

中美战略性矿产竞争的三大热点类型分析

王罗汉, 陈 志

(中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

摘要: 本文着重对比分析了中美两国对于 32 种关键矿物材料的净进口依赖指数、生产集中度指数, 并进一步梳理了 32 种矿产的主要生产国、中美两国本土的储量以及主要的应用范围。本文认为, 11 种中美两国都高度依赖的矿产资源将成为未来中美海外竞争的焦点; 对美国单方面高度依赖中国的 9 种矿产, 必须深度调查美国依赖中国进口的原因; 在中国单方面依赖进口的 8 种矿产中, 钹高度依赖美国, 存在“卡脖子”风险。

关键词: 美国; 中国; 关键矿产; 高度依赖; 竞争

中图分类号: G311 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2020.07.005

自工业革命以来, 资源冲突的焦点一直围绕着能源的争夺而展开, 如第一次工业革命代表蒸汽机的动能来自煤炭, 第二次工业革命代表汽车的动能来自石油。然而, 以数据为关键要素的第三次信息革命和以液晶显示技术、人工智能等为代表的新兴技术产业的兴起, 则逐步摆脱了以往对能源资源的争夺, 关键材料成为新兴技术产业的命门, 从而各国对这类材料的原料需求, 特别是稀有矿产资源需求进一步扩大, 逐渐成为现代制造业特别是战略性新兴产业和国防工业的关键^[1]。这其中既包括民用的制造平板手机的钢, 可充电电池的钴, 风力发电的铈和用于太阳能光伏技术的碲, 也包括对国家安全的用于制造喷气发动机的铪和制造红外护目镜的锆。

1 中美战略性资源的总体争夺情况

世界上已经没有哪个单一国家可以独自包揽所有产品制造所需的材料。而随着中美贸易战的深化, 特别是围绕近期国内热炒的中国稀土可作为制

衡美国的一张“王牌”的论调, 本文结合美国兰德公司 (RAND)、美国地质勘探局 (USGS) 等美方分析报告的数据和分析方法, 梳理了中国与美国在 32 种关键材料上的净进口依赖指数 (Net Import Reliance, NIR), 该材料的全球市场集中度指数 (即赫芬达尔指数 HHI), 以及全球主要生产国, 相同材料中美两国的储量以及该材料的主要应用领域。发现中美两国在 11 种关键矿产材料上存在较高风险的海外竞争, 在地理上, 未来资源竞争的焦点很可能围绕南非、中非以及南美洲的巴西和智利展开。对美国单方面依赖中国的 9 种关键矿产材料不能过于乐观, 美国依赖中国不代表自身没有储备, 也不代表美国没有二次回收的能力和技术。而对于中国单方面依赖的 8 种矿产材料, 尽管来源广泛, 但稀土、钨、铋、钼等稀有金属的消费量我国均居世界第一位, 未来稀有矿产品生产消费还有扩张的潜力和动力^[2]。这一方面造成对大宗矿产的依赖趋势短时期难以扭转, 对外依存度逐步逼近临界点, 供求矛盾日益加剧^[3]; 另一方面, 由美国“独家”

第一作者简介: 王罗汉 (1987—), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为产业科技创新政策研究及国际科技创新合作。

项目来源: 科技部科技创新战略研究专项“新兴产业发展与‘创新政策 3.0’研究” (ZLY201709)、“第四次工业革命的趋势研判” (ZLY201912a)。

收稿日期: 2020-06-03

控制的铍存在非常高的“卡脖子”风险，值得引起高度关注。

2 美国高度依赖13种关键材料，其中9种主要来自中国

2017年兰德公司报告认为，只要制造商能够以公平的市场价格进入全球供应链，对进口的依赖就基本没有问题。但是，当供应链由治理薄弱或对其材料生产部门实施控制的国家主导，且全球生产又高度集中于极少数国家时，供应链风险将升高。

美国拥有丰富的矿产资源，并且是全球领先的材料生产商，虽然对一些制造业至关重要的材料长期依赖进口，但并不代表美国没有储量或开展废料回收的技术能力，材料的“隐藏量”难以估计。通过梳理发现（见表1），美国有13种材料的进口依赖较高。特别注意到，中国是美国在13种矿物中9种材料的主要进口来源国。这9种材料分别是：

铋、铍、精炼钴、低纯镓、锗、铟、碲、钇和稀土，其中除精炼钴、铟和碲之外，其余6种矿物材料的进口来源都高度集中。

但也注意到，虽然美国高度依赖以上矿产材料的进口，但一方面，美国并非自身没有储量。比如稀土，美国的储量也有180万吨，却大量进口来自中国的稀土。2017年，其进口的83%来自中国。而对于低纯镓等，美国虽然储量稀少，但美国地质勘探局认为，中国以外的低品位初级镓生产商很可能因初级镓过剩、价格过低而被迫停产。这些生产国还包括日本、韩国、俄罗斯、乌克兰、德国和哈萨克斯坦。而就镓矿而言，开采方法一是作为加工铝土矿的副产品生产出来，但由于美国本土的铝土矿所含的二氧化硅含量高，故而通常不用于生产氧化铝；二是在锌矿的加工残渣中提炼出来。美国国内锌矿石据估计还含有高达百万分之50的镓。出于性价比、成本、环保等诸多方面的考虑，美国目前也未对国内锌加工的废料开展回收。

表1 美国存在高度进口依赖矿产元素

	净进口 依赖度 ^[4]	生产集中 指数	主要生产国 (占比) ^[5]	美国的储量 (万吨/年份) ^[6]	中国的储量 (万吨/年份)	涉及应用的主要新兴 产业领域
稀土	0.68	7 142	中国(0.83)	180/2015	5 500/2015	航空航天制导、激光、 光纤
锡	0.74	2 705	中国、印度尼西亚、 马来西亚、秘鲁、 玻利维亚	—	150/2015	焊料、平板显示器 (氧化铟锡)
银	0.63	1 036	墨西哥、加拿大、 秘鲁、韩国	2.5/2015	4.3/2015	催化剂、摄影业、 电子工业
锗	0.84	5 329	中国(0.71)	0.387/2013	0.35/2014	红外设备、光纤
钾盐	0.85	1 605	加拿大、俄罗斯、 白俄罗斯、以色列	13 000/2017	21 000/2017	农业肥料
碲	0.9	1 097	加拿大、中国、 德国	0.35/2015	1.4/2015	红外设备(夜视)、 太阳能电池
* 钇	0.97	7 997	中国	—	—	特种玻璃和合金
铟	1	3 300	中国	0.028/2014	0.8/2014	半导体、液晶显示器 与平板屏幕
铋	1	8 060	中国	0.5/2015	24/2015	消防装置、自动喷水 器、锅炉的安全塞

续表

	净进口 依赖度 ^[4]	生产集中 指数	主要生产国 (占比) ^[5]	美国的储量 (万吨/年份) ^[6]	中国的储量 (万吨/年份)	涉及应用的主要新兴 产业领域
精炼钴	1	2 176	中国	3.6/2015	8/2015	喷气发动机(超级合金)、可充电电池
低纯镓	1	7 105	中国(0.93)	0	13.66/2015	红外设备、光纤
铟	1	6 071	中国(0.58)	0	95/2015	铅酸电池
锌	0.81	2 053	加拿大、墨西哥、 秘鲁、澳大利亚	11/2015	44/2015	喷气发动机中的热障 涂层、核应用

注: 加粗栏为生产集中指数 >5 000 的材料, 代表其生产高度集中, 值越大集中度越高; 净进口依赖度 >0.5 代表该材料存在高度进口依赖风险, 值越大进口依赖风险越高。

* 钇的中美储量数据缺失。

3 中国高度依赖 8 种关键材料, 铍高度依赖美国

中国有 8 种关键材料依赖进口, 但大多数材料来源比较广泛, 唯有铍的生产高度集中且由美国独家供应(见表 2)。在当前中美贸易战的大背景下, 存在被美国“卡脖子”风险。这是因为, 美国政府早在 2005 年通过的《国防生产法案》第三篇(Defense Production Act, Title III)中就提到, 为建立和维持军用、航空航天以及核应用战略矿产的国内可靠供应而制定该法案, 从中可以体现美国对铍的重视, 由于该材料涉及国家战略安全和核应用等敏感领域, 势必需要在对外出口方面加强防范。

除铍外, 中国净进口依赖度指数较高的 7 种矿产材料的产量在全球范围内分布相对广泛, 这表明中国可从许多国家获得。但注意到两点: 一是中国本土铁和铜的储量并不低, 属传统工业生产必须品,

但由于我国市场消费巨大, 对铁和铜的需求长期高速增长, 而国内铁矿由于多为贫矿, 开采成本较高, 因而对外进口依赖度长期较高; 对于铜矿, 由于国内铜冶炼产能大幅度上升, 对铜精矿的需求也水涨船高, 而国内铜矿开采量难以跟上供需步伐, 增速较为缓慢, 加之生产成本低、供应缺口高等诸多因素叠加, 也迫使进口需求长期扩大。二是我国对高纯度镓依赖也较高, 主要是太阳能电池、智能手机、发光二极管(LED)或电子战应用的组件中, 镓的纯度必须大于 99.999%, 因此需要对低纯度镓进行提纯。2018 年世界初级低品位镓产能估计为每年 730 吨; 高纯度提纯后, 每年仅 320 吨; 新废料二次回收再加工, 每年 270 吨。而其中英国和美国是高纯度精炼镓的主要生产国, 主要来源于国内新废料中的二次回收再加工。而我国提纯技术水平较为落后, 产能效率低, 生产成本低污染大, 远不能满足新兴产业对高纯度镓的需求。

表 2 中国存在高度进口依赖矿产元素

	净进口 依赖度	生产集中度 指数	主要生产国(占 比)	美国的储量 (万吨/年份)	中国的储量 (万吨/年份)	涉及应用的主要 新兴产业领域
镉	0.58	1 630	加拿大、澳大利 亚、中国、 比利时	3.2/2015	9.2/2015	镍镉电池
铁	0.6	1 833	加拿大、巴西、 韩国	4.7/2015	39/2015	—

续表

	净进口 依赖度	生产集中度 指数	主要生产国(占 比)	美国的储量 (万吨/年份)	中国的储量 (万吨/年份)	涉及应用的主要 新兴产业领域
铜	0.6	1 311	智利、加拿大、 墨西哥	1 260/2015	1710/2015	—
* 高纯镓	0.65	2 344	加拿大、巴西、 墨西哥	—	—	可充电电池， 防弹衣
铍	0.69	8 432	美国(0.89)	6/2015	0.002/2015	卫星通信， 航空航天
硼	0.74	2 144	土耳其、美国、 阿根廷	40/2015	24/2015	玻璃、陶瓷、洗涤剂、 农用化肥
硒	0.8	2 385	马来西亚	1/2015	2.6/2015	电解阳极泥
钴	0.89	2 709	刚果(0.54)	3.8/2015	8/2015	喷气发动机 (超级合金)、 可充电电池

说明：* 高纯镓（GaH）中美储量缺失数据。

4 中美均高度依赖进口的 11 种材料，是未来竞争的焦点

有 11 种关键材料是中美两国都存在较大进口依赖的材料，其中有 6 种材料中国对外依赖程度要高于美国，分别是铍、铌、钨、钼、钽、铟。特别是铌，这种关键材料中美两国均高度依赖巴西和加拿大的进口，它是高强度低合金钢中的合金化剂，是桥梁、摩天大楼、输油管道和车辆的理想选择。而铌目前在中美两国都没有开采。事实上，世界上约 85% 的一次铌生产来自巴西的一座矿山，剩余的生产分别来自巴西的另一座矿山和加拿大的一座矿山（见表 3）。为了缓解进口风险，我国在 2011 年就曾收购了巴西最大矿山的私营企业 15% 的股权，2016 年再次 100% 收购了第二座巴西矿山，虽然此类运作并未扩大全球铌的产量供应，但在一定程度上降低了中国的供应风险。

铬铁矿是不锈钢中的基本元素。自 2000 年以来，我国已大幅度扩大了不锈钢生产，但由于我国一直无法开采足够的铬来满足不锈钢生产对铬的需求，自 2000 年以来一直大幅增加铬的进口量。而美国 2015 年尚有 62 万吨本土储量，却也完全依赖进口。

三种铂族金属——铂、钯和铑因其在催化转化器中的应用而得到广泛认可，催化转化器对于减少内燃机车辆的废气排放至关重要。为了满足需求，

中国和美国都依赖从南非进口，南非是迄今为止最大的铂族金属生产国。但由于南非罢工频发，生产高浓度铂族金属的需求与中国对日益增长的汽车废气排放限制政策相叠加，很可能进一步加剧中美在铂族金属领域的竞争激烈程度。

铼是国家安全不可或缺的组成部分。在离喷气式战斗机发动机燃烧区最近的涡轮叶片中添加该种材料，可以使设计公差更接近、工作温度更高以及发动机性能得到改善。因此，在未来中美空中优势竞争中，对铼矿等关键矿产资源的争夺必将成为未来的一个决定性因素。事实上，在钨精矿焙烧过程中，铼主要作为副产品生产，它本身主要是铜斑岩生产的副产品，虽然美国也有相当大的稀土资源，也具备开采钨和铜的业务，但目前它还没有足够的钨精矿焙烧能力。相反，美国将其大部分含稀土钨精矿运往智利的一家工厂开展加工提炼，该工厂就足以生产占世界一半的铼，进而再由美国公司收购，用于生产高温合金涡轮叶片。相比之下，中国钨资源的稀土浓度非常低，为了满足其需求，中国或者进口稀土金属、稀土化学前体，或者进口含钨精矿。

钽主要来自刚果（金），2010 年，为了阻止刚果（金）开采该矿产而进行融资，美国政府将刚果（金）及其邻国生产的钽、锡、钨和黄金

指定为冲突矿产, 美国上市公司必须披露这些矿产的用途。由于美国没有钽矿生产, 而中国与卢旺达和刚果(金)没有限制冲突矿产使用的政策, 而目前全球有一半以上的钽矿山生产又来自卢旺达和刚果(金), 因此美国在钽进口来源方面相比中国企业会受到更多阻碍和限制。

表 3 中的 11 种矿产代表了中美之间潜在的资源竞争来源。除非通过替代、提高加工效率、增

加国内生产或回收来减少依赖, 否则中美将越来越多地争夺这类海外焦点矿产资源。

5 结论和建议

5.1 主要结论

本文认为具有竞争潜力的那 11 种矿产, 最大的两个生产来源从地理上看主要集中在: 中、南非洲和南美(如南非的铬、锰、铂、钯、铯、

表 3 中美均存在高度进口依赖矿产元素

	中国进口 依赖度	美国进口依赖	生产指数	生产国 (占比)	美国的储量 (万吨/年份)	中国的储量 (万吨/年份)	涉及应用的主要新兴 产业领域
钛	0.56	0.92	992	日本、哈萨克斯坦、乌克兰、中国	0.2/2015	23/2015	喷气发动机(超合金)和机身(钛合金)装甲
锰	0.65	1.00	1 775	南非、加蓬、澳大利亚、格鲁吉亚	—	5400/2015	铝和钢的生产、轻质合金
* 钽	0.91	1.00	3 014	巴西、卢旺达、澳大利亚、刚果(金)	—	—	手机、喷气发动机(超合金)中的电容器
铬	0.98	1.00	2 585	南非、哈萨克斯坦、俄罗斯	62/2015	—	喷气发动机(超合金)、不锈钢
镓	0.53	0.75	3 465	智利(0.55)	400/2015	—	喷气发动机
铈	0.95	0.74	5 678	南非、俄罗斯、加拿大	—	—	喷气发动机(超合金)、催化剂
铌	1.00	1.00	8 256	巴西(0.91)、加拿大	18/2015	—	用于国防和基础设施的高强度钢
铂	0.78	0.66	4 469	南非(0.51)	900/2015	—	用于喷气发动机的催化剂、高温合金
钯	0.84	0.62	2 963	俄罗斯、南非、加拿大	—	—	航天航空、航海、兵器、核能等、汽车制造
锂	0.83	0.50	3 000	阿根廷、智利、中国、俄罗斯	3.8/2014	350/2014	可充电电池、航空航天用铝锂合金
锆	0.84	0.50	2 860	南非(0.83)和澳大利亚	0.5/2015	0.5/2015	喷气发动机中的热障涂层、核应用

注: 加粗表示中国净进口依赖指数高于美国的材料。

* 钽(Ta)的中美储量数据缺失。

锆); 刚果(金)和卢旺达的钽; 南美洲智利的锂、铌; 巴西的铌)。这表明, 未来中美在关键矿产资源的海外争夺上, 将围绕中、南非洲以及南美洲展开。

而未来随着可持续发展和防御性技术的矿产需求的增加, 无疑会进一步加剧全球关键资源的争夺, 尤其是对无法替代且生产高度集中的矿产。虽然从长远来看, 循环利用、矿物加工、材料效率、替代品和国内生产的改善可能减轻进口依赖和资源竞争, 但这些因素在短期内往往受到现有技术、现有制造资本和长期发展时间的限制。除这些因素外, 全球矿产产量的增加也可能受到当前价格和东道国政府采矿政策的制约。长期看, 价格上涨或更优惠的政策则有可能增加全球矿产供应, 但又面临较长的开发时间。反观美日等发达国家在面临关键原材料供应短缺时采取的增加回收利用、增加替代品与增加采矿等一系列综合措施, 不仅是目前最现实的解决方案, 从长期来看, 还有可能对资源利用的发展趋势产生深远影响, 值得我国资源行业反思并借鉴^[8]。

因此, 加快制定和建立涉及我国未来战略性新兴产业和关系国家经济命脉的支柱产业所需的关键矿产的政策与法规, 保障我国未来经济社会发展所必备的战略资源就显得尤为迫切和必要。

5.2 政策建议

(1) 采取措施提高供应中断或市场扭曲的弹性。一是要鼓励关键材料的多样化生产, 提高在开采企业的话语权和控制力。例如加大对巴西的铌矿的收购与开发投资力度, 确保对中南非洲特别是受美国制裁国家的联合勘探与项目开发。二是对如铌等高度集中的矿产, 特别是像美国这样不确定因素特别大的国家, 要加强风险预警与应急方案的制定。同时加强与其他主要进口国家的协调, 以便在供应中断时共享有限的资源。例如学习美国对铌的获取方法, 提高利用全球资源为我服务的水平。三是针对主要进口国的协调行动。例如美国、欧盟和日本提出的针对中国的 WTO 诉讼案例, 未来针对其他关键矿产依然可能再次诉讼。因而需要加强协调, 建立资源存储和扩大互惠协议, 以便在供应中断时共享有限的资源。

(2) 研发新材料的提取、加工和制造技术,

促进关键材料的多种用途, 提高既有矿产资源的效率和多次循环水平; 增加废料的回收率(如高纯度镓矿的二次生产); 研究和开发替代存在高进口依赖的关键材料的替代材料, 在产品设计和使用时注重减少对其用量。

(3) 在考虑开采成本和环境保护的前提下, 适当对本土矿产进行封藏, 类似构建的石油战略储备, 也要适当扩充关系到我国新兴产业和重要矿产资源的战略储备。提高关键矿产进口来源国的分布, 尽量杜绝关键矿产生产高度集中于少数国家, 提高风险防控意识, 确保我国关键矿产资源供应链的长期稳定。

(4) 构建国际协调与合作预警机制。例如设定某种矿产需要国际协调预警的报警门槛值。在门槛达到前, 允许生产国的自然经济发展在不遭到破坏的前提下, 通过提前开展平稳市场扭曲的协调与合作, 提前防止市场集中度进一步升高, 从而提前预防在面临突发事件后, 难以在短时间内化解国内对该种关键原材料需求的情况。■

参考文献:

- [1] 杨丹辉. 中国稀土产业发展与政策研究 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2015: 55.
- [2] 杨丹辉. 资源安全、大国竞争与稀有矿产资源开发利用的国家战略 [J]. 学习与探索, 2018 (7): 93-102.
- [3] 时代. 美日欧应对关键原材料供应短缺的政策与动向 [J]. 国土资源科技管理, 2014, 31 (3): 113-121.
- [4] Gulley A. L., Nassar N.T., Xun S. China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies [J]. PNAS, 2018, 115(16): 4111-4115.
- [5] Silbergliitt R. Critical Materials and U.S. Import Reliance [R]. Santa Monica: RAND, 2017.
- [6] James F. Mineral Commodity Summaries 2019 [R]. Virginia: U.S. Geological Survey, 2019.
- [7] Bradley S. Van Gosen, Philip L. Verplanck, Poul Emsbo. Rare Earth Element Mineral Deposits in the United States [R]. Virginia: U.S. Geological Survey, 2019.
- [8] European Commission. Priority actions to reduce the EU's dependency on raw materials [EB/OL]. [2020-03-18]. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/eip-sip-part-2_en.pdf.

An Analysis of Three Hot Spot Types of Sino-US Strategic Mineral Competition

WANG Luo-han, CHEN zhi

(Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: This paper mainly compares the net import dependence index and the produce concentration index of 32 key minerals between China and the USA. Furthermore, the reserves and main application scope of 32 kinds of mineral resources in the main producing countries, China and the United States are summarized. This paper finds that both China and the United States are highly dependent on 11 mineral resources which may become the focus of the future overseas competition. For the US, 9 minerals are highly dependent on Chinese imports while the reasons should be investigated in depth. And there are 8 minerals that China must unilaterally relies on import, while among which Beryllium (Be) must be imported from the United States, which can become the bottleneck in the future.

Key words: the U.S.; China; key minerals; high dependence; competition

(上接第7页)

- Change, 2016, 145(AUG.): 153-164.
- [13] Schot J, Geels F W. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2008, 20(5): 537-554.
- [14] Van der Laak, W., Raven, R., Verbong, G. Strategic niche management for bio-fuels: analysing past experiments for developing new biofuel policies. [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(6): 3213-3225.
- [15] Streeck, W., Thelen, K. Introduction: Institutional Change in Advances Political Economies, Beyond continuity[M]. Oxford University Press, 2005: 39.
- [16] Bruno Turnheim, Frank W. Geels. The destabilisation of existing regimes: Confronting a multi-dimensional framework with a case study of the British coal industry(1913-1967)[J]. *Research Policy*, 2013, 42(10): 1 749-1 767.

Transformative Innovation Policy for Sustainable Development: Theory and Practices Abroad

YANG Xin-meng^{1,2}, HE Guang-xi¹

(1. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038;

2. College of Economic and Social Development, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract: Social and ecological issues are increasingly becoming constraints to innovation-driven development, and effective policy tools have not yet been fully established. Therefore, it is particularly important to discuss the transformation and innovation policy of sustainable development. Based on the three framework theories of transformation and innovation policy proposed by social technology system theory, this paper introduces the models and characteristics of transformative innovation policy experiments abroad, and further summarizes the international experience.

Key words: sustainable development; transformative innovation policy; soci-tech system