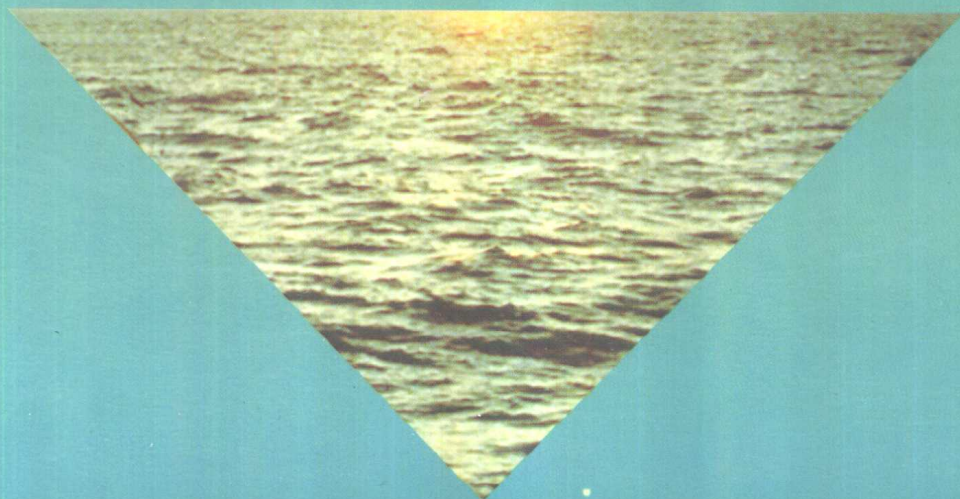


黄永样 杨慧宁等著

海底沉积物类型及其 地球化学环境对多金属 结核形成与分布的控制作用



《东太平洋海盆多金属结核分布规律研究》丛书之一 中国地质大学出版社



《东太平洋海盆多金属结核分布规律研究》丛书之一

海底沉积物类型及其地球化学环境 对多金属结核形成与分布的控制作用

黄永祥 杨慧宁 匡耀求 著
钟和贤 沈桂梅 陈永志

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书阐述了东太平洋海盆晚新生代以来的地层沉积史、沉积物地球化学特征及古海洋环境特征;论述了多金属结核的形成时代及其成矿史;根据多金属结核生长史与沉积物沉积史的对比分析,讨论了地史时期海底沉积物对多金属结核形成与分布的控制作用,从而揭示了多金属结核的形成和分布规律。

本书可供从事海洋地质、海洋矿产及古海洋学研究的专业人员及大专院校的有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海底沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核形成与分布的控制作用/黄永祥,杨慧宁等著. —武汉:中国地质大学出版社,1997. 1

(《东太平洋海盆多金属结核分布规律研究》丛书之一)

ISBN 7-5625-1123-3

I. 海…

II. ①黄…②杨…

III. ①海洋沉积物-地球化学环境-影响-多金属矿床-结核(沉积学)-形成②多金属矿床-结核(沉积学)-形成-影响因素-海洋沉积物-地球化学环境

IV. P744

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 张华瑛 责任校对 胡义珍

印 刷 武汉测绘院印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 9.25 字数 240 千字 插页 2 图版 1

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷 印数 1—300册

定价:25.30元

前 言

深海海底规模宏大的多金属结核矿床是在怎样的条件下形成,其形成机理如何,目前还未能取得一致看法。对于多金属结核的形成而言,有两个重要的环境条件必须具备:一是多金属结核成矿的必要条件,即充足的成矿物质供给;二是多金属结核成矿的充分条件,即有利的成矿环境。两个成矿条件缺乏任何一个都不可能形成矿床。对多金属结核类型、结构构造、矿物组成、化学成分的大量研究表明,不同类型多金属结核的结构构造、化学成分及矿物组成有很大的差异,这种差异的造成主要与多金属结核的成矿环境有关,当然也与矿源的性质有关。依此反推,多金属结核的成矿环境在地史上是经历过多次变更的。传统的观点认为,结核形成于沉积间断期间,我们认为结核主要形成于缓慢的沉积作用期间(沉积速率 $<3\text{mm/ka}$)。众所周知,本区洋底的沉积间断主要是由于强烈的南极底流侵入造成,而不管哪一次间断,底流性质实际上没有多大变化,如果认为在沉积间断期间形成结核就意味着结核的成矿环境没有实质性的改变。在地史时期,不同的沉积期,其沉积环境有较大差异,主要表现在沉积物物质组成、物理性质、地球化学特征都有明显不同。正是这种古海洋环境差异造成了多金属结核类型、矿物组成、结构构造及化学成分上的差异。洋底沉积物记录了地质历史时期所有古海洋环境的研究信息,同时沉积物本身在形成过程中还起到了积累和供给多金属结核成矿矿源的作用。因此,研究地史时期沉积物的沉积史及其物理化学特性,对探索多金属结核的成矿条件和机理有着重要的意义。

面对多金属结核形成机理众说纷纭的讨论,中国大洋矿产资源开发协会“八五”期间大洋深海研究项目一级研究课题(DY85-02-01)“东太平洋海盆多金属结核分布规律研究”下设了海底沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核形成与分布的控制作用研究专题(编号DY85-02-01-2)。专题研究自1992年开始至1996年初结束,历时4年,本书是在专题研究成果基础上写成的。

近几十年来,随着大洋矿产资源勘探工作的深入,人们对多金属结核及与之密切相关的沉积物的研究也全面开展,并取得许多研究成果。

关于沉积物对多金属结核的控制作用问题,不少研究者在以往的研究中已充分注意。A. Mizuno(1981)注意到多金属结核的变化与上新世晚期至第四纪层序的分布有关;P. Halbach等(1979)认为成岩型多金属结核的形成与沉积物顶部的混浊层有关;杜炳周(1992)研究了表层沉积物类型与多金属结核类型、品位、丰度的关系;黄永祥(1992)研究了多金属结核生长史及沉积物沉积史的关系,认为多金属结核成矿期与沉积物沉积期具有大致对应关系。尽管人们已认识到沉积物沉积作用与多金属结核的成矿作用有着紧密的内在关系,但把沉积物与多金属结核的形成关系作为专门课题来研究还是首次。

本书用中国大洋矿产资源开发研究协会DY85-1、DY85-3航次的沉积物及多金属结核资料,运用生物地层学、磁性地层学、岩性地层学、地球化学、同位素地质学、数理统计学研究方法,对研究区范围内(图1)5个长柱状沉积物样品、11个短柱状沉积物样品、61个表层沉积物样品及几十个多金属结核样(图2、图3)进行了沉积物物质成分、沉积物地层划分对比,对沉积物地球化学、多金属结核成矿时代、多金属结核地球化学等进行了研究,建立了晚新生代地层

层序,恢复了晚新生代沉积史及古海洋环境,揭示了地史时期沉积物地球化学演化特征,与此同时,讨论了结核的成矿史及各成矿阶段多金属结核地球化学的演化特征。依据沉积史与多金属结核生长史的对比分析,深入讨论了各成矿期的成矿控制因素,并通过对比的方法讨论了沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核的控制和分布关系。

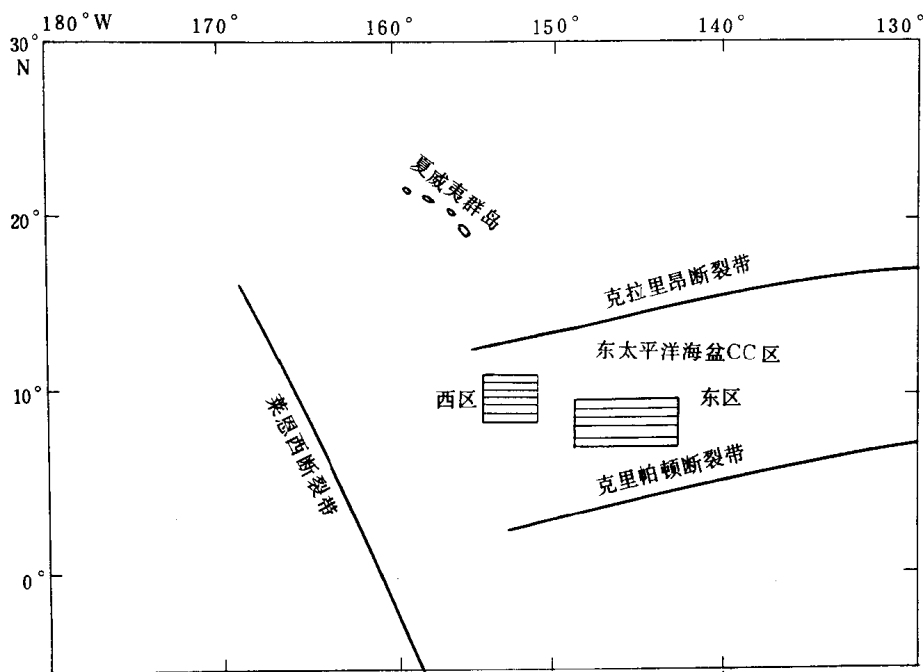


图1 研究区位置图

本书由广州海洋地质调查局及中国地质科学院地质研究所共同编写完成,参加编写的有黄永样(前言,第一章,第二章,第五章,第七章第一节,第八章第二节,结论)、杨慧宁(第三章第二、三节部分,第四章第一、二节部分,第八章第一节)、匡耀求(第三章第四节,第六章部分,第七章第二节,第八章第三节)、钟和贤(第三章第四节,第六章部分,第七章第二节)、沈桂梅(第三章第一、三节部分)、陈永志(第三章第一、二节部分,第四章第一、二节部分)。全书由黄永样统稿。

本书编写中,引用了DY85-1、DY85-3航次报告资料,DY85-02-01-3研究专题提供了部分多金属结核化学分析资料;广州海洋地质调查局实验测试中心古生物组、古地磁组、化学组、岩矿组分别承担了沉积物的微体古生物、古地磁、化学分析、沉积物涂片分析等分析化验工作,中国地质科学院岩矿测试所承担了沉积物稀土元素、同位素分析,图件由李国英和邓慧荣同志清绘,对以上直接参加工作的人员深表谢意。

承蒙中国科学院院士、中国地质大学校长赵鹏大教授,中国科学院院士、原广州地质化学研究所傅家谟教授,广州地球化学研究所陈毓蔚研究员,广州海洋地质调查局金庆煊教授,地质矿产部青岛海洋地质研究所姚德研究员,国家海洋局南海分局许时耕研究员,冶金部长沙矿冶研究院余梦迪研究员和中国科学院南海海洋研究所周人初高级工程师等对本书进行了鉴定,提出了宝贵意见,原广州海洋地质调查局副总工程师梁德华同志对本书也给予支持和指

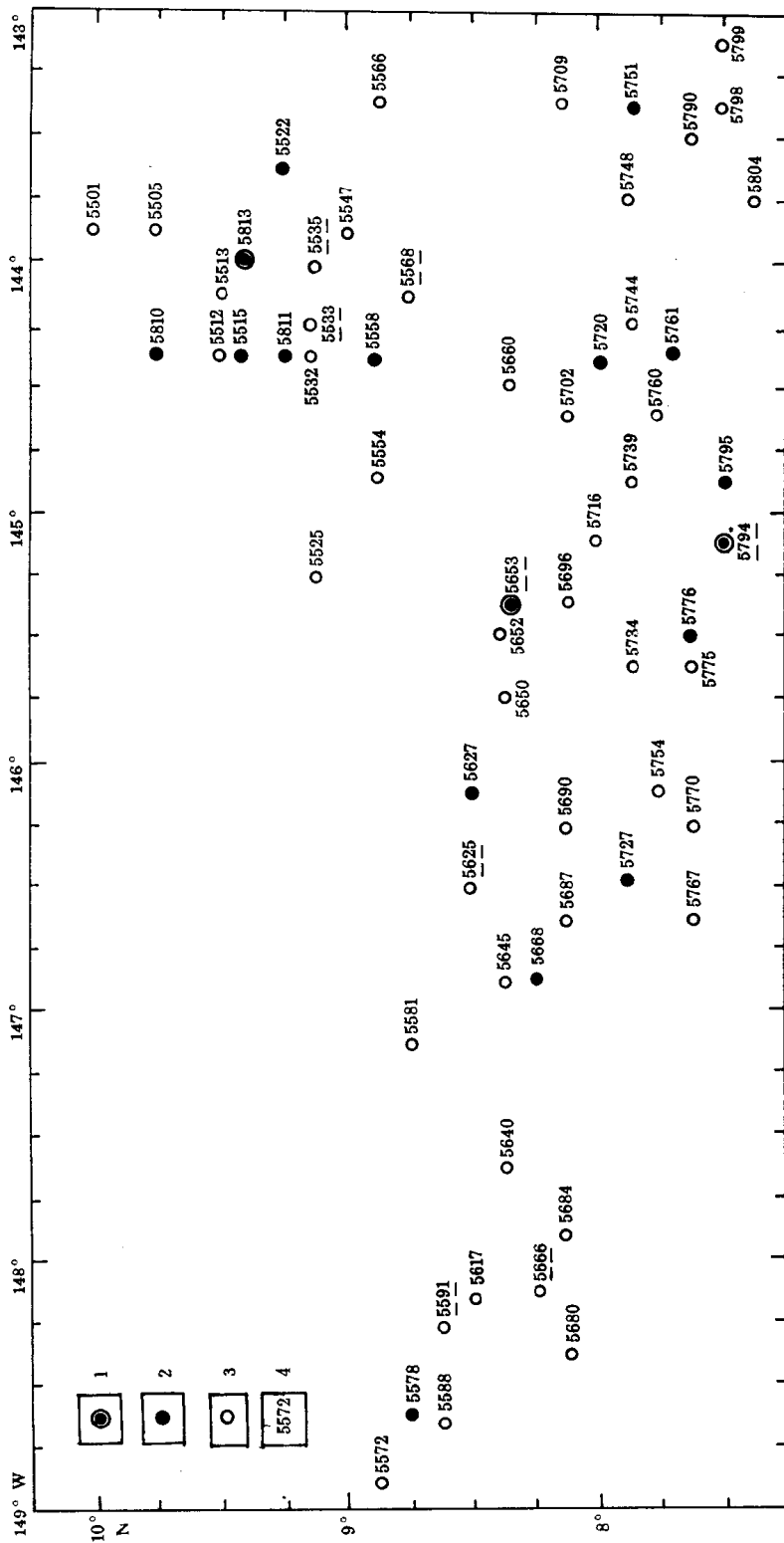


图 2 研究区东区样品分布位置图

1. 大型重力活塞采样; 2. 无缆重力采样; 3. 表层采样(有缆抓斗或箱式采样);
4. 站号(下加虚线表示该站位做结核样品分析)

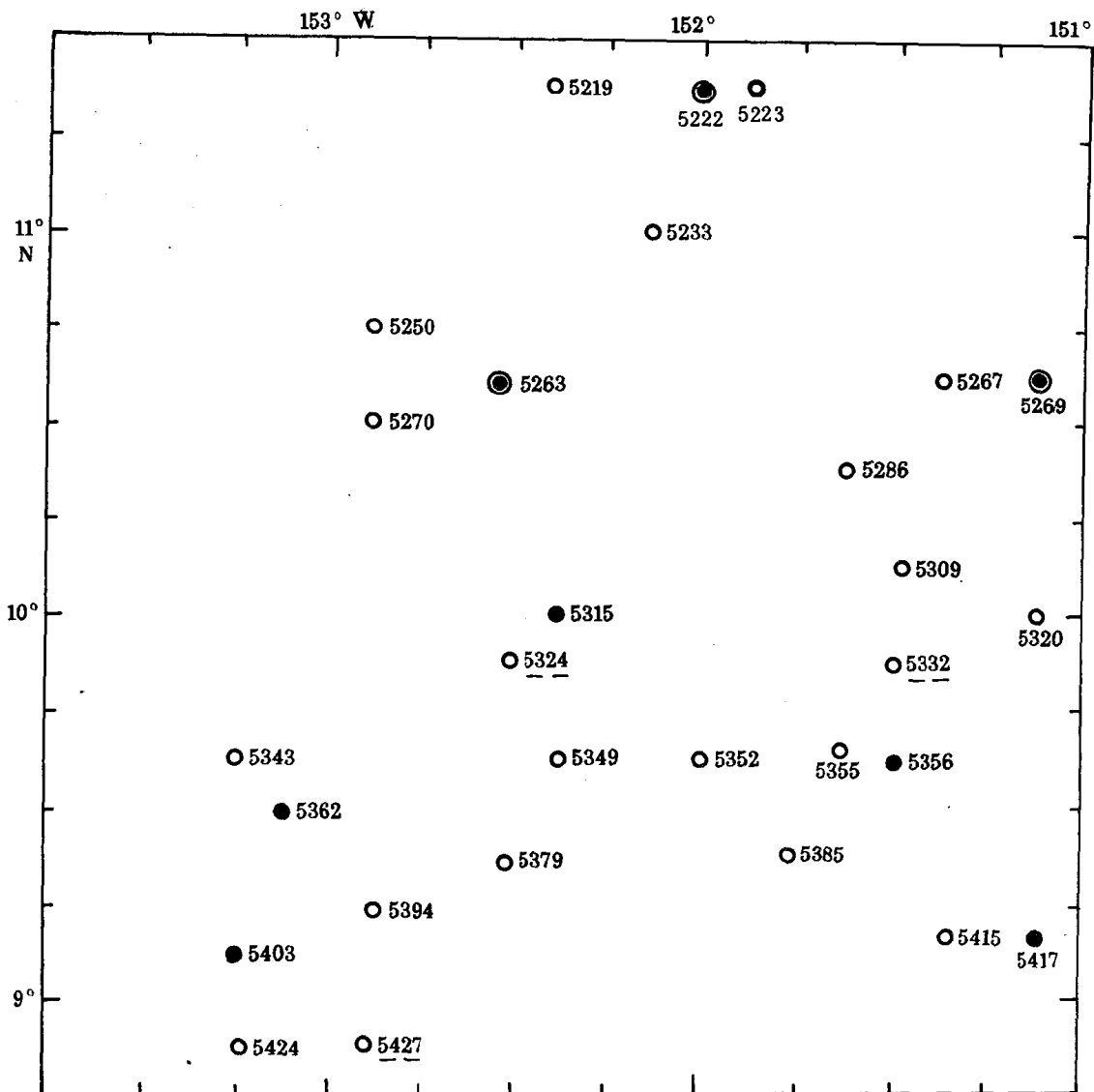


图3 研究区西区样品分布位置图

1. 大型重力活塞采样; 2. 无缆重力采样; 3. 表层采样(有缆抓斗或箱式采样);
4. 站号(下加虚线表示该站位做结核样品分析)

导,在此一并表示衷心感谢。作者根据专家意见进行了修改补充。

由于我国大洋地质调查研究工作起步较晚,本书研究的周期较短,写作较为仓促,加上作者水平有限,因此书中难免有不妥之处,谨请读者不吝指正。

作者

1996年6月于广州

ISBN 7-5625-1123-3



9 787562 511236 >

封面设计：吴纪红

ISBN 7-5625-1123-3·P·417



定价：25.30 元

COLLECTION
OF
RESEARCH
ACHIEVEMENT
FOR
POLYMETALLIC
NODULES
DISTRIBUTION
IN
EAST PACIFIC
OCEAN

①

CHINA
UNIVERSITY OF
GEOSCIENCES
PRESS

**CONTROLLING OF
THE FORMATION AND
DISTRIBUTION FOR
POLYMETALLIC NODULES BY
THE SEAFLOOR SEDIMENT
TYPE AND ITS GEOCHEMICAL
ENVIRONMENT**

By Huang Yongyang and Yang Huining *et al.*



目 录

第一章 区域地质概况及海底环境.....	(1)
第一节 地层、构造及火山作用	(1)
第二节 海底地形地貌.....	(2)
第三节 海底环境特征.....	(3)
第二章 沉积物类型及地层划分对比.....	(6)
第一节 表层沉积物类型及分布.....	(6)
第二节 柱状沉积物类型及分布.....	(8)
第三节 柱状沉积物年代确定及地层划分对比	(18)
第四节 沉积速率讨论	(27)
第五节 晚新生代沉积演化史	(29)
第三章 沉积物地球化学	(34)
第一节 表层沉积物常、微量元素地球化学特征.....	(34)
第二节 柱状沉积物常、微量元素地球化学特征.....	(51)
第三节 稀土元素、同位素地球化学特征.....	(64)
第四节 晚新生代沉积物地球化学演化特征	(77)
第四章 元素赋存状态及水成组分地球化学特征	(91)
第一节 元素赋存状态及元素地球化学行为	(91)
第二节 元素水成组分地球化学特征.....	(101)
第五章 多金属结核壳层组合及成矿史.....	(105)
第一节 多金属结核微层组合及层组划分.....	(105)
第二节 多金属结核层组形成年代.....	(107)
第三节 多金属结核成矿史.....	(108)
第六章 多金属结核地球化学及其演化特征.....	(112)
第一节 多金属结核一般地球化学特征.....	(112)
第二节 多金属结核地球化学的演化特征.....	(114)
第七章 晚新生代沉积物与多金属结核对比.....	(122)
第一节 晚新生代沉积史与多金属结核生长史对比.....	(122)
第二节 沉积物与多金属结核地球化学特征对比.....	(124)

第八章 沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核的形成和分布的控制作用讨论	
.....	(126)
第一节 多金属结核区域成矿环境综述	(126)
第二节 沉积物类型对多金属结核形成和分布的控制作用	(129)
第三节 沉积物地球化学环境对多金属结核形成和分布的控制作用	(132)
结 论	(136)
主要参考文献	(137)

第一章 区域地质概况及海底环境

研究区区域地质主要包括研究区中、新生代地层,构造地质,火山作用及地形的一般特征,海底环境主要是研究区内底流及水文化学要素特征,以便对区内的区域地质及环境梗概有个初步了解。

第一节 地层、构造及火山作用

一、地层

根据深海钻探资料(161、162、163孔),研究区东部洋壳上部沉积盖层主要发育新生代早期的始新统,沉积层厚度约为(150~250)m,西部地区可能存在晚白垩世(坎佩尼阶—麦斯特里希特阶)沉积。沉积层基本特征如下:

上白垩统 位于区域地震反射波层单元Ⅱ之下(T. C. Moore, G. R. Heath, 1967),岩性由硅质岩组成,厚度变化大,往东尖灭。

中始新统 不整合覆于上白垩统及基底玄武岩之上,地震剖面属下透声层,相当反射波层单元Ⅱ,岩性由硅质灰岩组成。

上始新统 与中始新统连续沉积,当地震反射波层单元Ⅱ,由含钙质硅质粘土组成。

渐新统 不整合覆于始新统之上,地震剖面显示为上透声层,以富含钙质微体化石的碳酸盐岩与硅质、粘土质岩互层组成。

下中新统 不整合覆于渐新统之上,地震反射波层为上透声层。下部以富含钙质微体化石的碳酸盐岩为主,上部以富含硅质化石的硅质软泥为主,二者间为平行不整合。

上新统至第四系 中中新世南极底流对本区强烈影响,大规模侵蚀,造成本区中中新统的普遍缺失。自上新世开始,本区才恢复沉积,但沉积速率小,仅见数十厘米至数米的粘土类沉积,沉积物以沸石粘土、深海粘土及硅质粘土为主。

二、构造

研究区位于东太平洋海盆克拉里昂断裂带和克里帕顿断裂带的西端,海洋4号断裂呈SN向贯穿研究区东区东部,欧罗兹科断裂带呈NEE向斜贯东区与西区之间(图1-1)。研究区西侧的莱恩西断裂带分隔了中太平洋海盆和东太平洋海盆。走向NEE向的克里帕顿、克拉里昂及欧罗兹科断裂带主要形成于新生代太平洋板块扩张期,是一组规模巨大的转换断层,断层所造成的断裂带宽达200km,延长数千公里,这类断层常错断磁异常带,它们一定程度上对海槽、海山及火山作用起到控制作用,无疑对于多金属结核的形成及沉积作用也有一定的控制作用。与近EW向大型转换断层近于垂直的NW向断层表现为正断层性质。本区有代表性的是

海洋四号断裂。这一断裂与研究区西部的莱恩西断裂带及中太平洋海盆西侧的马绍尔-吉尔伯特断裂带呈大致平行关系。从断裂的发育来看,NNW 向断裂带要早于 NEE 向断裂带。

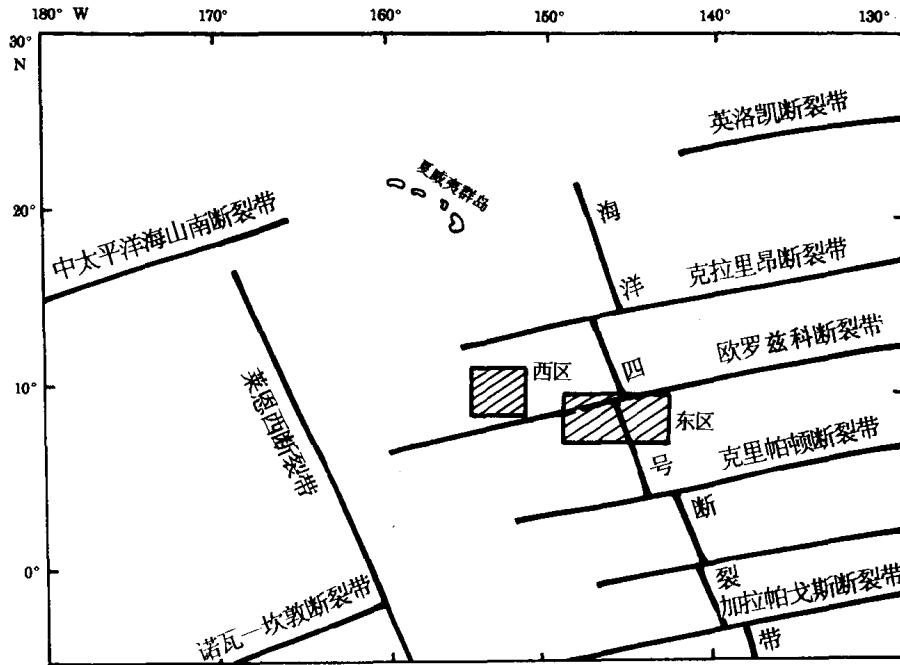


图 1-1 研究区构造位置图

三、火山作用

太平洋中部的海底火山活动主要有 2 个活跃期,早期活动期发生于晚白垩世—早第三纪,其喷发物属碱性玄武岩。晚期活动期发生于新生代晚期,主要喷发拉斑玄武岩。研究区内见有 EW 走向的海山链,其上覆盖有晚新生代沉积层,这一海山链为碱性玄武岩类。区内构造主体海山属早期活动期喷出的产物。另一类孤立并穿刺晚新生代沉积层的火山喷发形成的海山,常见于海底平原之上,它们属后一活动期喷发产物。典型的夏威夷火山也属这一活动期喷发的产物。但无论哪一时期的火山作用及形成的海山都一定程度上对深海的沉积作用及金属元素的供给起到某些控制作用。作为多金属结核的成矿金属元素内生源,火山作用是重要因素。

第二节 海底地形地貌

研究区东部和西部海底地形有较大差异。东部地形总体平坦,以深海丘陵为主(图 1-2),其次为深海平原,海山仅局部出现。其中丘陵区分布面积约占三分之二,丘陵区水深一般为(5 000~5 200) m,零星出现的海丘相对高差一般为(200~300)m。平原区水深一般为(5 200~5 300)m,局部低洼处水深大于 5 300m。海山仅见于东区的东南部,由 2 个遥相对应的锥状海山构成,海山相对高差为(700~800)m。

研究区西部地区海底地形较为复杂,由海山链、海山、山间盆地、深海平原及台地等地貌单元组成(图 1-3)。其中海山链在区内尤其发育,一共分布有 3 条海山链,南边的 2 条相互平行,

呈 EW 走向,延伸长为(200~250)km,宽度为(25~72)km,山顶水深为(3 600~4 500)m,海山相对高差为(650~1 400)m。北部海山链由 6 个相连的海山组成,海山链长约 150km,呈 NWW 向展布,海山顶部水深为(3 888~4 580)m,相对高差一般为(420~780)m。海山链中各海山间常发育有山间谷地或鞍状台地。区内的海山海丘区发育于西南偶、东南偶及北部地区,面积较小,主要由小于 300m 的海丘组成,丘间洼地水深为(5 100~5 300)m,海丘顶部水深一般大于 4 000m。山间盆地地形发育于 2 条平行的海山链之间,呈长条形,长约 220km,宽约 40km,大部分地区水深为(5 200~5 400)m。深海平原地形见于最南部的海山链以南之东南及西南海山海丘区之间。区内地形平坦,水深一般为(5 100~5 200)m,常发育有低平海丘及局部较深的洼地,地形总体上呈缓坡状起伏。局部的鞍状台地地形见于东北部,它由东西向台地的鞍状椭圆海山构成,鞍状海山台地地形平坦,面积达 100km²,台地最小水深为 4 260m。

第三节 海底环境特征

一、海水化学特征

据 CTD 系统采集的分层水样分析,研究区西区海水 pH 值在 7.33~8.19 之间变化,呈弱碱性,研究区东区海水 pH 值在 7.5~8.12 之间变化,亦呈弱碱性。溶解氧的变化范围是,西区为(0.20~4.75)ml/L,东区为(0.49~4.52)ml/L。溶解氧在水层中的分布与水深有关,表层海水与底层海水具有较高值的溶解氧,中层(约 600m)溶解氧含量最低。底层水含较高溶解氧,含溶解氧高的原因主要与南极底流的侵入有关。

据 13 个 CTD 分层样部分元素化学分析结果,主要金属元素 Fe、Mn、Cu、Co、Ni 含量变化表明(图 1-4、图 1-5),Mn、Fe 含量在各水柱中的变化幅度较大,其中 Fe 的变化范围大于 50mg/L, Mn 的变化范围大于 60mg/L,不同海区海水中 Mn、Fe 含量有较大差异。将海水中元素含量与沉积物中同类元素含量对比后发现,水柱中元素浓度较高的站位,相应的海底沉积物中同类元素含量也较高,如 5720 站位水柱中的 Cu 含量(一般小于 0.5mg/L)要比 5761 站位 Cu 含量低(大于 0.5mg/L),相应站位 5720 柱状沉积物中的 Cu 含量(小于 600×10^{-6})也低于 5761 站位柱状沉积物中 Cu 含量(大于 700×10^{-6})。元素 Mn 也有类似情形。资料表明,海水化学环境对沉积物化学特征有一定的制约作用。

二、南极底流与沉积作用

以往的研究证明(冈田博有,1981),中太平洋海盆晚新生代以来存在南极底流影响。其中中新世南极底流影响最为强烈(许东禹等,1992)。早新生代晚期,由于南极冰盖扩大,寒冷且密度大的水团沿大陆斜坡下沉,直至扩散到洋底,形成低温、富氧、硅酸不饱和的底层流。据 D. A. Johnson(1972)研究,南极底流由南极海域向北沿汤加海沟、克马克德海沟北上,经萨摩亚通道进入托克劳海盆,然后分两支进入中太平洋,一支向西北进入中太平洋海盆,另一支穿过莱恩海山向东进入东太平洋海盆(图 1-6)。南极底流对东太平洋海盆 CC 区的影响始于早中新世,其中影响最大,造成剥蚀及沉积间断的南极底流活跃期,主要有 3 个时期(黄永祥,1992):第一个时期大致发生在(17~18)Ma,造成约 1Ma 的沉积间断,并结束了钙质软泥沉积,代之以硅质软泥沉积为主,并造成 CCD(碳酸盐补偿深度)抬升。第二个活跃期发生于中中新世初期至晚中新世末期或上新世初期,这一次南极底流大规模侵入,对东太平洋海盆影响最强烈,造成近 12Ma 的区域性沉积间断及剥蚀,上新世及第四纪沉积大量的再沉积化石是这一时期

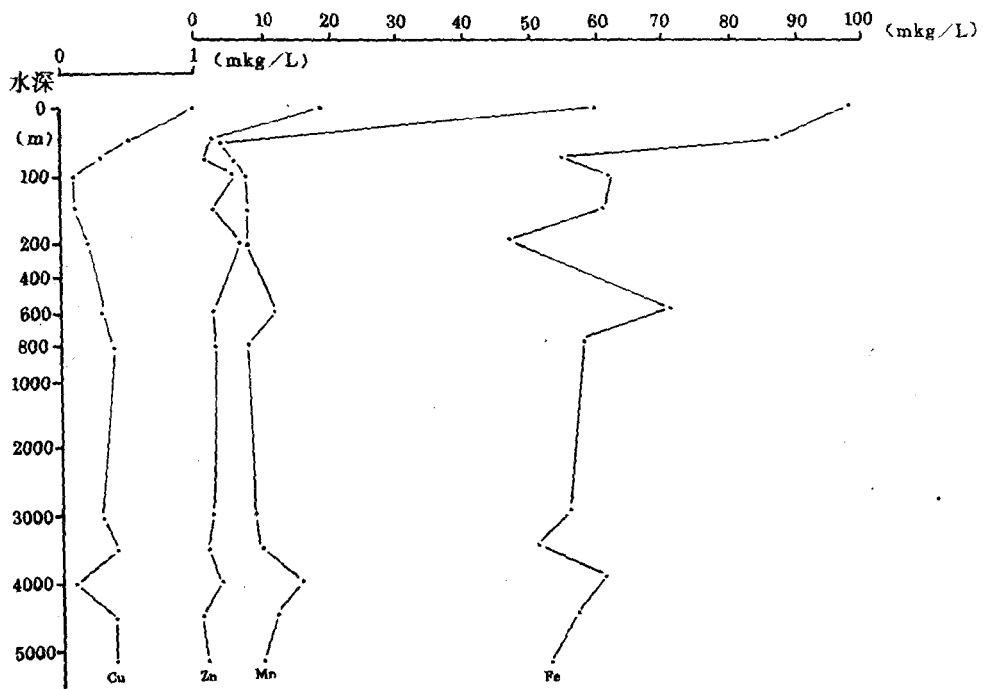


图 1-4 FC5720 主要金属元素含量随水深变化曲线图

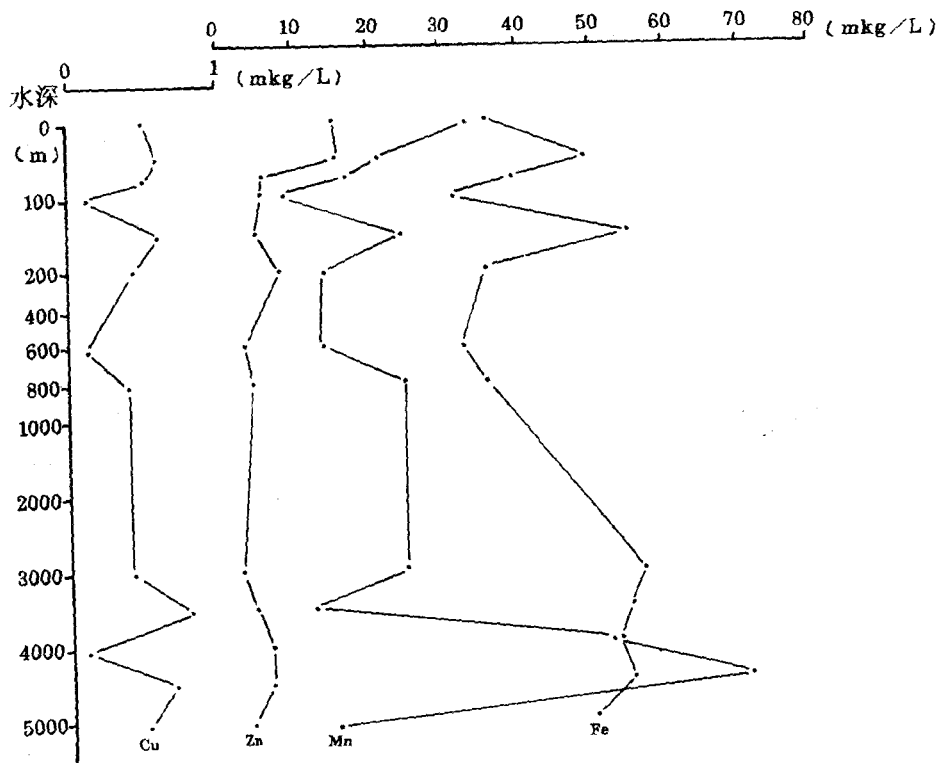


图 1-5 FC3761 主要金属元素含量随水深变化曲线图

底流剥蚀后再沉积的产物。第三个活跃期发生在上新世中晚期至第四纪早期,这一时期底流活动强度因地而异,不同区域底流影响的强烈程度有较大区别,时间上也不尽一致,有先后之别。目前的南极底流强度比活跃期弱,据日本及“海金联”^①的资料,目前CC区洋底的底流速度平均为2cm/s左右。海底以沉积硅质粘土或软泥为主,处于缓慢的沉积时期中。研究区地史时期的沉积作用受到南极底流的强烈影响。南极底流初始的影响期,由于底流较弱,还没有造成生物骨骼的大量溶解和CCD的抬升,因此,区内发育了一套富含钙质生物及硅质生物的软泥沉积,但沉积速率不大,一般为(2~3)mm/ka(黄永祥、周文勤,1992)。到中中新世晚期,由于底流作用加强,随着海底温度的降低,CCD急剧抬升,溶解作用加强,钙质生物遗骸全部溶解,硅质生物沉积占主导地位。中中新世南极底流的进一步加强,强烈的硅酸不饱和及低温海水,溶解了全部微体生物遗骸,出现沉积间断,上新世以后,尽管底流减弱,恢复了沉积,但溶解作用仍然很强,沉积以粘土为主,沉积速率一般小于2mm/ka。沉积物中钙质生物缺乏,硅质生物大部分破碎或缺乏,直至近几十万年来,洋底才恢复了硅质及钙质沉积,说明现在海底环境条件,较接近于早中新世晚期的硅质沉积时期。

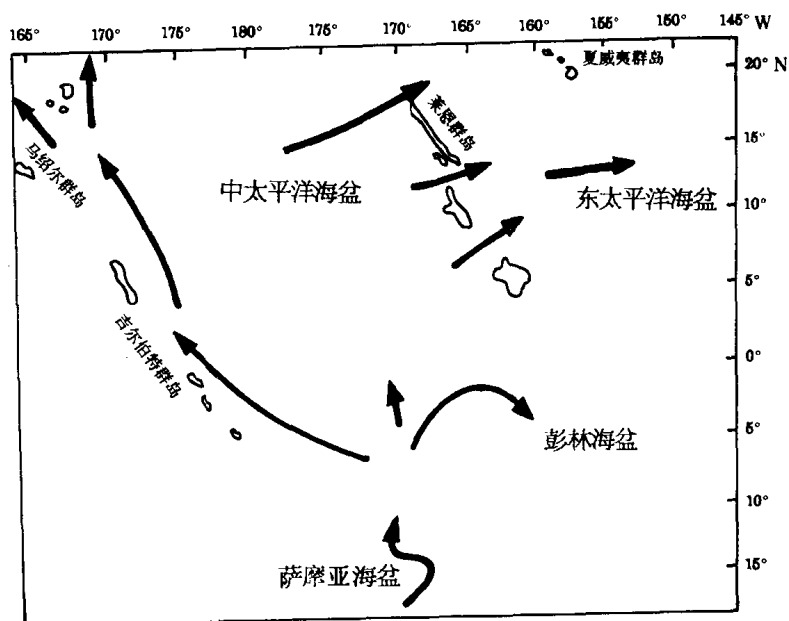


图 1-6 南极底流流相示意图

① 海金联:由波兰、俄罗斯、捷克、斯洛伐克组成的海底金属矿产开发联合会

第二章 沉积物类型及地层划分对比

海底沉积物是多金属结核,尤其是成岩型及沉积-成岩型富 Mn、Ni、Cu 多金属结核成矿的重要媒体。研究沉积物类型及其分布规律;确定沉积年代及进行地层划分对比;讨论沉积物沉积速率及沉积史,将有助于从宏观上认识沉积物特征,以求更深刻地揭示沉积物类型与多金属结核的内在关系。

第一节 表层沉积物类型及分布

一、沉积物类型及其特征

目前分布于研究区海底表层的各类沉积物,除个别海山附近有早中新世钙质软泥出露外,绝大部分海区的表层沉积物均为现代沉积。据从现场各站位多金属结核表层及有缆抓斗获得的沉积物涂片资料,识别出海底表层沉积物类型主要有硅质软泥、硅质粘土、钙质软泥、硅钙质软泥、钙硅质软泥、沸石粘土六类(图 2-1、图 2-1),此外还有深海粘土。上述类型中以硅质粘土及硅质软泥分布最为广泛。各类沉积物的特征描述如下。

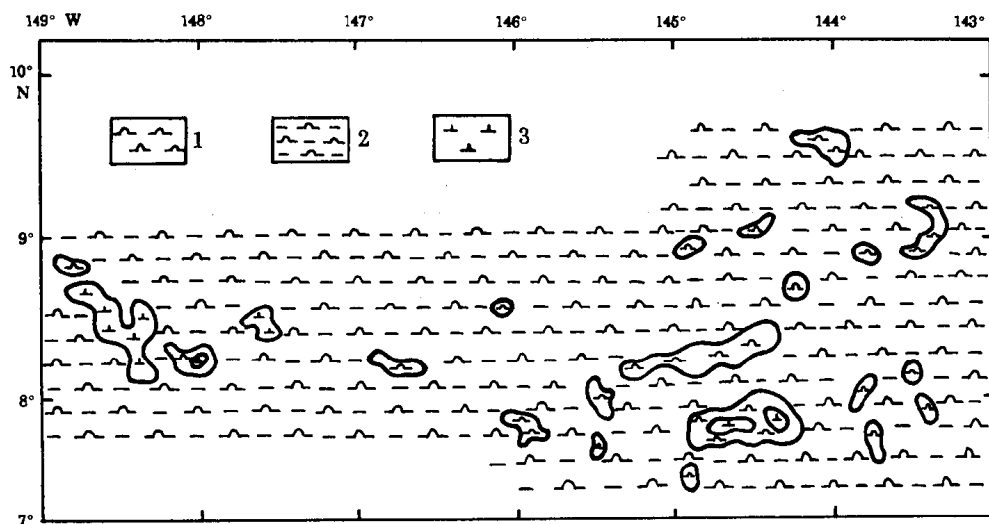


图 2-1 研究区东区表层沉积物类型分布图

1. 硅质软泥;2. 硅质粘土;3. 钙质软泥

硅质软泥 呈黄褐色,中等粘性,其组分以粘土矿物为主,含量一般为 35%~55%,其次