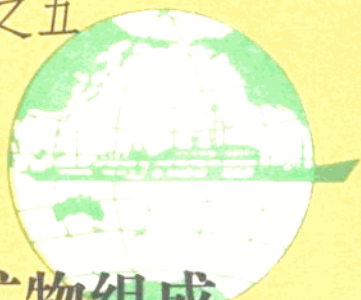


《太平洋中部多金属结核综合研究》之五



太平洋中部沉积物的矿物组成 与沉积作用的研究

吴必豪 杨慧宁 李松筠 等著
萧绪琪 萧永林

地质出版社

学(北京)

6.3

21



- 075443

《太平洋中部多金属结核综合研究》之五

太平洋中部沉积物的矿物组成 与沉积作用的研究

吴必豪 杨慧宁 李松筠
萧绪琪 萧永林 郭世勤 著
卢海龙 孙文泓 张连英



200308112

地质出版社

(京)新登字 085号

内 容 提 要

本书是“太平洋中部多金属结核的调查与研究”科研项目在沉积物矿物学和沉积作用的研究方面所取得成果的代表作。书中简要地分析了研究区的动力学环境、生物化石组合和沉积单元的划分、粒度组成、地球化学特征和不同类型沉积物的分布规律；重点介绍了沉积物的矿物组成，尤其是在微细或微米粒级矿物研究方面所取得的大量成果；较全面地介绍了研究区的风成、生物、火山等沉积、成岩作用。

本书适合从事海洋地质、构造地质、沉积学、矿物学、矿床地球化学的教学、调查、开发和科研人员参考使用。

《太平洋中部多金属结核综合研究》之五 太平洋中部沉积物的矿物组成与沉积作用的研究

吴必豪 杨慧宁 李松筠
萧绪琪 萧永林 郭世勤 著
卢海龙 孙文泓 张连英

责任编辑：李云浮

地质出版社出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092^{1/16} 印张：7.75 铜版图：8页 字数：175000

1993年9月北京第一版·1993年9月北京第一次印刷

印数：1—600册 定价：8.00元

ISBN 7-116-01373-3/P·1129

序

多金属结核是富含铁、锰、铜、镍和钴等有用金属元素的洋底自生沉积矿物集合体，自 1873 年 2 月 18 日在大西洋首次被发现以来，至今已有 100 多年的调查研究历史。第二次世界大战后，由于各国对金属资源需求量的增加，作为一种潜在矿产资源的多金属结核，日益受到各国政府、企业和学术界的重视。

60 年代，我国开始注意到这种潜在矿产资源的重要性，并一直关注国际调查工作的进展和研究动向。为查明多金属结核的分布规律及其经济价值，促进海洋地球科学的发展，以适应我国经济建设的需要，“七五”期间地质矿产部开展了以多金属结核为重点的调查与研究工作。

根据地质矿产部的统一部署，调查工作由广州海洋地质调查局负责组织实施。1986—1989 年间，“海洋四号”调查船在太平洋中部 7° — 12° N, 176° E— 178° W (CP 区) 和 7° — 14° N 138° — 152° W (CC 区) 的范围内进行了四个航次的调查，历时 580 天。调查面积约 130 万平方公里，共设地质测站 669 个，其中 8 个测站还进行了温度、盐度、深度 (CTD) 的系统测定，完成地球物理测线达 27 万公里，为资源评价提供了可靠的科学依据。

研究工作由地质矿产部海洋地质研究所协调各单位共同完成。这些单位是广州海洋地质调查局，上海海洋地质调查局，中国地质科学院矿床地质研究所、地质研究所、水文地质工程地质研究所、岩矿测试技术研究所，成都地质矿产研究所。

通过海上调查与室内研究相结合，宏观与微观相结合，对多金属结核及沉积物等样品进行了多学科的综合分析，获得了以下几方面的成果：

建立了太平洋中部早中新世以来的岩性地层、生物地层、磁性地层和化学地层序列，恢复了碳酸盐补偿深度、沉积间断和古气候等古海洋环境和事件；

查明了太平洋中部表层和柱状样沉积物的类型、组分及其分布特征，以及其中陆源、火山源、生物源、自生和宇宙物质的矿物及地球化学特征；

在探讨多金属结核类型、丰度、覆盖率和品位与海洋水深、地形和沉积物类型关系的基础上，查明了结核的空间分布规律；

确定了多金属结核生长期或生长世代及其与古海洋演化史的关系，探讨了不同世代结核的时空分布规律；

查明了多金属结核中铁、锰矿物相，常量、微量、稀土及放射性元素分布特征和相互制约的关系，以及它们的区域分布同水深、地形、沉积物类型以及氧化还原条件等海洋环境的关系；

在前人研究的基础上，对多金属结核成因的地球化学判别标志作了深入的探讨，认为除结核中主要元素和 Mn/Fe 比值可作为成因判别标志外， TiO_2 、稀土总量以及 Ce 异常强度，也可作为判别结核成因的重要标志；

通过模拟试验，验证了结核中成矿元素的迁移、富集以及结核生长过程中的微生物作用，认为氧化作用、胶体化学作用是结核生长的主要机制，而生物化学作用促进了上述两

个作用的进程。

上述是我国在深海远洋地质矿产调查研究领域里取得的前所未有的重要科学成果，它无疑是我国海洋地质科学发展史上的重要里程碑。

为及时进行交流，促进科学事业的发展，我们决定将这些成果分为10册陆续出版，这10册是：一、多金属结核的分布规律；二、多金属结核的特征及成因；三、多金属结核和沉积物的地球化学研究；四、多金属结核主要元素的地球化学行为；五、太平洋中部沉积物的矿物组成与沉积作用的研究；六、太平洋中部水文地球化学特征；七、太平洋中部水—岩系统中微生物活动及其成矿作用；八、微体生物与多金属结核的生物成矿作用；九、太平洋中部晚新生代古海洋环境及事件；十、太平洋海盆微结核研究。

虽然我们已取得了显而易见的成绩，但由于我国深海远洋的地质矿产调查和科学研究工作刚刚起步，某些领域与国际先进水平还存在一定的差距，对有些问题的认识还有待进一步深化；加之受作者水平所限，书中难免有疏漏或不妥之处，谨请读者指正。

许东禹 金庆煊 梁德华

1991年10月

前 言

多金属结核,富含 Mn、Fe、Cu、Co、Ni、Pb、Zn、Mo、V、Ba 和稀土等有用元素,潜在储量十分巨大。在当今陆地上矿产资源日渐匮乏之际,这一有远景的资源已经引起了世界各国的高度重视。位于太平洋赤道带北缘的克拉里昂—克利帕顿盆地,盛产多金属结核,其铜镍含量高达 2—3%,资源远景优越,已成为各国调查研究者非常关注的地区。

为调查开发大洋矿产资源和促进海洋地质科学的发展,从 70 年代后期开始,国家海洋局考察船“向阳红 09 号”等多次远航太平洋进行考察,地质矿产部广州海洋地质调查局“海洋四号”也于 1986—1989 年先后四次 (HY4-861、871、881 和 891 航次) 前往克拉里昂—克利帕顿和中太平洋盆地进行调查。这些调查取得了大量的地质、地球物理资料,找到了多金属结核的富集区,成果丰硕,写下了我国远洋地质调查史的新篇章。与此同时,为查明结核赋存的地质环境、形成分布规律及找矿方向,地质矿产部青岛海洋地质研究所和广州海洋地质调查局还相应组织了“太平洋中部多金属结核的调查与研究”项目。“沉积物的矿物组成与沉积作用”就是其中的主要课题之一。

从 60 年代以来,以综合研究海洋物理、化学、生物和地质四项作用为特征的现代海洋学取得了迅速的发展。通过深海钻探计划的执行、前苏联横跨太平洋断面和美国 DOMES 计划的研究、以及其它国家对多金属结核的调查,有关大洋沉积学的研究,取得了显著的成绩。对风成作用、热液沉积、海解及成岩作用、南极底层流的运动和沉积速率等的研究,取得了一系列的新认识。然而也还存在一些缺陷:其一,是在矿物学的研究中,历来只偏重于细砂粒级以上碎屑矿物,而对沉积物中大量存在的极细粉砂、粘土粒级等细分散碎屑矿物的研究却很薄弱(除粘土矿物的 X 光衍射分析外);其二,在沉积作用研究方面,虽然注意了与海洋动力学环境的结合,如气候分带、大气环流、大洋水表层流和底层流的影响等,但却忽视了与断裂构造运动相互关系的研究,其中也包括对热水运动以普遍性认识不足;其三,在远洋沉积物形成的研究中,人们只注意到在热液喷出口附近有菌藻的活动、多金属结核的形成可能与微生物作用有关,而忽略了洋底一些沉积物的形成,也可能是微生物活动的结果。

针对上述薄弱环节,本课题研究者利用扫描电镜、透射电镜、电子衍射、能谱和中子活化等先进实验技术,对微细粒级碎屑矿物进行了大量的研究测试,发现了许多火山碎屑蚀变、热液沉积和菌藻作用所形成的矿物,全面揭示了它们的物质组成。在动力学环境方面,研究者视研究区为强烈新构造运动区。将生物碳酸盐的沉积、南极底层流的侵蚀、溶解,与断裂构造运动、洋底升降变化的模式结合起来进行研究,客观地解释了不同时代沉积物的分布、沉积间断的出现、结核形成与间断的关系、以及热水活动广泛存在的原因等,从而对太平洋中部沉积作用提出创新的认识,并为大洋沉积学的研究展示了新的前景。

所研究的沉积物样品、短柱岩心及有关海洋、地质、地形等方面的资料,均为“海洋四号”HY-4-861、871、881 三个航次调查所取得的成果。以首席科学家王光宇为首的“海

洋四号”全体考察队员及船员的辛勤调查,为本课题的研究打下了良好的基础。没有他们的创造性劳动,就不可能有本专著的成果。此外,我们在工作中还曾多次得到[张瑞翔]、许东禹、金庆焕、梁德华等项目负责人,青岛海洋地质研究所,广州海洋地质调查局,地矿部石油海洋局和中国地质科学院等单位有关领导与专家的指导、帮助和支持,在此一并表示衷心感谢。

本课题主要由中国地质科学院矿床地质研究所、地质研究所和成都地质矿产研究所的有关同事共同完成,参加各项测试工作的人员有:萧绪琪(透射电镜分析);林月英、黄家山(X光衍射分析);杨明明、杨安国、黄成彦(电镜扫描及探针分析);张连英、许金沙(包裹体分析及测试);李松筠、李兴、陈永志、丁芳(化学分析);阙松娇(质谱一等离子体光谱分析);萧永林、王乃文、黄成彦(微体古生物分析);杨慧宁(矿物及与沉积学有关的各项实验分析,图件编制);周国容(绘图)。对上述人员中非课题组成员的工作,谨表诚挚的谢意。

本文各章执笔人员^①:前言,吴必豪;第一章,吴必豪、萧永林;第二章,萧永林、赵济湘;第三章第一节,杨慧宁;第二节,吴必豪、李松筠、萧永林;第三节,吴必豪、卢海龙、李松筠;第四章第一节,杨慧宁、萧绪琪、张连英;第二节,杨慧宁、萧绪琪;第三节,杨慧宁、郭世勤;第五章第一节,杨慧宁、萧绪琪;第二节,郭世勤、孙文泓;第三节,杨慧宁、萧绪琪,吴必豪;第四节,萧绪琪、杨慧宁、李松筠;第六章,吴必豪、杨慧宁;第七章,吴必豪,李松筠;结论,吴必豪、杨慧宁。

^① 吴必豪、李松筠、萧绪琪、郭世勤、卢海龙、孙文泓属矿床地质研究所;杨慧宁属地质研究所;萧永林、赵济湘、张连英属成都地质矿产研究所。

目 录

第一章 研究区海洋和地质概况	1
第一节 影响沉积作用的大气环流与洋流.....	1
第二节 研究区地形和地质概况.....	4
第二章 微体古生物初步研究	8
第一节 生物遗体种类和数量.....	8
第二节 沉积物中的放射虫、硅藻和钙质生物.....	8
第三节 生物组合的地质意义.....	12
第三章 研究区沉积物	14
第一节 沉积物粒度.....	14
第二节 沉积物成因类型.....	17
第三节 沉积物地球化学.....	23
第四章 碎屑矿物的组成与成因	28
第一节 碎屑矿物.....	28
第二节 粘土矿物.....	38
第三节 宇宙尘.....	46
第五章 海洋自生矿物及生源矿物	49
第一节 沸石类矿物.....	49
第二节 微结核.....	57
第三节 与热液活动有关的矿物.....	59
第四节 生源矿物.....	63
第六章 太平洋中部的沉积作用	67
第一节 与沉积作用有关的动力学环境.....	67
第二节 沉积物分布的基本规律.....	68
第三节 研究区沉积作用.....	71
第七章 多金属结核的分布与形成刍议	89
第一节 结核分布的一般规律.....	89
第二节 多金属结核形成条件.....	90
第三节 富铜镍结核矿床形成条件.....	92
结论	94
参考文献	97
英文摘要	104
图版说明及图版	110

第一章 研究区海洋和地质概况

研究区位于太平洋中部,赤道北太平洋(Equatorial North Pacific)一带,分东西两部分。西部研究区处在中太平洋海盆(Central Pacific Basin)的西北部(简称CP区),北纬 7° — 13° ,东经 176° —西经 178° ;东部研究区处在东赤道太平洋克利帕顿断裂带(Cliperton Fracture Zone)和克拉里昂断裂带(Clarion Fracture Zone)之间,包括北纬 7° — 11° ,西经 $138^{\circ}45'$ — 153° 之间的广大区域,简称CC区(见图1—1)。

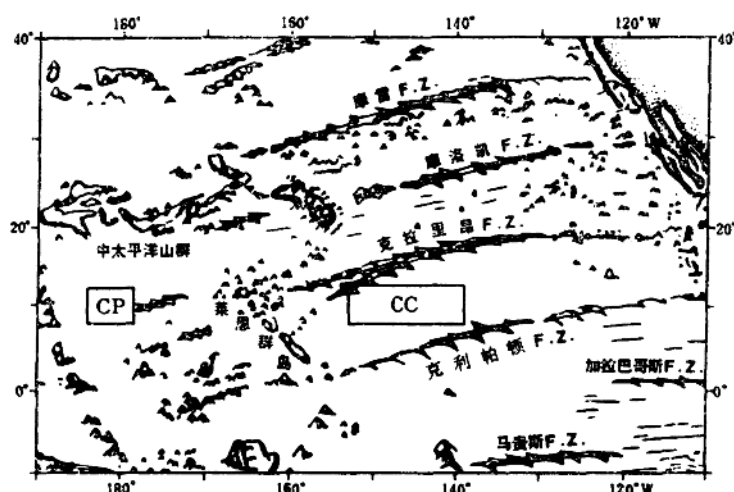


图 1—1 研究区地理位置图

(据 Kennett, 1982)

第一节 影响沉积作用的大气环流与洋流

一、大气环流

大气环流是一个多因素的复杂体系,既影响着洋流或水团的运动,又直接关系着陆上地表风化产物与火山喷发物向大洋的搬运。北太平洋的大气环流在冬季、夏季有所不同(McCoy et al., 1988),从影响CC区和CP区风成沉积的作用看,主要是存在于北纬 30° 以南,来自东部北美洲方向的信风,即东北风;次为来自中、南亚的西风带;另外还有运动于 10 — 12km 高处,来自亚洲大陆的高空气流,速度为 18m/s ,至开阔大洋上可增到 22m/s 。这股高空气流无论夏季、冬季都存在,它和西风带都是控制来自地表风化产物的悬浮尘粒,特别是中亚沙漠的石英砂粒和粘土物质,向北太平洋搬运的主要营力(图1—2)。

二、表层水团和海浪

研究区上层水团属太平洋赤道水团的北部带。表层水温度 25 — 28°C ,水体分层十分明

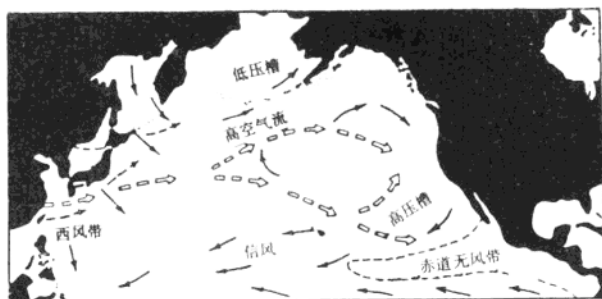


图 1—2 北太平洋冬季大气环流

(据 McCoy et al., 1988)

显。根据水温、盐度、深度实测资料，CC 区对流混合水层厚 $\pm 100\text{m}$ 。在混合层之下，发育有明显的温跃层。在温跃层内，海水温度以较高的梯度 ($0.13\text{—}0.17^\circ\text{C}/\text{m}$) 降低，从 25°C 下降到 13°C 左右，盐度也相应下降。大致与 13°C 等温线和 $34.3\text{—}34.5\text{‰}$ 等盐度相当的温跃层在水深 $150\text{—}200\text{m}$ 附近。温跃层之下的深水层水温由 $\pm 13^\circ\text{C}$ 缓慢下降， 2500m 以下水温比较稳定，一般在 $1.5\text{—}2^\circ\text{C}$ 之间。除底层流活动区外，深水层一般只有缓慢的平流。

太平洋赤道水团 (图1—3) 是富营养物质的水团，表层水温度高，其东北和西北太平洋水团则是贫营养物质的。与此相对应，赤道水团分布区具有高的生物生产力，而东北和西北水团生物生产力很低，被称为“洋漠”。上层水团中死亡了的生物壳体向海底以“降雪”的方式降落，其中一部分或大部分被溶解；一部分被保存在沉积物中。这样，生物有机体

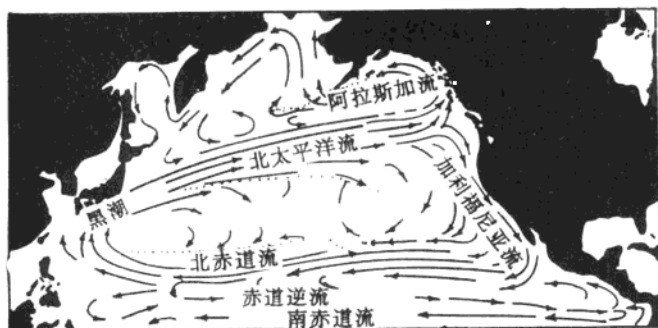


图 1—3 北太平洋的大洋环流

(据 McCoy et al., 1988)

不仅向沉积物供应了大量蛋白石质的 SiO_2 和 CaCO_3 ，还把被生物吸附的一些金属元素带到了深水和海底。因此，表层水团和生物生产力的带状分布，在一定程度上控制着海底沉积物 (或相) 的分带。

控制研究区的表层流，为信风驱动自东向西运动的北赤道流和自西向东运动的赤道逆流。北赤道流在东部美洲岸外得到富营养物质的深层上升流和加利福尼亚流的补充，在其

向西运动过程中，营养物质被逐渐消耗，浮游生物壳体向海底的供应也相应减少。

三、南极底层流

对研究区沉积和成矿作用有很大影响的是南极底水团向北流动所产生的底层流（简称AABW）。AABW起源于环南极流，其特点是温度低（0℃），密度、盐度（34.67‰）比较高，温、盐分布相当均一。AABW从新西兰东南部4 km以下深度向北扩张，通过萨摩亚通道和不连续的莱恩岛脊流入中太平洋海盆和东部赤道太平洋。它使流经区温度降低，并带来溶解氧和养分（Edmond et al., 1971; Reid, 1969; Pautot 和 Melguen, 1979; Lonsdale 和 Spiess, 1980）。Hayes（1979）和 Pautot（1979）通过深层水位温和流速的测量，确定了底层流的运移途径（图1—4）。在CC区西部现代底层流流速一般为5—10 cm/s。Johnson（1970, 1972）和 Piper（1979）认为，南极底层流的作用是幕式或阵发性的，随着南极冰盖的扩大，底层流流速将增加。



图 1—4 南极底层流的流动方向及位温图

（据 Hayes, 1979 资料补充修改）

富氧和营养物质的南极底层流，对其流经区的海底沉积作用有很大的影响，可使水体不断更新和交换，给底栖生物带来养分，造成深海的氧化环境，引起沉积物的分解、侵蚀和再沉积，导致高生产力带沉积速率减慢。Pautot 和 Melguen（1979）还指出，底层流会使 Ni 和 Cu 沿通道富集。总的看来，南极底层流确是使其流经区多金属结核形成和富集的重要因素。

四、碳酸盐补偿深度（简称 CCD）

碳酸盐的补充速率和溶解速率相当的深度，称为碳酸盐补偿深度。这是大洋中一个具有重要物理化学意义的深度界线，在该深度之下，碳酸钙的溶解速度比其沉积速度高。在远离陆源区的大洋中部，影响碳酸盐补偿深度变化的主要因素是：（1）钙质生物的供应数量；（2）海水溶解方解石的能力，其主要取决于温度、CO₂ 的量和压力；（3）底层流对沉积物的冲刷和再沉积作用。

研究区位于高生产力带，低镁方解石质的有孔虫和颗石藻骨骼供应丰富，因此，碳酸

盐补偿深度应该较大。以碳酸钙含量 10% 作为划分 CCD 界线的指标 (Lisitzin, 1972; Ramsay, 1977), 可以确定中太平洋盆地 11°N 附近第四纪中、晚期沉积时的 CCD 线水深为 5300m 左右。因为在 CP 8 站位 (水深 5375m) 的第四纪中、晚期沉积物中保存有比较多的有孔虫和颗石藻, CaCO_3 含量介于 4.8—13.1% 之间, 说明碳酸盐补偿深度在该时期以来就这一深度上下波动。而 CP1 站位 (水深 5406m) 则在 CCD 之下。CC 区的 CCD 在 4800m 左右 (Piper 等, 1979, 1988; Мурдмаа, 1986), 由东向西变深, 但明显浅于 CP 区。

第二节 研究区地形和地质概况

由于断裂构造活动及火山作用, 太平洋海盆本身从洋底地形地貌上可分割成一系列的低洼盆地及隆起构造单元 (见图 1—5)。根据地质构造的性质及其相互关系, 通常将太平

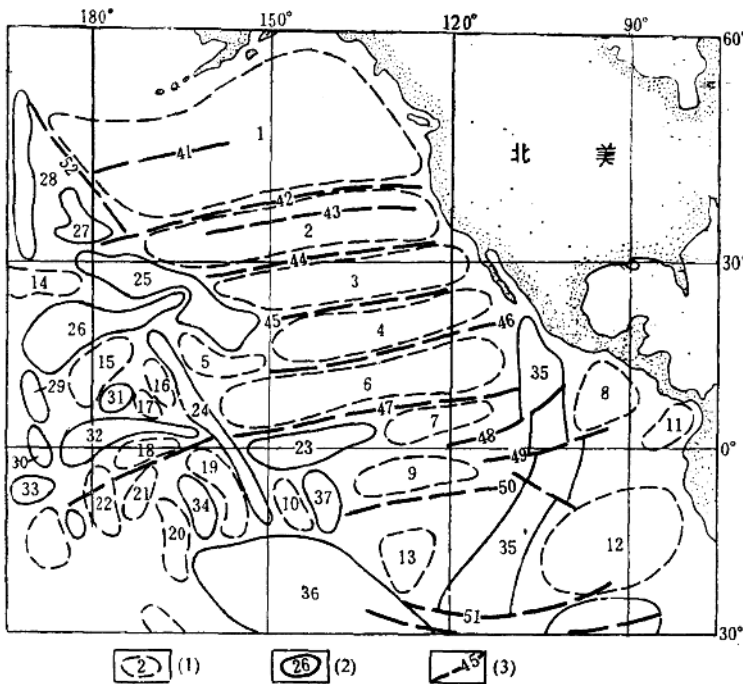


图 1—5 太平洋北部基本构造单元分布图
(据 Головинский, 1985)

(1)—盆地; (2)—隆起; (3)—大断裂

盆地: 1—调查员; 2—门多西诺—梅里; 3—梅里—摩洛哥凯; 4—摩洛哥凯—克拉里昂; 5—南夏威夷; 6—克拉里昂—克利帕顿; 7—克利帕顿—加拉布加斯; 8—危地马拉; 9—加拉布加斯; 10—波利尼西亚; 11—巴拿马; 12—秘鲁; 13—基奇; 14—贝莱依; 15—麦哲伦; 16—东加罗林; 17—肖贝尔; 18—诺瓦; 19—库克; 20—萨摩亚; 21—北托克来; 22—加得内拉
隆起: 23—加加里那; 24—莱恩; 25—夏威夷; 26—威克—内克; 27—赫斯; 28—帝王海山; 29—马绍尔; 30—吉尔伯特; 31—图瓦卢; 32—豪兰; 33—帕鲁; 34—马尼希基; 35—东太平洋海岭; 36—波利尼西亚; 37—马贵斯
断裂: 41—调查员; 42—门多西诺; 43—比阿尼尔; 44—梅里; 45—摩洛哥凯; 46—克拉里昂; 47—克利帕顿; 48—西克洛斯; 49—加拉布加斯; 50—马贵斯; 51—库依洛斯; 52—皇帝海山

洋中部及其北部地区划分为东北太平洋、中太平洋及西北太平洋盆地。CC 区便位于东北太平洋盆地中的克拉里昂—克利帕顿盆地（次级），CP 区则位于中太平洋盆地中的麦哲伦盆地（次级）。从板块构造上看，CC 和 CP 二区又都位于太平洋板块，东太平洋海岭以西。但二区因位置和发展时期的差异，其海底地形、深度和地质特征也有一些差异。

一、CC 区基本概况

CC 区基底洋壳从东向西年代变老，由中始新世至晚白垩世晚期（坎佩尼阶）。除北部克拉里昂和南部克利帕顿断裂带外，尚有欧罗兹科断裂带从研究区中部穿过（图 1—6）。它们都属转换断层性质，延伸长度超过 500 km。还存在一组与上述断层垂直相交、近南北向延伸、平行于东太平洋海隆的次级正断层。这两组断裂均很发育，平行分布，形同鱼骨。从区域地形地貌看，可能还存在着一组 NW—SE 向断层。所有这些断裂不仅控制着原始洋壳的地形变化，形成近东西向和南北向的沟槽、脊、海底山、海底丘陵及陆地，而且也是火山、热水活动的通道。

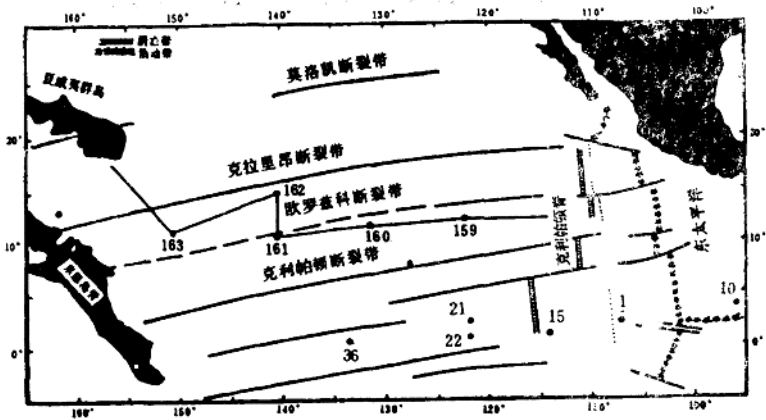


图 1—6 克拉里昂—克利帕顿盆地断裂构造简图
(据 van Andel, 1973)

由于扩张洋壳的收缩和重力作用，CC 区地形呈现由东向西变低的总趋势。东部区（139°—142°W）的东北，海底丘陵发育，也存在水深 < 4800m 的海山，其南为 5000m 左右的海底台地，其余地区为水深 5000—5100m 的缓丘平原（见图 1—7）。西部（142°—153°W），为有零星海山、海丘分布的深海平原，水深一般超过 5100m。沿欧罗兹科断裂带分布着近东西向、深度为 5100—5200m 的海槽，受南北向断块控制的海丘通常呈东坡陡西坡缓的不对称形态。

由硅质白垩、钙质软泥、放射虫软泥、硅质粘土和沸石质粘土构成的远洋沉积盖层，在东部 161 号孔处（图 1—6）厚 213m，在 163 号孔处厚 276m。紧接玄武岩的盖层底部常有火山喷发（或热液作用）生成的富金属粘土层。CC 区从早中新世后至中、晚更新世期间曾发生过多处沉积间断（Keller et al., 1983; Barron et al., 1985）。第四纪和现代沉积物在海底分布极不稳定，厚度可从几米至几厘米，甚至完全缺失，使中新世沉积物直接暴

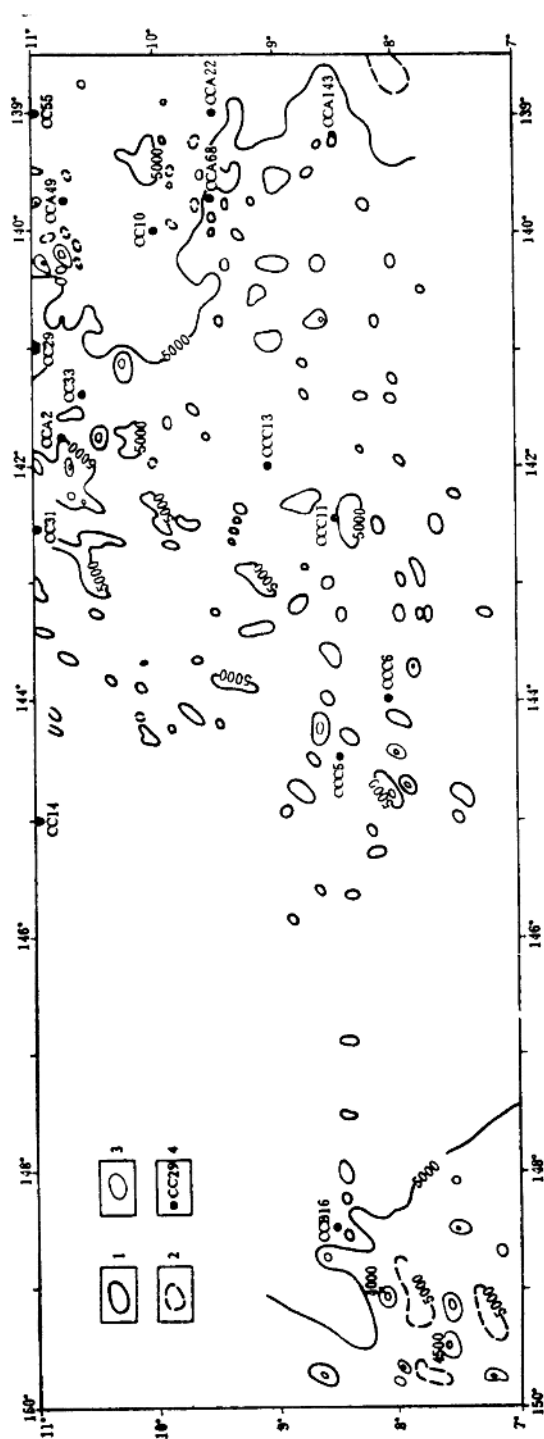


图 1—7 CC 研究区地形及取样站位分布图
 (据上光字、许东禹、梁德华等, 1987; 1988 资料, 略有删节)
 1—正地形; 2—负地形; 3—海底丘陵; 4—取样站位

露于海底,在克拉里昂断裂带附近,甚至有渐新世沉积出露 (Shepard, 1973; van Andel, 1973)。

克拉里昂—克利帕顿盆地是太平洋盆地中最重要的多金属结核富集区,有用金属(如 Mn、Cu、Ni)含量比 CP 区高,加之海底地形变化小,结核赋存比较浅,所以成为各国调查找矿的主要地区。

二、CP 区基本概况

CP 区位于太平洋海盆的中央场陷—麦哲伦盆地,基底洋壳形成于中生代晚期(晚侏罗世至白垩世),其东、西两侧是地幔热柱造成的莱恩岛脊和马绍尔岛链 (Morgan, 1972),北部是一系列火山构成的中太平洋海山区。海底火山活动造成许多海山或海丘,成为大洋沉积物源之一。洋壳上有几条北东东向断裂带,走向与东太平洋的断裂带近于一致 (Menard, 1964),沿断裂带出现平行的深槽和脊。

CP 区大部分是间有北西向线状海丘的深海盆地,水深 5500—6300m,在西南部、东南部和东北部有比较多的海山、海丘。西南海山—海丘区内,局部海山顶水深 < 4000m,海丘区水深 5000—5500m; 东北部海丘和东南部麦哲伦海隆边缘海丘,水深 < 5000m。

基底洋壳上的沉积盖层,由中生代晚期至新生代的远洋沉积层构成,下部有时夹有火山凝灰岩或穿插有辉绿岩墙。在碳酸盐补偿深度 (CCD) 之上,主要沉积物为燧石质白垩、燧石质灰岩、硅质白垩或钙质软泥。在 CCD 之下,为放射虫软泥、硅质粘土或沸石质粘土。在麦哲伦海隆上的 167 号孔 (水深 3176m),盖层厚度达 1183m,而在深海平原上的 170 号孔 (水深 5774m) 被揭露的盖层厚度仅 192m (Winterer, 1973)。这一巨大的差异,一方面是受 CCD 的控制所造成,另一方面是 4000m 水深之下受南极底层流冲刷、改造的结果。在 170 号钻孔剖面上,渐新世至第四纪的沉积物(含放射虫的沸石质粘土)厚度大约只有 20m,从其上部含 *Theocyrtis annosa*, *Calocycletta virginis* 这类早中新世的放射虫分析,第四纪沉积物可能缺失或极薄。底层流的作用使区内一些地方从晚渐新世至早更新世出现多次沉积间断 (Ramsay, 1977; Keller et al., 1983; Barron, 1985)。在深海底第四纪中、晚期的沉积物,或缺失或只有几厘米至几米厚。

CP 区海底浅表层沉积物中多金属结核的分布不均匀,在西南部海山、海丘区丰度比较高。

三、取样概况

所研究的沉积物样品共 20 件;即 CP 区 2 件,CC 区 18 件。取样站位坐标位置见图 1—7,采样水深均超过 4800m。

除 4 个站位的沉积物样品是箱式插管岩芯柱 (即 CP 4'、CP 8、CC 55 和 CC 29)、3 个站位是有缆抓斗短柱 (CCA 49、CCB 16、CCC 11) 外,其余 15 个站位的沉积物均取于表层。

第二章 微体古生物初步研究

研究区位于高生物生产力的赤道太平洋水团的北部，所以有较多的、多种生物遗体或生物活动的产物保存在沉积物中，它们是沉积物主要组分之一。查明生物的组合和变化，将为研究沉积环境、沉积时代和古海洋学提供重要的依据或信息。

第一节 生物遗体种类和数量

沉积物中生物的种类和数量主要受下列二个因素所控制：一是上层水团的性质，即上层水团是否富营养，生物生产力的高低；二是生物壳体的溶解性（特别是由碳酸盐质组成的壳体），主要取决于碳酸盐补偿线（CCD）的深度。如前所述，CC 和 CP 两研究区都处于赤道高生产力带的北部，虽然向北和向西生物生产力呈现减低的趋势，但生物产量在总体上还是比较高的。而 CCD 深度在两个区有比较大的差异（CP 区为 5300m 左右，CC 区为 4400—5000m），致使两区沉积物中保存的生物种类和数量彼此不同，如 CP 区的沉积物所处深度虽然较大，但是该区碳酸盐质壳体（有孔虫和颗石藻）却多于 CC 区。

（1）硅质（蛋白石质）生物遗体 硅质生物遗体在软泥中最为丰富，主要是硅藻和放射虫，另外还有海绵骨针、辐射状海绵和硅鞭藻。将 CC 区的 A、B、C 三个分区相比较，硅藻壳体有自西向东减少的趋势，如西部 CCB 16（站位）可为东部 CCA 49-1 的 40 倍。从所取的短柱样看，则随着沉积物深度的增加，硅藻壳体数量有递减的趋势。

（2）钙质生物遗体 属有孔虫和颗石藻的碳酸盐壳体，在所研究的沉积物中都有出现，只是 CP 区相对要多些，如 CP 8 站位钙质生物遗体所出现的数量（百分含量）已可参加沉积物类型的命名，而在 CC 区内只有零星保存。

（3）磷酸盐质生物遗体 磷酸钙质的鱼类牙齿和碎屑在所有沉积物样品中都有保存，其含量约占 1—3%。

（4）生物遗迹 包括软体潜穴生物活动造成的虫管和团粒，在所研究的沉积物中都有出现，有时还可形成斑杂状构造，并对某些元素的迁移、富集起作用（Piper, 1988）。

第二节 沉积物中的放射虫、硅藻和钙质生物

一、放射虫和硅藻

沉积物中保存的生物遗体基本上来自上层水团，其生产力和气候带密切相关。由于研究区地处北赤道带，所以无论放射虫或硅藻的组合，都表现出典型的赤道、热带种群特征，分异度甚高。沉积物受底层流的作用，比较普遍地受到侵蚀并发生再沉积，使新、老生物遗体混杂。根据组合中占优势的种类，可以区分出两个不同时代的产物：①以第四纪到现代种类占优势的种群；②以早中新世、包括大量始新世至渐新世再造种类占优势的种群。以上述生物组合为基础，可将研究区内的沉积物划分为二个不同的沉积单元。

1. 第四纪至现代组合

(1) 放射虫 放射虫组合具有较高的分导度, 数量比较多的主要有以下一些属种:

Acrosphaera spinosa, *Collosphaera tuberosa*, *Actinomma* spp., *Hexacanthium* spp., *Spongaster tetras tetras*, *Spongocore puella*, *Hymeniastrum profundum*, *H.* spp., *Stylodictya* spp., *Didymocyrtis tetrathalamus*, *Heliodiscus asteriscus*, *Larcospira quadrangula*, *Euchitonina elegans*, *Eu.* spp., *Amphirrhopalium ypsilon*, *Tetraphyle quadriloba*, *Zygocircus* spp., *Giraffospyris circumflexa*, *Lamprocyclas maritima maritima*, *Anthocyrtidium ophirens*, *Theocorythium trachelium trachelium*, *Pterocanium trilobum*, *Eucyrtidium hexagonetum*, *Diplocyclas* spp., *Carpocanium* spp., *Artostrobium botryocyrtium*, *Tricolocampe* spp., *Botryocyrtis scutum*, *Periphyranis circumtexta*, *Cornutella* spp.

上述属种可确定为热带放射虫组合, 与 Nigrini (1970) 所划分的属种基本相同。此外, 在所有站位的沉积物中, 还或多或少出现一些较老的再沉积属种, 如中始新世的 *Eusyringium* cf. *Orostaurus simplex*, *fistuligerum*, 始新世的 *Cyrocyrtytis triacantha*, 早中新世的 *Lypnocanium grandis brevis* (见于 CP 8 及 CP 8 柱样)。

(2) 硅藻 硅藻组合也是由热带和赤道的种类所组成, 最常见的是: *Coscinodiscus nodulifer*, *C. Crenulatus*, *Hemidiscus cuneiformis*, *Nitzschia marina*, *Rhizosolenia bergonii*, *Thalassiosira oestrupii*, *Asteromphalus hirtoniensis*, *A. robustus*, *Asterolampra marylandica*, *Ethmodiscus rex*, *E.* spp., 等。如果把 *Ethmodiscus* (大型硅藻) 的碎片也包括在内, 则热带和赤道的典型种类 (Jouse, 1971) 可占整个硅藻组合的 90% 以上 (图版 II-1-24)。

还有经再沉积混入的古老种类, 如 *Coscinodiscus excavatus*, *Cestodiscus robustus* 等, 这两种硅藻形成于渐新世沉积层中 (Fenner, 1985), 经再沉积后, 出现于早中新世沉积物中, 但在 CC 区还可见于第四纪表层沉积物内。

2. 早中新世组合

这类组合可在一部分表层沉积物或短柱岩心剖面的下部见到, 其特点是以古老化石种类为主, 除大量的中始新世至渐新世的再沉积种类外, 还有很多早中新世的种类。但因位于海底的浅表层, 并具开放性质, 故也可混入前一组合的一些种类。

(1) 放射虫 这一组合中, 以早中新世的种类为主, 其中具有代表性并占优势的是: *Dorcadospyris*, *Calocyrtella*, *Stichochrysis*, *Cyrtocapsella*, *Lychnocanoma*, *Didymocyrtis*, *Orosena*, *Orodapis* 和 *Cropegis* 等属的一些种。除以上这些种类外, 始新世和渐新世的再沉积种类也曾大量出现 (表 2-1, 图版 I-1-20)。

根据有关生物地层资料 (Riedel and Sanfilippo, 1977, 1978; Sanfilippo and Riedel, 1985; Kling, 1971, 1978; Петрушевская, 1986), 确定了各站位化石种类的时代分布 (表 2-2)。从表 2-2 中可清楚地看出, 这一放射虫组合的时代应为早中新世。

(2) 硅藻 古硅藻的种类比放射虫少, 已识别出的有 *Coscinodiscus excavatus*, *Cestodiscus robustus*, *C. convexus*, *C. mukhiniae*, *C. pulchellus*, *Craspedodiscus elegans* 等。除后者属早中新世外, 其余属渐新世 (Jouse, 1971, 1977; Fenner, 1985; Barran, 1985), 可见硅藻组合所反映的时代也较老 (图版 III-8, 9)。