

中国绿色能源矿产资源保供的隐忧与应对措施

方瑞瑞¹ 刘贵洲² 窦立荣³ 胡 宁⁴ 夏小迪¹ 冯连勇¹

1. 中国石油大学(北京)经济管理学院, 北京 102249;
2. 中国石油国际勘探开发有限公司, 北京 100034;
3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
4. 中国石油国际管道公司, 北京 102200

摘 要:为实现“双碳”目标而进行能源转型已成为全球共识。由于能够决定能源转型的进程,绿色能源矿产资源的重要性不断提升。中国对部分矿产的生产、加工拥有主导能力,但由于“大头在外”,中国在上游矿产资源获取方面仍存在一定劣势。面对复杂的国际形势、居高不下的消费需求,为避免形成系统性风险,中国亟需采取科学制定规划、加大资金投入、深化与“一带一路”重点资源国的矿业合作等一系列措施,快速提升绿色能源矿产的供应韧性并主动参与矿产资源的全球治理。

关键词:绿色能源;矿产;金属;保供;应对措施

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2024.05.018

Concerns and management measures for assuring the supply of green energy mineral resources in China

FANG Ruirui¹, LIU Guizhou², DOU Lirong³, HU Ning⁴, XIA Xiaodi¹, FENG Lianying¹

1. School of Economics and Management, China University of Petroleum-Beijing, Beijing, 102249, China;
2. China National Oil and Gas Exploration and Development Company Ltd., Beijing, 100034, China;
3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing, 100083, China;
4. PetroChina International Pipeline Corporation, Beijing, 102200, China

Abstract: Achieving the “dual carbon” goal through energy transformation has become a global consensus. Due to their role in determining the pace of energy transformation, the importance of mineral resources is gaining more and more recognition. Although China has a dominance in the production and processing of certain mineral resources, she still faces certain disadvantages in acquiring upstream mineral resources because the majority of these sources are found abroad. In response to the complex international situation and high consumer demand, to avoid systemic risks, China urgently needs to take measures such as scientifically formulated plans, increase financial investment, and deepen mining cooperation with countries having these key resources along the “Belt and Road” to quickly enhance the supply resilience of green energy minerals. In addition China also needs to actively participate in the global governance of mineral resources.

Keywords: Green energy; Mineral; Metal; Assured supply; Management measures

收稿日期:2024-08-17

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目“基于净能源与碳投入回报的 CO₂ 技术经济评价方法研究”(72274212)

作者简介:方瑞瑞(1989-),女(回族),新疆博湖人,博士研究生,主要从事能源经济研究。E-mail:ruirui.fang2019@163.com

通信作者:刘贵洲(1969-),男,江西九江人,正高级经济师,硕士,主要从事国际能源经济、企业战略和经营管理、碳中和与能源转型研究。E-mail:liuguizhou@cnpcint.com

0 前言

能源转型已成为全球共识,以光伏、风电、电动汽车和储能等为代表的清洁能源技术迎来了蓬勃发展,也显著提升了矿产资源的需求。能源金属是指其主要用途与能源相关的金属^[1]。相较于传统能源,矿产资源供应链更集中^[2]。各国纷纷想要抢占绿色能源矿产资源的制高点。中国由于自然禀赋限制,无法仅凭国内资源满足消费需求,海外矿业资源依然是主要供应来源,“大头在外”的局面导致中国对外依存度高,安全风险显著。美国、欧洲和中国在主要绿色能源矿产资源品类上存在较大重叠,中国被视为首要竞争对手^[3-4]。面对日益严峻的国际形势,中国亟需提升自身绿色能源矿产资源的供应韧性。

1 绿色能源矿产发挥强威力

1.1 左右能源转型效率

矿产资源通过能源技术的创新和高效利用,能够带来“四两拨千斤”的作用,直接决定了能源转型路径及其进展速度。据国际能源署(International Energy Agency, IEA)预测,2040 年全球关键矿产需求将大幅增长,锂增长 42 倍、石墨增长 25 倍、镍增长 19 倍、稀土增长 7 倍。据国际可再生能源署(International Renewable Energy

Agency, IRENA) 的 1.5℃ 情景假设,到 2050 年,几乎 90% 的电力将来自于可再生能源,其中近 60% 的发电总量来自光伏和风能,即 8 000 GW 的风能和 15 000 GW 的太阳能光伏。这意味着从现在到 2050 年,全球平均每年需要新增 250 GW 的风能和 350 GW 的太阳能光伏装机容量。对交通运输用电池的需求将达到约 14 TW·h。至少有 30 种能源转型矿物和金属在能源转型技术中起重要支撑作用,主要包括锂、钴、镍、铬、锰、铂、钒、石墨和稀土元素等。目前,国际上存在多个与矿产资源相关的术语,如“关键矿产”“关键金属”“关键原材料”以及“战略性矿产”等。它们从不同角度对矿产资源进行分类^[5],列入标准也因国家而异,但都具备两个核心要素:具有重要地位;具有高对外依存度、高供应风险。本文的绿色能源矿产是指在能源转型过程中对清洁能源发展起重要支撑作用的矿产资源,也可称为清洁能源矿产资源。笔者在国内学者^[6-8]的研究基础上基于金属与清洁能源技术的关联关系,结合世界银行发布的《气候行动的矿产依赖》^[9]、IRENA 发布的《能源转型的地缘政治:关键原材料》^[10]、IEA 发布的《关键矿产在清洁能源转型中的作用》^[11]、欧盟委员会发布的《欧盟关键原材料清单(2023 年)》^[12]相关内容初步确定了探讨的绿色能源矿产主要种类,见表 1。

表 1 绿色能源矿产资源主要种类表

Tab.1 Main types of green energy mineral resources

种类	名称	主要清洁能源技术	种类	名称	主要清洁能源技术
稀有金属	锂	储能、新能源车	稀贵金属	钴	储能、新能源车、风电、高效电机、氢能
	铌	储能、风电、核能		铂	制氢
	钒	储能、风电		铱	氢能
	铋	储能		银	光伏
	铈	储能		钨	催化环保、光伏、制氢、半导体
	钛	新能源车、地热能、氢能、核能	一般有色金属	铜	电网、光伏、生物能、高效电机、新能源车
	铍	核能		铝	半导体、新能源车、电网、储能
稀土金属	钹	高效电机、风电、新能源车		锡	光伏、半导体
	镨	高效电机、风电、新能源车		钼	光伏、风电
	镱	高效电机、风电、核电		钨	电网
稀散金属	铽	高效电机、风电、半导体		镍	储能、新能源车、地热能
	铈	高效电机、半导体		镁	新能源车、储能
	镉	光伏	黑色金属	锌	风电、储能
	镓	光伏、储能		铅	光伏、风电、氢能、储能
	碲	光伏、制冷、半导体		铬	风电、核能
	锗	光伏、半导体		锰	储能、风电、新能源车
	硒	光伏、半导体		铁	风能、储能
			其他	石墨	储能、新能源车
				硅	光伏

涉及的清洁能源技术主要为光伏技术、风电技术、储能技术、新能源车技术、高效电机技术、氢能技术等。太阳能集中发电技术需要使用铝、铜、镍、铝、银等矿产资源。风力发电需要使用铜、铝、铬、铅、锰、钼、钨、镉、锌等矿产资源。新能源车技术和储能技术则高度依赖锂、钴、镍、稀土、石墨和铂族金属等矿产资源。锂、钴、镍、锰、铅、石墨等组成电池芯中的阳极和阴极材料,直接影

响电池的能量密度、循环寿命和充电速度等性能。虽然不同技术路径对矿物的需求不同,但无论选择哪些低碳技术路径,可再生电力的大规模部署都终将导致绿色能源矿产总体需求增加。

1.2 重塑全球绿色能源矿产产业链

全球绿色能源矿产资源产业链主要有 5 个环节,见图 1。



图 1 全球绿色能源矿产资源产业链示意图

Fig. 1 Global green mineral resource industrial chain

目前各国都在积极争夺市场份额,矿产资源储量丰富的国家可能会顺势突起,占据更加有利的地位,未来全球绿色能源矿产产业链将面临深度调整和重构。澳大利亚正在通过加强国内矿产研发和构建区域中心,谋求成为全球矿产产业链的核心国家。主要消费国家和地区也在通过技术研发和海外投资获取竞争优势。美国 2021 年发布了《美国锂电蓝图 2021—2030》,全面进入锂电产业链;欧盟高度重视电池产业,发布了一系列规划,投入大量资金扶持瑞典的诺斯沃特(Northvolt AB)、法国的 Automotive Cells Company 等本土电池公司以促进新型电池的研发和产业化,计划建立 27 个电池生产基地;韩国拟通过发布规划、投资引导、设立研发基金等推动蓄电池技术快速发展,计划 2030 年抢占全球 40% 市场;日本为在锂电池产业中保持领先地位,2022 年发布计划,目标是到 2030 年大幅提升产能并实现全固态电池的全面商用化。这些举措

未来有可能重塑上述国家在绿色能源矿产产业链中的位置。

2 绿色能源矿产呈现新特点

2.1 储量极低、地理分布过于集中

供需分离和资源垄断是国际矿产资源市场的主要矛盾。不少矿种全球储量少之又少且分布不均,基本集中在少数几个资源富集的国家^[13],开采和冶炼加工也呈现出地理上高度集中的特点。部分绿色能源矿产全球储量及加工能力分布见表 2。储藏开采方面,资源地理集中度、行业集中度很高。加工方面,中国、南非、智利、印度尼西亚、巴西等是中下游产业链中的主导国家,中国稀土产业具有体系性优势^[14],南非是最大的铂族金属生产国,智利是全球第一大铜矿供应国、第二大锂矿供应国,印度尼西亚镍矿的储量、产量位居全球第一。消费方面,矿产消费国主要集中在一些地区性集团,如加拿大、墨西哥和美国,欧盟和英国,澳大利亚、日本和韩

国等。高度集中的资源分布、冶炼加工与高度分散的市场需求之间严重不均衡,存在供应瓶颈风险,加之开发

表 2 部分绿色能源矿产全球储量及加工能力分布表

Tab.2 Global reserves and processing capacities distribution of selected green minerals

名称	储量分布	全球储量 / 10 ⁸ t	2022 年产量 / 10 ⁴ t	加工能力分布
锂	智利 36%, 澳大利亚 24%, 阿根廷 10%, 中国 8%, 美国 4%, 加拿大 4%, 其他 14%	0.260	13	中国 58%, 智利 29%, 阿根廷 10%, 其他 3%
钴	刚果民主共和国 48%, 澳大利亚 18%, 印度尼西亚 7%, 古巴 6%, 菲律宾 3%, 俄罗斯 3%, 加拿大 3%, 中国 2%, 美国 1%, 其他 9%	0.083	19	中国 70%, 印度尼西亚 18%, 芬兰 11%, 其他 1%
铜	智利 21%, 澳大利亚 11%, 秘鲁 9%, 俄罗斯 7%, 墨西哥 6%, 美国 5%, 刚果民主共和国 4%, 中国 3%, 波兰 3%, 印度尼西亚 3%, 哈萨克斯坦 2%, 赞比亚 2%, 加拿大 1%, 其他 23%	8.900	2 200	中国 42.3%, 智利 8.1%, 刚果民主共和国 6.5%, 日本 6.2%, 美国 3.9%, 俄罗斯 4.2%, 韩国 2.5%, 德国 2.4%, 波兰 2.3%, 其他 21.6%
镍	澳大利亚 20%, 印度尼西亚 20%, 巴西 15%, 菲律宾 7%, 俄罗斯 7%, 法国 7%, 加拿大 2%, 中国 2%, 其他 19%	1.040	330	印度尼西亚 39.8%, 中国 23.9%, 日本 5%, 俄罗斯 4.4%, 加拿大 3.7%, 澳大利亚 3.6%, 其他 19.6%
锰	南非 37%, 中国 16%, 澳大利亚 16%, 巴西 16%, 乌克兰 8%, 加蓬 4%, 印度 2%, 加纳 1%	17.000	2 000	中国 93%, 其他 7%
天然石墨	土耳其 27%, 巴西 22%, 中国 16%, 莫桑比克 8%, 马达加斯加 8%, 其他 19%	3.300	130	中国 100%
铬	哈萨克斯坦 41%, 南非 35%, 印度 18%, 土耳其 5%, 芬兰 1%	5.600	4 100	—
钨	中国 45.8%, 澳大利亚 23.1%, 丹麦 8.2%, 缅甸 7.4%, 巴西 4.4%, 印度 2.1%, 其他 9%	—	—	中国 88%, 马来西亚 11%, 爱沙尼亚 1%
镓	中国 48.7%, 缅甸 23.1%, 澳大利亚 7.6%, 美国 2.9%, 加拿大 2.7%, 其他 15%	—	—	中国 100%
铟	南非 88.9%, 津巴布韦 8.1%, 俄罗斯 2.9%, 其他 0.1%	—	—	南非 90%, 津巴布韦 8%, 俄罗斯 2%

数据来源:美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)《2023 矿产商品概况》^[16];IRENA《能源转型的地缘政治:关键原材料》^[10]。

2.2 成为全球博弈的重点和焦点

在能源转型和气候目标刚性约束下,国家间绿色能源矿产的存量分配和增量对比对综合实力的展现具有重要意义,谁掌握了清洁能源矿产资源的主导权,谁就更大程度地掌握了清洁技术高科技产品供给的主动权,也就占据了能源转型的制高点。

自 2011 年开始,美国、日本和欧盟委员会三方就关键矿产定期举办会议。2019 年 9 月,美国与澳大利亚、巴西、刚果民主共和国等共同发起了《能源资源治理倡议》。2022 年 6 月,美国与加拿大、澳大利亚等建立“矿产安全伙伴关系”,协调关键矿产供应链的事务,目前包括十几个合作伙伴。2022 年 12 月,美国、加拿大、澳大利亚等组建了“可持续关键矿产联盟”。2023 年 3 月,《美国和日本关键矿产协议》发布,旨在帮助日本获取美国 2022 年《通胀削减法案》提出的补贴。2023 年 5 月,在 G7 会议上,欧盟和美国达成了矿产金属协议。2023 年 10 月,在首届“全球门户”论坛上,欧盟、美国与刚果

周期很长,市场调节的灵活性差,未来可能导致争夺关键矿产资源的博弈加剧^[15]。

民主共和国、赞比亚、安哥拉等多个非洲国家和金融机构签署了三份谅解备忘录,宣称就“开发关键原材料价值链”和“促进交通运输互联互通”展开合作^[17]。这些矿产“同盟”已经形成了较为完整的清洁能源产业链条,上游涵盖了主要的资源富集和生产国,如澳大利亚、巴西、加拿大等;中游包括了日本、韩国等;下游则包括美国、欧盟、日本、韩国等。一些富矿国家(如南美“锂三角”的阿根廷、玻利维亚和智利)正在讨论建立供应链联盟,以期实现对价格的控制。未来,绿色能源矿产资源的获得性和规则的话语权将是博弈重点。

3 绿色能源矿产量价均堪忧

3.1 中国绿色能源矿产储量基本匮乏

作为全球最大的金属生产和消费国,中国不但自身消费体量大,而且承担国际加工的重要责任。特别是在光伏电池板、风机、电池等低碳能源设备以及新能源汽车的制造和消费领域^[18],据 IEA 发布的《全球电动汽车

展望 2024》,2024 年全球电动汽车销量将达到 1 700 万辆左右^[19],中国占据了全球销量的 50% 以上。但中国存在矿产勘查资金投入不足、激励政策尚不健全等问题。目前,中国大约 2/3 的矿产品需要依赖进口,进口依存度超过 90% 的绿色能源矿产有钴、铬、铌、镍、锰、锆,进口依存度在 50% ~ 90% 的绿色能源矿产有铂族金属、铜、锂、锡、铝、钼、硒、铍、镓、钼、重稀土等,且不少矿产进口来源高度集中,如钴矿 99.5% 来自刚果民主共和国,镍矿 90% 来自菲律宾(曾经来自印度尼西亚,2019 年由于其禁止镍矿出口后易主),铬矿 80% 来自南非,锡矿 80% 来自缅甸。

2000 年以来,全球矿产勘探投入呈现波浪式增长趋势。中国矿产资源勘查投入从 2012 年后开始步入持续下行阶段,2016 年后开始偏离全球矿业市场投资走势^[20]。2022 年,中国矿产勘查投入占全球比例仅 3.1%,这与中国矿产消费大国的地位严重不匹配。加拿大、澳大利亚、美国的勘探投入整体规模分别是中国的 6 倍、5 倍和 4 倍^[21]。地质勘查投入总体乏力,商业性勘查活跃度低,社会投资积极性不高,财税扶持政策等配套政策保障也存在一定不足^[22],这在一定程度上制约了中国矿产资源勘探开发的进程。虽然中国一直在积极布局海外,但随着境外办矿环境逐渐恶化,拓展境外权

益的难度越来越大^[23]。预计 2050 年以前,中国矿产资源消费规模总体上仍维持高位态势,因此要严防未来后备资源不足的问题。

3.2 绿色能源矿产资源价格飙升

清洁能源需求的激增可能导致铜、镍、钴和锂等金属价格连续上涨。根据 IEA 的《可持续发展方案》,到 2040 年,锂、镍和钴的消耗量将分别比 2020 年增长 42 倍、33 倍和 21 倍,而稀土元素、铜和硅的消耗量增长相对较少,分别为 7 倍、3 倍和 2 倍。铜、镍、钴和锂的巨大需求增长将在未来 20 年内推动其产值增长 5 倍,达到 12.9 万亿美元,接近净零排放情景下同一时期石油产值的规模^[24]。2000 年以来,全球金属价格指数的趋势表现出波动中持续上行的态势,2020 年以来,“新冠”肺炎疫情、美元加息等多种因素叠加推升矿产资源溢价严重,使得全球金属价格指数稳定在高位运行,这种上涨趋势预计将持续至 2050 年。2000—2023 年全球金属价格指数趋势见图 2。金属价格的持续上涨可能会通过通胀、贸易和产出等途径影响经济,对于大宗商品生产国可能带来显著利好,但可能打乱或推迟部分国家能源转型的计划。矿产价格上升会导致我国进口矿产的原材料成本增加、工业生产利润下滑、新能源产品出口竞争力下降,进而影响产品的市场份额,整体上来看对我国不利。

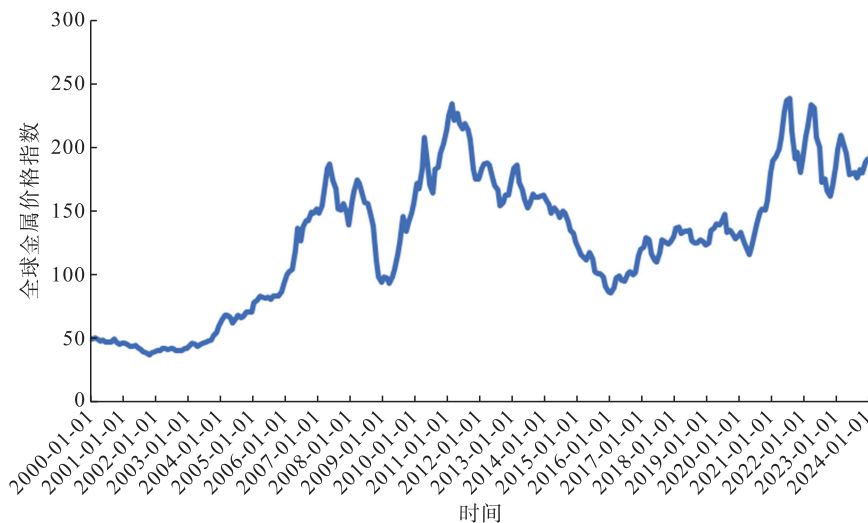


图 2 2000—2023 年全球金属价格指数趋势图

Fig. 2 Global metal price index (2000—2023)

注:2016 指数 = 100,月度,未经季节性调整。

资料来源:美联储^[25]。

4 中国应对绿色能源矿产新风险的措施

4.1 构建自主可控的矿产安全保供体系

随着中国不断向碳达峰、碳中和目标靠近,国内对绿色能源矿产资源的消费需求与日俱增,中国亟需采取一系列对策,建立起自主可控的矿产安全保供体系。一

是要摸清自家家底,科学制定规划,加大资金投入。完善矿产资源保障、激励政策,充分调动社会资金找寻绿色能源矿产的积极性。二是用好全球资源,防止受制于人。拓展多元化的供应渠道有助于减轻来源过度集中带来的不确定性。三是积极开展绿色能源矿产国际合作。深化与“一带一路”重点资源国的矿业合作,重点从

非洲国家拓展供应链。四是有序开采国内矿产,做好循环利用。科学合理地规划和管理开采节奏可以避免因供应过剩或匮乏而导致价格波动和经济不稳定,确保中国经济的稳定、可持续发展。目前全球18种金属的废弃阶段回收率可超过50%,盘活二次资源,做好矿产资源的循环利用也非常重要。

4.2 积极参与矿产资源全球治理

作为全球矿产资源生产、消费和贸易的大国,积极参与矿产资源的全球治理对中国意义深远。中国海外矿业投资项目遍布全球,尤其是以大洋洲和非洲为主,但是这些海外权益资源汇集于少数关键的海上要道,为保障海运安全带来了极大挑战。因此,加大对陆上周边国家如哈萨克斯坦的境外矿业投资也能够提升保障能力。同时,“一带一路”沿线国家中,还有很多资源国都有发展矿产资源的强烈意愿,中国可以在精炼加工环节与这类国家开展合作,此外,还应融入国际矿产资源治理的决策体系,积极参与并推动构建更加公正、透明的全球矿产资源治理框架,推动全球清洁能源事业的稳健发展。借鉴国际大型跨国公司经验,壮大本土大型矿业企业,进而提升中国在全球矿产资源市场中的竞争力。

4.3 兼顾区域性、全球性安全保障供应

能源转型是全球的共同挑战,矿产资源的稳定供应需要国际社会共同努力。只有坚持开放合作的理念,推动矿产资源领域的国际交流与合作,加强与各国的双边、多边和区域性合作,才能凝聚合力共同应对能源安全和气候变化等全球性问题。然而各主要经济体在矿产资源产业链和供应链领域的竞合趋向于多轮持久博弈。如何避免全球关键矿产资源产业链和供应链出现“断裂”风险、管理这些竞争与冲突、提升各主体协同的收益十分重要。中国未来应持续在世界贸易组织、亚太经合组织等多边国际平台上,积极倡导矿业贸易与投资的自由化进程,通过与资源国和需求国进行深入的矿业合作,共同构建一种开放型、互利共赢的矿业经贸合作模式,为构建公平、透明的国际矿产资源治理体系持续努力。

5 结论

1)随着大国竞争日益加剧,全球绿色能源矿产资源供应链正在重构。中国绿色能源矿产资源需求庞大且持续,但储量基本匮乏,“大头在外”的供应格局使得矿产资源安全问题凸显。

2)中国地质勘查投入不足、社会投资积极性低、配套政策欠缺等因素制约了矿产资源勘探开发。

3)中国应从加强地质勘查投入、制定科学的资源开

采规划、拓展供应渠道、开展能源合作等方面采取措施,构建自主可控的矿产安全保供体系,积极参与矿产资源全球治理,力争做到兼顾区域性、全球性安全保障供应。

参考文献:

- [1] GRAEDEL T E. On the future availability of the energy metals [J]. Annual Review of Materials Research, 2011, 41 (1): 323-335.
- [2] 邓欢娜,李竺畔. 关键矿产:从“工业味精”到“新石油”[J]. 文化纵横,2023(5):12-15.
DENG Huanna, LI Zhupan. Critical mineral resources: From “industrial monosodium glutamate” to “new petroleum” [J]. Beijing Cultural Review, 2023 (5): 12-15.
- [3] 徐德顺. “去风险化”下全球关键矿产供应链的重塑[J]. 当代世界,2023(12):36-41.
XU Deshun. Adjustment of global industrial and supply chains of key minerals upon the backdrop of “de-risking” [J]. Contemporary World, 2023 (12): 36-41.
- [4] 蔡宏波,郑涵茜,余天赐. 美国“去风险”对中国产业链供应链安全的影响及应对[J]. 财经问题研究,2024(1):33-43.
CAI Hongbo, ZHENG Hanxi, YU Tianci. Impact of U. S. “de-risking” on China’s industrial chain security and supply chain security and the countermeasures [J]. Research on Financial and Economic Issues, 2024 (1): 33-43.
- [5] 王登红. 战略性关键矿产相关问题探讨[J]. 化工矿产地质,2019,41(2):65-72.
WANG Denghong. Discussion on issues related to strategic key mineral resources [J]. Geology of Chemical Minerals, 2019, 41 (2): 65-72.
- [6] 陈伟强,汪鹏,钟维琼. 支撑“双碳”目标的关键金属供应挑战与保障对策[J]. 中国科学院院刊,2022,37(11):1577-1585.
CHEN Weiqiang, WANG Peng, ZHONG Weiqiong. Challenges and security strategies of China’s critical metals supply for carbon neutrality pledge [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37 (11): 1577-1585.
- [7] 汪鹏,王翹楚,韩茹茹,等. 全球关键金属—低碳能源关联研究综述及其启示[J]. 资源科学,2021,43(4):669-681.
WANG Peng, WANG Qiaochu, HAN Ruru, et al. Nexus between low-carbon energy and critical metals: Literature review and implications [J]. Resources Science, 2021, 43 (4): 669-681.
- [8] 王欢,马冰,贾凌霄,等. 碳中和目标下关键矿产在清洁能源转型中的作用、供需分析及其建议[J]. 中国地质,2021,48(6):1720-1733.
WANG Huan, MA Bing, JIA Lingxiao, et al. The role, supply and demand of critical minerals in the clean energy transition under carbon neutrality targets and their

- recommendations [J]. *Geology in China*, 2021, 48 (6): 1720-1733.
- [9] The World Bank Group. Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition [R]. Washington, D. C.: World Bank Publications, 2020.
- [10] International Renewable Energy Agency (IRENA). Geopolitics of the energy transition: Critical materials [R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2023.
- [11] International Energy Agency. The role of critical minerals in clean energy transitions [R]. Paris: International Energy Agency, 2021.
- [12] European Commission. Study on the critical raw materials for the EU 2023 [R]. Brussels: Publications Office of the European Union, 2023.
- [13] 余良晖, 闻少博, 陈甲斌. 全球矿产资源安全格局与地缘政治博弈分析[J]. *中国国土资源经济*, 2023, 36(9): 24-30.
YU Lianghui, WEN Shaobo, CHEN Jiabin. Analysis of global mineral resources security pattern and geopolitical game [J]. *Natural Resource Economics of China*, 2023, 36 (9): 24-30.
- [14] 陈甲斌, 霍文敏, 李秀芬, 等. 中国与美国和欧盟稀土资源形势对比分析[J]. *中国国土资源经济*, 2020, 33(7): 8-12.
CHEN Jiabin, HUO Wenmin, LI Xiufen, et al. Comparative analysis of rare earth resources situation between China, the U. S. and the EU [J]. *Natural Resource Economics of China*, 2020, 33 (7): 8-12.
- [15] 王永中, 万 军, 陈 震. 能源转型背景下关键矿产博弈与中国供应安全[J]. *国际经济评论*, 2023(6): 147-176.
WANG Yongzhong, WAN Jun, CHEN Zhen. Geopolitical game and China's supply security in critical minerals aimed energy restructuring [J]. *International Economic Review*, 2023 (6): 147-176.
- [16] U. S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2023 [R]. Reston: USGS, 2023.
- [17] 刘中伟. 拜登政府对非政策的主要内容、特点及前景[J]. *当代世界*, 2023(12): 54-60.
LIU Zhongwei. The major points, characteristics, and prospects of the Biden Administration's policy towards Africa [J]. *Contemporary World*, 2023 (12): 54-60.
- [18] 刘燕春子. 全球市场对能源转型关键金属需求大幅提升[N]. *金融时报*, 2021-12-31(8).
LIU Yanchunzi. Global market demand for key metals for energy restructuring has increased significantly [N]. *Financial Times*, 2021-12-31(8).
- [19] International Energy Agency. Global EV outlook 2024 [R]. Paris: International Energy Agency, 2024.
- [20] 杨建锋, 马 腾, 余 韵, 等. 2000—2022 年我国矿产勘查驱动力变化与发展态势[J]. *中国矿业*, 2023, 32(2): 1-10.
YANG Jianfeng, MA Teng, YU Yun, et al. Changes in driving forces of mineral exploration and its development situation in China from 2000 to 2022 [J]. *China Mining Magazine*, 2023, 32 (2): 1-10.
- [21] 柳海华. 全球战略性矿产勘查投入趋势及对中国的启示[J]. *矿产勘查*, 2024, 15(6): 1113-1121.
LIU Haihua. The investment trend of global strategic mineral exploration and its enlightenment to China [J]. *Mineral Exploration*, 2024, 15 (6): 1113-1121.
- [22] 张亚明, 范继涛. 矿产资源安全保障的经济策略——基于新发展格局视角[J]. *中国国土资源经济*, 2023, 36 (9): 31-39.
ZHANG Yaming, FAN Jitao. Economic strategy of mineral resources security assurance—Based on the perspective of new development pattern [J]. *Natural Resource Economics of China*, 2023, 36 (9): 31-39.
- [23] 宋建军, 王国平. “双碳”背景下保障关键矿产供应链安全的思考[J]. *中国国土资源经济*, 2022, 35(8): 4-9.
SONG Jianjun, WANG Guoping. Thoughts on securing the supply chain for critical minerals under carbon peaking and carbon neutrality [J]. *Natural Resource Economics of China*, 2022, 35 (8): 4-9.
- [24] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2023) [M]. 北京: 地质出版社, 2023.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. China mineral resources (2023) [M]. Beijing: Geology Press, 2023.
- [25] International Monetary Fund. Global price of metal index [EB/OL]. (2024-07-31) [2024-08-10]. <https://fred.stlouisfed.org/series/PMETAINDEXM>.