

中国大洋发现计划 通讯

IODP-CHINA NEWSLETTER

第 36 卷 第 2 期

2024. 12



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 新闻报道

- 我国首艘大洋钻探船“梦想”号正式入列 2
- 同济大学国际大洋钻岩心实验室项目正式批准立项 3
- 2024 年度 IODP 论坛及成员国办公室会议在日本静冈市召开 4
- SEP 第 21 次会议在芬兰赫尔辛基召开 5
- 21 世纪中心组织召开“深钻、深潜、深网科学与技术前沿”论坛 6

中国科学家参加 IODP 403 航次 20
圆满完成航次钻探任务

航次动态 20



7 研究亮点

- 7 中国科学家发表 IODP 363 航次新成果：岁差驱动的印尼穿越流温跃层变化及其对厄加勒斯泄漏的影响
- 8 中国科学家发表南海大洋红层研究新进展：重建南海晚渐新世—中新世深海环流的演变
- 9 中国科学家发表 ODP 198 航次新成果：创新提出海 - 陆耦合过程对北半球冰盖反馈机制
- 11 Nature Communications 发表大洋钻探新成果：揭示海洋最小含氧层演变机制
- 13 中国科学家发表大洋钻探新成果 | 远古大洋的挽歌：温室气体排放、海洋酸化与生物大灭绝
- 17 中国科学家发表大洋钻探新成果：揭示菲律宾海板块并非一直北向移动
- 18 Geophysical Research Letters 发表大洋钻探新成果：基于海洋重晶石的晚中新世生物勃发事件研究



21 科普活动

- 21 IODP 403“船 - 岸连线”科普直播：连接科学前沿与科学爱好者认知的桥梁
- 22 IODP 402 航次科学家手记
- 24 IODP 403 航次科学家手记

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
编辑 | 拓守廷 李阳阳
美编 | 温廷宇



我国首艘大洋钻探船 “梦想”号正式入列

2024年11月17日，由我国自主设计建造的首艘大洋钻探船“梦想”号在广州正式入列，标志着我国深海探测关键技术装备取得重大突破。

“梦想”号船长179.8米，宽32.8米，总吨33000，排水量42600吨，续航力15000海里，自持力120天，载员180人，全球海域无限航区，可在6级海况下正常作业、16级超强台风下安全生存，满足全球主要海域桥梁通行及码头停靠条件。该船采用“模块化”设计理念，攻克多项世界级技术难题，以“小吨位”实现“多功能”，国际首次创新集成大洋科学钻探、深海油气勘探和天然气水合物勘查试采等多种功能。经两轮海试验证，“梦想”号主要性能指标均优于设计要求，构建起我国自主的超深水钻探装备设计建造技术体系。

“梦想”号钻采系统国际领先，联合研制了全球首台兼具油气勘探和岩心钻取功能的液压举升钻机，具备4种钻探模式和3种取心方式，可满足大洋钻探

取心和深海资源勘探等不同作业需求，综合钻探效率、硬岩钻进能力大幅提升，最大钻深可达11000米，有望助力全球科学家实现“打穿地壳、进入地球深部”的科学梦想。

“梦想”号科考实验功能和信息化水平国际领先，堪称海上移动的“国家实验室”。该船建有基础地质、古地磁、无机地化、有机地化、微生物、海洋科学、天然气水合物、地球物理、钻探技术等九大功能实验室，总面积超3000平方米，配置全球首套船载岩心自动传输存储系统，可满足海洋领域全学科研究需求。建成“船舶智慧大脑”，可实时汇聚分析2万余个监测点数据，实现作业智能监测、实验智能协同、健康智能保障、船岸智能融合。

“梦想”号的入列，将为我国深海资源勘探、关键技术装备研发，以及全球科学家开展大洋科学钻探研究提供重大平台支撑，对加快建设海洋强国和科技强国，推动构建人类命运共同体具有重要意义。



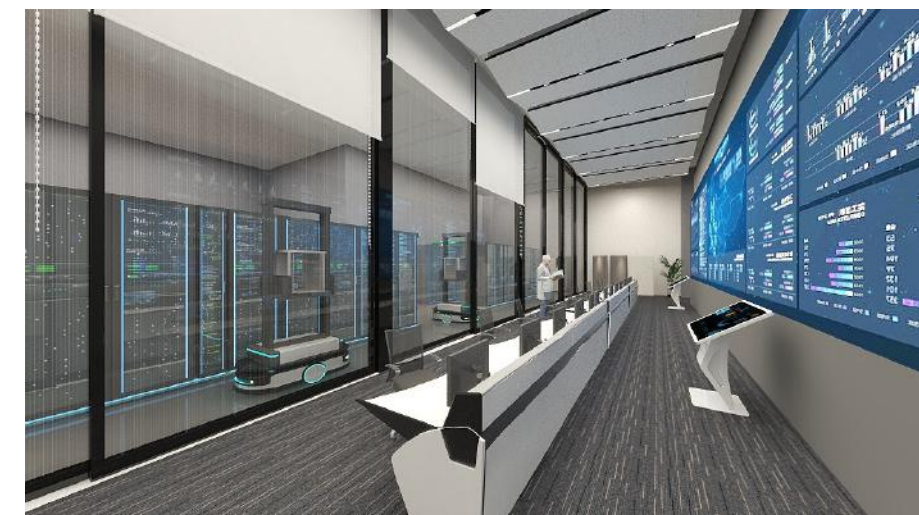
同济大学国际大洋钻岩心实验室 项目正式批准立项

10月14日，教育部正式批准同济大学在上海临港建设国际大洋钻探岩心实验室项目立项。该项目总投资29942万元，总建筑面积20368平方米，未来将建成集岩心库，实验测试中心，科学研究中心，数据中心和科普基地为一体的综合国际研究平台，存储中国多功能平台自主组织航次的钻探岩心样品。项目将建设成为大洋钻探的第四个国际岩心实验室，为中国

发起新一轮国际大洋钻探计划提供重要抓手，促进我国成为国际大洋钻探的平台提供者，与美国、日本、欧洲并列为国际大洋钻探的牵头方之一。

岩心实验室的整体布局将以面向2035年中国大洋钻探科学执行计划为基础，瞄准国家重大战略需求搭建一个综合研究平台，旨在汇聚国内外优势力量，

构建深海科学前沿体系并进行核心探测装备技术攻关，联合海底观测和载人深潜等前沿技术手段，形成科学与技术并重、海陆结合、“三深”并举、科普和教育融合的国际深海创新研究平台。成为大洋钻探国际大科学计划的中国科学执行中心和研究基地；远期将以该实验室为依托，发起成立大洋钻探发展中国家联盟，为国家海洋强国和一带一路战略服务。





2024 年度 IODP 论坛 及成员国办公室会议 在日本静冈市召开

2024 年 9 月 3-5 日，国际大洋发现计划 (IODP) 论坛及成员国办公室 2024 年度会议在日本静冈市文化会馆召开。论坛会议由 IODP 科学支撑办公室主办，日本海洋研究开发机构 (JAMSTEC) 承办。来自 IODP 资助机构、科学执行机构、成员国办公室以及科学界等 60 余位代表通过线上、线下的方式参加了本次会议。美国“决心号”平台管理委员会主席 Larry Krissek、中国 IODP 办公室主任拓守廷和欧洲大洋钻探联盟平台管理委员会主席 Sasha Turchyn 担任联合主席共同主持本次会议，论坛围绕 2024 年后国际大洋钻探计划筹备进展、各国优先科学领域以及未来合作等主题展开了深入讨论。

参加论坛会议的中方专家代表有：21 世纪议程管理中心海洋处王文涛处长、工作人员张橙、董晓晨等，中国 IODP 专家咨询委员会学术秘书、同济大学刘志飞教授，广州海洋地质调查局沙志彬、孙珍、邓义楠、张伙带研究员等多位专家，以及中国 IODP 办公室拓守廷、温廷宇、李阳阳等。

各方代表就新一轮大洋钻探计划阶段性进展做了汇报。欧洲与日本联合发起的“国际大洋钻探计划 (IODP³)”目前已经基本筹备就绪，将于 2025 年 1

月正式启动，该计划将继承当前 IODP 的管理运行模式，遵循统一的国际科学框架、透明开放的指导政策以及可持续的资源管理体系。延续特定任务平台 (MSP) 高度灵活的平台运行模式，以及灵活的航次周期，明确了航次申请规范，计划每年执行 2-3 个海上航次、3-5 个大洋钻探岩心和数据再研究项目 (SPARCS)，并与国际大陆钻探计划 (ICDP) 开展联合航次 (Land to Sea)。

美国 2024 年后将继续推动发起美国主导的国际大洋钻探计划，目前正在围绕未来美国大洋钻探科学需求、优先领域、钻探船建造和运行成本等组织研讨和论证，但预计该过程将持续较长时间。在此期间，美国会确保以往大洋钻探样品和数据继续公开共享，并鼓励科学家提交“大洋钻探岩心与数据资源深化研究项目”建议书 (Ocean Drilling Legacy Asset Projects, LEAPs)，针对以往航次样品和数据开展深入研究。

中国 IODP 办公室主任、同济大学拓守廷副教授在会上介绍了我国发起新一轮国际大洋钻探计划的主要进展和下一步工作计划。中国正在积极推动发起 2024 年后新一轮国际大洋钻探计划，自主组织航次，建设运行岩心实验室。中国发起的新计划将坚持开放



包容的原则，与当前 IODP 所有成员及其他潜在成员保持密切合作，包括样品与数据公开共享、与 IODP³ 联合执行航次和席位交换、继续保持与美国的合作、与澳大利亚、新西兰、印度等国通过会员费的机制进行合作，同时以多种形式推动广大发展中国家能够参与国际大洋钻探，着力推动国际大洋钻探未来可持续发展。

澳大利亚—新西兰联盟、印度希望以缴纳会费形式继续参与新一阶段大洋钻探，并对中国表达了合作意向。澳新联盟还将通过其大洋钻探岩心数据研究基金 (AILAF) 参与到新阶段大洋钻探样品与数据的再研究项目。

中国 IODP 专家咨询委员会学术秘书、同济大学刘志飞教授报告了《国际大洋钻探中国科学执行计划 (2025-2035)》编制工作进展。报告指出中国 IODP 正在 IODP 2050 科学框架下，提出中国大洋钻探面向 2035 年的科学目标和优先研究领域，包括“气候演变

SEP 第 21 次会议 在芬兰赫尔辛基召开

6 月 18-19 日，国际大洋发现计划 (IODP) 科学评审工作组 (Science Evaluation Panel, SEP) 2024 年第二次会议在芬兰赫尔辛基与线上同步召开。SEP 科学委员，IODP 各平台执行、管理机构以及成员国办公室代表等 60 人参加了会议。SEP 中国代表耿建华 (同济大学)、柳中晖 (香港大学)、徐敏 (中科院南海所)、张国良 (中科院海洋所) 以及中国 IODP 办公室成员参加了会议。

SEP 是 IODP 的科学咨询机构，主要负责评审 IODP 钻探建议书。SEP 于每年 1 月和 6 月举行两次会议，负责评审 IODP 钻探建议书。本次会议主要评审了欧洲“特定任务平台”的 5 份建议书，10 份关于



与低纬驱动”、“大洋俯冲带板块运动”和“深部碳循环与生物圈”等科学主题，作为中国多功能平台未来执行航次的科学指南。

各国与会代表围绕当前阶段 IODP 宝贵经验、2024 年后新一阶段国际大洋钻探计划的合作模式和大洋钻探优先科学事项等内容进行了热烈地交流与讨论，并最终形成了“2024 年 IODP 论坛共识声明”和“2024 年 IODP 成员国办公室会议共识声明与行动事项”，明确了下一阶段 IODP 国际合作交流、遗留资产处理、报告刊物出版、与国际大陆钻探计划 (ICDP) 加强合作、与“海洋十年”联动等工作事项，为即将到来的新一阶段国际大洋钻探计划实施提供了有力支撑。

本次会议是 IODP 阶段最后一次论坛会议，2025 年起，将建立新的科学钻探论坛 (Scientific Drilling Forum) 作为未来大洋钻探和大陆钻探合作交流的平台。

JRFB 建议书转入 EFB 的转移提案，2 份 LEAP 建议书。每份建议书由 3-5 位评委负责，逾 50 位来自 IODP 成员国大学、研究机构的科学家参加了评审，中国科学家耿建华、柳中晖、徐敏和张国良作为评委代表分别参与了评审讨论。评委主要从科学问题、站位调查和技术可行性三方面对建议书进行综合评审。通过评委初审、全体会议复审，最终 1 份 MSP 的建议书通过初步评审，3 份 MSP 建议书建议修改后重新提交。

此外，会议分别听取了美国、欧洲和日本的平台执行机构和平台管理机构关于航次执行以及各自大洋钻探未来规划相关报告。

21 世纪中心组织召开“深钻、深潜、深网科学与技术前沿”论坛



深网体系化任务布局思考”的主题报告，详细介绍了“深钻、深潜、深网科学与技术”的重要意义，当前进展、总体目标与主要任务以及预期重大成果等。崂山实验室吴立新院士、自然资源部第二海洋研究所李家彪院士、南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)张偲院士、中国石油集团工程技术研究院孙金声院士和重庆大学王树新院士等专家分别从不同角度做了主题报告，内容涵盖海洋科学学科体系数理和布局、洋中脊动力演化、深海冷泉系统大装置、万米深井钻探工程、无人潜航器深渊研究等多个前沿课题。

会议设置了深部动力、深海碳循环、深海生物、三深技术和三深联合应用等五大主题，与会专家围绕这些主题展开了深度交流和研讨。与会专家一致认为，应依托现有深海钻探、深潜探索和深网观测的高新技术装备，围绕深海海底过程演变的关键科学问题，努力在地球深部与表层的连接、海底跨圈层的碳循环过程、深海及海底的生物多样性、深海环境与海底灾害等国际前沿领域取得突破，创建具有中国特色的地球系统科学学派，形成我国深海研究的战略科技力量，服务于海洋强国的宏伟蓝图。

此次论坛的成功举办，不仅为我国深海科技的未来发展指明了方向，更为海洋科技领域的跨学科融合与创新开辟了新的道路。与会专家纷纷表示，将以此此次论坛为契机，深化相关领域科技计划论证，促进科学与技术的融合发展，为我国向深海迈进的科技原始创新及科学研究范式变革提供强有力的支持。

中国海洋石油总公司周守为院士、上海交通大学林忠钦院士、中国地质大学(北京)孙友宏院士、中国地质大学(武汉)谢树成院士、海军潜艇学院宣良龙院士和北京大学段慧玲院士等相关领域 100 余位专家，自然科学基金委地球科学部常务副主任姚玉鹏、工程与材料学部常务副主任王岐东、副主任赖一楠、计划与政策局副局长范英杰、数理学部副主任倪培根及相关工作人员，科技部、自然资源部有关同志参加本次论坛。

为进一步凝聚深钻、深潜、深网科学与技术前沿学界共识，找准领域关键科学与技术问题，持续强化科技任务前瞻性、战略性、系统性布局，更好支撑国家海洋强国战略，21 世纪议程管理中心于 2024 年 7 月 5-6 日成功组织召开“深钻、深潜、深网科学与技术前沿”论坛，会议由北京大学工学院、海洋研究院承办。

国家自然科学基金委蓝玉杰副主任、咨询委员会高瑞平秘书长出席会议。北京大学副校长朴世龙院士代表主办单位致辞，热烈欢迎与会的领导和专家，并简要介绍了北京大学涉海相关学科的主要进展。开幕式由地球科学部主任郭正堂院士主持。

蓝玉杰副主任在致辞中指出，深钻、深潜、深网是建设海洋强国的重要平台和载体。近年来，“奋斗者”号万米载人潜水器、“梦想”号大洋钻探船、海底观测网等一批海洋大科学设施已经或即将投入运行。本次会议的目标，就是要在海洋领域已经取得研究成果基础上，围绕世界科技前沿和国家重大战略需求，聚焦深钻、深潜、深网的关键科学与技术问题，开展重大科技需求凝练和体系化任务布局。高瑞平秘书长讲话时指出“深钻、深潜、深网科学与技术前沿”前期论证工作扎实，有很好的基础，希望再进一步聚焦，尽快形成成熟的建议书提交咨询委员会审议。

会上,同济大学翦知潜院士做了题为“深钻、深潜、

中国科学家发表 IODP 363 航次新成果：岁差驱动的印尼穿越流温跃层变化及其对厄加勒斯泄漏的影响

近日，Nature Index (NI) 期刊 Geophysical Research Letters 发表了西北大学地质学系、德国基尔大学和自然资源部第一海洋研究所合作的研究成果: “Precession-Driven Variations in the Indonesian Throughflow Thermocline and Its Implications on the Agulhas Leakage”。研究人员以国际大洋发现计划 (International Ocean

Discovery Program, IODP) 第 363 航次 U1483 站钻孔岩心沉积物为研究材料重建了过去 41 万年来印尼穿越流温跃层流的变化，探讨了其对厄加勒斯泄漏的影响。

印尼穿越流 (Indonesian Throughflow, ITF) 温跃层流经厄加勒斯泄漏流出印度洋后，在南大西洋加入大西洋径向翻转流 (Atlantic Meridional Overturning

Circulation; AMOC) 的上支，是 AMOC 北上暖流的重要水源。调查 ITF 温跃层流的长期变化及其对厄加勒斯泄漏的影响，对于理解 AMOC 的动态历史具有重要意义。该研究对获取于 ITF 主要出口——帝汶海道内 U1483 站钻孔岩心沉积物中的浮游有孔虫温跃层水种 *Pulleniatina obliquiloculata* 壳体进行 $\delta^{18}\text{O}$ 和 Mg/Ca 比值分析，重建了过去 41 万年来 ITF 温跃层海水温度和盐度的演化历史；结合已发表的 ITF 温跃层流量记录，并与澳洲—印尼冬季风和类厄尔尼诺—南方涛动等记录以及地球轨道周期岁差参数进行对比，发现 ITF 温跃层流的温盐和强度变化与澳洲—印尼冬季风强度、类厄尔尼诺—南方涛动气候态以及北太平洋热带水形成等因素密切相关，岁差可能通过影响这些因素调控着 ITF 温跃层流的变化。该研究将 U1483 站温跃层记录与厄加勒斯泄漏量、南大西洋温跃层海水温盐记录以及岁差参数进行了对比，发现在岁差低值时，ITF 温跃层海水温度及盐度的升高和流量的增强会造成厄加勒斯泄漏量的增加以及南大西洋温跃层海水温度和盐度的升高；反之亦然(图 1)。这些发现可总结为图 2 所示的模式图。该研究不

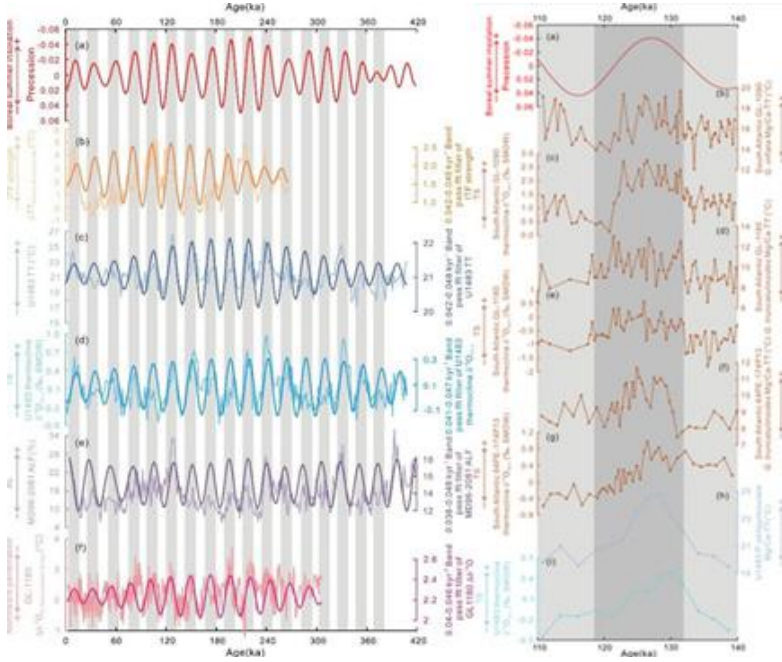


图 1 ITF 温跃层流、厄加勒斯泄漏 (AL) 和南大西洋温跃层海水温盐记录与岁差参数对比

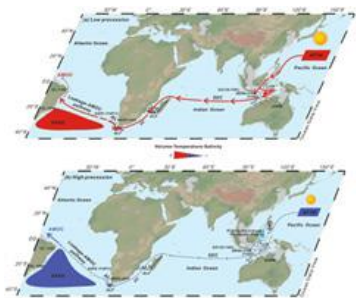


图2 岁差 (precession)、北太平洋热带水 (NPTW)、锡布图海峡穿越流 (SPT)、澳洲—印尼冬季风 (AIWM)、印尼穿越流 (ITF) 和厄加勒斯泄漏 (AL) 等关系模式图: (a) 为岁差低值期, (b) 为岁差高值期

仅强调了 ITF 在全球大洋环流中的作用, 也凸显了“低纬驱动”在全球气候变化中的地位。

西北大学地质学系张鹏副教授为第一作者, 徐建教授为通讯作者。该研究的合作者包括德国基尔大学 Ann Holbourn、Wolfgang Kuhnt 教授和裴仁杰博士, 以及自然资源部第一海洋研究所李铁刚和熊志方研究员。该研究由国家自然科学基金 (42176076 和 42376062)、国家重点研发计划 (2023YFF0803900) 和同济大学海洋地质国家重点实

验室开放基金 (MGK202402) 等项目资助。

家自然科学基金项目 (42130407, 41530964) 资助。

论文信息:

Wei Shu, Christophe Colin, Zhifei Liu, Arnaud Dapoigny; Late Oligocene–Miocene evolution of deep-water circulation in the abyssal

South China Sea: Insights from Nd isotopes of fossil fish teeth. *Geology* 2024; doi: <https://doi.org/10.1130/G52042.1>。

全文链接:

<https://doi.org/10.1130/G52042.1>。

中国科学家发表 ODP 198 航次新成果: 创新提出海—陆耦合过程对北半球冰盖反馈机制

近日, 南方科技大学海洋科学与工程系讲席教授刘青松团队在 *Nature* 旗下期刊 *Nature Communications* (NC) 发表题为“Role of land-ocean interactions in stepwise Northern Hemisphere Glaciation”的文章, 对北极冰盖形成以来西风带演化过程进行了系统性阐述, 创新性提出海—陆耦合过程在北极冰盖演化与全球长周期变冷过程扮演的重要角色。

地球表面的温度与环境并非一成不变。在过去几十个百万年

(Ma), 地球在 33Ma 首先在南极洲结成冰盖, 然后在最近几个百万年, 北极冰盖不断扩张。近几十年来, 全球开始变暖, 北极地区发生冰盖退缩、海冰消融, 这对于全球气候环境产生了重大影响。深入研究北极冰盖建立机制及其演化过程对正确认识全球气候系统和科学预测未来气候演变极其关键且迫切。

前人研究认为北极冰盖建立及其扩张过程的研究主要涉及大气 CO₂ 下降、两极地区水团通风减弱、海道闭合构造过程的影响, 但是这并不能解释北极冰盖的初始形成机制。针对这个谜题, 该文提出了海洋和陆地互馈过程在地球气候系统的作用以及对北半球冰盖形成与扩张的反馈新机制。

海洋磁学中心团队过去几年在北太平洋年代学方法、风尘新指标的建立以及不同时间尺度上北太平洋风尘形成机制及其动力学过程等方面开展了大量的工作。北太平洋海洋沉积物蕴含丰富的东亚、中亚地区风尘源区以及西风带动力过程信息, 是解决这一难题的良好介质。

基于此, 南方科技大学海洋科学与工程系研究副教授仲义博士在合作导师刘青松讲席教授与中国科学院地质与地球物理所谭宁副研究员共同合作下、联合美国亚利桑那大学、加州大学戴维斯分校、德国柏林大学、英国伦敦大学、崂山实验室等国内外多家单位进行了综合研究。通过对大洋钻探 198 航次取得的 ODP 1208 沉积物钻孔进行了高分辨率风尘记录的重建工作, 详细刻画

中国科学家发表南海大洋红层研究新进展: 重建南海晚渐新世—中新世深海环流的演变

近日, 海洋地质国家重点实验室 (同济大学) 舒威博士的研究成果: “Late Oligocene–Miocene evolution of deep-water circulation in the abyssal South China Sea: Insights from Nd isotopes of fossil fish teeth” 在国际著名地学期刊 *Geology* 在线发表。该成果利用南海中央海盆大洋红层中保存的鱼牙化石, 开展钕同位素 (ϵ_{Nd}) 分析, 揭示出晚渐新世—中新世期间深海盆洋流格局的演化及其与西太平洋的水文联系。

晚中新世以前, 南海海盆向东完全开放, 与太平洋深水洋流可以自由交换, 是全球大洋环流的重要组成部分。然而, 因为缺乏记录海水的直接证据, 南海中央海盆晚渐新世—中新世深海环流的演化特征仍未得到充分认识。在南海形成早期, 中央海盆 3500 m 以深广泛发育大洋红层 (Oceanic Red Beds, ORB), 沉积速率缓慢 (0.5~1 cm ky⁻¹)、受区域构造

事件的影响小, 是开展古水团动力研究的绝佳材料。

该研究通过分析南海“国际大洋发现计划 (IODP) ”367 航次 U1499 站位大洋红层鱼牙化石

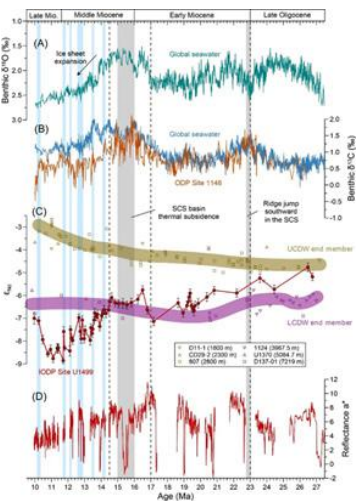


图3 晚渐新世—中新世南海中央海盆深水水团的主要来源与演变, 显示 U1499 站位大洋红层鱼牙化石 ϵ_{Nd} 记录及其与太平洋海水其他古海洋学记录的对比。

ϵ_{Nd} 组成, 获取了晚渐新世—中新世 (27.0–10.0 Ma) 期间南海深部水团组分特征的直接证据。与太平洋海水 ϵ_{Nd} 记录的对比结果显示: 27–15 Ma 期间, 随着海盆逐渐加深, 南海底层水先后受到 UCDW 和 LCDW 的影响; 15 Ma 之后, 南海与西太平洋的深水联系有所削弱 (图3)。这一转变, 主要归因为晚中新世吕宋岛弧北移隆升、吕宋海峡开始形成, 南海—太平洋深水通道变窄和变浅, 导致 LCDW 灌入南海受阻、南海深部水团通风变差; 加之亚洲大型河流非放射性沉积物输入的强烈影响, 南海深部水团 ϵ_{Nd} 显著负偏。

论文第一作者舒威, 于 2023 年获得同济大学与巴黎萨克雷大学联合指导的双博士学位, 通讯作者为法国巴黎萨克雷大学 Christophe Colin 教授与海洋地质国家重点实验室 (同济大学) 刘志飞教授。该研究获得国

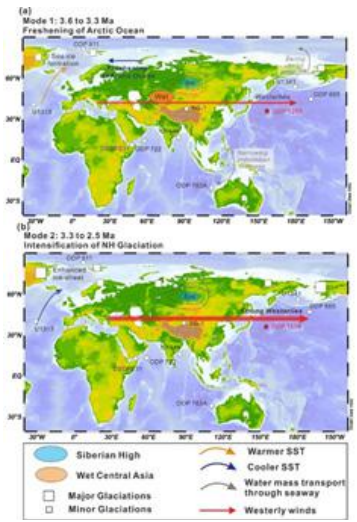


图4 海—陆耦合过程对北半球冰盖反馈机制

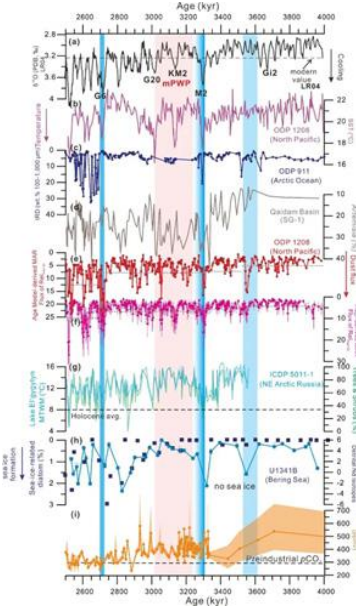


图5 北半球冰盖形成以来海洋—大气—陆地植被等多指标对比

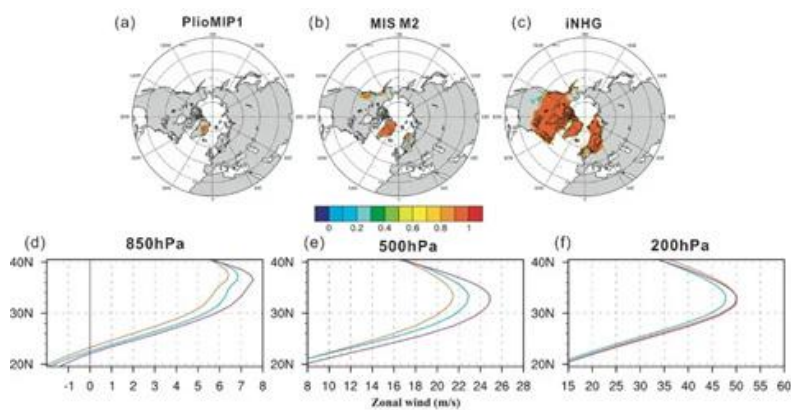


图 6 不同气候背景下冰盖和区域性纬向风场变化特征

出北极冰盖开始形成、扩张并逐步增强多次演化特征。通过陆地植被、大气环流记录与模型的相互验证，提出海—陆耦合在北半球冰盖形成、扩张中多阶段新演化模型。本项工作有三点重要创新：（1）指出上新世风尘通量增强时间应更早于 2.75 百万年前，始于上新世氧同位素 M2 冰期阶段（3.3 百万年前，见图 5a）；（2）刻画北半球冰盖形成与扩张时期北半球海洋—大气—陆地互馈过程；（3）进一步支持北半球冰盖引发的经向温度梯度增强是导致西风带增强的主要原因。

该研究发现全球大气环流重组时期导致海陆耦合过程加剧了全球陆地植被类型转型，这可能

直接引发全球碳库的转型，这种新机制为预测东亚地区的植被演化与全球气候之间的联系提供了新思路。

在未来全球变暖背景下，由于极地放大效应的影响，北半球高纬度地区相对低纬度地区增温更加显著，导致格陵兰冰盖消融，这也使得大西洋经圈翻转流不断减弱甚至停滞。因此，全面理解气候系统中不同圈层的反馈机制可以为未来气候变化和模型预测提供重要的参考。

南科大刘青松讲席教授和中国科学院地质与地球物理研究所谭宁副研究员为论文共同通讯作者，海洋磁学中心仲义研究副教授为论文第一作者，南科大是论

文的第一单位。近年来海洋磁学中心聚焦于北太平洋碳循环过程研究，涉及海—陆、海—气、高低纬过程多圈层耦合过程的研究。旨在阐明海洋动力学过程、生物循环过程对全球气候变化的反馈机制，厘定海洋在大气 CO₂ 吸收过程中的作用机理，引领 CO₂ 循环在跨尺度、跨圈层的多学科交叉研究。

以上研究得到了国家自然科学基金 (42274094, 42261144739, 42488201, 92158208, 42176245, 42176066, 41907371)，深圳市科创委项目 (KCXFZ20211020174803005, KQTD20170810111725321) 以及南科大高水平特别基金 (G0305K001) 资助。ODP 1208 样品来自于国际大洋发现计划 (IODP) 支持。

论文信息：

Zhong, Y., Tan, N., Abell, J.T. et al. Role of land-ocean interactions in stepwise Northern Hemisphere Glaciation. Nat Commun 15, 6711 (2024).

全文链接：

<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51127-w>.

Nature Communications 发表大洋钻探新成果：揭示海洋最小含氧层演变机制

近日，Nature Communications 发表了南方科技大学海洋科学与工程系副教授姚炜琪团队在海洋脱氧研究中取得重要进展：“Expanded subsurface ocean anoxia in the Atlantic during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum”。该研究通过对南大西洋 ODP 1263 和

1265 站位进行多指标联合分析，揭示了极热气候时期海洋最小含氧层 (ODZs) 与氮循环的耦合演变机制。

氧气对地球上大多数生物至关重要。由于氧气在水中的溶解度较低，海洋中溶解氧总量不到大气的 1%，因此，海水中的溶解氧含量在调控海洋生态系统和生物地球化学循环中扮演着关键角色。过去几十年，由于气候变化和人为营养物质输入，远洋和沿海海域的溶解氧水平持续下降，同时全球变暖导致海水分层加强，减弱了深海氧气的再补充，进一步加剧了海洋的氧损失（即海洋脱氧）。海洋最小含氧层 (ODZs) 是开阔大洋中溶解氧含量最低的水层，通常位于温跃层附近的中层水体。在这些区域，溶解氧几乎耗尽，随着气候变化的推动，海洋 ODZs 可能进一步扩张，抑制了许多有

氧生物的生存，同时改变了海洋氮、硫循环模式，进而影响海洋生态环境。尽管我们已经了解到全球变暖和海水分层会加剧海洋氧损失，但海洋通风、海洋生产力等因素给未来海洋脱氧带来更多的不确定性，尤其是对海洋

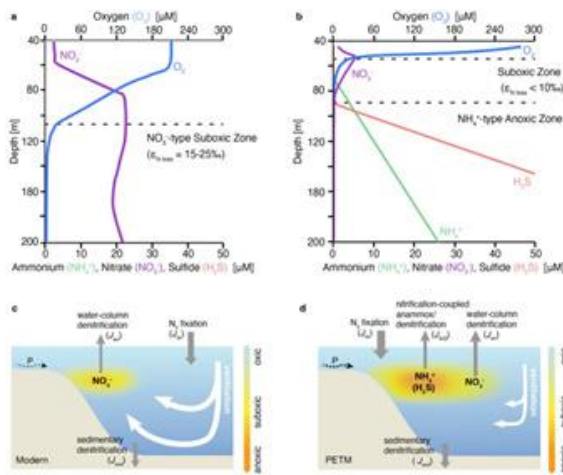


图 8 “硝酸盐型” ODZs 与 “铵盐型” ODZs 的对比示意图

ODZs 的影响有待进一步探究。

古新世—始新世极热事件 (PETM) 发生在约 5600 万年前，是一个与现代人类高碳排放情景相似的时间窗口。因此，研究 PETM 时期海洋脱氧的过程和机制，有助于揭示未来海洋 ODZs 的变化趋势。该研究团队利用大洋钻探在南大西洋的站点 ODP Site 1263 和 Site 1265 进行多指标联合分析，发现 PETM 期间南大西洋浮游有孔虫 $\delta^{15}\text{N}$ 显著下降，同时活性磷累积速率和海洋重晶石累积速率增加，海洋重晶石 $\delta^{34}\text{S}$ 上升（图 7）。

现代海洋中，硝酸盐是最小含氧层中固定氮的主要形式（即“硝酸盐型”ODZs；图 8 a,c）。由于低氧水体反硝化作用会产生较大的同位素分馏效应，因此浮游有孔虫 $\delta^{15}\text{N}$ 降低通常可能会被

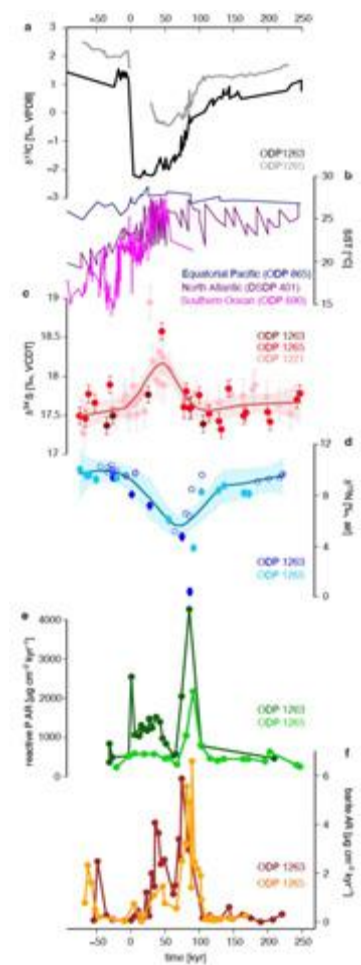


图 7 PETM 时期南大西洋浮游有孔虫 $\delta^{15}\text{N}$ 与活性磷记录重建



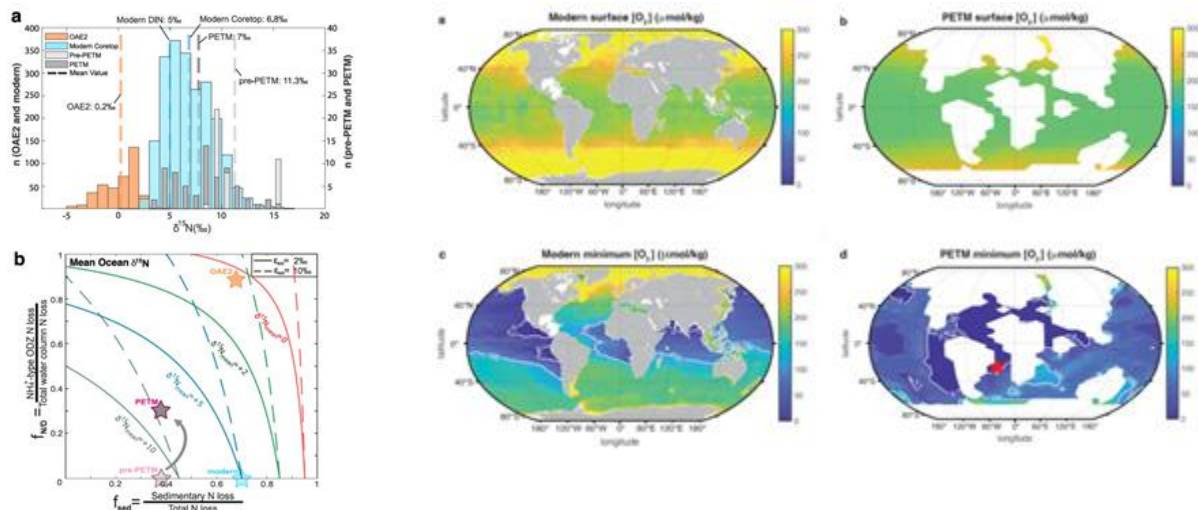


图9 海洋氮循环与平均海水 $\delta^{15}\text{N}$ 的演化历史

解读为“硝酸盐型”ODZs收缩，或平均海洋水体反硝化作用减弱。先前有研究认为PETM期间北赤道太平洋浮游有孔虫 $\delta^{15}\text{N}$ 降低是该海域生产力下降、溶解氧增加所导致的。

然而，这一解释并不适用于南大西洋，因为多种指标证据表明南大西洋：(1) 生物生产力增加(图7)；(2) 中层洋底缺氧；(3) 部分海域ODZs缺氧且有硫化氢积累，但确切位置尚不清楚。由于硫酸盐还原作用发生硝酸盐耗尽之后，因此铵盐应为这些富硫化水体中固定氮的主要形式(即，“铵盐型”ODZs；图8b,d)。

为此，该研究提出PETM时期海洋中存在“铵盐型”ODZs的

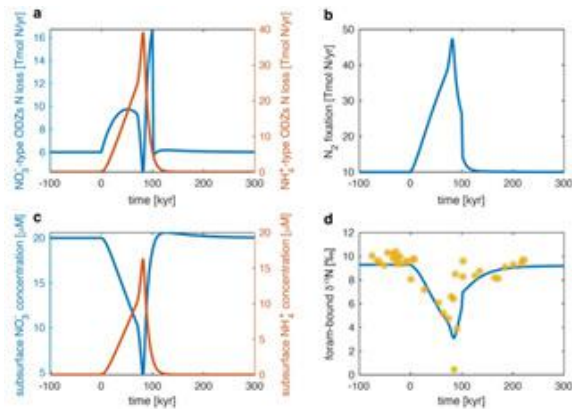


图10 PETM时期南大西洋温跃层向“铵盐型”ODZs短暂转变的多箱式模型

假说。与现代黑海的氮循环模式相似，“铵盐型”ODZs边缘发生与硝化耦合的厌氧氨氧化/反硝化作用，表现出较弱的同位素分馏效应，从而降低平均海水 $\delta^{15}\text{N}$ 值。单箱式模型结果表明，与现代海洋相比，pre-PETM海洋的低氧水体更加广泛，但未出现“铵盐型”ODZs；PETM海洋同时存在“硝酸盐型”和“铵盐型”ODZs，后者在白垩纪大洋缺氧事件2(OAE2)的范围进一步扩大(图9)。

该研究进一步利用多箱式模型发现：(1) “铵盐型”ODZs水体氮损失的弱同位素分馏效应与(2) 固氮作用的补偿性增强共同导致了PETM时期南大西洋浮游有孔虫 $\delta^{15}\text{N}$ 下降(图10)。

与此同时，地球系统模型cGENIE的溶解氧模拟显示，南大洋变暖与生物生产力提升造成了大规模的海洋脱氧。与现代海洋相比，PETM海洋ODZs面积扩大到全球海洋的三分之一，主要在大西洋、东赤道太平洋、特提斯洋(图

11)。尽管太平洋部分海域溶解氧含量仍较高，但大西洋温跃层大部分海水已达到缺氧水平，强调了全球变暖背景下海洋脱氧的复杂空间差异。

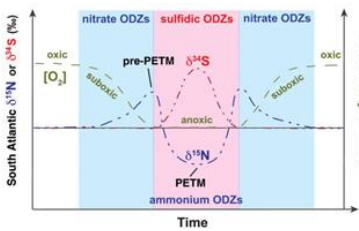


图11 海洋氮和硫循环对溶解氧含量变化的响应示意图

该研究揭示了PETM海洋氮、硫、氧循环耦合演变的新机制(图12)。pre-PETM海洋广泛的低氧环境是ODZs向缺氧转变的前提，PETM大西洋温跃层达到缺氧，同时铵盐与硫化氢的短暂积累可能对海洋鱼类等生物产生毒害作用。这一发现阐明了海洋内部生物地球化学过程对气候变化的响应机制，为深入理解和预测未来海洋溶解氧变化及其生态影响提供了重要的科学参考。

南方科技大学为论文第一单位。海洋科学与工程系姚炜琪副教授为论文第一作者，南科大姚炜琪和波士顿学院王星辰为论文共同通讯作者，两个团队的博士生孔天舒、翟瑞翔、张睿灵、刘

逸琳均为该研究作出重要贡献。该研究得到了国家自然科学基金、科技部重点研发计划专项青年科学家项目、广东省自然科学基金、深圳市高等院校稳定支持计划的支持。

论文信息：

Yao, W., Kong, T., Wang, X.T. et al. Expanded subsurface ocean anoxia in the Atlantic during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. Nat Commun 15, 9053

(2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53423-x>.

论文链接：

<https://www.nature.com/articles/s41467-024-53423-x>.

中国科学家发表大洋钻探新成果：远古大洋的挽歌——温室气体排放、海洋酸化与生物大灭绝

5600万年前，地球也曾面临与今日相似的气候危机。北京大学李明松团队利用数据同化，重建古新世—始新世极热事件(PETM)时期的环境变化，揭示了大气二氧化碳浓度飙升、气候变暖、海洋酸化等地球的宜居性危机过程。这一研究为理解当前由人类活动引发的全球变化提供了新的历史视角。

研究成果近日在线发表于《自然·地球科学》杂志。作者撰文，分享了研究发现及其背后的故事。

为何要追溯过去的气候浩劫？

“夫以铜为镜，可以正衣冠；以史为镜，可以知兴替”——《旧唐书·魏徵传》

自数千年前人类文明诞生开始，地球环境就不断受到人类潜移默化的改变。工业革命之后，人类活动释放了大量的温室气体，更是让大气二氧化碳浓度急剧攀升，一举从280 ppm跃升到今年的423 ppm，轻松越过了历史周期中的多个峰值，达到了过去几百万年来的巅峰。



图12 大气二氧化碳浓度急剧攀升。横坐标为年份，纵坐标为大气二氧化碳浓度 (<https://keelingcurve.ucsd.edu/>)

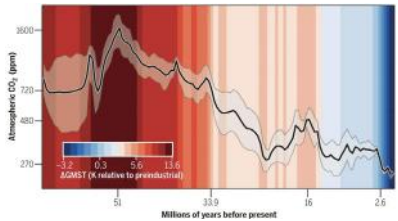


图13 过去6600万年的二氧化碳演化史。横坐标为年代，单位为百万年前，纵坐标为大气二氧化碳浓度(Hönisch et al., 2023 Science 382, 1136)



图14 全球变暖将使澳大利亚山火成为常态。图/见水印

这快速而巨量的碳排放，如同一场难以遏制的风暴，卷动着地球系统的每个脆弱环节，带来了深远的气候和生态风险——全球气温不断升高，海洋酸化日益加剧，碳酸盐饱和度逐渐下降，甚至可能引发生物的大规模灭绝。曾经繁茂宜居的世界正在经历深刻的变化，这不由得让我们联想到电影《流浪地球》中的一段台词：

“最初，没有人在意这场灾难，这不过是一场山火，一次旱灾，一个物种的灭绝，一座城市的消失，直到这场灾难和每个人息息相关。”

然而，自地球诞生以来，温室气体的自然释放便如一首长歌，曾激荡出更加波澜壮阔的气候变迁。放眼整个气候历史，全球早已出现过多次对比当今也不遑多让的极端气候，当时地球对这些事件的响应就为今天的我们提供了宝贵的参考。

5600万年前，一次规模宏大的碳排放事件使全球表面平均温度上升了5°C，导致海洋酸化和底栖有孔虫惨遭灭绝，茫茫古陆上的哺乳动物也变得侏儒化。这一事件史称古新世—始新世极热事件(PETM)，现已成为科学家



图 16 5600 万年前的极热世界艺术想象图 (Kump, 2011, Scientific American, 305: 56-61)

最常用来类比当前全球变化的典型案例。

在诸多的气候响应中，海水酸化在生物灭绝的过程中扮演了关键的角色。海水酸化之于海洋生物，就如同碳酸饮料之于牙齿。随着海洋 pH 值的下降，碳酸盐离子的可用性大幅减少，这对依赖这些离子构建外壳的生物，如珊瑚、软体动物和浮游生物产生了重大影响。

尽管在 PETM 事件中，海洋酸化被认为是底栖有孔虫灭绝的重要原因，但我们对当时海洋酸化和碳酸盐溶解度下降的了解依然有限，主要因为缺乏直接的古气候替代指标来进行研究。理解这些远古时期的酸化程度和进程对于我们至关重要，因为它不仅帮助揭示我们星球的宜居性演化历史，也能为我们应对当今海洋酸化带来的挑战提供参考。



图 17 在 2100 年海水酸度下生物壳体 45 天的变化 (图源: David Liittschwager/National Geographic Stock)

技术革新：曙光乍现

一种在美苏冷战时期大放异彩的机器学习技术——数据同化，为我们打开了新的大门。它曾助力阿波罗计划修正登月轨道，成为美国率先登月的幕后英雄。而如今，它依然在天气预报和自动驾驶等领域中发光发热，为科学问题的探索不断注入活力。



图 18 数据同化技术为阿波罗登月计划立下汗马功劳 (图源: Claus Lunau / Science Source)

在古气候研究中，数据同化技术则如同一位智者，巧妙地将散落的历史碎片重新找回，帮助我们重建过去的气候景象。卡尔曼滤波的原理则是这一过程的核心，这是一种精巧的推演方法，从现有的气候指标中汲取信息，将反映海水表面温度的氧同位素等数据资料与地球系统模拟结果相结合，通过反复调整与优化，不断更新我们对远古气候的理解，犹如在逝去的时间长河中寻找隐藏的线索，拼凑出地球的过往。

科研之路：自力更生中的惊喜

那么，什么是数据同化呢？拿我们最熟悉的天气预报来说，要想正确的预测天气状况一般需要经历以下几个步骤：首先，使用数值天气预报模型，生成对当

前大气状态的初步预测，这被称为背景场。同时，我们从各种观测手段获取当前的真实数据，如地面气象站的温度，卫星的云图等。然后，将实时观测数据与背景场进行比较，二者的差值称为“创新”，反映了模型预测与实际观测之间的偏差。随后，根据对观测数据和模型预测的信任程度，为差值赋予不同的权重。然后，将加权后的差值添加回背景场中，修正模型的初始条件。最后，模型重新运行，对未来的天气状态进行模拟和预报。像这样用少数的、离散分布的真实观测数据对模型结果进行修正，从而更加趋近真实的技术，就是数据同化。

对于古气候模拟预测而言，所谓的“观测数据”就指的是古气候指标数据，这也是同化系统的基石。针对这次极热事件，我花费了几个月的时间，搜集了来自全球两百多个大洋钻探站点和地层剖面的各种古气候记录。这些地质记录有的来自深邃的海洋，有的则来自高耸的山脉，它们跨越了不同的地质环境和年代，如何在时间上实现它们的精确对应，将数值的变化精确映射到时间之上，避免出现“关公战秦琼”的情形，是研究面临的一个巨大挑战。熟悉我的朋友知道，我做天文旋回地层学研究，利用地球轨道信号来重建天文年代学标尺，从而实现地质时间的精准对比。但在面对如此复杂的多样数据时，传统的方法显得力不从心。

为了应对这一挑战，我开发了一系列新的工具，包括沉积速率可视化工具 COCO 以及时间序列分析软件 Acycle。COCO 可以帮助直观地展示沉积速率的变化，而 Acycle 则让复杂的时间序列分析变得更加简洁高效。如今，数小时便可获得过去几周才能完成的计算结果。这些工具不仅提升了我的研究效率，其实用性也得到了世界各地同行的认可，被多所知名学府和国际研究团队用于

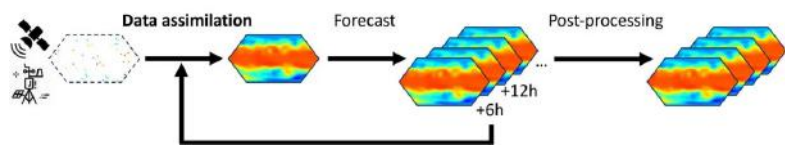


图 19 利用数据同化开展天气预报

研究和教学。有了这些方便的工具，古气候时间序列的画卷便在我眼前徐徐展开，同化之路，至此终于开始。

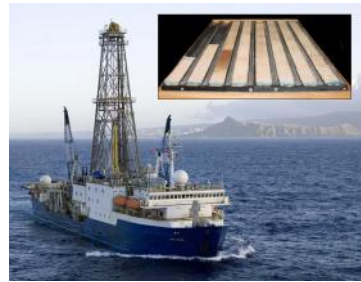


图 20 大洋钻探计划以及钻取的 PETM 岩心样品 (https://www.hawaii.edu/news/article.php?aId=2968)

时间对上了，接下来便要考虑我们搜集到的数据如何能被同化。这时就需要地质数据与模型结果之间的桥梁——即所谓的指标系统模型。这方面主要由亚利桑那大学的 Tierney 团队在推进，但他们的很多核心代码只能运行在 MatLab 软件上，限制了灵活性。于是，我们花费了数月时间，进行了一场“跨平台迁徙”——将代码从 MatLab 搬到 Python 平台

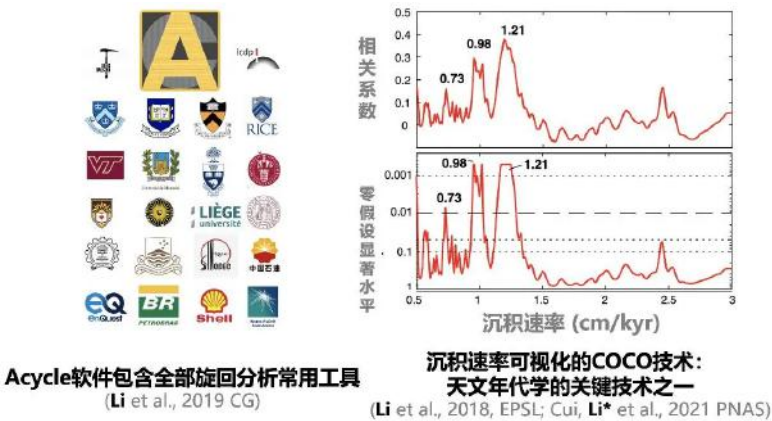


图 21 Acycle 软件与 COCO 沉积速率可视化工具

上，这个过程需要我们保持计算的一致性，同时反复调试以确保结果的准确性。经过数月的努力，我们终于完成了这项迁移，自此我们便实现了由地质数据到气候指标的对应。

模型方面，我们最初考虑使用更为精确、复杂的地球系统模型来解决碳循环的模拟问题，但更高的精确度带来的却是更大的资源和时间成本。因此，我与加州大学河滨分校的 Ridgwell 教授合作，这位教授很有童心，他的办公室堆积如山的小马玩偶就可见一斑。他负责的名 cGENIE 的中等复杂程度地球系统模型拥有较好的碳循环模拟能力，且计算效率很高，可以在一天内模拟出数千年的地球环境变化。可谓是“世上一日，洞中千年”。然而，这个模型在二氧化碳导致的全球升温模拟方面却显得有些笨拙，模拟结果偏冷。为此，我展开了一段半年的技术攻关，在计算机集群上累计模拟了数千万年的地球变化，终于让我们的模型产生了与复杂地球系统相似的升温效果，为后续可靠的大洋酸化模拟打下了基础。



图 22 别具一格的 cGENIE 官网。网站上的小马与“i'm not coding shit today”的标语让人过目不忘 (https://www.seao2.info/mymuffin.html)

集齐了数据与模型，接下来就需要让它们大放光彩的舞台，也就是数据同化平台。我的合作者华盛顿大学的 Hakim 团队曾经开发了一套名为 LMR 的数据同化平台，这是当时几乎唯一能用的古气候数据同化软件。但由于其构造的复杂性与应用的局限性，我决定从零开始，构建属于自己的同化软件。历时一年多，经过十余次的迭代，终于初步完成了万余行的古气候数据同化平台，我将它命名为 DeepDA，代表深时同化的含义。它能够同化多个古气候指标，可以帮助我们回答这次极热事件中海洋酸化和碳酸盐饱和度降低的问题。DeepDA 不仅是技术的实现，对我而言，这更是一次跳出舒适区、再创业的尝试。

到这里，这一整套新工具的构建，终于有了个模样。它终于站起来了，虽然还有些磕磕绊绊，但已能大步前行。

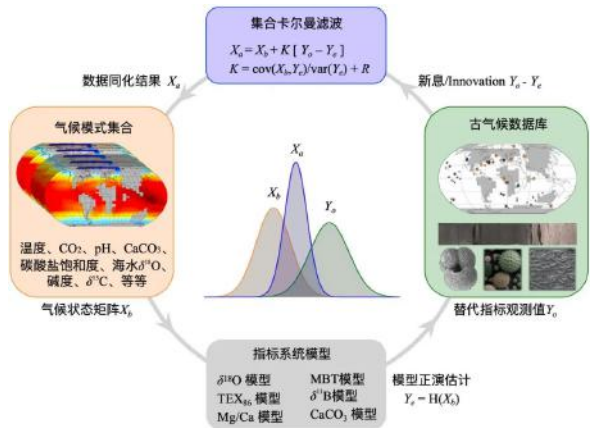


图 23 古气候数据同化模块示意图 (张昊勋等, 2024, doi:10.1360/SSTe-2024-0090)



古气候数据同化：
揭开新篇章

终于，我拿着新套工具，利用古气候数据和模拟结果，开展了古气候数据同化。通过同化与海面温度和海底沉积物中碳酸钙含量有关的指标数据，重建了PETM期间的海洋碳循环扰动。

研究表明，大气二氧化碳浓度从PETM事件前的890 ppm增加到事件期间的1980 ppm，这引发了全球变暖，并导致海洋pH值下降了0.46单位，特别是在高纬度地区，酸化程度更为严重。表层海水中的方解石和文石饱和度也显著降低，不饱和现象尤为明显。这与今天北极海域的情形相似，由于人为碳排放导致文石饱和度和下降，海洋化学的快速变化正在对当地生态系统产生十分负面的影响。

同时研究结果也表明，全球变暖并不只有温度升高这一体现，它正以复杂的响应模式、多元的共同作用从大气、海洋、陆地多方面为地球系统造成深远的影响。

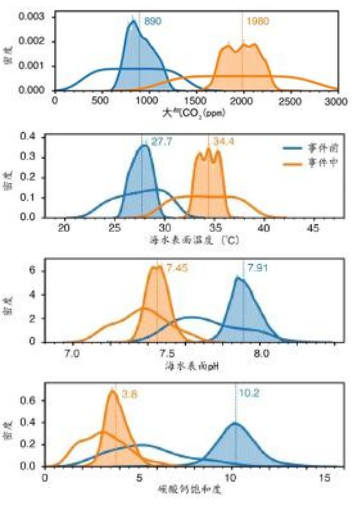


图24 古新世—始新世极热事件的全球气候环境变化量。自上而下依次为大气二氧化碳浓度升高1090ppm，全球平均海水表面温度升高6.7℃，海水表面pH下降0.46单位，碳酸钙饱和度下降了6.4

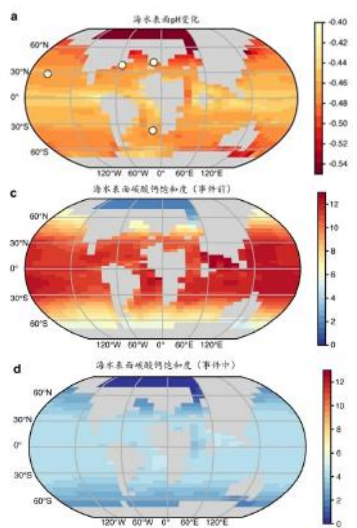


图25 古新世—始新世极热事件碳循环扰动的全球重建。该图分别显示了事件前和事件中海水表面pH值的变化、海水表面方解石饱和度和的状态

底栖有孔虫的灭绝也再次让我们反思二氧化碳水平、海洋酸化与海洋生物多样性损失之间存在的联系。

通过这项研究，我们不仅得以深入了解远古海洋的变化，还为未来应对气候挑战提供了宝贵的镜鉴。PETM期间的海洋酸化与现代高碳排放情景下的预测相似——如联合国政府间气候变化委员会提出的共享社会经济路径5-8.5。相比之下，今天的碳排放速度更快，留给在我们星球上生活的亿万生灵们适应的时间更加有限。

远古的回响与未来的抉择

PETM事件的过往犹如一首低沉的古歌，穿越千万年的回响在提醒我们，快速的海洋化学变化对生态系统可能带来深远的灾难性后果。这古老的回响，让我们从浩瀚历史中能够一窥自然的脆弱与坚韧。

只有从过去的历史中积累对气候的认识，理解地球系统的反馈，人类才能明白在现今气候变

化的大背景下，未来会怎样变化。海洋今后是否宜居？生命因何而灭绝？在这样的世界中，我们能做什么？又应该将目光看向何处？……所有这些问题，人只能从自然本身找到答案。

有人或许会说，环境会最终恢复，风暴也终会平息。然而，就像当年的那次极热事件，十余万年后，世界再次恢复成了熟悉的模样。沧海桑田，地球依旧，而人类未必，万千生灵也未必。十万年太久，只争朝夕。

远古的悲歌，正在重演，但我们依然有机会谱写一曲不同的未来。

文章信息：

感谢合作者 Lee Kump 院士、Andy Ridgwell 教授、Jessica Tierney 教授、Gregory Hakim 教授、Christopher Poulsen 教授、朱江博士等的帮助。感谢刘佳豪对这一推文的校对。感谢科技部重点研发计划（2022YFF0802900）等项目、DDE 大科学计划的支持。这项研究近期发表在《自然·地球科学》上，如想了解更多，请阅读原文（<https://doi.org/10.1038/s41561-024-01579-y>）。

本文作者：

李明松，北京大学研究员，网站：<https://faculty.pku.edu.cn/li>，邮箱：msli@pku.edu.cn。

中国科学家发表大洋钻探新成果：
揭示菲律宾海板块并非一直北向移动

近日，南方科技大学海洋科学与工程系海洋磁学中心刘青松讲席教授团队在地学领域著名期刊 *Geology* 上发表最新研究成果：“Complexity of the Oligocene meridional motion of the Philippine Sea Plate”。该研究通过对 DSDP 445 孔进行高分辨率的磁性地层学和古地磁学等研究，重建了菲律宾海板块的古地理位置，揭示了 50 Ma（百万年前）以来菲律宾海板块在北向移动的一级模型基础上，在 30-25 Ma 期间还存在短暂但显著的南向移动。

菲律宾海板块处于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块的交汇区域，其构造演化对全球板

块重建具有重要意义。前人研究指出菲律宾海板块起源于赤道附近，随着地质演化，逐渐北向移动到现今位置。但前人研究中的古纬度和年龄误差较大（图 26A&B），无法精确厘定纬度变化存在波动行为（图 26B）。

为此，南方科技大学海洋磁学中心团队基于深海钻探计划获取的 DSDP 445 孔进行高分辨率磁性地层学和古地磁学研究，建立了该孔在 30-23 Ma 期间的磁性地层年代格架，获得了这一时间段 5 个高精度古纬度数据（图 27A），结果清晰地揭示出菲律宾海板块在 30-25 Ma 存在明显的南向移动，25 Ma 之后板块转为北向移动（图 27A）。

研究认为 30 Ma 菲律宾海板块的南北两侧被俯冲带包围（图 28A），菲律宾海板块南部板片的回撤导致了菲律宾海板块的南向移动，25 Ma 澳大利亚板块与菲律宾海板块碰撞导致了菲律宾海板块南

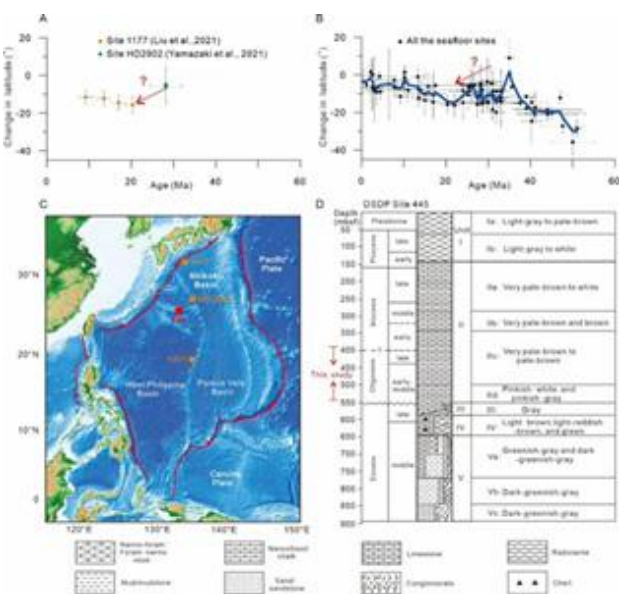


图26 (A-B) ODP1177、HD2092 孔以及所有海底钻孔的纬度变化随年龄演化，(C) 菲律宾海板块及相关海底钻孔地理位置，(D) DSDP 445 孔地层柱状图。B 中蓝线显示了震荡型的古纬度变化趋势，红色虚线箭头表示可能向南移动。

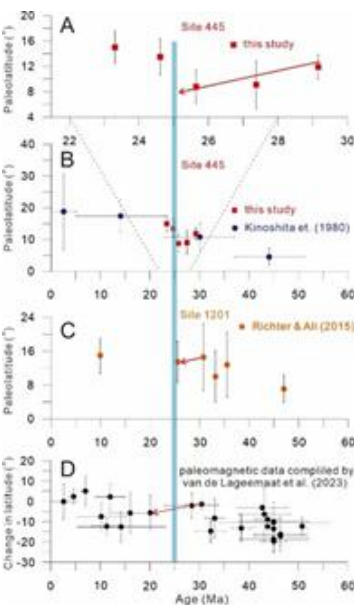


图27 (A-C) DSDP 445 孔和 ODP 1201 孔的古纬度随时间的变化。(D)van de Lageemaat et al. (2023) 汇编的古地磁变化随时间的演化。

向移动终止（图 28B），之后运动到更高纬度（图 28C）。同一时间，全球还发生了太平洋板块的逆时针旋转、印度板片的断离等事件。这些现象表明 25 Ma 时全球发生了一次构造重组事件。

该研究深化了对菲律宾海板块构造演化的认知，对理解 25 Ma 全球性构造重组事件及全球地形地貌、古气候演化和资源富集机制等具有重要意义。

南方科技大学海洋科学与工程系博士后刘伟为论文第一作者，讲席教授刘青松为通讯作者。南方科技大学地球与空间科学系副

教授胡佳顺、杨亭，刘青松课题组博士后盖聪聪（现为中国地质大学（北京）讲师）、周洋（现为北京师范大学（珠海校区）讲师）和博士生张伟杰为论文共同作者。该研究得到了国家自然科学基金委、中国博士后科学基金以及极地地质与海洋矿产教育部重点实验室的资助。

论文信息：
Wei Liu, Qingsong Liu, Jiashun Hu, Ting Yang, Congcong Gai, Yang Zhou, Weijie Zhang; Complexity of the Oligocene meridional motion of the Philippine Sea Plate. Geology 2024; doi: <https://doi.org/10.1130/G52707.1>.

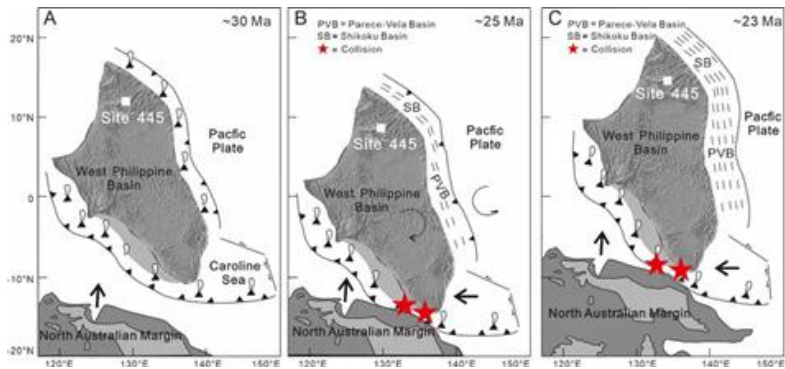


图 28 菲律宾海板块构造演化模型图：(A) 30 Ma, (B) 25Ma, (C) 23 Ma

Geophysical Research Letters 发表大洋钻探新成果：基于海洋重晶石的晚中新世生物勃发事件研究

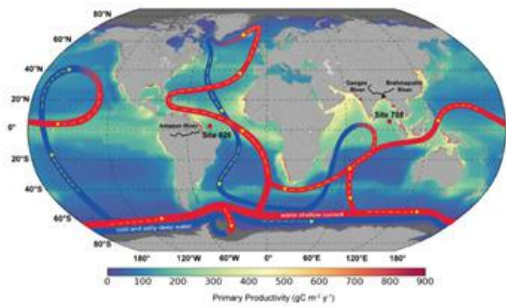
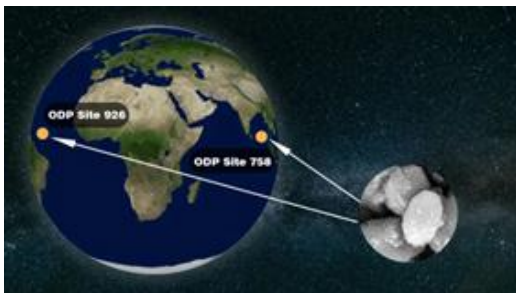


图 29 研究站点的海洋学示意图

近日，地学国际期刊 Geophysical Research Letters 发表了南方科技大学海洋科学与工程系姚炜琪副教授团队在海洋生物碳泵对气候变化的响应中的重要研究进展：“A Marine Barite Perspective of the Late Miocene Biogenic Bloom in the Equatorial Indian Ocean and Equatorial Western Atlantic Ocean”。该研究通过对大洋钻探 ODP Site 758 站位和 Site 926 站位进行多指标联合分析，重建了 12 至 5

百万年前赤道印度洋和赤道西大西洋的生产力变化，为研究晚中新世生物勃发事件提供新视角。

海洋生物碳泵在将大气中过量二氧化碳输送至海洋内部和海底沉积物的过程中扮演着至关重要的角色，是海洋生态系统通过碳循环调节地球环境变化的关键过程。研究海洋生物碳泵的地质演化，不仅为探索宜居地球的形成机制提供了重要线索，还能帮助我们更全面地理解和预测地球未来的发展趋势。

晚中新世（约 11.6 至 5.33 百万年前）是大气二氧化碳浓度与现代水平接近的重要地质时期，为研究全球变化提供了理想的时间窗口。晚中新世生物勃发事件

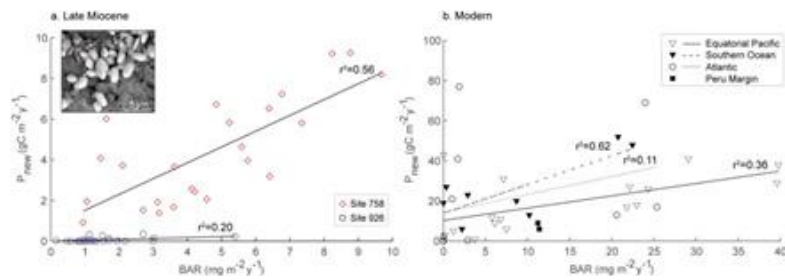


图 30 两种利用生物钡重建生产力的指标结果对比和海洋重晶石晶体示意图

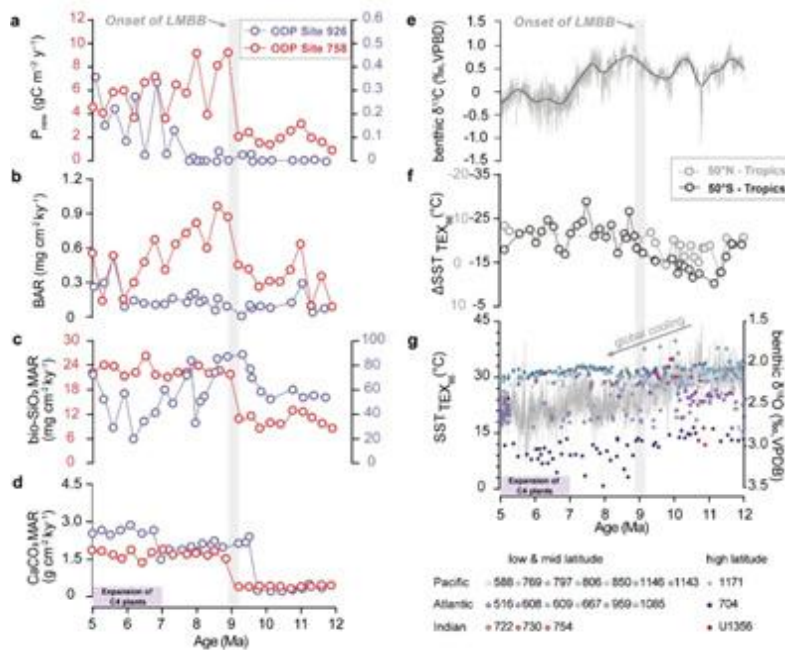


图 31 晚中新世多指标重建记录

(LMBB) 以海洋沉积物中生物成分的显著增加为特点。前人研究主要利用碳酸钙和生物硅的累积速率来重建生产力变化情况，由于这两者的保存容易受到海洋环境变化影响，目前对 LMBB 的发生时间、空间分布及其成因的理解仍然有限。

本研究提出利用海洋重晶石 (BaSO₄，是与输出生产力相关的自生矿物，具有低溶解度的特性) 作为生产力指标，结合其他生产力指标对大洋钻探计划站点 ODP Site 758 和 Site 926 进行多指标联合分析，重建 12 至 5 百万年前赤道印度洋和赤道西大西洋的生产力变化。多指标记录显示，赤道

印度洋的 LMBB 始于约 9 百万年前，与全球变冷期间更剧烈的上升过程密切相关。

同时，全球海洋古温度记录的汇编结果表明，经向温度梯度增加和南极冰盖扩张加强了海洋翻转，促进了上升流区域营养物质的供应，进而促使生产力增加。

本研究为理解晚中新世生物勃发事件提供了全新视角，进一步深化了对海洋生物碳泵在地质时间尺度上如何响应气候变化的认识，这不仅为当前应对全球气候变化提供了重要参考，也为未来重建海洋生产力和碳循环提供了创新方法。

海洋科学与工程系姚炜琪课题组 2023 级硕士生吴欣莹、已出站博士后胡玥为论文共同第一作者，课题组已出站博士后南景博为本研究做出重要贡献，姚炜琪副教授为论文通讯作者，南方科技大学为论文第一单位。该项目得到了国家自然科学基金、科技部重点研发计划专项青年科学家项目、广东省自然科学基金、深圳市高等院校稳定支持计划、南方科技大学教学质量与教学改革工程建设项目的支持。

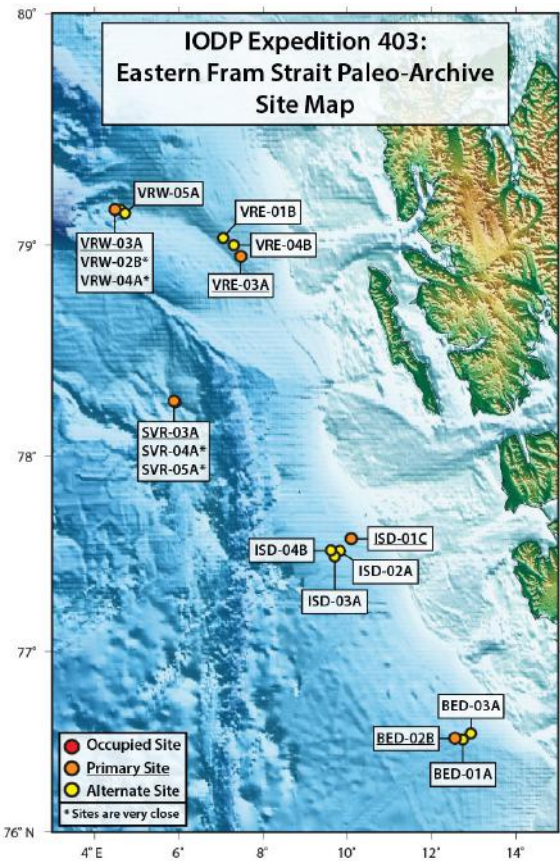
论文信息：
Wu, X., Hu, Y., Nan, J., & Yao, W. (2024). A marine barite perspective of the late Miocene biogenic bloom in the equatorial Indian Ocean and equatorial western Atlantic Ocean. Geophysical Research Letters, 51, e2024GL111748.

全文链接：
<https://doi.org/10.1029/2024GL111748>.



航次动态

中国科学家参加 IODP 403 航次 圆满完成航次钻探任务



IODP 403 航次钻探站位

表 1. IODP 403 航次中国上船科学家及船上岗位

航次	姓名	职称	单位	船上岗位
403	刘焱光	研究员	自然资源部第一海洋研究所	无机地球化学
	仲 义	助理教授	南方科技大学	古地磁学



科普活动

IODP 403“ 船—岸连线 ” 科普直播 连接科学前沿与科学爱好者认知的桥梁

IODP 403 航次“ 船—岸连线 ” 科普直播，走进上海市杨浦区图书馆、西安市西北大学博物馆，并以线上线下联合的形式成功举行！活动由国际大洋发现计划中国办公室、同济大学海洋地质国家重点实验室主办，新华网科普事业部、上海科学技术出版社、中国近现代新闻出版博物馆与陕西省古生物学会等多家单位共同参与策划。据统计，两场“ 船—岸连线 ” 科普直播活动现场参与和在线观看累计超过 152 万人次。

7 月 7 日在上海市杨浦区图书馆里举办的“ 探秘全球气候变化的‘ 开关 ’ ” 科普连线为现场逾 200 位学生、家长和科学爱好者以及观看网络直播的千余名观众解开了影响气候变化的答案。

同济大学地球与海洋科学学院副教授肖文申作为现场的特邀主持也与观众分享了国际大洋发现计划的发展，并且用通俗易懂的语言解释了北极冰盖与海洋的相互作用演化历史及其与全球气候的关联，帮助同学们更好地理解本航次的研究目标。



自然资源部第一海洋研究所研究员刘焱光、南方科技大学研究副教授仲义在连线中向观众展示了钻塔、取心钻头等设备，详细讲解了如何从海底取出岩心，如何对岩心进行实验分析，以及如何通过分析结果得到岩心的“ 年龄 ”、物理特征、化学成分等信息，并借

由这些信息解读地球的气候演化、深部生物圈、动力学过程等。他们还与观众分享了在船上与不同国家、不同学科领域的科学家共同工作和生活的经历和体会。他们的讲解让观众了解了海洋与地球科学的基本研究思路 and 手段。

现场的大朋友们和小朋友们都表现出了对大洋科考的浓厚兴趣，提出了“ 研究北极冰盖有什么经济价值 ”、“ 钻探船上有深潜器吗 ”、“ 气候变化会导致人类灭绝吗 ” 等诸多问题，船上的两位科学家也耐心解答了观众们的问题。

7 月 20 日在西北大学博物馆（太白校区）举办，新华网同步进行直播的第二场主题为“ 地球的年龄 · 气候的密码 ” 科普连线，在线观看超过 152 万人次。

刘焱光研究员和仲义副教授介绍了本航次科研任务的具体工作情况，并走上钻井平台，现场讲解钻探工作机制及方法，并带领观众“ 走进 ” 地化实验室和古地磁实验室，展示了包括沉积物游离气体分析设备、



水化学分析设备、有机碳氮分析等一系列高精尖设备和实验流程，以及科考船上的生活区域和业余生活。

在互动问答时间，两位科学家对格陵兰冰盖的厚度、形成以及消融对生活会产生什么危害？如何与不



同国家的科学家一起生活工作？如何确定几百万年沉积物年龄？在海上印象深刻的故事等问题进行详尽解答。现场观众也获得了由主办方提供的大洋钻探科普图书和精美的文创纪念品。

“通过这次连线活动，我了解到了国际大洋发现计划，看到了科学家是怎么工作的，对海洋和气候有了更多的认识。我们也要一起努力，保护地球从小事做起！”参加了国际大洋发现计划“船—岸连线”直播活动后，现场的小观众如是说。

值得一提的是，IODP 403 航次是由“决心”号执行的现行 IODP 阶段最后一个航次，2024 年后，IODP 将进入新的发展阶段，我国自主设计建造的大洋钻探船“梦想”号已于 2023 年年底顺利完成首次试航，在国际大洋发现计划接下来的发展路径当中，我国的角色将从“参与者”转变为“主导者”，在国际大洋钻探中发挥更重要的作用。

自 2014 年以来，中国大洋发现计划就通过“船—岸连线”直播的形式，向社会公众，特别是中小學生介绍海洋科学考察活动，取得了突出的科普效果。“船—岸”科普直播连线活动将科学知识从教科书中脱胎而出，通过与船上科学家进行“面对面”互动，让民众了解地球科学的前沿研究，以及他们在船上生活和工作。

目前，我们已经同全国各地多所大中小学校、博物馆和科研院所等开展了 30 余场直播连线，涉及全国 10 多个城市，总参与人数逾千万人次。



IODP 402 航次 上船科学家手记

航次背景

第勒尼安海盆 (Tyrrhenian) 是西地中海最年轻的盆地，形成于中新世晚期。以往三个大洋钻探航次 (DSDP Legs 13、42，ODP Leg 107) 在此进行过研究，区域地层结构清晰。由于盆地上覆沉积物厚度适中，有利于对盆地基底进行高空间分辨率采样。IODP 402 航次以 IODP 927 号建议书为基础，聚焦第勒尼安海盆，目的是查明洋陆过渡带 (COT) 的时空演变格局，包括张裂的动力学机制，壳幔变形机制，以及熔融产物与地幔剥露的关系。

航次主要科学目标是：(1) 确定盆地拉伸变形在动力学和地貌学上的时空演变特征；(2) 厘定相关岩浆活动的时间和来源；(3) 查明地幔剥露的流变学和变形特点及具体时间；(4) 明确地幔来源的成分演变和不均一性；(5) 检验目前大陆岩石圈拉伸和洋陆过渡带形成的相关模型。中国 IODP 派出中国地质大学 (武汉) 雷超教授 (构造地质学) 和上海交通大学赵翔宇副教授 (古地磁学) 参加了该航次。

航次首席科学家由意大利国家研究委员会海洋科学所 Nevio Zitellini 和美国哥伦比亚大学拉蒙特—多尔蒂地球观测研究所 Alberto Malinverno 担任。航次执行时间是 2024 年 2 月 9 日—2024 年 4 月 8 日。IODP 402 航次执行期间，共在 U1612、1613、1614、1615、1616 和 1617 站位开展钻探和取心工作，其中在瓦维洛夫盆地中央 (Vavilov basin) 实施了 U1614 和 U1616 站位，发现了类型多样的地幔岩，包括二辉橄榄岩 (lherzolite)、斜方橄榄岩 (harzburgite)、含斜长石二辉橄榄岩和斜方橄榄岩 (plagioclase-bearing lherzolites and harzburgites)、纯橄榄岩 (dunite) 以及少量辉绿岩 (pyroxenite) 和地幔侵入体 (mantle

intrusion)。地幔橄榄岩水化和风化严重，形成了低温蛇绿岩 (serpentine) 和碳酸盐 (carbonate) 矿脉。与此相反，U1612 站位在沉积物 / 基底界面发现了未固结的角砾岩 (breccia)，角砾成分主要有玄武岩 (basalt)、橄榄岩 (peridotite) 和花岗岩 (granite)，随后向基底钻遇了不同变形程度的糜棱状片麻岩 (mylonitic gneisses)，并向下过渡到花岗质石英闪长岩 (granitoid quartz-diorite rock)。同时，在第勒尼安海西部陆缘科纳利亚台地 (Cornaglia Terrace) U1613 站点实施了钻探，可采集到 Messinian 期 (中新世晚期) 沉积序列，沉积在更古老的沉积岩上，与撒丁岛出露的沉积岩相似，表明减薄陆缘由大陆地壳扩展减薄而成。在东侧的共轭边缘坎帕尼亚台地 (Campania Terrace) U1617 号站点没有钻遇基底，但发现了完整的 Messinian 时期的蒸发岩序列，包括石膏 (halite)。IODP 402 钻取的样品提供了大量新的数据，可用于确定地幔的不均一性、熔融体的产生和侵染 (impregnation) 的性质及其演化历史、蛇纹石化和碳酸盐形成的程度和演变；制约地幔剥露变形的几何学和时间问题；研究海水、沉积物和蛇纹石化地幔之间的流体—岩石相互作用；以及制约裂谷作用和 COT (洋陆转换带) 形成的地球动力学模型。

雷超

本人担任 IODP 402 航次构造地质学家，和实验室研究团队一起对钻探获取的岩石或沉积物中的构造要素开展仔细识别，特别是断裂、褶皱、塑性构造变形的几何学参数开展详细测量，结合变形组合的认识与分析，开展岩石圈伸展变形过程中构造演化历史和变形期次和阶段等研究。



航次执行期间，本人参加了由新华网、国际大洋发现计划中国办公室、中国青少年科技教育工作者协会等联合主办的“地球深部的信使——地中海探秘”科普直播活动，在北京师范大学第二附属中学西城实

验学校、四川省自贡市第三十五中学以线上和线下形式举办。通过直播课堂，我和来自上海交通大学的赵翔宇老师“带领”同学们走上钻井平台，了解钻探工具和工作原理；“进入”实验室，参观过渡壳岩心样品、船上实验设备和测试分析过程；“解读”岩心中蕴藏的陆洋转换地质记录；并通过连线方式，解答了来自学生们的提问。通过直播，学生们“云游”了科考船，了解了科学家们科考期间的工作和生活，目睹了钻取岩心的场景，领略钻探船工作原理，通过科普活动，学生们感受到生动、有现场感的科普教育。据了解，本次科普活动新华网同步进行直播，在线观看超过 44 万人次。通过船岸连线，本人参与与北京师范大学第二附属中学西城实验学校的科普讲座。

海洋钻探是国际深海研究的前沿，非常有助于开阔学生视野。美国经常有硕士生、博士生申请上船。而由于目前中国的航次名额非常有限，中国学生很难有机会。中国现在已经建成大洋钻探船，成为国际大洋钻探的中坚力量，我希望在不久的将来，我能带着我的学生一起登上我们自己的钻探船，共同探索陆海变迁之谜。感谢 IODP 中国办公室的推荐与资助，为我提供了坚持研究洋陆转换带如此宝贵的平台和机遇。

赵翔宇

本人在 402 航次中负责古地磁学工作。航次执行期间，古地磁小组对全部岩心的 archive-half sections 进行了磁学测量，内容包括连续岩心的古地磁学测量以及离散样品的岩石磁学与古地磁学测量。基于测量数据，申请人与年代小组的其他成员开展了初步的分析工作。按照原本的研究计划，古地磁小组将根据古地磁结果中的磁极性倒转对沉积记录进行定年，为第



勒尼安海的洋盆打开时间提供约束。但是从 U1612 站位开始，岩心就出现了意料之外的情况。首先是极低的沉积物回收率 (recovery)。岩心中发现了大量事件沉积，砾石和火山碎屑。这些粗颗粒的出现被认为是导



致中间细颗粒沉积物丢失的原因，为了更好地钻取沉积物，后续站位的沉积物钻进方式从旋转钻进改为活塞式。但最后发现，除 U1617 站位以外，所有站位的回收率仍然不理想。经站位间岩性对比发现，缺失沉积层主要是砾石与粗颗粒火山碎屑，难以回收。其次是古地磁信号的异常。微体古生物年龄揭示出多数站位沉积岩心基底年龄超过 4 百万年，如果原生古地磁信号被保存在沉积记录中，那么在这样的时间跨度内我们将发现十几次磁性倒转记录。但船测结果古地磁记录中并未发现预期的磁极性倒转，大部分的沉积岩心都表现出了与现今磁场相同的正极性。即使回收率接近连续的 U1617 站位仍然存在这种异常，因此倒转极性的缺失并不是因为样品回收率低。这些现象表明，第勒尼安海的沉积物经历了显著的重磁化过程，即原生古地磁记录在沉积后被成岩作用等地质过程破坏。

402 航次还成功钻取了 Messinian 蒸发岩序列（如 U1617 站位）或者基底岩石（如 U1612, U1613, U1614 和 U1616）。尽管 U1617 的蒸发岩包括石膏到岩盐 (halite) 的完整序列，但蒸发岩的磁性矿物含量非

常低，古地磁记录不可靠。相反，U1614 与 U1616 站位的蛇纹石化橄榄岩磁性矿物的含量很高，磁化率和天然剩磁都比沉积物高出几个数量级。从船测磁学数据来看，地幔橄榄岩经历了强烈的蛇纹石化过程，与船测岩石学证据高度一致。

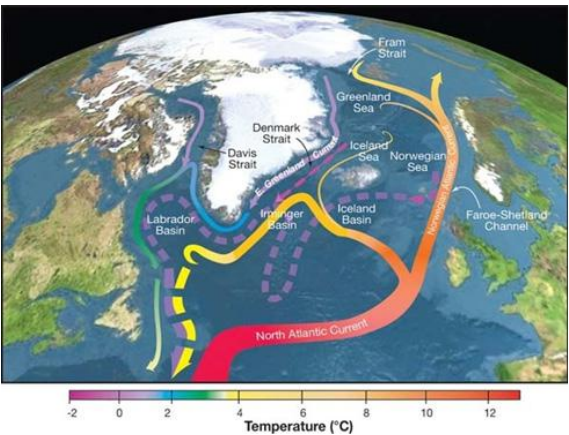
航次的两个月是非常宝贵的体验。来自全球的科学家朝夕相处，密切合作，在第一时间对从深海返回的岩心进行测量与分析。其中大多数样品都是首次被发现，航次的第一周可以说是从未知开始，但通过高效合作，航次的科学家不断挖掘出重要地质信息，最终完成一副较为清晰的拼图。因此，IODP 航次能够亲身感受科研与文化多样性的魅力。另外，在 IODP 收官阶段参与航次，能明显感受到国际科学家对于中国梦想号的期待。接下来，中国将在深海钻探科考中扮演更为重要的角色，这种使命感对每一位中国的地球科学学家都是一种激励！

IODP 403 航次 上船科学家手记

航次背景

位于格陵兰岛和斯瓦尔巴群岛之间的弗拉姆海峡（Fram Strait，宽 450 千米，水深 2700 米）是连接北冰洋和全球海洋的重要海峡通道，是研究北冰洋与北大西洋物质和能量洋际间交换及其全球影响的关键海域。由“乔迪斯·决心号”（R/V JOIDES Resolution）大洋钻探船执行的国际大洋发现计划（IODP：International Ocean Discovery Program）第 403 航次的钻探海域便位于弗拉姆海峡，西斯匹茨卑尔根暖流（West Spitsbergen Current，北大西洋暖流向北流入北冰洋的支流）流经海域，航次科学主题为“弗拉姆海峡东部的古气候和古海洋记录”，重点揭示晚中新世以来冰盖和洋流演化历史及其动力学机制，并特别强调关键气候转型期的融冰水事件及其全球影响等方面的深入研究。

融冰水脉冲（Meltwater pulses）是指淡水的大量释放、冰流涌入海洋和 / 或冰盖解体过程中的冰山排



放等突发事件，其可导致全球海平面上升的短暂加速。现代和过去气候温暖期极区冰盖时常发生大规模融冰水脉冲事件，并从区域性作用逐渐波及全球，对全球气候和海洋环境产生强烈影响。北冰洋和北大西洋在全球气候演变过程中扮演着重要角色，特别是北极地区正在经历着比全球平均温度高 2~4 倍的升高，从过去和现今观测的冰盖 / 海冰的研究结果来看，融冰水



突发事件可直接导致北大西洋经向翻转流（AMOC，Atlantic Meridional Overturning Circulation）的减弱甚至停滞。因此，重建北极地区冰盖、海冰与海洋的相互作用演化历史对于理解极地冰盖 / 海冰、海洋环流、大气和碳循环的动态变化过程至关重要。

该航次计划在 5 个区域钻探 6 口深度 258 米至 738 米不等的钻孔，获得长时序高质量的沉积物样品，揭示晚中新世以来北极冰盖、海冰及海洋环流对气候变化的响应与反馈机制。航次主要围绕晚中新世以来北极及周边海域冰盖 / 海冰动力学过程与 AMOC 的关系、过去高 CO₂ 含量的暖期 AMOC 如何与北极冰盖 / 海冰联动并影响全球气候等重大科学问题开展研究，重点探讨间冰期开始前的气候转变（冰川终止）期间显著的融冰水脉冲事件的动力学机制和环境影响，为提高未来气候与冰盖、海冰变化预测模型的精确度提供关键科学证据。

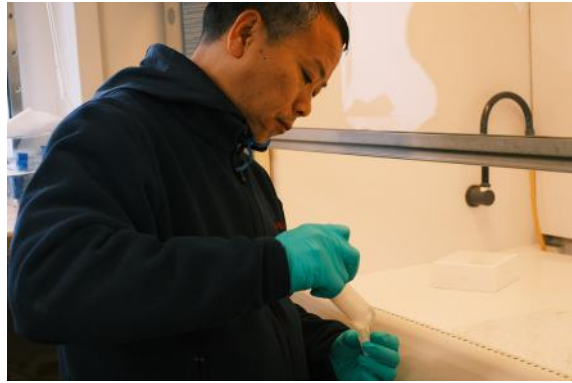
IODP 403 航次整体执行较为顺利。本航次在东弗拉姆海峡区域总共钻取了七个站位（U1618, U1619, U1620, U1621, U1622, U1623 和 U1624 站位），其中 U1622 站位由于沉积物基底环境复杂，没有完成取心。其他 6 个站位都完成共计 5000 m 左右的取心。其中，U1619 站位获取 600 米沉积物岩心，并通过古地磁和古生物年代学约束获得 6 Ma 左右以来连续沉积历史，为开展航次后研究提供了宝贵的地质材料。

IODP 403 航次两位女首席科学家分别为来自意大利国家海洋与实验地球物理研究所（OGS, National Institute of Oceanography and Applied Geophysics）的 Renata Lucchi 研究员和美国詹姆斯麦迪逊大学地质学院（Geology Department, James Madison University）的 St. John, Kristen 教授，另外来自 IODP 办公室的 Thomas Ronge 博士担任该航次的项目经理。该航次上船人员共有 119 人，其中科学家 29 人，来自 10 多个国家和地区（中国、美国、意大利、加拿大、英国、德国、挪威、西班牙、澳大利亚、日本和印度）。上船科学家根据学科背景情况分为沉积组、化学组、古地磁组、古生物组、物理性质组、地层对比组、微生物组等 7 个小组。中国 IODP 派出自然资源部第一海洋研究所刘焱光研究员（无机地球化学）和南方科技大学仲义助理教授（古地磁学）参加了该航次，与来自全球各地的科学家们一起圆满完成了航次钻探任务。

刘焱光

（1）船上工作

我在船上的工作岗位为无机地球化学分析，工作地点在地球化学实验室，该实验室是面积第二大的专业实验室，配备有盐度分析仪、CaCO₃ 含量分析仪、



元素分析仪、气相色谱仪、离子色谱仪、等离子体光谱仪、分光光度计、酸度计等专业分析设备和恒温烘箱、去离子水生产装置、通风厨、孔隙水萃取装置、高速离心机等样品处理装置。

无机地球化学分析岗位的工作内容包括以下几项：

- 沉积物游离气采样及分析：岩心到达甲板后，立刻按要求用专用工具获取约 5ml 沉积物样品，推入玻璃瓶并密封后放入烘箱 100 度加热 30 分钟，然后用专用注射器抽取 5ml 沉积物加热后释放出的气体，转入气相色谱仪后分析获得气体样品中甲烷、乙烷以及其他长链烷烃的含量，分析结果可用于评估沉积物中不同链长烷烃的比例，为钻探方式的选择和安全性评估提供关键参考数据。

- 沉积物孔隙水萃取及化学成分分析：取 5cm 或 10cm 的岩心沉积物样品，用高压萃取装置获取 12ml 左右的沉积物孔隙水样品，分别用盐度分析仪、离子色谱仪、等离子体光谱仪、分光光度计、酸度计等分析其盐度、pH 值、碱度、铵盐、磷酸盐、阴阳离子和主量元素含量。

- 站位数据报告编写：对获得的数据进行整理、分析，绘制相关图件，编写每个钻探站位数据报告的无机地球化学部分。

- 数据结果展示：每个站位的钻探工作完成后，代表地球化学工作组报告相关数据结果和研究成果。

- 其他：协助美国科学家获取其用于相态化学分析的沉积物样品、沉积物 CaCO_3 和有机碳氮含量分析样品前处理、与其他工作组讨论数据对比和地层划分等。

(2) 工作量完成情况

钻探工作中，每个站位仅从 Hole A 按照每个岩心（9.8 米长）的第 5 段底部截取 5cm 或 10cm 的沉积物萃取孔隙水样品，在第 6 段的顶部用专用工具获取用于游离气分析的沉积物样品。因采取率的差异，若 Hole A 钻探不顺利、每个岩心长度不足 9.8 米长、沉积物含水量非常低时，由现场人员调整取样钻孔、层

位以及截取样品长度等。获得的每类样品都会被赋予一个专用的二维码编号，扫描该编号后分析测试数据将自动上传至船上网络服务器，以便其他小组和钻探管理团队及时掌握各类数据情况。

在航次执行过程中，地球化学实验室累计在 7 个站位完成 231 个样品的孔隙水萃取，220 个样品的碱度和 pH 测定，229 个样品的主量元素分析，229 个样品的阴阳离子分析，226 个样品的盐度测定，304 个样品的 CaCO_3 和有机碳氮含量分析。无机地球化学分析的任务由我和一位来自日本地调局的科学家共同承担（每人每天值班 12 小时），因此上述工作量中的一半是由我来完成的。

参与编写了 6 个站位报告的无机地球化学测试方法和成果报告部分，作为地球化学组代表汇报了 3 个站位的数据成果。

(3) 科普传播工作

根据 IODP 中国办公室的安排，作为主讲人之一，参与完成了 2 次船—岸连线科考直播科普活动：

- 7 月 7 日上午 7:45-9:00（北京时间下午 13:45-15:00），在 IODP 中国办公室的组织下，联合科学画报、中国近现代新闻出版博物馆，以上海杨浦图书馆为主会场，开展了主题为探秘全球气候变化的“开关”的 IODP 403 船岸连线活动，会场主讲人为肖文申，船上主讲人为我和仲义。连线活动现场观众 200 人，线上直播观众接近 1000 人。

- 7 月 20 日上午 8:00-9:30（北京时间下午 14:00-15:30），作为主讲人完成“地球的年轮 气候的密码”船—岸连线活动，由新华网科普事业部、IODP 中国办公室、西北大学博物馆、自然资源部第一海洋研究所、南方科技大学、同济大学、陕西省古生物学会等联合主办，本次活动吸引了超过 150 万线上线下的同学、老师参加，主会场设在西北大学博物馆。

参加航次的主要感想

这是我第一次参加 IODP 航次现场钻探工作，船上有 IODP 的专业管理团队和来自 10 几个国家的 29 名科学家队伍，大家有共同的地质专业背景，年龄从大学教授到博士研究生，但中青年人为主，教授有经验，学生有活力，使得 50 多天的船上工作和生活不至于无聊和乏味，而是成为了每个人科研工作中一次值得珍藏的宝贵经历。几点主要感想如下：

● 精心的组织管理

由于本航次的特殊性（可能是目前 IODP 由“决心号”执行的最后一个航次），因此 IODP 管理机构也非常重视，派出了多达 24 人的管理团队协助航次的执行。该团队负责人具有 100 多次的大洋钻探参与经历，绝大部分成员也有至少 10 次的参与经验。在团队

负责人的精心组织下，管理团队克服了地层天然气水合物富集带来的巨大风险，按照平均每天 100 米以上的岩心处理速度顺利完成工作。

● 科学的钻探规划

本航次的钻探设计和规划应该在航次执行前 1-2 年就开始讨论了，至于钻探站点和钻孔深度设计工作则开始的更早。从首席科学家和管理层对各地区区域地质背景、科学目标、钻探目标层的科学价值、可能面临的困难（海冰、浅层气等）等方面情况的熟悉程度就能感觉到，每个钻孔的大致轮廓在钻探前就已经深记在他们的脑海里，才能在钻探顺序的选择和现场决策方面显得游刃有余。比如本航次从最北端站点开始钻探，在海冰来临之前顺利完成本航次最深的一个钻孔，并下放钻孔重返锥，科学规划后续钻探计划，希望在海冰条件有利钻探工作时能重返这一关键海域继续开展钻探，虽然最后因客观原因未能如愿，但他们高度的工作自觉和强烈的使命担当非常令人欣赏。再如每天交班时 15 分钟左右的通气会议，不仅让所有科学家获知未来一天的工作计划，也为不同工作组间交流当天的工作成果提供了好机会。

● 严谨的科学思维

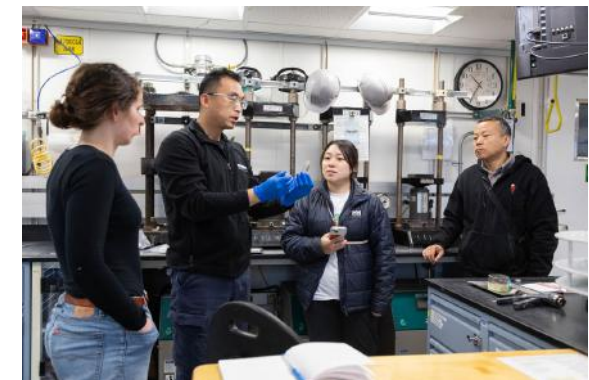
本航次的钻探海域——弗拉姆海峡，无论从其地理区位优势，还是在全球大洋热盐环流系统中都处于非常重要的地位，科学问题非常突出。但通过仅仅 50 天的钻探工作来解决很多繁琐复杂的地学难题，显然是不太可能的。首席科学家便将有限的工作时间用在刀刃上，深度聚焦科学问题，特别针对晚中新世以来关键气候转型期的融冰水事件及其全球影响进行重点研究。北冰洋是世界上最淡的海洋，淡水是北极地区气候系统的关键组成部分，淡水输入量的变化可改变营养物质和有机质的供应、控制海洋层化以调节潜热输送、改变海冰融化速率、控制冻土融化甲烷释放等，也是极地放大效应的重要表现，是全球大洋温盐环流改造和北冰洋大西洋化过程的重要参数。因此，对融冰水突发事件影响的研究也可对未来北极气候快速变化预测提供重要的科技支撑。

● 积极的工作态度

钻探开始后，每个工作组的工作量非常饱满，43 天的纯钻探时间，钻取了超过 5300 米岩心，平均每天需要处理的岩心长度为 123 米，每个班（12 小时）需处理超过 60 米的岩心，可见工作的强度之高。大家基本上每天除了工作就是睡觉，还要抽空整理数据编写站位报告，因此保持积极的工作态度非常关键。钻探管理团队合理安排住舱人员，保证 2 个人不同班组，以便保障每个人的休息时间，餐厅也几乎全天 24 小时安排可口的餐食保障大家在船期间的身体健康，使得每人都能以饱满的热情投入到一天的紧张工作中。

● 活泼的业余生活

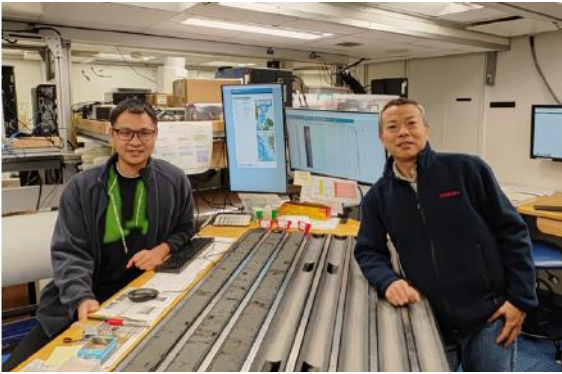
将近 2 个月的船上生活无疑是枯燥的，每个上船科学家也都做好了心理准备，项目管理团队更是充分利用船上的一切可利用资源，组织全面了解“决心号”船、跨越北极圈活动、青年科学家聚会、为航次期间过生日的科学家准备生日蛋糕、分享个人拍摄的精彩瞬间、乒乓球娱乐等丰富多彩的活动，凝聚不同国家、不同肤色、不同文化的科学家团结一致，共同为了航次的顺利完成而努力。



仲义

申请人在 403 航次中负责古地磁学工作。航次执行期间，古地磁小组对全部岩心的 archive-half sections 进行了磁学测量，内容包括连续岩心的古地磁学测量以及离散样品的岩石磁学与古地磁学测量。整体而言，本次航次古地磁工作较为顺利，并为整个航次岩心提供了重要的年代学约束。具体来说，首先是古地磁学年代学可靠性方面，由于本次航次位于北极高纬度地区，古生物保存较少，在前面 U1618、U1619 和 U1620 等东弗拉姆北部地区古生物定年难度较大。同时，这几个站位位于天然气水合物区附近，导致沉积物样品出现大量成岩作用和硫化物的产生，影响古地磁退磁的效果，但是通过离散样品和长岩心古地磁结果相互验证，对于这三个站位提供了较为理想磁性地

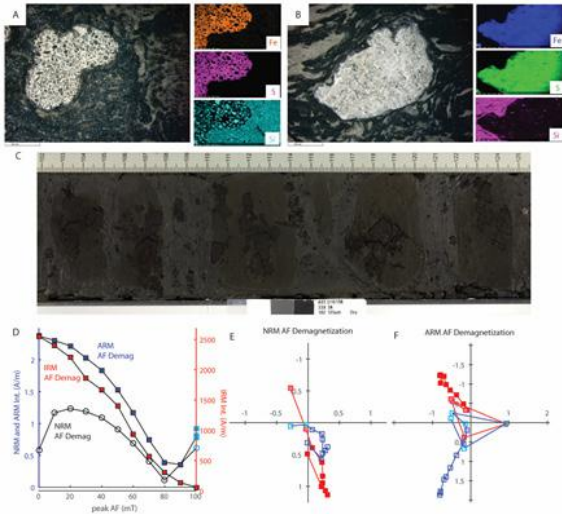




层年代结果。尤其对于 U1619A 站位，由于天气原因，航次只完成了这个站位唯一长达 600 多米的沉积物岩心钻孔，但是通过古地磁和古生物学相互验证，对于 U1619A 孔获得长达 6Ma 连续沉积历史。而对于斯瓦尔巴群岛西侧的沉积速率极高，底部水合物影响较小，古生物保存良好，整体古地磁结果良好，由于该区域年代跨度在 1.5Ma 左右，古地磁结果基本约束在 Matuyama 反极性时期。该钻孔古生物定年较为理想，为上部高精度年代学进一步进行了约束，为后面开展更高精度研究提供重要保障。其次是水合物信号的异常，由于北极斯瓦尔巴群岛下部发育大量天然气水合物，这也成为本次钻探任务的困难和挑战。同时，由于水合物发育的出现，为本次古气候学研究计划进行调整和部署。从 U1620 站位环境磁学结果来看，结合地球化学结果，可以看到下部 150m 开始环境磁学的磁化率等信号出现明显增强，推测与该地区水合物发育导致的甲烷气体渗漏有关。这也造成了很多原生古地磁记录在沉积后被成岩作用等地质过程所破坏。最后就是大量岩石磁学信号记录复杂性问题，整个航次从北向南不同位置钻孔来看，北部大量存在水合物发育，岩石磁学结果存在明显磁化率异常信号，从扫描电镜结果分析，我们发现这些都是胶黄铁矿的影响，这也为后期开展该地区研究铁硫化物的形成机理方面提供了可能。



参加航次的两个月是非常宝贵的体验。参加该航次的人员共有 119 人，其中科学家 29 人，来自 11 个国家和地区（意大利、美国、中国、加拿大、英国、德国、挪威、西班牙、澳大利亚、日本和印度），由于 IODP 403 航次将有可能成为“决心号”运行以来最后一次航次，船上科学家们通过各种方式来纪念这个来之不易的宝贵航次。本次航次中通过直播的方式进行了主题为“东弗拉姆海峡东部的古气候古海洋变化”科普连线，现场介绍科研任务的具体工作情况、带领观众“走进”船上实验室、生活区域，同时感受中国青少年对于海洋的向往与憧憬，感受中国海洋科学家历史使命所在。通过不同国家的高效合作，航次的科学进行频繁讨论和地质挖掘，最终完成一个较为清晰的版图。因此，通过本次航次深刻感受我们研究当中国际合作之间的重要性和必然性，海洋科学是多学科交叉的学科，作为海洋磁学科学家，更需要通过合作交流的方式，开拓自己眼界和视野，推进中国极地科学的发展。





关注“大洋钻探”公众号
获取更多 IODP 最新动态

编 辑	中国IODP办公室
地 址	同济大学海洋地质国家重点实验室
电 话	上海市四平路1239号, 200092
传 真	021-6598 3441
E- mail	021-6598 8808
Website	iodp_china@tongji.edu.cn
	www.iodp-china.org

封面... 2024年9月3-5日, 国际大洋发现计划 (IODP) 论坛及成员国办公室2024年度会议在日本静冈市文化会馆召开, 本次会议由IODP阶段最后一次论坛会议。

