

引用格式:朱学红, 梁治朋, 曾安琪, 等. 新质生产力发展背景下战略性金属资源全产业链配置效率研究综述[J]. 资源科学, 2025, 47(7): 1420-1435. [Zhu X H, Liang Z P, Zeng A Q, et al. Review and prospects of allocation efficiency of strategic metal resources across entire industry chain in the context of new quality productive force development[J]. Resources Science, 2025, 47(7): 1420-1435.] DOI: 10.18402/resci.2025.07.03

# 新质生产力发展背景下战略性金属资源全产业链配置效率研究综述

朱学红<sup>1,3</sup>, 梁治朋<sup>1</sup>, 曾安琪<sup>2,3</sup>, 董宇<sup>1</sup>, 朱瑞奇<sup>1</sup>, 罗慎斌<sup>1</sup>

(1. 中南大学商学院, 长沙 410083; 2. 中南大学马克思主义学院, 长沙 410083;

3. 中南大学金属资源战略研究院, 长沙 410083)

**摘要:**【目的】战略性金属资源是培育新质生产力的重要生产要素之一,提升其配置效率成为发展新质生产力的必然要求和重要抓手。但传统的发展方式使得当前战略性金属资源配置效率在推动新质生产力发展方面仍面临严峻形势和挑战。【方法】本文基于新质生产力发展要求,梳理1996—2025年相关文献,归纳总结战略性金属资源全产业链配置效率评估方法、驱动因素及提升路径。【结果】①传统资源配置效率评估方法多从产业链的单一阶段或者多阶段进行分析,未能从全产业链视角出发对资源配置效率进行系统性考察,导致战略性金属资源配置效率评估结果可能出现偏差。②现有研究从经济因素、技术因素、政策因素和社会因素4个维度考察资源配置效率的影响因素。但在新质生产力发展的新形势下,应综合考虑传统因素和新兴因素对战略性金属全产业链各阶段配置效率影响的异质性和协同性,并对新兴因素进行深入研究。③战略性金属资源全产业链配置效率提升路径设计主要从单一政策和定性分析角度出发。新质生产力发展背景下的提升路径缺乏不同政策工具之间的协调与兼容性。【结论】基于新质生产力发展要求,未来需结合“经济-环境-社会”系统耦合框架,构建多重混合模型对战略性金属资源配置效率进行评估,在此基础上,综合运用多种模型并结合客观数据对驱动因素和提升路径的效果进行检验,为战略性金属资源全产业链配置效率提升和新质生产力的发展提供科学有效的提升路径。

**关键词:**新质生产力;战略性金属资源;全产业链;配置效率;新兴因素

DOI: 10.18402/resci.2025.07.03

## 1 引言

习近平总书记指出,“新质生产力由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生”,“以全要素生产率大幅提升为核心标志”。2024年国务院《政府工作报告》提出,要大力推进现代化产业体系建设,加快发展新质生产力。新质生产力推动生产方式和生活方式的根本性变革,催生一大批战略性新兴产业和未来产业。战略性新兴产业和未来产业的高度发展是新质生产力的重要载体。而战略性金属矿产资源在新型工业制造业

中作为不可或缺的原材料,其用量必将大幅度增加,适用范围也将大幅度扩展<sup>[1-3]</sup>。同时,发展新质生产力需要结构性提升生产要素配置效率<sup>[4]</sup>。因此,加快形成与战略性金属矿产资源密切相关的新质生产力,实现战略性金属资源消耗、环境负荷与社会经济发展“脱钩”,对战略性金属矿产资源配置效率提出了新的挑战。

新质生产力致力于通过技术实现绿色发展和生产要素协调发展,不断减少资源消耗和环境危害<sup>[5]</sup>。但当前中国战略性金属资源存在高污染高排

收稿日期:2024-08-31;修订日期:2025-02-24

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21&ZD103)

作者简介:朱学红,女,湖南长沙人,研究员,研究方向为资源和环境经济与管理。E-mail: zhxh@csu.edu.cn

通讯作者:曾安琪,女,湖南湘潭人,讲师,研究方向为资源与环境经济学、马克思主义政治经济学。E-mail: zengangi@csu.edu.cn

2025年7月

放、资源错配和资源浪费等问题,使得战略性金属资源配置效率在推动新质生产力发展方面仍面临严峻形势和挑战。首先,战略性金属资源作为高能消耗行业,其消耗使用会伴随严重的环境退化和资源枯竭问题<sup>[6,7]</sup>。传统粗放的发展方式使得战略性金属资源更多地流向高耗能企业且资源边际效率逐渐递减,带来严重的高污染和高排放问题,导致资源配置效率低下<sup>[8]</sup>。其次,战略性金属资源投入品和价格因其特殊资源属性受政府管控。同时,各地区产业结构趋同现象和要素市场扭曲普遍存在,导致战略性金属资源在市场上无法完全自由流动、边际收益偏离边际成本。而资源错配问题会进一步加剧资源浪费和环境污染,并制约着产业转型和生产率发展,不利于新质生产力发展<sup>[9,10]</sup>。因此,考虑到新质生产力发展要求和战略性金属资源作为要素的重要性,缓解战略性金属资源配置效率低下问题,对于新质生产力发展至关重要。

同时,新质生产力要求打破产业链发展壁垒,打通链条卡点促进资源要素流动<sup>[11]</sup>。因此,如何实现产业链深度融合发展和资源有效配置,推动战略性金属资源产业链高效运作,成为亟需解决的问题。战略性金属资源产业链各阶段之间相互联系又相互影响,提高战略性金属资源整体配置效率离不开全产业链各阶段的相互协作<sup>[12]</sup>。若评估战略性金属资源配置效率时忽略全产业链各阶段差异,可能使得评估结果存在争议和误导性,不利于经济决策。而且实现战略性金属资源的有效利用、保证其在产业链中的可持续性对于新质生产力发展至关重要。因此,有必要基于全产业链视角探究战略性金属资源在采选、冶炼、加工、消费使用和废弃物管理等全产业链各阶段的配置效率<sup>[13,14]</sup>。

在此背景下,本文基于新质生产力发展要求和1996—2025年相关文献,对战略性金属资源全产业链配置效率相关研究进行系统梳理。首先,对全产业链视角下战略性金属资源配置效率内涵进行界定。其次,系统梳理战略性金属资源配置效率评估方法,为后续全产业链视角下资源配置效率评估提供方法索引。再次,从全产业链视角归纳总结战略性金属资源配置效率的驱动因素,为后续提升路径设计提供理论参考。然后,在驱动因素的基础上梳理战略性金属资源全产业链配置效率提升路径,为

战略性金属资源配置效率提升、助力新质生产力发展提供理论和现实依据。最后,基于研究现状提出未来研究展望。

## 2 新质生产力发展背景下战略性金属资源配置效率界定

### 2.1 新质生产力内涵及概念界定

在社会进步过程中,生产力是最活跃、最具革命性的要素<sup>[15]</sup>。传统生产力体现了人与自然的关系,反映了人类利用和改造自然,并进行物质资料生产和财富创造的能力<sup>[16]</sup>。随着中国式现代化步入新阶段,传统生产力已无法满足发展需要,需要不断推进生产力发展的现代化<sup>[17]</sup>。作为一种高级生产力,新质生产力是生产力现代化转型的具体体现,其以战略性新兴产业和未来产业为主导,在劳动者、劳动资料、劳动对象等方面都超越了传统生产力。其中,劳动者是创新型、技能型和知识型劳动者。劳动资料不仅包括电子计算机和机器设备,还包括数字经济时代的人工智能设备等高端仪器设备。劳动对象不仅包括以物质形态存在的自然物和原材料,还包括数据等非物质形态的劳动对象。同时,新质生产力作为绿色生产力,是符合新发展理念的先生产力质态,是实现高质量发展的新动力<sup>[15,18]</sup>。相对于传统生产力,新质生产力更强调摆脱传统生产力发展方式,并通过科学技术推动生产力实现质的突破<sup>[9]</sup>。

其中,“新”是起点,体现在新要素和新生产形态。新要素体现为劳动者专业化和高端化、劳动资料数智化、劳动对象新型化<sup>[4,19]</sup>。新质生产力相对于传统生产力需要实现技术的“颠覆性”和“突破性”发展,以前沿技术为主要驱动力,通过技术创新驱动生产方式、生产模式和生产技术变革,实现新产业、新业态、新模式发展<sup>[15,20]</sup>。“质”是新质生产力的关键,体现了由科技水平决定的资源配置和全要素生产率<sup>[21]</sup>。新质生产力以技术创新为主要特征实现生产规模扩大,并进一步形成新一轮科技创新需求<sup>[18]</sup>。作为新质生产力发展的着力点和有效途径,全要素生产率的提升来自资源配置效率的改善<sup>[22]</sup>。

### 2.2 战略性金属资源全产业链界定

战略性金属资源作为矿产资源具有劳动对象和劳动资料的双重属性,是新质生产力发展不可或

缺的关键物质基础<sup>[23]</sup>。战略性矿产主要包括对外依存度高的稀缺矿产和其他储量丰富但能够对国际市场起到调节作用的优势矿产<sup>[24]</sup>。英国、日本、美国、澳大利亚和欧盟等国家(地区)根据各自实际情况制定相应的关键矿产目录<sup>[3,25]</sup>,都包含有稀有金属、稀土金属、分散金属和贵金属<sup>[26]</sup>。是否满足战略性新兴产业发展和国防需求、是否具有关键性及紧缺性特征是战略性金属资源划分的主要依据<sup>[27,28]</sup>。因此,参照翟明国等<sup>[29]</sup>和朱学红等<sup>[30]</sup>的研究,本文将战略性金属资源定义为在战略性新兴产业发展中不可或缺、对国家经济建设具有重要作用或供应链易中断的金属资源。

新质生产力强调产业链上下游的紧密合作和产业生态系统的形成<sup>[5]</sup>。其中,产业链是以供需关系和产业内部分工为基础,体现了产业各部门间的技术经济关联,是各部门依据相应逻辑形成的关联关系形态<sup>[31]</sup>。战略性金属资源等矿产资源产业链从全局出发考虑到全生命周期过程,包括战略性金属资源生产、加工、消费使用、废弃物管理等阶段<sup>[13]</sup>。本文参照陈伟强等<sup>[32]</sup>和徐德义等<sup>[33]</sup>研究,将战略性金属资源全产业链定义为:以实现战略性金属资源

价值增值和配置效率提升为主要目标,上游包括战略性金属相关矿产的开采和选矿等矿业项目阶段;中游包括通过技术和设备提炼高纯度金属的冶炼阶段和相关功能产品、战略性金属材料及各种产品的加工和制造阶段;下游包括对相关终端产品消费使用阶段以及回收循环利用的废弃物管理阶段等阶段。上游将产品或服务交付予下游,下游则将信息反馈给上游。战略性金属资源全产业链结构如图1所示。

### 2.3 全产业链视角下战略性金属资源配置效率内涵界定

资源配置效率体现了资源约束条件下,经济系统以最少资源投入实现最大产出或满足最大需求的能力,本质在于通过资源优化配置实现社会总产出的帕累托改进<sup>[34]</sup>。现有研究从多维度对矿产资源效率展开了多维体系研究,在能源效率研究方面存在动态演变过程:由初始聚焦单一能源要素投入-产出分析,延伸至能源与非能源要素耦合的投入-产出分析,现已拓展至考虑多要素投入、期望产出和非期望产出的全要素分析框架。例如,He等<sup>[35]</sup>基于基尼系数构建原理,认为能源的资源错配反映了

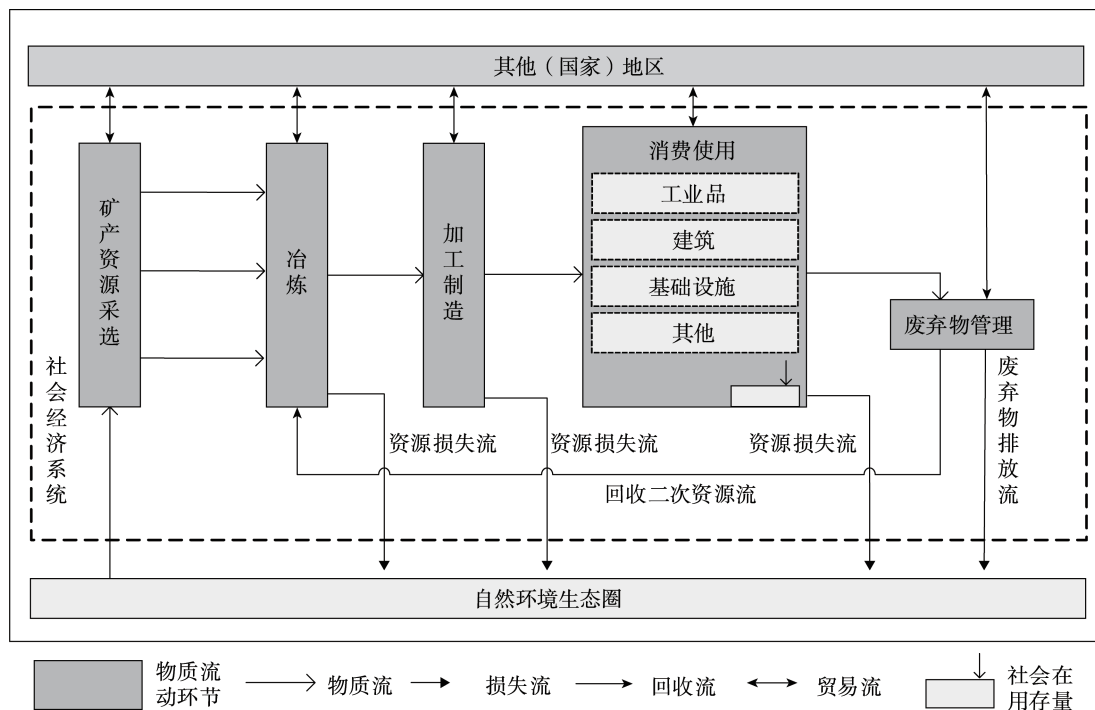


图1 战略性金属资源全产业链结构

Figure 1 Structure of entire industry chain of strategic metal resources

注:箭头方向表示物质流动的方向。

2025年7月

各行业能源投入与经济产出的扭曲程度。Guang等<sup>[36]</sup>构建反事实分析框架,通过实际的能源消耗与在没有能源配置扭曲的情况下理论消耗量的偏离状态来表征能源配置效率。由于矿产资源属于资源密集型产业,具有高能耗和高排放特征,其效率评估的分析范式需要将环境负外部性考虑在内<sup>[37]</sup>。因此,杨越等<sup>[38]</sup>从成本角度出发提出在构建能源效率中须考虑环境影响等非期望产出。考虑到金属等矿产资源的重要作用,逐渐有研究将金属资源纳入研究框架,从资源、能源、经济、环境等多维耦合视角对金属等矿产资源配置效率进行探索性研究。例如,郝荣<sup>[39]</sup>在研究中指出有色金属全要素生产率需要考虑资源和能源消耗以及环境保护。贾冯睿等<sup>[40]</sup>认为铜资源生态效率是包含资源、能源、经济和环境多方面的综合分析指数。

在新质生产力和产业链高端化发展要求下,战略性金属资源配置效率提升并非单一环节效率的提升,而是其全产业链及各环节配置效率的共同提升<sup>[22]</sup>。新质生产力作为绿色生产力要求实现资源全产业链绿色转型,需要构建绿色产业链供应链以提高产业链可持续性<sup>[5]</sup>。已有研究基于产业链多阶段或全生命周期视角对能源、金属等矿产资源产业链配置效率进行探究<sup>[40,41]</sup>。随着战略性金属资源产业链由上游向下游延伸,其在产业链上下游不同阶段的配置结构需要不断调整,以适应产业链延伸和新质生产力发展需求<sup>[22,42]</sup>。因此,全产业链视角下战略性金属资源配置效率需要考虑全产业链上下游各环节的差异性和协同效应。

综上所述,战略性金属资源配置效率内涵界定需基于“经济-环境-社会”系统耦合框架,综合考虑资源消耗、期望产出及非期望产出,将资源消耗、环境负荷和社会效益同时纳入研究范畴,以反映在一定资源约束条件下,经济产出的质量和增长效率<sup>[40,43]</sup>。同时,产业链作为新质生产力发展的重要载体和创新成果应用,有必要在产业链的框架下对战略性金属资源配置效率进行研究,以反映其全产业链各阶段发展对整体配置效率的影响<sup>[22,44]</sup>。因此,参照贾冯睿等<sup>[40]</sup>和Wang等<sup>[45]</sup>的研究,本文将新质生产力发展要求下战略性金属资源全产业链配置效率定义为:在资源稀缺条件下,在战略性金属

资源采选、冶炼、加工、消费使用和废弃物管理全过程中,通过要素边际替代率不断优化及产业链各阶段协同效应,各阶段投入要素在各产出主体间分配所产生的效益。即在全产业链各阶段提取、加工和利用战略性金属资源作为投入要素来满足社会需求时,通过要素优化配置使得各环节高效协同,尽可能在投入要素和环境负荷最小前提下实现经济和社会效益最大化。其中,中游和下游各阶段的投入中包含相邻上一阶段的产出。

### 3 战略性金属资源配置效率评估方法

#### 3.1 单一阶段配置效率评估模型

资源配置效率评估方法主要包括柯布-道格拉斯生产函数<sup>[46,47]</sup>、CES生产函数<sup>[48,49]</sup>、HK模型<sup>[50,51]</sup>、LP半参数方法和OP协方差<sup>[52,53]</sup>、随机前沿分析(SFA)<sup>[54,55]</sup>和数据包络分析(DEA)<sup>[56,57]</sup>。SFA和DEA是评估资源配置效率较为主流的方法<sup>[58]</sup>。其中,SFA作为参数分析方法需要预先指定模型,并将污染作为投入要素,会导致模型误设问题<sup>[59,60]</sup>。DEA作为非参数评估方法,将决策单元(DMU)视为一个不可分割的整体,凭借其优势被更广泛地运用于资源配置效率研究<sup>[45,58,61]</sup>。DEA方法对生产函数的形式没有严格的要求,能够避免由于错误函数形式所造成的错误结论问题,被广泛应用于能源效率、生态效率和配置效率的评估中<sup>[62]</sup>。

现有研究从考虑投入产出同比变动的单一径向DEA模型和考虑松弛变量的非径向DEA模型等单一模型,逐渐发展到运用混合模型对矿产资源配置效率进行评估。魏楚等<sup>[63]</sup>和盛鹏飞<sup>[64]</sup>运用DEA模型包括对中国在内的35个国家(地区)的能源经济效率进行测度,并分解出技术效率和配置效率。但传统DEA模型的估计误差会带来影响效率测量精度的松弛问题,模型应用时必须比较不同DMU的相对效率值<sup>[65]</sup>。同时,不良产出在DEA模型中以优化产出和最小化投入为目标的过程中是不可取的<sup>[66]</sup>。因此,Tone<sup>[67]</sup>对传统DEA模型进行改进,提出基于松弛变量的SBM(Slacks-based model)模型,该模型可以避免传统DEA模型存在的径向和角度选择误差所造成的评估偏差,能够合理地测量含有非期望产出的经济主体效率<sup>[58]</sup>。Feng等<sup>[43]</sup>和Tang等<sup>[68]</sup>以此为基础构建考虑非期望产出的SBM-DEA

模型,将能源、铁矿石和石灰石等资源消耗作为自然资源投入,对中国各省份能源和金属等矿产资源绿色利用和开采效率进行评估。考虑到多个决策单元效率值为1的情况,Tone<sup>[69]</sup>将超效率模型和DEA模型相结合,提出超效率SBM-DEA模型,并在该模型考虑了非期望产出,解决了各SBM-DMU效率的上限和排序问题,能够实现更为精确的效率测算<sup>[70]</sup>。现有研究运用该模型对能源效率<sup>[58,71]</sup>、有色金属行业生态效率<sup>[72,73]</sup>进行评估。

### 3.2 多阶段配置效率评估模型

传统DEA方法将资源生产过程和全产业链视为“黑箱”,只考虑初始投入和最终产出,忽略中间产品的链接作用和全产业链多阶段特征,导致评估结果出现偏差,计算结果出现整体效率与各阶段效率不匹配的不合理现象<sup>[12,74,75]</sup>。为实现多阶段配置效率评估,现有研究通过混合模型将网络模型和DEA模型相结合。例如,Färe等<sup>[76]</sup>提出网络DEA模型,将内部运转和网络结构同时考虑在内,涉及多个生产阶段,避免了追求整体效率而忽略内部链路效率问题。Iftikhar等<sup>[77]</sup>基于网络DEA方法将经济主体划分为相互关联的两阶段,以此为基础探究各个阶段的能源和碳排放效率。Shao等<sup>[78]</sup>利用网络DEA的方向距离函数评估中国工业部门在生产、废水和废气处理过程的生态效率。杨丽等<sup>[12]</sup>、刘春学等<sup>[79]</sup>和屠年松等<sup>[80]</sup>基于有色金属产业链特点和网络DEA方法,将有色金属产业链分为采选和冶炼及压延加工两阶段,通过考虑不同阶段之间的中间投入评估有色金属产业链整体和产业链各阶段转型效率。

在此基础上,现有研究逐渐在模型中考虑非期望产出和决策单元效率值上限。其中,Tone等<sup>[74]</sup>将网络DEA拓展至SBM模型,提出经典网络SBM-DEA模型<sup>[81]</sup>。Tone等<sup>[82]</sup>构建综合模型处理网络中不同阶段之间的结转,提出了在SBM框架内具有网络结构的动态网络SBM-DEA模型。Fukuyama等<sup>[83]</sup>构建纳入非期望产出的网络SBM-DEA模型。基于该模型,营利荣等<sup>[84]</sup>构建考虑能源消耗等非期望产出和废弃物回收利用的超效率网络SBM-DEA模型对区域生态创新中科技研发和成果转化阶段效率进行评估。同时,为了探究矿产资源在产业链不同

阶段的资源配置效率和生态效率,现有研究不断将煤炭、能源等矿产资源作为投入要素纳入研究范围。例如,Wang等<sup>[45]</sup>将能源作为投入要素纳入超效率网络SBM-DEA模型,探究能源生产效率和利用效率。Xia等<sup>[85]</sup>基于动态网络SBM-DEA模型将焦炭产业链简化为三阶段,并考虑各阶段中间产品之间的相互作用,对中国区域焦炭生产链效率进行分析。

战略性金属资源作为矿产资源,其要素属性和技术与能源等资源存在一定相似性,在配置效率研究等经济研究方法上会有较强相通性。战略性金属资源相关企业与能源行业一样也使用资源、资本和劳动力生产产品,其全产业链配置效率评估同样涉及考虑非期望产出的多投入-多产出模型。在新质生产力发展要求下,为了精确评估战略性金属资源配置效率,需要在“经济-环境-社会”系统耦合框架下,综合考虑资本、劳动、能源和金属等资源投入、经济产出等期望产出和环境负荷等非期望产出。同时,为保证战略性金属资源在产业链中的可持续性,需要将战略性金属资源配置效率评估模型纳入网络模型,考虑全产业链各阶段的联结作用和协同机制。因此,战略性金属资源配置效率评估方法的选择需要结合新质生产力发展要求,综合考虑经济效益、环境效益和社会效益,以及全产业链各阶段之间的联结作用,将DEA模型、SBM模型和超效率模型等模型相结合,构建超效率网络SBM-DEA模型,以打开战略性金属资源配置效率评估的“黑箱”,丰富和完善资源配置效率评估理论与方法。

## 4 战略性金属资源全产业链配置效率驱动因素

明确战略性金属资源全产业链配置效率的驱动因素是优化其资源配置的基础和针对性设计提升路径的重要前提。本文在梳理战略性金属资源整体配置效率驱动因素的基础上,归纳总结战略性金属资源全产业链各阶段配置效率驱动因素(图2)。

### 4.1 战略性金属资源整体配置效率驱动因素

影响矿产资源配置效率的传统驱动因素较为复杂,大致可以分为4个维度:①经济因素。经济发

2025年7月



图2 战略性金属资源全产业链配置效率驱动因素

Figure 2 Driving factors of allocation efficiency of strategic metal resources across entire industry chain

注:影响因素中蓝色背景表示新兴因素。

展使得更多资源能够用于产业发展和资源配置,带来战略性矿产资源配置效率的提升。经济因素包括价格波动<sup>[86]</sup>、产业结构<sup>[43,87]</sup>、金融发展<sup>[88]</sup>和经济发展水平<sup>[89]</sup>。②技术因素。技术被认为是驱动战略性金属资源等资源配置效率提升的关键因素<sup>[90]</sup>。技术因素包括研发投入<sup>[91]</sup>、技术创新<sup>[6,92,93]</sup>和信息通信技术<sup>[91]</sup>等驱动因素。③政策因素。规制政策通过市场化改革<sup>[90,94]</sup>、行政许可<sup>[95]</sup>和环境政策<sup>[53,89,90,96]</sup>等,减少污染排放,提升资源配置效率。④社会因素。社会通过影响实践经验积累、生产效率等提高配置效率,主要包括人口密度<sup>[87]</sup>、劳动生产率<sup>[91]</sup>、人力资本<sup>[43]</sup>等因素。

在新质生产力发展的新形势下,出现了诸多可能改善战略性金属资源配置效率的新兴因素。新质生产力作为新生产力形态,体现了新技术与新要素的结合,赋予战略性金属资源配置效率驱动机理

新的研究视角<sup>[4,97]</sup>。大数据、人工智能等数字技术赋能战略性金属资源产业,驱动产业智能化和高效化发展,提升资源配置效率。数字产业化和产业数字化释放数据要素潜力,优化生产要素组合,降低信息不对称。同时,数字技术助力风能、太阳能等可持续发展领域,减少对传统能源依赖,为产业升级和效率提升注入新动能<sup>[98,99]</sup>。另一方面,新质生产力作为绿色生产力,通过推动绿色低碳技术革新,推动传统产业与新能源深度融合,清洁能源技术、绿色创新、清洁高效利用技术和绿色金融发展促进实现资源消耗减少与战略性金属资源配置效率提升双重目标<sup>[43,99-102]</sup>。

## 4.2 战略性金属资源产业链各阶段配置效率驱动因素

### 4.2.1 采选阶段

国家作为矿产资源所有者,通过矿业权管理实

现资源的有序开发<sup>[95]</sup>。上游企业的相对垄断特征能够对战略性金属等矿产资源进行价格调控<sup>[41]</sup>。但采选阶段产生的大量碳排放、生态破坏和危害居民健康等问题制约效率提升<sup>[32]</sup>。环境规制等环境监管政策通过排放约束推动资源集约化<sup>[89]</sup>。技术水平提高可以突破地质条件限制,使低品位与复杂矿藏实现高效和绿色开采,提高战略性金属资源供应能力<sup>[24,92]</sup>。劳动生产率作为劳动力生产力的反映,为采选阶段带来高效的资源管理和分配<sup>[91]</sup>。在新质生产力发展的新形势下,数字技术和清洁能源技术协同驱动战略性金属资源采选向低碳化、智能化转型。数字技术赋能采选全流程,通过实时监测与智能决策优化勘探精度,推动精细化资源勘探和智能采矿,减少浪费与环境影响<sup>[91]</sup>。清洁能源技术创新加速可再生能源应用,使战略性金属资源开采更加绿色、经济和高效,降低能源投入和环境污染<sup>[43,68]</sup>。

#### 4.2.2 冶炼和加工阶段

冶炼和加工阶段的产品同质化问题导致该阶段议价能力弱。因此,冶炼阶段成本会受上下游原材料和设备价格的影响。上、下游原材料和设备价格下跌会降低冶炼阶段的生产成本<sup>[41]</sup>。而战略性金属资源向中游转嫁成本反而会推高加工环节成本<sup>[103]</sup>。环境规制通过约束碳排放倒逼冶炼和加工阶段绿色转型,降低碳排放并提高配置效率<sup>[89]</sup>。技术创新能够推动实现低品位矿石的高效利用,减少资源消耗和废弃物排放,降低行业综合成本和碳排放<sup>[92,104]</sup>。劳动生产率和人力资本的提升有助于促进冶炼和加工阶段新知识的消化、新工艺的吸收和新技术的发展,提高该阶段能源利用效率,最终提高生产效率<sup>[43]</sup>。在新质生产力发展背景下,数字技术赋能加工技术和冶炼技术智能化和精细化,实现多品位矿石差异化提取,以较小环境代价提高产能及配置效率<sup>[105,106]</sup>。

#### 4.2.3 消费使用阶段

在消费使用阶段,资源配置能力相对较弱。创新投入增加通过驱动相关先进设备提升企业劳动生产率和经济增加值<sup>[33,91]</sup>。劳动生产率的提高反映出该阶段更高效和更精简的劳动力资源,通过减少劳动力过剩和能源负担对配置效率产生积极影响<sup>[91]</sup>。环境规制政策和产业政策双向发力,推动战

略性金属资源的清洁使用,并刺激风电、光伏发电等清洁能源相关产品的消费需求,降低该阶段碳排放并提高配置效率<sup>[107]</sup>。在国际层面,由于中国战略性金属相关材料的技术和应用水平落后于发达国家,使该阶段的发展易受国际市场中上游价格的影响,而国际金属价格上涨的风险转移,会导致中国低碳转型成本不断增长<sup>[32]</sup>。新质生产力催生人工智能等数字技术发展,不仅激发了清洁能源消费需求,还通过智能化发展优化资源利用效率<sup>[99]</sup>。同时,战略性金属资源作为关键原材料,其消费需求会在新质生产力和清洁能源发展的要求下不断增加,倒逼消费端通过技术创新等实现资源高效配置<sup>[43]</sup>。

#### 4.2.4 废弃物管理阶段

金属废料是战略性金属资源供应的重要来源,二次回收可提高其供给安全和配置效率<sup>[24]</sup>。新质生产力发展要求构建绿色低碳循环经济,循环利用能保障资源供应安全,减少废弃物排放<sup>[43,91,108]</sup>。资源回收技术等技术创新可以促进战略性金属废弃物管理阶段提质增效,提高资源回收利用率,实现对共生金属、低品位等资源综合回收利用和对尾矿的有效管理利用<sup>[6,68]</sup>。劳动生产率和人力资本水平为该阶段配置效率提升带来生产力提升和新工艺水平<sup>[43,91]</sup>。但目前对战略性金属等原生矿产资源依赖性强,需要完善相关政策形成完整资源回收和再利用产业链布局,以提升资源配置效率<sup>[109]</sup>。在新质生产力发展背景下,数字技术和绿色技术创新为该阶段配置效率提升带来了机遇,二者协同促进废弃物管理效率突破,形成资源再生与低碳转型的闭环。其中,数字技术可以减少全产业链对传统资源的依赖,提高资源利用循环和再生效率<sup>[110]</sup>。绿色技术创新有利于促进先进制造工艺和可再生能源技术应用,刺激废弃物资源的回收利用,减少废弃物和污染物排放<sup>[43]</sup>。

#### 4.2.5 产业链差异性

通过梳理相关研究发现,战略性金属资源全产业链各阶段配置效率驱动因素因各阶段差异而存在异质性。采选阶段作为战略性金属资源产业链的上游阶段,其配置效率更多地受资源禀赋、开采技术和成本的影响。例如,中国的锂、镍和钴等金属资源禀赋低,对外依存度较高<sup>[26,27]</sup>,而稀土和锆等

2025年7月

金属资源禀赋较高,但其利用率受制于技术水平和伴生性带来的高成本<sup>[16,32]</sup>。在冶炼和加工阶段,战略性金属资源的能源依赖性特征和技术缺口使得该阶段需要进行工艺创新等技术手段提高其配置效率,如钢铁行业能耗和碳排放占比较高,其碳排放量占全球7%以上,导致其在冶炼和加工阶段配置效率较低<sup>[30]</sup>。在消费使用阶段,不仅需要创新技术实现高效利用,还需要更广阔的市场需求,如风电产业链的延伸带来了镍、钼、镉、钆和铜等战略性金属资源需求的增加<sup>[6]</sup>。在废弃物管理阶段,技术差异和政策环境对该阶段配置效率影响显著,如通过相关技术实现铝的循环利用相比原生铝会降低95%的碳排放<sup>[108]</sup>。

4.2.6 产业链协同性

在现代经济体系中,产业链延伸和衔接对战略性金属资源等资源的效率提升至关重要。战略性金属资源产业链上游体现了资源的利用过程,下游体现了对资源的再利用过程。产业链在向下游延伸的过程中,战略性金属资源等要素的配置结构会不断调整,带来产业附加值和资源利用价值的提升<sup>[42]</sup>。推动战略性金属资源全产业链各阶段紧密对接,实现产业链上下游各阶段之间的协同有助于减少企业之间的信息不对称,避免产能过剩问题。通

过缩小战略性金属资源全产业链各阶段之间的割裂状态,能够有效提高整体运行效率,提高战略性金属资源配置效率<sup>[11]</sup>。

5 战略性金属资源全产业链配置效率提升路径

科学设计资源配置效率提升路径是针对性提出提高战略性金属资源配置效率和推动新质生产力发展对策的关键。本文结合新质生产力发展要求,考虑经济因素、技术因素、政策因素、社会因素、产业链协同以及新质生产力要求下数字化和清洁技术对战略性金属资源配置效率的驱动机理,从经济维度、环境维度和社会维度设计政策优化路径,主要包括资源政策、产业政策、环境政策、金融政策和社会政策5种政策类型(表1)。

5.1 经济维度提升路径

经济维度涉及技术升级路径和市场改革路径,主要通过影响资源利用效率、产品利润率和市场交易成本来提升战略性金属资源配置效率。技术研发补贴、税收优惠和绿色信贷政策可以降低企业融资成本,激发企业创新活力,推动数字化、绿色化和二次回收技术升级,提高资源产出水平并降低环境污染<sup>[110]</sup>。在产业链优化方面,通过延伸下游产业链、强化基础能力促进高污染和高耗能企业进行流

表1 战略性金属资源配置效率提升路径设计

Table 1 Design of improvement pathways for allocation efficiency of strategic metal resources

| 政策类型 | 政策工具           | 工具性质 | 参数     | 政策优化路径 |        |        |        |        |        |
|------|----------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      |                |      |        | 经济维度   |        | 环境维度   |        | 社会维度   |        |
|      |                |      |        | 技术升级路径 | 市场改革路径 | 环境友好路径 | 资源节约路径 | 人才培养路径 | 设施完善路径 |
| 资源政策 | 循环设备采购补贴       | 激励型  | 循环利用率  |        |        |        | √      |        |        |
|      | 矿业税费           | 管制型  | 资源开采量  |        |        |        | √      |        |        |
|      | 建设矿产管理体系       | 管制型  | 管理成本   |        | √      |        |        |        |        |
| 产业政策 | 研发补贴及税收优惠      | 激励型  | 资源利用效率 | √      |        | √      |        |        |        |
|      | 引进下游产业,促进产业链延伸 | 激励型  | 产品利润率  | √      |        |        |        |        |        |
|      | 推进交易市场建设       | 激励型  | 市场交易成本 |        | √      |        |        |        |        |
| 环境政策 | 废弃物排放标准        | 管制型  | 废弃物排放量 |        |        | √      |        |        |        |
|      | 污染税            | 管制型  |        |        |        | √      |        |        |        |
|      | 碳排放权交易         | 激励型  |        |        |        | √      |        |        |        |
| 金融政策 | 绿色信贷政策         | 激励型  | 融资成本   | √      |        |        |        |        |        |
| 社会政策 | 基础建设           | 激励型  | 中间成本   |        |        |        |        |        | √      |
|      | 健全人才培养体系       | 激励型  | 生产效率   |        |        |        |        | √      |        |
|      | 推进产学研体系构建      | 激励型  |        |        |        |        |        | √      |        |

程改造,加快产业结构转型,降低对传统能源的依赖<sup>[111]</sup>。通过不断完善矿产管理体系,建立资源和能源动态配额调节机制实现矿业权精细化和专业化管理,促进资源有序开发和合理配置<sup>[3,112]</sup>。新质生产力发展是以实现资源配置中市场的决定性作用为基础<sup>[21,113]</sup>。因此,需要通过市场化改革推进全国统一大市场建设和战略性金属交易市场建设,消除阻碍要素自由流动的行业壁垒和垄断行为,降低企业市场交易成本,提升资源配置效率<sup>[114]</sup>。最后,金融支持方面,绿色信贷政策通过定向资金支持,降低生产和使用过程中的碳排放强度,为资源配置效率提升提供资金保障<sup>[58]</sup>。

### 5.2 环境维度提升路径

环境维度涉及环境友好路径和资源节约路径,主要包括制定符合新质生产力绿色发展要求的资源和环境政策。对资源循环设备采购进行补贴,推动循环经济发展,减少全产业链各环节废弃物的产生,实现循环经济产业链的形成<sup>[115]</sup>。不断完善污染税和矿业税费制度,督促企业减少污染排放,并通过税收优惠鼓励企业参与战略性金属资源回收与综合利用,提高综合利用水平和绿色发展水平<sup>[26]</sup>。通过实施严格的环境规制、废弃物管理政策,为战略性金属资源全产业链各环节能源消耗制定标准和准则,将环境外部成本内部化,减少全产业链各阶段废弃物排放<sup>[58,112]</sup>。不断建立成熟的碳排放交易市场,碳排放权配额和交易机制有助于激励企业改善能源消费结构,提高绿色创新发展水平,实现资源有效配置<sup>[116]</sup>。

### 5.3 社会维度提升路径

社会维度涉及人才培养路径和设施完善路径,主要通过健全专业人才培养体系、推进产学研体系构建和基础设施投资等社会政策降低中间成本和提高生产效率来提升战略性金属资源配置效率。高质量劳动者是新质生产力形成的第一要素<sup>[4]</sup>。通过不断完善人才市场体系、引进高水平人才,培养符合新质生产力发展要求的高教育水平和高素质新质劳动者,为战略性金属产业助力新质生产力发展提供强力人才支持<sup>[75]</sup>。通过产学研政策促进科研机构、高校和企业之间的合作构建科研和技术交流平台,为战略性金属资源配置效率提升和新质生产

力发展提供技术支持<sup>[111]</sup>。通过加大投资建设对道路、通信等基础设施进行完善,并为数字技术和绿色技术发展创建基础设施,降低企业交通运输成本,实现对战略性金属资源和环境的动态监测,提高资源的高效管理和流程优化水平<sup>[58,68]</sup>。

## 6 结论与研究展望

### 6.1 结论

新质生产力发展催生了战略性新兴产业和未来产业的发展。作为未来产业发展的关键要素,加快形成与战略性金属资源密切相关的新质生产力,对其配置效率提出了新的挑战。本文基于1996—2025年相关文献,立足于全产业链视角,从配置效率评估方法、配置效率的驱动因素和提升路径出发,梳理了新质生产力发展要求下战略性金属资源在采选、冶炼、加工、消费使用和废弃物管理等全产业链各阶段配置效率的相关研究进展。主要得出以下结论:

(1)在战略性金属资源配置效率评估方法方面,现有研究中数据包络分析凭借其优势在能源效率、生态效率和配置效率评估中应用较为广泛。为考虑环境因素、避免传统模型的评估偏差,现有研究提出考虑非期望产出的基于松弛的度量模型,并将其拓展至超效率模型以解决效率的上限问题。网络模型能够更好地考虑战略性金属资源生产系统的内部结构及产业链各环节的联结机制,为全产业链视角下战略性金属资源配置效率评估提供了方法借鉴。

(2)现有研究中,战略性金属资源配置效率的传统驱动因素主要包括经济因素、技术因素、政策因素和社会因素4个维度。战略性金属资源在采选、冶炼、加工、消费使用和废弃物管理等上中下游全产业链各阶段配置效率的驱动因素存在异质性和协同性。新质生产力发展要求下,大数据、人工智能等数字技术及可再生能源技术等新兴驱动因素作用于战略性金属资源全产业链各个阶段的配置效率。

(3)新质生产力发展背景下,战略性金属资源全产业链配置效率提升路径主要从经济、环境和社会3个维度出发,基于资源政策、产业政策、环境政策、金融政策和社会政策展开。经济维度涉及技术

2025年7月

升级路径和市场改革路径,主要影响资源利用效率、产品利润率和市场交易成本。环境维度涉及环境友好路径和资源节约路径,涵盖符合新质生产力绿色发展要求的资源环境政策。社会维度涉及人才培养路径和设施完善路径,主要影响中间成本和生产效率。

(4)通过梳理相关文献发现,现有研究关于战略性金属资源配置效率研究仍存在一些挑战和不足:①研究对象侧重于传统能源领域,缺乏对战略性金属资源消耗、环境负荷和社会效益的综合效率分析;研究视角和研究方法中更多地将战略性金属资源生产过程视为“黑箱”,忽视中间产品及产业链上下游环节的作用,难以实现对战略性金属资源全产业链配置效率的有效评估。②战略性金属资源全产业链配置效率影响因素研究主要集中在传统因素,忽视了新形势下数字技术和绿色发展所带来的机遇和挑战;影响因素的研究主体集中在整体配置效率或开采等单一阶段配置效率,缺乏结合产业链各阶段特征的驱动因素差异化分析;影响因素的研究方法集中于定性分析层面,缺乏对影响因素的实证检验等定量分析。③战略性金属资源全产业链配置效率的提升路径多从单一政策视角出发,缺乏政策工具的组合与协同和对政策实施效果的量化评价。

## 6.2 研究展望

通过上述文献综述和分析,新质生产力发展要求下战略性金属资源配置效率评估、影响因素识别和提升路径设计方面仍待深入研究。

(1)实现多目标多环节下的战略性金属资源配置效率评估。在新质生产力发展要求下,需要打开全产业链配置效率评估的“黑箱”,综合考虑资源消耗、环境负荷和社会效益,将DEA模型、网络模型和SBM模型相结合构建多重混合模型,以实现对战略性金属资源配置效率的有效评估。在未来研究中,需要结合新质生产力的发展要求,从全产业链角度出发,考虑战略性金属资源全产业链的内部结构及各阶段之间连接运作的联结机制,并以战略性金属资源全产业链各阶段资源消耗、期望产出及非期望产出数据为基础构建多重混合模型,研究战略性金属资源整体配置效率及采选、冶炼、加工、消费使用

和废弃物管理等全产业链各阶段配置效率,以打开全产业链资源配置效率评估的“黑箱”,使战略性金属资源配置效率研究更加具有系统性和科学性。

(2)构建集传统因素与新兴因素于一体的分析框架。在新质生产力发展的新形势下,数字技术和绿色发展为资源配置效率改善带来新的机遇和挑战。同时,战略性金属资源全产业链各阶段驱动因素会因发展差异而有所不同,其驱动因素作用的大小需要通过定量分析进行实证检验。在未来研究中,为了针对性设计提升路径,需基于全产业链视角,将数字经济、清洁能源技术、绿色金融等新兴因素纳入研究框架研究战略性金属资源配置效率的驱动因素。并结合多种评估方法,对战略性金属资源全产业链各阶段配置效率影响因素的方向和大小进行有效识别,以更好地为提升路径设计提供理论和现实依据。

(3)仿真模拟协同政策有效性。战略性金属资源配置效率提升路径设计不仅需要强调不同政策工具的协调与兼容性,还需要综合运用数理模型对提升路径的实施效果进行仿真模拟,用客观数据检验路径设计与政策建议的科学性和有效性。在未来研究中,需要结合新质生产力发展要求,从多个维度设计战略性金属资源配置效率提升路径,运用复杂系统模型,对不同情景和政策工具组合下的战略性金属资源配置效率提升效果进行有效性检验。以此为基础,从多角度提出科学有效的对策建议,以实现战略性金属资源全产业链配置效率的提升。

## 参考文献(References):

- [1] 陈毓川,毛景文.加大矿业开发科技投入国内找矿大有可为[J].中国科技产业,2022,(8):6-10.[Chen Y C, Mao J W. Increasing investment in mining development technology has great potential for domestic mineral exploration[J]. Science & Technology Industry of China, 2022, (8): 6-10.]
- [2] 陈其慎,张艳飞,邢佳韵,等.新质生产力与矿产资源新格局[J].中国矿业,2024,33(5):1-8.[Chen Q S, Zhang Y F, Xing J Y, et al. New quality productive forces and new pattern of mineral resources[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(5): 1-8.]
- [3] 王登红,代鸿章,刘善宝,等.中国战略性关键矿产勘查开发进展与新一轮找矿的建议[J].科技导报,2024,42(5):7-25.[Wang D H, Dai H Z, Liu S B, et al. Progress in strategic critical minerals exploration and production and proposals for a new round of pros-

- pecting in China[J]. Science & Technology Review, 2024, 42(5): 7-25.]
- [4] 石建勋, 徐玲. 加快形成新质生产力的重大战略意义及实现路径研究[J]. 财经问题研究, 2024, (1): 3-12. [Shi J X, Xu L. Major strategic significance and implementation path of accelerating the formation of new quality productivity[J]. Research on Financial and Economic Issues, 2024, (1): 3-12.]
- [5] 周文, 白估. 新质生产力赋能高质量发展: 内在逻辑与实践路径[J]. 江西社会科学, 2024, 44(9): 15-24, 206. [Zhou W, Bai J. New-quality productivity empowering high-quality development: Internal logic and practical pathways[J]. Jiangxi Social Sciences, 2024, 44(9): 15-24, 206.]
- [6] 段悦, 葛建平. 战略性金属矿产供需关系评估: 基于风电产业链的研究[J]. 科技导报, 2024, 42(5): 92-108. [Duan Y, Ge J P. Rising imbalance between supply and demand of strategic metal minerals: A study based on wind power industry[J]. Science & Technology Review, 2024, 42(5): 92-108.]
- [7] Liu X X, Yang M, Shao Z Y, et al. Assessment of impacts of mineral raw material resource efficiency on enterprise performance[J]. Resources Policy, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104803.
- [8] 宋马林, 金培振. 地方保护、资源错配与环境福利绩效[J]. 经济研究, 2016, 51(12): 47-61. [Song M L, Jin P Z. Regional protection, resource misallocation and environmental welfare performance[J]. Economic Research Journal, 2016, 51(12): 47-61.]
- [9] 林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013, 48(9): 125-136. [Lin B Q, Du K R. The energy effect of factor market distortion in China [J]. Economic Research Journal, 2013, 48(9): 125-136.]
- [10] 范振林, 马正己. 中国矿业高质量发展问题探讨[J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(8): 17-26. [Fan Z L, Ma Z J. Discussion on high-quality development of China's mining industry[J]. Natural Resource Economics of China, 2022, 35(8): 17-26.]
- [11] 李燕, 陆帆, 孙文晖. 发展新质生产力视角下保障产业链供应链安全的财税问题研究[J]. 中央财经大学学报, 2024, (10): 3-13. [Li Y, Lu F, Sun W H. Research on fiscal and tax issues to ensure the security of industrial and supply Chains from the perspective of new quality productive forces[J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2024, (10): 3-13.]
- [12] 杨丽, 王欣. 中国有色金属产业链效率及其影响因素研究: 基于网络DEA模型的两阶段分析[J]. 改革与战略, 2018, 34(11): 102-109. [Yang L, Wang X. The efficiency of non-ferrous metals industry chain in China and influencing factors: Two-stage analysis based on network DEA model[J]. Reformation & Strategy, 2018, 34(11): 102-109.]
- [13] 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.]
- [14] 宋益, 白文博, 成金华, 等. 技术创新对清洁能源金属可持续供应影响的研究综述与展望[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2024, 30(1): 112-125. [Song Y, Bai W B, Cheng J H, et al. Review and prospect of the effects of technological innovation on sustainable supply of clean energy metals[J]. Journal of Central South University (Social Sciences), 2024, 30(1): 112-125.]
- [15] 周文, 许凌云. 论新质生产力: 内涵特征与重要着力点[J]. 改革, 2023, (10): 1-13. [Zhou W, Xu L Y. On new quality productivity: Connotative characteristics and important focus[J]. Reform, 2023, (10): 1-13.]
- [16] 王登红. 试论稀散金属矿产与新质生产力[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 2-12, 1. [Wang D H. Discussion on the dispersed metals resources and new quality productivity[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(4): 2-12, 1.]
- [17] 任保平. 生产力现代化转型形成新质生产力的逻辑[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 12-19. [Ren B P. The logic behind the modernization transformation of productivity and the formation of new quality productivity[J]. Economic Research Journal, 2024, 59(3): 12-19.]
- [18] 丁任重, 李溪铭. 新质生产力的理论基础、时代逻辑与实践路径[J]. 经济纵横, 2024, (4): 1-11. [Ding R Z, Li X M. Theoretical foundation, time logic, and practical paths of new quality productive forces[J]. Economic Review Journal, 2024, (4): 1-11.]
- [19] 韩文龙, 张瑞生, 赵峰. 新质生产力水平测算与中国经济增长新动能[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(6): 5-25. [Han W L, Zhang R S, Zhao F. The measurement of new quality productivity and new driving force of the Chinese economy[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2024, 41(6): 5-25.]
- [20] 孙亚男, 刘燕伟, 傅念豪, 等. 中国新质生产力的增长模式、区域差异与协调发展[J]. 财经研究, 2024, 50(6): 4-18, 33. [Sun Y N, Liu Y W, Fu N H, et al. The growth patterns, regional disparity, and coordinated development of China's new quality productive forces[J]. Journal of Finance and Economics, 2024, 50(6): 4-18, 33.]
- [21] 刘伟. 科学认识与切实发展新质生产力[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 4-11. [Liu W. Scientific understanding and practical development of new quality productivity[J]. Economic Research Journal, 2024, 59(3): 4-11.]
- [22] 张杰, 周艳菊, 王宗润. 新质生产力保障产业链供应链安全: 理论框架与路径研究[J]. 当代经济管理, 2024, 46(10): 15-26. [Zhang J, Zhou Y J, Wang Z R. Research on the theoretical framework and pathways of new productive forces in ensuring the security of supply chains[J]. Contemporary Economic Management, 2024, 46(10): 15-26.]
- [23] 杨建锋, 余韵, 姚晓峰, 等. 矿产勘查推动新质生产力发展路径初探[J]. 中国矿业, 2024, 33(5): 39-45. [Yang J F, Yu Y, Yao X F, et al. A preliminary study on developing routes of new quality productive forces via mineral exploration[J]. China Mining Maga-

2025年7月

- zine, 2024, 33(5): 39–45.]
- [24] Yu S W, Duan H R, Cheng J H. An evaluation of the supply risk for China's strategic metallic mineral resources[J]. Resources Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101891.
- [25] 崔祖霞. 我国战略性矿产资源保供形势分析与思考[J]. 中国矿业, 2023, 32(7): 10–14. [Cui Z X. Analysis and reflection on the situation of strategic mineral resources conservation in China[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(7): 10–14.]
- [26] 李裕伟. 战略性矿产清单、供需形势与对策[J]. 科技导报, 2024, 42(5): 26–37. [Li Y W. Research on strategic mineral resource inventory, supply-demand situation and countermeasures [J]. Science & Technology Review, 2024, 42(5): 26–37.]
- [27] 曾现来, 李金惠, 耿涌, 等. 碳中和背景下我国典型战略性金属中长期可持续供给路径[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1099–1109. [Zeng X L, Li J H, Geng Y, et al. Pathways for medium and long-term sustainable supply of typical strategic metals in China in context of carbon neutrality[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(8): 1099–1109.]
- [28] Shao L G, Cao S S, Zhang H. The impact of geopolitical risk on strategic emerging minerals prices: Evidence from MODWT-based Granger causality test[J]. Resources Policy, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104388.
- [29] 翟明国. 提升战略性关键矿产资源保障能力, 把握全球矿产资源格局[J]. 科技导报, 2024, 42(5): 1–2. [Zhai M G. Enhance strategic critical mineral resources, safeguard capabilities, and grasp the global mineral resource pattern[J]. Science & Technology Review, 2024, 42(5): 1–2.]
- [30] 朱学红, 李双美, 曾安琪. 清洁能源转型下关键金属产业链碳排放研究综述与展望[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 1–17. [Zhu X H, Li S M, Zeng A Q. A review and prospect of research on carbon emissions from the critical metal industry chain under clean energy transition[J]. Resources Science, 2023, 45(1): 1–17.]
- [31] 陆挺, 刘璇, 张艳飞, 等. 基于产业链分析的中国铜铝镓产业发展战略研究[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.]
- [32] 陈伟强, 汪鹏, 钟维琼. 支撑“双碳”目标的关键金属供应挑战与保障对策[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(11): 1577–1585. [Chen W Q, Wang P, Zhong W Q. Challenges and security strategies of China's critical metals supply for carbon neutrality pledge [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(11): 1577–1585.]
- [33] 徐德义, 王迪, 李军辉, 等. 新发展格局下战略性矿产资源产业链供应链安全内涵及指标体系研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2023, 57(1): 1–12. [Xu D Y, Wang D, Li J H, et al. The security connotation and index system of industry chain and supply chain of strategic mineral resources under the new development pattern[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2023, 57(1): 1–12.]
- [34] Liu D W. Local government competition and resource allocation efficiency[J]. Finance Research Letters, 2024, DOI: 10.1016/j.frl.2023.104830.
- [35] He W J, Li W Y, Wang C, et al. Does energy resource misallocation affect energy utilization efficiency? Evidence from Chinese provincial panel data[J]. Energy, 2024, DOI: 10.1016/j.energy.2023.129544.
- [36] Guang F T, Deng Y T, Wen L, et al. Impact of regional energy allocation distortion on carbon emission efficiency: Evidence from China[J]. Journal of Environmental Management, 2023, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118241.
- [37] Chen J B, Wen S B, Liu Y C. Research on the efficiency of the mining industry in China from the perspective of time and space[J]. Resources Policy, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102475.
- [38] 杨越, 威力为, 赵晏辰. 技术进步、要素价格与区域能源效率动态演化[J]. 科研管理, 2018, 39(8): 53–62. [Yang Y, Cheng L W, Zhao Y C. Dynamic evolution of technical progress, factor prices and regional energy efficiency[J]. Science Research Management, 2018, 39(8): 53–62.]
- [39] 郝荣. 中国有色金属工业全要素生产率评价研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2017. [Hao R. Evaluation on Total Factor Productivity of China Nonferrous Metals Industry[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2017.]
- [40] 贾冯睿, 郎晨, 刘广鑫, 等. 基于物质流分析的中国金属铜资源生态效率研究[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1706–1715. [Jia F R, Lang C, Liu G X, et al. Assessment of copper resources ecological efficiency based on material flow analysis in China [J]. Resources Science, 2018, 40(9): 1706–1715.]
- [41] 颜晓燕, 钟芹. 产业链视角下我国有色金属行业生态效率的动态影响分析[J]. 科技广场, 2022, (4): 63–81. [Yan X Y, Zhong Q. An analysis on the dynamic impact of the ecological efficiency of China's nonferrous metal industry from the perspective of industrial chain[J]. Science and Technology Square, 2022, (4): 63–81.]
- [42] 赵文琦, 胡健, 赵守国. 中国能源产业的要素配置效率与产业高级化[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(12): 146–162. [Zhao W Q, Hu J, Zhao S G. Factor allocation efficiency of energy industry and industry upgrading in China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2020, 37(12): 146–162.]
- [43] Feng C Y, Yang X D, Afshan S, et al. Can renewable energy technology innovation promote mineral resources' green utilization efficiency? Novel insights from regional development inequality[J]. Resources Policy, 2023, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103449.
- [44] 张宇祺, 李华姣, 安海忠, 等. 产业链视角下关键矿产资源可供性研究进展[J]. 资源科学, 2024, 46(4): 671–686. [Zhang Y Q, Li H J, An H Z, et al. Progress and frontiers of critical mineral resource availability research based on the perspective of industrial chain[J]. Resources Science, 2024, 46(4): 671–686.]

- [45] Wang J X, Wang S. The effect of electricity market reform on energy efficiency in China[J]. *Energy Policy*, 2023, DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113722.
- [46] Bernard A B, Jones C I. Comparing apples to oranges: Productivity convergence and measurement across industries and countries[J]. *The American Economic Review*, 1996, 86(5): 1216–1238.
- [47] 杨豪, 潘颖豪, 才国伟. 碳排放总量控制、配置效率与产出收益[J]. *中国工业经济*, 2023, (7): 46–65. [Yang H, Pan Y H, Cai G W. Carbon emission regulation, allocation efficiency and output benefits[J]. *China Industrial Economics*, 2023, (7): 46–65.]
- [48] 李小克, 胡巧丽. 偏向性技术进步视角下全要素生产率增长的跨国收敛性及影响因素研究[J]. *统计研究*, 2023, 40(5): 37–50. [Li X K, Hu Q L. A study of transnational convergence and determinants of TFP growth: From the perspective of biased technological change[J]. *Statistical Research*, 2023, 40(5): 37–50.]
- [49] 欧阳志刚, 陈奕景, 陈熹. 中国制造业金融资源配置效率与全要素生产率[J]. *管理世界*, 2024, 40(4): 96–128. [Ouyang Z G, Chen Y J, Chen X. Financial resource allocation efficiency and total factor productivity in China's manufacturing sector[J]. *Journal of Management World*, 2024, 40(4): 96–128.]
- [50] Hsieh C T, Klenow P J. Misallocation and manufacturing TFP in China and India[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2009, 124(4): 1403–1448.
- [51] 龚关, 胡关亮. 中国制造业资源配置效率与全要素生产率[J]. *经济研究*, 2013, 48(4): 4–15, 29. [Gong G, Hu G L. Efficiency of resource allocation and manufacturing total factor productivity in China[J]. *Economic Research Journal*, 2013, 48(4): 4–15, 29.]
- [52] Olley S, Pakes A. The dynamics of productivity in the telecommunications equipment industry[J]. *Econometrica*, 1996, 64(6): 1263–1297.
- [53] Yang M, Hong Y L, Yang F X. The effects of mandatory energy efficiency policy on resource allocation efficiency: Evidence from Chinese industrial sector[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2022, 73: 513–524.
- [54] 邓远远, 朱俊峰. 保护性耕作技术对粮食生产效率和环境效率的提升效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(12): 218–228. [Deng Y Y, Zhu J F. Effects of conservation tillage technology on improving grain production and environmental efficiency[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(12): 218–228.]
- [55] 杨晓妹, 王宋伟. 碳排放权交易对企业产能利用率的影响: 来自八大试点行业的证据[J]. *资源科学*, 2023, 45(8): 1577–1589. [Yang X M, Wang S W. The impact of carbon emission rights trading on enterprise capacity utilization: Evidence from eight pilot industries[J]. *Resources Science*, 2023, 45(8): 1577–1589.]
- [56] Jiang X, Lu X H, Liu Q, et al. The effects of land transfer marketization on the urban land use efficiency: An empirical study based on 285 cities in China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108296.
- [57] 吴戈, 张月池, 苗壮. 我国工业减污降碳的绿色偏向技术进步: 要素贡献、偏向识别与影响因素[J]. *统计研究*, 2024, 41(5): 3–14. [Wu G, Zhang Y C, Miao Z. Green-biased technical progress in Chinese industrial reduction of pollution and carbon emissions: Factor contributions, bias identification, and influencing factors[J]. *Statistical Research*, 2024, 41(5): 3–14.]
- [58] Zhang S, Yu R, Wen Z H, et al. Impact of labor and energy allocation imbalance on carbon emission efficiency in China's industrial sectors[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, DOI: 10.1016/j.rser.2023.113586.
- [59] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. *经济研究*, 2009, 44(4): 41–55. [Chen S Y. Energy consumption, CO<sub>2</sub> emission and sustainable development in Chinese industry[J]. *Economic Research Journal*, 2009, 44(4): 41–55.]
- [60] 杜克锐, 欧阳晓灵, 郑泳薇. 环境规制是否促进我国城市的绿色经济增长?[J]. *统计研究*, 2023, 40(12): 39–49. [Du K R, Ouyang X L, Zheng Y W. Does environmental regulation promote green economic growth of Chinese cities?[J]. *Statistical Research*, 2023, 40(12): 39–49.]
- [61] Ouyang W D, Yang J B. The network energy and environment efficiency analysis of 27 OECD countries: A multiplicative network DEA model[J]. *Energy*, 2020, DOI: 10.1016/j.energy.2020.117161.
- [62] Xiao H J, Wang D P, Qi Y, et al. The governance-production nexus of eco-efficiency in Chinese resource-based cities: A two-stage network DEA approach[J]. *Energy Economics*, 2021, DOI: 10.1016/j.eneco.2021.10540.
- [63] 魏楚, 沈满洪. 规模效率与配置效率: 一个对中国能源低效的解释[J]. *世界经济*, 2009, (4): 84–96. [Wei C, Shen M H. Scale efficiency and allocation efficiency: An explanation for China's energy inefficiency[J]. *The Journal of World Economy*, 2009, (4): 84–96.]
- [64] 盛鹏飞. 中国能源效率偏低的解释: 技术无效抑或配置无效[J]. *产业经济研究*, 2015, (1): 9–20, 60. [Sheng P F. The explanation for the low energy efficiency of China: Allocation inefficiency or technology inefficiency[J]. *Industrial Economics Research*, 2015, (1): 9–20, 60.]
- [65] Shuai S, Fan Z. Modeling the role of environmental regulations in regional green economy efficiency of China: Empirical evidence from super efficiency DEA-Tobit model[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110227.
- [66] Hadi-Vencheh A, Khodadadipour M, Tan Y, et al. Cross-efficiency analysis of energy sector using stochastic DEA: Considering pollutant emissions[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.121319.
- [67] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498–509.
- [68] Tang Y S, Yang S D. Mineral resource sustainability in the face of the

2025年7月

- resource exploitation and green recovery: Challenges and solutions[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104535.
- [69] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32–41.
- [70] 潘建均, 侯光明, 顾基发, 等. 技术进步对中国电力行业环境效率提升影响的实证研究: 基于SBM超效率-ML-Tobit三阶段分析法[J]. *中国管理科学*, 2023, 31(12): 215–227. [Pan J J, Hou G M, Gu J F, et al. Empirical study on the impact of technological progress on the environmental efficiency of China's power industry: Based on SBM super Efficiency-ML-Tobit[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023, 31(12): 215–227.]
- [71] 封亦代, 刘耀彬, 程风雨. 中国城市绿色全要素能源效率的区域差异及空间收敛[J]. *地理研究*, 2023, 42(9): 2343–2368. [Feng Y D, Liu Y B, Cheng F Y. Regional differences and spatial convergence of green total-factor energy efficiency in Chinese cities [J]. *Geographical Research*, 2023, 42(9): 2343–2368.]
- [72] Li S M, Zhu X H, Zhang T. Optimum combination of heterogeneous environmental policy instruments and market for green transformation: Empirical evidence from China's metal sector[J]. *Energy Economics*, 2023, DOI: 10.1016/j.eneco.2023.106735.
- [73] 颜晓燕, 姜沛哲, 钟芹. 江西省有色金属行业生态效率测度与空间格局分析[J]. *金融教育研究*, 2022, 35(6): 43–54. [Yan X Y, Jiang P Z, Zhong Q. Ecological efficiency measurement and spatial pattern analysis of nonferrous metal industry in Jiangxi Province[J]. *Research of Finance and Education*, 2022, 35(6): 43–54.]
- [74] Tone K, Tsutsui M. Network DEA: A slacks-based measure approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197(1): 243–252.
- [75] Zuo Z L, Guo H X, Li Y L, et al. A two-stage DEA evaluation of Chinese mining industry technological innovation efficiency and eco-efficiency[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2022, DOI: 10.1016/j.eiar.2022.106762.
- [76] Färe R, Grosskopf S. Network DEA[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2000, 34(1): 35–49.
- [77] Iftikhar Y, Wang Z H, Zhang B, et al. Energy and CO<sub>2</sub> emissions efficiency of major economies: A network DEA approach[J]. *Energy*, 2018, 147: 197–207.
- [78] Shao L G, Yu X, Feng C. Evaluating the eco-efficiency of China's industrial sectors: A two-stage network data envelopment analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 247: 551–560.
- [79] 刘春学, 屈秋实. 基于网络DEA模型的有色金属产业链效率评价研究[J]. *中国矿业*, 2015, 24(S2): 40–44. [Liu C X, Qu Q S. Research into the efficiency evaluation of non-ferrous metal industry based on network DEA model[J]. *China Mining Magazine*, 2015, 24(S2): 40–44.]
- [80] 屠年松, 谢冉, 王欣. 中国有色金属产业链转型效率研究[J]. *中国矿业*, 2020, 29(2): 32–39. [Tu N S, Xie R, Wang X. Study on the transformation efficiency of China's non-ferrous metal industrial chain[J]. *China Mining Magazine*, 2020, 29(2): 32–39.]
- [81] Tone K, Tsutsui M. Dynamic DEA: A slacks-based measure approach[J]. *Omega*, 2010, 38(3): 145–156.
- [82] Tone K, Tsutsui M. Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach[J]. *Omega*, 2014, 42(1): 124–131.
- [83] Fukuyama H, Weber W L. A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs[J]. *Omega*, 2010, 38(5): 398–409.
- [84] 菅利荣, 曾今. 考虑废弃物回收利用的区域生态创新效率研究[J]. *科学学研究*, 2023, 41(12): 2279–2293. [Jian L R, Zeng J. Study on the efficiency of regional eco-innovation considering waste recycling[J]. *Studies in Science of Science*, 2023, 41(12): 2279–2293.]
- [85] Xia P P, Wu J, Ji X, et al. A DEA-based empirical analysis for dynamic performance of China's regional coke production chain[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136890.
- [86] 付晶, 张海亮, 宋明媚. 价格波动对战略性关键矿产资源产业链安全的影响: 以铁、锰、铬为例[J]. *学术探索*, 2024, (5): 101–110. [Fu J, Zhang H L, Song M M. The impact of price fluctuation on the industrial chain security of strategic key mineral resources: Take iron, manganese and chromium as examples [J]. *Academic Exploration*, 2024, (5): 101–110.]
- [87] Wang J, Zhao T. Regional energy-environmental performance and investment strategy for China's non-ferrous metals industry: A non-radial DEA based analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163: 187–201.
- [88] Yang Z S, Fang Y, Peng N J. Financial development and natural resource efficiency: Unlocking green growth potential[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104570.
- [89] Zhang Y J, Song Y. Environmental regulations, energy and environment efficiency of China's metal industries: A provincial panel data analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.124437.
- [90] Feng C, Huang J B, Wang M. Analysis of green total-factor productivity in China's regional metal industry: A meta-frontier approach[J]. *Resources Policy*, 2018, 58: 219–229.
- [91] Yue W Z, Zhang L J, Li T X. Sustainability in the metallic minerals industry: The imperative for carbon accounting—insights from firm-level analysis in China[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104394.
- [92] Song Y, Zhang Z Y, Zhang Y J, et al. Technological innovation and supply of critical metals: A perspective of industrial chains[J]. *Resources Policy*, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103144.
- [93] Lin B Q, Chen X. How technological progress affects input substitution and energy efficiency in China? A case of the non-ferrous metals industry[J]. *Energy*, 2020, DOI: 10.1016/j.energy.2020.118152.

- [94] Sheng Y, Xu X P, Rozelle S. Market structure, resource allocation, and industry productivity growth: Firm-level evidence from China's steel industry[J]. *China Economic Review*, 2024, DOI: 10.1016/j.chieco.2023.102102.
- [95] 胡锦涛, 廖欣, 周玉林. 矿产资源配置中行政许可与契约自治之界限[J]. *社会科学家*, 2023, (9): 106-113. [Hu J L, Liao X, Zhou Y L. The boundary between administrative licensing and contractual autonomy in mineral resource allocation [J]. *Social Scientist*, 2023, (9): 106-113.]
- [96] Zou H, Zhong M R. Factor reallocation and cost pass-through under the carbon emission trading policy: Evidence from Chinese metal industrial chain[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114924.
- [97] 郑永年. 如何科学地理解“新质生产力”?[J]. *中国科学院院刊*, 2024, 39(5): 797-803. [Zheng Y N. How to scientifically understand “new quality productivity”?[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2024, 39(5): 797-803.]
- [98] Zhang Y J, Meng Z Z, Song Y. Digital transformation and metal enterprise value: Evidence from China[J]. *Resources Policy*, 2023, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104326.
- [99] Hu J, Li Q Y. From bits to green: Unraveling the digital economy's influence on natural resource efficiency[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.121203.
- [100] 官长瑞, 修珺. 绿色生产力: 新质生产力的本质要求与要素变革[J]. *北京航空航天大学学报(社会科学版)*, 2025, 38(3): 22-29. [Gong C R, Xiu J. Green productivity: The essential requirement and factor transformation of new quality productive forces[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition)*, 2025, 38(3): 22-29.]
- [101] 翟明国, 吴福元, 胡瑞忠, 等. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题[J]. *中国科学基金*, 2019, 33(2): 106-111. [Zhai M G, Wu F Y, Hu R Z, et al. Critical metal mineral resources: Current research status and scientific issues[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2019, 33(2): 106-111.]
- [102] Zhu Y, Zhang J T, Duan C Q. How does green finance affect the low-carbon economy? Capital allocation, green technology innovation and industry structure perspectives[J]. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2023, DOI: 10.1080/1331677X.2022.2110138.
- [103] Wang H T, Feng K S, Wang P, et al. China's electric vehicle and climate ambitions jeopardized by surging critical material prices[J]. *Nature Communications*, 2023, DOI: 10.1038/s41467-023-36957-4.
- [104] Rahmani A, Aboojafari R, Naeini A B, et al. Adoption of digital innovation for resource efficiency and sustainability in the metal industry [J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104719.
- [105] Radebe N, Chipangamate N. Mining industry risks, and future critical minerals and metals supply chain resilience in emerging markets [J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104887.
- [106] Zaman Q U, Zhao Y, Zaman S, et al. Reviewing energy efficiency and environmental consciousness in the minerals industry Amidst digital transition: A comprehensive review[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104851.
- [107] Elshkaki A, Shen L. Energy-material nexus: The impacts of national and international energy scenarios on critical metals use in China up to 2050 and their global implications[J]. *Energy*, 2019, 180: 903-917.
- [108] 刘刚, 刘立涛, 欧阳铎, 等. 绿色低碳转型背景下关键金属循环利用战略与对策[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(11): 1566-1576. [Liu G, Liu L T, Ouyang X, et al. Recycling of critical metals in green and low-carbon transition: Strategies and Countermeasures[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(11): 1566-1576.]
- [109] 左更. 我国战略性金属矿产资源保供形势分析[J]. *中国价格监管与反垄断*, 2022, (10): 70-73. [Zuo G. Analysis of the supply situation of strategic metal mineral resources in China[J]. *Price Supervision and Anti-Monopoly in China*, 2022, (10): 70-73.]
- [110] Lu S, Peng S, Shi J, et al. How does digital transformation affect the total factor productivity of China's A-share listed enterprises in the mineral resource-based sector?[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.105146.
- [111] Song Y, Ruan S Z, Cheng J H, et al. Technological change in critical metallic mineral sub-sectors and its impacts on mineral supply: Evidence from China[J]. *Resources Policy*, 2023, DOI: 10.1016/J.RESOURPOL.2023.103850.
- [112] 刘冰, 孙作人, 孙华臣. 消费总量控制下的能源空间配置路径及优化策略[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(1): 96-106. [Liu B, Sun Z R, Sun H S. Path and optimization strategy of energy space allocation under the control of total consumption[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(1): 96-106.]
- [113] 沈坤荣, 王灿. 以新型基础设施建设推动新质生产力发展[J]. *经济学动态*, 2025, (3): 22-35. [Shen K R, Wang C. Promoting the development of new quality productive forces through the new infrastructure construction[J]. *Economic Perspectives*, 2025, (3): 22-35.]
- [114] 陈朴, 林垚, 刘凯. 全国统一大市场建设、资源配置效率与中国经济增长[J]. *经济研究*, 2021, 56(6): 40-57. [Chen P, Lin Y, Liu K. The construction of a unified national market, efficiency of resource allocation and economic growth in China [J]. *Economic Research Journal*, 2021, 56(6): 40-57.]
- [115] Solangi Y A, Du J G. Examining challenges and solutions for environmental and natural resource management with a focus on mineral resources[J]. *Resources Policy*, 2023, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104085.
- [116] Hou J, Shi C X, Fan G L, et al. Research on the impact and intermediary effect of carbon emission trading policy on carbon emission efficiency in China[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2024, DOI: 10.1016/j.apr.2024.102045.

# Review and prospects of allocation efficiency of strategic metal resources across entire industry chain in the context of new quality productive force development

ZHU Xuehong<sup>1,3</sup>, LIANG Zhipeng<sup>1</sup>, ZENG Anqi<sup>2,3</sup>, DONG Yu<sup>1</sup>, ZHU Ruiqi<sup>1</sup>, LUO Shenbin<sup>1</sup>

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China; 2. School of Marxism, Central South University, Changsha 410083, China; 3. Institute of Metal Resources Strategy, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** **[Objective]** Strategic metal resources are key production factors in cultivating new quality productive forces. Improving the allocation efficiency of these resources has become an essential requirement and a key approach for developing new quality productive forces. However, traditional development approaches have resulted in the current allocation efficiency of strategic metal resources facing serious challenges in promoting the development of new quality productive forces. **[Methods]** Based on relevant literature from 1996 to 2025, this study systematically reviews the evaluation methods, driving factors, and improvement pathways of allocation efficiency of strategic metal resources across the entire industry chain in the context of the development of new quality productive forces. **[Results]** (1) Traditional evaluation methods for resource allocation efficiency mainly analyze single or multiple stages of the industry chain, but fail to systematically examine allocation efficiency from the perspective of the entire industry chain. This may lead to biased assessments of the allocation efficiency of strategic metal resources. (2) Existing studies consider factors such as economic, technological, policy, and social influences on resource allocation efficiency. However, in the context of new quality productive force development, it is necessary to comprehensively examine both traditional and emerging factors, focusing on their heterogeneous and synergistic impacts across different stages of the industrial chain. In-depth research on emerging factors is also needed. (3) Existing approaches to improving the allocation efficiency of strategic metal resources across the entire industrial chain are primarily based on single-policy measures and qualitative analysis. In the context of new-quality productive force development, these pathways should take into account the coordination and compatibility among various policy tools. **[Conclusion]** To meet the demands of new quality productive force development, future research should integrate the “economic-environmental-social” system coupling framework and construct multiple hybrid models to evaluate the allocation efficiency of strategic metal resources. On this basis, a combination of multiple models and objective data should be used to test the effects of driving factors and improvement pathways. This study provides a scientific and effective improvement pathway for enhancing the allocation efficiency of strategic metal resources across the entire industry chain and for the development of new quality productive forces.

**Key words:** new quality productive forces; strategic metal resources; entire industry chain; allocation efficiency; emerging factors