

西太平洋富钴结壳的类型、分布与产状*

Type, Distribution and Occurrence of Co-Rich Crusts in Western Pacific

潘家华¹ 刘淑琴¹ 杨 忆² 刘学清³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3 北京市地质矿产勘探开发局, 北京 100050)

Pan Jiahua¹, Liu Shuqing¹, Yang Yi², Liu Xueqing³

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 The Graduate School of the Chinese Academy Sciences, Beijing 100039, China; 3 Beijing Geological Bureau of Mineral Resources E & D, Beijing 100050, China)

摘 要 作者首次对西太平洋我国调查区内富钴结壳不同类型的特征、结壳的分布、结壳厚度在空间上的变化、基底岩石类型对结壳分布的影响、地形坡角与结壳分布的关系以及结壳产出的海底微地貌形态开展了详细研究。成果为深入研究结壳的成因、分布富集规律及正确选择我国“结壳开辟区”奠定了基础。

关键词 富钴结壳 类型 分布和产状

20 世纪 80 年代初, 产在大洋水下海山上的富钴结壳 (以下简称为结壳), 因其富含 Co、Mn、Pt、稀土等有用元素, 且资源量大, 潜在经济价值高, 产出部位浅而颇受世界各国政府的青睐。近 20 年来, 国际海域超大型结壳矿床的寻址和圈定, 已成为各国政府竞相争夺的焦点, 我国也面临着“矿区申请”的严峻挑战。为此, “九五”期间笔者首次对西太平洋我国调查区内的结壳矿床开展了相应的研究。

1 富钴结壳的类型

富钴结壳的类型划分大体上可依结壳的地球化学特征、成因及物理性质 3 方面进行。但受目前调研工作进展程度的限制, 资料积累尚不丰富, 故对结壳进行地球化学特征分类还存在一定的困难。本文仅从直观的物理形态入手, 对其分类作一初步

表 1 富钴结壳类型的划分

类 型	特 征
板状结壳	有下伏基岩, 宏观上结壳与基岩界线清晰
砾状结壳	
巨砾状结壳	有一沉积“核心”, 结壳形态扁平状、椭球形或球形, 如砾石, 砾径 10cm 以上
粗砾状结壳	有一沉积“核心”, 结壳形态扁平状、椭球形或球形, 如砾石, 砾径 5~10cm
结核状结壳	
小球形结核状结壳	有或无一沉积“核心”, 结壳形如水成球状大洋多金属结核
菜花形结核状结壳	多数有一沉积“核心”, 结壳形如菜花状大洋多金属结核
不规则形结核状结壳	有一沉积“核心”, 结壳外形不规则, 大小如大洋多金属结核
碎块状结壳	结壳外形如同碎石块, 大小混杂

探讨 (表 1)。经对采自我国调查区内水下海山上数十个站位不同类型结壳的系统研究, 将其特征归纳整理后分述如下。

1.1 板状结壳

板状结壳属原地生成的结壳, 其下伏基岩种类繁多, 如玄武岩、灰岩、磷块岩、玄武质角砾岩等。拖网取样

采到的板状结壳“标本”上有时没有下伏基岩, 却有被从基岩上硬剥下来的痕迹, 结壳底面非常平整。板状结壳表面往往具结节状、小丘状构造, 较平整光滑如板, 但也有具瘤状构造者。板状结壳具层状构造 (一层、二层、三层或多层)。如三层结壳的上层为致密褐煤状结壳, 中层为疏松多孔状结壳及下层为磷酸盐化亮煤状结壳。

* 本文得到国家大洋专项 (DY95-08-01) 的资助

第一作者简介 潘家华, 男, 1946 年生, 研究员, 从事海洋地质研究工作。

1.2 砾状结壳

砾状结壳与板状结壳的明显差别是没有下伏基岩，它是不生“根”的结壳，是可以运动的结壳。因此，其在形成过程中，前期是异地生长的。砾状结壳外貌如同大的岩石砾石，多呈扁平状，亦有外形呈椭球状或球状（图 1）。按砾径大小又可分为巨砾状（>10 cm）结壳，粗砾状（5~10 cm）结壳等。通常表面较光滑、平整，可具结点状、小丘状、小葡萄状、蜂窝状等构造。砾状结壳由“核心”及沉积壳层组成同心状或偏心状构造。不同砾状结壳，壳层与“核心”的比例变化很大，壳层/核心比例可高达 5:1 以上。有的核心较小，壳层较厚。大量观察统计表明，砾状结壳的“核心”由不同岩石（灰岩、玄武岩、凝灰岩等）或岩石与早期结壳一起组成，但共同特点是，这些核心岩石都不同程度地遭受了磷酸盐化作用，这说明砾状结壳的核心形成年代较早。

1.3 结核状结壳

该类型结壳（图 2）在国外文献中有时被称作“结核”或“海山结核”。笔者认为，据其赋存于水下海山上，产出水深 ≤3500 m，锰矿物为水羟锰矿，富含 Co、Pt、稀土元素等诸多特征均与大洋多金属结核（产出水深 5000 m 左右）截然不同，它与砾状结壳也只是粒径大小上的不同，而无地球化学性质上的根本差别，因而，应归属于“结壳”的范畴。为避免与大洋多金属结核的术语相混，并虑及砾状结壳的命名原则，笔者根据其结核外形将其称作“结核状结壳”。

通常，结核状结壳的共同点是有一沉积“核心”（核心为老结壳碎块或玄武岩、灰岩、磷酸盐、粉砂岩等不同岩性）和具同心状构造，但常也发现无沉积“核心”。据其形状、表面特征又可将结核状结壳进一步细分为小球形结核状结壳、菜花形结核状结壳及不规则形结核状结壳 3 种。通常，小球形结核状结壳，表面较光滑，状如水成球形多金属结核；菜花形结核状结壳，表面具瘤状、葡萄状构造，状若菜花状多金属结核；不规则形结核状结壳，表面或较光滑或具葡萄状、瘤状构造，形状不规则。一般同一站位产出的结核状结壳的粒径大小相近，比较均一。



图 1 巨砾状结壳的外貌特征



图 2 结核状结壳在水深 2230 米的赋存特征

1.4 碎块状结壳

该类结壳形如碎石块，大小混杂，在水下海山上如同一个碎石堆。碎块状结壳是一种异地结壳，是原生结壳垮塌后的堆积物，与陆地上坡积物成因类似。由于碎块状结壳是原生结壳机械垮塌的产物，因此，其继承了原生结壳的所有结构、构造特征。如原生结壳的结点状构造、蜂窝状构造、葡萄状构造、瘤状构造等表面特征；单层、两层、多层等层状构造特征。

2 富钴结壳的分布

结壳广布于世界各大洋，当前具有潜在意义的仅分布于太平洋地区。结壳可赋存于各种大地构造单元：大洋板块内的穹状-块状隆起、大洋中脊、活动火山弧、不活动残留弧及后弧等岛弧潜没带。业已查明，结壳主要发育在最低含氧带之下，碳酸盐补偿深度之上，水深 1000~3500 m 的水下平顶海山上。在西太平洋地区，结壳主要分布在天皇海岭、夏威夷海岭、马尔科斯-威克隆起、麦哲伦海山、马绍尔群岛、北马里亚纳群岛、莱恩岛链、约翰斯顿岛、中太平洋山等水下平顶海山。西太平洋的不活动残留弧或隆起（如 Nishi-Shichito 海岭、Kyushu-Palan 海岭、Shatsky 隆起）及现代活动火山弧（如 Bonin 弧、Mariana 弧）等都有结壳分布（Usui, 1997）。然而，邻近巨大的珊瑚礁及环礁、地形陡峭的尖顶海山及有较厚沉积物覆盖的水下平顶海山，对结壳的生长不利。调查发现，西太平洋 Takuyo-Diasan 平顶海山（144° E, 34° N）上顶面深水碳酸盐沉积物的厚度大于 60 m，时代为中中新世晚期。然而，至今在其深水碳酸盐沉积物表面及其覆盖的磷酸盐化浅水碳酸盐顶面还未发现有结壳存在（Bogdanov et al., 1995）。在现代大陆架及大陆斜坡上，几乎不存在结壳矿床。

2.1 结壳厚度在空间上的分布特征

厚层结壳 (>1 cm) 在西太平洋各不同大地构造单元内均有产出, 但厚度大于 8 cm 的巨厚层结壳仅分布于西太平洋的水下海山及高地上, 如我国调查的毗邻西太平洋板块俯冲带的国际海域。与大陆地壳过渡的西太平洋过渡带, 如菲律宾板块上的第三纪残留弧 Daito Ridges 及 Kyushu-Palau Ridge 上, 厚层结壳仅有零星分布 (Usui, 1997)。在现代活动弧附近, 如 Nishi-Shichito 不活动弧的 Kanbum、Oki-Jokyo 及 Shotoku 水下海山上, 结壳的平均厚度可达 1~4 cm, 但其 Mn/Fe 比值低, 为 0.5%~1%; Co 含量低, 为 0.1%~0.3%, 而沉积速率却高达 14~17 mm/Ma, 比太平洋水下海山上结壳的沉积速率快近 5 倍, 可能与其碎屑物含量较高及基底岩石年龄 (K-Ar 法测定为 3.6~6.7 Ma) 较新有关 (Joshima et al., 1997)。厚度小于 1 cm 的薄层结壳及薄膜状结壳, 则主要见于边缘海的深海盆或海沟里, 在现代活动弧上也有零星产出。如马利亚纳 Shichito-Iwo Jima Ridge 及冲绳海槽, 其形成年代多数为第四纪。我国调查区内 50 余个样品结壳厚度的分布特征见图 3。

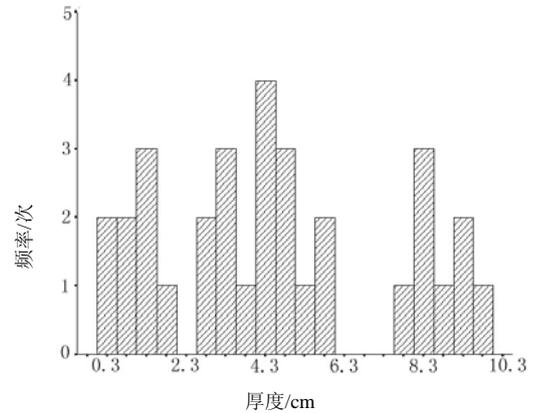


图 3 调查区结壳厚度分布直方图

横坐标单位为 cm

从图 3 中可见, 调查区结壳的厚度变化较大。据初步统计, 厚度>1 cm 者占 89%, 其中大于 4 cm 者占 33%, 大于 8 cm 者占 13%; 平均厚度为 4.5 cm, 与俄罗斯某海山结壳的平均厚度为 4.45 cm 相当 (137 个站位平均)。

2.2 基底岩石类型对结壳分布的影响

据采样资料分析, 西太平洋我国调查区内结壳下伏基岩的岩石类型十分复杂。经初步归纳, 基底岩石类型主要有以下 5 种:

- ①玄武岩; ②火山碎屑岩; ③钙质岩-灰岩、生物碎屑灰岩、磷酸盐灰岩、磷块岩等; ④沉积岩-粘土、粉砂岩等; ⑤燧石等。

图 4 为我国调查区、美国夏威夷群岛专属经济区及马绍尔群岛 (Hein et al., 1988a) 结壳下伏基岩特征对比图。从图 3 可以看出, 在夏威夷群岛及马绍尔群岛, 结壳的下伏基岩主要是火山碎屑岩, 分别为 55% 和 65%, 而灰岩仅为 3% 和 13%; 而我国调查区结壳的下伏基岩主要是玄武岩, 其次为钙质岩石 (灰岩、磷酸盐灰岩及磷块岩等), 玄武岩和钙质岩石分别占 36% 和 32%。火山碎屑岩少, 仅为 14%。显然, 不同海山区因海山演化史存在差异, 结壳赋存的基底岩石类型也随之发生变化。

2.3 地形坡角与结壳分布的关系

评价水下海山上结壳潜在开发能力的关键因素是未来矿址的微地貌特征。因而, 结壳的开采条件始终是找矿过程中需要解决的关键问题之一。据现有资料, 结壳富集赋存的微地貌特征在不同海山区存在较大差异。据对夏威夷群岛专属经济区水下海山上 573 张海底摄像照片的统计分析, 结壳主要分布在 0~10° 及 >20° 的坡角上, 介于上述坡角间的结壳不足 1/2。相反, 对中太平洋山—威克海山区

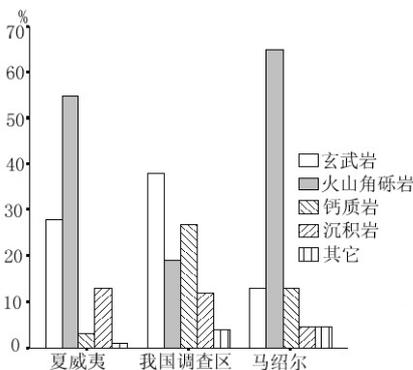


图 4 结壳基岩类型对比图

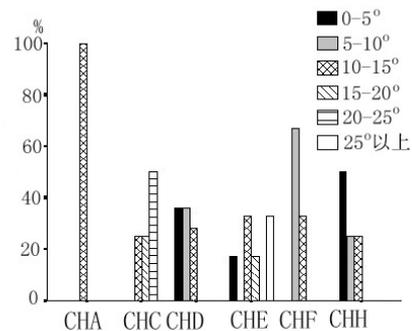


图 5 不同海山结壳分布与坡角的关系

Maloney 海山 (127° E, 21° N) 视像调查资料的统计表明, 0~3° 范围内为结核状结壳的主要产出地区; 4~15° 坡角区为结核状结壳与板状结壳共存区; 15~20° 坡角区为板状结壳主要产区; 坡角大于 20° 时, 已基本上不存在结核状结壳分布区。西太平洋我国调查区不同海山上结壳分布与坡角间关系的初步研究显示 (图 5), CHA、CHD、CHF 及 CHH 海山, 结壳的产出坡角均小于 15°; 而 CHC 及 CHE 海山, 不少结壳赋存在坡角大于 20° 的陡坡上。显然, 坡角越缓, 对未来采矿机的水下作业越有利。

3 富钴结壳的产状

据笔者参加现场调查并结合海底视像调查资料综合分析, 调查区海底微地貌形态可初步归纳为以下 6 种类型:

类型 1: 熔岩流。可从拖取样品为熔岩而缺乏结壳来加以判断。在中太平洋及夏威夷海山区, 这种海底地貌单元已被视像调查所证实。其特征是熔岩流呈绳状熔岩外貌, 起伏不大, 沟槽中充填粒径不等的碎屑物质。

类型 2: 板状结壳区。视像调查中, 板状结壳的产出特征主要为 3 种:

(1) 以连续性较好的阶梯状形态 (阶地、台地) 产出。覆盖率高, 结壳表面葡萄状外貌特征清晰。

(2) 以不规则分散状 (补片状等) 产出。以埋藏结壳的出露部分或出露结壳的破裂碎块呈现, 覆盖率变化大。

(3) 浅埋藏形式产出。主要被薄层沉积物所覆盖。由于结壳表面的不平整及强水流的作用, 使局部出露的结壳呈点线状结壳外貌, 覆盖率变化大。

类型 3: 结核状结壳区。已被某些站位拖取样品中 90% 以上为结核状结壳及海底视像调查所证实 (图 2)。以产在坡角平缓的海山顶部及近顶处为主, 斜坡上的低洼处及斜坡下部的平缓区段也较发育, 覆盖率随地形坡角而变化。产出形态有:

(1) 以“簇状卵石层”产在沉积物基底上。“卵石”半径大小不等, 但往往以某一粒径占优势, “卵石层”厚度与分布区环境有关。

(2) 以“伴生物”凹现在板状结壳的间隙及砾状结壳的周围, 相互间存在一定高差。

类型 4: 砾状结壳区。以种类“漂砾”形式产于沉积岩基底上或与结核状结壳混生。较为平整的表面特征及较好的磨圆度显示其“异地”和“翻动”的生长史。

类型 5: 沉积物区。以弱固结的深水碳酸盐有孔虫软泥为主的沉积覆盖物, 主要产在海山顶部及上斜坡缓坡区 (阶地或台地区)。视像调查中展现为低起伏地形, 并常以“波纹状”形态产出, 覆盖率随坡角变陡而降低。

类型 6: 混杂区。从站位拖取样品由碎块状结壳、其他类型结壳及岩石碎块所证实。实质上, 该区为各种类型结壳与碎石的堆积区。堆积层厚度与局部环境有关。

上述 6 种海底微地貌单元的发育情况及分布范围, 因调查程度所限至今了解甚微。查清这些单元在海山上的分布特征, 对深入研究结壳矿床的成因、正确选择我国的“结壳开辟区”以及未来的勘探开采都有极其重要的理论及实际意义。

参 考 文 献

- Bogdanov Y A, Bogdanova O Y, Dubinin A V, et al. 1995. Composition of ferromanganese crusts and nodules at Northwestern Pacific guyots and geological and paleoceanographic consideration. In: Haggerty J A, Premoli S I, Rack F, et al, ed. 1995. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. 144: 745~768.
- Hein K R, Schwab W C, Davis A S. 1988a. Cobalt- and platinum-rich ferromanganese crusts and associated substrates from the Marshall Islands. *Marine Geol.*, 78: 255~283.
- Joshima M and Usui A. 1998. Magnetostratigraphy of hydrogenetic manganese crusts from Northwestern Pacific seamounts. *Marine Geol.*, 146: 53~62
- Usui A and Someya M. 1997. Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. In: Nicholson K, Hein J R B and Dasgupta, Seds). *Manganese Mineralization Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, Geological Society Special Publication, No.119: 177~198.