

# 洋底水岩系统界面水及其成矿机理

汪蕴璞 著



OCEAN-FLOOR INTERFACE WATER  
IN WATER-ROCK SYSTEM AND  
ITS MINEROGENIC MECHANISM

北京科学技术出版社

洋底水岩系统界面水及其成矿机理

北京

D 68.791-896

# 洋底水岩系统界面水及其成矿机理

OCEAN-FLOOR INTERFACE WATER IN WATER-  
ROCK SYSTEM AND ITS MINEROGENIC  
MECHANISM

汪蕴璞 著

北京科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书是根据地质矿产部“海洋4号”船在1986—1988年期间,三度驶入太平洋中部海域开展的多金属结核调查所获得的资料,以及通过开展室内水岩作用模拟系列试验和各类样品成分的多项分析测试,并应用电子计算机技术和数理统计法等取得的极其珍贵的、比较系统的第一性资料的基础上,经过综合分析研究的成果。

本书首次披露了洋底界面水的物理化学场景观,以及洋底存在金属垒、氧化垒和碱性垒的现代环境。剖析了大洋水物质模型和界面水物理化学场的形成机理及其与多金属结核形成之间的规律性联系。发现多金属结核的成矿溶液是一种稀的金属溶液和参与成矿的金属存在形式。概括了成矿作用反应场中成矿金属的形成和转移模式。提出了水成多金属结核的成矿阶段、作用和机理。

本书论述的界面水及其成矿作用的理论学术成果反映了该学科领域当代研究的水准和动向,为水文地球化学研究的延伸开辟了新领域,并取得了新进展,指出了生产应用前景。

本书可供从事水文地球化学、水文地质、海洋地质、海洋地球化学、矿床地质、数学地质等方面的工作者及有关大专院校师生参考。

## 洋底水岩系统界面水及其成矿机理

汪蕴璞 著

北京科学技术出版社 出版

(北京西直门南大街16号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
北京昌平沙河建华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 7.5印张 187千字

1991年5月第一版 1991年5月第一次印刷

印数1—660册

ISBN7-5304-0875-5/T·178 定价: 5.10元



# 导 言

浩瀚的海洋约占地球表面积的71%，蕴藏着极其丰富的、具有工业开发规模前景的矿产资源。当代，勘查、开发和研究海洋潜在资源已成为举世瞩目的大事。许多国家不惜投入巨额资金在公海展开海洋资源调查和研究的竞争。这种争夺海洋资源的所有权和海洋权益的动向，不仅因为陆地资源年复一年地消耗和资源供需之间矛盾的日益加剧，从而增强了寻找和开拓资源新领域和扩大资源储备的意识，而且因为海洋地质问题是了解、把握和建立全球地质科学观点和理论的关键。事实上，海洋已成为地球科学迅速发展和取得重大理论突破的领域之一，是许多新兴学科的生长点和前沿阵地。因此，其重要意义可与空间科学、原子能科学研究相提并论。

第二次世界大战以后，特别是近二三十年，许多国家先后开展了空前规模的海洋调查和科学研究。这些调查已超越了第二次世界大战前主要为渔业、航海和军事服务的狭隘目的，而是着眼于解决全球性地学问题和海洋资源的开发利用和保护等问题。我国的大洋调查和研究是从60年代开始的，当时主要是收集大洋多金属结核的文献资料，并筹划这一潜在资源的调查和研究。国家海洋局“实践号”和“向阳红09号”等船于70年代末和80年代多次驶入中太平洋开展调查；地质矿产部“海洋4号”船于1986—1989年期间四度驶入太平洋中部开展多金属结核的调查和研究工作。我国开展的大洋地质调查为积累大洋地质资料和建立全球地质理论作出了一定的贡献。

本书是根据地质矿产部“海洋4号”船在太平洋中部地区开展多金属结核调查所获得的极其珍贵的、大量的第一性资料和实物样品，开展了不同深度的大洋水和软泥水化学成分的测试和水文地球化学模拟系列试验及其试样化学成分的测试，应用多元数理统计分析和电子计算机技术对大批量数据进行处理、运算和制图，并由水文地球化学、水文地质学、海洋地质学、数学地质、计算机软件 and 化学等人员的通力合作和综合分析研究撰著完成的。

本书包括两部分内容，试图解决：一是揭示和查明洋底水岩系统界面水物质成分的基本特征和分布规律，计算界面水中生成多金属结核的成矿金属的浓集强度和饱和浓度，阐明界面水与洋底沉积物构成的水岩系统地球化学环境特点，以及两者构成的动力化学平衡系统中物质成分是怎样转移和互换的；论证界面水物质成分的形成作用和过程，以及概括其化学成分形成的动态模型，并以水文地球化学模拟系列试验辅以论证界面水物质成分的形成过程和方向。这是基础理论研究部分。二是在上述研究成果基础上，论述界面水与多金属结核形成的关系。在分析和概括多金属结核分布特性的基础上，研究作为成矿溶液的界面水中成矿金属存在的形式和发生的成矿作用，勾画水成多金属结核的成矿阶段和成矿机制，以及作出现代大洋底部是否存在成矿作用的科学论证。

鉴于上述，本书是属于基础应用研究性质的，在很大程度上是属于基础性研究的。这是因为在研究区已探明了这类矿产资源的存在，而且是太平洋海盆的富矿区。根据同位素测年确定多金属结核生成于早中新世，即是说，这类矿产资源早在12—20Ma前已经形成了。如果这个年龄域基本上正确的话，那就应该从地质历史的领域去探索和研究它们在那个地质年

代的成矿作用和条件。或者说,应从洋底壳层的形成发展过程,从古水文地球化学领域去研究和论述多金属结核的形成问题。但是,根据当前掌握的调查资料,开展古水文地球化学研究的条件尚不具备。用调查和掌握的现代资料去求解地质历史过程中生成多金属结核的成矿作用和条件,也许基本上可以反映类似于那个时代的成矿条件,但毕竟是有原则区别的,何况多金属结核生长速度异常缓慢。世界各国学者测定结核的生长速度以百万年计,这个计量值的漫长与人类生命值的短暂是无法相比的,因此,人们难以观察到结核的生长过程。同样,在室内开展的模拟试验只能监测出液相和固相之间物质成分在数量上的交换和转移过程的趋势,而这种趋势仅可以说明多金属结核形成的可能性,决不能用以证明结核的生长或观察到其生长过程。因此,研究和论证太平洋中部洋底水岩系统界面水的现代水文地球化学作用及其与多金属结核形成的规律性,就成为本书的中心命题。

在本书的编写过程中,王焕夫、王翠霞、叶思源完成了样品的编录,原始资料的整理,附表中各类参数的计算,以及水文地球化学模拟系列试验;林锦璇、梁国玲编制了水化学参数和环境参数等值线系列略图,并进行了聚类分析、因子分析和典型相关分析等计算;雷颢韵、王晋强完成了1986-1、1987-1航次样品的测试和模拟试验中试液的配置;何自冀完成了1988-1航次样品和模拟试验样品的测试;还有张丽洁参加了技术性工作;撰写和校订由汪蕴璞完成。

我们在海洋科学的百花园中独辟蹊径,孕育出的这朵生命的小花,期望能起到抛砖引玉、推波助澜的作用,促进和导向海洋水文地球化学的新进展和取得新成就。

我们所以能够完成这本专著,十分感谢地质矿产部及其下属机构广州海洋地质调查局、海洋地质研究所等单位的大力支持和给予工作上卓有成效的帮助。特别是参加1986—1988年期间地质矿产部“海洋4号”船在太平洋中部开展深海远洋调查的科学家、工程技术人员的艰苦、卓越的工作所获得的大量资料是这项研究工作的基础和前提,在此向他们致以崇高的敬意。

承蒙中国科学院学部委员张宗祐研究员,地质矿产部水文地质工程地质勘察院段永候高级工程师和哈承佑研究员,中国地质大学沈照理教授和钟佐桀副教授,合肥工业大学朱宛华副教授,地质矿产部水文地质工程地质研究所任福弘研究员、卢耀如研究员、翟荣庭研究员对本书进行了审阅,提出了很好的修改意见和建议,在此一并表示感谢。

由于研究周期较短,研究内容新颖,书中定会存在挂一漏万,以偏概全等缺陷和错误,敬请读者批评指正。

著 者

1990年7月于河北正定

(地质矿产部水文地质工程地质研究所)

# 目 录

|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| <b>第一章 研究现状和某些术语述要</b> .....            | ( 1 )  |
| 第一节 研究现状简述.....                         | ( 1 )  |
| 第二节 某些术语述要.....                         | ( 2 )  |
| <b>第二章 洋底水岩系统环境背景</b> .....             | ( 5 )  |
| 第一节 地质构造.....                           | ( 5 )  |
| 第二节 沉积物.....                            | ( 6 )  |
| 第三节 地形和水文.....                          | ( 9 )  |
| <b>第三章 界面水的物理化学场</b> .....              | ( 11 ) |
| 第一节 水成分测试数据的技术处理.....                   | ( 11 ) |
| 第二节 界面水化学参数和环境指标基本特征.....               | ( 12 ) |
| 第三节 界面水化学场.....                         | ( 13 ) |
| 第四节 界面水物理场.....                         | ( 24 ) |
| <b>第四章 界面水中成矿金属的浓集强度和饱和浓度</b> .....     | ( 26 ) |
| 第一节 集中系数 ( $K$ ) 和水迁移系数 ( $K_w$ ) ..... | ( 26 ) |
| 第二节 饱和浓度.....                           | ( 30 ) |
| <b>第五章 界面水化学成分的形成问题</b> .....           | ( 31 ) |
| 第一节 大洋水系统界面水化学成分的形成.....                | ( 31 ) |
| 第二节 水岩系统界面水化学成分的形成.....                 | ( 37 ) |
| 第三节 界面水化学成分形成的动态模型.....                 | ( 42 ) |
| <b>第六章 模拟试验在界面水化学成分形成上的论证</b> .....     | ( 44 ) |
| 第一节 模拟试验意义及其系列类型.....                   | ( 44 ) |
| 第二节 水岩系统模拟试验.....                       | ( 45 ) |
| 第三节 淋滤作用模拟试验.....                       | ( 59 ) |
| 第四节 吸附交替作用模拟试验.....                     | ( 61 ) |
| <b>第七章 界面水在多金属结核形成上的功能</b> .....        | ( 63 ) |
| 第一节 多金属结核形成分布的特性.....                   | ( 63 ) |
| 第二节 成矿金属的来源和成矿作用反应场.....                | ( 64 ) |
| 第三节 成矿金属的共生聚集关系.....                    | ( 66 ) |
| 第四节 成矿金属的存在形式及其在成矿作用上的功能.....           | ( 69 ) |
| 第五节 成矿金属形式转变的物理化学条件.....                | ( 72 ) |
| 第六节 成矿金属的补偿.....                        | ( 75 ) |
| 第七节 成矿金属的形成和转移模式.....                   | ( 77 ) |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>第八章 水成多金属结核的形成机理</b> ..... | ( 78 )  |
| 第一节 多金属结核的成矿阶段.....           | ( 78 )  |
| 第二节 多金属结核的形成机理.....           | ( 79 )  |
| <b>结束语</b> .....              | ( 86 )  |
| <b>主要参考文献</b> .....           | ( 90 )  |
| <b>英文摘要</b> .....             | ( 101 ) |

# CONTENTS

---

|                                                                                                                     |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CHAPTER 1. PRESENT RESEARCH AND OUTLINE OF SOME<br>TERMINOLOGIES.....                                               | ( 1 )  |
| I. Brief Introduction to Present Research .....                                                                     | ( 1 )  |
| II. Outline of Some Terminologies .....                                                                             | ( 2 )  |
| CHAPTER 2. ENVIRONMENTAL BACKGROUND OF OCEAN-FLOOR<br>WATER-ROCK SYSTEM .....                                       | ( 5 )  |
| I. Geological structure.....                                                                                        | ( 5 )  |
| II. Sediments .....                                                                                                 | ( 6 )  |
| III. Geomorphology and Hydrology .....                                                                              | ( 9 )  |
| CHAPTER 3. PHYSICAL FIELD AND CHEMICAL FIELD OF<br>INTERFACE WATER.....                                             | ( 11 ) |
| I. Processing of Tested Data of Interface Water Components...                                                       | ( 11 ) |
| II. Fundamental Properties of Chemical Parameters and Environmental<br>Factors of Interface Water .....             | ( 12 ) |
| III. Chemical Field of Interface Water .....                                                                        | ( 13 ) |
| IV. Physical Field of Interface Water .....                                                                         | ( 24 ) |
| CHAPTER 4. CONCENTRATION INTENSITY AND SATURATION<br>CONCENTRATION OF MINEROGENIC METALS IN<br>INTERFACE WATER..... | ( 26 ) |
| I. Concentrated Coefficient ( $K$ ) and Water Migration<br>Coefficient ( $K_{\alpha}$ ) .....                       | ( 26 ) |
| II. Saturation Concentration .....                                                                                  | ( 30 ) |
| CHAPTER 5. FORMATION OF CHEMICAL COMPONENTS IN<br>INTERFACE WATER .....                                             | ( 31 ) |
| I. Formation of Chemical Components of Interface Water<br>in Ocean Water System .....                               | ( 31 ) |
| II. Formation of Chemical Components of Interface Water<br>in Waterrock System.....                                 | ( 37 ) |
| III. Dynamic Model of Chemical Components Formation<br>of Interface Water .....                                     | ( 42 ) |
| CHAPTER 6. DEMONSTRATION OF ANALOGY TESTS IN CHEMICAL<br>COMPONENTS FORMATION OF INTERFACE WATER...                 | ( 44 ) |
| I. Significance and Serial Types of Analogy Tests .....                                                             | ( 44 ) |

|                                                                                          |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| I . Analogy Test of Water-rock System .....                                              | ( 45 )  |
| II . Eluviation Analogy Test .....                                                       | ( 59 )  |
| IV . Exchange and Adsorption Analogy Test.....                                           | ( 61 )  |
| CHAPTER 7. FUNCTION OF INTERFACE WATER IN THE FORMATION<br>OF POLYMETALLIC NODULES ..... | ( 63 )  |
| I Properties of Formation and Distribution of<br>Polymetallic Nodules .....              | ( 63 )  |
| II . Sources of Minerogenic Metals and Minerogenic<br>Reaction Field .....               | ( 64 )  |
| III . Relation of Intergrowth and Coagulation and of<br>Minerogenic Metals.....          | ( 66 )  |
| IV . Existence Form of Minerogenic Metals and Its<br>Function in Minerogenesis.....      | ( 69 )  |
| V . Physiochemical Conditions of Minerogenic Metals<br>Transformation .....              | ( 72 )  |
| VI . Compensation of Minerogenic Metals .....                                            | ( 75 )  |
| VII . Formation and Transference pattern of Minerogenic Metals...                        | ( 77 )  |
| CHAPTER 8. FORMATION OF NEPTUNIAN POLYMETALLIC<br>NODULES .....                          | ( 78 )  |
| I . Minerogenic Stages of Polymetallic Nodules .....                                     | ( 78 )  |
| II . Formation Mechanism of Polymetallic Nodules.....                                    | ( 79 )  |
| CONCLUSIONS.....                                                                         | ( 86 )  |
| REFERENCES .....                                                                         | ( 90 )  |
| ABSTRACT.....                                                                            | ( 101 ) |

# 第一章 研究现状和某些术语述要

## 第一节 研究现状简述

1872—1876年,英国“挑战者”号船首次对世界大洋进行了环球科学考查,于1873年2月18日在大西洋加那利群岛的弗罗岛西南约300千米处首次捞取到锰结核(注:我们称为多金属结核)。默莱(Murray)和雷纳德(Renard)根据“挑战者”号的调查资料第一次发表了锰结核的产状、形状和成分方面的论著,提出了锰结核是火山成因的假设。由于当时受调查技术和测试技术的限制,系统的锰结核调查几乎中断了近1个世纪。

人类对多金属结核的大规模调查始于本世纪60年代,许多国家先后开展了空前规模的海洋调查和科学研究,现已积累了大量资料。国内外专家比较一致地认为太平洋深水区的北部近赤道带,即夏威夷群岛东南的克拉里昂(Clarion)断裂带和克里伯顿(Clipperton)断裂带之间的地区是世界大洋中锰结核矿业开发最有远景的地区。

当代对洋底多金属结核的分布和性质已有了较全面的了解,对结核的形态和构造、结核的化学成分和矿物成分、结核的生长速度和生长年代等方面的研究都取得了一定的进展,并开始研究结核的成因。在出版的众多海洋地质学的论著中均设有锰结核章节,在锰结核的专论中均是主要从沉积学、矿物学、岩石学、动力学和地球化学等领域开展论述的。海洋化学论著颇多,提供的水成分监测内容比较齐全,但涉及到大洋水的深度却非常有限。

令人遗憾的是至今很少或几乎未曾涉猎水文地球化学领域开展结核形成问题的系统研究,仅见零散的或者肢解其某个方面的内容研究。比如,从大洋水系统液相而论,只是分析了不同深度上大洋水的金属含量与结核形成的关系,这种定量相关关系只是揭露了表象,并未与结核生成的成矿作用反应场联系起来进行研究,未能触及结核生成的本质问题。因此,在结核成因研究上收效不大。许多文献普遍使用了底层洋水这个术语,试图讨论其化学成分与结核生成的关系。然而,底层洋水与洋底沉积物存在多大距离,是几米还是几百米,两者距离的不确定性与含糊性导致在使用这个术语上存在困难。事实上,所谓底层洋水离沉积物距离颇大,它不能正确地反映大洋水与沉积物接触处的水的化学性状,因此,将其与沉积物孔隙水化学成分进行对比,并以此获得的浓度梯度的认识就显得更粗糙了。就洋底沉积物固相而言,从本世纪30年代起,苏联学者始于内陆盆地软泥水的研究,发展到大洋盆地软泥水的研究。希什金娜, O.Б. 于1972年撰著的《海洋软泥水地球化学》可谓之代表作。它汇总了世界海洋盆地沉积物软泥水化学成分的资料,概括了不同类型沉积物软泥水化学成分的特点并进行了分类,但提供的水成分监测资料几乎都是宏量组分,而微量组分仅有Br、I、B为数甚少的监测数据,无痕量金属的监测资料。因此,尚未涉及多金属结核的成矿作用。到1979年为止,深海钻探(DSDP)共打了500余口井,对大部分岩芯进行了沉积物孔隙水的取样和研究,涉及深度达800米,但仅见报导的是宏量组分、某些微量组分含量随深度变化

的情况，以及讨论了它们在成岩作用上的意义。苏联学者G. N. Baturin于1988年著有《大洋锰和锰结核的地球化学》。该书设有“海洋沉积物孔隙水中的锰”这一章节，它汇总了近30年来世界海洋沉积物孔隙水中锰含量的情况，并对汇总的资料进行了评估。发现沉积物岩性类型在锰浓度的变化范围上是不明显的，在每种类型上锰浓度变化范围相当宽广，按照锰含量的特点将沉积物分为内陆盆地沉积物、边缘海洋带沉积物和大洋深海带沉积物三种类型，并对锰的地球化学行为作了分析，但亦停留在描述阶段，并未涉及结核的形成问题。

目前比较多的意见，仅是推断沉积物孔隙水中金属锰向上扩散迁移参与了结核的形成。但锰的迁移条件，包括锰浓度梯度剖面及其所在介质物理化学条件等方面却很少有资料引证。

我国国家海洋局“实践号”、“向阳红09号”于80年代末几度在中太平洋海域进行了调查，但仅报导了大洋水水深1500米以上水的化学性状，且主要监测的是宏量组分。

从上述可见，海洋洋底水文地球化学及其与多金属结核形成之间的内在联系的研究当代还是个空白。对于大洋底部水岩系统的界面水化学性状、金属行为、水岩作用及其在成矿作用上的资料至今仍鲜为人知，其学术信息和理论至今依然是个荒漠。

## 第二节 某些术语述要

鉴于在文献上某些术语的名称不同，但赋予的含意却是相同的；而相同的术语，赋予的含意却又是不同的。为了避免这种混乱现象和准确地运用术语，故对本书中使用的一些术语的名称和内涵作如下陈述和规定。

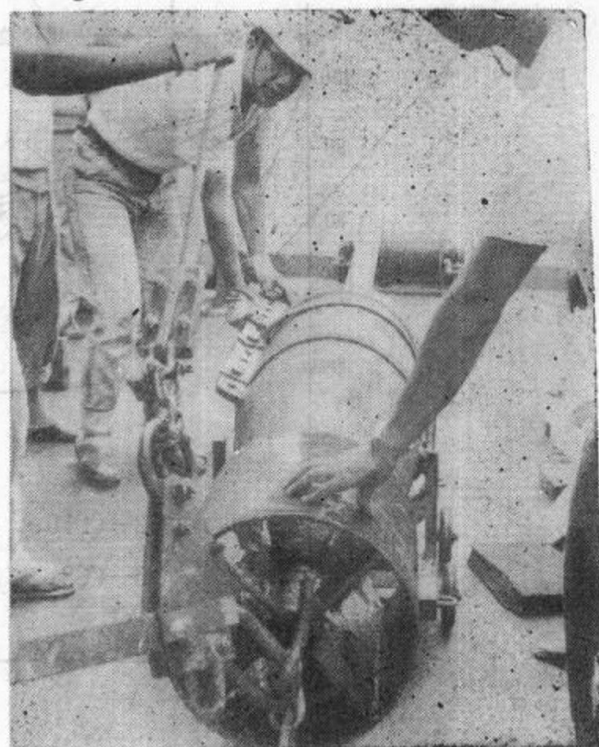
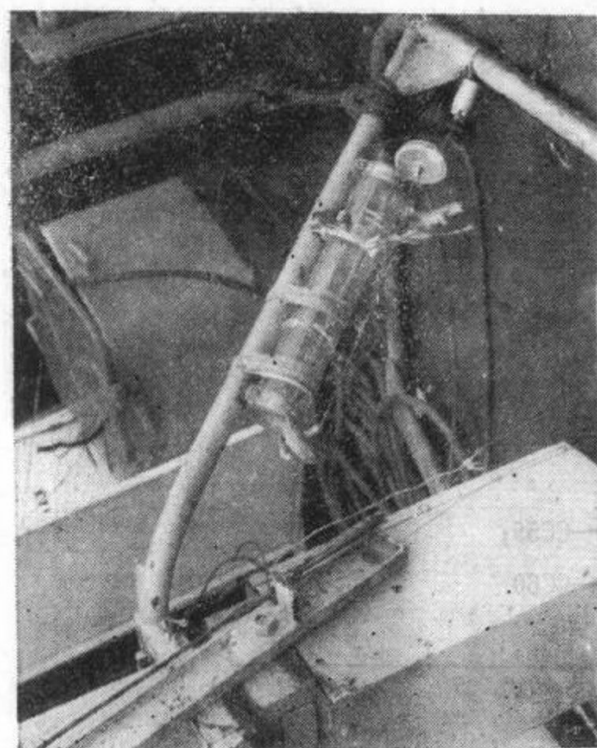
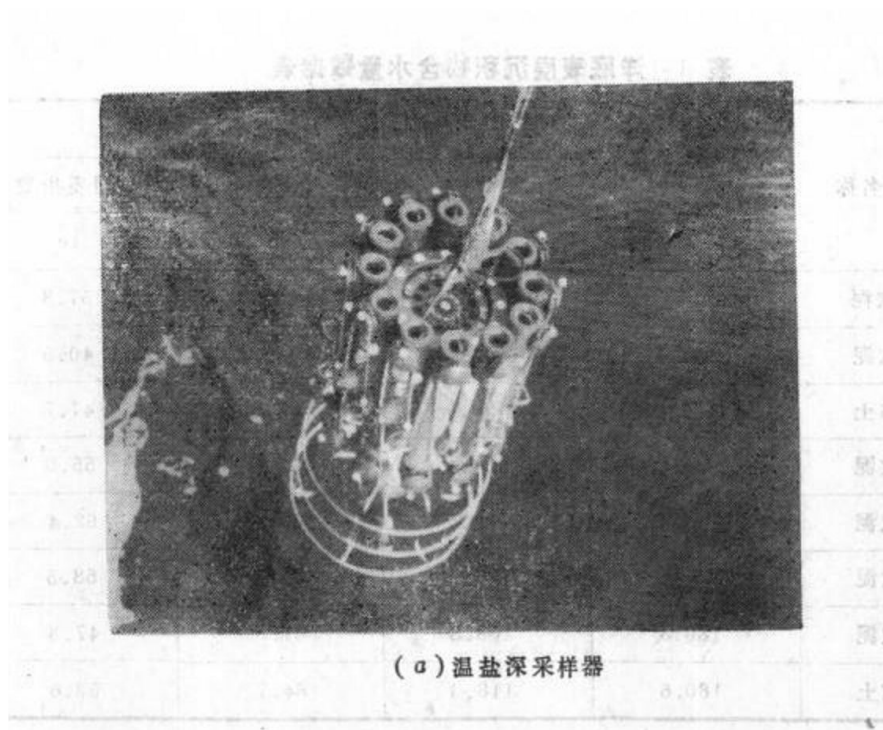
**1. 表层洋水** 系指大洋水面以下2—3米深度采集的水。

**2. 分层洋水** 系指在不同深度上采集到的大洋水。所谓分层是指深度而言的，并不反映它们在物理化学上存在一定的差别。使用的采水仪器是由美国EGSG公司生产的MK III型温盐深水文探测仪（见图1-a）。这次采样深度间距定为500米。

**3. 底层洋水** 系指离洋底沉积物表面200米以上水层中采集到的大洋水。这个距离不是绝对的，它也并不反映其在物理化学性质上与上覆水体的区别。因为用MK III型温盐深水文探测仪采集不同深度的水样时，为避免仪器与洋底沉积物撞击而遭到破坏，一般投放仪器的最大深度总是要距洋底200—300米左右，加之由于浮力和洋流的冲击使探测仪发生飘移，离铅垂线飘移距离大者约达1千米左右，小者亦在100米左右，飘移后仪器测定的深度是正确的，但难以定位，与洋底距离较难准确地确定。因此，本书中指的底层洋水是泛指。

**4. 界面水** 系指洋底沉积物与大洋水交接处的水，也就是固相和液相交界面上的水。主要是由箱式采样器和大型重力活塞采样器（见图1-b、图1-c）等采集的，确是接近洋底的，大约离洋底1米左右的底层洋水。界面水是紧挨着洋底沉积物的，它实际上是底层洋水的一种特殊类型，是特指的。界面水隶属于底层洋水之列，而底层洋水不等于就是界面水。本书中使用的这两个术语的含意差别仅在于此。

**5. 软泥水（按水储集于沉积物的空隙形态而论，可谓之孔隙水）** 鉴于洋底沉积物天然含水量很大，液性指数很高（表1），主要由胶粒（颗粒粒径 $<0.002\text{mm}$ 的占40%左右）、粘粒（颗粒粒径 $0.005\text{—}0.002\text{mm}$ 的占20%左右）等细分散性物质组成（图2）的软泥，



(b) 底层采水器

(c) 大型重力活塞采样器

图 1 各种类型的采样器

其间赋存的水谓之软泥水。洋底软泥在底层洋水平流、对流作用，底栖生物的搅动作用，或在其它力的作用下具有流动性，实际上为半液化或液化的软泥层。软泥水的提取主要是用高效多用途间隙水压滤机在海上调查船上或样品送往实验室后进行的，用其它方法提取亦可。

**6. 沉积成因水** 按其于沉积物生成的时间关系可将其分为同生和后生沉积成因水两类。

同生沉积成因水系指在沉积作用期间与沉积物同时形成的并被俘获在沉积物颗粒之间的水，形成后并未受到异地沉积成因水的排挤或交替。

表 1 洋底表层沉积物含水量数据表

| 站 位  | 沉积物名称 | 天然含水层 | 界 限 含 水 量      |                |                | 液性指数 |
|------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|------|
|      |       |       | 液 限            | 塑 限            | 塑质指数           |      |
|      |       | W     | W <sub>L</sub> | W <sub>P</sub> | I <sub>P</sub> |      |
| CC8  | 硅质软泥  |       | 119.6          | 61.8           | 57.8           |      |
| CC2  | 硅质软泥  | 161.3 | 105.2          | 64.7           | 40.5           | 2.39 |
| CC6  | 深海粘土  |       | 99.0           | 51.3           | 47.7           |      |
| CC10 | 硅质软泥  |       | 124.4          | 68.5           | 55.9           |      |
| CC31 | 硅质软泥  |       | 122.5          | 60.1           | 62.4           |      |
| CC55 | 硅质软泥  |       | 126.2          | 67.7           | 58.5           |      |
| CC59 | 硅质软泥  | 180.8 | 108.8          | 61.5           | 47.3           | 2.52 |
| CC60 | 深海粘土  | 180.6 | 118.3          | 64.7           | 53.6           | 2.16 |

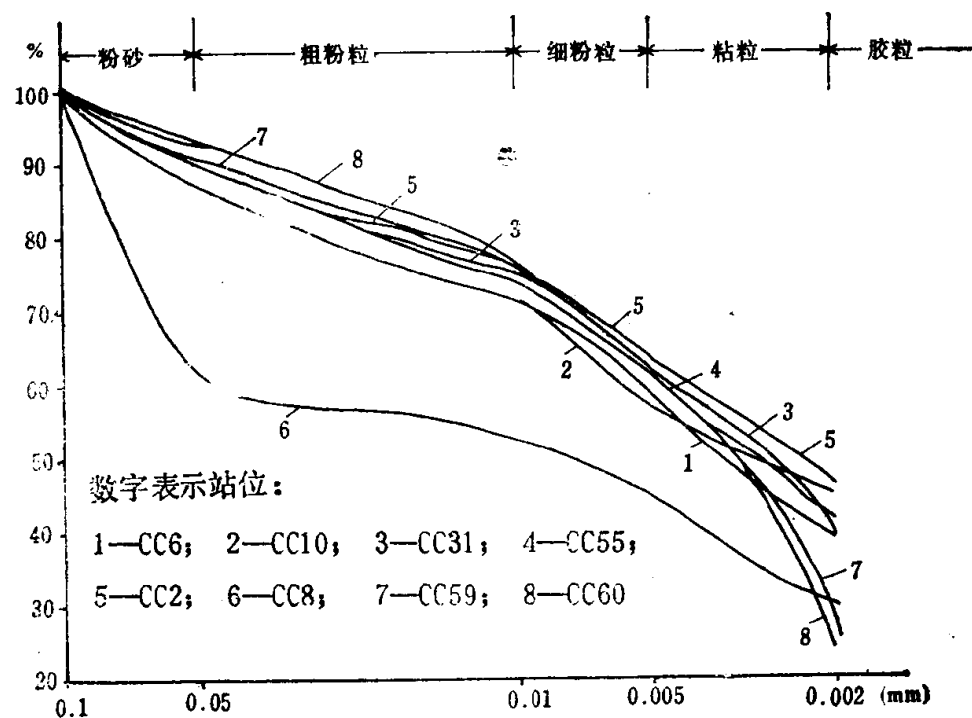


图 2 洋底表层沉积物土粒累积曲线图

后生沉积成因水系指在沉积物形成后经受了后期作用的改造，赋存其间的同生沉积水经受了排挤或交替后形成了新的沉积水。这种水不是与储层沉积物同时形成的，它可早于沉积物，也可晚于沉积物生成的年代。

**7. 水地球化学垒（或称栅栏和屏障）** 系指在水系统内或水与固相接触处或在地壳内的较短距离内，元素的迁移强度急剧降低和浓度增高的地段。根据水中组分或地球化学环境指标可分为不同性质的垒，诸如金属垒、浓度垒、氧化垒、碱性垒等等。垒的规模差别很大，大的可称为巨垒，小的可称为微垒。

## 第二章 洋底水岩系统环境背景

洋底水岩系统界面水的化学成分特点、分布规律性，以及成矿作用等的水文地球化学事件的发生和影响规模，总是与其存在的介质环境密切相关。一定性质的介质环境决定了界面水化学成分的形成、水岩作用的过程和规模，及其成矿作用的特点等。因此，阐明洋底水岩系统环境背景就可确定研讨它们的特点、过程和路线的框架，为正确解决和回答上述基本理论问题奠定了基础。

### 第一节 地质构造

太平洋自东至西大体分为三大区。东部为东太平洋海隆及其联系的大型横向断裂带，海隆北端潜入北美西部大陆之下，其北为受断裂带控制的东北太平洋，海隆南部向西逐渐弯曲延伸至受断裂控制的南太平洋；中部为大洋盆地区，在地形上是以北西或向北延伸的海脊为主，其上耸立着许多岛屿及其围绕的海盆，在地质构造上是个比较平静的区域；西部为巨大的岛弧—海沟—边缘海区，在地质构造上是异常不稳定的。太平洋的巨大海沟环绕着大洋的大部分边界，拦截了陆地带来的陆源沉积物，以致太平洋中部沉积层相对较薄。

研究区为太平洋中部海域，界于北纬 $0^{\circ}$ — $20^{\circ}$ 和东经 $177^{\circ}$ —西经 $139^{\circ}$ 之间，跨越于西部的中太平洋海盆（在该海盆的调查区谓之CP区）和东部的东太平洋海盆（在该海盆的调查区谓之CC区），其周围被露出海面的峰顶、海岭、岛屿所围限。西倚马绍尔群岛、吉尔伯特群岛和图瓦卢群岛；南至萨摩亚、库克群岛；东濒以弧形围限的线岛群岛；北临夏威夷海岭。由于研究区处在东太平洋海隆以西的太平洋板块上，研究区东部纬向断裂带中的克拉里昂（Clarion）、克利帕顿（Clipperton）和欧罗兹科（Orozco）断裂带穿插于研究区东部，这三条断裂带近东西向分布，其延伸长度在500km以上。分布着垂直于近东西向断裂带的一系列的近南北向的次级正断层。这两组断裂构形成如鱼骨形，不仅控制着洋壳的地形变化，造成东西向和南北向的海沟、脊、山，同时又是火山和热液活动的通道，研究区西部存在着较大的断裂有诺瓦—坎顿（Nova—Canton）和麦吉朗（Magellan）断裂，前者平均宽度为10—20km，延伸长度达500km，后者延伸长度达300—350km，可能是克拉里昂和克利伯顿断裂向西的延伸。在其东西两侧会聚边缘的陆缘弧或岛弧带一直存在着强烈的中性火山活动，莱恩群岛脊和马绍尔群岛链是由其东西两侧地幔热柱造成的，海底火山活动造成了许多海山或海丘（图3）。

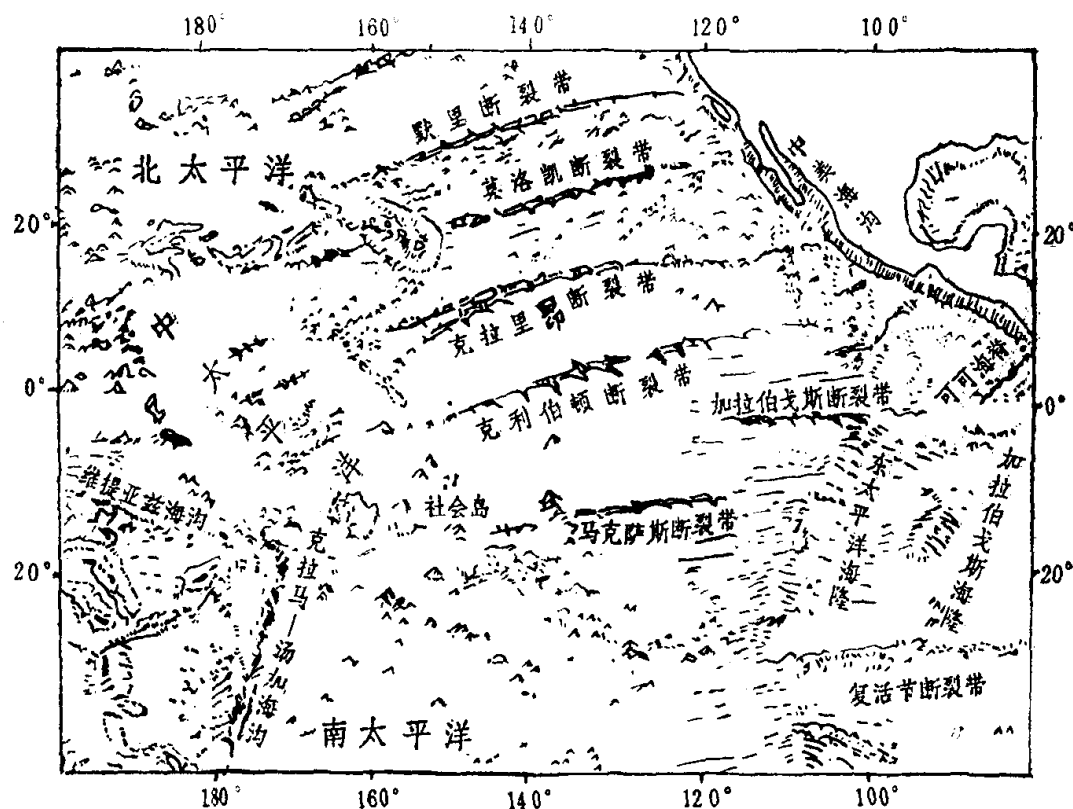


图 3 太平洋中部及其周围海底地形图 (据Kennett, 1982)

## 第二节 沉 积 物

太平洋中部最早沉积始于白垩纪。古新世缺失。早始新世在东部克拉里昂北部沉积了硅质石灰岩, 中新世早期, 沉积速率较快, 而晚期则变缓, 在中新世至晚更新世期间曾发生过多次沉积间断。第四纪和现代沉积物分布不连续, 厚度很薄, 缺失地区为早中新世沉积物裸露洋底, 根据研究区表层沉积物天然含水量、界限含水量和颗粒粒径监测 (表 1, 图 2) 表明: 这类表层沉积物实为半液化或液化的软泥层。

根据生物残骸含量命名为硅质软泥、钙质软泥和深海粘土 (图 4)。其中所含的放射虫、硅藻等微体化石普遍呈碎块状, 保存较差。

软泥颜色呈由暗变淡的褐色至黄棕色的系列色调, 为典型氧化环境沉积的产物。

软泥的粘土矿物成分主要是蒙脱石、伊利石, 两者含量占70%以上, 其次是高岭石和绿泥石, 构成混层矿物 (表 2)。

软泥的化学成分主要是 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 铁氧化物含量占第三位, 它大于钠氧化物(5.7%)及钙氧化物和碳酸盐的总量 (约 4%); 锰氧化物含量 $< 1\%$ ; 有机质含量普遍较低, 仅为 1% 左右, 有机碳含量约为0.4—0.8%。它们的含量随深度变化。见图 5、6、7。

根据古地磁学、生物学以及同位素资料确定软泥时代为第三纪早中新世 (12—20Ma), 仅在局部地段存在厚度为数十厘米的第四纪沉积层, 它直接覆盖在早中新世沉积层之上。

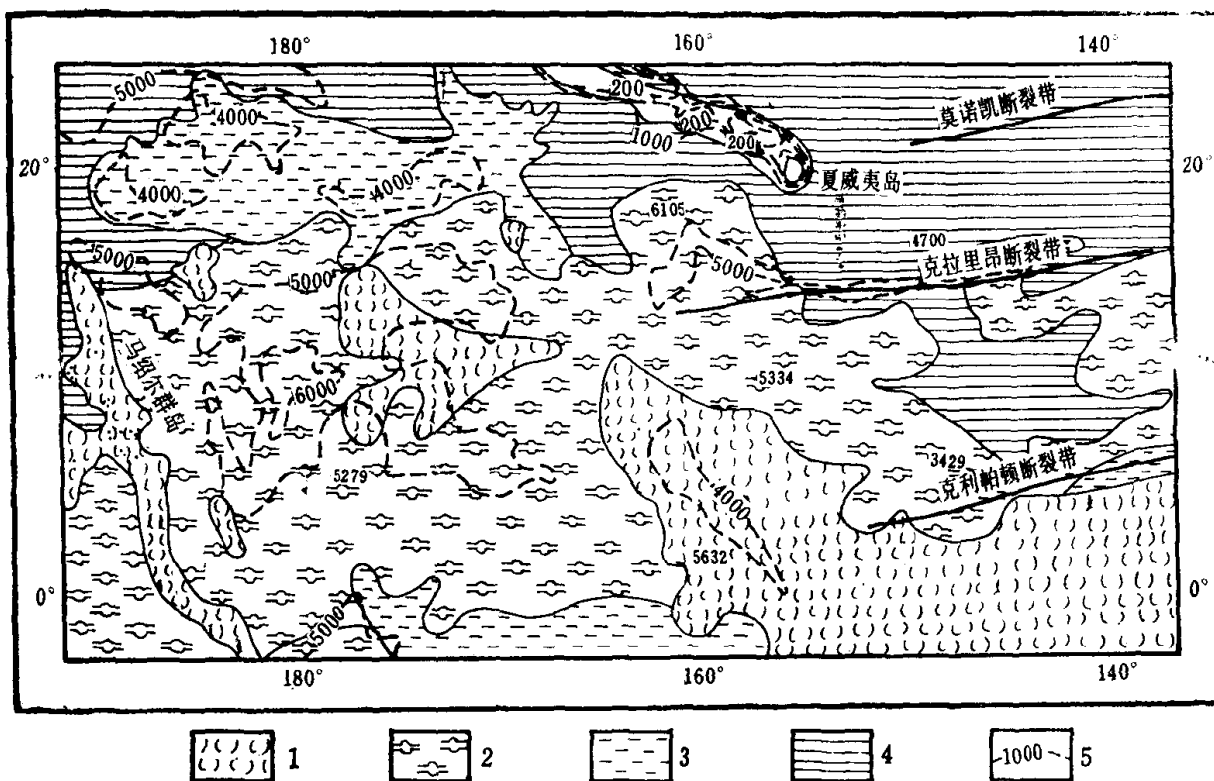


图 4 太平洋中部地质构造水文背景图

1—钙质软泥；2—硅质软泥；3—钙质泥；4—深海粘土；5—海水深度等值线

表 2 表层沉积物中主要粘土矿物百分含量统计表

| 站位   | 水深<br>(m) | 沉积物<br>名称 | 主要粘土矿物成分含量百分数 |      |      |     | SiO <sub>2</sub><br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 备注                        |
|------|-----------|-----------|---------------|------|------|-----|----------------------------------------------------|---------------------------|
|      |           |           | 蒙脱石           | 伊利石  | 高岭石  | 绿泥石 |                                                    |                           |
| CC29 |           |           | 47.9          | 31.8 | 10.8 | 9.5 | 4.23                                               | 据地矿部<br>成都地质<br>矿产研究<br>所 |
|      |           |           | 45.9          | 33.6 | 20.5 | 无   | 3.59                                               |                           |
|      |           |           | 46.0          | 36.4 | 17.6 |     | 3.75                                               |                           |
| CC33 |           |           | 54.5          | 29.2 | 7.7  | 8.6 | 3.83                                               | 据地矿部<br>海洋地质<br>研究所       |
| CC33 | 5046      | 硅质软泥      | 42            | 35   | 8    | 11  |                                                    |                           |
|      | 5034      | 硅质软泥      | 54            | 30   | 8    | 8   |                                                    |                           |
|      | 5390      | 硅质软泥      | 25            | 46   | 11   | 14  |                                                    |                           |
|      | 3234      | 硅质软泥      | 26            | 49   | 8    | 12  |                                                    |                           |
|      | 4918      | 钙质软泥      | 23            | 50   | 11   | 11  |                                                    |                           |
|      | 4928      | 硅质软泥      | 32            | 44   | 8    | 12  |                                                    |                           |
|      | 5303      | 硅质软泥      | 26            | 45   | 10   | 14  |                                                    |                           |
|      | 4950      | 硅质软泥      | 20            | 51   | 11   | 14  |                                                    |                           |
| CC54 | 4961      | 硅质软泥      | 30            | 45   | 9    | 12  |                                                    |                           |

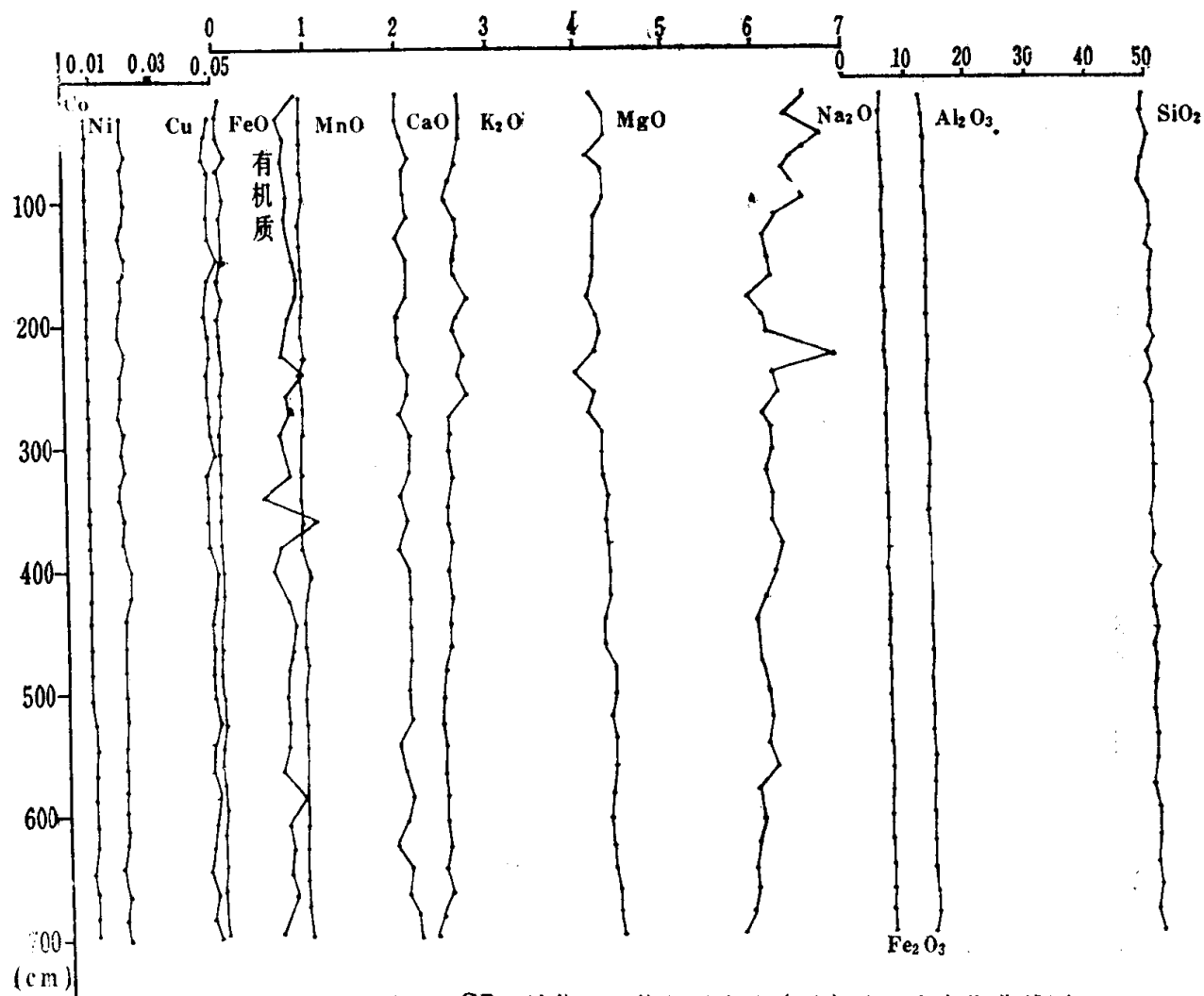


图 5 CP30 站位沉积物化学成分 (%) 随深度变化曲线图  
(据地质矿产部海洋地质研究所1986—1988年测试资料编制)

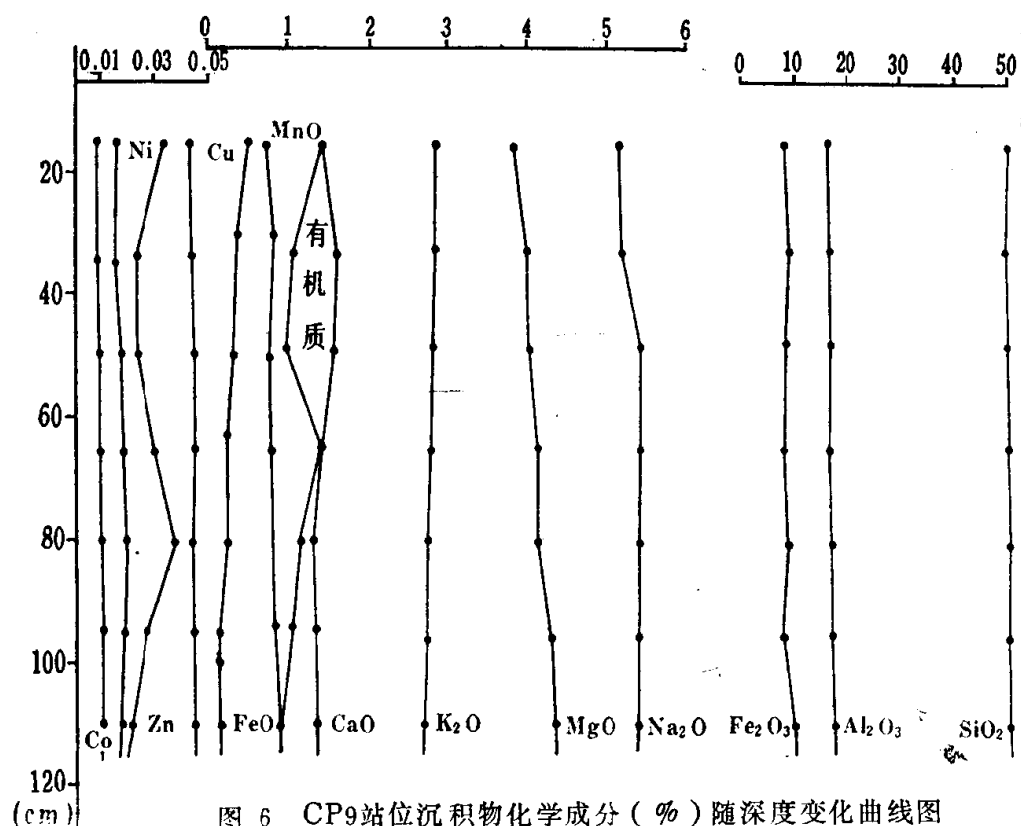


图 6 CP9 站位沉积物化学成分 (%) 随深度变化曲线图  
(据地质矿产部海洋地质研究所1986—1988年测试资料编制)