

大洋钴资源前景与开发展望

徐晶晶, 张涛, 郭洪周, 吴林强, 蒋成竹, 赵一璇

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 钴是人类健康生活、工业生产不可或缺的元素, 全球陆地钴资源分布集中、储量小、品位低, 大洋钴资源丰富并且品味高, 资源量约是陆地的5倍, 主要以多金属结核和富钴铁锰结壳形式存在。中国钴资源极度匮乏, 仅占全球1.1%, 但2016年消费量约占全球37%, 对外依存度大, 威胁国家资源安全。未来十年内, 新能源汽车需求的增长将带动钴资源需求的强烈增长, 所以, 开发大洋钴资源是未来发展的重要方向, 应该加强战略研究和装备技术研发, 为实现大洋钴资源商业化开采提供宏观指导与技术支持。

关键词: 钴; 多金属结核; 富钴铁锰结壳; 资源; 国际海底管理局

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.06.003

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 06-0013-05

1 工业用途

钴是一种银灰色有光泽的金属, 具有良好的延展性和铁磁性, 素有“工业味精”和“工业牙齿”之称, 是非常稀缺的小金属资源, 并且是重要的战略资源之一^[1-2]。钴的应用有着悠久历史, 埃及人早在公元前就曾使用钴蓝作为陶瓷制品的着色剂, 我国自唐代起也将其作为着色剂广泛应用于在陶瓷生产中。因具有很好的耐高温、耐腐蚀和磁性性能, 钴被广泛用于航空航天、机械制造、电气电子、化学、陶瓷和医疗等领域, 是制造超级合金、硬质合金、陶瓷颜料、催化剂、电池的重要原料之一, 发挥着重要而难以替代的作用^[3]。据统计, 2017年全球钴主要用于生产电池(55%)、超合金(16%)、硬质金属(7%)、陶瓷/染料(5%)、催化剂(6%)、硬质表面堆焊(4%)、轮胎/催干剂(3%)、磁铁(3%)以及其他用途(3%)。

2 供需形势

2.1 全球

从钴资源2000~2016年的供需情况来看, 全

球钴市场供需基本处于平衡, 供给基本能够满足需求, 仅在2006~2008年期间和2012年出现供不应求现象, 2006~2008年期间, 因需求剧增并且供应下降, 出现供应缺口, 并且在2007年缺口高达 3.5×10^3 t, 2008年之后, 受金融危机影响, 需求减弱, 钴市场供需回归供大于求; 2012年, 国际矿产品价格低迷, 钴供应量下降, 导致出现短暂供应缺口, 是全球钴资源“去库存”时期。2013~2015年全球钴供给余量逐年降低, 2016年处于基本供需平衡状态。

近年来, 全球新能源汽车存量快速增长, 2015年超过100万辆, 2016年接近200万辆, 2017年超过300万辆, 并且有40%的存量来自中国。新能源汽车的市场份额在未来十年将快速增加, 而其电池寿命为8~10年, 这意味着至少在2030年以前, 用于生产电池的钴资源需求会明显增加。2018年的钴需求量为 1.2×10^5 t, 其中电池的钴需求占比约为50%。根据预测, 2020年的钴需求量为 1.5×10^5 t, 其中电池的钴需求占比将达60%; 2025年的钴需求量为 2.2×10^5 t, 其中电

收稿日期: 2019-04-01; 改回日期: 2019-05-22

基金项目: 中国地质调查局“海洋地质与能源矿产资源战略研究”项目(DD20190465)资助

作者简介: 徐晶晶(1990-), 女, 工程师, 硕士

通信作者: 张涛(1982-), 男, 副研究员, 博士。

池的钴需求占比将达70%；2030年的钴需求量为 3.9×10^5 t，其中电池的钴需求占比将达80%。

2.2 中国

中国钴资源贫乏，供需失衡导致对外依存度居高不下，其中超过90%以上的钴初级产品来自刚果（金）^[4]，而该国素有非洲“炸药桶”之称，国内政局动荡、局部冲突多发、基础设施落后、矿业政策更改频繁，矿业能否持续稳定生产，存在诸多不确定因素。在资源短缺和进口不稳定性双重压力下，我国钴资源供应存在巨大安全隐患^[5]。

中国钴消费量增长快速，消费结构主要集中在电池领域（图1）。

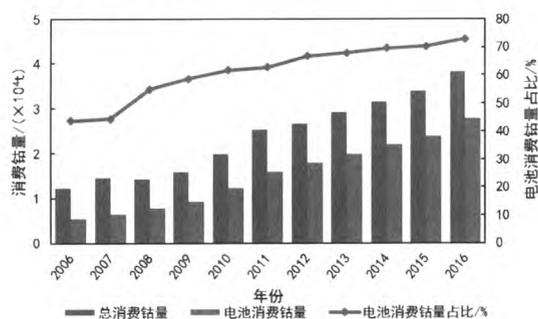


图1 2000-2016年中国钴消费量及电池消费占比情况
Fig.1 China's cobalt consumption and battery consumption ratio in 2000-2016

2007年，中国钴消费增量为 1.47×10^4 t，其中44%用于生产电池，全球占比首次超越日本，成为全球第一大钴资源消费国，此后一直稳居全球第一，年均增速高达17%，远高于全球平均水平。中国钴年消费增量平均占全球增量超过60%，是全球钴消费快速增长的主要驱动力。2016年，中国钴消费量约 3.83×10^4 t，其中73%用于生产电池，占全球总量的37%。中国钴消费总量持续增长，同时，用于生产电池的消费占比也持续增长，这主要源于新能源汽车和电子设备等行业的快速发展带动电池需求急剧增长，推动中国钴消费量呈爆发式增长，未来短期内仍将持续快速增长状态。2018年，我国新能源汽车销量达到了125.6万辆。根据预测，到2020年，我国新能源汽车将达500万辆，即使考虑技术进步，500万辆新能源汽车对钴的需求量将达到 3.4×10^4 t。

3 资源分布

3.1 陆地

陆地钴资源储量较少，多伴生于铜矿、镍矿、砷矿和黄铁矿矿床中，独立钴矿物极少。据美国地质调查局2018年最新统计，查明的全球陆地钴资源量约为 2.5×10^7 t，储量约为 7.0×10^6 t，刚果（金）、澳大利亚、古巴、菲律宾、赞比亚等5国钴矿资源占全球储量的80%以上^[6]。刚果（金）钴资源储量最为丰富，其探明储量约 3.5×10^6 t，约占全球总储量的50%，享有“钴矿之国”的美誉；澳大利亚拥有全球第二大钴资源储量，其探明储量约 1.2×10^6 t，约占全球总储量的17%；古巴钴资源储量排名全球第三，其探明储量约 5.0×10^5 t，约占全球总储量的7%；其他钴资源储量主要国家包括菲律宾（约 2.8×10^5 t，约占比4%）、赞比亚（约 2.7×10^5 t，约占比4%）、俄罗斯（约 2.5×10^5 t，约占比3.5%）和加拿大（约 2.5×10^5 t，约占比3.50%）^[7]。

中国钴资源十分稀缺，并且具有分布集中、矿床规模小、矿石品位低、伴生矿多、开采难度大等特点，主要分布在甘肃、山东、云南、青海、河北及山西等省，六省储量之和约占全国总储量的70%，甘肃省储量约占总储量的30%。另外在新疆、四川、西藏、海南、安徽等省（自治区）也发现有少量含钴矿床^[5,8-9]。据自然资源部《2018中国矿产资源报告》统计，2016年中国钴矿查明资源储量为 6.725×10^5 t，2017年中国钴矿查明资源储量为 6.878×10^5 t，增长2.3%^[10-11]。据美国地质调查局2017年统计，中国钴矿资源储量约为 8.0×10^4 t，仅约占全球总储量（ 7.0×10^6 t）的1.1%。

3.2 大洋

目前已知最大的钴资源存在于海底多金属结核和富钴铁锰结壳中，主要分布在太平洋、大西洋及印度洋等海域，相对于陆地钴资源而言，其资源丰富，约是陆地钴资源量的5倍，并且富钴铁锰结壳中钴含量可高达2%，是陆地含钴矿床中钴含量的20倍，具备极大的开发前景，是未来全球重要的潜在接替资源^[7,12]。典型的多金属结核矿

床包括太平洋 Clarion-Clipperton 断裂带（以下简称 CC 区）和 Cook Islands EEZ 结核^[13-14]（表 1）。典型的富钴铁锰结壳矿床包括大西洋 Maderia-Tore Rise 和印度洋 Afanasiy-Nikitin 矿床等^[15-17]（表 1）。

表 1 全球典型洋底多金属结核 / 富钴铁锰结壳矿床
Table 1 Global typical ocean floor polymetallic nodules/cobalt-rich crust deposits

| 矿床名称 | 所属地区 | 资源量 / ($\times 10^6$ t) | 平均品位 / % | 钴含量 / ($\times 10^6$ t) |
|-------------------------|------|--------------------------|----------|--------------------------|
| prime crust zone | 太平洋 | 75533 | 0.664 | 50 |
| Clarion-Clipperton zone | 太平洋 | 21100 | 0.209 | 44 |
| Cook Islands EEZ | 太平洋 | 5122 | 0.41 | 21 |
| Maderia-Tore Rise | 大西洋 | 1100 | 0.35 | 3.8 |
| Afanasiy-Nikitin | 印度洋 | 180 | 0.58 | 1.044 |
| Pioneer | 印度洋 | 700 | 0.1 | 0.7 |

4 大洋钴资源调查与研究

4.1 多金属结核

1872 ~ 1876 年，英国“挑战者”号进行环球考察，在大西洋发现多金属结核，调查发现大多数海洋普遍分布多金属结核。20 世纪初，美国“信天翁”号在太平洋开展多金属结核调查，初步绘制了太平洋东南部的多金属结核分布图。20 世纪 60 年代，多金属结核的经济价值被指出，引起国际关注，美国、苏联、德国、法国、日本等国关注并开展大规模调查，70 年代又加强了资源航次调查。截至目前，联合国国际海底管理局（以下简称管理局）已与签署 17 份多金属结核勘探合同^[18-19]。

20 世纪 70 年代中期，中国开始多金属结核资源的调查研究工作。80 年代中期，正式开展针对多金属结核的航次调查，1985 ~ 1990 年，在中太平洋和东太平洋海盆开展了 4 个航次多金属结核调查，这为我国申请国际海底开发先驱投资者提供重要支撑。1991 年，管理局批准中国大洋矿产资源研究开发协会（以下简称大洋协会）提出的多金属结核矿区申请，使得我国成为继法国、日本、苏联和印度之后的第 5 个先驱投资者。1990 ~ 2001 年，先后在东太平洋海盆 CC 区开展了 10 个多金属结核调查航次。2001 年之后，在我国多金属结核勘探区和西太平洋多金属结核调查区开展

了多航次调查工作，并取得了丰硕成果。2015 年，中国五矿集团公司与管理局签署了我国第 2 份多金属结核勘探合同。

在开展大洋钴资源调查的同时，我国还加强对多金属结核开采技术的攻关，并取得了一些成绩。

“八五”期间，我国开始多金属结核开采技术研究，分别对水力式和复合式两种集矿方式和水气提升与气力提升两种扬矿方式进行研究；“九五”期间完成部分子系统的设计与研制，研制了履带式行走、水力复合式集矿的海底集矿样机，并于 2001 年在云南抚仙湖进行了部分水下系统 135 m 水深湖试；“十五”期间，完成了“1000 m 海试总体设计”和集矿、扬矿、水声、测检等水下部分的详细设计，研制了两级高比转速深潜模型泵，采用虚拟样机技术对 1000 m 海试系统动力学特性进行了较为系统的分析；“十一五”期间，进行了 230 m 水深的矿井提升试验^[20]。2018 年，我国首次成功开展 500 m 级水深海底多金属结核集矿系统试验，实现了自动行驶模式下的智能采矿作业；完成了我国海洋采矿 1000 m 海试参数设计和总体方案设计，并对海洋多金属硫化物、富钴结壳资源的开采系统技术进行探索研究。

4.2 富钴铁锰结壳

1948 年，美国斯克里普斯海洋研究所在太平洋开展海底山脉地质调查时，发现大量结核和富钴铁锰结壳。1981 年，德国科学家在太平洋中部的调查工作掀起对富钴铁锰结壳的研究热潮，美国、日本、俄罗斯、韩国和法国等也开始开展富钴铁锰结壳资源调查研究，对富钴铁锰结壳的分布、类型、成矿环境与特征、形成模式等进行了深入研究，还对商业化开采的关键技术开展了研究。美国、日本等国还进行了富钴铁锰结壳试采。截至目前，中国、日本、俄罗斯、巴西和韩国等 5 国已与管理局签订了富钴铁锰结壳勘探合同。

1997 年，中国开始富钴铁锰结壳资源调查。先后在中太平洋海山区、西太平洋海山区广大海域进行了 19 个航次的调查工作，为申请国际海底

勘探矿区做准备。2013年,管理局批准大洋协会提交的富钴铁锰结壳矿区申请。2014年,大洋协会与管理局正式签署国际海底富钴铁锰结壳矿区勘探合同。这标志着中国富钴铁锰结壳资源调查工作重点将由探矿转向勘探。

5 结论与建议

(1) 开发大洋钴资源是保障国家资源安全的重要措施。我国钴资源储量少、品位低、对外依存度大,影响国家资源安全,而未来新能源汽车的高速发展将带动电池需求持续增长,进而导致钴资源需求持续增长。面对如此强烈的钴资源需求,开发大洋钴资源是保障国家资源安全的重要措施。

(2) 开展战略研究是占据大洋钴资源开发有利地位的有力保障。世界多国都在开展大洋钴资源调查与研究,应紧密追踪国际动态,全面掌握国际进展,及时开展战略研究,充分认清国际形势,为实现大洋钴资源开发利用提供宏观指导。管理局已经通过国际海底区域内多金属集合与富钴铁锰结壳的探矿和勘探规章,但国际海底区域内矿产资源的开发规章尚未通过,需要地质研究人员与法律研究人员交流协作,加强研究,为开发规章提出有利于我国的意见,提升我国在国际海底领域的话语权。

(3) 加强勘探开发水平攻关是实现大洋钴资源商业化开采的必要前提。大洋钴资源虽储量大、品味高,但勘探开发水平尚不能满足商业化开采。应加强大洋钴资源调查,加大资金投入,改进和研发开采设备,开展技术创新,开展采矿试验与研究,提升调查研究与采矿水平,为实现大洋钴资源开发利用提供技术支撑。同时,应将经济效益与环境保护考虑在内,实现深海绿色采矿,在满足本国钴资源稳定供给的同时,创造良好的经济效益。

参考文献:

[1] 张福良,崔笛,胡永达,等. 钴矿资源形势分析及管理

对策建议[J]. 中国矿业, 2014, 23(7): 6-10.

[2] 潘志君,张恒,刘宁,等. 全球钴供应市场结构及定价权分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(8): 18-21.

[3] Cobalt - Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt>

[4] 徐昱,王建平,吴景荣. 我国钴矿资源现状及进出口分析[J]. 矿业研究与开发, 2014, 34(5): 112-115, 132.

[5] 黄晓兵. 中国钴资源安全评估[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.

[6] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2018[DB/OL]. Virginia: U.S. Geological Survey, 2018.

[7] U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/>

[8] 刘彬,王银宏,王臣,等. 中国钴资源产业形势与对策建议[J]. 资源与产业, 2014, 16(3): 113-119.

[9] 王海北,刘三平,蒋开喜,等. 我国钴生产和消费现状[J]. 矿冶, 2004, 13(3): 54-56, 64.

[10] 中华人民共和国自然资源部, 中国矿产资源报告 2018[M]. 北京: 地质出版社, 2018.

[11] 周艳晶,李颖,柳群义,等. 中国钴需求趋势及供应问题浅析[J]. 中国矿业, 2014, 23(12): 16-19, 41.

[12] Slack, J.F., Kimball, B.E., and Shedd, K.B. Cobalt[M]. // Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, et al. Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802. Virginia: U.S. Geological Survey, 2017: F12.

[13] 韦振权,何高文,邓希光,等. 大洋富钴结壳资源调查与研究进展[J]. 中国地质, 2017, 44(3): 460-472.

[14] 刘永刚,姚会强,于淼,等. 国际海底矿产资源勘查与研究进展[J]. 海洋信息, 2014, (03): 10-16.

[15] 潘家华,刘淑琴,杨忆,等. 西太平洋富钴结壳的类型、分布与产状[J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 44-47.

[16] 刘永刚,何高文,姚会强,等. 世界海底富钴结壳资源分布特征[J]. 矿床地质, 2013, 32(6): 1275-1284.

[17] 张富元,章伟艳,朱克超,等. 太平洋海山钴结壳资源量估算[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2011, 36(01): 1-11.

[18] INTERNATIONAL SEABED AUTHORITY. <https://www.isa.org.jm/>

[19] 于淼,邓希光,姚会强,等. 世界海底多金属结核调查与研究进展[J]. 中国地质, 2018, 45(1): 29-38.

[20] 蒋开喜,蒋训雄. 大洋矿产资源开发技术发展[J]. 有色金属工程, 2011, 1(3): 3-8.

Resource and Development Prospects of Oceanic Cobalt

Xu Jingjing, Zhang Tao, Guo Hongzhou, Wu Linqiang, Jiang Chengzhu, Zhao Yixuan
(Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing, China)

Abstract: Cobalt is an indispensable element for human health and industrial production. The cobalt resources on the land are distributed concentratedly, and have small reserve and low grade. However, the cobalt resources in the ocean which resources are about five times that of land have rich resources and high grade, and mainly exist as polymetallic nodules and Cobalt-rich ferromanganese crust forms. China's cobalt resources accounting for only 1.1% of the world are extremely scarce, strong dependence on external resource, but the consumption in 2016 accounted for about 37% of the global. It threatens national resource security. In the next decade, the growth of demand for new energy vehicles will drive strong demand for cobalt resources. Therefore, the development of oceanic cobalt resources is an important direction for future development. Strategic research and research and development of equipment technology should be strengthened to provide centralize guidance and technical support for the commercial exploitation of oceanic cobalt resources.

Keywords: Cobalt; Polymetallic nodule; Cobalt-rich ferromanganese crust; Resource; International seabed authority

////////////////////////////////////
(上接 153 页)

Experimental Study on Air Permeability of Coal Combustion Furnace with Coal and Coke

Xu Qingwei¹, Lv Qing¹, Liu Xiaojie¹, Zhu Ertao²

(1. College of Metallurgy and Energy, Key Laboratory for Advanced Metallurgy Technology, Ministry of Education, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China; 2. Hebei Iron and Steel Group Handan Company, Handan, Hebei, China)

Abstract: In order to overcome the adverse effect of pulverized coal injection on blast furnace smelting, a new process was proposed to produce coal gas from gas generators burning ordinary coal and from the tuyere to blast furnace instead of pulverized coal injection. The coal, coke and coal particle size were studied. The effect on the gas permeability of the gasification furnace charge layer shows that the effect of the bituminous coal on the air permeability of the furnace bed is relatively large, and the anthracite coal has little influence; with the increase of the ratio of the anthracite coal, the maximum pressure difference in the furnace gradually decreases, and the gas permeability Better, when the ratio of bituminous coal and anthracite is 7:3, the air permeability of the material layer is the best; when the amount of coke added increases, the temperature at which the charge begins to shrink increases, but the pressure difference in the furnace changes little, and the material layer The effect of air permeability is not significant; with the increase of the particle size of the charge, the air permeability of the material layer is obviously improved, and the suitable charge particle size is 10~12.5 mm.

Keywords: Coal; Coke; Particle size; Pressure difference; Material permeability; Blast furnace smelting