

HAIYANGKUANGWUZIYUAN



[美] 约翰 L·梅罗 著

海洋矿产资源

地质出版社

海洋矿物资源

〔美〕约翰 L. 梅罗 著

马孟超 孙英 译
黄文盛 严德一

地质出版社

THE MINERAL RESOURCES OF THE SEA

BY

JOHN L. MERO

Consultant

Newport News Shipbuilding and Dry Dock co.

Newport News, Va.

Formerly with the

Institute of Marine Resources

Department of Mineral Technology

University of California

Berkeley, Calif.

ELSEVIER PUBLISHING COMPANY

AMSTERDAM-LONDON-NEWYORK

1 9 6 5

海洋矿物资源

[美]约翰 L. 梅罗 著

马孟超 孙英 译
黄文盛 严德一

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850 × 1168¹/₃₂ · 印张：8¹/₈ · 字数：238,000
1980年2月北京第一版 · 1980年2月北京第一次印刷

印数1—2,590册 · 定价1.20元

统一书号：15038 · 新456



人类文明物质资源取之不竭的无边无际的仓库——海洋

(B. J. 尼克松摄)

KAC32/01

前 言

1957年秋，加利福尼亚大学的几位教授，在斯克里普斯海洋研究所集会，研究制订该大学两个组织，即伯克利 (Berkeley) 的采矿工艺系和圣叠戈 (San Diego) 的海洋资源研究所间，关于合作开发海洋矿物的计划。他们是伯克利的 P. D. 特拉斯克 (P. D. Trask) 教授、H. E. 霍克斯 (H. E. Hawkes) 教授、P. E. 威瑟斯庞 (P. E. Witherspoon) 教授，和圣叠戈的 C. D. 惠洛克 (C. D. Wheelock) 教授，W. H. 梅纳德 (W. H. Menard) 教授。他们选择洋底锰结核开采的经济分析作为最初的计划。我被邀在 H. E. 霍克斯教授的技术指导下，担任实行这项计划的主要研究员。通过这项研究，编写了一份关于开采和加工锰结核的报告。这个报告明确指出，利用锰结核作为各种金属的来源，在技术上和经济上是可以办得到的。在研究过程中，我们查明了可能有经济价值的若干其它的海底物质。因此，在海洋资源研究所的帮助下，我们的计划继续进行下去，并且扩大到包括所有海洋矿物资源的研究。本书大部分的原始资料 and 情报是在加利福尼亚大学的伯克利分校采矿工艺系和圣叠戈分校斯克里普斯海洋研究所进行研究期间得到的。有关化学成分的许多资料，是作者在 1960 年担任 D. C. 杰克林 (D. C. Jackling) 研究员期间积累起来的。在我搜集资料和编写本书的这些年里，曾有许多个人和团体对我进行了多方面的支持和帮助，谨向他们表示诚挚的谢意。

约翰 L. 梅罗
弗吉尼亚州
纽波特纽斯

1963.12.12.

目 录

| | |
|------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第二章 海滩 | 5 |
| 海滩沉积物 | 5 |
| 海滩沉积物中的矿物类型 | 6 |
| 海滩重矿物的富集 | 7 |
| 沉没海滩 | 9 |
| 开采中的海滩 | 9 |
| 西南非洲滨外金刚石 | 11 |
| 阿拉斯加诺姆海滩 | 12 |
| 阿拉斯加东南海峡区 | 13 |
| 日本滨外铁砂的开采 | 13 |
| 水泥岩砂 | 14 |
| 锡兰海滩 | 15 |
| 其它海滩 | 16 |
| 沉没海滩的勘探方法 | 17 |
| 第三章 海水中的矿物 | 21 |
| 从海水中提取矿物 | 24 |
| 提制食盐 | 24 |
| 海水中提溴 | 27 |
| 海水中提镁 | 30 |
| 镁的化合物 | 33 |
| 海水中提金 | 35 |
| 海水中可提取的其它物质 | 37 |
| 在从海洋提取淡水的过程中生产矿物 | 38 |
| 从海水提取矿物的经济价值 | 40 |

| | |
|------------------------------|-----------|
| 从海水提取矿物的新工艺 | 43 |
| 提取海水中的悬浮物 | 44 |
| 海洋生物对矿物元素的浓缩作用 | 45 |
| 第四章 大陆架 | 47 |
| 大陆架表层矿床 | 49 |
| 磷灰石 | 51 |
| 海底磷灰石 | 52 |
| 磷灰石结核的成因 | 52 |
| 加利福尼亚沿岸海域的磷灰石矿床 | 54 |
| 化学成分与矿物成分 | 56 |
| 分布状况 | 59 |
| 开采加利福尼亚磷灰石的经济价值 | 62 |
| 全球海底磷灰石的吨位 | 63 |
| 大陆架的其它矿物 | 63 |
| 海绿石 | 63 |
| 硫酸钡结核 | 66 |
| 有机沉积物 | 66 |
| 砂和砾石 | 67 |
| 溺河谷砂矿床 | 68 |
| 溺河谷的勘查方法 | 69 |
| 第五章 海底软泥沉积物下的地层 | 73 |
| 大陆架表面沉积物下的矿床 | 77 |
| 矿脉 | 83 |
| 石油矿床 | 85 |
| 第六章 深海底 | 90 |
| 海洋深度 | 90 |
| 洋底沉积物 | 92 |
| 深海沉积物 | 92 |
| 钙质软泥 | 95 |
| 硅质软泥 | 99 |
| 动物碎片 | 102 |
| 其它矿物 | 103 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 红粘土 | 105 |
| 锰结核 | 109 |
| 洋底铁锰氧化物的自然形态 | 109 |
| 结核的物理特性 | 111 |
| 结核的核心 | 118 |
| 锰结核形成的环境因素 | 119 |
| 伴生沉积物 | 120 |
| 洋底海流 | 122 |
| 洋底动物的作用 | 124 |
| 锰结核的形成 | 125 |
| 锰结核的矿物学 | 130 |
| 锰结核形成的速度 | 132 |
| 锰结核的分布与富集 | 133 |
| 锰结核表面富集程度的测定 | 141 |
| 吨位估算 | 146 |
| 锰结核的堆积速度 | 152 |
| 锰结核的化学成分 | 153 |
| 分析方法 | 159 |
| 锰结核成分的区域性变化 | 203 |
| A区(高铁) | 205 |
| B区(高锰) | 205 |
| C区(高镍和高铜) | 206 |
| D区(高钴) | 207 |
| 其它过渡地带 | 208 |
| 单个锰结核内不同壳层的分析 | 208 |
| 锰结核沉积的紧密间隔取样 | 209 |
| 锰结核内各种金属的总量 | 211 |
| 大西洋和印度洋中的锰结核 | 211 |
| 印度洋中的锰结核 | 222 |
| 第七章 海洋采矿方法 | 223 |
| 海滩与近海砂矿的开采 | 224 |
| 钢索法 | 225 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 链式(链斗)采矿船 | 226 |
| 吸扬式采矿船 | 228 |
| 空气提升采矿船 | 231 |
| 从次生海底层开采矿物 | 231 |
| 洋底表层沉积物的开采 | 232 |
| 深海拖斗采矿船 | 233 |
| 深海吸扬式采矿器 | 238 |
| 管路中搬运结核所需的液体速度 | 241 |
| 开动采矿器所需的功率 | 241 |
| 吸头 | 242 |
| 生产速度 | 244 |
| 基本成本与生产成本 | 244 |
| 气候对采矿作业的影响 | 245 |
| 锰结核的加工 | 248 |
| 第八章 海洋采矿的若干经济问题 | 249 |
| 矿物资源锰结核 | 251 |
| 深海采矿的有利条件 | 254 |
| 附 录 I 取样站位名称一览表 | 256 |
| 附 录 II 公制与英制换算表 | 258 |
| 参考文献 | 259 |

第一章 绪 论

科学家们一般认为海洋是地球上生命的发源地。现在就我们所知，如果没有海洋，生命就不存在了。对地球上的生物来说，海洋有很多的作用。海洋起了巨大的恒温器和热库的作用，它使极端气温得到缓和，没有它的缓和作用，地球上的极端气温就会占优势。海洋是大陆的水库和水的供应者；没有它，大陆就会变成没有生命的沙漠。海洋提供了众所周知的最经济的运输手段。它是人类的活动场所，是垃圾倾倒地，又是巨大的食物源泉。工业社会的基础是矿物，而海洋是矿物的一个巨大仓库。

海洋，作为矿物的来源，就它的潜力说，至今几乎没有开发。我相信，海洋迟迟没有开发的主要原因是：缺乏有关海洋中到底存在着些什么东西的知识；缺乏开发海洋矿藏的优越条件；缺乏经济地开发海洋矿藏的技术，以及在经济上和政治上目前都没有开发它们的迫切需要。

从矿物资源考虑，海洋可以划分为五个区：海滩、海水、大陆架、表面沉积物和海底表面沉积物底下的硬岩。目前正从海洋的前三个区域提取各种矿物。因此，相当多的现有文献，都是关于论述正在这些区域开发些什么和用什么方法去开发它们的。关于海洋的第五区域，即洋底松软沉积物底下的硬岩区，我们知道得很少。虽然松散沉积物和地球地幔层之间的地层厚度平均约为3公里，但至今我们还没有取得可供化学分析用的这种岩石样品。所以本书的重点放在第四个区域上，即海底表面沉积物。这样的重点是合适的，因为人们最近发现，就是在第四区含有大量的具有重要经济前景的矿物资源。况且，现在从第四区采得的矿物，即使有也是不多的。

本书中“矿物”这个词，是指普通所用的或是在市场上以无

机物形态出售的那些元素或化合物，不论它们是由有机物还是由无机物的作用生成的。在辽阔的海洋里，在分离和富集进入海洋的各种元素的过程中，生物的作用可能占据主导地位。不论植物和动物，在这些过程中都起了较重要的作用。它们从海水中大量地吸取象钙和硅这样的物质，用来构成壳和骨骼。动物在它们的新陈代谢过程中，能将象铜这样的别的元素浓缩在体内。此外，象细菌这样的生物，它依靠氧化某种象锰这类的元素，或是依靠摄取复合体的有机部分来维持生命；由此，这些元素就溶解在海水里。溶解在海水中的元素，可能在动物体内沉积和浓缩，或是转化成不可溶的结晶，散布在整个海水里，并慢慢下沉到海底。从经济矿床的角度考虑，动植物死亡和生物物质溶解以后，它们的残剩物，经过重新组合变化，可以归类为无机物。

“矿物资源”这个术语的含义，多少有点模糊不清。当我们要想决定某个矿床是否成其为矿物资源时，就要牵涉到经济制度、生产技术、政治观念、政府决议、赋税和无数别的因素了。有时候，甚至市场经济与此也有关系，不过看来不常是这样罢了。矿床可以在一个地方被认为是经济矿物资源，或至少是潜在的矿物资源；但在别的地方就不认为是这样。在历史上某个时期是这样。但在另一个历史时期就不是这样；并且由于政治决策的关系，在这个国家是这样，但在别的国家就不是这样。美国俄勒岗州的镍矿或内华达州的锰矿，过去在正常自由贸易的情况下，不被认为是矿物资源；现在由于政府的决定和补助金，它们变成了矿物资源。我们有许多矿物资源，如果它们不断地得到技术上的发展和经济上的资助，显然可以开发几千年。美国西部磷的埋藏量就是这样的。因此，经济或技术条件的改变，就会在一个很短时间内改变这些埋藏物的地位。六十年代晚期，当与美国原子能委员会的市场合同期满时，许多铀矿将变成没有经济意义的了。美国西部巨大的低品位铜矿，曾一度被认为是没有价值的，但由于少数人的预见能力，技术上的改进和财务上的精打细算，现在它已成为世界上真正巨大的矿物资源之一了。

如果，在比较正常和自由贸易条件下经营的一些企业，目前正在从海洋环境中开采某些矿物的话，那么，与那些正在开采着的矿物在产出方式上类似的矿物的其它矿床也被认为是矿物资源。这样的矿物有从海水中提取的镁、盐和溴；还有从墨西哥湾海水底下矿床中提取的硫。根据目前的技术和自由贸易经济来看，如果我们能够开采、加工和利用大海中的矿床，那末，这些矿床就可以归类为潜在的矿物资源。本书所描述的大部分矿床属于这一类。

目前正在开采的若干矿井，向外可延伸到大洋之下。大体上，这些矿是用大陆竖井采矿所用的同样方法开采的。现在正从陆上资源开采的大量矿物也起源于海洋；就是说，它们原是在地质年代某个时期吞没了大陆的浅海和港湾中沉积起来的。实际上所有的沉积矿床都属于这一类。

本书所讨论的，一般限于目前处在海洋环境下，或必须在真正海洋环境中操作开采的那种矿床；就是说，必须在和波浪、拍岸浪或海洋生物体那样的海洋现象打交道的情况下操作开采的那种矿床。象死海或里海那样的水体，虽然出产许多矿物，但由于它们与大洋没有自然联接，本书不予考虑。

在许多情况下，海洋资源和大陆资源间没有明显的界限。现在人们正采取从岸上钻井场钻打定向孔的方法，开采着岸外2英里多大陆架中埋藏的石油矿床。即使油矿是海洋成因的，现在又位在所谓的海洋环境中，也很难理解为什么这些矿床可以叫做海洋资源。如果从人工岛或钻井台开采这些矿床（不管这些人工岛、钻井台是固定在海底的还是浮动的），因而必须和大海打交道的话，那末这些矿床归属为海洋资源，看来是不大成问题的。

把可能由于海平面上大陆作用而形成的，但开采时必须在某些海洋环境下进行的矿床，象河流溺谷中的砂矿归类为海洋矿物资源；而不把那些可能由于大海和海底作用沉积而成，但现在是大陆的一部分，并可用平常采矿方法开采的那些矿床看做海洋资源，这样可能更妥当一些。因此，开采的方法，特别是矿床开采

的环境，就成为确定矿床是叫做海洋矿床还是陆地矿床的重要因素。处于大陆架或大陆阶地岩石内部，而开采时必须应用海上技术的任何脉型矿床或盐丘矿床，本书均认为是海洋资源。

地球上大陆矿床的一个通常的缺点是它们分布得不均匀。在许多情况下，矿物从陆地采取以后的运输费用，是能否经济地开采矿床的决定因素。就采矿经济学来说，从政治上对地球表面进行过细的划分，多少增加了地壳矿床分布不均匀的复杂性。大体上说，地壳内部有足够的矿物资源，可供任何合理估计的世界人口的消费。然而，矿藏问题不仅是大陆岩石内可利用的总量的问题，而是它们分布得不均匀，以及人类热衷于追求政治和经济制度的癖好的问题；这种政治和经济的制度阻碍了矿物商品的自由贸易。况且人口集中地区一直很少位于藏量丰富的矿物生产中心附近。海洋矿床的许多有利条件之一，是它们在全球海洋中的分布一般是均匀的，而且对大多数想要开采它们的国家来说，都是可以利用的。

第二章 海 滩

从矿物资源的观点来看，海滩是海洋中值得重视的地区。海滩一般不仅是采矿者很乐意工作的地方，而且由于海洋拍岸浪的压碎、研磨和富集作用，矿床的许多形成过程已由大自然来完成了。剩下的开采和加工操作，一般说是简易的，化钱不多。通常认为低品位的矿物，如果是处在海滩，开采后常常有利可图。某些有价值的矿物，就是因为有拍岸浪的作用而富集在海滩里，这样就便于开采而获利。因此，这些海滩可以看作是真正的海洋矿物资源。尤其当我们必须和拍岸浪、海水打交道，才能开采这些矿床时，更应称它们为真正的海洋矿物资源。

海 滩 沉 积 物

通常，构成海滩的大部分物质是由江河冲刷到海滨(Kuenen, 1950)的。这类物质来自江河流域内大陆岩石的风化作用。在某些地区，邻接海滩的海底可能成为海滩砂的重要来源。从露出海岸的岩石的侵蚀中，也可产生其它的海滩物质(Johnson, 1919)。在某些干旱地区，象北非的西海岸，相当大一部分海滩物质，是由陆上大风吹来的物质构成的。砂粒到达海滨后，由于波浪和拍岸浪的作用，可能沿着海岸或向海方向移动。

由于波浪对海岸总是不定向地、不断地拍击着，沿着海岸移动的物质，最后可能被冲刷到一个峡谷里；这峡谷的头可能是紧靠海岸，并沿着谷底伸向大海。在下加利福尼亚区南端的几个地方，对岸外峭壁边缘上稳定的沙流进行观察后证明，在这个地区确实有海滩砂沿海岸运动的现象。

许多地区，季节性的循环是很明显的。在那里，海滩在一个

季节里可以失去许多砂粒，在另一个季节里，又会重新获得砂粒。加利福尼亚沿海，通常在冬季的月份里，海滩砂向海或向南移动；而在春季和秋季，则向岸或向北移动。海滩砂粒这种持之以恒的移动，自然为不同比重的砂粒提供了分离的机会，并使重矿物一般富集在砂层的底部。

海滩沉积物中的矿物类型

如果在岸上砂矿中发现了某些矿物，在海滩沉积物中也可能发现同一类型的矿物；不过，那是指能抵抗化学和机械风化作用的矿物。象胆矾这一类容易溶解的矿物，在海滩中不可能发现；象石膏那样对机械侵蚀几乎没有抵抗力的矿物，在海滩中也不能发现；除非象许多热带地区的碳酸钙那样，它们没有什么别的物质暴露给拍岸浪去磨损，因而可能构成海滩砂。在较大的火山岛上，由于黑色火山岩受到侵蚀作用，往往会构成黑沙滩；这种黑色火山岩是随熔岩流到达海岸的。

虽然大多数海滩是由云母、长石、其它硅酸盐和石英构成的；但通常在海滩中还可以发现大量的铌铁矿、磁铁矿、钛铁矿和锆石等矿物。在适宜开采的矿物富集地段，发现金、金刚石、锡石、白钨矿、黑钨矿、独居石和铂矿等是不寻常的。所有这些矿物通常归类为重矿物（比重大于三溴甲烷的比重 2.85），它们对化学风化一般都有抵抗力。

如果对供给一个特定海滩的沉积物的江河流域内的岩石，作一番地质学和矿物学的研究，通常就会知道海滩中可能发现什么样有价值的矿物了。因此，有理由设想：可以在西南非洲海滩上发现的金刚石，是由流经非洲大陆许多产钻石地区的奥兰治河（Orange River）搬运到那里的。另外，我们发现在奥兰治河沿岸有砂矿床，奥兰治河河口南北两岸，金刚石的粒级逐渐减小，这也可以进一步证明：内陆确有金刚石的矿源。但是，关于这些金刚石的来源有许多推论，包括若干不同的理论。有的断言，在这个地区的岸外，或是紧接海滩的地方存在着火山颈，这些火山颈如果现在不明显，则在过去某个时期确是存在的。

阿拉斯加诺姆 (Nome) 海滩中金的来源, 很明显是安维克里克 (Anvil Creek) 流域盆地的片麻岩。侵蚀作用使金从这些岩石中分离出来, 并把它带到海岸。由于波浪的活动, 金就沿着海岸扩散, 然后富集在海滩内某些地平面上。在诺姆不同海拔高度的地方曾发现一些海滩。由于大陆冰川水量积聚的结果, 在冰河时代海平面实际上降低了 (Kuenen, 1950; Shepard, 1963)。在温暖的间冰期, 海平面可能上升到超过目前的高度。在每个海平面上, 不论这个海平面曾保持多长时间, 都有可能形成新的海滩。诺姆的海滩, 可能就是这样的情况。在诺姆, 价值最大的金是存在于我们能预料到的最高最远的内陆海滩里; 因为这种海滩, 极少受到海平面连续变化的反复作用。

海滩重矿物的富集

海洋波浪和拍岸浪的起伏动作, 易于使重矿物在海滩某些地带富集起来。如图 1 所示, 这些地带一般在后海滨的后部, 或是沿坚固基岩与松散海滩砂交接的地方。图 2 表示, 一个破浪能够不分青红皂白地掀起前海滨中所有的物质, 把它们丢在海滩上; 而破浪的回流时, 因为没有象破浪那样的搬运能力, 便把轻矿物优先冲向大海。重矿物的富集作用就这样在后海滨的后部进行 (Rao, 1957)。然而, 海平面的变动, 潮汐和不规则的拍岸浪高度, 都会减轻这种拍岸浪的富集作用。在整个海滩常常会发现一堆堆的重矿物。因为有背风面地域的存在, 重矿物很容易在靠近大岩石或别的障碍物附近富集。

重矿物富集在海滩砂的底层也是常见的; 尤其在有许多裂缝岩石组成的海滩基部, 重矿物就可能沉积在这些裂缝里。

风力也在形成海滩重矿物的富集过程中起着作用。许多地区盛行着从一个特定方向来的风; 这种风一般是吹向海岸的。较轻的物质被吹向海岸, 进入沙丘; 重矿物就留在后面的海滩上。

沿岸流把较轻的物质扬弃掉并把它们搬出沉积区, 这样促使重矿物在岸外地带富集起来。潮流也起着同样的作用, 不过结果可能是把重矿物富集在潮流通过的松散沉积层的基部。

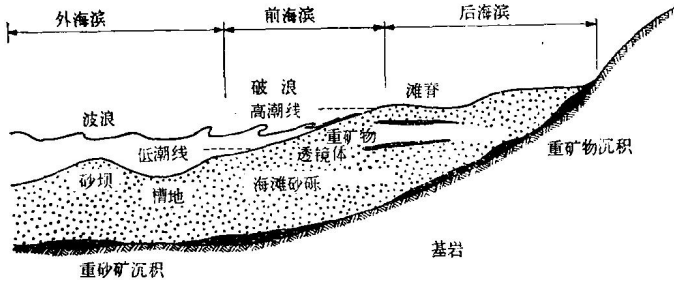


图 1 海滩横剖面简图，说明重矿物堆积的有利部位

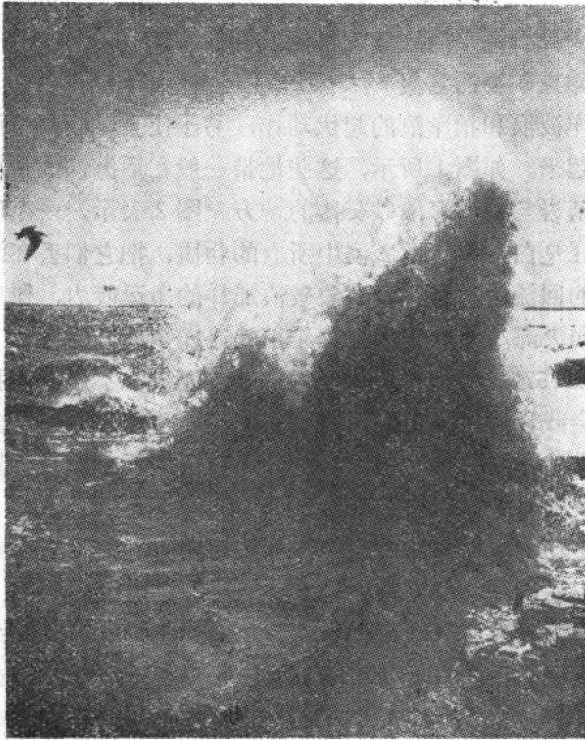


图 2 破浪搬运能力相当大。它的体积中，可能有百分之几的固体悬浮物被它带到海岸。破浪在海滩上消耗了能量后，回流先
把较轻的物质带回大海，而使重矿物富集在海滩上

(B. J. 尼克松摄)