

ODP ODP ODP ODP ODP

大洋钻探与中国地球科学

Ocean Drilling Program
and Earth Sciences in China

金性春 周祖翼 汪品先 编著



同济大学出版社

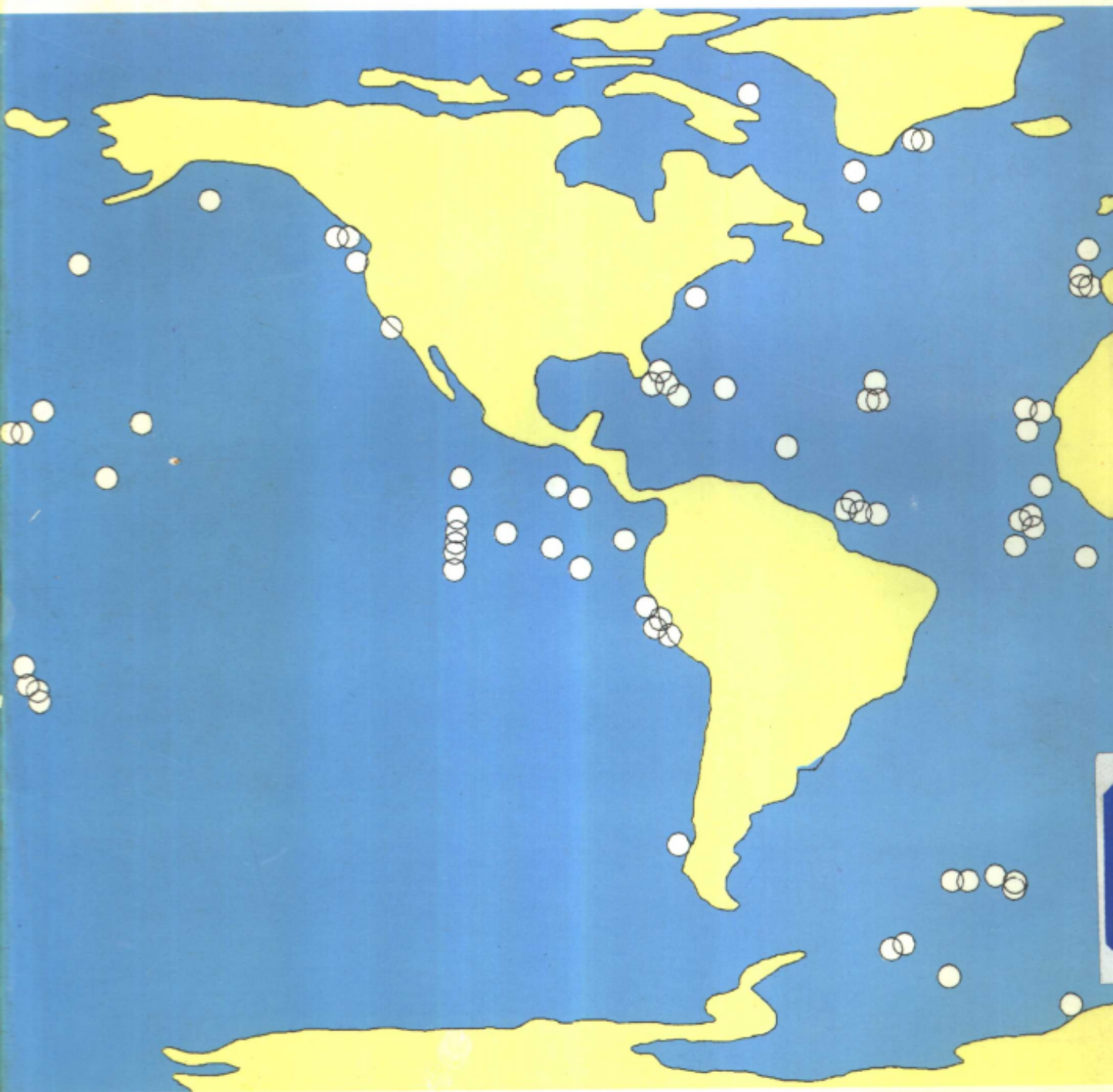
ODP ODP ODP ODP ODP

封面设计: 王汝建 黄 维

ISBN 7-5608-1662-2



9 787560 816623 >



大洋钻探与中国地球科学

Ocean Drilling Program and Earth Science in China

金性春 周祖翼 汪品先 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

大洋钻探计划及其前身深海钻探计划,是有史以来地球科学取得成果最多的一项国际合作计划。近二十多年来,它验证和发展了板块构造学说,创建了古海洋学新学科,使地质学从偏于陆地,描述性为主的科学扩展成全球性的探索机理的系统科学。本书总结了大洋钻探计划的重大研究成果,介绍了深海钻探和大洋钻探计划的发展过程和来龙去脉,展示了21世纪大洋钻探研究的前景。书中涉及当代地球科学的前沿课题,讨论了全球气候演变及其机制、生物圈演变与碳循环、海平面变化、陆缘与板缘构造活动、西太平洋构造演化、大洋岩石圈的成分与结构、岩浆活动与流体地质作用、巨大火成活动区等领域的最新成果与进展。作者强调地质学研究的全球视野,提出从中国实际情况出发,海陆结合,开展大洋钻探相关研究的一些学术构想。本书可供大专院校师生和广大地球科学工作者阅读参考。

责任编辑 王 利 卞玉清

封面设计 王汝建 黄 维 陈益平

大洋钻探与中国地球科学

Ocean Drilling Program and Earth Science in China

金性春 周祖翼 汪品先 编著

同济大学出版社出版发行

(上海四平路1239号)

望亭发电厂印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张 22.5 字数: 450千字

1995年11月第1版 1995年11月第1次印刷

印数: 1-1000 定价: 38.00元

ISBN7-5608-1662-2/P·10

前 言

当 20 世纪快走到尽头的时候，地球科学却正在进入一个新的境界。原来零星的、描述性的固体地球科学，正在转变为全球性的、探索机理的系统性科学。最近的二、三十年，是地质学历史上的辉煌时期。板块学说的确立，使地球表面看似分布无序的高山深海，突然变得有条有理；古环境研究的深入，把杂乱无章的地质事件，串成了因果分明、环环紧扣的完整历史。导致这些进步的关键，在于全球性的视野和系统论的方法。只有结合大陆与大洋，形成“全球构造”的概念，才能摒弃“瞎子摸象”式的“学派”；只有把固态与流态、无机与有机的各个圈层视作“牵一发而动全身”的地球系统，才能从千头万绪的地质现象中找出规律。而这一场地球科学革命性变化的“头功”，应当归于深海钻探(DSDP)和大洋钻探(ODP)计划。

1968 年以来，这项空前规模的地球科学国际大合作，在全球各大洋钻井 2000 口、取芯 20 万米，证实了板块构造学说，创立了古海洋学，把地质学从陆地扩展到全球，从根本上改变了地球科学家的视野和思路。影响所及，固体地球科学几乎每一个分支都改变了原有的发展轨迹。当前，美、日争雄的新世纪大洋钻探计划，正雄心勃勃地讨论着如何钻穿地壳以实现“莫霍钻”的夙愿，如何建立全球洋底地球物理实时监测网以实现地震预测，如何把“全球变化”研究推向更早的地质时期以揭示地球表层系统演变的机理……。

然而，中国的地球科学界迄今为止还只是从文献报道中了解 DSDP/ODP 的。当“格罗玛·挑战者”号钻取岩芯，证实海底扩张说的时候，我国正沉醉在“文攻武卫”之中，经历着“史无前例”的大动乱。直到“文革”的尾声，我们才从老前辈的译文里看到了“板块构造”的新名词。今天的中国已经完全不同，经济的迅速发展和社会的改革开放，带来了自然科学的春天。但是时至今日，我国地学界依然置身于大洋钻探的国际学术洪流之外，关于“JOIDES·决心号”船接二连三的新发现、新成果依然不见报道。我国的固体地球科学，依然是“内向型”的，总以为“家底还没有搞清楚”，无暇他顾，殊不知正因为缺乏全球眼光，正因为忽视了占地球表面 71% 的海洋，正因为没有把地球看成是水圈、气圈、生物圈、地圈相互作用的有机整体，不清也就在所难免。ODP 在印度洋钻探深海扇，为青藏高原的历史提供了“海底档案”；ODP 对洋底新生硫化物矿床的钻探，为成矿理论提供了“活样板”。通过海洋，才能更好地了解陆地。我国有着世界上数一数二的宏大地球科学家队伍，有着丰富的陆地和陆架工作经验，一旦和经济界一样有机会进入“国际大循环”，定能在大洋钻探的学术前沿大显身手。

最近二年来,中国科学院地学部和国家自然科学基金委员会,连续发起了多项学术活动,论证大洋钻探对中国地球科学的重要性,探索中国加入大洋钻探计划的途径,促进早日加入国际合作。地学部多位中科院院士联名提出:“参加大洋钻探国际合作,是我国在发展地球科学和促进海洋开发方面最为有效的一种投资,并将在很大程度上决定下世纪我国地球科学在国际上的地位”。诚然,大洋钻探是培养科研人材的“国际大学”,也是促进各国学科改造的一种动力。深海钻探始于美国,而70、80年代英、法、德、日、加、澳等国先后加入之后,都引起了参与国国内地学界的深刻变化,使得“内向型”的研究工作转向开放型、全球型,同时也为各个学科带来了新意。遨游在大洋的广阔天地里,原来只识“雕虫小技”的微体古生物工作者,成了向地质历史进军中“运筹帷幄”的古海洋学大师,便是一例。可以期望,具有光荣传统的中国地球科学界,随着在大洋钻探的国际学术舞台频频亮相,定会有一番有声有色的作为。

以中国地质科学队伍之大,将来能登上大洋钻探船的毕竟只是少数,重要的是要发挥参加大洋钻探的“辐射效应”,借此推动各相关学科的进展。增加广大固体地球科学界,首先是青年学生和科学工作者对大洋钻探学术方面的了解,是发挥“辐射效应”的起码条件。同济大学海洋地质开放实验室有志于此,近年来印发了“大洋钻探简介”、“西太平洋的大洋钻探”等材料,并协助组织了《地球科学进展》的“大洋钻探与中国地球科学”专辑(载1995年,10卷3期)。现在又进一步编写了本书,试图比较全面地介绍大洋钻探的来龙去脉、学术成果和研究方向。由于DSDP/ODP计划所涉及的科学、技术方面过于广泛,决非此书的篇幅和编著者三人的知识面所能涵盖,只能选择主要问题加以介绍,对于有些重要内容(如ODP中的高新技术)只能暂不展开。DSDP/ODP数以百计的学术巨著和不可胜数的研究论文,是地球科学最新的百科全书,本书涉及的只是沧海一粟,而且难免因理解失当而所述有误。对于读者的批评和建议,在此预致谢意。

本书的编写分工是:1、4章由金性春编写;2、5、6章由周祖翼编写;3章由汪品先编写。附录由三人共同编写,其中125、126、122、130航次的介绍由劳秋元编写。在编写此书过程中,JOI主任D. Falvey博士、JOIDES办公室、日本海洋科技中心等个人和单位提供了有关资料。全书的打印、编排、绘图、植字等工作由黄维、成鑫荣、刘志伟、吴梅英完成。本书的出版还得到同济大学和同济大学出版社领导以及同济大学海洋地质开放实验室的关心和支持,编著者谨在此一并对上述单位和个人致以深切的感谢。

目 录

前言

1. 大洋钻探的由来和发展	1
1.1 莫霍计划及其夭折	1
1.2 从长岩芯计划到深海钻探计划	4
1.3 深海钻探计划科学成就概览	7
1.3.1 验证海底扩张和板块构造学说	8
1.3.2 初始大西洋与特提斯洋	10
1.3.3 地中海深海钻探	13
1.3.4 钻探太平洋边缘的俯冲带	15
1.3.5 东经九十度海岭的钻探与印度快速北移	17
1.3.6 南极海域的钻探与新生代变冷过程	20
1.3.7 钻探天皇海岭, 验证热点假说	24
1.3.8 钻探洋壳基底火成岩	27
1.3.9 白垩纪黑色页岩及其他发现	30
1.4 大洋钻探计划的提出	33
1.4.1 从大洋边缘钻探计划到大洋钻探计划	33
1.4.2 “JOIDES · 决心”号钻探船与高、新技术	34
1.5 大洋钻探计划的学术目标	36
1.5.1 地壳与上地幔的成分和结构	38
1.5.2 岩石圈的运动学、动力学和形变作用	40
1.5.3 岩石圈内的流体循环与全球地球化学平衡	42
1.5.4 大洋与气候变化的原因与效应	43
1.5.5 全球海平面变动史	44
1.5.6 生物圈的演化过程	45
1.6 大洋钻探计划头十年航次简况	46
2. 大洋钻探计划的组织与运作方式	53
2.1 大洋钻探计划(ODP)的管理、运作与科学咨询方式	53
2.2 从井位建议书到实施钻探过程中的 ODP 管理方式	59
2.2.1 井位建议书	59
2.2.2 井位建议书的评审	60
2.2.3 ODP 航次科学家的遴选	61
2.3 各国参加 ODP 的组织机构与运作方式	62
2.3.1 英国	62
2.3.2 日本	63
2.3.3 法国	63
2.3.4 德国	64
2.3.5 欧洲科学基金会	64
2.3.6 加拿大-澳大利亚联合体	64
2.4 ODP 与其他国际性研究项目的合作模式	65
3. 古环境研究	67
3.1 高分辨率地层学	67

3.1.1	取芯和录井的新技术	67
3.1.2	“1995地质年代表”与轨道周期	69
3.2	全球气候变化	77
3.2.1	引言	77
3.2.2	从“温室”到“冰室”的地球	79
3.2.3	新生代变冷的原因之争	99
3.2.4	大气环流与季风演变	104
3.3	沉积作用的演变	117
3.3.1	沉积速率与剥蚀作用	117
3.3.2	大洋水化学与沉积作用	121
3.4	生物圈演变与碳循环	129
3.4.1	大洋钻探中的生物圈研究	129
3.4.2	生物演化与环境变迁	131
3.4.3	大洋生产力与碳循环	138
3.5	海平面变化	145
3.5.1	大洋钻探中的海平面研究	145
3.5.2	海平面研究专题航次	149
4.	板块构造与西太平洋构造研究	153
4.1	大洋中脊及其分段性	153
4.1.1	快速扩张脊与慢速扩张脊	153
4.1.2	前展性裂谷	155
4.1.3	重叠扩张中心	158
4.2	非火山型被动边缘与火山型被动边缘	160
4.2.1	被动大陆边缘的三种类型	161
4.2.2	非火山型边缘	163
4.2.3	火山型边缘	167
4.3	俯冲增生与俯冲侵蚀	171
4.3.1	俯冲增生	171
4.3.2	沉积物俯冲	175
4.3.3	俯冲侵蚀	176
4.4	西太平洋边缘海与岛弧海沟系	181
4.4.1	概述	181
4.4.2	菲律宾海的扩张演化史与岛弧的周期性分裂	183
4.4.3	马里亚纳岛弧(及俯冲带)的形成和初始岛弧火山活动	187
4.4.4	日本海的沉降—隆升和张开—关闭史	193
4.4.5	日本海东缘的新板块边界与中国东部应力场	202
4.5	中国海大洋钻探的学术目标	205
4.5.1	冲绳海槽: 全球研究陆壳分裂的关键性地区	207
4.5.2	南海海盆: 扩张演化过程及弧陆碰撞作用	216
5.	大洋岩石圈	223
5.1	ODP的岩石圈研究	224
5.2	大洋岩石圈的成分与结构	227
5.2.1	经过8次重复钻进的504B孔	228
5.2.2	洋壳剖面的分段取样	232
5.2.3	蛇绿岩套	234
5.3	大洋中脊的岩浆作用	236

5.4	大洋中脊的热液作用	241
5.5	巨大的火成活动区	248
5.5.1	巨大火成活动区的基本特征	248
5.5.2	巨大火成活动引起的后果	250
5.5.3	ODP 对巨大火成活动区的研究	251
5.6	会聚边缘的流体地质作用	257
5.6.1	增生楔的物质平衡	258
5.6.2	流体的地球化学成分	263
5.6.3	泥火山	264
5.6.4	俯冲带中的卤水	265
6.	新世纪的大洋钻探	266
6.1	ODP 长远规划	266
6.1.1	资助费用不断增加	266
6.1.2	参加成员将不断增加	268
6.1.3	与其他国际学术计划之间的合作将日益加强	269
6.1.4	多种钻井平台共同进行大洋钻探	269
6.2	ODP 确定的新世纪大洋钻探学术目标	270
6.2.1	地球环境动力学	270
6.2.2	地球内部动力学	271
6.3	新世纪的大洋钻探技术	272
6.3.1	钻探技术	272
6.3.2	取芯技术	274
6.3.3	井下和船上技术	275
6.4	OD21——日本提出新世纪大洋钻探计划	276
6.4.1	OD21 的出台背景	276
6.4.2	OD21 确立的 21 世纪大洋钻探学术目标	276
	参考文献	279
	附录 A DSDP/ODP 航次一览	293
	附录 B 西太平洋的大洋钻探	296
B1	大洋钻探六进西太平洋(引言)	296
B2	苏禄海和苏拉威西海(ODP 第 124 航次)	301
B3	日本海(第 127、128 航次)	308
B4	小笠原/马里亚纳海区(第 125、126 航次)	314
B5	EXMOUTH 海台(第 122 航次)	329
B6	翁通-爪哇海台(130 航次)	335
B7	日本南海海槽(第 131 航次)	344

1. 大洋钻探的由来和发展

大洋钻探计划(1985 —)及其前身深海钻探计划(1968 — 1983)的孕育,可远溯至本世纪 50 年代。当时,美国学者 W. Munk、H. Hess 等提出了钻探莫霍面的宏伟计划。由于种种原因,莫霍计划中途夭折,而由此引发的深海钻探事业却蓬勃发展。这一段历史的曲折和风波,十分耐人寻味。本章将具体展示莫霍计划、深海钻探计划及大洋钻探计划的概貌和历史发展过程。

1.1 莫霍计划及其夭折



图 1-1 莫霍计划的倡导者之一、普林斯顿大学的 H. Hess 教授(据 Kennett, 1982)

照片摄于二次大战期间,当时 Hess 在一艘运输舰上任职,利用回声测深发现了太平洋的平顶海山

1957 年 3 月 23 日,美国科学基金会地学部在华盛顿召开的研究项目评审会刚结束,在经历了两天十分艰辛的评议后,学者们松了一口气,闲聊起所议项目中一些精彩的创见。但斯克利浦斯海洋研究所的 Munk 却认为,这些项目中没有一个能导致地球科学的重大突破,应当有一项研究计划能真正解决地球科学的根本问题。他提议打一口超深钻,穿透莫霍面。当时在座的有后来的海底扩张说创始人,普林斯顿大学的 Hess 教授,他正为地球科学家提不出气魄宏大的项目来申请科学基金深感烦恼,而在此以前物理学家已经获得亿万基金建造了大型加速器。Munk 作为美国科学院院士,长期研究波浪和地球自转等问题,为理论海洋物理学作出了杰出贡献,应当说,地壳与地幔构造并非他的专长,他提出钻探莫霍面未必十分认真。但 Hess 却深受启发,他对 Munk 的提议作了认真严肃的思考,并开始为之奔走游说。

早在 1952 年,美国海军研究署地球物理分部的 G. Hill 等成立了一个松散的非正式组织——美国混成协会(American Miscellaneous Society, AMSOC)。这个协会没有正式的会员资格,没有任职人员,也没有正规的会议和章程;任何一个科学家找到海军研究署(大多是寻

求研究经费支持的大学教授), 认为自己是这个协会的成员, 便可以算是它的成员。1957年4月20日, 在 Munk 家的早餐会上, 美国混成协会的几名成员 Hcss、Munk 等为推进莫霍计划组建了一个专门委员会, Lill 任委员会主席, 并向国家科学基金会提出了钻探洋底莫霍面的建议(在大洋底下, 莫霍面比大陆下浅得多, 约在洋底下 6~7km)。由于混成协会不是一个正式的组织机构, 建议遭到否决。1958年4月, 混成协会委员会改建成国家科学院的一个正式委员会, 它重新向基金会提出了建议, 并获得基金会的资金支持, 莫霍计划就此诞生了。

1960年12月23日, 美国国家科学基金会与洛杉矶的环球海洋勘探公司签订合同, 由该公司的 CUSS 1号船实施莫霍面钻探任务。该船设有四个动力定位用的侧向推进器, 使船位能保持在井位附近。它所配备的缓冲钻杆, 使之能在上下颠簸的船体上顺利地向下钻进。1961年3月, 在斯克利浦斯海洋研究



图 1-2 1961年, 作为莫霍计划的组成部分, CUSS 1号船在墨西哥岸外东太平洋中钻探, 图示克利浦斯海洋研究所的 R. Revelle 等在船上研究钻探采获的基底玄武岩样品
(据 Maxwell, 1993)

所所在地拉霍亚岸外, 作了第一次试钻, 从水深 948m 的海底向下钻进了 315m。同年 3 月 23 日—4 月 12 日, CUSS 1号船在墨西哥西岸外瓜德鲁普岛以东 40 海里水深 3558m 处钻了五口深海钻井, 最大井深 183m, 穿透了 2500 万年的深海沉积层, 并深入基底玄武岩 13m(图 1-2)。这是有史以来第一次在深海大洋打钻成功。当 CUSS 1号船返航回到洛杉矶时, 美国总统肯尼迪专门致电祝贺, 称此举是科学史上划时代的里程碑。这次钻探共耗资 180 万美元。它在学术上也有重大收获, 钻探为大洋地壳层 2 是由玄武岩组成的, 首次提供了直接的证据。不久, 随着 CUSS 1号船退役, 混成协会一度计划建造一艘新的能钻抵莫霍面的大型钻探船。但在 1961 年底以后, 混成协会逐渐失去了它对莫霍计划的领导地位, 莫霍计划的管理职权转到国家科学基金会。混成协会委员会于 1964 年 1 月 18 日宣告正式解散。

在美国国家科学基金会寻求新的合同方时，由于莫霍计划的巨大声望和财政上的利益，竞争异常激烈。加利福尼亚州、德克萨斯州等议会代表团的成员都竭力推举本州的公司人选。经过反复评议和政府高层的激烈争辩后，1962年2月，科学基金会选择了德克萨斯州休斯敦的布朗公司和鲁特公司作为主要合同方。由于科学基金会评议委员会的主席托马斯是德克萨斯州参议员，当时的副总统约翰逊也是德克萨斯州人，而布朗和鲁特公司在投标的早期评议中排名并不高，这两公司又恰是托马斯竞选的支持者，这样，莫霍计划的这一合同选择遭到猛烈抨击(Maxwell, 1993)。

瓜德鲁普岛外试钻井深不足200m，而此后在钻探技术上并未很快取得重大进展。对莫霍计划是否可行，美国地学界出现针锋相对的两大派。年青的激进派热烈赞同，积极支持；地位较高的保守派则强调该计划技术上的难度和不现实性。争论在学术会议和刊物上激烈进行着，每一派都指责对方在作学术上的狡辩。一些学者对莫霍计划学术上的价值表示怀疑，他们认为，在深海沟和洋底大断裂的陡壁上采样，也有可能取得来自地幔的岩石。当人们认识到陆上的蛇绿岩套是大洋岩石圈的碎片时，有人甚至说，何必耗费巨资打莫霍钻，只要花一张机票的钱到东地中海塞浦路斯就可以看到地幔物质，尽管它遭受变质，已经不那么新鲜。还有人断言，要钻穿莫霍面，需要建造足球场那么大的海上钻探平台。

有趣的是，有关钻探策略两个派别的主要代表人物都在普林斯顿大学。Hess教授力主一鼓作气直捣莫霍面。另一派则以普林斯顿大学的石油地质学教授H. Hcdberg为代表，Hcdberg不仅在石油地质学上造诣颇深，还是海洋钻探方面的行家。以他为首的一个评价莫霍计划的委员会认为，孤注一掷，化巨资直取莫霍面是否明智？何况能否成功仍存有风险，这个委员会建议分阶段实现目标，第一阶段先钻探大洋地壳基底以上的沉积层，采集深海底沉积岩芯，并积累深海钻探的经验。

与此同时，莫霍计划的经费预算扶摇上升。早期美国混成协会对钻抵莫霍面的费用估计为1500~2000万美元。而主承包方布朗和鲁特公司拟采用半潜式钻探船方案，估计所需费用已上涨一倍以上，达4700万美元。1964年，莫霍计划的经费预算上涨到6800万美元，其中包括三年的钻探费用，每年为900万美元。1965年10月6日，布朗和鲁特公司与圣迭戈的国家钢铁与造船公司就建造实施莫霍计划的大型钻探船签订了分包合同，分包费用为2970万美元，加上三年钻探的费用，总计高达11000多万美元。这已经是最初估计费用的六倍，从而使莫霍计划处于更为不利的境地。1966年5月5日，美国众议院拨款委员会撤消了国家科学基金会在下个财政年度对莫霍计划的拨款预算。此后参议院拨款委员会的一个小组委员会又恢复了这项拨款预算。但在1966年8月18日，全体众议院以108票对59票最终否决了对莫霍计划的拨款。至此，莫霍计划经历了近十年的风风雨雨，终于寿终正寝。“莫霍钻”(Mohole)变成了“乌有钻”(Nohole)。

总的说来,要钻穿莫霍面,技术上并非不可逾越,但其费用之昂贵,却令人难以承受。当然,莫霍计划之所以夭折,还受到政治纷争的影响。回顾这段历史,我们对 Hess、Munk 等莫霍计划倡导者的魄力和远见深感钦佩。曾有人预言:“莫霍计划就像传说中的火凤凰一样,终将从它的灰烬中腾升而起,把我们导向地幔。”(Emiliani, 1981)。事实上,到了 90 年代,在制订大洋钻探未来目标时,已开始重新考虑钻探莫霍面的壮举(见 1.5)。尤其值得提到的是,由于莫霍计划在深海大洋试钻成功,人们已经认识到,实施深海钻探,广泛采获深洋底沉积岩芯和基岩样品,在技术上是可行的,它将给地球科学的发展带来不可估量的影响。

1.2 从长岩芯计划到深海钻探计划

本世纪 50 年代,在芝加哥大学工作的 C. Emiliani 创立了测定有孔虫壳体的氧同位素以确定海水古温度的方法。他在“更新世古温度”(1955)这篇著名论文中,首次用氧同位素曲线标示了冰期-间冰期更替的古气候旋回。1962 年 2 月的一天,已转至迈阿密大学海洋实验室工作的 Emiliani 与 B. Ginsburg 博士在大楼外聊天, Ginsburg 对 Emiliani 说:“你应当考虑大问题。”Emiliani 问他指的是什么,他说:“就是要想大的。”说毕他就走了。Emiliani 回到办公室开始考虑什么是大问题。几分钟后,他形成了一个想法,即要把他的同位素曲线上溯到更为久远的地质时代。这意味着要有很长的岩芯,需要能连续取芯的钻探船。前文已提到,在此之前,环球海洋勘探公司已在瓜德鲁普岛外成功地完成了深海钻探试验。Emiliani 便打电话给环球公司,向该公司的 R. F. Bauer 问了两个问题:第一,环球公司能否在波多黎各附近 4000m 的水深处打上四口井,井深 1000m,要连续取芯?第二,如果能打,要花多少钱?Bauer 回答得很干脆:第一,能打;第二,需 200 万美元。Emiliani 随即与国家科学基金会海洋学部的计划处主任 J. Lyman 联系,向 Lyman 陈述了他的想法,询问能否得到支持。Lyman 回答说:“我们这里正好有一笔经费,想用来支持像你所说的这类项目。”Emiliani 听后惊喜不已,并提议组织一个工作小组以推进这项计划,目标是从深海底采获长岩芯,以研究气候变化的历史和原因。随后 Emiliani 将他的想法写成一份计划纲要,分发给国家科学基金会、海军研究署、环球海洋勘探公司以及其他许多学者,获得了广泛关注和高度评价。可能是与所从事的研究方向有关,Emiliani 对耗资巨大的莫霍计划很不以为然,他充满自信地说:“只要给我 100m 海洋沉积岩芯,我们就能取得比耗资十亿的莫霍钻探多得多的科学资料。”

1962 年 6 月 10 日,美国迈阿密大学、普林斯顿大学、拉蒙特地质研究所、斯克利浦斯海洋研究所、伍兹霍尔海洋研究所等研究单位的知名学者在迈阿密聚会。与会者对

Emiliani 提出的计划表示赞同并作了扩充。这一计划被命名为长岩芯(LOCO)计划,会上成立了长岩芯委员会负责指导长岩芯计划。Emiliani 担任委员会主席。但在这以后,对于是建造一艘新的钻探船,还是改装旧船,却进行了旷日持久的讨论。直至 1963 年 11—12 月间,在科学基金会资助下,长岩芯计划使用环球海洋勘探公司的一艘小型钻探船 SUBMAREX 号在加勒比海实施钻探并取芯。这是纯地层目的的深海钻探和取芯的首次尝试。

这期间,长岩芯计划各参加单位争夺席位的斗争十分激烈。在将 LOCO 更名为 CORE(海洋研究和开发组织)的过程中,迈阿密大学和普林斯顿大学被排斥在外。于是,迈阿密大学海洋科学研究所联合了加利福尼亚大学的斯科利浦斯海洋研究所、哥伦比亚大学的拉蒙特地质研究所以及伍兹霍尔海洋研究所,四单位的联合组织于 1964 年 5 月在华盛顿的一次会议上正式成立。斯科利浦斯海洋研究所所长 R. Revelle (图 1-2)提议将这一联合组织取名为 JOIDES (Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling, 地球深部取样海洋研究机构联合体)。不久,华盛顿大学加入,成为 JOIDES 的第五个成员。30 年来,JOIDES 的成员不断发展壮大(后详),但它作为深海钻探计划和大洋钻探计划的学术领导机构,其名称一直沿用至今。

1965 年 4—5 月间,JOIDES 租用 CALDRILL 号动力定位钻探船在佛罗里达东岸外钻了 14 口井,钻探取得令人鼓舞的成果。这就使科学基金会和越来越多的人感到,与耗资巨大、前途未卜的莫霍钻探计划相比,在世界大洋打数量较多不太深的钻井,广泛采集沉积岩芯,看来是更为稳妥而明智的选择。

1966 年夏,莫霍计划行将夭折。6 月 24 日,美国科学基金会指定斯科利浦斯海洋研究所为 JOIDES 的操作单位,并与之签订合同,由科学基金会提供 1260 万美元,资助一项以揭示洋底地壳上层为目标的长期钻探计划,这就是举世瞩目的深海钻探计划(Dcep Sea Drilling Project, 简称 DSDP)。环球海洋勘探公司被委托建造一艘深海钻探计划的专用钻探船。为了纪念 1872—1876 年开创环球海洋考察新纪元的英国“H. M. S. 挑战者”号调查船,这艘新建的钻探船被命名为“格罗玛·挑战者”号(Glomar Challenger)。它于 1968 年 3 月建成下水,是 15 年深海钻探计划唯一的专用钻探船。

格罗玛·挑战者号钻探船(图 1-3)长 121m,宽 19m,最引人注目的是耸立于船中部的 43m 高的钻塔,塔顶高出海面 61m,钻塔限于这一高度是根据世界上主要海港的桥梁高度设定的。钻塔下即是井口,直通海里。该船排水量 10500t,是第一艘能在水深大于 6000m 的深海底钻探的船只。钻探用的数百根钻杆为 12.5cm 口径的无缝钢管,用一套自动套管装置来处理并堆放于钻台前面。钻探时,钻杆需一根一根接起来,通常要耗时十小时接上百余根钻杆,才能在数千米深的海底开钻。

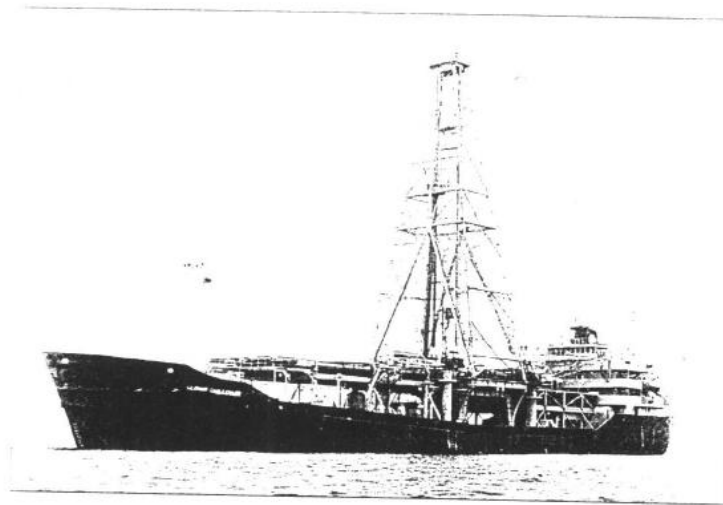


图 1-3 深海钻探计划使用的“格罗玛·挑战者”号深海钻探船

要在漂浮于浩茫大洋中的船只上伸下几千米长的钻杆，再从洋底确定的位置上钻进千余米，首先要解决船位的固定问题。格罗玛·挑战者号船装备了先进的动力定位系统，不用抛锚即能使船位保持在钻孔附近。船侧有四只侧向推进器，使船只可前后左右自如地移动。当声呐信标到达井位附近海底时，它所发回的信号由装在船底的 4 只水听器接收，据此计算机可随时确定钻探船相对于井位的位置，并指令船上推进器不断调整船位，从而使钻探船能在 9 级风速时保持船位，进行正常的钻探作业。船上还有滚摇稳定装置。钻探时船的纵摇和横摇平均不超过 9° 。

前面已提到，CUSS 1 号船首次在深海打钻，最大井深仅 183m。当钻进基底玄武岩 10 余米后，钻头已被磨坏，而在起钻更换钻头之后，在茫茫大海里就再也找不到原先的钻孔了。当时还只能做到一次钻进，这就明显限制了钻进的深度。为解决这一问题，深海钻探计划工程技术人员经多年悉心研究，终于在 1970 年发明了重返钻孔装置(图 1-4)。在起钻时，原先设置的重返钻孔漏斗仍留在海底钻孔上。漏斗上安装了数个声呐反射器。当钻杆试图再进钻孔时，其末端所设的高分辨率扫描声呐可接收漏斗上声呐反射器发出的回波，从而寻找到原钻孔的位置。钻杆末端的扫描声呐通过长达数千米的电缆与船上的控制中心相接，控制中心借助钻杆上的喷嘴喷射水流，使钻杆移向重返钻孔漏斗，最后进入原钻孔再次钻进。这套重返钻孔装置于 1970 年 12 月在加勒比海的深海钻探第 15 航次上首次使用，并获得成功。自此以后，在同一钻探点多次更换钻头重新钻进已成为深海钻探中的常

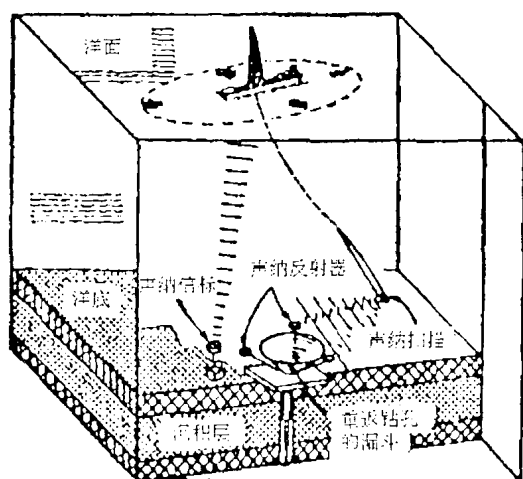


图 1-4 格罗玛·挑战者号船的动力定位
和重返钻孔装置

规作业。这就极大地提高了深海钻探的钻进能力，使深海钻探进入一个新时代。

格罗玛·挑战者号船备有充足的燃料、淡水和食物，足够海上连续作业三个月之需。但为保险起见，大多数航次都不超过两个月。由于钻探和取芯是昼夜不息连续作业的，每一航次均设有两位首席科学家 24 小时轮流值班。首席科学家有时是该航次钻探目标的倡议者，有权参与制定计划。他们在 JOIDES 指导下负责实施钻探的科学目标。在钻探作业中，他们要视实际情况确定具体井位和终孔深度，决定是连续取芯还是间断取芯。每一航次

有地球物理学家、沉积学家及古生物学家等组成的船上科学小组。他们利用船上精良的实验设备，可就在船上进行岩芯处理、涂片分析、摄影、各种物性测量和古生物研究等。岩芯从 9m 长取芯器内的塑料管中取出后，要切成 6 段，每段长 1.5m，再分成两半。一半是工作岩芯，供研究取样用。另一半供描述、照相和储存。DSDP 所取的大西洋岩芯，储存在拉蒙特地质研究所(位于美国东海岸)；太平洋和印度洋的岩芯则储存在西海岸的斯克利浦斯海洋研究所。

1968 年 8 月 11 日，格罗玛·挑战者号船驶离德克萨斯州奥兰奇(Orange)港，开始了深海钻探计划的第一航次。自 1968 年 8 月至 1983 年 11 月，格罗玛·挑战者号共完成 96 个航次，航程 60 万公里，在各大洋(北冰洋除外)624 个站位上钻井 1092 口，取得岩芯 9500 余米，为验证海底扩张和板块学说，为古海洋学新学科的诞生，立下了丰功伟绩(见下节)。

考虑到洋盆的巨大深度，深海钻探，包括动力定位和重返钻孔等先进技术，无疑是海洋勘探史上的一项奇迹。一位学者曾说过，本世纪 60 年代在科学技术上有两项震惊世界的业绩：一项是人类首次登上月球，另一项就是成功地钻进深海洋底。格罗玛·挑战者号船于 1983 年 11 月退役后已被拆毁，对此许多学者均感到惋惜。这艘与地球科学革命息息相关的钻探船，本应该保存下来，留作永久的展示和纪念。

1.3 深海钻探计划科学成就概览

1966 年制订深海钻探计划时，经费预算 1260 万美元，安排了大西洋和太平洋 18 个月(九个航次)的钻探工作。这是深海钻探计划的第一阶段(1—9 航次)。不久以后，追加投资

2270 万美元, 将计划延长了 30 个月, 这就是深海钻探计划的第二阶段, 它包括 16 个航次 (10 — 25 航次), 钻探范围扩大到印度洋。此后又再次延长, 投资 3300 万美元, 安排了为期三年的第三阶段 (26 — 44 航次)。1975 年 11 月, 随着前苏联、原联邦德国等国加入, DSDP 进入大洋钻探的国际协作阶段 (International Phase of Ocean Drilling, 即 IPOD)。IPOD 原计划安排到 1979 年, 最后延长到 1983 年 11 月才告结束 (各航次的基本情况参见附录 A)。15 年的深海钻探, 出版了近百卷《深海钻探计划初步报告》巨著 (每航次一卷)。可以认为, 深海钻探计划是有史以来地球科学中取得成果最多的国际性协作项目。

1.3.1 验证海底扩张和板块构造学说

1968 年 8 月, 作为深海钻探计划的第一航次, 格罗玛·挑战者号先就近驶入墨西哥湾。早在 50 年代, 拉蒙特地质研究所所长 M. Ewing 等通过地震探测在墨西哥湾深海平原下发现了盐丘状构造。但多数学者对深海底能形成盐丘感到难以置信。深海钻探第一航次由 Ewing 任首席科学家。钻孔布设于水深 3600m 的一个丘状构造上, 在海底以下将近 140m 处, 终于钻取到结晶石膏, 这是典型的盐丘冠岩, 并有油气显示, 首次证明了深海洋壳上确有盐层存在。深海钻探首航告捷, 预示它在检验工作假说、解决争论问题上有着不可替代的非凡能力。

1961 — 1968 年之间, 海底扩张和板块构造学说相继提出, 其依据主要在海底磁异常条带、地震分布与震源机制、海底重力和热流等地球物理方面。如果说地球物理学家较快地接受了新学说, 那么, 大多数地质学家或无动于衷, 或举棋不定。及时推出的深海钻探计划, 为验证海底扩张和板块学说提供了绝好的机会。

格罗玛·挑战者号第二航次在北大西洋布置钻孔, 目的就是要验证海底扩张说。但由于机械故障等原因, 钻探结果不甚理想。于是, 验证新学说的重任落到第三航次的学者们身上。这一航次在南大西洋南纬 30° 附近, 垂直于大西洋中脊走向布置了九个井位。钻探井位尽量选在磁异常图案最为清晰的地方。根据海底扩张原理和瓦因-马修斯假说, 每一磁异常条带对应于一定的洋壳年龄 (即在中脊轴带洋壳冷凝形成的年龄)。这一年龄随远离中脊轴带而增大。在南大西洋中脊西翼, 第三航次五个钻探点分别布置在 5、6、13、21、30 号磁异常条带上, 在外推得出的地磁年表上, 它们的年龄分别为 950 万年、2100 万年、3800 万年、4900 万年、6700 万年, 而它们离南大西洋中脊轴的距离分别是 190、420、760、1000、1300km。将距离除以年龄, 可知自 6700 万年来, 这里的洋底一直以 2cm/a 的速率扩张推移。问题在于, 上列由磁异常得出的洋壳年龄是否真实。深海钻探是最终解决这一问题的唯一可行的手段。由于构成大洋基底的玄武岩往往遭受海水的蚀变, 有时难以用放