

大洋钻探与我国地球科学的发展^①

汪品先

(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

摘要 1968—1983年的深海钻探(DSDP)导致了地球科学的革命; 1985年以来的大洋钻探(ODP)正在把地球科学提升到地球系统演化的高度. 本文从地壳与上地幔的成分、结构与动态和大洋与气候变化的原因与效应两方面简述了大洋钻探的学术成果与研究方向, 指出大洋钻探与我国地球科学的密切关系. 当前, 世界上正在组织“新世纪大洋钻探”计划, 我国是参与还是旁观? 这将在很大程度上决定我国地球科学下世纪的前景.

关键词 大洋钻探 海洋科学

1 引言

深海钻探(DSDP)/大洋钻探(ODP), 是“下海”再“入地”的巨型国际地球科学合作计划. 在洋底打钻, 源自“莫霍钻”. 1961年起, 美国两次试验打洋底地底, 企图钻穿莫霍面, 由于技术与经济的原因, 1968年“莫霍钻”计划被众议院否决, 成为“夭折的早产儿”. 于是将注意力转向在洋底打数量多而进尺浅的钻井, 这便是“地球深部取样海洋研究所联合(JOIDES)”所执行的“深海钻探”(DSDP)计划. 深海钻探船“格罗玛·挑战者号”1968年首航墨西哥湾起, 到1983年底退役止, 15年内共完成96个航次, 在624个井位钻井1092口, 取芯98000m, 成为地球科学历史上最大规模的一项国际合作. 其结果证实了海底扩张, 建立了板块学说, 同时导致古海洋学新学科的建立, 为地球科学带来了一场革命.

70年代中期便已加入深海钻探的英、法、德、日诸国, 到80年代中叶又和美国一起开始了“大洋钻探”(ODP)计划, 这次还有加/澳联合体和包括12国的欧洲基金会加入, 连土耳其、冰岛等国也在内(图1)⁽¹⁾. 1985年起, 更加先进的“JOIDES决心号”钻探船(图2)⁽²⁾在各大洋钻探, 到1993年底共完成53个航次, 结束ODP第I阶段. 目前, 大洋钻探正在向进一步国际化发展, 最近日本提出“新世纪大洋钻探”设想, 1994年2月3—4日在京都举行的“21世纪大洋钻探会议”, 设计了ODP第II(1993—1998)、第III(1999—2003)、第IV(2003—2008)阶段⁽³⁾, 日本和德、法分别造新的钻标船, 可望出现三条不同的深海钻探船在全球钻进, 在下世纪初打穿莫霍面, 实现“莫霍钻”的夙愿. 一场新的挑战

①本文1994年3月15日收到.

和新的机遇, 正出现在各国地球科学界的面前.

深海钻探与大洋钻探 25 年来, 不仅树立了全球构造演化的板块机制, 而且揭示了新生代全球气候变化的过程, 提出了构造变动引起洋底改道导致全球变冷的解释, 使地质学从零星的描述进入到系统的机理分析阶段, 进而带动了整个地球科学的发展. 从大洋和全球角度出发, 又为陆地地质带来新意, 层序地层学的出现, 黄土剖面与深海地层的对比, 都是适例.

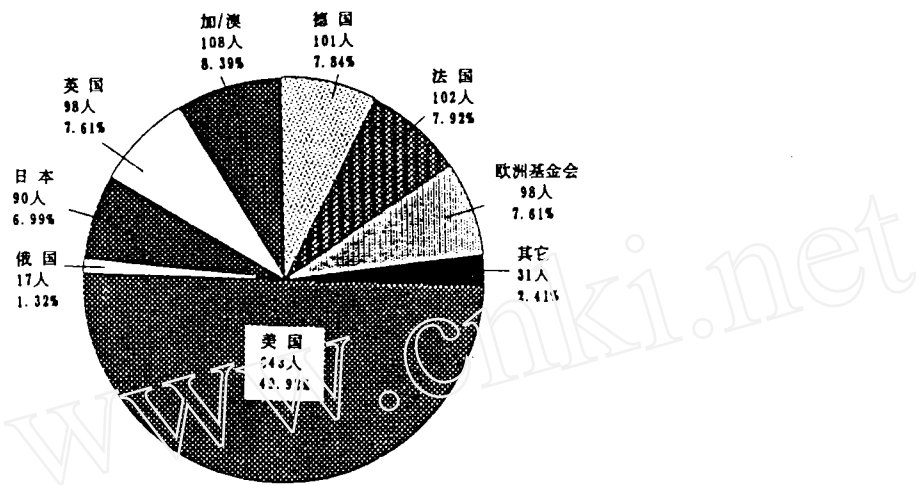


图1 大洋钻探国际计划的参与者, 从1985年起至1993年9月, 大洋钻探前51航次(ODP101-151)共上船的科学家有 1288 人(据 Kidd, 1994⁽¹⁾)

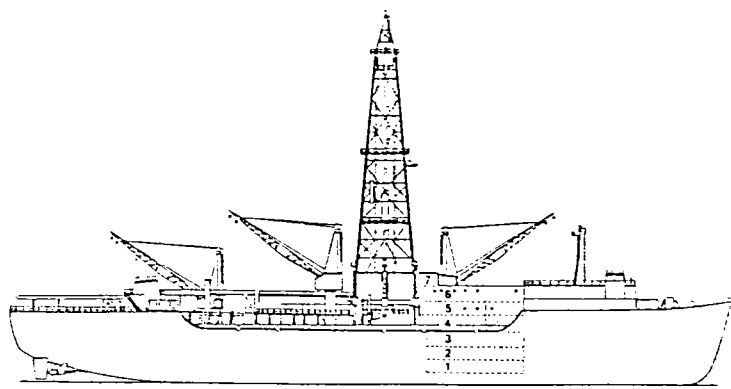


图2 进行大洋钻探的“JOIDES 决心号”钻探船示意图⁽²⁾

船长 143m, 宽 21m, 塔高 61m, 排水 16000t, 1—6 为实验室、岩芯库等, 7 为测井房.

2 大洋钻探与地球科学

近年来, 大洋钻探在印度洋的航次钻探了面积分别为 110 万和 300 万 km², 厚度可达

万米的印度洋深海扇与孟加拉深海扇,证明渐新世和中新世以来,古喜马拉雅山曾经隆升并剥蚀产生了巨大的深海沉积体,为我国青藏高原隆升历史和我国以致世界气候演变机理的研究提供了珍贵的材料.北太平洋深海钻孔中的风尘粒径、石英丰度和粘土矿物变化,同样显示出中新世以来亚洲风化速率和西风强度的加剧,为研究我国气候,尤其是季风演化,提供了重要的证据.现代世界大洋的陆源悬移沉积物70%来自亚洲东南部,大洋钻探揭示的新生代陆源沉积速率变化,也为判断我国气候和地势演变以及东亚边缘海发育提供资料.可见,大洋钻探与我国地质具有直接的关系.

洋底有新生的地壳形成、有火山和热液活动,是直接观察地幔与地壳相互作用的场合;洋底又有连续的沉积层,记录了水圈、气圈、生物圈相互使用的历程.因此,大洋钻探是研究地球系统演化地最佳途径.与“深海探钻”相比,“大洋钻探”具有更深、更大的目标——探测地球系统.根据“科学大洋钻探二届会议”(Cosod II, 1987)的总结,ODP的学术目标有:1.全球气候与环境演变;2.幔壳相互作用;3.地壳中的液体循环和全球地球化学平衡;4.岩石圈的应力与形变;5.大洋生物圈的演化过程等五个方面⁽⁴⁾.从各个角度研究地球系统内部的相互关系和演变机理,探讨地球系统对于边界条件变化的灵敏度.1990年制订的ODP长远计划把学术内容归纳为两大方面⁽⁵⁾:

1. 地壳与上地幔的成分、结构与动态

板块运动不仅是机械的位移,同时伴随物质成分的变化.新生地壳从地幔带出的物质,并不等于板块俯冲带回地幔的物质,何况还有板内的火山活动等等.而地球科学对于地壳、地幔的物质交换所知太少,其实对于地壳的结构、成分也在很大程度上依赖地震的间接资料.为此,大洋钻探的重点之一就在于钻探大洋地壳.从ODP第106与109航次钻探大西洋中脊“年龄为零”的新生地壳起,已取得巨大进展.东太平洋哥斯达黎加裂谷上的第504B孔,先后有九个航次上钻,经过反复钻进、测井,目前已钻穿二千多米,揭示了第1、2层洋壳;而在印度洋的第735B孔,已经打到第3层洋壳.但是ODP的目标是要取得整个洋壳6000m的剖面,或者用一个深孔打穿莫霍面,或者在下地壳出露洋底处打钻,用几个钻孔相接的补偿办法取得.无论哪种办法都有技术上的困难,是大洋钻探下世纪初的目标.

洋底地壳填图,是大洋钻探研究地幔物质演变的重要手段:洋底玄武岩的磁异常条带揭示了洋底扩张,而玄武岩的成份变化则记录了地幔物质的时、空演变.已经发现的南半球洋底在同位素成份上的差异,正反映了地幔物质的分异现象.

洋底热液作用是海洋地质近年来的重大发现之一,无论对于地壳地幔的研究,或者成矿理论、生物演化,都有突破性的贡献.目前,ODP第139航次已经取得温度约300℃下新形成硫化矿床的岩芯.深海的钻探调查表明,大洋中脊有无沉积物复盖,是热液作用不同类型的主要因素.渗透率较低的沉积层可以使液体在高温下的滞留时间加长,进行化学交换的岩石总量增多,并且提供热液失热、析出成分的多孔空间.大洋中脊的侧翼,由于面积广大,其热液作用的通量很大,对于海水成份的作用不亚于中脊轴部.

从地球系统的角度看, 深海热液作用是全球地球化学平衡中十分关键而了解过少的环节. 海水成份的演化, 正是洋底热液作用与大陆风化作用两者的结果, 铷同位素地层学的原理便在于此. 更加重要的是热液作用对全球气候的影响. 大洋中脊通过热液作用吸收 Mg 而提供 Ca, 从而改变海水成份和碳平衡, 进而影响大气 CO₂ 浓度, 因此洋底扩张加速可以导致大气 CO₂ 增多, 造成气候变化. 这类地球化学平衡问题, 正是大洋钻探当前的研究对象.

1989 年起, 大洋钻探已经能够在洋底钻井中测定地应力, 并安置监测地震、长期测量许多物理、化学参数变化的井下仪器. 现在, 全球地应力图上的大片空白区在于海洋, ODP 的目标之一是填补空白, 并进而建立洋底的“地球物理监测站”, 实现把大洋钻孔变成地壳和地幔“天然实验室”的设想.

2. 大洋与气候变化的原因与效应 ——地球环境, 即水圈、冰圈、气圈和生物圈的演化

如果说“全球变化”主要在年至万年级的尺度内考察地球表面各圈层之间的相互作用, 那么“大洋钻探”是在构造尺度和地球轨道的尺度上研究这类关系. 由于洋底沉积限于晚中生代以来, 主要是新生代的产物, 大洋钻探着重探索新生代全球气候变化的过程, 从高纬度海区着手追索两极冰盖的形成机理. ODP 第 113、119 航次在南极海区的钻探, 说明南极东西两部分的重大区别——东部在 42Ma 便出现冰碛物、中新世中期形成冰盖, 西部冰盖到晚中新世方才出现. 当前, 大洋钻探正计划克服种种技术困难, 早日在北冰洋上钻, 揭示北极冰盖的历史.

对于人类生存条件的预测来说, 短期的气候突然变化具有更大的现实意义. 为此, 大洋钻探的重点之一在于研究晚第三纪晚期以来气候环境的高分辨率记录, 只有高分辨率的记录才能说明环境变迁的因果关系, 才能为气候模型提供确切的检验. 同时, 构造尺度的长期环境变化也是 ODP 的重要研究对象, 如白垩纪到早第三纪早期的全球气候格局, 包括大气、大洋环流以致陆地风化作用, 都与中新世以来的大不相同, 为理解全球气候系统提供了鲜明的对照.

海平面升降是环境变迁的重要方面, 也为地层对比提供框架. 大洋钻探正在通过洋底剖面、珊瑚礁和稳定同位素几方面再造全球海面变化的精确历史, 追索洋面与气候变化的相互关系, 探究地球无冰盖时期洋面升降的原因. “全球变化”的核心问题是二氧化碳, 海洋通过浮游生物的“生物泵”控制着大气的二氧化碳, 因此大洋钻探通过古生产力、碳同位素和 CCD 的再造, 可以探索大气二氧化碳浓度和碳循环变化的历史, 在地质时期的尺度上回答“全球变化”的核心问题.

洋底富含微体化石的连续沉积地层, 为研究生物的微观与宏观演化提供了独特的研究材料; 大洋浮游生物界的几次巨大变化, 又为理解大洋以致大气圈的演变提供了重要线索. 因此, 演化生物学问题是大洋钻探的学术目标之一, 可望导致生物界演化与无机界演化的“接轨”.

总之,大洋钻探几乎涉及地球科学所有方面,正在把地球科学提升到“地球系统科学”的高度,其意义已经远远超过海洋的范围.

3 大洋钻探与海洋高、新技术

大洋钻探是当代海洋新方法、新技术的结晶.除钻探船本身的动力定位等先进技术外,主要有两方面:

3.1 钻井技术

“JOIDES 决心号”钻井船可以在水深 8200m 处钻进,钻具可长达 9100m; 跨世纪的新目标要求在更加困难的条件下能钻进地壳 3000m 以上的新船、新设备.对于沉积地层的钻进来说, DSDP 阶段发明的“液压活塞取芯”设备(HPC)是保证无搅动取样的重大进步; ODP 阶段发明的“高级活塞取芯”设备(APC)是更大的改进.但面对钻探玄武岩、打穿洋壳的目标,需要解决在破碎的基岩上如何稳定钻具,如何在高温下钻进,和如何延长钻头寿命等问题.为此,采用了 18t 重的硬岩石引导基座(HRB)稳定钻具,引进了高速金刚石取芯系统(DCS)等新技术.此外,使用“常平重返锥”的重返井口装置,保证了对同一钻孔作多次钻进和安置井下仪器的实施^[5].

3.2 测试技术

大洋钻探的重大进展在于将海底取芯扩大到井下测量和监测.90年代起,对沉积地层岩芯作伽玛射线衰减孔隙率(GRAPE)、磁化率和颜色反射%的连续测量,已成为 ODP 的常规工作.而井下测量则开辟了更为广阔的前景,除前面说过的地应力测量和地震监测装置等外,井下的地球化学录井新技术为在原地测定地壳和地层中液体的性质、状态,测定孔隙与渗透性,甚至测定古气候旋回提供了新手段.

4 我国的对策: 旁观还是参与?

当获悉 ODP 将来南海打钻时,我国于 1986 年成立大洋钻探学术委员会,后来南海打钻取消,我国的活动也停顿下来.1992 年 IUG 大会前,曾组织以许靖华教授为首的五人小组试图促成亚洲集团共同参加 ODP,但进展不快.其实到去年为止,大洋钻探 51 个航次 1288 位上船学者中,仅前 45 航次就大约有 17 名华人参加,其中大多是留学生或进修生作为欧美国家派遣上船的,至于参加 ODP 与 DSDP 岩芯分析、资料处理和研究的我国人员更多.目前,大洋钻探已成为跨世纪的巨型国际合作计划,在地球科学的前沿起着引导作用,同时也是地球科学高级人才培训的“国际大学”^[5].面对大洋钻探在新世纪的新计划,我国的地球科学界是旁观还是参与,将严重影响下世纪与世界地学界的学术距离.由于历史原因,我国已经错过了参与 60 年代末到 70 年代 DSDP 带来的地球科学革命性变革的机会,

但决不应该再错过新世纪的良机. 为此建议:

1. 在尽量少花钱、多办事的前提下, 先以非 JOIDES 成员国身份, 有组织、有意识地推动我国学术界在可能条件下参与 ODP 的活动, 积极追踪其进展和动向. 建议成立学术小组, 举办“大洋钻探与中国地球科学”讨论会, 在有关刊物上加强报道, 在学术发展计划中列出专项, 增加对 ODP 材料的了解和运用.

2. 加强与 JOIDES 的联系, 邀请其代表来访, 探索作为成员国全面参与 ODP 工作的可能与途径; 通过各种渠道加强和包括海外留学生在内的 ODP 研究人员的学术联系.

3. 在做好业务准备和组织准备的基础上, 效法欧洲集团的形式, 组织亚洲集团或其他国际联合集团, 争取早日加入 ODP 计划成为成员国, 共同促进国际地球科学发展.

主要参考文献

- (1) Kidd, R.B., Twenty-three years of British participation in Scientific ocean drilling. *Geoscientist*, 1994, 4(1): 9-13.
- (2) Anonym, JOIDES Resolution: facilities & shipboard capabilities. *JOIDES Journal*, 1988, 14(4): 50-56.
- (3) Lewis, B., Scientific ocean drilling in the 21st century - a JOIDES Journal, perspective (Abstract). Joint EXCOM-STA / IAMFTEC Workshop on ocean drilling in the 21th Century, Febr, 3-4, 1994, Kyoto, J Abstracts, 2-3.
- (4) JOIDES & ESF, 1987, Report of the Second Conference on Scientific Ocean Drilling (Cosod II), Strasbourg, 6-8 July 1987, 142p.
- (5) ODP, 1990: Long Range Plan, JOI, Inc., Washington, D.C., 119p.

OCEAN DRILLING PROGRAM AND DEVELOPMENT OF EARTH SCIENCES IN CHINA

Wang Pinxian

(Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai)

Abstract

Scientific contributions and objectives of the Ocean Drilling Program are briefly reviewed in this paper. Judging from the recent activities of the world scientific communities, the scientific ocean drilling will continue in larger scale beyond the year 2000, making a growing impact on earth science as a whole. Facing the new challenge in ocean science, China is free to make its own choice: to participate or just to stand by; but the development of earth sciences in China will to a great extent depend on this choice.

key words: Ocean drilling Ocean science