

# 美国“关键矿产”的安全战略及启示

冯晶晶<sup>1,2</sup>, 芮明杰<sup>2</sup>, 李辉<sup>1</sup>

(1. 上海市科学学研究所, 上海 200031;

2. 复旦大学管理学院, 上海 200433)

**摘要:** 矿产资源已成为国家安全的保障与地缘政治博弈的工具。近年来, 美国重视新兴产业与国防安全, 因此其在国家安全战略中越来越关注关键矿产的安全性。特朗普政府和拜登政府均出台了一系列鼓励开采与加工技术发展的矿产资源政策, 定期审查并更新《关键矿产清单》。出于对未来新能源产业的布局和矿产资源供应安全的考量, 《2022 年关键矿产清单》中新增加了镍和锌两种矿产。重点分析了从特朗普政府到拜登政府的矿产资源政策演变规律, 挖掘了美国制定《关键矿产清单》的考量因素。

**关键词:** 关键矿产; 矿产政策; 供应链安全; 产业发展; 新兴技术

**中图分类号:** D815 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2023.08.005

矿产资源包括能源矿产、黑色金属和有色金属等多种资源<sup>[1]</sup>, 是各国经济发展的物质基础。一方面, 开采与加工技术的进步将变革矿产资源竞争模式, 因此, 美国出台了一系列鼓励开采与加工技术发展的矿产资源政策。另一方面, 随着各国在新兴技术领域的竞争越来越激烈, 这些新兴技术将重新定义“关键矿产”。本文分析了从特朗普政府到拜登政府的矿产资源政策演变规律, 挖掘了美国制定《关键矿产清单》的国家安全考量与产业规律考量因素。

## 1 美国《关键矿产清单》及其确定办法

关键矿产对国家安全与产业发展具有重要的战略意义。美国《2020 年能源法案》将对经济安全或国家安全至关重要、供应链容易受干扰、在产品制造中发挥重要作用或将对经济或国家安全造成重大影响的矿产和元素定义为“关键矿产”。根据

《2020 年能源法案》, 美国内政部应每 3 年审查和更新该清单, 并更新界定关键矿产的评估方法。本文对美国界定“关键矿产”的方法进行解读。

### 1.1 美国“关键矿产”概况

2018 年, 美国内政部发布了一份《关键矿产清单》<sup>[2]</sup>, 列举了对美国经济和国家安全至关重要、有供应中断风险的 35 种矿产元素。2022 年, 美国内政部下属的地质调查局 (USGS) 更新了《关键矿产清单》<sup>[3-4]</sup>, 该清单由 2018 年的 35 种调整为 50 种, 如图 1 所示。与 2018 年的清单相比, 2022 年的清单中新增加了镍和锌等两种矿产, 并剔除了氦、钾、铯、锶和铀等 5 种矿产, 如图 2 所示。

### 1.2 美国对“关键矿产”的界定

《2022 年美国关键矿产清单》是由美国地质调查局牵头, 并由白宫科技政策办公室 (OSTP)、美国国家科学技术委员会 (NSTC) 关键矿产小组委员会协调的跨部门机构开展定量评估而得到, 该评估

第一作者简介: 冯晶晶 (1990—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为全球科技治理。

通信作者简介: 李辉 (1981—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为全球科技治理。电子邮箱: lihui@siss.sh.cn

项目来源: 国家社科基金重大项目子课题“美国对华科技战制度设计的科学学逻辑研究” (22VMG039); 上海市科技创新行动计划软科学研究项目“美国新兴科技的外交战略及上海的应对举措研究” (23692116900)。

收稿日期: 2023-06-03



果该矿产元素分布在多个国家,则供应中断的可能性较低。例如,黄金和白银等矿产的全球生产分布在多个国家,因此供应中断可能性较低,而镁、铌、稀土元素和铂族金属的全球生产则高度集中在一个国家,因而供应中断的可能性较高。

供应中断可能性的计算方法是取每个生产国在全球所占的份额的平方之和,并且以每个生产国继续供应的意愿或能力作为权重。计算公式如下。

$$DP_{i,t}^{raw} = \sum_{c=1}^n [PS_{i,t,c}^2 \cdot \max(ASI_{i,c}, WSI_{i,c})] \quad (2)$$

其中,  $DP$  是指供应中断可能性;  $c$  代表国家名称;  $t$  代表年份;  $PS$  是指该国的在全球所占份额;  $ASI$  是指该国的持续供应的能力;  $WSI$  是指该国的继续供应的意愿。

贸易风险分值是通过评估美国对该矿产的进口依赖程度而得到,如图 3c 所示。例如,某些矿产(包括砷、镓、铟、铍、锰、铌、钇、锶、钽和钷)完全依赖于进口,因而贸易风险得分是 1。相比之下,美国是氮、金和铁矿石的净出口国,因而贸易风险得分是 0。

贸易风险是基于美国对进口的依赖程度占表观消费量(表观消费量是指当年产量加上净进口量)的百分比而计算得出的数值<sup>[8]</sup>。计算公式如下。

$$TE_{i,t} = \frac{I_{i,t} - E_{i,t} + \Delta S_{i,t}}{AC_{i,t}} \quad (3)$$

其中,  $TE$  是指贸易风险;  $i$  是美国的总进口量;  $t$  代表年份;  $I$  是美国的总进口量;  $E$  是美国的总出口量;  $\Delta S$  是美国工业界和政府库存的变化;  $AC$  是美国的表观消费量。

经济脆弱性分值是通过评估该矿产对于供应中断的价格弹性而得出,如图 3d 所示。例如,价格波动对稀有金属的经济脆弱性影响最大,在 2010 年和 2011 年,由于美国对中国稀土出口限制的担忧,稀有金属的经济脆弱性明显增加。

每个行业对矿产资源的经济脆弱性是基于成本与利润的比率而得出,该行业的附加值与国内生产总值的比率则用于衡量该行业对整体经济的经济重要性。计算公式如下。

$$EV_{i,t}^{raw} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{VA_{i,j}}{GDP_t} \cdot \frac{EXP_{i,t,j}}{OP_{i,j}} \right) \quad (4)$$

其中,  $EV$  是指经济脆弱性;  $i$  是美国的总进口量;  $j$  代表某个行业;  $t$  代表年份;  $VA$  是指该行业的附加值;  $EXP$  是指该行业在该矿产的成本;  $OP$  是指

该行业的利润;  $GDP$  代表国内生产总值。

### 1.3 《2022 年美国关键矿产清单》的重点事项

《2022 年美国关键矿产清单》新增加了镍和锌两种矿产,因为镍和锌是未来新能源领域的重要原材料。拜登政府注重能源安全,因而对能源材料供应链安全十分重视。

镍使得锂电池拥有更高的能量密度和更大的存储容量。两种最常用的锂电池的正极材料分别是由三元材料镍钴铝(NCA)或镍钴锰(NMC)与碳酸锂混合制成<sup>[8]</sup>。含镍电池技术的不断进步使得每千瓦时的电池成本更低。

随着电动汽车需求的增加,全球镍供应的紧张程度将会加剧。据预测,到 2030 年,用于生产动力电池的镍占比将从现在的 3% 提升到 30%<sup>[9]</sup>。印度尼西亚是全球红土镍矿储量和产量最丰富的国家,然而,其自 2020 年 1 月起全面禁止镍矿石出口,同时迫使企业在印度尼西亚加工或提纯镍矿石后才能出口,这些措施令全球镍供应更加紧缺,随后镍的价格一度暴涨。

锌是电池制造中不可替代的关键金属之一,锌能够提高电池的安全性和能量密度<sup>[10]</sup>。然而,在过去几十年中,全球矿山和冶炼厂的生产集中度明显提高。背后的原因是中国的锌产量正在不断增加<sup>[11]</sup>,同时,美国国内的 2 个初级锌冶炼厂和 1 个二级锌冶炼厂于 2015 年暂停运营,这导致 2014—2019 年美国锌的生产水平相对较低。

## 2 美国保障关键矿产安全的主要措施

对特朗普政府与拜登政府的矿产资源政策进行梳理,本文揭示了这一期间矿产资源政策的演变趋势。

### 2.1 2017 年之前的美国矿产资源政策

美国的《关键矿产清单》最早可以回溯到查尔斯·肯尼斯·利斯在 1917 年担任战时工业委员会矿产资源顾问时编制的首份非官方工业性质的战略文件和《关键矿产清单》。1917—1939 年,美国共提出了 15 份《关键矿产清单》,涉及的矿产种类也从 1917 年的 4 种增加到了 1939 年的 9 种。而到了第二次世界大战后期,这一清单中的矿产种类进一步扩展至 52 种<sup>[10,12]</sup>。

奥巴马执政后对绿色产业十分重视,因此相关的关键矿产开始扮演越来越重要的角色。2010 年,

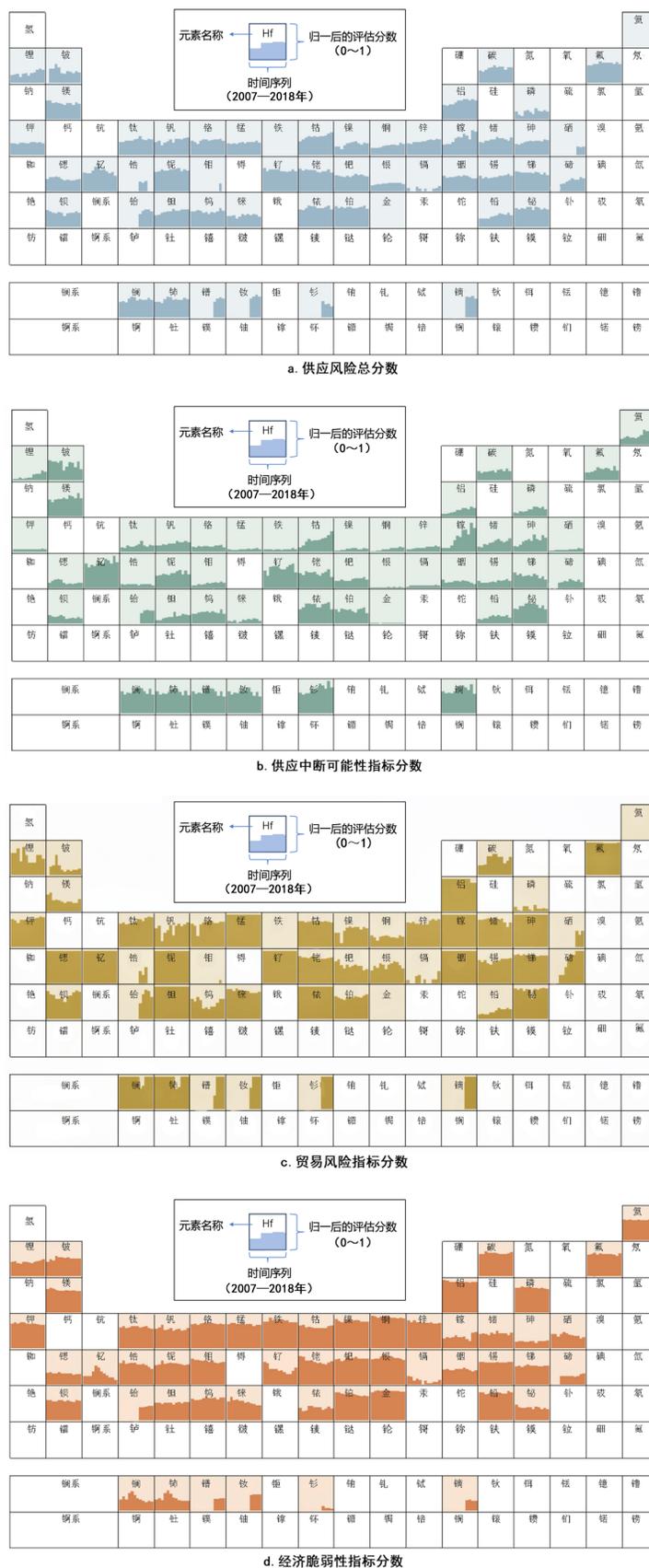


图3 美国《2022年关键矿产清单》的遴选指标及其分数(阴影标注)<sup>[5]</sup>

白宫科技政策办公室组建了关键和战略矿产供应链跨部门工作组,旨在推动供应来源的多样化,减少长期依赖外部关键矿产的风险。2010年12月,美国能源部发布了《关键材料战略2010》,强调了替代材料的开发以及材料回收研发的重要性。2016年,美国国会也关注了关键矿产安全问题,陆续提出了《稀土和关键物资振兴法案》《国家战略和关键矿产政策法案》《稀土供应技术与资源转型法案》《美国矿产安全法案》等法案<sup>[1,13]</sup>。

## 2.2 特朗普政府为保护关键矿产的措施

由于采矿业容易造成环境污染,美国曾一度停止开矿。因此,特朗普政府放开上游采矿许可,增加对供应链安全的重视程度,相继出台13817号总统行政令《关于确保关键矿产安全和可靠供应的联邦战略》《2018年美国关键矿产清单》、13953号总统行政令《解决依赖外国关键矿产对国内供应链构成威胁》3个主要矿产资源政策文件。

特朗普政府的措施之一是要改善采矿业的初始化条件。2017年的13817号总统行政令《关于确保关键矿产安全和可靠供应的联邦战略》主要关注采矿业的上游,旨在改善采矿业的初始化环境<sup>[14]</sup>,具体体现在以下3个方面<sup>[14-15]</sup>:第一,精简许可程序,加快关键矿产的全供应链进程。过去美国国内政策对于采矿业的创新创业存在诸多限制,原因是采矿作业可能对环境产生重大影响。根据相关法律,要获得全面运营采矿的许可大约需要7~10年时间<sup>[16]</sup>。第二,对美国国内关键矿产资源进行摸底,并联合盟友建立关键矿产样本的全球数据库,以确保关键矿产的安全供给,同时,确保美国私营矿业企业可以通过电子方式获得美国国土范围内最新地质数据<sup>[17]</sup>。第三,指出政府应寻找其他矿产来源,包括对关键矿产的回收技术以及关键矿产的替代方案进行评估、与盟友的投资和贸易获取关键矿产等。

特朗普政府的措施之二是发布《关键矿产清单》,列举了对美国经济和国家安全至关重要、有潜在供应中断风险的矿产元素。根据13817号行政命令,2018年,美国内政部发布了一份《关键矿产清单》<sup>[14]</sup>。在该清单中,有31种矿产是美国对外国进口超过50%依赖性的矿产,有14种矿产是美国国内产量为零并100%依赖外国进口的矿产<sup>[18-19]</sup>。在这14种美国对外依存度为100%的关

键矿产中,有8种主要来自中国。

特朗普政府的措施之三是优化美国国内矿产供应链,加强美国国内采矿和加工能力。由于美国多项关键矿产对中国严重依赖,2020年,特朗普签署了以“竞争”手段为主的13953号行政命令《解决依赖外国关键矿产对国内供应链构成威胁》,宣布美国进入“国家紧急状态”,明确强调美国对中国稀土矿具有高度依赖性<sup>[20]</sup>。其中,美国80%的稀土依赖于从中国的直接进口,剩余20%的部分也是通过第三方国家从中国进口。

该行政令围绕矿产供应链安全提出了3个方面的措施<sup>[6,21]</sup>。第一,定期调查美国对外国关键矿产的依赖情况,并提出措施以减少对外国对手的依赖,例如,对中国实施关税或配额等进口限制。第二,保护美国国内矿产供应链,加强美国国内采矿和加工能力,包括投资于生产加工设备环节。同时,促进与盟国的合作,帮助盟国在其境内建立可靠的关键矿产供应链。第三,要求相关机构审查各自促进旧矿区再利用的权限,制定针对开发历史矿区以回收关键矿产的激励机制。

## 2.3 拜登政府为保护关键矿产的措施

拜登上台后的政策将新能源技术与关键矿产的关联视为重要的考量因素。在拜登政府执政时期,美国提出了14017号行政令《美国的供应链》《建立弹性供应链,振兴美国制造业,促进基础广泛增长:第14017号行政令下的百日审查》《2022年美国关键矿产清单》《芯片与科学法案》(第10359条)4个主要矿产资源政策文件。

拜登政府的措施之一是制定关键矿产的可持续性标准。2021年2月24日,拜登总统签署第14017号行政令《美国的供应链》,强调美国需要弹性、多样化和安全的供应链保持经济繁荣和国家安全<sup>[21]</sup>。作为对该行政令的补充,2021年6月8日,拜登政府发布根据第14017号行政令对“美国的供应链”进行短期审查的结果报告《建立弹性供应链,重振美国制造业,促进广泛增长》<sup>[3]</sup>。针对“关键矿产和材料”,该报告指出美国部分关键矿产和材料对外依存度高且供应链不稳定,对单一来源国(特别是中国)的依赖性对美国关键矿产供应链构成主要威胁<sup>[18-19]</sup>。报告提出3个方面的建议:第一,为关键矿产密集型产业制定可持续性标准,在经营活动中,将给予被评为最佳环保实践的企业经济奖

励。第二, 扩大国内环境可持续生产和加工能力, 为含有关键矿产的报废物品建立统一的收集程序。例如, 锂离子电池材料(镍、钴、锂)和电动马达中的关键矿产(稀土元素)。第三, 与盟友合作, 确保关键矿产的可靠供应。例如, 2023年3月, 美国与日本就清洁能源技术的关键矿产达成贸易协议, 在此之前, 美国与欧盟计划组建关于电动汽车关键矿物的“关键矿产买家俱乐部”<sup>[22]</sup>。

拜登政府的措施之二是完善《关键矿产清单》, 加强关键能源材料供应链安全。2022年2月, 美国地质调查局发布了最新的《2022年美国关键矿产清单》<sup>[22-23]</sup>。该目录与《2018年美国关键矿产清单》相比有2个主要变化: 一是新增加了镍和锌等两种矿产; 二是剔除了氦、钾、铯、铟和铷等5种矿产<sup>[24]</sup>。

拜登政府的措施之三是对清洁能源所需的关键矿产进行开采以及确保开采与加工过程的环保性, 即通过开源与节流, 维护未来能源安全。《2022年芯片与科学法案》中第10359条围绕未来能源安全与矿产业可持续性提出了3个方面措施<sup>[25]</sup>。一是回收, 投资于矿产的循环利用技术和加工技术, 研究矿区微生物和地球化学的演变过程。二是节流, 注重采矿和加工过程的节能环保, 推动

关键矿产的加工技术向节能方向改进, 推动采矿技术向环保方向改进。三是开源, 促进与盟友的合作, 与盟友建立关键能源材料供应问题情景建模系统, 以促进关键能源材料供应链安全。

#### 2.4 美国关键矿产政策出台的背景及对中国的影响

特朗普政府和拜登政府的矿产资源政策循序渐进, 特朗普强调供应链安全, 拜登强调关键能源矿产的供应链安全与环境可持续发展的整合。

特朗普政府力图扩大美国国内矿产供应链, 加强本土采矿和加工能力, 这是由于特朗普意识到美国在半导体、新能源等新兴产业所需的矿产元素上对中国严重依赖。在《2018年美国关键矿产清单》中, 有8种元素主要依赖中国进口, 包括稀土元素、砷、铋、锗、镓、石墨、铟和铊, 依赖比例分别为80%、91%、69%、58%、32%、37%、34%和46%<sup>[1]</sup>, 而这些元素是光电器件与新能源所必需的材料。其中, 元素周期表右侧的Ⅲ族和Ⅳ族元素搭配而成的第二代复合半导体材料(如砷化镓)具有比硅基半导体更优越的性能, 其具有电子迁移率高(是硅的5~6倍)、禁带宽度大(砷化镓为1.43 eV, 硅为1.1 eV)、本征载流子浓度低、光电特性好以及耐热、抗辐射性能好和对磁场敏感等优良特性, 能够满足高精尖技术的需要<sup>[26]</sup>。

表1 2010—2022年美国主要矿产资源相关政策及内容

| 时间    | 文件名称   | 政策内容  |
|-------|--|---|
| 2018年 | 《2018年美国关键矿产清单》                              | 列举了对美国经济和国家安全至关重要、有潜在供应中断风险的矿产元素, 此清单事关未来中美地缘的竞争与合作                           |
| 2020年 | 13953号总统行政令《解决依赖外国关键矿产对国内供应链构成威胁》            | 宣布美国进入“国家紧急状态”, 并提出4个方面措施, 并强调稀土领域依赖于中国的严重性, 建立关键矿产供应链的重要性                    |
| 2021年 | 14017号行政令《美国的供应链》                            | 全面审查关键矿产的供应链, 确定国防部长的职责并确定潜在威胁, 以提供政策建议与应急措施                                  |
| 2021年 | 《建立弹性供应链, 振兴美国制造业, 促进全面增长: 第14017号行政令下的百日审查》 | 指出美国矿产供应链目前遇到的难题, 从而提出制定可持续发展标准、扩大国内生产和加工能力、增加储备、促进国际合作等7个方面建议                |
| 2022年 | 《2022年美国关键矿产清单》                              | 美国地质调查局发布了最新的50种关键矿产目录, 其与《2018年美国关键矿产清单》相比有两个主要变化                            |
| 2022年 | 《芯片与科学法案》                                    | 提出了围绕能源安全和矿产可持续性的3个政策目标(投资循环利用技术、注重节能环保、促进盟友合作), 旨在提高关键材料的利用效率, 降低能耗, 并吸引相关人才 |



因素<sup>[1, 33]</sup>。在新能源领域, 锂是非常重要的矿产元素, 然而中国锂矿储量仅占全球的 7% 左右, 南美洲和澳大利亚储量约占全球的 80%, 2022 年, 加拿大与澳大利亚以“国家安全”为由, 对中国在其关键矿产公司的投资进行剥离或审查<sup>[34]</sup>。未来, 美国有可能进一步提升对关键能源矿产的关注度, 因此, 在产业下游新能源汽车的需求急速扩大的同时, 产业上游锂、钴、镍和锌等矿产安全也需要引起中国警惕。

### 3 结论与启示

在大国竞争加剧的背景下, 提升关键矿产安全对于发展新兴产业和满足国防安全需求具有重要意义。自二战以来, 美国的关键矿产政策从一开始旨在满足国家紧急情况下的需求, 直到今天在贸易自由化和全球化背景下, 中国作为制造业大国凭借供应链能力参与全球化, 引起了特朗普政府对美国本土制造业以及关键矿产的重视, 拜登政府将关键矿产战略进一步扩大为对未来产业的重视。因此, 中国也应积极采取措施, 综合运用政策标准、技术研发、产业发展和资源外交等手段, 为矿产资源安全与新兴产业发展创造良好的内外环境。

#### (1) 重视关键矿产的安全性。

美国基于对未来产业需求和供应链安全的判断制定关键矿产政策, 值得中国关注与借鉴。特朗普政府的目标是保障整个矿产供应链的安全, 尤其是稀土矿的供应链安全, 因为稀土是未来高精尖技术的重要原材料。拜登政府的目标是保障未来产业发展与安全, 因此重视新能源所需矿产的安全, 以支持国防安全与能源安全的深度融合。

美国对关键矿产的关注是基于“安全性”与“需求性”两个方面的考量。“安全性”指供应安全, 关键矿产具有资源稀缺性和技术稀缺性, 需要通过内政与外交手段维护供应链安全。“需求性”指关键矿产具有的物理性质的特殊性使其能够作为未来高精尖技术产业的重要原材料。

美国的政策方向是保障矿产资源能够满足未来产业需求, 中国应当予以充分重视。第一, 中国一直十分关注美国的人工智能政策、芯片政策和能源政策等未来产业政策, 今后应对美国矿产资源政策予以更多关注, 因为原材料是未来产业的基础。第二, 中国正在积极推动新能源和储能等新业态的

发展, 与此同时, 还应该发展上游关键矿产的产业链条, 以确保关键能源材料安全。第三, 稀土加工技术是中国的优势。然而预计到 2035 年, 由于锂的可回收量增加, 锂矿的需求量将减少。因此, 届时中国的稀土加工技术优势将增加其在中美科技博弈中的筹码。

(2) 借鉴美国出于国家安全视野分析关键矿产界定的定量方法。

美国针对“供应风险”对矿产进行定量评估, 并以此指标遴选出《关键矿产清单》, 将“供应风险”定义为以下 3 个因素的组合: 外国供应中断的可能性(集中度)、美国制造业对外国供应的依赖性(依赖度)、美国制造业对供应中断的脆弱性(不稳定性)。这 3 个因素都可能导致某个“关键矿产”供应风险的增加, 从而使其被纳入《关键矿产清单》中。例如, 稀土的外交稀缺性体现在其产地集中在中国, 因此美国不断寻找中国以外的稀土来源。

在遴选关键矿产时, 中国应同时考虑多重因素的影响, 借鉴美国复合指标评估方法对矿产供应风险进行定量评估。同时, 还应定期评估并更新未来新能源以及其他新兴产业所需矿产清单, 旨在提前进行产业布局。

(3) 加强与其他国家合作, 确保中国稀土供应链安全。

未来中美两国的地缘竞合将围绕图 4 右上角象限中的 11 种矿产在非洲和南美洲展开, 中国需要提前预判并应对。虽然从长远来看, 回收利用、矿产加工、材料效率、国产替代和国内生产的改进可能会减少进口依赖和资源竞争, 但在短期内, 这些因素往往受到现有技术、现有制造资本和长期开发时间的限制, 因此, 美国和中国将从其他国家获取这些矿产资源。

鉴于美国与发达国家建立了共享矿产信息基础平台, 中国应加快企业参与发展中国家矿产勘探投资的步伐。一方面, 应重点关注上述 11 种矿产资源丰富的国家和地区。另一方面, 还应重点关注稀土与关键能源矿产资源丰富的国家和地区, 因为未来高精尖科技领域会对这些矿产的需求呈现爆发式增长, 无论中国能否自给自足, 未来仍然需要多元化的供应来源。

因此, 中国需要寻找关键矿产的多样化来源,

以降低供应风险。第一, 积极与周边国家在矿业领域展开实质性的地质调查合作, 构建长期稳定的合作机制, 建立战略储备基地。第三, 布局全球, 充分利用中国部分战略性矿产业的产业链条和技术优势, 加强与资源所在国的合作, 构筑互利共赢的供应链利益共同体。■

#### 参考文献:

- [1] 中国化学与物理电源行业协会. 拜登政府的关键矿产战略将进一步扩大中美竞争面 [EB/OL]. [2023-03-07]. <https://www.ciaps.org.cn/news/show.php?itemid-39324.html>.
- [2] Communications and Publishing office. Interior releases 2018's final list of 35 minerals deemed critical to U.S. national security and the economy [EB/OL]. [2023-03-04]. <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/interior-releases-2018s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us>.
- [3] 赵岚. 百日审查报告: 迈出拜登时代供应链政策第一步 [EB/OL]. [2023-03-01]. <https://www.essra.org.cn/view-1000-2984.aspx>.
- [4] NASSAR N T, FORTIER S M. Methodology and technical input for the 2021 review and revision of the U.S. Critical Minerals List: 2021-1045[R/OL]. [2023-03-05]. <https://doi.org/10.3133/ofr20211045>.
- [5] U.S. Department of the Interior. 2022 Final List of Critical Minerals[R]. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey, 2022.
- [6] 宁静. 关注! 美国在关键矿物领域的战略布局 [EB/OL]. [2023-03-11]. [http://fjlib.net/zt/fjstsgjcx/hwsc/202111/t20211112\\_468520.htm](http://fjlib.net/zt/fjstsgjcx/hwsc/202111/t20211112_468520.htm).
- [7] 张所续, 周季鑫. 美国关键矿产政策演变及战略举措 [J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(2): 12-21.
- [8] STEVEN M F, JOHN H D, Jr, ELIZABETH S S, et al. Comparison of U.S. net import reliance for nonfuel mineral commodities: a 60-year retrospective (1954–1984–2014) [R/OL]. [2023-03-05]. <https://doi.org/10.3133/fs20153082>.
- [9] 吴翠婷. “无可取代”的印尼镍矿禁止出口, 卡了谁的脖子 [EB/OL]. [2023-03-06]. <https://www.huxiu.com/article/419998.html>.
- [10] 刘森, 齐莉娜, 王泽祥, 等. 改性高钙粉煤灰水泥的各项性能研究 [J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(4): 1139-1145.
- [11] NASSAR N T, BRAINARD J, GULLEY A, et al. Evaluating the mineral commodity supply risk of the U.S. manufacturing sector[J/OL]. Science advances, 2020, 6(8)[2023-03-26]. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aay8647>.
- [12] 地质信息交流平台. 《战略性新兴产业之关键矿产研究》出版发行 [EB/OL]. [2023-03-09]. [https://www.sohu.com/a/470144872\\_463571](https://www.sohu.com/a/470144872_463571).
- [13] 于宏源, 关成龙, 马哲. 拜登政府的关键矿产战略 [J]. 现代国际关系, 2021(11):1-8.
- [14] 余韵. 美国实施危机矿产战略行动 [EB/OL]. [2023-03-14]. <http://www.canre.org.cn/info/1366/84346.htm>.
- [15] TRUMP D J. Executive Order 13817: a federal strategy to ensure secure and reliable supplies of critical minerals[EB/OL]. [2023-02-20]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/DCPD-201700922/pdf/DCPD-201700922.pdf>.
- [16] 薛小山. 拜登动用《国防生产法》确保关键矿物生产 能否摆脱对中国依赖 [EB/OL]. [2023-03-06]. <https://www.voachinese.com/a/can-biden-s-invocation-of-dpa-cut-reliance-on-china-in-critical-mineral-20220405/6516725.html>.
- [17] U.S. Department of Commerce. A federal strategy to ensure secure and reliable supplies of critical minerals [EB/OL]. [2023-02-23]. [https://www.commerce.gov/sites/default/files/2020-01/Critical\\_Minerals\\_Strategy\\_Final.pdf](https://www.commerce.gov/sites/default/files/2020-01/Critical_Minerals_Strategy_Final.pdf).
- [18] GULLEY A L, NASSAR N T, XUN S. China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies[J]. Proceedings of the national academy of sciences, 115(16): 4111-4115.
- [19] 期刊编辑部. 美国内政部确定钨、稀土、锂等 35 种关键矿产清单 [J]. 中国地质, 2018, 45(5):1086.
- [20] 中国国际科技交流中心. 美国政府颁布紧急“稀土法令” [EB/OL]. [2023-03-04]. <https://www.ciste.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=73&id=1669>.
- [21] International Energy Agency. Executive Order 13953, addressing the threat to the domestic supply chain from reliance on critical minerals from foreign adversaries and supporting the domestic mining and processing industries[EB/OL]. [2023-03-31]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-10-05/pdf/2020-22064.pdf>.
- [22] The White House. Building resilient supply chains,

- revitalizing American manufacturing, and fostering broad-based growth: 100-Day Reviews under Executive Order 14017[R]. Washington D.C.: The white House, 2021.
- [23] U.S. Department of the Interior. 2022 Final List of Critical Minerals[R]. Virginia: U.S. Geological Survey, 2022.
- [24] 李惜. 美国政府公布新版 50 种关键矿产目录 [EB/OL]. [2023-03-24]. [https://www.cgs.gov.cn/gzdt/dzhy/202202/t20220225\\_691357.html](https://www.cgs.gov.cn/gzdt/dzhy/202202/t20220225_691357.html).
- [25] Congress.Gov. H.R.4346 - Chips and Science Act, Sec. 10359. [2023-03-09]. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346/text>.
- [26] 杜中一. 半导体芯片制造技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 1-164.
- [27] USGS. Interior releases 2018's final list of 35 minerals deemed critical to U.S. national security and the economy [EB/OL]. [2023-03-18]. <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/interior-releases-2018s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us>.
- [28] 科技外事处. 美国关键矿产政策演变及战略举措 [EB/OL]. [2023-03-13]. <http://zrzy.hebei.gov.cn/heb/gongk/gkml/kjxx/gjll/10711642760088653824.html>.
- [29] (日) 吉田隆嘉. 走进奇妙的元素周期表 [M]. 曹逸冰, 译. 海口: 南海出版公司, 2017: 1-168.
- [30] 石宏. 美国为何如此重视稀土? 其在军事领域有多大作用 [EB/OL]. [2023-03-02] [https://www.kepuchina.cn/more/202012/t20201202\\_2855979.shtml](https://www.kepuchina.cn/more/202012/t20201202_2855979.shtml).
- [31] 经济日报. 中国稀土: 36% 储量凭什么承担 90% 以上供应 [EB/OL]. [2023-03-21]. [https://www.chinadaily.com.cn/dfpd/jingji/2012-03/21/content\\_14883596.htm](https://www.chinadaily.com.cn/dfpd/jingji/2012-03/21/content_14883596.htm).
- [32] 夏成宝, 葛文军, 汪定江, 等. 稀土在军事领域的应用 [J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(6): 18-19.
- [33] 于宏源, 关成龙, 马哲. 拜登政府的关键矿产战略 [J]. 现代国际关系, 2021(11): 1-8.
- [34] 汽车 K 线. 警惕西方对锂矿“封锁”, 扼住中国新能源汽车产业“咽喉” [EB/OL]. [2023-03-09]. <https://auto.ifeng.com/c/8La58UozfI3>.

## U.S. “Critical Minerals” Security Strategy and Implications

FENG Jingjing<sup>1,2</sup>, RUI Mingjie<sup>2</sup>, LI Hui<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute for Science of Science, Shanghai 200031;

2. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract:** Mineral resources have become a guarantee of national security and a tool for geopolitical gaming. In recent years, the U.S. has attached great importance to emerging industries and national defense security, and has further reinforced the importance of critical minerals in its national security strategy. The Trump and Biden administrations have introduced a series of policies on mineral resource which encourage the development of extraction and processing technologies. Besides, the List of Critical Minerals is required to be reviewed and updated regularly. The addition of nickel and zinc to the 2022 Critical Minerals List is due to the future layout of the new energy industry and the security of mineral resources supply. This paper focuses on the evolution of mineral resources policy from the Trump administration to the Biden administration, and explores the indicators behind the U.S. List of Critical Minerals.

**Keywords:** critical minerals; mineral policy; supply chain security; industrial development; emerging technologies