

·“双清论坛”专题:战略性关键矿产资源·

# 新时代中国战略性关键矿产资源安全与管理<sup>\*</sup>

王安建<sup>1\*\*</sup> 王高尚<sup>1</sup> 邓祥征<sup>3</sup> 周凤英<sup>1</sup> 安海忠<sup>2</sup>  
 钟维琼<sup>1\*\*</sup> 李华姣<sup>2</sup> 刘刚<sup>3</sup> 马哲<sup>1</sup> 胡东滨<sup>4</sup>  
 成金华<sup>5</sup> 闫强<sup>1</sup> 代涛<sup>1</sup> 钟美瑞<sup>4</sup> 王小林<sup>5</sup>

(1. 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心,北京 100037; 2. 中国地质大学(北京),北京 100083;  
 3. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 4. 中南大学,长沙 410083;  
 5. 中国地质大学(武汉),武汉 430074)

**[摘要]** 基于第214期“双清论坛”,本文总结了我国战略性关键矿产资源在新时代背景下的国家重大需求以及所面临的机遇与挑战,回顾了矿产资源安全与管理领域近年来通过管理科学、经济科学、地球科学、环境科学、工程与材料科学等多学科交叉所取得的主要进展和成果,凝练了该领域未来5—10年的重大关键科学问题,探讨了该领域的重大前沿研究方向和科学基金资助战略。

**[关键词]** 新时代;战略性关键矿产资源;安全;管理

矿产资源是人类生存和发展的物质基础。改革开放40年来,我国经济社会发展取得巨大成就,发展奇迹的创造离不开矿产资源的有力支撑和保障。40年间,我国能源消费量增长了7倍、粗钢16.3倍、铝58倍、铜32.7倍、钾盐17倍,一跃成为并稳居全球第一矿产资源消费大国、生产大国和贸易大国<sup>[1]</sup>。2017年43种重要矿产中,中国消费量居世界第一位的有32种,产量世界第一的有19种,贸易量世界第一的有12种,25种矿产对外依存,其中石油、铀、铁、铜、镍、锂、钴等14种矿产对外依存度超过50%<sup>[1]</sup>。矿产资源需求量大面广,国内资源供应短缺,长期对外依存,资源安全一直是事关国家安全的重大战略问题。

新时代,我国进入生态文明发展新阶段,第四次工业革命催生全球新一轮产业竞争,矿产资源国内外供需形势正在发生显著变化,矿产资源国际竞争日趋激烈,成为大国资源博弈的焦点。2016年,由美国总统亲自担任主席的美国国家科学技术委员会(NSTC)向参议会提交美国关键矿产分析报告<sup>[2]</sup>。2017年12月特朗普总统发布13817号总统行政命

令,责成相关部门制定美国关键矿产清单和资源安全供应措施,2018年公布关键矿产清单,剑指2025中国制造及其相关战略性关键矿产。欧盟委员会2010年、2013年和2017年连续出台战略性关键矿产目录,欧美等国均明确指出其关键矿产与中国存在竞争关系<sup>[3]</sup>。美国逆全球化,不断在国际组织“退群”,对中国发动贸易战,一些西方国家大肆渲染中国威胁论,阻碍中国高科技企业发展,中东局势持续动荡,国际环境不确定因素不断增加,这一切表明,我国获取境外资源的外部风险正在聚集。从国内来看,生态文明建设成为主旋律,保护区内矿业的退出,资源开发的环境生态制约趋紧,资源供应压力进一步增大。同时,我国自然资源管理体系发生重大变革,“山水林田湖草”生命共同体统一管理呼唤科学支撑。进入新时代,资源安全依然是保障实现第二个百年目标和中华民族伟大复兴的重大战略任务。

在此背景下,2018年11月22—23日,国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)管理科学部、地球科学部、工程与材料科学部与政策局联

收稿日期:2019-02-16;修回日期:2019-02-27

\* 本文根据第214期“双清论坛”内容整理。

\*\* 通信作者,Email: ajwang@cags.ac.cn; zhongweiqiong2016@126.com

合召开了主题为“新时代中国战略性矿产资源安全与管理”的第214期双清论坛,来自自然资源部、中国科学院、中国工程院等单位的12位院士和60余名专家学者应邀参加了本次论坛。与会专家对中国战略性关键矿产资源安全与管理发展现状与趋势、未来主要研究方向和科学问题进行了梳理,并提出了相关领域的国家自然科学基金资助方向。

## 1 新时代战略性关键矿产资源安全与管理面临的机遇与挑战

### 1.1 支撑第二个百年目标战略性关键矿产资源需求巨大,国内资源供应不足

为解决温饱问题(1949—2000年),中国消费了35.6亿吨石油、4500亿立方米天然气、301亿吨原煤、23亿吨粗钢、2200万吨精炼铜和3300万吨原铝<sup>[1]</sup>。为建成小康社会(2001—2020年),中国将消费石油91亿吨(2001—2017年消费了72亿吨,下同)、天然气2.69万亿立方米(1.8万亿立方米)、原煤648亿吨(530亿吨)、粗钢107亿吨(85亿吨)、精炼铜1.56亿吨(1.16亿吨)和原铝3.75亿吨(2.73亿吨)<sup>[1]</sup>。与解决温饱问题的52年时间跨度相比,近20年的快速工业化过程,中国石油、天然气、原煤、粗钢、精炼铜和原铝消费分别增长了2.5倍、6倍、2倍、4.6倍、7倍和11倍<sup>[1]</sup>。为基本实现现代化(第二个百年目标第一发展阶段,至2035年),中国还将需要消费石油102亿吨、天然气8.84万亿立方米、原煤575亿吨、粗钢83亿吨、精炼铜2.05亿吨和原铝4.95亿吨,以及种类更多的其他矿产资源<sup>[1]</sup>。

我国即将从工业大国发展为工业强国,为实现高质量增长的目标,对矿产资源的需求结构和种类也在发生显著变化,支撑“2025中国制造”的战略性关键矿产资源需求将快速增长。例如新能源汽车产业涉及至少23种矿产,其中关键矿产6种,包括锂、钴、镍、稀土、石墨、铂等,2035年需求量将增长至目前的1.7~11倍<sup>[4]</sup>。届时,很多矿种将从目前的“小矿种”上升为“大矿种”,这种趋势将在很大程度上影响全球战略性关键矿产资源的供需格局和市场格局。

我国面临着庞大的人口和资源环境双重压力,要创新性地走出一条低能耗、低物耗、少污染、经济持续增长的模式和路径,必须尽早厘清支撑未来高新技术产业发展的关键矿产资源的需求结构及变化趋势,未雨绸缪,提前规划布局,应对未来矿产资源

全球竞争。

### 1.2 新时代生态文明建设对矿产资源可供性与有效供给提出了新要求

矿产资源的地质-经济-环境的三重属性,决定了矿产资源供应的时限性和边界性。新时代绿色发展,特别是“绿水青山就是金山银山”理念的提出,迫切要求科学回答在绿色发展理念下,我国矿产资源供应系统的经济性和国际竞争力,以及资源、环境、生态协调发展的科学模式,这一要求已成为当前自然资源综合管理亟待解决的关键问题。

同时,我国矿产资源供应一直存在两个问题没有得到有效解决:一是国际矿产品市场大幅波动,在不同市场价格条件下,我国究竟有多少矿产资源是经济可采或经济可供的,矿产资源国际竞争力有多大?二是我国资源储量统计数据中储量、基础储量和资源量比例严重失衡,储量数据不能够真实反映我国查明资源中经济可采储量的数量,占较大比例的内蕴经济资源量有多少可以转化为经济可采储量?

因此,如何评估生态环境背景下的国内矿产资源可供储量、可供产量和有效供应能力,科学划定国内资源供应底线,是保障矿产资源安全与管理的基础性科学问题。

### 1.3 战略性关键矿产资源循环利用、再生潜力与二次资源供应是新时代资源安全保障的重要组成部分

循环经济不仅仅是理念,也是发展方式,同时也是资源高效利用的重要途径,存在诸多科学问题。世界金属统计局(WBMS)统计数据显示,目前,部分发达国家铁、铜、铝、铅、镍、钢等废旧金属资源循环利用已占资源供应量的40%—60%。我国已步入工业化后期阶段,随着工业化过程中大量自然资源向社会资源的转变和蓄积,资源回收和循环利用将成为资源供应的重要来源,也是促进生态文明建设的重要手段。采用物质流等理论和方法,厘清我国战略性关键矿产资源的流量、流式、存量、存式、时空变化,以及国际贸易网络等,科学评估再生资源循环利用潜力,是新时代保障矿产资源有效供应不可忽视的领域。

### 1.4 自然资源管理体制变革下的矿产资源管理亟待更优化的管理体系

新时代,我国国内出现了矿业资本投入持续萎缩、资源储量增幅持续放缓与储量严重不足、保障程度持续降低的问题,如何引导社会多元资本进入资

源勘查领域,需要基于全产业链视角下的矿产资源管理体系多主体交互机制与优化机理研究,探索促进国内资源勘查、有效增加资源储量的新机制和新途径。特别是随着自然资源部的成立,自然资源管理体制发生变革和管理职能的转变,要求构建矿产、山水林田湖草协调评价、空间统一规划管理的理论和方法,探索自然资源体制大变革下的多元要素矿产资源管理体系优化路径,解决以往资源—资产—资本管理缺位、错位、不到位问题,构建“三资”综合管理的理论与技术方法,优化矿产资源管理体系。

### 1.5 新时代召唤尽快出台矿产资源全球治理的中国方案

积极参与全球治理,提高我国全球矿产资源治理能力,既是时代要求,也是我国矿产资源安全保障的关键。目前全球矿产资源治理是建立在以西方价值观为主导的自由贸易体系上的,这个体系对欧美国家有利,让其可以利用 WTO 机制应对中国稀土出口管制,利用《能源宪章条约》对俄罗斯等产油国提起诉讼等。然而,当前“美国优先”、“逆全球化”等趋势使得原有的全球规则受到极大挑战,巨大变革即将来临。中国的崛起以及“人类命运共同体”理念正在与变化中的全球格局发生碰撞,世界需要中国参与全球治理。战略性关键矿产资源全球治理是中国参与全球治理的重要组成部分,如何基于“人类命运共同体”之共商、共建、共享理念,探索中国参与全球矿产资源治理的方式、方法与路径和策略,是构建新格局下全球矿产资源安全、稳定、合理和可持续供应的基础性科学问题。

## 2 矿产资源安全与管理研究现状与发展趋势

### 2.1 矿产资源对经济发展的支撑机理及需求预测

分析经济发展与矿产资源消费的相关关系,系统研究不同国家经济发展过程中矿产资源消费的基本特征,深入探索不同经济发展阶段矿产资源消费的演变趋势,全面揭示经济发展不同历史阶段矿产资源消费的基本规律,是科学预测未来中国及世界矿产资源供需格局变化,制定全球资源战略和决策的依据和前提。

国际上矿产资源需求预测方法可划分为4类:一是基于计量经济学等方法建立数学模型<sup>[5]</sup>;二是基于环境 Kuznets 假说的倒 U 型关系<sup>[6]</sup>;三是投入产出法<sup>[7]</sup>;四是部门分析法<sup>[8]</sup>。长期预测时,需要充分解释历史尺度的金属需求动态及其主要决定因

素,即 GDP、技术、价格等间关系。第一、二类数学模型方法能够预测资源需求数量,但只适用于中短期趋势分析,在中长期预测时会产生较大偏差。投入产出法能够很好地显示部门之间的经济技术联系,但投入产出表的编制较为复杂,统计数据有一定滞后周期,而且要求整个系统和系统内各单元之间的关系较为稳定。部门分析法直观简单,但由于是建立在部门预测基础上的再次预测,主观性较强,部门预测再加和往往误差会被放大,从而会影响总体需求趋势的判断。总体而言,不论是哪种方法,国外矿产资源需求预测普遍缺乏资源消费与经济发

展的理论基础。近年来,国内学者首次揭示并建立了矿产资源消费“S”形规律和预测理论模型<sup>[9-10]</sup>,包括人均资源消费与人均 GDP“S”形规律、消费强度倒“U”性顶点下降和后移规律、矿产资源消费种类的波次递进规律等,很好的诠释了工业化进程中,大宗矿产资源消费与经济社会发展的关系,建立了基于需求理论基础上的预测方法,在诸多大宗矿产资源需求中长期预测上,取得了成功。但尚不能对新兴战略性矿产需求做出定量预测,同时对后工业化阶段矿产资源消费的变化规律,以及科技进步,全球化贸易对资源消费的影响还需深入研究。

因此,随着新时代和第四次工业革命的到来,需要对战略性矿产资源与经济发展的相互作用规律、支撑机理、预测方法,特别是科技进步、产业结构变化、全球产业配置对资源需求的影响进行更加深入的研究,完善和发展资源需求预测理论和方法,为我国战略性矿产资源安全保障与管理优化提供科学支撑。

### 2.2 战略性关键矿产资源供应安全与管理

资源安全是国家安全的重要构成,矿产资源供应安全与国家经济安全、环境安全、国防安全和代际资源安全密切相关。不同时空条件下,矿产资源供应安全观具有不同内涵,在时间上,和平时期、非常时期和特别时期对矿产资源供应安全有不同要求;在空间上,不同国家由于资源禀赋、社会经济、军事实力、地缘政治等条件不同,矿产资源供应安全观也存在很大差异;在策略选择上,既有在综合实力优势条件下,通过贸易和对外投资确保资源供应安全的主动安全观,也有由于国际地位限制,受制于人,被动接受规则,通过提高国内供应而获取资源的被动安全观。新时代,我国综合国力显著增强,对生态环境保护要求不断提高,对矿产资源供应安全提出了

经济性、效率性、环境友好性等新要求,通过积极参与全球治理,成为构建主动安全体系的必然要求。

我国传统矿产资源安全观强调自给,新时代赋予矿产资源安全更全面和更深刻的内涵,即集国家经济安全、环境安全、国防安全和代际资源安全为一体的综合安全观,更高层次上是基于全球命运共同体的共同安全观。

矿产资源供应安全受到国内和国际两方面的因素影响,资源禀赋、供需状况、运输条件、经济形势等是国内因素;国际资源分布、国际市场供需、地缘政治、军事安全等是国际因素。早期学者们的关注重点为资源禀赋、市场供需和经济因素,近年来,学者们开始关注科学技术、环境安全和代际公平等,研究内容更加丰富和全面。<sup>[11]</sup>

目前针对能源的研究较多,非能源矿产资源研究相对较少,研究主要从供给的连续性、价格可承受性、生态可持续性、技术保障性和替代性等维度展开<sup>[12-13]</sup>。在供应连续性层面,我国未来大宗矿产消费尽管增速放缓,但是总量仍在缓慢增长,矿产资源供应的可持续依然面临严峻挑战。在价格可接受层面,定价权缺失,价格的高频波动引致的资源保障成本上升,进入21世纪受矿产资源需求、政治、市场竞争等多种因素影响,重要矿产品价格发生了剧烈的波动。大宗短缺矿产的进口成本仍持续走高,经济发展的资源保障成本也随之增加。在生态可持续方面,各国对生态环境的重视上升到前所未有高度,走出去勘探开发面临着资源主权国家日益严苛的环境法律法规和相关制度的监管和制约,而本土资源开发也需要在“绿水青山”和山水林田湖草生命共同体的新时代发展战略前提下进行新的布局和思考<sup>[14]</sup>,应从地质、环境和技术经济三个维度重新评估我国矿产资源可供性。与此同时,随着信息技术的快速发展,新技术、新材料、新能源成为产业发展的关键,从而催生了一大批新的或替代性的矿产资源需求。总之,综合研究我国矿产资源供给的连续性、价格波动的传播路径和机理、生态环境政策的影响机制、新技术和替代材料的预测等,对我国矿产资源的供应安全的保障具有重要作用。

### 2.3 矿产资源循环利用

矿产资源循环利用是保障资源供给安全的重要途径,是人类在对矿产资源使用过程中将废品变为可再利用资源的能力。目前我国矿产资源存在回收率低,综合利用率低,矿产资源经营粗放等问题。尤其在新技术革命背景下,新兴产业产品越发多样,技

术越发复杂,回收挑战增加,如何从全生命周期与全球视角下,探索通过资源循环再生,亟需多学科交叉,从多维度(物质流、价值流、环境流)构建矿产资源循环利用的新理论和新方法。

矿产资源循环利用优化管理,要求构建矿产资源物质流分析和存量分析的理论和方法体系。其中,物质流分析(Material Flow Analysis, MFA)被广泛用于矿产资源的全生命周期效率、再生潜力和未来需求预测分析,从生命周期阶段(Stage)、贸易联系(Trade)、系统的耦合关联(Linkage)和系统动态演进(Time)四个维度展开<sup>[15-17]</sup>。近年来,其应用又逐渐扩大到与矿产资源全生命周期及循环相对应的能源、排放分析及投资决策支持等更广泛的领域<sup>[18]</sup>。

国内外学者从矿产资源循环利用现状、技术、多种矿产资源循环利用耦合、管理优化等方面展开了研究。例如从国家、区域和全球尺度刻画了铁<sup>[18]</sup>、铜<sup>[15]</sup>、铝<sup>[16-17]</sup>等矿产的“多级生命周期循环”,并揭示了矿产资源循环利用过程中的存量、流量和贸易的时空规律。另外,也有从矿产资源再生潜力、回收技术路径、环境足迹,和不同矿产资源循环的耦合关系进行研究。

总的来看,近年来,国际矿产资源物质流研究领域正呈现以下几个重要转变:一是从静态断面分析到多年动态分析;二是从重在流量分析到存量流量分析并重;三是从全球和国家层面的宏观分析到区域和城市层面的中微观分析;四是从单纯矿产资源流动分析扩展到结合能源、排放等多层面分析;五是从单一矿产物质流分析到多矿产循环耦合协同物质流分析。

系统理解与数据可得性是开展战略性矿产资源生命周期物质流分析面临的主要挑战。物质流分析是一种系统思维,其方法、模型和情景可以多种多样,但是最核心的是数据库建设。系统理解和数据可得性是所有上层系统、模型、情景和以此为基础的战略支持质量的重大制约。数据库建设不是简单的数据表堆积,也不是简单的已有数据汇合整理,要运用物质流分析思维,跳出传统的一二次资源两分法,重在资源之间的联系,即矿产资源在社会经济系统中的流动、转化和蓄积过程。

### 2.4 矿产资源开发与生态环境保护

生态文明被摆到前所未有的高度,必然对我国矿产资源开发和供应产生重大影响。矿产资源和生态环境都是人类赖以生存的基础,矿产资源从开采、

冶炼到加工制造全产业链过程中,始终伴随着对生态环境的影响和相互作用,一方面,单纯追求经济利益不合理的矿产资源开发活动会对水、大气、土壤等环境要素产生污染;另一方面,矿产资源开发所带来的经济收益可能惠及生态环境修复,如荒漠上兴起的克拉玛依、鄂尔多斯等等。因此,资源开发、经济发展和环境保护不是必然的矛盾体,矿产资源对环境的影响,以及资源产权权益、生态利益、代际利益和资源输出地发展权益等相关利益方关系,存在着相互影响,相互制约的复杂关系<sup>[19]</sup>,需要研究三者的关系与内在联系,寻求经济发展、资源利用和环境扰动的平衡点,以达到可持续发展的目的<sup>[20]</sup>。面对新时代生态文明建设,我们需要探寻一条适合我国国情和发展阶段的矿产资源开发与生态环境保护协调发展之路。

国内外关于矿产资源开发与生态环境保护之间相互影响、相互作用的理论研究焦点集中在:矿产资源开采与生态环境相互影响关系、政策措施效果评估以及实现二者协调发展的路径与政策等方面。国内外学者主要从创新资源管理体制和矿产资源绿色开发技术两方面开展相关研究,创新资源管理体制方面,我国相关领域的学者通过分析我国多种矿产资源的管理机制,指出:建立生态补偿机制、创新矿产资源管理体制、完善矿产资源税费政策等,是实现矿产资源开发与生态环境的可持续发展的重要路径<sup>[21]</sup>。矿产资源绿色开发技术方面,保护自然资源的同时实现经营活动合理化、不同的开采环境下如何开展专门性自然保护活动,生态系统承载能力、经济收益与成本、技术进步、生态环境修复技术等都需要考虑的因素<sup>[22]</sup>。

总体而言,资源开发与环境保护政策性研究性较多,资源与环境相互作用的科学理论,定量研究较少。因此,研发基于多环节、多维度、多主体、全球视野,识别矿产资源利用的主要环境影响以及环境规制对矿产资源可供性约束,从矿产资源全生命周期视角进行系统定量的动态解析,厘清全产业网络传导、响应及相关机理,建立基于技术-经济-社会-环境-政治耦合的治理新举措理念,寻求资源-环境-经济发展的平衡点,而非“一刀切”的实施“矿业权退出保护区”等相关环保政策,在未来相当漫长的时间里对于实现矿产资源开发与生态环境的可持续发展都将是至关重要的。

## 2.5 矿产资源管理体系优化

随着2018年自然资源部的成立,矿产资源管理

迈入新阶段,从过去单一的矿产资源管理转变为“山水林田湖草”的统一管理体系,需要探讨在新的大部制背景下的矿产资源管理问题,而矿产资源本身又具有资源、资产和资本的多重属性<sup>[23]</sup>,如何协调各类利益关系,都将给我国矿产资源管理带来新的机遇和挑战。从世界各国的改革经验看,大部制不是僵化的,而是动态演进的,不同国家、不同发展阶段有不同形式,需要协调好决策权、执行权和监督权<sup>[24]</sup>。

矿产资源管理是综合的、跨学科的复杂系统,涉及到政府机构、生态环境、社会经济、技术革新和主导文化在资源管理体系中相互依存关系<sup>[25]</sup>,资源、资产、资本(三资)之间在矿产资源全产业链的相互作用和相互影响。从全产业链的视角看,传统管理中存在着注重上游,忽略中游和下游;注重本国,忽略全球资源配置;注重财政,忽略市场的作用;注重开发,忽略生态环境;注重资源,忽略资产和资本的协同发展;注重政府,忽略其他利益主体的权益保障和积极性调动等问题,亟需进行系统优化。

在矿产资源的三资属性研究方面,学者们普遍认为持续不断的投资是矿产资源可持续供应的必要保障<sup>[26]</sup>,而广泛吸纳投资的前提是明确产权的边界和归属。在新时代背景下,既要确保矿产资源的可持续性供应安全,又要综合核算矿业活动和矿产品生产过程中对生态环境的影响,构建一套有效的管理体系,实现矿产资源全产业链的资源-资本-资产一体化管理,是矿产资源可持续性供应的必要保障。目前三资较为系统的管理体系主要为挪威的三资综合管理模式;加拿大则以市场为导向,形成吸引全球资本的三资管理模式;日本的财团参与全球化矿业产业链资本配置的供应安全保障模式。中国的三资管理体系构建起步较晚,从计划经济向市场经济转变过程中,仍然存在计划经济政府主导的惯性思维以及重资源轻资产、缺资本的发展现状,三资的主体和主体间关系界定仍有待进一步研究,目前储量管理、产权管理、资产及收益管理是我国实行资源、资产、资本综合管理的重点研究内容。学者们认为矿产资源的管理应该以矿产价值为基础,以矿产权益流转为核心,并提出以储量管理为基础,以产权管理为核心的矿产资源、资产、资本“一体化”管理框架<sup>[27]</sup>。

总之,矿产资源管理不能仅局限于上游,需要从全产业链整体视角出发,研究全产业链资源、资产、资本的交互关系和协同机理,预防产能过剩或需求

响应不及时、过度开发或过度依赖等现象,保障矿产资源的可持续供应安全。

## 2.6 矿产资源全球治理

矿产资源空间分布受地质条件局限,任何一个国家都不可能完全自给自足,都需要通过国际贸易进行资源配置,因此全球各国的矿产资源安全形成了一个相互作用、相互依赖的大系统。全球贸易格局、市场供需格局、地缘政治格局等因素对各国的战略性关键矿产资源安全供应都产生一定的影响,需要依据国际规则对该体系中国家之间的利益和行为进行协调。

对矿产资源全球治理的研究主要从国际规则与国家战略方面展开。在国际规则方面,现有的国际体制框架之间需要建立新的联系,以监督矿产的开采责任、矿产勘探的轨迹、环境问题以及消费者对消费影响的认识。矿产资源全球可持续协调发展的路径,包括就全球矿产的国际目标达成共识,监控矿产资源生产和消费的影响,推进矿产勘查的协作,支持对矿物提取新技术的投资和研究,形成矿产资源开发的全球最优格局,制定可回收金属的地图和清单等<sup>[28]</sup>。

现有的基于国家资源控制和全球贸易规则的治理体系不能很好地适应矿产资源可持续发展和公平管理。例如,2012年世界贸易组织(WTO)关于中国出口稀土和其他矿物配额的案例。有两种改革方案:允许国家生产配额和出口配额,或者是制定世界矿产生产配额。这两种方案与自由市场不相容,但可以结束由于假设自然资源是无限的而造成的过度开发,并且应该使用与服务和制成品相同的规则来管理矿产资源<sup>[29]</sup>。矿产可持续利用的最有效措施是建立全球提取(Extraction)配额制,但必要的国际协议涉及许多利益,需要很长时间才能实现<sup>[30]</sup>。

在国家战略方面,一国矿产资源安全受到权力和规则两种政治逻辑的影响:在基于地缘政治的权力逻辑下,霸权国的战略布局、出口国的资源民族主义和运输通道的地缘风险,是影响矿产资源全球格局的重要因素;在基于全球治理的规则逻辑下,生产国-消费国-过境国之间相互依存,主要大国之间的合作与竞争关系并存<sup>[31]</sup>。维护国家矿产资源安全的最优战略是对其物质实力和国际权威的综合运用。例如,欧洲主导建立的全球矿产资源治理体系包括自由贸易原则和以西方为中心的定价机制、生产标准和信息采集系统等,它使得当今欧盟在资源有限的情况下,仍能在矿产资源全球治理中具有重

要的国际权威<sup>[32]</sup>。参与矿产资源全球治理,我国需要不断提高自身在国际规则、地缘政治、产业分工、全球贸易、国际金融和资源控制格局中的地位<sup>[33]</sup>。

目前关于矿产资源全球治理的研究以理论分析和案例分析等定性研究为主,探讨现有的国际规则,国际规则运行机制,国际规则影响因素,以及国家战略的实现路径。对于一个多影响因素、多主体、多客体、多关系且是动态的复杂大系统而言,如何科学地对其建立定量模型,并准确定位其中的风险、评估策略的效应,理清系统的运行机制,是一个亟待解决的科学问题。

## 3 未来5—10年战略性关键矿产资源安全与管理目标及资助重点

### 3.1 总体目标

如前所述,矿产资源安全与管理领域通过近些年的发展,取得了一些研究成果,但是对矿产资源安全的内涵还没有形成公认或统一的标准,对中国战略性关键矿产资源的界定尚不清晰,对中国战略性关键矿产资源的循环利用潜力还未进行系统地核算以及建立数据库,矿产开发与生态环境的相互影响机理,还需更加深入的定量研究,矿业全产业链的资源、资产、资本三资管理理论仍未很好地建立,同时也还未探索出一条基于全球视野的中国矿业全球发展路径,为中国参与全球治理提供路径和方案。

因此,在未来5—10年,需针对矿产资源安全与管理领域重大问题,运用地球系统科学和系统工程学的思想和研究方法与社会科学研究方法相结合,解决社会科学与管理科学的问题;强化全球视角、大数据、大时空、大规律、类比与案例分析相结合、构建模型、创建理论、形成方法体系;满足新时期自然资源综合管理需求、把握国际相关领域研究前沿、优化自然资源管理体系,实现全面参与战略性关键矿产资源全球治理。

### 3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝练了矿产资源安全与管理重大关键科学问题,并建议未来5—10年应着重围绕以下5个研究方向,通过多学科交叉开展原创性研究。

(1) 新时代战略性关键矿产资源可持续供给安全与管理政策研究。通过矿产资源地质-环境-技术经济可供评价理论与方法,构建国内矿产资源可供储量与可供产量评估模型;基于生态文明背景下矿

产资源国际竞争力分析,建立全球配置的矿产资源经济最优供应系统及矿产资源供给风险评价与管理等。

**(2) 战略性关键矿产资源循环利用时空规律及再生资源管理。**基于全生命周期的矿产资源循环利用时空规律、再生潜力与技术路径研究,揭示中国典型战略性金属循环利用和再生潜力、时空规律及效应;提出中国战略性关键矿产资源循环利用的产业布局与管理优化研究等。

**(3) 战略性关键矿产资源开发与生态环境保护协调发展的理论与实证。**从可持续发展的全局思路出发,对不同矿产资源开发的生态环境影响进行分析,识别矿产资源开发的生态环境影响因素,构建我国矿产资源开发的生态环境影响评价理论与方法和现有矿产资源开发的环境保护政策措施实施效果的评估体系,提出切实可行、实时高效的具体路径与实施策略,为新时代全面实现我国矿产资源开发与生态环境保护双赢的提供操作性指南。

**(4) 战略性关键矿产资源全产业链生态可持续性管理体系优化研究。**基于生态环境约束和全球资源配置的矿产资源全产业链管理理论,揭示矿产资源全产业链“资源-资产-资本”之间的内在耦合关系;基于生态环境约束和全产业链视角的矿产资源管理体系多主体模型构建、矿产资源管理体系情景模拟,挖掘优化路径等。

**(5) 新时代战略性关键矿产资源全球治理路径及策略研究。**基于总体国家安全观的矿产资源安全理论与全球战略,分析研究全球战略性关键矿产需求格局及国际规则、国家战略和地缘政治对全球矿产资源市场格局的影响,提出中国参与矿产资源全球治理的实施路径与策略。

## 4 结 语

为确保我国经济社会可持续发展的战略性关键矿产资源安全,需要运用经济学、管理学、地球系统科学和系统工程学方法,科学研判实现第二个百年目标矿产资源需求,系统分析生态环境约束下国内矿产资源安全供应底线,查明资源持续蓄积量与再生供应潜力,探索自然资源管理体制变革条件下矿产资源管理体系优化方向,构建基于全球资源安全观的治理体系和制定相关战略。针对战略性关键矿产资源安全与管理的重大问题,提出了未来5—10年的发展目标及资助重点。

## 参 考 文 献

- [1] 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 2035年我国主要矿产资源需求展望, 2018.
- [2] Nedal Nassar, Sean Xun, Steven Fortier et al. Assessment of Critical Minerals: Screening Methodology and Initial Application. Washington, D. C.: National Science and Technology Council, 2016.
- [3] Blengini G A, Blagoeva D, Dewulf J, et al. Methodology for establishing the EU list of critical raw materials-Guidelines. Luxembourg: European Union, 2017.
- [4] 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 新能源汽车相关矿产资源战略研究报告, 2018.
- [5] Lescaroux F. Dynamics of final sectoral energy demand and aggregate energy intensity. Energy Policy, 2011, 39(1): 66—82.
- [6] Paul C. Future trends in Japanese steel consumption. Resources Policy, 2000, 26: 103—114.
- [7] Koji T, Shinsuke M, Tsuyoshi A, et al. Long-term demand and supply of non-ferrous mineral resources by a mineral balance model. Mineral Economics, 2017, 30(12): 1—14.
- [8] Yin X, Chen WY. Trends and development of steel demand in China: A bottom-up analysis. Resources Policy, 2013, 38: 407—415.
- [9] Wang AJ, Wang GS, Chen, Q. S, Yu, W. J, Yan, K, Yang, H. B. S-curve model of relationship between energy consumption and economic development. Natural Resources Research, 2015, 24(1): 53—64.
- [10] 王安建, 王高尚, 周凤英. 能源和矿产资源消费增长的极限与周期. 地球学报, 2017, 38(1): 3—10.
- [11] 龙如银, 杨家慧. 国家矿产资源安全研究现状及展望. 资源科学, 2018, 40(3): 465—476.
- [12] Jansen JC, Seebregts AJ. Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued?. Energy Policy, 2010, 38(4): 1654—1664.
- [13] Chichilnisky G, Eisenberger P. Energy Security, Economic Development and Global Warming: Addressing Short and Long Term Challenges. International Journal of Green Economics, 2013, 3(3): 414—446.
- [14] 沈镭, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721—734.
- [15] Graedel TE, Beers DV, Bertram M, et al. Multilevel cycle of anthropogenic copper. Environmental Science & Technology, 2013, 38(4): 1242—52.
- [16] Chen WQ, Graedel TE. Dynamic analysis of aluminum stocks and flows in the United States: 1900—2009. Ecological Economics, 2012, 81: 92—102.
- [17] Liu G, Müller DB. Mapping the global journey of anthropogenic aluminum: a trade-linked multilevel material flow analysis. Environmental Science & Technology, 2013, 47(20): 11873—11881.

- [18] Li, Q. F., Li, Q. F., Wen, B. J., Wang, G. S., Cheng, J. H., Zhong, W. Q., Dai, T., Liang, L., Han, Z. K., Study on calculation of carbon emission factors and embodied carbon emissions of iron-containing commodities in international trade of China. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 191: 119—126.
- [19] Giurco D, Cooper C. Mining and sustainability: asking the right questions. *Minerals Engineering*, 2012, 29: 3—12.
- [20] 王安建, 王高尚. 经济全球化与中国矿业城市的持续发展——对矿业城市调查研究方法的思考. *资源·产业*, 2001 (11): 21—23.
- [21] 宋益, 黄健柏, 钟美瑞, 张亿军. 外部性成本内部化视角下战略性矿产资源关税替代性政策研究——以稀土矿为例[J]. *资源科学*, 2018, 40(03): 611—622.
- [22] 刘建芬, 王丹, 薛全全. 中国主要矿产资源区域协调性开发分析及建议[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27 (S1): 159—163.
- [23] 张洪涛, 唐金荣, 齐亚彬, 等. 矿产资源资产资本理论与实践. 北京: 地质出版社, 2014.
- [24] 马永欢, 吴初国, 曹清华. 生态文明视角下的自然资源管理制度改革研究. 北京: 中国经济出版社, 2017.
- [25] Segura J, Tavares LM. Sustainability in the Minerals Industry: Seeking a Consensus on Its Meaning. *Sustainability*, 2018, 10(5): 1429.
- [26] Izatt RM. Economic Perspectives on Sustainability, Mineral Development, and Metal Life Cycles. *Metal Sustainability: Global Challenges, Consequences, and Prospects*. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [27] 向建群, 刘云忠, 尤孝才. 矿产的资源化、资产化、资本化三位一体管理的经济研究. *中国矿业*, 2013, 22(1): 37—40.
- [28] Ali SH, Giurco D, Arndt N, et al. Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature*, 2017, 543(7645): 367—372.
- [29] Verrax F. Governance of mineral resources: Towards the end of national states' supremacy? *Etikk Praksis*. 2014, 8: 41—51.
- [30] Henckens MLCM, Biermann FHB, Driessen PPJ. Mineral resources governance: A call for the establishment of an International Competence Center on Mineral Resources Management. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 141: 255—263.
- [31] 于宏源. 战略矿产资源国际体系均衡的政治逻辑. *欧洲研究*, 2016, 34: 91—104+7.
- [32] 于宏源, 余博闻. 资源自立与全球治理——欧盟矿产资源安全战略评析. *欧洲研究*, 2017, 35: 85—104.
- [33] 卢伟, 李大伟. “一带一路”背景下大国崛起的差异化发展策略. *中国软科学*. 2016, (10): 11—9.

## Security and Management of China's Critical Mineral Resources in the New Era

Wang Anjian<sup>1</sup>      Wang Gaoshang<sup>1</sup>      Deng Xiangzheng<sup>3</sup>      Zhou Fengying<sup>1</sup>      An Haizhong<sup>2</sup>  
 Zhong Weiqiong<sup>1</sup>      Li Huajiao<sup>2</sup>      Liu Gang<sup>3</sup>      Ma Zhe<sup>1</sup>      Hu Dongbin<sup>4</sup>  
 Cheng Jinhua<sup>5</sup>      Yan Qiang<sup>1</sup>      Dai Tao<sup>1</sup>      Zhong Meirui<sup>4</sup>      Wang Xiaolin<sup>5</sup>

(1. *Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037;*

*2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083;*

*3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101;*

*4. Central South University, Changsha 410083; 5. University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074)*

**Abstract** Based on the 214th issue of “Shuangqing Forum”, this paper summarizes the major national needs of China's critical mineral resources in the new era and the opportunities and challenges. It reviews the major advances and achievements in the field of mineral resources security and management in recent years through multidisciplinary intersections such as management science, economic science, earth science, environmental science, engineering and materials science, summarizes the key scientific issues in the field for the next 5—10 years, and discusses the major frontier research directions and funding strategies in this field.

**Key words** new era; critical mineral resources; security; management