

引用格式: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.] DOI: 10.18402/resci.2022.01.06

全球稀土进口竞争格局分析及潜在贸易联系预测

祝孔超^{1,3},赵媛^{1,2,3},姚亚兵⁴,崔盼盼^{1,3},鄢继尧^{1,3}

(1. 南京师范大学地理科学学院,南京 210023;2. 南京师范大学金陵女子学院,南京 210097;3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,南京 210023;4. 兰州理工大学计算机与通信学院,兰州 730000)

摘 要:稀土是一个国家经济社会发展极其重要的战略资源,从长时间尺度分析其进口竞争格局并预测未来潜在的贸易联系可为稀土进出口国制定和调整稀土贸易政策提供参考。以稀土(HS:280530)为研究对象,运用复杂网络方法,构建1990—2018年全球稀土进口竞争网络,分析全球稀土进口竞争格局、演变特征、大洲、国家间竞争特点以及对我国稀土的竞争状况。然后,使用基于局部信息相似性的链路预测算法,揭示稀土贸易联系动机,预测潜在贸易联系。结果显示:①全球稀土进口竞争网络规模有所扩大,竞争的全球化程度有所提高且呈现“紧密性”;②大洲间竞争关系及强度主要分布在欧洲内部、亚洲内部以及欧洲与亚洲之间,国家间竞争强度高度集中于少数竞争关系;稀土进口大国之间的竞争是全球稀土进口竞争格局的最重要组成部分,主导着竞争格局的形成演化;日本与其他稀土进口国竞争最为激烈;③受中国稀土生产出口政策等因素影响,稀土进口国竞争全球和中国稀土由“日趋激烈”向“总体和缓”转变;竞争强度高度集中于中国,稀土进口国竞争中国稀土最为激烈;④优先链接是稀土进出口国的结构性贸易联系动机。未来,美国与比利时、日本与德国等国家之间建立稀土贸易联系的可能性大,瑞典等国可能与中国建立稀土贸易联系。

关键词:稀土;复杂网络;竞争格局;链路预测;潜在贸易联系;联系动机;中国

DOI: 10.18402/resci.2022.01.06

1 引言

稀土被誉为“工业黄金”和“新材料宝库”,是通信、材料、电子信息、航天航空等产业发展不可缺少的关键原材料^[1]。因用途广泛且难以替代,已被美国、日本、欧盟、澳大利亚等发达经济体相继列入关键矿产目录。然而,全球稀土资源空间分布极不均衡。截至2019年底,全球稀土探明储量约1.2亿t^[2],其中,中国所占份额最大(36.7%),其次是缅甸(18.3%)、越南(18.3%)、俄罗斯(10.0%)。

由于全球稀土储藏高度集中于少数几个国家,所以绝大多数稀土匮乏国需从国际市场进口稀土以满足发展需求^[3],这导致稀土进口国,特别是稀土

进口大国对全球稀土资源展开了激烈的争夺。中国作为世界稀土储藏、生产和出口大国,无疑成为稀土进口国主要竞争对象。在此背景下,开展稀土进口竞争格局及演变特征研究,对于中国而言,有助于其识别主要竞争来源,掌握稀土进口国对自身稀土资源竞争的激烈程度以及自身在全球稀土竞争格局中的地位。对于进口国而言,有助于其把握自身与其他进口国竞争的激烈程度,从而采取举措构建良性竞争关系,摆脱“零和博弈”。

此外,受多种因素影响,近年来全球稀土供给格局正在发生较大转变。一方面,为了节约资源、保护环境,中国实施了较为严格的稀土开采和生产

收稿日期:2020-10-28 修订日期:2021-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41971248)。

作者简介:祝孔超,男,河南信阳人,博士研究生,主要研究方向为能源地理与区域可持续发展。E-mail: kongchao8880@qq.com

通讯作者:赵媛,女,江苏南京人,博士,教授,主要研究方向为能源地理与区域可持续发展。E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

2022年1月

总量控制政策^[4]。这导致中国稀土出口量下降,全球稀土价格出现反弹,部分国家增产,以往中国供应世界绝大部分稀土的贸易模式发生转变^[5]。另一方面,随着越南、缅甸等国稀土新矿山的发现和开采,全球稀土供给趋于多元化^[4],稀土进口国对稀土进口来源的选择更加灵活。供给格局的变化使得全球稀土贸易联系发生较大变化。一方面,贸易联系发生转移,如一些从中国进口稀土的国家转向从其他出口国进口。另一方面,贸易联系发生拓展,如一些从中国进口稀土的国家不单从中国进口,也开始从其他出口国进口。可将这些在未来继续变化的贸易联系称为潜在贸易联系。预测这些潜在的稀土贸易联系,宏观而言,有助于掌握未来稀土进出口国之间的稀土贸易关系,进而根据贸易关系识别未来稀土贸易的潜在竞争者和竞争目标,掌握未来全球稀土进口竞争状况。对于中国而言,有助于其根据预测结果提前布局稀土贸易战略,加强可能与自身建立贸易联系的国家合作,制定预案应对可能“脱离”的贸易联系。

由于对于国民经济具有重要战略价值,稀土长期以来都是学术界的研究热点。一些学者研究了稀土的市场供求^[6-9]、生产预测^[10,11]、贸易战略^[12,13]、政策调整^[4,14]。另一些学者研究了稀土的出口价格、关税^[15-17]、定价权^[18-21]、出口限制^[22-24]、环境与可持续性^[25,26]。还有一些学者运用网络方法对稀土贸易的国家角色^[1,27,28]、格局和结构特征^[5,29-31]、隐含稀土流^[32,33]进行了分析,如Wang等^[1]使用复杂网络研究了2002—2014年全球稀土贸易网络的社区演化和主要国家作用,发现全球稀土贸易网络分散且不稳定,受地缘政治关系影响,形成了贸易集团。Hou等^[5]运用复杂网络研究了1996—2015年全球稀土贸易网络的结构与格局特征,发现全球稀土贸易网络具有“小世界”特征,中国的政策对国际稀土贸易结构具有重要影响。Ge等^[27]运用复杂网络研究了2011—2015年全球稀土贸易模式、关系和国家角色,发现全球稀土贸易网络具有紧密性,存在4组竞争关系和3组互补关系。倪娜等^[30]使用社会网络分析了2012和2017年稀土永磁材料贸易网络的国家中心性和核心—边缘特征,发现稀土永磁国际贸易的核心—边缘结构弱化,单个国家影响力呈下降趋势。

综上,目前国内外学者围绕稀土展开了大量研究,对由于供需矛盾引起的稀土进口竞争也有涉及,但多为定性描述,少有学者定量测度稀土进口国之间的进口竞争强度并据此构建全球稀土进口竞争网络,分析长时间尺度的全球稀土进口竞争格局及演变特征;其次,全球稀土贸易联系正处于较大转变之中,开展潜在贸易联系预测研究对于稀土进出口国提前制定稀土贸易战略具有重要现实意义,但目前国内外尚缺乏针对稀土的潜在贸易联系预测研究。

基于此,本文运用复杂网络方法,构建全球稀土进口竞争网络,分析1990—2018年全球稀土进口竞争格局、演变特征,大洲、国家间竞争特点和对中国稀土的竞争状况。然后,选用基于局部信息相似性的5种链路预测算法,揭示稀土贸易联系动机,预测未来稀土进出口国之间潜在的贸易联系。以期为中国制定和调整稀土贸易政策,提升稀土国际竞争地位和话语权提供参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 竞争网络构建

竞争关系是国际贸易关系的重要组成部分。目前,已有学者提出贸易竞争指数(CS)、贸易竞争优势指数(TC)、显性竞争力指数(RC)等指数来反映国家出口贸易竞争或竞争力^[34]。由于全球稀土资源有限且高度集中,某一个稀土进口国从一稀土出口国进口的稀土数量越大,将会挤压其他稀土进口国可进口的空间,就会与其他进口国形成竞争关系。因此,根据稀土进口国是否具有共同的进口来源国,即可确定竞争关系(图1),构建全球稀土进口

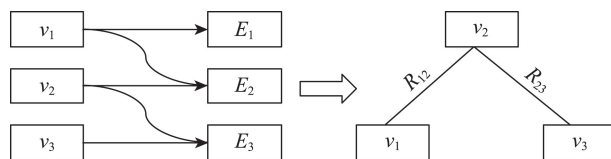


图1 竞争关系示意图

Figure 1 Schematic diagram of the competitive relationship in global import of rare earth

注:左图, v_1 、 v_2 、 v_3 和 E_1 、 E_2 、 E_3 分别为稀土进口国和出口国,连线表示稀土进口关系;右图, R_{12} 和 R_{23} 分别表示稀土进口国 v_1 与 v_2 以及 v_2 与 v_3 的竞争关系。

竞争网络(GRECN)。GRECN可用集合 $G=(V, E)$ 表示,其中 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是稀土进口国, $E=\{e_{ij}\}$ 是网络的边,即稀土进口国 v_i 与 v_j 的进口竞争关系。如果稀土进口国 v_i 与 v_j 具有共同的进口来源, e_{ij} 为1,否则, e_{ij} 为0。由于竞争是相互的,因此网络是无向的。

由于进口量和进口结构的差异,稀土进口国之间的竞争强度存在高低差异。Glick等^[35]和Zhang等^[36]提出了竞争强度指数(式(1))。借鉴此式,本文测度了稀土进口国之间的进口竞争强度,然后将其作为网络边的权重来构建全球稀土进口竞争网络。

$$S_{ij} = \sum_c \left\{ \left(\frac{M_{ic} + M_{jc}}{M_w} \right) \times \left[1 - \frac{|(M_{ic}/M_i) - (M_{jc}/M_j)|}{(M_{ic}/M_i) + (M_{jc}/M_j)} \right] \right\} \times 100 \quad (1)$$

式中: S_{ij} 为稀土进口国 v_i 与 v_j 的竞争强度; c 为共同进口来源; M_{ic} 和 M_{jc} 分别为稀土进口国 v_i 与 v_j 从 c 的稀土进口量; M_w 为全球稀土进口总量; M_i 和 M_j 分别是稀土进口国 v_i 与 v_j 的稀土进口总量。

2.1.2 网络指标

(1)度与加权度

网络的度是指网络中与该节点相连的节点个数,在GRECN中,度用来衡量稀土进口国竞争对手的数量。加权度是加权网络中节点的权重,在GRECN中,加权度用来衡量稀土进口国与其他国家的竞争强度。公式如下:

$$k_i = \sum_{j=1}^n e_{ij}; \quad \bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{N} \quad (2)$$

$$s_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}; \quad \bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{N} \quad (3)$$

式中: k_i 是节点 v_i 的度; \bar{k} 是网络平均度; N 是节点总数; s_i 是节点 v_i 的加权度; w_{ij} 是节点 v_i 与 v_j 的竞争强度; \bar{s} 是网络平均加权度。

(2)平均最短路径长度

平均最短路径长度是指网络中所有节点对之间最短路径经过边数的平均值。在GRECN中,它反映了每对稀土进口国形成进口竞争关系的平均步数。值越小,网络中任意两个节点可以通过越少的步数形成竞争关系。公式如下:

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j} d(v_i, v_j) \quad (4)$$

式中: L 是节点间的平均最短路径长度; $d(v_i, v_j)$ 是节点 v_i 与 v_j 之间最短路径经过的边数。

(3)平均聚类系数

聚类系数是指在网络中与同一节点相连的2个节点之间相互连接的平均概率。在GRECN中,聚类系数用来衡量任意两个与稀土进口国 v_i 存在竞争关系的国家也存在竞争关系的概率,其值介于0~1之间,越接近于1,竞争关系越紧密。公式如下:

$$C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (5)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (6)$$

式中: C_i 是节点 v_i 的聚类系数; e_i 是与节点 v_i 相邻节点间存在的边数; \bar{C} 是平均聚类系数。

2.1.3 链路预测

链路预测是近些年蓬勃发展的较为前沿网络科学研究方法,它是通过已知的网络结构等信息预测网络中尚未产生连边的两个节点之间产生连接的可能性,包含了对未知链接和未来链接的预测^[37],已在生物学网络^[38]、人际关系网络^[39]、犯罪网络^[40]、能源网络^[41,42]等领域得到有效应用。链路预测不仅可以预测未来潜在的贸易联系,也能揭示贸易联系动机。具体步骤如下:

第一步:选取适当的预测算法。目前,链路预测的算法可分为3类:基于局部信息的相似性预测、基于全局信息的相似性预测、基于半局部信息的相似性预测^[43]。本文采用基于节点局部信息相似性的CN、AA、RA、PA、SAL这5种算法来揭示稀土进出口国建立稀土贸易联系的结构性动机,预测潜在的贸易联系(表1)。这些算法是链路预测的主流算法,在应用中具有较高的精度。

第二步:划分测试集和训练集。设网络为 M , 网络边的集合为 E , 将网络 M 边的集合 E 运用算法程序随机选择10%划分为测试集 E^p , 剩余的90%的边作为训练集 E^t 。

$$E = E^p + E^t \quad (7)$$

$$E^p = 10\% \times E \quad (8)$$

第三步:计算测试集边和不存边的得分并排

2022年1月

表1 5种链路预测算法

Table 1 Five algorithms for link prediction

| 算法 | 公式 | 描述 |
|--------------------|---|--|
| 共同邻居(CN) | $s_{xy} = \Gamma(x) \cap \Gamma(y) $ | 两个国家拥有的共同贸易伙伴越多,则两国建立贸易联系的可能性越大 |
| Adamic-Adar 指标(AA) | $s_{xy} = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{\lg k(z)}$ | 度小的共同邻居节点的贡献大于度大的共同邻居节点,因此根据共同邻居节点的度为每个节点赋予一个权重值 |
| 资源分配指标(RA) | $s_{xy} = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{k(z)}$ | 将共同贸易伙伴视为资源传递的媒介,与AA指数相似,但赋予共同邻居节点权重的方式不同 |
| 优先连接指标(PA) | $s_{xy} = k(x) \times k(y)$ | 贸易国拥有的贸易伙伴数量越多,则贸易国之间建立贸易联系的可能性越大 |
| Salton 指标(SAL) | $s_{xy} = \frac{ \Gamma(x) \cap \Gamma(y) }{\sqrt{k_x k_y}}$ | 考虑了共同邻居在国家平均贸易伙伴数量中的占比,与CN相比,SAL更加考虑相似度 |

注:上表中 x 和 y 是网络节点; $k(x)$ 和 $k(y)$ 分别为节点 x 和 y 的度; $\Gamma(x)$ 和 $\Gamma(y)$ 分别为节点 x 和 y 的邻居。

序。根据所选算法,运用程序计算每个算法对应的测试边和不存在边的得分(*Score*),将边的得分按大小降序排列。某一连边得分越高,则两国建立贸易联系的概率越高。

第四步:评估算法的估计精度,选出最优算法。目前,共有 *Precision*、*Ranking Score*、*AUC* 这3个指标可用于衡量链路预测算法的精度,与前两个指标不同,*AUC*是从整体上衡量算法的精度,本文使用*AUC*来评估算法的预测精度。*AUC*是计算随机选择的测试链接的分数高于随机选择的不存在的链接的概率是多少。设随机抽取连边,独立比较 n 次,若有 n' 次测试集中边的得分大于不存在边的得分, n'' 次两条边的得分相等,则*AUC*值为:

$$AUC = \frac{n' + 0.5n''}{n} \quad (9)$$

AUC 介于[0.5, 1]之间,越接近于1,算法的预测精度越高。

2.2 数据来源

国家间稀土贸易数据来自联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade)。本文统计的是1990—2018年国家间的“稀土金属、钐和钇”(HS:280530)的贸易数据,统计方式为进口,对于某些年份少数进口国存在进口金额但缺失进口量数据的情况,采用相应进口来源对其出口数据补充,若仍缺失,采用全球稀土进口平均价格对其进行估算。如无特殊说明,文中的中国指中国大陆。网络指标计算使用R语言代码,链路预测通过R语言对算法编程后在RStudio中运算。

3 结果与分析

3.1 全球稀土进口竞争状况

3.1.1 竞争水平的演变

1990—2018年稀土进口国数量从16个增加到64个,年均增长5.1%,网络平均度从11.5增加到40.0,年均增长4.6%(图2)。可见,近30年越来越多的进口国加入全球稀土进口竞争网络,进口国之间的竞争关系增多,竞争趋于复杂。使用式(1)计算得到稀土进口国间竞争强度,对所有竞争强度求和得到全球稀土竞争强度。可见,1990—2018年全球稀土竞争强度呈现先升后降的趋势。1990—2006年全球稀土竞争强度总体波动上升,从1990年的204.8波动上升至2006年的2239.1,说明该阶段全球稀土进口国之间的竞争总体趋于激烈。此后,全球稀土竞争强度总体波动下降,从2006年的2239.1波动下降至2018年的470.0,最低值出现在2014年,为234.6。说明该阶段全球稀土进口国之间的竞争总体大幅减弱,竞争由激烈趋于温和。

3.1.2 竞争关系的紧密性特征

表2列出了1990—2018年全球稀土进口竞争网络的平均聚类系数和平均最短路径长度。可见,所有年份平均聚类系数均大于0.86,最大值为0.907,非常接近于1,平均聚类系数高意味着稀土进口国之间的竞争关系非常紧密。平均最短路径长度都小于2,均值约为1.4,平均最短路径长度的数值低同样也说明了竞争的紧密性。此外,平均聚类系数和平均最短路径长度年际变化并不十分稳定,说明全球稀土贸易联系不稳定,这可能与稀土进出

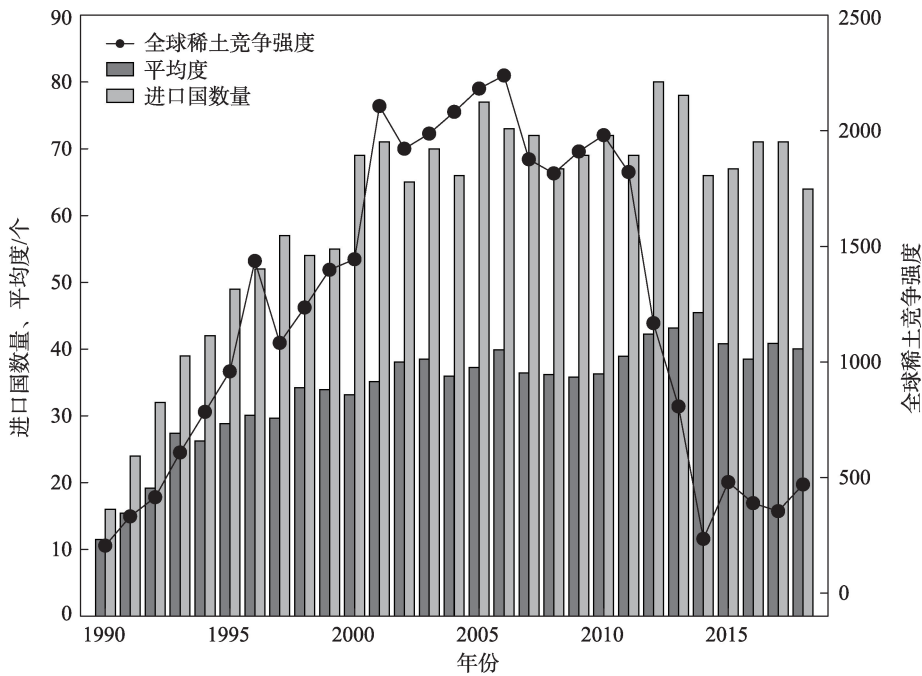


图2 1990—2018年稀土进口国数量、网络平均度与全球稀土竞争强度

Figure 2 The number of rare earth importers, average network degree, and global rare earth competition intensity, 1990-2018

表2 1990—2018年平均聚类系数和平均最短路径长度

Table 2 Average clustering coefficient and average shortest path length, 1990-2018

| 年份 | \bar{C} | L | 年份 | \bar{C} | L | 年份 | \bar{C} | L | 年份 | \bar{C} | L |
|------|-----------|-------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|
| 1990 | 0.880 | 1.233 | 1998 | 0.888 | 1.358 | 2006 | 0.885 | 1.429 | 2014 | 0.896 | 1.307 |
| 1991 | 0.893 | 1.373 | 1999 | 0.872 | 1.379 | 2007 | 0.875 | 1.420 | 2015 | 0.894 | 1.384 |
| 1992 | 0.871 | 1.381 | 2000 | 0.865 | 1.473 | 2008 | 0.887 | 1.486 | 2016 | 0.890 | 1.501 |
| 1993 | 0.894 | 1.279 | 2001 | 0.869 | 1.461 | 2009 | 0.888 | 1.436 | 2017 | 0.896 | 1.447 |
| 1994 | 0.875 | 1.398 | 2002 | 0.907 | 1.332 | 2010 | 0.887 | 1.416 | 2018 | 0.902 | 1.374 |
| 1995 | 0.873 | 1.399 | 2003 | 0.873 | 1.467 | 2011 | 0.885 | 1.450 | | | |
| 1996 | 0.871 | 1.417 | 2004 | 0.883 | 1.412 | 2012 | 0.875 | 1.448 | | | |
| 1997 | 0.875 | 1.487 | 2005 | 0.869 | 1.654 | 2013 | 0.895 | 1.479 | | | |

口国进入和退出稀土贸易市场等因素有关。

3.2 区域间进口竞争状况

大洲间竞争关系及强度的分布可以从宏观层面反映全球稀土进口竞争格局。竞争关系数量越多,强度越大,则相应大洲之间的竞争越激烈。总体而言,稀土进口竞争关系及强度主要分布在欧洲内部、亚洲内部、欧洲与亚洲之间以及美洲与欧洲、亚洲之间(图3)。这主要是因为稀土进口国主要位于欧洲、亚洲和美洲,且这些国家稀土进口量大,而其他区域(大洋洲、非洲)稀土进口国少,进口量小。具体而言,欧洲与亚洲的竞争强度最大,竞争

最为激烈。美洲与亚洲、欧洲的竞争强度也较大,这主要是因为美洲的一些国家,如美国是稀土进口大国。欧洲与亚洲、美洲、其他区域的竞争关系数量多于亚洲与这些区域,但竞争强度相较于亚洲却较低,这是因为虽然欧洲稀土进口国数量多于亚洲,但进口量小于亚洲。同时,总体而言,大洲内部、大洲之间的竞争关系数量都有所增长,竞争强度都先升后降,这与全球竞争关系和竞争强度的变化趋势基本一致。

3.3 国家间进口竞争状况

图4展示了竞争强度的累积分布。可见,累积

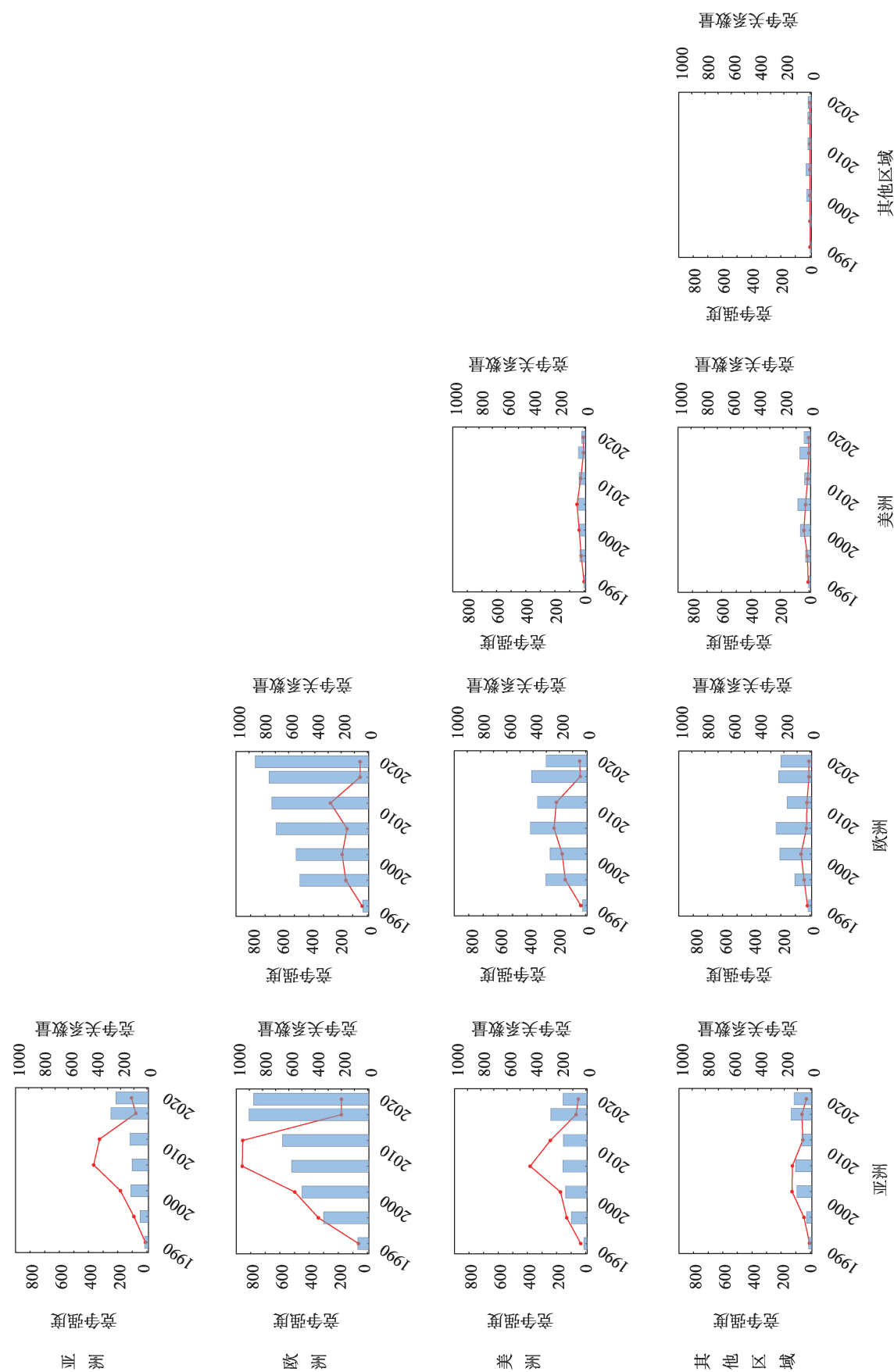


图3 1990—2018年竞争关系和竞争强度的大洲分布
Figure 3 Competition relationships between continents and their intensity, 1990-2018
注:图中折线代表竞争强度、柱状图代表竞争关系数量

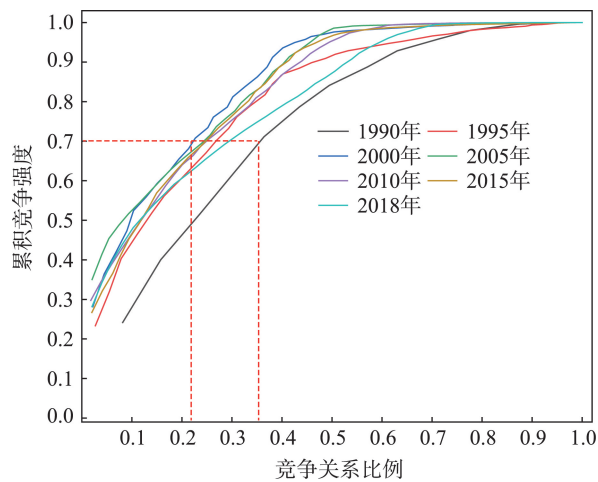


图4 1990—2018年竞争强度累积分布

Figure 4 Cumulative distribution of the competition intensity between countries, 1990-2018

竞争强度曲线的分布符合“帕累托法则”(Pareto's Principle)。说明国家间稀土进口竞争强度分布极不均衡,大部分竞争强度主要集中在少数竞争关系之间。以70%的累积竞争强度作一条横截线,可

见,70%的竞争强度来自约20%~35%的竞争关系。这说明,激烈的稀土进口竞争主要发生在小部分进口国之间,而大部分稀土进口国之间的竞争强度低。

表3列出了竞争强度前10的国家对。1990年前10大稀土进口竞争主要集中在韩国、德国与美洲、欧洲国家之间。此后,主要竞争关系发生较大转变,除2015年外,所有竞争强度前10的国家对都包含日本,日本与欧洲、美洲、亚洲和部分非洲稀土进口国之间的竞争构成了前10大竞争关系的主体。这些国家基本上都是当年的稀土进口大国,这意味着对稀土资源的激烈进口竞争主要发生在大型稀土进口国之间,这些稀土进口大国之间的竞争构成了全球稀土进口竞争格局的最重要组成部分,并主导着该格局的形成和演化。

表4列出了总竞争强度前10的稀土进口国。除1990年外,其他年份日本都拥有最高的竞争强度。可见,日本与其他稀土进口国的竞争最为激

表3 1990—2018年竞争强度前10国家对

Table 3 Top 10 country pairs ranked by competition intensity, 1990-2018

| 排序 | 1990年 | 1995年 | 2000年 | 2005年 |
|----|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 韩国-墨西哥 | 日本-美国 | 日本-美国 | 日本-挪威 |
| 2 | 韩国-加拿大 | 日本-奥地利 | 日本-挪威 | 日本-印度 |
| 3 | 韩国-德国 | 日本-印度尼西亚 | 日本-德国 | 日本-美国 |
| 4 | 德国-巴西 | 日本-荷兰 | 日本-奥地利 | 日本-阿根廷 |
| 5 | 韩国-西班牙 | 日本-挪威 | 日本-比利时 | 日本-斯洛文尼亚 |
| 6 | 德国-西班牙 | 日本-澳大利亚 | 日本-泰国 | 日本-智利 |
| 7 | 德国-加拿大 | 日本-西班牙 | 日本-阿根廷 | 日本-俄罗斯 |
| 8 | 德国-澳大利亚 | 日本-德国 | 日本-尼日利亚 | 日本-乌克兰 |
| 9 | 德国-瑞士 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-澳大利亚 |
| 10 | 德国-日本 | 日本-阿根廷 | 日本-伊朗 | 日本-保加利亚 |
| 排序 | 2010年 | 2015年 | 2018年 | |
| 1 | 日本-巴西 | 马来西亚-新西兰 | 日本-瑞士 | |
| 2 | 日本-比利时 | 日本-巴西 | 日本-捷克 | |
| 3 | 日本-美国 | 日本-荷兰 | 日本-意大利 | |
| 4 | 日本-法国 | 日本-英国 | 日本-以色列 | |
| 5 | 日本-印度 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-德国 | |
| 6 | 日本-西班牙 | 日本-捷克 | 日本-斯洛文尼亚 | |
| 7 | 日本-泰国 | 日本-挪威 | 日本-土耳其 | |
| 8 | 日本-韩国 | 日本-加拿大 | 日本-哈萨克斯坦 | |
| 9 | 日本-南非 | 日本-土耳其 | 日本-荷兰 | |
| 10 | 日本-俄罗斯 | 日本-阿根廷 | 日本-以色列 | |

2022年1月

表4 1990—2018年竞争强度前10进口国

Table 4 Top 10 importers ranked by competition intensity, 1990-2018

| 排序 | 1990年 | 1995年 | 2000年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 | 2018年 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 德国 | 日本 | 日本 | 日本 | 日本 | 日本 | 日本 |
| 2 | 韩国 | 美国 | 美国 | 美国 | 巴西 | 西班牙 | 挪威 |
| 3 | 西班牙 | 奥地利 | 德国 | 挪威 | 美国 | 印度 | 印度 |
| 4 | 日本 | 德国 | 奥地利 | 巴西 | 西班牙 | 马来西亚 | 西班牙 |
| 5 | 加拿大 | 挪威 | 挪威 | 印度 | 比利时 | 挪威 | 美国 |
| 6 | 澳大利亚 | 澳大利亚 | 比利时 | 比利时 | 印度 | 德国 | 德国 |
| 7 | 巴西 | 英国 | 巴西 | 法国 | 法国 | 美国 | 加拿大 |
| 8 | 芬兰 | 荷兰 | 英国 | 阿根廷 | 德国 | 新西兰 | 以色列 |
| 9 | 墨西哥 | 西班牙 | 泰国 | 斯洛文尼亚 | 挪威 | 韩国 | 巴西 |
| 10 | 斯洛文尼亚 | 印度尼西亚 | 阿根廷 | 德国 | 阿根廷 | 法国 | 韩国 |

烈。日本稀土资源贫乏,但汽车、材料、航空航天、电子信息等产业发达,稀土需求量大。为满足稀土消费需求,日本长期从国际市场大量进口稀土,连续多年蝉联全球最大稀土进口国。德国等其他国家竞争强度高的原因在一定程度上与日本类似。从洲际分布上看,前10大竞争强度的国家大多分布在欧洲、美洲、亚洲,其他区域较少。近些年,印度经济发展强劲,从2005年起,印度开始成为总竞争强度前10的国家,位居第5,到2015年和2018年已上升至第3。可以预见,未来以印度为代表的一些亚洲国家的发展将会促使其稀土需求和进口日益增长,从而致使其与全球其他稀土进口国之间的竞争日趋激烈。

3.4 对中国稀土的竞争状况

1990—2018年稀土进口国对中国稀土的竞争强度可分为两个阶段(图5):①1990—2006年竞争强度波动上升,竞争中国稀土日趋激烈。20世纪80年代中期,由于经济发展水平较低,中国制定了鼓励稀土出口以换取外汇政策。在多种鼓励稀土出口政策的支持下,该阶段中国稀土出口量快速增长。从1990年占全球总出口21.5%快速波动上升至2006年的86.5%(图6)。出口量的快速增长和出口份额的快速上升致使稀土进口国对中国稀土的竞争强度快速攀升。②2007—2018年竞争强度波动下降,竞争中国稀土趋于和缓。稀土大量无序开采和出口造成了资源浪费、非法走私、价格低迷和严重的环境问题。中国政府意识到“以资源换外汇”的发展模式不具可持续性。为此,从2005年起

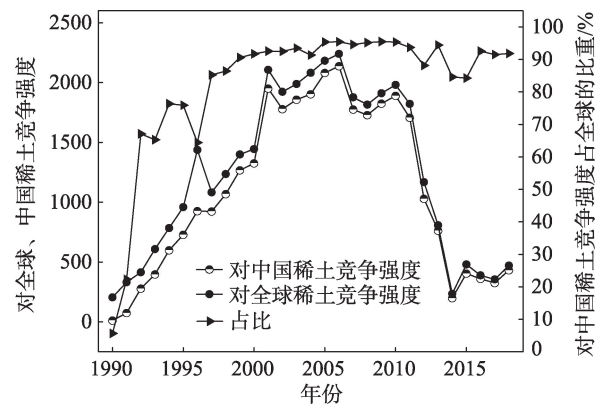


图5 1990—2018年对全球和中国稀土竞争强度

Figure 5 Competition intensity for global and Chinese rare earth, 1990-2018

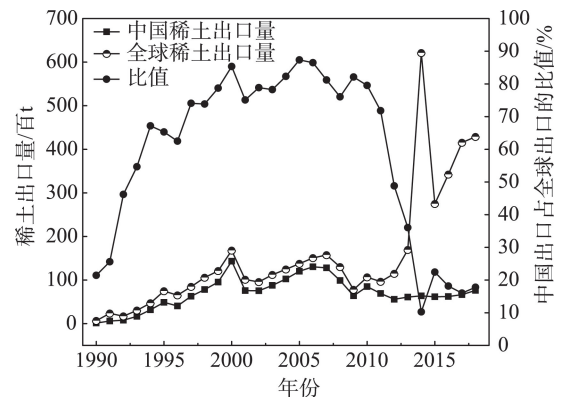


图6 1990—2018年中国、全球稀土出口数量

Figure 6 Exports volume of rare earth of China and the world, 1990-2018

中国实行了更为严格的稀土出口数量管理、开采和生产总量控制政策^[4],稀土出口配额大幅减少。这使得此后中国占全球稀土出口的比重总体持续降

低(图6)。出口量的减少和出口份额的下降使得稀土进口国对中国稀土的竞争强度快速下降。

全球稀土竞争强度和对中国稀土的竞争强度的变化趋势高度吻合(图5),这与中国在全球稀土竞争强度中的地位有关。1990年中国占全球稀土竞争强度的比重为5.65%,至2009年上升至最大值95.48%。虽然此后对中国稀土的竞争强度有所下降,但至2018年中国占全球稀土竞争强度的比重仍均在84%以上。这也回答了为何2007—2018年虽然全球稀土进口国和竞争关系数量总体有所增长,但竞争强度却有所下降。同时可见,全球稀土竞争强度高度集中于中国,稀土进口国竞争中国稀土最为激烈。竞争中国稀土激烈是由多种原因所致。一方面,中国稀土出口量较大,从中国进口稀土国家数量多。另一方面,多数稀土进口国从中国进口稀土占他们总进口的份额高。较大的进口量,众多

的竞争对手和高进口份额的叠加导致从中国进口稀土的进口国之间竞争强度大,进而导致对中国稀土竞争强度大。以2018年为例,2018年中国出口稀土76.3百t^①,位居全球第二;有40个进口国,位居全球第一,而出口量全球第一的澳大利亚和第三的越南只有3个进口国。同时,2018年的40个进口国中,65%的国家从中国进口稀土都达到了他们总进口的50%以上,印度、西班牙、美国、挪威等国甚至高达90%。

表5列出了部分年份对中国稀土竞争的前10大竞争强度国家对。所有年份日本与其他国家的竞争强度都位居第一,且除1990年以外,其他年份竞争强度前10的国家对都包含日本。日本与欧洲、美洲、亚洲和部分大洋洲稀土进口国之间的竞争构成了对中国稀土竞争的前10大竞争关系主体,这与全球前10大竞争关系的大洲分布基本一致。由于

表5 1990—2018年对中国稀土竞争的前10大竞争强度国家对

Table 5 Top 10 country pairs ranked by competition intensity for China's rare earth, 1990-2018

| 排序 | 1990年 | 1995年 | 2000年 | 2005年 |
|----|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 日本-加拿大 | 日本-美国 | 日本-美国 | 日本-挪威 |
| 2 | 日本-德国 | 日本-奥地利 | 日本-挪威 | 日本-印度 |
| 3 | 德国-加拿大 | 日本-印度尼西亚 | 日本-德国 | 日本-美国 |
| 4 | 日本-澳大利亚 | 日本-荷兰 | 日本-奥地利 | 日本-阿根廷 |
| 5 | 德国-澳大利亚 | 日本-挪威 | 日本-比利时 | 日本-斯洛文尼亚 |
| 6 | 加拿大-澳大利亚 | 日本-澳大利亚 | 日本-泰国 | 日本-智利 |
| 7 | 日本-韩国 | 日本-西班牙 | 日本-阿根廷 | 日本-俄罗斯 |
| 8 | 韩国-德国 | 日本-德国 | 日本-尼日利亚 | 日本-乌克兰 |
| 9 | 韩国-加拿大 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-澳大利亚 |
| 10 | 韩国-澳大利亚 | 日本-阿根廷 | 日本-伊朗 | 日本-保加利亚 |
| 排序 | 2010年 | 2015年 | 2018年 | |
| 1 | 日本-巴西 | 日本-巴西 | 日本-瑞士 | |
| 2 | 日本-比利时 | 日本-荷兰 | 日本-捷克 | |
| 3 | 日本-美国 | 日本-英国 | 日本-意大利 | |
| 4 | 日本-法国 | 日本-斯洛文尼亚 | 日本-以色列 | |
| 5 | 日本-印度 | 日本-捷克 | 日本-德国 | |
| 6 | 日本-西班牙 | 日本-挪威 | 日本-斯洛文尼亚 | |
| 7 | 日本-泰国 | 日本-加拿大 | 日本-土耳其 | |
| 8 | 日本-韩国 | 日本-土耳其 | 日本-哈萨克斯坦 | |
| 9 | 日本-南非 | 日本-阿根廷 | 日本-荷兰 | |
| 10 | 日本-俄罗斯 | 日本-西班牙 | 日本-澳大利亚 | |

① 指的是“稀土金属、钐和钇”,后同。统计方式是将所有从中国进口稀土的国家从中国进口稀土量相加。对于少数存在进口金额但缺失进口量的国家,用中国对其出口数量补充,若仍缺失,采用全球平均稀土进口价格进行估算。图6中全球和中国稀土出口量亦采用此方法。

2022年1月

中国稀土出口量大,加之与中国地理位置相近,日本长期从中国大量进口稀土,与其他稀土进口国之间产生了激烈的竞争。

3.5 潜在贸易联系预测

3.5.1 最优算法选择

为了寻找最优算法,本文使用了5种链路预测算法,最优算法是AUC得分最高的算法。本文计算了2009—2018年这10年5个算法的AUC得分(图7)。为了减小随机误差,对每个算法独立进行10次实验,5个算法10次实验的AUC均值的最大值对应的算法为最优算法。据图7可知,PA算法每年的AUC得分均最高,且非常接近于1,说明PA算法是预测稀土潜在贸易联系的最优算法。同时也表明,稀土进出口国建立稀土贸易联系的结构性动机是贸易伙伴多的国家之间更可能建立新的贸易联系,这与光伏的贸易联系动机相同,与石油和煤炭不同^[42]。

3.5.2 潜在贸易联系验证

由上文可知,PA是预测稀土潜在贸易联系的最优算法,选择PA算法预测得到2009—2018年前10大潜在贸易联系国家(地区)对,将这10年的预测结果与实际贸易进行比较,观察这些预测的潜在贸易联系国家(地区)对是否建立了真实的贸易联系,验证预测结果的有效性。

图8列出了这些预测结果,合并一些多次出现的国家(地区)对,一共有58对国家(地区)。图8

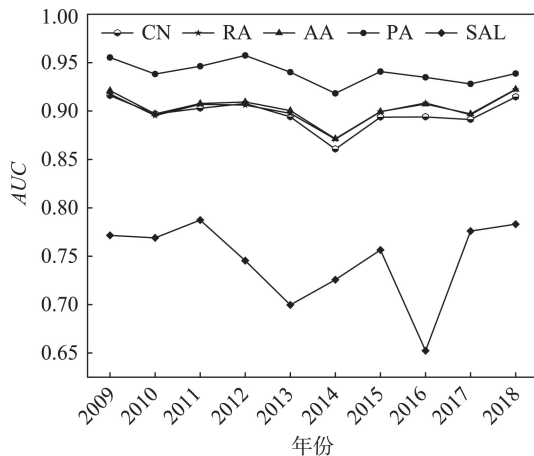


图7 2009—2018年5个算法的AUC分值

Figure 7 Area under the curve (AUC) value of the five algorithms, 2009-2018

中,蓝色方块代表这些国家(地区)对进入前10名的年份,数字代表进入前10名的次数,“T”代表这些国家(地区)对实现了贸易联系,空白方块代表未实现贸易联系。可见,总体而言,绝大多数国家(地区)对都在进入前10名后实现了贸易联系,说明PA算法具有高的预测信度。将这些国家(地区)对分3类

| 国家对 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 中国-奥地利 | 1 | 2 | 3 | T | 4 | 5 | T | T | T | T |
| 比利时-荷兰 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 中国-瑞士 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 日本-奥地利 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 斯洛文尼亚-美国 | 1 | | T | T | T | T | T | | T | |
| 日本-意大利 | 1 | | 2 | T | | T | 3 | | | T |
| 比利时-瑞士 | 1 | T | T | | T | | T | | | T |
| 比利时-西班牙 | 1 | T | T | | T | T | T | T | T | |
| 意大利-南非 | 1 | | | | | | | | | |
| 比利时-加拿大 | 1 | | T | | | T | T | T | T | T |
| 德国-日本 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 南非-美国 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 比利时-韩国 | 1 | 2 | | | | | | | T | T |
| 西班牙-英国 | 1 | | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 韩国-奥地利 | 1 | T | T | | | T | | | T | T |
| 德国-新加坡 | 1 | | T | T | 2 | T | T | T | T | |
| 中国-捷克 | 1 | T | 2 | T | T | T | T | T | T | T |
| 瑞典-美国 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 印度-奥地利 | 1 | | 2 | T | | 3 | | | | T |
| 德国-奥地利 | 1 | | | T | T | T | T | T | T | T |
| 中国香港-德国 | 1 | 2 | 3 | T | 4 | T | | | | T |
| 中国香港-比利时 | 1 | T | T | | | | 2 | | | |
| 法国-荷兰 | 1 | T | T | T | T | T | T | 2 | T | |
| 比利时-南非 | 1 | | | | | | | | T | |
| 澳大利亚-德国 | 1 | T | T | | | | | T | T | T |
| 中国香港-法国 | 1 | | | T | | | | | | |
| 德国-土耳其 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 中国香港-美国 | 1 | T | T | T | T | T | 2 | | | |
| 比利时-意大利 | 1 | 2 | | | | T | T | T | T | T |
| 比利时-日本 | 1 | 2 | 3 | T | T | 4 | T | | | |
| 印度-日本 | 1 | | 2 | 3 | T | 4 | | | | |
| 中国-瑞典 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 中国-新加坡 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 法国-日本 | 1 | T | T | 2 | | | | | | |
| 比利时-俄罗斯 | 1 | | | | | | | | | |
| 马来西亚-美国 | 1 | | | | | | | | | |
| 中国香港-奥地利 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | |
| 法国-印度 | 1 | | | | | | | | T | T |
| 西班牙-奥地利 | 1 | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 德国-俄罗斯 | 1 | 2 | 3 | T | T | | | | | |
| 日本-荷兰 | 1 | T | T | | | | | | | |
| 日本-斯洛文尼亚 | 1 | T | T | T | T | | | | | |
| 日本-南非 | 1 | | | | | | | | | |
| 俄罗斯-英国 | 1 | T | T | T | T | | | | | |
| 中国-澳大利亚 | 1 | T | | | | | | | | T |
| 澳大利亚-德国 | 1 | T | T | T | T | | | | | T |
| 德国-泰国 | 1 | 2 | 3 | T | | | | | | |
| 波兰-英国 | 1 | T | T | | | | | | | |
| 中国-比利时 | 1 | T | T | | | | | | | |
| 荷兰-泰国 | 1 | | | | | | | | | |
| 加拿大-荷兰 | 1 | | | | | | | | | |
| 印度-荷兰 | 1 | | | | | | | | | |
| 泰国-奥地利 | 1 | | | | | | | | | |
| 奥地利-捷克 | 1 | | | | | | | | | |
| 比利时-捷克 | 1 | | | | | | | | T | |
| 加拿大-法国 | 1 | | | | | | | | | |
| 斯洛文尼亚-英国 | 1 | | | | | | | | T | |
| 中国-南非 | 1 | | | | | | | | T | |

图8 2009—2018年前10大潜在贸易联系国家(地区)对

Figure 8 Top 10 country (region) pairs of potential trade links, 2009-2018

具体分析:

第一类:在次年实现贸易联系的国家(地区)对。共有29对国家(地区)在进入 PA 得分前10后的次年就建立了贸易联系,占国家(地区)对总数的一半。如2009年的比利时与荷兰,2010年的德国与日本等国家(地区)对,且一些国家(地区)对在建立贸易联系后连续多年或多次一直存在贸易联系,如中国与瑞士,法国与荷兰。

第二类:贸易联系未立即实现,但在7年内均建立贸易联系的国家(地区)对。共有18对国家(地区)在进入 PA 得分前10后未立即建立贸易联系,但在接下来的7年内均一次或多次建立了贸易联系。如2009年的美国与斯洛文尼亚,2010年的英国与西班牙等国家(地区)对均在第2年就建立了贸易联系,且除了比利时与南非、比利时与韩国分别在第6年和第7年建立贸易联系,这类国家(地区)对的绝大多数都在进入 PA 得分前10后的2~3年内建立了贸易联系。

第三类:未实现贸易联系的国家(地区)对。共有11对国家(地区)在验证年份未建立稀土贸易联系。具体分析这些国家(地区)对的年份分布发现,除2009年的意大利与南非,2013年的比利时与俄罗斯、马来西亚与美国、中国香港与奥地利以外,其他国家(地区)对均出现在2014、2016、2017年。由于可验证的时间短,这些国家(地区)对在验证年份还尚未建立贸易联系,但根据 PA 得分,这些国家(地区)非常有潜力在未来建立贸易联系。另外,贸易角色会影响建立贸易联系的概率,如同只是稀土进口国或出口国的国家(地区)建立贸易联系的概率会较低。

通过以上分析可知,绝大多数预测的潜在贸易联系都在未来几年内实现,说明使用 PA 算法预测稀

土潜在贸易联系具有很高的精度,可以使用该算法进行未来潜在贸易联系预测。

3.5.3 2018年数据预测的未来潜在贸易联系

表6列出了根据2018年数据预测的未来前10大稀土潜在贸易联系的国家(地区)对,其中,排序为2、4、6、7的4对国家(地区)是在2010—2018年间已经建立稀土贸易联系国家(地区)对,未来这些国家(地区)之间可能继续开展稀土贸易。排序为1、3、5、8、9、10的6对国家(地区)是在2010—2018年间尚未建立稀土贸易联系的国家(地区)对,根据 PA 得分,这些国家(地区)很可能在未来建立稀土贸易联系。具体而言,美国与比利时 PA 得分最高,未来建立稀土贸易联系的可能性最大;其次是德国与日本,荷兰与英国。中国与瑞典,中国香港与美国 PA 得分分别位居第6和第9,未来可能建立稀土贸易联系。

为了进一步增加预测结果的可信度,接下来,将表6的预测结果与验证年份的实际稀土贸易进行比较,观察这些国家(地区)之间是否具有建立稀土贸易联系的资源合理性。结果发现,所有国家(地区)都在验证年份曾对外出口过稀土,即便是稀土资源匮乏的荷兰、比利时、西班牙等一些欧洲国家也曾多次出口过稀土。究其原因,这些稀土匮乏国家(地区)一方面从国际市场进口稀土以满足消费需求,另一方面出于出口创收、友好援助等原因又对外出口稀土。因此,这些国家(地区)具有一定的稀土出口能力。此外,除了表6中预测的前10对国家(地区),图8中预测的潜在贸易联系国家(地区)对在未来也可能继续建立或新建稀土贸易联系,如2018年的比利时与捷克,中国与南非等已建立稀土贸易联系的国家(地区)对和奥地利与捷克,加拿大与法国等未建立稀土贸易联系的国家(地区)对。

表6 2018年数据预测的未来前10大潜在贸易联系国家(地区)对

Table 6 Top 10 country (region) pairs of potential trade links in the future based on the forecasting data of 2018

| 排序 | 国家(地区) | 国家(地区) | PA 值 | 排序 | 国家(地区) | 国家(地区) | PA 值 |
|----|--------|--------|--------|----|--------|--------|--------|
| 1 | 美国 | 比利时 | 646 | 6 | 中国 | 瑞典 | 280 |
| 2 | 德国 | 日本 | 493 | 7 | 美国 | 斯洛文尼亚 | 272 |
| 3 | 荷兰 | 英国 | 440 | 8 | 德国 | 西班牙 | 261 |
| 4 | 日本 | 荷兰 | 374 | 9 | 中国香港 | 美国 | 238 |
| 5 | 韩国 | 荷兰 | 286 | 10 | 奥地利 | 瑞士 | 230 |

2022年1月

4 结论与启示

4.1 结论

本文以“稀土金属、铈和钇”为研究对象,定量测度了稀土进口国之间的进口竞争强度,然后以竞争强度为网络边权重构建了全球稀土进口竞争网络,分析了近30年稀土进口国对全球、大洲、中国稀土的竞争状况。然后,使用链路预测算法揭示了稀土贸易联系动机,预测了未来稀土国间潜在的贸易联系。主要结论如下:

(1)全球稀土进口竞争网络规模有所扩大,竞争的全球化程度有所提高。总体而言,1990—2018年,稀土进口国数量和网络平均度有所增长,说明网络规模有所扩大,稀土进口国间形成了众多复杂的竞争关系,竞争的全球化程度有所提高;全球稀土进口竞争网络具有“紧密性”。平均聚类系数高,平均最短路径长度小,稀土进口竞争关系十分紧密。

(2)竞争关系及强度在大洲和国家层面分布具有显著不均衡性,大洲间竞争关系及强度主要集中在欧洲内部、亚洲内部、欧洲与亚洲之间,国家间竞争强度高度集中于少数竞争关系;大型稀土进口国之间的竞争构成了全球稀土进口竞争格局的最重要组成部分,主导着竞争格局的形成演化。竞争强度前10的国家基本全部为稀土进口大国,这些国家对全球稀土竞争格局的形成演化起主要推动作用;日本与其他稀土进口国的竞争最为激烈。研究期内,竞争强度前10的国家几乎都包含日本,且日本的总竞争强度在绝大多数年份位居第一,与其他国家竞争最为激烈。

(3)稀土进口国对全球和中国稀土的竞争强度先升后降,竞争由激烈趋于和缓。1990—2006年,竞争强度快速上升,竞争趋于激烈;2007—2018年,竞争强度呈现快速下降趋势,竞争趋于和缓;中国的稀土政策深刻影响了稀土进口国对全球和中国稀土竞争强度的形成和发展变化。受中国稀土生产、出口政策等因素影响,稀土进口国对全球和中国稀土的竞争强度在1990—2018年先升后降;中国是稀土进口国最主要的竞争对象,对中国稀土的激烈竞争主要集中在日本与其他进口国之间。近年来,稀土进口国对中国稀土的竞争强度占全球80%

以上,激烈的稀土进口竞争高度集中于中国,且主要集中在日本与其他进口国之间。

(4)优先链接(PA)是稀土进出口国建立稀土贸易联系的结构性动机,使用该算法预测稀土潜在贸易联系具有较高精度;2018年预测结果显示,未来美国与比利时,日本与德国,荷兰与英国等国家之间建立稀土贸易联系可能性大。瑞典等国可能与中国建立稀土贸易联系。

4.2 启示

本文从全球、大洲、国家3个维度分析了稀土进口竞争状况,并通过算法编程预测了未来潜在的稀土贸易联系,研究结果对稀土进出口国制定和调整稀土贸易政策具有一定参考价值。结合本文研究,尝试从以下两方面探讨对中国的政策启示:

(1)近30年来,全球稀土竞争强度高度集中于中国,稀土进口国竞争中国稀土最为激烈,这是中国的稀土贸易优势。为此,中国应合理利用自身在全球稀土竞争中的地位优势,在必要时可将这一优势用作与其他国家谈判、博弈的“筹码”。如在必要时打好“稀土牌”,应对与美国、日本等国的政治经济摩擦与争端,维护国家利益。但是,随着近年来缅甸、越南等国稀土新矿山的发现和开采,美国、澳大利亚等国陆续恢复稀土矿山生产,全球稀土进入多元化供给格局,中国的稀土资源优势减弱,稀土进口国竞争中国稀土的激烈程度有所下降。为此,中国应采取举措维护和提高稀土竞争地位优势,如加强技术研发,促进初级稀土产品深加工与高端应用,提升对高端稀土市场的出口能力,增强稀土,特别是高端、高附加值稀土出口的全球竞争力。

(2)受中国稀土生产出口政策和全球稀土供给多元化影响,全球稀土贸易联系正发生较大变化,一些从中国进口稀土的国家或将转向其他国家进口,甚至“脱离”中国市场。为应对这一贸易联系变化,一方面,中国应与现正开展稀土贸易的国家建立牢固的长期合作机制,并制定防范现有稀土贸易联系转移的应对预案。另一方面,应及时掌握全球稀土进出口国之间潜在贸易联系动态变化,加强可能与自身建立稀土贸易联系的国家合作,如上文预测的瑞典、比利时、法国、奥地利等国,并进一步促进出口多元化。

尽管本文较全面地分析了1990—2018年全球、大洲、国家间稀土进口竞争状况,并对未来稀土潜在贸易联系进行了预测。但由于稀土种类较多,难以在一篇文章中分别详细分析,加之全球高端稀土与中低端稀土的贸易量和贸易联系差异较大,若将不同种类稀土合并起来统一研究会掩盖部分贸易量小的高端稀土真实竞争强度和潜在贸易联系预测结果不准确的问题。因此,本文选择了贸易量较大,具有较高代表性的“稀土金属、钪和钇”为研究对象,这使得本文的研究结论尚不能推广到全部稀土品种。但根据本文研究结果,我们大致可以类推出,对于其他稀土品种贸易,中国可能也是主要的竞争对象。今后,我们将分类别全面开展对不同稀土品种,特别是高端稀土品种进口竞争及潜在贸易联系预测的研究。

参考文献(References):

- [1] 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): 1–22.
- [2] USGS. Mineral Commodity Summaries: Rare Earths[DB/OL]. (2020–01–01) [2020–09–15]. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs/2020/mcs2020-rare-earths.pdf>.
- [3] Schlinkert D, van der Boogaart K G. The development of the market for rare earth elements: Insights from economic theory[J]. *Resources Policy*, 2015, 46: 272–280.
- [4] 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. [Zhou M J, Huang J B, Shao L G, et al. Change and adjustment direction of China's rare earth policy[J]. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1527–1539.]
- [5] 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.
- [6] 郑明贵, 陈艳红. 世界稀土资源供需现状与中国产业政策研究[J]. *有色金属科学与工程*, 2012, 3(4): 70–74. [Zheng M G, Chen Y H. Supply and demand of global rare earth resources and China's rare earth industry policy[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2012, 3(4): 70–74.]
- [7] Barteková E, Kemp R. National strategies for securing a stable supply of rare earths in different world regions[J]. *Resources Policy*, 2016, 49: 153–164.
- [8] 李仲学, 周宝炉, 赵怡晴. 未来世界稀土供需格局分析及对策[J]. *稀土*, 2016, 37(3): 153–158. [Li Z X, Zhou B L, Zhao Y Q. Analysis on the world's future rare earths supply and demand situation and recommendations[J]. *Chinese Rare Earths*, 2016, 37(3): 153–158.]
- [9] 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, 42(2): 265–272. [Zheng G D, Wang K, Chen Q S, et al. The change of world rare earth industrial structure and the problems faced by China's rare earth industry[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2021, 42(2): 265–272.]
- [10] Wang X B, Lei Y L, Ge J P, et al. Production forecast of China's rare earths based on the Generalized Weng model and policy recommendations[J]. *Resources Policy*, 2015, 43: 11–18.
- [11] Wang J L, Guo M Y, Liu M M, et al. Long-term outlook for global rare earth production[J]. *Resources Policy*, 2020, DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.101569.
- [12] 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): 63–81. [Gao F P, Zhang P, Liu D C, et al. The rare earths global market updates and the rare earths industry master plan of the United States and its allies[J]. *Journal of International Trade*, 2019, (7): 63–81.]
- [13] Zhu K Y, Zhao S Y, Yang S L, et al. Where is the way for rare earth industry of China: An analysis via ANP-SWOT approach[J]. *Resources Policy*, 2016, 49: 349–357.
- [14] Han A P, Ge J P, Lei Y L. An adjustment in regulation policies and its effects on market supply: Game analysis for China's rare earths[J]. *Resources Policy*, 2015, 46: 30–42.
- [15] Klossek P, Kullik J, van der Boogaart K G. A systemic approach to the problems of the rare earth market[J]. *Resources Policy*, 2016, 50: 131–140.
- [16] 宋益, 黄健柏, 钟美瑞, 等. 外部性成本内部化视角下战略性矿产资源关税替代性政策研究: 以稀土矿为例[J]. *资源科学*, 2018, 40(3): 611–622. [Song Y, Huang J B, Zhong M R, et al. Research on tariffs' alternative policy of strategic mineral resources from the perspective of external cost internalization taking rare earth mine as an example[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 611–622.]
- [17] 何欢浪, 刘惠. 出口退税调整对中国稀土企业进入退出行为的影响[J]. *资源科学*, 2020, 42(8): 1540–1550. [He H L, Liu H. Impact of export rebate on firms' entry and exit behaviors in China's rare earth industry[J]. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1540–1550.]
- [18] 董虹蔚, 孔庆峰. 不完全信息下稀土出口定价的博弈分析[J]. *经济与管理评论*, 2017, 33(5): 127–135. [Dong H W, Kong Q F. A game analysis of the rare earth export pricing with incomplete information[J]. *Review of Economy and Management*, 2017, 33(5): 127–135.]
- [19] 袁中许. 资源异质性视角下中国稀土定价权缺失失真研究[J].

2022年1月

- 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 157–167. [Yuan Z X. Authenticity study on the lack of pricing power in China's rare earth from the perspective of resource heterogeneity[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(4): 157–167.]
- [20] 邓炜. 国际经验及其对中国争夺稀土定价权的启示[J]. 国际经贸探索, 2011, 27(1): 30–34. [Deng W. International experiences in contending for commodity pricing power and their enlightenment to China rare-earth[J]. International Economics and Trade Research, 2011, 27(1): 30–34.]
- [21] 于左, 易福欢. 中国稀土出口定价权缺失的形成机制分析[J]. 财贸经济, 2013, (5): 97–104. [Yu Z, Yi F H. Analysis on formation mechanism of the lack of China's pricing power on rare earth[J]. Finance & Trade Economics, 2013, (5): 97–104.]
- [22] Mancheri N A. World trade in rare earths, Chinese export restrictions, and implications[J]. Resources Policy, 2015, 46: 262–271.
- [23] 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, 27(1): 120–127. [Chen B B. The case of China-rare earths under WTO and improvements of China's natural resources export control system[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(1): 120–127.]
- [24] Mancheri N A. Chinese monopoly in rare earth elements: Supply-demand and industrial applications[J]. China Report, 2012, 48(4): 449–468.
- [25] 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, 32(7): 1087–1099. [Ma G X, Zhu W Q, Wang X J, et al. Evaluation of ecological and environmental cost of rare earth resource exploitation in China from 2001 to 2013[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(7): 1087–1099.]
- [26] McLellan B C, Corder G D, Golev A, et al. Sustainability of the rare earths industry[J]. Procedia Environmental Sciences, 2014, 20: 280–287.
- [27] 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.
- [28] 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. [Zhu X H, Peng T, Chen J Y. Impact of strategic and critical metals trade network characteristics on the upgrading of industrial structures[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1489–1503.]
- [29] 郭佩琳. 国际稀土贸易格局的社会网络分析[J]. 价格月刊, 2014, (5): 49–53. [Wu P L. Social network analysis of international rare earth trade situation[J]. Prices Monthly, 2014, (5): 49–53.]
- [30] 倪娜, 杨丽梅. 基于社会网络分析的稀土永磁贸易国际格局研究[J]. 稀土, 2019, 40(6): 144–154. [Ni N, Yang L M. Research on international pattern of rare earth permanent magnet trade based on social network analysis[J]. Chinese Rare Earths, 2019, 40(6): 144–154.]
- [31] 邵桂兰, 周乾. 中美稀土出口空间格局比较研究[J]. 稀土, 2018, 39(3): 149–158. [Shao G L, Zhou Q. Comparative study on the spatial pattern of rare earth export in China and the United States[J]. Chinese Rare Earths, 2018, 39(3): 149–158.]
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Zhang J. Oil and gas trade between China and countries and regions along the 'Belt and Road': A panoramic perspective[J]. Energy Policy, 2019, 129: 1111–1120.
- [35] Glick R, Rose A K. Contagion and trade: Why are currency crises regional?[J]. Journal of International Money and Finance, 1999, 18(4): 603–617.
- [36] Zhang H Y, Ji Q, Fan Y. Competition, transmission and pattern evolution: A network analysis of global oil trade[J]. Energy Policy, 2014, 73: 312–322.
- [37] 吕琳媛. 复杂网络链路预测[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(5): 651–661. [Lv L Y. Link prediction on complex networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010, 39(5): 651–661.]
- [38] Almansoori W, Gao S, Jarada T N, et al. Link prediction and classification in social networks and its application in health care and systems biology[J]. Network Modeling Analysis in Health Informatics & Bioinformatics, 2012, 1(1): 27–36.
- [39] Sherkat E, Rahgozar M, Asadpour M. Structural link prediction based on ant colony approach in social networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2015, 419: 80–94.
- [40] Berlusconi G, Calderoni Francesco, Parolini N, et al. Link prediction in criminal networks: A tool for criminal intelligence analysis[J]. Plos One, 2016, 11(4): 1–21.
- [41] Guan Q, An H Z, Gao X Y, et al. Estimating potential trade links in the international crude oil trade: A link prediction approach[J]. Energy, 2016, 102: 406–415.
- [42] Guan Q, An H Z. The exploration on the trade preferences of cooperation partners in four energy commodities' international trade: Crude oil, coal, natural gas and photovoltaic[J]. Applied Energy, 2017, 203: 154–163.
- [43] Lv L Y, Zhou T. Link prediction in complex networks: A survey[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2011, 390(6): 1150–1170.

Global rare earth import competition pattern and prediction for potential trade links

ZHU Kongchao^{1,3}, ZHAO Yuan^{1,2,3}, YAO Yabing⁴, CUI Panpan^{1,3}, YAN Jiyao^{1,3}

(1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. School of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Rare earth is an extremely important strategic resource for the economic and social development of a country, and analyzing its import competition pattern from a long temporal scale and predicting its potential trade links can provide some references for rare earth importers and exporters in formulating and adjusting rare earth trade policies. Taking rare earth (HS: 280530) as the research object, this study constructed the global rare earth import competition network from 1990 to 2018 by applying the complex network method, then the global rare earth import competition pattern and characteristics of change, inter-continental and inter-country competition conditions, and the competition situation for China were analyzed. On this basis, the link prediction algorithms based on local information similarity were used to investigate the link motivation of rare earth trade and predict the potential trade links. The results show that: (1) The scale of global rare earth import competition network has expanded and the degree of competition globalization has increased. The competition network presents the characteristic of “compactness”; (2) The competition relationships between continents and high competition intensity mainly existed within Europe, within Asia, and between Europe and Asia. The distribution of high competition intensity between countries is highly concentrated in a few competition relationships. The competition between large rare earth importers constitutes the most important part of the global rare earth import competition pattern and dominates the formation and change of this pattern. The competition between Japan and other countries is of the highest intensity; (3) Affected by China’s rare earth production and export policies and other factors, the competition intensity for rare earth in the whole world and in China has changed from increasingly fierce to overall moderate. High global competition intensity is concentrated on China and the rare earth importers have the most intense competition for China’s rare earth resources. (4) Preferential attachment is the link motivation for rare earth trade countries to establish rare earth trade links. In the future, the United States and Belgium, Japan and Germany, and the Netherlands and Britain are likely to establish rare earth trade links. Countries such as Sweden may establish rare earth trade links with China.

Key words: rare earth; complex network; competition pattern; link prediction; potential trade link; link motivation; China