

北京鋼鐵學院采礦系編



开发海洋矿产资源

科学出版社

开发海洋矿产资源

北京钢铁学院采矿系

科学出版社

1972

开发海洋矿产资源

(只限国内发行)

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

*

1972 年 8 月第一版

1972 年 8 月第一次印刷

定价: 0.16 元

毛主席语录

开发矿业。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

編 者 說 明

这本小册子主要是根据国外有关资料编写的。其内容包括海内及海底矿产资源的情况，海底矿产资源的勘探和开采方法，并介绍了国外的一些开采实例。本书编写的目的在于为读者提供有关海底资源利用和开发的基本知识，书中所列的一些资料和实例也可供有关专业工作者参考。

本书主要由刘之祥同志执笔编写。

目 录

引 言	(1)
第一章 海水中矿产资源及其开发情况.....	(3)
第二章 海底矿产资源.....	(8)
一、浅海海底矿产资源	(10)
二、深海海底矿产资源	(16)
第三章 海底矿产资源的勘探方法.....	(20)
第四章 海底矿产资源的开采方法.....	(36)
一、坚固整体的海底矿床开采方法	(36)
二、松散的海底砂矿床开采方法	(40)
三、海底流体矿床开采方法	(51)

引 言

矿产是现代工业的重要原料。近年来工业的突飞猛进，对原料的要求与日俱增，所要求矿产资源的数量和种类就越来越多。为此，不仅要合理地开发利用陆地上的矿产资源，海洋矿产资源的开发，具有很重要的意义。

陆地资源的开发已有着悠久的历史。迄今为止，人类大约经历了一百多万年的历史，主要是经历了漫长的石器时期，以后又有铜器时期、铁器时期等等。人类发展史上的几个标志——石器、铜器、铁器等都是直接与矿产资源的开发有联系的。

海洋矿产资源的开发仅是近几十年的事。但是，由于海洋在地球上所占的面积比陆地大得多，同时由于海洋的特殊条件，其蕴藏的矿产资源相当可观。随着科学技术的发展，人们对海洋的认识不断扩大，目前大规模开发海洋资源已引起不少国家的注意。

美帝和苏修两个超级大国为了霸占和瓜分全球的海洋资源，近年来它们派遣了不少的海洋资源勘探船只和航空物理勘探飞机开到全球的各大海洋中进行活动。正是伟大领袖毛主席指出的：“**美国确实有科学，有技术，可惜抓在资本家手里，不抓在人民手里，其用处就是对内剥削和压迫，对外侵略和杀人。**”美帝和苏修的“勘探”和“考察”的目的，在军事上主要是为其横行在世界各地上的海军舰只推行其侵略政策服务；在经济上是为了霸占和掠夺丰富的海洋资源，剥削和奴役中小国家。

海洋矿产资源是如何生成的呢？我们知道，地球已有大约 60 亿年的历史，在这悠久的历史过程中，它永远在变动而一天也没有停止过。目前我们所指的地壳业已经过大大小小的无数次变动，包括了“沧桑”的互变。通过地壳中岩浆和热液的活动以及地壳表面剥蚀搬运和沉积作用，形成了现在的各种矿床（其中有陆地的矿床和海底的矿床）。海水蒸发变成雨，雨水冲蚀并由陆地上溶解一部分矿物质流入海内，海水逐渐变咸，以致使现在的海水含有 3.5% 的矿物质——这就是海水内的矿产资源。由此看来，不论是陆地矿床、海底矿床或是海水内的矿产资源，都是与地球的发展史直接相关的，是在地球发展过程中按其自然规律生成的。

海洋中究竟有哪些有经济价值的矿产和有多少矿产资源？如何勘探？怎样开发？这就是本小册子所要介绍的内容，下面我们分别对此作简要的介绍。

第一章 海水中矿产资源及其开发情况

地球上的水绝大多数是海水(即海洋水)。地球表面面积为 510,100,000 平方公里,其中大陆只占地球面积的 29%,海洋占 71%。海洋平均深度为 4,117 米,最深处达 11,034 米,假若地球表面没有高低的起伏时,也就没有陆地了,它将全部为 2,700 米深的海水所包围。在地球的总水量中,海水约占 97%,淡水只占 3%。在淡水中大多数是冻结的淡水,占总水量的 2.25%,主要在南极洲,南极洲冰层的厚度达 2,300 米,所以液体淡水只占总水量的 0.75%。在液体淡水中,又以地下液体淡水为主,占总水量的 0.525%,地面液体淡水只占总水量的 0.225%。由此可见海水比地面液体淡水(包括江河湖泽等)要多 400 多倍。若用数量来表示,以前估计海水总量为 15.5 亿立方公里,以后估计为 14.869 亿立方公里,根据最近的估计,海水总量为 13.7 亿立方公里。

海水数量既如此之多,我们现在再看它的成分吧。纯水是氧与氢的化合物,氧与氢在水中成 8 与 1 的重量比例。海水并不是纯水,它里边溶解有大量的杂质,其中以食盐为主。按重量比例,杂质平均占海水的 3.5% (但地中海含杂质 3.8%,红海含杂质 4%),杂质的总数量约为 4.8 亿亿吨。杂质中所含的元素有六十多种,其实是无所不有,在含量的比值上,虽然大多数是微量的;但在数量上若以吨来表示,却达到了惊人的数字。

现将海水的成分,包括纯水中的氧和氢以及杂质中的 61 种元素,列表于下:

表1 海水中所含各种元素的数量表

元素名称	海水中各元素的浓度 (每吨海水含各元素的 克数,克/吨)	海水中所含各元素的总数量(吨)	
		原表的数据(吨)	修改后的数据(吨)
氧(O)	857,000	1,328(10) ¹⁵	1,174(10) ¹⁵
氢(H)	108,000	167(10) ¹⁵	148(10) ¹⁵
氯(Cl)	19,000	29.3(10) ¹⁵	26(10) ¹⁵
钠(Na)	10,500	16.3(10) ¹⁵	14(10) ¹⁵
镁(Mg)	1,350	2.1(10) ¹⁵	1.8(10) ¹⁵
硫(S)	885	1.4(10) ¹⁵	1.19(10) ¹⁵
钙(Ca)	400	0.6(10) ¹⁵	0.55(10) ¹⁵
钾(K)	380	0.6(10) ¹⁵	0.5(10) ¹⁵
溴(Br)	65	0.1(10) ¹⁵	0.089(10) ¹⁵
碳(C)	28	0.04(10) ¹⁵	0.035(10) ¹⁵
锶(Sr)	8	12,000(10) ⁹	11,000(10) ⁹
硼(B)	4.6	7,100(10) ⁹	6,400(10) ⁹
硅(Si)	3	4,700(10) ⁹	4,100(10) ⁹
氟(F)	1.3	2,000(10) ⁹	1,780(10) ⁹
铜(Ac)	0.6	930(10) ⁹	820(10) ⁹
氮(N)	0.5	780(10) ⁹	680(10) ⁹
锂(Li)	0.17	260(10) ⁹	230(10) ⁹
铷(Rb)	0.12	190(10) ⁹	164(10) ⁹
磷(P)	0.07	110(10) ⁹	96(10) ⁹
碘(I)	0.06	93(10) ⁹	82(10) ⁹
钡(Ba)	0.03	47(10) ⁹	41(10) ⁹
铟(In)	0.02	31(10) ⁹	27.4(10) ⁹
锌(Zn)	0.01	16(10) ⁹	13.7(10) ⁹
铁(Fe)	0.01	16(10) ⁹	13.7(10) ⁹
铝(Al)	0.01	16(10) ⁹	13.7(10) ⁹
钼(Mo)	0.01	16(10) ⁹	13.7(10) ⁹
硒(Se)	0.004	6(10) ⁹	5.5(10) ⁹
锡(Sn)	0.003	5(10) ⁹	4.1(10) ⁹
铜(Cu)	0.003	5(10) ⁹	4.1(10) ⁹
砷(As)	0.003	5(10) ⁹	4.1(10) ⁹
铀(U)	0.003	5(10) ⁹	4.1(10) ⁹
镍(Ni)	0.002	3(10) ⁹	2.74(10) ⁹

續 表 1

元素名称	海水中各元素的浓度 (每吨海水含各元素的 克数,克/吨)	海水中所含各元素的总数量(吨)	
		原表的数据(吨)	修改后的数据(吨)
钒(V)	0.002	$3(10)^9$	$2.74(10)^9$
锰(Mn)	0.002	$3(10)^9$	$2.74(10)^9$
钛(Ti)	0.001	$1.5(10)^9$	$1.37(10)^9$
锑(Sb)	0.0005	$0.8(10)^9$	$0.68(10)^9$
钴(Co)	0.0005	$0.8(10)^9$	$0.68(10)^9$
铯(Cs)	0.0005	$0.8(10)^9$	$0.68(10)^9$
铈(Ce)	0.0004	$0.6(10)^9$	$0.55(10)^9$
钇(Y)	0.0003	$5(10)^8$	$4.1(10)^8$
银(Ag)	0.0003	$5(10)^8$	$4.1(10)^8$
镧(La)	0.0003	$5(10)^8$	$4.1(10)^8$
氪(Kr)	0.0003	$5(10)^8$	$4.1(10)^8$
氖(Ne)	0.0001	$150(10)^6$	$137(10)^6$
镉(Cd)	0.0001	$150(10)^6$	$137(10)^6$
钨(W)	0.0001	$150(10)^6$	$137(10)^6$
氙(Xe)	0.0001	$150(10)^6$	$137(10)^6$
锗(Ge)	0.00007	$110(10)^6$	$96(10)^6$
铬(Cr)	0.00005	$78(10)^6$	$68(10)^6$
钍(Th)	0.00005	$78(10)^6$	$68(10)^6$
钪(Sc)	0.00004	$62(10)^6$	$55(10)^6$
铅(Pb)	0.00003	$46(10)^6$	$41(10)^6$
汞(Hg)	0.00003	$46(10)^6$	$41(10)^6$
镓(Ga)	0.00003	$46(10)^6$	$41(10)^6$
铋(Bi)	0.00002	$31(10)^6$	$27.4(10)^6$
铌(Nb)	0.00001	$15(10)^6$	$13.7(10)^6$
铊(Tl)	0.00001	$15(10)^6$	$13.7(10)^6$
氦(He)	0.000005	$8(10)^6$	$6.8(10)^6$
金(Au)	0.000004	$6(10)^6$	$5.5(10)^6$
铍(Be)	0.0000006	$9.3(10)^5$	$8.2(10)^5$
镤(Pa)	$2(10)^{-9}$	3000	2740
镭(Ra)	$1(10)^{-10}$	150	137
氡(Rn)	$0.6(10)^{-15}$	$1(10)^{-3}$	$8.2(10)^{-4}$

此表的前三栏是根据戈得博(E. D. Goldberg) 1963 年发表的数据,但第三栏的数据偏高了些,这是由于将海水总量估计的过高的缘故。因此作者又增添了第四栏,这一栏是根据海水总量的新数据 13.7 亿立方公里计算出来的;也就是用第四栏代替了第三栏。

世界各洋海水中所含杂质和各种元素的浓度是不一致的,对某一地区来说可能有所出入。

由表 1 可以看到,海水中的资源种类极多,数量极大。在常见的金属中,就有铁 137 亿吨,铝 137 亿吨,钼 137 亿吨,锡 41 亿吨,铜 41 亿吨,铀 41 亿吨,镍 27.4 亿吨,锰 27.4 亿吨,钴 6.8 亿吨,银 4.1 亿吨,铬 6,800 万吨,铅 4,100 万吨,和黄金 550 万吨等。

海水中矿产资源虽多,但在含量的比值上还是微小的,因此除几种资源外,在现阶段大多数尚没有进行工业生产。现在进行工业生产的只有食盐、镁、溴、钾、钙、人造淡水等,其余如由海水内提铀等正在试验研究,并将从事生产。食盐自有史以来沿海各地都在进行生产,现世界上每年由海水中生产食盐约 1 亿吨。廉价生产食盐也要求有适宜的地理条件,如我国汉沽一带,海滩地形很平缓,于涨潮时可引进大面积的海水,由于日晒和风吹,水蒸发后,盐即凝固出来。由海水中提镁已有三十年的历史,很多国家都在进行海水提镁的工作。现在由海水中提镁已成为金属镁产量的主要部分。水也是矿物的一种。海水脱盐生产淡水是一种新工业。根据不完整的统计,1964 年约生产淡水有 60,000,000 吨。近年来由于技术不断改进,新设备不断出现(如多级闪急蒸馏淡化装置、离子交换膜淡化装置和反渗透淡化装置等),使海水淡化发展很快,不仅生产淡水,同时还生产很多副产品。海水中提溴、提钾、提钙的工业生产也都在进行。

海水中含铀总量为 41 亿吨(表 1), 在陆地上探明的铀储量只 100 多万吨, 比海水中小 3,000 倍, 所以很多国家都在进行海水提铀的试验研究, 尤其是英、日、西德这些缺铀的国家在这方面已经获得初步成功。1 吨海水内只含铀 3 毫克, 这种微量的铀必须利用吸着剂将铀吸着出来。钛酸是最好的吸着剂, 硫化铅、金属皂、方铅矿、氢氧化铬、氢氧化铅都可作为吸着剂。英国试验的结果, 1 克钛酸对铀的吸着量为 500 微克。日本试验的结果, 1 克钛酸能吸着 200 微克的铀; 但用均一沉淀法制备钛酸, 使其酸碱度保持弱酸性, 在把它加入海水中时进行搅拌, 使钛酸的吸着能力提高, 这样, 1 克钛酸能吸着 1,500 微克的铀。日本又用氢氧化铅等与活性碳混合从海水中提铀, 效果也比较好, 1 克的金属能吸着 300 微克的铀。西德则利用合成群青进行离子交换从海水中提铀, 合成群青是一种蓝色的无机颜料, 价廉而有效, 但仍处于试验阶段。看来, 由海水中提铀在技术上已获得初步成功, 日本和英国都计划要进行工业生产。此外, 由海水中提金, 30 年前法国曾进行过生产, 因成本高而停止, 但亏损率并不太大, 将来经技术改进, 海水提金尚能实现。由海水中能提取的元素, 随科学的发展将会越来越多。

第二章 海底矿产资源

海底面积为 361,160,000 平方公里,比陆地面积大两倍多。大陆和海底在地质上虽然都属于地壳,但区别还是很大的。总的来说,地壳在大陆较厚些,在海底较薄些;其岩石的组成也有所不同,地壳的岩石在大陆其容重较小些,在海底其容重较大些。

大陆的地壳大致分为三层:其中表层厚度为 0 至 10 公里,内含浮土、沉积岩、火成岩和变质岩,由于经受的地质变动较多,而产生各种的矿床;中层为花岗岩类型的岩石,容重为 2.8 克/立方厘米,花岗岩内也有矿床;下层为玄武岩层,容重为 3.3 克/立方厘米,玄武岩层内基本上没有矿床或者矿床较少。这三层的总厚度平均为 33 公里,最薄的地区为 10 公里,最厚的达 50 公里。地壳以下是地幔(亚地壳),其容重更大,据推测是均质的超基性岩石,其厚度约为 2,900 公里,是地球的主要部分(图 1)。地幔的情况至今了解的还不多。

深海的地壳也分三层:表层是海水,平均深度为 4 公里;中层是松软层,以软泥为主,平均厚度为 0.6 公里,其表面有时有锰矿瘤(锰铁结核)的薄层矿床,是将来开发深海矿产资源的主要对象,个别的软泥层也有经济价值;下层也是玄武岩,厚约 7 公里,其中矿床极少。再下就是地幔。如图 1 所示,海洋处地壳较薄,大陆的地壳较厚,为了保持平衡,地幔承受大陆地壳的重量,就被压低了些。

深海与大陆之间是浅海,这个区域叫做大陆架(也叫大陆棚),它是海水深度为 0 到 200 米的靠近大陆的浅海区,此

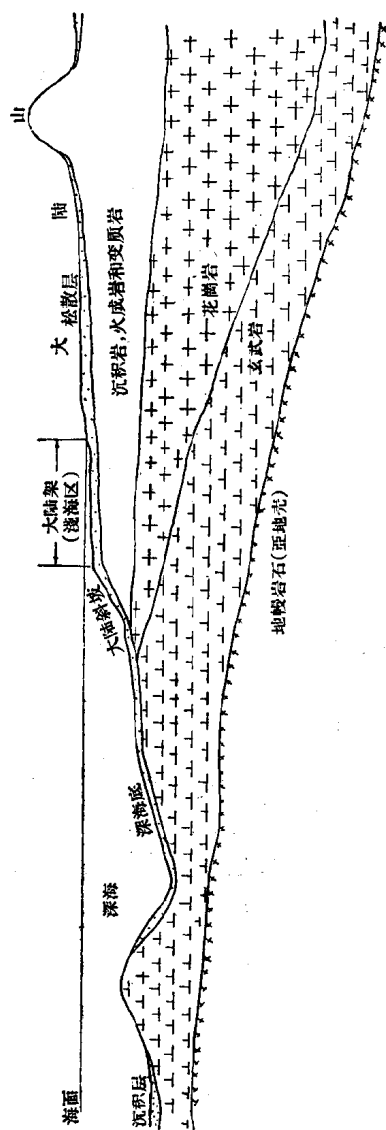


图1 地壳剖面示意图

处地壳与大陆地壳相似，但沉积层比较厚些，因此富有各种沉积矿床。世界上大陆架面积约为 2,800 万平方公里，占海洋总面积的 7.6%，是开发海洋资源的主要地区。大陆架以外是大陆斜坡，大陆斜坡以外是深海。

大陆上原有的矿床，经过风化、剥蚀和搬运，流入海内，在大陆架上形成浅海沉积矿床。在冰川时期，其海面比现在海面要低 45 米到 150 米，今日的浅海，当年可能是大陆，如在大洋洲和阿拉斯加的浅海中发现了古代河床沉积物和海滩沉积层，这就说明了现在浅海中也有当年的陆地沉积矿床。

浅海海底既有很厚的沉积层，又富有石油、天然气、煤、铁、硫磺、石膏、盐和各种重金属矿，而深海海底只在软泥层中有矿床。为此，浅海矿床比深海富，种类也多，又易于开采，目前海底矿产资源的勘探和开采工作，主要在浅海中进行，这是符合于由近及远、由浅入深和由易而难的开发顺序的规律的。

一、浅海海底矿产资源

浅海海底矿产资源种类繁多，分布很广，可分为以下三种：(1)流体矿床，如石油、天然瓦斯和浓盐液等；(2)坚硬整体矿床，如煤、铁、硫磺、石膏等；(3)松散矿床，如各种砂矿床，包括金刚石、锡石、磁铁矿砂、金、重晶石、海绿石、锆石、金红石、钛铁矿、独居石、磷矿瘤、生物磷、银、铂、锰、石榴石、铬矿、贝壳、钙质砂及砂砾等。现将已经进行开采的和其开采地点列于表 2。

1. 海底流体矿床 在浅海海底资源中以石油和天然瓦斯的價值最大、分布的相当广、开采的相当早，已有七十多年的历史。目前世界上石油总产量，每年 23 亿多吨，1970 年产 2,334,000,000 吨，其中由海底开采的约占 17%，主要采自墨



浅海海底矿床的种类、位置和产地

0120373

名 称	类 型	位 置	开 采 地 点
石油,天然瓦斯	砂岩中流体矿床	浅海	墨西哥湾、波斯湾、加利福尼亚岸外、非洲、欧洲北海等
铁矿床	坚硬矿体	近岸浅海	芬兰、加拿大、纽芬兰等
煤矿	坚硬煤层	近岸浅海	日本、土耳其、英国、加拿大
硫磺矿	坚硬矿床	浅海	墨西哥湾
盐	砂岩中浓盐液	浅海	红海
金刚石	砂矿	浅海	南非岸外
锡石	砂矿	浅海	马来亚、泰国、印尼、马来西亚、英国
铁砂矿	磁铁矿砂	浅海	日本、苏联、智利
金	砂金矿	浅海	智利、美国北部西岸外和阿拉斯加
重晶石	砂矿	浅海	斯里兰卡、美国西岸外
海绿石	砂矿	浅海和半深海	美国
锆石	砂矿	浅海	大洋洲
钛矿	钛铁矿砂	浅海	大洋洲、南非、西印度群岛、波罗的海
金红石	砂矿	浅海	大洋洲
生物磷	鲨鱼齿、鲸骨	浅海	太平洋、大西洋、印度洋
银	砂矿	浅海	美国西岸外、阿拉斯加
铂	砂矿	浅海	美国西岸外、阿拉斯加
石灰质	贝壳、钙质砂	浅海	冰岛、美国西岸、阿拉斯加、英国等
石榴石	砂矿	浅海	美国北部西岸外等
砂砾	砂砾层	海滨和浅海	英国、美国西岸外等
磷矿	磷矿瘤	浅海和半深海	美国西岸外、南非
锰矿瘤	锰铁结核	浅海、深海(主要)	印度洋、墨西哥湾

西哥湾、波斯湾、加利福尼亚岸外和非洲岸外。除石油外,天然瓦斯所占的比重也很大,如欧洲的北海,厄瓜多尔西南的海湾和大洋洲的东南海域内,目前以生产天然瓦斯为主,而在其他石油产地也都生产瓦斯。

根据推测,大陆架面积的 37% 可能都蕴藏石油,大陆架