

全球稀土贸易网络结构特征演化及影响因素分析

刘萍, 严则迪

江西理工大学经济管理学院, 江西 赣州

收稿日期: 2024年6月1日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月30日

摘要

稀土在战略新兴产业的发展中起着不可或缺的作用, 是推动全球经济结构调整和国民经济高质量发展的关键战略性资源。本文基于社会网络分析法和QAP回归方法用2004~2022年全球稀土贸易数据从整体和个体两个层面探究了全球稀土贸易网络结构特征的演化过程并对其影响因素进行了分析。研究发现: 中国是世界上最大的稀土进口国, 稀土进口额远超别的国家, 出口额也在整体呈上升趋势; 全球稀土矿贸易网络的贸易联系趋于紧密, 具有较高的集团性, 呈现出小世界网络特征; 核心国家相对固定, 存在“核心-边缘”结构, 德国、美国、中国等国家为核心国家, 中国影响力在逐步提升, 但还是具有“卡脖子”风险; 全球稀土矿贸易网络社团结构分化逐渐由稀疏到紧密, 以美国为主的社团逐渐占据垄断地位, 而以中国为主的社团国家数量近两年出现了较大的下降; 经济组织关系和外交关系因素对稀土贸易存在显著的正向影响, 经济发展水平差异和专利差异因素有一定的正向影响, 而殖民关系因素对稀土贸易没有显著影响, 地理距离差异会对稀土贸易产生一定抑制作用。研究结果为我国稀土贸易战略方案制订有一定的政策启示。

关键词

稀土贸易, 社会网络分析, QAP, 网络结构特征演化

Evolution of Global Rare Earth Trade Network Structure and Its Influencing Factors

Ping Liu, Zedi Yan

School of Economics and Management, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

Received: Jun. 1st, 2024; accepted: Jun. 21st, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

Rare earth plays an indispensable role in the development of strategic emerging industries and is a key strategic resource for promoting global economic restructuring and high-quality development of the national economy. Based on social network analysis and QAP regression method, this paper uses the global rare earth trade data from 2004 to 2022 to explore the evolution process of global rare earth trade network structure and analyze its influencing factors from both the overall and individual levels. The results show that: China is the world's largest importer of rare earth, the amount of rare earth imports far exceeds other countries, and the export value is also on the rise; The global rare earth ore trade network tends to have close trade links, and has a high collectivity, showing the characteristics of small-world network. The core countries are relatively fixed and have a "core-periphery" structure, with Germany, the United States, China and other countries as the core countries. China's influence is gradually increasing, but it still has the risk of "jamming"; The community structure of the global rare earth ore trade network gradually diverged from sparse to close, and the community dominated by the United States gradually occupied a monopoly position, while the number of community countries dominated by China showed a large decline in the past two years. The factors of economic organization and diplomatic relations have a significant positive impact on rare earth trade, and the factors of economic development level and patent difference have a certain positive impact, while the factors of colonial relations have no significant impact on rare earth trade, and the geographical distance difference will have a certain inhibitory effect on rare earth trade. The research results have some policy implications for the formulation of China's rare earth trade strategy.

Keywords

Rare Earth Trade, Social Network Analysis, QAP, Evolution of Network Structure Characteristics

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

稀土是国家重要的战略资源, 具有独特的磁、光、电等性能, 在一系列战略新兴产业中得到了广泛应用, 对建设现代化产业体系、实现国民经济高质量发展, 以及促进世界经济结构调整和产业结构优化等具有十分重要的意义。中国拥有世界上最大的稀土矿产储备, 根据美国地质调查局(USGS)公布数据显示, 2022 年全球稀土资源总储量约为 1.3 亿吨, 其中中国储量为 4400 万吨, 占比约 33.8%, 但长期以来, 中国的稀土资源一直以极低的价格供应其他国家, 导致我国稀土储量逐年减少。[1]与此同时国内稀土产品需求持续增大, 导致对稀土进口的依赖性日益增强。由于稀土资源的不可再生性以及其在上分布的不均衡性, 使得世界上的稀土资源的供需安全及贸易关系长期处于不稳定状态中。[2]“稀土问题”早在 1986 年就已受到国家的高度关注, 国务院相关部门同相关事业单位先后出台了制定出口配额、关税控制、产量计划、企业准入等政策以整顿稀土市场, 但效果甚微。[3] [4] 2014 年的“稀土案”, 即世界贸易组织裁定中国违反 WTO 相关规则和特殊承诺, 将中国的稀土贸易再次推上了风口浪尖。[5]同时美国为了减少对中国稀土进口的依赖, 其与盟友国重构了稀土“全

产业链”, 并在全球范围内积极寻求可替代的稀土加工国, 使我国的相对资源禀赋优势逐步被西方国家的资源整合所抵消。[6]所以目前我国稀土贸易环境并不乐观, 加快我国稀土贸易高质量发展刻不容缓。

目前已有较多国内外学者对稀土贸易进行了多方面研究, 也取得了较为丰富的研究成果。在贸易政策方面, 有学者认为我国稀土贸易政策具有一定的滞后性、被动性和盲目性, 稀土出口贸易活动常年受制于发达国家。[7] [8]陈喆(2021)考察了出口管制政策从上游部门到相关下游部门的异质溢出效应。2010年, 中国对稀土生产和出口实施了严格的政策, 使稀土在国外市场上获得了显著的价格溢价, 从而为中国下游行业提供了相对于外国竞争对手的成本优势。[9]朱学红(2018)利用均衡贸易模型对不同稀土出口政策进行对比分析, 结果显示, 与贸易鼓励政策相比, 稀土贸易限制政策有助于强化我国稀土的市场势力。[10]在贸易价格方面, 边璐等(2021)采用经典事件研究法, 选取贸易摩擦事件为研究对象, 通过建立CAPM模型, 探索贸易摩擦是否对稀土产品市场价格产生影响, 判断我国稀土市场有效性。[11]王媛(2021)通过构建稀土价格模型, 选取2013~2020年我国稀土相关数据, 分析国内稀土价格的影响因素及资源税改革的环境效果。结果显示, 资源税、原油价格、人力成本、我国稀土产量、稀土进口量、稀土进口价格等因素对国内稀土价格具有显著性影响。[12]在供需关系方面, 全球稀土贸易呈现多元化的供需格局与趋势, 孙菁靖等(2019)基于非瓦尔拉斯均衡理论, 发现我国稀土市场具有结构分散、买方垄断、价格偏低等现状是其市场呈现有效供需非均衡性的主要成因, 又基于灰色关联性诊断, 得出稀土价格、生产技术与成本、企业收入与负债等方面是影响我国稀土有效供需的敏感因素。[13]在贸易网络方面, 当前关于稀土贸易网络的研究, 主要是对其贸易网络结构特征进行分析。李期等(2022)基于复杂网络分析法(CNA)和因子分析法探究我国稀土贸易网络的动态趋势和安全状态, 发现我国稀土贸易影响力在不断增强, 稀土贸易安全状态经历了安全(1992~1998年) - 不安全(1999~2011年) - 安全(2012~2018年)的演化过程。[14]李嘉豪(2023)根据贸易依赖关系依次构建了稀土初级加工品、中级加工品和制成品贸易网络, 并且运用社会网络分析方法和时间指数随机图模型(TERGM)对稀土贸易网络的空间结构演变特征及其影响机制进行可视化分析和实证检验。[15]徐水太(2022)基于2013~2019年“一带一路”稀土相关产品的贸易数据, 采用复杂网络分析方法, 从个体和整体2个层面探究了“一带一路”稀土贸易网络结构特征及其演化过程。[16]在影响因素方面, 赵德海等(2020)运用随机前沿引力模型对“一带一路”进口贸易格局及其发展潜力进行研究, 发现我国与其他沿线国家的经济规模、人口总量、地理距离等方面对我国进口贸易具有显著影响。[17]

综上所述, 国内外学者对稀土贸易和“一带一路”贸易格局的研究与日俱增, 取得了丰富的研究成果。但截至目前, 相关研究仍存在较多需要深入拓展和探讨的空间。相关稀土研究多只从复杂网络方法出发, 本文在此基础上用QAP方法研究了稀土网络演化的主要影响因素, 本文基于社会网络分析法和QAP回归方法用2004~2020年全球稀土贸易数据从整体和个体两个层面探究了全球稀土贸易网络结构特征的演化过程并对其影响因素进行了分析。

2. 数据来源与研究方法

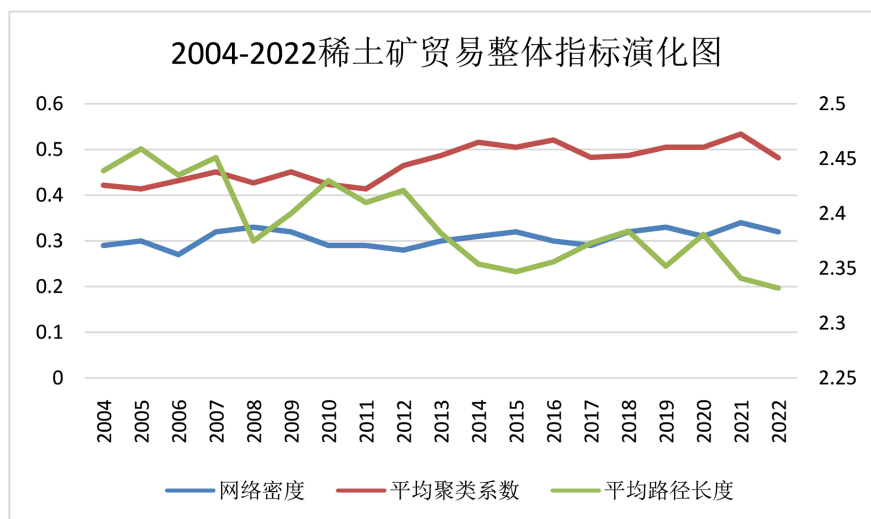
为探究稀土贸易网络结构特征演化, 本文用社会网络分析方法。社会网络分析方法可以通过多种统计指标来衡量网络整体结构特征和个体结构特征。本文以2004~2022年间的稀土金属矿为研究对象, 数据来源于联合国商品贸易数据库(UN Comtrade), 稀土矿海关HS编码为253090。本文从网络密度、平均路径长度、平均聚类系数三个方面探究稀土贸易网络结构整体演变趋势; 从度数中心度, 接近中心度和点强度探究稀土贸易网络结构个体演变趋势, 具体计算公式如下:

Table 1. Description of relevant social network indicators
表 1. 相关社会网络指标说明

层面	指标	公式	内涵
整体层面	网络密度	$d = L/n(n-1)$	网络密度表示网络中各节点之间的联系程度, 即“实际存在的联系”与“可能的联系”之比。 n 代表的是节点的数量, L 代表的是实际的关系数量, 其取值范围在 0 到 1 之间。当数值愈趋近于 1 时, 网络的密集程度愈高, 则对行动者的影响力愈大; 相反, 它对行动者的影响力也就越小。
	平均路径长度	$h = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j \neq i} h_{ij}$	平均路径长度是衡量网络传送效率与可达性的指标, 愈短的网络传送效率愈高, 可达性愈高, 式中 h_{ij} 指节点 i 到 j 的距离。
	平均聚类系数	$c = \frac{n}{k_i(k_i-1)}$	聚类系数是衡量网络集聚度的重要指标。式中 n 是节点 i 的全部邻接节点的边数, k_i 是节点 i 上全部邻接节点的个数, c 指整个网络的聚类系数, 取所有节点的聚类系数的平均值, 取值在 (0, 1) 的范围内, 越靠近 1, 表示这个网络具有较高的集聚度; 相反, 则表明该网络的集聚度越低。
个体层面	度数中心度	入度中心度: $k_i^{in} = \sum_{j=1}^n a_{ji}$ 出度中心度: $k_i^{out} = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	度数中心度测量了节点之间相互交往的程度, 反映了网络成员之间的交易能力。式中 $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ 用于计算节点 i 与其他 $n-1$ 个 j 节点之间直接联系的数量。
	接近中心度	$C_{AB_i}^{-1} = \sum_{j=1}^n d_{ij}$	接近中心度指节点不受其他行动者控制的能力。式中, d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的路径距离, n 为网络规模。
	点强度	入强度: $H_i^{in} = \sum_{j=1}^n w_{ji}$ 出强度: $H_i^{out} = \sum_{j=1}^n w_{ij}$	点强度指某一节点与之相连所有连边的权重之和, 值越大表示该节点在网络中地位越重要。式中 $\sum_{j=1}^n w_{ij}$ 用于计算节点 i 与其他 $n-1$ 个 j 节点之间直接联系的数量。

3. 全球稀土贸易网络结构特征演化分析

3.1. 整体结构演化特征分析

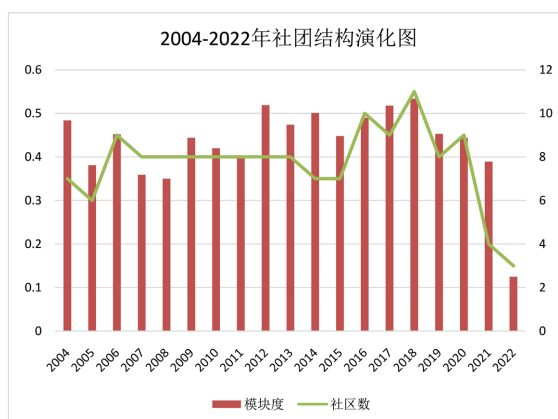


注: 贸易网络和平均聚类系数是左纵轴, 平均路径长度是右纵轴

Figure 1. Evolution of the overall index of rare earth ore trade from 2004 to 2022
图 1. 2004~2022 稀土矿贸易整体指标演化图

由图1可知, 2004~2022年整体稀土网络密度变化趋势都较平稳, 数值在0.3左右, 说明各国在稀土贸易方面的积极性不太高, 总体贸易格局较为松散, 稀土资源贸易合作仍有较大的发展空间。网络平均聚类系数整体趋势在向上增长, 数值在0.5上下, 说明全球稀土贸易表现出较强的集团性, 平均路径长度整体呈现向下递减趋势, 且值都较小, 表明在各国之间产生联系不需要太多中间商, 网络连接良好且传输性能和连通效率在逐年提升。整体网络呈现出较大的平均聚类系数和较短的平均路径长度特征, 即整体网络呈现出小世界网络特征。由图2的可视化结果可知, 网络核心国家较为固定, 以德国、法国、美国、中国等国家为主, 中国的影响力在不断提升。

所谓复杂网络, 其实就是一个由若干个不同的社团所组成, 而社团就是一群有着某种特定联系的节点集合。国际贸易网络可以分为若干社群, 从社群结构的演化中, 我们可以看到国际贸易格局的演变。该社群是由一系列节点构成的节点子集, 节点与节点之间的节点联系较为松散, 而子集中节点之间的连接却非常紧密。由于各交易主体间的实际贸易额存在差异, 我们用社区探测算法将其分为不同的社团, 并利用 gephi 软件对其进行可视化分析。



注: 左侧纵坐标为模块度值, 右侧纵坐标为社区数值

Figure 3. Evolution map of community structure, 2004~2022

图3. 2004~2022年社团结构演化图

由图3可知, 近年来稀土矿资源的模块度值并不稳定, 存在一定波动程度, 且到2022年有明显的下降。社区数在2006~2013年非常稳定, 都是8个, 但从2014年开始出现了较大的波动, 尤其从2020年开始出现了大幅度的下滑, 到2022年社区数降至3个。

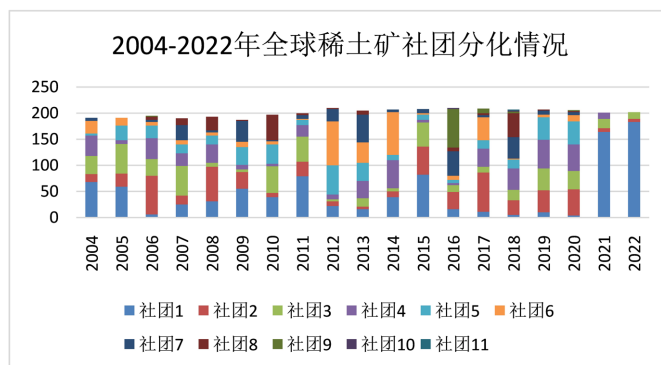


Figure 4. The differentiation of global rare earth mining communities from 2004 to 2022

图4. 2004~2022年全球稀土矿社团分化情况

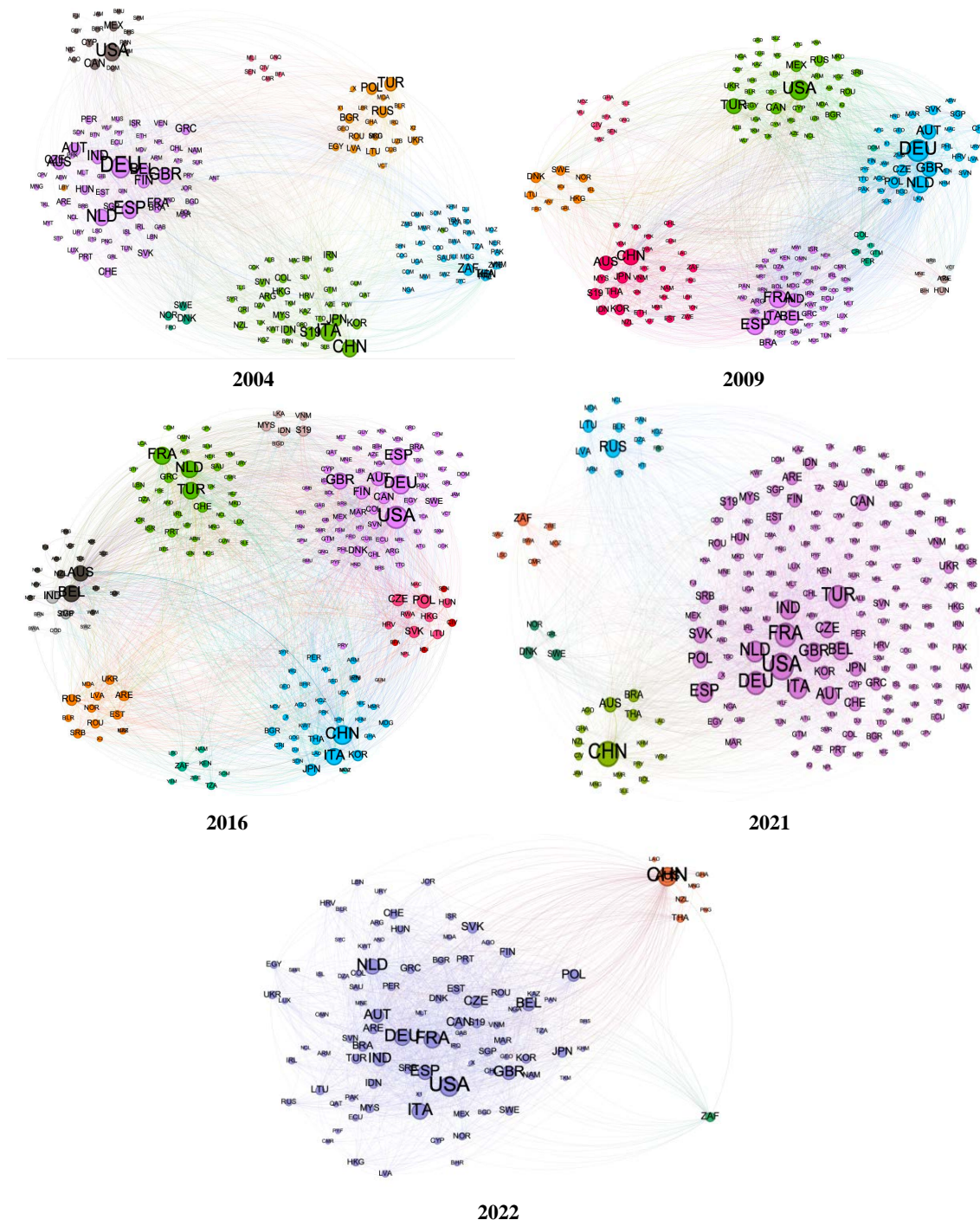


Figure 5. Global rare earth ore trade network community structure evolution map
图 5. 全球稀土矿贸易网络社团结构演化图

由图 4、图 5 可知，全球稀土矿贸易网络社团结构分化逐渐由稀疏到紧密，前期社团主要以德国、英国、法国为主的欧洲社团所垄断，其次是以中国为主的亚洲社团，而以美国为主的美洲社团国家数量相对较少。到 2009 年，法国、西班牙等国家从欧洲社团中脱离出来形成了与德国为主的社团差不多规模的社团，此时美国也与土耳其等国家逐渐贸易联系紧密，社团国家数在不断增大，一直到 2016 年前后，

这个趋势更为明显, 而到 2021 年前后, 以美国为主的社团国家数量非常庞大, 在整个贸易网络中处于垄断地位, 而中国在前期国家数量相对稳定, 与印度、日本、韩国、马来西亚等国家联系紧密, 到中期与澳大利亚、印度等国家时而联系紧密, 时而联系松散, 但社团国家数量一直相对稳定, 直到 2021 年前后, 以中国为主的社团国家数量急剧下降, 很多之前与中国联系紧密的国家如日本、马来西亚等国家都转而与以美国为主的社团联系紧密。

3.2. 个体结构演化特征分析

Table 2. Table of the top 6 network indicators
表 2. 网络指标排名前 6 情况表

指标	年份	1	2	3	4	5	6	均值	
入度中心度	2004	德国 49	美国 48	英国 44	意大利 36	中国 35	澳大利亚 34	9.11	
	2005	德国 46	美国 46	中国 39	意大利 38	日本 37	英国 36	9.13	
	2006	德国 53	美国 51	英国 42	中国 41	法国 38	意大利 37	9.02	
	2011	美国 63	德国 59	中国 51	法国 39	英国 36	意大利 36	9.75	
	2012	美国 56	德国 52	中国 48	法国 41	英国 40	加拿大 35	9.35	
	2013	美国 54	德国 53	中国 52	英国 41	法国 38	意大利 37	10.22	
	2014	美国 68	中国 61	德国 58	英国 40	法国 38	荷兰 37	10.46	
	2015	美国 66	德国 59	中国 49	英国 44	法国 37	印度 37	10.46	
	2020	美国 58	中国 50	德国 45	法国 42	英国 40	印度 39	10.27	
	2021	美国 65	中国 56	德国 49	英国 46	印度 42	澳大利亚 41	11.01	
	2022	美国 63	中国 58	意大利 46	德国 45	英国 44	加拿大 41	10.38	
	出度中心度	2004	德国 95	西班牙 83	荷兰 74	意大利 72	中国 72	美国 62	9.11
		2005	德国 90	西班牙 80	荷兰 76	意大利 70	美国 67	中国 64	9.13
		2006	德国 95	西班牙 79	意大利 77	荷兰 72	美国 63	土耳其 62	9.02
2011		德国 96	美国 91	法国 89	荷兰 78	土耳其 73	中国 69	9.75	
2012		美国 97	德国 93	法国 87	荷兰 84	中国 73	意大利 73	9.35	
2013		德国 97	法国 90	美国 88	荷兰 87	中国 77	比利时 72	10.22	
2014		美国 99	德国 92	法国 92	中国 88	意大利 87	荷兰 85	10.46	
2015		荷兰 135	美国 101	法国 88	德国 87	中国 87	土耳其 83	10.46	
2020		美国 100	法国 98	中国 92	德国 83	荷兰 80	土耳其 76	10.27	

续表

	2021	法国 100	美国 97	土耳其 97	中国 92	荷兰 84	德国 83	11.01	
	2022	美国 99	法国 99	中国 95	德国 83	荷兰 81	意大利 77	10.38	
入强度	2004	法国 67,327,514	德国 49,648,089	美国 48,086,853	意大利 39,029,348	日本 35,310,150	中国 34,590,945	3,956,975	
	2005	法国 58,751,325	美国 56,956,873	中国 55,485,905	德国 52,406,747	日本 40,961,867	意大利 37,073,390	4,057,320	
	2006	美国 72,864,732	中国 67,459,976	法国 55,155,079	德国 50,479,215	日本 43,211,763	意大利 38,779,099	4,235,294	
	2011	中国 145,012,783	德国 94,179,275	日本 73,139,882	立陶宛 51,802,890	美国 50,321,802	意大利 47,645,996	6,651,608	
	2012	中国 181,485,349	新加坡 140,967,227	德国 83,951,060	日本 72,404,196	美国 58,046,328	比利时 43,493,716	6,545,807	
	2013	中国 184,362,904	德国 94,771,540	日本 63,808,686	美国 52,803,109	比利时 49,600,884	马来西亚 47,027,235	6,484,184	
	2014	中国 217,889,020	马来西亚 99,547,420	德国 77,902,011	日本 59,193,091	美国 54,782,300	比利时 51,534,016	6,477,278	
	2015	中国 203,439,947	马来西亚 103,643,423	美国 79,709,337	德国 63,482,142	日本 58,295,114	比利时 41,785,140	6,208,426	
	2020	中国 673,109,758	美国 75,873,754	德国 58,243,105	法国 46,226,912	土耳其 44,875,226	比利时 43,960,557	11,127,336	
	2021	中国 1,350,254,421	德国 70,103,752	美国 69,878,855	比利时 69,068,470	土耳其 62,955,435	法国 57,190,594	19,210,331	
	2022	中国 8,678,606,991	比利时 132,652,517	韩国 99,055,056	美国 92,314,660	土耳其 85,714,519	德国 64,762,427	92,607,546	
	出强度	2004	西班牙 120,920,115	德国 120,057,000	肯尼亚 67,691,011	意大利 44,762,794	中国 39,344,372	英国 38,984,183	6,466,451
		2005	西班牙 136,663,782	德国 130,549,000	意大利 60,588,297	中国 45,747,958	加拿大 36,299,124	美国 32,440,652	6,755,820
		2006	德国 143,405,000	西班牙 127,297,729	意大利 52,801,591	中国 44,125,388	加拿大 43,751,013	澳大利亚 40,086,102	6,696,966
2011		美国 134,755,644	西班牙 131,212,167	德国 130,363,841	中国 117,393,420	澳大利亚 110,728,441	俄罗斯 85,849,761	11,023,417	
2012		澳大利亚 158,039,297	巴布亚新几内亚 134,656,760	中国 125,043,726	美国 120,259,900	德国 111,364,610	西班牙 109,248,196	11,302,945	
2013		澳大利亚 174,319,092	中国 127,317,212	美国 121,304,998	西班牙 96,922,730	德国 91,612,288	荷兰 79,134,881	10,633,733	
2014		澳大利亚 249,850,380	中国 146,203,061	美国 114,576,208	德国 83,904,946	西班牙 72,497,678	荷兰 69,021,050	10,485,769	
2015		澳大利亚 258,391,137	中国 165,223,733	美国 104,007,411	德国 70,813,241	西班牙 67,236,859	荷兰 60,786,643	10,237,321	
2020		澳大利亚 645,809,227	中国 115,212,384	俄罗斯 91,774,528	荷兰 90,789,455	西班牙 86,734,876	美国 82,391,950	16,208,014	
2021		澳大利亚 1,229,518,978	中国 146,263,333	俄罗斯 116,532,371	西班牙 114,253,105	荷兰 101,902,597	美国 93,206,723	25,642,765	
2022		澳大利亚 8,418,314,303	巴西 320,786,260	中国 180,641,837	荷兰 116,747,111	西班牙 111,654,953	美国 106,217,556	90,165,188	

续表

	2004	德国 0.66	西班牙 0.63	荷兰 0.60	中国 0.60	意大利 0.59	英国 0.56	0.29
	2005	也门 0.67	德国 0.66	西班牙 0.63	荷兰 0.61	美国 0.60	意大利 0.60	0.26
	2006	德国 0.66	西班牙 0.62	意大利 0.62	荷兰 0.60	中国 0.59	美国 0.58	0.28
	2011	德国 0.66	美国 0.64	法国 0.64	荷兰 0.62	土耳其 0.60	中国 0.60	0.27
	2012	美国 0.64	德国 0.64	法国 0.62	荷兰 0.60	中国 0.60	土耳其 0.60	0.26
接近中心度	2013	德国 0.66	德国 0.64	荷兰 0.63	美国 0.63	中国 0.63	比利时 0.61	0.27
	2014	美国 0.65	德国 0.64	法国 0.64	中国 0.63	意大利 0.63	荷兰 0.62	0.28
	2015	荷兰 0.74	美国 0.66	德国 0.63	中国 0.63	法国 0.62	土耳其 0.61	0.28
	2020	美国 0.66	法国 0.65	中国 0.64	德国 0.63	荷兰 0.62	土耳其 0.60	0.27
	2021	法国 0.66	土耳其 0.66	美国 0.65	中国 0.65	荷兰 0.63	德国 0.62	0.28
	2022	美国 0.66	法国 0.66	中国 0.65	德国 0.63	荷兰 0.62	意大利 0.60	0.25

度中心度被用来度量与某个节点有直接联系的其它节点的数量,入度中心度表示一个节点接收的关系数,出度中心度表示一个节点发出的关系数,由表 2 可知,2004~2022 年度数中心度排名前 3 的国家(地区)比较固定,以欧美为主,其中美国、德国具有较大影响力,“中心-边缘”结构显著,且出度中心度远大于入度中心度,说明出口对象相对分散,而进口对象则较为集中。同时可以看到,中国在稀土矿的贸易网络的入度中心度在逐渐上升挤入并保持排在前三的国家位置,在出度中心度上除了 2020 和 2022 年中国未能挤入前三位置,但其整体趋势也是呈上升趋势,说明中国在稀土贸易中的重要性逐年增加,但目前来看还是以美国、德国、荷兰、西班牙、法国等国家为主,我国还是可能面临“卡脖子”风险。

接近中心度是衡量节点不受其他行动者控制能力的重要指标。从接近中心度角度来看,德国、西班牙、美国、法国、中国等国家始终位于接近中心度排名靠前的国家且远高于其均值,说明这些国家相对不易受其他贸易国家的影响。

点强度是对网络中节点对资源的占用率进行定量评价的一个重要指标。由表 可知点强度指标结果与度中心度指标结果相差较大。在入强度方面,中国、法国、美国、德国的入强度一直处于领先地位,说明这些国家对稀土资源的需求很大,从而形成了大量的进口贸易额。澳大利亚,西班牙等国家的出强度排名靠前,但是他们在网络上的影响有限。各国之间的出强度和入强度差距较大,稀土贸易出口大多都是由几个稀土大国控制的,存在少数国家控制了很大贸易量的现象。

4. 全球稀土贸易格局影响因素的 QAP 分析

4.1. QAP 方法介绍

QAP 回归是一种基于矩阵数据排列的方法,通过对比两个(或多个)矩阵中不同数值之间的相似度,计算其相关性,并评估 r^2 的显著程度。其计算过程分三步:先求出被解释变量矩阵与解释变量矩阵的相

关系数。其次, 只对一个自变量矩阵的每一行及其相应的列都进行随机排列(而不是只替换行或列, 不然会损坏原数据), 并通过计算置换后的被解释变量矩阵与解释变量矩阵的相关系数, 并将其保存下来。通过几千次以上的置换, 可以获得这个自变量和因变量变量之间的相关系数, 并计算其大于或等于第一步中计算所得相关系数的比例。最后, 将第一个步骤中观测到的相关系数和随机排序得到的相关系数进行对比, 看得到的相关系数是落入拒绝区域还是接受区域, 然后进行判断。

4.2. 影响因素选取与模型构建

引力模型将双边贸易规模与经济发展水平、地理距离联系起来, 认为两国间贸易规模与两者的经济总量成正比, 与两者的地理距离成反比。根据现有相关研究介绍与贸易引力模型, 本文选取稀土加权贸易网络 $W(t)$ 作为被解释变量, 历年稀土贸易总额的 99% 都集中在世界上贸易额排名前 26 的国家, 其余国家贸易额都很少, 因此, 我们选择了 2004、2005、2011、2012、2013、2014、2015、2021、2022 年 26 个最具代表性的国家间的贸易网络为研究对象, 以避免由于网络稀疏而造成结果偏差。同时选取经济规模差异、地理距离差异、专利技术因素、殖民关系因素、经济组织关系因素、外交关系为自变量。因此构建以下模型:

$$W(t) = \beta_0 + \beta_1 \text{GDP} + \beta_2 \text{Dist} + \beta_3 \text{Colon} + \beta_4 \text{Patent} + \beta_5 \text{Group} + \beta_6 \text{Rel}$$

其中, 经济规模差异用两国间的 gdp 差额矩阵计算, 并对其标准化处理; 地理距离差异用两国间首都的直线距离计算; 殖民关系因素用两国之间是否有殖民关系来衡量, 有取 1, 反之取 0; 专利技术因素用当年两国申请通过专利数量差额计算; 经济组织关系因素用两国是否都加入美洲自贸区、非盟、欧盟、东盟、亚太经和组织五大国际经济组织, 若是则取 1, 反之取 0; 外交关系用两个国家在联合国大会上对同一决议的投票密切程度来衡量两国外交关系的好坏, 对联合国大会在这几年间针对各类决议的投票数据进行统计, 两国之间若有六成及以上观点是相同的则取 1, 反之取 0。数据来源于世界银行数据库、CEPII 网站和 WTO 网站、联合国大会投票数据、外交部官方网站、人民日报图文数据库。

4.3. QAP 结果分析

用 Ucinet 软件建立 QAP 回归模型, 并将随机重复次数设定为 5000, 回归结果如下表 3。

Table 3. Rare earth weighted trade network QAP regression results

表 3. 稀土加权贸易网络 QAP 回归结果

	2004	2005	2011	2012	2013	2014	2015	2021	2022
GDP	0.044* (0.086)	0.042 (0.086)	0.045 (0.091)	0.047* (0.102)	0.068* (0.112)	0.063* (0.123)	0.058* (0.119)	0.058* (0.113)	0.061* (0.123)
Dist	-0.232** (-0.143)	-0.218*** (-0.124)	-0.198*** (-0.163)	-0.223*** (-0.169)	-0.187** (-0.119)	-0.176*** (-0.152)	-0.212*** (-0.161)	-0.197*** (-0.186)	-0.213*** (-0.176)
Colon	-0.093* (-0.061)	-0.091 (-0.043)	-0.058* (-0.051)	-0.096 (-0.063)	-0.069 (-0.078)	-0.072 (-0.069)	-0.056 (-0.041)	-0.072 (-0.057)	-0.066 (-0.038)
Patent	0.171 (0.123)	0.252** (0.145)	0.247*** (0.167)	0.198* (0.112)	0.178** (0.134)	0.189* (0.151)	0.213* (0.162)	0.186* (0.143)	0.196** (0.125)
Group	0.027*** (0.192)	0.024*** (0.187)	0.025*** (0.177)	0.029*** (0.199)	0.036*** (0.221)	0.034*** (0.216)	0.032*** (0.214)	0.33*** (0.201)	0.028*** (0.065)
Rel	0.212** (0.112)	0.047* (0.056)	0.126** (0.216)	0.098* (0.085)	0.154** (0.138)	0.151** (0.098)	0.147** (0.097)	0.097* (0.067)	0.131** (0.087)
Cons	-0.037 (0.000)	-0.032 (0.000)	-0.041 (0.000)	-0.038 (0.000)	-0.042 (0.000)	-0.039 (0.000)	-0.043 (0.000)	-0.039 (0.000)	-0.378 (0.000)
R ²	0.056 (0.048)	0.051 (0.043)	0.061 (0.051)	0.062 (0.059)	0.068 (0.061)	0.069 (0.062)	0.067 (0.058)	0.063 (0.062)	0.065 (0.058)

注: ***, **, * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著; 括号中为 t 值

由表 3 可知, 经济发展水平的差距只在个别年份通过了 10% 的显著性检验, 表明经济发展程度越接近的国家, 其不一定存在贸易联系, 若存在, 两国倾向于选择较大的贸易量。地理距离差异在大部分年份都通过了 1% 的显著性检验, 且系数在 -0.2 左右, 表明地理距离差异对稀土贸易网络出现了抑制作用, 说明随着各国之间贸易关系日益密切, 虽然现代化交通工具迎来了大发展, 但资源分布地与消费地的空间约束还未被消除。专利技术因素在大部分年份都通过了 5% 以下的显著性检验, 说明专利技术因素是构成稀土贸易网络演变的主要因素, 专利数差额越大的国家之间更容易产生贸易联系和合作。而殖民关系因素在各个年份都没有通过显著性检验, 说明其对稀土贸易网络影响不大。经济组织关系因素在各个年份都通过了 1% 的显著性检验, 且系数为 0.3 左右, 说明经济组织关系因素是构成稀土贸易网络演变的最主要因素, 处于同一个经济组织的国家间更容易产生贸易联系和合作。外交关系因素在大部分年份都通过了 5% 的显著性检验, 说明外交关系因素是构成稀土贸易网络演变的因素之一, 说明外交关系越好的国家之间更容易产生贸易往来。

5. 结论与政策启示

本文以稀土矿为研究对象, 采用 2004~2022 年各国稀土贸易数据, 运用社会网络方法深入探讨了全球稀土矿资源的网络特征, 并进一步用 QAP 方法揭示了稀土矿贸易关联的主要影响因素, 并得出以下结论: (1) 从世界稀土贸易格局的特点来看, 尽管许多国家的稀土出口量都在不断增加, 但是绝大部分还是以进口为主, 国际上的稀土供求关系十分紧张。同时中国是世界上最大的稀土进口国, 稀土进口额远超别的国家, 出口额也在整体呈上升趋势。(2) 稀土矿整体贸易网络密度变化趋势都较平稳, 总体贸易格局较为松散, 稀土资源贸易合作仍有较大的发展空间, 全球稀土矿贸易网络的贸易联系趋于紧密, 具有较高的集团性、连通性和小世界特征。(3) 通过贸易个体层面分析发现: 核心国家比较固定, 以欧美为主, 存在“核心-边缘”结构, 德国、美国、中国作为网络的核心, 在网络中拥有很大的影响力, 而德国的影响力优势在逐渐减弱, 中国在不断增强, 但还是具有“卡脖子”风险。(4) 经济组织关系和外交关系因素对稀土贸易存在显著的正向影响, 经济发展水平差异和专利差异因素有一定的正向影响, 而殖民关系因素对稀土贸易没有显著影响, 地理距离差异会对稀土贸易产生一定抑制作用。

基于此, 给出以下建议: (1) 中国应当根据对象国的稀土贸易规模、贸易网络的特点和贸易协议等因素, 采取差异化的稀土贸易政策。中国作为世界上最大的稀土出口国, 要从整体网络视角出发, 发挥在国际市场上的比较优势, 科学地选择目标国, 构建更为牢固的利益共同体, 实现中国与其贸易伙伴的共同繁荣。可以从人才培养、财政扶持和税收优惠等方面来解决我国稀土产业的“低端锁定”问题。(2) 利用偏好依附效应和网络集团核心地位的优势, 积极扩展稀土产品贸易伙伴关系。以稀土资源为核心, 以拓展我国稀土资源的进口渠道为目标, 以减少国际市场的对外供应风险为重点, 重点关注“明星”国家, 强化预警意识, 努力提高稀土贸易关系的深度广度, 提高传输效率和产品供给能力, 保障我国稀土资源的供应安全。(3) 加强基础设施建设, 降低地域因素对稀土贸易的影响。以我国国内优质产能和工业体系为基础, 加强对外交通、通讯等基础设施的建设, 帮助有潜力的稀土贸易伙伴国改善交通基础设施, 减少稀土贸易的运输费用, 加强与偏远地区以及语言不同的稀土贸易国联系, 优化稀土贸易格局。同时注重人才培养, 积极研发各项专利技术, 助力科技创新发展。(4) 积极同各国建立友好稳定的外交关系, 推进构建新型国际关系, 开辟中国特色大国外交新局面, 积极拓展新的稀土贸易“朋友圈”, 努力开拓非洲, 中东欧, 独联体等地区的稀土交易市场, 使中国在全球稀土贸易网络中的地位进一步提升。

基金项目

江西理工大学校级研究生创新专项资金项目 XY2023-S044。

参考文献

- [1] 吴一丁, 彭子龙, 赖丹, 等. 稀土产业链全球格局现状、趋势预判及应对战略研究[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(2): 255-264.
- [2] 朱学红, 彭婷, 谌金宇. 战略性关键金属贸易网络特征及其对产业结构升级的影响[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1489-1503.
- [3] 都振芳. 全国稀土工作会议及稀土展销会筹备会议[J]. 稀土, 1986(4): 76-77.
- [4] 胡前. 第二次全国稀土工作会议召开[J]. 稀土, 1990(1): 71.
- [5] 吴一丁, 赖丹. 稀土资源税: 现存问题与改革取向——来自南方稀土行业的调研[J]. 江西理工大学学报, 2012, 33(2): 25-29.
- [6] Gao, F.P., Zhang, P., Liu, D.C., *et al.* (2019) The Rare Earths Global Market Updates and the Rare Earths Industry Master Plan of the United States and Its Allies. *Journal of International Trade*, No. 7, 63-81.
- [7] 苏利平, 高爽. 改革开放四十年以来稀土产业政策演进历程与启示展望[J]. 中国矿业, 2021, 30(5): 20-26+35.
- [8] 周美静, 黄健柏, 邵留国, 等. 中国稀土政策演进逻辑与优化调整方向[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1527-1539.
- [9] Chen, Z., Hu, Z. and Li, K. (2021) The Spillover Effect of Trade Policy along the Value Chain: Evidence from China's Rare Earth-Related Sectors. *The World Economy*, 44, 3550-3582. <https://doi.org/10.1111/twec.13172>
- [10] 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): 32-44.
- [11] 边璐, 宫鹤晋, 刘子琴. 贸易摩擦对稀土市场价格的影响——基于市场有效性检验[J]. 北方金融, 2021(6): 47-52.
- [12] 王媛. “双碳”背景下稀土资源税从价计征改革的效果分析[J]. 稀土, 2021, 42(6): 146-154.
- [13] 孙菁靖, 雷玉桃. 中国稀土市场供需非均衡性分析与预警[J]. 资源科学, 2019, 41(5): 860-871.
- [14] 李期. 基于 PLS-SEM 模型的中国稀土贸易安全影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2023.
- [15] 李嘉豪. 基于产业链视角的全球稀土贸易网络结构演变及影响机制研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2023.
- [16] 徐水太, 马彩薇, 朱文兴. “一带一路”稀土贸易网络结构及演化研究[J]. 黄金科学技术, 2022, 30(2): 196-208.
- [17] 赵德海, 贾晓琳. 中国与“一带一路”沿线国家进口贸易格局及其发展潜力分析[J]. 商业研究, 2020(9): 52-59.