

稀土产业链关键产品贸易网络演变及启示

汤林彬^{1,2,3}, 汪鹏^{1,3}, 马梓洁^{1,2,3}, 陈伟强^{1,2*}

1. 中国科学院城市环境研究所, 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 中国科学院赣江创新研究院, 赣江 341000

摘要 通过构建2000、2010、2017年稀土资源型产品、功能材料和最终产品的国际贸易网络, 解析了稀土产业链关键产品的全球贸易流动特征和主要国家/地区之间的贸易关系, 发现稀土关键产品的贸易网络结构趋向复杂化, 而各国的贸易关系、地位及其分工呈现异质性, 体现在: (1) 网络中存在少数关键国家掌握了绝大多数的贸易关系和贸易量, 关键国家的贸易变动可能导致全球性的稀土供应中断; (2) 中国、美国和日本等太平洋沿岸国家在稀土资源型产品和功能材料贸易网络中占据主导地位, 而丹麦和德国等欧洲国家则始终是最终产品贸易网络的核心国家; (3) 以中国为代表的发展中国家仍处于全球稀土产业链的中低端, 扮演着资源提供者和中间产品生产基地的角色。因此, 建议采取如下措施提升中国在全球稀土产业链中的地位: (1) 放宽稀土原材料的进口政策, 充分利用国际国内多种来源的稀土矿产资源; (2) 提高稀土低端功能材料的出口关税及企业出口资质门槛, 引导企业开发和生产中高端功能材料; (3) 通过财政补贴和出口退税等方式鼓励制造企业研发高技术产品, 提高出口产品的附加值和高技术含量。

关键词 稀土; 国际贸易; 贸易网络

稀土具有优异的磁、光、电性能, 被誉为“绿色科技的钥匙”和“21世纪的黄金”^[1]。在全球能源低碳转型的大背景下, 现有的大多数低碳和清洁技

术, 包括风机、电动车、节能电机、储氢、环境催化设备等, 均高度依赖稀土原材料^[1]。随着各国纷纷发布“碳中和”目标并推行绿色低碳发展计划, 稀土资

收稿日期: 2021-05-15; 修回日期: 2022-01-31

基金项目: 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(71961147003); 国家自然科学基金项目(71904182)

作者简介: 汤林彬, 博士研究生, 研究方向为关键金属物流及全球贸易网络, 电子信箱: linbintang@iue.ac.cn; 陈伟强(通信作者), 研究员, 研究方向为资源与环境管理、资源安全与可持续发展战略, 电子信箱: wqchen@iue.ac.cn

引用格式: 汤林彬, 汪鹏, 马梓洁, 等. 稀土产业链关键产品贸易网络演变及启示[J]. 科技导报, 2022, 40(8): 40-49; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.08.004

源的需求量正迅猛增长。然而,稀土资源具有稀缺性强且地理分布不均的特征。资源禀赋条件的不同导致各国在稀土资源的供给和需求上呈现地理分异^[2]。在当今经济全球化背景下,国家间的贸易交换使得稀土资源在全球范围内重新配置,形成了复杂的贸易网络,而某个特定国家在网络中的地位直接影响了该国对稀土资源的掌控能力^[3]。

中国是全球稀土储量、生产、消费和贸易大国^[4]。经过60多年的发展,中国构建了涵盖上游选矿,中游冶炼分离、氧化物和稀土金属生产,以及下游稀土新材料生产和应用的完整产业链^[5]。并且,中国常年以多种形态产品向世界提供大量稀土,参与全球稀土价值链的垂直分工,在全球稀土供应市场中占据重要地位。然而,中国稀土产业仍面临“高产量,低产值”的发展困境^[6]。因此,迫切需要从全产业链视角描绘全球稀土市场的贸易现状,厘清中国在全球稀土产业中的地位,系统认识中国稀土产业的优势和不足,为优化稀土产业布局、实现中国稀土产业由资源优势向产业和战略优势转化提供科学依据。

近年来,国内外学者围绕稀土贸易展开了大量实证研究。一方面,诸多学者运用复杂网络、多区域投入产出等方法梳理了稀土贸易数量和结构的演变,分析了全球稀土贸易格局及其演变趋势^[7-12],进而深入探讨了稀土对地缘政治格局的影响^[13-15]、稀土供应风险^[16-19]和稀土产业政策及发展策略^[20-21]等问题;另一方面,部分学者就中国稀土定价权缺失的问题^[6,22-23]、稀土国际市场势力测度^[24-25]、世界主要经济体的贸易政策演变^[26-28]和稀土双边贸易关系^[29-31]等角度探讨了中国稀土贸易的现状与发展策略。然而,已有研究多以单一的稀土产品或稀土全行业为研究对象,缺少从产业链视角探究中国稀土产业地位现状及其未来发展方向的综合分析研究。

因此,本研究基于产业链视角,构建稀土资源产品-功能材料-最终产品的稀土关键产品全球贸易网络模型,对比分析2000、2010、2017年稀土关键产品的全球贸易网络格局及其演变特征,识别主要国家及其地位演变,描绘了主要国家间的资源流动过程及其依赖关系,进而探讨中国在全球稀土贸

易网络的地位及其提升策略。

1 方法与数据

基于稀土的全生命周期流动过程,构建了跨稀土产业不同阶段的关键产品贸易网络研究模型。如图1所示,通过解析稀土全产业链的构成环节,选取了氧化钕、永磁体和风力发电设备作为稀土资源型产品、功能材料和最终产品阶段的关键产品,构建了稀土关键产品链;以2000、2010、2017年为时间断面,利用稀土的全球贸易数据,构建了稀土关键产品的全球贸易网络模型;基于复杂网络分析方法,对比和分析了稀土资源产品、功能材料和最终产品的贸易网络结构及网络中关键国家的演变趋势,探究了国家间的贸易流动关系及其演变特征;基于此,综合评判了中国稀土产业的贸易现状,并从产业链视角提出了中国稀土产业实现优势延伸的对策和建议。

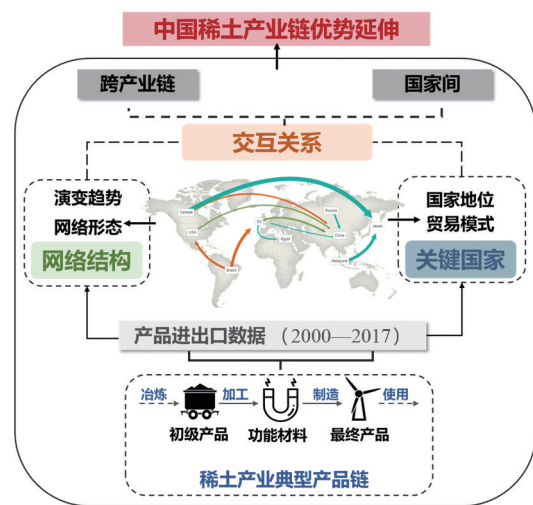


图1 稀土关键产品链的全球贸易网络研究框架

1.1 稀土关键产品的国际贸易网络模型构建

以全球221个国家或地区为节点、以产品贸易流为边,分别构建了2000、2010、2017年的基于贸易重量值的稀土关键产品的有权有向复杂贸易网络模型 $T_{i=1,2,\dots,n} = \{N, E, R\}$, 其中, $N = \{n_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 代表节点, 对应为网络中参与稀土贸易的国家及地区;

$E=\{e_i, i=1, 2, \dots, m\}$ 代表边, 对应为国家或地区之间的稀土贸易关系; R 代表边的权重, 对应各国之间贸易流动重量的大小; 边的方向即为稀土产品流动的方向。因此, 将贸易网络用加权邻接矩阵来表示, 即第 t 年 i 国向 j 国的出口量可表示为 $R(t)$ 。

1.2 贸易网络结构性特征指标分析

基于复杂网络理论计算网络密度、聚类系数及模块化指标探讨网络结构特性。

1.2.1 网络密度 (density)

网络密度是指网络中实际存在的边数与该网络的理论最大边数的比值, 用于衡量贸易网络中节点之间联系的紧密程度。网络密度 ρ 落在 $[0, 1]$ 之间, ρ 的值越大代表节点之间联系越紧密^[32]。计算方法^[33]为

$$\rho = \frac{N_e}{2N_v(N_v - 1)} \quad (1)$$

式中, N_e 为贸易网络 T 中贸易边的数量; N_v 为网络中节点的数量。

1.2.2 聚类系数 (clustering coefficient)

聚类系数 C 是用于描述网络中节点集聚程度的统计量, 还可称为集聚系数、簇系数等。该指标可用于衡量网络中各个节点之间的连通性和传递性, 体现了网络的局部连通效率^[34]。因此, 定义相邻节点之间的实际边数与理论最大边数的比值为节点 i 的聚类系数 C_i , 计算公式^[33]见式(2); 网络整体的聚类系数 C 则为所有节点聚类系数的平均值。计算公式^[33]见式(3)。

$$C_i = \frac{\sum_{i \in N_v} 2e_i / k_i (k_i - 1)}{N_v} \quad (2)$$

$$C = \frac{\sum_{i \in N_v} C_i}{N_v} \quad (3)$$

1.2.3 模块度 (modularity)

模块度可以用来衡量网络社团结构化的程度^[35], 表征网络结构的有序性, 其取值介于 $[-1, 1]$ 。模块度值越大, 网络集团化程度越高; 反之网络集团化程度越低, 分化越不明显。模块度的计算公式^[35]为

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[w_{ij} - \frac{w_i w_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j) \quad (4)$$

式中, w_{ij} 为节点 i 与节点 j 之间的 3 种关键产品的流动量, 即边的权重; w_i, w_j 分别为经过节点 i 和节点 j 的所有边的权重之和, 即 $w_i = \sum_{i=1}^n w_{ij}, w_j = \sum_{j=1}^n w_{ij}$, 且

$$m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w_{ij}; c_i, c_j \text{ 分别为节点 } i \text{ 和节点 } j \text{ 分属的社}$$

团; 当节点 i 和节点 j 同属于一个社团时, 则 $c_i = c_j$, $\delta(c_i, c_j) = 1$ 。

1.3 基于复杂网络的国家地位评价分析

研究通过计算复杂网络理论中节点的强度、中介中心性和特征向量中心度指标来衡量 2000、2010、2017 年稀土关键产品的全球贸易网络中各个国家对网络的贸易量强度、控制力和影响力, 进而识别稀土供应链的全球贸易网络中的关键国家及其地位。

1.3.1 强度 (strength)

强度用来衡量一个国家的贸易量, 从数量上反映了国家在网络中的重要程度^[34]。一个国家的强度值越大, 说明该国家在贸易网络中的参与度越大, 在网络中越重要。节点强度的计算公式^[33]为

$$S(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_{ij} \quad (5)$$

式中, $S(i)$ 为节点 i 的强度值; w_{ij} 为边 a_{ij} 的权重, 即 i 国向 j 国出口的 3 种关键产品的重量。

1.3.2 中介中心度 (betweenness centrality)

中介中心度可用于识别贸易网络中起着桥梁和控制作用的国家^[34]。网络中国家的中介中心度越高意味着该国对资源的掌控能力越强。节点的中介中心度的计算公式^[33]为

$$B(i) = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{n_{s,t}(i)}{n_{s,t}} \quad (6)$$

式中, $B(i)$ 为节点 i 的中介中心度值; $n_{s,t}$ 为从节点 s 出发到节点 t 最短路径的数量; $n_{s,t}(i)$ 为从节点 s 出发到节点 t 最短路径中经过节点 i 最短路径的数量。

1.3.3 特征向量中心度 (eigenvector centrality)

特征向量中心度可用于度量节点传递影响和传播能力, 体现了网络中某个国家/地区对其他国

家/地区的影响力^[34]。根据特征向量中心度算法, 度值越高的节点越“重要”, 相应地与之相连接的节点的影响力也越大, 具体计算公式^[33]为

$$E(i) = \lambda^{-1} \sum_{j=1}^N A_{ij} e_j \quad (7)$$

式中, $E(i)$ 为节点 i 的特征向量中心度值; λ 、 e_j 分别为网络中的最大特征值及最大特征向量值。

1.3.4 国家地位识别

关键国家意味着某一国家对贸易网络中资源的流动效率、网络结构及网络中的其他国家具有更强的影响力。由复杂网络理论可知, 国家的强度值 (S) 越高, 其在网络中的参与度越显著; 国家的中介中心度值 (B) 越高, 其对网络的资源掌控能力越强; 国家的特征向量中心度值 (E) 越高, 其对网络中其他国家的影响力越大。

因此, 分别计算 2000、2010、2017 年稀土关键产品全球贸易网络中所有参与国的强度、中介中心度和特征向量中心度, 并分别对其进行无量纲化处理, 使结果落在 $[0, 1]$ 区间内。随后, 对 3 个指标的标准化结果取几何平均值, 得到节点 i 的重要性值 Z_i 。最后, 通过对比不同国家的重要性值来识别网络中的关键国家, 探讨各国在网络中的地位。具体

计算公式为

$$C_i = \sqrt[3]{NS_i \cdot NB_i \cdot NE_i} \quad (8)$$

式中, NS_i 为节点 i 的强度值的标准化结果; NB_i 为节点 i 的中介中心度值的标准化结果; NE_i 为节点 i 的特征化向量中心度值的标准化结果。

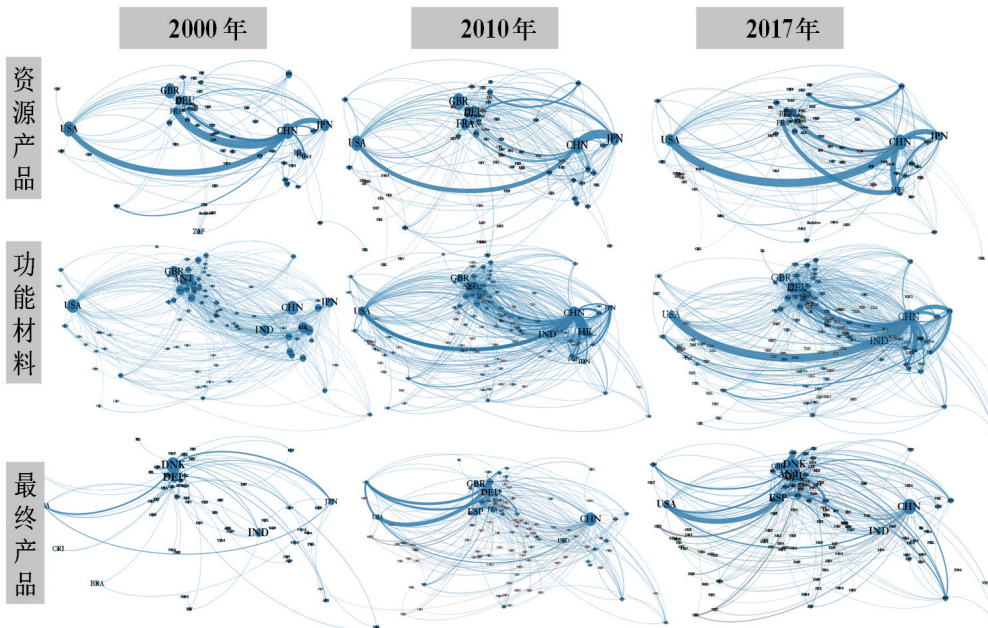
1.4 数据来源

选取氧化钕、稀土永磁体和风力发电设备作为稀土资源产品、功能材料和最终产品 3 个阶段的关键产品, 根据海关商品编码制度 (HS) 确定了 3 个关键产品的贸易代码, 分别为 284690、850511、850231。研究所使用的贸易数据来自联合国商品贸易数据库 (UN Comtrade)。由于 3 种产品的技术复杂度和单位附加值差距较大, 本文在建立加权网络时选取了贸易重量作为贸易边的权重。

2 结果与讨论

2.1 稀土关键产品网络结构及其演变分析

图 2、表 1 分别展示了 2000、2010、2017 年稀土资源型产品、功能材料及最终产品的全球贸易网络形态、网络结构特征及其演变。总体而言, 稀土关键产品的网络结构呈现如下特征。



各国简称采用国家标准代码 ISO 3166-1: CHN—中国; JPN—日本; IND—印度

图2 2000、2010、2017年稀土关键产品的全球贸易网络

表1 2000、2010、2017年稀土关键产品的贸易网络结构特征指标

类别	年份	贸易量/万t	节点	贸易关系/条	模块化	密度	聚类系数
初级产品	2000	3.5	57	151	0.172	0.050	0.251
	2010	5.1	81	271	0.434	0.045	0.373
	2017	6.8	76	259	0.245	0.045	0.363
功能材料	2000	2.8	96	623	0.293	0.073	0.511
	2010	9.4	129	753	0.368	0.048	0.539
	2017	15.2	140	906	0.373	0.049	0.603
最终产品	2000	7.4	59	87	0.139	0.029	0.189
	2010	54.8	120	362	0.373	0.025	0.399
	2017	68.6	121	399	0.453	0.028	0.270

1) 稀土关键产品的贸易网络结构呈现高度不均衡特征,即绝大多数的稀土产品贸易掌握在少数国家之间。如图2所示,稀土关键产品的贸易网络呈现无标度网络特征,即网络中绝大多数的贸易关系和贸易量掌握在少数国家中。这些少数国家凭借自身在稀土关键产品生产或消费中的比较优势,占据了相对重要和中心的地位,可以被认为是贸易网络中的优势国家。并且,新加入贸易网络的国家或地区也更倾向于与优势国家产生贸易联系。因此,网络中各节点度值的不均衡程度会进一步加剧,且围绕着优势节点形成网络的贸易重心。并且,由于区域间的资源禀赋和生产能力不同,各产品的贸易重心存在差异性。如图2所示,就初级产品网络而言,网络重心一直集中于东亚;就功能材料网络而言,随着永磁体产能逐步集中,2010年后,围绕日本、中国和印度等东亚和东南亚国家形成了贸易重心;就最终产品网络而言,网络重心一直集中于欧洲地区,尤其是北欧。国家间贸易关系和贸易地位的不均衡性意味着一旦贸易重心国家的政策发生变动,其影响可能通过网络的级联效应波及其他国家,引发全球性的供应中断,进而影响贸易网络整体的稳健性。

2) 稀土关键产品的全球贸易网络结构呈现复杂化的趋势。根据表1可知,3种产品贸易网络的贸易量、节点个数和贸易关系均保持上升趋势,同时网络密度则表现相对稳定的趋势。首先,2017年氧化钕、永磁体和风机的总贸易量分别为6.8万、15.2万、68.6万t,相比于2000年的3.5万、2.8万、7.4万t,分别增长了2~9倍,其中风机的贸易增量最为

显著。其次,伴随着网络规模的扩张,稀土关键产品全球贸易网络的参与国及其贸易关系也保持相应增长。其中,稀土永磁体的全球贸易网络拥有最多的贸易关系,其全球贸易流量于2017年达到906条,是氧化钕的3倍。最后,稀土关键产品贸易网络的密度值均呈现不同程度的下降,其中稀土永磁体的下降幅度最为显著,表现在贸易网络中参与国家数量激增,国家间紧密程度逐渐降低,进而导致网络结构由高度集中的寡头形态逐渐向多中心发展的多元形态转变。

3) 稀土关键产品贸易网络的稳健性逐渐增强。总体而言,3种产品贸易网络的聚类系数和模块化指数均呈现上升趋势,该现象表明网络逐渐形成了相对有序的层次结构,即参与贸易的国家趋向于形成若干个贸易集团,同一集团内部的国家之间建立了相对稳定且频繁的贸易联系。一个有序、成熟的网络结构意味着贸易网络拥有较好的恢复力和稳健性。如表2所示,功能材料贸易网络的聚类系数(0.2~0.4)和模块化(0.5~0.7)指标得分均最高,说明其稳健程度远高于其他2种产品,且呈现稳步提高的趋势;并且,受2010年中国稀土出口政策调整等国家因素影响,资源型产品贸易网络的稳健程度呈现先升后降的趋势,2017年,其网络模块化指数降至0.24,远低于其他2种产品。

综上所述,稀土关键产品的全球贸易量持续上升,整体网络结构趋向复杂化和稳健化,但仍具有明显的不均衡特征,意味着关键国家的贸易变动极有可能影响贸易网络整体的稳健性。

2.2 主要国家地位及其演变分析

通过计算各节点的强度、特征向量中心度及中介中心性指标,可探查各参与国或地区在网络中的贸易量、影响力以及控制力,得到了各节点在网络中的国家重要性排名,进而将得分大于0.1的国家识别为网络中的主要国家或地区。如图3所示,资源型产品、功能材料及最终产品的贸易网络中的主要国家/地区及其演变趋势呈现如下特征:

1) 就资源型产品贸易网络而言(图3(a)~(c)),日本、美国和中国等太平洋沿岸国家在网络中占据中心位置,但其地位的演变趋势呈现分异:(1)凭借着较好的资源优势和生产优势,中国是稀土资源型产品贸易网络中最主要的贸易国之一,贡献了全球3/4的稀土资源产品贸易量,并且随着国

内稀土产业和生产技术的不断优化,2017年中国在网络中的主导地位进一步凸显;(2) 作为重要的资源型产品消费市场,美国和日本始终在资源型产品贸易网络中保持着较高的影响力和控制力,但2010年后,两国在网络中的重要性逐步下降,2017年起,其主导地位被中国取代。

2) 就功能材料贸易网络而言(图3(d)~(f)),中国的优势地位凸显,美国等发达国家的地位持续下降,具体表现为:(1) 以意大利、英国、德国等为代表的欧洲国家的重要性持续下降;(2) 由于美国与欧洲之间的贸易关系骤减,2010年以来美国的控制力和影响力显著下降,相反中国始终是贸易网络中最重要参与国,对贸易网络的控制能力显著提高。

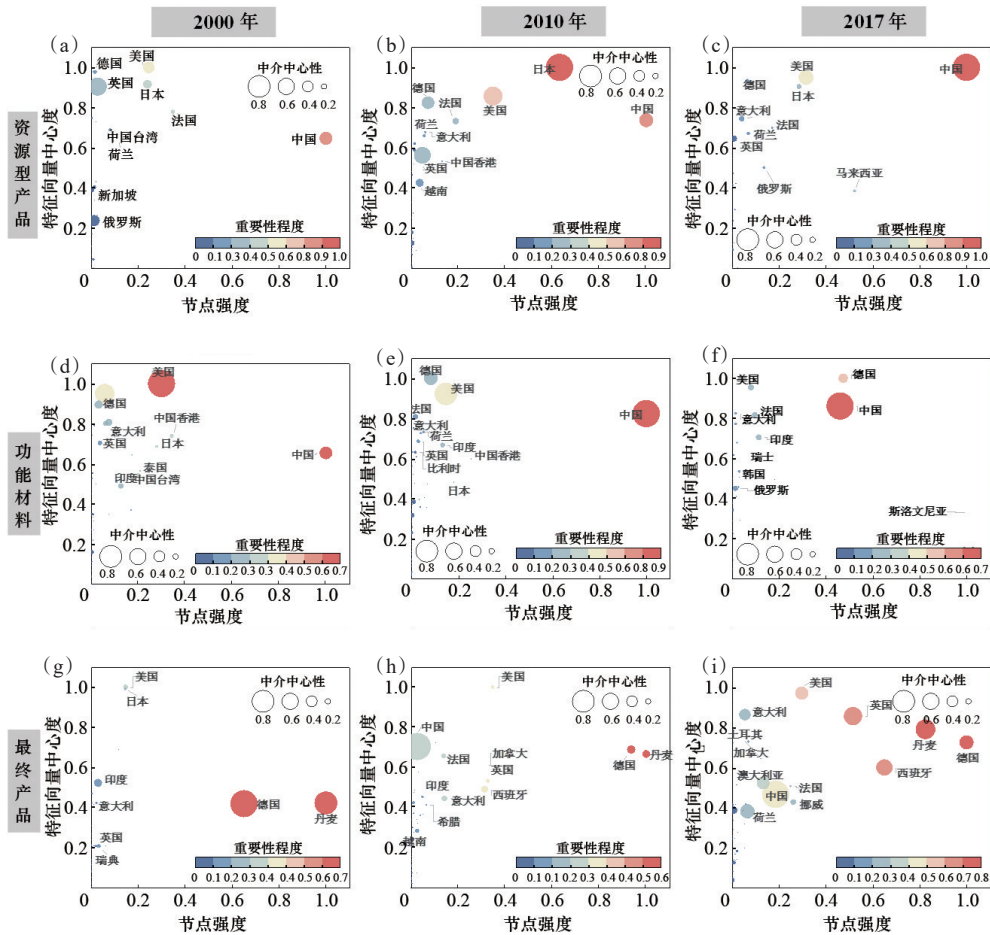


图3 2000、2010、2017年稀土资源型产品(a)~(c)、功能材料(d)~(f)、最终产品(g)~(i)全球贸易网络的主要国家或地区的地位演变

3) 就最终产品贸易网络而言(图3(g)、(i)), 网络中的主要国家/地区呈现多样化的趋势, 但欧洲国家的重要性程度始终保持在较高水平, 具体表现为: (1) 2000年, 重要性指数大于0.1的主要国家仅8个, 其中德国和丹麦凭借较高的贸易强度成为网络中最重要的国家, 在网络中呈现明显的寡头特征; 然而2017年网络中关键国家的数量上升至12个, 呈现了多元化特征; (2) 凭借较高的技术水平和消费需求, 发达国家在风能产品贸易网络中占据更重要的地位, 特别是欧洲国家, 例如荷兰、挪威、西班牙等国的重要性均有明显增长; (3) 中国在最终产品贸易网络中参与度较低, 仍处于从属地位, 但在全球能源低碳转型的大背景下, 中国高度重视并扶持风力发电行业的发展, 因此其在贸易网络中的重要性程度逐渐提升。

综上, 中国、美国和日本在稀土资源型产品和功能材料贸易网络中占据优势地位, 且中国的重要性程度不断增强, 反之日本和美国的重要性不断降低; 丹麦和德国等欧洲国家始终在最终产品的贸易网络中占据着绝对优势地位。

2.3 稀土关键产品的贸易流动分析

图4(a)~(f)展示了2000、2007年稀土资源产品、功能材料和最终产品的主要进口和出口国家或地区之间的稀土资源流动情况。基于贸易流动视角, 各参与国家或地区之间的依赖关系及其演变呈现如下特征。

1) 就资源型产品贸易网络而言, 呈现进、出口国/地区逐步多样化和分散化的趋势(图4(a)、(b))。从出口国家/地区来看, 中国是最重要的资源型产品出口国, 但其出口份额显著下降, 体现在: 2000年中国出口稀土资源型产品2.8万t, 占全球总出口量的82%, 而2017年其出口量下降至2.1万t, 仅占全球总出口量的41%; 相反, 2017年马来西亚的资源型产品出口量为1.6万t, 占全球总量的30%, 成为仅次于中国的出口大国。从进口国家/地区来看, 一方面, 美国和日本始终保持着较高的进口量, 2000、2017年两国的进口量的全球占比均超过15%, 且进口来源呈现多样化; 另一方面, 以中国和越南为代表的亚洲国家的进口量迅速上升,

2017年中国和越南分别从马来西亚、俄罗斯和美国等国进口稀土资源型产品1.0万t和0.5万t, 分别约占全球进口总量的14%和7%。

2) 就功能材料产品贸易网络而言, 存在出口逐渐集中化、进口逐步分散化的趋势(图4(c)、(d))。从出口国家/地区来看, 中国始终保持稀土功能材料出口第一大国的地位, 2000、2017年的功能材料出口量分别为1.2万、7.3万t, 占全球总出口量的份额由41%上升至48%。从进口国/地区来看, 2000年中国香港承接了大量来自中国大陆的功能材料, 进口量占全球总量的16%, 但2017年其作为转口贸易港的地位显著下降, 进口量仅占全球的3%; 美国作为主要的进口国之一, 始终保持全球近10%的功能材料进口量, 且其进口来源逐渐集中于中国; 越南、菲律宾和印度等东南亚国家的进口量于2017年有明显提升, 进口量之和占全球的21%, 并且由于地理邻近性, 其进口的功能材料主要来自中国。

3) 就稀土最终产品贸易网络而言, 进出口国家/地区的数量呈现由“一对多”向“多对多”转变的趋势(图4(e)、(f))。总体而言, 风能产品的贸易流动主要发生在发展程度较好的国家/地区尤其是欧洲国家之间。从出口国家/地区来看, 2000年风能产品的出口国呈现高度集中的特征, 仅丹麦一国的出口即占全球总贸易量的77%, 其次是德国、日本, 出口量分别占总贸易量的5%、3%; 2017年出口国/地区呈现明显的分散化趋势, 尽管丹麦仍是出口量最大的国家, 但其出口占比已下降至全球总贸易量的25%, 同时, 德国、西班牙、挪威、中国的出口量均有明显上升, 分别占全球总贸易量的28%、15%、8%、4%。就进口国家/地区来看, 2000年德国从丹麦进口风能产品7.6万t, 占全球总贸易量的48%, 是最大的风能产品进口国, 然而2017年德国的进口量仅占全球贸易量的份额仅12%; 相反, 2017年英国的风能产品进口量达13.1万t, 占全球总量的19%, 且进口来源多样化程度上升, 除了丹麦, 其进口来源包括西班牙、挪威等其他欧洲国家。

综上可知, 稀土资源从中国、马来西亚和越南等发展中国家向丹麦、德国和美国等发达国家流

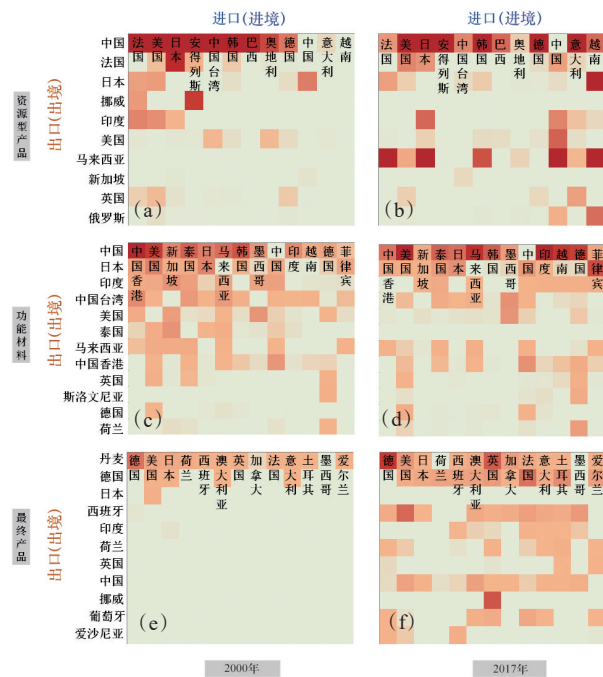


图4 2000、2017年稀土资源型产品(a)、(b), 功能材料(c)、(d), 最终产品(e)、(f)的贸易流动方向

动,发展中国家为发达国家的清洁能源消费提供附加值较低的矿产资源及经过简单加工的中间材料,扮演了资源提供者和中间产品生产基地的角色。

3 结论与建议

3.1 结论

研究选取2000、2010、2017年为时间截点,以氧化钕、永磁体和风力发电设备为例,构建了稀土关键产品链。基于此,运用复杂网络分析方法,全面解析了稀土产业链关键产品的全球贸易流动特征和主要国家/地区之间的贸易关系,研究发现,稀土关键产品的全球贸易量持续上升,整体网络结构趋向复杂化,但各网络中的国家地位和角色分工呈现异质性特征,体现在:(1)网络中存在少数关键国家掌握了绝大多数的贸易关系和贸易量,关键国家的贸易变动可能引发全球性的供应中断,进而影响网络整体的稳健性;(2)稀土资源型产品和功能材料贸易网络的贸易重心位于太平洋沿岸区域,中国、美国和日本在其中占据主导地位,且中国的重

要性程度不断增强;最终产品贸易网络的贸易重心则位于欧洲区域,丹麦和德国始终是最终产品贸易网络中的核心国家;(3)在全球稀土产业分工中,中国、马来西亚和越南等发展中国家扮演着稀土资源提供者和中间产品生产基地的角色,为丹麦、德国和美国等发达国家的清洁能源消费提供附加值较低的矿产资源及经过简单加工的中间材料。

综上,可以得知中国已在稀土资源型产品和功能材料的全球贸易网络中占据优势地位,但在附加值较高的最终产品贸易网络中参与度较低,所占份额少,仍处于从属地位。

3.2 建议

为推动中国稀土的资源优势向技术优势和战略优势转化,实现中国稀土行业的高值化发展,提高中国在全球稀土价值链中的竞争力,提出如下3点建议:

首先,在稀土资源型产品方面:逐步改变中国作为全球稀土资源提供者的角色,寻求利用国际稀土资源服务中国的产业发展;放宽稀土原材料进口政策,鼓励进口已完成初步冶炼的稀土氧化物等原材料,减缓国内稀土资源消耗的压力;寻求多元化的进口渠道,拓展现有进口来源,与更多稀土资源出口国家建立直接且长期的贸易联系,降低稀土资源的供应风险;鼓励企业“走出去”,通过投资或合资开发等方式与其他资源富集的国家开展矿产项目合作,维持中国的稀土资源优势,提升对全球稀土资源的掌控能力。

其次,在稀土功能材料方面:提高稀土低端功能材料的出口关税及企业出口资质门槛,引导企业研发、生产和出口中高端功能材料;通过人才交流、技术引进和企业并购等措施提高本国稀土功能材料的研发能力,打造全球稀土新材料产业新格局,巩固稀土功能材料的出口优势,促进本国稀土资源优势向技术优势转化。

最后,在稀土最终产品方面:通过财政补贴和出口退税等优惠政策,鼓励稀土企业充分发挥资源和产能优势,延长生产链,生产高附加值、高技术含量的最终产品;推动建立稀土产业链集群或工业园区,打通稀土全产业链条,促进上中下游企业的互

补合作;鼓励和支持本国稀土企业收购或入股国外稀土高科技应用产品的优势企业,提高在稀土最终产品贸易中的竞争力,实现稀土资源优势向战略优势转化。

参考文献(References)

- [1] 朱明刚, 孙旭, 刘荣辉, 等. 稀土功能材料2035发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 37-43.
- [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] 何则, 杨宇, 刘毅, 等. 世界能源贸易网络的演化特征与能源竞合关系[J]. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1621-1632.
- [4] Gambogi J. Rare earths[J]. Mining Engineering, 2013, 69(7): 128-129.
- [5] 经济观察报. 稀土新局: 从卖“土”到卖“制造”[EB/OL] (2021-03-13)[2021-12-20]. <http://www.eeo.com.cn/2021/0313/477729.shtml>.
- [6] 宋文飞, 李国平, 韩先锋. 稀土定价权缺失、理论机理及制度解释[J]. 中国工业经济, 2011(10): 46-55.
- [7] Wang X B, Ge J P, Wei W D, et al. Spatial dynamics of the communities and the role of major countries in the international rare earths trade: A complex network analysis [J]. PLoS One, 2016, 11(5): e0154575.
- [8] Wang X B, Wei W D, Ge J P, et al. Embodied rare earths flow between industrial sectors in China: A complex network approach[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 125: 363-374.
- [9] Ge J P, Wang X B, Guan Q, et al. World rare earths trade network: Patterns, relations and role characteristics [J]. Resources Policy, 2016, 50: 119-130.
- [10] He C Y, Lei Y L, Ge J P. Assessment of trading partners for China's rare earth exports using a decision analytic approach[J]. PLoS One, 2014, 9(7): 102870.
- [11] Hou W Y, Liu H F, Wang H, et al. Structure and patterns of the international rare earths trade: A complex network analysis[J]. Resources Policy, 2018, 55: 133-142.
- [12] Wang X B, Yao M T, Li J S, et al. Global embodied rare earths flows and the outflow paths of China's embodied rare earths: Combining multi-regional input-output analysis with the complex network approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 216: 435-445.
- [13] Law Y H. Politics could upend global trade in rare earth elements[J]. Science, 2019, 364(6436): 11-115.
- [14] Wübbcke J. Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry[J]. Resources Policy, 2013, 38(3): 384-394.
- [15] Vandever S D. Rare earth politics across time, space, and scale[J]. Global Environmental Politics, 2019, 19(3): 133-138.
- [16] Sprecher B, Daigo I, Murakami S, et al. Framework for resilience in material supply chains, with a case study from the 2010 rare earth crisis[J]. Environmental Science and Technology, 2015, 49(11): 6740-6750.
- [17] Mancheri N A, Sprecher B, Bailey G, et al. Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019, 142: 101-112.
- [18] Sprecher B, Daigo I, Spekkink W, et al. Novel indicators for the quantification of resilience in critical material supply chains, with a 2010 rare earth crisis case study [J]. Environmental Science and Technology, 2017, 51(7): 3860-3870.
- [19] Habib K, Hamelin L, Wenzel H. A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 133: 850-858.
- [20] Shen Y, Moom Y R, Eggert R G. China's public policies toward rare earths, 1975-2018[J]. Mineral Economics, 2020, 33(1/2): 127-151.
- [21] Brown M, Egger T R. Simulating producer responses to selected chinese rare earth policies[J]. Resources Policy, 2018, 55: 31-48.
- [22] 高丽, 熊英, 吴磊, 等. 我国稀土国际贸易定价权缺失根源研究: 文献综述[J]. 资源与产业, 2017, 19(5): 100-105.
- [23] 李振民, 林东鲁, 张安文. 稀土交易定价问题研究进展 [J]. 稀土, 2016, 37(1): 145-150.
- [24] 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.
- [25] 王正明, 余为琴. 中国稀土出口的贸易流向及国际市场势力分析[J]. 价格月刊, 2013(9): 37-39.
- [26] 王昶, 阳香莲, 宋慧玲, 等. 基于中西方稀土战略调整演化路径的中国稀土政策研究[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 1-11.
- [27] 周美静, 邵留国, 杨丹辉, 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.
- [28] 高风平, 张璞, 刘大成, 等. 国际稀土市场新格局与中

- 国稀土产业战略选择[J]. 国际贸易问题, 2019(7): 6381.
- [29] 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]. 国际贸易, 2014(10): 6180.
- [30] 高永娟. 中美稀土贸易视角下中国稀土出口问题探究[J]. 中国外资, 2012(22): 20–25.
- [31] 刘立刚, 孙晓优, 张彦灵. 基于引力模型的中美稀土行业产业内贸易及影响因素研究[J]. 江西理工大学学报, 1981, 53(9): 1689–1699.
- [32] Newman M E J. The structure and function of complex networks[J]. SIAM Review, 2003, 45(2): 167–256.
- [33] Newman M E J. Networks an introduction[M]. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- [34] 孙梅, 高翠侠, 韩敦, 等. 能源供需系统分析——基于复杂网络新视角[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [35] Newman M E J. Modularity and community structure in networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(23): 8577–8582.

Evolution of the global trade networks of critical rare earth products and its implications

TANG Linbin^{1,2,3}, WANG Peng^{1,3}, MA Zijie^{1,2,3}, CHEN Weiqiang^{1,2*}

1. Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Ganjiang Innovation Academy, Chinese Academy of Sciences, Ganzhou 341000, China

Abstract With the increased exchange of the rare earth products among various countries, an international rare earth trade network is formed, reshaping the division of the global rare earth supply chain and the geopolitical pattern. By constructing a trade network for the global rare earth resource-based products, functional materials, and final products trade network in 2000, 2010, and 2017, the global trade flow characteristics of the rare earth resources and the trade relations between major countries or regions are comprehensively shown. It is shown that the rare earth network structure is rather complicated, with heterogeneous trade relations, status, and divisions of countries. The main findings are as follows: (1) The majority of trade relationships and trade amounts are highly concentrated in some critical countries, the supply of the whole trade network would fail, once the critical countries are in trouble; (2) China, the United States, Japan, and other Pacific Rim countries occupy a dominant position in the trade network of the rare earth resource-based products and functional materials; However, Denmark, Germany, and other European countries always occupy a dominant position in the trade network of the final products; (3) The developing countries (e.g., China) only occupy the dominant position in the trade network for the front and middle end products in the rare earths supply chain and play the role of the resource supplier and the intermediate product production factory. Therefore, it is suggested that China should take the following actions: (1) relax the restrictions of the rare earth raw materials import policy and diversify the sources of the rare earth raw materials; (2) increase the export tariff of the low-end functional rare earth materials; (3) encourage the rare earth enterprises to produce and develop the final high-tech and high value-added products.

Keywords rare earth elements; critical materials; international trade ●



(责任编辑 刘志远)