

关键矿产——国际动向与思考^{*}

毛景文¹, 杨宗喜², 谢桂青¹, 袁顺达¹, 周振华¹

(1 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要 当前, 世界各国贸易争端不断加剧, 引发对战略性新兴产业所需关键矿产供应安全的担忧, 世界各主要国家纷纷制定关键矿产战略保障供应安全。文章通过综合整理美国、欧盟、英国等西方发达国家关键矿产清单, 总结了这些国家关键矿产战略的总体特点。基于当前世界供需形势、中国矿产探明储量和资源禀赋特点等情况, 文章将关键矿产划分为主导型、技术和条件制约型、市场制约型和资源短缺型4类, 并从加强宏观管理、加大力度冶炼技术研发、高精尖新材料研发和充分利用2种资源和市场等方面提出几点思考。

关键词 关键矿产; 资源供应安全; 矿产资源战略; 战略性新兴产业

中图分类号: P618.6; P618.7; P618.8

文献标志码: A

Critical minerals: International trends and thinking

MAO JingWen¹, YANG ZongXi², XIE GuiQing¹, YUAN ShunDa¹ and ZHOU ZhenHua¹

(1 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract

At present, trade frictions all over the world are intensifying, leading to concerns about the security of critical mineral supplies needed for strategic emerging industries. Major countries in the world have formulated critical mineral strategies to ensure supply security. Based on summarizing the list of critical minerals in the Western developed countries such as the United States, the European Union, and the United Kingdom, this paper summarizes the overall characteristics of critical mineral strategies in these countries. According to the world's supply and demand situation as well as China's mineral reserves and mineral resource characteristics, the authors divide critical minerals into four categories, i.e., China-dominant, technology-constrained, price-constrained and resource-deficient, and put forward some suggestions: First, the macro-management of the China-dominant and price-constrained critical minerals should be normalized. Second, increasing the R&D of the exploiting and smelting technology to improve the utilization of resource. Third, extending the industrial chain to develop high-tech and new materials. Fourth, strengthening the resource-deficient critical minerals exploration and making full use of both resources and markets.

Key words: critical minerals, supply security, mineral resource strategy, strategic emerging industry

当前, 国际贸易争端跌宕起伏, 逐渐由经济领域扩展到高科技领域, 并蔓延至矿产资源领域。世界

各主要国家对矿产资源, 尤其是战略性新兴产业所需关键矿产的争夺日益加剧, 纷纷制定发布战略报

^{*} 本文得到国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(编号:41820104010)、国家自然科学基金重点项目(编号:41430314)和中国地质调查局中国地质科学院基本科研业务费课题(编号:JYYWF20180601)联合资助

第一作者简介 毛景文, 男, 1956年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床地质研究。Email:jingwenmao@263.com

收稿日期 2019-06-24; 改回日期 2019-06-28。赵海杰编辑。

告,抢占新一轮矿产资源争夺的制高点。

过去10年间,西方发达国家越来越认识到某些小矿种对于高科技产业发展具有举足轻重的作用,而这类矿产在西方国家较为短缺,而中国和俄罗斯等国家相对丰富,他们认为这对于其发展存在被“卡脖子”的可能性,因此,西方发达国家热炒关键矿产(Critical Minerals)这一概念。国际上,关键矿产并无统一、严格的定义,各国各机构一般根据各自的经济重要性和供应风险等因素确定。本文通过梳理世界主要国家和地区关键矿产战略动向和中国资源现状,提出初步思考。

1 西方主要经济体关于关键矿产的界定

美国、欧盟、英国等主要国家和地区在全球经济贸易版图中占据主导地位,近年都相继发布了关键矿产战略或清单。

1.1 美国关键矿产

着眼于国家发展对于矿产资源的需求,早在20世纪70年代中期,美国曾在其发布的《国家安全研究备忘录设立的特别小组:关键进口材料》研究报告中,就将铝土矿、铬和铂等矿产列为关键矿产(NS-SM,1974)。2008年,随着战略性新兴产业的快速发展,美国又开始了新一轮的关键矿产研究,美国能源部、美国国防研究所、美国国家研究理事会等机构都分别发布了关键矿产研究报告(唐金荣等,2014)。

近年来,逆全球化趋势加剧,中美贸易摩擦不断升温。2017年,美国特朗普政府签署了《保障关键矿产安全可靠供应的联邦战略》的第13817号行政令,强调保障美国关键矿产的稳定供给。2018年2月,美国内政部发布《关键矿产清单》(草案),列出了美国对外依存度高、且对美经济发展和国家安全至关重要的35种关键矿产(表1)。

2019年6月,美国商务部发布名为《确保关键矿产安全可靠供应的联邦战略》的报告(U.S. Department of Commerce,2019),从科技研发、保障供应链安全、国际贸易、地质调查、矿业政策和人力资源等方面,提出了保障关键矿产供应的61项具体措施。

1.2 欧盟关键矿产

鉴于关键矿产对于欧盟制造业的战略重要性,欧盟于2008年就启动了《原材料倡议》,关键矿产清单制定就是该倡议的一项重要成果,目的在于保障

欧盟关键矿产的安全、可持续、可获得的供应。到目前为止,欧盟关键矿产清单共更新了3版,关键矿产数量一直在增加,从2011年的14种,到2014年的20种,到2017年增加到27种(表2)。

欧盟主要从供应风险和经济重要性等2个维度确定其关键矿产种类,其关键矿产清单(表2)主要为欧盟在贸易、创新和工业等方面的战略和政策制定提供参考和依据,以加强欧盟工业的竞争力。欧盟关键矿产清单每3年更新一次,以反映生产和市场的变化以及技术研发的进步,而且每次更新都增加了新矿种。

1.3 英国风险矿产清单

英国曾于2011年和2012年发布了风险矿产清单,2015年更新了清单,是目前英国最新的风险矿产清单,共41种矿产/矿产组(表3)。与美国和欧盟不同,英国的风险矿产清单仅从供应风险指数的单一维度评价。英国认为,由于一些矿产的储量和生产高度集中,这些矿产可能受到地缘政治、资源民族主义、矿山罢工、自然灾害和基础设施可用性等因素导致的供应中断,进而给国家经济和国防安全带来重要影响。值得指出的是,英国所列出的铜、铅、锌、金、铁、钼和铝等在国际上通常不属于关键矿产,仅英国认为在这些矿产的供给方面存在风险。

2 总体特点

通过对美国、欧盟和英国等西方发达国家和地区关键矿产战略及其所列清单的初步分析研究,可以发现以下特点。

2.1 西方主要经济体关键矿产清单具有高度耦合性

虽然美国、欧盟、英国等国家和地区在进行矿产资源关键性评价时所采用的方法各不相同,但是,它们的结果却具有高度耦合性,对于某一国家较为关键的矿产,对于其他国家同样较为关键,重合度较高,背后反映出发达经济体对新一轮工业革命中诞生的战略性新兴产业和高新技术产业的高度认同,而这些产业同样是中国未来崛起的重要支柱性产业。

美国、欧盟和英国的关键矿产清单共50种关键矿产(不包括英国提出的铜、铅、锌、金、铁、钼和铝)。而且各国关键矿产具有较高的重合性,50种关键矿产中有16种被3个国家和地区同时认定为关键矿产,占32%,有15种同时被2个国家或地区认定为关

表1 美国关键矿产表
Table 1 Critical minerals list of the USA

矿产品	应用部门						最大生产国	最大供应国	典型应用实例
	航空航天(非国防)	国防	能源	通信和电子	交通	其他			
铝	X	X	X	X	X	X	中国	加拿大	飞机、输电线路、轻质合金
锑	--	X	X	X	X	X	中国	中国	铅酸电池
砷	--	X	X	X	--	X	中国	中国	微波通信(砷化镓)
重晶石	--	--	X	X	--	X	中国	中国	油气钻探
铍	X	X	X	X	--	X	美国	哈萨克斯坦	卫星通信、航空航天
铋	--	X	X	X	--	X	中国	中国	医药、无铅焊接
铯和铷	X	X	X	X	--	X	加拿大	加拿大	医学应用、全球定位卫星、夜视设备
铬	X	X	X	X	X	X	南非	南非	喷气发动机(高温合金)、不锈钢
钴	X	X	X	X	X	X	刚果(金)	挪威	喷气发动机(高温合金)、充电电池
萤石	--	--	X	X	--	X	中国	墨西哥	铝和钢铁产品、铀加工
镓	X	X	X	X	--	X	中国	中国	雷达、LEDs、手机
锆	X	X	X	X	--	X	中国	中国	红外设备、纤维光学
天然石墨	X	X	X	X	X	X	中国	中国	充电电池、防弹衣
氦	--	--	--	X	--	X	美国	卡塔尔	低温((核)磁共振成像)
铟	X	X	X	X	--	X	中国	加拿大	平板显示器(铟-锡-氧化物)、特种合金
锂	X	X	X	X	X	X	澳大利亚	智利	充电电池、用于航天航空工业的铝-锂合金
镁	X	X	X	X	X	X	中国	中国	热诱饵弹
锰	X	X	X	X	X	X	中国	南非	铝和钢铁产品、轻质合金
铌	X	X	X	X	--	X	巴西	巴西	国防和基础设施建设的高强度钢材
铂族元素	X	--	X	X	X	X	南非	南非	催化剂、喷气发动机(高温合金)
钾	--	--	X	X	--	X	加拿大	加拿大	农业肥料
稀土元素	X	X	X	X	X	X	中国	中国	航空制导、激光、纤维光学
铯	X	--	X	X	--	X	智利	智利	喷气发动机(高温合金)、催化剂
铈	X	X	X	X	--	X	中国	中国	轻质合金、燃料电池
镨	X	X	X	X	X	X	西班牙	墨西哥	铝合金、永久磁铁、发焰筒
钽	X	X	X	X	--	X	卢旺达	中国	手机中的电容器、喷气发动机(高温合金)
铈	--	X	X	X	--	X	中国	加拿大	红外设备(夜视)、太阳能电池
锡	--	X	--	X	--	X	中国	秘鲁	焊接、平板显示器(铟-锡-氧化物)
钛	X	X	X	X	--	X	中国	南非	喷气发动机(高温合金)和机身(钛合金)、装甲
钨	X	X	X	X	--	X	中国	中国	切割和钻探工具、催化剂、喷气发动机(高温合金)
铀	X	X	X	--	--	X	哈萨克斯坦	加拿大	核应用、医疗医用
钒	X	X	X	X	--	X	中国	南非	喷气发动机(高温合金)和机身(钛合金)、高强度钢材
锆和铪	X	X	X	X	--	X	澳大利亚	中国	喷气发动机里的热障涂层、核应用

注:“X”代表该矿产应用于该领域;“--”代表该矿产没有应用于该领域。

键矿产,占30%。

经合组织(OECD)的一份报告研究了不同国家和地区之间关键矿产的关联度。从图1可以看出,对于美国经济越重要的关键矿产,对于除美国之外的OECD国家同样越重要,这里只有一个例外就是重晶石,对美国的经济重要性明显高于对其他

OECD国家的经济重要性,主要是由于重晶石大量应用于美国的石油工业。从图2可以看出,对于欧盟经济越重要的关键矿产,对于OECD国家同样越重要,由于相同的原因,重晶石是一个例外。

2.2 西方主要经济体关键矿产严重依赖中国

从表1、表2和表3可以看出,美国、欧盟、英国等

表2 欧盟关键矿产清单(2017年)
Table 2 Critical minerals list of EU (2017)

矿种	主要生产国(占比) (2010年~2014年平均)	欧盟主要进口国(占比) (2010年~2014年平均)	欧盟供应来源(占比) (2010年~2014年平均)	进口依存度	替代指数 (EI/SR)*	生命周期结束回收率**
锑	中国(87%),越南(11%)	中国(90%),越南(4%)	中国(90%),越南(4%)	100%	0.91/0.93	28%
重晶石	中国(44%),印度(18%), 摩洛哥(10%)	中国(53%),摩洛哥(37%), 土耳其(7%)	中国(34%),摩洛哥(30%),德国(8%),土耳其(6%), 英国(5%),欧洲其他国家(4%)	80%	0.93/0.94	1%
铍	美国(90%),中国(8%)	n/a	n/a	n/a	0.99/0.99	
铋	中国(82%),墨西哥(11%),日本(7%)	中国(84%)	中国(84%)	100%	0.96/0.94	1%
硼	土耳其(38%),美国(23%),阿根廷(12%)	土耳其(98%)	土耳其(98%)	100%	1.0/1.0	
钴	刚果(金)(64%),中国(5%),加拿大(5%)	俄罗斯(91%),刚果(金)(7%)	芬兰(66%),俄罗斯(31%)	32%	1.0/1.0	
焦煤	中国(54%),澳大利亚(15%),美国(7%), 俄罗斯(7%)	美国(39%),澳大利亚(36%), 俄罗斯(9%),加拿大(8%)	美国(38%),澳大利亚(34%),俄罗斯(9%),加拿大 (7%),波兰(1%),德国(1%),捷克(1%),英国(1%)	63%	0.92/0.92	
萤石	中国(64%), 墨西哥(16%), 蒙古(5%)	墨西哥(38%),中国(17%),南非(15%), 纳米比亚(12%),肯尼亚(9%)	墨西哥(27%),西班牙(13%),中国(12%),南非 (11%),纳米比亚(9%),肯尼亚(7%),德国(5%), 保加利亚(4%),英国(4%),欧洲其他国家(1%)	70%	0.98/0.97	1%
镓	中国(85%),德国(7%), 哈萨克斯坦(5%)	中国(53%),美国(11%),乌克兰(9%), 韩国(8%)	中国(36%),德国(27%),美国(8%),乌克兰(6%), 韩国(5%),匈牙利(5%)	34%	0.95/0.96	
锆	中国(67%),芬兰(11%),加拿大(9%), 美国(9%)	中国(60%),俄罗斯(17%), 美国(16%)	中国(43%),芬兰(28%),俄罗斯(12%), 美国(12%)	64%	1.0/1.0	2%
铪	法国(43%),美国(41%),乌克兰(8%), 俄罗斯(8%)	加拿大(67%), 中国(33%)	法国(71%),加拿大(19%), 中国(10%)	9%	0.93/0.97	1%
氩	美国(73%),卡塔尔(12%), 阿尔及利亚(10%)	美国(53%),阿尔及利亚(29%), 卡塔尔(8%),俄罗斯(8%)	美国(51%),阿尔及利亚(29%),卡塔尔(8%), 俄罗斯(7%),波兰(3%)	96%	0.94/0.96	1%
铟	中国(57%),韩国(15%), 日本(10%)	中国(41%),哈萨克斯坦(19%), 韩国(11%),中国香港(8%)	中国(28%),比利时(19%),哈萨克斯坦(13%), 法国(11%),韩国(8%),中国香港(6%)		0.94/0.97	
镁	中国(87%),美国(5%)	中国(94%)	中国(94%)	100%	0.91/0.91	9%
天然石墨	中国(69%),印度(12%),巴西(8%)	中国(63%),巴西(13%),挪威(7%)	中国(63%),巴西(13%),挪威(7%),欧盟(<1%)	99%	0.95/0.97	3%
天然橡胶	泰国(32%),印尼(26%),越南(8%), 印度(8%)	印尼(32%),马来西亚(20%),泰国 (17%),象牙海岸(12%)	印尼(32%),马来西亚(20%),泰国(17%), 象牙海岸(12%)	100%	0.92/0.92	1%
铌	巴西(90%),加拿大(10%)	巴西(71%),加拿大(13%)	巴西(71%),加拿大(13%)	100%	0.91/0.94	0.3%
磷酸盐岩	中国(44%),摩洛哥(13%), 美国(13%)	摩洛哥(31%),俄罗斯(18%),叙利亚 (12%),阿尔及利亚(12%)	摩洛哥(28%),俄罗斯(16%),叙利亚(11%), 阿尔及利亚(10%),欧盟-芬兰(12%)	88%	1.0/1.0	17%
磷	中国(58%),越南(19%),哈萨克 斯坦(13%),美国(11%)	哈萨克斯坦(77%),中国(14%), 越南(8%)	哈萨克斯坦(77%),中国(14%), 越南(8%)	100%	0.91/0.91	
钨	中国(66%),俄罗斯(26%),乌克兰(7%)	俄罗斯(67%),哈萨克斯坦(33%)	俄罗斯(67%),哈萨克斯坦(33%)	100%	0.91/0.95	
结晶硅	中国(61%),巴西(9%),挪威(7%), 美国(6%),法国(5%)	挪威(35%),巴西(18%), 中国(18%)	挪威(23%),法国(19%),巴西(12%), 中国(12%),西班牙(9%),德国(5%)	64%	0.99/0.99	
钽	卢旺达(31%),刚果(金)(19%), 巴西(14%)	尼日利亚(81%),卢旺达(14%), 中国(5%)	尼日利亚(81%),卢旺达(14%), 中国(5%)	100%	0.94/0.95	1%
钨	中国(84%), 俄罗斯(4%)	俄罗斯(84%),玻利维亚(5%), 越南(5%)	俄罗斯(50%),葡萄牙(17%),西班牙(15%), 奥地利(8%)	44%	0.94/0.97	42%
钼	中国(53%), 南非(25%), 俄罗斯(20%)	俄罗斯(71%), 中国(13%), 南非(13%)	俄罗斯(60%),中国(11%),南非(10%), 比利时(9%),英国(3%),荷兰(2%), 德国(2%),欧洲其他国家(0.5%)	84%	0.91/0.94	44%
铂族金属	南非(83%), 俄罗斯(46%)	瑞士(34%),南非(31%),美国(21%), 俄罗斯(8%)	瑞士(34%),南非(31%),美国(21%), 俄罗斯(8%)	99.6%	0.93/0.98	14%
重稀土	中国(95%)	中国(40%),美国(34%),俄罗斯(25%)	中国(40%),美国(34%),俄罗斯(25%)	100%	0.96/0.89	8%
轻稀土	中国(95%)	中国(40%),美国(34%),俄罗斯(25%)	中国(40%)美国(34%)俄罗斯(25%)	100%	0.90/0.93	3%

注:替代指数*(Substitution indexes EI/SR),表示金属替代的难易程度,分别从经济重要性(EI)和供应风险(SR)两个参数计算。生命周期结束回收率**(End-of-life recycling input rate),指废旧金属回收量与欧盟需求量的比值。n/a代表无数据。

表3 英国风险清单矿产(2015年)

Table 3 Critical minerals list of the UK(2015)

矿种	符号	相对供应风险指数	最大生产国	最大储量国
稀土元素	REE	9.5	中国	中国
锑	Sb	9	中国	中国
铋	Bi	8.8	中国	中国
锗	Ge	8.6	中国	
钒	V	8.6	中国	中国
镓	Ga	8.6	中国	
锶	Sr	8.3	中国	中国
钨	W	8.1	中国	中国
钼	Mo	8.1	中国	中国
钴	Co	8.1	刚果(金)	刚果(金)
铟	In	8.1	中国	
砷	As	7.9	中国	
镁	Mg	7.6	中国	俄罗斯
铂族元素	PGE	7.6	南非	南非
锂	Li	7.6	澳大利亚	智利
钡	Ba	7.6	中国	中国
石墨	C	7.4	中国	中国
铍	Be	7.1	美国	
银	Ag	7.1	墨西哥	秘鲁
镉	Cd	7.1	中国	
钽	Ta	7.1	卢旺达	澳大利亚
铼	Re	7.1	智利	智利
硒	Se	6.9	日本	中国
汞	Hg	6.9	中国	
氟	F	6.9	中国	南非
铌	Nb	6.7	巴西	巴西
锆	Zr	6.4	澳大利亚	澳大利亚
铬	Cr	6.2	南非	哈萨克斯坦
锡	Sn	6	中国	中国
锰	Mn	5.7	中国	南非
镍	Ni	5.7	印尼	澳大利亚
钍	Th	5.7	美国	
铀	U	5.5	哈萨克斯坦	澳大利亚
铅	Pb	5.5	中国	澳大利亚
铁	Fe	5.2	中国	澳大利亚
金刚石	C	5.2	俄罗斯	澳大利亚
钛	Ti	4.8	加拿大	中国
铜	Cu	4.8	智利	智利
锌	Zn	4.8	中国	澳大利亚
铝	Al	4.8	澳大利亚	圭亚那
金	Au	4.5	中国	澳大利亚

国家关键矿产的主要生产国和主要进口来源国有一半甚至一半以上都是中国。

美国35种关键矿产中,13种关键矿产的最大供

应国是中国,占比达到了37%,中国还是19种关键矿产的最大生产国,占比超过50%。虽然从1993年以来,美国开始多元化矿产资源进口,但中国仍然是其矿产品进口的重要来源国(表4)。

在欧盟,从大多数关键矿产全球供应的角度来看,中国是最具影响力的国家。如稀土元素、镁、钨、锑、镓和锗等21种关键矿产的最大来源国是中国,占比超过50%,其中,锑、镁、铋等矿产的中国进口份额超过80%(图3)。

英国2015风险矿产清单显示,中国在其所列矿产的生产上占据主导地位,41种关键矿产中,中国是23种矿产的全球最大生产国,占比超过50%(图4)。

2.3 大量关键矿产以共生矿产形式产出

仅有个别关键矿产通常作为主要矿产品开采(包括铂族金属、锑、锂和钨矿等),其他关键矿产大多属于共生和伴生矿产,往往作为副产品开采回收,如从铁矿开采中回收稀土元素、在锡矿开采中回收铟、从铜镍矿开采中回收钴、从铅锌矿开采和煤矿燃烧中回收锗、镉和铈。

图5显示,每个扇形都是一类元素共生组合,圆心是主要矿产,外围的是伴生矿产,距离圆心越远,伴生矿产的产出比例越小,而关键矿产往往位于外环。例如,与锌矿伴生的主要有镉和铟(75%~100%)、锗(50%~75%)、银(25%~50%)、镓、锡、铜和金(0~25%)。

3 从中国视角对关键矿产的分析

西方国家厘定的关键矿产与中国以往称呼的三稀矿产(稀有、稀土和稀散矿产)以及后来称呼的战略新兴矿产具有很大的耦合性。中国是关键矿产大国,除了个别矿产外,大多数资源丰富,产量较大,可以影响世界格局。本文从世界供需形势、中国矿产探明储量和资源禀赋特点入手,将关键矿产划分为主导型、技术和条件制约型、市场制约型和资源短缺型4类。

3.1 主导型

中国该类型矿产的储量和产量通常居于世界前三位,是中国的优势矿产,能够满足国内需求,可以在一定程度上影响和掌控国际市场,主要有锗、铟、重稀土元素、轻稀土元素、钨、天然石墨、锑、镁、镓、钒、铋、重晶石、萤石、钽、钛、锶、砷、碲、汞、镉、氟、钼。据美国地质调查局(USGS)数据,2018年,中国稀土元素储量4400万吨,占全球的36.7%(USGS,

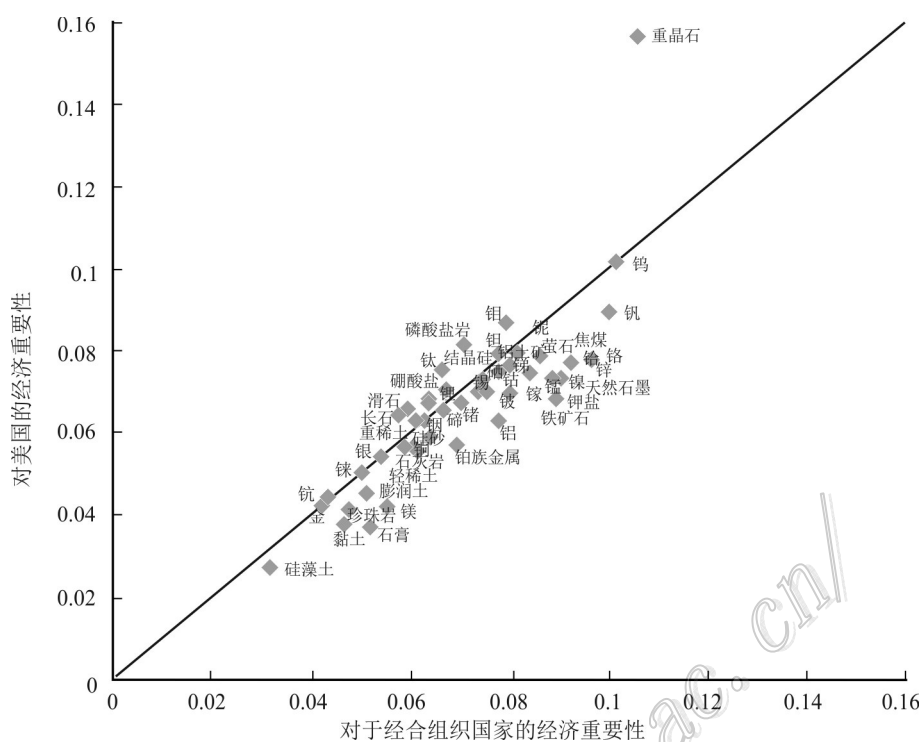


图1 关键矿产对经合组织国家和美国的经济重要性关联图(after Renaud et al., 2015)

Fig. 1 Economic importance for the USA versus the OECD as a whole(after Renaud et al., 2015)

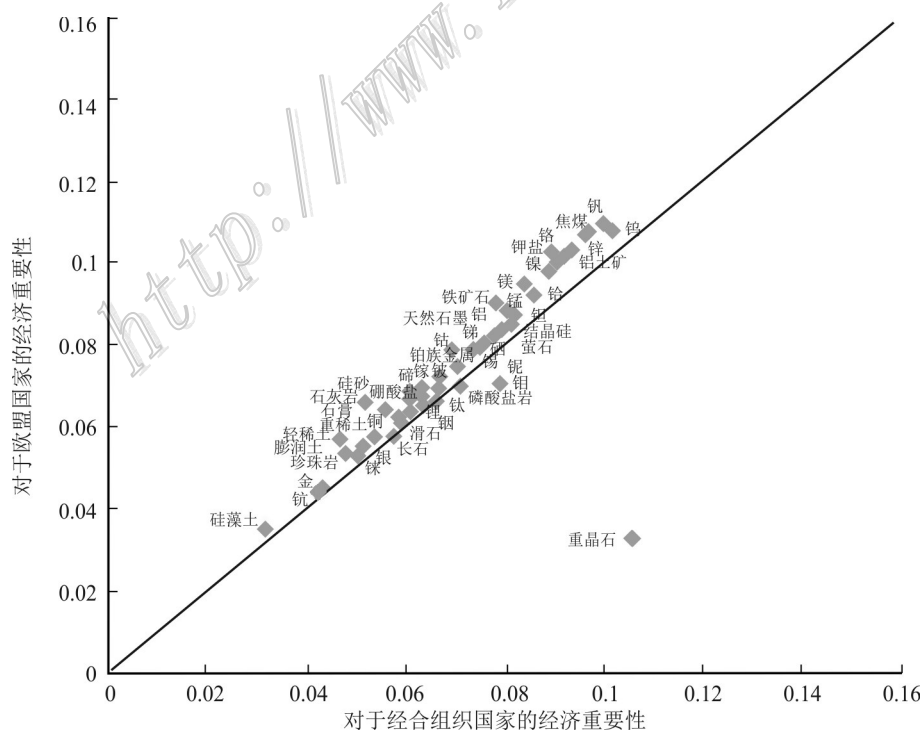


图2 关键矿产对经合组织国家和欧盟的经济重要性关联图(after Renaud et al., 2015)

Fig. 2 Economic importance for the EU versus the OECD as a whole(after Renaud et al., 2015)

表 4 美国部分矿产进口依存度及中国进口占比(2014 年)

Table 4 Some mineral import dependence in the USA share of import from China (2014)		
矿产	进口依存度/%	来自中国的进口所占比例/%
铜	100	21
天然石墨	100	45
钽	100	28
钪	100	接近 100
五氧化二钒	100	15
镓	99	23
钇	>95	62
锆	95	65
钴	76	21
碳化硅	77	NA
稀土元素	59	75
镁	43	54
钛	51	12
钨	43	45
碲	>80	17

2019),更为重要的是,中国拥有完整的产业链。稀土元素提炼需要经过开采、提纯和还原3个步骤,中国几乎掌握全部核心技术。设备方面,稀土元素资源相关生产线和大型设备的厂家基本都在中国,几

乎全世界所有的稀土元素加工都是由中国完成。鉴于中国可能在中美贸易战中使用稀土元素这一杠杆,美国不仅加大力度在本国,甚至全球开展稀土资源的找矿勘查,而且与澳大利亚联合成立稀土矿业公司,试图快速攻克稀土元素分离的科技问题,但这些行动仍然需要较长时间才能见到预期效果。

3.2 技术和条件制约型

这类矿产在中国储量较大,但因技术和其他条件制约回收利用率较低,导致产量较小,主要有锂、锡、铷、铍、铌和锰。中国盐湖卤水型锂资源丰富,该类型锂矿分别占中国锂资源储量和查明资源储量的89.8%和85.1%(郑绵平等,2007),但是普遍具有高的镁锂比值,开采和提取难度大。目前业内普遍认为,镁锂比值大于20的盐湖难以提取锂元素,按此标准,中国盐湖锂的提取难度普遍较高,以青海柴达木盆地东台盐湖为例,该盐湖的提取难度是青海地区最低的,但镁锂比也高达33.8(吴荣庆,2017)。另外,中国硬岩锂(即伟晶岩型锂辉石矿)资源丰富,找矿潜力大,尤其是近年在川西甲基卡一带和西昆仑大红柳滩探明多个超大型矿床(李建康等,2014),一举使中国成为锂资源大国。但由于这些矿产地处偏僻,交通困难,电力不足,近期难以大规模开采。中

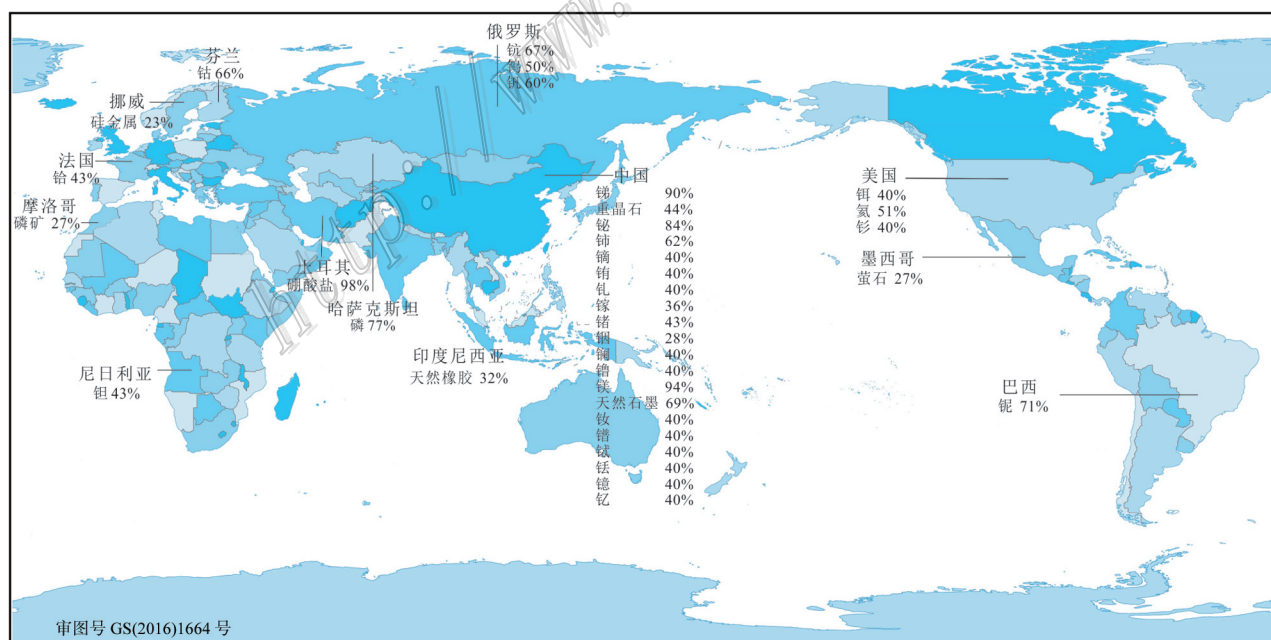


图 3 欧盟各种关键矿产最大供应国

(http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)

Fig. 3 The numbers of times a country is the leading global producer of an element or element group of economic value

(<https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/riskList.html>)

域的广泛应用。随着社会进步和经济发展,对关键矿产的需求在不断增加,甚至可以说是急剧攀升。同时由于近年来逆全球化引发的各种势力对抗,关键矿产越来越受到关注,被“卡脖子”的担忧空前高涨。鉴于目前国内外形势,提出以下思考。

4.1 强化宏观管理力度,提升主导型关键矿产的国际话语权

长期以来,中国各种类型主导型矿产都是处于廉价出售的状态,大家通常讲“中国卖什么,什么便宜”。主导型关键矿产是中国的巨大财富,不仅可以为中国科技和军事现代化提供关键材料,而且是中国对外实施“卡脖子”的有效武器,政府应当加强宏观管理力度,全面提升对此类矿产的治理能力。对于稀散金属等小矿种应该通过合理进行国家储备和减少税费等政策,拉动企业有效回收资源。对外销售矿产品以及相关的不同类型衍生材料,国家应当建立统一标准和价格,防止国内企业相互压价,廉价销售,以此提高中国此类关键矿产的话语权。

此外,务必查明为什么会出现“中国卖什么,什么便宜”怪现象的内因。中国稀土元素涨价时,西方国家口诛笔伐,共同声讨,而且西方国家在WTO诉讼中获胜。与此相对比,“中国买什么,什么贵”,铁矿石在澳大利亚生产成本每吨不到100元,在中国出售竟然达到目前的每吨900元。去年中国GDP收入约90万亿元,购买矿产品消费竟达到3万亿元,对此,我们应该积极寻求对策。

4.2 加强短缺型关键矿产勘查,充分利用两种资源和两个市场

利用两种资源和两个市场是世界各国发展的必由之路,但面临多种不确定性。作为一个发展中大国,中国必须系统化、常态化开展短缺型关键矿产资源潜力评价,发现和探明新资源。例如,在大兴安岭南段脉状银铅锌矿与锡矿为同一成矿系统,与南美玻利维亚锡矿带具有类似性,找矿潜力巨大(Mao et al., 2018),在该地区开展系统研究和勘查,有望发现一批锡矿产地,满足中国发展的需求。中国尚未发现富含钴的砂岩型铜矿,绝大多数铬、镍和钴矿都与基性-超基性岩浆作用有关。而在中国地质历史过程中,曾经历过不同时代的洋陆转换、大洋开裂、俯冲、岛弧拼贴和大陆碰撞等地质事件,发育有几十条不同时代的基性-超基性岩带,通过地质调查、系统研究和找矿勘查,查明资源潜力,有望发现和探明这些短缺型关键矿产。

4.3 加大力度冶炼技术研发,提高资源利用率

中国矿产资源禀赋特点之一就是共伴生矿产多,选冶难度大,绝大多数关键矿产尤为突出。尽管中国的选冶技术在许多方面处于国际先进,甚至领先地位,但仍然有很大发展空间,例如,上述难选冶锡矿和天河石中的铷,高镁锂比值盐湖锂资源。对于难选冶的固体矿产,首先必须深入开展矿物学研究,查明物质组分,了解赋存状态,为开发和选冶提供坚实的基础。针对一些难点问题,应当加强基础矿物学研究,破解难选冶资源的分离和选冶技术,充分利用已探明的资源,变废为宝。

4.4 延伸产业链,研发高精尖高附加值新材料

尽管中国大多数关键矿产丰富,并具有资源优势 and 初中级材料加工能力,但在高端材料和新型材料研发方面仍然薄弱。当前,中国正处于产业结构调整 and 转型时期,强化创新,研发核心技术,驱动快速发展是新时代的重要任务。应当充分开发关键矿产新性能,研发出应用于航空航天、军事、交通和通讯等领域的新材料,推动中国战略性新兴产业发展。

Reference

- Huang C, Chen Q S, Li Y and Liu Q Y. 2014. Discussion of world and China rhenium resource demand in 2030[J]. *China Mining Magazine*, 23(9):9-11(in Chinese with English abstract).
- Huang F, Wang D H, Wang Y, Jiang B, Li C and Zhao H. 2019. Study on metallogenic regularity rhenium deposits in China and their prospecting direction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1252-1269 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y, Shimazaki H, Raimbault L, and Guy B. 1996. Geology and metallogeny of the Shizhuyuan skarn-greisen deposit, Hunan Province, China[J]. *International Geology Review*, 38(11): 1020-1039.
- Mao J W, Xie G Q, Yuan S D, Liu P, Meng X Y, Zhou Z H and Zheng W. 2018. Current research progress and future considerations of porphyry copper and granite-related tin deposits in the Circumpacific metallogenic belts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(9): 2501-2517.
- Nassar N T, Graedel T E, and Harper E M. 2015. By-product metals are technologically essential but have problematic supply[J]. *Science Advances*, v. 1, no. 3, art. e1400180. [Also available at <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400180>].
- National Security Study Memorandums (NSSM). 1974. Critical imported materials: Study of Ad Hoc group established by NSSM 197/CIEPSM 33, US Government (Nixon Administration) [EB/OL]. (2009) [2019-06-30] <http://history.state.gov/historicaldocuments/frus1969-76v31>.

- Peng Z. 2012. Research situation on recovery of rhenium from uranium ore[J]. Hydrometallurgy of China, 31(2): 76-80(in Chinese with English abstract).
- Renaud C Simon D, Maria G and Thomas B N. 2015. Critical minerals today and in 2030: An analysis of OECD countries[EB/OL]. (2015) [2019-06] <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jrt-knwm5hr5-en.pdf?expires=1561448031&id=id&accname=guest&checksum=42CB2FC35D967DA03D2AE89448552CD1>
- Tang J R, Yang Z X, Zhou P and Shi J F. 2014. The progress in the strategic study of critical minerals and its implications. Geological Bulletin of China[J]. 33(9): 1445-1453(in Chinese with English abstract).
- U.S. Department of Commerce. 2019. A federal strategy to ensure secure and reliable supplies of critical minerals [EB/OL]. (2019) [2019-06-30] <https://www.commerce.gov/sites/default/files/2019-06/Critical%20minerals%20strategy%20final.docx>.
- U.S. Geological Survey. 2019. Mineral commodity summaries 2019 [EB/OL]. (2019) [2019-06-30] http://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf
- Wu R Q. 2017. Lithium, new energy material: Analysis of resource reserves and supply-demand situation[J]. Land and Resources Information, 1: 4-9 (in Chinese with English abstracts).
- Zhao P L, Zhao H J, Yuan S D and Mao J W. 2019. The Early Jurassic Fe-Sn metallogenic event and its dynamic setting in South China: Evidence from Re-Os, U-Pb geochronology and geochemistry of the giant Dading magnesian skarn Fe-Sn deposit[J]. Ore Geology Reviews, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102970>.
- Zheng M P and Liu X F. 2007. Lithium resource in China[J]. Insight, 13-16(in Chinese).
- Zhou Q and Du Y S. 2019. Ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese deposit in South China[M]. Beijing: Science Publishing Press. 1-311(in Chinese).
- Zhou Z H, Mao J W, and Lyckberg P. 2012. Geochronology and isotopic geochemistry of the A-type granites from the Huanggang Sn-Fe deposit, southern Great Hinggan Range, NE China: Implications for their origin and tectonic setting[J]. Journal of Asian Earth Sciences, (49): 272-286.

附中文参考文献

- 黄翊, 陈其慎, 李颖, 柳群义. 2014. 2030年全球及中国铌资源需求当议[J]. 中国矿业, 23(9): 9-11.
- 黄凡, 王登红, 王岩, 江彪, 李超, 赵鸿. 2019. 中国铌矿成矿规律和找矿方向研究[J]. 地质学报, 93(6): 763-775.
- 李建康, 刘喜方, 王登红. 2014. 中国锂矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2269-2283.
- 彭真. 2012. 从矿石中回收铌的研究进展[J]. 湿法冶金, 31(2): 76-78.
- 唐金荣, 杨宗喜, 周平, 施俊法. 2014. 国外关键矿产战略研究进展及其启示[J]. 地质通报, 33(9): 1445-1453.
- 吴荣庆. 2017. 新能源材料锂: 资源储量与供需形势分析[J]. 国土资源情报, 1: 4-9.
- 郑绵平, 刘喜方. 2007. 中国的锂资源[J]. 新材料产业, (8): 13-16.
- 周琦, 杜远生. 2019. 华南古天然气渗漏沉积型锰矿[M]. 北京: 科学出版社, 1-311页.