

谨将此书献给第三十届国际地质大会

# 东太平洋多金属结核 资源调查

(1987~1990)

国家海洋局科技司



海洋出版社

# 东太平洋多金属结核资源调查

(1987~1990)

国家海洋局科技司 编

海 洋 出 版 社

1996 年 · 北京

## 内 容 简 介

本书以对多金属结核这种巨大的潜在矿产资源的调查资料为基础,着重对结核的分布、丰度、品位及其区域变化,以及结核矿区分布规律和特征作系统统计、归纳、阐述和评价,同时对矿区的环境要素、沉积作用特征等进行讨论,对结核成因、矿区受控因素等理论问题作初步的探讨。

本书适于冶金、地矿、海洋等部门的管理人员及广大科研和工程技术人员阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

东太平洋多金属结核资源调查/国家海洋局科技司编.  
北京:海洋出版社,1996.6  
ISBN 7-5027-4184-4

I. 东… II. 国… III. 锰结核-资源调查-太平洋,  
东部-调查报告 IV. P744.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 13004 号

责任编辑 赵士青

海洋出版社 出版发行

(100860 北京市复兴门外大街 1 号)

北京市燕山联营印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.125 插页: 14

字数: 400 千字 印数: 0—600 册

定价: 45.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

项目组织者 陈柄鑫 张国臣 王德正 孙志辉 金建才

郭德喜 睦良仁 孙煜华 周友根

主 编 沈华悌

编 委 华祖根 陈建林 王成厚 钱江初 张富元

责任编辑 赵士青

## 参加报告编写人员

前 言 沈华悌

第一章 沈华悌

第二章 第一节：黄德银 杨许候 第二、三节：王臣海 赵忠宝

第三章 第一、七节：沈华悌 陈荣华 第二节：陈建林 李秀珠 第三节：张富元

姚龙奎 第四节：陈文斌 陈荣华 詹玉芬 第五节：宋连清 第六节：李志珍

第四章 第一节：沈华悌 第二节：李志珍 李秀珠 第三节：张富元 方元顺

第四节：陈文斌 陈荣华 詹玉芬 第五节：李粹中 第六节：钱江初 王星福

徐征宇 第七节：施光春 第八节：钱江初

第五章 华祖根 王洪法 潘国富 钱鑫炎 张金辉

第六章 第一、二节：陈建林 第三、四、五、六、八节：王成厚 姚龙奎

第七节：钱江初 徐征宇 王星福

第七章 第一、二、四、五节：沈华悌 第三节 陈建林

结束语 沈华悌

# 前言

多金属结核(锰结核)是一种巨大的潜在矿产资源,它广泛地分布在世界海洋的底部,产出在沉积物的表面。它以储量大、富含 Mn、Cu、Co、Ni 等多种有用金属元素而著称。根据梅洛(Mero, J. L., 1965)和梅纳德(Menard, H. W., 1964)的估算,仅太平洋底就达  $16\,500 \times 10^4 \text{t}$ , 因此引起了人们的普遍关注和重视。

随着世界科学技术和经济的迅速发展,对多金属结核矿产的认识、评价在不断地加深,特别是经济的蓬勃发展和高新技术的开发,对 Mn、Cu、Co、Ni 等元素的需求日益增大,而陆上这些资源日趋枯竭,人们把眼光转向深海底矿产。近几十年来,许多国家纷纷对大洋多金属结核进行调查、勘探、冶炼和试采,并取得了很大的进展,为多金属结核矿床的工业利用作了准备,这个沉睡的巨大矿产资源宝库将被开发利用,为人类作出贡献。

多金属结核调查研究工作发展到现在,经历了漫长的实践和认识过程。1872~1876 年英国的“挑战者”号考察船(H. M. B. Challenger)在进行环球考察时,于 1873 年 2 月 18 日在大西洋加那利群岛的非罗岛(Ferro Island)西南 300km 海域的洋底首次采到多金属结核,至今已有一百多年了,这一历史性的发现为人类揭示海底多金属结核矿产资源揭开了序幕。

默勒和莱纳德(J. Murray and A. F. Renard, 1891)根据所采的样品,首先将其命名为锰结核,并发表了有关锰结核方面研究成果,为结核的研究开辟了道路。尔后,美国的“信天翁”号(Albatross)船于 1899~1900 年和 1904~1905 年对三大洋进行了广泛的调查。哈佛大学阿迦西斯(A. Agassiz, 1902)根据调查资料编制了首张太平洋多金属结核分布图,并确认太平洋东南多金属结核分布十分广泛。但由于当时科学技术和技术装备的限制,结核又存在于 3 000~6 000m 的深水处,对它的工业利用和经济价值认识不足,因此,在长达半个多世纪时间里,只是停留在做一般性的学术研究工作上。

20 世纪 50 年代以来,随着结核调查研究的逐步深入,有关资料的积累,对多金属结核矿产的了解越来越多,特别是美国的梅纳德和希佩克(Menard and Shippek, 1958),通过“达乌维特”号考察船在太平洋东南进行调查时,发现结核极其富集,并估算了太平洋区结核储量可达到 1 万亿 t 以上,从而引起了人们的广泛重视和关注。前苏联于 1957~1961 年由“勇士”号考察船对太平洋中部、北部多金属结核的富集区进行调查,同时对结核的化学成分、地化性质、结核的分布规律、地质构造和沉积作用等方面做了大量深入的研究。经过大量调查、研究后确认洋底多金属结核不仅规模巨大,而且 Mn、Cu、Co、Ni 等有用金属元素含量高于陆上某些矿床的工业品位。在这些工作中,特别是美国的梅洛(Mero, J. L., 1959)经过论证后提出:利用结核作为多种金属的来源,在技术上和经济上都是可行

的。这一认识上的飞跃和实际论证,把多金属结核的调查研究和开发利用推向了新的阶段。

从 60 年代以来,世界上许多国家如美、前苏联、日、法、德等国家和有关的公司、研究单位等积极地进行多金属结核的调查,并且对结核矿石的选冶和试采做了大量的工作,把结核矿产的评价和利用提高到更高的阶段。除美、前苏联外,日本于 1960 年首次在太平洋进行多金属结核调查,特别在 70 年代,由“白岭丸”、“望星丸”和“东京大学丸”等调查船在中太平洋、东太平洋等海域进行了大规模调查,并进行矿石的选冶和试采。法国在 1971 年起在南太平洋塔希提岛海域、东南太平洋进行结核调查,于 1974 年成立“法国海底锰结核调查研究协会”,从事“TAHINO”计划的多金属结核研究。从 1980 年起对北太平洋进行调查和勘探。联邦德国于 1982 年成立“海洋矿物原料开发公司”,先后由“瓦尔迪维亚”号和“太阳”号船在夏威夷岛东南和中太平洋海域进行调查,调查面积达一百多万平方公里,并圈出了一定面积的富矿区。此外,印度在印度洋进行多金属结核调查,取得了进展。其他还有英国、加拿大、澳大利亚等国也进行了广泛调查。许多国家在调查同时进行选冶、采矿等试验,并在技术和装备上做了研究。与此同时,在经济、法律 and 环境保护等方面做了很多工作,为多金属结核的开采、利用作好准备。这个时期是世界各国对多金属结核的调查研究、勘探以及开发方面发展最快时期,进入了鼎盛的阶段。

1982 年 4 月 30 日《联合国海洋法公约》规定,各国可以在国家管辖范围以外的海底和洋底区域内,申请  $15 \times 10^4 \text{ km}^2$  面积作为自己的保留矿区。因此,许多国家又进行调查,力争取得“深海采矿先驱投资者”的资格。面对这场国际海底矿产资源权的竞争,为维护我国在国际海域矿产资源的权益,我国对此十分重视,并积极地进行调查。从 70 年代后期起,国家海洋局首先在太平洋某些海域进行多金属结核资源考察,1983 年在中太平洋海盆进行多金属结核调查,取得了一些资料和经验。

为尽快完成这个任务,国家海洋局十分重视这项工作,把任务下达给国家海洋局第二海洋研究所和东海分局,局直接领导这项工作,并于 1985 年 12 月至 1990 年 7 月进行系统的调查,由“向阳红 16”号船分别在太平洋 CP 区 ( $7^{\circ}00' \sim 12^{\circ}00' \text{ N}$ ,  $166^{\circ}00' \sim 178^{\circ}00' \text{ W}$ ) 和 CC 区 ( $7^{\circ}45' \sim 14^{\circ}15' \text{ N}$ ,  $134^{\circ}15' \sim 157^{\circ}00' \text{ W}$ ) 海域进行了多次的海上调查,总面积约  $130 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

我们在整个调查中始终坚持以寻找和圈出矿区为主要目标。运用综合调查手段,采用先概查后详查,由面到点的调查原则,在多频探测或  $30' \times 30'$  间距取样的大面积普查基础上,选出详查区深入调查,实践证明这种调查原则和方法效果好、速度快,争取了时间,及时完成了调查任务,于 1991 年 3 月 5 日国际海底管理局和国际海洋法法庭筹委会和总务委员会正式批准我国为深海采矿先驱投资者,我国已成为继印、前苏联、日和法后的第五个深海采矿先驱投资者,从而为我国大洋多金属结核资源调查做出了贡献。

本报告是根据 1987、1988、1990 年 3 个航次调查资料进行编写的。前两个航次调查区比较集中,资料较完整、系统,是本报告的主要矿区资料来源。1990 年航次的调查区在前两个航次调查区内或外围加密调查,并扩大一些新区,相对较分散,但在本报告中亦有所反映。

本报告编写中以调查的原始资料为基础,充分反映调查实际情况,并作较系统的统计和归纳。整个报告中着重对结核的分布、丰度、品位及其区域变化,以及结核矿区分布规律和特征作较全面的阐述的评价,同时对矿区的环境要素、沉积作用特征等进行讨论,并

对结核成因，矿区受控因素等理论问题作初步的探讨。

1985~1986年航次(CP区)调查报告已经验收，并正式出版，不在本报告中反映，但在报告中把CP区与CC区的结核矿区、结核特征等作适当的对比。1987、1988年两次调查的矿区报告“东太平洋海盆SOA区多金属结核资源调查报告”于1989年5月25~27日由国家储委主持进行了评审，并获得了较高的评价，它为本报告的编写打下了基础。

在几个航次调查中，东海分局在船只的准备、调查的组织工作等做了大量的工作。“向阳红”16号船全体调查人员不怕苦、不怕累、勤奋地工作，克服困难收集了大量资料。另外，冶金部、有色金属总公司、地矿部、厦门大学和海洋局第一海洋研究所等兄弟单位也派人参加了调查工作。课题组同志辛勤劳动，以科学求实的态度对大量资料进行了认真、仔细的分析、研究，及时完成任务。为我国多金属结核资源调查作出了贡献。

1987、1988和1990年航次海上调查首席科学家为睦良仁，队长：沈华梯，副队长为华祖根、朱永其、侯菊根、陈建林和俞加华。

报告中大量样品的分析测试工作由海洋局二所分析实验室刘际弟、赵宏樵、张碧珍和黄德佩等完成，海洋局二所有关处室同志为我们的工作做了大量的协调、管理与后勤工作，付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢。

多金属结核资源调查、矿区的资料整理是一项新的工作，由于缺乏经验和资料，此外，加上本报告编写时间仓促以及所涉及内容又十分广泛，同时受到某些条件限制，样品测试分析数据还不够多，故报告中出现不妥之处请批评指正。

# 目 次

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| <b>第一章 调查概况</b> .....                | ( 1 )   |
| 第一节 调查任务和调查区位置.....                  | ( 1 )   |
| 第二节 调查方法和原则.....                     | ( 2 )   |
| 第三节 调查工具和调查内容.....                   | ( 3 )   |
| 第四节 完成的主要工作量.....                    | ( 6 )   |
| <b>第二章 调查区自然环境和地质背景</b> .....        | ( 8 )   |
| 第一节 水文气象.....                        | ( 8 )   |
| 第二节 地质背景.....                        | ( 23 )  |
| 第三节 海底地形地貌特征.....                    | ( 26 )  |
| <b>第三章 表层沉积物与岩石</b> .....            | ( 38 )  |
| 第一节 表层沉积物类型和结构构造.....                | ( 38 )  |
| 第二节 表层沉积物中矿物.....                    | ( 45 )  |
| 第三节 表层沉积物元素地球化学.....                 | ( 56 )  |
| 第四节 表层沉积物中微体古生物.....                 | ( 64 )  |
| 第五节 沉积物的土工性质.....                    | ( 68 )  |
| 第六节 岩石特征.....                        | ( 74 )  |
| 第七节 表层沉积物的沉积作用特征.....                | ( 79 )  |
| <b>第四章 柱状沉积物与地层</b> .....            | ( 86 )  |
| 第一节 柱状沉积物类型与结构构造.....                | ( 86 )  |
| 第二节 柱状沉积物中矿物.....                    | ( 94 )  |
| 第三节 柱状沉积物元素地球化学.....                 | ( 104 ) |
| 第四节 柱状沉积物中微体古生物.....                 | ( 113 ) |
| 第五节 柱状岩芯古地磁测试.....                   | ( 119 ) |
| 第六节 柱状岩芯铀系测年及沉积速率.....               | ( 124 ) |
| 第七节 柱状岩芯的地层时代与地层划分.....              | ( 128 ) |
| 第八节 沉积间断与多金属结核.....                  | ( 134 ) |
| <b>第五章 多金属结核的声学 &amp; 光学探测</b> ..... | ( 139 ) |
| 第一节 多金属结核的声学探测.....                  | ( 139 ) |



|                                 |                           |              |
|---------------------------------|---------------------------|--------------|
| 第二节                             | 多金属结核的光学探测·····           | (143)        |
| 第三节                             | 探测效果和结果的分析·····           | (146)        |
| <b>第六章</b>                      | <b>多金属结核特征·····</b>       | <b>(158)</b> |
| 第一节                             | 多金属结核的物理性质、形态类型与构造特征····· | (158)        |
| 第二节                             | 多金属结核的矿物及其分布特征·····       | (163)        |
| 第三节                             | 多金属结核中主要金属元素含量及其变化·····   | (172)        |
| 第四节                             | 多金属结核中元素的变化关系·····        | (179)        |
| 第五节                             | 多金属结核中主要金属元素相态·····       | (186)        |
| 第六节                             | 多金属结核中的稀土元素·····          | (187)        |
| 第七节                             | 锰结核生长速率测定·····            | (191)        |
| 第八节                             | 多金属结核的成因探讨·····           | (194)        |
| <b>第七章</b>                      | <b>多金属结核矿区特征·····</b>     | <b>(201)</b> |
| 第一节                             | 矿区内结核的区域分布·····           | (201)        |
| 第二节                             | 矿区内结核的丰度、品位及其变化·····      | (202)        |
| 第三节                             | 矿区内结核的粒级分布与覆盖率·····       | (209)        |
| 第四节                             | 多金属结核的矿石类型和质量·····        | (217)        |
| 第五节                             | 多金属结核矿区区域变化的受控因素·····     | (219)        |
| <b>结束语</b> ·····                |                           | <b>(227)</b> |
| <b>图版说明</b> ·····               |                           | <b>(230)</b> |
| <b>附“向阳红 16 号”调查船基本数据</b> ····· |                           | <b>(232)</b> |

# 第一章 调查概况

## 第一节 调查任务和调查区位置

### 一、调查任务

1982年联合国海洋法公约提出,各国可在国家管辖范围以外的海底和洋底区域内,提交一定面积的多金属结核矿区,并得到国际海底管理局筹委会的批准后,可成为“深海采矿先驱投资者”。许多国家为取得先驱投资者的资格,积极地进行了调查和勘探。从1987年以来已先后有印度、前苏联、日本和法国分别在印度洋、东太平洋(CC区)申请了多金属结核矿区,已成为先驱投资者,还有一些国家正在积极调查,准备申请矿区,形势十分紧迫。

为使我国在大洋底矿产资源分配中享有应得的一份权益,国家海洋局、地质矿产部等单位,决定对太平洋某些海域进行锰结核矿区调查。为实现这个目标,国家海洋局把此任务下达给国家海洋局第二海洋研究所和东海分局,为此我们积极地进行准备,并选择东太平洋CC区进行调查,调查的主要任务是寻找和圈定多金属结核的矿区,了解和掌握调查区内结核的分布、丰度和品位变化情况,收集矿区内水深、地形、水文气象等有关的环境资料,为我国向国际海底管理局筹委会申请矿区提供必要的资料。

### 二、调查区位置

1987年、1988年和1990年3个航次调查区均在东太平洋的克拉里昂断裂(Clarion Fracture)和克利珀顿断裂(Clipperton Fracture)之间(简称CC区)。调查区的西侧与莱恩群岛(Line Islands)相邻,东濒东太平洋海隆,北界为克拉里昂断裂,南为克利珀顿断裂,位于美国夏威夷群岛东南,距夏威夷的火奴鲁鲁(檀香山)港1100km(见图1-1-1),距上海港约11000km,调

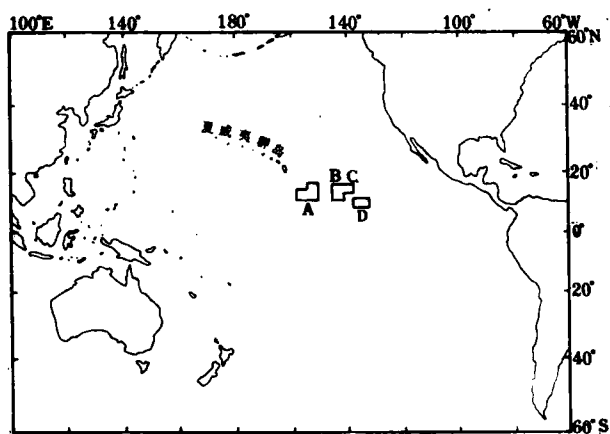


图 1-1-1 调查区位置图

查总面积约  $63 \times 10^4 \text{km}^2$  (见表 1-1-1)。

表 1-1-1 调查范围和面积

| 调 查 区 | 纬 度            | 经 度              | 调查面积( $10^4 \text{km}^2$ ) | 调查时间             |
|-------|----------------|------------------|----------------------------|------------------|
| A 区   | 7°45'~13°00'N  | 151°15'~156°45'W | 22                         | 1988 年 5~11 月    |
| B 区   | 12°00'~14°15'N | 144°00'~147°30'W | 10                         | 1988、1990 年      |
| B2    | 9°00'~11°45'N  | 142°15'~145°15'W | 7                          | 1988 年 5~7 月     |
| C 区   | 10°15'~13°30'N | 139°00'~142°30'W | 15                         | 1987 年 4~9 月     |
| D 区   | 8°00'~11°00'N  | 134°15'~137°15'W | 9                          | 1990 年 4 月       |
| 合 计   |                |                  | 63                         | 1987、1988、1990 年 |

## 第二节 调查方法和原则

### 一、调查方法和原则

在大洋中寻找和圈出多金属结核矿区是一件十分艰巨而细致的工作。要查清和了解洋底结核的分布、丰度、品位变化和地形特征，以及其他的有关环境情况，必须要有合理的调查方法和工作原则。我们在调查中采用综合的调查方法和由概查到详查的工作原则。在整个调查中运用地质取样、多频探测和深海照相等多种先进的设备和技术进行调查，充分发挥各种调查手段的作用，尽可能多地收集资料。在调查中先由多频探测或地质取样的区域性概查，在此基础上选出结核分布的富集地区进行加密取样，深入详查。在较短时间内取得了较好效果，及时完成了调查任务。

### 二、测线、测站的布设

#### (一) 测线的布设

测线布设一般力求与区域构造线、地形走向相垂直。从有关资料来看，本区构造线主要为近东西向，因此测线走向近南北。但调查区风浪多为北东向，有时因风浪过大，为考虑船只的安全和调查效果，对测线方向作适当调整。在 B、C 和 D 区调查中先由多频探测进行概查，在 A 区先进行取样普查。在多频探测线上探测结核丰度时，还进行连续的水深测量和浅地层剖面测量。在 C 区调查中又进行了磁力测量。在所有多频探测线上每隔 5min (约相距 4km) 记录一次水深、结核丰度和船只定位以掌握测线上结核丰度和水深变化情况。调查后期在已圈出的远景矿区内加密测线间距进行水深测量，此线距已能满足 1:100 万水深图的精度要求，对上述所测的水深与结核丰度数据作了校正。3 个航次调查多频探测结核丰度和水深测线总长度约为 61 500km。

#### (二) 测站的布设

测站的布设区是根据多频探测和普查取样资料确定的。在结核较富集的地区布设测站，在结核富集区和丰度变化较大的地区适当加密取样，以了解和控制结核丰度变化。测站间航线的方向一般与概查时测线方向相垂直，可避免重迭以提高测线的利用率。在每个测站

取样前，先由多频探测预报该站结核的丰度，以便两者对比与参考。在取样器投放时与投放约 80min 后（取样器触地时）均进行船只定位，测水深和结核丰度，对所测的数据进行统一处理和校正，以提高它的准确性。

### 第三节 调查工具和调查内容

#### 一、定位系统与精确度

海上调查时船只定位的准确与否直接影响调查工作的精确性和矿区范围的圈定，因此，根据不同调查性质和程度，要求相应精度的定位系统。在 1987、1988 年两航次调查中使用两套卫星导航定位系统：JLE-3850 单频卫导系统和 CMC-722A 双频卫导系统，及其与此两定位系统相连接的设备（表 1-3-1）形成两套综合卫导定位系统。

表 1-3-1 导航仪器和精确度

| 设备名称  | 仪器型号          | 精 确 度         |
|-------|---------------|---------------|
| 单频卫导  | JLE-3850(日本)  | 185.2m        |
| 双频卫导  | CMC-722A(加拿大) | <40m          |
| 电磁计程仪 | JLE-4(中国)     | 1 389m(每小时累计) |
| 小罗经   | GLP-1(中国)     | ±0.5°         |
| 罗经    | HH-Ⅱ(中国)      | ±0.5°         |

在两个更新卫导期间船只位置根据罗经航向和计程仪或人工输入船速经过计算机运算，按需要的时间间隔由打字机打出经纬度，其精确度见表 1-3-1。

在出海前对上述定位仪器和设备进行测试和校正，在连续接收 37 个更新卫星，经计算它们的准确位置的均方差分别为：双频卫导  $\Sigma\varphi$ （纬度）=87m， $\Sigma\lambda$ （经度）=29m，单频卫导  $\Sigma\varphi$ =131m， $\Sigma\lambda$ =321m。

电罗经和计程仪在试航中进行校正后符合出厂指标精度。

风速对船速矢量的影响均可在卫导系统作自动或人工修正，双频卫导采用人工输入，单频卫导采用自动修正，如发现自动修正矢量偏大时，操作者可作人工输入后又转入自动。

进行取样时，在每个取样站船只漂泊约 3h，而一般每隔 1h 有一个更新卫星通过，因此根据更新卫星的经纬度来推算漂泊时船只位置，其精确度为 0.3~0.4n mile。

两个测站间一般相距 15~30n mile，需航行约 1~2h，有 1~2 个更新卫星通过，由于到站时船位较准确，因此采用计算机处理后，站位间的定位精确度可达到 0.4~0.5n mile，连续走航调查中卫星更新时间约 2~3h，经计算机处理推导船位精确度估算约 0.5~0.6 n mile。

1990 年航次调查时使用全球定位系统（GPS），它是一种新的卫星导航系统，由美国 Magnavox 公司生产，接收机型号 MX-5400GPS，是一种双通道接收机。该机主要由接收天线、放大器、接收/处理器三大部分组成，在航行时定位精度可满足调查要求。海上调查中，目前三星定位时间每天约 18~20h，其余 4~6h 由 NNSS 定位系统的接收设备进行工作，通

过实际工作证明,此系统的定位数据是准确的,可满足调查时的精度要求。

## 二、多频探测

多频探测是利用声学探测结核的一种较有效方法<sup>[8]</sup>,是多功能、高效率、快速测定结核丰度的重要调查工具。能在船速 14~15kn 的快速航行中探测结核丰度、水深和地形剖面,水深和地形的精度误差为  $\pm 5 \times 10^{-3}$ 。本系统仪器上 3.5kHz、7kHz、12kHz 和 18kHz 4 个频率分别对小于 2.6cm、2.6~4.0cm、4.0~6.8cm 和大于 6.8cm 4 个粒级结核进行探测,并对 4 个频率的回波信号进行峰值检验,由计算机控制本系统的工作程序。每隔 5min 打印出国际时间、水深、船位经纬度、回波信号强度平均值等数据,由绘图仪自动绘出历时 6h 的 4 幅电平图,与此同时在线性扫描记录器上记录海底地形剖面图。这些资料对了解海底结核分布、丰度的定性和定量分析有重要的作用(详见第五章)。

## 三、深海照相

深海照相是多金属结核调查中一种重要的调查工具,它可以直观地了解海底多金属结核分布、覆盖率、粒径大小等情况。本照相系统为美国本索斯(Benthos)公司制造,由 377 型照相机、383 型高强度闪光灯、2116 型声响发声器、2110 型精密高程仪和 391 型电源等组成,最大工作深度 10 000m,最大装片容量 3 200 张,最大拍摄量每次不少于 1 650 张,拍摄时间可根据需要事先调节,由多频系统的 12kHz 接收系统测定高程,通过绞车控制相机的高度。高程仪的分辨率为 10cm,拍摄平均高度在 2.5m 最适宜,误差为 4%,所拍照片在 T-100 型微机图像处理机上进行处理,对结核的覆盖率、粒径作分析,覆盖率分析误差小于 5%(详见第五章)。

## 四、地质取样

地质取样是多金属结核调查中最基本的调查方法,它能直接从海底采到结核、沉积物等样品,不仅能提供结核丰度、形态、大小的资料,还为测定结核品位提供分析样品,它是最直接、最重要的调查方法之一。

地质取样主要有以下几种:

### (一) 自返式无缆取样

此取样器是一种没有缆绳的自返式抓斗,由美国本索斯公司制造,开口面积为  $0.2\text{m}^2$ ,挖深约 20cm,装有信号发声器和闪光灯,当取样器露出海面时,由接收机接收信号,取样工作在白天和夜晚均可取样作业。此取样器分单球和双球取样器,双球取样器可进行照相。由于无缆取样器只能采集结核,因此在取样器下部金属架上安装一个小塑料管,挖取沉积物。一般在 5 000m 水深中无缆取样往返约需要 160min,取样的效果很好,调查中取样成功率为 99% 以上,在整个取样调查中以无缆取样为主,它约占总取样站的 90% 以上。

### (二) 抓斗器取样

使用国产“大洋 50 型”挖泥器,总重量约 250kg,开口面积为  $0.25\text{m}^2$  ( $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ),取样深度约 30cm。挖泥器由国产 6 000m 绞车进行驱动与收放,所取沉积物受到一定的扰动,但在中间部位基本完好。在海况较差时,经常在中途闭合而影响取样效果,在正常海况下取样效果较好,每次取样往返时间约 180min,在投放取样器与触地时均进行船

只定位。

### (三) 箱式取样器取样

本箱式取样器为 DY-2 型, 由海洋二所研制, 开口面积约  $0.25\text{m}^2$  ( $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ), 采样深度为  $0.5\text{m}$ , 由国产 6000m 绞车驱动, 每次收放时间约 180min, 所采沉积物保存较好, 扰动较小, 但因密封程度不够理想, “上覆水”已经受到表层海水的交换, 待进一步改进。

### (四) 重力活塞柱状取样

重力活塞柱状取样管内径  $6.5\text{cm}$ , 外径  $7.5\text{cm}$ , 管材为钛合金, 管长  $6\text{m}$  和  $8\text{m}$ 。1988 年航次中共取两个柱状样, 均获得成功, 取样长度分别为  $3.95\text{m}$  和  $3.25\text{m}$ , 在柱状样的顶端挤压处样品受到一定的扰动。

### (五) 拖网取样

拖网架网口面积为  $0.24\text{m}^2$  ( $0.4\text{m} \times 0.6\text{m}$ )。网长为  $2.8\text{m}$ , 网眼直径: 上部为  $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ , 中部为  $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ , 下部为  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 。在拖网架的一侧挂有铁链条, 使网向一侧倾斜便于拖拉结核。拖网作业由船尾万米油压绞车操作, 缆绳长  $13\,000\text{m}$ , 在作业时船头驾驶室与船尾绞车由指挥人员通过对讲机指挥, 控制船速、船向和放缆的长度。每次拖网约需 8~10h。

## 五、现场观测和测试分析

现场观测和测试是对采集的结核、沉积物、间隙水等样品在船上进行现场观察、记录、分离和测试。

### (一) 样品现场观察与描述

#### (1) 沉积物的观察、描述和分析:

①对沉积物进行测温、观察与详细记录、照相; ②沉积物涂片鉴定、分层取样; ③沉积物间隙水分离和  $Eh$ 、 $pH$ 、碱度等化学要素测定; ④沉积物土工性质的测定。

#### (2) 结核样品的观察、描述与分析测试:

①结核样品按不同粒级分类、称重和测定结核覆盖率; ②结核样品详细观察、描述和照相; ③测定结核含水率和主要金属元素含量 ( $Mn$ 、 $Fe$ 、 $Cu$ 、 $Co$ 、 $Ni$ )。

#### (3) 沉积物间隙水、海水的采样与测试:

①采集表层海水、分离间隙水, 并做好样品的保存; ②对水样进行  $Eh$ 、 $pH$ 、碱度等测定。

### (二) 水文气象观测的记录

(1) 海面观察和测定的有: 风、浪、流、水温、气温、气压、云量、能见度、降雨量等 15 个项目。

(2) 接收和分析传真气象图, 及时预报调查区天气和发送现场卫星云图等。

(3) 水文观测有定点和走航观测, 使用抛弃式温深系统 (XBT), 连续记录  $300\text{m}$  内温深分布。

### (三) 结核金属含量测定

对现场采集的结核样品在船上进行现场观察后, 称样  $50\sim 80\text{g}$ , 经海水冲净后在烘箱内烘干, 在玻璃研罐中破碎, 再在粉碎机中磨细至 160 目, 分两半, 一份进行分析, 另一份留作副样。  $Mn$ 、 $Fe$  用 X 射线荧光光谱法测定。  $Cu$ 、 $Co$ 、 $Ni$  用催化极谱法测定。

返航后对船上所测的全部样品进行重测。Mn、Fe 用容量法测定，Cu、Co、Ni 用原子吸收光谱法测定，其标准回收率分别为 Cu: 98.5%~100%；Ni: 97%~100.5%；Co: 98%~101%；精密度为 Cu: RSD=2.29%；Ni: RSD=2.24%；Co: RSD=4.41%。

为进一步检验分析的准确度，我们抽全部样品的 20% 分别由浙江省地矿厅实验室和广州海洋地质调查大队实验室进行外检，外检结果符合率如表 1-3-2。

表 1-3-2 外检分析结果对比

| 元 素 | 外检单位    | 样品数 (个) | 超差数 (个) | 超差率 (%) | 合格率 (%) |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cu  | 浙江地矿厅   | 40      | 8       | 20      | 80      |
|     | 广州二海实验室 | 39      | 1       | 25      | 97.5    |
| Co  | 浙江地矿厅   | 40      | 9       | 22.5    | 77.5    |
|     | 广州二海实验室 | 39      | 4       | 10.3    | 89.7    |
| Ni  | 浙江地矿厅   | 40      | 1       | 2.5     | 97.5    |
|     | 广州二海实验室 | 39      | 0       | 0       | 100     |

上述相对误差求得的公式： $\frac{A-B}{B} \cdot 100$ 。A 为本所 AAS 法分析值，B 为外检值。

第四节 完成的主要工作量

在整个调查中，我们对每个航次调查做了全面的安排，编写航次实施方案的设计书，提出了具体要求与任务，通过调查，我们均按期全面地超额完成了任务。

完成的主要工作量有：本调查区共进行 3 个航次调查，1987 年航次从 1987 年 4 月 28 日~9 月 12 日，共 138d；1988 年航次从 1988 年 5 月 27 日~11 月 23 日，共 181d；1990 年航次从 1990 年 2 月 26 日~7 月 14 日，共 139d，总计 458d。

3 个航次调查共完成主要工作量见表 1-4-1：

表 1-4-1 多金属结核资源调查主要工作量统计

| 航 次         | 调查天数<br>(d)     | 测站<br>(个)    | 测线长<br>(km)                        | 磁力测量<br>(km) | 深海照相           |             | 采集结核重量<br>(kg)                    |      |
|-------------|-----------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------------|------|
|             |                 |              |                                    |              | 站数             | 照片张数        |                                   |      |
| 1987 航次     | 138             | 113          | 31 000                             | 20 000       | 3              | 650         | 659                               |      |
| 1988 航次     | 181             | 294          | 15 000                             |              | 5              | 297         | 589                               |      |
| 1990 航次     | 139             | 236          | 15 500                             |              |                |             | 441                               |      |
| 合计          | 458             | 643          | 61 500                             | 20 000       | 8              | 947         | 1 689                             |      |
| 品位分析<br>(站) | 沉积物土工<br>测定 (站) | 结核含水量<br>(站) | 调查面积<br>( $\times 10\text{km}^2$ ) | XBT<br>(站)   | 海面气象<br>观察 (次) | 气象传真<br>(张) | 矿区面积 ( $\times 10^4\text{km}^2$ ) |      |
|             |                 |              |                                    |              |                |             | 圈出矿区                              | 提交矿区 |
| 81          |                 | 41           | 17                                 | 138          | 438            | 1 438       | 6.8                               | 2.8  |
| 213         | 13              | 214          | 26                                 |              | 651            | 1 684       | 13.2                              | 10.2 |
| 138         | 5               | 37           | 20                                 | 117          | 468            | 1 476       | 4.0                               | 2.0  |
| 432         | 18              | 292          | 63                                 | 255          | 1 557          | 4 598       | 24                                | 15.0 |

## 参 考 文 献

- 1 王成厚. 大洋锰结核. 北京: 海洋出版社, 1982, 1~4
- 2 Mere, J. L. The Mineral Resources of the Sea, Elsevier, Amsterdam. 1965, 312
- 3 Menard, H. W. Marine Geology of the Pacific, McGraw-Hill, New York. N. Y. 1964, 271
- 4 Murray, J. and Renard, A. F. Report on the scientific results of the H. M. S. "Challenger" during the years. Deep Sea Deposits, 1891, 327
- 5 Menard, H. W. and Shippek, C. J. Nature. 1958, 182, 1156~1158
- 6 Mero, J. L. The Mining and Processing of Deep-sea Manganese Nodules. Inst. of Marine Research, Univ. of California. Berkeley, Calif., 1959, 96
- 7 Geological Survey of Japan. Deep Sea Mineral Resources Investigation in the central—western part of Central Pacific Basin. Tomoyuki Moritani, (GH77—1 Cruise) Cruise Report. 1977, 12
- 8 国家海洋局第二海洋研究所. 太平洋锰结核资源调查报告 (1985~1986). 北京: 海洋出版社



## 第二章 调查区自然环境和地质背景

自然环境和地质背景是多金属结核调查中一项重要内容。主要包括调查区的水文、气象条件和地质、海底地形、水深等内容。这些环境条件不仅是多金属结核矿区评价十分重要的条件,也对结核的生成、分布、富集有明显的影响,同时也是今后矿区开采中必要的基础资料。

### 第一节 水文气象

从1987~1990年三个航次多金属结核调查中,我们对调查区的水文气象进行观测,把它列为调查工作的一项重要内容。水文方面主要是对测区进行了XBT观测;气象观测按《船舶水文气象辅助观测规范》和《船舶水文气象观测报告电码》规定,并对天气作了预报,以保证船只安全和调查工作的顺利进行。

#### 一、调查海区次表层水温分布特征

据太平洋中部( $8^{\circ}00' \sim 14^{\circ}15'N$ ,  $134^{\circ}00' \sim 155^{\circ}00'W$ )范围内的4个区域(A区、B区、C区、D区)进行XBT观测所获得的资料,分析该调查海区450m以浅的温度分布特征。

##### (一) 温度的平面分布

大洋表层水温的分布,主要取决于太阳辐射、气象条件和海流等因素的时空变化。本调查海区位于太平洋中部信风带区域,调查期间正值东北信风期,且风速渐渐加大。图2-1-1(a)~(d)为A区、B区、C区、D区表层水温平面分布图。从图上可见,在4个区域中除A区有明显的自西向东伸展的高温水舌外,其余3个区域小范围内的水温基本上无明显差异,从整个调查海区来看,表层水温分布趋势:南高北低,西部高于东部。A区表层平均水温为 $27.06^{\circ}C$ ,B区为 $25.60^{\circ}C$ ,C区为 $26.62^{\circ}C$ ,D区为 $25.98^{\circ}C$ 。

由于海水水平流、垂直运动及涡动混合的作用,使得从表层至100m左右水层的水温几乎呈垂直均匀,在这均匀暖水层下面有一个明显的温度跃层,位于温跃层中各个水层的水温分布变化显得十分复杂。

150m层处于温跃层范围中,水温的平面分布高低起伏、参差不齐,水平差异明显,温差较大,最大可达 $14^{\circ}C$ 左右。一般说来,该层温度比表层低 $5 \sim 10^{\circ}C$ 左右(图2-1-2)。

自250m层以深,水平温差逐渐缩小,到450m层,水温基本下降到 $10^{\circ}C$ 左右,温度的平面分布趋势和表层分布相似,南高北低(见图2-1-3)。