



欧盟 2020 版关键原材料清单的认识与启示

吴大天^{1,2}, 赵院冬^{1,3}, 姜平⁴, 周永恒¹, 孙巍¹, 许逢明¹, 王卓¹

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157000;

4. 中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

摘要: 欧盟基于《原材料倡议》(Raw Materials Initiative)第四次更新关键原材料清单, 新的名录中收录了 30 种原材料, 较 2017 年版本增加了 4 个新项目(锂、铝土矿、钛、锶), 减少了氦元素。新的关键原材料清单和相关研究文件的出炉, 是欧盟原材料供给多元化战略的重要延续, 也是对促进欧盟《绿色交易》(Green Deal)2050 年实现气候中立的进一步支撑。本文从欧盟对矿产品需求、关键原材料供应对外依赖度、关键原材料供应链安全稳定性三大背景出发, 将欧盟第四次更新关键原材料清单与以前版本对比, 总结当前欧盟关键原材料清单评估办法和欧盟有关矿产产业政策, 并基于中国、美国、欧盟三大经济体关键(战略性)矿产耦合关系, 结合中国实际分别提出加强国际矿业市场布局、增强国内资源需求的保障能力、提升全产业链增值能力、提升选冶技术和提高回收利用等启示。

关键词: 关键原材料; 矿产品需求; 对外依赖度; 供应链; 矿产产业政策; 欧盟

KNOWLEDGE AND ENLIGHTENMENT OF THE EU LIST OF CRITICAL RAW MATERIALS (2020)

WU Da-tian^{1,2}, ZHAO Yuan-dong^{1,3}, JIANG Ping⁴, ZHOU Yong-heng¹, SUN Wei¹,

XU Feng-ming¹, WANG Zhuo¹

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157000, Heilongjiang Province, China;

4. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Harbin 150086, China

Abstract: The European Union (EU) has updated the list of critical raw materials (CRM) for the fourth time based on the *Raw Materials Initiative* (RMI). The new list includes 30 raw materials, with 4 new items (lithium, bauxite, titanium and strontium) added and one (helium) reduced compared with the 2017 version. The release of the new list and related research documents is an important continuation of the EU supply diversification strategy of raw materials and also further support for the EU's *Green Deal* to achieve climate neutrality by 2050. Starting from the three backgrounds, i.e. the EU's demand for mineral products, the external dependence on the CRM supply, and the

收稿日期: 2022-03-21; 修回日期: 2022-06-13. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“塞尔维亚铜金资源调查”(DD20201162); “东北亚欧洲国际合作地质调查”(DD20221806).

作者简介: 吴大天(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事境外资源潜力评价工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//373189713@qq.com

通信作者: 赵院冬(1981—), 男, 博士, 正高级工程师, 从事境外资源潜力评价工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//zhaoyd1981@qq.com

security and stability of CRM supply chain, the paper summarizes the current assessment methods of CRM list and relevant mineral industry policies in EU by comparing the fourth update of CRM list with previous versions, and puts forward the enlightenment of strengthening the international mining market layout, enhancing the ability to guarantee the domestic resource demand, the value-added capacity of the whole industry chain, as well as the technology of metallurgy and recycling based on the coupling relationship of critical (strategic) minerals between the three economies of China, the United States and EU, and the actual situation of China.

Key words: critical raw material; demand for mineral product; external dependence; supply chain; mineral industry policy; EU

0 前言

人类社会文明发展日新月异,同时对全球矿产资源的消耗也与日俱增.以发展新能源汽车产业为例,据工信部装备工业司《新能源汽车产业发展规划(2021–2035年)》(征求意见稿)预测,到2025年我国新能源汽车动力电源对锂、钴、镍矿产的需求分别为2019年的4倍、3倍、4倍^[1].未来对矿产资源的需求将胜过对油气资源的需求,各国今后在矿产资源领域的竞争将更加激烈,因此能源矿产资源的稳定安全供给成为各国社会经济健康发展的重要保障.为此世界各国或地区根据各自需求,建立不同的国家战略性或关键性矿产(原材料)清单,并实施国家产业政策^[2–4].2020年9月初欧盟委员会以《研究欧盟关键原材料清单(最终报告)》的形式公布了新的欧盟关键原材料(Critical Raw Materials, CRM)名录,新的名录中收录了30种原材料,较上一版本(2017年)的增加了4个新项目(锂、铝土矿、钛、锶),减少一种元素(氦)^[5–10].这是自2011年以来,欧盟基于《原材料倡议》(Raw Materials Initiative, RMI)第四次更新关键原材料清单.同时还发布了《欧盟战略技术和行业所需的关键原材料:前瞻性研究》《关键原材料韧性:找出一条更安全和更可持续供应的路径》等文件和报告,进一步阐明关键原材料对于欧盟的重要意义,并提供了欧盟可持续发展的建议^[5–10].

新的关键原材料清单和相关研究文件的出炉,是欧盟原材料供给多元化战略的重要延续,也是对促进欧盟《绿色交易》(Green Deal)2050年实现气候中立的进一步支撑^[11–13].这也是继2019年美国公布关键材料清单之后,又一个世界性大区组织公布关于关键原材料方面的规划,对今后国际矿业产业和相关经济发展具有重要影响,尤其是组建“欧洲原材料联盟”、加强

循环利用和拓展第三国采购实现供应多元化等政策将对我国能源资源安全保障、战略性矿产开发利用和国内矿业产业结构调整产生深刻影响.因此,加强对欧盟关键原材料清单及相关产业政策的研究,对于制定我国国家战略性矿业政策具有重要的意义.

1 欧盟原材料清单出台的背景

1.1 未来全球对矿产品需求将不断增长

从全球范围内可以看到,由于人口增长、工业化、交通能源等工业部门的脱碳行动、发展中国家的需求增加和新能源新材料技术的研发利用,对原材料的需求将不断增长.世界银行预测,到2050年,全球对铝、钴、铁、铅、锂、锰、镍等相关金属的需求将增长10倍以上^[14–15].而欧盟评估,在电动汽车电池和能源储存方面,到2030年,欧盟对锂和钴的需求将分别增加18倍和5倍,到2050年将分别增加近60倍和15倍^[14–15].到2050年,对于用作永磁体(如电动汽车、数字技术、风力发电机)的稀土需求可能会增长10倍^[16–17].

1.2 关键原材料供应对外依赖度高

欧盟是全球重要经济体之一,经济总量全球占比约1/5,同时对资源的消耗占比也较大,约为1/5^[5,8–9].然而其本土地区经过200多年大强度的矿业开发,从20世纪80年代以来受优质资源日趋枯竭、开发成本不断高企、环境保护政策严苛等困境和现实影响,矿产品开采逐年双下降——世界占比下降,产量也下降.据统计,欧洲地区(含俄罗斯、土耳其)2018年矿产品产量占世界矿产品总产量的8%,比20世纪80年代峰值下降了约43%^[5–6].目前虽然也有一些矿山在运行,但对于欧洲地区经济发展和民生需求的保障能力在下降.

在欧洲,制造业(即最终产品的生产和应用)和精

炼工业(冶金等)往往被认为比采掘业(采矿活动等)更重要,欧洲工业并没有完全和均匀地覆盖原材料产业链,上游产业(开采、选矿)和下游步骤(制造和使用)之间存在着明显的不平衡。对于许多原材料,欧盟没有参与到价值链的上游环节,如没有提取铈、铍、铋、硼酸盐、钼、铌、PGE、稀土、钽、钛、钒、锆等的产业^[5-6]。原因可能是:1)欧洲地区受成矿地质条件制约没有相关矿产;2)即使有,从现有全球供给链来看采选冶产业链不经济;3)社会民众因担忧矿山勘探、开采、矿石加工引发资源环境问题而进行的抵制。然而,对矿石和精矿等初级材料以及加工和精炼材料的需求,对欧洲工业及其相关工作和经济财富,甚至是生存,都是至关重要的。为了满足本国工业和市场需求,欧盟成员国别无选择,只能从其他国家进口未经加工或精制的原材料。目前其工业和经济所需的大多数原材料75%~100%依赖进口。

1.3 关键原材料供应链安全稳定性风险

欧盟认为许多原料目前只能在少数几个国家获取,特别是从中国进口,将增加其价值链脆弱性和供应短缺的风险^[1,6,9]。据欧盟的CRM总数量统计,中国是全球66%的关键原材料的主要供应国,是欧盟44%关键原材料主要供应国^[5]。这包括所有的稀土和其他关键原材料,如镁、钨、铋、镓、锗等。除中国外,其他国家也是某些原材料的重要全球供应商,如俄罗斯和南非是铂族金属的全球两大供应国,美国是铍的最大供应国,巴西是铌的最大供应国^[1-2]。上述原材料的安全稳定供应将直接影响全球经济发展和社会安定。同时欧盟对金属的加工、冶炼和精炼产业的高度集中感到忧虑,认为这会进一步增加供应中断的可能性,对相关国家基于自身工业产业需要和资源利用能效考虑,对稀土等原材料、精矿和金属的出口管控措施看作是贸易扭曲。

此外突如其来的新冠肺炎疫情考验了全球原材料供应链,使得欧盟、美日等国家地区进一步谋划其原材料和中间产品的供应链全球布局和组织,特别着力解决供应来源高度集中、存在供应中断风险的问题^[2-3,9]。

对于本国自然资源有限的国家和区域经济来说,确保获得这种关键原材料的稳定供应已成为一项重大挑战。为了解决人们对为欧盟经济获取宝贵原材料日益增长的担忧,欧盟委员会在2008年发起了“欧洲原

材料倡议”(RMI)。这是一项综合战略,旨在制定有针对性的措施,确保和改善欧盟获得原材料的渠道。其实现供应的多样化,降低对特定国家和市场依赖的途径包括:1)从欧盟和第三国采购初级原材料;2)通过资源效率和循环增加二次原材料供应;3)寻找稀缺原材料的替代品。2019年12月新一届欧盟委员会成立后,制定出台了一系列的欧洲产业政策,其中新的欧洲工业战略提出,要加强欧洲的开放战略自主性,将继续立足于多元化和未受到贸易扭曲的全球原材料市场准入^[9]。

2 欧盟关键原材料清单和评估办法

建立关键原材料清单是RMI的一项优先行动。在此背景下,欧盟委员会于2009年成立了一个定义关键原材料的特别工作组(Ad Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials),作为确定对欧盟至关重要的非能源原材料的支持和咨询小组。该组织于2010年发表的第一份报告《欧盟的关键原材料》(Critical Raw Materials for the EU)提出了许多有价值的结论,其中建议关键原材料的清单应每3年更新一次,定期评估欧盟原材料的临界程度,反映生产、市场和技术发展的需求。

2.1 2020年关键原材料清单与以前版本对比

欧盟委员会在2011年首次发布了第一份CRM清单,从41种非能源、非农业候选原材料中确定了14种。2014年发布了第二份清单,从54种候选原材料中确定了20种。2017年根据改进的评估方法发布了第三份清单,在78种候选原材料中确定27种。2020年9月,从83种单独原材料或66种原材料(包括63种单独原材料和3种分组原材料,即10种单独的重稀土元素、5种轻稀土元素和5种铂族金属),按照经济重要性指数阈值2.8、供应风险指数阈值1,确定了包含30种关键原材料的第四批清单^[10](表1)。

表1 欧盟2020关键原材料清单
Table 1 EU list of critical raw materials (2020)

铈*、钛*、铝土矿*、锂*、铈、轻稀土元素、磷、重晶石、镓、镁、钨、铍、锗、天然石墨、金属硅、铋、钨、天然橡胶、硼酸盐、钽、铌、钨、钼、重稀土、铂族金属、钒、焦煤、钢、磷酸盐岩、萤石

注:*为在2017年清单基础上2020年新增。

与2017年原材料清单相比,2020年的增加了铝

土矿、锂、钛和锶,去掉了氦.其中铝土矿、锂、钛也是2017年的候选材料,但当年未入选.2020年评估候选原材料中增加了砷、镉、铟、锆和氢5种,但最后只有铟入选^[8,10].

2.2 当前欧盟关键原材料清单评估办法

欧盟委员会和关键原材料定义特别工作组共同制定和更新欧盟关键原材料评估的方法.基于2011年和2014年采用的评估方法,欧盟委员会内部市场、工业、创业和中小企业总司在2015年与欧盟委员会联合研究中心建立了一个内部行政机构,进行一项用于欧盟的关键原材料评估方法的研究^[18-19].该研究产生了一种评估原材料临界性的精细化方法,该方法被应用于2017年和2020年关键原材料的评估.新的评估办法作了有针对性的改进,同时尽量使结果与以前的评价保持可比性.

评估工作从经济重要性和供应风险两个方面开展.其中:经济重要性(Economic Importance, EI)根据

给定材料在欧盟最终用途的重要性及其替代品在这些应用中的份额和增值进行计算;供应风险(Supply Risk, SR)基于衡量某一特定材料供应中断风险的因素(例如,供应集中度/瓶颈、进口依赖程度、由全球治理指标衡量的治理绩效、贸易限制和协议、替代品的存在性和临界性、报废回收率等)计算^[18-19](图1).

(1)经济重要性评估的公式如下^[18]:

$$EI = \sum_s (A_s \cdot Q_s) \cdot SI_{EI}$$

其中, EI—经济重要性; A_s —给定原材料在欧盟经济活动统计分类的终端使用占比(2位小数); Q_s —在欧盟经济活动统计分类增值部分; SI_{EI} —与经济重要性有关的一种原材料的替代指数; s —分类.

(2)供应风险性评估公式^[18]:

$$SR = \left[(HHI_{WGI,t})_{GS} \cdot \frac{IR}{2} + HHI_{WGI,t})_{EU\text{ sourcing}} \left(1 - \frac{IR}{2} \right) \right] \cdot (1 - EOL_{RRR}) \cdot SI_{SR}$$

其中, SR—供应风险; GS—全球供应,即全球供应国

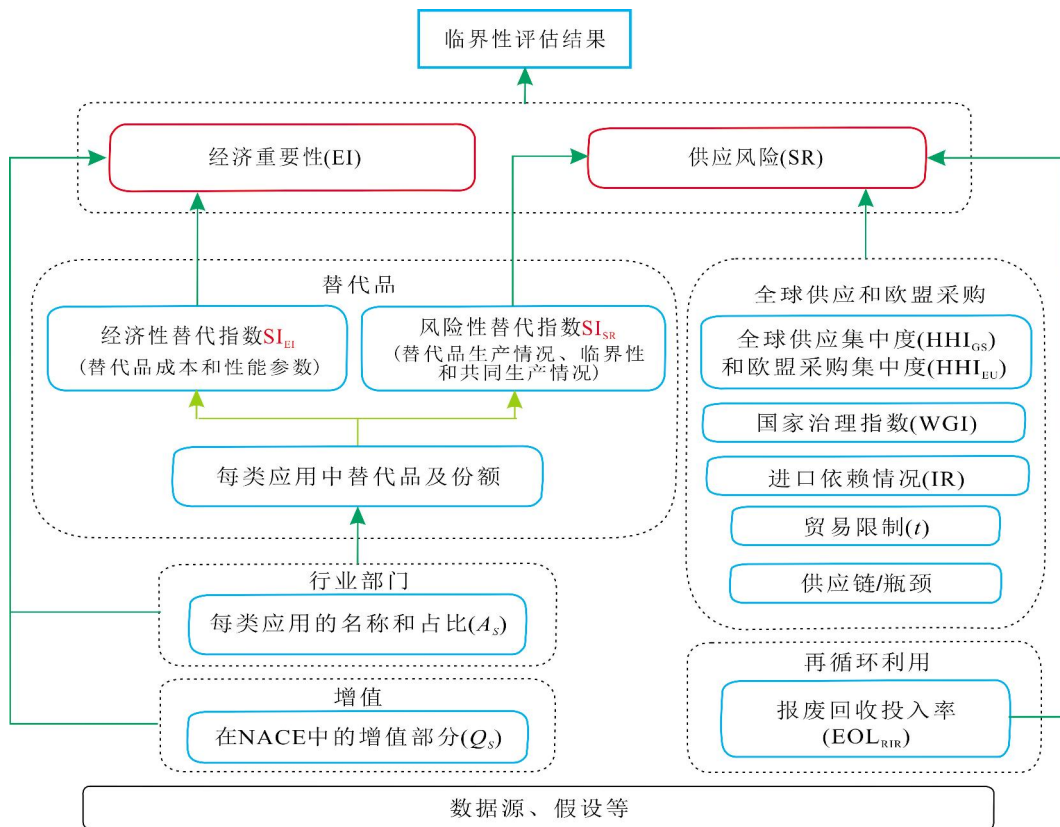


图1 欧盟关键矿产评估流程图
(据文献[18])

Fig. 1 Evaluation flowchart of critical raw materials in the EU
(From Reference [18])

家组合; $EU_{sourcing}$ —向欧盟供应的实际来源,即欧盟国内生产加上向欧盟进口的; HHI —赫芬达尔-赫希曼指数(代表供应国家集中程度); WGI —世界治理指数(代表国家治理); t —对应 WGI 的贸易参数; IR —进口依赖指数; EOL_{RR} —报废回收投入率; SI_{SR} —与供应风险有关的替代品指数。

相关参数及其计算过程请参阅文献[20]。

关键原材料清单意在标示重要原材料对欧盟经济的供应风险^[9]。从欧盟 2020 年 CRM 与 2017 年 CRM 在 SR 和 EI 上的变化图(图 2)看,经济重要性指数 EI 阈值为 2.8, 66 种原材料中有 52 种符合经济重要性条件,选择性不显著;而供应风险性指数 SR 以 1 为阈值,所有受评估原材料供应风险高和供应风险相对低的数量接近,尤其是大量原材料的 SR 值在 1 附近,如非关键矿产原材料铬铁矿、锡、钼、锰、钾盐等 SR 值为

0.8~0.9,很接近 1,而关键性原材料的天然橡胶、磷酸盐岩、钨、萤石、焦煤等 SR 值为 1~1.2。因此 SR 是决定能否成为关键原材料的重要指标, SR 值轻微变化对于是否能成为关键性原材料具有较大的影响。 SR 的计算公式较为复杂,内部涉及供应采购集中度、供应链限制、进口依赖度、废品回收率等参数较多,各参数也有自身复杂的计算公式,而且采用数据的客观性、完备性、准确性、稳定性也会对结果产生较大影响。未来计算公式的选取以及欧盟和国际市场新数据质量和可能的演变可能会影响未来的名单^[18-19]。

从图 2 看出,评估的 66 种原材料中大部分(无论是否为关键原材料)的经济重要性在增加, EI 数值增加的占大多数,凸显了经济社会活动,尤其是可再生能源、电动汽车、数字信息、国防军工等方面对有关原材料(如轻重稀土、铌、铂族、锂)的旺盛需求和价值提

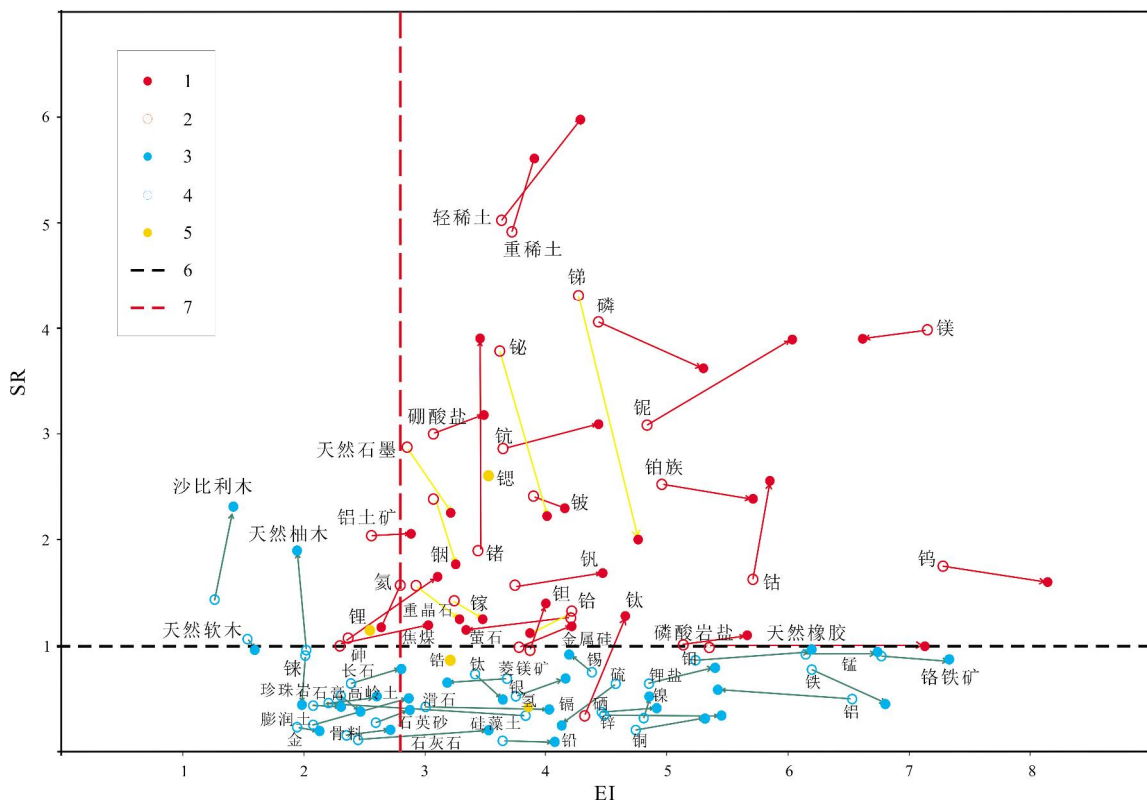


图 2 欧盟 2020 年和 2017 年重要原材料经济重要性与供应风险关系变化图 (据文献[10])

Fig. 2 Changes in the relationship between EI and SR of CRM in the EU in 2020 and 2017 (From Reference [10])

1—2020 年 CRM 清单内 (included in 2020 CRM list); 2—2017 年 CRM 清单内 (included in 2017 CRM list); 3—2020 年 CRM 清单外 (excluded in 2020 CRM list); 4—2017 年 CRM 清单外 (excluded in 2017 CRM list); 5—2020 年新进入清单者 (new item in 2020 list); 6—供应风险阈值 (SR threshold); 7—经济重要性阈值 (EI threshold)

80%的铋-镓-锗、74%的磷-锑、69%的天然石墨-钨,还有十几种原材料我国供应全球需求超过38%^[1,24-25]。中国提供了欧盟所需的99%的轻稀土、98%的重稀土、93%的镁、69%的钨、66%的钽、49%的铋、47%的天然石墨和45%的钛等^[1,24-25],具有种类多、占比高、影响大的特点,掌握着全球矿产品及加工品供应链的关键环节。然而我国矿产品价值链整体仍以低值、初中级材料为主,在高端材料和高端成品研发应用方面与世界强国存在差距。综上所述,笔者得出的主要启示如下。

(1)积极实施走出去战略,加强国际矿业市场布局,为境外矿业投资的中资企业进行技术支持,并拓宽融资渠道,促进形成新的国际矿业新格局,保障我国能源矿产需要。

(2)进一步摸清家底,对国内战略性资源存量进行动态监控,并加强宏观管理力度,加大战略性矿产资源调查勘查投入,支持相关创新研究和勘查工作,增强国内资源需求的保障能力。

(3)提升全产业链增值能力,特别是增强下游产业布局,提高中国制造业水平,增强国际高端竞争力。

(4)加大科研投入,提升选冶技术,促进资源难选冶问题的解决,加大知识产权保护力度;同时加强科学普及,提升全民素质,实行垃圾分类管理,提高回收利用率,延长原材料使用周期。

参考文献(References):

- [1]段绍甫. 我国有色金属矿产资源地位与全球矿业开发格局变化趋势[J]. 中国有色金属, 2021(8): 58-61.
Duan S P. The status of China's non-ferrous metal mineral resources and the changing trend of the global mining development pattern[J]. China Nonferrous Metals, 2021(8): 58-61. (in Chinese)
- [2]葛建平, 刘佳琦. 关键矿产战略国际比较——历史演进与工具选择[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1464-1476.
Ge J P, Liu J Q. International comparison of critical mineral strategies: Historical evolution and tool selection[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1464-1476.
- [3]张所续, 罗晓玲. 美国关键矿产政策内涵的演变与启示[J]. 中国矿业, 2020, 29(12): 15-21.
Zhang S X, Luo X L. The evolution and enlightenments of the connotation of critical mineral policies in the USA[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(12): 15-21.
- [4]陈其慎, 张艳飞, 邢佳韵, 等. 国内外战略性矿产厘定理论与方法[J]. 地球学报, 2021, 42(2): 137-144.
Chen Q S, Zhang Y F, Xing J Y, et al. Methods of strategic mineral resources determination in China and abroad[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(2): 137-144.
- [5]李丹. 欧盟关键原材料循环利用发展对我国的启示[J]. 冶金经济与管理, 2019(4): 42-46.
Li D. Enlightens to the development of critical raw materials and the circular economy in Europe[J]. Metallurgical Economics and Management, 2019(4): 42-46.
- [6]朱琳. 欧盟反思关键原材料供应[J]. 经营者(汽车商业评论), 2020(11): 102-105.
Zhu L. EU rethinks key raw material supply[J]. Auto Business Review, 2020(11): 102-105.
- [7]朱永康. 天然橡胶再次被列入欧盟关键原材料名单[J]. 橡胶科技, 2020, 18(11): 654.
Zhu Y K. Natural rubber is listed in the EU CRM again[J]. Rubber Science and Technology, 2020, 18(11): 654. (in Chinese)
- [8]王祝堂. 欧盟将铝土矿列入关键原料清单[J]. 轻金属, 2021(7): 41.
Wang Z T. EU adds bauxite to List of Critical Raw Materials[J]. Light Metals, 2021(7): 41. (in Chinese)
- [9]冯瑞华, 万勇. 欧盟关键原材料需求与供应风险分析[J]. 新材料产业, 2021(1): 20-23.
Feng R H, Wan Y. EU Critical raw material demand and supply risk[J]. Advanced Materials Industry, 2021(1): 20-23. (in Chinese)
- [10]王欢. 欧盟发布30种关键矿产与来源国清单[J]. 中国地质, 2021, 48(2): 674-675.
Wang H. The European Union has released a list of 30 key minerals and countries of origin[J]. Geology in China, 2021, 48(2): 674-675.
- [11]Frantzas S. Driving the EU's green transformation CEFIC sees European chemical industry as key player in delivering EU Green Deal[J]. Chemical Week, 2020, 182(17): 28-29.
- [12]Jägemann C, Fürsch M, Hagspiel S, et al. Decarbonizing Europe's power sector by 2050: Analyzing the economic implications of alternative decarbonization pathways[J]. Energy Economics, 2013, 40: 622-636.
- [13]Pietzcker R, Osorio S, Rodrigues R. Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector[J]. Applied Energy, 2021, 293: 116914.
- [14]邢佳韵, 陈其慎, 张艳飞, 等. 新能源汽车发展下锂钴镍等矿产资源需求展望[J]. 中国矿业, 2019, 28(12): 67-71.
Xing J Y, Chen Q S, Zhang Y F, et al. Related mineral demand forecast under the development of global new energy automobile[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(12): 67-71.
- [15]王晓明. 钴在新能源汽车动力电池中的应用前景分析[J]. 新材料产业, 2021(3): 50-54.

- Wang X M. Application prospect of cobalt in new energy vehicle power lithium battery[J]. *Advanced Materials Industry*, 2021(3): 50-54. (in Chinese)
- [16]王利俊, 田德, 王海宽, 等. 稀土永磁发电机的发展现状及其在风力发电机上的应用[J]. *农村牧区机械化*, 2006(4): 42-45.
Wang L J, Tian D, Wang H K, et al. Development status of rare earth permanent magnet generator and its application in wind turbine [J]. *Mechanization of Rural and Pastoral Areas*, 2006(4): 42-45. (in Chinese)
- [17]王玉国. 浅谈稀土永磁材料在风电产业中的应用前景[J]. *新材料产业*, 2010(12): 11-14.
Wang Y G. The application prospect of rare earth permanent magnet materials in wind power industry[J]. *Advanced Materials Industry*, 2010(12): 11-14. (in Chinese)
- [18]郭晓茜, 李建武. 国外研究机构关键矿产评价方法综述[J]. *中国矿业*, 2017, 26(9): 25-32.
Guo X Q, Li J W. An overview of critical mineral resource evaluation by foreign institutions[J]. *China Mining Magazine*, 2017, 26(9): 25-32.
- [19]郭娟, 闫卫东, 徐曙光, 等. 中国关键矿产评价标准和清单的探讨[J]. *地球学报*, 2021, 42(2): 151-158.
Guo J, Yan W D, Xu S G, et al. A discussion on evaluation criteria and list of critical minerals in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2021, 42(2): 151-158.
- [20]Giovanni B, Blagoeva D, Dewulf J, et al. Assessment of the methodology for establishing the EU List of Critical Raw Materials [R]. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission):2017, 10.2760/130462.
- [21]于宏源, 邵律. 欧盟资源政治经济战略和对中国的启示[J]. *上海经济*, 2017(1): 41-47.
Yu H Y, Shao L. EU's resource political economy strategy and its enlightenment to China[J]. *Shanghai Economy*, 2017(1): 41-47.
- [22]武秋杰, 吕振福, 曹进成, 等. 国内外镓资源分布供需及镓产业链发展现状研究[J]. *矿产综合利用*, 2021(5): 38-44.
Wu Q J, Lv Z F, Cao J C, et al. Study on distribution and supply of gallium resources domestically and abroad and the present situation of the industry Chain of gallium[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(5): 38-44.
- [23]侯增谦, 陈骏, 翟明国. 战略性关键矿产研究现状与科学前沿[J]. *科学通报*, 2020, 65(33): 3651-3652.
Hou Z Q, Chen J, Zhai M G. Current status and frontiers of research on critical mineral resources[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(33): 3651-3652.
- [24]陈其慎. “战略性矿产研究”专辑特邀主编寄语[J]. *地球学报*, 2021, 42(2): 129-136.
Chen Q S. Guest editor's preface to the "Strategic Mineral Resources Research" [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2021, 42(2): 129-136.
- [25]成金华, 刘凯雷, 徐德义, 等. 战略性关键矿产资源可供性研究现状与展望[J]. *河北地质大学学报*, 2021, 44(1): 95-103.
Cheng J H, Liu K L, Xu D Y, et al. Review of the research on strategic and critical mineral resources availability [J]. *Journal of Hebei Geo University*, 2021, 44(1): 95-103.

(上接第 160 页/Continued from Page 160)

- [14]马鸿霖, 贾伟洁, 付长亮, 等. 沙特阿拉伯吉达东北部地质构造与蚀变信息提取及找矿有利部位预测[J]. *国土资源遥感*, 2019, 31(3): 174-182.
Ma H L, Jia W J, Fu C L, et al. Extraction of geological structural and alteration information and the prediction of metallogenic favorable locations in northeastern Jeddah, Saudi Arabia[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2019, 31(3): 174-182.
- [15]王洪作, 王丹, 张云龙, 等. 沙特阿拉伯 Jabal Twalah 地区铀/钍矿化特征与成矿机制[J]. *地质学报*, 2021, 95(12): 3828-3841.
Wang H Z, Wang D, Zhang Y L, et al. Characteristics and genesis of uranium-thorium mineralization in Jabal Twalah, Kingdom of Saudi Arabia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 95(12): 3828-3841.
- [16]于瑞, 张伟波, 陈秀法, 等. 沙特阿拉伯矿业政策变化与投资环境分析[J]. *国土资源情报*, 2022(3): 16-23.
Yu R, Zhang W B, Chen X F, et al. An analysis on mining policy changes and investment environment in Saudi Arabia [J]. *Natural Resources Information*, 2022(3): 16-23.
- [17]中华人民共和国商务部. 对外投资合作国别(地区)指南: 沙特阿拉伯(2019 版)[EB/OL]. <https://www.baogaoting.com/info/12400>. 2020-04-12/2021-02-23.
- Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Foreign Investment Cooperation Country (Region) Guide: Saudi Arabia (2019). [EB/OL]. <https://www.baogaoting.com/info/12400>. 2020-04-12/2021-02-23. (in Chinese)
- [18]World Economic Forum. The global competitiveness report 2019 [EB/OL]. <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2019/>. 2021-02-23.
- [19]赵志中, 龙长兴, 袁小虹, 等. 非洲与阿拉伯世界潜在的地质公园——第一届非洲和阿拉伯地质公园国际大会综述[J]. *地质通报*, 2012, 31(8): 1359-1362.
Zhao Z Z, Long C X, Yuan X H, et al. Potential geoparks in Africa and Arabian world: A review of the First International Conference of African and Arabian Geoparks [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(8): 1359-1362.
- [20]Fu H, Fu B H, Shi P L, et al. International geological significance of the potential Al-Medina volcanic UNESCO Global Geopark Project in Saudi Arabia revealed from multi-satellite remote sensing data[J]. *Heritage Science*, 2021, 9(1): 149.