

ODP 与中国固体地球科学*

李乃胜

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 国际大洋钻探计划(ODP)自 1983 年以来,已成功地实施了 66 个航次的深海钻探作业,获取钻探岩芯逾 100 000m。在关于大陆边缘的构造演化,海洋地壳的形成与发展,地壳流体循环和壳幔相互作用,海洋沉积结构和古海洋学,地球大气圈、水圈、冰圈、生物圈的长期变化等众多研究领域取得了一系列重大科研成果。对世界地球科学的发展具有重要的导向作用。

中国已决定从 1996 年起加入国际 ODP 组织,中国海域深海钻探可望成为现实。ODP 涉及固体地球科学各个领域,必将对我国地球科学的发展起到巨大的推动作用。

关键词 大洋钻探,地球科学,中国

我国有 18 000km 多的海岸线,有近 $3 \times 10^6 \text{km}^2$ 的辽阔海疆,是一个太平洋西岸的濒海大国。在新世纪的钟声即将敲响之际,我国政府已决定 1996 年起加入国际 ODP 组织,一大批专家学者正积极努力争取中国海域深海钻探“零”的突破,这无疑将使中国海洋地学事业从整体上上一个新台阶。

1 国际大洋钻探计划(ODP)

1.1 国际 ODP 组织概况

大洋钻探计划(ODP)成立于 1983 年,是原深海钻探计划(DSDP)的接续项目。1968~1983 年,DSDP 的钻探船“格罗玛·挑战者”(Glomar·Challenger)号远航作业 96 航次,钻孔 1 092 个,获取岩芯 96 000m^[14]。DSDP 的钻探结果使海洋地学研究发生了划时代的变化,也正是 DSDP 的钻探使板块构造理论起死回生,风靡全球。ODP 的钻探船“决心”(JOIDES Resolution)号自 1985 年 1 月在墨西哥湾开钻,迄今已作业 66 个航次,在世界各大洋和边缘海获取深海岩芯逾 100 000m^[14]。

1.1.1 ODP 的性质

大洋钻探计划(ODP)是目前国际上最大的海洋研究机构,其宗旨是通过探查海洋地壳结构和地质构造特征,以揭示地球随时间的变化规律;通过钻探取芯来查明大洋盆地的形成演化,史前生命的发生发展,古海洋环境和古气候的变化特征。到目前为止,ODP 已在世界各大洋及边缘海取得了一系列具有全球意义的重大科学成果。因此,ODP 对世界地球科学的发展具有重要的导向作用。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2901 号,中科院院长基金资助项目。

收稿日期:1996 年 3 月 10 日

1.1.2 ODP 的成员国

总部设在美国德州农工大学(Texas A&M)的 ODP 是一个国际联合科学研究组织,称为:深地层采样联合海洋研究机构,简称:JOIDES。ODP 由美国国家科学基金会(NSF)和其他 19 个成员国(美国、法国、德国、日本、英国、加拿大和澳大利亚 7 国以及欧洲科学基金会的比利时、荷兰、丹麦、挪威、西班牙、芬兰、冰岛、瑞典、意大利、瑞士、希腊、土耳其 12 个成员国)资助。在美国国内,10 所大学和研究所为 ODP 的成员单位。

1.1.3 ODP 的组织管理系统

美国科学基金会为 ODP 的经费主管部门。Texas A&M 大学作为 ODP 的科研主管单位,负责安排日常工作,也负责钻探船的管理和人员配备以及岩芯样品的收藏和管理。具体地说,在海上,Texas A&M 负责管理和维护船上的各类实验室,负责提供海上作业技术和出海人员的后勤供应;在岸上,Texas A&M 负责组织出海前后的一切科技活动,岩芯的管理,样品的分配,编辑出版 ODP 的科研成果,哥伦比亚(Columbia)大学拉蒙特-多尔蒂(Lamont-Doherty,简称:L-DGO)地质观测所负责海上测井工作。钻探开始前的井位调查资料也存储在 L-DGO 的数据库中。

为了日后的进一步分析研究,ODP 设立了 3 个样品库来存储岩芯样品。东海岸样品库设在拉蒙特-多尔蒂地质观测所,用来存储大西洋钻探的样品;南海岸样品库设在 Texas A&M 大学,用来存储所有来自太平洋和印度洋的岩芯,也存储其他特殊的样品,如:孔隙水样品,冰冻有机质地球化学样品等;西海岸样品库设在斯克里普斯(Scripps)海洋研究所,用来存储 DSDP 在太平洋和印度洋钻探的样品。

1.1.4 ODP 的经费

ODP 的经费预算每年大约 $4\,000 \times 10^4$ 美元。美国自然科学基金会(NSF)大约负担其一半,每年约 $2\,000 \times 10^4$ 美元,每 5a 作为一个阶段,进行一次申请和批准审查手续。其余的一半,由其他成员国分担。根据目前的成员国情况,一个独立的成员单位大约每年需要 300×10^4 美元。以后随着成员国的增多,负担的费用将会有所减少。

1.1.5 ODP 的出版物

自航次开始前的几个月到航次结束后的 3a 内,ODP 编写一系列正式和非正式的出版物,主要分为如下几种:(1)出海前科学论证报告,每个航次开始前 3 个月完成;(2)出海后初步总结报告,每航次结束 1 个月内出版;(3)作业技术通报;(4)正式的精装厚本出版物:《ODP 钻探报告》,该报告分为两部分。“原始报告”中介绍钻探概况,井位情况和取样照片及原始资料。该报告一般于航次结束后 12~15 个月内出版。“科研成果”主要是有关专业领域的研究论文,一般于航次结束后 36 个月内出版。

1.1.6 ODP 的钻探船

ODP 的钻探船“决心”号排水量约为 17 000t,配有 62m 高的钻塔,作业水深可达 8 200m,能投入 9 150m 的钻杆实施钻探作业。“决心”号具有计算机和海底声纳信标控制的动态定位系统,在风速 45kn,阵风 60kn,浪高 4.5m,最高 8.0m,流速 2.5kn 的海况下,能保持船位在水深 2% 的范围内。船上配有 12 个实验室,工作面积达 $1\,115\text{m}^2$ [4]。实验室内配有一系列科研设备和庞大的计算机系统。“决心”号的实验室堪称为当今世界上最先进最完备的船用科学实验室。

1983 年,DSDP 的钻探船“格罗玛·挑战者”号退役。“决心”号承担了 ODP 的大洋钻探任务。“决心”号的正式注册船名是:Sedco/BP471,但科学家们更熟悉的名称是“JOIDES Resolution”,其中 JOIDES 是深地层取芯联合海洋研究机构的字头缩写,Resolution(决心)是沿用 1773 年 James Cook 船长史无前例的南极探险使用的船名。“决心”号于 1978 年造于加拿大的 Halifax,原为一条墨西哥

湾作业的石油钻探船,1984年,ODP将该船改装成一个流动的海洋研究中心。

“决心”号于1995年1月,在墨西哥湾为ODP首航作业,现已完成66个航次,航迹遍及世界各大洋,其中包括:南极近海、地中海、加勒比海、威德尔海、苏禄海、苏拉威西海、日本海、菲律宾海、挪威海、格陵兰海等特定海域。迄今11a来,“决心”号从未因气象原因而连续5d停止钻探,这是一个惊人的奇迹,因为“决心”号经常在海况极其恶劣的环境下作业。其中,1987年1月在威德尔海成功地避开了许多危险的冰山(图1),创造了危险海域作业的记录,1985年秋,ODP首次在几乎没有沉积物的大西洋中脊的峰顶取得了“零”岁的岩芯。1987年春,首次成功地获取了连续无扰动的松软沉积物样芯。

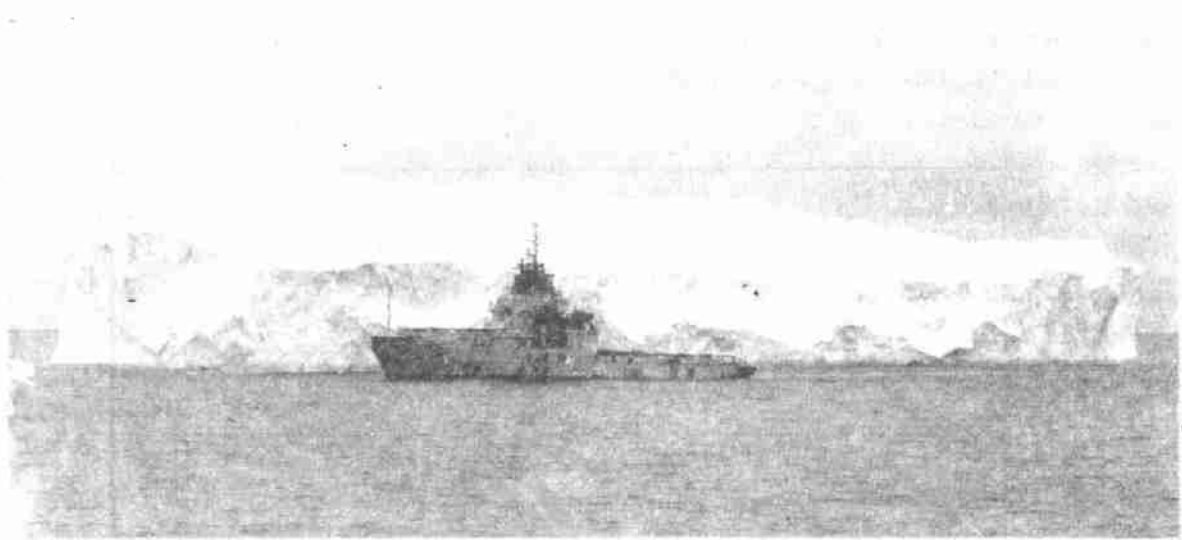


图1 ODP选用的防冰船“Maersk Master”

113, 119航次使用该船,图中显示的可能是迄今人工移动的最大冰山

Fig. 1 The ice-support vessel "Maersk Master" for ODP, which was used during expeditions to the high latitudes (Legs 113 and 119). This iceberg shown here is probably the largest object ever moved by man

1.2 ODP的主要科研成果

ODP 1983年正式成立,1985年1月在墨西哥湾首航开钻,迄今11a来每8个星期一个航次,已完成了66个航次,获取岩芯约100 000m。“决心”号航迹已遍及大西洋、太平洋和印度洋(图2,3),其中包括东西南极分界的高纬海区、巴芬湾、地中海、加勒比海、挪威海、苏禄海、苏拉威西海、菲律宾海、日本海、珊瑚海等特定海域。在大洋中脊、深海沟、无震海岭、俯冲增生体、新生洋盆、弧后张裂带、转换断层带、海底平顶山等特定构造位置进行了钻井探查。在大洋盆地的形成演化,边缘海盆的构造发展,史前生命的发生发展,古环境和古气候的全球变化,海底热水活动和地壳流体循环等重大课题的研究中对世界地球科学的发展起了重要的导向作用。在海洋沉积学、矿物学、古生物学、岩石学、地球化学、古地磁学和构造地质学等研究领域取得了一系列具有重要科学价值的研究成果。

1.2.1 古环境和古气候

古环境与古气候的调查研究是ODP的重要研究目标。有关调查海域包括一些高纬和低纬海区,其中高纬海区包括南高纬海区,如:威德尔(Weddell)海、南大西洋的南端海域、克尔格尔(Ker-

guelen)海台、普拦兹(Prydz)湾、和东南极海域(113、114、119 及 120 航次);北高纬海区,如:北冰洋、挪威、格陵兰海(104 航次)、巴芬湾(Baffin, 105 航次);低纬海区指太平洋、大西洋和印度洋的上升流区和象安通-爪哇(Ontong-Java)海台那样的一些大的海台地区(108、112、117、130 和 138 航次)。通过这些航次获得了许多有意义的科研成果^[17]。现已证明,气候系统的极地分量和低纬海区大气分量起码在迄今 3Ma 来就存在大尺度接合;南极海域钻探查明 42Ma 前没有大面积的冰盖存在, 65Ma 之前,南极地区气候温暖,因此,这个时期的海平面变化只能用非冰冻机制来解释;东南极海区的海面冰盖首

次出现在大约 35Ma 前,西南极地区出现在 5~10Ma 前;拉波拉多(Labrador)海的冰盖始于大约 2.5Ma 前;挪威海则始于 2.9Ma 前;巴芬湾(Baffin)始于 3.4Ma 前;西太平洋平顶山钻探证实,在晚白垩世阿尔必(Albian)阶晚期和土仑(Turonian)阶中期之间,海平面相对下降了起码 160m;在马绍尔群岛海域和日本近海的海底平顶山钻探查明在阿必阶、马萨诸奇(Maastuyichtian)阶晚期和中始新世起码发生了 3 次碳酸岩平台下降事件。

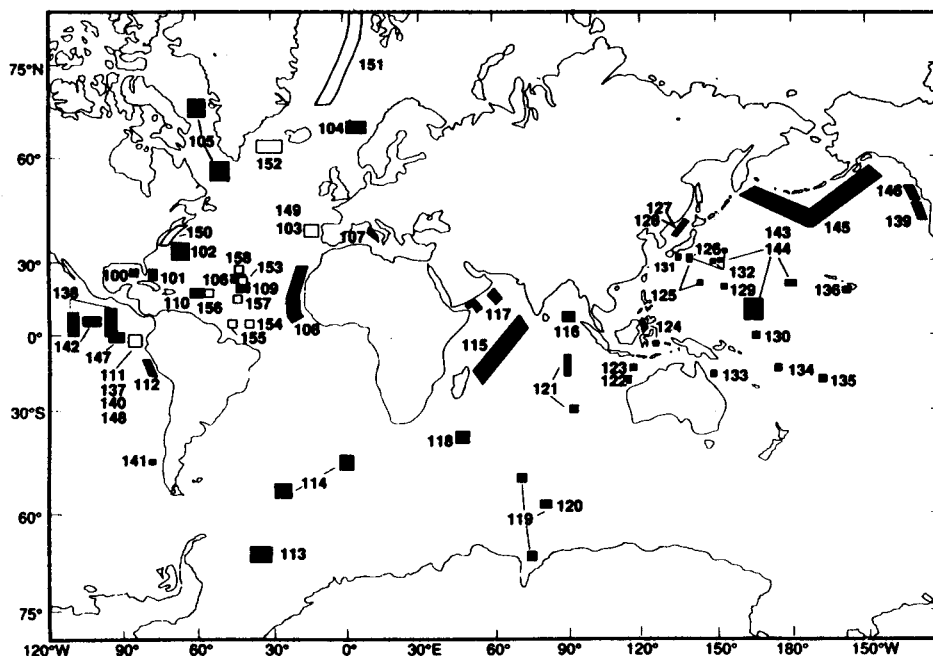


图 2 ODP 100~158 航次(1985~1994 年)钻探海域示意

Fig. 2 Location of ODP Legs 100-158 (1985-1994)

1.2.2 地壳结构和海底构造

ODP 对主动型大陆边缘、被动型大陆边缘、大洋中脊、大洋裂谷和深海洋盆等特定构造单元进行了大量的地质构造学研究。在一大批重要的海洋地壳剖面上采集了大量的钻孔、地球物理和测井资料,这些地壳结构剖面概括了 110Ma 的老海洋地壳、“零岁”的新地壳、海陆过渡地壳和下地壳辉长岩。

1.2.2.1 被动型大陆边缘

被动型大陆边缘地区的钻探(101、103、104、107、108、117、119、122、123 和 150 航次)已获得许多重要成果。例如:123 航次^[12]钻探证明印度洋比以前的研究结果要年轻 20Ma,印度洋扩张期变晚对南半球板块构造模式和古特提斯海的消亡有一系列重要的影响;加利西亚(Galicia)大陆边缘地区的 103 航次结果表明该区的同步张裂起码可上溯到 130Ma 之前;而挪威被动型大陆边缘向海倾斜的强反射层是一套火山熔岩(104 航次),该套火山熔岩顺陆壳张裂带喷出,标志着海底扩张之前的最后一次张裂活动^[10]。

1.2.2.2 主动型大陆边缘

“决心”号在主动型大陆边缘海区完成了多次钻探。其中,127^[20]和 128 航次^[13]在日本海大和(Yamato)海盆钻探证实,东南日本海形成于早中新世(19Ma),由陆壳弧裂离而成;110 航次^[15]在巴巴多斯(Barbados)海岭通过增生混杂岩体,钻遇俯冲板块的沉积层,首次成功地穿透了滑脱构造带,从而发现了巴巴多斯增生楔状体用以排水的循环体系;西南太平洋劳海盆(Lau Basin)的钻探(135 航次)获得了弧后张裂已非常完善的证据,而并非如前人的结论那样,现阶段只是脆性拓张,离海底扩张还相差甚远;劳海盆远比预想的老(>56Ma 而非 2.5~3.0Ma),在距今 1~2Ma,海底扩张已经在弧后地区出现;135 航次采集到的火山熔岩包括玄武岩、玄武质安山岩和安山岩,具有岛弧型和大洋中脊型双重亲和性,其同位素特征揭示出其复杂的非均质的地幔源;在北太平洋底特律(Detroit)海山(145 航次)获得了相当于布容和松山(Brunhes/Matsuyama)分界线、加拉米洛(Jaramillo)、奥杜威(Olduvai)、留尼恩(Reunion)事件和松山与高斯(Gauss)分界线的地磁转向记录;马里亚纳(Mariana)海区的 125^[11]和 126^[21]航次在残留的弧前地体上首次发现了上新世或更年轻的岩浆活动的证据;112 航次^[18]揭示了秘鲁大陆边缘地区从壳下剥蚀、沉降到增生、隆起的戏剧性变化,其成因归结于纳子卡(Nazca)海岭的俯冲和板块汇聚带的变化。

1.2.2.3 大洋中脊

随着深海钻探作业的进展,ODP 逐渐积累了一大批用来探讨快速扩张大洋中脊区岩浆形成过程和地壳结构的关键资料。141 航次在智利三接点地区钻探,获得了用来研究洋中脊扩张中心俯冲的宝贵资料^[6],岩芯资料表明洋中脊俯冲之前发生了弧前隆起,并显示了非常复杂的沉积模式;胡安德富卡(Juan de Fuca)海岭区钻探作业使科学家了解了洋壳是怎样变化的;142 航次^[5]在东太平洋中脊钻探,从 846A 孔和 846B 孔获得了 0~13.3mbsf 的玻璃质到细粒的隐晶玄武岩,这些玄武岩包含与正常洋脊玄武岩(MORB)有关的两类特殊的化学组份,这两类化学组份似乎来自同一母岩熔融体,但经历的结晶分馏过程不同。他们的磁性、矿物学特征和内部结构都属于典型的正常大洋中脊玄武岩(N~MORB),其地震波速分别为 4.1~5.1 km/s(湿)和 3.0~4.1km/s(干)。

1.2.2.4 深海洋盆

通过钻探和孔内实验,ODP 对大洋地壳特征进行了专门探讨。121 航次^[16]取得了印度洋东经 90°海岭的基岩样品,支持了该海岭产生于印度板块的克尔格伦(Kerguelen)至 90°海岭热点残留体的观点。同样,由海底火山岩组成的留尼恩(Reunion)、查格斯(Chagos)、马尔代夫(Maldives)、拉克代夫(Laccadive)海岭也被证实为印度板块的热点残留体,其火山岩的年龄向北逐渐增大。147 航次在霍斯(Hess)海盆裂谷内钻取了太平洋第三层辉长岩的连续样品,并首次获得了太平洋地幔最上层的橄榄岩。

1.2.3 海底热液循环

随着钻探调查的深入,关于发生在扩张中心的海底热液系统的资料日益增多,这些资料揭示了海底热液系统的轮廓、层位及化学与地球动力学特征。在巴巴多斯(Barbados)增生楔状体的钻探发现了两类液体循环体系;139 航次^[9]查明了不活动的液体分散体系,并确定了前缘冲断层之上的对

流系统;146 航次在 Cascadia 边缘海盆斜坡钻探,在靠近沉积基底的高孔隙带内发现了液体通道,可与更下层的液体混合或扩散;131 航次^[19]在日本南海海槽增生体中发现了一个从增生沉积物、滑脱构造、俯冲沉积物到大洋地壳的完整液体循环系统,其中,高浓度的液体大面积流经增生体。

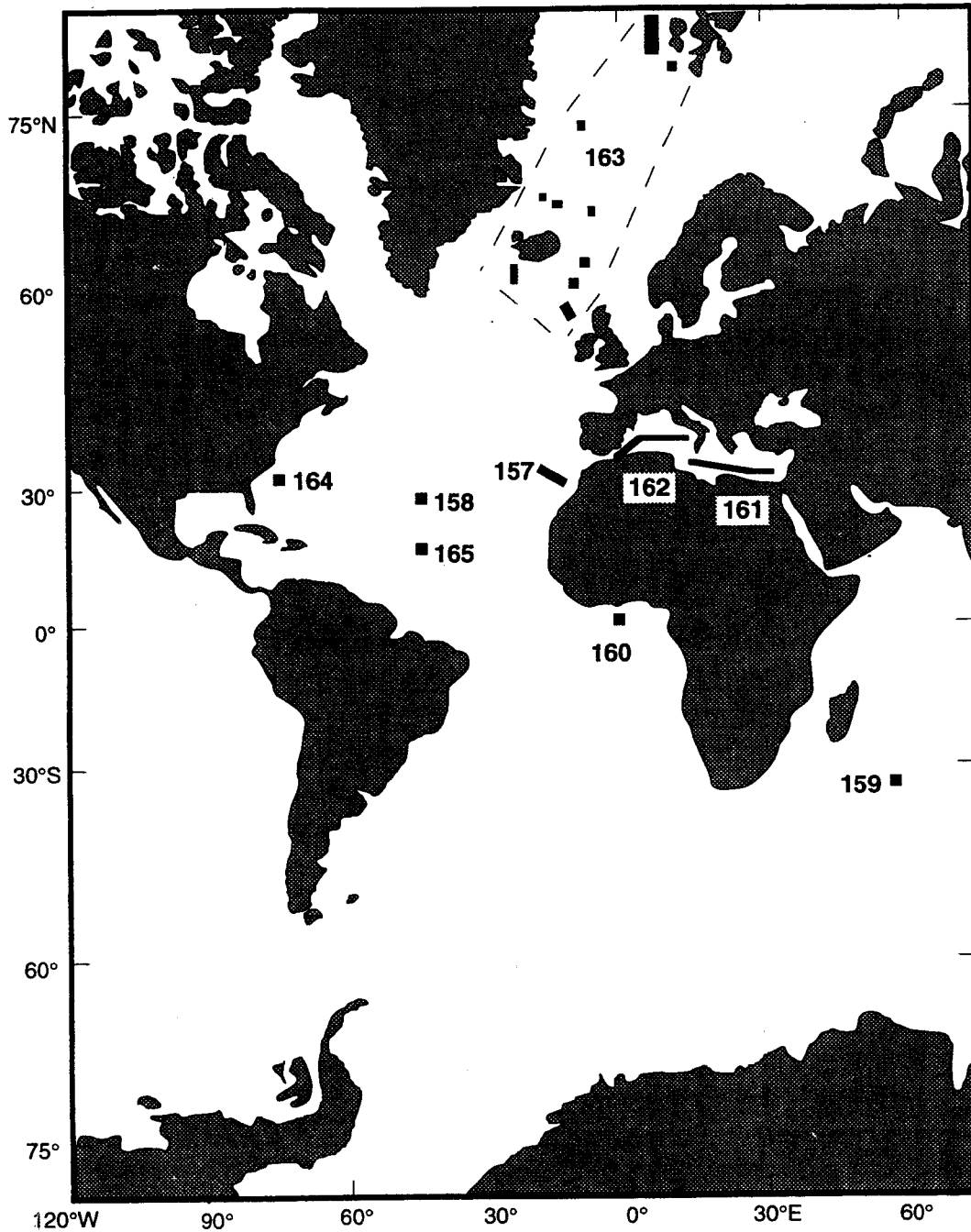


图3 ODP 157-165 航次(1995 年)作业海区示意图

Fig. 3 Location of ODP Legs 157-165(1995)

1.3 ODP 的未来钻探计划

ODP 的最初钻探目标是 1981 年在美国的奥斯汀(Austin)召开的海洋科学钻探讨论会上确定的^[7]。这些目标包括:大气层、冰冻层和地磁场的长周期变化,海洋沉积层的产生和发展,海洋地壳的起源和演化。迄今,围绕这些目标,ODP 已取得了许多有重要科学意义的研究成果。

1987 年 7 月在法国斯特拉斯堡(Strasbourg)召开了第二届海洋钻探国际会议^[8],会上确定了新的研究目标,可归结为:全球环境变化、壳幔相互作用、地壳热液循环和地球化学测算、岩石圈的应力场、形变及演化过程。此外,也确定了为适应这些目标而实施的新钻探计划,包括:完成海底之下深达 5 000m 钻孔,增生楔状体的钻探,用来研究热液活动的沉积海岭和楔状体的钻探,用来研究板块运动的热点残留体和古老海洋地壳的钻探。同时,作业技术也需改进,包括:火成岩地壳的钻探技术,不稳定松散沉积层的钻探技术,300℃以上的腐蚀性热液的取样技术,地壳破碎带的取样技术和无扰动磁定向取样技术(图 3)。

1994 年 2 月,在日本京都召开了“21 世纪大洋钻探”讨论会。会上认为 ODP 1993 年底以前的工作(100-151 航次)为第一阶段,第二阶段为 1994~1998 年(图 3),第三阶段为 1999~2003 年,第四阶段为 2004~2008 年。总的目标是争取下世纪初打穿地壳,完成“莫霍(Moho)钻”。京都会议提出了 21 世纪大洋钻探的学术目标是:(1)依靠不同海区、不同沉积速率和不同条件下获取的无扰动长岩芯,准确再造地球的古环境。(2)通过打穿大洋地壳,探查上地幔,取得不同海区不同深度的岩石样品,并通过钻孔探测地球深部结构,建立全球性构造理论。(3)弄清板块俯冲动力学机制,增强自然灾害的预测能力。为实现这些目标,日本准备建造的新世纪大洋钻探船拟采用“立管钻井系统”(Riser Drilling System),从而可改进目前的钻探技术,使之能钻探油气层,增大钻探深度,提高取芯率。

2 ODP 与中国固体地球科学

2.1 中国海洋地质研究的回顾

我国的海洋地质学研究始于 50 年代末。1958 年 9 月至 1959 年 2 月,由国家科委海洋组统一部署的近海综合调查拉开了我国海洋地质调查的序幕。1959 年 3~5 月在渤海进行的航空磁测翻开了我国海洋地球物理调查的历史画卷。1967 年 6 月 14 日在渤海打出的第一口日产原油 35.2t 的油井宣告我国海洋油气开发的开端。自此以后,我国海洋地质学研究蓬勃发展。海洋地质地球物理调查遍及渤、黄、东、南四海并远涉中太平洋和南大洋,基本实现了“查清中国海、进军三大洋、登上南极洲”的宏伟目标。

2.1.1 海洋调查

1980~1986 年间,我们完成了全国 18 000km 多海岸带和 5 000 多个岛屿的综合地质调查。到目前为止,在 $4.73 \times 10^6 \text{km}^2$ 的辽阔海域,完成海洋反射地震测线约 700 000km;重力测量 200 000km;地磁测量 300 000km。底质取样几乎遍及全区。此外,我国已先后组织 10 次南大洋和十几个航次的太平洋多金属结核调查。

2.1.2 研究成果

通过 30 多年来的调查研究,查明了我国海域的地壳结构与区域构造特征,划分了构造单元,建立了地层层序,在构造地质学、古海洋学、比较沉积学、第四纪地质学、海洋工程地质学以及主要河口三角洲沉积模式的研究等方面都取得了长足的进展。完成了 $1:300 \times 10^4$ 中国海及邻域地质

图;1:500×10⁴ 中国海域地质——地球物理系列图;1:200×10⁴ 南海地质地球物理图集;1:100×10⁴ 中国东部海域重磁图等重大地质地球物理图件^[1],发表了大量研究论文和学术专著。

2.1.3 矿产资源

我国陆架海域辽阔,面积达 $2\times 10^6\text{km}^2$,其中发育了大中型新生代盆地16个,沉积盆地面积约 $9\times 10^5\text{km}^2$ 。据有关资料估算,拥有资源量约 $150\times 10^8\sim 200\times 10^8\text{t}$,天然气资源量约 62640133109m^3 。经过30a的努力,我国已发现了渤海、南黄海、东海、台湾西南浅滩、珠江口、北部湾和莺歌海等7个大型含油气盆地和60多个含油气构造。现已勘探证实具有工业价值的油气田38个,已评价证实的油气田30个。1991年,我国海洋石油产量为 $2\times 10^6\text{t}$,1992年为 $3\times 10^6\text{t}$,1994年可达 $6\times 10^6\text{t}$,1995年将突破 $1\times 10^7\text{t}$,这是一串值得大书特书的辉煌数字。此外,我国已探明具有工业储量的滨海砂矿13种,主要矿产地近百处,各类矿点208个,重要矿点106个。据统计,近年来各类砂矿产量大约为:钛铁矿100 000t、锆石8 700t、独居石1 200t、金红石600t、石英砂 $1.2\times 10^6\text{t}$ ^[2]。自1978年以来,我国已完成了十几个航次的大洋多金属结核调查,概查面积约 $2\times 10^6\text{km}^2$,圈出了 $300\ 000\text{km}^2$ 的具有商业开采价值的采矿作业申请区。1991年3月,联合国海洋总务委员会已正式批准我国的矿区申请,成为继法国、印度、日本、俄罗斯之后的第5个先驱投资开采国际海底矿藏的国家。

2.2 ODP 对中国的意义

我国的海洋地质学研究走过了30多年的探索之路。但由于茫茫海水的覆盖,对发生在海底及地下的自然过程认识程度还比较低。在新的“海洋世纪”中,我国的海洋地质事业必须从总体上上一个新台阶,而深海钻探将是一条重要途径。一旦深海钻探在中国海域成为现实,一大批长期争议的学术问题将会迎刃而解,而且从学术思想、研究内容和技术方法上使我国海洋地质事业达到一个新的水平。因此,中国海域钻探“零”的突破对我国地质学研究将具有划时代的意义。此外,ODP的深钻资料对于我国海洋国土划界能提供国际上认可的,最权威的科学依据。钻井中的精细地球位场测量(地磁场、重力场、地电场、地热场)和垂向连续的物理化学参数(如:温度、压力、密度、孔隙度、渗透率、粘滞性、塑性变形、元素丰度、矿物相变等)对于我国海洋国防和海工建设具有重要意义。钻井中的精细地壳结构和精细测年资料对于海洋找油找矿具有重要的指导意义。

2.3 中国固体地球科学需要 ODP

1968~1983年间,深海钻探计划(DSDP)完成了96个航次。1985~1995年,ODP已完成66个航次(图2、3)。但中国海域迄今仍然是深海钻探的空白区。因此,ODP的钻探资料对中国固体地球科学的发展尤为重要。

2.3.1 深海测井资料

在中国海域,深海取样主要靠重力活塞取样器完成,取样长度最多不过10m左右,而且主要是松软沉积物。因此对海底之下的一切地球物理、化学参数基本上是为人为假定,或根据陆地或陆架浅海区的钻孔资料推算,这就使得用作分析研究的地球物理和地球化学基础资料本身就具有很大的不可靠性。例如:海洋地震测量中的波阻抗、重力测量中的岩石密度、地磁测量中磁化率、电法测量中的电阻率、地热测量中的热导率等,恰恰是这些至关重要的参数无法实测得到。ODP测井资料提供了一系列地下的物理化学参数。其测井方式主要有三种,(1)电缆测井,包括:电阻率、声波速度、自然伽玛、孔隙度、密度、磁场强度和方向、地温梯度等测量。(2)地球化学测井和地层测试,能获得地下压力、温度、地应力、渗透率、粘滞性、流体压力和方向以及地下液体的性质和状态等参数。(3)井下仪器观测,把一些特定仪器置于井下,有时长达1a,可长期连续记录微地震的发生,地下温度压力变化、地下流体的流动、地下应力场的变化、地下热水作用等。这些地下的地质地球物理基本参数对提高我国基础地质地球物理资料的精度至关重要,同时,这些基本参数对于国防设施的研制和

使用也具有非常重要的意义。

2.3.2 精细上地壳结构和构造环境

由于海水的覆盖,我们对于海底及其以下发生的地质过程了解甚少。通过海底取样,我们能够概略地知道海底底质分布,但对于地下深处的沉积物和岩石特征,对于沉积层结构和地壳结构,只能根据地球物理资料,特别是反射地震资料解释推断,但任何地球物理资料都具有多解性,况且地球物理资料由于基本参数的选取和仪器测量误差等因素的影响,本身也存在着一定的不可靠性。所以,目前这种对地壳结构的解释将来也可能被证实,也可能被证伪。ODP的钻探资料将揭示上地壳的精细结构,对于一些长期争议的学术观点将给出权威性的评判。同时,上地壳精细结构对于人们探讨、分析地质历史上的重大事件,揭示自然界的规律,弄清发生在海底之下的地质过程都具有重要的科学意义。对于海底油气资源勘探,对于寻找海底矿产具有指导意义。

中国位于欧亚大陆东南边缘,位于欧亚、太平洋、印度三大板块的交汇部位,因此,大地构造位置非常独特。三大板块的相互作用,形成了独特的构造形迹。中国东部由于太平洋板块的俯冲,形成了壮观的活动大陆边缘,地震、火山、热泉、构造活动强烈。沟弧盆体系的形成和发展,产生了NNE向的主要构造形迹。中国南部由于印度板块北移碰撞,形成了以喜马拉雅山脉为代表的年轻的EW向造山带。中国西北部大陆与欧亚大陆连为一体。这种复杂的构造形迹暗示着复杂的古构造环境和构造活动历史,也表示着复杂的地壳变动和地壳应力场特征。迄今为止,对三大板块相互运动的动力学机制认识还很肤浅,对构造变动和构造形迹的研究还停留在“将今比古”的水平上。通过深钻资料,将有可能精确地认识一些古构造事件,再现古构造环境,从而揭示构造演化规律,使中国构造地质学研究迈上一个新台阶。

2.3.3 全球变化信息

青藏高原的隆升,喜马拉雅山脉的形成是新生代影响全球变化的重大地质事件,改变了整个中国的构造环境和气候条件,对整个生态系统和自然界带来了重大影响。这些古气候、古环境、古地理、古湖泊和古生态信息被黄河、长江、红河、恒河等大江大河带入海洋,最终记录在海洋沉积物中,并与记录海洋环境变化的古海洋信息交织在一起。因此,ODP的深海钻探资料将揭示这些全球变化信息,提供全球变化研究的权威性依据。通过ODP的深钻资料,认识一些重大地质事件的发生、发展和终结过程,探讨中国大陆的环境变化和整个东亚大陆的沧桑演变,得出一批关于中国,甚至整个东亚大陆的古气候、古环境、古地理、古生态的高水平研究成果。

2.3.4 南中国海复杂构造区

南中国海是西北太平洋边缘海体系中最大的边缘海盆之一(图4),直接靠近欧亚、印度和太平洋板块的三接点,受三大板块的相互作用,构造格局非常复杂,从而成为全球构造学研究的热点地区,也有可能成为全球构造学理论的突破口。南海东缘的吕宋岛弧两侧发育了对冲的双消减带;马尼拉海沟位于反向弧后;古地磁条带证实的扩张方向与现今海沟俯冲带基本垂直;中央海盆的南北两陆坡构造性质迥然不同,等等,这些重大构造地质学问题使得长期以来南中国海海盆的形成演化成为构造地质学研究的重点科学目标。通过ODP钻探,通过南中国海这个特定海域,有可能解决一些重大地学理论问题。譬如:南中国海中央海盆的成因和形成时代;扩张方向的改变及拉张机制;地壳应力场及演化模式;中洋海盆的地壳结构及地层性质;北部陆缘磁静区的成因、岩性及构造特征;沉积层中东亚季风的记录;青藏高原的隆升与南中国海形成的关系;东亚大陆的古环境变化与南中国海的古海洋学问题,等等。这些重大问题的解决,必将大大促进中国固体地球科学的发展。

2.3.5 冲绳海槽活动裂谷

东海东南边缘的冲绳海槽以其独特的大地构造位置和强烈的现代地壳活动特征吸引中外学者

在该区进行了大量地质地球物理学调查研究。现已查明海槽内岩浆活动强烈,地震活动频繁、热水喷发明显,张裂地堑发育,地壳厚度减薄、活动断层存在^[3](图 5),同时,也查明冲绳海槽具有极高

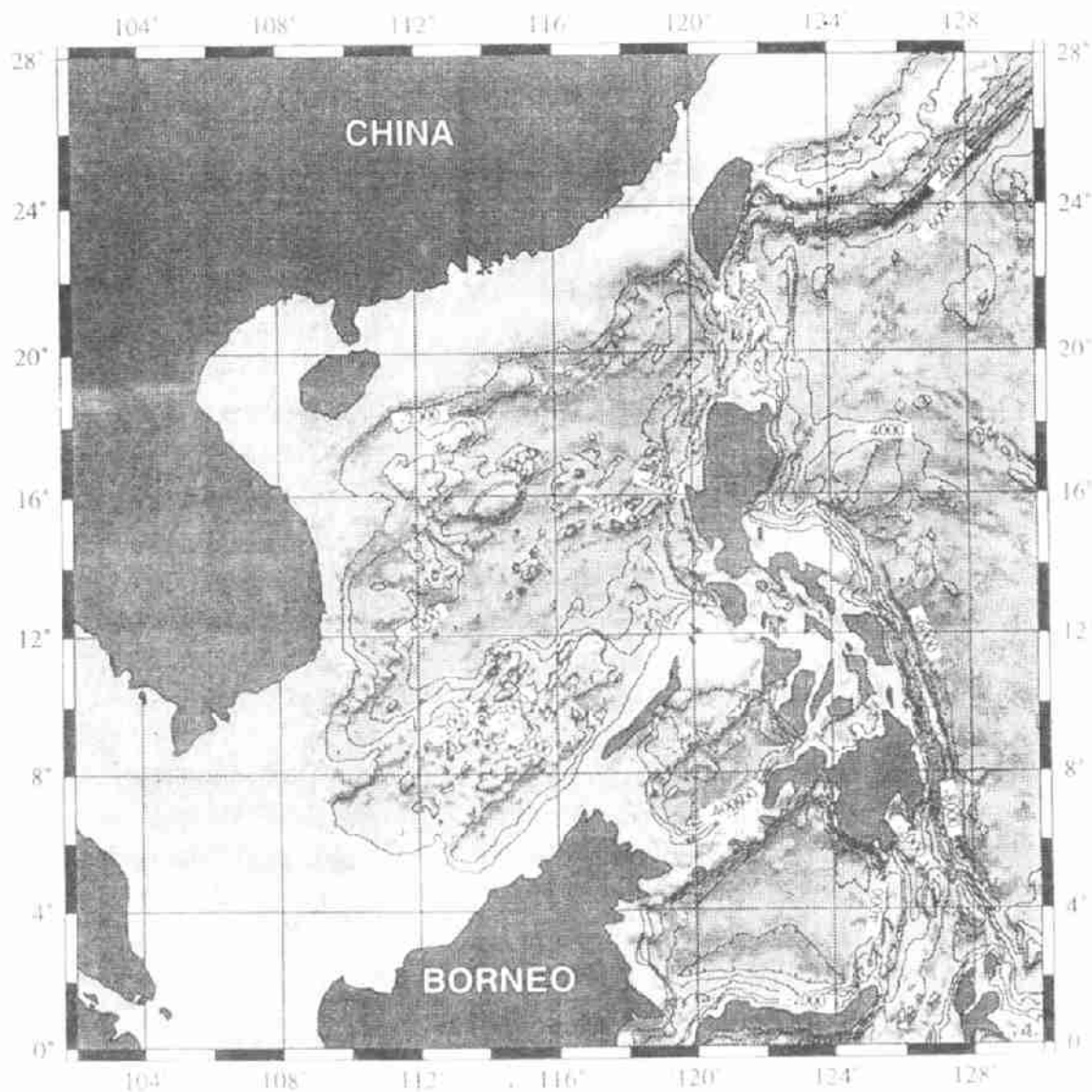


图 4 南中国海示意

Fig. 4 Location of the South China Sea

的热流值^[4],很高的重力场和特殊的大地电场,而且海槽区发育了一套厚达数千米的沉积物,记录了众多的古气候古环境演变信息。因此,冲绳海槽已经成为一个国际上研究的“热点”地区。通过冲绳海槽这个地壳强烈活动的窗口,有可能查明俯冲汇聚带的热能传递、洋陆壳相互作用和物质交换;弄清俯冲板块对弧后地区的影响及洋陆壳结构变异;揭示边缘海盆的张裂和扩张过程以及洋陆壳过渡带岩石圈的构造演化规律;了解弧后高热场与局部地幔熔融、弧后岩浆活动以及弧后热液循环的关系;探讨俯冲汇聚型大陆边缘的地球动力学机制;阐述边缘海的沉积演化历史及邻近大陆与

大洋的古环境、古气候演化历史。因此,对冲绳海槽进行钻探调查将有可能带来全球地学理论研究的重大突破。根据迄今为止国内外学者对冲绳海槽的认识,海槽地区钻探的主要学术目标是:弧后岩石圈形变与俯冲板块的影响;弧后地壳流体循环和岩浆活动;洋陆壳相互作用和弧后裂谷的形成演化;环境变化和沉积作用。

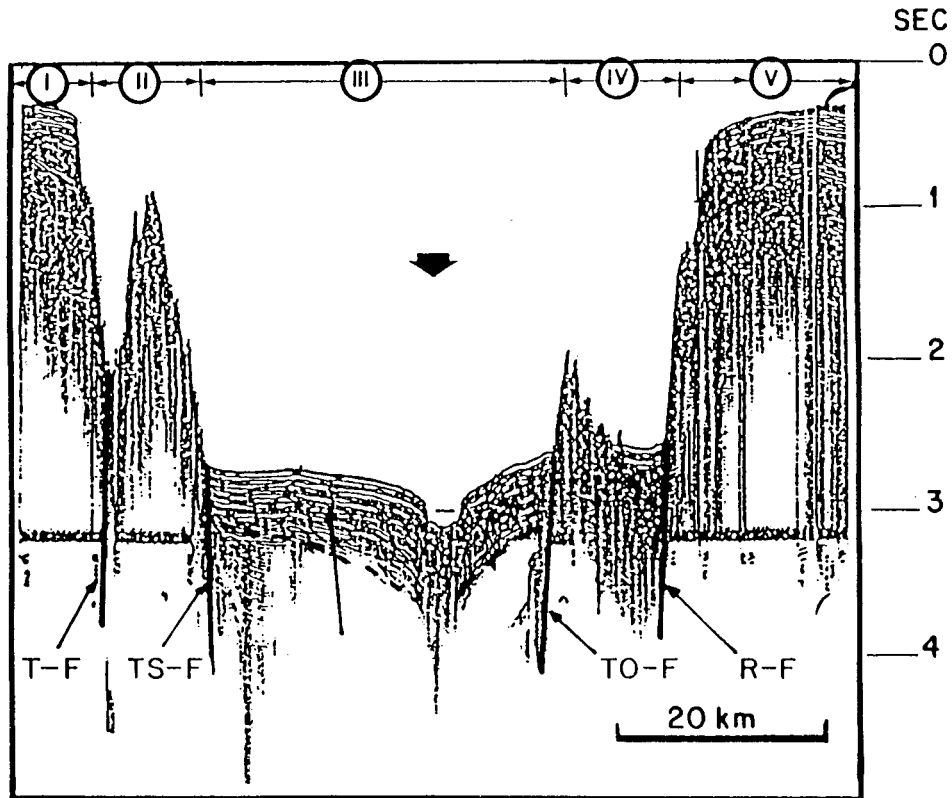


图 5 横穿冲绳海槽的地震剖面(据 Kimura,1985)

Fig. 5 A Seismic Profile across the Middle Okinawa Trough (by Kimura, 1985)

主要参考文献

- [1] 何起祥、莫 杰,1993. 中国海洋科学研究与开发. 青岛出版社,343~348.
- [2] 莫 杰,1991. 海洋科学 6:20~24.
- [3] 李乃胜,1990. 海洋与湖沼 21(6):536~543.
- [4] 李乃胜,1992. 海洋学报 14(4):87~93.
- [5] Batiza, R., J. F. Allan, D. M. Anderson *et al.*, 1993. *Proc. ODP, Init. Rpts* 142:272.
- [6] Behrmann, J. H., S. D. Lewis, R. J. Musgrave *et al.*, *Proc. ODP, Init. Rpts* 141:708.
- [7] COSOD, 1981. Report of the Conference on Scientific Ocean Drilling, Joint Oceanographic Institutions, Inc., Washington, 112.
- [8] COSOD II, 1987. Report of the Second Conference of Scientific Ocean Drilling, Joint Oceanographic Institutions, Inc., Washington, 142.
- [9] Davis, E. E., J. J. Mottl, A. T. Fisher *et al.*, 1992. *Proc. ODP, Init. Rpts* 139:1 026.
- [10] Eldholm, O., J. Thiede, E. Taylor, K. *et al.*, 1987. *Proc. ODP, Init. Rpts* 104:783.

- [11] Fryer, P. , J. Pearce, L. Stokking, *et al.* , 1990. *Proc. ODP, Init. Rpts* 125: 1 092.
- [12] Gradstein, F. , J. Ludden, A. C. Adamson, P. *et al.* , 1990. *Proc. ODP, Init. Rpts* 123: 716.
- [13] Ingle, J. C. , Jr. , K. Suyehiro, M. T. *et al.* , 1990. *Proc. ODP, Init. Rpts* 128: 652.
- [14] Li Naisheng, P. Rabinarts and C-W Sun, 1994. *Acta Oceanologica Sinica* **13**(2): 285-296.
- [15] Moore, C. , A. Mascle, E. Taylor *et al.* , 1988. *Proc. ODP, Init. Rpts* 110: 603.
- [16] Peirce, J. , J. Weissel, E. Taylor *et al.* , 1989. *Proc. ODP, Init. Rpts* 121: 1 000.
- [17] Rabinowitz, P. K. , and J. G. Buldauf, 1993. *A Global Warming Forum; Science, Economic and Lega Overview*. CRC Press, Boca Raton FL. 127-159.
- [18] Suess, E. , R. von Huene, K. -C. Emeis *et al.* , 1988. *Proc. ODP, Init. Rpts* 112: 1 015.
- [19] Taira, A. , I. A. Hill, J. V. Firth *et al.* , , 1991. *Proc. ODP, Init. Rpts* 131: 434.
- [20] Tamaki, K. , K. Pisciotto, J. Allan *et al.* , 1990. *Proc. ODP, Init. Rpts* 127: 844.
- [21] Taylor, B. , K. Fujioka, T. Janecek *et al.* , 1990. *Proc. ODP, Init. Rpts* 126: 1 002.

ODP AND CHINESE SOLID EARTH SCIENCES

Li Naisheng

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Received: Mar. 10, 1996

Key Words: Ocean Drilling Program, Earth science, China

Abstract

Over the past 11 a, the Ocean Drilling Program has completed 66 internationally staffed expeditions. JOIDES Resolution, the scientific drill ship of ODP, has travelled in the Pacific, Atlantic and Indian Ocean. Significant results of ODP drilling during this time have been obtained by investigating the tectonic evolution of passive and active continental margins, origin and evolution of oceanic crust, origin and evolution of marine sedimentary sequences, and cause of long-term changes in Earth's atmosphere, oceans, cryosphere, biosphere and magnetic field. China has divided to be a member country since 1996. The first drilling hole will be coming in the sea area off China. Based on the drilling data of ODP, Chinese solid earth science will make great progress very quickly.