

817608

563

7/4064

水下矿产

[英] D. S. 克罗南 著

科学出版社

563
Y/4064

水下矿产

〔英〕 D. S. 克罗南 著

高战朝 阎铁 陈奎英 译

李粹中 校

科学出版社

1987

内 容 简 介

《水下矿产》一书系统地阐述了近年来海洋、湖泊和河流水下矿产的研究成果。除序言外，共分10章论述。第1章概论。概述海洋和湖泊的矿产资源潜力，输入海洋物质的来源、海底沉积物的分布等等。第2章至第7章按矿种对海底矿产资源进行分述。作者将水下（主要海底）矿产划分为六类：砂矿和砂、卵石、贝壳等集合粒；沸石、重晶石、长石和石榴石等自生矿物；磷块岩；锰结核和结壳；含金属沉积物；海底次表层矿床。第8章海底矿床相互关系及其与大洋演化的关系。作者将海洋的演化分为早、中、晚三期，并指出各演化期与成矿的关系。第9章勘探方法。第10章开采，主要论述潜在的矿产资源，采矿方法，海洋采矿的环境和法律问题。

本书资料新颖，内容丰富。既有大量的实际资料，又有理论问题的探讨。该书对从事海洋地质特别是海洋矿产资源调查研究工作的科技人员和高等院校海洋地质专业师生来说是一本较好的参考书。并可供从事海洋学、海洋环境保护和海洋法有关人员阅读和参考。

D.S.Cronan

UNDERWATER MINERALS

Academic Press Inc. (London) Ltd, 1980

水 下 矿 产

〔英〕 D. S. 克罗南 著

高战朝 阎铁 陈奎英 译

李粹中 校

责任编辑 李增全

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年2月第一版 开本：850×1168 1/32
1987年2月第一次印刷 印张：11 7/8 插页：1
印数：0001—950 字数：304,000

统一书号：13031·3418

本社书号：4642·13—17

定价：3.40元

译者序

众所周知，海洋开发是新技术革命的重要内容之一。目前，已经向地质工作和其它海洋科学的分支科学提出了许多课题，这个势头正方兴未艾。作为其主要部分的海底矿产资源的研究，近二十年来随着工农业生产和科学技术的日新月异，以及陆地上资源储量的日益减少，已引起了人们的极大重视，成为地质科学中发展迅速的领域之一。毫无疑问，在未来的岁月里，海洋将会成为人类开采多种矿物资源的主要基地。从这个意义上讲，D.S. 克罗南编著的《水下矿产》一书的翻译出版具有一定的参考价值。

本书系统地阐述了近年来有关海底矿产资源研究的新成果。七十年代后期海底矿产地质方面（石油，天然气和海水中的矿产资源除外）的资料基本予以包括。全书共分十章，附有大量图表。其中以第5章（锰结核和结壳）介绍的最为详尽，资料也颇为丰富。作者多年来从事锰结核的研究工作，曾发表过许多有关论文。在这一章中，作者对锰结核的分布，形态特征，矿物学地球化学特征，成分及其在不同环境中的差异，区域性地球化学性质的变化，内部构造，生长特征，沉积机理，生长速率，成因以及达到工业品位的锰结核都作了充分的叙述。其篇幅约占全书的三分之一，可以认为，这是本书的重点所在。另外，作者还用了较大的篇幅（第7章）来论述近十年来在海底发现的热液矿床。现已知道，海底热液矿床不仅能与锰结核争雄，而且更引人注目。因为它的金属品位很高，水深在200—3000米左右，比锰结核还浅，在经济上可能具有更大的价值。这一章，弥补了曼罗博士的名著《海洋矿物资源》一书的不足。

我们认为，本书缺少石油和天然气方面的内容，而且对与海

洋矿产资源开发有重要影响的环境污染和海洋法方面的内容论述尚嫌不足。

本书由国家海洋局海洋科技情报研究所高战朝（第2、6、8、9章），阎铁（第1、7、10章），陈奎英（第3、4、5章）译出。高战朝初校了部分章节。全书由国家海洋局第二海洋研究所李粹中校订，在此表示感谢。由于我们水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬希读者阅后提出宝贵意见。

译者

1984年9月于天津

作 者 序

在过去的几年间，一些学术团体、政府部门以及工矿企业对于水下矿床的兴趣与日俱增，因此大量的讨论这一课题的文章应运而生。这些文章发表在许多不同的刊物、论文和报告中。然而，自从15年前John Mero的著作发表以来，尚未出现过一本全面论述这一课题的专著。但是，也曾出版过几本书，大都是研究这个课题中某一问题的论文汇编，其中最多的是讨论有关开发的问题。本书试图满足最新教科书的需要，也试图将关于这一课题的大量文献统于一体。本书适合于广大的读者，包括大学生和研究生、与海洋事务有关的工作人员以及对海洋环境一般有兴趣的人们。书中题材比原义有所发展，并假定读者没有更多的水下矿产方面的知识。全书重点放在总结可用的资料上，尽可能地尊重原作者的习惯。

在本书的结构方面，作者试图将全书分为若干章节，使每一章节的内容能够各自独立，且能作为今后有用新资料不断加以补充的基础。然而，每个章节的某些内容必然会相互参照。第1章介绍了水下矿产的地质概况并描述了影响水下矿产的某些因素；第2—7讨论了矿床本身的性质、分布和成因；第8章试图用板块构造和大洋演化的最新概念来整体论述海洋矿产，本章也是笔者于最近在剑桥大学召开的大学间地质学大会上讲演内容的进一步发展；第9章阐述了水下矿产的勘探方法，其中大部分是根据本人的实际经验，这些经验是在以促进帝国学院应用地球化学研究小组的海洋矿产研究为目的16年（主要是在海上）间获得的；最后，在第10章初步讨论了水下矿产开发的基本方法方面的一些重要因素，这一领域在过去几年的现场研究中可能得到了从未有过的最广泛的发展，而且是一个变化非常迅速的领域，因此，第

10章可望作为水下矿产开发的很多较高级课本的基础介绍。

最后，要感谢那些启发并帮助我完成此书的人们。笔者感谢达勒姆大学的Kingsley Dunham先生和D. M. Hirst博士，他们首先向我介绍了关于经济地质学和海洋地球化学的内容（已将其写入此书）；感谢帝国学院的J. S. Webb教授，在本世纪六十年代人们还是出于好奇研究水下矿产时，他的预见就已能使水下矿产的课题在帝国学院提出了；感谢J. S. Tooms博士，我和他一起在16年前迈出了研究水下矿产的第一步；还要感谢帝国学院应用地球化学研究小组的朋友、同事和学生们，他们对我的学术思想都有过影响，我还要感谢自然环境研究委员会，该组织对本书的工作给与了资助。对于本书的不同章节，笔者将分别感谢下列各位人士：第2和第10章，伦敦地质科学研究所的Alan Archer先生；第3章，利物浦大学海洋系的Roy Chester博士和Joan Petzing小姐；第4章，美国伍兹霍尔海洋研究所的Frank Manheim博士和伦敦学院大学地质系的John McArthur博士；第5章，帝国学院的Tony Moorby博士；第6章，帝国学院的Sarah Shearme小姐；第7章，泰恩的纽卡斯尔大学地质系Joe Cann教授；第9章的一部分，海洋科学研究所的Tim Francis博士。他们的评注是非常有益的。对进展如此迅速的这一课题的研究，笔者还大大地受益于各位人士的一些未发表的资料，这能使我把他们最近的工作写入此书。需要感谢的人太多了，在此不能一一列出。但是，要特别感谢的是Alan Archer先生，他为我提供了几篇未出版的手稿资料；感谢Miriam Kastner博士，他提供了1978年才出版的复印资料；感谢Frank Manheim博士，他提供了1978年才出版的复印资料；感谢Steve Calvert博士，他提供了1978年才出版的复印资料；感谢Geoff Glasby博士，他不断地提供近年来的一些手稿材料；感谢Claude Lalou博士，他提供了几篇论文的复印材料；还要感谢那些锰结核的地质学和地球化学国际专题论文集的投稿者，作为该文集的编委会成员，我有幸在未出版以前读到其内容。我还要感谢那些在应用

地球化学研究小组作过我研究生的学生们，他们未发表的博士论文我在本书中已引用了。还要感谢所有的作者和出版者，他们为我复制图表提供方便；感谢伦敦学术出版社，特别是 Arthur Bourne 的耐心帮助。最后，把我的最大谢意献给我的妻子——本书的被呈献者——她以多种方式帮助我，使我的工作获得成果。

D. S. Cronan

1980年8月于伦敦

目 录

第 1 章 概 论	(1)
1.1 海底的自然地理区划及其矿产资源	(2)
1.2 湖泊	(4)
1.3 海洋的物质来源	(5)
1.4 海底沉积物的分布	(6)
1.5 水环境中金属的富集过程	(8)
1.5.1 选择分选	(8)
1.5.2 选择淋滤	(9)
1.5.3 水溶液中的富集	(9)
1.5.4 成岩作用	(10)
1.5.5 成岩后的富集过程	(11)
第 2 章 砂矿和集合粒	(12)
2.1 砂矿	(12)
2.1.1 砂矿形成的必要条件	(14)
2.1.2 砂矿沉积的环境	(15)
2.1.2.1 河流	(15)
2.1.2.2 海滩	(16)
2.1.2.3 滨外地区	(16)
2.1.3 砂矿床的全球分布	(17)
2.1.3.1 北美洲	(18)
2.1.3.2 非洲	(18)
2.1.3.3 东南亚	(19)
2.1.3.4 澳大利亚	(19)
2.1.3.5 欧洲西北部	(20)
2.2 集合粒	(20)
2.2.1 砂和砾	(20)
2.2.1.1 组成	(20)

2.2.1.2	物源	(21)
2.2.1.3	滨外搬运作用	(22)
2.2.1.4	富集作用	(24)
2.2.2	贝壳	(25)
第 3 章	各种自生矿物	(28)
3.1	沸石	(28)
3.1.1	钙十字沸石	(28)
3.1.1.1	性质与产状	(28)
3.1.1.2	分布与伴生	(32)
3.1.1.3	成因	(35)
3.1.2	交沸石	(36)
3.1.3	斜发沸石	(37)
3.1.3.1	性质与产状	(37)
3.1.3.2	分布与伴生	(38)
3.1.3.3	成因	(39)
3.1.4	方沸石	(39)
3.1.5	其它沸石	(42)
3.2	重晶石	(42)
3.2.1	性质与产状	(42)
3.2.2	分布与伴生	(43)
3.2.3	成因	(44)
3.3	长石	(46)
3.4	石榴石	(47)
第 4 章	磷块岩	(48)
4.1	引言	(48)
4.2	产状与伴生	(50)
4.3	性质	(50)
4.3.1	形态	(50)
4.3.2	矿物学特征	(52)
4.3.3	地球化学特征	(52)
4.4	现代磷块岩的沉积环境	(56)
4.4.1	非洲西南	(56)

4.4.2	秘鲁和智利·····	(57)
4.5	磷块岩形成的控制因素·····	(58)
4.6	磷块岩的形成·····	(59)
第 5 章	锰结核和锰结壳·····	(62)
5.1	引言·····	(62)
5.2	锰结核的成因·····	(62)
5.2.1	元素的来源·····	(63)
5.2.2	搬运和提取机理·····	(66)
5.3	一般形态·····	(68)
5.3.1	深海锰结核·····	(70)
5.3.2	近海和湖泊锰结核·····	(77)
5.3.3	铁锰氧化物形态的影响因素·····	(80)
5.4	分布·····	(84)
5.4.1	影响锰结核分布的因素·····	(85)
5.4.2	结核分布与外表形态的局部变化·····	(88)
5.4.3	铁锰氧化物结核的全球分布模式·····	(90)
5.4.3.1	太平洋·····	(92)
5.4.3.2	印度洋·····	(94)
5.4.3.3	大西洋·····	(95)
5.4.3.4	边缘海和湖泊·····	(95)
5.4.4	被埋藏的锰结核以及优先富集在沉积物表面上的 结核的质疑·····	(96)
5.5	矿物学特征·····	(99)
5.5.1	矿物学描述·····	(100)
5.5.2	锰矿的相互关系和共生·····	(103)
5.5.3	锰结核矿物学特征的区域性变化和环境差异·····	(104)
5.6	生长特征·····	(111)
5.6.1	内部构造·····	(111)
5.6.2	沉淀机理·····	(120)
5.6.3	生长速率·····	(122)
5.7	地球化学总体特征·····	(129)
5.7.1	元素丰度·····	(130)

5.7.2	主要元素的地球化学行为	(132)
5.7.3	次要元素的地球化学行为	(134)
5.7.4	稀有元素的地球化学行为	(137)
5.7.5	元素组合及其与深度的关系	(138)
5.8	铁锰氧化物结核组分的环境变异	(143)
5.8.1	深海结核	(144)
5.8.2	深海结核组分的局部变异	(147)
5.8.3	浅海结核	(149)
5.8.4	湖泊结核	(152)
5.9	区域性地球化学变化及矿品级结核矿床的 形成	(154)
5.9.1	太平洋	(154)
5.9.1.1	深海结核	(163)
5.9.1.2	矿品级结核的形成	(166)
5.9.2	大西洋	(169)
5.9.3	印度洋	(172)
第6章	含金属沉积物	(175)
6.1	引言	(175)
6.2	含金属沉积物的组成	(176)
6.3	红海沉积矿床	(181)
6.3.1	沉积相	(183)
6.3.2	阿特兰蒂斯Ⅰ号海渊	(196)
6.4	洋中脊含金属沉积物	(203)
6.4.1	异常含金属沉积物	(203)
6.4.1.1	东太平洋海隆(南纬8°)	(204)
6.4.1.2	西印度洋深海钻探236站	(204)
6.4.1.3	大西洋断裂带	(204)
6.4.1.4	亚丁湾	(207)
6.4.1.5	法美联合大洋水下调查区——北纬37°附近的大西 洋中脊	(207)
6.4.1.6	加拉帕戈斯区	(213)
6.4.1.7	加利福尼亚湾(北纬27°18′)	(219)

6.4.1.3 东太平洋海隆 (北纬21°)	(219)
6.4.2 正常洋中脊含金属沉积物	(221)
6.5 鲍尔海渊沉积矿床	(223)
6.6 非洋中脊含金属沉积物	(228)
6.7 含金属沉积物的地球化学相互关系及其成因	(233)
6.7.1 元素在各含金属沉积物组分相之间的分配	(233)
6.7.2 分馏沉淀	(235)
第7章 海底次表层矿床	(241)
7.1 大陆架和湖泊	(241)
7.1.1 煤	(241)
7.1.2 含金属矿物	(242)
7.1.3 蒸发岩	(243)
7.1.4 硫	(244)
7.1.5 湖底矿产	(244)
7.2 深海底	(244)
7.2.1 岩浆硫化物球状体	(245)
7.2.2 浸染状和脉状硫化物	(248)
7.2.3 块状硫化物矿床: 以塞浦路斯为例	(247)
第8章 海底矿床之间的相互关系及其与大洋演化的关系	(251)
8.1 大洋的演化	(251)
8.2 与大洋演化各阶段伴生的矿床	(253)
8.2.1 大洋演化的早期阶段	(254)
8.2.2 大洋演化的成熟阶段	(255)
8.2.2.1 含金属沉积物	(255)
8.2.2.2 磷块岩	(257)
8.2.2.3 锰结核	(258)
8.2.3 大洋演化的晚期阶段	(259)
8.2.4 与俯冲作用有关的海底矿床的演化趋势	(260)
8.3 矿床之间的相互关系	(261)
8.3.1 磷块岩-铁锰氧化物之间的相互关系	(262)
8.3.2 锰结核-含金属沉积物之间的相互关系	(263)

第9章 勘探方法	(265)
9.1 水下矿产勘探的直接方法	(266)
9.1.1 目测	(266)
9.1.2 取样	(268)
9.2 水下矿产勘探的间接方法	(277)
9.2.1 地球物理勘探	(277)
9.2.1.1 精密回声测深	(277)
9.2.1.2 旁侧扫描声纳	(278)
9.2.1.3 地震方法	(279)
9.2.1.4 电法	(280)
9.2.1.5 磁法	(281)
9.2.1.6 重力法	(282)
9.2.1.7 热流法	(283)
9.2.2 地球化学勘探	(283)
9.2.2.1 回收物质的分析	(283)
9.2.2.2 现场分析	(295)
9.3 小结:海洋矿产勘探系统的综述	(299)
第10章 开发	(302)
10.1 资源潜力	(302)
10.1.1 集合粒	(303)
10.1.2 砂矿	(306)
10.1.3 磷块岩	(307)
10.1.4 含金属沉积物	(307)
10.1.5 海底以下矿床	(309)
10.1.6 锰结核	(309)
10.2 开采方法	(317)
10.2.1 浅海矿床	(317)
10.2.1.1 集合粒	(317)
10.2.1.2 砂矿	(317)
10.2.2 深海矿床	(321)
10.2.2.1 CLB系统	(321)
10.2.2.2 液压系统	(324)

10.2.2.3	CLB系统和液压系统的比较	(326)
10.2.2.4	采矿船	(326)
10.2.2.5	红海金属泥的开采	(327)
10.3	环境问题	(327)
10.4	法律问题	(329)
参考文献		(331)
附录		(352)

第1章 概 论

人类正在以日益增长的速率消耗着地球上的自然资源，对于大部分工商业赖以维持的不可更新资源（如矿物资源）来说，这一问题尤为突出。许多陆地矿床已被用尽或濒于耗尽，将来人们不得不寻找另外一些含有金属的矿床。

在过去的二十年间，人们把越来越多的注意力放在开发海洋矿物资源的可能性研究上。当然，这并非是新的想法。自古代起，人们就已经从海洋中获得食盐，最近，已能从海水中提取商业性的溴和镁。象锡石这样的砂矿也已在世界各地的近岸沉积物中开采。另外，煤和石油矿床有时从陆地延伸到大陆架海底，或存在于孤立的海盆中，现正在大量地开采。但是，把象锰结核和含金属沉积物这样的海底表层矿床作为未来的开采对象仅是最近的事情。随着时间的推移，愈来愈多地从海底开采这样或那样的矿床已势在必行。

本书力求综述海洋矿床的性质、产状、成因和可开发性，并适当地讨论有关的湖泊和河流中的矿床。所讨论的矿产可分为六类：（1）存在于海底基岩中的矿物；（2）海底集合粒和砂矿，这类矿床一般为存在于近岸水域的碎屑矿床，通常由邻近的陆块来供应；（3）磷块岩，这是含有与其它岩相混生的磷酸盐的化学沉淀物，通常也存在于较浅的海底；（4）铁锰氧化物矿床，这是铁和锰的氧化物的化学沉淀物，以结核和结壳的形式存在，有时含高浓度的镍、铜和钴等金属，主要形成于深海底，但亦可存在于一些湖泊中；（5）含金属沉积物，这是各种元素的化学沉淀物，由海底火山活动所致；（6）少量自生矿物。书中还将讨论这些矿床之间的相互关系。

1.1 海底的自然地理区划及其矿产资源

在过去的几十年中，由于海底地质学和地球物理学的研究取得了长足的发展，目前我们对海底的主要自然地理特征有了足够的了解(图1)。此外，由许多专家(如Vine和Mathews 1963；Vine和Hess, 1970)提出的海底扩张和板块构造理论为认识这些特征的成因提供了“钥匙”。

大陆通常被不同宽度的大陆架所围绕，大陆架是大陆向水下的延伸部分，其深度一般不超过200米。这里存在着集合粒、砂矿和磷块岩，在大陆架下面可存在一些在陆上能够发现的同类矿床。大陆架的向海一侧与大陆坡相接，在大陆坡的麓部是大陆隆，大陆隆代表大陆块的边缘。在某些大陆坡麓部存在着大陆壳向大洋壳转化的过渡带，前者密度较小，后者密度较大，且由玄武岩组成。在大陆坡尚未发现重要的矿床，但一般认为该区是石油和天然气大量赋存的潜在地区。

大陆坡和大陆隆的向海一侧即为深海底。这是真正的大洋盆地，其自然地理特征有很大的变化。在无地震活动的大陆边缘，大陆坡和大陆隆的向海一侧是平坦的深海平原，常由陆源沉积物所覆盖，例如在大西洋，这样的沉积物几乎能延伸到大洋盆地的中部。在这样的深海平原，即使有也很少存在重要的矿床。在地震活动的大陆边缘，有一个海沟，按照板块构造理论，洋壳消亡在海沟下面。迄今为止，在海沟内尚未发现有价值的矿床。在深海平原和海沟向海一侧的大部分深海底，薄层沉积物覆盖在它的洋壳上面，在地形上，这些深海底由连绵起伏的深海丘陵构成，但又被孤立的海山或山脉所破坏。有些海山是磷块岩沉积的场所，大部分海山由低品位的铁锰氧化物矿床所覆盖，而深海底本身又是锰结核形成的主要场所。

在大洋盆地的中央部分，通常是(但不总是)火山活动的洋中脊。这里常常是含金属沉积物形成的主要场地。洋中脊被众多