



第八届会议

牙买加金斯敦

2002年8月5日至16日

多金属块状硫化物矿床和富钴铁锰壳概述

一. 海洋矿物与《联合国海洋法公约》¹

1. 1970年代和1980年代初在理解地球运作方式方面发生了科学革命，大大丰富了我们的海洋矿物知识。

《联合国海洋法公约》就是在此时拟定的。由于这一科学革命，人们看待海洋盆地和大陆的观点发生了重大变化。以前，海洋盆地被视为被动的海洋容器。大陆和海洋盆地的特征被视为永久不变，在地球存在的大部分时间一直保持现状。《公约》中关于海洋矿物的规定是根据旧的观点拟定的。旧的观点只承认陆地受侵蚀后呈微粒状或溶解状被河水冲入海洋的矿物沉积。这些矿物中有重金属（锡、金等）和宝石（特别是钻石），沉积在大陆边缘沉淀物中，还有锰结核，从海水溶化的金属中沉到深海海床。

2. 经过科学革命，人们发现海洋盆地具有动态特征，历时数百万年，有开有合，同时陆地也在运动，称为大陆漂移。经过科学革命，人们认识到，除原先已知的矿藏外，海洋盆地是各种矿物沉积的来源。新发现的海洋矿物资源包括多金属硫化物，其中铜、锌、银和金含量各不相同。多金属硫化物矿床是数千年来在海床温泉附近积聚而成，海床温泉位于海底活火山山脉各处，而这些火山山脉蔓延全球所有海洋盆地。多

金属硫化物矿床还在与火山列岛毗连的地点形成，例如太平洋西部边界沿线的列岛。另一类新发现的海洋矿物资源是富钴铁锰壳。这种矿壳沉积于水下死火山侧面，历时数百万年形成，其矿物来自海水中溶化的金属，而这些金属是河水和海床温泉冲刷而来。

3. 温泉使多金属硫化物沉积集中，同时又使各种金属散布海洋，帮助富钴铁锰壳积聚。不仅如此，温泉还提供了来自地球内部的化学能量，微生物利用这些能量生长。这些微生物处于温泉生命形式生态系统食物链底层，基本无需光能，而陆地食物链的底层植物则需要光能产生光合作用。这些微生物十分重要，是具有工业和医药用途的新的化合物来源。这些微生物也包括原始的生命形式，可能有助于揭开生命起源的奥秘。目前的挑战是将这些新的矿物资源纳入《公约》系统，以保护赖其生长的宝贵的生命形式。

二. 现代海底多金属块状硫化物矿床及其资源潜力²

4. 自1979年以来，在洋中脊、后弧裂谷、海山等各种现代海底地壳构造板块水深至3700米处发现了多金属块状硫化物矿床。许多硫化物矿床表层是黑烟复合物，下面是硫化物堆，再下面通常是网状脉区。

人们普遍认为，从大洋基底滤出的金属和硫的主要载体是轴下岩浆房附近反应区内经调剂的循环海水。块状和网状脉硫化物沉积在海床下面是因高温（高达 400° C）富金属热液海水与周围海水混合而形成的。多金属海床硫化物沉积可具相当规模（可达 1 亿吨），除了含有金和银以外，铜（黄铜矿）、锌（闪锌矿）和铅（方铅矿）的含量通常也很高。文献记载清楚表明，就矿物和化学构成而言，以玄武岩为主的洋中脊的多金属块状硫化物沉积与长英火山岩（石英安山岩、流放岩）更多的后弧扩张中心的多金属块状硫化物沉积不同。

5. 后者与今天陆地开采、但在古代海洋扩张中心形成的主要硫化物矿床较为类似。最近在巴布亚新几内亚领水内一个死火山坑的一种新型海床矿物沉积物中发现了极高的含金量（最高每吨达 230 克，在经分析的 40 个样品中平均每吨 26 克）。这一特定种类成矿和变化与迄今仅在陆地发现的所谓“浅成热液金矿床”有许多类似之处。除循环海水以外，含金量很高的岩浆似乎也是重要的金属来源，贵金属高集作用可能就是由此造成的。这类成矿最可能存在于世界各大洋其他弧形的环境。海床多金属块状硫化物沉积由于贱金属和贵金属含量高，最近引起了国际采矿业的兴趣。相对陆地矿藏而言，这些矿藏具有某些优势，因此从经济和环境角度来看，开采这些矿藏似乎是可行的，有可能在十年之内成为现实。

三. 富钴铁锰壳：地质、资源和技术³

6. 富钴铁锰壳生成于全球大洋的海山、海脊、海台，那里数百万年来水流不断冲刷岩石，因此没有沉积物。这些富钴铁锰壳从周围冰冷的海水中沉淀到岩底上，形成最厚达 250 毫米厚的铺砌层。富钴铁锰壳之所以重要，主要是因为这可能是钴的来源，同时也因为其中含有钛、钪、镍、钼、锰、铈、碲、钨、铋、锆等其他金属。富钴铁锰壳生成于水深 400 至 4 000 米处，最厚、含钴量最高的矿壳生成于水深

800 至 2 500 米处。矿壳的分布和厚度受地崩等重力过程、沉淀物外层、水下和水面礁石以及水流的影响。

7. 矿壳在各种各样的底面岩石上生成，因此用遥感数据难以区分矿壳和底层，而遥感数据是发展勘探技术的一个重要方面。幸好矿壳的伽马辐射高得多，因此据此可以将两者加以区分。矿壳的物理特征包括平均孔隙度高（60%），平均表面面积积极大（每克 300 平方米），成长速度极慢（每一百万年 1-6 毫米）。这些特征有助于将大量有经济价值的金属从海水里吸到矿壳表面。

8. 矿壳由水合软铁矿（氧化锰）和大方纤铁矿（氧化铁）构成，厚的矿壳还有一定量的碳酸氟磷灰石（CFA），多数矿壳都含有少量石英和长石。水合软铁矿通常吸收的元素包括钴、镍、锌和铈；氧化铁吸收的有铜、铅、钛、钼、砷、钒、钨、锆、铋和碲。

9. 大块矿壳的钴含量最高为 1.7%，镍含量最高为 1.1%，钼含量最高为百万分之一点三。就大片海洋水域而言，矿壳的平均含钴量达 0.5%至 1%，因此矿壳成为陆地和海岸外最丰富的潜在钴矿。在大陆边缘和靠近西太平洋火山弓弧处，矿壳的钴、镍、钛和钼含量减少，而硅和铝含量增加。矿壳生成处的水越深，水合软铁矿相关元素减少，铁和铜增加。在矿壳中钴、钪、铈、钛、铅、碲和钼的高集度很高，高于其他金属之上，因为这些金属经氧化反应生成较为稳定、较不活动的化合物。稀土元素通常为 0.1%至 0.3%不等，连同其他水成元素、钴、锰、镍等等，均来自海水。铈是一种稀土元素，在矿壳中高集度很高，具有重要的经济潜力。

10. 矿壳在其上生长的海山和海脊阻碍海洋水体流动，从而产生许多由海山引发的水流，相对自海山向外的水流而言，这种水流的能量通常较强。在海山峰端外沿，这些水流的效应最强，那里的矿壳最厚。这种海山特有的水流还增强涡流混合，造成上升流，从而增强了初级生成率。这些物理过程对海山生物群落产生了影响，而不同的海山有不同的生物群落。海山

群落的特征是，在矿壳最厚、含钴量高的地方，密度相对较低，差异相对较小，海山群落构成的决定因素是：水流形态、地形、底部沉积和岩石形状及覆盖范围、海山大小、水深以及氧气最少区的大小和范围。如要编写关于环境影响的文件，现有知识是不够的，需要更好地了解海山生态系统及群落。

11. 约有 40 次研究考察航行是专门研究富钴壳的，研究工作主要由德国、日本、美国、大韩民国、俄罗斯联邦、中国和法国进行。所估计的 40 次考察不包括作者不知道的由苏联（后来由俄罗斯联邦）和中国进行的一些考察。但从 1981 年至 2001 年约 42 次考察航行的情况来看，每艘考察船及实地科学研究费用估计约为 3 200 万美元，陆上研究费用估计约为 4 200 万美元，投资总额约为 7 400 万美元。

12. 矿壳开采技术的研究与开发刚刚起步。矿壳分布详图尚缺，对小型海山地形也尚无全面了解，但这些对于制定最为适当的采矿战略是不可或缺的。实地勘探作业通常是绘制海床水深图、衍生反向散射和斜角图，编制地震概况，一并用以选择采样点。进行考察时，在每一海山挖泥取样和抽取岩心 15-20 份。随后，用摄像机进行考察，确定壳、岩和沉积类型和分布情况，如有可能，还确定壳厚度。因为底部声测信标很多，需有大型拖曳设备，收集的样品也很多，因此这些勘探活动需要用大型、设备精良的研究船只。在勘探的高级阶段进行定点考察时，拟使用深水拖曳侧扫声纳，包括宽带测深技术，并可利用系联线遥控车，借以绘制和标划小范围的地形。可采用挖泥取样，抽取岩心，用遥控车勘测，并用一种尚待研制的器具进行短间隔取样等方式对沉积物进行广泛的取样。伽玛放射测量将确定壳厚度，并断定薄沉积层下有无矿壳存在。要了解海山环境，需要使用流量仪系泊设备，需要进行生物抽样和考察。

13. 现已制订的 12 条矿壳勘探开采准则如下：

(a) “区域”准则：

- (一) 浅于 1 000-1 500 米的大火山机体；
- (二) 2000 万年以上的火山机体；
- (三) 顶部没有大型环礁或礁石的火山结构；
- (四) 底部水流强、且不断的地区；
- (五) 发展完善的浅海氧气最少区；
- (六) 不受大量河蚀岩屑和风成岩屑影响的地区。

(b) 定点准则：

- (七) 平坦小范围地形；
- (八) 峰端平顶、峰脊线低点和斜道；
- (九) 斜坡稳定；
- (十) 当地无火山活动；
- (十一) 平均含钴量 $\geq 0.8\%$ ；
- (十二) 壳平均厚度 ≥ 40 毫米。

14. 从技术上来说，矿壳开采比锰结核开采更为困难。开采锰结核之所以相对容易，是因为锰结核下面是软质沉积层，而矿壳则与基底岩石或紧或松连在一起。为了开采成功，必须使壳脱离基底岩石，因为基底岩石会大大降低矿石等级。矿壳开采可能有五种作业方法：碎裂、粉碎、提升、接取和分离。拟议的矿壳开采方法是使用海底爬行车，用液压管升降系统和电缆与水面的采矿船联结。采矿机自行推进，速度每秒钟约 20 厘米。在基本采矿情况下，物料通过量为 1 000 000t/y。在这种情况下，合理的采矿能力为碎裂效率 80%，基底岩石在矿壳中的掺混率 25%。提议用于开采矿壳的一些具有创造性的新系统包括：用喷水器使壳脱离基底；现场过滤技术；用声波使壳脱离基底。这些建议给人带来希望，但有待进一步研究。

15. 矿壳所含金属对世界经济的重要性从其消费方式中显而易见。锰、钴和镍的首要用途是制造钢，这

些金属使钢具有特性。钴还用于电力、通信、航空、发动机和工具制造工业。镍也用于化工厂、炼油厂、电器和机动车。钴是铜矿开采的副产品，因此，钴的供应与对铜的需求密切相关。碲的情形也一样，碲是铜和金开采的副产品。由于供应不稳定，企业只得寻求钴和碲的替代品，结果过去十年中钴和碲的市场增长很有限，因此价格较低。如果这些金属的其他丰富的来源得到开发，在产品中重新使用这两种金属的积极性就会随之增加，市场就会扩大。

16. 最近经断定，矿壳除含有锰、钴、镍、铜和铂以外，还含有可能使人们更有积极性开采的其他金属。例如，钛的价值仅次于钴，铈的价值高于镍，锆的价值与镍相当，碲的价值近乎是铜的两倍。上述分析假定对每种金属都能研究出经济上可行的冶金提炼方法。

17. 根据品级、总吨数和海洋条件，中赤道太平洋区域矿壳开采潜力最大，约翰斯顿岛专属经济区（美国）、马绍尔群岛和中太平洋山的国际水域尤其如此，但法属波利尼西亚、基里巴斯和密克罗尼西亚联邦的专属经济区也应予以考虑。

18. 在矿壳中发现的许多金属对维持现代工业社会效率、提高 21 世纪生活水平至关重要。人们日益认识到，富钴壳是重要的潜在资源。因此需要通过研究、勘探和技术开发，填补关于矿壳开采各方面问题的信息差距。

四. 硫化矿物资源开采与热液泉口动物群⁴

19. 自 1977 年发现新的动物物种以来，深海热液泉口已有 500 多新的动物物种得到描述。深海泉口具有

很高的科学价值，因为那里有大量当地特有的、不寻常的物种，而且那里也是古代生命形式的近亲的藏身之地。泉口生态系统壮观无比，属极端环境，已引起公众广泛兴趣，因此可用以让公众了解地球进程以及科学家工作的方式。目前尚无法预测泉口场址经开采作业后需多少时间才能恢复。一些生物体会被采矿机械直接杀死，附近其他生物体会因卷流带来的沉淀物质而窒息。此事特别值得关注。经过动荡，一些生物体虽能生存，但其生境会发生剧烈变化。经过开采的场址的科学和教育价值会降低。历时甚久、拥有最大矿床的泉口区的生态可能最为稳定，生物也最多种多样。在这样的地点集中进行采矿活动，可能会对区域的生物过程和生物体繁多的现象造成严重影响，结果一些物种的存活可能会成为问题。

20. 管理或保护世界上所有海洋热液区和泉区是一个不现实的目标。讨论的重点应是，如何制定准则，确定今后应予保护的地点，这些地点具有高度的科学或教育价值，或对物种存活关系重大，因此极为重要，或对动荡特别敏感。

注

¹ 美国新泽西 Rutgers 大学海洋和海岸科学研究所 Peter A. Rona。

² 德国 Freiberg 采矿技术大学 Peter M. Herzig。

³ 国际海洋矿物协会会长 James R. Hein。

⁴ 加拿大蒙特利尔魁北克大学 S. Kim Juniper。