

基于间接进口成本的中国战略性矿产海外 供应风险分析 ——以锆为例

王 珏, 冯宗宪

摘 要: 通过对 Chaney 分行业贸易模型的改进, 本文提出矿产资源全球贸易壁垒的联立方程测算方法, 测算并分析了我国锆矿石的多边进口壁垒。研究发现: (1) 我国锆矿石平均进口成本变化在 2003—2020 年间基本稳定, 呈现小幅下降后波动上升的趋势, 我国对亚太地区和非洲地区的锆矿石进口成本整体较低。(2) 我国对铬、锑的平均进口成本高于锆矿石, 但不同地区的矿产资源成本结构存在显著差异。(3) 中国经济增长、行业份额增加、来源地经济增长对中国矿石进口额的增长均起到促进作用, 贸易成本变化对战略性矿产资源全球供应的促进效果尚有待提高。上述结论有助于进一步理解我国战略性矿产资源的供应安全问题, 对我国未来政策选择具有借鉴意义。

关键词: 战略性矿产; 贸易壁垒; 异质性企业引力模型; 间接测算方法

中图分类号: F752.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2022)05-0070-18

DOI: 10.16493/j.cnki.42-1627/c.20220927.005

一、引 言

资源安全是经济持续高质量发展的关键保障。虽然近年来我国开展的“找矿行动”成效显著, 仍有部分矿种长期依赖国外供应^①。据测算^{[1][2]}, 在《全国矿产资源规划(2016—2020年)》(国函〔2016〕178号)所规定的24种战略性矿产资源中^②, 至少有铝、铜、锆、金、铬、铁、钴、镍这8种矿产资源存在国内供应不足的情况, 其中铬、铁、钴、镍矿石的进口供应安全程度也较差。动态来看, 至少有铜、金、钨、钼、锑、锂这6种矿产资源的供给风险水平正在上升。以锆、铬、锑这三种战略性矿产为例可以看出, 与2003年相比, 2020年我国对于这三类战略性矿产资源的进口额

基金项目: 中国博士后科学基金第69批面上资助项目“RCEP对中国经济影响的政策模拟”(2021M692013); 国家社会科学基金重点项目“基于低碳绿色发展的‘一带一路’区域产业链研究”(19AJY001)

作者简介: 王珏, 经济学博士, 陕西师范大学国际商学院助理研究员, wang2jue2@snnu.edu.cn (陕西 西安 710119); 冯宗宪, 经济学博士, 西安交通大学经济与金融学院教授、博士生导师 (陕西 西安 710061)

致谢: 感谢陕西师范大学国际商学院王依雯同学在论文修改过程中的帮助。

① 见《找矿突破战略行动纲要(2011—2020年)》(国办发〔2011〕57号)。

② 《全国矿产资源规划(2016—2020年)》(国函〔2016〕178号)首次定义了24种主要战略性矿产资源, 包括能源矿产6种: 石油、天然气、页岩气、煤炭、煤层气、铀; 金属矿产14种: 铁、铬、铜、铝、金、镍、钨、锡、钼、锑、钴、锂、稀土、锆; 非金属矿产4种: 磷、钾盐、晶质石墨、萤石。

均增加了 5 倍以上, 同时期我国进口总额的增幅则仅为 3.5 倍^①。进一步观察来源地分布可以发现, 我国对锆矿石和铬矿石的进口来源地呈现出明显的区域集中性, 其进口占比分布的峰度均高于正态分布水平, 且 HHI (Herfindal Hirschman Index, 即赫芬达尔—赫希曼指数) 高于 0.25。

综上可知, 我国对部分战略性矿产资源的进口依赖性正在加深, 且进口来源地较为集中, 需要准确评判我国特定来源地进口矿产时的成本差异和风险问题。在后疫情时代, 地缘政治经济形势日趋复杂, “逆全球化”浪潮加剧了国际矿业市场波动, 国际政治关系、制度成本、民族文化差异等诸多因素对国际矿产资源贸易的影响日益显现。如何在矿产资源的海外供应问题研究中纳入各类复杂因素, 进而准确监测我国对不同来源地国家的矿产资源进口成本变动, 对我国当前发展阶段具有重要意义。

二、文献综述

指标测度法是研究矿产资源海外供应风险问题的主流定量方法。当前学者们所采用的指标主要包括进口依存度、进口来源集中度、进口来源稳定性(政治风险)和运输风险这四个层面: 王昶等^[3]梳理了近年来各国的金属资源安全研究进展^②, 发现各国国家战略性金属的关键性评估方法中存在相当多的共同指标选择, 其中涉及海外供应风险的指标有进口厂商集中度、进口依赖性和政治稳定度, 该团队在后续研究中也采用了类似指标体系^[4]。葛建平等^[5]得出判断一种矿产是否关键的指标应该包含供应风险和经济重要性两大范畴, 其中供应风险涉及进口依赖性和来源集中程度。Erdmann 等和其后继研究建立了供应风险和脆弱性的综合评价体系^{[6][7]}, 其中涉及海外供应风险的指标同样包含政治稳定指数和全球供应集中度。而在周娜等^[8]、张艳飞等^[9]、Achzet 等^[10]、Helbig 等^[11]、景普秋^[12]、郭晓茜和李建武^[13]等研究团队所设计的矿产资源海外供应风险评估体系中, 在采用进口依赖性、进口集中度和政治风险三类指标的同时, 还纳入了价格波动风险和运输通道风险指标。

运用上述指标体系, 大量学者研究了我国矿产资源的海外供应风险问题。王东方^[1]利用净进口依存度和来源集中度来测算进口供应安全程度, 并从这两个维度对中国战略性金属矿产的供应安全程度进行了系统性评价。李鹏飞等^[14]和其后继研究^[15]纳入了全球供应集中度和政府治理指标来测度 22 种稀有矿产资源的供应风险问题。李颖等^[16]则重点将资源通道依存度和地域依存度作为海外矿产资源供应安全指标, 分析了我国海外矿产资源供应安全形势。郭娟等^[17]对 35 种关键矿产的评估中采用了对外依存度、进口集中度和价格波动来衡量矿产的海外供应风险。毛佳等^[18]在评估金、银、铂、钯 4 种贵金属的海外供应风险时将重点放在了进口国的政治稳定程度上。欧强等^[19]对多种小金属的供应风险研究同时考虑了对外依存度、通道依存度和地域集中度。刘艳飞等^[20]采用对外依存度和进口国家集中度评估了石墨等 20 种非金属矿产的海外供应风险。Zhou 等^[21]和黄健柏等^[22]在评估多种清洁能源矿产时分别采用了对外依存度、进口国家集中度、政治稳定性等指标。

这些分层次指标体系能够直接核算矿产资源海外供应风险的不同方面, 但几乎总是存在变量遗漏和权重分配的问题, 没有一种指标(体系)能够囊括资源进口过程中所有环节的供应风险。因此, 本文采用间接进口成本作为度量矿产资源海外供应的核心指标, 由于进口成本是指进口贸易过

^① 该数据来自 UN Comtrade 数据库, HS261510: Zirconium ores and concentrates, HS261000: Chromium ores and concentrates, HS261710: Antimony ores and concentrates, 2003—2020 年。

^② 具体包括中国工业经济所、中国地质科学院、美国国家研究委员会、英国伦敦环境部、日本新能源产业技术开发机构、荷兰统计中心、德国技术评估研究所、耶鲁大学等。

程中产品的全部损耗^①, 该指标的间接测算机制能够保证其结果全面包含资源进口过程中的各类风险 (但该指标无法包含国内供应风险): 首先找到总进口成本 τ 和某些可观察变量 o_1, o_2, \dots 之间一种稳定关系 $f(\tau, o_1, o_2, \dots) = 0$; 之后通过这些可观察的变量 o_1, o_2, \dots 反推出总进口成本 τ 。即 $f(\tau, o_1, o_2, \dots) = 0 \Rightarrow \tau = g(o_1, o_2, \dots)$ 。这种间接测算进口成本的方式能够回避掉加总各类海外供应风险因素时的复杂性和遗漏变量的问题, 同时具有计算上的可行性^{[24][25][26]}, 但其难点在于寻找一组可观察变量和矿石进口成本 τ 的稳定关系 f 。

本文将选择贸易引力模型作为基本映射关系 $f(\tau, x, y, \mu \dots) = 0$ (详见 (12) 式), 通过贸易额 x 、经济规模 y 、矿石产业份额 μ 等可观察变量来逆推出我国的矿产资源进口成本 $\tau = g(x, y, \mu \dots)$ 。贸易引力模型是国际贸易经验研究中的主流模型^[27]。本文具体选择 Chaney^[28]^② 异质性企业引力模型来作为推算战略性矿产资源进口成本的基准模型。与其他几类贸易引力模型相比^{[29][30][31][32][33]}, Chaney 模型不仅具备与大量实证研究结果相一致的引力方程形式, 还在全球一般均衡的基础上考虑了行业差异、跨国企业行为差异和进出口方向差异, 适合进行矿产资源进口成本的间接推算。基于 Chaney 异质性企业模型, 本文提出了一种矿产资源进口成本的新的测算方法。并以新材料产业的重要战略性矿产锆为代表, 重点对中国进口锆矿石的贸易成本进行了分国别和地区的测算分析。

本文的主要贡献包括两个方面: (1) 基于 Chaney 的全球物质产品贸易模型, 本文推算出了包含各类复杂政治经济因素的锆矿石多边进口成本, 与当前的战略性矿产资源供应风险研究形成了指标体系上的相互补充, 具有独特的政策参考意义。(2) 与传统的单一行业贸易模型相比, 本文在贸易模型的推导过程中将产品行业细分到了不同类别矿产资源所对应的不同行业, 并提出了估算不同类矿产行业份额的内生性方法, 这对于矿产资源全球供应网络的数理模型构建也是一种新的扩展。

三、矿产资源进口成本的测算模型

(一) 矿产资源行业的进口额决定方程

有 N 个不对称国家, 国家 n 有人口 L_n 。与 Chaney^[28] 模型不同的是, 本文重点观察矿产资源行业, 并设置了矿产资源行业的上游和下游具有不同的生产经营模式。假设 M 类矿产采掘行业的企业具有劳动生产率 α , 而 M 类矿产制成品行业的企业具有劳动生产率 φ 。为了在模型中去掉不必要的复杂性, 本文认为矿产采掘和加工在同一个企业内进行, 且上游的矿产采掘技术 α_i 不具有企业间差异, 仅具有国家间差异, 作为下游制成品生产技术 φ 的一个系数, 调整制成品生产过程中的生产率。此时企业间差别仅体现在随机的制成品生产率上。类似于 Chaney^[28] 和 Helpman 等^[34] 的设置, 本研究的企业生产率服从帕累托分布 $G_M(\varphi) = 1 - \varphi^{-\gamma_M}$, 其中 $\gamma_M > \sigma_M - 1$ 。

除了随机的边际生产成本, 企业还必须支付可变贸易成本和固定成本。当一单位矿产产品从国家 i 出口到国家 j 时, 只有 $1/\tau_{ij}^M$ 部分到达, $\tau_{ij}^M > 1$, $\tau_{ii}^M = 1$ 。同时, 当一单位矿产产品从国家 i 出口到国家 j 时, 必须支付固定成本 f_{ij}^M 。考虑 w_i 为国家 i 的工资水平, 则国家 i 的企业 φ 采掘并生产 q 单位矿产产品并销往国家 j 的总成本为:

^① 正如 Anderson 等^[23] 所提出的, 运输成本 (资金和时间两方面)、关税成本、非关税成本、信息成本、合同执行成本、货币兑换成本、法律法规等制度成本都能够影响到产品进口过程中的总进口成本, 而当前资源海外供应主要指标仅包括运输成本和一部分受到来源国政治稳定性所影响的合同执行成本。

^② 该论文中的引力模型主要应用于贸易流分解问题, 本文则利用该模型的改进版本测度了矿产资源进口成本。

$$c_{ij}^M(q) = \frac{\tau_i \tau_{ij}^M}{\alpha_i \varphi} q + f_{ij}^M \quad (1)$$

在需求侧, 各国消费者消费来自国民经济体系中全部 $H+1$ 个行业的产品, 并最大化自身效用 $U \equiv q_0^{\sigma_0} \prod_{h=1}^H \left[\int_{\Omega_h} q_h(\omega)^{\frac{\sigma_h-1}{\sigma_h}} d\omega \right]^{\frac{\sigma_h}{\sigma_h-1}}$ 。该函数为消费者在各行业消费 $q(\omega)$ 单位 ω 种类产品时的效用水平, 其中 μ_h 代表 h 行业所占国民经济的份额 ($\mu_0 + \sum_{h=1}^H \mu_h = 1$), $\sigma_h > 1$ 代表行业 h 内两个产品种类之间的替代弹性。同质产品 0 被设置为计价物, 国家 n 的一单位劳动可以生产 τ_n 单位的商品 0。将计价物的价格设置为 1, 可得国家 n 的工资水平为 ω_n 。考虑消费预算线后, 可得某类矿产行业的需求函数 $q_M(\omega) = \mu_M Y_j \left[\int_{\Omega_M} p_M(\omega)^{1-\sigma_M} d\omega \right]^{-1} p_M(\omega)^{-\sigma_M}$ 。其中参数 μ_M 代表了特定矿产行业 M 占全行业销售额的比重, 即 $\mu_M = \frac{\int_{\Omega_M} p_M(\omega) q_M(\omega) d\omega}{Y_j}$ 。

成本函数和需求函数共同构成了企业在出口市场上的利润函数 $\pi_{ij}^M(\varphi) = \left[p_{ij}^M(\varphi) - \frac{\tau_i \tau_{ij}^M}{\alpha_i \varphi} \right] q_{ij}^M(\varphi) - f_{ij}^M$, 其最优定价结果为 $p_{ij}^M(\varphi) = \frac{\sigma_M}{\sigma_M - 1} \frac{\tau_i \tau_{ij}^M}{\alpha_i \varphi}$ 。此时考虑一个国家各行业的潜在企业数目与 $\tau_n L_n$ 成比例, 对需求函数进行加总, 可得国家 i 的企业 φ 在矿产行业 M 的产品出口到国家 j 的出口额 $x_{ij}^M(\varphi) \equiv p_{ij}^M(\varphi) q_{ij}^M(\varphi) = \mu_M Y_j \left[\frac{p_{ij}^M(\varphi)}{P_j^M} \right]^{1-\sigma_M}$, 其中 P_j^M 为国家 j 的矿产行业 M 的价格指数, 由模型内生决定。

并不是所有的潜在矿产类企业都能够进入跨国市场, 只有那些初始生产率 φ 高于截断水平 $\tilde{\varphi}$ 的企业能够在市场上获取正利润, 这意味着 $\pi_{ij}^M(\tilde{\varphi}_{ij}^M) = 0$ 。根据该式可以得出 M 行业内国家 i 的企业 φ 的产品出口到国家 j 能获得正利润的截断生产率, 此时对所有有资格进入出口市场的单个矿产企业出口额进行加总, 可得国家 i 对国家 j 的某类矿产行业出口总额:

$$X_{ij}^M = \mu_M \left(\frac{Y_i Y_j}{Y} \right) \left(\frac{\alpha_i \theta_j^M}{\tau_i \tau_{ij}^M} \right)^{\gamma_M} (f_{ij}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \quad (2)$$

(2) 式为矿产资源的均衡进口额方程, 其中 $(\theta_j^M)^{-\gamma_M} = \sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{Y} \left(\frac{\tau_k \tau_{kj}^M}{\alpha_k} \right)^{-\gamma_M} (f_{kj}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}}$ 。与 Novy^{[24][25]}、Anderson 等^[23]的观点相一致, 一般均衡时, 影响区域 i 对区域 j 矿产出口的因素包括两个区域的国内生产总值 Y_i, Y_j 与两个区域之间的矿产贸易成本 τ_{ij}^M 。同时, 矿石产地之间的矿石采掘技术差别 α_i/α_k 也会影响矿产贸易结构。

(二) 全球矿产资源进口成本的联立方程测算方法

(2) 式表明, 区域 i 出口到区域 j 的矿产进口成本 τ_{ij} 不仅和这两个地区的双边贸易额相关, 还和区域 i 出口到其他区域的贸易成本 τ_{kj} ($1 \leq k \leq N$ 且 $k \neq i, j$) 相关。这些贸易成本是互相决定的, 进行贸易成本的间接测算需要考虑区域 i 对各个区域的矿产出口, 将全部 N 个版本的 (2) 式联立起来求解。

$$\begin{cases} \mu_M \left(\frac{Y_1 Y_j}{Y} \right) \left(\frac{\alpha_1}{\tau_1 \tau_{1j}^M} \right)^{\gamma_M} (f_{1j}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \left[\sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{Y} \left(\frac{\tau_k \tau_{kj}^M}{\alpha_k} \right)^{-\gamma_M} (f_{kj}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \right]^{-1} = X_{1j}^M \\ \mu_M \left(\frac{Y_2 Y_j}{Y} \right) \left(\frac{\alpha_2}{\tau_2 \tau_{2j}^M} \right)^{\gamma_M} (f_{2j}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \left[\sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{Y} \left(\frac{\tau_k \tau_{kj}^M}{\alpha_k} \right)^{-\gamma_M} (f_{kj}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \right]^{-1} = X_{2j}^M \\ \dots \\ \mu_M \left(\frac{Y_N Y_j}{Y} \right) \left(\frac{\alpha_N}{\tau_N \tau_{Nj}^M} \right)^{\gamma_M} (f_{Nj}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \left[\sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{Y} \left(\frac{\tau_k \tau_{kj}^M}{\alpha_k} \right)^{-\gamma_M} (f_{kj}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}} \right]^{-1} = X_{Nj}^M \end{cases} \quad (3)$$

为便于分析, 此处不考虑各国市场的一次性进入成本差别^①。同时, 注意到 ω_i 和 α_i 都属于一个国家的基础行业生产率 (计价物行业和矿石采掘行业), 本文假设它们在不同国家间的变化呈同比例关系, 即 $\frac{\alpha_i}{\omega_i} = \frac{\alpha_j}{\omega_j}$ 。这相当于固定了各国的相对币值, 在处理经济规模类变量时就必须剔除掉汇率波动的影响。对 (3) 式进行变形并矩阵表示可得:

$$\begin{bmatrix} (\frac{\mu_M Y_1 Y_j}{X_{1j}^M} - Y_1) & -Y_2 & \dots & -Y_N \\ -Y_1 & (\frac{\mu_M Y_2 Y_j}{X_{2j}^M} - Y_2) & \dots & -Y_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -Y_1 & -Y_2 & \dots & (\frac{\mu_M Y_N Y_j}{X_{Nj}^M} - Y_N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\frac{1}{\tau_{1j}^M})^{\gamma_M} \\ (\frac{1}{\tau_{2j}^M})^{\gamma_M} \\ \dots \\ (\frac{1}{\tau_{Nj}^M})^{\gamma_M} \end{bmatrix} = Y_j (\frac{1}{\tau_{jj}^M})^{\gamma_M} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

注意其中 $i = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, N$ 。根据 (4) 式可以具体得出向量 $[(\frac{1}{\tau_{1j}^M})^{\gamma_M}, (\frac{1}{\tau_{2j}^M})^{\gamma_M}, \dots, (\frac{1}{\tau_{Nj}^M})^{\gamma_M}]^T$, 进而解出一组 j 国所面临的多边矿产进口成本 τ_{ij}^M 。

$$\begin{bmatrix} (\frac{1}{\tau_{1j}^M})^{\gamma_M} \\ (\frac{1}{\tau_{2j}^M})^{\gamma_M} \\ \dots \\ (\frac{1}{\tau_{Nj}^M})^{\gamma_M} \end{bmatrix} = \frac{Y_j (\tau_{jj}^M)^{-\gamma_M}}{(\mu_M Y_j)^{N-2} (\prod_{k \neq j} \frac{Y_k}{X_{kj}^M}) (\mu_M Y_j - \sum_{k \neq j} X_{kj}^M)} \times P^* \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 P^* 为 (4) 式左侧矩阵 P 的伴随矩阵。行列式 $|P| > 0$ 保证了矩阵 P 可逆, 因此 (5) 式能够求出唯一一组矿产资源进口成本。

四、我国的战略性矿产资源进口壁垒：以锆为例

(一) 数据来源与参数校准

在方程组 (3) 中, 需要获知 X 、 Y 、 σ 、 μ 、 γ 等变量的经济数据来反推矿产资源进口成本 τ 。

关于双边矿产资源贸易额 X 。本研究所有分行业贸易数据均来自 UN Comtrade 数据库的 HS 六位细分产品贸易, 具体包括锆矿石进口 (HS 编码为 261510), 铬矿石进口 (HS 编码为 261000), 锑矿石进口 (HS 编码为 261710), 钨矿石进口 (HS 编码为 261100)。为了保证贸易数据的统计口径尽量统一, 我们选择 2003 年作为研究起点, 这和当前大部分资源供应风险问题的研究文献也是较为接近的。而本文在计算行业份额时要用到全行业贸易额, 该数据取自国际货币基金组织 (IMF) 的贸易统计方向数据库 (DOTS)。为了能够精确计算贸易成本, 必须剔除掉进出口贸易流中额外的成本因素, 因此本文无论是进口额还是出口额, 核算方式均为 FOB (free on board) 计价方式。

关于经济规模 Y 。在本文中, 国民收入可以转化为总需求或总供给, 但需要剔除汇率的影响。Novy^[25] 和 Wei^[35] 的研究采用了国际经合组织 (OECD) 的结构分析数据库 (STAN) 的总产出数据来表示国民收入 Y_j 。其中生产数据按 IMF 国际金融统计数据 (IFS) 的期间平均汇率换算成美元。但该

^① 如果按照 Helpman 等^[34] 的参数校准估计, 认为 $\gamma/(\sigma-1)$ 大约为 1, 此时变量 $\tau_{ij}^M (f_{ij}^M)^{\frac{\sigma-\gamma-1}{\sigma-1}}$ 将退化为单纯的可变贸易成本 τ_{ij}^M 。本文此处的假设更加现实, 允许 $(f_{ij}^M)^{\frac{\sigma-\gamma-1}{\sigma-1}} \neq 1$, 仅认为 $f_{ij}^M = f_{kj}^M$ 。

组数据并不包含中国的锆矿石主要来源国家, 因此本文选择世界银行数据库中平抑汇率影响的国民收入 (GNI ATLAS) 数据来表现国民收入 Y_j 。

本文细分了矿产类型, 因此需要计算行业份额 μ_M 的具体数值。根据 (12) 式可知, μ_M 的大小与行业贸易额相联系。那么如果在模型设置的最开始不进行行业细分, 只考虑一个加总行业 S , 可以得到 $\mu_S \approx 1$ 版本下的新的 (2) 式, 代表全行业的双边总贸易额: $X_{ij}^S = (\frac{Y_i Y_j}{Y}) (\frac{\alpha_i \theta_j^S}{\omega_i \tau_{ij}^S})^{\gamma_S} (f_{ij}^S)^{-\frac{\gamma_S + \sigma_S - 1}{\sigma_S - 1}}$ 。将该式与 (2) 式相除可得: $\mu_M = \frac{X_{ij}^M}{X_{ij}^S} [(\frac{\alpha_i \theta_j^S}{\omega_i \tau_{ij}^S})^{\gamma_S} (f_{ij}^S)^{-\frac{\gamma_S + \sigma_S - 1}{\sigma_S - 1}}] / [(\frac{\alpha_i \theta_j^M}{\omega_i \tau_{ij}^M})^{\gamma_M} (f_{ij}^M)^{-\frac{\gamma_M + \sigma_M - 1}{\sigma_M - 1}}]$ 。进一步考虑各行业生产率分布、定向贸易成本和替代弹性都相等, 则可以得到 $\mu_M \approx X_{ij}^M / X_{ij}^S$ 的近似结果, 即采用双边矿产资源贸易额占双边总贸易额的比例来近似代表该类矿产资源的行业份额。

由于本文同时存在替代弹性 σ 和帕累托参数 γ , 需要对这两个参数进行共同校准。我们按照 Helpman 等^[34] 估计 $\gamma / (\sigma - 1)$ 大约为 1, 这意味着 $\gamma \approx (\sigma - 1)$ 。Chaney (2008) 估计 $\gamma / (\sigma - 1)$ 大约为 2, 这意味着更高的可变贸易成本弹性。根据 Anderson 等的研究^[36], σ 通常落在 5 到 10 的范围内。Novy^[24] 更精确地认为替代弹性 σ 一般被估计为 7 到 8 之间。但很多研究估计结果更高, Head 等^[24] 采用了 11.4 的替代弹性^[37], Eaton 等则将弹性估计为 9.28^[30]。Novy^[25] 采用了一个折中的替代弹性, 认为 $\sigma = 8$ 。本文也将采用 $\sigma = 8$ 作为替代弹性的基准值, 并考虑 $\gamma / (\sigma - 1)$ 可能取 1、1.25 和 1.5 等三种比例。即对距离弹性的基本赋值为 $\gamma = 10$ 。本文还同时比较了当 γ 取值更小或更大时的结果, 发现矿产进口成本的变化规律并未受到明显影响。

在国家层面的资源贸易成本加总到区域 (多个国家) 层面的资源贸易成本时, 为避免贸易自由度在区域加总过程中的空间衰减效应 (Spatial Attenuation Effect)^[38]①, 本文选择了在分国家求出结果之后再进一步区域合并, 具体区域合并的权重与国家层面的双边矿产贸易规模相关。

(二) 存在进口依赖性和来源集中性的战略性矿产资源: 锆、铬、锑

本文选取了风险排序靠前的锆、铬、锑等三种战略性矿产^{[1][2]}, 进口来源地分布如表 1 所示。

表 1 中国进口锆、铬、锑三类矿产的主要来源地区 (2003—2020)

锆		铬		锑	
来源国	占比	来源国	占比	来源国	占比
澳大利亚	50.38%	南非	52.19%	俄罗斯	30.88%
南非	23.53%	土耳其	15.84%	澳大利亚	27.49%
印度尼西亚	8.12%	印度	6.57%	塔吉克斯坦	20.02%
莫桑比克	3.54%	巴基斯坦	4.30%	加拿大	7.04%
越南	1.76%	阿尔巴尼亚	4.18%	缅甸	4.24%
肯尼亚	1.69%	伊朗	3.71%	玻利维亚	2.28%
美国	1.65%	阿曼	3.37%	泰国	1.64%
马达加斯加	1.64%	津巴布韦	2.10%	哈萨克斯坦	1.50%
泰国	1.13%	澳大利亚	1.56%	吉尔吉斯斯坦	0.85%
塞拉利昂	0.94%	哈萨克斯坦	1.53%	秘鲁	0.63%
塞内加尔	0.85%	马达加斯加	1.25%	老挝	0.56%
巴基斯坦	0.76%	菲律宾	1.00%	南非	0.47%
印度	0.75%	巴西	0.63%	津巴布韦	0.34%
乌克兰	0.61%	阿拉伯联合酋长国	0.43%	墨西哥	0.32%
斯里兰卡	0.59%	越南	0.30%	越南	0.28%
前 15 位国家占比	97.94%	前 15 位国家占比	98.96%	前 15 位国家占比	98.54%
HHI	0.318 6	HHI	0.309 1	HHI	0.219
峰度	8.818	峰度	11.937 6	峰度	1.525 6

注: HHI (Herfindal Hirschman Index) 为赫芬达尔—赫希曼指数。标准正态分布的峰度为 0 (此处峰度计算公式为四阶中心距减去 3)。

① 该效应指较小区域加总到较大区域的过程可能使得与贸易成本相关的经济变量被低估, “smaller regions are associated with relatively strong border effects, and larger regions are associated with relatively weak border effects”, 见 Coughlin 和 Novy (2021)。

表 1 整理了我国对三类矿产资源的前 15 位进口来源地国家的累计进口占比及其分布集中情况,其中我国锆矿石和铬矿石的进口来源地呈现出明显的区域集中性,本文将集中就锆矿石和其他几类战略性矿产资源的海外供应壁垒进行测算和分析。

(三) 中国战略性矿产资源进口成本的测算分析:以锆为例

根据方程组 (3) 可以求出 2003—2020 年中国对特定矿产资源的各主要进口来源地区的进口成本。本文的矿产资源贸易成本联立方程测算过程基于 Python 3.8.3 内核实现,集成开发环境 (IDE) 选择了适合多维数据分步分析的 Jupyter Notebook 平台。在分区域讨论之前,首先展示整体测算结果 (如图 1 所示)^①。

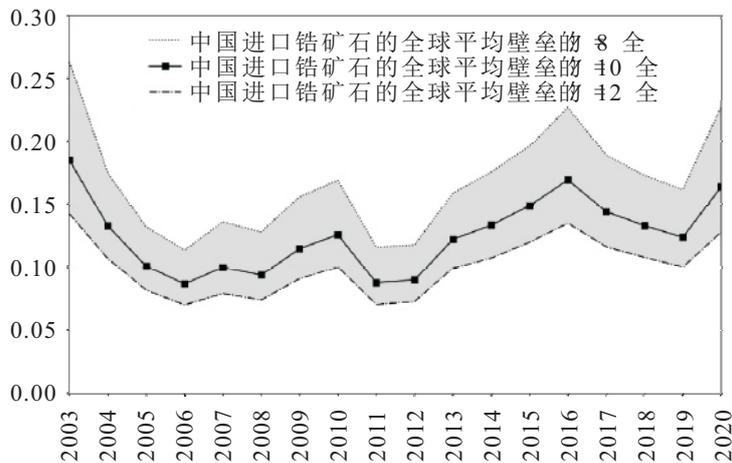


图 1 中国锆矿石平均进口成本 (2003—2020)

从图 1 及后图均可以看到,贸易成本弹性 γ 的变化只能影响到中国锆矿石进口成本的绝对量,并不能影响贸易成本的变化趋势。当弹性取值更小时,贸易成本会更高。在 2003 年至 2020 年的 18 年间,中国从全球各区域进口锆矿石的平均进口成本呈现缓慢下降的趋势,从 2003 年的 18.45% 下降到了 2020 年的 16.37%,降幅约为 11.27% ($\gamma=10$)。我国的锆矿石进口成本变动并非单调下降,而是在 2008 年之前持续下降,但在 2009 年后开始波动上升。整体而言,我国当前的锆矿石全球平均供应成本变化基本稳定。

1. 中国对亚太地区国家的锆矿石进口成本。由图 2^② 可知,在区域内代表性国家中,中国从澳大利亚进口锆矿石的进口成本更低,且波动程度相对平缓,在长期呈现整体下降的趋势。而中国从印度尼西亚进口锆矿石的进口成本在大多数年份都高于区域平均水平,且波动程度较大。

表 2 具体展示了 2003—2020 年间中国对亚太地区国家的锆矿石进口成本 (贸易成本弹性为 10)。可以看出,我国从亚太地区各国进口锆矿石的成本存在较大的差别。与亚太地区其他国家相比,中国从澳大利亚进口锆矿石的进口成本更低。如果未来考虑在亚太地区寻找替代性的锆矿石来源国 (如印度尼西亚或越南),我国将面临更高的进口成本,但与其他区域相比,我国对亚太地区各国的锆矿石进口成本整体仍处于较低水平。

^① 本文的矿产资源进口成本数值均为比例形式 (贸易成本/贸易额),因此没有单位。

^② 图 2—图 5 中的实线代表单个国家的测算结果,虚线代表对整个区域的平均测算结果,此处的区域贸易成本平均值根据该区域各国和中国的贸易份额加权计算。而图 2—图 5 中的灰色区域含义与图 1 相同,代表当贸易成本弹性取值变化时中国锆矿石进口成本的变化范围。

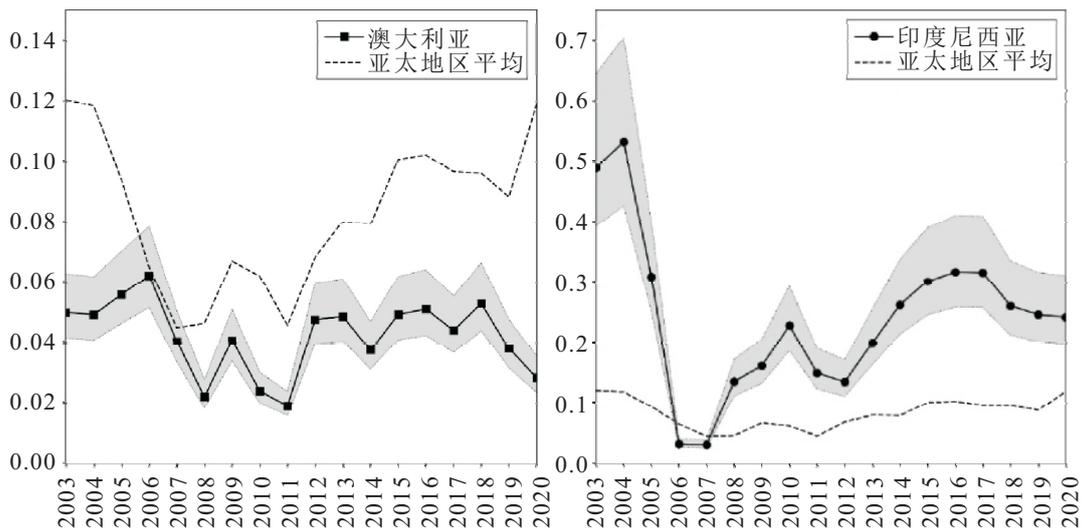


图 2 中国对亚太地区主要来源地的锆矿石进口成本 (2003—2020)

表 2 中国对亚太地区主要国家的锆矿石进口成本 (2003—2020)

年份	澳大利亚	印度尼西亚	越南	泰国	马来西亚
2003	5.00%	48.97%	6.31%	65.64%	40.41%
2004	4.92%	53.25%	—	38.72%	27.57%
2005	5.57%	30.96%	0.28%	36.03%	29.07%
2006	6.22%	3.22%	0.57%	46.81%	40.48%
2007	4.04%	3.11%	3.82%	26.97%	58.76%
2008	2.20%	13.58%	7.99%	32.81%	68.54%
2009	4.06%	16.14%	20.55%	26.35%	58.12%
2010	2.40%	22.80%	20.30%	26.15%	58.56%
2011	1.90%	14.98%	11.93%	26.50%	68.59%
2012	4.76%	13.51%	11.98%	34.69%	56.91%
2013	4.86%	19.94%	21.35%	30.95%	72.34%
2014	3.74%	26.22%	21.29%	31.90%	72.84%
2015	4.92%	30.16%	42.39%	31.64%	87.36%
2016	5.10%	31.71%	30.89%	41.44%	69.90%
2017	4.40%	31.63%	35.09%	38.42%	57.25%
2018	5.29%	26.04%	33.96%	37.92%	57.81%
2019	3.79%	24.62%	38.92%	65.37%	56.77%
2020	2.82%	24.17%	27.76%	—	58.19%

2. 中国对非洲地区国家的锆矿石进口成本。由图 3 可知, 在区域内代表性国家中, 中国从南非和肯尼亚进口锆矿石的进口成本相对更低, 整体与地区平均水平持平 (南非稍低, 肯尼亚稍高), 但部分时段存在零贸易流, 且呈现一定的波动性。而中国从尼日利亚进口锆矿石的进口成本在整体高于区域平均水平, 且波动程度较大。表 3 具体展示了 2003—2020 年间中国对非洲地区国家的锆矿石进口成本 (贸易成本弹性为 10)。可以看出, 我国从非洲地区各国进口锆矿石的成本存在较大的差别。中国从南非进口锆矿石的进口成本最低, 对肯尼亚和塞内加尔的锆矿石进口成本稍高, 但整体低于 30%。中国对尼日利亚的锆矿石进口成本最高, 在大多数年份中超过 50%。考虑到我国从尼日利亚进口锆矿石的当前比重并不大, 我国从非洲地区进口锆矿石的整体风险相对稳定。但值

得注意的一点是，中国从南非进口铅矿石的数额在近年呈现下降趋势，如果未来考虑在非洲寻找替代性的铅矿石来源国，无论是当前供应比重较高的肯尼亚、尼日利亚和塞内加尔还是其他非洲国家，我国都将面临更高的进口成本。

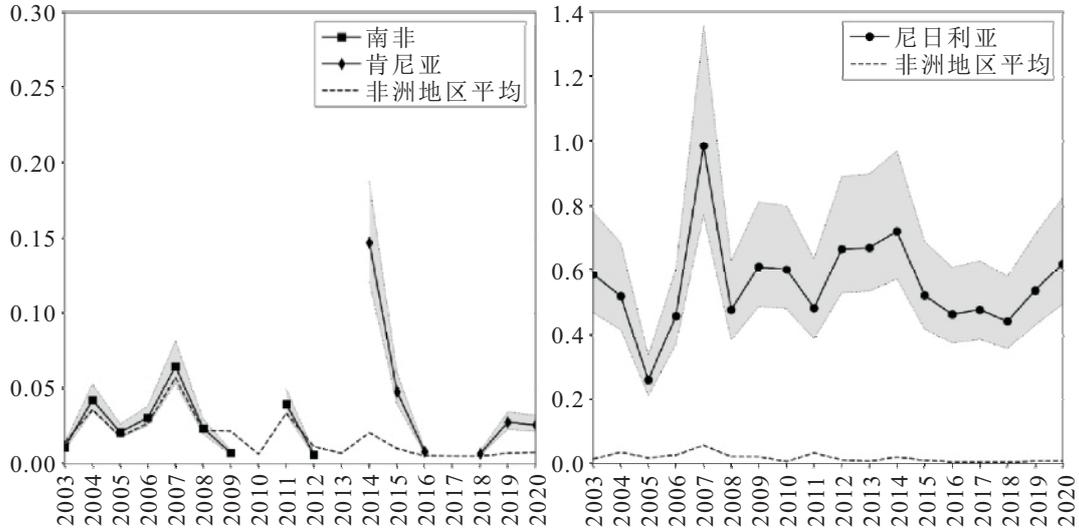


图3 中国对非洲地区主要来源地的铅矿石进口成本（2003—2020）

表3 中国对非洲地区主要国家的铅矿石进口成本（2003—2020）

年份	南非	肯尼亚	塞内加尔	尼日利亚
2003	1.10%	—	—	58.53%
2004	4.24%	—	—	51.81%
2005	2.10%	—	—	26.04%
2006	3.06%	—	—	45.76%
2007	6.46%	—	—	98.51%
2008	2.36%	—	—	47.64%
2009	0.71%	—	—	60.96%
2010	—	—	—	60.04%
2011	3.97%	—	—	48.19%
2012	0.61%	—	—	66.44%
2013	—	—	—	66.95%
2014	—	14.70%	21.17%	71.93%
2015	—	4.80%	8.05%	52.03%
2016	—	0.79%	—	46.24%
2017	—	—	—	47.68%
2018	—	0.66%	—	44.11%
2019	—	2.75%	—	53.57%
2020	—	2.58%	—	61.88%

3. 中国对欧美国家的铅矿石进口成本。由图4可知，在区域内代表性国家中，中国从美国进口铅矿石的进口成本整体略高于区域平均水平，部分年份持平，且波动程度较大。而中国从乌克兰进口铅矿石的进口成本相对更低，低于地区平均水平，且波动程度较为平缓。表4具体展示了2003—2020年间中国对欧美国家的铅矿石进口成本（贸易成本弹性为10）。可以看出，我国从欧美各国进口铅矿石的成本存在较大的差别。中国从乌克兰进口铅矿石的进口成本最低，对法国、俄罗斯

斯和西班牙的锆矿石进口成本较高, 部分年份高于 100%。中国对美国的锆矿石进口成本最高, 部分年份甚至接近于 200%。

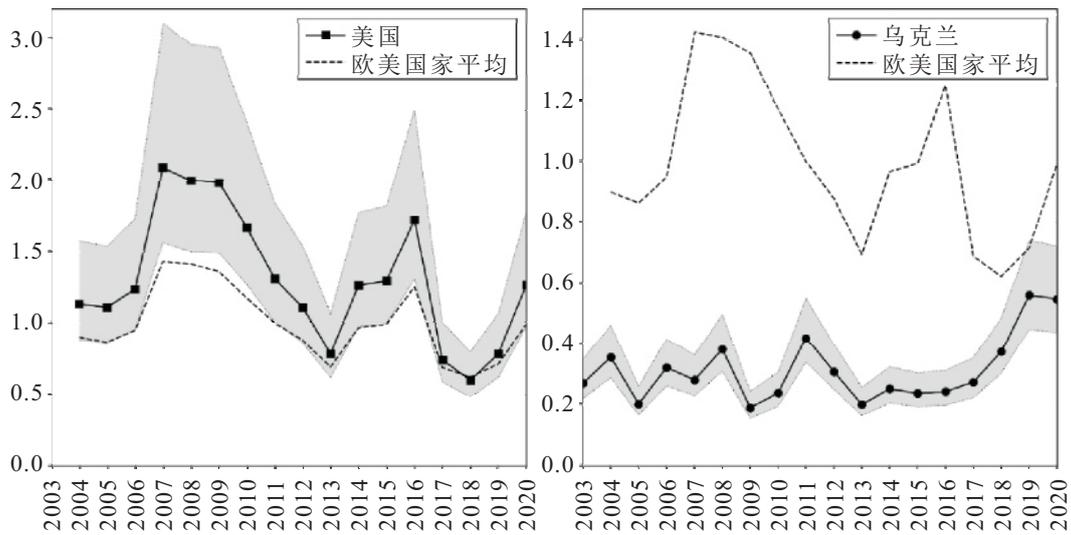


图 4 中国对欧美主要来源地的锆矿石进口成本 (2003—2020)

表 4 中国对欧美主要国家的锆矿石进口成本 (2003—2020)

年份	美国	乌克兰	法国	俄罗斯	西班牙
2003	—	26.86%	—	78.91%	103.58%
2004	113.04%	35.36%	109.05%	69.19%	62.66%
2005	110.64%	20.18%	131.44%	64.24%	51.87%
2006	123.27%	32.02%	83.78%	82.41%	79.32%
2007	209.12%	27.97%	99.23%	71.54%	81.94%
2008	199.92%	37.98%	86.68%	94.36%	92.66%
2009	198.49%	18.95%	87.54%	85.07%	97.17%
2010	166.64%	23.73%	77.92%	80.61%	90.10%
2011	130.49%	41.80%	90.97%	67.19%	74.28%
2012	110.66%	30.66%	74.57%	100.70%	75.28%
2013	78.47%	19.99%	86.94%	83.62%	110.26%
2014	126.03%	25.09%	79.01%	82.56%	113.23%
2015	129.05%	23.58%	97.39%	83.72%	105.29%
2016	172.11%	24.20%	104.45%	98.25%	102.22%
2017	74.28%	27.30%	113.34%	77.70%	82.76%
2018	60.00%	37.15%	94.56%	87.02%	87.26%
2019	78.54%	55.75%	98.59%	88.29%	—
2020	126.21%	54.48%	98.58%	101.35%	—

相对而言, 我国对俄罗斯和乌克兰的锆矿石进口成本在区域内部较低, 与世界其他地区的平均成本更为接近。考虑到欧洲和北美洲并非我国的锆矿石主要进口来源地区, 这一地区的高进口成本对我国的锆矿石全球供应当前影响并不明显, 在未来锆矿石供应地区结构发生变化时则需注意这一地区的高进口成本问题。

4. 中国对南亚和中亚国家的锆矿石进口成本。由图 5 可知, 在区域内代表性国家中, 中国从巴基斯坦进口锆矿石的进口成本整体低于区域平均水平, 且波动程度较为平缓。而中国从印度进口

铅矿石的进口成本相对更高，在大部分时段高于地区平均水平，且波动程度较大。表 5 展示了 2003—2020 年间中国对南亚和中亚地区国家的铅矿石进口成本（贸易成本弹性为 10）。可以看出，我国从南亚和中亚地区进口铅矿石的成本存在较大的差别。中国从巴基斯坦和斯里兰卡进口铅矿石的进口成本较低，从印度、哈萨克斯坦进口铅矿石的成本则较高，部分年份高于 100%。虽然目前南亚和中亚并非我国的铅矿石主要进口来源地，但这一地区与我国地缘位置接近，且进口成本整体居中，可以作为铅矿石进口的替代性来源地区。

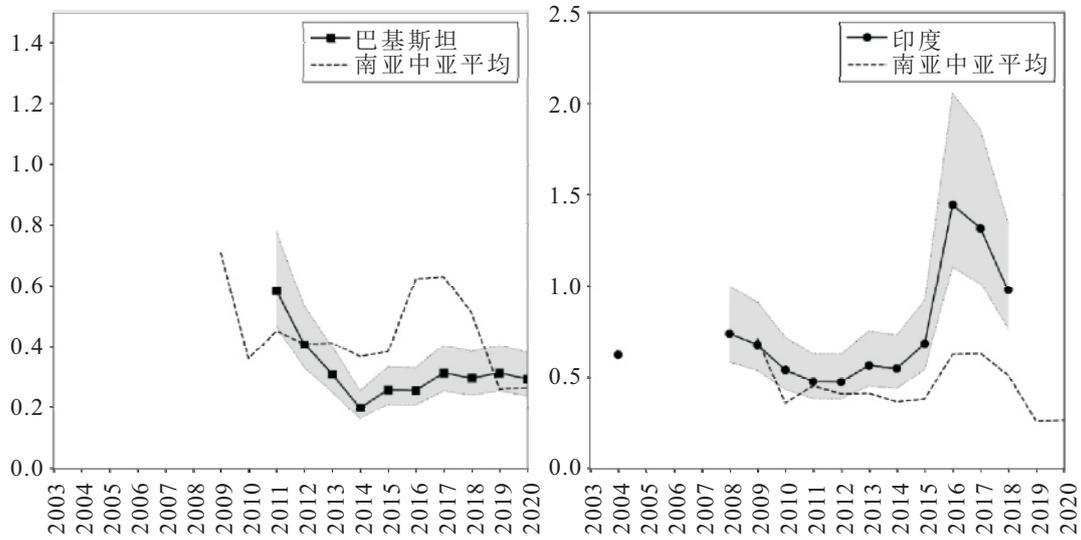


图 5 中国对南亚和中亚主要来源地的铅矿石进口成本（2003—2020）

表 5 中国对南亚和中亚主要国家的铅矿石进口成本（2003—2020）

年份	巴基斯坦	印度	斯里兰卡	哈萨克斯坦
2003	—	—	9.04%	—
2004	—	62.53%	—	—
2005	—	—	—	—
2006	—	—	5.14%	—
2007	—	—	10.00%	—
2008	—	73.73%	22.24%	—
2009	—	67.80%	26.73%	—
2010	—	54.17%	36.35%	75.96%
2011	58.51%	47.83%	22.79%	50.08%
2012	40.83%	47.60%	34.28%	39.29%
2013	30.97%	56.60%	37.63%	37.58%
2014	19.99%	54.98%	33.26%	39.59%
2015	25.93%	68.35%	15.42%	39.57%
2016	25.69%	144.41%	18.36%	41.46%
2017	31.34%	131.76%	26.04%	48.25%
2018	29.67%	97.65%	26.80%	40.05%
2019	31.35%	—	49.57%	30.97%
2020	29.37%	—	58.70%	22.95%

5. 区域间对比分析。从图 6 可以看出，我国的铅矿石进口成本存在较强的区域间差异。整体而言，我国从欧美地区进口铅矿石的成本最高，且波动程度较大。我国从南亚和中亚地区进口铅矿

石的成本居中, 从亚太地区 and 非洲地区进口锆矿石的成本最低。如果未来考虑在世界范围内寻找替代性的锆矿石来源国, 非洲、东南亚和南亚均是较好的锆矿石备选来源地区。

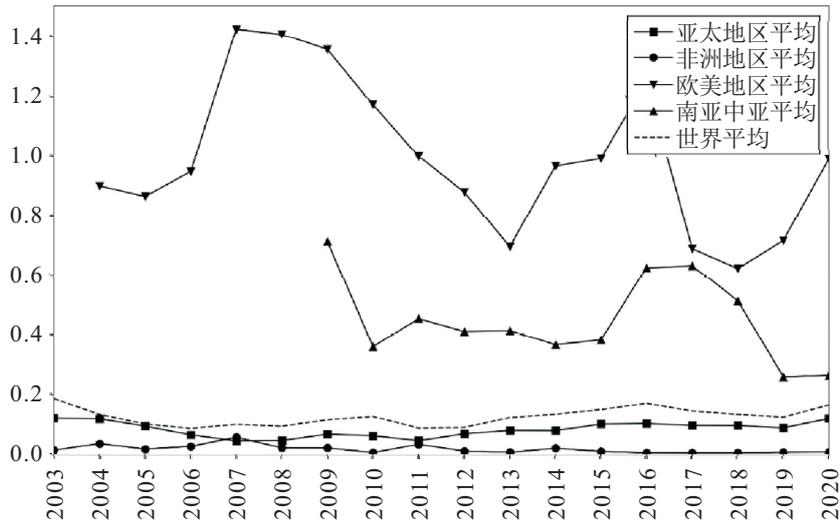


图 6 中国对各区域锆矿石进口成本变化趋势对比 (2003—2020)

6. 多种战略性矿产资源的贸易壁垒对比: 锆、铬、铌、钨。除了对比锆矿石的分地区进口成本及其动态变化, 本文还扩展对比了其他种类战略性矿产资源的进口成本和锆矿石进口成本的结构区别。包括将进口依赖性同样较高的铬矿石和铌矿石进口成本纳入对比, 以及将国内供应相对充足的钨矿石的进口成本纳入对比, 以观察不同类型的战略性矿产资源是否存在进口成本的差别。我国对这四类战略性矿产资源的平均进口壁垒对比情况如图 7 所示。

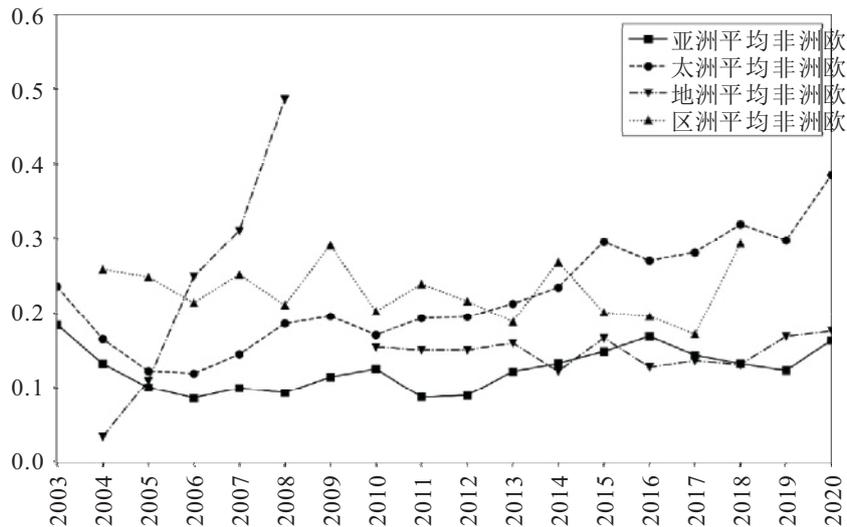


图 7 中国对四类战略性矿产资源的平均进口成本 (2003—2020)

从图 7 可以看出, 我国对铬矿石的进口成本最高, 对铌矿石和钨矿石的平均进口成本居中, 但波动性较强, 在未来存在供给成本上升的风险。这与其他学者^{[1][2]}通过不同于本文的矿产资源供应风险指标所得出的结论是一致的。锆矿石虽然进口依赖性较强, 但我国对锆矿石的整体进口成本低

于其他三类矿产，且波动程度稳定，但这也意味着未来锆矿石进口成本存在潜在的上升空间。

由于我国进口铬、锑、钨矿石的海外供应来源结构不同于锆矿石，为兼顾测算结果的可比性和有效性，本文在对比我国对这四类矿产的世界平均进口壁垒之外，还对比了这四类矿产的公共来源地区：澳大利亚、南非、俄罗斯和泰国。这四个国家至少向我国供应以上四类战略性矿产中的三类，尽管份额不一定很高。对比结果如图 8 所示。

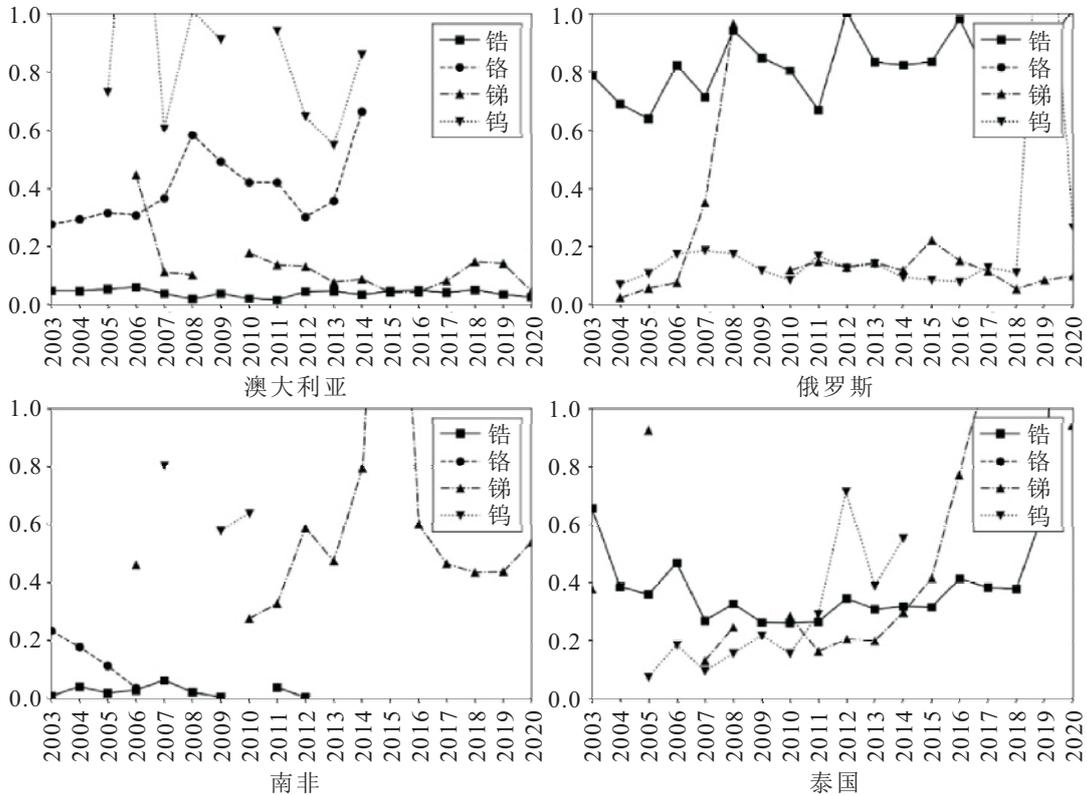


图 8 中国对四类战略性矿产资源的进口成本国别对比（2003—2020）

图 8 所展示的中国对四类矿产资源的分国别进口成本与图 7 的各区域平均结果不完全一致，如锆矿石进口成本在南非更高，锆矿石进口成本在俄罗斯更高。但南非是铬矿石和锆矿石进口成本较低的来源地，俄罗斯是锑矿石和钨矿石进口成本较低的来源地，澳大利亚则是锆矿石和锑矿石进口成本较低的来源地。而中国从泰国进口各类矿产资源的成本整体居中，可以将该区域作为潜在的战略性的矿产资源供应来源地区。不同来源地区的矿产资源成本结构存在显著差异，这进一步反映出本文对我国锆矿石进口成本的测算结果进行分区域研究的必要性。除此之外，本文还测算了铬、锑、钨矿石的更加详细的分地区和分国别贸易壁垒，由于篇幅所限未在文中列示，感兴趣的读者可向作者索要。

7. 参数敏感性分析。本部分将观察（4）式中主观取值的距离弹性 γ 在更大的连续区间 [5, 15] 上变化时，锆矿石进口成本测算的规律性结果是否会发生逆转，以观察本文关于矿石进口壁垒变化趋势的结论是否稳定。为便于对比查看，仅列出各区域锆矿石产出规模较大且数据连续性较好的国家。由于涉及时间、参数和成本三个维度的变化，敏感性分析结果呈现为三维曲面形态。

从图 9 可以看出，当距离弹性连续变化时，中国对各国的锆矿石进口成本测算结果沿时间轴的变化规律是基本稳定的，单调性和波动形状均未发生变化。

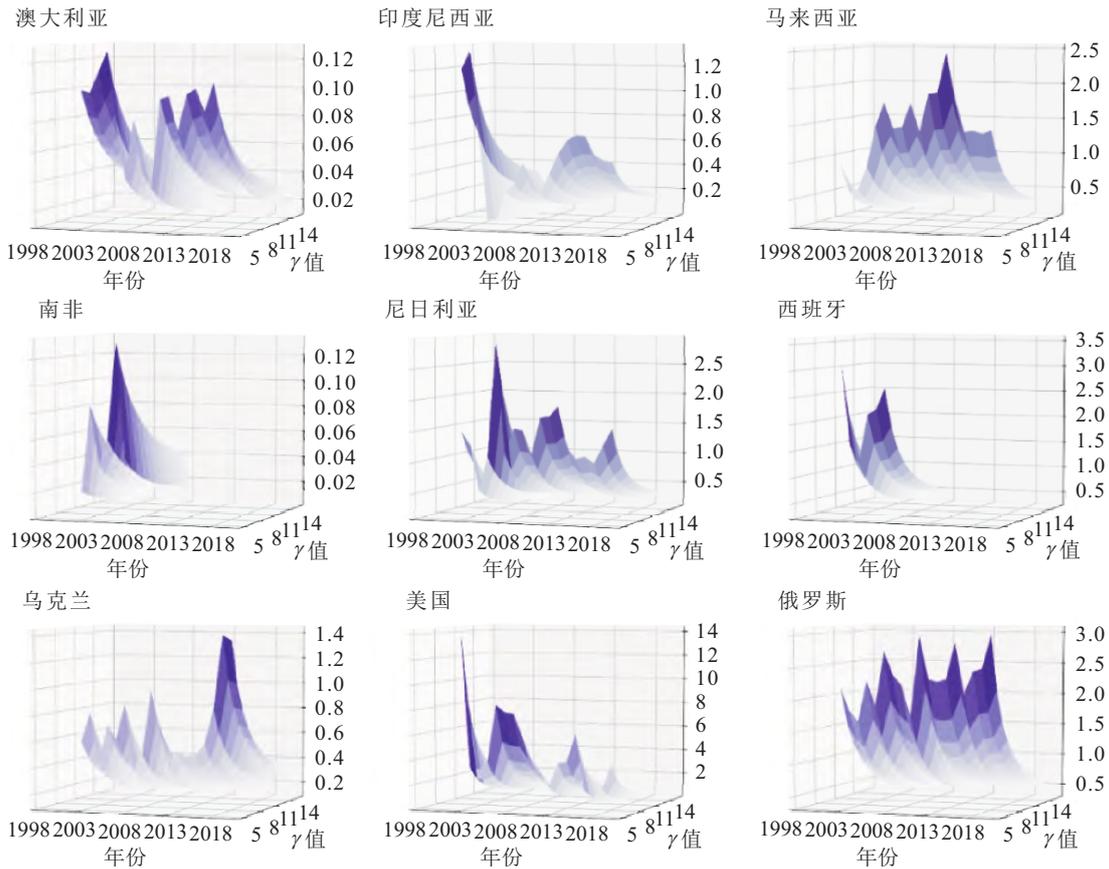


图 9 当 $\gamma \in [5, 15]$ 时中国对部分国家锆矿石进口成本变化 (2003—2020)

五、矿石贸易壁垒对我国资源供应安全的影响

(一) 矿石贸易壁垒对于我国战略性资源进口的历史影响

本部分将利用 Novy^[25] 的贸易分解思想和双边贸易方程 (2) 式, 仍以锆矿石视角, 进一步探讨贸易成本变动在多大程度上影响了我国战略性矿产资源的历史进口。通过对 (2) 式进行对数变换和一阶差分, 可以得到我国矿石进口额变动的结构分解:

$$100\% = \underbrace{\frac{\Delta \ln \mu_M}{\Delta \ln X_{ij}^M}}_{(a)} + \underbrace{\frac{\Delta \ln Y_i}{\Delta \ln X_{ij}^M}}_{(b)} + \underbrace{\frac{\Delta \ln Y_j}{\Delta \ln X_{ij}^M}}_{(c)} - \underbrace{\gamma_M \frac{\Delta \ln \tau_{ij}^M}{\Delta \ln X_{ij}^M}}_{(d)} - \underbrace{\frac{\Delta \ln \sum_{k=1}^N Y_k (\tau_{kj}^M)^{-\gamma_M}}{\Delta \ln X_{ij}^M}}_{(e)} \quad (6)$$

(6) 式将矿产资源进口分解为五个方面的贡献: (a) 矿产资源行业份额增加的贡献, (b) 出口国 i 经济增长的贡献, (c) 进口国 j 经济增长的贡献, (d) 出口成本下降的贡献, (e) 进口国所面临的多边阻力下降的贡献。如果矿石进口成本在观察期内发生下降, 则贡献 (d) 为正。如果进口国与第三国的矿石进口成本下降, 进而导致进口国的多边阻力上升, 这将导致贡献 (e) 为负, 即经典的贸易转移效应。中国对各主要来源国 2004—2018 年间的锆矿石进口分解结果如下^①。

表 6 显示, 中国经济增长是中国锆矿石进口额增长的最大驱动因素, 该结论与 Baier 等^[39]、Novy^[25] 的研究结果基本一致。矿产资源行业份额的增加和来源地经济规模的增长同样对中国锆矿

① 进行贸易分解的前提是贸易流变化较为连续, 因此去掉了存在零贸易流的个别年份。

石进口起到了促进作用，来源地经济规模的增长意味着来源地国家各行业更高的产量。但锆矿石进口成本的变化对于中国锆矿石进口额的影响存在较大的国别差异性，中国从泰国进口锆矿石的数额并未受到贸易成本变化的显著影响，而中国从澳大利亚进口锆矿石则受到进口成本上升的阻碍作用。

表 6 中国对主要来源国的锆矿石进口贡献分解（2004—2018）

来源国	行业份额 增加的贡献	中国经济 增长的贡献	来源国经济 增长的贡献	进口成本 下降的贡献	多边阻力 下降的贡献	总贡献
澳大利亚	43.70%	112.87%	48.92%	-2.03%	-103.46%	100.00%
印度尼西亚	17.75%	45.84%	32.74%	45.69%	-42.02%	100.00%
泰国	36.94%	95.40%	52.30%	2.80%	-87.45%	100.00%
尼日利亚	30.22%	78.06%	42.55%	20.72%	-71.55%	100.00%
美国	17.62%	45.50%	12.14%	66.44%	-41.71%	100.00%
法国	39.62%	102.32%	14.37%	37.48%	-93.79%	100.00%

（二）战略性矿产资源跨国供应成本的未来趋势

为了观察我国的锆矿石进口成本的长期变化趋势，本文以 2011 年为分界，分别对 2003—2011 年间（图 10 虚线）和 2012—2020 年间（图 10 实线）中国从不同国家进口锆矿石的进口成本进行了分段高斯核密度估计，以观察锆矿石进口成本的中长期变动情况^①。结果整理如下：

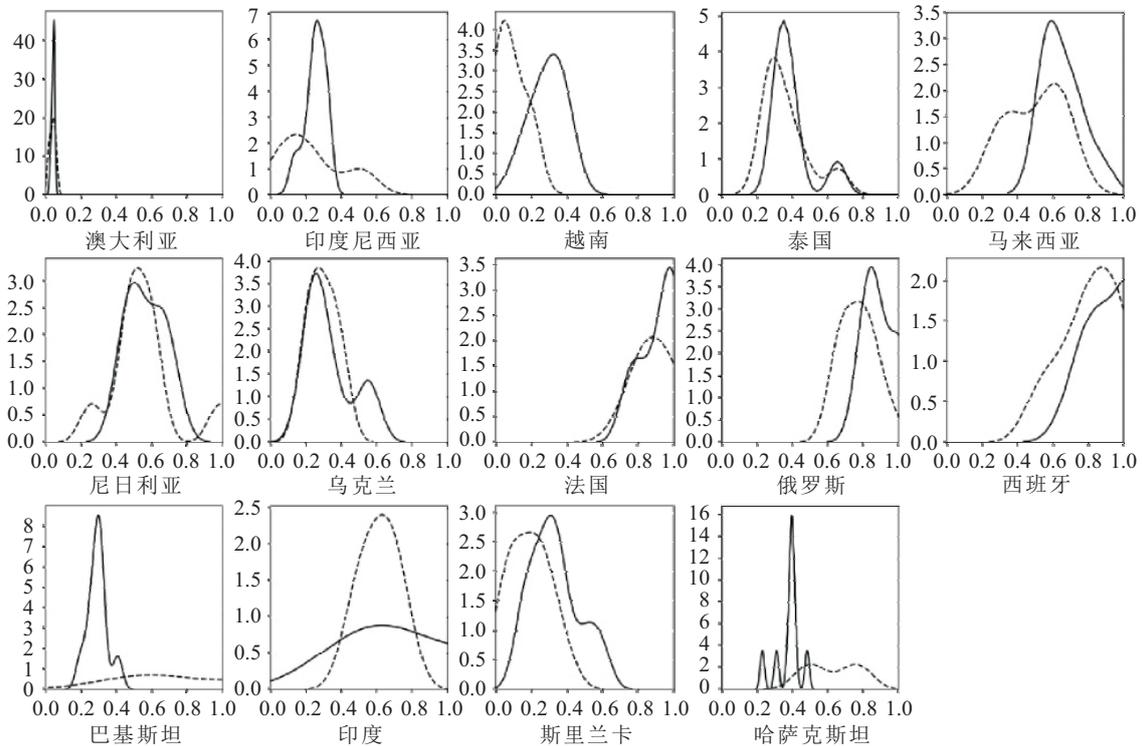


图 10 中国对不同来源国锆矿石进口成本的分段核密度估计

从图 10 可以看出，除巴基斯坦和哈萨克斯坦之外，中国对大部分产地国家的锆矿石进口成本在以 2011 年为界的两个 9 年间呈现出不同程度的上升态势。这不仅意味着我国从当前的锆矿石主

① 由于南非等国的数据缺失过多，无法对其进行分段核密度估计，因此未在图 10 中进行列示。

产地获取锆矿石的成本在未来存在进一步上升的可能, 还意味着对于大部分潜在的锆矿石替代来源地区, 同样存在锆矿石进口成本上升的风险。

六、结论与启示

基于 Chaney^[28]的分行业产品贸易模型的改进版本, 本文提出了一种矿产资源进口成本的间接测算方法, 重点对 2003—2020 年中国进口锆矿石的总成本进行了分区域测算分析, 并对比了四类战略性矿产资源供应风险的不同特征。根据 (1) 式可知, 本文得出的结果包含了全部能够改变进口行为的成本因素。整体而言, 我国从亚太地区的资源进口在当前受到的阻碍性因素较小, 这可能受益于较低的资源关税和运输成本, 以及这些地区在资源开采环节的技术优势。在此基础上, 本文还通过 Novy^[25]的贸易分解方法识别了我国战略性矿产资源进口额变化的影响因素, 并预测了我国锆矿石进口成本的未来演变趋势。本文主要发现如下:

1. 整体而言, 我国当前的锆矿石全球平均供应成本变化基本稳定。在 2003 年至 2020 年的 18 年间, 我国从全球各区域进口锆矿石的平均进口成本呈现缓慢下降的趋势, 降幅约为 11.27%。但这一过程并非单调下降, 而是在 2008 年之前持续下降, 在 2009 年后波动上升。从分区域对比结果来看, 我国从亚太地区和非洲地区进口锆矿石的成本较低, 且波动幅度较小; 对南亚和中亚地区的锆矿石进口成本则处于居中水平; 从欧美地区进口锆矿石的成本最高。

2. 从多种矿产对比结果来看, 我国对锆矿石的整体进口成本低于其他三类矿产, 且波动程度稳定; 对铬矿石的进口成本最高; 对锑矿石和钨矿石的平均进口成本居中, 但波动性较强。这印证了王东方等^[1]和 Yu 等^[2]的研究结果。但不同地区的矿产资源成本结构存在显著差异: 南非是铬矿石和锆矿石进口成本较低的来源地, 俄罗斯是锑矿石和钨矿石进口成本较低的来源地, 澳大利亚则是锆矿石和锑矿石进口成本较低的来源地。

3. 从分时段对比结果来看, 除巴基斯坦和哈萨克斯坦之外, 中国对大部分产地国家的矿石进口成本近二十年间呈现出不同程度的上升态势。这意味着我国无论是从当前主产地还是从其他产地进口矿石, 进口成本在未来都存在进一步上升的趋势。

本研究的发现和结论对我国下一阶段政策选择具有以下启示:

1. 对于当前海外供应风险较低的战略性的矿产资源种类, 应当继续维护与主产区的长期供应关系 (如作为锆矿石主要集聚地的非洲和亚太地区), 通过长期合约、资本跨境运作等方式抓住进口成本较低的平稳期, 甚至可以适当增加从主产区的资源进口, 形成额外储备, 以备未来由各类系统性风险引发的全球战略性矿产资源进口成本波动。

2. 为应对矿产资源进口成本在未来的上升风险, 应当依托“一带一路”倡议和亚太地区各类经贸合作框架 (如 RCEP、CPTPP 等), 在与战略性矿产资源主产区的贸易谈判中增加关于削减矿产资源进口成本的议题, 拉动我国战略性矿产资源的进口增长。在双边或多边谈判中, 还应注重对该区域不同种类矿产进口成本的结构性的差别, 优先解决与这一区域进口成本较高的战略性矿产资源种类的跨国供应问题。

3. 应同时注重开发主要来源地区之外的矿石供应地区, 逐步形成战略性矿产资源的多元化全球供应, 进而削弱集中性风险事件对矿石进口总额的负面影响。以锆矿石为例, 虽然东南亚、南亚和中亚地区目前并非我国的锆矿石主要进口来源地, 但这些地区与我国地缘位置接近, 且进口成本整体居中, 可以作为锆矿石进口的替代性来源地区。

4. 当系统性风险发生时, 战略性矿产的整个海外供应体系可能受到严重影响, 应继续重视进口依存度较高的战略性矿产资源的国内勘探和海外潜在矿源地寻找。在后疫情时代, “逆全球化”

浪潮所引发的各类冲突性事件此起彼伏,只有形成战略性矿产资源的多层次储备,才能保障经济持续高质量发展,在变局中稳步前行。

参考文献

- [1] 王东方,王婉君,陈伟强.中国战略性金属矿产供应安全程度评价[J].资源与产业,2019(3).
- [2] Yu,S. W.,H. R. Duan,J. H. Cheng. An evaluation of the supply risk for China's strategic metallic mineral resources[J]. *Resources Policy*,2021,70.
- [3] 王昶,宋慧玲.中国优势金属供应全球需求的风险评估[J].自然资源学报,2018(7).
- [4] 王昶,孙晶,左绿水,等.新能源汽车关键原材料全球供应风险评估[J].中国科技论坛,2018,(4).
- [5] 葛建平,刘佳琦.关键矿产战略国际比较:历史演进与工具选择[J].资源科学,2020(8).
- [6] Erdmann,L.,T. E. Graedel. Criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses[J]. *Environmental Science and Technology*,2011(18).
- [7] Graedel,T. E.,R. Barr,C. Chandler. Methodology of metal criticality determination[J]. *Environmental Science and Technology*,2012(2).
- [8] 周娜,吴巧生,薛双娇.新时代战略性矿产资源安全评价指标体系构建与实证[J].中国人口·资源与环境,2020(12).
- [9] 张艳飞,陈其慎,于汶加,等.中国矿产资源重要性二维评价体系构建[J].资源科学,2015(5).
- [10] Achzet,B.,C. Helbig. How to evaluate raw material supply risks—An overview[J]. *Resources Policy*,2013(4).
- [11] Helbig,C.,M. Bruckler,A. Thorenz,et al. An overview of indicator choice and normalization in raw material supply risk assessments[J]. *Resources*,2021(8).
- [12] 景普秋.基于矿产开发特殊性的收益分配机制研究[J].中国工业经济,2010(9).
- [13] 郭晓茜,李建武.国外研究机构关键矿产评价方法综述[J].中国矿业,2017(9).
- [14] 李鹏飞,杨丹辉,渠慎宁,等.稀有矿产资源的战略性评估——基于战略性新兴产业发展的视角[J].中国工业经济,2014(7).
- [15] 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).
- [16] 李颖,陈其慎,柳群义,等.中国海外矿产资源供应安全评价与形势分析[J].资源科学,2015(5).
- [17] 郭娟,闫卫东,徐曙光,等.中国关键矿产评价标准和清单的探讨[J].地球学报,2021(2).
- [18] 毛佳,李鹏远,周平.中国主要贵金属资源利用及关键性评估[J].工业技术经济,2017(11).
- [19] 欧强,马哲,李天骄.中国小金属海外供应安全评价[J].中国矿业,2019(8).
- [20] 刘艳飞,颜玲亚,柳群义,等.我国重要非金属矿产评价研究及重点勘查建议[J].中国矿业,2019(10).
- [21] Zhou,Y. J.,J. W. Li,G. S. Wang,et al. Assessing the short-to medium-term supply risks of clean energy minerals for China[J]. *Journal of Cleaner Production*,2019,215.
- [22] 黄健柏,孙芳,宋益.清洁能源技术关键金属供应风险评估[J].资源科学,2020(8).
- [23] Anderson,J. E.,E. Van Wincoop. Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle[J]. *The American Economic Review*,2003(1).
- [24] Novy,D. *Is the Iceberg Melting Less Quickly? International Trade Costs after World War II* [R]. Warwick Economic Research Papers, No. 764, 2006.
- [25] Novy,D. Gravity redux: Measuring international trade costs with panel data[J]. *Economic Inquiry*,2013(1).
- [26] 钱学锋,梁琦.测度中国与G-7的双边贸易成本——一个改进引力模型方法的应用[J].数量经济技术经济研究,2008(2).
- [27] 姚树洁,冯根福,王攀,等.中国是否挤占了成员国的对外投资?[J].经济研究,2014(11).
- [28] Chaney,T. Distorted gravity: The intensive and extensive margins of international trade[J]. *American Eco-*

- conomic Review*, 2008(4).
- [29] Krugman, P. R. Increasing returns, monopolistic competition, and international trade[J]. *Journal of International Economics*, 1979(4).
- [30] Eaton, J. , S. Kortum. Technology, geography and trade[J]. *Econometrica*, 2002(5).
- [31] Melitz, M. J. The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity[J]. *Econometrica*, 2003(6).
- [32] Melitz, M. J. , G. I. P. Ottaviano. Market size, trade, and productivity[J]. *The Review of Economic Studies*, 2008(1).
- [33] Mayer, T. , M. J. Melitz, G. I. P. Ottaviano. Market size, competition, and the product mix of exporters[J]. *The American Economic Review*, 2014(2).
- [34] Helpman, E. , M. J. Melitz, S. R. Yeaple. Export versus FDI with heterogeneous firms[J]. *American Economic Review*, 2004(1).
- [35] Wei, S. J. *Intra-National versus International Trade: How Stubborn are Nations in Global Integration?* [R]. NBER Working Paper No. 5531, 1996.
- [36] Anderson, J. E. , E. Van Wincoop. Trade costs[J]. *Journal of Economic Literature*, 2004(3).
- [37] Head, K. , J. Ries. Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of U. S. -Canada trade[J]. *The American Economic Review*, 2001(4).
- [38] Coughlin, C. C. , D. Novy. Estimating border effects: The impact of spatial aggregation[J]. *International Economic Review*, 2021(4).
- [39] Baier, S. L. , J. H. Bergstrand. The growth of world trade: Tariffs, transport costs, and income similarity[J]. *Journal of International Economics*, 2001(1).

Overseas Supply Risk Analysis of China's Strategic Mineral Based on Indirect Import Costs

— A Case Study of Zirconium

WANG Jue, FENG Zong-xian

Abstract: Through the improvement of the Chaney heterogeneous firm trade model, this paper proposes an indirect calculation method for the import cost of mineral resources. We calculate the total import barriers of zirconium ore in China from 2003 to 2020 by region, and compare the different characteristics of supply risks of it and other types of strategic mineral resources. The research finds that: (1) The average import cost of zirconium ore in China was basically stable from 2003 to 2020, showing strong regional heterogeneity. China's import cost of it from Asia-Pacific and African regions is relatively low. (2) The average import cost of zirconium ore in China is lower than that of chromium, antimony and tungsten. (3) China's economic growth, the increase in the share of the mineral resources industry, and the economic growth of the source region have all played a role in promoting the growth of China's zirconium ore imports. The effect of changes in the import cost on strategic minerals global supply needs to be improved. The research result is helpful to further understand the global supply risk of China's strategic mineral resources, offering reference for China's future regional cooperation policy options.

Key words: strategic minerals; trade barriers; heterogeneous firm gravity model; indirect calculation method

(责任编辑 孙 洁)