

引用格式: 李华姣, 李政, 郑欣欣, 等. 全球高技术矿产产业链供应链重构研究[J]. 资源科学, 2025, 47(7): 1393-1402. [Li H J, Li Z, Zheng X X, et al. Research on the reconstruction of global high-tech mineral industry chain and supply chain[J]. Resources Science, 2025, 47(7): 1393-1402.] DOI: 10.18402/resci.2025.07.01

# 全球高技术矿产产业链供应链重构研究

李华姣<sup>1,2,3</sup>, 李政<sup>4</sup>, 郑欣欣<sup>1,3</sup>, 陈从喜<sup>4</sup>, 张宇祺<sup>1,3</sup>,  
刘蒙<sup>1,3</sup>, 孟子钰<sup>1,3</sup>, 韩世通<sup>1,3</sup>

(1. 中国地质大学(北京)经济管理学院, 北京 100083; 2. 中国国际经济交流中心, 北京 100050; 3. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 100083;  
4. 自然资源部信息中心, 北京 100036)

**摘要:**当前大国竞争博弈的底层资源逻辑正逐步从石油竞争向高技术矿产竞争转移。高技术矿产产业链供应链布局正在从以成本、效率、科技为侧重转向以安全、稳定和政治为侧重, 呈现多元化、区域化等演进特征。2019年6月以来, 美国等西方国家围绕高技术矿产正逐步形成局部化、排他性的资源治理体系, 这种治理体系经历了原材料供应国(卖方市场)松散型朋友圈到发达国家(买方市场)紧密联系朋友圈再到供应链ESG“长臂管辖”朋友圈的快速转变。本文在综合梳理和辨析高技术矿产、关键矿产、战略性矿产等内涵基础上, 对高技术矿产产业链供应链进行了系统界定, 并着重分析了大国间高技术矿产资源竞争和产业链供应链重构趋势及产业链供应链全链条可能面临的风险, 进而从研究和管理视角提出了相关前沿问题: ①高技术矿产动态界定和产业链供应链的理论框架构建; ②大国间高技术矿产资源竞争和产业链供应链重构过程的科学诠释; ③原生和再生资源产业链供应链双链多重重构风险评估、监测与预警; ④原生和再生资源产业链供应链协同管理和安全保障对策。

**关键词:** 高技术矿产; 产业链供应链; 重构风险; 大国竞争; 资源治理

DOI: 10.18402/resci.2025.07.01

## 1 引言

“对20世纪的人类来说, 谁掌握了石油谁就主宰了世界, 谁就能控制对手, 石油促使了资本主义与现代工业的真正发达, 并造成了世界强权与地缘政治的错综纠结”<sup>[1]</sup>。当前世界正处于进入第六次科技革命、第四次工业革命、第三次能源革命“三大革命”叠合期, 大国竞争博弈的底层资源逻辑正逐步从石油竞争向高技术矿产竞争转移<sup>[2]</sup>。中国是世界上最大的高技术矿产需求国, 也是高技术矿产原材料加工大国, 具有相对完善的高技术矿产产业链、安全链。但需要高度重视的是, 随着新一轮科技与产业革命加速推进, 全球产业链重组、供应链重塑、价值链重构不断深化<sup>[3]</sup>, 全球能源结构也正在快速转型, 高技术矿产需求快速上升, 已成为

全球主要大国战略博弈的新领域。

在大国竞争背景下, 各国产业链供应链布局从以成本、效率、科技为侧重转向以安全、稳定和政治为侧重, 呈现多元化、区域化等演进特征, 并存在进一步碎片化的趋势<sup>[4]</sup>, 这种变化在高技术矿产领域尤为明显。高技术矿产产业链供应链涵盖了从关键矿产资源原材料端到关键高新技术产业(或产品)端全链条多主体耦合的生产加工、空间转移、供需响应、价值增值、循环使用等复杂过程。在百年未有之大变局背景下, 欧美等国(地区)更加意识到高技术矿产对于先进工业制造和高技术发展的重要性, 为了减少对中国的依赖并争夺主导权, 积极寻找替代供应链, 推动循环链的建立和健全, 强化推进局部合作联盟“朋友圈”的成立, 并加快“朋

收稿日期: 2024-02-23; 修订日期: 2024-07-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72173119); 国家自然科学基金重大项目(71991481)

作者简介: 李华姣, 女, 山东烟台人, 教授, 研究方向为资源管理与政策、复杂系统建模。E-mail: hli@cugb.edu.cn

友圈”内部的高技术矿产产业链供应链构建;资源丰富的发展中国家在美国、欧盟等西方国家(地区)的积极推动下,也开始采取措施保护和延长本国(地区)高技术矿产产业链并扩大其价值链。全球高技术矿产产业链供应链正在悄无声息地重构,并且已经对中国的经济安全造成影响。

在2023年11月15日中美元首会晤时,习近平主席提出“大国竞争不是这个时代的底色”。在多数领域全球合作的效益要远大于竞争,然而由于高技术矿产资源的稀缺性和高空间集中分布等特征,随着新一轮产业革命带动的矿产资源需求快速增长,有研究指出,中美等大国之间不可避免地会为获取战略性新兴产业和高新技术产业发展不可或缺的矿产资源展开激烈竞争<sup>[5]</sup>。为保障关键高新技术产业的安全与发展,中国高技术矿产产业链供应链面临着主动重构和被动重构双重压力。在主动重构方面,随着中国加快实施创新驱动发展战略,节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车等高新技术附加值的战略性新兴产业不断取得新的成果,并在多个领域实现了弯道超车,这也催生了一系列资源(特别是高技术矿产)的需求,需要中国加强从原材料端到应用端全链条的产业链供应链前瞻性布局和主动求变,以保障高新技术产业的安全和可持续发展。在被动重构方面,由于中国矿产资源产业链竞争能力呈现倒U型的特征<sup>[6]</sup>,且上游多数高技术矿产资源依旧短缺,下游创新能力不足,导致上、下游出现“资源”与“技术”双重卡点<sup>[7]</sup>。随着大国竞争背景下“供应链‘去中国化’”“循环利用强制化”“ESG审查‘长臂管辖’化”“高新技术产业围堵”等风险要素的涌现,以及“资源民族主义”和“原材料断供”等威胁,迫使中国必须积极求变,延链补链并开展全链条的多元化资源配置,保障产业链供应链安全并提升价值链位势。

党的二十大报告提出,“加强重点领域安全能力建设,确保粮食、能源资源、重要产业链供应链安全”,明确将矿产资源和重要产业链供应链安全作为维护国家安全的重要内容。矿产资源作为工业的粮食,嵌构在产业链供应链之中,想要保障核心高新技术产业的关键资源可持续供应,加强安全能力建设,统筹发展和安全,亟需从全球视域下科学

判断大国竞争对高技术矿产产业链供应链重构带来的风险和可能造成的影响,这也是当前必须回答的重大理论和现实问题。

## 2 高技术矿产和产业链供应链的界定

高技术矿产是指为了满足新能源、生态建设、碳捕集和碳减排等战略性新兴产业需求的一类稀有金属和非金属矿产,对高科技发展具有特别重要的战略意义,对国家战略性新兴产业和经济发展起着关键作用,占据科技创新的制高点,并能使国家(地区)保持经济竞争力<sup>[8-10]</sup>。其与战略性矿产、关键矿产、战略性关键矿产、三稀矿产等具有一定的重叠性又有所差异(表1)。高技术矿产相较于其他几类矿产界定,更加聚焦科技前沿领域,从技术驱动的视角,审视矿产资源的需求和存在的风险。随着高科技发展和战略性新兴产业发展,发达国家(地区)开始注重于从大宗支柱矿产向“三稀”矿产等高技术矿产转变,除能源矿产外的大宗矿产的战略地位都在逐渐下降,而许多国家(地区)正在就高技术产业开展新一轮竞争<sup>[17]</sup>。

确保高新技术产业(高技术产品)的可持续发展不仅需要关注高技术矿产的可供性,更要关注高技术矿产从上游供给到下游产业需求全过程的可持续性。伴随着高科技发展和战略性新兴产业发展,高技术矿产资源产业链和供应链的内涵在不断扩展。产业链是指以产品、资本、知识、信息为纽带,以市场需求为导向,以价值增值为目标,由多个相同或不同企业按照一定空间或逻辑结构构成的动态组织<sup>[18]</sup>。从生命周期的视角,矿产资源主要从矿业项目和矿产品两个维度界定,前者是指从勘查到矿山生态修复全周期的单一矿业项目的产业链,后者是指考虑矿产品生产、加工、使用、废弃和回收等环节的全生命周期过程<sup>[19]</sup>。安海忠等<sup>[20]</sup>综合各方观点对矿产资源全产业链进行了首次系统的界定,提出了涵盖矿业项目、生产加工、行业使用、循环利用4个阶段的多主体交互、多链耦合的复杂系统。本文在已界定的矿产资源全产业链基础上,进一步梳理了高技术矿产产业链供应链的内涵,即“以保障高新技术产业安全和可持续发展为目标,包括矿产资源勘查、开采和洗选等矿业项目阶段,冶炼(或提炼)、加工和生产等矿产品生产加工阶段,产业嵌入和行业使用阶段,以及回收循环利用阶段等4个

表1 各类矿产的定义与来源

Table 1 Definitions and sources of various minerals

术语	国家(地区)	定义	参考资料
高技术矿产	中国	广泛应用于战略性新兴产业所必需的稀有金属和具有特殊性能的非金属矿产,用于在低碳经济条件下生产精密的高科技产品及环保型产品,对高科技发展具有特别重要的战略意义,对国家战略性新兴产业和经济发展起着关键作用,占据科技创新的制高点,并能使国家(地区)保持经济竞争力	陈从喜等 <sup>[9]</sup>
战略性矿产	中国	指对国家的经济、国防和战略性新兴产业发展至关重要的矿产资源	自然资源部 <sup>[11]</sup>
	欧盟	具有高度战略重要性和预计全球供需失衡的原材料	European Union <sup>[12]</sup>
关键矿产	美国	对美国的经济或国家安全至关重要,但供应链非常容易中断的非燃料矿物或矿物材料	USGS <sup>[13]</sup>
	欧盟	对整个欧洲经济很重要的原材料,这些原材料面临着供应中断的风险	European Union <sup>[12]</sup>
	加拿大	对加拿大的经济安全至关重要,其供应受到威胁;国家向低碳经济转型所必需的矿产;为合作伙伴和盟友提供具有高度战略意义的关键矿产的可持续来源	Natural Resources Canada <sup>[14]</sup>
战略性关键矿产	中国	对国家经济发展至关重要、对战略性新兴产业不可或缺的非能源类矿产资源	王安建等 <sup>[15]</sup>
三稀矿产	中国	“三稀”是稀土金属(17种)、稀有金属(9种)和稀散金属(8种)的总称,是新一代信息技术、节能环保、新能源生物、高端装备制造、新材料、新能源汽车等战略性新兴产业所需要的功能材料和结构材料	王登红等 <sup>[16]</sup>

阶段,以矿产资源流动为主线,以供需关系为基础,以技术创新为支撑,蕴含资源、资产、资本、环境多重属性互动的‘国家-产业-公司-产品’多主体交互、多链条耦合的复杂系统(图1)。”

### 3 大国间高技术矿产竞争和产业链供应链重构趋势分析

中、美、欧之间在高技术矿产和关键矿产清单方

面具有较强的重叠性(图2),高技术矿产产业链供应链竞争势必日趋严峻。近年,美国通过内外结合的方式,在“去中国化”的关键矿物原料供应链和资源产业链供应链治理体系方面频繁动作。在国内方面,美国连续两届政府不断强化关键矿产和供应链安全在国家安全中的重要性,并频繁颁布了一系列相关政策。例如,2017年12月20日,特朗普签署了

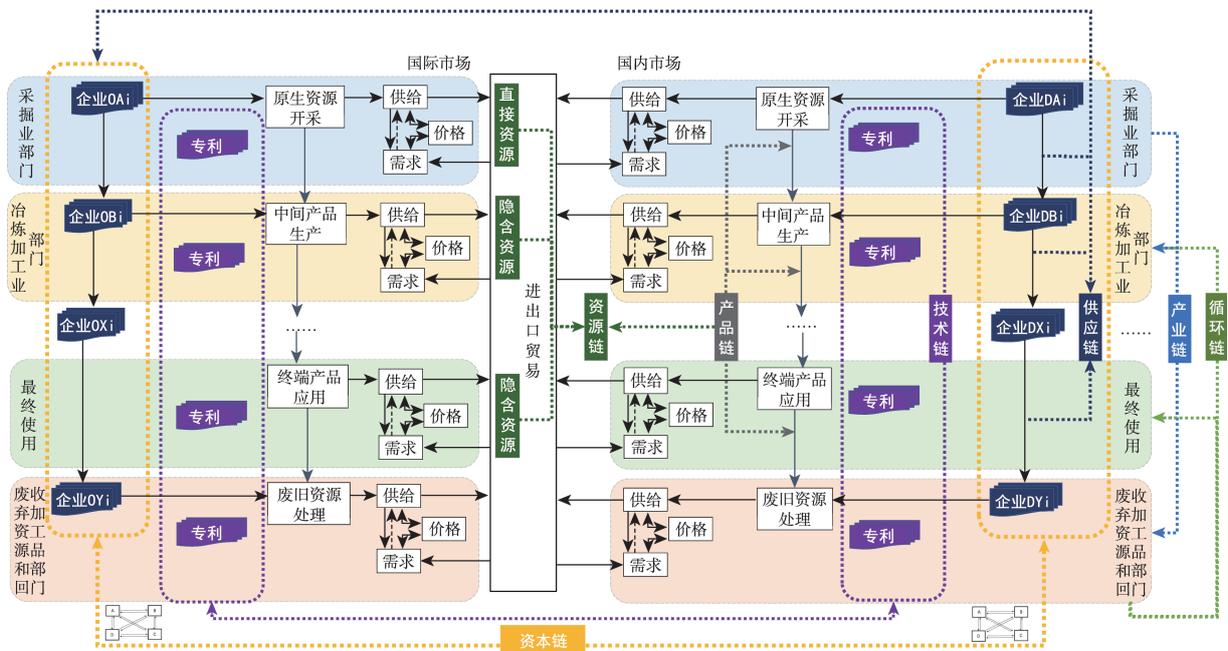


图1 高技术矿产产业链多链耦合系统示意图

Figure 1 Schematic diagram of multi-chain coupling system in high-tech mineral industry chain



2025年7月

国竞争背景下高技术矿产原生资源产业链供应链供应风险的影响因素主要来源于政治、投资、技术、贸易和监管5个维度(表2)。对于供应风险的测度是当前研究的热点,不同学者提出了不同的测度指标。例如, Moss等<sup>[49]</sup>主要从需求增长的可能性、扩大产能的限制、供应的集中度、政治风险等维度进行了专家调研和定性评价,给出了欧盟新能源技术所需各类战略性关键矿产资源的高中低风险水平; Graedel等<sup>[50]</sup>从地缘政治(全球供给集中度、全球治理指数)、社会与规制(人类发展指数、政策潜力指数)、地质条件与技术经济(伴生金属品位、衰竭周期)三重维度定量分析了从城市到全球尺度的各类矿种的供应风险; Myers等<sup>[51]</sup>进一步将66种矿物原料三重维度相关量化数据开发成了耶鲁存量和流量YSTAFDB数据库。基于文献梳理发现,当前矿产资源供应风险主要是从外部国家(地区)主体断供的可能性角度进行测度,而这类风险与产业需求和资源的外部依赖是相互依存的。

资源供应风险不仅受制于外部供给侧环境,同时也受经济发展等需求端因素影响。李鹏飞等<sup>[52]</sup>从资源供应潜力、资源开发及供应能力维度,以供应潜力、社会发展水平、矿产监管政策、矿业发展的政治环境、全球供应集中度等指标对全球稀有矿产资源供应风险做出定量评估。Jair等<sup>[53]</sup>从生命周期视角,定性分析了地缘政治风险和价格双重视角下的矿产资源供应风险。Nassar等<sup>[54]</sup>综合了各方计算指标,首次从供应链的视角,专门针对美国制造业所需矿产资源,构建了涵盖外国供应中断的可能性、美国制造商对外国供应的依赖性(贸易暴露指标)以及美国制造商承受供应中断的能力(经济脆弱性)三元供应风险综合评价模型,进行了供应风险

定量测算。

## 4.2 再生资源产业链供应链重构风险

随着资源需求与日俱增,大国间对高技术矿产竞争日趋激烈,二次资源利用的重要性逐渐凸显。越来越多的学者将资源的二次回收水平作为关键的资源因素考虑在内<sup>[55-58]</sup>。然而,与传统原生资源产业链相比,高技术矿产循环利用产业链供应链不仅受到回收水平的影响,还受制于产业链各环节面临的政治形势、国家(地区)政策以及公众的回收意识等多维度的影响(表3)。例如,2020年,欧盟委员会发布了全新的《循环经济行动计划》,覆盖了电子、信息和通信技术、纺织品、家具和“高环境影响中间产品”(如钢铁、水泥和化学品)等多类产品,引入了可回收成分的相关规定,以确保只有可持续产品才能进入欧洲市场;随后在2022年欧盟《关键原材料法案》中对回收和消费比例进行了明确设定。这些政策的发布对中国高技术矿产资源产业链供应链循环利用环节也将提出更高要求。

## 5 大国竞争背景下的高技术矿产资源产业链供应链重构研究前沿

### 5.1 高技术矿产动态界定和产业链供应链的理论框架构建

高技术矿产相比其他术语能够更精准地描述矿产资源的应用领域及重要性。由于战略性新兴产业主流技术和产品在不断更迭和发展,对于矿产资源的需求也在发生显著变化,例如,氢燃料电池的发展带动了铂族金属新的需求,“镓体系”半导体材料的科技攻关和产业化带动了镓和锗潜在的需求增长点。因此,需要以动态的视角,综合分析国内外关键领域动态,提出一套高技术矿产的识别方法和理论模型。同时,从高技术矿产到高新技术产

表2 高技术矿产产业链供应风险来源

Table 2 Sources of supply risks in high-tech mineral industry chain

风险维度	具体手段	相关文献
政治	南美“锂三角”迫使中下游向上游让利、友岸外包、近岸外包等	许敬华 <sup>[31]</sup> ,毛熙彦等 <sup>[32]</sup> ;王一鸣等 <sup>[33]</sup>
投资	加大权益矿投资审查力度、要求海外矿产资源企业撤资、撤销海外并购等	尹文渊等 <sup>[34]</sup> ;任忠宝等 <sup>[35]</sup> ;王文字等 <sup>[36]</sup>
贸易	出口禁令、加征关税、反倾销、反补贴、出口配额等	张涛等 <sup>[37]</sup> ;杨飞等 <sup>[38]</sup> ;吕建兴等 <sup>[39]</sup> ;田伊霖等 <sup>[40]</sup> ;赖丹等 <sup>[41]</sup>
技术	限制技术转移、技术封锁、市场垄断、价格战、联产技术(主矿与伴生矿)等	李睿晶 <sup>[42]</sup> ;牛璐等 <sup>[43]</sup> ;Song等 <sup>[44]</sup> ;宋慧玲等 <sup>[45]</sup> ;Shammugam等 <sup>[46]</sup>
监管	冲突矿产监管、ESG监管等	成金华等 <sup>[47]</sup> ;Gervais等 <sup>[48]</sup>

表3 高技术矿产资源循环利用产业链供应链重构风险

Table 3 Risks of industry and supply chain reconstruction of high-tech mineral resource recycling

维度	风险	维度	风险
环境	环境绩效指数	社会	公众回收意愿
产业	回收体系完备程度		公众消费行为习惯
技术	产品内含高技术金属集中度	经济	回收技术成本
	产品拆解技术		回收物流成本
	金属分离技术	政治	禁废令
	产品寿命		《欧盟关键原材料法案》回收比例要求
	金属元素回收率		《循环经济行动计划》产品回收成分要求

业,经历了漫长且复杂的生产、加工、组装过程,不同金属制品由于技术、复合状态等差异,存在不同的循环利用路径,单一资源、自上而下的研究视角已经无法回答高技术矿产产业链供应链的变化及其影响,亟需构建涵盖多矿种、多阶段的全链条耦合系统,进而更加全面开展风险预警和应对相关研究。

## 5.2 大国间高技术矿产资源竞争和产业链供应链重构过程的科学诠释

针对高技术矿产的竞争将会更加激烈,并且已形成从上游到全链条的蔓延态势。竞争发生后如何对产业链供应链产生影响亟待进行前瞻性研究。当前,美国、欧盟等在高技术矿产领域经历着“原材料供应国(卖方市场)松散型朋友圈→发达国家(买方市场)紧密联系朋友圈→供应链 ESG‘长臂管辖’朋友圈”的战略部署和竞争布局,旨在“去中国化”,并加强产业链供应链“本土化”以及“局部化”,增强“清洁化”并提升资源循环利用的“产业化”。大国竞争对高技术矿产资源产业链供应链带来的是国家(地区)、产业、公司、产品等多主体、多环节的复杂重构,单一产品层的分析已不能满足现有研究的需求,需要进一步科学分析高技术矿产产业链供应链各环节面临的竞争行为,通过多主体产品空间理论模型和典型案例库建设来客观分析大国竞争所带来的不同主体在产业链供应链的重构过程。

## 5.3 原生和再生资源产业链供应链双链多重重构风险评估、监测与预警

现有矿产资源产业链供应链风险研究主要聚焦在原生资源端供应风险的识别和量化评估、风险

在国家(地区)和产业部门间的传播过程和扩散机制等,部分研究探讨了基于贸易关系重配、库存调节等方式的风险应对策略,但缺少对于产业链供应链重构领域的针对性风险分析。同时,随着各国(地区)产业发展对高技术矿产需求的与日俱增,循环利用成为满足资源需求的重要路径,而当前针对循环利用产业链着重分析的是潜力、存量地图和技术路径(即有多少?在哪里?怎么用?),缺少对循环利用(再生资源)产业链供应链重构风险的系统、量化评估。为了构建原生和再生协同的资源供应保障体系,亟需进一步对大国竞争背景下再生资源产业链供应链重构过程中面临着哪些风险进行剖析,创新性地提出一套双链重构风险影响机理的新研究范式和监测预警模型方法,并在低碳背景下,提出可行的技术路径和应对策略。

## 5.4 原生和再生资源产业链供应链协同管理和安全保障对策

原生和再生资源产业链供应链协同管理成为大国矿产资源竞争背景下满足矿产资源需求和应对风险的重要抓手。当前原生资源、再生资源、产业链供应链分属不同部门管理,传统分段式矿产资源管理模式难以实现对大国竞争带来的产业链供应链重构风险和冲击的快速响应,供需之间往往也存在结构性错配等问题。为了建立高技术矿产的可持续供应体系,必须提出一套保障供应安全和产业链供应链发展的创新性管理模式,能够科学高效应对短期和长期的冲击,尽可能透明化和规范化高技术矿产产业链供应链的各个环节,快速挖掘产业链供应链脆弱点,进而实现科学监管和产业结构优化。为了达到上述目的,需要将区块链等新技术引入到产业链供应链管理中,构建兼顾供需两侧高效、透明、安全的高技术矿产双链耦合的产业链供应链管理体系。

## 6 结论

本文系统界定了高技术矿产产业链供应链的内涵,揭示了大国间高技术矿产资源竞争和产业链供应链重构趋势。美国等西方国家围绕高技术矿产正逐步形成局部化、排他性的资源治理体系,这种治理体系经历了从卖方市场松散型朋友圈到买方市场紧密联系朋友圈再到供应链 ESG“长臂管

2025年7月

辖”朋友圈的快速转变。并识别出高技术矿产原生资源产业链供应链存在政治、投资、贸易、技术和监管维度的重构风险,以及再生资源全链条存在环境、产业、技术、社会、经济和政治维度的重构风险。

未来需要进一步从高技术矿产动态界定和产业链供应链的理论框架构建、大国间高技术矿产资源竞争和产业链供应链重构过程的科学诠释、原生和再生资源产业链供应链双链多重重构风险评估、监测与预警和原生和再生资源产业链供应链协同管理和安全保障对策等方面开展研究,保障中国高技术矿产产业链供应链安全。

### 参考文献(References):

- [1] 丹尼尔·耶金. 石油大博弈: 追逐石油、金钱与权力的斗争[M]. 艾平, 译. 北京: 中信出版社, 2008. [Daniel Y. The Great Oil Game: The Struggle for Oil, Money, and Power[M]. Ai P, Trans. Beijing: China Critic Press, 2008.]
- [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 H N, Li Z P. Critical mineral resources: From “Industrial Monosodium Glutamate” to “New Petroleum”[J]. Beijing Cultural Review, 2023, (5): 12-15.]
- [3] 倪红福. 全球产业结构和布局调整的主要特征及应对思路[J]. 人民论坛, 2023, (17): 70-77. [Ni H F. Main characteristics and countermeasures of global industrial structure and layout adjustment[J]. People's Tribune, 2023, (17): 70-77.]
- [4] 杨啸林. 全球产业链供应链加速重构[N]. 经济日报, 2023-08-09(009). [Yang X L. The Global Industrial Chain and Supply Chain Are Accelerating Reconstruction[N]. Economic Daily, 2023-08-09(009).]
- [5] Gulley A L, Nassar N T, Xun S. China, the United States, and competition for resources that enable emerging technologies[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115(16): 4111-4115.
- [6] 李华姣, 安海忠, 齐亚杰, 等. 基于产业链国际贸易网络的中国优势矿产资源全球贸易格局和竞争力: 以钨为例[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1504-1514. [Li H J, An H Z, Qi Y J, et al. Trade and competitiveness structure of China's advantageous mineral resources based on the international trade network of industrial chain: A case study of Tungsten[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1504-1514.]
- [7] 干勇, 彭苏萍, 毛景文, 等. 我国关键矿产及其材料产业供应链高质量发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 1-9. [Gan Y, Peng S P, Mao J W, et al. High-quality development strategy for the supply chain of critical minerals and its material industry in China[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(3): 1-9.]
- [8] 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 high-tech minerals such as “three rare” metals to a strategic level[J]. Natural Resources Information, 2011, (6): 2-7.]
- [9] 陈从喜, 崔荣国, 李政, 等. 高技术矿产的内涵, 分类及应用前景[J]. 国土资源情报, 2020, (10): 5-11. [Cheng C X, Cui R G, Li Z, et al. Research progress, definition, classification, and application prospect of high-tech minerals[J]. Natural Resources Information, 2020, (10): 5-11.]
- [10] 于德福. 高技术矿产: 必须攀越的高峰[N]. 中国国土资源报, 2013-07-09(005). [Yu D F. High-Tech Minerals: A Peak That Must be Climbed[N]. China Land and Resources Daily, 2013-07-09(005).]
- [11] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2016-2020年)[EB/OL]. (2016-11-15) [2023-11-17]. [https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101\\_2324927.html](https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101_2324927.html). [Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. National Mineral Resources Planning (2016-2020)[EB/OL]. (2016-11-15) [2023-11-17]. [https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101\\_2324927.html](https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101_2324927.html).]
- [12] European Union. Critical Raw Materials Act[EB/OL]. (2023-09-07) [2023-11-17]. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747898/EPRS\\_BRI\(2023\)747898\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747898/EPRS_BRI(2023)747898_EN.pdf).
- [13] USGS. U.S. Geological Survey Releases 2022 List of Critical Minerals [EB/OL]. (2022-2-22) [2023-11-17]. <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>.
- [14] Natural Resources Canada. From Exploration to Recycling: Powering the Green and Digital Economy for Canada and the World[EB/OL]. (2023-03-13) [2023-11-17]. <https://www.publications.gc.ca/site/eng/9.917521/publication.html>.
- [15] 王安建, 王高尚, 邓祥征, 等. 新时代中国战略性关键矿产资源安全与管理[J]. 中国科学基金, 2019, 33(2): 133-140. [Wang A J, Wang G S, Deng X Z, et al. Security and management of China's Critical Mineral Resources in the new era[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2019, 33(2): 133-140.]
- [16] 王登红, 王瑞江, 李建康, 等. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 361-370. [Wang D H, Wang R J, Li J K, et al. The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare-scattered elements mineral resources[J]. Geology in China, 2013, 40(2): 361-370.]
- [17] 张洪涛. 高技术矿产: 百年变局中必须攀越的高峰[J]. 国土资源情报, 2020, (10): 1-2. [Zhang H T. High-tech minerals: A peak that must be climbed in the century-long change[J]. Natural Resources Information, 2020, (10): 1-2.]
- [18] 郭丕斌, 吴青龙, 周喜君, 等. “全产业链”理论与应用研究: 以山西为例[M]. 北京: 经济管理出版社, 2014. [Guo P B, Wu Q L,

- Zhou X J, et al. Whole Industry Chain Theory and Application: Shanxi as a Case[M]. Beijing: Economy and Management Publishing House, 2014.]
- [19] Segura S J, Marcelo T L. Sustainability in the minerals industry: Seeking a consensus on its meaning[J]. Sustainability, 2018, DOI: 10.3390/su10051429.
- [20] 安海忠, 李华姣. 战略性矿产资源全产业链理论和研究前沿[J]. 资源与产业, 2022, 24(1): 8-14. [An H Z, Li H J. Theory and research advances in whole industrial chain of strategic mineral resources[J]. Resources & Industries, 2022, 24(1): 8-14.]
- [21] 陈从喜, 王昶, 崔荣国, 等. 高技术矿产资源利用评价理论及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2020. [Chen C X, Wang C, Cui R G, et al. Theory and Application of High-Tech Mineral Resource Utilization Evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2020.]
- [22] Executive Office of the President. A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals[EB/OL]. (2017-12-20) [2023-11-17]. <https://www.federalregister.gov/documents/2017/12/26/2017-27899/a-federal-strategy-to-ensure-secure-and-reliable-supplies-of-critical-minerals>.
- [23] Executive Office of the President. Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries and Supporting the Domestic Mining and Processing Industries[EB/OL]. (2020-09-30) [2023-11-17]. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/10/05/2020-22064/addressing-the-threat-to-the-domestic-supply-chain-from-reliance-on-critical-minerals-from-foreign>.
- [24] Executive Office of the President. America's Supply Chains[EB/OL]. (2021-02-24) [2023-11-17]. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/03/01/2021-04280/americas-supply-chains>.
- [25] Executive Office of the President. Statement of Administration Policy[EB/OL]. (2022-08-06) [2023-11-17]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/08/SAP-H.R.-5376.pdf>.
- [26] US Department of State. Energy Resource Governance Initiative Fact Sheet[EB/OL]. (2019-06-11) [2023-11-17]. <https://2017-2021.state.gov/energy-resource-governance-initiative/>.
- [27] US Department of State. The MSP is a Collaboration of 13 Countries and the EU to Catalyze Public and Private Investment in Responsible Critical Minerals Supply Chains Globally[EB/OL]. (2022-06-22) [2023-11-17]. <https://www.state.gov/minerals-security-partnership/>.
- [28] Government of Canada. Countries Commit to the Sustainable Development and Sourcing of Critical Minerals[EB/OL]. (2022-12-12) [2023-11-17]. <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2022/12/countries-commit-to-the-sustainable-development-and-sourcing-of-critical-minerals.html>.
- [29] Carrara S, Bobba S, Blagoeva D, et al. Supply Chain Analysis and Material Demand Forecast in Strategic Technologies and Sectors in the EU: A Foresight Study[EB/OL]. (2023-03-16) [2023-11-17]. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC132889>.
- [30] IEA. World Energy Outlook[EB/OL]. (2021-10-26) [2023-10-17]. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.
- [31] 许敬华. 南美“锂三角”资源供应形势分析: “锂佩克”格局对全球及中国的影响[J]. 中国国土资源经济, 2023, 36(9): 14-23. [Xu J H. Supply situation analysis on South America “lithium triangle” resources: The impact of the “Lithium OPEC” pattern on the world and China[J]. Natural Resource Economics of China, 2023, 36(9): 14-23.]
- [32] 毛熙彦, 贺灿飞. 经济全球化新叙事与中国经济地理学发展新趋势[J]. 地理学报, 2023, 78(5): 2905-2921. [Mao X Y, He C F. The new narrative of economic globalization and the new trends in economic geography[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(5): 2905-2921]
- [33] 王一鸣, 李国杰, 张柏春, 等. 关于科技创新赋能我国产业高质量发展的若干思考[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(5): 759-765. [Wang Y M, Li G J, Zhang B C, et al. Several thoughts on empowering high quality industrial development in China through S&T innovation[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(5): 759-765.]
- [34] 尹文渊, 范舒雯, 刘艺卓. 美国关键矿产供应链重构: 动因、影响及对策[J]. 亚太经济, 2023, (5): 81-89. [Yin W Y, Fan S W, Liu Y Z. US critical minerals supply chains restructuring: Motivations, impacts, and policy recommendations[J]. Asia-pacific Economic Review, 2023, (5): 81-89.]
- [35] 任忠宝, 陈甲斌. 我国海外权益资源供应形势分析与对策研究[J]. 自然资源情报, 2023, (10): 24-29. [Ren Z B, Chen J B. Analysis and countermeasure research on the supply situation of overseas equity resources in China[J]. Natural Resources Information, 2023, (10): 24-29.]
- [36] 王文宇, 贺灿飞, 任卓然. 中国矿产资源贸易网络演化[J]. 自然资源学报, 2021, 36(7): 1893-1908. [Wang W Y, He C F, Ren Z R. Evolution of mineral resources trade network in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(7): 1893-1908.]
- [37] 张涛, 周平. 印尼镍原矿出口禁令的实施对我国的影响分析[J]. 中国国土资源经济, 2014, 27(9): 32-36. [Zhang T, Zhou P. Analysis on the effect of Indonesian ban on nickel ore export on China[J]. Natural Resource Economics of China, 2014, 27(9): 32-36.]
- [38] 杨飞, 孙文远, 程瑶. 技术赶超是否引发中美贸易摩擦[J]. 中国工业经济, 2018, (10): 99-117. [Yang F, Sun W Y, Cheng Y. Does technology catching-up inspire Sino-U. S. trade friction[J]. China Industrial Economics, 2018, (10): 99-117.]
- [39] 吕建兴, 张少华, 李明月. 全球贸易摩擦对我国进出口的影响研究: 来自GTA国家-产品层面的证据[J]. 统计研究, 2022, 39(7): 56-72. [Lv J X, Zhang S H, Li M Y. The impacts of global

2025年7月

- trade friction on China's import and export: Evidence of global trade alert at country-product level[J]. *Statistical Research*, 2022, 39(7): 56-72.]
- [40] 田伊霖, 程慧, 韩爽. 大国竞争背景下的中非关键矿产品贸易: 挑战与应对[J]. *国际贸易*, 2023, (8): 64-73. [Tian Y L, Cheng H, Han S. China-Africa critical minerals trade in the context of great power competition: Challenges and responses[J]. *Intertrade*, 2023, (8): 64-73.]
- [41] 赖丹, 方文龙, 吴一丁, 等. 美日欧重构稀土供应链战略对中国稀土产业的影响[J]. *科技导报*, 2022, 40(21): 88-99. [Lai D, Fang W L, Wu Y D, et al. The impact of US, Japan and Europe's strategy of reconstructing rare earth supply chain on China's counterpart[J]. *Science & Technology Review*, 2022, 40(21): 88-99.]
- [42] 李睿晶. 美对华限制技术转移措施的影响及其应对[J]. *科技智囊*, 2023, (7): 32-38. [Li R J. The influence of U. S. Restriction on technology transfer to China and relevant suggestions[J]. *Think Tank of Science & Technology*, 2023, (7): 32-38.]
- [43] 牛璐, 陈志军, 刘振, 等. 打破技术封锁: 逆机会与资源稀缺双困局下的大企业创业: 基于资源拼凑与编排的纾解[J]. *南开管理评论*, 2023, 28(2): 67-79. [Niu L, Chen Z J, Liu Z, et al. Breaking the technology blockade: Entrepreneurship of large enterprises under the double dilemma of counter opportunity and resource scarcity: Reduction based on resource bricolage and orchestration [J]. *Nankai Business Review*, 2023, 28(2): 67-79.]
- [44] Song H L, Wang C, Sen B R, Liu G. China factor: Exploring the by-product and host metal dynamics for gallium-aluminum in a global green transition[J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56(4): 2699-2708.
- [45] 宋慧玲, 王昶, 左绿水. 碳中和背景下清洁能源技术关键伴生金属可供性约束研究回顾与展望[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(3): 38-48. [Song H L, Wang C, Zuo L S. Review and prospects of the availability constraints of critical byproduct metals for clean energy technologies in the context of carbon neutrality goal[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(3): 38-48.]
- [46] Shammugam S, Rathgeber A, Schlegl T. Causality between metal prices: Is joint consumption a more important determinant than joint production of main and by-product metals[J]. *Resources Policy*, 2019, 61: 49-66.
- [47] 成金华, 朱永光, 徐德义, 等. 战略性关键矿产可供性评价方法研究现状及展望[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2022, 22(4): 38-49. [Cheng J H, Zhu Y G, Xu D Y, et al. Research status and prospect of strategic critical minerals availability evaluation methods[J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2022, 22(4): 38-49.]
- [48] Gervais E, Kleijn R, Nold S, et al. Risk-based due diligence in supply chains: The case of silver for photovoltaics[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2023, DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107148.
- [49] Moss R L, Tzimas E, Kara H, et al. The potential risks from metals bottlenecks to the deployment of Strategic Energy Technologies[J]. *Energy Policy*, 2013, 55: 556-564.
- [50] Graedel T E, Harper E M, Nassar N T. Criticality of metals and metalloids[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, DOI: 10.1073/pnas.1500415112.
- [51] Myers R J, Reck B K, Graedel T E. YSTAFDB, a unified database of material stocks and flows for sustainability science[J]. *Scientific Data*, 2019, DOI: 10.1038/s41597-019-0085-7.
- [52] 李鹏飞, 杨丹辉, 渠慎宁, 等. 稀有矿产资源的全球供应风险分析: 基于战略性新兴产业发展的视角[J]. *世界经济研究*, 2015, 2: 96-104. [Li P F, Yang D H, Qu S N, et al. Analysis on global supply risk of rare minerals: From the perspective of strategic emerging industry development[J]. *World Economy Studies*, 2015, 2: 96-104.]
- [53] Jair S S, Gaugler T, Helbig C, et al. Design of an endpoint indicator for mineral resource supply risks in life cycle sustainability assessment: The case of Li-ion batteries[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2021, 25(4): 1051-1062.
- [54] Nassar N T, Brainard J, Gulley A, et al. Evaluating the mineral commodity supply risk of the U.S. manufacturing sector[J]. *Science Advance*, 2020, DOI: 10.1126/sciadv.aay8647.
- [55] Zhou N, Su H, Wu Q S, et al. China's lithium supply chain: Security dynamics and policy countermeasures[J]. *Resources Policy*, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102866.
- [56] Yan W Y, Cao H B, Zhang Y, et al. Rethinking Chinese supply resilience of critical metals in lithium-ion batteries[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120719.
- [57] Shao L G, Jin S Z. Resilience assessment of the lithium supply chain in China under impact of new energy vehicles and supply interruption[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119624.
- [58] Liu W, Li X, Liu C Y, et al. Resilience assessment of the cobalt supply chain in China under the impact of electric vehicles and geopolitical supply risks[J]. *Resources Policy*, 2023, DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103183.

# Research on the reconstruction of global high-tech mineral industry chain and supply chain

LI Huajiao<sup>1,2,3</sup>, LI Zheng<sup>4</sup>, ZHENG Xinxin<sup>1,3</sup>, CHEN Congxi<sup>4</sup>, ZHANG Yuqi<sup>1,3</sup>,  
LIU Meng<sup>1,3</sup>, MENG Ziyu<sup>1,3</sup>, HAN Shitong<sup>1,3</sup>

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Center for International Economic Exchanges, Beijing 100050, China; 3. Key Laboratory of Resources Environmental Carrying Capacity, Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China; 4. Information Center of Ministry of Natural Resources, Beijing 100036, China)

**Abstract:** The underlying resource logic of the current great power competition is gradually shifting from oil competition to competition for high-tech mineral resources. The layout of the high-tech mineral industry chain and supply chain is transitioning from a focus on cost, efficiency, and technology to an emphasis on security, stability, and politics, showing evolutionary characteristics such as diversification and regionalization. Since June 2019, Western countries, including the United States, have gradually established a localized and exclusive resource governance system focused on high-tech minerals. This governance system has undergone a rapid transformation from a loose network of raw material supplying countries (seller's markets), to a closely linked network among developed countries (buyer's markets), and then to a supply chain "long-arm jurisdiction" network governed by ESG. Based on a comprehensive review and analysis of the connotations of terms such as high-tech minerals, critical minerals, and strategic minerals, this study provides a systematic definition of the high-tech mineral industry and supply chains. It then focuses on analyzing the competition for high-tech mineral resources among great powers, the trends in the reconstruction of industry chains and supply chains, and the potential risks that the entire industry chain and supply chain may face. Furthermore, from the perspectives of research and management, this study presents relevant frontier issues: (1) The dynamic definition of high-tech mineral resources and the theoretical framework of its industry and supply chains; (2) Scientific interpretation of the competition for high-tech mineral resources and the process of industry and supply chain reconstruction among great powers; (3) Risk assessment, monitoring, and early warning of multiple reconstruction of the primary and recycled resource industry chain and supply chain; (4) Coordinated management and security measures for the primary and recycled resource industry chain and supply chain.

**Key words:** high-tech mineral resources; industry chain and supply chain; reconstruction risks; great power competition; resource governance