

引用格式:王昶,宋慧玲,左绿水,等. 国家金属资源安全研究回顾与展望[J]. 资源科学, 2017, 39(5): 805-817. [Wang C, Song H L, Zuo L S, et al. Review and prospects of national metal resource security[J]. *Resources Science*, 2017, 39(5): 805-817.] DOI: 10.18402/resci.2017.05.01

# 国家金属资源安全研究回顾与展望

王 昶<sup>1,2</sup>, 宋慧玲<sup>1</sup>, 左绿水<sup>1</sup>, 黄健柏<sup>1</sup>

(1. 中南大学商学院, 长沙 410083; 2. 国土资源部国土资源战略研究重点实验室, 北京 100812)

**摘 要:**金属资源是国民经济建设的重要物质基础,金属资源安全事关国家安全。本文从内涵机理、驱动因素、评估方法、战略与政策四个方面梳理了近年来国家金属资源安全研究进展。研究表明,国家金属资源安全涵盖供给安全、经济安全和生态安全,主要受资源禀赋、经济发展、技术进步等因素的影响。国家战略性金属的关键性评估方法包括关键性矩阵、关键性指数和未来供需定量分析等;金属资源需求预测方法主要有趋势外推法、自下而上法和数理统计法等;国家金属资源市场势力和定价权评估方法主要有勒纳指数、HHI指数以及均衡博弈模型等。世界各国都根据本国国情采取了不同的金属资源安全保障战略和政策工具。未来应加强在国家金属资源非常规安全机理、新技术革命对金属资源供需的冲击、国际贸易规则以及重大战略实施对国家金属资源安全的影响等方面的研究。

**关键词:**国家资源安全;金属资源;内涵机理;评估方法;战略政策

DOI: 10.18402/resci.2017.05.01

## 1 引言

金属资源是国民经济建设的重要物质基础,金属资源安全事关国家安全。世界各国对国家金属资源安全问题的关注由来已久,早在1919年第一次世界大战爆发时期,各国就意识到做好关键原材料储备工作的重要性<sup>[1]</sup>。1939年,美国最早发布关键原材料战略储备相关法令《战略性关键原材料储备行动》<sup>[2]</sup>,将锑、铬、锰、镍、锡和钨等金属视为关键原材料,标志着金属资源安全被提升到国家安全战略的高度。21世纪以来,随着发展中国家的快速崛起,矿业高速发展,全球矿业步入繁荣期,有限的金属资源供给无法与持续增长的金属资源需求相匹配,矿产资源争夺日益激烈,国际大宗商品价格剧烈波动,“中国因素”被视为全球金属价格波动的关键影响因素。然而,中国却面临紧缺金属“一买就涨”、优势金属“一卖就跌”的困境。由此,国家金属资源市场势力和定价权问题引发了学者们的广泛

关注。2008年金融危机爆发后,全球经济发展深度调整,矿业周期告别繁荣期进入平台期,新科技革命和产业变革推动了金属资源需求结构的转型,美国、欧盟、日本等国家相继发布了关键原材料报告,筛选出了本国新兴产业所需的关键原材料<sup>[3-5]</sup>,其中大部分都是高技术金属矿产品。在中国,2014年4月15日,习近平总书记在中央国家安全委员会第一次会议中明确提出,资源安全是国家安全体系的重要组成部分,而金属资源安全是国家资源安全的重要内容之一。2015年5月8日,中国国务院正式发布了《中国制造2025》行动纲领,要将中国建成世界制造强国。保障国家金属资源安全对实现制造强国战略,维护国家资源安全具有重要意义。面对新时期新形势新变化,国家金属资源安全理论研究亟需拓展和深化。

但现有文献对国家金属资源安全相关研究尤其是近年来一些新的研究动态缺乏把握,亟需进行

收稿日期:2016-06-06;修订日期:2017-03-07

基金项目:国家社会科学基金重大项目(14ZDB136);国家社会科学基金项目(13BGL105、13CJY029);国家自然科学基金重点项目(71633006)。

作者简介:王昶,男,湖南怀化人,教授,博士生导师,主要研究领域为金属资源战略。E-mail:changw1000@163.com

通讯作者:左绿水,E-mail:zuo.lvshui@163.com

系统梳理,进而为保障国家金属资源安全提供指导。因此,本文将就国家金属资源安全内涵与机理、驱动因素、评估方法、战略与政策四个方面梳理近年来国家金属资源安全研究进展,并对现有文献缺口进行分析,进而指出未来的研究方向。

## 2 国家金属资源安全内涵与机理

### 2.1 国家金属资源安全内涵

现有研究主要集中在对概念范畴较大的资源安全内涵进行定义,谷树忠等认为资源安全是一个国家或地区可以持续、稳定、及时、足量和经济地获取所需自然资源的状态或能力,包括数量、质量、结构、均衡以及经济或价格安全五种基本含义<sup>[6]</sup>。也有学者进一步对矿产资源安全内涵进行了界定<sup>[7-9]</sup>,如汪云甲认为矿产资源安全是指满足国家生存与发展正常需求的矿产资源供应保障的稳定程度,以及矿产资源开发及使用不对人类自身的生存与发展环境构成威胁,即供应的稳定性和开发使用上的安全性<sup>[7]</sup>。针对金属资源安全,Gordon等、Tilton等学者强调了金属资源供应可持续性的重要性<sup>[10,11]</sup>。中南大学金属资源战略研究院最新研究认为,国家金属资源安全是指为满足国家经济发展和产业转型升级的需要,提供可靠的、买得起的、持续稳定的金属资源供应,同时金属资源的开发和利用不以牺牲生态环境可持续发展为代价,主要涵盖供给安全、经济安全和生态安全<sup>[12]</sup>。国家金属资源安全与经济发展、矿业周期紧密相关,不同发展时期,国家金属资源安全的中心任务、保障重点也不同。当前世界经济增长与矿业周期进入转换期,金属资源供给压力有所缓解,国家金属资源安全保障的中心任务转向避免世界经济繁荣期金属价格快速上涨带来的国家利益损失。随着新一轮科技革命与产业变革的发展,高技术金属矿产成为各国利益争夺的焦点,国家金属资源安全保障重点从大宗金属矿产转向高技术金属

矿产<sup>[13]</sup>。

### 2.2 国家金属资源安全机理

国家资源安全机理研究的核心是客观描述资源安全影响因素中同类因子内部以及非同类因子之间的耦合关系,解释各因素对国家资源安全的影响过程、结果和调控方式<sup>[14]</sup>。姚予龙等、谷树忠等学者运用联合国环境规划署(UNEP)和经合组织(OECD)开发的“压力-状态-响应”(PSR, Pressure-State-Response)模型对资源安全机理进行解释<sup>[14,15]</sup>。Wang等学者率先将PSR模型引入到国家金属资源安全机理中,以铜为例揭示国家金属资源安全问题产生的原因、变化过程和对现实的影响<sup>[16]</sup>(图1)。人口增长、城市化进程加快、经济社会高速发展给金属资源安全带来了巨大的压力( $P$ )。人类耗竭性地取得金属资源,改变了金属资源存量的状态,影响到持续、稳定、及时、足量和经济地获取所需要的金属资源的状态和能力( $S$ )。金属资源压力和存在的问题要求社会做出响应,采取应对措施( $R$ ),如加大地质勘探投入,增加潜在的金属供给;发展科学技术,提高金属回收率;加强资源储备,增强国家对

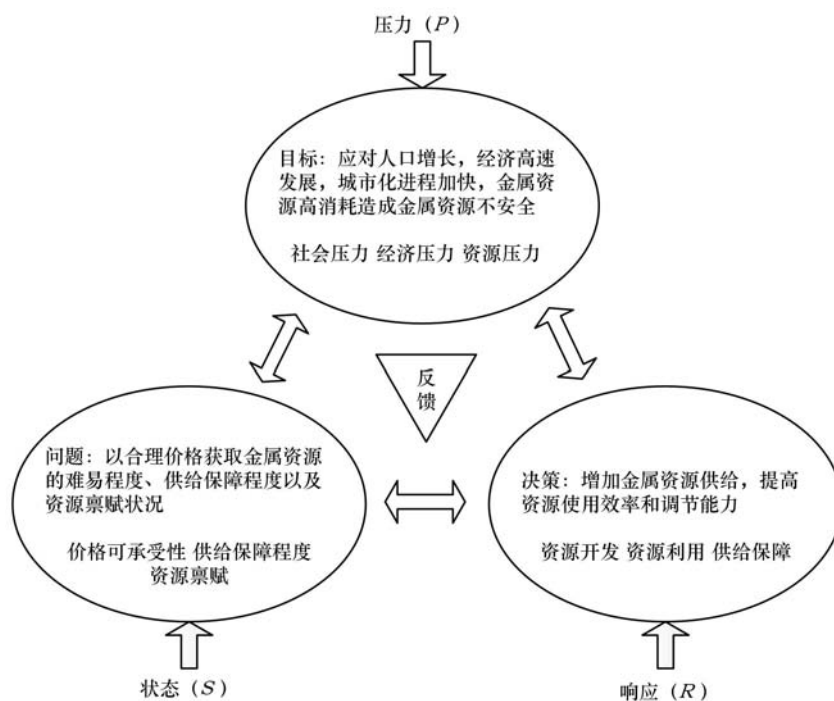


图1 国家金属资源安全机理框架

Figure 1 The mechanism frameworks of national metal resource security

注:作者根据相关文献<sup>[16]</sup>整理得到。

2017年5月

金属资源供给的调节能力。

### 3 国家金属资源安全驱动因素

国家金属资源安全驱动因素主要有资源禀赋、经济发展、技术进步、地缘政治、空间运输、循环利用、生态环境等因素,其中资源禀赋是基础因素,经济发展和技术进步是决定性因素,地缘政治和空间运输是关键因素,循环利用和生态环境是不容忽视的因素。各个因素通过影响国家金属资源供给安全、经济安全或生态安全最终影响到国家金属资源安全状态(图2)。

#### 3.1 资源禀赋因素

一个国家或地区的金属资源禀赋是决定该国或该地区金属资源供应安全状态以及发展趋势的基础因素。金属资源数量的多寡、质量优劣、种类齐缺等直接关系到国家或地区的金属资源安全及其保障水平<sup>[17]</sup>。而金属资源与生俱来的全球储量分布不均的特性,使各区域内很难实现全部金属资源的自给自足,由此也引起地缘政治因素、空间运输因素对国家金属资源安全带来重要影响。Badeeb认为,资源富集国也不一定能够充分利用本国资源优势来促进本国经济发展,常常陷入“资源诅咒”的困境<sup>[18]</sup>。陆挺等研究表明,尽管中国拥有锗、钢、镓等资源优势,但资源优势却并未转化为市场优势<sup>[19]</sup>。而且过去十余年,钢铁、电解铝行业在需求持续增长的情况下反复出现了较为严重的产能过剩<sup>[20]</sup>。因此,陈其慎等提出,要严格控制金属冶炼加工产业产能,合理调整矿业开发规模,并对短缺性战略性金属和优势性战略性金属进行分类管理,确保国家

金属资源安全<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 经济发展因素

经济发展对国家金属资源安全的影响主要通过影响金属资源需求以及金属市场价格机制来影响国家金属资源安全。一方面金属需求与整个经济发展水平密切联系。李鹏飞等指出,工业化进程与金属资源消费结构呈现一定的阶段性规律,在工业化初期,大量消耗大宗金属资源;到工业化中期,基本有色金属消费增长较快;到工业化中后期和后工业化时期,稀有金属需求逐步扩大<sup>[22]</sup>。王安建等、Malenbaum、Focaccia认为经济发展水平与金属资源消耗量呈现“S”型规律,与金属资源消耗强度呈现出原材料库兹涅兹曲线规律及“倒U”型规律<sup>[23-25]</sup>。陈其慎等研究表明,金属资源的消费会随着其所支撑产业的演进而呈现出“雁行式”的消费峰值演进序列<sup>[26]</sup>。因此,金碚提出,当世界进入工业化中后期,必须对工业生产的技术路线和工业化的资源路线进行重大调整<sup>[27]</sup>。另一方面金属资源具有很强的金融属性,所以金融市场对国家金属资源安全有着重要影响。国际资本的投机行为、国际货币汇率的变化、利率的冲击、原油价格联动等金融因素是导致金属价格波动的重要原因<sup>[28]</sup>。Reboredo等实证研究表明,不管在金融危机爆发前还是爆发后,油价大幅变动对金属价格都有明显的溢出效应<sup>[29]</sup>。Zhu等学者认为国际油价在长、短期内都是贵金属价格变动的重要原因,而汇率只在短期内对贵金属价格产生影响,利率在预测贵金属价格上则处于失效状态<sup>[30]</sup>。

#### 3.3 技术进步因素

技术进步在节约、替代、应用拓展等方面对金属资源的需求和供给产生重大影响。一方面部分技术进步会创造新的生产和生活方式,从而对金属资源的需求端产生冲击。例如在新兴技术领域,风力发电、太阳能光伏发电等清洁能源技术的创新及其快速商业化,对锂、钢、稀土等高技术金属资源产生强劲需求<sup>[31, 32]</sup>。美国能源部2010年底发布的《关键原材料战略研究报告》指出在全球41种关键原材料需求中,清洁能源技术驱动需求占全球关键原材料总需求的比重达20%,未来这一比重可能继续提高<sup>[33]</sup>。

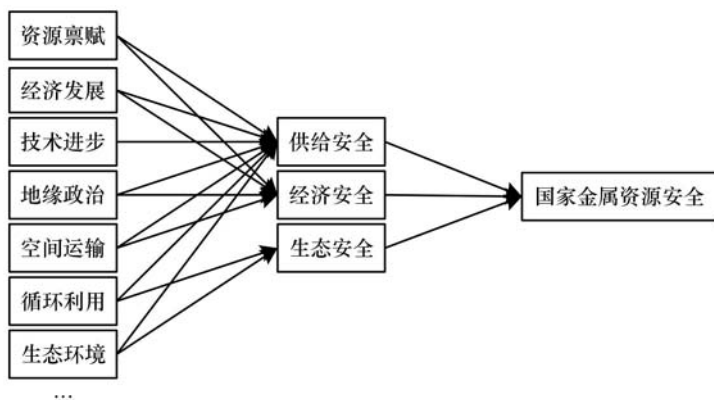


图2 国家金属资源安全驱动因素

Figure 2 The driving factors of national metal resource security



Grendell 等研究得出,未来铜、镓、铂等清洁能源技术所需金属可能会出现供应瓶颈<sup>[32]</sup>。中国国土资源部也将“三稀”金属等高新技术矿产的开发利用提高到战略高度<sup>[34]</sup>。另一方面技术进步通过资源替代、拓展应用领域及资源综合利用等方式对金属资源的供给产生重要的影响。Kerr 等研究表明,大部分金属产量将在未来几十年达到峰值,面临供应短缺的风险<sup>[35]</sup>,而金属替代、循环利用将成为缓解供应压力的重要措施<sup>[36,37]</sup>。

### 3.4 地缘政治因素

地缘政治对国家金属资源安全的影响主要是指少数国家控制金属资源市场供应或金属资源国际贸易规则的改变,极易造成金属资源供应受限以及价格动荡,从而影响国家金属资源安全。Machacek 等研究得出,中国拥有全球 97% 稀土产量,从 2005-2010 年中国不断加强对稀土的出口配额限制,导致稀土市场价格在 2011 年达到了历史最高峰<sup>[38]</sup>。2010 年,美国以人权和环境为借口,制定“冲突矿产”法案,尝试限制刚果及周边地区的矿产品生产,进而加强对非洲矿产资源的控制,严重影响了从这些地区进口金属矿产的中国及其他国家的金属资源安全<sup>[39]</sup>。可见,国际贸易规则总是与地缘政治交织在一起。Habib 等运用 HHI 指数测算了全球 52 种金属的地缘政治供应风险,研究表明,未来金属资源地缘政治风险更多依赖现有及未来新勘探出的金属资源地质储量的分布而不是现有金属产量在全球的分布<sup>[40]</sup>。Gemechu 等学者进一步将地缘政治风险评估纳入到 LCSA 框架中,评估了 14 种资源的地缘政治供应风险,研究发现未来稀土、钨、铋、铍等金属将面临较高的地缘政治供应风险<sup>[41]</sup>。

### 3.5 空间运输因素

金属资源空间分布、运输方式和运输通道等关系到金属资源开发的经济成本、时间成本和生态成本,是国家金属资源安全的关键影响因素。Sohn 认为,对于分布在环境脆弱偏远地区的金属资源储量,需要大量的技术投入和基础设施建设投资,这将大大增加金属开采的经济成本,从而限制了相应的金属开发利用活动,减少金属资源供应<sup>[42]</sup>。李颖等学者对中国海外矿产资源供应安全形势的研究

表明,2013 年中国对南海通道的依存度高达 68.1%,其中对马六甲海峡的依存度高达 46.3%,中国 71.3% 未锻轧锰、94.0% 铬矿、95.0% 锡矿和 98.0% 钴矿等都要途经马六甲海峡。但是近年来,美国“亚太再平衡”战略使得南海地区纷争不断,南海通道安全日益受到挑战,中国依赖该通道进口的金属矿产资源安全风险较大<sup>[43]</sup>。

### 3.6 循环利用因素

循环利用城市矿产能够增加金属资源二次供应,减少原生金属消耗,保护生态环境,为保障国家金属资源安全开辟新渠道。Ciacci 等对人类社会主要使用的 56 种元素的研究表明,可回收利用比例低于 90% 的资源仅有锌、铊、镱、镨、铽等 8 种元素<sup>[44]</sup>。城市矿产中含有多种有价值成分且蓄积在城市当中的资源存量已达到一定规模<sup>[45]</sup>,金属元素的循环性使得城市矿产对资源供给具有重要的乘数效应<sup>[46]</sup>。例如,日本是原生资源极度匮乏的国家,但日本通过开发城市矿产已经成为世界上金、铅、铜资源储量最大的国家,铜、银也均居世界前五位<sup>[46]</sup>。王俊博等、Zhang 等研究测算也表明,中国铜资源社会存量丰富,已超过铜资源基础储量成为了最大的蓄积池<sup>[47,48]</sup>。2025 年以后中国再生铜将替代进口铜成为资源供给的主要来源<sup>[49]</sup>。Chen 等学者进一步发现,单一金属的社会存量呈“S”型增长规律,单一产品社会存量呈现趋于饱和型、转入消亡型、持续增加型和震荡波动型四种历史演变模式<sup>[50,51]</sup>。此外,城市矿产循环利用还具有显著的环境效益<sup>[52]</sup>。Schulze 等研究表明,与金属原生矿开采相比,稀土回收可以降低 58% 的能源消耗<sup>[53]</sup>。

### 3.7 生态环境因素

金属资源开发利用会对生态环境产生一定的破坏,生态环境因素直接关系到金属资源能否被开发利用,是保障国家金属资源安全不容忽视的因素。一方面生态环境因素会影响国家对金属资源的需求。例如 1997 年,美国成立环境保护署,并颁布国家低排放车辆计划,重点强调要降低汽车碳排放。这项计划刺激能够降低排放的催化转换器在汽车行业中广泛使用,从而导致对金属钯的需求急剧增加<sup>[54]</sup>。另一方面生态环境因素也会对金属资源供给产生冲击。Tiess 认为,与国际标准相比,欧盟

2017年5月

的环境法律是十分严格的,很多金属资源储量由于环境标准而无法被开采,曾严重影响欧盟原材料工业的发展<sup>[55]</sup>。中国为了保护本国生态环境,对稀土等原材料采取出口配额限制,却遭到了美、日、欧等国家的贸易诉讼。因此,李鹏飞等提出,中国政府应采取更为合规有效的资源政策和环境政策,建立能够同时反映市场供求关系、资源稀缺程度、环境损害成本的金属矿产品价格形成机制,推动金属资源开采加工过程中环境成本内部化,减少环境损害,维护国家金属资源安全<sup>[22]</sup>。

国家金属资源安全除了受常规影响因素外,还受资源民族主义、自然灾害、重大环境事件以及投机行为等非常规因素的影响。相关学者也对国家金属资源非常规安全进行了研究和探索。安永事务所在2014年发布了针对采矿与金属业业务风险分析的研究报告,指出在过去5年内,资源民族主义已在世界各地蔓延开来,包括强制性选矿、出口限制以及增加税收和土地使用费等各种手段<sup>[56]</sup>,这将严重影响国家金属资源安全。赵振武等对1999年凯撒公司氧化铝厂爆炸案例进行研究,认为此次爆炸使氧化铝供应短缺,造成了铝价的大幅上升<sup>[57]</sup>。付少华分析了国储铜、中航油和株冶事件的联系,得出头寸过大、蓄意做空等投机行为以及缺乏监管是三个事件相继发生的主要原因<sup>[58]</sup>。Bosch等实证研究表明,从短期来看投机行为对贵金属期货市场价格波动产生显著影响,但从长期来看,投机行为并不会引起贵金属价格膨胀<sup>[59]</sup>。

## 4 国家金属资源安全评估方法

### 4.1 国家战略性金属的关键性评估方法

现有研究主要采用关键性矩阵、关键性指数和未来供需定量分析法三种方法评估国家战略性金属的关键性。从具体评估维度来看,主要包括供应风险、脆弱性或经济重要性、环境风险三个维度,其中环境风险维度对评估金属矿产品生产出口国(地区)金属资源关键性具有重要意义<sup>[22]</sup>。从具体评估指标来看,本文基于国家尺度选取了9项具有代表性的国际研究,整理了其在供应风险、脆弱性、环境风险三个维度所用的评估指标<sup>[3,4,22,60-65]</sup>,从表1可以发现生产集中度、供应潜力、世界治理指标在国家金属资源供应风险评估中出现次数最多,而可替代

性、经济重要性、需求变化指标是评价国家金属资源脆弱性的主要指标,环境风险主要通过环境影响指数(EI)来体现。但Habib等、Helbig等学者认为,这些评估方法未能从动态的视角看待供应风险,而且评估方法的选取对评估结果也会有很大影响<sup>[66,67]</sup>。因此未来需要构建更为科学、全面的评估体系对国家战略性金属的关键性进行动态评估。

### 4.2 国家金属资源需求预测方法

国内外关于国家金属资源需求预测的研究主要运用趋势外推法、自下而上法和数理统计法三类方法(表2)。趋势外推法是根据金属资源消耗的“S”型及“倒U”型规律对金属资源需求进行预测,适用于用途广泛、与经济社会发展关系密切的大宗金属资源,其中基于“倒U”形规律的需求预测适用于中等收入国家<sup>[68,69]</sup>。Wårell、代涛等运用该方法对钢铁、锌的需求趋势进行了预测<sup>[69,70]</sup>。但Pauliuk等、Xuan等学者认为,趋势外推法是建立在对未来GDP增速预测的基础上,而且考虑的影响因素也比较单一,预测结果可能会有较大偏差<sup>[71,72]</sup>。自下而上法包括行业、部门、产品需求预测法,适用于消费集中于某些行业、部门或单一产品的金属资源。Grandell等、Seo等、Yin等运用该方法对镓、钢铁及清洁能源技术所需关键金属的需求趋势进行了预测<sup>[32,73,74]</sup>。数理统计法包括灰色预测法、ARIMA预测模型、BP神经网络预测、系统动力学以及组合模型等方法。Xuan等、Ma等、刘超等运用IPAT模型、灰色预测模型、BP神经网络等方法对中国锡、钢铁等金属资源的需求量进行了预测<sup>[72,75,76]</sup>。Sverdrup等运用系统动力学预测了未来铝的需求趋势<sup>[77]</sup>。总体来看,于汶加等学者认为,未来10~15年金属资源需求将出现分异:大宗金属资源需求将陆续达到峰值,但稀土、镓、钢等高新技术金属资源需求将长期持续增长,全球金属资源供需矛盾短缺缓解,长期趋紧<sup>[78]</sup>。

### 4.3 国家金属资源市场势力与定价权评估方法

现有学者对金属资源市场势力的评估有直接测度和间接测度两类方法。直接测度方法有赫芬达尔-赫希曼指数(HHI)、行业集中度、贝恩指数、勒纳指数等,其中贝恩指数适用于微观层面企业市场势力的测度,HHI与行业集中度适用于经营者集中

表1 供应风险、脆弱性、环境风险评价指标汇总

Table 1 Evaluation indicators of the supply risk, vulnerability and environmental risk

研究机构	中国工业 经济所	中国地质 科学院	美国国家 研究委员会	英国伦敦 环境部	日本新能源产业 技术开发机构	荷兰统计 中心	德国技术 评估研究所	耶鲁大学	欧盟	频数统计
供应风险指标:										
生产集中度	√	√	-	√	√	-	√	√	√	7
供应潜力	√	√	√	-	-	√		√	-	5
世界治理指标	√	√	-	-	-	-	√	√	√	5
可开采年限	-	-	√	-	√	-	√	√	-	4
人类发展指数	√	-	√	√	-	-	-	√	-	4
环境影响	-	-	√	-	√	-	√	-	√	4
价格波动	-	√	-	√	√	√	-	-	-	4
矿业政策潜力指数	√	-	√	-	-	-	-	√	-	3
副产品依存度	-	-	√	-	-	-	√	√	-	3
回收潜力	-	-	√	-	-	-	√	-	√	3
进口厂商集中度	-	√		-	√	-	-	-	-	2
进口依赖	-	√	√	-	-	-	-	-	-	2
脆弱性指标:										
可替代性	√	√	√	√	√	-	√	-	-	6
经济重要意义	√	√	-	-	-	√	-	√	√	5
需求变化	-	√	-	√	√	√	√	-	-	5
原材料价值	-	√	√	-	-	-	-	√	-	3
价格变动	-	-	-	-	√	√	-	-	-	2
未来供需比	-	-	√	-	-	-	√	-	-	2
进口依赖	√	-	-	-	-	-	-	√	-	2
使用受限	-	-	-	-	√	√	-	-	-	2
环境风险指标:										
环境影响	√	-	-	-	-	-	-	√	-	2

注:作者根据各研究机构文献<sup>[3,4,22,60-65]</sup>整理所得,本表只列出在所选取的9项研究中出现频数在2次及以上的指标。

表2 金属资源需求预测方法汇总

Table 2 Forecasting methods summary of the demand for metal resource

方法	使用原理	适用范围
趋势外推法	基于金属资源人均消费量与人均GDP的“S”型规律、金属资源消费强度“倒U”型规律等,预测金属资源的需求量。	适用于对用途广泛、与经济社会发展关系密切的大宗金属资源的需求预测。
自下而上法	将金属消费领域划分数个消费行业、部门或产品,通过对各行业、部门或产品的发展趋势的层次分析和判断,预测金属资源的总体需求。	适用于对消费集中在某些行业、部门或产品的金属资源的需求预测。
数理统计法	根据事物的因果关系,利用数理统计方法建立因变量与自变量之间的回归函数,并依此预测未来的一类数学方法。	方法多样,可根据不同金属资源需求特性及数据特点选取恰当的数理统计方法。

注:作者整理相关资料所得。

反垄断审查的经济分析。Zhang等运用修正后的勒纳指数测量得出,中国稀土产品在美国和日本的市场势力有所上升<sup>[79]</sup>。间接测度方法主要有价格-边际成本模型和剩余需求弹性模型两种经典模型。阚大学等运用这两种模型研究了中国钢铁产业的国际市场势力,发现其在韩国、日本和印度市场的

国际市场势力依次降低,在美国市场的国际市场势力还尚未形成<sup>[80]</sup>。关于国家金属资源定价权的研究方法主要包括各种博弈均衡模型、VAR模型以及溢出指数模型等。钟美瑞等、Zhong等基于斯坦伯格模型、古诺模型,分析了代际公平与社会偏好对优势金属矿产资源定价权的影响,进而测度了代际补



2017年5月

偿价值和策略性价值,从理论上完善了金属矿产资源开发补偿价值定价体系<sup>[81,82]</sup>。朱学红等基于多维信息溢出视角,采用有向无环图和溢出指数模型,以上海期货交易所、伦敦金属交易所、纽约商品交易所三大期铜市场为例,对1994-2015年间中外期铜市场的动态联动性进行研究,并分析了中国期铜市场国际定价能力的现状及动态趋势,发现中国期铜市场的国际定价能力还相对较弱<sup>[83]</sup>。

## 5 国家金属资源安全战略与政策研究

### 5.1 国家金属资源安全战略研究

面对金属资源需求增加与供应紧缩的双重压力,不同国家采取了不同的金属资源安全保障战略。近年来,美国、欧盟、日本、俄罗斯、澳大利亚等相继围绕本国或地区的产业发展需求,对关键原材料进行战略性评估,稀土、钢、镓、铌、钽、铂族金属是各国共同关注的关键金属(图3)<sup>[3-5,84,85]</sup>,其中多数为中国优势金属。2016年,中国国土资源部也将钨、锡、钼、锑、钴、锂、稀土等14种金属列入中国战略性矿产<sup>[86]</sup>。Barteková比较研究了中国、美国、澳大利亚、日本、欧洲五个地区的资源安全保障战略,发现尽管各国和地区目标相同,但是保障战略各有不同<sup>[87]</sup>(图4)。欧洲十分注重与资源富集国的资源外交,而日本侧重于通过研发、回收以及国外供应多元化战略确保本国金属资源安全。澳大利亚比较注重国内供应的多元化和资源外交战略。美国

并没有大力开发本国金属资源,而是尤其重视对研发创新战略的使用。中国在采取供应多元化战略的同时,不断加强战略储备和对本国的金属资源保护。“两种资源、两个市场”战略虽然在一定程度上缓解了中国金属资源供应短缺瓶颈,但并没有从根本上改善中国金属资源供应的经济性、稳定性和持续性。因此,王昶等提出,应促进金属资源供给战略由以国内供给为主向国内与国外资源配置、原生矿产与城市矿产以及替代材料协调使用转变<sup>[88]</sup>。

### 5.2 国家金属资源安全政策研究

世界各国都根据本国实际情况采取了金属资

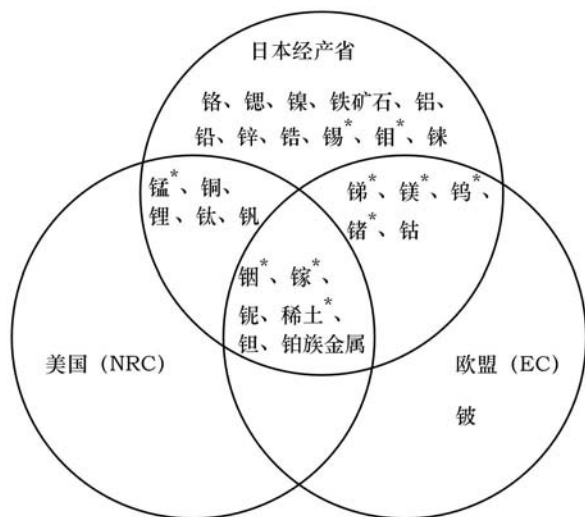


图3 美国、欧盟、日本的关键金属

Figure 3 Critical metals for American, European Union and Japan

注:作者根据各研究机构报告<sup>[3-5]</sup>整理所得,带\*为中国优势金属。

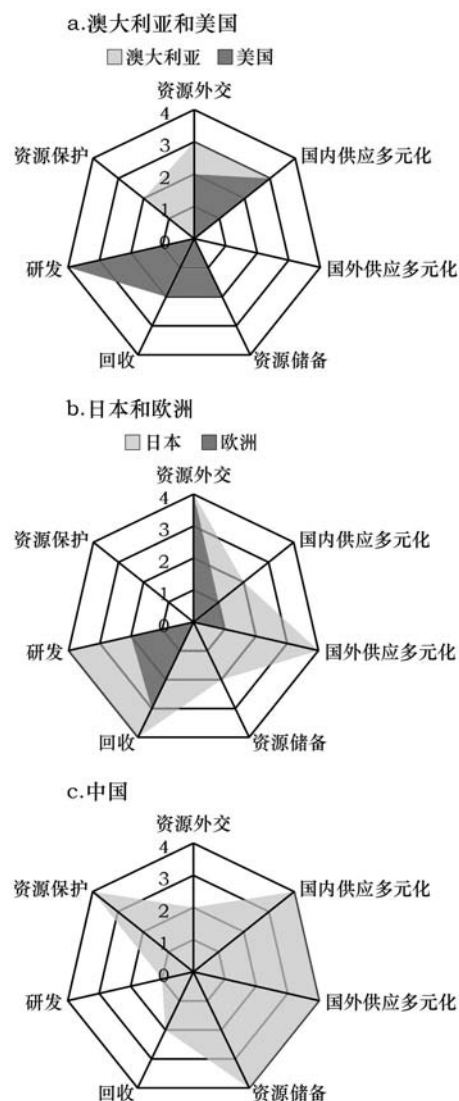


图4 不同国家金属资源安全保障战略比较

Figure 4 The comparison of the metal resource safeguard strategies in different nations

注:作者根据相关文献<sup>[87]</sup>整理得到。

源安全保障政策,而且金属资源重要性不同,保障措施也不同。借鉴中国社会科学院杨丹辉学者的政策分类依据<sup>[89]</sup>,国家金属资源安全政策主要集中在资源保护、环境保护、产业发展和国际贸易等方面,各项政策工具比较见表3。多项研究结果表明,政策工具的组合应用在一定程度上有利于保障国家金属资源安全。在紧缺金属管理方面,中国通过投资海外铁矿石项目和促进行业兼并重组重构亚太铁矿石市场。Wilson等研究认为,这在短期内增加了铁矿石供应,但是价格上涨态势并未得到缓和,市场定价能力也没有提升<sup>[90]</sup>。而日本通过采用回收补贴、投资海外矿产补助金等多项政策工具,降低了金属资源供给风险。日本再生钢和再生镓产量占日本钢和镓供应总量的78%和55%<sup>[91]</sup>,正逐步摆脱对中国原生资源的依赖。在优势金属管理方面,澳大利亚成立了联邦科学与工业研究所,为稀土开发提供技术支持,促进优势金属的可持续利用<sup>[87]</sup>。中国比较依赖行政手段来控制开采和出口,Zhang等实证研究表明,中国出口管制政策工具的使得稀土等金属资源大规模出口的局面得到了有效抑制,增强了市场势力<sup>[79]</sup>,但由于违反WTO贸易

规则,遭致了其他国家的诉讼与惩罚,给国际贸易带来消极影响<sup>[92]</sup>。因此,钟美瑞等建议,利用资源税替代出口配额与出口关税等政策措施,更合理的提高金属矿产品出口价格,从而有效避免贸易纠纷,保障国家金属资源安全<sup>[93]</sup>。高天明等学者认为,中国优势金属矿产资源管理必须从过去的“管两端”政策,调整为以满足国内需求为基础,以平衡开采总量和选冶能力为重点,以扶持优势深加工产业发展为方向<sup>[94]</sup>。

6 研究展望

基于现有研究基础,结合未来国家金属资源安全发展趋势,应加强对以下研究领域的研究和重视:

(1)加强国家金属资源非常规安全机理的研究。传统的国家金属资源安全机理研究关注的是常规安全问题,对非常规事件影响国家金属资源安全的机理研究较少。应将非常规突发事件纳入国家金属资源安全分析框架,重点研究地缘政治、资源民族主义、自然灾害、重大环境事件以及金融与资本投机行为等因素对金属资源安全的影响,形成金属资源领域突发事件情景库和风险矩阵图,为科学决策提供理论基础。

(2)加强新技术革命对国家金属资源安全影响的研究。传统的金属矿产资源需求分析以技术不发生革命性的变革为前提,但以信息化为标志的新一轮技术革命正从节约、替代、应用拓展、循环等方面对金属资源的需求和供给产生重大影响。因此需要突破原有的金属资源供需分析框架,分析新技术革命对金属资源供给侧、需求侧的冲击作用。

(3)加强国际贸易规则与定价机制改变对国家金属资源安全影响的分析。世界经济发展正在出现新的变化,如以美国主导的TPP、TTIP,以东盟主导、中国加入的RCEP,都对国际贸易格局产生了重要影响。此外,美国“冲突矿产”法案的建立,给金属资源流通增加了新的贸易约束。因此,需要分析国际贸易规则与定价机制演变对国家金属资源安全的影响。

(4)加强国际重大战略实施对国家金属资源安全影响的评估。新形势下德国工业4.0、中国制造2025和“一带一路”战略、美国“再工业化”战略等一

表3 金属资源安全政策工具

Table 3 Policy instruments for metal resources

政策类型	政策工具	工具性质
资源保护政策	总量控制	管制型
	战略储备	管制型
	资质许可	管制型
	矿业权管理	管制型
	矿产资源税费	经济激励型
环境保护政策	环境标准	管制型
	环境税	经济激励型
产业政策	技术支持	经济激励型
	行业准入	管制型
	回收补贴	经济激励型
	替代材料研发资助	经济激励型
	投资海外矿产补助金	经济激励型
贸易政策	推进企业兼并重组	社会型
	出口关税	经济激励型
	进口补贴	经济激励型
	出口配额	管制型
	最低出口价格	管制型
	出口许可证管理	管制型

注:作者整理相关资料所得。



2017年5月

系列重大战略实施对国家金属资源安全会产生重大影响,需要考虑这些战略的实施对国家金属资源安全的影响,并动态地评估和预测国家金属资源安全态势的变化。

## 7 结论

本文主要从内涵机理、驱动因素、评估方法、战略与政策四个方面梳理了近年来国家金属资源安全研究进展。研究表明,国家金属资源安全涵盖供给安全、经济安全和生态安全,主要受资源禀赋、经济发展、技术进步、生态环境等常规因素和资源民族主义、自然灾害、重大环境事件以及投机行为等非常规因素影响。现有研究主要采用关键性矩阵、关键性指数和未来供需定量分析等方法,从供应风险、脆弱性或经济重要性、环境风险三个维度评估战略性金属资源的关键性;趋势外推法、自下而上法和数理统计法是预测国家金属资源需求的主要方法;国家金属资源市场势力和定价权的评估主要采用勒纳指数、HHI指数及均衡博弈模型等方法。世界各国都根据本国国情采取了不同的金属资源安全保障战略;政策工具的组合应用在一定程度上有利于保障国家金属资源安全。针对新时期国家金属资源安全形势的变化,未来要进一步探讨非常规突发事件对国家金属资源安全的影响机制、新技术革命对金属资源供需的冲击效应、国际贸易规则以及重大战略实施对国家金属资源安全的影响等方面的研究,揭示新形势下国家金属资源安全机理,并提出适应新时期新形势新变化的国家金属资源安全战略和政策建议。

## 参考文献(References):

- [1] McClure J A. Stockpiling of strategic and critical materials[J]. *Idaho Law Review*, 1983, 19: 417-453.
- [2] Council L. Strategic and Critical Materials Stock Piling Act[R]. Washington: Office of the Legislative Council, U.S. House of Representatives, 1939.
- [3] National Research Council (US). Committee on Critical Mineral Impacts on the US Economy. Minerals, Critical Minerals and the US Economy[M]. Washington: National Academies Press, 2008.
- [4] European Commission. Report on Critical Raw Materials for the EU[EB/OL]. (2015-04-29) [2017-02-01]. <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>.
- [5] 日本経済産業省. 資源確保戦略[EB/OL]. (2012-06-27) [2017-03-07]. [http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources\\_and\\_fuel/strategy/pdf/shinenseisaku2.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/strategy/pdf/shinenseisaku2.pdf).
- [6] 谷树忠, 姚予龙, 沈镭, 等. 资源安全及其基本属性与研究框架[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 280-285. [Gu S Z, Yao Y L, Shen L, et al. Conceptual framework and research focus of resource security[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 280-285.]
- [7] 汪云甲. 论我国矿产资源安全问题[J]. 科技导报, 2003, 21(2): 58-61. [Wang Y J. On China's mineral resources security[J]. *Science and Technology Review*, 2003, 21(2): 58-61.]
- [8] 邓光君. 国家矿产资源安全的经济学思考[J]. 中国国土资源经济, 2009, 22(1): 26-28. [Deng G J. Economic thought of national mineral resources security[J]. *Natural Resource Economic of China*, 2009, 22(1): 26-28.]
- [9] 罗辉, 宦吉娥. 矿产资源安全研究述评[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2010, 10(3): 43-46. [Luo H, Huan J E. Review on mineral resources security[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2010, 10(3): 43-46.]
- [10] Gordon R B, Bertram M, Graedel T E. Metal stocks and sustainability[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, 103(5): 1209-1214.
- [11] Tilton J E, Lagos G. Assessing the long-run availability of copper[J]. *Resources Policy*, 2007, 32(1): 19-23.
- [12] 王昶, 陈从喜. 保障国家金属资源安全需居安思危[J]. 信息参考, 2016, (21): 1-7. [Wang C, Chen C X. Protecting national metal resources security should be vigilant in times of peace[J]. *Information Reference*, 2016, (21): 1-7.]
- [13] 王昶, 黄健柏, 陈从喜, 等. 国家金属资源安全战略亟需顺势转型[J]. 科技工作者建议, 2016, (9): 1-8. [Wang C, Huang J B, Chen C X, et al. The national metal resources security strategy need to transform[J]. *Science and Technology Workers Recommended*, 2016, (9): 1-8.]
- [14] 姚予龙, 谷树忠. 资源安全机理及其经济学解释[J]. 资源科学, 2002, 24(5): 46-51. [Yao Y L, Gu S Z. Mechanism and economic definition of resource security[J]. *Resources Sciences*, 2002, 24(5): 46-51.]
- [15] 谷树忠, 姚予龙. 国家资源安全及其系统分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 142-148. [Gu S Z, Yao Y L. National natural resource security and its systematic dynamics[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2006, 16(6): 142-148.]
- [16] Wang C, Zuo L, Hu P, et al. Evaluation and simulation analysis of China's copper security evolution trajectory[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2013, 23(8): 2465-2474.
- [17] 谷树忠, 成升魁. 中国资源报告[M]. 北京: 商务印书馆, 2010.

- [Gu S Z, Cheng S K. China Resource Report[M]. Beijing: Commercial Press, 2010.]
- [18] Badeed R, Lean H H, Clark J. The evolution of the natural resource curse thesis: A critical literature survey[J]. *Resources Policy*, 2017, 51: 123-134.
- [19] 陆挺, 刘璇, 张艳飞, 等. 基于产业链分析的中国钢镓铟产业发展战略研究[J]. *资源科学*, 2015, 37(5): 1008-1017. [Lu T, Liu X, Zhang Y F, et al. Development strategies for the Chinese indium, germanium and gallium industry based industry chain analysis[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 1008-1017.]
- [20] 范林凯, 李晓萍, 应珊珊. 渐进式改革背景下产能过剩的现实基础与形成机理[J]. *中国工业经济*, 2015, (1): 19-31. [Fan L K, Li X P, Ying S S. The realistic bases and formation mechanism of excess capacity based on incremental reform[J]. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 19-31.]
- [21] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 中国战略性矿产研究报告[R]. 北京: 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 2014. [Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. The Research Report of China's Strategic Minerals[R]. Beijing: The Chinese Academy of Geological Sciences Global Mineral Resources Strategy Research Center, 2014.]
- [22] 李鹏飞, 杨丹辉, 渠慎宁, 等. 稀有矿产资源的战略性评估-基于战略性新兴产业发展的视角[J]. *中国工业经济*, 2014, (7): 44-57. [Li P F, Yang D H, Qu S N, et al. A strategic assessment of rare minerals based on the perspective of strategic emerging industries development[J]. *China Industrial Economics*, 2014, (7): 44-57.]
- [23] 王安建, 王高尚, 张建华. 矿产资源与国家经济发展[M]. 北京: 地震出版社, 2002. [Wang A J, Wang G S, Zhang J H. Mineral Resources and National Economic Development[M]. Beijing: Earthquake Press, 2002.]
- [24] Malenbaum W. World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000[M]. New York: McGraw-Hill, 1978.
- [25] Focacci A. Empirical relationship between total consumption-GDP ratio and per capita income for different metals of a series of industrialized nations[J]. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 2005, 5(4): 347-377.
- [26] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 资源-产业“雁行式”演进规律[J]. *资源科学*, 2015, 37(5): 871-882. [Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. Resources-industry “flying geese” evolving pattern[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 871-882.]
- [27] 金碚. 中国工业化的资源路线与资源供求[J]. *中国工业经济*, 2008, (2): 5-19. [Jin B. Chinese industrialization: Resource route and resource supply & demand[J]. *China Industrial Economics*, 2008, (2): 5-19.]
- [28] 钟美瑞, 谌杰宇, 黄健柏, 等. 基于MSVAR模型的有色金属价格波动影响因素的非线性效应研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(4): 45-53. [Zhong M R, Chen J Y, Huang J B, et al. Nonlinear effect studies of influence factors of nonferrous metals price fluctuation based on MSVAR model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(4): 45-53.]
- [29] Reboredo J C, Ugolini A. The impact of downward/upward oil price movements on metal prices[J]. *Resources Policy*, 2016, 49: 129-141.
- [30] Zhu X H, Chen J Y, Zhong M R. Dynamic interacting relationships among international oil prices, macroeconomic variables and precious metal prices[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2015, 25(2): 669-676.
- [31] Habib K, Wenzel H. Exploring rare earths supply constraints for the emerging clean energy technologies and the role of recycling [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 84(1): 348-359.
- [32] Grandell L, Lehtilä A, Kivinen M, et al. Role of critical metals in the future markets of clean energy technologies[J]. *Renewable Energy*, 2016, 95: 53-62.
- [33] United States Department of Energy. Critical Material Strategy [R]. Washington: United States Department of Energy, 2010.
- [34] 张新安, 张迎新. 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*, 2011, (6): 2-7. [Zhang X A, Zhang Y X. Raise the development and utilization of the “three dilute” metal and other high-tech minerals to a strategic height [J]. *Land and Resources Information*, 2011, (6): 2-7.]
- [35] Kerr R A. The coming copper peak[J]. *Science*, 2014, 343(6172): 722-724.
- [36] Sverdrup H U, Ragnarsdottir K V, Koca D. An assessment of metal supply sustainability as an input to policy: Security of supply extraction rates, stocks-in-use, recycling and risk of scarcity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 140: 359-372.
- [37] Henckens M, Driessen P P J, Worrell E. How can we adapt to geological scarcity of antimony? Investigation of antimony's substitutability and of other measures to achieve a sustainable use [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 108: 54-62.
- [38] Machacek E, Fold N. Alternative value chains for rare earths: The Anglo-deposit developers[J]. *Resources Policy*, 2014, 42: 53-64.
- [39] 张涛, 唐金荣, 施俊法. 冲突矿产的概念提出及其对中国的影响[J]. *矿业研究与开发*, 2015, 35(3): 98-101. [Zhang T, Tang J R, Shi J F. The concept of conflict mineral and its influence on China[J]. *Mining Research and Development*, 2015, 35(3): 98-101.]
- [40] Habib K, Hamelin L, Wenzel H. A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133: 850-858.
- [41] Gemechu E D, Helbig C, Sonnemann G, et al. Import-based indicator for the geopolitical supply risk of raw materials in life

2017年5月

- cycle sustainability assessments[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2015, 20(1): 154-165.
- [42] Sohn I. Long-term projections of non-fuel minerals: We were wrong, but why?[J]. *Resources Policy*, 2005, 30(4): 259-284.
- [43] 李颖, 陈其慎, 柳群义, 等. 中国海外矿产资源供应安全评价与形势分析[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 900-907. [Li Y, Chen Q S, Liu Q Y, et al. An indicator system for overseas mineral resource supply security and analysis of the security situation for China's overseas resource supply [J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 900-907.]
- [44] Ciacci L, Reck B K, Nassar N T, et al. Lost by design[J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(16): 9443-9451.
- [45] 王昶, 徐尖, 姚海琳. 城市矿产理论研究综述[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1618-1625. [Wang C, Xu J, Yao H L. A systematic review of urban mining theory[J]. *Resources Science*, 2014, 36(8): 1618-1625.]
- [46] 顾一帆, 吴玉锋, 穆献中, 等. 原生资源与再生资源的耦合配置[J]. 中国工业经济, 2016, (5): 22-39. [Gu Y F, Wu Y F, Mu X Z, et al. Coupling allocation of primary and secondary resources [J]. *China Industrial Economics*, 2016, (5): 22-39.]
- [47] 王俊博, 范蕾, 李新, 等. 基于物质流方法的中国铜资源社会存量研究[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 939-947. [Wang J B, Fan L, Li X, et al. Research on the social stock of copper resources in China based on the material flow analysis[J]. *Resources Science*, 2016, 38(5): 939-947.]
- [48] Zhang L, Yang J, Cai Z, et al. Understanding the spatial and temporal patterns of copper in-use stocks in China[J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(11): 6430-6437.
- [49] 温宗国, 季晓立. 中国铜资源代谢趋势及减量化措施[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2013, 53(9): 1283-1288. [Wen Z G, Ji X L. Copper resource trends and use reduction measures in China [J]. *Tsinghua University (Science & Technology)*, 2013, 53(9): 1283-1288.]
- [50] Chen W Q, Graedel T E. Dynamic analysis of aluminum stocks and flows in the United States: 1900-2009[J]. *Ecological Economics*, 2012, 81: 92-102.
- [51] Chen W Q, Graedel T E. In-use product stocks link manufactured capital to natural capital[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(20): 6265-6270.
- [52] Simoni M, Kuhn E P, Morf L S, et al. Urban mining as a contribution to the resource strategy of the Canton of Zurich[J]. *Waste Management*, 2015, 45: 10-21.
- [53] Schulze R, Buchert M. Estimates of global REE recycling potentials from NdFeB magnet material[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 113: 12-27.
- [54] Habib K. Critical Resources in Clean Energy Technologies and Waste Flows[D]. Denmark: University of Southern Denmark, 2015.
- [55] Tiess G. Minerals policy in Europe: Some recent developments [J]. *Resources Policy*, 2010, 35(3): 190-198.
- [56] 安永事务所. 2014采矿业及金属业商业风险报告[R]. 北京: 安永事务所, 2014. [Ernst & Young Accounting Firm. Business Risk Report for the Mining and Metals Industry in 2014[R]. Beijing: Ernst & Young Accounting Firm, 2014.]
- [57] 赵振武, 刘海峰. 近期氧化铝价格走势预测[J]. 中国金属通报, 2000, (4): 5-6. [Zhao Z W, Liu H F. Recent forecast of alumina price[J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2000, (4): 5-6.]
- [58] 付少华. 国储铜风波与株冶、中航油事件的差别与启示[N]. 期货日报, 2005-12-29(03). [Fu S H. The Difference and Enlightenment of State-Owned Copper Storm and Zhuzhou Smelter and CAO Oil Incident[N]. *Futures Daily*, 2005-12-29(03).]
- [59] Bosch D, Pradkhan E. The impact of speculation on precious metals futures markets[J]. *Resources Policy*, 2015, 44: 118-134.
- [60] Graedel T E, Barr R, Chandler C, et al. Methodology of metal criticality determination[J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46(2): 1063-1070.
- [61] Netherlands S. Critical Materials in the Dutch Economy[R]. Netherlands: Dutch Bureau of Statistics, 2010.
- [62] AEA Technology and Defra. Review of the Future Resource Risks Faced by UK Business and an Assessment of Future Viability[R]. London: Department for Environment, 2010.
- [63] Erdmann L, Behrendt S, Feil M. Kritische Rohstoffe Für Deutschland[R]. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologie bewertung Adelphi, 2011.
- [64] 张艳飞, 陈其慎, 于汶加, 等. 中国矿产资源重要性二维评价体系构建[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 883-890. [Zhang Y F, Chen Q S, Yu W J, et al. Building a two dimensional coordinate evaluation system of mineral resource importance[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 883-890.]
- [65] New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). Trend Report of Development in Materials for Substitution of Scarce Metals[R]. Tokyo: New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), 2009.
- [66] Habib K, Wenzel H. Reviewing resource criticality assessment from a dynamic and technology specific perspective-using the case of direct-drive wind turbines[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112(5): 3852-3863.
- [67] Helbig C, Wietschel L, Thorenz A, et al. How to evaluate raw material vulnerability-An overview[J]. *Resources Policy*, 2016, 48: 13-24.
- [68] Jaunky V C. Is there a material Kuznets curve for Aluminium?



- Evidence from rich countries[J]. *Resources Policy*, 2012, 37(3): 296-307.
- [69] Wårell L. Trends and developments in long-term steel demand-the intensity-of-use hypothesis revisited[J]. *Resources Policy*, 2014, 39(1): 134-143.
- [70] 代涛, 陈其慎, 于汶加. 全球锌消费及需求预测与中国锌产业发展[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 951-960. [Dai T, Chen Q S, Yu W J. Global zinc consumption and demand forecast and development of China's zinc industry[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 951-960.]
- [71] Pauliuk S, Wang T, Muller D B, et al. Moving toward the circular economy: The role of stocks in the Chinese steel cycle[J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46(1): 148-154.
- [72] Xuan Y, Yue Q. Forecast of steel demand and the availability of depreciated steel scrap in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 109: 1-12.
- [73] Seo Y, Morimoto S. Comparison of dysprosium security strategies in Japan for 2010-2030[J]. *Resources Policy*, 2014, 39: 15-20.
- [74] Yin X, Chen W. Trends and development of steel demand in China: A bottom-up analysis[J]. *Resources Policy*, 2013, 38(4): 407-415.
- [75] Ma W, Zhu X, Wang M. Forecasting iron ore import and consumption of China using grey model optimized by particle swarm optimization algorithm[J]. *Resources Policy*, 2013, 38(4): 613-620.
- [76] 刘超, 陈甲斌, 唐宇, 等. 中国锡金属消费量预测方法及应用[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 1038-1046. [Liu C, Chen J B, Tang Y, et al. Tin metal consumption prediction methods and application[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 1038-1046.]
- [77] Sverdrup H U, Ragnarsdottir K V, Koca D. Aluminium for the future: Modelling the global production, market supply, demand, price and long term development of the global reserves[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 103(10): 139-154.
- [78] 于汶加, 陈其慎, 张艳飞, 等. 世界新格局与中国新矿产资源战略观[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 860-870. [Yu W J, Chen Q S, Zhang Y F, et al. New global patterns and new Chinese resource strategies[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 860-870.]
- [79] Zhang L, Qing G, Zhang J, et al. Did China's rare earth export policies work? Empirical evidence from USA and Japan [J]. *Resources Policy*, 2015, 43: 82-90.
- [80] 阚大学. 中国钢铁产业国际市场势力实证研究[J]. 国际商务研究, 2014, (6): 26-33. [Kan D X. An empirical study on international market forces of China's iron and steel industry[J]. *International Business Research*, 2014, (6): 26-33.]
- [81] 钟美瑞, 曾安琪, 黄健柏, 等. 代际公平与社会偏好视角下优势金属矿产定价权分析-基于古诺均衡模型的分析框架[J]. 中国管理科学, 2016, 24(1): 47-55. [Zhong M R, Zeng A Q, Huang J B, et al. The analysis of pricing power of preponderant metal mineral under the perspective of intergenerational equity and social preferences- an analytical framework based on Cournot Equilibrium model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(1): 47-55.]
- [82] Zhong M R, Chen J Y, Zhu X H, et al. Strategic equilibrium price analysis and numerical simulation of preponderant high-tech metal mineral resources[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2013, 23(10): 3153-3160.
- [83] 朱学红, 谌金字, 邵留国. 信息溢出视角下的中国金属期货市场国际定价能力研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(9): 28-35. [Zhu X H, Chen J Y, Shao L G. The international pricing power of Chinese metal future market based on information spillover [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(9): 28-35.]
- [84] Bortnikov N S, Volkov A V, Galyamov A L, et al. Mineral resources of high-tech metals in Russia: State of the art and outlook[J]. *Geology of Ore Deposits*, 2016, 58(2): 83-103.
- [85] Skirrow R G, Huston D L, Mernagh T P, et al. Critical Commodities for a High-Tech World: Australia's Potential to Supply Global Demand[R]. Canberra: Geoscience Australia, 2013.
- [86] 中国国土资源部. 全国矿产资源规划(2016-2020年)[EB/OL]. (2016-11-15) [2017-03-07]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205\\_14\\_23357.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205_14_23357.htm). [The Ministry of Land and Resources of PRC. The National Mineral Resources Planning (2016-2020)[EB/OL]. (2016-11-15)[2017-03-07]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205\\_1423357.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205_1423357.htm).]
- [87] Barteková E, Kemp R. National strategies for securing a stable supply of rare earths in different world regions[J]. *Resources Policy*, 2016, 49: 153-164.
- [88] 王昶, 黄健柏. 中国金属资源战略形势变化及其产业政策调整研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S3): 391-394. [Wang C, Huang J B. The changes in strategic situation of China's metal resources and the adjustment of the industrial policy[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(S3): 391-394.]
- [89] 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. [Yang D H. China's Rare Earth Industry Development and Policy Research[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2015.]
- [90] Wilson J D. Chinese resource security policies and the restructuring of the Asia-Pacific iron ore market[J]. *Resources Policy*, 2012, 37(3): 331-339.
- [91] JOGMEC. 鉱物資源マテリアルフロー2013 [EB/OL]. (2017-01-05) [2017-02-21]. [http://mrjc.jogmec.go.jp/periodical/ebook/201701/mateflo2016/mateflo\\_2016.pdf](http://mrjc.jogmec.go.jp/periodical/ebook/201701/mateflo2016/mateflo_2016.pdf).

2017年5月

- [92] Mancheri N A. World trade in rare earth, Chinese export restriction and implication[J]. *Resources Policy*, 2015, 46: 262-271.
- [93] 钟美瑞, 曾安琪, 黄健柏, 等. 国家资源安全战略视角下金属资源税改革的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(6): 130-138. [Zhong M R, Zeng A Q, Huang J B, *et al.* Impact of metal resources tax reform from the perspective of national resources security strategy[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(6): 130-138.]
- [94] 高天明, 于汶加, 沈镭. 中国优势矿产资源管理政策新导向[J]. *资源科学*, 2015, 37(5): 908-914. [Gao T M, Yu W J, Shen L. New guidelines for China's superiority mineral resources management policy[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 908-914.]

## Review and prospects of national metal resource security

WANG Chang<sup>1,2</sup>, SONG Huiling<sup>1</sup>, ZUO Lvshui<sup>1</sup>, HUANG Jianbai<sup>1</sup>

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Key Laboratory of Strategic Studies, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

**Abstract:** Metal resources are critical materials for Chinese economic development, and their security is closely related to national security. Here we systemically review the connotation and mechanisms, driving factors, evaluation methods, national strategies and policies of national metal resource security (NMRS). The content of NMRS covers the security of supply, price and environment. The key factors that influence the security status of NMRS are resource endowment, economic development, technical progress, and ecological environment. In principle, existing studies apply three approaches to assess the criticality of metals, criticality matrices, criticality indices and quantitative future supply and demand analysis. The most used approaches in metal demand forecasting are the trend extrapolation method, bottom-up approach and mathematical statistics. The market power and pricing of metals are estimated by the Herfindahl-Hirschman index, Lerner index, and equilibrium game models. Different strategies and policy tools for metal security are adopted by countries or regions depending on their national circumstances. Based on these findings and the needs of social development, future study in NMRS should focus mainly on the following four areas: (1) comprehensive research on the mechanism of NMRS; (2) the influence of new technological revolution on NMRS; (3) impacts of changing international trade rules and pricing mechanism on NMRS; and (4) evaluation of the impact of international significant strategies on NMRS.

**Key words:** national resource security; metal resources; content and mechanism; evaluation methods; strategy and policy