

中国关键矿产评价标准和清单的探讨

郭娟, 闫卫东*, 徐曙光, 崔荣国, 胡容波, 林博磊, 周起忠, 周舟, 杨玲

自然资源部信息中心, 北京 100036

摘要: 后工业化时代, 关键矿产成为大国资源竞争的焦点。随着对关键矿产的需求不断增长, 各国会更加关注其供应的稳定性、安全性和可持续性。本文通过对比分析世界主要国家或组织的关键矿产目录, 对关键矿产的概念和内涵进行了探讨, 阐述了我国关键矿产的评价标准和评价指标, 通过对矿产的重要性、供应风险和稀缺性依次分析评价出 35 种关键矿产, 并提出了关键矿产研究和管理的建议。

关键词: 关键矿产; 评价标准; 供应风险; 对外依存度

中图分类号: P624 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.090601

A Discussion on Evaluation Criteria and List of Critical Minerals in China

GUO Juan, YAN Wei-dong*, XU Shu-guang, CUI Rong-guo, HU Rong-bo, LIN Bo-lei, ZHOU Qi-zhong, ZHOU Zhou, YANG Ling

Information Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100036

Abstract: In the post-industrial era, critical minerals become the focus of resource competition in major powers. In pace with the increasing demand of critical minerals, countries will pay more attention to the stability, safety and sustainability of their supply. Through comparative analysis of critical mineral catalogs of major countries or organizations in the world, this paper discusses the concept and connotation of critical minerals, expounds the evaluation criteria and indicators of critical minerals in China, evaluates 35 critical minerals by analyzing the importance, supply risk and scarcity, and makes suggestions about research and management issues.

Key words: critical minerals; evaluation criteria; supply risk; external dependence

矿产资源是经济和社会发展的物质基础和驱动力。从人类历史来看, 社会的每一次重大进步和发展都伴随着资源利用技术和方式的重大改变。目前, 我国进入生态文明发展新阶段, 矿产资源供需形势和利用方式正在发生深刻地变化, 能否实现经济增长方式的转变和产业升级, 关键矿产将起到决定性作用, 其供应稳定性、安全性和可持续性事关国家的经济发展和安全。

1 意义

1.1 关键矿产成为大国博弈的焦点

矿产资源开发利用深刻地影响着全球政治和经

济格局(陈军元等, 2021; 陈其慎等, 2021; 崔荣国等, 2021; 董延涛等, 2021; 韩见等, 2021; 姜雅等, 2021; 李政和陈从喜, 2021; 刘超等, 2021; 潘志君等, 2021; 邢佳韵等, 2021; 阴秀琦等, 2021; 张艳飞等, 2021; 郑国栋等, 2021)。人类从原始社会、农业社会到工业社会的进程中, 在资源利用方式上也经历了石器时代、铁铜器时代到煤炭石油时代。第一次工业革命, 英国凭借对世界煤、铁资源的掌控, 建立了世界霸权。第二次工业革命, 美国取代英国成为新的世界霸主, 通过对全球石油资源的控制, 缔造了石油美元帝国。历史实践证明, 谁掌握了主体资源开发的主动权, 谁就掌握了世界(何贤杰和张福良, 2014)。目前,

本文由自然资源部“矿产资源安全监测预警体系建设”项目(编号: 121101000000180046)资助。

收稿日期: 2020-08-24; 改回日期: 2020-09-01; 网络首发日期: 2020-09-08。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 郭娟, 女, 1983年生。硕士, 副研究员。主要从事矿产资源形势分析工作。通讯地址: 100036, 北京市海淀区莲花池西路28号。电话: 010-63882122。E-mail: gj5166@aliyun.com。

*通讯作者: 闫卫东, 男, 1968年生。博士, 研究员。长期从事国内外矿产资源研究工作。E-mail: wdyan@infomail.mnr.gov.cn。

人类进入后工业化时代,或者说是第四次工业革命时代,关键矿产成为大国博弈的焦点。工业革命前期,资源的冲突集中在能源和大宗矿产。未来,资源的竞争更多地集中在与战略新兴产业相关的关键矿产。

1.2 关键矿产的应用深刻改变了人们生活

伴随着创新使用技术的发展,矿物原材料的新用途不断的被挖掘,特别是关键矿产的应用,使得资源利用方式发生了巨大变化,深刻地改变了人们的生活。无论是用于电脑芯片的硅,平板显示器的钢,或智能手机中的锂、镓和砷,它们的应用使产品变得更小、更快和更智能,使我们的生活更便捷、更高效。矿产资源的利用方式也由单一转向复杂、多元,如铁器时代或青铜时代以单一金属或合金利用为主,现在则为多种材料合金,如保险丝由铅、锡、铋、镉等多种金属制成;或者大量以前未使用的矿产,如用于动力电池的钴,用于风能发电的钷、钷和钷,用于太阳能发电的碲、镉,用于喷气发动机的铈和红外护目镜的锗,用于5G通信的铟,用于量子计算的铌和氦,这些矿产都是以前从未被广泛使用的矿产(Andrew et al., 2018)。

2 关键矿产的概念和内涵

2.1 关键矿产定义

目前,国际上对关键矿产并没有统一的定义或概念,通常各国或组织一般根据其对经济重要性和供应风险等因素来定义。本文通过对世界主要国家或组织的关键矿产报告进行对比分析,提出关键矿产的定义如下:

关键矿产是经济上重要、受供应风险影响较大、且与国家经济和国防安全密切相关的矿产。在工业和技术进步中,关键矿产对于农业、医药、通信、可再生能源、航空航天和国防等产业有巨大的支撑作用,特别是对于高新技术和战略性新兴产业发展具有不可替代性。关键矿产同时兼具战略性(Strategic)和紧要性或危机性(Critical),是在国家战争或者紧急情况下不可或缺的资源。

2.2 与其他矿产类别的区别和联系

“关键矿产”在国外普遍称为“Critical Minerals”或“Key Minerals”,而“Critical”在英文里有“紧要、危急、关键”等多解。美国、OECD采用了“Critical Minerals”这一名称,欧盟一开始采用“Key Minerals”,后来采用了“Critical Raw Materials”。因此,目前提出关键矿产,如果不加以厘定,很容易引起人们概念的混乱。本文认为,战略性矿产应指能够决定一个国家经济和国防安全和地位的矿产,通常是能够影响全球供应格局的矿产。从范围来看,关键矿产可以包含战略矿产,比如美国的35种关键矿

产包括其占优势的氦。

从资源的供需关系来看,关键矿产既可以是优势矿产,也可以是短缺矿产或紧缺矿产;关键矿产与这三个概念分别应该是重叠交叉,但并不互相完全包含;一般来说,这三个概念结合矿产的重要性,才会被认定为关键矿产,如制约国家经济发展的紧缺矿产,或者以资源垄断优势影响全球经济和产业发展的优势矿产。美国和欧盟等经济体关键矿产绝大多数为其短缺矿产。

3 关键矿产研究现状

西方国家对关键矿产的关注起步很早,这源于在第一次、第二次世界大战中关键矿产所发挥的“关键性”作用。二战期间,美国以石油为筹码,切断了盟国对德国的钨、铬供应,以及对日本的钼、钨和钒供应,为赢得战争发挥了关键作用。1939年,美国制订了《战略性和危机性原材料储备法》,将矿产资源的“关键性”(Critical)概念引入联邦法典,上升为国家战略(王登红, 2019)。

2008年金融危机以来,全球经济低迷,大国之间陷入存量蛋糕的争夺。世界经济发展需要新的增长点,关键矿产是未来产业和经济发展的希望,受到西方发达国家的广泛关注。美国、欧盟、英国、日本、澳大利亚、印度、联合国、OECD等国家或组织机构(British Geological Survey, 2015; Renaud et al., 2015; European Commission, 2017; Mudd et al., 2018; U.S. Department of Commerce, 2019),近几年纷纷针对关键矿产的重要性和安全性开展相关研究,相继发布了关键矿产战略或清单,并随着时间的推移进行调整和更新(表1)。

4 关键矿产的评价标准

通过对比研究,我们发现不同国家对关键矿产的评价标准不同,但大多通过重要性和供应风险来认定。结合我国经济发展阶段和资源开发利用的特点,在重要性和供应风险之外,更应该关注资源稀缺性即资源的禀赋和消耗速度。本文最终从三个标准中选取重要性、对外依存度和储采比作为评价关键矿产的三个指标。

4.1 重要性

重要性是指关键矿产对于国家经济、国防、社会和人民生活发挥着至关重要作用而不可或缺的,一旦中断或无法足量供应,将严重危及国家安全。比如石油,不但关系到国家经济的发展、国防安全,还与人民的日常生活密切相关。

对比美国、欧盟、英国、日本、澳大利亚和印度等6个国家或机构的关键矿产清单,发现他们认

业的关注,以及对支撑这些产业发展的关键矿产的高度认同,而这些产业和相关矿产同样是中国未来崛起的重要支柱性产业和关键矿产(毛景文等,2019)。

4.2 供应风险

4.2.1 概念

从供需层面考虑,供应风险可能是存在供应中断或供应垄断的风险。

供应中断风险是指矿产供应易受到各种因素的影响而出现供应中断或市场价格大幅度波动,可控性差。受到资源或生产集中度高、地缘政治、自然灾害或劳资纠纷等因素的影响,某些矿产品价格波动较大,对稳定供应造成威胁。如2014年南非铂矿罢工,2019年巴西铁矿尾矿坝溃决事件等分别对全球的铂矿和铁矿市场带来了风险。

供应垄断风险是指关键矿产在资源或生产方面具有绝对优势,可以影响全球供需形势,从而操纵相关产业或经济发展,甚至影响政治格局。例如用于卫星通讯、航空航天和核应用的铍,被美国划定为关键矿产。美国掌握了全世界2/3以上的铍的资源、产量和出口量,在全世界处于垄断地位(王登红,2019)。

4.2.2 评估指标

评估供应风险的方法有很多,包括时间、空间和物质范围。通常选取可量化的指标,包括生产集中度、对外依存度、进口集中度、可替代性、价格波动、回收利用率等等。其中,对外依存度(NIR)是各国或机构常用的评估关键性矿产的一项重要指标,它通过量化一个国家特定矿产品的净进口量占国内消费量的比重,来判断该国面临来自国外的潜在供应中断风险。对外依存度指标涵盖了生产、消费以及贸易数据,是能够相对全面反映供需的一个指标,其计算公式如下:

$$NIR = \frac{I-E}{C} \times 100\% \quad (1)$$

式中NIR表示矿产品对外依存度,I为进口量,E为出口量,C为消费量;由于“消费量”的数据政府部门或行业机构统计的较少,一般通过计算来获得,

$$NIR = \frac{I-E}{P+I-E+\Delta S} \times 100\% \quad (2)$$

式中P为产量, ΔS 为库存变化量;公式中分母的计算结果为“消费量”,当 ΔS 为0时,公式中分母的计算结果为“表观消费量A”。真实情况下 ΔS 的数据也比较难统计,一般取值为0,即用表观消费量代替消费量来计算矿产品对外依存度。

通常情况下,使用公式(2)计算的情况比较多,但如果有直接的消费数据,会使用公式(1)来计算。

4.2.3 评估结果

仅看一个国家或地区的关键矿产对外依存度,不能全面反映国家之间的相互依赖和竞争性。如分析美国公布的35种关键矿产清单,发现除了氦和铍外大部分关键矿产高度依赖进口,美国是全球最大氦和铍的生产国,也将其划入了关键矿产,而同时结合中国需求的90%以上通过进口满足,也就更加可以理解这两个矿产的关键性了。所以,为了更加全面的评估关键矿产,本文通过比较研究世界两大经济体——美国和欧盟的关键矿产对外依存度(图2),希望更深入的了解全球关键矿产的供需形势。同时结合矿产的重要性和中国实际进行分析(崔荣国等,2017),总共初步整理出36种关键矿产,结果如下:

美国和欧盟对外依存度高且是中国优势矿产的关键矿产有18种:钒、镁、钨、锡、铋、铌、稀土、钽、锆、镓、铟、碲、磷、重晶石、砷、萤石、石墨、硅。

美国、欧盟和中国均比较短缺,可能形成竞争关系的关键矿产有15种:铀、锰、铬、钛、铝土矿、钴、铂族金属、钽、铌、锂、铷、铯、锆、铪、钾盐。

欧盟和中国比较短缺,美国是优势矿产的关键矿产有2种:铍、氦。

美国和中国比较短缺,欧盟是优势矿产的关键矿产有1种:锶。

4.3 稀缺性

4.3.1 概念

稀缺性指关键矿产储量少,资源禀赋差,可开采年限低于临界水平,找矿潜力不大,供应需要长期依赖国外进口;比如,铬铁矿在我国资源储量小,多年来找矿未取得突破,绝大多数供应需要长期从南非等国家进口。或者资源禀赋虽好,但因开采强

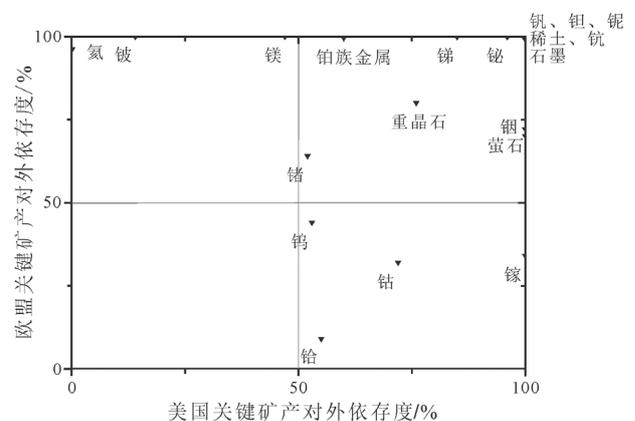


图2 美国和欧盟关键矿产对外依存度对比图
Fig. 2 Comparison chart of foreign dependence of critical minerals in the US and the EU

度大, 资源消耗速度快, 导致可开采年限低, 资源安全保障受到威胁; 比如锑矿一直以来是我国的优势矿产, 资源储量居世界第一位, 但开采强度大, 我国以世界 32% 的储量支撑了世界 71% 的锑矿开采, 按目前的开采速度, 我国锑矿静态保障年限不足 5 年, 低于世界平均水平。

我国应该更加关注关键矿产的“稀缺性”。研究发现, 美国、欧盟、英国等发达国家更加关注关键矿产的“供应风险”, 往往对关键矿产的“稀缺性”不够重视, 这主要是因为这些矿产绝大部分要依靠进口满足, 需要开采本国资源的比较少。值得关注的是: 这些国家所确定的关键矿产的主要生产国或进口国有一半以上都是中国(毛景文等, 2019)。在美国 35 种关键矿产中, 19 种矿产的最大生产国是中国(占 54%); 在欧盟 27 种关键原材料中, 21 种矿产的最大进口国是中国(占 78%); 在英国 41 种关键原材料中, 23 种矿产的最大生产国是中国(占 56%)(British Geological Survey, 2015; European Commission, 2017; U.S. Department of Commerce, 2019)。所以, 我们作为欧美大部分关键矿产的主要生产国和供应国, 为了保证资源的可持续利用, 更应该关注这些矿产的稀缺性。

4.3.2 评估指标

评估稀缺性可以量化的指标, 包括储采比、储量集中度、共伴生矿产回收率等等。其中储采比(N)能够较全面地反映了资源禀赋情况和资源的消耗速度, 且数据可获得性大, 所以选取储采比来衡量矿产的稀缺性。储采比是指年末储量除以年消耗储量, 计算结果可以表明剩余储量按当前生产水平尚可开采的年数。其计算公式为:

$$N = \frac{R}{Rc} \quad (3)$$

式中 N 为储采比, R 为年末储量, Rc 为年消耗的储量, 现实中储量消耗比较难统计, 一般用当年产量 P 代替, 即 $Rc \approx P$ 。储采比的大小, 反映了矿产资源的利用速度, 或者是消耗速度, 表明了资源的可持续利用程度。储采比越大, 表明资源的可持续开发利用的年限越长, 保障程度越高, 资源越安全。

4.3.3 评估结果

在经重要性和供应风险评价初选出的 36 种关键矿产中, 考虑资源“稀缺性”后排除掉 8 种矿产: 钒、镁、钨、碲、硅、铷、铯、锶。这些矿产从全

世界看, 一般资源丰富, 且资源分布集中度低, 可以从世界范围广泛获取。

另一方面, 我国在考量关键矿产时, 应该增加对“大宗矿产”的考虑。发达国家已经进入工业化后期, 对大宗矿产的需求不像以前那么高, 所以, 他们对关键矿产的关注重点以稀有稀散等小金属为主, 缺少对大宗矿产的考虑。与发达国家不同的是, 我国还处于工业化中期, 未来我国要实现工业化和城市化, 对传统大宗矿产的需求还很大, 特别是与基建相关的矿产品如铁、铜、铝、水泥、平板玻璃等。铁和铜对中国工业化和城市化的可持续发展至关重要, 中国铁矿石和铜的进口量每年稳步增长, 对外依存度也不断攀升, 目前两者的对外依存度都在 70% 以上, 远超资源安全警戒线。从世界范围来看, 其实中国并不缺少铁矿和铜矿资源, 问题在于中国铁矿和铜矿资源无法支撑生产, 同时生产又无法满足消费。目前中国是世界上第三大铁矿石和铜矿生产国, 但也是世界第一大铁矿石和铜矿消费国。所以, 在确定中国关键矿产时, 除了关注与 5G 通信站、物流网、新能源汽车充电站等新基建相关的矿产, 如镍、钴、钼、铌、锂、稀土、钨、锆、镓、铟、镉、碲、砷、石墨等, 更加应该考虑大宗矿产资源的消耗速度和资源利用的可持续性。

所以, 在稀缺性评价时, 补充增加对大宗矿产资源的评价(图 3), 特别是非金属矿产资源具有不可再生性, 也无法回收再利用, 国内资源的安全保

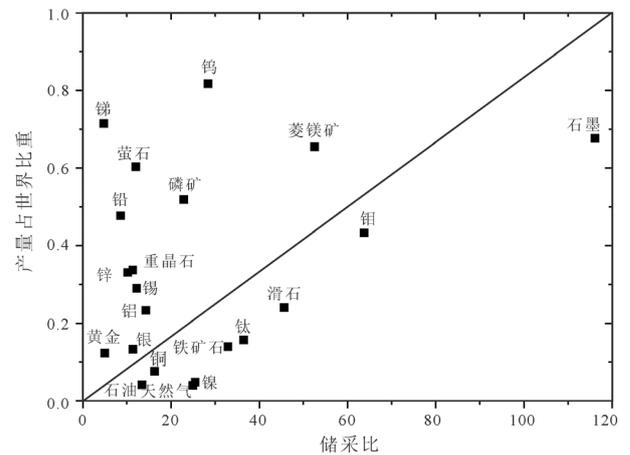


图 3 中国主要矿产储采比与产量占世界比重对比图
Fig. 3 Comparison chart of China's major mineral reserve-production ratio and the production proportion in the world

表 2 中国关键矿产建议清单(35 种)
Table 2 Recommendation list of critical minerals in China (35 types)

分类	关键矿产清单	数量/种
优势矿产	钨、锡、锑、铋、稀土、锆、镓、铟、磷矿、重晶石、砷、萤石、石墨	13
竞争矿产	铀、锰、铬、钛、铝、镍、钴、铂族金属、钽、铌、锂、锆、铯、钾盐	14
短缺矿产	铍、氦	2
大宗短缺矿产	石油、天然气、铁、铜、铅、锌	6

障显得更为重要。同时,为了更清楚地了解资源的稀缺性到底是“天灾”还是“人祸”,是“资源禀赋的客观存在”还是“人为开采的主观意志”,所以采用储采比和产量占世界比重两个指标对重要的大宗矿产进行评估。经补充分析,结果如下:石油、天然气、铜、铁、钛矿等矿产本身资源禀赋较差,主要属于客观因素造成的资源安全保障程度低;钨、铋、铅锌、萤石、重晶石、磷矿、锡、铝等矿产本身资源相对丰富,但由于开发强度大,资源消耗快,主要属于人为因素导致资源安全没有保障。所以,在初选出的36种关键矿产中,除去重叠的矿产,补充石油、天然气、铜、铁、铅、锌、镍等7种矿产。

4.4 中国关键矿产建议清单

通过以上对矿产的重要性、供应风险和稀缺性等三个因素的依次分析,最终得出中国关键矿产建议清单,总计35种,以稀有稀散金属和大宗矿产为主,其中,处于供应垄断的优势矿产为13种,我国是这些矿产的主要资源国、生产国或出口国;存在供应中断风险的短缺矿产共22种,在其中14种矿产的供应中中国同美国、欧盟等发达国家存在竞争关系,2种矿产直接受制于美国,另外6种矿产属于工业化建设中必不可少的大宗矿产(表2)。

5 思考与建议

5.1 加强关键矿产的研究工作,政府牵头,联合科研单位和企业共同参与其管理评估机制

关键矿产对国家制定发展战略有着重大的意义和影响,一般来说,国际上关于关键矿产的研究,大多由政府机构牵头、专业学术团队支撑。比如,美国国家科学研究委员会、美国能源部、美国科学技术理事会、美国白宫科学技术政策局,都做过相关研究工作。来自哈佛 Greadal 研究团队,近年来发表大量学术论文,对该研究方法和模型的构建都做了大量工作(余韵和陈甲斌,2017)。

在中国开展关键矿产研究工作,要从应用性角度出发,开展战略矿产范围的界定研究工作。该项工作需由主管矿产资源、科技、工业的部门一起组织牵头,以重点企业需求为导向,中国科学院、清华大学等科研单位院校参与,才能保障战略矿产目录的实用性、动态性、可靠性。

5.2 加强科技研发,延伸关键矿产产业链,掌握资源话语权

科技引领经济发展,推动关键矿产上游和下游产业链高端技术的研发应用,实现我国关键矿产的产业链协调发展。我国虽然矿产资源丰富,但资源优势没有转化为资产和资本的优势。以镓为例,其

应用于智能手机、发光二极管(LED)、军事雷达和太阳能电池等工业领域,镓品位必须达到99.999%以上(Andrew et al., 2018)才具有利用价值,即必须将低纯度镓精炼成高纯度镓。我国虽然是全球最大的粗镓产品生产国和出口国,但我国高端镓产品生产能力较低,仍处于镓产业链的底端。2018年,我国低纯度的镓产量390 t,占世界的95%,主要出口到美国和日本。由于国内盲目开发镓资源,价格普遍较低。但由于缺乏相关技术,我国高纯度镓高度依赖进口,尤其是发光二极管的管芯完全依赖于美国和日本的进口(敦妍冉等,2019),这已成为发达国家控制国际高纯度镓定价权的重要原因。所以加强科技研发,延伸关键矿产产业链,通过技术提升来提高关键矿产的附加值,跻身高端产品产业,成为当务之急。

5.3 加强稀有稀散等关键矿产的战略储备

以稀有稀散金属为主的小矿产,如钽、铌、锂、稀土、钨、锆、镓、铟、铍、碲、砷等不仅是美国、欧盟、英国等发达经济体关注的重点,同时也是与中国未来建设5G通信站、物流网、新能源汽车充电站等新基建密切相关的关键矿产。这些矿产大多属于共伴生矿产,常与铁、铜、铝、铅、锌、锡、钛、黄金等金属共伴生,如:从铁矿开采中回收稀土、从铜矿中回收钴、在铝土矿中回收镓、从铅锌矿中回收锆。首先,这些共伴生矿产通常作为副产品在主矿的开采过程中被回收,受资源、技术或成本等因素影响,产量不稳定;其次,它们所共伴生的主矿大部分也需要进口满足,国内资源保障年限低,未来资源可持续利用存在问题,相应的这些共伴生矿产的产量必然也会受到影响。美国、日本等发达国家早就开始对包括钨、铬、铂族金属、铍、铌、钽、稀土、锆等在内的关键矿产进行战略储备(张新安和张迎新,2011),未来随着技术的进步,对这些矿产的需求可能会暴发性的增长,所以要提前做好战略储备。而且这些矿产需求量较小,对收储资金的需求相对较少,现实层面比较容易操作。

5.4 加大对短缺关键矿产海外投资的支持力度

目前我国短缺关键矿产安全形势十分严峻,其中,石油、天然气、铁、锰、铬、铜、铝等传统短缺矿产,受资源禀赋限制,国内产量增长有限,只能长期依靠进口;铅、锌等资源丰富的矿产,由于受下游有色金属冶炼加工行业产能过剩影响,长期过度开发,资源消耗速度快,也需要进口来满足国内需求;锂矿等受新兴行业的带动,使得需求急剧增长,国内资源虽然丰富,但受采选技术影响,未能及时形成规模生产,短期内不能满足行业发展需

求,也需要进口(郭娟等,2019)。所以,在国内资源暂时不能保障的情况下,我们应该加大短缺关键矿产勘查、开发和贸易的海外布局。随着“一带一路”倡议的推进,加大对短缺矿产的海外投资的支持力度,特别是东南亚、非洲和南美洲等我国短缺关键矿产集中分布的国家和地区。

Acknowledgements:

This study was supported by Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China (No. 12110100000180046).

参考文献:

- 陈军元,刘艳飞,颜玲亚,高树学,欧阳友和,龙涛. 2021. 石墨、萤石等战略非金属矿产发展趋势研究[J]. 地球学报, 42(2): 287-296.
- 陈其慎,张艳飞,邢佳韵,龙涛,郑国栋,王琨,崔博京,覃升. 2021. 国内外战略性矿产厘定理论与方法[J]. 地球学报, 42(2): 137-144.
- 崔荣国,郭娟,程立海,张迎新,刘伟. 2021. 全球清洁能源发展现状与趋势分析[J]. 地球学报, 42(2): 179-186.
- 崔荣国,郭娟,尹丽文,徐桂芬,林博磊,马建明. 2017. 战略性新兴产业矿物原料供给能力分析[J]. 中国矿业, 26(8): 1-6.
- 董延涛,阴秀琦,张艳飞,郑国栋. 2021. 战略性矿产资源高质量开发利用问题与对策[J]. 地球学报, 42(2): 145-150.
- 敦妍冉,荆海鹏,洛桑才仁,张万益,宋泽峰. 2019. 全球镓矿资源分布、供需及消费趋势研究[J]. 矿产保护与利用, 39(5): 9-15, 25.
- 郭娟,闫卫东,崔荣国,刘增洁,周起忠,刘文超. 2019. 我国矿产资源形势回顾与展望[J]. 国土资源情报, 12(12): 46-51.
- 韩见,夏鹏,邢佳韵,朱清,武海炜,潘志君,王芳. 2021. 后疫情时代中国铜资源供应形势分析[J]. 地球学报, 42(2): 223-228.
- 何贤杰,张福良. 2014. 关于及早谋划战略性新兴产业发展的思考与建议[J]. 中国国土资源经济, 27(5): 4-8.
- 姜雅,王婷,龙涛. 2021. 关于将重晶石列为战略性矿产的原则分析[J]. 地球学报, 42(2): 297-302.
- 李政,陈从喜. 2021. 全球钛资源行业发展现状[J]. 地球学报, 42(2): 245-250.
- 刘超,陈甲斌,胡聪. 2021. 矿产资源开发利用上线划定方法与应用研究[J]. 地球学报, 42(2): 167-178.
- 毛景文,杨宗喜,谢桂青,袁顺达,周振华. 2019. 关键矿产——国际动向与思考[J]. 矿床地质, 38(4): 689-698.
- 潘志君,夏鹏,朱清,龙涛,韩见,武海炜,刘盼盼,张晓鹤. 2021. 中国锌矿资源开发利用形势分析[J]. 地球学报, 42(2): 258-264.
- 王登红. 2019. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. 地质学报, 93(6): 1189-1209.

- 邢佳韵,张晓鹤,陈其慎,于汶加,齐刚,姜雅,茹存一,任鑫. 2021. “二元消费”影响下的镍供需形势分析[J]. 地球学报, 42(2): 251-257.
- 阴秀琦,董延涛,李昭宾,张艳飞. 2021. 新冠疫情叠加的金融变局下关于金银等矿产回归货币属性的思考[J]. 地球学报, 42(2): 236-244.
- 余韵,陈甲斌. 2017. 危机矿产评估方法国际比较研究[J]. 国土资源情报, 12(11): 48-56.
- 张新安,张迎新. 2011. 把“三稀”金属等高新技术矿产的开发利用提高到战略高度[J]. 国土资源情报, 12(6): 2-7.
- 张艳飞,郑国栋,陈其慎,陈小荣,邢佳韵,王琨,阴秀琦,覃升. 2021. 后疫情时期全球铁矿资源格局分析[J]. 地球学报, 42(2): 209-216.
- 郑国栋,王琨,陈其慎,张艳飞,邢佳韵,龙涛,董延涛,倪晋鹏. 2021. 世界稀土产业格局变化与中国稀土产业面临的问题[J]. 地球学报, 42(2): 265-272.

References:

- ANDREW L G, NEDAL T N, SEAN X. 2018. China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies[J]. PNAS, 115(16): 4111-4115.
- British Geological Survey. 2015. Risk list 2015[EB/OL]. [2020-03-21]. <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/riskList.html>.
- CHEN Jun-yuan, LIU Yan-fei, YAN Ling-ya, GAO Shu-xue, OUYANG You-he, LONG Tao. 2021. Research on Development Trend of Strategic Nonmetallic Minerals such as Graphite and Fluorite[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 287-296(in Chinese with English abstract).
- CHEN Qi-shen, ZHANG Yan-fei, XING Jia-yun, LONG Tao, ZHENG Guo-dong, WANG Kun, CUI Bo-jing, QIN Sheng. 2021. Methods of Strategic Mineral Resources Determination in China and Abroad[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 137-144(in Chinese with English abstract).
- CUI Rong-guo, GUO Juan, CHENG Li-hai, ZHANG Ying-xin, LIU Wei. 2021. Status and Trends Analysis of Global Clean Energies[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 179-186(in Chinese with English abstract).
- CUI Rong-guo, GUO Juan, YIN Li-wen, XU Gui-fen, LIN Bo-lei, MA Jian-ming. 2017. Supply analysis of the raw material of minerals related to strategic emerging industries[J]. China Mining, 26(8): 1-68(in Chinese with English abstract).
- DONG Yan-tao, YIN Xiu-qi, ZHANG Yan-fei, ZHENG Guo-dong. 2021. Research on High Quality Development of Strategic Mineral Resources Industry[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 145-150(in Chinese with English abstract).
- DUN Yan-ran, JING Hai-peng, LUOSANG Cai-ren, ZHANG Wan-yi, SONG Ze-feng. 2019. Current situation and utilization trend of the global gallium resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 39(5): 9-15, 25(in Chinese with English abstract).
- European Commission. 2017. On the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU[EB/OL]. [2020-03]. <http://ec.europa.eu/>

- growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en.
- GUO Juan, YAN Wei-dong, CUI Rong-guo, LIU Zeng-jie, ZHOU Qi-zhong, LIU Wen-chao. 2019. Outlook and Overview of Mineral Resources Situation of China[J]. *Land and Resources Information*, 12(12): 46-51(in Chinese).
- HAN Jian, XIA Peng, XING Jia-yun, ZHU Qing, WU Hai-wei, PAN Zhi-jun, WANG Fang. 2021. An Analysis of China's Copper Resources Supply Situation in the Post-COVID-19 Era[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 223-228(in Chinese with English abstract).
- HE Xian-jie, ZHANG Fu-liang. 2014. Thoughts and suggestions on early planning strategic emerging minerals development[J]. *Natural Resource Economics of China*, 27(5): 4-8(in Chinese with English abstract).
- JIANG Ya, WANG Ting, LONG Tao. 2021. Research on Listing Barite as a Strategic Mineral Resource[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 297-302(in Chinese with English abstract).
- LI Zheng, CHEN Cong-xi. 2021. Development Status of Global Titanium Resources Industry[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 245-250(in Chinese with English abstract).
- LIU Chao, CHEN Jia-bin, HU Cong. 2021. Research on the Method and Application of Upper Limit Demarcation of Mineral Resources Development and Utilization[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 167-178(in Chinese with English abstract).
- MAO Jing-wen, YANG Zong-xi, XIE Gui-qing, YUAN Shun-da, ZHOU Zhen-hua. 2019. Critical minerals: International trends and thinking[J]. *Mineral Deposits*, 38(4): 689-698(in Chinese with English abstract).
- MUDD G M, WERNER T T, WENG Z H, YELLISHETTY M, YUAN Y, MCALPINE S R B, SKIRROW R, CZARNOA K. 2018. Critical Minerals in Australia: A Review of Opportunities and Research Needs[EB/OL]. [2020-03-21]. <https://ecat.ga.gov.au/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/124161>.
- PAN Zhi-jun, XIA Peng, ZHU Qing, LONG Tao, HAN Jian, WU Hai-wei, LIU Pan-pan, ZHANG Xiao-he. 2021. An Analysis of the Development and Utilization Situation of China's Zinc Ore Resources[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 258-264(in Chinese with English abstract).
- RENAUD C, SIMON D, MARIA G, THOMAS B N. 2015. Critical minerals today and in 2030: An analysis of OECD countries[EB/OL]. [2020-03-21]. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/critical-minerals-today-and-in-2030_5jrtnwm5hr5-en.
- U.S. Department of Commerce. 2019. A federal strategy to ensure secure and reliable supplies of critical minerals[EB/OL]. [2019-06-30]. <https://www.commerce.gov/sites/default/files/2019-06/Critical%20minerals%20strategy%20final.docx>.
- WANG Deng-hong. 2019. Study on critical mineral resources: Significance of research, determination of types, attributes of resource, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1189-1209(in Chinese with English abstract).
- XING Jia-yun, ZHANG Xiao-he, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia, QI Gang, JIANG Ya, RU Cun-yi, REN Xin. 2021. An Analysis of Nickel Supply and Demand Situation under the Influence of "Dual Consumption"[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 251-257(in Chinese with English abstract).
- YIN Xiu-qi, DONG Yan-tao, LI Zhao-bin, ZHANG Yan-fei. 2021. Thinking about the Return of Gold and Silver and other Minerals to Monetary Attributes under the Condition of Financial Changes with the Superimposition of the COVID-19[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 236-244(in Chinese with English abstract).
- YU Yun, CHEN Jia-bin. 2017. International comparative study of critical minerals evaluation methods[J]. *Land and Resources Information*, 12(11): 48-56(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xin-an, ZHANG Ying-xin. 2011. Raise the development and utilization of "three rare" metals and other high-tech minerals to a strategic level[J]. *Land and Resources Information*, 12(6): 2-7(in Chinese).
- ZHANG Yan-fei, ZHENG Guo-dong, CHEN Qi-shen, CHEN Xiao-rong, XING Jia-yun, WANG Kun, YIN Xiu-qi, QIN Sheng. 2021. An Analysis of Global Iron Ore Resource Market Trend in the Post-COVID-19 Period[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 209-216(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Guo-dong, WANG Kun, CHEN Qi-shen, ZHANG Yan-fei, XING Jia-yun, LONG Tao, DONG Yan-tao, NI Jin-peng. 2021. The Change of World Rare Earth Industrial Structure and the Problems Faced by China's Rare Earth Industry[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(2): 265-272(in Chinese with English abstract).