产力变化起重要的指示意义。由于我们无法直接测定地质历史时期海洋不同水深 DIC 的碳同位素值，因此我们只能利用不同水深海相

碳酸盐岩的碳同位素值来恢复同时期海洋的碳同位素水深梯度。许多学者已经对奥陶纪、志留纪和晚白垩纪海相碳酸盐地层开展了该项研究。最近，Meyer 对华南南盘江地区早三叠地层开展了该项研究，发现该时期存在着显著的碳同位素水深梯度，并用高海洋初级生产力来解释这一现象。

我们在华南选取两个不同水深系列剖面：1）南盘江盆地打讲、明堂、边阳北剖面；2）中下扬子地区湖北大峡口、浙江煤山、安徽巢湖（平顶山西坡和马家山南坡）剖面作为水深逐渐增加的两组代表剖面，综合对比和探讨华南 $\delta^{13}C$-深度梯度在早三叠世的变化。我们主要对碳同位素峰（P）、谷（N）值处的 $\delta^{13}C$-深度梯度（$\Delta\delta^{13}C_{carb}$）进行计算，$\Delta\delta^{13}C_{carb}$ 结果为：8.5‰（N1）, 5.8‰（P1）, 3.5‰（N2）, 6.5‰（P2）, 7.8‰（N3）, -1.9‰（P3），和 2.2‰（N4）. 这样的$\Delta\delta^{13}C_{carb}$ 值明显大于现代海洋的$\Delta\delta^{13}C_{carb}$ 值（~1-3‰）。早三叠世的温室效应导致了海洋分层、海水垂向循环减弱；海洋初级生产力的升高加强了生物碳泵效应，从而引起了该时期巨大的碳同位素水深梯度。Griesbachian 早期，Dienerian 晚期-Smithian 中期偏大的$\Delta\delta^{13}C_{carb}$ 值与几次海洋缺氧事件一致。Dienerian 晚期的海洋缺氧与碳同位素剧烈正偏相吻合，之后由于化变层变浅引起了 Smithian 中期的碳同位素负漂。我们推测 Dienerian-Smithian 之交可能是继 P-T 之交之后的第二次高温期。全球变暖，海洋分层与缺氧，动荡的海洋环境是导致海洋生态系迟缓复苏的一个重要原因。

S1-P-12

八臂仙母虫（*Eoandromeda octobrachiata*）与早期动物演化

唐烽 [1, 2]

1 中国地质科学院地质研究所

2 国土资源部地层古生物学重点实验室

tangfeng@cags.ac.cn

独特的八辐射动物化石——八臂仙母虫（*Eoandromeda octobrachiata*）新记录被推断为原始的栉水母动物，在华南震旦系陡山沱组和南澳大利亚伊迪卡拉生物群产地均有发现，不仅为相关地层的国际对比架起了桥梁，而且将栉水母动物的最早化石记录推前了大约 3 千万年，并可能重塑动物系统树，原始的性状特征（如：栉板、栉板带、管状辐射臂、中央环带和八辐射螺旋对称性等）可以把栉水母动物定位在动物系统树更为原始的位置上，使我国后生动物起源和早期演化研究再次获得突破性进展，为破解早期动物演化之谜提供了化石方面的新证据，也与分子生物学研究的最新成果基本吻合。

S1-P-13S

嗜甲烷菌对前寒武/寒武边界碳同位素偏移幅度台—盆差异的影响

向雷 [1]，蔡春芳 [1]，贺训云 [1]

中国科学院地质与地球物理研究所

649900940@qq.com

前寒武/寒武过渡期地球表层系统中的碳循环发生了显著的波动。在早寒武世，Jiang et al.(2012)注意到在中国南方陆架剖面与盆地剖面在有机碳同位素上的差异，但尚未就该台—盆差异的机制进行深入探讨。是缺氧环境中的大 DOC 库造成，还是分层水体造成，更或者是有其他原因，需要深入的研究。

湖南省沅陵县李家坨剖面的留茶坡组硅质岩段和小烟溪组泥质岩段处于前寒武/寒武过渡期，该剖面留茶坡组与小烟溪组均属

于开阔的深水盆地相带。本文选取该剖面留茶坡组与小烟溪组进行有机碳同位素值分析。本文有机碳同位素分析采用类似于 Kump et al.(2011)方法。

李家沱剖面有机碳同位素值呈现出留茶坡组硅质岩段的下部存在 2.6‰的负偏移，而后恢复并稳定到-33.1～-34.7‰之间，留茶坡组硅质岩与上覆小烟溪组泥岩的岩性转换处发生了一次快速且显著的正偏移，偏移幅度达到 6.9‰，而后有机碳同位素值在保持了一段相对比较稳定的时期之后开始正偏移，偏移幅度达到 4.9‰，在正偏移达到峰值-27.8‰之后，有机碳同位素值明显的负偏移，并且稳定到-33.6～-32.6‰之间，而小烟溪组的顶部略有正偏，偏移幅度小于 2‰。

通过对比台地与盆地剖面之间的有机碳同位素值发现：前寒武-寒武边界（Precambrian-Cambrian Boundary, PCCB）碳偏移在台地与盆地的偏移幅度存在巨大差异，台地相带的老林剖面高达 10‰（Shen et al ,2000），过渡相带柑子坪剖面 8‰（Chen et al., 2009），而盆地相带的龙鼻嘴剖面(Wang et al., 2012)、李家沱剖面、松桃剖面(Guo et al., 2007)的偏移幅度只有 2～3‰。

通过碳同位素对比分析，显示：（1）李家沱剖面留茶坡组硅质岩段的有机碳同位素值并不完全受控于海水溶解无机碳库（disssolved inorganic carbon, DIC）的碳同位素特征；（2）局限环境不是造成有机碳同位素值台盆差异的主要原因；（3）早寒武世不存在大的足以稀释初级生产力的 DOC 库；（4）碎屑有机质的影响不是造成 PCCB 偏移幅度的台—盆差异的主要原因；（5）外源烃类也不可能造成此种偏移幅度的台—盆差异；（6）实验室之间的误差、凝缩沉积、埋藏史差异与取样间距等，不是造成 PCCB 台—盆之间有机碳偏移幅度重大差异的主要原因。而异养生物与化能自养生物对于盆地环境 TOC 的重要贡献可能是造成有机碳同位素值及 PCCB 有机碳同位素偏移幅度台—盆差异的主要原因。

华南多个剖面的埃迪卡拉灯影组的无机碳同位素值（张同钢等，2003；彭花明等，2006）都显示：中国南方灯影组无机碳同位素值之间具有较好的可对比性，说明其较好的代表了海水 DIC 库的碳同位素值，所有剖面都显示灯影组的无机碳同位素值大于 0，则此时海水碳同位素组成应该大于 0，没有证据显示在 PCCB 阶段发生了大气二氧化碳浓度的急剧升高（Berner, 2006），故光合作用过程中同位素分馏不会有明显增加，而李家沱剖面、松桃剖面、龙鼻嘴剖面的有机碳同位素值与海水 DIC 的碳同位素值之间的分馏幅度超过 32‰，表明：存在化能自养生物的贡献（Hayes et al., 1999；Goldberg et al., 2007; Ader et al., 2009; Jiang et al., 2012）。

能够产生比光合作用浮游植物更负的碳同位素的化能自养生物主要有甲烷氧化菌与硫化物氧化菌等（Ader et al., 2009; Bekker et al., 2008）。铁组分数据显示：李家沱剖面留茶坡组底部水体为缺氧非硫化环境，黄铁矿硫同位素数据显示，李家坨剖面是一个典型的硫酸盐限制环境。在一个海水硫酸盐浓度特别低，TOC 较高的缺氧水体，具备生物甲烷作用发生的条件，从而为甲烷氧化菌的大量形成提供了食物来源；与此同时，缺氧非硫化环境不具备 H_2S 大量产生的条件，所以硫化物氧化菌对有机质的贡献受到限制。现代黑海环境中甲烷氧化菌对于沉积有机质碳同位素值的影响幅度在-2‰（Galimov et al., 2004），因为现代黑海属于硫化环境，所以沉积水体生物甲烷作用的活跃程度不如李家沱剖面所处的硫酸盐限制的缺氧非硫化环境，故甲烷氧化菌对于李家坨剖面 PCCB 附近沉

积有机质的贡献应更大一些，且硅质岩段有机碳含量较上覆小烟溪组的泥质岩段低，甲烷氧化菌在 TOC 中的比例会相对更高一些，对 TOC 的有机碳同位素值的影响也更大一些，从而造成在 PCCB 负偏移阶段，光合作用产生的有机质的碳同位素负偏移对 TOC 有机碳同位素值偏移幅度的影响就被稀释和削弱了，从而造成有机碳同位素 PCCB 偏移幅度的台—盆差异。

S1-P-14

中国东部土壤中氨氧化细菌和氨氧化古菌种群分布

蒋宏忱[1]，黄柳琴[2]，王尚[2]，侯卫国[2]，吴耿[1]，刘立[3]，董海良[1,2,4]

1 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室

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 中国科学研究院微生物所信息中心

4 Department of Geology and Environmental Earth Science, Miami University, Oxford, OH, 45056

hongchen.jiang@gmail.com

全球气候变化是影响生物圈的关键因素之一。因此，研究生物圈如何响应气候和环境变化，具有重要意义。然而，大多数前人研究主要集中在动物和植物，与微生物相关的研究却很少。微生物数量丰富、分布范围广、种类繁多、功能多样，占据了地球生物量的主体。氨氧化细菌和氨氧化古菌是能将氨氧化为亚硝酸盐的一类微生物，在全球氮循环过程中起了重要作用。为了研究氨氧化细菌和氨氧化古菌如何响应气候变化，采集了位于中国东部不同纬度带（北温带-亚热带）的 26 个土壤样品，分析其中的氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度和多样性。研究结果显示，气候或与气候相关的环境因素影响着氨氧化细菌和氨氧化古菌的分布：1）氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度与地理位置相关；2）氨氧化细菌和氨氧化古菌多样性与地理位置、土壤类型、年均大气温度、年降水、土壤湿度和 pH 紧密相关。这些结果有助于我们理解功能微生物群在地质历史时期如何响应气候变化。

S2-O-02

北极楚科奇海边陲区夏季浮游细菌的系统发育多样性

曾胤新[1]，俞勇[1]，李会荣[1]，何剑锋[1]，Sang H. Lee[2]，孙鲲[1]

1 中国极地研究中心

2 釜山国立大学

全球大洋中遍布着数量众多的浮游细菌。它们在海洋上层生态系统的物质循环、能量流动等方面发挥着重要功能。楚科奇海边陲区紧邻加拿大海盆，来自太平洋的海水通过白令海峡在这里与大西洋海水相交汇。夏季期间，该海域具有明显的海冰融化现象。海冰融化不可避免地会影响到该海域的浮游细菌群落结构。而目前关于这方面的相关信息并不多。

对该海域 8 个站位的表层（0-10 m）及深层（80-100 m）海水样品的计数结果显示，细菌、古菌的丰度在 108cells l^{-1} 这一数量级，个别站位可达 109cells l^{-1}。采用 FISH 方法，在部分站位检测到含 dddL 基因的 DMSP（二甲基硫基丙酸酯；一种海洋植物产生的渗透调节物质）降解细菌，以及 Roseobacter-Rhodobacter（玫瑰杆菌-红细菌）支系细菌。而需氧不产氧光合细菌(AAP) 未被检测出。

采用 16S rRNA 基因克隆文库方法调查了 2 个表层水样（K2 与 K4）的多样性。结果显示，其多样性主要由 Proteobacteria（包括 Alpha、Beta 及 Gamma 亚群）、Bacteroidetes、Actinobacteria 及 Firmicutes 组成。2 个站位

的文库组成没有明显差异。Alpha-变形细菌中的 SAR11 与 Rhodobacteraceae（红细菌科）类群、以及 Gammaproteobacteria 中的 Pseudoalteromonas（假交替单胞菌），在文库中占据优势地位。

采用高通量测序对 K2、K7 站位的检测显示，表层水样中的序列属于 Proteobacteria、Bacteroidetes、Acidobacteria、Chloroflexi、Deferribacteres、Deinococcus-Thermus、Fusobacteria、Planctomycetes、Spirochaetes、Synergistetes、Actinobacteria、Firmicutes、Verrucomicrobia、Cyanobacteria 以及候选门 BD1-5、OD1、SR1、TM6、TM7 等 19 个细菌门，表现出的多样性远高于克隆文库的结果。其中，Proteobacteria、Actinobacteria、Bacteroidetes 以及 Cyanobacteria 在 2 个站位都为优势类群。在 Proteobacteria 中，Alpha、Gamma-proteobacteria 占据明显优势，另外还有 β-Proteobacteria。而在 Alphaproteobacteria 中，包括 Roseobacter 在内的 Rhodobacterales 所占比例分别为 91%（K2 站）、63%(K5 站)，说明 Rhodobacterales 在该海域上层海洋生态系统中具有重要的生态学作用。这与克隆文库的结果较为一致。

在深层水样中，同样存在 Proteobacteria、Bacteroidetes、Acidobacteria、Chloroflexi、Deferribacteres、Fusobacteria、Gemmatimonadetes、Lentisphaerae、Planctomycetes、Spirochaetes、Synergistetes、Actinobacteria、Firmicutes、Verrucomicrobia、Cyanobacteria 以及候选门 BD1-5、OP10、TM6、TM7 等 19 个门的细菌序列，其中 Proteobacteria 在 2 个站位都是优势类群。但在其它优势类群的组成上，K2、K7 站位之间存在较大差异。此外，在 Proteobacteria 的组成中，这 2 个站位之间也存在差异。

对分离到的 191 株异养细菌的研究显示，76%具有胞外蛋白水解活性。系统发育分析显示这些细菌分别属于 Gammaproteobacteria、Bacteroidetes、Actinobacteria 及 Firmicutes。Pseudoalteromonas 无论是在分离菌株还是产蛋白酶菌株中均具有明显优势。

S2-O-03

中美两国热泉中古菌和细菌极性四醚脂类化合物的分布

张传伦

同济大学海洋学院

archaea.zhang@gmail.com

人们认为极性脂类化合物代表自然环境中有生命的有机生物体。我们检测了来自中国（腾冲和西藏）和美国（黄石公园和内华达）一些热泉中古菌和细菌极性脂类四醚化合物的特征。古菌极性四醚脂类化合物占所有四醚脂类化合物的 85%以上，而其余的由细菌贡献。在这些古菌脂类化合物中，甘油二烷基甘油四醚脂类化合物（GDGTs）五元环的数目变化范围从 0 到 8，生物标记物 crenarchaeol 在大多数热泉中被检测出来并且含量变化较大。我们在所有热泉中都检测到了独特的 H-shaped 古菌 GDGTs，这类 GDGTs 在古菌四醚脂类化合物中高达 27%。这些结果说明极性四醚脂类化合物大部分都来自于热泉环境中有生命的古菌。

S2-O-04

腾冲热泉嗜热氨氧化古菌的富集培养

Wei Xie[1], Fuyan Li[1], Liang Dong[1], Chuanlun Zhang[1,2]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China

2 Department of Marine Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30602

weixie2010@hotmail.com

Thaumarchaeota, initially classified as ‘mesophilic Crenarchaeota’, occur as one of the most abundant groups of archaea on Earth. This novel phylum comprises in the 16S rRNA gene tree all known ammonia oxidizing archaea (AOA). Here, we enriched a culture of thermophilic AOA from Tengchong hot spring, whose 16S rDNA was closely related to the *Candidatus Nitrosocaldus yellowstonii* strain HL72 (99% similarity) and Uncultured *Candidatus Nitrosocaldus sp.* (98% similarity). At a cultivation temperature of 65℃, GDGTs of this culture mainly consisted of crenarchaeol. The concentration and proportion of crenarchaeol increased with the rate of the ammonia consumption (near-stoichiometric conversion of ammonia to nitrite), indicating that the crenarchaeol synthase (although currently unidentified) was coupled with ammonia oxidation. This is the first report showing a cultivated archaeon that synthesizes nearly pure crenarchaeol. Moreover, our work supports the hypothesis that crenarchaeol is unique to all AOA, which may have implications for the evolution of Thaumarchaeota.

S2-O-05

利用宏基因组学和宏转录组学方法研究海底热液喷口羽状流中的微生物的功能结构、活性及其对深海生源要素的生物地球化学循环贡献

李猛*, Sunit Jain， Brett J. Baker， Chris Taylor， Gregory J. Dick

美国密歇根大学地球与环境科学系

* limeng848@gmail.com

深海底热液喷口是地球上极为特殊的生态环境，广泛分布于大洋中脊附近等区域。

由于地壳运动或地下岩浆活动，海水渗入地层，被熔岩加热，循环对流后喷出海底形成高温热液，与低温海水混合后，在喷口周围沉淀出由硫化物和硫酸盐组成的“黑烟囱”或“白烟囱”。由于热液与周围海水的温度和化学成分的差异而发生一系列反应，海水由清澈变黑浊或白浊，在“烟囱”上部形成了外观为黑烟或白烟的羽状流区域。研究证明大量的嗜热微生物存在海底热液喷口环境中，它们通过化能自养从无机化合物中获取能量，从而支撑着热液喷口的生命系统。目前，有关海底热液喷口生态系统的微生物学研究主要集中在热液喷口的烟囱及其附近的地下环境，而对于热液喷口羽状流中的微生物活动报道甚少。

本研究主要利用宏基因组学和宏转录组学技术，研究深海底热液喷口羽状流中的微生物生态功能结构、活性及其对深海生源要素的生物地球化学循环贡献。研究样品包括不同深度的羽状流以及背景海水样品，分别采自于加利福尼亚湾扩张中心的瓜伊马斯(Guaymas) 、西南太平洋劳盆地(Lau Basin)和加勒比海的开曼海沟(CaymanTrough) 等热液喷口系统。

本文摘主要报道在瓜伊马斯热液喷口系统所获得结果。采用 454 测序技术，我们在四个羽状流和背景样品中共获得 561Mb 宏基因组和 395Mb 宏转录组短序列，而利用 Illumina 测序技术，对其中一个羽状流和一个背景样品进行更深度的测序，则分别可获得高达 26.6Gb 和 35.0Gb 的宏转录组短序列。利用不同方法对所获的的核酸短序列进行重新拼接，最终得到 25Mb 的宏基因组拼接序列以及 28.0Mb 的宏转录

组拼接序列。对宏基因组和宏转录组的

拼接序列分析发现瓜伊马斯羽状流样品中存在着四类主要的化学能自养型微生物，包括硫氧化菌(SUP05)、氨氧化古菌(AOA)、甲烷氧化菌(*Methylococcaceae*) 和 SAR324。同时,几类重要的功能蛋白编码基因，包括硫氧化酶(sox)、氨氧化单加氧酶(amo)和甲烷氧化单加氧酶(pmo)均在羽状流样品中大量表达。这些结果指示由 SUP05 主导的硫氧化、AOA 主导的氨氧化和 *Methylococcacea* 主导的甲烷氧化是瓜伊马斯羽状流中的三个主要生物化学过程，它们共同调控着这个环境中的硫、氮和碳等生源要素的生物地球化学循环。另外，颗粒态烷烃氧化单加氧酶(pHMO,包括 pmo)系统进化分析表明，至少三类 I 型甲烷氧化菌、一类乙烷氧化菌、一类乙烷到丁烷的氧化菌和一类未知功能烷烃氧化菌共同存活于瓜伊马斯羽状流中。与此同时，这些颗粒态烷烃氧化单加氧酶所对应的小核糖体编码基因(16SrRNA)的系统进化分析也获得相一致的分类结果，进一步说明该环境分布有多种不同类型的气态烷烃氧化菌。值得注意的是，与乙烷到丁烷氧化相关的单加氧酶属于首次发现于自然环境中。此外，功能结构分析证实，瓜伊马斯热液系统所获得的颗粒态烷烃氧化单加氧酶均属于铜离子单加氧化酶蛋白家族，具有相同的铜离子蛋白结合位点。但由于这些颗粒态烷烃氧化单加氧酶在可变金属的结合位点发生变化以及它们与已知的铜离子单加氧化酶具有较低的蛋白质序列相似性，这暗示它们所执行的烷烃氧化功能亦可能变化。丰度和活性分析表明这些烷烃氧化单加氧酶编码基因在热液喷口的羽状流和背景样品中具有不同的表达水平,指示不同种类烷烃氧化菌的分布与活性受环境条件的影响，如海水中不同烷烃的浓度。

总而言之，本研究利用下一代测序技术分析了深海底热液喷口羽状流中的微生物群落结构、功能表达及其活性分布，证实了几类主导型微生物活动是瓜伊马斯热液喷口系统中生源要素生物地球化学循环的重要调控过程。并且通过对颗粒态烷烃氧化单加氧酶的详细分析，得知大量的不同种类的气态烷烃氧化菌广泛分布于瓜伊马斯热液喷口生态系统中，它们利用热液喷口所释放的烷烃类化合物获取能量，对深海中碳的生物地球化学循环具有不可代替的作用。

S2-O-06S

柴达木盆地古菌二醚四醚比例对盐度的响应

王欢业[1,2]，刘卫国[1,3]，张传伦[4,5]

1 黄土与第四纪国家重点实验室，中国科学院地球环境研究所

2 中科院研究生院

3 西安交通大学人居学院

4 同济大学海洋与地球科学学院

5 Department of Marine Sciences, The University of Georgia, Athens, GA 30602, USA

why@mail.ustc.edu.cn

最近，通过对海洋以及沿海盐田水体和沉积物中古菌核心脂类（core lipids, CLs）的研究，二醚（archaeol）与四醚（caldarchaeol）的比例被提出可作为定量恢复水体古盐度的指标（Turich C. and Freeman K.H., 2011. Archaeal lipids record paleosalinity in hypersaline systems. Organic Geochemistry 42, 1147-1157）。这里，我们调查了柴达木盆地 9 个湖泊水体悬浮物、沉积物及其周边土壤 CLs 与极性脂类（polar lipids, PLs）中 archaeol 与 caldarchaeol 比例（ACE’）与盐度的关系。结果显示：在不同环境各组分中，ACE’值与盐度均呈正相关关系；但 CL ACE’比 PL ACE’偏高，可能由于完整极性（IP）archaeol 与 IP caldarchaeol 具有不同的降解动力学；另外，

表层沉积物的 ACE’比水体 的 ACE’偏低，可能由于沉积物中自生古菌贡献了较多的 caldarchaeol。我们的研究表明：不同的 ACE’值可能反映了古菌种属随盐度的变化，但该指标能否定量恢复陆地古盐度仍需进一步探究。

S2-O-07

南海北部深层病毒细菌比的最大值及其海洋生物地球化学意义

Kedong YIN[1], Lei HE[1,], Dongxiao Wang[2]

1 School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, 510275

2 Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301, China

The vertical distributions of viruses and bacteria were investigated along E7 transect including three deep sites (E701, E409, E407) in the northern South China Sea during September 2005 using epifluorescence light microscope. There was a maximum in viral and bacterial abundance at the thermocline layer. In the deep water column, there was another maximum in viral abundance, coinciding with the minimum in bacterial abundance at 800-1000 m. Ratio of viruses to bacteria abundance (VBR) was maximal, higher than the average VBR. The maximum VBR layer was located at the minimum of dissolved oxygen. The coincidence provided us an important piece of evidence that viruses might control bacterial abundance when bacterial abundance was limited by the limitation of organic supply at deep sea and consequently, influenced biogeochemical processes such as oxygen consumption, carbon respiration and nutrient regeneration.

S2-O-08

宏基因组学以及宏转录组学分析北太平洋海底微生物群落

Weiwen Zhang

School of Chemical Engineering & Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, P.R. China

wwzhang8@tju.edu.cn

Microbial communities presented in water of four deep-sea sites of North Pacific Ocean were isolated and amplified for taxonomic and functional analysis using an integrated metagenomic and metatranscriptomic approach. Within the prokaryote community, bacteria is absolutely dominant (~ 90%) over archaea in both metagenomic and metatranscriptomic data pools. The emergence of archaeal phyla *Crenarchaeota*, *Euryarchaeota*, *Thaumarchaeota*, bacterial phyla *Actinobacteria*, *Firmicutes*, sub-phyla *Betaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria*, and *Gammaproteobacteria*, and the decrease of bacterial phyla *Bacteroidetes* and *Alphaproteobacteria* were the main composition changes of prokaryotic communities in the deep-sea water, when compared with the reference GOS surface water. Photosynthetic cyanobacteria were also identified in all four deep-sea sites by metagenomic analysis and in two sites by metatranscriptomic analysis. RNA/DNA ratio was employed as an index to show strength of metabolic activity (SMA) of prokaryotes in deep-sea environments. Eukaryotes are more

abundant than bacteria and archaea in all four sites, although decreased abundance of fungi and algae in deep sea was observed. Through functional analysis of genes/transcripts detected, we found that the genes/transcripts in the categories of 'cell wall biogenesis', 'cytoskeleton', 'defense mechanisms', 'signal transduction mechanisms', and 'replication, recombination and repair' were enriched in both prokaryotic and eukaryotic groups, indicating a 'defensive' life style of microbial communities living in the deep-sea water. The study provided the first integrated meta-genomic and -transcriptomic analysis of the microbial communities in deep-sea water of North Pacific Ocean.

S2-O-09

南太平洋表层海水微生物群落结构从超寡营养环流中心到边缘的演化

尹琦[1]，张晓华[1*]，富冰冰[1]，李冰玉[1]，史晓翀[1]，Fumio Inagaki[2]，IODP 329 航次科学家[3]

1 中国海洋大学海洋生命学院

2 日本海洋研究开发机构高知芯样研究院

3 综合大洋钻探计划 329 航次

xhzhang@ouc.edu.cn

介于 20—45°S 的南太平洋环流区是世界上最大的大洋环流区，其环流中心与陆地距离最远，广阔的环流区远离近海的扰动，囤积了大量相对沉寂的海水，而且具有寡营养、强紫外线照射等特征，使得南太平洋环流区的表层海水成为世界上最干净的水体，其叶绿素和初级生产力水平均低于其他洋区。海洋微生物的群落组成是海洋生态系统的重要组成部分，在海洋生物地球化学循环中起到重要作用。在南太平洋环流区表层海水这一世界上最干净水体的特殊海洋生态环境中，会形成特殊的海洋微生物群落结构。本文旨在通过对南太平洋环流区表层海水海洋微生物群落组成以及可培养细菌多样性的研究，首次揭示环流表层海水微生物的多样性和群落组成，对于进一步了解南太平洋表层海水的微食物环的形成，乃至填补全球海洋表层海水生态系统的空缺有非常重大的意义。

表层海水样品来自 2010 年 10 月 9 日至 12 月 13 日美国的大洋钻探船“乔迪斯·决心号”执行的综合大洋钻探计划 329 航次（Integrated Ocean Drilling Program，IODP），分别沿南太平洋环流中心至环流外缘剖面的四个站点 U1368、U1369、U1370 和 U1371 四个站点取表层海水（<1m），原样过滤 1-2L 不等的海水到滤膜上，-80°C 冻存。同时用浓缩海水样品在 2216E 和 R2A 培养基上进行涂布，筛选可培养的细菌。从涂布的 2216E 平板和 R2A 平板中分离到 255 株细菌并保种，选取 74 株细菌进行 16S rRNA 基因序列测序。

提取四个站点表层海水总 DNA 进行细菌和古菌的 16S rRNA 基因扩增，对构建的 8 个 16S rRNA 基因克隆文库进行多样性分析，并对其中 1200 个克隆进行了 16S rRNA 基因序列测序。所得到的南太平洋环流细菌克隆共 757 个，主要归为 5 大类群：变形菌门（Proteobacteria）、蓝细菌门（Cyanobacteria）、拟杆菌门（Bacteroidetes）、放线菌门（Actinobacteria）和疣微菌门（Verrucomicrobia）。其中变形菌门包括 α-, β-, γ-, δ- 变形菌纲。变形菌门（Proteobacteria）所占比例最高，四个站点分别为 81.1%（U1368），69.4%（U1369），56.1%（U1370）和 54.6%（U1371），且其所占比例从环流中心向外沿逐渐减小。变

形菌门中又以 α-变形菌纲占优势，β-变形菌纲和 δ-变形菌纲只在环流中心被检测到。蓝细菌门（Cyanobacteria）是第二大类群，环流中心（U1368 16.1%，U1369 24.5%）比例小于环流的外缘（U1370 30.1%，U1371 30.8%）。拟杆菌门（Bacteroidetes）所占比例则是从环流中心向外缘逐渐增加。南太平洋环流古菌克隆共得到 355 个，几乎都归为广古菌门（Euryarchaeota ）的 Marine Group II，只有一个克隆属于 Marine Group III。由此可见，南太平洋环流细菌多样性比较低，并且环流的中心和外缘在细菌的组成与优势菌群的种类上区别较大。

对四个站点总环境 DNA 进行的几个主要类群微生物的荧光定量 PCR 分析显示，细菌 16S rRNA 基因拷贝数从中心到外缘（U1368-U1371）分别为 5.96×10^5，8.87×10^5，2.55×10^6 和 1.26×10^6 copies ml^{-1}，古菌 16S rRNA 基因拷贝数从中心到外沿（U1368-U1371）分别为 1.17×10^6，4.01×10^6，1.90×10^7 和 1.13×10^7 copies ml^{-1}。其中细菌主要类群变形菌门（Proteobacteria）、蓝细菌门（Cyanobacteria）、拟杆菌门（Bacteroidetes）和厚壁菌门（Firmicutes）只占总细菌的 0.1%-0.5%。泉古菌（Crenarchaeota）的比例不到总古菌的千分之一。这表明南太平洋环流区的微生物量非常低，属于超寡营养的生境。

传统平板培养法得到的 74 株细菌主要属于变形菌门（Proteobacteria）、拟杆菌门（Bacteroidetes）、厚壁菌门（Firmicutes）和放线菌门（Actinobacteria）。基于 16S rRNA 基因序列分析发现，一共有 14 株细菌(占 18.9%)鉴定为潜在的新种，其中有 6 株与已知细菌的相似度低于 94%，为潜在的新属。这表明了南太平洋环流是一个非常特殊并且具有巨大新型生命活力的地区，对这一区域微生物群落的研究将对整个海洋生态系统的分析具有重大的意义。

S2-O-10

鄂霍次克海天然气水合物区柱状沉积物微生物多样性研究

李富超，高远，姜鹏，秦松，栾锡武

中国科学院海洋研究所，青岛，266071

lifuchao@qdio.ac.cn

鄂霍次克海位于太平洋的西北角，千岛岛弧的内侧，海域面积仅次于中国的南海，是西北太平洋大陆边缘中第二大边缘海，其三面被高耸的山脉环绕，这为该地区提供了大量有机及无机的沉降颗粒。同时鄂霍次克海的海底具有一种典型的冷泉环境，优异的地质构造条件和丰富的气源条件使该地区成为天然气水合物调查研究的主要目标区，因此对该区域微生物群落的调查，有助于认识该极端环境中某些生理未知微生物类群的功能并理解微生物活动对生态系统的影响。

本文对从鄂霍次克海冷泉区采集获得的沉积物 LV39-18H 样品按深度划分得到的 11 个断层中的 6 个断层进行了总基因组的提取，利用 16S rDNA 和 ITS（核糖体 rRNA 基因内转录间隔区）作为分子标记，构建克隆文库并结合总有机碳、总氮、硫等环境因子对该样品中的细菌、古菌和真核生物群落结构沿沉积物断层的分布情况进行研究，结果显示该沉积物中的细菌、古菌和真菌均具有高度多样性且显示出明显的成层分布：

1、细菌群落主要来自 10 个细菌门，优势门类为绿弯菌、未定门 JS1、γ-、δ-变形菌，同时还发现浮霉菌、未定门 OP8、放线菌、酸杆菌、拟杆菌、疣微菌的存在。在分布于表层沉积物 δ-变形菌类群中发现了占

该层群落 15%以上的 SRB（硫酸盐还原菌）类群，提示该沉积物环境中存在着 AOM（甲烷厌氧氧化）过程。

2、古菌类群主要划分为 DSAG、MBG-D、MCG、MGI、MBG-A 和 MHVG 等类群。其中 MBG-D 类群沿断层的垂直分布与沉积物中硫含量表现出相似的变化趋势，这提示 MBG-D 类群可能参与该环境中硫相关的地质化学过程。

3、该环境下真核生物具有较高的多样性，主要为 3 大类：真核藻类、真菌和微型浮游动物。5 个系统发育类型属于硅藻，另有 2 个和 1 个系统发育类型分别属于绿藻和甲藻，其中角毛藻为鄂霍次克海域最主要的浮游藻类。根据 Shannon 多样性指数显示，真菌的多样性最高，达到 2.08，浮游动物多样性最低为 1.04。这为该区域浮游生态学及真核生物所参与的生物地球化学过程和生态学意义提供了研究基础。

S2-O-11

甲烷厌氧氧化古菌中的碳代谢途径及电子传递

张宇

上海交通大学

zhang.yusjtu@sjtu.edu.cn

Anaerobic oxidation of methane (AOM) prevents more than 90% of the oceanic methane emission to the atmosphere and is crucially influencing global methane biogeochemistry. Although AOM process has been intensively investigated for decades, knowledge on its mechanism is still lacking at present. The major difficulty lies on the cultivation of the key players involved: anaerobic methanotrophic archaea (ANME) and sulfate reducing bacteria (SRB), since their doubling times are 1-7 months. In this study, a highly enriched ANME-2/SRB community was obtained after long-term incubation under high methane-pressure. Through metagenome analysis and metatranscriptome analysis on this enrichment, for the first time a complete and functioning reverse hydrogenotrophic methanogenesis pathway from CO_2 was demonstrated. All the genes for methanogenesis pathway including the previously missing *mer* in the ANME-1 genome were found to be present and actively expressed. This is the first unambiguous evidence showing that AOM can be mediated via a complete reversal of methanogenesis. Moreover, versatile electron transferring pathways were revealed within ANME-2. Comparing ANME-1 and ANME-2, different groups of ANMEs have distinct methane oxidizing mechanisms which lay the foundation to understand their environmental niche differentiation, physiology and evolution.

S2-P-01S

祁连山冻土水合物区表层沉积物微生物多样性研究

宋玮鹏

中国地质大学（北京）

paopao0708@126.com

天然气水合物作为一种极具潜力但开发较少的新型清洁能源，多以分布于海洋大陆架边缘、陆坡沉积物中的海底天然气水合物资源而为人所知。然而，多年冻土带沉积物中的特定温度和压力条件下也可形成水合物，并受地质条件、天然气的组成等因素的控制从而形成良好的水合物矿藏。而且，与海底水合物相比，冻土带水合物由于其分布于陆

地有着明显的开发优势。

冻土区中含有丰富的微生物种类，这些微生物对于冻土带环境中的元素循环，矿物形成和变迁，地下水的演化等地球化学过程起着重要作用。其中天然气水合物与这些微生物的关系主要是提供生物成因来源气体和对水合物或甲烷进行分解。在冻土带这一特殊的环境下，这些适应低温的微生物，具有独特的分子生物学特征和生理生化适应机制，它们的群落结构和多样性特征对水合物的分布，成矿机制具有良好的响应，因此具有极大的研究价值。

2008 年 11 月至 2009 年 10 月，我国在祁连山冻土区首次发现的天然气水合物，这同时也是世界中纬度高山冻土区首次发现天然气水合物，具有重要的科学意义和经济意义。DK-1、DK-2、DK-3 和 DK-4 钻井均位于青海省祁连山南缘，地处木里煤田聚乎更矿区三露天井田，此地构造单元属南祁连盆地的木里坳陷西端，出露的地层除第四系外，还有中侏罗统江仓组和木里组。该区具有良好的煤矿产出，进行多年采矿作业，同时又属高原冻土带，生态环境特殊，具有高寒草原、高寒草甸、高寒沼泽草甸多种生态类型，随着煤矿开采和冻土退化，各种生态类型退化严重。由于冻土带天然气水合物的研究刚刚起步，对于此地不同生态类型甲烷释放特征；甲烷释放与气候变化关系；能源开发造成环境破坏等方面的研究十分欠缺。另外，祁连山冻土区纬度较低、冻土厚度薄、地温高和太阳辐射强，近年来全球气候的变暖趋势严峻，使高原冰川末端迅速退缩，生态环境的急剧变化使天然气水合物越来越不稳定，这将对环境构成巨大威胁。

对水合物钻探影响区附近不同生态类型地区表层微生物的细菌和古菌多样性与群落结构的研究具有重要的生态意义，微生物的多样性特征与甲烷释放有很好的响应，而且与水合物开采对生态的影响有密切联系。

S2-P-02

磴口地区近代湖泊气候变化的有机地球化学记录初探

杨桂芳，武法东，高美玲，尹雪锋

中国地质大学（北京）地球科学与资源学院

yangcugb@gmail.com

湖泊作为一种特殊的自然综合体，对外界气候变迁、环境系统变化的反应极为敏感，尤其是内陆干旱、半干旱封闭湖泊对气候变化的响应更是如此，因而常用于近现代环境变迁的研究。本文以内蒙古磴口地区近代湖泊纳林湖沉积物为研究对象，通过有机地球化学方法、结合野外沉积学特征，对湖泊沉积剖面进行了综合分析，并结合已有的研究成果，尝试重建了该地区 2000 年以来的气候变化特征。

通过对磴口地区纳林湖一个 120cm 深度的沉积剖面中的 GDGTs 组成及其分布特征进行测定分析，发现纳林湖湖泊沉积物中具有丰富的GDGTs, BIT 指标平均值为0.81, 以反映陆相有机质来源的支链类 GDGTs 为主。C/N 比值相对较低，平均值 6.59，呈现出高—低—高的变化，揭示了纳林湖沉积物的有机质在这段时期受到陆源有机质的输入影响。TEX_{86} 指标所反映出的湖水表层温度与湖水年均温度接近，但比实际值稍有偏高，可能由于 BIT>0.5，陆源有机质丰富影响了 TEX_{86} 的精确性，TEX_{86} 指标在本论文研究区仍具有一定的适用性。

利用 CBT 计算得出纳林湖沉积物的 pH 值介于 7.7-8.3，平均值 7.9，与实际测得的数值吻合很好。而高红霞（2007）等研究也发现古河套地区土壤富含富 CaO、MgO 等为主的碱性土壤，河套平原其它地区乌梁素海，

哈素海pH 均为9.04 与8.9(马龙和吴敬禄，2010）。因此纳林湖地区利用 *b*GDGTs 环化指标CBT计算得出的pH 值反映了与河套地区湖泊的 pH 是一致的。

支链类 GDGTs 的环化指标和甲基化指BT/CBT)揭示纳林湖流域内两千年来的年均气温的变化，总体温是逐渐升高的，与古里雅冰芯气候曲线一致，反映了一种区域性气候的环境变化。究还揭示出一些历史时期的重大气候事件，如隋唐温暖期、中世纪暖期、冰期等气候变化，这些与其它气候曲线对比、历史文献记载都有较好的一致性。因此，通过对河套地区现代湖泊沉积的 GDGTs 研究分析，对于认识全球气候变化及对未来几十年至百年尺的气候预测和演化具有重要的科学意义。本论文恢复了纳林湖流域的 2000 年来古温度变化，而对于纳林湖流域的降雨量探讨不足，今后工作可以加强对该研区古降雨量的重建，建立新的古降雨量指标。且湖泊的沉积环境受到外界环境的因素影响，今后应加强多指标的综合研究对比，进而更精确的恢复过去环境的变过程。

S2-P-03

微型真核生物对大气氧化和叠层石形成的可能贡献:来自研究酸性矿山废水生物膜和叠层石的线索

Shamik Dasgupta[1]，张利 [2]，方家松 [1*]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉）地球科学学院

*jsfang@tongji.edu.cn

一般认为原核生物是最早和最原始的生命形式，主宰着地球的早期历史，因此，以往的研究主要集中于对现存原核生物化石的研究。这些原核生物（以蓝细菌为主）最早进行有氧光合作用，进而导致大气层的氧化，并促使更复杂生命形式的演化。但是，由于真核生物的遗体化石很少能保存在地质记录中，在过去的地球科学研究中，它们常被忽略。然而，由于所有多细胞生物均由单细胞真核生物进化而来，因此，真核细胞的起源被认为是最重要的生命进化步骤。

我们对美国印第安纳州酸性矿山废水点的生物膜和叠层石所进行的微生物学和生物地球化学研究表明，酸性矿山废水（AMD）环境很可能与地球的初始环境相似。扫描电镜和脂类标志物分析结果显示，嗜酸、进行光合作用的微型真核生物—眼虫类 *Euglena mutabilis* 在 AMD 形成底栖和浮游生物膜。我们所检测到的大量植二烯、植醇、植烷醇、多不饱和 *n*-烯烃、多不饱和脂肪酸、短链（C_{25-32}）蜡酯、表角固醇和生育酚也证实了进行光合作用的微型真核微生物眼虫类在 AMD 生物膜的主导地位。蜡酯可能是在缺氧条件下的线粒体中合成，甾醇类（麦角固醇和麦角甾-7,22-二烯-3β-醇）很可能是在分子氧存在的细胞质中由眼虫合成。脂肪酸、*n*-烯烃、植二烯和蜡酯均显示了异常重的 $\delta^{13}C$ 值。脂类中 ^{13}C 的富集可归因于存在于 AMD 中的 CO_2 受限系统、微生物生理学和独特的脂类生物合成途径。需氧和厌氧的双重生物合成途径可能是过去地球厌氧环境的生物地球化学孑遗。在当时的环境下，真核生物为了在偶尔的缺氧事件中生存，不得不保留了这种生物地球化学机制以利于生存和繁育。我们的发现揭示，与原核生物一样，微型真核生物在地球早期也进行了古老的光合作用，且微型真核生物可能对地球早期大气层的氧化和叠层石的形成同样做出了重大贡献。本研究还提供了一套独特的关于微型真核生物蜡酯的生物标志物和 $\delta^{13}C$ 特征资料，这对于解决与地球早期真核生物增加及其对晚太古和早元古影响的相关被忽略的生物地球化学

问题可能非常有用。

S2-P-04S

大气 CO_2 浓度升高对氨氧化古菌群落的影响

赵锐，王红梅*，杨欢，丁伟华

生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学，武汉

* wanghmei04@163.com

氨氧化古菌在广泛分布地球上的各中环境中，并且在全球氮循环特别是硝化作用中发挥着重要作用。目前大气 CO_2 浓度持续升高，加剧了全球变暖的步伐。作为海洋和陆地生态系统最为重要的组成部分，微生物群落对 CO_2 持续升高的响应以及大气 CO_2 浓度升高对微生物群落功能的影响等还鲜为人知。已有研究表明 CO_2 浓度的升高会导致海水的酸化，从而降低海洋微生物的硝化作用。而大气 CO_2 浓度的升高对陆地生态系统中微生物群落的影响的研究还比较少，结论相互矛盾。湖北清江和尚洞由于其本身的特殊性，CO_2 从洞口到洞内形成了一个天然的浓度梯度，为我们提供了一个用于研究微生物对大气 CO_2 浓度升高响应的天然实验室。在本研究中，我们采用克隆文库、功能基因的定量分析以及微生物特征四醚类脂物 GDGT 的分析，共同探讨了氨氧化古菌群落对大气 CO_2 升高的响应。结果表明：大气 CO_2 浓度升高会明显改变氨氧化古菌的群落结构，同时降低氨氧化速率。由于氨氧化古菌在地球上特别是陆地环境的广泛分布，在很多环境中丰度会高于氨氧化细菌，因此阐明它们对全球大气 CO_2 浓度升高的响应规律以及对硝化作用的影响，对了解全球氮循环以及预测 CO_2 持续升高的背景下的氮循环具有十分重要的意义。

S2-P-05S

希瓦氏菌 WP3 中铁摄入调控蛋白对厌氧呼吸的调控

Xin-Wei Yang[1], Ping Sun[2], Jun Xu[1], Xiang Xiao[1], and Feng-Ping Wang[1, 3*]

1 State Key Laboratory of Microbial Metabolism and School of Life Sciences and Biotechnology, State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiao Tong University

2 School of life sciences, Xiamen University

3 Key Laboratory of Systems Biomedicine, Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University

*fengpingw@sjtu.edu.cn

Ferric Uptake Regulator (Fur) is a global regulator which controls bacterial iron homeostasis. We have shown a *fur* deletion mutant of the deep-sea bacterium *Shewanella piezotolerans* WP3 (*S. piezotolerans*) with severe defects in anaerobic respiration. The WP3_*fur* mutant was found to contain less c-type cytochromes than the wild-type WP3. Comparative transcriptome analysis by RNA sequencing between WP3 and WP3_*fur* revealed a large number of genes involved in anaerobic respiration were repressed in the *fur* mutant. These results indicate that Fur predominately regulates anaerobic respiration by controlling the anaerobic energy transportation, heme synthesis and transportation, and cytochrome *c* maturation systems. A Fur regulation model for anaerobic respiration in WP3 was postulated based on the obtained datasets. This dataset indicates an indirect repression by Fur is the dominant effect. Additionally, Fur is likely to be an important environmental sensor and a global regulator involved in various cellular processes

and its participation in the regulation of anaerobic respiration is likely a prevailing mechanism not only in the marine originated *Shewanella* species, but also in other marine iron-reducing bacteria.

S2-P-06S

深海低温丝状噬菌体 SW1 调控机制及其与宿主相互作用关系的研究

蹇华哗，王风平，肖湘*

上海交通大学生命科学技术学院

*xoxiang@sjtu.edu.cn

目前从不同的深海沉积物中最经常分离到的微生物之一是希瓦氏属细菌（*Shewanella*），而且利用分子生态技术如 16S rRNA 基因文库分析发现许多深海沉积物中希瓦氏属细菌为优势种群，因此对 *Shewanellae* 的研究对于深海微生物研究有典型的代表性和普遍意义。SW1 分离自深海细菌 *Shewanella piezotolerans* WP3，是希瓦氏菌属中分离到的第一株丝状噬菌体，也是目前报导的仅有的几株深海低温噬菌体之一。我们通过实验证实了 SW1 在 DNA 复制，转录，翻译以及噬菌体组装水平上都是低温诱导的。对其调控机制的研究发现其基因表达不依赖于经典的 SOS 途径，而在 SW1 的两个关键基因中发现了很长的 5’ UTR ，暗示着 sRNA 可能在 SW1 的调控过程中起作用。通过构建噬菌体缺失的 WP3 菌株，我们对深海噬菌体及宿主的相互作用关系进行了初步的探讨，结果显示 SW1 的缺失导致 WP3 在高压低温条件下生长更好，同时其在低温下的运动性也显著增强，表明噬菌体在深海细菌的生长、代谢及细胞功能等方面都起着重要的作用。在今后的研究中，我们的 SW1-WP3 可以作为典型深海环境的噬菌体-宿主系统模型来揭示噬菌体在深海环境中的重要生态作用，同时为深海细菌进化过程提供参考。

S2-P-07S

云南热泉中古菌 GDGTs 的分布特征及其对环境因素的响应

吴伟艳 [1,2]，张传伦 [2,3]，王欢业 [4]，何柳 [2]，李文均 [5]，董海良 [6,7]

1 中国地质大学（武汉）资源学院

2 同济大学海洋与地球科学学院

3 Department of Marine Sciences, The University of Georgia, Athens, GA 30602, USA

4 黄土与第四纪国家重点实验室，中国科学院地球环境研究所

5 西南微生物多样性教育部重点实验室，云南大学省微生物研究所

6 Department of Geology, Miami University, Oxford, OH 45056, USA

7 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院

wuweiyan21@gmail.com

古菌类异戊二烯 GDGTs（glycerol diakyl glycerol tetraethers）作为其细胞膜的核心类脂物，广泛存在于海底热液喷口、海洋、湖泊、泥炭沼泽、热泉、黄土和石笋等环境中。在低中温环境中，与古菌 GDGTs 相关的 TEX_{86}、BIT 和 MI 等地球化学指标已陆续被建立并得到广泛运用。而在热泉等高温环境中，古菌 GDGTs 的报道相对较少。我国云南省热泉分布广泛，但目前尚无对其热泉古菌 GDGTs 的具体报道。本文对云南不同热泉中古菌 GDGTs 的分布特征及其对环境因素的响应进行了研究。发现：1）古菌 GDGTs 普遍存在于云南热泉中，其个别化合物的相对含量与温度表现出一定的线性关系；2）环化指数与温度和 pH 都没有表现出线性关系，TEX_{86} 值与温度的相关性很弱；3）

Crenarchaeol 的相对含量与温度负相关（R^2=0.31），说明这一特殊化合物更适合于在低温下合成。

S2-P-09S

神狐海域 SH2B 含水合物钻孔岩心沉积物中原核微生物多样性

焦露

中国地质大学（北京）海洋学院

littlebunny7@163.com

海洋沉积物覆盖了地球表面超过 2/3 的面积，深海环境中的微生物在海洋生态系统的生物地化循环中发挥着重要的作用。研究表明海底沉积物中蕴藏着巨大的天然气水合物矿藏，其形成和保存与深部生物圈微生物活动密切相关，主要关系表现在两个方面：提供生物成因来源气体；对水合物或甲烷进行分解。这两个相反的方面涉及具有不同营养方式的微生物类群、以及它们的生命活动与微生态等一系列复杂过程，因此，国内外研究者在利用微生物群落结构和标志类群识别沉积物中水合物等方面进行了大量研究。

神狐海域位于南海北部陆坡中段，我国在该区的有关地质调查发现大量指示天然气水合物存在的地球物理和地球化学等标志。2007 年 4 月，我国首次在南海北部地区神狐海域进行了天然气水合物钻探实验并成功取得天然气水合物实物样品。本研究所用的样品 SH2B 钻孔岩心来自于该航次，该岩心中含有天然气水合物，对该岩心沉积物中展开原核微生物多样性以及生物标志化合物的研究，旨在获得对该区沉积物微生物多样性的了解，并与南海其他海域的微生物种群进行比较，探讨该区域微生物种群结构和生物标志化合物组成的独特性。

SH2B 岩心中，MCG、SAGMEG 和 Thaumarchaeota 共同组成了 SMI 以下至水合物层的古菌群落优势类群，变形杆菌和厚壁菌是细菌这个深度的主要类群。SH2B 岩心随着深度的增加，微生物结构变得简单。水合物层上部古菌类群逐渐减少，到水合物层底部，基本都是由单一特定的群落构成。SAGMEG 、 Thaumarchaeota 和嗜热菌 Thermoproteales 是三个最多的微生物群落。该岩心深部微生物多样性低，越往深处，微生物的群落结构越简单，微生物群落组成与甲烷相态之间存在明显的对应关系，对比其它发现水合物的海域，也存在这种对应关系。原因可能是不同相态下甲烷以不同的形式出现，影响了以甲烷为碳源的微生物的种群与数量，以至于影响到整个微生物群落结构。

首次用生物标记化合物来研究神狐水合区钻孔中微生物。结果显示细菌磷脂脂肪酸（PLFA）以直链饱和脂肪酸为主，有明显的偶碳优势，以 16:0 相对含量最大，不饱和脂肪酸只检测到单烯酸，总体相对含量较低，其中以 16:1ω7c、18:1ω9c 含量最高，这两种脂肪酸在甲烷氧化菌中存在，可能代表了甲烷菌的相对含量。

PLFA 单体碳同位素值在（-26.4‰）-（-37.0‰）之间，与神狐海域有机碳中碳同位素平均值-20.9‰ 比，亏损值最大达到 16.1‰。一方面表明，神狐海域含水合物区的这些厌氧细菌对有机质中碳具有强的分馏作用，另一方面也有可能指示一些耗甲烷细菌利用微生物成因的甲烷为能量来源，低碳同位素值的甲烷参与脂类代谢过程，影响了细菌 PLFA 的碳同位素值。SH2B 钻孔岩心中有机碳和细菌 PLFA 碳同位素值在 SMI 以下至水合物层之间，基本没有变化，表明微生物的碳源和分馏作用稳定。神狐钻探区的甲烷碳气体同位素值在−74.3‰ 到−46.2‰ 之间，如果微生物利用甲烷作为能量来源，这

些具有轻同位素值的碳就会进入细胞，参与脂类化合物的合成，会造成 PLFA 的碳同位素值偏低。这或许也是水合物层 PLFA 碳同位素值比有机碳碳同位素值亏损最大达到 16.1‰ 的一个原因。

SH2B 岩心总共挑选了 10 个深度样品测试古菌 GDGT，其中两个深度的样品在 SMI 附近（26.1 m 和 34.1 m），其它 8 个样品集中在水合物产出层位及以下深度。共检测到 6 种主要的古菌 GDGT 组分，分别是 GDGT-0, 1, 2, 3、crenarchaeol 和 crenarchaeol-isomer（简写为 cren-iso）。古菌 GDGT 以 crenarchaeol 为主，最新的研究认为这种化合物可能是新划分门类 Thaumarchaeota 古菌的一种标志性化合物，含量可能代表了这类古菌的丰度，这与通过分子克隆手段得到的文库信息是一致的，即 Thaumarchaeota 古菌是神狐含水合物岩心中 SMI 层和水合物层的优势类群。该门类古菌是首次在水合物环境中大量发现，它们存在与水合物产生和分解之间是否有关系，还不清楚。GDGT 含量在水合物层相对稳定，总体趋势表现为水合物层上部含量比下部高，随着深度增加，呈线性降低。

通过对 SH2B 岩心沉积物中原核微生物种群结构和生物标志化合物的研究显示，显示了该区域沉积物中原核微生物的多样性。

S2-P-10S

青藏高原冷泉氨氧化古菌和氨氧化细菌丰度及多样性

彭超，蒋宏忱，董海良

中国地质大学（北京），生物地质与环境地质国家重点实验室

p163c@163.com

氨氧化作用是全球氮循环中的重要组成部分，研究各种环境中氨氧化古菌和氨氧化细菌的类型和丰度，对于了解全球氮循环与气候变化有着非常重要的意义。我们研究了青藏高原冻土中四个冷泉中的氨氧化细菌和氨氧化古菌的种群构成。采样地点位于青藏高原可可西里地区东部。前人研究表明采样点地下蕴藏着天然气水合物。为描述采样点的地球化学特征，我们利用 X 射线粉晶衍射（XRD）分析了冷泉沉积物中矿物成分，主要为石英、方解石和钠长石，不同采集点的各成分相对含量略有差异，但都以石英和方解石含量为最多。四口冷泉的温度和 pH 值接近，用感应耦合等离子体质谱(ICP-MS)分析水样结果表明，多数阴阳离子含量差异较大。

利用分子生物学手段获得冷泉的 DNA 序列并构建基因克隆文库，将所得序列与 GenBank 序列进行比对，进行系统进化分析，并用定量聚合酶链式反应法测量了各冷泉样品的微生物丰度。

在四个冷泉的沉积物中分别获得了 25、20、26 和 23 条古菌 amoA 基因序列。基于 2%基因相似性，这些序列可以划归为 38 个分类操作单元。大多数（91.4%）氨氧化古菌操作单元，分属于两个主要的簇：Nitrososphaera 簇和 Nitrosocaldus 簇，其中前者是优势种群。研究中得到的这两簇中的氨氧化古菌 amoA 基因序列，与前人在其它很多环境中提取的 amoA 基因相似。

在四个含气冷泉的沉积物中分别获得了 27、28、21 和 28 条细菌 amoA 基因序列。基于 2%的基因相似性，这些序列可以划分成 46 个分类操作单元。获得的氨氧化细菌分类操作单元能够分属两个 β 变形杆菌氨氧化细菌簇，即 Nitrosospira-like 簇和 Nitrosomonas-like 簇。其中，Nitrosospira-like 种群更占优势。

在四个冷泉沉积物样品中都有氨氧化古

菌和氨氧化细菌的 amoA 基因与细菌和古菌的 16S rRNA 基因，但丰度各异。每克沉积物样品含氨氧化古菌 amoA 基因 2.57×10^3-2.63×10^4 拷贝/克沉积物，古菌 16S rRNA 基因 2.91×10^7 8.17×10^7/克沉积物。四个冷泉中，氨氧化古菌 amoA 基因的量占古菌 16S rRNA 基因的比例为 0.07‰-0.12‰。每克沉积物样品含氨氧化细菌 amoA 基因 1.93×10^3-1.66×10^4 拷贝/克沉积物，细菌 16S rRNA 基因在 1.74×10^7-1.44×10^8 拷贝/克沉积物。氨氧化古菌 amoA 基因的量占古菌 16S rRNA 基因的比例为 0.05-0.95‰。

与鄂霍次克海海底甲烷冷泉中氨氧化古菌相比，在青藏高原冷泉的氨氧化古菌的多样性较低。在青藏高原的四个冷泉中，氨氧化细菌和氨氧化古菌 amoA 基因与细菌和古菌的 16S rRNA 基因比海底甲烷冷泉高几个数量级。无论是在氨氧化古菌 amoA 基因克隆文库中，还是在 16S rRNA 基因克隆文库中，都有一部分序列与可分离培养的氨氧化古菌 ---*Nitrosopumilus* maritimus SCM1 (EU239959)高度相似。这个现象在深海冷泉中和青藏高原冷泉中都出现了。

青藏高原含气冷泉中，氨氧化古菌和氨氧化细菌 amoA 基因丰度低于青藏高原土壤和青海湖。然而，其氨氧化古菌 amoA 基因丰度却与 Kamchatka 热泉相似。与前人报道的不同，在研究的四个冷泉中，硝酸根浓度与氨氧化古菌和氨氧化细菌 amoA 基因丰度无关。同样，在这四口含气冷泉中，氨氧化古菌和氨氧化细菌基因丰度之比大小并不恒定。本研究中这一比例在 2:1 到 1:10 之间变化，即使采样点之间的地理距离非常近，其差异也较大。这意味着这两类微生物在高原含气冷泉下具有较高的活跃性。

基于 98%相似性，将青藏高原含气冷泉中的氨氧化古菌序列与其他环境的进行了 β 多样性比较，用 Qiiime 软件包生成 Morisita-horn 环境分析树，结果显示，在青藏高原各种环境中的氨氧化古菌相似性较高。比较而言，青藏高原冷泉中的氨氧化古菌种群与青藏高原湖泊中的更相似，而与青藏高原土壤中的差异要大些。

S2-P-11

深海严格嗜压超嗜热古菌 *Pyrococcus yayanossi* CH1 环境适应性机理研究

徐俊，李学恭，何莹，王风平，肖湘

上海交通大学生命科学技术学院

xujunn@sjtu.edu.cn

Pyrococcus yayanossi CH1 分离自大西洋中脊深海热液口烟囱体样品，其生长温度范围 80-108 °C，耐受压力范围 20-120 MPa，最适生长温度为 98°C 和 52MPa，为目前国际上仅有的一株严格嗜压、超嗜热古菌。研究该菌株的环境适应性机理对了解生命耐受的温度压力极限具有重要意义。

CH1 的基因组为一环状 DNA 分子构成，G+C 含量为 51.6%，无染色体外质粒。全基因组序列测定分析表明其大小为 1714817bp，预测 ORF 共 1929 个，平均编码长度约 815bp，其中包括 46 个 tRNA 基因、假定蛋白 660 个。网上已公开的全基因组序列的 4 株火球菌中 *P. furiosus* 来自于近岸海滩地热点，其它三株菌都来自于深海热液口环境（*P. horikoshii* 水深 1400m, *P. abyssi* 水深 2200m, *P. yayanossi* 水深 4100m）。基因组序列比较分析发现 4 株菌中共有基因约占全基因组 2/3 以上，该结果暗示火球菌属的共同深海起源。深海热液口是一个具有陡峭化学和温度梯度变化的环境，要适应这样一个高度可变的环境，基因组需要有高度的可塑性。在火球菌属和热球菌属基因组中发现的大量基因重排与整个

基因组中存在的转座元件、基因水平转移完全不成比例，暗示基因重排在一定程度上为这类微生物提供了适应可变环境的机制。

通过诱变已成功获得 CH1 菌株衍生的兼性嗜压高温突变菌株，并构建了该菌的遗传操作系统。据此，可通过比较基因组测序分析获得严格嗜压和兼性嗜压菌株的基因组差异；对兼性嗜压高温古菌在不同压力条件下的转录组差异和细胞组分差异进行分析，可确定其中与高温高压环境适应性相关的基因。本研究有望从呼吸产能、基因组完整性和基因表达调控等几个方面阐述超嗜热嗜压古菌的环境适应性机理。

S2-P-12S

东南极格罗夫山地区寒漠土壤可培养细菌多样性的初步研究

张迪[1,2]，苑孟[1,3]，董宁[1,3]，李会荣[1]，俞勇[1*]

1 中国极地研究中心

2 山东大学威海分校

3 中国海洋大学

* yuyong@pric.gov.cn

东南极格罗夫山地区由于年降水量少和极端低温，以前被人们认为不可能有土壤的形成。1999~2000 年间，中国南极科学考察第 16 次队在该地区的哈丁山南岭首次发现了属于南极寒漠土壤（cold desert soil）类型的土壤。为了研究其中的可培养细菌多样性，第 26 次南极考察期间， 在相同的地点采集了 3 份土壤样品。应用密度梯度离心法收集样品中的菌体，经系列稀释后涂布 R_2A、TSA 和 1/100 的营养肉汤培养基，分别在 12℃和 28℃条件下培养 20d 后，根据菌落形态不同从中分离出 30 个菌株。16S rRNA 基因全长序列系统发育分析表明：（1） 分离菌株的近缘细菌（98.2%~100%）来源于非南极地区的空气、土壤、水体和生物体等环境。（2）分离菌株归属于 12 个细菌属，分别为变形菌门的 *Acinetobacter*、*Brevundimonas*、*Rhizobium*、*Sphingobium*、*Massilia*；厚壁菌门的 *Bacillus*、*Exiguobacterium*、 *Oceanobacillus*；放线菌门的 *Brachybacterium*、*Micrococcus* ；拟杆菌门的 *Pedobacter* 、*Hymenobacter*。（3）其中有 3 株菌的 16Sr RNA 基因序列与已知种的相似性小于 96.5%，为潜在的新种。

S2-P-13S

西藏热泉古菌脂类的来源性研究

Fuyan Li[1,2], Zhaoqi Song[3], Yong Zhang[4], Bin Fang[4], Hailiang Dong[4,5], Guifang Yang[2], Weijun Li[3], Chuanlun Zhang[1,6*]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences-Beijing, Beijing 100083

3 Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources, Yunnan Institute of Microbiology, Yunnan University, Kunming 650011

4 School of Ocean Sciences, China University of Geosciences-Beijing, Beijing 100083

5 Department of Geology, Miami University, Oxford, OH 45056

6 Department of Marine Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30602

*zhang@srel.edu

Isoprenoid glycerol dialkyl glycerol tetraethers (iGDGTs) are archaeal biomarkers and used to reflect the community structure of *Archaea* in the environment. In this study, sediment samples were collected from six hot springs (42-51°C and pH 7- 7.3) in the Nima region in Tibet. An upland soil

sample was also collected. The occurrences and distribution of archaeal Polar- (P) and core- (C) iGDGTs were determined by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. The total P-iGDGT concentration (avg. 23.73 ± 23.10 ng/g, n = 6) ranged from 0.78 ng/g to 56.08 ng/g and was almost similar to the corresponding C-iGDGTs; on the other hand, in the soil sample, the total CL and PL concentrations were all below 0.5 ng/g. The correlation of the CLs with the PLs in hot springs was strong (R^2=0.851). In both PL and CL fractions, iGDGT-0 to iGDGT-2 and crenarchaeol were predominant with the exception of one hot spring (48°C, pH 7), which was dominated by GDGT-0 and GDGT-6. The high crenarchaeol was present in neutral and alkaline hot springs, as expected by the previous hot spring studies (De La Torre et al., 2008 and Pearson et al., 2008). The P- and C-iGDGT distributions in the soil sample were characterized by GDGT-4 and crenarchaeol, very different from those in the corresponding hot springs. These results suggest that P- and C-iGDGTs were mainly from in situ production.

S2-P-14S

中国淡水湖泊与咸水湖泊(青海湖)四醚膜脂化合物分布特征

Zheng Fengfeng[1,2,3], Ruan Xiaoyan[1,2*], Yang Huan[1,2], Li Jingjing[1,2], Qin Yangmin[1], Zhang Chuanlun[3]

1 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3 The State Key Laboratory of Marine Geology and School of Ocean and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China

zff9900@163.com

Glycerol dialkyl glycerol tetraethers (GDGTs) are core membrane lipids of archaea and some unknown bacteria. To further explore whether GDGTs-based proxies can be applied to the lacustrine systems, we investigated the distribution of archaeal iGDGTs and bacterial bGDGTs in surface sediments of a typical saline lake (Qinghai Lake) and eleven freshwater lakes and water channels in the middle reaches of Yangtze River and compared the GDGTs-based proxies among different lakes.

Isoprenoid GDGTs and branched GDGTs present in all lakes sampled. iGDGTs dominate the total GDGT pool in Qinghai Lake while bGDGTs are most abundant among the shallow freshwater lakes. The ratio of GDGT-V/crenarchaeol indicate methanogens areprobably the major source of iGDGTs in lakes in the middle reaches of Yangtze River and contribute a large fraction of GDGTs involved in TEX_{86} calculation, resulting in a bias towards lower values. These lakes are probably a major terrestrial methane source.

The MBT/CBT-derived temperatures correlate well with observed temperatures in most shallow freshwater lakes. The cold biases in MBT/CBT-derived temperatures seem to “disappear” in those lakes and are even higher

than the observed temperatures in some lakes. We compare the distribution of bGDGTs in lakes with different trophic states, it's noticeable that the relative abundance of GDGT-I is enhanced in the eutrophic lake. This may suggest that higher turnover of GDGT-I results in bias of MBT/CBT-derived temperatures warmer than the actual value. Thus human activity may impact the application of bGDGTs in the lake environment.

S2-P-15

南大西洋热液区盲虾共附生微生物多样性分析

曾湘，张晓波，董纯明，姜丽晶，邵宗泽*

国家海洋局海洋生物遗传资源重点实验室，国家海洋局第三海洋研究所

* shaozz@163.com

本研究采用非培养方法和可培养方法对南大西洋热液区盲虾（*Rimicaris* sp.）共附生微生物多样性进行了分析。本实验中热液盲虾样品由"大洋一号"考察船 22 航次于 2011 年 6 月获得，采集自南大西洋洋中脊热液区 DY22-V-TVG04 站位南纬 15°附近，水深 2748m，由电视抓斗采样器获取。本研究采用非培养方法构建了盲虾共附生微生物 16S rRNA 基因文库，针对不同盲虾个体（虾 1，虾 2）和不同盲虾组织（虾腮、虾肠、虾肉）进行群落结构多样性分析。结果发现，虾 1 鳃部非培养共附生微生物群落构成以变形菌门（Proteobacteria）为主，主要为 ε-变形菌纲（82.9%），其次为 γ-变形菌纲（9.6%），α-变形菌纲（2.2%），拟杆菌门（2.1%），δ-变形菌纲（1.1%）。虾 2 鳃部共附生微生物群落结构与虾 1 较为相似，变形菌门同样是其中的优势菌群，ε-变形菌纲（68.5%）为主要类群，其次为 γ-变形菌纲（20.1%），α-变形菌纲（5.6%），拟杆菌门（3.4%），ζ-变形菌纲（1.1%）。在虾 2 腮部的菌群结构中，发现了具有铁氧化功能的 ζ-变形菌。两只虾鳃组织的共附生菌菌群结构较为相似，种类略有差异。盲虾虾肠的菌群结构与虾腮中的菌群结构有较大差异，并且个体差异也较为明显。虾 1 肠的共附生菌群包括变形菌门（Proteobacteria）（67.0%）、脱铁杆菌门（Deferribacteres）（27.4%）和拟杆菌门（Bacteroidetes）（11.5%）三大类群，其中变形菌门中 ε-、α-和 γ-变形菌纲分别占克隆子总数的 60.2%、7.6%和 4.6%。虾 2 肠道共附生菌包括四大类群，脱铁杆菌门（Deferribacteres）（61.3%）的数量大幅增加，并出现了厚壁菌门（http://rdp.cme.msu.edu/classifier/hierarchy.jsp?root=2259&depth=0&confidence=0.8）类群（12.9%），其余类群为变形菌门（Proteobacteria）（9.7%）和拟杆菌门（Bacteroidetes）（8.6%）。比较两只盲虾肠道菌群发现肠道共附生微生物菌类群相似，但群落结构存在较大差异，这可能与个体生长周期和生长健康状况有一定关系。仅在虾 1 的肉组织中成功扩增了细菌 16S rRNA 基因，并构建了 16S rDNA 文库，获得数量较少的 37 个阳性克隆子，其主要类群是变形菌门（Proteobacteria）（86.5%），其中 γ-、ε-和 δ-变形菌亚门分别占克隆子总数的 78.4%、5.4%、和 2.7%，拟杆菌门（Bacteroidetes）（2.7%），脱铁杆菌（Deferribacteres）（8.1%），另外还有约 2.7%的细菌无法归类。

另外，本文对盲虾不同组织(虾腮、虾肠及虾肉)共附生微生物进行了定向富集及培养，包括与铁、硫代谢（铁氧化、铁还原、硫氧化、硫还原）相关的厌氧和好氧富集，并获得了相关培养菌群。

S2-P-16

热液区烃降解微生物多样性与环境作用机制

王万鹏，董纯明，赖其良，邵宗泽*

国家海洋局海洋生物遗传资源重点实验室，国家海洋局第三海洋研究所

* shaozz@163.com

目前,大概有 79 个细菌属、9 个蓝细菌属、103 个真菌属以及 12 个蓝藻属的微生物能利用烃类物质做为唯一的碳源和能源。其中有 19 个属的细菌是海洋专属的烃类降解者。本研究通过对海洋来源的 *Alcanivorax*、*Salinisphaera*、*Cycloclasticus* 三个属对烷烃的代谢机制进行了相关研究。本研究从胜利油田码头分离并鉴定了一株能高效降解 C5 到 C36 直链烷烃的食烷菌新种 *Alcanivorax dieselolei* B-5^{T}。B-5 能高效降解中长链烷烃,在石油污染生物修复中有巨大的应用价值。该菌中存在三套烷烃羟化酶系统,包括两个单加氧酶 AlkB, 细胞色素 P450 CYP153 家族,以及长链烷烃羟化酶 AlmA。国际上关于长链烷烃羟化酶 AlmA 的研究几乎处于一片空白。通过对 *almA* 基因进行了突变、表达、纯化等,证明该基因确实负责长链烷烃的降解。另外，本研究对分离自大西洋、太平洋、印度洋的表层海水、深层海水及深海沉积物等不同生境来源的 13 株 *Salinisphaera* 细菌进行了系统进化比较,同时分析了它们的 *alkB* 基因的多样性。该属细菌具有非常广的底物范围（C5～C38、降植烷、PAHs 等）,在生物除油方面具有较好的应用前景。本研究还分离发现了 *Cycloclasticus* 属中目前唯一的芘降解菌 P1 菌；P1 是首次报道的深海 PAH 降解菌；全基因组测序显示,该菌拥有新的芘降解途径。

S2-P-17

PDPBC：海洋嗜高压细菌在深海碳循环中的作用

方家松，李江涛，Shamik Dasgupta，王嘉妮

同济大学海洋地质国家实验室

jsfang@tongji.edu.cn

我们提出深海颗粒有机物—溶解有机物—嗜高压细菌连续一体化机制（The POM-DOM-Piezophilic Bacteria Continuum，PDPBC）来阐述海洋碳循环及嗜高压细菌的作用。

无穷无尽的海洋颗粒物“雨”沉降一直以来被认为是连接海洋表面和深部的主要过程之一，也是全球海洋碳循环的关键组成部分。在海洋颗粒物下降到海底的过程中，它们主要通过附生在微粒物的细菌的酶的作用下释放溶解有机物。这些附生于海洋颗粒物的细菌能够产生丰富的胞外酶，因而使得海洋颗粒物相对于周围的海水具有典型的超高生物活性和胞外酶活性。胞外酶能够将高分子量的生物大分子分解为低分子量的溶解有机物（<600 道尔顿）。这些低分子量的溶解有机物形成了一个紧随海洋颗粒物流之后的富营养小分子羽流（图 1）其营养素要比周围海水高出数倍到几百倍，可以支持海洋中大部分异养嗜高压细菌的生物量生产。PDPBC 构筑了一条连接海洋有机物与嗜高压细菌相互作用以及海洋表层与深海间耦合的动态通道和生态过程，代表着嗜高压细菌所控制的深海碳循环机制和模型。

S3-O-01

近百年极地冰层和全球及典型区域海平面变化机理精密定量研究

李荣兴[1]*，童小华[1]，刘雷保[2]，孙波[2]，汪汉胜[3]，程晓[4]，谢欢[1]

1 同济大学空间信息科学及可持续发展应用中心，同济大学测绘与地理信息学院

2 中国极地研究中心

3 中国科学院测量与地球物理研究所

4 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院

* rli@tongji.edu.cn

海平面变化是全球气候变化的一个重要部分，极地冰层被公认为是全球气候变化研究中极为敏感和关键的区域，对全球海平面变化的贡献越来越显著，特别是南极和格陵兰冰体流动造成的变化是海平面上升预估不确定性的一个主要原因。主要问题是缺乏对极地冰层变化和入海机理的深刻认识及精密定量化观测。根据 2009 年《中国全球变化战略研究报告》，迄今为止国际上仍没有长时间序列的高分辨率高质量的全球变化观测数据产品。本文的研究成果将改变全球海平面上升绝大部分结论源自欧美国家的局面，为我国参与国际气候变化外交谈判和制定应对气候变化政策提供重要的科学依据。

拟解决的关键科学问题：1）探求和量化近百年极地冰盖/冰架变化对全球海平面变化的总体贡献；2）探索极地冰盖突变事件和全球海平面变化的演化机理，分析其对中国海平面的相关影响；3）应用质量平衡理论和精密观测结果，揭示全球及区域海平面变化各关键因子的定量贡献；4）探讨我国典型区域海平面上升机理。

主要研究内容包括：构建极地冰盖/冰架和海平面变化精密定量观测的科学框架，综合利用近百年历史和现时极地观测资料，准确评估近百年极地冰盖/冰架变化对海平面变化的总体贡献量和变化速率；研究冰盖/冰架变化的不稳定性机制及冰盖物质入海途径，定量评估极地冰盖突变事件与海平面变化的关系；研究海平面变化与极地冰盖质量变化的平衡关系，建立全球海平面变化各影响因子（包括极地质量变化、海水温度和盐度、末次冰期冰川均衡调整等）的定量贡献；利用卫星测高和验潮数据重构近百年全球海平面变化；综合分析影响海平面变化的区域性关键因素（包括地面不均匀沉降、潮汐、河流注入、海水温度等），研究剥离区域性影响因素后的中国与全球海平面变化的定量关系，提出我国典型区域应对海平面变化的策略。

S3-O-02

南极冰冻圈在地球系统中的作用

孙波

中国极地研究中心

南极冰冻圈指南极洲和南大洋表层系统中以固态形式存在的水体和相关岩土的总称，其主体是冰盖、冰架和海冰等三大部分。南极冰冻圈是一个复杂的、不断变化的系统，冰盖总冰量变化调制着地球气候与环境的长期演化周期；冰盖融化给海洋环流带来重要影响，向海洋注入高密度冷水成为全球海洋环流的驱动源之一，冰盖和冰架的不稳定性又是全球海平面未来变化的最大不确定因素；海冰通过高反照率直接影响着全球能量平衡状态；冰盖中记录着地球过去大气、陆地和生物的变迁信息，是过去全球变化的热门领域等。南极冰冻圈作为独特圈层且具有丰富学科内涵，已经上升为地球科学体系中一支重要的分支科学。

国际极地年（IPY，2007-2008）自 2007 年 3 月启动以来，开展的多学科研究为南极冰冻圈产生的广泛影响提供了新的证据，为地球科学相关学科的诸多科学成就做出了显著贡献。本文分为两大主题——全球变化与科学发现，阐述了近期若干重要研究进展和

动态。面向未来发展，列举了一些关键问题和中国科学面临的几个关键机遇，认为是在未来十年内将推动南极冰冻圈的科学研究。

S3-O-03

中国北极的沉积学与古海洋学研究

Rujian Wang[1], Wenshen Xiao[1], Xin Xie[1], Xuan Ding[2]

1 State Key Lab of Marine Geology, School of Ocean & Earth Science,
Tongji University, Shanghai, P.R. China
2 School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing, P.R. China
rjwang@tongji.edu.cn

Chinese Arctic and Antarctic Administration (CAA) organized the 1st to 4th Chinese National Arctic Expeditions in 1999, 2003, 2008 and 2010, respectively. Some samples of box-cores, multi-cores and gravity-cores were collected in the western Arctic Ocean during these cruises for sedimentologic and paleoceanographic researches. A total of more than 140 samples from the surface sediments have been investigated on distribution pattern in biogenic (CaCO3 and foraminiferal abundance, TOC, opal, planktonic oxygen and carbon isotopes and benthic assemblage, etc) and non-biogenic sediments (IRD and grain size, clay mineral, etc) and their relationship with recent environmental changes. These studies provide an important base for reconstruction of paleoceanography and paleoclimate in this area. Sediments of ten gravity cores collected in the western Arctic Ocean during these cruises have been studied on stratigraphy, sedimentology, micropaleontology, geochemistry, mineralogy and petrology, etc. Late Quaternary paleoceanographic changes in the western Arctic Ocean (Chukchi Abyssal Plain, Northwind and Alpha Ridges) are revealed by quantitative investigations on foraminiferal abundance, IRD and its mineralogical and petrological compositions, oxygen and carbon isotopes of N. pachyderma (sin.), biogenic and non-biogenic components.

S3-O-04S

东南极企鹅和海豹粪土层细菌群落的变化特征

马大卫[1]，朱仁斌[1*]，丁玮[1]，褚海燕[2]，申聪聪[2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院极地环境研究室
2 中国科学院南京南京土壤研究所土壤生物与生化研究室
*zhurb@ustc.edu.cn

海洋动物粪土是南极陆地生态系统养分的重要来源，粪土层细菌群落对南极苔原碳、氮循环过程起重要作用，但目前对南极海洋动物粪土层中细菌群落的变化特征却鲜有报道。本文采集了东南极四个企鹅、海豹粪土剖面样品，通过酶活性、微生物量碳、微生物熵、土壤呼吸和 DNA 浓度测定以及 16 S r DNA-DGGE 分析，探讨了粪土层中细菌群落变化特征及其与环境因子的关系。土壤转化酶、脲酶和磷酸酶活性、微生物量碳、土壤呼吸和微生物熵随深度增加而递减，而代谢熵增加，表明随深度增加，微生物生存环境恶劣，造成细菌丰度和酶分泌量减小，需更多有机碳进行能量代谢。土壤 DNA 浓度与 pH、含水率、TOC、TN、微生物量碳、土壤呼吸以及酶活性呈高度正相关，表明这些因子对粪土层中细菌种群的丰度有重要影响。DGGE 图谱分析证实：东南极海洋动物粪土

中含丰富的细菌群落结构，随深度增加泳道带型数量和亮度递减，表明细菌多样性和丰度递减。聚类分析表明：四个剖面随深度泳道带型差异明显，细菌遗传相似性为 46%，企鹅、海豹粪土细菌群落差异性尤为明显；发现四个粪土剖面中，细菌丰度与企鹅、海豹粪的相对含量呈协调一致性变化，且表层 5cm 粪土层细菌丰度最高，表明东南极企鹅和海豹排泄物对土壤中细菌群落多样性变化起重要作用。

S3-O-05

晚第四纪白令海峡南北两侧海盆的冰川与海流记录

陈志华[1,2]，陈毅[1,2]，黄元辉[1,2]，邹建军[1,2]，董林森[1,2]，程振波[1,2]，石学法[1,2]

1 国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061;
2 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室，山东青岛 266061
chenzia@fio.org.cn

通过对白令海峡北部楚科奇海盆 M01 孔和西南部白令海盆 BR02 孔沉积物的颜色、粒度和元素地球化学旋回的对比研究，结果发现：（1）M01 孔沉积物颜色的韵律变化明显，大致可划分出 3 个褐色层(B1～B3)和 2 个灰色层(G1～G2)；褐色层与氧同位素 1 期、5 期和 7 期相对应，灰色层与氧同位素 2 期～4 期、6 期相对应。在氧同位素 1 期、5 期和 7 期，沉积物较粗，温暖期（中全新世、MIS5.1、MIS5.3、MIS5.33、MIS7.1、MIS7.3）前期出现多个冰筏碎屑事件，海冰的消减明显；同时，该层沉积物富 Ca、Mg、Sr、Ba 等生源组分，富 Mn、Co、Ni、Cu 等过渡金属元素， Na_2O/K_2O 比值高，表明该时期海盆环境与现代相似，位处冰盖边缘，海洋生产力高，活跃的大西洋中深层水使海底处于富氧状态，而通过白令海峡的太平洋入流带来了丰富的火山物质和营养盐。（2）氧同位素 2 期～4 期、6 期，楚科奇海盆处于巨厚的劳伦泰冰盖控制之下，几乎不出现冰筏碎屑事件。与之相比，位于 M01 孔西南部约 2300 km、白令海峡西南约 1300 km 的 BR02 孔，由于位处现代冬季（以三月份为参考）最大冰缘线以南，尽管在整个全新世没有受到冰筏碎屑事件的影响，但在氧同位素 3 期和氧同位素 2 期记录了多次明显的、长时间的冰筏碎屑事件，对劳伦泰冰盖主冰期的变化反映十分敏感。（3）在氧同位素 3 期～2 期，白令海盆环流较弱，底层水体处于相对缺氧状况；全新世中期，随着白令海峡通道的开通和进入北冰洋水量的增加，白令海环流加强，白令海盆底层水的含氧状况明显改善。

S3-O-06

海底地热流对北冰洋深海温度变化的影响

Sheng-Qi Zhou, Yuan-Zheng Lu

State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China
sqzhou@scsio.ac.cn

Recently, it has been shown that the contribution of geothermal heating to the interior ocean should not be neglected based on the numerical experiments using the oceanic general circulation models. In the present study, its influence has been demonstrated by analyzing the hydrographical measurements in the deep Canada Basin. It has been found that a near-homogeneous deep water layer exists below ~ 2700 m. Overlaying the deep water layer, vertical staircase structures are observed, which is proposed to be governed by the double diffusive convection. We attempt to

address the evolutions of heat flux, temperature and salinity associated with geothermal heating at seasonal and interannual time scales to understand the heat budget of deep waters of Canada Basin.

S3-O-07

从企鹅海豹古食谱看历史时期磷虾数量变化

孙立广，黄涛

中国科学技术大学极地环境研究室

slg@ustc.edu.cn

在海洋食物链中，氮同位素比值($^{15}N/^{14}N$, $\delta^{15}N$) 的富集特征指示了海洋生物的营养级水平。通过过去 100 年毛皮海豹毛中的 $\delta^{15}N$ 记录和过去 8000 年阿德雷企鹅羽毛、骨骼中的 $\delta^{15}N$ 记录，反演了历史时期海豹、企鹅食物组成变化及其对南极磷虾种群动态的指示。结果表明，在西南极半岛海域，近百年来南极毛皮海豹的 $\delta^{15}N$ 值是显著富集的，表明海豹食谱中低营养水平的磷虾比例的下降，指示了西南极半岛海域磷虾种群密度的下降，而这与近百年来海域的变暖和海冰的退却是紧密相关的。东南极西福尔丘陵现代阿德雷企鹅的 $\delta^{15}N$ 值较历史时期明显偏负，支持由人类捕杀海豹和鲸造成的南极‘磷虾过剩’假说；历史时期阿德雷企鹅的 $\delta^{15}N$ 值波动与气候冷暖变化有很好的对应关系，表明自然条件下阿雷企鹅食谱变化主要是由气候变化引起的磷虾动态造成的，因此企鹅的古食谱变化指示了 8000 年来南极磷虾的相对变化情况及其与气候环境之间的联系。本研究工作为研究南大洋历史时期磷虾种群数量变化及其影响机制开拓了一种新的研究途径。

S3-O-08

北极区域地质与北冰洋形成演化

李学杰，姚永坚，杨楚鹏，韩冰

广州海洋地质调查局

xuejieli@yeah.net

北极地区矿产资源极其丰富，尤以煤炭、石油、天然气及天然气水合物和一些金属矿产资源著称，是地球上一个尚未开发的“资源宝库”。据初步调查，北极地区所蕴藏的煤炭储量高达 21,030 亿吨，占世界煤炭总资源量的 9%。据俄罗斯和挪威等国估计，北极地区石油储量约为 2500 亿桶（341 亿吨），相当于目前被确认的世界石油储量的 1/4；天然气储量估计为 80 万亿立方米，约占全球天然气储量的 45%，被誉为“第二个中东”。这专家预言，21 世纪 20 年代之后，石油上游企业的重心将转向北极。近年来，北极成为研究的热点。

尽管北冰洋的调查程度很低，许多问题存在极大争议，但基于现有的资料，可以对北极北冰洋地形地貌、地质构造形成一些基本认识。

1）北冰洋地形最大的特征是被三条近于平行的海岭分割成不同的海盆。罗蒙诺索夫海岭将北冰洋分为欧亚海盆和美亚海盆，北冰洋中脊（Gakkel 海岭）将欧亚海盆再分为南森海盆和阿蒙森海盆，阿尔法－门捷列夫海岭将美亚海盆分为马卡罗夫海盆及加拿大海盆。

2）在北冰洋扩张之前，北极地区基底以新元古代北极克拉通为主体，周围是不同时期形成造山带，包括欧洲北部的贝加尔造山带、格陵兰及加拿大北部的加里东造山带、新地岛和泰梅尔半岛的海西褶皱带及西伯利亚的中白垩世维尔霍扬斯克－科累马－北阿

拉斯加造山带。

3）欧亚海盆磁条带清晰，对海盆演化的历史争议最小，认为欧亚海盆的扩张形成始于磁条带 25，即 58Ma 前。磁条带 13，即 35Ma 之后，Yermak 高地与莫里斯·杰塞普隆起分离，使欧亚海盆与北大西洋连通。

4）从地壳结构与地壳厚度，以及其它地质地球物理资料来看，阿尔法海岭－门捷列夫海岭与罗蒙诺索夫海岭一样，为陆壳，可能是先后从巴伦支陆架裂离形成的。

5）马卡罗夫海盆为典型的洋壳，其形成方式和时代还很少约束，其中观点之一是在晚赛诺曼期－早始新世，随阿尔法海岭－门捷列夫海岭裂离巴伦支陆架，海底扩张形成，并随 Gakkel 扩张中心在晚古新世的形成而逐步衰退。

6）加拿大海盆可能是北冰洋最早形成的海盆，其成因机制有很大的争议，一种观点认为可能是从 140~135Ma 至 95~80Ma，随新西伯利亚－楚科奇－阿拉斯加微板块旋转裂离加拿大北部陆缘形成。因此北冰洋的演化大致可以分为 3 个主要阶段：晚侏罗世－早白垩世、晚白垩世－新生代早期、新生代。第一阶段，加拿大海盆地的扩张中心形成、演化与消亡，第二阶段是拉布拉多－巴芬－马卡罗夫扩张中心的形成与演化，在始新世停止活动，第三阶段，极慢速的 Mohna、Knipovich 和 Gakkel 洋中脊的形成护演化，导致欧亚海盆形成。

7）Kuzmichev A B（2009）提出了美亚海盆演化的平行四边形模式，较好地解释了美亚海盆的外形特征，但其地球动力系统复杂，是否成立，尚需地质地球物理资料的证实。

S3-O-09

全新世企鹅种群动态对气候变化的响应

黄涛，孙立广，王玉宏

中国科学技术大学地球和空间科学学院极地环境研究室

huangt@ustc.edu.cn

阿德雷企鹅是南大洋典型的海鸟,被认为是南极气候和海洋环境变化良好的指示生物,其种群动态变化主要受到海洋、陆地环境和气候变化的影响。长期的企鹅种群数量变化对于理解其对自然气候变化的响应关系至关重要，但目前的报道还非常有限。通过对企鹅粪土沉积序列的元素地球化学分析恢复了全新世以来东南极西福尔丘陵阿德雷企鹅的种群动态变化。结果显示，Gardner 岛阿德雷企鹅种群数量在距今 4700-2400 年间达到峰值，对应于晚全新世气候适宜期，距今 2400 年前后新冰期开始，企鹅数量呈明显下降趋势；而在距今约 300 年前 Zolotov 岛的阿德雷企鹅种群数量显著下降，对应于小冰期冷气候阶段。阿德雷企鹅对于气候变化灵敏的响应关系主要是由于气候变化影响到企鹅的陆地繁殖条件（陆地冰雪覆盖度）和海冰条件（捕食习性和食物丰度），进而影响到企鹅种群数量变化。过暖或过冷的气候条件都不利于企鹅种群数量的增长,一般气候温暖期时段，阿德雷企鹅种群数量有较快的增长。

S3-O-10

北极航道研究构想

万荣胜

广州海洋地质调查局

wanrsh@126.com）

北极航道研究可从以下几方面着手：

1、全球气候、北极气候的长期变化规律与趋势，两者的关联。

2、利用遥感手段监测浮冰分布，研究其消减规律。

3、北冰洋的水深和海底地形。

4、北冰洋的风场、洋流，尤其是涉及航线的区域。

5、北极航线的规划、选择，包括：

（1）成本（每年的通航时间、由航程缩短带来的经济效益、为适应北极航线所需的船舶设备改造、船舶保障）；

（2）风险（过境周边国家的主权问题、北极恶劣的天气、浮冰的威胁）；

（3）补给点、维修救护点的设置；

（4）航道适航的标准。

6、北极航线对自然环境的影响（如油污、噪声等对生态的破坏）。

S3-O-11S

北极高纬度地区-新奥尔松地区不同苔原 CH_4 和 N_2O 通量空间变化

陈清清[1]，朱仁斌[1]*，徐华[2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院极地环境研究室

2 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室

zhurb@ustc.edu.cn

2008 和 2009 年夏季，用密闭箱法对北极新奥尔松地区鸟类保护区、煤矿区、海边苔原和高地苔原四种不同类型苔原的 CH_4 和 N_2O 通量的空间以及环境因子变化进行了监测。在海边苔原依照土壤水分不同分别设置了三类采样点：湿地采样点、半干旱苔原采样点以及干旱采样点。湿地采样点 CH_4 和 N_2O 通量分别为 -4.8±25.1ug/(m2h) 和 -4.0±5.3ug/(m2h)；半干旱苔原 CH_4 和 N_2O 通量分别为 -80.8±26.4ug/(m2h) 和 -0.6±3.2ug/(m2h)；干旱苔原采样点 CH_4 和 N_2O 通量为 -87.9±34.6ug/(m2h) 和 -0.6±3.2ug/(m2h)；总体平均值为 -57.8±17.0ug/(m2h)and 1.9±1.5ug/(m2h)。综合上述所述结果海滩苔原对 CH_4 是较强的吸收汇，对于 N_2O 是弱排放源；同时吸收和排放量受到土壤含水量的控制。土壤温度（土壤表层一下 0-15cm）对 CH_4 和 N_2O 通量也有较大的影响：CH_4 通量的变化与土壤温度呈反相关关系，与 N_2O 通量的变化呈现正相关关系。在鸟类保护区苔原、海边苔原、煤矿区以及站后方的高地苔原依照水分和土壤植被的变化设置采样点对 CH_4 和 N_2O 通量空间变化进行了监测。鸟类保护区 CH_4 和 N_2O 通量分别为 -26.0±32.4ug/(m2h) 和 5.2±3.6ug/(m2h),吸收 CH_4 并排放 N_2O;海边苔原 CH_4 和 N_2O 通量分别为-10.9±13.6ug/(m2h) 和 -6.0±7.2ug/(m2h),吸收 CH_4 和 N_2O;煤矿区 CH_4 和 N_2O 通量分别为-53.0±61.8 ug/(m2h) 和 7.6±13.9 mg/(m2h), 吸收 CH_4 并排放 N_2O;高地苔原的 CH_4 和 N_2O 通量分别为 -202.5±84.4ug/(m2h) 和 162.1±71.1ug/(m2h) ,强烈的吸收 CH_4 并排放 N_2O。不同类型苔原区域对 CH_4 和 N_2O 通量吸收和排放有很大的不同。土壤温度（土壤表层一下 0-15cm）对 CH_4 和 N_2O 通量也有较大的影响：CH_4 通量的变化与土壤温度呈反相关关系，与 N_2O 通量的变化呈现正相关关系。

采用相应化学方法对土壤的基本理化性质（总碳(TC), 总氮(TN), C/N, 总有机碳(TOC), 土壤含水率（Wc）,NH_4^+-N 和 NO_3^--N）进行了测定。综合分析鸟类保护区、煤矿区和海边苔原三类不同苔原区域可知，土壤总氮(TN)含量与 N_2O 通量呈反相关关系(r=-0.38, p=0.07)。单独分析可知：海边苔原 CH_4 和 N_2O 通量变化与 C/N 分别呈反相关和

正相关的关系(r=-0.41, p=0.16; r=0.39, p=0.19)；煤矿区和鸟类保护 CH_4 通量与 C/N(r=0.58, p=0.07) 和 土壤水分含量（Wc）(r=0.54, p=0.10)呈较好的正相关的关系。特别是在鸟类保护区，CH_4 通量 与 C/N(r=0.69, p=0.09), TOC(r=0.71, p=0.07) 和土壤含水率（Wc）(r=0.63, p=0.13)呈现出很好的

正相关性。土壤基质的不同决定了 CH_4 和 N_2O 通量的不同，温室通量具有不确定性，这种变化并不取决于单一因素。

S3-P-01S

南极海一陆生态系统界面营养物质流动及近海磷的生物地球化学循环

秦先燕，孙立广*

中国科学技术大学地球和空间科学学院极地环境研究室

*slg@ustc.edu.cn

南极气候寒冷环境较为原始，生物方式输入的海洋来源的营养物质比物理方式更重要。企鹅、海豹等转移的营养物质能显著地改变土壤肥力，引起微生物、动物丰度、多样性等的变化，能促进植物生长，但也通过践踏、拔起等物理干扰影响植物群落。此外，部分营养也会流入到湖泊、溪流等淡水生态系统，增加了水体和沉积物中营养物质浓度，对沉积物微生物也有非常深远的影响。特别地，这些海鸟转移的营养物质也会通过水和风的物理方式输入到近海，在一定程度上增加了近岸初级、次级生产力。

磷是企鹅粪的标型元素，在法尔兹半岛，企鹅、海豹等转移的营养物质磷为贫瘠的无冰区提供了丰富的营养，并在陆地、淡水生态系统的不同环境介质中有了很明显的记录。以阿德雷岛为例，磷的三种外来营养源输入的量分别为：物理输入 275.18 kg y^{-1}，生物（企鹅粪）输入 12,349 kg y^{-1}，大气沉降输入 12.2 kg y^{-1}。除了少量以 PH3 的形式排入大气，约有 1390.00 kg y^{-1} 的磷保留在无冰区，大部分输入到近海。可见，南极近海磷的生物地球化学循环主要包括了磷在海洋-陆地-淡水湖泊/溪流-海洋中的迁移转化过程，企鹅生物输入的磷在该循环中起着非常关键的载体作用，并使得南极无冰区成为磷的再生源，这对当今日益短缺的磷资源来说有非常重要的研究意义。

S3-P-02

南极 Amery 冰架附近区域多源遥感变化检测分析

谢欢*，刘世杰，顾振雄，刘俊，鞠晓磊，赵建，田一翔，冯甜甜，刘爽，李凌云，许书影，王卫安，沈云中，童小华，李荣兴

同济大学空间信息科学与可持续发展应用中心，同济大学测绘与地理信息学院

*huanxie@tongji.edu.cn

南极冰雪的动态平衡对于维持全球气候稳定极其重要，全球气候的变化也会对南极冰雪平衡产生巨大影响，其中最直接的可观测影响就是南极冰盖表面的高程以及水平位置变化。Amery 冰架是南极三大冰架之一，临近我国南极科考中山站，东南极冰盖近 20％的冰量通过其排泄入海，对于研究东南极物质平衡有着重大的意义。本文基于 ICESat/GLAS 激光测高数据、Grace 时变重力场数据、Landsat TM/ETM+多光谱遥感影像、ERS/ENVISAT INSAR 干涉合成孔径雷达遥感数据、ERS/ENVISAT 卫星测高数据等多源遥感数据，对南极 Amery 冰架及附近区域进行多源遥感变化检测分析。

基于多源遥感数据的变化检测分析包括以下内容：（1）基于坡度改正的 ICESat 重复轨分析法对 2003-2009 年 2 月与 10 月 Amery

冰架及其附近区域的 ICESat 卫星激光测高数据进行了高程变化分析。该区域的 ICESat 轨道重复轨之间的平均距离为 100m±70m，平均坡度为 0.3%，使用 DEM 进行重复轨间的坡度改正可以消除坡度对重复轨之间高程点投影时的影响，最终得到了 2003-2009 年 2 月和 10 月的总体平均高程变化，以及不同高程区间内的平均高程变化。（2）基于 GRACE 时变重力场数据获取了 2003 年到 2009 年的重力变化，并将重力变化以等效水柱高表示，获取了研究区域的重力变化速率和趋势，并与 ICESat 激光测高的高程变化结果进行比较。（3）选取典型剖面，基于 ICESat 激光测高数据分析了沿剖面方向的高程变化特点，并结合 Landsat 影像进行比对分析。（4）基于 INSAR 的 DEM 构建和分析等。

文章下一步的研究工作还包括：（1）基于多源数据的交叉验证和分析，包括海洋测高-冰盖测高比对分析，影像数据-测高数据对照分析，雷达影像-光学影像比对分析等；（2）长时序的接地线及 DEM 的变化。

S3-P-03S

东南极大明湖近岸水体夏季温室气体通量观测研究

丁玮

中国科学技术大学

ding7@mail.ustc.edu.cn

Carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) fluxes across air-water interface were investigated from the alga-rich littoral zone of Lake *Daming*, east Antarctica during 2008/2009 and 2009/2010 summers, using a static chamber technique. Overall the littoral zone represented a weak CO_2 sink with the net mean flux range of -16.33–5.71 mgCO_2 $m^{-2}h^{-1}$. The mean respiration rate (ER) and photosynthesis rates (P_G) varied from 20.5 to 127.5 mgCO_2 $m^{-2}h^{-1}$ and from -14.6 to -115.9 mgCO_2 $m^{-2}h^{-1}$, respectively. Sunlight intensity was the predominant factor affecting net CO_2 flux and P_G. The mean CH_4 fluxes ranged from 40.2±11.7 to 85.1±35.3 μgCH_4 $m^{-2}h^{-1}$, and they were significantly affected by the lake thermal regime. High N_2O emissions occurred in the littoral zone with the mean flux range of 5.4–199.1 μgN_2O–N $m^{-2}h^{-1}$, and enhanced N_2O fluxes occurred during the thawing-freezing period. There were significant differences ($p<0.05$) in CH_4 and N_2O fluxes under the light and dark conditions, and the sunlight greatly stimulated N_2O emissions, but decreased CH_4 emissions from the lake littoral zone. The combined GWP of N_2O and CH_4 fluxes completely counteracted and surpassed CO_2 uptake by the photosynthesis of lake algae, and high GWP-positive of N_2O and CH_4 emissions might turn an alga-rich lake site with a net CO_2 uptake into a net radiative forcing source during the open water in coastal Antarctica.

S3-P-04

地磁场强度和长期变对白令海岩心冰消期 14 ka 以来的年代约束

葛淑兰，石学法，黄元辉，陈志华，刘建兴，闫仕娟

国家海洋局第一海洋研究所

shulange@fio.org.cn

对位于白令海阿硫申海盆东部水深 3300 米的岩心 B5-4 进行了古地磁和岩石磁学研究，尝试运用岩心的地磁场“相对强度”和方向指标获得沉积物的年龄信息。虽然岩

心顶部 0-0.44 m 沉积物的磁性矿物粒度与其余沉积物存在差异，磁学性质并非严格均一，但岩心的“地磁场相对强度”可以与具有相似沉积速率的北大西洋 ODP983 钻孔地磁场强度对比。据此确定的三个深度-年龄对比点和一个 AMS^{14}C 结果（4.54-4.56 m 有孔虫测年结果为 12.250 ±0.05 ka，校正日历年龄为 13.376 ka，ΔR=300 a）一起建立了钻孔的年龄模型。在该年龄模型上，B5-4 的磁倾角在 14 ka（日历年）以来呈现了六段峰值和六个谷值，与岩心位置处的地磁场球谐模型曲线、北极楚科奇海和波佛特海全新世以来的磁倾角记录、北美熔岩流记录一致。磁偏角特征也与上述记录存在百年-千年尺度上共同的特征高低值。本岩心的磁倾角不仅与高纬度海区记录，同时也与高分辨率的中国东部陆架海沉积记录具有共同的演变规律，说明这些特征记录的并非局部沉积物沉积特征，而是地磁场百年-千年尺度变化，在 10-14 ka 之间的两段不连续浅化的磁倾角可能是哥德堡极性事件的反映。该指标有可能为我们提供沉积物的年龄信息，解决高纬度边缘海、北冰洋及其边缘海的古环境研究中，由于缺少钙质生物壳体和其他测年材料导致的年龄信息匮乏问题。

S3-P-05S

西北冰洋海底表层沉积物中的底栖有孔虫组合及其环境指示意义

司贺园[1]，丁旋[1]，王汝建[2]

1 中国地质大学（北京）海洋学院

2 同济大学海洋地质国家重点实验室

383646685@qq.com

北极地区是世界大洋冷而致密的中层和底层水源，广泛的海冰覆盖使得北极地区对全球气候变化具有非常明显的放大效应，而北冰洋的环境变化将影响全球的大洋环流，从而对全球气候变化产生重要的影响。有孔虫的生存与水团密切相关，有孔虫组合特征的变化能够很好地指示水团和洋流的变迁，是灵敏的古环境替代性指标。因此，了解北极地区海底表层沉积物中有孔虫组合特征及其与现代海洋环境之间的关系，对于正确认识该地区的古海洋环境变迁及其与全球气候变化的关系具有重要意义。

本次研究通过对西北冰洋 139 个海底表层沉积物样品中有孔虫组合特征的分析，发现西北冰洋的有孔虫丰度与太平洋中、低纬度区相比明显偏低，可能与该区表层海水温度低、盐度低有关。对底栖有孔虫中 19 个种运用 Q 型因子分析，经方差最大化旋转后得出 3 个主因子，累计方差贡献为 61.41%，据此将该区底栖有孔虫划分为三个组合：Ⅰ为 *Cribrononion* spp. - *Florilus scaphus* - *Nonion akitaense* 组合，Ⅱ为 *Cibicideides wuellerstof* - *Epistominella naraensis* 组合，Ⅲ为 *Cassidulina laevigata* 组合。根据主因子载荷分布、研究区各属种相对丰度分布规律等因素，将底栖有孔虫埋葬群划分为五个分区。阿拉斯加沿岸流区以底栖有孔虫组合 I 为特征，反映的是受阿拉斯加沿岸流影响的沿岸高营养的浅水环境；北极深层水区以底栖有孔虫组合 II 为特征，反映的是水深大于 1500m 的北极深层水所控制的深水环境；大西洋中层水区以底栖有孔虫组合 III 为特征，反映的是高温高盐的大西洋中层水影响的区域；加拿大海盆区为底栖有孔虫绝对丰度和相对丰度都低，且简单分异度也很低的深水海盆环境；楚科奇陆架海区底栖有孔虫绝对丰度和简单分异度都低，而相对丰度较高，以 *Cribrononion* spp.，*Elphidium* spp.，*Nonion akitaense* 为优势种，为受季节性冰盖、冰漂物以及沿岸淡水的影响，低温、低盐、低营

养盐的环境。

S3-P-06

基于宏基因组学的北极极区深海沉积物细菌多样性分析

李艳

中科院海洋研究所

yanli@qdio.ac.cn

在地理上，北极是指北纬 66°34’（北极圈）以北的区域。北极地区气候终年寒冷，在水深 1000 m 以下的深海，水温一般保持在 3±1℃，完全无太阳光透射；同时，伴随海水深度的增加，压力逐渐增大，有机物含量减少。由于北极极区终年覆盖多年海冰层，难于靠近，只有在夏季海冰消融时船舶才可以进入，增加了样品采集的难度，目前有关北极极区深海沉积物中微生物多样性的研究还未见报道。对该环境下微生物多样性进行研究，有助于解答北极微生物资源构成及微生物在北极系统“生物-地球-化学循环”中的作用等问题，对研究北极生态系统的变化有重要意义。本研究基于无需培养的宏基因组学概念，应用高通量基因组 DNA 测序技术 (Roche 454)，对我国第四次北极科考(2010 年 8 月)在北纬 88°23′639”，西经-176°37′702”站位采集到的、极为珍贵的、北极极区深海沉积物（水深 3995.7 米）样品进行了细菌群落构成和菌群丰度等多样性研究。

针对细菌多样性这一研究目标，我们对细菌 16SrRNA 基因 V3 高变区进行测序和相关分类学分析。通过对测序数据的去杂、优化和聚类，共产生 24684 条 OTU（Operational taxonomy unit，操作分类单元）。样品指数分析显示，在 97%相似性水平，Shannon 多样性指数为 4.30,高于北极极区多年海冰及附近表层海水的细菌多样性研究报道的 Shannon 指数 3.38 和 3.72（Bowman et al.,2011）。分类学分析在细菌分类共产生 22 个门，36 个纲，72 个目，87 个科，118 个属。在门分类水平，有 4 个门所占比例大于 1%，Proteobacteria 是丰度最高的类别，占 47.25%；其余依次为 Bacteroidetes (46.2%)，Chloroflexi (3.34%)，Actinobacteria (0.98%)。在纲分类水平，Flavobacteria (45.4%，属于 Bacteroidetes 门)是丰度最高的细菌类群；Proteobacteria 的 α-、γ-、β-、δ-proteobacteria 所占比例低于 Flavobacteria，依次分别为 22.5%, 21.1%, 1.94% 和 0.96%。而在 Bowman 等（2011）的报道中，Flavobacteria 所占比例较低，分别为 20%和 4%；相反，γ-proteobacteria（64%）和 α-proteobacteria（43%）分别是占优势的细菌群落。根据已有文献资料，Flavobacteria 是海洋中能降解生物大分子如几丁质、琼脂和纤维素的一大类细菌，主要参与碳元素循环；而 γ-proteobacteria 和 α-proteobacteria 类群可产生淀粉酶、蛋白酶等胞外酶，能降解海洋中几丁质、纤维素、弹性蛋白等大分子有机质，共同参与碳、氮等元素循环过程。上述分析表明，北极极区深海沉积物与北极极区多年海冰和附近表层海水二者参与北极物质循环的空间模式有所不同。北极极区多年海冰和附近表层海水中的细菌类群可能参与了海洋表层及上层海水中的藻类、原生动物残骸等的分解，所以与碳、氮等元素循环相关的 γ-proteobacteria 及 α-proteobacteria 数量较多，但是多样性也较单一。而北极极区深海沉积物由于处于黑暗、寒冷的深海环境，初级生产力水平低，一些不易被分解的有机大分子物质通过沉降、洋流搅动方式被带入，所以参与几丁质和纤维素等降解的菌群比例较高；同时，由于沉积物组成的复杂性、下层地质构造等因素，细菌多样性水平相对较高。

本研究通过对北极极区深海沉积物中细菌多样性的分析，得到了细菌群落构成和种群丰度等多样性数据，而且这种多样性具有北极极区深海沉积物特殊性。根据已有文献对这些细菌群落功能的报道，我们推测它们在北极极区“生物-地球-化学循环”中起一定作用。

S3-P-07S

有机磷酸酯——潜在的全球污染物

程文瀚[1]，孙立广[1]，阮挺[2]

1 中国科学技术大学极地环境研究室

2 中国科学院生态环境研究中心环境化学与生态毒理学国家重点实验室

truanustc@163.com

chengwh@mail.ustc.edu.cn

Aerosol and superficial snow samples were collected in Southeast Asia, Southern Ocean, and Antarctic ice sheet from 2009 to 2011. 12 organophosphorus esters (OPEs) were analyzed in these samples. In aerosol samples collected on the oceans, TCPP, TnBP and TEHP made appearance in most samples. There is a general trend that the total concentration of OPEs decreases as sample location get farther from populated settlements. The concentrations near populated settlements were two or more magnitudes higher than those in open ocean. For superficial snow samples, it was TCEP made the most appearance. There was a generally increasing trend from coast to approximate halfway point. The compound was rarely detected in farther samples. Its appearance on Antarctic ice sheet may put forward the necessity of accounting TCEP as a persistent organic pollutant.

S3-P-08S

南海西沙群岛鸟粪珊瑚砂沉积物中铅的来源及近 100 年变化

楼创能，刘晓东，孙立广

中国科学技术大学极地环境研究室

lcn@mail.ustc.edu.cn

由于长期以来人类对铅的开发和利用，使得铅成为在环境中广泛分布的有毒重金属之一。铅同位素在工业生产和进入环境之后不发生同位素分馏，样品中的铅同位素值只和铅矿不同的地质来源有关，因此铅同位素在研究各种环境介质(气溶胶、沉积物、地下水、冰芯等)中铅污染程度、来源、传输途径以及环境中的分布等方面得到了广泛的应用。

西沙群岛由于地处偏远的南海地区，受到人为的直接干扰较少，且具有相对简单的生态系统和物质来源，是研究环境污染历史的理想场所。我们通过对采自西沙群岛地区金银岛、晋卿岛和广金岛的含鸟粪珊瑚砂沉积物中的铅浓度进行分析，发现自 20 世纪以来，铅含量较先前出现显著的上升，目前仍然维持在较高的水平。结合不同物源组成的相关性分析，我们发现鸟粪的输入并不是西沙地区沉积物中铅的主要来源，西沙地区的铅主要来自于远距离的大气传输和沉降作用。根据铅同位素示踪研究，我们发现西沙群岛表层沉积物(1900 年以后)中的铅主要来自于人为源的贡献。通过与世界上主要国家及南海周边国家的气溶胶中铅同位素数据的比较，发现表层样品中人为源铅同位素数据与中国的燃煤相似，说明西沙群岛表层沉积物中的铅很可能一部分来自于中国煤的燃烧，此外可能还有来自东南亚国家(如日本、越南)的贡献，这主要与研究地区冬季时发育的东北季风有关。铅的沉积通量历史记录表明最近

几十年西沙地区受到人为源铅的影响还在持续增加，这可能与南海周边国家工业活动和煤的燃烧排放到大气中的铅持续增加有关。

S3-P-09

南极冰下基岩钻进关键钻进参数研究

曹品鲁，Pavel Talalay，杨成，胡正毅，范晓鹏

吉林大学建设工程学院
jlucpl@jlu.edu.cn

南极冰下甘布尔采夫山脉形成于冈瓦纳古大陆运动时期，是形成冰穹 A 的直接地貌原因，其冰下山峰最高点距离冰面只有 1000 米甚至更近，是近 1000 万平方公里内陆冰盖中唯一有可能直接获取地质样品的地点。如果能够钻穿冰盖，直接获取甘布尔采夫山脉岩样，对于研究冈瓦纳大陆演化历史，进而研究 Dome A 形成具有重要意义。本文对现有能够进行冰下基岩取心钻进的钻探技术进行了对比分析，重点对铠装电缆式电动机械取心钻具冰下基岩钻进技术难题进行了探讨；建立了极地冰钻冰下基岩钻进参数测试平台，对常规孕镶金刚石钻头、常规表镶金刚石钻头、仿生钻头等多种不同类型的钻头进行了实验测试，确定不同钻头形式条件下，钻压、转速、扭矩、钻速等参数之间的关系，为铠装电缆式电动机械冰下基岩取心钻具提供设计依据。

S3-P-10S

取冰芯螺旋钻具系统的改进

洪嘉琳

吉林大学建设工程学院
hjl2398@126.com

冰芯因其保真性强，信息含量大，分辨率高，时间尺度长，在检测过去气候环境变化，监测现代气候环境变化，预测未来气候环境变化方面起了重要的作用。虽然各冰层的年龄不同，但通过浅层钻进获得的冰芯可以实现重建一个气候变化循环。浅层螺旋钻具凭借其重量轻，便于运输和安装，机械钻速高等优点被广泛用于浅层钻进中。

基于 Bashkatov 和 Olonovsky 的螺旋运输理论，影响螺旋输送效率的主要参数是冰与外管内表面和内管间的摩擦系数。为获得冰摩擦系数的准确值，我们提出了在冰川温度范围内，对螺旋钻具中常用的和有前景的材料进行一系列实验。实验共测试 424 次。

根据实验和理论分析可以得出以下结论：

1. 摩擦系数随温度降低而增大：在-30℃—-45℃之间曲线存在弯曲。

2. 为达到更高的输送效率，应尽可能增大冰与外管间的摩擦力，减小冰与内管间的摩擦力。

3. 通过理论计算可以确定螺旋角和转速的最佳组合。

4. 目前浅层钻进中使用的转速大约是 100rpm，螺旋角大约是 30°。但从输送效率的观点来看，应选择更高的转速和较小的螺旋角。

S3-P-11S

铠装电缆电动机械钻具反扭装置设计计算

范晓鹏， P.G. Talalay，郑治川，薛军，曹品鲁，胡正毅，杨成

吉林大学建设工程学院
heaxe@163.com

为了研究冈瓦纳大陆演化历史，进而研究 Dome A 形成机理需要钻取南极冰下甘布尔采夫山脉岩样，因此研制冰下基岩钻具系统至关重要。铠装电缆电动机械钻具由于其高钻进效率、低能耗等优点，成为各国钻取

冰芯的主要手段。但铠装电缆电动机械钻具不使用钻杆来平衡钻进产生的扭矩，而基岩钻进将需要更大的扭矩，因此钻具反扭装置的设计就成为电动机械钻具设计的关键技术之一。本文总结了目前极地冰钻中常用的反扭装置形式，依照反扭装置设计的依据，重点对其中比较适合的三种形式进行计算，得出它们的压力和扭矩曲线，通过对比分析确定一种可以满足基岩钻进所需反扭矩的反扭装置类型；通过有限元模拟分析手段，对该装置的形状进行优化设计，提出适合钻取冰下基岩电动机械钻具的反扭装置。

S4-O-01

西北降水的树轮点对点重建及其与亚洲季风动态联系

勾晓华，方克艳，陈发虎，邓洋

兰州大学西部环境教育部重点实验室，西部环境与气候变化研究院

xhgou@lzu.edu.cn

通过建立一个包括 132 个年表的树轮网络，采用改进的“搜索相关系数”方法进行点对点面域气候重建，恢复了中国西北地区 26 个气象站点过去～200-400 年的降水变化历史。重建结果经校准和检验表明，除少数站点（和田、哈密、酒泉和武威）外，其他站点的重建模型均比较可靠。重建结果的方差解释量达 28.3%(武威站)-49.7%(张掖站)。重建和器测数据的旋转主成分分析发现，重建数据中的前两个主成分的空间格局与器测数据相似，表明重建模型能很好恢复这些空间特征。利用上述 26 个站点器测和重建的降水资料以及印度洋、太平洋海温数据，采用奇异值分解（SVD）方法，分析了中国西北地区降水与印度洋、太平洋海温的关系。结果表明，不同时期西北降水与海温 SVD 的前两对模态存在“南疆”型、“西北-东南一致”型和“西北-东南相反”型等几种模式。印度洋北部，尤其是阿拉伯海，可能对南疆降水影响较大；西北地区的东南部降水与西太平洋暖池海温关系紧密；而北疆的降水可能与印度洋北部以及北太平洋的海温变率有较大联系。在印度夏季风早期阶段，巴尔喀什湖南侧和中国西北部西部边界附近的南风影响着中国西北部西部的水汽变化。东亚夏季风影响中国西北部东部地区的水汽变化，这受 ENSO、亚洲东北部和菲律宾海的位势高度场以及亚热带西太平洋副高的调节。“西北-东南一致模式”与东北亚地区气旋型异常有关；“西北-东南相反模式”可能与太平洋年代际变化、印度夏季风和西风环流之间的相反关系有关。

S4-O-02

海陆记录对比揭示晚新生代全球变冷驱动亚洲中部阶段性变干

鹿化煜 [1*]，胡挺 [1]，王先彦 [1]，Peter Clift[2]

1 南京大学地理与海洋学院, 海岸与海岛开发教育部重点实验室

2 School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen AB24 3UE, UK.

* huayulu@nju.edu.cn

在亚洲中部有大面积的干旱区，不仅影响着区域的生态和环境，其释放的大量粉尘参与海洋生物地球化学循环，甚至于影响到全球的 CO_2 和气候。长期以来，关于晚新生代亚洲中部干旱气候演化驱动机制的认识，还存在较大的分歧。本报告对新获得的和过去的资料进行了综合分析，重建了过去 30 Ma 在构造和轨道时间尺度亚洲中部干旱气候的演化历史。我们把新获得的亚洲中部阶段性变干的时间序列及其周期变化特征与中国南海和全球温度变化的时间序列进行了对

比分析，探索海陆气候变化的联系和亚洲中部阶段性变干的驱动机制。结果表明，在构造和轨道时间尺度，无论是在时域和频域，亚洲中部干旱气候变化和全球温度变化以及中国南海沉积记录有很好的对应，提供了全球温度和亚洲中部干旱气候联系的直接证据。我们认为，新近纪的全球阶段性变冷可能是控制亚洲中部阶段性变干的直接因素。这一结果也可用更新世冰期全球变冷、水汽循环减弱导致陆地变干的模式解释。这一结果不支持简单地把青藏高原的隆升与亚洲中部阶段性变干直接联系的推论。

S4-O-03

高原湖泊记录与海洋信号的相互关联

张虎才

高原湖泊生态与全球变化实验室，云南师范大学旅游与地理学院

hucaizhang@yahoo.com

青藏高原湖泊沉积岩芯碳酸盐稳定碳氧同位素的研究结果表明，对应于同一时间段获于不同水深岩芯碳氧稳定同位素受控于不同的影响因素和分馏机制，其值是有差别的，从这个意义上讲单孔岩芯碳酸盐碳氧稳定同位素不能有效的作为气候环境代用指标，以形态相似性与其它气候指标的对比带有偶然性；当一个湖泊在水深变化过程中是否具有永滞层的存在可能是一个临界点，在永滞层以上或无永滞层存在的浅水湖泊中，自生碳酸盐碳氧稳定同位素的变化与水汽来源和同位素组成、大气温度相关度较高，可以反映水汽洋面温度与同位素特征。在这种情况下，碳酸盐碳氧稳定同位素不受矿物种类变化的影响或者影响微弱，其中氧同位素受降水氧同位素控制，可以作为降水强度的指标，碳同位素受温度控制，可以作为环境温度的指标。

S4-O-04

南北半球气候耦合

刘青松

中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室

qsliu@mail.iggcas.ac.cn

全球气候受到多圈层、多因素的控制。研究表明，北半球的气候记录受南半球气候因素的显著影响。因此，研究不同时间尺度下，南半球对北半球气候记录的影响，是目前气候学领域的热点之一。本研究通过加权叠加南北两极冰芯氧同位素记录，合成不同的混合曲线。发现：我国典型的石笋氧同位素记录可能受到南北半球气候的双重影响，而并非单一反映东亚夏季风的变化。

S4-O-05

六百万年来黄土红粘土磁化率记录与深海氧同位素记录的对比

聂军胜

兰州大学西部环境教育部重点实验室

jnie@lzu.edu.cn

海洋钻探计划不仅成功勾勒出新生代以来全球气候变化的变冷趋势，而且也揭示出叠加在变冷趋势上的多次冷暖极端事件和气候周期性变化规律。然而，迄今为止，新生代气候变冷的原因仍存在争论，新生代气候冷暖极端事件和周期性变化的动力学机制仍不清楚，这些问题是古气候学研究的国际前沿热点和难点。

黄土高原地区的黄土红粘土沉积序列蕴含着晚新生代气候变化和高原隆升的信息。最近的研究表明，红粘土与上覆的黄土-古土壤序列具有相似的磁学性质，用环境磁学的

方法可以成功地提取红粘土中的古环境、古气候信息。文章评述了近年来红粘土环境磁学研究所取得的一系列进展，对黄土高原红粘土的磁学性质、磁学参数的古环境意义以及黄土红粘土磁化率所记录的米兰科维奇气候周期和东亚夏季风的演化历史等问题进行了回顾和讨论。主要结论如下：

比较黄土高原中部黄土红粘土磁化率曲线和全球深海氧同位素曲线在最近 6 个百万年以来的变化发现：黄土高原中部黄土红粘土磁化率曲线和深海氧同位素曲线在除～4.6－～2.7 百万年时间段外，都具有很好的对比性。结合气候模拟试验和古气候数据比较，我们提出黄土高原中部黄土红粘土磁化率曲线和深海氧同位素曲线在～4.6－～2.7 百万年的缺乏可比性可能是由于巴拿马运河的关闭和青藏高原隆升共同引起的。

以前的研究发现 40 万年偏心率信号在 4 百万年前在深海氧同位素曲线记录开始增强。我们对比分析了黄土-红粘土磁化率记录的米兰科维奇气候周期和深海氧同位素记录的米兰科维奇周期后发现 40 万年偏心率信号也是在同一时间（4 百万年）开始在黄土红粘土磁化率所反映的东亚夏季风强度中增强的。我们提出上新世青藏高原的隆升降低了全球温度并同时增强了东亚夏季风强度，使冰量系统和季风系统分别越过了一个低温门槛和一个强降雨门槛，从而使这两个气候系统对太阳辐射这个轨道尺度的驱动力发生了一个门槛反应。模拟实验已经证明一旦气候系统对太阳辐射产生门槛反应，原本在太阳辐射这个驱动力里比较小的偏心率信号就能在气候记录里大大增强。这样就能够解释前面观察到的偏心率周期在两个系统里能够增强。

除了 40 万年偏心率周期的研究，我们还系统比较了最近 5 个百万年来全球冰量和碳循环记录的 10 万年信号。发现晚上新世－早更新世古气候记录里的 10 万年周期信号呈同步变化但跟偏心率 10 万年信号之间没有幅度和相的耦合关系，并把这个现象命名为“晚上新世－早更新世 10 万年问题”。这个研究建议晚上新世－早更新世 10 万年信号可能来自于地球系统内部系统耦合作用产生的内部振荡周期而不是来至于偏心率。从 5-3 百万年期间，只有全球碳循环的 10 万年周期具有统计意义上的重要性，而其它两个系统的 10 万年周期信号都很弱且不具有统计意义，我们进一步推断这个地球系统的内部振荡可能与碳循环有着不可分割的关系。

上述研究结果表明：回答新生代气候变化机制要求综合分析广泛分布的海洋和大陆古气候记录，系统的大陆和海洋古气候记录的对比研究能够揭示出单一海洋或大陆记录所不能揭示的气候变化动力学机制，那样的综合对比研究最有可能回答上述科学难题。

S4-O-06S

中国东海海平面多尺度周期分析与预测

王国栋[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，刘超[1]，闫国东[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John’s, Newfoundland, Canada

guodong@shnu.edu.cn

海平面变化规律尤其是对海平面变化周期和上升趋势研究，已成为国内外研究热点问题。本文运用小波变换方法对中国东海海平面变化的月平均数据信号进行多尺度周期分析，并通过 winters 指数平滑法对未来海平面变化进行预测，结果显示：① 1993-2009 年东海海平面呈现波动上升的趋势，年平均增长幅度约为 0.39cm/a；并具有 2-3 个月、

12 个月（1a）、24 个月（2a）、36 个月（3 a）、48 个月（4a）、55 个月（4.6a）等多尺度周期特征；②海平面变化去噪数据信号表现出比原始信号更加明显的波动上升趋势，对比每年海平面峰值（每年夏秋季节），海平面上升趋势明显，上升幅度约为 0.78cm/a，为年平均海平面增幅的 2 倍。③中国东海未来（2008 年后）海平面变化将保持波动上升趋势，年平均增长幅度为 0.49cm/a，预计到 2015 年，海平面将比 2008 年上升 4-5cm 左右；到 2030 年，海平面将比 2008 年上升 14-15cm 左右。

S4-O-07

海面变化中多尺度信号解析其空间分异研究

俞肇元，袁林旺，罗文，谢志仁，闾国年

南京师范大学地理科学学院，江苏南京 210046
yuzhaoyuan@njnu.edu.cn

基于西北太平洋和中国沿岸海区的验潮及卫星测高数据，综合利用小波、EMD、盲源信号分解以及张量分解等方法，尝试从近几十年来的尺度“混合”的海面变化记录中解析提取出规则的天文周期、ENSO、PDO 以及长周期波动转型等信号，并探讨上述信号的时空分异及空间传递的过程特征。主要结果如下：

（1）天文周期信号：综合利用连续小波变换（CWT）、极大重叠离散小波变换（MODWT）以及多通道奇异谱分析（MSSA）方法对年及年以下尺度、年际－十年尺度上的显著分量进行重构与分离。MSSA 提取的各站位的年周期分量和半年周期分量除振幅差异外，在构型及整个时域的分布上具有相当好的一致性。而 MODWT 重构的分量则较 MSSA 重构结果具有更好的局部性。MODWT 重构分量与 MSSA 重构分量均显示年周期振幅表现为由低纬向高纬递增，而半年周期振幅则由低纬向高纬递减。2 年准周期和 3.6 年准周期对比上，低纬站位分量间可很好的对比，在高纬则收到了近似年周期的细节波动干涉。

（2）ENSO 信号：5 种时频信号解析方法和 2 种盲源信号分离方法被应用于验潮数据中 ENSO 信号的解析。基于时频信号解析方法的主要通过剔除规则天文周期后，滤波获得 2~7 年左右周期进行叠加而成。不同方法获得的 ENSO 信号与 MEI 指数对比结果存在一定的差异。2 种盲源信号分离法均可以得到较为准确的 ENSO 信号。其中 SOBI 可以直接从原始数据中提取出相对准确的 ENSO 信号，而 ICA 方法则对数据中的细节特征较为敏感，预处理后细节信息表现更佳。不同区域位海面对不同 ENSO 事件的响应整体上呈现向高纬衰减的变化特征。但不同站位受验潮站所在区域地形、气候等多因素的综合作用，对 ENSO 事件强度和特性存在差异。利用高分辨率卫星测高数据和张量分解方法对 ENSO 和 El Nino Modoki 信号进行了进一步分离。

（3）PDO 信号：由 MSSA 提取的海面变化长期组分中可以进一步解析出 PDO 信号。从 2~9.8a 周期同 PDO 指数对比结果看，太平洋年代际涛动（PDO）与本文研究海区年际到十年际尺度海面波动有着明显的耦合作用。2~9.8a 尺度的均值序列和主成分（PC）序列整体波动态势与 PDO 指数有着较好的对应。在细节波动上，西北太平洋海面在不同的波动转型时期对 PDO 的响应也不尽相同。将 2~9.8a 周期波动序列分为 1965~1975 年、1976~1998 年和 1999~2005 年三段。显示，在海面波动转型的相对平静期，其对 PDO 的响应较差，且存在 1~2 年的滞后；而在海面剧烈波动时期，其与 PDO 指数有着较

好的一致性响应。

（4）海面变化的长周期转型信号：从多通道奇异谱分析（MSSA）提取的海面变化的长周期组分看，西北太平洋地区海面在约 1975 年和 1998 年存在两次突变转型。在 20 世纪 70 年代之前和 90 年代之后，海面整体表现出剧烈波动的态势，振幅显著增大，对 ENSO 一类气象事件的响应范围也向高纬地区扩张；而在 20 世纪 70 年代到 90 年代间则相反，海面波动进入了一个相对平静期，振幅减小，气候事件响应范围也相应缩小。从剧烈波动跃变到相对平静，再重新跃变到剧烈波动相隔约 20 年。西北太平洋地区低频海面波动与 PDO 在时间和周期尺度上的一致性，表明这两次海面转型可能与 PDO 的 20 年主周期有一定的联系。

S4-O-08

长江河口区海平面上升幅度及其对河口河槽演变趋势影响预测与防御对策

程和琴[1]，王冬梅[1]，毛兴华[2]，顾圣华[2]，阮仁良[3]，张先林[4]，陈吉余[1]

1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室

2 上海市水文总站

3 上海市水务局

4 上海市规划和国土资源管理局

hqch@sklec.ecnu.edu.cn

论述了长江河口区 2030 年的相对海平面上升幅度及其预测方法。研究结论是，研究地区 2030 年相对海平面上升 10~13 cm。该结果是在分析近 30 年来全球气候变暖和海平面上升加快背景下的长江河口区沿岸城市地面沉降发展的新特点，长江流域来沙显著减少背景下的河口大型工程建设对河口区局域水位的影响，流域大坝的坝下冲刷延伸导致的河口河槽刷深和水位下降等三者综合效应基础上，利用灰色线性回归组合模型和小波变换分析技术，研究分布在长江河口区河口段自上口至口门的北支、北港、北槽等 7 个潮位观测站长期观测数据获得。本研究结果小于上个世纪研究预测结果，也小于 IPCC 关于河口三角洲地区预测值。海平面上升将对长江河口河槽产生以下影响：(1) 河槽冲刷、潮滩与湿地侵蚀增强，河口河槽放宽率增大；(2)河槽拦门沙滩顶向口内移动，滩顶水深变浅，10m 滩长增大。海平面上升对河口河槽影响的综合评估表明：对南支河槽中扁担沙和南港河槽中瑞丰沙等较大型沙体南缘布置导流顺坝，并适当围垦，且在沙体周围建造潜堤，固定水下暗沙和活动沙，保持河槽稳定。

S4-O-09

Sea level variability along the Northwest Atlantic continental slope and implications for the large-scale ocean circulation

Guoqi Han[1], Nancy Chen[1], Chung-yen Kuo[2], and C.K. Shum[3]

1 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John’s, NL, Canada

2 Dept. of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan

3 Division of Geodetic Science, School of Earth Sciences, Ohio State University, USA

guoqi.han@dfo-mpo.gc.ca

The Northwest Atlantic continental slope features the western Labrador Sea, Orphan Basin, Newfoundland Basin and Laurentian Fan in the vicinity of the Gulf Stream/North Atlantic Current and along the pathway of the Deep Western Boundary Current. The regional characteristics of sea level and hydrographic variability are intimately related to the deep

convection and subpolar gyre. In this study, temporal and spatial sea level variability in the Northwest Atlantic continental slope has been investigated based on a merged satellite altimetry dataset and a monthly temperature and salinity dataset, including MBT/XBT and ARGO observations. The altimetric results are compared with steric height calculated from the temperature and salinity dataset and from ARGO profile data. The study shows significant interannual and decadal sea level variability and secular change, with prominent regional differences and varying linkages to large-scale atmospheric and oceanic variability. The interannual sea level variability in the western Labrador Sea is primarily related to the wintertime deep convection due to regional cooling; whereas that over the Laurentian Fan and along the Gulf Stream/North Atlantic Current pathway is positively correlated with the North Atlantic Oscillation, likely associated with the offshore-onshore movement of the Gulf Stream. The steric height variability is influenced comparably by thermosteric and halosteric components in the Labrador Sea but dominated by the former in the Laurentian Fan.

S4-O-10

东海黑潮区温度的月际变化特征

康建成，王国栋，朱炯，孙闻政，刘超，李燕

上海师范大学 城市生态与环境研究中心

kangjc@126.com

使用美国海洋大气局 2010 年发布的海洋温度数据库、地球物理数据中心 2006 年发布的海底地形数据库，研发三维体积、切面可视和分析技术，探讨东海黑潮区温度逐月空间变化。得出，从东海黑潮的入口到出口，表层平均温度的差值在 4-5 月份最大，8-9 月份最小，反映黑潮与东海热交换的月季变化；表层温度的年较差和月差值在 128ºE 附近最大，指示了黑潮与东海陆架水热量交换最多的部位。以深度 220m 为转换层，从东海黑潮的入口到出口，在转换层以上同深度温度呈下降趋势、以下呈上升的趋势；反映黑潮进入东海后中层水的扩张。从温位差判断，在表层，东海黑潮区的热交换在 3-4 月份最大，在 9 月份最小；热交换主要出现在靠东海大陆架一侧，热交换最大的区域在台湾东北海域、127ºE 附近的海域和吐噶喇海峡东北侧。从平均温位差推断，在东海黑潮区，热交换主要出现在 30-150 米层，在 7-9 月份最大，11-1 月份最小。

S4-O-11

光释光测年简介及应用的若干问题讨论

赵华，王成敏

中国地质科学院水文地质环境地质研究所

zhaohua65@163.com

自从释光（TL/OSL）测年方法提出以来，其在第四纪沉积物年龄测定中得到了广泛应用。近年来，释光测试技术（多片、简单多片、单片；附加法、再生法；传统释光法、回授释光法等等）迅速发展，测年精度和准确度逐步提高（部分可达 5%以内），测年范围逐步扩大（几百年至几十万年），应用领域（气候环境演变、海平面变迁、构造运动、考古等等）越来越广泛。但由于释光测年技术的特殊性，采样位置、样品质量、沉积条件、测试技术、数据分析方法、仪器精度等都对年龄的准确性和精度有影响。受少数数据误差较大的影响以及人们对释光数据应用

理解的差别，人们对释光年龄的准确性存在不同程度的质疑。近年来，由于释光测年在第四纪沉积物，尤其是不含可进行其它年龄手段测试样品的松散沉积物测年方面具有不可替代的优势，释光测年应用领域不断扩展，数据大量出现，应用分析存在一些混乱。主要问题有：一是虽然数据量较大，但有的数据精度和准确度相对较低。由于每种测年方法都有一定的假设条件，再加上实验仪器的差别，测试技术和方法的不同，数据分析方法的千差万别以及实验测试人员的经验等的影响，获得的年代数据的精度和准确度也有差别，尤其是与假设条件相差较大的样品，其年代数据的精度和准确度相对较低。二是测年范围相对较窄。目前对于中国大部分第四纪沉积物来说，释光测年比较可信的测年上限在 10 万年左右，虽然也有十几万甚至几十万年的数据出现，但可信度较低。虽然回授释光方法在风成沉积物测年方面获得了 80 万年的年龄数据，但是否可以成功地应用于其它类型的沉积物，还需要进一步探讨。三是对环境剂量率的研究不够。目前人们的关注重点是等效剂量的测量，对环境剂量率的研究较少。环境剂量率对释光年龄准确度起着重要作用。四是数据拿来就用的现象比较普遍，不能客观地分析和应用数据。

本文就以最基本的释光测年方法概念、原理、基本条件、模型以及释光方法发展及应用简史介绍为基础，详细介绍释光测年采样要求、前处理和测试流程、测试技术，重点分析如何应用释光年龄，提高释光测年方法的准确性和精确性问题，并对释光应用领域、测年范围以及年龄应用中应该注意的若干问题，尤其是在非风成沉积物测年中的应用进行讨论，提出今后释光测年趋势及发展方向。

S4-O-12

远洋沉积岩芯天然热释光剖面的异常特征与古气候变化的关系

刘宪光

江苏省有色金属华东地质勘查局地球化学与海洋地质调查研究院

liuxgcugb@qq.com

气候变化已为海洋沉积岩芯、冰芯、石笋、湖泊沉积、黄土和孢粉等记录的 ^{14}C、^{10}Be、^{18}O。过去数十年来，不少学者发现湖泊和海洋沉积物天然热释光随岩芯深度、沉积时间呈现规律性变化，有效记录的时间长度从距今数十年到数百万年不等。与反映古气候变化的有孔虫壳体中的 δ^{18}O、磁化率等指标对比后发现，这种变化与太阳活动引起地球气候变化的相互作用密切相关。本文通过对东北印度洋赤道东经 90°海岭 ODP758 站位岩芯进行天然热释光研究，检验距今约 2500 ka 时间范围内，岩芯天然热释光特征变化和环境的关系并解释热释光变化特征及其控制因素，继而将天然热释光强度与 δ^{18}O、粗粒屑（〉150μm）含量、$CaCO_3$ 含量等替代性指标的对比，进行相关分析，探索和开发新的替代指标。

热释光方法在海洋地质学中的应用以前主要限于年代测定，对于油气，天然气水合物勘探，也有不少的应用实例。但现有的研究成果对海洋地质学研究有很大的借鉴作用。对于海洋沉积环境而言，其物质来源多种多样，沉积环境复杂，沉积物及其组成矿物的热释光效应对此应有良好的反映，因而就可能利用海洋沉积物天然热释光特征进行物源判识、古气候、古环境、地层对比和成岩成矿条件的研究和恢复。

其中 δ^{18}O、$CaCO_3$ 含量、粗粒屑（〉150μm）

含量等数据来自于大洋钻探计划(Ocean Drilling Program，ODP）初始报告的基础数据（据 Farrell 和 Janecek）。

S4-O-13

晚第四纪以来东海海平面变化影响冲绳海槽沉积物来源的新证据——沉积物搬运时间

李超 [1,2]，杨守业 [1,2]，Roger Francois[3]

1 同济大学海洋与地球科学学院

2 海洋地质国家重点实验室

3 Department of Earth and Ocean Science, University of British Columbia

ouclichao@gmail.com

晚第四纪以来，东亚边缘海的海陆格局发生了巨大的变化。末次冰期，尤其是盛冰期东海陆架大面积暴露，出露的陆架在地表各种营力作用下侵蚀严重；另一方面，强烈的海平面波动，改变了东亚边缘海的环流系统，使冲绳海槽地区沉积物的物质来源发生了显著的变化。

来自冲绳海槽的钻孔沉积物，完整而连续的记录的这段历史，成为古海洋和古环境研究的热点。通过对海槽钻孔沉积物来源的识别，可以推测沉积物的来源，进而重建当时的海陆格局和环流信息。目前对于冲绳海槽沉积物来源的研究，主要集中在矿物学，地球化学以及孢粉学等方法，对地质历史时期内海槽沉积物的来源，也得到较为统一的认识。本文根据沉积物中放射性铀同位素比值（$^{234}U/^{238}U$），尝试计算了沉积物的搬运时间。进而从一个新的角度，探讨海槽沉积物的搬运历史。同时结合前人研究成果，从搬运时间上对海槽沉积物的来源进一步佐证。

近年来，随着同位素理论的发展和分析检测手段的提高，利用铀系同位素比值计算海洋沉积物的搬运时间，逐步引起了广大学者的关注。该方法根据陆源碎屑颗粒中 U 系不平衡的理论，利用样品中（$^{234}U/^{238}U$）的比值，可以计算沉积物颗粒从风化破碎（<50 μm）到最终埋藏的时间，扣除在深海沉积的时间，就得到了沉积物的搬运时间。本文通过研究取自冲绳海槽中部的 DGKS9604 钻孔研究发现，沉积物在 30~15ka 时期的搬运时间平均为 50 ky 左右，而全新世以来的搬运时间只有~20 ky。结合前人在物源研究方面取得的成果，我们推测沉积物搬运时间的差异主要反映了海平面上升过程中海槽沉积来源的改变，即低海平面时期由于陆架的暴露和长江口的向前推进，冲绳海槽地区主要是来自长江和东海陆架的碎屑沉积物，这些物质经历漫长的风化过程和陆架的滞留，搬运时间较长；而全新世以来现代海陆格局基本形成，冲绳海槽地区主要以黑潮带来的台湾快速剥蚀物质为主，所以搬运时间较短。

因此本文研究结果基本可以解释前人对物源的推测，但目前该方法的应用还处在起步阶段，在理论和参数计算方面还存在一些问题。但随着研究的开展，该方法必将逐渐完善，为探讨海洋陆源碎屑沉积物的来源和搬运机制，提供一个新的思路。

S4-O-14

渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁的形成环境及上覆泥层海相层上限的确认

方晶 [1, 2]，王宏 [2]，王福 [2]，商志文 [2]

1 天津师范大学 城市与环境科学学院

2 中国地质调查局 天津地质矿产研究所

mdfangjing@163.com

渤海湾西北岸海河以北已发现 40 余处牡蛎礁。牡蛎礁剖面一般由直立生长的牡蛎壳及若干层水平夹层所组成的礁体和由灰色

粘土向上过渡到灰褐色的粘土、粉砂及浊黄棕色“蒜瓣土”组成的上覆泥层两部分所组成。对大吴庄、岭头、罾口河、滨海湖、天津空港等不同时期形成的牡蛎礁剖面做硅藻分析，发现在埋藏牡蛎礁中富含代表潮间带环境的 *Auliscus caelatus* 种硅藻化石，推测牡蛎礁生息环境多为潮间带。各剖面中，从下至上，*Auliscus caelatus* 含量逐渐增加，咸水种硅藻的逐渐降低。据此将牡蛎礁形成环境从下至上划分为潮间带下部、潮间带中上部、潮间带上部等硅藻带，代表了其所在位置相对海面逐渐降低的海退过程。海湾内侧河口环境生息的 *Cyclotella stylorum* 和内湾指标群种的 *Paralia sulcata* 及沿岸分布的内湾指标群种的 *Thalassionema nitzschioides* 等硅藻含量在垂向上的变化，反映了各礁体受河流影响的强弱、盐度的变化过程及潟湖的封闭程度。硅藻分析结果还表明，有水平夹层的大吴庄和罾口河礁体，其形成环境为与外海连通的较为开放的潮间带环境；未见水平夹层发育的岭头、滨海湖、天津空港牡蛎礁则形成于较为封闭的潟湖潮间带环境。大吴庄和罾口河两礁体，其位于礁体上部的水平夹层与相邻的下方正常层相比，均显示出 *Auliscus caelatus* 含量显著偏低、咸水种硅藻的比例偏高以及硅藻种属类型偏多的特点，表明各水平层的海相性强于下伏相邻正常层。推测礁体上部的水平夹层的形成原因：一是牡蛎礁发育后期，礁体所处环境发生显著变化，从距河口相对较远的潮间带下部环境转为距河口相对较近的潮间带中上部环境，较浅的海水环境使得牡蛎礁易受外界环境的影响；二是来自海洋方向的风暴潮或较强的波浪，将牡蛎礁向海一侧的潮间带泥沙冲到礁顶，导致牡蛎倒伏死亡后被泥沙掩埋。牡蛎礁后期发育在潮间带上部，牡蛎礁经常暴露在空气中得不到食物而停止发育。因此相对海面下降海水变迁引起海退时牡蛎礁停止发育的根本原因。同时河流输沙量的增加也是导致牡蛎礁停止发育的重要原因。如天津空港牡蛎礁上覆泥层中大量出现半咸水河口环境生息种的 *Achnanches brevipes*，而牡蛎礁本身则未见此种硅藻。显示天津空港上覆泥层处于受河流强烈影响的河口潮间带位置。推测天津空港牡蛎礁礁体停止发育主要是由于河流作用增强所致，从时间上看可能与 4000 年前黄河改道从天津入海有关。牡蛎礁上覆泥层下部的硅藻含量丰富，而上部不含硅藻。在富含硅藻的上覆泥层的下部和不含硅藻的上覆泥层上部之间存在一个过渡层，这个过渡层所含硅藻的种类和数量急剧减少。粘土混浊水（指 110℃下烘干研磨后的 10g 粘土样品与 120ml 蒸馏水的混合溶液）电导率测定表明，过渡层及其上方沉积物的电导率值为小于 0.4mS/cm 的海陆过渡相和陆相的界限值，过渡层以下电导率值大于 0.4mS/cm 的海陆过渡相和陆相的界限值。故将此过渡层推测为略受海水影响的潮上带陆相沉积。为此，可以将硅藻急剧减少的过渡带和下伏咸水—半咸水种硅藻含量丰富的沉积物之间定为海陆相地层的界限，即海相层上限的位置。将其高度视为海水退出当时的平均大潮高潮线的海拔高度。通过不完全的年代测定值和沉积速率，概略推导出大吴庄约在 5 520cal BP 牡蛎礁停止发育，4 700 年前海水退出，海相层上限高度大约为海拔 –1.44m；天津空港约为 4 000cal BP 牡蛎礁停止发育，大概约 1 100 年前海水退出，海相层上限高度大约为海拔 0m 左右。

今后，运用硅藻分析和粘土混浊水电导率测定相结合、互相印证的方法，精确确认海相层的上限位置，并在海陆相地层界线上下找可测年物质，恢复海水退出时期和相对平均大潮高潮线的位置，以进一步对渤海湾

西北岸全新世相对海面变化和海岸线变迁进行深入研究。

S4-O-15

全新世快速气候变化在东海内陆架泥质区的记录

李小艳[1,2,3]，翦知湣[3]，石学法[1,2]

1 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室

2 国家海洋局第一海洋研究所

3 同济大学海洋地质国家重点实验室

lixiaoyan@fio.org.cn

全球变化已经成为当前最受关注的科学和社会问题之一。人类现在所在的全新世是最年轻的地质时期，与人类社会发展的关系最为密切，因而这段时期的气候变化成为国际上过去气候变化研究（PAGES）的重点。千百年尺度气候变化是全新世气候变化研究的重要内容，边缘海泥质沉积物不仅是古环境变化的良好载体，同时还能为海陆气候变化对比提供依据。

选取了位于东海内陆架泥质区中部 MZ02 孔（121.9°E，28.2°N，水深 32m，岩芯长度 35.3m）和南部的 CJ12-1011 孔（120.8°E，26.5°N，水深 65m，岩芯长度 3m）2 个岩芯，通过对沉积物的粒度、磁化率、化学元素、微体古生物及其壳体地球化学特征和 AMS^{14}C 测年等综合分析，运用沉积学、地球化学和古海洋学的研究方法，恢复了东海内陆架泥质沉积区全新世以来的沉积环境和古海洋学演变。

研究发现，全新世以来东海内陆架泥质区的沉积环境和古海洋学演变呈现阶段性演化特征，且在全球或区域地区记录的发生在 8.2kaBP 和 4.2kaBP 左右的气候事件在东海有明显响应。识别出了 8.5kaBP 以来沉积区经历的 8 次千年尺度的降温事件，分别对应的时间大约是 8.3ka、7.2ka、6.2ka、5.1ka、4.1ka、3.2ka、2.3ka、1.2ka，这些事件与全球范围内的全新世气候波动事件都有很好的对应性，反映了全球气候变化的区域响应。

同时，研究发现东海全新世的快速气候变化与相邻陆地的季风记录、热带太平洋的古海洋记录相一致，具有百年尺度的太阳活动周期。

S4-O-16

全新世黄东海泥质区沉积环境演化记录

向荣[1]，赵美训[2]，杨作升[2]，周力平[3]，陈木宏[1]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国海洋大学海洋

3 北京大学地理系

rxiang@scsio.ac.cn

对南黄海和东海泥质区十多个泥质沉积岩芯进行了高分辨率的 AMS14C 年代测试，结合底栖有孔虫、氧碳同位素分析资料以及其他已发表的岩芯年代数据，对黄东海全新世以来的沉积环境进行了初步总综合对比探讨。

南黄海泥质区基本上可以确定大致形成与 6ka 左右，该时间段上下的底栖有孔虫组合基本由近岸浅水组合转变为与现代相近的正常浅海组合，在沉积粒度上也有明显的变细，标志现代泥质沉积的开始。根据大范围的测年资料比较，6ka 以来的沉积厚度呈明显的区域变化，在泥质体西北侧最厚，可达 3-4 米，向四周逐渐减薄。此外南黄海 6ka 以来可能在 3.5ka 左右存在一个重要沉积环境变化界面，在西部泥质沉积厚度较高的岩芯中，沉积速率出现了明显降低，可能对应流场环境的一个明显变化。

从沉积物粒度组成变化看，济州岛西南泥质区可能形成于 3.5ka 以来，与南黄海的

环境变化记录可能存在一定联系，其中沉积速率在 2ka 以来显著增加。

对济州岛西南泥质区的 B3 孔进行了底栖有孔虫分析和氧碳同位素详细分析，探讨了该区全新世以来涡旋沉积的演化史。根据底栖有孔虫组合和丰度变化以及底栖有孔虫氧碳同位素变化，可以把 B3 孔全新世以来的海洋环境变化划分为四个主要阶段，分别对应于滨岸沉积阶段、滨岸向正常浅海沉积过渡阶段、涡旋早期沉积阶段和现代稳定涡旋沉积阶段：1). 9800 cal BP 以前，沉积物粒度较粗，浮游有孔虫个体稀少，底栖有孔虫丰度全孔最低，底栖有孔虫组合以 *Ammonia beccarii* 、*Cribrononion subincertum*, *Elphidium advenum* 等为主，有孔虫(*A. beccarii 和 E. advenum*)的氧同位素也表现为明显的偏轻，表明受到了陆架低盐水的影响，与滨岸沉积阶段对应；2). 200 cm 左右底栖有孔虫(*A. beccarii 和 E. advenum*)的氧同位素突然变重，表明了约 9800 cal BP 左右东海海平面有突然的上升，200 cm 以上的海洋环境底栖有孔虫组合大体相似，都以 *Ammonia compressiuscula* 和 *Ammonia ketienziensis* 为主，*E. advenum* 的碳同位素也无大的变化，表明了 B3 孔所在的区域 9800 年以来均处于一种浅海环境。根据具体的有孔虫丰度和含量变化，又可划分为三个阶段：a．6900 年到 9800 年之间，沉积物粒度仍较粗，此时沉积物中的有孔虫丰度比早期明显提升，但仍较低，介形虫丰度与滨岸阶段一致相对较高，*E. advenum* 氧同位素表现为逐渐加重的变化趋势，表明外海高盐水体的影响仍在逐渐加强，对应滨岸向正常浅海沉积过渡阶段；b． 3000 到 6900 年之间，沉积物粒度呈明显的变细趋势，此时有孔虫丰度在全孔为最高，以 *A.compressiuscula* 和 *A.ketienziensis* 为主，*A.compressiuscula* 的含量逐渐变高，*E.advenum* 的含量则迅速变小，介形虫则基本消失，浮游有孔虫的丰度则在该阶段为全孔最高，表明了这一阶段外海水的影响达到最强，陆架环流体系的变化逐渐导致了济州岛西部泥质区存在的涡旋得以逐渐形成，对应涡旋早期沉积阶段；c．距今 3000 cal BP 以来，沉积物中的底栖有孔虫丰度较上一阶段有所降低，但仍维持在较高水平，对应现代稳定涡旋沉积阶段。

S4-O-17S

相对海平面变化与珠江迁移峡谷水道发育过程

陈端新[1,2]，吴时国[1]

1 中科院海洋所海洋地质与环境重点实验室

2 中国科学院研究生院

chenduanxin07@qdio.ac.cn

海底峡谷水道是陆源物质向深海运移的重要通道，峡谷水道的研究可以更好的预测有利储层，此外峡谷水道发育区是天然气水合物重要的分布区，岩性和孔隙发育对水合物成藏有重要影响。基于高分辨率三维和部分二维地震数据，描述了南海北部珠江口盆地陆坡区海底峡谷水道的的地貌特征、期次划分和迁移特征，并对其成因进行了分析。

珠江峡谷水道的发育可分别为四个期次：Ⅰ期（13.8-12.5 Ma)，Ⅱ期(12.5-10.5 Ma)，Ⅲ期(10.5-5.5 Ma)，Ⅳ期（5.5 Ma - ~）。峡谷水道各期次的发育并非完全继承性发育。

Ⅰ期（13.8-12.5 Ma)，只在陆坡中部和云开低凸起发育，发育规模不大，延伸范围有限。柳保军等（2006）认为在珠江口盆地白云凹陷北缘发育了 8 条海底峡谷水道。13.8Ma 时陆架坡折位于白云凹陷北坡的番禺低隆起上，在峡谷水道发育带和陆架坡折之间发育了巨大规模的具有前积充填特征的低位楔状体沉积。

Ⅱ期(12.5-10.5 Ma), 与Ⅰ期相同，只分布在陆坡中部和云开低凸起地区，但峡谷水道的数目和规模比Ⅰ期扩大。该期峡谷水道对Ⅰ期峡谷水道的继承性不强。多数Ⅰ期峡谷水道发育到后期规模越来越小，逐渐被充填，也有个别规模较大的峡谷水道具有继承性发育。

Ⅲ期(10.5-5.5 Ma)，该期峡谷水道是规模最大的一期。峡谷水道横跨整个陆坡区，在云开低凸起地区规模也有较大的扩大，且峡谷水道毗邻发育。很多峡谷水道下切到上一期地层。根据该期峡谷水道发育的特征对其分布范围进行了圈定。该期峡谷水道普遍截止到 5.5Ma 的不整合面不再发育。

Ⅳ期（5.5 Ma - ~），该期为现代峡谷水道，形态更为直观。该期峡谷相比Ⅲ期，规模要小。主要分布在白云凹陷北部陆坡区，云开低凸起不再有峡谷分布。该期峡谷与Ⅲ期的继承性较弱，两个期次间沉积了较厚的平行地层。只在中部规模较大的峡谷具有一定的继承性。

此外海底峡谷水道沿陆坡普遍存在北东向的迁移特征，垂直于陆坡方向也存在南北向的迁移特征，通过分析峡谷水道的南北迁移可以很好的反映陆架坡折带的变化。

通过对陆坡发育位置和断裂系统的分析，认为断裂不是导致峡谷水道形成的主导因素。陆架区也缺少河流存在的证据，峡谷水道限定在陆坡区，因此海底峡谷水道也不是河流下切作用形成。裂后期盆地大幅度沉降和充足物源供给，研究认为陆坡区多期迁移峡谷水道的形成主要受相对海平面降低时的浊流侵蚀和底流作用的影响。13.8 Ma 珠江海底峡谷水道的起源受中新世早期南极冰盖最大规模的扩张和永久性的南极冰盖的形成的影响导致的大洋底层环流格局改变和全球海平面大幅度的降低。12.5 Ma 海底峡谷水道的形成也受相对海平面的降低影响。10.5Ma 开始陆坡区逐渐受区域构造隆起影响，珠江口盆地中东部地区相对海平面的降低，造成南海北部最大规模海底峡谷水道的形成。上新世晚期 3.5-2.5 Ma，北极冰盖的形成，全球进入冰期气候，全球海平面发生了大规模的降低，可能是造成现代峡谷水道发育的主要因素。

存在的问题：

缺少现代峡谷内部的沉积物样品分析，缺少现代峡谷内部浊流速度的研究。另外海底峡谷水道的起源可能还存在其它比较重要的控制因素。珠江口盆地中东部沉积过程在晚中新世受东沙运动的影响最大，比如 10.5-5.5Ma 最大规模峡谷水道的发育。系统的研究东沙运动对东沙隆起带及周缘相对海平面变化和沉积过程的影响也需要深入的研究。

S4-O-18

苏北海岸带老黄河水下三角洲沉积演化研究

刘健*，孔祥淮，温春，徐刚

青岛海洋地质研究所

*liujian0550@vip.sina.com

公元 1128-1855 年老黄河从苏北海岸进入南黄海，其在南黄海西部陆架区形成的水下三角洲沉积特征鲜有报道。最近几年我们在南黄海西部陆架区开展了地质调查，获取了高分辨率浅地层剖面、钻孔岩心、海底表层样和柱状样，通过综合地质研究，取得了对老黄河水下三角洲发育演化的新认识。研究表明，老黄河从苏北海岸入海期间在南黄海西部海岸地区形成了复合楔形体地貌，即近岸/远岸三角洲复合系统。近岸三角洲包含现今的陆上三角洲平原和向海连续延伸到水深约 17m 的三角洲前缘；远岸（即水下）三角洲包括宽广而低缓的顶积层、相对狭窄而

倾斜的前积层和低缓的底积层。水下三角洲覆盖了南黄海陆架的大片区域，向海延伸可达离岸约 160 km 的距离，在地貌上表现为向老黄河口稍稍南偏的不对称分布形态。该水下三角洲顶积层宽约 25-100km，所处水深 10-25m，厚度一般不超过 3m；前积层所处水深 10-45m，相对较窄（宽约 5-30 km），厚度也较大（4-16 m，最大可达 20 m），在浅地层剖面上表现为其内部前积层向海倾斜（倾角一般 0.3-0.5°）。水下三角洲转折点（顶积层-前积层转换位置）所处水深为 10-25 m。对柱状样沉积物样品的 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 测试分析表明，水下三角洲最大沉积速率（1.06 -2.16 cm/yr）位于前积层，低沉积速率（<0.64 cm/yr）位于顶积层和周围海域。公元 1855 年后，海洋动力对废弃老黄河三角洲的侵蚀作用以及 20 世纪 30 年代后的人工修堤对近岸三角洲前缘和水下三角洲沉积速率有明显影响。通过对公元 1128-1855 年黄河入海沉积物收支平衡的估算，得知约 42.6%老黄河入海沉积物堆积在近岸三角洲，约 12.8%堆积在水下三角洲。

老黄河水下三角洲覆盖在一个大规模的楔形沉积体体之上，该楔形体厚约 4-13 m，其内部前积层的倾角（<0.3°）要明显小于上覆的老黄河水下三角洲的内部前积层。基于其最上面的沉积物测年数据和及楔形体表层深度，推测楔形体沉积年龄早于 2.5 cal kyr BP 但晚于 9.8 cal kyr BP。

南黄海西部陆架区较强的海洋水动力（波浪、潮汐和沿岸流）和老黄河充足的入海沉积物是形成苏北老黄河水下三角洲的主要因素。潮流和 SE-SSE 方向的波浪是老黄河沉积物离岸输送的主要沉积动力，NE-NNE 方向的波浪和沿岸流则使该水下三角洲相对老黄河口的位置发生南偏而形成不对称的地貌形态。

S4-O-19

MIS5 以来台湾海峡两岸海平面变化对比研究

范代读[1]，刘祖乾[2]，王强[3]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中山大学海洋地质与化学研究所

3 天津地质矿产研究所

ddfang@tongji.edu.cn

台湾海峡呈 SW-NE 走向，长 360 km，宽约 180 km，水深普遍水于 60 m。新生代以来，台湾海峡经历了多期次构造运动，构造格局较复杂，总体呈东侧的“北坳南隆”和西侧的“二坳一隆”的大陆继承性地形地貌特点。一般认为，末次盛冰期时海峡完全出露成陆，成为动物和人类适应气候变化进行迁徙的重要走廊，得到诸多考古资料的证实。

海峡西侧海底和沿岸断陷盆沉积地层研究认为，晚更新世存在 3-4 海侵（如王海鹏等，2000；曾从盛，1993）。这些海侵事件发生的时间和推算的古海平面高度与普遍接受的全球海平面变化模型有较大的出入，也与我国北方的研究结果不一致，后者一般认为晚更新世存在两次较强的海侵事件，分别对应于氧同位素 5 期和 3 期。有人提出，福建沿岸海平面变化的不一致性是因为区域构造的特殊性造成的，但更可能是因为研究材料不够好、测年资料不准确或仅凭推算等造成的（周定成等，2011）。

台湾岛上的海平面变化研究更多集中于东海岸因抬升后出露的多级阶地，以及西海岸一些沉积盆地的钻孔资料，如浊水溪扇三角洲大量水文钻孔资料揭示，末次间冰期（氧同位素 5 期）海侵层埋深 100-150 m，全新世海侵层底板埋深约 50 m (Liew, et al., 2004)。2010 年 6-7 月在浊水溪扇三角洲现代海岸线附件，通过钻探获取了两口百米的全取芯钻孔岩芯沉积物。初步分析表明，北孔存在下

切河谷，比周边的古河间地低 10 m，末次冰消期海平面上升较早波及该下切河谷，在 1 万左右海侵漫溢出古河谷达古河间地，随后进入较大规模的海侵。古河间地顶板埋深约 46 m，下切河谷底板埋深约 57 m。在此之下为 5-8 个向上变细的沉积旋回叠置，每个旋回底部为冲刷面或岩性突变面，上覆平行层理或低角度斜层理的中粗层，向上变细，顶部为斑染状的泥质层，未见有孔虫化石，推测为河湖相沉积。根据 AMS C-14 测年，75 m 之上形成于 5 万年以来，之下已超出 AMS C-14 测年的范围，但未见研究区广泛发育的氧同位素 5 期的海侵层，因此判断均为晚第四纪沉积。两个钻孔均未出现海峡西侧和大陆北方海岸广泛存在的氧同位素 3 期高海面的海侵层，如果考虑研究区约 1~1.5 mm 年均构造沉降速率，氧同位素 3 期海侵层可能在 100 米之下，但是否与目前较广泛接受的观点，氧同位素 3 期高海面低于现今海平面 50-60 米相一致还有待进一步证实。

S4-O-20

渤海湾西岸晚上新世以来沉积环境演化及其与构造、气候和海平面变化的联系

姚政权[1,2]，郭正堂[3]，肖国桥[4]，王强[5]，石学法[1]，王先彦[6]

1 国家海洋局第一海洋研究所
2 中国科学院地球环境研究所
3 中国科学院地质与地球物理研究所
4 中国地质大学（武汉）
5 天津地质矿产研究所
6 南京大学

新生代以来由于构造下沉作用，渤海湾西岸平原沉积了巨厚的沉积物，因此该区沉积物为研究沉积环境演化及其与构造、气候和海平面变化提供了可能。在本研究中，我们以取自渤海湾西岸天津市长度为 203.6 m 的岩芯（BZ2）为研究对象，在古地磁及光释光年代框架的基础上，通过对钻孔岩芯进行详细的沉积学及颜色反射率、粒度等指标研究，恢复了 BZ2 钻孔记录的渤海湾西岸地区晚上新世（3.3 Ma）以来沉积环境演化历史及其与构造、气候和海面变化的联系。

研究结果显示，该区沉积环境演化可划分为四个阶段：

I（3.3 Ma-2.6 Ma）：研究区主要以细粒的洪泛平原沉积为主，成壤作用较为明显，可见多层较为发育的古土壤层；

II（2.6 Ma-1.5 Ma）：研究区以细粒洪泛平原沉积为主，此外，粗粒的决口/改道沉积较为频繁，成壤作用很少发生；

III（1.5 Ma-0.1 Ma）：研究区总体上仍以河流相沉积为主，但在部分层位可见少量海相生物，表明在间冰期高海面时期，该区可能遭受较弱的海水的影响；

IV（0.1 Ma 以来）：钻孔可见典型的海相沉积，海侵开始影响该区。

详细的沉积学和沉积物颜色指标研究显示，河流相沉积主要表现为粗粒的决口/河道沉积与细粒的洪泛平原沉积交互出现，第四纪期间海面升降导致的基准面变化可能是该区河流环境呈现上述变化的主要原因。该区大规模海侵发生在晚更新世以来，这与前人的大量研究是一致的。表明晚新生代以来的持续构造下沉为海水入侵创造了有利条件，可能是导致该区自晚更新世以来发生大规模海侵的主要原因。除上述因素外，冰期-间冰期气候变化也会影响该区的沉积环境。

S4-O-21

海面变化记录辨识

王强

中国地质调查局天津地质矿产研究所，300170，tjwq1945@163.com

1978 年底，CCOP 代表团为援建我国第四纪地质培训中心选址考察座谈时，即对我国沿海地区 MIS3 阶段的海侵是否成立提出过质疑。三十余年来，我国海岸带与近海工作一直为此纠结，但是亚得里亚海已确定有此期海侵了。目前集中在几个问题冲突上。

碰撞 1——有无海侵？有无高海面？海面多高？

一旦发生海侵都可以说是出现了高海面（王强等，1995），但是海面高度是另一回事。

《海陆相地层辨认标志》（同济大学海洋地质系，1980）成为判断地层成因的经典著作，海相、陆相和海陆过渡相术语成为最简洁的地层成因表达。但是“微体化石在海侵研究中的应用与错用”（汪品先，1992）一文似乎并没有被读懂，以致古河谷区至今仍依赖微体古生物确定海侵层，继而建立地层单位、地层格架。新疆甜水海晚更新世见有孔虫（李元芳等，1995）、山西运城盐湖（王強，1997，2000）众多层位發現海相微体生物，以及“非海相盐湖有孔虫”概念被接受（王世杰等，1995），终止了海侵影响范围的扩大。

碰撞 2——近连续沉积还是间断？自天津到宁波地区，全新统下伏地层即出现 30、40、50ka 余不同的 OSL 测年数据，但是无一提及存在着在强水动力背景下，老地层砂搬运到新层位堆积的可能。单纯依据类似测年数据，得出全新世无沉积的教训应该汲取。

碰撞 3——古海面高度？现代 15m 水深所见瓷质壳有孔虫用于指示全新世最大水深（王强等，1986），其后在潮上带层段发现（王强等，2009）。指示分米级海面变化的 *Trochaminela inflata* 在苏北没有证实（尤坤元等，2002），可能仅限于某个特定区域（汪品先，1992）。如果使用沉积构造术语和潮间带分带（Wang Q et al., 1988），可见海面没有多高。

碰撞 4——“并非可以任意取沉积物测年，并非每一个测年数据都可以使用，并非每一个剖面都具有海平面变化意义。”（王强等，1995）“泥炭，只有基底泥炭测年才有海面变化意义。”（Kaye et al., 1964）海域钻孔 5m 厚砂层中或二十米厚全新统中十几个反复倒置的有孔虫、贝壳碎屑 AMS^{14}C 测年，均不采纳，以排除再搬运，下伏薄层泥炭测年则可以使用。三角洲顶部泥炭层，其测年显示近 5ka 以来陆地的推进，风暴搬运来的贝壳测年仅指示早期贝壳堆积到新层位。但是 0.20m 厚泥炭内部也存在着老碳新碳的上下交换，分割测年年代亦可能倒置（王强，1999），选择植物种子、碎屑可能避免？

碰撞 5——被忽略的突然、局部地面沉降。1976 年唐山大地震后，天津港码头突降一米，东部沿海地质历史上应该同样出现此类情况，但没有评价。曹妃甸地区比天津沿海同期泥炭低，黄骅地区盛冰期硬土层又高于天津。看来，150ka 以来沿海整体沉降中有差异沉降。长江三角洲古河谷区既有沿江断裂控制，又有海侵时不同强度的侵蚀冲刷。

碰撞 6——＞20ka 的 ^{14}C 数据不准确，不用？——关系到大量前期认识的修订。要使用这些数据，前述全新统之下地层间断就不存在，但是这些数据亦不可再用来做精确计算。

碰撞 7——陆海相互作用与海陆相互作用。滨海可见海洋动力下对陆源碎屑沉积物的改造，陆架物质中可能唯有生物搬运过来；向陆方向则见河流沉积物对海侵的顶托，不同地点河流进积与退积影响。海面变化的敏感反映点是在海盆边部，但同时需评估沿海、海域沉降。

碰撞 8——Blake 亚时还是 OSL 测年确定 MIS5 阶段底？

碰撞 9——现有技术条件下的与自然界

对话。

S4-P-01

中晚始新世－渐新世的海陆气候事件对比 ——天文驱动的深海和陆相湖盆的沉积记录对比

黄春菊

中国地质大学武汉 资源学院海洋系
hcjcathy@yahoo.com.cn

早始新世气候最适宜时期（Early Eocene Climatic Optimum－EECO）的结束伴随着一个长时间的全球变冷时期，这一过程一直持续到始新世末期即始新世/渐新世（E/O）的转换期。深海记录的气候变化信息显示，地球在这一长期的变冷过程中出现了一系列的短期气候变暖逆转事件。通过研究中国中部陆相江汉盆地相应时间段的沉积记录，结果表明相应的气候暖（Warm）/冷（Cool）事件在陆相沉积中同样存在。在江汉盆地沉积中心的钻孔的测井资料记录了 4000 多米的中晚始新世和渐新世的湖湘沉积地层。在这一沉积序列中，记录了晚始新世含盐丰富的盐与暗色泥岩的沉积韵律，这是淡水湖相和咸水湖相交替沉积的结果，反映了这一时期气候的潮湿与干旱或者是冷与热事件的交替出现。江汉盆地沉积中心钻孔的高分辨率的伽马曲线（GR）记录了明显的岩性韵律地层序列。从 GR 曲线中识别出的三个明显含盐丰富的韵律层段，被解释为气候暖事件，正好可对应于中始新世到渐新世的深海沉积的氧同位素记录的短期气候变暖的逆转事件。如在深海记录中存在的 40Ma 左右的中始新世气候最适宜（Middle Eocene Climatic Optimum－MECO）事件即暖事件，在江汉盆地的沉积记录中对应于盐韵律发育段。在始新世末期即在 I/O 事件之前，也有一个相对暖事件时期，在江汉盆地的沉积记录中也对应于盐韵律发育段。GR 曲线的能谱分析结果表明，盐韵律发育段（即暖或热事件时期）的沉积是受天文轨道偏心率（eccentricity）旋回控制的，但气候较冷湿时期的沉积是受天文轨道的斜率(obliquity)旋回控制的，尤其在始新世/渐新世界线的过度转换段。

S4-P-02

苏北建湖岗西全新世沉积环境记录与海平面变化

Ye Chen, Qiang Shu, Zhijun Zhao, Maoheng Zhang, Jijun Li

College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing , 210046, China
chenye@njnu.edu.cn

Introduction

Under the control of the East Asian monsoon system, Gangxi Jianhu links the largest ocean and the biggest continent. The special geographic location makes the sediments from Gangxi Jianhu record the process of climatic variation sensitively during the Holocene. Based on the precise chronology through the AMS^{14}C dating techniques and relative dating methods and analyses of diatom, pollen, grain size, geochemical elements, the thesis presents the multi-proxy sequences and discusses paleoclimatic and paleoenvironmental changes during Holocene, The Holocene climate and environmental mode in Gangxi Jianhu area is also discussed preliminarily.

Conclusion

1. In in early Holocene about 10100aB.P.-7700aB.P.period, it is mainly environment of swamp. It is cold-dry climate

during early stage, but with the higher of temperature, the increase of precipitation and ascendant of sea level, which makes moss-land into sea marsh.

2. In middle Holocene about 7700aB.P.－2300aB.P.the environment of this area change from sea marsh to lagoon, to lacustrine beach, to intertidal zone（Intertidal flat）.Its climate change into more warm and wet.

3. Late Holocene (about 2300aB.P.-1200aB.P.) the environment of this area change from intertidal zone to fresh lake, Its climate change from warm and wet to temperate and moist. Sea level retreat a little.

4. In contrast to the change of world sea level, which coincide with environmental variation of the area. The records of climatic and environmental evolution from Gangxi Jianhu are in good accordance with those from adjacent areas and global climatic and environmental change. Sea level rise fluctuate since 12000a B.P., but it rise more obviously in about 10100aB.P. and it stabilize during 8000 aB.P.-6500 a B.P., even it fall transitorily in later period. It rises fatherly in about 6500 aB.P.-2300aB.P. But it begins to retreat after 2300a B.P. .

S4-P-03

苏北盆地兴化钻孔的古地磁地层研究

赵志军，陈晔，舒强，张茂恒，李吉均

南京师范大学地理科学学院

zhaozhijun@njnu.edu.cn

中国东部平原地貌形成过程与环境变化对于认识我国整体自然格局的发育历史具有重要意义。江淮下游的苏北盆地从晚白垩开始沉降，堆积了巨厚的新生代沉积，是研究江淮平原形成历史、长江水系发育历史以及与我国东部典型季风区气候变化的理想区域。在苏北盆地高邮凹陷兴化附近获取的两个深度分别为 350m（XH1）、745.41m (XH2)高取芯率钻孔岩芯，为探索这些问题提供了可能。

高密度古地磁测量揭示，两钻孔 350 米重复部分实测极性柱基本一致，XH2 孔 530m 以上部分可以和古地磁 Gilbert 世以来的极性世很好比对。结合 ESR 年代，XH1 孔底部达到 3.3 Ma，根据沉积速率推算，XH2 孔底部年代约 6.6 Ma。

S4-P-04

基于有机质碳同位素的中国黄土高原西部地区高分辨率末次冰期古降水重建

饶志国，陈发虎，张晓，刘小康

兰州大学西部环境教育部重点实验室

zgrao@lzu.edu.cn

定量的古气候要素（如古降水、古温度）重建，对于理解气候变化的规律、区域对全球变化的响应以及预测未来的气候变化具有极其重要的意义，一直是古气候变化研究当中最为核心的议题。中国黄土高原地区的黄土/古土壤地层是研究第四纪时期古气候变化的最佳陆相沉积材料之一，在过去几十年的研究当中，取得了极为丰硕的研究成果。然后直到现在，还缺乏控制机理清晰、指示意义明确的高分辨率古气候要素重建结果。本文报道中国黄土高原西部地区基于绝对定年和有机碳同位素数据的末次冰期期间的高分辨古降水重建。结果显示，该区域末次冰期古降水量变化广泛的对应于中国东南部石笋氧同位素记录的东亚夏季风强度变化，同样记录了众多的气候快速变化事件。这一结果表明受太阳辐射驱动的东亚夏季风强度和

降水量变化在末次冰期东亚季风区具有非常高的一致性。初步的结果显示，高纬地区气温自 H2 事件后开始明显回升，而低纬地区东亚夏季风强度则在 H1 事件之后才开始增强，降水量随之增加。亦即，末次冰期向全新式转化过程中，高纬地区的增温响应要早于低纬度地区的东亚夏季风增强和降水量增加。单一气候要素的定量重建，为更进一步理解东亚季风区的古气候变化及其与全球气候系统的关系提供了新的视角和机遇。

S4-P-05S

海平面上升对渤海潮流影响的初步分析

胡颖，匡翠萍*，潘毅，黄静

同济大学

*cpkuang@tongji.edu.cn

随着温室效应的不断累积加剧，由全球气候变暖、极地冰川融化、表层海水受热膨胀等一系列原因引起的全球海平面的上升日趋受到各领域的关注。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的报告指出，近 100 年里全球海平面上升了 188mm。而近年来的研究表明，在未来 100 年，全球平均海平面可能会上升 0.5m~1m。然而随着冰川的融化速度的不断加快，可能导致海平面的上升速度比预计要快得多。中国海岸线蜿蜒曲折。渤海是我国海洋科学研究的重要基地，同时环渤海陆域纵深 150~200km，是中国主要的政治、经济与文化发展地带，海平面上升对渤海产生的影响不容忽视。

本文利用数值模拟软件 Delft3D-FLOW，建立起以大连 — 烟台为开边界的渤海海域潮流数学模型，在利用实测和理论资料验证了模型的基础上，分别假设海平面上升 0.5m、1m、1.5m、2m 对渤海潮流进行模拟，并初步分析了海平面上升后渤海的潮位、潮流的变化情况及其影响。

以秦皇岛潮位站为例，随着海平面的上升，秦皇岛潮位站的潮位逐级抬高，并且抬高的幅度约为海平面上升的幅度。然而，随着海平面的上涨，整个渤海海域的潮位抬高，并呈现不等幅抬高。在渤海三大湾中，莱州湾的潮位涨幅最为突出，且涨幅高于海平面的上升幅度，并且随着海平面的进一步上升而涨幅更大；相对而言，辽东湾、渤海湾的潮位涨幅要小于莱州湾，并且略低于海平面的上升幅度。而渤海的中部海区的潮位则与海平面上升幅度保持着高度的一致性。

海平面上涨后，渤海海域内的大部分地区潮流流向与当今平均海平面下的流向基本保持一致。渤海湾内流速变化的平面分布显示整个渤海海域的流速变化非常小，但是近岸流速尤其是三个湾顶的近岸的流速却有所增大。以秦皇岛海域的洋河口为例，比较当今海平面、海平面上涨 0.5m、海平面上涨 2m 三种情况下洋河口的流速和流向的过程可以看出：洋河口的流向基本保持着一致性，而流速在逐渐增大，但是增幅比较小。

数值模拟结果显示：海平面上升将导致潮位的明显增大，而莱州湾的潮位增幅更大。以往研究表明：沿海风暴潮灾的加剧，一方面是海平面上升直接引起的，另一方面是由于海平面上升导致潮位增高所引起的。因此海平面上升将加重风暴潮产生的频率，并且因为海平面上升抬高了风暴潮的增水水位，进而导致风暴潮的破坏强度增大，淹没范围更为广大。莱州湾、渤海湾、辽东湾是我国沿海三大主要台风风暴潮脆弱区。风暴潮的加剧将对三大湾，尤其是莱州湾造成不可忽视的灾难。

环渤海沿岸的湿地资源非常丰富，是我国滨海湿地分布最集中的区域。海平面的上升将直接导致岸线的后退和湿地的淹没。由

模拟结果可以看出，渤海三大湾顶的近岸流速的增大，对海岸的侵蚀作用加剧，将加速岸线的蚀退。

海平面上升导致的水深的增大，潮流和海浪的作用增强，将会降低海岸防护工程的防御能力；海平面上升还会雍高河流下游的水位，加重下游河床的淤积，降低河流的泄洪能力，加重洪涝灾害；海平面上升导致的海水沿河上溯，对河口水质、水动力等都会造成影响，进而影响到整个河口区域的生态环境和沿海地区居民的用水环境。

由此可见，海平面上升导致的潮位抬高、风暴潮灾、岸线蚀退、咸水上溯等将对渤海海域乃至环渤海沿岸造成不可忽略的影响。而同样受影响的还有全球其他人口密集、经济发达的沿海地区。因此，降低温室效应的影响，减缓全球变暖速度是十分必要的。

S4-P-06

阳原盆地西部梨益沟地区的火山堆积

吉云平

中国地质科学院水文地质环境地质研究所
jiyp825@163.com

泥河湾盆地沉积的“泥河湾层”由于出露厚度达近百余米，分布范围广，地层剖面内含大量古生物化石和古人类活动遗迹等而为世人瞩目，不同的专家学者从不同角度分别对泥河湾层进行了相关地研究。但是到目前为止，对阳原盆地西部地区（尤其是阳原县城以西）开展的研究工作还很少，并且由于目前研究成果中同位素年龄的缺乏也使得有些研究成果存在争议。

本研究对阳原盆地西部梨益沟地区，通过地层对比分析、地质结构调查及样品测试分析等手段，理清了该区地层沉积中的火山堆积分布，分析了该区泥河湾层的沉积序列。结果显示：阳原盆地西部梨益沟地区的灰绿、灰黄色河湖相沉积层（泥河湾层）中夹有 3 层火山堆积。这 3 层火山堆积层在梨益沟的小跌水处出露齐全。通过地层追索认为这 3 层火山堆积均来自于梨益沟一支沟——黑石头沟的埋藏古火山口。本研究测得黑石头沟火山口玄武岩 K-Ar 年代结果为 9.35±0.28Ma，梨益沟上层和中层火山渣堆积中的火山熔岩块 K-Ar 年代结果分别为 1.01±0.03Ma 和 1.69±0.04Ma（中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室测试结果）。而苏朴等（2000）对梨益沟“河床面之上的火山豆”的两个 K-Ar 测年结果分别为 0.45±0.08Ma 和 0.38±0.07Ma（中国科学院地质研究所 K-Ar 实验室测）。野外地层调查显示苏朴采样的火山堆积层位与本研究在梨益沟的采样层位一致，而同样火山堆积层位的年代测试结果出现如此巨大的差异。其原因是由于同一火山口不同时期多次喷发，喷出物在后期搬运过程中混淆堆积？还是实验室测试分析差异？具体原因还有待进一步分析。

S4-P-07

大同盆地全新世以来孢粉植被特征与古环境

范淑贤

中国地质科学院水文地质环境地质研究所
fshuxian@yahoo.com.cn

大同盆地位于黄土高原的东北部（山西省雁北地区），呈北东—南西向展布。该盆地属构造差异性升降运动而形成的晚新生代断陷盆地。盆地东部分布 20 余个孤立的火山堆，构成我国著名的第四纪火山群之一（大同火山群）。研究区属温带半干旱季风区，四季分明，年均温度 6.6℃，年均降水量 400mm 左右，年蒸发量 1152mm，干燥度 2.2。本区在植被区划中处于温带半湿润落叶阔叶—草甸

亚高山地带。剖面位于大同盆地东部高阳县东水头村水眼沟上游沟头处。剖面总厚 6 米。共采集 58 块孢粉样品，样距为 10cm 左右。共鉴定 7908 粒，平均每个样品统计至 172 粒。根据植物花粉的科属类型及百分含量在剖面上的变化，可划分为 5 个孢粉组合带。

孢粉带Ⅰ：剖面深度 6.0—5.6 米，花粉以蒿、藜科、松为主，形成了草原环境，气候冷干。

孢粉带Ⅱ：剖面深度 5.6—4.5 米，喜温的木本花粉栎、椴、榆等增加，喜凉草本花粉蒿、藜科等下降，形成了疏林草原植被环境，气温逐渐升高，气候变暖而偏干。

孢粉带Ⅲ：剖面深度 4.5—3.0 米，耐干旱的蒿、藜科增加，其含量占绝对优势，木本花粉少量，形成了荒漠草原的植被环境，气候凉干。

孢粉带Ⅳ：木本花粉中喜暖的椴、栎、桦、胡桃、榆等落叶阔叶分子增加，草本花粉减少，气候温暖湿润。

孢粉带Ⅴ：草本花粉中除禾本科增加明显外，水生湿生植物略有增加，说明气候在逐渐变凉。

从剖面的 5 个孢粉带可看出大同盆地 11000 年以来古植被演化规律。据今为 11—9kaB.P.间植被是以松、锻、蒿、藜为主的形成了针阔叶疏林草原植被。气候温和偏干，表明了末次冰期结束以后气候明显回暖的迹象。据今 9—8.5kaB.P.间，植被是以蒿和藜为主的形成的荒漠草原，气候温凉。可以认为该时段是全新世经历的第一次低温时期。这一时期可与内蒙古大青山地带进行对比。据今 8.5—7.5kaB.P.间，植被面貌是针阔叶混交林草原，气候温暖潮湿。说明这一阶段乔木植物增加，气温升温较快，造成气候湿度并不大。据今 7.5—6.7kaB.P.间，草本中的蒿和藜的含量占孢粉的总含量的 95.8—89.1%，说明本区又经历一次相对干旱的阶段，植被类型为草原，气候温干。据今 6.7—3.0 kaB.P. 左右，植被类型为疏林草原，气候比较湿润。3 kaB.P.后，喜干蒿、藜明显增加，椴、栎、榆开始下降，说明植被发生了根本的变化气候向干的方向发展。植被以落叶阔叶为主的针阔叶疏林草原逐渐发展到草原。上述古植被古气候反映该区全新世以来环境演化规律，为深入研究该区的古气候及古环境提供有价值的资料。

S4-P-08

晚第四纪冲绳海槽陆源碎屑沉积物物源和黑潮变动的 sr-nd 同位素制约

Yanguang Dou[1], Shouye Yang [2*], Zhenxia Liu[3], Jun Li[1], Xuefa Shi[3], Hua Yu[4], Serge Berne[5]

1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

2 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

3 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266071, China

4 Department of Earth Sciences, Rice University, Houston, TX 77005, USA

5 Université de Perpignan Via Domitia, 66860 PERPIGNAN CEDEX, France

*syyang@tongji.edu.cn

The Okinawa Trough in the East China Sea continuously receives terrigenous sediments from surrounding East Asian continent during the late Quaternary, which makes it an ideal site for the study of land-sea interaction and sediment source-to-sink transport. Geochemical and Sr–Nd isotope compositions of the detrital sediments in the middle Okinawa Trough allow the provenance

discrimination and reconstruction of paleoenvironmental changes over the last 30 ka. Large variations in87Sr/86Sr ratios and εNd values occurs between 14.0 and 7.1 ka, suggesting a significant change in sediment provenances from the dominance of the Changjiang (Yangtze River) and/or continental shelf to that of Taiwan Island. During the last glacial maximum, the continental shelf was largely exposed and the fine-grained sediments from the Changjiang and the shelf with higher 87Sr/86Sr ratios and lower εNd values might be transported directly into the middle Okinawa Trough. With the sea level rise during the deglacial period, the strengthening Kuroshio Current increasingly delivered Taiwan-derived fine sediments (lower 87Sr/86Sr ratios and relative higher εNd values) to the central trough, while the sediment contribution from East Asian continent became subordinate. This study suggests that the changes in sea level and the Kuroshio Current pathway during the late Quaternary predominantly determined the dispersal and deposition of the terrigenous sediments in the Okinawa Trough, and the Kuroshio Current might have influenced the Okinawa Trough since 14 ka. This study illustrates that the radiogenic isotopic compositions of fined-grained sediments are sensitive proxies to trace the sediment provenance and to reconstruct oceanic circulations in the west Pacific marginal seas.

S4-P-09S

东海黑潮区PN断面夏季盐度的年际/年代际变化和变率

刘运运[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，谭能志[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

lyy198848@126.com

使用1945-2003年海洋盐度再分析资料，在划定的黑潮区范围内提取 PN 断面夏季0-700 米盐度数据，采取 Mann-Kendall(MK)非参数统计法、秩和检验法、超前滞后相关性分析法、小波分析等方法研究 PN 断面夏季 0-700 米盐度数据的年际/年代际变化及变率。资料分析表明，0-700 米盐度特征值和高盐核强度在整个时间序列上大都无明显的趋势性变化，但近年来盐度特征值有减小趋势，以最小值减少趋势最为显著，0-700 米各层则以表层减小最为明显，同样，近 5 年来高盐核强度减少了 0.003，占平均值的 21.5%。此外，当 ENSO 超前 PN 断面夏季 0-50 米层盐度平均值 3 个月时两者的相关系数达到最高，为 0.3545，通过了 99%的信度检验。突变分析和突变检验结果表明 0-300 米各层和高盐核强度突变点（跳跃点）位于四个时段，即四十年代末、五十年代末、1976/1977、八十年代末到九十年末，其中四十年代末和1976/1977 年的突变现象可能是由于受到PDO 冷暖位相的转变的影响，而表层八十年代末到九十年代末的突变现象则可能是由于1993 年以来 NPGO 正在逐渐加强的缘故，五十年代末的突变现象基本都通过了跳跃点检验。300 米层以下年代际突变现象减弱。通过小波分析得到 PN 断面盐度存在 19、29、15、6 周期，即盐度特征值以 19 年周期振荡最强，高盐核强度则以 29 年周期较强，15 年、6 年分别为其第 2、3 主周期。通过对盐度特征值和高盐核强度不同尺度的变率分析，发现突变点所在的四个时段内，年变化率和 3 年变化率大都会出现极值点，10 年变化率也大都出现正负的转变。

S4-P-10S

基于海面卫星测高数据的台湾东北海域涡旋多年时空变化—年、季变化

孙闻政[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，王国栋[1]，朱炯[1]，刘超[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

sunwenzheng10@gmail.com

本文使用1992年至2009年的AVISO海面卫星测高数据，使用matlab平台，借助地转流方法和基于Okubo-Weiss函数的涡核确定技术揭示台湾东北海海域（120°E～124°E，24°N～27°N）涡旋的逐年、季变化规律：（1）台湾东北海域气旋涡和反气旋涡在彭佳屿附近海域、台湾北部沿岸海域和东岸北部沿岸海域和钓鱼岛附近海域均有出现，气旋涡和反气旋涡均有明显的季节性变化；（2）涡旋在逐年的季节变化中，春、夏、秋季无明显变化规律，冬季气旋涡有五年周期，反气旋涡除1997年，2007年外均出现在彭佳屿到钓鱼岛之间海域；（3）气旋涡和反气旋涡经常成对出现，且同步的东西摆动，涡旋的季节性位置变化有着很好的一致性；（4）涡旋的空间分布的变化是黑潮的周期摆动和台湾东北的海底地形的共同作用的结果；黑潮及其分支的东向转向形成了反气旋涡；热带气旋的随机出现造成夏、秋季的涡旋空间分布无明显变化规律；（5）气旋涡和反气旋涡的空间分布规律能反演黑潮表层主轴的摆动变化规律。

S4-P-11S

1945-2003年东海黑潮PN断面夏季温度的年际/年代际变化及其变率

谭能志[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，刘运运[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

ttaixj@163.com

利用Ishii 2006海洋再分析数据集，选取8月份为海洋夏季代表月，分层提取温度最大值、最小值、平均值等指标，采用数理统计等研究方法，分析研究了1945-2003年东海黑潮PN断面夏季温度的长期变化趋势及其变率，以及与ENSO、PDO和NPGO的相互关系，结果表明：1945-2003年PN断面夏季的温度经历了冷-暖-冷-暖三次转换，500m以浅增温为主，500m以深降温，极差在扩大。近30年来PN断面温度最大值上升0.18℃，最小值下降0.03℃，平均值增温0.12℃；其中50-100 m层增温最为显著，最大值增温0.41℃，平均值增加0.51℃。PN断面0-700m层温度最大值、最小值各发生了一次突变，时间分别为1989、1952年；PN断面50-100m层温度平均值在1968年发生显著突变，温度持续显著上升，500-700m层温度平均值在1954年发生均值突变，温度显著下降。通过计算PN断面夏季温度与ENSO、PDO和NPGO超前滞后相关分析得出：ENSO超前13个月，0-50m层的PN断面温度最大值、平均值的相关系数最高，达到0.4028和0.3675，均超过了98%的置信水平检验，ENSO对PN断面的影响深度以50m以浅为主；超前6个月的PDO指数与0-50m层的PN断面温度最大值、平均值相关系数最高，分别为0.3711、0.3492，均通过了98%的置信水平检验，PDO对PN断面温度的影响深度主要是50m以浅；超前13个月的NPGO指数与100-200m、200-300、300-500层的PN断面夏季温度最大值相关系数最高，分别为0.4023、0.3594、0.3462，均通过了98%的置信水平检验，NPGO对PN断面温度

的影响深度为 100-500m。

S4-P-12S

台风过境时海温与风速关系的动力学分析

朱炯[1,2]，康建成[2]，GuoqiHan[3,2]

1 上海师范大学数理学院

2 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

3 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

zhujiong@shnu.edu.cn

分别利用 AIPOcean 资料和 Argo 资料，得出台风在 6h、12h、18h、24h 过境时上层海洋的海温空间分布，发现海面下 50-75m 有一个温度变化显著层。此显著变化层在前 24h 的变化与台风强度相互作用，共同影响 24h 后的海温和台风强度，并且发现当台风风速在 23m/s 和 42m/s 时有别于其他。通过差分方程和回归分析，建立了海温变化显著层与台风风速的非线性模型。通过计算发现 50m 深度为最佳计算深度，当风速在 21-49m/s 范围内，风速的拟合结果与实际结果比较接近，平均误差为-0.025m/s。结果表明：当海面下 50m 的平均海温在 26.9-27.9℃范围内，台风的风速随海温升高而增大的；当海面下 50m 的平均海温在 26.6-26.9℃与 27.9-28.5℃范围内，台风的风速随海温升高而降低的；分别在 27.9℃、28.5℃达到极大值，26.9℃达到极小值，风速在 23m/s 和 42m/s 时会出现一个拐点。

S4-P-13S

泸沽湖全新世孢粉记录的植被与环境变化

郑茜[1]，张虎才[1]，李春海[1]，唐领余[3]，常凤琴[1]，蔡燕凤[1]，李文静[1]，张自强[1]，段立曾[1]

1 高原湖泊生态与全球变化实验室

2 中科院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境国家重点实验室

3 中科院南京地质与古生物研究所

zhengqian329@gmail.com

位于青藏高原东南缘与云贵高原过渡区的泸沽湖，是云贵高原第二大深水湖，由于受人类影响作用较小，湖水清澈沉积速率稳定；流域内植被覆盖度较高因而有机质含量较高，是云贵高原乃至青藏高原边缘过渡地带湖泊沉积与气候环境变化的理想场所。对于获取于水深 44.5 米处长度 900 cm 的连续岩芯观察发现，岩芯物理特征变化不明显，植物残体（如树叶）丰富，对岩芯 18 个树叶残体进行 AMS 14C 测年发现，深度—年代呈线性相关关系，岩芯剖面底部 900 cm 年龄为距今 31228 年。剖面 500 cm 处年代距今 15000 年，孢粉分析结果显示全新世起始于剖面深度 432 cm 处，距今年代 12644 年。

全新世孢粉具有明显的分带性，但是一个整体特点就是自下而上松属（Pinus）含量均高，可达 47~57%，可以划分为 3 个带，其中距今 12644 年至距今 7733 年孢粉松属占 56.34%，栎（Quercus）占 9.81%，常绿阔叶栎（Quercus(E)）占 5.56%，桦属（Betula）占 4.02%，禾本科（Gramineae）占 2.24%，铁杉属（Tsuga）占 1.71%，云杉（Picea）占 1.02，蒿属（Aretmisia）占 1.18%，显示温暖但相对比较干燥的早全新世；中全新世距今 7733 年至距今 3404 年，孢粉松属占 57.4%，栎（Quercus）占 8.05%，常绿阔叶栎（Quercus(E)）占 12.36%，桦属（Betula）占 1.75%，禾本科（Gramineae）占 1.75%，铁杉属（Tsuga）占 2.03%，云杉（Picea）蒿属（Aretmisia）仅占 0.46 和 0.4%，显示温暖而湿润的中全新世；晚全新世距今 3404 年至距今，孢粉松属占 47.23%，栎（Quercus）占 4.35%，常绿阔叶栎（Quercus(E)）占 9.23%，

桦属（Betula）占 1.46%，禾本科（Gramineae）占 2.9%，铁杉属（Tsuga）占 3.67%，云杉（Picea）占 1.29，蒿属（Aretmisia）占 1.85%，显示温暖但相对早全新世更为干燥的时期。

S4-P-14S

新西兰坎特伯雷盆地第四纪晚期以来氧同位素地层学及其古气候信息

李稳，丁旋，吴莹莹

中国地质大学（北京）海洋学院
eileenlee96@gmail.com

研究区坎特伯雷盆地位于新西兰南岛东部，地处断陷的大陆破裂带的陆向边缘。在南岛西部绵亘南阿尔卑斯山脉，它是由距今约 23Ma 的澳大利亚板块和太平洋板块会聚，挤压抬升而形成。山脉风化剥蚀的碎屑产物通过河流输送为盆地的海底沉积提供物源。因此坎特伯雷盆地沉积物是海底快速堆积的产物，具有保存完好且详细、高频的沉积旋回记录，为进一步研究南阿尔卑斯山脉隆升及水团洋流活动提供基础。

坎特伯雷盆地主要受亚热带水(STW)、亚南极水(SAW)、亚热带锋(STF)、南岛流(SC)以及南岛锋(SF)等的影响，其中南岛锋受地形影响会随海平面变化而发生迁移，即海平面上升时发生陆向迁移、反之为海向移动。从而坎特伯雷盆地的沉积作用也相应的受到洋流水团活动的强烈影响。

研究材料由 IODP 317 航次在新西兰东南岸外坎特伯雷盆地实施的科学钻探采获，本次研究重点为位于上陆坡的 U1352 站位（44°56.2558’ S、172°1.3630’ E，水深 343.6m）B 孔岩心中 1H～35H 的区间，岩性成分上部主要为富泥质沉积物、下部以较厚的均质泥质层为主。本次研究长度为 295.29m，按 75cm 的取样间隔共获得 333 个样品。对样品中浮游有孔虫 *Globigerinoides bulloides* 及底栖有孔虫 *Nonionellina flemingi* 壳体分别进行稳定同位素分析，但由于部分样品中有孔虫含量稀少，故只得到氧、碳同位素（$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$）数据各 172 个。

通过氧同位素气候地层学并结合生物地层事件年龄，建立了研究区第四纪晚期 1108ka 以来的年代地层框架，平均时间分辨率约为 2.8ka，包含 33 个氧同位素期次。其沉积速率末次冰期（MIS2~4 期）最高，为 120cm/ka，MIS5 期沉积速率较低，MIS6 期及 MIS7 期波动较大，MIS8~11 期沉积速率相对较高，而 MIS12 期以后沉积速率水平较低，说明沉积速率主要受海平面变化影响，并同时受到陆源输入的强烈影响。而反映陆源沉积物供应的伽玛射线和与碳酸盐岩含量的颜色反照率曲线的变化趋势也大体与氧同位素曲线同步，归结来看冰期以低 $\delta^{13}C$ 值、低反照率值、高伽玛射线值和高 $\delta^{18}O$ 值为特征，而间冰期的主要特征为高 $\delta^{13}C$ 值、高反照率值、低伽玛射线值和低 $\delta^{18}O$ 值，这一变化趋势与邻近的 1119 站位的分析结果十分相近，有明显的冰期/间冰期特征。此外，由于不同水团 $\delta^{13}C$ 值特征不同，通过水团示踪可知，本站位大体呈现早冰期阶段亚热带锋向海移动，而晚冰期和间冰期阶段向陆移动的趋势。

S4-P-15S

新西兰东南岸外中更世晚期以来的海平面变化－来自 IODP317-U1352 站位的证据

吴莹莹，丁旋，李稳

中国地质大学（北京）海洋学院
wyyzrc@163.com

新西兰东南岸外相对海平面变化受全球海平面升降、构造和南阿尔卑斯山系沉积物

供应的共同影响。东南新西兰的水团和洋流活动受陆地及其地貌特点强烈影响，主要南半球海洋锋在此都发生向南挠曲，特别是沿新西兰南岛南部和东部海岸，亚热带锋形成近于平行岸线方向的南岛锋(SF)，SF 的迁移与相对海平面变化存在着密切的关系，当海平面上升时，SF 向近岸方向迁移，冷而低盐的亚南极水（SAW）覆盖范围将向陆地方向推移；当海平面下降时，SF 向远岸方向迁移，暖而高盐亚热带水（STW）覆盖范围将向海洋方向推移。因此，该区是探讨相对海平面变化与全球海平面变化关系的最佳地区，能够为全球海平面变化对比盆地沉降、沉积物供应等因素对大陆边缘沉积旋回的影响研究提供基础与依据。

研究材料来自IODP317航次在新西兰东南岸外上陆坡钻获的 U1352B 岩心（44°56.2558’S、172°1.3630’E，水深 343.6m），本次研究仅针对上部 0-160.9m，以~75cm 为间隔取样，共获得 191 个样品。通过 U1352B 岩心样品浮游有孔虫壳体氧碳稳定同位素、有孔虫组合、沉积物粒度等的分析，以及沉积速率、现代类比技术估算的表层海水古温度、浮游/底栖有孔虫比值推测的古水深等古环境指标的研究，对比前人在该区的研究成果，获得以下主要认识：

1）研究区受地区性沉积物供应的强烈影响，相对海平面变化与全球海平面变化并不完全对应。2）有孔虫的沉积通量表现为冰期时低，间冰期时高，与冰期间冰期全球气候变化非常一致，表明研究区有孔虫古生产力主要受海水温度而不是相对海平面变化的影响。3）IODP1352 站位与远岸一侧相邻的两个站位 ODP1119 和 DSDP594 表层海水古温度的对比结果显示，大多数间冰期阶段这三个站位的表层海水温度极为接近，表明三个站位都处于 SAW 覆盖之下，即海平面上升 SF 向近岸方向迁移到这三个站位向陆一侧；大多数冰期阶段 IODP1352 与 ODP1119 站位表层海水温度极为接近，二者均比 DSDP594 站位要高，表明海平面下降，SF 向远岸方向迁移至 ODP1119 和 DSDP594 站位之间，IODP1352 与 ODP1119 站位处于 STW 覆盖之下而 DSDP594 站位处于 SAW 覆盖之下。4）但在间冰期 MIS5 早期和 MIS11，这三个站位表层海水温度一致且较现代更暖，表明三个站位均处于 STW 覆盖之下。浮游/底栖有孔虫比值显示水深较浅，推测其时由于相对海平面下降使得 SF 向海迁移，同时间冰期气候较暖也使得亚热带锋向南移动，结果造成这三个站位都位于 STW 覆盖之下。至于这两个阶段相对海平面下降的原因还有待于进一步的研究。

S4-P-16S

长江三角洲晚第四纪地层重矿物组合与锆石 U-Pb 年龄谱时序变化及其影响因素分析

王扬扬，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

yangyang_wang@yahoo.com.cn

沉积物的源－汇过程受到流域构造运动、气候变化、海平面升降，以及近期受到人类活动的普遍影响，通过物源分析可以反演上述过程的演化历史。长江发源于青藏高原地区，为中国第一大河，流域面积占全国总面积的 1/5，每年携大量泥沙汇入东海。在长江三角洲地区，近年来利用钻孔沉积物元素地球化学、同位素地球化学和单颗粒碎屑独居石年代学等研究，结合磁性地层定年，为研究长江流域演化提供了新的研究思路。本文拟通过对长江三角洲现代表层沉积样和钻孔 HQ-03 孔、HM-03 孔中全新世三角洲沉积和晚第四纪低海面时的河床相沉积进行重矿物

组合分析及锆石 U-Pb 年龄测定，探讨长江流域物源精细示踪的可行性和气候变化对沉积物源－汇过程的影响。

现代表层沉积样（M-RC、M-SF）分别采自长兴岛西侧的南港河道和横沙东滩，重矿物组合均以角闪石－绿帘石－硅灰石为特征，ATi 指数分别为 79.6 和 81.1，GZi 指数为 92.4 和 97.5，ZTR 指数为 0.3 和 0.23。HQ03 孔和 HM03 孔分别于长江三角洲的黄桥期和海门期沙坝上，进尺中为 72.3 m 和 80.3m，底部为末次盛冰期河床相砂砾石沉积。两孔中全新世三角洲沉积的重矿物特征组合分别为角闪石－绿帘石和角闪石－硅灰石，ATi 指数为 83.9 和 88.6，GZi 指数为 96.1 和 84.1，ZTR 指数为 0.53 和 0.13。末次盛冰期河床相沉积的重矿物特征组合分别为角闪石－绿帘石和角闪石－绿帘石－石榴石，ATi 指数为 76.7 和 86.5，GZi 指数为 73.3 和 92.9，ZTR 指数为 1.16 和 1.12。由重矿物的组成特征可见，冰后期长江三角洲沉积物源发生了一定程度的变化，通过比较长江流域内各支流以及干流重矿物的组成，判断此六个样品沉积物主要受嘉陵江以上河流及汉江的控制。

六个样品中的锆石 U-Pb 年龄组成相似，在 150-300 Ma、400-600 Ma、700-1000 Ma、1800-2100 Ma 和 2400-2500Ma 等出现峰值，可能分别来自于峨嵋山玄武岩地区（250-270 Ma）、华夏地块、扬子地块、秦岭－大别褶皱带等地区。比较三个不同时期沉积物的碎屑锆石年龄组成特征发现，全新世沉积物出现较多晚吕梁期的锆石颗粒（主要来自秦岭造山带），缺少来自扬子地块北缘崆岭地区等较老的锆石（>3000 Ma），而现代表层沉积物中锆石的年龄分布范围较全新世沉积物明显增大，说明三角洲地区的物源供应发生了一定的变化。

综合重矿物组成特征与锆石 U-Pb 年龄分析结果判断，末次盛冰期时由于季风、水动力等条件较弱，上游粗颗粒碎屑物质被暂时滞留在上游区域，而到了冰消期，尤其是全新世出现了强烈的夏季风，随着水动力强度加大，原滞留在上游的粗颗粒碎屑物质被大量冲刷，并携带入海，从而扩大了长江口沉积物的物源区。

S4-P-17S

长江三角洲钻孔海平面变化与古气候变迁记录

陈玲玲，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

llchen_tj@126.com

长江是中国第一大河，全长约 6300 km，据大通站 1950-2009 年资料，年均径流量 894×10^9 m^3。长江三角洲是末次冰消期海平面上升达到最大海侵以来，由于巨量沉积物在河口堆积形成的，其水下部分与陆上三角洲面积相接近。长江水下三角洲及其邻近海域的泥质带沉积作用活跃，沉积体系规模庞大，沉积记录较连续，是进行海陆相互作用、海平面变化等古环境与古气候研究的重要载体。

YD0903 孔（30°53′54.285″N，122°54′33.004″E）位于长江水下三角洲水深 36 m 的前三角洲上。钻孔进尺约 60 m，其中 0-44 m 连续取芯。本文在详细的沉积相划分基础上，开展粒度分析、XRF Core-Scanner 元素分析，结合精确的 AMS ^{14}C 定年，进行成因地层学、层序地层学和古气候与海平面演化历史等的综合研究。

钻孔岩芯由下往上依次可划分为：河床相、受潮汐影响的河道充填沉积相、河口湾相、河口湾-浅海过渡相、浅海相和前三角洲相。研究区经历了由陆到海的变迁。河床相砂砾石为低海面或海平面上升早期沉积，海

侵尚未达到该地区。河道充填沉积（44~32.58 m）开始出现砂泥互层层理，平均粒径在 3~5 ϕ之间，35.13~32.58 m 可见 3 个向上变细的小旋回，34.93 m 处 AMS ^{14}C 年龄校正后为 13230 cal yr BP，推测当时海侵已影响至本区。河口湾相（32.58~28.13 m）以砂泥互层非常发育为特征，其中下段 32.58~25.10 m（12216~11500 cal yr BP）沉积物粒度较细，平均粒径约 7 ϕ；上段沉积物较粗，平均粒径变化在 3~7 ϕ之间，这可能是 YD 事件造成海平面短暂下降，或（和）冬季风增强等，导致水动力增强的结果。河口湾—浅海过渡相（28.13~22.00 m）沉积物平均粒径在 5~8 ϕ之间变化，其中上段沉积物较粗，平均粒径为 4.5~6 ϕ，AMS ^{14}C 年龄校正后为 8.45~8.2 cal kyr BP，可能是 8.2 cal kyr BP 冷事件的沉积记录。8.2 cal kyr BP（22.04~0 m）以来，沉积物以粉砂质粘土沉积为主，平均粒径约为 7 ϕ，各元素相对含量变化较小，推测当时海平面上升基本达到了现代海平面高度，沉积物源稳定，沉积了约 22 m 的块状泥质层。

XRF 元素分析表明，Al、Ti、K、Ti 等陆源元素以及 Zr/Rb、Rb/Sr、Sr/Cu、Si/Ti 等元素比值均显示出明显的粒级效应。YD0903 孔的元素组成变化较复杂，可能是对长江水下三角洲复杂动力环境的反映，不仅存在长江冲淡水、黄海沿岸流、东海沿岸流和台湾暖流等复杂流系的相互作用，同时受到东亚季风的显著影响。钻孔元素含量及元素比值变化的指示意义及其原因还有待进一步探讨。

S4-P-18S

长江三角洲主体晚第四纪地层结构对比研究

冷伟，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

icy0714@sina.com

长江三角洲是世界上最大的三角洲之一，面积约为 10×10^4 km^2，目前三角洲河口地区的平均潮差为 2.7m，最大潮差为 4.6m，潮汐的影响范围可沿河道上溯约 210Km，为典型的潮控三角洲。冰后期最大海侵时，现今长江三角洲为巨大的河口湾，当海平面上升速度与河口沉积速度趋于平衡之后，时间在约 7000-7500.BP 开始了三角洲的发育。河口湾内形成的多期河口坝构成了长江三角洲的主体。随着长江三角洲的发育，河口湾被充填，三角洲逐渐突出河口湾之外。长江三角洲的地层格架、层序地层学及沉积学特征对全球海平面变化、气候变化和人类活动等有着明显的响应，为众多研究者所关注。

目前长江三角洲钻孔地层研究仍主要集中在陆上三角洲部分，水下三角洲钻孔稀少，尤其缺少高分辨率测年的钻孔地层资料。本文将利用 2009 年在水下三角洲钻探新获取的三口钻孔岩芯：YD0901（31°11′N，122°30′E）、YD0902（30°57′，122°44′E）、YD0903（30°53′N，122°54′E），进行沉积相和年代地层学分析基础上，与之前获得的陆上钻孔（HQ98、JS98、CM97、CX03）地层资料进行井间地层对比分析，以揭示末次盛冰期以来海侵与高海面时期长江三角洲沉积环境演化与地层建造规律。

初步分析表明，CM97 和 CX03 等揭示的沉积相组合已为一个完整的海侵-海退旋回，自下而上包括河流相、河口湾相、浅海相和三角洲相，尽管海平面变化只经历了海侵至高平面的半个旋回。由此向陆或向海沉积旋回均不完成，向陆一侧 HQ98、JS98 孔缺失浅海相，原因可能是原来就未发育，或是被三角洲进积过程强潮流或径流改造而不复存在。如 JS98 孔中发育巨厚的河口砂体及不整合面，是当时河口地区存在强烈涌潮作用的证据。水下三角洲部分三角洲沉积相尚

处在发育过程中，有的甚至缺失典型的三角洲相向上变细的沉积旋回，只有巨厚的浅海陆架或前三角洲泥质沉积，可能较好记录了全新世古气候的变化。结合 ^{14}C 测年数据分析，全新世长江三角洲最大海侵约发生在 8080 cal aBP-8200 cal aBP。

S4-P-19S

长江口低氧区沉积地球化学特征研究——沉积环境与底层水含氧量演化历史初探

吴伊婧，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

walada@qq.com

当水体溶解氧含量下降至对原系统中水生生物产生危害时，便发生了低氧现象。根据含氧量可进一步细分为贫氧化环境 dysoxic (2.0>DO>0.2 ml/L)、次氧化环境 suboxic (0.2>DO>0.0 ml/L)、无氧环境 anoxic (DO~0.0 ml/L)。本文通过分析 YD0903 孔的沉积相、粒度和元素地球化学特征，结合精确的 AMS ^{14}C 定年，探讨长江口低氧环境的演化历史和控制因素。

YD0903 孔（30°53′54.285′′N，122°54′33.004′′E）位于长江口外水深 36 m 的前三角洲上。钻孔进尺约 60 m，其中 0-44 m 连续取芯。研究表明，末次冰盛期以来研究区的海平面迅速上升，钻孔岩芯的沉积相也随之发生变化，自下而上依次可分为：河床相、分流河道相、河口湾相、河口湾—浅海过渡相和浅海相、前三角洲相。直到 8.24 ka BP 左右，海平面上升速度逐渐减慢、停滞，沉积环境才逐渐稳定下来，此时有着充足的营养物质供给，咸淡水交互并具一定水深，为低氧区的形成提供了必要条件。

通过对氧化还原敏感性元素—粒度、以及主要亲碎屑、亲生物元素及氧化还原敏感性元素之间的相关性分析表明，氧化还原敏感性元素 Mo、Cd、Cu 受粒度及其它元素的影响均较小，是指示~8.24 ka BP 以来 YD0903 孔岩芯氧化还原环境变化的合适替代性指标。受成岩作用影响程度不一，Mo、Cd 在时间轴上的富集趋于原位，Cu 则表现出向上往还原性较弱一方迁移的特征。

Mo/Al、Cd/Al、Cu/Al 比值—年龄曲线显示，YD0903 孔自~8.24 ka BP 以来一直处于次氧化环境，且在 2.4 ~ 2.6 ka BP、3.1 ~ 3.2 ka BP、4.5 ~ 5.0 ka BP 期间演化成为无氧的状态、低氧程度十分严重。这些时间段正与台湾暖流和东亚夏季风强度变化有关：① 在台湾暖流减弱、东亚夏季风强度正常的年份，YD0903 孔所处区域低氧现象十分严重，达到了无氧（DO ~0.0 ml/L）的程度；② 在台湾暖流和东亚夏季风同时减弱的年份，本区低氧程度与往常相似，处于次氧化环境（0.2>DO>0.0 ml/L）；③ 在东亚夏季风单方减弱的年份，本区低氧程度亦有所减弱。YD0903 岩芯的顶部受人类活动加剧的影响，元素变化并不是纯粹对自然作用的响应。

S4-P-20S

瓯江三角洲 YQ0902 孔古环境与海平面变化初探

尚帅，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

shangshuai777@163.com

瓯江位于浙江省南部，是浙江省第二大河流，多年平均年径流量和输沙量分别为 1.92×10^{10} m^3 和 2.73×10^6 t。河口平均潮差为 4-5 m，最大潮差可达 7.15 m，是典型的山溪型强潮河口。末次盛冰期时，海平面较现今低约 120m，瓯江河口远达目前口外陆架区。末次盛冰期以来，本区形成了厚度至少 20 m

的沉积层。这些沉积层是记录古环境、海平面变化的“天然档案”。

YQ0902 孔位于瓯江三角洲南侧温瑞平原上，高程约为 4 m，进尺约 41.9 m。本文通过精细的钻孔沉积相划分，结合粒度和 XRF Core-Scanner 元素分析，以及 17 个精确的 AMS ^{14}C 测年结果，试图揭示瓯江三角洲南侧海岸平原的古环境演化与海平面变化历史。钻孔沉积相自下而上依次可分为：河湖相、古土壤层、潮间带（海侵）、潮下带（海侵）、浅海相、水下沿岸砂坝相、潮下带（海退）、潮间带（海退）、盐沼相和现代耕作土层。该沉积相序组合特征与长江三角洲南翼前缘环境的沉积相组合非常类似，属于受潮流作用影响显著的贝壳堤平原环境（Chenier plain），并未发育典型的三角洲相序。粒度结果显示，古土壤层以下的河湖相沉积，平均粒径多在 5.7-6.5ϕ之间，古土壤层、潮下带和浅海相沉积，平均粒径多小于 7ϕ，而潮间带、水下砂坝相、盐沼相等粒度变化较大，平均粒径最大可达 3ϕ。分析认为，盐沼相中砂层可能是风暴成因；水下砂坝形成于海侵达到最大之后，瓯江三角洲开始发育，在其南侧由于较强沿岸流的作用下，携带较粗的河流沉积物堆积形成的；沿岸流作用也可能是潮间带沿岸砂坝形成的动力机制，但不排除风暴作用的影响。

XRF 元素分析结果显示，Cl/Ti 值与冰后期海侵海退旋回有很好的对应关系。海侵时，Cl/Ti 值逐渐变大，海侵范围达到最大后，发生海退，Cl/Ti 值逐渐变小。AMS ^{14}C 测年结果显示，古土壤层及以下的沉积年龄均大于 28 ka，而其上的年龄均小于 10 ka，陆架泥质沉积对应的年龄约为 6.7 cal ka BP。末次冰期，海平面逐渐降低，研究区演化为河湖相沉积环境，发育一套黄棕色的沉积层序。海平面降低到一定程度，本区较长期暴露地表，发育古土壤层，厚约 1.1 m。大约 9.6 cal ka BP，海水开始淹没本区，此时海平面约为-25 m；之后海侵范围逐渐扩大，发育潮间带、潮下带沉积。大约在 6.7 cal ka BP，海平面达到最高，此时海侵范围最大可达现今青田县地区，在现代海岸地区形成陆架泥质沉积。此后海平面趋于稳定或略有下降，三角洲开始发育，海岸前展，在本区形成水下沿岸砂坝、潮下带、潮间带、盐沼沉积的海退沉积相序。距今 1000 年以来，本区滨岸平原不断淤涨，岸线不断东移，形成了一系列砂堤。距今约 500 年，本区受人类活动影响较大，修建了许多海塘和海堤等，岸线加速向海推移。

S4-P-21S

涌潮作用对钱塘江河口北岸尖山河段边滩地貌的塑造

涂俊彪 ，范代读

同济大学海洋地质国家重点实验室

jbtu_mail@126.com

钱塘江河口是著名的强潮型河口，河口段位于闻家堰—乍浦之间，河道受径流与潮流相互作用强烈，自然条件下河宽水浅，冲淤频繁剧烈，主槽游荡严重。河口段发生大规模淤积，形成体积庞大的沙坎。闻家堰至乍浦河道长 130 km，该河段底床最高点位于仓前－七堡一带，比闻家堰和乍浦河床连线高出约 10 m。东海潮波传入漏斗状的杭州湾后，潮差迅速增大，潮流速也不断增加。潮波行进至钱塘江沙坎以后，潮差继续增加，水深逐渐减小，潮差水深比迅速增大。到了澉浦，潮波波形变化明显加剧，至高阳山一带涌潮初成，并以数米/秒的速度向上游。涌潮作用对于河口段沉积地貌具有显著的塑造作用，前人研究大多侧重于水力学、泥沙动力学及相应的数值模拟，鲜有针对沉积学方面的研究。

涌潮河段两侧潮滩发育，2011 年 5 月前在尖山一带形成数百米至 2.5 km 宽的潮滩，是当时河口段内最宽的潮间带。但随后由钱塘江上游暴雨，出现较平水年强得多的径流，造成潮滩严重蚀退，在近岸出现侵蚀崩塌形成的陡崖，达 4 米多高。JS11 柱状样便是沿陡崖剖面，用四根 1 米长的 PVC 管人锤击，依次由上而下钻取的沉积物样。沉积相分析表明，顶部 1.5 m 发育泥质纹层、双黏土层、大小潮韵律层和波痕层理等常见的潮汐成因的沉积构造。埋深 1.5-2 m 段发育火焰状构造、包卷层理和泄水构造等，判断为受涌潮影响的次生沉积构造。埋深 2-2.6 m 层段为厚的砂质层夹薄的泥质层，判断为强潮成因。埋深 2.6-4 m 层段为块状层理，判断为涌潮沉积。另外，涌潮沉积（TBD）在粒度特征上也表现出与常规潮汐成因的砂质层（TSD）和泥质层（TMD）存在显著差异。在 C-M 图中，TBD 分布于 QR 段的上部和 PQ 段的下部。TSD 主要分布于 QR 段，少量分布于 PQ 段。TMD 分布于 QR 段的下部和 RS 段。在粒度参数上则表现为：平均粒径：TBD>TSD>TMD；分选系数：TMD>TBD>TSD；偏态及峰度均为：TSD>TBD>TMD。这些特征与平面上由高潮滩向低潮滩依次分布的五根数十厘米的短柱状样（JS1-JS5）的分析结果基本一致（范代读等，2012），由此判断，涌潮作用可以形成特征的沉积结构与构造，明显不同于常规的潮汐沉积；尖山河段经历了侵蚀－堆积－侵蚀的旋回，形成剖面上底涌潮沉积为主的地层，向上过渡为常规的潮汐沉积。

S4-P-22

珠江三角洲多旋回风化层与末次冰期气候

付淑清，李平日

广州地理研究所 环境地质中心

fsq519@yahoo.com.cn

对于热带低纬度区末次冰期气候环境变化的研究，目前仍然存在许多争议。我国华南沿海属热带亚热带季风气候区，关于该区域的冰期气候研究相对比较薄弱，而且现有的末次冰期气候变化的地质记录以及气候模型模拟结果也仍然存在不少的分歧。

一般认为，珠江三角洲地区的第四系沉积剖面中普遍存在两个风化层，即，晚更新世海相层之下的基岩红土风化壳和全新世海相层之下的花斑粘土。而据我们近年的调查研究，珠江口海域沉积剖面中，除基岩风化壳外，还发育有两个或两个以上的风化层，且在一个大的风化层内，还可分出若干小的旋回。风化层的岩性因地而异，包括有红褐色中粗砂或中细砂、褐黄色砂砾或中细砂、杂色砂质粘土，风化层的原沉积环境既有海相也有陆相。其中，珠江口外海域的沉积剖面中可见两个风化层，根据我们现有测年数据，风化层的时代为 MIS3 晚期以及末次盛冰期。上风化层一般为杂色砂质粘土，可见有孔虫壳体，反映该层为海相层经风化而成；下风化层为杂色粘土质砂或砂，为陆相层风化而成。靠近陆地的海域，则可见三个或三个以上的风化层，风化层岩性以砂为主，多为陆相层风化而成，而后由于海平面的上升被海相层所覆盖。另外，近期我们获取的一个陆上钻孔岩芯中，可见 6 个明显的风化层，与以往的发现又不同。珠江三角洲平原内发育埋藏古森林，且埋藏这些古树木的地层也具有多旋回性（灰黑色与灰白色地层交替出现），分析认为与历史气候的变化密切相关。因此，珠江三角洲地层的多旋回特征，都在某种程度上反映了末次冰期气候的不稳定性或多变性。

风化层形成于海平面下降时期，故而埋藏风化层底面的高程可以近似地看作当时海

平面的高度（假定构造沉降不明显的前提下）。一般认为，MIS 3 后期为相对高海平面时期，仅比现代海平面低约 10 m 或与现代接近，但据我们的研究，当时的海平面比现代海平面应至少低 20m 以上，否则在水下是不可能形成风化层的。而关于华南末次盛冰期的最低海平面问题，有-60m，-80m，-130m 等多种意见，但我们的初步研究结果显示，该时期的最低海平面应该没有达到-60m，具体是多少，还有待我们将全部数据综合起来进行分析。

S4-P-24S

吕宋海峡及其周边海域海水温度的月际变化特征

韩钦臣[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，王国栋[1]，朱炯[1]，刘亚盼[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

hqch2011@126.com

基于美国国家海洋大气管理局(NOAA) 2009 年发布的全球海域温度数据库资料 WOA09 (World Ocean Atlas 2009)和美国国家地球物理数据中心(NGDC)2006 年发布的全球海底地形数据库资料，利用 Matlab 计算机平台研发的数值分析与成图技术，选取 0-500m 层的不同断面，分析了吕宋海峡及其周边海域海水温度垂向结构的季节变化特征，并初步分析了其主要影响因素。研究结果表明：（1）吕宋海峡及其周边海域，各断面的温度垂向分布具有明显的层化结构，存在显著的月季变化特征；（2）总体而言，各个垂直断面上，12 月-次年 3 月的温度高，6-9 月温度低, 4、5 月和 10、11 月为过渡阶段；各季节变化中，随着各断面垂直深度的增加，温度逐渐递减；（3）就 119°E 断面、120°E 和 121°E 断面来看，0-30m 层温度较高，但温度跃变不明显；50-350m 层的温度跃变较为显著，主要发生在 5-9 月份；350m 层以下温度跃变不明显；（4）与其他三个断面相比，122°E 断面各个月的温度垂直跃变较小，主要发生在垂直深度 50-200m 之间，18°-21°N 靠近吕宋岛的一侧。初步分析认为，该区域黑潮和风应力等月际变化是影响各断面温度月际变化的重要原因。

S4-P-25S

吕宋海峡及邻近海域盐度的月际变化特征

刘亚盼[1]，康建成[1]，Han Guoqi[2,1]，韩钦臣[1]，谭能志[1]，刘运运[1]

1 上海师范大学 城市生态与环境研究中心

2 Fisheries and Oceans Canada, Northwest Atlantic Fisheries Centre, St. John's, Newfoundland, Canada

liuypyx@126.com

利用美国国家海洋大气管理局(NOAA) 2010 年发布的全球海域盐度数据库资料(WOA09)，借助 MATLAB 计算机数据图形开发软件，研发切面可视技术，作出吕宋海峡及邻近海域的表层盐度月际分布图，可以看出：从 10 月开始就有高盐水向吕宋海峡及南海东北部入侵，12 月、1 月、2 月最为明显，4、5 月份逐渐后退，6、7、8、9 月高盐区退居 122° E 以东海域，9 月在（122°E ，20°N）区域还有一股低盐水。为更明确的表述这种盐度的月际变化，定义由东向西的三条典型线，即 123°E、121°E、119°E 三条经线，纵切这三条线得出三切面各月盐度变化图，结果表明：就表层低盐水来看，123°E 切面 8-11 月比较明显，在 70m 以浅区域分布,12 月 100m 以浅有一略低盐中心；121°E 切面终年位于 150m 以浅区域；119°E 切面 7、8、9、10、11 月均位于 100m 以浅区域，2

月 21° N 以南区域表层低盐水处于 100m，而以北区域则无明显低盐水，其他月份表层低盐水在 50m 以浅区域。1 月至 12 月越往东等盐线越密集，高盐核由 123°E 的 200m 逐渐上移到 119°E 的 150m，123°E 切面 400m 以深区域有明显低盐中心，往西则低盐区域逐渐变大。

S4-P-26S

南海北部陆坡东段晚更新世地层分布及其沉积环境意义

殷绍如[1]，钟广法[1]，王嘹亮[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 广州海洋地质调查局

yinshaoru@163.com

根据南海北部陆坡东段的区域二维地震资料，在层位追踪及 ODP184 航次钻孔年代资料的标定基础上，编制了晚更新世地层的 T0 厚度等值线图，以研究该区晚更新世地层的区域分布及沉积特征。结果表明，研究区晚更新世沉积物主要位于东南部，往西北部东沙隆起方向逐渐尖灭。沉积区地层厚度平均为 140ms 左右，最大可达 300-400ms。地层厚度这种东厚西薄的分布特征可能与台湾隆升及台西南前陆盆地的发育有关。

在 ODP184 航次 1144 站位附近，晚更新世沉积厚度明显增大，证实了该区高速沉积牵引体的存在。1144 站沉积牵引体位于海山斜坡，头部发育环沟，近北东-南西向伸展，晚更新世地层平均厚度约 350ms，属于分离型沉积牵引体（王长势等，2011）。此外，在 1144 站的东北方向约 90km 处，还发育有 3 个晚更新世沉积牵引体，呈北东-南西向排列，平均地层厚度介于 170~240ms 之间。其中较大的沉积牵引体属于分离型，平均厚度约 240ms，位于海山斜坡，头尾部均发育环沟；较小的两个类型为限制型，平均厚度分别约 205ms 和 170ms，均位于两个海山之间，头尾均发育环沟。

此外，在研究区东北部见有一个厚度为零的长条状区域，呈北北西-南南东向延伸，地震剖面证实其与现代海底峡谷的下切侵蚀作用有关。在该峡谷带的两侧，分布有大片与水道相关的沉积波。这些沉积波虽经多期发育，但晚更新世以来是其主要的发育阶段。

S4-P-27

Emerged fossil corals on the northwestern coast of HainanIsland, China: implications for mid-Holocene sea level and tectonic uplift

Yantao Yao, Wenhuan Zhan, Jinlong Sun, Jie Sun

CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

yaoyt@scsio.ac.cn

The comprehensive analysis of chronology and elevation of coral samples from the northwestern Hainan Island show that these dead massive corals lived in the midto late-Holocene. They predicted a relative sea level of 1.5~3.4 m higher than the present sea level when considering 1 m below the tidal datum as the upper limit of coral growth. However, results were greatly changed when using the Mean Lower Low Water as the limit of upward coral growth, which indicated that the mid-Holocene relative sea level on the non-volcanic coast was almost as high as present but on the volcanic coast it was 0.4~2.0 m higher than present. Therefore, fossil corals emerged along the coast of northwestern

Hainan Island as indicators of mid-Holocene eustatic sea level highstands are still of uncertainty and require further research even though the emerged coral heads on the volcanic coast truly exhibited relative higher sea levels. What we can affirm is that the discrepancies in elevations of coral upper surfaces, amounting to the discrepancies in relative sea levels, were the result of differential tectonic uplift caused by volcanic activities.

Finally according to theses results above, sea level to which upward coral growth is constrained must first be accurately established when using fossil corals to reconstruct past sea levels. Meanwhile, vertical tectonics as one of the significant factors has to be taken into account in the high-resolution reconstruction though the investigated area is located in a relative "tectonically stable" region.

S5-O-01

中国大陆末次冰消期和全新世冬、夏季温度变化及其与亚洲季风的联系

陈发虎[1]*，许清海[2]等

兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000
河北师范大学资源与环境学院，石家庄 050016
*fhchen@lzu.edu.cn

近百年来的全球增温已经成为根据各种类型观测资料所获得的共识。然而，为了在更长时间尺度上认识当前气候环境状况的相位及其由来、理解其变化规律并服务于未来趋势预测，亟需借助于古气候代用资料的获取和分析。本研究利用华北地区高山湖泊山西宁武公海的湖泊沉积和孢粉指标，首次定量重建了中国大陆冰消期以来高分辨率夏季、冬季温度变化序列，获得如下发现：（1）轨道尺度上，夏季温度早全新世（9-11 ka）最温暖，约比现代高 2°C 左右，其后，特别是 5 ka 后表现出下降趋势；冬季温度自约 10.5 ka 以来一直升高，约 3-7 ka 达到最高，约比现代高 3°C 左右，至 2-3 ka 开始下降。冬、夏季温度总体上分别受北半球冬、夏季太阳辐射控制。（2）千百年尺度上，清晰地记录包括冰消期 Bølling-Allerød 事件、Younger Dryas 事件、全新世 11.4 ka、10.8 ka、9.2 ka 和 8.2 ka 事件等在内的快速气候变化，反映了研究区气候与北大西洋及其周边高纬区域具有即时联系，区域间突变事件的信号传输可能是通过西风环流实现的，而其驱动因素则主要与太阳活动以及气候系统内部变率有关。（3）近 1200 年来，中世纪暖期、小冰期和现代暖期在该记录中有清晰的反映，较高的分辨率（5 a）甚至记录了中世纪暖期内部的次级寒冷阶段，与同一区域历史文献重建的温度变化在趋势和幅度上均表现出良好的一致性，为本研究定量重建温度序列的可靠性提供了支持。（4）重建降水量整体与夏季温度同步变化，与中国南方石笋氧同位素记录反映的亚洲季风变化具有框架上的一致性，大约从 12 ka 左右降水量从冰消期开始增加；降水最多的时段出现在 9-11 ka，早中全新世（10-3 ka）乔木花粉含量总体处于高值，与有机地球化学指标反映的土壤酸性相对强的时段相对应，而环境磁学参数指示此时也是流域土壤稳定性最强的时期；晚全新世降水量逐渐下降，特别是近 3000 年来森林植被显著减少、土壤酸性减弱、土壤稳定性降低，可能反映了随海陆温度梯度减小，亚洲夏季风在晚全新世的衰退过程。

S5-O-02

青藏高原隆升与亚洲季风演化数值模拟研究的历史与现状

刘晓东，石正国

中国科学院地球环境研究所

liuxd@loess.llqg.ac.cn

青藏高原隆升是新生代最重要的构造地质事件之一，其对亚洲季风，乃至全球气候和环境演化具有深刻的影响。自上世纪七十年代开始，随着计算流体力学理论和计算机科学的发展，基于大气环流模式的气候数值模拟已成为评估构造隆升对气候变化影响最直接和最有效的数理方法。近四十年来，数值模式的不断完善和计算资源的日益提高有力地促进了高原隆升气候环境效应的模拟研究，极大地丰富了我们对亚洲季风变迁机制的认识。迄今为止的一系列数值模拟研究均说明高原隆升与气候响应之间存在着显著的因果联系，但从数值试验中所采用的高原隆升方案来看，高原隆升气候效应的数值模拟试验大致可分为三个主要阶段：(1) 高原整体隆升试验，即进行简单的“有山”/“无山”理想试验以突出显示高原大地形对大气环流和气候形成的贡献；(2) 高原阶段性隆升试验，即通过划分不同隆升阶段并按现代地形高度的一定比例系统检验递进式隆升的作用；(3) 高原区域隆升试验，即单独考虑各子区域的隆升重点强调不同区域隆升对不同气候子系统影响的差异。这里我们简单阐述了青藏高原隆升与亚洲季风演化数值模拟研究的历史，特别是其三个主要阶段所取得的代表性成果。重点介绍了有关研究的现状和存在问题，例如，喜马拉雅山脉隆升和青藏高原北部生长等区域尺度隆升事件对印度季风和东亚季风各自的影响如何？高原隆升带来的环境效应(如大气粉尘循环、二氧化碳含量、植被改变等) 怎样进一步反馈于气候变化？最后就未来的相关研究工作方向提出了一些建议和展望。

S5-O-03

“神秘期”海洋/季风环流耦合过程与成因探讨

汪永进，张伟宏

南京师范大学地理科学学院

yjwang@njnu.edu.cn

在 H1 开始(~17.5 ka)与 B/A(~14.5 ka)开始之间的时段，北大西洋区域异常偏冷，南极变暖并伴随着大气 CO_2 上升,两半球中纬冰川发生撤退。此时北大西洋径向翻转流(AMOC)停止，导致大气 $\Delta^{14}C$ 下降约 190±10‰，因此，Denton 定义此时段为“神秘期”。亚洲季风水汽来源于低纬海洋，有助于理解神秘期海洋与大气耦合过程和成因机制。基于南京葫芦洞石笋和湖北青天洞两支石笋高精度 ^{230}Th 定年及纹层计数，建立了 18.3-14.4 ka 时段覆盖神秘期的 $\delta^{18}O$ 时间序列。石笋 $\delta^{18}O$ 记录与反映 AMOC 强度的 $^{231}Pa/^{230}Th$ 记录在测年误差范围内同步同幅变化，说明神秘期季风环流与 AMOC 强度之间的耦合变化过程。在 16.1 ka 时，两个石笋 $\delta^{18}O$ 序列均在约不到 20 a 时间内(纹层计数)$\delta^{18}O$ 显著偏正，振荡幅度达 2‰，反映了 AMOC 停止导致的 ITCZ 南移、南半球西风带加强、南大洋老碳的释放。季风和 AMOC 强度变化超前于大气 $\Delta^{14}C$ 显著下降数百年，支持南大洋热库效应的观点。本文研究结果提供了新证据：大气环流在神秘期气候突变和海洋老碳释放过程中有重要作用。

S5-O-04

应用烯酮氢同位素重建古表层海水盐度——南海北部 MD05-2904

贺娟[1]，汪品先[1]，李前裕[1]，田军[1]，Alex Sessions[2]

1 同济大学海洋与地球科学学院

2 加州理工地质与行星科学系

hj08@tongji.edu.cn

南海北部 MD05-2904 孔的浮游有孔虫氧同位素$\delta^{18}O_{ruber}$在海水氧同位素期 (MIS) 5.5 和 7.3 期相对较重，在 MIS 3.3 和 6.5 期相对较轻。一般认为浮游有孔虫氧同位素异常主要和海水温度和盐度相关。我们应用较新的单体氢同位素测试手段，对 MD05-2904 沉积物中的长链不饱和烯酮（C_{37}alkenones）进行分析测定，讨论海水盐度变化对$\delta^{18}O_{ruber}$变化的作用。

我们的初步结果显示：在过去 250 万年中，烯酮氢同位素$\delta D_{C37alkenones}$的变化范围为-212‰至-166‰。$\delta D_{C37alkenones}$记录的冰期/间冰期变化整体不明显，可能与样品分辨率较低（1～10ka，平均为 4.5ka）相关。然而$\delta D_{C37alkenones}$的盐度记录与以从$\delta^{18}O_{ruber}$扣除海水温度和冰盖效应，而且得到广泛应用的剩余氧同位素值$\delta^{18}O_{residue}$建立的盐度记录明显不同。而且两种参数建立的盐度记录在间冰期的差异更为明显，如在 MIS 7.3 和 5.5 期，$\delta D_{C37alkenones}$和$\delta^{18}O_{residue}$的变化几乎相反：$\delta^{18}O_{residue}$指示海水盐度高，而$\delta D_{C37alkenones}$显示 MIS5.5 相较 5.3 和 5.1 并无大的变化，海水较淡。我们的结果反映了在古海洋研究中仅依靠$\delta^{18}O_{residue}$或$\delta^{18}O_{sea\ water}$估算海水盐度的不足，尤其是在受淡水影响较大的边缘海；而两种参数获取的海水盐度记录的差异很可能与海水氧同位素值$\delta^{18}O_{sea\ water}$与海水盐度的非线性关系有关；通过$\delta^{18}O_{ruber}$和$\delta D_{C37alkenones}$分别估算的两类$\delta^{18}O_{sea\ water}$的差异也显示出热带水文循环（降水/蒸发）在地质历史上的复杂变化。

S5-O-05

基于加速瞬变试验的天文尺度东亚季风响应机制探讨

石正国，刘晓东

中国科学院地球环境研究所

shizg@ieecas.cn

利用轨道加速技术积分海气耦合模式 FOAM 280ka 的结果显示，东亚季风对于天文强迫的响应机制存在显著差异，且同大量地质记录一致。其一，东亚冬夏季风呈现显著不同周期变化。东亚夏季风变率呈现显著~20ka 周期，表明其受岁差参数主控，而东亚冬季风的~40ka 组分更加显著。斜率参数可通过对经向日射对比的调制影响经向热力环流强度从而达到控制东亚冬季风的结果。其二，东亚夏季风降水变率在中国南北方呈现明显区域差异，具体表现为岁差尺度上的反相位关系。其中北方夏季降水同南半球夏季日射同相，南方降水同北半球日射同相。这种反相关系同古 ENSO 海温变化联系密切，赤道东太平洋海温极大时，东亚夏季风显著增强，雨带北移，北方降水增加而南方降水减少。

S5-O-06

热带印度洋和西太平洋对东亚气候年际变化的影响

刘秦玉

中国海洋大学，物理海洋实验室，海洋-大气相互作用与气候实验室

liuqy@ouc.edu.cn

运用多种统计方法分析历史观测资料，

并通过气候模式的数值模式试验，研究了冬季和夏季热带印度洋和热带西太平洋海表温度(SST)和降水异常对东亚和北半球大气环流影响的主要途径和对应的物理过程。研究结果表明:在 El Nino 事件衰退年北半球夏季，与热带印度洋 SST 正异常对应的大气暖赤道 Kelvin 波可以导致热带西北太平洋低空反气旋环流异常，东亚夏季风加强，同时可以激发北半球夏季中纬度的绕球遥相关波列；与 El Nino 盛期对应的北半球冬季热带西太平洋降水负异常和热带印度洋降水正异常共同作用下可以导致一个新的从热带印度洋-西太平洋向亚洲和中纬度太平洋传播的波列及对应的日本海上空位势高度正异常。数值试验结果证实了由于季风较强的垂直切变，可以将热带西太平洋和热带印度洋大气异常信号以波列的形式向南北半球传播。

S5-O-07S

末次冰期以来印－太暖池区上层海水性质变化趋势及其古海洋学意义

徐建[1]，Wolfgang Kuhnt[2]，Ann Holbourn[2]，翦知湣[3]，Macus Regenberg[2]，Rina Zuraida[4]

1 西北大学新生代地质与环境研究所，大陆动力学国家重点实验室

2 Institute of Geosciences, Kiel University, D-24118 Kiel, Germany

3 同济大学海洋地质国家重点实验室

4 Marine Geological Institute, Bandung, West Java 40174, Indonesia

jx08@live.cn

印度洋－太平洋暖池地区复杂的水文条件不单与东亚季风和厄尔尼诺等气候现象具有密切的联系，而区内的印尼穿越流是联系两大洋之间上层海水的唯一海洋载体，也调节着两大洋之间上层海水热量和盐度的分配。因此，对该区上层海水性质、分布、及其在地质历史中变化的总体趋势进行研究，有助于甄别上层海水性质对区内复杂的海－气作用的反馈机制，从而促进了解其古海洋学意义。

本次工作搜集了研究区内数十个已发表的钻孔资料，结合我们近年来在帝汶海区所获得的较为系统的数据，对浮游有孔虫表层水种 *Globigerinoides ruber* 和次表层水种 *Pulleniatinaobliquiloculata* 壳体的氧同位素和 Mg/Ca 比值记录进行分析，恢复末次冰期以来表层和次表层海水的温度和海水氧同位素的变化。在对原始数据进行处理之前，我们对不同粒径大小以及不同的实验室清洗流程对壳体 Mg/Ca 比值的影响进行了校正；之后，针对不同钻孔选用统一公式对 Mg/Ca 比值和氧同位素进行古温度和古海水氧同位素转换，以方便不同区域、不同钻孔之间记录的比较。

结果显示，在大约 9-12ka 之前，研究区内所有钻孔所在的站位都经历了冰消期时表层和次表层海水温度升高的过程，且各个海域的温度相对值和升高幅度（表层海水~3°C；次表层海水～2°C）几乎相当。在经历约 3kyr 表层海水温度的平台期和次表层海水温度的峰值期之后，临近西太平洋的吕宋岸外、望加锡海峡和班达海站位的表层海水温度平台期的状态几乎保持到晚全新世；相反，南海南部、和帝汶海区站位的表层海水温度都经历了大约 1°C 的持续降低过程。相似地，由于帝汶海次表层海水温度在大约 9ka 之后的持续降低，使得其与吕宋岸外和望加锡海峡的次表层海水温度差异增加，到晚全新世时差异接近 2°C。有趣的是，尽管帝汶海和其他海域在 9ka 之后温度差异明显，但其表层和次表层海水温度的梯度却与其他海域相当，均呈现增加末次冰期以来持续增加的总体趋势。估算的海水氧同位素结果显示，

南海南部和望加锡海峡海水的盐度总体较其他海域低，帝汶海、吕宋岸外以及棉兰老岛岸外的表层海水氧同位素水平相当，都呈现末次冰期以来逐渐减轻的趋势；大约 12－2ka 时，帝汶海与吕宋岸外和棉兰老岛岸外的次表层海水温度出现明显分异。

上述结果表明，印度洋－太平洋暖池地区不同海域，上层海水性质的变化在 9-12ka 之前具有相似、甚至水平相当（除了南海南部和望加锡海峡）的变化，可能反映区域背景下海平面的上升以及海水温度的整体升高趋势；南海南部和望加锡海峡相对较低的海水盐度可能与临近研究区内主要河系如湄公河的淡水输入有关。9－12ka 之后，帝汶海与其他海域在表层和次表层海水温度以及次表层海水盐度上的差异、以及在表层海水盐度上的相似，反映了全新世时印度洋－太平洋暖池不同海域的上层海水性质对大气和海洋作用的反馈机制的复杂性。研究区内不同海域之间相似的表层海水盐度可能反映了区域降水的整体影响；而帝汶海在 9ka 之后至晚全新世表层和次表层海水温度的持续降低和相对低的次表层海水氧同位素，应当指示该海域区别于其他海域的大气或／和海洋作用的过程。结合以前对该海域的研究和积累的资料，我们推测，帝汶海 9ka 之后与其他海域海水性质的差异，可能反映了印尼穿越流次表层流强化的过程。

S5-O-08

帝汶海~30kaBP 以来印度尼西亚穿越流和季风上升流活动记录

丁旋

中国地质大学（北京）海洋学院北京市海淀区学院路 29 号

dingx@cugb.edu.cn

帝汶海地处印度尼西亚穿越流主要外部通道上，本次研究通过高分辨率的多重古环境指标的分析，重建了该区~30kaBP 以来印度尼西亚穿越流（ITF）和季风上升流活动的变化历史。

冰期 30-19kaBP 阶段，浮游和底栖有孔虫的碳同位素差值$\triangle\delta^{13}C_{PF-BF}$、浮游有孔虫高生产力种的丰度均指示研究区表层生产力高，其时古温跃层深。可能与冰期时热带辐聚带（ITCZ）向北迁移，东南贸易风形成类似东南季风的效应有关。此“永久东南季风”的作用，造成西太平洋和东印度洋之间的海平面高差增加，加之冰期更低的海平面使得穿越流主要外部通道狭窄，因此该阶段以温暖的表层穿越流活动为主。冰消期 MWP-1A 之后，海平面迅速上升使得浅的海水通道再连接，来自西太平洋暖而低盐的表层 ITF 通过这些通道分流，两大洋盆之间水压减少，造成帝汶海区该阶段表层 ITF 减弱，温跃层变浅。在~9.5kaBP，海平面上升至现代海平面之下 30m，大量的淡水自南海流入爪哇海，堵塞了望加锡海峡的南端，障碍了温暖的表层水流动，因此穿越流自表层转入温跃层，温跃层变浅。在 8-6kaBP，由于高的北半球夏季日照量造成强烈的东南季风活动，使得西太平洋和东印度洋海面高差增加，加之东南季风驱使高盐的班达海水流入爪哇海，使得望加锡海峡南端障碍表层流的淡水塞消失，表层 ITF 短暂增强，温跃层变深。~6kaBP 以来，西北季风增强不仅使得降雨量增加，而且使得大量的淡水自南海流入爪哇海，淡水堵塞了望加锡海峡的南端，如现代所见，温跃层穿越流发育。

本次研究还发现，印尼多岛海区温跃层深度的主要影响因素是穿越流活动，而非季风引起的上升流活动，深的温跃层也有可能对应于高生产力阶段。

S5-O-09

晚全新世南冲绳海槽表层水温的高分辨率记录

许云平[1]，吴伟超[1]，杨欢[2]，周力平[1]

1 北京大学城市与环境学院第四纪地质学

2. 中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室

yunpingxu@pku.edu.cn

获取 2000 年以来的高分辨率气候记录对于理解自然变率和人类活动影响下的气候演化、提高气候预测的准确性具有重要的意义。关于这方面的数据目前主要来自陆地载体（如树轮、冰芯、石笋等），海洋由于沉积速率较低，相关记录还较少。由于巨量陆源物质的输入，冲绳海槽的沉积速率可达~21m/ka, 远高于全球海洋的平均沉积速率，因此冲绳海槽沉积物是高分辨率古环境记录的优良载体。本研究利用高效液相色谱质谱技术（HPLC-MS）分析了 ODP 1202 钻孔中的四醚膜脂化合物（GDGTs），基于 TEX86-SST 全球转化函数获得了 2700 年以来南冲绳海槽表层水温（SST）随时间变化的曲线（分辨率为 25 年）。结果表明，ODP 1202 钻孔沉积物中的浮游有孔虫和长链烯酮化合物含量都很低，限制了有孔虫转化函数、Mg/Ca 比值以及 Uk’37 等温度指标的应用，而浮游古菌的生物标志物 GDGTs 却能被 HPLC-MS 定量检测。与现代观测值比较显示，GDGTs-TEX86 指示了该海域的年平均表层水温度（annual mean SST）。 2.7ka 以来，南冲绳海槽年平均 SST 变化范围在 24.9~27.6 ^{o}C 之间，均值为 25.9^{o}C。晚全新世期间的一些重要气候事件如罗马暖期(RWP)、隋唐暖期(STWP)、中世纪暖期(MWP)、现代暖期(CWP)、黑暗时期冷期(DACP)、小冰期(LIA)等在 TEX86-SST 温度曲线中均有清晰的体现。小冰期后，南冲绳海槽的 SST 表现出明显的上升趋势，但在百年尺度上仍略低于罗马暖期和隋唐暖期的均值。中世纪暖期的 SST 则表现出大幅度的快速波动，与史料记录的我国陆地气候变化一致。此外，晚全新世期间冲绳海槽的SST与我国东部过去2000年的冬半年温度和赤道太平洋厄尔尼诺记录存在着显著的一致性，表明气候变化在海陆以及低-中纬度之间的强相关性。

S5-O-10

中国南北方更新世夏季风记录在轨道尺度上存在的差异

敖红[1]，Mark J. Dekkers[2]，肖国桥[3]，杨晓强[4]，秦利[5]，刘晓东[1]，强小科[1]，常宏[1]

1 中国科学院地球环境研究所

2 Paleomagnetic Laboratory ‘Fort Hoofddijk’, Department of Earth Sciences, Faculty of Geosciences, Utrecht University, Budapestlaan 17, 3584 CD Utrecht, The Netherlands；

3 中国地质大学

4 中山大学

5 重庆中国三峡博物馆

aohong@ieecas.cn

综合分析来自中国北方泥河湾的河湖相沉积和黄土高原的黄土沉积及其南方石笋和南海海洋沉积的更新世夏季风记录发现：泥河湾河湖相沉积和黄土沉积记录的夏季风在轨道周期上的变化是一致的，即在 90－180 万年间都主要表现 40 kyr 周期，在 90 万年以来都主要表现 100 kyr 周期；而南方的石笋和南海深海沉积物记录的夏季风在轨道周期上的变化是一致的，即在 180 万年以来都主要表现 20 kyr 周期。结合通过数值模拟获得的冰期和间冰期东亚季风分布情况，获得了中国南北方夏季风在轨道时间尺度上存在差异的新解释：更新世东亚夏季风应该都是太阳辐射驱动的结果，表现为 20 kyr 的主导周期；而中国北方的夏季风记录没有显示 20 kyr 的

主导周期可能主要是由于中国北方夏季风除了受到太阳辐射的驱动外，在很大程度上还受到了北半球冰量和全球海平面冰期/间冰期旋回变化的影响。在冰期，一方面北半球冰量增加导致夏季风强度减弱，另一方面全球海平面降低导致从海洋到中国北方的夏季风传输距离增加，因此处于冰期的北方通常难以具有较强的夏季风。从而北方的夏季风记录都与深海氧同位素一样，主要表现冰期/间冰期旋回变化，而 20 kyr 周期通常较弱。而南方的夏季风受北半球冰量和全球海平面冰期/间冰期旋回变化的影响较少，因此直接响应太阳辐射的驱动。

S5-O-11

东亚冬夏季风的时间尺度

王绍武

北京大学物理学院大气与海洋科学系，北京，100871
swwang@pku.edu.cn

过去古气候研究中经常假设冬季风强时夏季风弱、夏季风强时冬季风弱。但是，近年来大量的高分辨率古气候代用资料表明，冬季风与夏季风的关系是不固定的，不同时间尺度有不同的关系。（1）在以万年计的地球轨道尺度，夏季风有 2 万年周期、冬季风有 4 万年周期。冬、夏季风并无固定的关系。（2）在近万年的全新世，冬、夏季风均有减弱的趋势，两者的变化是一致的。这是受太阳辐射变化控制的。（3）全新世以北大西洋冷事件为标志，有 9 次气候突变。与之相联系的是冬季风增强、夏季风衰退。冬、夏季风变化是相反的。（4）近 2ka MWP 时夏季风强、冬季风弱，LIA 时冬季风强、夏季风弱。两者的变化也是相反的。（5）近百年冬、夏季风的变化基本一致，都经历了由弱转强、然后再减弱的过程。但是，两者的转变时间并不完全一致。

S5-O-12

东亚季风格局及其年代际转折的影响和可能机理

何金海，朱志伟，钟珊珊

南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室
hejhnew@nuist.edu.cn

中国的旱涝分布受东亚季风影响，东亚季风包括南海热带季风和东亚副热带季风两类不同性质季风，他们各自季节转换时间和形成机制有所不同。南海热带季风伴随热带赤道幅合带的季节性移动，而东亚副热带季风的建立伴随着亚太地区热力作用的季节性反转。东亚季风成员各自的季节~季节内、年际、年代际的三种时间尺度演变过程构成了整个东亚季风系统格局。近 30 年来，特别气候变暖背景下，全球大气环流于上世纪 90 年代初发生了一次明显的年代际变化，无论在高纬度的海冰密度，地表温度，中纬度高原热力作用，还是低纬度太平洋海温都有所表现。本文重点研究了在全球年代际转折背景下，东亚季风格局在上世纪 90 年代初也发生的一次明显年代际变化。在年代际变化背景下，中国南方降水表现出明显年代际季节反相变化特征，即春季降水年代际减少，夏季降水年代际增多。春季青藏高原和夏季贝加尔湖地区大气热源的年代际转折对东亚季风年代际变化有较大贡献，是造成中国南方降水年代际季节反相变化的直接原因。春季青藏高原大气热源的年代际减弱，使得中国南方上空西南风减弱，水汽输送不足，导致中国南方春季降水年代际减少；夏季贝加尔湖大气热源偶极型分布由年代际转折前的“南负北正”转变为之后的“南正北负”，由此在贝湖南侧激发的年代际异常反气旋阻碍雨带北推，导致中国南方夏季降水年代际增多。

S5-O-13

热带海洋在轨道至百年尺度上多尺度过程的相互作用

翦知湣，金海燕，成鑫荣

同济大学海洋地质国家重点实验室

jian@tongji.edu.cn

气候环境的自然变化是由多时间尺度的变化过程相互叠加、相互作用的结果，长周期变化是短期变化的背景值，就像俄罗斯“套娃”一样，不认识长周期的变化，也就看不到短周期的和现在的变化（汪品先，2009）。但是反过来，人类生存环境的变化趋势预测，还存在很大的不确定性，主要原因在于对地质历史上的气候突变和短期事件了解不足。譬如，冰期后的全球转暖过程中，曾不止一次地出现突然降温的“气候回返”，百年之内可以有 5-10℃的温度变化。因此，地球气候系统在时间尺度上是一个连续体，各种不同速率的过程通过不同时间尺度的叠加，交织为一个复杂的整体。

二十世纪气候演变研究的最大突破，在于地球轨道变化驱动冰期旋回的米兰克维奇理论。然而在地球运行轨道的三大参数中，地球轨道偏心率的变化十分微弱，其对气候演变的驱动机理至今仍属未解之谜。近年来，南海和地中海等热带海区发现的 40 万年大洋碳储库长周期，说明偏心率变化可以通过调控气候 2 万年岁差变化幅度的周期而进入地质记录，是气候环境变化中一种新发现的机制，揭示了热带过程对全球气候演变的驱动作用（Wang et al., 2010）。

不仅轨道尺度的气候周期之间可以相互叠加和相互作用，地球轨道参数的周期变化对亚轨道尺度（千年、百年尺度）的气候波动也有调谐作用。譬如，南海北部 ODP1144 站（20º3.18´N, 117º25.14´E）中更新世高分辨率的 Mg/Ca 比值再造的表层海水温度，显示出类似晚第四纪 D/O 事件的千年尺度气候波动贯穿整个冰期、间冰期和冰消期。特别是，从千年尺度气候波动的滤波振幅变化中可以解读出轨道周期，且滤波振幅的变化对应太阳辐射量的改变，说明轨道参数的变化对千百年尺度的气候事件有明显的调谐作用。又如，赤道西太平洋 MD01-2386 站末次冰期以来的快速气候变化周期在末次冰期、冰消期和全新世具有不同的短期气候周期：冰期时以类似 D/O 事件的 1.2~1.8 千年周期为主，全新世时以~220 年的太阳活动周期为主，其间的冰消期则具有过渡性，说明快速气候变化在轨道尺度的冰期/间冰期上存在不同的主导周期，是轨道与亚轨道尺度气候变化相互叠加、相互作用的典型实例。因此，热带海洋的千年、百年尺度快速气候波动的幅度和周期都受轨道周期的调控或影响。

地球气候系统中广泛存在的旋回现象，往往在不同时间尺度上发生并且相互叠加，只有通过梳理才能认识变化的原因（Huybers and Curry, 2006）。因此，探索热带海洋在轨道至百年尺度上多时间尺度变化过程的相互作用，将有助于认识全球气候变化的机制。

S5-O-14

亚洲季风降水异常的两种 ENSO 驱动型及与氧同位素比值关系

谭明

中国科学院地质与地球物理研究所第四纪地质与环境重点实验室

tanming@mail.iggcas.ac.cn

科学背景　　现代气候研究表明，亚洲具有两类不同的季风降水类型和环流型：印度夏季降水为单一水汽源（印度洋），是热带季风环流型；中国夏季降水为复合水汽源（印

度洋-太平洋），是热带和副热带季风环流型。显然两类季风既有联系也有区别，但联系在哪？区别为何？对于现代气候学家来说，这两个问题并不存在，主要争议源自不同古气候学者的工作结果：（1）认为季风变化在印度和中国反相的数据来自泥炭（如洪业汤等，第四纪研究，2003），（2）认为季风变化在印度和中国同相的数据来自石笋（如周翀等，地球学报，2008）。本文根据现代观测结果，检验两类季风区的降水量/降水氧同位素比值与海/气环流之间的关系，判别对于古气候研究有借鉴意义的可能联系和区别。

数据分析　中国降水数据采用陆龙骅等（第四纪研究，2012）集成的中国 554 站年均降水数据，印度降水数据采用 306 个台站 6~9 月的平均降雨量（http://www.iges.org/india/allindia.html），海洋/大气环流数据来自美国海洋大气局（ http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/），副高指数引自慕巧珍等（大气科学，2002）。统计分析结果表明，尽管 1995 年后 ENSO 与印度降水的关系减弱（从 1871 年以来，这种减弱关系在 1880s 和 1930s 也曾发生过，并不特异），但在较高概率上，印度降水正异常为 La Niña 型，即信风强时（或 Nino3.4 海区 SST 负距平）印度季风亦强，降水增多，表现为降水量与 Nino3.4 海区 SST 负相关，而降水氧同位素比值由于雨量效应偏轻。与此相反，中国全境降水序列滞后一年正异常与 Nino3.4 海区 SST 同相位占 75%，也就是说，中国降水量正异常主要为 El Niño 型。这是因为，El Niño 结束当年夏季西太副高增强西伸，将大量太平洋水汽引向中国大陆，由此造成总降水量正异常，而降水氧同位素比值由于环流效应（谭明，第四纪研究，2009）即更多近源水汽而偏重，如 1998 年。以上仅分析了正异常情况，负异常可类推。

结论讨论　从以上分析可知，如果考察两类季风降水量正异常，它们的 ENSO 驱动机制是相反的，在印度表现为 La Niña 型，而在中国表现为 El Niño 型，二者在量上似有反相的机理。但由于存在不同的降水氧同位素环境效应，即在印度主要表现为雨量效应，而在中国主要表现为环流效应。因此，当 Nino3.4 海区 SST 较高时，中国总降水量表现为太平洋近源水汽增量正异常，由于环流效应的缘故多数区域降水氧同位素偏重；而此时印度降水量表现为负异常，由于雨量效应的缘故降水氧同位素比值也偏重。这也许就是印度和中国的降水氧同位素比值以及对之继承的石笋氧同位素序列变化相似的机理。

S5-O-15

北半球夏季印度洋-西太平洋对流年际变率的主导模态及其与东亚夏季风的关系

李艳杰，李建平

中国科学院大气物理研究所 LASG
lyj@mail.iap.ac.cn

利用 OLR 资料研究了北半球夏季印度洋-西太平洋地区对流年际变率的主导模态。发现北印度洋区域（NIO）对流异常与西北太平洋区域（WNP）对流异常反相变化，将这一振荡型称之为印度洋-太平洋涛动（Indo-Pacific Oscillation, IPO）。利用 NIO 和 WNP 区域平均的 OLR 标准化序列定义了 IPO 指数，发现 IPO 具有显著的准两年变率。IPO 指数与东亚夏季风指数的相关分析表明 IPO 与东亚夏季风具有密切联系。IPO 的负（正）位相，北印度洋地区对流加强（减弱），西北太平洋地区对流减弱（加强），乌拉尔和鄂霍次克海阻高偏强（弱），西太副高偏强

（弱）。在中高纬度环流异常共同作用下，东亚夏季风偏弱（强），长江中游地区降水偏多（少）。IPO 指数与同期夏季海温的相关分析表明，IPO 与北印度洋及南海地区的海温存在显著负相关。进一步对 IPO 指数与 Nino3.4 指数做超前滞后相关，结果表明，IPO 与 ENSO 之间可能存在准两年的耦合关系。

S5-O-16

关于季风多尺度相互作用的一些思考

李建平

中国科学院大气物理研究所大气科学和流体力学数值模拟国家重点实验室

ljp@lasg.iap.ac.cn

主要回顾了从日循环、季节内、季节、年际、年代际、世纪际或更长时间尺度的季风变化的研究进展，讨论了相关核心问题，并对季风多尺度变化的成因、多尺度相互作用的研究进行了一些思考。

S5-O-17S

西南澳洲前冬降水与我国华北盛夏降水减少间的遥相关关系

Juan Feng[1], Jianping Li[1], Yun Li[2]

1 State Key Laboratory of Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

2 CSIRO Mathematics, Informatics and Statistics, Western Australia, Australia

fengjuan@mail.iap.ac.cn

Rainfall in both southwest Western Australia (SWWA) and North China (NC) has been declining substantially since the mid-1960s, which leads to a series of droughts in both regions since then. Using observed rainfall datasets in China and Australia and the NCEP/NCAR dataset for the period 1951-2008, we show that the decline of SWWA rainfall is mainly in early austral winter (MJJ, May-June-July) while the reduction of NC rainfall in late boreal summer (JAS, July-August-September). We then examine the relationship between SWWA MJJ rainfall and NC JAS rainfall during the period 1951-2008, and find that a significant link exists between these two rainfall series with a correlation of 0.43 and this link remains after the data are detrended. In particular, this relationship accounts for up to 62% variability variance on decadal timescales, and seems to be driven by the poleward shift of the southern subtropical high ridge (SSHR) and the northern subtropical high ridge (NSHR) over longitudes (110°-150°E). The pole-ward SSHR may induce to an anomalous anti-cyclone centered near the south Australian coast resulting in a anomalous easterly flows of dry air to SWWA, while the poleward shift of the NSHR is associated with an anomalous anti-cyclone in East Asia near NC causing a anomalous northeastly flows of dry air to NC. The pole-ward shift of SSHR/NSHR may be linked to the warming sea surface temperature (SST) in the Indo-Pacific warm pool (IPWP). Our results suggest that the poleward shifts of the southern and northern subtropical high ridges instigated by the warming SST in the IPWP may have partially attributed to the rainfall reduction in both regions. They provide a strong support to the argument that the poleward expansion of the Hadley circulation

and the subtropical dry zone may have influenced the climate in subtropical and extra-subtropical regions.

S5-O-18S

印太暖池—北太平洋偶极子与东亚夏季风变率

Zheng Jiayu[1,2], Li Jianping[1]

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

zhengjiayu09@gmail.com

The East Asian summer monsoon (EASM) is one of the most important climate systems that have great impacts on China, Japan, Korea, and the surrounding seas. Previous studies have suggested that the EASM is regulated by both the Pacific and Indian Oceans. Our recent research showed that a cross-basin dipole mode of sea surface temperature (SST) anomalies exhibits considerable influences on the variations of EASM. This mode, characterized by anomalously high (low) SSTs in the north Pacific near Japan and low (high) SSTs in the Indo-Pacific warm pool, is termed as Indo-Pacific warm pool and north Pacific Ocean dipole (IPOD).

Preliminary analysis shows that there is a robust relationship between the IPOD and EASM. In the summer of IPOD positive phase, western Pacific subtropical high (WPSH) moves eastward and northward, western Pacific is wetter, Japan and lower reach of the Yangtze River is drier, EASM is stronger; in the summer of IPOD negative phase, WPSH moves westward and southward, western Pacific is drier, Japan and lower reach of Yangtze River is wetter, EASM is weaker. Compared with the tropical region, precipitation anomalies over East Asia are the result of large-scale motion related to WPSH rather than thermal state of the atmosphere. The underlying mechanisms within the relationship between IPOD, WPSH and EASM need to be further investigated.

S5-O-19S

Predictive factor affecting summer monsoon onset in the Bay of Bengal and its possible mechanism

邢楠

中国科学院大气物理研究所

xingnan09@mails.gucas.ac.cn

The variation of Sea Surface temperature (SST) around the Bay of Bengal before the Bay of Bengal summer monsoon (BoBSM) onset is investigated in this study. The results show that SST displays decline from south to north over the Bay of Bengal (BoB) from January 1 to April 1. Meridional SST peak locates near the equator. Since April 2, the feature of meridional SST decline disappears, and SST maximum appears near 10°N, but the value is still lower than SST near the equator. So we define the occurrence of SST maximum as warmest SST second axis (WSSTSA). SST rises persistently near 10°N, and on April 12 SST near 10°N is higher than SST near the equator. The variation of the meridional distribution of SST arouses southwesterlies in the southern BoB, and subsequently the Bay of

Bengal summer monsoon (BoBSM) breaks out (in the last pentad of April). To identify this relationship, we select some indexes which are used to characterize BoBSM onset, such as OLR, u-component and meridional middle-upper temperature (200-500 hPa) gradient of (MTG). There are significant positive correlations between them. WSSTSA occurs earlier, with earlier BoBSM onset, and WSSTSA occurs later, with later BoBSM onset. In early March, there occurs an anticyclone in lower troposphere in the northwest of BoB, and then it moves southeastward. Meanwhile, subtropical high in the western Pacific shifts westward and subtropical high in the Indian Ocean shifts eastward. These Variations weaken northeastlies and increase net surface heat flux near 10°N. And mixed layer depth near 10°N is relatively shallow, so SST can increase rapidly. Increases of SST make the anticyclone in the northwest of BoB weaken, then net surface radiation flux further increases, and then SST continues to increase. So air-sea interaction over BoB causes the occurrence of WSSTSA. So the occurrence date of WSSTSA is a good predictive factor of BoBSM onset.

S5-O-20

东北冷涡活动的季节内振荡特征及其影响

温敏，刘慧斌，何金海，张人禾

中国气象局中国气象科学研究院 北京 100081
wenmin@cams.cma.gov.cn

东北冷涡是造成我国东北地区低温冷害、持续性阴雨和突发性强对流的重要天气系统，同时也是中高纬度大气环流影响我国南方地区的一种有效途径，是中高纬度天气系统与中低纬度天气系统相互作用的纽带。已有研究表明，东北冷涡活动是江淮梅雨和华南前汛期降水异常的影响因子之一。季节内振荡是季风活动的重要特征，江淮梅雨和华南前汛期降水都具有显著的季节内振荡特征。而东北冷涡也同样具有季节内振荡特征，并可能通过相关低频环流的变化影响东亚季风降水的相应变化。

利用 1979-2009 年 NCEP/NCAR 逐日的再分析资料和中国气象科学研究院提供的中国区域高分辨率格点降水资料，我们定义了一个客观描述东北冷涡活动的指数（NECVI），并基于该指数分析了东北冷涡活动的季节内振荡特征及其与相关环流和降水的关系。结果表明，东北冷涡活动具有显著的 10-30 天振荡周期。与东北冷涡活动相关的大气环流的 10-30 天振荡和我国东部夏季降水异常具有明显的锁相关系，对雨带的位置起着重要的调制作用，在东北冷涡及其相关低频环流由西北向东南的移动过程中，我国东部也经历一次由北至南的降水过程。本文还进一步讨论了东北冷涡的低频活动与中高纬大气环流遥相关型的关系。与东北冷涡相联系的低频环流是夏季低频欧亚（EU）型遥相关波列的一部分，低频欧亚型（EU 型）与东亚/太平型（EAP 型）遥相关波列在东亚地区交汇，并通过波列之间的相互作用影响东北冷涡低频系统的移向和移速，进而影响中国东部降水的位置与维持时间。因而前期EU型和EAP型低频波列的发展情况可能预示着后期中国东部各个区域降水的演变。本文研究结果将为提高我国东部强降水的 1-2 周延伸期天气预报提供参考。

S5-P-01

寻求轨道尺度上全球季风变化的标志

汪品先，田军，李前裕

同济大学海洋地质国家重点实验室
pxwang@tongji.edu.cn

现代气候学将季风看作是热带辐合带(ITCZ)季节性迁移的表现，因而是一个环球系统。所谓全球季风并不是各个区域季风简单的总和，而是指一个完整的气候系统，虽然它在不同区域的表现会有所不同。研究地质尺度上全球季风的演变，关键在于能不能找到反映其强度变化的替代性标志。初步研究表明：全球季风的表现在于低纬区的水文循环，而水文循环中的同位素分馏能够留下地质记录。目前看来，基于 $\delta^{18}O$ 的多尔效应（Dole Effect），可望成为全球季风在岁差周期尺度（约 2 万年）上变化的标志；而海洋无机碳的 $\delta^{13}C$，可以用来标志全球季风在偏心率长周期（约 40 万年）尺度上的变化。

多尔效应是大气和海水 $\delta^{18}O$ 之间的差值。近年来发现极地冰芯气泡中氧的 $\delta^{18}O$、亚洲季风区石笋的 $\delta^{18}O$、和季风区表层海水的 $\delta^{18}O$，三者晚第四纪的曲线有着相似性，都是以 2 万年的岁差周期最为突出，从而与 10 万年周期为主的 SPECMAP 曲线明显不同。气泡和石笋 $\delta^{18}O$ 的相似变化，原因在于多尔效应，而多尔效应正是由低纬辐射量和季风强度所决定。由于水文循环中水的滞留时间属于千年尺度，多尔效应可以在岁差周期上用作全球季风的标志。

在更长的时间尺度上衡量全球季风的变化，可以用海水无机碳的同位素。在两极大冰盖形成之前的地质纪录里，海洋碳酸盐的 $\delta^{13}C$ 呈现出明显的 40 万年周期，对应于地球轨道变化的偏心率长周期，被喻为地球表层系统的“心跳”。可以推测，这是在季风影响下，营养元素输入海洋的增减引起大洋碳储库发生变化的结果。由于碳在大洋储库中的滞留时间长达十余万年，因此是全球季风在偏心率长周期尺度上的变化标志。

S5-P-02

上新世以来沉积脂类标志物反映的东南亚古气候演变

李丽，李前裕，田军，王慧，汪品先

同济大学海洋地质国家重点实验室，上海
lilitju@tongji.edu.cn

南海南部 ODP1143 岩芯过去 5Ma 以来的长链烷烃的研究显示高分子烷烃分布呈现强烈的奇偶优势，指示了其主要来自陆源高等植物。其含量变化在 2.7Ma 前只受降雨的影响，降雨多沉积多；而在 2.7Ma 之后，受北半球高纬冰盖的影响，陆源物质的输入呈现冰期高，间冰期低的特征，特别是中更新世之后变化幅度显著增强，表明气候变化导致的全球海平面的升降，降雨的多少是影响陆源沉积重要因素。而烷烃链长则给出了更多降雨的信息，近期研究表明大气水动力对陆地植物烷烃链长有显著影响，植物产生更多的长链烷烃适应干燥条件下水分的流逝，据此 5Ma 以来南海南部高等植物烷烃链长指数的变化反映东南亚地区的水动力变化所经历的三个阶段：从相对湿润的早上新世到 2.9Ma 以来不断减弱的大气降雨，最后到 1.2Ma 以来大气降水的大幅变化。特别是热带降雨在北半球冰盖形成前的强化和中更新世气候转型期之前的减弱显示了低纬地区在全球气候变化中的重要作用。

S5-P-03

南海南部 5Ma 以来颗石藻化石记录与古海洋演化

刘传联，喻文晔

同济大学海洋地质国家重点实验室，上海 200092
liucl@tongji.edu.cn

选取南海南部 ODP1143 站沉积样作为

研究材料，采用颗石藻自动鉴定系统 SYRACO (Système de Reconnaissance Automatique de Coccolithes)，对 1411 个样品进行了颗石藻属种统计分析，并对其中 500 个样品开展了颗石藻个体重量分析。揭示了南海南部 5Ma 以来颗石藻主要属种变化，展示了海水营养跃层深度及表层海水初级生产力在不同时间尺度上的变化，并探讨了其对古海洋学事件的响应。同时以“中布容事件”为例，探讨了偏心率对于颗石藻演化可能的控制，以及颗石藻属种演化与碳同位素重值事件和碳储库长周期演化的关系。

南海南部第四纪以来主要的颗石藻属种 *Florisphaera profunda*、*Gephyrocapsa oceanica* 和 *Emiliania huxleyi*，*Gephyrocapsa caribbeanica* 都在 0～0.05Ma，0.26～0.48Ma，0.9Ma，1.4～1.6Ma 这几个时间阶段经历了明显的变化，同时，在这些时期颗石藻生产力增加并对应第四纪以来的四次碳同位素重值事件。说明了颗石藻对于第四纪的大洋碳储库变化有重大的影响。

根据颗石藻化石记录,推测南海 ODP1143 站上层海水营养跃层深度在 5Ma 以来经历了 4 个阶段变化。这种变化主要受到季风影响,同时发现在 0.9Ma 前后受到季风影响表现出差异性.在 0.9Ma（MIS22）之前，间冰期夏季季风较强，导致间冰期营养跃层变浅; 而在 09Ma（MIS22）之后，冰期的冬季季风加强，于是冰期营养跃层变浅。

对 ODP1143 站颗石藻各主要属种的第四纪记录进行频谱分析，结果显示有 100ka 的偏心率周期，40ka 的斜率周期，此外还有明显的 20ka 岁差周期和 10ka 的半岁差周期。证明了显示了天文轨道周期是颗石藻群落结构变化的主要动力。

“中布容期”（0.26～0.48Ma），南海海区与全球海区表现出一致的 *F.profunda* 含量降低，桥石类繁盛。同时海水结构发生改变，营养跃层变浅；初级生产力增加，其中钙质生产力较高并伴随碳酸盐溶解的增强。对颗石藻个体重量的研究发现，在中布容时期，颗石藻个体重量下降.分析对比表明，偏心率可能是影响颗石藻生产力的主要因素。

研究还发现,颗石藻记录与碳循环周期有很好的对应关系. 1.6Ma 以来 *F.profunda* 相对百分含量具有 0.5Ma 的长周期，而 1.6~5Ma 的 *F.profunda* 相对百分含量则表现出 0.4Ma 的长周期。

S5-P-04

非洲西北部 90 万年来的逐渐变干趋势及其与印度洋热传输的潜在联系

Yulong Zhao [1,2], Martine Paterne [3], Christophe Colin [2], Zhifei Liu [1], Giuseppe Siani [2], Lucile Bonneau [2]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2 Laboratoire des Interactions et Dynamique des Environnements de Surface (IDES), UMR 8148 CNRS-Université de Paris-Sud 11, Orsay 91405, France

3 Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), UMR 8212 CEA-CNRS-UVSQ, Gif-sur-Yvette 91198, France

yeoloon@tongji.edu.cn

It has been suggested that wind-blown mineral dust plays an active role in the Earth climate system. The Sahara Desert is the world’s largest sources of eolian dust and accounts for almost half the total amounts of eolian materials delivered to the world’s oceans. Owing to its proximity, the Mediterranean Basin receives annually huge amounts of eolian dust derived from the Sahara.

Terrigenous sediments in the eastern Mediterranean Basin, especially in those regions that are not connected to large rivers, e.g. the Ionian Sea, are therefore ideal to reconstruct changes in the yield and transport of dust in Sahara. In the present work, clay mineralogy, coupled with laser grain-size analyses, has been performed on terrigenous sediments from a marine core in the Ionian Sea (ODP Site 964) to reconstruct Saharan dust inputs to the Mediterranean Sea and aridity changes in North Africa during the last 1.5 Ma.

Clay mineral assemblage of the ODP Site 964 sediments is composed of 20 – 65% (average 40%) smectite, 10 – 35% (average 25%) kaolinite, 15 – 30% (average 22%) illite, 5 – 20% (average 7%) chlorite and 2 – 15% (average 6%) palygorskite. It is observed that smectite constitutes about 30% of the clay assemblage prior to 900 ka, and increases gradually during 900 and 650 ka. From 650 ka until now, the proportions of smectite maintain at a level of ~ 50% in average. While a decrease of illite, kaolinite, and palygorskite proportions are observed at the same time interval (900 to 650 ka). Particular focus is on the palygorskite contents, which decreases from 7% prior to 900 ka to less than 2% after 650 ka. Besides the secular changes, oscillations of all clay minerals are also observed to show strong cyclicity. Spectral analyses indicate that such oscillations are dominated by precessional and semi-precessional cycles. As changes in the composition of clay assemblage in ODP Site 964 reflect mostly the shift of main dust sources in North Africa, the precessional and semi-precessional oscillations of clay minerals in ODP Site 964 suggest that aridity changes in the main dust sources are controlled by the latitudinal migration of the InterTropical Convergence Zone (ITCZ), i.e. by the African monsoon precipitation. Given that smectite is mostly rich in the southern sources (~20°N, the Sahelian region) while palygorskite is found only in northern sources (~30°N, the central Sahara), the gradual increase of smectite and decrease of palygorskite during 900 – 650 ka indicate that the most productive dust sources in North Africa shift to a much southern position. It implies that owing to less frequent northern penetration of the ITCZ to the watershed in central Sahara, the Sahara region in NW Africa became more arid since ~ 900 ka. Two potential mechanisms are considered to have caused the aridification. The first explanation is related to the expansion of northern hemisphere ice-sheets during the Mid-Pleistocene climatic transition (MPT). As suggested by previous studies, a southward shift in the location of the ITCZ is expected during expansion of northern hemisphere ice-sheets. The southward shift of the ITCZ would have extended the arid belt further south to the Sahelian region, and is likely to have increase dust production in those areas. A second explanation is related to the reduction of warm water leakage from Indian Ocean to Atlantic Ocean via the Agulhas Current at the southern end of the African continent. It has been observed by previous authors that the “Agulhas Leakage” has largely reduced or even ceased since about 900 ka. Weakening in the “Agulhas Leakage” will lead to a slowdown of

the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) and induces indirectly an aridification in North Africa deserts.

S5-P-05S

南海西北部末次冰期以来碳酸盐与氧同位素记录及其古环境意义

陈全[1]，刘志飞[1]，Karl Stattegger[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 Institute of Geosciences, University of Kiel, Germany

quan.chen@hotmail.com

为探讨北部湾及其周边地区末次冰期以来古环境的演变，本项研究分析了由 1999 年“Sonne 140”航次于南海西北部采取的重力柱状样 18428(16°23′35.4″ N，109°25′2.4″ E)和 18429(16°20′58.2″ N，109°32′19.8″ E)。18428 位于陆架-陆坡坡折带，水深 196.7 m，全长 515 cm；18429 取于陆坡，水深 755.6 m，全长 745 cm。对两柱状样进行 4 cm 间距取样，进行碳酸盐含量和浮游有孔虫 *Globigerinoides ruber* 的氧碳同位素分析。18428 柱状样中，碳酸盐平均含量为 11%，且无明显变化趋势，估计仅局限为全新世沉积。而 18429 中，在上部 324 cm 中碳酸盐含量无明显变化趋势，平均含量为 16%；在 324c-532 cm 区间，碳酸盐含量显著减少并快速恢复，最小值达 10%；在 532 cm 以下，碳酸盐含量快速减少，并于 628 cm 以下保持稳定，平均含量为 6%，估计已达到末次冰期。18429 柱状样中的碳酸盐低值事件推测发生于早全新世，估计是降水量的显著增大致使陆地径流明显增强，带来了大量较粗的陆源碎屑物质。

S5-P-06S

全新世印尼和南海穿越流变化中的类厄尔尼诺和南方涛动影响

Weijia Fan[1],Zhimin Jian[1],Zhihui Chu[1],Franck Bassinot[2]

1 The State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092.

2 Laboratoire des Science du Climat et de l’ Environnement, Domaine du CNRS, Gif-sur-Yvette F-91198, France.

jwfan.jeffrey@gmail.com

We present the multi-decadally resolved temperature and salinity records of two sites from the northern and southern Makassar Strait over the last 11 kyr. The difference in surface seawater $\delta^{18}O_{sw}$ ($\Delta\delta^{18}O_{sw}$) between the two sites is used to indicate salinity gradient, which plays critical role in the changes of the Indonesian Throughflow (ITF) and the South China Sea Throughflow (SCSTF) within the Strait as revealed by modern observations and numerical simulations. Our results show that the $\Delta\delta^{18}O_{sw}$ (from south to north) decreased obviously at ~9.5 kyr BP, indicating that the salinity of the south Makassar Strait decreased, caused by the re-occurred SCSTF. This means that the South China Sea was finally connected to the Java Sea through the Karimata Strait (sill depth of 29m) due to the last deglacial sea level rise. Furthermore, the thermocline temperatures at the northern site were estimated using the Mg/Ca ratios of planktonic foraminiferal thermocline-dwelling species *Pulleniatina obliquiloculata*. The temperature difference between sea surface and thermocline is adopted to indicate the vertical temperature gradient of the western equatorial Pacific. The

relative strength of SCSTF/ITF and the variation of the upper water thermal structure in the western equatorial Pacific have the same periodicities of ~2400 yr, which are attributed to the ENSO-like conditions of the equatorial Pacific. During El Niňo-like periods, the depth of thermocline (DOT) in the western equatorial Pacific shoals and the SCSTF becomes stronger, resulted in reduced transport of

S5-P-07S

El Niño Modoki 对中国南方春季降水的影响

Juan Feng, Jianping Li

State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

fengjuan@mail.iap.ac.cn

Using observed datasets from 1979 to 2006, the relationship between El Niño Modoki and spring rainfall over south China (SC) is investigated. Of particular interest is the difference in the influence on spring rainfall of typical El Niño events, and the recently recognized El Niño Modoki events, which are characterized by distinct warm sea surface temperature anomalies (SSTA) in the central Pacific and weaker cold anomalies in the western and eastern parts of the basin. Associated with the SSTA, anomalous ascent occurs over the central Pacific and downward flow is observed over the eastern and western Pacific. The anomalous flow is associated with anomalous convergence in the upper troposphere over the western Pacific. SC is influenced by an anomalous anticyclonic circulation with prevailing northeasterly anomalies. The convective activity in SC becomes weaker, resulting in reduced rainfall. However, the situation is different in the case of El Niño, in terms of the influence on rainfall over SC. While El Niño Modoki events are accompanied by a significant reduction in rainfall over SC, there is enhanced rainfall associated with El Niño events. Moreover, there exists a strong asymmetry in the relationship between SC spring rainfall, typical ENSO and ENSO Modoki events. It appears that these relationships are only statistically significant for positive events. The asymmetric influence of positive and negative in two ENSO phenomena may explain the difference in their respective relationships with spring rainfall over SC.

warm surface water from the western equatorial Pacific to the eastern equatorial Indian Ocean, and vise versa during La Niňa-like periods. It seems that the relationship between the variations of ITF/SCSTF and the ENSO-like dynamics on millennial time scale during the Holocene is similar to that on interannual scale in modern ocean.

S5-P-08S

南海北部 260ka 以来表层及次表层海水古温度变化

李琪

同济大学海洋与地球科学学院

indeduce@163.com

近年来已经有很多学者应用不同方法试图恢复南海过去表层海水温度的变化，特别是使用地球化学方法，如 $U^{K'}_{37}$ 法和 Mg/Ca 比值来重建海水的古温度。南海北部

MD05-2904 沉积柱状样的 U_{37}^{K} 古温度记录是南海北部时间最长、分辨率最高的古温度记录（贺娟，2008）。为了验证该记录的准确性和样品的连续性，本文选取该柱状样的浮游有孔虫 *G. ruber* (white) 和 *P. obliquiloculata* 进行了 Mg/Ca 比值分析，重建 260ka 以来的表层海水及次表层海水的古温度变化过程。对比 U_{37}^{K} 和 Mg/Ca 的结果显示，冰期表层海水变化基本吻合，但冰消期升温幅度和时间存在差异，推测这种差异可能是受不同指标的生物载体有生活习性的季节性和水深差异的影响。我们的研究发现，在千年尺度的快速水温变化过程中，次表层海水的变化幅度并没有表层海水变化幅度大，特别是 MIS5e 时期，表层海水温度变化幅度高达 6℃，次表层海水温度仅上升 2℃左右。南海北部表层及次表层海水古温度变化可能在很大程度上反映了东亚季风的强弱变化，但如何量化季风的影响包括所用的次表层温度重建的计算公式是否有大范围的适用性仍还有待进一步的工作。

S5-P-09

1958-2009 南海浮游植物生物量,初级生产力和群落结构的生态模型模拟

Wentao Ma[1, 2], Fei Chai[2], Peng Xiu[2], Huijie Xue[2] and Jun Tian[1]

1 State key laboratory of marine geology, Shanghai, China, 200092

2 School of Marine Science, University to Maine, Orono, ME, USA, 04469

8wentao_ma@tongji.edu.cn

Primary productivity (PP) and community structure of phytoplanktons play important role in oceanic carbon cycle. The featured basin-wide upwelling and seasonality of surface circulation of the South China Sea (SCS) provide an ideal natural laboratory to study the response of phytoplankton dynamics to variable conditions. In this study, we use a physical-biogeochemical coupled 3D model to simulate phytoplankton biomass, PP and community structure in the SCS during 1958-2009. Modeled results are comparable with observations. Annual mean composition of picoplanktons, diatoms and coccolithophores is 33.7%, 52.7% and 13.6%, respectively on the basin scale. Diatoms have higher seasonal variability than picoplanktons and coccolithophores. Diatoms in most area of the SCS are abundant in winter except for southeast off Vietnam at where blooms of diatoms occur in both summer and winter. High values of picoplanktons and coccolithophores occur in summer. Our modeling results indicate that seasonal variability of PP is driven by East Asian Monsoon. Northeast winter monsoon bring more nutrients off the northwest coast of Luson Island and on the Sunda shelf, while southwest summer monsoon contribute to sufficient nutrients supply off the southeast coast of Vietnam. Modeled PP is correlated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and Pacific decadal oscillation (PDO) on interannual and decadal scale. Positive phase of ENSO is corresponding to lower PP and negative phase of ENSO is corresponding to higher PP. A decadal trend change of PP in mid-1970s is consistent with the cold-to-warm phase shift of PDO. Our model results also support the idea that PP proxies can reflect paleo-EAM change, which make sense to the understanding of

paleoclimate change.

S5-P-10S

岁差周期上热带以外亚洲太平洋涛动(APO)对亚洲夏季风的调控

Yue Wang[1], ZhiMin Jian[1] and Ping Zhao[2]*

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, China

2 National Meteorological Information Center, and State Key Laboratory of Severe Weather, Beijing, China

*zhaoping@cams.cma.gov.cn

In a 46-kyrs' transient accelerated simulation with the NCAR Community Climate System Model version 3 (CCSM3), the increased July insolation at precessional bands causes a drastic summer warming in North Africa, the mid-latitudes of Eurasia from surface to the upper troposphere, with a cooling troposphere in the Northwest Pacific (NWP), which intensifies the land-ocean thermal contrast between Eurasia and its adjacent oceans. Associated with the tropospheric temperature variations are a lower-tropospheric strengthened low-pressure system from North Africa to the mid-high latitudes of Eurasia and a lower-tropospheric strengthened high-pressure system over the NWP. Meanwhile, the strengthened southwesterly or southerly winds prevail over the Asian monsoon region, indicating a stronger Asian summer monsoon. Summer precipitation increases in tropical Africa, South Asia, and the mid-high latitudes of East Asia, with a decreased precipitation over South China and the NWP. This response of atmospheric circulation and monsoon precipitation to the precessional changes is explained in the context of the extratropical Asian-Pacific Oscillation.

S5-P-11S

南海晚第四纪颗石记录与东亚季风变化

Xiang Su[1], Chuanlian Liu[1], Luc Beaufort[2]

1.State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai200092, China

2. CEREGE, CNRS/Aix Marseille Univ., BP80, 13545 Aix-en-Provence, France

chad1984@163.com

Coccolithophorid assemblages over the past 260 ka were analyzed in three IMAGES cores (MD05-2901, MD05-2904 and MD05-2897) from the western, northern and southern South China Sea (SCS). The results revealed changes in the predominant coccolith species with a resolution averaging ~0.2kyr. The upper ocean structure and primary production fluctuations were reconstructed using the abundance of the coccolithophore *Florisphaera profunda*. The nutricline in the SCS showed relatively strong temporal and spatial variability. On the glacial-interglacial scale, the nutricline was deep during glacial periods and shallow during interglacials, while it was similar with tropical Indo-Pacific. Spectral analyses of the relative abundance of *F. profunda* showed significant Milankovitch cycles at the three sites, but out of phase at the precession band with the global common feature. Empirical Orthogonal Function (EOF) analyses were performed on *F. profunda* records of the SCS and Sulu Sea to isolate two

significant modes. EOF-1 reflected glacial-interglacial variations correspond with East Asian winter monsoon. EOF-2 is linked to the ~20 kyr precession and ~43 kyr of obliquity. We suggested that the East Asian Monsoon dominates the nutricline and primary production variations in the SCS. However, the western upwelling area might be influenced by both of the winter and summer monsoons.

S5-P-12

南海北部表层孢粉南北向、东北-西南向、西北-东南向分布特征

罗传秀，陈木宏，向荣，刘建国，张兰兰，陆钧

中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室

xiu104@gmail.com

通过对南海北部表层孢粉的分布规律的研究，探讨海洋表层沉积物的孢粉分布与可能陆源地区植被、气候以及孢粉传播机制的关系，为南海古环境研究提供可靠的基础。本研究孢粉分析样品来源于南海北部表层沉积物中含有较丰富孢粉的样品 74 个，站位遍及大陆架、大陆坡和深海盆，所采用的样品数量及其分布具有较好的代表性。从南海北部表层孢粉南北向、东北–西南向、西北–东南向分布特征来看:

海底地形对孢粉特征的影响很大，位于大陆架或岛屿与位于海盆的样点的孢粉特征有明显区别。位于大陆架和位于中沙群岛的样点三缝孢含量高，位于海盆的样点三缝孢含量较低。位于由北部沿海大陆架、中沙群岛和西沙群岛三面环绕的海盆中的样点的红树、松属花粉含量明显高于其他样点。

根据下列种属的孢粉百分比分布，结合其花粉浓度的分布情况，可以推测：栲属、常绿栎在西南部的样点含量最高，可能是随夏季风从马来半岛传播而来的；其中栲属百分含量由北向南及由西北向东南降低，是因为其另一个陆源区是广东沿海陆地。单缝孢、莎草科、禾本科的百分比分布趋势也是由西北向东南降低，这与珠江水的注入或靠近广东沿海陆地有关。从南北方向来看，禾本科和单缝孢含量大致是由南北向中部降低，其中北部与紧靠陆地及珠江水的注入有关，南部可能跟马来半岛有关。

S5-P-13S

18 万年以来南海南部海区古温度的有机地化指标重建（$U_{37}^{K'}$，TEX_{86}）

Dong Liang[1], Li Li[1], Zhang Chuanlun[1,2], Tian Jun[1] and Li Qianyu[1,3]

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2 Department of Marine Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30602, USA

3 School of Earth and Environment Sciences, University of Adelaide, SA 5005, Australia

dongliangtony@126.com

In this study, high resolution records of organic geochemical biomarkers obtained in core MD05-2896/7（08°49.53’N，111°26.51’E，water depth 1658 m）were used to reconstruct paleoclimatic and plaeoenvironmental changes in the southern South China Sea over the last 180 ka. Paleotemperature proxies $U_{37}^{K'}$ and TEX_{86} both exhibit typical low and high SST cycles corresponding to glaciations and interglaciations, respectively. A better match between the two proxies is in the Holocene, but $U_{37}^{K'}$-SST is higher than TEX_{86}-SST in the Pleistocene, especially during the Last Glacial Maximum and the Penultimate Glacial

Maximum . This discrepancy on SST reconstruction is likely due to the ecologic differences between the two biomarkers-producing organisms, as the haptophyte (for $U_{37}^{K'}$) mainly living in the surface water and the crenarchaeota (for TEX_{86}) mainly in the subsurface. The temperature gradient between these two SST proxies may reflect the thermocline change.

S5-P-14S

西太平洋暖池核心区颗石藻属种分析及对气候变化的响应

梁丹，刘传联

同济大学海洋与地球科学学院

liangdan861012@163.com

KX08-97321-2（KX21-2）孔，位于赤道西太平洋翁通－爪哇海台（01°25.01′S，157°58.91′E），水深 189m，由热带碳循环“973”项目的 2008 年暖池区专题航次所采集。该段岩芯长 631cm，沉积物岩性均一，主要由浅灰色—白色的微体化石软泥组成，没有明显的生物扰动现象。本次研究对整段岩芯进行钙质超微化石属种分析。

整段岩芯进行 2cm 间隔取样，时间分辨率为 1ka，共分析样品 314 个。KX21-2 孔的年龄框架由周超等（2011）根据浮游有孔虫 *G. ruber* 的 $\delta^{18}O$ 曲线建立，并与 LR04 Stack$\delta^{18}O$ 标准化曲线（Lisiecki et al.,2005）对比，最终确定 KX21-2 孔覆盖了氧同位素 10 期（约 370kaB. P.）以来的沉积记录。

本次研究采用 Beaufort 等人开发的颗石藻自动鉴定系统 SYRACO（Système de Reconnaissance Automatique de Coccolit hes. Dollf us & Beaufort, 1999; Beaufort & Dollf us, 2004）对所有样品进行颗石藻属种相对含量的统计。

KX21-2 柱状样中颗石藻属种统计结果显示，*Emiliania huxleyi*, *Florisphaera profunda*, *Gephyrocapsa carribeanica*, *G. oceanica* and *G. muellerae* 在鉴定出的所有颗石属种组合中占 75-95%。过去 380ka，*F. profunda* 的百分含量先是从 380ka（MIS10）的 20%增加到 170ka（MIS6）的 60%，之后在 MIS3 时略微下降再上升。*E. huxleyi* 和 *G. carribeanica* 的百分含量则相反，380ka 到 170ka，从 50%减少到 10%，之后在 10%附近轻微波动。*G. oceanica* 的百分含量从 380ka 的 3%逐渐增加到 200ka 的 20%。此后在 120ka 时再次减少到 5%。120ka 到 50ka（MIS3）增加到最高值 33%。之后一直降低到现在的水平（6%）。*G. muellerae* 的百分含量从 380ka 到 170ka 在 10%左右波动，此后至现在在 3%左右波动，除了在 MIS3 和现代略微上升。*G. ericsonii* 的百分含量从 300ka 的 10%快速减少到 250ka 的 1%，此后一直维持在 1%的水平左右波动。

在全球大洋氧同位素 MIS11/12 期界线的中布容期，颗石藻最突出的变化是“小个体桥石勃发事件”。*G. caribbeanica* 含量异常高，是绝对优势种，对应 *F. profunda* 为低值。将所有桥石归为一类 *Gephyrocapsa* spp.，可以看出 *Gephyrocapsa* spp. 高值与 *F. profunda* 低值的对应关系。在距今 59-24ka 的深海氧同位素第三阶段（MIS3），全球气候处于弱暖期。MIS3 期内的气候变化非常特殊，存在千年尺度的 Heinrich 和 Dansgaard/Oeschger 事件。MIS3 时，KX21-2 孔 *F. profunda* 的百分含量突然从 55%降低到 32%，在 MIS2/3 之交时又迅速增加到 59%。相反的，*G. oceanica* 和 *G. muellerae* 在这段时间突然增加，其变化幅度是 150ka 以来最大。

S5-P-15

毛乌素沙地全新世植被变化研究

孙爱芝，郭正堂，吴海斌，李琴，于严严，葛俊逸，宋杨，赵得爱

中国科学院地质与地球物理研究所

sunaizhi@iggcas.ac.cn

毛乌素沙地是我国北方四大沙地之一，位于东亚季风影响边缘区，其植被变化历史能很好的指示季风强弱的演化。在本研究中，选择毛乌素沙地及周围 7 个具较好年代控制的全新世湖泊和黄土-古土壤剖面，利用第四纪孢粉数据库小组建立的生物群区化方法，系统重建了全新世以来每 1ka 时段毛乌素沙地植被演化的历史。结果表明，在时间序列上，10-8 ka，气候干旱，研究区内及边缘地带以草原或荒漠为主；7-3 ka，湿度明显增加，达全新世最湿润阶段，毛乌素沙地内部植被以草原或草甸为主；3ka 以来，湿度明显下降，荒漠和草原植被广泛分布。结合前人对我国北方沙地黄土-古土壤-风沙沉积序列的研究结果，从 9ka 开始毛乌素沙地呈现半固定状态，7-6ka 沙地基本固定，之后 5ka 开始扩张，3ka 以来急剧扩张。上述结果表明，毛乌素沙地全新世期间植被变化滞后于低纬太阳辐射变化，可能指示季风的强弱变化不仅受低纬太阳辐射驱动，还受高纬和青藏高原冰盖驱动的冬季风的影响。

S5-P-16

中更新世以来亚洲内陆风尘在西菲律宾海的沉积记录

万世明，于兆杰，孙晗杰，徐兆凯，李安春，李铁钢

中国科学院海洋研究所

wanshiming@ms.qdio.ac.cn

太平洋沉积物中的风尘组分被认为是建立亚洲大陆黄土沉积记录和海洋氧同位素记录在过去五十万年以来轨道时间尺度对比的直接证据。我们的研究将轨道尺度西太平洋风尘记录延长至一百万年前。在高分辨率氧同位素地层的基础上，我们对位于西菲律宾海本哈姆高原上的 MD06-3050 孔的陆源物质粒度和粘土矿物组成进行了分析，以此来追踪中更新世以来亚洲风尘在菲律宾海盆沉积的古气候记录。MD06-3050 孔粘土矿物的组成主要是蒙脱石（~65%），伊利石（~25%），少量的高岭石（~5%）和绿泥石（~5%）。物源分析表明蒙脱石主要由吕宋岛火山岩石风化而来，而伊利石、绿泥石和高岭石主要来自东亚冬季风从大陆输送的风尘。MD06-3050 孔的伊利石/蒙脱石、平均粒径和 12-80μm%可以用来指示亚洲风尘输入西菲律宾海的强度。这些代用指标表现出明显的冰期-间冰期旋回，总体在冰期为高值而间冰期为低值，表明中更新世以来西菲律宾海风尘输入的增加是伴随着东亚冬季风的增强和亚洲大陆干旱程度的增加。频谱分析进一步揭示出过去一百万年以来高纬度冰盖变化、东亚冬季风强度和西菲律宾海风尘输入通量在偏心率（100 ka）、斜率（41 ka）和岁差（23 ka）上的紧密联系。

S5-P-17S

菲律宾 Pinatubo 火山灰沉积的化学风化作用及蒙脱石形成机制探讨

王文广[1]，刘志飞[1]，李夏晶[1]，Fernando Siringan[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 Marine Science Institute, University of the Philippines, Quezon City 1101, Philippines

wwg-abner@163.com

火山灰沉积的化学风化作用可以有效地用于理解火山岩在地球表面发生的矿物岩石学变化和地球化学动力学过程，其风化产物为研究陆地和海洋环境的化学风化状态和矿物的形成机制提供了第一手材料。东南亚地区由于构造活跃，气候湿热，降雨充足，成为全球剥蚀速率最大的地区，成为研究化学风化作用及其控制因素的理想场所。本项研究调查了菲律宾吕宋岛 Pinatubo 火山口的风化剖面（2010 年 11 月从菲律宾野外采集）和南海东部的海底沉积物柱状样（德国考察船“太阳号”在 1995 年采集），通过分析该火山沉积物的粘土矿物组合和主要元素地球化学组成，探究喷发的火山灰近二十年来在陆地和海洋环境中的化学风化行为及蒙脱石的形成机制，主要获得了以下几点认识：（1）菲律宾现代火山灰沉积物的粘土矿物组合几乎全是蒙脱石（平均含 99%），不含伊利石、绿泥石和高岭石。（2）喷发的火山灰和火山质玻璃在湿热气候条件下（水的参与）可快速风化（几十年尺度）形成高结晶度的蒙脱石矿物。（3）火山灰快速风化的过程中首先伴随的是活动性元素 Ca^{2+} 、Na^{+}和 K^{+}的淋失，而 Fe、Mg、Ti、Mn 等元素在火山灰中相对富集。（4）造成菲律宾火山灰沉积能够快速风化形成蒙脱石的主要原因，是该地区中-基性火山灰和玻璃质凝灰岩的岩性特征，盛行的亚热带东亚季风气候加速了风化过程。

S5-P-18

上新世古降水重建及其对东亚夏季风演化的指示

吴海斌[1]，郭正堂[1]，于严严[1]，葛俊逸[1]，彭淑贞[2]

1 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

2 山东泰山学院旅游与资源环境系

Haibin-wu@mail.iggcas.ac.cn

上新世是全球和东亚季风环境发生重大变革的时期。一些学者认为青藏高原隆升是导致东亚冬、夏季风增强的原因，然而另一些学者认为，该时段季风变化可能与北极冰盖急剧增长有关。东亚季风系统在这一时段的重大转变，究竟是构造还是气候变化的产物，抑或是二者叠加产生的环境效应，是需要进一步探讨的重要科学问题。而解决问题的关键是，准确重建东亚冬、夏季风演化历史，通过与大气动力模式理论研究结果的对比分析，获取东亚季风环境变化的可能机制。

我国北方新近纪风尘堆积对研究上述问题有独特优势，国内外学者基于黄土高原的红粘土记录，在东亚季风演化研究上已取得重要的进展。但由于红粘土记录的沉积学特征在上新世发生重大变化，加之环境磁学（如磁化率）、地球化学（如游离铁/全铁）等夏季风替代指标存在多解性，从而导致对夏季风演化及其机制认识还存在很大的分歧。近年来，随着对环境具有明确气候指示意义生物指标的应用、以及气候定量化重建方法的发展，为准确获取东亚夏季风环境演化历史提供了关键的新证据。

本研究通过对黄土高原典型西峰剖面上新世风尘堆积序列的孢粉和成壤碳酸盐碳同位素综合研究，利用新一代植被反演模型（IVM2.0），反演植被演化和碳同位素分馏过程，进而定量化重建该时段气候演化历史。结果表明，在 5Ma 前，年降水量要比现在的高约 100-300mm；之后，降水量减少；4-2.4Ma，年降水量比现在低约 100-200mm。降水的季节性变化进一步指示，年降水量变化主要归因于夏季降水的减少。结果揭示，上新世东亚夏季风强度在减弱。结合大气动力模式对青藏高原不同隆升幅度对东亚季风环流影响的理论模拟结果，我们研究表明，上新世东亚季风环流变化可能并非是青藏高原隆升及

其环境效应所导致，而更多与全球温度和海面降低、特别是北半球冰盖对低纬季风过程的反馈作用有关。

S5-P-19

西宁地区始新世/渐新世过渡期粘土矿物组合变化及其环境意义

张春霞，郭正堂

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

cxzhang@mail.iggcas.ac.cn

始新世-渐新世之交(EOT)，全球气候急剧变冷，由“温室期”进入了“冰室期”，是新生代以来重大气候事件之一。当时南极冰盖大规模扩张，有证据显示大气 CO2 浓度降低、海平面下降，一些地区的生态系统也发生了显著变化。深海记录研究表明，这一转变过程的持续时间约为 40 万年，伴有两步或三步的阶段性变冷。东亚环境对 EOT 全球变冷的响应仍是有待于系统研究的一个问题。已有证据表明，EOT 变冷事件可能导致了亚洲内陆干旱化，并可能与 EOT 的第一步变冷相关。然而，有关东亚环境在该时期的变化证据，仍需要深入研究。

本文以西宁地区塔山剖面晚始新世-早渐新世陆相旋回地层中的红色泥岩层为研究对象，对 52 个样品开展了详细的粘土矿物与环境磁学研究，以磁性地层年代学时间标尺为基础，探讨晚始新世该区的环境特征及始新世/渐新世过渡期气候环境变化的过程和特征。

粘土矿物的半定量分析结果表明，在 34.7-32.4Ma 期间，研究区红色泥岩层中的粘土矿物组成基本一致，主要以伊利石为主，其次为绿泥石、蒙皂石以及少量的混层矿物；该区大部分伊利石的 10Å 峰半宽高(FWHM)值均小于 0.5 指示伊利石结晶度较好，衍射峰 d(001)位置在 9.98-10.10 之间，且 5/10Å 峰面积比在 0.15-0.4 之间，指示该区为富 Al 伊利石和富 Fe-Mg 伊利石的过渡类型。环境磁学参数显示，研究区该时段内红色泥岩层中磁性矿物以赤铁矿占主导。

根据粘土矿物的相对含量，红色泥岩层中粘土矿物组合可划分为两个主要组合带:~34.7~33.9 Ma 期间， 伊利石含量变化幅度较大，为 60~82%，绿泥石含量在 8~13%范围内，蒙皂石含量在 10~30%范围内；~33.9~32.4Ma 期间，伊利石含量变化幅度显著较小，为 75~85%，绿泥石含量显著增加，为 12-14%，而蒙皂石含量显著减小，其含量均小于 10%。上述粘土矿物含量组合特征表明，在始新世和渐新世转换之前，即~34.7~33.9Ma 期间，伊利石和绿泥石含量减少，蒙皂石含量显著增多，且该期间发育有大量的与红色泥岩层形成互层的石膏层(约 10 层)，指示该期间气候可能呈现干旱与暖湿交替现象；而~33.8~33.3Ma 期间（即 EOT 后），粘土矿物含量组合发生小幅变化，尤其是蒙脱石含量在 3~10%范围内呈现锯齿状降低和增高特征，石膏互层厚度变小且在~33.2Ma~32.7Ma 期间消失，指示该期间气候可能依然存在干旱和暖湿交替，但主要以干旱为主；~32.7Ma 以后，粘土矿物含量组合变化不大，指示该期间气候变化不大。从总体上看，晚始新世时期中国西北部气候具有明显干旱和暖湿交替特征，随着始新世-渐新世过渡期的全球气候变冷，中国西部气候显著干旱化。

S5-P-20

中纬度亚洲气候变化的“西风模态”及其可能机制

陈发虎[1*]，陈建徽[1]，安成邦[1]，黄小忠[1]，赵艳[1]，靳立亚[1]，张家武[1]，黄伟[1]，冯松[1,2]

1 兰州大学西部环境教育部重点实验室
2 内布拉斯加大学（林肯分校）自然资源学院
* fhchen@lzu.edu.cn

气候变化的空间分异是认识其规律和理解其机制的重要途径。中纬度亚洲地区存在主要受季风环流影响的东-南部湿润地区（简称季风区）和主要受西风环流控制的内陆干旱区（包括青藏高原北部高寒干旱区，简称西风区）。近年来，我们主要利用湖泊沉积在西风区若干关键位置开展了不同时间尺度的气候环境变化研究，进一步总结前人资料开展气候变化时空格局综合集成，并结合气候数值模拟手段理解其机理，获得如下发现：（1）在全新世千年尺度上，西风区在中-晚全新世气候湿润，与亚洲季风在早-中全新世强盛的格局显著不同。气候模拟结果显示，西风区在早全新世的干旱气候可能与当时西风强度较弱以及上风向海洋和湖泊蒸发减少有关。（2）在过去千年的数百年尺度上，西风区表现出中世纪暖期干旱而小冰期湿润的变化特征，与季风区的代用资料和气候模拟指示的降水变化存在“反位相”关系。该时空格局可能主要受 ENSO 控制，并与 AMO 和 NAO 有关。（3）在近百年的年代际尺度上，西风区降水增加而季风控制的华北地区降水减少；前者可能与 NAO 等因素导致的西风路径和强度变化有关。不仅如此，在分属西风和季风影响区的青藏高原北部和南部，年代际－百年尺度上降水变化也表现出反相位关系。据此我们提出，亚洲中部西风带控制区在现代间冰期从数千年到年代际的不同时间尺度上均存在不同于季风区的降水（湿度）变化模式，称之为现代间冰期气候变化的“西风模态”。

S5-P-21

中世纪暖期和小冰期亚洲大陆水文气候变化:空间格局和可能机制

陈建徽[1]，陈发虎[1*]，冯松[1,2]，黄伟[1]，刘建宝[1]，周爱锋[1]

1 兰州大学西部环境教育部重点实验室，兰州 730000，中国
2 内布拉斯加大学（林肯分校）自然资源学院，林肯 NE 68588，美国
*fhchen@lzu.edu.cn

认识诸如中世纪暖期（MWP, 1000-1300 AD）和小冰期（LIA, 1400-1900 AD）等关键时段的水文气候变化，对理解由温室气体导致的全球增温背景下降水量的区域响应具有重要意义。本研究集成了亚洲地区包括新近发表资料在内的过去 1000 年多载体降水/湿度代用记录，其中 30 条来自受西风控制的亚洲内陆干旱区，31 条来自受季风控制的亚洲东部和南部。结果显示了 MWP 和 LIA 时期清晰的干湿变化的空间格局：（1）在 30°N 以北的中纬度亚洲，MWP 时华北地区总体湿润，而包括西北干旱区和中亚在内的亚洲内陆干旱区处于干旱状态，其分界大约与现代夏季风边界线一致；LIA 时状况基本相反，华北地区干旱而亚洲内陆干旱区相对湿润，称之为湿度变化的“东—西向模态”。（2）不仅如此，在 105°E 以东的亚洲季风区内部，还存在湿度变化的“南—北向模态”，MWP 时华北偏湿而南方偏干，LIA 时华北偏干而南方偏湿，其分界大约沿淮河一线。上述空间分异在过去 50 年的器测资料分析中也有清晰的显示。

为了理解 MWP 和 LIA 湿度变化空间格局的可能机制，我们针对影响亚洲降水/湿度变化的主要海洋和大气模态（例如 ENSO、

AMO 和 NAO）进行了探讨。根据 1900-2008 AD 亚洲年降水的 EOF 分析结果，结合过去 1000 年热带太平洋的 SST 代用记录，指示出 MWP（LIA）期间，东赤道太平洋的低温（高温）和西赤道太平洋的高温（低温）可能在形成亚洲地区数百年尺度上湿度变化空间模态方面起到了关键作用。此外，不能排除 AMO 和 NAO 对于上述水文气候空间格局的贡献。

S5-P-22S

末次冰消期南海深部水的来源及流通状况

万随，翦知湣，金海燕

同济大学海洋地质国家重点实验室

wansuiyouwei@163.com

末次冰消期，地球气候迅速从典型的冰期过渡至温暖的全新世，期间发生了明显的快速气候变化事件（如 H1; B/A; YD 事件），这与大气 CO_2 浓度及大洋环流的变化密切相关（Shakun *et al.*, 2012）。期间大气 CO_2 含量明显增加主要发生在冷阶（H1；YD），且伴随着大气$\Delta^{14}C$ 的锐减，其原因可能是由于大洋深部洋流的变化，使冰期储存在南大洋深部 ^{14}C 严重亏损的“老碳”水的上涌释放所造成（Broecker and Barker, 2007; EPSL）。因此，大洋深部洋流的垂向流通状况，尤其是在末次冰消期备受关注。

南海现代观测表明，在巴士海峡的两侧，中层海水流出南海，深层海水从西太平洋进入南海，逆时针方向运行，发生强烈通风效应（Qu et al., 2006）。而现代输入南海深层的西太平洋深层水主要源自“南源”的上部环南极深层水（UCDW）（Kawabe and Fujio, 2010）。本次研究采用南海高分辨率柱状样北部 MD05-2904（2066m）及南部 MD05-2896（1657m） 的样品中底栖（混合种）与浮游有孔虫（*G. ruber*）的 AMS ^{14}C 年龄差来探讨末次冰消期以来南海深层水的年龄变化，发现全新世南海北部深层水年龄平均为~1700 年，而冰消期（平均~800 年）深层水年龄明显变轻。与此不同，南海南部全新世深层水年龄平均为~1300 年，较北部的年轻；冰消期深层水年龄平均~1800 年，较北部的更老。全新世南海南部深层水年龄较北部较轻，反映出深层水向南运移过程中，存在强烈的垂向混合作用及通风效应。而冰消期时，从巴士海峡进入南海的深层水年龄变年轻，可能反映了水团来源的变化，即存在更高比例的运输距离短的年轻“北源”北太平洋深层水（NPDW）的输入。Sarnthein（2011）总结全球大洋深层水$\Delta^{14}C$，认为在末次冰消期的 H1 及 B/A 时期生成年轻的北太平洋深层水。这一观点同样得到来自北太平洋表层记录及气候模拟的支持（Okazaki et al., 2010）。冰消期南海南部较北部深层水年龄老，表明南海海盆内，深层水的通风作用得以减弱。与东太平洋（Marchitto et al., 2007; Nature）、北大西洋（McManus et al., 2004; Basak et al., 2010）以及阿拉伯海（Bryan et al., 2010）的深部水变化记录相比较，发现末次冰消期（包括 H1 和 YD 事件）无论是南海北部还是南部，深层水的年龄显然没有受到南大洋“老碳”水团的影响。说明末次冰消期“神秘时期 Mystery Interval”（17.5-14.5ka BP）来自南大洋“老碳”水的影响范围并不是想象的那么大，并未拓展到西太平洋和南海深层（Broecker et al., 2008; EPSL）。因此，末次冰消期南海深层水的来源可能发生变化，与现代的“南源”UCDW 输入为主不同，被年轻的运移距离短的 NPDW 所替代；并且这一时期南海海盆内深部水流通状况较全新世变差。

S5-P-23S

泰国中部河流表层沉积物的粘土矿物和元素地球化学记录

王宇辰[1]*，刘志飞[1]，Penjai Sompongchaiyakul[2]，李艳丽[1]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok10330, Thailand

* wang_yu_chen@126.com

地球表面碎屑沉积物起源于陆源区母岩的风化作用，包括以水解作用为主的化学风化和以机械剥蚀为主的物理风化。本文选取位于东南亚热带地区的泰国，分析其主要河流表层沉积物（22 个样品）的粘土矿物组合和主要元素组成，以期对热带地区化学风化产物及风化的控制因素有更加深入的认识。

分析结果显示，在泰国中部疏松的第四纪沉积物覆盖区域，河流表层沉积物的粘土矿物组合以蒙脱石（平均 52%）为主,其次为高岭石（平均 28%），伊利石（平均 13%），基本不含绿泥石（平均 8%）。西部变质岩山区伊利石（平均 33%）和高岭石（平均 31%）含量逐渐增高，蒙脱石含量减少（平均 30%），基本不含绿泥石（平均 6%）。而在泰国北部，粘土矿物组合主要以高岭石（平均 46%）和伊利石（平均 23%）为主，其次为绿泥石（平均 16%）和蒙脱石（平均 15%）。东北部火山岩富集区则是以蒙脱石（平均 84%）和高岭石（平均 11%）为主，两者的平均含量之和高达 95%,几乎不含绿泥石和伊利石。东南部山区主要为花岗岩和火山岩，粘土矿物组合以高岭石(平均 36%)和蒙脱石(平均 36%)为主，其次为绿泥石(平均 21%)，基本不含伊利石(平均 7%)。全岩和粘土粒级的主要元素地球化学分析结果显示，泰国主要河流表层沉积物全岩和粘土粒级颗粒的主要元素组成以 SiO_2,Al_2O_3,Fe_2O_3 为主，三者总和均在 90%以上。通过全岩和粘土粒级主要元素的数据对比，可发现粘土粒级颗粒中 Al_2O_3 含量比全岩高，而 SiO_2,Na_2O 的含量比全岩低，同时 SiO_2,Na_2O 与 Al_2O_3 有较好的负相关性，表明随着粘土矿物的形成，富含 Si 的矿物颗粒及易淋失的碱土元素 Na 逐渐减少，而 Al 则在风化产物里留存并富集起来。样品的化学风化指数（CIA）均在 80 以上，呈现了整个研究区域内强烈的化学风化状态，同时粘土粒级颗粒的 CIA 值比全岩大，表明其经历了比全岩更为强烈的化学风化作用。

研究认为，尽管区域内风化产物的粘土矿物组合不尽相同，但由于热带地区温暖潮湿的气候条件，使得整个研究区域呈现强烈的化学风化作用，因此热带地区气温和降雨是控制化学风化作用的主要因素。同时，母岩性质、构造活动等也是形成研究区域内不同粘土矿物组合的重要控制因素，基性火山岩极易通过快速的风化作用形成蒙脱石，富含碱土元素的中酸性母岩在稳定的构造活动下则更易风化为高岭石，而活跃的构造背景以及热带地区强降雨所造成的强烈的机械剥蚀作用，使得西部和东南部山区含有较高含量的伊利石和绿泥石。

S5-P-24

赤道太平洋东-西向不对称结构的形成及对全球气候的影响

金海燕，翦知湣，成鑫荣

同济大学 海洋地质国家重点实验室

jinhy@tongji.edu.cn

自气候演变的“双重驱动”假说（汪品先，2001）提出以来，低纬热带海区在全球气候系统中的关键作用已经得到广泛的认可。

特别是在赤道太平洋海区，西边的西太平洋暖池和东边的“冷舌”构成了赤道太平洋表层水温西高东低、温跃层西深东浅的不对称格局。这种格局一旦发生变动，将会引起厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）等与人类生活密切相关的气候异常现象，并通过三大环流和亚洲季风将气候信号传输到中高纬海区，进而影响全球气候系统。因此，赤道太平洋这种不对称格局的形成时间和原因成为近年来热带海区古海洋与古气候学研究的热点。

本次工作选择西太平洋暖池核心区的ODP 807 站岩芯为研究材料，通过对沉积物中浮游有孔虫表层水种、次表层水种的氧、碳稳定同位素分析，并与赤道东太平洋 ODP 851 站的相关记录进行比较，发现在早更新世 1.6~1.4 Ma 时，赤道东、西太平洋表层水和次表层水的氧同位素都发生明显的分异，证实了赤道太平洋的不对称格局在当时最终形成。其中，次表层水的氧同位素东-西向梯度变化大于表层水的，说明赤道东、西太平洋这种不对称格局的形成应该与东太平洋温跃层变浅、次表层水显著降温关系更为密切。~1.6 Ma 之后，赤道太平洋表层水和次表层水的碳同位素差异明显变小，且其偏心率长周期也从 400 ka 变为~500 ka，反映了大洋碳储库的改组，这种现象在南沙海区 ODP 1143 站碳同位素的变化中也有反映，被称为碳同位素偏心率长周期的“节律失调”（Wang et al., 2010）。究其原因可能与这一时期南大洋中层水和深层水的化学分隔（chemical divide）形成，造成高纬海区深部水的重组，从而加剧对热带太平洋（特别是次表层海水）的影响有关，也进一步说明了热带海洋系统可以在全球气候变化中起重要作用。

S5-P-25

西沙石岛更新世风成碳酸盐岩沉积成岩特征及其古气候意义

赵强

国家海洋局第一海洋研究所

zq-hys@163.com

更新世风成碳酸盐岩在全球各地的陆地边缘和岛屿上广泛分布，绝大多数位于气候相对干旱的副热带高气压带控制的地中海气候区和热带草原气候区，并且大多数风成碳酸盐岩形成于海平面高位期。砂丘表面植被的迅速拓殖会阻断砂丘的加积和进积过程，并最终在砂丘表面形成富含根管石、蜗牛化石及灰质壳的古土壤层，成为分隔风成碳酸盐沉积单元的一级界面。西沙石岛的更新世风成碳酸盐岩发育于热带海洋季风气候背景下，是少数热带季风气候区的实例之一，并且是南海更新世风成碳酸盐沉积的孤例。石岛风成碳酸盐沉积单元被四期化石古土壤分为五期，砂丘单元主要受东北季风的驱动，整体向西南方向进积，发育各类典型的大型风成层理构造，是记录晚更新世古气候及东亚季风变化的良好载体。石岛风成碳酸盐岩已全部成岩固结，部分没于水下经历了浅埋藏阶段，但大部分仍暴露于地表，仍处于西方学者所说的早期成岩阶段。石岛风成碳酸盐岩的成岩固结主要在大气淡水作用下完成，普遍胶结不够致密，以渗流带成岩作用为主，蒸发成岩作用可能在初始固结中起主要作用，潜流带成岩作用相对较弱。岛屿周围受海水作用的影响而胶结致密，灰质壳与根管石的形成可能有（微）生物作用的影响。由于成岩作用的影响，年轻的胶结物混入岩石中会使测试年龄偏轻，从而造成石岛风成沉积地层测试年龄“上老下新”或无序分布的特点。

至今仍未获取石岛风成碳酸盐岩准确的形成时代，难以区分其形成于末次冰期还是末次间冰期。偏轻的测年结果显示石岛风成碳酸盐岩形成于末次间冰期，但是石岛风成沉积如今的海拔位置表明其应是在海平面比现今略低的高位期形成，因而更可能于末次间冰期形成。海平面变化以及东亚季风在石岛更新世风成碳酸盐岩形成中扮演了什么样的角色，古代礁相地层中是否有类似沉积都有待深入研究。作为东亚季风的直接产物，石岛风成碳酸盐岩与南海柱样的结合，更能准确揭示东亚季风在南海的变化特征。石岛风成沉积砂丘与古土壤的二元结构与黄土与古土壤的二元结构异曲同工，二则分处东亚季风南、北两端，其对比研究更能从整体上揭示东亚季风区域上的变化。

S5-P-26

基于年层石笋生长速率定量重建的我国中部地区近百年温度变化

谭亮成[1]，易亮[2]，蔡演军[1]，沈川洲[3]，程海[4,5]

1 黄土与第四纪地质国家重点实验室，中国科学院地球环境研究所

2 中国科学院地质与地球物理研究所

3 台湾大学地质科学系

4 西安交通大学全球变化研究院

5 Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis

tlch1209@163.com

全球变暖对生态系统、社会经济乃至人类生存和发展的威胁已经引起了各国政府和公众的广泛关注。对于当前变暖过程和机制的深入理解不仅是很重要的科学问题，还能为社会的可持续发展提供有效建议。这里我们利用秦岭南坡祥龙洞一支年层石笋的生长速率变化，通过建立转换方程，定量重建了当地公元 1912-2006 年上年 9 月到当年 5 月的温度变化，重建方程的方差解释量为 44%。重建结果和秦岭东段伏牛山树轮宽度重建的冬半年温度变化非常一致，显示我国中部地区近百年温度的上升趋势，增温在最近 30 年尤其明显。研究还揭示近百年我国中部地区温度和北半球以及全球平均温度同步变化，但也存在其区域特征。我国中部地区在 20 世纪 80 年代到 90 年代早期存在一次变冷事件，打断了自 60 年代以来的增温。这显著有别于全国平均温度、北半球以及全球平均温度的变化。

S5-P-27

季风变化及火山喷发事件的新指标:月分辨率的珊瑚骨骼稀土族元素组成

吴忠哲[1]，刘羿[2]，沈川洲[1*]

1 台湾大学地质科学系

2 中国科学技术大学地球和空间科学学院

*river@ntu.edu.tw

Coral records of rare earth elements (REEs) have been analyzed as geochemical tracers in diverse field Earth sciences research. In this study, monthly coral skeletal REEs of two corals collected from different regions were applied to monsoon dynamics and volcano eruption. One living *Porites* coral, STI-1, with a hiatus at 14.7 cm from the top, was collected from the Son Tra Island (STI) (16°12’N, 108°11’E), in the western South China Sea (SCS) off central Vietnam; another *Porites* coral core, WZI-1, 20 cm in length and 5 cm in diameter, with a growth rate of 7-8 mm/year, was drilled offshore of Weizhou Island (WZI) (21°01’N, 109°04’E) in the northern SCS. Different features are expressed

in the REE abundance patterns of the two corals. (1) The REE spider diagrams of STI-1 coral suggest the regional coral mortality was caused by volcanic ash fallout after the eruption of Mount Pinatubo on June 15, 1991. (2) High skeletal REE levels observed in the dry winter/early spring season for the WZI-1 coral, indicates a good proxy of aeolian dust transported by winter East Asia monsoon. The examples described here demonstrate the great potential of high-precision monthly coral REEs as proxies for regional climate and environment changes

S5-P-28

海洋环境中陆源与热液蚀变粘土成因的稀土元素地球化学判别

杨守业，王权

同济大学海洋地质国家重点实验室
syyang@tongji.edu.cn

粘土矿物被广泛运用于海洋沉积物物源判别和古气候环境重建，但对海洋环境中粘土成因的地球化学研究比较薄弱，限制了对粘土矿物示踪意义的深入认识。东海作为陆源物质主导的西太平洋特征边缘海，河海相互作用强烈。其中，冲绳海槽地区火山—热液活动强烈，因此海槽区粘土除来自陆源（主要是河流和大气粉尘）输入外，海底火山和热液蚀变成因粘土也可能占较大比例，但迄今对这些不同成因粘土的矿物学与地球化学研究很薄弱，难以揭示其不同的环境指示意义。

我们选择长江、台湾河流、东海陆架、冲绳海槽地区的两个钻孔沉积物，提取粘土粒级组份，开展系统的矿物学与地球化学研究，以揭示热液和陆源成因粘土的沉积地球化学特征。其中，海槽中部热液口附近及补给区的 13 孔和 17 孔沉积物来自 IODP331 航次。

冲绳海槽中部热液区附近的粘土稀土元素组成与河流、陆架及热液补给区的粘土完全不同，表现出强烈的轻、中、重稀土分异和较强的 Eu 异常，指示热液蚀变成因。而河流、陆架及热液补给区粘土的稀土组成上无明显分异和异常，具有典型的陆源碎屑粘土组成特征。

采用 1N HCl 来淋滤沉积物样品，可以发现钻孔不同部位的热液蚀变粘土提取出的清液组分中稀土元素组成也不同，可能指示了热液流体组成的差异。13 孔上部粘土样品清液组分中轻、中稀土明显富集，Eu 元素表现出一定的负异常；13 孔下部粘土样品清液组分中稀土配分模式比较平坦，只表现出轻微的重稀土富集，Eu 元素负异常较强。本研究揭示出，稀土元素可以较好地揭示出边缘海环境中不同成因的粘土，从而更深入地理解海区粘土成因特征。

S5-P-29S

瓯江三角洲南翼晚第四纪孢粉、藻类记录及其古环境意义

张梦莹，范代读，尚帅，吴国瑄

同济大学海洋地质国家重点实验室
zhangmengying911@163.com

瓯江是位于浙江南部的一条山溪性强潮河流，受季风降雨影响显著。晚第四纪河口海岸环境变化显著，已有诸多研究，但大多缺乏准确的测年资料。本文通过对瓯江口南翼平原 YQ0902 孔的精确 AMS^{14}C 测年，建立了晚第四纪以来尤其是全新世高分辨率的地层年龄框架，为该地区高分辨率古气候古环境研究提供了良好的材料。研究结果表明，瓯江口南翼平原晚第四纪以来古环境演变可

以分为以下几个阶段。50~35 cal ka BP 气候温凉偏干，海平面处在低于现今海平面 40~50 m 的位置；35 cal ka BP 至 MIS3 结束为气候的温暖湿润期，海平面相对稳定或略有所下降；整个阶段该地区都处在河湖相的沉积环境中。从 MIS 2 开始至全新世早期 8.5 cal ka BP 气候寒冷干燥；海平面在 MIS 2 期间急剧下降后至全新世早期海平面又迅速回升，并于 8.5 cal ka BP 前后再次淹没本区之前，研究区大部分可能长期出露处于成土阶段。8.5~6.5 cal ka BP 气候暖热潮湿，相当于全新世大暖期；海平面亦在此达到最高水平，推测其高度可达到与现今海平面相近或略高于现今海平面的位置，此时研究区属于浅海的沉积环境。6.5~3.7 cal ka BP 为大暖期过后温凉偏干的气候；海平面相对保持稳定，在河流来沙的填充淤积下海岸线不断向海推进；沉积环境也从浅海逐渐演化为潮下带再过渡为潮间带。在 3.7~2.0 cal ka BP 期间气候转为温暖潮湿，可能由于夏季风浪增强，在潮间带开始发育本区的第二道贝壳砂堤。2.0 cal ka BP 之后随着砂坝堆积淤高，在其后缘形成滨岸泻湖环境，随着海岸继续前展和人类开始在砂坝上筑居耕作，泻湖进一步淤浅并最终成陆。此外还发现该地区全新世季风强度减弱的年限为 6.5 cal ka BP，支持了中高纬地区季风强度减弱的时间晚于低纬地区这一观点。根据孢粉记录所反映出的 6.9~7.3 cal ka BP、5.0~5.5 cal ka BP 两个百年尺度的降温事件，与具有全球性的两次次事件或强降温事件的发生时间（7.3 cal ka BP 和 5.5 cal ka BP）均有良好的对应关系。

S5-P-30

利用有孔虫壳体 B/Ca 比值再造古海水 pH 值及[CO_3^{2-}]的潜力

乔培军，王婷婷，翦知湣

同济大学海洋地质国家重点实验室

qiaopeijun@tongji.edu.cn

有孔虫壳体 B/Ca 比值是一个极具潜力并且受到大家广泛关注的古海洋学方法，适用于恢复古海水 pH 值及[CO_3^{2-}]。对于表层水，在一定条件下可以再造大气 CO_2 浓度；对于深层水，可以指示洋流变化及水团变迁。且与硼同位素方法相比较，B/Ca 比值分析更简易、稳定性更好，受溶解及沉积埋藏作用影响小，因而更适合于高分辨率的古海洋学分析。但是，由于该分析方法较新，与之相关的有孔虫吸收 B 元素的生物过程不是很清楚，采用 B/Ca 比值恢复 pH 值及[CO_3^{2-}]的机制也不是很了解，方法的建立主要基于经验公式基础之上，因而为该方法寻找理论基础是今后研究的一个重要方向。

S5-P-31S

固相萃取-离子色谱法测定土壤中的 F^-，Cl^-，NO^-_2，Br^-，NO^-_3，HPO_4^{2-}，SO^{2-}_4

郑良烁，陈晔

南京师范大学地理科学学院

iso2008beijing@163.com

本文介绍了固相萃取-离子色谱-抑制型电导检测方法快速测定土壤中常见的 F^-,Cl^-,NO^-_2,Br-,NO^-_3,HPO_4^{2-},SO^{2-}_4，以及样品前处理方法。通过一定的前处理后，减少杂质离子的干扰和对色谱柱的污染。以及通过优化色谱条件，可以快速、准确的测定土壤样品中阴离子的含量。

本文土样前处理振荡与超声浸提相结合，可溶性阴离子提取效果更佳。提取液离心后取上清液，分别用 0.45μm 的滤膜、Onguard RP 柱和 Onguard H 柱过滤上清液，弃去前面的 3ml 滤液，收集后面的滤液，直接进离子

色谱测定。在 AS11-HC 色谱柱等度条件下能够对七种常见的阴离子标准品进行很好分离，但是在实际土壤样品中不能将目标阴离子和杂质离子分开，尤其是保留比较弱的酸，而改用 KOH 梯度淋洗液后能够对土壤溶液中的阴离子进行很好的分离，同时该梯度能够进行大部分有机酸的分离，因此在遇到比较复杂的土壤样品时，可利用 KOH 梯度淋洗液发生器的优势，优化梯度条件，使样品中的离子得到最佳分离效果。在最佳色谱条件下以峰面积和峰高对阴离子浓度（mg/L）绘制标准曲线，浓度与峰面积的相关系数均大于 0.9995，结果表明线性较好。在 25μL 进样量的前提下，计算出最低检测限 0.0016、0.0032、0.0047、0.0074、0.0071、0.0015、0.0086mg/L，土壤样品中各离子的相对标准偏差为：0.8%~4.08%，加标回收率为：88.9%~102.8%。,该方法快速（7 种离子全部出峰总时间在 16min 以内,达到快速精确测定）、样品前处理简单、精密度高，检出限低、重现性好，测定结果可靠。

S5-P-32

大气污染系统演化的尺度特征、多重分形与自组织临界机制

史凯

吉首大学资环学院

einboplure@163.com

应用消除趋势波动分析法、功率谱、多重分形等非线性方法研究了典型城市大气中 PM_{10}、SO_2 和 NO_2 三项污染物浓度时间序列的尺度特征。研究发现，污染物时间演化动态具有典型的非平衡态耗散结构和非线性特征，在一定的时间尺度上主要表现为长期记忆性、1/*f* 噪声、标度不变性、自相似性、多重分形结构等复杂的非线性规律，同时不同污染物在时间尺度上的标度不变特征及多重分形结构存在着明显的差异。这些非线性特征在空气质量预测、重污染预警与大气污染防治等方面具有重要意义。然而，至今没有一个动力模型能定量解释这些复杂非线性特征。主要困难在于污染物演化的诸多因素非常复杂多变，同时污染物时间演化的复杂非线性动力过程尚不明晰。这也就导致现有污染预测模式往往具有不确定性。为了解决这一困难，基于复杂系统的自组织临界理论，本研究推测，大气环境中，污染物将自发地向某一临界状态演化，一旦达到临界状态，将通过与外界能量和物质的交换，污染物的演化趋势将在一定时段内锁定在这个临界动力状态下，这一自组织临界(SOC)动力机制将导致大气污染物的时间演化在宏观上涌现出复杂的非线性特征。为证实该假说，本研究建立沙堆崩塌过程与大气污染系统演化的类比关系，同时基于 SOC 理论构建污染演化数值沙堆模型，以非线性关联迭代算法表征空气污染演化的能量耗散过程，从理论上阐明系统的 SOC 机制及其产生、存在条件。数值模拟结果表明，该 SOC 机制能够定量模拟实际监测数据所表现出的尺度特征和非线性规律。数值模拟还发现大气污染系统演化的一个宏观的新效应：大气环境在小型人为污染源排放的准周期、稳定驱动下， 大气污染物浓度的波动除了缓慢的准周期平稳变化之外，还可能会出现剧烈的突变，这个突变作用过程完全由系统内部的非线性作用产生，从而导致严重污染事件发生。这一新颖效应的发现，将促使人们重新考虑和调整大气污染防治工作的思路，即不能仅仅将污染防治的重心放在污染较大的大气污染源，还需要特别关注污染较小的大气污染源。本研究将从新的视角为地球系统科学的非线性与复杂性研究提供研究思路和方法。

S6-O-01

边缘海的海洋酸化

Minhan Dai, Zhimian Cao and Xianghui Guo

State Key Lab of Marine Environmental Science, Xiamen University

mdai@xmu.edu.cn

This presentation is attempting to provide an overview on the status of ocean acidification (OA) in the coastal ocean. While the ocean acidification in the surface open ocean is primarily driven by the anthropogenic CO_2, the OA in the coastal ocean is much more complex both in terms of its status and controls. The determinants of OA in the coastal ocean includes not only the anthropogenic CO_2 penetration into the seawater, but also the respiration, riverine input and coastal upwelling.

Efforts have been recently devoted to examining the coastal $CaCO_3$ saturation state

and its potential impact on the ecosystem calcification. In one case, the aragonite undersaturation state (Ω_{arag} <1.0) was reported in nearshore surface waters off the Oregon-California border, due to the upwelling of corrosive "acidified" water onto the shelf area (*Feely et al*., 2008). They propose that the upwelling processes will expose coastal aragonitic calcifiers living in the less saturated waters, which might result in the decreasing calcification rate and further exacerbate the biological impacts of ocean acidification on the coastal ecosystem. In another case, we found that all Ω_{arag} values were higher than 1.0 in nearshore upwelled waters on the northern South China Sea (NSCS) shelf, suggesting that ocean acidification currently plays a minor role in lowering the $CaCO_3$ saturation state [*Cao et al.*, 2011]. The contrasting scenarios might be related to the different "acidity" of source waters of upwelling. In the former case, offshore subsurface waters from ~150 m with Ω_{arag} <1.0 and pH_{SW} <7.75 upwell to surface nearshore. In the NSCS system, the upwelled subsurface water has a significantly higher Ω_{arag} value of ~1.9 and pH_{SW} value of ~7.95 despite also being sourced from the depth of ~150 m. Moreover, the enhanced biological consumption of dissolved inorganic carbon (DIC) gradually elevated Ω_{arag} during the transport of upwelled waters in nearshore areas of the NSCS shelf. And correlations between

salinity normalized total alkalinity (TAlk) and DIC indicated that organic carbon production rather than biocalcification exclusively induced the DIC removal.

However, we contend that with more anthropogenic CO_2 accumulation, undersaturated waters with Ω_{arag} <1.0 may be possible in this local marine ecosystem in the future. In this presentation, we are attempting to examine different scenarios with upwelling of low pH waters and its potential impact on coastal biocalcification.

Future changes in the $CaCO_3$ saturation state and corresponding ecosystem calcification rate in coastal seas may well be complex under the anthropogenic stress of ocean acidification driven by the rise of anthropogenic CO_2 and coastal upwelling.

This presentation will also examine the influence of riverine input and respiration processes on the coastal ocean acidification.

S6-O-02S

三亚珊瑚礁系统pH以及其他碳酸盐参数的短期变化:潮汐驱动下地下水输入的潜在影响

荆文萍，王桂芝，许懿，戴民汉

厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室

jwenping@stu.xmu.edu.cn

珊瑚礁生态系统具有很高的初级生产力和生物多样性，是“海洋中的热带雨林”，对气候变化和海洋酸化（pH 值降低）特别敏感。但是，珊瑚礁生态系统的 pH 及其他碳酸盐参数的变化相当复杂，受物理混合与生物活动等过程的影响，近期的研究表明海底地下水排放的影响不容小视。地下水具有高溶解无机碳 (Dissolved Inorganic Carbon, DIC)、高碱度 (Total Alkalinity, TA)、高二氧化碳分压 (partial pressure of CO_2, pCO_2) 和低 pH 的性质，其向珊瑚礁系统的排放势必会降低水体的 pH。例如：有科学家在大堡礁的研究表明，间隙水向上层水柱中释放的 H^+使得珊瑚礁的 pH 周日变化可最低降至 7.67。

本研究基于 2012 年 2 月 6 日-13 日在海南岛南端的三亚湾珊瑚礁生态系统对碳酸盐参数短期变化进行了连续观测。测定参数主要包括 pCO_2，DIC，TA，pH 和 Radium (^{224}Ra，在地下水中含量较高)等。观测区域不受地表径流的影响，受潮混合作用显著，潮汐为不规则全日潮。本研究特别关注大小潮尺度受潮汐泵驱动的地下水对珊瑚礁系统碳酸盐参数的影响，进而探讨地下水排放对珊瑚礁系统的 pH 等碳酸盐参数的影响。

我们的观测结果显示，三亚珊瑚礁区域碳酸盐参数受到明显的潮汐驱动的地下水输入的影响。小潮阶段潮汐为半日潮，盐度与 ^{224}Ra 受潮汐影响较小且 ^{224}Ra 含量较低，碳酸盐参数具有显著的周日变化。pCO_2 在 279~492 μatm 之间变化，相应的 DIC 和 TA 的变化分别是 1872~1979 μmol kg^{-1} 和 2194~2221 μmol kg^{-1}，pH 变化范围为 8.000~8.162。pCO_2 和 DIC 呈现出昼降夜升的变化，对应的最高值和最低值分别出现在 ~7:00 和~15:00，而 pH 的变化趋势则与 pCO_2 相反。这些现象表明小潮阶段地下水对碳酸盐参数影响较小，生物活动起主导作用；而大潮阶段潮汐转为全日潮，低潮时盐度从 ~33.65 骤降至~33.45，对应的 ^{224}Ra 高达 94 dpm $(100L)^{-1}$。此时也对应着碳酸盐参数的高值：pCO_2 高达 869μatm，DIC 和 TA 分别高达 2131 μmol/kg、2264 μmol/kg，pH 低至 7.721，这显示大潮阶段地下水输入对碳酸盐参数具有显著影响。

大小潮期间碳酸盐参数不同的生物地球化学行为表明，三亚珊瑚礁区域除了具有显著的生物作用外，还受到潮汐驱动的地下水输入的影响，地下水信号在大潮低潮时尤为明显，其对 pH 降低的贡献高达~70%，其余~30%为生物活动所贡献。具有低 pH 性质的地下水向珊瑚礁区域的排放造成珊瑚礁生态系统呈现短期酸化的现象，对珊瑚礁系统的健康生长具有潜在的威胁。

S6-O-03

全球海洋酸化模拟研究

曹龙

浙江大学地球科学系

longcao@zju.edu.cn

海洋是一个重要的碳汇。海洋对人类排放二氧化碳 的吸收，一方面对调节大气中的二氧化碳含量和气候变化起着重要的作用。另一方面，海洋对人类排放二氧化碳的吸收使全球海洋酸性增强，威胁海洋生态系统和人类对海洋的合理利用和开发。本人将讨论

一系列有关海洋酸化的地球系统模拟结果。主要包括：在不同二氧化碳含量下，全球海洋酸化的分布及其演变；海洋酸化和二氧化碳与气候变化的关系；海洋酸化下的珊瑚礁生存环境；以及“施铁肥法”对海洋酸化的影响等等。

S6-O-04

Past seawater pH change in the South China Sea during the mid-late Holocene

刘羿[1]，刘卫国[2]，彭子成[1]，肖应凯[3]

中国科学技术大学 地球和空间科学学院
中国科学院 地球环境研究所
中国科学院 青海盐湖研究所
gee@ustc.edu.cn

We used positive thermal ionization mass spectrometry (PTIMS) to generate high precision $\delta^{11}B$ records in Porites corals of the mid-late Holocene from the South China Sea (SCS). The $\delta^{11}B$ values of the Holocene corals vary significantly, ranging from 22.2‰ to 25.5‰. The paleo-pH records of the SCS, reconstructed from the d11B data, were not stable as previously thought but show a gradual increase from the Holocene thermal optimal and a sharp decrease to modern values. The latter is likely caused by the large amount of anthropogenic CO_2 emissions since the Industrial Revolution but variations of atmospheric pCO_2 cannot explain the pH change of the SCS before the Industrial Revolution. We suggest that variations of monsoon intensity during the mid-late Holocene may have driven the sea surface pH increase from the mid to late Holocene. Results of this study indicate that the impact of anthropogenic atmospheric CO_2 emissions may have reversed the natural pH trend in the SCS since the mid-Holocene. Such ocean pH records in the current interglacial period can help us better understand the physical and biological controls on ocean pH and possibly predict the long-term impact of climate change on future ocean acidification.

S6-O-05

南海珊瑚礁经济价值评估

王丽荣，余克服，赵焕庭，张乔民

中国科学院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所
wlrlwqyshq@yahoo.com.cn

南海的珊瑚礁面积约有 37200 km^2，占世界珊瑚礁面积的 13%，列东南亚地区第二位，主要分布在南沙群岛、西沙群岛、东沙群岛、中沙群岛、海南岛、广东、广西、台湾岛等地。南海珊瑚礁具有极高的生物多样性，其中造礁石珊瑚约有 250 种，对整个东南亚地区非常重要。有研究表明，海流将珊瑚幼虫和鱼类带到受损珊瑚礁处。因而，对南海珊瑚礁的破坏会在区域的尺度上影响珊瑚礁的健康和生物多样性。那么，南海的珊瑚礁经济价值如何，在受到人类活动干扰下珊瑚礁的经济损失情况如何？这些问题就更显迫切，它关乎到如何更好的保护和管理珊瑚礁，以及如何使珊瑚礁利用处于可持续的状态。

1 南海珊瑚礁经济价值评估

同世界其它地方的珊瑚礁一样，南海珊瑚礁也提供了众多的产品和服务，并带来极高的经济价值，如，礁区有着丰富的生物物种，提供了渔业产品和药用原材料；独特的浅海珊瑚景观吸引了众多的旅游者；珊瑚礁提供海岸线保护，防止潮流、浪和风暴的侵

蚀；高的生物多样性提供了美学、教育与科研以及宗教文化等方面的服务。

本次的经济价值估值考虑了渔业、旅游业、海岸带保护和美学及生物多样性等 4 个方面。南海珊瑚礁总的年经济价值为 13.9×10^9 美元，其中，渔业贡献了 65%的经济价值，为 9.07×10^9 美元，之后为旅游和休闲价值，为 3.54×10^9 美元。而预防侵蚀的海岸带保护价值和生物多样性及美学价值所占比例较小，分别为 0.96×10^9 美元和 0.34×10^9 美元。而如果以珊瑚礁目前状况能维持 20 年，并考虑 10%的贴现率，则南海珊瑚礁总的经济价值为 1.22×10^{11} 美元。

2 人类活动影响下南海珊瑚礁的经济损失

尽管从全球范围来看，珊瑚礁能带来巨大的经济利益，但其面临的人为和自然的压力也越来越大，尤其是那些靠近大陆和高密度人群的珊瑚礁情况更为严重，过去的几十年间，全球珊瑚礁已有超过 1/4 退化了，90%的东南亚的珊瑚礁也将在 2040 年退化。南海珊瑚礁多位于发展中国家，当地居民对珊瑚礁的依赖非常严重，在过去的 60 年间，该地区的经济快速发展，人口不断增长，对珊瑚礁环境带来巨大的压力，海岸地区的过度开发和人们对珊瑚礁资源的过度利用造成了对珊瑚礁的严重破坏，导致其面临不断退化的威胁。尽管，珊瑚礁偶尔会受到自然活动的影响，如风暴潮、天敌，但人类活动对珊瑚礁的影响则更为长期和连续，因此减少人类活动对珊瑚礁的压力是未来珊瑚礁可持续利用的重要条件。

过度捕捞和破坏性捕捞行为大规模的获取珊瑚礁鱼类，并破坏其生境，如果未来 20 年这种情况得不到改善，它将造成珊瑚礁经济价值的损失分别为 1.86×10^{11} 美元和 0.69×10^{11} 美元。而对于进入珊瑚礁区导致的沉积物污染而带来的经济的损失为 0.47×10^{11} 美元。人类过度开发对南海珊瑚礁带来的总的经济损失是巨大的，占可持续利用下总的珊瑚礁经济价值的 21.7%。

3 监控和管理

没有有效的监测与管理，南海珊瑚礁的经济和社会价值就显著的衰退。因此，正确认识珊瑚礁所面临的压力并进行时时监管，对珊瑚礁的长期监测，协调当地居民的需求和珊瑚礁资源可持续利用的关系，将使南海珊瑚礁的经济利益达到最大。

S6-O-06

海洋初级生产过程对海洋酸化的响应

Kunshan Gao (高坤山)

厦门大学海洋与地球学院

ksgao@xmu.edu.cn.

The oceans take up about one million tons of CO2 per hour on average and remove a quarter of the CO2 emitted to the atmosphere by anthropogenic activities, and therefore play a crucial role in modulating global warming. However, as more and more CO2 dissolves in the oceans, seawater acidity is increasing, leading to ocean acidification (OA). Under a fossil-fuel intensive emission scenario (A1F1), the projected atmospheric CO2 concentration of about 800–1,000 ppmv by the end of this century will cause surface-ocean acidity to increase by 100–150% (pH reduced by 0.3–0.4). Typical chemical changes associated with the ocean acidification are increased concentrations of pCO_2、H^+ and HCO_3^- and decreased concentration of CO_3^{2-} and $CaCO_3$ saturation state. More and more attentions have been paid to ecological

impacts of the progressive OA. While a tremendous number of studies on the ecological effects on OA have been carried out in laboratory under artificial low light conditions, little has been documented under the solar radiation.

Calcifying phytoplankters and coraline algae decrease their calcification rate in response to increased pCO_2 and acidity in seawater. When exposed to solar radiation, these less calcified algae receive higher amounts of UV radiation, leading to additional harms and further reduction of calcification and photosynthesis (Gao et al. 2009; Gao and Zheng 2010).

While many studies demonstrated enhanced growth or primary production of phytoplankton under future projected CO2 levels under laboratory low light conditions (see the review by Riebesell and Tortell 2011 and literatures therein). We found different responses of phytoplankton species grown under the sun to OA. When exposed to CO_2 concentrations projected for the end of this century in combination with high light intensities representative of the upper mixed layer, natural phytoplankton assemblages from the oligotrophic South China Sea responded with decreased primary production and increases in photophysiological indicators of light stress. At the same time community dominance shifted away from diatoms and towards prymnesiophytes (Gao et al. 2012). However, under reduced sunlight intensities representing a deeper mixed layer, simulated ocean acidification did not cause such reductions in primary production (Gao et al. unpublished data). To model this interactive acidification and light effect in the laboratory, Gao et al. (2012) grew representative diatom cultures at CO_2 concentrations of 390 and 1000 μatm across a range of solar radiation typically experienced by phytoplankton at different depths of the euphotic zone (5–100% of incident surface irradiance). Growth and photochemical quantum yield of the high pCO_2 cultures were positively related to light intensity at lower light levels (5–36% of incident surface irradiance), but at higher light levels these parameters were negatively related to light intensity and significantly reduced compared to the cells grown at ambient CO_2 levels (Gao et al. 2012). This reversal of the effects of ocean acidification with increasing light levels suggests that under low levels of sunlight or at deeper depths ocean acidification could stimulate diatom growth, but would be inhibitory under high solar exposures at shallower depths or at midday. Down-regulated CCMs due to increased availability of CO_2 and up-regulated energy demands due to acid-base perturbation appear to act synergistically to induce additional light stress to the cells, as evidenced by the increased non-photochemical quenching in both the diatom cultures and the natural phytoplankton assemblages from the South China Sea. Since future shoaling of upper-mixed-layer depths is expected to expose phytoplankton to increased mean light intensities, reduced marine primary production along with community structure changes seem likely in future high CO_2 oceans.

S6-O-07

酸化对珊瑚共生虫黄藻密度和光合作用效率影响的实验研究

余克服，周洁, 施祺

中国科学院南海海洋研究所

kefuyu@scsio.ac.cn

大量研究显示大气 CO_2 含量增加所导致的海洋酸化对造礁石珊瑚生长有重要的影响。本研究采用叶绿素荧光技术与珊瑚共生体虫黄藻密度的定量分析方法，通过控制实验模拟了海水酸化对鹿回头珊瑚礁区 2 种珊瑚（*Acropora valida* 和 *Galaxea astreata*）的影响，分别设置海水 pCO_2 为 450 μatm, 650 μatm（IPCC 预测的 2065 年的水平）和 750 μatm（IPCC 预测的 2100 年的水平）共 3 种环境，实验周期为 10 天。得出如下主要结论：

（1）荧光参数和虫黄藻密度分析都显示，水体 pCO_2 为 650μatm 时，珊瑚的总体光合效率与共生藻平均密度都要高于水体 pCO_2 为 450 和 750μatm 时的水平。实验期间各参数的具体变化表明，即使在平均水平最高的 650μatm，随着胁迫时间的延长，珊瑚的荧光参数、虫黄藻密度及叶绿素 a 浓度都呈现不同程度的下降趋势，说明其光合作用系统受到了影响。

（2）通过比较水体 pCO_2 为 450μatm 和 750μatm 时珊瑚荧光参数的变化，发现 pCO_2 浓度相对较低时，海水酸化作用对珊瑚的影响强于 CO_2 的施肥效应，并主导着珊瑚共生藻的变化; 而随着 pCO_2 的进一步增加，施肥效应明显增强，并与酸化作用竞争，共同对珊瑚起作用，使得珊瑚的荧光参数在实验过程不断的波动。

（3）实验过程中虽然没有见到明显的珊瑚白化现象，但 2 种珊瑚的触手在 3 种 pCO_2 浓度梯度下都随着时间的延长而出现不同程度的收缩，并且随着 pCO_2 增加的幅度增大，珊瑚响应的时间也明显缩短了，响应程度明显增强, 说明触手收缩是珊瑚虫的一种自身防御方式，而高 pCO_2 确实是珊瑚生存威胁。

S6-O-08

海洋酸化与浮游植物：过去、现在与未来

孙军

天津科技大学海洋科学与工程学院

phytoplankton@163.com

生物泵是海洋碳循环的重要组成，也是最有意义的一部分。浮游植物在生物泵过程中处于核心位置，不同的浮游植物功能群对生物泵的贡献也是不同的：硅藻在生物泵过程中起核心作用，硅藻会产生透明胞外颗粒物（Transparent Exopolymer Particles, TEP），TEP 是海洋凝聚网的核心，对海洋碳沉降过程具有至关重要作用；海洋甲藻常会在近岸发生水华，在近岸海域生物泵过程中起到重要作用，其兼性营养类型（Mixotrophic），会直接或间接影响海洋的全程食物网（End to end food web）结构，进一步影响海洋的渔业碳汇；海洋蓝藻固氮作用（Nitrogen fixation），在寡营养（Oligotrophic）海域重要的新生产力（New production）营养盐来源；海洋今生颗石藻（Living coccolithophores）通过钙化作用（Calcification）对海洋的碳循环具有双重作用，可能改变区域海洋的 CO_2 通量；海洋的超微型浮游植物（Picophytoplankton）被认为是微食物环的重要组成部分可能会形成聚集体对海洋的碳封存起可观贡献。以上这些重要的海洋浮游植物功能群对酸化的相应是不同的，本文根据多年应用 CO_2 注射法模拟过去、现在和未来不同 CO_2 分压下浮游植物功能群与酸化关系工作的积累，发现：全

球 CO_2 升高对海洋浮游植物相关氮（N）元素循环影响最大，磷（P）循环影响较弱，对硅（Si）循环影响情况不明，变幅较大，是进一步研究的重点。海洋酸化下固氮蓝藻和硅藻的谈封存过程研究是今后海洋酸化研究的重要突破方向。

S6-O-09

近 50 年来南海滨珊瑚骨骼生长变化及其对海温升高和海洋酸化的响应

施祺[1,2]，赵美霞[1,2]，陈天然[1,2]，严宏强[1,2]，张会领[1,2]，陈特固[1]，张燕英[1,3]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院边缘海地质重点实验室

3 中国科学院海南热带海洋生物实验站

shiqi@scsio.ac.cn

实验研究发现，温室气体浓度增加导致的全球气候变暖和海洋酸化对珊瑚礁有致命的危害。模拟研究认为，未来 50 年至 100 年大气 CO_2 上升和全球变暖将导致珊瑚生长显著下降，珊瑚礁礁体结构难以维持，最终将溶解消亡。珊瑚礁未来的发展趋势是否真的走向灭亡，大气 CO_2 上升和全球气候变暖是否就是珊瑚礁最后的杀手？认识过去不同时间尺度的珊瑚生长历史显得尤为重要。早期研究认为珊瑚骨骼生长与海温有正相关关系，但这些记录只截止到上世纪 80 年代或 90 年代。近年来的研究发现，近 20-30 年来多个珊瑚礁区珊瑚生长呈显著下降趋势，或与大气 CO_2 上升导致的海洋酸化有关，或与海温升高有关，又或与海温升高和海洋酸化的综合效应有关。

目前，国内有关珊瑚骨骼生长记录的研究相对较少，对南海海区珊瑚生长与海温升高和海水酸化的响应关系认识有限。我们分别分析了采自南海北部三亚湾和南海南部美济礁的多个滨珊瑚骨骼样品的生长率和钙化率，重建了 1960 年代以来南海北部和南部滨珊瑚骨骼的生长记录。结果显示，近 50 年来两个礁区滨珊瑚生长呈显著的非线性变化趋势，约 1990 年代之前滨珊瑚生长呈增长变化，1990 年代以来滨珊瑚生长呈显著下降趋势。滨珊瑚生长与大气 CO_2 不存在响应关系，其中三亚海区近 10 年的海水 pH 监测显示并不存在海水酸化的现象。但滨珊瑚生长与海温存在非线性响应关系，滨珊瑚生长最适宜的年平均温度约为 27.2℃。近 20 年来，南海北部和南部两个礁区滨珊瑚生长的下降并不是反映大气 CO2 升高和海洋酸化的影响，而是反映了海温的升高已经超出珊瑚生长的最适宜温度。未来持续性升高的海温将加剧降低南海珊瑚骨骼的生长，不利于珊瑚礁的发展。

S6-O-10

海洋酸化对鱼类神经系统影响的研究进展

宋佳坤，王晓杰*，张旭光

上海海洋大学海洋科学研究院海洋生物系统和神经科学研究所

xj-wang@shou.edu.cn

关于海洋酸化对海洋生物的影响，主要集中在对具有外骨骼或者内骨骼的海洋生物钙化的影响研究，尤其是珊瑚礁和贝类生物（Hoegh-Guldberg et al., 2007; Kleypas et al., 2006; Orr et al., 2005）。然而，对于海洋酸化对其他海洋生物，比如鱼类，的影响的研究几乎为空白，然而了解海洋酸化对鱼类行为影响，利于更好的预测海洋酸化的生态和社会效应。

目前，主要在珊瑚礁鱼类中开展了少数的海洋酸化对其感觉和行为影响的研究。并已证明如果将海洋鱼类放在含有高浓度 CO_2 水里（浓度为预计到本世纪末海洋中所能达

到的浓度），会影响海洋鱼类的感觉系统，并导致行为异常。珊瑚礁鱼类仔鱼营浮游生活，幼鱼会使用一系列感觉系统寻找、定位和辨认适宜的栖息地（Leis, 2006）。嗅觉在鱼类定居过程中发挥重要作用，但研究发现在富含 CO_2 水体中养殖的鱼类丧失了对辨别味道的能力，喜好正常情况下不喜欢的味道，比如喜欢捕食者和不适宜的栖息地的味道（Munday et al., 2009）。听觉对于珊瑚礁鱼类辨别方向、寻找栖息地和逃避敌害也发挥重要作用，鱼类的听觉系统主要是内耳，内耳中有致密的碳酸盐耳石。Checkley et al. (2009) 研究发现在鱼类发育过程中提高水体中 CO_2 浓度能够影响耳石的生长，表明海洋酸化也可能影响鱼类的听力。鱼类行为的上述改变将显著提高其死亡率，长此以往可能将会影响种群补充量、群体结构和生态功能。

然而，海洋酸化对鱼类感觉和行为影响的机制未知。推测是由于鱼体内进行酸碱调节的新平衡，从而破坏了神经/感觉信号传递。在《Nature》曾报道，高浓度 CO_2 会改变胞内外的离子流，进而逆转神经递质所发挥的功能（Nilsson et al., 2012）。GABA 是一种重要的抑制性神经递质，能使细胞膜对 Cl^- 的通透性增强，GABA-A 是脊椎动物脑内主要的神经递质受体，它能打开细胞外膜上的门控，让 Cl^- 和 HCO_3^- 进入，使细胞膜产生超极化。而海洋酸化后，海水中 CO_2 分压升高，鱼体的血液和组织中的离子浓度发生变化，从而改变了神经细胞内外的离子浓度，使得神经细胞内 Cl^- 和 HCO_3^- 离子浓度高于胞外。因此，当 GABA 能门控打开，由于细胞内外浓度差，Cl^- 和 HCO_3^- 离子将会由胞内涌出而不再是由胞外进入，从而使细胞膜产生去极化，细胞逆转了面对刺激的应有反应。因此出现了海洋酸化水体中鱼类面对捕食者的“勇敢’行为。然而，由于本研究是采用珊瑚礁鱼类的仔鱼，个体较小，很难进行细胞内机制的细致研究，只能通过添加 GABA-A 受体的拮抗剂后，观察珊瑚礁仔鱼的行为的改变。因此，海洋酸化对鱼类

感觉和行为可能产生严重的影响，但对其影响机制的研究还刚起步，需要寻找与鱼类行为密切相关，而且易于进行细胞水平操作的神经细胞进行更为深入的细胞生理和化学研究。

虽然研究中采用的 CO_2 浓度在鱼类经历数代繁衍后才能达到，但在酸化条件下对鱼类感觉或行为的损害表明，鱼类或海洋生物必将面临严峻的进化选择压力，而且海洋酸化对生物影响机制的研究必将有助于生物多样性保护和全球环境变化影响的思考。

S6-P-01

微流实验系统应用于海洋酸化研究的初步尝试

周力平[1]，卡波文森[1]，罗春雄[2]，杨薇[2]，李宁[2]，欧阳颀[2]

1 北京大学地理系，北京大学前沿交叉学科研究院海洋研究中心

2 北京大学物理学院微流与纳米技术中心，人工微结构与介观物理国家重点实验室

lpzhou@pku.edu.cn

目前海洋酸化研究一般是在四个尺度上进行，即：在实验室内使用烧杯和玻璃瓶等器皿，在外场使用养殖池、中级生态装置或特定海域进行。我们最近尝试用微流控制实验系统探索一种在微米尺度下研究海洋酸化对浮游植物影响的实验方法。这一新方法的优势是能够使我们快速、精确地控制单个或有限数量浮游植物个体附近的环境条件，以便于研究改变介质碳酸盐或营养条件时不同类型的浮游植物在细胞水平上的响应过程和机制。

S6-P-02S

南海南部海域海洋酸化及其对珊瑚礁的影响

张远辉，陈立奇，贺仕昌*

国家海洋局海洋大气化学与全球变化重点实验室，国家海洋局第三海洋研究所

*hscedu@126.com

利用南海南部的碳酸盐化学调查资料，以及碳酸盐的热力学计算模式，定量评估了未来大气 CO_2 增加对表层海水 pH、$CaCO_3$ 饱和度的潜在影响；利用 $CaCO_3$ 饱和度与珊瑚钙化速率的经验关系式，进一步预测了珊瑚礁对大气 CO_2 上升可能产生的生物地球化学响应。结果显示，从工业革命前至 2002 年，南海南部表层海水 pH 从 8.18 下降到 8.08，$CaCO_3$ 饱和度下降 16%左右；到 2100 年，南海南部表层海水 pH 将进一步下降至 7.86，$CaCO_3$ 饱和度将累计下降 43%左右，从而将引起珊瑚礁的平均钙化速率减少 33%。如果未来大气 CO_2 浓度继续保持目前的上升趋势，南海南部珊瑚礁可能会停止生长，甚至某些造礁生物面临灭绝的危险。

S6-P-03

南海北部相对高纬度珊瑚的动态过程与生长率变化

陈天然，余克服，施祺

中国科学院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所

chentianran2008@gmail.com

在气候变暖的背景下，水温上升、ENSO 事件导致热带海域珊瑚礁白化、死亡、珊瑚生长率下降等负面报道越来越多。与低纬度的同类们相比，相对高纬度珊瑚群落由于生长在水温较低的海域，而被提出有可能成为珊瑚物种的“避难所”，这种理论似乎从近来观察到的“相对高纬度珊瑚栖息地随气候变暖进一步向更高纬度迁移”现象上被进一步证实，然而相对高纬度珊瑚群落生长于“边缘”的环境中，受人类活动、气候波动等的影响程度要远高于低纬度的珊瑚礁，因此高纬度珊瑚的未来仍然是未知的，能否成为“避难所”更加不确定，需要更多的观测，然而相关研究却十分缺乏。

本文选择南海北部的涠洲岛和大亚湾造礁石珊瑚群落作为研究对象，研究参数包括群落的活珊瑚覆盖度和珊瑚骨骼生长率。研究发现，上世纪 80 年代开始，两地呈现显著的退化趋势，例如大亚湾珊瑚覆盖度从 76.6%下降到 15.3%, 退化达 80%，从 2006 年以来历年的水下调查均能发现较多的死亡珊瑚；涠洲岛珊瑚礁活珊瑚覆盖度也降到了 20％左右，许多本来有繁茂珊瑚分布的地段如今已消失殆尽。人类活动的影响，如水下、岸边的工程建设施工、拖网、炸鱼、毒鱼等破坏性捕鱼作业、游客、渔民的直接采挖等等，是造成珊瑚覆盖度下降的主要因素。

海表温度 (SST) 是珊瑚钙化的主导控制因素。大亚湾海域持续生长 46 年的滨珊瑚 *Porites* 骨骼生长率和钙化率的变化显示，1962～1993 年，SST 上升对大亚湾滨珊瑚生长有缓解冬季低温胁迫、促进骨骼钙化的作用。然而，随着 SST 持续上升以及大亚湾核电站的运行，全球变暖与核电站温排水对滨珊瑚骨骼形成高密度带造成抑制作用，导致自 1993 年以后滨珊瑚骨骼生长率和钙化率呈下降趋势，并出现低谷。而涠洲岛 5 块滨珊瑚样品（1984～2010）的骨骼生长率一致呈现出下降的趋势，特别是在 1997 年后，数值上相比之前下降了 26%，气候变暖、SST 快速上升以及极端气候事件增加导致了涠洲岛珊瑚生长率下降。因此，全球变暖，至少是初期，对相对高纬度海域石珊瑚钙化乃至

珊瑚礁发育是有促进作用的。但 SST 持续上升，极端高、低温事件频发，对珊瑚生长、珊瑚礁的发育是极其不利的。总的来说，相对高纬度珊瑚应对气候持续、快速变暖表现得较脆弱，尤其是面对极端事件频发的脆弱性则更加显著。保护好珊瑚生存的环境、减少人类活动对珊瑚礁的破坏和持续性的压力，给珊瑚足够的时间和空间适应气候变化，是目前切实可行的办法。

S6-P-04

西沙群岛海域附近上层海洋营养盐特征

吴梅林

中国科学院南海海洋研究所

mlwu@scsio.ac.cn

营养盐是海洋浮游植物赖以生存的物质基础之一，它的含量与分布直接决定了浮游植物群落结构以及生物多样性。因此研究营养盐含量、结构及输运途径、影响因素，是揭示海洋生物地球化学循环及关键控制环节的基础。南海，位于亚洲东南部，为西太平洋最大的边缘海，作为一个热带寡营养海域，尤其在中部和南部海域远离陆地，营养盐来源主要依靠海流、垂直混合、冷涡和台风等物理环境变化。一般认为低纬度海域营养盐季节变化不显著，但南海的营养盐尤其独特的区域特征，受季风影响显著，呈现季节差异，冬季上层水体垂直混合增强，富含营养盐的中层水团带到次表层和表层，促进浮游植物生长，提高初级生产力。Ning 等发现中尺度冷涡和暖涡影响营养盐的垂直分布，在 75m 处，冷涡的营养盐高于暖涡的。韩舞鹰等对南海海洋化学进行了较为系统的研究。许艳萍对南海西部两个冷涡生物地球化学研究发现，在南海西部上层海洋，相对于冬季对流混合，中尺度冷涡是更加重要的新营养盐来源途径。但关于南海上层海洋营养盐生物地球化学的研究相对较少且比较分散，尤其在西沙群岛附近海域。因此，本文通过 2009 年中国科学院南海海洋研究所开放航次在西沙群岛附近海域的一个断面调查资料，研究该海域营养盐生物地球化学特征，以期更好理解南海上层海洋营养盐动力学以及相关的生物活动。

根据 2009 年中国科学院南海海洋研究所南海北部开放航次西沙观测段面资料进行分析。在研究期间有一低温、高盐水涌升，可能表明有一冷涡产生，通过卫星遥感数据获得的海面高度异常（SSHA）证实了这一现象。同时，在真光层内部大约 50-80 m 处出现亚硝酸盐（NO_2^-）积累，并形成最大值（～0.15umol/L）；氮磷比（N/P）为 10.80 小于 Redfield 比，这些现象可能与硝化过程氨氧化成亚硝酸盐有关。氮异常（N*）表明观测期间该海域硝酸盐缺乏，具有生物固氮的潜力。

S6-P-05

鹿回头珊瑚礁近 50 年的退化过程与现状

赵美霞，余克服，张乔民，施祺

中国科学院南海海洋研究所

zhaomeix@scsio.ac.cn

三亚鹿回头珊瑚礁位于海南岛南端鹿回头半岛西岸，是海南岛珊瑚岸礁中发育非常典型、研究程度较高、生物多样性极具特色的岸段，处于三亚国家级珊瑚礁自然保护区内，已呈现出珊瑚礁衰退的迹象，但缺少系统的、定量的评估。

本文依据 2005-2009 年对三亚鹿回头珊瑚礁进行生态调查，研究该岸礁造礁石珊瑚群落现状，结果发现：（1）该珊瑚礁岸段现有造礁石珊瑚 13 科 24 属 69 种，以澄黄滨珊

瑚为优势种，滨珊瑚属和鹿角珊瑚属为优势属。（2）造礁石珊瑚群落存在明显的垂直分带现象：礁坪为造礁石珊瑚稀疏生长带，共 11 属 20 种，以滨珊瑚属为绝对优势；礁坡为造礁石珊瑚密集生长带，共 15 属 34 种，以鹿角珊瑚属占优势，滨珊瑚次之。（3）2005 年、2006 年和 2009 年该岸段礁坡平均活珊瑚覆盖率分别为 14.8±1.3%、12.2±0.8%和 12.0±1.8%。

结合近 50 年来该岸礁的生态监测记录，分析三亚鹿回头造礁石珊瑚群落的演变特征，结果发现：该岸段的造礁石珊瑚群落呈衰退趋势。主要表现在（1）活造礁石珊瑚覆盖率下降，从 80%-90%(1950-1960 年)、经 60%（1978 年和 1983 年）、30-40%（1990 年）、41.5% (1998 年)、 23.4% (2002 年)、20% (2004 年)、14.8%(2005 年)、12.2%(2006 年)下降至 12.0%（2009 年）。（2）物种多样性缩减，造礁石珊瑚种类与 1962-1965 年和 1993-1994 年两次调查的调查记录相比，分别有约 41%、30%可能出现区域性绝灭。（3）优势种群由分枝状珊瑚向块状珊瑚转化，多样性指数值降低等。

该礁区块状滨珊瑚以低龄的小群体珊瑚为主，小于 30yr 的滨珊瑚群体占到 80%以上，其年龄结构呈明显正偏态。利用块状滨珊瑚年龄结构重建造礁石珊瑚群落动态表明该岸段珊瑚礁曾受到严重破坏而出现退化，而今处于珊瑚礁生物群落演变过程中的早期恢复阶段。

S6-P-06

鹿回头珊瑚礁海-气 CO_2 交换的季节变化与源-汇特征分析

严宏强*，余克服，施祺，张会领，赵美霞，李淑，陈天然，刘国辉

中国科学院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所

* yanhq@scsio.ac.cn

分别于 2008 年夏季，2010 年秋季、冬季及 2011 年春季对海南三亚鹿回头珊瑚岸礁进行了不同季节海-气 CO_2 交换的连续观测。结果表明：(1) 珊瑚礁区海水 pCO_2 日周期变化存在明显的季节差异，生物代谢活跃的夏季日间下降，夜间上升的日周期变化最为规律。(2) 夏季鹿回头礁区表层海水 pCO_2 日变幅最大，为 264—579 μmol·mol^{-1}，秋季、冬季和春季分别为 152—335 μmol·mol^{-1}、84—260 μmol·mol^{-1} 和 114—228 μmol·mol^{-1}。(3) 不同季节温度差异及生物代谢差异是海水 pCO_2 变化的主要因素，较大的潮汐变化对不同季节海水 pCO_2 有一定的影响。(4) 海-气 CO_2 交换通量显示鹿回头礁区是大气 CO_2 的源，不同季节海-气 CO_2 平均通量约为 5.3 mmol CO_2 m^{-2} d^{-1}。

S6-P-07

不同生长期的珊瑚对海洋酸化的响应

Xiangcheng Yuan[1*], Hui Huang[1], Chenglong Zhang[1],Weijun Cai[2]

1 Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China

2 Department of Marine Sciences, the University of Georgia, Athens, Georgia 30602, USA

*xcyuan@scsio.ac.cn

To understand the impacts of increasing anthropogenic CO_2 on coral reef in tropical seawaters, we investigated the variations in the calcification rates and skeletal stable isotopes (^{13}C and ^{18}O) of two corals species (*Acropora nasuta* and *Pocillopora damicornis*) after exposing to high pCO_2. Fragments of two coral

species were kept for 94 days under controlled aquarium conditions with normal (400 μatm) and elevated pCO_2 (770 and 1450 μatm). Our results showed that the calcification rates of *Acropora nasuta* decreased by 3 and 18% under the pCO_2 of 770 and 1450 μatm respectively at the first 17 days, and decreased by 29 and 45% respectively after 94 days. In contrast, the calcification rates of *Pocillopora damicornis* increased by 72 and 71% under the pCO_2 of 770 and 1450 μatm within the first 17 days, and increased by 20 and 12% after 94 days. A conceptual model was used to interpret the contradictory responses of two coral species to elevated pCO_2. This model suggested that a strong H^+-pump may explain the increase in calcification rates when corals were grown under the elevated pCO_2. In addition to calcification rates, coral skeletal isotopic $\delta^{13}C$ are also sensitive to elevated pCO_2, either due to metabolic effect (e.g. photosynthesis) or a reservoir effect of elevated pCO_2. However, the elevated pCO_2 did not obviously change the skeletal $\delta^{18}O$ in both coral species. Effects of ocean acidification on coral larvae were also investigated, such as impacts on the survival rate, photosynthesis efficiency and respiration of coral larvae.

S6-P-08S

南海中北部中世纪暖期海温变化的珊瑚高分辨率记录

黄博津，余克服，陈天然，张会领，施祺，陈特固

中国科学院南海海洋研究所

dearjin@126.com

认识中世纪暖期的气候特征对于了解现代气候状况及其变化趋势有重要意义。珊瑚以其记录温度准确、分辨率高和年代测定精确等优点，是重建热带海洋表层温度变化的理想材料。本文以南海中北部西沙群岛永兴岛中世纪暖期期间发育的滨珊瑚(*P.lutea*)为材料，用全谱直读等离子体光谱仪(ICP-AES)高分辨率地测试其骨骼 Sr/Ca 比值，结合同海区已建立的 Sr/Ca 温度计，重建了 860-976 AD 期间月-季分辨率的 SST 序列。结果显示，860-976 AD 期间，年平均、夏季平均和冬季平均温度分别为 28.5±0.24℃，30.9±0.29℃和 25.6±0.01℃，分别高于现代约 1-1.5℃，是名副其实的“暖期”。

S6-P-10S

呼吸作用对长江口底层水体缺氧和海洋酸化的影响

刘进文，戴民汉

厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室

jinwenliu@xmu.edu.cn

缺氧和海洋酸化已逐渐成为当前海洋研究中的两大热点问题。长江是中国第一，世界第四大河，最近几十年来，其水体富营养化的加剧使长江口邻近东海区域底层水体呈现季节性缺氧状态（DO ＜ 2.0 mg/L，主要发生在夏季）。现有的研究认为，大量的营养盐随冲淡水进入长江口区域，一方面，使藻华现象频发，极大的促进了初级生产力，另一方面，这些生产的有机物质在藻华后期发生沉降，于底层矿化分解，大量消耗 DO 并降低水体的 pH，产生严重的缺氧与酸化等环境问题。但是，目前，在长江口缺氧区，有机物的耗氧过程对缺氧以及酸化的耦合效应研究还相对缺乏。在 2011 年 4 月、6 月、8 月和 10 月，我们对长江口区域进行了一系列的调查，调查时间涵盖缺氧发生、发展以及消失的过程。我们观测到长江口水体特别是

底层水体，DO 与 pH 明显的季节性变化，并在 2011 年夏季在长江口 123°E 区域观测到显著的底层耗氧和酸化现象。缺（低）氧中心底层水体 DO 从 4 月的 8.34mg/L 降至 8 月的 2.07mg/L，相应的，pH 由 8.08 降至 7.68（total scale），DO 和 pH 降幅分别达到 6.27mg/L 和 0.40，氢离子浓度增加了 1.5 倍。这些变化与营养盐的输入以及较强的呼吸作用密切相关。缺（低）氧中心底层群落呼吸速率由 4 月的 0.3-1.0 升高至 8 月份的 1.4-6.5 μmolO_2/L/day（平均值为 4.0±1.6 μmolO_2/L/day）。并且，利用 2011-8 数据进行模拟分析，发现，呼吸作用对 pH 的改变量将由当前的 0.40 增至未来的 pCO_2 水平下（800ppm，温度升高 4°C）的 0.49。富营养化和有机物有氧呼吸，将使海洋酸化现象进一步加剧，水体的碳酸盐缓冲能力也将进一步下降。

S6-P-11S

苏拉威西海全新世颗石重量变化及其古环境意义

金晓波，刘传联，苏翔

同济大学海洋地质国家重点实验室
evidently@163.com

颗石藻作为一类海洋单细胞藻类，其能分泌微小的方解石晶体包围在细胞外部称为颗石。无论是对于实验室培养还是沉积物中，颗石钙化及形态对于海水化学条件都显得十分敏感。颗石碳酸钙对与海水颗粒无机碳通量的贡献值可达 30-80%，因此颗石藻钙化作用/光合作用及颗石藻与其他藻类如硅藻生产比值对于了解海洋碳收支、沉积“雨率”，深海碳循环都具有重要意义。通过颗石的几何形状与体积可计算海洋沉积物中颗石重量，然而颗石形态的种内变化则极大得影响了测量精度。Beaufort（2005）使用方解石光学性质—正交偏光下方解释厚度与亮度成正比—计算颗石重量，并配合颗石藻自动鉴定系统（SYRACO）计算出单个颗石重量的平均值，这种方法能很大程度上消除种内变化给传统颗石质量估计带来的限制。本次研究使用此种方法对西苏拉威西海全新世沉积物颗石重量进行了估算，并讨论其与大气 CO_2 及其他古环境参数之间关系。

S6-P-12

海洋酸化降低海洋束毛藻的固氮和生长速率

Dalin Shi[1,2] and Francois M. M. Morel[2]

1 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, PR China
2 Department of Geosciences, Princeton University, New Jersey, US
dshi@xmu.edu.cn

As seawater acidifies, the rate of iron (Fe) uptake by the nitrogen (N_2)-fixing cyanobacterium *Trichodesmium* declines in an EDTA-buffered medium. The slower Fe uptake rate at low pH results from changes in Fe chemistry and not from a physiological response of the organism caused by decreasing pH. Contrary to previous observations with an artificial media, increasing pCO_2 causes a decrease in the rates of N_2 fixation and growth in Fe-limited *Trichodesmium* grown in natural seawaters. This result was obtained even though the bioavailability of Fe was maintained constant by increasing the total Fe concentration at low pH. Short-term experiments in which pCO_2 and pH were varied independently show that the decrease in N_2 fixation is due to deceasing pH rather than increasing pCO_2. To partially compensate for the reduction in N_2 fixation efficiency at low

pH, *Trichodesmium* synthesized additional nitrogenase enzyme. This increase in nitrogenase came at the cost of down-regulation of Fe-containing photosynthetic proteins, in particular PsaC, presumably as a result of the reallocation of cellular Fe in the Fe-deficient diazotroph. The rate of growth consequently decreased at high pCO_2/low pH. Our results suggest that while increasing pCO_2 is often beneficial to photosynthetic marine organisms, the concurrent decreasing pH can affect primary producers negatively. Such negative effect can occur both through chemical mechanisms, such as the speciation and bioavailability of key nutrients, and through biological mechanisms, as shown by the decrease in N_2 fixation in Fe-limited *Trichodesmium*.

S6-P-13

生标梯烷脂(ladderane lipids)指示东海缺氧区

杨红梅

中国海洋大学

yhm@ouc.edu.cn

在海洋缺氧水体中，厌氧氨氧化是将含氮化合物转化成氮气的一种重要的过程，在氮循环中起着重要的作用。厌氧氨氧化菌中生物标志物梯烷脂（ladderane lipids）作为指示物用于研究厌氧氨氧化过程对海洋氮循环的贡献。然而，这方面研究在中国边缘海中还没有报道，我们对厌氧氨氧化过程在中国近海氮循环中的作用尚未可知。近来，我们测试了采自东海的 17 个表层沉积物样品中梯烷脂的含量，其中测试出了 C_{18}-[5]-ladderane FAME, C_{20}-[5]-ladderane FAME and C_{20}-[3]-ladderane FAME，这说明在研究区域广泛分布有厌氧氧化菌。这三种梯烷脂的总含量 24 to 355 ng g^{-1} （在干物质中），含量相对较高表层沉积物分布在闽浙泥质区，与器测的东海缺氧区基本能够对应上。通过以上结果可以推测沉积物中梯烷脂主要产生于水柱中，沉积物中梯烷脂的含量可以作为水体缺氧状况的指示剂。

S6-P-14S

新疆湖泊沉积记录的 4.2 ka 气候突变事件

陶士臣 [1,2*]，安成邦 [2]，唐领余 [3]，等

1 中国科学院边缘海地质重点实验室 南海海洋研究所

2 兰州大学西部环境教育部重点实验室

3 中国科学院南京地质古生物研究所

*taoshichen@scsio.ac.cn

大约发生在 4200 年前的一场持续干旱可能是当时史前文明崩塌的重要推手。然而，这一事件的证据在中国西北地区依然稀少。通过对托勒库勒湖沉积岩芯开展孢粉分析发现，新疆地区也很可能存在类似 4.2 ka 事件等百年尺度干旱事件的记录。在 4.5-3.8 cal ka BP 期间，藜科花粉含量急剧增加（~78.2%），禾本科（~8.8%）和蒿属（~6.1%）显著降低；区域气候环境出现了一次快速的变化过程。这期间（4.5-3.8 cal ka BP）气候变的极为寒冷干旱，先前的草原/荒漠草原也被荒漠植被代替。上述变化得到了位于该湖附近的巴里坤湖孢粉记录的有力支持。新疆地区这两个湖泊孢粉记录的 4.2 ka 事件也被世界其他研究点的记录所证实，这些记录的变化特征表现出较好的一致性。可能受各记录本身的分辨率以及测年方法等因素的制约，不同研究点在对这一事件开始以及结束时间的记录上略有差异。遗憾的是，目前有关这次事件的驱动机制仍不清楚，还需开展更多的古气候

记录研究。

S7-O-01

海洋固碳与储碳

焦念志

海洋环境科学国家重点实验室 （厦门大学）
jiao@xmu.edu.cn

气候变化全球关注。人为排放 CO_2 是气候变化加剧的重要原因。我国是世界第一大排放国，减排增汇是国家重大战略需求。海洋是巨大的碳汇，已知的主要储碳机制包括依赖于理化过程的“溶解度泵”，以及依赖于生物固碳及其之后的颗粒态有机碳沉降的“生物泵”。尽管该领域研究近年来成果斐然，但仍然存在无法解释的科学难题和未知的过程机制。“海洋微型生物碳泵（Microbial Carbon Pump, MCP）”揭示了不依赖于颗粒有机碳沉降过程的储碳新机制，指出，“固碳≠储碳”，对有关难题做出了解释，提出了一个新的研究方向。本报告将介绍 MCP 储碳的主动和被动生产过程；MCP 储碳的分子和环境调控机制；海洋环境梯度上 MCP 动态变化规律；地史过程中 MCP 储碳过程与环境效应。以期引起更多同行的关注，通过多学科交叉和古今结合探讨影响海洋储碳的环境条件和生物地球化学机制，为有效评估我国代表海区储碳潜力的基本状况、建立气候变化背景下海洋有机碳储库的情景模型、研发基于 MCP 和经典生物泵生态工程的可能的海洋增汇方案奠定基础。

S7-O-02

海洋微型生物呼吸作用与海洋生态系统固碳储碳功能效率

党宏月，焦念志

厦门大学
danghy20042000@yahoo.com.cn

海洋是一个巨大的碳库及大气 CO_2 浓度的调节器和气候变化的缓冲器，传统观念认为海洋“溶解度泵”和“生物泵”在海洋吸收大气 CO_2 并进行碳储存过程中发挥主导作用。然而，海洋中还存在一个巨大的溶解有机碳库，其大部分成分为惰性有机碳，在海洋中的周转时间可长达数千年，具有巨大碳增汇潜力，这正是海洋“微型生物碳泵”这一新发现和新理论对海洋储碳增汇研究的一个重大贡献。

海洋生物群落呼吸作用是海洋生态系统的一个基本特征和过程，是海洋及全球碳循环的一个关键环节，其强度和动态变化是进行海洋及全球碳收支估算及全球变化趋势预测必不可少的关键参数。海洋异养微型生物是海洋生物群落呼吸作用的主要执行者，在微型生物碳泵这一新的理论框架下，呼吸作用不单纯被看做是海洋碳生物地球化学循环体系的碳损失部分，同时，呼吸作用作为微型生物碳泵的能量代谢过程，为我们了解和比较不同微型生物、不同生态系统、不同海区微型生物碳泵效率和储碳潜力提供了参考。尤其大河口区，由于富营养化可能形成低氧或缺氧环境，目前的河口生态系统固碳储碳效率很低，生态成本却很高。通过对海洋碳-氮循环进行系统剖析，有望从营养盐利用效率和微型生物碳泵生态效率等方面入手，增进对海洋储碳增汇潜力和机制的了解。

S7-O-03

河口区生物地球化学过程对环境、气候变化的影响

张传伦

同济大学海洋地质国家重点实验室
archaea.zhang@gmail.com

河流和海岸带区域是全球大气、陆地和

海洋之间一个基本的和多层面的联系纽带，在全球的碳、氮生物地球化学循环中占有重要地位。随着上世纪不断加速发展的工农业活动，世界范围的绝大多数的河流都不同程度的受到化肥和各类化工产品的污染，并且有将这些物质不断在海洋聚集的趋势。微生物是食物链的基础，在调节全球碳、氮生物地球化学循环中扮有重要角色，尤其在分化降解河流来源的营养物质/污染物的过程中起重要作；此外，在改善以河流为主的大陆边缘带水质中也有不可忽视的贡献。陆地、海洋交界处，特别是河口区，微生物群落的结构，功能和在生物地球化学循环中的作用已引起科学界的普遍关注。然而目前对微生物的丰度，组成和作用的了解还非常有限，而微生物群落结构的改变对陆源有机质降解和淡水或海洋原位碳生产力的影响也知之甚少。而这些信息可以帮助我们更好的了解受河流影响的大陆边缘带生态系统的碳储库的变化，例如南海，就是一个对全球海岸带和碳循环有重要影响的边缘海。通过整合分子水平上的地球化学和生命科学手段，我们有可能深入地了解微生物在河口区碳、氮循环过程中所起的重要作用，从而为评估河口区这一最具活力之一的二氧化碳源对气候的影响提供基础数据。

S7-O-04

元古代海洋微型生物碳泵的地质记录

李超

中国地质大学（武汉） 生物地质与环境地质国家重点实验室

ouclichao@gmail.com

早期地球海洋在海洋化学结构、有机质矿化和碳循环等方面与现代海洋既有相似之处又有重要差别。早期地球海洋长期处于分层缺氧状态，并且以使用 Fe^{3+}和 SO_4^{2-}还原为主的厌氧矿化是微型生物降解有机质的主要形式。由于早期地球海洋缺乏多细胞动物参与的生物泵效应，因此，其更适合微型生物碳泵（Microbial Carbon Pump: MCP）地球化学机制的研究。

元古代（距今 25-5.42 亿年）海洋中的 MCP 的地质记录从其效应的角度可以概括为两类：（1） MCP 过程中的直接异养降解效应和（2）MCP 储碳所形成的难降解有机碳（Recalcitrant Dissolved Organic Carbon: RDOC）库效应。早在 1995 年，Logan et al. (1995)就发现元古代沉积物中保存的正构烷烃较其共存的相对较难降解的类异戊二烯烷烃通常具有较重的碳同位素组成，这一同位素关系在元古代之后的显生宙发生了倒转。元古代这一独特的单体类脂的同位素关系不符合正常生物细胞膜中这些类脂的同位素关系，代表了元古代缺氧分层海洋中 MCP 过程对相对易降解正构烷基类脂的更为强烈的异养降解效应。在 MCP 所形成的 RDOC 库效应方面，最为典型的记录体现在新元古代全球冰期前后。新元古代在全球范围内出现了两次大的冰期。在两次大冰期之间的间冰期沉积物中广泛保存有地球历史上硫同位素最重的沉积黄铁矿。在我国华南，这一黄铁矿中 ^{34}S 的富集还主要出现在深水区域(Li et al., 2012)。我国华南可得的硫同位素数据的进一步的对比显示：这些 ^{34}S 高度富集的黄铁矿在最后一次大冰期之后全部消失（Li et al., 2010, 2012）。这些现象表明：在全球冰冻的新元古代大冰期时期深部海洋中，硫酸盐还原和黄铁矿形成过程仍可持续进行，其导致海洋中的硫酸盐库容逐渐减少并最终消失，同时这也暗示了当时深部海洋中 MCP 所积累 RDOC 库提供了硫酸盐还原所不可或缺的有机质。此外，在新元古代两次大冰期之间

和大冰期之后的埃迪卡拉纪的无机与有机碳同位素记录提供了更为清楚的 MCP 储碳的地质记录。这一时期无机与有机碳同位素记录了地质历史上罕见的彼此非耦合现象（e.g., Swansen-Hysell et al., 2010）。这种非耦合碳同位素记录的动力学计算（Rothman et al., 2002）表明：新元古代大冰期前后海洋中存在一个超大型 RDOC 库，其库大小至少是现代海洋 RDOC 库的 100-1000 倍，其再循环时间也远远超过 10000 年。由于这一时期动物尚未明确出现在生态系统中，这一超大型 RDOC 库只能归结为 MCP 储碳的结果。

相关的古生物学记录研究还表明，新元古代深部海洋所出现的大型 RDOC 库还可能促进了这一时期最早的动物的出现。

S7-O-05

我国边缘海晚全新世有机质埋藏记录及控制机理

赵美训

中国海洋大学
maxzhao@ouc.edu.cn

正确认识和估算海洋吸收和固碳能力对于全面了解全球碳循环有重要意义。泥质区的有机碳埋藏是决定黄海和东海是一个重要碳汇的主要原因。黄海和东海有机碳埋藏受气候变化和人类活动双重影响，在过去 200 年发生了很大变化。本文对黄海中部、东海济州岛西南、长江口及闽浙沿岸泥质区的多个个柱状样进行了 TOC 及海源生物标志物和陆源生物标志物分析，获得黄海和东海过去 200 年有机碳埋藏的演变记录并初步探讨其控制机理。将聚焦比较这三个泥质区海源、陆源及总有机质埋藏量的变化，初步估算人类活动和气候变化对边缘海有机碳循环的影响。

S7-O-06

从能量代谢角度看深部碳循环

肖湘

上海交通大学
xoxiang@sjtu.edu.cn

深海及地球深部存在暗能量生物圈（Dark Energy Biosphere），其能量输入远低于地表光生态系统。特殊的能量供给塑造了特殊的生态系统也决定了微生物的生存状态。在生物地球化学循环中碳主要作为还原剂和弱氧化剂形式存在，通过与其它元素如氮、硫等的“强”氧化还原过程相偶联完成循环。深部普遍的缺氧条件及微生物的“低”能代谢过程是研究深部碳循环不可忽略的环境及生物条件。我们尝试结合实验室在冷泉区古菌厌氧甲烷氧化及热液区超嗜热嗜压古菌甲酸代谢最新研究进展，从能量代谢的角度探讨生态定位、微生物休眠及高压适应等问题。

S7-O-07

一种可能的高温下微生物快速固碳机制

刘嵘，张华昶，熊铎

中国地质大学(武汉)地学院
rongliu@cug.edu.cn

微生物在海洋碳循环过程中的作用已经得到了广泛的认可。一方面微生物处于生物链的底端，对于有机碳的循环意义重大。另一方面，地质时期与微生物相关的碳酸盐岩类分布众多。有两类碳酸盐岩值得关注。第一类是微生物岩，例如叠层石灰岩或白云岩。在前寒武地质时期，以及在地质灾变时期，这类微生物岩的比例往往会增加。第二类是原生白云岩类。此类岩石在地层中的分布量与地质年代呈正相关趋势。即在老地层，特

别是前寒武纪地层中分布最广泛。但是在实验室中，参照现代天然海水的物理化学条件，在低温且无机的条件下均未成功合成白云石。相反，当引入微生物时，可以得到白云石沉淀。微生物诱导碳酸盐沉淀的理论模型正是基于白云岩的研究而得到广泛的认可。

目前已有大量的实验以及正在发生的海洋沉淀物证实了微生物是诱导碳酸盐矿物沉淀的重要机制。事实上，微生物在诱导碳酸盐沉淀的过程中,实现了海洋中无机碳库的增长。这种转换过程的机制和程度可能是决定某些特定地质时期碳循环方式和规模的重要因素。

虽然前寒武纪的海洋环境，包括温度、海水成分等，还需要更直接的岩石学证据来证明。但考虑到前寒武纪频繁的海底火山活动和岩浆喷气，海水温度很可能与我国学者黄志诚利用同位素法确定的南方灯影峡期的海水温度（40~60℃）相符合。

本实验因此选取了一种嗜热淀粉芽孢杆菌。该菌株为需氧异养型，菌体细胞为杆状，单体大小为 0.3～0.5μm×1.8～2.8μm。将活化后的菌液接种至预先配备了 Mg 离子和 Ca 离子的固体 LB 培养基（琼脂培养基）中。Mg/Ca 值分别为 3、5、7、8。接种后的样品再置于电热恒温培养箱中培养，温度恒定为 45℃。

60 小时后，结束沉淀实验。用 pH 试纸测量平板上菌落、菌落边缘及琼脂的 pH 值。用实体显微镜和偏光显微镜原位观察菌落的形态及沉淀颗粒的形态、大小、光性及其分布规律；用 X 射线衍射仪和能谱分析确定沉淀物的种类及成分。

实验结果表明，菌体群落在 45℃时十分昌盛，并伴随明显的晶体沉淀。所生长的菌落无色透明，呈花朵状，直径从 0.6~1.0cm 不等。菌落中心出现充气肿胀现象，菌体边缘则发育晕状透明体。

除菌体中心 pH 值略高外，菌体边缘和琼脂部分（即菌落之间的琼脂部分）的 pH 值彼此接近。说明影响 pH 值的 NH3 等的扩散并未受到很明显的阻碍。

在菌落的中心和边缘均发现有大量高镁方解石晶体沉淀。这些晶体在菌落的不同部位的数量、大小、形态方面均存在差异。在菌落中心分布一些近四边形或者卵园形的较大的凹坑，其可能为肿胀破裂后的气泡，也可能为矿物颗粒脱落后留下的印模。但在偏光显微下，相对粗大的晶体清晰可辨。在菌落边缘，由于没有大量菌体的出现，可见众多的清晰小颗粒，部分呈浑圆状，部分接近自形，呈菱面体状。此外，晶体数目也与 Mg/Ca 比值有关。Mg/Ca 越大，晶体数目呈增多趋势。

然而，在菌落和菌落中间的那些空白区，尽管具有合适的 pH 值和充足的阳离子，琼脂中却未见任何晶体沉淀。因此，最合理的解释可能就是菌体呼吸作用过程中产生的 CO_2 来不及扩散到菌落之外即被迅速地转化为了碳酸盐沉淀。

我们认为这样一种在高温、高盐度条件下，由微生物呼吸作用导致的迅速和大量的碳酸盐沉淀可能是导致某些极端条件下从有机碳转化为无机碳的重要机制。

S7-O-08

深海沉积物中参与有机氮降解的微生物和蛋白酶的研究以及南海沉积物中MCG古菌的宏基因组学研究

张熙颖，陈秀兰，解彬彬，赵国琰，王昱凯，李平一，周明扬，张玉忠*

山东大学微生物技术国家重点实验室，济南，250100

*zhangyz@sdu.edu.cn

深海沉积物中有机氮的降解是海洋氮循环的重要环节。深海沉积物中生存着大量的微生物，它们产生的胞外蛋白酶在深海有机氮降解中发挥着重要作用。我们从深海沉积物中分离到大量产蛋白酶细菌，从中鉴定了9 个细菌新种属。研究了中国南海深海沉积物样品中产蛋白酶的细菌种类及它们分泌蛋白酶的多样性，发现南海深海沉积物中参与有机氮降解的可培养细菌以 *Alteromonas* 属和 *Pseudoalteromonas* 属为主，而胞外蛋白酶以丝氨酸蛋白酶和金属蛋白酶为主（Microbial Ecology, 2009, 58, 582）。

从一些深海细菌中分离到了多种具有新结构或新功能的蛋白酶 (Microbiology-SGM, 2007, 153, 2116； Extremophiles, 2009, 13, 725； Applied Environmental Microbiology, 2009, 75, 1838; Journal of Biological Chemistry, 2009, 284, 9257)，并对胶原蛋白酶 Deseasin MCP-01 和弹性蛋白酶 Myroilysin 高效降解不可溶蛋白底物的过程和机制进行了研究。MCP-01 是丝氨酸蛋白酶 S8 家族的一个多结构域的新型蛋白酶 (Microbiology-SGM, 2007, 153, 2116)，具有很高的胶原蛋白酶活性。MCP-01 的 C-端 PKD 结构域具有结合不可溶的胶原蛋白的能力。PKD 结构域的存在可显著提高 N-端催化结构域对胶原蛋白的降解效率，PKD 结构域的 36 位色氨酸在结合胶原蛋白过程中起关键作用（Journal of Biological Chemistry, 2008, 283, 36100）。进一步研究发现，PKD 对胶原蛋白具有明显的膨胀作用，但 PKD 并不能使三螺旋结构解旋，这种作用机制与哺乳动物来源的基质金属蛋白酶（MMP）的 C-端胶原蛋白结合结构域 CBD 明显不同（Journal of Biological Chemistry, 2010, 285, 14285），表明 S8 家族胶原蛋白酶 Deseasin MCP-01 对胶原蛋白的降解机制不同于 MMP。Myroilysin 是深海细菌 *Myroides profundi* D25 分泌的 M12 家族 A 亚家族新型金属蛋白酶（FEMS Microbiology Letter, 2008, 287, 108; Applied Environmental Microbiology, 2009, 75, 1838）。Myroilysin 能够高效降解不溶性的弹性蛋白，几乎不降解胶原蛋白。但该酶却能够膨胀胶原蛋白，提高胶原蛋白酶对胶原蛋白的降解效率，表明沉积物中不同种类酶之间对难降解的有机氮具有协同降解作用 (Applied Environmental Microbiology, 2009, 75, 1838)。

对南海海底表层沉积物样品中的古菌进行了宏基因组学研究。构建了古菌 16S rRNA 基因克隆文库，筛选测序得到的 121 条古菌 16S rRNA 基因序列可以合并为 64 个系统类型（≥97%），进一步可归为 8 个类群，其中以 MG-I（54.5%）和 MCG（24.0%）类群为主。使用同一沉积物样品，构建了一个含有 10,652 个 fosmid 克隆的宏基因组文库，筛选得到 3 个含有古菌 16S rRNA 基因的 fosmid 克隆——E6-3G、E37-7F 和 E48-1C。对这 3 个 fosmid 克隆进行 454 测序、基因预测和注释，发现了多个与细胞膜和细胞壁合成相关的基因。基于 16S rRNA 基因的系统发育分析表明，MCG 古菌和 MG-I 相关古菌在中温泉古菌分支内部形成两个独立的分枝，表明 MCG 古菌是中温泉古菌的一个新类群（Environmental Microbiology, 2012,14,467）。

S7-O-09

南海北部陆坡甲烷垂向运移和甲烷厌氧氧化作用数值模拟研究

刘丽华[1,2]，吴能友[1,2]

1 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室，广州能源研究所

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

liulh@ms.giec.ac.cn

甲烷厌氧氧化作用（AOM）是甲烷碳循环的重要环节。南海北部陆坡甲烷流体作用活跃。依据海域实际钻探资料，对甲烷垂向运移和甲烷厌氧氧化作用进行了数值模拟研究。结果表明，当甲烷垂向通量较低情况下，所有甲烷都可以储存在海底沉积物中，其中约 20%甲烷可以通过 AOM 消耗，其余部分则溶解在孔隙水中；当甲烷垂向通量较高情况下，沉积物体系内的气、液两相甲烷很快达到饱和，小部分由 AOM 消耗，其余大部分则以气、液态两种形式进入沉积物孔隙水。AOM 消耗的甲烷量随着甲烷垂向通量的增加而增加，但是比例逐渐减小。模拟得到的 AOM 速率与墨西哥湾水合物丘数值具有可比性。

S7-O-10

夏季南海北部陆架的磷限制

徐杰，Paul J Harrison

香港科技大学

xujie@ust.hk

营养盐限制包含了营养盐对浮游植物生物量的限制和生长速率的限制。以往的研究绝大多数集中于对前者的探讨，而对后者的探讨较为鲜见。这主要是受检测方法的局限。目前没有一种方法能够同时检测这 2 方面的营养盐限制。常用的 N:P 比例和营养盐加富实验的结果仅仅反映了浮游植物生物量上的潜在限制，而不能反映浮游生物的生长速率是否受限制，即生态系统的即时状态是否受营养盐限制。而且寡营养海域营养盐浓度经常低于传统测定方法的检测限，这也制约了 N:P 比例的使用。碱性磷酸酶是通过测定有机磷的水解速率来间接的反映磷酸盐的供求状况。而 $^{33}P\text{-}PO_4$ 同位素示踪直接测定无机磷酸盐的吸收速率，反映即时状态下生物可利用的磷酸盐的供求状况，具有高灵敏度的特点，尤其适用于低磷环境。

在 2005 年和 2006 年中科院南海所组织的夏季南海公开航次中，我们首次将 $^{33}P\text{-}PO_4$ 同位素示踪技术引入到中国海（南海）磷限制的研究中，并结合 N:P 比例、营养盐加富实验和碱性磷酸酶技术四种方法，在南海北部海域同时检测浮游生物的生物量和生长速率是否被磷限制。我们的现场实验结果发现，在受珠江水影响的水体，四种方法检测结果取得很好吻合，显示浮游植物的生物量和生长速率均受磷限制。而未受珠江影响的水体，表现为生物量受氮磷共同限制，其中，氮为首要限制因子。磷限制的范围主要受珠江水量和风向的影响。珠江水携带的营养盐激发了浮游生物的生长，最终浮游植物的生物量和生长速率都被磷限制。盐度低的内陆架磷限制最为严重，向外海方向磷限制程度逐步减弱。四种方法的同时运用有助于我们更好地了解浮游植物在细胞水平和生态系统水平上对磷的需求，更准确地反映浮游植物的磷限制状况。该发现为发展生态系统模型具有重要的参考价值。

S7-P-01S

对一类厌氧甲烷氧化菌的单细胞全基因组测序

Ying Chen, Fengping Wang, Yu Zhang and Xiang Xiao

Shanghai JiaoTong University,

knobe@sjtu.edu.cn

Anaerobic oxidation of methane coupled to sulphate reduction (SR-AOM) is a major process determining deep-sea geochemistry and is the first step to fuel cold-seep ecosystems. Two groups of microorganisms, anaerobic methane oxidizing archaea (ANME)

and sulfate-reducing bacteria (SRB), mediate SR-AOM process via syntrophic association with or without forming spatial closely related consortia. Although SR-AOM process has been extensively studied ever since it was discovered decades ago, it is still unclear how methane and sulfate were metabolized. The main difficulty lies on neither ANME nor SRB from cold-seep has been obtained in pure culture yet due to their extremely long doubling time (1-7 months). In this study we successfully applied single cell/aggregate sequencing on a highly enriched ANME-SRB sample. In this way genetic information from other cells were eliminated, and we were able to identify the complete genomic information on ANME-2a and SRB without cultivation. Moreover, by using this method, we have discovered that in certain ANME/SRB aggregates, a third type of microorganisms were present, which was also confirmed by fluorescent in situ hybridization. This is direct evidence that diverse microorganisms grow on the product/byproduct from ANME/SRB and AOM process is the first step to support the whole ecosystem in cold-seeps.

S7-P-02

关于中国海浮游植物储量的年际变化

商少凌

近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学）
slshang@xmu.edu.cn

浮游植物储量（inventory）指生物量剖面与真光层深度(Zeu)的乘积，通行的简化算法，假定生物量在垂向上均匀分布，近似采用表层叶绿素浓度(Chl)与 Zeu 之乘积表达储量(e.g.Behrenfeld et al., 2001)。我们通过研究确认，叶绿素 a 主吸收波段 443nm 的浮游植物吸收系数 Aph 相比 Chl，可以通过半分析算法得到相对精确的遥感反演，是表征表层浮游植物生物量的一个理想的替代指标（Shang et al., 2011）；另一方面，我们在中国海对 MODISZeu 的检验结果表明，半分析算法结果较经验算法结果可靠（Shanget al.2011）。在此基础上，采用半分析的 SeaWiFS 和 MODIS 遥感 Aph 与 Zeu 产品进行计算，获得中国海真光层内浮游植物储量在 1998-2011 年间的分布变化，避免了采用经验算法计算导致的杭州湾以北海域储量全面高估的现象，捕捉到长江口附近的高储量区、南海海盆低储量区之年际变动信号，并进一步讨论其与 ENSO 活动的关联。

S7-P-03

赤道东太平洋水体中海洋重晶石晶体形态及其优先溶解机制

孙晓霞[1]，杨作升[1]，范德江[1]，李云海[2]

1 中国海洋大学海洋地球科学学院
2 国家海洋局第三海洋研究所
xiaoxias@ouc.edu.cn

海洋重晶石（marine barite）是海洋中生物成因的自生矿物，在重晶石 $BaSO_4$ 中广泛存在部分 Sr 与 Ba 的类质同象替换。海洋重晶石保存在海洋沉积物中的含量作为古生产力的替代性指标，在古海洋环境的研究中得到广泛的应用。以 2005 年夏季在赤道东太平洋 5 个站位、每站从表层至近底层的 9 个层位取得的悬浮体样品为对象，采用扫描电子显微镜和 X 射线能谱仪，对悬浮体样品中重晶石晶体的形态和其中的 Sr 含量进行了分析研究。

研究结果发现海洋重晶石按形态可以划

分为四类：1）卵形或圆形晶体；2）菱形晶体；3）箭头形晶体及 4）不规则形晶体。每类晶体又可根据其是否具有溶蚀形态划分为完好形态晶体和具溶蚀形态的晶体两个亚类。在所统计的 868 个重晶石中有 53%的晶体具有溶蚀形态。这些溶蚀形态在所有四种类型的重晶石中均有发现，其中有不少出现在晶体内核和晶面的独特溶蚀形态。箭头形态的重晶石是自然界的第一次发现，过去仅见于实验室人工生成的重晶石的报道。

国际上已提出在海水中含 Sr 海洋重晶石比纯重晶石优先溶解的概念，但其现象和过程未见报道。本研究提出海洋重晶石的独特溶蚀形态是由重晶石晶体内部富 Sr 部分的优先溶解所致。前人实验室结果显示 Sr 在重晶石晶体内部分布不均匀，可以形成富 Sr 的核。因此，海洋重晶石独特溶蚀现象正是其富 Sr 的内核和晶面优先溶解所导致的。所统计的重晶石颗粒中有 61%的晶体含有可探测的 Sr，表明 Sr 广泛参与海洋重晶石晶体的形成。X 射线能谱仪测定的 Sr/Ba 比值显示大部分站位上层水体中重晶石 Sr/Ba 值较高且变化较大，但在温跃层以下则急剧下降，并在其下的水体中一直到海底都保持较低的稳定比值，证实重晶石晶体中的富 Sr 部分在上层水体中形成不久后即发生优先溶解。不同形态的重晶石占总数的百分比及具有溶蚀形态的重晶石的占总数的百分比与水深变化并无相关性，很可能是由于上部水体中的重晶石形成并发生溶蚀后被包裹并快速沉降到海底所导致。温跃层之下水体的重晶石中较低的稳定 Sr/Ba 比值可能表明，对纯重晶石是不饱和的海水，对含 Sr 较低的重晶石可能是饱和的，因此，在海洋沉积物中才有可能广泛存在含 Sr 较低的海洋重晶石。

S7-P-04

有机物光降解在近海碳循环的作用

翟惟东[1]，郑楠[1]，张永[2]

1 国家海洋环境监测中心

2 中国科学院烟台海岸带研究所

wdzhai@126.com

海洋溶解有机物，特别是难降解有机物的迁移、转化和归趋，是海洋碳循环研究中的重要问题。尽管文献中已有很多关于海洋有机物光降解的报道，然而光照透过水柱的能力有限，所以光降解通常局限于很浅表的位置，其对海洋碳循环的作用常常被忽略。近海通常比较浅，有机物浓度高，光降解的作用可能是不可忽视的。目前在中国近海还鲜有直接观测有机物光降解的报道，2012 年 5 月份，我们利用搭乘国家自然科学基金委黄渤海共享航次的机会，在调查期间通过自然光照实验的方法直接测定了北黄海和渤海有机物的光降解速率，可用于分析有机物光降解对近海碳循环作用的问题。

于 2012 年 5 月利用东方红 2 船在北黄海和渤海的 4 个站位采集表层水样，每个站的水样先加入少量饱和氯化汞溶液灭活，再经适量 1:1 硫酸酸化到 pH<2，通入高纯氮气鼓泡的方式赶走 CO2，然后在用硼砂将样品 pH 调整到 8.0 左右，分装于 12-14 支洁净石英管（体积约为 120mL）中，加盖密封。将水样分为辐照组和对照组，每组 6 个平行水样，对照组用铝箔包裹以避光，均置于东方红 2 船顶甲板上安置的泡沫板上，在自然光下辐照，并于实验开始后 1 天、2 天、3 天时逐次取走辐照样品和对照样品各两个，取样后立即于 4 摄氏度避光冷藏保存。在渤海曹妃甸附近站位上还设置了实验开始时的水样 2 个以确定零时刻的状态。航次结束后一周内测

定所有样品中的溶解无机碳（DIC）。

实验结果表明，平行样品的重现性比较好。除曹妃甸附近站位的样品以外，其他三个站位（北黄海 2 个、渤海中部 1 个）的实验结果相当一致：对照组样品的 DIC 保持不变，而辐照组样品的 DIC 则呈现显著升高的趋势，DIC 升高的速率分布在 1.55-1.65 mmol/m^3/day 这样一个狭小范围内；而曹妃甸附近站位的实验结果呈现出辐照组和对照组样品中 DIC 均显著升高的现象，其辐照组样品中 DIC 升高速率比对照组样品中 DIC 的升高速率大 1.55 mmol/m^3/day 左右。这些数据都指向一个结论，就是有机物光降解产生 DIC 的过程在近海碳循环中有一定意义，值得进一步研究。

厦门大学郭卫东研究组即将发表他们在九龙江口和台湾海峡南部两个站位测定的有机物光降解产生 DIC 的速率，结果是 4.4 mmol/m^3/day（九龙江口）和 2.5 mmol/m^3/day（台湾海峡），其数据比我们稍高的原因可能是受温度和太阳高度角的双重影响。他们是在南方海域并且是夏季做的，气温比较高，同时阳光直射导致光照较强，而本研究是在北方的春季做的，阳光还没达到直射的时候，气温也不到 20 摄氏度。我们还将我们的数据与文献发表的其他一些光降解速率进行了比较，数据基本相当，这说明本次实验得出的数据是可靠的。

本研究中我们没能获取阳光辐射影响深度的数据，但是，即使我们假设阳光辐射在春季晴天或者少云天气条件下只影响海表以下 0.1 m 的浅表水体，则保守估计春季渤海和北黄海海域通过有机物光降解产生 DIC 的速率仍将达到 0.16 mmol C /m^2/day；而渤海和北黄海面积为 15 万 km^2，并且进而假设在这两个海域的春季，晴天或者少云天气条件涉及的天数为 50%，则渤海和北黄海春季通过有机物光降解产生的 DIC 将为 1.3 万吨碳，若再简单外推到全年，则为每年 5.2 万吨，相当可观。据估算，北黄海和渤海的溶解有机碳储量约为 500 万吨（根据容积和 100 umol/L 的平均 DOC 水平），那么，仅仅通过光降解这么一个途径，北黄海和渤海 DOC 储库的平均停留时间就只能在 100 年左右，这充分说明，有机物光降解是近海碳循环的重要一环，不容忽视。

S7-P-05

太平洋中西部海域浮游植物的营养盐潜在限制研究

陈建芳

国家海洋局第二海洋研究所

jfchen@sio.org.cn

2009 年 8 月至 9 月期间在太平洋西部 N1 站和中部 N2 站进行现场营养盐加富培养实验。研究结果显示：N1 站，浮游植物生物量对 N 或者 P 添加都有较强的响应，其中 N+P+Si 组和 N+P 组浮游植物长势迅速，叶绿素 a 从初始的 0.03 μg/L 分别达到 2.12 μg/L 和 1.83 μg/L，同时 P 先于 N 和 Si 之前被耗尽；说明 N1 站为 N、P 共同限制，P 是首要限制因子。而 N2 站，浮游植物生物量仅对 N、P 共同添加有明显响应，N 先于 P 和 Si 被浮游植物消耗殆尽。利用培养过程中营养盐比值变化推断，N1 站浮游植物以低于 Redfield ratio （16N：1P）吸收 N 和 P；而 N2 站浮游植物以高于 Redfield ratio （16N：1P）吸收 N 和 P。这可能解释了太平洋西部的寡营养盐海域为潜在 P 限制，而在太平洋中部海域则为潜在 N 限制。

S7-P-06

渤海三河口厌氧氨氧化与反硝化过程的比较研究

龚骏*，张晓黎

中国科学院烟台海岸带研究所，海岸带环境过程重点实验室，环境微生物学实验室

*jgong@yic.ac.cn

氮循环是仅次于碳循环的第二大元素循环，两者密切联系。在氮循环中，厌氧氨氧化过程（AX）与反硝化过程（DN）是微生物参与氮气产生的两个重要过程，但反硝化细菌（DNB）为异养型，而厌氧氨氧化细菌（AXB）是自养型。目前，国际上对不同环境中 AX 与 DN 两个过程的除氮的贡献率、速率及相关功能基因的多样性与丰度等均有研究，但在具有明显盐度梯度及污染的河口区的研究还较少。我们对渤海南岸三个污染河流（白浪河、胶莱河、逛荡河）的河口区的 8 个站点做了取样，利用 ^{15}N 稳定同位素添加示踪法及定量 PCR 方法，分析了河口区表层沉积物中 AX 与 DN 速率、贡献及 *nosZ*、*hzo* 等基因的丰度。结果发现，AX 的贡献在各河口中均随盐度梯度递减；所有站点中，AX 在白浪河口上游的速率（9.0 $nmol \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$）最高，但 AX 除氮的贡献在胶莱河口上游（30%）最高。功能基因拷贝数与速率及贡献等相关明显。与环境因子的相关分析表明，AX 的贡献与河口盐度呈负相关，其速率除受温度影响外，还受河口污染严重状况及污染物类型（有机污染、重金属）调控。

S7-P-07S

西北太平洋冷涡暖涡处细菌培养实验及有色溶解有机物荧光特性与分布研究

郭君，焦念志，任睿，李志朋

厦门大学

ronger_6086@yahoo.cn

有色溶解有机物（CDOM）是海洋有机物的一个重要组成部分，在海洋中良好的保守性，其性质被认为是长期生物惰性的，因此，在研究微型生物碳泵（MCP）的过程中，可以把它作为一个很好的指标，来追踪微型生物对惰性溶解有机物的产生与利用。2011 年七八月份，我们在西北太平洋 N22 断面上一个冷涡与一个暖涡处做了细菌的营养盐添加实验，来探索营养盐刺激下细菌对 DOC 的利用情况，利用三维荧光光谱分析手段，结合吸收光谱分析了 CDOM 的变化情况，并测定了 N22 断面 CDOM 的荧光特性及其水平与垂直分布特征。结果发现，CDOM 中类腐殖质荧光的相对含量随深度增加而渐增，而类氨基酸荧光的相对含量随深度增加有所减少，反映了海水中细菌等微生物活动对类氨基酸物质的降解作用。

S7-P-08S

长江口低氧区沉积物中 AOA 和 AOB 多样性初步分析

郭文婷，张传伦，王鹏

同济大学海洋地质国家重点实验室

wenting.g@163.com

对 2009 年 6 月采自长江口低氧区附近海域 10 个表层沉积物中的氨氧化细菌（AOB）、氨氧化古菌（AOA）进行实时荧光定量核酸扩增检测（Real-time Quantitative PCR Detecting，QPCR），选取 amoA 作为对应的功能基因进行定量研究。结果表明，AOB amoA 基因的拷贝数从 10^7 至 10^8 之间，AOA amoA 基因的拷贝数从 10^6 至 10^7 之间。结果表明，所研究站位中硝化过程的优势菌群为氨氧化细菌。

S7-P-09S

西太平洋表层水病毒裂解效应的研究

纪建达，张锐，焦念志*

近海海洋环境科学国家重点实验室
*jiao@xmu.edu.cn

病毒对宿主细菌的裂解效应在海洋地化循环中起着相当重要的作用。本实验在原有基础上通过观察三组处理的病毒（活性病毒、加热处理病毒、30KD 过滤滤液）与自然细菌种群的相互作用来阐述病毒在该寡营养海区的裂解效应。初期的实验结果显示，在整个培养过程中细菌丰度仅在活性病毒组中与病毒丰度呈现正相关；但随着病毒丰度的增加，细菌的生产力在不断下降，这主要是病毒裂解细菌比例增加的结果；相对于活性病毒组，其他两组中细菌生产力与细菌丰度间的变化类似，在菌群达到稳定期前表现为正相关，之后出现随着丰度的增加，单个细菌的生产力出现降低的现象，可能的原因是培养体系中营养物质的大量消耗导致菌群活性的降低，但变化幅度在活性病毒组中较小；同时，通过对培养过程中部分 CDOM 荧光强度的分析获得，CDOM 的荧光强度在三组实验中的变化趋势基本一致，表明该部分 DOM 可能是细菌自身产生，而病毒的裂解效应可能加大了该部分物质的释放。以上结果表明，在西太平洋这类寡营养海区中，病毒的裂解作用可部分补充细菌的生长所需，这在一定程度上维持了贫营养环境中菌群群落结构的稳定，但综合各参数的结果，这方面的内容还有待进一步的研究。

S7-P-10

红树林湿地可培养硫酸盐还原菌的垂直分布特征

丁海，张新艳，姚素平，刘常宏*

南京大学
*chliu@nju.edu.cn

红树林湿地是地球上生产力最高的生态系统之一，在全球生态系统碳硫循环中起着重要作用。由于海水的潮汐作用，红树林湿地的最显著的特征之一是土壤中硫含量很高，且以循环快速的无机硫为主，尤其是硫酸盐，因此，以硫酸盐为最终电子受体、在硫生物地球化学循环过程中起重要作用的硫酸盐还原菌（sulfate-reducing bacteria, SRB）就成为红树林湿地生态系统中的优势微生物种群。本研究采用传统的平板培养技术，系统研究了海南红树林湿地可培养 SRB 类群及其垂直分布规律，共获得 11 株 SRB 菌株，经菌落形态和细胞的显微观察以及 16S rDNA 序列分析，将其归纳为 6 个属，分别为变形菌门的伯克氏菌，海杆菌属，希瓦氏菌，弧菌属；厚壁菌门的芽孢杆菌属，梭状芽胞杆菌属。除弧菌属，芽孢杆菌属，梭状芽胞杆菌属为已知 SRB 类群，其它类群均为首次报道具有硫酸盐还原活性的 SRB。而且，SRB 类群的分布随土层深度的增加而降低，10 cm 土层的种群数量最高，约为 7740×10^8CFU/g 土壤，是表层土壤的 56 倍，90cm 土层的 837 倍，120cm 土层的 1739 倍。此外，还分析了 SRB 垂直分布与 C、S 元素及 Na^+、Cl^-浓度之间的关系。

S7-P-11

南海北部陆坡浅层沉积物捕获器硅藻记录及其与东亚季风的关系

冉莉华[1]，陈建芳[1]，郑玉龙[1]，陈荣华[1]，郑连福[1]，Martin G. Wiesner[2]

1. 国家海洋局第二海洋研究所
2. 德国汉堡大学海洋生物地球化学和海洋化学研究所

lihuaran@sio.org.cn

本文对 2009-2010 年布放于南海北部陆坡 1000 米水深的沉积物捕获器样品（SCS-N-03 shallow）进行了详细的硅藻分析。

研究发现，在 2009 年 6 月底至 2010 年 5 月中旬期间，南海北部陆坡 1000 米水深处的硅藻通量变化与颗粒物总通量变化情况基本保持一致，表现在东亚季风影响期间，硅藻通量较高，其中冬季风影响期间的硅藻通量高于夏季风影响期间硅藻通量，这表明南海北部硅藻的生长受东亚季风尤其是冬季风明显的影响。最高的硅藻通量并非出现在季风影响期间，而是出现在 2010 年 3-4 月，这可能与南海春季藻华现象有关。SCS-N-03 浅层捕获器中共鉴定出硅藻 135 个种属（包括变种），其中菱形藻属占绝对优势（其总含量达 45-63%），其次脆杆藻，海线藻及海链藻等属含量也甚为丰富。研究结果显示，在夏季风影响期间，脆杆藻（主要是 *Fragilaria berolinensis*）和菱形藻（包括 *Nitzschia bicapitata*，*Nitzschia brarudii*，*Nitzschia desertorum*，*Nitzschia fonticola*，*Nitzschia microcephala* 及 *Nitzschia prolongata* 等）含量最为丰富；在夏季风影响之后的季风间期，菱形海线藻（*Thalassionema nitzschioides*）及其变种含量明显增加，海链藻（主要是 *Thalassiosira eccentric*）含量也有所增加，部分个体较大的菱形藻（如 *Nitzschia angustatula* 和 *Nitzschia interruptstriata*）含量减少，而一些小型的菱形藻（如 *Nitzschia bicapitata* 和 *Nitzschia microcephala*）含量则有所下降。至冬季风影响期间，菱形海线藻（*Thalassionema nitzschioides*）、偏心海链藻（*Thalassiosira eccentric*）及个体较大的菱形藻含量均明显下降，而个体较小的 *Nitzschia microcephala* 含量显著增加，另一种菱形藻 *Nitzschia solita* 含量也有所增加。至冬季风影响后期以及随后的季风间期，脆杆藻（Fragilaria berolinensis）含量开始减少，*Nitzschia microcephala* 含量也逐渐下降，海线藻（包括 *Thalassionema nitzschioides* 及其变种和 *Thalassionema fruenfeldii*）以及另外几种的菱形藻（*Nitzschia bicapitata*，*Nitzschia fonticola*，*Nitzschia lanceola* 和 *Nitzschia solita* 等）含量明显增加。

S7-P-12

南海表层沉积物古菌群落结构分析

王鹏[1]，魏玉利[1]，张传伦[1,2]，胡安谊[3]，刘晓曦[1]

1 海洋地质国家重点实验室，海洋与地球科学学院，同济大学

2 佐治亚大学海洋系，美国

3 城市环境与健康重点实验室，中科院城市环境研究所

pengwang@tongji.edu.cn

海洋古菌在海洋生态中的物质循环、能量传递和信息传递中有重要作用，但是古菌在不同海洋环境中的生理作用及决定他们群落结构的环境因子相关研究还很少。本研究对珠江口及南海表层沉积物的古菌群落结构在空间上的变化进行了分析，并初步探讨了环境因子对古菌群落组成的影响。系统进化分析表明，古菌类群 MGI 在 SA5，SA9 及 MD2902 中占有绝对优势，可能与三个位点的含沙量较高相关。古菌类群 MBGE 在 MD2894 中占 64.4%，对 MBGE 的研究相对较少，只知道在进化树上处于 Methanobacteriales 和 Methanosarcinale 之间，具体的功能还有待于我们进一步研究，该位点 MBGE 含量较高可能受到火山活动影响。Unifrac 聚类分析结果显示浅水河口区的 3 个位点沉积物（SA9，SA7，SA5）与其它 7 个南海深海沉积物古菌群落结构明显不同，RDA 分析表明这种分布与水深、总有机质碳同位素、及粒度相关，说明古菌类群结构可能受到陆源物质影响。

S7-P-13S

利用光系统 II D1 亚基基因 psbA 研究东海光合真核藻类的多样性及表达活性

韦静静，焦念志，郑强

厦门大学海洋微型生物生态实验室
243187912@qq.com

超微型真核藻类（picophytoplankton）(<3um)是海洋初级生产力的主要贡献者，它们被广泛发现于海洋真光层。之前大量的生态调查工作发现超微型真核藻类在海洋中有很高的多样性，但前人的工作大都是依据 18S rRNA 调查多样性的，其中包括了很多异养的真核生物。我们利用光系统 II D1 亚基的基因 psbA 调查了东海光合超微型真核藻类的多样性和冬季具有光合活性类群，发现东海光合微型真核藻类的四个主要类群：囊泡虫类，定鞭藻类，绿藻类，不等鞭毛类。光合微型真核藻类在 DNA 文库中所占比例低于 50%，可利用 RNA 调查光合微型生物（包括原核与真核）发现光合微型真核藻类有着非常高的表达活性，几乎利用 cDNA 扩增到的 psbA 序列都属于光合微型真核藻类。

S7-P-14S

2008 年夏季南海北部溶解有机碳净生产研究

Kai Wu and Minhan Dai

State Key lab of Marine Environmental Science,
Xiamen University, Xiamen 361005, China
wk@stu.xmu.edu.cn

We examined the dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in a large shelf in Northern South China Sea in summer, which is under a complex hydrodynamic scheme largely shaped by river plume and coastal upwelling, along with the enhanced production of DOC. The plume water extended from the mouth of the Pearl River estuary to the middle shelf was characterized by high DOC. In contrast, the upwelled water occupying the nearshore area was distinguished by low DOC. While the dynamics of DOC was largely controlled by the physical mixing between the plume water, the offshore surface water and the offshore subsurface water, biological production of DOC was observed in both the river plume and the coastal upwelling areas. A three end-member mixing model was constructed based on potential temperature and salinity conservation to assess biological production of DOC, which was defined by the deviation from conservative mixing. In the coastal upwelling zone, the net DOC production rate was 13.4 ± 6.8 mmol C $m^{-2}d^{-1}$, which represented 58% of the net community production (Cao et al 2010). In the river plume, the net DOC production rate was 6.8 ± 4.4 mmol C $m^{-2}d^{-1}$, which represented 20% of the net community production (Cao et al 2010).

S7-P-15S

高 CO_2 环境对于变形菌视紫质携带菌 *Vibrio Harveyi* (ATCC BAA-1116)的影响

张飞，焦念志

近海海洋与环境国家重点实验室 厦门
zhangfei502@xmu.edu.cn

变形菌视紫质（PR）是一类跨膜蛋白，它可以在光照的条件下将细胞内的质子泵到细胞膜外，在细胞膜内外形成质子浓度梯度差，进而耦合 ATP 的合成，为细胞生命活动提供能量。海洋细菌群落中有大量的细菌携

带有 PR 基因，由 PR 蛋白介导的能量代谢在全球海洋能流中占有重要地位。由于人类活动造成大气中 CO_2 含量的增加进而导致的海洋酸化已成为人类所必须面对的课题之一。高 CO_2 环境对于携带有 PR 基因的海洋细菌是如何影响的，对于 PR 基因的表达及由其介导的能量合成是如何影响的较少见诸报导。对此，我们的研究选择 PR 携带菌 *Vibrio Harveyi*（ATCC BAA-1116）为实验菌株，分别在环境 CO_2 浓度（380ppm）和高 CO_2 浓度（750ppm）的条件下考察该菌株的细菌丰度、细胞形态、和 PR 基因的表达丰度等指标，进而研究高 CO_2 环境对于 PR 携带菌的影响，这对于我们更好地认识海洋酸化对于海洋细菌的影响及对于海洋能量流动的影响起到重要的帮助作用。

S7-P-16

深海浮游病毒对细菌丰度及多样性的影响

栗艳霞，蔡兰兰，张锐*

厦门大学

*ruizhang@xmu.edu.cn

浮游病毒是海洋生态系统中丰度最高的生物实体，其的生态功能成为海洋科学研究的热点之一。海洋病毒主要通过感染和裂解宿主影响其丰度、生产力、群落结构和多样性等生态特性，然而人们对深海病毒的生态学研究还很少。我们以西太平洋海域 3000 米深海浮游病毒为研究对象，采用分级过滤、切向过滤和稀释培养的方法研究了深海病毒对细菌生态特性的影响。流式细胞检测的结果表明，深海病毒明显地抑制细菌的丰度，添加病毒的处理组比没有病毒的对照组中的细菌丰度低 3.1-3.6 倍。末端限制性片段长度多态性分析（T-RFLP）显示细菌的群落结构在培养的第三天和第四天发生变化，表现为病毒作用下有新的细菌类群出现，一些主要类群转变成非主要类群和个别类群的消失。同时，病毒对细菌种群结构的影响有空间变化。同时，我们的研究表明，深海病毒对细菌群落结构的影响可能远比表层要剧烈。

S7-P-17

微型生物有机碳代谢特征差异

张瑶*，焦念志

近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学）

* yaozhang@xmu.edu.cn

微型生物的代谢活性可以将活性溶解有机碳（LDOC）转化为相对惰性的溶解有机碳（RDOC），从而进入千年尺度的海洋碳库。值得注意的是，在自然生态中不同微型生物类群之间对于 DOC 的利用是具有种属特征差异的，例如，新近认识的功能类群好氧不产氧光合异养细菌（AAPB）已经被证实能选择利用浮游植物产生的 DOC，并产生 AAPB-特定的 RDOC 于环境中，因此 AAPB 往往与浮游植物协同发展；而在深海广泛分布的古菌类群（包括泉古菌和广古菌）则相对更善于利用深海有机碳库中的 DOC，从而产生更加惰性的 DOC 于海洋碳库中。可见，在整个海洋生态系统的有机碳库形成谱带上，由不同的微型生物类群通过一系列的微型生物代谢过程不断的将 LDOC 转化为相对惰性的 DOC，从而使海洋碳储库中的 RDOC 无论在量上还是惰性程度上均得到积累。针对环境中微型生物有机碳代谢特征差异的研究，我们运用荧光原位杂交技术结合同位素底物示踪，从单细胞水平上观测微型生物各典型类群对有机碳底物的代谢活性，并评估针对各类群相对惰性的 DOC 底物类型。研究发现南海北部珠江口内的低盐度水体中微型生物群落中 β-类群代谢活性较高，是总群落对

L-亮氨酸代谢的主要贡献者；而在珠江口外的外海海盆区域α-类群则是L-亮氨酸代谢的主要承担者；相比较而言，γ-类群在整个研究区域对活性有机底物的代谢是较次要的。同时，在南海中心海盆区域垂直深度梯度上的研究发现，上层海洋以细菌代谢 L-天冬氨酸和 D-天冬氨酸为主，而在深部海洋则以泉古菌代谢为主，这暗示了泉古菌是深部海洋有机碳库的关键贡献者。综上，研究海洋中各典型类群的 DOC 代谢活性，及各类群特定-RDOC 类型，将有助于我们深入理解微型生物碳泵（MCP）的生态学意义，及其对海洋碳储库的贡献。

S7-P-18

海洋细菌胞外多糖的生物可利用性分析

Zilian Zhang and Nianzhi Jiao

State Key Lab of Marine Environmental Science, Xiamen University

zhangzilian@xmu.edu.cn

Refractory dissolved organic carbon (RDOC), which accounts for around 90% of the dissolved organic matter (DOM), is the largest reservoir of fixed carbon in the ocean. Microbial generation of RDOC by microbial carbon pump (MCP) has been established. However, the detailed molecular mechanism is yet to be further illustrated. It was indicated polysaccharides are relative abundant components of seawater DOM. To elucidate the bio-availability of polysaccharides in the DOM, exopolysaccharide (EPS) producing marine bacteria were isolated from seawater collected from Western Pacific Sea. Higher level of EPS producing bacteria belong to genus of *Alteromonas*, *Bacillus*, *marine*, *Pseudoalteromonas*, *Pseudomonas*, *Oceanicaulis* and *Ruegeria* were isolated. Characterization of the EPS productivity by an *Alteromonas* strain was performed. EPS isolated from culture medium of the *Alteromonas* strain was used for further analysis of its composition, structure and bio-availability.

S7-P-19S

揭开微型生物碳泵（MCP）的冰山一角

郑强

厦门大学海洋与环境学院

zhengqiang@xmu.edu.cn

海洋中大部分的溶解有机碳（DOC）是抗生物降解的，而且可以在海洋中存在上千年以上，组成一个溶解的有机碳储库。到目前为止，对于惰性 DOC （RDOC）它们的起源还不清楚。最近，Jiao 等人提出了一个概念性的框架——海洋微型生物碳泵（MCP），强调微生物转化活性有机碳（LDOC）到 RDOC。MCP 关注的是微生物吸收和释放 DOC，包括的范围从基因到生态。我们的研究把ATP transporter 作为一个例子，从基因遗传的水平来解释微生物作用 DOC。分析了海洋两大类群——Roseobacters 和 SAR11 的 ATP transporter 的组成：Roseobacters 喜好碳水化合物类型的 DOC，而 SAR11 更喜欢含氮源类物质的 DOC。从生态水平看，基于细菌产生的 D 型氨基酸作为标记，细菌驱动的 RDOC 的占海洋 RDOC 库的四分之一。在全球变暖的趋势下，分流分海洋初级生产力到 DOC 可能会变强，这样 MCP 就可能在海洋碳循环中起更重要的作用。随着各领域学科的合作交叉和一些新技术的出现，人们对更好的理解 MCP 对全

球变化的影响。

S7-P-20

海洋浮游细菌溶解有机质利用模式关键指示基因探究

汤凯

厦门大学海洋与地球学院

kt6mail@gmail.com

海洋浮游细菌吸收与转化溶解有机质（DOM),从而在微型生物碳泵充当了重要角色。分子表征海洋微型生物碳泵，是了解其微观过程与机制的重要手段。对于微型生物碳泵有关的基因及蛋白，可以从碳转化及转运等视角进行生态分布与功能方面的研究。以 TonB 依赖型转运蛋白为例，我们报道了其全球分布，并对其功能进行聚类分析。结果表明，TonB 依赖型转运蛋白在 DOM 及铁载体（Siderophores)利用方面有着不可忽视的作用，是微型生物碳泵过程与机制中需要重视的一类关键基因与蛋白家族，联系着底物转运/转化与细菌生态功能，可以指示细菌主要类群的 DOM 利用模式。

S7-P-21S

东海不同环境梯度下营养盐刺激细菌利用 DOC 的响应

李志朋，焦念志，任睿，郭君

厦门大学

lizhipeng39@gmail.com

微型生物碳泵已经作为一个明确的框架，用来处理生物地球化学循环中遇到的问题，然而微型生物碳泵的能够被如营养盐的环境因子所影响，陆源输出的营养盐是链接大陆和海洋重要因素，能够影响海水中微生物碳利用的过程。我们研究了东海不同营养盐条件下原位营养盐添加对于 DOC 利用的影响。结果显示，在营养盐较低的区域硝酸盐和磷酸盐的添加或导致培养体系中荧光物质有较大的波动，但营养盐组的细菌丰度会明显比未加富组高。并且在这一区域的添加营养盐使得细菌在某些功能群落上有一定的变化。然而在营养富足的区域中，营养添加使细菌丰度和荧光信号在加富和未加富组之间却未有明显变化。这使我们对于陆源输入影响细菌利用 DOC 的理解有了一定帮助。

S7-P-22S

Understanding the sub-surface metabolic activity and pathways of microbial mediated C/N cycling in North Pond, western flank of Mid-Atlantic Ridge

Xinxu Zhang[1], Yueheng Zhou[1], Xiang Xiao[1], Feng-Ping Wang[1], and the IODP Expedition 336 Scientific Party

1 State Key Laboratory of Microbial Metabolisms and Stake Key Laboratory of Marine Engineering, School of Life Sciences and Biotechnology, Shanghai JiaoTong University, 200240, China.

newsun@sjtu.edu.cn

The metabolic pathways and extent of microbial mediated biogeochemical cycling of important earth elements including carbon and nitrogen is poorly understood in deep sub-seafloor environments. Here, we aim to reveal the microbial heterotrophic/autotrophic activity and C/N cycling in the sediments and rocks of North Pond, western flank of Mid-Atlantic Ridge. A series of incubations with ^{13}C and ^{15}N labeled substrates including sodium carbonate, acetate, methane, ammonium chloride and sodium nitrate, have been set up onboard. Microorganisms and their

utilized pathways in the assimilation and transformation of C, N will be identified. In addition, high pressure enrichment and isolation of microbial groups involved in iron transformation are undertaken. These integrated studies would give clues to fully understand the underwater microbial groups, key metabolic pathways and their roles in ocean crust weathering.

S7-P-23S

N、P 元素对南海 CDOM 生成的贡献

任睿，李志朋，郭君，焦念志*

厦门大学海洋与地球学院微型生物生态学实验室
Jiao@xmu.edu.cn

CDOM 是自然水体中 DOM 的光吸收组分。某些证据证明氮元素对于 CDOM 的生成具有重要作用，而磷元素如何参与海洋 CDOM 的生成和消耗却很少有文献报道。我们在 2011 年 9 月和 2012 年 4 月两次南海航次中分别进行了氮、磷营养盐添加的船载培养实验。初步的实验结果显示： 在 15 天的培养时间内，细菌可以有效的产生及代谢原位产生的 CDOM；同时，伴随着细菌对氮、磷元素的吸收，CDOM 的信号均出现明显的增强，并且这部分产生的 CDOM 易于被细菌代谢，在整个培养的实验中，都伴随着 CDOM 不断的产生和消耗的过程；同时，在细菌的参与下，不同的 CDOM 组分之间可以进行相互转化。我们的实验证明，细菌可以有效的参与贫营养海域 CDOM 的物质循环代谢，并且氮、磷元素对于 CDOM 的生成也起到非常重要的作用。

S8-O-01

古生代与中生代之交的碳—氮—硫循环异常与微生物地质作用

谢树成, 罗根明, 黄俊华, 陈林, 贾成玲

中国地质大学（武汉）生物地质与环境地质国家重点实验室
xiecug@163.com

二叠纪-三叠纪之交发生了显生宙以来最严重的生物大灭绝事件。伴随着宏体生物的大灭绝出现了许多微生物功能群繁盛的现象，同时与生物代谢密切相关的 C、N、S 生物地球化学循环也出现了异常。在碳循环方面，二叠纪-三叠纪之交碳酸盐岩碳同位素在界线附近出现两次明显的负偏，而且这两次负偏也出现在特提斯其他剖面上，显示了大气圈经历了涉及碳循环的两次重大事件。在海洋系统中，动物化石记录揭示了两次灭绝高峰。分子化石如 2-甲基藿烷指数反映了细菌群落中蓝细菌的两次繁盛高峰。分子化石还揭示了陆地系统出现的两次强烈风化作用。二叠纪—三叠纪之交地球表层海-陆-气系统出现的这些幕式事件与火山活动有关联。

氮循环异常与后生生物的大灭绝有很好的一致性，表现为有机氮同位素$\delta^{15}N_{org}$ 在主灭绝界线处出现一个很大的负偏。这说明海洋生态系统在这一时期发生了重大的变化。宏体生物大灭绝之后$\delta^{15}N_{org}$ 在 0‰左右波动，说明了当时海洋生物可利用氮主要来自生物固氮作用，而其他的生物可利用氮很缺乏。这是由于海洋缺氧事件的加强，导致了大量的生物可利用氮通过反硝化微生物功能群和氨的厌氧氧化微生物功能群转换成生物不可利用的 N_2。氮循环异常使 N_2O 进入表层海水和大气的通量明显增加，可能对当时全球变暖事件起了重要作用。

硫循环在二叠纪-三叠纪重大转折期经历了数次大幅度的波动。快速大幅度的 $\delta^{34}S_{CAS}$ 波动表明二叠纪-三叠纪之交海水硫酸盐浓度非常低。根据 C-S 同位素模型的定量分析结果，发现当时海水硫酸盐浓度很低，不会超过现在海水的 15%。海水硫酸盐浓度的降低导致了产甲烷代谢和甲烷好氧氧化代谢微生物功能群的繁盛，也导致了 CH_4 释放进入大气通量的显著增加，加剧全球变暖程度。

S8-O-02

埃迪卡拉纪－寒武纪转折期深海的演化与寒武纪“生物大爆发”

汪建国[1]，陈代钊[1]，严德天[2]，韦恒叶[3]，向雷[1]

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）

3 东华理工大学

wangjg@mail.iggcas.ac.cn

在埃迪卡拉纪－寒武纪（E-C）转折期，包括构造格局、古海洋、古气候以及生物都同时发生了重大的改变，这其中最为显著的就是新元古代末期埃迪卡拉动物群的消亡以及早寒武世宏体后生动物门类的爆发性分异、辐射和生态扩张（即“寒武纪生命大爆发”）。目前，关于这一关键时期生物快速辐射和生态扩张的驱动机制是国际学术界非常关注的热点问题，但也存在着较大分歧。虽然部分研究者认为该时期大气氧浓度的增加并伴随深海的氧化是这一生物事件的环境触发因素之一，但由于对这一重要转折期深海的演化缺少详细的研究，因此其氧化还原状态转变过程还不是很清楚；另外由于缺少地层对比上的约束，海洋的氧化过程与生物辐射的关系也并没有得到很好地阐述。

为了更好地约束这一重要转折期海洋氧化还原状态的变化及其与生物演化的关系，我们选择湖南西部跨越 E-C 界线附近的深水剖面为研究对象，以 $\delta^{13}C_{org}$、$\delta^{34}S_{py}$ 以及铁组份为分析手段，重建了 E-C 转折期深海的演化过程。结果表明：E-C 海洋的演化可分成两个阶段（阶段 1 和阶段 2）。阶段 1（埃迪卡拉纪末期到 Tommotian 末期）：具有高的 Fe_{HR}/Fe_T 比值（所有样品都大于 0.38）以及低的 Fe_p/Fe_{HR} 比值(绝大部分样品都小于 0.8)，显示该时期深海为富铁缺氧，但在牛蹄塘组下部有两个样品的 Fe_p/Fe_{HR} 比值大于 0.8，说明在早寒武世期间这种富铁缺氧的海水曾短暂的被硫化缺氧水体所取代，同时该时期 $\delta^{13}C_{org}$、$\delta^{34}S_{py}$ 值具有一定的耦合关系。阶段 2（大致时期为 Tommotian 末期到 Atdabanian 期）：与阶段 1 存在明显的区别，Fe_{HR}/Fe_T 比值快速降低（总体低于 0.38），Fe_p/Fe_{HR} 比值向上有上升的趋势，但没超过 0.5，$\delta^{34}S_{py}$ 从 30‰快速下降到-10‰，而且与 $\delta^{13}C_{org}$ 变化明显脱耦，说明该时期深海快速从缺氧转变为富氧环境，这与大量海绵个体以及海绵骨针的出现相一致。

在结合地层以及生物资料的基础上，通过碳同位素地层对比，可以看出深海从还原到氧化状态的快速转变与 Atadabanian 早期澄江动物群出现在时间是大致耦合的，这说明大气-海洋的快速增氧（如深海的氧化）是早寒武世生物门类、生态快速分异、辐射和扩张的重要环境驱动力。深海氧化表明当时大气-海洋氧浓度已经升高到一个临界值，这为依赖于扩散（diffusion）有氧代谢的早期生命提供了一个前所未有的环境和发育（基因）创新（innovation）机会，触发了生物门类、形态的快速分异、形体设计复杂化和大型化；同时深海氧化提高了资源可利用率、拓展了适合生物生存的生态空间（或范围），进一步

激发了宏体生物快速的生态开发和辐射。

S8-O-03

扬子地区奥陶纪-志留纪转折期古环境演变

严德天[1]，陈代钊[2]

1 中国地质大学（武汉）构造与油气资源教育部重点实验室

2 中国科学院地质与地球物理研究所

yandetian@cug.edu.cn

奥陶纪—志留纪过渡时期是一个重要的地质转折期，全球气候、海洋环境和生物界面貌都发生了重大的变化，其中最为显著的就是长期温室气候背景下突然出现的冈瓦纳冰川事件。剧烈环境变化导致了多门类生物的集群绝灭。为了认识气候、海洋环境变化对生物绝灭的影响，选择扬子地区上奥陶统—下志留统典型剖面（宜昌王家湾、张家界三家馆和桐梓南坝子），对其开展了详细的地球化学研究。

铁组分分析结果表明：王家湾剖面五峰组黑色页岩以高 FeHR/FeT 比值（0.20～0.77，平均为 0.45），高 DOP 值（0.21～0.72，平均为 0.54）和相对稳定且不依赖于有机碳含量的黄铁矿硫含量为特征。观音桥段沉积物具有低 FeHR/FeT 比值（0.10～0.35，平均为 0.21），低 DOP 值（0.1 1～0.40，平均为 0.28），且 S/C 值位于正常海相沉积数值附近（S/C=0.36）。龙马溪组下部沉积与五峰组沉积相似。上述数据表明在五峰期和龙马溪期，扬子海底水处于缺氧环境，而观音桥期海洋处于氧化状态。此种状况也得到微量、稀土元素以及硫同位素数据的支持。位于浅水相带的三家馆剖面五峰组和龙马溪组具有较低的 S/C 比值（0.O0～0.08，平均为 0.02），低的 FeHR/FeT 比值（0.10～0.37，平均为 0.27）和低的 DOP 值（0.O1～0.27，平均为 0.10），显示此处水体处于氧化状态；同时，S/C 比值远小于 0.36，与现代淡水湖泊沉积物相似，代表了一种淡化的水体。说明在晚奥陶世一早志留世扬子海水体存在着明显分层现象，既存在氧化还原分层，也存在盐度分层。

化学蚀变指数分析表明：王家湾剖面五峰组以高 CIA 值（72.4～74.7，平均为 72.9）为特征。观音桥段除了个别样品值外，多数样品 CIA 值接近 60，平均值为 64.8。观音桥段和龙马溪组界线附近 CIA 值突然增大，从 62.8 跃变到 71.8；龙马溪组内部 CIA 值相对稳定（70.4～73.4，平均为 71.7）。位于浅水相带的南坝子剖面 CIA 值随地层的变化与王家湾剖面相似，特别是观音桥段与上下地层接触界线附近的 CIA 值突然降低与增大现象。据此，推断了扬子地区奥陶纪-志留纪转折期的气候特征，将气候变化分为三个阶段，自老到新经历了温暖湿润（五峰期）—寒冷干燥（观音桥期）—温暖湿润(龙马溪期)的变化过程。

综上，我们认为，五峰期伴随快速的海平面上升，使得扬子地区碳酸盐台地被淹没，形成广阔的陆表海盆地，有利于海洋缺氧环境的形成。奥陶纪末期，由于华夏和扬子地块的加速汇聚与拼接，使得陆地面积增加，而潮湿、温暖的气候又加速了大气水循环，使化学风化作用增强，引起大陆径流和营养物的向海输送。结果使海洋表层水体微生物（主要是浮游植物）繁盛，生物产率和有机质埋藏增加，底层水体进一步缺氧，强化了水体缺氧状况。但大量有机碳的埋藏和大陆风化作用又导致大气中 CO_2 分压的降低及气候变冷，并出现冰期，进而导致全球海平面下降，海水底部含氧量增加，为赫南特动物群的兴起与繁盛提供了广阔的空间。晚奥陶世相对活跃的火山作用或其他触发因素的影响，在观音桥末期引发了使全球变暖的“温

室效应”和冈瓦纳冰川的快速消融等一系列巨大变化，并使海平面迅速回升，扬子海又迅速恢复为缺氧环境。缺氧环境是赫南特动物群绝灭的重要因素.。

S8-O-04

扬子地区古生代关键地质转折期的碳同位素异常与碳循环

陈代钊，汪建国，严德天，韦恒叶，遇昊

中国科学院地质与地球物理研究所

dzh-chen@mail.iggcas.ac.cn

近十年来，通过对扬子地区古生代一些关键地质转折期（前寒武纪-寒武纪转折期、奥陶纪-志留纪转折期、晚泥盆世弗拉斯-法门转折期、晚二叠世）碳同位素地层的研究，揭示出这些时期不同的碳同位素异常样式，反映了不同的海洋碳循环模式。

通过对湘西深水型前寒武-寒武系界线（留茶坡组和牛蹄塘组）剖面高分辨率有机碳碳同位素（$\delta^{13}C_{org}$）地层研究，提供了比以往更加连续、时间跨度更大的碳同位素地层资料，这些资料揭示了 5 个明显的碳同位素正漂（P1-P5；3 个在留茶坡组，2 个在牛蹄塘组）和 4 个碳同位素负漂（N1-N4；3 个在留茶坡组，1 个在牛蹄塘底部）；其中以留茶坡中部的负漂幅度最大，该负漂相当于寒武系的底界，其上的 2 个明显的正漂（P3, P4）和负漂(N3,N4)则与西南浅水型梅树村组地层（小歪头山、中谊村和大海段）相当，而更上的一个正漂则与玉案山段下部的正漂相当。碳同位素的负漂可能主要与幕式性的火山—热液活动有关，而正漂则与有机体的不断埋藏有关。

而奥陶纪-志留纪转折期，碳同位素以典型的正漂为特征。以宜昌王家湾为例，从五峰组至龙马溪下部，$\delta^{13}C_{org}$ 值虽有波动，但总体表现正向漂移，至观音桥段（介壳灰岩）顶部达到最大（-27.6‰），漂幅达 3.2‰ (VPDB)，显示有机碳加速埋藏，并使气温明显降低。至龙马溪底部，又发生明显的负向漂移（至-30.5‰），以后大致保持平稳，并略有升高，这可能与冰川期后快速回暖有关。

晚泥盆世弗拉斯—法门转折期显示了相似的碳同位素正漂现象。在弗拉斯-法门界线附近，大致相当于 Upper Kellwasser Horizon (UKW) 的层段，发现 $\delta^{13}C_{carb}$，$\delta^{13}C_{org}$ 的总体正向漂移，并且与 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 同位素正漂大致同时，但达到最大漂幅的时间不同， 后两者时间略晚。这些资料显示，由于陆缘营养输入的增加，造成了微生物（浮游植物）的繁盛和有机埋藏量的增加，促使 PCO2 降低和气候变冷。

而通过对川西北上二叠统地层高密度碳同位素测试分析发现除顶底界限（二叠—三叠系界限、中—上二叠统界限）的碳同位素负异常外，在上二叠统内部尚存在多达四次的碳同位素负异常（其中吴家坪组上部的负异常幅度最大），这说明晚二叠世时，海洋碳库不稳定，波动非常频繁，造成这种频繁的负漂移现象可能与频繁的火山活动有关。这些资料不仅为上二叠统地层对比，也为认识晚二叠世的环境-气候变化、海洋碳循环、生物演化提供了重要的背景资料。

S8-O-05

喀斯特区域被忽视的微生物碳汇

连宾

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

bin2368@vip.163.com

喀斯特区域碳酸盐岩溶蚀是大气 CO_2 源汇的重要环节，对全球碳循环的影响受到广

泛关注。地表岩溶作用过程包括微生物参与的生物地球化学过程，非光合作用微生物参与的岩溶作用以及在陆地和水环境中诱导碳酸盐形成所产生的微生物碳汇尚未得到应有的重视。从土壤分离出一株能利用 NO_3^-为唯一氮源的真菌 *Alternaria* sp.，发现其具有通过硝酸盐还原作用固定 CO_2 诱导形成碳酸钙的能力。由于全球大气氮沉降持续增加，喀斯特地区的土壤和水体富含钙，因此利用这类微生物来固定 CO_2 和形成碳酸盐颗粒的潜力十分巨大。发现一些细菌，如胶质芽孢杆菌（*Bacillus mucilaginosus*）在特定条件下能诱导合成碳酸钙；该菌还可能通过碳酸酐酶催化的水合反应固定 CO_2，吸收水合反应产物 HCO_3^-，并把它掺入到菌体代谢中。这些结果暗示岩溶地下水、流域及海洋中的 HCO_3^-不仅仅可以被光合微生物所吸收，可能还有部分会被非光合作用微生物所利用。总之，岩溶作用以及岩溶地区的碳循环与微生物有密切关联，需要结合不同生态环境来定量研究自然条件下不同微生物及其代谢产物对岩溶作用影响，以揭示生物对环境变迁的响应及其与岩溶作用碳循环效应之间的关系。对喀斯特区域被忽视的微生物碳汇的研究将有助于解释碳循环中碳的不明遗失以及全球大气 CO_2 收支的不平衡，并对微生物影响岩溶作用的速度和稳定性，以及地球环境演化与碳循环的关系有更进一步的认识，从而为岩溶地区生物地球化学过程与地球表层环境演化的关系提供新的素材。

S8-O-06

泥炭藓与嗜甲烷细菌共生行为对泥炭地碳循环的影响

黄咸雨[1]，薛建涛[1]，王新欣[1]，龚林锋[2]，秦养民[2]，王红梅[2]

1 地质过程与矿产资源国家重点实验室，中国地质大学（武汉）

2 生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学（武汉）

xianyu.huang@gmail.com

北半球泥炭地是重要的大气 CO_2 碳汇，储存着全球土壤碳的 30%。在泥炭地环境中，微生物主导的生物地球化学过程显著影响泥炭地碳循环，包括产甲烷过程和甲烷好氧氧化过程。近年来的研究发现，泥炭藓泥炭地中泥炭藓与嗜甲烷细菌之间存在共生互惠行为（Basiliko et al., 2004; Raghoebarsing et al., 2005; Kip et al., 2010）。嗜甲烷细菌寄生在泥炭藓体表或水细胞内部，将甲烷氧化成 CO_2，供泥炭藓进行光合作用。在一些泥炭藓泥炭地中，泥炭藓光合作用固定的 CO_2 有 10-15%（Rahoebarsing et al., 2005），10-30%（Larmola et al., 2010），甚至 35%（Kip et al., 2010）来自甲烷氧化过程。进一步的研究证实，此共生过程存在于全球各种泥炭藓泥炭地（Kip et al., 2010），也存在于西伯利亚苔原沉水生长的棕藓中（Liebner et al., 2011）。由此可见，泥炭地苔藓植物与嗜甲烷细菌的共生行为是控制泥炭地向大气排放甲烷量的重要过程之一。

微生物成因的甲烷通常具有较轻的碳同位素（一般小于-50‰，Whitcar，1999），受嗜甲烷菌活动影响越大，泥炭藓脂类碳同位素将会越偏负。因而可以根据泥炭藓脂类单体碳同位素的变化来研究地质历史时期微生物与植物的相互作用过程及其对气候变化的响应。

研究显示，泥炭藓共生嗜甲烷菌活动与水位明显相关（Basiliko et al., 2004；Rahoebarsing et al., 2005）。在较湿环境中生长的泥炭藓具有更多的共生嗜甲烷菌，可以贡献更多的甲烷来源的 CO_2 供泥炭藓光合作用。由此可以推测，受共生嗜甲烷菌的影响，

泥炭藓脂类单体碳同位素可能与水位之间存在密切甚至是定量的关系。此外，CO_2 在泥炭藓水细胞中的扩散过程也会影响泥炭藓碳同位素的分馏程度(Williams and Flanagan, 1996; Ménot and Burns, 2001）。

近些年我们在位于湖北西部的神农架大九湖和咸丰二仙岩泥炭藓泥炭地开展了较为详尽的现代过程调查，主要包括环境参数（如大气温度、相对湿度、水位及水温）监测、泥炭地植物及表层泥炭类脂物组成。初步结果显示，泥炭藓特征的 *n*-C23 烷具有明显偏负的碳同位素组成（$\delta^{13}C$ 约-37‰），明显比同一泥炭地的草本植物正构烷烃化合物偏负，反映出泥炭藓光合作用利用了来自甲烷氧化过程形成的 CO_2。在二仙岩开展的工作显示出，泥炭藓非绿色部分 *n*-C23 烷 $\delta^{13}C$ 比绿色部分 *n*-C23 烷 1.2-1.9 ‰。对同一泥炭地不同水位处生长的表层泥炭样品进行分析发现，*n*-C23 烷 $\delta^{13}C$ 与水位之间有较好的正相关性（R^2=0.62, p<0.05），也即水位越高（水面越接近泥炭表面），$\delta^{13}C$ 越偏负，也即受嗜甲烷菌影响越大。而主要来草本植物的 *n*-C29 烷 $\delta^{13}C$ 与水位之间的相关性较差（R^2=0.21, p=0.3）。这些初步工作显示，来自泥炭藓的 *n*-C23 烷碳同位素组成是一种新的潜在的古水位指标，可以用于半定量重建泥炭藓泥炭地的古水位。

S8-O-07

多年冻土退化与碳循环

Zhang Tingjun[1,2]

1 MOE Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu province, 730000 China;

2 National Snow and Ice Data Center, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder CO 80309-0449, USA

tjzhang@lzu.edu.cn

Permafrost study has received great attention worldwide in recent decades because changes in permafrost conditions have profound influence on hydrological cycle, plant growth and ecosystem productivity, carbon exchange between the atmosphere and the land surface, and engineering implications in cold regions. Soil temperatures have been measured up to 3.20 m from more than 41 hydro-meteorological stations in area underlain by permafrost across the Russian Arctic and Subarctic for the period from the mid-1950s through 2008. We found that the composite of mean annual temperature at the top of permafrost has increased by greater than 3.0^{o}C. The thickness of the active layer has increased by about 25 cm. For the first time, we found that talik, a thawed layer between the maximum depth of seasonal freeze and the top of permafrost, might have formed at various sites over Siberia in the past few decades. Increase in permafrost temperature and active layer thickness and talik formation are clearly indicators of permafrost degradation in Siberia. Over the same period, increase in air temperature is about 1.0^{o}C over the study area. Thus, changes in air temperature alone cannot account for the increase in permafrost temperatures in Siberia, which is consistent with results obtained from North American Arctic. Increase in winter air temperature and changes in snow cover conditions may be responsible for permafrost temperature increase, while increase in active layer thickness may be mainly controlled by increase in summer air temperature. Talik formation is a complicated process, changes in air

temperature and precipitation, especially snowfall, may account for a deeper thaw in summer and a shallow freeze in winter, resulting in taliks over the study area. Changes in permafrost conditions will have dramatic impacts on hydrologic and carbon cycles in the Arctic and Subarctic. We will further discuss these environmental impacts due to changes in permafrost conditions across the Russian Arctic and Subarctic.

S8-O-08S

末次冰期以来大九湖泥炭沉积两次甲烷释放事件及其环境指示意义

丁伟华[1]，杨欢[1]，龚林峰[1]，黄咸雨[2]，谢树成[1*]

1 生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学（武汉）

2 地质过程与矿产资源国家重点实验室，中国地质大学（武汉）

xiecug@163.com

泥炭是重要的陆地碳汇，碳储量为世界土壤碳储量的三分之一，相当于全球大气碳库碳储量的 75%，对全球碳循环，尤其是 CH_4 循环，有着显著的影响。泥炭是大气甲烷的重要的输入源，每年向大气中排放的甲烷占全球总排放量的 10%，因此研究泥炭甲烷循环对探讨全球气候变化具有重要意义。泥炭中甲烷主要来自产甲烷古菌，它在厌氧环境中将有机质转换为甲烷，在泥炭中含量丰富。通过研究泥炭中产甲烷菌的变化，可以反映泥炭地甲烷释放量的变化情况。甘油四烷基甘油四醚化合物（GDGTs）是目前研究的比较热的一类生物标志化合物，它是古菌和某种细菌细胞膜脂的主要成份，对环境变化响应敏感。目前利用 GDGTs 化合物在不同环境中建立了一系列环境替代因子，如 TEX_{86} 重建海洋表层温度，CBT 指数重建土壤 pH 等。其中古菌 GDGTs 中的无环 *i*GDGT（m/z 1302）认为来自产甲烷古菌，是一类厌氧菌；而 crenarchaeol（m/z 1292）被认为是氨氧化泉古菌的生物标志物，是一类好氧菌。因此两者含量的相对变化不仅可以反映泥炭地的甲烷释放量，还可以反映环境的氧化还原条件的变化。另一种化合物 Archaeol 主要来自于产甲烷古菌，也被认为是泥炭产甲烷的标志化合物，同样可以反映泥炭地的甲烷释放量的变化。

神农架大九湖泥炭沉积连续，外来干扰很少，是研究自然环境变化记录的理想载体。我们对 DZK-03 号沉积钻孔开展了大量的类脂物分子、孢粉和基因等研究工作，这里主要报道该钻孔中微生物 GDGTs 和 Archaeol 化合物所反映的该泥炭地甲烷释放量的变化及其环境指示意义。在该泥炭沉积中，检测出了丰富的 GDGTs 和 Archaeol 化合物，其中古菌 *i*GDGTs 主要来源于产甲烷菌。建立了无环 *i*GDGT/ crenarchaeol（1302/1292）和 Archaeol/ crenarchaeol 指标以反映泥炭地甲烷释放量的变化。两者的变化趋势一致，均在 13~9.3ka 和 2ka 附近出现极高值，说明该时期泥炭地甲烷释放量明显提高，是该泥炭地两次重大的甲烷释放事件。同时也反映了该时期泥炭地还原条件加剧，而泥炭地的氧化还原条件主要受控于水位的高低，从而指示该时期泥炭地水位较高。该沉积柱的沉积速率的变化以及细菌 GDGTs 的 CBT 指数反映的泥炭地水位的变化，都支持了这两个时期泥炭地古水位的突然增加。

S8-O-09

东海沉积物有机碳赋存特征与保存机制探讨

蔡进功，丁飞，卢龙飞，徐金鲤，冯晓萍

同济大学海洋地质国家重点实验室

jgcai@tongji.edu.cn

沉积物是由不同类型的有机质(可溶与不可溶)和无机矿物(碎屑和粘土矿物等)组成，二者间的相互作用特征，影响沉积物中有机质赋存特征和保存机制以及有机碳的循环特征。选取东海表层沉积物经分级分离后，进行显微镜检、XRD、孢粉相、TOC 和 TN 以及 GC-MS 等检测，获取矿物学与有机质的特征参数，研究沉积物中有机质的赋存特征，揭示不同赋存态有机质在碳循环中角色的差异。

将沉积物分成 1Ø(>250μm)-8Ø(<2μm)共八个粒级，发现细粒级（8Ø）以无定形有机质及粘土矿物等组成，具有高 TOC 以及低 TOC/TN(<4)的特性，表明有机质来源于水生生物；在 4Ø（63～25μm）至 7Ø（5～2μm）以无定形有机质及少量木质组织和藻团块和动物壳体等有机质以及粘土矿物与石英、长石、碳酸盐岩和少量黄铁矿等矿物碎屑；粗粒级（1Ø-4Ø）由木质组织和丝炭等结构有机质及少量无定形有机质以及石英和长石等矿物碎屑及有孔虫、介形虫和腹足类等壳组成，具有高 TOC 以及高 TOC/TN(5～8)的特性，展现了有机质主要来源于高等植物的特性；从 TOC 与 TN 的相关图可以看出，4Ø（ 63μm）以下粒级 TOC 与 TN 相关好,表明有机碳和氮的来源一致，而 4Ø（ 63μm）以上粒级 TOC 与 TN 相关差，这些特征展现了沉积物不同粒级中有机质赋存的多样性以及与无机矿物关系的复杂性。依据各粒级的质量及 TOC 含量计算，发现 4Ø（63μm）以上粒级有机碳量占全样有机碳量的较大，8Ø(<2μm)粒级占全样有机碳量 70%以上，表明细颗粒是沉积物中有机质富集的主体。对 8Ø(<2μm)依次进行溶剂萃取、碱解和酸解处理，分别得到有机溶剂抽提的游离酸、碱解得到的碱解酸和酸解得到的酸解酸等三种赋存态脂肪酸，且游离酸含量>碱解酸>酸解酸，并可检测出正构一元饱和酸、不饱和酸、支链一元饱和酸和芳香酸等；进一步分析发现有机溶剂抽提、碱解和酸解后，其比表面积以及 XRD 曲线上的 d_{001} 衍射峰值依次减小，据此推断游离脂肪酸主要来自于黏土的微孔隙，碱解酸主要来自于粘土矿物的外表面，酸解酸来自于粘土矿物的层间域，表明黏土矿物即可以物理方式吸附有机质，也可以化学方式吸附有机质。

表层沉积物是水圈和生物圈有机质向岩石圈转换的重要纽带，而有机质的保存机制一直受到人们的关注，提出了选择性、缩聚降解、自然硫化以及有机粘土复合体等假说。沉积物的分级分离后，粗颗粒（1Ø-4Ø）中大量出现的木质和无定形有机质，可能与有机质的选择性和缩聚降解保存有关；在 4Ø－7Ø 粒级中出现的无定形、少量木质组织和生物残体（藻团块和动物壳体）和黄铁矿等，可能与自然硫化、选择性和缩聚降解保存有关，但是在这些粒级中有机质与无机矿物仅仅是共生关系。细粒级（8Ø）中大量出现的的无定形有机质，它与黏土矿物以物理方式或化学方式相吸附成有机粘土复合体，并与黏土矿物的关系极其密切。由此可知，同一沉积物中有机质的赋存方式以及保存机制具有差异性，这将会造成碳循环过程中有机质的命运的差异，进而影响有机质的演化命运以及对‘源’和‘汇’的贡献量和碳储库的估算量，值得深刻关注。

S8-O-10

中国东部近海表层沉积物的微生物四醚膜脂（GDGTs）分布及其环境指示意义

吕晓霞[1]，杨阳[1]，杨欢[1]，宋金明[2]，李学刚[2]，袁华茂[2]，李宁[2]，谢树成[1]

1.中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室

2.中国科学院海洋研究所

luxiaox@163.com

近年来，地质环境中来源于微生物细胞膜质的甘油二烷基甘油四醚脂（GDGTs：Glycerol dialkyl glycerol tetraether lipids）成为生物地球化学领域的研究热点之一，它主要是利用细菌或古菌的细胞膜脂随环境或温度的变化而改变的特性，构建一系列指示环境或气候变化的指标（TEX_{86}、MBT/CBT），以及判识物源的指标（BIT）等，在陆地和海洋古环境与气候变化序列的重建中得到广泛的应用。

近海海域是环境与气候变化比较敏感、陆海相互作用比较强烈的海域。对于受陆源输入物质影响较大的海区，研究发现在BIT<0.3 的海区，TEX_{86} 可用来进行古海水表面温度的重建，并已在一些海区得到应用。而近海沉积物中来源于陆地细菌来源的MBT/CBT 指标也被一些学者用来指示流域的气候变化。然而，随着研究的逐步深入，发现这些指标并不能在所有的近海海域都适用，对于支链 GDGTs（b-GDGTs）的来源以及 TEX_{86} 的适用条件都存在较多的争议。中国东部近海是典型的陆架浅海，沉积物主要来源于长江和黄河两大河流输入。长江和黄河分处于我国的中北部地区，流域的气候环境条件差异明显。沉积物中的 GDGTs 能否记录不同的物质来源？基于近海沉积物中GDGTs 的各项指标能否用来指示环境与气候条件的变化？到目前为止还未见详尽的报道。

通过对中国东部近海 59 个表层沉积物GDGTs 的组成和分布研究，发现基于iGDGTs 获取 SST 的几个全球指标中，由TEX_{86}^{H} 获取的 SST 与实际 SST 相对接近，其在黄海海域获取的SST 和实际SST 的差值较大（-3.2~5.3°C）；而在东海海区除个别站位外（BIT<0.2），差值范围比较小，在-1.97~0.97°C 之间。在基于 GDGTs 的各项指标中，CBT 与 TEX_{86} 呈显著的正相关关系，相关系数达 0.73（n=59,p<0.01），MBT 与古菌群落指数 ACI 呈显著负相关，相关系数为-0.47（n=59，p<0.01），这可能表明有部分bGDGTs 来源于海洋自生细菌的输入，bGDGTs-II 的相对含量与 SST 的显著正相关也进一步表明海洋存在自生的 bGDGTs。

在所研究的环境因素中，CBT 和 TEX_{86} 主要受温度和营养盐的影响，其中温度为主要的影响因素。而在不同季节的 SST 中，夏季 SST 与 TEX_{86} 和 CBT 的相关性最强，其相关系数分别为 0.83 和-0.74。这可能表明中国东部海域的 iGDGTs 和部分 bGDGTs 主要来源于夏季微生物的贡献，TEX_{86} 可能用来指示夏季的 SST。在黄海海域由 TEX_{86}^{H} 获取的SST 与实际SST 的差值随着纬度的降低而相对减小，这可能指示中国东部海区的微生物功能群在相对温暖的环境生长繁盛。另外，TEX_{86} 和 CBT 与纬度呈显著负相关（相关系数分别为-0.84 和-0.59），而 ACI 与纬度呈正相关（相关系数为 0.73），这种现象与中国境内土壤 GDGTs 的整体变化规律一致。这表明，中国近海海洋沉积物 GDGTs 除受气候因素的影响外，还保留了陆源输入的指征。

S8-O-11

生物标志化合物在湖泊沉积记录中的应用

Huiling Sun[1, 2], Fahu Chen[2*], Aifeng Zhou[2], James Bendle[3], Osamu Seki[4], Stefan Schouten[5], Jaime L. Toney[3], Hucai Zhang[1]

1 Laboratory of Plateau Lake Ecology and Global Change, School of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Chenggong 650500, China.
2 Research School of Arid Environment and Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China. *Email: fhchen@lzu.edu.cn
3 Department of Geographical and Earth Science, University of Glasgow, Glasgow, G12 8QQ, UK.
4 Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, N19W8, Kita-ku, Sapporo, 060-0819, Japan.
5 Department of Marine Organic Biogeochemistry, Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), Den Burg, Texel, Netherlands.
sunhl07@lzu.edu.cn

湖泊沉积是地区性古环境、古气候变迁的最佳载体，它能够真实记录流域在较长地质历史时期各种气候和环境变化的信息，对区域气候变化的响应尤为敏感。保存于湖泊沉积物中的有机质则主要是外源陆生生物和内源水生生物的集合体。因此，可利用分子化石的结构多样性及其在不同生物类别中特定的分子分布特征，判识沉积物中有机质的生物源的生命形式，从而建立起生物与气候环境因子的联系。目前，生物标志化合物（GDGTs）以及单体氢同位素（δD）等指标在湖泊沉积记录重建古气候的应用中发挥着巨大作用。

本研究以黄土高原中部六盘山天池为研究对象，以 28 个陆源植物残体的高分辨率 AMS 测年为年代控制，基于 Sun et al (2011) 的区域校准公式，运用六盘山天池 GDGTs 指标定量重建了中晚全新世 6000 Cal yr BP 以来黄土高原中部地区的古温度变化；基于沉积物中陆生植物来源的脂肪酸 δD_{C28} 重建了 6000 Cal yr BP 以来黄土高原中部大气降水 δD 的变化。重建结果显示中晚全新世以来黄土高原中部地区主要受亚洲季风影响，且表现为“暖湿”、“冷干”的雨热同期的气候特征。

S8-P-01

泥炭湿地有壳变形虫生态学及其古水文意义

秦养民[1]，张千帆[1]，贺占灿[1]，刘红叶[1]，黄咸雨[1]，彭宗林[3]，谢树成[1]

1 生物地质与环境地质国家重点实验室，中国地质大学（武汉）
2 地质过程与矿产资源国家重点实验室，中国地质大学（武汉）
3 七姊妹山国家自然保护区
qymcug@yahoo.com.cn

长江中游高山湿地在同纬度地区具有稀有性和独特性，是全球生物多样性研究热点地区之一，也是保障区域生态安全的关键地域。该地区高山泥炭藓湿地具有极高的生物多样性和生态学、古气候学研究价值。在国际上，有壳变形虫可以用来恢复泥炭地的古水文条件。有壳变形虫（testate amoebae）是一类具外壳的陆相淡水根足纲 (Rhizopoda) 原生动物。其大小一般在 20-250 μm。由于有壳变形虫的壳体是由自体分泌粘性有机物胶结周围砂粒等形成的，具有很好的抗腐蚀性而在沉积物中保存下来，克服了其它环境载体不易保存的缺陷；该类生物还具有数目巨大、形态稳定、繁殖速率快、对环境变化敏感等特点，因而广泛应用于泥炭湿地的古环境重建。

初步调查了长江中游地区高山泥炭湿地有壳变形虫的生物多样性和生态学特征。通过多元统计分析，发现控制本地区有壳变形虫群落分布的最重要因子是水位，并根据加权平均法构建了有壳变形虫的“属种-水位”的转换函数模型，计算了每种有壳变形虫关于水位的生态最适值（optimal value）和耐受值（tolerance value）。识别出了干旱环境和湿润环境的指示种。相对喜湿润的种类主要包

括 *Lesquereusia modesta*，*Pontigulasia compressa*，*Difflugia acuminata*，*Difflugia lanceolata*，*Centropysis aculeata* type，*Centropysis ecornis* type，*Difflugia pristis* type，*Difflugia oblonga*，*Euglypha ciliata*，*Arcella discoides*，*Quadruella symmetrica* 和 *Nebela penardiana* 等种和类群。相对喜干旱的种类主要有 *Plagiopyxis callida*，*Trigonopyxis arcula*，*Bullinularia indica*，*Assulina muscorum*，*Corythion dubium*，*Assulina seminulum* 和 *Trinema linare* 等种和类群。这些资料为下一步利用泥炭湿地有壳变形虫来重建本地区的古水文条件积累了第一手资料。

S8-P-02

埃迪卡拉纪分层的海洋与碳循环

储雪蕾

中国科学院地质与地球物理研究所

xlchu@mail.iggcas.ac.cn

过去的 3.5Ga 期间，地球上海相灰岩的 $\delta^{13}C$ 记录几乎都在 0±3‰之间 (Veizer and Hoefs 1976)，但是元古代早期和晚期的两次大冰期都造成海洋碳同位素的波动幅度达到或超过±15‰ (Shields and Veizer, 2002)。Hoffman 等 (1998)认为这与“雪球地球”造成的海洋生产力崩溃和退冰释放大量的幔源 CO_2 有关。此外，Rothman 等 (2003)发现冰期结束后尽管海洋的无机碳的 $\delta^{13}C$ 变化很大，但有机碳的同位素组成几乎不变，因此提出冰期结束海洋深部形成的一个大的溶解有机碳(DOC)库是造成沉积碳酸盐岩 $\delta^{13}C$ 大幅度负漂移的原因。然而，Rothman 等人提出的冰后的大 DOC 碳库受到了某些人质疑（Bristow and Kennedy, 2008; Jiang et al., 2010）。冰后的海洋究竟是否存在一个大的 DOC 碳库？如何解释埃迪卡拉纪海相碳酸盐岩的碳同位素变化？

主要通过对华南地区从台地到斜坡、盆地相沉积的陡山沱组沉积岩进行详细的 Fe 组分研究，我们提出了一个“氧化还原分层的埃迪卡拉纪海洋”模式 (Li et al., 2010)，并且进一步将其推广至晚太古代以来的前寒武纪 (Planavsky et al., 2011)。这意味着埃迪卡拉纪海洋是一个强烈化学分层的海洋，表面或浅水氧化，深水是缺氧、富铁的，在陆架-斜坡间化学急变带下发育一个动态变化的硫化楔。根据这个模式，我们很容易解释为什么世界各地沉积的埃迪卡拉系碳酸盐岩的 $\delta^{13}C$ 会有大幅度的变化。

埃迪卡拉纪时期，海水的强烈分层造成从浅海到深海存在着大的碳同位素梯度，已经发表的数据表明碳同位素梯度超过了 10‰ (Jiang et al., 2007)。根据我们的模式分析，深水沉积的碳酸盐岩具有更负的 $\delta^{13}C$ 值是由于海水分层和硫化楔的存在。在硫化楔之上的化学急变带是细菌还原硫酸盐的主要位置。那里既可以得到硫酸盐补给，浮游生物死亡、降解也主要在该带上，产生的 H_2S 维持了硫化楔的存在，同时也产生显著贫 ^{13}C 的 DIC。细菌硫酸盐还原(BSR)是造成那里 DIC 贫 ^{13}C 的主因，但也不排除其它途径微生物厌氧氧化也会产生贫 ^{13}C 的 DIC。此外，在近岸氧化的水体之下，未完全降解的微体后生动物遗骸及排泄物也能够形成悬浮的 DOC 碳库，浓度甚至超过 DIC。它的稳定存在保持了大的碳同位素梯度，幅度远超现代观察到的“生物泵”作用。

新元古代“雪球地球”事件结束后，地球表面环境处于非常不稳定的时期，大气化学、气候、海平面等都曾发生大的变化或摆动，反映到海洋化学上就是海水的氧化-缺氧界面和硫化楔的时空变化。例如，海平面变化或洋流上涌就可能造成大幅度的碳同位素

负漂移。埃迪卡拉纪海洋化学的不均一性和环境不稳定（可以是全球性，也可以是区域或局部的）变化，就造成了埃迪卡拉纪不同地区或一个地区内沉积的碳酸盐岩地层碳同位素对比的困难。

S8-P-03S

有机质赋存形式对生标应用的影响及意义

丁飞，蔡进功

同济大学海洋地质国家重点实验室

dingfei0205@gmail.com

生物标志物在海洋研究中有重要应用，涵盖各个时间尺度，如，通过古菌四醚类脂物、C_{37} 烯酮及同位素计算表层海水温度及 CO_2 分压，通过生物标志物组合计算古海洋生产力、古气候、古环境变化等信息，某些特殊生物标志化合物对地质历史中的特殊事件也具有指示意义，尤其单体同位素测试技术的发展扩大了生物标志化合物的应用范围，并趋向定量化计算。然而，沉积物（岩）中有机质的分布具有非均质性，有机质的选择性保存、缩聚保存、硫化保存以及与黏土矿物结合等方式的差异决定了地质体中有机质赋存形式具有差别，这些不同赋存形式的有机质在相同地质条件下演化必然存在差异，这将导致不同演化阶段不同赋存形式有机质对生物标志化合物的贡献不同，而现今常规分析所得生物标志化合物信息是不同赋存形式有机质的综合，具有一定模糊性。前人研究发现，无论沉积物或沉积岩中，以游离态存在的纯有机质仅占有机质总量的 10%，尤其在泥质沉积物中，80%以上有机质呈与黏土矿物结合的形式存在，黏土粒级组分中有机质的赋存形式及演化差异至关重要，为此，本文以泥岩为研究对象，通过不同化学处理方法得到不同赋存形式有机质，采用有机质量、组成以及生物标志化合物特征对比的方式，对有机质赋存形式对生物标志化合物影响进行初步探讨。

结果显示，三种不同有机质：游离有机质、碱解有机质和酸解有机质占原始样品质量百分数的平均值以游离有机质最高，其次为碱解有机质，酸解有机质最低，分别为：0.224%、0.132%和 0.00063%。非烃与沥青质是主要组分，但与游离有机质相比，碱解有机质中饱和烃与芳香烃含量极低。碱解有机质正构烷烃碳数分布较游离有机质广泛，最低碳数正构烷烃高于相应游离有机质，最高碳数可达 C_{39}，类异戊二烯烷烃相对含量较低，甾烷藿烷类化合物含量相对较低。整体而言，生物标志物反映两组有机质来源略有差异，碱解有机质陆源植物贡献较大，不同化合物参数指示结果有差别；碱解有机质演化程度较游离有机质高，而且沉积环境相对氧化。不同方法所得各种有机质特征的差异体现黏土粒级组分中有机质赋存方式有差异，是不同赋存态有机质演化差异的结果，导致了有机质演化所得各种化合物相对含量的差别。同时，不同赋存态有机质所对应的有机质保存方式差异在碳循环研究中的影响也应予以重视。

S8-P-04S

长江主要水系的水化学组成与流域季风气候的影响

王晓丹，杨守业

同济大学海洋地质国家重点实验室

xiaodan34wang@126.com

流域化学风化消耗大气 CO2，入海河流将陆源风化的颗粒态和溶解态物质输运到边缘海及全球大洋，显著影响全球碳和元素地球化学循环。长江是起源于青藏高原地区的最大河流，水系特别发育，流域地质构造相当复杂，岩性、季风气候多变，人类活动影

响显著。不少学者研究了长江干流和支流的主量离子来源及区域分布特征，探讨流域的化学风化和源岩贡献，并估算长江流域或青藏高原源区的化学风化对大气 CO2 消耗的贡献。长江流域季风降雨影响显著，长江干流的径流量及主要离子组成表现出明显的季节性变化，但目前对不同水系水化学组成的时空变化规律认识还不够，对其与流域气候环境之间的联系研究也薄弱。

我们系统收集了前人发表的长江水系干流（包含源头地区）主量离子组成数据，探讨长江流域的风化情况。研究发现，长江流域河水离子组成主要受岩石风化控制，以碳酸盐岩的风化为主；其中，上游地区蒸发盐岩风化占主导。总体上，硅酸盐岩的风化呈现自上游向下游逐渐加强的趋势，反映出季风降雨增强，促进流域化学风化。不同流域河段在不同季节（洪-枯季）的离子组成具有一定的规律，为探讨长江不同流域对于下游干流水化学组成的贡献提供基本依据。

我们自 2010 年 5 月至 2011 年 7 月在位于长江下游的大通水文站，定点持续采集季节性的水样。结果显示，不同的离子具有不同的季节变化特点。除 Mg 外， HCO3、Ca、Si 及 K 的平均含量均在洪季高于枯季；同时，这些离子组成在 2011 年同期含量低于 2010 年，这可能与三峡水库蓄水和气候变化有关。

初步研究发现，长江下游干流的主要离子化学组成主要来自中游的贡献，这一现象在洪季表现尤为显著。亚热带季风气候控制下的长江流域的降雨区迁移基本控制了长江干流水化学组成的时空变化特征。

S8-P-05

SoilGen 土壤发育模型敏感性分析与区域校正

于严严[1,2]，Peter A Finke[2]，郭正堂[1]，吴海斌[1]

1 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

2 Department of Geology and Soil Science, University of Ghent, 9000 Ghent, Belgium

yyy@mail.iggcas.ac.cn

陆地生态系统是全球碳循环重要的组成部分，在地质历史时期该系统格局发生过显著变化，其对应碳库变化可能对大气 CO_2 浓度变化产生重要影响。由于过去碳库仅有部分保留在沉积物中，因此无法通过实测数据直接准确重建古碳库，导致目前对过去不同时段碳库估算及其对全球碳循环的贡献还存在很大不确定性。近年来，随着陆地生态碳循环模型的发展，部分模型能通过沉积记录中的古气候信息，实现对古碳库较准确的重建，有望成为解决上述问题的有力工具，并对揭示不同时间尺度陆地生态系统碳循环变化机制及其对全球碳循环的贡献起到关键的作用。

在陆地生态系统碳循环模型中，SoilGen 为土壤发育过程模型，主要基于 5 大成土要素（气候、母质、地貌、生物和时间）条件，通过模拟水分和化学物质在土壤剖面中的迁移规律，实现对不同环境条件下土壤剖面发育过程的数值重建。它的优点在于能同时模拟有机与无机碳循环过程，及其它成壤过程对长时间尺度碳库变化的影响，因此在古碳循环研究中具有优势与潜力。目前该模型已应用于欧洲黄土母质的土壤中，成功模拟了末次冰盛期以来土壤剖面中粘土迁移和碳酸盐淋溶等土壤发育过程，但对其有机碳循环部分相关参数的校正尚未开展，因此无法实现对碳库的准确重建。

本研究基于两个典型黄土沉积区：比利时 Zonien 林区和我国黄土高原子午岭林区黄土母质土壤剖面的实测数据，通过 Morris 和

逐步逼近方法，对 SoilGen 中与碳循环过程相关的参数进行了敏感性分析与校正。结果表明 k_{HUM}，fr_{ecto} 和 k_{RPM} 是影响两区域土壤碳库变化的较敏感参数，通过降低 k_{HUM}，fr_{ecto} 和 k_{RPM} 值，获得分别适用于两区域的不同模型参数组合。Zonien 地区校正的参数值均低于子午岭林区对应参数，揭示了该区土壤分解速率较慢，这可能与两地植被类型和气候条件的差异相关。校正后模型可较好模拟土壤剖面碳储量变化，为未来选取我国第四纪黄土堆积中典型时段，进行古碳循环过程重建奠定基础。

S8-P-06S

基于二维液相色谱技术的木质素酚单体 ^{14}C 研究

吴伟超*，许云平

北京大学城市与环境学院第四纪地质学

*wwcpku@gmail.com

利用加速器质谱仪（AMS）测量放射性碳(^{14}C)是一种重要定年和示踪方法。近年来 AMS 技术的发展使得 ^{14}C 测量所需的含碳量从毫克级降至微克级，这为开展单一化合物的天然 ^{14}C 含量分析（Compound Specific Radiocarbon Analysis）提供了可能。木质素是陆地维管束植物的特征化合物，在自然界的含量仅次于纤维素，因此是表征陆源有机碳来源的优良代用指标。与传统的全样同位素分析相比，测量具有特定来源的单一化合物（生物标志物）的 ^{14}C 含量能够排除不同来源的干扰，从而更好地揭示有机碳的生物地球化学过程，并可能成为新的定年方法。然而，从复杂的环境载体中分离出高纯度、足够量的单一化合物是一项极具挑战性的工作。传统上主要采用制备气相色谱技术，但该方法存在着收集次数多、运行时间长、需衍生化引入额外碳等诸多缺点，难于应用于诸如木质素酚这样极性较强的化合物。为此，我们在实验室发展了一种基于固相萃取（SPE）富集木质素酚、利用二维液相色谱分离出 8 种木质素酚类化合物的方法。重复实验的结果显示，该方法不仅无需衍生化，而且具有进样次数少、易获得足够量目标化合物的优点。木质素酚的平均回收率不低于 50%，纯度高于 95%，基本满足了放射性碳的测量要求。通过对不同环境样品（植物、土壤、边缘海沉积物）的分析证明该方法不仅适用于基质较为简单的植物样品，还能用于基质较为复杂的土壤和沉积物样品。

S8-P-07

西、中太平洋的营养结构差异

王奎，陈建芳，金海燕，徐燕青

国家海洋局第二海洋研究所, 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室

wang.kui@msn.com

利用大洋科考 20、21 航次的调查资料，分析讨论了西太平洋和中太平洋的营养盐分布特征及营养盐结构和其调控机制。结果表明：西太平洋海域营养盐突跃深度出现在 800-1000 m 处(溶解无机氮 DIN: 42-45 μmol/dm^3, 溶解无机磷 DIP: 3.0-3.2 μmol/dm^3, 活性硅酸盐 SiO_3^{2-}: 110-120 μmol/dm^3)，而表层在浮游植物消耗下含量极低，其中 DIN 和 DIP 含量低于检测线。在中太平洋 DIN 和 DIP 在 75-100 m 处有明显跃层。在西太上层 (0-200m) N:P、Si:N 和 Si:P 值大于 Redfield 比值，表明 DIP 相对于 DIN 更缺乏。而在中太平洋海域上层 N:P 和 Si:P 值小于 Redfield 值，Si:N 远远大于该比值，这说明 P 是相对富裕的，而 N 明显不足。综上可得，若不考虑绝对浓度限制影响，西太表层 DIP 相对 DIN 远低于浮游植物生长所需含量，该海域可能存在 P 潜在相对限制；而中太表层可能

存在 N 潜在相对限制。而 SiO_3^{2-}较高含量表明对其浮游植物生长不存在潜在相对限制作用。

S9-O-01

嫦娥-1 月球探测在测月学领域的一些新进展介绍

Ping Jinsong[1], Su Xiaoli[2], Huang Qian[3], Yan Jianguo[4]

1 National Astronomical Observatory/CAS, Datun Rd. 20A Beijing, 100012, P.R.China

2 Shanghai Astronomical Observatory/CAS, Shanghai, China

3 China University of Geosciences, Wuhan, China

4 Wuhan University, Wuhan, P.R.China

*jsping@bao.ac.cn

The Chinese lunar orbiter Chang'E-1 is a successful mission with fruitful lunar scientific results in many disciplines. It has been playing an important role in selenodetic explorations, by means of modeling topography with laser ranging as well as improving gravity field model with radio matric tracking data. After carefully checking and validating the Chang'E-1 observables, data obtained by Chang'E-1 can benefit the studies of lunar origin and evolution. In these new results, the selenodetic outputs of Chang'E-1 are continues recovering the characteristics of lunar surface, undersurface and inner structure. By this means, among dozens of lunar missions since the "cold war" era through the first 10 years in the new century, a few successful lunar orbiters, the Clementine, the Lunar Prospector, the KAGUYA/SELENE, the Chang'E-1, the Lunar Reconnaissance Orbiter and GRAIL have been drawing the global selenodetic characteristics more and more clearly, with the state of art fine resolution and high precision. Among them, Chang'E-1 is playing an important and distinctive role in selenodetic explorations, by means of modeling lunar surface topography with CCD stereo camera and laser ranging altimeter, as well as of improving lunar global gravity field model with new set of radio metric tracking data. From the laser and tracking data, new lunar topography and gravity model have been estimated. The new gravity model using Chang'E-1 data can success the state of art KAGUYA/SELENE SGM100 model at long wave length with a factor of two. Also, using the new developed lunar topography model and gravity model of Chang'E -1, some middle scare surface characteristics and old mascon basins and craters have been newly identified and discovered.

S9-O-02

大气圈多样性及其对研究地球系统的启发

汪品先

同济大学

pxwang@tongji.edu.cn

想要深入理解地球上的"全球变化"，比较行星学是一副醍醐灌顶的良剂。就像改革开放初期一样，不出国不知道，出去了吓一跳。地球科学也一样，习惯了地球上的大气圈，怎么看都找不到感觉；一旦有了比较，保管你万感交集，说不定还会顿开茅塞。

在和内行星的比较中，你可以凭吊失去了大气圈的水星，感谢地球保住了大气圈，让我们能够承沐雨露的恩泽；面对火星的荒凉，你会看到少年地球的景象，低下头默默地忆苦思甜；而火星上九十个大气压和魔鬼

式的硫酸云，你又可能会为未来的宇航员担惊受怕……

更大的神奇，当然是外行星的大气，尤其是土星和它的光环。土星的众多卫星里，不但有着向太空喷射水气和冰晶的土卫二，还有更加不可思议的土卫六：在那里甲烷代替了水在地面聚集成湖、在天上降落为雨，在那里氮代替了二氧化碳成为温室气体，而冰又代替了岩石……

不，这些并不是科幻作品，而是货真价实的外星“地球系统”。“他山之石，可以攻玉”，和他们的比较将开阔我们的视野、启发我们的思路。地球上的大气圈有暖室期和冰室期的交替，而为什么金星的大气是失控了的“暖室期”，火星又是失控了的“冰室期”？在已经没有流水、没有海洋的火星上，为什么温度最高处并不在赤道，为什么季节只有“尘暴季”和“晴空季”？ 火星三十亿年前形成的沉积岩，起搬运作用的究竟是水，还是液态的甲烷？ 地球上深海海底报道的“甲烷湖”和“CO_2湖”，是不是可以和外星上的“真家伙”相比？……

有了生命、有了水，地球是我们生活的乐园，却给解绎地球系统之谜的学者们出了难题。地外星球，哪一个都比地球“简朴”和“纯洁”，解剖外星球的大气圈，可以帮助我们认识地球系统“全球变化”的奥秘。

S9-O-03

用重力和地形资料研究类地行星及月球的地壳结构

林间[1],丁忞[1,2]

1 美国伍兹霍尔海洋研究所, 地质与地球物理系
2 美国麻省理工学院, 地球、大气与行星科学系
jlin@whoi.edu

太阳系的四颗类地行星（水星、金星、地球和火星）与月球之间的半径差别可达近3.7倍，但各星体的地壳厚度有相同之处。过去一、二十年来，由于行星的重力以及地形数据的精确度不断提高，行星重力学的研究有了长足的进步。本报告概述如何利用行星的重力和地形数据来反演其地壳结构，并研究岩石圈的动力学。水星北半球的地形高度在-5.41 到 4.43 公里之间，自由空气重力异常为-220 到 240 毫伽。金星的地形高度在-2.67 到 10.98 公里之间，表面以平原及火山地形为主，没有大洋中脊的地貌，其最高的火山 Maxwell Montes 达 10 公里。金星的自由空气重力异常在-103 到 268 毫伽之间。地球的地形高度在-10.97 到 8.85 公里之间，自由空气重力异常的范围为-191 到 276 毫伽。火星的地形高度在-15.99 到 27.27 公里之间， 南北地形差异明显。表面可见火山省和撞击盆地，其中 Olympus Mons 高达 23 公里，是太阳系最高的山脉。火星的自由空气重力异常的范围为-470 到 3,356 毫伽。月球的地形高度在-7.69 到 10.45 公里之间，表面可见火山及大量的陨石坑和撞击盆地。月球的自由空气重力异常在-489 到 790 毫伽之间。行星的重力和地形数据可以被结合用来反演其地壳结构。如果假设自由空气重力异常主要来自于地形和壳/幔密度界面，并且给定各行星的壳、幔密度及参考地壳厚度，就可以计算各行星的地壳厚度模型。在目前常见的反演模型中，类地行星和月球的平均地壳密度常被假设在 2.7-3.1 克/厘米^{3}的范围内，而地幔密度假设为 3.3-3.5 克/厘米^3。重力反演的结果显示，各行星的地壳厚度的变化幅度约为70-120公里。但是各种反演的结果取决于模型中假设的参数，而目前只有地球和月球上有部分的地/月震资料来校正重力地壳模型。重力与地形之间的关系还可以用来研究各行星地形的均衡机制。比如研究结果发现，火星上的大部分地区基本上处于 Airy 地壳均衡，但一些

火山和撞击盆地，包括 Olympus Mons，却处在严重的非均衡状态，需要由地幔中的应力机制来解释。

S9-O-04

重力潮汐成息法可以用来探测月球内部的大尺度结构吗?

Shijie Zhong, Chuan Qin, Geruo A, and John Wahr

Department of Physics, University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado 80309
szhong@colorado.edu

The Moon displays a number of hemispherically asymmetric features that may be related to long-wavelength structure and dynamics in the lunar mantle. Here we propose to use observations of the non-degree-2 gravitational response of the Moon to degree-2 tidal forcing to constrain the long-wavelength lunar mantle structure. For a planetary body with laterally varying structure, degree-2 tidal forces excite gravitational response at non-degree-2 harmonics due to mode coupling effects. Using a new numerical model, we determine that for a lunar mantle with ~5% hemispherical variations in seismic shear wave velocity V_s, the degree-3 response could reach ~2% of the degree-2 response. The larger the hemispherical variations in V_s, the larger the degree-3 response. We suggest that if observations from recent lunar missions such as SELENA and GRAIL could be used to determine the non-degree-2 tidal response, it might be possible to place constraints on the lunar mantle structure.

S9-O-05

金星地幔动力学

黄金水 [1]、杨安 [1]、钟时杰 [2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院
2 University of Colorado at Boulder, CO80303
jshhuang@ustc.edu.cn

金星与地球在起源、大小、质量、密度等接近，但观测显示，金星与地球在许多方面表现非常不同。尽管来自潮汐波 K_2 的分析显示金星可能有液核，但金星没有内生磁场；金星的地形起伏与地球相近，但重力与地形强相关，且具有很高的导纳值（大地水准面与地形比值）；金星表面布满均匀正态分布的撞击坑，分析显示其表面年龄基本一致，大约 5 亿年，这暗示着金星发生过快速的表面更新；金星表面有许多陨石坑和火山活动，但没有发现任何类似大洋中脊或海沟等的直接表征板块活动的踪迹，这显示，从动力学上来说，金星与地球完全不同，金星现在没有活动的板块构造。金星为什么没有板块构造运动？其表面快速更新的机制又是什么？这是金星地幔动力学研究中的热点与难点问题。

本项研究借助三维有限元数值模拟的方法，研究球壳区域内的对流模型。在保持模型与金星基本一致的前提下，研究了不同粘性结构和相变对金星地幔对流的影响。初步结果包括：

（1） 类似于火星的一个板块的常粘性地幔的对流可以产生类似金星的导纳值，且大地水准面与地形强相关，但大地水准面和地形的低阶项幅值太低。从地幔的热结构来看就是地幔具有太多的上升和下降流结构，与对金星地幔热柱个数的估值相差太远。

（2） 将一个板块模型的粘性结构中加入类似地球软流层的弱层，数值模拟显示可

以增大地幔的对流结构，从而减小对流模型中热柱的个数，但尽管这可以增加大地水准面低阶项的比重，和金星观测相比，模型的中低阶项幅值都偏小。更重要的是，这也使得模型的导纳值变得太小。

（3） 相变和弱层一样可以增大地幔的对流结构，但和弱层不同，合理的选择模型的 Rayleigh 数和相变 Clapeyron 斜率既可以产生和金星类似的热柱结构、还可以产生和金星类似的大地水准面和地形的谱结构和大小。

因此，数值模拟结果显示，金星或许不具有和地球类似的软流层。这对理解金星为什么没有板块构造以及金星表面的更新模式具有重要意义。

S9-O-06

火星的古老火山作用及其热演化历史

肖龙[1]，黄俊[1]，Philip R. Christensen[2]，Ronald Greeley[2]，David A. Williams[2]，赵健楠[1]，何琦[1]

1 中国地质大学行星科学研究所

2 School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, AZ, United States

longxiao@cug.edu.cn

火山作用在所有类地行星的壳的形成和演化中起了重要的作用，保存了大量的火山建造，可能是太阳系中研究古老火山过程最好的星球。前人对火星上的火山做了大量的研究，普遍认为这些火山的火山作用始于诺亚纪（>3.8 Ga），并一直持续到晚亚马逊纪（<0.1 Ga）。由于诺亚纪火山保存了火星地壳形成和最早期热演化的宝贵信息，它们是火星地质研究的重要信息来源，因此是研究火星早期热历史的重要对象。但是，由于长期且强烈的地质改造使得对诺亚纪火山产物的识别和描述变得十分困难，因此，古老火山作用的形式，它们和最早期火山建造的联系，以及与整个火星热演化的联系尚不清楚。本文基于对 THEMIS, HRSC, HiRISE, MOC 和 CTX 等火星探测数据的综合分析，识别出了 75 座火山，它们分布在诺亚纪的 Coprates 隆起、Thaumasia 高地、Thaumasia Fossae、Icaria Fossae 和 Thaumasia 高原外围。这些火山的直径为 50 到 100 km，高出周围的平原 2-3 km，大都形成于 4.0Gy 以前。在空间分布上它们大多毗邻 Tharsis 火山省和环 Hellas 火山省，表明这两个火山省的火山作用，相比以前的研究结论，在时间跨度上更长，在强度上更剧烈。

结合前人的研究成果，本文将火星的火山活动分为四个大的阶段： 1) 第一阶段为前诺亚纪到早诺亚纪（>4.0 Ga），全球广泛分布着小型的火山建造（包括 Tharsis 区域），形成广泛发育的平原式火山作用，这种火山作用介于溢流玄武岩和夏威夷盾火山之间；2) 第二个阶段从中诺亚纪到晚诺亚纪，表现为年龄为 4.0 Ga 到 3.7 Ga 的 Hellas 盆地周围的中心式火山作用；3) 第三阶段从晚诺亚纪到晚西方纪，即在 3.7 Ga 到 3.5 Ga 之间的 Tharsis 和 Elysium 火山省的火山作用；4) 第四个阶段从 3.5 Ga 到亚马逊纪，Tharsis 和 Elysium 火山省的火山作用逐渐减弱，局部平原式火山作用和加厚地壳下的异常热地幔部分熔融相关。火山形迹与火星的热演化历史密切相关。早期的火山活动，是以裂隙式和小规模的中心式火山的形势在全球广为分布(>4.0 Ga)。随后，由于火星内部产热量的降低，火山活动的强度衰减，只有部分地区如 Tharsis、环 Hellas、Elysium 和 Syrtis Major 依然还有火山活动（<3.5 Ga）

这些火山建造的表面被放射状的河谷所切割，是早期流水侵蚀的痕迹。而这些侵蚀作用在西方纪熔岩平原形成的时候已经停止。

S9-O-07S

相变对金星地幔对流结构影响的三维数值模拟

杨安[1]，黄金水[1]，钟时杰[2]

1 中国科学技术大学地球和空间科学学院

2 Dept. of Physics, University of Colorado at Boulder, CO80309, USA

yangan@mail.ustc.edu.cn

金星在大小，密度和组成上与地球非常相似，但与地球不同，地球有活动的板块构造，而金星表面覆盖了一个较厚的，不活动的岩石圈。从金星的地形和大地水准面的谱分析来看，金星的地形与大地水准面在 100 阶内都有比较高的相关性，低价的导纳很高。金星的地形和大地水准面低阶项占主导（3 阶最强）。现有研究（如艾利均衡模型、弹性板块模型、热均衡模型、地幔对流模型等研究）显示在金星上一些局部区域，艾利均衡模型可以解释金星的地形和大地水准面之间的关系，但要解释金星的地形和大地水准面在低阶项的相关性和导纳特征，必须顾及金星地幔的动力学效应。

本研究就试图通过数值模拟的方法研究对流的金星地幔产生的地形和大地水准面的特征。数值模型中假定金星地幔为牛顿流体，粘度与温度强相关。这样有利于产生一个板块的对流模式，已有研究显示这对金星地幔对流具有重要影响。数值模型采用广义 Boussinesq 近似。一般认为岩石圈下金星地幔粘性基本均匀，这通过采用粘性和压力相关来调整，岩石圈下的地幔粘性变化约为 10 倍左右。相变是本研究的重点，模型中放热和吸热相变的深度分别取 490Km 和 690Km，密度变化都为 210 kg/m^3。我们通过改变相变的克拉贝通斜率和瑞利数的大小来研究相变的影响。模型中包括了地幔内生热。数值计算采用有限元三维并行计算软件 CitcomS，计算中上下边界条件取自由滑移，表面温度取 730K，整个地幔的温差为 2500K。金星的外半径取 6050 Km，内半径取 3330Km，地幔的参考密度为 3300 kg/m^3。

数值模拟结果显示：（1）在瑞利数为 8×10^7，模型中不包括相变时，结果与已有研究类似，一个板块的常粘性地幔对流产生地形和大地水准面具有很强的相关性和很高的导纳值。但我们的结果显示地形和大地水准面与金星相比低阶太弱。（2）相变可使地幔对流趋于长波结构，包含相变的模型的模型结果证明了这一点。这种影响和 Rayleigh 数以及 Clapeyron 斜率有关。在瑞利数为 8×10^7，相变的 Clapeyron 斜率为±3MPa/K 时，这种影响较小。当 Clapeyron 斜率增加时（如±4，±5MPa/K），在保持地形和大地水准面之间的相关性以及高导纳的同时，地形和大地水准面的低价项逐渐增强，可达到与金星观测相匹配的水平。（3）增加 Clapeyron 斜率的影响也可以通过增加 Rayleigh 数的值来达到。Ra 为 8×10^7，Clapeyron 斜率为±5MPa/K 的重力地形谱结构与 Ra 为 2×10^8，Clapeyron 斜率为±4MPa/K 的重力地形谱结构基本一致。（4）当瑞利数和 Clapeyron 斜率都很大时（如 Ra=4×10^8，Clapeyron 斜率为±5MPa/K 时，模型的地幔对流是以 1 阶为主。（5）对比模型和金星的地形大地水准面观测，与金星较一致的模型的瑞利数为 2×10^8，岩石圈下地幔粘度为 10^{21}Pa.s 左右，相变的克拉贝通斜率为±3.5MPa/K。

S9-O-08

基于重力和地形的月壳密度和孔隙度区域性解析

黄倩

中国地质大学（武汉）地球科学学院行星科学研究所

qianhuang.83@gmail.com

月壳密度和孔隙度是多数月球物理分析中最基本的参数。例如，月壳厚度模型需要月壳密度信息；岩石圈弹性弯曲计算不仅需要月壳密度，而且还有载荷密度；月震波是密度和孔隙度的函数，此外热传导也与孔隙度有关。月球采样、遥感和地球物理分析显示，月壳成分具有较大的横向和纵向变化。来自 Clementine 和 Lunar Prospector 月球化学数据显示，月球至少存在三个明显的地质单元，并且每个单元都拥有其独特的地质演化过程。风暴洋地体区域富含产热和难熔元素，伴随有较密的月海玄武岩岩浆流。周边的高地富含斜长岩，遥感观测获取的撞击坑中央峰数据显示该区域月壳随深度逐渐镁质化，或者是存在成分异质。南极艾肯盆地（South Pole-Aitken）内部富含苏长岩成分，由于该撞击坑挖掘程度较深，可能代表了下月壳更密的成分。

在本工作中，我们利用现有的重力和地形数据来对月球全球特别是高地区域的月壳密度进行分析。基于表面和内部载荷的薄岩石圈弹性弯曲模型，我们对月球全球不同区域的局部导纳频谱进行了分析，通过比对实测和模型得到的导纳信息，获取了不同区域月壳体密度结果。利用已有的 Apollo 样品成分结果，我们构建了月球岩石平均颗粒密度与氧化铁和氧化钛丰度的关系，结合 Lunar Prospector 伽马射线谱仪获取的元素丰度信息，得到了全月球颗粒密度图。利用该密度和重力分析得到的密度，我们对上月壳的孔隙度进行了估计。对全月表近 30 个区域的分析结果显示，在月球高地区域，内部载荷相对于外部载荷比重较小，可以忽略。高地区域的体密度可以从 2690 变化到 2870 kg/m^3，平均值为 2691kg/m^3。利用月球化学分析得到的月壳岩石密度比重力分析获取的体密度大，由此可计算出出上月壳平均孔隙度约为 7.7%，该结果与陨石撞击脆裂和类地行星撞击坑获取的孔隙度具有较好的一致性。

S9-O-09

Comparison analyses of high degree lunar gravity field models

ZHONG Zhen[1], YAN Jianguo[1], LI Fe[1], PING Jinsong[2,3], CAO Jianfeng[4], LI Xie[4], TANG Geshi[4]

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan 430079, China

2 Shang hai Astronomical Observatory, Chinese Science Academy, Shanghai 200030, China

3 National Astronomical Observatory of China, Chinese Science Academy, Beijing, 100010, China

4 Space Flight Dynamics Laboratory, Beijing Aerospace Command and Control Center, Beijing, 100094, China

Three high degree lunar gravity field models LP150Q, GLGM-3 and SGM150 are compared by Chang’E-2 orbit determination and admittance/correlation analyses. Using orbital tracking data of Chang’E-2 of in-orbit test phase, overlap differences and observation residuals are given using difference models. Based on high degree lunar gravity field models and Chang-E-1 topography model CLTM-s01, the localized admittance and correlation for different gravity field models within an axisymmetric window of fixed widths in spectral domain are studied. The localized admittance and correlation for some typical mascon basins are also studied. Results show that power spectra between intermediate- and high-frequency for SGM150 can be increased after adding the lunar farside gravity

field information. Moreover, all the models are appropriate for localized admittance and correlation analysis on the near side of the moon. As to estimation of localized geophysical parameters on the farside, however, only SGM150 is suitable. Our results also show that there are more mass anomalies in the main mascon basins on the nearside than those on the farside and such mass anomalies locate deeper than that on the farside.

S9-O-10

广义地球内部形状理论及其应用于核幔边界形状和大地水准面的计算

黄乘利*，刘宇，刘成军

中国科学院上海天文台

*clhuang@shao.ac.cn

在地球自由核章动（FCN）、液核流体动力学、核幔耦合等研究中，地球内部核幔边界的形状是一个非常关键的因素。地震学层析成像的结果表明核幔边界形状是有起伏的，但到目前为止，囿于观测和理论的限制，通常只能假设地球核幔边界的形状是一个球形或者椭球型，这极大地限制了有关的理论研究。地球内部平衡形状理论一直是地球物理和大地测量学界的一个重要研究内容。从 Clairaut 于 1743 年发表的地球平衡形状一阶理论，到 Darwin – de Sitter 于十九世纪末给出的二阶修正，再到 Denis 等人在上世纪八、九十年代对 Clairaut 方程的三阶修正的研究，也都只能讨论旋转对称和南北对称假设下的地球内部形状。刘宇（2008）和 Huang et al. (2012)对以上理论进行了广义化地推广，提出了一套完整的不需要任何对称性假设的广义地球内部形状三阶理论。等密度面和等重力势面的形状可以表示为：

$$r(s,\theta,\phi) = s\left[1+\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}\left(S_n^m(s)\cos m\phi + T_n^m(s)\sin m\phi\right)X_n^m(\theta)\right]$$

上述理论还可以讨论地幔、地壳和地表层的任意质量分布对地球内部形状的直接和间接影响。

本工作在以上广义地球内部形状三阶理论基础上，利用由地震学资料得到的全地幔三维密度模型、和地壳（含海洋和陆地地形）的三维密度模型，重点计算了核幔边界的形状参数、以及地球表面的大地水准面形状。

计算结果表明，即使只考虑深至 70 公里的地壳层三维密度分布的影响，核幔边界等势面的地形非椭球起伏也可以达到二百米左右。而如果考虑全地幔三维密度分布的影响，核幔边界等势面的地形起伏会更大。最后，将计算结果与地震层析成像的结果以及重力卫星测量得到的大地水准面进行了比较和分析。

S10-O-01

铀系不平衡对俯冲带化学地球动力学的制约

黄方

中国科学技术大学中科院壳幔物质与环境重点实验室

fhuang@ustc.edu.cn

板块汇聚边缘是大陆生长、壳幔相互作用和俯冲物质再循环的关键构造单元。蚀变洋壳俯冲，析出流体交代并降低上覆的地幔楔的固相线，使得地幔部分熔融，从而产生了大量的岩浆作用以及相关的经济矿床。过去 20 年来，在大量的年轻岛弧岩浆岩中观测到了铀系不平衡，直接说明岩浆作用的时间尺度和铀系子体的半衰期相当。因此，铀系不平衡为我们理解汇聚边缘岩浆作用的过程和时间尺度以及化学地球动力学问题提供了重要而又独特的制约。

虽然在岛弧岩浆岩的铀系不平衡研究已经取得很多成果，但是仍然对一些关键问题存在很大争议。

（1）铀系不平衡的产生机制：铀系不平衡的产生归根结底是铀系元素的分异，取决于这些核素的地球化学性质。分异的机制包括俯冲流体分异 U－Ra 和 Th－Pa，使得地幔楔具有不平衡特征；或者由于 Ra－Pa 比其母体同位素更加不相容，地幔楔中的部分熔融就产生铀系不平衡；其它的还有扩散造成的铀系不平衡。

（2）铀系不平衡和构造背景：绝大多数年轻的岛弧岩浆岩具有 ^{226}Ra 和 ^{231}Pa 过剩；2/3 的样品却具有 ^{238}U 的过剩，另 1/3 的样品具有 230Th 过剩。虽然前者多在大洋岛弧，后者多在大陆岛弧，但是同一岛弧中也可以同时出现 ^{238}U 和 ^{230}Th 的过剩。目前不是很清楚这个变化到底是由于俯冲流体交代和地幔熔融的共同造成的，还是受到构造背景（例如地壳厚度）或者氧逸度的控制。此外，洋壳的年龄、沉积物的贡献以及俯冲速率都可能对岛弧岩浆岩的铀系不平衡有影响。因此，有必要进一步理解铀系不平衡和构造背景的联系。

（3）俯冲物质再循环和岩浆作用的时间尺度：如果铀系不平衡由于俯冲物质交代地幔形成的，意味着整个过程必须发生在 ^{226}Ra 的 5 倍半衰期内（8000 年），是一个快速的过程；如果不平衡由于熔融产生，则要求熔融过程够长能够产生 ^{231}Pa 过剩（>33000 年）。厘清这个争议问题对于我们研究俯冲带的岩浆运移机制和火山活动至关重要。

本文将针对以上关键问题展开讨论，重点关注铀系不平衡的产生机制及其对俯冲带化学地球动力学的制约。

S10-O-02

海山俯冲会诱发或阻止大地震吗?

杨宏峰 [1]，刘亚静 [1,2]，林间 [1]

1 美国伍兹霍尔海洋研究所

2 加拿大麦吉尔大学

hyang@whoi.edu

随大洋板块俯冲的海山会影响岛弧的地貌与板块的剥蚀，也会影响板块之间的耦合，因此与破坏性地震密切相关。但是，目前尚不清楚海山俯冲会增加或者降低俯冲带强震发生的可能。一个关键问题是，海山到底在何种条件下会导致或阻止地震？针对这个问题，我们利用“随速度－状态变化的摩擦定律”进行了俯冲带上地震产生物理过程的数值模拟。我们建立了一个类似于北美西海岸 Cascadia 俯冲带的模型。在这个模型中，海山被近似成俯冲带断层上一块有效正应力增加的区域。

当没有海山俯冲时，模型中的地震总是发源于摩擦稳定性发生变化的深部，然后破裂传播到海沟处。当有一个海山俯冲时，地震破裂的发源地以及传播距离则显著不同。我们从模拟实验中观察到，海山的存在可能会阻止破裂传播到地表从而减小海啸产生的机率，也可能会成为下一个大地震的震源。海山也有可能导致浅源地震。

这些不同的现象是由海山到海沟之间的距离决定的。当距离地震发源区较远时，海山对地震的发生及破裂的传播影响很小。但当海山俯冲到地震发源区附近时，海山则可能成为破裂传播的阻碍，而这种阻碍的效果在不同的地震周期会有所变化，并且有可能在一次强震中遭到破坏，从而导致断层局部上更大的滑移。因此，俯冲带内的海山是一定条件下的不稳定源，会增加地震破裂传播

的复杂性。我们的结果不仅对于海山俯冲对地震的影响作出了初步定量解释，同时也有助于评估地震周期内俯冲带断层上的应力的不均匀性。

S10-O-03S

1960 年 9.5 级智利大地震的震后形变和应力变化以及与 2010 年 8.8 级大地震的关系

丁忞[1,2]，林间[1]

1 美国伍兹霍尔海洋研究所, 地质与地球物理系
2 美国麻省理工学院, 地球、大气与行星科学系
dingmin@mit.edu

We analyze the post-seismic viscoelastic deformation and the associated Coulomb stress changes following the 22 May 1960 M9.5 Valdivia, Chile earthquake, focusing on its relationship with the 27 Feb. 2010 M8.8 offshore Bio-Bio, Chile earthquake. Post-seismic viscoelastic deformation provides an alternative mechanism to the post-seismic after-slip model [*Barrientos and Ward*, 1990] for explaining the observed land level changes along a leveling line in the Chile Central Valley in 1960-1964 and around the Corcovado Gulf in 1960-1968. We find that a regional viscosity model with lithosphere thickness of 60-70 km, asthenosphere Maxwell decay time of 1.25-5 yr, and asthenosphere thickness of 100 km can yield results that are consistent with the observations. Our calculations also suggest that the stress transfer to the lithospheric lid caused by the underlying viscoelastic creep of the asthenosphere enhances the occurrence of the 2010 offshore Bio-Bio, Chile earthquake with Coulomb stress increase of 0.5-1.5 bars, which is larger than the estimated Coulomb stress increase of 0.4 bar based on the after-slip model of *Barrientos and Ward* [1990]. The calculated post-seismic stress changes are on the same order of magnitude as the co-seismic stress changes caused by five M≥7.8 earthquakes at the Darwin seismic gap, indicating the potentially significant role of viscoelastic deformation in earthquake triggering.

S10-O-04

深海热液羽状流的计算流体动力学模拟

蒋后硕[1]*，林间[2]

1 伍兹霍尔海洋研究所应用海洋物理与工程系
2 伍兹霍尔海洋研究所地质与地球物理系
*Email: hsjiang@whoi.edu

作为大洋中脊热泉场的组成部分，热液羽状流对深海热量传输和物质交换起着至关重要的作用。热液羽状流能够有效地影响洋中脊散热、区域水体混合、深部生物圈和洋底成矿等多种过程。因此对热液羽状流做定量机制研究将有助于更快、更准确地探测热泉场和热液喷口位置。通常在离热液喷口水平与垂直方向几百米的范围内，对流与湍流夹卷为水动力学的主要特征。这些特征控制着热液喷口的各种化学物质的初始传输、与周围海水的混合、以及相关的化学反应。水动力学的这些特征同时控制着夹卷周围海水、有机质和微生物进入热液羽状流上升支的非常复杂的过程。由于观测能力手段的限制，我们对这一重要尺度过程的认识是相对有限的。为此，基于数值求解耦合的 Navier-Stokes 方程和热传导方程，我们开发了一种热液羽状流的计算流体动力学（CFD）模型。我们使用了先进的 κ-ω 湍流闭合模型来描述湍流及其引起的夹卷和混合过程，并且采用了高

温高压海水非线性状态方程来统一描述热液与周围海水的特性。我们采用的网格和模拟方法可以用来考虑多方面因素的作用，诸如热液喷口的几何特征、非规则海底地形、随时间变化的喷发方式、以及海水层结构等。我们的模拟结果包括流速矢量场，湍流场，温度场和密度场，以及混合比场，并且能直接计算热液喷口处的热量和物质通量。利用现有的理论模型，我们已经验证了这一新的模拟方法。我们还进行了大量的参数敏感性试验，以此进一步探讨现有理论模型的局限性。我们的目标是把如此详细的水动力学模型结合到相似尺度下的地球生物化学模型来研究与热液羽状流相关的地球化学、微生物及其他过程。

S10-O-05S

俯冲碰撞过程模拟——海山及岛弧的命运

李付成，孙珍*

中国科学院南海海洋研究所

*zhensun@scsio.ac.cn

海山是海底的凸起，其分布较为凌乱，大部分体积较小是为圆锥海山，另有体积较大的平顶海山。岛弧是大洋板块向下俯冲到一定深度后，发生变质作用并向地幔脱水，致使其熔化形成岩浆，尔后因喷发而冷却成为岛弧；岛弧形成于上板块之上，所以根据上覆板块的特征可将岛弧分为：陆缘俯冲岛弧、洋内俯冲岛弧，统计发现：洋内俯冲多为高角度俯冲，其弧后为拉张状态。之所以将二者放在一起讨论，是因为海山和岛弧同是板块之上的重力异常凸起体，只不过海山位于俯冲板块之上，岛弧位于俯冲下板块之上；但两种凸起体最终的命运都是消亡。

为探讨海山的俯冲命运，我们在了解了大陆边缘岩石结构的前提下构造了物理俯冲模型，展开了相关的物理模拟，在得到的平面实验结果中，我们很容易观察到海山在大陆边缘逐渐消亡的过程，从之后切出的剖面可以看出在这一过程中海山将保持其完整的形态，海山之上覆盖的碎屑物质将在进入俯冲之初发生增生、被覆盖等变化；为说明实验的正确性，我们选取了马尼拉中段的挤入构造、哥斯达黎加及南开海槽剖面资料作为证实。

岛弧形成于俯冲阶段，最终结束于碰撞过程。在探讨岛弧的命运之前，我们成熟度不同的台湾碰撞带、

东巴布新几内亚碰撞带、科西嘉碰撞带等进行岛弧命运分析，发现岛弧的命运路线追寻：随着碰撞的进行，岛弧将是抬升，再是逐渐消亡，直至完全消亡。为此我们展开了相关的物理模拟，目的是探寻海山的消亡过程；模型中岩石圈和地壳的厚度是建立在统计的基础之上，实验结果中出现了岛弧的隆升和断裂，弧后出现逆冲，弧前和弧后块体分离、并分别俯冲至大洋岩石圈之下等结果，该模式很好的解释了岛弧的命运路线问题。

S10-O-06

北大西洋地区地壳厚度分布研究

王婷婷[1]，林间[1,2]，Brian Tucholke[2]，陈永顺[3]

1 同济大学海洋与地球科学学院

2 Department of Geology & Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution

3 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

wangtingtingwendy@163.com

理论分析预测，在洋中脊的扩张速率特别低时，产生的地壳厚度会明显变薄。除此之外，地壳厚度应不随扩张速率的增大而明

显变化。慢速扩张脊对三维地幔上涌、地幔温度异常以及化学成分变化等环境参数比快速扩张脊更敏感。因此与快速扩张脊相比，人们预期慢速扩张脊上的地形变化更粗糙，起伏更大，产生的地壳更薄且不均匀。我们使用海底地形、自由空气重力异常、沉积物厚度以及地壳年龄数据，对北大西洋北起76°N 南至 Chain 断裂带之间海域的地壳厚度进行了计算，并结合该地区已有的代表性地震资料（33 条地震折射剖面），对地壳厚度的重力模型进行校正。计算显示，北大西洋大约 7%的地区地壳厚度不超过 4 公里（归类为薄地壳），58%的地区地壳厚度介于 4 到 7 公里（归类为正常地壳），剩余 35%的地壳厚度大于 7 公里（归类为厚地壳）。这三类地壳产生的洋壳体积分别占研究区海洋地壳总体积的 4%，47%和 49%。薄地壳在北大西洋的某些地区出现，这表明该地区的地幔中存在着局部冷地幔或难熔地幔块体，因而导致洋中脊上的岩浆熔融量在某段时间里急剧减少。而厚地壳则反映由地幔热点等熔融异常产生的过量岩浆区域。如果地幔热点正好位于洋中脊轴下或在脊轴附近，它产生的地壳最厚。最显著的厚地壳区是冰岛及其周围地区，占全部剩余地壳（多于 7 公里的地壳部分被定义为剩余地壳）体积总量的 57%。我们同时观察到，非洲板块上的地壳厚度异常普遍大于北美板块，这可能是由于非洲板块相对于全球地幔热点参照系更稳定，因此受到更多的地幔热点影响。

S10-O-07

研究全球大洋地壳厚度的分布规律，洋中脊地壳增生，以及与地幔熔融异常的关系

林间 [1,2]，朱健 [1]

1 美国伍兹霍尔海洋研究所地质与地球物理系

2 同济大学海洋与地球科学学院

jlin@whoi.edu

本文介绍一个新近完成计算的全球大洋重力地壳厚度分布的模型。该模型以反演全球海洋重力异常场为基础，利用海底地震剖面资料作为约束。我们首先从观测到的海洋自由空气重力异常场中去除各项可以独立计算出来的重力效应，包括海底地形、海洋沉积物厚度以及随地壳年龄变化的大洋岩石圈热结构。然后我们对计算得到的剩余地幔布格重力异常场进行反演，得到地壳厚度模型。最后我们参考各大洋的海底地震剖面，调整重力模型中的参数，从而得到一个最佳的全球大洋重力地壳厚度分布模型。初步的分析结果显示，全球的洋盆内存在着大量的厚地壳区。 地壳厚度超过 7.6 公里的地区占全球洋盆总面积的 40％以及全球洋壳总体积的54％。厚地壳占各板块的洋壳总体积的比例分别为：加勒比海（94％），印度（87％），欧亚（80％），非洲（67％），北美洲（64％），斯科舍（54％），太平洋（49％），南美洲（48％），澳洲（46％），南极洲（45％），纳斯卡（38％），菲律宾（32％）， 胡安·德富卡（31％），科科斯（31％）。 分析结果同时显示，厚地壳区在洋盆中的分布有一定的规律。比如在地壳年龄小于 5 百万年的年轻海盆，只在慢速和超慢速洋中脊（全扩张速率小于 3 厘米 / 年）附近发现超厚的地壳。而在中速和快速扩张脊附近，洋壳的厚度不超过 7－8 公里。然而随着地壳年龄的增加，厚地壳区开始在原来为中速和快速扩张的洋盆出现，并且在多个地质时期出现峰值。这些和其他特性都可以直接反映地幔熔融异常与大洋岩石圈的互动关系。因此新建的全球大洋重力地壳模型可以与地球化学等资料相结合，用来研究大洋地壳的地球化学特征、洋中脊的地壳增生规律、地幔热点与大洋岩石圈的相互作用、以及洋底的热与地球化学通量等科学问题。

S10-O-08

由 NGDC 全球岩石圈磁场模型反演中国陆壳磁性结构

焦立果

中国地震局地球物理研究所

liguo1978.jiao@gmail.com

进入 21 世纪以来，国际上相继发射了 Ørsted，SAC-C 和 CHAMP 等一系列的磁测卫星，把地磁研究推向了一个新热点，尤其是岩石圈磁场的建模和研究。根据不同的观测资料及建模方法，建立了不同的全球岩石圈磁场模型，例如 CM 模型、MF 模型以及 NGDC 等。其中，NGDC-720 模型结合了地面观测及航测数据，将全球岩石圈磁场模型的分辨率提高到了 28km。这些模型的建立，为磁异常的机理研究及在地球物理各领域的应用创造了很好的机会。岩石圈磁场由岩石圈内的磁性物质所产生，因此磁场的大小和分布反映了地壳内磁性物质的丰度、埋深以及展布等性质。进而，磁性层的埋深又与居里等温面相关，涉及到岩石圈的热力学状态。这就为我们提供了一个新的视角：从磁场模型出发，来研究岩石圈的构造和演化特征。本研究拟将全球岩石圈磁场模型应用于中国大陆地区，对这一区域的磁性层厚度以及磁化率分布进行计算，进一步研究磁异常与地质构造之间的对应关系，并深入分析岩石圈磁异常的产生机理。这将深化我们对于这一区域的岩石圈磁性构造和热力学状态等的认识，为地球动力学的研究提供支持。欧洲最新的地磁卫星 SWARM 今年年中即将发射，我国的地磁卫星也在积极的筹备之中，这些都使得本研究更加必要并且更具迫切性。

S10-O-09

南海北部陆缘初始张裂(神狐运动）起因之探讨

姚伯初[1]，万 玲[1]，邹和平[2]

1 广州海洋地质调查局

2 中山大学

yaobochu@163.com

南海北部新生代陆缘张裂带的形成是东亚大陆边缘构造演化史中的一个重大事件。关于这些张裂带的形成机制和演化模式有多种（Karig，1971；Taylor & Hayes，1980；Tapponnier et al，1982）。这些模式的共同特点主要是考虑侧向上的板块相互作用，并主要围绕着南海中央海盆的海底扩张来论述问题，而对陆缘区的大地构造演化和深部壳幔相互作用、对大陆岩石圈变形作用力的多元性和多源性以及大陆对驱动力响应程度的复杂性考虑不足。事实上，南海北部陆缘张裂开始于晚白垩世－古新世，南海北部含油气盆地主要形成于晚白垩世－老第三纪，而南海中央海盆的海底扩张一般认为是发生在晚渐新世－中中新世（32～17Ma B. P.），它们在形成时间上有个先后关系。此外，南海北部陆缘张裂的成因很难与大洋板块俯冲造成的“弧后扩张”相联系，初始张裂在时间上也不与印度板块和欧亚板块的碰撞相吻合。如何解释南海北部陆缘张裂的原因？笔者认为，这不仅须考虑区域上板块构造动力场的二维平面空间，还要考虑深部壳幔相互作用的纵向上的第三维空间，并且要在与区域构造演化背景相结合的时空四维结构中进行讨论。根据地质、地球物理和岩石地球化学资料，本文试图论证：南海北部陆缘初始张裂起因于造山后拉伸塌陷，是岩石圈拆沉的地壳响应。

岩石圈拆沉(delamination)是大陆动力学研究中一个概念（Bird，1979; Nelson，1992）。现代地球物理学勘探资料揭示，一部分显生宙造山带的地壳比地盾区还薄，而像喜马拉雅及阿尔卑斯等年轻造山带却有明显的山根，暗示着一部分老造山带的山根已经坍塌掉了。

这种山根的去除被称为拆沉，它与造山后期的拉伸裂陷相联系（Kay et al，1993；Houseman，1996）。碰撞造山或因大洋板块俯冲引起的陆缘造山可以造成大陆岩石圈的增厚，造山带岩石圈的局部增厚则使其根部造成失稳状态。上覆巨厚的山脉将产生附加的向下体力，造山带两侧的挤压力传递到加厚的岩石圈，也可以产生向下的分力，再因软流圈中水平力遇到岩石圈根时受阻，会折向下方并引起局部热流体湍流，均可以产生拆沉，使增厚岩石圈地幔甚至部分下地壳发生剥离沉入软流圈。也有人认为增厚的造山带岩石圈底部拆沉主要是因为密度差造成的重力失稳所引起（Platt et al，1994），然后由于软流圈物质上涌和均衡调整，导致造山带地壳拉伸塌陷，转化为张裂带。

大量的区域地质调查结果已经查明，中国东南沿海和南海北部陆缘在中生代晚期为一造山带，或称之为华夏型后地台造山带（陈国达，1988），或称之为碰撞造山带（卢华复等，1993）。从现有的资料来看，该区在中生代晚期不仅曾形成一个造山带，而且曾形成一个具有高大而宽阔山系、并具有巨厚陆壳和岩石圈根的造山带，证据如下：

1）火成岩岩石学

南海北部陆缘广泛分布着燕山期高钾钙碱性火成岩系列，闽粤沿海和海南岛分布的燕山期高钾钙碱性 I 型火山－侵入岩可分为早、晚两期：早期 J_3－K_1，距今 160～123Ma；晚期 K_1－K_2，距今 123～75Ma。在这些火成岩（特别是中酸性岩石）的稀土元素分布型式中，一个重要的特征是许多具无负 Eu 异常，如闽东南辉长岩－闪长岩－石英闪长岩－花岗闪长岩－火山岩系列的 δEu 为 0.96～1.16（王厚亮等，1990），粤东英安岩－闪长岩系列的 Eu 为 0.96～1.0，海南石英辉长闪长岩－石英二长岩－花岗闪长岩的 δEu 为 0.99～1.37（汪啸风等，1991）。这种在稀土特征上基本不具负 Eu 异常的中酸性火成岩，反映当时曾有过具增厚陆壳的造山带（邓晋福等，1996）。利用 Condie（1976）提出的公式：

$$C_{(km)}=18.2(K_{60})+0.45$$

（式中 C 为陆壳厚度，K_{60} 为 SiO_2=60% 时的 K_2O 含量）进行计算的结果表明，闽东南沿海在早白垩世晚期的地壳厚度约为 54km（周珣若等，1994），粤东沿海在晚侏罗－早白垩世时的地壳厚度约为 50km，海南在侏罗－白垩纪时的地壳厚度约为 60km（邹和平，1997）。

2）岩相古地理

岩相古地理研究表明，在早白垩世晚期－晚白垩世早期，浙闽粤东部地区（即所谓的“华夏古陆”地区）曾迅速上升为沿岸山系（陈丕基，1997） 或华夏山系。沿岸山系西坡山前地带，于干旱环境下形成的河湖相红色岩层之上，紧接着形成的是一套数百米至 2000m 左右的上白垩统山麓洪积相块状砂砾岩粗碎屑堆积，如浙江的方岩组，福建的赤石组和粤北的丹霞组。在粤北的丹霞组砂岩中，可见大型的风成交错层理。沿岸山系以西的江汉盆地、衡阳盆地和吉安盆地，晚白垩世时是一个热带－亚热带干旱、炎热的半沙漠和盐湖化地区，上白垩统为红色碎屑沉积并含风成沙粒、风蚀三棱石、石膏，局部形成岩盐。而在丽水－海丰断裂带以东，沿岸山系主脊东侧地形较缓，只有一些小型山间盆地散布，其中有早白垩世晚期－晚白垩世早中期的中、酸性火山岩与沉积砂砾岩间互成层堆积，如粤东的官草湖组。这些地层中所产的植物化石，以常出现 Weichselia 为特征，是一种干旱生境指示植物（Cao，1994）。这些事实说明，在早白垩世晚期－晚白垩世，中国东南沿海及现今东海、南海北

部曾有过一个高大而宽阔的山系，如同一道屏障完全挡住了东来的太平洋暖湿气流。根据现代东南沿海山地的平均高度，加上被剥蚀下来的类磨拉石堆积厚度，再考虑到成岩过程中的体积压缩，推测当时这条山系的高度为 3500～4000m，东西宽度近 500km（陈丕基，1997）。根据均衡原理，这样一条宏伟的山系或高原，当具有巨厚的地壳。汪品先（1998）进一步指出，中国（西藏－台湾剖面）至少在古新世时仍是东部高于西部的地势，与今天的西高东低相反。

3）地球物理

地球物理资料揭示，总体而言，现今南海北部及其沿岸地区的地壳（厚度一般小于 30km）和岩石圈（厚度一般小于 100km）均明显减薄（Wu et al，1999），但在福建南部沿海却存在软流圈顶面深凹陷（最大深度达 180km）（王培宗，1993）。这种局部岩石圈厚度很大的现象以岩石圈根的残留来解释较为合理。局部地区的岩石圈根残迹得以保留说明它形成时间不会很古老，最可能是燕山期闽台微大陆碰撞（卢华复等，1993）的产物，这进一步说明区域上在中生代晚期形成的造山带不仅具有巨厚的陆壳，而且还有巨厚的岩石圈根。

上述资料反映，南海北部陆缘在中生代晚期曾形成宏伟的造山带，因其主要分布在所谓的“华夏古陆”地区，故可称之为华夏陆缘造山带。在南海珠江口盆地，钻探揭示盆地基底岩石大量为燕山期花岗岩，这些花岗岩的化学成分变化与粤东同期花岗岩类相同。在东沙群岛附近，新生界之下存在一套已褶皱变形的中生界陆相沉积反射层，推断为侏罗系（姚伯初等，1995）。由此说明，现今的南海北部海域大部在燕山期也同样发生过强烈的褶皱造山运动，是华夏陆缘造山带的组成部分。由南海北部裂陷盆地中的早期陆相沉积物可直接呈不整合覆盖在包括白垩纪花岗岩在内的老地质体之上的情况来看，结合闽粤沿海中生代断裂变质带（如长乐－南澳断裂带、莲花山断裂带）中各种韧性剪切标志、流动褶皱和混合岩等下部变形层次的构造广泛出露的事实，反映拉伸造盆作用是在陆缘造山带的基础上并在广泛隆起的背景下开始的，而且陆缘张裂之前和张裂初期的地壳上升－剥蚀速度相当之迅速。南海北部陆缘裂陷盆地发育特点表现为，张裂初期形成的为相对弥散、多中心拉伸的盆岭构造带，其中盆的面积有限，而岭则成片。初始裂陷盆地的展布主要沿袭燕山期断裂构造的方向，除莺歌海盆地呈 NW 向外，其余盆地主要呈 NE 向分布，表现为初始张裂明显受燕山期造山带地壳结构的不均匀性的控制。在经过多次张裂后，小型裂陷盆地逐渐连通成为裂陷带。裂陷带总体呈 NE 至 NEE 向展布，宽度上达数百千米，具有后造山拉伸构造带那种宽阔而弥散和呈多中心裂陷的特点（Gaudemer et al，1988）。闽粤沿海在距今（90~97）Ma 左右形成 A 型碱长晶洞花岗岩，表征了后造山拉伸塌陷的开始阶段。

理论计算已经证明，增厚地壳与相邻正常厚度的地壳之间岩石静压力的明显差异将在增厚地壳一侧产生张应力，地壳竭力在水平方向上发生漫流以减少其自身厚度的非均一性及有关的位能变化（Arthyushkov，1973）。利用 Liu et al（1998）给出的计算增厚地壳造山带海拔高程的公式和计算增厚地壳所具有的拉张力的公式

$$h = (\rho_m - \rho_c)(H_t - H_r)/\rho_m$$

[式中 h 为高程，H_t 和 H_r 分别为增厚地壳和参照（正常）地壳的厚度；ρ_m 和 ρ_c 分别为地幔和地壳密度]

$$F = \rho_c g h [H_r + (h + \Delta H)/2]$$

[式中 F 为拉张力，g 为重力加速度，ΔH

为增厚地壳山根的厚度：$\Delta H = H_t - H_r - h$，对于 Airy 模型均衡补偿而言，$\Delta H = h\rho_c / (\rho_m - \rho_c)$]，如果华夏陆缘造山带在燕山晚期的地壳厚度平均取 55km，相邻地区的参照地壳厚度取 35km，地壳和地幔密度分别取 2800kg/m^3 和 3300kg/m^3，由上式可算得当时华夏山系相对于邻区的高程约为 3000m，由式（3）可算得造山带增厚地壳产生的相应拉张构造力约为 4.2×10^{12} N/m，这一拉张力可与洋中脊向两侧推开的构造力相比较（Bott，1993）。

与造山后拉伸塌陷有关的一种重要的深部构造作用是增厚岩石圈底部的拆沉作用。现有的资料表明，岩石圈拆沉是南海北部陆缘张裂的重要的引发机制。证据如下：

1）南海北部许多地段存在高速致密的下地壳底部壳幔混合层（曾维军，1991），广东普宁麒麟和雷州英峰岭新生代玄武质火山岩中含有辉石和石榴子石麻粒岩相岩石捕虏体。这些岩石被认为是由于拆沉作用使软流圈物质、岩浆和流体上升，当其升达 Moho 面底部时，因为密度大于地壳岩石而滞留在地壳底部的底侵作用的结果。麒麟辉长岩质麻粒岩捕虏体中的辉石和斜长石的 Sm－Nd 等时线年龄为 112.3±17.8Ma，Rb-Sr 等时线年龄为 79.1±1.1Ma（徐夕生等，1999），前者指示了底侵岩浆的结晶年龄，也大致指示了岩石圈拆沉开始的时间，这与沿岸山系的快速隆起和南海北部陆缘的初始张裂时间接近；后者则可能指示晚期热扰动的年龄。另根据矿物温压计算，雷州英峰岭的石榴石麻粒岩相岩石捕虏体形成深度大于 35km、甚至大于 50km（于津海等，1998），这从另一方面说明当时地壳比现今要厚。

2）深部地球物理勘探资料反映，现今南海北部陆缘多数地段的地幔岩石圈厚度甚至比南海中南部的还薄 25～33km（Wu et al，1999），说明该区除了地壳的减薄外还更重要地发生过不均匀的岩石圈底层剥离或拆沉减薄。

3）南海北部陆缘（包括闽粤沿海和珠江口盆地），白垩纪至第三纪的岩浆岩总体上由早期钙碱性系列、双峰式系列向晚期 OIB 型拉斑玄武岩和碱性玄武岩系列演化，Ti、Nb 等 HFSE 含量逐渐增高，Sr、Nd 同位素组成由富集型向亏损型发展。岩浆作用的这种发展趋势认为是岩石圈拆沉或是岩石圈地幔热边界层被软流圈置换过程的反映（England，1993；Platt et al，1993；Liu et al，1998）。

4）岩石圈拆沉的结果之一是引起地壳快速抬升，加剧壳上剥蚀作用，促进上地壳厚度减薄，这与南海北部陆缘张裂开始于广泛而强烈的隆起背景下，以及该区上地壳减薄明显的特征是一致的。利用 Lachenbruch et al（1990）给出的有关岩石圈地幔厚度变化对地表高程影响的公式

$h_m = -\alpha(\theta_a - \theta_c)L_m/2$（4）

[式中 h_m 为岩石圈地幔厚度变化引起的地表高程变化，α 为体积热膨胀系数，θ_a 为软流圈温度，θ_c 为地壳底部温度，Lm 为岩石圈地幔厚度]，由式（4）可知岩石圈地幔增厚将造成地表沉降，而岩石圈地幔减薄将引起地表隆起。如取 $\alpha=3.5\times10^{-5}$/°C，取 θ_a = 1350°C，取 θ_c = 640°C，取减薄后的岩石圈厚度为 100km，并以现今闽南沿海残留的岩石圈根的底界深度（180km）作为减薄前的岩石圈厚度，可算得岩石圈地幔减薄 80km 将引起 1000m 左右的地表抬升。结合前述式（2）算得的由地壳厚度增大造成的地表隆起（约 3000m），较好地解释了由地质证据推断的华夏山系高达 3500～4000m 的原因。

5）岩石圈拆沉是岩石圈的一种快速减薄，根据研究（邓晋福等，1996），岩石圈快速减薄模型所展示的过程为：伴随快速减薄，首

先有一个快速的区域地壳上隆事件，此时无区域热流异常，只有伴随岩浆活动的局部热异常；在快速减薄停止后，伴随热松弛发生第二次区域上隆事件，热松弛的完成使区域上隆停止，此时形成区域热流异常。岩石圈拆沉并导致软流圈物质上涌，诱发地幔热柱上升。这种过程与南海北部陆缘呈幕式隆起－张裂，形成盆岭构造带和裂后热松弛－冷却沉降（Ru et al，1986；李思田等，1998），最终形成陆缘海盆地系的演化历史相吻合。

S10-O-10S

大洋岩石圈在洋中脊的形成过程

徐敏 [1,2]，Juan Pablo Canales[3]

1 Massachusetts Institute of Technology - Woods Hole Oceanographic Institution Joint Program, Woods Hole, Massachusetts 02543, USA

2 Geotomo USA, 15995 N Barkers Landing, Ste 110, Houston, TX 77079

3 Department of Marine Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution,Woods Hole, Massachusetts 02543, USA

minxu@mit.edu

新生海洋岩石圈结构受控于洋中脊地区的岩浆和构造过程，其在时间和空间上差异导致海洋岩石圈结构的非均匀性。目前，有两种海洋岩石圈结构的端元模型：经典 Penrose 模型（快速扩张洋中脊，如东太平洋海隆）和新近定义的 Chapman 模型（慢速扩张洋中脊，如大西洋中脊）。前者指主要由岩浆活动(例如岩墙侵位)控制形成的层状海洋岩石圈结构；后者指主要由构造活动(例如拆离断层)控制形成非均匀的基性和超基性海洋岩石圈结构。本文采用三维多道地震反射成像，层析成像和波形反演等方法，研究海洋岩石圈在不同构造－岩浆环境洋中脊中的形成过程。

在东太平洋海隆 9°30'-10°00’N 区域，脊轴岩浆房沿洋脊方向分段成四个突出的约 2－4 公里长的极高岩浆含量区域，相邻的区域间隔约 5－10 公里。本文估算得出 2005－06 年在该区域发生的海底喷发的总岩浆体积约为 $46 \cdot 10^6$ 立方米。在大西洋中脊 23°20'-23°28’N 的 Kane 海底核杂岩区域，基于地震层析成像速度模型的岩性解释为我们提供了深入了解在该处洋壳形成演化过程中岩浆供应在时间和空间上的变化。

S10-O-11

初始大陆地壳成因：来自 Nb/Ta 分异的制约

丁兴 [1]，孙卫东 [2]

1 中国科学院广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科学院广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室

xding@gig.ac.cn

太古代 TTG（奥长花岗岩-云英闪长岩-花岗闪长岩系列）一般被认为代表大陆地壳最初的生长。有关它们的成因是最近十余年来颇具争论的一个热点问题。其中，最关键的一个争论点在于大陆地壳的 Nb-Ta 负异常和亚球粒陨石值 Nb/Ta（平均 Nb/Ta 为 12-13，低于 19.9 球粒陨石值）。传统的成因模型认为大陆地壳形成于含金红石榴辉岩质俯冲洋壳的部分熔融。新近的高温高压实验数据显示，金红石相对熔体而言，能接纳更多的 Ta，这样，在金红石存在的情况下，虽然洋壳的部分熔融形成的熔体具有 Nb-Ta 负异常的特征，但同时却具有稍微超球粒陨石质 Nb/Ta 的特征。因此，之后的研究设想了一个低 Nb/Ta 源区的熔融模型。然而，这个低 Nb/Ta 源区在俯冲带是否存在继而如何形成却一直存有争议。

我们通过对中国大陆科学超深钻（CCSD）钻孔 100-3025 米剖面榴辉岩中的金红石、角闪石和榍石等矿物的微区成分研究显示，这些矿物具有明显分异的 Nb/Ta 特征，比如金红石（4.6-87）、角闪石（2.0-67）、榍石（12-62）。这些暗示在俯冲变质过程中，Nb/Ta 会发生重大分异。为了确定俯冲不同阶段对 Nb/Ta 分异的影响，我们也对桐柏地区大阜山绿帘石榴角闪岩相的变质辉长岩展开了细致研究。研究显示，大阜山变质辉长岩的全岩及重要矿物如金红石、角闪石、石榴石、钛铁矿等均具有亚球粒陨石质 Nb/Ta 特征。其中，金红石和角闪石均展现明显的成分环带。通过对环带结构及微区成分研究，我们认为这些成分环带形成于不同期次的外部流体作用。这些携带有不同 Nb/Ta 特征的流体可能来自于俯冲板片深部的脱水。同时考虑到俯冲板块往往有较大的厚度以及不均一的水、热分布，我们利用安山岩和玄武岩在俯冲带条件下（0.5GPa，600 ºC 热梯度和 1GPa，300 ºC 热梯度）进行高温高压实验模拟，模拟结果显示，在超临界流体或熔体存在情况下，Nb 和 Ta 会发生显著热迁移，并在低温端发生明显分异。这为俯冲板块内部 Nb-Ta 迁移和分异提供了动力学制约。

综合来看，我们认为由于俯冲板块具有不均一的水、热分布以及内部较大的热梯度，在俯冲过程中会产生外表热、内部相对冷的“三明治”结构。热区优先发生脱水，其中，蓝片岩相向角闪岩相的脱水会产生具有高 Nb-Ta 含量、低 Nb/Ta 比值的流体；随后角闪岩相向榴辉岩相的脱水会产生具有低 Nb-Ta 含量、高 Nb/Ta 比值的流体。这些含有不同 Nb/Ta 特征的流体一部分进入地幔楔，一部分进入俯冲板块冷区，从而可能在这些部位形成低 Nb/Ta 源区，并在之后发生部分熔融而形成大陆地壳。

S10-O-12

青藏高原层状地貌形成及其环境效应

邵兆刚[1]，孟宪刚[1]， 朱大岗[1]，杨朝斌[2]，王 津[1]，韩建恩[1]，余 佳[1]，钱 程[1]，贺承广[1]，孟庆伟[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所

2 西藏自治区国土资源厅

shaozhaogang@sina.com

1、高原高原层状地貌特征

通过青藏高原全区的 SRTM（Shuttle Radar Topography Mission）数字高程资料对整个青藏高原地貌特征进行了分析，统计分析表明，青藏高原主体及其周缘存在多个明显的平缓地貌带显示，表现为坡度、地表起伏度以及地表粗糙度不同程度的下降，其统计特征和分布区域见表 1 和图 1。高原主平面发育范围内的平坦地貌与高原内部湖盆发育区对应，高原面主体所对应的宽缓下降的地貌统计特征是由高原内部大量不同高度和规模的独立湖盆区共同组合叠加的结果，高原内部广泛存在的盆山相间地貌格局，整体高差在千米以上，各盆地之间不存在统一的盆地面；局部盆地面起源于相对独立的局部夷平作用，是青藏高原存在的差异性整体隆升作用的产物。

2、青藏高原表面及大气温度特征

与面积较小的孤立山地不同，以整体隆升为特征的青藏高原面积广阔，高原隆升本身并没有改变与平原相似的气候过程，即太阳短波辐射首先加热高原表面，高原表面受热后释放长波辐射，使高原上部大气增温。虽然在高原面上同样存在气温随高度递减现象，但气温递减的起点是平坦的高原面，而不是海平面，因此青藏高原隆升本身不会造成高原地表温度的降低，即不存在高原表面温度随海拔高程而降低的规律。

3、对流作用与青藏高原的环境效应

由于青藏高原表面温度没有遵循相对海平面 6.5℃/km 的气温直减规律，一方面，青藏高原作为一个面积广阔的整体，其温度作用过程完全可以和平原地区类比，即高原表面接受太阳辐射而升温，并释放出长波辐射加热高原表面大气。青藏高原由于整体海拔高，其上的大气层相对减薄，有可能使得能量入射和散失均显著增加，白天会有更多的太阳光能到达高原表面，事实上，青藏高原是我国太阳辐射量最多的地区。大部分地区年辐射总量比我国东部地区要大一倍还多，因此在白天高原表面温度升高非常快。

虽然大气层厚度在 100 km 以上，但在海拔 3000m 处大气密度仅相当于海平面的 74.2%，在海拔 5000m 处大气密度相当于海平面的 56.9%，而到距海平面以上 30km 处，大气密度仅相当于海平面的 1.5%。大气中 CO_2 含量同样存在这一规律，在接近海平面的平原地区 CO_2 含量为 0.65mg/L，海拔 2000m 为 0.53mg/L， 在海拔 4000m 处 CO_2 含量为 0.44 mg/L，到海拔 5000m 则只 0.39 mg/L，只相当于平原地区 60%。大气中水汽含量同样随海拔高度迅速降低，其中 50%的水汽集中在 1500m 以下。这就是说随着高原的隆升，其上覆盖的温室气体以及由此产生的“保温作用”会呈指数衰减，这就使我们根本无法忽略或回避这一“高原降温作用”。

如果没有对流作用的发生，上述推论无疑是正确的，但由于高原表面温度远高于周缘同海拔的大气温度，强烈的温差将导致高原表面大气与周缘产生对流作用。并对高原周缘地区带来强烈的增温，而地球长波辐射长期卫星测量结果与这一结论相吻合。即在青藏高原周缘出现辐射高极值。而由于高原表面热空气将主要和高原周缘 4000m 左右空气进行热交换，这将导致周缘大气普遍存在逆温层，在塔里木盆底、四川盆地都被观测结果所证实，而印度每年出现的致命热浪主要发生在印度西北部，而不是临近赤道地区，也给我们一个启示，应为高原气候环境效应的结果，这一点还需要更详尽的资料进一步论证。

4、结论与讨论

（1）高原表面不存在随海拔高度按每百米 0.6℃的温度递减现象，由于高原表面太阳辐射能量高，在不考虑大气对流等因素的情况下，其地表温度应是同纬度最高的。（2）地表大气的存在对地表升温具有强烈的抑制作用，在限制地表升温的同时，大气本身通过传导、对流获得能量而升温。分析表明，在高原白天大气通过地表传导、对流作用所获得的能量大于地表长波辐射获得的能量；已有的太阳总辐射、大风日数及地面温度资料显示青藏高原表面温度分布明显受大气对流强度的控制。（3）青藏高原具有同纬度最高的太阳入射能量，低地温的存在又使得高原通过辐射散失的能量大大减弱，根据能量守恒特性，高原必将通过对流作用，对高原周缘地区带来强烈的增温作用。

S10-O-13

青藏高原西北缘内流水系的起源和演化

赵越[1]，刘健[1]，黎敦朋[2]，潘燕兵[1]，何哲峰[3]，裴军令[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所

2 福州大学紫金矿业学院

3 中国地质博物馆

yue_zhao@cags.ac.cn

青藏高原是世界屋脊，也是亚洲，乃至世界的水塔。不但长江、黄河、恒河、印度河、澜沧江（湄公河）等世界级的外流水系的源头发育其上，而且有叶尔羌河、喀拉喀

什河和玉龙喀什河、克里雅河等内流水系起源于青藏高原西北缘。

青藏高原是变形的巨地貌，理论上青藏高原地区从其变形伊始就有水系开始发育。因此，青藏高原西北缘内流水系是伴随青藏高原的生长演化的，也就是说青藏高原西北缘内流水系具有与其相伴的巨地貌共同的历史。这相当于将一个巨地貌的复杂问题简化为一个普通的地貌元素(或元素群)的问题。但这仍是目前无解的问题。问题的关键是如何认识青藏高原西北缘内流水系的起源。

回顾塔里木盆地海相沉积的历史可以帮助认识青藏高原西北缘内流水系的起源。塔里木盆地的海相沉积的历史一直持续到渐新世。渐新世早期巴什布拉克组还可见到丰富的海相有孔虫和鲨鱼牙齿化石。中新世早期塔里木盆地北部的安居安组或吉迪克组属于泻湖相沉积，泻湖相沉积环境甚至可以持续到康村组沉积期，表明这一广泛的泻湖环境与西边里海和黑海的海域还有时续时断的联系。同时暗示此时塔里木盆地北部仍处于海平面的高度附近。

由塔中隆起相隔的塔里木盆地南部地区中新世乌恰群沉积时期属三角洲和平原冲积环境。覆盖研究区的 2070 个乌恰群古水流方向的统计数据表明水系是从东向西或者从南东东向北西西，与塔里木盆地渐新世-中新世海水退去的方向一致。证实至中新世时期，塔里木盆地西南和青藏高原西北缘仍然继承了特提斯时期的地貌。青藏高原西北缘水系地貌的剧变发生在中新世-上新世之交。上新世阿图什组沉积期开始，古水流方向骤然转变为南南西向北东或北北东。其 1065 个古水流数据证实了这一重大的变化。这是现今青藏高原西北缘内流水系的方向，而沉积相开始变为冲积扇。出现的扇缘砾石成分以灰岩和砂岩为主，表明西昆仑山开始抬升，地形坡度不大，剥露的还只是沉积岩。特别重要的是生长地层开始发育，暗示区域的强烈变形已经启动。这时的塔里木盆地已经封闭为内流盆地。上新世晚期至早更新世的西域砾岩（~3.4-~1 Ma）是此时快速剥露的西昆仑山陡坡带的深成岩石在山前的就地堆积。2185 个古水流数据清楚地展示古水流方向仍然为与现今水系方向一致的南南西向北北东或北东。西昆仑山地区的皮亚曼背斜、恰哈向斜、阿齐克残破背斜的褶皱变形完成在这一时期。西昆仑山陡坡带下部的岩片挤出剥露。青藏高原进一步快速地抬升。

~1 Ma 开始，青藏高原西北缘内流水系中的克里雅河形成并演化至今。其当见证西昆仑山陡坡带上部的岩片挤出剥露，青藏高原于中更新世早期抬升进入冰冻圈。而内流河水水源由以大气降水变为冰川融水。塔里木盆地早-中更新世时期的古大湖开始逐渐干涸。罗布泊只是这个曾经的大湖最后的身影。

S10-O-14

西藏高原的板块构造过程和构造岩浆演化:地球动力学观点

Di-Cheng Zhu[1*], Qing Wang[1], Zhi-Dan Zhao[1], Yaoling Niu[2,3], Qing-Lin Sui[1], Xuan-Xue Mo[1]

1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, and School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2 School of Earth Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

3 Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE, UK

dchengzhu@163.com

The timing and direction of subduction initiation of the Tibetan Tethyan Ocean basins

represented by the Bangong-Nujiang and Indus-Yarlung Zangbo suture zones are still controversial. Such issues involved in the plate tectonic processes are expected to be geodynamically resolved under the theory of plate tectonics that predicts a subduction termination during a continent-continent collision and a subduction jump from one side of the terrane to the other during microcontinent- or terrane-continent collision. The abundant filed observations and new data indicate that the Tibetan Plateau has experienced three distinct microcontinent-continent collisional events since the Late Paleozoic. It is suggested that (1) the Lhasa-northern Australia collision at ca. 263 Ma was likely responsible for the initiation of a southward-dipping subduction of the Bangong-Nujiang Tethyan Oceanic lithosphere, (2) the northward subduction of the Yarlung-Zangbo Tethyan Ocean lithosphere beneath the Lhasa Terrane may have been triggered by the Qiangtang-Lhasa collision in the earliest Cretaceous, and (3) the collision of the Western Qiangtang with the Eastern Qiangtang in the middle Triassic may have caused the northward subduction initiation of the Bangong-Nujiang Ocean lithosphere beneath the Western Qiangtang. We propose that the Cambrian magmatic record in the Lhasa Terrane resulted from the subduction of the proto-Tethyan Ocean lithosphere beneath the Australian Gondwana. The newly identified late Devonian granitoids in the southern margin of the Lhasa Terrane (including the coeval granitoids in the Western Qiangtang) may represent an extensional magmatic event associated with its rifting, which ultimately resulted in the opening of the Songdo Tethyan Ocean, and much of the Mesozoic magmatism in the Lhasa Terrane may be associated with the southward subduction of the Bangong-Nujiang Tethyan Ocean lithosphere beneath the Lhasa Terrane.

S10-O-15

IODP U1365 站玄武岩地球化学：对西南太平洋白垩纪 Osbourn 扩张中心岩浆作用的制约

张国良 [1]，Christopher Smith-Duque[2]，唐索寒 [3]，李禾 [4]，Carlos Zarikian[5]，Steven D'Hondt[5], Fumio Inagaki[5] and IODP Expedition 329 Scientists[5]

[1] 海洋地质与环境重点实验室，中国科学院海洋研究所

2 National Oceanography Centre, University of Southampton European, Way Southampton SO14 3ZH, United Kingdom;

3 中国地质科学院

4 中国科学院地质与地球物理研究所

5 Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., United States.

zhangguoliang@qdio.ac.cn

2010 年 10 月-12 月，国际综合大洋钻探 329 航次 U1365 站对西南太平洋白垩纪洋壳进行了岩石基底钻探。该区大部分海区处于白垩纪正极性超时区（84-124 Ma），精确年代未知。U1365 站基底岩石形成于 Osbourn 扩张中心。该扩张中心被认为是将本来连在一起的 Manihiki 和 Hikurangi 洋底高原（地幔柱头成因）分开。U1365 站玄武岩对揭示白垩纪 Osbourn 扩张历史和岩浆源区特征具有重要意义。获得的玄武岩均为低 K 的正常（N）和亏损（N）玄武岩。微量元素和 Sr-Nd

同位素组成显示源区组成与现代太平洋上地幔相似，而受附近 Louisvile 地幔柱及洋底高原源区影响不明显。尽管地幔柱柱头存在于 Osbourn 扩张中心初始扩张阶段的上地幔，但是 U1365 站玄武岩的组成特征可以由 Osbourn 扩张中心长距离南迁（> 1000 km）而引起。U1365 站钻孔岩芯从底部的低 MgO（<6.9 wt%）玄武岩，到中部的高 MgO（8-9.5 wt%）玄武岩，再到上部的中 MgO 玄武岩。这些玄武岩组成的变化伴随着岩浆房内的混合作用。通过校正分异结晶作用，我们发现 D-MORB 具有相对 N-MORB 较低的 TiO_2、Na_2O 和 CaO，这显示 D-MORB 来自更高的部分熔融程度。高 MgO（>9.0 wt%）的 D-MORB 形成于 3.1GPa-2GPa 之间的地幔压力范围内。两组玄武岩 Sr-Nd 同位素组成的重叠表明，这些玄武岩的亏损程度的不同来自同一来源地幔的熔融过程。在东太平洋海隆，扩张速率与主量元素计算的地幔熔融程度之间存在正相关关系。将 U1365 站玄武岩组成与东太平洋海隆玄武岩相比较显示，Osbourn 扩张中心扩张速率对应于 ~140mm/yr。这说明慢速扩张脊特征的 Osbourn 扩张中心可能是形成于快速扩张中心的消亡阶段。

S10-O-16

青藏高原新生代沉积、气候演化及其对构造隆升的响应

张克信[1,2]，王国灿[2,3]，洪汉烈[1,2]，徐亚东[1,2]，王 岸[2,3]，骆满生[1]，季军良[1,2]，肖国桥[1,2]，林晓[1,2]，宋博文[1,2]，曹 凯[2,3]，江尚松[1,2]，梁银平[1,2]，韩芳[1,2]，韦一[1,2]，姜高磊[1,2]，徐增连[1,2]

1 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉）地球科学学院

3 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点

kx_zhang@cug.edu.cn

青藏高原新生代隆升过程及环境效应是当前国际上最为关注的热点研究领域之一。我们以青藏高原新生代隆升这一重大地质事件为研究主线，以地球系统科学为指导，着力解决青藏高原新生代隆升过程及环境效应这一热点研究课题中的关键性科学问题。通过对新生代沉积盆地充填序列与沉积演化综合分析和各世构造岩相古地理的详细编图与点上精细剖面解剖，并结合构造热年代学资料，本研究取得如下主要认识：

通过对青藏高原新生代 98 个残留盆地沉积充填序列、成盆构造背景的综合分析，将青藏高原新生代地层区划为 5 个地层区，为南疆-西昆仑地层区、柴达木-祁连-西秦岭地层区、羌塘-川西地层区、扬子西缘地层区和冈底斯-喜马拉雅-恒河地层区，进一步细分为 13 个地层分区。系统建立了各个地层区和分区的岩石地层和年代地层格架，对代表性盆地内的典型剖面进行了较精细的岩石地层、生物地层、磁性地层和年代地层等多重地层划分对比研究，详细恢复了沉积相和盆地充填序列。

在系统分析青藏高原新生代残留盆地类型、构造背景、沉识序列的基础上，对青藏高原新生代构造岩相古地理演化及其对隆升的响应进行了讨论，并结合重点片区解剖实测和系统收集已发表的青藏高原裂变径迹年代学资料，划分出 5 个强隆升期，它们分别是强隆升期 A (60－50Ma)、强隆升期 B (45－34Ma)、强隆升期 C (25－17Ma)、强隆升期 D (12－8Ma)和强隆升期 E (5Ma 以来)。

强隆升期 A (60－50Ma)：该期随着印度与欧亚板块全面碰撞，为受逆冲推覆控制的不同层次的岩石强抬升剥露期。蚀源区主要位于松潘—甘孜—巴颜喀拉和冈底斯等地区。南部和西北部为残留海沉积区。冈底斯山前发育巨厚的柳曲砾岩和冈底斯砾岩。羌塘—

可可西里为低海拔近海冲泛平原区。高原北缘的柴达木、西宁和兰州压陷盆地形成，并接受砂砾岩冲积扇和辫状河相沉积。厚层砾岩的发育,说明当时盆缘出现了与陡坡带相伴的地势较高的隆起带，是强隆升事件的直接体现. 据古地磁年龄资料，羌塘南缘、可可西里、柴达木、西宁和兰州等压陷盆地开始接受沉积的时间分别为57 Ma、52 M、53.47 Ma、52.5 Ma 和 58 Ma。

强隆升期 B (45－34Ma)：约 45 Ma 高原东缘走滑拉分盆地初始发育。约 40 Ma 藏南新特提斯残留海消亡，印度与欧亚板块全面完成碰撞。约 40 Ma 以来喜马拉雅沉积缺失,标志该带初始隆升。40－34Ma 期间喜马拉雅、冈底斯、喀喇昆仑－西昆仑、东昆仑、祁连－西秦岭和松潘—甘孜广大区域内出现沉积缺失和发育不整合面，说明上述地区普遍发生了抬升与剥蚀。事件 B 末期 (34 Ma)与当时的全球大降温事件相吻合。

强隆升期 C (25－17Ma)：藏南地区（冈底斯及北喜马拉雅）强逆冲推覆导致地壳强烈加厚，在其后约 17～12Ma 间因均衡作用而获得现在的地表高海拔。北缘边缘山系现代盆—山地貌格局雏形形成。该时期沿冈底斯带南缘广布大竹卡组砾岩。可可西里－沱沱河地区角度不整合面发育和盆地内的古近纪地层抬升变形, 指示发生过大幅度隆升。约 23 Ma 塔里木海相沉积结束, 高原及周边不整合面广布, 标志高原整体隆升。

强隆升期 D (12－8Ma)：以冈底斯－北喜马拉雅高海拔的原始高原为核心，高原向北扩展。高原腹地羌塘—可可西里地区，盆地发生区域性的抬升，并达到相当大的海拔高度；北缘系列山系进一步崛起于盆地之上，现代盆—山地貌格局基本形成。约 10Ma 左右, 喜马拉雅-冈底斯隆升到相当高度, 表层重力扩展形成系列不同方向特别是南-北向的伸展型断陷盆地。冈底斯、西昆仑、阿尔金、高原东北缘和东缘的裂变径迹热年代学资料均显示存在约 8 Ma 的强构造抬升剥露。约 8 Ma 以来，高原北部大型湖泊进入湖退期，普遍出现冲积扇、辫状河和水下扇砂砾岩堆积，滇西和成都盆地不整合面发育。

强隆升期 E (5Ma 以来): 高原以冈底斯－北喜马拉雅为核心快速向北扩展；腹地的羌塘—可可西里—松潘—甘孜广大地区发生整体地表抬升达到现今海拔高度；北缘系列山脉加剧抬升，并向盆地方向扩展；南部喜马拉雅地区在逆冲和气候的双重控制下，地貌反差加剧，系列大于 7000m 的异常高海拔山体形成。上新世持续隆升使大型盆地的基底抬升被分割为小盆地，湖相沉积大幅度萎缩或消亡，转化为冲积扇和辫状河相沉积为主，高原不整合面广布，标志高原存在较大规模的整体隆升. 约 3.5 Ma 高原周缘堆积巨砾岩，是该期隆升的高峰期。

高原从渐新世前的东高西低格局，经历了渐新世－中新世全区的不均衡隆升和坳陷，最终于中新世中晚期完成了西高东低的地貌格局转变，青藏做为一个统一的高原发生了重大的地貌反转事件。

据对高原新生代典型剖面精细的孢粉、分子化石、介形虫、磁化率、粘土矿物等多种代用指标的研究，认为 5 个强隆升阶段与高原环境和古气候演变具如下耦合关系：

60－50Ma：青藏高原隆升高度（平约约 500 米）尚不足已形成东亚季风、古气候以行星风系尚居主导地位，与全球环境基本一致，以温热气候为主。

45－34Ma：青藏高原隆升高度（平约约 1000 米），部分地区（如冈底斯、昆仑山）达 3000 米左右，高原环境与全球基本一致，从温热到逐步降温，至 34Ma 到最冷期高原北部在约 36 Ma 的降温事件则明显早于全球

降温事件（~34 Ma）近 2 Ma，与高原隆升相关。

25－17Ma：为全球气候平稳期，但青藏高原出现气候变冷事件，与高原该时期的整体隆升相关，平均海拔达 3500 米以上，季风系统形成，以东亚内陆冷干季风占主导，因此出现了变冷事件。此期间，由于青藏高原的隆升，中国大陆以东西向分布的行星风系居主导地位的气候系统结束，代之为以中国东南部温湿、西北部干冷的气候格局。

12－8Ma：气候变冷、变干事件遍及整个青藏高原。在全球，同样趋与变冷，但青藏高原比全球更为剧烈，是青藏高原进一步隆升，使季风系统进一步加强的结果。

S10-P-01S

应用“双平面波”相速度反演方法研究印支地块岩石圈和上地幔结构

刘芳[1*]，杨挺[1]， Nicholas Harmon[2]， 薛梅[1]

1 同济大学海洋与地球科学学院

2 英国国家海洋中心/南安普敦大学

*0123lf@tongji.edu.cn

印支地块的地下结构对于认识南海的扩张和演化有着重要意义。由于缺少天然地震观测台站，这一区域的岩石圈及上地幔结构只能依靠较大区域或全球性的层析成像结果，因而分辨率有限。近年来，马来西亚、泰国、印度尼西亚和越南等国都建立了固定的天然地震观测台站和一些临时地震台阵，例如，2009 年同济大学在越南的沿海地区建立了 4 个流动台站。这些新增的台站使得我们有可能对印支地块及周围区域深部速度结构进行分辨率更高的成像。

常规的面波层析方法认为面波的传播总是沿着大圆路径以平面波的形式传播，但是由于地球介质的非均匀性，面波在传播过程中常常存在着多路径和散射等复杂效应。为了考虑面波的这些传播效应及其有限频率特征，在本研究中，我们应用基于有限频率敏感核的“双平面波”方法来描述瑞雷面波的传播。这一方法可以在增加少量反演参数的前提下，应用两个存在一定角度的平面波间的干涉来近似表示面波的多路径和散射等非平面波效应，可以在很大程度上提高了其相速度和横波速度结构的反演精度；与此同时，我们还可以得到研究区域岩石圈的各向异性特征，而这一特征对于判断印支地块是否经历过大规模的横向运动非常重要。

在本研究中，我们收集了印支地块上的 28 个台站及中国的云南广西广东的部分台站上，一共 160 个震中距位于 30°-150°、震级大于 6.0 的地震记录，并拾取了 20 个周期在 18s-143s 之间的瑞雷基阶面波的振幅和相位，以此作为数据反演了不同周期的瑞雷波相速度，然后再综合各个周期的相速度结构反演这一区域的三维横波速度结构。我们的初步结果显示，在岩石圈和软流圈界面（LAB）深度处，该地块中部呈现出很明显的速度横向变化，而其岩石圈所表现出的方位角各向异性非常微小，这些结果说明该地区可能并没有经历过很大的横向运动。

S10-P-02S

环北极沉积盆地结构与构造演化特征——来自环北极长剖面的证据

毛翔，李江海

1 北京大学地球与空间科学学院

2 北京大学石油与天然气研究中心

maoxiang.pku@163.com

随着全球常规油气资源的勘探、开发难度日渐增大，深水油气资源已成为今后油气

资源重要的增长点。占全球总面积 6%的北极地区，拥有 $800\times10^4km^2$ 的陆地，$700\times10^4km^2$ 以上的浅海区域（水深不超过 500m），和近 $600\times10^4km^2$ 的深海区域（水深大于 500m ）（USGS, 2008）。北极地区具有丰富的油气资源，据 USGS（2009）统计，北极未发现的油气资源量为，石油近 900×10^8 桶、天然气 $1669\times10^{12}ft^3$ 和凝析油 440×10^8 桶，且 84％的未发现资源分布于海区。储量位于前五位的盆地依次为西西伯利亚盆地、北极阿拉斯加、东巴伦支海盆地、东格陵兰盆地和叶尼塞—哈坦加盆地

受到常年严寒、冰雪覆盖、平均水深大于 1200m 等自然条件的限制，目前对于北极地区大部分盆地的认识不及低纬地区的其它含油气盆地。因此，通过对北极地区不同盆地结构的系统研究与对比分析，可以更好地利用已有资料，加深对盆地（群）结构与演化的整体认识。为此，本文从环北极盆地长剖面的绘制入手，系统地收集了已发表文献中涉及北极地区的 100 余条地质、地震、水深、岩相、海底地形等剖面，并选择了其中 18 条，经过统一比例尺等处理后进行拼接。由于整个剖面尺度巨大，在若干地区缺乏相应资料，故而将邻近地区的其它剖面平移到本剖面中，或由其两侧的剖面地层和构造形式推测；部分地区由于没有资料，以简化形式绘制。剖面全长约 13,000 千米，涉及加拿大盆地、斯维尔德鲁普（Sverdrup）盆地、西格陵兰（West Greenland）盆地、扬马延微陆（Jan Mayen Ridge）、东格陵兰（East Greenland）盆地、茯苓（Voring）盆地、挪威西北海岸、巴伦支海地台（Barents Sea Platform）、西巴伦支陆架（West Barents Shelf Edge）、东巴伦支海（East Barents Sea）盆地、季曼-伯朝拉（Timan Pechora）盆地、南喀拉海—亚马尔盆地（South Kara Yamal Province）、叶尼塞—哈坦加（Yenisey Khatanga）盆地、拉普杰夫海（Laptev Sea）盆地和东西伯利亚海（East Siberian Sea Basin）盆地。

剖面涉及的盆地多属叠合性质，涵盖克拉通盆地、裂谷盆地、前陆盆地、被动大陆边缘盆地等多种盆地类型。各区域沉积厚度差异显著，最厚的东巴伦支海、叶尼塞—哈坦加等盆地沉积了自古生界至新生界的地层，沉积厚度可达近 15km ，而沉积最薄处的拉普杰夫海盆地东部、东西伯利亚海盆地西南部及南喀拉海—亚马尔盆地则只发育了从中生界上白垩统至新生界的沉积，厚度不超过 4km。

整体而言，环北极盆地受南侧欧亚、北美大陆影响显著，很多盆地为大陆的一部分或大陆向北冰洋的延伸部分（大陆架），加里东运动、海西运动及大西洋洋脊自南向北的扩张对环北极盆地均有显著影响，具体表现为造成盆地类型的改变、改变盆地沉降速率、以及对油气圈闭形成的影响等。

通过长剖面的绘制可以发现，环北极区域的沉积盆地可以归为四组：①扬马延微陆、挪威陆架及茯苓盆地，该段剖面以中新生代沉积为主，受大西洋扩张中心由南向北移动影响显著，断层发育；②自巴伦支海至叶尼塞—哈坦加盆地，该段剖面以沉积较厚的中生代地层（约 5-10km）为特征，之下大部分存在晚古生界地层，新生界沉积出现在最西侧西巴伦支陆架，在南喀拉海—亚马尔盆地也有较薄的新生界地层（1-3km）存在，该段区域普遍受到海西运动（乌拉尔运动）的影响，中部的季曼伯朝拉盆地为乌拉尔洋闭合阶段形成的前陆盆地；③拉普杰夫海至东西伯利亚海段，该段剖面资料比较缺乏，地层厚度较薄、断层发育，拉普杰夫海西段发育自前寒武系至新生界的全部地层，为环北

极各区域中地层最全的一段；④加拿大盆地至斯维尔德鲁普，该段发育巨厚的中生界地层，西侧加拿大盆地段涉及美亚海盆的演化，其形成可能源于白垩纪中早期随西伯利亚-楚科齐-阿拉斯加旋转裂离阿拉斯加陆缘的过程，中生界沉积之上发育约 5km 后的新生界沉积，而斯瓦尔的鲁普盆地则由于距美亚海盆距离较远，新生界沉积厚度不超过 2km。

S10-P-03S

西南印度洋中脊（63.5°E）深海橄榄岩矿物结构水研究

李伟[1]，金振民[1]，李怀明[2]

1 中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室

2 国家海洋局第二海洋研究所

lwttkl89@126.com

水能够以 OH 形式（结构水）存在于橄榄岩的名义上无水矿物中，这些结构水对大洋上地幔的物理、化学性质具有重要影响。中国大洋第 21 航次科学考察在西南印度洋中脊（SWIR）热液 C 区（63.5°E 附近）采集到了深海橄榄岩样品，为我们研究和认识洋中脊上地幔水的赋存状态提供条件，也为我们认识超慢速扩张洋中脊上地幔的物理状态和扩张动力学过程提供机会。本文采用傅里叶红外光谱（FTIR）对西南印度洋中脊深海橄榄岩的矿物结构水进行了详细分析，结果表明主要组成矿物（单斜辉石、斜方辉石）中含有以 OH 形式存在的结构水。单斜辉石含水量为 625-755ppm，斜方辉石含水量为 190-250ppm。结构水在矿物颗粒内部均匀分布，其中斜方辉石较高的含水量（最高 256ppm）和饱和水条件下斜方辉石中水的溶解度相近，同时与典型上地幔包体（New Mexico，220ppm；Washington State，70-200ppm；Hawaii，151-277ppm）及大西洋中脊（23°N）深海橄榄岩中斜方辉石含水量（160-270ppm）具有一致性，表明深海橄榄岩在上升过程中水的丢失较少，能够代表该区域洋脊上地幔含水量的真实值。地球化学研究推断源区上地幔早期发生部分熔融后经富集熔体交代，如果上地幔经历过早期熔融事件（熔融脱水导致含水量降低），后期流体活动的参与显得尤为重要，它不仅可以使得亏损的地幔橄榄岩含水量重新增加，也佐证了流体活动存在的推断。此外，该区域洋脊具有非对称扩张特征，大型偏移低角度正断层的发育为深海橄榄岩的出露提供了条件，沿断层的构造蚀顶机制使得深海橄榄岩能够快速上升并发生冷却，从而保存了源区上地幔温压平衡条件下的含水量。

S10-P-04

苏鲁-大别造山带及其周缘岩石圈三维地球物理刻画

李春峰[1]*，王家林[1]，周祖翼[1]，耿建华[1]，陈冰[1]，杨凤丽[1]，吴健生[1]，于鹏[1]，张新兵[1]，张少武[1,2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 中海油上海分公司

cfl@tongji.edu.cn

In an effort to further advance our understanding of the evolution of the Sulu-Dabie orogen and its complex interactions with the Tanlu fault, and to tackle non-unique geophysical interpretations, we characterize the 3D geological structures and dynamics of the Sulu-Dabie orogen and its environs using various data processing and interpretation of a very large suite of gravimetric, magnetic, magnetotelluric, geothermal, and seismic data. We have modeled regional geothermal field of the lithosphere by incorporating both surface

heat flow and Curie-point depths inverted from magnetic anomalies. This gives better constraints on regional thermal lithospheric thicknesses, which are found to be small (mostly between 55 km and 95 km), conformable to other geophysical results, and supportive of lithospheric de-rooting. From regional geotherms and Bouguer gravity anomalies, we assess depths, temperatures and heat flow of the Moho, and find that mantle contributes a little over 70% of the total surface heat flow. Large differences in thermal lithospheric thicknesses and geothermal activities are found between the Sulu and the Dabie segments of the Sulu-Dabie orogen. These differences result, at least partially, from large vertical differential movement at the lithospheric scale across the Tanlu fault, as seen from both reflection seismic sections and gravity anomalies. Within the Sulu-Dabie orogenic belt, reduction to the pole and 3D analytic signal analysis on magnetic anomalies reveal that positive magnetic anomalies associated with this belt are most due to gneiss, migmatite and Mesozoic granites, whereas ultrahigh-pressure metamorphic zones show weak or negative magnetic anomalies. This interesting magnetic contrast between ultrahigh-pressure metamorphic rocks and surrounding rocks suggests that ultrahigh-pressure metamorphic minerals are either only weakly magnetized, or possibly retrograded and remagnetized over a long time span or in a period of reversed magnetization. High-pressure metamorphic minerals of blueschist facies appear to be less susceptive than ultrahigh-pressure metamorphic minerals.

S10-P-05

南大西洋地区地壳厚度分布特征及其与地幔热点的关系

李怀明[1]，林间[2,3]，朱健[2]，陶春辉[1]

1 国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室

2 美国伍兹霍尔海洋研究所，地质与地球物理系

3 同济大学海洋与地球科学学院

huaiming_lee@163.com

全球大洋重力地壳厚度反演模型表明地幔热点对于大洋地壳厚度分布的影响程度超出原先的预计（林间，朱健，本会报告）。本文研究南大西洋地区（10°N--﹣60°S）重力地壳厚度的分布特征及其与地幔热点的关系。我们首先从研究区的海洋自由空气重力异常场中去除海洋沉积物厚度、海底地形以及地壳年龄等影响，获得剩余地幔布格重力异常分布（residual mantle Bouguer anomaly，简称 RMBA）。然后通过反演 RMBA 得到研究区的重力地壳厚度变化。最后利用板块运动的欧拉极原理，对南大西洋地区洋中脊两侧的板块（东侧为非洲板块，西侧为南美洲板块）进行“镜像”旋转，据此计算洋中脊两侧地壳厚度的差异性分布。

研究结果表明，如果把全球大洋地壳分为“减薄地壳”（小于 5.2 公里）、“正常地壳”（介于 5.2 和 7.6 公里）和“增厚地壳”（大于 7.6 公里）三类，南大西洋地区薄地壳、正常地壳和厚地壳区域分别占整个地区面积的 2.8%、36%和 62%，这三类地壳产生的洋壳体积分别占研究区海洋地壳总体积的 1.5%，28%和 71%。南大西洋地区的厚地壳所占的洋壳面积（62％）和体积（71％）的比例分别高于全球厚地壳地区占全球洋壳的面积（40％）和体积（56％），说明地幔热点的效应在南大西洋地区较为显著。

研究结果还显示，南大西洋地区洋中脊两侧板块的地壳厚度存在较大的差异性，而且其差异程度与洋壳年龄有关。在洋壳年龄为 0---25Ma 区间，洋脊两侧地壳厚度差异性较弱，洋壳增生基本对称于洋中脊。随着洋壳逐渐变老，洋脊两侧地壳厚度差异性逐渐增大；到 25---60Ma 区间，两侧地壳厚度的差异性趋于稳定；但在洋壳年龄大于 60Ma 的地区，两侧地壳厚度的差异再次增大。我们可以把南大西洋地区从北到南分为六个子区：在区 1（5°N--﹣10°N），区 3（5°S--﹣20°S）和区 5（30°S--﹣50°S），非洲板块的平均地壳厚度大于南美洲板块；但在区 2（5°N--﹣5°S）和区 4（15°S--﹣35°S），南美洲板块的平均地壳厚度大于非洲板块。南大西洋东侧非洲板块的平均地壳厚度相对于西侧南美洲板块多 0.31 公里，占整个南大西洋平均地壳厚度（8.5 公里）的 3.6%。由于相对于全球地幔热点参照系更稳定，非洲板块可能受到更多的地幔热点影响，造成非洲板块的平均地壳厚于南美洲板块。地幔热点对于大洋岩石圈的作用，不单表现在热点和洋中脊交互作用地区，而是一直持续于整个大洋岩石圈的增生过程。在较老洋壳地区这种地幔热点的效应明显强于年轻洋壳地区，说明地幔热点对地壳增生的影响程度可能与岩石圈的厚度有关。

S10-P-06

全球沉积盆地群结构与构造演化对比研究——超长剖面研究新认识

李江海，李维波，程小岛，程雅琳，毛翔，杨静懿

北京大学地球与空间科学学院，北京大学石油与天然气研究中心

jhli@pku.edu.cn

前　言

盆地构造研究的核心问题包括盆地结构、构造背景、盆地演化以及盆地发育的动力学过程，在此基础上对重要油气油气勘探进行理论指导。受工业勘探的制约，盆地构造研究更多瞄准不同盆地及其重要区块的解剖，缺乏大尺度上，特别是，洲际和全球规模的盆地对比研究。本文在编制全球沉积盆地十余条超长剖面（上万公里长度）的基础上，对上述问题进行探讨。

与常规剖面相比，超长剖面有利于探讨空间上不同盆地之间的关系、盆地结构类型和类比、盆地群与板块边界之间关系、盆地群与深部构造（地幔柱、地壳厚度减薄加厚、成分和类型、基底构造和性质克拉通造山带残余洋盆、继承裂谷）之间的关系。即从三维尺度上认识全球盆地构造背景、盆地结构，阐明不同盆地之间、盆地与板块边界、盆地与陆拱之间的构造关系。从板块构造以及超大陆的框架下恢复盆地群的构造演化历史；将石油工业勘探获得的丰富的地壳层次盆地地震数据，用于对板内构造过程的深刻理解。

剖面编制的原则和方法

1）穿越主要构造单元、构造边界、重要含油气盆地；2） 最大程度地整合和衔接不同盆地已有的反射地震剖面资料；3）剖面垂直板块边界、主要构造边界、构造单元、盆地群；剖面总体上直线、局部可以是折线；4）垂直深度上到盆地基底，盆地内部划分构造层；5）沿着泛大陆格局进行超长剖面设计，剖面涉及泛大陆聚合（劳亚、劳俄、冈瓦纳）及其中新生代裂解历史，特提斯聚合历史；6）突出表达重要盆地－山脉－隆起－基底构造特征和关系；7）盆地剖面与地球物理剖面相结合。

主要超长剖面图及其新认识

已完成的超长剖面 9 条，包括：欧亚大

陆纬向剖面，非洲－中东－亚洲纬向剖面、亚洲－澳洲大陆经向剖面、北美－南美经向剖面、非洲－大西洋－南美洲纬向剖面、欧洲经向剖面、亚洲－中东经向剖面、东北亚－北亚剖面，环北冰洋剖面等。在此基础上，可以完成两条全球规模的纬向和经向超长剖面。

初步获得的主要认识包括：

1）不同大陆不同类型的沉积盆地有序并列或叠置，主要盆地类型包括：弧前盆地、弧后前陆盆地、弧后盆地、克拉通盆地、裂谷盆地、走滑盆地、被动陆缘盆地等。克拉通盆地形成于远离板块边界的位置上，与被动陆缘盆地成因上关系密切。克拉通盆地常经历多期构造叠合作用。不同类型盆地的主要构造演化阶段及其时空对应关系，受控于板块构造演化。盆地持续发育（沉降厚度、沉降率、构造间断）及其盆地完整性（规模大小、剖面形态、垂向结构），受控于区域构造背景。

2）陆拱（Arch）是板块内部与盆地并列的构造单元，也是大陆持续隆升的产物，并对前期盆地改造。它以沉积盖层减薄、或出露基底岩石为特征，广泛出现于北美、南美、非洲、澳洲、欧洲等局限板块内部。陆拱在边界上被沉积地层超覆、或主要以断层与邻近盆地为界。通过陆拱恢复，可以识别出多个地史上克拉通盆地与被动陆缘盆地组成的超级盆地。前陆盆地走向上常渐变为被动陆缘盆地、走滑盆地等。

3）单个板块两侧边界运动性质常相反的，一侧为扩张边界，另一侧则常是聚敛边界，这是板块运动的常态，是全球构造背景下构造传递作用的结果，单个板块上不同的盆地群之间具有密切的构造－沉积联系和构造事件响应。

4）沉积盆地的发育主要受控于板块边界作用以及基底沉降作用，原形盆地形成之后常经历不同程度的构造改造作用和抬升作用。前陆盆地和被动陆缘盆地普遍具有构造分段性。

5）亚洲大陆是世界上最复杂的盆地类型分布区，盆地发育具有多变而复杂的构造背景，盆地构造上强烈不稳定，规模普遍很小，盆地原型保存较差。亚洲大陆群盆地的发育及其后期改造受古亚洲、特提斯和西太平洋构造域控制，不同时代和类型的盆地在时空上的叠合、复合，或者盆地地层被破坏抬升。

6）全球油气分布具有强烈的不均一特点，油气最富集的巨型盆地主要出现于板块内部、远离挤压板块边界的背景下，具有累计沉积厚度巨大，盆地原型保存完整、盆地内部断裂活动微弱、盆地持续沉降－沉积，构造稳定、盆地保存状态较好等特点。实例有西西伯利亚盆地、东西伯利亚盆地、北非盆地群、波斯湾盆地、墨西哥湾盆地、滨里海盆地等。

S10-P-07

油气沸腾包裹体群、减压沸腾作用与地壳波浪运动

谢广成

长安大学地质构造研究所

xieguang45@163.com

2007 年，作者在鄂尔多斯盆地东部，延长石油所属英旺油田,英 16 井延长群(T_3y)长 8 油层组，井深 750m 处，采集到一块具有裂缝充填物的剪张性裂缝岩心。在充填物包裹体切片中，发现了为数众多、沿着晶体生长线排列、多期次的油气包裹体。这些包裹体里的气泡在常温、常压下，都处在不停的快速晃动—沸腾状态。经紫外光照射、激光拉曼等初步研究，定名为油气沸腾包裹体群。

在剪性裂缝被脉动式的构造力拉张时，引起邻近油层中的油气发生减压沸腾作用，

极轻质油气、砂岩中的钙质及其它流体进入裂缝空间。在其中钙质重新结晶成方解石过程中，形成包裹体群。在脉动式的构造力挤压时，进入裂缝的油气和流体，部分会被挤回原来的空间或运移到其它空间。这样的过程随着构造力的脉动式压张交替而反复发生，油气及其它流体就会被“泵”到另外的储积空间里。这个过程说明，这块裂缝岩心就是一个真实的“地震泵”运移机制地质模型。

2008 年，作者将这一发现及初步研究成果--《油气沸腾包裹体群及其地质意义》在 33 届国际地质大会分会场宣讲。此后，作者陆续找到了 3 块含有油气沸腾包裹体群的裂缝岩芯，排除了这一地质现象的偶然性，丰富了地震泵实体地质模型的类型；通过多处裂缝井油样分析，证实油气减压沸腾是普遍的、可逆的地质现象。参考众多有关金属矿产成矿过程中沸腾现象的研究，作者建立了“减压沸腾带”的概念，并把地块波浪运动和水压机原理结合起来，形成一个能把地壳构造运动、地震、火山、岩浆活动和成矿富集过程有机的结合在一起的波动成因机制。地壳的任何一个地块都有自己的固有频率，当地壳波浪的频率与某一级别的地块固有频率相等或成整数比时，该地块就会发生共振，共振地块在向上运动时，地块下边界会产生减压沸腾作用，使界面附近物质液化，形成减压沸腾带，这些液化的物质就是地震勘测所显示的低速带，也就是目前比较流行的中下地壳隧道流。大区域性的地块波动所引起的减压沸腾带，会造成液化物质横向迁移到某一相邻地块之下，引起地块区域性的升降。青藏高原(地块)就是在地史时期，受到周边地块中下地壳减压沸腾物质的横向迁入而隆起的。较高级别的地块在波动向下的过程中，会挤压减压沸腾带中的液化物质，如果在减压沸腾带的末端或分布带的某个部位遇到相对较小的镶嵌地块，通过减压沸腾带液化物质所传递的构造力足以推动这一较小的镶嵌地块，则会引发地震。如果减压沸腾带形成部位较浅，并且遇到软弱带或裂缝带，受压的液化物质会喷出，形成火山。如果没有合适的裂缝，液化的物质逐渐冷却，形成相应的岩浆岩。在减压沸腾带形成和演化的过程中，各类成矿物质通过裂缝带，以地震泵运移模式富集成矿。

近现代沟-弧-盆体系的分布特征，特别是弧后深源地震带的分布，不支持大陆增生、洋壳消减带模式。作者认为环太平洋火山、地震带就是由太平洋壳块波浪运动引发的、近现代最活跃的减压沸腾带，是洋壳、陆壳融合带。完美的弧形构造，可以用地壳波浪在陆缘的反射前弧或两组波系叠加来解释。

日本 311 大地震及其“余震”，除了夏威夷有少量分布，其它全部环北太平洋壳块分布，北太平洋壳块整体表现为地震平静带。如此大的地震有这样的分布特征，充分说明北太平洋壳块就是引发 311 大地震的“大活塞”。日本 311 主震及其“主余震”，在日本及其海域呈现明显的菱形分布区。更奇特的一点就是，在北太平洋壳块与日本对应的美国一侧，大致在相同的纬度上，也分布着 311“余震群”，由此说明北太平洋壳块在 311 地震中进行着天平摆动式的波浪运动。

S10-P-08

Cascadia 俯冲带地震破裂传播的数值模拟

杨宏峰 [1]，刘亚静 [1,2]，Jeffrey J. McGuire[1]

1 美国伍兹霍尔海洋研究所

2 加拿大麦吉尔大学

hyang@whoi.edu

地球上震级最大的地震发生在俯冲带，有时会伴随着极具毁坏性的海啸，比如 2011

年日本地震和 2004 年苏门答腊地震。这类强震的破坏程度与其同震滑移的空间分布密切相关，因此，对大地震破裂传播过程的研究具有重要的实际意义。

Cascadia 俯冲带曾经发生过一系列强震，平均周期约为 300－500 年，最近一次在 1700 年。我们通过有限元数值模拟（Pylith）来研究 Cascadia 下一次强震的传播过程及破裂空间分布。我们利用美国地质调查局的俯冲洋壳深度数据建立了一个曲面断层的网格模型。这个模型从美国加州北部延展到加拿大温哥华岛，南北向距离超过 900 公里，东西向长度为 500 公里，深度为 160 公里。根据由 GPS 观测推算出的滑移亏损率，我们估算了断层上的总滑移亏损，并将其转化为断层面的应力降分布，并假设了一定的初始和最终应力的分布。具有较大初始剪应力的区域集中在俯冲带浅部，小于 20 公里，这个区域可能成为下一次强震的发源地。为了模拟地震破裂的过程，我们在断层面上施加了“随滑移弱化的摩擦定律”(slip-weakening law)，并由 Cascadia 的温度模型和实验室岩石摩擦实验的结果来确定具体的摩擦参数。为了检验摩擦参数，应力分布，介质性质以及网格大小对破裂的影响，在这个大尺度曲面断层上进行复杂破裂模拟之前，我们首先在简单的平面和曲面断层模型上进行了一系列实验。实验结果显示，破裂会在初始应力控制下自发产生并在断层面上传播。传播的速度和距离由断层面上的应力和摩擦参数，以及介质的弹性性质共同决定。在应力和摩擦参数不变时，断层附近的低速带会降低破裂传播速度，并可能会改变破裂的模式(crack to pulse)。在经过这一系列的测试后，我们将优化后的参数应用到 Cascadia 俯冲带模型中，模拟破裂的产生和传播过程，确定破裂的空间分布，从而可以直观定量的评估下一次 Cascadia 强震可能引起的损失。

S10-P-09S

大洋板块在海沟的弯曲变形：菲律宾、马尼拉及智利俯冲带的比较

张帆 [1,2]，林间 [3]，詹文欢 [1]，孙龙涛 [1]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国科学院研究生院

3 美国伍兹霍尔海洋研究所

somefar@126.com

海洋板块在俯冲带附近会产生强烈的弯曲，造成大量正断层，并引发地震与海啸。本文研究了菲律宾、马尼拉及智利俯冲带前端的板块弯曲特性以及板块所承受的垂直与弯曲荷载 。我们首先分析了板块的基底形变沿着菲律宾及马尼拉海沟的变化，并与智利俯冲带的多条地震剖面（Contreras-Reyes and Osses, *Geophys. J. Int.*, 2010) 进行对比。然后我们选出变形特点最明显的剖面作为模拟对象。对应于每条剖面，我们模拟了板块的有效弹性厚度（Te）沿着垂直于海沟方向的变化，并且计算了该剖面在海沟附近所承受的最大垂直与弯曲荷载。通过分析，我们得出以下结论：（1）各俯冲带的板块厚度以及所承受的最大弯曲荷载（M_{max}）和最大垂直荷载（V_{max}）有很大的区别。其中，菲律宾俯冲带：Te 约为 20-25 km（接近海沟）至 60-80 km（远离海沟）；M_{max}= 57 x10^{16} N m; V_{max}=6.14 x10^{12} N; 马尼拉俯冲带：Te 约为 3-8 km（接近海沟）至 15-25 km（远离海沟）; M_{max}= 9 x10^{16} N m; V_{max}=1.55 x10^{12} N; 智利俯冲带：Te 约为 5-15 km（接近海沟）至 20-40 km（远离海沟）；M_{max}= 44 x10^{16} N m; V_{max}=2.5 x10^{12} N。（2）以上分析表明，当板块接近海沟时，其有效弹性厚度在海沟前缘隆起处最大，但在海沟下降处该厚度可能会

剧减到原来的 15%-25%。由板块弯曲造成的上板块拉张可能产生的大量正断层，因而使板块的有效弹性厚度剧减。（3）分析结果表明，模拟中必须考虑弯曲荷载才可以解释在海沟前缘处观察到的隆起。（4）菲律宾与马尼拉俯冲带相比，前者板块厚度、弯曲荷载及垂直荷载均约为后者的多倍，该差异可能与俯冲板块的年龄及俯冲速度相关。

S10-P-10S

长江中下游 A 型花岗岩磷灰石的研究及其地质意义

李贺[1,4]，孙卫东[1]，杨晓勇[2]，刘吉强[1]，李聪颖[1,4]，凌明星[3]，丁兴[3]

1 中国科学院广州地球化学研究所矿物与成矿院重点实验室

2 中国科学技术大学地球和空间科学学院矿产资源研究室

3 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室

4 中国科学院研究生院

lihe1984@gmail.com

长江中下游地区分布着许多 A 型花岗岩，并且这些 A 型花岗岩地球化学特征明显可以分成两种类型，即 A1 型花岗岩和 A2 型花岗岩。之前人们对 A 型花岗岩的划分认为 A1 型花岗岩是形成于板内裂谷环境，A2 型花岗岩形成于后碰撞环境。我们通过研究长江中下游的 A 型花岗岩，认为这些 A 型花岗岩都是形成于洋脊俯冲及随后的板片窗/板片后撤，其中 A2 型花岗岩是受到过俯冲板片作用导致的，而 A1 型花岗岩没有受到俯冲板片的作用。两种类型 A 型花岗岩中磷灰石的地球化学特征是支持这一观点的。从磷灰石的稀土元素特征来看他们都具有幔源的特征，应该是地幔部分熔融的产物。区别就在于磷灰石 Cl 的含量有所不同。同样是 A1 型花岗岩，有的地方磷灰石含 Cl 低，比如黄梅尖；有的地方磷灰石含 Cl 高，比如板石岭，茅坦和花园贡。而一些 A2 型花岗岩磷灰石含 Cl 低。这是由于在洋壳的矿物中 Cl 主要是受控于角闪石，而角闪石在俯冲过程中是受温度、压力和含水量控制的。高温高压下，角闪石分解。在同等温度，含水量高的条件角闪石会后分解，而在含水量低的条件下角闪石分解较早。黄梅尖岩体中含 Cl 量较低（<0.1%），主要是由于黄梅尖岩体位于原先洋脊的位置。洋脊的温度很高，含水量也很低，造成角闪石很早就分解了，所以源区的 Cl 含量很少。而在洋脊附近既有 A1 又有 A2 型花岗岩的过渡带，A1 型花岗岩含 Cl 量高而 A2 型花岗岩含 Cl 量低，是由于过渡带温度逐渐降低，含水量逐渐增加。在含水低温度又低的地方角闪石在俯冲早期分解，所以这里的 A1 型花岗岩具有低 Cl 的源区；而在含水偏高的地方由于角闪石的分解温度高，可以被俯冲的较远才发生分解，从而造成这里的 A2 型花岗岩源区含 Cl 高。所以在长江中下游沿江地区不同类型 A 型花岗岩磷灰石的 Cl 含量变化特征可以指示洋脊俯冲作用。

S10-P-11S

西南印度洋中脊玄武岩岩石学与地球化学特征及意义

于淼，苏新

中国地质大学（北京）海洋学院

275853148@qq.com

西南印度洋中脊（SWIR）是南极洲板块和非洲板块的分界线，东起罗得里格斯三联点（Rodrigues Triple Junction，RTJ），西至布维三联点（Bouvet Triple Junction，BTJ），其独特的超慢速的扩张速率使得 SWIR 在科学研究上成为国际洋脊热液活动研究专家们关注的“天然实验室”，在资源调查上成为人们在 21 世纪在海底寻找新的热液矿产资

源的重要区域。而西南印度洋中脊 A 区更是我国在 SWIR 发现的有热液活动和地球物理、地球化学异常较强的重点研究区域。

本文研究的西南印度洋中脊 A 区玄武岩样品均属于亚碱性玄武岩，根据样品是否取自已发现有热液活动区域，可将取自热液活动区的样品 20V-TVG14 与其他样品对比分析。岩石学特征表明，西南印度洋中脊 A 区玄武岩以斑状结构为主，班晶主要为橄榄石、斜长石和辉石，晶粒一般较小，少部分班晶晶形较完整，大部分晶形较差。斜长石呈放射状或羽状分布。基质包括橄榄石、辉石和长石微晶。

主量元素特征表明，西南印度洋中脊 A 区玄武岩类型基本接近于正常的洋中脊玄武岩（N-MORB）。微量元素特征显示，除样品 20V-TVG14 外，Cr、Ni、不相容元素 Zr 和 Y 等元素的特征基本显示出一定的 N-MORB 特征。虽然 Nb/Ta 比值（平均为 13.03）显示样品仍均为基性岩，但大离子亲石元素 Nb 和 Ta 的丰度呈现出极大地亏损特征，可能与含钛矿物含量低有关。

对取自热液活动区的样品 20V-TVG14 进行与其他样品对比研究。从手标本和薄片镜下观察比较难看出其与其他样品的区别，但其各微量元素（Zr、Y 等）与其他样品偏离较大，并且有明显亏损的稀土元素总量（ΣREE 平均值 25ppm），其在轻重稀土比重和 Eu 异常方面（具明显的 Eu 正异常，其他样品则无 Eu 异常）也表现出与其样品的不同，这一方面可能与其取自活动热液区有关，也可能其源区岩浆上升结晶分异作用过程与其他样品不同所致。样品 20V-TVG16 的 Fe_2O_3 含量较其他样品明显偏高，明显是因其受氧化作用强烈影响所致，这与手标本观察结果相一致。而样品 21V-D13 因其结晶程度较低也在某些元素特征上显示出与其他样品的不同。

S10-P-12

铀系不平衡分析技术及其在地球化学中的应用

张兆峰[1]，黄方[2]，孙卫东[1]

1 中科院广州地化所同位素地球化学国家重点实验室

2 中国科技大学中科院壳幔物质与环境重点实验室

3 中科院广州地化所中科院矿物学与成矿学重点实验室

zfzhang@gig.ac.cn

铀系不平衡可以产生于任何铀系母子体或各子体元素发生分异的地球化学过程，这些过程包括但不局限于：第四纪年代学、实验岩石学、岩石地球化学、地壳深部以及壳幔物质循环、洋流的混合和流动、地表的风化和沉积、生物地球化学过程以及全球变化等等。 十几年来，作者建立了基于 Triton 以及 MC-ICP-MS 的铀系不平衡高精度分析方法，并将其应用于研究、认识和诠释诸多上述地球化学过程中：

（1）建立高精度的铀系不平衡分析方法。年代学方面，建立了年轻地质样品尤其是不纯碳酸盐、湖泊沉积物、年轻火山岩等铀系不平衡方法，为表生作用地质过程提供了重要的时间标尺。我们曾在中国科大和美国 UIUC 建立了铀系不平衡的分析方法，也将在中科院地化所和中国科大创建并发展新的分析方法；与多数同类实验室相比，我们的年代学研究不仅仅局限在 ^{238}U-^{234}U-^{230}Th 定年方法上，在其它子体系如 ^{235}U-^{231}Pa、^{230}Th-^{226}Ra 等的定年方法方面也有很大进展；此外，其它实验室多追求测定纯的次生沉积物的铀系年龄，而我们更明了自然样品的复杂性，并在实验研究中发现铀系各核素在弱酸作用下碳酸盐和硅酸盐混合过程中的迁移规律并提出全溶法是目前不纯次生沉积物铀

系定年的唯一可信方法。在非传统稳定同位素方面，作者研究了还原和降解过程中铀系同位素的分馏，并调查了岩浆作用和热液作用矿床中铀稳定同位素的差异。

（2）铀系不平衡在各种地球化学过程中的应用。这些应用主要集中在地幔熔融、岩浆演化过程和时间尺度以及地壳深部和壳幔边界物质循环等方面，其中一个重要的应用是对俯冲过程中的地球化学过程进行更符合地质事实的解释。铀系不平衡的产生机制和构造背景，对俯冲带的部分熔融和岩浆作用提供了重要并且独特的制约，有助于理解俯冲带岩浆作用的过程和时间尺度等化学地球动力学问题。

本文将在介绍铀系不平衡测试技术的基础上，对相关技术难点问题进行讨论，并重点关注铀系不平衡在俯冲带岩浆过程的应用。

S10-P-13

南海北部荔湾凹陷长缆反射地震测线揭示地壳结构特征：速度分析和重磁模拟

邱宁[1],孙珍[1], 周蒂[1], 庞雄[2]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 中国海洋石油总公司深圳分公司

ningqiu@scsio.ac.cn

南海北部珠江口盆地的基底结构和岩石组成及前新生代构造对研究深水盆地的结构、演化和沉积沉降过程都有着重要的影响。本文对穿过南海北部陆缘的珠江口盆地荔湾凹陷中部的 3 条长电缆深反射地震剖面（11 s）进行了速度分析和时深转换基础上，把整个地壳分为坳陷期沉积地层、裂陷期地层、上地壳和下地壳进行分析，探讨了荔湾凹陷的地壳结构特征，利用重磁反演出的密度和磁性分布特征进行对比分析，识别出可能存在的下地壳塑性流动或岩浆底辟、下地壳高速体（速度>7.0，厚度约 2km）等分布特征，并讨论其与南海扩张过程的关系，为研究新生代凹陷发育特点和发育历史的分异性提供深部信息。

S10-P-14

哀牢山构造岩浆带晚二叠世—早三叠世火山岩特征及其构造环境

刘翠[1, 2]，邓晋福[2]，刘俊来[2]，石耀霖[1]

1 中国科学院研究生院

2 中国地质大学（北京）

liucui@cugb.edu.cn

本文对中国云南哀牢山构造岩浆带内的雅轩桥、帽盒山、绿春火山岩等开展了相关研究。雅轩桥附近的火山岩为晚二叠世（P_2），岩性主要为橄榄粗安岩-玄武岩（少量安山岩），在 TAS 图上既有碱性又有亚碱性。钾含量较低（<1.19%），为低钾钙碱-中钾钙碱性（SiO_2-K_2O 图），Peacock 碱钙指数以钙碱性为主（SiO_2-（K_2O+Na_2O-CaO）图）。与 MORB 相比，其痕量元素蛛网图亏损 Nb、Ta，而富集 Pb，从 Zr-V 曲线呈平坦型，并且整体比 MORB 亏损。稀土元素配分模式与 MORB 相近，但略显轻稀土元素富集和重稀土元素亏损。在构造环境判别图上均位于火山弧环境。他郎河边（雅轩桥地区）火山岩为英安岩，属亚碱性（TAS 图），中钾钙碱性（SiO_2-K_2O 图），Peacock 指数为钙性。痕量元素蛛网图、REE 模式图以及大地构造环境判别图，均表明其属于弧的构造环境。由上推测雅轩桥火山岩在晚二叠世属于弧火山岩。帽盒山玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果为 249±1.6Ma，为早三叠世。岩性为亚碱性钠长玄武岩，低钾钙碱性系列，Peacock 碱钙指数以钙性为主。痕量元素蛛网图和 REE 配分模式图与 MORB 相比，LREE 略微

富集。在构造环境判别图中位于从 E-MORB 向岛弧过渡的构造环境。绿春地区流纹岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 247.3±1.8Ma，为早三叠世，属亚碱性，钾玄岩系列（SiO_2-K_2O 图），Peacock 碱钙指数为碱钙性。痕量元素蛛网图、REE 配分模式图及大地构造环境判别图显示其为成熟岛弧向陆陆碰撞的过渡环境。结合前人研究，推测哀牢山洋在晚泥盆世形成，可能在石炭世-早二叠世？处于洋的扩张期。晚二叠世时，在哀牢山洋的西侧出现了雅轩桥的初始弧火山岩，预示着至少在这一时期，哀牢山洋已经开始俯冲。到三叠世早期（249±1.6Ma），在哀牢山洋的东侧出现了具有弧和 MORB 的双重特性的帽盒山玄武岩，可能指示此时哀牢山洋盆已经变小，或已转化为弧间或弧后盆地，洋的演化进入了晚期阶段，并且在局部地段，如绿春地区，此时（247.3±1.8Ma）已经进入到成熟岛弧向陆陆碰撞的过渡阶段。因此支持哀牢山洋在晚三叠世闭合的结论，亦符合上三叠统一碗水组不整合在哀牢山蛇绿混杂岩之上的事实。

S11-O-01

由地幔对流控制的地球过去 5 亿年的动力历史

Shijie ZHONG

Department of Physics, University of Colorado, Colorado, USA, Email: szhong@colorado.edu

The Earth’s core, mantle, ocean, and atmosphere are part of an integrated dynamic system in which the Earth’s mantle convection plays an essential role. For example, the Earth’s magnetic field is generated by dynamo action in the liquid outer core, but the dynamo cannot operate without mantle convection’s efficient removal of heat from the core. Mantle convection causes global sea-level to change and continent vertical motion via dynamic topography. Large-scale volcanisms may also be caused by mantle convection that organizes mantle flow and upwellings. To understand the Earth’s dynamic system, we must study mantle convection history. In this study, I will discuss our recently funded project by the US-NSF for which we will integrate mantle convection, core dynamics, paleo-climate, and paleo-oceanography together to study how mantle convection may have shaped important geological events in the last 500 Ma.

Seismic tomography studies indicate that the Earth’s mantle structure is characterized by African and Pacific seismically slow velocity anomalies (i.e., superplumes) and circum - Pacific seismically fast anomalies. However, the cause for and time evolution of the African and Pacific superplumes remain poorly understood with two competing proposals. First, the African and Pacific superplumes have remained largely unchanged for at least the last 500 Myr. Second, the African superplume is formed sometime after the formation of Pangea and the mantle in the African hemisphere is predominated by cold downwelling structures before and during the assembly of Pangea. Here, we construct a proxy model of plate motions for the African hemisphere for the last 450 Myr using the paleogeographic reconstruction of continents constrained by paleomagnetic and geological observations. Coupled with assumed oceanic plate motions for the Pacific hemisphere, this proxy model for the plate motion history is used in three -

dimensional spherical models of mantle convection to study the evolution of mantle structure since the Early Paleozoic. Our model calculations reproduce well the present‐day mantle structure including the African and Pacific superplumes and generally support the second proposal. Our results suggest that while the mantle in the African hemisphere before the assembly of Pangea is predominated by the cold downwelling structure resulting from plate convergence between Gondwana and Laurussia, it is unlikely that the bulk of the African superplume structure can be formed before ~230 Ma. Particularly, the last 120 Myr plate motion plays an important role in generating the African superplume. We reconstruct temporal evolution of the surface and CMB heat fluxes and continental vertical motions since the Paleozoic. Our models reproduce well present-day observations of the surface heat flux, seafloor age distribution, bathymetry, and dynamic topography. Our models show that while the surface heat flux may not change significantly in response to Pangea assembly, it increases by ~16% from 200 to 120 Ma ago as a result of Pangea breakup and then decreases for the last 120 Ma to approximately the pre-200 Ma value. As a consequence of the assembly and breakup of Pangea, the equatorial CMB heat flux reaches a minimum at ~270 Ma and again at ~100 Ma, coinciding with the Kaiman and Cretaceous Superchrons, respectively, and may be responsible for the Superchrons. The models predict vertical motion histories of the Slave and Kaapvaal cratons that are consistent with those inferred from thermochronology studies.

S11-O-02

由 P'P'前驱波得到的小尺度速度异常体及其对化学混合的意义

Sidao Ni[1], Wenbo Wu[2]

1 State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan, China,430077

2 Mengcheng National Geophysical Observatory, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, China, 230026

sdni@ustc.edu.cn

We report strong short period (0.5-1.2Hz) precursors to P'P'df at podal distances (0-50°) with advance time around 60s. From FK analysis, we find that the precursors at epicentral distance of ~35° arrive along back-azimuth about +/- 120° off the great circle paths (asymmetrical path) with slowness between 2-4 sec/deg, arguing against propagation path in the inner core. Polarization analysis also supports propagation path in the outer core. Timing and shape of the precursors' envelopes are well matched with synthetic envelopes taking into account the scattering from rough free surface and volumetric heterogeneities inside the Earth along asymmetrical propagation path. Therefore the precursors are very probably generated with asymmetrical scattering mechanism. This interpretation does not require extra discontinuities or a layer of strong small scale heterogeneities in the upper mantle, which are inferred from P'P' precursors when only symmetrical scattering is assumed.

S11-O-03

中国大陆地壳和岩石圈结构及构造意义

Xiaodong Song[1.2], Zhen Xu[2], Xuewei Bao[1], and Lupei Zhu[3]

Nanjing University

2 University of Illinois at Urbana-Champaign

3Saint Louis University

xdsong@nju.edu.cn

In this presentation, we give an update of crustal and shallow lithosphere mantle structure of China from our collaborative studies of surface waves and joint inversion techniques in recent years. The studies use unprecedented amount of continuous and event data from national and regional stations in China and surrounding regions. These tomographic images show striking correlation with surface geology. Robust images of lithosphere heterogeneity have started to emerge, providing a fundamental data set for understanding continental lithosphere dynamics and evolution, for earthquake hazards mapping, and for mineral resources exploration. Some major features include the following. (1) All major basins are clearly delineated by slow S velocities at shallow depths, indicating thick sedimentary layers. Major basins in the West (Tarim, Tulufan, Junggar, west Ordos, Sichua) as well as the Indian Shield show fast mantle lithosphere velocities, indicating strong, cold, and stable continental blocks. These strong blocks thus seem to play an important role in confining the deformation of the Tibetan Plateau (TP) to be a triangular shape. (2) The north China basin is underlain by thin crust and thin lithosphere with pronounced slow anomalies in S and Pn, correlating with rifting, delamination, and upwelling in this region. There is clear different in the mantle lithosphere between the western (southwestern) and eastern (north eastern) part of the Ordos basin, suggesting that the eastern part and the Shanxi graben may be undergoing mantle transformation at the present time while the western part remains stable. There is clear variation along the Weihe-Shanxi rift system from south to north, suggesting strong far field control of the deformation of the Tibetan Plateau. (3) The TP shows up in the tomography with many distinct features. The mantle lithosphere of the northern Tibet has generally lower velocities than in the southern Tibet, correlating with the intrusion of the India lithosphere. However, the southern Tibet has significant E-W structure. The northwestern TP has pronounced low velocities from the crust to the mantle, indicating the mantle source of the Cenozoic volcanism of Qiangtang terrain. There is a distinct bended low velocity belt extending from the west to east beneath Qiangtan, Songpan Ganzi in the northern TP and then turns consistently southward beneath eastern TP and further south to Indo-China. The consistency between geological boundaries on surface and sharp velocity contrast boundaries in uppermost mantle may suggest strong deformation coupling between crust and, at least uppermost mantle, if not whole lithosphere. Widespread, prominent low-velocity zone is observed in mid-crust in much of the TP, but not in the margin areas, suggesting a weak (and perhaps

mobile) mid-crust.

S11-O-04

从深部结构探测大陆演化的动力构造作用—以中国华北为例

郑天愉

中国科学院地质与地球物理研究所

tyzheng@mail.igcas.ac.cn

圈层结构和板块构造体系是人们对全球动力学体系的共识。在这个体系中演化的大陆岩石圈，发生着地壳增生，壳幔循环，大陆俯冲-折返，大陆再造等深部过程。我们利用在华北地区的流动地震台阵和国家地震台网观测得到的远震记录，研究观测剖面下的地壳-上地幔结构，探寻在深部结构中保持的华北克拉通演化的动力构造作用信息。在地震接收函数共转换点叠加成像中，利用波形约束来区分转换波和多次波成像，识别真实的速度间断面。对于燕山带地壳的成像结果，总体上展示了被强烈伸展和岩浆作用改造的地壳结构特征，而在剖面西侧呈现了挤压作用造成的地壳褶皱和叠置。沿合肥-金华剖面的壳-幔界面性质变化强弱相间，可能是地幔岩浆不均匀作用的结果。在穿过华北克拉通-扬子克拉通边界的剖面探测到上地幔顶部的异常结构，反映了扬子克拉通向北俯冲的构造作用特征。

对于记录深部过程的岩石样品的测试研究，提供了构造作用过程中物质性质变化和时间的直接证据。我们的研究表明，地球深部结构探测，因其在空间上具有的全局性，对于认识产生深部过程的构造动力作用，可以提供重要的制约信息。

S11-O-05

中国地震科学台阵探测计划

丁志峰

中国地震局地球物理研究所

zhfding@vip.sina.com

强震的孕育和发生过程，是在地球深部发生的动力过程或构造运动。目前在中国大陆缺乏对深部孕震构造环境的系统性探测成果，对许多地区的深部动力学环境还缺乏深刻的和全面的认识，迫切需要开展对中国大陆的深部孕震环境和壳幔结构的基础性探测工作。为此，在国家公益性行业科研专项的支持下，由中国地震局组织，于 2010 年 9 月启动了中国地震科学台阵探测项目，开展以大型地震台阵观测为主的综合地球物理探测工作，以全面认识中国大陆地震孕育的深部构造背景环境和大陆岩石圈的动力学结构，为我国的防震减灾事业和地球科学研究工作提供技术支持和基础资料。

本项目的目标是通过在中国大陆分期、分区开展以大型的密集地震科学台阵探测为主，辅以综合地球物理剖面探测和主动源重复探测，对区域性的孕震背景环境、重要构造带的深部构造形态和重点地区介质物性进行探测。地震台阵探测将以中国地震局的地震科学台阵系统中的近千台宽频带流动地震仪器为主，以台间距 35km 左右的密度布设，每个台站的连续观测时间为两年，分期分地区工作，最终完成地震台阵对中国大陆地区的完整覆盖，获取大量宝贵的地震观测基础资料，供广大地球科学工作者使用。

在这些地球物理观测的基础上，项目将开展以下方面的综合研究：

（1） 建立三维速度结构模型。根据在研究区有较好覆盖的地震台阵观测系统和固定地震台网的地震记录资料，以现有的深地震探测剖面的结果对深部间断面进行有效约束，通过地震层析成像方法获得研究区高分辨的地壳和上地幔三维地震波速度结构模型。

（2）建立深部物性结构模型。在获得的三维地震波速度结构模型的基础上，根据地球物理剖面探测获得的密度分布、深部介质的电性结构和磁性结构、对介质物性的实验室测量，结合地质、地化和地热的成果，给出研究区的深部综合物性结构模型。

（3） 建立区域深部动力学模型。在三维速度结构和深部物性结构的探测研究基础上，根据对壳幔介质应力状态和变形分布、小震精确定位得到的震源分布形态、介质物性随时间变化的探测结果，充分利用已有的地表测量和块体结构的研究成果，通过动力学数值模拟，建立深部孕震的动力学模型。

（4） 建立典型地区“标准”结构模型。在获得的三维壳幔结构的基础上，通过在典型地区开展的浅层地震勘探、钻孔探测，建立地区性浅层“标准”结构模型，为强震地震动影响场的计算建立可靠的基础模型。

S11-O-06

我国大陆几个活火山深部细结构及深部起源

雷建设

中国地震局地壳应力研究所地壳动力学重点实验室
jshlei_cj@hotmail.com

我国大陆有很多火山，如五大莲池火山、长白山火山、腾冲火山、海南火山、大同火山和昆仑山火山等，其中五大莲池火山、长白山火山和腾冲火山被认为是活火山 (刘嘉麒, 1999; 刘若新, 2000)。人们对这些火山区已开展了大量研究工作，但深部起源问题还一直不太清楚。地震层析成像被认为是了解深部结构强有力手段之一。由于火山区开展了大量流动地震观测和我国‘九五’和‘十五’固定地震观测，为利用成像技术获取研究区深部细结构提供了可能性。因此，本研究主要总结近几年来利用流动和固定地震台站记录到的大量高质量到时资料获得的长白山火山、腾冲火山和海南火山等几个火山区的深部细结构，以探讨其深部起源问题。

近期对长白山火山微震观测表明，火山口下方深部岩浆房仍有活动，虽然这种活动是低水平的(如吴建平等, 2005)；大地电磁测深结果显示出，火山下方 12-25 km 深度上存在地壳岩浆房(如汤吉等, 2001)。由全球地震层析成像结果(Zhao, 2004; Lei and Zhao, 2006a)可以清楚地看出，长白山火山下方的地壳上地幔为明显低波速异常体，太平洋板块被清晰地成像为高波速异常，而且深至 600 km 有地震发生。在中国东北的地幔转换带中，太平洋板块呈现为滞留状态。

为更清晰揭示出长白山火山的深部起源，将远震层析成像技术应用于由长白山附近 19 个宽频带数字临时地震仪记录到的高质量到时资料，揭示出我国东北长白山火山之下深至转换带存在着明显的低波速异常，而在转换带内有明显的高波速异常，表明长白山火山是一种与太平洋板块深俯冲以及在地幔转换带内滞留、脱水形成上地幔软流圈热物质上涌等动力学过程相关的弧后火山(Lei and Zhao, 2005, 2006a)。与夏威夷热点起源核幔边界(Lei and Zhao, 2006b)的地幔柱完全不同，长白山火山属于弧后火山。

新生代时期，印度与欧亚板块的碰撞作用，不仅在青藏高原南部形成挤压结构，而且在东南亚地区形成张性结构。我国云南腾冲的板内活火山就位于该碰撞带的东南缘，最近的一次喷发在 1609 年，直至现在腾冲火山区还有众多温度高达 90°C 以上的热泉存在。在其侧旁的印缅交界处，中深源地震随深度展布成一个清晰的

Wadati-Benioff 地震带。在云南地区获得的成像结果显示，腾冲火山下方深至 400 km 深度存在着明显的低波速异常，而在地幔转换带内有明显的高波速异常，结合前人的研究结果，从而提出印度板块在缅甸弧下方的地幔深度以高角度俯冲至地幔转换带，表明腾冲火山的形成可能与印度板块俯冲至地幔转换带后滞留、脱水和上地幔热物质上涌等动力学过程密切相关(Lei et al., 2009a)。

海南火山位于我国大陆最南端海南岛的东北部，始新世以来有过多次喷发，火山玄武熔岩流广泛分布于雷州半岛和海南岛，面积达 7000 km^2。如此强烈的岩浆活动，与其深部地幔密切相关。琼北地幔柱最初是由 Lebdev et al. (2000)根据面波成像结果在海南下方存在低波速异常和接收函数显示地幔转换带变薄的研究结果而提出来的。全球地震成像结果尽管显示出在海南下方深至中地幔(Montelli et al., 2004)或地幔底部均存在着显明的低波速异常，然而在地壳上地幔深度均很粗糙、模型空间分辨率很低，不能给出琼北地幔柱的细结构形态。“九五”计划以来，在海南及雷州半岛布设了九个数字化地震台站，为我们获取高质量到时资料提供了可能性。海南地区的成像结果(Lei et al., 2009b)显示，琼北热点下方深至 250 km 深度范围内存在着一个直径约 80 km、往深向东南方向倾斜的低波速异常体。这一倾斜低波速柱状体尽管可能与菲律宾海洋板块的俯冲与大陆板块的挤压相关，但数值模拟结果显示更为可能的是，它是由下地幔流扭曲后由浮力直接上托至上地幔而形成(Steinberger and Antretter, 2006)，此结果对于长期以来许多学者一直关注的琼北地幔柱深部的结构形态及其起源等科学问题的认识提供了重要的参考价值。

S11-O-07

海南地幔柱的深部结构及起源

黄金莉 [1,2]，王晨阳 [2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院

2 中国地震局地震预测研究所

hjl@seis.ac.cn

海南及其邻区位于欧亚、印-澳及菲律宾海板块的交汇部位。自新生代以来，该区发生了 10 期 59 回次的火山喷发活动，形成了 100 余座火山，火山熔岩的分布面积达 4000 km^2，区域地球化学研究表明海南火山具有深源特征。Maruyama(1994)认为南海南部岩石圈下可能存在着地幔柱, 龚再深和李思田(1997)则指出地幔柱引起的局部对流、加之与岩石层底部的摩擦力导致大面积的伸展可以较好地解释南海不同方向、不同构造部位的盆地在早第三纪同期伸展的地质现象。

近年来，人们从全球和大区域尺度地震层析成像研究结果中发现了海南地幔柱存在的迹象（Lebedev and Nolet , 2003; Montelli *et al*., 2006; Huang and Zhao, 2006), 但大尺度模型揭示的海南地幔柱的低速异常范围较大，且在不同的模型中有明显的差异， Lei et al.（2008）利用海南台网 9 个台站的区域震、远震资料反演了海南岛及邻区的 P 波速度结构，结果显示海南火山下的低速异常从地表向下倾斜延伸至研究区底部 250KM 深，由于研究范围、所用资料及研究深度的限制，已有的研究结果还很难确定海南地幔柱的存在范围和起源深度。

本次研究应用海南、广东及广西区域台网 88 个宽频带地震台站记录的 165 个远震的 10926 个 P 波到时资料，采用远震层析成像方法反演得到该区 700KM 深度的 P 波速度

结构；特别是考虑到这次探测的目标体地幔柱可能是高温的、熔融的，而实验研究表明 S 波速度结构对于高温熔融更为敏感（Hammond and Humphreys, 2000），由此我们还反演得到了 S 波速度结构。

通常情况下，用于反演地幔 S 波速度结构所需的远震 S 波到时数据较难拾取，在数据处理中我们通过专门的软件对原始波形进行中长周期仿真，仿真后的波形清晰的显示出 S 波震相，从这些波形中拾取了来自 156 个远震的 10135 个 S 波到时，反演得到该区 700KM 深度范围内的 S 波速度结构，采用检测板和恢复试验分别对研究区的空间分辨率和特定异常结构的分辨进行了详细的检测，说明了反演结果的可靠性。结果显示海南火山下 P 波、S 波低速异常一直延伸到地幔转换带以下，在浅部速度异常的范围主要集中在热点下的小范围内，当深度增加到 410KM 间断面附近时，异常的主要区域逐渐扩展到热点的东北部，并且 P 波、S 波所揭示的低速异常位置和范围大致相同，但 S 波异常幅度达到 3%，而 P 波速度异常则在 2%内。

在这次研究中，我们还从 88 个宽频带台站记录的 2007 年 8 月至 2010 年 3 月 500 多个远震事件中挑选出信噪比高的 75 个远震事件波形，采用接收函数共面元叠加的方法，得到了海南及其邻区上地幔 410-km 和 660-km 间断面的深度分布和转换带厚度的变化。结果表明，研究区 410-km 间断面形态较为复杂，局部下沉到 447km，而 660-km 间断面相对简单，其深度分布在 670km 左右。海南岛东北部存在一个直径约 200km 的转换带异常薄的区域，其厚度较全球平均值薄 25±5km，且这一区域与地震层析成像得到的低速异常区大致相同，只是范围偏小些，这相当于转换带中存在～180℃的高温异常。本次研究由地震层析成像反演的 P 波、S 波速度结构及接收函数得到的地幔转换带厚度变化，揭示了海南地幔柱从地表往深部逐步向东北方向偏移，而低速异常延伸到地幔转换带以下及地幔转换带的局部减薄都暗示海南地幔柱可能起源于下地幔。

S11-O-08

利用环境噪声研究南极大陆地壳以及上地幔的三维剪切波结构

孙新蕾 [1,2]，Douglas A. Wiens[1]，Andrew A. Nyblade[3]，Sridhar Anandakrishnan[3]，Richard C. Aster[4]，Audrey D. Huerta[5]，Terry J. Wilson[6]，Masaki Kanao[7]，Meijian An[8]

1 Washington University in St. Louis,
2 中科院广州地球化学研究所
3 Pennsylvania state University
4 New Mexico Tech.
5 Central Washington University
6 Ohio State University
7 National Institute of polar research, Japan
8 地质力学研究所
xsun7376@gmail.com

作为气候严寒，冰层覆盖的大陆，南极因为缺少地震和地震台站，导致长期以来人们对它的地下结构，尤其是地壳的结构的认识 极不充分。随着国际极地年的开展，近年来南极大陆内部 AGAP/GAMSEIS 和 POLENET/ANET 两个流动台网的设置 （超过 50 个宽频地震仪），为研究南极大陆的地下结构提供了从未有过的机会。我们利用 从 2007 年底到 2010 年底的这两个流动台网的连续记录，以及之前 TAMSEIS 流动台网，和所有南极以及其周边的固定地震台网的连续记录，通过互相关的方法得到瑞利波的格林函数，并且获取了瑞利波的 8-60 秒相速度和群速度 。由这些频散曲线，考虑了南极大陆之上的冰层，我们进一步反演了南极大陆

下地壳和上地幔的剪切波速度结构以及莫霍面深度。我们的结果给出了之前的研究从未有过的整个南极大陆，包括东西南极大陆的地壳的详细的剪切波结构。研究结果表明：1）在浅部（<20 km），速度异常和表面的地形相关。比如高速结果对应 Gamburtsev, Tranantarctic, Ellswoth，Marie Byrd 等山地，而低速则对应 West Antarctic Rifting system 和 Ross 盆地。这些结果表明 WARS 和 Ross Embayment 之下是比较厚的沉积层，而山地之下则是岩石层。2）在 20-40 km, 东西南极大陆分别处于低速和高速区域，这与东西南极大陆的厚/薄地壳相一致。另外，高低速区域以 Transantarctic Mountain 为界，且分界明显。 3）在 Gamburtsev Mountain 之下，低速区域一直延伸到大约 55 km 处，表明 Gamburtsev Montain 有极厚的地壳支撑。我们的结果和接受函数的结果相一致（Hansen et al ,2010）。 4）在 WARS， 上地幔处于明显的低速区域，显示之下有上涌地幔柱存在。5） 在 Ronne 冰架之下，20-50km 处存在明显的高速层，表明此处地壳较薄，处于拉伸状态。Ellswoth Mountain 的旋转也可能和此相关。 6）我们的莫霍深度显示出东西南极大陆的二分化。东南极大陆的地壳厚度在 40-60km,而西南极大陆在 20-35 km。两部分仍以 Tansantarctic Mountain 为界。在 Transantarctic Mountain 之下，地壳厚度自东向西从 40km 迅速减薄到 30km。

S11-O-09

橄榄石相变动力学研究

王曙光[1]，宁杰远[*2]

1 中国地震局地震预测研究所

2 北京大学地球与空间科学学院地球物理学系

*njy@pku.edu.cn

俯冲带深部的物质结构特征对深源地震成因及地幔对流模式等重大科学问题有着决定性的影响。橄榄石是大洋岩石圈的主要组成矿物，其相变动力学特征在很大程度上决定了俯冲带深部的物质结构，因此地球科学家对橄榄石相变动力学的研究结果十分关注。

相变体积分数计算是相变动力学计算的重要内容。最基础的描述方程是由 Cahn (1956)给出的。我们考虑真实的晶粒形状，对相变动力学计算公式进行了修正，并利用相似矿物 Ni_2SiO_4 的数据，对比了修正公式与 Cahn 的公式所给结果的不同，发现区别只体现在相变过程的挤碰阶段，但是形核率和计算得出的生成相颗粒尺度会有很大不同，因而会对流变结构有很大影响。

我们从成核率理论出发，考虑新相晶核的真实形状，对晶面成核情形的成核动力学方程进行了修正。新的成核率方程还原了传统成核率方程中简化为常数并由实验数据确定的指前系数。结合修正的相变体积分数计算公式，可以用来确定出成核率方程中的本征的物理参量：新相晶粒与反应相晶粒的接触角度，以及新相物质与反应相物质之间的表面能。针对 Ni_2SiO_4, Mg_2SiO_4，和$(MgFe)_2SiO_4$ 的相变动力学实验数据的分析结果表明，Ni_2SiO_4的接触角度和表明能分别为 0.57^o，$32.33Jm^{-2}$，而 Mg_2SiO_4，和$(MgFe)_2SiO_4$的数据质量不足以分离出表明能与形状因子，亟需高质量的形核率数据来确定橄榄石的形核率参数。

我们研究了橄榄石原位相变实验中加载、加热路径上的相变及其对确定相变动力学参数的影响。利用 Rubie et al.[1990]所给出的退火后先加温后加压，且相对低温条件下实验结果确定出的 Ni_2SiO_4 橄榄石相变动力学参数，计算了加载、加热路径上所发生的相变对确定成核率、长大率及相变体积分数的影响。结果表明，退火后先加压后加温，且相

对高温条件下的实验数据受到加热路径上成核的影响。根据这样的实验数据得到的成核率会明显高于实际温压条件下的成核率。尤其是当多数实验都是高温实验时，根据这些成核率数据所确定的成核率参数会严重偏离其真值，从而严重影响对俯冲带颗粒粒度及俯冲带流变结构的计算。我们认为亟需补充退火后先加温后加压或相对低温的实验数据以得到正确的地幔橄榄石成核率参数。

我们从长大理论出发，分别拟合了不同含水量的指前系数与活化能，发现不同含水量的长大率参数的差异只体现在不同的活化能，与指前系数无关。据此将指前系数定为常数，拟合出不同含水量与相变过程的定量关系。正演结果同时还表明地幔橄榄石 $(Mg,Fe)_2SiO_4$ 与镁橄榄石 Mg_2SiO_4 在亚稳性上存在差异；活化体积对于长大的影响很大。

S11-O-10

对流地幔的同位素演化

黄金水

中国科学与技术大学地球与空间科学学院

jshhuang@ustc.edu.cn

活动的板块构造是地球独有的构造结构，与之相对应的是板块模式的地幔对流。通过对一些古老晶体与岩石的地球化学分析，科学家们认为元古代的地球和现在的地球环境差异并不大。尽管目前对板块构造学原理能否用于解释元古代以前的地球动力学现象还存在争议，一个普遍接受的观点是，早在元古代，地幔对流就是地幔中一个重要的过程，而且比现在更活跃；活动的板块构造在元古代后期也已基本确立。近来高清晰的地震层析成像显示冷的俯冲岩石圈板块可以深入下地幔，直达核幔边界；有关海底地形的分析也显示上下地幔存在大量的物质交换；来自重力与大地水准面的数据支持在最近的 1 到 2 亿年内俯冲岩石圈深入到下地幔；地幔对流数值模拟显示尽管地幔转换带的相变过程对上下地幔物质交换具有阻碍作用，但很难阻止上下地幔的物质交换。地幔中还很有可能存在地幔柱模式的对流。科学家对夏威夷类(Hawaiian-type)火山岛屿的研究表明地幔热柱很有可能来自于地幔深部。地球化学研究亦显示，来源于深部、与地幔热柱相联系的一些火山岩石中含有俯冲海洋岩石圈的化学组分。这也表明上下地幔很有可能是一个有机的整体，下地幔回收并加热俯冲的冷的岩石，又将热的岩石向地表输送。

然而，对来自于地幔的玄武岩的地球化学分析还表明，地幔的化学组分在各种空间尺度上都是非均匀的，同位素测年还显示，玄武岩的幔源岩浆在地幔中存在了大约 20 亿年。而地幔对流混合的研究却显示，地幔中的对流将在数亿年的时间内将地幔均一化。那么，对流地幔中的物质不均一性是如何长期维持的呢？一种可能的解释是：来自下地幔的大洋岛屿玄武岩含有回收的洋壳岩石，洋壳中高含量的易融熔分异微量元素导致在大洋中脊玄武岩和大洋岛屿玄武岩中显示出不同的组分。海洋地壳随岩石圈一起俯冲进入地球内部，高温高压使得其从玄武岩转化为高密度的榴辉岩，沉入地幔深部，并在那里聚集。洋壳具有的相对高的放射性和来自于核的加热使该聚集体将积攒足够多热量从而具有足够大的浮力，进而形成地幔热柱升到地表形成大洋岛屿玄武岩。这种解释需要洋壳组分能在地幔中平均存在约 20 亿年。

为了理解对流地幔中的微量元素和惰性气体及其同位素等的地球化学观测，本研究建立了一个理想的对流地幔中的微量元素和惰性气体及其同位素等的演化的数学模型以及有限元数值模型。理论分析和数值模拟显示：地幔化学元素的不均一性驻存

时间主要由大洋中脊处熔融分异速率决定。现在的地球年龄约 45 亿年，根据目前大洋中脊处熔融分异速率，熔融整个地幔物质约需 30 亿年。据此参数，玄武岩的同位素测年或熔融分异产生的洋壳可在地幔平均生存 18 亿年，接近目前的地球化学观测。同时对惰性气体同位素的研究发现，地幔中由放射性元素产生的约 80%的 ^{40}Ar（氩）将被排出地幔，略高于目前的地球化学观测。

S11-O-11

华南岩石圈地幔的改造和增生过程：橄榄岩综述

郑建平，鲁江姑，余淳梅

中国地质大学（武汉）

jpzheng@cug.edu.cn

华北克拉通东部在中-新生代时发生的克拉通破坏和地幔置换作用已得到广泛认可。但华南地块是否也经历了相似的过程还不清楚。通过对华南板块区域性橄榄岩综合研究表明华南地块陆下岩石圈地幔（SCLM）经历了复杂的演化过程，包括岩石圈伸展，熔-岩相互作用，软流圈侵蚀（改造）和最后克拉通地幔被饱满 SCLM 置换和增生的事件。这些过程伴随着整个华南地块的聚合和增生作用。华南地块的改造和增生过程在时空上是不均一的。扬子克拉通北部（华南板块的西北部）的破坏和减薄过程可能主要发生在新元古代，和 Rodinia 超大陆的聚合和裂解事件相对应。晚二叠纪峨眉山超地幔柱活动也可能改造了已存的 SCLM，并导致克拉通西部的地幔柱转换形成增生 SCLM。早中生代时（250-190 Ma）发育广泛的陆内造山事件，造山过程从海岸区域向陆内迁移，可能是由深部岩石圈伸展构造背景所驱使的。宁远玄武岩（~170 Ma）中大部分饱满橄榄岩捕虏体表明中国东南部上涌软流圈冷凝形成的新增生的 SCLM 在这个时间之前就已发生。从早侏罗纪晚期起，华南板块经历了从特提斯构造域到古太平洋构造域的转换。特别是从早白垩纪开始，古太平洋板块的俯冲是中国东南部构造体系的主体。中国东南部岩石圈地幔的改造和增生与华北克拉通东部具有共同的演化动力学背景，即太平洋板块的西向俯冲和软流圈的扰动作用。

S11-O-12

EMORB 和洋中脊扩张速度间的关系：对其源区及成因机制的启示

徐义刚，张亚玲

同位素地球化学国家重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所

yigangxu@gig.ac.cn

关于富集型洋中脊玄武岩（EMORB）的成因还存在不同的看法。长期以来 EMORB 被认为是洋中脊与热点相互作用的结果，但远离热点的区域也广泛存在 EMORB，暗示 MORB 源区也是不均一的，可能由亏损地幔（DM）和 FOZO 组分组成（Stracke et al., 2005）。如果 FOZO 组分的熔融温度低于亏损地幔，低程度部分熔融会优先获取地幔中的 FOZO 组分，产生的岩浆以 EMORB 为主。当部分熔融程度增大时，由于稀释作用 EMORB 的印记不再明显，形成 NMORB。另一方面，Niu & Hekinian (1997)根据深海橄榄岩研究发现残留橄榄岩中 Cr#sp 等比值与洋中脊扩张速度成很好的相关关系，认为洋中脊扩张速度越快，地幔部分熔融程度越大。如果上述均正确的话，可以推测不同扩张速率的洋中脊产出的 EMORB 的分布应有一定的规律，即 EMORB 优先出现在慢洋脊。另一个推论是，在 $^{206}Pb/^{204}Pb$-$^{207}Pb/^{204}Pb$ 相关图解中 EMORB 应该落在 NMORB 的右侧。

为了验证这些推论，我们对全球 17 个、具有不同扩张速度的主要洋中脊的玄武岩进行了系统的对比考察。以 K_2O/TiO_2* 100 ≥ 13 为划分 EMORB 的标准，估算了各个洋中脊玄武岩中 EMORB 样品所占的比例，并发现各洋脊中EMORB样品占所有MORB样品的比例与洋脊扩张速度呈负相关关系，即洋中脊扩张速度越快，其 EMORB 样品所占比例越小，而洋中脊扩张速度越慢，其 EMORB 样品所占比例越大。La/Sm，Th/Hf, 同位素比值也与洋脊扩张速度呈负相关关系。此外，在多数洋中脊的 EMORB 的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 的确高于 NMORB。这些观察事实支持了不均一地幔源区发生分异熔融的 EMORB 成因模型。

不过 DUPAL 异常区的 MORB 的 Pb 同位素组成与预测不符。DUPAL 异常区的 MORB 源区，除了 DM 和 FOZO 之外，还存在一种高 Sr、低 μ 值的组分，可能与再循环沉积物有关。

S11-O-13

地幔过渡带滞留板片的熔融与中国东部上地幔的碳酸盐化

陈立辉 [1]，曾罡 [1]，Albrecht W. Hofmann[2]，俞恂 [1]

1 南京大学地球科学与工程学院，南京 210093
2 Max-Planck-Institut für Chemie, Postfach 3060, D-55020 Mainz, Germany
chenlh@nju.edu.cn

在中国东部，俯冲的太平洋板片一般都停留在地幔过渡带，这种停滞板片（stagnant slab）如何影响上覆地幔还不清楚。这里我们以山东地区的新生代碱性玄武岩的地球化学研究为例来探讨这个问题。在山东新生代火山岩中，强碱性的霞石岩通常以相对稀土元素亏损 K、Rb、Ba、Ti 为特征，说明其地幔源区已经被碳酸盐化了。这次，我们在山东发现一种富 K 的碱性玄武岩，这种玄武岩在原始地幔标准化图上具有 K、Rb、Ba、Ti 的正异常，刚好与山东的霞石岩互补。同时，这种富 K 的碱性玄武岩过分亏损 CaO、Sc 和重稀土元素，指示其源区含有富钾的榴辉岩。同时，这对钾互补的岩石的 Sr、Nd、Hf 同位素组成相近（都为中等亏损），并都具有太平洋洋壳的属性（放射性成因 Hf 同位素组成相对于放射性成因 Nd 同位素组成偏低），暗示与再循环太平洋洋壳存在密切的成因联系。由于再循环洋壳（含碳酸盐的榴辉岩）只有在地幔过渡带这个深度才能产生贫钾的碳酸盐熔体，因此，我们认为俯冲太平洋板片在地幔过渡带的熔融导致了我国东部上地幔的普遍碳酸盐化。

S11-O-14

华北中生代岩石圈地幔的高水含量：克拉通破坏

Qun-Ke Xia[1], Jia Liu[1], Shao-Chen Liu[1], István Kovács[2], Min Feng[1], Li Dang[3]

1 CAS Key Laboratory of Crust-Mantle Materials and Environments, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
2 Hungarian Geological and Geophysical Institute, Stefánia street 14, Budapest, 1143, Hungary
3 Department of Precision Machinery and Precision Instrument, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
qkxia@ustc.edu.cn

It was suggested that the longevity of cratons (ancient and stable cores of continents) is related to the low water content of their deep mantle roots, which gives them much higher viscosity than the underlying asthenosphere. Consequently, the destruction of cratons is

expected to be closely connected with the hydration of the lithospheric mantle, but direct evidence for this speculation has been scarce. The eastern part of the North China Craton (NCC) is a clear example of a “destroyed craton”. We have measured the H_2O content of clinopyroxene phenocrysts in lithospheric mantle-derived high-magnesium basalts of the Feixian area, in the eastern part of the NCC. These lavas erupted in the early Cretaceous (~120 Ma), which is the peak time of the NCC destruction. Based on these data, we estimate the H_2O content of the lithospheric mantle source of these basalts to contain more than 1000 ppm by weight. This water content is much higher than both in the source of mid-ocean-ridge basalts and the Kaapvaal craton (South Africa); the latter is still stable after >3 billion years. We argue that large amount of water was indeed added to the NCC’s lithospheric mantle. Such high water contents significantly reduced the viscosity contrast between the lithospheric mantle and the underlying asthenosphere, and provided a prerequisite for the destruction of the NCC by reducing its strength.

S11-O-15

蛇纹岩的俯冲与脱水:西藏赛利普地幔包体橄榄石氧同位素证据

刘传周

中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室

chzliu@mail.iggcas.ac.cn

蛇纹岩是地幔橄榄岩遭受低温热液蚀变的产物，它是大洋岩石圈重要的组成部分，尤其是在慢速和超慢速扩张的洋脊中，蛇纹岩可以占整个大洋岩石圈的 30%。蛇纹岩既可以出露在大洋岩石圈的浅部，也可以存在于较深的位置。浅部的蛇纹岩通常出露在转换断层的断层崖，而深部蛇纹岩的形成是由于海水沿转换断层或大断裂向下迁移也导致深部的地幔橄榄岩发生蚀变。此外，俯冲大洋板片在浅部释放出大量的流体，这些流体向上运移导致上覆的弧前地幔发生不同程度的蛇纹岩化。弧前蛇纹岩可以随俯冲板块一起俯冲到更深的地幔楔。蛇纹石是蛇纹岩中最主要的矿物，包含有 3 个种属：即利蛇纹石、纤蛇纹石和叶蛇纹石。其中，利蛇纹石和纤蛇纹石只能在 300 ^{o}C 以下的温度下稳定存在，而叶蛇纹石则可以稳定至 750 ^{o}C 的高温和 5 GPa (约 170 km) 的高压条件下。蛇纹岩含约 13%的水，并强烈富集流体活动元素（如 As, Sb, U 和 Cl）。因此，蛇纹岩在地幔楔脱水，释放出大量的富流体活动性元素的流体，从而导致地幔楔发生部分熔融形成岛弧岩浆岩。此外，实验岩石学结果表明叶蛇纹石稳定的深度可以超过岛弧岩浆岩形成的深度。因此，蛇纹岩可以俯冲到更深的地幔深度，影响并改变深部地幔的物理性质。

蛇纹岩一直被认为是俯冲板片中非常重要的水储库，且其脱水过程与岛弧岩浆岩的形成关系密切。然而，目前仍鲜有直接的证据支持蛇纹岩在地幔楔发生脱水过程。本研究对来自西藏南部赛利普超钾质所携带的橄榄岩包体中的橄榄石开展了氧同位素研究，发现部分样品中橄榄石的 $\sigma^{18}O$ 值远高于正常的地幔值。结合矿物的主、微量元素组成，我们认为样品中高的 $\sigma^{18}O$ 值并不是橄榄岩包体遭受熔体交代作用的结果。我们提出，这些样品的源岩是经历低温热液蚀变导致蛇纹岩，具有高的 $\sigma^{18}O$ 值。这些蛇纹岩俯冲到地幔楔深度后发生脱水分解成橄榄石与斜方

辉石，重新转化为橄榄岩后被赛利普中新世超钾质岩浆所携带至地表。我们的研究成果提供了蛇纹岩在地幔楔中发生脱水作用最为直接的证据。

S12-O-01

同位素在深部碳循环中的应用——一个正在兴起的前沿研究领域

李曙光[1,2]，杨蔚[3]，王水炯[2]，张洪铭[2]

1 中国科学技术大学，地球与空间科学学院，中科院壳幔与环境重点实验室

2 中国地质大学（北京），科学研究院，地质过程与成矿国家重点实验室

3 中国科学院地质与地球物理研究所，岩石圈演化国家重点实验室

lsg@ustc.edu.cn

1，深部碳循环研究的科学意义

大气 CO_2 是最重要的温室气体之一。大气圈的碳收支情况（CO_2 budget）是影响地球历史上气候变化的关键因素，为此人们需要研究地球各大碳储库之间的碳循环情况。近几十年来，人们研究最多的是地球表层碳循环（气圈-水圈-生物圈-土壤圈-表层岩石圈之间的碳循环）。其中涉及表层岩石圈的主要是：大规模火山作用喷发的大量 CO_2 可直接或间接进入大气，是大气 CO_2 的一个重要“源”；地表风化作用吸收大气 CO_2 形成 Ca/Mg 碳酸盐,并通过河水汇入大海，同时海水还吸收大气 CO_2，并最终以碳酸盐形式沉积。因此，海相沉积碳酸盐是大气 CO_2 的一个重要“汇”。

然而根据板块构造理论，部分海相沉积碳酸盐可随板块俯冲进入地幔深部从而使这一碳汇体积大大扩大。因此，地幔不仅是大气 CO_2 的“源”，而且也是大气 CO_2 的一个重要“汇”。显然，每年进出地幔的碳通量对估算大气 CO_2 的收支是重要参数。与此有关的研究概况已有专文概括介绍（张洪铭和李曙光，2012）。作为同位素地球化学研究我们面临的一个重要科学问题是如何验证地幔含有再循环的沉积碳酸盐？以及可否用同位素示踪这一深部碳循环？

2，同位素示踪深部碳循环的原理

运用某个同位素体系示踪深部碳循环需要两个前提条件：（1）再循环沉积碳酸盐的同位素比值与典型地幔值有显著差异的同位素（如 C, Mg, Ca 同位素）；（2）在板块俯冲和地幔部分熔融过程中，再循环碳酸盐和地幔的同位素差异不会被抹掉。只有这样，再循环碳酸盐可以改变被混杂的地幔的某些同位素组成，并在其后的地幔熔融产物（如玄武岩）中体现出来。其中部分熔融及分离结晶的高温岩浆过程的同位素分馏研究较多，总体分馏较小。板块俯冲俯冲脱水过程可能造成的同位素分馏研究较少，但是不容忽视，是决定能否用同位素示踪深部碳循环的重要因素。

3，洋壳俯冲过程中碳酸盐的行为

一般情况下俯冲洋壳携带的碳酸盐不可能熔融形成碳酸盐岩浆，因为平均俯冲板块地热增温綫无法与碳酸盐化榴辉岩的固相线相交。少数热板块俯冲在深度＞150Km 时碳酸岩化榴辉岩会部分熔融。（Dasgupta & Hirschmann，2010）。

俯冲洋壳变质脱水过程析出的流体可以溶解一部分碳酸盐，并带入地幔楔，最终伴随岛弧火山岩释放出来。这样，进入深部地幔的碳通量与俯冲带携带的初始碳循环的通量是不相同的。为描述这一差异，人们提出一个“脱碳效率”的概念，即洋壳俯冲产生的岛弧火山排碳量与俯冲洋壳携带进入地幔的初始碳量的比值。脱碳效率越高，进入深部地幔的碳通量越小。已有研究表明俯冲板块脱碳效率与其热结构有关。年轻的热洋壳俯

冲脱碳效率很低（～20%）。这可能是因为它的脱水作用发生在弧前浅部，它使地幔楔蛇纹石化而不能熔融产生岩浆；对于俯冲洋壳年龄＞50Ma 的岛弧火山，脱碳效率可高达50%。这类冷俯冲板块脱水深度大，CO_2 可进入岛弧火山系统（Johnston et al., 2011）。

根据这一观测和解释，冷俯冲板片携带的碳仅有 50%能进入地幔深部，约 50%的碳酸盐被析出流体带走。这样就产生一个科学问题：古板块俯冲的脱碳过程是否导致 C-Mg-Ca 同位素分馏？它能否模糊沉积碳酸盐 C-Mg-Ca 同位素与地幔的差异？

4. 同位素示踪深部碳循环的研究现状

根据碳酸盐组成，C-Ca-Mg 同位素是首选对象。其中Ca-Mg同位素是非传统同位素，是目前同位素地球化学研究的前沿领域。

4.1 碳同位素示踪深部碳循环

碳同位素对于区分有机碳和无机碳的效果很好，有机碳 $\delta^{13}C$ 小于-15 ，而无机碳大于-10。金刚石的碳同位素研究为深部碳循环提供了可靠证据。巴西地区 Juina-5 金伯利岩管中有一部分金刚石 $\delta^{13}C$ 小于-15，最低可达-24.1，其内部矿物包裹物的岩石学分析表明这些金刚石来源于下地幔，为洋壳俯冲到下地幔提供了直接的地球化学证据。由于板块俯冲携带的碳酸盐大部分是无机碳酸盐(Coltice et al. 2004)，它与地幔碳差异不大，C 同位素对鉴别它们无能为力。此外，岩浆去气过程中，C 同位素会发生很大的分馏。更加增加了利用 C 同位素来示踪 C 循环的难度。

因为仅用碳同位素无法有效区分地幔碳和再循环无机碳，而了解地幔碳在火山喷气 CO_2 中所占比例对研究深部碳循环无疑是重要的。因此，人们曾尝试火山喷气的 C-He 同位素研究，以实现再循环无机碳和原始地幔碳所占比例的估计。

火山喷气的 CO_2 有可能是地幔碳，沉积有机碳和再循环无机碳的三端元混合物。Sano et al. (1997)利用对火山喷气的 C-He 同位素联合示踪尝试解决这一问题。因为壳源 He 和幔源 He 的 $^3He/^4He$ 有非常大的差异。幔源 He 的 ^3He 丰度高，因而 $CO_2/^3He$ 值低，壳源 He 则相反。他们测试了美国哥伦比亚 Galeras 火山口喷气口气体的 C-He 同位素组成及 CO_2 和 He 含量，应用三端元混合方程计算得到 Galeras 火山喷气 CO_2 大部分（67-79%）来自碳酸盐岩（包括陆壳碳酸盐混染和俯冲洋壳沉积碳酸盐），只有 3~10%是来自 MORB 型亏损地幔。

Mg 同位素示踪碳循环

（1）地幔及碳酸盐岩的 Mg 同位素组成

地幔硅酸岩 Mg 同位素组成相对均一，$\delta^{26}Mg$ = -0.25 ± 0.07‰ (Teng et al., 2007, 2010)。碎屑沉积岩和土壤作为风化作用的固相产物相对地幔富集重 Mg 同位素。流经硅酸岩的河水含有风化作用可溶性产物相对富集轻 Mg 同位素。这说明硅酸岩矿物风化过程中 Mg 同位素发生显著分馏，轻 Mg 同位素优先进入流体。河水每年输入的 1.6 ×10^{12} kg $CaCO_3$ 进入海洋，它们的 $\delta^{26}Mg$ ＜-0.5‰。

深海沉积碳酸盐的镁同位素组成变化很大，但整体偏轻，$\delta^{26}Mg$= -1 ～ -5.5‰，远低于海水和河水。深海沉积碳酸盐的非常低 $\delta^{26}Mg$ 值源自两个原因：（1）碳酸盐与水之间的平衡同位素分馏，溶于水的 Mg 倾向重同位素，碳酸盐倾向轻同位素。但$\Delta^{26}Mg$ 分馏≤-2.8‰ （Li W.Q. et al., 2012).（2）生物分馏。远洋深水沉积的 $CaCO_3$ 绝大部分是有孔虫、 颗石藻， $\delta^{26}Mg$=-6.19~-1.04‰（ Chang et al., 2004; Wombacher et al., 2011).

（2）高温岩浆过程 Mg 同位素无显著分馏

夏威夷 Kilauea 火山玄武岩的研究表明基性岩浆的分离结晶作用不导致 Mg 同位素分馏 (Teng et al., 2007)。大别山，澳大利亚和中东部花岗岩研究表明中酸性岩浆分异过程也不导致 Mg 同位素显著分馏 (Li et al., 2010; Liu et al., 2010)。

（3）板块俯冲变质-脱水过程的 Mg 同位素分馏

这方面研究几乎是空白。Li et al. (2011) 报道了大别山碧溪岭榴辉岩 Mg 同位素结果，与地幔值相同。据此认为变质脱水不导致 Mg 同位素分馏。然而基于 2 个因素考虑：（1）碧溪岭榴辉岩源岩是堆晶岩含水量低；（2）陆壳俯冲温度较俯冲洋壳高，碧溪岭的结果不能证明俯冲洋壳脱水不导致同位素分馏。

我们最近对西天山洋壳俯冲成因榴辉岩的 Mg 同位素测定结果显示洋壳俯冲有可能导致榴辉岩 Mg 同位素比值升高。其 δ^{26}Mg 最大可升高 0.5‰。然而这方面工作是初步的，还有大量工作要做，以查明导致 δ^{26}Mg 变重的因素。

俯冲沉积碳酸盐脱水的 Mg 同位素分馏只能根据碳酸盐在水流体中结晶实验推测。Li W et al.(2012)的实验以证明碳酸盐沉积物脱水会导致碳酸盐 Mg 同位素变轻，其分馏系数的温度效应很小。其实验温度范围为 4℃～45 ℃. 但俯冲洋壳脱水发生温度在 300-400 ℃（绿片岩相-角闪岩相）和 500-600 ℃（角闪岩相-榴辉岩相）。据 Li W et al.(2012)的分馏系数-温度函数模拟计算，即使在 500-600 ℃时其镁同位素分馏仍可达 $\Delta^{26}Mg_{cal\text{-}sol}$= –1 ‰。因此板块俯冲携带的碳酸盐由于脱水作用使得它与地幔的差异变大，有利于其再循环示踪。但在混合模拟计算时，大洋碳酸盐端元值应做适当修正。

（4）研究实例：对中国东部中新生代玄武岩的研究（Yang W. et al., Chemical Geology, 2012）

华北克拉通中、新生代玄武岩根据岩石的年龄可分成两组：（1）＞120 Ma 的辽西义县组玄武岩；（2）＜110 Ma 阜新和太行山玄武岩。第一组玄武岩（ε_{Nd} = -13.4 ~ -9.7) 的 Mg 同位素组成平均值 δ^{26}Mg = -0.27 ± 0.05‰，具有类似于地幔的 Mg 同位素组成特征。第二组玄武岩的 Mg 同位素组成（δ^{26}Mg = -0.60 ~ -0.42‰），平均值为-0.46 ± 0.10‰ (2SD)。这表明 120-110Ma 之间有重要事件使华北东部上地幔 Mg 同位素组成发生了显著变化。

是否陆壳混染了第二组玄武岩，影响了其岩浆 Mg 同位素组成？第一组玄武岩的低 ε_{Nd} 值和低的 Ce/Pb，Nb/U 比值特征已被认为是拆沉大陆下地壳混杂上地幔的结果（Yang and Li, 2008; Huang et al., 2007）。但并未改变其类似地幔的 Mg 同位素值。第二组玄武岩具有亏损地幔型的 Nd 同位素特征和高的 Ce/Pb，Nb/U 比值（图 2），表明陆壳混染较第 1 组弱，因而其低的 δ^{26}Mg 值不是陆壳混染结果。

相反，下列证据表明是俯冲洋壳混杂了第二组玄武岩的上地幔源区。第二组玄武岩具有类似地幔 HIMU 端元的高 U/Pb 和 Th/Pb 特征，而 HIMU 端元的这一特征与俯冲洋壳再循环有关。因此，第二组玄武岩的轻 Mg 同位素组成最可能是俯冲洋壳携带再循环沉积物中碳酸盐对上地幔的混染造成的。此外，第二组玄武岩较第一组有较高的 CaO/Al_2O_3 比，它的富 CaO 的特征也符合上述碳酸盐再循环的推论。

4.3 Ca 同位素示踪碳循环

（1）地幔及碳酸盐 Ca 同位素组成

岩石圈和地幔的的钙同位素组成均一，$\delta^{44/40}$Ca=1.05±0.04‰（Huang et al.2010）。大洋沉积碳酸盐的 Ca 同位素组成随时间演

化，现代沉积碳酸盐与地幔组成类似，然而古代大洋沉积碳酸盐（石灰岩和白云岩）$\delta^{44/40}Ca$ 通常小于 0.5‰。当幔源火成岩混入有大洋沉积碳酸盐会导致其 $\delta^{44/40}Ca$ 降低。

（2）高温岩浆过程 Ca 同位素无显著分馏

以夏威夷玄武岩为例可列出 3 个理由（Huang et al., 2011）：（1）高温：尽管观察到橄榄岩包体中单斜辉石与斜方辉石有 Ca 同位素分馏，但夏威夷玄武岩熔融温度高达 1500℃，同位素分馏程度与温度的平方（$1/T^2$）成反比，故在地幔固相线上不会发生显著分馏；（2）橄榄石贫 Ca：夏威夷玄武岩主要表现为橄榄石分离结晶，而橄榄石贫 Ca 不会引发 Ca 同位素分馏；（3）与 Nb/Y 无相关性：Ba，Nb 在岩浆过程是非常不相容元素，Y 是轻微不相容元素，故 Ba/Y 和 Nb/Y 可指示部分熔融和分离结晶程度，图显示它们与 $\delta^{44/40}Ca$ 无相关性，证明夏威夷玄武岩的低 $\delta^{44/40}Ca$ 值与岩浆过程无关。

板块俯冲变质-脱水过程的 Ca 同位素分馏尚没有研究。

（3）研究实例：夏威夷玄武岩 Ca 同位素研究 (Huang et al., 2011)

在夏威夷 Koolau 玄武岩观察到很低的 $\delta^{44/40}Ca$（～0.75‰），并观察到 $\delta^{44/40}Ca$－Sr/Nb 与 δ $\delta^{44/40}Ca$－$^{87}Sr/^{86}Sr$ 呈明显负相关关系，表明海洋沉积物混入的越多，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值越高，$\delta^{44/40}Ca$ 值越低。通过拟合 $\delta^{44/40}Ca$ 与 Sr/Nb 和 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 相关曲线，进行碳酸盐混入量的模拟计算，结果表明形成夏威夷玄武岩的地幔柱混入 4%的古老海洋沉积碳酸盐。

5，今后值得重视的研究方向

（1）板块俯冲变质-脱水过程的 Ca-Mg 同位素分馏。

（2）碳酸盐岩浆与硅酸盐岩浆不混溶过程的 Ca-Mg 同位素分馏。

（3）各类幔源岩浆岩的 Ca-Mg 同位素地球化学研究。

上述研究应从地质样品观测与高温高压实验研究两个方面开展，相互促进。

感谢：在该文写作过程中得到滕方振，黄士春，李伟强的帮助和修改建议。

S12-O-02

中国大陆活火山区温室气体释放通量的研究

郭正府，张茂亮，成智慧，张丽红，李晓惠

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

zfguo@mail.iggcas.ac.cn

火山喷发能够贯穿地球系统的不同层圈，促进地球层圈之间的物质交换与循环作用，并将大量富含 CO_2 的火山气体输送到大气圈。火山喷发期释放的气体来源于深部岩浆体系，具有排放速率高、气体通量大的特点，火山气体排放形式以喷发柱为主，常见于中酸性火山喷发。大规模火山喷发产生的 CO_2 等温室气体与气候变化密切相关。国外近期研究[1, 2]表明：虽然在火山间歇期没有熔浆喷出（或溢流）地表，但这一时期火山区内存在的大量火山喷气孔、温泉以及大面积具有高热流值特征的土壤同样会将大量温室气体输送到当时的大气圈。尽管间歇期火山气体排放通量较低，但由于间歇期的持续时间较长，其火山气体排放总量往往超过火山喷发期[3]。

中国大陆的活火山区均处于间歇期，腾冲、长白山和五大连池等火山区内存在着大量温泉、高地热流来源的温室气体释放现象。我们利用数字皂膜流量计测量了长白山火山区内的温室气体的排放速率[4]，结合温室气体成分的测量研究，得到长白山火山区每年向大气圈排放的 CO_2 总量为 6.9×10^4 t，CH_4

排放总量约为 428.44 t，这一结果与意大利 Pantelleria Island 火山区温泉的温室气体排放规模相当。在上述研究的基础上，我们进一步估算了腾冲新生代火山区温泉中 CO_2 的排放通量[5]，并探讨了深部岩浆囊、断裂分布、地下水循环、围岩成分等因素对温室气体排放的控制，研究结果表明，腾冲新生代火山区温泉每年向当今大气圈输送的 CO_2 通量达 3.58×10^3 t，相当于意大利锡耶纳 Bassoleto 地热区温泉 CO_2 的排放规模。

我国大陆现已查明的活火山区的总面积约 1.5×10^4 km^2，其中 85%以上具有明显的地热活动特征[3,6]，如此大面积、具有高地热流值的活火山区是探讨现今中国大陆温室气体自然排放过程不可忽视的因素之一。然而，遗憾的是，我国在火山气体排放领域的研究与国外差距较大，目前关于我国大陆活火山区温室气体排放通量的定量研究报道仍然较少。因此，亟需开展火山区温室气体排放方面的研究，为评价中国大陆主要活火山区释放的温室气体对当今大气圈温室气体浓度的贡献提供基础数据。

S12-O-03

拉曼光谱法测定广阔温度、盐度和高压条件下 CO_2 在盐水中的扩散系数

郭会荣，吕万军，李兰兰，陈颖

中国地质大学（武汉）

elsieguo@126.com

高压下 CO_2 在水和咸水中的扩散是很多地质过程中的重要环节，如将 CO_2 注入油层提高石油的采收率，将 CO_2 注入深部咸水含水层或海底沉积物中封存来减缓温室气体的排放等。 CO_2 在水和咸水中的扩散系数是开展二氧化碳相关数值模拟计算的重要参数，对于正确理解 CO_2 注入深部地层后在孔隙介质中的分布迁移规律以及确定 CO_2 在深部地层中的储存量具有重要的意义。

前人的实验观测多局限在低温和低压条件下二氧化碳在纯水中的扩散系数，而地质储存条件下（高温高压）CO_2 在盐水中的扩散系数研究很少，Mutoru et al. (2011)收集了文献中 157 个二氧化碳在水中的扩散系数，发现其中 148 个是 1 大气压下 273 至 368 K 条件下的，高压下的只有 286 K 下 29.4 和 39.2 MPa 两个数据以及 7 个不确定性很高的 1000MPa 下 759-961 K 下的数据。二氧化碳在水中的扩散系数随温度、压力、盐度的变化缺少准确的观测，目前文献中根据实验数据拟合出的经验半经验模型，大都含有粘度等随温度变化的量，从而不能直观反映扩散系数与温度和盐度的关系。

本研究利用拉曼光谱原位观测技术（Lu et al, 20006）实时观测了高压下（10、20、30、45MPa）、较大温度范围内(268 K 到 473 K) CO_2 在纯水和氯化钠水溶液中的扩散过程。实验中首先在高压透明毛细管装入 1-2 厘米的纯水或一定浓度的盐水，在毛细水柱的一头用压力泵将 CO2 压入，从而二氧化碳在恒定压力下不断向水柱中溶解，沿着毛细管水柱中存在溶解二氧化碳的浓度梯度，二氧化碳则不断地溶解扩散，直至最后浓度梯度逐渐消失而饱和。扩散过程中通过拉曼光谱定量观测扩散路径上不同位置处的二氧化碳浓度随时间的变化。从而基于初始条件、边界条件以及实测的浓度剖面与 Fick 定律模拟的浓度差的最小二次方法计算获得扩散系数。测试和计算结果表明：

（1）温度从 268 到 473 K CO_2 在纯水中的扩散系数随温度的升高而增大，20 MPa 下 CO_2 在水中的扩散系数 Dw[m^2/s]与温度 T [K]的关系可通过 Speed- Angell 的幂指数方程关联：

$Dw=D_0[T/Ts-1]^m$

其中， D_0= 14.206x10^{-9} m^2/s, Ts= 229.0 K, m=1.698245。

（2）在恒定温度下 CO_2 在水中的扩散系数随压力的增加而略减少，但是减少的幅度很小，仅百分之几。由于压力对 CO_2 在液态水中的扩散系数影响较小，上述公式可以近似计算 268 到 473 K 乃至更广温度和压力范围内 CO_2 在液态纯水中的扩散系数。

（3）同一温度下，随着盐水浓度的增加，CO_2 的扩散系数减小。CO_2 在盐水中的扩散系数（Ds）随温度（T）和盐度（S）的变化关系式为：$Ds= D_w$（0.00477 S^2 - 0.09931 S + 1）。Dw 是上述 CO_2 在纯水中的扩散系数。该公式适用于非常广阔的温度和盐度范围。

S12-O-04S

西藏绒玛地区温泉逸出气体研究

方斌，王根厚，周训，李寒湜

中国地质大学

13501099809@139.com

西藏绒玛地区位于羌塘中部，位于北部龙木错－双湖缝合带以及部班公湖－怒江缝合带之间。温泉集中于江爱藏布活动断裂带上，包括绒玛温泉、吉瓦温泉两处颇具规模的温泉群。2010 年 7 月 29 日在绒玛温泉 S1、S6 泉、吉瓦温泉 S8 好泉分别采集气体样品，对应编号 Q01、Q02、Q03。样品送中国科学院兰州地质研究所地球化学测试部专业实验室检测，分析其组分及稀有气体同位素组成，分别见表 1 和表 2。

表1 温泉逸出气体组分测试结果表

	H_2 (%)	CH_4 (%)	N_2 (%)	C_2H_6 (%)	O_2 (%)	H_2S (%)	Ar (%)	CO_2 (%)
Q01	n.d.	0.026	16.28	n.d.	7.58	n.d.	0.41	75.7
Q02	n.d.	0.034	17.19	n.d.	6.06	n.d.	0.32	76.39
Q03	n.d.	0.031	22.8	n.d.	7.6	n.d.	0.35	69.21

注：n.d. 表示未检出。

表2 温泉逸出气体的同位素测试结果表

编号	Q01	Q02	Q03
^{4}He (E^{-4})(V/V)	0.0805±0.0055	0.105±0.0071	0.0889±0.0061
^{20}Ne (E^{-4})(V/V)	0.1233±0.0085	0.1063±0.0074	0.152±0.011
^{40}Ar (E^{-4})(V/V)	18.5±1.3	11.9±0.81	24.8±1.7
^{4}He /^{20}Ne	0.653	0.988	0.584
^{4}He /^{40}Ar	0.00435	0.00883	0.00358
^{3}He/^{4}He (Ra)	1.1382±0.0076	0.7969±0.0076	1.086±0.017
^{38}Ar/^{36}Ar	0.182±0.016	0.1841±0.0025	0.1991±0.0077
^{40}Ar/^{36}Ar	294.6±11.5	298.6±8.7	288.0±4.3
$\delta^{13}C_{PDB}$ (CO_2)	-2.6	-2.1	-0.5

Q01 气体的 N_2/Ar 值为 39.7，同大气降水值（40）相吻合，Q02、Q03 气体的 N_2/Ar 为 53.7、65.1，介于大气值（84）与大气降水值之间。气体的 N_2/Ar 值也表明温泉 N_2、Ar 来源于大气或者大气降水。

温泉气体 CO_2/CH_4 比值很高，为 2911、2246、2232。N_2/Ar 比值为 39.7、53.7、65.1，说明在地热系统中温泉气体为大气补给，也没明显的有机成因的 N_2 的加入，非大气成因的氮的百分比分别为 0、25.5%、38.5%。

Q01、Q02、Q03 三个样品 ^{40}Ar/^{36}Ar 值分别为 294.6±11.5、298.6±8.7、288.0±4.3；^{40}Ar 值体积百分含量分别为 18.5±1.3 E-4、11.9±0.81 E-4、24.8±1.7 E-4。^{40}Ar/^{36}Ar 值接近大气值，表明研究区地热气体组分中 Ar 主要来源于大气。

Q01、Q02、Q03 三个样品的 $\delta^{13}C_{PDB}$ (CO_2) 值分别-2.6、-2.1、-0.5，表明其主要来源于海相碳酸盐岩。另外少量沉积物中有机质的分解也释放了部分 CO_2，极少量来自幔源 CO_2。具体结果见表 3。

表3 温泉气体CO_2来源计算表

		$\delta^{13}C$	$^{13}C/^{12}C$	$CO_2/^3He$	各组分含量(%)			数据来源
					幔源	碳酸岩	沉积物	
样品数据	Q01	-0.0026	0.011191	5.9438E+12	0.03	91.32	8.65	
	Q02	-0.0021	0.011196	6.5679E+12	0.02	92.99	6.99	
	Q03	-0.0005	0.011214	5.1573E+12	0.03	98.31	1.66	
端元数据	幔 源	-0.0065	0.011147	1.5 E+9	100	0	0	①②③
	碳酸岩	0	0.01122	1.0 E+13	0	100	0	④
	沉积物	-0.03	0.010883	1.0 E+13	0	0	100	④

① Marty and Jambon，1987；② Javoy et al.，1986；③ Gerlach，1991；④ Hoefs，1980

研究区温泉气体 Q01、Q02、Q03 三个样品的 ^{4}He 体积百分含量分别为 0.0805±0.0055、0.105±0.0071、0.0889±0.0061；Q01、Q02、Q03 三个样品的 ^{3}He/^{4}He 值分别为 1.1382±0.0076 Ra、0.7969±0.0076 Ra、1.086±0.017 Ra，明显高于西藏地区大多数温泉气体 ^{3}He/^{4}He 值。绒玛温泉气体中 He 的来源，包括大气、地壳和地幔组分，见表 4。

表4 温泉逸出气体中He的来源组成

	R（Ra）	$^4He/^{20}Ne$	X	Rc（Ra）	He (%)		
					大气	地幔	地壳
Q01	1.1382	0.653	0.54	0.84	48.7	5.1	46.1
Q02	0.7969	0.988	0.82	1.93	32.2	16.1	51.7
Q03	1.086	0.584	0.48	0.92	54.5	5.0	40.4

S12-O-05S

一个新的研究领域—深部碳循环：回顾与展望

张洪铭 [1*], 李曙光 [2,1]

1 中国地质大学(北京)科学研究院

2 中国科学院壳幔物质与环境重点实验室，中国科学技术大学地球和空间科学学院

*zhm003210501@yahoo.cn

碳循环是地球系统科学的重要组成部分. 大气中的 CO_2 收支平衡是影响气候变化的关键因素。伴随全球变暖及碳减排问题日益突出，碳循环的研究受到越来越多的重视。然而地球碳循环可分为地球表层碳循环 (大气圈-水圈-生物圈之间的碳循环) 和地球深部碳循环 (地球表层系统-地球壳幔系统之间的碳循环) 两部分。近年来, 地表碳循环已经被很好的研究过，然而对深部碳循环的研究还处在一个起步阶段。深部碳循环是指在地质历史时期，通过洋壳俯冲大量的深海碳酸盐被带到地球深部，再通过火山作用返回地表和大气的过程。它涉及的科学问题有深部碳存储的总量, 深部碳循环的通量，深部碳的存在形式，含碳地幔的熔融以及火山作用向大气释放的 CO_2 通量等。

地幔的碳含量对理解深部碳循环是非常重要的。现在研究者对此问题已经进行很多研究。但是，不同学者给出的地幔碳浓度值差异比较大，从 20ppm 到 1300ppm。这主要是由于不同研究者取样不同，加之不同体系下去气模型不同，模拟的结果只能代表局部的储库。获得地幔碳存储总量的精确值，以及不同地质历史时期地幔碳总量的变化仍是深部碳循环研究中的非常重要的课题。现在应用最广泛的估算方法有两个：两阶段瑞利分馏模型及经典批式平衡部分熔融模型。

固体地幔中的碳主要是以包裹体的形式存在于矿物颗粒中，也有少量存在于矿物的裂隙及矿物与矿物之间的缝隙中，根据氧化-还原价态，含碳副矿物中的碳主要以三种形式存在：氧化态碳、单质碳、还原态碳. 而这些存在状态受地球深部的温度、压力及氧逸度控制. 温度对碳酸盐固相之间的多相转变影响不大，主要控制碳酸盐的溶解和熔融, 对碳的存在状态影响最大的两个因素是压力和氧逸度。岩浆中碳的赋存状态主要取决与岩浆中碱金属元素 (Ca, K, Na, Mg 等) 的含量。

洋壳俯冲过程中碳的行为的高温高压实验研究表明洋壳表层的沉积碳酸盐在洋壳俯冲过程中很难直接熔融形成碳酸岩岩浆，大部分会伴随洋壳俯冲一直进入地球深部。含碳地幔的熔融的高温高压实验研究表明碳酸盐化橄榄岩在 300~600km 的深度可以发生部分熔融，其初始熔融深度比纯地幔地幔橄榄岩初始熔融深度要深大约 300km。洋壳俯冲过程中可能的脱碳方式除了 CO_2 脱气和生成碳酸岩岩浆外，还包括俯冲板块脱水过程中溶解的碳酸盐，但是现在还没有关于碳酸盐水溶解的高温高压实验资料，无法绘制不同温压条件下，碳酸盐的溶解度曲线。

洋壳俯冲过程中进入地幔碳通量估计为 $(7.1\sim10.9)\times10^{13}$g/yr，地幔经火山作用向大气释放的碳通量估计 4.7×10^{13}g/yr。但是现在对于地表与深部地幔之间的碳循环通量估计是不精确的，所以地表与深部地幔之间的碳循环是否达到平衡也不清楚。这也是未来深部碳循环研究中重要问题。

S12-O-06

地幔碳质包裹体与深部碳循环—流体和熔体包裹体证据

刘吉强

中国科学院广州地球化学研究所　中科院矿物学与成矿学重点实验室

liujiqiang@gmail.com

深部碳循环式全球碳循环研究中不可或缺的部分。较之表层碳循环，人类对地球深部碳储库的储量、碳的性质、迁移方式和交换量都缺乏清晰的认识。来自地幔橄榄岩捕掳体中的碳质流体和熔体包裹体由各种形式的含碳物质组成（石墨、CO_2、CO，CH_4,及碳酸盐熔体或矿物），是研究地幔深处碳储库存在形式和迁移方式的绝佳样品。显微分析技术的发展为研究地幔碳质流体和熔体的性质及深部碳循环提供了前所未有的良机。本文结合对山东乔山地幔捕掳体中流体包裹体显微测温学和激光拉曼技术研究，确定了山东临朐乔山地幔橄榄岩捕虏体中的各类流体(熔体)包裹体存在形式：早期富 CO_2 流体包裹体和碳酸盐熔体包裹体，晚期富 CO_2 流体包裹体和硅酸盐熔体包裹体．其中早期富 CO_2 流体包裹体多为高密度纯 CO_2 流体包裹体，部分含有石墨、CO、N_2、菱镁矿等多种杂质．两期流体包裹体的最小捕获压力分别为 1.42 GPa 和 0.80 GPa．由于碳酸盐熔体包裹体的寄主矿物主要是斜方辉石，据此推测碳酸盐熔体的形成可能与 CO_2 流体和橄榄石、单斜辉石之间的反应有关．富 CO_2 流体包裹体中杂质组分的多样性说明橄榄岩曾经经历与流体/熔体灌入有关的氧化还原反应．本文研究数据指示，上地幔中碳质流体和熔体包裹体在研究深部碳循环中具有独特的优势，可以提供有关深部碳储库性质、存在形式和迁移方式的详细的微观信息。

S12-O-07

青藏高原：碳源区还是碳汇区？

刘焰

大陆构造与动力学国家重点实验室，中国地质科学院地质研究所，北京，100037

yanliu0315@yahoo.com.cn

当今社会颇为关注全球地表平均气温的变化规律与过程，其中讨论最热烈的一个议题就是大气 CO_2 的作用。一个比较流行的观点认为大气圈 CO_2 浓度的快速增加，其所产生的“温室效应”将给人类的生存与发展带来严重的负面影响，因此需要限制碳的人为排放量。如何限制人类的碳排放量，已成为当今世界各国争执不下的一个“热点”议题。深入认识地球历史时期大气圈 CO_2 浓度及其变化规律无疑是认识现今大气圈 CO_2 浓度及其未来变化规律的重要基础，也有助于进一步理解人类碳排放的后果。

早在 1899 年，著名地质学家 Chamberlian 就提出：造山运动可导致巨型山脉的快速隆升，而快速隆升的巨型山脉又将进一步促进组成山脉的硅酸盐矿物的化学风化，从而大量消耗大气 CO_2，最终导致全球变冷的观点。他首次将全球构造运动与全球气候变化联系起来，认为全球性的构造运动控制了全球长周期的气候变化过程。后来，以 Raymo 为代表的学者进一步阐述了这一观点，认为小印度陆块与大亚洲陆块的持续汇聚导致了青藏高原的形成，而快速隆升的青藏高原极大地促进了硅酸岩的化学风化、有机碳的埋藏等作用，从而大幅降低了大气圈中 CO_2 的含量，最终导致了新生代以来全球变冷。但是，这些学者认为化学风化的最终产物，包括 HCO_3^- 等物质最终进入了海洋。确实，海洋是个大水库，虽然能够吸纳巨量的大气 CO_2，但它却不能无限地容纳 CO_2，

它本身还持续不断地向大气圈排放 CO_2，即有一部分化学风化所消耗的 CO_2 又重返大气圈。由于当时的学者尚发现青藏高原本身能否固碳，因此，严格意义上讲，当时的研究成果表明青藏高原本身并不是碳汇。

最近几年来，许多学者发现青藏高原内部持续大量地向大气圈直接排放 CO_2，例如，发现沿喜马拉雅山脉的主中央断裂（MCT）带展布的温泉排放了大量的 CO_2。更重要的是，发现研究程度较高的尼泊尔西部地区温泉 CO_2 排放量大于该地区岩石化学风化所消耗的 CO_2 量，然后再将这一局部地区的研究结果外延至整个喜马拉雅山脉，因此得出喜马拉雅山脉是“碳源”的结论，更进一步推论出喜马拉雅造山运动导致了全球变暖的观点。这种争论实质上反映了两种研究模式的碰撞：传统的地球表层碳循环与正在兴起的深部碳循环研究的碰撞。

对全球气候变化施以重大影响的青藏高原，在全球碳循环过程中究竟扮演何种角色？它是向大气排放 CO_2 的“碳源”，还是大量吸收大气 CO_2 的“碳汇”？这就是本文讨论的问题。

随着小印度陆块与大亚洲陆块汇聚之后，小印度陆块仍每年约以 5 厘米的速率不断向北楔入大亚洲陆块之下，导致喜马拉雅山脉和青藏高原隆升，形成现今雄伟的喜马拉雅山脉和青藏高原。组成山脉的硅酸岩类岩石持续不断遭受化学风化作用，山脉不断被剥蚀，同时大量消耗大气圈 CO_2，并在喜马拉雅山前，小印度陆块北缘的前陆盆地内及其东、西两侧，孟加拉扇和印度河扇内快速堆积巨量风化剥蚀的产物，遭受沉积作用，形成新生的含碳酸盐矿物的岩石。大体与此同时，喜马拉雅山脉南缘的植物、动物也被快速掩埋，最终转化为有机碳。在小印度陆块的前陆盆地内，这套含有比较丰富的有机碳和碳酸盐类岩石的沉积杂岩被称为西瓦里克杂岩。随着小印度陆块持续不断向北楔入大亚洲陆块之下，消耗巨量大气圈 CO_2 所形成的富含碳元素的西瓦里克杂岩则被带入藏南高原之下。其中的一个证据就是沿 MCT 展布的温泉释放的 CO_2 实测结果所提供：约 30% 以上的温泉排放的 CO_2 来源于有机碳，而高、低喜马拉雅结晶杂岩中却不含有机碳，只有西瓦里克沉积杂岩才含有丰富的有机碳。即认为喜马拉雅山脉是“碳源”的学者所提供的证据充分证明了西瓦里克沉积杂岩确实被带入青藏高原内部。一部分有机碳被转化成了富含 CO_2 的流体被地热水携带，最终重返大气圈，而更多的无机碳在含水和（超）高温条件下发生部分熔融作用形成富含 CO_2 的岩浆：壳源火成碳酸岩浆，熔融残余则非常类似于现今出露于东喜马拉雅构造结的高压麻粒岩。壳源火成碳酸岩浆上升到地表附近冷凝成岩，形成现今藏南广泛分布的火成碳酸岩。可用下图形象地描述这些过程。中新世以来，大气圈中的 CO_2 经过一系列复杂的物理、化学过程，大部分最终以壳源火成碳酸岩浆的形式，被圈闭在厚厚的青藏高原地壳之中，只有少部分碳酸岩浆以及富含 CO_2 的流体与天水混合，得以重返大气圈。青藏高原之所以能够持续向大气圈排放 CO_2，是因为它的内部有碳元素，而这个碳元素又是来自大气圈 CO_2，是再循环的碳。如果青藏高原是“碳源”，那么其内部就不应该存在新生的碳酸岩浆，它们应该全部再次转化为 CO_2 排放进入大气圈。青藏高原内部壳源火成碳酸岩的存在充分证明：在全球碳循环中，青藏高原实际上是扮演“碳汇”的角色，在其形成过程吸收了巨量的大气 CO_2，因此它是一个大气 CO_2 巨大的储存地。本文的观察进一步支持了 Chamberlian 早在 1899 年提出的观点：全球性的构造运动才是长周期全球

气候变化的主要驱动力。人类的碳排放在短期内确实可以快速地增加大气 CO_2 的浓度，但从长远来看，它仍然要服从这个规律，即大气 CO_2 浓度不可能无限地上升

S12-O-08S

地核中的碳——基于高压实验与第一性原理计算的探讨

崔航 张毅刚 张志刚

中科院地质与地球物理所 地球深部重点实验室
atlas0829@gmail.com

地核是深部碳循环的终端。碳在地核中的储量以及碳在核幔间的分配对深部碳库的储量与去向有很大的影响。综合比较行星学与地震学数据可知地核的主要成分是铁并且溶解有少量轻元素，其中包括碳。碳在地幔中主要以剩余相的形式存在，随深度增加逐渐由流体、碳酸盐等过渡到富铁合金以及铁金属碳化物，因此 Fe-C 体系的性质对深部碳循环有重要的影响。根据对淬火铁熔体的电子探针分析数据可知(Dasgupta et.al 2009)：如果球粒陨石中碳含量值相当于地球内部真实碳含量，则地核在核幔分异过程中将获得约 10w.t%碳含量；但考虑到分异早期岩浆洋的环境（约 2000K，2GPa）以及目前观测到的硅酸盐地幔碳含量，则地球内部含碳量应不超过 2w.t%.因此地核的碳含量应在 6w.t%（对应地球总含碳量 2w.t%的情况）至 0.1-0.4w.t%之间（对应地球总含碳量 0.1w.t%的情况）。总的来说，地核的碳含量约为 4000ppm,(48±29)*10^{23}gC，至少比地幔平均水平高一个数量级，是地球内部最大的碳库。但目前的实验研究很难严格界定碳在内外核之间的分配，这主要是由于内核的极端高温高压环境造成相关的实验研究难以实现，由此导致内地核的 Fe-C 晶体结构以及 C 在内外核之间的化学位差存在较大争议。第一性原理是一种通过求解核外电子运动轨道得到体系能量的理论工具，通过这一工具可以使我们不依赖实验数据就能得到给定体系的自由能、弹性系数、化学位等重要性质。我们将探讨由第一性原理计算得到的地核温度压力条件下的 Fe-C 体系性质，如 Fe_3C 结构的稳定性与状态方程，C 对内地核铁相的影响，以及 C 在内外核之间的分配系数等。

S12-O-09S

火成碳酸岩的实验岩石学研究及对地球深部碳循环的意义

宋文磊，许成

北京大学地球与空间科学学院
wlsong99@163.com

火成碳酸岩形成于地幔物质的低程度部分熔融，是研究地幔的“探针”岩石；在大陆地壳中普遍存在，从太古宙到现今均有产出，可以研究地幔源区的长期演化；在空间上常与碱性硅酸岩共生，许多产于大陆溢流玄武岩省中，与地幔柱形成密切相关；其熔体还是引起地幔交代作用和地幔地球化学不均一性的重要介质之一；大规模地从地幔中提取碳，是研究地球内部长期碳循环的重要岩石。稀土和铌等矿产也与碳酸岩密切相关。

碳酸岩的实验岩石学研究对解决与碳酸岩相关的关键理论问题提供了重要的信息。碳酸岩的成因主要有三种：直接来源于地幔源区的低程度部分熔融作用；富 CO_2 的碱性硅酸岩岩浆液态不混溶或分离结晶的产物。对部分熔融的研究主要集中在天然的或合成的 CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2（CMAS）-CO_2 体系上，碳酸盐化的橄榄岩和循环的地壳物质（如碳酸盐化榴辉岩或泥质岩）的低程度（<1%）部分熔融均可以产生富碳酸盐的液相，并沉淀出碳酸岩。其中，碳酸盐化泥质岩具有最

低的熔融温度并且形成的碳酸岩质熔体更加富碱质、CO_2 和不相容元素。CO_2、少量的 H_2O、Fe、及 K 加入到部分熔融的物质中都可以使其熔化温度降低到平均的地幔地热梯度以下。

早期关于碳酸盐与硅酸盐的液态不混溶作用研究主要集中在富碱 SiO_2-Na_2O-Al_2O_3-CaO（SNAC）-CO_2（±H_2O）体系上，之后的实验扩展了两液相不混溶的成分和压力范围，解释一些钙质碳酸岩的成因，并证实碳酸岩的不混溶作用成因可存在于地幔压力条件下。不混溶区随着压力和 CO_2 的不饱和程度表现出复杂的行为（扩张和缩小），碱质的含量也控制着不混溶区的大小。富 CO_2 的霞石质等硅酸盐岩浆可以通过分离结晶作用产生低温的方解石质似碳酸岩的液相，另外，在温度＜800℃、地壳压力、以及有足够 H_2O 条件下，岩浆作用分异出的以 CO_2 为主要成分的流体能够形成方解石的堆积体。

近些年的研究认为碳酸岩在地球深部碳循环中发挥着重要的作用：碳酸盐化榴辉岩或泥质岩的熔融实验相关系以及热力学模拟研究均表明大多数的碳酸盐在位于岛弧之下的含水熔融并不分解而可以被带入到深部地幔并且稳定存在。随着俯冲的进行，稳定的碳酸盐矿物依次为方解石-白云石-文石-菱镁矿，最终菱镁矿是主要稳定存在的碳酸盐相并可将氧化态的碳储存在与地幔相关的橄榄岩和榴辉岩中，从而形成整个地球系统中的一个大的碳储库。俯冲板片的温度、速率、地热梯度，俯冲角度等都会影响俯冲过程中碳酸盐的稳定性。含碳地幔物质在受到扰动或减压就会发生部分熔融，形成的熔体随温度的增加从近固相线温度的碳酸盐质组成（含 5wt% SiO2）连续演化到高温的富碳的硅酸盐熔体（>20 wt% SiO_2），其中碳酸盐质熔体以碳酸岩、钾镁煌斑岩、金伯利岩等富 CO_2 的幔源岩石到达地表。榴辉岩中含有菱镁矿、金刚石等矿物也说明至少一些碳返回了地表。因此，俯冲作用很可能是将碳带入地幔并得以维持富 CO_2 岩浆在地质尺度上长期的活动。然而，有多少碳是原生的，有多少碳是循环的，以及碳从地球深部返回到地表的途径和过程等都是有待于解决的问题。

S12-O-10

高温高压下全球平均沉积物组成体系中含碳相

李营

中国地震局地震预测研究所

traceelement@sohu.com

CO_2 是俯冲带流体的重要组成（Molina and Poli，2000；Jarrard，2003），它在俯冲带深部的产生和运移过程从根本上影响着岩石圈的热量、物质组成和机械演化，碳循环是目前科学界的研究热点，来自陆地、大气圈和水圈的 CO_2 最终都是经过俯冲带这个俯冲工厂进入地球深部，再通过岩浆形成和火山作用等过程返回到各个圈层完成“俯冲再循环”。 在对俯冲带 CO_2 形成过程的研究中，俯冲沉积物是最重要的研究对象，因为它是俯冲带 CO_2 最主要的来源。

利用化学试剂和天然矿物合成了全球平均沉积物组成（Plank and Langmuir，1998），并在德国斯图加特大学矿物与晶体化学研究所和德国波鸿大学的活塞圆筒压机上进行了高温高压实验。实验的温压条件为 30～50kbar, 780～920℃。利用电子探针和 XRD 对实验产物进行了相组成分析。产物中非含碳相主要包括石榴子石、白云母、单斜辉石、透辉石。含碳相矿物以钙为主要组成，45kbar，890℃下体系中出现含有钙、镁、铁的含碳矿物相。实验结果表明含碳矿物可以在俯冲带

高温高压条件下沉积物体系中存在，携带碳进入到俯冲带深部。

S13-O-01

西南印度洋多金属硫化物找矿与评价研究

陶春辉，李怀明

国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室

taochunhuimail@163.com

国际海底区域（多位于深远海）具有的重要战略和资源意义，《联合国海洋法公约》规定国际海底及其资源是人类共同继承的遗产。海底热液活动被认为是二十世纪地球科学领域最具革命性的发现，多金属硫化物是热液活动的主要产物，富含铜、锌、金、银等金属元素，资源前景广阔。依赖于海底热液活动存在的“黑暗生物圈”，生物类型奇特、多样，基因资源十分丰富。2011 年 11 月，我国与国际海底管理局签署《多金属硫化物勘探合同》，获得西南印度洋脊总面积达 10,000km^2 区域的硫化物专属勘探权。根据国际海底管理局《勘探规章》，未来 10 年内必须放弃 75%勘探区面积。在西南印度洋脊开展以非活动区为主要目标的硫化物找矿（区域放弃）和资源评价研究是当前西南印度洋调查研究的重点。

洋中脊硫化物是洋壳增生过程中热液循环的重要产物，一般沿着洋中脊离散分布，其产出频度、规模、位置和产状与扩张速率、岩浆供给、构造、裂隙和围岩性质等密切相关。西南印度洋脊属于超慢速扩张洋脊，是洋中脊热液成矿作用研究最为不足的区域，也是当前研究热点。我国的硫化物合同区主要位于西南印度洋脊的 Indomed 和 Gallieni 转换断层之间，该区域 Crozet 热点作用和超慢速扩张相互叠加，岩浆-构造体系复杂。当前，我们面临两个关键问题：西南印度洋脊硫化物的“多少”，即硫化物沿脊分布频度；西南印度洋脊硫化物的“大小”，即硫化物矿体的规模和三维分布。

国际上已经在慢速扩张洋脊硫化物分布预测方法方面开展了一些研究，尝试利用地形、地质、地球物理、地球化学等资料对洋中脊硫化物分布开展预测。针对硫化物矿体规模研究，除 ODP/IODP 在 TAG、Middle Valley 和 Pacmanus 等热液区开展了钻探工作之外，俄罗斯和鹦鹉螺公司（Nautilus Minerals）尝试开展了硫化物电法勘探研究，但与之相关的正反演研究成果罕见发表。当前，与海底硫化物相关的成矿模型理论和找矿方法理论研究尚不成熟，严重制约了海底硫化物资源勘探与评价研究。而矿床模型的研究推动了陆地矿床勘查与矿床学研究发展。能否借鉴陆地找矿理论方法，在缺乏钻探、勘探程度较低的情况下，建立海底硫化物预测模型和找矿模型，将是海底硫化物资源勘查与研究的重要发展方向。

基于此，我们提出在今后西南印度洋脊硫化物找矿和评价研究中应着重解决以下主要关键技术：①基于深海电磁探测技术，将陆地硫化物地电模型发展成为适合海底硫化物探测的地电模型；②基于硫化物与围岩的电性和磁性差异，结合地质、地球化学、水体化学和生物特征，提取非活动/隐伏多金属硫化物找矿标志及其指标；③通过海底天然地震仪长期观测得到硫化物区的浅部通道、裂隙和断层；④通过西南印度洋脊典型热液区的地形/应力场/重力/磁力/海底地震等综合地球物理解译，结合区域地质资料，得到西南印度洋脊表层-浅部-深部的控矿构造。

S13-O-02

东马努斯海盆热液活动研究

曾志刚，王晓媛*，陈帅

中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室
*wangxiaoyuan@qdio.ac.cn

对东马努斯海盆的热液柱和 Si-Fe-Mn 羟基氧化物分别进行了调查和研究。主要认识：1）热液柱中 As、Sb 与 Mn 之间具有很好的正相关（R2>0.82），暗示 As、Sb 可以作为东马努海盆热液柱的示踪剂。2）东马努斯海盆热液柱的特征，可用两种模式解释。在 18G 和 18K 站位，热液柱起源于富 Mn-As-Sb，亏损 Cl 的流体，该流体在海底下经历过流体-岩石相互作用、岩浆脱气组分的注入和/或相分离过程；在 18B 站位，热液柱起源于富 Mn-As-Sb-Cl 的流体，其可能是水-岩相互作用的产物。3）东马努斯海盆 PACMANUS 热液区产于英安岩环境中的 Si-Fe-Mn 羟基氧化物，结晶差，含少量的针铁矿、水钠锰矿、钡镁锰矿、绿脱石和蛋白石-A。4）Si-Fe-Mn 羟基氧化物样品中具疑似生物遗迹，如细丝状硅质物和空心管状物。5）鳞片状绿脱石可构成蜂窝状结构，也可生长在空心管的表面。绿脱石是低温热液活动的产物，其形成可能受到了微生物作用。6）Si-Fe-Mn 羟基氧化物具有两种类型核心：Si-Mn 质核和 Si 质核，两种核大多数分别存在于杆状和球状羟基氧化物中，其共同点是外层均包裹着 Si-Fe 质层。Si-Mn 质核的生长与微生物活动有关，Si 质核则为无机成因。

S13-O-03

西北印度洋 Carlsberg 脊的分段性及其构造地貌特征——中国大洋 24 航次调查成果介绍

韩喜球，吴招才，裘碧波

国家海洋局第二海洋研究所 中国大洋勘查技术与深海科学研究开发基地
shazhiju@qq.com

西北印度洋 Carlsberg 脊构成了印度板块和索马里板块的边界，全长约 1600 公里，以崎岖的地貌、陡峭的谷壁和较宽的中央裂谷为特征，全扩张速率为 24－26mm/yr，为典型的慢速扩张脊。大洋 24 航次首次对 Carlsberg 脊 9.9－1.5°N 之间的洋脊段进行了多波束地形和重力以及磁力测量，获得了 1418km 长，38－100km 宽的全覆盖多波束地形条幅和大面积的重力、磁力资料。

本研究利用所获得的海底地形结合重力和磁力资料，详细研究 Carlsberg 脊的地形和地貌特征及其分段性。根据各洋脊段海底扩张的对称程度、岩浆作用特征和构造作用特征，分析岩浆供给程度、构造发育程度和下洋壳以及地幔岩出露情况，对各洋脊段发育海底热液活动并赋存多金属硫化物的可能性进行预测评估。研究成果为西北印度洋 Carlsberg 脊多金属硫化物找矿和远景区评价提供重要的科学依据。

S13-O-04

中印度洋海岭 Edmond 热液区块状硫化物中金银矿物的发现及其意义

吴仲玮[1]，孙晓明[2, 1, 3]*,石贵勇[2]，戴瑛知[1]

1 中山大学地球科学系
2 中山大学海洋学院
3 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室
*sxm158@hotmail.com

目前已发现有自然金产出的现代海底热液系统及其相关的块状硫化物矿床主要分布于大西洋的慢速扩张洋脊和西太平洋的弧后盆地内，比较而言，对印度洋中脊海底热液活动区金矿化的研究程度较低。位于中印度洋海岭 S3 段的 Edmond 热液区是目前在印度洋海域所发现为数不多的海底热液活动区之

一。近年来，“大洋一号”科学考察船在执行中国大洋科考首次环球航次（DY105-17A）和第 19 航次（DY115-19）任务中，用电视抓斗成功采获 Edmond 热液区的多金属硫化物样品。本次研究选取 3 个典型的采样站位，利用电子探针、环境扫描电镜、X 射线光电子能谱（XPS）和原子吸收光谱（AAS）等分析手段，在其中首次发现了金银矿物。

通过环境扫描电镜观察，与 EDS、XPS 分析相结合，本次研究在 Edmond 热液区的块状矿石样品中首次发现了大量自然金颗粒，表明沿中印度洋中速扩张洋脊分布、以玄武岩为赋矿围岩的海底多金属硫化物具有不可低估的金矿化潜力。其中，以硬石膏为主的硫酸盐矿石中可见到较明显的金矿化现象，自然金多呈不规则粒状或板状产出，最大粒径可达 20 μm 左右，主要分布于自形硬石膏晶体间的空隙中，与细粒状的他形闪锌矿集合体紧密共生。此外，还发现有少量细粒金矿物以次显微包体形式赋存在粗大自形的黄铁矿晶体表面，其粒径＜1 μm，该现象可能与黄铁矿表面的还原反应和吸附作用有利于 Au 沉淀有关。在富 Fe 块状硫化物矿石中，也发现有少量微米粒径的金矿物零星分布于黄铁矿、黄铜矿等硫化物颗粒之间。

电子探针分析结果显示，闪锌矿中 Au 与 FeS 的含量（mol %）表现出较明显的负相关性。富 Fe 块状硫化物矿石中，通常形成于中高温热液条件下的富 Fe 闪锌矿 Au 含量相对较低；而在热液硫酸盐矿石样品中，晚期形成于中低温条件下的贫 Fe、他形闪锌矿中 Au 的富集程度普遍较高（含金量可高达 9500 ppm 左右，平均值约为 6700 ppm）。由此可见，Au 的富集成矿作用主要与海底热液活动的晚期中低温成矿阶段有关，这与各大洋不同构造背景下、大多数富 Zn 硫化物矿石中 Au 的分布规律比较一致（Hannington & Scott, 1989; Hannington et al., 1991, 1995; Moss & Scott, 2001）。通过电子显微镜放大至 5000 倍对含金闪锌矿进行观察后，尚未在其中发现有次显微金的存在，初步认定 Au 主要为不可见金，可能以纳米级或固溶体形式存在。此外，Ag 主要以类质同象的形式赋存于与闪锌矿、黄铜矿伴生的硫盐矿物中（含 Sb、Zn 砷黝铜矿），Ag 的含量为 5.0 ~ 6.7 wt.% 左右。

研究显示，Edmond 热液区内广泛发育以富含 Fe、低 pH 值、氯度和 H_2S 含量较高为特征的喷口热液流体，其最高温度可达 382 ℃。这是从洋中脊热液活动区原位采集的海底“黑烟囱”流体样品中，迄今为止所直接观测到的最高温热卤水（Gallant & Von Damm, 2006）。根据前人的实验研究结果（Benning & Seward, 1996; Pal’yanova, 2008），推断金、银在 Edmond 热液系统中可能分别以 $AuCl_2^-$/$AuHS^0$ 和 $AgCl_2^-$ 形式迁移，这与该研究区以高温、酸性和氯度较高为特征的热液流体物理化学条件相一致，有别于前人通常认为 Au 在大多数中低温、pH 值近中性的海底热液环境下主要呈 Au $(HS)_2^-$ 的迁移形式。因此，有利于 Au、Ag 迁移的流体物理化学条件被认为是促使贵金属元素在 Edmond 热液区中矿化富集的重要因素之一。

有利于 Au 沉淀的有效机制也是导致 Edmond 热液区 Au 矿化富集的重要控制因素。该研究区内广泛发育的扩散流与大量散布在热液沉积物中的富含硬石膏块状矿石，表明在海底深部可能存在着下渗海水与高温热液流体的混合过程（Van Dover et al., 2001）。而海水与热液流体混合以及喷口流体的传导冷却作用，会引起含矿热液的温度、压力、pH 值和氧逸度等物理化学条件发生变化，并造成 Au 的络合物不稳定，从而导致 Edmond 热液系统中 Au 的有效沉淀。此外，高温热

液喷口附近的海底“黑烟囱”流体，由于在超临界条件下发生相分离，可能导致 Au 在早期形成的硫化物颗粒表面沉淀。原生的块状硫化物矿石经过后期热液改造以及海水的氧化作用，也会促使先期沉淀的 Au 再活化迁移与次生富集。

S13-O-05

西南印度洋中脊 49.6°E 热液活动区羽状流特征及其热通量贡献

刘为勇[1,2]，陶春辉[1,2]，郑连福[1,2]，李怀明[1,2]

1 国家海洋局 海底科学重点实验室
2 国家海洋局第二海洋研究所
liuweiyong1213@163.com

我国大洋科学考察第 19 航次在西南印度洋 49.6°E 热液活动区利用水下自动机器人探测了该区发生的热液羽状流，研究热液水体异常信息发现该热液区具有多个热液异常中心，暗示了多个热液喷口的存在，热液羽状流在上浮到一定的高度汇合形成了大型的热液羽状流异常，结合 MARP 探测资料分析，羽状流东西长＞5km，南北宽＞2.5km，厚度~150m。利用水下机器人用在恒定离底 5 米高度探测取得的温度异常和水流矢量速度数据进行了热通量估算，得到 SWIR-1 活动热液喷口场的热通量贡献约为 1574MW，发现与前人对于中-快速扩张洋中脊主要热液活动喷口区的热通量估算值差别不大，依此推算整个西南印度洋脊热液活动热通量，发现比海洋岩石圈冷却模型（GDHI）估算平均计算出的热液活动热通量值要小一倍多，推测西南印度洋中脊区域低温扩散流以及超基性岩石蛇纹石化反应放热分布的估算缺失。

S13-O-06S

西南印度洋脊 A 热液区藤壶类壳体和热液沉积物中有机质研究

黄鑫[1,2]，曾志刚[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 中国科学院研究生院
shaoshanhx@126.com

对西南印度洋脊 A 热液区的藤壶类壳体和热液沉积物样品进行了研究。结果如下：1）藤壶类壳体主要矿物为方解石，外层粘覆有黑色有机质。2）热液藤壶类壳体和热液沉积物样品的有机质，主要成分为脂肪酸及其衍生物，邻苯二甲酸二酯类等化合物，以及含量较高的直链烷烃。3）热液藤壶类壳体和热液沉积物样品的脂肪酸为明显的生物标记物，表明该有机质主要为生物起源。4）热液藤壶类壳体和热液沉积物样品的直链烷烃具有明显的偶数碳数优势，证明其有机质陆源输入的可能性很小，其直链烷烃可能通过费托反应等非生物过程生成，也暗示了热液区中有机质非生物合成的可能，同时也为生命起源于海底热液环境提供了证据。同时，直链烷烃明显的偶数碳数优势也证实样品中高含量的邻苯二甲酸二酯类并非为陆源的污染，其可能与藤壶类的代谢有关。

S13-O-07

台湾东部近海两类海底热泉及其原位观测与探测

叶瑛[1]，潘依雯[1]，丁茜[1]，黄元凤[1]，
张海燕[1]，刘晶[1]，秦华伟[2]，樊伟[2]，
陈镇东[3]，王冰洁[3]，黄婷媗[3]
浙江大学海洋科学与工程学系
杭州电子科技大学机电所

台湾中山大学海洋地质及化学研究所
568657013@qq.com

在陈镇东教授倡导和组织下，来自海峡两岸的研究团队对位于台湾东北部龟山岛和东南部绿岛海域的热泉进行了联合考察与合作研究。

龟山岛在近岸数米至数十米深度水域已发现的热液喷口上百处。采自喷口的水样显示热液中含有丰度较高的重金属、砷等生物毒性组分，也含有氨氮、硅、铁等生命营养元素，热液直接注入海水透光层对海洋生态环境有重要影响。龟山岛热液伴生气体组份含有大量的 CO_2、CH_4 和 H_2S，与洋中脊热液体系类似。对热液喷口的连续监测结果显示，热液流体的喷发强度有类似于潮汐的周期性，但与当地潮汐之间存在 2.5 小时的时差。拖曳探测结果显示，热液喷口上方有明显的 Eh、pH 和 H2S 异常。根据拖曳作业圈出的 Eh 异常，结合当地潮汐、海流资料，台湾中山大学和探海公司新发现了一处海底热液喷口。

绿岛热液喷口分布在潮间带至潮下带位置，热液成份与龟山岛有明显不同，其 pH 值呈弱碱性，H_2S 含量很低；而龟山岛热液呈强酸性，富含硫化氢气体。传感器探测数据显示，绿岛热液引起的化学异常不明显，在喷口上方的海水中只有微弱的 Eh 和 pH 异常，悬浮颗粒物含量亦很低。如何借助现代探测手段在海底发现这一类型的热液喷口位置，在技术上充满挑战性。

S13-O-08

接触极化法定性评价深海金属硫化物矿应用前景

席振铢

中南大学地球科学与信息物理学院
xizhenzhu@163.com

国际海域深海金属矿床的勘探关键是快速定性评价金属矿储量，对矿权的放弃做出正确决定。接触极化法原理是不同的硫化物及其它导电性矿物的在外电场作用下反应电位是不同的，而且不同规模的矿体其极限电流是不同的，因此通过测量金属矿体的反应电位和极限电流，构建反应电位与极限电流的极化特征，可定性反映来自隐伏矿体的成份、含量、结构、构造和矿体规模等方面的信息。采用接触极化法实现快速、有效定性评价深海矿石储量和矿石种类。

S13-O-09S

瞬变电磁法在海底多金属硫化物区的应用

熊威[1,2]，陶春辉[1,2] 邓显明[1,2]

1 国家海洋局 海底科学重点实验室
2 国家海洋局第二海洋研究所
xiongwei_deadeye@163.com

海底多金属硫化物是继多金属结核、富钴结壳后又一重要的海底资源，我国多金属硫化物调查起步于 2005 年，虽然在很短的时间内取得了较大成果，但目前的硫化物调查方法还是以海底摄像、抓斗取样等直接观测方法为主，总的来说调查效率不高，调查手段不够丰富。在当前我国即将取得西南印度洋区块勘探合同之际，急需一套效率更高且科学的方法对已知区开展进一步研究以及在未知区进行新的探索。在陆地上电磁方法一直是金属矿产资源勘查重要手段之一，而在海洋中，由于海洋地磁环境的特殊，电磁方法一度被认为不适合海洋。最近 30 多年海洋电磁法得到了很好的发展，理论和实践表明几乎所有陆地上已经使用的电磁法方法都可以在海洋中使用。具体到海底多金属硫化物矿产，国外已开展或即将开展针对其的电磁方法调查。有鉴于此，大洋协会牵头研发了

我国首套针对海底多金属硫化物的电磁设备，并于大洋 22 航次在南大西洋中脊取得了我国首批海底多金属硫化物电磁资料。本文在对比陆地、海洋电磁环境的基础上，介绍了国外海底硫化物电磁探测设备，分析了电磁方法在海底硫化物探测中的可行性，利用获得的资料探讨了海底电磁数据去噪方法，并分别在两层半空间、全空间条件下计算了视电阻率，验证了设备的有效性。

S13-O-10

海底多金属硫化物中微量元素与超微量稀土元素的准确测定

殷学博*，曾志刚，王晓媛，陈帅

中国科学院海洋研究所

*xbyin@qdio.ac.cn

从上世纪七十年代末在东太平洋海隆发现第一块海底多金属硫化物以来，掀起了海底多金属硫化物研究的热潮。由于其不同于沉积物、岩石等样品，基体复杂，矿物组成变化大，元素含量变化不一，从 REE 的超痕量到 Cu、Fe、Zn 的常量元素都有分布，并含有大量的硫，给测试分析带来的困难。样品消解过程中，也因其内部离子成分的不同，存在着干扰或者沉淀等化学反应，限制了海底多金属硫化物地球化学方面的研究和发展，因此系统研究硫化物中微量与稀土元素的测试方法就非常必要。在前人工作基础上，优化消解罐设计，发明一防腐高效消解罐，具有操作简便，密封性好，消解效率高，酸不挂顶，不挂壁等优点，可快速对海底多金属硫化物样品完全消解，溶液清澈透亮，采用 PE 公司 DRC II 型 ICP-MS，完成 Ag、Au 等在内的 23 种元素的准确测定。而 REE 元素含量超微，低于方法检测限，进行了预富集实验，选取国内外阳离子树脂对比试验，优化实验流程，有效去除基体元素与干扰元素 Ba，获得回收率高、准确度高的测试数据，为海底多金属硫化物深入研究提供数据支持。

S13-O-11S

西秦岭洛坝铅锌矿床喷流沉积特征及矿床成因探讨

冯志强，林丽

成都理工大学沉积地质研究院

fengzhiqiang2000@163.com

以构造成矿学、矿床学及矿床地球化学为理论指导，在研究成矿构造背景的基础上，开展矿床地质特征及矿床地球化学特征的探讨研究，，以此分析甘肃省徽县洛坝铅锌矿床喷流沉积特征及矿床成因。归纳起来有以下几点认识：

（1）洛坝铅锌矿床主要赋存于晚古生代带扬子板块北缘上的裂陷盆地，南北分别以东西向宕昌-两当断裂和礼县-麻沿河断裂所夹，随着盆地进一步的演化，在盆地边缘广泛发育同生断层黄渚关和人土山～江洛大断裂，控制着矿区喷流成矿作用和岩相展布。

（2）矿床呈层状及似层状展布，矿体与围岩呈整合接触产出；矿石的结构构造比较复杂，既有原生沉积组构的特点，又具有后生组构的特点。原生典型组构主要有纹层状构造、浸染状构造、块状构造，角砾状构造、草莓状或团块状的微～细粒菱铁矿、黄铁矿、闪锌矿及方铅矿结构等；后生组构主要包括他形－自形粒状结构、斑点状构造、充填交代溶蚀结构、碎斑结构、固溶体分离结构、网脉状构造，晶洞及晶簇状构造；

（3）多孔状硅质岩的矿相学照片及背散射 SEM 图像显示，多孔状在横向上表现为最外层为碳酸盐矿物，向内核依次为硅酸盐矿物（铁矿白云石和石英）；胶状黄铁矿，边缘发生重结晶；内核：充填他形结构方铅矿，

沿微裂隙充填，少量呈树枝分布在最内核，浸散孤立状分布，方铅矿中可见残余星点状黄铁矿。该特征反应了热水喷流沉积成矿作用的多期次和间歇性；通道构造或及淬火构造则反映了含碳酸盐，硫化物、硅质等成矿流体，沿管状通道上升喷流过程中，与冷海水相遇，骤冷快速结晶成岩成矿作用；

（4）铅锌矿石稀土元素特征：球粒陨石标准化的矿石的 Eu/Eu*=1.51~2.36；Ce/Ce*=1.10~1.60；∑REE=9.74~16.58，为轻稀土富集型；表现为明显的正 Eu 异常；主要含矿岩石硅质岩和铅锌矿石具有相似的稀土特征；∑REE=8.00~12.30，LREE/HREE=4.59~5.54，Eu/Eu*=1.56~2.50，Ce/ Ce*=1.10~1.24，表明二者稀土元素与现代海底喷流成矿系统相似。

（5）洛坝铅锌矿床具有偏重硫特征，总 δS_{34} 值变化在 3.4‰～14.3‰，变化范围窄，离散程度较高，其高差为 10.9，平均为 8.7，认为泥盆纪海水中硫酸盐的 δS_{34} 值为 17.5‰~25‰。特征值介于泥盆世海相硫酸盐（δS34‰＝20±）与火成岩之间。Ⅰ期的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿的 δS_{34} 与围岩一致，反应海底喷流沉积时以细菌还原海水硫酸盐为主，在矿床形成过程中，这种深部热水沿生长断裂喷溢到海盆底部后与海盆中的海水混合并产生硫同位素交换；Ⅱ期黄铁矿、方铅矿的 δS_{34} 为后期变形变质作用下改造热液来源，由于地层硫参与，导致总 δS_{34} 值偏低。

（6）闪锌矿和石英中的包裹体统计表明其组分应是与海水混合后的流体成份相似，说明成矿流体属盐度不高的硫酸根型热液；主要成矿温度有低～中两个阶段，结合地质特征，表明了成矿的多期多阶段性，反映了矿床的形成过程中海底热的硫化物流体喷流上升与冷海水相遇骤冷的低温阶段和后期的中温改造阶段；

（7）提出了一下海底喷流沉积成矿模式：首先，在喷流沉积阶段由中泥盆时期

形成的 EW 向的江洛－人土山和黄渚关两条同生长断层控制的沉积海槽是形成矿床的前提条件，同时，沿热泉呈长链状发育有丘状生物礁则起到良好的障壁作用，使得相对富含硅质的深部含矿流体沿断裂上升，并呈线型喷流至海底凹地，与海底沉积物混合沉积形成矿源层及少量薄层矿体。在海西期末－印支期的强烈造山运动导致华北板块和扬子板块的碰撞运动，深部热源再次活动，导致糜署岭黑云母花岗闪长岩基沿黄渚关断裂向上侵位，后期强烈的构造作用和变质作用使含矿层褶曲变形、破碎，巨大的热动力使矿源层内成矿组份 Pb、Zn、Ba 等活化运移，在有利的构造和岩性部位（如洛坝背斜北翼及转折端部份）富集，形成洛坝铅锌矿床。

S13-O-12

在古缝合带中寻找古富钴结壳的意义及其可能性

黄文星

广州海洋地质调查局

jackyhwxing@163.com

古富钴结壳能提供什么信息？

大洋富钴结壳的生长记录了沉积环境的物理、化学、生物和地质的变化。由于其生长速度非常缓慢，一般为 mm/Ma 级别，与深海沉积物相比，记录的信息具有高度的浓缩性，并且它在沉积间断期也能生长，可以填补深海沉积所不能反映的沉积间断期的历史。目前已经在古海洋古气候研究中大量应用。

设想若能在古缝合带中寻找到古大洋残留的古富钴结壳，它将成为我们了解古海洋（已经消亡的）物理化学环境、环流特征等

的重要信息载体，然而，到目前为止，国内外鲜有关于古缝合带附近发现富钴结壳的报道。

古缝合带中有没有古富钴结壳？

这个问题首先关系到古海洋中是否存在古富钴结壳的问题，目前的主流观点认为，富钴结壳主要为沉积成因，其形成与周边的海水物理化学条件、基岩性质、地形地貌和局部水动力等条件有关。其形成条件似乎并不算苛刻，古海洋中完全有存在富钴结壳的可能性。其次，是富钴结壳在板块汇聚碰撞中的保存问题。富钴结壳生长在海山顶部，在古洋盆消亡的过程中完全可能被刮铲遗留下来。

S13-P-01

国际海底区域地理实体命名的意义

朱本铎，张金鹏

广州海洋地质调查局

zhubd@foxmail.com

海底地理实体是海底上可测量、并可以划分界限的地貌单元。对已确认的海底地理实体进行正式命名已成为国际惯例，如大西洋中脊、冲绳海槽、麦哲伦海山链等。海底地理实体的命名权通常归属于其主权所有者或发现者，海底命名工作属于国家政府行为。海底地名是一个国家地名系统的一部分，应完善本国领海内的海底命名，将领海外的地理实体名称提交到相应的国际组织。国际海底地名的管理和研究已历经百年，海底地理实体命名委员会（Sub-Committee On Undersea Feature Names，缩写为 SCUFN）是国际海底地名管理机构，其主要任务是建立科学合理的国际海底地理实体命名体系，审定并推广使用各国提交的海底命名，发布海底地理实体地名辞典。

我国从 1980 年代开始，先后在东太平洋海盆、中、西太平洋海山区、东太平洋海隆、大西洋中脊等多个国际海域开展海底矿产资源调查，利用先进的多波束测深设备发现了 200 多个海底地理实体，包括海山、海丘、盆地、平顶山等多种类型。但一直以来，新发现的地理实体未正式命名，仅以用数字或字母、或其大致方位作为代号指称。这些代号应用于调查报告和论文中，不仅容易组成名称上的混乱，也得不到国际上的认可。我国已开始对新发现的海底地理实体实施标准化命名，这不仅具有学术性、政治性重要意义，而且条件已经成熟。2011 年 9 月，中国承办了第 24 届 SCUFN 年会，并向 SCUFN 提交了我国在国际海域资源勘探区新发现 7 个海山的命名提案，获得了批准，分别是彤弓海山群、鸟巢海底丘陵、白驹平顶山、徐福平顶山、瀛洲海山、蓬莱海山和方丈平顶山。海底命名成果能够体现我国的勘查成果，为我国申请海底矿产资源增加有力的证据，也有利于调查报告和论文的编写，以及海洋科学界同行之间的交流。

地名是人们对地理实体赋予的专用名称，地名反映了地理实体所在区域的历史、文化、政治背景、宗教信仰等因素。如果大量蕴含中国文化内涵的海底地名被国际上认同并广泛应用于各类图件，将彰显中国的地名文化。最新的 SCUFN “海底地理实体地名辞典（Aug,2011）”共包含了 3560 条海底地理实体名称，其中 11 条位于南海我国传统疆界线内。但是这 11 条地名都不是我国所命名和申报。美国地名数据库（GNDB）中共收录了 4800 条海底地理实体条目，其中竟有 178 个地理实体位于我国领海及邻近海域，且主要集中于南海。海底地名可作为海域管辖权力的佐证，如果我国不尽快开展海底地名研究和管理，别国可能将继续以海域命名的方式

侵害我国的海洋权益，侵略我国的地名文化。

目前，我国正开始对海底地名进行过系统的研究工作，筹建海底命名管理机构。海底地名的研究成果将填补国内海底地名的空白，开创海洋研究的新领域，完善我国的地名管理系统，弘扬地名文化。

S13-P-02

海底热液硫化物资源研究现状与进展

刘志杰，公衍芬 ，程永寿

国家海洋信息中心

kittylzj@163.com

海底热液硫化物（submarine hydrothermal sulfide），亦称多金属硫化物（polymetallic sulfide）、块状硫化物（seafloor massive sulfide，简称 SMS），由高温黑烟囱喷发构成的富含金属元素的硫化物、硫酸盐等矿物集合体。在世界大洋水深数百米至 3500m 处均有分布，从地质构造上看，主要分布 2000m 深处的大洋中脊、弧后盆地和地层断裂活动带，同时岛弧以及海山等也有少量分布。据国际大洋中脊协会的统计，截止 2009 年底，全球已发现和由推断可确定的海底热液硫化物矿点有 588 个。

现代海底热液硫化物调查最早始于 20 世纪 40 年代。1948 年，瑞典科学家在红海中部 Atlantis I 深渊附近发现了热液多金属软泥，揭开了海底热液活动研究的序幕。20 世纪 60 年代中期，前苏联在太平洋获得了多金属硫化物样品，并对大洋热液过程的成因进行研究。20 世纪 80 年代，海底热液硫化物调查进入大规模调查和研究，在弧后扩张中心环境中首先发现的热液硫化物矿床位于中 Manus 盆地和马里亚纳海槽。20 世纪 90 年代，日本利用多种技术手段开展了海底热液硫化物调查与研究工作，同时也对其成矿机理、资源评价，采矿环境影响等方面开展了研究。2008 年，韩国获得在汤加专属经济区的勘探专属权利后，于 2011 年在西南太平洋汤加专属经济区内指定的 5 个韩国专属矿区进行资源勘探。除俄、美、日、韩外，大力进行海底多金属硫化物调查勘探和研究工作的还有加、德、法、英、澳。目前，葡萄牙和意大利也制定了勘探深海多金属硫化物的计划。我国海底多金属硫化物研究起步较晚，1988 年中德合作 SO-57 航次对马里亚纳海槽区热液多金属硫化物的分布情况和形成机理进行调查和研究。1992 年，中国科学院海洋研究所赵一阳教授组织对冲绳海槽中部热液活动调查。21 世纪初，我国大洋科学考察先后在东太平洋海脊和大西洋获取了大量热液硫化物样品，并在水深 2800 m 西南印度洋中脊超慢速扩张区成功发现了新的海底热水活动区，实现了中国人在该领域调查发现“零”的突破。目前大洋科考调查已在三大洋不同深海区域发现热液硫化物喷口十几处。这标志着我国已进入了现代海底热水矿床勘探强国的行列。

随着海底热液硫化物调查活动的开展，海底热液硫化物的开采也呈现一定的规模。目前，已有或正在进行的海底热液硫化物开采活动主要有：西德普罗伊萨格公司(Preussag)在红海的硫化物试采、鹦鹉螺和海王星公司海底热液硫化物商业开发，另外，澳大利亚 Blue Water Metals 公司也准备投身于西太平洋海底热液硫化物采矿活动，美国 Deep Sea Minerals 公司联合美国一家大型采矿公司开始在全球范围内着手海底热液硫化物研究。澳大利亚、俄罗斯、美国和加拿大的五家国际矿业公司（Nautilus、Epion、Anglo American、Teck Cominco 和 Barrick Gold）已经联合开展了西太平洋热液硫化物的开发工作，这为实现海底热液硫化物矿产的商业

开发迈出了实质性的一步。

深海硫化物资源因富含多种金属而具有极好的开采价值，而由于特殊的海洋环境及赋存条件，对其进行开采需要耗费巨大的人力物力，因此，对待开采矿区进行合理的资源评估显得尤为重要。目前深海硫化物资源行之有效的评价方法正在探索中，主要是利用实际调查得到的大量硫化物资源、地质地球物理、生物化学、水文气象和沉积环境等数据资料，结合经济、政治、法律、技术等客观条件，彼此联系起来进行资源评价和转化成矿产资源量。深海硫化物资源开发价值极高，对其经济价值的评价，主要考察其中的 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 等有用元素的含量及分布，能够为将来的勘探开采提供重要的数据支持。

我国专属经济区内，海底热液矿床在南海有可能存在，但品味可能较低，冲绳海槽区则情况复杂。为在新一轮国际海底“圈地”运动中获得主动权，尽快找到高品味、易开采的硫化物矿床，抢占有利资源，是当务之急。我国近期要综合运用现代成矿系统研究方法和思路，加强海底多金属矿产资源分布规律、矿集区预测和海底热液矿床的三维结构分析以及深海资源评价技术的研发，建立海底矿产资源地质模型，为我国申请品味高、储量大、开采储运成本低的有价值的海底热液矿区提供理论基础和技术支撑。

S13-P-03S

西南印度洋脊热液区基岩与热液沉积物物性特征

吴涛[1,2]，陶春辉[1,2*]，窦炳珺[3]，周建平[1,2]，李怀明[1,2]

1 国家海洋局第二海洋研究所

2 国家海洋局海底科学重点实验室

3 浙江省大成建设集团有限公司

wutao1988@126.com

海底热液区的岩石/热液沉积物物理性质能够为热液活动探查，多金属硫化物采矿、选冶等提供必须的数据支持。本文根据现有实验条件，建立了针对热液区基岩/热液沉积物依次进行磁性、放射性、电阻率特性、孔隙度、密度、波速特性等物性测量的方法体系，并对西南印度洋脊 49.6°E 、50.5°E、51°E、63.5°E 和 63.9°E 等热液区的基岩、硫化物和碳酸盐沉积物样品的物理性质进行了测量与分析。研究结果显示：

（1）密度-孔隙度：研究区硫化物孔隙度最大，介于 27.24～43.77%之间，远大于基岩的孔隙度（2.36～5.78%）。硫化物干燥密度为 1.83～2.53 g/cm^3，饱和密度为 2.16～2.80g/cm^3，其与主要重金属矿物含量以及孔隙度有关；基岩饱和密度为 2.67～2.89g/cm^3，与矿物成分和含量有关。另外，热液蚀变会使基岩的密度下降、孔隙度增大。碳酸盐沉积物其干燥密度为 1.28～1.36g/cm^3。

（2）磁化率：硫化物烟囱体的磁化率约为 0.23×10^{-3}SI，明显高于 TAG 热液区硫化物烟囱体（其均值为 0.061×10^{-3}SI），可推测认为研究区硫化物的铁磁性体含量要高于 TAG 热液区；基岩磁化率介于 1.16～16.2SI，主要与磁铁矿和钛磁铁矿含量以及蚀变程度有关；碳酸盐沉积物磁化率为 10^{-5}SI 数量级，呈弱磁状态，与其主要矿物为碳酸钙有关。

（3）电阻率：由于硫化物和玄武岩导电机制不同，因此其电阻率差异很大。玄武岩电阻率值为 118～922.3 Ω•m，平均值为 558.3 Ω•m；硫化物的电阻率值平均为 8.4 Ω•m。硫化物样品含有大量的含金属矿物，并且孔隙发达，连通状况较好，其电流传导主要由矿物基质和连通的孔隙流体完成，因而电阻率值很小。而玄武岩为非传导机制的多空隙介质组成，其电导率主要由连接孔隙的流体电解电导及流体与矿物颗粒接触面间

的表面电导，进而电性远弱于硫化物。

（4）波速特征：热液区内基岩和热液沉积物的波速差异显著，硫化物（1 个干燥样品）的横波速度值为 1.71km/s,纵波速度值为 3.81km/s；干燥基岩的横波速度介于 3.26～4.06km/s，纵波速度介于 6.07～6.61 km/s，饱和基岩横波波速介于 3.11～4.11 km/s，纵波速度介于 5.83～6.86km/s。孔隙结构是影响波速特征的主要因素，波速随孔隙度的增加而降低，热液蚀变会改变基岩的孔隙度，从而使其波速减小；另外，样品饱和会使纵波波速度增大而横波波速略有减小。

（5）放射性：硫化物、玄武岩和碳酸盐岩的放射性核素的含量相差不大，可能总伽玛量的放射性探测效果不明显。

综上所述热液区基岩/热液沉积物各物性存在明显的差异，这对探寻新的活动热液喷口和促进大洋热液硫化物资源调查与开采具有理论指导意义。

S13-P-04

大洋 22 航次第八航段 EPR 赤道区附近调查成果

武光海[1]，许学伟[1]，崔汝勇[2]，雷吉江[3]，何拥华[3]，吴学文[3]

1 国家海洋局海洋生态系统和生物地球化学重点实验室

2 国土资源部青岛海洋地质研究所

3 国家海洋局海底科学重点实验室

guanghaiwu@sina.com

大洋 22 航次第八航段历时 33 天，工作 20 天，航渡 10 天，靠港 3 天。2011 年 9 月 17 日，“大洋一号”船离开厄瓜多尔的瓜亚基尔港，9 月 21 日到达工区开始作业，10 月 11 日上午 8:00 完成全部作业。来自国内 16 家单位 65 名船队员紧密配合、团结协作、开拓进取、高效作业，始终坚持安全第一，克服了各种不利因素，成功完成 40 个站次的调查作业。

本航段取得的主要成果如下：

（1）在 EPR 赤道区 0º-3ºN 区段新发现 7 处热液活动区。其中在 1.6ºN-1.75ºN 区段发现 4 个新热液活动区，在 1ºN 附近洋脊区段发现 3 个新热液活动区。

（2）在已知“宝石山”热液活动区新发现了硫化物风化产物分布区并成功采样，该硫化物风化产物分布区得到了电法异常的支持。另一处电法异常可能指示另一个更大的多金属硫化物分布区，长约 1400m。

（3）首次在正式航次中成功应用深钻获得 1.7 m 长（两次作业，分别钻进 2 米和 4 米）的热液硫化物区基岩岩芯样品。

（4）完成了 EPR 0º-3ºN 区段全覆盖地形探测及已知区和未知区各 4 个站位的水体环境调查等。

S13-P-05

中印度洋脊 Edmond 热液区热液硫化物的矿物学特征及成因

陈帅，曾志刚

中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室

cs_ocean@163.com

Edmond 热液区具有典型的高温和低温热液产物，研究样品根据矿物组成和结构可以分为 4 类： Fe-Cu 型硫化物、富 Zn 型硫化物、富 Ca 硫酸盐碎块和富 Si 型热液产物。4 种类型分别代表了高温-中温-中低温-低温的成矿环境。Edmond 热液区热液硫化物的形成过程复杂，显示出多阶段流体的改造作用。富 Zn 型硫化物的形成可以划分为硫化物成矿期和蛋白石成矿期，在硫化物成矿期内又分别沉淀了 Fe 硫化物、Zn 硫化物和无定形硅。Fe-Cu 型硫化物的形成也可以划分

为两个成矿期：硫化物成矿期和硫酸盐成矿期，在硫化物成矿期内又依次可分为 Fe 硫化物、Zn 硫化物、Cu-Fe 硫化物及海水混合阶段。Fe-Cu 型硫化物的形成过程复杂，经历了沉积间断和多期次的流体改造作用。高温富 Cu 流体对早期胶状闪锌矿的交代形成了银黝铜矿-砷黝铜矿以及富 Ag 矿物，而后期流体和海水的混合导致了硅酸盐矿物和铅矾的沉淀。

在富 Zn 型硫化物块体内部存在一种特殊的“黄铜矿疾病”：沿着黄铁矿解理面定向排列黄铜矿包体，包体呈不连续的棒条状、叶片状、乳滴状（1-50μm 长，1-5μm 宽）。根据黄铜矿包体的形态，可以认为黄铁矿中的黄铜矿疾病是交代成因：即后期高温富铜热液流体沿着解理面对先形成的自形黄铁矿进行交代，由黄铁矿提供 Fe，由热液流体提供 Cu，在高温条件下沿着黄铁矿内部的解理面交代形成黄铜矿包体。在这种情况下，黄铜矿包体附近的黄铁矿应该具有较低的 Fe 的摩尔分数。

在 Fe-Cu 型硫化物中首次发现了可见 Au 颗粒，包括自然 Au 和银金矿两种。可见 Au 在 Fe-Cu 型硫化物的富 Cu 带出现，位于黄铜矿的颗粒间隙之内，共生矿物为黄铜矿和白铁矿。根据其产状可以判断可见 Au 为原生 Au。Edmond 区可见 Au 的形成被认为是后期海水和流体发生混合所致。

Edmond 热液区富 Zn 型硫化物中具有大量较完整的疑似管状生物遗迹，而 Fe-Cu 型硫化物中的管状遗迹数量较少且多被黄铜矿包围交代。这种管状生物遗迹在各大洋的热液区均有发现，可以由多种蠕虫形成。Edmond 区的管状生物遗迹发育在样品的外部，由低温 Fe 硫化物组成并被后期高温矿物交代，大部分管道内部都有胶状 Fe 硫化物和低温无定形硅胶结充填。

S13-P-06

海底热液柱温度异常自动化计算新方法研究

王晓媛，曾志刚，李兆学

中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室

wangxiaoyuan@qdio.ac.cn

对东太平洋海隆 13°N，西太平洋东 Manus 海盆、大西洋 Logatchev 热液区获得的位势温度和位势密度数据进行了模拟计算，提出 2 种新的计算海底热液柱温度异常值的方法——重采样法和迭代法。两种方法重点在于对背景海水性质的精确评估：重采样法为对随机抽取若干的点进行多次线性拟合，以获得的斜率和截距的中位数作为背景海水的斜率和截距；迭代法为扣除拟合线之外的异常点，不断迭代，直至满足条件 $|\sigma_n-\sigma_{n-1}|<0.0001$ 时结束迭代，以获得的关系式作为背景海水指标之间的相关关系式。两种方法可以自动、快速处理在热液区获得的大量数据，消除手动选择异常结点引起的人为误差。高效、准确地计算海底热液柱温度异常值有助于识别海底热液活动导致的水体异常动态信息和寻找海底热液区。

S13-P-07S

硅、氧同位素对东太平洋海隆玄武质岩浆成因的指示

赵慧静[1,2]，曾志刚[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 中国科学院研究生院

silent911sohu@163.com

尝试用东太平洋海隆玄武岩样品的一组硅氧同位素数据来对其起源进行鉴别并示踪地幔的非均一性。结果表明：1）玄武岩样品

的 $\delta^{30}Si$ 值变化范围从-0.4‰ 到 0.2‰，中值为 $\delta^{30}Si_{mean\ value}$= -0.18±0.22‰，变化范围小，高于 MORB 的 $\delta^{30}Si$ 值。$\delta^{18}O$ 值变化范围从 4.1‰ 到 6.4‰，中值为 $\delta^{18}O_{mean\ value}$= +5.35±0.73‰，其略高于 OIB 的 $\delta^{18}O$ 值 ($\delta^{18}O_{tholeiitic\ basalts}$ =+5.3±0.3‰) 而明显高于 MORB 的 $\delta^{18}O$ ($\delta^{18}O_{glass}$ = +5.71±0.17‰)。2）玄武岩主要是 E-MORB，且它是 N-MORB 在岩浆活动中混合了类地幔柱物质（类似于 OIB 组分）的产物，即 E-MORB = N-MORB+OIB。

S13-P-08

热液多金属硫化物赋存的板块构造环境及其控矿因素

郑彦鹏，景春雷，陈萍，崔迎春

国家海洋局第一海洋研究所

zhengyp@fio.org.cn

现代海底热液活动及其资源效应已成为当前地球科学研究的热点问题，本文针对东太平洋海隆的胡安德富卡（Juan de Fuca Ridge）热液区、大西洋中脊的 Logatchev 热液区、西南印度洋脊（SWIR）热液区、冲绳海槽以及劳海盆（Lau Basin）五个典型热液矿区，通过海底地形地貌、基底岩石性质、扩张速率、断裂特征、以及矿床规模和矿物组成等开展的综合分析，提出热液硫化物成矿与其所处的板块构造环境具有密切关系。

研究表明，海底热液活动产出的板块构造位置主要可以划分为大洋中脊型构造环境、洋-弧型板块俯冲边缘形成的弧后盆地型构造环境、洋-陆型板块俯冲边缘形成的大陆边缘型构造环境以及板内热点活动型构造环境这四类。目前在全球已经发现的热液矿点中，已经得到确认的几个资源量达到百万～千万吨级的海底多金属硫化物矿床，主要分布于大洋中脊型和弧后盆地型构造环境中。

大洋中脊扩张型构造环境由于板块扩张速率的不同分为快速、中速、慢速和超慢速扩张脊四种，它们不但在海底地形地貌、断裂/断块分布、沉积物覆盖、出露基岩性质等存在明显差异，而且形成的热液多金属硫化物矿体规模、矿物组合等也有所不同：快速扩张脊的海底地形特征主要表现为沿扩张脊中央的顶部发生隆起，形成与扩张脊平行、近乎等宽度的轴部裂谷，岩浆体沿地堑中央分布，这也控制了相关热液活动和硫化物堆积体等沿裂谷中央分布；中速扩张脊的海底地形相对平缓，扩张脊中央的水深与两侧海底深度相当，在接近于扩张脊中央位置，海底地形会出现一些小型的“V”字型峡谷，与扩张脊近于平行，向两侧方向峡谷形态逐渐变为不对称型峡谷地形，一侧为深海丘陵，另一侧为杂乱的破碎区域；在慢速扩张脊、超慢速扩张脊等地区，海底地形破碎，扩张脊中央的水深较两侧海底深度要大许多，扩张脊两侧海底被大量转换断层隔断，形成一个深度较大、相对较宽、平面上呈短透镜形的轴部裂谷，在该轴部裂谷内广泛发育火山活动、有时会形成一系列正在喷发的海底火山，同时，在轴部裂谷最宽的位置处于一种强烈的张性构造应力环境下，海底热液活动也相对活跃和集中，海底热液喷口及形成的多金属硫化物矿体沿平行轴部裂谷方向呈群状分布，形成的矿床规模较大和品位较高。

弧后盆地型构造环境由于演化程度的不同，造成不同演化阶段弧后扩张中心的热液活动、形成的多金属硫化物矿体类型和规模存在差异。位于弧后扩张初期的弧后扩张系统，如冲绳海槽，热液矿体主要分布在地堑内部的塌陷盆地，其金属类型为 Zn-Pb-Cu 型；处于扩张中期的弧后环境，如劳海盆，热液硫化物矿体主要位于扩张脊的叠复系统，富含 Ba、Zn、Cu、Pb 和 Au；而处于扩张晚

期的弧后环境，如北斐济盆地，热液硫化物矿体主要位于高地形上，发育大量玄武岩，其金属类型为 Cu-Zn 型。

本文对认识海底热液多金属硫化物矿床分布与成矿规律、以及指导海底多金属硫化物资源勘查具有一定的意义。

S13-P-09

西南印度洋脊 51°E 区碳酸盐成因研究

李怀明[1]，陶春辉[1]，苏新[2]，于增慧[3]

1 国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室

2 中国地质大学（北京） 海洋学院

3 中国海洋大学 海洋地球科学学院

huaiming_lee@163.com

Lost City 热液区位于大西洋中脊 30°N，是目前在洋中脊发现的唯一的超基性岩环境的中低温、碱性热液系统。中国大洋调查 DY115-20 航次在西南印度洋脊 51°E 附近发现大范围的碳酸盐沉积。为了解该区碳酸盐成因及其与 Lost City 碳酸盐热液系统的关联，本文对该区获得的碳酸盐样品进行了环境扫描电镜、岩石薄片显微照相、主微量元素以及 C、O 和 Sr 同位素组成分析。

分析结果显示研究区碳酸盐样品表面多呈黑色，内部为浅黄色或者白色，无明显流体通道。主要矿物为方解石、文石及含铁粘土，颗粒细小。样品整体具有富 Ca 贫 Mg 特征。Si、Al 和 Fe 含量变化较大且在部分样品中相对较高，反映绿泥石、粘土等碎屑矿物的存在。稀土元素总量变化较大，介于 16.4～357.7ppm，平均 72.1ppm。球粒陨石标准化配分模式比较接近，均呈右倾模式，分馏程度大体随稀土总量的增加而减弱，Eu 均呈现负异常。反映海水的重要影响。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均为 0.709154 ，与海水(0.70916)基本相同。碳酸盐 $\delta^{18}O_{PDB}$ 介于 0.143‰～3.414‰之间，$\delta^{13}C_{PDB}$ 介于 0.630‰～1.414‰之间，也主要反映了海水的特征。碳酸盐样品的分析结果表明该区碳酸盐属于正常的深海碳酸盐沉积，其碳源主要是来自海水。Lost City 热液区热液集中喷溢形成的烟囱区仅位于该区中心的局部区域，大部分区域被深海沉积碳酸盐所覆盖(与研究区样品相似)。因此我们目前所获样品为正常深海碳酸盐沉积也是正常的。

基于已有认识，我们提出两种关于 51°E 碳酸盐成因的假设，期望能够通过进一步的调查研究进行验证：（1）51°E 碳酸盐区是与 Lost City 区相似的热液系统，即都是发育在拆离断层上的低温超基性岩控制碳酸盐热液系统。Sauter et al.（2009）认为受到 Crozet 热点作用，该区所处洋脊段在 8-10Ma 之前岩浆供给突然增加。该区距离脊轴 10km，结合该处扩张速率（约 14cm/a），在该段洋脊位于脊轴时其岩浆供给并不充足，因此从理论上讲该区具有发育拆离断层的条件。我们提出两种可能：其一，该区发育在超基性岩基底上，但由于取样密度不够，还没有采到位于该区下面的超基性岩；其二，该区发育在玄武岩基底上，但是受到拆离断层控制（与大西洋中脊 TAG 区相似），洋壳较薄，超基性岩与海水反应形成流体喷出海底，形成该区碳酸盐。（2）51°E 碳酸盐区是一种非 Lost City 型碳酸盐沉淀模式，例如是内波成因等。

S13-P-10

大洋板内成矿作用、机制与成矿系统

李三忠[1,2]，索艳慧[1,2]，戴黎明[1,2]，余珊[1,2]，赵淑娟[1,2]，陶春辉[3]

1 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 国家海洋局第二海洋研究所

Sanzhong@ouc.edu.cn

20 世纪 90 年代以来大陆动力学研究过程中发现陆内具有独特的大陆板内成矿作用和专属性，为深入发展板块构造理论，探索大陆板块内部成矿作用（简称“陆内成矿作用”，胡瑞忠等，2010）和成矿机制开辟了新思路。大陆板内成矿作用研究强调板内壳-幔相互作用过程和板内环境下发生的重大深部构造事件（地幔柱/大火成岩省、岩石圈拆沉、基性岩浆底侵、岩石圈伸展减薄）对成矿的重要制约作用。这种学术理念摆脱了板块构造强调板块边缘成矿机制的束缚，但陆内成矿作用研究依然是现今研究还非常薄弱的领域。

通过海-陆对比研究，可以将大陆动力学研究成果和新的学术观念引入洋底动力学的研究领域。自板块构造提出以来，对于大洋板块的研究也主要侧重在离散型板块边界——洋中脊和汇聚型板块边界——俯冲带的研究，相关成矿作用和机制的研究也主要集中研究这些地带，如活动大陆边缘的天然气水合物成藏、洋中脊的热液硫化物成矿作用近来都受到广泛重视，而大洋板块板内成矿作用研究始终被忽视，更无重大突破。虽然已有大洋洋底多金属铁锰结核和钴结壳的大量调查，但大洋板内成矿环境、成矿过程和机制的研究还没有得到广泛重视，也没有总结分析大洋板内不同类型成矿作用之间的联系，更没有系统总结大洋板内成矿系统的独特性。

太平洋板块板内是一个良好的海底实验室，它经历了长期复杂的构造演化，形成了丰富的构造现象，一直是全球海洋地学科研人员关注的焦点之一，特别是发育于大洋板内的成群、成链分布的海山更是受到国内外学者的广泛关注。这些海山成因复杂，是沟通深部和洋壳浅部的重要纽带，是认识海洋岩石圈演化及洋底动力学的重要研究对象，且与大洋板内成矿关系密切。因此，从整体上系统分析了太平洋海山区/海底高原的类型、时空分布规律、起源、海山/海底高原的构造特征与演化、地形-地貌-地质及其重磁场特征、太平洋海山区/海底高原的岩石圈厚度、洋壳厚度、不同洋底岩石出露区的水岩相互作用差异、大火成岩省与海山的成因关系、大洋板内构造-岩浆过程与富钴结壳成矿间的关系、大洋洋底区域成矿差异性的控制因素非常必要，且都亟待总结分析。区域海底成矿环境，包括物理海洋、地球化学环境对比也尤为重要，如太平洋的富钴结壳含量比大西洋和印度洋的明显要多，与太平洋中分布有大量远离板块边界的板内热点型海山有无密切关系，这对于今后探索大洋板内成矿机制非常重要。

此外，大洋板内成矿作用研究和调查也是我国走向深海大洋研究的必然趋势，调查研究清楚这些海山/海底高原的重力、磁力和精细地貌特征对我国海军走向深蓝也具有重要的推动作用。因此，大洋板内成矿作用研究是未来研究的潜在领域，在海洋科学、海洋经济、海底环境保护和海洋军事等方面都具有重要价值。

S14-O-01

南海北部神狐海域天然气水合物分布特征及其影响因素

王秀娟[1]，吴时国[1]，郭依群[2]，杨胜雄[2]

1 中国科学院海洋地质与环境重点实验室，中国科学院海洋研究所

2 广州海洋地质调查局

wangxiujuan@qdio.ac.cn

南海北部神狐海域白云凹陷 GMGS-1 钻探表明 SH2、SH3 和 SH7 井在 BSR 上的细粒沉积物中含天然气水合物，SH2 井氯离子异常计算的水合物饱和度高达 48%，同时，电缆测井具有高电阻率、高纵波速度和略微

降低的密度测井异常，厚度为25米左右。SH7井氯离子异常计算的水合物饱和度达43%，厚度为20米；但是相邻几百米的SH3井声波测井资料显示多个层段出现低速异常，在BSR上位置，岩心X射线成像表明地层含有天然气水合物的位置，声波测井具有低纵波速度异常，电阻率具有高电阻率异常。由于天然气水合物和游离气都是电的绝缘体，具有高电阻率。因此，仅从测井异常分析看，该层段显示地层含有游离气，但是氯离子显示具有异常低值，表明地层含有水合物。水合物钻探中由于扰动和其它原因，可能导致地层水合物发生分解，产生的气体可能充填在孔隙中，出现该测井异常。仅从测井资料分析，很难确定造成该异常的气体是水合物分解产生游离气还是原位游离气。利用了地震资料，通过不同速度模型进行合成记录对比，假设孔隙空间充填水合物时，分别利用电阻率计算的饱和度、水合物饱和度为30%和不同频率下地层含有游离气时与测井测量速度进行对比，在测井频带地层完全含有游离气，计算的速度小于测井测量的速度，表明假设游离气饱和度偏高，表明游离气部分分解。通过合成地震记录，尽管存在振幅差异，但是假设地层含有水合物时在低速异常段与地震资料相吻合，因此该低速异常是由于水合物部分发生分解造成的。基于不同White 模型参数，计算出水合物分解了大约20%左右[1]。

以钻井资料为约束，利用稀疏脉冲反演获得的声波阻抗剖面，在水合物稳定带上部存在高阻抗异常层，利用测井数据建立水合物饱和度与声波阻抗的关系，能够从地震资料上估算水合物饱和度。从地震数据计算的神狐海域天然气水合物饱和度看，天然气水合物横向具有明显的不均匀性，高饱和度层位于水合物稳定带上部。从SH2井岩心看水合物层粒度组分主要为中粉砂、细粉砂和极细粉砂中，而且与水合物上下层位相比差别并不大；相邻SH1井，从测井资料分析，无论是声波、电阻率及密度测井都无明显异常。通过与其它相邻井位的速度、密度对比分析来看，SH1井的速度与SH2、SH3井背景速度一致。从SH1井岩心的沉积物矿物组分分析看，SH3井与SH2井从海底至水合物稳定带上部地层，岩性并没有明显变化，而且两口井矿物组分也相似。因此，岩性对控制神狐地区水合物形成作用也不是非常明显。

从钻探揭示的水合物层空间分布看，水合物位于BSR上部的地层中，不同位置厚度不同。从地震剖面看，在水合物稳定带下发育气烟囱构造，在地震剖面上形成强反射异常。利用三维地震资料，识别的强反射分布与水合物分布具有对应关系。白云凹陷水合物分布区发育了大量的峡谷，峡谷从中中新世以来发生了迁移，均方根振幅能够刻画砂体分布，发现水合物分布与峡谷强振幅有关。白云凹陷大量断裂、气烟囱沟通了下部油气储层与水合物稳定带底部，下部流体沿气烟囱向上运移并聚集在水合物稳定带下，流体聚集使孔隙内形成超压，流体释放。释放的大量流体使水合物稳定带变薄，大量甲烷气体以气泡形式向上运移，在稳定带具有相对较高孔隙空间处（富含有孔虫和碳酸盐）形成高浓度天然气水合物。

S14-O-02

南海北部神狐海域天然气水合物成藏模式研究

苏正[1,2]，曹运诚[1,3]，杨睿[1,2]，吴能友[1,2*]，陈多福[1,3]，何勇[1,2]，杨胜雄[4]，王宏斌[4]

1 中国科学院广州天然气水合物研究中心

2 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室，广州能源研究所

3 中国科学院边缘海地质重点实验室，广州地球化学研究所
4 广州海洋地质渊查局
* cdf@gig.ac.cn

南海北部陆坡神狐海域是我国海洋天然气水合物勘探开发研究的重点靶区，独特的水合物成藏特征，难以利用当前观测到的沉积速率和流体通量条件对其成藏机理进行解释和量化说明，对其形成演化模式和控制因素尚不明确。本文在研究神狐海域地质构造活动基础上，建立了神狐海域天然气水合物形成演化模式的概念模型，认为神狐海域当前的水合物是在上新世末—更新世早期构造活动基础上聚集演化而成，在早期断裂系统中水流速率很高，快速水流速率携带大量甲烷气体进入水合物稳定带，形成高含量的天然气水合物，在断裂活动接受后，由于受快速细粒沉积作用的影响，水流速率明显降低，水合物增长缓慢，甚至在浅层无法形成水合物，出现水合物空白带，并在此沉积作用和孔渗条件下，发育了目前的水合物产出状态。据此构建了水合物形成演化过程的动力学模型，并以沉积速率和流体通量为主控参量，计算分析了天然气水合物的聚集演化过程，并与实际观测数据进行对比。研究发现，神狐海域天然气水合物形成演化具有典型的二元模式。第一阶段水合物形成发生在距今 1.5Ma 之前构造活动形成的断裂体系中，高达 50m/ka 的孔隙水流动携带了大量的甲烷进入水合物稳定带，导致了水合物的快速生成，在 4 万年内形成了饱和度达 20%的甲烷水合物；第二阶段发生在 1.5Ma 以来，泥质粉砂沉积使沉积体渗透率骤减，0.7m/ka 的低通量水流使甲烷供给不足，在海底浅层沉积体中无法生成水合物，仅在水合物稳定带底部有缓慢的水合物增长，并因此形成了神狐海域当前观测到的水合物产出特征，而且水合物资源量仍在减少。

S14-O-03

南海北部岩浆、火山活动对天然气水合物成藏的影响

陈忠[1*]，颜文[1]，苏新[2]，陈翰[1]，李亮[1]

1 中国科学院 南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室
2 中国地质大学 海洋学院
* chzhsouth@scsio.ac.cn

与火山活动相关的油气藏已成为国际上油气勘探的一个新领域，然而火山活动与天然气水合物成藏相关的研究较薄弱。南海北部大陆坡分布众多的含油气沉积盆地，盆内岩浆、火山活动频繁，因此是研究岩浆、火山活动与天然气水合物的理想海域。研究表明，南海北部新生代岩浆活动规模较小，主要分布在海底扩张之后的洋盆扩张脊、北部的陆洋边界附近。火山岩呈 SW-NE 向分布在珠三坳陷、白云凹陷和东沙群岛海域，但在珠一坳陷和番禺－东沙隆起带也有零星分布。地球化学特征显示，早第三纪火山岩成分较复杂，既有玄武岩，也有较多的中酸性火山岩，岩石系列以钙碱性为主；而晚第三纪火山岩成分较单一，全为玄武岩。

根据岩浆侵入和火山活动年代与构造运动响应，南海北部的岩浆、火山活动可划分为 5 个岩浆活动期：（1）57.1－49.3Ma，（2）47.1－27.1 Ma，（3）24.3－17.1 Ma，（4）10.5－5.2 Ma，（5）1.65－0Ma，分别与神狐运动、珠琼运动、南海运动、东沙运动、流花运动及之后的构造活动相对应。南海运动（30Ma）及以前的构造运动奠定了南海北部油气成藏的基础，第（4）和（5）岩浆活动期即东沙运动和流花运动期间，大规模的基性岩浆侵入和强烈的火山活动促进早期沉积文昌组、恩平组和珠海组的有机质向烃类转化、影响油气成藏，成为天然气水合物成藏的重要气源。

南海北部东沙运动和流花运动期间，基性岩浆侵入和火山活动强烈，岩浆侵入和火山活动对沉积盆地、油气藏进行不同程度的改造，破坏了油气藏封闭条件，导致深部天然气向上排溢或原有的天然气水合物分解，并向上逸散。向上逸散的烃类物质，在温压适合的场所形成天然气水合物。如在东沙海域的天然气水合物异常区，分布多处岩浆岩、海底火山，即使是在采获天然气水合物样品的神狐海区，其深部也展布第（4）期岩浆岩，因此南海北部的海底岩浆和火山活动可能对天然气运移、水合物形成和成藏产生影响作用。

在东沙海区分布大量的岩浆侵入岩和海底火山，与陆地火山喷发相似，在海洋沉积体中，火山喷发过程中对沉积层的侧向挤压和垂向拉张，在离火山通道较远的沉积体中形成透镜状或香肠构造，而在火山通道附近沉积体中形成隆起背斜、侧向裂隙等构造，形成透镜型、隆起背斜、侧向遮挡型以及岩性等圈闭类型，在温度、压力以及气源充足背景下，受热驱动的天然气在有利的储集空间可形成构造型即渗漏型天然气水合物。因此，海底火山及其邻近海域的盆地或断裂构造可能是寻找渗漏型天然气水合物的有利场所。

S14-O-04

冷泉生态系统:探索深海生物地质作用的窗口

Dong Feng[1,2*], Erik E. Cordes [3], Harry H. Roberts [2], Charles R. Fisher[4]

1 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2 Coastal Studies Institute, Department of Oceanography and Coastal Sciences, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA

3 Biology Department, Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA

4 Biology Department, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA

*feng@scsio.ac.cn

The Gulf of Mexico hydrocarbon seeps are often populated by dense mussel and tubeworm accumulations, as well as exposed authigenic carbonate outcrops. Previous studies suggest mussels and tubeworms could influence the sediment geochemistry of their habitats, resulting in variation in the stable carbon isotopes of the associated carbonates. However, this conclusion is based on the analyses of samples from a single site. To better understand whether there are consistent differences in the geochemical environments of mussels and tubeworms, mineralogical and stable isotopic compositions of authigenic carbonates from mussel and tubeworm environments from four seep sites were analyzed. The studied sites span a depth range of 1200 m to 2800 m on the northern Gulf of Mexico continental slope. We found that carbonate samples from tubeworm environments were aragonite-dominated whereas samples from mussel environments were mainly composed of calcite. This finding supports the hypothesis that vestimentiferans release sulfate across their roots into the surrounding sediments, a process that could generate a locally sulfate-enriched environment that favors the precipitation of aragonite instead of calcite. Moreover, the $\delta^{13}C$ values of tubeworm carbonates are generally more negative than that of mussel carbonates from

the same site, which is consistent with the fact that tubeworms are fuelling subsurface methane oxidation through the release of sulfate into the sediment. Such process, consequently, enriches the subsurface dissolved inorganic carbon pool with light carbon derived from the seeping hydrocarbons. Taken together, our data suggest that tubeworms produce a carbon isotope "vital effect" that is sufficient to influence the sediment geochemistry of their immediate area, and that this impact is reflected in the associated authigenic carbonates.

S14-O-05S

墨西哥湾 GC140 冷泉活动过程:来自自生碳酸盐岩的记录

卞友艳[1,4]，冯东[2,3]，Harry H.Roberts[3]，陈多福[1*]

1 中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室

3 Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA；

4 中国科学院研究生院

cdf@gig.ac.cn

冷泉在全球大陆边缘斜坡海底广泛分布，其活动常存在"形成-活跃-枯竭-再活化"的间歇性循环周期。冷泉碳酸盐岩作为冷泉活动的产物，不仅记录了其形成的成岩环境，还记录了冷泉渗漏活动的特征。本文所研究的墨西哥湾北部上陆坡 Green Canyon 140（GC140）区海底冷泉碳酸盐岩很好地记录了冷泉活动过程。研究样品是 1989 年 10 月通过 Johnson-Sea Link 2591 的航次在 GC140 区块（27°48′N，91°32′W），通过机械手在海底浅表层（＜50cm）采集获得，水深为 260m，海底温度为 12.87℃。在样品采集点发现有管状蠕虫和海绵等生物。GC140 与相邻的 GC184 区域海底浅部沉积地层中有一个马鞍形盐丘发育。

采集的冷泉碳酸盐岩为黄色、黄褐色或灰褐色质地坚硬的结壳，也存在半固结的白色、灰白色或淡黄色的结壳。从手标本上可见有些结壳样品表面有沥青，serpulid 蠕虫和生物降解石油，还有破碎的双壳类生物壳体。X 射线衍射分析显示 GC140 冷泉碳酸盐岩主要的碳酸盐矿物为不同比例的高镁方解石和文石，及少量的低镁方解石和白云石。凝块和葡萄状文石等微生物成因组构发育。碳同位素值为-36.1~+5.1‰V-PDB，较大的变化范围指示了微生物成因甲烷、海水、热解成因甲烷或原油等重烃组分的碳源特征。氧同位素值 $\delta^{18}O$ 为+1.8~+3.5‰V-PDB，锶同位素值 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.709162~0.709252，两者均为海水源特征，说明沉积环境可能位于沉积物-海水界面附近。冷泉碳酸盐岩 2% HNO_3 可溶部分（碳酸盐岩相矿物）的稀土元素含量为 13.0-71.1ppm，页岩标准化配分模式表现为中稀土轻微富集，Ce 轻微的正异常，指示了弱还原沉积环境。保存在冷泉碳酸盐岩中的生物壳体 AMS^{14}C 测定结果为 1.2~46.5 ka。

综合岩石学、矿物学、地球化学和生物壳 ^{14}C 年龄数据，结果显示 GC140 冷泉碳酸盐岩样品之间存在系统性差异。最老的样品（46.5~25.8ka）碳酸盐矿物成分以高镁方解石或文石为主，含少量白云石，$\delta^{13}C$ 为-23.2~+5.1‰，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.709178~0.709370，碳和锶同位素值变化均较大；形成于 22.1~11.7ka 间的冷泉碳酸盐岩矿物成分中出现 11-13%的低镁方解石，生物碎屑含量和石英等岩屑含量较高，碳同位素 $\delta^{13}C$ 多数在-16.8~-8.8‰之间，显示中等亏损，且变化较小。锶同位素值相对较低，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 在

0.709170~0.709191 之间；而最年轻的样品（1.2ka±）碳酸盐矿物以文石为主（83%），含少量的高镁方解石，生物碎屑含量极少，生物成因沉积组构发育，碳同位素最负，$\delta_{13}C$ 为 -36.1~-26.8‰，锶同位素 $_{87}Sr/_{86}Sr$ 为 0.709162~0.709208，两者变化范围都很小。这三个阶段形成不同的矿物和地化特征可能与研究区 GC140 底部的盐丘活动及其引起的附近 Jolliet 油气藏破坏渗漏有关。第一阶段盐丘活动缓慢，多数与海水源接近的碳同位素值指示了流体基本来源于海水，同时存在少量间歇性来源于 Jolliet 油气藏渗漏的流体；第二阶段盐丘活动活跃，Jolliet 油气藏的渗漏流体逐渐增强，形成了碳同位素中等亏损的碳酸盐岩，同时盐丘活动可能提供了低 Mg/Ca 的盐水，从而改变流体成分，形成特征性的低镁方解石；第三阶段，随着通道的扩大，Jolliet 油气藏渗漏急剧增强，活动流体以油气藏的热解成因烃类渗漏流体为主，从而形成与其碳同位素值相似的碳酸盐岩。

S14-O-06

孔隙空间水合物的生长与分布

吕万军

中国地质大学

luwanjuncug@126.com

海洋天然气水合物即将成为本世纪常规油气枯竭后理想的替代能源。由 DSDP 和 ODP 钻井发现的 80%以上的天然气水合物矿层都处于溶解甲烷与水合物稳定共存的二相区内，通常比由三相平衡预测的水合物稳定的热力学底界高几十米到几百米。以处于稳定域内部的水合物矿层为实验模拟研究对象，研究孔隙空间水合物的生长与溶解过程、探索水合物矿层聚散规律，是掌握海底水合物矿层聚集和散失机理、总结水合物成矿规律的重要途径。宏观上海平面变化、构造抬升与沉降、沉积物堆积压实与剥蚀减压，都影响着微观孔隙空间温度压力的变化以及流体的流动样式，从而控制着孔隙空间水合物的动态聚散与分布。

海底水合物实际赋存部位受稳定域和甲烷含量这两个成藏要素的控制。“稳定域+孔隙流体的甲烷饱和”是水合物存在的充分必要条件。水合物存在时水中甲烷的饱和浓度是维持水合物存在所必须的甲烷含量。当流体中甲烷含量超过这一浓度时甲烷便会发生水合从而形成水合物，当流体中甲烷含量小于这一浓度时水合物便会向水中溶解以增加溶解甲烷量。

实验表明，温度是影响孔隙流体中饱和甲烷浓度进而影响水合物生长与溶解的重要因素，与水合物平衡的流体中所需甲烷含量随温度升高而增加，压力对水合物的溶解平衡相对较小，压力增加一定程度上使溶解甲烷向水合物转变。盐度的增加，使与水合物平衡的流体中所需甲烷含量变小。

观测发现，水合物生长速率受控于水合物表面的反应速率与流体中甲烷物质传输速率的双重制约。水合物表面的反应速率主要取决于本征反应速率系数与特定温压和溶解甲烷浓度下体系远离生长-溶解平衡的程度。甲烷的通量则取决于溶解甲烷浓度与孔隙流体流速、溶解甲烷浓度梯度与扩散系数。在低甲烷通量的条件下，水合物表面的反应速率大于甲烷等物质供给的速率，整个水合物的生长速率受甲烷的通量所控制，而高通量前提下水合物表面的反应速率则存在不足以及时消耗大量甲烷供应的情形，部分甲烷直接路过而不能吸附和沉淀于水合物表面。

大量的合成实验发现，高甲烷通量生成的水合物通常胶结沉积物颗粒并充填堵塞孔喉，使孔渗性发生巨大的变化。而低甲烷通

量生成的水合物既可以附着在沉积物表面，也可以悬浮于孔隙内部。从而自然界水合物的形成聚集取决于甲烷的供应，因而气源充足对水合物矿床的形成和保存具有重要的意义，含甲烷流体的输运对沉积物孔隙空间水合物的聚散分布样式具有重要的控制作用。

S14-O-07

南海北部陆缘深水沉积体系层序地层特点

解习农[1]，王振峰[2]，Benjamin Kneller[3]

1 中国地质大学资源学院 武汉，430074

2 中海油（中国）有限公司湛江分公司 湛江 524357

3 Department of Geology and Petroleum Geology, University of Aberdeen, UK, AB24 3UE

xnxie@cug.edu.cn

层序地层学理论提出依赖于大陆边缘沉积学研究，大陆边缘地区是沉积物供给最充分的地区，也是构造沉降变化最为频繁地区，因而，过补偿与欠补偿频繁交替极易形成各种不同类型的层序界面，比如三级层序的不整合层序界面。然而，在欠补偿的深水地区，如何确定与滨海地区不整合界面对应的层序界面往往是十分困难的。近年深水油气勘探及地质调查揭示深水区除悬浮泥质沉积及化学沉积外,还发育大量重力流沉积(如:块体流、浊流)以及深水底流沉积，形成了丰富的深水沉积体，如大型块体流沉积体、深水峡谷、海底扇、等深流漂积体等。与浅水大陆边缘相比，深水体系层序地层具有以下特点：①深水体系总是欠补偿的水下沉积区，不可能形成类似于滨岸带全区发育的暴露不整合界面，尽管由于滑塌、块体流或浊流冲刷形成一些下切侵蚀界面，但这些界面通常不具有全区可比性；②深水体系构成的复杂性，对于深水碎屑岩沉积区而言，主要由块体流、浊流、等深流和深海泥质沉积所组成，不同沉积相具有不同的沉积作用方式和内部构成，特别是陆坡沉积物的不稳定性导致块体流或浊流形成是与海平面变化、沉积物供给和陆坡微地形变化密切相关；③沉积物堆积方式的复杂性，深水区既有来自不同物源的重力流沉积以及悬浮沉积的深海泥质沉积，也有各种洋流作用所形成的等深流及大型漂移体沉积（contourite）；④沉积物源的复杂性，深水体系沉积物在陆坡之下既可形成点物源，如陆坡峡谷或深海峡谷体系及其海底扇，也可以沿陆坡形成线物源。

南海北部大陆边缘深水区广泛发育大量重力流沉积以及深水底流沉积，特别是10.5Ma之后形成了丰富的深水沉积体，如大型块体流沉积体、深水峡谷、海底扇、沉积物波、等深流漂积体等，导致了浅水区三级层序界面与深水区层序界面对比困难。南海北部陆缘深水区层序地层样式很难完全套用经典大陆边缘盆地层序地层样式，其发育演化具有其独特性。这些深水重力流沉积体主要发育于低位体系域或海侵体系域早期，根据深水区重力流发育特点，研究区深水区层序地层具有3种样式，一类是海底扇和斜坡扇发育地区，该类层序与经典的陆坡发育区层序样式相同；一类是块体流发育地区，该类层序发育于陵水-宝岛凹陷的莺歌海组；另一类是中央峡谷发育地区，该类层序低位体系域通常以浊积水道沉积为主，海侵和高位体系域以块体流沉积和深海泥质沉积为主。

S14-O-08

白云深水区东翼陆坡峡谷水道体系特征及沉积环境演变意义

柳保军，庞雄，颜承志

中海石油（中国）有限公司深圳分公司研究院 广东广州 510240

liubj2@cnooc.com.cn

南海北部白云深水区东翼发育一近南北向延伸的陆坡峡谷水道体系，受控于古珠江三角洲和东侧东沙隆起沉积物源供给的共同作用，形成了陆源碎屑岩和碳酸盐岩等两种物源主控下的陆坡峡谷水道复合沉积体系。层序地层研究揭示，该峡谷水道系统自陆架坡折带起延绵超 150km，是南海北部暨琼东南盆地中央峡谷水道体系之后发现的又一具有巨型规模的古深水沉积运载系统；受古珠江三角洲和东沙隆起碳酸盐岩台地等双物源体系控制下的白云深水陆坡区发育复杂的峡谷水道体系，以 SQ21.0 层序最为典型。

该复合峡谷水道体系整体呈现为上、中和下三段式特征，三维区高分辨率层序地层揭示在低位期主要发育碎屑岩物源型峡谷水道充填，而海侵和高位期发育碳酸盐岩物源型峡谷水道充填：①低位期古珠江三角洲和东沙滨岸碎屑岩体系下的水道系统整体呈近南北向分布，位于陆架坡折带附近的上段为向海一侧推进的低位陆架边缘三角洲控制的直线型-面流型复合水道体系、水道方向呈现由 NW 向 NE 弧形分布特征；中段峡谷水道体系呈现出汇聚型特征，多个方向的水道逐渐汇聚成 NS 向，出现了多条继承性水道-天然堤系统；下段呈现发散特征、开始发育一定规模朵叶体沉积，水道出现象西南和东南发散延伸的特征；②海侵期则以发育巨型碳酸盐岩重力流作用的峡谷水道为特征，峡谷水道自东沙碳酸盐岩台地边缘一直延伸至下陆坡，延绵长度超 150km；该峡谷水道体系的上段出现强烈的侵蚀、早期地层被搬运至下段的南部区域；同时，在中下段发育强振幅反射充填特征，显示为灰岩充填、与东沙隆起灰岩发育高峰期对应。

陆坡峡谷水道体系沉积特征表明在层序发育的低位期(21.0Ma 左右)为碎屑岩沉积作用为主，受控于古珠江三角洲和东沙隆起滨岸两大物源体系、陆架边缘坡折带和陆坡微地貌控制，在陆坡下方形成线流-面流型的富砂深水重力流水道沉积体系；此后，海侵期陆源碎屑物源供给后退近 100-200km，东沙隆起逐渐淹没、海侵作用增强，导致陆坡陆源碎屑岩重力流衰弱，而东沙隆起区淹没时远离陆源区、高地貌区有利于碳酸盐岩礁滩的发育，特别是 18.5Ma 左右东沙隆起主长礁期，礁滩快速发育造成陡峭的台地边缘，相当多的碳酸盐岩碎屑被打碎、带到陆坡区，受单一碳酸盐岩物源及稳定的峡谷通道等微地貌控制，海侵期从陆架边缘到陆坡区形成规模巨大的碳酸盐岩侵蚀充填型峡谷水道体系。值得注意的是碎屑岩型水道发育时，陆架坡折带附近的大规模侵蚀下切出现在低位早期；而碳酸盐岩型水道发育时，受控于生物礁形成的陡坡和高物源供给条件，大规模下切侵蚀则出现在海侵期，同时，高位期也有一定规模的碳酸盐岩碎屑从台地区搬运至深水陆坡区。该沉积演变也反映出 23.8Ma 事件（白云运动）导致该区强烈的沉降特征，体现出古珠江陆架边缘三角洲和碳酸盐岩台地等两大物源供给体系相互作用及陆架坡折带控制下的巨型陆坡峡谷水道体系沉积环境演变意义。

S14-O-09

珠江流域沉积物特征及南海北部的沉积充填

邵磊，乔培军，赵梦，向绪洪

同济大学海洋地质国家重点实验室

lshao@tongji.edu.cn

沉积物元素地球化学分析表明，南海北部地区沉积物渐新统与中新统明显不同，两者之间存在物源突变事件。这一沉积地质事件在时间上与南海扩张轴发生跳跃、滇西高原以及东喜马拉雅构造结的快速隆升等一系

列地质构造事件十分吻合，是珠江以及珠江口盆地搬运—沉积—充填演化史上一次重大的转变。Ca/Si、CIA 以及 Al_2O_3 等参数变化显示，珠江侵蚀区由渐新世近源硅酸盐为主的华南沿海地区拓展为中新世远达青藏高原东麓的云贵高原碳酸盐为主的地区，流域范围突然扩大。同时伴随沉积物供给增大，造成珠江口盆地从渐新世富砂为主的沉积堆积体系转变为中新世以来以泥为主的沉积堆积体系。经过这次构造事件，白云凹陷由渐新世晚期的浅水陆架环境转为中新世以后的深水陆坡环境，并使南海北部地区自中新世以来总体呈现海侵的特点。

珠江流域沉积物重矿物组合与源区岩石特征具有极好的相关性，不同支流的重矿物组合及其代表性特征矿物差别明显。根据重矿物组合类型、重矿物特征指数及相关性分析可以把珠江流域源区类型从西到东分为三个区带，西部区带为西江上游源区，其重矿物组合类型为磁铁矿+钛铁矿+锆石+白钛石+磷灰石，特征矿物为磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、铬铁矿，在该区域除大面积分布的碳酸盐岩外，发育变质岩和基性岩组合，有少量超基性和酸性岩浆岩；中部为西江中下游源区，重矿物组合类型为锆石+钛铁矿+磁铁矿+电气石+白钛石+绿帘石，特征矿物为辉石、白钛石、锆石、绿帘石，母岩出露区以碎屑岩类沉积岩为主，有少量变质岩和基性、酸性岩浆岩，其重矿物组合特征除了反映源区母岩的组合特征外，还由上游搬运而来的重矿物组合改造而成，属混合来源；东部为东江和北江源区，重矿物组合类型为角闪石+电气石+磁铁矿+钛铁矿+绿帘石+石榴石，特征矿物为角闪石、电气石、榍石、石榴石、矽线石，代表该区域大面积覆盖的酸性岩浆岩组合特征，夹部分变质岩及少量沉积岩。研究结果显示，利用重矿物组合特征示踪珠江流域物源演变历史具有可行性。该研究结果对揭示珠江流域沉积物剥蚀-搬运-沉积规律，开展源汇对比分析具有重要意义。

S14-O-10

南海北部陆坡区神狐海域天然气水合物不均匀性分布特征：证据和解释

苏明[1,2*]，杨睿[1,2,3]，吴能友[1,2]，王宏斌[4]，梁金强[4]，沙志彬[4]，丛晓荣[1,2]

1 中国科学院广州能源研究所可再生能源与天然气水合物重点实验室

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

3 中国科学院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所

4 广州海洋地质调查局

*suming@ms.giec.ac.cn

2007 年在南海北部神狐海域组织实施了我国海域天然气水合物的首个钻探航次，确定水合物分布面积 15km^2。钻探结果显示，神狐海域天然气水合物的平面展布和饱和度的垂向分布呈现出明显的“不均匀性”特征。为了进一步明确该区域天然气水合物富集规律，揭示水合物分布的关键控制因素，本次研究以神狐海域水合物钻探区为研究目标，综合利用岩心、测井、2D-3D 地震等数据，建立研究区高精度层序地层格架，对各站位数据进行时空尺度的精细对比，分析晚中新世以来构造–沉积背景、气体供给、运移条件、温压条件等与天然气水合物分布之间的关系。研究结果认为：对于神狐海域这样一个“面积小、气源足、运移好（断裂和底辟）、温压条件适宜、构造稳定”的有限区域，构造样式和现今热流值差异可能并不能完美解释水合物的“不均匀性”分布特征。

受周缘沉积物供给、地貌条件、构造背景等因素的影响，自晚中新世以来，神狐海域发育有多种类型的浅层深水沉积体，如深

水峡谷、滑塌体、滑移体、深水扇等，整体上表现为“多类型、多期次、相互叠合”的特征。水合物钻探区东西两侧 BSR 之上的地层存在明显差异：东部为强振幅反射、连续性好的地层，发育大量的滑脱断层，表现为滑移体特征，而西部地层的反射能量弱，连续性差。此外，BSR 以上的地层在反射特征上发生了明显变化，由底部的弱振幅、差–中等连续性突变为顶部的中等–强振幅、中等–好连续性，指示 BSR 之上的深水沉积体在内部构成上存在着差异。这些差异性都说明，尽管神狐海域自晚中新世以来的地层岩性相似，整体上由一套相对细粒的有孔虫粉砂质黏土–黏土质粉砂组成，但其指示的沉积体类型和沉积背景不尽相同。

岩心–测井尺度的有利沉积单元划分和地震尺度上的沉积单元时空演化，在垂向序列和平面分布上均显示了浅层深水沉积体的“非均质性”特征。将浅层深水沉积体的内部精细构成和宏观展布特征纳入到神狐海域天然气水合物实际分布的背景之中，可以发现浅层深水沉积的“非均质性”特征与天然气水合物的“不均匀性”分布之间具有良好的时空耦合关系，这种相关性进一步暗示了神狐海域天然气水合物“不均匀性”分布的主控因素——浅层深水沉积体的“非均质性”。

S14-O-11

南海北部陆坡神狐海域峡谷形态及浅地层特征研究－天然气水合物存在与分解的新证据

陈泓君

国土资源部广州海洋地质调查局

chhju@163.com

研究区位于南海北部陆坡神狐海域，通过高分辨率多波束水深及数字单道地震测量手段，新发现了一系列海底峡谷群，在对峡谷群进行精细地形和浅部地层结构探测的基础上，对其形态及浅地层结构特征开展综合研究。

地形地貌资料表明，研究区水深变化范围在 300～2000m 之间，等深线呈 NE-SW 向展布，水深由 NW 向 SE 逐渐变深。海底峡谷主要分布在水深 400～800m 区域。区内海底坡度平缓，平均坡度 1°～2°，仅在峡谷两侧坡度较陡。最大坡度可达 15°。

根据最新调查所获取的多波束水深资料分析，研究区内峡谷群由四条规模不等的海底峡谷及三条规模较小的槽谷。峡谷和槽谷大致呈 NW 或 NNW 向展布，长度在 8～25km 之间，宽度为 1.5～4km，下切深度最大可达 175m，其剖面形态主要呈“U”形。峡谷及槽谷平面形态有直线型和喇叭型两种，槽谷无论其宽度、深度及延伸长度均小于峡谷。

高分辨率单道地震剖面清晰地揭示了研究区浅地层地震反射及结构特征，根据地震反射特征，研究区自下而上可进一步划分为 U1 及 U2 两套地层。

U1 层厚度大于 400m，为中-高频、强振幅、高连续、平行-亚平行，波状地震反射特征，总体上反映一套较为稳定的半深海相沉积环境。

U2 层地震相总体上以高频、强振幅、中-高连续、平行-亚平行反射，席状披覆外形特征为主。在 NE-SW 方向上厚度变化较均匀，厚度约 400～450m，NW 方向上该层呈楔状分布，往下陆坡方向厚度逐渐减薄，由 400m 减薄至 250m。

峡谷区地层地震反射特征主要以杂乱或低连续反射为主。NW 向地震剖面揭示该层内部发育一组犁式正断层，断层间距约 500m，沉积物沿断层面向下滑动且内部发生褶皱变形，并在海底形成波状起伏的滑坡痕。地震

反射特征表明 U2 层上部在峡谷区可能受到强烈扰动，并在海底形成滑坡体。

综合研究表明地层存在大规模的滑塌体，其分布范围主要位于峡谷区。在峡谷区外地层以高连续，平行-亚平行反射为主，而在峡谷区，地层则以杂乱或波状反射为主，且内部发育犁式正断层。而在滑坡现象广泛发育的神狐海域已成功钻取天然气水合物样品，这表明研究区可能存在与水合物分解密切相关的滑塌体。南海北部陆坡构造坡折带 D 区水合物分布特征研究表明，该区海底地形地貌复杂，断层发育，分布有 6 个规模不等的 BSR 带，大体呈 NW-SE 向相间展布，与海底峡谷延伸方向较为一致，这表明海底峡谷与 BSR 之间存在一定的对应关系。

进一步研究分析表明，研究区发育的杂乱反射体其埋藏深度约为 230m，与南海北部神狐海域发现天然气水合物矿体的埋藏深度大致相当，高分辨率单道地震还表明研究区下陆坡同时存在 BSR。

结合以往研究成果，本文认为研究区海底峡谷的形成与水合物分解有关，水合物分解导致浅地层沿 NW 向区域断裂发生塌陷，并在底流冲刷作用下形成海底峡谷及槽谷地貌，亦即海底峡谷是水合物分解及其有关的滑塌体在海底地貌上的反映。研究区峡谷属滑塌型海底峡谷，其形成时间较晚，处于幼年期阶段，推测为第四纪期间形成。

本文对深入了解南海陆坡海底地貌的发育演化，指导水合物资源调查等具有重要的科学意义。

S14-O-12S

南大西洋盆地群结构对比及其对油气富集的意义

程小岛 [1,2]，李江海 [1,2]

1 北京大学地球与空间科学学院

2 北京大学石油与天然气研究中心

chengxiaodao@126.com

深水油气资源是全球油气勘探开发的热点，目前全世界油气储量的主要增长位于深水区。其中，深水油气资源主要分布在南大西洋两岸巴西和西非被动陆缘的盆地中，因此分析其构造演化过程和盆地结构特征具有重要的意义。本文主要通过对巴西（佩洛塔斯盆地、桑托斯盆地、坎波斯盆地、埃斯皮里图桑托盆地和塞尔西培阿拉戈斯盆地）和西非（宽扎盆地、刚果扇盆地、下刚果盆地、加蓬盆地、里奥穆尼盆地和尼日尔三角洲盆地）被动陆缘含油气盆地群的演化和地质剖面的研究，对比其盆地结构的特征及其对油气富集的意义。

巴西与西非被动陆缘盆地群的演化受控于南大西洋的张开。南大西洋于晚侏罗世-早白垩世由南向北逐渐张开，洋盆扩张使南美与非洲大陆逐渐分离，直至晚阿尔普特阶-早阿尔必阶结束。巴西、西非被动陆缘盆地群的演化与南大西洋张开一致，主要可划分为前裂谷阶段（晚侏罗世-早白垩世）、同裂谷阶段（凡兰吟阶-巴雷姆阶）、过渡阶段（阿尔普特阶-阿尔必阶）和后裂谷阶段（晚白垩世-至今）。前裂谷阶段为结晶基底或内克拉通坳陷沉积；同裂谷阶段沉积河流-三角洲和湖相页岩；过渡阶段为陆相和海陆过渡地层，过渡地层之上局部沉积一套巨厚蒸发岩层；后裂谷阶段沉积碳酸盐岩台地及海相碎屑岩。

盆地群演化的不同阶段其结构特征有所差异。在同裂谷阶段，盆地群主要发育高角度的铲状断层，堑垒构造或半地堑构造。过渡阶段，含盐盆地（除佩洛塔斯盆地和塞尔西培阿拉戈斯盆地外）主要在堑垒结构或半地堑结构之上沉积了一套巨厚膏盐层，膏盐层的存在为油气圈闭和封盖提供了有利条件，并且影响上覆地层的结构发育。后裂谷早期，盆地发育重力滑动断层，由于伸展作用盆地

向海一侧发育斜坡。后裂谷晚期，不含盐盆地（佩洛塔斯盆地和塞尔西培阿拉戈斯盆地）结构较为简单，与后裂谷早期相似发育重力滑动断层和地堑构造。而含盐盆地结构相对复杂，巴西盆地群发育盐背斜、盐底辟和盐焊接等构造，在盐底辟向陆一侧发育铲状逆冲断层，在盐顶构造虚脱带发育负花状构造。西非盆地群，除发育重力滑动断层和地堑构造外，盆地斜坡前缘发育盐逆冲断层，中部发育盐背斜、盐底辟和盐焊接等构造。

对比：1.南大西洋含油气深水盆地结构主要可以大致可分为两层，同裂谷阶段的铲状断层、堑垒和半地堑构造；后裂谷期重力伸展作用下发育的重力滑动断层和斜坡，以及由于盐滑脱引起的盐背斜、盐底辟等构造。

2. 含盐盆地与不含盐盆地结构的差异。由于膏盐的塑性、浮力以及易形变等性质，使后裂谷阶段伸展背景下盆地结构具有较大差异。含盐盆地发育多种盐构造类型（如盐背斜、盐底辟和盐焊接等），并对盐上覆地层的结构产生影响（如盐顶的负花状构造）。不含盐盆地构造较为简单，仅为重力滑动断层以及地堑构造。

3.对比南大西洋两岸的深水盆地群，非洲一侧盆地宽缓，地层倾角缓，平缓过渡至南大西洋，斜坡前缘发育巨厚盐指状构造；而南美一侧盆地较窄，地层倾角陡，主要发育盐底辟构造。

对油气富集的意义：南大西洋盆地群主力烃源岩为同裂谷期沉积的湖湘页岩，而期间发育的众多正断层，为油气的运移提供良好的通道。过渡阶段沉积的膏盐层对油气的保存起着重要作用。另外，含盐盆地多种盐构造类型的发育，也同样起到了沟通同裂谷阶段主力烃源岩与上覆储层的作用，并且提供了多种油气圈闭。

S14-O-13

南海北部边缘盆地油气(水合物)成因及运聚规律与勘探新领域探讨

何家雄[1]，马文宏[2]，祝有海[3]，龚晓峰[1]

1 中国科学院边缘海地质重点实验室

2 中海石油有限公司湛江分公司勘探开发部

3 中国地质科学院矿产资源研究所

hejx@gig.ac.cn

南海北部边缘盆地处在欧亚板块、印度～澳大利亚板块及太平洋板块等三大板块交汇处之特殊大地构造位置，亦是古特提斯构造域与古太平洋构造域的混合叠置区，故区域地质背景复杂、盆地形成演化颇具特色、第三系沉积及烃源岩发育（既发育巨厚中新统海相坳陷沉积烃源岩亦有广泛分布的古近系中深湖相烃源岩）、油气地质及地球化学特征与运聚成藏规律独特、油气成因类型多而较复杂、油气资源丰富，尤其是 CO_2 和天然气水合物资源潜力大。根据南海北部边缘盆地油气地球化学特征及勘探与研究程度，迄今为止油气勘探中发现的烃类油气成因类型可以划分为生物气及生物-低熟过渡带气(亚生物气)、热成因正常成熟油气和高熟-过熟油气等 3 型 7 类；CO_2 等非烃气成因可划分为壳源型、火山幔源型及壳幔混合型 3 种类型和相应的壳源有机、壳源无机、火山幔源及壳幔混合等 4 类；非常规天然气——天然气水合物成因类型则可划分为热解气、生物气及亚生物气和生物气与热解气的混合气，但以生物气及生物-热解混合气为主。其中，成熟陆源石蜡型油气主要分布于北部湾盆地和珠江口盆地，其是南海北部大中型油气田的主要油气成因类型；成熟～高熟煤型凝析油气则主要展布于琼东南盆地西部及珠江口盆地部分地区，属南海北部大中型天然气田

的主要天然气成因类型；高熟煤型气及 CO_2 等非烃气主要富集于莺歌海盆地泥底辟带浅层及琼东南盆地东部和珠江口盆地部分区域，其是莺歌海盆地大中型天然气田的主要天然气成因类型；深水油气及天然气水合物则分布于琼东南盆地南部裂陷带及珠江口盆地南部裂陷带等陆坡深水区，深水油气的成因类型多属成熟-高熟（油型/煤型）油气，而天然气水合物则以生物气、生物-热解混合气为主。根据南海北部边缘盆地不同成因类型油气地球化学特征及运聚成藏规律，结合该区油气勘探成果及油气地质条件综合剖析，可以对其油气资源潜力及有利油气勘探方向进行如下综合评价与预测即：①成熟陆源石蜡型油气主要分布于北部湾盆地和珠江口盆地浅水区，是南海北部石油资源潜力最大的区域，因此，石油勘探应继续深化北部湾盆地涠西南凹陷的勘探，全面拓展和开辟该盆地乌石-迈陈凹陷及雷东凹陷油气勘探新区，尽快争取商业性突破。珠江口盆地则应以北部裂陷带及周缘陆架浅水区为石油勘探重点区，继续深化该区中浅层石油勘探，尽快突破和开辟中深层古近系半地堑石油勘探新领域；②成熟～高熟煤型凝析油气和煤型气主要富集于琼东南盆地西部及莺歌海盆地和珠江口盆地西部浅水区，是南海北部天然气资源潜力最大的区域。因此，天然气勘探应以莺-琼盆地为重点，深化该区中浅层天然气勘探，扩大天然气储量规模，尽快突破和开辟莺歌海盆地中深层天然气勘探新领域；③成熟-高熟（油型/煤型）油气及生物气、生物-热解混合气型天然气水合物，是南海北部深水区主要油气成因类型，油气资源潜力巨大，亦是海洋油气资源战略接替及可持续发展的重要选区。因此，深水油气勘探应是南海北部油气勘探可持续发展的必然趋势，该区应以琼东南盆地南部华光凹陷及乐东-陵水凹陷、松南-宝岛凹陷和珠江口盆地南部白云凹陷及南部隆起等区域为重点勘探突破口，在已有发现的基础上进一步扩大勘探成果，争取尽快获得深水油气勘探及天然气水合物勘查的重大突破，为构建南海北部油气资源大区奠定雄厚的物质基础！

S14-O-14S

利用重磁资料研究南海北部中生界分布特征

王万银[1]，王元[*1]，张莉[2]，林珍[2]，杨永[2]

1 长安大学重磁方法技术研究所

2 广州海洋地质调查局

wy3248891@163.com

南海北部陆海区位于华南大陆的南部边缘，夹峙在印度板块与太平洋板块之间。在中生代既受特提斯开启、关闭的影响，也受太平洋板块北西方向向欧亚大陆板块俯冲、挤压的影响，进入新生代后发生扩张形成一系列沉积盆地。在不同地质历史时期，表现出不同的构造运动特征，演化历史极具特色。长期以来，在该区域新生代沉积盆地中发现大量油气资源。随着勘探技术的不断进步以及对油气资源需求的不断增长，前新生代海相碳酸盐岩层系油气勘探成为关注焦点，亦成为油气资源接替的突破点。已有测井资料证明南海北部东沙隆起区存在中生代海相地层，但中生界分布范围与残留厚度问题仍未得到解决。近几年南海北部海域的地震资料对前新生代层系的反映能力差，且覆盖面积有限，为评价南海北部中生界油气资源潜力，利用重磁资料具覆盖面广的优势研究该区域中生界分布极具必要性且意义重大。

重力异常是对地下地质体密度分布不均匀性的反映，高密度体表现为重力高，而低密度体则表现为重力低。对该区域密度资料统计结果显示：中生界密度小于前中生界，

故可用重力低并结合新生界基底性质圈定中生界分布范围。本次所用重力异常是卫星测高重力异常在消除海水与新生界影响之后得到的基底剩余重力异常。磁力异常是对地下地质体磁性分布不均匀的反映，一般火成岩的磁性大于沉积岩，结合磁力异常将利用重力异常划分的中生界按岩性又分为中生界沉积岩（低磁异常区）和中生界沉积岩夹火成岩（高磁异常区）。最后，利用基底剩余重力异常，结合部分地震资料约束，采用多次迭代算法反演了该区域中生界残留厚度。

研究结果表明：南海北部广泛分布中生界，陆区主要集中在粤北、粤东、粤中及闽西南。海区中生界主要分布在研究区东部，在一统暗杀东断裂以东，笔架盆地以北以及台西南盆地北部广泛分布中生界。海域中生界平面上呈 NE 向带状分布。反演计算的中生界残留厚度结果显示，海域中生界残留厚度介于 800m 至 9800m，平均残留厚度 2000m 左右。以澎湖-北港-东沙隆起为界，其南侧的中生代沉积岩地层分布范围广且残留厚度较大，受侵入岩的影响小，为该区域中生界保存最好的区域。

S14-O-15

南海北部中生代构造演化及成盆机制探讨

施和生[*1]，张青林[1]，张向涛[1]，许长海[2]，邵磊[2]

中海石油（中国）有限公司深圳分公司

同济大学海洋与地球科学学院

*zhangxt1@cnooc.com.cn

南海北部及相邻地区中生代处于特提斯多岛洋和古太平洋两大构造域的连结地带，中-新生代过渡期又经历了从主动大陆边缘到被动大陆边缘的转换过程。这种构造演化过程及其伴随的古地理、古环境演变是东亚乃至西太平洋地区最重大的构造事件，由此形成的一系列沉积和构造保存了关于这一地区地质演化的丰富信息。因此，南海北部中生代构造演化及成盆机制研究，一直是解决西太平洋及东南亚诸多地质学问题（比如南海的早期演化）的关键，而且对于开拓我国海洋油气勘探新领域具有十分重要的现实意义。然而南海北部早期构造演化一直缺乏准确的地质资料佐证。

本次研究通过对南海北部潮汕坳陷第一口中生界区域探井 M-1 井火成岩进行系统的锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学分析，取得了一系列新的认识。M-1 井底钻遇早侏罗世低钾钙碱性花岗岩，属于地幔分异型花岗岩，指示早侏罗世 M-井南面的潮汕坳陷发育洋壳。对 M-1 沉积岩中火成岩夹层进行定年及地化分析，表明潮汕坳陷北侧发育晚侏罗世、早白垩世至少两期火山弧；进一步明确了早期有争议的放射虫硅质岩段的时代为晚侏罗世，其沉积于大陆岛弧弧前环境。

依据 M-1 井的最新火成岩定年结果，结合古生物鉴定结果，联系在地震剖面上厘定出的地层角度不整合，可将南海北部中生界分为 T3 之前、T3-J1、J2-J3、K1、k2 五个构造层。

对珠江口盆地钻井和华南大陆边缘花岗岩类开展 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年，获得了 163.8~100.4Ma 年龄记录。将北巴拉望 165~136Ma 的俯冲增生沉积、潮汕坳陷 M-1 井的晚侏罗世大陆岛弧弧前的放射虫硅质岩、南沙的俯冲型埃达克岩(159~120Ma)、珠江口盆地的岛弧型花岗岩(164~100Ma)、南岭的板内伸展型高分异 I 型花岗岩类(164.6~99.0Ma)联接起来，区域上就可构成受古太平洋板块强烈俯冲控制的由海到陆变化的华南晚中生代活动大陆边缘的“沟–弧–盆”模式(165~100Ma)，即俯冲带→增生杂岩→弧前盆地→岩浆弧→弧后板内伸展，板块俯冲带位

置大致沿台湾、北巴拉望一线展布。

本次研究还对珠江口盆地裂陷湖盆底部一直被认为是代表南海北部初始裂陷的一套火山岩系进行系统的采样和锆石 U-Pb 定年分析，其年龄区间为 60-51Ma。南海南部礼乐盆地、南海北部台西南盆地均缺失上白垩统沉积，南海北部潮汕坳陷也不发育控制白垩统沉积的正断层。因此，南海北部中-新生代过渡期主动向被动大陆边缘转换的时间可定为~60Ma。

综合区域构造、岩浆岩年代学及构造环境、盆地结构与构造变形特征、区域岩相古地理演变等，将南海北部中生代构造演化与成盆机制归纳为：（1）古特提斯构造域陆块会聚碰撞主导与南海北部有限洋盆（T1~T2）、（2）古太平洋板块有限俯冲作用与南海北部以古特提斯残余洋盆为基础的初始弧前盆地（T3~165Ma）、（3）古太平洋板块两阶段强烈俯冲主导与南海北部两幕弧前盆地（165~J3、K1）、（4）古太平洋板块俯冲向太平洋板块俯冲过渡与南海北部陆内前陆盆地(K2)、（5）(65 ~51Ma)太平洋板块斜向俯冲与南海北部初始裂陷。

S14-O-16

等离子体震源:基础原理及在海洋勘探中的应用

严辉[1,2]，黄逸凡[1,2]，刘振[1,2]，闫克平[1,2*]

1 浙江大学生物质化工教育部重点实验室

2 浙江大学化学工程与生物工程学系

*kyan@zju.edu.cn

本文介绍了一种用于海洋高分辨率地震勘探的等离子体震源系统。针对基于海水中脉冲电晕放电技术开发的等离子体震源设备，分别从电路基础分析、等离子体放电过程和气泡脉动以及脉冲声波辐射三个方面进行了理论分析和实验研究，给出了单电极条件下电源能量效率、气泡脉动及声波辐射的实验结果。同时介绍了近 9 年来等离子体震源的研发历程、单脉冲能量为 500J、10kJ 和 50kJ 等典型样机的设计参数和设备特点，阐述了设备在高分辨率海洋地震勘探领域的成功应用，以及在水声领域的应用前景。

S14-O-17

海洋可控源电磁法空气波研究

殷长春，刘云鹤，贲放

吉林大学地球探测科学与技术学院

yinchangchun@jlu.edu.cn

海洋可控源电磁法是钻前储层评价的有效手段。它可作为海洋地震重要辅助手段识别海底构造的储油/储水特征，从而减少盲钻率和勘探成本。然而，当使用水平电偶极作为发射源在浅水区测量时，沿空气-海水分界面传播的空气波会完全掩盖从高阻储油层返回的有用信号。由于空气波不含海底储油层的任何信息，空气波的存在严重影响海洋电磁的应用。因此，如何在浅水区观测数据中去除空气波影响以取得好的反演结果成为当前海洋电磁的研究热点之一。本文首先基于 Weidelt (2007)的空气波理论并采用对 TE 谱核直接求导的方法推导出空气波的主导项，然后根据空气波的物理成因及影响特征阐述了海洋电磁数据解释之前必须去除空气波的原因，最后将目前处理空气波问题的方法分成三类：1)根据空气波在频率域和时间域的特性去除或压制空气波；2)采用无空气波的测量方式；3)直接对含空气波的电磁数据进行反演解释。通过比较各种方法的效果，我们发现所有方法都有自己的应用条件和局限性。为有效地压制和去除空气波，各种方法的组合也许有更好的应用效果。本文的研究对海洋可控源电磁法解释技术的发展及在我

国东海和南海广大浅水区域的油气勘查中的广泛应用具有指导意义。

S14-P-01

扩散型天然气水合物成藏模拟——以 IODP1327 站位为例

曹运诚， 陈多福

中国科学院边缘海地质重点实验室

ycc@gig.ac.cn

海底天然气水合物的生成不仅需要低温高压的地质条件，还需要有充足的甲烷供给。其中甲烷可以通过原位生物作用生成或者通过孔隙水的对流作用和扩散作用由水合物稳定带以下向水合物稳定带内供给。因而确定原位生物作用甲烷生成速率，孔隙水流量是研究天然气水合物成藏的关键。

IODP 1327 站位位于美国俄勒冈州外海，该站位的实测海底表层孔隙水盐度为海水值，向下盐度小于海水盐度。该站位的 SMI 界面深度约 9 mbsf。对比不同孔隙水通量时的模拟盐度剖面与 IODP 1327 站位实测盐度剖面，表明体系的孔隙水通量在 0.2 kg/m^2-year 时，计算的盐度与实测值相吻合。在孔隙水通量为 0.2 kg/m^2-year 时，对比不同原位甲烷生成速率时的 SMI 界面深度与实测 SMI 界面深度，表明原位甲烷的生成速率 4×10^{-6} mole/m^3-year 时，计算的 SMI 深度与实测的 SMI 深度相一致。

根据模拟的孔隙水通量、原位甲烷生成速率，以及模拟的甲烷浓度剖面可以计算原位生物生成、孔隙水对流作用和扩散作用三种主要的甲烷供给方式的供给速率。其中根据稳定带底界甲烷浓度和孔隙水通量，计算了对流作用从稳定带底界进入水合物稳定带的甲烷速率为 0.0292 mole/m^2-year（约甲烷总供给速率 77.7%）；基于水合物稳定带底界处的甲烷浓度梯度计算了扩散作用供给甲烷的速率为 8×10^{-3} mole/m^2-year（约 20.2%）；基于甲烷生成速率，计算稳定带底界和 SMI 界面内原位甲烷生物成因供给速率为 8×10^{-4} mole/m^2-year（约 2.1%）。因而，水合物体系总的甲烷供给速率为 0.038 mole/m^2-year，并且甲烷主要通过对流作用和扩散作用从水合物稳定带以下运移进入稳定带内。

事实上，进入水合物稳定带内的天然气并非完全沉淀为水合物，计算表明天然气沉淀水合物速率为 0.019 mole/m^2-year，仅为水合物体系总供给量的 50%。剩余的 50%的甲烷通过扩散和对流作用向海底表面传输，并在 SMI 界面附近被微生物氧化，其消耗的速率为 0.019 mole/m^2-year。

S14-P-02

南海北部天然气水合物的分解释放

雷怀彦，欧文佳，曹超，龚楚君，张劼，史春潇

厦门大学海洋与地球学院

lhy@xmu.edu.cn

国内外很多学者通过对地质转折期的相关研究提出地质历史时期存在天然气水合物大规模分解释放甲烷的假说，并获得了大量数据支撑，其中地球化学证据可以概况为碳、硫、铁循环相关的证据。我国学者在对南海北部天然气水合物潜在区进行研究的过程中，也发现了部分关于天然气水合物释放的证据。本课题组对东沙海域 ZD2、ZD3 和神狐海域 ZS5 三个柱样的年代学以及有孔虫碳氧同位素分析发现，底栖有孔虫碳同位素组成在氧同位素Ⅱ期（冷期）明显负偏（1‰~2‰），显示甲烷渗漏环境有孔虫同位素组成特征，且与 Bolling/Allerod 暖期和新仙女木事件过渡时期对应；同时我们选取 ZD3、ZS5 和台

西南 ZT10 三个站位进行有机组分分析，发现一组规律分布的一元脂肪酸甲酯，与向明菊等报道的南海沉积物脂肪酸分布具有相似特征，且 ZD3 与 ZS5 中脂肪酸甲酯的含量在氧同位素Ⅱ期达最大值，与前文中底栖有孔虫碳同位素负偏层位对应。通过分析脂肪酸甲酯可能的产生途径认为脂肪酸甲酯为原位生成，其相对含量在垂向上的变化能指示天然气水合物的分解释放。此外，九龙甲烷礁、明珠甲烷礁、西沙海槽碳酸盐结壳等冷泉碳酸盐岩在我国海洋调查中的陆续发现（金庆焕，2005；陈多福等，2005；陈忠等，2007；等）；冷泉碳酸盐及其生物标志物的碳同位素负偏（苏新等，2008；于晓果等，2008；邬黛黛等，2009；葛璐等，2011；等）；白云凹陷岩心沉积物的磁化率变化特征（陈忠等，2010）等都为南海北部天然气水合物分解释放提供了有力的支撑。

S14-P-03S

南海北部海底沉积物中脂类化合物分布特征及其对天然气水合物的指示意义

Wenjia Ou[1], Huaiyan Lei [1,2], Jiang Xu[3], Jie Zhang [1], Chunxiao Shi [1], Chujun Gong[1]

1 College of Ocean & Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

3 Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

wenjiaou1985@163.com

The distribution of lipids in surface and subsurface sediments from the northern South China Sea was determined. The short chain alkanes suffered significant losses caused by slow deposition in the water column, their occurrence with a slight even carbon predominance in shallow seafloor sediments was ascribed mainly to a direct origin from the benthos rather than from the reduction of fatty acids (FAs). We proposed that the fatty acid methyl esters observed were from methyl esterification of FAs, formation and hydrolysis of methyl chloride providing the methylating species. The spread of freshwater released by the decomposition of gas hydrate in oxygen isotope stage II corresponding to samples ZD3-2 and ZS5-2, promoted MeOH production and FA esterification via reduction of the concentration of chloride ions in the pore water, the effect of hydrate dissociation being more obvious for ZD3 than ZS5. The relative content of FAME could be used as an indicator of hydrate decomposition. The formation and preservation of the elemental sulfur (S^0) might be associated with a relatively fast sulfate reduction rate, and the methane flux was greater in the S-11 and S-68 areas than other areas for the detection of S^0 in the surface sediments.

S14-P-04

含水合物储层的 AVA 特征分析与叠前反演预测

张如伟，张宝金，文鹏飞，李丽青

广州海洋地质调查局

cgszrw@163.com

由于深水钻探的高成本和狭隘性，地震方法仍然是预测天然气水合物空间分布的主要研究手段之一。地震剖面上的 BSR（似海底反射）特征一般解释为由天然气水合物稳定带的底与下伏游离气层的分界面引起的，这种解释已被许多深海钻探所证实，也为后期的地震研究打下了基础。但有时在天然气

水合物的底界并不能形成气层，或者水合物饱和度过低，这时可能会导致 BSR 特征不够明显，因此，需要依据振幅异常和 AVA（振幅随入射角变化）特征进行分析，来综合确定 BSR 的特征和与游离气的关系。同时一些地震学参数（纵横波速度、密度、泊松比等）能够反映含水合物储层和游离气层的岩石物理性质，对于确定天然气水合物储层的厚度、饱和度以及空间分布特征等有着重要实际意义。因此，地震速度反演是地震研究天然气水合物储层的关键。

本文采用了 2006 年在南中国海神狐海域采集的二维测线，勘探区已经进行了 7 口井的钻探，其中 3 口井钻获了天然气水合物样本，抽取了过这 3 口井的地震数据进行了研究。本文首先采用叠前保真的去噪和偏移方法，提取 3 口井旁的地震角度域共成像道集，用于天然气水合物沉积层的 AVA 特征研究，分析水合物饱和度、游离气层与振幅异常的关系。其次，采用 Shuey 的近似公式进行 AVA 反演，获得含水合物储层的截距剖面和梯度剖面，再通过线性组合获取其它更多的预测属性，来联合识别水合物分布异常与分布范围。最后对于水合物的异常区，开展高精度叠前三参数同步反演研究，获取与水合物相关的关键弹性参数，对含水合物储层进行精细刻画与追踪，达到预测该测线水合物储层空间分布形态的目的，同时获取了其厚度与饱和度等物性参数。

S14-P-05

深海油气泄漏事故污染物输移扩散的数值模拟

廖国祥

国家海洋环境监测中心

gxliao@nmemc.gov.cn

随着全球范围内对深海油气资源的勘探开发规模不断扩大，发生深海油气泄漏污染事故的风险日益增高。由于深海溢油事故（如美国墨西哥湾“深水地平线”漏油事故）往往对海洋生态环境与社会经济的损害影响极其严重，研究和发展预测深海泄漏油气混合物在海洋环境中动态输移扩散的理论与方法，对预防和治理深海溢油污染具有重要现实意义。本文通过分析油气混合物在海洋环境中的输运过程及行为变化，建立一个深海溢油三维输移扩散数学模型。该模型由近区溢油浮射扩散子模型和远区对流扩散子模型组成，考虑了周围水流环境的卷吸作用，以及考虑了油气分离输移、气体溶解、天然气水合物形成与分解等复杂行为对溢油运动轨迹的影响。模型采用拉格朗日积分法模拟溢油在近区的水下浮射扩散过程，应用粒子追踪法模拟油滴在水下远区的对流扩散以及油膜在海面上的漂移扩散过程。应用该模型数值模拟了在挪威海域进行的两次深海溢油现场试验，结果显示溢油在水下环境中的时空分布模拟结果与现场监测数据符合较好。在此基础上，将该模型集成于一个溢油数值模拟可视化软件系统中，可为深海溢油的风险评估、应急决策提供理论与技术支持。

S14-P-06

南海北部冷泉渗漏系统中氧化还原条件的研究

张美 [1,2*]，吴能友 [1]，孙晓明 [2]

1 中国科学院广州能源研究所

2 中山大学地球科学系

*zhangmei@ms.giec.ac.cn

冷泉是指广泛发育于大陆边缘，来自海底沉积界面之下与海水温度相近、以甲烷等碳氢化合物为主的流体在海底的渗漏活动。冷泉活动产生大量甲烷等温室气体，由于渗漏区沉积物中的甲烷厌氧氧化和硫酸盐细菌

还原作用，绝大多数甲烷气体被厌氧氧化转化成 CO_3^-，最终以碳酸盐岩沉淀固定下来，同时硫酸盐被还原而形成一些硫化物和硫酸盐矿物。

一般认为，在现代海底冷泉渗漏系统中，甲烷氧化转变为自生碳酸盐岩的固碳作用是一个在缺氧还原条件下甲烷细菌氧化的生物地球化学过程，强烈亏损的 $\delta^{13}C$ 的生物标志物可以用来示踪现代和古代环境中甲烷微生物厌氧氧化作用。然而近期，有学者发现冷泉碳酸盐岩在形成的过程中存在局部或阶段性氧化的环境。因此，本文在前人工作的基础上，开展详细的矿物学和地球化学等方面的工作，以期能全面了解冷泉渗漏系统中氧化还原状态。

冷泉碳酸盐岩矿物学和地球化学研究显示：南海北部神狐海域的冷泉碳酸盐岩主要由铁白云石、高镁方解石、石英、伊利石等组成，稀土元素数据显示轻稀土元素强烈富集，Eu 负异常，Ce 无异常的特点，显示弱氧化的环境。Feng 等（2008）在研究墨西哥湾冷泉碳酸盐岩稀土元素时发现，δCe 值变化较大，从负异常到正异常的都有，显示碳酸盐的形成环境是复杂的，Daniel 等（2011）已在该区冷泉碳酸盐岩中检测到了有氧甲烷氧化的生物标志物（如：4-甲基甾等）。所以，不管从无机的矿物学和地球化学方面还是从有机的生物标志物方面研究都显示冷泉系统存在局部氧化环境或阶段。

之外，南海北部沉积物中自生黄铁矿的纳米矿物学研究显示：黄铁矿主要由草莓状黄铁矿组成，而且单个草莓球微晶的形状是多样的，高分辨率透射电镜结果发现一种纳米级的石墨碳与草莓状黄铁矿密切的共生，而且黄铁矿晶体中存在白铁矿的面缺陷，所有的这些都说明，在冷泉渗漏的流体中存在局部的氧化环境或阶段。

因此，我们得出以下结论：在冷泉渗漏系统中，微生物参与甲烷氧化作用和硫酸盐的还原作用，致使冷泉流体发生了变化，由最初的强还原环境变为局部偏氧化的弱酸性环境，这个结论在冷泉碳酸盐岩的稀土元素和生物标志物以及自生黄铁矿中草莓状黄铁矿、纳米级石墨碳和白铁矿等方面得到验证。

S14-P-07

沉积物颗粒对天然气水合物饱和度的影响：基于南海北部神狐海域钻探沉积物样品的实验研究

张辉 [1,2]，卢海龙 [3]，吴能友 [1,2]

1 中国科学院广州天然气水合物研究中心

2 中国科学院广州能源研究所，可再生能源与天然气水合物重点实验室

3 National Research Council Canada, Steacie Institute of Molecular Sciences, Ottawa, Canada, K1A 0R6

zhanghui@ms.giec.ac.cn

天然气水合物在海底沉积物中的饱和度是对其资源评价的重要参数。掌握水合物饱和度的影响因素对其能源和气候效应的评估有重要的现实意义。本研究以南海北部陆坡神狐海域沉积层岩芯样品作为介质合成甲烷水合物，通过沉积颗粒粒径及比表面积探讨沉积颗粒对天然气水合物饱和度的影响及其影响机理。

实验室合成甲烷水合物的饱和度为10%-25%，与前人通过孔隙水地球化学资料计算的天然气水合物饱和度（<26%）在同一范围。实验结果显示海底沉积样品与不同粒径的人工石英砂中合成的水合物饱和度结果相吻合。沉积物颗粒粒径分析显示，神狐海域沉积物样品主要为粉砂质泥或泥质粉砂。沉积物颗粒平均粒径分布对甲烷水合物饱和度的影响不明显。沉积物样品比表面积与水

合物饱和度呈现很好的相关性：具有比表面积大的样品对应水合物饱和度小，而比表面积小的样品对应水合物饱和度大。沉积颗粒通过其比表面积的大小，影响与沉积颗粒相互作用的孔隙水的比例，且影响孔隙流体的流动性，进而使水合物饱和度受到影响。

S14-P-08

南海北部陆坡区晚中新世以来沉降史恢复

丛晓荣[1,2,3*]，于兴河[3]，吴能友[1,2]，沙志斌[4]

1 中国科学院广州能源研究所可再生能源与天然气水合物重点实验室

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

3 中国地质大学能源学院

4 广州海洋地质调查局

*congxr@ms.giec.ac.cn

T_3界面是南海北部陆坡区新近系裂后期的重要地质界面，分隔了裂后期沉降的热沉降阶段和加速沉降阶段，发育时代为晚中新世末期（约 11.6Ma）。南海北部蕴含的天然气水合物基本上分布于该界面之上。目前，对南海北部构造沉降史研究多集中于沉积盆地，且大多选取盆地的断坳转换界面作为其研究底界面。对于整个南海北部陆坡区以加速沉降阶段作为主要研究目标的构造沉降史分析相对较少。因此，研究南海北部陆坡区晚中新世以来构造沉降特征及演化，可系统地研究该区域加速沉降阶段的地质发展历史，从而进一步揭示南海北部陆坡区天然气水合物在加速沉降这一特殊地质历史时期内的富集规律。

基于南海北部陆坡区构造-沉积背景综合分析，本文将研究区加速沉降阶段的地层划分为 3 大构造层，分别对应晚中新世、上新世和第四纪，采用回剥分析法恢复其地层埋藏历史，共选取 1092 口模拟井，采用 Airy 均衡模型分别计算不同时期的总沉降速率和构造沉降速率。

研究结果表明：①总体上看，晚中新世以来南海北部陆坡区以构造沉降为主，构造沉降速率占总沉降速率的 70%以上；②从平面上看，晚中新世以来的沉降中心集中于琼东南盆地中央坳陷带、珠江口盆地和台西南盆地的深水区域，其中台西南盆地的沉降特征最为显著，在第四纪的构造沉降速率和总沉降速率最高分别可达 190m/Ma 和 250 m/Ma；③从垂向演化上看，晚中新世至上新世期间，构造沉降速率和总沉降速率的变化差异不大，有略微减小的趋势，平均构造沉降速率和平均总构造沉降速率分别为 70m/Ma 和 100 m/Ma，第四纪以来，构造沉降速率和总沉降速率急剧增大，平均构造沉降速率和总沉降速率分别达 120m/Ma 和 150 m/Ma；④从局部特征看，构造沉降速率变化较快的部位往往发育在盆地边界、坳隆交汇及断层、褶皱发育地区，这些地区均有利于天然气水合物的聚集成藏。

S14-P-09

The kinetics of methane hydrate formation during unsaturated fluids flowing in sediment pores at Shenhu area, the north slope of South China Sea

Guan Jin-an, Liang De-qing, Wu Neng-you, Li Dong-liang, Wan Li-hua，Zang Xiao-ya

Guangzhou Institute of Energy Conversion, Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate ,CAS，Guangzhou 510640, China

guanja@ms.giec.ac.cn

Massive hydrate-bearing coring samples have been collected during

GMGS-1(Guangzhou Marine Geological Survey) field drilling expedition at Shenhu Area, the north slope of South China Sea. In this research region the hydrate-bearing sediments ranged from 28-34m just located above the bottom of hydrate stability zone(HSZ). The saturations of methane hydrate(MH) in porous pores generally hold 25%(at site SH2, SH3,SH7), and especially occupy 48% of the pore volume at the maximum at site SH2. MH evenly and dispersedly distributes in seafloor fine-grained matrixes and displays some indications on this marine dynamic hydrate system during the process of transmission and reaction.

Sedimentary properties and fluid characteristics are the two important factors influencing the formation and accumulation of MH in seafloor deposits. A multiphase flow-transport-reaction model coupled intrinsic kinetic characteristic of MH formation has been built to evolve hydrate congregation and distribution at these three sites. In this model it makes a distinction between dissolved methane and free gas in porous pores forming hydrates respectively. Preliminary results show that the fluxes of unsaturated fluids in this hydrate area may reach ～10^2 kg/(m^2·a), and the free gas shall play a more important role in order to achieve 48% pore space. More detailed conclusions such as how the kinetic constants affecting the MH formation in this condition are now being further analysed.

S14-P-10

南海九龙甲烷礁冷泉碳酸盐岩微生物地球化学研究

管红香[1,2,3*]，孙永革[2]，茅晟懿[1,3]，朱小畏[2]，吴能友[1,3*]，陈多福[3]

guanhx@ms.giec.ac.cn

1 中国可再生能源与天然气水合物重点实验室，中国科学院广州能源研究所

2 有机地球化学国家重点实验室，中国科学院广州地球化学研究所

3 中国科学院广州天然气水合物研究中心

通过有机地球化学方法对南海北部陆坡九龙甲烷礁冷泉碳酸盐岩进行了生物标志物的类型、组成分布特征和稳定碳同位素研究。发现了大量由甲烷厌氧氧化作用形成，并来源于甲烷厌氧氧化古菌和硫酸盐还原菌的亏损 ^{13}C 的生物标志物。这些强烈亏损 ^{13}C (低至-138.7‰)的生物标志化合物包括古菌来源的典型的 C_{20}–C_{30} 的类异戊二烯烃、类异戊二烯烷酸（植烷酸和 PMI 烷酸）、古醇/*sn2*-羟基古醇类异戊二烯醚。而细菌来源的生物标志物包括异构/反异构脂肪酸，二烷基甘油二醚（DAGEs），正构烷烃，正构脂肪酸和系列藿烷酸化合物。这些脂类生物标志物变化的 $\delta^{13}C$ 值说明细菌微生物种群与不同的古菌种群相结合。另外，长链正构烷烃及高碳数正构脂肪醇无论从其碳同位素组成还是组成分布特征都说明他们主要来源于陆源高等植物并在有机质中占了很大的比例，而表现出了非渗漏碳同位素特征的 $C_{16:1\omega7}$ 和 $C_{18:1\omega7}$ 则证明不饱和脂肪酸来源于海洋浮游生物。正如文中 ^{13}C 亏损的系列生物标志物所揭示的，这些冷泉碳酸盐岩主要是由甲烷厌氧氧化作用所形成的，不同冷泉碳酸盐岩样品在冷泉渗漏过程中的主导微生物种群则是由不同的冷泉渗漏环境所决定的，如水深、厌氧度、碱度及甲烷和硫酸盐的浓度。

S14-P-11

白云凹陷天然气水合物成藏的构造控制因素

郭依群，王嘹亮，梁金强，龚跃华

广州海洋地质调查局

guo1180@163.com

白云凹陷是珠江口盆地系列凹陷中面积最大的一个深水凹陷。在研究了大量的高分辨率地震资料的基础上，结合我国水合物钻探资料分析，认为活动断裂系统、底辟构造、气烟囱构造以及滑塌构造对白云凹陷天然气水合物的成藏具有重要的控制作用。

白云凹陷晚新生代发育大规模的滑塌构造，滑塌体具有高机质丰度、欠压实、孔隙度大的特征，目前正处于未熟－低成熟的生烃门限附近，是生成生物气的有利烃源岩，也是天然气水合物富集的良好储集层，但由于滑塌体内部物性的不均一性，烃源岩与储集层以及储层之间是孤立不连通的。

白云凹陷中心存在大量的底辟群，主要为流体底辟成因。底辟构造的发育、上拱，使上覆地层产生高角度的断裂和垂向裂隙系统，是流体运移的主要通道。高分辨率地震调查资料显示：BSR 主要集中发育于流体底辟的顶部及两侧，证实了流体底辟是白云凹陷水合物成藏的一种重要模式。

气烟囱构造与天然气渗漏、浅层的天然气聚集、较深部位气源岩及含气储集层的存在密切相关。通过对白云凹陷晚新生代地层进行的流体检测发现，气烟囱在 BSR 以下发育充分，而在 BSR 上方则没有明显的显示，瞬时频率剖面上显示 BSR 下方存在明显的低频现象，反映了游离气的富集。

白云凹陷晚期断裂尤其活跃，一类是基底断裂重新活动派生出的断裂和裂隙，另一类是发育在上新世一第四纪地层中的层间断层。层间断层在滑塌沉积体中尤其发育，为浅成气的侧向运移提供了良好的疏导体系，它们的存在也使得滑塌体内原本孤立的储层连成一体，扩大了水合物成藏的规模。但通至海底的活动断层对水合物的形成起到了破坏作用。2007 年在白云凹陷进行了 8 个站位的钻探，取到水合物样品的站位虽有断层发育，但断层没有穿至海底，而没有发现水合物的站位，几乎都有断层自下部反射模糊带（游离气聚集区）直达海底。

底辟-气烟囱-断层组合共同形成了白云凹陷的垂向输导系统，为深部气和浅层气输送到中新统滑塌扇储层提供了有利条件。晚期活动的断裂控制了白云凹陷内的流体运移，是控制水合物聚集、成藏的主要因素之一。

S14-P-12

非均匀多孔介质甲烷水合化过程渗流多相场耦合模型研究

Shu-Qing Hao[1,2*], Yong Qin[1] , Xue-Hai Fu[1,3*]

1 Key Laboratory of CBM Resources and Reservoir Formation Process Ministry of Education of China, School of Resource and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2 State Key Laboratory for GeoMechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

3 College of Geology and Exploration Engineering, Xinjiang University, Urumchi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830047, China

*jdhsq@163.com

Natural gas hydrates (NGH) as an unconventional resource in the future, the understanding of methane porous seepage flow law in reservoir has important signification.

Gas production from reservoirs differs from conventional energy because methane reservoirs are multi-porosity systems where the gas is stored by adsorption in the coal matrix (micropores). Therefore, the transportation principle of methane in rockbed crack is the key to study NGH production. However, at the present, the principle about how methane flows in the reservoir porous, and how methane pressure and velocity distribution in the reservoir are still not very clear. In this paper, the authors firstly established the gas-liquid-solid multi-phase coupling numerical models, on the ground of establishment of ternary pore-cranny structure model. Secondly, permeability of reservoir rock gotten through experiments were used as the boundary conditions when simulation. Simultaneously, other essential related parameters were designed in the models established before. Finally, the conclusions about the methane porous seepage pressure, velocity distribution, and its flow behavior were obtained. Besides, it has also gained a simulation method, which has an important meaning for evaluating the NGH formation.

S14-P-13S

南海北部神狐海域浅层滑坡的形态特征及形成机制

何叶[1]，钟广法[1]，王嘹亮[2]，匡增桂[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 广州海洋地质调查局

vivia.lotus@163.com

海底滑坡是块状搬运复合体或块状搬运沉积体的总称，主要包括滑动、滑塌和碎屑流 3 种类型。海底滑坡研究对海底工程、环境和资源勘探具有重要意义。本文根据高精度二维地震资料的解释，结合多波束海底测深资料，对神狐地区第四纪地层的分布及地震相特征进行了研究，认为该区发育海底水道-天然堤复合体系和海底滑坡沉积体系，水道对海底滑坡具有重要的影响。

神狐地区海底滑坡分布比较普遍，尤其集中分布在水道附近。滑坡区可见断壁、沟谷、台阶、铲状断层、滑动面等重要滑坡标志特征。该海域内滑动面几乎都表现为一些断续的比较粗糙的反射界面，界面上部滑坡破坏的痕迹不是特别明显，说明滑坡体规模较小，滑动距离较短。此外，在水道中下游的天然堤上存在波状反射结构，推测为溢出水道的浊流所形成的细粒沉积物波，但仔细观察其内部结构可发现小范围滑坡的存在，主要以滑动面和地震反射同相轴的不连续为特征，据此可以认为这种波状结构沉积体可能是浊流和滑坡共同作用的产物。

滑坡区的地震相特征主要有 4 大类型：块状杂乱弱振幅地震相，构成滑坡主体，集中出现在滑坡体的中、下段；块状亚平行弱振幅较连续地震相，出现在滑坡台阶和滑块处，内部结构基本上未被破坏；波状弱振幅较连续地震相，与沉积物波有关，滑坡导致其内部反射轴部分中断，外形呈丘状；水道充填中振幅较连续地震相，外形呈下凹的沟谷状，顶平底凸。

综合分析认为，神狐地区的滑坡主要受沉积物岩性和水道-天然堤系统控制。

S14-P-14

固结、松散沉积物中天然气水合物形成的声学响应特征对比

胡高伟，业渝光，张剑，刘昌岭，刁少波

青岛海洋地质研究所

hgw-623@163.com

含水合物沉积层同背景沉积相比，具有较高的纵波速度和横波速度，水合物含量、分布及其与纵横波速度之间的关系是水合物地球物理勘探和资源评价的基础。在“水合物地球物理模拟实验装置”上，利用声学探测技术（包括传统超声技术和新型弯曲元技术）和时域反射技术（TDR）探测了甲烷水合物在固结、松散沉积物中形成和分解过程的声学参数和水合物饱和度，对比了固结、松散沉积物中水合物形成的声学响应特征。

固结沉积物中水合物声学模拟实验表明，当水合物饱和度低于 10%，固结沉积物的声速随饱和度的变化不明显；当水合物饱和度大于 10%后，声速随饱和度的增加快速增大，且在饱和度为 10-30%区间声速增长最快。利用实验数据对权重方程和 BGTL 理论进行验证表明，当水合物饱和度在 0-~40%时，利用权重方程和 BGTL 理论中的速度比率公式能准确预测固结沉积物的纵、横波速度；当水合物饱和度大于 30%时，BGTL 理论预测的纵、横波速度值与实测值吻合良好，暗示水合物在饱和度大于 30%时，可被视为沉积物基质中的一种矿物成分；而在饱和度小于 30%时，水合物则可能在孔隙流体中存在，或部分粘附于沉积物骨架。

在粒径为 0.09~0.125mm 天然砂中进行了水合物声学模拟实验，获取了纵横波速度值与水合物饱和度之间的关系。结果表明，当饱和度小于 25%时，纵横波速度增长较快，水合物可能胶结沉积物颗粒生成；25%-60%期间速度增长较为缓慢，水合物可能悬浮或与沉积物颗粒呈接触关系；水合物饱和度大于 60%后声速随着饱和度增加又快速增长，水合物可能继续胶结沉积物颗粒生成。

对比研究表明，固结沉积物和松散沉积物声学特性受水合物的影响不同。声波信号方面，水合物的形成对固结沉积物中声波没有造成衰减，但对松散沉积物中声波却造成较大的衰减；声波速度方面，在同一饱和度下，在水合物生成过程中松散沉积物的纵横波速度高于分解过程中纵横波速度，而固结沉积物中表现则正好相反。沉积物骨架性质、水合物的微观分布模式等可能是影响声学响应特征的因素。

S14-P-16

白云凹陷珠江组深水扇砂质碎屑流沉积学特征

郑荣才[1]，马启科[1]，高博禹[2]，朱国金[2]，王昌勇[1]

1 油气藏地质及开发工程国家重点实验室（成都理工大学）

2 中海石油研究中心

zhengrc@cdut.edu.cn

深水海域深水扇石油储量与产量的增长在国际学术界获得高度重视，被认为“在今后至少 25 年内将成为油气勘探开发的前缘领域”。珠江口盆地白云凹陷珠江组深水扇油气藏的发现是中国深水海域油气勘探新领域的重大突破，其以巨大的油气勘探前景和极高的经济价值业已引起国内外高度关注，因此，深入开展白云凹珠江组深水扇沉积体系的研究是我国沉积学界目前所面临的重大任务。

长期以来，深水扇砂岩成因和搬运、沉积流体的性质鉴别和划分一直存在多种意见，深水扇模式中鲍玛序列的多解性也已引起学术界的广泛争议，如在上世纪 90 年代以前，模式中将所有的深水沉积几乎都解释为浊流成因，之后“浊流”概念的过分使用导致了深水扇搬运、沉积流体性质的单一化和沉积模式的简单化，致使部分学者开始重新评价原有的深水扇模式和如何建立新理论模式的挑战，特别是扇体中以往被解释为高密度浊

流的厚层砂重新被解释为砂质碎屑流沉积产物。本项目研究通过物质组分、沉积构造、粒度分布、古地形、古生物及测井和地震等资料的综合分析，确定珠江口盆地对应于珠江组内部的 23.8Ma、21.0Ma、18.5Ma 和 17.5Ma 等几个Ⅰ型层序界面位置，于陆架坡折带以下的白云凹陷主凹内，继承性地发育有数期深水扇为代表的低水位体系域沉积楔状体，形成多个非常有利于油气聚集成藏的大型储集体。白云凹陷珠江组属于深水沉积环境和发育深水扇沉积体系，以及深水扇中广泛发育的厚层块状砂岩被解释为内-中扇水道的砂质碎屑流快速充填体，主要基于如下几个标志：①岩石学特征，岩石类型主要为细-中粒和中-粗粒长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩，常含有硅质小砾石和粗大的撕裂状同生泥砾及顺层密集排列的炭泥屑；②块状砂岩中常见逆粒序、逆-正粒序、正粒序层理和碟状泄水及滑塌变形构造。砂体底部普遍发育波状起伏的冲刷面，而上部频繁地被生物扰动、钻孔和发育逃逸构造，由于分割砂体的冲刷面两侧砂体的岩性和粒度差别不大，由多期砂体的连续叠加易被描述成单一的巨厚砂体；③单个样品的粒度分布为跳跃与悬浮次总体组成的两段式，具有牵引流特征，保持了砂质供给区、即古珠江三角洲前缘砂体中等偏高的结构成熟度特征。而在 C-M 图上多个样品的粒度分布平行于 C=M 基线分布，粒级范围从细砂级至粗砂和巨砂级，具备重力流沉积的一般特征；④白云凹陷北坡从珠江组（23.8Ma）开始至现今，一直为典型的陆架坡折-陆坡发育区，具备有利于砂质碎屑流搬运和沉积的高坡降古地形条件；⑤白云凹陷珠江组除广泛发育砂质碎屑流沉积之外，代表近源→远源浊流沉积的 Tb-Tc-Td-Te 段、Tc-Td-Te 段和 Td-Te 段鲍玛序列，与内波、内潮汐作用有关的脉状、波状、透镜状层理及波痕，以及与等深环流运动有关的沙纹层理也很发育；⑥泥岩中发育大量指示深水环境的蠕形迹化石和含有丰富的、以抱球虫和颗石藻为代表的浮游类微体化石；⑦砂体的电性特征主要表现为底、顶界和顶界突变的锯齿化中高幅箱形和漏斗形，反映砂质碎屑流沉积事件的突发性；⑧地震剖面上表现为终端反射结构较为清楚的发射状楔形和双向下超在大套海相泥岩之上的丘状或席状反射构形，内部反射层杂乱。

依据上述标志，确定白云凹陷珠江组砂质碎屑流成因与低位期陆架边缘三角洲前缘砂体在海面大幅度下降和重力等触发机制作用下发生滑塌和砂崩有关，具备“源－渠－汇”耦合关系的深水扇砂质碎屑流沉积模式。作为深海水域油气勘探开发的新领域，这一发现不仅具有极其重要的科学研究意义，同时存在巨大的油气勘探潜力和经济价值。

S14-P-17S

珠江口盆地白云凹陷珠江组深水牵引流沉积及其研究意义

陈浩如[1]，郑荣才[1]，朱国金[2]，胡晓庆[2]，李云[1]

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 中海石油北京研究总院

47568978@qq.com

深海普遍存在活跃的牵引流地质作用，有内波内潮汐、等深流、海底风暴和深水洋流等。识别深海水域的牵引流沉积对古大洋和古气候历史重建，及其陆坡位置的判断和矿产和能源资源勘探的重要性逐渐被沉积地质学家和油气地质工程师所重视，并已经成为古海洋研究的热点之一。近期丰富的研究成果表明，珠江口盆地白云凹陷中新统珠江

组下部发育有一套脉状、波状、透镜状层理和双向交错沙纹层理组合的薄层状泥、粉砂岩和富含陆源细碎屑物质的灰岩，非常类似潮汐层理组合而被部分研究者认为是浅水潮坪沉积，但缺乏潮坪沉积中常见的底冲刷构造和暴露标志。本次研究依据钻井岩芯描述、薄片观察、扫描电镜分析和古生物资料，结合构造-沉积背景分析，认为是以内波、内潮汐为主的与远源低密度浊流交互作用形成的深水牵引流沉积产物。

珠江组下部深水牵引流沉积可划分为六种主要的岩石相类型：①平行层理细砂岩相、双泥岩纹层砂岩：它通常单独发育，或发育于块状逆-正粒序砂岩或正粒序砂岩上部。层理面富含密集分布的片状炭质泥屑，或发育泥质披覆，属于典型的浊流沉积产物；②双向交错层粉-细粒砂岩相，指示了一组相反的水流方向，此类型是指示深海牵引作用的最好例子，与内波内潮汐有关，层理中部由于受内波内潮汐强度不同的往复水流影响，可发育有脉状层理和波状层理；③沙纹层理粉-细粒砂岩相，表现为不连续的泥质纹层与具沙纹层理的粉砂岩或粉-细粒砂岩交替。常见于深水扇中扇水道间、无水道前缘舌状体和外扇，发育于重力流活动较弱的间息期，属于典型的远源低密度浊流沉积产物；④波状和脉状层理灰质粉砂岩相，表现为泥质纹层与灰质粉砂岩极频繁交替，反映了相对快速水流与相对静滞水流的频繁交替过程，属于内波内潮汐底流对远源低密度浊流进行改造的交互沉积产物；⑤波状层理和脉状层理抱球虫灰岩，抱球虫灰岩由大量的浮游型抱球虫和少量颗石藻组成，往往发育有相对富含泥、粉砂质的脉状和波状层理，或具有丰富的生物扰动与钻孔构造。其中，脉状层理表现为不连续的颜色较黑的泥质纹层与颜色较浅的浅灰色灰岩交替。这两种层理类型形成于水流相对快速和静滞的交替过程中，也是内波内潮汐为主的底流对散布于深海底的钙质生物进行富集作用的结果；⑥透镜状沙纹层理粉砂岩相，此类型在南极洲深海钻探项目 Leg28 的 Site268 已有报道，为沿坡折带下部作环流运动的大洋底流对稀薄的粉砂质沉积物进行搬运和富集的深水牵引流沉积成因。

依据珠江组下部深水牵引流沉积的发现，可以推测自渐新世末(23.8Ma)白云凹陷陆架坡折带形成之后就开始存在沿着陆架坡折带活动的深水牵引流，受深水牵引流的影响可能改变了沉积物的组成和区域分布，并与远源低密度浊流和半远洋-远洋悬移泥进行着交互沉积作用，为确定珠江口盆地白云凹陷中新统珠江组下部发育有深水扇沉积体系提供了佐证，同时也为进一步了解珠江口盆地白云凹陷中新统珠江期深水牵引沉积与古大洋洋流循环的关系，对重建南海北部古大洋环流系统有重要的启示作用。

S14-P-18

南海东沙海域 973-2 站位浅表层沉积物中自生黄铁矿显微形貌特征的初步研究

林杞[1,2]，王家生[1*]，谢蕾[1,2]，王舟[1,2]，胡军[1,2]，陈洪仁[1,2]

1 生物地质与环境地质国家重点实验室

2 中国地质大学（武汉）地球科学学院

*js-wang@cug.edu.cn

973-2 站位位于台西南盆地，为广州海洋地质调查局海洋六号 HY6-2011-1 航次所取，取样方式为保压活塞采样，本柱总长 673 cm。

样品中黄铁矿主要分布在 369 cm（平均深度，下同）之上，从 377 cm，沉积物中出现黄褐色-红褐色物质，自生矿物和有孔虫大量减少。其中的黄铁矿以块状为主，其次为

棒状，也可见有孔虫充填型，体视镜下颜色以黄褐色-黑褐色为主，夹带红褐色，个别可见局部蓝紫色。样品扫描电镜测试（SEM）显示为八面体黄铁矿，但晶体表面存在溶蚀现象，可见多个样品发育莓状黄铁矿，莓球大小不一；部分样品可见黄铁矿与石膏共生现象，石膏单晶体呈长板片状，晶面清晰，集合体呈放射状。

体视镜下见一管状黄铁矿，长约 500 μm，宽约 220 μm，Micro-CT 扫描结果显示其内部未完全充满，分布有众多的莓状黄铁矿，莓球大小不等，多数粒径在 15 μm 左右，少数较大，粒径在 50 μm 左右。为了解内部结构及矿物发育情况，将样品劈开，然后进行扫描电镜测试（SEM）：

其管状表面，可以看到石膏与黄铁矿的共生现象，与西南大西洋（Muza et al，1983）和南海神狐海域（谢蕾，2012 年）生长的产状相似。其中石膏矿物呈放射状，主要沿表层分布，长度基本在 20 μm；周围共生的黄铁矿不显晶型，可能是早期成岩过程中发生溶蚀所造成的。

其管状横截面，可以观察到网格状的黄铁矿（能谱结果），而且网格分布似乎有规律，即每个莓球为一部分，中心部分不呈网格状或网格状不明显，有的可见发育良好的八面体晶型，向外延展网格状越加明显，且不同莓球之间的界限不明显。另外，SEM 下可以看到管状中心未充填部分有几处发育放射状石膏。

其管状内表面，可以看到网格状黄铁矿和八面体黄铁矿共存，其中八面体黄铁矿表面被溶蚀，棱角模糊。SEM 下可以看到部分位置显示坑状，可能与八面体黄铁矿溶蚀有关。

973-2 站位中网格状黄铁矿的形成可能与微生物的作用有关，但也不排除后期溶蚀作用的可能。而其中石膏与黄铁矿共生的现象，可能与 Ca^{2+}和 $SO4^{2-}$的供给情况，以及局部环境有关。

S14-P-19S

海洋自生黄铁矿的成因识别及其对paleo-SMI深度的标识意义

刘晨晖 [1,2]，蒋少涌 [1]，苏新 [2]，黄奇瑜 [3]

1 南京大学 地球科学与工程学院 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室

2 中国地质大学(北京) 海洋学院

3 中国科学院 广州地球化学研究所

cliu8304@gmail.com

自生黄铁矿是普遍存在于现代海洋沉积物和许多古代沉积岩中的一种自生矿物(rev., Goldhaber and Kaplan, 1974; Goldhaber, 2003; e.g., Love, 1971; Schieber, 2002)，其产出通常与沉积物中的有机物质(OM)(e.g., Berner, 1970; Leventhal, 1983; Böttcher and Lepland, 2000)和孔隙水中的甲烷(CH_4)(e.g., Stakes et al., 1999; Schumacher, 2000; Jørgensen et al., 2004; Novosel et al., 2005; 刘坚 等, 2005; 陆红锋 等, 2007)存在着密切的联系。在冷泉和/或天然气水合物沉积背景下，OM 和 CH_4 在沉积和/或埋藏过程中同时存在，共同控制孔隙水中硫酸盐的还原，反应产物硫化氢与活性铁矿物结合进而导致与 OM 和与 CH_4 有关的自生黄铁矿发生混合沉积。到目前为止，尚未见到通过矿物形态学或地球化学等手段明确区分这两种不同成因自生黄铁矿的报道。

在大陆边缘的海洋早期成岩作用过程中，随着沉积和/或埋藏深度的增加，孔隙水中硫酸盐逐渐被还原消耗并在硫酸盐-甲烷分界面(SMI)之下几乎完全消失。硫酸盐还原速率(SRR)的峰值主要出现于沉积物表层(cm 或 dm 级深度; e.g., Berner, 1964; Jørgensen, 1977,

1978b, 1979; Jørgensen et al., 2001)和 SMI 附近(cm 至 m 级深度; e.g., Devol and Ahmed, 1981; Iversen and Jørgensen, 1985; Jørgensen et al., 2001, 2004)，分别受控于沉积物表层 OM 的活性和输入通量与 SMI 之下向上扩散的 CH_4 通量。还原产物硫化氢的浓度随深度的增加而逐渐增加(e.g., Aharon and Fu, 2000; Werne et al., 2003)，并在 SMI 附近达到最高峰值(e.g., Devol and Ahmed, 1981; Niewöhner et al., 1998; Fossing et al. 2000)，继而在硫酸盐带之下被逐渐耗尽(e.g., Jørgensen et al., 2004)。与此同时，在 SMI 之上，硫酸盐和硫化氢的稳定硫同位素组成($\delta^{34}S$ 值)随深度的增加均逐渐正偏，两者的变化趋势近似平行，并在 SMI 附近达到最高值(e.g., Aharon and Fu, 2000; Borowski et al., 2000; Werne et al., 2003; Jørgensen et al., 2004)，这一现象的出现主要与硫酸盐-硫化氢系统的开放/封闭性、还原过程中硫同位素的分馏系数和扩散过程中硫同位素的分馏程度等因素有关(Jørgensen, 1979)。

本研究对东太平洋水合物海岭南部 ODP 第 204 航次 1245 和 1252 站位沉积物孔隙水硫酸盐-硫化氢体系进行稳定状态成岩作用数学模拟(steady-state diagenetic equation)，结果表明区域性垂向平流(advection)强度的高低对 SRR 的影响极小，明显不同于其对 SMI 附近溶解态无机碳(DIC)的稳定碳同位素组成($\delta^{13}C$ 值)造成的影响，该影响会导致对 CH_4 在硫酸盐还原过程中的贡献程度的错误判断(Chatterjee et al., 2011)。由于岩芯中自生黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值代表同沉积时期被固定的硫化氢硫同位素组成的累积结果(Price and Shieh, 1979; Böttcher et al., 1998)，结合其含量可以计算出黄铁矿生成区间和速率，进而推算出不同硫化氢系统开放程度下的 SRR，最终反演出原始 SMI(paleo-SMI; defined by Rodriguez et al., 2000)在沉积物中的深度。另外，不同集合体形态的自生黄铁矿表现出不同的 $\delta^{34}S$ 值，以台湾西南海域高坪斜坡 ORI 第 860 航次 14 站位最为典型，棒状和充填有孔虫壳体的莓球集合体为较低的 $\delta^{34}S$ 负值，而不规则状、烟囱状莓球集合体和不规则状八面体集合体则均为正值，并且烟囱状莓球集合体的 $\delta^{34}S$ 值高达 19.7‰ VCDT。据此，我们推测棒状可能属于管状蠕虫(Huang et al. 2006)的铸型，与有孔虫壳体内的原生质一起代表了最高活性的 OM 来源，而不规则状集合体形成于活性较低的 OM 分解过程，高 $\delta^{34}S$ 值的烟囱状集合体则形成于高 CH_4 通量的沉积环境下，可能代表了 CH_4 在沉积物中快速运移的通道，亦可能起到 paleo-SMI 出现于沉积物表层的标识意义。

S14-P-20S

天然气水合物与底栖有孔虫的关系——以 973-5 为例

曲莹

中国地质大学（北京）

quying19871028@126.com

海底冷泉区是海洋能源和生物资源同时富集的地区。底栖有孔虫群落及地球化学组成是海洋冷泉区的重要标志。海底冷泉通常是指富含硫化氢、甲烷以及其他碳氢化合物的流体在海底的喷溢。底栖有孔虫是海洋沉积物中广泛分布的微体生物。底栖有孔虫生活在海洋底部沉积物表层及沉积物内部，因此分为表层种和内生种，这两类底栖有孔虫对周围的生存环境要求的标准不同，导致不同环境下产生不同的底栖有孔虫生态类群。由于底栖有孔虫死后壳体大量保存在沉积物中，是研究深层海洋环境变化的一类重要材料。不同深度分布着不同生物群落的底栖有

孔虫，有研究表明冷泉区与周围非冷泉区的底栖有孔虫群落存在丰度、分异度和种属等差异性，因此研究底栖有孔虫群落对寻找和确定冷泉区范围具有重大意义。以选择的样品为例分析底栖有孔虫和甲烷喷溢二者存在的关系，将冷区沉积物样品和非冷泉沉积物样品进行对比分析，研究底栖有孔虫群落在冷泉区缺氧环境下与周围非冷泉区有氧环境下底栖有孔虫群落存在着怎样的差异性，这种差异性对冷泉区的寻找和冷泉区范围的确定具有重要意义。最后进行底栖有孔虫与冷泉二者的研究展望，开展南海活动冷泉区底栖有孔虫相关方面的研究，对于南海水合物资源勘探以及正确探讨冷泉活动对全球气候变化的影响机制等方面具有重要的意义，此外，冷泉区的存在与油气可能存在一定联系，这个问题有待于进行进一步研究和讨论。

S14-P-21

海底天然气水合物分解对海底斜坡不稳定性影响的分析

王春娟[1]，杜德文[*1]，闫仕娟[1]，杨刚[1]，朱志伟[1]

1 国家海洋局第一海洋研究所

2 广州地质调查局

cjw@fio.org.cn

天然气水合物的环境效应在海洋地质灾害中，主要表现在两个方面：自然分解引起的地质灾害与钻井勘探引起水合物分解造成的环境破坏。人类正在通过勘探的方式不断认识天然气水合物，并拟在不久的将来进行开采，这些活动将带来海底的环境变化，这些变化可能引起水合物的分解，而水合物分解可能诱发海底滑坡，滑坡、滑塌和浊流则可能进一步引发新的地震和海啸。美国、俄罗斯、加拿大等国学者已经报道了钻探过程中产生的不可控制的气体释放、管道堵塞、幽静喷发、火灾、灾难性的井位下陷，这种事件一旦发生，所带来的灾难是无法估计的。

天然气水合物与海底斜坡稳定性之间的关系和相互影响，是目前海底滑坡与天然气水合物环境意义的一个新的研究方向。海底天然气水合物一般赋存于具有一定坡度的大陆坡附近，在低温高压下是稳定的，温压条件超出天然气水合物稳定范围，天然气水合物将发生分解，释放出水和甲烷，导致沉积层体积膨胀，引起孔隙流体压力的增加和有效压实力的降低，导致斜坡不稳定，产生滑坡和滑塌等地质灾害。研究天然气水合物分解对海底斜坡稳定性的影响，了解水合物体系的动力学机制，分析水合物分解引起斜坡不稳定性的参数因子，建立天然气水合物分解的斜坡稳定性分析模型，评估天然气水合物分解所引起的斜坡稳定的临界状态，并对各参数进行敏感性分析是有必要的，对目前水合物的勘探和将来的开发都有非常重要的安全意义，对保护人类活动和生产设施的安全也是十分有意义的工作。

文章以建立天然气水合物分解对斜坡稳定性影响的可视化评价模型为主线，以 Storegga 滑坡区为示范研究区。充分分析天然气水合物分解的特征，根据海底沉积物类型分析水合物分解产生的超孔隙压力，并通过模式计算；根据极限平衡原理和摩尔-库伦准则建立含水合物沉积层的斜坡稳定性评价的数值模型，并将数值模型与 ArcGIS 有机结合，采用 ArcGIS 技术与数学模拟相结合计算各斜坡安全系数，并作为一个 GIS 图层叠加至含地形地貌的地图框架，使每一单元的评价结果以直观明了的图形形式显示。通过对挪威陆缘巨型滑坡 Storegga 滑坡的分析，引入该模型的应用，取得末次冰期及末次冰消期后最重要的两个变化（即海平面变化引起的静水压力变化及海水温度增加的变化）

的示范应用成果。总结天然气水合物沉积层稳定性影响的参数，如温度、孔隙压力、气体化学组成、孔隙水盐度、水合物含量、沉积层厚度、斜坡坡度等，探讨上述参数的敏感性，分析各参数对水合物稳定性的影响程度。

S14-P-22

南海东沙海域水合物远景区岩芯沉积和物理性质特征

王金莲，陈芳

广州海洋地质调查局

1031812207@qq.com

为了解水合物储层的性质，对南海东沙海域中下陆坡水合物远景区若干条岩心沉积物特征和物理性质进行分析研究。通过岩芯剖面描述、地球化学分析、粒度分析，初步查明东沙海域中下陆坡区沉积作用及其沉积特征，并对不同沉积作用下形成的沉积物物性的差异、有机碳富集能力及其对水合物成藏的影响进行初步的评价。结果表明该海区沉积物以 $CaCO_3$ 含量偏低为特征，比南海其他同水深海域 $CaCO_3$ 含量要低，说明该海域陆源物质的输入量很大，以陆源沉积作用为主。远景区内沉积物类型主要有粘土质粉砂、粉砂和砂质粉砂等 3 种，不同沉积物类型其粒度参数、有机碳含量和物性（含水量、孔隙率、干密度）不同。总体上，黏土质粉砂的有机碳含量较高，平均值 0.87%；砂质粉砂的有机碳含量最低，平均值 0.62%，粉砂的介于两者之间，平均值 0.77%。有机碳越高，越有利于甲烷的形成，因此，粘土质粉砂是良好的生气层。远景区内海底以下 8m 长的岩芯沉积物的含水率、孔隙率随着深度的加大呈下降趋势，而天然密度和干密度则隋深度的加大呈增加趋势。但是在某些层位的沉积物的含水率、孔隙率随着深度的加大不降反而增加。究其原因可能与水合物的分解有关或与组分有关。

S14-P-23

南海北部冷泉区 AOM 驱动的硫早期成岩循环作用及其对环境识别

邬黛黛 [1,2*]，吴能友 [1,2]

1 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室，中国科学院广州能源研究所

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

*wudd@ms.giec.ac.cn

冷泉是指分布于大陆边缘海底自沉积界面之下，以水、碳氢化合物（天然气和石油）、硫化氢、细粒沉积物为主要成分，温度与海水相近的流体进入上覆水体的流体活动，冷泉系统又称海底甲烷渗漏系统。由于甲烷渗漏系统与天然气水合物、生命的起源与演化以及潜在的环境效应等问题有关，而受到广泛重视。在海底冷泉沉积环境中，硫酸盐还原除受有机质氧化作用驱动外，主要受甲烷缺氧氧化（AOM）作用驱动。但 AOM 作用对硫酸盐还原的控制强度及其对硫早期成岩循环作用和硫埋藏的重要贡献还有待研究。近年来的研究初步确定南海北部陆坡主要有 6 个冷泉发育区域：台湾学者在台湾西南海域拍摄并采获到活体冷泉生物；2004 年，中德合作 SO-177 航次在东沙九龙甲烷礁发现菌席、管状蠕虫和双壳类生物，并发现冷泉仍在活动；陈多福等在东沙群岛西南海域发现可能正在喷溢的冷泉，并采集到冷泉碳酸盐岩及活体的双壳生物；陈忠等在西沙海槽海底拍摄到菌席和双壳类，并获得冷泉相关的沉积物；陈忠等还在南沙海槽获得一些冷泉相关的沉积物；陆红峰等在神狐海区也获得一些冷泉相关的沉积物。海底甲烷渗漏系统中冷泉生物的繁衍及冷泉碳酸盐岩的沉淀与甲烷

缺氧氧化（AOM）—硫酸盐还原作用密切相关。AOM 作用为冷泉生物提供了能量，维系着如贻贝类和管状蠕虫等为主的冷泉生物群落。部分管状蠕虫可通过其似“管状”的根部释放硫酸盐到深部地层，增加其根部周围地层中硫酸盐的浓度，进而加快甲烷的缺氧氧化速率，增加环境中硫化物的浓度来达到延续生命的目的，同时使环境富集 $\delta^{35}S$。AOM 是冷泉区硫酸盐还原作用的主要驱动力。

前人通过地球化学、矿物学、同位素地球化学等方法，系统研究孔隙水化学组分，硫酸盐、硫化物等自生矿物显微结构，中间态硫和有机质硫化物的分布形态和含量，硫稳定同位素等地球化学特征，识别冷泉区有机质氧化和 AOM 驱动的硫酸盐还原作用。研究结果显示冷泉区柱状沉积物样品孔隙水中的 SO_4^{2-} 和 H_2S 浓度随深度发生明显异常，AOM 作用在冷泉环境中占主导地位。根据沉积物中固相硫存在形态，主要分为有酸可挥发性硫(AVS)，黄铁矿(S_{py})，有机硫(S_{org})，元素(S_0)和硫酸盐矿物。可以通过化学提取法逐级提取，分析测试得到的不同价态硫含量，也可利用有机质萃取和气相-色谱-质谱研究有机质硫化物的组分和含量，穆斯堡尔技术可以定性和定量分析样品中的各种硫元素的化学种。其中黄铁矿、石膏、重晶石等可以通过立体显微镜手动挑选获得，进行精细的分析测试。前人研究结果显示黄铁矿中的硫继承了甲烷厌氧氧化过程中形成的 H_2S 的同位素特征，相对富集 ^{32}S，低 $\delta^{34}S$，硫化物的 $\delta^{34}S$ 值在 2.3‰～-46.0‰之间变化，在秘鲁俯冲带最低为-46.0‰。硫酸盐类自生矿物继承了还原细菌分馏后残余的硫酸盐中硫同位素信息，通常具有较高的 $\delta^{34}S$ 值，其变化范围为 19.6‰～77.1‰，在鄂霍次克海地区最高可达 77.1‰。前人研究表明东沙冷泉区 HD196A 和 GC10 两个站位黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值分别为 -48.4‰～-27‰和-36.7‰～-5.7‰，硫同位素分馏较大，与其它典型水合物的硫同位素分馏相当，说明该区沉积物形成于甲烷通量较大、硫酸盐供应充足的沉积环境。

S14-P-24

神狐海域天然气水合物富集区地震分频解释技术研究

雷宝华，龚建明，胡高伟，廖晶，孙晶

1 国土资源部 海洋油气资源和环境地质重点实验室

2 青岛海洋地质研究所

leibh@qq.com

分频解释技术将地震数据体从时间域转化到频率域，对三维地震数据进行全频段扫描、成像、改善和提高了地震资料对地质异常体的分辨能力。可识别出全带宽显示中可能忽略的地层和构造特征。该技术在薄层的识别、薄层储层厚度的计算、识别油气异常、展现储层内部非均质性变化等方面具有独特的优势。通过对神狐海域天然气水合物富集区准三维地震体进行分频成像解释研究，认为：①30HZ 调谐振幅对晚期错断不明显的断裂构造成像清晰；②20HZ 调谐振幅对水道的形态、延伸方向和切割关系等特征成像清晰；③15HZ 调谐振幅对识别气烟囱更有利；④5HZ 调谐振幅异常可能指示天然气水合物富集区的厚度和延伸范围。

S14-P-25S

珠江口盆地白云凹陷珠江组深水灰岩成岩作用特征

徐文礼[1]，郑荣才[1]，李云[1]，朱国金[2]，胡晓庆[2]，王欣欣[1]

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 中海石油研究中心
xuwenli5@163.com

珠江口盆地白云凹陷中新统珠江组厚层块状灰岩发育于陆架坡折带之下的深海环境，毗邻深水扇外扇亚相的盆地边缘，主要由泥质含量较少、颗粒支撑、较纯净的抱球虫灰岩和泥质含量较多、泥质支撑的泥质抱球虫灰岩组成，两者所含的抱球虫大都属于形态保存完整的浮游型，同时含有少量脉状和条带状分布的石英粉砂、泥质和颗石藻化石，其中较纯净的抱球虫灰岩中生物体腔孔非常发育，平均孔隙度为 15.7%，最高可达 37.7%，为珠江口盆地深水海域潜在油气储层。由于此类灰岩中普遍发育有脉状、波状、透镜状层理组合和双向交错沙纹层理，脉状和波状层理内往往富含泥、粉砂等陆源细碎屑物质，非常类似潮汐层理组合而被部分研究者认为是浅水或潮坪沉积，但缺乏潮坪沉积中常见的底冲刷构造和暴露标志。也有人认为是来自东沙隆起上相邻台地为物源的钙屑重力流沉积，但缺乏重力流沉积中常见的滑塌变形构造、逆和正粒序层理及鲍玛序列等标志。本项目研究认为此类深水灰岩为内波、内潮汐等深水牵引流对富含浮游生物的深海软泥进行搬运、富集改造，相对粗粒的钙质生物（主要为浮游型抱球虫）发生高度富集而形成的产物，但间歇受来自上部陆架坡折的低密度陆源细碎屑浊流影响。

以钻井岩芯铸体薄片鉴定、扫描电镜、X 衍射和碳、氧同位素等分析资料为基础，较详细地研究了珠江组深水灰岩成岩作用特征，表明现今埋深为 2.0～2.2km 的珠江组深水灰岩仅经历了相当 1.3～1.5km 埋藏深度成岩作用改造，尚处于早成岩阶段中-晚期（朱俊章等，2010），与其较早期地进入超压旋回（石万忠等，2009），高孔隙流体压力有效地抵抗了更深埋藏阶段的机械压实、压溶和其他成岩作用有关，所经历的成岩演化历史为：准同生莓球状黄铁矿对生物体腔孔的充填作用；早成岩阶段 A 期广泛的机械压实作用；早成岩阶段 B 期的压溶和胶结作用及来自基质中生物和硅酸盐矿物溶解和再沉淀形成的高岭石、铁方解石、铁白云石和石英对抱球虫体腔孔的充填作用，但缺乏后期的构造破裂作用。因此，所有的成岩变化都发生在早成岩阶段 A→B 期，都是使原生孔隙缩减的破坏性成岩过程。其中：机械压实作用表现为抱球虫之间的基质组分被压紧，大部分虫体呈保存非常完整的点接触关系，破裂现象较少见，反映其压实强度并不高，但仍属于造成孔隙缩减的主要原因，孔隙度缩减率为 30%～36%；压溶作用表现为部分钙质生物（主要为抱球虫）发生压溶缝合线接触，造成的孔隙度缩减率为 10%～16%，也是孔隙闭塞的重要机制之一；胶结和次生矿物充填作用，前者表现为压溶产生的碳酸钙发生迁移和围绕抱球虫沉淀、形成等厚环边胶结结构而造成孔隙缩减，后者表现为各种次生矿物对部分生物体腔孔的充填，由胶结物和次生矿物含量可估算其造成的孔隙度缩减率为 16.33%，因此，也是所造成孔隙闭塞的主要机制之一。从总体上看，由破坏性成岩作用造成的总孔隙度缩减率平均为 62.33%，按相当深水白垩成因的抱球虫灰岩最初始孔隙度可高达 75～80%（Grutzner，1999），经破坏性成岩作用缩减后的剩余孔隙度为 12.67～17.57%，平均为 15.17%，与珠江组深水相抱球虫灰岩实测孔隙度平均为 15.7%，渗透率平均为 $0.14\times10^{-3}\mu m^2$ 基本一致，属于中孔、特低渗孔隙型储层。

S14-P-26

南海北部神狐海域天然气水合物赋存带 AVO 属性分析

杨睿[1, 2, 3]，吴能友*[1, 2, 3]，苏明[1, 2]，梁金强[3]，沙志彬[3]

1 中国科学院广州能源研究所 可再生能源与天然气水合物重点实验室

2 中国科学院广州天然气水合物研究中心

3 广州海洋地质调查局

yangrui@ms.giec.ac.cn

AVO 技术目前已成为天然气勘探的主要手段。然而，运用 AVO 技术研究天然气水合物尚处于探索阶段，但是却表现出良好的应用前景：首先，当沉积物含有游离气时，地层可以通过泊松比剖面进行较好的区分；其次，水合物的重要示踪标志之一——BSR 在 AVO 剖面上具有较好的显示；第三，处理得当的情况下，AVO 可以较好的消除薄层效应的影响。

1、水合物 AVO 属性反演原理

使用 AVO 作为烃类气体的指示标志，是基于储层的孔隙空间中注入天然气之后，P 波速度与 S 波速度的响应之差[1]。温、压等条件随着深度的增加而不断变化，水合物亦在纵向上存在不同相态，在水合物赋存区的周围，天然气多以游离气形式存在[2]，这为 AVO 属性指示水合物存在提供了可能。

2、AVO 反演结果及属性分析

南海北部神狐海域三维地震资料在经过叠前偏移处理后，进行了 AVO 属性反演，共提取了 15 种 AVO 属性值和 9 个属性剖面。

（1）、游离气的 AVO 响应

在 P*G 乘积剖面，A 测线游离气层反射强度较强，同向轴表现出较为连续的特点，游离气层的顶界面较清晰；而在 Sign(P)*G 的剖面上，气层的分布和厚度都更为清晰。鉴于该气层的双程旅行时约为 1700ms，深度已接近或超过水合物稳定带底界，且其分布范围广，厚度大，可以推测其为水合物下伏的游离气。

（2）、BSR 的 AVO 响应

在截距剖面上，BSR 除了具有一般识别特征以外，其在同相轴的连续性方面表现得更为出色，因此也更容易辨识。与其他 AVO 属性剖面相比，空白带、细小断层和气运通道等弱振幅区的显示也更加明确。

（3）、AVO 属性剖面上的水合物识别

根据水合物沉积层及其上覆、下伏沉积层的物性的差异,结合 AVO 各种属性，可以推断南海北部神狐海域天然气水合物存在以下特征：BSR 表现为强亮点、强泊松比差值；空白带顶界处表现为中或弱亮点、中或小泊松比差值，其内部则为暗点或振幅空白区域，泊松比差值较小，在纵、横向上都表现出弱的差异。

3、结论

(1)零炮检距 P 波剖面，可以更好的反映 BSR 的极性反转、穿层等特征；可以较清楚的描述强气运通道中弱振幅层；可以更精确的表达细小断层的构造；(2)P*G 乘积剖面，可以反映游离气、BSR 和天然气水合物的空间位置关系，以及天然气水合物对游离气的圈闭关系；可以清楚地展示游离气的分布范围和游离气顶界面；可以精确的描述天然气水合物空白带的顶底界面；可以粗略的描述天然气水合物内部结构；(3)流体因子剖面，可以清楚地判断亮点和游离气层的位置；(4)泊松比变化量剖面，通过泊松比差值来可观反映地层岩性变化，为 BSR、游离气层的确定提供有力的证据；为天气水合物的顶底界面划定提供有力依据。

S14-P-27

渤海重力线性异常场与油气田分布的关联

闫仕娟[1, 2]，杜德文[1*]，杨刚[1]，朱志伟[1]，王春娟[1]

1 国家海洋局第一海洋研究所

2 中国海洋大学
gis_study@163.com

1.引言

烃源岩成熟度、储层条件是油气成藏的主要条件。构造演化历史是含油气层分布的首要控制因素，多构造旋回导致多层序和多套生储盖组合发育，是含油气层系形成的地质基础。渤海处于郯庐断裂带北段，拥有复杂的构造环境。渤海构造盆地经历了古近纪裂陷沉降阶段和新近纪—第四纪后裂陷沉降阶段，多种地层组合中如沙河街组三段广泛发育暗色泥岩和油页岩，以及生物碎屑灰岩、碎屑云岩等大量烃源岩。受到断裂位置及走向控制地层组合分布具有方向性和成带分布特征，烃源岩也具有这样的分布特征。

渤海构造盆地的基岩储集体和碎屑岩储集体是油气藏的主要储层。基岩储层主要分布在凸起和基岩断块的高部位，是主要聚油构造带之一。渤海盆地的背斜、断鼻、潜山等构造特征为油气成藏提供了圈闭条件，Y字型断背斜带是渤海构造盆地另一主要油气聚集带。另外，国内外探测事实证明，异常高压对保留较好的储层物性起关键作用，地层超压为深层油气藏形成提供了储层条件。

综上，油气聚集带从物性来看具有地势相对较高、地层压力大、整体密度相对较高等特点。而重力异常能够反映局部地质体物性不同引起的重力场效应。

本文采用异常梯度方向累积法提取重力线性异常，通过重力局部异常场分布特征预测油田分布。

2 梯度方向累积法

假定研究区域为均匀的网格单元，每个单元都赋以相应的重力异常值，即形成拥有坐标和属性的三维矩阵。用 3×3 的窗口从第一个网格单元开始进行梯度计算，边界网格以窗口内现有网格数目计算结果为准，记录每个网格的最大梯度方向，并记录该网格最大梯度指向的网格编号。根据每个网格单元记录的梯度方向数据累计计算每个网格最大梯度计算时被指向的次数，如果被指向的次数为零，表明该网格单元的重力异常值局部范围内相对较高，反之如果被指向的次数多，说明该网格单元的重力异常值局部范围内相对较低。据此原理，计算区域内每个网格单元被其它网格单元梯度方向指向的次数，提取指向次数为 0 的网格单元，显示的区域即为研究区内的局部高异常带，其表现为线性特征，称为线性异常。此方法可以识别弱小异常，划分的异常区域具有较全面，且划分的异常范围较小的特点。

3 应用

将研究区重力数据生成栅格矩阵，网格单元大小(x=0.04°,y=0.04°)，使用梯度方向累积法对重力异常数据提取线性异常。结果显示重力异常条带呈线性贯穿局部高异常区域及高异常与低异常之间的过度带，主要呈 NNE 和 NWW 向条带状分布，渤中地区异常条带则相对错综，局部异常分布较多。结果与构造研究成果（徐杰，2011）对比表明重力线性异常带与构造分布特征相似；结果与已发现的油田分布叠加对比发现，重力线性异常带与油田分布高度重合；结果与前人研究成果（张春灌，2010）相比，梯度方向累积法圈定的异常区域面积较小，但圈定和定位的油田数量却更多更准确。另外，结果表明，在重力异常的线性异常带，当异常带局部范围内的重力异常相对异常带周围其它异常值偏大时，也就是局部异常值相对更高的位置，油田分布的可能性也越大。

4 结论

通过梯度方向累积法提取重力线性异常方法在油田预测方面，具有划定目标范围全面、目标面积小、定位更准确的优势，建议在油田勘查预测中尝试使用。

S14-P-28

高甲烷通量背景下海洋沉积物中碳、硫循环耦合初步研究

蒲晓强[1]，姜在兴[2]

1 广东海洋大学

2 中国地质大学

puxq2005@yahoo.com.cn

源于海底深部天然气藏渗漏或天然气水合物分解释放的甲烷,在硫酸盐-甲烷交接带(SMI)与硫酸盐发生氧化还原反应，生成的硫化氢和碳酸氢根，不但成为沉积物中硫循环和碳循环的重要环节,而且将硫循环和碳循环联系起来。通常甲烷-硫酸盐还原反应生成的硫化氢（可与金属离子结合生成硫化物矿物）具有硫同位素偏高的特征，而生成的碳酸氢根（可与钙离子结合生成碳酸盐矿物）具有负偏的碳同位素特征。因此，甲烷-硫酸盐还原反应是研究高甲烷通量背景下海洋沉积物中硫碳循环耦合的基础。对 NH-1 孔沉积物样品的全岩碳酸盐 $\delta^{13}C$、自生黄铁矿 $\delta^{34}S$、有机碳氮含量等参数进行了分析。结果表明：沉积物中全岩碳酸盐 $\delta^{13}C$ (- 6.09‰ ~ - 0.48‰)，与正常海相碳酸盐相比明显偏负；自生黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}S$ 在 262.5 ~ 380.5 cm 深度段，具有显著的正异常值(最大+15‰); 沉积物有机碳含量为0.34 % ~ 0.63 %,氮的含量为 0.05 % ~ 0.14 % ,平均 0.08 %。碳酸岩碳同位素与黄铁矿硫同位素值均偏离正常海洋沉积物中碳硫同位素的分布范围，反映了源于海底深部天然气藏渗漏或天然气水合物分解所释放甲烷的影响。

经分析发现，有机碳同位素与有机碳、氮含量间均具有较好的相关性，由此推测，在沉积物中较高甲烷通量背景条件下，除了甲烷厌氧氧化形成的自生碳酸盐之外，有机质与硫酸盐氧化还原反应也可能是全岩碳酸盐 $\delta^{13}C$ 偏低的根源之一。如果甲烷通量较高，甲烷厌氧氧化所形成的自生碳酸盐数量占自生碳酸盐的主要部分，那么甲烷厌氧氧化所伴随的强烈细菌活动有可能对沉积物有机质成份进行改造。通常海洋浮游生物的 C/ N 比值是 7.7 ~ 10.1；高等植物的 C/N 比值一般>20, 最高可达 50 以上；细菌等物质 C/N 比值分布为 2.6~4.3 等。NH-1 孔的 C/N 值在 3.4~9.9 之间，并在 191.5cm 深度以下具有随深度增加逐渐减小的趋势，反映了沉积物中有机质受到细菌物质的改造。NH-1 孔的 247.5cm-380.5cm 层段中，硫同位素与 N/C 具有较好的相关性。说明有机质的活性较高时硫酸盐还原菌含量较高，相应的甲烷厌氧氧化的速率也较高，从而导致生成的硫化物硫同位素值正偏。也可能是在甲烷通量较高的背景条件下，形成的硫化物的硫同位素值偏高的同时，硫酸盐还原菌细菌大量繁殖，对原有有机质成份进行改造，从而造成 N/C 比值的升高。进一步分析处理发现，硫同位素与碳同位素也具有很好的相关性，这反映了由厌氧微生物引发的甲烷缺氧氧化作用，使得 CH_4 及其反应形成的溶解无机碳及碳酸盐相对富集 ^{13}C，也就是 $\delta^{13}C$ 相对升高。随着甲烷硫酸盐还原速率的增加，硫同位素分馏减小，从而使 $\delta^{34}S$ 数值升高。说明沉积物中硫循环与碳循环同时受到甲烷硫酸盐还原反应的影响。

源于海底深部天然气藏渗漏或天然气水合物分解释放的甲烷，通过硫酸盐还原反应，将硫循环和碳循环联系起来。硫酸盐还原反应生成的硫化物极易与金属离子结合，因此金属物质的循环也有可能受到影响。海底沉积物中甲烷、有机质、硫、金属成为了一个相互联系比较紧密的地球化学系统。因此加深对高通量甲烷背景条件下碳、硫和金属循环间耦合关系的研究，有助于对海洋深部油

气和天然气水合物的勘探，对海洋金属矿产的研究也有一定的参考意义。

S14-P-29

墨西哥湾超压盆地内流体运移模式—Sr 同位素示踪

李艳平[1,2]，蒋少涌[1]，朱志勇[1]

1 南京大学地球科学与工程学院内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室

2 南京大学地理与海洋学院海岛与海岸开发教育部重点实验室

ypli@nju.edu.cn

于 2005 年执行的 IODP308 航次在墨西哥湾常压和超压盆地均钻孔取样，目的是利用常压 Brazos-Trinity IV 盆地建立一套可供参考的测井和岩芯特征数据，这些数据可作为超压 Ursa 盆地特性数据的对比基准。超压 Ursa 盆地位于墨西哥湾东北部大陆斜坡上，是盐锲倒退后形成的小盆地，由于受密西西比河的影响，Ursa 盆地的沉积速率较高，因此产生超压，本文通过对沉积物碳酸盐和孔隙水中 Sr 同位素分析，结合其他一些常量和微量元素的含量，来示踪超压盆地内的流体运移。

对超压 Ursa 盆地 U1322 钻孔孔隙水 Sr 同位素分析可知，其表层孔隙水组成与海水相似，随深度增加孔隙水中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值逐渐降低，在地震反射面 S10 附近达到最小值，与常压盆地 U1319 浅层（30mbsf 以浅）孔隙水组成不变有明显差异。同时，U1322 钻孔沉积物中碳酸盐中 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值也在 S10 附近达到极小值。这与之前我们所观察的孔隙水中 Ca、Mg、Sr、B、Li 含量出现极大值的位置相符，而在 U1319 钻孔中未观测到相似的变化趋势，说明在超压盆地沿着地震波反射面 S10 附近有外来流体的入侵。此外来流体呈现低 $^{87}Sr/^{86}Sr$，高 Ca、Mg、Sr、B、Li 特征。

前人在墨西哥湾地区对盆地内新生代碎屑地层中存在的流体进行了大量的研究（例如 Reitz 等，2007），根据流体的地球化学特征而分为三种：（1）NaAc（醋酸钠）型，此类流体形成于页岩富集的地层。此类流体源于海水，其中 Na 离子的含量高于 Cl 离子的含量，在深层埋藏是受水-岩交换反应（粘土矿物脱水）的影响而呈现低盐和高 Sr、Li、B 特征；（2）NaCl 型，此类流体形成于底辟盐大量存在的地区，源于大气降水或 NaAc 型流体溶解岩盐（Louann 岩盐）后形成，由于经历过水岩交换反应而富集 Li 和 B，同时呈现低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 特征；（3）Ca 型，此类流体的分布较少，在全新世地层中大部分 Ca 富集型流体和富集 Ca 的 NaCl 型流体都是外来流体，Ca 型流体中的某些组分与相似深度中生代储库中的卤水组成相似（例如 Br/Cl）。此类流体由于经历了水-岩交换反应而呈现高 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比特征。

在 Ursa 盆地 U1322 钻孔和 U1324 钻孔地震波反射面 S10 附近的流体呈现低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 特征，与上述三种流体特征进行对比，此入侵流体应属于 NaCl 型（$C_{Na}<C_{Cl}$），同时孔隙水中富集 Ca、Mg、Li、B、Sr。

S14-P-30S

下扬子地区二叠系深水盆地相页岩与页岩气成藏条件分析

崔璀，刘子威，郑荣才

油气藏地质及开发工程国家重点实验室，成都理工大学

1021177086@qq.com

页岩气是以吸附、游离或溶解状态赋存于泥页岩中的天然气,它赋存于特定的地层中而不受“圈闭”的控制,具有“自生自储”

的特点,属于一种非常规天然气资源。据统计，世界页岩气资源量约为 456.24×10^{12} m^3 ,美国页岩气资源量约为 $28.3\times10^{12}m^3$,而中国页岩气资源量与美国相当，资源量丰富但研究程度较低，还处于起步阶段。随着中国对清洁能源需求的不断扩大,必须加大页岩气资源的研究力度和勘探投入。根据研究资料表明，下扬子地区地理位置处于长江下游,跨越苏、浙、皖、赣和沪四省一市，陆地面积 22×104 km^2。大地构造位置为扬子板块东段，北界为连云港—黄梅断裂，南界为江山—绍兴断裂，东邻环太平洋构造带，西接特提斯构造域，是我国南方古生界和中生界海相地层发育最全,保存较完整地区。在中—古生界稳定型海相被动大陆边缘和克拉通盆地发育阶段, 下扬子地区形成了巨厚的中—古生界沉积, 岩性稳定, 发育有多套有机质丰富的烃源岩,形成了多套生储盖组合，其中以二叠系深水盆地相暗色泥页岩分布较广泛，厚度较大、分布很稳定、有机碳(TOC)含量最高和脆性矿物含量适当，具备雄厚的成烃物质基础。因此，开展下扬子地区深水盆地相页岩气地质条件的研究具有重要的理论和现实意义。

下扬子地区二叠系由老到新发育有孤峰组、银屏组、龙潭组和大隆组四个地层单元，其中：孤峰组自下而上为深水盆地相到深水陆棚相，局部碳酸盐缓坡相的向上略变浅的沉积序列，岩性下部为碳质页岩、含锰页岩为主，夹少量粉砂质泥岩组合，上部为薄层粉砂质泥岩与碳质页岩互层组合，局部为薄层泥灰岩夹少量粉砂质泥岩组合；银屏组为深水陆棚相，岩性为碳质页岩夹少量岩屑石英细砂岩组合，后者大多属于远源浊流沉积；龙潭组为进积的三角洲相，自下而上由大套的前三角洲亚相的黑色碳质泥页岩夹粉砂岩组合，向上逐渐过渡为三角洲前缘和三角洲平原亚相的细-中粒砂岩夹薄层泥页岩和煤层组合；大隆组又重新迅速加深为深水盆地相，岩性为大套连续沉积的黑色碳硅质泥岩组合。

下扬子地区二叠系深水盆地相暗色页岩的 TOC 含量为 0.6～7.5%，平均值为 2.9%，有机质类型以Ⅱ型干酪根为主，成熟度 R 为 0.7%～1.9%，平均值为 1.6%。张金川等认为泥页岩中的 TOC 含量达到 0.5%即可以作为产气页岩下限，而较为有利的产气页岩 TOC 含量应大于 2.0%。Jarvie 等认为有利于页岩生气的有机质为 Ro＞1.0%（热裂解生气）。按此 2 个标志划定的下扬子地区二叠系暗色页岩有效厚度为80～100m，最大可达 123.6m 以上。从 TOC 含量、成熟度和暗色页岩有效厚度等指标上看，下扬子地区二叠系深水盆地相页岩具备良好的页岩气成藏地质条件。全岩 X-衍射分析结果，深水盆地相页岩矿物成分石英为 20.2～77.25%，平均值 44.1%，粘土为 2.85～50.6%，平均值 27.4%，其次为方解石和白云石，含少量斜长石和黄铁矿等，脆性矿物的含量适中而有利于开发工程中的储层大规模压裂改造。

将下扬子地区二叠系深水盆地相页岩样品分析结果与具备商业价值的美国、加拿大和上扬子地区的页岩对比，显示出下扬子地区二叠系页岩具备巨大的页岩气勘探潜力。随着勘探技术的不断进步，可以相信二叠系深水盆地相页岩将成为下扬子地区非常规天然气藏勘探开发的主要目标层位，而二叠系深水盆地相页岩集中发育的地区或将成为非规能源生产基地。

S14-P-31S

基于模糊层次综合评价模型的油气资源评价的研究

王飞，秦勇，沈玉琳

中国矿业大学
401125238@qq.com

油气资源评价的目的是为决策者提供依据，虽然目前资评的方法及模型很多，但各家采用的资评方法中均未涉及对评价结果及关键参数的隶属度及可信度的评价，本文基于 matlab 工作平台，采用模糊数学的思路，使用层次分析法、综合法、穷举法、矩阵论、插值法等方法，建立了模糊层次综合评价模型，此模型可以对油气资源评价中的关键参数及最终结果的权重及可信度分别进行评价，以概率的形式表现，为决策者决策提供更快捷、更可靠的依据。

S14-P-32S

西湖凹陷平湖组煤层测井识别及煤层发育特征研究

张虎[1]，郭英海[1]，沈玉林[1]，宋世君[2]

1 中国矿业大学 资源与地球科学学院\
2 中国石油大学 地球科学与技术学院
zhanghu3017@126.com

西湖凹陷为我国东海重要含油气盆地，平湖组煤系是西湖凹陷主要的烃源岩类型。煤层具有特定的测井响应特征，运用测井响应进行煤层识别具有可行性。本文综合利用岩心、测井、录井资料，并结合地球化学指标，以单井钻遇煤层取芯段位出发点，运用统计学手段，总结平湖组煤层具体测井指标，并进行验证，归纳平湖组煤层测井响应特征，进而对凹陷内全井煤层进行预测。并在此基础上探讨平湖组煤层在垂向上及平面上的发育特征，研究发现平湖组煤层垂向上主要发育在平湖组二段，一段次之，三段煤层最不发育；煤层整体上具有东西分带，南北分区的特征。煤层主要发育在盆地西部西坡带的三角洲平原及潮坪沉积环境，同时整体聚煤中心有相南迁移的趋势，具有东西分带，南北分区的特征。

S14-P-33S

东海陆架盆地西湖凹陷平湖组煤系烃源岩生烃特征研究

黄辅强

中国矿业大学
fqh888@yeah.net

东海陆架盆地是我国海域最大的含油气盆地，位于我国浙闽沪以东，日本琉球群岛以西，海域面积约 $77\times10^4km^2$，一个中、新生代叠置的复合型含油气沉积盆地，盆地内勘探程度普遍相对较低。西湖凹陷位于东海盆地，是东海盆地中相对勘探程度较高的一个，现已投入生产开发有平湖油气田及春晓—残雪—天外天气田群等，在凹陷内发现宝云亭、武云亭、孔雀亭等油气田及玉泉、孤山、龙二及龙四等含油气构造显示了西湖凹陷良好的油气勘探前景。

整个西湖凹陷呈北北东向展布，其西侧为虎皮礁、海礁、渔山三个凸起，东侧为钓鱼岛岩浆岩带（钓鱼岛隆褶带），北端和南端通过一个高鞍部分别过渡到福江凹陷和基隆凹陷。西湖凹陷发育历经断陷、拗陷和区域沉降三个构造发展阶段，并分别发育以拉张性正断裂、压性断裂及剪切平移断裂为主的断裂系统。

东海西湖凹陷平湖组发育含煤地层，而煤系是否能作为生烃源层，针对这个问题，研究了不同井位不同层段煤系的有机质丰度、类型，并结合沉积环境研究煤系生烃特征，研究层段为平湖组一、二、三段，从有机碳含量、生烃势、氢指数、Tmax 等分析垂向、平面上的变化，不同沉积相带有机质丰度的差异性导致了生烃特征的差异性。研究表明：平湖组地层发育厚度最大超过 3000m，泥岩厚度能达到 50%以上，而煤层分布广，分层

多，且煤层薄等特点；西湖凹陷平湖组经历了由海相逐步向陆相过渡的沉积环境变化，影响到有机质的富集，在西部斜坡带处于曲流河及潮坪相处丰度高，平均有机碳含量0.798%，生烃能力较好，指出了有利油气生成的沉积环境。

S14-P-34

酒泉盆地青西凹陷白垩系湖相热水沉积原生白云岩

文华国[1*]，郑荣才[1]，Hairuo QING[2]，宫博识[1]

1 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室,沉积地质研究院

2 Department of Geology，University of Regina，Regina SK Canada S4S OA2

wenhuaguo@yahoo.cn

通过岩相学、组构学和地球化学的综合研究，详细描述和论证了一种独特而罕见的中生代断陷湖盆条件下，碱性热卤水结晶沉淀的纹层状泥晶原生含铁白云岩.此类白云岩多呈 0.1～1mm 厚的纹层，并与钠长石、方沸石、重晶石、地开石等呈两元或多元互纹层产出，主要造岩矿物为泥晶结构的含铁白云石，并富含多种热液共生矿物. 岩石地球化学结果显示: 富含 Sb、Ba、Sr、Mn、V 等热水沉积标型元素，LREE 相对富集，具典型的负 Eu 异常稀土配分模式，氧同位素 $\delta^{18}O_{PDB}$ 介于-5.89～-14.15‰，平均-9.69‰，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值介于 0.711648～0.719546，平均 0.714718, 反映沉积环境为受基底断裂控制的稳定、封闭、缺氧的深湖底低洼热卤水池，热流体为下渗湖水与幔源岩浆水混合形成的富含 Ca^{2+}、Mg^{2+} 、Fe^{2+}等多种离子的碱性热卤水，受岩浆热能驱动流、重力驱动流及压实驱动流共同作用，突破上覆沉积物和湖泊水体的静水负荷压力发生沸腾爆炸，将喷流口上覆先期的纹层状泥晶含铁白云岩震碎，形成“水爆角砾岩”；在距喷流口较远的低洼、安静的热卤水池中，热液则快速结晶化学沉淀出纹层状泥晶原生含铁白云岩.该套特殊岩石的研究一定程度上将有助于推动湖相碳酸盐岩和白云岩成因研究，特别是为我国中、新生代同类盆地湖相白云岩研究提供新的范例和研究思路。

S14-P-35

钻井液侵入水合物地层特性及其对测井和井壁稳定的影响

宁伏龙[1,4*]，张可霓[2,3]，吴能友[4]，蒋国盛[1]，张凌[1]

1 中国地质大学（武汉）工程学院

2 美国劳伦斯伯克利国家实验室

3 北京师范大学水科学研究院

4 中国科学院广州天然气水合物研究中心

*nflzx@cug.edu.cn

综合三维地震和测井解释是准确定量描述水合物储层的有效方式，然而测井解释却很容易受钻井过程的影响。除了钻井液循环冲刷，钻井液侵入也可能导致测井解释结果失真，从而影响最终水合物储层评价。基于上述背景，我们以实际海洋水合物勘探钻井为例，利用数值模拟方法研究了过平衡钻井条件下，水基钻井液侵入海洋含水合物地层的动态过程及其一般性规律。模拟表明，当钻井液温度或者盐度高于地层中水合物稳定条件时，耦合水合物分解和再形成是钻井液侵入海洋含水合物地层与侵入常规油气地层的主要区别。重新形成的水合物叠加原位水合物甚至可能导致该区域内水合物饱和度高于地层原始水合物饱和度，从而在井周形成一个“高饱水合物环带”。这一现象归因于钻井液侵入的驱替推挤和水合物二次形成对流体的阻滞作用。在地层物性一定的条件下，

高饱水合物环带的出现与否主要受钻井液性质和地层物性控制，尤其后者影响较大。高饱水合物环带、水合物分解稀释以及分解产生的游离气体共同作用导致在井周可能形成一个“高视电阻率环带”。这个高电阻率带会使测井获得的地层电阻率值比实际的大，进而导致用阿尔奇公式或者印度尼西亚方程估算水合物饱和度时产生一定偏差。模拟结果还表明当钻井条件超过水合物稳定区域时，即使采用随钻测井方式也可能会不准确，因为钻井液侵入和水合物分解很迅速，所以测井时最好停钻较长时间并采用深侧向电阻率测井方式。此外，井周附近水合物分解会急剧增加井壁失稳风险，但是水合物再形成似乎具有双重效应：增加了地层力学强度同时却可能降低地层有效应力。初始水合物饱和度越高，后者效应越明显。因此含有较高饱和度的水合物储层尽管有诱人的资源潜力和可采性，但钻井安全风险也随之增大。因此，在水合物地层钻井时，为保证井壁稳定、井内安全和测井准确，就必须对泥浆温度、密度、盐度和滤失量进行严格控制，防止地层中的水合物大量分解。同时选用低矿化度的含有适量暂堵剂的泥浆体系，最好向低温泥浆中加入水合物动力学抑制剂或防聚集剂而不是盐类等热力学抑制剂。

S14-P-36S

天然气水合物取芯钻机保压方案理论计算与实验验证

安莉[1]，叶瑛[1]，秦华伟[2]

1 浙江大学海洋科学与工程学系

2 杭州电子科技大学机电所

alina2009_cool@yeah.net

天然气水合物取芯钻机将是国内外首台以沉积物为钻探取芯对象，以水合物勘探为服务领域的钻机，它首次对全部岩心实现保压。以往钻机的岩心保压装置质量和体积大、结构复杂，需要对其进行全新的设计，否则取芯钻机将不堪重负，全程取芯也无法实现。

天然气水合物取芯钻机采用了新的保压方案，设计了一种新型的取样保真筒—气垫式保真筒，气垫结构不仅能完成保压功能，而且有效地实现钻机的小型化和轻型化。针对保压筒保压能力的研究，我们进行了规定尺寸的保真筒的理论计算，分析过程中考虑以往被忽略的样品因素，即由于采样压力、温度环境的变化引起的样品体积膨胀，经多次迭代仿真后得：不含气垫塞时筒内压降为 7.44%，气垫式保真筒的桶内压降为 2.83%。为验证理论仿真结果，进行了实验，实验时采的用保真筒尺寸与规定尺寸不同，实验用保真筒不加气垫时筒内压降为 13.3%，气垫式保真筒筒内压降为 7.07%，为与理论值作对比，我们对实验所用尺寸保真筒也进行了压降仿真，实验所用尺寸的保真筒理论压降仿真值为：不含气垫塞 4.79%，含气垫塞时压降为 0。

仿真结果与实验结果趋势相同，且理论值与实验值均相差 8%左右，由此可推断，数值差异很可能由实验系统的泄露等试验因素引起。以上证明样品体积补偿作用是采样器保真研究中不可忽视的因素，同时也反映出理论分析的正确性。气垫式保真筒能够克服以往保压装置的不足且满足天然气水合物采样保压要求，可以在天然气水合物取芯钻机中使用。

气垫式保真筒保压效果的优化以及保真筒的具体保压规律还将进行后续研究。

S14-P-37

深拖式等离子体震源

黄逸凡

浙江大学化工系

huangyf@zju.edu.cn

我国油气勘探逐渐由近海走向深水油气田。浅地层高分辨率探测是海洋油气勘探开发不可缺少的调查手段。“十五”和“十一五”期间在 863 项目的支撑下，我们成功研发了多套等离子体震源。“十二五”将在此基础上研发深拖式等离子体震源，拟解决常规的海面拖曳应用于深海时存在的分辨率降低和地层穿透深度变浅等问题。系统可工作于 2000 米深海，地层穿透深度 150-500m，地层分辨率达到 0.2-1.0m。目前，前期的实验室验证工作已经完成，初步证明了等离子体震源在深水高静压条件下的技术可行性。

S14-P-38

海洋可控源电磁法发射源姿态影响研究

刘云鹤，殷长春，奔放

吉林大学地球探测科学与技术学院

yinchangchun@jlu.edu.cn

海洋电磁理论是建立在水平发射偶极的基础上。然而，由于海底洋流作用海洋可控源发射偶极可能产生水平摆动、倾斜和水平旋转，造成测量数据与理想状态的水平电偶极子的电磁响应有较大的偏差。为了研究发射源姿态变化对场的影响，本文提出利用欧拉旋转将发射偶极由源坐标系转换到地球坐标系，进而分析发射源姿态变化造成海洋电磁观测数据的误差分布特征。研究发现，对于发射源水平摆动和倾斜造成的海洋电磁观测数据的畸变，其分布规律取决于接收机所在区域。以发射频率 1Hz 为例，对于由发射源水平摆动或倾斜导致的地球坐标系中的两个等效电偶极子分量产生的水平电场 E_x，在旁线区域，二者的相位差约为 360 度，接收机接收到的电场信号约为两个偶极子场之和；而在同线区域，二者的相位差接近于 180 度，接收机接收到的信号为两者之差。在两个区域的交界处，发射源姿态对电磁信号影响最大。相比之下，发射源水平摆动只改变发射源的位置，不会改变源的性质，其影响主要发生在收发距较小的区域。本文的研究成果有助于海洋电磁系统设计时确定发射源姿态变化的参数指标，同时也为未来实际海洋电磁观测时分析和校正发射源姿态变化造成的观测数据误差提供理论基础。

S14-P-39

海底地震仪二次定位探讨

张旭东

国土资源部 广州海洋地质调查局

zhangxd_911@126.com

在海上投放海底地震仪（简称OBS）后，由于海水运动复杂性，OBS 到达海底的平面位置距投放点会有比较大的偏差。导航提供的测量资料只是 OBS 离开船到达海平面的位置，这种误差的不确定性对最终采集资料的影响很大。而且 OBS 的海底位置对于 OBS 水平分量旋转及波场分离等有着重要的影响，因此有必要通过一定方法确定 OBS 在海底的实际位置。2011 年广州海洋地质调查局在南海某区投放 25 个站位、布设 14 条测线进行了实验。

在进行海底地震数据采集工作时，应用 GPS 或其它的定位系统，在预先设计的测线位置上施放 OBS，这是海底地震勘探的一次定位。施放 OBS 时，由于海水的各种运动，在水面按照预定位置施放的 OBS，到了海底往往并不会按原先设定的位置成直线分布，很有可能偏离设计侧线，有时这种偏离可能非常严重。如果再按照原先设计位置去处理和解释数据，就会造成很大的误差。这就需要对已经下落到海底的实际 OBS 位置进行再定位，也称二次定位。

一、二次定位原理

对于海洋地震勘探来说，震源船上都装有 GPS 和实时导航系统，可以准确记录震源的位置。通过其它方法测定震源到检波器间的距离，以震源位置为圆心，以测定距离为半径画圆；应用 2 个震源点画出的 2 个圆能够确定出 2 个交点，理论上检波点应在其中之一；需要第 3 个震源点排除其中一个交点，剩下的交点即为实际的位置。3 点定位只是理论假设，实际工作中需要更多的点提供冗余计算，通过拟合算法确定出 OBS 在海底的实际位置。

二、二次定位处理流程

1.初至时间的拾取

选取初至应注意避开折射波和近炮点的影响。我们经过实验，认为偏移距 1000 米以内的地震道初至起跳清楚，便于拾取。接下来在共检波点道集进行自动拾取，该道集内的初至经过拉平处理后，波形对应比较整齐。然后在共炮点道集内进行手动拾取，该道集初至形态符合地震波的传播规律，对自动拾取的错误能够很容易地进行修正；最后再回到共检波点道集进行检查，以保证最终拾取的精度。

2.地震波传播速度确定

地震波在海水中的传播速度近似为 1500 m/s，但每个地区会因为含盐度、温度和水深的影响而不同。速度的测定可以实测或以计算的近道直达波速度代替。但这两个速度仅提供参考，并不能代表全区的波在海水中的传播速度。真正的计算速度需要通过速度场来确定，速度场是一个模拟分析的过程，利用偏移距(震源坐标和检波点一次导航成果计算而得)和拾取的初至时间进行速度场分析。

3.多点拟合

理论上 3 个炮点就可以对一个检波点进行定位，但实际情况却大不相同，需要多点数据提供冗余计算；多点能够产生统计效应，避免异常值的影响，从而提高定位的精度。根据实际应用效果分析，定位炮应分布在接收点四周，至少要在接收线两侧都有炮点存在，这样在多点计算过程中，才能提高控制精度，缺失方位信息会严重影响计算的准确性。在坐标计算时还要作方位平衡。我们采用复制的方法将缺失的方位补齐，通常是沿对角线方向进行复制，这样在计算过程中就不会出现向一个方向偏离的现象。每一个点都代表了一个炮点的贡献，剔除其中明显的野值，然后对其它的数据进行拟合，得到OBS的最终位置。

三、二次定位效果检验

在检验初至拉平效果的时候发现，定位后在所选偏移距范围内 OBS 所接收到的大部分测线被拉平，但是仍有个别测线未被拉平，不同测线之间也有一定时移，二次定位后 25 个 OBS 站位位置与设计位置之间距离范围从 5.7 米到 41 米。经过二次定位后对本次实验处理效果有一定改进，但定位方法及成像效果仍有改进余地。

S15-O-01

用自主水下航行器对海洋特征进行自主检测和标靶取样

张燕武

Monterey Bay Aquarium Research Institute
yzhang@mbari.org

We will present novel methods of using AUVs for studying oceanographic features that carry significant impact on ocean ecology. For example, in a coastal upwelling system, zooplankton often aggregates at the front between stratified water and upwelling water. We have developed a set of AUV algorithms

for autonomous detection of and targeted sampling in oceanographic features such as phytoplankton thin layers and intermediate nepheloid layers, upwelling fronts, and thermocline. These algorithms have been successfully applied on MBARI's Dorado and Tethys AUVs in a series of field experiments. During the April/June 2011 and May/June 2012 CANON (Controlled, Agile, and Novel Observing Network) Experiments in Monterey Bay, California, the novel detection and targeted sampling capabilities permitted the AUVs to autonomously classify the three distinct water types (stratified water, upwelling water, and the front in between), accurately locate and track the narrow front, and conduct "surgical sampling" of the complex marine ecosystem. There is an ongoing effort of incorporating the third generation Environmental Sample Processor (ESP) into the Tethys long-range AUV. The combination of an AUV-borne ESP and the AUV's capability of autonomously detecting ocean features provides an exciting prospect of conducting molecular biology analysis on targeted water samples in situ.

S15-O-02

深水可视化可控超长沉积物取样系统研制

栾振东，张鑫，阎军，陈长安

中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室，青岛 266071

luan@qdio.ac.cn

在中国科学院科研装备研制项目的支持下，中国科学院海洋研究所近期开展了一套深水可视化可控超长沉积物取样系统的研制工作，该系统设计工作水深可以达到 3500 米，设计取样长度大于 20 米,将作为中国科学院海洋研究所正在承担建造的国家重大科技基础设施——“科学”号海洋科学综合考察船的重要船载深海沉积物取样设备，同时其衍生类型的设备具有较强的船舶适用性，可方便用于其他类型科考船，而不需对船舶进行大量的改造工作。

深海沉积物作为一种重要的深海环境变化记录载体，是开展海洋学研究的重要基础性研究材料。因此，如何获得深海沉积物，尤其是超长、连续、无扰动的沉积物柱状样品，是深入开展深海科学研究必不可少的重要环节，也是我国在深海研究国际竞争中取得优势的主要技术瓶颈之一。

本系统在现有重力活塞取样技术的基础上，采用立式采样系统收放技术，增加控制、可视、液压、水下定位功能。系统主要包括：检测单元、图像处理单元、远程数据传输单元、水下摄像、水下照明、高度测量单元、声学释放装置、水下电源及工控系统和含变频直流电源的液压动力系统。调查作业时，作业人员通过甲板控制系统，在实时监测海底实况图像的同时，能同步获得取样系统离海底的高度、姿态、位置等信息并能控制取样深度，方便操控的同时保证样品的质量。此外，利用可视可控功能，可以进行局部海底视像调查、海底沉积物的目测分类等等。设备还具有功能扩展接口，可配置 CTD 及 ADCP 等传感器进行海底水文要素调查，从而最终建设成为一个深海海底综合取样探测平台。

本系统已经完成了各主要部件的加工和安装调试工作，相关成果已经申请了 5 项国家发明和实用新型专利。

S15-O-03

基于激光拉曼光谱技术的深海沉积物海洋地球化学原位探测

张鑫

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

zhangxin.ouc@gmail.com

本研究工作使用世界上第一个基于深海 ROV 机器人的天然气水合物沉积区孔隙水激光拉曼光谱原位定量探测系统，完成了深海天然气水合物沉积区和深海冷泉区沉积物孔隙水中溶解的甲烷、硫化氢、硫酸根和 pH 的原位探测。

本研究工作在国际上首次探明了深海沉积物中溶解的甲烷气体的真实浓度（比传统方法取样后经实验室分析得出的结果高近 30 倍），从而证明甲烷不仅存在于天然气水合物中，而且更广泛的大量赋存于深海沉积物中。该研究成果在 2011 年 5 月被 Science 杂志选做“Editor's Choice”（Science, Volume 332, Number 6030, Issue of 6 May, 2011）进行了评论，并被 Nature（Nature, doi:10.1038/news.2011.263, Published online 2 May, 2011）报道和评述，已成为最近国际海洋界关注的重要研究热点。

本论文还通过分析深海沉积物孔隙水激光拉曼光谱曲线中未离解的 H_2S 分子的 H-S 伸缩峰（2570 cm^{-1} ）和 HS^- 离子的 H-S 伸缩峰（2592 cm^{-1}）比值研究了深海沉积物孔隙水的原位 pH 值，提出了一种新的深海沉积物孔隙水 pH 值原位探测新方法，为深海沉积物孔隙水 pH 探测提供了一种新的分析思路和手段。

本论文作为一种创新性的海洋化学探测技术，对于海洋地质和海洋化学研究中关注的沉积物海洋地球化学、天然气水合物原位探测和深海热液、冷泉生态系统研究具有很好的应用前景。

S15-O-04

东海小衢山综合海底观测站及海洋仪器装备测试实验平台

许惠平，于洋，徐昌伟，覃如府，陈华根

同济大学海洋地质国家重点实验室

xuhuiping@tongji.edu.cn

在中国第一套海底观测系统—小衢山海底观测试验站建成运行近 3 年多的基础上，跟踪国际先进水平，规划设计海洋仪器装备浅海测试实验平台与海底综合观测示范平台技术方案；通过研究仪器装备过载测试保护技术，客户端仪器装备开放测控控制技术，水下仪器装备安全防护技术等，改进完善通用接驳技术；通过建立海底 CTD，ADCP，浊度计，波潮计，CO_2，PH，地震仪观测，平台高清晰度视频和 CO_2 等观测，观测参数包括：温度、盐度、浊度、海流流速、流向、潮汐、水中二氧化碳、海面二氧化碳、海水 PH 值和海上高清晰度视频观测，使海洋平台和海底观测网成为一个综合海底观测站。通过多路 CDMA 数据传输技术研究和大容量无线数据定点中转传输技术实验研究，实现大容量无线数据传输技术；通过海上工程技术研究与实施，优化完善能源供应技术，提高太阳能转换效率，增加太阳能供电功率，同时研究风能与太阳能混合能源供应技术，以满足各种仪器装备观测、测试的实验要求；通过研究综合观测信息化系统和综合观测数据库系统，建立共享数据平台，实现上海海洋科技研究中心，东海分局预报中心、上海市海洋局和同济大学观测数据的共享；同时研究测试实验仪器装备信息系统和控制系统，

实现各个海试单位测试仪器装备的相关数据和工作状态的接收与实验控制技术。通过研究测试试验平台开放规定、研究综合观测平台的运行规定、研究测试试验仪器装备的接口和安装规定、研究测试试验、考核、运行、维护各项规定，实现海洋仪器装备测试实验和综合观测平台的安全运行和对外开放。

总之，通过升级改造，使东海海底观测小衢山试验站成为东海海底观测网的支撑、测试实验平台，成为海洋仪器装备研制的浅海测试实验平台，进而成为国家海底观测网的技术支撑平台。成为中国的 VENUS 系统和 MARS 系统。同时成为国家海洋局东海预报中心和上海海洋局预报中心的综合观测示范站，成为上海海洋科技研究中心和同济大学海洋地质国家重点实验室的综合观测站；成为东海海底观测网信息化共享与可视化和科普教育试验场。

小衢山综合海底观测示范站的长期观测结果将为东海洋山-小衢山附近海域海洋环境水动力问题、泥沙输移过程与沉积环境演变问题、全球变化与海洋环境问题、海气通量与碳循环问题、海底下的各种现代过程与海洋灾害预警等科学问题的解决提供长期观测的第一手资料。同时为我国制订海洋仪器装备的各种技术、接口、建设与运行维护规范、标准，带动一系列海洋高科技产业链发展具有重要价值。

S15-O-05S

海水溶解无机碳（DIC）^{14}C 快速制样方法在南海深部过程研究中的初步应用

高攀[1]，周力平[1]，徐晓梅[2]，丁杏芳[3]，刘克新[3]

1 北京大学地理系

2 epartment of Earth System Science, University of California, Irvine, CA 92697-3100, USA

3 北京大学物理学院 核科学与技术国家重点实验室

pangao@pku.edu.cn

近几十年来，海洋断面地球化学研究项目(GEOSECS)与世界大洋环流项目（WOCE）等全球海洋调查项目对全球大洋多个海域溶解无机碳（dissolved inorganic carbon,DIC）^{14}C 进行了取样调查,获得了全球主要大洋环流的 ^{14}C 年龄，并清晰地揭示了温盐循环等大尺度海洋动力循环现象。由于种种原因，这些全球调查项目的 ^{14}C 研究中没有涉足南海，南海海域的海水 DIC^{14}C 研究几乎是一片空白。

随着 DIC^{14}C 指标在全球大洋循环研究中日益广泛的应用，需要对大量海水样品进行 DIC ^{14}C 制样，因此，海水 DIC ^{14}C 样品的快速制样方法显得尤为重要。我们最近发展了一种基于顶部空间提取技术，快速制备水中 DIC 样品用于 AMS ^{14}C 分析的方法（Gao et al.in preparation）。这一方法主要是通过提取酸化后的水样品顶部空间的气体，将其释放至真空线进行样品 CO_2 的纯化及石墨化。与传统方法相比，这一方法大大缩短了提取过程，节约了制样时间。同时，新方法所需要的样品量也从传统的 250ml 降低至 30ml，大大提高了水样品的取样精度，并使某些样品量较小的水样品的 ^{14}C 制样成为了可能。为了检验这一新方法的精度与准确度，我们制备并测量了大量 ^{14}C 标样，所获得的 ^{14}C 值均与其标准值十分一致。对于样品量大于 0.3mgC 的样品，新方法可以获得好于 43,000 放射性碳年龄的本底及 1.7 ‰的精度（相对现代样品）。

在本研究中，我们应用这一新方法对通过搭载 2012 年南海海洋学综合 B 航次，在南海海域 43 个站位取的部分 CTD 海水样品

进行 ^{14}C 分析，以期为深化南海深部环流过程研究提供新的工具。

考虑到船只上可能存在的 ^{14}C 标记物对海水 ^{14}C 研究的影响，我们对 2011 年南海海洋学综合航次的样品箱和采样工具等进行了 ^{14}C 污染调查实验（swipe test），未发现 ^{14}C 污染。

S15-O-06

南海底层水团的年代际变化

王东晓

中国科学院南海海洋研究所
dxwang@scsio.ac.cn

Variability in intermediate water salinity in the South China Sea (SCS) between the 1960s and 1980s was studied using historical hydrographic data. The results demonstrate that the water was significantly fresher in the 1980s than in the 1960s, indicating that vertical mixing at intermediate water depth was reduced in the 1980s. This was partially because of the change of the SCS meridional overturning circulation (MOC) connecting local intermediate water with deep water. Data assimilation showed a 0.5 Sv (1 Sv=10^6 m^3/s) reduction in the strength of the MOC which is about one third of the mean SCS MOC. Because the SCS MOC is linked to the Pacific Ocean, such an interdecadal variation in the intermediate water SCS may reflect anthropogenic climate change in the world ocean.

S15-O-07S

基于声学方法的水下气幕云探测方法研究：模型与对比

郭龙祥 [1]，张亮 [1]，林芳 [1,2]

哈尔滨工程大学水声工程学院 大庆师范学院
heu503@126.com

水下气体逸出不仅是研究全球环境生态变化的观测要素，而且也是深海资源、地质活动现象存在征候。利用声学方法，根据声学回波声图信息，可以在科考船只上实时、直观的观测到水下水体中的气幕云散射非均匀性异常。气幕散射属于声学散射问题，利用软球型体散射模型，对回波谐振频率进行了分析。在此基础上，根据文献实测水下气体逸出观测数据，建立声学方法水下气幕探测仿真模型，通过此模型对比了文献发表的实测深海火山喷发气幕测量结果。本仿真模型结果与实测观测数据结果基本一致。最后，对于采用声学方法遥测水下气幕的系统设计和试验方法进行了总结。

S15-O-08

吕宋海峡深层环流的空间结构及驱动机制

赵玮，王斌，周春，田纪伟

中国海洋大学 物理海洋实验室
weizhao@ouc.edu.cn

吕宋海峡深层环流是联接太平洋深层环流和南海贯穿流的重要纽带。本文基于水文剖面观测及数值模式讨论其空间结构及驱动机制。观测与数模均证实吕宋海峡存在一支强深层流从太平洋进入南海，平均水体通量约为 1.5 Sv。数模结果显示太平洋深层水首先通过巴士海峡（Bashi Channel, 1.1 Sv）和台东峡谷（Taitung Canyon, 0.4 Sv）流入吕宋海峡，继而沿吕宋海沟（Luzon Trough）向南，最终通过恒春海脊（Heng-Chun Ridge）的两个主要通道进入南海，其年平均水体通量分别为 0.5 Sv 和 0.9 Sv。通过控制南海深层混合率，本文设计多组数值实验，据实验结果推测，南海深层强混合导致的吕宋海峡

两侧较强的压强梯度是驱动吕宋海峡深层环流的主要机制。

S15-O-09S

南海对超强台风鲇鱼的弱近惯性运动响应及机制

管守德，王金虎，赵玮，田纪伟

中国海洋大学海洋环境学院，物理海洋实验室
guanshoude@gmail.com

超强台风鲇鱼（2010 年 10 月）是发生在南中国海五十年一遇的最强台风。基于超强台风鲶鱼路径附近的两套潜标观测资料（一套位于台风路径左侧 30 公里处，一套位于右侧 24 公里处），本工作分析了在超强台风鲇鱼激发下，近惯性运动、全日内潮及半日内潮等演变规律，及它们之间相互作用特征。结果发现：近惯性运动最大流速仅能增加到 40cm/s；全日内潮能量有显著增强，增加了约 1 倍；近惯性运动和全日内潮的和频率流速最大可达 20cm/s；半日内潮能量有明显衰减，减小了约 50%。通过机制分析表明，近惯性运动、全日内潮及其和频率波动之间存在非线性波-波相互作用，能量从近惯性运动向全日内潮及其和频率转移。同时，超强台风鲇鱼过后，半日内潮的亚谐波不稳定（PSI）得到了一定程度的加强，能量由半日内潮向全日内潮转移。另外，超强台风鲇鱼过后，近惯性运动与半日内潮及其和频率，全日、半日内潮及其和频率的非线性波-波相互作用也得到了明显加强。

S15-O-10S

基于 Argo 数据对全球海洋的涡热输运研究

张志伟，田纪伟

中国海洋大学
zwzhang_ouc@yahoo.cn

本文运用 Argo 浮标数据以及气候态的温、盐资料，估算了全球海洋的涡热输运（EHT），并分析了它的水平分布和垂向结构。我们首先将 Argo 测量温度和计算的地转流减去它们的气候态平均值，得到了每条剖面的脉动温度（T'）和脉动径向流速（v'）；然后通过对每个 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格内的所有 $v' \cdot T'$ 剖面作总体平均，获得该网格内的 EHT。根据 t-检验方法，对计算得到的 EHT 做了显著性检验；最终在 87%的海洋网格（$2^\circ \times 2^\circ$）内获得了有效的深度积分的 EHT（D-EHT）。结果显示 D-EHT 在高涡动能的海区较强，而在大洋的内区表现较弱；沿着西边界流延伸体（WBC）和南极绕极流（ACC），D-EHT 的方向交替改变，这表明 EHT 并不总是沿着温度梯度的方向传递。而基于湍封闭方法的研究并不能刻画 D-EHT 的方向正负交替这一特征，从而显示出目前基于能量正级串的参数化方案的不足。D-EHT 在全球海洋沿纬度积分的结果（ZI-EHT）显示，ZI-EHT 在北半球 WBC 纬度带和 ACC 纬度带很强，分别可达到 0.12 PW 和-0.38 PW；穿越 ACC 的强 ZI-EHT 主要来自于南印度洋的贡献。穿越以上两个纬度带的 ZI-EHT 与海洋的总体热输运相比显得十分重要，这可能预示着 EHT 将会对这些海区的气候起到不可忽视的调制作用。对 EHT 沿 35°N 和 45°S 垂向断面的分析表明，最强的 EHT 主要发生在 100 米到 400 米的深度上；在北半球西边界流延伸体和南印度洋“阿古利亚斯翻转”区域，强的 EHT 分别可以延伸到 600 米和 1000 米。

S15-O-11

综述：海洋深部的卫星遥感观测研究

Xiao-Hai Yan

College of Earth, Ocean and Environment, University of Delaware, Newark, DE 19716, U. S. A.
Joint-Institute of CRM, State Key Lab of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, China
xiaohai@udel.edu

Most remotely sensed oceanographic observations are confined to either the sea surface or to the very top layer of the sea surface due to the limitations of the sensors. In the past 20 years some of the attempts to break the ocean's surface have already made the headlines, such as the mixed layer depths, deep ocean eddies, certain ocean internal waves and so on. Although these methods break the ocean's surface from the space successfully, still many important ocean processes in ocean interior need to be observed and studied from the space but not yet successful due to the limitations of the sensors and difficulties in the methodologies. Such deeper ocean processes include MOC (meridional overturning circulation), DOC (deep ocean convection), bottom topography, different types of internal waves and internal tides, mixed layer depth beneath sea ice, and some bio-geo-chemical deep ocean processes, etc, which relate and impact greatly to the global climate changes. This overview talk will review the background and status of the research on breaking the ocean's surface from satellite remote sensing, and report some of the recent attempts to combine satellite altimetry, scatterometry, infrared, ocean color, and SAR with other ocean observations and techniques, and with ocean general circulation models to infer the three-dimensional, time varying ocean circulation, air-sea interactions, and global and regional oceanographic processes at ocean's interior.

S15-O-12

南海深层不同尺度动力过程关联

田纪伟

中国海洋大学 物理海洋实验室
tianjw@ouc.edu.cn

南海蕴含着不同尺度的动力现象，它们彼此关联，嵌入到一个复杂的动力系统。本工作基于南海观测资料，在介绍南海深层环流、内波及混合等过程基础上，初步介绍了南海深层不同尺度动力过程表征，追溯了这些运动过程演变的溯源与归宿，探讨了它们之间的内在关联，估算了它们的循环周期，量化了吕宋海峡深层瀑布的物质通量，评估了该物质通量对南海底质沉积的速率。希望这些初步想法为搭建南海自洽的动力系统起到投石问路之作用。

S15-O-13

南海混合与垂向速度的空间结构研究

杨庆轩，赵玮，田纪伟

中国海洋大学，物理海洋教育部重点实验室
yangqx@ouc.edu.cn

海洋混合对水团特点、环流结构、物质的输运等过程具有显著影响，因此对南海混合特征的研究具有重要意义。利用中国海洋大学自 2005 年至 2012 年共 8 年间在南海的水文观测资料，通过湍流混合参数化模型确定了南海全水深的湍流耗散率和混合率的空间三维分布情况；给出了南海深水区垂向速度的空间分布。分析了南海混合和垂向速度的分布特征，并初步探讨了其对应的机制。

S15-O-14

近海海底沉积声学原位测量系统的研制和应用以及深海功能拓展

阚光明

国家海洋局第一海洋研究所

kgming135@fio.org.cn

介绍了最新研制的基于液压驱动贯入的自容式海底沉积声学原位测量系统，系统可以实现对近海海底沉积物声速和声衰减系数的原位测量，通过液压驱动装置将四根声学探杆匀速贯入到海底沉积物，减少了对沉积物的扰动，可按照预设的工作参数在海底全自动工作，无需甲板人员实时控制，采集的声波信号自容式存储于存储单元。基于系统在黄海和南海海底沉积物声学特性调查应用中所获得的海底沉积物声学特性数据，建立了该海区的原位地声模型。为了满足深海海底沉积声学原位测量的需求，对研制的近海海底沉积声学原位测量系统进行了深海功能拓展。通过声学换能器的压力平衡结构设计和可视化实时测控技术研究，提高声学换能器的耐压水平以及系统在深海应用中的操控性和工作效率。

S15-P-01S

海水运动与地转剪切的地震海洋学估算

黄兴辉 [1,2]，宋海斌 [1*]

1 中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

huangxh@mail.iggcas.ac.cn

海流是全球物质与能量输运的重要载体，在物理海洋学、海洋生物学、大气科学以及近海海洋工程等学科领域的研究中起着非常关键的作用；同时，由于观测条件的限制，海流速度是一个非常难以直接测量的物理量。物理海洋学家经常在‘地转平衡’的假设前提之下，利用易于直接测量的海洋学数据（温度、盐度等）估算水平流速的斜压分量，比较常用的方法有 Helland-Hansen 公式方法和 β 螺旋方法等。随着卫星遥感技术的发展及其在海洋学研究中日渐广泛的应用，海面高度数据也经常被用于海表面地转流速度的计算。虽然这些方法在目前的研究中都有着广泛的应用，但是它们都存在不同程度的局限性。地震海洋学的诞生与发展为海洋学研究提供了一个全新的观测手段，其高横向分辨率和对观测海域快速全深度成像的优势打开了海洋学研究的新局面。

地震海洋学方法估算海水运动利用的是反射地震方法的多次覆盖技术：根据同一条反射体在不同炮记录上的空间位置，结合各炮的采集时间计算出这条反射体在地震测线方向上的运动速度。计算流程如下：首先在叠后地震剖面上拾取一条同相轴，根据这条同相轴的时间和空间范围找到对它有贡献的一系列炮记录和相应的同相轴，假设这些同相轴保持着相同的空间形态，且具有相同的移动速度——在叠后同相轴长度适当的情况下这些假设是充分的，然后利用它们的相互位置和采集时间得出平均的移动速度作为叠后剖面上同相轴的计算结果。具体的计算方法为：从一系列同相轴中以一定的间隔选出两条，给定可能的速度范围进行扫描，得到这两条同相轴在同一时刻的位置，以它们匹配最好的时候对应的速度为计算结果。由于有多条可用的同相轴，可以采用多对共同约束的方式以得到更稳定的结果。需要说明的是，用以计算的炮间隔需要根据具体情况进行调整。由于海水具有流动性，反射体的形态随时间而改变，如果炮间隔选择的太大，

反射体的形态改变的厉害，计算结果将会不准确；同时，由于海水反射体移动的速度本身不大，如果炮间隔选择的太小则较难分辨出两个同相轴之间的位置差异，计算结果易受噪音影响。试验结果表明，炮间隔选择 3~6 时得到的结果较为准确。

在反射同相轴与等密度面重合或平行的假设前提下，地震剖面可以用来计算内波谱、混合率等海洋学参数，也可以用来估算地转剪切。地转流是流体的水平压力梯度与地球自转共同作用的结果，其大小只与等压面倾角、重力加速度和地转参量有关。在目前的观测水平之下几乎不可能得到精确的等压面倾角，因此，人们通常对地转方程稍作简化后将地转流的 z 向梯度表示为密度的水平梯度或等密度面倾角的函数。传统海洋学研究中坐标系的定义方式一般为以东向、北向和垂直向上为 x 轴、y 轴和 z 轴的正方向。由于一般情况下地震测线方向并非沿着坐标轴布设，利用地震海洋学方法进行地转剪切的计算和表示过程中存在一定的困难。为此，定义坐标系如下：以地震测线方向为 x 轴正方向，在水平面上逆时针旋转 90° 为 y 轴正方向，z 轴正方向定义为垂直向上。新的坐标系之下地转方程同样成立，在实际计算过程中以反射同相轴的倾角替代等密度面的倾角。‘地转平衡’的假设在罗斯贝数远小于 1 的情况下成立，这要求用于计算的反射同相轴的长度和数据窗的宽度满足一定的条件，需要根据具体情况，比如计算区域的纬度、海水流速的量级等，计算得出。

S15-P-02S

海水密度的地震海洋学反演

陈江欣，宋海斌，拜阳，Luis Pinheiro

中科院地质与地球物理所

cjx@mail.iggcas.ac.cn

海洋多道反射地震方法在过去的几十年里被广泛应用于海底油气资源与地壳结构的研究。2003 年，Holbrook 在 Science 上发表了应用海洋反射地震方法研究海水温盐细结构的论文，提出了利用海洋多道反射地震方法研究海洋学现象的一种新方法——地震海洋学。自此，众多国家的海洋地球物理学家和物理海洋学家开始在这一研究方向开展工作。迄今，地震海洋学家已经利用该方法研究刻画水团边界、海洋锋、黑潮、中尺度涡和热盐阶梯结构等，以及利用该方法计算内波谱、海洋结构的耗散率和海洋地转流速等。

海水物理性质参数的反演是利用地震海洋学方法研究海洋学现象的关键，是进行地震海洋学定量研究的重要桥梁。海水的密度是动力学上海水最重要的物理性质，海水的密度控制海洋中地转流、环流等很多动力学过程。利用地震海洋学方法准确反演海水密度对于海洋动力学的研究具有非常重要的意义。

在分析波阻抗、密度、声速、温度、盐度和压强之间关系的基础上，我们发现波阻抗与海水密度具有单调的变化关系，通过给定背景盐度场与压强场，利用波阻抗信息可以直接反演得到海水密度。为了验证这个方法的有效性，我们用实际数据进行计算分析，将反演得到海水的密度与实际数据（常规物理海洋探测资料）进行对比，结果证明该方法能够反演得到理想的海水密度数据。

利用波阻抗、背景盐度场和压强场计算海水密度的基本前提是：[1]通过合适的地震处理与反演方法能够得到质量比较高的波阻抗剖面，波阻抗能够基本反映海水密度与声速的共同作用；[2]对于某一研究海域，海水盐度的分布变化不大，并且可以通过历史数据或者实测数据获得；[3]海水压强与海水深度成近似线性关系，并且通过一定的计算方

法能够得到正确的压强随深度变化的数据；这可以通过给定初始深度利用迭代的方法进行时深转换不断减小误差和提高数据的精度。

我们用 2007 年 GO（Geophysical Oceanography）项目在 Cadiz 湾采集得到的 GO-LR-12 测线经过保幅处理以后的叠加剖面进行计算分析。XBT 测量的数据为温度数据，缺少盐度数据。为了解决这个问题，GO 项目组利用整个观测区域的 CTD 资料拟合出温盐关系，由此得到每个 XBT 处相应的盐度数据。测线上共有 24 个 XBT 剖面，我们按照顺序对其编号，利用 12 口奇数井进行基于模型的联合反演，得到波阻抗与海水密度等数据；另外 12 口偶数井作为对比井，用于进行计算结果的对比，反演使用的工具为 Geoview 中的 STRATA 模块。为了得到背景盐度和压强场，我们利用 12 口奇数井线性插值得到整个剖面的背景盐度场。利用海洋学深度-压强转换公式以及地震剖面时深转换方法，我们通过给定初始深度进行迭代，计算得到准确的背景压强场。利用插值得到的盐度场、迭代计算得到的压强场和联合反演得到的波阻抗数据，我们进行迭代反演计算，通过不断减小误差最终得到深度域的海水密度剖面。通过约束数据与对比数据的对比分析，反演得到的海水密度与实际海水密度的绝对误差能够控制在 0.05kg/m^3。

地震海洋学方法能够提供更高横向分辨率以及更多的海水物理性质信息。由于新的地震海洋学联合反演方法能够得到海水密度等数据，这对于海洋的运动学以及动力学研究会有重要推动作用。

S15-P-03S

利用地震海洋学方法估算海水混合率

拜阳[1,2]，宋海斌[1]，董崇志[3]

1 中国科学院地质与地球物理研究所 中国科学院油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

3 国家海洋局第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室

baiyang@mail.iggcas.ac.cn

内波和湍流都是非常重要的物理海洋学现象，而由内波和湍流所引起的能量交换及混合现象，更是在海洋多个尺度结构的能量级串中扮演着至关重要的角色。自 20 世纪 70 年代，物理海洋学得到迅猛发展以来，海洋中的混合现象就一直是物理海洋学家所重点关注的问题之一，如果可以研究清楚海洋中混合随空间的分布状况，那么对于理解一些复杂的物理海洋学现象是非常有帮助的。因此如何获得海水的混合率一直都是物理海洋学中普遍关注的前沿性研究课题。

随着物理海洋学观测技术的不断发展，物理海洋学家已经可以通过一些测量手段来获得海水的混合率。虽然这种传统的物理海洋学观测可以在垂向上具有较好的分辨率，并且随着仪器制造技术的不断发展，其观测在垂向上可以达到的分辨率也在不断获得提高，但是由于高昂的观测成本，传统的物理海洋学观测在水平方向上却经常需要间隔数公里甚至数十公里才有一个观测点，因此水平分辨率严重不足，很多重要的物理海洋学现象不能够被观测到，并且，传统的物理海洋学观测每测得一个点的数据都需要数个小时的时间，观测资料的同时性无法得到保证。而观测资料数量及质量的不足，确已成为了制约物理海洋学获得进一步发展的重要因素。

Holbrook 在 2003 年发现，在海水中也存在着微弱的反射信号，并据此提出可以利用海洋反射地震方法来研究物理海洋学问题。而我们知道，在现代海洋反射地震测量中，道间距通常能达到 6.25m 或 12.5m，因此其横向分辨率可以比传统物理海洋学观测高数

百甚至上千倍。因此如果可以利用反射地震数据来研究海水混合问题，将会极大地弥补物理海洋学在观测上的不足。而 Holbrook 又于 2005 年计算了海水中反射同相轴的水平波数谱，并且通过与 GM76 模型谱的对比发现，计算所得到的波数谱与模型谱在整体趋势上非常相似，表明由地震资料所观测到的海水中的反射可以揭示内波及湍流的细结构。Klymak（2007）指出，由内波及湍流的波数谱，可以根据一定的关系式计算出其混合率。Sheen（2009）根据 Klymak 所提供的理论，给出了利用地震数据计算出了海水混合率的方法。

本文利用 Sheen 等所提供的方法，计算了地中海涡旋 GOLR12 的混合率，发现该涡旋侧边界与下边界混合较强，而上边界混合较弱。而该涡旋整体混合率也较强，大部分介于 10^{-4} m^2s^{-1} 至 $10^{-3}m^2s^{-1}$ 之间，有可能为弥补大洋环流理论中的“混合赤字”提供一定的支持。

S15-P-04S

地震海洋学对南海内部非均质性的研究

刘伯然 [1,2]，宋海斌 [1]，黄兴辉 [1,2]，拜阳 [1,2]

1 中国科学院地质与地球物理研究所 中国油气资源研究重点实验室

2 中国科学院研究生院

liuboranlbr0725@126.com

1 引言

对反射地震资料进行统计学分析，在岩石圈波阻抗的变化、随机介质中地震波的散射等研究中有广泛的应用，从地震资料中估算介质的非均质性参数，也被证明能够描述一些介质（如下地壳，随机介质）的特征。2010 年，Buffett 等对地中海的一段地震剖面处理，估算了海水层内部中尺度涡旋的非均质性参数，并讨论了中尺度涡旋不同部位非均质性的差异，将上述方法引入地震海洋学中。我们利用统计学方法对揭示南海内部的反射地震资料进行了分析，估算了海水层的非均质性参数（自相关长度和赫斯特数）。

2 方法介绍

Von Karman 型自相关函数因其多尺度，自相似的特性，是描述复杂介质和反演其非均质性参数时最常用的函数模型之一。二维 Von Karman 型功率谱函数的形式为：

$$P(k)=\frac{4\pi v a_x a_z}{G_v(0)(1+k^2)^{v+1}} \qquad (1)$$

其中 a_x，a_z 分别为水平自相关长度和垂直自相关长度，v 为赫斯特数，k 是加权后的径向波数。自相关长度决定着自相关系数随延迟量衰减的快慢，也就是相关性延续的长短；赫斯特数是“运动规律性”的一种度量，描述了随机介质的粗糙程度和尺度多样性的程度。

估算 和 v 的原理是，用某一区域地震数据计算其水平方向的自相关关系曲线，然后与 Von Karman 型自相关函数的理论曲线进行拟合，得到该区域海水对应的 和 v。具体做法是取地震数据中一个窗口，计算其自相关系数曲线，用非线性最小二乘方法，搜索 Von Karman 型水平自相关理论曲线中与数据符合最好的结果，符合最好的理论曲线所对应的 和 v 值就是估算结果。

3 结果与讨论

所选取剖面的计算结果显示，该区域下部的自相关长度普遍在 500 米以下，上部的自相关长度分布不均匀，除中间一小片区域高达 3000 米之外，上部自相关长度大约在 500-1000 米左右。赫斯特数的分布明显明显具有上高下低的趋势，下半部分赫斯特数基本都低于 0.3，上部则有赫斯特数达到 0.6 以

上的区域，但依然是不均匀分布，中部的赫斯特数偏低。

要与 Garrett-Munk 内波波数谱-2 的斜率（GM76）相对应，要求赫斯特数的数值在 0.25 到 0.5 之间。剖面中对应海水深度 500 米以上的部分，赫斯特数的平均值在 0.25-0.4 间，而 500 米以上的部分正是内波显著的部分，符合的很好。

该剖面上半部分内波引起的起伏反射显著，下半部分较弱。可见内波的存在对海水非均质性的影响是：使水平自相关长度增大，也就是海水内部在水平方向上关联性增大；使赫斯特数增大，也就是海水内部的杂乱性（粗糙度）减小，尺度多样性减小，趋向于均一。

海水层地震图像反映的是海水层的多尺度结构。海洋层结指的是海洋的垂直分层结构，表现为物理参数（温度、盐度、密度、声速等）随深度的变化，这样的垂向结构在水平方向上是不均匀的。南海东北部地震剖面上呈现出内波的空间形态，由于南海内波的复杂性，东北部海水层结构表现出区域上的不均匀性，自相关长度和赫斯特数的空间变化揭示了这一特征。

S15-P-05S

吕宋海峡深层环流的时间变异特征

周春，赵玮，田纪伟

中国海洋大学 物理海洋实验室

chzhou88@gmail.com

基于巴士海峡（BC）与吕宋海沟（LT）两套深海潜标长达两年半（2009 年 10 月~2012 年 3 月）的连续观测数据，分析了吕宋海峡深层环流的空间结构及时间变异特征。数据显示存在一支低温高盐强深层流穿越吕宋海峡从太平洋流入南海，在此过程中通过卷挟与混合其水文特性逐渐接近南海深层水。在 BC 和 LT 处平均流速分别为 22.1cm/s 和 23.1cm/s，方向平行于海峡方向指向南海，最大流速分别为 84cm/s 和 73cm/s，流速的波动以潮流为主。

观测显示吕宋海峡深层环流呈现明显的冬强夏弱的季节变化特征。基于对西北太平洋及南海东北部的大量温盐剖面观测资料的分析显示，南海深层水冬季因季风及内潮等因素诱发的强混合导致密度小于夏季，而太平洋深层水冬夏季密度基本不变，导致吕宋海峡两侧深层密度差冬季大于夏季，从而调制吕宋海峡深层环流的季节变化。对观测流速的高频信号分析显示每年冬春之交吕宋海峡深层环流多次出现短期倒流现象（以 LT 为主），即背景流由南海一侧流向太平洋，时间尺度约为 7 天。倒流现象发生时，吕宋海峡深层水基本呈现上下一致的特性，伴随温度升高、盐度下降。发生于 2012 年 3 月倒流现象尤其显著，并首次发现 BC 处呈现明显倒流状态。

S15-P-06S

南海内孤立波对物质和能量输运的作用

董济海

中国海洋大学海洋环境学院

jihaihappy@163.com

南海是全球内孤立波最为活跃的海域，大振幅内孤立波对南海湍流混合、物质输运及生态过程具有重要影响。基于南海深海潜标阵列连续两年的现场观测，本工作研究了内孤立波对物质和能量输运的作用。研究结果发现：内孤立波影响深度最大能达到 1000 米，单个内孤立波可引起水平输运距离可达到数公里。所以内孤立波具有很强的水平水体输运。在深水区，内孤立波向西的年平均

水平体积输运（南北方向单位宽度内）为 6.56m^2/s，在较浅的海域，该输运减弱为 3.86m^2/s；在垂向上，内孤立波在经过前后可以导致垂向的温度变化，最大增温和最大降温都超过 3 摄氏度，而且内孤立波引起的平均增温要强于平均降温。

S15-P-07S

南海北部内孤立波的时空特征

黄晓冬

中国海洋大学

perfecthuang@gmail.com

南海北部大振幅、强非线性内孤立波非常活跃，其对海洋中的混合和物质输运过程有重要的影响，同时严重威胁了海上石油作业和潜艇航行的安全。基于南海深海潜标阵列连续两年的现场观测，我们得到了它们的生成、传播和演变过程，并分析了它们的空间分布和时间变化特征。

正压潮流经吕宋海峡变化地形时生成内孤立波，其中 A 波和 B 波分别在东向和西向潮流最大时产生，对应着不同的生成机制。内孤立波在吕宋海峡内较弱，以内潮的形式存在；进入南海后，其在向西传播的过程中非线性逐渐增强。A 波和 B 波分别在 120˚E 和 119˚E 处开始显现，与内潮相比其周期较短、波型较陡和流速较大。

由于层结较弱和温跃层较深，内孤立波在冬季的发生频率和强度较小；地转效应的存在抑制了内孤立波的发展，使内孤立波的季节内变化主要受半日潮强弱的影响。

S15-P-08S

基于八个准全球模式模拟的南海深层与底层环流特征分析

谢强[1,3],肖劲根[1,2],王东晓[1]

1 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室

2 中国科学院研究生院

3 中国科学院三亚深海科学与工程研究所

gordonxie@sidsse.ac.cn

本文初步分析了八个准全球高分辨率海洋模式模拟的南海深层和底层环流，总结了模式中南海深层底层环流的基本特征。水团分析显示深层温度相对偏差一致偏负，表示深层一致偏冷，而盐度偏差随深度增加先为负偏差后为正偏差。温度的偏差幅度要大于盐度。模式中深层平均盐度与温度存在长期趋势。吕宋海峡深层 1500m 以深溢流各模式平均为 0.36Sv，与观测相比偏小。同化过的模式和一个未同化的模式（OCCAM）都显示，吕宋深层溢流在春季达到最小，而在冬季达到最大。大多数模式 2400m 以深垂直积分流函数显示南海深层在大尺度上为气旋式环流，而流函数的分布与气候态温盐数据集（GDEMv3）诊断出来的流函数相比存在较大的差异。南海 1000m 以浅经向翻转结构比较类似，但 1500m 以深的经向翻转结构空间分布和强度大小都存在较大的差异。2400m 以深的经向翻转与气候态温盐数据集（GDEMv3）诊断出来的经向翻转相比偏弱，这表明着模式中深层水垂直混合偏弱。在以上分析基础上，详细探讨了初始温盐场、地形、混合化方案对南海深海环流的影响，对今后专门构建适合南海深海环流研究的模式提供了详实的参考。

S15-P-09S

电化学方法制备 Ag/AgCl 准参比电极及其抗硫性能研究

黄元凤（Yuanfeng Huang）

浙江大学海洋科学与工程学系海洋资源研究所

huangyf965@yahoo.cn

一、 研究意义：

采用电化学方法制备的 Ag/AgCl 准参比电极，体积小，稳定性好，灵敏度高，采用 Nafion 膜对电极进行修饰，解决了传感器在使用过程中易受硫离子侵蚀而失效的问题，有效延长了传感器寿命。对于海洋探测、环境保护、资源调查以及工业生产等领域有着重要的意义。

二、研究内容：

1．Ag/AgCl 准参比电极的制备

a．抛光粉打磨银丝（Ⅰ），并依次用无水乙醇、稀硫酸、去离子水超声清洗银丝；

b．采用函数信号发生器在银丝（Ⅰ）表面电镀一层纳米银微粒（Ⅱ）；

c．采用 CHI760D 电化学工作站在纳米银微粒（Ⅱ）表面电化学生成 AgCl 难溶盐层（Ⅲ）；

d．用蘸涂的方法在 AgCl 层（Ⅲ）表面包覆一层 Nafion 膜（Ⅳ）；

e．最后在 Nafion 膜（Ⅳ）表面包覆一层热缩管（Ⅴ）。

2．Ag/AgCl 准参比电极的标定结果

包覆 Nafion 前后分别对电极进行了标定，以自制参比电极为工作电极，与商业 Ag/AgCl 参比电极配对，依次在 10^{-1}~10^{-4}M 的 KCl 溶液中标定，标定结果如下：

包覆 Nafion 前，校准方程斜率：52.5-56.8；截距：44.7-52.8；相关度：R_2=0.997~1

包覆 Nafion 前，校准方程斜率：52.8-55.4；截距：44.9-49.8；相关度：R_2=0.998~1

3．参比电极在含硫环境中寿命的测定

结果表明，包覆 Nafion 的参比电极抗硫性能大大提高。

三、研究结果

研究以银材料为基体通过电化学方法而制得 Ag/AgCl 准参比电极，相比传统方法，即在打磨清洗好的银丝表面直接蘸取熔融的 AgCl 而制得的参比电极，信号响应快，稳定性好；并

在电极表面包覆多孔膜 Nafion，在不影响电极对氯离子响应的基础上，实现了对硫离子的有效隔离，从而制得了性能优越、寿命更长的 Ag/AgCl 准参比电极。

S15-P-10

用于海洋观测平台的海水超级电容溶解氧电池

徐海波，芦永红

中国海洋大学化学化工学院, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室

xuwangri@163.com

深海环境条件复杂，期望相关设备能够长期稳定地工作，仅就电源性能而言，要求很高。由于深海环境充电不便，难以达到电源一次储存（如充电）的能量即可满足长期使用的要求，更何况现今的常规电源在海水中的使用寿命和安全性也有待提高改善，使用时需放置在特定的耐压容器中，整体技术要求很高。针对这些问题，国外近年开始尝试利用天然海水作介质的海水电源体系，并已在某些特定应用场合展现出较大优势。其应用目标如下：

海洋观测用载体——海基观测平台网络建设

锚系浮标、漂流浮标、剖面观测浮标、锚系潜标、海床基仪器、载人（HOV）、遥控（ROV）、智能深潜器、滑翔观测浮标及水中自航观测载体（AUV）。

深海大洋探测和作业——深海开发

深海海底环境多参数原位探测、高保真直视取样、深海深潜器、矿产资源探测与采样等。

军事设施——全球海洋预警网络

扫雷和海港防护、重点侦察与监视、反

潜基地。

2009 年日本用四组 SWB1200（Kongsberg Simrad 公司，Norway）海水电池用于 5577 m 深海地床观察，5 年运行结果表明：电池组的平均输出功率为 13 W，能量密度达 318 Wh Kg^{-1}。法国和挪威依照 DGA/BEC 计划开发的 CLIPPER AUV，所用的电源也是该公司生产的海水电池，预计可在 2 m/s 航速下行驶 1600 海里，充分显示在民用和军事方面巨大的应用前景。

海水电池是在海洋环境中以海水作为电解质的化学电源。其正极是海水中的溶解氧还原电极，负极为高负电位镁阳极，天然海水为电解质，因此严格来讲应称为海水溶解氧电池。其最突出的特点就是不需携带外加电解质，可在全海况条件下工作，而且具有高能量密度、体系开放和结构简化、高安全性、低成本、在海水中适用范围广易放大、干态下储存期无限长等优点。但缺点是：海水中溶解氧浓度低，阴极材料活性差；电池的工作电流密度低，功率密度差；大功率输出时，所需的阴极面积大，以致难免电池体积庞大。对此，进一步开发更先进的海水溶解氧电池必须解决的核心问题集中在提高溶解氧的阴极还原反应活性。

参考国外商品化 SWB1200 的结构设计，以专利研制的氧化碳纤维刷（Carbon fiber brush，CFB）作为电池的阴极材料，完成了三台实海测试样机装配。CFB 电极经过特殊的氧化处理后，表面生成大量活性官能团，这些官能团在静态天然海水中显示出准电容的性质（可逆的氧化还原反应特性），而在动态天然海水中（供氧充分）表现出对溶解氧阴极还原反应极高的电催化活性。据此，而将其命名为海水超级电容溶解氧电池（Seawater battery with electrochemical capacitance, SWB-EC）。并于 2011 年 8 月 16 日开始在钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所的小麦岛试验站进行半年期实海连续测试。

得到放大后的 SWB-EC 在深海中额定功率不小于 1.4 W，体积比功率不小于 5.8 mW L-1。相比 SWB1200 的 2.7 mW L-1，SWB-EC 性能优于 SWB。由于两种海水电池均采用相同质量的镁合金，可以认为二者的能量密度相当，能提供大约 84 KWh 的能量，按照为 6 W 负载满负荷连续供电的工作方式，可连续工作 1.6 年。

实验室模拟测试表明 SWB-EC 的实海工作环境要求为：海水流速≥2cm s-1,溶解氧浓度≥3ppm,盐度≥20g L-1。

S15-P-11

全固态钙离子和pH选择性电极

徐惠

浙江大学海洋科学与工程学系海洋资源研究所

hxu@zju.edu.cn

一、研究意义：

原位检测海水 pH 和 Ca 离子浓度对研究碳循环、探测海洋热液、冷泉及资源勘探等具有重要的意义。

二、研究目标：

研究基于导电聚合物 PEDOT 为固态内充电解质，以中性离子载体为敏感物质的 PVC 膜为离子选择性膜的全固态 pH 和 Ca 离子选择性电极。

三、研究内容：

电极制备：

1. 采用 6mm 直径的金丝或者铂丝作为电极基底

2. 使用30-50nm粒径的Al2O3粉末对电极表面进行打磨处理，继而将电极置于 0.1 M H2SO4 溶液中进行超声振荡清洗 10 min，最后用去离子水对电极表面进行清洗，晾干。

3. 采用电化学循环伏安法电聚合PEDOT，在电极表面形成固态电解质层。

4. 采用蘸涂法在 PEDOT 层外包覆 pH 或 Ca 离子敏感 PVC 膜。

5. 采用热缩管固定离子敏感膜面积。

电极性能：

以商业 Ag/AgCl|3M KCl 电极为参比电极，检验全固态离子选择性电极的响应性能。

1. 电位随时间的响应：

电极响应非常快，t95<1s。每个浓度测量 60s，电位基本在 1mV 以内波动。

2. 校准曲线：

pH 电极校准曲线：

金丝电极 EMF (Au)= -56.5pH + 947.6，R^2 = 0.9997

铂丝电极 EMF(Pt)= -56.92pH + 688.4，R^2 = 0.9998

Ca 离子电极校准曲线：

金丝电极 EMF(Au) = 27.0log[Ca^{2+}] + 736.7，R^2 = 0.9985

铂丝电极 EMF(Pt) = 26.3log[Ca^{2+}] + 497.0，R^2 = 0.9996

四、结论：

该全固态选择性电极具有可原位测量、响应快、成本低、操作简便等优点；

通过研究离子选择性电极的全固态化，克服传统玻璃电极不耐压、体积大等缺点，发展了一种体积小、选择性好、耐压耐温的便携式全固态离子选择性电极的制备技术。

令电极系统适用于压力最高为 40 MPa，温度最高为 150℃的海水环境，计划在台湾龟山岛热液区进行海试验证，以期为海水 pH 和 Ca 离子原位测量提供一种有效的新手段。

S15-P-12S

海床土性质改造的试验研究

张丽萍[2]，贾永刚[1,2]，单红仙[1,2]

1 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室，山东

2 中国海洋大学环境科学与工程学院

jingyingkuailefeng@163.com

在波浪、潮流等水动力作用下，岸滩沉积物的结构性质与成分性质的变化十分显著(Ferré *et al.*, 2005; 范代读等, 2000)。然而液化土层中的细颗粒物质会脱离骨架并被渗流带出底床进入水中(单红仙等, 2008)，使沉积物土层中产生独特结构，发生粒度分选和密度离析效应(Best, 1989; Druitt, 1995)。液化作用可对沉积物的物理力学性质进行改造(Baldock, 1998)，随着液化作用的影响，土床的粒度成分和强度会发生改变(董好刚, 2006; 冯玉岩, 2007)。另外，超孔压的明显上升会使土床的剪切强度降低(Dimitrova, 2011)；液化发生过程中，土床的强度将会迅速减小到某一值(Alba, 2006)，而发生液化的土体发生再固结后的强度有所提高(Zand, 2009; 贾永刚等, 2005, 2007)。因此，液化对土床粒度成分、微结构及强度非均匀性具有重要影响，以往研究侧重于水动力对沉积物性质改造的过程和其后的现象，缺乏对其机理的分析，故本文主要探讨不同波高波浪连续作用导致的液化过程对土床沉积物性质的改造过程，研究成果对深入理解黄河口入海沉积物的输运、最终归宿及海岸地质灾害的预测防治具有重要意义。

试验在中国海洋大学环境岩土实验室的波浪水槽中进行。现场采集黄河口潮滩粉质土，加入自配标准海水制成含水量约 35%的厚度约 50cm 的均匀波浪底床，并加入配好的约 40cm 深的标准海水，使土床在静水压力作用下固结 34h 后开始施加波浪。试验过程中，先后连续施加 5cm、10cm、15cm 波高的模拟波浪荷载，重复作用两次。选取土床典型区域，分别在波浪作用前后采集原状样品和表层重塑土样，将获得的原状样品沿

深度方向上剖开，分为两部分，并均按每隔 1cm 分层，分别进行颗分试验和微观观察，并辅以表层重塑样的颗分结果，得到液化前后土体沿深度方向上细致的粒度成分和微结构变化情况；同时，每隔 2h 测试贯入强度，并同步测量土床液化界面变化情况，探寻强度变化与液化层演变规律的关系。

试验中液化破坏界面先向下扩展，随后开始逐渐上移直至土床再次达到稳定，此时的土颗粒进行了分选，液化区域边缘的土颗粒呈现出明显的粗化和成层现象。土床表层形成的约 1cm 厚的落淤层颗分结果显示，初始土床中的细粒含量(<0.01mm)为总量的 19.4%，液化后增长到总量的 86.9%，细粒泥沙量增加了 354.16g，且液化后的表层土的中值粒径 D50 远小于液化前的数值，表明液化后的土床表层富集了大量细粒物质，且原状样品的粘粒含量(<0.005mm) 的减小范围与试验过程中观测的液化深度值相一致，表征液化过程使得土床内部细粒物质发生了迁移。土床贯入强度的演变与液化破坏界面吻合程度相当高，破坏界面处的贯入强度值大约与 18N 的等值线相重合，且演化速率为 1cm/s 左右，与液化界面的演化速度相同。同一深度的土体强度的发展速度约为 2.5N/h，相对于初始强度为 5N 的土床，发展速度很快，强度增量与液化界面增量呈很强的正相关性，土体强度随液化破坏界面的上移而提高，说明液化对强度的发展变化有重要影响。通过水槽试验，主要得到以下结论：

（1）黄河水下三角洲粉质海床发生液化破坏后，液化界面先增大后减小直至再次稳定。随着液化作用的产生，土床沉积物一定深度范围内出现粒度粗化现象，细粒物质减少。液化现象前后，土床的成分和结构发生显著变化。

（2）海床内细粒物质在液化过程中会向上运移，运移量占液化深度层范围内细粒物质总量的三分之一左右，液化发生范围内的土床孔隙性增大，液化区域以下的土体密实性有所提高，液化对土床结构和成分的分异有显著影响。

（3）海床强度液化后在空间上经历丧失—恢复—增强的过程，强度的非均匀化分异与多级波高作用下液化土层的发生和演化密切相关，揭示出强度非均匀化是波浪导致的土体固结过程和液化过程共同作用的结果。

S15-P-13

关于建立南海 CORK 观测站的初步设想

方家松，周怀阳

同济大学海洋地质国家重点实验室，上海
jsfang@tongji.edu.cn

CORK 的全称是 Circulation Obviation Retrofit Kit。CORK 能够（1）将一个深海钻孔分割成多个深度间隔，从而使各个深度间隔在站探结束后，热、压力、化学和微生物条件重新达到原位平衡;（2）让我们能在各个深度安装自动数据记录系统和自动采样器，采集流体和微生物样品;（3）作为一个平台进行长期的地质、地球化学和微生物实验。CORK 是研究洋壳水文地质学和深部生物圈的必需工具。

在国外，CORK 的应用已经比较广泛。最典型的例子包括在 Juan de Fuca 洋脊东侧进行的单（钻）孔（single-hole）和多孔连接（cross-hole）水文学和地球化学、微生物学实验（IODP Expedition 327），以及目前正在进行的大西洋中脊 North Pond CORK 实验（IODP 336）。为研究洋壳含水层在液体（水、气）、热能、溶解质、生物能量及微生物搬运中的作用，目前国外已开始采用多站位、多层次 CORK 观测站来构成一个立体的三维观

测网，在每一个观测站（同一站孔的不同深度），装备有 Osmosampler（取样器），用于物理学（温度、压力）、地球化学和微生物学分析和实验。最新的 CORK 技术包括一些可用于进行微生物—岩石相互作用和微生物在岩石表面生长实验的装置，以及 BOSS（microBiological Osmo Samplers）进行洋壳含水层取样和微生物分析，还有 FLOCS（flow-through osmo colonization systems）。

我们提出在南海建立 CORK 观测站的一些设想。南海 CORK 观测站的建立将为研究南海洋壳含水层的水文地质学、洋壳微生物学，微生物能量动力学、深部生物圈、以及在海底资源的形成和分布的作用起到巨大的作用。

S15-P-14S

东海海底观测小衢山试验站的交互式控制

Yang Yu, Huiping Xu, Liangying Wei

State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University

10yuyang@tongji.edu.cn

Seafloor observatories enable long term, continuous, real time, weather independent and multidisciplinary scientific observation and research that will promise major breakthroughs in ocean sciences. Some advanced projects under construction include the Ocean Observatories Initiative (OOI), the European Multidisciplinary Seafloor Observatory (EMSO) and Ocean Network Canada Observatory. China has also started to establish seafloor observatories in the East China Sea (ECS) for a better understanding of the regional sea-land interactions, with the operational Xiaoqushan Seafloor Observatory as the first trial. In order to guarantee the interactive control of Xiaoqushan Seafloor Observatory, a Monitoring System for Xiaoqushan Seafloor Observatory (XSOMS) needs fully implementing to online monitor and remotely control the in situ multidisciplinary equipment in addition to performing individual and cooperative observation tasks among them. Requirements laid for the XSOMS result from the functional goals of Xiaoqushan Seafloor Observatory within scientific generals of the ECS. Considering the requirements, the monitoring architecture of XSOMS is structured into three components (Observation Node, Offshore Platform, and XSOMS) and enables two types of bidirectional information flow (flow of observation data and flow of control commands). Observation data collected from the observation node are first encoded by the junction box, then forwarded to the offshore platform for buffering, and finally remotely transmitted to the XSOMS running at the State Key Laboratory of Marine Geology. The XSOMS is responsible for receiving real-time data packets, interpreting and storing them in the appropriate database. Meanwhile, this system is in charge of sending commands to remotely control the working condition of the in situ observation equipment, according to real-time data interpretation, in situ environment video and dynamic monitoring demands. The commands are transmitted in the same communication channel using the same communication protocols as how data are transmitted to the XSOMS. In terms of this architecture, the XSOMS is designed and

developed as a module-integrated monitoring system utilizing socket, component, multithreading and database programming and other object-oriented programming technologies. A client-server model based on the .NET Framework Socket Class has been adopted to enable remote data communication. The TCP/IP protocol has been chosen as the main communication protocol in the network application, from which the concept of port number and IP address pair has been introduced to uniquely identify the communication process and map between the "function node" in the Main Interface and the corresponding in situ instrument. The main features of XSOMS are: (i) receive and store in situ data in a real-time way; (ii) on-line monitor the operations of Xiaoqushan Seafloor Observatory; (iii) remotely control all deployed observatory equipment; (iv) autonomously interpret raw data for event detection and response; (v) flexibly accommodate different types of instruments with only changes to configuration files. The implemented XSOMS has been used with some success in Xiaoqushan Seafloor Observatory, and has demonstrated satisfactory performance against all the requirements laid for the system. Given the hostility of the marine environment of the ECS to underwater observation equipment, it is unlikely that Xiaoqushan Seafloor Observatory can provide datasets of long enough duration for

studying the sea-land interactions in the ECS without the interactive control by the XSOMS. In view of the successful trial at Xiaoqushan Seafloor Observatory, the designed and implemented XSOMS could be a useful reference to the future work in constructing a seafloor observatory network in the ECS. Continuous and long-term in situ datasets adaptively obtained at the seafloor observatories shall in return resolve the fine temporal and spatial scale details of scientific issues and greatly promote the research progress in the ECS.

S15-P-15

摘箬山岛海洋立体观测网络

瞿逢重

浙江大学海洋科学与工程学系

jimqufz@zju.edu.cn

海底观测网是一个能够对海洋进行实时、原位、三维观测的海底观测系统。观测数据可用于海啸、地震的预测、环境监测、研究全球气候变化等等，是现今阶段各国开发海洋资源、观测海洋环境而争相研究的热点。

美国、加拿大联合在北太平洋海底建设的深海长期观测网——海王星(NEPTUNE)，它布设在水下约 3000 米海床上。覆盖海域约 500 万平方公里，可以长期观测海洋内部和海底各种物理、化学、生物、地质过程，进行几十年的海洋学和板块地壳构造过程研究。

日本在日本列岛东部海域沿日本海的跨越板块边界，建设了长约 1500 公里，宽约 200 公里的光／电缆连接的深海地震观测网。并计划延伸至我国的东海海域。韩国政府已在黄海南部苏岩礁建立了海洋科学观测站。并计划在济州岛西南海域建立海底观测系统。

与美国相比，我国近 300 万平方公里的海域，目前仅以岸基站常规监测为主。缺少海上固定式长期海洋综合观测平台，无法满足海洋科学研究长期、连续、实时、多学科同步的综合性观测要求。因而中国的海底观

测网络建设亟待开发。考虑到我国未来要建设大批的海洋立体观测网，其海上试验场是必不可少的支撑。

摘箬山岛海洋立体观测网络（Z2ERO）正是在这么一个大的背景下，应运而生。摘箬山岛属于舟山群岛中的一个陆域面积 2.34 平方公里、海岸线长 7.27 公里的岛，岛南边是国际航道螺头水道。舟山群岛在中国海岸线的

正中间，辐射全国海域；同时舟山海域具体多样性，有利于各种科学研究和实验。而建成后的 Z2ERO 不仅能够为开发和建设立体观测网提供试验场的支撑，也能够为开发和运行海洋立体观测网培训出大量的研发和运行人员。

Z2ERO 的主要科学目标集中于：海洋生态保护、海洋污染监控预警、海洋防灾减灾、海洋科学研究探索、海洋油气及矿产资源开发 5 个大的方面，同时为海洋渔业可持续发展、海洋与大气交互作用、海流能的研究与利用、海岸变迁的研究等领域提供有力的数据支撑。

Z2ERO 主要包括海面和空中观测网系统、海底观测网系统两大部分，海面和空中观测网系统包括卫星遥感观测、海面雷达、海面母船、海洋浮台、浮球、海面高清摄像机等设备；海底观测网络系统则包括岸站、接驳盒、科学仪器插座模块（SIIM）、各类观测器、各类传感器、大型声纳、水下机器人等设备。

通过网络和节点相连接的方式来实现整个观测网的布放、数据传输、电能传输和观测器连接。岸基站提供给主节点电能，主节点再将电能分配给各次节点，通过次节点的进一步转化，将电能供给到 SIIM 上，再由 SIIM 给各观测器供电，各个观测设备将所采集到的数据通过 SIIM 和节点传输到岸站，在岸站上进行相关的数据处理和存储。

在海洋立体观测网建设方面，浙江大学一直走在前列。参加了十一五 863 计划——“海底长期观测网络试验节点关键技术”，负责在 MARS 运行的“中国节点”的网络次级接驳盒，该系统在 MARS 上进行试验取得了成功。

同时，致力于 SIIM 的研究工作。SIIM 是连接接驳盒与观测器之间的关

键部件，SIIM 不仅能够为多个观测设备供给电能，而且为观测设备与主干网之间提供双向数据传输。一个 SIIM 上可以同时提供多个供观测器连接的接口，极大的方便观测器的布放，解决了多个观测器同时和接驳盒连接的兼容性问题。

为了解决 SIIM 和接驳盒之间的连接问题，又研发设计了非接触式传输系统来代替湿插拔或者传统的水下插拔。同时也研发了水下摄像机系统，并在千岛湖进行了湖试，湖试结果表明该摄像机能很好的完成水下摄像任务。在电化学传感器方面，一共取得了 6 项国家发明专利。目前，摘箬山岛建设的岸基试验大厅已经结顶，岛上配套的码头、道路等交通设施也已处于建设尾期。

Z2ERO 依托舟山摘箬山岛的天然优势，结合浙江大学的学科特点，以振兴中国海洋事业为信念，以服务地方经济建设为目标，定会以优异的成绩来回报社会，贡献国家。

S15-P-16

深海工作站

叶志慧

青岛滩海工程咨询研究院

qdtanhai@126.com

本深海工作站用于在水-沉积物界面监测 CO2，营养盐，金属元素、溶解气体的含量，用于研究水和沉积物之间的物质交换。

该工作站由意大利的 RSE（能量系统研究所）和 CNR-ISMAR（意大利国家研究理事会，海洋科学研究所）联合研制。

本工作站具有模块化的结构，可以根据用户的具体需求来选择合适的配置。不需要任何电缆连接，本工作站能靠着自身的重力到达 6000m 水深的海底。

该工作站可以在海底工作几天时间，工作站里有底栖室、微型分析器、海水取样器、重力仪、地震仪、硬度计。工作站在海底工作结束后，工作站烧断释放装置来丢弃配重使靠着浮力返回海面并通过卫星定位，无线电通讯和闪光灯可以找到工作站并回收。

目前，本海底工作站配备三个底栖室和一个 CTD 探头。每个底栖室都配备：

1 个 oxystat 设备；1 个甲烷传感器；1 个浊度传感器；1 个溶解氧传感器；1 个 PH 传感器；1 个水泵。

水-沉积物物质交换通量通过比较不同时间通过底栖室内传感器测得的数据的差异或者通过分析采集回来的水样来得到。oxystat 设备是底栖室内保持恒定的氧气浓度。CTD 在工作站下放、部署在海底、上升的整个过程中测量温度、电导率和深度。

底栖室内的水样采集是由八个用电机和弹簧控制的注射器来完成的。每个注射器采水时间是通过编程设置的。注射器里可以注入示踪剂（Br,Cs 或淡水）或者模拟极端或异常的环境（如富含 CO_2 的环境）。

底栖室配备一个螺旋桨来保持底栖室里的水混合均匀（转速为每分钟 4-6 转）或用来模拟沉积物再悬浮环境（转速高于每分钟 4-6 转）。

本海底工作站还可以配备一个水下摄像头，也可配置二维的水声通讯系统。

其他技术参数：

不锈钢三脚架结构（侧面 1.5x1.5x1.5 m；高 1.1m;空气中 250Kg,水中 100Kg）；

每个底栖室由透明的聚碳酸酯做成，直径为 35cm,高为 20cm；

浮力是由 5 个玻璃球浮标提供的（另外还有三个玻璃球浮标里面装有电池和电子设备）；

三个配重均为 20Kg 重；

下降速度约为 1-2 米/秒

工作水深可达 6000m。

S15-P-17

世界大深度载人深潜器现状及发展趋势

韩冰，张金鹏，万荣胜，张伙带，黄文星

广州海洋地质调查局

abing1789@foxmail.com

随着科学技术的不断进步，载人深潜器已成为海洋考察的标准性“工具”，充分发挥了科学家在现场的主观能动性和创造力，并得到广泛应用。本文跟踪了解国外现役及在建的大深度载人深潜器的发展水平、现状，并简述了我国“蛟龙”号大深度载人深潜器的研制进展及其性能指标。在此基础上，展望大深度载人深潜器的未来发展趋势，对进一步增强认知深海、开发深海和保护深海的意识具有重要的现实意义。

1 引言

深海是当今国际科学探索的前沿，蕴藏着海洋油气、大洋多金属结核、海底热液矿产、天然气水合物以及海洋生物等资源，是一个巨大的蓝色宝库。正如开发利用太空离不开航天运载装备一样，开发利用海洋也离不开深海运载装备，拥有大深度载人潜水器和具备作业能力，是一个国家深海技术竞争力的综合体现。

2 国外大深度载人深潜器现状

目前世界上现役的可达到3500m以上大深度载人深潜器共有 5 台，分别为美国的“阿尔文”号（Alvin）、法国的“鹦鹉螺”号（Nautile）、俄罗斯的“和平”1与“和平”2号（MIR 1&MIR 2），以及日本的“深海 6500”号（Shinkai 6500）。此外，美国在建（或升级）一台新概念“阿尔文”号，以取代服役近半个世纪的“阿尔文”号。

3 我国“蛟龙”号载人深潜器研究进展

为推动深海运载技术发展，为中国大洋调查和科学研究提供重要高技术装备，同时为中国深海勘探、海底作业研发共性技术，中国科技部于 2002 年将“蛟龙”号深海载人潜水器研制列为 (863 计划)重大专项，启动“蛟龙”号载人深潜器的自行设计、自主集成研制工作。在组织安排下，大洋协会作为业主具体负责“蛟龙”号载人潜水器项目的组织实施，总装工作由集团公司 702 所承担，并联合沈阳自动化所等约 100 家国内科研机构与企业共同攻关。经过 6 年努力，完成载人潜水器本体和水面支持系统研制，以及试验母船“向阳红 09”号改造。

4 大深度载人深潜器的发展趋势

无论是新概念“阿尔文”号还是我国大深度载人潜水器“蛟龙”号的研制，都说明 21 世纪是海洋勘查和开发的年代，世界各工业大国针对深海这块正待开发的区域，都在制订一系列勘查计划。因此，被称为“海洋学研究领域的重要基石”的载人深潜器及其技术将会发挥越来越重要的作用。纵观世界载人深潜器的发展现状及研制情况，可以看出大深度载人深潜器的未来发展趋势主要体现在深潜器本身性能和未来深海作业方式两方面：

（1）美国在论证新概念“阿尔文”号深潜器时，通过对应用科学家的调研，提出了如下衡量载人潜水器技术先进性的指标，这无疑也代表着载人深潜器在性能上未来发展趋势：

① 更大的载人球，更好的舱内人－机－环设计；

② 更大的电池功率，更强的推进马力(更好的操纵性)和更好的悬停作业能力；

③ 更好的观察视野，驾驶员和科学家的观察视野有重叠；

④ 更大的科学有效负载，为科学仪器携带配重及采集样品量提供更大的宽容度；

⑤ 更好的照明和成像系统；

⑥ 更好的数据采集和仪器接口。

（2）在深潜器深海作业方式上，未来载人深潜器将向与 ROV 联合作业（如“鹦鹉螺”号）及双载人深潜器配合作业（如俄罗斯“和平 1”号、“和平 2”号）方向发展，以配合方式完成复杂的水下作业，并提供安全保障，实现相互救助。这也对发展大深度深潜器的国家提出更高的技术要求和更大的资金投入力度。

S16-O-01

南海大陆边缘动力学:科学实验与研究进展

李家彪 [1,2]

1 国家海洋局海底科学重点实验室

2 国家海洋局第二海洋研究所

jbli@sio.org.cn

项目首次在南海南部大陆边缘及西南次海盆开展长排列大震源多道地震、海底地震仪（OBS）折射/反射地震等的综合地球物理探测，结合地质构造、地球化学、动力模拟等的综合研究，形成如下重要认识：南海海盆新生代发生了早、晚两期海底扩张。早期扩张发生于 33.5-25Ma，经过 1.5Ma 的调整，晚期扩张发生于 23.5-15.5Ma。早晚两期扩张

均为由东向西传播的渐进式扩张，构造上具有南北分块、东西分带的特点。南海新生代南、北陆缘沉积盆地从断陷到坳陷的构造转型时间存在差异，并分别与海盆晚期扩张和早期扩张的结束时间相对应。南海新生代陆缘张裂变形具有随深度变化的特点，海盆的洋壳深部和上地幔顶部存在磁化现象，地幔没有明显的速度异常。南北大陆边缘均属非火山型大陆边缘，虽然北部陆缘东段存在下地壳高速层，但没有发现向海反射层，而共轭对比应沿 NW-SE 向进行。南海新生代南北陆缘沉积盆地形成演化存在系统差异，总体上“外油内气”呈环带分布，南部陆缘盆地具有更优的油气成藏地质条件。南海中生代南北陆缘均为华南块体的一个部分，受到古特提斯和古太平洋构造域的联合控制。

S16-O-02

南海中央次海盆三维地震探测最新研究进展

赵明辉[1*]，张莉[1,2]，王建[1,2]，贺恩远[1,2]，丘学林[1]，徐辉龙[1]，卫小冬[1,2]，张佳政[1,2]

1 中国科学院边缘海地质重点实验室，南海海洋研究所

2 中国科学院研究生院

*mhzhao@scsio.ac.cn

海底扩张脊及大洋洋中脊是重要的板块构造边界之一，更是洋壳形成与增生的地方。国际上多个研究计划（RIDGE，InterRidge，ILP，IODP 等）都把洋中脊及洋壳增生过程作为研究重点。由于海底地震仪探测技术及三维层析成像方法成熟使用，极大地推动了全球三维深部地震结构研究。

南海是我国最大最完整的边缘海，是我国走向深海研究的重要突破口。然而，关于南海的深地震研究多集中在南海北部陆缘，在南部陆缘带目前也有宝贵的 2 条 OBS 探测线，但在南海深部海盆研究很少。2011 年 5 月项目组实施完成了南海次中央海盆残留扩张脊上的海上探测实验（丘学林等，2011）以后，一直投入到紧张的数据处理之中，已经取得了一些初步结果：

（1）已完成对新采集的原始 OBS 数据进行预处理和初步处理工作，主要进行了各种数据格式转换，分别在连续波形记录和折合时间剖面上识别气枪信号和小震信号。通过滤波参数、叠加、相关、反褶积等数据处理方法，在 OBS 折合时间/偏移距剖面上记录了明显的 Pg、PmP 等深部震相，震相可追踪偏移距超过 60km。这些震相为下一步的结构模拟和深部动力学研究提供了坚实的数据基础。

（2）完成了炮点与 OBS 台站的位置校正。由于受到海流与海风的影响，自由落体投放的 OBS 在海底实际落点位置会偏离投放设计点数百米，有时甚至超过 1 km，这将严重影响走时震相的正确拾取，特别是对于密集的三维地震探测，将严重影响三维地震结构的研究精度，因此，OBS 进行位置校正比炮点位置校正更为重要。对 OBS 在海底的实际位置反应最明显的是气枪信号经过水体直接传播至 OBS 的直达水波，目前主要应用直达水波的走时，结合蒙托卡罗（Monte Carlo）方法和最小二乘法方法，反演获取 OBS 的准确落点位置，进而根据直达水波曲线特征进行了位置校正精度分析。中央次海盆共 39 台有效 OBS 数据（部署的 42 台 OBS 中，OBS36 丢失，OBS32 与 OBS33 没有记录数据），及 8287 炮点，均已完成了炮点及 OBS 台站位置校正。通过对比校正前后 OBS 的落点位置、直达水波走时曲线特征，认为校正后的 OBS 记录剖面展示了真实的记录情况，校正误差控制在 1%左右。

（3）二维主剖面中初至波震相的拾取，

及初始模型的建立。目前已完成初始模型建立工作，正着手拾取震相，为三维地震结构模拟做好充分准备。

综上前期数据处理结果表明，此次海上探测实验，数据质量良好，射线覆盖密度高，是非常成功的。不仅为下一步三维层析成像研究提供了坚实数据基础，而且将为今后南海的形成演化理论提供最基本信息。

S16-O-03

南海深海环流

Guihua Wang

State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, Hangzhou, China

guihua_wanggh@yahoo.com.cn

The analysis of an updated monthly climatology of observed temperature and salinity from the U.S. Navy Generalized Digital Environment Model reveals a basin-scale cyclonic circulation over the deep South China Sea (SCS). The cyclonic circulation lies from about 2400 m to the bottom. The boundary current transport of the cyclonic circulation is around 3.0 Sv. Our results suggest that the cyclonic circulation is mainly forced by the Luzon overflow, with bottom topography playing an important role. The structures of potential temperature, salinity, and potential density in the deep SCS are consistent with the existence of the cyclonic circulation. Specifically, low salinity water is found in the interior region west of Luzon Island, and surrounded by saline Pacific water in boundary current regions to the north, west and southwest. Our results show the potential density distribution and the corresponding cyclonic circulation in deep SCS are primarily controlled by salinity variations in the deep basin. The linkage between the deep SCS circulation and the monsoon driven upper layer circulation is also discussed.

S16-O-04

南海北部深水雾状层（nepheloid layer）的发现及其科学意义

刘志飞[1]，赵玉龙[1]，王文广[1]，王宇辰[1]，徐景平[2]

1 同济大学海洋地质国家重点实验室

2 U.S. Geological Survey, Santa Cruz, CA 95060, USA

lzhifei@tongji.edu.cn

雾状层（nepheloid layer）是深海海底之上发育富含悬浮沉积颗粒相对稳定的水层，在大洋和深海中广泛发育。由于其颗粒浓度和流速都比正常水体高出数倍，因而对细颗粒沉积物的远距离搬运起到重要作用。北大西洋陆坡在 1980 年代就发现广泛发育雾状层，后来证实与等深线流搬运直接有关，并容易沉积形成等深积岩。南海北部陆坡广泛发育高沉积速率的堆积体，位于东沙东南 ODP1144 站（水深 2037 m）的全新世沉积速率可达 58 cm/ka（Bühring et al., 2004），对其成因一直以来争议不断。2012 年春，我们通过国家自然科学基金委共享船时“南海综合 B 航次”，搭载中国海洋大学“东方红 2”科学考察船，采用透射测量方法（transmissometry）在东沙东南方向穿越 ODP1144 的断面上观测到稳定分布的深水雾状层。观测到的雾状层由三个层次组成：沿底层分布的底部雾状层，平均厚度约 300 m；在 1000-1200 m 水深范围分布的中部雾状层，平均厚度约 100 m；分布在可见光透射范围内的表层雾状层，平均厚度约 90 m。值得注

意的是，底部雾状层在整个断面上的厚度大都为 100-300 m，但在 ODP1144 站的厚度增加到 500 m，这与沉积物高速堆积体的形成可能具有直接因果关系。本报告将详细介绍这些深水雾状层的特征，并讨论其在沉积物搬运和高速堆积体成因方面的重要意义。

S16-O-05

南海深水底流作用和第三系露头的岩芯沉积记录

陈芳[1]，苏新[2]，庄畅[1]，周洋[1]

1 广州海洋地质调查局

2 中国地质大学（北京）

zhchenfang66@21cn.com

南海东北部陆坡的高速沉积堆积体（SO17940 、ODP1144 和 MD05- 2905 孔附近）形成的关键是要有源源不断的物源供应，根据北部岩芯的沉积记录，有证据显示该高速沉积堆积体的物源来自南海东北部，支持南海北部陆坡区存在 NE-SW 向的深水底流搬运的观点。

东沙群岛东南部水深介于 350-1500m 的多个表层样发现大量第三纪与第四纪的有孔虫、钙质超微化石相混杂，或与第三纪化石为主，说明该区域存在长期的底流冲刷作用，致使该区域第三纪地层出露，第四纪地层无法沉积，或者该露头的出现可能与东沙运动有关。

南海东北部水深约 3000m 的一条约 9m 的岩芯下部出现多层 2-10cm 厚的条带状、斑块状浅白色沉积，与晚第四纪青灰色沉积形成明显对比。根据钙质超微化石的初步分析，浅白色沉积内的钙质超微化石全为晚第三纪沉积，该沉积可能来自东沙群岛东南部的第三系露头。

同样地，在位于南海东部海盆水深 3998m 的岩芯出现薄层第三纪沉积，说明第三系露头和底流搬运的存在。

S16-P-01

陆坡区裂陷结束后断裂长期活动的动力学机制-以白云凹陷为例

孙珍[1]，王章稳[1]，徐子英[2]

中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室

国土资源部广州海洋地质调查局盆地所

zhensun@scsio.ac.cn

南海北部陆坡区广泛存在裂陷结束后断裂仍持续活动，甚至控制凹陷沉积的特征，这在白云凹陷尤其明显。有人提出陆坡区破裂不整合比陆架区晚，这种认识有误。根据破裂不整合的定义与构造表现（破裂不整合是陆壳伸展至破裂，洋盆开始出现所引起的构造分隔面，它是裂陷期的结束和漂移期的开始），白云凹陷的破裂不整合为 T70（约 32Ma），与陆架区一致，之前为伸展裂陷作用塑造的半地堑结构，之后为披覆全盆的裂后热沉降特征；断裂体系在破裂不整合面之上仍旧长期活动，但方向与裂陷期相差 30 度以上，且表现出多期不同的活动特征；总体上断裂断距小，且常出现一侧伸展，一侧挤压反转的特征。为了揭示裂后断裂长期活动的动力学机制，我们选择了数据质量和构造特征清晰的白云凹陷东西部三维工区开展构造分析和物理模拟研究。

结果显示：裂陷结束后（T70 以后）的断裂活动主要受到两个力的影响。首先是白云主凹强烈沉降所带来的地形倾斜的重力势，其次为南海扩张所产生的左行压扭应力和菲律宾海板块挤压造成的压扭应力。

重力势指向洋盆，局部重力势指向主凹陷中心，是断裂发育和构造活动的主要控制因素，受重力势的影响，西部工区和东部工区在 T70 以后都发育了以 NWW 向断裂为主

的断裂系统，且西部工区表现出北张南压、尤其是隆起西南侧受压的结构特点；而东部工区则对应的表现出 T70 以后南倾断裂增加明显，北压南张的特点。这些特点在隆起和深大断裂附近表现的较为明显。因此，推测 NNW 走向和 NWW 走向断裂上一侧张一侧压的应力表现，与指向凹陷中心的重力势作用有关。13.8Ma 之后局部重力势的影响变弱。

南海扩张左行压扭应力的影响，主要表现为对 NEE 和近东西向断裂的挤压。西工区由于更靠近南海洋盆，发育一条与南海扩张方向近平行的 NNW 向走滑断裂，因此左行压扭期次性表现的更加明显。南部边界断裂北侧的小幅断层褶曲推测与南海扩张的左行压扭有关，这里反转活动从 T70 开始出现，至 16.5Ma 左右基本上就停止了，与海盆扩张活动的周期基本一致。NNW 向的走滑断裂上的一侧拉一侧压的表现一直持续到很晚，东部工区处由于两期陆架坡折相距较近，因此地形变化较大，南海挤压的影响不明显。但其具有与西部工区相似的几期相对集中的反转期次，因此我们推测东部工区也受到了南海扩张的影响。10.5Ma 以后，菲律宾海板块的挤压导致了新一期的断裂快速活动。

S16-P-02

构建高精度和高分辨率的南海 Moho 面模型

高金耀，周志远，王威，杨春国，吴招才，张涛

国家海洋局海底科学重点实验室，国家海洋局第二海洋研究所

jygao@mail.hz.zj.cn

面起伏深度及界面特征蕴含着重要的地球深部动力学意义。国际学术界已有一些全球性地球结构模型（如 PREM 地球模型、CRUST5.1/CRUST2.0 和 3SMAC 等），都会涉及到 Moho 面深度信息。这种全球性地球模型的构建需要可靠的全球性地壳模型作边界修正和控制，而有学者致力于建立全球地壳和上地幔的速度、密度结构模型。但是这种全球性地球结构模型，甚至由地震层析成像提供的区域性地球结构模型，其精度和分辨率都难以满足讨论局部地区的深部构造动力问题。

为此，像在南海地区，上世纪 80 年代，地质矿产部南海地质调查指挥部与美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地质观测所合作投放了上百个的声纳浮标，进行了双船扩展排列剖面（ESP）地震测量；上世纪 90 年代以来，中国科学院南海海洋研究所分别与日本东京大学、德国基尔大学和台湾海洋大学等合作，在南海北部的西、中和东段采集了 OBS 或 OBH 剖面；进入本世纪，国家海洋局第二海洋研究所和中国科学院南海海洋研究所又自主在南海北部、中部及横跨西南次海盆进行了多次 OBS 测量。这些地震探测数据加上其它的 OBS 剖面、海上深反射地震和陆地或岛屿的宽频带地震数据，为我们积累了很多可靠的 Moho 面深度数据。然而，地震测深只能在特定剖面或小区块上较精确地确定 Moho 面深度（或地壳厚度）和结构，不能推测大范围的、区域性的 Moho 面深度起伏分布形态，无法独立构建区域性的足够精度和分辨率的 Moho 面模型。

事实证明，重力异常对 Moho 面深度的起伏变化具有极高的敏感性，具有足够的分辨率反映 Moho 面深度的起伏变化，但是由于受地壳及岩石圈密度横向不均匀性的影响，使用传统重力反演的办法，即使使用 Moho 面的地震测深数据，要达到地震剖面对 Moho 面深度的确定精度具有很大的难度。如何结合 Moho 面的地震测算精度和重力异常分辨率的优势，构建南海 Moho 面模型是当前南

海深部研究需要解决的问题。

我们在球坐标系下，采用扇形球壳块重力效应公式，通过计算全球水体、陆地、沉积层和地温场变化引起的重力效应，改正空间重力异常得出深部重力异常，并采用小波多分辨率分析，最大限度地可靠提取反映Moho面深度横向变化趋势的剩余重力异常。采用地震测深点的约束控制，先由传统重力反演的办法由剩余重力异常进行正、反演迭代计算南海 Moho 面深度。但是，重力反演的 Moho 面深度在所有地震测深点上总是存在或大或小的偏差，如果把这些控制点全部取为地震测深值，Moho面深度就会不光滑，违法了重力异常展示的起伏变化趋势，甚至反而使这些控制点成为 Moho 面深度反演模型的奇异孤立点。我们所要做的最关键的是，就是让这些控制点全部取为地震测深值，而最小幅度地修改周围的反演值，而又回复重力异常展示的起伏变化趋势。最后提供的南海 Moho 面模型完全融合了地震测深值，而又符合重力异常展示的镜向起伏变化趋势。

S16-P-03

南海南部陆缘碳酸岩台地——发育过程与构造响应

丁巍伟

国家海洋局第二海洋研究所
wwdingsio@yahoo.com.cn

南海南部陆缘碳酸盐台地不仅是该地区油气成藏重要的储集层，而且其分布特征、发育历史和控制因素蕴含了南海新生代构造演化的丰富信息，是记录南海演变过程的重要载体。

中中新世以来全球海平面持续降低，而南海海平面却在增高。海平面上升将导致碳酸盐台地的淹没，也即不利于碳酸岩台地的发育，然而该时期却是南海陆缘碳酸盐岩最为发育的时期，这说明南海的碳酸岩台地的发育更受到该地区的构造作用的控制（吴时国等，2011）。近年来对南海南部陆缘碳酸盐台地的研究表明，碳酸盐台地的顶界面不仅是一个沉积环境变化界面，也是一个重要的构造界面(丁巍伟和李家彪, 2011; Franke *et al.*, 2008; Franke *et al.*, 2011)，时间大致对应早中新世（19-16.5Ma）(Cullen, et al., 2010; Hutchison and Vijiyan, 2010)。该界面在地震剖面中非常醒目，表现为强振幅和强连续性，从南沙地区一直延伸至南沙海槽之下，为开阔浅海-滨海相的沉积环境，而其上则为半深海-深海相沉积环境下的粉砂岩和硅质页岩的沉积。同时该界面其下地层均有削截，是一个区域性的构造不整合面，标示着陆缘盆地从断陷阶段向坳陷阶段的转换。

目前对于南海新生代构造演化的最新研究表明，南海的拉张具有由东向西渐进式发育的特点，也意味着由东至西陆缘从裂谷阶段向裂后沉降阶段的转换具有穿时性，具有“东早西晚”的特点(孙珍 *et al.*, 2011; Hayes and Nissen, 2005; 李家彪 *et al.*, 2011)，似乎与碳酸盐台地“东早西晚”的发育规律相一致。南海陆缘随着南海扩张向南移动，并最终与婆罗洲地块发生碰撞，挤压隆升事件以及形成的前隆肯定会对该区盆地的构造变形、沉积演化产生影响。碰撞首先发生在西侧的曾母盆地，形成沙捞越造山带(Hutchison, 2005)，根据增生体获取的岩石样品的年代，时间始于始新世。其后在沙巴地区发生碰撞，时代为中中新世(Clift *et al.*, 2008)，也即碰撞的发生是“西早东晚”，与前述扩张的“东早西晚”恰恰相反。南海南部陆缘独特的构造发育史，包括了陆缘裂解-海底扩张-陆陆碰撞-俯冲消减的复杂过程，这种伸展-挠曲复合型陆缘对碳酸盐台地的发育和分布必有其独特之处。

沉积过程是对构造演化过程的响应，南海陆缘盆地的沉积体系的形成直接受控于南海陆缘破裂和海底扩张作用，通过对南海陆缘碳酸盐台地形成过程的研究，不仅可以了解形成时期的古气候、古地理、深部海流、海平面变化等方面的信息，而且可以通过其形成演化过程来反映南海大陆裂解-海盆扩张以及后期碰撞-俯冲等方面的信息。

S16-P-04

南海海盆重磁异常线性构造分析及海底扩张模式探讨

郭良辉，孟小红

中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院
guo_lianghui@163.com

南海是我国最大的边缘海，位于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块的汇聚中心，受这三大板块运动和海底扩张的相互作用而形成演化。南海海盆新生代海底扩张是南海构造演化研究的重要组成部分，记录了大量大陆边缘张裂到区域地质演化的重要信息。南海海盆新生代海底扩张演化史主要基于磁异常条带的识别对比和对南北陆缘地质构造的认识，目前大多数科学家都认为发生过两次海底扩张，但两次扩张的模式和时间有很大的分歧，其主要原因在于过去磁测资料质量差、分辨率低，局部地区受海山干扰严重；磁异常条带模拟计算存在多解性；海盆较深而没有直接的深钻资料；等等。

本文收集南海海盆高分辨率卫星重力异常和实测磁总场异常数据，对卫星重力数据作陆地和海底地形校正得到布格重力异常，对磁总场异常数据作伪倾角法的变倾角化极得到化极磁异常。重磁异常特征分析表明：南海海盆布格重力异常较高，磁异常条带状特征明显，重磁异常总体走向 NEE 或 NE，并受多条 NNW 或 NW 向转换断层切错，自东向西具有分段性。

对南海海盆重磁异常作垂直导数、斜导数、归一化总水平梯度垂直导数等换算，在此基础上分析海盆的横向线性构造特征，推断 NNW 向和 NW 向转换断裂，结果表明：海盆 NNW 或 NW 向转换断层十分发育；西北次海盆转换断裂总体走向为 NNW 向；中央海盆北区转换断裂总体走向为 NNW 向，与西北次海盆转换断裂走向较一致；而在中央海盆中区和南区转换断裂走向转为 NW 向，与北区及西北次海盆的不太一致；西南次海盆转换断裂总体走向为 NW 向，与中央海盆中区和南区的较一致；中央海盆与西北次海盆的分界线为一条 NNW 向转换断裂，它与西南次海盆的分界线为一条 NW 向转换断裂；礼乐滩块体属于西南次海盆南陆缘，与北陆缘的中沙块体互为共轭。

综合重磁异常线性构造分析，在 Briais et al（1993）的研究成果基础上，重新识别了南海海盆的磁条带，探讨海底扩张模式，得到以下构造认识：海盆的海底扩张为两期次，扩张年龄为约 32 Ma-16Ma；西北次海盆扩张年代为约 32Ma-28Ma，属于早期扩张，扩张轴走向为 NEE 向，拉张方向为 NNW 向；中央海盆早期扩张年代为约 32Ma~26Ma，形成中央海盆的北区和南区，扩张轴在 17°N 附近，走向为近 EW 向，拉张方向为 NNW 向，26Ma~25Ma 期间发生了扩张轴向南跃迁，晚期扩张年代为约 25Ma~16Ma，形成中央海盆的中区，扩张轴位于 15°N 附近，走向在东区为 NE 向，而在西区转为 NEE 或近 EW 向，扩张方向在东区为 NW 向，而在西区转为 NNW 或近 NS 向；西南次海盆扩张年代为约 24Ma-16Ma, 属于晚期扩张，扩张轴走向为 NE 向，拉张方向为 NW 向。

S16-P-05

海洋地磁异常反演中的关键问题

吴招才，高金耀，张涛，周志远，杨春国

国家海洋局海底科学重点实验室，国家海洋局第二海洋研究所

* wzccug@gmail.com

长期以来，海洋磁异常的研究中，多是以磁条带为对象，洋壳年龄为目标的，多采用等厚的单层水平二度体为模型来识别、对比磁异常条带。但某些传统的海面拖曳式总场测量难以识别磁条带的地区，如磁静区，近赤道海域，特殊海域（如南海），多采取海面梯度或分量，深拖或近底总场（或分量）等成本较高的观测手段，以取得更精确、更高分辨率的观测数据。研究目标也从单纯的磁条带和洋壳年龄识别，更多的面向更加精细的洋壳磁性结构和演化的分析，如洋壳蛇纹岩化的磁响应，热液喷口（活动或非活动）附近洋壳的磁性特征，磁异常所反映的断裂活动（如拆离断层）等。

总结起来，利用海洋磁异常研究洋壳磁性层二维结构的主要内容不外乎其物性结构和几何结构，物性结构主要是洋壳磁性层的磁化强度和磁化方向变化，几何结构则主要是横向宽度和垂向的厚度变化。在传统方法中，通常假定洋壳磁性层为等厚的单层结构，或先固定磁化强度和方向，再反演横向宽度变化；或先固定宽度和磁化方向，再反演磁化强度。如果能利用一些特殊的分析技术和反演算法，减少假定条件，从海洋磁异常和洋壳本身的特征入手有效约束信息，有利于确定洋壳磁性层的精细物性结构和几何结构。比如可以利用信号边缘检测方法（如小波分析）检测磁性层横向结构；利用一些对磁化方向不敏感的量（如解析信号，张量等）反演磁化强度；利用非线性、智能反演方法确定磁性层下界面变化。

此外，早在上世纪 70 年底，人们就认识到洋壳磁性层并非简单的单层结构，尤其是在年龄较老、扩张速率较慢的洋壳区，这种深部磁性层对海面观测异常的贡献达 25%，能够在二维磁异常剖面中引起显著的异常偏斜，并推测这种异常偏斜是洋壳层 3A 和上地幔蛇纹岩化的反映。据此，人们提出了洋壳磁性层二层结构模型。这种二层模型更逼近洋壳侧真实磁性结构，减少单层模型中的一些不合理的假定条件，能够更精细的确定磁化方向变化、磁化强度和厚度变化，更有利于研究洋壳的演化历史，反映某些特殊的构造活动等。

S16-P-07

利用重、磁资料研究南海地区断裂及凹陷分布

王万银[1]，张功成[2]，邱之云[1]，杨正华[1]，梁积伟[1]

1 长安大学重磁方法技术研究所

2 中海石油研究中心

wwy790223@263.net.cn

南海位于欧亚板块、印度—澳大利亚板块和菲律宾海（太平洋）板块的交接部位，是在中生代大陆边缘背景上扩张而形成的新生代边缘海。整个海域被大陆、半岛和岛屿包围，其轮廓呈扁菱形，面积约 $350\times10^4 km^2$。南海又是太平洋西南侧的一个边缘海，蕴藏着十分丰富的石油和天然气以及各种矿产资源。因此加强南海地区地质地球物理研究，摸清各种资源分布，对于捍卫我国主权、利用南海资源具有重要的意义。

自 1929 年以来，许多国家对南海相继进行了各种科学调查研究，获取了大量的地质地球物理资料，对它的构造演化、盆地分布、

石油地质等有了一定的认识，取得一系列成果。已获得的地震、重力、磁力和水深测量等数据主要集中在浅水区，对深水区的数据较少，这对研究南海的地质问题以及资源问题带来了困难。本文依托国家科技重大专项《大型油气田与煤层气开发》领域的《海洋深水区油气勘探关键技术》项目，利用卫星重力数据和航空磁力数据对南海地区的断裂分布和凹陷分布进行研究，为南海地区，特别是深水区的地质研究提供区域性基础资料。

（1）利用船测重力数据和磁力数据对卫星重力数据和航空磁力数据进行了对比，通过对比表明所使用的卫星重力数据精度能够满足 1:100 万比例尺研究工作的要求，航磁数据精度能够满足 1:200 万比例尺研究工作的要求。

（2）研究了中、低纬度地区磁异常化极处理技术；提出了重、磁异常归一化总水平导数垂向导数（NVDR_THDR）断裂识别方法技术和重、磁异常对应分析凹陷识别方法技术，并由此编制了南海地区重、磁异常基础图件，为南海地区地质研究提供了基础资料。

（3）根据重、磁异常特征，特别是重、磁异常归一化总水平导数垂向导数研究了断裂平面分布位置、方向以及断裂组合关系；研究了南海地区陆域断裂在海域的延伸，并划分出了三条重要的 NW 向断裂。通过研究认为，南海断裂呈现“北拉南压，东冲西滑”的特点，断裂分布方向以 NE 为主，NW 向为辅。这些研究成果为南海区域构造的深入研究提供了参考。

（4）根据重、磁异常特征，特别是重、磁对应分析技术研究了南海地区凹陷的分布，发现了 7 个深水盆地（凹陷），总结了凹陷的分布规律。通过研究认为，南海凹陷分布呈现“南三北三，外宽内窄”的特点。这些研究成果为南海深水凹陷的进一步研究提供了参考。

南海地质构造复杂，特别是深水区由于已知资料匮乏，目前还难以对该区域进行全面、细致的研究。因此，本文的研究成果可能存在一些错误，请各位专家批评、指正。

S16-P-08

南海张裂动力学机制和演化过程的数值模拟

许鹤华

中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室

xhhcn@scsio.ac.cn

大陆的张裂、破裂，以及洋底扩张中心的形成是板块构造理论的核心内容, 也是一种重要的地球动力学过程。张裂作用是岩石圈的一种基本构造作用，张裂作用形成大陆裂谷、沉积盆地，张裂作用还导致岩石圈发生破裂，最终形成海底扩张和大陆张裂。张裂开始于拉张应力作用，然后应变逐渐积累和聚集，最终岩石圈发生破裂，海底扩张和大洋岩石圈的诞生则伴随最大程度的拉张。

大陆岩石圈的张裂主要分为三个阶段：破裂前、张裂过程和破裂后。（1）破裂前主要是在拉张作用的初期，岩石圈在应力（主动模式和被动模式的应力机制不同）的作用下拉张减薄，发生“颈缩”变形，在这一阶段主要的研究核心针对不同的变形模式（包括纯剪切拉张模式和简单剪切拉张模式），对岩石圈的应变、应变率和热流的进行耦合数值模拟，结合区域的地址和地球物理资料探讨研究区的可能的变形模式。（2）随着拉张过程的继续，岩石圈强烈减薄至发生破裂，在这一阶段主要研究的核心是岩石圈减薄，软流圈上涌发生减压熔融，形成岩浆房，随着岩石圈的破裂，岩浆上涌到岩石圈表面。在本阶段对岩石圈减薄、岩浆熔融、对流和

热流进行耦合数值模拟，结合区域地质和地球物理资料探讨研究区的岩浆规模（是多岩浆边缘或少岩浆边缘）。（3）大陆岩石圈拉张破裂后，海底扩张中心形成，在这一阶段主要的研究核心是随着扩张的继续，大陆边缘距离扩张中心渐远，热流减低，开始发生热沉降作用，同时大量的岩浆在这一时期可能会发生底侵作用。在本阶段将模拟张裂大陆边缘在两种作用（热沉降作用、岩浆底侵作用）下的演化过程。

已有的有关大陆张裂的数值模型大多是集中在岩石圈拉张减薄的运动学过程和动力学基础，而对岩石圈破裂及破裂过程中岩浆作用的数值模型较少。最近 Kusznir 等(2007)提出了一种新的张裂大陆边缘形成模型，该模型认为在上升离散地幔流的作用下，大陆岩石圈减薄，并最终导致大陆岩石圈裂解与海底扩张的形成。本研究将应用该模型模拟南海从拉张到破裂过程、洋中脊的形成及温度场演化。

南海北部在 23.8Ma 经历了大的沉积环境变迁，南海北部陆架坡折从白云主凹南侧向北侧跳跃，白云凹陷产生了强烈的沉降和沉积作用， 23.8Ma 以来的沉积充填达厚 6000m，深部结构研究表明，白云凹陷位于减薄的过渡地壳上，受慢隆上升影响而沉降，成为盆地沉降和沉积中心， 23.8Ma 以来珠江口盆地由于受到深部慢源作用产生强烈沉降。南海的扩张发生在 30－17Ma,根据磁异常分析，在 26－24Ma 期间扩张脊发生了一次向南跃迁，有学者认为在白云凹陷发生的快速沉降和扩张脊跃迁是统一地球动力学作用。本研究将利用数值模型模拟南海扩张脊跃迁过程及相应的地质效应。

S16-P-09S

南海大陆边缘盆地构造-热演化模拟研究

宋洋，赵长煜，宋海斌

中国科学院地质与地球物理研究所

sheep7878@163.com

中国南海是西太平洋边缘海之一，处于欧亚板块、印度板块和太平洋板块的交汇处。南海海域是欧亚东南部印支-华夏大陆的组成，受特提斯洋开闭的影响，一直处在板块会聚的环境，从中生代侏罗-白垩纪以至古近纪的盆地发育都与陆内盆地的挤压作用不可分离。但自始新世以来菲律宾洋滋生向北扩张使渐新世以来已经裂解了的南海大陆，滋生和扩张出南海洋壳，并在洋壳南、北因岩石层减薄而在板块离散环境下发育了裂谷(R)-离散陆缘拗陷(M)的原型盆地。基于朱夏院士提出的 TSM 盆地模拟的思想，利用岩石圈拉张模型和有关张裂大陆边缘形成的认识，采用多期有限拉张应变速率方法，进行了南海南、北陆缘的沉积埋藏史、构造沉降史和热历史的研究工作。借助盆地模拟的技术手段和张裂大陆边缘形成演化的思想，探讨南海大陆边缘盆地的形成以及新生代以来的演化历史。

南海北部边缘琼东南盆地主要经历三期快速沉降和一期缓慢沉降，三期快速沉降时间分别为始新世、渐新世—早中新世以及上新世以来；珠江口盆地始新世以来都存在两期相对快速的沉降过程，即始新世和渐新世，渐新世以后盆地进入缓慢沉降阶段。从热史的模拟结构来看琼东南盆地具有多期的加热和冷却过程，存在三期加热过程和两期冷却过程，与构造运动及断裂活动、岩浆活动之间存在很好的对应关系；琼东南盆地第二期加热事件与南海运动和海底扩张相对应，琼

东南西部和珠江口盆地结束于晚渐新世末，而琼东南东部结束于早中新世末；珠江口盆地始新世以来热演化史存在两次热流升高的过程，珠江口盆地自 23.3Ma 以来基底热流一直缓慢降低,整个盆地东西部热演化时间一致；特别是琼东南盆地晚期 5.4Ma 以来存在一期非常强烈的快速沉降，由西向东加热事件逐渐变弱。

南海南部大陆边缘盆地的构造－热模拟结果表明：南部边缘的热历史具有明显的区域特征，不同盆地的热状态存在明显的差异，这可能与南海南部边缘不同盆地对西南次海盆海底扩张和随后南沙地区的一系列碰撞、走滑改造作用的不同响应。南部边缘热状态的区域展布特征，整体上可以划分为 SW-NE 走向条带和 NW-SE 向的两个区块，即自 SW 向 NE 逐渐变冷，南沙南部陆架陆坡地区自 NW 向 SE 逐渐升温，且深水区热流明显高于浅水区。其中南沙东部礼乐盆地的热流比较低，尤其是礼乐盆地中部热流非常低，变化剧烈。

整体上看南海南、北边缘新生代以来都经历了多期的拉张和伸展过程，明显的快速沉降后进入裂后的热沉降期，但热历史却各具异同：南海北部边缘珠江口盆地的基底热流自渐新世以后开始进入热衰减期，这与南部边缘南沙中、北部和礼乐盆地相似；而琼东南盆地经历了晚期的热异常，部分地区上新世热流才达到历史最大值，同样南部边缘的曾母盆地也存在热异常情况；渐新世末-早中新世南部边缘盆地热流平稳变化，北部却出现琼东南盆地的东部地区热衰减的延迟的情况。南部边缘自西南次海盆海底扩张结束后，受到明显碰撞挤压和走滑改造作用，而北部边缘晚期的断裂活动却以小规模的张性活动为主，正是这种构造活动背景的异同，造成了南、北边缘晚期构造、热演化历史的差异。

S16-P-10

大陆边缘系统的反射地震研究

宋海斌

中国科学院地质与地球物理研究所，中国科学院油气资源研究重点实验室

hbsong@mail.iggcas.ac.cn

大陆边缘是地球系统的重要组成部分。大陆边缘位于大陆和洋盆之间，是板块作用形成的。板块构造理论指出有三种边界：离散、转换和聚敛边界。大陆边缘相应地有三种大陆边缘，离散大陆边缘（张裂、大西洋型、被动大陆边缘），转换大陆边缘和聚敛大陆边缘（俯冲、太平洋型、主动）。垂向上，大陆边缘系统由海水层、沉积层、结晶基底和岩石圈上地幔、软流圈、地幔、地核组成，其主要子系统包括海水层系统、沉积系统（包含天然气水合物－天然气系统）和构造系统。反射地震方法是最重要的地球物理方法之一，在大陆边缘系统研究中起着非常重要的作用。本文介绍反射地震方法在这些子系统研究中的现状和展望。

对海水层系统的反射地震研究是近期的事情。自 2003 年 Holbrook 等在 science 发表热盐细结构研究的一篇论文后，众多国家的海洋地球物理学家和物理海洋学家开始在这一研究方向开展工作。2006 年 2 月欧盟启动大型研究项目“地球物理海洋学”表明地震海洋学正在蓬勃发展。该项目集中了 6 个国家的科学家以 Cadiz 湾为试验区，通过反射地震和物理海洋的联合观测，期望建立地震海洋学研究的校正数据集，推动地中海溢流对大西洋海水相互作用的关系研究以及地震海洋学的发展。我们自 2004 年开始在该方向开展工作，主要研究区包括 Iberia 岸

外大陆边缘、Cadiz 湾、南海和台湾邻近海域，取得了重要的成果。我们的地震海洋学研究不仅获得海洋涡旋和内波的漂亮图像，也获得了密度、温度、盐度、海水运动速度、地转剪切等定量参数的空间分布，深化了中小尺度海洋过程的认识。

大陆边缘沉积系统的研究非常重要，其蕴藏着油气、天然气水合物等资源。我们自 1998 年起利用反射地震方法对天然气水合物－天然气系统进行了研究，对揭示海洋天然气水合物存在的 BSR，以及与该系统动态演化有关的 BSR 等开展了工作。在南海东北部发现了典型的 BSR。此外，我们还对海底喷泉进行了研究。

自 1982 年以来，张裂大陆边缘的研究表明存在两种端元，岩浆富集型/火山型张裂边缘和岩浆贫瘠型/非火山型张裂边缘。反射地震剖面上向海倾斜层的发现表明了岩浆富集型/火山型大陆边缘以大量的岩浆活动为特征。而 Iberia 大陆边缘属于岩浆贫瘠型/非火山型张裂边缘，其中分布的蛇纹石化橄榄岩表明张裂作用的剧烈存在。反射地震可以揭露这些上地幔岩石的分布。南海的北部大陆边缘至今未发现向海倾斜反射层，但早期的 ESP 探测与近期的 OBS 探测表明存在较厚的下地壳高速层，至今对其类型的归属尚存在争议，利用共轭边缘的信息来探讨起变形模式也处于初步阶段，973 计划对南海大陆边缘动力学机制给予深入的研究，反射地震会进一步发挥其重要作用。

在大洋西部边缘存在一系列边缘海，南海只是其中一个，从物理海洋观点来看，边缘海与西边界流（黑潮和湾流）均在大洋西部边缘发育，而东部边缘缺乏，具有共同点。而最新的物理海洋研究表明，涡旋运动才是海洋运动的主体，因此可以推断西太平洋边缘海为深部涡旋运动的产物，更高分辨率的地球物理图像可望对该假说进行检验。

值得指出的是，大陆边缘的各个子系统相互制约，深部环流与沉积作用，构造作用与沉积作用，大陆边缘形成对环流系统的影响等等。我们应从地球系统科学的高度来分析大陆边缘系统的形成演化、动力学机制及其对资源的控制。21 世纪反射地震学的迅猛发展必将对海洋科学问题的深入认识做出重要贡献。

S16-P-11

冰消期 Labrador 洋流历史变化

黎刚 [1]，David J.W. Piper[2]

1 中国科学院南海海洋研究所

2 Geological Survey of Canada (Atlantic), Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia, Canada

gangli1@hotmail.com

Labrador 洋流在全球大洋环流中占有重要的地位，是高纬冷水的重要传送带之一。现代监测数据表明加拿大北极群岛及格陵兰冰川融水增加会增强 Labrador 洋流强度，导致区域气候变冷。自 Heinrich 事件 2 之后，北美大陆冰川及格陵兰冰川消融，此过程中融水事件与 Labrador 洋流强度之间的响应关系是本研究的主要内容。Flemish Cap 正位于 Labrador 洋流路径上，2009 年 nereida 航次获取的箱式钻孔的粒度变化用于监控 Labrador 洋流强度的历史变化及空间路径变迁。初步结论显示 Labrador 洋流在约 13cal kaBP 开始增强，可能对应加拿大北极群岛之间海峡通道的开封时间。2 维地震剖面及活塞钻孔综合判定的 Flemish Pass 的沉积速率空间分布与多波速资料共同指示在 Flemish Pass 东侧存在明显由 Labrador 洋流形成的披盖沉积体，其沉积速率明显高于 Flemish Pass

中央通道。该披盖体是提取 Labrador 洋流高精度历史变化的理想载体。

S16-P-12

晚第四纪南海西沙海槽东南部陆坡的沉积过程

张金鹏

广州海洋地质调查局

jinpengabc123@yahoo.com.cn

晚更新世以来南海大陆边缘在冰期-间冰期气候旋回中海平面大幅度变化，并在西北部大陆坡堆积着有一定韵律变化的沉积层。本文在氧同位素年代学基础上，初步分析了 2007 年“海洋四号”航次在西沙海槽东南坡采集的柱状样 83PC 孔（水深 1917m，岩心长 865cm，岩心底部接近 MIS5 底界）的沉积速率、沉积物粒度组分、硅藻化石分布特征，探讨在过去全球变化背景下岩心记录的有关南海西北部海洋环境、陆架环境变化引起的沉积过程变化信息。

分析结果表明：1）岩心沉积速率自 MIS5 期至 MIS1 期分别为 5.4cm/ka、5.7cm/ka、7.6 cm/ka、10cm/ka、8.3cm/ka，平均为 7.4cm/ka。沉积速率在 MIS2 期普遍较高，而在 MIS5、MIS4 期较低。2）岩心中粒度组分以粉砂为主，粘土次之，砂较少，平均含量分别为 66.56%、31.46%、2%；中值粒径平均为 7.41 φ。自 MIS3 期以来粉砂和砂含量高，其中 MIS2 早-中期和 MIS1 早期二者含量较高；在 MIS4、MIS5 期粘土含量高，并在 MIS5.1 亚期达到最大值。3）岩心中硅藻丰度在 MIS3 期含量高，在 MIS4、MIS5 期（480cm 以下层段）含量极低。组合带中热性种、暖性种和沿岸广温种含量此消彼长呈韵律化波动。其中，近岸浅水种（*Paralia sulcata*、*Cyclotella stylorum*、*Cyclotella striata*）含量波动极为明显。*P. sulcata* 百分含量在 MIS1 早期高，MIS2、MIS3 期极低甚至缺失，MIS4 期稍有增加，在 MIS5 期达到极值。*Cyclotella* 百分含量在 MIS1 早期也有一个高值期，并在 MIS4、MIS5 期增大明显，达到最高值，而在 MIS2、MIS3 期相对较低。

整体而言，本孔岩心大致以 480cm 为界分上下段。上段即为末次冰期中晚期和冰后期（MIS3-MIS1），沉积速率高，以相对较粗的含砂-粘土质粉砂沉积为主，硅藻壳体丰富。下段即为末次间冰期和末次冰期的早期(MIS5 和 MIS4)，沉积速率较低，以细粒粘土质粉砂沉积为主，硅藻含量较低。二者的巨大反差显示西沙海槽东南部陆坡在晚第四纪的沉积环境呈现出两段式变化。本区的平均沉积速率也低于珠江口外珠江海底峡谷区 SO50-KL37 和 SO50-KL29 孔的记录。

从本孔粒度组分来看，末次冰期尤其是晚期砂和粉砂含量高，体现了海平面低位期，离岸距离趋近，陆源的粗粒物质容易搬运至海槽中堆积。在高海平面时段的 MIS5 期和 MIS1 期本孔粒度组分差异显著，说明本区末次间冰期和冰后期的沉积过程也有所差异。

本孔 MIS5 期向 MIS4 期过渡时段和 MIS3 末期有粉砂含量明显增多、粘土含量急剧下降的现象，与前人对与本孔邻近的 SO49-37KL 孔的碳酸钙含量分析得出晚更新世两次显著的陆源物质注入时期的结果一致。然而在海平面相对较高的 MIS5 期和海平面相对降低的 MIS4 期本区存在大量粘土沉积，但硅藻含量极低而近岸种含量极高（而 MIS1 期近岸种含量并不高），这意味着末次间冰期和末次冰期的早期本区顺陆架下移的沿岸细粒物质较多，并有特殊的顺坡而下的沉积机理。此机制推测与末次间冰期高海平面、湿热气候和陆架水文环境条件，以及末次冰期早期海退背景下发生的特殊水动力机制密切相关，而具体的过程则有待进一步分析。

S16-P-13S

CHIRP 高分辨率浅地层剖面的数据处理及其应用

张琴*，刘志飞，李夏晶

同济大学海洋地质国家重点实验室

*zqanyue@hotmail.com

高分辨率的地震反射调查在近几十年得到快速发展，基于声学原理发展的多波束测深、浅层剖面仪和侧扫声呐等海底浅表层调查仪，在海底工程、海洋调查、海底研究等工作中得到广泛应用。本项研究针对 CHIRP 浅层剖面仪获得的数据，通过地球物理的数据处理方法，去除干扰波，提高地层分辨率，获得相对清晰的地震剖面图，从而划分出不同时期的沉积地层，解释其沉积过程变化。

研究使用 IOC/WESTPAC“南海河流沉积物”项目（FLUSED）在马来半岛东部近岸约 200 km 范围内获得的浅地层剖面，野外调查采用 EdgeTech 3200-XS（SB-512 Towfish，声波发射波频率 2-12 kHz，探测海底深度 10-150 m，地层垂向分辨率在 8-20 cm。

数据显示：整个区域有两个强相位轴比较明显：在距海底表面 2-8 m 深处为强相位，同相轴明显，地震波振幅大，连续性好，部分地区具有明显的剥蚀作用。在海底 10 m 附近处的同相轴，其地震道反射强度低于上一条，振幅中-弱，连续性好。这两条同相轴将沉积层分为三部分：顶部反射地震波振幅中-强，连续性好；下面两部分反射波中-弱，连续性差。该报告将展示数据处理和部分成果。

S16-P-14S

南海西沙海槽颗粒物的通量与陆源颗粒的粒度组成

陈翰[1]，陈忠[1*]，王东晓[2]，向荣[1]，刘建国[1]

1 中国科学院南海海洋研究所 中国科学院边缘海地质重点实验室

2 中国科学院南海海洋研究所 热带海洋环境国家重点实验室

* chzhsouth@scsio.ac.cn

海洋颗粒物通量和组成记录了海洋物理、化学和生物过程的有关信息，因而成为研究陆源颗粒的来源、输运途径和水动力的良好材料。西沙海槽是南海贯穿流的主要流经海域，也是珠江冲淡水的影响区域，因此是研究南海的沉积物的物源与水动力环境的典型海域。中国科学院南海海洋研究所于 2009 年 6 月至 2011 年 9 月在西沙海槽布放了长时间序列沉积物捕获器，捕获器分为上下两层，分别放置于水深 480m 和 1460m 处。本文对 2009.6-2011.9 捕获器收集样品的颗粒物总通量及陆源碎屑颗粒粒度组成进行分析和研究。研究表明，冬季（11 月至次年 3 月）颗粒物总通量明显大于夏季（4 至 10 月）颗粒物总通量，总通量最大值出现在 2010 年 11 月，上层通量为 339.7mg·m^{-2}·d^{-1}，下层为 1161.1 mg·m^{-2}·d^{-1}，表明西沙海槽的沉积物来源主要受冬季风和冬季环流的影响和控制。陆源颗粒物（去除有机质、碳酸盐、生物硅）主要由粉砂和粘土级颗粒组成，但在部分月份可收集到砂级颗粒。粒度曲线表现为双峰态，分选性差，说明陆源颗粒物来源具有多源性，海南岛、珠江流域、台湾岛可能均对西沙海槽沉积物有贡献。研究表明，西沙海槽颗粒沉降通量和陆源颗粒的来源、粒级组成的季节和年际变化主要受东亚季风和海洋洋流的影响和控制，为研究西沙海槽古沉积环境和古洋流变化提供了现代观测资料。

S16-P-15

粒度数据在南海北部陆坡深水沉积物成因分析中的应用

钟广法[1]，王嘹亮[2]，何叶[1]，匡增桂[2]

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室
2. 广州海洋地质调查局
gfz@tongji.edu.cn

南海北部陆坡海底深水沉积物主要由泥组成，其次为粉砂质泥及泥质粉砂，含少量砂质沉积物。柱状样岩心观察表明，沉积物的成因有浊流、滑塌、正常半远洋悬浮沉积及潜在的底流沉积等多种类型。为了探讨粒度参数在南海北部陆坡沉积物成因分析中的应用，对该区域 18 个浅层柱状样、累计 687 个样品的粒度数据进行了整理、分析与解释，编制了各样品的粒度分布频率曲线、累计频率曲线及概率累计曲线图，根据粒度参数及图解对沉积物进行了分类，并对沉积物的成因进行了探讨。

粒度参数表明，南海北部陆坡沉积物的平均粒度变化较大，介于 1.68～7.91ϕ之间，多数样品介于 6.5～7.8ϕ之间，平均为 7ϕ左右；分选系数介于 0.81～2.61 之间，多数样品介于 1.2～2.2 之间，平均值为 1.62，按照 Folk（1980）的划分标准属于分选差或较差之列；偏态介于-0.29～0.7 之间，多数样品介于-0.2～+0.2 之间，平均值为 0.029，以对称或近对称为主；峰态介于 0.76～2.93 之间，多数样品介于 0.85～1.2 之间，平均值为 1.03，以扁平峰为主。

根据样品粒度参数和粒度图解，可以将南海北部陆坡深水沉积物划分为 6 种基本类型，分别是：A，单峰（近）对称型；B，单峰负偏型；C，单峰正偏型；D，双峰负偏型；E，双峰正偏型；F，多峰型。

A、B 类均为单峰型，主要分布于细粒沉积物中，其粒度主峰一般介于 7-8 之间，累计概率曲线多为单段式，二者之间的主要区别在于偏度，A 类呈对称~近对称状，B 类为负偏。C 类沉积物的频率曲线亦呈单峰型，但峰值区间位于左侧粗粒部分，多在 3-5ϕ之间，概率累计曲线为两段式，左侧粗粒段较陡，右侧细粒段较平缓。D 类和 E 类为双峰型，其频率曲线由一个主峰和一个次峰组成。其中 D 类沉积物频率曲线的主峰位于右侧细粒部分，概率累计曲线呈不标准的单段式；当左侧次峰幅值较高时亦可表现为斜率相近的三段式；当次峰幅度不明显时，与 B 类单峰负偏型呈过渡关系。E 类沉积物频率曲线的主峰位于左侧粗粒部分，概率累计曲线一般呈两段式，粗粒段较陡，对应于主峰；细粒段较平缓，对应于次峰及细粒尾部；当右侧次峰幅度不明显时，与 C 类单峰正偏型呈过渡关系。F 类为多峰型，其频率曲线一般由一个主峰和两个次峰组成，主峰大多位于粗粒段，其右侧发育两个幅度较低的次峰，概率累计曲线一般呈两段式，粗粒段较陡，对应于主峰，细粒段较缓，对应于两个次峰。从样品丰度看，A 类单峰（近）对称型最多，占样品总数的 78%；然后依次为 D 类双峰负偏型（9%）、B 类单峰负偏型（6%）及 C 类单峰正偏型（5%），E 类双峰正偏型和 F 类多峰型含量很少，均不超过 1%。

A、B、D 类沉积物主要分布于细粒泥质沉积物中，解释为含不同数量有孔虫等浮游生物化石的正常深水悬浮泥质沉积，或分选较差的细粒浊流沉积。C、E、F 类沉积物主要分布于较粗粒的砂质沉积物中，其分选较差，解释为浊流或重力流沉积，但粒度曲线表现为两段式，包括牵引组分和悬浮组分，故不能排除牵引底流改造的可能。

S16-P-16

南海西北海盆晚中新世以来浊积体发育特征及海平面变化

高红芳，王立飞，郭丽华，聂鑫，徐子英

广州海洋地质调查局
promap@163.com

运用高分辨率地震资料，对南海西北海盆晚中新世以来浊积体的地震相组合和内部特征进行了详细分析，并结合浊积体不同时期、不同层段发育特征的逐步演化，根据沉积相发育与海平面变化的关系，揭示了晚中新世以来海平面的多旋回升降变化。西北海盆北部为珠江口盆地白云凹陷南部，据研究，白云深水区渐新世末期发生重大地质事件（白云运动），从此成为深水陆坡环境，在中中新世时期西北海盆已经是深海平原环境。而在中中新世末期到晚中新世早期，西北海盆普遍发育下切水道，水道规模大，说明相对海平面急剧大幅度下降，此后海平面上升，其间又经历了两次小幅度升降变化，中新世晚期相对海平面到达一个相对高位期；中新世末期到上新世早期西北海盆再度发育规模较大的下切水道，但该时期水道主要在海盆边部发育，说明相对海平面的再度快速下降，但下降幅度不太大，不足以影响到海盆内部，在上新世其间海平面经历了三次升降旋回，至晚期升至高位；第四纪西北海盆内浊积水道不发育，盆地边部沉积以低水位体系为主，但根据地形图可见在西北海盆边部冲刷沟谷非常发育，说明该时期海平面处于急剧下降后的初期上升阶段。以上西北海盆晚中新世以来海平面变化的趋势，同全球海平面变化周期图晚中新世以来的变化趋势基本一致。

S16-P-17

南海北部深水站 08E415 现代放射虫的垂直深度分带研究

张兰兰，陈木宏

中科院边缘海地质重点实验室，中国科学院南海海洋研究所

llzhang@scsio.ac.cn

认识南海深海现代过程特征对揭示区域古环境演变历史具有重要科学价值与意义。利用 2008 年 9 月在南海北部 08E415 站取得的一封闭式深水浮游分层生物拖网样品（0-1000m，分 9 层），通过染色处理方法，定量分析了该海域从表层到 1000 m 水柱中现代放射虫活体的垂直深度分带特征，从而首次认识了南海中深层水体中的现代放射虫群及其深度分布，并为研究古海洋水团与古水深提供重要的基础参考资料。主要结果如下：共鉴定统计出活体放射虫属种 203 个，其中罩笼虫属种 97 个、泡沫虫属种 106 个；而在绝对的个体数量上则是罩笼虫目大于泡沫虫目。

研究海域活体放射虫的相对丰度与绝对丰度随水深的变化表现一致：在海表面数量较少，随水深增加而增高，在混合层的中下段（25-50m）呈现出最高值；随后随着水深的持续增加而开始减少，到中层水（500-1000m）时放射虫生活数量已非常少。放射虫死壳的数量与密度在 150m 以浅水柱中的变化一致即在 75m 以浅较少，最大值出现在 100-150m；但密度在 150m 以深随深度增加而减小，而绝对数量却在 200-500m 又高度富集。

识别出 200 多个放射虫属种的生活深度分带特征，根据其特定的生活水深，划分出上表层水种（0-10m）、下表层水种（10-25m）、上次表层水种（25-50m）、次表层水种（50-75m）、下次表层水种（75-150m）、上中层水种（150-200m）、下中层水种（200-500m）和中深层水种（500-1000m）。如上表层水种：*Styptosphaera spongiacea*, *Callimitra annae*, *Pteroscenium pinnatum*, *Theopilium galeatum*；下表层水种：*Amphibrachium sponguroides*，*Hexalonche cf. anaximandri*，*Xiphosphaera tesseractis*，*Amphispyris costata*，*Amphispyris roggentheni*；上次表层水种：*Callimitra emmae*,

Spongosphaera streptacantha, Lophospyris cheni, Hexapyle dodecantha, Sethodiscus lenticula, Acanthosphaera actinota, Cromyechinus antarctica, Astrosphaera hexagonalis, Haliomma macrodoras, Heliosphaera radiata, Corocalyptra columba, Lophospyris sp.；次表层水种：*Siphonosphaera cyathina, Thecophaera grecoi, Actinomma antarcticum, Amphirhopalum ypsilon, Druppula aspera, Saturnlus ellipticus, Solenosphaera zanguebarica, Acanthcorys variabilis, Litharachnium tentorium, Lithostrobus hexagonalis, Theocorythium trachelium trachelium*；下次表层水种：*Clathrocorys murrayi, Sethophormis umbrella, Lithocampe heptacola, Stichopilium anocor*；上中层水种：*Cubotholus regularis, Hexacontium axotrias, Phorticium polycladum*；下中层水种：*Stichocorys delmontensis, Cornutella profunda, Carpocanthum gemmula, Carpocanthum lubricum, Spongopyle osculosa*；中深层水种：*Theoconus junonis, Hexastylus minimus, Spongurus* spp.group?, *Bathropyramis woodringi, Theocalyptra davisiana, Actinomma medianum* 等。此外，还有一些跨越多个水层的属种如表层-次表层水种、表层-中层水种、表层-中深层水种、次表层-中层水种、次表层-中深层水种和中层-中深层水种。

S17-O-01

深部探测技术与实验研究专项取得重要进展

董树文[1]，李廷栋[1]，高锐[2]，杨经绥[2]，魏文博[3]，吕庆田[4]，王学求[5]，黄大年[6]，陈群策[7]，石耀霖[8]，吴珍汉[1]，陈宣华[1]，周琦[1]

1 中国地质科学院

2 中国地质科学院地质研究所

3 中国地质大学，北京

4 中国地质科学院矿产资源研究所

5 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

6 吉林大学

7 中国地质科学院地质力学研究所

8 中国科学院研究生院

swdong@cags.net.cn

地球深部探测作为当前大陆岩石圈探测与流变学研究的系统工程技术，充分应用科学最先进的技术手段、提取深部基础信息、逐步揭开地球深部奥秘。由此形成的全球性主流发展趋势，超越了板块构造学、大陆动力学和陆内造山理论，为解决能源、矿产资源可持续供应、提升灾害预警能力奠定了深部信息基础。

深部探测技术与实验研究专项（SinoProbe，2008－2012）是我国历史上实施的规模最大的地球深部探测计划。专项全面实施以来，已经完成约 5000 km 的深地震反射剖面，成功研究、实验了地壳与地幔深部探测的一系列技术方法，积累了丰富经验，极大地加快了我国深部探测的进度，在国内外产生了强烈的反响。专项实现了技术组合创新、技术进步与重大科学发现的并举，适应我国地质地貌条件和地壳岩石圈结构特征，初步形成了具有不同层次、不同尺度、不同精度探测空间组合的深部探测技术方法体系，建立了若干各具地质特色的探测试验基地。专项实验已经取得了一系列重大突破与重要成果，深部探测关键仪器装备自主研发获得重大突破，为全面开展地壳探测工程的组织实施奠定了必要的技术基础。

一、通过技术创新与进步，初步建立岩石圈深部探测技术方法体系

1、地球深部物性探测技术渐趋成熟。1）建立了阵列式、大陆电磁参数标准网高精度观测方法和精细、规范化的数据处理及反演技术，达到世界先进水准：大陆电磁参数标

准网完成了全国 4º×4º 控制格架及华北实验区、青藏高原实验区 1º×1º 观测网的大地电磁测深实验观测，建立了由“十”字型“标准点”组成的阵列式大陆电磁参数标准网高精度观测方法，研发了精细、规范化的大地电磁数据处理技术，包括基于 S 变换的数据处理、多站远参考数据处理和基于遗传算法的阻抗张量分解等方法，实现了大地电磁测深仪多测站数据的同步采集。建立了基于立方体、垂直或斜交十字剖面二维板状体地电模型的“标准点”反演方法和基于复杂理论模型的正演方法，研发实现了基于相关成像算法的 GPU 并行位场三维物性反演，为大数据体区域位场反演奠定了方法技术基础。完善并制作了一批长周期不极化电极，提高了我国长周期大地电磁测深数据的观测质量。2）发展了区域重磁异常精细处理、异常多尺度分离、构造信息提取与增强和三维物性成像反演技术。研发实现了低纬度变倾角磁异常化极技术，用于透明地壳研究的低纬度化极或变纬度化极、基于优化滤波思想的位场分离、位场三维相关成像和三维反演技术均取得了重要的实用化进展。建立了卫星重力、磁力资料的解算、编辑和校验技术，针对 EGM2008（卫星重力）中固有的高频噪声提出了优选向上延拓去噪的处理方法；系统开展了中亚－东亚重、磁数据收集、整理与处理。

2、地壳精细结构探测技术集成实验全面进步。初步建立适应我国大陆地质背景和条件的深部探测技术体系，如共震源深地震反射和宽角反射与折射地震同时接收的联合采集探测技术，改进低频检波器并接在采集站上、带头研发宽角反射与折射地震仪，实现低频/高频信号同时拾取，为同时获取速度信息提供基础数据。完善了地震探测孔快速钻进成孔技术，反射地震大井深（如 50 米深井）、大药量和超长记录实验取得成功，形成了适合硬岩地区反射地震数据采集和处理的集成技术。完善了双差分远震层析成像、P 波 S 波接收函数、各向异性分析、大地电磁连续介质反演等技术，形成了主动与被动源地震技术和电磁技术组合。实验获得了青藏高原腹地巨厚地壳的莫霍面反射，突破了青藏高原巨厚地壳深地震反射探测技术的瓶颈。建立起花岗岩与变质岩地带被动源地震与大地电磁组合探测技术。华北北缘多重地震联合探测实验获得高分辨、高精度的单分量深地震反射、三分量宽角反射与折射数据，为揭示古亚洲洋的构造演化和深部资源勘查提供了可靠深部资料。发展了无射线层析成像静校正、起伏地表叠前时间偏移、长排列剖面无拉伸动校正、分频去噪等数据处理特殊技术。

3、地下物质成分探测技术新发展。1）首次按照国际标准建立了一个覆盖全国的地球化学基准网，建立了全国地球化学基准值样品库，为了解过去地球重大地质事件、预测未来全球环境气候变化、揭示巨量成矿物质聚集的地球化学背景奠定了基础。2）在国际上首次建立了一套 81 个指标（含 78 种元素）的地壳全元素精确分析系统，分析测试指标达到国际领先水平。3）穿透性地球化学探测深度延伸至 500 米以深，为覆盖区矿产勘查提供了地球化学勘探技术：在隐伏金属矿上方发现纳米级铜金属微粒，并观测到其有序晶体结构，为深穿透地球化学提供直接微观证据，使得迁移机理研究取得重要进展，含矿信息精确分离提取技术得到显著提高。4）“化学地球”软件为全球海量地球化学数据的管理与展示提供了基础平台。5）地壳深部物质识别与研究技术取得新进展。

4、矿集区“透明化”与矿产资源勘查技术日臻完善。使用以反射地震为主导的现代

地球物理探测技术，在长江中下游成矿带庐江－枞阳铁、铜矿集区部署立体探测实验，完善、创新和应用了一些关键探测技术，初步形成了成矿带、矿集区和矿田 3 个层次立体探测的技术方案与技术体系。提出了矿集区综合探测、多参数地质约束和全三维反演的三维结构探测与建模技术流程，以及适合强干扰地区的形态滤波电磁去噪新技术。试验形成了适合“玢岩”型铁矿、“斑岩”型铜矿、热液型铅锌矿和石英脉型钨矿的深部勘查技术组合。初步实现了矿集区深度 3000-5000 米的“透明化”，为拓展深部资源奠定了技术基础。

5、大陆科学钻探技术装备取得长足进步。1）大陆科学钻探直接获取地球深部物质样品，同时获得地下岩石和流体各种物理、化学和生物参数，发现了一系列深部地幔物质，并得到了高温高压实验岩石学的证实，取得了巨大成功。2）科学超深井钻探技术方案不断完善：制定了科学超深井钻探技术总体方案，在钻杆柱使用、事故预防与处理、深孔取心钻进驱动、碎岩方法与工具、抗高温高压泥浆配方试验与优选、套管与高温固井、钻进自动化控制、数据采集传输与处理等方面，均进行了经济性与可行性研究分析，为开展了科学超深井钻探奠定了基础。

6、地壳活动性和地应力测量与监测技术日趋成熟。完成了新型深孔压磁应力解除测量系统和应力应变监测系统的研制与定型，最大安装测量深度达到孔深 213 米，处于国际领先水平。成功研制了新型压磁应力监测四分量探头和压磁应力解除三分量探头。取得了高质量的深井地应力测试数据，初步得到原地应力随深度的变化规律。揭示了现今应力场与活动断裂之间的相互作用关系。建立了青藏高原东南缘 12 个地应力监测台站，实现了监测数据的无线远程传输、实时监控和自动分析。初步建成北京温泉应力应变监测对比综合实验场。

7、地球三维结构和动力学模拟技术能力得到提升，实现全球、区域、局部尺度的三维地球动力学模拟的跨越。建立了深部探测数值模拟平台，具备上千万结构化和非结构化网格划分能力，对关键部位可以任意加密网格，实现了在并行计算平台上亚洲岩石圈数百万至三千万三维有限单元网格的数值模拟，这不仅是我国规模最大、也是世界上少有的岩石圈动力学模拟平台，从而为建立超级地球模拟器搭建了初步框架。利用该模拟平台，将层析成像结果转化为初始温度，计算了全球对流图像；同时，对 2011 年日本东北大地震和海啸可能造成的影响及时进行了模拟，对汶川地震孕育发生的动力学背景、台湾复杂动力学环境下的三维粘弹性变形和紫坪铺水库加载产生的应力变化等不同尺度问题进行了三维动力学模拟，取得了较好的效果。

8、深部探测关键仪器装备自主研发获得重大突破。1）自主研发的无缆自定位地震勘探系统实现关键技术的重大突破，在高精度地震数据采集、GPS 定位、仪器整机的小型化、低功耗、低频检波器和出力 1 万牛顿的电磁可控震源等方面都取得了显著的研究成果。2）自主研发的地面电磁探测系统（SEP）在核心技术上取得了重大突破，掌握了磁芯材料和低频微弱信号检测等磁传感器关键技术，研制出感应式宽频带磁传感器原理样机，性能指标与国外同类产品相当。同时，开展了大功率发射、数据采集、数据处理等部件的攻关研究，均取得了重要进展。大功率电磁法发射技术、宽频带磁传感器技术、低功耗采集站阵列技术和数据传输与集成等重点攻关方向也呈现良好发展势头。3）无人机航磁探测系统，在低磁无人机制作、高可靠性

自驾导航仪研制、氦光泵航空磁力仪与超导航空磁力仪研制以及配套的数据预处理系统开发方面均取得了重大阶段性成果。智能化、可靠性、多分量的航磁张量探测技术研究以及系统联调进展顺利，成为无人机航磁探测系统的突破性亮点。4）专项与企业合作研制生产的我国第一台万米大陆科学钻探钻机、也是亚洲最深的大陆科学钻探装备主体平台，在四川广汉下线，万米大陆科学钻探钻机研制获重大突破。该钻机具有数字化控制、自动化操作、变流变频无级调速、大功率绞车、高速大扭矩液压顶驱、五级固控系统等突出特点，处于国际先进水平。在关键技术方面，完成了钻杆自动处理装置的设计加工调试和液压顶驱的多轮设计。进一步的配套取芯工艺研究工作也已经全面展开。该重型装备已启动远程投送并将投入使用，成为深部探测装备研发引领性的亮点工程，受到国内外关注。5）以三维地质目标模型为中心的地球物理综合研究一体化集成分析平台，通过“红蓝军”（引进和自主研发平台）两条路线同时推进，完善高端平台功能联合，强化研发和应用两类人员的系统化训练，提高经验积累的效率，初步建成拥有自主知识产权的接近国外同类产品的“处理－分析－管理”一体化大型软件工作平台，加速了跟进国外软件发展的步伐。

二、专项取得重大科学发现与重要研究进展

1、青藏高原深部结构研究获重大发现，为建立高原隆升动力学机制提供了新的可靠证据

首次获得藏南深地震反射剖面。青藏高原及其腹地的地壳精细结构令世界地球科学家瞩目，是检验青藏高原隆升动力学机制的关键。专项在藏南实现了世界上首次跨越喀喇昆仑和自喜马拉雅带跨越雅鲁藏布缝合带进入到冈底斯带的深地震反射剖面，实验得到来自地壳深部和 Moho 的反射资料，品质较高。剖面显示了下地壳向北的强反射，以及冈底斯岩浆岩带底部的地震强反射。藏南狮泉河剖面浅部显示喀喇昆仑断层的花状反射结构。

获得青藏高原腹地巨厚地壳下地壳和莫霍面深地震强反射。应对青藏高原巨厚地壳的下地壳和莫霍面反射的巨大挑战，以往各国科学家的尝试尚缺少非常成功的实例。专项青藏高原腹地羌塘深地震反射剖面探测获得了下地壳和莫霍面强反射，精细处理结果确认了羌塘地体的 Moho 反射出现在 20s 左右（约 60 km 深度），比两侧地体浅 10 km 左右，为建立青藏高原中部地壳垮塌、减薄作用的动力学模型提供了基础。剖面显示下地壳北倾的强反射，可能是拉萨地体早期向北俯冲的反映。横过怒江缝合带 Moho 存在约 10 km 的错断，为古老缝合带后期重新活动提供了证据。

揭示了岩石圈变形与高原隆升动力学过程，对国际流行的“下地壳隧道流”模式提出了挑战。青藏高原东北部横过西秦岭造山带及其两侧盆地的深地震反射剖面精细处理结果，揭示出岩石圈变形的细节和隆升的深部动力学过程，表现为上地壳双重构造、下地壳近水平拆离断层和地幔卷入的 Moho 错断、叠瓦逆冲与双重构造，也显示了若尔盖盆地下地壳曾整体向西秦岭造山带俯冲的深地震反射证据。深地震反射剖面显示的地壳变形与地幔过程的脱耦现象，与“下地壳隧道流”模式极不协调。

2、华北深地震反射剖面揭露板块汇聚、大陆地壳增生的深部过程

华北深地震反射剖面成功地获得地壳和上地幔顶部的精细结构，从而可以追溯板块汇聚、地壳伸展、岩浆侵入与逆冲推覆/地壳

增生的深部过程。剖面上 Moho 起伏较大，局部出现多组 Moho 反射叠置现象。

深化了华北岩石圈导电性三维结构研究，发现古老的鄂尔多斯岩石圈具有异常的导电性结构。1）现今的华北岩石圈是由东部的鲁－辽高阻块体和黄淮海低阻块体、中部的太行－吕梁高阻块体、西部的鄂尔多斯低阻块体和北部的燕山高阻块体、内蒙高阻块体等多个块体拼合而成的。高阻块体大致与区内造山带、构造褶皱带相对应，表现为“刚性”岩石圈结构特点；低阻块体则与盆地发育区相吻合，可能反映了较强的“塑性”岩石圈结构。华北岩石圈变形的相当一部分能量（作用）来源于上地幔深层的热状态和热流体，地壳的变形、演化可能受上地幔盖层变形的调制作用。2）大地电磁测深与三维反演结果显示，鄂尔多斯地块岩石圈总体上为低阻地块，普遍存在大规模的壳内和幔内高导体，及其多组产状陡倾的上地幔盖层高导通道。以北纬 37.5 度为界，鄂尔多斯地块可划分为南、北两个块体，北部块体导电性明显高于南部。鄂尔多斯地块（特别是北部）的低阻特征，与古老稳定地块的岩石圈电性结构特征不相符合，推测可能存在大量深部流体，可能与正在进行的岩石圈减薄和拆沉作用有关，这为研究鄂尔多斯北部天然气田成因以及华北克拉通演化机理提供了重要依据。

3、获得东北岩石圈地幔的深地震强反射

东北松辽盆地－虎林盆地反射地震剖面，采用了深井、高能量激发和超长记录（达 50 秒）技术，在获得地壳和 Moho 界面清晰反射的同时，连续获得了上地幔的强反射，最深达到 39 秒记录深度，估计深约 100 km。如此深达地幔盖层底界的连续地震反射，打破了长期以来认为地幔反射透明的传统认识，令科学家震撼、兴奋。这是大陆深部探测极为罕见发现，具有重大的地质科学意义。同时，深地震反射剖面探测揭示，在张广才岭与佳木斯地区之间存在着一个已经向西以低角度俯冲消减掉的洋壳，并且这一洋壳的俯冲深度可能已经超过岩石圈底界。这为科学界长期争论的古太平洋板块的存在与否提供了最直接的证据。

4、华南复杂地区（松潘－龙门山－四川盆地）深地震反射剖面实验取得成功

专项克服艰苦的施工环境，横过龙门山完成了华南复杂地区松潘－龙门山－四川盆地深地震反射实验剖面，试验研究了复杂地形环境地震深反射与折射地震联合施工、数据获取及数据处理相关技术，为揭示复杂地貌单元下地壳和地幔的精细结构与深部构造提供了精细资料。剖面揭示了龙门山山前断裂可能为切割深度很大的岩石圈尺度走滑断裂，为建立龙门山地震活动模型提供了新的关键约束。

5、揭示了大型矿集区三维精细结构和成矿动力学过程，为我国东部开辟第二找矿空间、实现地质找矿突破提供了有效技术支撑

在长江中下游成矿带揭示出岩石圈拆沉和幔源岩浆底侵的地震学证据，证实了多级岩浆活动系统的存在，诠释了巨型成矿带成岩、成矿的动力学成因。揭示了成矿带地壳精细结构和变形历史，包括上地壳具有多重滑脱层的逆冲－褶皱构造系统，明确了郯庐断裂、长江构造带等重要构造带的性质。在庐枞等极为复杂的火山岩盆地矿集区，探测到铁、铜导矿构造和赋矿构造框架，基本实现了矿集区三维透明化。

在南岭成矿带于都－赣县矿集区开展地球物理综合探测，获得矿集区三维结构，揭示了地壳岩浆系统结构，发现一批重磁电异常。我国目前最深的 3000 米资源科学钻探在南岭开钻，初步揭示金属矿化的垂直分带规律，发现了深部矿化线索。

6、首次发现我国楚雄－兰坪盆地白垩纪/古新纪（K/T）界面铱异常，可能提供小行星撞击造成恐龙灭绝的证据

云南禄丰龙产地楚雄－兰坪盆地白垩纪/古新纪（K/T）界面发现铂族元素高含量异常，所采集的凝灰质灰岩、凝灰质泥岩样品铂族元素含量是上、下地层的 3-20 倍，铱含量是上、下地层的 10 到 20 倍。这一发现可能提供小行星撞击地球、造成恐龙灭绝的重要证据，是过去重大地质事件的重要地球化学响应。K/T 界面铱异常的发现，是岩石基准值建立的重要应用成果。

7、雅鲁藏布江缝合带发现含特殊深地幔矿物的超基性岩群，预示了铬铁矿找矿的良好前景

大陆科学钻探在西藏罗布莎直接获取地球深部物质样品，发现了一系列深部地幔物质。沿着雅鲁藏布江板块缝合带，相继在罗布莎蛇绿岩型铬铁矿中发现金刚石等深地幔矿物，在普兰、东波、当穷、日喀则、泽当、缅甸密支那（170 Ma）等地又发现含金刚石等特殊矿物的超基性岩体群，在普兰岩体中发现块状铬铁矿石，为在雅鲁藏布江西段寻找大型、特大型铬铁矿提供科学依据。同时，提出了金刚石成因分类的第三种类型：蛇绿岩型金刚石。罗布莎地区包裹在块状铬铁矿内的氧化氮和金属含有指示极高温高压和极低 fO_2 形成环境的信息，形成深度至少超过 300 km、压力超过 10 GPa，为了解深部地幔及氮在地球内的分布提供了窗口。首次厘定了普兰和东波 MOR 型蛇绿岩的形成时代为 130 Ma 左右（早白垩世）。

8、地应力测量与监测、地质灾害预测预警水平得到显著提高

确定了青藏高原东南缘相关测点处最大水平主应力的作用方向，给出了该地区现今构造应力场的基本图像，反映了现今地应力作用强度沿龙门山断裂呈现出分段和分区的基本特征，是迄今为止该地区较为系统的地应力测量成果，对于地球动力学基础研究和地质灾害的预测预警具有重要的意义和作用。

建立了北京地区平谷地应力监测台站，成功记录到 2011 年日本特大地震（里氏 9.0 级）前后地应力的连续变化曲线及水位变化信息，获得了重要科学发现，为深入开展地震预测预警研究提供了宝贵的基础资料，为地应力综合监测方法的广泛应用指示出良好前景。

9、中国大陆地壳演化研究取得显著进展

首次在华北地块东北缘甄别出蛇绿混杂岩，主要变形时期为 190-135 Ma，为界定华北东缘边界性质提供了明确的证据。在完达山地区识别出不同时代不同性质的增生杂岩，增生作用发生在 250 Ma、195 Ma、150 Ma、85 Ma 和 45 Ma，为认识和恢复西太平洋活动大陆边缘演化提供了明确年代学的证据。新的古地磁研究结果表明，位于华北及西伯利亚地块之间的蒙古－鄂霍茨克洋的东部在晚侏罗世（～155 Ma）还有近 3000 km 的宽度。

华南中生代构造应力场演化研究取得重要进展。首次确认了湖南衡山变质核杂岩构造。基于雪峰山地区沅麻盆地、湖南衡山变质核杂岩构造和西缘拆离构造带、武夷山地区韧性剪切带和东南沿海构造带详细的野外调查和古构造应力场反演、叠加褶皱构造样式分析、构造年代学分析，区分了华南地区三叠纪碰撞造山作用和侏罗－白垩纪陆内造山作用的变形特征；系统建立了华南地区晚侏罗世以来 5 期构造应力场及其转换历史；精确确定了华南地区早白垩世陆内造山作用时期从区域挤压构造应力体制向区域伸展应力体制转换的时代；首次确定了华南大陆边缘（沿海构造带）挤压－伸展构造转换的时

代；基本确定了川东褶皱带、川黔褶皱带、雪峰山造山带和湘桂褶皱带的深部构造样式。从而深化了对华南大陆中生代陆内造山过程的认识，为陆内造山作用的研究提供了全新的思路。

深入研究了侏罗纪－白垩纪之交的东亚多向汇聚及其资源环境效应。具体分析了燕山运动、我国东部中生代大规模成矿作用、热河生物群的演化及其东亚地形地貌的翘变等过程，厘定了晚侏罗纪挤压造山（165±5 Ma）和早白垩纪伸展构造（135 Ma）形成与转换的时限。

深部探测技术与实验研究开启地学新时代，荣获中国科学院和中国工程院两院院士评选的“2011 年中国十大科技进展新闻”。深部探测专项实现了覆盖大陆的大地电磁探测阵列网，完成了约 4000 km 的深地震反射剖面，初步建立起适应中国大陆地质地貌条件和岩石圈结构特征的深部地震反射、折射与宽频带联合探测技术体系，矿集区三维“透明化”技术日臻完善。专项首次按照国际标准建立了一个覆盖全国的地球化学基准网，在国际上首次建立了一套 81 个指标（含 78 种元素）的地壳全元素精确分析系统。专项大陆科学钻探在西藏罗布莎直接获取地球深部物质样品，发现了一系列深部地幔物质。专项针对地壳活动性规律研究的应力测量技术也得到完善，有助于了解现今地震、地质灾害等发生的成因。我国首台自主研发和生产的万米超深科学钻探装备于 2011 年 12 月 20 日在四川广汉竣工出厂，标志着专项取得了又一个里程碑式的进展。专项致力于深部探测的技术创新和技术进步，取得了一系列重大进展与重要发现，为地壳探测工程的正式启动与组织实施奠定了坚实的基础。

S17-O-02

中国大陆东南缘三维岩石圈结构的远震 P 波层析成像研究

郑洪伟*，高锐，李秋生，贺日政

中国地质科学院地质所

zhenghongwei004@sina.com

中国大陆东南边缘位于欧亚大陆板块和太平洋菲律宾海板块的接合地带，地质构造独特，尤其以中－新生代滨太平洋陆缘活动带强烈的构造岩浆活动著称，它记录了多期板块聚合离散的过程。台湾是我国唯一处于现代沟- 弧- 盆体系内的地区。台湾造山带是全球现今正在进行着的最活跃的大陆板块与大洋板块碰撞造山带，是研究洋－陆板块碰撞/俯冲过程的最佳野外实验室。中国大陆东南边缘地壳上地幔结构，不仅揭露了该区复杂的构造演化结果，也记录并展示着正在进行的洋－陆碰撞过程中丰富的地学现象。

关于欧亚大陆板块与菲律宾大洋板块俯冲/碰撞问题，前人对其在台湾北部和南部俯冲碰撞机制认识较为一致。在台湾北部，菲律宾大洋板块沿着琉球海沟向欧亚板块下俯冲（Ai et al.，2007）。台湾南部，认为欧亚大陆板块沿着马尼拉海沟向菲律宾海板块下俯冲（Wang et al.，2006；张季生等，2008）。而台湾中部与菲律宾海板块的碰撞作用机理不同于台湾的北部和南部，对其认识存在分歧，主要有以下三种观点。一种观点认为在台湾中部之下存在东倾的欧亚大陆板块，俯冲过程中，大陆地壳与岩石圈地幔拆离，地壳卷入碰撞造山带，地幔继续俯冲。另一种观点认为在台湾岛中部，欧亚大陆板块与菲律宾海板块碰撞，地壳和地幔一起发生变形，在造山带之下大陆地幔增厚，形成山根。还有一种观点认为在台湾岛中部菲律宾海板块

向欧亚大陆板块下俯冲，认为这种模式的俯冲可以更好的解释台湾的每年以 8.2cm 的速度向 NW 方向的运动。因此，台湾造山带的关键问题之一是洋－陆俯冲/碰撞的形态问题，即深部地壳上地幔结构问题。

本研究使用了中国地质科学院地质所在福建沿海布的 20 个流动台站，福建省地震台网的 29 个固定台网，国家台网的 1 个台以及台湾省内的 15 个台站，共 65 个台站记录的波形数据中挑取出了 635 个满足条件的远震事件。地震层析成像方法使用的赵大鹏教授的 TOMOG3D 的成像方法。

层析成像反演获得的结果如下：

在水平剖面图中，我们可以看到 10-150km 深度欧亚板块与菲律宾板块的高速特征明显。再向深处，菲律宾板块的高速特征依然显著。新生代的火山与深部低速结构也有较好的对应关系。在纵向剖面图中，沿北纬 23°和北纬 24°，以及东经 123°的层析成像结果显示，欧亚板块向东俯冲到了台湾岛之下；菲律宾大洋板块向北俯冲到了欧亚板块之下。

在前人研究成果基础上，根据本次研究成果更多支持中国东南大陆边缘及台湾岛动力学模式是：在台湾中部之下存在东倾的欧亚大陆板块（Chen et al.，2004；Sibuet et al.，2004），俯冲过程中，大陆地壳与岩石圈地幔拆离，地壳卷入碰撞造山带，地幔继续俯冲；中国东南大陆边缘的火山（如新生代幔源火山-牛头山）则是东向俯冲的欧亚大陆板块前缘发生的断离（Break-off）作用所致。

S17-O-03

鄂尔多斯地块岩石圈导电性结构特征的大地电磁测深标准网研究

叶高峰[1,2]，魏文博[1,2,3]，金胜[1,2]，杨虎[1,2]，董浩[1,2]，张乐天[1,2]，谢成良[1,2]，张帆[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院
2 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室
3 地质过程与矿产资源国家重点实验室
ygf1999@cugb.edu.cn

“深部探测技术与实验研究”专项下属第一项目的大地电磁测深标准网在鄂尔多斯地块（经度：104°~112°，纬度：35°~41°）布置了经纬度 1°×1°的测网，每个网格节点布设两条相互正交的短剖面，共 11 个测点，控制小面元的电性结构。在网格节点处的中心测站，同时采集宽频和长周期大地电磁测深数据，而在其他辅助测站仅采集宽频大地电磁测深数据。这种工作部署，能构成平均点距约为 18km 的经度、纬度方向剖面。研究区 692 个测点张量阻抗分解结果与区域地质资料的对比分析表明，鄂尔多斯地块内部，主构造走向为近南北或东西向，鄂尔多斯地块西缘、西北缘，主构造走向为 NW345°~355°，东缘山西台隆地区主构造走向为 NE10°~15°。据此构建 E107°~E110°共 4 条经度方向剖面和 N35°~N40 度共 6 条纬度方向剖面进行了二维反演。

通过对 10 条剖面获得的电性结构模型的对比研究，获得鄂尔多斯地块电性结构的基本认识。鄂尔多斯地块为一个相对稳定的块体，其内部电性结构成层性好；地表浅层主要分布低阻沉积盖层，中、上地壳部分则整体表现为高阻特征，下地壳则主要表现为低阻， 43km 深度附近存在一个明显的电性梯度带，其深度与研究区深地震测深等资料获得的 Moho 深度相当；研究区岩石圈地幔部分，电性结构存在明显的南北差异，北部地区的电阻率值低于南部地区 1 个数量级，两者分界线大致在 N38°左右。研究区域内部发育的不同程度的断裂构造，在电性结构

图上表现为一些电性界面错断或电性急剧变化的梯度带；同时也发现一些隐伏的、切穿地壳深度的电性梯度带，这可能是研究区内一些未在地表出露的隐伏深大断裂的电性反映。

鄂尔多斯块体内部下地壳及上地幔区域多发现低阻带或较大规模的低阻异常体的存在，初步推测其壳内低阻层主要是由含盐流体所引起，而鄂尔多斯块体内相对高阻的“刚性”地壳正好构成了封存含盐流体的“帽”；而壳幔过渡部位及以深的低阻异常，则是由于深部地幔热物质上涌所引起的周边物质的部分熔融所导致的。鄂尔多斯块体内部大范围存在的高导层以及上地幔相对软的低阻物质或许为鄂尔多斯块体的旋转以及隆升运动提供了条件；特别是在块体北部区域，上地幔的热物质沿地壳内深大断裂上涌，从而对地壳产生的向上顶托力及沿断裂面两侧的挤压力对地壳底界面的有一定的塑造作用，同时也对鄂尔多斯块体的整体运动机制影响重大。

S17-O-04S

青藏高原东缘地区的壳幔电性结构研究

OURO-DJOBO SEDIKOU BILAMAKAZO[1]，张乐天[1,2*]，金胜[1,2]，魏文博[1,2,3]，叶高峰[1,2]，董浩[1,2]，张帆[1,2]，谢成良[1,2]，王辉[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院

2 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室

3 地质过程与矿产资源国家重点实验室

osebil81@yahoo.fr

自从2008年*Ms*8.0级的汶川大地震发生以来，青藏高原东缘便成为地质与地球物理研究的热点区域。该区域的龙门山断裂带标志着青藏高原东缘与四川盆地的边界。汶川地震即发生于龙门山断裂带内的映秀-北川断裂上。该地区现有的研究工作多集中于青藏高原东缘及四川盆地的西部，对四川盆地东部构造情况的研究目前较少。在 SinoProbe 项目的资助下，完成了一条跨越青藏高原东缘及整个四川盆地的大地电磁测深剖面。该剖面自西北始于青藏高原内部的松潘-甘孜地块，向东南延伸穿过龙门山断裂带、四川盆地内部及四川盆地东部的华蓥山断裂，最终止于重庆东南的川东滑脱褶皱带附近。维性分析表明剖面数据整体二维性较好，通过二维反演得到了最终的电性结构模型。该模型表明，从电性结构上看，沿剖面可分为三个主要的电性结构单元，分别为：浅部高阻、中下地壳低阻的松潘-甘孜地块，浅部低阻、中下地壳相对高阻的四川盆地，以及华蓥山以东整体为高阻特征的扬子克拉通地块。龙门山断裂带在电性结构上表现为倾角较缓、北西倾向的逆冲低阻体，反映了青藏高原东缘相对四川盆地的推覆作用。其在地下向青藏高原内部延伸，深度约为 20km 左右。在标志逆冲推覆滑脱面的低阻层下存在一电性梯度带，表征着低阻的青藏高原中下地壳与高阻的扬子地壳之间的电性转换。位于四川盆地东边界的华蓥山断裂在电性结构上表现为一倾向为南东向的低阻体插入高阻的扬子克拉通结晶基底，切割深度约为30km左右。这一结构反映出华蓥山向西的推覆作用。总体来看，青藏高原东缘及四川盆地地区的整体构造模式可以分为两个层次：在浅部中-上地壳主要是以逆冲推覆为特征的薄皮构造；而在深部中-下地壳至上地幔范围内则表现为刚性的扬子块体嵌入柔性青藏块体内部的楔入式构造。这一构造模式与研究区域内壳内物质流的分布、青藏块体与扬子块体在深部的关系以及青藏高原东缘地区的隆升机制等问题都具有紧密的内在联系。

S17-O-05

大深度可控源电磁探测系统研究新进展

林君，周逢道，刘长胜，张文秀，陈健，薛开昶，孙彩堂，胡瑞华，唐红忠，刘立超

吉林大学仪器科学与电气工程学院；
吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室；
国家地球物理探测仪器工程技术研究中心
liuchangsheng@jlu.edu.cn

矿产资源是人类社会和经济发展的物质基础，但当前我国正面临着日益严峻的矿产资源紧缺问题，许多金属矿山都存在资源危机。深部找矿已成为缓解资源危机的必然选择。此外，地热开发和地球深部构造研究，都需要了解地球深部信息。开发地球深部探测技术和仪器设备已成为迫切需求。在国家自然科学基金科学仪器专项等项目的资助下，吉林大学开展了大深度电磁探测系统研究，取得了较好的研究成果，已初步实现应用。该电磁探测系统包括大功率发射机和阵列接收机。目前已定型的第一代样机 DPS-1，工作频率 0~10kHz，最大发射功率 45kW，最大电流 30A，最大输出电压 1500V，接收机由多个宽频带大动态范围采集站组成，每个采集站 2 通道，24 位 AD，测量电场或磁场，动态范围大于 140dB，探测深度可达 2km 以上。各采集站可独立工作，也可在主站控制下工作，控制方式包括无线通信和有线通信。由于采集站可任意扩展，因此能够实现长测线或大面积区域的阵列测量。工作模式包括单频和扫频两种方式，前者可以通过现场人工控制逐一发射和采集所需频率信号，后者则根据预先设计并存储到系统中的频率表自动发射和采集所有频点，工作方式与加拿大凤凰公司生产的 V8 网络化多功能电法仪兼容。

2010~2012 年，DPS-1 已经在吉林省长白山地热勘探、辽宁省大台沟铁矿探测、吉林省红旗岭镍矿探测、黑龙江省东部隐伏盆地调查、辽宁省杨家杖子金属矿探测、黑龙江省哈尔滨地热资源勘探等方面得到初步应用，获取了地下 2km 以上的大地电阻率信息，部分地区探测深度达到 2.5km 以上，测量结果与已知信息吻合较好。实践证明该系统野外适用性强，测量结果可靠，性能指标达到国外同类先进产品水平，可满足生产需求。

目前该仪器系统野外应用时主要采用 CSAMT 的测量方式，但它同时具备有发射伪随机波形和 IP 测量的功能。正在研发的第二代样机将具有更大的发射功率，更低的噪声水平和更强的抗干扰能力，以便进一步提高稳定性、探测深度和成像精度，与此同时工作方式将更加灵活，环境适用性将更强。

S17-O-06

SinoProbe-02 喜马拉雅-喀喇昆仑-雅鲁藏布江-冈底斯（HKT）深地震反射剖面：揭示喀喇昆仑断裂与雅鲁藏布江缝合带深部精细结构

高锐[1, 2]，卢占武[1, 2]，Simon L Klemperer[3]

1 中国地质科学院地质研究所
2 国土资源部深部探测与地球动力学重点实验室
3 斯坦福大学地球物理系，旧金山，美国
gaorui@cags.ac.cn

喀喇昆仑断裂和雅鲁藏布江缝合带是青藏高原西部、南部重要的大地构造界线，其形成和演化与印度板块和欧亚板块碰撞息息相关。为揭示这一地区的深部地壳结构，我们在 Sinoprobe-02 项目的支持下，完成了 A, B 两段总长约 210km 的深地震反射剖面。剖面 A，长度约 100km，位于阿里地区普兰县境内，沿普兰-巴嘎-久玛错，近南北走向，

向北横穿雅鲁藏布江蛇绿岩带，该剖面主要揭示雅鲁藏布江缝合带西段深部地壳结构；剖面 B，长度约 110km，位于阿里地区噶尔县境内，沿左左乡-那不如-香孜，大致呈东北-西南走向，横跨喀喇昆仑断裂东南段的阿伊拉日居山，沿断裂出露糜棱岩和糜棱岩化片麻岩-花岗岩，具有右旋剪切变形特征，记录了喀喇昆仑断裂生长过程。

吸取以往的工作经验，本次野外数据采集实验特别注重应用深井、大药量、长排列、多尺度震源激发等技术组合，来保证获得喜马拉雅-青藏高原西部巨厚地壳的有效反射信息。使用法国产的 428XL 万道地震仪器，道间距 50m。小炮、中炮中间放炮，720 道接收，大炮单边 1000 道接收。小炮药量 50kg，单井井深 30m，炮间距 250m，中炮药量 200kg，井深 50m，双井组合，炮间距 1000m。50km 加放一个大炮，药量 1000kg，井深 50m，10 口井组合。小、中炮 2 ms 采样，记录 30s；大炮 4ms 采样，记录 60s。

从初步叠加剖面可以看出：

在 6s （TWT），两套壳内反射可能是喀喇昆仑断裂走滑剪切的主要证据；

整条剖面内出现多条下地壳向北倾斜的强反射，可能受到印度板块向北俯冲的影响；

冈底斯花岗岩带下方表现为强反射波组：原因是岩浆侵入？蛇绿岩碎片？还是俯冲物质的部分熔融作用？

23-24s（TWT），存在一套连续的略向北倾的强反射，可能是该区 Moho 的反映。

数据处理的精细处理与特殊处理尚在进行之中，处理结果将会提供更多有效信息。

S17-O-07

Sinoprobe-02 华南深地震反射剖面（湖南邵阳-福建漳浦）采集实验

卢占武[1,2]，高锐[1,2]，王海燕[1,2]，熊小松[1,2]，李洪强[1,2]

1 中国地质科学院地质研究所

2 国土资源部深部探测与地球动力学重点实验室

luzhanwu78@163.com

华南深地震反射剖面（湖南邵阳-福建漳浦）是 “深部探测技术实验与集成” 项目（Sinoprobe-02）2012 年度布设的最后一条剖面。剖面位于湖南省、江西省、福建省境内，工作范围：东经 111°-118°30′，北纬 23°-29°。剖面西北端始于湖南省邵阳市，与 2011 年完成的华南（四川盆地-雪峰山）深地震反射剖面东南端重合，向东跨越井冈山、武夷山，止于福建省漳浦县海边，剖面满覆盖长度约为 730km。通过该剖面的实施，将揭示华南地区深部精细结构，对于研究华夏板块与扬子板块构造边界，以及华南大陆内部的岩石圈变形至关重要。

野外工作从 2012 年 2 月 8 日开始，至 5 月 15 日全部放炮完毕，历时三个多月。野外施工期间克服了恶劣的自然条件和艰苦的工作环境，一丝不苟保证质量，超额完成数据采集实验。现场监控处理剖面可以看出，华南深地震反射剖面（湖南邵阳-福建漳浦）提供出许多重要发现，为今后研究板块边界构造与华南花岗岩地壳生长极其相关的资源战略勘查奠定了精细的资料。由于野外刚刚结束，本文概略主要报道该剖面的一些基本情况：

（1）剖面所经区域的自然条件：

深地震反射剖面横向跨度大，地形起伏，海拔高差区域变化较大。剖面西北部海拔较低，平均海拔为 352 m，井冈山段地形起伏剧烈，最高海拔 1343.3 m。武夷山段高程变化大，最高海拔 1343.5m。最低海拔为 1.17m，但是地形变化相对平缓。沿线经过湘江、耒水、沤水、赣江、上犹江、西溪、九龙江等水系。剖面西北部地势平缓，植被以农作物

为主，夏季农作物主要有水稻、玉米、烟叶等；中部地势起伏较大的山区和大山区，植被以松树、柏树及杂树为主，森林覆盖率较高；福建地区种植业以香蕉、甘蔗以及景观木等热带植物为主；沿海为海产品养殖区。

（2）采集基本参数

观测系统，

覆盖次数：60 次。接收道数：小炮、中炮 600 道对称接收，大炮 1000 道单边接收。最小偏移距：25m；道距：50m；炮点距：小炮 250m，中炮 1km，大炮 50km；

仪器因素

仪器类型：法国 428XL 24 位数字地震仪；采样间隔：中小炮 2ms、大炮 4ms；记录长度：中、小炮 30s，大炮 60s；记录格式：SEG－D；

激发、接收因素

激发井深：小炮：25m；中炮：单井 40m 或 25m *2 口井组合激发；大炮：50m *5 口井组合激发；激发药量：小炮：25kg；中炮：100kg；大炮：500kg；炸药类型：高密度硝铵炸药；检波器类型：SM-24 检波器；组合个数： 1 串 12 个线性组合；组内高差：小于 1m ；

（3）数据情况

从现场监控处理剖面来看，剖面浅、中、深反射波组齐全，连续性好，波组能量强弱分明，信噪比较高。10s-11s 左右的强反射可能是 Moho 反映，该波组大部分地段都能够追踪，为后期处理和解释提供了高质量的采集数据。

S17-O-08S

大地电磁二维电性各向异性正演研究

霍光谱*，胡祥云，黄一凡

中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院

huoguangpu1218@163.com

经过半个多世纪的发展，国内外利用大地电磁法研究地球内部电性结构取得了令人瞩目的成就，但这些研究成果多数是基于电性各向同性理论。电性各向异性现象在地球内部是普遍存在的，这一点在地球物理领域已经被国内外广大学者所接受.地壳和上地幔中存在的电性各向异性是地电模型、地下结构和构造模型间一个重要的联系因素。造成电性各向异性现象的原因多种多样(主要是由地球构造应力场、地球介质形变带、岩石裂隙、孔隙水及地质沉积等因素造成的)，对电性各向异性基础理论进行系统而详实的研究，有利于建立符合实际地质情况的地电模型，从而为分析解释地球内部的电性结构奠定理论基础。早在上世纪 60 年代，国外就对一维电性各向异性正演问题进行了初步研究；到如今，国外对三维电性各向异性正演问题已经开展了广泛的研究。而我国直到 80 年代才对电性各向异性问题进行了研究，虽然取得了一些成果，但对电性各向异性问题进行全面而系统表述的文章却很少见。针对大地电磁法在研究电性结构方面的优势，及国内在电性各向异性理论研究方面的匮乏，基于大地电磁法对电性各向异性二维正演理论进行系统而全面的研究就显得格外迫切。

大地电磁电性各向异性二维正演模拟，只能通过解偏微分方程或积分方程的数值计算方法得出近似解。主要的研究方法有有限元与有限差分法，这两种方法都经过了近半个世纪的发展。二维大地电磁电性各向异性正演研究多数是在 1975 年 Reddy 和 Rankin 的研究成果上发展而来的，这也是在国内外公认的较早对电性各向异性二维正演理论做系统研究的文章。本文将用有限差分法求解大地电磁电性各向异性的二维正演问题。

从麦克斯韦方程出发，引入电导率张量，根据水平地表二维电性各向异性结构的特点，

得到一组关于 E_x 和 H_x 的偏微分方程。使用有限差分法求解偏微分方程，求出 E_x 和 H_x 的近似解，其他的场分量可由 E_x 和 H_x 求出；随后，引入地形起伏情况，将有限差分系数矩阵的限定带宽改为可变带宽，对高斯消元做有效修改，同样使用有限差分法，求解各个场分量的值。利用编制的正演程序，对多个普通及特殊的二维电性各向异性结构(包括水平和地形起伏两种情况)做正演计算，研究其对于观测大地电磁电磁场的影响，从而认识在某种特定地质条件下的电磁传播特性，为其后对大地电磁实测资料的处理解释奠定理论基础。最后，以本文的研究成果为基础，将电性各向异性理论引入对实测大地电磁资料的处理解释中，通过对新疆某地的大地电磁资料做二维正演拟合解释，说明了电性各向异性现象的普遍存在，也验证了理论的正确性及程序的实用性，能够为今后分析解释大地电磁资料中的电性各向异性现象提供理论依据和技术指导，并开拓了对大地电磁实测资料处理的思路和方法。

S17-O-09S

汶川 $M_S8.0$ 地震对龙门山断裂带附近浅表层地应力环境影响的模拟研究—以北川、江油地区为例

丰成君[1]，陈群策[1,2]，谭成轩[1,2]，吴满路[1,2]，秦向辉[1,2]，孟文[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所

2 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室

feng2010618@yahoo.cn

本文以龙门山断裂带附近北川、江油地区为研究区，基于汶川 M_s8.0 地震在研究区内产生的断层错动位移资料，运用线弹性有限元数值模拟方法，计算得到由断层错动位移所产生的附加应力分布特征；依据附加应力结果，结合研究区内震后 2 个 200m 钻孔(ZK02、ZK03)的水压致裂地应力测量结果，运用弹性力学中的基本公式推算了在 ZK02 和 ZK03 位置震前主应力分布规律；通过对比分析，讨论了汶川 M_s8.0 地震对断裂带附近地壳浅表层地应力环境的影响，结果表明：断裂带附近相同位置的最大水平主应力值在大震前、后分别呈现出高度集中和大幅降低现象；断裂带附近不同位置(5km 以内)的最大水平主应力值分布规律在地震前、后也表现出明显差异，震前，最大水平主应力值与断裂垂直距离成反比的趋势；震后，最大水平主应力值与断裂垂直距离成正比的趋势；大震发生约 1 年后，断裂带附近北川、江油地区地壳浅表层构造应力场的优势方向为 NE-NEE 向，与震前相比，逆时针偏转了约 39°。

S17-O-10

蛇绿岩中的金刚石:一种新的金刚石产出类型及其意义

Yang, J.-S.[1], Robinson, P. T.[2], Wiedenbeck, M.[3], Xu, X.-Z.[1] & Zhang, Z.-M[1].

1 State Key Laboratory for Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 26 Baiwanzhuang Road, Beijing, 100037, China

2 Department of Earth Sciences, Dalhousie University, Halifax, Canada

3 GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg C161, D14473 Potsdam, Germany

yangjingsui@yahoo.com.cn; yangjsui@ccsd.cn

Natural diamonds are widespread in the Earth's crust and mantle and have been reported from a variety of rocks including kimberlite and lamproite, metamorphic rocks and impact structures, and from alpine-type ultramafic rocks in ophiolite complex, but the

latter were ignored in that the diamonds were recovered from heavy mineral concentrates after processing, so that native or anthropogenic contamination could not be ruled out. Our recent research found diamond inclusion in situ in chromite from podiform chromitite ore of the Luobusa ophiolite in Tibet and the Ray-Iz ophiolite in Polar Ural. The diamonds and moissanite occur as euhedral to subhedral crystals, mostly 200-500 μm across, that are hosted in small patches of carbon within chromite grains. Both the diamond and moissanite have extremely low carbon isotopes values δ^{13}CPDB (-18 to -28), distinctly different from kimberlitic diamonds, suggesting a separate carbon reservoir in the mantle. Previous work suggests that both the diamonds and chromitites of Luobusa crystallized in the diamond stability field at depths greater than ~150 km, possibly deeper than 300 km, thus raising questions regarding the current models for the formation of ophiolites and podiform chromitites. It is possible that the diamonds formed from C-rich fluids with highly reduced phases and low δ^{13}CPDB values derived from previously subducted slabs. Here we also report diamonds and other unusual minerals discovered in five other peridotite bodies along the 1500 km long Yarlung-Zangbo suture. These massifs consist mainly of harzburgite, lherzolite and dunite, probably of MOR type, that were modified in a SSZ environment. This discovery confirms that the Luobusa massif is not unique in the Yarlung-Zangbo suture. Based on the presence of similar minerals in the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals, and reports of diamonds in Alpine-type mantle peridotites, we suggest that diamonds and highly reduced minerals may be common in ophiolitic peridotites. These occurrences indicate a completely new environment for diamond formation, distinct from kimberlites and ultrahigh-pressure metamorphic rocks.

S17-O-11

复杂地质构造带的地震深度成像

毛伟建

中科院测量与地球物理研究所

wjmao@whigg.ac.cn

常规的油气勘探技术和分析处理方法主要基于地震波的运动学特性并假定地震波是声波和具有高频响应。采用这些假定是因为受计算机运算能力的影响和介质内部物理参数的较难确定等方面的原因所致。因此,现有的大多数处理方法在进行复杂地质构造条件下的油气资源开发时遇到较多问题。要解决这些问题需要在理论和方法上有新的突破，即需要寻找一个平衡点在现代观测和计算技术允许的情况下尽可能地应用与真实地球模型相适应的理论和方法进行模拟和反演地球内部结构从而获得更准确的地层和油气田分布成像信息。

地震深度成像被认定是重构油气田结构的核心技术。它包括两大组成部分: 地震速度模型的建立和反射波深度偏移。同时，地震深度成像技术也可大致划分为两大类: 射线法和波方程法。反射波速度层析成像(TOMOGRAPHY), 克希霍夫(KIRCHOFF)和光束(BEAM) 偏移属射线法的代表; 而波方程偏移速度分析(WMVA), 全波反演(FWI), 波场外推(WEM)和逆时偏移(RTM)则为波方程法的代表。虽然克希霍夫和波场外推偏移

在油气勘探工业中仍在被广泛使用，受其算法本身的限制它们不太适应复杂地质构造条件下的油气资源勘探，正在失去其核心竞争力。随着高性能超算技术的迅速发展，光束(BEAM) 偏移和逆时偏移(RTM)正获得长足进展。

本文将主要介绍不同的地震成像技术在油气资源勘探中的应用，现存的问题及未来的研究方向。重点讨论在光束(BEAM)偏移和逆时偏移(RTM)中存在的一些关键性问题。

S17-O-12S

北京西山青白口早侏罗世顺层闪长玢岩脉：对区域性褶皱变形时代的限定

叶浩，赵越，张拴宏

中国地质科学院地质力学研究所

yehao01105326@163.com

北京西山位于华北克拉通北部，该地区自古元古代末期克拉通化后保持长期稳定，在中新元古代和古生代期间曾有两次大的沉积间断。中生代之后该区构造活动性逐渐增强，直至中侏罗世末期燕山运动爆发。前人根据露头尺度的褶叠层的研究认为北京西山存在燕山主期褶皱之前的构造变形（单文琅等，1984），另外也有学者根据区域构造方向、构造样式及三叠系双泉组与早侏罗统南大岭组之间的“不整合”认为两套地层之间有一次强烈的构造变动，即印支运动（宋鸿林等，1984）。但大量的区域地质调查结果均显示，北京西山地区早侏罗世与下伏地层之间无明显的角度不整合（北京市地质矿产局，1987），表明该区印支运动可能并不强烈。

北京西山青白口-下苇甸穹隆是北京西山褶皱最为典型的地区之一，这些褶皱均以中上元古界为核、古生界为翼，核部产状平缓，周边产状陡缓不一。在青白口穹隆中见有大量的闪长玢岩脉及花岗斑岩岩脉顺层侵入到蓟县系雾迷山组、铁岭组及青白口系下马岭组地层中。闪长玢岩脉宽数米至上百米，长几百米至数千米，岩脉与围岩产状一致，地表呈条带状，遵守 V 字型法则延伸。野外观察发现闪长玢岩脉与围岩一起发生褶皱。前人依据 K-Ar 全岩稀释法年龄认定这些岩脉侵位于印支期（三叠纪，郑桂森和方景玲，1994）。近期我们对青白口村东顺层侵入到下马岭组内闪长玢岩脉中锆石运用 LA-ICP-MS 测年获得了 177±1 Ma 的侵位年龄，因此将青白口穹隆变形的时代限定在早侏罗世末期之后，表明北京西山在早侏罗世之前可能没有发生强烈的区域性褶皱变形。这一新的年代学结果使我们不得不重新审视北京西山地区的印支运动。

从沉积盆地充填特征看，北京西山盆地在晚三叠世末-早侏罗纪世杏石口期出现了开阔谷地环境下的曲流河沉积，早侏罗世后期南大岭组溢流玄武岩继承了杏石口期的古地理，表明北京西山晚三叠世末前后的构造变形并不强烈（赵越 等，2002）。这种相对平静的构造背景可能持续到中侏罗世中期龙门组沉积之前，此后燕山运动 A 幕爆发，北京西山地区开始经历强烈的构造变形和火山喷发。因此，我们的认识是：北京西山地区在印支期构造变形可能十分微弱，其构造格局主要在燕山期形成。

S17-O-13

华北克拉通中生代岩浆作用的时空迁移：对克拉通破坏过程的启示及意义

张拴宏，赵越，叶浩

中国地质科学院地质力学研究所

tozhangshuanhong@163.com

中生代（三叠纪-白垩纪）岩浆岩在华北

克拉通广泛分布，对于认识华北克拉通破坏的起始时间、空间分布及动力学机制与过程具有重要意义。新的地质学及年代学结果结合已有的资料表明，从克拉通边缘向内部，中生代岩浆岩有明显的时空迁移。三叠纪、早侏罗世岩浆岩主要呈带状分布在华北克拉通的北缘、南缘及东缘地区，而白垩纪岩浆岩则成面状分布于整个华北克拉通中东部。从华北克拉通北部及东部(燕山、阴山东段、胶东半岛、辽东半岛）向其中部（太行山)、岩浆岩的时代有明显变轻的趋势。对华北克拉通逆冲推覆构造的调查结果也表明，中－晚侏罗世逆冲推覆构造的发育也从克拉通边缘向内部逐步减弱。这种中生代岩浆作用的时空迁移规律表明华北克拉通的减薄与破坏可能是不同时的、渐进的过程。华北克拉通岩石圈的减薄与破坏可能最先从其北缘及东缘开始，逐渐扩展到克拉通内部。中生代以来周缘块体的相互作用可能在华北克拉通岩石圈减薄与破坏方面发挥了重要作用。

S17-O-14

万米超深科学钻探测井数据分析管理研究

肖丽，黄大年

吉林大学地球探测科学与技术学院

xiaolijl@jlu.edu.cn

大陆万米超深科学钻探是地壳深探计划重要的组成部分，被称之为钻地望远镜。通过利用现代软件分析技术和工具实现海量测井数据的获取、处理和分析解释，达到直接验证地质对象的目的。现代测井技术所获得的数据反映了地壳岩性、物性随深度变化的地球物理特性以及相互关系，可以加深对深部地质结构、构造和演化规律的深入了解，并为相关勘探方法提供关联性依据。SinoProbe-09-01 课题所研发的“移动平台综合地球物理数据处理和集成系统”其主要任务是，将重力、磁场及梯度场等非震数据与地震勘探数据进行处理分析，在剖面和 3D 数据层面实现相互制约和高度融合，减小解释过程中带来的不确定性和由此造成的勘探风险。该处理软件的研发也加强了在处理和解释过程中融合测井数据的考量，将其作为反演过程中一个重要的约束条件，以点带面完成区域性和立体性地质解释。测井数据的主要任务除了实施约束反演过程外，还可以通过对解释目标的验证效果达到对勘探方法技术作用的质量监控，进而对各类方法贡献的加权解释奠定量化解释依据。

通过对已实施的国内外深探测井技术数据分析了解，工作流程包括：数据获取、处理和解释三个主要阶段。井下数据获取可以提取岩心进行实验室分析，也能够直接在井下实施测井观测。参数主要包括反映岩石电性、磁性、密度、声学、放射性等物理属性，探测精度能够满足对岩性变化以及裂缝等构造现象进行准确识别。对于多孔数据进行联井综合分析，可以实现对所控制区域的初步地质建模。处理过程包括环境校正、地质信息的提取，由此产生了一系列处理方法，处理效果将决定数据的精度和对目标所呈现的信息度。随着深度的增加，温度、压力将发生一系列变化，方法组合和参数选择都将随之变化，尤其在超深井情况下，从而造成数据分析难度，也对软件功能提出新的要求。该软件系统研发将针对上述阶段性任务和解释目标的需求，提供必要的测井数据功能组合，以及相关分析基础和便利的使用条件。

超深钻探测井数据软件模块的研发任务，主要针对不同深度和极限环境所产生的观测数据，进行随深度变化的连续性、系统性系列分析，如岩性分析、测井分层、成像测井模式建立等。在技术上，位居国际领先地位

的斯仑贝谢公司研发了相关软件在油气藏技术服务领域有成功应用，如 Petrel、Techlog 和 Ocean 软件系列。它们既实现了常规技术组合应用环境的集成努力，也开发了新一代与数据融合有关的分析流程。Petrel 可以综合海量数据、多领域专家参与联合解释和功能强大的图形可视化分析技术，极大推进了 3D 地质模型建立和油气藏勘探和评价。Techlog 以岩石物理为核心，实现岩芯数据、测井数据、图像数据和相关井筒数据的分析研究。尤其是，在 Ocean 开发平台界面上，用户被允许根据自身需求加入扩展件达到特殊应用目的，并对 Petrel 应用环境进行附加功能的补充。然而，这些系统现有的功能和技术方案组合不能有效地或直接地应用于深部探测目的研究，迫使对该软件进行针对性开发。开发的方向和内容包括：井间数据与表面重磁电数据和 3D 地震勘探数据融合方向；随超深钻井深度变化造成的温度、压力变化，直至仪器装备使用极限指标，导致各种测井仪器装备跟进过程中所做出的技术调整和观测参数的相应变化，使得常规手段难以应对。参数转换分析、衔接和连续性数据处理分析、以及与深度影响有关的极限值分析等项技术是主要的研发重点，以达到提取深部地质信息加强综合分析力度的需要。在数据管理方面，改进多源多阶段目标管理和井、面、体数据融合管理将是重要研究内容，面临诸多技术瓶颈。通过对超深井数据特点进行的改进，有助于将非常规测井数据信息的提取，并改进传统的输入、处理以及测井数据信息提取分析流程，为使用者充分利用测井资料，达到了解地球深部信息的目的提供技术支撑。

S17-O-15S

基于岩芯的非弹性应变恢复地应力测量方法及应用

孙东生[1]，王连捷[1]，林为人[2]，崔军文[3]，王红才[1]

1 中国地质科学院地质力学研究所 2 Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)，Nankoku，783-8502，Japan

3 中国地质科学院地质研究

dongshengsun@189.cn

随着地震、地球动力学和地壳深部探测等科学研究工作的深入开展，深部应力状态的研究愈来愈重要。但目前尚没有即经济又简便的完善的深部地应力测量方法。基于岩芯的非弹性应变恢复法(Anelastic Strain Recovery Method, 简称 ASR 法)是近年来发展起来的深部应力测量有效方法，它与钻孔崩落法，水压致裂法联合使用，可获得更丰富的地应力资料。当钻孔崩落法和水压致裂法等不能使用时，ASR 法仍有可能得到比较可靠的资料，具有广泛的适用性。

ASR 法首先由 Voight 于 1968 年提出，并由 Teufel、Matsuki 等进行了进一步的发展。近年来，ASR 法逐渐被应用于实际的深部三维地应力测量中[Lin.,2006; Lin.,2007]。其原理基于岩石的流变性。岩石是一种黏弹性体，具有流变性。当岩芯被钻出后，即脱离应力场的作用，岩芯除了立即发生弹性应变恢复以外，还随时间发生非弹性（滞弹性）应变恢复，在均匀各向同性介质中，主应变的方位与主应力的方位是一样的。因而，此主应变的方位也就是主应力的方位。同时岩芯的非弹性应变恢复量与卸载之前的载荷大小有关，因此通过室内实验，对岩芯样品进行恒定载荷条件下加载蠕变，然后瞬间释放载荷，测定岩芯在已知载荷作用后发生的非弹性应变恢复量，可确定岩石样品的非弹性应变恢复柔量，进而根据得到的非弹性应变和岩芯的非弹性应变恢复柔量计算原地应力大小。

汶川 5.12 大地震后，我们将 ASR 法应

用于汶川地震断裂带科学钻孔的地应力测量。这是我国大陆首次使用该方法进行的深部三维地应力测量。在钻孔岩芯非常破碎的情况下，成功得到了 424m-1173m 深度范围内 7 个样品的非弹性应变恢复数据，测量期间样品的温度变化小于±0.1°c，测量系统的漂移很小，可以忽略。实验曲线随时间平稳增加，初期非弹性应变增加较快，然后变缓，符合非弹性应变变化规律。测量结果表明测点处的最大主应力 σ_1 和中间主应力 σ_2 近于水平，最小主应力 σ_3 近于铅直。地应力值和深度基本呈线性关系，即随着深度增加，地应力值不断加大。如在 746m（垂深）处的最大主应力 σ_1 的方位为 NW49°，倾角 11°，中间主应力 σ_2 的方位为 NE37°，倾角 19°，最小主应力 σ_3 的方位为 NE69°，倾角 68°，三个主应力的大小为 25.2MPa，21.5MPa，18.5MPa。这种应力状态可使龙门山断层产生逆冲兼右行走滑运动，与汶川 5.12 地震的断层运动基本一致。该方法得到的结果与震源机制解及其他地应力测量方法得到的结果吻合较好。

实践证明非弹性应变恢复法具有较大的实用价值。特别是在在较大深度的钻孔、地层较破碎等复杂地质条件及深海等恶劣作业条件下，应力解除法，水压致裂法等难以实施时，此方法仍有可能获得较可靠的地应力数据，具有较强的适应性，可广泛应用于地壳深部探测，特别是深海地球科学探测工作中。

S17-O-16

地球深部探测仪器装备应用于海洋资源勘探策略及建议

于平，黄大年

吉林大学

yuping@jlu.edu.cn

中国地壳探测计划将覆盖陆地和海洋深层地质目标精细探测，主要任务是了解勘探区地壳深部构造和物质成分，研究其对浅层地质活动的影响，深化认识能源和矿产资源分布规律以及地质灾害产生的原因和预防措施。基于目前探测技术发展所提供的手段和能力，可以有效实现的阶段性科学目标包括：建立空天－地面－深部－海域的立体探测、观测技术方法体系和超级地球模拟器平台；构建对地探测与观测全球网络体系，提供基础科学数据；寻找深部能源“新区”、矿产资源“新空间”，保障资源可持续供应；揭示大陆、大洋地壳、岩石圈结构，提高对内动力作用把握，提升自然灾害预警能力。

探测技术装备的组合将决定在陆地和海洋获取数据和信息的精度、效率以及对实现目标所提供的技术保障程度。长期以来，探测仪器装备一直依赖进口，由此积累和掌握了大量的经验和技术，也为推动研发具有自主产权的关键仪器装备奠定了基础。我国的“深部探测关键仪器装备研制与实验”项目在此背景下应运而生。研发过程中借鉴了国际趋势和经验，体现多功能化、轻便化、智能化、可视化、网络化的特点，探索适当引进与自主创新相结合、产学研用相结合的发展道路。目的是从国家高科技发展战略目标设计国产装备发展计划，针对复杂地质环境的勘探能力和效率，迅速提升仪器装备研发的基础和整体技术水平。

陆地探测根据整体构造格局，部署了跨越主要构造单元、穿越不同地块边界和造山带以及关键构造带的超长和超深探测剖面，控制典型地质活动区带、地质灾害频发区以及重要含油气盆地与大型矿集区。通过采用深地震反射、折射、宽频带与大地电磁联合探测剖面等深地探测技术，精细了解中国大陆典型地域的三维结构、格架与图像，揭示岩石圈与软流圈等层圈与更深部地幔之间的

相互作用。研发策略是，针对科学任务和需求推动关键核心技术发展，由实验性研究阶段过度到全面展开的产业化阶段，由陆地走向海洋，形成系列化勘探技术组合。目前，针对陆地探测方式和复杂地形条件形成的关键技术组合有，无缆自定位地震勘探系统和大功率地面电磁勘探系统；万米大陆科学钻探装备。针对陆地和海洋探测的技术组合有，航空、水面和潜航移动条件下的高效率、高精度重力、磁力、电磁法联合勘探系统；面向三维地质模型的多元参数和海量数据集成、综合分析一体化软件平台。

深海探测相对于陆地探测，具有更高的风险性和探索性。我国从未间断该项努力，发展了一系列具有国际先进水准的深水油气地球物理勘探技术，并在部分海域得到成功应用。海洋深部资源勘探突出特点是：大区域无人区、环境和条件复杂性、实施勘探难度大、对勘探效率和精度要求高。这些共同面临的难题迫使一些发达国家倾注巨大投入，积极推进勘探和开发涉海资源，获得巨大回报。如，美国墨西哥湾深海油气田勘探，大西洋东西沿岸国家油气勘探，也同时包括南海周边国家通过引入国际联合勘探技术，成功获取南海油气资源。技术亮点包括：针对复杂条件的重、磁、震、井融合技术；MPSI 地震随机反演解释技术；针对深海油气藏探测的可控源电磁法与地震数据联合解释技术；针对深海钻探精确定位的地震及重力梯度联合正反演技术；采用 CGGVeritas 技术进行切面幅值反演恢复图像清晰度和发现油气盖层泄露等项国际先进成果技术；以及针对深海钻探选址的无人潜航器搭载海底微生物和油气渗漏探测联合验证技术。近十年来，我国在材料、微电子、传感器和相关制造工艺技术方面有长足发展，有能力在有人和无人操控搭载平台上建立系列性针对陆地和海洋深部探测的技术仪器装备组合；从多元数据采集、处理、解释和建模整套仪器装备和应用流程上体现自主研发尖端装备的先进性。

S17-O-17

深部探测及深海观测中的三维可视化及虚拟初探

陈华根，冯建同，许惠平，覃如府

同济大学 海洋地质国家重点实验室

huagen_chen@tongji.edu.cn

对深部探测及其深海观测进行三维可视化及其虚拟具有重要的意义。由于目前真正的入地目前几乎不可能，而真正的入海也是难度很大，即便入海也因为海底环境的影响，很难观测。而三维可视化可以使地球科学各个学科的科学家以虚拟的方式“入地”和“入海”。配合其中的漫游技术，可以虚拟以任何角度、任何位置对观测对象进行观测，为获得新的认识和可能的创新发现提供先进的可视化平台。

近十几年来，同济大学一直紧密跟踪最新技术，对地球科学的三维可视化及虚拟研究始于岩石圈探索，发展于中国深部探测专项，目前又把它应用到海底观测的科学实验中。这些探测既有核心技术方面的共性，又有不同应用中的差异，需要有创新的思维，灵活的应用。

三维可视化及其虚拟的研究从研究次序上一般包括静态、动态、虚拟三部分内容，前一部分均是后一部分的基础，技术上由易到难，对研究对象的认识上也是从简单的模型表达，到环境动态仿真，最后到科学家专业思想的虚拟，最终归结到地质构造演变虚拟或海底观测仪器的可视化虚拟控制。

三维可视化核心技术中的共性是，无论模拟入地还是入海，均需要以静态方式建立一个三维可视化框架，以用于基本经纬网、

地形界面及其它点、线、面等地理要素的直观表达，该框架具备三维可视化的基本功能：缩放，移动，漫游，同时为了使得表达对象逼真，需要有光照及纹理的基本渲染功能。借鉴 GIS 理念，基本构建可以以图层方式增加不同的地质（地层界面、断层等）或深海要素（深海仪器等）。当然更高级的功能是三维对象的拾取及其对象基本属性查询。

为了弥补目前三维可视化中空间分析薄弱之问题，可以通过与二维 GIS 的二三维联动技术，其优点是保持三维可视化逼真直观立体效果下，同时基本成熟的 GIS 空间分析功能，这其实是三维 GIS 的其中一个发展方向。

动态方面的三维可视化研究主要指对环境的仿真，主要包括大气及深海环境。需要指出的是这部分并非真实的环境，而是一种环境仿真（如天气的风、云、雨、雪，海面的波浪、海底的鱼群等）。

真正的虚拟研究是指专业思想特备是地质思想（地质构造演变等）的虚拟，实际上刚刚起步，无论是深部探测及深海观测研究中。一方面是受到了技术限制，另一方面更是因为对研究对象的认识还是断续的，或者可以说是点状的。

深部探测及深海观测三维可视化的挑战及初步设想是，在深部探测方面，试图对中国深部地质演变（长时间尺度）进行虚拟，由于尚缺少三维研究成果的系统数据及三维数据结构的难点，不妨可以从二维虚拟地质思想演变开始初步探索。在深海观测方面，由于需要虚拟观测点海洋要素的时间变化（全天 24 小时每时每刻都在变化），因此可以与海洋数值模拟进行点面结合，以较全面的方式展示海底观测科学成果。另外，通过海底观测网及其拓扑结构可视化，将以三维可视化对海底观测网及其仪器状态进行观测，试图通过虚拟方式对仪器实现开和关的基本遥控操作，这在海底观测中具有重要的工程意义。

总之，地球科学（包括海洋科学）的三维可视化均需要依次实现静态、动态、虚拟等三部分内容。深部探测中深部构造及深海观测中的海底地形及观测仪器建模部分基本属于静态建模范畴，其技术基本成熟；而对于随动态环境仿真技术已经可实现基本功能；而试图结合深部探测的地质思想及其构造演变等地球内部机理虚拟，由于计算机技术特别是三维可视化中的三维数据结构，计算机人机交互技术技术的约束尚待进一步发展，并且面临许多挑战，需要有新思维或在原有成熟技术基础上突破思维束缚，灵活巧妙应用。

S17-O-18

高温高压岩石孔隙率-渗透率各向异性数值模拟研究

朱伯靖 [1,2], 石耀霖 [1,2]*

1 中国科学院计算地球动力学重点实验室

2 中国科学院研究生院地球科学学院

* shiyl@gucas.ac.cn

地球深部岩石中水存在方式及运移决定了岩石圈和软流圈基本物性(强度、模量和黏度)，高温高压岩石孔隙率和渗透率随温压变化规律研究为理解超临界态水在岩石中运移机理提供了基本条件和理论依据。由于高温压同时改变了岩石物性和水的存在形式，传统意义上宏观孔隙率和渗透率标量已不能描述和解释深部岩石的孔隙率物性及渗透率特性，基于微观尺度面孔隙率张量(surface porosity tensor)和渗透率张量(surface permeability tensor)因其可以很好描述孔隙和渗透微观影响的宏观效应而被日益广泛的应用到高温高压多孔介质孔隙率和渗透率研究

中。

本研究应用量子力学格子波尔兹曼数值方法对低渗透砂岩，大理石，花岗岩，橄榄岩和榴辉岩高温高压下孔隙率－渗透率进行研究。首先，对鄂尔多斯盆地某油田三叠系延长组低渗砂岩渗透率随围压、孔隙压和温度变化 (围压 0~100MPa，孔隙压力 0~12MPa，温度 0～180℃) 进行数值模拟研究，渗透率模拟结果与美国 New England Research,Inc 岩石物性测试设备 autolab2000C 实验研究结果吻合良好，渗透率变化范围在 0~60×10-18m2 之间，三正交轴向各向异性明显(私人通信)；然后，以水做为流体，对高温高压下(孔隙压 0~1Gpa, 温度 0～600℃)以上典型岩石试样孔隙率和渗透率进行数值模拟，得到不同温压条件下孔隙率和渗透率张量及最大孔隙率和渗透率大小和方向。主要研究成果如下：

1.高温高压条件下，岩石试样的孔隙率和渗透率张量均随温度和压力增加而变化，孔隙率随温度升高而减小，随压力增大而增加，变化范围在 10E-3 数量级；在 0～350℃范围内，渗透率随温度增高无明显变化，在 350～600℃范围内，渗透率随温度升高而减小，变化梯度随温度升高而增加；渗透率随压力增加而变大，变化梯度随压力升高而减小。

2.高温高压条件下，孔隙率和渗透率均存在各向异性，最大孔隙率方向与最大渗透率方向接近，但不完全重合；压力增加对最大孔隙率及最大渗透率方向均无明显影响；0～350℃范围内最大孔隙率方向无明显变化，350～600℃范围内最大孔隙率方向开始有明显变化；0～350℃范围内最大渗透率方向无明显变化，但比最大孔隙率方向变化要显著；350～600℃范围内最大渗透率方向有显著变化，与最大孔隙率方向变化相同。

3.随着温度和压力升高，岩石试样微结构会发生变化(2-50um 尺度)，这是导致孔隙率和渗透率变化主要因素；在固定温压条件下，随着岩石试样微观分辨率增高，孔隙率和渗透率增加，变化梯度随分辨率增大而减小，当达到 2um 分辨率时，孔隙率和渗透率趋于稳定值；高温高压岩石孔隙率-渗透率各向异性不能忽略，并将影响岩石宏观物性参数。

S17-O-19S

山西省宁武县万年冰洞持续存在机制的数值模拟

杨少华，石耀霖

中国科学院研究生院计算地球动力学重点实验室
yangshaohua09@sina.com

1.引言

所谓冰洞，是指在自然条件下形成的、常年保存有冰体的洞穴，是一种十分罕见的地质遗迹。在国外，已发现的著名冰洞有斯洛伐克多布希纳冰洞、奥地利萨尔茨保市附近的爱斯里森卫尔特冰洞、阿根廷巴塔哥尼亚冰川国家公园中的冰洞等。这些冰洞规模巨大，形成于永久冻土带。在我国，已发现的冰洞有十多处。其中，宁武冰洞是世界上已发现的存在于温带气候环境的规模最大的冰洞。

宁武冰洞（以下简称冰洞）位于山西省宁武县境内的管涔山的阴坡。地理坐标：东经 112°10'、北纬 38°57'，洞口海波约 2120m。冰洞外部四季分明，6 月至 9 月平均气温约 14.6℃，年平均气温约 2.3℃。显然，外界的条件不能直接保存冰体。正是由于不能直接保存冰体的外界条件，使揭示冰洞中冰体保存机制成为一个难以解答的科学难题。已有数位学者对冰体的保存机制提出了几种定性的观点。归纳起来有三种：（1）由于负

地温梯度，冰洞中冰体才能保持常年不化。（2）由于该区存在负地热异常，冰洞中冰体才能保持常年不化。(3)由于多种因素综合，冰洞中冰体才能保持常年不化。观点（1）和（2)表达的意义相同，都强调有一种“冷源”的存在，从而形成了负地温梯度，进而保存了冰体。本文着重关注外界气温的年变化对冰洞内部温度的影响，运用有限元数值模拟手段，以期定量解释宁武冰洞冰体的保存机制。

2.模拟原理

冰洞形成问题中要考虑热传递的两种机制——传导和对流。当冰洞外部的气温高于冰洞内部的气温时（夏季），空气密度在重力方向上增大，空气没有整体运动，不发生对流。这种情况下，热能以传导的形式从外界向冰洞内部传递。当冰洞外部的气温低于冰洞内部的气温时（冬天），空气密度在重力方向上减小。当外部气温足够低时，冰洞内外的空气发生对流，热能以对流传热的形式从冰洞内部向外界传递。对流热传递效率远高于传导热传递，而且水冻结为冰可以释放大量潜热。这两点是模拟冰洞形成的关键。然而冰洞内空气对流形态和热传递效率的直接计算比较困难繁琐，因此把冰洞形状近似看成直立的圆管，根据直立圆管中自然对流传热实验关系式，确定温差与 Nu 数的关系式，进而换算为温差与等效热导率的关系。运用有限单元法解热传导方程。以当前温度分布为初值，计算温度随时间的演化情况。

3．结果与结论

考虑热传导、热对流和相变作用，经计算可知，当冰洞内部气温处于准稳态时，气温变化范围为-2.9℃至-3.9℃，平均气温约-3.4℃。自然对流传热的效率很大程度上受空间形状的控制。冰洞特殊的形状是冰体得以保存的前提。我们知道，冰洞外部的气温大致按正（余）弦函数而变化。一般地，冰洞内外空气的温度并不相等。自然对流的传热效率远远高于单纯热传导的传热效率。因此，夏季外界传入冰洞的热量少，冬季冰洞内部传到外部的热量多，在一年中，净热能是从冰洞内向外界传递的。当围岩向冰洞传递的热量约等于净带出的热量时，冰洞内部温度处于准稳定状态。

实际情况中，夏季时由于地表流水的影响，有冰体融化迹象。由于冰融化为水需吸收大量的热能，所以地表流水并未使冰洞内部气温有大的升高。冬季时冰洞内空气自然对流使洞内的水结冰，水结冰释放出的热量随空气自然对流带到洞外。综上，冰洞夏季热传导效率很低，冬季空气自然对流能有效冷却冰洞内部，这是冰体得以保存的根本原因；冰水相变起缓冲气温的作用，使得冰洞内部温度保持在零度以下较小的范围内波动。

S17-P-01

东南沿海中生代火山岩带地球化学特征

周建[1]，王学求[1]，张必敏[1]，陈恩科[2]，徐善法[1]，迟清华[1]，王玮[1]

1 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

2 陕西省地质调查院

zhoujian@igge.cn

中国东南沿海位于太平洋板块和欧亚板块的结合处，广泛分布着中生代火山岩，构成沿海岸带分布的延伸长达 1200 余公里、平均宽度约 500 公里的巨型火山带，成为环太平洋火山带的重要组成部分，并伴随有大规模的成矿作用。本文基于“深部探测技术与试验研究”专项“地壳全元素探测技术与实验示范”项目的“全国地球化学基准值研究建立与综合研究”（编号 SinoProbe-04），对东南沿海中生代火山岩带的地球化学特征进

行了探讨，研究表明：

（1）东南沿海中生代火山岩总体上为钙碱性岩系，酸性和中性火山岩大部分为高钾钙碱性系列，基性火山岩含钾量相对较低，为高钾和中钾钙碱性系列。基性火山岩富硅贫碱，和大陆拉斑玄武岩成分相似。酸性和中性火山岩总体上富钾、富硅，富铝，低钛。

（2）基性火山岩稀土分布型式较为平坦，为 LREE 弱富集平缓右倾模式，稀土总量较低，铕异常不明显，Ce 异常不明显，与大陆裂谷玄武岩相似；中性火山岩的稀土分布型式为轻稀土中度分馏，重稀土分馏不明显的比较缓的右倾型，弱的负铕异常，具有壳幔混源型特点；酸性火山岩的稀土配分曲线也为右倾型，轻稀土分馏比较明显，而重稀土分馏相对较弱。铕的负异常明显，形成右倾斜的“V”型分布模式。

（3）玄武岩以贫 Nb、Zr、Y，弱富集 Ba、Hf、Th、Ce 为特征，其蛛网图总体上呈一凸型，与大陆裂谷玄武岩蛛网图形态相似；中性火山岩和酸性火山岩的蛛网图分布模式极其相似，都存在 Ba、Ti、P、Nb、Zr、Ta 亏损，和陆壳重熔型花岗岩相似；都存在 Sr 的负异常,说明在岩浆产生过程中斜长石和磷灰石可能作为残留相；P 的负异常和 Pb 正异常非常强烈说明可能为地壳成因，同时我们也可以发现，酸性火山岩 P 和 Pb 的异常更为明显，可能说明了中性火山岩形成受到了地幔的混染。

（4） 综合研究表明：在中生代，东南沿海处于伸展拉张背景下大陆裂谷构造环境。上地幔部分熔融产生的玄武质岩浆侵位于下地壳底部，给下地壳提供了大量的热源，从而诱发了下地壳重新熔融，形成了大量的酸性火山岩。基性火山岩和酸性火山岩为独立的岩浆起源，中性火山岩由酸性和基性火山岩混合形成，其地球化学特征主要受酸性火山岩的制约。

S17-P-02

扬子地块西南缘与地幔柱有关的元素的地球化学空间分布特征

刘雪敏，王学求，徐善法

中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所
451245437@qq.com

本文以区域化探全国扫面计划 1:20 万水系沉积物数据为基础，系统制作了扬子地块西南缘与地幔柱有关的 11 个元素（Cr, Cu, Ni, Ti, V, Pd, Pt, Ir, Os, Rh, Ru）的 1:50 万地球化学空间分布图，描述了这些元素的空间分布特征，并分析了它们与地质体和已知矿床在空间上的对应关系。

Cu, Ti, V, Cr, Ni 地球化学块体的空间分布具有很好的耦合关系，主要分布于川西南-滇西北交界区和滇黔交界区，异常的浓集中心明显，具多层套合结构，大致与峨眉山玄武岩的

空间分布相一致。这主要与这些元素在玄武岩中的高背景值有关，还和同期镁铁-超镁铁岩体有关的 V-Ti 磁铁矿矿床（攀枝花、红格、白马、太和等）及岩浆硫化物型 Ni-Cu 矿床（杨柳坪、力马河、白马寨等）有关。

PGE (Pd, Pt, Ir, Os, Rh, Ru)在扬子地块西南缘明显富集，这与峨眉山玄武岩中铂族元素丰度高有关，特别是当原始岩浆的硫不饱和时，能形成 PGE 高含量的玄武岩和岩浆硫化物型 PGE 矿床（金宝山大型铂钯硫化物矿床）。但 PGE 异常的分布范围相对于 Cu, Ti, V, Cr, Ni 明显减小。Pd, Pt, Ru, Ph 异常主要位于川西南-滇西北交界区和滇黔交界区，分布面积依次减小；Os, Tr 元素的异常主要分布于川西南。Pd, Pt 的浓集中心

最明显，异常分布大致与峨眉山玄武岩的空间分布一致。这可能是因为不同铂族元素地球化学行为的差异：铁质岩浆相对富集 Pd, Pt, 镁质岩浆相对富集 Ir, Os, Rh, Ru，而峨眉山玄武岩相对富铁。

S17-P-03S

利用接收函数方法揭示中国大陆东南缘地壳上地幔结构

叶卓，李秋生*

中国地质科学院地质研究所

yezhuo5000@hotmail.com

中国东南部位于东亚陆缘南部、太平洋西岸，近南北方向展布，是一个与晚中生代大洋岩石圈俯冲及玄武岩浆底侵作用密切相关的大型花岗质火山-侵入杂岩带（Zhou and Li, 2000）。晚中生代期间，伴随太平洋板块的俯冲，中国东南部弧后地区处于以大规模盆岭构造和与其相关联的岩浆作用为特征的弧后伸展构造背景之下，在这一构造环境下，大规模的伸展断陷成盆及其同期的花岗岩浆造岭广泛发育（Wang and Shu, 2011; 舒良树和王德滋，2006），导致了中国大陆东南缘地区大规模的褶皱和断裂作用以及伴随着火山活动而形成的地热活动。

中国地质科学院地质研究所 2011 年 4-5 月间在福建省中部地区布设 20 台宽频地震仪，采用线性观测系统，测线走向为 NE-SW 向，观测网度为 5~30km，测线总长约为 250km。本文以上述观测剖面所采集的从 2011 年 5 月-2012 年 5 月一年的数据为研究资料，对记录到的远震波形进行了 P 波接收函数的计算，并且运用 H-k 扫描叠加方法估计了各台站下方的地壳厚度 H 和平均地壳波速比 V_p/V_s。以前人人工源地震探测结果为基础获得研究区的地壳结构模型，结合全球 isap91 模型，建立背景模型，对测线进行共转换点叠加（CCP 叠加），得到沿剖面的 Moho 面起伏变化特征以及上地幔过渡带的主要速度界面成像。结合地科院地质所 2008 年布设于福建沿海沿线的 20 台地震仪的观测资料研究结果，对比研究两条测线下方的地壳上地幔主要间断面深度及横向变化，确定中国大陆东南缘地区地壳厚度和泊松比的分布特征。从两条测线的 CCP 叠加结果来看，福建省中东部地区 Moho 面深度约为 30km 左右，沿测线从福州盆地往 NE 方向，地壳厚度增大，并且内陆测线下 Moho 深度相对于沿海测线稍大；CCP 叠加显示的上地幔转换带间断面（410km 和 660km 速度间断面）在这一地区较为平坦。H-k 叠加结果发现从内陆到沿海地壳厚度减小而地壳泊松比增大（沿海地区 $\sigma > 0.25$），推测原因为晚侏罗世以来，由于火山活动空前强烈，地幔高温物质上侵，在东部沿海的大陆边缘拗陷带形成了构造和热流活动最为强烈的地区（福建省区域地质志，1985），地壳中物质成分和状态也发生了改变。

S17-P-04

矿区可控震源地震勘探的定向地震波数据合成方法

姜弢[1,2]，林君[1,2]，徐学纯[3]，黄大年[4]

1 教育部地球信息探测仪器重点实验室

2 吉林大学仪器科学与电气工程学院\

3 吉林大学学科办

4 吉林大学地球科学与探测技术学院

jiang_t@jlu.edu.cn

为满足国家深部探测计划对深部矿区精细勘探的需求，高质量的深部地震勘探数据采集是一项关键技术。由于大部分矿体与围岩波阻抗差异小，且介质结构复杂时杂波干扰严重，因此导致矿区地震勘探接收数据信噪比极低。本论文针对来自矿体的反射波与

杂波干扰具有明显方向性差异特点，在地震数据预处理阶段，提出一种基于接收阵列的时域地震波束合成方法（TSBBRA Time-domain Seismic Beam-forming Based on Receiver Array）。使用该方法，能够从常规地震数据集内提取来自目标层的定向反射地震波数据，有效抑制杂波干扰。本文阐述了 TSBBRA 方法原理，即将不同时刻采集的空间位置不同的多个无方向波场叠加在一起，得到人工合成定向地震波场；并给出了针对原始数据合成定向地震数据方法，即先对单炮记录分组，然后通过延时、叠加合成定向地震记录。在吉林油页岩矿区，本文给出了采用 500N 便携式电磁驱动可控震源，在信号带宽为 35~150Hz、扫描时长 12s 条件下，用 TSBBRA 方法，分别针对浅层目标与深层目标，合成 3 元、9 元，27 元定向地震波数据。与原始数据相比，目标层信噪比提高了 3db ~ 35db，在时间剖面上观测到的目标深度从 200ms 扩展到 1000ms。

结果表明：当延时参数为 0ms 时，地震波方向垂直向下，与组合震源效果相似，采用 TSBBRA 方法可明显提高深部资料信噪比，进而达到提高勘探深度的目的；而对于中浅层目标，延时参数为 0ms 时，会降低目的层信噪比，并产生反射波“模糊”现象，降低分辨率。延时参数为 1ms，浅层反射波信号（150ms 以内数据）质量明显改善。针对不同反射层位，最佳延时时间在 0~1ms 之间。综上所述，TSBBRA 方法有利于提高矿区地震勘探数据信噪比，在可控震源输出力不变情况下，能够显著提高勘探深度。与同样采用波束形成原理基于源阵列的相控震源地震勘探方法相比， TSBBRA 方法的优点是不需要采用特殊的相控源，成本更低且方向控制灵活，因此是矿产资源勘探的有效方法。结合上面研究结果可知，采用基于接收阵列的时域地震波束形成方法，能够改善地震资料信噪比。延时参数不同，波束方向随之改变，目的层数据信噪比也随之变化。合理设置延时参数，接收来自目标层的定向地震波信号，对提高数据采集质量具有显著效果。

S17-P-05S

宽频带天然地震观测仪器及应用

吴海超

吉林大学仪器科学与电气工程学院

wuhaichao163@126.com

天然地震观测是研究地震波在地球深部的传播、地球内部的结构和地层属性、地震的孕育、发展及预测等科学问题的重要手段和方法，利用宽频带地震记录器进行天然地震探测，不仅成本低，又能够提供大深度的构造图像，可以为地球动力学提供宝贵的资料。

天然地震观测通常应用在大道距、长时间的作业环境下，除了稳定性和可靠性以外，还需要地震观测仪器具有大动态范围、宽频带、低噪声、低功耗等优良特性。

地球深部发生的天然震动信号频率极低，振幅也十分微弱，想要能够真实地记录深部天然地震信号，就必须提升地震记录仪器的低频采集特性和动态范围。记录器不但需要记录频率极低的深部震动信号，有时还需要记录频率较高的地面震动信号，因此对频带宽度的要求也较高。

随着 24 位模数转换器在数字地震仪中的广泛应用，地震探测的分辨率得到大幅度的提升，但同时因为地球深部的震动信号十分微弱，为了能够不失真地记录震动信号，要求记录仪器具有极低的自噪声水平，以提高信噪比。因此宽频带地震观测仪器的自噪

声水平成为影响地震仪器的重要指标，也成为影响观测效果的重要因素。

目前，应经实际应用的宽频带地震记录器主要有美国的 REFTEK 130 和 Q330 系列地震仪。REFTEK 地震仪是一种宽频带、大动态范围的三分量数字地震仪，动态范围为 130dB，24 位 A/D 转换器，REFTEK 地震仪既可以用来接受天然地震信息，也可用来接受人工爆炸震源信息。Quanterra Q330 宽频带地震观测系统是低功耗，高分辨率，宽频带网络的地震观测系统，Q330 应用独家专利，带有 DSP 的超低功耗 24 位△-∑A/D 转换技术，其平均功耗低于 0.75W，Q330 同时支持数据遥测传输和局域记录。Q330 已经在全球地震网络 GSN 和美国地调局 ANSS 项目中得到广泛应用。

目前，国内还没有专门应用于宽频带天然地震观测的仪器出现，为深入了解地震震源过程和地球深部结构，提高我国自主探测仪器的水平，我们需要克服传统地震仪器动态范围小及频带窄的缺点，将电子反馈技术和集成电路技术引入地震仪器中，努力降低记录器的自噪声水平和系统功耗，扩展频带范围和提高动态范围，使地震记录仪器适用于野外恶劣环境下的长时间观测作业，为地球动力学及深部探测提供仪器支持。

S17-P-06S

动圈式检波器极点补偿法降频的模拟实现及其标定方法研究

曹双兰

吉林大学 仪器科学与电气工程学院/地球信息探测仪器教育部重点实验室

caosl0665@mails.jlu.edu.cn

利用地震探测的方法获得地球深部精细构造，从而增强深部资源勘探和重大地质灾害预测能力，是目前地球物理学研究的热点之一。但是，随着地震探测深度的增大，问题随之而来—深层高频地震信号衰减严重、能量不足，到达地表的地震信号以低频信号为主，而且深度越大地震信号频率越低。为实现深层勘探只能依靠更低自然频率的地震检波器，因此低频检波器技术成为影响和制约深部地震勘探发展的重要因素。闭环极点补偿法是检波器低频补偿常用方法之一，其实现大都采用数字方式，但是由于信号在传输过程中的损耗以及 A/D 转换过程中的转换误差，使得数字补偿效果不是很理想。本文在经典闭环极点补偿法基本思路的基础上，提出了一种用模拟电路实现极点补偿的方法。

闭环极点补偿法的基本原理是在地震检波器的输出端串接一个闭环极点补偿网络，使补偿环节传递函数的分子项与检波器传递函数的分母项抵消，而未抵消的部分为一个自振频率可由一个电阻调节的二阶系统。通过调节电阻改变检波器的自然频率，从而达到低频拓展的目的。本文中动圈式检波器的传递函数为一个二阶系统，其极点由检波器的自然频率和灵敏度决定。构建的模拟补偿电路由三个运放组成，其传递函数的零点与检波器的零点相同。为了达到精确补偿的目的，首先需要采用正弦扫频激励法对目标检波器进行标定，将测定的阻尼比和自然频率代替标称值代入补偿电路可调电阻的参数计算中。本文选取的目标检波器为重庆地质仪器厂 2Hz 检波器，拟通过补偿电路使其自然频率降低为 1Hz，阻尼比保持 0.7 不变。

为测试补偿后的检波器特性参数，提出了一种正弦激励法与阻抗测量法结合的测试方法。该方法采用 AFG3021 型信号发生器产生 0.1-20Hz 的扫频信号作为激励信号；将信号源、检波器、补偿电路以及测试电阻串接形成测试回路；用吉林大学自制的地震仪作

为各节点信号的记录设备。由于串接了补偿电路，正弦扫频激励法拟合的目标函数对本文中的测试不再适用。将原检波器的目标函数用其阻抗形式代替，再由传递函数推导出补偿电路的阻抗，修正后的目标函数为二者阻抗串联。

测试结果为：补偿后检波器的自然频率为 0.9963Hz,误差小于 0.4%;阻尼比为 0.7163，与最佳阻尼比的误差不超过 1.4%，这一测试结果远小于检波器的标称值的波动范围—±10%。测试结果表明，本文设计的模拟补偿电路能在保证最佳阻尼匹配的条件下达到降低检波器自然频率的效果，并且提出的检波器测试方法准确度高，测试过程简便。值得一提的是，该方法不仅成本低，并且补偿电路的尺寸仅为 64*41mm，易于集成，这在很大程度上解决了低频检波器价格昂贵、体积和质量过大的问题。

S17-P-07S

基于 MPI 的大地电磁三维反演并行计算

胡祥云[1]*，彭荣华[1]，韩波[1]，李焱[1,2]

1 中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院
2 中国国土资源航空物探遥感中心
prhjiajie@163.com

对地壳与上地幔物性与结构的研究，将为了解地壳运动的过程及研究其动力学机制提供重要的参考依据。大陆岩石圈的电性结构特征作为研究岩石圈的一个重要物性参数，可以为大陆动力学的研究提供重要的支撑。由于大地电磁法（MT）利用的是频带极宽的天然电磁场场源，其勘探深度可达上百公里。因此大地电磁测深法（特别是长周期大地电磁）是研究地球深部电性结构与构造的主要地球物理方法，已经被广泛用于固体矿产、油气资源的勘探以及壳幔结构探测等领域。

随着中国大陆深部探测计划之一的大地电磁标准网的初步建立，已经获得了大量大地电磁数据。如何通过对这些数据的有效处理获得可靠的地下电性特征，特别是深部壳幔电性结构，建立起岩石圈的三维电性结构模型，这对于中国岩石圈的大陆动力学机制研究具有重要意义。虽然现有的大地电磁二维反演技术已发展成熟，但是由于真实地质背景是三维的，特别是在地质条件复杂的地区，应用二维反演所得到的地下电性结构往往是不可靠的，甚至是错误的。为了解决这种问题，就需要进行大地电磁的三维反演。地下三维电性特征对于研究岩石圈的物质构成，地壳运动过程及其动力学机制等具有重要意义，同时也将为寻找地下深部大型矿产提供有用信息。三维电性结构的获得需要发展高效的三维大地电磁反演算法，以解决大地电磁三维反演中存在的计算量巨大及计算时间长这两大问题。

近年来，MT 的三维反演问题成为国际上研究的热点。相对于一维和二维假设，更接近真实情况的三维反演的优势是显而易见的。然而在理论相对成熟的情况下，MT 三维反演的实际应用尚未大范围普及，主要原因在于计算代价（内存与速度）过高。三维大地电磁反演的一个主要问题是计算量太大，特别是频点数和测点数较多、模型网格剖分较密、采用全张量阻抗元素计算灵敏度矩阵时，普通微机是很难承受的，运算速度更是让人难以接受，这也是目前制约三维大地电磁反演推广使用的最大障碍，并行计算的出现使全三维反演真正实用化成为可能。并行计算是指同时使用多种计算资源解决计算问题的过程，它能快速解决大型且复杂的计算问题，克服单个计算机上存在的存储器限制，既可以提高计算速度，又可以节省内存开支。因此，将并行处理技术引入三维大地电磁反

演领域，为从根本上解决三维大地电磁反演计算的难题提供了一种有效途径。

本文将MPI并行程序设计的思想应用于MT 的三维反演计算中，在已有的串行程序基础上，设计了相应的并行程序，并通过理论模型的试算来测试并行程序的性能，以期能充分利用现有的计算资源，从本质上提升MT 三维反演的计算速度，有助于推动大地电磁三维反演的实用化。为后续大规模的中国大陆深部探测大地电磁测深数据的处理提供有效的技术支持。

S17-P-08

极低频电磁法典型矿区模型三维积分方程法正演研究

许诚，底青云

中国科学院地质与地球物理研究所 中国科学院工程地质力学重点实验室

xucheng@mail.iggcas.ac.cn

极低频电磁法是一种新的地球物理电磁方法。该方法通过在近地表高阻地区铺设长距离（几十至上百公里）大功率（大于 500千瓦）的固定发射源，发射极低频（0.1~300Hz）电磁波，使得可以在大范围内（全国范围）同时接收信号，达到大深度对地电磁探测的目的，该方法为传统的MT、CSAMT法的重大改进。极低频电磁法极大地提高了信号的强度以及探测的深度，可有效探测10公里深度范围内的资源。

该方法采用大功率固定源，在数百~数千公里范围内观测，三维正演模拟此时，对于全空间离散的有限元和有限差分法，计算量巨大。相比之下，积分方程法只需要对含有异常体的部分进行离散，计算量相对较小。当模型较大，而异常体相对较小时，积分方程法具有很大优势。加之，极低频电磁法中需要考虑电离层对电磁场的影响，这和传统的CSAMT法是有区别的，因此本文建立了电离层、空气层、固体地球层耦合的“地-电离层”模式全空间模型，推导了考虑电离层影响的有源电磁场的公式，进行了三维积分方程法正演计算。积分方程法认为接收点处的电磁场是由外部电流产生的背景场与异常体处的异常电流产生的异常场的和。要计算异常场处的异常电流需要知道异常体处的电场总场，这在实际计算中时很难精确求解的。因此，国际上已经发展了许多积分方程法的近似解法，其中准解析近似解是一种精度较高的方法，相比其它的近似解，如Born近似解，它们的计算量基本上是相当的，但是前者的计算精度要远远高于后者。在此基础上，对一个典型矿区模型进行了积分方程法准解析解法正演计算。该矿区位于内蒙古-大兴安岭成矿带南段边缘，主要以钼矿化为主。该矿区出露的主要岩石为灰岩，电阻率相对较高。矿区主要的侵入体为燕山早期第一次侵入中细粒的黑云母花岗岩，岩性单一，电阻率高。矿区内的花岗斑岩在燕山早期的黑云母花岗岩之后侵入的小型侵入体，为燕山早期的第二次侵入，该花岗斑岩与钼矿化关系密切其冷却结晶时所析出的含矿热液，是该矿区钼锡钨多金属矿化的主要物质来源，是该区的主要赋矿岩体，电阻率低。在灰岩和黑云母花岗岩的接触带上含有交代钼矿化带，电阻率较低。

结合极低频电磁法的实际工作模式和参数，本文进行了三维积分方程法正演模拟，发射天线位于我国华中地区，长100km，发射电流200A，接收点位于内蒙古东南部地区，收发距为1800公里。文章给出了模型中心剖面处的频率-视电阻率拟断面图。从正演计算结果可以看出，频率较高的时候主要反映的是浅部的灰岩地层，当频率较低时，受致密黑云母花岗岩的影响，电阻率值变高，呈明

显的两层结构。在左右两侧钼矿化带和花岗斑岩侵入体所在位置出现了两个明显的低阻异常。电磁法对高阻体的反映不如低阻体，因此图中高阻侵入体异常的反映不如钼矿化带明显。正演结果很好地反映了异常体的位置和形态。

S17-P-09

胶黄铁矿与碳酸盐结核——可能的天然气水合物识别标志

董进[1]，高锐[1,2]，张世红[3]

1 中国地质科学院地质研究所

2 中国地质科学院深部探测与地球动力学重点开放实验室

3 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室

djin@cugb.edu.cn

天然气水合物是一种新型的绿色能源，由于其具有无污染、分布浅、总量大、能量高等优点，受到各国政府和科学界的密切关注。虽然我国天然气水合物调查研究工作起步较晚，但发展较快，目前已在南海北部陆坡区采集到实物样品，标志着我国天然气水合物调查研究水平跨入世界领先的行列。

天然气水合物是由甲烷和水分子构成的冰状固态物质。其存在于低温高压环境，在自然界中，主要分布在水深大于 300m 的海底沉积物中。天然气水合物的地震勘探标志主要有似海底反射层（BSR）、振幅空白带（Blanking zone）和波形反转等。目前，在我国南海北部陆坡的东沙群岛、西沙海槽和笔架南盆地等地已识别出似海底反射层和振幅空白带等地球物理标志，并推测这些地区的天然气水合物胶结层可能厚约 80-620m。神狐海区等地发现的由天然气水合物泄漏构成的冷泉碳酸盐岩进一步证实南海北部天然气水合物存在的可能性。

此外，甲烷和硫酸根离子的浓度梯度变化也是检测天然气水合物存在的重要指标，尤其是硫酸盐-甲烷转换带（SMT）能够确定天然气水合物胶结层的上部界面。现代海洋研究表明，在富含有机质的现代海洋沉积物中，从沉积-水界面往下，根据反应物和生成物不同可分为几个成岩带，其依次为：游离氧还原带、锰还原带、铁还原带、硫酸盐还原带、甲烷生成还原带。在硫酸盐还原带，硫酸根离子在细菌作用下被甲烷氧化（AOM）生成硫离子。该反应可导致孔隙水中硫酸根和甲烷含量减少，造成浓度梯度变化。我们之前的研究显示，硫酸根的甲烷厌氧氧化能生成大量的 HCO_3^-，使碳酸盐沉积析出。析出的碳酸盐能胶结原有的沉积碎屑形成碳酸盐结核。由于这些碳酸盐结核主要形成于硫酸盐-甲烷转换带附近，因此海底沉积物中大量出现的碳酸盐结核有可能指示天然气水合物的存在，尤其是确定天然气水合物胶结层的上顶面位置。此外，硫酸盐还原作用形成的硫离子可与溶解铁反应生成黄铁矿和胶黄铁矿。其中胶黄铁矿磁性较强，且具有较大的饱和等温剩磁/磁化率比值（SIRM/X）等磁学性质，因此能用岩石磁学方法快速检测得出，可作为判定天然气水合物存在的另一指标。虽然胶黄铁矿不太稳定，容易发生热分解，但封闭性较好碳酸盐结核能防止胶黄铁矿发生变化。

S17-P-10S

新加坡地应力测量研究

孟文

中国地质科学院地质力学研究所

mwen19@sina.com

2008 年和 2009 年，通过和新加坡宜康地质技术有限责任公司合作，在新加坡 18

个浅钻孔中进行了水压致裂地应力测量，这 18 个钻孔自北向南基本贯穿了新加坡国土。通过测量获得了新加坡地壳浅部的现今应力状态，为新加坡拟建地下管缆隧道设计施工提供了地应力依据，也为世界应力环境数据库提供了参考。测量工作严格按照国际岩石力学学会颁布的规范进行，测量曲线标准、规范，瞬时关闭压力的判读方法采用了 dtdp/法和 dPdT/法。通过测量获得了新加坡地壳浅部主应力的量值范围和相互关系。初步分析了新加坡浅部构造应力场的分布特点。测试结果表明，在 38.00～56.95m 深度域内最大水平主应力 σ_H 值为 3.45～9.64MPa，最小水平主应力 σ_h 为 2.49～6.28MPa。水平主应力和用上覆岩层重量计算的垂直应力 σ_v 之间的关系为 $\sigma_H>\sigma_h>\sigma_v$，最大、最小水平主应力平均值分别是垂直应力平均值的 5.13 倍和 3.23 倍，表明新加坡应力场以水平应力为主导。初步分析认为，新加坡陆域浅部构造应力场的量值大致呈南、北两端偏低，中间高的态势，在北端最大与最小水平主应力值都小于它们各自的平均值，而南端则与平均值相当。本次测量结果显示新加坡最大水平主应力优势方向为 NE~NEE 向。由其他资料反映的新加坡邻区的主应力方向及由震源机制解得到的主压应力轴方向为 NNE～NE 向，与新加坡的测试结果大体一致。新加坡现今构造应力场状态与印度板块、澳大利亚板块、菲律宾板块与欧亚板块的汇聚作用有着密切的联系。根据库仑摩擦滑动准则，断层面摩擦系数取 0.6～1.0，分析了研究区内断层产生摩擦滑动的可能性。各孔$(\sigma_H-P_o)/(\sigma_v-P_o)$比值均已超过了断层摩擦滑动的最小临界值，大多甚至超过了断层滑动的最大临界值，可见新加坡现今构造应力场具有较高的能量累积。较高的水平应力及其较高的差应力是影响地下建筑物围岩稳定的主导因素。

S17-P-11S

埃及 Aswan 水库触发地震的孔隙弹性耦合有限元分析

程惠红 [1,2], 张怀 [1,2], 朱伯靖 [1,2], 石耀霖 [1,2*]

1 中国科学院计算地球动力学重点实验室

2 中国科学院研究生院地球科学学院

chenghuihong@163.com

Aswan 水库蓄水近 17 年后，距坝体约 50km 处发生了 M_L5.7 级地震，该震发生是否为水库蓄水引起一直受到质疑，且库区附近地震活动一直在持续，是众多世界水库地震中突出例子之一。长序列余震活动时空分布与水位变化相关性统计分析，使其水库地震典型特征属性逐渐被接受，但蓄水过程对 Kalabsha 断层及与其共轭断层影响研究仍处于探索阶段，尚无力学定量研究结果。据 Rice、Bell、Talwani 等研究，水库地震的发生与水库水位的变化、水库的大小和库区地层带流体力学性质以及与孔隙压力的增加有关。因此，可用孔隙弹性耦合理论对 Aswan 水库蓄水引起库区应力场和孔隙压力场进行分析，一方面可以模拟水库水位变化产生的弹性载荷效应(瞬间响应)，另一方可以模拟孔隙压力扩散过程(延迟响应)。

本文基于孔隙弹性耦合，建立了 Aswan 水库库区及周围断层构造三维有限元模型，计算了水库蓄水引起库区应力场、孔隙应力和断层上库仑应力的动态变化响应及蓄水累积的应变能。研究结果表明：Aswan 水库水位上升，使得库区发震断层上孔隙应力和库仑应力不断增大，达到 0.1MPa，在 M_L5.7 地震震源处库仑应力量级为 0.01MPa，达到触发地震发生条件；水库蓄水中水体荷载产生弹性附加应力场对库仑应力变化贡献所占比例不到 3%，蓄水造成的孔隙压力在库仑应力变化中占主导因素；从开始蓄水到 M_L5.7 地震发生引起的最大形变量达到 0.8m，引起的

形变能为 1.12×10^{15} 焦耳，虽整体上应变能大但应变能密度低，震源体积内弹性应变能不足地震波释放能量的万分之一；1981 年 11 月 14 日 Aswan 水库库区 Kalabsha 断层上的 M_L5.7 级地震为水库触发地震。

S17-P-12S

有限元数值模拟中描述地震位错的一种有效方式

林晓光，孙文科，张怀，石耀霖

中国科学院计算地球动力学重点实验室 中国科学院研究生院

linqi1301@126.com

1.引言

位错理论经 Steketee(1958)引入地震学发展至今，许多地震学家针对不同的地球模型和断层类型计算出了同震变形的位移表达式，使得计算地壳形变场的解析法和半解析方法几乎到了完美的程度。其中，应用比较广泛的方法有以弹性半无限空间介质模型为基础，对前人各种断层类型进行总结的 Okada(1985、1992)方法，它已经成为计算半无限空间介质地球模型的经典方法；有以粘弹性分层模型并考虑地壳重力影响的汪荣江(2006)方法及孙文科(1992)以球对称、自重、成层、完全弹性地球模型为基础的准静态球体位错理论方法等。同时，针对地震位错的等效问题也引起了地震学家的极大兴趣，Maruyama(1963)对于一个有限断层首先证明断层滑动的力等效于位错面上的双力偶分布；随后 Burridge and Knopoff (1964)完美论证了地震位错等效于一对双力偶，并且此结果同样适用于各项异性介质中，此结果至今已完全深入每一个地震工作者心中。

由于上述解析和半解析方法的有效性只是针对于规则几何地球模型，对于实际地震区域的地质构造条件并不能建立很好的模型，例如各项异性、地形因素等；而有限元数值模拟方法就可以很方便地构建比较真实的地球模型，这也是基于有限元数值模拟的原因。

2. 方法

首先利用有限元数值模拟方法——即断层采用双节点处理，计算了二维弹性半无限空间模型下垂直倾滑断层产生的地表形变，并以 Okada 的关于计算半无限空间介质地球模型的经典解析方法来检验有限元计算结果的正确性，随后对任意倾角的断层进行了理论验证；结果显示出方法的正确性。

在对内部形变验证的同时，发现有限元方法在同震形变前后断层有一个旋转，这说明在进行数值模拟时，断层处的特殊处理必须加以考虑。然而这种特殊处理并不是通常所认为的双力偶模式。

3. 讨论与结论

在验证有限元方法结果的正确性时，发现有限元方法中断层在形变前后有发生了旋转，而 Okada 的理论解析解却显示断层面并无偏转，针对这一情况，在对断层旋转经过特殊处理后仍能得到完美的结果，但这样的处理方式却违背我们通常所公认的双力偶情况；然而在不对断层的旋转进行特殊处理的情况下，所得到的数值解仍然能够很好的与解析解相吻合，说明在不考虑断层旋转的前提下，采用断层的双节点处理方法仍然是一种很有效的方式。

以上讨论只是在简单的位错理论模型下进行的初步探讨；将此方法应用于真实的地震情况，还需要进一步的研究；同时，将地球模型扩展到三维空间并考虑地球参数可以更好地探讨形变场。

S17-P-13

水库对断层影响广义库伦应力数值模拟研究

朱伯靖 [1,2]，石耀霖 [1,2]*

1 中国科学院计算地球动力学重点实验室

2 中国科学院研究生院地球科学学院

* shiyl@gucas.ac.cn

摩尔－库伦应力准则是分析水库对断层影响的基本理论依据，而水对库伦应力供献是研究水库对断层作用机理最基本内容之一。但鉴于不同水库对断层影响问题的断层构造区地质构造物性属性各不相同，库伦应力中水供献部分分量大小对不同水库对断层影响问题也存在很大差异。能否寻找一些共性影响因素，对水库断层问题得到一些相对普适定量结果，是研究水库断层机理的基本思路。

本研究在对高温高压岩石孔隙率、渗透率物性研究基础上，以紫坪铺水库－龙门山断层，日本福岛核电站泄露及日本 311 地震为例，深入研究了水对库伦应力供献大小和方式，首次得到了考虑水体载荷、静态孔隙压力(pore stress)及动态孔隙压力（viscous pore stress）的广义库伦应力准则解析显式表达式，并基于该准则应用量子力学格子波尔兹曼理论建立了相应数值方法，在并行中央处理器&图形处理器上数值拟了水对对库伦应力供献的大小和方式。主要研究成果如下：

1. 水库断层库伦应力水的三个作用分量（水体载荷、静态孔隙压力、动态孔隙压力）中，孔隙压力（静态孔隙压、动态孔隙压）供献要大于水体载荷影响，动态孔隙压力与静态孔隙压力在同一个数量级别；随着渗流深度增加，孔隙压力也不断增加，动态孔隙压力增加速率大于静态孔隙压力增加速率。由于断层多孔介质属性，随着渗透深度增加水在断层结构中渗透率不断增加，微观高比表面积使水黏性作用不能忽略，微孔隙流体紊流特征普遍存在(宏观流速低流速层流，微观尺度部分区域高流速紊流，流动不再稳定，在死孔／半死孔区域出现涡)。

2. 随着渗流深度增加，水对断层构造区域影响从宏观影响为主，转变为微观影响为主。基于连续介质假设纳维-斯托克斯方程不能处理壁面与流体间速度滑移，固液界面边界条件本身成为求解变量，微观粘度与体积粘度不一致，微观流体与固体影响传统经典流体力学理论已不再适用，需借助于基于量子力学第一性原理的格子波尔兹曼方法来分析。在宏观流动中居于次要地位而被忽略的表面力超过了体积力，而成为微流体运动支配力，这就意味着传统宏观流体驱动技术和研究方程在微流体研究中会被修正（体积力依赖于特征尺度三次幂，表面力依赖于特征尺度一次/两次幂，随着流体特征尺度降低，表面力作用不断增强）；随特征尺度继续减小［pico-nano-micro］表面现象作用迅速增加[表面积与体积比迅速增大]，使微观流体运动呈现出与常规流体运动不同性质）。水库对断层影响研究中，断层构造区物性参数问题、水的微观影响的宏观效应问题是不能忽略的。

S17-P-14

基于光纤激光技术的深井地震观测

张文涛 [1]，黄稳柱 [1]，李丽 [2]，刘文义 [3]，李芳 [1]

1 中国科学院半导体研究所

2 中国地震局地球物理研究所

3 中国地震局第二监测中心

zhangwt@semi.ac.cn

深井地震观测能够减少地面噪声的影响，是地震前兆观测的一种有效方法。然而，随着钻井深度的增加，温度、压力不断增高，现有电学传感器暴露出了一系列问题，主要包括：散热问题、防水密封问题、长距离信号传输问题、怕雷击问题等。光纤传感器是

利用光纤进行传感和传输的新一代传感器，具有耐高温高压、信号可长距离传输、防雷击、抗电磁干扰等优点，近年来获得了广泛的研究和关注。开展基于光纤激光地震计的研究，有望解决现有深井地震观测仪器的问题，为钻孔地震监测提供一种全新的技术手段。

光纤激光地震计是利用光纤激光器作为敏感元件来探测地震波的传感器。通过在一段有源光纤上写入光栅形成 DFB 光纤激光器，并进行增敏封装，即为安装于井下的光纤激光地震计探头。当有地震波时，光纤激光器的输出波长会发生变化，通过检测波长的变化即可探测到地震波信号。由于光纤激光器极窄的输出线宽（<3 kHz），结合干涉式的解调方法，大大降低了系统的本底噪声。地面解调系统采用基于光纤干涉仪和相位产生载波算法的解调方案，系统的最小可测信号达到 ng 量级。井下地震计探头和地面解调系统之间通过光缆连接，利用一体化的地震计封装技术和光纤可长距离传输信号的优势，使该光纤激光地震计可工作在数千米的深井。

光纤激光地震计在云南省普洱市地震局的地震观测井中进行了井下试验，并与现有地震仪进行了对比。地震观测井深 370 m，为自流井，光纤激光地震计安装于井下 120 m 处，井底和井口分别安装有两台三分量地震计（图 1 为下井安装照片）。光纤激光地震计的外径 60 mm，传输光缆的长度 400 m。传输光缆直接由井中接入观测室内进行数据记录和分析。在进行观测的 3 天时间当中，成功记录到了发生在普洱地区的里氏 1.2 级地震。通过对传统电学地震计和光纤激光地震计采集到的地震信号进行分析和对比，发现光纤激光地震计相比于现有地震仪表现出了更高的灵敏度和信噪比。

通过对光纤激光地震计及其在深井地震观测中的应用研究，取得了质量较好的地震观测资料，验证了光纤激光地震计用于深井地震的可行性和实用性，为下一步光纤激光地震计的改进和推广奠定了基础。

S17-P-15

万米超深科学钻探装备安全风险评估方法

刘佳琳[1]，黄大年[2]，焦健[2]

吉林大学管理学院

吉林大学地球探测科学与技术学院

liujl@jlu.edu.cn

根据地壳探测计划部署，中国大陆万米超深科学钻探装备“地壳一号”已经完成验收程序即将开钻。这是一项大型系统工程，具有三高的特点，高技术、高投入、高风险，降低风险是确保整个探测计划得以顺利实施的关键任务。本文主要针对钻进过程中钻具的安全性进行风险评估工作。

本文提出利用仿真技术和风险评估技术相结合的方法，模拟和研究深部钻探过程常有的卡钻、钻具断落和井下落物等事故的发生，并提出事前预警，达到降低事故发生几率的目的。钻具的疲劳是事故发生的主要祸首，直接影响钻进过程中的安全性。理论上，安全性评估问题可以抽象成对钻具疲劳极限的估计问题，并实施定量描述、追踪预测。钻具疲劳程度模型为：

$$N=C/S^m$$

其中，S 代表结构的应力，N 代表循环次数即疲劳指标，m 和 C 都是钻具材料的参数，根据具体材料可以查到。值得关注的是结构应力，反映钻具的结构应力受到多种因素的影响，可表示为函数关系 $S=f(x_1,x_2,\ldots,x_n)$，影响因素包括：钻具的材料、直径、长度、接口松紧次数、磨损率、以及钻具的受力程度等。在判断风险问题时，钻具的受力情况

成为最重要的关注对象。受力来自于多个方面，主要是随着钻孔深度的增加，外界地层结构对钻具的压力会随之增加，压力来源于地层结构的变化和操作过程中作用在不同机械部位上的压力以及应力变化和传输，构成了诸多不确定的因素和与风险有直接关系的联系。就环境和压力而言，可以通过物探手段获取数据信息作为判断的基础，利用三维可视化和人机交互分析平台进行数据的相关处理和解释。处理后的结果被输入到视景仿真软件中，可以从定性和定量角度体现环境影响因素和施加的影响力，从而达到模拟实际钻探情况的逼真效果，为研究人员提供分析多源复杂信息的场景环境。该环境将随着深度的不断增加而改变，从而要求建立一种随深度变化形成的动态分析和评估手段，通过实时研究和计算，实现对钻具的疲劳变化进行跟踪，并对其达到极限值的风险阈值进行定量估计。

在此基础上，可以加强反映风险大小的直观展示技术，利用蒙特卡洛模拟方法对疲劳的极限程度做出估计与评价。例如，上述疲劳程度模型中的将被看成是一个随机变量，在开始时给定先验信息确立评估初值，随着钻井进尺加大，仿真环境和相关数据变化，采用贝叶斯方法通过迭代方案对初始步骤评估结果进行更新，然后用 Markov Chain Monte Carlo（MCMC）计算后验分布，从而得到随着深度的增加钻具疲劳程度风险大小的概率，同时实现了对疲劳参数变化的有效跟进和预测。上述所展示风险评估的过程与以往风险评估过程不同，以往的做法多以单一主观的方法作为研究手段。而在此所提出的过程虽然是在事前做出估计与判断，但做到了参照动态过程的演示，这依赖于全程引入可视化的仿真技术作为辅助手段。此项手段的引入，改变了目视和凭经验控制风险的传统做法，具有一定的先进性，可以避免因人而异的风险决策的不确定性，极大的提高了风险评估依据的可靠性。在计算风险时运用的 MCMC 方法较之以往的单纯定性的风险评估方法加强了定量依据的获取和使用，通过将相关地学数据引入分析过程，考虑到井间和相邻地质环境影响因素，使风险评估结果更具说服力。同时，仿真模拟可以有效集成和反应万米超深钻探所涉及的多种实际参数和变化过程，为钻进复杂过程和安全性提供了有效的可视化分析手段。该方法的提出将在未来的实际钻进过程中得以验证和逐步完善，为减小钻探风险提供一条有效的解决方案。

S17-P-16

柴达木盆地及其周缘中、新生代构造体系的形成与演化

陈宣华[1]，党玉琪[2]，尹安[3]，汪立群[2]，蒋武明[2]，蒋荣宝[4]，周苏平[2]，刘明德[2]，陈正乐[4]

1 中国地质科学院

2 中国石油青海油田公司

3 Department of Earth and Space Sciences, University of California, Los Angeles, California 90095-1567, USA；

4 中国地质科学院地质力学研究所

xhchen@cags.ac.cn

柴达木盆地是世界屋脊青藏高原内部最大的、沉积巨厚的山间盆地，也是我国西部一个大型的中、新生代叠合含油气盆地，具有特殊的高山深盆构造地貌特征。地貌上，柴达木盆地周缘分别被祁连山、东昆仑山和阿尔金山所限，具有特殊的盆山构造格局和岩石圈板块地球动力学背景。构造上，柴达木盆地的北西边界是左行走滑的阿尔金断裂，东北边界为祁连山—南山逆冲断层带，南界为东昆仑山及其西部的祁漫塔格逆冲断层带。

由于其面积之大，海拔之高，新生代沉积物又如此之厚，所以柴达木盆地的成因一直是青藏高原发育历史中的一个还没有解决的重大问题，多年来一直存在争议。目前，关于柴达木盆地的成因主要有以下几种模式和观点。1）复向斜模式认为，柴达木盆地是一个大的新生代复向斜，是一个沿中地壳滑脱带拆离的褶皱带。2）阶梯跳跃与澡盆充填模式认为，柴达木盆地是一个在中新世的时候由于青藏高原北缘不连续的、阶梯跳跃式的高原生长而被“捕获”的盆地，柴北缘和东昆仑均发育向柴达木盆地仰冲的逆冲断层系。3）推拉门模式认为，柴达木盆地是由于阿尔金断裂新生代左行走滑作用而使得阿尔金山沿断裂向西南方向的推拉门式递进运动、以及东昆仑和祁连山新生代逆冲断层带的发育而被关闭的盆地。4）更有的学者推测，柴达木盆地是从青藏高原西部的帕米尔向东挤出的结果。柴达木盆地的形成与演化，与印度－亚洲大陆碰撞、青藏高原隆升等显著的新生代地质过程存在着紧密的动力学联系。

本文通过柴达木盆地及其周缘山系中生代以来断裂构造体系形成、地质构造与地貌特征、地质热年代学演化与盆山耦合关系的分析研究，分析了柴达木盆地中生代原型盆地的形成与新生代柴达木盆地的构造演化，厘定了中生代和新生代柴达木盆地的构造性质和盆地类型，并将中、新生代柴达木盆地的形成与演化归纳总结为以下几个阶段：1）中生代原型盆地形成阶段：中生代柴达木盆地是古特提斯洋二叠－三叠纪东昆仑－柴达木岩浆弧北边的弧后伸展盆地，由一系列典型的伸展断陷盆地组成。来自地幔的基性岩浆底侵和壳幔岩浆混合作用，引发了具有反鲍文系列演化趋势的二叠－三叠纪东昆仑－柴达木岩浆弧的形成，构成了柴达木盆地基底地壳生长的重要方式。2）新生代早期陆内前陆盆地形成阶段：柴达木盆地与周缘山系的盆山耦合主要发生在新生代。新生代早期（63.7~61.2 Ma），由于印亚碰撞最初的远程效应，在柴达木盆地北缘（简称柴北缘）发育了一系列逆冲断层，形成柴北缘逆冲断层系，主要为以被动顶板双重构造、三角楔形体构造为代表的厚皮构造型式。由此，柴达木盆地成为柴北缘逆冲断层系的前陆盆地系统。在柴达木盆地南缘，始新世早期（~52.9 Ma）可能存在一个夭折了的小型陆内前陆盆地。3）走滑前陆盆地形成阶段：新生代阿尔金断裂在始新世中期（~49 Ma）开始的左行走滑作用，使得阿尔金山隆升，柴达木盆地外流水系被切断，车尔臣河发生大的拐弯，柴达木盆地内流水系开始形成，由此成为走滑前陆盆地。4）背驮式盆地形成阶段：渐新世晚期－中新世（24.7~10.0 Ma），由于柴达木盆地南缘地区发育的向东昆仑山方向仰冲的逆冲断层系作用，使得东昆仑山脉自东向西逐渐隆升和扩展、柴达木盆地成为背驮式盆地。在上新世－更新世（5.1~0.9 Ma）时期，柴达木盆地南缘继续保持着背驮式盆地的发育过程。5）柴东基底隆起与盆地演化：由于基底逆冲断层系的强烈发育，柴东基底在中新世早期（~17.8 Ma）已大片出露，形成柴东斜坡带。中新世晚期以来，右行走滑的温泉断裂开始形成，柴达木盆地与共和盆地彻底分离。本文推测，由于柴达木盆地东部与西部存在着前中生代基底缩短变形与中、新生代沉积盖层缩短变形之间的构造转换，导致了新生代柴达木盆地具有箕状形态。新生代柴达木盆地的形成与演化，见证了与前人提出的青藏高原向北生长模式（England et al., 1986; Tapponnier et al., 2001）不同的高原反序生长过程。

总之，新生代柴达木盆地是在中生代伸展盆地群（原型盆地）基础上形成的叠合盆

地，是与柴北缘逆冲断层系有关的陆内前陆盆地、与阿尔金断裂有关的走滑前陆盆地和与东昆仑逆冲断层系有关的背驮式盆地，逆冲和走滑断裂在新生代柴达木盆地的形成与演化过程中起到了决定性的作用。

S17-P-17S

华北地区地壳与上地幔三维电性结构特征

董浩 [1,2], 魏文博 [1,2], 叶高峰 [1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理信息与技术学院
2 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室和地质过程与矿产资源国家重点实验室
donghao.cugb@gmail.com

华北克拉通的主体形成于太古代至元古代，是世界上最古老的克拉通构造之一，其构造格局复杂，大体可以分为东部，西部及它们之间的泛华北造山带三个主要块体。该地区的地质构造研究，对揭示古老克拉通演化具有十分重要的意义。近年来，利用人工反射和折射地震剖面、宽频地震层析成像和接收函数成像等方法，在本区域进行了许多探测、研究，取得大量地震资料。而相比之下，关于该地区的电性结构研究工作并不多，虽然近年来已经有一定数量的电性剖面资料的积累，但其剖面覆盖区域较为分散，难以得到区域内电性结构的整体认识。大地电磁测深（MT）方法具有对地下高导构造反映敏感的特点，因此利用其深部探测结果，容易发现地壳和上地幔中存在的局部熔融体、热流体、含盐水溶液和石墨化异常等高导电性结构，为探讨大陆深部的动力学过程和动力学机制提供重要的依据。为了深入研究华北地区地壳和上地幔导电性结构，SINOPROBE 专项 01 项目在华北布设了 1°×1°网度的 MT 阵列式示范观测网，其中包括约 1400 个宽频(BBMT)和长周期(LMT)大地电磁测深站点的数据。

本项研究仅选取 SINOPROBE-01 项目于 2009-2011 年在华北地区采集的 108 个宽频及长周期大地电磁测站的数据，采用远参考 robust 估算方法进行资料处理，并使用三维大地电磁反演方法对研究区域的岩石圈电性结构进行了建模和研究，获得华北地区三维电导率模型的初步结果。得到的模型显示，华北地区的东部和西部的导电性结构有着显著差异。华北克拉通的西部一般被认为是亚洲最古老和最稳定的块体之一，其地温梯度不高，具有较高的地震波速度。人们通常认为，稳定克拉通块体的岩石圈是冷的、刚性的，具有较低的电导率；然而，与此相反，在华北西部地区，尤其是鄂尔多斯地块的中下地壳及上地幔存在着大范围分布的高导构造，这可能与较低比例(<1%)的部分熔融有关；华北克拉通西部地区的中部 37.5°N 附近存在着明显的电性梯度带，梯度带南北两侧的电性结构也存在着较大差异。一般认为，华北克拉通东部受到岩石圈减薄的影响，其厚度已从约 200 公里厚减薄至 80 公里左右，具有相对西部地区较低的地震波速和较高的地热流分布特征；然而，华北电导率结构模型却显示在华北克拉通东部的中下地壳到上地幔存在着大规模的高阻结构。此外，在华北地区的上地幔 120-150 公里左右的深度，普遍存在着低阻界面，可能揭示了电性岩石圈-软流圈边界(LAB)的深度。

S17-P-18S

地球物理数据共享与应用集成研究

丁毅 [1]，韩露 [2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院
2 北京理工大学 图书馆
geowind@126.com

地球科学研究的深入带动了地学数据的积累和新的专业数据处理、分析、解释方法的出现，这使得在构建地学软件系统的过程中常常会面临一个两难的矛盾，即多种专业化数据需求的复杂多变与地学应用软件扩展和重用的复杂性之间的矛盾。主要体现在：1.数据格式多样化和语义的差异化，导致数据之间的交互能力差；2.数据存储的形态多样化和分散的特点，增加了统一的数据共享与一体化集成的难度；3.数据应用需求的多样性增加了应用集成的难度。本文通过对比地学领域国际上多个大型分布式系统的技术实现方案，提出采用数据集成规范实现数据的一体化集成；在数据一体化的基础上，采用插件式开发方法，构建地球物理应用集成开发平台。论文的主要研究内容包括以下几个方面：

1）分布式数据共享与应用集成服务框架研究：根据地球物理数据特点，建立系统的地球科学共享与应用服务框架，解决不同层次的异构问题；

2）数据互操作：探索具有数据交互能力的数据共享与集成方法，重点研究

XML 在地学数据互操作中的作用，参照 GeoSciml 标准的建设方式，基于 OGC 标准构建地球物理数据交换规范，解决数据层面的异构问题，实现数据的互操作；

3）插件式开发方法研究：重点研究了 EclipseRCP 的插件式开发方法，整合了二维 GIS、三维 GIS、三维可视化等插件，构建一个通用地球物理数据应用集成基础平台；

4）综合数据共享服务与应用集成实践：建立 WMS、WFS 数据服务，扩展重力和地震数据应用插件，实现具有交互能力的数据集成共享。

通过数据一体化和插件式开发平台的实践结果可以得出如下结论：

1）基于 OGC 建立统一的数据标准解决了地学数据的异构问题，增加了数据的互操作能力，有利于数据的集成融合；

2）Eclipse RCP 的插件式开发方法有效地融合了各种复杂的地学数据应用，可以支持专业数据处理、解释、分析等应用方法的扩展，为构建综合性的地学信息化平台奠定了基础。

S17-P-19

南海中央海盆黄岩岛链以北磁异常特征与成因探讨

黄永健，邱燕

广州海洋地质调查局

huangyongjian@hydz.cn

本研究基于高准确度日变改正后的磁异常数据（高精度磁法测量仪器 Seaspy 对研究区进行 20×40km 布网测线海磁测量，与此同时在测量区架设海底日变站获取实时日变数据），采用向上延拓和方向求导特殊处理方法，结合多波束测深地形地貌资料、深地震 OBS 数据、多道地震、重力以及其他其他地球物理资料综合分析，进行重磁震联合反演来分析研究区磁异常特征，探讨其成因。

向上延拓压制浅层强磁性地质体如火山的磁异常干扰，反映了深部地层磁性地质体。延拓结果显示，研究区磁异常源主要来自于 7km 以浅地层的强磁性铁镁质岩浆岩。水平方向求导突出方向构造信息，求导结果显示磁异常主要来自近东西向的磁场叠加，与研究区地质构造方向是一致的；垂直求导突出浅部场源信息，求导结果反映磁异常来自浅部场源即浅部磁性地质体呈近东西向分布。星罗棋布的南海深海盆海山多由新生代的强磁性玄武岩形成，这些链状海山的走向与带状磁异常的走向基本一致。南海深海盆的带状磁异常主要由这些强磁性新生代玄武岩引

起。OBS 的资料则显示区内 上地幔顶部存在低速层（部分熔融层），故形成海底火山的岩浆有可能来源于上地幔低速层而不是来自软流圈，即由埋深只有十多公里的上地幔低速层（部分熔融层）产生的岩浆沿断裂喷溢而形成。由于区内的断裂主要为北东东走向，地幔岩浆沿不同的北东东向断裂喷发或溢出，就可以形成不同的玄武岩带或海山链，由此可以解释磁异常条带的成因。

重磁震联合反演结果显示磁异常的起伏变化仅反映磁场强度强弱幅度的变化，并不表示磁场极性的变化，目前还没有直接的证据证明南海深海盆磁条带的交替变化是地球磁场极性倒转的结果，不同期次不同区域溢溢侵入的玄武岩同样可以造成正负相间的条带状磁异常分布；磁异常源来自 7km（海面起算）以浅地层，与向上延拓结果是相一致的。

S17-P-20

赤峰—建平一带早中生代麻粒岩与太古代麻粒岩的对比研究

刘东盛

中国地质科学院地球物理与地球化学勘察研究所
348295044@qq.com

麻粒岩形成于下地壳，记录了下地壳乃至壳幔边界构造环境的演变，因此对于克拉通的演化历史的研究具有重要意义。本文首次将赤峰-建平地区太古代和中生代两类不同时代、不同成因的麻粒岩进行全面的对比研究，难得的是本文太古代麻粒岩和中生代麻粒岩分别形成于华北克拉通的形成与破坏两个重要阶段，因此本文的研究将与华北克拉通的演化历史结合起来，为华北克拉通形成与破坏机制提供一些信息。本文通过对中生代和太古代麻粒的岩相学、地球化学及年代学等方面的对比研究，发现两个时代的麻粒岩在原岩、变质历史以及变质环境等方面存在明显差异：

1、变质岩的原岩不同 中生代麻粒岩的原岩是苏长—辉长堆晶岩，而太古代麻粒岩原岩是玄武岩或 TTG 系列岩石；

2、变质历史不同 中生代麻粒岩的原岩是成岩后不久的岩浆岩，变质起始于一个较高的温压条件下，在经历的近等压降温过程中形成了中高压麻粒岩，之后被闪长质岩浆带至中上地壳的过程中，叠加了一次低压麻粒岩相变质。整个变质过程在大约 10Ma 内完成。太古代麻粒岩的变质演化历史更加完整。变质对象是一套由玄武岩或 TTG 系列岩石组成的太古代地层，伴随太古代地层的埋深作用，同时叠加了同期的岩浆作用，在一定深度的压力下，经历了一个缓慢的增温和加压过程，发生了区域变质作用，之后伴随抬升作用，发生了退变质作用；

3、变质环境不同 中生代麻粒岩的整个变质演化历史是在一个较高温的环境下进行的。二辉石变质温度计计算结果显示中生代麻粒岩的变质温度最高达到 1090℃，而太古代变质温度最高为 935℃。由于两类麻粒岩原岩矿物成分的差异导致其变质过程中流体参与程度的不同。中生代麻粒岩变质演化过程中流体的参与程度很低，而太古代麻粒岩变质过程中流体的析出与普通角闪石的变质反应有关；

4、形成的构造背景不同 早中生代底侵作用为下地壳添加的玄武质岩浆及其巨大的热能为麻粒岩的形成提供了重要的条件。而太古代麻粒岩原岩形成于陆内初始裂谷的环境中，伴有大规模火山沉积作用，之后由于大陆碰撞和地壳加厚导致的热变质作用形成了本文讨论的太古代麻粒岩。中生代的伸展构造背景和太古代的挤压造山背景的不同，

决定了两类麻粒岩的差异。

S17-P-21S

西藏雅鲁藏布江缝合带西段-普兰和东波蛇绿岩的侵位特征

刘飞，杨经绥，陈松永，梁凤华，徐向珍，熊发挥，李源，刘钊，李兆丽

中国地质科学院地质研究所，大陆构造与动力学国家重点实验室

lfhy112@126.com

雅鲁藏布江蛇绿岩带（YZSZ）被认为是印度板块向欧亚板块俯冲，闭合的新特提斯洋残余，在中国境内断续长约 2000km。YZSZ 西段有数个大型蛇绿岩体，其中普兰和东波岩体面积分别为 650km^2 和 400km^2。两岩体以方辉橄榄岩为主，含少量二辉橄榄岩和纯橄岩，NNW 走向，地幔橄榄岩为阿尔卑斯型，具有 MOR 和 SSZ 两种构造环境，侵入于地幔橄榄岩中辉长辉绿岩和辉石岩脉的锆石 U-Pb 年龄为 130~128Ma。岩体与围岩构造侵位接触，在接触部位地幔橄榄岩强烈蛇纹石化和片理化，围岩均倾向于地幔橄榄岩，呈北部地层南倾，南部地层北倾的“莲花状”产出，主要岩性为石英砂岩、岩屑石英砂岩、粉砂岩、碳质（泥质）页岩等，其中岩屑石英砂岩的碎屑锆石具有 132Ma 最晚年龄峰。

地幔橄榄岩与上覆硅质岩和硅质灰岩之间普遍夹杂一层基性火山岩，后者强烈揉皱变形，不发育枕状构造，主要为具有 OIB 性质的板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩。红褐色硅质岩地球化学成分显示为生物成因和火山成因，其物源来自大陆和洋岛或海山，形成于大陆边缘盆地和远洋盆地环境。硅质岩和硅质灰岩强烈褶皱变形，指示由北向南的推覆作用，红色硅质岩的碎屑锆石最晚年龄为 39Ma（1 个）和 50Ma（3 个），暗示两者可能从北边推覆到地幔橄榄岩之上，但前人报道硅质岩放射虫的时代为晚侏罗世晚期，也不排除是与蛇绿岩密切共生沉积物的可能性。

S17-P-22

地幔不均一性——以东波超镁铁岩体为例

牛晓露，杨经绥

大陆构造与动力学国家重点实验室，中国地质科学院地质研究所

niuxiaoludx@126.com

鲁藏布江蛇绿岩是新特提斯洋的残片，东西绵延 2000 km。东波超镁铁岩岩体位于雅江蛇绿岩带的西段，构造侵位于晚三叠世-早白垩世构造混杂岩之上。航磁资料显示该岩体约 400 km^2，地表出露连续，地下有一定延伸。东波超镁铁岩体主要有方辉橄榄岩和二辉橄榄岩组成，局部发育纯橄岩和辉石岩。东波大型超镁铁岩岩体是出露于地表的大洋地幔岩的典型代表，对其成分及成因的研究，将对揭示地幔的性质具有重要意义。笔者对该超镁铁岩体中的一个典型剖面（长约 200m）做了细致的岩石学和矿物学研究，发现下列现象：

1.该剖面出现的岩石类型依次为纯橄岩、蛇纹石化强烈的纯橄岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩。

2.尖晶石成分差异明显：该短距离剖面各类岩石中尖晶石的 Mg#和 Cr#范围均较大，分别为 38 – 75 和 21 – 88，TiO_2 的含量从 0.015wt.%变化到 0.179wt.%。根据 kavamoto（1995）和 Pearce et al.（2000）的计算结果，尖晶石的成分指示橄榄岩的部分熔融程度从 10%到高于 35%。此外，尖晶石的颜色与橄榄岩的熔融程度有一定的对应关系，熔融程度较低（10%左右）的橄榄岩中的尖晶石为

浅褐色；熔融程度较高的（20%左右）橄榄岩中的尖晶石为深褐色到红褐色，甚至为黑色。

3.橄榄石的成分相对比较均一：各类型岩石中橄榄石的 Fo 值集中在 90 到 92 之间，NiO = 0.24 – 0.46wt.%，Cr_2O_3 的含量很低，均小于 0.05wt.%。

4.斜方辉石的成分相对较均一：各类型地幔岩中的斜方辉石均为顽火辉石（En_{87-91}，Wo_{1-4}，Fs_{7-10}），Mg# = 90 – 93，Cr_2O_3 = 0.2 – 0.66wt.%，Al_2O_3 = 0.35 – 4.01wt.%，TiO_2 含量低于 0.1wt.%。

5.单斜辉石（包括斜方辉石中的出溶条带）均为（En_{47-52}，Wo_{43-51}，Fs_{0-5}），Mg# = 92 – 100，Cr_2O_3 = 0.23 – 1.04wt.%，Al_2O_3 = 0.26 – 4.7wt.%，TiO_2 = 0.01 – 0.18wt.%；出溶单斜辉石条带（被包裹颗粒）与填隙状和斑晶状单斜辉石的成分相似。

以上事实说明，在岩石类型上（即矿物组成及含量上），地幔是明显不均一的，纯橄岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩可以在很小的范围内（如，小于 200m）即可共同出现；在矿物组成上，副矿物尖晶石的成分变化巨大，而主矿物（橄榄石、斜方辉石和单斜辉石）成分相对均一。

S17-P-23S

Pb-$PbCl_2$ 不极化电极在长周期大地电磁测深观测中的应用效果

王辉[1]，魏文博[1,2,3]，金胜[1,2]，叶高峰[1,2]，景建恩[1,2]，张乐天[1]，董浩[1]，张帆[1]，谢成良[1]，姚硕[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院

2 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室

3 100083 地质过程与矿产资源国家重点实验室

475871547@qq.com

长周期大地电磁测深需要观测周期长达上万秒的大地电场信号，这就要求测量电极具有极差小、稳定时间长的特点。通过对电极极差变化机制的讨论，改进电极的内部结构，试制出 Pb-$PbCl_2$ 不极化电极，在室内与普通 Pb-$PbCl_2$ 电极和 Cu-$CuSO_4$ 电极(Korepanov,2008) 进行对比测试，并用 Lemi417 长周期大地电磁仪，在中心点 11535 和 11635 进行野外试验。实际观测中，电极的掩埋深度和掩埋方式会影响极差的稳定性(Perrier,1997)。本文依托 SinoProbe-01-02 西南-华北阵列式区域大地电磁场标准网示范性实验研究，试验了不同掩埋深度和掩埋方式对电极性能的影响，还根据野外工作地形的不同，试验了特殊地形对大地电场测量的影响。室内及野外试验表明：①试制 Pb-$PbCl_2$ 电极具有极差小、稳定时间长的特点。按传统方式掩埋电极，在 5 天测试时间内，普通 Pb-$PbCl_2$ 电极极差变化为-0.071mv~0.995mv，Cu-$CuSO_4$ 电极为-0.736mv~0.848mv，试制电极为 0.078mv~0.168mv，其极差和稳定性优于都其他两种不极化电极。在 67 天内试制 Pb-$PbCl_2$ 电极极差变化为 0.22mv～0.52mv，可见其长时间稳定性也较好②通过野外的大量试验发现，试制电极可以明显提高大地电磁测深曲线的低频数据质量③通过加水、加桶和竖埋的方式掩埋电极，可以提高电极的稳定性④电极的掩埋深度对极差的影响较大，当掩埋深度为 1 米时，6 天内极差的变化仅为 0.008mv～0.003mv，此时加水或者加桶，对极差的影响很小⑤测试中发现电极在使用中，极差会产生突变，通过深埋电极坑的方式可以减小突变的几率⑥河流作用产生的流动电位会影响大地电场，在观测中要尽可能的避免测量电极跨越河流⑦在沙漠、戈壁等特殊地形条件下，电极接地电阻很大，对大地电场测量有较大影响，采用深挖电极坑、

多浇盐水、添加湿润土壤的方式可以减小接地电阻。

S17-P-24S

基于分形磁化模型的美国西部及东北太平洋居里点深度

王健，李春峰

同济大学海洋地质国家重点实验室

wangjianhydz@163.com

基于分形磁化模型利用磁异常的径向平均功率谱计算了美国西部及东北太平洋的居里点深度(Z_b)。磁源体的功率谱与波数(k)的-β 次方成正比。首先利用 75×75 km^2 to 200×200 km^2 的滑动窗口大小检验是否包含长波长组分。对于每一个滑动窗口，先将功率谱乘以 $k^{-\beta}$，然后再利用中心点法(Tanaka et al., 1999)计算 Z_b。当窗口大小接近 200×200 km^2 时，Z_b 的分辨率太低不足揭示重要的地质特征。考虑到磁源体的顶底深度(Z_t 和 Z_0)以及 β 联合反演的困难，本文对整个研究区的 β 取定值 3 进行计算。Mendocino 三联点将东北太平洋分隔成北部（主要由 the Explorer、Juan de Fuca 和 Gorda 板块组成）和南部，北部 Z_b 深度约为 16km，南部的 Z_b 及磁性层厚度均大于北部。这种反差是由于南部太平洋板块更老更冷，并且水深更深所致。沿 Juan de Fuca 和 Gorda 洋中脊处的 Z_b 深度明显浅于洋中脊两侧的深度，反映了这些正在扩张的洋中脊处温度较高。圣安德烈斯转换断层西侧太平洋 Z_b 深度较浅、东侧深度较浅，反映了该断层是太平洋板块与北美板块的转换边界，该断层向海延伸至 Mendocino 断裂带，为 Gorda 板块和太平洋板块的边界。Cascade 岛弧南部、黄石热点残留轨迹处、Newberry 火山及其相邻的盆岭省西北部 Z_b 深度较浅，与北美板块之下的板块俯冲及其后续的岩浆活动有关。Cascade 岛弧北部及哥伦比亚溢流玄武岩区 Z_b 深度较深，可能与新生代早期 Siletz 地体侵入有关。Great Valley 处 Z_b 深度同样较深，可能与其下伏蛇绿岩套有关。这些居里点深度较大的区域与低地表热流值区域相对应。居里点深度大于 40km 的区域主要位于盆岭省中-东部及 Colorado 高原，前者地表热流值较高，可能由于盆岭省拉张、流体活跃有关；后者与低地表热流值对应。根据居里点深度和地表热流的关系曲线，本文计算了分形指数 β 从 3~0（二维磁源体随机分布的情况）的磁性层有效平均热导率为 2~3 W $(m℃)^{-1}$ 到 3~4 W $(m℃)^{-1}$。这些热导率值与玄武岩和花岗岩实测值相当，对分形指数 β 和居里深度是有效的约束。

S17-P-25S

基于相位张量电性结构分析约束下的 MT 阻抗张量畸变校正方法研究

谢成良[1]，魏文博[1,2,3]，金胜[1,2,3]，叶高峰[1,2,3]，景建恩[1,2,3]，张乐天[1]，董浩[1]，张帆[1]，王辉[1]，姚硕[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院

2 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室

3 地质过程与矿产资源国家重点实验室

clx.qh@163.com

由于浅部、局部不均匀三维异常体的影响，大地电磁测深（Magnetotelluric, MT）观测数据往往需要进行畸变校正。本文针对相位张量不受局部电场畸变影响的特点，研究基于相位张量的大地电磁测深（MT）阻抗张量 GB（Groom-Bailey）分解方法。分析由相位张量得到的相关参数，结合初步电性结构维数判断及二维或近似二维电性结构条件下电性主轴方向等信息，设计较合理的 GB 阻抗张量分解初始模型，提高 GB 算法的稳定

性及可靠性。同时，在传统 GB 分解求解模型的基础上，将各向异性参数引入目标函数，并采用共轭梯度法进行模型的最优化求解。

经过对理论数据和实测数据的计算分析，认为基于相位张量电性结构分析，引入各向异性参数的 GB 分解方法能够进行有效的 MT 阻抗张量畸变校正工作。主要得到以下结论：

（1）GB 分解算法对阻抗张量、电性主轴的模型初始值有较强的依赖性，若二者的初始值偏离真值较多，则无法得到可靠的计算结果；而对于扭曲角、剪切角及各向异性参数，GB 分解算法对初始值的敏感度较低，即在合理范围内，初始模型中各参数的选择对计算结果影响不大；

（2）基于对结论（1）的认识，研究基于相位张量电性结构分析的 GB 分解算法，用相位张量的分析结果约束初始模型，能有效提高结果可靠性；

（3）尽管由于缺乏必要的模型约束条件，仍旧无法求出各向异性参数，但引入各向异性参数后，GB 分解算法在计算效率、计算可靠性方面均有所提高；

同时，本文也存在以下方面的不足，有待在后续研究中改进：

（1）引入各向异性参数后，缺乏对传统 GB 分解模型区域阻抗张量的必要约束条件，因而目前算法仍旧无法求出各向异性参数；

（2）本文为单站、单频点的算法研究，当实际观测数据由于噪声影响而质量较差时，基于单频点数据的统计结果往往十分复杂，不利于分析结果的进行。因此，有必要研究多站点、多频点，基于相位张量电性结构分析约束下的阻抗张量分解方法。

S17-P-26S

西藏雅鲁藏布江缝合带西段东波和普兰超基性岩体:存在较大的铬铁矿前景

熊发挥[1]，杨经绥[1]，刘 钊[2]，郭国林[3]，李源[1]，刘飞[1]，徐向珍[1]，陈松永[1]

1 大陆构造与动力学国家重点实验室，中国地质科学院地质研究所

2 中国地质大学 (北京) 地球科学与资源学院

3 核资源与环境省部共建国家重点实验室培育基地（东华理工大学）

xiongfahui@126.com

西藏雅鲁藏布江缝合带是青藏高原南部 1 条重要的板块构造边界，即印度板块和欧亚板块的分界线，沿该缝合带是喜马拉雅特提斯洋壳和地幔的残余，构成近东西向展布的蛇绿岩带，在中国境内断续出露延长达 2000km 以上。普兰（~600km^2）与东波岩体（~400km^2）属西段最大的两岩体，主要由高镁的方辉橄榄岩、纯橄岩和少量呈透镜分布的二辉橄榄岩等组成。全岩地球化学特征及橄榄石、斜方辉石、辉石、铬铁矿的矿物学特征，都指示两岩体属于阿尔卑斯型地幔橄榄岩。二辉橄榄岩中铬尖晶石的 Cr#(=100×Cr/(Cr+Al))为 20～30，显示深海橄榄岩的特征，而方辉橄榄岩的 Cr#为 20～75，显示后期岩石熔体反应的特征。从东波和普兰岩体的岩石地球化学和矿物学的基础上可知，它们是早期的 MORB 岩石圈残片，后期受到不同程度的 SSZ 环境改造的结果。在两岩体中都发现了许多致密块状和浸染状铬铁矿矿体，其中致密块状矿体的矿体厚度长 2～6m，厚 0.5～2m，矿体的最大延伸方向为北西-南东向，与岩体的展布方向一致，矿石中脉石矿物主要为橄榄石、辉石、角闪石、蛇纹石等，铬铁矿矿石的铬尖晶石

Cr#60～80，类似于围岩纯橄岩中的铬尖晶石。东波和普兰岩体的岩石学特征和成矿背景与中国最大的豆荚状铬铁矿矿床的罗布莎地幔橄榄岩相似，表明东波和普兰岩体存在较大的找矿潜力。

S17-P-27S

滇西铅垂线变化与该地区地震的关联

杨永章，平劲松，李正心

中科院国家天文台

recobaself@gmail.com

多年以来，滇西地区一直是地震多发带，给人民生命和财产安全带来的极大威胁。地震前后重力变化理所当然地受到国内外地震研究人员的长期关注，作为表征重力方向的铅垂线是能够比较敏感地反映这种变化的，20 世纪 80 年代以后，为研究局部重力场变化与地震发生关系而先后建立了京津唐张、滇西重力网，二、三十年来，积累了大量高精度的重复测量数据．中国从而具备研究垂线偏差时变的条件。基于这些资料，有关专家已证明中国重力网资料可用于垂线偏差时变的测量。

利用中国滇西地区重力网 1985-1998 测得的 32 期重力测量数据，计算了弥渡所在地的铅垂线变化，将所得铅垂线变化的测量结果与滇西地区同期发生的地震，尤其是丽江地震(1996.02.03)比较后发现两者之间的关联：弥渡邻近的地震，以及其周围的地震，发生的时间往往与弥渡铅垂线开始反向变化的时间相符合。发现了有与华北地区类似的情况，并简单分析了其特点。可望在地球科学研究其中包括地震预测的研究中，提供一种新的思路。

S17-P-28S

近海地区大地电磁正演模拟及大地电磁测深畸变数据反演研究

张帆 [1,2]，魏文博 [1,2,3]，金胜 [1,2,3]，叶高峰 [1,2,3]，景建恩 [1,2,3]，张乐天 [1,2]，董浩 [1,2]，谢成良 [1,2]，王辉 [1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院

2 中国地质大学（北京）地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室

3 中国地质大学（北京）地质过程与矿产资源国家重点实验室

somefar@126.com

在近海地区开展大地电磁测深工作，所采集的大地电磁测深数据通常因海岸效应的影响而发生畸变，难以在近海地区采集到高质量的大地电磁测深数据，为通过大地电磁测深资料反演获取可靠的地下深部电性结构带来了困难。在近海地区实施大地电磁测深工作时，必须考虑海岸效应的影响，否则有可能给地质解释工作带来较大影响，甚至可能得出错误的结论。因此，研究海岸效应对近海地区大地电磁测深数据的畸变作用具有重要的意义。本文通过对一维、二维和三维模型的正演、反演研究，分析和总结海水深度变化、海底地形变化等海洋环境变化对近海地区大地电磁测深数据的畸变影响。当测区与海岸线的距离小于目标频率的大地电磁场趋肤深度时，高导海洋的存在会严重影响测区内电磁场的分布。高导海洋对电磁场的吸收作用非常强烈，对海岸附近电磁场的分布具有较大的影响。对于一维层状介质模型来说，海岸线附近纵向电场减小，横向电场增大，且磁场垂向分量急剧增大。由于海岸效应的影响，大地电磁测深视电阻率曲线和相位曲线均会发生不同程度的畸变，在高频部分，这种畸变影响十分微弱，而在低频部

分，这种畸变作用尤为明显，严重影响了视电阻率曲线和相位曲线的形态，海岸效应的影响不可忽视。大地电磁测深一维 Occam 反演方法、二维非线性共轭梯度反演方法和基于 Rebocc 的三维反演方法，均对近海地区浅部地层具有较好的反演效果。随着海水深度的增加和海底地形的复杂变化，反演而得的地下电性结构模型中均会在深部出现不同程度的假异常，为地质解释工作造成了影响。当海区水深较大时，TE 模式的反演结果受海岸效应的影响相对较小，而 TM 模式的反演结果受海岸效应的影响相对较大，往往导致反演模型在深部出现大规模高阻假异常，使反演模型无法可靠地反映地下介质的导电性结构。

S17-P-29S

华南地区壳幔导电性结构研究

张乐天[1,2]，金胜[1,2]，魏文博[1,2,3]，叶高峰[1,2]，段书新[1,2]，董浩[1,2]，张帆[1,2]，谢成良[1,2]，王辉[1,2]

1 中国地质大学（北京）地球物理与信息技术学院
2 中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室
3 地质过程与矿产资源国家重点实验室
letianoi@163.com

华南地区的大地构造基本格局可以表述为“两陆夹一盆”。“两陆”分别指位于西北的扬子地块以及位于东南的华夏地块，“一盆”是指位于两大地块之间的残洋盆地，即形成于加里东期的江南褶皱造山带。扬子地块与华夏地块均为非常古老的陆块，近年来的研究表明在扬子地块下方广泛分布着太古代基底，关于华夏地块的年龄由于基底出露较少目前还存有较大的争议，但部分研究也指出华夏地块下方很可能同样广泛分布着元古代基底。扬子地块北邻华北克拉通，西邻青藏高原东缘，华夏地块东邻太平洋板块，关于这一地区的构造研究对于理解整个亚洲大陆的形成机制具有重要意义。同时，由于华南地区在 Rodinia 超大陆形成过程中所具有的重要地位，这一地区的构造情况对全球板块构造演化历史的研究同样具有重要的约束作用。尽管如此，目前关于这两大块体的演化、拼合过程及其现今的构造变形情况的研究还存在着很大的争议。地球物理方法能够对地下介质的现今构造变形情况提供最为直接的证据，但由于华南地区复杂的地表地貌情况，使得长期以来地球物理工作很难在大范围内开展，已有的一些地震或大地电磁测深研究也多为一些局部地区的短剖面研究。在 SinoProbe 项目的资助下，我们布设了一条横跨华南大部地区的大地电磁测深长剖面。该剖面自西北起始于四川盆地中部遂宁附近，向东南延伸，经过重庆、吉首、邵阳、衡阳等地，最终截止于赣州东南的屯溪-鹰潭-安源-断裂附近。剖面穿过了杨子地块、华夏地块以及位于二者之间的江南造山带，旨在从电学性质的角度为华南地区的地质构造研究提供有力的约束证据。通过对所采集数据进行一系列的常规处理并对整条剖面的大地电磁测深数据进行二维反演，最终得到了剖面所经地区的壳幔导电性结构模型。该反演模型表明，剖面整体上表现为高阻，反映了前寒武稳定构造的基本特征。相比较而言，扬子地块表现更为高阻，而华夏地块的电性结构分布则更为破碎，其高阻基底下方广泛分布有相对低阻的物质，这可能表明华夏地块经过了后期强烈的改造作用。剖面上另一表现为低阻特征的地区位于恩施断裂附近，这一低阻体呈上宽下窄的近直立形态分布于整个地壳至上地幔的深度范围内。经推断，位于恩施断裂与吉首之间的高/低阻电性过渡

带可能表征了扬子地块与华夏地块之间的结合带位置所在；同时，从低阻体的分布形态判断，扬子地块与华夏地块二者之间很可能处于拉张状态。

S17-P-30S

中国南海卫星重力数据成图技术及成果比较

唐水亮

吉林大学地球探测科学与技术学院

tangshuiliang4321@163com

中国南海海域辽阔，富含油气资源和矿产资源，了解资源远景和分布规律成为支撑国民经济持续发展的重要任务。传统的海洋调查手段通常以船载地震勘探为先导，并以重力和磁力探测技术作为辅助手段，由此确定勘探开发区并推动海洋钻探任务实施。然而，随船测量勘探技术由于移动的速度和搭载技术限制，使得探测效率受制于测量条件，与勘探远景有关的区域性测量数据和勘探目标特征难以充分反映。利用重力卫星测量数据所蕴含的区域性重力场变化信息，可以了解地壳洲际和大陆规模长波长信息变化规律，也可以识别超长带状地质界限和油气藏和矿产资源富集区分布特征。在大西洋沿岸，重大油气资源和矿产资源的发现和圈定充分证明，卫星重力数据和部分海洋重力资料的联合使用能够取得重要的勘探发现作用。美国墨西哥湾深海油田的发现和勘探开采也说明卫星重力资料的引入和分析起到了至关重要的战略远景评估作用。据此不难得出结论，南海资源勘探离不开卫星重力资料所提供的技术支持。因此，鉴于南海区域国际形势的复杂演变背景，研究该类数据和联合解释方案将十分迫切，具有十分重要意义。

南海深部地球物理密度属性的变化和所呈现的精细结构可以通过来自水面、空中和卫星测量重力场及其梯度场加以确定。目前，卫星重力探测技术模式主要有：地面跟踪观测卫星轨道摄动、卫星测高、卫星跟踪卫星（hl-SST 和 ll-SST 模式）和卫星重力梯度测量。德国 2000 年 7 月发射了 CHAMP，德美联合 2002 年 3 月发射了 GRACE 以及欧空局 2009 年 3 月发射了 GOCE 卫星，使人类获取高质量卫星重力场数据成为可能。其开放的数据管理形式为人类研究深部构造提供了资料来源和共享机制。广泛使用的 GRACE 卫星数据分为三级：Level0，Level1A 及 Level1B，Level2，目前对外公布的数据包括 Level1B 及 Level2。通过使用相关处理软件和分析方法，例如加拿大 Geosoft 公司研发的位场处理软件 Oasis Montaj，可以完成海量数据集成和对应的图形显示功能。并由此完成相关的数据处理和解释。然后可以通过利用诸如 Schlumberger 公司 Petrel 一体化处理平台将地震与非震数据融为一体，将不同高度观测面形成的立体探测数据联合使用，可以有效的解决海区所面临的复杂问题，为有效圈定资源区奠定基础。

本文基于 Geosoft 软件系统，对 Geosat 和 ERS1 卫星提供的重力数据和地形数据进行了消除噪音有关的滤波和调平处理、并参考接近海面航空和水面数据完成向下延拓等一系列努力，由此提高卫星数据反映海域地质目标的精度，形成中国南海大地水准面重力异常图。研究表明，该异常图相对于加拿大 Geo-soft 公司基于 GRACE 数据提供的中国南海重力异常图 GRACE Gravity Model，前者所具有的某些区域精度优于后者，尽管 GRACE Gravity Model 在某些区域呈现较好的数据精度。造成差别的主要原因是，Geosat 和 ERS1 测高卫星不是专门进行重力场反演设计的卫星，下延和反演的重力场精度不够高；另一方面，相对于 GRACE 提供的海量

数据，Geosat 和 ERS1 的数据量就小了很多。

卫星数据的应用将是一个长期过程，针对不同的海域和应用要求将由不同的技术方法组合。今后的工作重点将转向对 GRACE 卫星 Level1B 数据进行分析处理，通过对 Level1B 中的 ACC1B、GPS1B、KBR1B 等数据进行分析处理，得到卫星面的重力数据，通过去噪、向下延拓等处理得到南海重力异常数据，通过和 GFZ 和 NASA 提供的地球重力模型就行对比证明其可行性，并进一步分析地球深部地质情况。

S17-P-31

华北板块北缘晚古生代花岗岩类地球化学特征及其地质意义

徐学纯[1]，张青伟[2]，赵庆英[1]，郑常青[1]

1 吉林大学地球科学学院

2 桂林理工大学

xuxuechun@jlu.edu.cn

岩浆活动是造山带中最活跃的地质事件，华北板块北缘中段广泛出露的晚古生代花岗岩类，为研究以古亚洲洋为背景的兴蒙造山带的形成及演化提供了很有意义的研究对象。本文以乌拉特中旗、白云鄂博和固阳地区为研究区，在充分研究前人相关研究资料的基础上，经过详细的野外地质调查，样品的系统采集和分析，利用岩相学、岩石地球化学和同位素年代学等多种手段，探讨了华北板块北缘中段晚古生代花岗岩类的地球化学特征和形成构造背景。同时，利用锆石 U-Pb SHRIMP 测年方法，对缺乏年龄资料的乌拉特中旗乌兰地区不同侵入期次花岗岩类的时代进行了确定。

泥盆纪花岗岩类为一套石英二长岩、角闪二长岩和石英闪长岩组合，地球化学特征显示其为典型的“I”型埃达克质岩石，贫钾富钠，偏铝质，属高钾钙碱性系列；富集大离子亲石元素，亏损高场强元素；为轻稀土强烈富集型，轻稀土相对重稀土发生了更明显的分馏作用，Eu 为微弱正异常该类岩石可能是由于古亚洲洋俯冲而引起的弧-陆碰撞事件的产物，形成于底侵玄武质下地壳的直接熔融。

石炭纪花岗岩类主要为一套准铝质向过铝质过渡的“I”型埃达克质花岗闪长岩组合，属于高钾钙碱性系列。富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素和 Th、U、Nd、Zr 等高场强元素及 Cd、Ni 等过渡族元素，贫 Nb 和 Ti；为轻稀土富集型，轻稀土分馏较大，重稀土分馏不明显，铕异常不明显。该类岩石可能是壳-幔混合作用的产物，形成于碰撞前或同碰撞构造环境。分别对乌兰地区黑云母花岗闪长岩和似斑状花岗闪长岩进行了 U-Pb SHRIMP 测年，获得其侵位时间分别为（322.1±3.4）Ma 和（323.4±3.4）Ma，属于早石炭世。

二叠纪花岗岩类可分为性质明显不同的两个期次：早二叠世花岗岩类以黑云母花岗岩和二长花岗岩为主，属准铝质-过铝质和钙碱性-高钾钙碱性系列；大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba 和高场强元素 Th、U 等明显富集，Nd、Ta、Ti、Tb 和 Y 相对亏损；为轻稀土富集型，轻、重稀土均发生了明显的分馏作用，轻稀土分馏更明显，Eu 表现为微弱负异常至无异常。该类岩石也表现出“I”型埃达克质花岗岩类特征，是壳-幔混合作用的产物，主要形成于碰撞前或同碰撞构造环境。对乌兰地区黑云母花岗岩进行了 U-Pb SHRIMP 定年，获得其侵位时间为（279±3）Ma。

中-晚二叠世花岗岩类为一套“I-S”型碱性花岗岩组合，高硅、富铝和碱，属准铝质-过铝质、高钾钙碱性系列，Rb、Ba 等大离子亲石元素和 Th、U、Nb、Ta 等高场强元素

显示富集特征，而 Sr、Ti、Y 明显亏损；轻稀土强烈富集，轻、重稀土均发生了明显的分馏，轻稀土分馏作用更明显，Eu 表现为微弱-明显负异常。该类岩石主要形成于同碰撞构造环境，并具有向板内花岗岩和后造山花岗岩演化的趋势，源岩主要来源于上部陆壳硬砂岩。对乌兰地区黑云母花岗岩和含石榴石花岗岩进行了 U-Pb SHRIMP 定年，获得其侵位时间分别为（266±3）Ma 和（256.4±2.2）Ma。

区域上不同地区同一时代和同一地区不同时代花岗岩类进行了综合对比研究表明，其在岩石组合和岩石地球化学特征方面均表现出明显的规律性。泥盆纪和中-晚二叠世花岗岩类以碱性岩石为特征，代表了一种后碰撞造山环境。石炭纪和早二叠世主要以中酸性花岗岩类广发发育为特征，是壳-幔混合作用的产物，显示碰撞前-同碰撞构造环境。华北板块北缘中段晚古生代总体的构造演化特征为：洋壳俯冲→弧-陆碰撞→古亚洲洋闭合（西伯利亚板块和华北板块碰撞）→碰撞后造山。

S17-P-32S

南海地区均衡重力异常研究

王万银，王鹏飞*

长安大学重磁方法技术研究所

* wangpangfei126@126.com

南海位于欧亚板块、印度—澳大利亚板块和菲律宾海（太平洋）板块的交接部位，是在中生代大陆边缘背景上扩张而形成的新生代边缘海。整个海域被大陆、半岛和岛屿包围，其轮廓呈扁菱形，面积约 350 万 km^2。南海又是太平洋西南侧的一个边缘海，蕴藏着十分丰富的石油和天然气以及各种矿产资源。因此加强南海地区地质地球物理研究，摸清各种资源分布，对于捍卫我国主权、利用南海资源具有重要的意义。均衡重力异常在研究地壳均衡状态、地壳运动、地壳深部构造、沉积盆地基底形态以及地球动力学特征等地球科学方面具有重要的意义，所以利用均衡重力异常来研究南海地区的地质构造意义十分重要。

本文首先采用局部均衡补偿模式、区域均衡补偿模式、实验均衡模式和动态均衡补偿模式计算了南海试验区的均衡重力异常，并对几种均衡重力异常进行了对比分析。然后设计了南海试验区两种理论均衡补偿模型，对四种均衡补偿模式的均衡重力异常进行了对比研究。最后采用四种均衡补偿模式计算了南海地区的几种均衡重力异常。

对比研究表明：实验均衡补偿模式较其它几种均衡补偿模式较为合理。对比南海地区几种均衡重力异常结果发现：几种均衡重力异常空间分布形态基本相似。南海地区均衡重力异常总的变化规律相似：（1）南海地区多数区域处于均衡状态（-20～+20mGal）；（2）南海地区的东部、东南部为正均衡，向西北逐渐减弱，到海域的北部和西北部变为负均衡，这反应了南海地区地壳均衡的差异；（3）马尼拉深海沟和吕宋海槽及一些海山为负均衡，中央海盆基本为弱正均衡。总体来说，南海多数地区处于均衡状态，但也存在不均衡状态。根据南海地区实验均衡重力异常的特征，将南海地区划分为强负均衡区、弱负均衡区、均衡区、弱正均衡区和强均衡区五种类型。推断南海地区除南海海盆、苏禄海、苏拉威西海和台湾陆区这些区域的软流层深度大约为 60km、地壳平均厚度为 20km，岩石圈弹性板有效厚度为 15km。经推断认为南海海盆均衡补偿形式可能存在地壳密度的横向变化、地壳密度的纵向变化、上地幔密度的横向变化、地壳厚度的变化及地壳或岩石圈大规模的扭曲形变等。

S17-P-33

深部地球物理探测技术的科普材料研究

徐昌伟，许惠平，覃如府，陈华根

同济大学海洋与地球科学学院

xcw320@yahoo.cn

地球内部的物质是不均匀的，这不仅表现在纵向上的分层，而且还体现在横向上的不均匀性。这就是地球物理深部探测的物理基础。人类对地球内部结构和物理性质的了解最主要的手段和技术也就是通过地球物理探测方法来获得的。本子专题（SinoProb-02-06-04 视频科普和数据融合技术平台实验研究）的研究内容就是希望通过制作适合于中小学生科普教育的视频材料，建立包括通过利用地震波速度随着物质性质的不同而不同来研究地球内部结构和物质的分布地震探测技术、通过应用万有引力定律来测定物体间的引力的重力探测技术、利用地下地质体的磁性差异在地球磁场上所引起的磁异常的磁力探测技术、以及用天然交变电磁场为场源研究地球电性（电阻率）结构的大地电磁探测技术在内的深部地球物理探测技术。为科普教育提供一套科普视频材料。

作者索引

Aifeng Zhou 196
Albrecht W. Hofmann 245
Alex Sessions 128
ames Bendle 196
Andrew A. Nyblade.....241
Ann Holbourn 129
Audrey D. Huerta.....241
Benjamin Kneller 278
Bin Fang.....78
Brett J. Baker.....65
Brian Tucholke.....211
C.-H. Sui 37
C.K. Shum.....98
C.-M. Tseng.....37
CAO Jianfeng[4] 207
Carlos Zarikian.....221
Charles R. Fisher.....275
Chenglong Zhang.....168
Chris Taylor 65
Christophe Colin 139
Christopher Smith-Duque 221
Chuan Qin 204
Chuanlian Liu.....144
Chuanlun Zhang.....64, 78
Chujun Gong.....288
Chung-yen Kuo 98
Chunxiao Shi.....288
Dalin Shi 170
David A. Williams.....205
David J.W. Piper 345
Di-Cheng Zhu 220
Dong Feng.....275
Dong Liang 145
Dongxiao Wang.....67
Douglas A. Wiens..... 241
Erik E. Cordes 275
Fahu Chen 196
Fei Chai 143
Fengping Wang..... 177
Feng-Ping Wang 73, 187
Fernando Siringan 147
Franck Bassinot 141
Francois M. M. Morel 170
Fumio Inagaki 68, 221
Fuyan Li 64, 78
Geruo A 204
Giuseppe Siani 139
Gordon D. Love..... 41
Gregory J. Dick 65
Guan Jin-an 291
Guifang Yang..... 78
Guihua Wang..... 336
Guoqi Han 98
Hailiang Dong 78
Hairuo QING..... 310
Han Guoqi 96, 114, 115, 124
Harry H. Roberts 275
Harry H.Roberts 276
Hua Yu.....113
Huaiyan Lei 288
Huang Qian 202
Hucai Zhang 196
Hui Huang 168
Huijie Xue 143
Huiling Sun 196
Huiping Xu..... 330
IODP 329 航次科学家..... 68
IODP Expedition 329 Scientists..... 221

István Kovács 245
Jaime L. Toney 196
Jeffrey J. McGuire 230
Jia Liu 245
Jiang Xu 288
Jianping Li 142
Jie Sun..... 125
Jie Zhang..... 288
Jijun Li..... 109
Jinlong Sun 125
John Wahr 204
Juan Feng..... 135, 142
Juan Pablo Canales 217
Jun Li 113
Jun Tian..... 143
Jun Xu..... 73
K.-K. Liu..... 37
K.-Y. Tseng 37
Kai Wu..... 184
Karl Stattegger..... 141
Kedong YIN..... 67
Kunshan Gao 161
L.-W. Wang..... 37
Lei HE..... 67
Li Dang..... 245
Li Dong-liang 291
LI Fe 207
Li Jingjing..... 79
Li Li 145
Li Qianyu..... 145
LI Xie..... 207
Liang De-qing..... 291
Liang Dong 64
Liangying Wei 330
Luc Beaufort..... 144
Lucile Bonneau..... 139
Luis Pinheiro..... 321
Lupei Zhu..... 237
Macus Regenberg 129
Maoheng Zhang 109
Mark J. Dekkers..... 131
Martin G. Wiesner..... 182
Martine Paterne..... 139
Masaki Kanao 241
Meijian An 241
Min Feng..... 245
Minhan Dai 37, 158, 184
Nancy Chen..... 98
Nianzhi Jiao 186
Nicholas Harmon 224
Osamu Seki 196
OURO-DJOBO SEDIKOU BILAMAKAZO..... 358
P.G. Talalay 93
Pavel Talalay..... 93
Peng Xiu 143
Penjai Sompongchaiyakul..... 152
Peter A Finke 200
Peter Clift..... 94
Philip R. Christensen 205
Ping Jinsong..... 202
PING Jinsong..... 207
Ping Sun..... 73
Ping Zhao..... 144
Qiang Shu 109
Qin Yangmin 79
Qing Wang 220
Qing-Lin Sui 220
Qun-Ke Xia..... 245
Richard C. Aster..... 241
Rina Zuraida 129
Robinson, P. T 362
Roger Francois..... 101
Ronald Greeley 205

Ruan Xiaoyan.....79
Rujian Wang.....83
Sang H. Lee.....63
Serge Berne.....113
Shamik Dasgupta 72, 81
Shao-Chen Liu 245
Sheng-Qi Zhou.....84
Shijie Zhong.....204
Shijie ZHONG 235
Shouye Yang 113
Shu-Qing Hao 293
Sidao Ni 236
Simon L Klemperer.....359
Sridhar Anandakrishnan.....241
Stefan Schouten.....196
Steven D'Hondt 221
Su Xiaoli 202
Sunit Jain.....65
TANG Geshi 207
Terry J. Wilson 241
the IODP Expedition 336 Scientific Party 187
Thomas J Algeo.....60
Tian Jun.....145
Timothy W. Lyons.....41
Wan Li-hua.....291
Wei Xie 64
Weijia Fan 141
Weijun Cai.....168
Weijun Li.....78
Weiwen Zhang 67
Wenbo Wu.....236
Wenhuan Zhan 125
Wenjia Ou 288
Wenshen Xiao 83
Wentao Ma 143
Wiedenbeck, M. 362
Wolfgang Kuhnt..... 129
Wu Neng-you 291
Xiang Su..... 144
Xiang Xiao 73, 177, 187
Xiangcheng Yuan 168
Xianghui Guo 158
Xiaodong Song..... 237
Xiao-Hai Yan..... 318
Xin Xie 83
Xin-Wei Yang 73
Xinxu Zhang..... 187
Xu, X.-Z. 362
Xuan Ding 83
Xuan-Xue Mo..... 220
Xuefa Shi.....113
Xue-Hai Fu..... 293
Xuewei Bao 237
Yan Jianguo 202
YAN Jianguo 207
Yang Huan..... 79
Yang Yu 330
Yang, J.-S 362
Yanguang Dou.....113
Yantao Yao..... 125
Yaoling Niu 220
Ye Chen 109
Ying Chen..... 177
Yong Qin 293
Yong Zhang 78
Yu Zhang 177
Yuan-Zheng Lu 84
Yue Wang 144
Yueheng Zhou 187
Yulong Zhao 139
Zang Xiao-ya..... 291
Zhang Chuanlun 79, 145
Zhang Tingjun 193

Zhang, Z.-M.....362
Zhaoqi Song.....78
Zhen Xu.....237
Zheng Fengfeng.....79
Zhi-Dan Zhao.....220
Zhifei Liu.....139
Zhihui Chu.....141
Zhijun Zhao.....109
Zhimian Cao.....158
Zhimin Jian.....141
ZhiMin Jian.....144
ZHONG Zhen.....207
Zilian Zhang.....186
安成邦.....150, 171
安莉.....311
敖红.....131
拜阳.....321, 322, 323
奔放.....312
贲放.....286
边立曾.....54
卞友艳.....276
蔡春芳.....61
蔡进功.....195, 199
蔡兰兰.....185
蔡演军.....154
曹 凯.....222
曹超.....287
曹品鲁.....93
曹双兰.....375
曹运诚.....273, 287
曾罡.....245
曾湘.....80
曾胤新.....63
曾志刚.....258, 261, 263, 268, 269
常宏.....131
陈冰.....226
陈大可.....36
陈代钊.....189, 190, 191
陈端新.....104
陈多福.....50, 273, 276, 287, 292
陈恩科.....371
陈发虎.....94, 110, 126, 150
陈芳.....301, 337
陈翰.....274, 347
陈浩如.....296
陈泓君.....281
陈洪仁.....297
陈华根.....315, 368, 397
陈吉余.....98
陈建芳.....180, 182, 201
陈建徽.....150
陈健.....359
陈江欣.....321
陈立辉.....245
陈立奇.....166
陈林.....188
陈玲玲.....119
陈木宏.....103, 145, 349
陈萍.....270
陈倩倩.....52
陈清清.....87
陈全.....141
陈群策.....350, 362
陈荣华.....182
陈帅.....258, 263, 268
陈松永.....388, 391
陈特固.....164, 169
陈天然.....164, 166, 168, 169
陈秀兰.....175
陈宣华.....350, 383
陈晔.....110, 156
陈毅.....84
陈颖.....251
陈永顺.....211

陈长安.....314
陈镇东.....261
陈正乐.....383
陈志华.....84, 89
陈中强.....60
陈忠.....274, 347
成鑫荣.....133, 152
成智慧.....250
程海.....36, 154
程和琴.....98
程惠红.....379
程文瀚.....92
程小岛.....228, 282
程晓.....82
程雅琳.....228
程永寿.....266
程振波.....84
迟清华.....371
储雪蕾.....41, 198
楚道亮.....55
褚海燕.....83
丛晓荣.....280, 291
崔璀.....307
崔航.....256
崔军文.....366
崔汝勇.....268
崔迎春.....270
戴黎明.....271
戴民汉.....159, 169
戴瑛知.....259
单红仙.....328
党宏月.....172
党玉琪.....383
邓成龙.....47
邓晋福.....234
邓显明.....262
邓洋.....94
底青云..... 377
刁少波..... 294
丁飞..... 195, 199
丁海..... 182
丁茜..... 261
丁巍伟..... 339
丁伟华..... 73, 194
丁玮..... 83, 89
丁忞..... 203, 210
丁兴..... 217, 232
丁杏芳..... 316
丁旋.....90, 117, 130
丁毅..... 385
丁志峰..... 238
董崇志..... 322
董纯明..... 80, 81
董海良..... 63, 74, 76
董浩...357, 358, 385, 389, 390, 392, 393
董济海..... 324
董进..... 378
董林森..... 84
董宁..... 78
董树文..... 350
窦炳珺..... 267
杜德文..... 300, 304
段书新..... 393
樊伟..... 261
范代读106, 118, 119, 120, 121, 122, 155
范德江..... 178
范淑贤.....112
范晓鹏..... 93
方斌..... 252
方家松..... 72, 81, 329
方晶..... 101
方克艳..... 94
丰成君..... 362

冯东 276
冯建同 368
冯松 150
冯甜甜 88
冯晓萍 195
冯志强 263
付淑清 123
富冰冰 68
高博禹 295
高红芳 348
高金耀 338, 341
高美玲 71
高攀 316
高锐 350, 356, 359, 360, 378
高远 48, 69
葛俊逸 147, 148
葛淑兰 89
葛文春 53
耿建华 226
公衍芬 266
宫博识 310
龚楚君 287
龚建明 302
龚骏 181
龚林峰 194
龚林锋 192
龚晓峰 283
龚跃华 293
勾晓华 94
顾健 49
顾圣华 98
顾振雄 88
管红香 292
管守德 318
郭国林 391
郭会荣 251
郭君 181, 187, 188
郭丽华 348
郭良辉 340
郭龙祥 317
郭文婷 181
郭依群 272, 293
郭英海 309
郭正府 250
郭正堂 36, 107, 147, 148, 149, 200
韩冰 85, 333
韩波 376
韩芳 222
韩建恩 218
韩健 58
韩露 385
韩钦臣 124
韩喜球 259
何家雄 283
何剑锋 63
何金海 132, 137
何柳 74
何琦 205
何卫红 43
何叶 294, 347
何莹 77
何拥华 268
何勇 273
何哲峰 219
贺承广 218
贺恩远 335
贺怀宇 47
贺娟 128
贺日政 356
贺仕昌 166
贺训云 61
贺占灿 197
洪汉烈 222
洪嘉琳 93

侯卫国.....63
胡安谊.....183
胡高伟.....294, 302
胡军.....297
胡瑞华.....359
胡挺.....94
胡祥云.....361, 376
胡晓庆.....296, 302
胡修棉.....49
胡颖.....111
胡永云.....42
胡正毅.....93
黄博津.....169
黄乘利.....208
黄春菊.....45, 109
黄大年.....350, 365, 367, 373, 382
黄方.....208, 233
黄辅强.....309
黄金莉.....240
黄金水.....204, 206, 243
黄静.....111
黄俊.....205
黄俊华.....188
黄柳琴.....63
黄奇瑜.....53, 298
黄倩.....206
黄涛.....85, 86
黄婷媗.....261
黄伟.....150
黄文星.....264, 333
黄稳柱.....381
黄咸雨.....192, 194, 197
黄小忠.....150
黄晓冬.....325
黄鑫.....261
黄兴辉.....320, 323
黄一凡.....361
黄逸凡.....286, 311
黄永建.....49
黄永健.....386
黄元凤.....261, 325
黄元辉.....84, 89
霍光谱.....361
吉云平.....112
纪建达.....181
季军良.....222
贾成玲.....188
贾永刚.....328
翦知湣.36, 103, 129, 133, 151, 152, 156
蹇华哗.....74
江尚松.....222
姜高磊.....222
姜丽晶.....80
姜鹏.....69
姜弢.....373
姜在兴.....306
蒋国盛.....310
蒋宏忱.....63, 76
蒋后硕.....210
蒋荣宝.....383
蒋少涌.....298, 307
蒋武明.....383
焦健.....382
焦立果.....213
焦露.....75
焦念志.....172, 181, 184, 185, 187, 188
解彬彬.....175
解习农.....278
金海燕.....133, 151, 152, 201
金胜.....357, 358, 389, 390, 392, 393
金晓波.....170
金振民.....226
靳立亚.....150
荆文萍.....159

景春雷 270
景建恩 389, 390, 392
鞠晓磊 88
卡波文森 165
阚光明 320
康建成 96, 99, 114, 115, 124
孔祥淮 105
匡翠萍 111
匡增桂 294, 347
赖其良 81
乐明亮 43
雷宝华 302
雷怀彦 287
雷吉江 268
雷建设 239
冷伟 120
黎敦朋 219
黎刚 345
李安春 147
李冰玉 68
李超 41, 101, 173
李春峰 226, 390
李聪颖 232
李芳 381
李付成 211
李富超 69
李海燕 57
李寒湜 252
李禾 221
李贺 232
李洪强 360
李怀明 226, 227, 258, 261, 267, 271
李会荣 63, 78
李吉均 110
李家彪 334
李建平 134, 135
李江海 224, 228, 282
李江涛 81
李兰兰 251
李丽 138, 381
李丽青 288
李亮 274
李凌云 88
李猛 65
李明松 53
李宁 165, 196
李平日 123
李平一 175
李琪 142
李前裕 128, 138
李琴 147
李秋生 356, 373
李荣兴 82, 88
李三忠 271
李淑 168
李曙光 247, 253
李铁钢 147
李廷栋 350
李维波 228
李伟 226
李文均 74
李稳 117
李夏晶 147, 347
李小艳 103
李晓惠 250
李学刚 196
李学恭 77
李学杰 85
李艳 91
李艳杰 134
李艳丽 152
李艳平 307
李焱 376
李燕 99

李营.....257
李源.....388, 391
李云.....296, 302
李云海.....178
李兆丽.....388
李兆学.....269
李正心.....392
李志朋.....181, 187, 188
栗艳霞.....185
连宾.....191
梁丹.....146
梁凤华.....388
梁积伟.....341
梁金强.....280, 293, 304
梁银平.....222
廖国祥.....289
廖晶.....302
林芳.....317
林间...203, 209, 210, 211, 212, 227, 231
林君.....359, 373
林丽.....263
林杞.....297
林为人.....366
林晓.....222
林晓光.....380
林珍.....284
凌明星.....232
刘 钊.....391
刘伯然.....323
刘昌岭.....294
刘常宏.....182
刘超.....96, 99, 115
刘晨晖.....298
刘成军.....208
刘传联.....138, 146, 170
刘传周.....246
刘翠.....234
刘东盛..... 387
刘芳..... 224
刘飞..... 388, 391
刘国辉..... 168
刘红叶..... 197
刘慧斌..... 137
刘吉强..... 232, 254
刘佳琳..... 382
刘建宝..... 150
刘建国..... 145, 347
刘建兴..... 89
刘健..... 105, 219
刘进文..... 169
刘晶..... 261
刘俊..... 88
刘俊来..... 234
刘克新..... 316
刘雷保..... 82
刘立..... 63
刘立超..... 359
刘丽华..... 176
刘明德..... 383
刘秦玉..... 128
刘青松..... 95
刘嵘..... 174
刘世杰..... 88
刘爽..... 88
刘为勇..... 261
刘卫国..... 66, 160
刘文义..... 381
刘宪光..... 100
刘小康.....110
刘晓东.....52, 56, 92, 127, 128, 131
刘晓曦..... 183
刘雪敏..... 372
刘亚静..... 209, 230
刘亚盼..... 124

刘焰 254
刘羿 154, 160
刘宇 208
刘云鹤 286, 312
刘运运 114, 115, 124
刘长胜 359
刘钊 388
刘振 286
刘志飞 141, 147, 152, 336, 347
刘志杰 266
刘子威 307
刘祖乾 106
柳保军 278
楼创能 92
卢海龙 290
卢龙飞 195
卢占武 359, 360
芦永红 326
鲁江姑 244
陆钧 145
鹿化煜 94
栾锡武 69
栾振东 314
罗传秀 145
罗春雄 165
罗根明 188
罗文 97
骆满生 222
闾国年 97
吕庆田 350
吕万军 251, 277
吕晓霞 196
马大卫 83
马启科 295
马文宏 283
马小荣 56
毛伟建 363
毛翔 224, 228
毛兴华 98
茅晟懿 292
孟津 51
孟庆伟 218
孟文 362, 378
孟宪刚 218
孟小红 340
聂军胜 95
聂鑫 348
宁伏龙 310
宁杰远 242
牛晓露 388
欧文佳 287
欧阳颀 165
潘晓添 59
潘燕兵 219
潘依雯 261
潘毅 111
庞雄 234, 278
裴军令 219
彭超 76
彭荣华 376
彭淑贞 148
彭子成 160
彭宗林 197
平劲松 392
蒲晓强 306
钱 程 218
强小科 131
乔培军 156, 279
秦华伟 261, 311
秦利 131
秦松 69
秦先燕 88
秦向辉 362
秦养民 192, 197

秦勇.....308
丘学林.....335
邱宁.....234
邱燕.....386
邱之云.....341
裘碧波.....259
瞿逢重.....331
曲莹.....299
冉莉华.....182
饶志国.....110
任睿.....181, 187, 188
戎嘉余.....40
阮仁良.....98
阮挺.....92
沙志彬.....280, 304
沙志斌.....291
商少凌.....178
商志文.....101
尚帅.....121, 155
邵磊.....279, 285
邵兆刚.....218
邵宗泽.....80, 81
申聪聪.....83
沈川洲.....154
沈树忠.....47
沈玉林.....309
沈玉琳.....308
沈云中.....88
施和生.....285
施祺.....163, 164, 166, 167, 168, 169
石贵勇.....259
石学法.....84, 89, 103, 107
石耀霖234, 350, 369, 370, 379, 380, 381
石正国.....127, 128
时美楠.....57
史春潇.....287
史凯..... 157
史晓翀..... 68
舒强.....110
司贺园..... 90
宋博文..... 222
宋海斌.....320, 321, 322, 323, 343, 344
宋海军..... 46, 55, 60
宋虎跃..... 46, 60
宋佳坤..... 164
宋金明..... 196
宋世君..... 309
宋玮鹏..... 70
宋文磊..... 256
宋杨..... 147
宋洋..... 343
苏明..... 280, 304
苏翔..... 170
苏新.....232, 271, 274, 298, 337
苏正..... 273
孙爱芝..... 147
孙波..... 82
孙彩堂..... 359
孙东生..... 366
孙冬英..... 46
孙晗杰..... 147
孙晶..... 302
孙军..... 163
孙鲲..... 63
孙立广.....52, 56, 85, 86, 88, 92
孙龙涛..... 231
孙卫东..... 217, 232, 233
孙文科..... 380
孙闻政.....99, 115
孙晓明..... 259, 289
孙晓霞..... 178
孙新蕾..... 241
孙永革..... 292

孙跃武 53
孙珍 211, 234, 337
索艳慧 271
覃如府 315, 368, 397
谭成轩 362
谭亮成 154
谭明 36, 133
谭能志 114, 115, 124
汤凯 187
唐烽 61
唐红忠 359
唐领余 171
唐水亮 394
唐索寒 221
陶春辉 227, 258, 261, 262, 267, 271
陶士臣 171
田纪伟 317, 318, 319, 324
田军 36, 128, 138
田力 46, 60
田一翔 88
同号文 51
佟宏鹏 50
童金南 46, 55, 60
童小华 82, 88
涂俊彪 122
万 玲 213
万荣胜 86, 333
万世明 147
万随 151
万晓樵 47
汪汉胜 82
汪建国 189, 191
汪立群 383
汪品先 128, 138, 202
汪永进 127
王 岸 222
王 津 218
王斌 317
王冰洁 261
王昌勇 295
王晨阳 240
王成敏 99
王成善 48, 49
王春娟 300, 304
王东晓 317, 325, 347
王冬梅 98
王飞 308
王风平 74, 77
王福 101
王根厚 252
王桂芝 159
王国灿 222
王国栋 96, 99, 115, 124
王海燕 360
王红才 366
王红梅 73, 192
王宏 101
王宏斌 273, 280
王欢业 66, 74
王辉 358, 389, 390, 392, 393
王慧 138
王家林 226
王家生 297
王嘉妮 81
王建 335
王健 390
王金虎 318
王金莲 301
王奎 201
王立飞 348
王丽荣 160
王连捷 366
王嘹亮 125, 293, 294, 347
王鹏 181, 183

王鹏飞.....396
王平康.....49
王璞珺.....47
王强.....106, 107
王权.....155
王汝建.....90
王瑞良.....54
王尚.....63
王绍武.....132
王曙光.....242
王水炯.....247
王婷婷.....156, 211
王万鹏.....81
王万银.....284, 341, 396
王威.....338
王伟.....42
王玮.....371
王卫安.....88
王文广.....147, 336
王先彦.....94, 107
王向东.....44
王晓丹.....199
王晓杰.....164
王晓梅.....54
王晓媛.....258, 263, 269
王欣欣.....302
王新欣.....192
王秀娟.....272
王学求.....350, 371, 372
王扬扬.....118
王宇辰.....152, 336
王玉宏.....86
王昱凯.....175
王元.....284
王章稳.....337
王振峰.....278
王舟.....297
韦恒叶..... 189, 191
韦静静..... 184
韦一..... 222
卫小冬..... 335
魏文博350, 357, 358, 385, 389, 390, 392, 393
魏玉利..... 183
温春..... 105
温敏..... 137
文华国..... 310
文鹏飞..... 288
邬黛黛..... 301
吴耿..... 63
吴国瑄..... 155
吴海斌..... 147, 148, 200
吴海超..... 374
吴怀春..... 57
吴健生..... 226
吴满路..... 362
吴梅林..... 167
吴能友176, 273, 280, 289, 290, 291, 292, 301, 304, 310
吴时国..... 104, 272
吴顺宝..... 43
吴涛..... 267
吴伟超..... 131, 201
吴伟艳..... 74
吴学文..... 268
吴伊婧..... 121
吴莹莹.....117
吴招才..... 259, 338, 341
吴珍汉..... 350
吴忠哲..... 154
吴仲玮..... 259
武法东..... 71
武光海..... 268
席党鹏..... 47

席振铢 262
向雷 61, 189
向荣 103, 145, 347
向绪洪 279
肖国桥 107, 131, 222
肖劲根 325
肖丽 365
肖龙 205
肖湘 74, 77, 174
肖应凯 160
谢成良 357, 358, 389, 390, 392, 393
谢广成 229
谢欢 82, 88
谢蕾 297
谢强 325
谢树成 188, 194, 196, 197
谢志仁 97
熊铎 174
熊发挥 388, 391
熊威 262
熊小松 360
熊炎林 46
徐昌伟 315, 397
徐刚 105
徐海波 326
徐华 87
徐辉龙 335
徐惠 327
徐建 129
徐金鲤 195
徐景平 336
徐俊 77
徐敏 217
徐善法 371, 372
徐文礼 302
徐向珍 388, 391
徐晓梅 316
徐学纯 373, 395
徐亚东 222
徐燕青 201
徐义刚 244
徐增连 222
徐兆凯 147
徐子英 337, 348
许成 256
许诚 377
许鹤华 342
许惠平 315, 368, 397
许清海 126
许书影 88
许学伟 268
许懿 159
许云平 131, 201
许长海 285
薛建涛 192
薛军 93
薛开昶 359
薛梅 224
闫国东 96
闫克平 286
闫仕娟 89, 300, 304
严德天 189, 190, 191
严宏强 164, 168
严辉 286
阎军 314
颜承志 278
颜文 274
杨安 204, 206
杨朝斌 218
杨成 93
杨楚鹏 85
杨春国 338, 341
杨凤丽 226
杨刚 300, 304

杨桂芳.....71
杨红梅.....171
杨宏峰.....209, 230
杨虎.....357
杨欢.....73, 131, 194, 196
杨经绥.....350, 388, 391
杨静懿.....228
杨军.....42
杨庆轩.....319
杨睿.....273, 280, 304
杨少华.....370
杨胜雄.....272, 273
杨守业.....101, 155, 199
杨天水.....57
杨廷禄.....43
杨挺.....224
杨薇.....165
杨蔚.....247
杨晓光.....58
杨晓强.....131
杨晓勇.....232
杨阳.....196
杨永.....284
杨永章.....392
杨正华.....341
杨作升.....103, 178
姚伯初.....213
姚硕.....389, 390
姚素平.....182
姚永坚.....85
姚政权.....107
业渝光.....294
叶高峰357, 358, 385, 389, 390, 392, 393
叶浩.....364
叶瑛.....261, 311
叶志慧.....332
叶卓..... 373
易亮..... 154
殷绍如..... 125
殷学博..... 263
殷长春..... 286, 312
尹安..... 383
尹琦..... 68
尹雪锋..... 71
于淼..... 232
于鹏..... 226
于平..... 367
于兴河..... 291
于严严..... 147, 148, 200
于洋..... 315
于增慧..... 271
于兆杰..... 147
余 佳 218
余淳梅..... 244
余克服.....160, 163, 166, 167, 168, 169
余珊..... 271
俞恂..... 245
俞勇..... 63, 78
俞肇元..... 97
遇昊..... 191
喻建新..... 55
喻文晔..... 138
袁华茂..... 196
袁林旺..... 97
苑孟..... 78
翟惟东..... 179
詹文欢..... 231
张宝金..... 288
张宝民..... 54
张必敏..... 371
张传伦.....64, 66, 74, 172, 181, 183
张春霞..... 149
张迪..... 78

张帆 .. 231, 357, 358, 389, 390, 392, 393
张飞 184
张功成 341
张国良 221
张海燕 261
张洪铭 247, 253
张虎 309
张虎才 95
张华昶 174
张怀 379, 380
张辉 290
张会领 164, 168, 169
张伙带 333
张佳政 335
张家武 150
张剑 294
张劼 287
张金鹏 265, 333, 346
张可霓 310
张克信 43, 222
张兰兰 145, 349
张乐天 357, 358, 389, 390, 392, 393
张丽红 250
张丽萍 328
张利 72
张莉 284, 335
张亮 317
张凌 310
张茂恒 110
张茂亮 250
张美 289
张梦莹 155
张千帆 197
张乔民 160, 167
张琴 347
张青林 285
张青伟 395
张人禾 137
张如伟 288
张锐 181, 185
张少武 226
张世红 57, 378
张拴宏 364
张水昌 54
张涛 338, 341
张伟宏 127
张文涛 381
张文秀 359
张熙颖 175
张先林 98
张向涛 285
张晓 110
张晓波 80
张晓芳 48
张晓华 68
张晓黎 181
张新兵 226
张新艳 182
张鑫 314, 315
张兴洲 53
张旭东 312
张旭光 164
张亚玲 244
张燕武 313
张燕英 164
张阳 43
张瑶 185
张毅刚 256
张永 179
张宇 70
张玉忠 175
张远辉 166
张兆峰 233
张志刚 256

张志伟.....318
张舟.....58
赵斌.....48
赵得爱.....147
赵国琰.....175
赵华.....99
赵焕庭.....160
赵慧静.....269
赵建.....88
赵健楠.....205
赵美霞.....164, 167, 168
赵美训.....103, 174
赵梦.....279
赵明辉.....335
赵强.....153
赵庆英.....395
赵锐.....73
赵淑娟.....271
赵玮.....317, 318, 319, 324
赵艳.....150
赵玉龙.....336
赵越.....219, 364
赵长煜.....343
赵志军.....110
郑常青.....395
郑洪伟.....356
郑建平.....244
郑连福.....182, 261
郑良烁.....156
郑楠.....179
郑强.....184, 186
郑荣才.....59, 295, 296, 302, 307, 310
郑天愉.....238
郑彦鹏.....270
郑玉龙.....182
郑治川.....93
钟广法..... 125, 294, 347
钟珊珊..... 132
钟时杰..... 204, 206
周爱锋..... 150
周春..... 317, 324
周蒂..... 234
周逢道..... 359
周刚..... 59
周怀阳..... 39, 329
周建..... 371
周建平..... 267
周洁..... 163
周力平.....36, 103, 131, 165, 316
周明扬..... 175
周琦..... 350
周苏平..... 383
周训..... 252
周洋..... 337
周永生..... 59
周志远..... 338, 341
周忠和..... 35
周祖翼..... 226
朱本铎..... 265
朱伯靖..... 369, 379, 381
朱大岗..... 218
朱国金..... 295, 296, 302
朱健..... 212, 227
朱炯.....99, 115, 116, 124
朱仁斌..... 83, 87
朱小畏..... 292
朱志伟..... 132, 300, 304
朱志勇..... 307
祝有海..... 283
庄畅..... 337
邹和平..... 213
邹建军..... 84

主管：中国科学院
主办：中国科学院　国家自然科学基金委员会

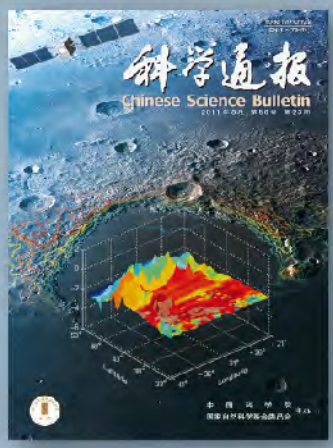
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

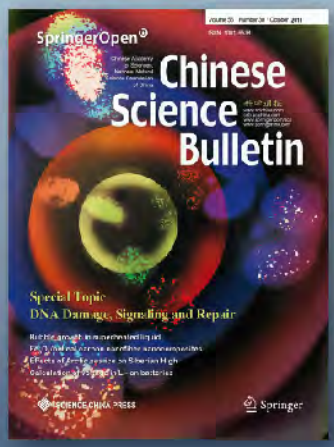
科学通报
Chinese Science Bulletin

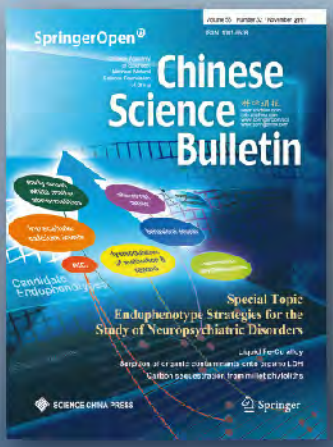
- 1950年创刊，自然科学综合性学术刊物
- 旬刊，发表及时快速
- 栏目丰富，可读性强
- 英文版OA出版，全球免费获取

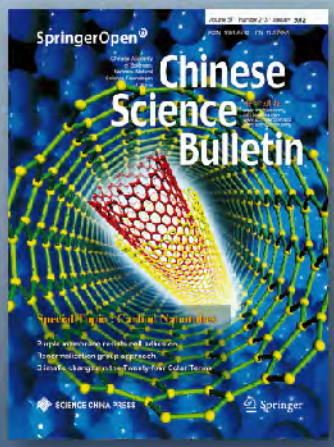
主编：夏建白

csb.scichina.com | www.springer.com/csb









公正快速的稿件审理 | 严格规范的编辑加工 | 专业周到的出版服务

- 中文期刊被《中国科技论文与引文数据库》、《中国科学引文数据库》和《中文核心期刊要目总览》等检索系统收录。
- 英文期刊被SCI、CA、SCOPUS等检索系统收录。

《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS
www.scichina.com

中文版 ISSN 1674-7240 CN 11-5842/P
英文版 ISSN 1674-7313 CN 11-5843/P

中国科学：地球科学 SCIENCE CHINA: Earth Sciences

[中文版-核心期刊] [英文版-SCI收录] [月刊]

我们的刊物

★ 创刊60年，见证中国科学发展历程
★ 英文online first出版，发表及时快速
★ 设有评述、论文和动态等栏目，促进学术交流

投稿网址

earth.scichina.com

下载网址

earth.scichina.com
www.CNKI.net
www.SpringerLink.com

编 委 会

主　　编：孙　枢
常务副主编：陈　颙
副 主 编：马宗晋　欧阳自远　苏纪兰　孙鸿烈　汪品先　周秀骥
编　　委：马昌前　卞林根　尹　安　王训练　王会军　王克林　王良书　王　颖　任纪舜
伍荣生　刘纪远　刘昌明　刘树文　孙和平　安芷生　戎嘉余　朱日祥　汤良杰
吴国雄　吴德星　张国伟　张弥曼　张　经　张培震　李小文　李献华　李曙光
杨　洪　杨惠根　邵明安　陈运泰　陈俊勇　陈　骏　林　间　林畅松　武　强
罗德海　侯书贵　侯增谦　姚檀栋　施　平　胡敦欣　胡瑞忠　赵大鹏　赵其国
郝　芳　柴育成　殷鸿福　秦大河　秦蕴珊　袁业立　顾行发　高　山　高　锐
黄建平　彭平安　程国栋　童金南　舒良树　詹仁斌　翟明国　穆　穆　戴金星
魏奉思

编 辑 部

地　　址：北京东黄城根北街16号 (100717)
电　　话：010-64015883
电 子 信 箱：geo@scichina.org

发 行 部

联 系 人：王维杰
电　　话：010-64019709
电 子 信 箱：wangweijie@scichina.org

主办：中国科学院　国家自然科学基金委员会
出版：《中国科学》杂志社

浅海公司主营产品目录

海洋水文仪器

美国 McLane 公司
- MCLANE 系缆式剖面仪(MMP)

美国 LinkQuest 公司
- FlowQuest 海流剖面仪 75k
- FlowQuest 海流剖面仪 150k
- FlowQuest 海流剖面仪 300k
- FlowQuest 海流剖面仪 600k
- FlowQuest 海流剖面仪 1000k
- 水下声学调制解调器
- TrackLink 超短基线声频跟踪与通讯系统

法国 NKE 公司
- Provor 剖面浮标

意大利 Idronaut 公司
- OS305 CTD
- OS304 CTD
- OS316 CTD
- OS320plus CTD

德国 OceanWaveS 公司
- WAMOS II 海浪监测系统

美国 Oceanscience 公司
- 10-400 型 UCTD 走航式剖面测量系统

极地测量仪器

加拿大 MetOcean 公司
- CAD 极地浮标
- CALIB 空投式极地冰浮标
- IB 极地冰浮标
- IMB 极地浮标
- POPS 极地海洋剖面系统

海洋物理仪器

美国 WETLabs 公司
- AC-S 高光谱吸收/衰减仪
- BB9 后向散射仪
- VSF3 体积散射仪

德国 TriOS GmbH 公司
- RAMSES-ACC 水下高光谱辐射计
- RAMSES-ARC 水下高光谱辐亮度计

海洋环境仪器

美国 Sunburst Sensor 公司
- SAMI^2-CO_2 水下 pCO_2 监测仪
- SAMI^2-pH 自容式指示剂型 pH 传感器

美国 FluidImaging Technologies 公司
- FlowCAM 流式细胞摄像系统

美国 WETLabs 公司
- WQM 多参数水质监测仪
- FLNTU 荧光浊度仪
- Cycle-PO4 磷酸盐现场分析仪
- ECO-FL 系列的荧光计
- Triplet 三通道散射/荧光计
- ECO-PAR™ 光合作用辐照度传感器

美国 Apollo SciTech 公司
- AS-P2 型走航式二氧化碳分析系统
- AS-C3 总溶解无机碳分析仪
- AS-ALK2 总碱度滴定仪

美国 McLane 公司
- WTS-LV 大体积水样抽滤系统
- PARFLUX Mark 78H-21 时间序列沉积物捕获器
- PARFLUX Mark 8 时间序列沉积物捕获器
- WTS 6-24-47FH 浮游植物采样器
- ZPS 7-50 浮游动物采样器
- RAS-100 型时间序列采水器

意大利 Idronaut 公司
- VIP 重金属现场剖面仪

德国 TriOS GmbH 公司
- ProPS 紫外光水下高光谱多要素分析仪
- enviroFlu-HC 高灵敏度的碳氢化合物荧光仪
- MicroFlu-blue 低成本蓝藻荧光仪
- MicroFlu-CDOM 低成本 CDOM 荧光仪
- MicroFlu-chl 低成本叶绿素荧光仪

美国 SubChem Systems 公司
- SubChemPak Analyzer 直读式营养盐自动分析仪
- SubChem APNA 自记式水下营养盐分析系统

气象仪器

美国 RADIOMETRICS 公司
- MP-3000A 地基微波辐射计

美国 Sigma 公司
- MPL-4B 微脉冲激光雷达
- Mini MPL 微脉冲激光雷达

美国 Yankee Environmental Systems 公司
- TSI-880 全天空成像仪

美国 Sippican 公司
- GPS 无线电大气探测系统

德国 Scintec AG 公司
- SLS 地面层闪烁记数器
- BLS 边界层闪烁记数器

美国 Solar Light 公司
- 540 MICROTOPS II™ 太阳光度计

美国 Coastal Environmental systems 公司
- WeatherPak MTR 型自动气象站

英国 Biral 公司
- VPF-710 能见度降水测量仪
- VPF-730 能见度降水测量仪
- VF-500 能见度降水测量仪

美国 Earth Network 公司
- “地球网络”雷电全面探测网

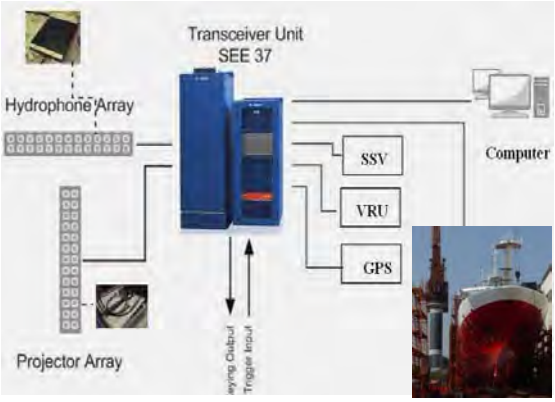
德国 Scintec AG 公司
- FAS 系列声雷达

德国 JENOPTIK 公司
- 激光云高仪

Shallow-Sea Technology Limited
北京世纪浅海海洋气象仪器有限公司

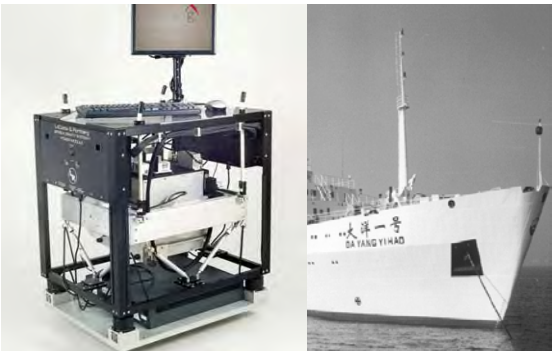
地址：北京市海淀区紫竹院路31号华澳中心3号楼17C
电话：010-62179137 传真：010-62179137
联系人：于玲 邮箱：yl@vipsstd.com

劳雷工业公司深海调查与探测综合解决方案



SeaBeam 3012 全海深多波束测深系统
(2011 年底成功装备在中科院“科学”号考察船上)

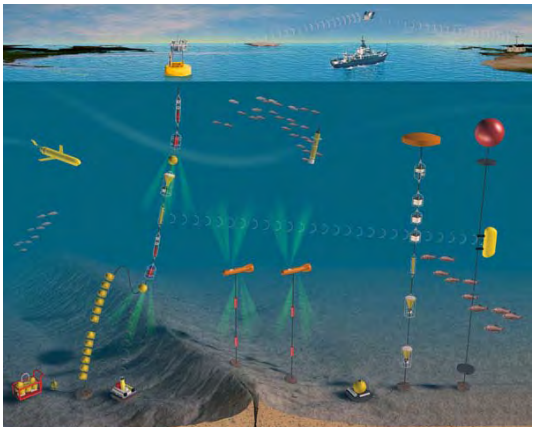
SONIC 2024 超高分辨率宽带多波束和 AUV 集成
(也可与 DOE 公司 ROV 集成，用于深海精细地貌调查)



Micro-g 公司 Air-Sea II 重力仪
从 2005 年开始为我国深海和大洋科考服务

Geometrics 公司 G-882 铯光泵海洋磁力仪

OceanWorks 网络式海底观测站系统



劳雷工业公司 深海多要素潜标或浮标与数据链方案
(2010 年为中科院提供了两套 6000 米潜标及集成)

Nanometrics 公司 Trillium 系列 宽频带地震计（左 1）**和 6000m 超低能耗宽频海底地震仪**

LAUREL 劳雷工业公司 LAUREL INDUSTRIAL COMPANY,INC.
劳雷（北京）仪器有限公司：北京市朝外大街乙 12 号昆泰国际大厦 1810， Tel:(010)5879 0099，Email: laurel@laureltech.com.cn
上海劳雷仪器系统有限公司：上海市龙吴路 777 号新媒体产业园 7 号楼， Tel:(021)6119 6200，Email: laurelsh@laureltech.com.cn

If a core is worth taking, it's worth logging....

岩芯自然伽玛测试仪
MSCL-NG

岩芯综合测试系统
MSCL-V垂直型

岩芯综合测试系统
MSCL-XYZ多岩芯型

岩芯综合测试系统
MSCL-S标准型

Geotek

领海 LinkOcean

Geotek Core Splitter
岩芯切割机

MSCL-DPW岩芯P
波声速测量仪

MSCL-IR天然气水合
物红外热成像仪

PCATS岩芯保压综合测
试系统

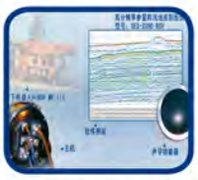
岩芯光学扫描仪
MSCL-CIS桌面照相型

岩芯三维断层扫描系统
MSCL-XCT

声学验潮站
Aquatrak

水位波浪雷达
WaveRadar REX

高分辨率参量阵浅地层剖面仪
SES-2000 Deep深水船载型


高分辨率参量阵浅地层剖面仪
SES-2000 ROV水下机器人型

MSCL-XRF高分辨率X射线岩
芯扫描分析仪（元素浓度）

集装箱型岩芯综合分析测试实验
室Geotek Container Core Lab

深海水位计
RBRvirtuoso BPR

微型水下铱星信标
（5000米）Sable 5000

水下总溶解气体测量仪
GTD-Pro

水下二氧化碳测量仪
CO2-Pro

水下甲烷测量仪METS

Satlantic

小型高分辨率旁扫声
纳Sea Scan HDS

微型水下无线电信标
（7500米）XMB-7500

SVP拉格朗日漂流浮标

水下光学镜头擦拭器
Hydro-Wiper

海底布放回收底座
C-ROM

叶绿素荧光激发衰减全过程
分析仪，水下型in situ FIRe

4000米水下机器人
CDS

岸基型水质监测站Dock
LOBO

海洋监测点阵Ocean
Pod

紫外光谱法水下硝酸盐
测量仪(ISUS、SUNA)

自由落体式水下光谱剖
面仪HyperPro II

水环境长期实时监测站（海洋陆
地生物地球化学监测）(LOBO)

温盐深剖面仪
RBRconcerto C.T.D

感应耦合数据传输系统
MLM-1000

温深仪RBRduo T.D

近海水质浮Bay LOBO
标

海底水质监测站
Benthic LOBO

海洋酸碱度pH仪
（SeaFET）

微型单参数测量仪
RBRsolo

高级单参数测量仪
RBRvirtuoso

双参数测量仪RBRduo

多参数水质仪
RBRconcerto

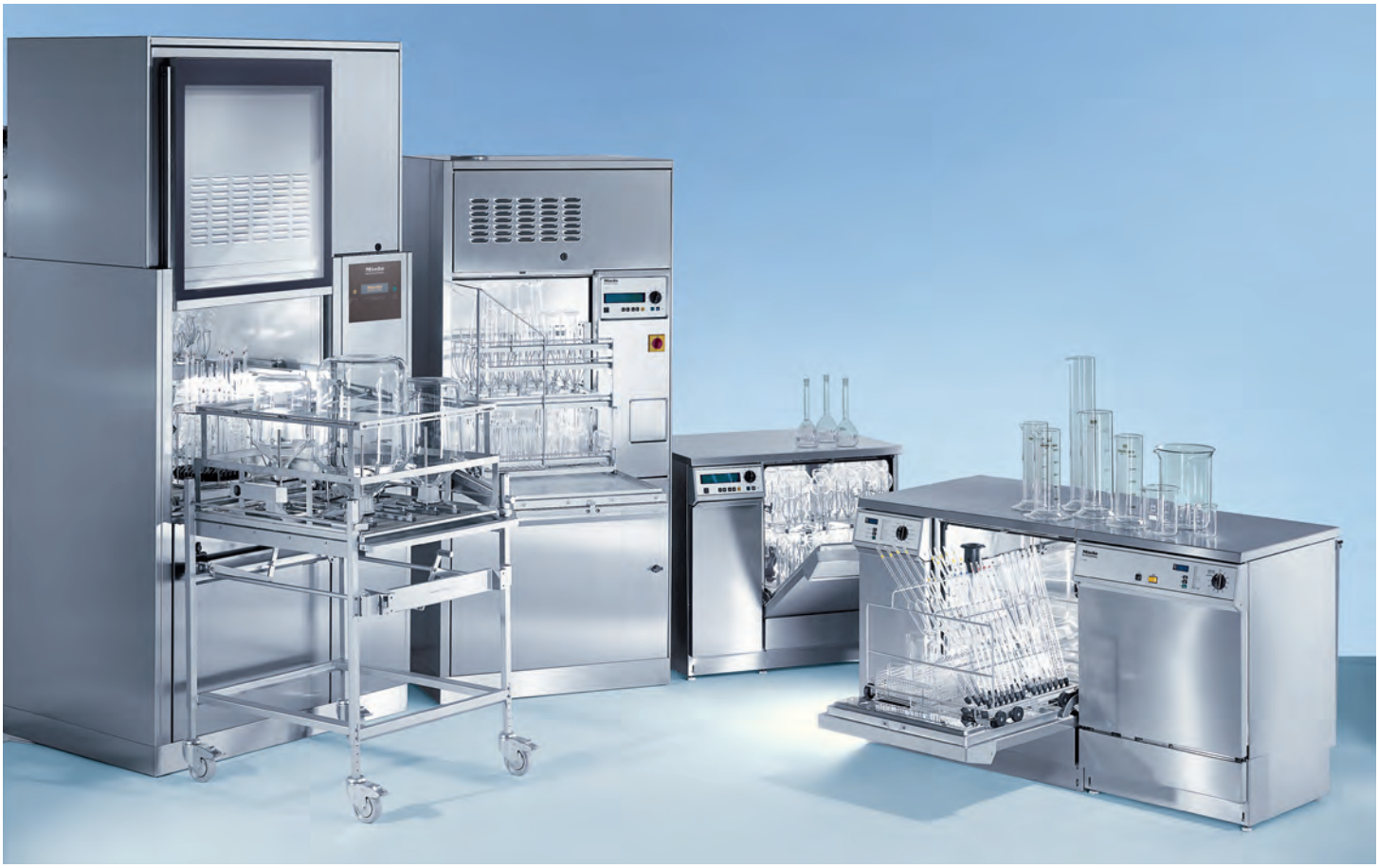
快速多参数水质剖面仪
RBRmaestro

RBR

领海---带来世界领先的海洋仪器！
LinkOcean, your link to the ocean!

青岛领海海洋仪器有限公司（LinkOcean Technologies Ltd） 地址：266061，青岛市秦岭路18号国展财富中心1-206室
电话：0532-80999236，7，9， 传真：0532-80999238 info@linkocean.cn www.linkocean.cn

Miele
PROFESSIONAL



公司简介

美诺公司是全球顶级精密清洗设备的知名制造商。

美诺秉承"追求极至　永不妥协"精神,创立于100多年前,已经发展成为一家卓越的公司，提供高效率、大容量和性能一流的商用清洗系统。

公司致力于创新。美诺于1901年制造出第一台木桶洗衣机，于1929年制造出欧洲第一台电动家用洗碗机，并在1978年推出了第一台微电脑控制型洗碗机。

美诺，近日再次创新，其大型室内式器皿清洗机首次采用了免维护电导率仪。目前，美诺是全球最大的家用电器制造商，还因为巧妙设计的民用和工业用产品而在世界范围内得到广泛赞誉。

美诺还因其顶级的技术服务，销售支持和应用技术而知名。

设计成果

美诺的精密清洗系统旨在为研究人员提供实现可校验研究过程最高水平清洗的系统。这种高水平的清洗是通过专门的清洗程序实现的，而这些专门的清洗程序具备杰出的可编程性，快速的循环时间，HEPA过滤热风干燥和注射清洗能力。借助在德国的独有美诺应用实验室，提供世界级的应用指导。在这个实验室中，针对细颈玻璃器皿专门的注射篮子被设计出来，该实验室还负责设计可满足客户特定需求的清洗程序。

美诺的精密清洗系统应用于全世界的制药公司、整形外科植入物制造商、大学、水处理厂，牙科医院和生物技术公司中。

产品系列

大容量器皿清洗机

美诺大容量器皿清洗系统旨在为高吞吐量，集中的清洗领域提供服务。这些系统包括一体化HEPA过滤的热风干燥，可在15-20分钟内将器皿变干。这省下了将器皿转移至一个单独的干燥箱内所需的时间和人力。

标准容量器皿清洗机

美诺标准容量器皿清洗机的服务对象为实验室。所有型号的标准容量器皿清洗机都具备提供热DI水洗和对细颈器皿，如容量瓶进行注射清洗的能力。

篮子&嵌入和机械配件

美诺为其全套精密清洗系统提供全套篮子&嵌入和机械配件。从细颈器皿、吸管到瓶子以及其他东西，美诺根据您提出的特定清洗要求提供针对性的解决方案。美诺还提供运送车和机械配件，以达到真正意义上以需求为导向的清洗效果。

验证服务

美诺认证服务包括广泛的 IQ/OQ，接受过整套培训的美诺授权认证技师，以及可减轻采购忧虑的便捷定价。

清洁剂

美诺和最棒的清洁剂厂商建立了合作关系。因此我们可以提供清洁剂方面的建议，以满足您的清洗要求。这些清洁剂可确保您的美诺器皿清洗机达到最好的清洗效果。

美诺（上海）贸易有限公司北京分公司
北京市朝阳区光华路1号嘉里中心南楼3层
电话：010-57832688
传真：010-57832600

美诺（上海）贸易有限公司
上海市静安区威海路511号国际集团大厦1306室
电话：021-61353559
传真：021-61353993

新技术带来新机会-激光稳定同位素分析仪

传统上稳定性同位素的测量仪器主要是稳定性同位素比质谱仪（IRMS），现在已经有相当数量的科学家开始使用激光光谱技术的同位素分析仪。因为激光同位素分析仪，相比而言拥有更快的测量速度，与质谱仪相当或优于的整体精度，最重要的是采购成本和运行成本都要低得多，操作简单，无需专职的测量人员。单独课题组即可以拥有一台激光同位素设备，进行同位素数据测量。

1、 水同位素分析仪

主要特点：

1、 氢氧同时测量（同步测量 $\delta^{18}O$、$\delta^{17}O$ 及 δD）

2、 无需氮气及其他气体载气

3、 高测量速度（1080 针/天）

4、 可野外原位测量

5、 国际原子能机构（IAEA）力荐

2、 碳同位素分析仪

主要特点：

1、 一谱多峰，碳氧同测（同步测量 $\delta^{13}C$、$\delta^{18}O$ 及 $\delta^{17}O$）

2、 高测量速度，1-10HZ, 可做碳同位素涡度相关

3、 实时显示测量及吸收光谱

4、 集大成者，最新推出的 56r 系列可同步测量 $^{12}CO_2$，$^{13}CO_2$，$CO^{18}O$，$^{13}CO^{18}O$，$\delta^{13}C$，$\Delta 47$

3、 氮同位素分析仪

1、 氮氧同时测量（同步测量 $\delta^{15}N$ 及 $\delta^{18}O$）

2、 区分 $\delta^{15}N^{\alpha}$ 及 $\delta^{15}N^{\beta}$，可野外原位测量

3、 不受分子量同为 44 的 CO_2 影响

产地：美国 Los Gatos Research 公司　中国区独家代理：北京理加联合科技有限公司

中国区售后服务中心地址：北京市昌平区昌平路 380 号院新龙城 40 号楼 1-102

电话：010-51292601 传真：010-82899770

水德仪器
WATERTOOLS

青岛水德仪器有限公司是一家从事高品质水环境仪器设备销售和服务的专业公司。我们致力于将研究自然水体环境的国际先进设备引进中国。我们已经与国外数十家世界顶级的高品质水环境仪器设备供应商建立了长期稳定的合作关系。

我们的仪器设备专门用于海洋、河流、湖泊、地下水等自然水体环境的调查和研究。产品主要包括各种采水器、采泥器、浮游生物采样网、沉积物捕集器、高精度多参数水质监测仪、微结构湍流剖面仪、水下原位营养盐分析仪、船载式海洋二氧化碳分压监测仪、水下机器人(ROV)、水下爬行机器人、单波束测深仪、多波束测深仪、浅地层剖面仪、侧扫声呐系统、前视避障声呐、海洋磁力仪、海洋重力仪、深海电火花震源、水下GPS定位系统、水下通讯设备、水下激光测量设备、地下水水位监测仪等设备。

我公司现为德国HYDRO-BIOS公司和德国SST公司中国区总代理。

德国HYDRO-BIOS公司位于德国北部港口城市基尔，是世界上设计并制造水体采样设备最专业的公司。迄今为止，德国HYDRO-BIOS公司已经有50多年的历史了。德国HYDRO-BIOS公司的设备已经被世界各地的科研院所采用，主要用在遍布世界各地的科学考察船上。德国HYDRO-BIOS公司浮游生物分层采样网MultiNet最大采样深度可达6000米，自问世以来，就成为国际上深海浮游生物分层采样的标准设备。MultiNet进入中国后，填补了国内深海浮游生物调查的空白，进行海洋浮游生物调查研究的科研单位和海洋科考船都值得拥有。

德国SST公司用致力于生产高精度多参数水质监测设备。30多年来，SST生产的CTD系列高精度多参数水质监测仪和MSS系列微结构湍流剖面仪，已享誉全球。这些探头可以精确测量各种水环境参数，它们既可单独使用，也可集成到各种海洋浮标、潜标，甚至ROV上。

德国HYDRO-BIOS公司与德国SST公司紧密合作，优势互补，设计并制造出了世界上性价比最高的、用于海洋调查的高精度玫瑰花形采水系统(Precise Rosette System, PRS)。PRS不仅具备HYDRO-BIOS采水系统一贯的可靠性和稳定性，并且在采水的同时，可以通过SST高精度水质探头采集各种精确的水环境参数。它的出现，让海洋调查人员有了更好的选择。

我们不仅能够为国内水环境工作者提供高品质的仪器设备，优质的售前、售中和售后服务，同时我们也能为客户设计并提供水环境研究方面的各种系统解决方案。我们愿协助您，为中国水环境保护事业贡献我们的一份力量。

温盐深仪

CTD采水器

重力柱状取芯器

多管柱状取样器

沉积物捕集器

浮游生物连续采样网

地址：青岛市城阳区中城路345-2号海都商务中心910室
电话：0532-87761284　　网址：www.watertools.cn
传真：0532-87761264　　电邮：info@watertools.cn

海洋•河流•湖泊•地下水
高品质水环境仪器设备供应商

SMT™ 北京赛迪海洋技术中心

北京赛迪海洋技术中心是一家以高科技工业专用设备为主体的系统集成和服务公司，成立于1999年。公司从事海洋水文、地质、资源开发、环境保护、船舶建造仪器设备的应用研究、系统集成、市场营销、技术支持和售后服务。公司和近百家从事物理海洋研究、勘探的研究院所、石油公司保持着密切的合作。我中心曾经和正在协助中国海洋，地质勘探，航道测量，水文气象，海军等有关单位引进多波速海底图形系统、侧扫声纳、浅地层剖面仪、水下电视与光学器材、水下机器人、水听器、换能器、地震电缆、特种电缆、特种绞车以及各种海洋水文方面的潜标系统、温盐深记录器、流速剖面仪、水流、浪潮、水质测试用高新技术设备。经营业务包括：代理、技术咨询、备件供应、承包维修、演示试验、系统配套等。

地址：北京海淀区曙光花园中路11号北京农科大厦B座216室　　电话：010-88876983　传真：010-88879252
邮编：100097　　网页：www.seismicmarine.com.cn　　邮箱：info@seismicmarine.com.cn

碳14测年到底需要多久?
BETA
Beta Analytic
专业的放射性碳测年实验室
始于 1979
●标准服务14个工作日完成，最少2~3天
●ISO17025认证实验室保证测试质量
●良好的客户服务，及时协助转寄样品
●在线系统及时跟踪测试状态与取得报告
中国大陆直拨电话：4000-365-965
www.radiocarbon.cn

会议日程索引表

	7 月 1 日		7 月 2 日	7 月 3 日	7 月 4 日
8:30-10:00	会议报到 10:00-22:00	分会场 1	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（一）	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（三）	专题七 微型生物与碳循环（一）
		分会场 2	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（一）	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（三）	专题五 不同尺度的季风变化（二）
		分会场 3	专题六 海洋酸化：过去、现在与未来（一）	专题二 微生物与极端气候变化（一）	专题十五 海底观测（一）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（一）	专题十七 深部探测与地球动力学（一）	专题十七 深部探测与地球动力学（三）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（一）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（一）	专题十二 地球内部碳储库性质及其演化过程（一）
10:00-10:20		茶歇			
10:20-11:50		分会场 1	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（二）	专题一 地史时期重大生物事件与环境演变（四）	专题七 微型生物与碳循环（二）
		分会场 2	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（二）	专题四 气候变化的海陆比较与海平面变化（四）	专题五 不同尺度的季风变化（三）
		分会场 3	专题六 海洋酸化：过去、现在与未来（二）	专题二 微生物与极端气候变化（二）	专题十五 海底观测（二）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（二）	专题十七 深部探测与地球动力学（二）	专题十七 深部探测与地球动力学（四）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（二）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（二）	专题三 极地系统科学（一）
12:00-13:00		午餐			
13:00-13:50		专题讨论	分会场 5：天然气水合物油气系统		分会场 1：海洋微型生物储碳 分会场 4：极地太平洋
12:40-14:00		展板交流	专题一、二、四、五、十三	专题三、六、十四、十五、十六	专题七、八、十、十七
14:00-15:30		分会场 1	专题八 地球环境演化与碳循环（一）	专题八 地球环境演化与碳循环（二）	专题十二 地球内部碳储库性质及其演化过程（二）
		分会场 2	专题十六 南海深部过程	专题五 不同尺度的季风变化（一）	专题五 不同尺度的季风变化（四）
		分会场 3	专题九 比较行星科学：结构、成份、过程（一）	专题九 比较行星科学：结构、成份、过程（二）	专题十五 海底观测（三）
		分会场 4	专题十一 地球深部过程与物质循环（三）	专题十三 海底金属资源（一）	专题十三 海底金属资源（二）
		分会场 5	专题十四 天然气水合物与深海油气（三）	专题十 大陆与海洋岩石圈的演化与动力过程（三）	专题三 极地系统科学（二）
15:30-16:00		茶歇			
16:00-17:30		主会场	大会报告	大会报告	大会总结
17:30-20:00	招待冷餐会（光大 10）17:30-19:00		招待晚宴（宴会厅）18:00-20:00	信息发布会（分会场 2）19:00-21:00	
20:00-22:00		专题讨论	分会场 3：海洋碳汇标准论坛		

备注：

1、分会场口头报告的基本时间单元为 1.5 小时，有多个时间单元的专题分别用（一）、（二）等表示。

2、相同颜色的专题表示学科关联度较高。

主会场	分会场 1	分会场 2	分会场 3	分会场 4	分会场 5
宴会厅（二楼）	光大 8（二楼）	光大 10（二楼）	光大 7（二楼）	光大 9（二楼）	光大 1（二楼）

会议注册	展板区	自助午餐	茶歇/咖啡
酒店大堂	光韵 5、光韵 6（一楼）	咖啡吧、光韵 2、光韵 3（一楼）	咖啡廊（二楼）