

引用格式: 李冰燕, 江美辉. 中国石墨出口结构调整对石墨产业国际竞争力的影响: 基于多层网络视角[J]. 资源科学, 2025, 47(7): 1598-1609. [Li B Y, Jiang M H. Impacts of China's graphite export structure adjustments on its industrial international competitiveness: A multi-layer network perspective[J]. Resources Science, 2025, 47(7): 1598-1609.] DOI: 10.18402/resci.2025.07.16

中国石墨出口结构调整对石墨产业国际竞争力的影响 ——基于多层网络视角

李冰燕, 江美辉

(南京信息工程大学管理工程学院, 南京 210044)

摘要:【目的】剖析中国石墨出口结构调整对其产业国际竞争力的影响机理, 对于推动中国石墨资源优势向产业优势转化具有重要意义。【方法】本文基于多层网络理论构建了石墨产品贸易传播模型, 揭示石墨出口结构变化所产生的影响在石墨原材料、初级产品、深加工产品多层贸易网络中的级联传播过程。【结果】①中国石墨产品市场占有率与产业竞争力明显失衡的主要原因在于石墨原材料和初级产品在出口中所占的比重相对过大。②由于国家间紧密的贸易联系和生产关系, 中国石墨出口结构调整将对其他国家的石墨贸易产生重大影响。其中, 中国减少石墨初级产品出口对其他国家石墨贸易产生的影响更为显著。③中国减少石墨原材料出口和石墨初级产品出口将显著提高中国石墨产品的整体产业国际竞争力。因此, 石墨出口结构的调整对于培育石墨产品竞争优势具有积极意义。然而, 石墨原材料出口的减少对产业国际竞争力的正向影响是不可持续的。当石墨原材料出口减少比例大于一定幅度时(45%), 中国石墨产业国际竞争力反而会呈现下降趋势。【结论】因此, 中国在推动石墨出口结构由原材料向深加工产品转移时, 需要将石墨原材料出口的缩减幅度限定在一定范围内, 以避免过度减少石墨原材料出口对其石墨产业国际竞争力的反作用。

关键词: 石墨; 贸易; 出口结构; 多层网络; 传播; 产业国际竞争力; 中国

DOI: 10.18402/resci.2025.07.16

1 引言

天然石墨及其制品是许多新兴领域不可或缺的关键材料, 如新能源、新材料和航天科学^[1-3]。随着这些新兴领域的快速发展, 预计未来石墨制品的消费需求将持续增加^[4-6]。因此, 石墨产业的可持续发展对于提高中国在战略性新兴产业中的话语权至关重要^[7]。作为战略性优势矿产资源, 中国的天然石墨储量、产量、出口量一直位于全球前列。然而, 研究表明中国石墨产品贸易存在显著的“低出高进”现象, 即低端产品供应过剩、高端产品依赖进口^[8]。这削弱了中国石墨产品在全球市场的国际竞争力, 阻碍了中国石墨资源优势向产业优势的转

化^[9]。如何切实优化石墨产业产品结构和出口结构, 是提升中国石墨产业国际竞争力、保障产业可持续发展的关键性政策问题。2023年10月, 中国政府出台了针对石墨物项的出口管制政策, 以加强对部分关键石墨产品出口的管理。因此, 深入解析中国石墨出口结构调整对其产业国际竞争力的影响机理, 对于推动中国石墨资源优势向产业优势转化具有重要意义。

包括石墨在内的战略性矿产资源国际贸易态势一直是备受学者关注的热点话题^[10,11]。这些研究关注的重点集中在贸易格局、供应风险传播、产品价格波动等方面^[12-14]。近年来, 随着新兴产业的快

收稿日期: 2024-04-02; 修订日期: 2024-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(42301342)

作者简介: 李冰燕, 女, 四川南充人, 本科, 研究方向为金融工程。E-mail: 18114482302@163.com

通讯作者: 江美辉, 男, 安徽黄山人, 副教授, 研究方向为资源环境管理。E-mail: jiangmh@nuist.edu.cn

2025年7月

速发展不断刺激战略性矿产资源的消费需求,许多学者逐渐开始关注包括石墨在内的战略性矿产资源贸易竞争。在测算国家(地区)间贸易竞争强度方面,学者广泛采用复杂网络方法构建矿产资源贸易竞争网络,利用网络拓扑结构特征分析国家(地区)之间矿产资源贸易竞争强度及演化特征^[15-18]。在测算资源产业国际竞争力方面,学者普遍利用显性比较优势(RCA)作为度量指标。例如,许明等^[19]利用RCA指数测算了中国6大类稀有矿产资源产业国际竞争力。成金华等^[20]基于RCA指数构建了矿产资源供应风险评估与预测指标体系,对中国铜资源的供应风险进行了评价。进一步地,RCA指数也被学者用于横向对比不同国家(地区)之间战略性矿产资源产业国际竞争力^[21,22]。在矿产资源产业贸易竞争影响因素方面,Wang等^[23]在天然石墨贸易竞争格局的基础上利用引力模型讨论了GDP、技术、消费等因素对贸易竞争网络结构特征的影响。Yang等^[24]分析了环境压力对战略性矿产资源贸易可持续性的影响。Nwaila等^[25]还指出,数字化转型能力已成为决定现代采矿业竞争力的重要因素。上述研究很好地揭示了包括石墨在内的战略性矿产资源贸易竞争格局的内在特征,以及可能因素对矿产资源产业国际竞争力的影响。然而,大多数研究的都是立足于单一产品视角,较少从包含多产品的产业链视角,讨论不同产品贸易关联变化对战略性矿产资源产业竞争力的影响。受到全球经济一体化的影响,不同国家(地区)不同石墨产品之间的生产关系通过贸易关系相互关联,构成了复杂的全球石墨产业链。如果某一重要的天然石墨出口国(地区)减少了天然石墨的出口,其天然石墨进口国(地区)由于原料供应短缺可能不得不减少下游石墨制品的产量。这将会使得这些天然石墨进口国(地区)下游石墨产品的产能受限,进而削弱其在国际石墨贸易市场中的竞争力。由此看来,在全球产业链视角下,石墨整体产业国际竞争力可能会受到某一种石墨产品出口国(地区)出口变化的影响。

为了刻画国家(地区)间复杂的矿产贸易关系和贸易竞争关系的潜在结构特征,复杂网络提供了一个有用的工具,并且在矿产资源管理领域得到了广泛的应用^[26-28],如赵怡然等^[29]研究了贸易依赖网络结构变动对钴价格的影响;李华姣等^[30]基于产业链

国际贸易网络视角,研究了中国优势矿产资源全球贸易格局和竞争力。在多产品融合产业链视角下,全球石墨产业链网络存在跨国家(地区)跨产品、生产关系和贸易关系并存的复杂结构特征,单层网络模式难以有效刻画,这为多层网络模型的应用提出了需求。多层网络模型是单层网络模型的扩展,近年来被广泛用于研究存在多类型关联关系的复杂经济结构和社会关系结构^[31,32],如Shi等^[33]运用多层网络模型构建了全球钴贸易网络,并分析了钴产业链的多层网络结构特征;沈曦等^[27]基于多层复杂网络理论构建了全球镍贸易网络模型对贸易网络突发风险进行了仿真分析;张宏伟等^[34]结合多层网络分析方法和传染病模型,构建了全球钨产业链贸易网络风险传播模型,模拟了贸易需求短缺风险在钨产业链贸易多层网络中的影响程度和传播路径。上述研究证明了多层网络模型用于研究多产品融合产业链视角下国家(地区)间复杂交互关系的可行性,为研究石墨产品出口结构变化对石墨产业国际竞争力的影响提供了坚实的基础。

综上,本文的主要目的是基于多层网络框架解析中国石墨产业出口结构调整对石墨产业国际竞争力的影响。与已有文献关注单一产品贸易竞争格局及其影响因素不同,本文立足于多产品融合的产业链视角,剖析石墨出口结构变化所产生的影响在包含多种石墨产品的全球石墨产品贸易网络中的级联传播过程。首先,应用多层网络模型构建全球石墨产品贸易网络。然后,构建石墨产品贸易传播模型,刻画中国石墨产品出口结构调整所带来的影响的传播过程。最后,利用RCA指数计算石墨产品出口结构调整后中国石墨产品的整体产业国际竞争力,分析中国石墨产品RCA指数随石墨出口结构调整的变化趋势。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 全球石墨产品贸易网络构建

在已有文献中,多层复杂网络模型被描述为^[35]:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{[1]} & \mathbf{O}^{[1,2]} & \dots & \mathbf{O}^{[1,m]} \\ \mathbf{O}^{[2,1]} & \mathbf{A}^{[2]} & \dots & \mathbf{O}^{[2,m]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{O}^{[m,1]} & \mathbf{O}^{[m,2]} & \dots & \mathbf{A}^{[m]} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{G}$ 为多层复杂网络; m 代表网络层数; $\mathbf{A}^{[\alpha]}$ 为在网络层 α 上的复杂网络矩阵; $\mathbf{O}^{[\alpha,\beta]}$ 为网络层 α 和

网络层 β 的层间关联矩阵。

本文将所选取的石墨产品按照生产环节分为3种类别:原材料、初级产品和深度加工产品。在每一个生产环节中,将国家作为网络的节点。国家间围绕该类石墨产品的贸易关系作为网络的边,国家间的贸易额作为边的权重,构建单层石墨产品贸易网络,分别为石墨原材料贸易网络(RMTN)、石墨初级产品贸易网络(PPTN)和石墨深加工产品贸易网络(DPTN)。在此基础上,将国家间不同产品间的生产关系作为层间关联。通过上述过程,本文构建了基于多层网络模型的全球石墨产品贸易网络(图1)。

2.1.2 石墨产品贸易传播模型构建

本文在全球石墨产品贸易网络模型的基础上,构建石墨产品贸易传播模型。在设定模型假设和传播规则之后,围绕“减少石墨原材料和初级产品出口、增加石墨深加工产品出口”的石墨产品出口结构调整策略,模拟中国减少一定比例的石墨原材料和初级产品出口的影响在全球石墨产品贸易网络上的级联传播过程,分别测算中国减少一定比例的石墨原材料和初级产品出口量之后石墨原材料贸易网络、石墨初级产品贸易网络和石墨深加工产品贸易网络的变化。

(1)模型假设和传播规则

石墨产品贸易传播模型的主要目的是描述石

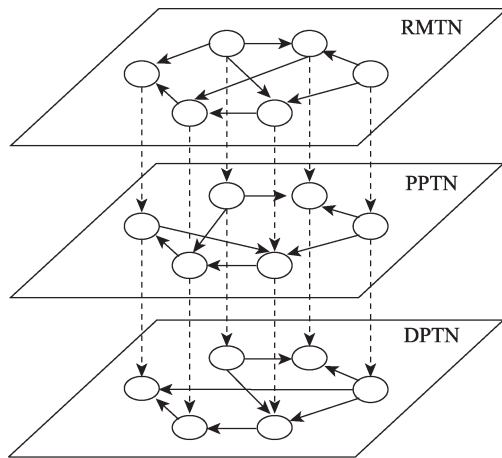


图1 多层石墨产品贸易网络模型示意图

Figure 1 Schematic diagram of multi-layer graphite product trade network model

注:图中圆圈表示国家;实线表示国家间的石墨贸易关系;虚线表示不同石墨产品间的生产关系。

墨产品出口结构变化对全球石墨产品贸易网络影响的级联传播过程。为了消除一些细节因素和常见因素的影响,简化传播过程,本文做出3个模型假设:①假设各国石墨产品的国内消费量是不变的。这意味着一国上游石墨产品进口量的变化直接影响其下游石墨产品的出口。②假设全球石墨贸易中的所有国家都是平等的。这意味着一个国家的石墨产品出口额的变化将平均分配给所有的进口国。③假设所有国家的所有石墨产品的投入产出比为1。这意味着一国上游石墨产品进口量的增减会引起下游石墨产品进口量同样数量的增减变化。

(2)石墨产品出口结构调整策略

石墨产品出口结构调整策略的基本思想是减少石墨原材料和石墨初级产品的出口、增加石墨深加工产品的出口。这是由于石墨深加工产品的附加值一般高于原材料和初级产品,增加石墨深加工产品的出口量可以显著提高石墨产品在整个贸易网络中的价值。

(3)传播过程

石墨产品贸易传播过程如图2所示。假设 x_{ci}^r 为中国(c)出口到国家*i*的石墨原材料*r*的贸易量, x_{ci}^p 为中国出口到国家*i*的石墨初级产品*p*的贸易量, x_{ci}^d 为中国出口到国家*i*的石墨深加工产品*d*的贸易量。中国石墨原材料贸易量减少比例为 α' ,石墨初级产品贸易量减少比例为 α'' 。

①石墨原材料贸易网络的变化

当中国石墨原材料贸易量的减少比例为 α' 时,调整后的中国向国家*i*出口的石墨原材料贸易量应表示为:

$$x_{ci}^{r'} = x_{ci}^r - \Delta x_{ci}^r = x_{ci}^r - \alpha' x_{ci}^r \quad (2)$$

式中: $x_{ci}^{r'}$ 为调整后的中国向国家*i*出口的石墨原材料贸易量。 $\alpha' x_{ci}^r$ 为中国向国家*i*出口的石墨原材料贸易量的变化值。

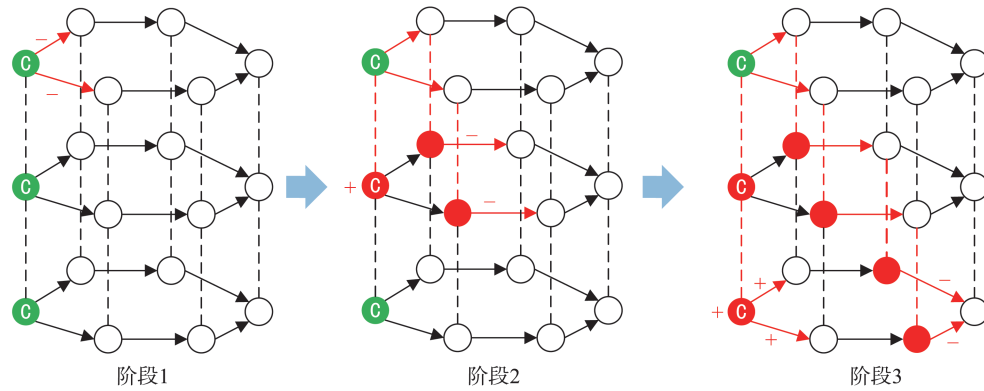
②石墨初级产品贸易网络的变化

一方面,当中国石墨初级产品贸易量的减少比例为 α'' 时,调整后的中国向国家*i*出口的石墨初级产品贸易量应表示为:

$$x_{ci}^{p'} = x_{ci}^p - \Delta x_{ci}^p = x_{ci}^p - \alpha'' x_{ci}^p \quad (3)$$

式中: $x_{ci}^{p'}$ 为调整后的中国向国家*i*出口的石墨初级产品贸易量; $\alpha'' x_{ci}^p$ 为中国向国家*i*出口的石墨初级产

a. 石墨原材料出口调整



b. 石墨初级产品出口调整

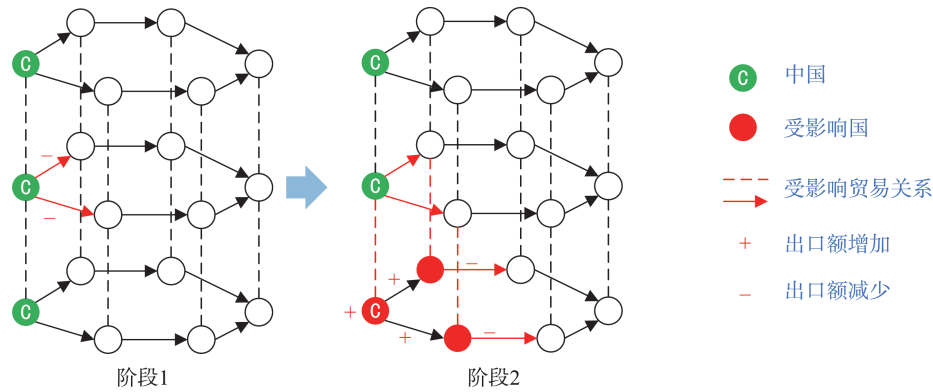


图2 石墨产品贸易级联传播过程示意图

Figure 2 Schematic diagram of cascading propagation process in graphite product trade

品贸易量的变化值。

另一方面,受中国石墨原材料出口减少的影响,其他国家从中国进口的石墨原材料的量明显减少,这将进一步减少其石墨初级产品的生产量和出口量。对于从中国进口石墨原材料的国家*i*,其石墨原材料进口量将减少 $\alpha'x_{ci}^r$ 。如果这些石墨原材料计划用于生产出口石墨初级产品,那么因石墨原材料进口量减少而减少生产的石墨初级产品占国家*i*初级产品总出口量的比例应该是:

$$\Delta\gamma^p = \frac{\alpha'x_{ci}^r}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r} \quad (4)$$

式中:*j*为从国家*i*进口石墨初级产品的国家; $\Delta\gamma^p$ 为国家*i*因石墨原材料进口量减少而减少生产的石墨初级产品占其初级产品总出口量的比例; x_{ij}^r 为国家*i*向国家*j*出口的初级产品贸易量;*n*为参与全球石墨贸易的国家总数。

调整后的国家*i*出口到国家*j*的石墨初级产品贸易量应表示为:

$$x_{ij}^{p'} = x_{ij}^p - \Delta\gamma^p x_{ij}^p = x_{ij}^p - \frac{\alpha'x_{ci}^r}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r} x_{ij}^p \quad (5)$$

式中: $x_{ij}^{p'}$ 为调整后的国家*i*出口到国家*j*的石墨初级产品贸易量; x_{ij}^p 为调整前的国家*i*出口到国家*j*的石墨初级产品贸易量; $\frac{\alpha'x_{ci}^r}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r} x_{ij}^p$ 为国家*i*出口到国家*j*的石墨初级产品贸易量的变化值。

③石墨深加工产品贸易网络的变化

根据石墨生产流程,中国减少的石墨原料将用于生产初级产品。根据出口结构调整战略的基本假设,不鼓励初级产品出口,相反,增加的初级产品应该用于深加工产品的生产。因此,受石墨原材料出口量下降的影响,调整后的中国出口到国家*i*的石墨深加工产品贸易量应该是:

$$x_{ci}^{d'} = x_{ci}^d + \frac{\sum_{i=1}^n \alpha'x_{ci}^r + \sum_{i=1}^n \alpha''x_{ci}^p}{\sum_{i=1}^n x_{ci}^d} x_{ci}^d \quad (6)$$

式中: $x_{ci}^{d'}$ 为调整后的中国出口到*i*国的石墨深加工产品贸易量。

对于国家*i*,受第二层初级产品进口量下降的影响,从中国进口石墨初级产品的国家*i*的石墨初级产品进口量将减少 $\alpha''x_{ci}^p$ 。如果这些石墨初级产品计划生产用于出口的石墨深加工产品,则因石墨初级产品进口减少而减少生产的石墨深加工产品占*i*国深加工产品出口总量的比例应为:

$$\Delta\gamma^d = \frac{\alpha''x_{ci}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^d} \quad (7)$$

式中: $\Delta\gamma^d$ 为国家*i*因石墨初级产品进口减少而减少生产的石墨深加工产品占深加工产品出口总量的比例; x_{ij}^d 为国家*i*向国家*j*出口的石墨深加工产品贸易量。

调整后的国家*i*向国家*j*出口的石墨深加工产品贸易量应表示为:

$$x_{ij}^{d'} = x_{ij}^d - \Delta\gamma^d x_{ij}^d = x_{ij}^d - \frac{\alpha''x_{ci}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^d} x_{ij}^d \quad (8)$$

式中: $x_{ij}^{d'}$ 为调整后的国家*i*向国家*j*出口的石墨深加工产品贸易量; $\frac{\alpha''x_{ci}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^d}$ 为国家*i*出口到国家*j*的石墨深加工产品贸易量的变化值。

对于国家*j*而言,受石墨初级产品进口减少影响,其石墨初级产品进口量将减少 $\Delta\gamma^p x_{ij}^p$ 。如果这些石墨初级产品计划生产石墨深加工产品用于出口,则因石墨初级产品进口减少而减少生产的石墨深加工产品占国家*j*深加工产品出口总量的比例应为:

$$\Delta\gamma^d = \frac{\alpha'x_{ci}^p x_{ij}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r \sum_{k=1, k \neq j}^n x_{jk}^d} \quad (9)$$

式中: k 为从国家*j*进口石墨深加工产品的国家; $\Delta\gamma^d$ 为国家*j*因石墨初级产品进口减少而减少生产的石墨深加工产品占深加工产品出口总额的比例; x_{jk}^d 为国家*j*向国家*k*出口的石墨深加工产品贸易量。

调整后的国家*j*向国家*k*出口的深加工产品贸易量应表示为:

$$x_{jk}^{d'} = x_{jk}^d - \Delta\gamma^d x_{jk}^d = x_{jk}^d - \frac{\alpha'x_{ci}^p x_{ij}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r \sum_{k=1, k \neq j}^n x_{jk}^d} x_{jk}^d \quad (10)$$

式中: $x_{jk}^{d'}$ 为调整后的国家*j*向国家*k*出口的深加工产品贸易量; $\frac{\alpha'x_{ci}^p x_{ij}^p}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^r \sum_{k=1, k \neq j}^n x_{jk}^d}$ 为国家*j*向国家*k*出口

的深加工产品贸易量的变化值。

2.1.3 石墨产业国际竞争力核算

针对石墨产品出口结构的每一种调整策略,分别计算石墨产品的国际竞争力,并观察其国际竞争力的变化。本文选择*RCA*指数来衡量石墨产业国际竞争力。*RCA*指数是一国某产品的出口额占其出口总额的份额与该产品的出口额占世界出口总额的份额的比值。一般来说,如果一国某产品的*RCA*指数大于1,则该国在出口该产品时相对于其他国家具有比较优势。

国家*i*出口的产品*s*的*RCA*指数计算如下:

$$RCA_i^s = \frac{e_i^s/e_i}{w^s/w} \quad (11)$$

式中: e_i^s 为产品*s*在国家*i*的出口额; e_i 为国家*i*的总出口额; w^s 为产品*s*在全球的总出口额; w 为全球的总出口额。

2.2 数据来源

考虑到石墨产品含碳量和数据的可获得性,本文根据已有文献对石墨产业链的定义重点选择了6种石墨产品,并根据各种石墨产品所属生产环节的不同,将其划分为3个类别:原材料、初级产品和深加工产品^[9]。本文选择了2021年134个国家间的石墨产品国际贸易数据,数据来源于联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade, <https://comtradeplus.un.org/>),石墨产品的具体分类和HS代码如表1所示。

表1 石墨产品及其分类

产品类别	产品	HS代码
原材料	天然石墨	2504
初级产品	球化石墨及其他碳基制品	380190
	胶态石墨	380120
深加工产品	非电器用的石墨或其他碳精制品	681510
	含石墨耐火陶瓷制品	690310
	石墨电极	8545

3 结果与分析

3.1 重要国家石墨产品出口结构及其产业国际竞争力

如图3所示,2021年重要的石墨出口国包括中

2025年7月

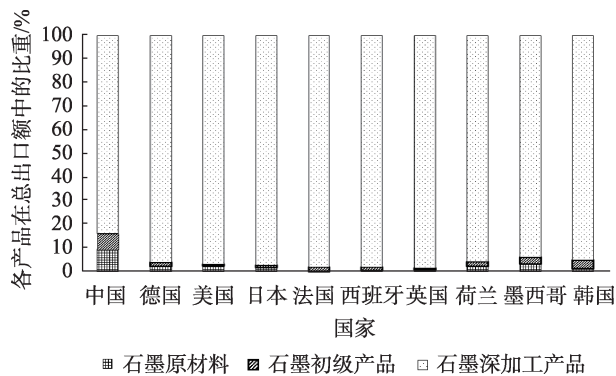


图3 主要石墨出口国的出口结构(出口额排名前10)

Figure 3 Export structure of major graphite exporters
(top 10 by export value)

国、德国、美国、日本、法国等。各国各类石墨产品在总出口额中的占比表明,石墨深加工产品在所有重要石墨出口国的出口结构中普遍占比最高。这

主要是由于石墨深加工产品的单位价值远高于石墨原材料和石墨初级产品,因此大多数石墨出口国的产业重心集中于石墨深加工产品。与其他重要石墨出口国相比,中国石墨产品出口结构最显著的区别在于原材料和初级产品所占比重相对较高。2021年,石墨原材料和石墨初级产品在中国石墨总出口额中的比重为15.9%,而其他重要石墨出口国普遍在6%以内。这一结果表明,与其他重要石墨出口国相比,中国石墨原材料和石墨初级产品出口在其石墨出口结构中的地位更加重要。

为了进一步剖析中国目前的石墨产品出口结构对石墨产业国际竞争力的潜在影响,本文对比分析了2021年各类石墨产品重要出口国的石墨产品国际市场占有率(表2)和RCA指数(表3)。2021年中国石墨原材料、石墨初级产品和石墨深加工产品

表2 2021年重要国家石墨产品市场占有率(排名前10)

Table 2 Market share of graphite products in major countries in 2021 (top 10)

排名	原材料		初级产品		深加工产品	
	国家	份额	国家	份额	国家	份额
1	中国	0.515	中国	0.480	中国	0.181
2	马达加斯加	0.075	德国	0.079	德国	0.134
3	美国	0.073	法国	0.044	美国	0.124
4	德国	0.068	墨西哥	0.038	日本	0.097
5	巴西	0.051	奥地利	0.034	法国	0.075
6	莫桑比克	0.037	美国	0.034	西班牙	0.050
7	日本	0.036	印度	0.034	英国	0.042
8	加拿大	0.031	日本	0.032	荷兰	0.033
9	韩国	0.024	西班牙	0.029	匈牙利	0.029
10	荷兰	0.018	韩国	0.029	墨西哥	0.028

表3 2021年重要国家石墨产品的RCA指数(排名前10)

Table 3 RCA index of graphite products in major countries in 2021 (top 10)

排名	原材料		初级产品		深加工产品		石墨产业	
	国家	RCA	国家	RCA	国家	RCA	国家	RCA
1	马达加斯加	541.811	津巴布韦	17.053	冰岛	6.055	马达加斯加	19.75
2	莫桑比克	148.248	奥地利	3.569	匈牙利	4.142	冰岛	5.69
3	斯里兰卡	13.826	中国	2.887	卢森堡	2.613	莫桑比克	5.48
4	坦桑尼亚	4.477	阿塞拜疆	2.825	西班牙	2.600	匈牙利	3.94
5	巴西	3.664	匈牙利	1.834	日本	2.587	日本	2.48
6	中国	3.097	印度	1.740	法国	2.585	西班牙	2.48
7	奥地利	1.278	墨西哥	1.551	立陶宛	2.570	法国	2.46
8	加拿大	1.247	法国	1.514	多米尼加	2.272	卢森堡	2.46
9	克罗地亚	1.081	西班牙	1.507	新西兰	1.939	立陶宛	2.41
10	乌克兰	1.009	马来西亚	1.237	英国	1.812	多米尼加	2.13

的国际市场占有率均位列第一。其中,中国石墨原材料和石墨初级产品两类石墨产品的国际市场占有率远高于其他国家,其出口额占全球贸易总额的近一半,体现了中国的石墨原材料和石墨初级产品出口在全球石墨市场中的重要地位。虽然马达加斯加和莫桑比克同样也是重要的天然石墨生产国,近年来其产量和出口量也在逐渐增长,但是其出口市场份额与中国相比仍存在很大差距,这体现了中国在天然石墨开采和精炼方面的主导地位。相较而言,虽然中国石墨深加工产品的国际市场占有率也位列第一,但是其份额远小于石墨原材料和石墨初级产品,与德国、美国、日本等国的市场占有率相比优势不显著,这是因为中国的石墨深加工技术有所欠缺,一些高技术的石墨深加工产品产能不足,例如高纯度的球化石墨。

2021年中国石墨原材料和石墨初级产品RCA指数均位列前10,其中石墨原材料排名第6,石墨初级产品排名第3,表明中国石墨原材料和石墨初级产品在国际贸易市场的显著优势。部分国家在这两类石墨产品的RCA排名上领先于中国,例如马达加斯加、莫桑比克、津巴布韦等,这主要是由于中国石墨原材料和初级产品出口额在中国总出口额中所占的比重小于这些国家,表明石墨原材料和石墨初级产品与中国其他出口产品相比出口价值相对较低。中国石墨深加工产品的RCA排名位列前10之外,居全球第19位,这表明中国石墨深加工产品的比较优势并不明显。就石墨产业整体而言,中国石墨产品RCA排名不在前10之内,居全球第18位。由此可以看出,中国石墨产品总体比较优势受到深

加工产品出口的显著影响。

以上结果均表明,中国石墨产品整体比较优势的缺失和目前的出口结构密切相关。虽然中国是重要的天然石墨生产国和出口国,但是大量出口原材料和初级产品并未显著提高中国石墨产业国际竞争力,提高产业国际竞争力的关键环节在于石墨深加工产品,中国石墨出口结构应进一步向石墨深加工产品转移。因此,本文拟采用的石墨产品出口结构调整策略“减少石墨原材料和初级产品出口、增加石墨深加工产品出口”是合理的。

3.2 中国石墨产品出口结构调整对全球石墨出口的影响

3.2.1 减少石墨原材料出口的影响

如图4a所示,全球其他国家的石墨出口总额随着中国石墨原材料出口的减少而减少。当中国石墨原材料出口量的减少比例从0%增加到100%时,全球其他国家的石墨产品出口总额从25.21亿美元持续减少到22.99亿美元。这一结果表明,由于国家间贸易和生产过程的联系,中国原材料出口的变化对其他国家石墨国际贸易会产生重大影响。当中国停止出口石墨原材料时,其他国家石墨产品出口总额将减少2.22亿美元。如图4b所示,全球其他国家石墨总出口额的变化率并不均匀,当中国石墨原材料出口量减少约0%~10%时,全球其他国家的石墨出口总额迅速下降;当中国石墨原材料出口量的减少幅度大于10%时,全球其他国家石墨出口总额的减少幅度逐渐放缓。

3.2.2 石墨初级产品出口减少的影响

如图5a所示,随着中国石墨初级产品出口的减

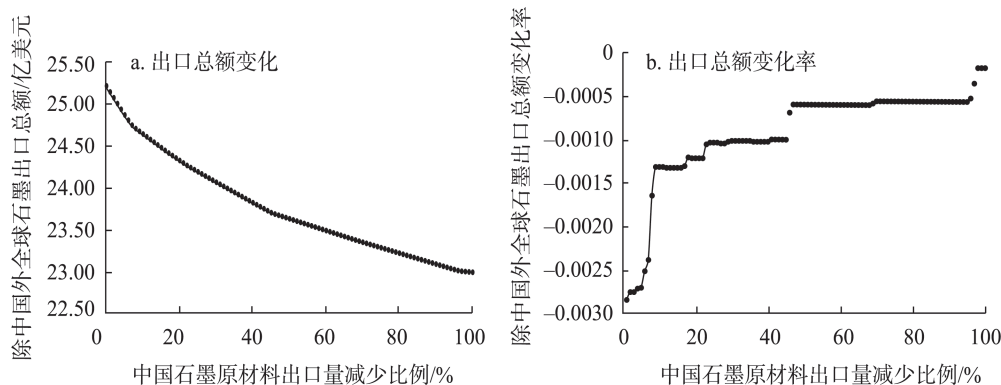


图4 全球石墨产品出口总额变化及变化率

Figure 4 Changes and change rates of total export value of global graphite products

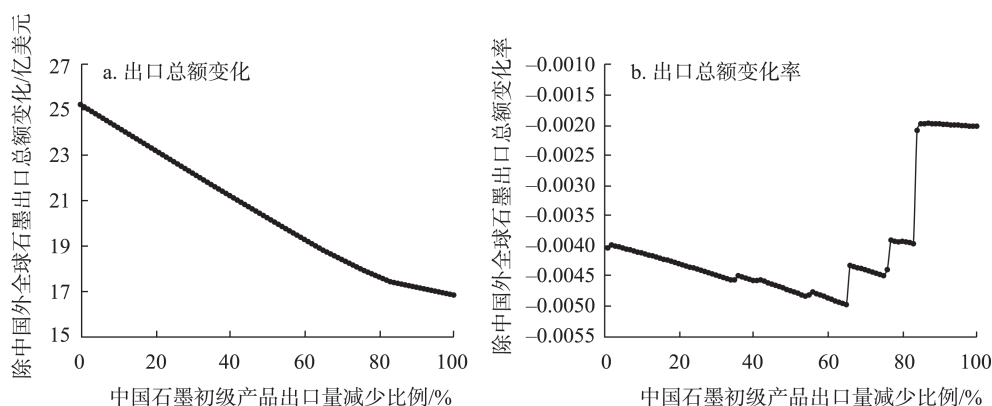


图5 全球石墨产品出口总额变化及变化率

Figure 5 Changes and change rates of total export value of global graphite products

少,全球其他国家的石墨出口总额也随之减少。当中国石墨初级产品出口量的减少比例从0%增加到100%时,全球其他国家的石墨产品出口总额从25.21亿美元持续减少到16.85亿美元。这一结果表明,由于国家间贸易和生产过程的联系,中国初级产品出口的变化对其他国家石墨国际贸易会产生重大影响。当中国停止出口石墨初级产品时,其他国家石墨产品出口总额将减少8.36亿美元。通过和中国石墨原材料出口调整的影响对比发现,中国石墨初级产品调整对全球石墨出口的影响相对更大。从全球石墨贸易网络结构的角度来看,由于受到各生产环节产业关联的影响,中国石墨原材料出口减少所产生的级联影响范围更大、传播路径更长,石墨初级产品出口减少所产生的级联影响范围相对较小、传播路径更短。然而,由于石墨初级产品单位价值更高,其出口量的减少对贸易额的变化影响更为显著,而且石墨初级产品供应和高价值深加工产品的生产关联更为密切,因此中国石墨初级

产品出口减少带来的全球供应下降对下游深加工产品的生产所带来的影响更为直接。如图5b所示,全球其他国家石墨总出口额的变化率存在明显波动。当中国石墨初级产品出口量下降幅度约为0%~65%时,全球其他国家石墨出口总额的下降速度逐渐上升;当中国石墨初级产品出口量下降幅度约为65%~85%时,全球其他国家石墨出口总额的下降速度逐渐放缓;当中国石墨初级产品出口量下降幅度大于等于约85%时,全球其他国家石墨出口总额的下降速度迅速放缓并保持稳定。

3.3 中国石墨产品出口结构调整对其产业国际竞争力的影响

3.3.1 石墨原材料出口量减少的影响

如图6a所示,当中国石墨原材料出口额的变化小于45%时,中国石墨产品的RCA指数随着石墨原材料出口额的减少而持续增加;但当中国石墨原材料出口额的变化率大于等于45%时,中国石墨产品RCA指数开始随着石墨原材料出口额的

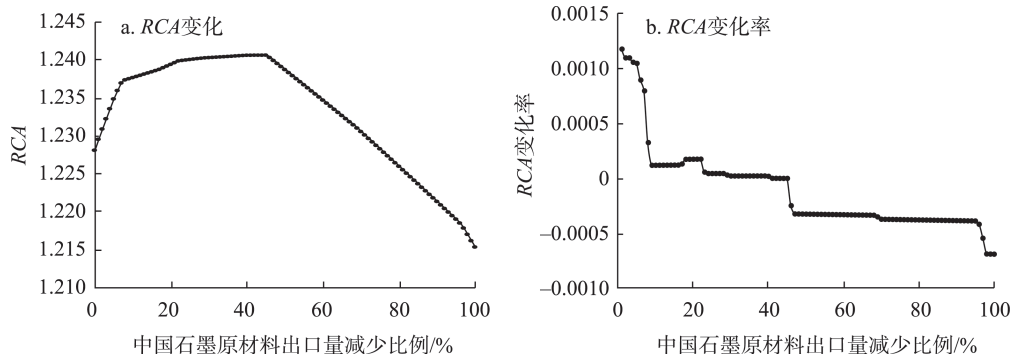


图6 中国石墨产品RCA指数随原材料出口减少的变化及变化率

Figure 6 Changes and change rates of RCA of China's graphite products with reduction in graphite raw material exports

减少而降低。这一结果表明,在中国石墨原材料出口降低幅度约为0%~45%的范围内时,减少石墨原材料出口有利于提高中国石墨产业的国际竞争力。如图6b所示,中国石墨产品RCA指数的变化率随着石墨原材料出口量的减少而持续降低。尤其是当石墨原材料出口量下降幅度大于5%时,中国石墨产品RCA指数的下降速率迅速放缓。这一结果表明,适当降低石墨原材料出口有利于提高中国石墨产业的国际竞争力。然而,随着石墨原材料出口下降速度的持续上升,这种正向影响会减弱,甚至转为负向影响。

3.3.2 石墨初级产品出口减少的影响

如图7a所示,随着中国石墨初级产品出口的减少,中国石墨产品的RCA指数持续增加。这一结果表明,石墨初级产品出口减少对中国石墨产业国际竞争力的提升具有正向影响。如图7b所示,当石墨初级产品出口额下降幅度小于60%时,中国石墨产品RCA指数的增长幅度较为稳定。此后,中国石墨产品RCA指数的上升幅度反而下降。

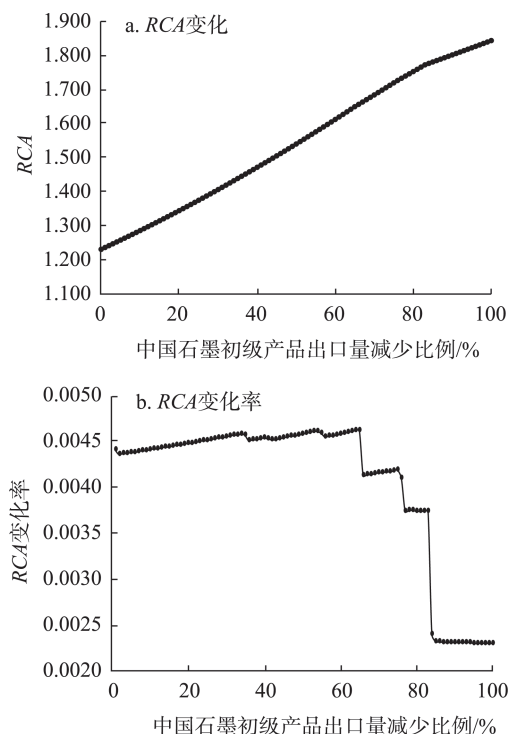


图7 中国石墨产品RCA指数随初级产品出口减少的变化及变化率

Figure 7 Changes and change rates of RCA of China's graphite products with reduction in graphite primary product exports

这表明当石墨初级产品出口额下降幅度大于60%之后,其对中国石墨产品RCA指数的正向影响呈现边际递减的趋势。

4 结论与政策建议

4.1 结论

本文应用多层网络模型,从多产品融合产业链视角出发剖析中国石墨产品出口结构变化所产生的影响在石墨贸易网络中的级联传播过程,从而剖析石墨出口结构调整对石墨产业国际竞争力的作用机制,助力中国优势战略性矿产资源产业竞争力的提升。主要研究结论如下:

(1)中国石墨整体产业国际竞争力和目前的出口结构密切相关。与其他重要的石墨出口国相比,中国石墨产品出口中原材料和初级产品所占比重相对较高。尽管由于中国在天然石墨储量、开采及精炼方面的优势,石墨原材料、石墨初级产品和石墨深加工产品的国际市场占有率均位列第一。然而,与石墨原材料和初级产品将近一半的国际市场占有率相比,中国石墨深加工产品的国际市场占有率优势并不明显,这使得中国石墨深加工产品的RCA指数偏低,同时也拉低了石墨产品整体的RCA指数。因此,要想提高中国石墨产业国际竞争力,需要进一步促进出口结构向石墨深加工产品转移。

(2)中国石墨出口结构的变动将对全球石墨贸易产生显著影响。当中国减少石墨原材料和初级产品的出口时,通过全球石墨产品贸易网络的级联传播,除中国以外的全球其他国家石墨产品出口总额随之降低。通过对比石墨原材料和石墨初级产品出口调整的影响发现,中国石墨初级产品调整对全球石墨出口会产生更大的影响。这主要是由于石墨初级产品单位价值更高的影响相对更大,出口量的减少对贸易额的变化影响更为显著。同时,结果表明中国石墨出口结构变动对全球石墨贸易的影响过程并不是均匀的。当石墨原材料降低约0%~10%或石墨初级产品降低约0%~85%时,全球其他国家石墨产品出口贸易总额的下降幅度较大。

(3)中国石墨出口结构的变动会对其石墨产业国际竞争力产生显著影响。当中国石墨初级产品的出口减少时,中国石墨产品的RCA指数呈现线性

2025年7月

增长趋势。然而,随着中国石墨原材料出口的减少,石墨产品 *RCA* 指数呈现倒U型变化趋势。当石墨原材料出口下降幅度小于45%时,中国石墨产品 *RCA* 指数持续增长;当石墨原材料出口下降幅度大于45%时,中国石墨产品 *RCA* 指数持续下降。这表明石墨原材料出口量的调整需要限定在一定的范围内。此外,结果表明中国石墨出口结构变动对中国石墨产业国际竞争力的影响过程并不是均匀的。当石墨原材料出口下降幅度小于10%或者石墨初级产品出口下降幅度小于65%时,中国石墨原材料和石墨初级产品出口额的下降才会对中国石墨产业整体国际竞争力的提高产生较为显著的影响。

4.2 政策建议

基于以上结论可知,对于中国而言,石墨产品出口结构调整是提升其石墨产业国际竞争力的可选路径之一。本文提出如下政策建议:

(1)充分利用天然石墨储量优势和初级产品加工优势,发挥全球石墨产业链的级联效应,通过石墨出口结构的调整形成对国际石墨市场的宏观调控。

(2)加大石墨深加工技术的研发投入,优化石墨产业结构,促进国内石墨原材料和初级产品向深加工产品的转化,提高中国石墨产业整体国际竞争力。

(3)实行对石墨出口结构调整影响的动态监控,把握石墨原材料出口管控的最优力度,避免过度减少石墨原材料出口对石墨产业国际竞争力的反作用。

参考文献(References):

- [1] Tao J M, Liu L W, Han J J, et al. New perspectives on spatial dynamics of lithiation and lithium plating in graphite/silicon composite anodes[J]. *Energy Storage Materials*, 2023, DOI: 10.1016/j.ensm.2023.102809.
- [2] Xiong Y C, Liu Y, Chen L, et al. New insight on graphite anode degradation induced by li-plating[J]. *Energy & Environmental Materials*, 2022, 5(3): 872–876.
- [3] 颜玲亚, 陈军元, 欧阳友和, 等. 世界新能源产业发展、新贸易格局下我国石墨资源安全分析[J]. *中国矿业*, 2025, 34(2): 111–118. [Yan L Y, Chen J Y, Ouyang Y H, et al. Analysis of China's graphite resource security in the context of global new energy industry development and new trade patterns[J]. *China Mining Magazine*, 2025, 34(2): 111–118.]
- [4] 陈军元, 颜玲亚, 刘艳飞, 等. 全球石墨资源供需形势分析[J]. *国土资源情报*, 2020, (10): 90–97. [Chen J Y, Yan L Y, Liu Y F, et al. Analysis of supply and demand situation of global graphite resources[J]. *Land and Resources Information*, 2020, (10): 90–97.]
- [5] Natarajan S, Mae T, Teah H Y, et al. Environmentally friendly regeneration of graphite from spent lithium-ion batteries for sustainable anode material reuse[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2025, 13(7): 4984–4993.
- [6] 刘超, 赵汀, 刘胜前, 等. 2025–2035年中国天然石墨资源需求预测[J]. *中国矿业*, 2024, 33(7): 78–88. [Liu C, Zhao T, Liu S Q, et al. Demand prediction of natural graphite resources in China from 2025 to 2035[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(7): 78–88.]
- [7] 武川, 王宏起, 李玥, 等. 战略性新兴产业前沿技术领域预测与合作潜力: 基于主题相似网络关系的分析视角[J]. *系统工程*, 2021, 39(4): 151–158. [Wu C, Wang H Q, Li Y, et al. Forecast and cooperation potential of frontier technology fields of strategic emerging industries: Based on the perspective of network relationships with similar topics[J]. *Systems Engineering*, 2021, 39(4): 151–158.]
- [8] 安彤, 马哲, 刘超, 等. 中国石墨矿产资源现状与国际贸易格局分析[J]. *中国矿业*, 2018, 27(7): 1–6. [An T, Ma Z, Liu C, et al. Analysis of China's graphite resources status and international trade pattern[J]. *China Mining Magazine*, 2018, 27(7): 1–6.]
- [9] 焦丽香, 高树学, 郭加朋, 等. 我国石墨资源开发利用现状分析[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2019, (S1): 1–6. [Jiao L X, Gao S X, Guo J P, et al. Analysis on the current situation of graphite resources development and utilization in China[J]. *China Non-Metallic Minerals Industry*, 2019, (S1): 1–6.]
- [10] 李航飞, 魏少彬. 全球稀土贸易网络时空格局演化与中国地位变迁研究[J]. *世界地理研究*, 2024, 33(6): 1–13. [Li H F, Wei S B. A study on spatial-temporal pattern evolution of global rare earth trade network and China's status change[J]. *World Regional Studies*, 2024, 33(6): 1–13.]
- [11] 王星星, 钟维琼, 朱德朋. 全球镍矿贸易网络的供应风险传播研究[J]. *地球学报*, 2023, 44(2): 361–368. [Wang X X, Zhong W Q, Zhu D P. Research on the supply risk propagation of the global nickel ore trade network[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(2): 361–368.]
- [12] Wang X X, Li H J, Zhu D P, et al. Research on global natural graphite trade risk countermeasures based on the maximum entropy principle[J]. *Resources Policy*, 2021, DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102367.
- [13] Wang X X, Li H J, Yao H J, et al. Simulation analysis of the spread of a supply crisis based on the global natural graphite trade network[J]. *Resources Policy*, 2018, 59: 200–209.
- [14] Bai Q, Zhang S T, Wang W L, et al. Variance of graphite import-

- export volume and price in China for 2003–2012: A time-series analysis[J]. *Resources Policy*, 2015, 44: 65–70.
- [15] 祝孔超, 赵媛, 姚亚兵, 等. 全球稀土进口竞争格局分析及潜在贸易联系预测[J]. *资源科学*, 2022, 44(1): 70–84. [Zhu K C, Zhao Y, Yao Y B, et al. Global rare earth import competition pattern and prediction for potential trade links[J]. *Resources Science*, 2022, 44(1): 70–84.]
- [16] 陈韵冰, 王星星, 周凤英. 萤石典型产品国际贸易竞争格局演变[J]. *地球学报*, 2023, 44(2): 395–403. [Chen Y B, Wang X X, Zhou F Y. The evolution of the international trade competition pattern of fluorite typical products[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2023, 44(2): 395–403.]
- [17] 马子凌, 江美辉, 刘超. 多层网络视角下全球石墨贸易竞争网络结构及其演化特征[J]. *中国矿业*, 2024, 33(3): 1–10. [Ma Z L, Jiang M H, Liu C. Structure and evolution characteristics of graphite trade competition networks in global: A multiplex network perspective[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(3): 1–10.]
- [18] 孙健, 吴康, 杨宇. 全球原油贸易网络视角下的亚洲溢价与中日印韩原油潜在竞争关系[J]. *世界地理研究*, 2022, 31(6): 1240–1250. [Sun J, Wu K, Yang Y. Asian premium and potential competition of crude oil between China, Japan, India and the Republic of Korea from the perspective of global crude oil trade network[J]. *World Regional Studies*, 2022, 31(6): 1240–1250.]
- [19] 许明, 杨丹辉. 中国稀有矿产资源产业的国际竞争力分析[J]. *东南学术*, 2019, (1): 111–122. [Xu M, Yang D H. An analysis of international competitiveness of China's rare mineral resources industry[J]. *Southeast Academic Research*, 2019, (1): 111–122.]
- [20] 成金华, 帅竞, 赵雨佳, 等. 关键矿产供应风险评估与预测: 以铜资源为例[J]. *资源科学*, 2023, 45(9): 1778–1788. [Cheng J H, Shuai J, Zhao Y J, et al. Risk assessment and prediction of critical mineral resources supply for China: A case of copper[J]. *Resources Science*, 2023, 45(9): 1778–1788.]
- [21] Guo Q, You W L. A comprehensive evaluation of the international competitiveness of strategic minerals in China, Australia, Russia and India: The case of rare earths[J]. *Resources Policy*, 2023, DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103821.
- [22] Zhu W X, Hu T T, Xiao W, et al. The product space and evolution of international competitiveness—evidence from China's strategic and critical mineral articles[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2023, DOI: 10.3389/fenvs.2023.1042436.
- [23] Wang X X, Li H J, Yao H J, et al. Network feature and influence factors of global nature graphite trade competition[J]. *Resources Policy*, 2019, 60: 153–161.
- [24] Yang Q, Geng Y, Dong H J, et al. Effect of environmental regulations on China's graphite export[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 327–334.
- [25] Nwaila G T, Frimmel H E, Zhang S E, et al. The minerals industry in the era of digital transition: An energy-efficient and environmentally conscious approach[J]. *Resources Policy*, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102851.
- [26] Zhang H W, Wang X Y, Tang J, et al. The impact of international rare earth trade competition on global value chain upgrading from the industrial chain perspective[J]. *Ecological Economics*, 2022, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2022.107472.
- [27] 沈曦, 郭海湘, 成金华. 突发风险下关键矿产供应链网络节点韧性评估: 以镍矿产品为例[J]. *资源科学*, 2022, 44(1): 85–96. [Shen X, Guo H X, Cheng J H. The resilience of nodes in critical mineral resources supply chain networks under emergent risk: Take nickel products as an example[J]. *Resources Science*, 2022, 44(1): 85–96.]
- [28] Hao X Q, An H Z, Jiang M H, et al. Supply shock propagation in the multi-layer network of global steel product chain: Additive effect of trade and production[J]. *Resources Policy*, 2024, DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104655.
- [29] 赵怡然, 高湘昀, 孙晓奇, 等. 产业链视角下贸易依赖网络结构变动对钴价格的影响[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1344–1357. [Zhao Y R, Gao X Y, Sun X Q, et al. The impact of structural changes of trade dependence network on cobalt price from the perspective of industrial chain[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1344–1357.]
- [30] 李华蛟, 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.]
- [31] 张飞鹏, 徐一雄, 邹胜轩, 等. 基于LGCNET多层网络的中国A股上市公司系统性风险度量[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(12): 13–25. [Zhang F P, Xu Y X, Zou S X, et al. An empirical study on the systemic risk of Chinese a-share listed companies based on multi-layer network[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(12): 13–25.]
- [32] Lin T, Luo G Z, Li W Y, et al. Network alignment in multiplex social networks using the information diffusion dynamics[J]. *Chaos Solitons Fractals*, 2025, DOI: 10.2139/ssrn.4982324.
- [33] Shi Q, Sun X, Xu M, et al. The multiplex network structure of global cobalt industry chain[J]. *Resources Policy*, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102555.
- [34] 张宏伟, 黄希宇, 张杨, 等. 全球钨产业链贸易多层网络需求短缺风险传播机制[J]. *资源科学*, 2024, 46(5): 948–959. [Zhang H W, Huang X Y, Zhang Y, et al. Mechanisms of demand shortage risk propagation in the multi-layer trade network of global tungsten industry chain[J]. *Resources Science*, 2024, 46(5): 948–959.]
- [35] Yan L, Chen X Q, Liu Y, et al. An efficient structure-driven multiplex network dismantling approach based on network percolation[J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, DOI: 10.1016/j.eswa.2024.126177.

Impacts of China's graphite export structure adjustments on its industrial international competitiveness: A multi-layer network perspective

LI Bingyan, JIANG Meihui

(School of Management Science and Engineering, Nanjing University of Information
Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: [Objective] This study aims to analyze the mechanism by which adjustments in China's graphite export structure affect its industrial international competitiveness, which is crucial for promoting the transformation of China's graphite resource advantages into industrial advantages. [Methods] This study constructed a trade propagation model for graphite products based on multi-layer network theory to analyze the cascading impact of changes in the graphite export structure within the multi-layer trade network of graphite raw materials, primary products, and deep-processed products. [Results] (1) The main reason for the significant imbalance between China's market share of graphite products and its industrial competitiveness was the relatively high proportion of graphite raw materials and primary products in exports. (2) Due to the close trade and production linkages among countries, China's adjustments to its graphite export structure would have a significant impact on the graphite trade of other countries. Among these, China's reduction in exports of graphite primary products had a more pronounced impact on the graphite trade of other countries. (3) Reducing exports of graphite raw materials and primary products could significantly enhance the industrial international competitiveness of China's graphite products. Therefore, adjustments to the graphite export structure played a positive role in cultivating the competitive advantages of graphite products. However, the positive impact of the reduction in graphite raw material exports on industrial international competitiveness was not sustainable. When the reduction in graphite raw material exports exceeded a certain threshold (45%), the industrial international competitiveness of China's graphite industry began to show a declining trend instead. [Conclusion] Therefore, when promoting the shift of its graphite export structure from raw materials to deep-processing products, China needs to limit the reduction in graphite raw material exports within a certain range to avoid the adverse impact of excessive reduction in graphite raw material exports on the international competitiveness of its graphite industry.

Key words: graphite; trade; export structure; multi-layer network; propagation; industrial international competitiveness; China