

# 基于可持续发展视角我国稀土资源贸易安全 评价研究

赵桂梅, 耿涌, 魏文栋

**摘要:** 稀土是支撑高端技术创新和新兴产业发展的关键矿产资源, 已经成为大国资源竞争和国际地缘经济政治博弈的重要对象。全球稀土供应链重构进程加剧, 如何评估我国稀土资源贸易安全, 破解稀土贸易贫困化增长困境, 促进稀土产业可持续发展, 是当前亟须关注和解决的重要课题。本研究基于“压力—状态—响应”模型 (Pressure-State-Response Model) 构建稀土贸易安全评价指标体系, 测算不同时期我国稀土资源的压力指数、状态指数、响应指数, 揭示我国稀土贸易安全指数演变特征, 进一步建立多元线性回归模型, 识别我国稀土贸易安全的影响因素。研究发现: 我国稀土资源贸易安全指数在持续下降, 亟需优化贸易结构, 降低供应链风险; 我国稀土资源贸易的驱动因素主要来源于市场需求牵引、资源禀赋优势以及产业有序供给; 全球稀土产业分工格局、资源价值核算方法缺失, 限制了我国稀土资源贸易可持续发展。在此基础上, 提出通过健全稀土资源收储体系、建设再生稀土研发和回收网络等方式, 保障战略性稀土资源供给安全; 同时, 整合稀土行业优势资源与优化稀土产业链及供应链, 深度参与全球稀土供应链治理, 为我国稀土资源开发利用与可持续发展提供决策依据。

**关键词:** 稀土资源; 贸易安全; 评价指标; 多元回归模型; 可持续发展

**中图分类号:** F752.654.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2024)02-0093-13

## 一、引言

可持续发展理论的目标是使经济与社会发展形成良性循环。矿产资源的可持续发展是指如何有效管控矿产品的开发及利用, 实现矿产资源的可持续利用, 以确保国民经济稳定发展<sup>[1]</sup>。稀土为含有 17 种稀土元素的轻稀土和重稀土, 是改造传统产业和发展新兴产业的关键基础材料, 在现代工业中扮演着不可或缺的重要角色<sup>[2][3]</sup>。在新一轮技术变革和产业升级中, 稀土受到全球各国广泛关注, 被美国、日本、欧盟等发达国家经济体列入《关键矿产资源目录》, 其战略和经济价值日益凸显。根据美国地质调查局统计, 截至 2020 年, 全球稀土矿石储量为 1.2 亿吨, 其中中国储量达 4 400 万吨, 占比 36.67%; 越南紧随其后, 其储量达 2 200 万吨, 占比 18.33%; 而巴西的稀

**基金项目:** 国家科技重点研发计划项目“资源循环利用过程精准管理支撑技术与应用示范”(2019YFC1908501); 教育部规划基金项目“高质量发展下我国资源枯竭型城市绿色转型的实现机制研究”(23YJA790106); 江苏省社科应用研究精品工程重点资助项目“江苏能源安全预警及应急响应机制研究”(23SYA-006)

**作者简介:** 赵桂梅, 江苏大学财经学院 (江苏镇江 212013); 耿涌 (通讯作者), 上海交通大学国际与公共事务学院, ygeng@sjtu.edu.cn (上海 200240); 魏文栋, 上海交通大学环境科学与工程学院

土矿石储量为2 100万吨,占比17.5%<sup>[4]</sup>。稀土产业既促进了我国的工业发展,也为世界经济发展作出了重要贡献。稀土是我国重要的战略性资源,然而由于缺乏有效的稀土行业管控政策造成稀土行业的贫困化增长,使我国大量出口稀土非但没有带来预期的经济效益,长期的过度开采还对我国稀土矿区的生态环境造成了难以修复的破坏,严重地制约了我国稀土产业的可持续发展<sup>[5]</sup>。

稀土具有丰度较低、不可再生和分布不均衡等特征。同时全球的地缘政治危机导致全球稀土供需安全与贸易关系常年处于不稳定状态<sup>[6]</sup>。当前我国稀土资源安全形势复杂严峻,国内稀土资源产业链、供应链仍面临核心技术受限和结构性短缺等问题,国际稀土资源权益受贸易保护主义影响和霸权主义遏制。自20世纪90年代以来,无论从稀土交易总量还是稀土出口量,我国都稳居世界第一的地位。随着中国高新技术产业逐渐兴起,稀土消耗量在不断增加,并且在多年高强度开采下,中国稀土资源逐渐面临供不应求的困难,由出口贸易转向进口依赖。2018年,政府对稀土资源政策作出相应调整,中国成为全球最大的稀土进口国,国内对稀土进口的需求持续上升<sup>[7]</sup>。与此同时,世界上各稀土贸易大国也都在寻求摆脱对中国的资源依赖。美国联合澳大利亚等9个国家于2019年构建了关键矿产资源联盟,意在提升对全球稀土资源的控制力,挤压中国稀土上游原材料和功能材料市场,对中国的稀土贸易带来了严峻挑战。我国稀土产业链主要处于上游原材料生产和中游冶炼分离阶段,下游终端应用技术水平相对较低,尤其是在新材料应用领域,我国与发达国家之间存在较大的差距<sup>[8]</sup>。此外,技术上还面临着被其他国家限制发展的风险。中国稀土贸易对国家安全和社会经济发展起着重要作用,在新的国际发展格局和安全环境下,科学评估中国稀土资源贸易安全形势,对稀土行业可持续发展及提升稀土供应链韧性具有重要意义。

## 二、研究综述

稀土作为国家战略性关键金属矿产资源,一直以来在贸易研究领域中占有重要地位。近年来,有关稀土贸易的研究主要集中在政策调整<sup>[9]</sup>、出口价格<sup>[10]</sup>、供需关系<sup>[11]</sup>和贸易网络<sup>[12]</sup>等方面。关于贸易安全概念归纳为两种观点。一种主张贸易安全指一个国家在面对对外贸易中可能会遇到的困难以及面临风险时所拥有的抗风险能力<sup>[13]</sup>。面对国内外不确定性的威胁,仍然能够在参与国际竞争的过程中把握市场,有能力提高人民生活水平,促进经济发展,以及提升国际政治经济地位。另一种主张贸易安全是指一个国家的对外贸易能够促进经济发展及适应国际经济波动,同时应对国内外不利因素,并保持国际贸易的稳定发展。为了实现这一目标,需要建立合理的贸易体系,确保有效的市场运作监管和保持强大的国际市场竞争力<sup>[14]</sup>。基于中国稀土资源以出口贸易为主的特征,本文将中国稀土贸易安全界定为:在自由贸易的条件下,发挥中国稀土竞争优势,积极、高效地参与国际市场,形成较强的国际竞争力并获取应得贸易效益。

在国内,目前只有少数学者关注我国稀土资源的安全态势,研究发现我国稀土资源总体安全水平较差,其中稀土资源安全状态指数对资源安全综合指数影响最大<sup>[15]</sup>。也有学者研究了中国稀土供给安全政策体系的组成、演变特征与政策组合动态变化,提出进一步从扩展海外矿权、优化布局技术研发等方面提高稀土供给安全能力<sup>[16]</sup>。但总体而言,该领域的研究成果仍十分稀少。国际上对于稀土贸易安全的研究将稀土作为一种资源开展研究,注重研发稀土产品的相关用途<sup>[17]</sup>。稀土政策以及世界稀土市场供给变化风险的相关研究表明,中国的稀土贸易缺乏产品定价权,缺少技术积累,缺乏产业指导<sup>[18]</sup>。从已有研究文献来看,我国凭借自身稀土资源优势,稀土储量及出口量占有较大比重,在全球稀土贸易中占据着重要地位<sup>[19]</sup>。文献研究表明中国在稀土贸易安全上受到贸易竞争力以及价格贸易条件等诸多因素影响<sup>[20]</sup>。除了研究市场因素外,还有学者对资源安全、产业安全和生态安全等多个维度进行分析,结果表明资源过度开发、生态环境破坏以及稀

土价格与价值偏离,这些因素都对我国稀土贸易安全构成重要威胁<sup>[21][22]</sup>。也有学者从资源储备的视角对中国稀土产业安全进行分析,发现当前的中国储备制度对稀土产业安全影响较大<sup>[23]</sup>;部分学者基于“压力—状态—响应”(Pressure-State-Response, PSR)模型评价了中国稀土资源安全状况,发现中国的稀土资源处于不安全状态<sup>[24]</sup>。这些学者对资源贸易安全研究主要是针对某个侧面,尚缺少对稀土资源贸易安全的综合评价和实证分析。

由于研究立场的差异,国外学者侧重对稀土供应安全的研究,国内学者主要从稀土资源安全、产业安全和矿山生态安全展开,丰富了稀土贸易安全的研究框架。然而,目前的研究有待进一步深化。从稀土贸易的研究来看,围绕贸易网络、贸易竞争力和贸易政策的研究较多,对稀土贸易自由化、贸易成本和贸易潜力的研究较少;从稀土安全的研究来看,对供应安全、资源安全和产业安全研究较多,对贸易安全的研究缺乏,较少从稀土产业可持续发展的视角展开研究。基于此,本研究主要创新点包括:(1)通过相关文献研究和理论分析,对中国稀土贸易安全的内涵进行界定,基于传统的贸易安全影响因素,综合考虑贸易潜力、贸易成本和贸易自由化对稀土贸易安全的影响;(2)基于可持续发展理论,构建中国稀土贸易安全评价指标体系,计算中国稀土资源在不同时期的压力指数、状态指数、响应指数,评估中国稀土贸易安全水平,通过分析中国稀土贸易安全指数的动态演化趋势,进一步阐释中国稀土贸易安全的形成机制;(3)考虑国民经济与社会发展、稀土产业发展、市场需求、企业竞争力、对外开放度等因素对稀土贸易安全的影响并开展综合性分析,通过建立多元线性回归模型,厘清各因素对中国稀土贸易安全的影响机制,并提出保障中国稀土贸易安全的针对性政策建议,确保提升中国稀土供应链的全球竞争优势。

### 三、研究方法 with 数据来源

#### (一) PSR 模型构建

PSR模型是一种用于评估生态环境保护、自然资源利用和可持续发展的框架体系,被国际经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)广泛应用<sup>[25]</sup>。稀土贸易安全评价是一个相对复杂的过程,需要从多个维度来测度稀土贸易安全水平。稀土对外贸易集中度、稀土贸易对外依存度等给稀土贸易安全水平造成压力,这些压力导致了稀土贸易状况发生变化,从而需要分析稀土贸易状态,识别良性或恶性影响及演变趋势,推动相关部门和组织对此做出政策响应以及采取政治、经济、技术措施,促进稀土贸易的良性发展。本文引入PSR模型中的压力、状态及响应指标,构建稀土资源贸易安全评价的指标体系,以揭示中国稀土资源贸易安全面临的突出问题以及潜在的供应风险。

1. 压力指标。目前,中国航空航天、新材料、新能源等高新产业正在蓬勃发展,这直接导致了我国稀土产品需求快速增长。然而中国稀土产品生产行业仍然处于调整优化阶段,稀土制成品供给不足,直接导致了稀土资源供需矛盾加剧。为了解决这一问题,参考了相关学者的理论思想<sup>[26][27][28]</sup>,选取以下评价指标。

(1) 稀土资源进口集中度。稀土资源进口集中度指标(Concentration Ratio Index, CR)是对稀土进口来源集中程度的测量指标,该指标反映了稀土资源市场的垄断程度和进口的安全性,其计算方法为:

$$CR_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^N x_i} \quad (1)$$

其中,  $CR_n$  为稀土资源进口集中度,  $x_i$  为进口量,  $n$  为主要稀土贸易国数,  $N$  为稀土贸易国总数。稀土资源进口集中度指数越低, 则中国贸易安全水平就越高; 反之, 则贸易安全水平越低, 面临的风险越大。

(2) 稀土资源对外依存度。稀土资源对外依存度指数 (Net Import Reliance Index, NIR) 是计算一个国家对于某一类或某一种矿产品对国外依赖程度的指标, 通过比较该国进口该类或该种矿产品的净进口量与该国内该类或该种矿产品的消费量之比来进行计算, 计算方法如下:

$$NIR = \frac{NI}{C} \times 100\% \quad (2)$$

其中,  $NIR$  代表矿产品对外依存度,  $NI$  代表净进口量,  $C$  代表消费量。对外依存度越高, 则越容易遭受到外部因素的威胁, 稀土资源安全水平相应降低; 对外依存度越低, 外来威胁带给稀土资源的冲击就越小, 贸易安全水平就越高。

2. 状态指标。稀土资源贸易的状态指标是一种衡量稀土资源从过去到现在的一定时间段内表现情况的指标。该指标直接反映了稀土资源开发与利用的现状, 以及资源与经济发展之间的密切关系。参考相关文献<sup>[29][30]</sup>, 选取稀土资源贸易的状态指标如下。

(1) 资源稀缺指数。稀土资源稀缺指数 (Resource Scarcity Index,  $S_R$ ) 是一国资源相对于世界资源总储量的稀缺程度, 从该指标可以判断本国资源是否存在稀缺, 并且相对国际市场是否拥有资源储量优势, 计算方法如下:

$$S_R = \frac{S_c/S_w}{P_c/P_w} \quad (3)$$

其中,  $S_c$  代表中国稀土拥有量,  $S_w$  代表全球稀土拥有量,  $P_c$  代表中国人口数量,  $P_w$  代表全球人口数量。该指标大于 1 时, 本国资源水平要优于世界平均水平, 说明本国资源稀缺水平较低; 反之, 本国资源稀缺水平较高。

(2) 贸易竞争优势指数。贸易竞争优势指数 (Trade Competitive Index,  $TC$ ) 用于测量本国某一产品在全球市场与其他国家同类商品相比是否具有竞争优势, 计算方法如下:

$$TC = \frac{X - M}{X + M} \quad (4)$$

其中,  $X$  代表本国稀土产品出口总额,  $M$  代表本国稀土产品进口总额。若该指标大于 0, 意味着本国稀土产品的生产效率超过国际水平, 出口量多于进口量, 具备贸易竞争优势; 相反, 若该指标小于等于 0, 意味着本国稀土产品的生产效率低于国际水平, 出口量少于进口量, 缺乏贸易竞争优势。

(3) 贸易条件指数。贸易条件指数 (Terms of Trade Index,  $TOT$ ) 是指出口商品价格指数与进口商品价格指数的比例, 不仅从产品层面评价稀土资源贸易安全, 进一步加入价格因素, 能够更加深入地反映出社会因素对于稀土贸易安全的影响, 计算方法为:

$$TOT = \frac{X_i}{M_i} \quad (5)$$

其中,  $X_i$  代表出口物价指数,  $M_i$  代表进口物价指数。如果本国稀土产品价格上涨的速度大于外国稀土产品价格上涨的速度, 该指标的数值将大于 1, 这将对本国稀土产品的对外贸易有利。如果情况相反, 即本国稀土产品在对外贸易方面处于不利地位, 那么应该考虑调整贸易结构。

3. 响应指标。稀土资源贸易的响应指标是当面对外部冲击时, 通过贸易政策等手段进行回应, 避免稀土贸易行业遭受不必要的冲击和损失。通过在开采形式和规模上进行源头控制, 制定全面

的出口政策并提升中国稀土产品的技术水平, 实施稀土资源开发利用和保护政策。

(1) 稀土资源开发利用政策。依据矿产资源消费结构演变的一般规律, 对压力以及状态指标最显著的响应就是稀土资源的开发利用政策<sup>[31]</sup>。国家资源政策越符合现实的资源状况和环境要求, 资源贸易就能够更加平稳发展, 稀土资源贸易安全性就越高。国家在全面评估资源禀赋及开采条件的基础上, 逐步建立矿山环境治理和生态恢复责任机制, 从而为实现高质量发展提供稳定可靠的关键原材料保障。

(2) 稀土对外贸易政策。贸易政策是指中国在对外贸易过程中为应对国际市场的变化所作出的政策性响应<sup>[32]</sup>。随着国内外社会经济情况的变化和政府以及公众对稀土资源价值认识的提高, 多个部门联合发布了旨在支持和规范稀土行业发展的政策。这些政策涵盖了稀土行业发展规划、稀土技术发展路线等多个方面, 旨在更好地维护国家资源安全, 保障公众利益。

## (二) 模型设定

矿产可持续发展内涵是“一种最终对人类和自然的发展作出有益贡献, 同时不过度开采自然资源, 或对自然造成不可修复性破坏的自然与社会之间的一种动态平衡状态”<sup>[33]</sup>。从整个社会角度出发, 结合产业特点及发展规律, 参考现有稀土产业可持续发展研究成果, 重点研究以下影响因素对稀土产业发展的影响: 国民经济与社会发展计划、稀土产业发展水平、市场需求因素、企业竞争力、对外开放度的研究变量<sup>[34][35][36]</sup>。为了避免多重共线性, 确保各项系数对回归系数的可解释性保持一致, 对稀土资源出口额、稀土资源消耗量及稀土资源产量取对数, 建立以下多元线性回归模型:

$$\ln REE_{it} = \alpha_1 PER + \alpha_2 \ln CONS + \alpha_3 \ln OUTP + \alpha_4 TOT + \alpha_5 OPEN + c \quad (6)$$

其中, 稀土资源出口贸易额 ( $REE$ ) 作为被解释变量。人均资源量是制定国民经济与社会发展计划的重要依据, 选取中国稀土资源人均拥有量 ( $PER$ ) 进行解释。稀土资源消耗量是衡量需求因素的重要指标, 选取稀土资源消耗量 ( $CONS$ ) 作为解释变量。衡量稀土资源贸易安全水平也需要对中国稀土产量数据进行分析, 选择稀土资源产量 ( $OUTP$ ) 作为衡量稀土产业发展水平的解释变量。选取贸易条件指数 ( $TOT$ ) 作为变量衡量企业竞争力, 政府对稀土行业的支持水平越高, 则中国稀土贸易安全条件就越好。衡量中国稀土资源贸易安全水平的重要指标是对外开放度, 由此政府因素的解释变量选取对外贸易开放度 ( $OPEN$ )。

## (三) 数据来源

考虑数据可获得性、准确性以及可操作性原则, 根据中国稀土行业协会、中华人民共和国工业和信息化部稀土分类标准, 选取2006—2020年的样本数据, 数据来源于联合国商品贸易统计 (UN Comtrade) 数据库、美国地质调查局 (United States Geological Survey) 数据库、世界银行数据库 (World Bank Open Data)、中国稀土学会年鉴、中国工业和信息化部数据、中国国家统计局年鉴、中国社会统计年鉴等。政策文本取自相关网站以及书籍, 包括工业和信息化部网站、中国稀土网站、稀土行业协会网站, 还包括公开出版物《中国稀土产业经济分析与政策研究》《中国稀土战略开发及出口产业规划政策研究》。为研究我国稀土产业政策的政治、经济、技术内涵, 将政策按照具体内容进行分类, 分为资源勘查、矿山开采、稀土市场、国际贸易壁垒、稀土技术培育以及环境保护与可持续发展六类。考虑到研究对象和产品属性, 有关价格指数采用中国工业品出厂价格指数, 包含日元和美元兑换人民币汇率, 这些数据均来自《中经网》数据库。国家统计局发布的工业生产者价格指数包括工业生产者出厂价格指数和工业生产者购进价格指数。为消除指标比较和评价的单位影响, 对多变量数据进行无量纲化的数据标准化, 使不同单位或者量级的变量能够进行比较、累加和汇总运算, 进一步提升模型的精度。

## 四、结果分析

### （一）我国稀土贸易安全评估结果分析

1. 压力指数评价结果。进口集中度与对外依存度评价结果，揭示了2006—2020年间中国稀土资源贸易安全压力指数演变特征，如图1所示。研究发现，中国稀土贸易集中度近年来一直处于较高阶段，并且存在波动。从2006—2020年期间，稀土进口集中度一直保持在超过60%的高水平，呈现出高度集中的特征。在这种情况下，一旦全球贸易格局发生动荡，中国的稀土贸易将面临严峻的冲击。同时，对外贸易依存度的持续升高预示着中国稀土资源对外贸易安全度在不断下降，主要原因是中国近年来高新技术产业快速发展，对于稀土半成品及制成品的需求量迅速增加，而中国稀土产品主要居于产业链前端、附加值低且高性能功能材料和应用器件规模较小，部分关键核心技术及装备仍依赖进口，关键功能材料保障能力不足，因此需要大量进口国外高端稀土产品，导致中国稀土贸易对外依存度持续上升，甚至达到80%以上。

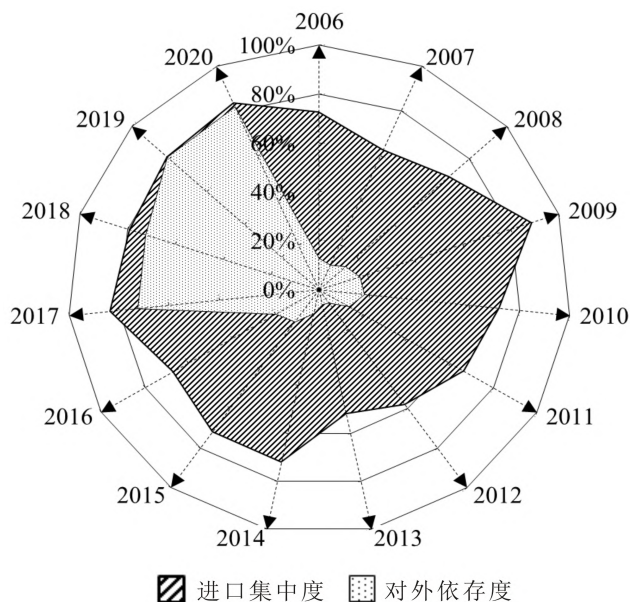


图1 压力指数的动态演变结果

2. 状态指数评价结果。图2展示了资源稀缺指数、贸易竞争优势指数与贸易条件指数评价结果，梳理了2006—2020年间中国稀土资源贸易安全状态指数演变特征。研究期间中国稀土资源稀缺指数一直大于1.5。中国虽然人口众多，但稀土资源储量较为丰富，相对于世界平均水平来说，稀土资源稀缺水平很低，这为中国稀土贸易安全提供了强有力的保障。研究结果显示中国稀土贸易竞争优势指数呈现出逐渐改善的趋势。2006—2020年期间，中国稀土贸易总额处于波动中，但是贸易竞争优势指数持续上升。进一步发现，除2016年受到供给侧改革影响以外，中国贸易条件指数在其他年份一直处于0.6以下。但是由于没有定价权，稀土产业低价多销的发展路径导致中国稀土资源日益匮乏，相关出口收益下降，甚至陷入贫困化增长的困境。而这样的贸易结构很容易受到冲击，也极为不稳定。因此急需对本国稀土产业进行调整，提高产品附加值并增加高端产品出口比例，以提高中国稀土资源贸易的安全性。

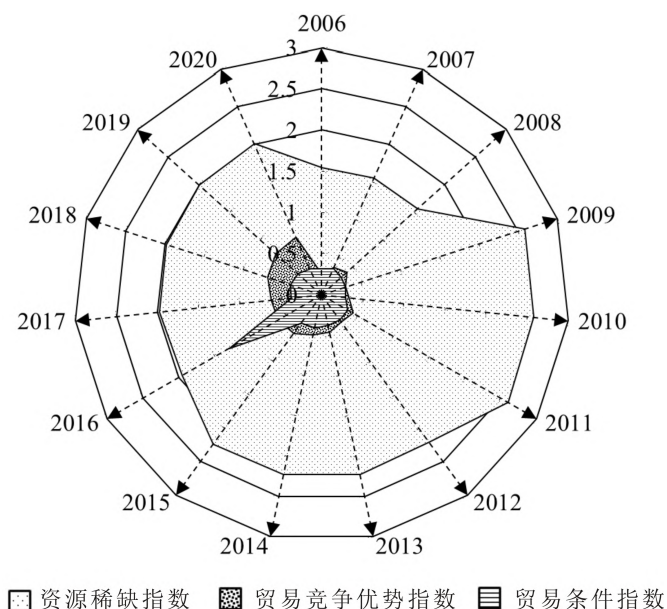


图2 状态指数的动态演变结果

3. 政策响应评价结果。图3展示了中国稀土资源开发利用政策与稀土对外贸易政策评价结果, 刻画了2006—2020年间中国稀土资源贸易安全响应指数演变历程。基于稀土产业可持续发展原则, 我们建议从稀土开采、生产以及贸易多个维度推动中国稀土行业的平稳发展。首先, 对稀土开采行业实施更加严格及注重环境保护的开采政策, 并且对各种不合法不合规的开采企业进行严厉打击。从2007年开始我国实行稀土生产指令性规划, 开展稀土开采及生产的专项治理行动。为防止稀土行业继续污染生态环境, 2010年国家出台《稀土工业污染物排放标准》, 对稀土企业水污染物和大气污染物排放限值、检测和监控提出了具体要求。2020年开始施行的《中华人民共和国资源税法》明确规定轻稀土选矿税率为7%~12%, 中重稀土选矿税率为20%, 仍然远低于发达国家征收的资源税税率<sup>[37]</sup>。为此建议进一步严格控制稀土资源开采及提高稀土资源税率, 在遵守世界贸易组织规则的同时管控稀土资源出口, 促进国内稀土资源产业的可持续发展。其次, 面对国内稀土储量大幅下降、稀土高端利用技术比较滞后、稀土国际贸易定价权缺失等问题, 推动大企业集团战略的实施, 集中力量提高稀土行业创新发展水平, 优化调整中国稀土产品生产结构, 增加稀土出口产品附加值。2014年, 财政部出台《国家物联网发展及稀土产业补助资金管理办法》, 提出将加大资金支持物联网和稀土产业发展, 相关项目补助额度最高可达项目总投资的30%和40%。2021年, 国务院出台了《国民经济和社会发展“十四五”规划和2035年远景目标纲要》, 提出要推进新能源汽车、绿色环保等战略性新兴产业, 加快关键核心技术创新应用, 增强要素保障能力, 培育壮大产业发展新动能。该政策将进一步推动稀土行业高质量发展。此外, 为了提升中国稀土行业在全球市场的影响力, 国家鼓励稀土企业积极参与国际贸易, 开展国际技术交流与合作。中国于2012年创办国家级稀土行业协会, 旨在推动企业间的技术交流和合作, 解决国际贸易摩擦和纠纷, 并推动稀土行业的创新发展。2016年, 国家颁布了《稀土行业发展规划(2016—2020)》, 细化了助推稀土产业发展的财税配套政策, 以推动稀土产业整体迈入中高端领域。2018年, 国家发展和改革委员会、工业和信息化部等有关部门陆续制定和出台了一系列稀土产业促进政策和措施, 在资源领域取消了稀土冶炼分离外商合资、合作的限制。另外, “一带一路”沿线国家稀土资源丰富, 主要分布在中国、越南、缅甸、俄罗斯和印度等国。这些国家稀土储量超过全球总储量70%

(USGS, 2020)。“一带一路”倡议的深入推进为优化稀土贸易格局提供了契机。总体而言，国家制定和颁布一系列的规章制度，如开采配给制度、资源保护制度、矿业国际合作等取得了明显的效果，不仅降低了我国稀土资源的消耗速度，而且确保我国稀土产业融入全球稀土产业链。

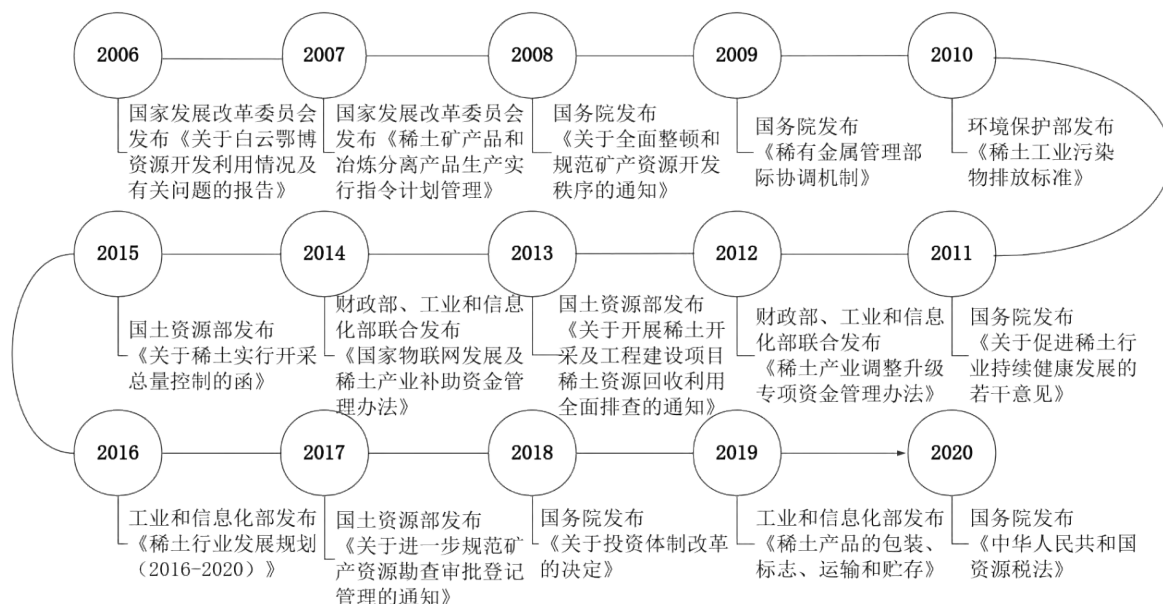


图3 稀土政策响应的动态演变结果

(二) 我国稀土贸易安全影响因素分析

1. 相关系数矩阵分析。相关系数矩阵分析主要用于探究模型变量之间的关联程度。利用机器学习工具，建立以稀土资源出口贸易额为因变量与其他影响因子的相关系数矩阵，绘制影响因子相关系数矩阵的热力图，对模型中各变量之间的相关性计算分析，结果如图4所示。从变量之间的相关性开展分析，并揭示它们之间存在关联性。进一步使用方差膨胀因子（VIF）来检验各自变量

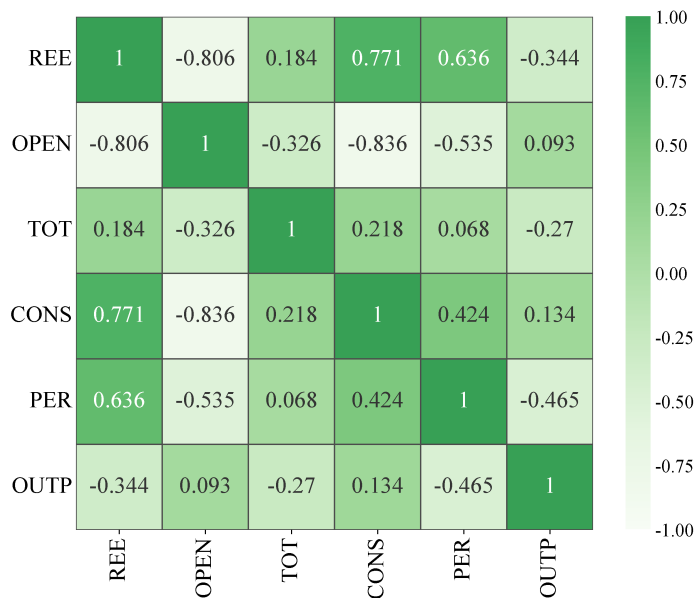


图4 相关系数矩阵分析结果

之间的多重共线性，从而避免多重共线性可能会对研究结果造成的干扰，从而得出更加准确的研究结论。

2. 多元回归矩阵分析。各自变量VIF的检验结果显示，它们的取值范围在1.32~4.26，都小于10。并且，各自变量的1/VIF值小于1。由此可以进行影响因子的多元回归矩阵计算分析，如图5所示。 $R^2$ 值为0.841，多元回归模型解释能力强，且拟合优势度较高。

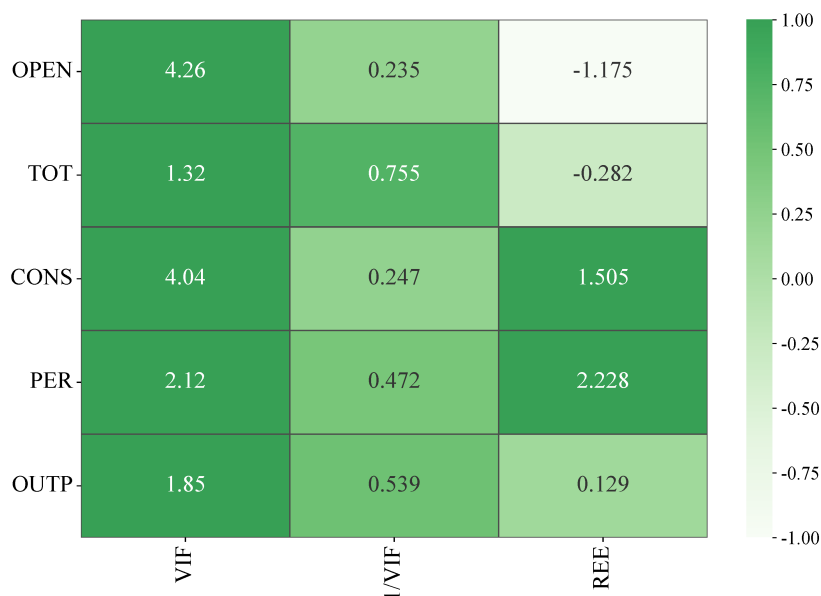


图5 多元回归矩阵分析结果

(1) 贸易开放度 (*OPEN*) 与稀土贸易出口额之间存在1%水平下显著性负相关关系。中国贸易开放度每增加一个单位，稀土出口贸易额就会减少1.175个单位。主要工业国家纷纷将稀土产业安全提升为国家战略，试图减少对中国稀土进口依赖。通过稀土产业链全球布局，强化对稀土上游资源的战略整合和下游技术应用控制，实现从直接投资稀土资源到限制下游技术的围追堵截。2020年，中国的稀土配额产量占据了全球供应总量的58%，已经显著低于2017年的80%占比。接下来需要着力解决具有现实意义和深远影响的稀土生产关键环节和薄弱环节，提升我国稀土产业链在全球产业链和价值链中的地位。

(2) 贸易条件指数 (*TOT*) 与稀土贸易出口额之间呈现5%水平下显著性负相关关系，即中国稀土贸易条件指数每增加一个单位，中国稀土出口贸易额将相应地减少0.282个单位。这是由于中国稀土出口产品主要是以稀土金属、氧化稀土、稀土化合物等低附加值初级产品为主，贸易结构方面仍有待改善。我国稀土资源的价值评估未充分考虑人工成本、环境成本、代际成本以及采矿业税费等成本，这是导致我国稀土国际定价能力不足的重要原因，也是影响出口贸易的重要原因。

(3) 稀土资源消耗量 (*CONS*) 与稀土贸易出口额之间呈现1%水平下显著性正相关关系，即每增加一个单位的中国稀土资源消耗量，则稀土出口贸易额也会对应增加1.505个单位。稀土资源市场需求牵引会在很大程度上影响中国稀土资源开采，进而推动稀土资源的进出口贸易，从而间接增加中国稀土出口额。稀土是实现碳中和目标所必需的关键材料，尤其在制氢储氢、环境催化、永磁电机、电动车和风力发电机等领域对稀土资源的需求不断增加。

(4) 稀土资源人均拥有量 (*PER*) 与稀土资源出口量呈现5%水平下显著性正相关关系，即中

国稀土资源人均拥有量每增加一个单位,则稀土出口贸易额将增加2.228个单位。人均资源储量越高,一定程度上代表中国稀土资源安全系数较高,中国稀土资源储量的增加可以间接反映出中国稀土资源的安全性和丰裕程度。储量越丰富,中国的稀土对外贸易潜力就越大,从而有助于提升稀土资源的出口贸易量,进而对贸易额产生积极的影响。

(5) 中国稀土产量是影响稀土进出口的一个关键因素,稀土产量(*OUTP*)与稀土贸易出口额呈现1%水平下显著性正相关关系。中国稀土产量每增加1单位,则稀土出口额相应增加0.129个单位。中国稀土资源需求持续增加,虽然生产量增长,但是对贸易量的影响却是有限的,主要是因为这些产品被用于满足在新能源、新材料、电子信息、航空航天等领域的国内消费需求。

## 五、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

本研究计算我国稀土资源不同时期的压力指数、状态指数和响应指数,采用PSR模型建立了稀土贸易安全评价指标体系,对2006—2020年我国稀土资源贸易安全状况进行了量化评估。同时,本研究还刻画了中国稀土贸易安全指数的演变特征,并通过构建多元线性回归模型,进一步识别中国稀土贸易安全的关键影响因素。研究发现,我国稀土资源贸易安全度在持续下降,亟需优化贸易结构,降低供应链风险。我国稀土资源的进口贸易集中度超过60%,贸易集中度显著提高,贸易伙伴的多元化总体上有所下降,稀土贸易集中在主要贸易关系中。中国稀土贸易量及资源消费量都在逐年上升,稀土生产、消费结构及价格持续变化,价格形成机制逐步向竞争性定价演变。中国稀土储量较为丰富,稀土资源稀缺指数超过1.5,由此可知,相比其他矿产资源而言,中国稀土资源仍然具有比较优势。中国稀土资源贸易的驱动因素主要来源于市场需求牵引、资源禀赋优势以及产业有序供给。然而全球稀土产业分工格局、资源价值核算方法缺失限制了中国稀土资源贸易的可持续发展。

### (二) 政策建议

本研究综合考虑中国发展实际,提出以下促进中国稀土资源开发利用与可持续发展的政策建议,以保障稀土产业链的安全稳定。

1. 健全稀土资源收储体系,保障战略性稀土资源供给安全。客观了解中国稀土产业发展状况,加快健全稀土资源收储体系,实现稀土资源区和稀土产品战略储备的有机结合。通过建立国家储备和商业储备并举的稀土资源储备体系,在稀土市场价格快速下跌时及时启动稀土资源收储机制。将稀土元素根据资源稀缺程度及功能开发情况划分为战略性、关键性及一般性三类,实行元素分类管理,实现元素价值和经济利益相匹配,确保关键性稀土产品战略储备<sup>[38]</sup>。同时,采取多种储备方式进行联合收储,除实物储备外,还应适当增加战略储备,考虑稀土矿产地储备、生产能力储备、国内外稀土矿企业的股权储备、期权储备等多种方式。加强稀土战略资源储备地的评估划定,对南方离子型重稀土实行高度储备,对部分矿区实行封存;对北方相对储量大、价值低的轻稀土,以商业储备为主<sup>[39]</sup>。进一步构建覆盖“稀土矿生产—金属冶炼—材料加工—装备制造—循环利用”全链条的储备体系,全面提升我国战略性稀土资源对经济社会发展的保障能力。

2. 优化稀土全产业链,促进高附加值稀土产品开发。通过优化稀土资源采选冶炼及稀土产品初加工的上游产业链,完善产业链上下游连接的永磁、催化、储氢、抛光、发光、合金等生产线,提升稀土全产业链的现代化水平,提高稀土产品的附加值,发挥稀土材料在未来数字经济发展的支撑作用。推动稀土产业链向下游拓展,促进稀土在新能源汽车、永磁电机、风力发电、节能家电等深加工及应用产业一体化发展,完善满足终端需求的原料供给体系,实现产业链上下游协同

发展。进一步设置航空航天、轨道交通、海洋工程、工业机器人、高档数控机床、节能环保、医疗器械等终端应用需求为导向的科技重点研发计划,开发具有自主知识产权的稀土功能元器件和零部件,积极拓展稀土产品的高端应用和稀土全产业链优化升级。此外,加快稀土贸易便利化建设,规范中国与日本、美国、韩国和德国等稀土贸易协定<sup>[40]</sup>,进一步拓宽稀土高端市场的准入,鼓励稀土下游产业对美日的高附加值产品进行研发替代,同时注重知识产权保护,增加稀土下游产业科研成果转化与贸易效益。

3. 整合稀土行业优势资源,提高稀土企业的国际竞争力。组建稀土行业龙头优势企业,快速提升产业集中度,解决制约我国稀土企业高质量发展的难题,如稀土产业链结构失衡、稀土深加工发展严重滞后、新技术新产品应用推广等,进而提升我国稀土行业整体竞争力。优化稀土贸易国际市场布局,拓宽非洲、欧美等稀土资源丰富和高技术水平的国际市场,降低稀土市场集中度,分散贸易风险。同时,积极融入“一带一路”建设新格局,促进产业链、资金链和创新链的深度融合,引导重点稀土产品的国际供应多元化。调整稀土产业链的地理布局,扩大境外稀土资源上游端的布局。国内稀土产业链侧重向中下游应用端倾斜,进一步加强对缅甸、马来西亚、菲律宾和泰国等国家的基础设施建设,促进与周边国家间的稀土原材料产品流通,提高稀土贸易效率。加强在稀土资源替代、废弃物回收和循环利用、生态环境治理,以及产品深加工等领域与世界各国开展多边技术合作<sup>[41]</sup>,推动中国稀土产业的高质量发展。

4. 建设再生稀土研发和回收网络,实现稀土资源高效利用。建立稀土元素、收集产品、自动拆解技术、分离和回收网络系统,加大再生稀土循环利用投入。建议对富含稀土的产品实行强制性的回收政策,并遴选有执照的专业化回收公司处理报废的各类稀土产品。同时,制定关于产品标签标准,以帮助制造商和其他机构了解产品中稀土元素的类型和数量,设定并强制执行稀土元素的强制性回收率或回收含量要求<sup>[42]</sup>。建议进一步考虑通过退税和补贴来资助开发稀土废料回收基础设施、金融平台建设以及可追溯性和信息共享标准,并评估这类政策的可行性和影响,实现稀土资源合理配置与高效利用。完善稀土回收利用体系,加强尾矿资源、伴生资源的综合利用,研发废旧稀土产品再利用成套技术<sup>[43]</sup>。建立工业衍生和代谢生态链关系,使上游企业的废弃物或副产品通过市场交易成为其他企业的原料,实现稀土资源的有效梯级利用。

本研究基于可持续发展视角下评价中国稀土贸易安全,构建中国稀土贸易安全评价模型和识别贸易安全影响因素,为后续研究提供方法学和数据基础,同时对其他矿种的贸易安全研究也具有一定的适用性和推广价值。在评价模型中,由于稀土相关数据披露较少,考虑数据可获得性,选择2006—2020年的数据开展研究,今后将进一步延长研究时限,以便获得更完整的评价结果。在数据的处理上,采用的是学者广泛使用的数据归一化方法,局限性是在模型中添加新的年份数据会影响到其中的最大值和最小值。在因素分析中,调查采样相对不够充足,未来将有针对性地结合地理邻近、文化距离、外交关系等因素,从不同视角探讨各因素对稀土贸易安全的影响效应及作用机理。此外,在整个稀土产业链中,上下游各环节的关系紧密,任何一个环节的变动都会对整个产业链格局产生重大影响,未来将从稀土全产业链出发,开展稀土产业链格局的演变研究。

#### 参考文献

- [1] 成金华,吴巧生.中国矿产资源经济研究综述[J].中国地质大学学报(社会科学版),2003(6).
- [2] 侯增谦,陈骏,翟明国.战略性关键矿产研究现状与科学前沿[J].科学通报,2020(33).
- [3] 王安建,王高尚,邓祥征,等.新时代中国战略性关键矿产资源安全与管理[J].中国科学基金,2019,33.
- [4] U.S.Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2021*[R].Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2021.

- [5] 牟小刚. 中国稀土产业出口贫困化增长研究[M]. 北京: 中国经济出版社, 2017.
- [6] 朱学红, 张宏伟, 李心媛. 中国稀土国际市场势力测度及政策有效性研究[J]. 国际贸易问题, 2018(1).
- [7] 罗翔, 李政, 赖丹. 稀土矿产品价格波动对稀土产业链延伸的影响[J]. 价格月刊, 2022(10).
- [8] 郑国栋, 王琨, 陈其慎, 等. 世界稀土产业格局变化与中国稀土产业面临的问题[J]. 地球学报, 2021(2).
- [9] 董娟, 郑明贵, 钟昌标. 中国稀土产业发展财政支持效应及其影响因素[J]. 资源科学, 2020(8).
- [10] 王媛. 资源税从价计征对稀土出口价格的影响研究[J]. 价格理论与实践, 2021(12).
- [11] 代涛, 高天明, 文博杰. 元素视角下的中国稀土供需格局及平衡利用策略[J]. 中国科学院院刊, 2022(11).
- [12] 高丽. 稀土产品全球贸易网络格局演化与中国战略地位提升研究[J]. 价格月刊, 2022(10).
- [13] 左芝鲤, 成金华, 郭海湘. 新时代我国矿产资源安全浅析[J]. 中国国土资源经济, 2021(11).
- [14] 龙如银, 杨家慧. 国家矿产资源安全研究现状及展望[J]. 资源科学, 2018(3).
- [15] 卢虎生, 郑辰煦, 王路, 等. 中国稀土资源安全轨迹模拟与评价[J]. 稀土, 2020(6).
- [16] 吴巧生, 苏慧, 张亚新, 等. 中国稀土供给安全政策体系演变及政策效果评估[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2023(6).
- [17] Li, X. Y., J. P. Ge, W. Q. Chen, et al. Scenarios of rare earth elements demand driven by automotive electrification in China: 2018—2030[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 145.
- [18] 朱学红, 张宏伟, 李心媛. 中国稀土国际市场势力测度及政策有效性研究[J]. 国际贸易问题, 2018(1).
- [19] 郑国栋, 王琨, 陈其慎, 等. 世界稀土产业格局变化与中国稀土产业面临的问题[J]. 地球学报, 2021(2).
- [20] 钟美瑞, 宋婉婷. 战略性金属矿产价格冲击对行业产出的影响——基于 TVP-FAVAR 模型的时变分析[J]. 资源科学, 2020(8).
- [21] 王江. 论中国战略性关键矿产资源安全的法律监管[J]. 中国人口·资源与环境, 2021(11).
- [22] 朱学红, 张宏伟, 李心媛. 中国稀土国际市场势力测度及政策有效性研究[J]. 国际贸易问题, 2018(1).
- [23] 杨斌清, 张贤平. 我国稀土资源战略储备机制的构建[J]. 江西社会科学, 2012(2).
- [24] 高丽, 王毅, 沈镭, 等. 基于 PSR 概念模型的稀土资源安全评价[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2014(6).
- [25] 刘革, 邓庆彪, 蔡耀星. 基于 PSR 模型的我国社会重大风险评估体系研究[J]. 财经理论与实践, 2021(5).
- [26] Ye, Y., M. Yellishetty, M. A. Muñoz, et al. Toward a dynamic evaluation of mineral criticality: Introducing the framework of criticality systems[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2019(5).
- [27] 马国霞, 朱文泉, 王晓君, 等. 2001—2013 年我国稀土资源开发生态环境成本评估[J]. 自然资源学报, 2017(7).
- [28] 田郁溟, 堀宜太, 周尚国. 我国战略矿产资源安全保障若干问题的思考[J]. 地质与勘探, 2022(1).
- [29] Han, A. P., J. P. Ge, Y. L. Lei. Vertical vs. horizontal integration: Game analysis for the rare earth industrial integration in China[J]. *Resources Policy*, 2016, 50.
- [30] Moreira, S., N. Simoes, N. Crespo. A contribution to a multidimensional analysis of trade competition[J]. *The World Economy*, 2017(10).
- [31] 郑国栋, 王琨, 陈其慎, 等. 世界稀土产业格局变化与中国稀土产业面临的问题[J]. 地球学报, 2021(2).
- [32] Ampofo, G. K. M., J. H. Cheng, D. A. Asante, et al. Total natural resource rents, trade openness and economic growth in the top mineral-rich countries: New evidence from nonlinear and asymmetric analysis[J]. *Resources Policy*, 2020, 68.
- [33] Ali, S. H., D. Giurco, N. Arndt, et al. Mineral supply for sustainable development requires resource governance[J]. *Nature*, 2017, 543.
- [34] 高晓红, 李兴奇. 多元线性回归模型中无量纲化方法比较[J]. 统计与决策, 2022(6).
- [35] McLellan, B. C., G. D. Corder, D. Giurco, et al. Incorporating sustainable development in the design of mineral processing operations — Review and analysis of current approaches[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2009(16).

- [36]夏启繁,杜德斌,段德忠,等.中国稀土对外贸易格局演化及影响因素[J].地理学报,2022(4).
- [37]陈斌彬.WTO“稀土案”与中国自然资源出口管制的完善[J].中国人口·资源与环境,2017(1).
- [38]徐光宪.强烈呼吁国家建立稀土战略元素储备制度[J].中国高新区,2009(8).
- [39]Zhao, G.M., Y.Geng, W.D.Wei, et al. Assessing gadolinium resource efficiency and criticality in China[J]. *Resources Policy*, 2023, 80.
- [40]魏龙,潘安.制度水平、出口潜力与稀土贸易摩擦——基于贸易引力模型的实证分析[J].世界经济研究, 2014(10).
- [41]袁中许.资源异质性视角下中国稀土定价权缺失本真研究[J].中国人口·资源与环境,2019(4).
- [42]Geng, Y., J.Sarkis, R.Bleischwitz.How to build a circular economy for rare-earth elements [J].*Nature*, 2023, 619.
- [43]黄小卫,张永奇,李红卫.我国稀土资源的开发利用现状与发展趋势[J].中国科学基金,2011(3).

## Evaluating the Trade Security of Rare Earth Resources in China from a Sustainable Development Perspective

ZHAO Gui-mei, GENG Yong, WEI Wen-dong

**Abstract:** Rare earth elements are key mineral resources that support high-tech innovation and the development of emerging industries. Many countries are competing for obtaining such resources, creating several geopolitical issues. The global rare earth supply chain has been reconstructed. Under such circumstances, it is urgent to evaluate the security of China's rare earth resource trade so that the poverty growth dilemma of the trade can be solved and the sustainable development of the industry can be achieved. This study constructs an evaluation index system for China's rare earth trade security based on the Pressure-State-Response Model, so that the pressure index, state index and response index of China's rare earth resources in different periods can be calculated, which help uncover the evolution characteristics of China's rare earth trade security index. It also identifies the key impact factors influencing China's rare earth trade security by establishing a multiple linear regression model. The results show that the trade security of rare earth resources in China has declined, meaning that it is urgent to optimize its trade structure to reduce the supply chain risk. The driving factors of China's rare earth trade mainly include market demand, resource endowment advantages and well-designed supply mechanism. The barriers on China's rare earth trade mainly include labor division pattern of the industry and the accounting method which lacks consideration of resource value. Based upon these results, several policy recommendations are proposed to promote the sustainable exploitation and utilization of China's rare earth resources, such as the strategic storage of rare earth elements, the promotion of research and development activities, the construction of rare earth resource recycling network, and international cooperation in global supply chain.

**Key words:** rare earth resources; trade security; evaluation index; multiple regression model; sustainable development

(责任编辑 孙洁)