

全球ICT产品的贸易网络特征及演变分析

代佳宇, 吴进红

扬州大学商学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月25日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

运用网络分析方法, 基于2000~2021年77个ICT产品主要贸易国家或地区的双边贸易数据构建全球ICT产品贸易网络, 对贸易网络特征及格局演变进行了分析。研究发现, 样本考察期内全球ICT产品贸易网络密度整体呈增长态势, 各国或地区间贸易联系越来越密切; 中国在贸易网络中的核心地位日益突显, 但是进出口市场较为集中, 与其他国家或地区ICT产品的出口贸易仍有较大发展潜力; 网络主要以中国 and 韩国为核心, 国家或地区贸易间更加均衡, 贸易趋于全球化。为推动ICT产品贸易的发展、提高贸易抗风险能力, 我国应积极推动市场多元化、强化核心技术自主创新、深化区域供应链协作来提高ICT产品的竞争力, 主动化解贸易摩擦, 打破贸易障碍。

关键词

社会网络分析, ICT产品, 贸易网络

Analysis on the Characteristics and Evolution of Global ICT Products Trade Network

Jiayu Dai, Jinhong Wu

School of Business, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 25th, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

Using the network analysis method, based on the bilateral trade data of 77 major trading countries or regions of ICT products from 2000 to 2021, the global trade network of ICT products was constructed, and the characteristics and pattern evolution of the trade network were analyzed. It is found that the global trade network density of ICT products showed an overall growth trend during

the sample inspection period, and the trade links between countries or regions became closer and closer; China's core position in the trade network is increasingly prominent, but the import and export market is relatively concentrated, and the export trade of ICT products with other countries or regions still has great development potential; China and South Korea are the core of the network, and the trade between countries or regions is more balanced and tends to be global. In order to promote the development of ICT products trade and improve the ability to resist trade risks, China should actively promote market diversification, strengthen independent innovation of core technologies and deepen regional supply chain cooperation to improve the competitiveness of ICT products, actively resolve trade frictions and break trade barriers.

Keywords

Social Network Analysis, ICT Products, Trade Network

Copyright © 2025 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

数字经济正推动全球经济不断发展。信息通信技术(Information and Communication Technology, ICT)作为数字经济的基础,迅速崛起,占据了全球高技术产业贸易的半壁江山。而近年来,国际环境动荡、贸易不确定性上升,国家间贸易摩擦呈增加趋势。在此背景下,全球 ICT 产品贸易体系的不稳定性也逐步增加,全球 ICT 产品供应链和产业链安全逐渐受到各国的普遍重视。为此,本文拟在对外部环境和产业贸易情况综合分析基础上,深入剖析 ICT 产品国际竞争格局,明确中国 ICT 产品世界地位,以期为企业攻坚克难、产业安全稳定发展和政府政策制定提供信息支持和方向指引。

2. 文献综述

当前,将社会网络分析方法运用于国际贸易相关问题的研究已经成为一个新兴的方向。Serrano and Boguña 首次采用复杂网络模型对全球贸易网络的拓扑结构进行实证分析,揭示了其无标度特性、小世界特征和高聚类系数等属性[1]。随后,Garlaschelli and Loffredo 为了克服无权贸易网络对网络特征描述不完整的缺点,又引入了有向加权网络分析方法,相较于传统二元或无向网络(仅关注贸易的存在性),该方法能识别贸易的方向性、量化贸易强度,并通过分析加权参数的时序变化捕捉网络结构的演化规律[2]。Fagiolo *et al.*则采用有向加权网络分析方法研究世界贸易网络的局部拓扑性质及其随时间的演变[3]。

近年来,学者们进一步采用网络中心性与异质性分析、网络密度、聚类分析和随机指数图模型等方法,将其应用于各行业的贸易网络研究。例如,Gutiérrez-Moya *et al.*聚焦全球小麦贸易网络及其演变特征,发现其核心—边缘结构更为极化,且地理邻近性(如欧盟内部贸易)会显著影响社区结构的形成[4]。王芳等通过构建有向加权复杂网络模型,对全球木质林产品贸易网络的整体演化、节点中心性演化、集团演化、供需大国竞合关系及中国木质林产品贸易的供需安全展开实证分析[5]。罗超亮等基于时态指数随机图模型,对战略性新兴产业国际贸易网络演化及动力机制进行了动态分析[6]。

3. 研究方法、数据说明与 ICT 产品贸易网络的构建

为了全面系统考察全球 ICT 产品的贸易网络特征与演变,本文以社会网络分析方法作为主要分析工

具。运用此方法可以直观地呈现全球 ICT 产品贸易网络的整体格局, 而且可以通过节点属性综合反映一个国家或地区在全球 ICT 产品贸易对象、贸易强度和贸易集中度等方面的个性特征, 便于进行国际比较。

不同国家对于 ICT 产品的定义和统计口径可能存在差异, 影响研究结果的准确性, 因此本文的研究是以联合国贸发会议数据库中经济体间 ICT00 的双边贸易数据为基础, 它是各国或地区间计算机及外围设备、通信设备、消费电子设备、电子元件和其它的总和。考虑到数据的完整性以及对比性, 本文只选取了数据库中 2000~2021 年每年都存在出口额的 77 个国家或地区为分析对象, 而这些国家或地区的出口额占世界总出口的比重历年也均在 95% 以上, 可以代表该产业的国际贸易格局。

在网络的构建上本文选择了无权贸易网络 A' 和加权贸易网络 W' 两种形式 ($t = 2000, 2001, \dots, 2021$), 无权网络侧重关系的存在与否, 而加权网络更关注关系强度的差异。对于 A' 中的元素 a'_{ij} , 如果 i 国或地区与 j 国或地区间存在贸易关系, 则 $a'_{ij} = 1$, 反之 $a'_{ij} = 0$ 。而 W' 中的元素 w'_{ij} 用 i 国或地区对 j 国或地区的出口额来表示。

4. ICT 产品贸易网络整体演进特征分析

(1) 平均度

即网络中所有国家或地区度的平均值, 用以衡量贸易网络规模的大小。其值越大, 说明贸易范围越广, 贸易网络越大; 其值越小, 说明贸易范围越窄, 贸易网络越小。计算公式如式(1)所示。

$$kk = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \quad (1)$$

式中: k_i 为与国家或地区 i 有直接贸易关系的贸易伙伴数量。

(2) 加权平均度

加权平均度, 即网络中所有国家或地区出口额的平均值, 用以反映贸易网络中的流量大小。计算公式如式(2)所示。

$$ss = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N w_{ij} \quad (2)$$

(3) 网络密度

指贸易网络中各节点之间现有联系数量与整个贸易网络应有联系数量之比, 可以用来衡量网络中各节点连接的紧密程度。其值越大, 各节点的贸易联系越紧密, 网络等级越高。计算公式如式(3)所示。

$$D_n = L / [N(N-1)] \quad (3)$$

式中: L 表示网络中存在的实际关系数目或关系量; N 代表网络中的国家和地区数量。

(4) 平均聚类系数

聚类系数指贸易网络中某一国家或地区的贸易伙伴之间彼此存在贸易往来的平均概率, 可以用来判断 ICT 产品贸易网络是否具有小世界特性。其值越大, 说明该国家或地区贸易伙伴的聚集程度越高; 其值越小, 说明聚集程度越低。它反映了网络的局部特征。整个 ICT 产品贸易网络的平均聚类系数公式如式(4)所示。

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{2H_i}{k_i(k_i-1)} \quad (4)$$

式中: H_i 为一国家或地区 i 的贸易伙伴之间存在的边的数量。

(5) 平均最短路径长度

指网络中所有国家或地区间相互展开贸易需要经过边的平均值,用以衡量贸易网络的传输效率,也能反映各节点之间的平均分离程度。其值越大,说明贸易网络的传输效率越低,平均分离程度越高;其值越小,说明贸易网络的传输效率越高,平均分离程度越低。它反映了网络的全局特征。公式如式(5)所示。

$$R = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N d_{ij} \quad (5)$$

式中: d_{ij} 为经济体 i 与经济体 j 的最短路径。

由表 1 可知 2000~2021 年全球 ICT 产品贸易网络的演进呈现如下特征。网络中网络边数逐年增加,到 2021 年节点间共新增了 718 条贸易联系,表明全球 ICT 产品贸易网络越来越复杂化;网络密度逐年上升,增长了 17.8%,说明节点间的联系更为紧密,全球 ICT 产品贸易连通性加强;平均度从 2000 年的 52.532 上升至 2021 年的 61.857,上涨了 0.177 倍;加权平均度上涨了 1.857 倍,表明 ICT 产品市场需求增加,国家间的 ICT 产品贸易联系更加频繁,网络稳定性与紧密性得到巩固;平均聚类系数上升,平均路径长度下降,说明全球 ICT 产品贸易合作更加密切和发展迅速,区域内贸易更加频繁,贸易中间环节减少,贸易效率提高,该网络具备了“小世界”特征。

Table 1. Analysis on the overall characteristics of global ICT products trade network

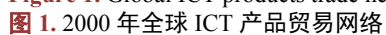
表 1. 全球 ICT 产品贸易网络整体特征分析

年份	网络边数	平均度	加权平均度	网络密度	平均聚类系数	平均路径长度
2000	4045	52.532	12684.178	0.691	0.795	1.309
2003	4287	55.675	12927.888	0.733	0.818	1.268
2006	4469	58.039	18922.483	0.764	0.831	1.236
2009	4579	59.468	17655.145	0.782	0.841	1.218
2012	4618	59.974	23052.991	0.789	0.844	1.211
2015	4689	60.896	24259.211	0.801	0.847	1.199
2018	4697	61.000	29099.035	0.803	0.852	1.198
2021	4763	61.857	36247.531	0.814	0.855	1.186

从全球 ICT 产品贸易网络中移除中国节点,研究有意干预下(通过故意移除网络中特殊节点或连接来观察网络连通性变化)网络对中国的依赖性如何进行调整(见表 2)。由结果可知,蓄意攻击后,2000~2021 年的网络边数、平均度、加权平均度、网络密度和平均聚类系数均有所下降,平均路径长度持续上升,模块化度量值先变小后又不断变大。网络边数下降 3.291%,平均度下降 2.018%,表明剔除中国后的网络结构和贸易流动变化显著,因此中国在推动全球 ICT 产品贸易发展过程中的作用不容忽视;网络密度仅下降了 0.701%,表明 ICT 产品贸易关系在全球范围内的分布相对均衡,剔除中国后的全球 ICT 产品无权贸易网络仍具有较强的稳健性;加权平均度下降幅度最大,达到 35.075%,表明中国在全球供应链的地位日益重要,失去中国的加权网络脆弱性增强,抗冲击能力减弱;平均聚类系数下降 0.389%,平均路径长度增加 0.444%,导致网络的连通性和可达性减弱,传输能力受到影响。

表 2. 蓄意攻击后全球 ICT 产品贸易网络特征量变化率(%)

(6) 网络拓扑图



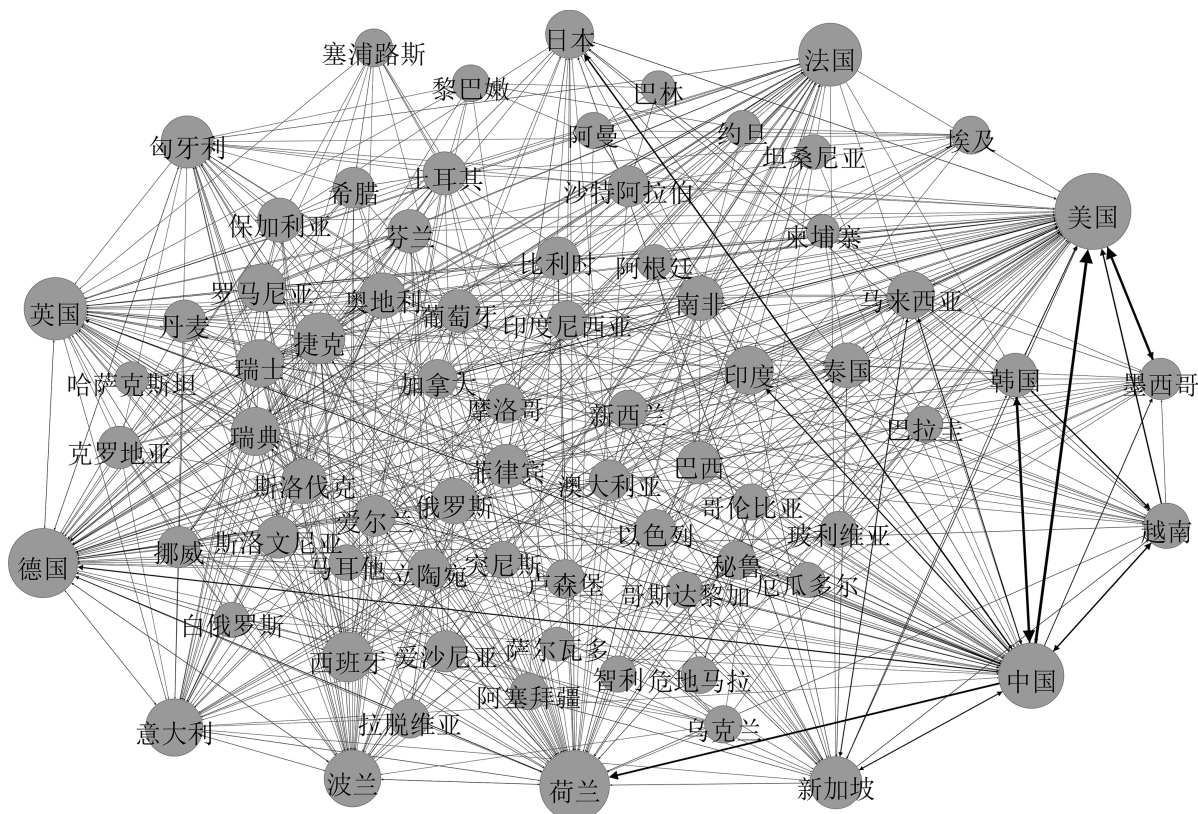


Figure 2. Global ICT products trade network in 2021

图 2. 2021 年全球 ICT 产品贸易网络

利用 Gephi 0.10 软件绘制了全球 ICT 产品贸易网络的结构图(图 1、图 2)。图中两个国家或地区间存在的连线表示其间存在 ICT 产品贸易关系,连线的粗细表示两国或地区 ICT 产品贸易的强度,箭头指向的方向表示一国或地区对另一国或地区的出口,节点的大小依据的是与其有贸易的国家之和。由于全球 ICT 产品贸易网络的密度较高,在本文所研究的 77 个国家和地区中,大部分国家和地区间都存在 ICT 产品贸易关系。为了能深刻地揭示全球 ICT 产品贸易网络的主要特征,图 1 和图 2 只显示一国或地区 ICT 产品出口额超过了门槛值的情形,即超过了当年各国和地区 ICT 产品出口贸易额的平均值。

从图 1 和图 2 可以看出,2021 年较 2000 年网络中贸易联系明显增加、贸易流量明显增大。2000 年时美国、德国、日本、法国、荷兰、英国等发达国家位于全球 ICT 产品出口贸易网络的核心地位,技术垄断性较强;到 2021 年时,中国成为全球 ICT 产品贸易网络的绝对核心,美国、德国、日本紧随其后,东亚和东南亚国家(如韩国、越南、印度)地位显著上升,形成新的增长极。这主要是由于中国通过政策支持(如“电子信息产业振兴规划”)和低成本优势,吸引外资建立 ICT 产业链,并逐步从组装向高附加值环节升级,而随着中国劳动力成本优势减弱和中美贸易摩擦的影响供应链向东南亚(越南)和南亚(印度)转移,但中国仍通过技术升级保持网络中的核心地位。

5. 一国或地区 ICT 产品贸易网络特征与国际比较

(1) 点度数

即贸易网络中与国家或地区 i 有直接贸易往来的节点数量,可直观展示该国家或地区在整个贸易网络中的影响范围。贸易网络作为有向网络,各节点的度数可分为出度和入度,分别表示出口的伙伴数量

和进口伙伴数量。度数越大, 说明与其发生 ICT 产品贸易往来的国家或地区越多。公式如式(6)所示。

$$degree = \sum_j a_{ij} \tag{6}$$

由于网络中大部分国家或地区间都存在 ICT 产品的进出口贸易往来, 因此个体点度数差异不大, 本文将分析其整体合作情况。由点出度核密度估计图可知, ICT 产品的出口相对均衡, 大部分国家或地区间均存在贸易往来, 同时点出度核密度分布的峰值随时间变化越来越高, 2021 年的波峰核密度值达到最大, 接近 0.03 (图 3), 说明更多的国家或地区开始与其他经济体进行 ICT 产品的出口贸易。一方面, 随着 ICT 产品技术标准化的加速, 更多的国家具备出口能力, 尤其是发展中国家, 通过技术合作提升其制造水平; 另一方面, 数字基础设施建设的全球普及会刺激 ICT 产品中间品的出口, 促使更多国家参与出口贸易以满足对硬件的需求。由点入度核密度估计图可知大部分国家或地区都存在 ICT 产品进口需求, 同时点入度分布图有右倾的趋势, 越来越多的国家或地区对 ICT 产品的需求得到提升、开启了更多新的进口贸易往来。首先, 各国产业数字化转型增加对 ICT 产品的进口需求; 其次, 高端 ICT 产品技术垄断性较强, 导致发展中国家需通过进口弥补技术缺口; 最后, 部分国家为降低供应链风险, 会分散其 ICT 产品进口来源、形成多元化的进口网络。

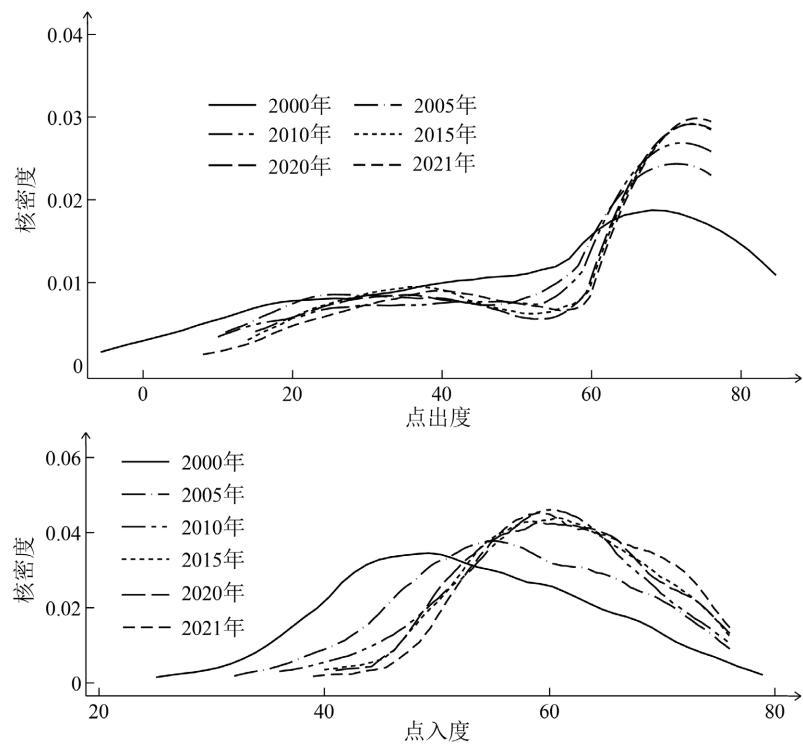


Figure 3. Kernel density estimation of global ICT products trade point out degree and point in degree
图 3. 全球 ICT 产品贸易点出度、点入度核密度估计

(2) 点强度

指一国或地区与网络中其他节点进行贸易的强度, 可直观反映该国家或地区的贸易地位。分为出强度和入强度, 分别表示该国家或地区的出口总额和进口总额。其值越大, 表明该国家或地区占据的地位越重要。公式如式(7)所示。

$$strength_i = \sum_j w_{ij} \quad (7)$$

由图 4 可知, 2001~2021 年全球 ICT 产品贸易出强度的核密度分布图是右偏的, 后面都有一条较长的尾巴, 说明大多数国家或地区的贸易强度较小, 只有少数几个国家或地区的贸易强度较大, 但是核密度峰值逐年下降, 说明越来越多的国家或地区贸易强度在增大。这主要是由于更多国家通过技术合作、区域供应链整合提升 ICT 产品贸易参与度、推动贸易网络分散化。

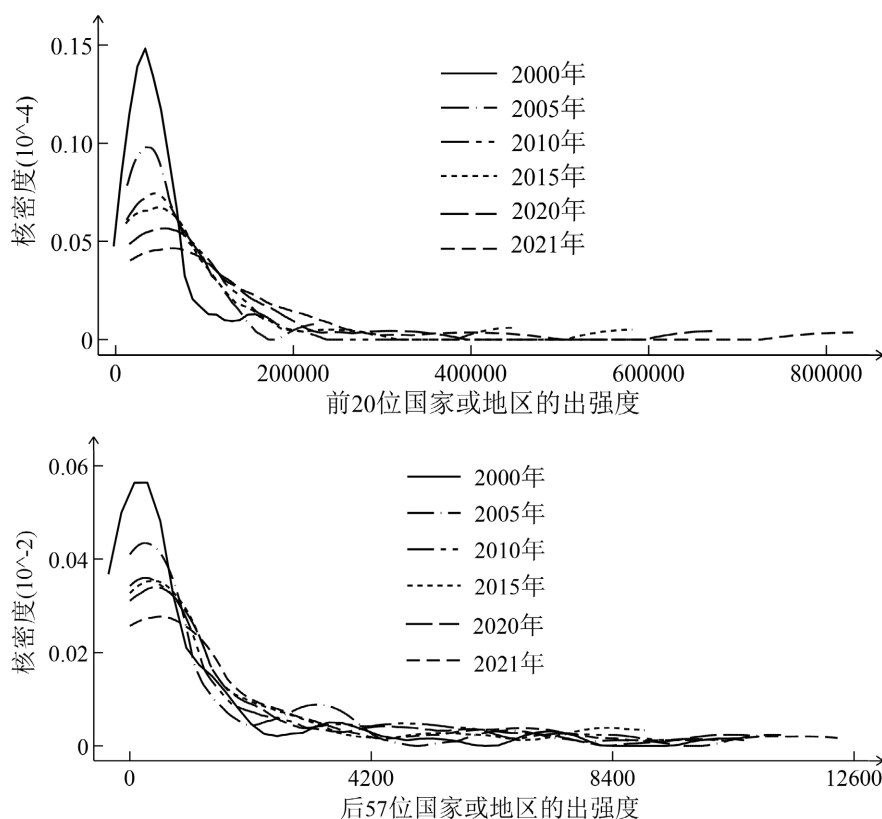


Figure 4. Kernel density estimation of global ICT products trade export strength
图 4. 全球 ICT 产品贸易出强度核密度估计

由表 3 可知, 2000~2021 年, 美国、韩国依托高技术领域形成的技术壁垒(美国硅谷核心技术研发优势、韩国三星在存储芯片领域优势)、德国依托其精密制造能力一直是 ICT 产品的主要供应国; 新加坡则通过港口物流和金融中心地位不断强化其供应链服务能力; 马来西亚早期利用引资政策建立电子元件、半导体等 ICT 制造基地, 形成了早期的产业链集群, 国内经济多元化的政策也推动 ICT 产业成为其重点发展领域, 后凭借地理位置与资源禀赋优势积极承接欧美企业的产能转移, ICT 产业的不断升级也保障了其产品出口优势; 墨西哥则依托北美自贸区优势和地理位置优势早期即成为美国企业布局 ICT 组装环节的首选地, 而劳动力成本优势和政策的持续优化则是其后续承接产业转移并持续提升竞争力的核心驱动力; 日本、荷兰因劳动力短缺或市场规模有限, 难以支撑全产业链布局, 被迫向海外转移产能, 相较其他国家供应能力呈下降趋势; 越南凭借低劳动力成本和政策优惠承接电子组装产业的转移, 在网络中的地位越来越重要; 中国自 2005 年起稳居榜首, 并通过大规模的研发投入和产业升级不断突破技术瓶颈、巩固其领先地位, 2021 年研发投入占 GDP 比重达 2.440%。

Table 3. The top 10 countries or regions with export strength ranking in ICT products trade network
表 3. ICT 产品贸易网络中出强度排名前 10 位的国家或地区

排名	2000	2005	2010	2015	2020	2021
1	美国	中国	中国	中国	中国	中国
2	日本	美国	美国	美国	韩国	韩国
3	新加坡	日本	新加坡	新加坡	美国	美国
4	韩国	韩国	韩国	韩国	新加坡	新加坡
5	马来西亚	德国	日本	墨西哥	德国	越南
6	英国	马来西亚	马来西亚	德国	越南	马来西亚
7	德国	荷兰	德国	马来西亚	马来西亚	德国
8	中国	英国	荷兰	日本	墨西哥	墨西哥
9	墨西哥	墨西哥	墨西哥	荷兰	日本	荷兰
10	荷兰	新加坡	泰国	越南	荷兰	日本

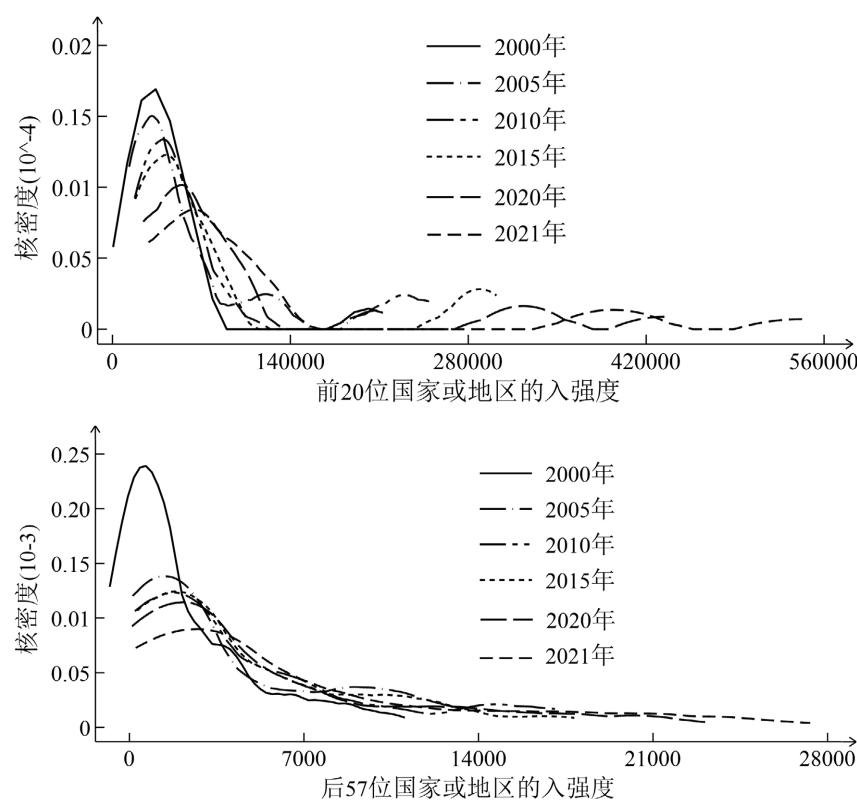


Figure 5. Kernel density estimation of global ICT products trade import strength
图 5. 全球 ICT 产品贸易入强度核密度估计

由图 5 可知，多数国家或地区的进口强度较小，只有少数几个国家或地区的进口强度较大。但是前 20 位进口国家或地区核密度分布图从 2005 年开始尾巴处出现新的峰，且尾巴处的峰逐渐向该图的右边

移动,说明入强度大的国家或地区数量逐步增多。后 57 位国家或地区的入强度峰值逐年下降,说明更多的国家或地区入强度在增大。猜测可能是技术领先国家通过产业升级扩大了中间品的进口需求,且中低端制造环节向成本优势地区转移也将带动当地进口需求的上升,发达国家及新兴经济体居民消费能力的提升也会带动高附加值 ICT 产品的进口增长、推高其进口强度。

由表 4 可知,中国和美国一直是 ICT 产品的进口大国,首先,中国作为全球电子产品制造的核心基地,高度依赖高端芯片、半导体设备等核心部件的进口,其次,“中国智造”战略对智能汽车、工业机器人等新兴领域发展的推动带动了对高端 ICT 产品的进口需求,美国的高进口主要由于其终端产品依赖外国制造和本土制造能力的结构性缺口(芯片设计领域领先但封装测试环节主要依赖亚洲供应链);法国传统产业数字化转型的滞后、英国高端制造环节的外迁使其进口额逐步不敌其他国家或地区从入强度前十的排名中掉出;韩国因其对产业链关键环节的依赖(半导体材料与设备依赖进口、中低端芯片的补充需求)进口需求较大;全球价值链的重构则驱动了越南、墨西哥中间品的进口。

Table 4. The top 10 countries or regions with import strength ranking in ICT products trade network

表 4. ICT 产品贸易网络中入强度排名前 10 位的国家或地区

排名	2000	2005	2010	2015	2020	2021
1	美国	美国	美国	中国	中国	中国
2	德国	中国	中国	美国	美国	美国
3	英国	德国	德国	德国	德国	德国
4	日本	荷兰	日本	日本	荷兰	荷兰
5	荷兰	日本	荷兰	韩国	日本	越南
6	新加坡	英国	新加坡	荷兰	韩国	日本
7	中国	新加坡	韩国	新加坡	新加坡	韩国
8	法国	法国	英国	墨西哥	墨西哥	新加坡
9	马来西亚	韩国	马来西亚	英国	越南	墨西哥
10	韩国	马来西亚	法国	马来西亚	马来西亚	马来西亚

值得注意的是,无论出强度还是入强度,即使排名前十的国家或地区相差也较大。如 2021 年中国的出强度为 8303.104 亿美元,而日本仅为 650.434 亿美元,不及前者的十二分之一;2021 年中国的入强度为 5427.019 亿美元,而马来西亚的入强度不及中国的八分之一,仅为 628.883 亿美元,可见 ICT 产品的进出口贸易中层级分化明显。

(3) 节点的差异性

刻画了与节点 i 相连的边上权重分布的离散程度,反映了一国或地区对外 ICT 产品贸易在不同国家或地区的分布特征。其值越大,说明一国或地区 ICT 产品贸易网络越集中。公式如式(8)所示。

$$disparity_i = \frac{(N-1) \sum_j \left(\frac{w_{ij}}{s_i} \right)^2 - 1}{N-2} \quad (8)$$

式中, s_i 表示贸易网络的联系强度。

由图6可知,无论出口贸易网络还是进口贸易网络,大部分国家或地区 ICT 产品贸易伙伴较为分散,权重差异性较小,只有少数国家或地区贸易差异性较大,即贸易集中度高。出口网络节点差异性核密度分布图的峰越来越尖,峰值基本上越来越高,说明越来越多的国家或地区分散其贸易伙伴,同时,2010年峰值明显比2005年峰值小,可见美国2007年的次贷危机以及引发的全球金融危机使得各国家或地区间的贸易额都受到不同程度的影响,一些国家或地区将出口贸易集中在少数贸易伙伴上,抑制了一些国家或地区间的 ICT 产品贸易,但2015年开始贸易伙伴分散的国家或地区越来越多,一方面,各国或地区通过不断地技术创新增强其产品供应能力、满足多样化的市场需求,另一方面,各国或地区数字化基建的完善、数字平台的应用降低了贸易匹配成本,促使其出口目的地进一步分散化。进口网络节点差异性核密度分布图的峰值越来越低,2020、2021年有生成新的峰值的趋势,因此越来越多的国家或地区进口贸易伙伴趋于集中,猜测可能是国际环境动荡和突发事件(如疫情)的影响使各国或地区倾向于与政治经济关系稳定、物流体系健全的国家加强合作。

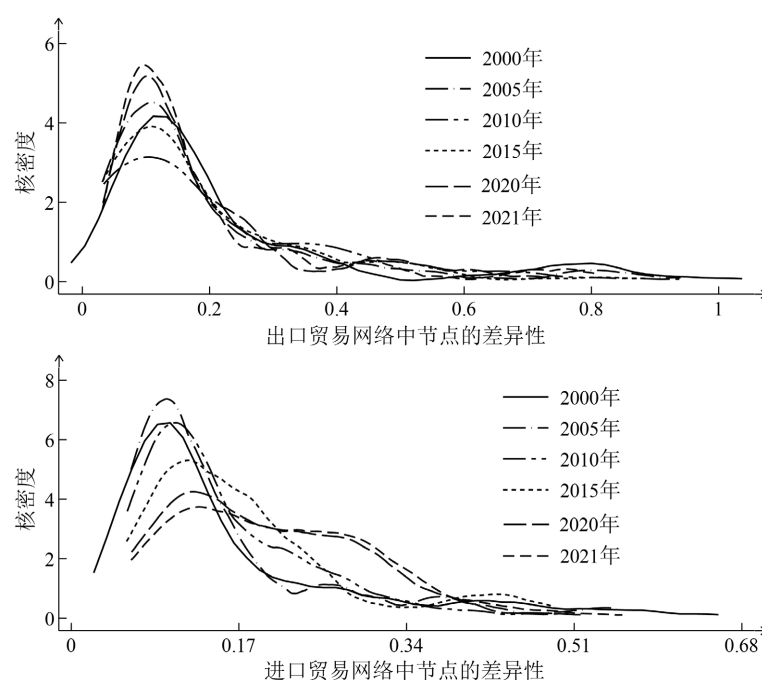


Figure 6. Kernel density estimation of export and import trade network disparity
图 6. 出口贸易网络、进口贸易网络节点的差异性核密度估计

由表5可知,出口贸易网络中节点的差异性排名前十的国家或地区每年变动较大,主要是欧洲的高收入国家,并且除英国和挪威外都是欧盟国家,表明高收入经济体通常贸易关系更为分散,极大程度上降低 ICT 产品出口贸易的风险,同时地区合作组织会促进成员国之间的贸易合作。但是,出口额较大的国家或地区中只有德国、英国和荷兰等的贸易伙伴较为分散,而中国、新加坡、马来西亚和墨西哥等其他出口额较大的国家或地区的贸易伙伴分散程度相对较弱,首先,中国、新加坡等国家作为全球 ICT 产品产业链的关键加工枢纽,其出口集中于少数核心市场源于其在价值链中的“中间品供应者”角色,其次,欧洲国家通过主导 GDPR 等数字规则制定强化其对非欧盟市场的技术壁垒,迫使新兴经济体(如墨西哥、马来西亚)为满足合规要求而集中出口至规则适配区域。美国的贸易伙伴分散程度相较于其他国家在下降则受制于其“供应链回流”政策,印度贸易伙伴分散程度在上升源于其积极承接产业转移、利用低成本优势吸引多元化需求。

Table 5. The top 10 countries or regions with disparity ranking in ICT products export trade network
表 5. ICT 产品出口贸易网络中节点的差异性排名前 10 位的国家或地区

排名	2000	2005	2010	2015	2020	2021
1	瑞典	德国	德国	德国	德国	德国
2	芬兰	瑞典	芬兰	越南	意大利	南非
3	德国	法国	匈牙利	保加利亚	法国	保加利亚
4	法国	英国	意大利	匈牙利	保加利亚	芬兰
5	意大利	美国	爱尔兰	英国	克罗地亚	意大利
6	美国	芬兰	英国	芬兰	斯洛文尼亚	克罗地亚
7	英国	丹麦	瑞典	爱尔兰	英国	印度
8	挪威	意大利	法国	法国	芬兰	法国
9	西班牙	爱尔兰	罗马尼亚	斯洛文尼亚	印度	荷兰
10	比利时	立陶宛	越南	斯洛伐克	荷兰	英国

由表 6 可知，进口贸易网络节点的差异性排名每年波动较大，主要是欧洲的高收入国家、欧盟国家，受益于关税同盟和单一市场政策，欧盟成员国内部贸易壁垒大幅降低，导致成员国进口来源天然分散于欧盟内部及邻近高收入国家，瑞典、荷兰等技术领先国家持续上榜则因其需从全球采购高附加值中间品，进口大国贸易伙伴较为集中可能由于其贸易伙伴主要是少数技术领先的国家或地区。

Table 6. The top 10 countries or regions with disparity ranking in ICT products import trade network
表 6. ICT 产品进口贸易网络中节点的差异性排名前 10 位的国家或地区

排名	2000	2005	2010	2015	2020	2021
1	德国	南非	瑞典	保加利亚	保加利亚	保加利亚
2	黎巴嫩	土耳其	拉脱维亚	塞浦路斯	拉脱维亚	拉脱维亚
3	乌克兰	英国	阿塞拜疆	阿塞拜疆	法国	爱沙尼亚
4	南非	芬兰	保加利亚	法国	瑞典	克罗地亚
5	英国	埃及	克罗地亚	德国	德国	德国
6	瑞典	罗马尼亚	塞浦路斯	瑞典	克罗地亚	爱尔兰
7	土耳其	保加利亚	法国	斯洛文尼亚	匈牙利	瑞典
8	荷兰	德国	巴林	西班牙	西班牙	法国
9	法国	黎巴嫩	西班牙	拉脱维亚	意大利	匈牙利
10	拉脱维亚	法国	英国	意大利	爱沙尼亚	罗马尼亚

(4) 中介中心度

中介中心度是指某节点出现在其他节点之间的最短路径的次数。中介中心度表示节点在网络中的掌控能力,在网络中主要起到桥梁的作用。节点中介中心度越高,则表示该节点在网络中的中介作用越大,对其他节点的影响能力也就越强。公式如式(9)所示。

$$BC_i = \frac{2 \sum_j \sum_k b_{jk}(i)}{N^2 - 3N + 2} (j \neq k \neq i) \tag{9}$$

式中:若经济体*j*与经济体*k*之间存在*g_{jk}*个最短路径,且二者之间有*g_{jk}(i)*个最短路径通过经济体*i*,则定义*b_{jk} = g_{jk}(i)/g_{jk}*来衡量*i*对于控制*j*和*k*关联的能力。

由表7可知,在ICT产品的贸易网络中,美国一直处于ICT产品贸易网络的领导地位,说明其“中介”能力突出,在网络中的控制能力强,其凭借技术优势,在全世界范围内积极进行ICT产品贸易。中国的排名不断的提高,说明其中介功能正在加强,凭借技术领域的突破与更加开放的合作逐步向产业链高附加值环节延伸,但仍有较大的上升空间。从整体来看,前五名的中介中心度都呈下降趋势,说明网络中国家与地区间的合作越来越直接化。

Table 7. The top 5 countries or regions with the highest betweenness centrality in ICT products trade network
表 7. ICT 产品贸易网络中介中心度排名前 5 位的国家或地区

年份	1	2	3	4	5
2000	美国 138.65	法国 117.30	瑞士 91.23	英国 83.69	德国 77.25
2005	德国 73.33	美国 73.33	加拿大 61.64	英国 58.00	法国 52.80
2010	美国 60.98	德国 52.04	荷兰 51.90	中国 47.77	英国 43.71
2015	美国 46.04	德国 41.84	荷兰 41.70	中国 41.40	法国 39.33
2020	美国 49.64	德国 48.53	法国 46.95	中国 42.98	荷兰 41.44
2021	美国 57.74	巴西 39.97	中国 37.82	德国 33.89	西班牙 32.96

6. 贸易网络整体结构分析

(1) 核心——边缘结构

运用Ucinet 6.645 计算 2000 年和 2021 年加权贸易网络的核心度。参照王方,胡求光的标准将核心度划分为 3 个圈层——核心、半边缘与边缘圈层,超过 0.2 的国家或地区位于核心圈层,在 0.1 到 0.2 之间的国家或地区位于半边缘圈层,低于 0.1 的国家或地区位于边缘圈层[7]。

由表 8 可知,2000~2021 年间,韩国一直处于网络中的核心地位,可见其高附加值环节的网络控制力;中国从网络中的半边缘国家或地区变为核心国家或地区并具有举足轻重的作用、主导地位显著增强;美国、新加坡从核心国家或地区变为半边缘国家或地区,反映其全球贸易网络的控制力下降;日本从核心国家或地区变为边缘国家或地区,显示东亚供应链主导权的转移;越南从边缘国家或地区变为半边缘国家或地区,体现低端制造业向东南亚转移的趋势;墨西哥和马来西亚等传统制造国地位下滑则反映低端环节的竞争加剧与可替代性增强。

Table 8. The top 10 countries or regions with the highest coreness in ICT products trade network in 2000 and 2021
表 8. 2000 年、2021 年 ICT 产品贸易网络中核心度排名前 10 位的国家或地区

排名		2000 年			2021 年	
1	日本	0.552	核心	中国	0.784	核心
2	美国	0.524	核心	韩国	0.380	核心
3	新加坡	0.310	核心	越南	0.159	半边缘
4	墨西哥	0.265	核心	新加坡	0.153	半边缘
5	韩国	0.260	核心	美国	0.104	半边缘
6	马来西亚	0.235	核心	马来西亚	0.102	半边缘
7	中国	0.148	半边缘	日本	0.099	边缘
8	加拿大	0.141	半边缘	德国	0.037	边缘
9	泰国	0.085	边缘	墨西哥	0.036	边缘
10	英国	0.068	边缘	爱尔兰	0.034	边缘

(2) 社区分布

采用 Gephi 0.10 软件中的模块化对 2000 年和 2021 年全球 ICT 产品贸易网络进行社团划分，呈现四大社团板块，如表 9 和图 7。

Table 9. Community characteristics of global ICT products trade network in 2000 and 2021
表 9. 2000 年、2021 年全球 ICT 产品贸易网络社团特征

社团	2000 年			2021 年		
	网络节点	网络边数	网络密度	网络节点	网络边数	网络密度
社团一	42	1334	0.775	37	1226	0.920
社团二	20	290	0.763	22	367	0.794
社团三	8	44	0.786	15	159	0.757
社团四	7	19	0.452	3	6	1.000

2000 年时，网络的模块化度量值为 0.224，网络中呈现四个社团分布的特征。社团一中包含 42 个国家，占整个贸易网络的 54.545%，社团内部主要以德国、英国、法国和荷兰等发达国家为核心，并且社团中大部分都是欧洲国家，社团内部贸易额占整个网络的 21.322%。社团二中包含 20 个国家，占整个贸易网络的 25.974%，内部主要以美国、韩国和日本为中心，节点间贸易额较大，占整个网络的 28.317%。社团三中包含 8 个国家，占整个贸易网络的 10.390%，主要以新加坡、泰国和马来西亚为核心，社团内部贸易额占整个网络的 3.761%。社团四中包含 7 个国家，占整个贸易网络的 9.091%，主要以中国为核心，社团内部贸易额占整个网络的 2.889%。社团间贸易额占全球贸易网络中贸易额的 43.711%，因此，2000 年时，社团内贸易联系强于社团间贸易联系，核心国家主要通过技术、资本优势主导社团内部结构。



电子商务评论

2021 年时, 模块化度量值降为 0.220, 可见 ICT 产品的贸易更趋全球化, 网络中也呈四个社团分布。社团一中包含 37 个国家, 占整个贸易网络的 48.052%, 社团主要以德国、法国和荷兰为核心, 社团内部贸易额占全球贸易网络中贸易额的 10.150%。社团二中包含 22 个国家, 占整个贸易网络的 28.571%, 主要以美国、韩国和越南为核心, 社团内部贸易额占全球贸易网络中贸易额的 10.354%。社团三中包含 15 个国家, 占整个贸易网络的 19.481%, 主要以美中国和日本为核心, 社团内部贸易额占全球贸易网络中贸易额的 28.748%, 成为最大贸易集群。社团四中包含 3 个国家, 占整个贸易网络的 3.896%, 网络中马来西亚和新加坡间的贸易联系更为紧密, 社团内部贸易额占全球贸易网络中贸易额的 1.466%。社团间贸易额占全球贸易网络中贸易额的 49.282%, 因此, 到 2021 年时, ICT 产品的贸易更趋全球化。

7. 中国出口依赖性分析

2000~2021 年中国 ICT 产品出口额从 441.35 亿美元增至 8575.05 亿美元, 增长了近 20 倍; 2021 年中国 ICT 产品出口额占全球 ICT 产品出口额的 29.524%, 中国已成为全球最大的 ICT 产品出口国家, 然而世界上仍有 70.476% 的进口需求, 因此, 分析中国对贸易伙伴的依赖程度以及彼此间的贸易潜力是有必要的。

HM 指数用于表示国家或地区间的贸易依赖程度, 以明确与贸易伙伴国的贸易潜力。公式如式(10)所示。

$$HM = \frac{W_{ij}}{s_i^{out}} \times \left(1 - \frac{W_{ij}}{s_j^{in}} \right) \quad (10)$$

HM 表示节点 i 对节点 j 出口贸易的依赖程度, 数值越大则对节点 j 依赖程度越高; W_{ij} 为节点 i 对节点 j 的出口总额, s_i^{out} 和 s_j^{in} 表示节点 i 出口和节点 j 进口总额。

通过计算 HM 指数分析中国出口对各国或地区的依赖程度, 以了解中国主要的出口贸易伙伴情况。

Table 10. The top 5 countries or regions of China ICT products export HM index

表 10. 中国 ICT 产品出口 HM 指数排名前五的国家或地区

年份	1	2	3	4	5
2000	美国 0.226	日本 0.104	荷兰 0.058	新加坡 0.046	德国 0.042
2005	美国 0.180	日本 0.053	德国 0.050	荷兰 0.049	新加坡 0.029
2010	美国 0.132	德国 0.039	日本 0.038	荷兰 0.036	韩国 0.028
2015	美国 0.116	韩国 0.031	日本 0.031	荷兰 0.029	德国 0.022
2021	美国 0.110	荷兰 0.030	韩国 0.028	越南 0.026	日本 0.025

Table 11. The proportion of imports from China to its total imports to the countries or regions from the above table (%)

表 11. 上表中国家或地区从中国进口占其进口总额的比重(%)

年份	1	2	3	4	5
2000	美国 5.159	日本 8.364	荷兰 5.336	新加坡 4.258	德国 3.007
2005	美国 27.305	日本 32.362	德国 17.416	荷兰 23.796	新加坡 14.913
2010	美国 38.627	德国 26.155	日本 37.786	荷兰 38.691	韩国 39.648
2015	美国 43.941	韩国 50.839	日本 43.364	荷兰 43.791	德国 20.541
2021	美国 39.216	荷兰 46.214	韩国 44.690	越南 35.388	日本 41.429

由表 10 和表 11 可知, 中国出口市场 *HM* 指数偏低, 总体呈下降趋势, 表明中国对其的依赖度有所降低。中国 ICT 产品的出口对美国的依赖性相较于其他国家或地区更高, 但是除 2000 年以外均未超过 0.2。综合以上两表可知, 主要出口目的国自中国进口的比例越来越大, 而 *HM* 指数呈下降趋势, 所以中国对这些国家或地区的依赖性要么不变要么降低, 可见中国 ICT 产品的供应能力在不断加强。总出口额不断增加, 出口集中度处于高位, 但是对这些国家或地区的依赖程度仍处于较低水平, 因此中国与这些国家或地区的 ICT 产品贸易合作仍有较大发展空间。

8. 结论与启示

本文以 2000~2021 年全球 ICT 产品贸易数据为依据, 分别构建有向无权网络和有向加权网络, 探究全球 ICT 产品贸易网络的演化特征及拓扑结构, 掌握中国在全球 ICT 产品贸易中的地位变化。得到如下结论: 第一, 2000 年以来, 全球 ICT 产品贸易关系不断趋于复杂化, 贸易网络的连通性整体上增强, 表现出明显的小世界特性。第二, 中国在贸易网络中的核心地位日益突显, 进出口贸易额在网络中遥遥领先, 但是进出口市场较为集中, 不过依赖程度不高, 与其他国家或地区 ICT 产品的出口贸易仍有较大发展潜力。第三, 网络主要以中国和韩国为核心, 并且核心国家数量减少, 网络中各节点更趋均衡。网络模块度有所下降, 贸易趋向于全球化。

基于此, 本文提出以下建议: 第一, 推动市场多元化, 降低区域依赖风险。利用自贸协定降低贸易壁垒, 开拓新的市场, 丰富贸易伙伴数量及贸易联系, 进一步增强自身的凝聚作用和中介能力, 建立更加稳定紧密的区域合作关系。第二, 强化核心技术自主创新。加大 ICT 高技术领域研发投入以缩短与欧美技术差距、减少电子元件的进口依赖, 优化产学研协同机制, 鼓励企业参与国际标准制定、提升技术话语权。第三, 深化区域供应链协作。以东亚为核心构建韧性供应链, 推动中日韩技术互补, 引导越南、马来西亚承接中低端环节, 形成梯度分工体系。

基金项目

扬州大学商学院研究生创新项目(项目编号: SXYYJSKC202313)。

参考文献

- [1] Serrano, M.Á. and Boguñá, M. (2003) Topology of the World Trade Web. *Physical Review E*, **68**, 634-646. <https://doi.org/10.1103/physreve.68.015101>
- [2] Garlaschelli, D. and Loffredo, M.I. (2005) Structure and Evolution of the World Trade Network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **355**, 138-144. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.02.075>
- [3] Fagiolo, G., Reyes, J. and Schiavo, S. (2008) On the Topological Properties of the World Trade Web: A Weighted Network Analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **387**, 3868-3873. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.01.050>
- [4] Gutiérrez-Moya, E., Adenso-Díaz, B. and Lozano, S. (2020) Analysis and Vulnerability of the International Wheat Trade Network. *Food Security*, **13**, 113-128. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01117-9>
- [5] 王芳, 田明华, 尹润生, 等. 全球木质林产品贸易网络演化与供需大国关系[J]. 资源科学, 2021, 43(5): 1008-1024.
- [6] 罗超亮, 符正平, 刘冰, 等. 战略性新兴产业国际贸易网络的演化及动力机制研究[J]. 国际贸易问题, 2022(3): 121-139.
- [7] 王方, 胡求光. “一带一路”沿线国家机电产品贸易网络结构分析[J]. 亚太经济, 2019(5): 49-58, 150.