



海洋科技著作出版基金资助出版

· 中国海洋地质丛书之八 ·

大洋矿产地质学

OCEAN MINERAL GEOLOGY

许东禹 等 著



海洋出版社

中国海洋地质丛书之八

大洋矿产地质学

许东禹 等著

海洋出版社

2013 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

大洋矿产地质学/许东禹等著. —北京:
海洋出版社, 2013. 6

(中国海洋地质丛书)

ISBN 978 - 7 - 5027 - 8540 - 6

I. ①大… II. ①许… III. ①大洋 - 矿产地质 - 地质学
IV. ①P736

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 083102 号

责任编辑:方菁江波

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

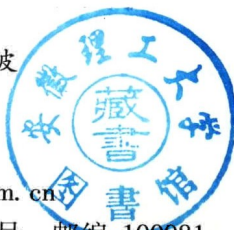
2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

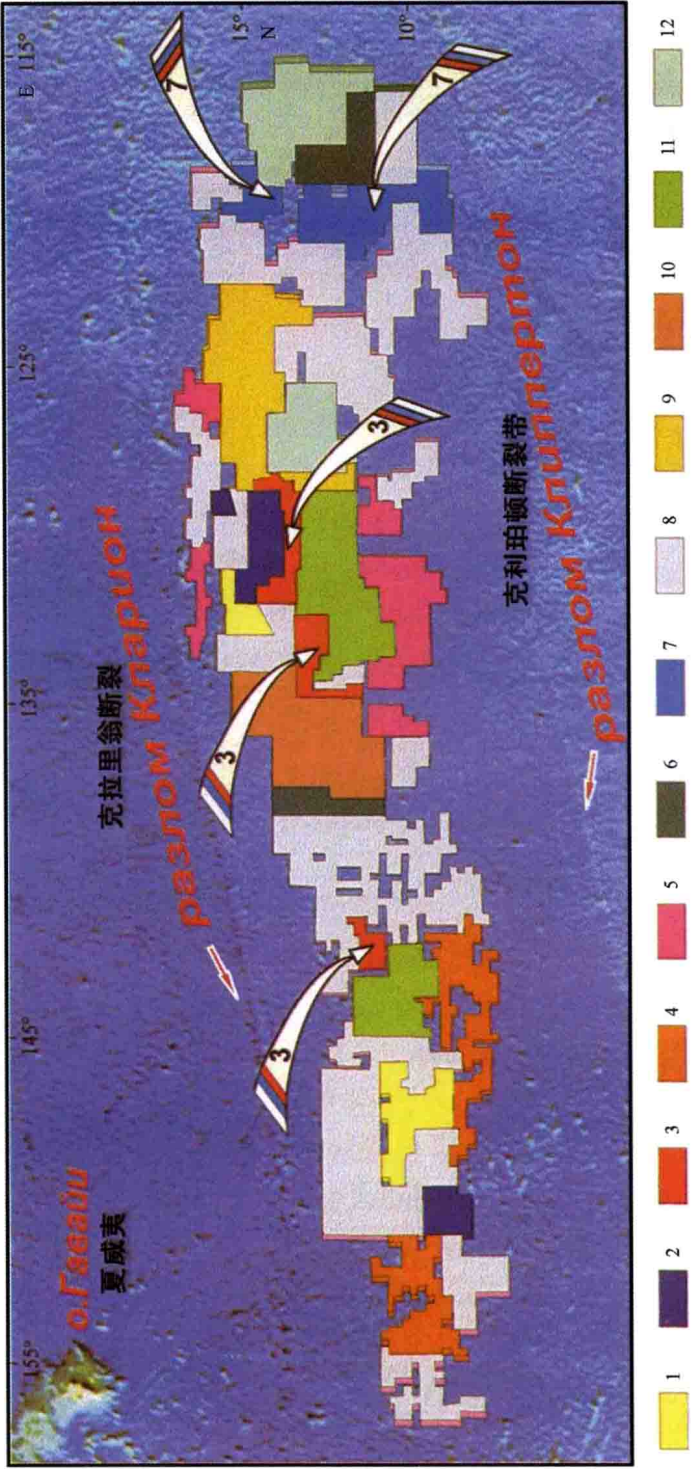
开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:23.25(彩色插页 8 面)

字数:510 千字 定价:78.00 元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

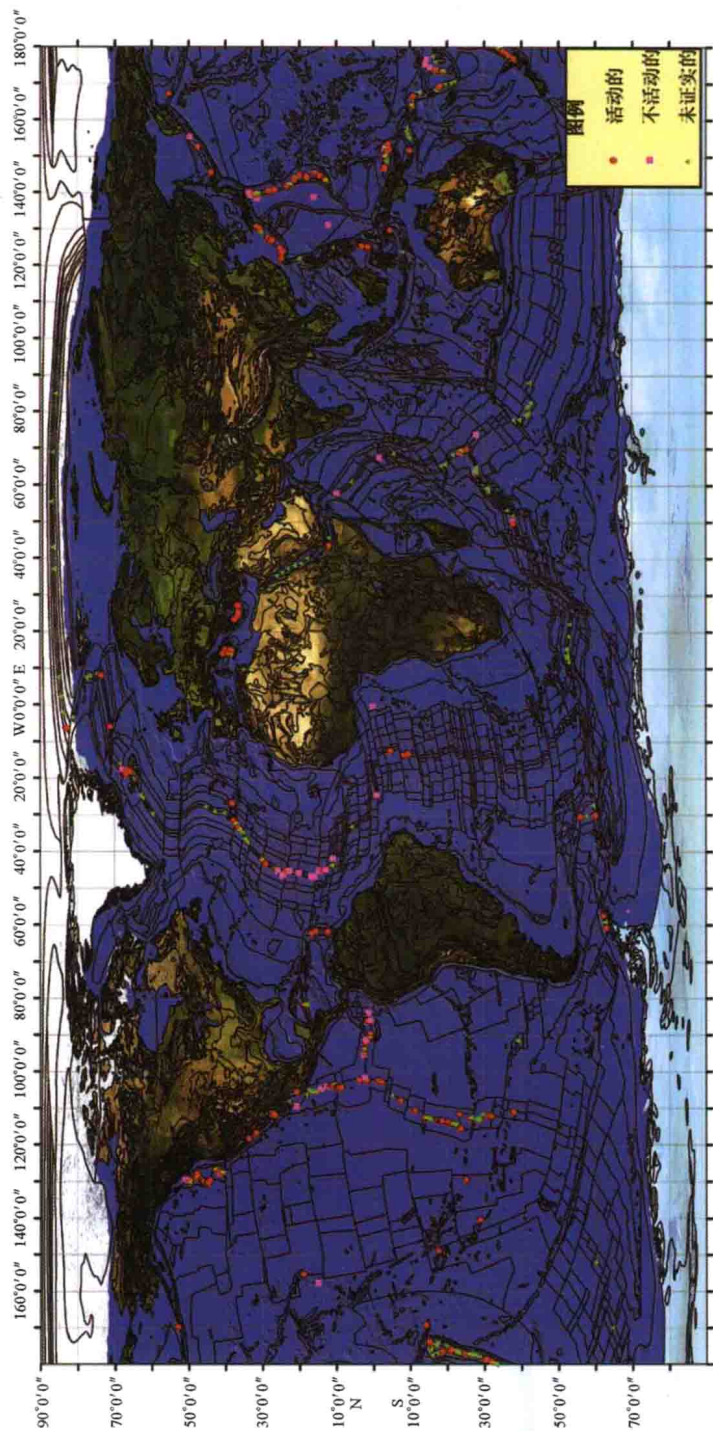
海洋版图书印、装错误可随时退换



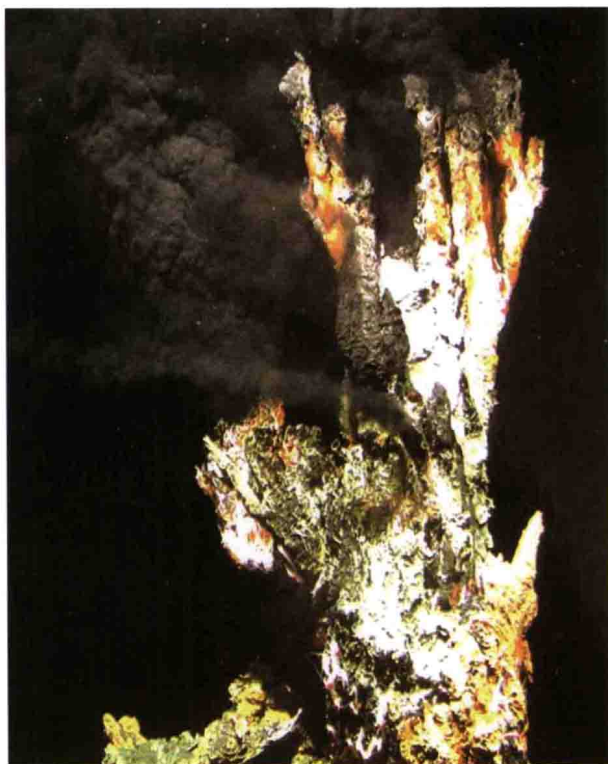


东太平洋海盆 CC 区内各国“先驱投资者”和国际财团矿区 (Андреев С.И и др., 2007)

- 1. 日本; 2. 法国; 3. 俄罗斯; 4. 中国; 5. 韩国; 6. 德国; 7. 海金联; 8. 国际海底管理局控制区; 9. OMA(海洋矿业协会); 10. OMI (海洋管理公团); 11. OMCO (海洋矿产公司); 12. KCON (肯尼科特财团)



全球现代海底热液活动区的分布 (据 ISA 和 Interridge 有关数据绘制)



西南印度洋海岭热液硫化物烟囱
(中国大洋矿产研究开发协会, 2007)



太平洋富钴结壳(Stüben, 1992)



许东禹（前排左第二位）与德国科学家及船员在实施“Midpac. II”中太平洋富钴壳调查的“太阳”号船（Sonne）上（1984年）



许东禹与德国科学家 H. Gundlack 博士在“太阳”号船上
讨论结壳调查中发现的问题



德国“太阳”号(Sonne)调查船



许东禹正登上“海洋四号”调查船准备赴太平洋进行
大洋地质科学考察(1986 年)



亲友送许东禹赴太平洋进行大洋地质科学考察



海上工作之余许东禹和全体调查队员一起表演文艺节目



许东禹在研究多金属

序

海洋占地球表面的 70.8%, 是人类的生存源泉和资源宝库。海洋中的生物资源及海洋底部、底下的丰富能源及矿产资源, 是人类社会与经济发展的物质基础。海洋亦是调节地球自然环境的关键因素。人类对海洋的探索自古至今从未间断过, 探索的领域日益扩大, 海洋科学已成为地球系统科学中的重要组成部分。半个世纪以来人类社会对大洋矿产资源的探索得到迅速的发展, 石油、天然气、多金属结核、富钴结壳、热液硫化物多金属矿产、磷块岩及天然气水合物的调查、勘察, 甚至开发, 已迅猛开展。这与人类社会发展的阶段有关。近百年来, 不少国家已完成工业化发展阶段, 又有不少国家的社会正进入工业化发展阶段, 人类社会对矿产资源的需求快速增长, 大洋矿产资源的勘察必然提到议事日程, 现今社会的科学技术发展程度亦提供了开展大洋资源探索的可能。当前与未来对大洋矿产资源的勘察、开发, 将是各国共同关注的领域。这就是现实。

面对现实, 我国作为世界上人口最多、经济发展最快、矿产资源消费最大的国家, 务必切实开展大洋资源的调查、勘察与开发。300 万平方千米蓝色海洋国土范围内地质矿产调查、勘察、开发国家已作出安排, 但还有待加强、加快。国际海域的大洋矿产资源的调查、勘察, 我国已进行了近三十年的辛勤工作, 在对多金属结核、富钴结壳及热液硫化物多金属矿产调查、勘察方面已取得阶段性成果, 但仍任重而道远。需要国家的有力领导和全社会的支持。中国大洋协会作为这个领域的组织领导单位, 正有序地组织各方面科技力量, 为实现此国家目标而有效地工作。国内海洋地质工作领域的调查、勘察、科研和教学单位和广大科技工作者, 主动、积极地投入此项探索、创新的国家事业, 已取得令人瞩目的成就, 为大洋矿产调查研究作出了巨大贡献, 已成为实现此项国家目标的核心保证力量。在此大好形势下, 以青岛海洋地质研究所许东禹研究员为首的研究集体编写出版《大洋矿产地质学》专著, 为大洋地质矿产调查、勘察工作者提供了知识服务, 又是一件好事。

许东禹研究员长期从事海洋地质工作, 对大洋地质矿产及调查、勘察工作状况有较深的了解, 并有较多探索思考。这次由他为首的编写组较充分地收集了国内外在大洋固体矿产领域地质及调查资料, 从大洋地质矿产调查历史、发展趋势、大洋地质与海洋环境、四种主要固体矿产(多金属结核、富钴结壳、热液硫化物多金属、磷块岩)等方面进行了系统的论述, 资料很丰富, 并进行了很好的归纳总结, 在某种程度上可以说是对该领域国内外工作成果的汇总, 这对从事大洋地质矿产勘察、科研、教学工作的广大科技工作者很有参考价值, 特此推荐。

许研究员为大洋矿产事业作了一件很有意义的工作,在此专著出版之际,特向许东禹为首的编写组同仁们致以衷心的祝贺。

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, appearing to be '陈翔' (Chen Xiang), written in a cursive style.

前 言

浩瀚的海洋是巨大的资源宝库,蕴藏着丰富的矿产资源。大洋矿产是指埋藏于大洋底下(或海底表面)可供人类利用的天然矿物资源。大洋矿产一般分为可从中提取金属元素的金属矿产,如多金属结核,富钴结壳,热液硫化物等;可从中提取非金属原料或直接利用其物理性质的非金属矿产,如磷块岩或磷钙土,白垩或钙质软泥等;可以作为能源的可燃性有机矿产,如石油,天然气和天然气水合物等。自英国“挑战者”号环球考察(1872—1876年)在大西洋法劳群岛附近首次发现深海多金属结核(当时叫做锰结核)以来,大洋矿产资源调查研究已经经历了100多年的历史。由于陆地资源的日益枯竭,各国已把注意力放到海底资源上。1956—1957年间实施的“国际地球物理年”大洋调查进一步证实大洋底上广泛分布有多金属结核,使得科学家们开始注意到海洋矿产资源的潜力。1979年美国“阿尔文”深潜器在东太平洋海隆发现“黑烟囱”,20世纪80年代德国和美国科学家经过系统调查证实大洋海山区广泛产有富钴结壳并指出其具有巨大资源潜力。因而世界各国的政治家、企业家、矿业家以及科学家们对深海底金属矿产表现了极大的热情和关注,并积极进行调查和研究,关于多金属结核和富钴结壳成因相继提出了“生物成因”,“火山成因”,“胶体化学成因”和“水成”及“成岩作用”等假说。《联合国海洋法公约》已确定“区域及其资源是人类共同继承财产”,这里“资源”是指“区域”内在海床及其下原来位置的一切固体、液体或气体矿物资源,其中包括多金属结核。我国自20世纪70年代中期开始进行多金属结核资源调查并已向联合国海底管理局申请在东北太平洋获得“先驱投资者”矿区。90年代开始在西太平洋和中太平洋海山区进行富钴结壳调查,初步圈定富矿区,现正准备向国际海底管理局申请矿区,同时开展海底热液多金属硫化物调查,在西南印度洋海岭首次找到正在活动的硫化物矿区。经过20多年大洋矿产资源的调查和研究,我们已经取得了丰富的科学成果和资料积累并形成了一支能进行深海资源调查和科学研究的队伍。

鉴于上述情况,我曾想把我国大洋矿产资源调查和研究成果及国外海底资源调查情况编写成一本书供有关人员参考,并对外宣传我们的成果,扩大国际影响,所以当我接受本书编写任务时非常高兴,另一方面又感到为难,这主要是由于本人水平有限,不一定能满足读者的要求。但是,从必要性和重要性出发,并相信集体的力量,我还是接受了这一光荣而艰巨的任务!

本书是从从事大洋矿产资源调查和研究工作同志们的集体劳动成果,共分七章。第一章绪言,由许东禹编写,主要介绍大洋矿产地质学研究内容、研究方法和研究历

史;第二章大洋地质和海洋环境概况,由许东禹编写,主要论述大洋矿产成矿背景,即大洋地形、海洋水文特征、大洋基础地质,包括沉积物和地层、岩石、构造和古海洋演化;第三章多金属结核,由张丽洁编写,主要论述多金属结核的分布、类型、结构构造、矿物化学特征和成矿作用;第四章富钴结壳,由许东禹编写,主要介绍富钴结壳的分布、类型、结构构造特征、矿物化学特征以及成矿作用;第五章现代海底热液活动及其成矿,由李军和崔汝勇编写,主要论述海底硫化物成矿背景、分布特征、矿床特征以及成矿作用;第六章海底磷块岩,由许东禹编写,介绍磷块岩的分布,磷块岩矿物化学特征和磷块岩成因;第七章结论由许东禹编写,总结了大洋各类固体矿产成矿特征和资源前景。

当我们编写这本书的时候,不由得回想起组织、实施地质矿产部“大洋地质科学考察”的刘光鼎院士和张瑞翔总工程师以及负责实施太平洋地质考察的首席科学家王光宇等实际参加海上调查的科学家和“海洋四号”船的全体船员以及国家海洋局“向阳红16号”及“向阳红9号”船和大洋协会“大洋一号”船上的科技人员和船员,他们的辛勤劳动和调查研究成果为本书的编写提供了宝贵的资料和科学基础,在此向他们致以诚挚的敬意和感谢。

我们借此机会向陈毓川院士表示衷心感谢。他在百忙中为本书作序并提出宝贵意见和积极推荐出版。感谢中国海洋大学林振宏教授审阅了本书稿并提出宝贵意见。

本书编写得到青岛海洋地质研究所领导和“海洋地质丛书”编委会的热情支持和关怀,特别是所地调处印萍处长和科咨委莫恭政研究员自始至终关心我们的编写工作,借此机会深表谢意。

本书插图多数是由青岛海洋地质勘察院同志清绘的,再此一并致谢。

许东禹

目 次

第1章 绪 言	(1)
1.1 海洋矿产和大洋矿产地质学研究对象及内容	(2)
1.2 大洋矿产资源调查史	(2)
1.2.1 多金属结核和富钴结壳资源调查史	(3)
1.2.2 海底热液硫化物资源调查史	(7)
1.2.3 中国大洋矿产资源调查史	(9)
1.3 大洋矿产资源科学研究成果及研究方向	(10)
1.3.1 主要研究成果	(10)
1.3.2 大洋矿产地质学今后的发展方向	(13)
1.4 大洋矿产资源勘察方法和技术	(14)
1.4.1 大洋矿产资源勘察目的和任务	(14)
1.4.2 大洋矿产调查内容和方法	(15)
参考文献	(17)
第2章 大洋地质和海洋环境概况	(24)
2.1 大洋地形	(24)
2.1.1 太平洋地形	(25)
2.1.2 大西洋地形	(27)
2.1.3 印度洋地形	(29)
2.2 大洋海洋环境特征	(30)
2.2.1 海水化学特征	(30)
2.2.2 海洋环流和水团	(33)
2.3 大洋地质概况	(38)
2.3.1 大洋沉积物	(38)
2.3.2 大洋地质构造特征	(44)
2.3.3 大洋古海洋演化	(56)
参考文献	(62)

第3章 多金属结核	(69)
3.1 调查和研究历史	(69)
3.1.1 调查和研究历史	(69)
3.1.2 研究现状	(70)
3.2 多金属结核类型与特征	(73)
3.2.1 多金属结核产出类型	(73)
3.2.2 多金属结核形态类型	(74)
3.2.3 多金属结核分布类型	(75)
3.2.4 多金属结核成因类型	(75)
3.3 多金属结核分布变化规律及其影响因素	(76)
3.3.1 多金属结核区域性分布与变化	(77)
3.3.2 多金属结核局部分布与变化	(78)
3.4 多金属结核内部构造特征及成因解释	(79)
3.4.1 多金属结核核心物质	(79)
3.4.2 多金属结核壳层内部构造特征	(80)
3.4.3 多金属结核内部构造的形成机制	(82)
3.5 多金属结核生长速率	(85)
3.5.1 生长速率测定方法	(85)
3.5.2 结核生长速率	(85)
3.6 多金属结核矿物学特征及形成环境	(88)
3.6.1 矿物学特征	(88)
3.6.2 矿物组成区域变化特征与形成环境	(91)
3.7 多金属结核的地球化学特征	(92)
3.7.1 元素的丰度	(94)
3.7.2 稀土元素地球化学特征	(95)
3.7.3 元素组合特征及形成机制	(100)
3.7.4 元素组成区域性分布变化特征	(107)
3.8 多金属结核成矿介质特征	(120)
3.8.1 大洋底层水特征	(120)
3.8.2 沉积物间隙水特征	(125)
3.9 多金属结核成因机制研究	(127)