

萤石典型产品国际贸易竞争格局演变

陈韵冰^{1, 2, 3)}, 王星星^{1, 2)*}, 周凤英^{1, 2, 3)}

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2) 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037;
3) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

摘 要: 萤石作为一种重要的非金属战略性矿产资源, 受到各国(地区)的高度重视。由于全球萤石资源储量有限、分布不均, 萤石产品的供需矛盾不断增强, 激化了萤石资源进出口之间的竞争。本文主要研究了萤石资源国际贸易, 以无机氟化工产业链为切入点, 选取酸级萤石、电子级氢氟酸、六氟磷酸锂为研究对象, 运用复杂网络方法, 构建了 2000—2020 年全球萤石产品进口竞争网络, 分析其格局、演变特征, 国家(地区)间竞争特点以及中国萤石产品的竞争状况。结果发现: 全球萤石产品之间的竞争越来越激烈, 各阶段的累积度分布都遵循幂律分布。竞争强度占比前 20% 的国家(地区)显示出更直观的集中化趋势。近 20 年来美国一直是酸级萤石进口竞争的矛盾中心。电子级氢氟酸和六氟磷酸锂的进口竞争网络的核心国家(地区)是不断演变的。建议中国等萤石资源储量丰富的国家(地区), 合理规划萤石产业, 优化萤石资源供需格局、促进萤石产业健康可持续发展。

关键词: 萤石; 竞争网络; 国际贸易; 典型产品

中图分类号: F416; F746 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.121301

The Evolution of the International Trade Competition Pattern of Fluorite Typical Products

CHEN Yun-bing^{1, 2, 3)}, WANG Xing-xing^{1, 2)*}, ZHOU Feng-ying^{1, 2, 3)}

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*
2) *Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*
3) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083*

Abstract: As an important non-metallic strategic mineral resource, fluorite is highly valued by all countries (regions). Due to the limited reserves and uneven distribution of global fluorite resources, the contradiction between supply and demand of fluorite products continues to increase, which intensifies the competition between the import and export of fluorite resources. This paper mainly studies the international trade of fluorite resources, takes the inorganic fluorine chemical industry chain as the entry point, selects acid-grade fluorite, electronic grade hydrofluoric acid, lithium hexafluorophosphate as the research objects, and uses complex network methods to construct a global fluorite product import competition network from 2000 to 2020, and analyzes its pattern, evolution characteristics, inter-country (region) competition characteristics and the competitive situation of China's fluorite products. The results show that the competition between global fluorite products is becoming more and more intense, and the cumulative distribution of each stage follows the power law distribution. Countries (regions) in the top 20% of competition intensity show a more intuitive trend towards centralization.

本文由国家自然科学基金重大研究计划集成项目“中国关键金属矿产清单厘定与风险评估”(编号: 92162321)、国家自然科学基金基础科学中心项目“数字经济时代的资源环境管理理论与应用”(编号: 72088101)和国家自然科学基金重大项目“新时代战略性关键矿产资源安全与管理”(编号: 71991480)及其课题 5 “新时代中国战略性关键矿产资源全球治理体系研究”(编号: 71991485)联合资助。

收稿日期: 2022-09-22; 改回日期: 2022-12-02; 网络首发日期: 2022-12-22。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 陈韵冰, 女, 1999 年生。硕士研究生。资源与环境专业, 资源产业经济方向。通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学。E-mail: 2907289361@qq.com。

*通讯作者: 王星星, 女, 1987 年生。博士。主要研究方向为矿产资源战略研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: xiaoxing0523@126.com。

For nearly two decades, the United States has been the center of contradiction in the competition for acid-grade fluorite imports. The core countries (regions) of the import competition network for electronic grade hydrofluoric acid and lithium hexafluorophosphate are constantly evolving. It is recommended that China and other countries (regions) with rich fluorite resource reserves rationally plan the fluorite industry, optimize the supply and demand pattern of fluorite resources, and promote the healthy and sustainable development of the fluorite industry.

Key words: fluorite; competitive network; international trade; typical products

萤石是一种重要的非金属战略矿产资源,是目前唯一可以大量提供氟元素的矿物,是现代氟化工的重要矿物原料(张丹仙等, 2022)。氟化工产业与新兴产业密切相关,尤其是无机氟化工产业中的 5G 材料、光伏、风电等。电子级氢氟酸是太阳能光伏发电产业必不可少的中间产品;另外,六氟磷酸锂是锂电池电解液的主要成分,锂电池是新能源汽车的主要动力电池,随着新能源汽车发展,六氟磷酸锂的市场需求显示井喷之势,进一步提升了萤石产品的价值,未来萤石的需求量将有增无减(王自国和朱培元, 2020; 陈军元等, 2021; 安海忠和李华姣, 2022)。

虽然萤石需求量在不断增加,但是萤石资源的供应却十分有限。世界萤石矿资源分布极其不均,(王振亮等, 2013; 张福良和郭小兵, 2017),受资源禀赋、贸易保护主义以及逆全球化势力等因素影响,全球氟化工产业呈现出高度集中和高度垄断的现象,对萤石产品的供需和消费格局产生了严重影响(赵鹏等, 2020; 许海等, 2021)。国际贸易活动可以提高全球资源利用的效率,大部分萤石资源短缺的国家(地区)只有通过国际贸易市场才能获得萤石产品资源。而在贸易活动中不可避免会产生进出口的竞争,供应限制和需求增长之间的矛盾将进一步加剧萤石产品进出口商之间的竞争。因此,研究全球萤石资源典型产品的国际贸易竞争格局及其演化趋势具有重要意义(李敬等, 2019; 商朋强等, 2020; 杨宇等, 2020)。

目前复杂网络已经被广泛应用于资源贸易领域的研究。Zhong et al.(2014)基于复杂网络理论建立了无加权和加权石油贸易网络模型,检测石油贸易网络中的社区,并分析了它们随时间推移的进化特性和稳定性。An et al.(2014)建立了基于贸易的国际原油网络模型,以研究具有共同贸易伙伴的国家(地区)之间的关系;Ren et al.(2021)构建了具有贸易量和贸易增量的铬矿进口贸易网络,验证了中美铬矿进口贸易模式的相关性和依赖性,并对全球铬矿进口贸易模式进行了分析;Geng et al.(2014)利用复杂网络理论分析了国际天然气贸易结构的演化特征和国际天然气市场的整合;Zhong et al.(2017)通过定量分析全球化石燃料贸易的演变,为分析全球化

石燃料贸易格局提供了新的视角。

国际贸易竞争格局是基于复杂网络理论的国际贸易格局逐渐演变而来的。近年来,一些研究者将复杂网络理论引入到国际贸易体系中国家(地区)间竞争关系的研究中,目前学者已经研究了石油(Zhang et al., 2014)、天然气(Chen et al., 2016)、石墨(Wang et al., 2019)、铝土矿(史超亚等, 2018)、铁矿石(郝晓晴等, 2013)、精炼铜(李步界和邢万里, 2021)等矿产资源,还有一些学者基于产业链对贸易网络进行了研究(李华姣等, 2020; 卢煜和李华姣, 2020; 赵怡然等, 2022)。前人通过复杂网络对矿石贸易领域进行研究,进而提出保障中国矿产资源贸易安全的相关政策建议,取得了丰富的研究成果,为本文研究提供了重要参考和借鉴。目前大多数学者的研究主要集中在战略性金属矿产和化石燃料贸易的研究领域,少见对萤石资源典型产品国际贸易竞争格局的研究,填补这一研究空白是本文的主要目标。

因此,本文从无机氟化工产业链入手,选取与新能源产业相关的下游产品电子级氢氟酸、六氟磷酸锂和作为关键矿产的酸级萤石原产品作为研究对象,分别从全球整体角度、区域社团角度、典型国家(地区)角度考虑,分析其国际贸易竞争格局演变特征。研究结果可以帮助决策者了解萤石资源典型产品的国际贸易竞争格局及其演变趋势。本文主要贡献有以下三点: 1)首次将萤石原产品与下游高附加值产品作为典型产品研究。2)首次构建全球萤石资源典型产品竞争网络,研究竞争网络整体特征,对进出口商掌握萤石资源全球贸易的新规则、制定适当的进出口战略有重要意义。3)结合中美竞争形势,以及中国该产业发展存在的问题,提出相应的政策建议。

1 数据与方法

1.1 数据

本文主要研究萤石资源国际贸易典型产品,考虑到数据的可获得性以及研究意义,选取了酸级萤石(HS 编码: 252922)和与新能源产业有关的具有代表性的电子级氢氟酸(HS 编码: 281111)、六氟磷酸锂(HS 编码: 282690)进行研究。数据均来自联合国

贸易统计署(UN Comtrade)公开数据。在本研究中,我们筛选进出口贸易量前 95%的国家(地区)。各国之间的统计口径略有差异,因此,为了统一,本文将来自任意两个国家(地区)间的统计数据的最大贸易量作为参考贸易量。

1.2 竞争强度

基于 Glick and Rose(1999)提供的指标,并参照 Wang et al.(2019)提出的一个用于衡量石墨贸易资源竞争水平的直接竞争强度的指标,将世界萤石产品进出口竞争网络的竞争强度指数定义如下:

$$S_{ij} = \sum_m \left\{ \left(\frac{W_{mi} + W_{mj}}{W_w} \right) \times \left[1 - \left(\frac{\left(\frac{W_{mi}}{W_i} \right) - \left(\frac{W_{mj}}{W_j} \right)}{\left(\frac{W_{mi}}{W_i} \right) + \left(\frac{W_{mj}}{W_j} \right)} \right) \right] \right\} \times 100 \quad (1)$$

其中 S_{ij} 是萤石资源进口商 v_i 和 v_j 之间的竞争强度, m 代表共同的萤石资源进口来源 v_m 。 W_{mi} 代表进口商 v_i 从共用进口源 v_m 的萤石贸易量。类似地, W_{mj} 表示进口商 v_j 从 v_m 的萤石贸易量。 W_i 和 W_j 代表进口商 v_i 和 v_j 的总进口量。 W_w 是世界萤石资源进口总量。

1.3 竞争网络模型

1.3.1 网络构建

萤石产品进出口竞争网络是一个无向加权网络,整个竞争网络用集合 $G=(V, E)$ 表示。其中 $V=(v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ 代表存在萤石进口活动的国家(地区),作为进口竞争网络的网络节点, $V'=(v'_1, v'_2, v'_3, \dots, v'_n)$ 代表萤石出口商,作为出口竞争网络的网络节点。进口竞争关系 $E=\{e_{ij}\}$ 作为网络连边,表示进口商 v_i 与进口商 v_j 间的竞争强度 S_{ij} ,进口商 v_i 与进口商 v_j 产生进口竞争的前提是二者拥有共同的进口来源 v_p ,而出口商 v_p 并不属于进口竞争网络。该关系如图 1 所示。

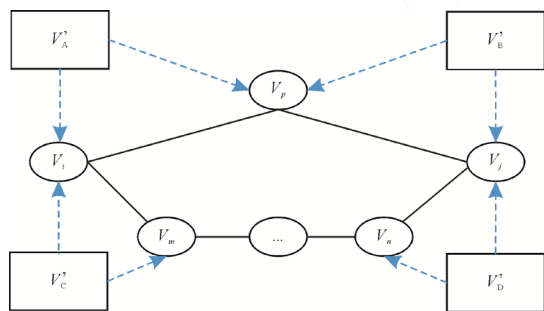


图 1 竞争关系图(其中实线表示竞争关系,虚线表示出口关系,圆圈中的 V_i, V_p, V_m, V_n, V_j 等代表进口商,长方形中的 V'_A, V'_B, V'_C, V'_D 代表出口商)

Fig. 1 Competitive relationship diagram (where the solid line represents the competitive relationship, the dotted line indicates the export relationship, the V_i, V_p, V_m, V_n, V_j etc. in the circle represent the importer, the V'_A, V'_B, V'_C, V'_D , in the rectangle, represent the exporter)

1.3.2 网络指标

(1) 节点度

网络中节点的度值代表着与网络中节点直接相连的节点的个数。

节点度 K_i 的计算公式为:

$$K_i = \sum_{j=1}^N k(j, i) \quad (2)$$

式中 i 和 j 分别表示网络中的节点,当边 (j, i) 存在时, $k(j, i)$ 为 1, 否则为 0, N 为节点总数。

度分布用于描述节点连接数的分布特征。如果网络中所有节点的度分布遵循幂律 $P(k) \sim k^{-\gamma}$, 则网络具有无标度特征,即少量节点具有许多连通边 (Barabási and Albert, 1999)。

(2) 节点加权重

加权重是与节点相连的边的权重总和,是指贸易国之间产生的贸易量。

节点加权重值 W_i 的计算公式为:

$$W_i = \sum_{\phi=1}^N W_i^{\phi} \quad (3)$$

式中 W_i^{ϕ} 为与节点 i 相连的边上的权重。

(3) 聚类系数

表示节点和近邻节点间联系的聚集程度。聚类系数计算公式见式(4):

$$C_i = \frac{E_i}{C_{k_i}^2} \quad (4)$$

式中 E_i 为节点 i 的 k_i 个邻居节点间实际存在的边数; $C_{k_i}^2$ 为节点 i 的 k_i 个邻居节点间可能存在的边数,平均聚类系数则是所有节点聚类系数的均值,用于体现网络中的节点聚集程度。平均聚类系数公式见式(5):

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (5)$$

(4) 平均路径长度

网络平均路径长度衡量贸易的传输性能与效率,网络中两个节点 i 和 j 之间的距离 $d(i, j)$ 定义为连接这两个节点的最短路径上的边数。网络中的平均路径长度 l 定义为任意两个节点之间的距离的平均值,如公式(6)(Watts and Strogatz, 1998):

$$l = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,j} d(i, j) \quad (6)$$

式中 n 为网络节点总数。

(5) 模块度

模块度是衡量复杂网络中社团划分程度的指标(Newman, 2001)。模块度的计算公式见式(7):

$$q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left[A_{ij} - \frac{k_i \times k_j}{2m} \right] \quad (7)$$

式(7)借鉴了 LAMBIOTTE 等提出的社团划分方法,其中, m 为网络结构中边的权重; A_{ij} 为节点

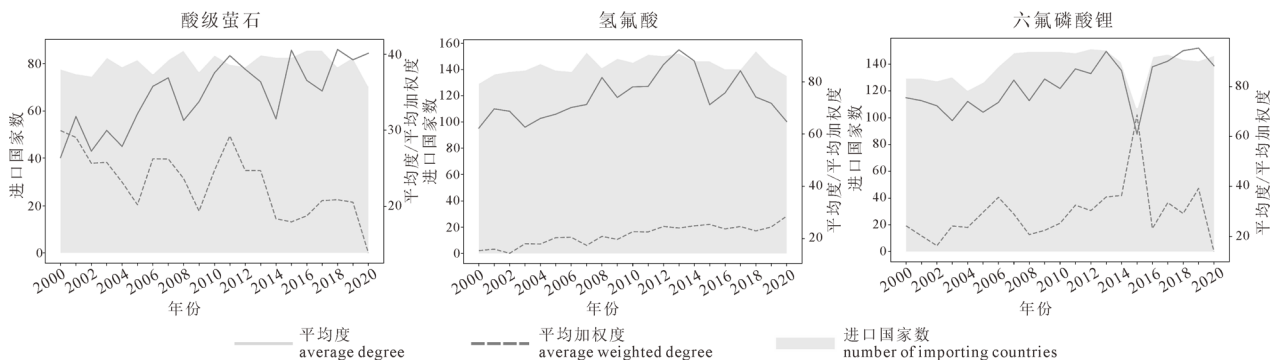


图2 全球贸易进口竞争网络指标

Fig. 2 Indicators of the global trade import competition network

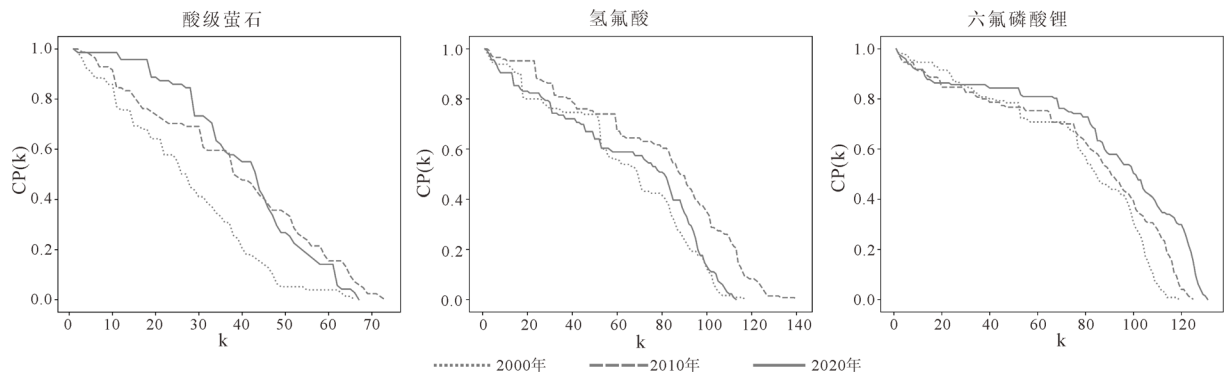
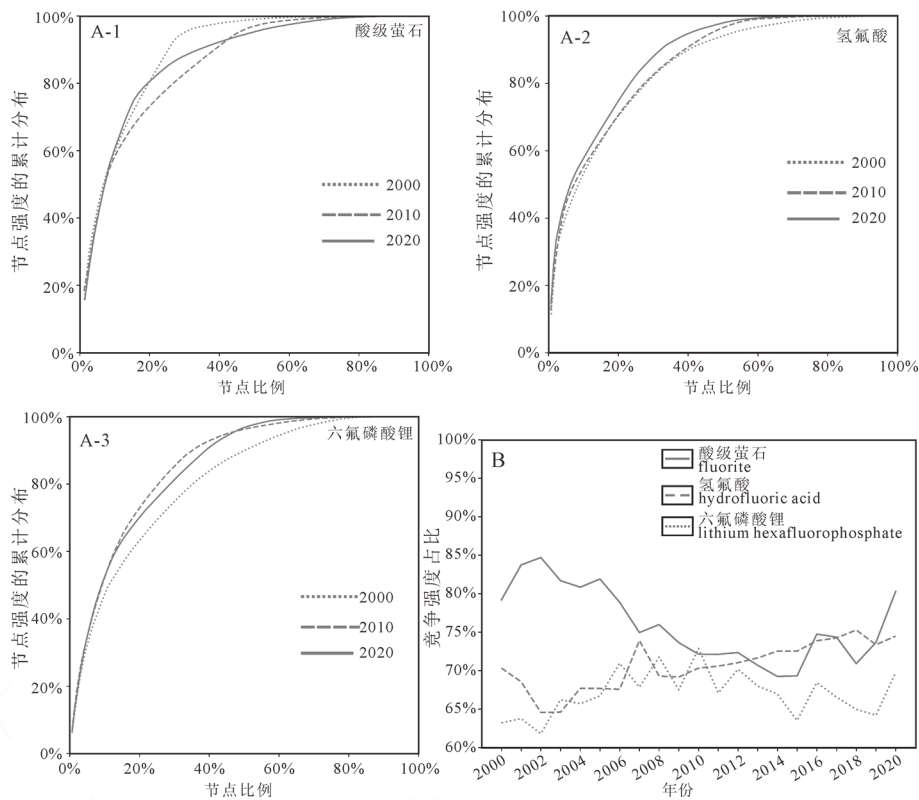


图3 萤石资源典型产品进口竞争网络的累积度分布

Fig. 3 Distribution of the cumulative degree of import competition network of typical products of fluorite resources



A—萤石资源典型产品进口竞争网络节点强度的累计分布;

B—萤石资源典型产品进口竞争竞争强度排名前20%国家(地区)的总竞争强度占比。

A—cumulative distribution of node strength of import competition network of typical products of fluorite resources;

B—the proportion of the total competitive intensity of the top 20% of the countries with typical products of fluorite resources.

图4 竞争网络节点强度的累积分布(A)和国家(地区)的竞争强度占比(B)

Fig. 4 Cumulative distribution of node intensity of competitive networks (A) and proportion of competition intensity by country (B)

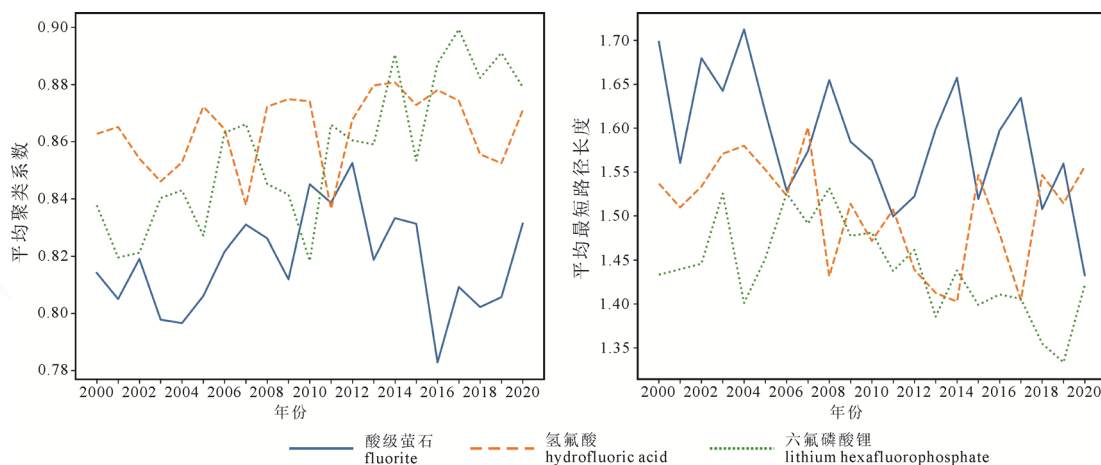


图5 进口竞争网络紧密性指标

Fig. 5 Import competition network compactness index

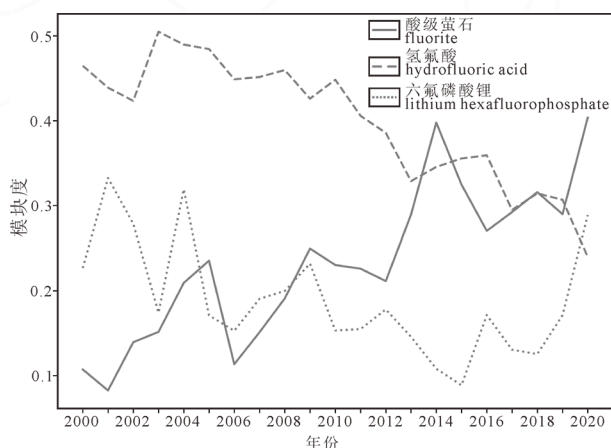


图6 三种产品进口竞争网络模块度演变

Fig. 6 Evolution of modules of the three product import competition networks

i 到节点 j 之间边的权重; k_i 和 k_j 分别为两个节点连接的所有边的权重之和; $-\frac{k_i \times k_j}{2m}$ 为在随机情况下 A_{ij} 的期望值。

2 结果与讨论

2.1 全球网络整体特征分析

本文利用竞争国数量、竞争关系和竞争强度来衡量萤石资源典型产品全球贸易竞争网络的规模。如图 2 所示。从整体上看,三种产品的进口贸易国数量波动不大,表明三种产品全球进口贸易的竞争规模变化趋势不大。全球酸级萤石和六氟磷酸锂进口贸易竞争关系数量在增长,但是国家(地区)之间竞争强度在减弱;全球电子级氢氟酸进口竞争国家(地区)数量在减少,竞争强度在不断增加。

为了进一步说明竞争网络的拓扑特征,图 3 中显示了进口竞争网络的累积度分布。我们发现,萤石资源典型产品在各个阶段的累积度分布都遵循幂律分布,说明少数国家(地区)在产业链的各个阶段都与其他国家(地区)具有更强的竞争关系。

从图 4 可以看出,三种萤石资源典型产品三年(2000 年、2010 年、2020 年)进口竞争网络的节点加权度值的累计占比分布有明显的左上角趋势(图 4A)。按竞争强度计算,三种产品进口贸易网络中竞争强度占比前 20% 的国家(地区)显示出更直观的集中化趋势,并且进口竞争网络中呈现不断加剧的状态(图 4B)。

为了进一步反映竞争网络的紧密性,我们研究了竞争网络的平均聚类系数和平均路径长度。如图 5 示为进口竞争网络紧密性指标,三种进口竞争网络中的平均路径长度较短,在 1.3~1.7 之间。同时,聚类系数随时间略有增大,平均路径长度随时间逐渐减小,说明全球萤石资源典型产品之间的竞争越来越激烈。

图 6 显示了网络模块化的演变。2014 年至 2018 年,酸级萤石和六氟磷酸锂的进口竞争网络模块度整体波动较大;酸级萤石、电子级氢氟酸的进口竞争网络模块度随着时间不断增大,竞争网络逐渐划分成几个社区,向“小世界”方向靠拢,六氟磷酸锂的进口竞争网络模块度不断减小,竞争的全球化更为明显。

2.2 进口竞争关系与竞争国家(地区)分析

在酸级萤石中形成以美国为核心的进口竞争网络(表 1)。2000 年以美国为核心的北美洲与亚洲竞争最为激烈,北美洲内部的竞争主要集中于美国与古巴,与亚洲的竞争主要集中于日本、印度和韩国欧美的竞争是 2010 年最主要的竞争特点。2020 年竞争关系涉及到更多的国家(地区)和地区,主要还是集中于北美、亚洲和欧洲各国之间的竞争中,中国挤进前三,与美国、意大利进口竞争强度加强。从 2000—2020 年 21 年间,前十对竞争国家(地区)关系中几乎都包含美国,美国不仅是北美洲酸级萤石进口竞争的矛盾中心,也成为全世界

表 1 酸级萤石 2000、2010、2020 年进口竞争关系排名
Table 1 Ranking of acid-grade fluorite import competition in 2000, 2010 and 2020

排名	2000 年		2010 年		2020 年	
	国家(地区)1	国家 2	国家 1	国家 2	国家 1	国家 2
1	日本	美国	乌克兰	美国	意大利	美国
2	印度	美国	加拿大	美国	中国	美国
3	古巴	美国	意大利	美国	中国	意大利
4	捷克	美国	巴西	美国	乌克兰	美国
5	韩国	美国	英国	美国	以色列	美国
6	意大利	美国	比利时	美国	埃及	美国
7	泰国	美国	突尼斯	美国	印度	荷兰
8	英国	美国	德国	美国	埃及	意大利
9	澳大利亚	美国	哥伦比亚	美国	德国	美国
10	中国香港	美国	尼加拉瓜	美国	德国	印度

表 2 电子级氢氟酸 2000、2010、2020 年进口竞争关系排名
Table 2 Ranking of import competition relationships of electronic grade hydrofluoric acid in 2000, 2010 and 2020

排名	2000 年		2010 年		2020 年	
	国家 1	国家 2	国家 1	国家(地区)2	国家(地区)1	国家(地区)2
1	智利	美国	危地马拉	美国	日本	韩国
2	巴拿马	美国	萨尔瓦多	美国	中国台湾	韩国
3	洪都拉斯	美国	日本	中国台湾	马来西亚	韩国
4	萨尔瓦多	美国	洪都拉斯	美国	日本	中国台湾
5	危地马拉	美国	印度尼西亚	日本	泰国	韩国
6	古巴	美国	巴西	日本	越南	韩国
7	加拿大	美国	泰国	日本	印度尼西亚	韩国
8	法国	荷兰	印度	日本	新加坡	韩国
9	委内瑞拉	美国	越南	日本	马来西亚	日本
10	瑞典	法国	巴基斯坦	日本	斯里兰卡	韩国

表 3 六氟磷酸锂 2000、2010、2020 年进口竞争关系排名
Table 3 Ranking of import competition relationships of lithium hexafluorophosphate in 2000, 2010 and 2020

排名	2000 年		2010 年		2020 年	
	国家 1	国家 2	国家 1	国家 2	国家 1	国家 2
1	波黑	希腊	荷兰	西班牙	莫桑比克	所罗门群岛
2	克罗地亚	希腊	荷兰	美国	莫桑比克	斯里兰卡
3	土耳其	希腊	西班牙	美国	莫桑比克	菲律宾
4	荷兰	英国	荷兰	日本	西班牙	美国
5	巴哈马	牙买加	荷兰	英国	韩国	美国
6	巴巴多斯	牙买加	巴西	荷兰	英国	美国
7	圣基茨和尼维斯	牙买加	巴西	美国	马来西亚	美国
8	巴拿马	牙买加	西班牙	日本	日本	美国
9	洪都拉斯	牙买加	美国	日本	荷兰	韩国
10	圣卢西亚	牙买加	土耳其	荷兰	法国	德国

酸级萤石进口竞争的矛盾中心。

在电子级氢氟酸中进口竞争网络的核心国家(地区)是不断演变的(表 2), 2000 年美洲内部的竞争最为激烈, 主要涉及北美洲的美国、加拿大、古巴、萨尔瓦多, 南美的智利、巴拿马等国。2010 年全球竞争关系逐渐演变为以日本为核心的亚洲内部的竞争, 考虑到日本国家的实际情况, 与他们对半导体产业的需求有关, 除此之外, 也存在美洲内部的竞争, 与 10 年前一样, 是美国与危地马拉等国家之间

的竞争。2020 年全球竞争关系依然主要是亚洲内部为核心, 不过核心国由日本变为了韩国。考虑到 2019 年日本对韩国氢氟酸断供事件, 韩国不得不向其他出口国进口, 其在 2020 年成为全球电子级氢氟酸进口竞争网络的核心也合情合理。从 2000—2020 年 21 年间, 虽然竞争关系在各个国家(地区)中演变, 但主要是各个州之间内部的竞争, 从 2000 年的美洲内部到如今演化为亚洲内部, 州内竞争关系是电子级氢氟酸进口竞争网络的重中之重。

六氟磷酸锂进口竞争网络的核心也是随着时间不断演变的(表 3)。2000 年主要是希腊与波黑、克罗地亚等国之间的竞争。除此之外,以牙买加为核心的北美洲与亚洲、南美洲、大洋洲竞争较为激烈。到 2010 年主要是欧美国家与亚洲国家之间的竞争,希腊、英国等国家的进口竞争地位减弱,荷兰与西班牙的竞争上升为首要的竞争关系。2020 年竞争关系涉及到更少的国家和地区,以莫桑比克为核心的非洲与亚洲、大洋洲最为激烈,主要是与所罗门群岛、斯里兰卡、菲律宾之间的竞争。与前些年大不相同,随着新能源锂电池产业的发展,六氟磷酸锂在经济大国产能扩展迅速,价格持续上涨,经济大国都在本国氟化工产业链进行生产出口到其他国家去,所以像中国、德国等国家出口量排名靠前,进口竞争关系却不激烈。从 2000—2020 年 21 年间,六氟磷酸锂贸易进口竞争网络由欧美国家向亚洲和非洲国家的演变可以看出,六氟磷酸锂逐渐被经济发达的国家生产,一方面这种国家具有丰富的原材料供应,另一方面这种国家具有先进的科技水平,因此,进口竞争网络的核心国逐渐从中国、美国、德国向莫桑比克演变。

3 主要结论与认识

本文基于复杂网络方法构建了全球萤石资源典型产品进口贸易竞争网络模型。研究了萤石产业链上的竞争网络的总体特征、结构演化和国家(地区)关系。结论和讨论如下:

(1)萤石资源典型产品竞争强度占比前 20%的国家(地区)显示出更直观的集中化趋势,并且进口竞争网络中呈现不断加剧的状态。萤石资源典型产品在各个阶段的累积度分布都遵循幂律分布,各国之间的竞争越来越激烈。

从竞争网络的整体特征上看,萤石资源典型产品呈现的贸易特征有一定的差异。全球酸级萤石和六氟磷酸锂进口贸易竞争关系数量在增长,但是国家(地区)之间竞争强度在减弱;全球电子级氢氟酸进口竞争国家(地区)数量在减少,而竞争强度在不断增加。酸级萤石、电子级氢氟酸的进口竞争网络模块度随着时间不断增大,向“小世界”方向靠拢,六氟磷酸锂的进口竞争的全球化更为明显。

(2)美国是全球酸级萤石进口竞争的矛盾中心,电子级氢氟酸和六氟磷酸锂的进口竞争网络核心不断演变。2020 年中国挤进酸级萤石进口竞争网络前三,与美国、意大利进口竞争强度加强。州内竞争关系是电子级氢氟酸进口竞争网络的重中之重,全球竞争的重心从 2000 年的美洲内部转移到 2010 年的以日本为核心的亚洲内部。从 2000—2020 年 21

年间,六氟磷酸锂贸易进口竞争网络由欧美国家向亚洲和非洲国家演变。

(3)发达国家与新兴工业化国家(地区)都将产业发展重心从产业链的上游向下游转移。在上游进行激烈的竞争,以“低价”买入他国的资源进行加工生产,在高附加值的下游产品进口竞争关系中“退隐”。资源稀缺、技术落后的非洲国家只能“被迫”参与高附加值产品的进口竞争中。值得一提的是,中国在近两年更多地参与到酸级萤石的进口竞争中,不失为一种“妙计”,既保护了本国资源的可持续性发展,又可以采用“高性价比”的方式推动技术进步。

本文研究的萤石资源典型产品是以酸级萤石为代表的氟石精矿作为上游产品,六氟磷酸锂和电子级氢氟酸作为下游精细化加工产品的代表,选取了产业链不同阶段的典型产品进行研究竞争格局。从全球氟化工的产业链特征来看,从萤石开始,随着产品加工深度的增加,产品的附加值成几何倍数增长,氟化工行业的价值重心在中下游。

在整个产业链中,美国是全球酸级萤石进口竞争的矛盾中心,这与美国的资源禀赋和技术发展水平息息相关,美国酸级萤石储量低,严重依赖国外进口。而我国由于资源优势,在靠近原材料的低端产品方面具有一定的竞争力;但是在附加值高、加工深度以及技术要求高的产品领域中,我国还没有做到“领跑者”的地位。目前全球氟化工高端生产技术和产品仍主要集中于发达国家的发达企业。

在此形势下,建议中国等资源储量丰富的国家,从战略性资源管理角度出发,对萤石产业合理规划,从传统氟化工向精细氟化工、电子级氟化工转型,实现新能源材料领域和电子信息材料领域由“跟跑者”向“并行者”、“领跑者”的跃升。在互利共赢的基础上,与“一带一路”沿线国家共同开发萤石资源与市场,优化萤石资源供需消费格局、促进萤石产业健康可持续发展。

Acknowledgements:

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (Nos. 92162321, 72088101, 71991480, and 71991485).

参考文献:

- 安海忠,李华蛟. 2022. 战略性矿产资源全产业链理论和研究前沿[J]. 资源与产业, 24(1): 8-14.
- 陈军元,刘艳飞,颜玲亚,高树学,欧阳友和,龙涛. 2021. 石墨、萤石等战略非金属矿产发展趋势研究[J]. 地球学报, 42(2): 287-296.
- 郝晓晴,安海忠,陈玉蓉,高湘昀. 2013. 基于复杂网络的国际

- 铁矿石贸易演变规律研究[J]. 经济地理, 33(1): 92-97.
- 李步界, 邢万里. 2021. 基于复杂网络理论的全局精炼铜贸易特征分析[J]. 中国矿业, 30(5): 57-64.
- 李华姣, 安海忠, 齐亚杰, 刘海萍. 2020. 基于产业链国际贸易网络的中国优势矿产资源全球贸易格局和竞争力——以钨为例[J]. 资源科学, 42(8): 1504-1514.
- 李敬, 张寿庭, 商朋强, 赵玉. 2019. 萤石资源现状及战略性价值分析[J]. 矿产保护与利用, 39(6): 62-68.
- 卢煜, 李华姣. 2020. 铜产业链研究现状综述[J]. 资源与产业, 22(2): 60-68.
- 商朋强, 焦森, 屈云燕, 刘丙秋, 高永璋. 2020. 世界萤石资源供需形势分析及对策建议[J]. 国土资源情报, (10): 104-109.
- 史超亚, 高湘昀, 孙晓奇, 郝晓晴. 2018. 复杂网络视角下的国际铝土矿贸易演化特征研究[J]. 中国矿业, 27(1): 57-62.
- 王振亮, 鲁瑞君, 林天亮, 吴新刚. 2013. 浅析中国萤石矿分布特征及其成矿规律[J]. 中国非金属矿工业导刊, (5): 56-59.
- 王自国, 朱培元. 2020. 中央企业萤石矿战略布局思考[J]. 中国矿业, 29(6): 8-11, 20.
- 许海, 刘海涛, 贾元琴, 王国梁. 2021. 关于中国萤石矿产业发展的思考[J]. 四川有色金属, (3): 2-5, 51.
- 杨宇, 于宏源, 鲁刚, 王礼茂, 赵媛, 郝丽莎, 任东明, 方伟, 安海忠, 蔡国田. 2020. 世界能源百年变局与国家能源安全[J]. 自然资源学报, 35(11): 2803-2820.
- 张丹仙, 亢建华, 黄红军, 祝雯霞, 王若林. 2022. 萤石资源开发利用现状与战略意义[J]. 过程工程学报, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4541.TQ.20220616.1459.004.html>.
- 张福良, 郭小兵. 2017. 我国萤石资源形势分析及管理对策建议[J]. 现代矿业, 33(12): 8-9, 14.
- 赵鹏, 郑厚义, 张新, 王帆, 王英林. 2020. 中国萤石产业资源现状及发展建议[J]. 化工矿产地质, 42(2): 178-183.
- 赵怡然, 高湘昀, 孙晓奇, 司景舰, 孙笑甜, 伍涛. 2022. 产业链视角下贸易依赖网络结构变动对钴价格的影响[J]. 资源科学, 44(7): 1344-1357.
- Chinese with English abstract).
- CHEN Zhi-hua, AN Hai-zhong, GAO Xiang-yun, LI Hua-jiao, HAO Xiao-qing. 2016. Competition pattern of the global liquefied natural gas (LNG) trade by network analysis[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 33: 769-776.
- GENG Jiang-bo, JI Qiang, FAN Ying. 2014. A dynamic analysis on global natural gas trade network[J]. Applied Energy, 132: 23-33.
- GLICK R, ROSE A K. 1999. Contagion and trade: Why are currency crises regional?[J]. Journal of International Money and Finance, 18(4): 603-617.
- HAO Xiao-qing, AN Hai-zhong, CHEN Yu-rong, GAO Xiang-yun. 2013. Research on evolution of international iron ore trade based on complex network theory[J]. Economic Geography, 33(1): 92-97(in Chinese with English abstract).
- LI Bu-jie, XING Wan-li. 2021. Analysis of global trade characteristics of refined copper and its products based on the complex network theory[J]. China Mining Magazine, 30(5): 57-64(in Chinese with English abstract).
- LI Hua-jiao, AN Hai-zhong, QI Ya-jie, LIU Hai-ping. 2020. Trade and competitiveness structure of China's advantageous mineral resources based on the international trade network of industrial chain: A case study of Tungsten[J]. Resources Science, 42(8): 1504-1514(in Chinese with English abstract).
- LI Jing, ZHANG Shou-ting, SHANG Peng-qiang, ZHAO Yu. 2019. Present situation and analysis of strategic value of fluorite resource[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 39(6): 62-68(in Chinese with English abstract).
- LU Yu, LI Hua-jiao. 2020. Research overview of copper industrial chain[J]. Resources & Industries, 22(2): 60-68(in Chinese with English abstract).
- NEWMAN M E J. 2001. Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality[J]. Physical Review E, 64(1): 016132.
- REN Shuai, LI Hua-jiao, WANG Yan-li, GUO Chen, FENG Si-da, WANG Xing-xing. 2021. Comparative study of the China and U.S. import trade structure based on the global chromium ore trade network[J]. Resources Policy, 73: 102198.
- SHANG Peng-qiang, JIAO Sen, QU Yun-yan, LIU Bing-qiu, GAO Yong-zhang. 2020. Analysis of supply-demand situation of fluorite resources in the world and countermeasures[J]. Natural Resources Information, (10): 104-109(in Chinese with English abstract).
- SHI Chao-ya, GAO Xiang-yun, SUN Xiao-qi, HAO Xiao-qing. 2018. Study on the evolution characteristics of international bauxite trade from the perspective of complex network[J]. China Mining Magazine, 27(1): 57-62(in Chinese with English abstract).
- WANG Xing-xing, LI Hua-jiao, YAO Hua-jun, CHEN Zhi-hua, GUAN Qing. 2019. Network feature and influence factors of global nature graphite trade competition[J]. Resources Policy, 60: 153-161.
- WATTS D J, STROGATZ S H. 1998. Collective dynamics of

References:

- 'small-world' networks[J]. *Nature*, 393(6684): 440-442.
- WANG Zhen-liang, LU Rui-jun, LIN Tian-liang, WU Xin-gang. 2013. Analysis of the distribution characteristics and the metallogenic regularity of fluor spar mine in China[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (5): 56-59(in Chinese with English abstract).
- WANG Zi-guo, ZHU Pei-yuan. 2020. Strategic layout of fluorite mine in state-owned enterprises[J]. *China Mining Magazine*, 29(6): 8-11, 20(in Chinese with English abstract).
- XU Hai, LIU Hai-tao, JIA Yuan-qin, WANG Guo-liang. 2021. Reflection on the development of fluorite industry in China[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, (3): 2-5, 51(in Chinese with English abstract).
- YANG Yu, YU Hong-yuan, LU Gang, WANG Li-mao, ZHAO Yuan, HAO Li-sha, REN Dong-ming, FANG Wei, AN Hai-zhong, CAI Guo-tian. 2020. Interview on the unprecedented changes of energy geopolitics and national energy security[J]. *Journal of Natural Resources*, 35(11): 2803-2820(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Dan-xian, KANG Jian-hua, HUANG Hong-jun, ZHU Wen-xia, WANG Ruo-lin. 2022. Exploitation and utilization of fluorite and its strategic significance[J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4541.TQ.20220616.1459.004.html>(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Fu-liang, GUO Xiao-bing. 2017. Analysis of fluorite resource situation and management countermeasures in China[J]. *Modern Mining*, 33(12): 8-9, 14(in Chinese).
- ZHANG Hai-Ying, JI Qiang, FAN Ying. 2014. Competition, transmission and pattern evolution: A network analysis of global oil trade[J]. *Energy Policy*, 73: 312-322.
- ZHAO Peng, ZHENG Hou-yi, ZHANG Xin, WANG Fan, WANG Ying-lin. 2020. Resource actualities and demand countermeasures of fluorite in China[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 42(2): 178-183(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yi-ran, GAO Xiang-yun, SUN Xiao-qi, SI Jing-jian, SUN Xiao-tian, WU Tao. 2022. The impact of structural changes of trade dependence network on cobalt price from the perspective of industrial chain[J]. *Resources Science*, 44(7): 1344-1357(in Chinese with English abstract).
- ZHONG Wei-qiong, AN Hai-zhong, GAO Xiang-yun, SUN Xiao-qi. 2014. The evolution of communities in the international oil trade network[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 413: 42-52.
- ZHONG Wei-qiong, AN Hai-zhong, SHEN Lei, DAI Tao, FANG Wei, GAO Xiang-yun, DONG Di. 2017. Global pattern of the international fossil fuel trade: The evolution of communities[J]. *Energy*, 123: 260-270.