

中国大洋发现计划 通讯

IODP-CHINA NEWSLETTER

第 33 卷 第 1 期

2021. 07



主办



中国大洋发现计划
专家咨询委员会



同济大学
海洋地质国家重点实验室

2

新闻动态

国际大洋发现计划开放征集科学建议书	2
国际大洋发现计划开始征集新一任论坛主席人选	3
美国国家科学基金会发布公开信	4
征集面向 2050 的美国大洋钻探船解决方案	
美国“决心号”平台管理委员会召集科学家委员的通知	5
Henk Brinkhuis 当选国际大洋发现计划新一任论坛主席	5
中欧大洋钻探双边合作研讨会在线上召开	6
IODP 2021 年度成员国办公室会议在线上召开	8
IODP 论坛 2021 年度会议在线上召开	10
“决心号”平台管理委员会 2021 年度会议召开	12
大洋钻探巡回学术讲座——西北大学站取得圆满成功	14
大洋钻探巡回学术讲座——北京大学站成功举办	16
第六届地球系统科学大会取得圆满成功	18



21

研究亮点

21	IODP 349 航次新成果：镁同位素揭示南海次海盆尺度地幔不均一性组成和成因
23	南海大洋钻探新进展：建立南海地幔演化统一模型
25	IODP 356 航次新成果：获得 6 百万年以来澳大利亚古海温和洋流变化历史的新认识
27	IODP 346 航次新成果：揭示北太平洋深层水在晚中新世的形成
29	大洋钻探新成果：量化第四纪阶段热带边缘海全球碳循环和气候变化效应
31	孟加拉湾大洋钻探新成果：南亚河流形成演化历史取得新进展
33	<i>Nature Communications</i> 发表 IODP 351 航次新成果：揭示板块俯冲起始机制



59

信息发布

- 35 南海大洋钻探：南海陆缘同裂陷期的岩浆作用研究新进展
- 37 *Global and Planetary Change* 发表 IODP 368 航次新成果：对理解中新世中晚期亚洲季风演化具有重要意义
- 39 *Geology* 发表 IODP 364 航次新成果：揭示墨西哥湾 Chicxulub 陨石撞击事件过程
- 43 IODP 360 航次研究成果：马赛克锆石与超慢速扩张洋脊应力场变化
- 45 *Geology* 发表中国科学家大洋钻探新成果：揭示喜马拉雅—喀喇昆仑山和阿拉伯海体系的演变过程
- 47 *Paleoceanography and Paleoclimatology* 发表中国科学家大洋钻探新成果：对建立完整的始新世天文年代格架和理解东印度洋动力学具有重要意义
- 49 南海大洋钻探：被动陆缘远端带基底性质和变形特征研究新进展
- 50 南海大洋钻探新进展：绿片岩相糜棱岩显微构造记录南海陆缘新生代伸展
- 53 数值模拟揭示南海中部大洋钻探区陆洋转换方式
- 55 IODP 367、368 航次新成果：揭示南海西北次海盆沉积过程、控制因素及物质来源
- 57 IODP 360 航次新成果：超慢速扩张脊下洋壳组成和结构多样性的成因

- 59 季风系列学术讲座在线上举办
- 59 中国 IODP 办公室组织大洋钻探学术讲座的通知
- 60 中国 IODP 办公室组织大洋钻探建议书研讨会的通知
- 61 IODP 377 航次召集船上科学家通知
- 62 2021 年度“欧洲大洋钻探联盟暑期学校”正在招募学员



国际大洋发现计划 开放征集科学 建议书

国际大洋发现计划 (IODP) 在科学计划指导下探索地球的气候历史、结构、地幔 / 地壳动力学、自然灾害和深部生物圈。IODP 利用三大钻探平台 (美国“决心号”、日本“地球号”和欧洲“特定任务平台”) 进行海底钻探、取芯和测井等, 推动对人类社会关切的科学主题进行多学科的国际合作研究。IODP 现面向全球科学家开放征集 IODP 科学建议书, 同时针对 2023 年后新阶段大洋钻探建议书提交的意向征求意见和建议。

一、征集 IODP 阶段科学建议书 (截止日期为 2021 年 4 月 1 日) :

决心号: 由于目前系统中的建议书数量和质量已满足 2024 年前“决心号”航次安排的需要, 因此, 该平台不再接受全新的预建议书或完整建议书。仅接受已在系统中的预建议书和完整建议书的修改版、新的附加项目建议书 (APLs)、新的海陆联合钻探建议书以及 2020 年终止且被鼓励重新修改提交的建议书。

特定任务平台 (MSP) : MSP 计划每隔一年安排一个航次, 重点关注其他平台无

法实施钻探的海区 (如浅水、封闭海域和覆冰海域等)。MSP 欢迎提交全球海域的建议书。

地球号: 除了匹配性项目建议书 (Complementary Project Proposal, CPP) 之外, 本次不接收全新的科学建议书。

需注意: 由于科学和钻井安全评审流程以及航次安排的需要, 从首次提交建议书到航次排上日程一般需要 4-5 年的时间, 而完备的站位调查数据对于建议书的评审通过至关重要。特别提醒建议在撰写科学建议书之前应联系对应钻探平台的科学执行机构了解该平台在运行和财务预算等方面的制约。

二、征集 2023 年后大洋钻探新阶段建议书提交的意见和建议 (系统已经开放) :

2023 年后, 科学建议书将在大洋钻探 2050 年科学框架指导下提交, 为了解国际科学界在新阶段提交建议书的意向, 决心号平台管理委员会向科学界公开征集意见和建议。决心号平台管理委员会将汇同其他平台管理委员会、资助机构和 IODP 论坛讨论对此次征集意见和建议的反馈, 为形成下一阶段大洋钻探计划提供参考。提交意见和建议需要在建议书数据库系统 (PDB) 中在线填写表格, 内容包括未来建议书的科学目标、研究区域以及其他相关信息。PDB 系统目前已经开放, 暂无截止时间, 直至另行通知。

请登录 IODP 网站: <http://www.iodp.org/proposals/submitting-proposals>, 了解更多详细信息。

中国 IODP 鼓励中国科学家积极提交建议书, 以及针对 2023 年后新阶段提交建议书的意见和建议, 有任何需要请随时联系办公室。



国际大洋发现计划开始征集新一任论坛主席人选

3月，IODP 科学支撑办公室发布了征集 IODP 论坛主席申请人选的通知。据悉，现任 IODP 论坛主席、英国爱丁堡大学 Dick Kroon 教授将于 2021 年 9 月底卸任，IODP 开始面向国际学术界征集新一任 IODP 论坛主席人选，由感兴趣的科学家自由申请。新任主席将由 IODP 各成员国代表组成的委员会投票选出，于 2021 年 10 月 1 日起正式接替 Dick Kroon，任期 2 年（视资助情况可延长 1 年）。申请人应在大洋钻探领域学术成就突出，具有丰富科研管理经验，能保证有较充裕的工作时间，并获得所在单位和成员国办公室的支持。

IODP 论坛是国际大洋发现计划的议事机构，主要任务是讨论 IODP 的科学运行、管理政策等，保证 IODP 科学计划的贯彻执行，并为各成员国提供建议。IODP 论坛由各成员国科学家代表、资助机构、执行机构和成员国办公室代表组成。论坛主席的主要职责是组织 IODP 论坛会议，参加 IODP 相关工作会议，推动 IODP 发展，提升 IODP 学术影响力，对外代表整个 IODP。

有意申请的中国科学家需提交以下申请材料：

1. 申请信：阐述申请人对领导 IODP 论坛的兴趣，确保 IODP 论坛能履行职责的主要工作设想。IODP 论坛的职责范围请参考以下链接：<https://iodp.org/forum-terms-of-reference-may-2014/file>；

2. 最新个人简历：需包含申请人参与大洋钻探航次的经历，利用大洋钻探数据或样品开展的研究工作，参与大洋钻探计划发展、科学咨询机构、领导大洋钻探航次或大洋钻探计划管理等方面的经历；

3. 三封推荐信：支持申请人具备胜任 IODP 论坛主席科研和组织能力的推荐信，建议至少有一封来自参与过大洋钻探科学咨询机构或大洋钻探管理的专家；

4. 财务支持信：支持申请人具备必要的工作条件（工资待遇、后勤支撑等），由申请人所在单位和 IODP 办公室出具。

上述材料中 1-2 项由申请人提交，3-4 项由推荐人或推荐单位提交，所有材料英文撰写，于 2021 年 5 月 14 日之前发送至 IODP 科学支撑办公室 Charna Meth (cmeth@ucsd.edu)。有关问题可直接咨询现任主席 Dick Kroon (dick.kroon@ed.ac.uk)。

美国国家科学基金会发布公开信 征集面向 2050 的美国大洋钻探船 解决方案



美国正在服役的大洋钻探船——“乔迪斯·决心号”（JOIDES Resolution）是由 1978 年建造的石油钻井船改造而来，已连续为三个阶段的大洋钻探计划服务近 40 年，如今设备老旧，最晚将于 2028 年退役。美国亟需建造新船代替“决心号”，从而继续为国际大洋钻探服务，确保美国在这一领域的领导地位。为此，美国国家科学基金会（NSF）于 2021 年 2 月 1 日发布公开信，

向美国境内机构征集新船的解决方案，对现有船舶的改造或新建钻探船都在考虑之内。NSF 将组织评审，综合成本、技术等多方面因素后确定最终方案。公开信称：“该船将为 IODP 2050 科学框架服务，旨在解决海洋领域的关键地球科学问题、进入过去无法涉足的区域，以保持美国在地球科学领域的全球领先地位”。



美国“决心号”平台管理委员会 召集科学家委员的通知

IODP 美国“决心号”平台管理委员会 (JRFB) 正在召集科学家委员，其中一位面向美国以外的其他成员国，申请人应为大洋钻探领域的资深科学家，具有参与大洋钻探研究和科学咨询机构的丰富经验。据悉，新任委员的任期从 2021 年 10 月 1 日起，任期 3 年。

JRFB 负责美国“决心号”钻探平台科学运行的管理和监督，决定“决心号”年度航次安排和长期规划，是“决心号”的最高决策机构。委员会由 6 位科学家委员和各国资助机构代表、执行机构代表共 13 人组成。

有意申请该职位的中国科学家请于 2021 年 7 月 23 日之前将英文申请材料（包括 1 封自荐信和 2 页纸的简历）发送至美国 IODP 办公室：ussp@ldeo.columbia.edu，并抄送中国 IODP 办公室：iodp_china@tongji.edu.cn。自荐信中需注明申请人：1. 主要研究领域；2. 曾经参与大洋钻探有关科学咨询机构的经历；3. 对当前和未来大洋钻探的科学兴趣。

中国 IODP 鼓励中国科学家积极申请，在国际 IODP 的科学管理中发挥更重要作用，如成功入选，办公室将提供参加 JRFB 年度会议及相关活动的差旅费支持。



Henk Brinkhuis 当选国际大洋发现计划 新一任论坛主席

6 月 29 日，由各国科学家代表组成的国际大洋发现计划 (IODP) 论坛主席遴选小组召开会议，经过认真讨论，小组成员投票选出了新一任 IODP 论坛主席：荷兰皇家海洋研究所 Henk Brinkhuis 教授。

Henk Brinkhuis 是荷兰乌特勒支大学海洋孢粉学和古生态学教授，荷兰皇家海

洋研究所 (NIOZ) 所长。他将从 2021 年 10 月 1 日起正式接替现任 IODP 论坛主席 Dick Kroon，任期 2 年。Henk Brinkhuis 参加过多个 IODP 航次，包括 2004 年的北冰洋钻探航次，2010 年南极威尔克斯地航次以及即将执行的 IODP 396 航次。Henk 同时具有丰富的大洋钻探科学管理经验，他曾担任荷兰 IODP 主席，IODP 科学指导与评估工作组主席等。

中欧大洋钻探双边合作研讨会 在线上召开

当前正在执行的国际大洋发现计划（IODP）将于 2023 年 9 月结束，目前 IODP 各主要成员都在研讨 2023 年后国际大洋钻探的组织框架和运行模式。为了凝聚共识，加强双方

在大洋钻探科学研究、组织和运行等方面的合作，2 月 25 日，欧洲大洋钻探研究联盟（ECORD）与中国 IODP 双边合作研讨会在线上召开，ECORD 管理机构主任 Gilbert Camoin 及

ECORD 委员会、科学执行机构、平台管理委员会、科学支撑与咨询委员会等机构负责人，中国 IODP 专家咨询委员会副主任翦知潜教授，顾问汪品先院士，中国 IODP 办公室和同济大学、





广州海洋地质调查局等单位的相关专家近 20 人参加了会议。

会上，中国 IODP 办公室主任拓守廷首先介绍了中国 IODP 在推进成为平台提供者、自主组织航次、建设运行 IODP 岩芯实验室以及组织科学家撰写 IODP 建议书等方面的工作进展，未来中国 IODP 将继续加大对 IODP 的投入，为国际大洋钻探做出更大的贡献。同济大学刘志飞教授和钟广法教授分别介绍了巽他陆架大洋钻探和花东海盆钻探的工作进展，其中巽他陆架大洋钻探将是中国自主组织的第一个大洋钻探航次，将与 ECORD 开展深度合作。

ECORD 科学执行机构 (ESO) 主席 Dave McInroy 介绍了欧洲“特

定任务平台”的钻探能力以及在国际大洋钻探中发挥的重要作用，未来 ECORD 将继续运行 MSP，并将工作区域扩展至全球海域。ECORD 平台管理委员会主席 Gabi Uenzelmann-Neben 介绍了 2013-2023 年期间 MSP 航次执行情况以及面临的挑战。ECORD 科学支撑和咨询委员会 (ESSAC) 主席 Antony Morris 强调已执行 MSP 航次与新近发布的大洋钻探 2050 年科学框架主题密切相关，ECORD 长期以来与国际大陆钻探计划 (ICDP) 联合推动海陆联合钻探，组织“Magellan Plus”系列研讨会，鼓励科学家撰写提交海陆联合钻探建议书，这是未来大洋钻探支持的重要方向之一。

与会双方围绕上述主题展开了热烈的讨论，双方达成高度共识，认为当前 IODP 的组织模式运行良好，但科学执行力还有待加强，大量通过科学评审的建议书正在等待安排航次，未来应鼓励潜在的平台提供者加入，能够执行更多科学航次。中欧双方将在平台管理和运行、联合组织航次、岩芯库建设等方面开展深度交流与合作，同时鼓励中欧科学家联合撰写建议书，开展更多合作研究。

4月12日，国际大洋发现计划（IODP）2021年度成员国办公室会议（Program Member Office meeting）在线上召开，来自IODP主要成员国办公室共30余位代表参与了会议，中国IODP办公室拓守廷等4人参加了本次会议。

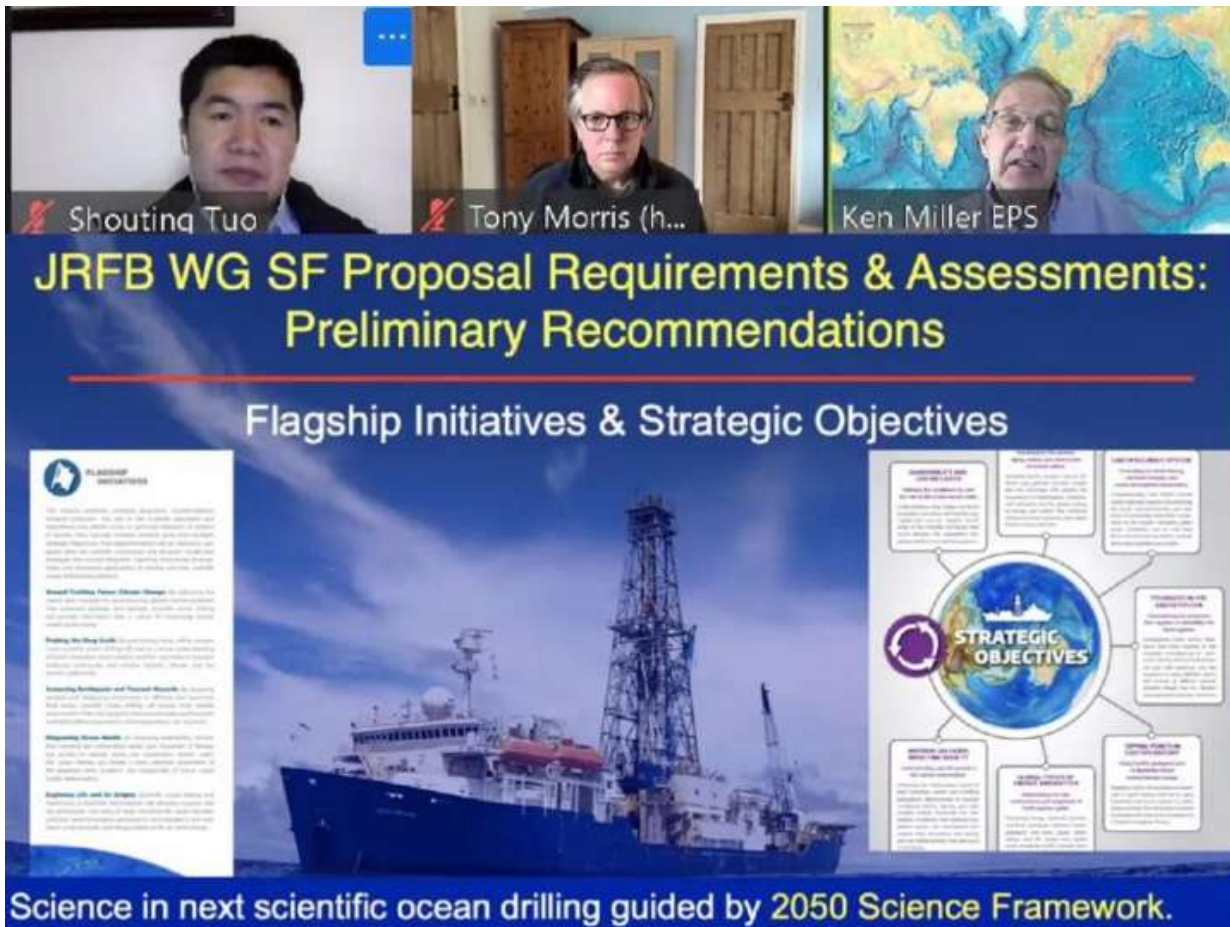
IODP成员国办公室会议是各成员国交流最新工作进展和交换意见的平台，主要任务是交流各国开展大洋钻探研究的进展，加强各成员国之间的合作，会议每年举办一次。本次会议主要围绕大洋钻探2050科学框架下建议书的提交和评审规则，大洋钻探的科普教育等内容展开。

会议首先听取了IODP各成员国办公室关于主要工作进展的报告。来自美国IODP科学支撑办公室（USSSP）、ECORD科学支撑和咨询委员会（ESSAC）、澳大利亚-新西兰大洋钻探研究联盟（ANZIC）、日本地球科学钻探联盟（J-DESC）、中国IODP办公室（IODP-China）、印度IODP办

IODP 2021 年度 成员国办公室会议 在线上召开

室（IODP-India）和韩国IODP办公室（K-iodp）的代表分别报告了各自的重要工作进展，包括财政预算、组织建议书研讨会和开展科学研究等方面。值得注意的是，韩国IODP办公室的Gil Young Kim表示，由于财政预算尚未落实，韩国2022年不能参与IODP，目前正在积极努力争取经费，希望韩国未来能继续参与IODP。

中国IODP办公室主任拓守廷介绍了中国IODP的最新进展：2021年3月，同济大学与中国地质调查局广州海洋地质调查局、中国科学院深海科学与工程研究所签署了共建深海科学与技术联盟框架合作协议，



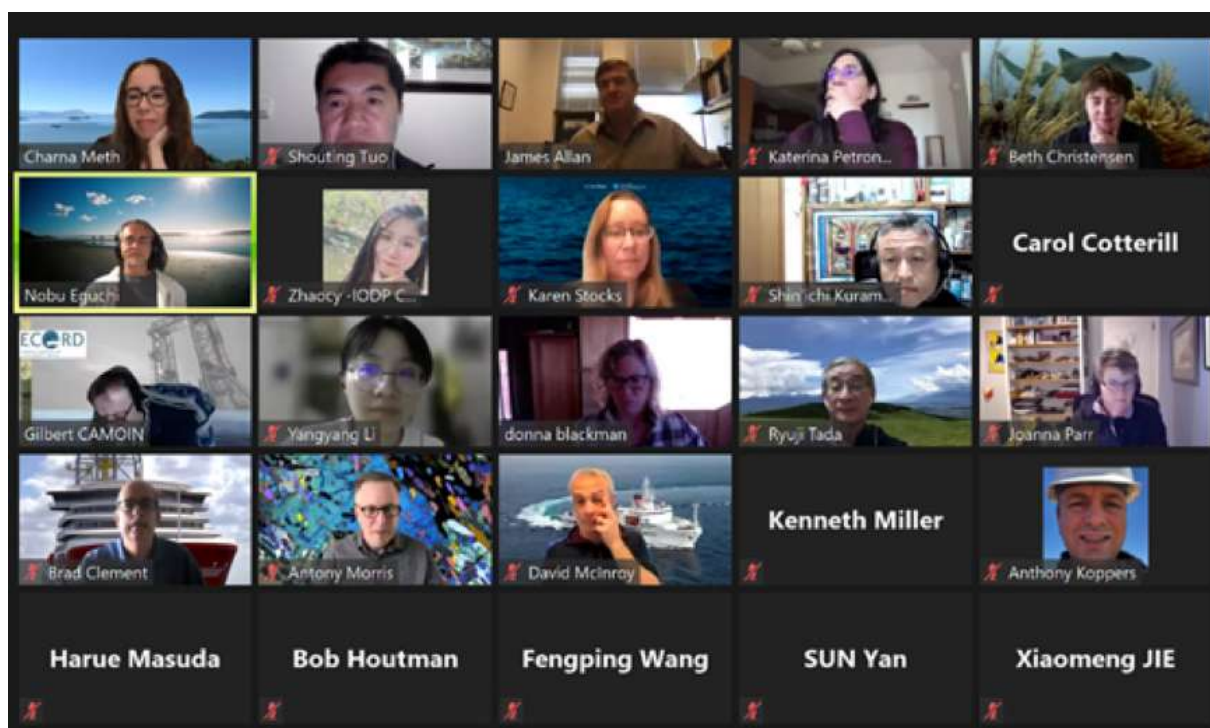
未来三方将在大洋钻探等领域开展深度合作，为中国成为 IODP 平台提供者，自主组织航次奠定坚实的基础。

在会上，“决心号”平台管理委员会（JRFB）工作组主席，美国罗格斯大学 Ken Miller 教授向大家汇报了 JRFB 工作组对于 2050 科学框架下建议书提交和评审的指导原则和办法。随后，大家就上述内容展开了热烈讨论并达成初步共识，建议在今年的 IODP 论坛会议上进行更广泛的讨论。此外，美国 IODP 科学支撑办公室（USSSP）

的科普主管 Carol Cotterill 向大家介绍了 USSSP 在大洋钻探科普教育方面的工作计划，提出希望未来能通过品牌视觉的方式将大洋钻探的科学理念和教育意义传递给更多科学家和公众。与会代表就未来大洋钻探科普方式和内容等做了充分讨论。

本次会议有力加强了 IODP 各成员国的沟通交流，促进了大洋钻探 2050 科学框架未来的执行。

IODP 论坛 2021 年度会议 在线上召开



IODP 论坛 2021 年度会议于 4 月 26 日和 5 月 6 日在线上召开。来自 IODP 各成员国政府部门负责人，各成员国办公室负责人，各平台科学执行机构负责人，及各国科学家代表共 60 余人参加了本次会议。中国科技部社发司孙岩调研员，21 世纪议程管理中心王文涛副处长、揭晓蒙主管，中科院南海海洋研究所孙珍研究员，上海交通大学王风平教授，以及中国 IODP 办公室主任拓守廷等 9 人参加了会议。

当前的 IODP 科学计划 (2013-2023)

将于 2023 年结束, IODP 成立了由美、日、欧、中和澳新等成员国 19 位科学家组成的国际工作组, 研讨并制定了面向 2050 年的大洋钻探科学框架——《大洋钻探—探索地球》。本次论坛主要围绕 2050 科学框架的执行, 2023 年后美国非立管钻探船建议书的提交和评审规则以及各成员国主要进展和未来规划等三方面内容展开讨论交流。

会上, 美国, 欧洲, 日本, 澳新(澳大利亚和新西兰)联盟, 中国和印度分别汇报了各自的主要进展和未来规划。

美国目前面临的严峻挑战是，“决心号”即将退役，无法继续支持 2050 科学计划，而 2024 年后美国国家科学基金会（NSF）是否继续支持新计划有待于 6 月内部评估决定。NSF 同时表示，目前“决心号”的运行经费面临较大压力，加之疫情对美国经济的冲击，下一阶段的困难很大，因此希望感兴趣的合作伙伴提供更多的经费支持。

欧洲、日本、澳新联盟和印度分别汇报了各自在组织科学研讨会，航次执行和国际合作等方面的进展。各方高度肯定了 IODP 现有的运行管理模式，表示未来会继续参加大洋钻探，并强烈支持中国成为平台提供者，愿意加强与其他平台提供者的合作，共同实现战略目标。

中国 IODP 办公室主任拓守廷介绍，中国下一阶段的主要目标是成为 IODP 平台提供者，目前已取得重要进展——同济大学和广州海洋地质调查局将在大洋钻探方面深度合作，自主执行航次，建设和运行大洋钻探岩芯实验室。考虑到近两年 IODP 许多航次受疫情延迟，中方建议现阶段 IODP 科学计划延长至 2024 年，以安排更多航次充分执行已有计划。此外，IODP 作为一个国际合作计划，秉持公平、公正、多元化的原则，中方建议未来应加强与其他国际计划的合作。

会议最后决定，将在 2021 年 9 月前后形成一个由各成员国政府资助机构代表组成的工作组，讨论 2023 年后大洋钻探计划的组织运行模式。本次会议为 2050 大洋钻探科学框架的执行提供了有力指导，为 2023 年后大洋钻探组织运行模式的确定奠定了初步基础。



“决心号”平台管理委员会 2021 年度会议召开

6月23-25日，国际大洋发现计划（IODP）“决心号”平台管理委员会（JOIDES Resolution Facility Board, JRFB）年度会议在美国圣迭戈市线下与线上同步召开。JRFB委员、IODP各成员国代表等40余人参加了会议。中国科技部社发司孙岩调研员，21世纪议程管理中心王文涛副处长、揭晓蒙主管，中国IODP办公室主任拓守廷、科学协调人李阳阳等7人线上参加了会议。会议主要围绕“决心号”平台的运行、管理和未来规划等内容展开讨论。

会议首先选举产生了“决心号”平台管理委员会新一任主席。经全体JRFB委员投票，来自美国俄亥

俄州立大学 Larry Krissek 教授当选为下一任 JRFB 主席，2021 年 10 月 1 日起就职，任期 3 年。

“决心号”科学执行机构（JRFSO），IODP 科学支撑办公室以及美国大洋钻探科学咨询委员会（USAC）分别汇报了各自的最新进展和未来规划。“决心号”科学执行机构主任 Clement Bradford 汇报了“决心号”本年度航次安排。受新冠疫情影响，“决心号”2020-2021 年共 5 个航次被延迟，计划 2021 年 8 月起开始重新执行航次。JRFB 委员，中国科技部社发司孙岩在会上发言，建议“决心号”2022-2024 年争取实施更多航次，如每年能执行 5-6 个航次，可以弥补疫

情造成的损失，并且希望未来“决心号”能在 IODP 计划结束时回到西太平洋和印度洋。该建议得到了 Clement Bradford 的积极回应，表示未来一年执行 5 个航次是可行的。IODP 科学支撑办公室（SSO）主任 Charna Meth 主要汇报了 IODP 建议书提交和站位调查数据管理、网站维护和更新等方面的进展。美国大洋钻探科学咨询委员会主席 Marta Torres 主要介绍了 USAC 新增的四个工作组及其对 2050 科学框架实施的推进工作。此外，ECORD 平台管理委员会和“地球号”平台管理委员会分别介绍了各自平台的航次安排和未来规划。

会议讨论并通过了“决



决心号”2023财年的航次安排。2023财年“决心号”安排实施5个航次，依托的建议书编号分别为：IODP 771、932、937、892、909，集中在北大西洋海域。

IODP 将于2023年结束，目前仍有许多建议书待安排航次。会议决定，将不再接受现行科学计划指导下的新建议书。针对未被安排的建议书，如果建议人愿意在未来大洋钻探计划中继续被执行，需要根据2050科学框架建议书指南进行修改，并重新送审。

JRFB 建议书工作组主席，美国罗格斯大学 Ken Miller 教授向大家汇报了 JRFB 工作组对于2050科学框架下美国钻探船建议书

提交和评审的指导原则和办法。与会代表就此展开充分讨论，JRFB 表示支持工作组的报告，并希望工作组进一步编制2050科学框架指导下的建议书指南。

现阶段 JRFB 面临的严峻挑战是，“决心号”设备老旧即将退役，无法继续为实施2050科学框架蓝图贡献力量。美国国家科学基金会（NSF）表示建造新的大洋钻探船难度较大，需要经过多轮论证，包括论证2050科学框架下钻探船的科学需求，钻探船的技术装备要求等，这一过程可能花费数年。为缩短现行科学计划结束后至美国新钻探船运行之前的空档期，JRFB 工作组建议充分利用大洋钻探数据库中已有数据实施

2050科学计划，即开展“虚拟航次”。美国也可能对“决心号”进行维修改造从而在2024年后继续运行“决心号”。面对2024年后美国的不确定性，中国、欧洲和日本代表表示，无论2024年后美国是否建造新大洋钻探船，都将会联合实施国际大洋钻探计划，与其他成员国加强合作，继续执行国际大洋钻探航次。

会议最后决定，将在2021年10月IODP论坛上，召开一个由各成员国政府资助机构代表组织的研讨会，讨论2024年后大洋钻探的组织运行模式。

大洋钻探巡回学术讲座 西北大学站取得圆满成功

为了让更多青年科学家和学生了解大洋钻探、参与大洋钻探，中国IODP办公室决定举办大洋钻探巡回学术讲座。6月9日，首场讲座于西北大学开讲，本次讲座邀请了自然资源部第二海洋研究所丁巍伟研究员和中国科学院海洋研究所张国良研究员，介绍大洋钻探领域的最新进展。讲座由西北大学地质学系陈立辉教授主持，西北大学百余名师生参加了此次讲座。

中国IODP办公室主任

拓守廷首先作了题为“国际大洋钻探回顾与展望”的报告。拓守廷从科学运行和管理角度回顾了国际大洋钻探的发展历程，运行现状和未来发展方向。大洋钻探已成功运行50余年，面向未来，国际学术界已经提出2050年大洋钻探科学框架，描绘了未来30年大洋钻探的美好前景。中国自1998年参与大洋钻探以来取得了长足进步，当前正在积极推动进入国际大洋钻探领导层，自主组织IODP航次，建设和运行国际岩芯实验室。未

来需要更多青年科学家和学生积极参与大洋钻探相关研究，撰写建议书并努力实现更多中国科学家领导的航次，提升中国在深海科技领域的国际竞争力。

丁巍伟研究员作题为“IODP在板块构造与地球动力学领域重大进展”的报告。IODP近5年来在板块构造与地球动力学等领域取得了一系列重大进展，对地球动力学的一些经典问题进行了证实或证伪，极大地完善和丰富了板块构造学的一些理论。丁巍伟以板块构造和地球动力学最经典的问题为例，分别向大家介绍了IODP在验证海底扩张和板块构造理论，尝试钻穿莫霍面，探索板块的初始俯冲机制以及研究全球最大地震—海啸事件与俯冲物质关系等方面取得的重要进展，并详细介绍了我国科学家领导的南海大洋钻探航次在研究南海扩张方面取得的突出成就。报告最后，丁巍伟以自己参加IODP 368航次的亲身经历向大家生动展示了“决心号”船上布局和取芯流程，及科学家在船上的衣食住行等趣事。

张国良研究员作题为“大洋钻探与海洋岩石圈成因及地幔组成演化”的报告。张国良介绍了大洋钻探在岩





促使他在研究东亚大陆下地幔组成方面取得重要发现。

现场师生对讲座内容表示出极大兴趣，互动环节气氛极为热烈。地质学系硕士研究生杜一凡对 IODP 充满了向往，咨询学生能否申请上船，表示非常希望能参加 IODP 航次。地质学系硕士研究生赵健对“莫霍钻”计划十分期待，询问未来如果打穿“莫霍面”可能的新发现。其他师生分别就参加 IODP 航次的研究方向，航次申请，以及全国海洋优势单位和专业特色等方面展开交流，期待了解更多海洋相关学校和专业资讯。本次讲座得到西北大学科技处和地质学系的大力支持，吸引了海洋领域以外的更多青年学生和科学家了解大洋钻探。

石圈演化方面的重要意义，历史成就和未来目标，并以自己参加过的两个 IODP 航次为例，向大家分享了相关研究成果。张国良是国内最早以博士生身份成功申请参加 IODP 航次的科学家。他首次参加的 IODP 329 航次主题为“南太平洋环流区深部生命”，他从洋壳蚀变过程这一岩石学问题入手，查明了南太平洋环流区薄层沉积物下洋壳蚀变的持续

时间，成为这个以“深部生命”为主题的航次中最早出成果的上船科学家。最后，张国良向大家介绍了他参加 IODP 349 航次的部分工作。他表示，一直以来中国南海被认为是大陆岩石圈裂解形成的扩张性海盆，获得南海扩张期玄武岩，能够为揭示东亚大陆下部地幔组成打开一扇“窗户”。南海 IODP 349 航次钻探为他提供了南海扩张期独特的洋壳样本，



大洋钻探巡回学术讲座 北京大学站成功举办

6月28日下午，大洋钻探巡回学术讲座第二站在北京大学英杰交流中心顺利举办。本次讲座邀请了同济大学田军教授和中国IODP办公室主任拓守廷博士做学术报告。讲座由北京大学海洋研究院院长周力平教授主持，北京大学、清华大学和中国地质大学（北京）近百名师生参加了本次讲座。

拓守廷首先回顾了国

际大洋钻探的发展历史，介绍了当前国际大洋钻探运行管理的现状，并展望了大洋钻探的未来。他特别强调了大洋钻探计划高度公开共享的机制：大洋钻探50年来获得岩芯总长度达40余万米，一直保存在大洋钻探的岩芯库里，所有岩芯以及船上获得的数据均向全世界科学家免费开放。中国IODP正在推进未来成为IODP第四平台，自主组织航次，这

为中国IODP的发展提供了重大机遇，他呼吁更多中国科学家参与到大洋钻探研究中来，利用好大洋钻探50余年来积累的宝贵样品和数据，提出更多中国科学家牵头撰写的钻探建议书，为未来中国大洋钻探平台的运行做好科学准备。

田军作了题为“大洋钻探与古海洋学”的报告，他详细介绍了大洋钻探开创





与发展古海洋学的历程，同时展示了古海洋学发展的最新前沿。他还分享了自己申请大洋钻探样品开展研究，上船参加航次的亲身经历，以及大洋钻探船上装备的多学科实验室，船上岩芯的处理流程和科学家在船上的工作情况。田军与大洋钻探结缘就是从博士期间申请样品开展研究开始的，他鼓励青年科学家在没有获得上船机会前，可以先从申请大洋钻探的样品和数据开始研究，有了这些积累后，以后更容易获得上船机会。

师生们对大洋钻探表现出浓厚的兴趣，大家积极

提问，热烈讨论。在互动过程中还进一步向在座师生介绍了大洋钻探航次申请的流程和评审标准、船上科学家的学科需求等。

本次讲座取得圆满成功，未来，中国 IODP 办公室还将继续在国内相关单位举办大洋钻探学术讲座，同时还将组织以筹备和撰写建议书为目标的研讨会，支持更多中国科学家撰写科学建议书，共同推进中国大洋钻探的发展。



第六届地球系统科学大会 取得圆满成功

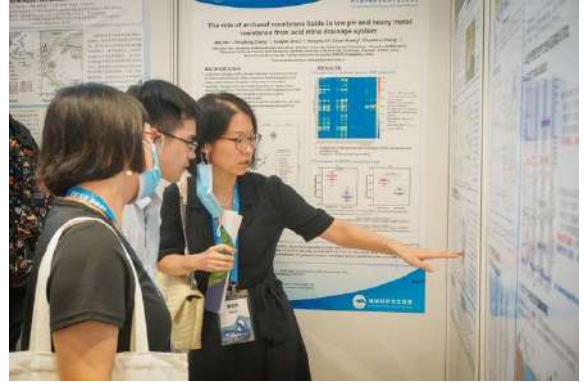
7月7-10日，为期4天的第六届地球系统科学大会在上海召开。来自全国185家单位的2000余名专家学者和青年学生齐聚上海松江，交流地球系统科学研究最新进展，共话未来发展方向。

会议由中国大洋发现计划专家咨询委员会、国家自然科学基金委员会地球科学部和同济大学海洋地质国家重点实验室联合主办。中国科学院院士、全国人大常委会副委员长丁仲礼担任大会学术委员会主任，中国科学院院士、南京大学原校长陈骏，中国科学院院士、国家自然科学基金委员会副主任侯增谦，同济大学海洋与地球科学学院院长翦知潜，同济大学特聘教授、中国海洋石油总公司原总地质师朱伟林担任学术委员会副

主任，10余位地球科学领域的院士专家担任学术委员。

为充分贯彻海陆结合、古今结合、生命科学与地球科学结合、以及科学与技术结合的办会宗旨，本届会议设六大主题：“地球表层环境演变”、“海洋与气候”、“生物地球化学循环”、“深部过程与行星循环”、“深海资源、灾害与技术”、“科普和教育”，主题下分设46个不同的专题。围绕上述专题，会议共安排690个口头报告，669个展板报告，每天10个分会场同时开讲，充分开展学术交流，极大地激发了各学科之间的交叉合作。本届会议邀请毛河光、郭华东、潘永信、焦念志院士，董海良、翦知潜和彭晓彤教授等7位专家做大会特邀报告。报告涵盖地球





表层变化的深部因素、月基对地观测、地磁场与生物圈、海洋负排放与碳中和、矿物与微生物协同演化、海洋气候变化和载人深潜科学发现等与人类社会可持续发展密切相关的主题。

天下等题目，受到与会代表的热烈关注。此外，还有“深部地球的富氧活动”、“河口海岸地质资源”圆桌论坛等特色内容。

大剂量的信息交流是地球系统科学大会的一大特色，除了白天口头报告和展板报告以外，大会还在晚上安排了信息发布会，特别设计了“深空、深地、深海”环节，邀请王成善院士、叶聪、朱岩研究员分别介绍深时数字地球、载人深潜技术和火星探测方面的最新进展。会议交流形式丰富多样，不断创新，有精心打造的《华夏山水的由来》科普专题，汪品先院士、袁道先院士领衔，用通俗易懂的语言讲述南海演义、桂林山水甲

为举荐我国地球科学领域优秀青年学者，本届会议继续设置了“青年学者论坛”，邀请9位在地球科学学科交叉领域取得突出成果的优秀青年学者做大会报告。会议还举办了“优秀学生展板”评选活动，并给予15名优秀学生表彰和奖励。

2021年正值地球系统科学大会办会十周年，为回顾过去十年地球系统科学研究的发展历程，展望未来地球系统科学发展的美好前景，本届会议还特别举办了十周年纪念活动。通过十周年纪念征文、纪念画册、纪





念视频等丰富多彩的活动，往届参会代表温馨回顾了自己与地球系统科学大会过去十年的成长经历。

本届会议还新增了“地球系统科学战略研讨”板块，紧扣目前四个主题战略研究方向，即重新认识海洋碳泵、水循环及其轨道驱动、东亚—西太的海陆衔接、深部与表层的相互作用。由汪品先院士领衔，郭正堂、焦念志、金之钧、王成善等多位院士和专家参加的地球系统战略研究组在会上进行了中

期汇报。

最后，汪品先对会议做了总结发言，他表示，我国的地球科学正面临转型，从学科越分越细的现象描述，提升到集成整合、探索机理的系统科学新高度。目前我国的科研投入与国际接轨，未来应从自然科学上的“外包工”角色转为自己当“老板”。此次大会上许多报告虽立足本地材料，但已经放眼全球问题，这一点让整个地球科学看到了希望。





IODP 349 航次新成果： 镁同位素揭示南海次海盆尺度 地幔不均一性组成和成因

2020年年末, *Science Bulletin* 以“Sub-basin scale inhomogeneity of mantle in the South China Sea revealed by magnesium isotopes”为题在线报导了国际大洋发现计划 (IODP) 349 航次关于南海洋脊下地幔性质的研究成果。该研究由中科院海洋研究所张国良研究员研究组领衔完成, 第一作者是钟源博士, 合作者有中国科学技术大学黄方教授, 中科院地质与地球物理所谢烈文研究员等。该研究从 Mg 同位素视角指出南海东、西两个次海盆地幔之间存在的大尺度地幔组成不均一性, 与前期报导的 Sr-Nd-Pb-Hf 等同位素组成相互耦合。南海地幔源区存在两个不同深度的来源, 一是在浅部初期扩张裂解过程中拆沉进入南海地幔的、受俯冲改造过的陆弧岩石圈; 二是深部来源的海南地幔柱物质混染。该项研究揭示了南海地幔的次海盆尺度不均一性的成因, 对约东南海地区的构造演化也有重要意义。

南海是西太平洋地区最大的大陆边缘海, 位于亚欧板块、印度板块、澳大利亚板块及太平洋板块的交汇处, 厘清南海地幔组成有助于理解南海海盆作为各板块联结点形成与

构造演化的机制。2014年, IODP 349 航次首次分别在南海东部、西南次海盆分别获得了南海扩张期洋壳玄武岩 (图 1)。对钻孔玄武岩进行地球化学分析结果显示, 南海东部和西南两个次海盆的地幔之间存在化学组成和岩性上的明显差异。

为了进一步厘清南海地区次海盆尺度地幔不均一性的成因, 该研究团队对 U1431、U1433 站位的基底玄武岩样品进行了全岩 Mg 同位素组成分析。结果显示, 西南次海盆和东部次海盆的洋壳玄武岩具有明显的 Mg 同位素组成差异。U1431 站位玄武岩的 Mg 同位素组成和正常地幔相似 ($\delta^{26}\text{Mg} = -0.27 \pm 0.06 \text{ ‰}$, 2SD, $n = 10$), 而 U1433 站位玄武岩则更富集重 Mg 同位素 ($\delta^{26}\text{Mg} = -0.20 \pm 0.08 \text{ ‰}$, 2SD, $n = 8$) (图 2)。岩相学观察及主微量元素证据证实该 Mg 同位素组成差异并非由低温蚀变或高温岩浆过程引起, 而反映了南海两个次海盆的洋脊下地幔的源区 Mg 同位素组成特征的不同。

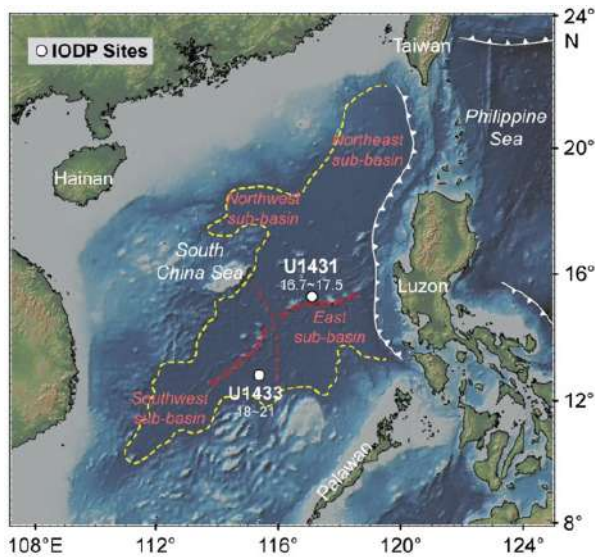


图1 南海地形简图及 IODP 349 航次钻探站位 U1431 和 U1433 位置

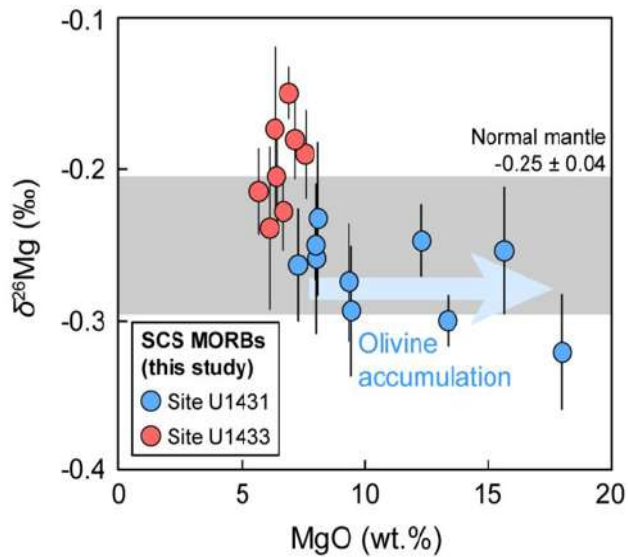


图2 站位 U1431 和 U1433 基底玄武岩样品的全岩 Mg 同位素组成

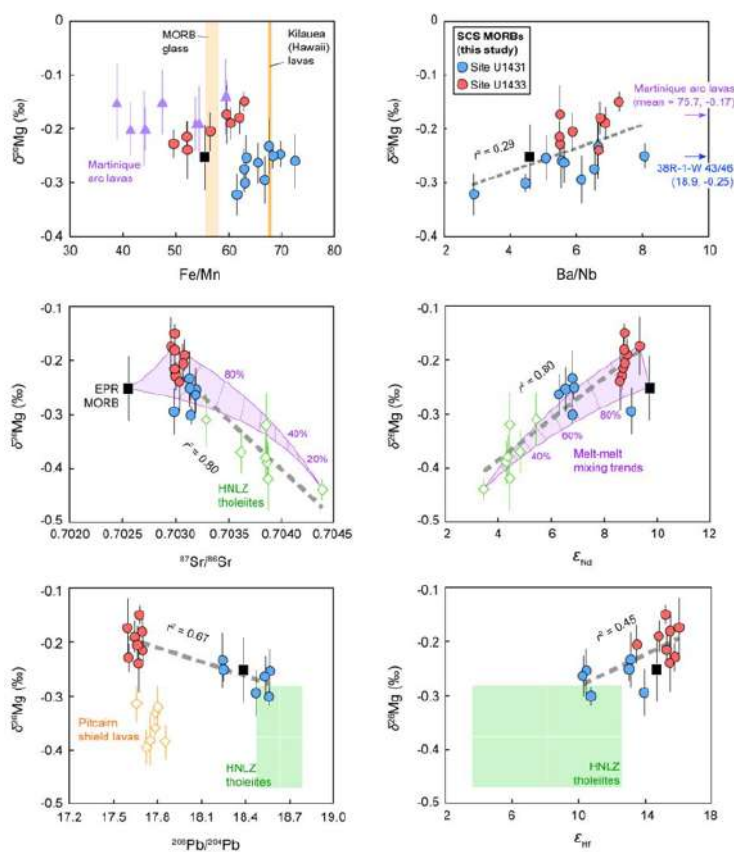


图3 南海壳样品的 Mg 同位素与主微量元素比值及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素组成相关图

通过分析两个站位玄武岩的 Mg 同位素组成与主微量元素及放射成因 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素之间的耦合关系 (图 3), 该研究提出: U1433 站位玄武岩的源区是以大陆弧岩石圈底部橄榄岩为主, 该组分由于长期受到高 $\delta^{26}\text{Mg}$ 俯冲流体的改造而具有较正常地幔更重的 Mg 同位素组成, 并且在南海扩张早期通过大陆裂解拆沉进入南海地幔; U1431 站位玄武岩的地幔源区在南海普遍存在的高 $\delta^{26}\text{Mg}$ 组分的基础上, 还受到了附近海南热点低 $\delta^{26}\text{Mg}$ 富集物质的混染, 从而在 Mg-Sr-Nd-Pb-Hf 同位素的相关图上显示出明显的混合趋势。该研究利用 Mg 同位素更精确地约束了南海地区洋脊下地幔的不均一性成因, 进一步揭示了南海的两个次海盆之间具有不同的地幔演化历史, 对于认识南海地幔组成和扩张成因的背景有重要科学意义。

南海大洋钻探新进展： 建立南海地幔演化统一模型

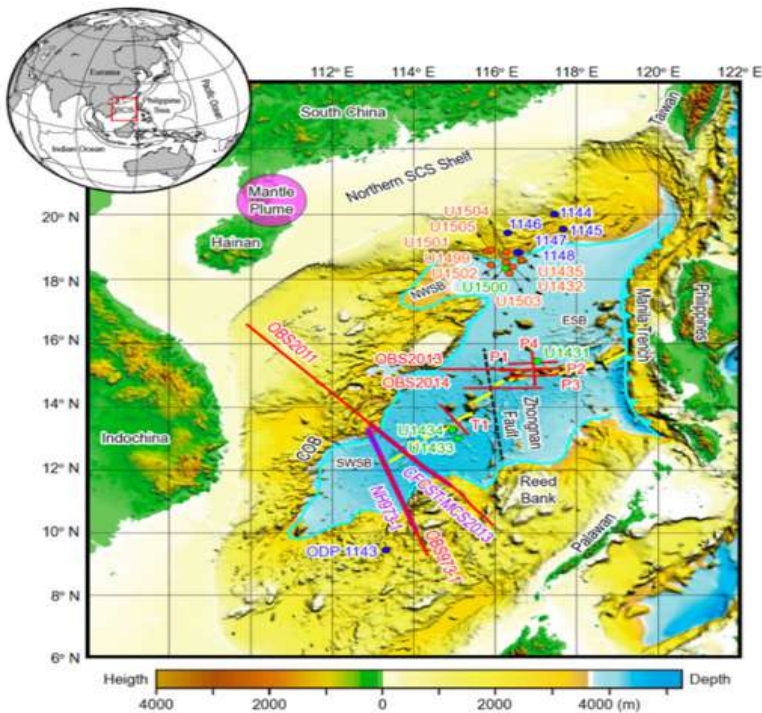


图 4 南海地形及其周边俯冲构造

2021年1月13日，国际知名地学杂志 *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 在线发表了以“Mantle Heterogeneity and Melting Processes in the South China Sea: Thermal and Melting Models Constrained by Oceanic Crustal Thickness and Basalt Geochemistry”为题的南海地幔演化统一模型的最新研究成果。该研究由中国科学院南海海洋研究所张旭博助理研究员、林间特

聘研究员和美国波士顿学院 Mark Behn 教授共同完成。研究人员应用最新的国际大洋钻探数据与南海地震剖面，结合地球化学与地球动力学方法，建立了南海地幔温度、成分及其演化过程的定量化统一模型。

南海是西太平洋最大的边缘海（图4），是攻关地球边缘海形成演化过程重大科学问题的突破口。近年来国际大洋发现计划（International Ocean Discovery

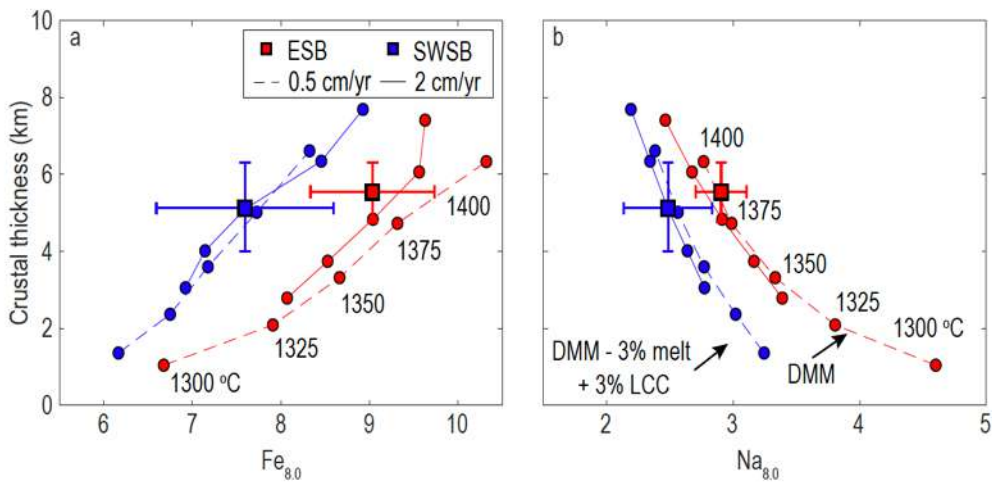


图5 南海东部和西南次海盆的地壳厚度、 $Fe_{8.0}$ 和 $Na_{8.0}$ 以及对应的最佳地幔温度和地幔组分。DMM: 亏损地幔; LCC: 下大陆地壳比

Program, 简称 IODP) 在南海成功实施了 IODP 349、367、368、368x 航次, 获得关键的洋壳玄武岩样品。通过国际大洋钻探、国家自然科学基金委重大研究计划“南海深部过程演变”等支持, 科学家们利用深拖地磁、深部地震实验及岩石地球化学分析等多学科研究手段, 首次精确测量了南海各海盆的扩张年龄、地幔端元组成以及地壳厚度变化。但不同的地球物理与地球化学观测之间缺乏交叉验证的定量化统一模型。

研究人员创新性地结合先进的热力学模拟与地幔熔融理论, 以南海海上地震实验测定的地壳厚度和国际大洋钻探获取的岩石地球化学数据为主要观测约束, 建立了南海地幔温度、成分及其演化过程的定量化统一模型。模型结果显示 (1) 南海东部和西南次海盆的地幔温度基本一致; (2) 东部和西南次海盆洋脊处岩石样品的地球化学特征差异主要受控于地幔组分的不同 (图 5)。

由此, 研究人员提出南海地幔演化的三个重要阶段: (1) 在大陆破裂阶段, 由于地壳拆沉作用, 南海东部和西南次海盆的地

幔都混染了少量下大陆地壳成分; (2) 伴随着海底扩张的进行, 被混染的地幔逐渐被上涌的深部正常地幔所取代; (3) 由于海底扩张持续时间的不同, 导致东部和西南次海盆扩张停止时洋脊下方的地幔组分存在差异 (图 6)。该研究对于揭示边缘海地幔演化动力学过程及其构造岩浆响应机制具有重要指导意义。

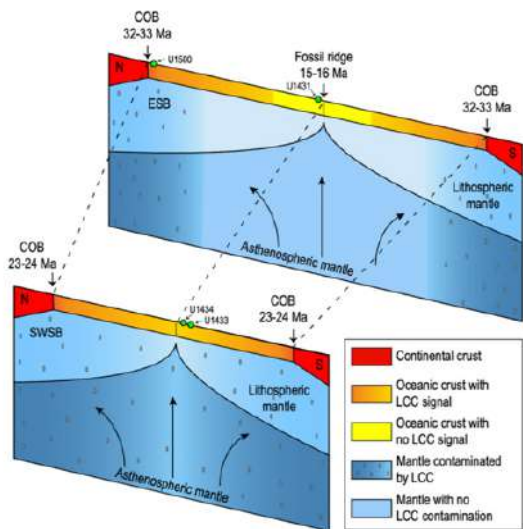


图6 南海地幔演化模式图



IODP 356 航次新成果： 获得 6 百万年以来澳大利亚古海温 和洋流变化历史的新认识

2021 年 1 月 25 日，国际著名地学杂志 *Earth and Planetary Science Letters* 在线发表了浙江大学地球科学学院何毓新副教授关于利文暖流的最新研究成果：

“Development of the Leeuwin Current on the northwest shelf of Australia through the Pliocene-Pleistocene period”。作为印度洋—太平洋暖池系统的重要组部分，印尼贯穿流 (Indonesian Throughflow, ITF) 和利文暖流 (Leeuwin Current, LC) 对澳大利亚西北地区的气候和海洋系统起着关键的作用。过往研究表明印尼贯穿流受构造活动影响，强度从上新世到更新世持续下降。而相比于印尼贯穿流，对利文暖流的研究仍相对薄弱，多数研究假定利文暖流和印尼贯穿流的强度是协同变化的，直接将印尼贯穿流的结论套用到利文暖流上面，因此可能造成错误解读。研究团队利用 IODP 356 航次采集的 U1461 钻孔样品，进行了长链烯酮、GDGTs 和甾醇等生物标志物的测试分析，重建了澳大利亚西北地区 6 百万年来古海温和古生产力的变化历史，对利文暖流的变化历史及其影响因素进行了

重新限定。

研究结果表明，自 1.2 百万年以来，西澳大利亚沿岸的海表面温度（基于长链烯酮的 $U^{k'}_{37}$ 指标，图 8）升高至与印度—太平洋暖池的海表面温度相当（图 9），与全球的降温趋势形成显著对比。这种区域性变暖还伴随着初级生产力的降低和水体表底温差的升高（基于长链烯酮和 GDGTs 温度指标的差值）。这些现象表明了普遍的温暖、低盐度、缺乏营养的表层水的贡献，即利文暖流的增强（图 8）。在 4–1.2 百万年期间，印度—太平洋暖池和澳大利亚西北海岸之间的温度梯度较大，初级生产力也较高，表明利文暖流的强度较弱。研究认为 6–4 百万年期间存在一定强度的利文暖流，但仍需要未来更多的工作来支撑这一论断。

1.2 百万年来印尼贯穿流受构造活动的影响，强度较弱，因此，利文暖流在 1.2 百万年来的迅速增强挑战了过去认为的印尼贯穿流和利文暖流协同变化的观点。研究团队认为，利文暖流的增强主要受全球大气环流的影响。尽管 1.2 百万年以来，利文暖流

的增强可能在间冰期为澳大利亚地区带来了额外的水分输入，但它并没有改变澳大利亚地区自上新世—更新世以来的长期干燥趋势。因此，澳大利亚地区的气候仍受控于印尼贯穿流和全球变冷导致的气候模式。

论文的第一和通讯作者为浙江大学地球科学学院何毓新副教授，合作者包括中国科学院地球环境研究所王欢业副研究员和香港大学地球科学系柳中晖副教授。这项研究得到了中国大洋发现计划 (IODP-China)、国家自然科学基金项目 (编号 41877332, 42073071) 和第四届中国科协青年人才托举工程 (2018QNRC001) 的联合资助。

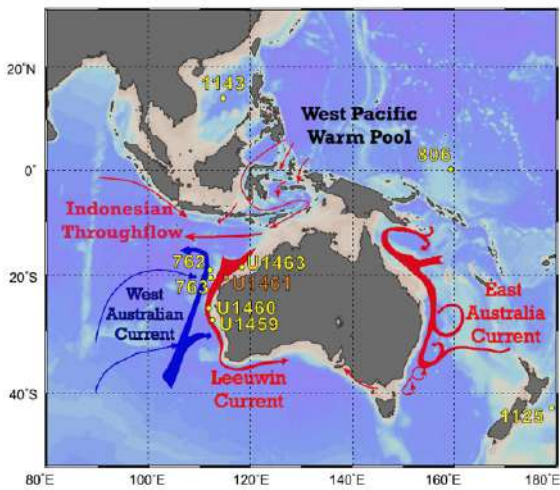


图 7 IODP 356 航次在澳大利亚西海岸 U1461 站位示意图以及相关洋流信息

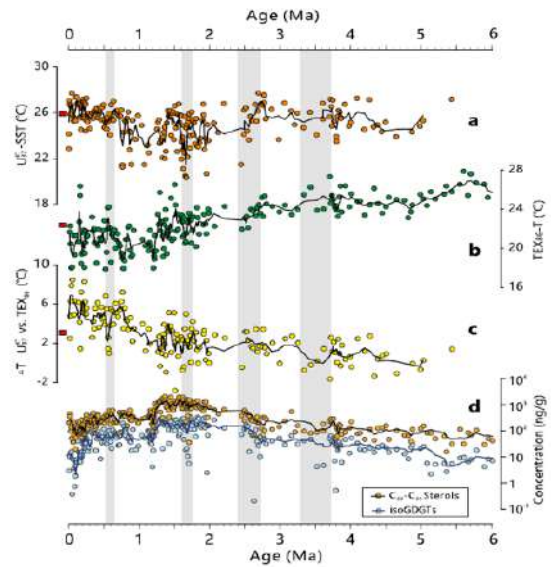


图 8 6 百万年来 U1461 站位海表面温度 (a, 基于 U^{k}_{37} 指标)、水柱温度 (b, 基于 TEX_{86} 指标)、水体表层温差 (c, 基于 U^{k}_{37} 和 TEX_{86} 温度指标的差值) 和初级生产力 (d) 变化历史。

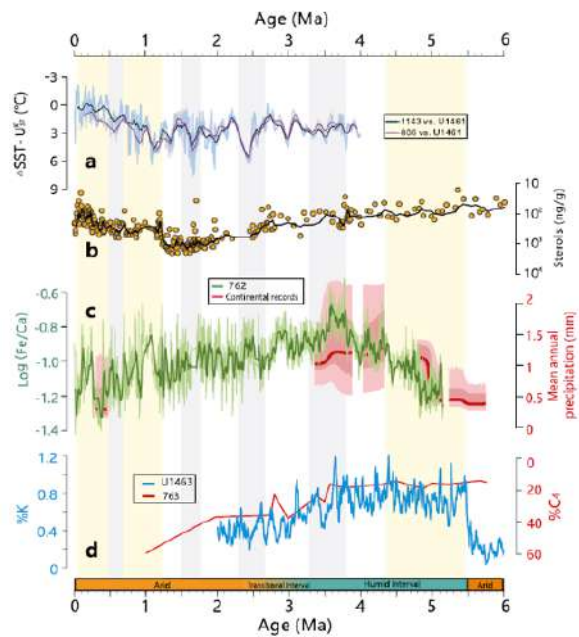


图 9 5 百万年来 U1461 钻孔与印度 - 太平洋暖池的海表面温度差值 (a)、U1461 钻孔的初级生产力 (b) 及其和过往研究重建的降水 (c)、地表径流 (d) 和指标变化 (d) 的对比示意图

IODP 346 航次新成果： 揭示北太平洋深层水在晚中新世的形成

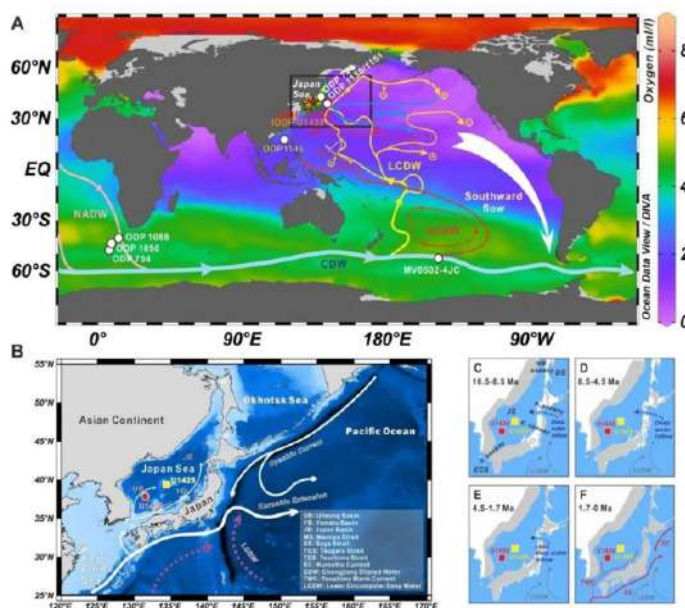


图 10 (A) 现代全球大洋 1000 米深含氧量分布以及太平洋深水环流模式；(B) 研究站位图；(C-F) 晚中新世以来研究区古海洋演化示意图

2 月 1 日, *Paleoceanography and Paleoclimatology* 在线发表了中国科学院海洋研究所翟丽娜博士 (第一作者) 和万世明研究员 (通讯作者) 与法国巴黎第十一大学、自然资源部第一海洋研究所等单位合作的最新研究成果: “Deep-water formation in the North Pacific during the late Miocene global cooling”。研究人员通过日本海沉积记录揭示了北太平洋在晚中新世-早上新世 (约 740 万年-400 万年前) 存在深层水的形成。

大洋经向翻转流, 通过影响热量及碳的传输、营养物质循环和海-气交换作用, 对全球气候变化有重要的调控作用。其中维

持经向翻转流运行的关键所在是深层水的形成。现今, 深层水主要形成于北大西洋和南大洋, 而北太平洋海域, 由于表层水体盐度低, 并且与深层水体之间存在较强的盐跃层, 因而没有深层水的形成。但是从地质时间角度来看, 已有证据表明末次冰期冷期北太平洋存在深层水的形成, 并且可能在南北半球热量平衡方面起到重要推动作用。然而在更长的构造时间尺度上 (如晚中新世气候变冷时期), 由于研究材料的匮乏, 北太平洋深层水的演化历史尚未可知。

现今的日本海是西北太平洋一个半封闭的边缘海盆, 仅通过四个深度低于 150 米的海峡与外海相连通, 与北太平洋深层水体相

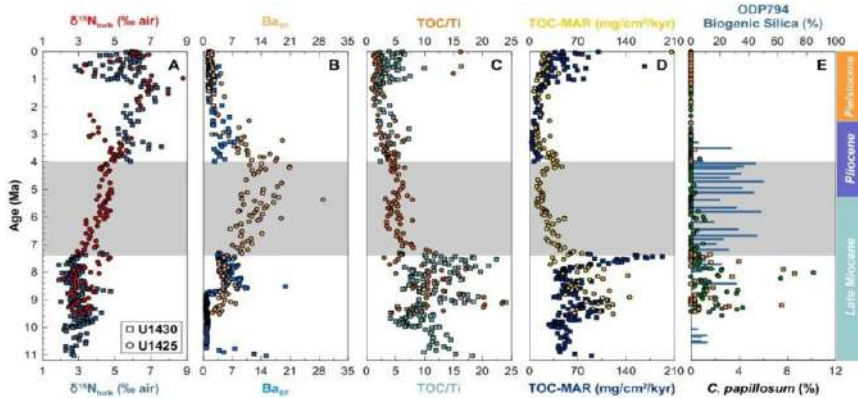


图 11 日本海晚中新世以来生产力和深水氧化还原状态演化

隔绝。然而，在晚中新世时期日本海构造格局与现今不同，其东北部海槛可深达 1000 米之多，能够与北太平洋进行深层水体的交换，因此该时期日本海深层水体的通风状况能够间接指示北太平洋深层水体的通风演化。研究人员以综合大洋钻探计划 (IODP) 346 航次在日本海中部和西南部 U1425 和 U1430 站位钻取的沉积岩芯为研究材料 (图 10)，通过有机碳-氮同位素、有机碳含量和通量，以及生源要素 (钡) 富集程度等指标重建了晚中新世一千一百万年以来日本海古生产力和深层水体氧化还原状态演化历史，进而揭示了北太平洋深层水的通风历史。

研究结果显示，740 万年-400 万年前日本海初级生产力出现大幅提高，相反有机碳埋藏通量却明显降低，这表明深层水体可能发生了显著氧化导致大量有机质被降解，从而使有机碳封存效率大大降低；另一方面，氧化还原敏感元素富集特征和指示水体缺氧的北太平洋放射虫种属数量的骤减也进一步证实当时日本海深层水体由次氧化-缺氧状态变得更加氧化 (图 11)。结合区域构造和全球气候演化对比，研究人员提出，晚中新世北太平洋深层水的形成及其经由北侧日本海海槛的流入是导致日本海深层水体通风增强的主要原因。在晚中新世全球气候变冷的背景下，赤道-两极温度梯度增大，使哈德雷环流圈收缩并增强，北半球中纬度风暴路

径 (温带气旋) 向赤道方向移动，造成中纬度地区降水减少；同时，减弱的东亚夏季风也使得季风区向西北太平洋输送的水汽减少 (图 12)，进而造成该区域表层水体盐度增加，水体密度增大，从而有利于水团的下沉并最终导致深层水体的发育。

上述研究揭示了构造时间尺度上北太平洋深层水可响应于全球气候变冷的过程。目前对于长时间尺度北太平洋深层环流演化的研究很少，本研究可作为将来类似工作的参考，同时对古气候模拟边界条件的设置有积极的借鉴意义。

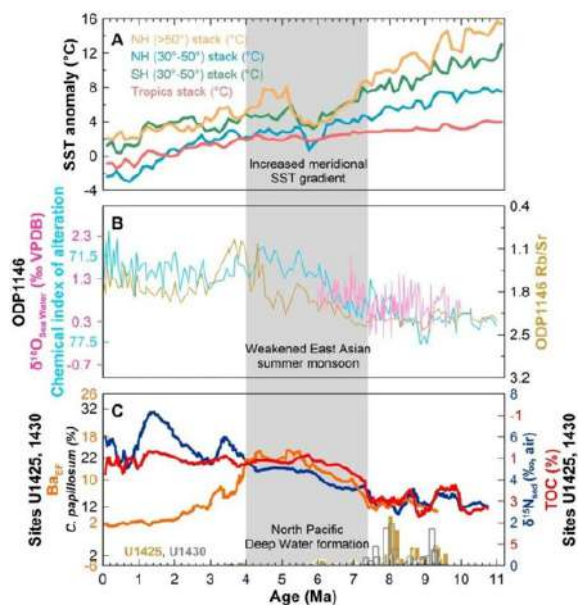


图 12 晚中新世以来日本海深层水通风演化与全球古海洋和古气候演化的对比



大洋钻探新成果： 量化第四纪阶段热带边缘海 全球碳循环和气候变化效应

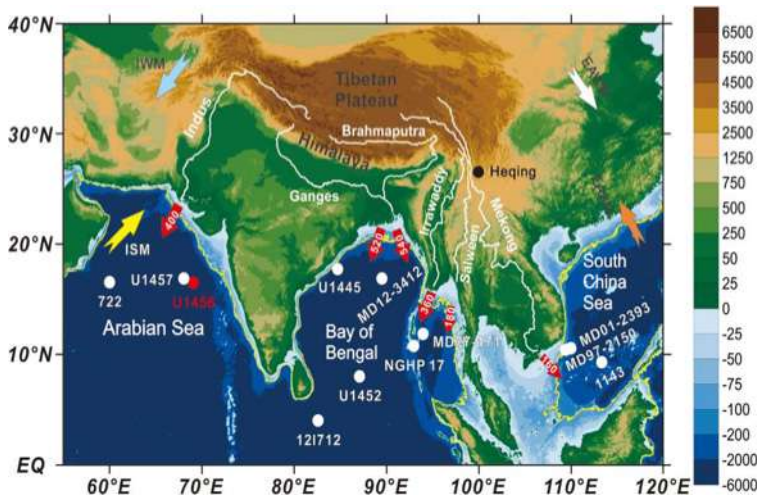


图 13 研究站位（红点）及主要参考岩芯（白点）分布图

2月5日，国际知名地学杂志 *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 在线发表了中国科学院海洋研究所徐兆凯研究员与合作者的最新研究成果：

“Enhancements of Himalayan and Tibetan erosion and the produced organic carbon burial in distal tropical marginal seas during the Quaternary glacial periods: An integration of sedimentary records”。研究人员基于多学科交叉和多圈层集成，在国际上首次定量探讨了第四纪阶段喜马拉雅山 - 青藏高原周边热带边缘海的全球碳循环和气候变化效

应，并进一步丰富了亚洲大陆边缘沉积物“源 - 汇”过程的研究内容。

现今，喜马拉雅山 - 青藏高原高海拔地区的强物理剥蚀作用是地球上最为典型的地表过程之一，进而为其周边海域提供了巨量的陆源物质。例如，仅孟加拉湾地区沉积的、上述来源为主的有机碳通量就占到了当前全球海洋中有机碳埋藏总量的 ~10%-20%，这也与前人对该地区晚新生代以来构造时间尺度上的研究结果高度一致（平均为 15%）。然而，迄今为止科研界对于第四纪阶段这些热带边缘海区在全球碳循环和气候变化中的

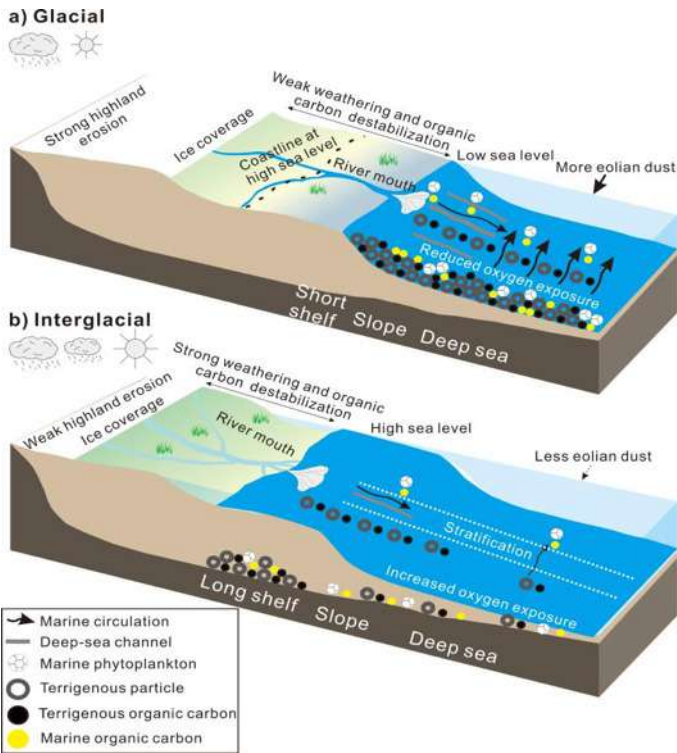


图 14 第四纪冰期和间冰期阶段阿拉伯海与孟加拉湾地区的碳埋藏作用示意图

重要性仍知之甚少，尤其是在定量评估层面上。

研究人员通过系统对比阿拉伯海 (IODP 355 航次 U1456 和 U1457 站位及 ODP 722 站位)、孟加拉湾 (IODP U1445 和 U1452 站位) 和南海南部 (ODP 1143 站位) 多个大洋钻探和其他航次岩芯 (图 13) 的高分辨率综合沉积记录发现: 第四纪冰期阶段喜马拉雅山 - 青藏高原高海拔地区的物理剥蚀作用增强, 再加上此时南海南部广泛出露大陆架上松散沉积物的活跃化学风化作用, 为研究区带来了大量的陆源碎屑物质、营养物质和有机质, 进而刺激了海表生物生产力的勃发及海底有机碳埋藏通量的增加 (图 14)。这可解释第四纪冰期阶段大气 CO_2 浓度降低量的 $\sim 7\%$ 。再结合该研究团队之前报道的第四纪冰期广泛出露的热带大陆架上松散硅酸盐强化学风化作用的 CO_2 消耗能力 (占其降低量的 $\sim 19\%$), 可见热带地区对第四纪冰期阶段 CO_2 浓度降低 (占其降低量的 $\sim 1/4$) 和全球变冷的重要贡献。上述研究工

作对人类更好地认识和预测热带地区在全球变化中的作用有着重要的科学意义。

论文的第一作者为中国科学院海洋研究所徐兆凯研究员, 主要合作者包括中国科学院海洋研究所万世明研究员和常凤鸣研究员、自然资源部第一海洋研究所李铁刚研究员 (通讯作者)、法国巴黎 - 萨克雷大学 Christophe Colin 教授、美国路易斯安那州立大学 Peter D. Clift 教授和韩国海洋科学技术院 Dhongil Lim 研究员 (通讯作者) 等。相关研究成果得到了中国大洋发现计划 (IODP-China)、国家自然科学基金、国家自然科学基金委员会 - 山东省人民政府海洋科学研究中心联合资助项目、中国科学院战略性先导科技专项、国家海洋局全球变化与海气相互作用专项、青岛海洋科学与技术试点国家实验室鳌山科技创新计划和中国科学院科技创新交叉与合作团队等项目联合资助。



孟加拉湾大洋钻探新成果： 南亚河流形成演化历史取得新进展

3月3日，国际知名地学刊物 *Global and Planetary Change* 在线发表了中国科学院海洋研究所宋泽华博士研究生（第一作者）、万世明研究员（通讯作者）、法国巴黎萨克雷大学 Christophe Colin 教授（通讯作者）和自然资源部第一海洋研究所等单位合作的最新研究成果：

“Paleoenvironmental evolution of South Asia and its link to Himalayan uplift and climatic change since the late Eocene”。研究人员通过孟加拉湾的沉积记录揭示了晚始新世以来南亚河流（雅鲁藏布江和伊洛瓦底江等）的形成演化历史及其与喜马拉雅构造隆升的联系。

新生代亚洲构造形变如何影响大河形成和演化是地球科学的前沿科学问题，厘清二者之间联系的关键在于对各自的年龄及地质演变有精确的限定。自印度—欧亚大陆在距今约 5000 万年前发生碰撞后，喜马拉雅—青藏高原随后的阶段性隆升被认为对亚洲河流系统的形成和发展具有深远的影响，但是其演化历史并不清楚，尤其缺少可延伸至中新世之前的连续记录，而这被认为是喜马拉雅—青藏高原隆升的关键时期。相比陆地，

大陆边缘的海相记录更为稳定连续、且有良好的地层约束。孟加拉扇作为世界上最大的深海沉积扇，新生代以来接受了巨量来自周边大陆包括喜马拉雅和印度次大陆的陆源剥蚀物质，因此，孟加拉扇沉积记录是揭示喜马拉雅地区“构造—河流—沉积”耦合演化的极佳载体。

研究人员利用大洋钻探计划（ODP）121 航次在东经九十度海岭北端钻取的 758 站位岩芯沉积物（图 15），基于极好的钙质超微化石和硅藻生物地层年代约束，通过粘土矿物学以及 Sr-Nd 同位素地球化学方法，研究了晚始新世约 3700 万年前以来孟加拉湾南部沉积物物源演化，揭示了南亚河流系统的形成演化历史及其与喜马拉雅隆升和新生代气候变冷之间的联系。

物源示踪结果显示（图 16），自晚始新世以来，研究区沉积物在 3700-2200 万年前期间主要由印度半岛片麻岩和缅甸地区滇缅马苏地块岩石风化产物的混合物源贡献；自约 2200 万年前开始，来自喜马拉雅地区风化剥蚀的陆源碎屑物质逐渐成为物源主导，相应来自印度半岛和滇缅地区的陆源贡献逐

渐降低；最终在 800 万年前至今，伊洛瓦底江和雅鲁藏布江（或布拉马普特拉河）成为研究站位沉积物最主要且稳定的物源供给，同时研究区陆源通量开始近 2-8 倍的急剧增加。

综合对比研究南亚区域的构造和气候演化（图 17），研究人员认为发生于中新世早期（约 2200 万年前）和中新世晚期（约 800 万年前）的喜马拉雅造山带的两期隆升是南亚河流发育和孟加拉湾南部沉积物物源变化的主要控制因素。晚中新世以后的全球变冷和南亚的气候变干可能加剧了喜马拉雅地区硅酸盐矿物的物理侵蚀作用，在此期间向孟加拉湾贡献了相对更多的伊利石和绿泥石。结合沉积物源转换、板块构造演化历史以及喜马拉雅—青藏高原隆升运动等事件表明，伊洛瓦底江和雅鲁藏布江—布拉马普特拉河可能起源于早中新世（约 2200 万年前），并在晚中新世（约 800 万年前）最终形成，自此成为类似现代流域规模的南亚河流系统（图 18）。

本研究是迄今有关南亚地区古环境演化最长且连续的陆源沉积记录，对于理解喜马拉雅构造和河流系统长期演化及其成因联系具有重要科学意义。

上述研究得到了中国大洋发现计划（IODP-China）、国家自然科学基金、中国科学院战略先导科技专项等的支持。

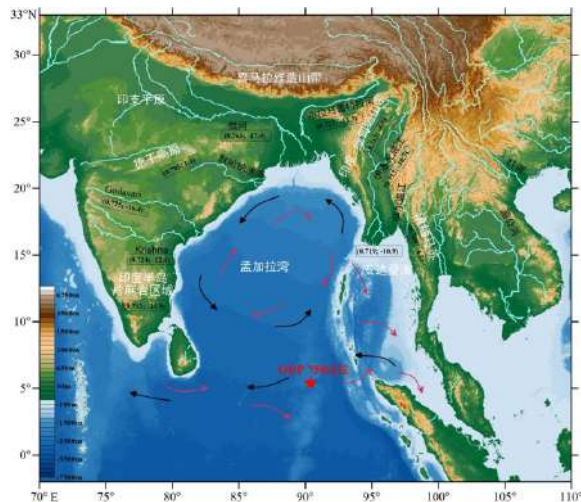


图 15 南亚海 - 陆分布及研究站位图

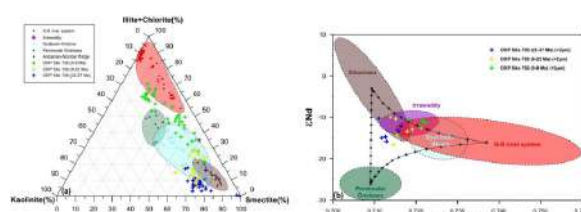


图 16 研究区粘土矿物及 Sr-Nd 同位素组成的物源示踪

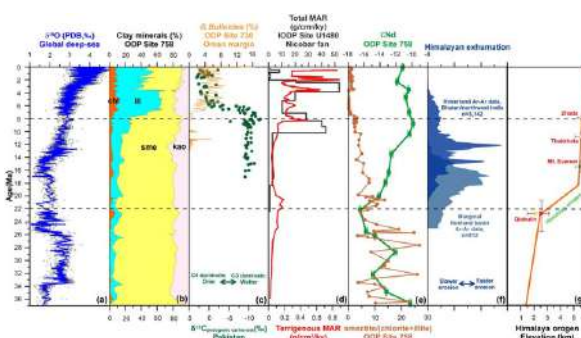


图 17 晚始新世以来南亚构造 - 气候及河流演化的海 - 陆记录对比

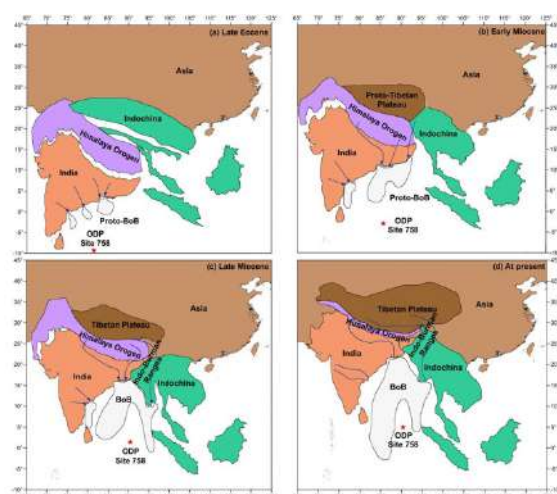


图 18 晚始新世以来南亚河流和古地理演化重建



Nature Communications 发表 IODP 351 航次新成果： 揭示板块俯冲起始机制

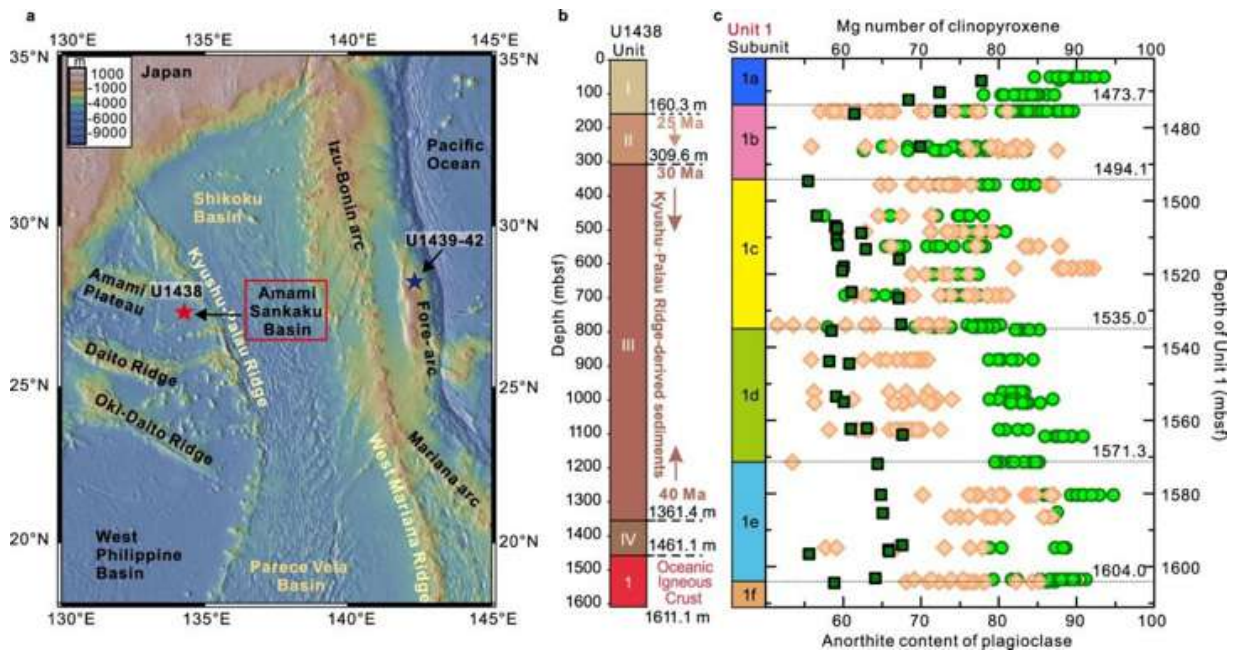


图 19 IODP 351 航次在奄美盆地 U1438 钻孔位置图及玄武岩岩心中单斜辉石和斜长石组份随深度变化特征

3月19日, *Nature Communications* 在线发表了中国科学院海洋研究所孙卫东课题组李贺、孙卫东与国际大洋发现计划 (IODP) 351 航次首席科学家 Arculus 教授等专家合作的关于新生代伊豆小笠原俯冲起始的研究成果: “Basalt derived from highly refractory mantle sources

during early Izu-Bonin-Mariana arc development”。

俯冲带和岛弧早期阶段形成的岩浆特征与成熟岛弧体系的岩浆特征有所不同, 是研究俯冲起始的切入点。伊豆小笠原-马里亚纳 (IBM) 俯冲体系早期阶段主要由低钛-

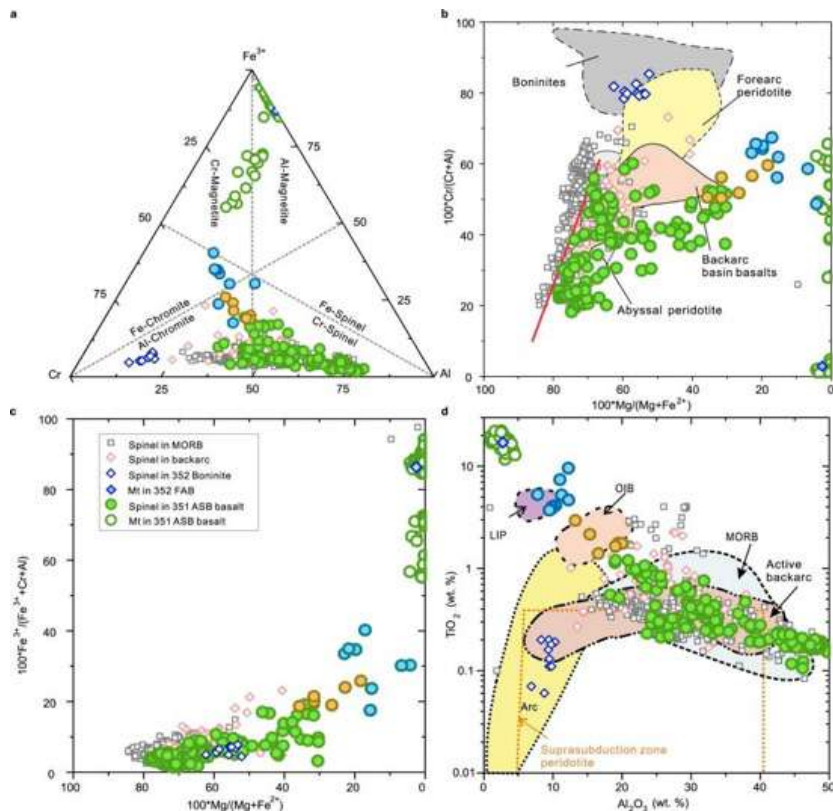


图 20 奄美盆地玄武岩中尖晶石的成分特征图

钾拉斑玄武岩和玻安岩组成。国际大洋钻探 351 航次在奄美盆地发现的玄武岩，位于 IBM 最古老的残余弧的下方和偏西部，形成时间在约 49 百万年前。晚于此发现的该区最早的弧前玄武岩（51-52 百万年）约 3 百万年。由于这些玄武岩正处于弧前玄武岩和典型弧岩浆作用之间的转折点，表明俯冲起始经历了约 3 百万年的时间。文章研究的玄武岩是低钛 - 钾、含铝尖晶石的拉斑玄武岩。这些伊豆小笠原马里亚纳岛弧发展早期阶段形成弧前玄武岩来，与大洋中脊、弧后盆地、岛弧或大洋岛玄武岩相比单矿物组份和全岩组份都存在明显地球化学区别。它们来自热的、还原的、难熔上地幔橄榄岩源区。该玄武岩的矿物温度计显示其形成的温压条件变化大，是从斜长石 - 尖晶石 - 橄榄岩相边界处的压力迅速转移到地表，保留了多压多热矿物学的遗迹。这些特征为揭示板块俯冲起始机制提供了关键信息，暗示俯冲起始

阶段该区处于挤压环境，而非自发俯冲起始对应的拉张环境。

该研究结果支持孙卫东等 2020 年在 *Science Bulletin* 上发表的“新特提斯洋闭合碰撞诱发西太平洋新生代板块俯冲起始”的观点。

— 转载自中国科学院海洋研究所公众号

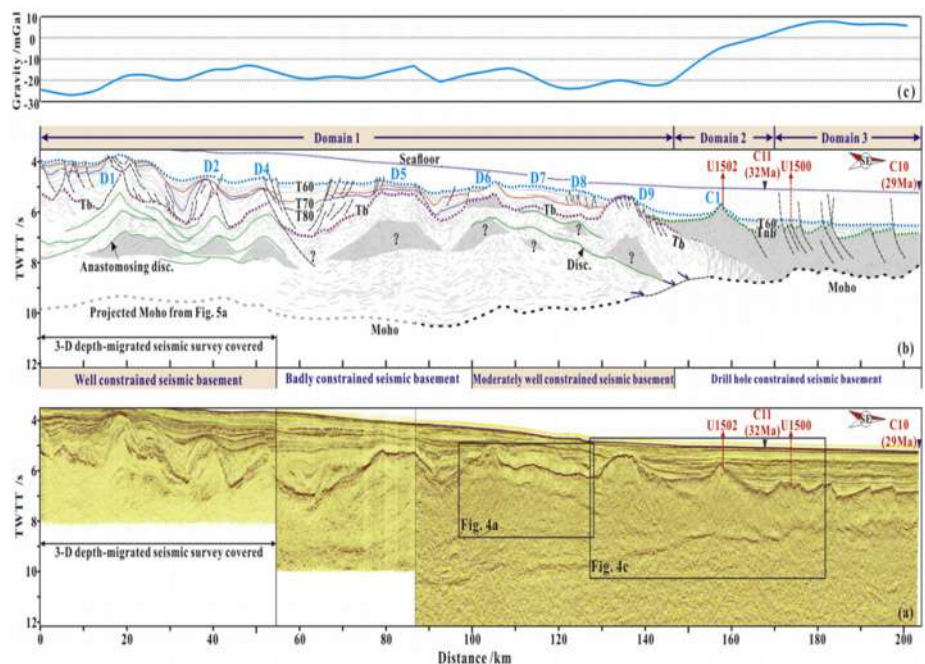


南海大洋钻探： 南海陆缘同裂陷期的岩浆作用研究新进展

3月，中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室（OMG）构造演化与模拟研究团队张翠梅副研究员、孙珍研究员，联合法国斯特拉斯堡大学的Gianreto Manatschal教授和中海石油有限公司庞雄地质总师等，在南海北部陆缘同裂陷期岩浆作用方面取得新进展，研究成果以“Syn-rift magmatic characteristics and evolution at a sediment-rich margin:

insights from high-resolution seismic data from the South China Sea”为题发表在 *Gondwana Research* 上。被动陆缘依据岩浆活动的表征划分为贫岩浆型和富岩浆型两种类型，但这种端元划分模式对于理解陆缘形成演化过程中复杂的岩浆作用非常有限，不能说明岩浆作用形式以及岩浆量在时空上的演化规律。

图 21 反射地震资料中解释的岩浆分布（图示灰色区域为推断的岩浆体，岩盖广泛分布在区带 1 的基底中；破裂最晚期形成的火山锥分布于区带 2 的洋陆过渡带；区带 3 为洋壳）



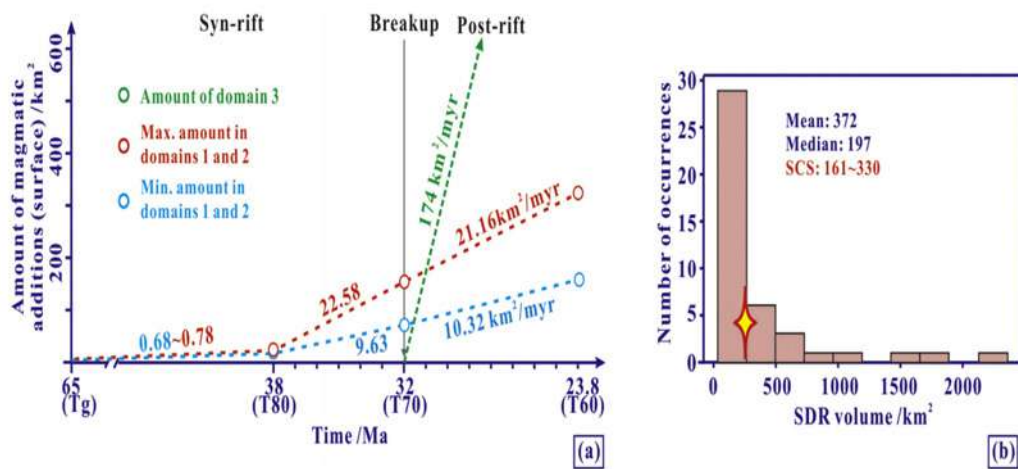


图 22 岩浆量随陆缘同裂陷期和裂后期的演化 (a) 以及南海的岩浆量与具有 SDR 的富岩浆陆缘的对比 (b) (黄色星号为估算的南海的岩浆量)

研究人员利用国际大洋发现计划 (IODP) 钻井资料, 结合深反射和折射地震资料, 以及重力反演等综合解析, 发现南海在打开之前 (同裂陷期), 其北部陆缘存在大量的岩浆活动, 主要体现为多个大型岩盖侵入体 (图 21), 局部出现岩席和火山锥; 这些分布在强烈伸展减薄基底中的岩盖, 不仅造成基底加厚, 也使得同裂陷期沉积层序发生显著抬升。研究团队发现, 岩浆活动开始于裂陷早期, 一直持续到海底扩张之后 (约 23.8 Ma)。通过估算岩盖的体积, 揭示了岩浆量随陆缘伸展过程的变化, 结果表明岩浆量在裂陷早期较少, 在 38 - 23.8 Ma 显著增多, 甚至比很多富岩浆型陆缘的岩浆量还要多 (图 22)。推测同裂陷的这一岩浆活动规律与中生代古太平洋板块俯冲携带大量水分俯冲到南海北部陆缘之下有关, 导致了地幔物质极易发生解压熔融。

南海大洋钻探 IODP 349 航次首席科学家林间研究员指出, 南海陆缘同裂陷期岩浆体系的揭示, 对认识南海超伸展减薄、陆缘结构、热演化史和油气富集规律具有重要意

义, 该工作为揭示南海陆缘的张裂 - 破裂过程提供了重要依据。

本项研究得到中科院卢嘉锡国际团队项目 (GJTD-2018-13)、国家自然科学基金 (41730532, 41830537, 41576068)、南方海洋科学与工程广东省实验室 (广州) (GML2019ZD0205) 等项目的资助, 以及 IODP 的支持。

— 转载自中国科学院南海海洋研究所官网



Global and Planetary Change 发表 IODP 368 航次新成果： 对理解中新世中晚期亚洲季风演化 具有重要意义

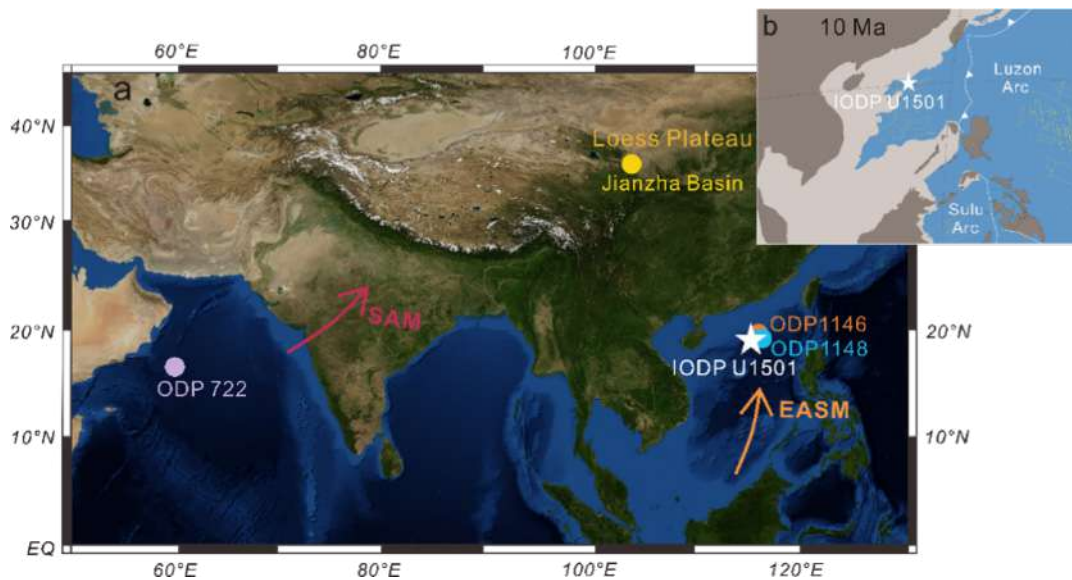


图 23 本次研究站位与相关站位

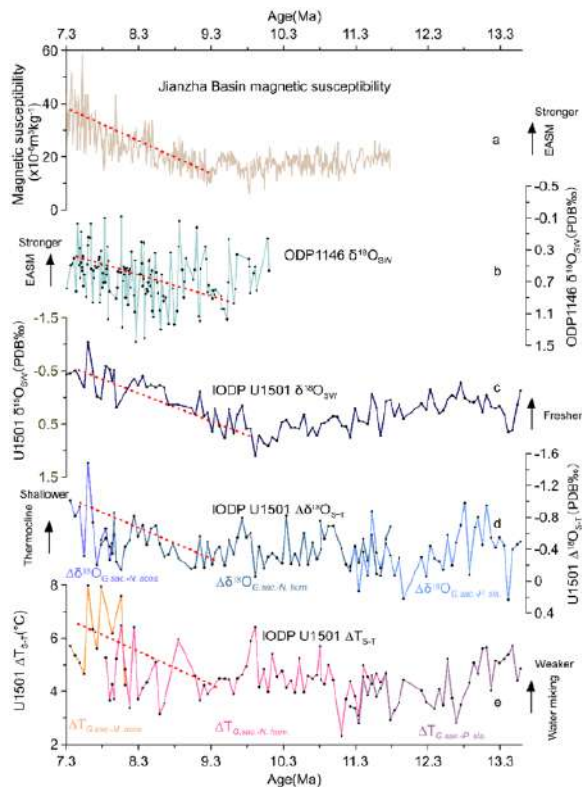
4月3日，国际著名地学杂志 *Global and Planetary Change* 在线发表了同济大学博士研究生杨策与合作者的研究成果：

“Upper ocean hydrographic changes in response to the evolution of the East Asian monsoon in the northern South China Sea during the middle to late Miocene”。

中中新世晚期（13.8-5.3 Ma）代表了

地球从单极有冰向两极有冰气候状态演化的关键时期，并伴随诸多显著构造和气候变化事件，如东南极冰盖扩张、西太平洋暖池初始形成、青藏高原隆起以及南亚和东亚季风的演化等。这些构造或气候事件显著影响了亚洲季风系统，进而影响了中新世中晚期南海上层海水温度结构和水文变化。作为亚洲季风系统的一部分，季节性变化的大气环流不仅控制南海及其附近区域的降水和地表径流，同样影响了南海表层洋流的方向和强度，

图 24 东亚季风陆地与海洋记录。(a) 尖扎盆地黄土磁化率 (Fu et al., 2017); (b) ODP 1146 剩余海水氧同位素 (Steinke et al., 2010b); (c) IODP U1501 剩余海水氧同位素; (d) IODP U1501 表层次层氧同位素梯度; (e) IODP U1501 表层次层温度梯度值



表层海水温度以及盐度 (图 23)。然而亚洲季风在百万年时间尺度上对于南海上层海水温度结构与表层水文变化有何影响, 目前还不清楚。

本次研究通过对南海北部 IODP 368 航次 U1501 站沉积记录中的浮游有孔虫混合层种 *Globigerinoides sacculifer* 和温跃层种 *Neogloboquadrina acostaensis*, *Neogloboquadrina humerosa*, *Paragloborotalia siakensis* 进行氧碳同位素和 Mg/Ca 比值测试, 重建了 13.6-7.3 Ma 南海北部表层水文和上层海水温度结构的变化 (图 24)。剩余海水氧同位素重建结果表明东亚夏季风降水在 13.6-10.2 Ma 减少, 在 10.2-7.3 Ma 期间强度有所增加。对于 10.2-7.3 Ma 期间的季风降水增强的信号, 来自邻近海域剩余海水氧同位素以及陆地黄土磁化率等记录也支持了这个结果。表层与次表层的海水氧同位素梯度 $\delta^{18}\text{O}_{\text{surface-thermocline}}$ 与温度梯度 $T_{\text{surface-thermocline}}$ 重建结果显示, 9.4-7.3 Ma 期间上层水体氧同位素

与温度差值明显增大, 指示温跃层变浅, 水体混合减弱, 推测是由于增强的东亚夏季风降水和河流淡水输入所导致。结合这一时期的构造与气候背景, 从水汽供应和大气环流的角度来考虑, 中晚中新世东亚夏季风降水增强可能受到西太平洋暖池的初始形成和青藏高原隆升共同影响。通过与南亚季风降水进行对比, 结果表明中新世中晚期亚洲季风降水主要受古地理变化控制。上述研究工作对于理解中新世中晚期亚洲季风演化有着重要的科学意义。

文章的第一作者和通讯作者为同济大学海洋与地球科学学院博士研究生杨策, 合作者包括同济大学翦知潜教授, 党皓文副教授以及瑞士苏黎世联邦理工学院张洪瑞博士等。该项研究得到自然资源部 (GASI-GEOGE-04) 和科技部项目 (2018YFE0202401) 的资助。



Geology

发表 IODP 364 航次最新研究成果： 揭示墨西哥湾 Chicxulub 陨石撞击事件过程



图 25 Chicxulub 撞击事件（图片源于网络）

目前主流观点认为，6600 万年前导致恐龙大绝灭的主因，是一次小行星撞击事件，这次撞击事件发生在墨西哥湾尤卡坦半岛区域，形成了直径大概 200 公里的 Chicxulub 撞击坑（图 25）。该撞击事件引发的环境效应，比如森林大火、气候变化、火山活动等等，导致了地质历史上的第五次生命大灭绝（K-Pg 事件），全球 75% 的生物灭绝，其中质量超过 25 千克的生物全部灭绝。除了灾难性的环境效应，该撞击事件的其他重要信息也记录在撞击靶体岩石中，对靶体岩石的研究有助于认识撞击作用和撞击过程。

2016 年 10 月，国际大洋发现计划（IODP）364 航次在 Chicxulub 撞击坑

的峰环位置 M0077A 取得了完整的钻孔岩芯，并对撞击作用和撞击过程、生物大灭绝、生命复苏、撞击后的沉积作用等重大科学问题开展研究。该钻孔岩芯的研究成果被 *Science* 评为 2019 年十大科学突破之一。中国 IODP 派出中国地质大学（武汉）肖龙教授参加该航次，承担了其中冲击变质效应的研究，带领团队成员对角砾岩、撞击熔体、花岗岩基底以及岩脉中的冲击变质矿物开展了系统的工作。他们的最新研究发现了系统的锆石冲击变形特征，比如，高压相莱氏石、锆石双晶、颗粒化锆石以及变形之间的世代关系，对从矿物变形角度去认识大型撞击过程提供了新的视角。更重要的是，高压相莱氏石首次在地球上最大的撞击坑之一的

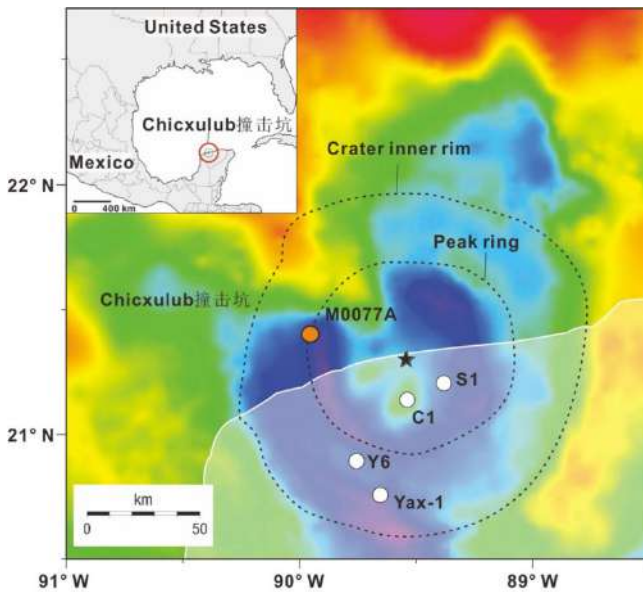


图 26 Chicxulub 撞击坑地理位置以及 M0077A 钻孔位置，引自 Zhao et al., 2021

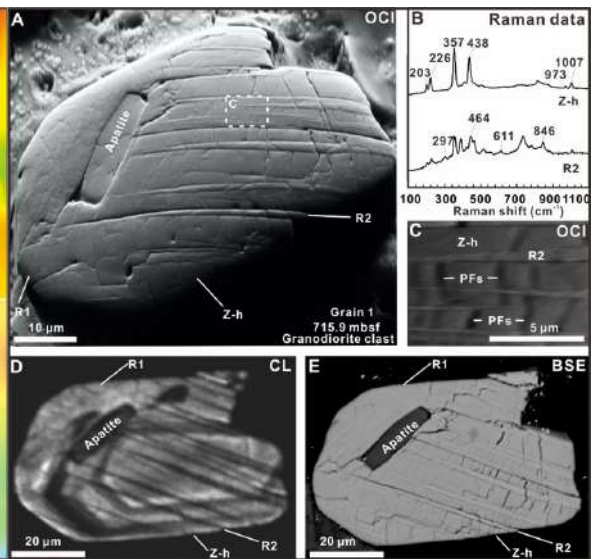


图 27 典型莱氏石的特征 (A 取向衬度图、B 拉曼光谱、C 局部放大的取向衬度图、D 背散射图像和 E 阴极发光图像，引自 Zhao et al., 2021)

Chicxulub 撞击坑中被发现。该论文由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室地球科学学院肖龙教授、博士生赵佳伟，联合中山大学肖智勇副教授、英国、美国、加拿大、澳大利亚和奥地利等国家科学家共同完成，于 2021 年 4 月 5 日发表在国际著名地学期刊 *Geology* 上。

撞击构造在太阳系类地行星表面普遍存在，包括简单、复杂、峰环和多环撞击构造。地球上的撞击构造由于遭受频繁的内—外动力地质活动往往很难保存下来，数值模拟是探究其形成机制和过程的理想手段，然而岩石矿物的实证研究更为需要。墨西哥湾 Chicxulub 撞击坑是世界上最大且保存最好的峰环撞击构造之一(图 26)，该撞击坑为中生代末期一颗 10-15 km 的小行星撞击在墨西哥尤卡坦半岛区域而形成(Collins et al., 2020)；在撞击前，靶体区域主要是碳酸盐岩台地环境：小于 100 m 的海水深度、3 km 的中生代碳酸盐岩沉积层以及下部的结晶基底。地球物理数据显示含有结晶基底物质的撞击坑峰环形成在中生代地层之

上，前人结合数值模拟提出了动力坍塌模型(dynamic collapse model)，即在撞击过程中，撞击坑的中央峰快速隆升，然后迅速向外向下坍塌(Morgan et al., 2016)。在撞击过程后期，大量的海水回退，形成了最顶部具有水岩相互作用特征的撞击角砾岩(Gulick et al., 2019, Osinski et al., 2020)。匪夷所思的是，这些过程的蛛丝马迹都保留在了锆石这种矿物中，这似乎让我们看到了中生代最后一天的场景。

绝大部分矿物在撞击作用下都会产生冲击变质特征，比如矿物的面状变形特征、高压相(石英转变为柯石英和斯石英)、双晶和矿物分解等。锆石在地壳中是非常稳定的，具有耐高温和蚀变的特性。在正常的地质作用下，锆石可以稳定存在几十亿年，它既是地质历史的“时钟”，又是地质过程的“温压计”。因此，锆石是记录冲击变形变质的重要矿物之一。然而，在撞击作用的极端条件下，高压使得锆石千疮百孔、高温使得锆石面目全非。到目前为止，锆石的高压相莱氏石仅发现于简单和复杂撞击坑，

比如 Chesapeake Bay 撞击坑（美国），Haughton 撞击坑（加拿大），Ries 撞击坑（德国），Rock Elm 撞击坑（美国），Woodleigh 撞击坑（澳大利亚）和岫岩撞击坑（中国）；然而，地球上最著名的三大撞击坑 Vredefort 撞击坑（南非）、Sudbury 撞击坑（加拿大）和 Chicxulub 撞击坑（墨西哥）在本研究之前一直未曾发现莱氏石，值得注意的是，大型撞击坑完全具备莱氏石形成所需的温压条件。因此，本研究分析了锆石中系统的变形特征与世代关系，讨论了

变形特征和撞击过程的对应关系，以及强调了莱氏石形成和保存的机制。

1. 冲击变形的特征及世代关系

莱氏石在 BSE 和 CL 图像中分别为亮色和暗色条带（0.2-2 μm ）的形式出现（图 2），主要是因为密度上莱氏石要比锆石高 10%。拉曼光谱显示莱氏石主要的特征峰为 297 cm^{-1} 、 461 cm^{-1} 、 611 cm^{-1} 和 846 cm^{-1} 。莱氏石片晶和锆石主晶在取向上的关系表现为

一组 $\{112\}_{\text{reidite}} // \{112\}_{\text{zircon}}$ 和一组 $\{112\}_{\text{reidite}} // \{100\}_{\text{zircon}}$ 。莱氏石片晶切过面状破裂，这证实莱氏石的形成具有剪切性质。锆石双晶也是以片晶（0.2-1.2 μm ）的形式存在，它和锆石主晶有一个 $65^\circ // \{110\}$ 的取向差关系；可以观察到的是，双晶也切过莱氏石片晶，同样反映了剪切性质。颗粒化锆石仍然具有锆石外在的形貌，但是内部主要由 1-5 μm 的锆石小颗粒和少量 0.2-2 μm 的二氧化锆小颗粒组成，一部分颗粒化锆石继承了莱氏石的取向特征（图 27）。

2. 对撞击过程的启示

本研究确定了在冲击波加载的过程中，角砾岩中锆石遭受的撞击压力达到 30 GPa 以上（图 29），从而形成高压相莱氏石；考虑到实验岩石学模拟数据，锆石双晶的形成压力在 10-20 GPa；再根据莱氏石和双晶

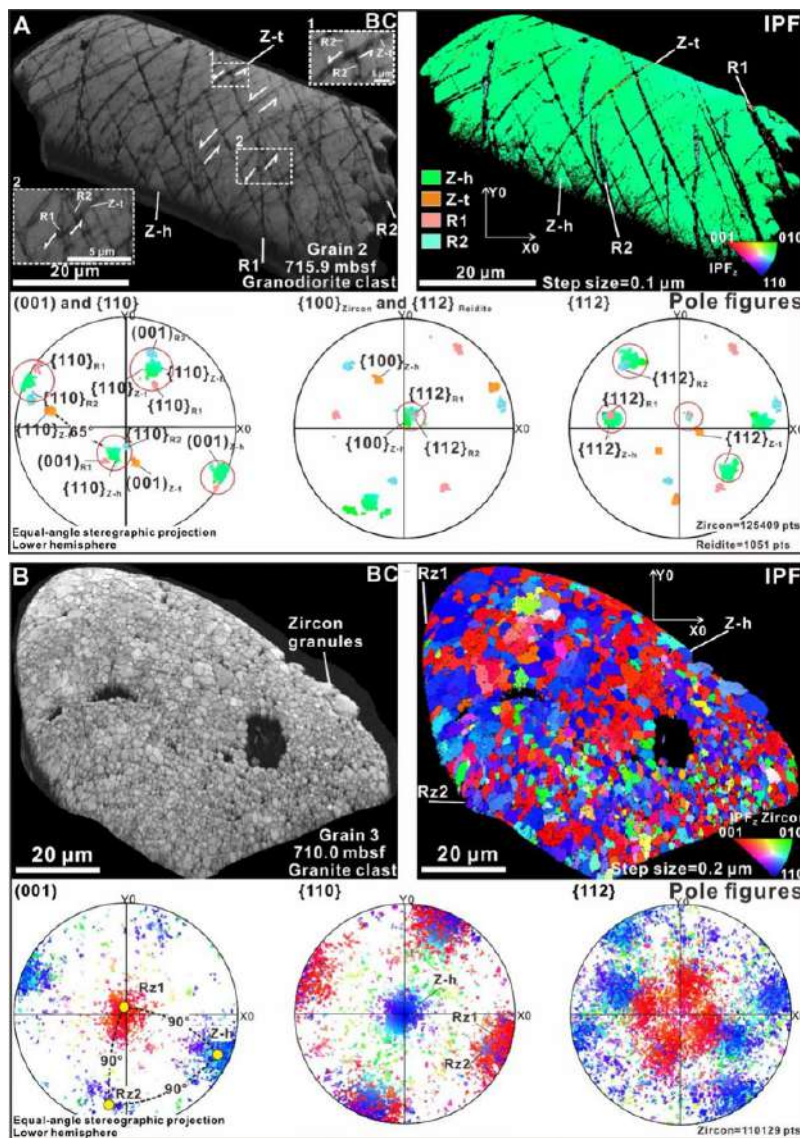


图 28 典型莱氏石、锆石双晶和颗粒化锆石取向特征（A 莱氏石和锆石双晶的生长切割关系，B 颗粒化锆石的取向，引自 Zhao et al., 2021）

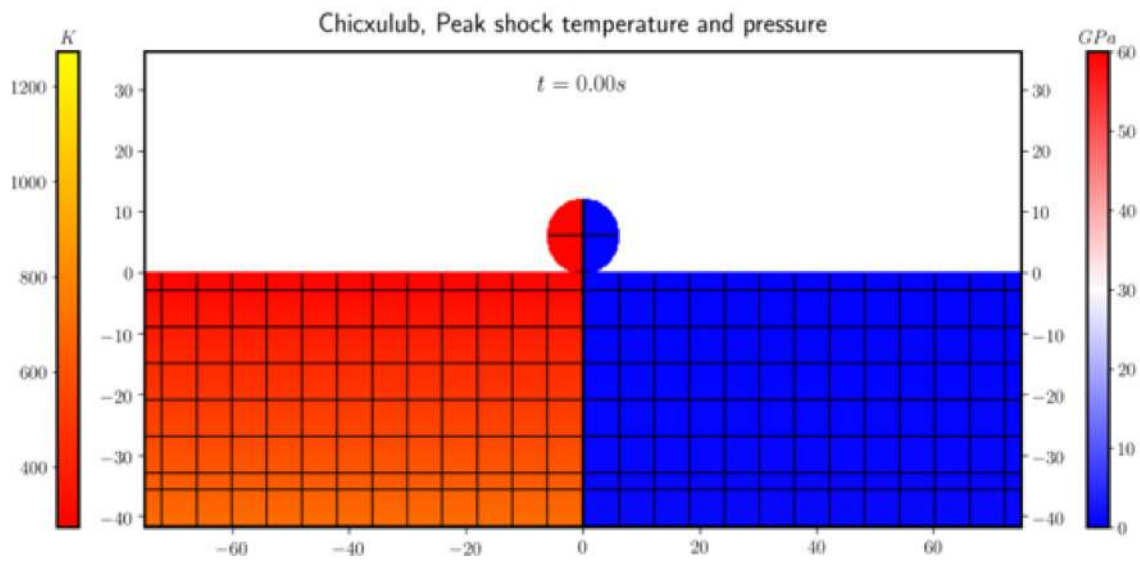


图 29 Chicxulub 撞击过程中靶体的峰值温度和压力动态图, 引自 Zhao et al., 2021

切割关系, 进一步得出双晶是形成在莱氏石之后, 为应力卸载过程, 而不是加载过程; 颗粒化锆石所在角砾岩出现的位置靠近撞击熔体, 从而得出颗粒化锆石的形成与撞击熔体加热有关, 为撞击改造阶段的产物。

3. 莱氏石的形成与保存

考虑到其他撞击坑莱氏石的产出情况, 它们主要分布在撞击靶体的结晶基底、熔体含量少的撞击角砾岩和溅射物中。本研究中含有莱氏石的角砾岩也靠近撞击熔体, 但是其周围显示强烈的蚀变痕迹。因此, 本研究认为快速冷却过程 ($<1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) 对于莱氏石的保存具有重要意义。这个冷却过程正好和撞击过程后期海水回退导致的水岩相互作用过程吻合。总的来说, 莱氏石的保存指示了 Chicxulub 撞击过程的最后阶段。

本研究在墨西哥湾 Chicxulub 撞击坑峰环角砾岩中发现了锆石的面状破裂 (planar fractures)、莱氏石 (reidite)、锆石双晶 (twins)、颗粒化锆石 (granular zircon) 等多种冲击变形特征。在撞击应力加载的过程中, 莱氏石的出现指示了角砾岩

中的锆石遭受撞击压力在 30 GPa 以上, 随后在应力卸载过程中, 锆石颗粒中形成双晶 ($\sim 20\text{ GPa}$)。在撞击改造阶段, 高温的熔体对莱氏石进行了加热 ($>1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), 莱氏石在高温下进一步相变, 转变成继承莱氏石结晶取向的锆石 (FRIGN zircon)。然而, 部分撞击角砾遭受海水回退导致的快速降温过程 ($<1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), 一些莱氏石得以保存下来。本研究提供了锆石在撞击过程中连续变形和改造的实证, 对进一步理解地球以及类地天体表面的撞击作用和撞击过程提供了思路。

该成果主要受国家自然科学基金 (41772050、41830214)、中国科学院战略性先导科技专项 (XDB 41000000)、民用航天技术预先研究 (D020201) 和留学基金委高水平公派研究生项目 (202006410083) 等项目资助。



IODP 360 航次研究成果： 马赛克锆石与超慢速扩张洋脊应力场变化

5月，同济大学海洋与地球科学学院师生在对国际大洋发现计划（IODP）360航次岩芯样品的研究中取得重要进展。马强博士、周怀阳教授和IODP 360航次首席科学家 Henry Dick 教授合作的相关成果“Silica-Rich Vein Formation in an Evolving Stress Field, Atlantis Bank Oceanic Core Complex”发表在 *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*。程昊教授课题组硕士研究生徐乃潇的最新成果“Mosaic zircon petrochronology and implications for the ultra-slow spreading process of Southwest Indian Ridge”发表在 *Lithos*。

传统的板块构造理论认为，洋中脊是大洋板块扩张的中心，主要通过以岩浆作用为主的洋壳增生实现对称扩张。但是，近二三十年的研究进展表明，上述认识可能只适用于快速扩张洋中脊。由于整体上岩浆供给较为贫乏，超慢速扩张洋中脊处的板块扩张通常由构造伸展和岩浆增生作用协同配合。这导致其常发育拆离断层并具有不对称扩张的特征。同时，拆离断层

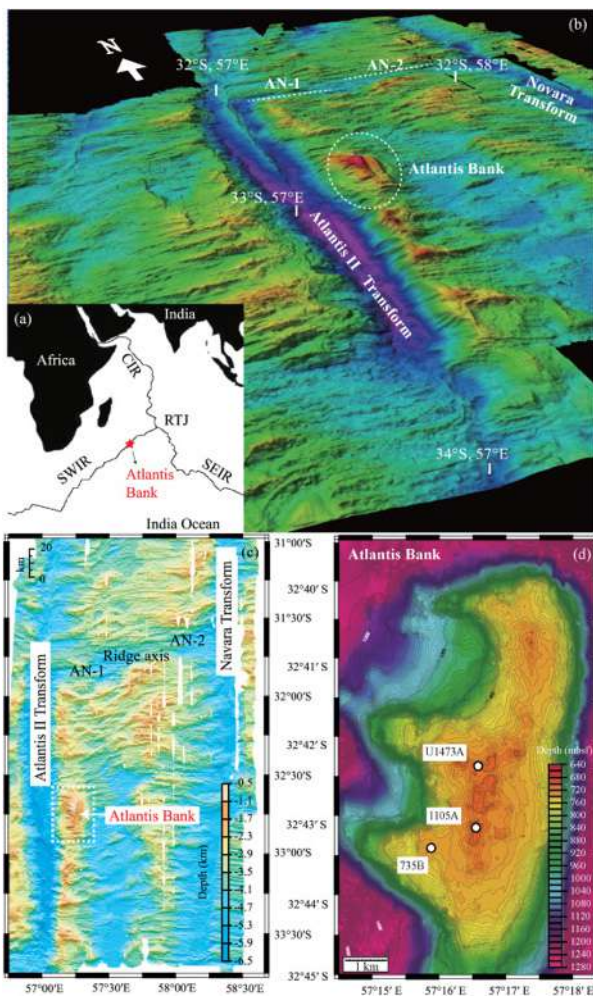


图 30 Atlantis Bank 位置及钻孔 U1473A 位置

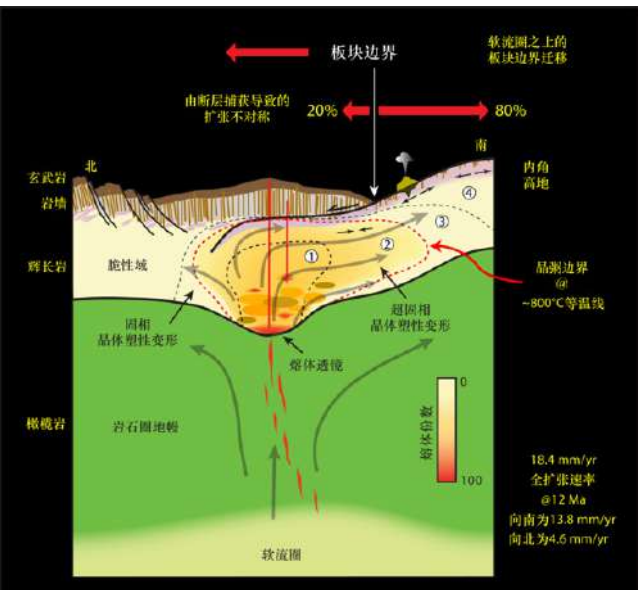


图 31 Atlantis Bank 增生模式图

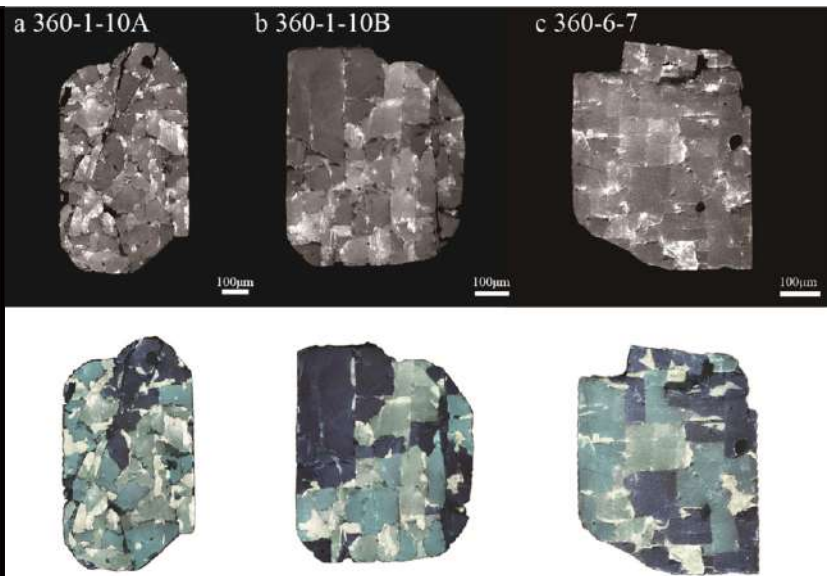


图 32 三颗典型马赛克锆石的阴极荧光 (CL) 照片 (第二排为重新填色的图片)

将下洋壳甚至上地幔岩石从岩石圈深部拖拽到海底表面，形成大洋核杂岩。西南印度洋洋中脊全扩张速率约为 14 mm/yr，是超慢速扩张洋中脊的典型代表之一。Atlantis Bank 大洋核杂岩位于 31°50'S 西南印度洋洋脊轴以南 95 km，毗邻 Atlantis II 转换断层东壁（图 30a-c），形成于 11-13 个百万年前。Atlantis Bank 核杂岩主体岩性为辉长岩，记录了下洋壳中的岩浆增生过程、熔体地球化学特征和运移机制以及构造变形相关应变局部化等重要信息。IODP U1473A 钻孔是该区域成功取芯的三个钻孔之一（图 30d），总深约 809 m。

研究人员通过对 IODP 360 航次获得的长英质脉体及其辉长岩围岩样品的显微构造和岩石地球化学分析，发现了长英质脉体有两个不同成因的世代：第一个世代长英质脉体通常具有逆冲剪切指向，其围岩以氧化物辉长岩为主，有限的氧逸度范围、高磁铁矿 / 钛铁矿比和角闪石低 Cl/F 比，表明它们是晚期富 Fe-Ti 熔体结晶分异的产物；第二世代为长英质脉体通常以橄榄辉长岩为围岩，并产出在与岩墙的接触边界和正断剪切带的边缘，氧逸度变化范围较大，具有低钛磁铁

矿 / 钛铁矿比和角闪石高 Cl/F 比，说明它们形成过程中有海水衍生挥发分的参与，是蚀变辉长岩重熔的产物。具有不同剪切指向的长英质脉体形成的顺序很可能反映了部分熔融辉长岩不对称底辟侵位至上覆洋壳过程中发生了应力场的反转，同时伴随岩浆晚期挥发分向海水衍生挥发分的转变。这与在大洋核杂岩形成过程中由断层捕获作用导致的扩张速率不对称以及裂谷高地之下热流的明显不对称性相一致（图 31）。这项研究建立了下洋壳中构造活动与晚期岩浆活动之间的联系，对认识超慢速扩张洋中脊的动力增生过程有重要意义。

研究人员在 IODP 360 航次获得的辉长质样品中，首次发现了在阴极射线荧光 (CL) 下呈现特殊明暗相间矩形方块的马赛克锆石（图 32）。通过对马赛克锆石进行年代学、地球化学分析，发现产出于深度较浅的闪长岩和氧化物辉长岩的马赛克锆石是由构造活动导致的脆性变形锆石。马赛克锆石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $5.5 \pm 0.1\text{‰}$ ，接近地幔平均值，和马赛克微结构之间不存在相关性。然而，单颗粒锆石中的马赛克微区与 Y 元素和裂隙之间具有很好的相关性。研究人员认为，马赛克



锆石内部微量元素含量的变化是在结晶过程中产生的，并且与洋中脊拆离断层运动而引起的二次脆性变形有关。大范围的脆性变形使原本坚硬的锆石发生破裂。裂隙作为高渗透性通道导致 Pb 迅速在晶界扩散丢失，使得马赛克锆石的年龄 11.42 ± 0.41 Ma 相对于非马赛克锆石的年龄 12.16 ± 0.14 Ma 更加年轻。锆石的微量元素分布模式与全球大

洋锆石相似，但其微量元素的丰度和比值表明其母岩浆来源于更加亏损的正常洋中脊玄武岩 (N-MORB) 地幔。该研究建立了超慢速扩张洋脊扩张过程中的构造活动与锆石成因之间的联系，首次发现的马赛克结构对锆石形态学分类体系进行了补充。

Geology

发表中国科学家大洋钻探新成果： 揭示喜马拉雅—喀喇昆仑山和 阿拉伯海体系的演变过程

亚洲南部高耸的喜马拉雅—喀喇昆仑山及其南边深陷的阿拉伯海—孟加拉湾，组成了地球表层高程差最大的地形地貌。特殊的地形地貌影响着大气环流型式和大江大河发育，孕育了独有的亚洲季风气候和河流水系格局。长期以来，关于喜马拉雅—喀喇昆仑山脉生长与阿拉伯海—孟加拉湾的形成，吸引着国内外诸多科学家，并取得不少研究进展。然而，关于喜马拉雅—喀喇昆仑山系隆升、印度河演变、阿拉伯海沉积以及季风气候变化等重要科学问题，没有获得一致认识，亚洲南部地貌起源与演变还有诸多不解之谜。6月3日，国际著名地学期刊 *Geology* 以“Erosion of the Himalaya-Karakoram recorded by Indus Fan deposits since the Oligocene”为题发表了南京大学海洋学院鹿化煜教授团队关于亚洲南部山脉—流

域的起源和演化研究的最新成果，该成果利用阿拉伯海大洋钻探计划 (ODP) 117 航次获得的宝贵样品，揭示了喜马拉雅—喀喇昆仑山和阿拉伯海体系的演变过程。

亚洲季风降水侵蚀着喜马拉雅—喀喇昆仑山地表物质，并经印度河传输，沉积到阿拉伯海 (图 33)。水深超过 3000 米的阿拉伯海堆积着上千米的沉积物。这些沉积序列是揭示喜马拉雅—喀喇昆仑山生长和侵蚀演化的重要记录。基于这一认识，南京大学鹿化煜教授、冯晗同学等对采自 3000 米水下的沉积物进行了仔细研究，测试了沉积物中锆石的铀—铅年龄分布、沉积物全样锶—钕元素同位素值，以及沉积物中磷灰石的裂变径迹年龄并进行了重矿物组合分析 (图 34, 图 35)，其中，抗风化强的锆石铀—铅年龄

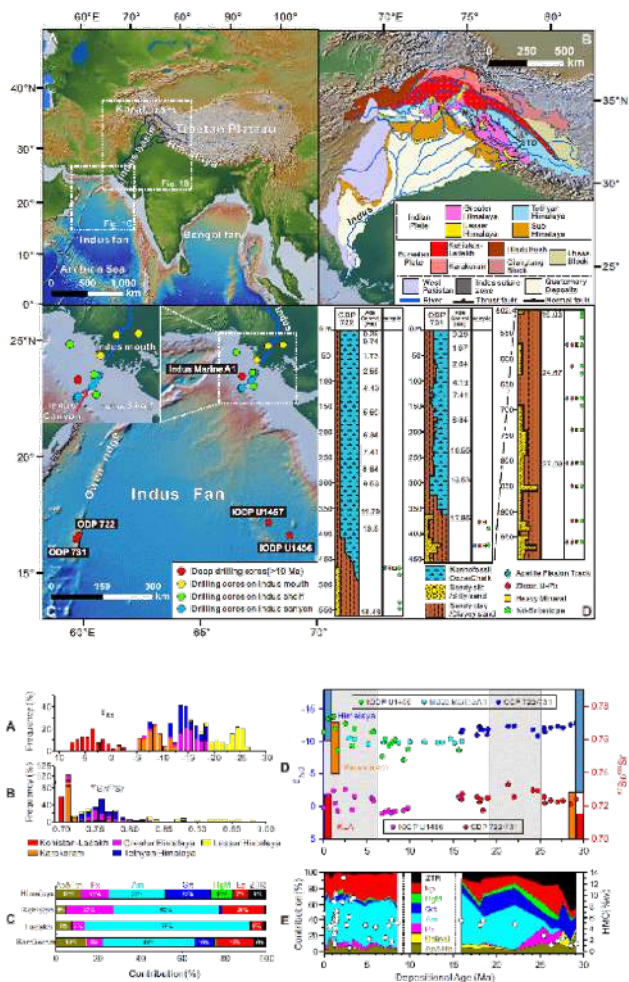


图 34 深海沉积物样品的铈 (2A) 和锶 (2B) 同位素分布、重矿物组合 (2C) 以及铈、锶同位素 (2D) 和重矿物组合 (2E) 随时间变化序列

图 33 研究区地形地貌图和沉积物序列。1A 亚洲南部喜马拉雅 - 喀喇昆仑山 - 阿拉伯海地形地貌；1B 印度河流域地貌和地表岩石性质；1C 大洋钻探计划 (ODP)、国际大洋发现计划 (IODP) 在阿拉伯海、北印度洋的钻探站位；1D ODP 722 和 ODP 731 站获得的沉积物序列，是本研究的重点样品。

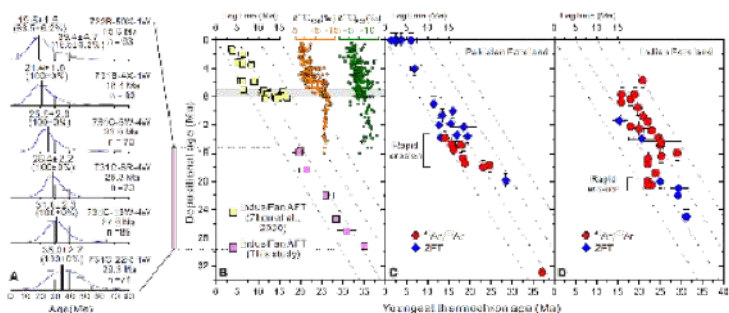


图 35 深海沉积物样品的磷灰石裂变径迹年龄分布。裂变径迹年龄显示，磷灰石冷却到沉积在阿拉伯海，其滞后时间大约为 3-6 百万年。指示相对稳定的剥蚀速率

谱和锶—钪元素同位素值可较好指示沉积物的源区，比如，沉积物是来自于喀喇昆仑山、还是喜马拉雅山，并可与重矿物组合对比和互检；磷灰石的年龄可以估计山脉的侵蚀速率、可检验海底沉积物的年代。结合前期大洋钻探沉积物序列可靠的年代结果，研究发现亚洲南部印度河水系格局在渐新世中晚期（老于 2700 万年）已经形成；从那时开始，喀喇昆仑—喜马拉雅地表被侵蚀的物质通过河流传输，堆积在阿拉伯海甚至于北印度洋，并持续至今，表明亚洲南部的地形和季风气候，那时可能已经初步形成。同时，结合已

有的沉积记录和认识，研究发现喜马拉雅—喀喇昆仑山渐新世晚期以来的侵蚀过程主要受到全球气候变化的控制，与物源变化的关系不大。鹿化煜团队从海洋沉积记录研究山脉生长的思路、以及利用深海沉积物堆积稳定、年代准确等优势开展，使得这项研究具有很强的创新性，论文得到了多位审稿人肯定。

该项研究得到国家自然科学基金委委员会基础研究中心项目、重大项目课题和创新研究群体项目的联合资助。

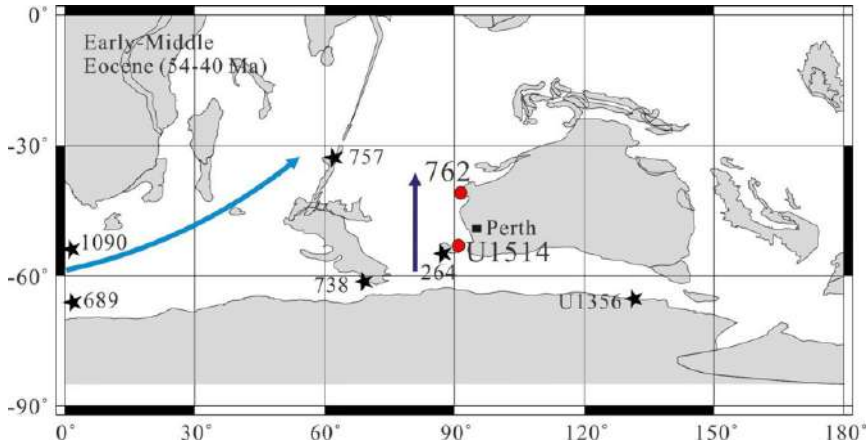


图 36 本次研究站位与相关站位

Paleoceanography and Paleoclimatology

发表中国科学家大洋钻探新成果： 对建立完整的始新世天文年代格架 和理解东印度洋动力学具有重要意义

国际著名地学杂志 *Paleoceanography and Paleoclimatology* 在线发表了中国地质大学（武汉）博士研究生许可与合作者的研究成果：“Reconstructing Eocene Eastern Indian Ocean dynamics using ocean - drilling stratigraphic records”。该成果利用东印度洋大洋钻探计划（ODP）122 航次和国际大洋发现计划（IODP）369 航次获得的宝贵样品，对建立完整的始新世天文年代格架和理解东印度洋动力学具有重要意义。

始新世是由新生代温暖、高生物多样性的温室气候向冰室气候转变的重要过渡期。为了充分的研究这种气候转变，需要使用高精度的年代标尺约束地层。虽然近些年在始新世天文年代地层学领域取得了很大的进

展，然而，由于存在沉积间断、缺乏连续的碳酸盐岩地层以及部分存在争议的天文年代标尺，前人并未在同一地区建立完整的高精度始新世天文年代格架。基于此，本次研究将搭建 ODP 122 航次 762C 钻孔的始新世天文年代标尺，并综合现有的 IODP 369 航次 U1514 钻孔始新世地层的年代格架（图 36），最终在东印度洋地区建立完整的始新世天文年代标尺（图 37）。

沉积噪音模型是北京大学地球与空间科学学院史前生命与环境科学研究所研究员李明松 2018 年提出的重建古海平面的方法，用于从海相地层中的沉积信号反演古海平面的变化。该模型定量研究了古气候替代指标与沉积噪音的关系，研究结果表明浪基面附近或浪基面以上的地层的沉积噪音与古海洋

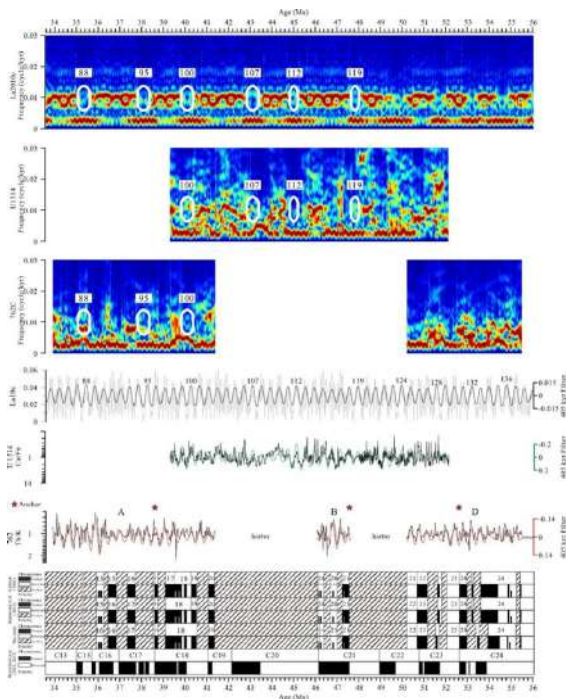


图 37 本次研究建立的东印度洋始新世天文年代标尺

在 1.2 Myr 长斜率周期信号，762C 钻孔位于海底高原上，其沉积噪音可能主要与海平面变化有关，而 U1514 钻孔位于深海环境，其沉积噪音可能主要与海底流强度有关。尽管这两个钻孔的沉积地层均受控于相似的天文轨道周期，但天文轨道力与沉积响应之间的机理途径完全不同。上述研究工作对于建立完整的始新世天文年代格架和理解东印度洋动力学具有重要的科学意义。

的相对水深呈反相关系，且这一过程受控于长轨道周期驱动，即 1.2 Myr 长斜率周期的高值对应相对海平面降低和相对较强的沉积噪音。基于这一理论模型，本次研究试图将该模型应用于大洋钻探深海领域，以及重建东印度洋动力学。

ODP 762C 钻孔现今水深为 1360 m，IODP U1514 钻孔现今水深为 3850 m。本次研究通过对 ODP 762C 钻孔始新世地层和 IODP U1514 钻孔始新世地层进行沉积噪音分析，结果表明，两个钻孔始新世地层均存

文章的第一作者和通讯作者为中国地质大学博士研究生许可，合作者包括德国不莱梅大学 David De Vleeschouwer、Maximilian Vahlenkamp 博士，中国地质大学（武汉）陈红汉教授和山东科技大学杨仁超教授。该项研究得到中石化科技部“十三五”重大科技项目（ZDP1705）和中国地质大学（武汉）博士研究生出国联合培养项目的资助。

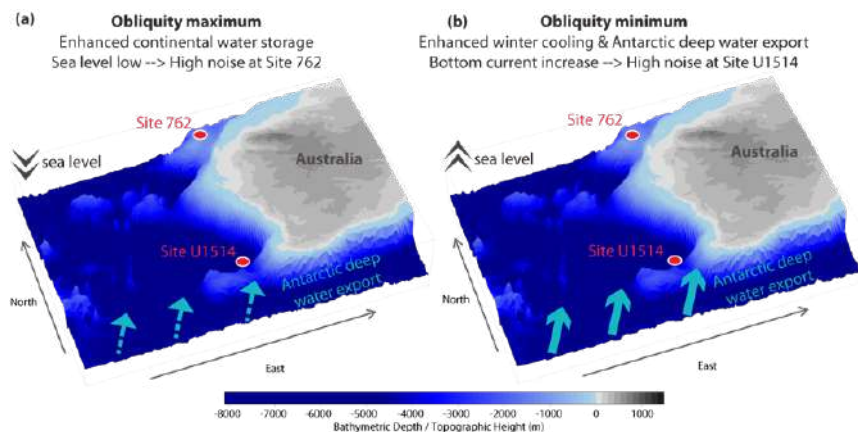


图 38 本研究中基于沉积噪声模型的动力学可视化图



南海大洋钻探： 被动陆缘远端带基底性质 和变形特征研究新进展

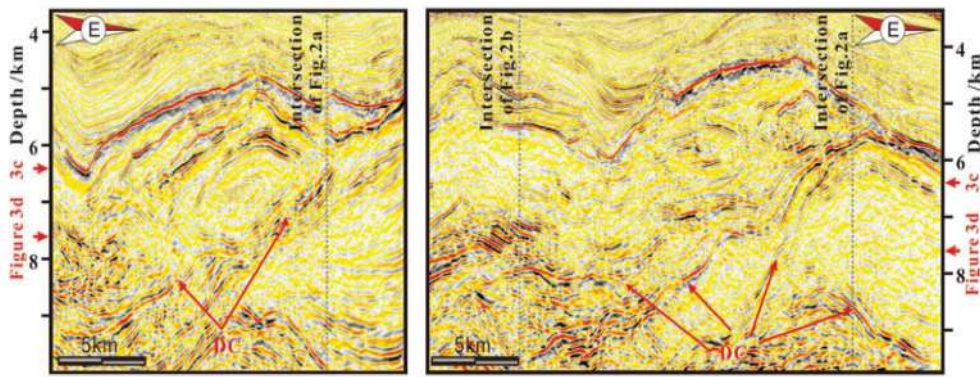


图 39 剑鞘褶皱的眼球状构造和融合交织的基底不连续带

中科院边缘海与大洋地质重点实验室张翠梅副研究员、孙珍研究员与中海石油有限公司和法国斯特拉斯堡大学等多家单位的科学家合作，在被动陆缘远端带的基底性质和流变特征研究上取得新进展，相关成果以“Discovery of mega-sheath folds flooring the Liwan subbasin (South China Sea) : Implications for the rheology of hyperextended crust”为题发表在 *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 上。

经典地壳模型一般包含脆性的上地壳和韧性的中下地壳。在贫岩浆的伊伯利亚型被

动陆缘的远端带，地壳减薄至 10 km 以下，中下地壳会与上地壳耦合，共同发生脆性变形。但在构造变形复杂、具有强烈继承性的地质背景中，陆缘远端带的地壳流变结构和力学性质可能显著不同，如经历中生界主动陆缘向被动陆缘转换的南海北部陆缘。

研究人员通过深度域的反射地震资料解释和水平切片提取，发现在南海北部陆缘远端带的基底中存在多个指示韧性变形的大型剑鞘褶皱，这些褶皱被融合交织的不连续带所分隔。在精细刻画剑鞘褶皱和不连续带基础上，通过与 IODP 367/368 航次钻井资料的对比，提出基底由继承的弧前盆地中地

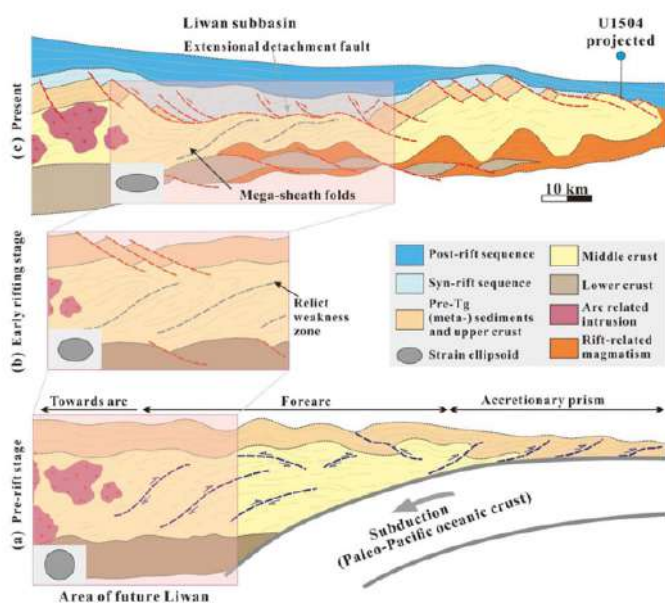


图 40 剑鞘褶皱的成因和继承性地壳在远端带的剥露模式图

南海张裂 - 破裂过程的影响方面具有重要意义。研究成果为南海地区的超伸展变形研究提供新的视角。

本研究得到国家自然科学基金 (41730532, 41576070, 41830537, 41576041)、中科院卢嘉锡国际团队项目 (GJTD-2018-13)、南方海洋科学与工程广东省实验室(广州) (GML2019ZD0205) 和广州市基金 (2017A030312002) 项目的资助, 以及 IODP 的支持。

——转载自中国科学院南海海洋研究所官网

壳所构成, 在简单剪切作用下中地壳沿拆离断层剥露到了基底顶部, 直接被同裂陷期地层所覆盖, 上地壳局部缺失。简单剪切和纯剪切共同作用控制了陆缘远端带的超伸展减薄。

上述成果不仅揭示了剑鞘褶皱的成因和机制, 同时是对全球被动陆缘远端带结构和基底变形的有益补充, 在认识俯冲继承性对

南海大洋钻探新进展： 绿片岩相糜棱岩显微构造 记录南海陆缘新生代伸展

南海北部陆缘完整保留了被动陆缘伸展、薄化、破裂过程中的产物, 是研究被动大陆边缘形成演化的理想场所。由于观测手段的限制, 前人对南海北部陆缘构造特征的研究主要通过地球物理方法, 缺乏对

基底样品的研究。2017 年和 2018 年 IODP 367/368/368X 航次在南海洋陆过渡带至早期洋壳开展了 7 个站位的钻探, 科学家首次在外缘隆起的基底中获得了基性绿片岩相糜棱岩 (图 41)。绿片岩相糜棱岩内显微构造

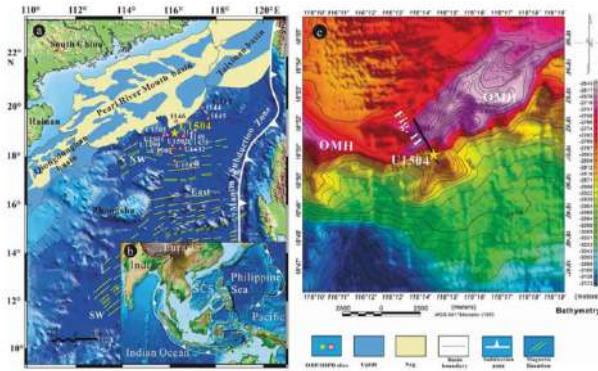


图 41 南海水深图和站位位置图

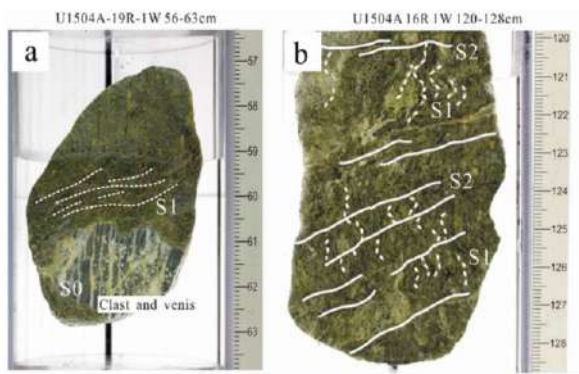


图 42 变形期次示意图 (S0: 原岩; S1: 糜棱面理; S2: 褶劈理)

丰富，保存了南海陆缘新生代张裂、减薄过程乃至中生代俯冲历史的重要信息，对研究南海陆缘构造特征和演化历史具有重要的意义。

为了提取南海陆缘基底岩石中保存的构造信息，中科院南海海洋研究所“构造与模拟”研究团队孙李恒博士生和孙珍研究员对绿片岩相糜棱岩开展了岩石学、矿物地球化学和显微构造的研究，同时将显微构造和区域构造特征相结合讨论了南海陆缘新生代的构造演化过程。

研究结果显示，绿片岩相糜棱岩经历了两期变形，分别是早期韧性变形和晚期脆性变形，并且两期变形均表现了伸展的构造环境（图 42）。广泛发育的石英膨凸式重结晶

(BLG)、钠长石显微破裂和细粒化表明韧性变形的温度为 300-400 °C，与浅部地壳层次的韧性变形相当 (5-10 km)（图 43）。结合地震资料，研究发现绿片岩相糜棱岩的运动学特征与南海北部陆缘新生代区域伸展构造一致（图 44）。因此，研究推测绿片岩相糜棱岩可能是中生代厚层沉积物被伸展剥蚀后，经地壳拆离形成（图 45）。

以上研究成果以“Microstructures documenting Cenozoic extension processes in the northern continental margin of the South China Sea”为题发表在《International Geology Review》上。该研究团队还包括中科院广州地球化学研究所黄小龙研究员、蒋映德研究员和美国加州理工学院 Joann

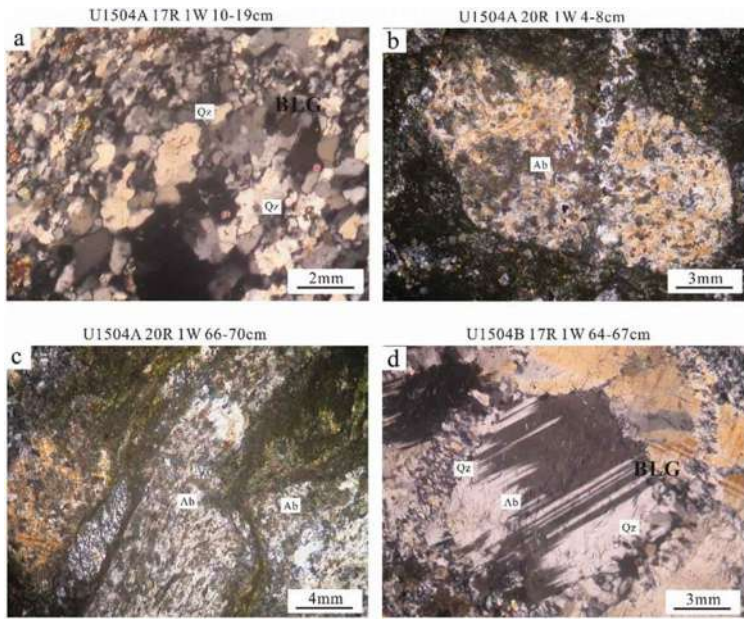


图 43 石英和钠长石显微构造 (Qz: 石英; Ab: 钠长石; BLG: 膨凸式重结晶)

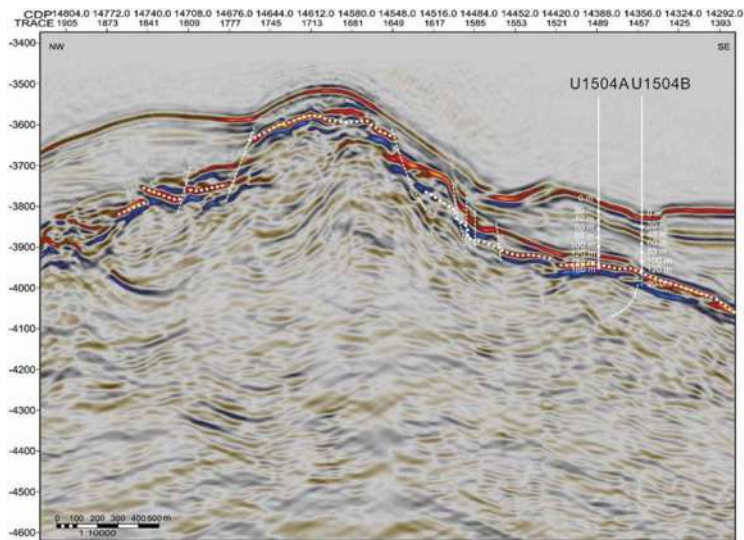


图 44 研究区地震剖面

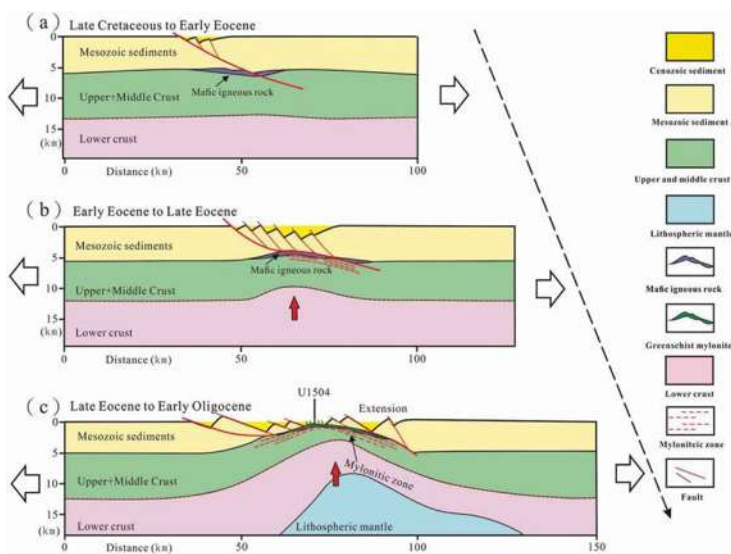


图 45 南海北部陆缘绿片岩相糜棱岩形成模式图

Stock 教授。研究得到了广东省自然科学基金 (2017A030312002)、K.C Wong 教育基金 (GJTD-2018-13)、中国大洋发现计划、基金委南海深部计划 (91628301) 及国家自然科学基金项目 (41576070、41625007) 的联合资助。



数值模拟揭示 南海中部大洋钻探区陆洋转换方式

为何南海中东部陆缘薄化 - 破裂过程中有大量岩浆参与？南海东部和西部陆缘在破裂方式上有什么不同？为了回答上述问题，中科院南海海洋研究所“构造与模拟”研究团队李付成副研究员和孙珍研究员等，在南海大陆边缘破裂方式及控制因素方面开展了系列数值模拟研究，并取得了突破性新进展，相关研究成果以“Continental interior and edge breakup at convergent margins induced by subduction direction reversal: A numerical modeling study applied to the South China Sea margin”为题发表在国际期刊 *Tectonics* 上。

全球观测表明，俯冲板块后撤 (Rollback) 和俯冲方向反转 (Subduction direction reversal) 是边缘海发育的两种重要方式。前者被认为是活动大陆边缘破裂的重要动力学来源，也是近年来国内外学者的主要研究对象；而后者是被动大陆边缘破裂的重要动力学来源，但对其研究却甚少，尤其尚不清楚大洋岩石圈在俯冲过程中发生俯冲方向反转时，能否诱发大陆岩石圈的破

裂，以及典型的破裂方式及主控因素如何。根据前人研究，南海从中生代主动陆缘转变为新生代被动陆缘的主要驱动力为古南海板块的反向俯冲拖曳，即南海陆缘俯冲方向由北西向俯冲反转为新生代向南东俯冲，因此开展南海中新代构造转换的模拟研究对揭示俯冲方向反转的演化特点，解释南海东西部陆缘的结构和破裂方式的差异具有重要意义。

研究团队创新性地开展了多地质过程融合的数值模拟，并与前期观测工作进行对比，揭示南海岩石圈演化包含三个重要阶段：1. 在初始阶段，大洋岩石圈向北西俯冲至华南大陆之下；2. 之后进入构造平静期；3. 最后大洋岩石圈俯冲反转，向南东俯冲至婆罗洲之下。新结果表明俯冲转向可能诱发大陆岩石圈破裂，产生新洋盆；破裂方式有陆缘 (Continental edge) 和陆内 (Continental interior) 破裂两种 (图 46)；破裂发生的位置受控于向西北俯冲的时间和大洋岩石圈年龄。陆缘破裂以弧前碎块裂离及俯冲大洋岩石圈的拆沉为主要特征，而陆内破裂时出现大型陆块向南漂移。

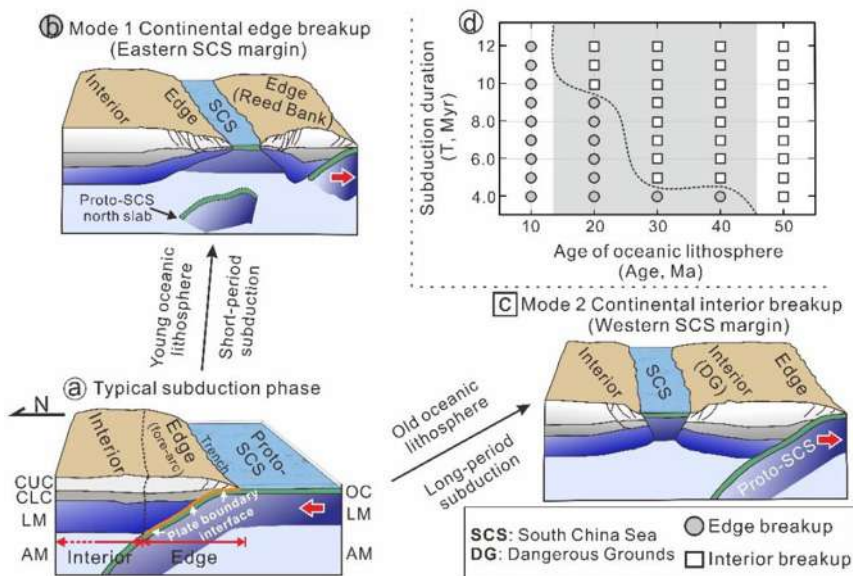


图 46 陆缘及陆内破裂的演化特征

上述结果很好地解释了南海初始破裂位置与破裂特征的关系。东侧陆缘在中生代弧前破裂，属于陆缘破裂，裂离华南的陆块为狭窄的陆条，宽度小于 300 公里（包括巴拉望岛等）；西侧在岛弧发生破裂，属于陆内破裂，裂离的南沙地块宽度超过 500 公里。东西侧陆缘破裂的差异，可能受控于北西向俯冲的时间和俯冲板块的年龄。

结合模拟与重力对比，新研究推测现今残存的向西北俯冲的中生代海沟可分为两段，其中西侧随南沙地块运移至 Crocker - Palawan 增生楔体之下，东侧仍留在南海北

部（图 47）。东西侧陆缘破裂位置和破裂方式的差异可能是南海东西部陆缘结构和岩浆作用存在巨大差异的主要控制因素。

该研究团队还包括中科院南海海洋研究所林间特聘研究员、香港中文大学杨宏峰教授、美国加州理工学院 Joann Stock 教授等。研究得到广东省基金团队项目、广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项、中科院卢嘉锡国际团队项目、国家自然科学基金、香港研究资助局基金项目和 IODP 的共同资助。

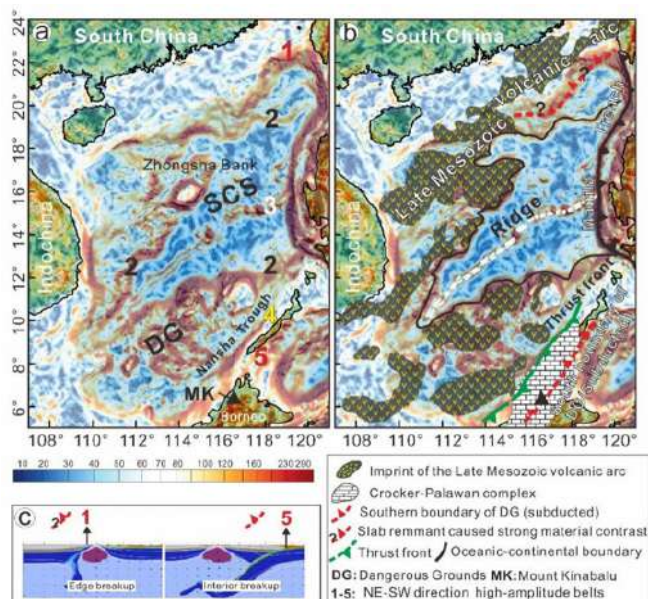


图 47 模拟结果与重力数据结合揭示北向俯冲海沟的位置（其中晚中生代火山弧位置引自 Li et al., 2018）



IODP 367、368 航次新成果： 揭示南海西北次海盆 沉积过程、控制因素及物质来源

陆上盆地与近海盆地的沉积通量变化可用于约束侵蚀速率以及探索构造活动与气候变化之间的联系。南海作为西太平洋最大的边缘海，在沉积物搬运与堆积过程中发挥了重要的作用。对南海沉积过程的研究，可以同时研究陆源沉积物的搬运路径，并讨论沉积通量变化的主要因素，以此帮助我们加深对南海西北次海盆构造活动、气候变化与沉积演化之间联系的理解。

自然资源部第二海洋研究所丁巍伟课题组吴艳梅博士开展了南海西北次海盆沉积过程研究。根据 IODP 367、368 航次最新钻井数据与岩性分析（图 48），以及对地震剖面上沉积单元的划分（图 49），定量计算了海盆区在不同地质时期的沉积通量，并分析了南海西北次海盆沉积通量变化的控制因素以及沉积物源，展现了沉积物从物源搬运到陆架，再到陆坡，最终进入海盆完整的沉积过程。

研究结果显示，南海的沉积过程主要

由区域构造事件及气候变化控制，但是会受到局部构造事件及地理位置的影响，尤其是西北次海盆，相较于其他陆缘盆地以及西南次海盆，呈现出特有的沉积通量特征（图 50）。自南海西北次海盆打开以来，沉积速率较低。进入中中新世后，青藏高原的隆起以及东亚夏季风的增强，导致沉积速率快速增加。在晚中新世期间，东沙隆起事件导致大量被剥蚀的沉积物越过白云凹陷，直接进入西北次海盆，使得沉积通量在该阶段达到峰值。上新世以来，南海海平面处于高水位期，大量沉积物堆积在广阔的南海北部陆架区域，进入海盆的沉积物减少，沉积通量快速下降。而在更新世，东亚夏季风的再次盛行以及冰期—间冰期气候变化，导致陆缘侵蚀增加，进而导致沉积通量再次增加。自西北次海盆扩张以来，其主要的沉积物源来自于华南陆块，以及少量来自红河、海南岛、陆架区局部隆起的沉积贡献。

研究成果以“Sedimentary budget of the Northwest Sub-basin, South China

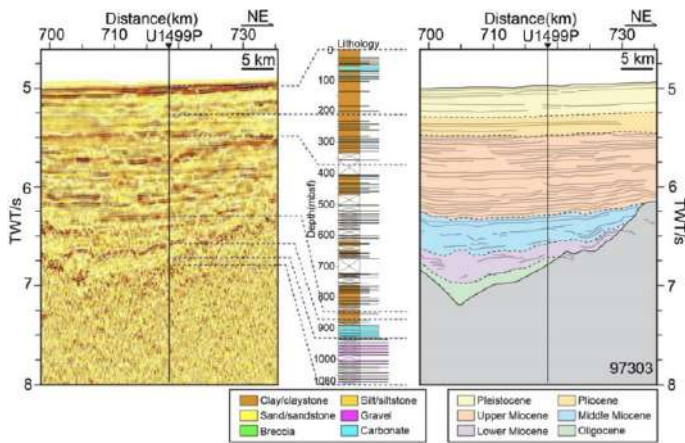


图 48 过 U1499 井的地震界面校正, 根据恢复的岩性层位对解释的地震剖面进行校正, U1499 井位于南海洋陆过渡带的洋脊之上, U1499 井钻遇大部分新生代地层, 但未钻遇玄武岩基底

Sea: controlling factors and geological implications” 为题已在国际地学期刊 *International Geology Review* 上发表。该研究得到了国家重点研发计划 (2016YFC0600402)、全球变化和海气相互作用项目 (GASIGEOGE)、国家自然科学基金项目 (91858214, 41676027) 和国家自然科学基金—山东国家海洋科学研究中心联合基金 (U1606401) 的联合资助。

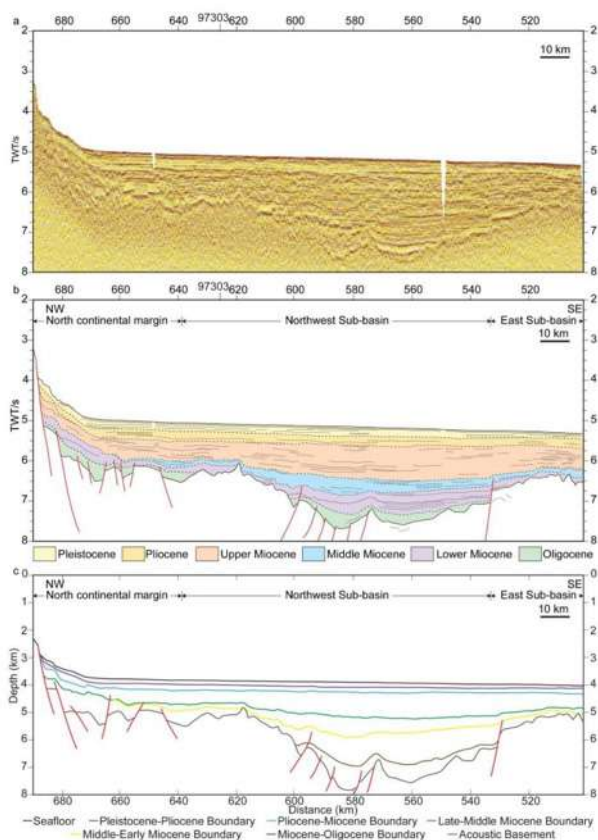


图 49 SE-NW 向的地震剖面 SO49-17 (a) 原始地震剖面; (b) 地质解释及标定; (c) 时深转换剖面。渐新统地层与下中新统地层经历了南海的同断裂时期。垂向比例尺放大率为 3:1

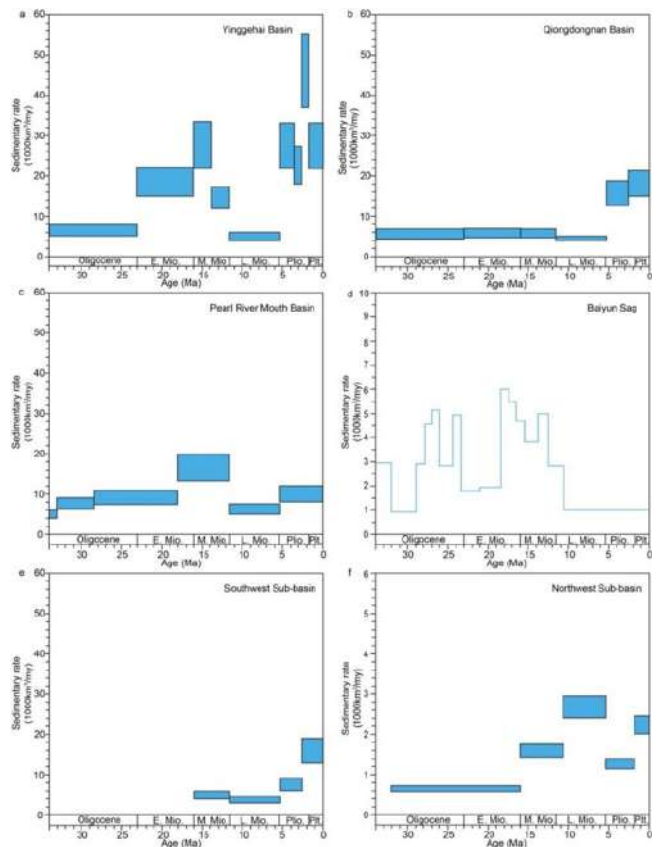


图 50 南海北部主要陆缘盆地及海盆区的沉积通量。(a) 莺歌海-宋红盆地 (Clift and Sun, 2006); (b) 琼东南盆地 (Clift and Sun, 2006); (c) 珠江口盆地 (Clift, 2006); (d) 白云凹陷 (Xie et al., 2013); (e) 西南次海盆 (Wu et al., 2018); 以及 (f) 西北次海盆



IODP 360 航次新成果： 超慢速扩张脊下洋壳组成 和结构多样性的成因

国际知名地学刊物 *Journal of Petrology* 发表了中科院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室张维骥博士研究生和刘传周研究员合作的最新研究成果“Evidence for Multi-stage Melt Transport in the Lower Ocean Crust: the Atlantis Bank Gabbroic Massif (IODP Hole U1473A, SW Indian Ridge)”。

大洋中脊是现今地球上最长火山链，也是全球最重要的地壳增生场所。根据全扩张速率，全球洋中脊可以分为快速扩张 (>80 mm/yr)、慢速扩张 (20-80 mm/yr) 以及超慢速扩张 (<20 mm/yr) 三种类型。其中超慢速扩张脊占据了全球洋脊总长度的 36%，主要分布在西南印度洋脊和北冰洋脊。对于快速扩张洋脊（如东太平洋隆）研究的结果表明，洋壳厚度约 7 km，并具有层状结构，上部洋壳主要由玄武岩和辉绿岩墙组成，下部洋壳为辉长岩。超慢速扩张脊具有两个明显的特征：1) 洋壳厚度变化极大，变化范围从 0-9.5 km，表明沿洋脊轴走向岩浆供给量的剧烈变化；2) 超慢速扩张脊通常发育大型拆离断层，可以将深部的下洋壳堆晶岩甚至是地幔橄榄岩直接剥露至洋底，从而形成大洋核杂岩，具有不完整的洋壳结构。

已有的研究表明，大洋核杂岩的下洋壳

岩性组成与结构受岩浆供给量的影响较大。当岩浆供给量较少时（如大西洋的 Atlantis Massif），大洋核杂岩下洋壳在成分上通常不发育明显的分层结构，仅发育微弱的塑性变形。但当岩浆供给量比较大时（如西南印度洋的 Atlantis Bank），大洋核杂岩的下洋壳具有显著的分层，并发育强烈的塑性变形。根据深潜、拖网和钻探等多种手段，已经清楚地揭示了 Atlantis Bank 大洋核杂岩在垂向上存在岩性的分带，其中上部以氧化物辉长岩为主，中部以橄榄辉长岩为主，而底部以橄长岩或纯橄岩为主，部分辉长岩发育强烈的塑性变形（图 51）。关于岩浆供给量如何影响大洋核杂岩岩性成分与结构的机制，目前尚不清楚。

研究人员经过对 2015 年国际大洋发现计划 (IODP) 360 航次在西南印度洋 Atlantis Bank 大洋核杂岩上实施的 U1473A 钻孔辉长岩开展了系统的岩石学和地球化学研究。Atlantis Bank 大洋核杂岩水深 ~700 m，面积约 700 km²，主体为下洋壳辉长岩。IODP U1473A 钻孔总共 809 m，主体岩性为橄榄辉长岩，并发育有氧化物辉长岩和斜长花岗岩等不同类型的晚期脉体。其中，U1473A 钻孔上部 (0-589 m) 变形较强，多处发育糜棱岩带，而下部 (589-809 m) 变形相对较弱。本研究的对

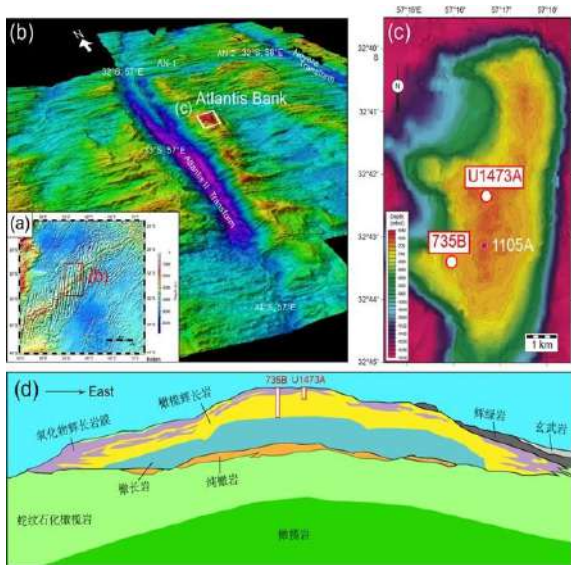


图 51 Atlantis Bank 核杂岩的位置 (a, b)、钻孔位置 (c) 和推测的内部分层结构 (d)

象包括岩芯下部弱变形带 (Group-I) 和上部剪切带 (Group-II) 的橄榄岩辉长岩。矿物学、岩石学和地球化学特征都表明两组橄榄岩辉长岩经历了截然不同的熔岩反应过程。其中, Group-I 橄榄岩辉长岩在形成后, 与后期 Fe-Ti 氧化物不饱和熔体发生了熔岩反应, 主要堆晶矿物 (即橄榄石、单斜辉石和斜长石) 均经历了不同程度的溶解和再结晶过程。除了早期与 Fe-Ti 氧化物不饱和熔体的熔岩反应, Group-II 橄榄岩辉长岩在后期还经历了富 Fe-Ti 氧化物熔体的熔岩反应, 造成橄榄岩辉长岩不同程度富集钛铁矿和韭闪石。早期的 Fe-Ti 氧化物不饱和熔体的熔岩相互作用与岩浆房内晶粥体的压实作用有关, 而晚期富 Fe-Ti 氧化物熔体的熔岩反应过程则与拆离断层控制下韧性剪切带的发育密切相关。

据此建立了在 Atlantis Bank 大洋核杂岩拆离断层发育过程中, 其下洋壳的增生过程的两阶段模型 (图 52)。首先, 原始 MORB 岩浆在下洋壳较深的部位发生侵位形成晶粥体, 在压实作用的影响下内部熔体发生显著流动并与早期结晶的橄榄岩辉长岩发生熔岩反应。其次, 下洋壳辉长岩体随拆离

断层被抬升至塑性变形区域内, 发育塑性剪切带。与此同时, 早期 Fe-Ti 氧化物不饱和熔体经过结晶分异形成 Fe-Ti 氧化物饱和熔体 (Fe-Ti 玄武质熔体), 在拆离断层的控制下汇聚至剪切带内, 在剪切作用下逐渐向上流动, 与其围岩 (即变形橄榄岩辉长岩) 发生熔岩反应, 并最终沿拆离断层主断裂带附近出露。

本项成果的意义在于构建了大规模韧性剪切带与超慢速扩张脊岩浆供给量和下洋壳组成和结构多样性之间的内在联系。在岩浆供给量较大的超慢速扩张洋脊 (如西南印度洋的 Atlantis Bank), 下洋壳内部的几百米规模的韧性剪切带可以作为晚期富 Fe-Ti 熔体向上流动的通道, 造成下洋壳上部大量富集氧化物辉长岩, 进而导致下洋壳岩性与成分上发生分层。而在岩浆供给量较小的超慢速扩张洋脊 (如大西洋 Atlantis Massif) 对于贫岩浆的大洋核杂岩, 由于受辉长岩体快速冷却和应变集中于蛇纹石化橄榄岩等因素的影响, 下洋壳辉长岩通常只经历有限的塑性变形, 导致晚期富 Fe-Ti 氧化物熔体难以有效地迁移并聚集到下洋壳上部, 从而下洋壳不出现明显的成分与岩性的分层结构。

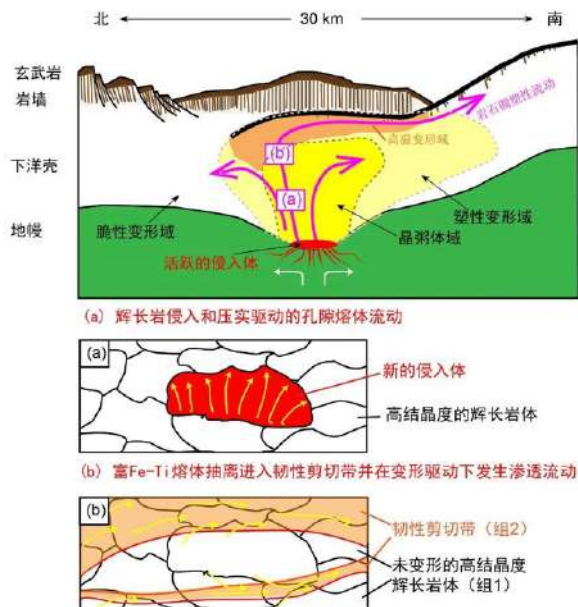


图 52 Atlantis Bank 核杂岩下洋壳的增生历史



信息发布



季风系列学术讲座 在线上举办

由澳大利亚昆士兰大学 Tara Jonell、美国伍兹霍尔海洋研究所 Liviu Giosan 和美国路易斯安那州立大学 Peter Clift 等人发起组织的季风系列学术讲座将于 2021 年 1 月 13 日在线上开讲，该系列讲座邀请活跃在国际季风研究领域的专家做学术报告，报告的主题主要关注地质历史时期全球季风在构造、轨道和千年等不同时间尺度上的演化。

目前 2021 年全年学术讲座安排已经确定，自 1 月 13 日起，每周三安排一次（7 月 8-9 月 7 日期间暂停），全年共 39 次讲座。为了让更多科学家在合理时间参与，时间安排分为 A、B 两种方案，A 方案为北京时间晚上 24 点，B 方案为北京时间下午 14 点，报告和交流时间约 60 分钟左右。

欲了解更详细信息，请点击如下链接：<https://www.monsoongeoseminars.com>。

中国 IODP 办公室组织 大洋钻探学术讲座 的通知

为了让更多青年科学家和学生了解、参与大洋钻探，中国 IODP 办公室决定举办大洋钻探学术讲座。每年邀请 4 位在大洋钻探领域活跃的专家到国内相关研究单位做学术报告，介绍大洋钻探研究的最新进展和发展方向等。2021 年度邀请专家为：同济大学田军教授（古海洋与古气候）、中科院海洋所张国良研究员（岩石圈演化）、自然资源部第二海洋研究所丁巍伟研究员（大陆边缘动力学）和上海交通大学王风平教授（深部生物圈）。

请感兴趣的单位和老师联系中国 IODP 办公室，



联系人：拓守廷，张钊
电 话：021-65981558
邮 箱：iodp_china@tongji.edu.cn

办公室将协调专家时间，安排讲座计划，办公室承担讲座专家的差旅等费用。热忱欢迎国内相关单位积极参与，共同促进中国大洋钻探事业的发展。

中国 IODP 办公室组织 大洋钻探建议书 研讨会的通知

国际大洋发现计划（IODP）及其前身是地球科学领域迄今规模最大、影响最深、历时最久的大型国际合作研究计划，也是引领当代国际深海探索的科技平台，对地球系统科学的发展做出了重大贡献。中国加入大洋钻探 20 余年来，取得了突出成就，已成为国际大洋钻探的重要成员。

当前，中国 IODP 正在积极推进成为国际大洋钻探平台提供者，自主执行大洋钻探航次，建设运行大洋钻探岩芯实验室。为了做好科学上的准备，中国 IODP 办公室拟举办大洋钻探建议书系列研讨会。请有撰写提交大洋钻探建议书意向的专家牵头组织小型学术研讨会，邀请有关专家开展研讨，推进撰写和提交大洋钻探建议书的工作。

欢迎有意向牵头撰写提交建议书的科学家与中国 IODP 办公室联系，共同组织研讨会，办公室将负责会务工作并承担有关会议费用。热忱欢迎国内相关单位积极参与，促进中国大洋钻探事业的发展。

联系人：
拓守廷
021-65982198, 13601872997
shouting@tongji.edu.cn
李阳阳
021-65983441, 18810404284
iodp_china@tongji.edu.cn

IODP 377 航次 召集船上科学家通知

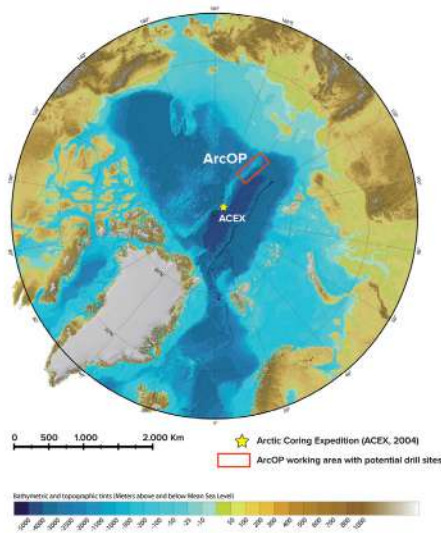
由欧洲大洋钻探研究联盟科学执行机构 (ESO) 组织实施的 IODP 377 航次 (北冰洋古海洋) 目前开始向各成员国召集船上科学家。该航次曾于 2017 年 6 月和 2020 年 5 月发布过召集通知, 但因经费问题延期执行, 本次重新开始召集, 欢迎感兴趣的科学家积极申请。

IODP 377 航次基于 IODP 708 号建议书, 计划在北冰洋罗蒙诺索夫海脊南部实施钻探, 获取长期、连续的沉积记录, 研究北冰洋中部新生代以来的古气候和古环境演化。首席科学家由德国魏格纳极地研究所 Rüdiger Stein 教授和美国詹姆斯麦迪逊大学 Kristen John 教授担任。

航次分为海上部分和岸上部分, 海上钻探工作预计于 2022 年 8-9 月间实施, 为期约 50 天。岸上初步研究和采样工作计划于 2022 年底或 2023 年初在德国不莱梅大学 IODP 岩芯库举行, 为期约 30 天。只有部分科学家团队成员可以参加海上钻探工作, 全体科学家团队都将参加在不莱梅的岸上初步研究。航次建议书及其他更详细信息请访问: <http://www.ecord.org/expedition377/>。

为了帮助感兴趣的科学家更好了解航次相关信息, ESO 将在国际标准时间 2021 年 3 月 30 日下午 1 点 (北京时间 3 月 30 日晚 9 点) 组织网上信息交流会, 介绍航次科学目标及技术支持等, 欢迎感兴趣的科学家参加, 具体细节请访问: https://www.surveymonkey.co.uk/r/IODP377_2022。

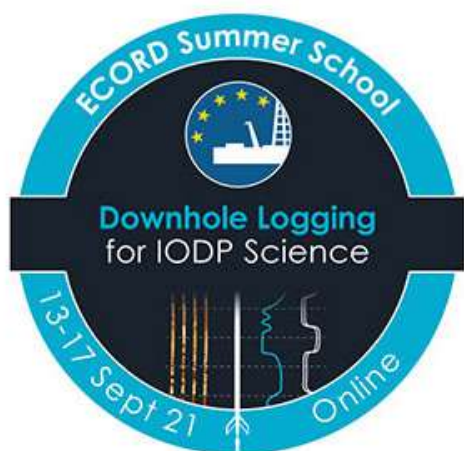
中国 IODP 鼓励中国科学家积极申请参加航次, 并提供参加航次及航次后研究的经费资助, 有意申请者请在截止日期前访问中国 IODP 网站 (<http://www.iodp-china.org/>), 注册后在线填写航次申请表并提交个人英文简历和航次后研究计划 (英文撰写), 代表中国 IODP 参加过以往 IODP 航次的科学家还需提交一份航次后研究总结 (中文撰写), 简述已参加航次的研究进展和成果等。



联系人: 拓守廷, 张钊
电 话: 021-65981558
邮 箱: iodp_china@tongji.edu.cn

截止日期 2021 年 5 月 14 日

2021 年度 “欧洲大洋钻探 联盟暑期学校” 正在招募学员



2021 年度“欧洲大洋钻探联盟暑期学校：IODP 测井记录”将于 9 月 13-17 日举行。本次暑期学校由英国莱斯特大学举办，受新冠疫情影响，采取线上授课的方式。本次课程聚焦于大洋钻探测井资料的解释和应用，学习测井技术在地球科学诸多领域，如古气候、沉积学、水文地质学等方面的应用。

为期 5 天的暑期学校共包含 30 个小时的岩石物理学课程培训，课程内容包括测井数据的质量评估和解析，IODP 测井案例研究，合成地震记录等。本次暑期学校旨在通过测井和岩石物理学课程的学习，让学员能够正确评估特定地质条件下测井数据的质量和适用性，将测井数据合理地应用于科学研究中。学校每天会在不同时间段提供线上同步课程，以保证不同时区的学员都能按时参加。

本次暑期学校学费为 95 英镑，使用电子教材的学员，学费优惠至 75 英镑。申请从即日起至 2021 年 8 月 2 日截止，共 30 个名额。欢迎感兴趣的科学家积极申请。申请此次暑期学校请直接发送申请材料至：epc@leicester.ac.uk，所需材料包括：申请表（点击下方链接下载）；2 页纸的申请信，内容包含：目前正在开展的研究项目以及未来如何利用测井和岩石物性数据开展研究的计划；1 页纸的简历；学生申请，需提供导师推荐信。

更详细信息请访问以下链接：<https://www2.le.ac.uk/departments/geology/research/gbrg/projects/iodp/ecord-summer-school-2021>

国际大洋发现计划 (International Ocean Discovery Program, IODP, 2013 – 2023) 及其前身综合大洋钻探计划 (IODP, 2003 – 2013)、大洋钻探计划 (ODP, 1985 – 2003) 和深海钻探计划 (DSDP, 1968 – 1983) 是地球科学历史上规模最大、影响最深的国际合作研究计划，旨在利用大洋钻探船或平台获取的海底沉积物和岩石样品来探索地球历史和系统动力学，所取得的科学成果证实了海底扩张、大陆漂移和板块构造理论，极大地推动了 20 世纪地球科学的革命。目前有美国、日本、中国、欧洲 15 国、韩国、印度、巴西及澳大利亚和新西兰等 23 个国家参与，年度预算约 1.5 亿美元。

IODP 航次安排

2021 年 -2022 年



航次编号	航次主题	执行时间	钻探平台
396	挪威中部大陆边缘岩浆作用	2021.08.06-10.06	“决心号”
386	日本海沟古地震	2021.10-11	“特定任务平台”
391	沃尔维斯脊热点	2021.12.06-2022.02.06	“决心号”
392	阿加勒斯海台白垩纪气候	2022.02.05-04.07	“决心号”
390	南大西洋横断面 #1	2022.04.07-06.07	“决心号”
393	南大西洋横断面 #2	2022.06.07-08.07	“决心号”
377	北冰洋古海洋	2022.08-09	“特定任务平台”
387	亚马逊大陆边缘	Postponed	“决心号”
388	赤道大西洋通道	Postponed	“决心号”
394	里约格兰德甲烷和碳循环	Postponed	“决心号”
395	雷克雅尼斯地幔对流和气候	Postponed	“决心号”



关注“大洋钻探”公众号
获取更多 IODP 最新动态

封面：第六届地球系统科学大会主会场

编辑	拓守廷 张钊 李阳阳 温廷宇 中国IODP办公室 同济大学海洋地质国家重点实验室
地址	上海市四平路1239号, 200092
电话	021-65982198
传真	021-65988808
E-mail	iodp_china@tongji.edu.cn
Website	www.iodp-china.org

