

国际海洋钻探计划(ODP)的回顾与展望

THE OCEAN DRILLING PROGRAM (ODP)

李乃胜¹ Philip D. Rabinowitz² Chuanwen Sun²

(¹中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

(²ODP, Texas A & M University College Station USA)

1 ODP 的发展历史

ODP 是原深海钻探计划(DSDP)的接续项目。

Glomar Challenger 号钻探船 1983 年退役之后,海洋科学家们为了能够在更深的海域作业并获取更深的样品,所以于 1985 年 1 月进行了首次试验性作业(Rabinowitz 等,1985)后,在世界范围内具有重要地质意义的海区每两个月进行一个航次的海洋钻探。

2 ODP 的组织系统

总部设在美国德克萨斯州农工大学(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(Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling)。海洋地球物理学家 Philip D. Rabinowitz 教授一直担任该组织的主任。

ODP 由美国国家科学基金会和其他 19 个成员国资助,每年经费预算约为 4×10^7 美元。在美国有 10 所大学和研究所以为成员单位。ODP 有 3 个样品库,东海岸样品库设在 Lamont-Doherty 地质观测所,存储大西洋钻探的样品;南海岸样品库设在 Texas A & M 大学,存储太平洋和印度洋的岩芯以及特殊的样品(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,存储 DSDP 在太平洋和印度洋钻探的样品。

3 ODP 的钻探船 JOIDES Resolution 号

ODP 的钻探调查船正式注册的名字是: Sedco/BP471,但科研机构更熟悉的名字是 JOIDES Resolution,曾是一艘海洋石油钻探船,长 143m,宽 21m,吃水 7.3m,航速 10~13kn,安装了侧推器,排水量 17 000t,配

有 6.2m 高的钻探塔架(Foss,1985)。该船于 1978 年造于加拿大 Nova Scotia 的 Halifax 港。1984 年 ODP 将该船改装成一个浮动的海洋研究中心。

3.1 实验室系统

船上有 12 个实验室,包括:沉积学、物理参数测量、古地磁、化学和油气、古生物、岩石学、切片、X 光衍射、X 光荧光光谱和井下测量实验室。还配有照相、电测和岩芯冷藏的专门装置以及两台大型计算机和 50 台微机(Rabinowitz, 1990)。

3.2 动力定位系统与钻探取芯作业

动力定位系统使用长基线、短基线和超短基线技术,使船舶稳定在作业站位上(Foss,1985)。该系统包括 12 个伸缩式侧推器和 2 个主推进器,由计算机统一控制。作业过程中,在阵风 60kn,最大波高 8.0m,流速 2.5kn 时,动力定位系统能保持船体在距选定站位很小的距离内(最大为水深的 2%)。船体倾斜 30°时,仍可正常作业。该船还有 400t 的配重补偿装置,保证无扰动岩芯的钻取。海底声纳与电视系统受计算机的定时控制,自始至终保持船体在钻孔位置,当需拔出钻杆或取样时,也是通过这套系统,很顺利地完成。

4 ODP 8 年来的研究成果

ODP 进行 302 个站位 738 个钻孔,总深度达 139,178m,获取样品长度达 85 968m(表 1)。钻孔遍及大西洋、太平洋和印度洋海域,最大工作水深为 5 811m;最大钻孔深度为 2 111m(Alt 等,印刷中);最大取样率达 100%。

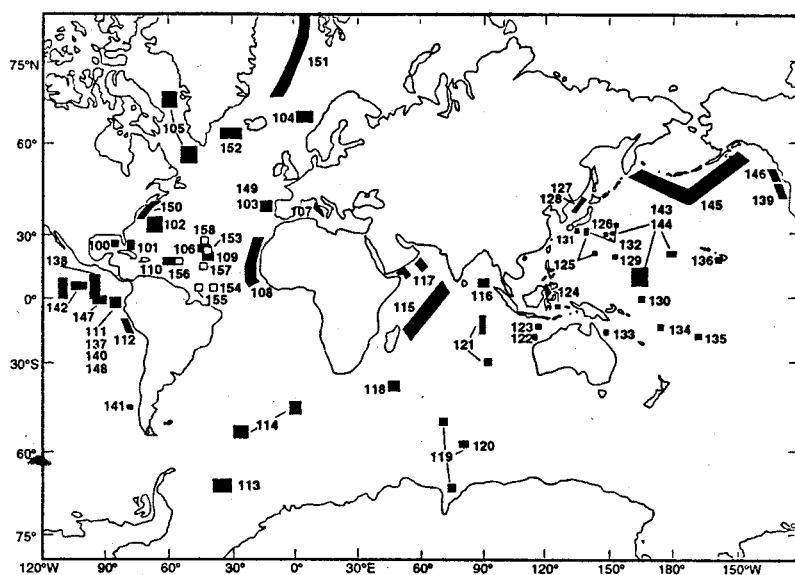


图1 ODP100~151航次钻探站位(1985~1994)

ODP 现已编写一系列正式和非正式的出版物,主要为:(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,每航次结束后一个月内出版;(3)作业技术通报;(4)出版“ODP 钻探报告”,包括两部分,“原始报告”介绍钻探概况、井位情况、取样照片和原始资料,在航次结束后12~15个月内出版。有关专业领域的研究论文,于航次结束后36个月内出版。

ODP 的研究方向和钻探目标是在奥斯汀(Austin)召开的海洋科学钻探讨论会上确定的(COSOD,1981),包括:大气层、海洋、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。到目前为止,取得如下研究成果。

4.1 古环境和古气候

这类调查包括高纬和低纬海区的钻探。南高纬海区有威德尔(Weddell)海、南大西洋的南端海域、克尔格伦(kerguelen)海台、普拉兹(Prydz)湾、和东南极海域;北纬海区有北冰洋、挪威-格陵兰海、巴芬湾(Baffin);低纬海区指太平洋、大西洋和印度洋的上升流区和一些大的海台地区,均获得了许多有意义的科研成果(Rabinowitz等,1993)。

现已证明,气候系统的极地分量和低纬海区大气分量在迄今 3×10^6 a 来就存在大尺度接合;南极海域在 42×10^6 a 前没有大面积的冰盖存在, 65×10^6 a 前南极地区气候温暖,这个时期的海平面变化只能用非冰冻机制来解释;东南极海区的冰盖始于大约 35×10^6 a 前,西南极地区出现在 $5 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6$ a 前;拉波拉多(Labrador)

海的冰盖始于大约 2.5×10^6 a 前;挪威海则始于 2.9×10^6 a 前;巴芬湾始于 3.4×10^6 a;在晚白垩世阿尔必(Albian)阶晚期和土伦(Turonian)阶中期之间,西太平洋海平面相对下降了160m;在阿必阶、马萨诸奇(Maastuyichtian)阶晚期和中始新世,马绍尔群岛海域和日本近海的海底发生了3次碳酸岩坪台下降事件。

4.2 地壳结构和海底构造

ODP 对活动大陆边缘、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。

4.2.1 被动型大陆边缘

第123航次(Gradstein等,1990)

钻探证明印度洋比以前的研究结论要年轻 2×10^6 a,这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。103航次结果表明,加利西亚(Galicia)大陆边缘地区的同步张裂可上溯到 130×10^6 a 之前;而挪威被动型大陆边缘外缘向海倾斜的强反射层为一套火山熔岩(104航次),顺陆壳张裂带喷出,为海底扩张之前的最后一次张裂活动(Eldholm等,1987)。

4.2.2 主动型大陆边缘

127(Tamaki等,1990)和128航次(Ingle等,1990)钻探证实,东南日本海于早中新世(~ 19 Ma)由陆壳弧裂离而成;110航次(Moore等,1988)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,首次穿透了滑脱构造带,发现了巴巴多斯增生楔状体用以排水的水循环体系;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,并非前人的结论那样,现阶段只是脆性扩张,离海底扩张还相差甚远;劳海盆远比预想的老(> 5.6 Ma 而非 $2.5 \sim 3.0$ Ma),在距今 $1 \sim 2$ Ma,海底扩张已经在弧后地区出现;135航次(Parson等,1992)采集到的火山熔岩(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与非均质的地幔源;在比太平洋底特律(Detroit)海山(145次)获得了相当于布容和松山(Brunhesl 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(Rea等,1993);马利亚纳(Mariana)海区的125(Fryer等,1990)和126(Taylor等,1990)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 (Suess 等,1988)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,其成因归结于纳卡 (Nazca)海岭的俯冲和板块汇聚带的变化。

表 1 ODP 钻探一览表

| 航次 | 海区 | 站位数 | 钻孔数 | 采样长度 (m) | 取芯长度 (m) | 取芯率 (%) | 钻孔深度 (m) | 最大水深 (m) | 再入孔 次数 |
|---------|-----------------------|-----|-----|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|
| 100 | Gulf of Mexico | 3 | 4 | 266 | 264 | 100 | 185 | 905 | 1 |
| 101 | Bahamas | 11 | 19 | 2 977 | 1 429 | 49 | 535 | 3 581 | 0 |
| 102 | Western Atlantic | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 505 | 2 |
| 103 | Galicia Bank | 5 | 14 | 1 460 | 593 | 41 | 547 | 5 321 | 0 |
| 104 | Norwegian Sea | 3 | 8 | 2 419 | 1 695 | 70 | 1 229 | 2 780 | 11 |
| 105 | Labrador Sea/Baffin | 3 | 12 | 2 960 | 1 884 | 64 | 1 147 | 3 870 | 3 |
| 106 | Mid-Atlantic Ridge | 2 | 12 | 92 | 12 | 13 | 33 | 3 529 | 18 |
| 107 | Tyrrhenian Sea | 7 | 11 | 3 297 | 1 908 | 48 | 721 | 3 606 | 0 |
| 108 | Northwest Africa | 12 | 27 | 4 244 | 3 843 | 91 | 381 | 4 750 | 0 |
| 109 | Mid-Atlantic Ridge | 3 | 3 | 102 | 12 | 11 | 93 | 4 494 | 27 |
| 110 | Lesser Antilles | 6 | 10 | 2 404 | 1 898 | 79 | 691 | 5 018 | 0 |
| 111 | Panama Basin | 3 | 5 | 641 | 428 | 67 | 1 562 | 3 474 | 21 |
| 112 | Peru Margin | 10 | 20 | 4 710 | 2 666 | 57 | 779 | 5 093 | 0 |
| 113 | Weddell Sea | 9 | 23 | 3 361 | 1 944 | 58 | 647 | 4 665 | 0 |
| 114 | South Atlantic | 7 | 12 | 3 602 | 2 297 | 64 | 672 | 4 637 | 0 |
| 115 | Mascarene Plateau | 12 | 22 | 3 955 | 3 075 | 78 | 353 | 4 440 | 0 |
| 116 | Bengal Fan | 3 | 10 | 2 299 | 991 | 43 | 961 | 4 747 | 0 |
| 117 | Oman Margin | 12 | 25 | 5 847 | 4 367 | 75 | 994 | 4 045 | 0 |
| 118 | SW Indian Ridge | 4 | 20 | 780 | 447 | 57 | 501 | 5 219 | 15 |
| 119 | Prydz Bay | 11 | 22 | 3 652 | 2 102 | 58 | 716 | 4 093 | 2 |
| 120 | S Kerguelen | 5 | 12 | 2 140 | 1 082 | 51 | 935 | 2 041 | 2 |
| 121 | Broken Ridge | 7 | 17 | 2 722 | 1 824 | 67 | 677 | 2 937 | 3 |
| 122 | Exmouth Plateau | 6 | 15 | 3 911 | 2 446 | 63 | 1 037 | 2 710 | 3 |
| 123 | Argo Abyssal Plain | 2 | 5 | 1 793 | 1 080 | 60 | 1 196 | 5 758 | 1 |
| 124 | SE Asia Basins | 5 | 13 | 3 115 | 2 122 | 68 | 1 271 | 4 916 | 1 |
| 124E | Luzon Strait | 7 | 15 | 264 | 156 | 59 | 1 675 | 5 811 | 0 |
| 125 | Bon/Mar | 9 | 15 | 2 917 | 1 019 | 35 | 829 | 4 912 | 1 |
| 126 | Bon/Mar II | 7 | 19 | 4 737 | 2 127 | 45 | 1 682 | 3 269 | 3 |
| 127 | Japan Sea I | 4 | 10 | 2 917 | 1 655 | 57 | 903 | 3 311 | 2 |
| 128 | Japan Sea II | 3 | 9 | 2 044 | 1 548 | 76 | 1 084 | 2 820 | 0 |
| 129 | Old Pacific Crust | 3 | 5 | 1 708 | 469 | 27 | 594 | 5 980 | 4 |
| 130 | Ontong Java Plateau | 5 | 16 | 5 889 | 4 822 | 82 | 1 528 | 3 873 | 5 |
| 131 | Nankai Trough | 1 | 7 | 1 463 | 735 | 50 | 1 327 | 4 696 | 6 |
| 132 | West/Central Pacific | 3 | 11 | 205 | 165 | 81 | 325 | 4 682 | 28 |
| 133 | N/E Australia | 16 | 36 | 7 973 | 5 505 | 69 | 1 011 | 1 650 | 0 |
| 134 | Vanuatu | 7 | 16 | 4 831 | 2 044 | 42 | 1 107 | 3 101 | 0 |
| 135 | Lau Basin | 8 | 18 | 3 356 | 1 249 | 37 | 834 | 4 814 | 3 |
| 136 | OSN-1 | 2 | 6 | 129 | 66 | 49 | 764 | 4 441 | 5 |
| 137 | Hole 504B | 1 | 1 | 49 | 9 | 18 | 1 622 | 3 475 | 16 |
| 138 | Eastern Pacific | 11 | 42 | 5 542 | 5 537 | 100 | 394 | 3 873 | 0 |
| 139 | Juan de Fuca Ridge | 4 | 22 | 2 656 | 933 | 35 | 936 | 2 | 13 |
| 140 | 504B | 1 | 1 | 379 | 48 | 13 | 2 000 | 3 474 | 21 |
| 141 | Chili Triple Junction | 5 | 13 | 2 515 | 1 019 | 41 | 743 | 2 760 | 1 |
| 142 | East Pacific Rise | 1 | 3 | 2 | 1 | 25 | 15 | 2 583 | 35 |
| 143 | Atolls/Guyots 1 | 6 | 12 | 3 995 | 1 076 | 27 | 1 744 | 4 838 | 3 |
| 144 | Western Pacific | 11 | 21 | 3 205 | 1 088 | 40 | 910 | 5 685 | 4 |
| 145 | North Pacific Trans | 7 | 25 | 5 015 | 4 322 | 86 | 930 | 5 726 | 1 |
| 146 | Cascadia | 7 | 20 | 2266 | 1190 | 53 | 600 | 2 675 | 11 |
| 147 | Hess Deep | 2 | 13 | 487 | 123 | 25 | 559 | 3 873 | 21 |
| 148 | Hole 504B | 2 | 2 | 385 | 81 | 21 | 2 111 | 3 474 | 18 |
| 149 | Iberian Abyssal Plain | 5 | 10 | 2 640 | 1 532 | 58 | 838 | 5 331 | 2 |
| 150 | NJ Contl. Slope/Rise | 5 | 11 | 4 602 | 4 035 | 88 | 1 150 | 2 709 | 2 |
| 151 | Atl. Arct. Gateways | 7 | 18 | 4 211 | 3 005 | 71 | 1 062 | 3 330 | 0 |
| ToTALS; | | 302 | 738 | 139 178 | 85 968 | | | | |

4.2.3 大洋中脊 141 航次在智利三接点地区获得的资料表明,洋中脊俯冲之前发生了弧前隆起,并显示了复杂的沉积模式(Behymann 等,1992);胡安德富卡 (Juan de Fuca)海岭区钻探使科学家了解到洋壳是怎样形成的,在沉积覆盖的洋脊中央裂谷早期张裂过程中又是怎样变化的;在东太平洋中脊 142 航次(Batiza 等,1993)

钻探,获得了 0~13.3mbsf 的玻璃质到细粒的隐晶玄武岩,包含与正常洋脊玄武岩(MORB)有关的两类特殊的化学组份,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 4.1~5.1km/s(湿)和 3.0~4.1km/s(干)。

4.2.4 深海洋盆 印度洋东径 90°海岭 121 航次 (Peirce 等, 1989) 取得的基岩样品支持了该海岭产生于印度板块的克尔格伦 (Rerguelen) — 90°海岭热点残留体的观点。同样, 由海底火山岩组成的留尼汪 (Reunion)-查格斯 (Chagos)-马尔代夫 (Maldive)-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 (Gillis 等, 刊印中) 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, 首次获得了太平洋地幔最上层的橄榄岩。

4.3 海底热液循环

随着钻探调查的深入, 日益增多的关于发生在扩张

中心的海底热液系统的资料, 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 (Davis 等, 1992) 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 (Carson 等, 刊印中) 在卡斯卡迪亚 (Cascadia) 边缘海盆斜坡, 靠近沉积基底的高孔隙带内发现了液体通道, 可与更下层液体混合或扩散; 131 航次 (Taira 等, 1991) 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径增生体。

表 2 1994 年度航次一览表

| 航次 | 站位 | 起始日期 (年. 月. 日) | 挂港 | 结束日期 (年. 月. 日) | 挂港 | 首席科学家 |
|-----|-----------------|-------------------|----------|-------------------|----------|------------------------------|
| 153 | MARK | 1993. 11. 29 | Lisbon | 1994. 1. 24 | Barbados | J. A. Karson M. Cannat |
| 154 | Ceara Rise | 1994. 1. 29 | Barbados | 1994. 3. 26 | Recife | W. B. Curry N. J. Shackleton |
| 155 | Amazon Fan | 1994. 3. 31 | Recife | 1994. 5. 26 | Barbados | R. D. Flood TBN |
| 156 | North Barbados | 1994. 5. 31 | Barbados | 1994. 7. 26 | Barbados | T. Shipley Y. Ogawa |
| 157 | DCS Engineering | 1994. 7. 31 | Barbados | 1994. 9. 25 | Barbados | TBN |
| 158 | TAG | 1994. 9. 30 | Barbados | 1994. 11. 25 | Lisbon | TBN |
| | Dry Dock | 1994. 11. 25 | Lisbon | 1994. 12. 9 | | |

5 ODP 的近期钻探计划

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 (COSOD II, 1987)。会上确定了新的研究目标: 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。还确定了新的钻探计划, 包括: 完成海底以下 5 000m 钻孔、增生楔状体的钻探、研究热液活动的沉积海岭和楔状体的钻探、研究板块运动的热点残留体和古老海洋地壳的钻探。同时, 改进作业技术, 包括: 火成岩地壳和不稳定松散沉积层的钻探技术, 300℃ 以上的腐蚀性热液和地壳破碎带的取样技术以及无扰动磁定向取样技术。

1994 财政年度内 153~158 航次的钻探计划已经确定 (图 2、表 2)。

5.1 153 航次 (Mark)

预定在大西洋中脊的马克 (Mark) 地区进行两个站位的钻探, 计划穿透南北走向的辉长岩块体和残留地幔直至钻到下地壳和上地幔。站位均布设在洋中脊裂谷的西坡, 橄榄岩为这个非转换断层区残留地幔的露头。研

究目标是探讨该区构造、岩性特征, 热液活动和地球物理问题。

5.2 154 航次 (Ceala Rise)

预定在塞拉 (Ceala) 隆起的东翼 2 800~4 500m 水深处做一条由 8 个站位组成的剖面。该剖面将回答一系列古海洋学问题, 如: 1) 新生代大西洋底层流的发展历史, 以及底层流的化学特征与气候变化的关系; 2) 赤道大西洋新生代碳酸盐的生成和溶解, 底层流和气候变化对碳酸盐生成与溶解的影响; 3) 新生代表层流和气候的变化历史, 以及营养枯竭的表层水中的 $\delta^{13}C$ 和海洋 $\delta^{13}C$ 的变化。

5.3 155 航次 (Amazon Fan)

155 航次将穿透亚马逊冲积扇的几个声学地层, 以确定其岩性、岩相和年龄。细心谨慎地取样可获得高质量的浮游生物记录。取自古天然堤坎峰顶的钻探岩芯能提供不受斜坡下降流干扰的真正高沉积速率记录。对赤道大西洋西岸冲积扇结构和生长模式、陆地气候和古水流模式的综合分析能够揭示赤道地区在冰期-间冰期或其他气候循环中的变化, 查明区域构造对冲积扇沉积的影响, 譬如: 安弟 (Adean) 隆起的影响, 也可探讨局部构造的相互作用, 例如, 由于冲积扇发育, 大陆边缘弯曲而产生的沉积效应。

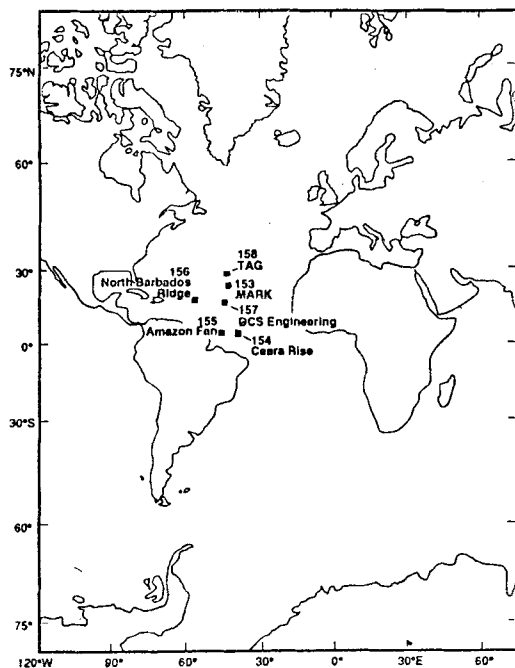


图2 ODP153~158航次计划站位

5.4 156航次(North Barbados Ridge)

沿着预测的地下液体流动方向布设一系列安放仪器的钻孔,将穿透滑脱构造带,跨越北巴巴多斯(Barbados)海岭的形变前缘。目的是研究深源液体的动力学、构造特征、地球化学特征及其相互关系。仪器监测地下液体的压力、温度和电阻率的长期变化,日后用深潜器重新开启井口,进行地下液体采样和渗透性测定。探讨地下液体流动情况。

5.5 157航次(工程试验)

157航次,主要是试验第二个配重体,同时对一些硬件设备进行测试评价,特别是对新的收缩式金刚石钻头进行测试。

5.6 158航次(TAG海山)

在慢速扩张的洋中脊调查热液活动,地球化学通量与蚀变、矿物学特征及活动热液体系的地下特征。TAG活动海山是一个大的、成熟的、含多种矿物的堆积体,其喷发热液的温度范围大,并具有特殊的化学性质。深入了解活动热液体系的液体流动、结构和活动区域,陆地上正在开采的同类堆积体进行比较研究。

6 ODP对中国的意义

中国是一个海洋大国,海洋科学的发展对其国民经济和国防建设都具有重要意义。迄今在中国海区尚无ODP钻孔,遗留了一大堆争议的问题有待于海洋钻探结

果来最终解决。此外,对于争议地区的领海划界,ODP的研究结果也是最具有权威性的科学依据。例如,东海东部的冲绳海槽是一个现代弧后盆地,具有一系列活动裂谷的地质地球物理特征,但是冲绳海槽是怎样形成的?地壳性质怎样?裂谷的基底是什么?张裂中心是否发育了海洋地壳?所有这些问题都有待于ODP的结果来证实或证伪。

又如中国南海深海盆(大于3000m水深),它是怎样形成、构造演化、地壳性质、扩张方向和扩张模式、俯冲带地点以及与马尼拉海沟的关系等等问题的最终真正解决,中国海洋科学家期待着ODP的钻探资料。

参考文献

- [1] Barker, P. F., *et al.*, 1988. Proc. ODP, Init. Rpts, 113; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 785.
- [2] Batiza, R. *et al.*, Proc. ODP, Init. Rpts, 142; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 272.
- [3] Behrmann, J. H., *et al.*, Proc. ODP, Init. Rpts, 141; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 708.
- [4] Boillot, G., 1987. Proc. ODP, Init. Rpts, 103; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 663.
- [5] COSOD, 1981. Report of the Conference on Scientific Ocean Drilling, Joint Oceanographic Institutions, Inc., Washington, D. C., 112.
- [6] COSOD II, 1987, Report of the Second Conference on Scientific Ocean Drilling, Joint Oceanographic Institutions, Inc., Washington, D. C., 142.
- [7] Davis, E. E., *et al.*, 1991. Proc. ODP, Init. Rpts, 139; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1026.
- [8] Detrick, R. S., *et al.*, 1988. Proc. ODP, Init. Rpts, 106/109; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 249.
- [9] Eldholm, O., *et al.*, 1987. Proc. ODP, Init. Rpts, 104; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 783.
- [10] Foss, G. N., 1985, Proc. Marine Tech. Soc. "Ocean Engineering and the Environment" 1: 124-132.
- [11] Fryer, P., *et al.*, 1990. Proc. ODP, Init. Rpts, 125; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1092.
- [12] Gradstein, F., *et al.*, 1990. Proc. ODP, Init. Rpts, 123; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 716.
- [13] Graham, D., *et al.*, 1991. Shipboard Laboratory, Support; Ocean Drilling Program, Proceedings of Marine Technology Society, "MTS '91, An Ocean Cooperative, Industry, Government, Academia", "V. 1, 465-472.
- [14] Ingle, J. C., *et al.*, 1990. Proc. ODP, Init. Rpts, 128;

- College Station, TX (Ocean Drilling Program), 652.
- [15] Moore, C. , *et al.* , 1988. Proc. ODP, Init. Rpts, 110; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 603.
- [16] Parson, L. M. , *et al.* , Proc. ODP, Init. Rpts, 135; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1 230.
- [17] Peirce, J. , *et al.* , 1989. Proc. ODP, Init. Rpts, 121; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1 000.
- [18] Rabinowitz, P. D. , 1986. Ocean Drilling. *Ocean Science and Engineering* 10(3-4); 353-384.
- [19] Rabinowitz, P. D. , W. J. Merrell, *et al.* 1985. *Nature* 135; 457.
- [20] Rabinowitz, P. D. , 1990. *Episodes* 13(2); 83-95.
- [21] Rabinowitz, P. D. , *et al.* , 1993. Proc. Offshore Technology Conference OTC 7 082, 59-81.
- [22] Rabinowitz, P. D. , and J. G. Buldauf, 1993. A Global Warming Forum; Science, Economic, and Legal Overview. CRC Press, Boca Raton FL. 127-159.
- [23] D. K. , *et al.* , Proc. ODP, Init. Rpts, 145; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1 040.
- [24] Suess, E. , *et al.* , 1988. Proc. ODP, Init. Rpts, 112; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1 015.
- [25] Taira, A. , *et al.* , 1991. Proc. ODP, Init. Rpts, 131; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 434.
- [26] Tamaki, K. , *et al.* , 1990. Proc. ODP, Init. Rpts, 127; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 844.
- [27] Taylor, B. , *et al.* , 1990. Proc. ODP, Init. Rpts, 126; College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1 002.
- [28] Weiss, P. *et al.* , 1988. Core Curation; Ocean Drilling Program, Proceedings of Oceans '88 Conference, A Partnership of Marine Interests, Marine Technology Society, V. 3, 1 025-1 028.

注:本文还引用了正在印刷中的文献:

- Alt, J. C. , H. Kinoshita, *et al.* , 1993. Proc. ODP, Init. Rpts, 148; College Station, TX (Ocean Drilling Program), in press.
- Carson, B. *et al.* , 1993. Proc. ODP, Init. Rpts, 146; College Station, TX (Ocean Drilling Program), in press.
- Gillis, K. , *et al.* , 1993. Proc. ODP, Init. Rpts, 147; College Station, TX (Ocean Drilling Program), in press.