

引用格式:杨文龙,杜德斌,盛垒.全球商品贸易网络生长特征及动力机制[J].资源科学,2022,44(3):508-522.[Yang W L, Du D B, Sheng L. Growth characteristics of the global commodity trade network and its dynamic mechanism[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 508-522.] DOI: 10.18402/resci.2022.03.07

全球商品贸易网络生长特征及动力机制

杨文龙¹,杜德斌²,盛 垒¹

(1. 上海社会科学院世界经济研究所,上海 200020;

2. 华东师范大学世界地理与地缘战略研究中心,上海 200062)

摘要:经济全球化时代,国家间商品流动频繁,商品贸易网络化特征突出,亟需从关系网络的生长逻辑探究全球商品贸易的互动场景与演进机理。本文基于1996—2016年全球商品贸易流量数据,借助社会网络分析方法和ArcGIS可视化工具揭示了全球商品贸易网络的生长过程,运用指数随机图模型分析了全球商品贸易网络生长的动力机制。结果表明:①全球商品贸易网络呈扩张式生长,逐步形成“三核”互联主导的“大三角”空间结构,网络骨架的三大集群凸显。中国主导的集群大幅拓展,美国和德国主导的集群日益收缩。各国家(地区)在网络中的分工明确,网络功能差异显著并表现出不同变化特征。②全球商品贸易网络生长受自组织性、国家(地区)匹配性、国家(地区)集散性等内生动力和外生网络嵌入性等外在推力的共同驱动。其中,互惠关系是自组织性的主要结构,国家(地区)收入水平、市场开放趋同性和制度环境异质性是匹配性的关键因素,经济优势和产业竞争力是集散性的重要基础,殖民历史网络、留学生交流网络、语言同构网络、论文合作网络是重要的外生网络。传统的比较优势理论仍然适用于全球商品贸易网络生长机理的解释,尤其对国家(地区)匹配性和集散性的解释力更强。

关键词:全球商品贸易网络;生长特征;动力机制;网络自组织;社会网络分析方法;指数随机图模型

DOI:10.18402/resci.2022.03.07

1 引言

信息与交通技术发展带来全球“时空压缩”,跨国公司商业布局重构全球产业体系,共同推动全球商品要素加速流动^[1]。2019年,全球商品进出口额由2000年的12.42万亿美元提高至37.20万亿美元,占生产总值比重达42.37%,占货物和服务贸易总额比重高达75.45%。世界经济网络化趋势加速了具有耗散性、自组织性、动态性的商品贸易网络进一步发展,引发了商品贸易发生机制的根本性变化。随着社会网络理论向经济地理学渗透,研究商品贸易网络的空间结构、功能属性与影响因素等文献层出不穷,社会网络关系的生长逻辑也为解释商品贸易网络发展提供了独特视角。然而,现存文献仍停留于双边贸易关系的浅层分析,鲜有探讨商品贸易

网络“由内至外”的生长动力,尤其缺乏剖析网络结构和国家偏好的作用机理。本文结合社会网络理论,从内生结构效应、国家选择偏好和外生网络等3个维度探究商品贸易的网络化过程。这项研究对于理解当前国际贸易互动场景,优化国家间贸易关系,推动经济全球化高质量发展具有重大且深远的意义。

近年来,国内外学术界不再囿于商品贸易的二元逻辑,基于网络视角的研究掀起广泛热潮,重点集中在三大方面。①关于网络结构研究,目前学界已形成一个共识,商品贸易无权网络和加权网络均呈现“核心-边缘”结构^[2-5],网络结构的动态演化呈现较强的阶段性^[6]。②关于网络属性与功能研究,商品贸易网络的无标度性、集聚性、小世界性已被

收稿日期:2021-09-06 修订日期:2022-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(42001135)。

作者简介:杨文龙,男,福建平潭人,助理研究员,研究方向为地缘经济与国际贸易投资网络。E-mail: yangwenlong_pt@163.com

通讯作者:杜德斌,男,湖北宜昌人,教授,研究方向为世界地理和地缘政治。E-mail: dbdu@re.ecnu.edu.cn

2022年3月

学界证实^[7-9]。有学者指出,商品贸易网络的度分布不完全服从幂律分布,权重度分布则完全遵循幂律函数^[6,10],因此加权商品贸易网络是典型的无标度网络,具有增长性和择优选择机制^[11]。有研究表明,商品贸易网络遵循“二八法则”,存在“富人俱乐部”现象,核心国既是区域内贸易的增长极,又是带动区域间贸易的重要枢纽^[12-14]。另外,商品贸易网络还具备小世界性,邻接国家间贸易概率和规模均高于非邻接国家之间^[11]。③关于影响因素与机制研究,运用引力模型、QAP模型(Quadratic Assignment Procedure)以及指数随机图模型(Exponential Random Graph Models, ERGM)探究商品贸易网络生长机制的文献不断涌现^[15-18]。吴群锋等^[19]运用引力模型研究得出,商品贸易存在科研邻近性、语言邻近性、制度邻近性、文化邻近性和地理邻近性。蒋小荣等^[2]运用QAP模型探究发现,GDP、地理距离、共同语言正向作用于商品贸易。另一些学者提出,商品贸易网络生长还存在其他内生性因素^[20-22]。许和连等^[23]发现“一带一路”高端制造业贸易网络受自组织性影响。刘林青等^[24]认为结构性依赖对商品贸易网络的作用比外部性变量更强。唐晓彬等^[7]指出微观结构和国家经济发展都是网络生长的重要变量,其作用机制值得深入剖析。

尽管学界对商品贸易网络已做出一系列开创性研究,但从内生动力和外在推力分析网络的生长机制仍需要深入挖掘。鉴于此,本文在构建商品贸易网络生长的理论模型基础上,力图从如下方面做出边际贡献:①借助ArcGIS和社会网络分析工具,探究商品贸易网络拓扑结构与等级结构的生长过程,考察各国家在网络中的功能变化,以期认识全球商品贸易规律,理解世界经济运行逻辑带来启示;②运用ERGM模型实证检验内生结构效应、国家选择偏好和外生网络影响商品贸易网络生长的作用机制,以期证实商品贸易网络自组织性和外生网络嵌入性给出经验证据,同时为中国应对当今世界普遍存在的“逆全球化”与贸易保护主义思潮,进一步推进高水平全方位开放战略提供决策参考。

2 理论基础

全球商品贸易网络生长受内生结构效应(包括网络自组织性)、国家选择偏好(包括匹配性、集散性)等内生性动力,以及外生网络嵌入性等外部性

因素自下而上的作用,其逻辑框架如图1所示。

2.1 内生结构效应

假设商品贸易网络生长存在内生结构效应,即自组织性。双边交易的复杂关联性和相互依赖性为贸易网络结构的主要特征^[25]。具体而言,国家贸易决策存在结构依赖,参与者的贸易关系受同一网络其他贸易关系的影响^[24]。自组织性分为四大类型:①互惠性(图2a)。互惠性既是国家对外经济合作主要策略,也是各国遵循的贸易准则。跨国公司国际市场扩张、渗透与本土企业的反向竞争也会形成互惠关系^[24]。②聚敛性(图2b)。一些国家凭借市场规模和市场潜力优势能够成为国际商品消费高度活跃的中心节点,即网络存在高入度国家的作用。③扩张性(图2c)。一些国家倡导以出口为导向的经济发展模式,通过提升商品国际竞争力强化商品出口规模,即网络存在高出度国家的作用。④传递性(图2d)。传递性是网络的三元组结构,表示与同一个第三国或者更多国家形成的贸易关系,能使双边贸易获得协同效应^[26]。这种群体协作也会带来更多专业化机会、更高技术转让机会和更高效资源分配。另外,跨国公司形成的复杂网络一直协调着全球供应链和商品链。当两个国家嵌入第三国

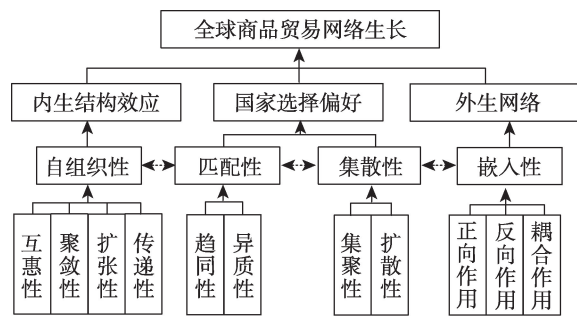


图1 全球商品贸易网络生长机制的逻辑框架图

Figure 1 Analytical framework for the growth mechanism of global commodity trade network

注:黑色实线代表自下而上的动力机制,黑色虚线代表不同维度的交互机制,箭头表示作用方向。

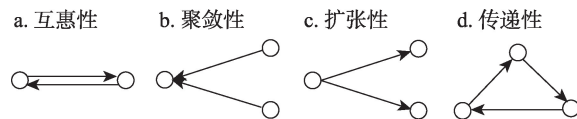


图2 内生结构效应的嵌套模型

Figure 2 Nested model of endogenous structural effects

的跨国公司网络时,其商品贸易概率和规模也将进一步提升。

2.2 国家选择偏好

假设全球商品贸易网络生长存在国家选择偏好,即国家具有对个别国家、部分商品的进出口偏好。有研究表明,国家倾向选择地理邻近、制度趋同、文化相似、优势互补的贸易伙伴^[11]。结合社会网络理论,将国家选择偏好分为匹配性和集散性:①匹配性包括趋同性和异质性。趋同性类似“物以类聚,人以群分”,异质性表示存在差异的国家间具有贸易联系倾向,其通过需求偏好和交易费用影响商品贸易(图3a、3b)。Talles等^[27]认为制度环境趋同既会降低信息搜寻成本和交易成本,也会降低执行契约的分歧,减少贸易纠纷。经济差异是影响双边贸易的基础因素。经济差异越大,国家间生产成本和需求偏好差异越大,贸易空间越大,但同时也存在文化壁垒和需求壁垒^[28]。便利化是影响双边贸易的关键因素。基础设施改善有助提升双边贸易便利化水平,降低贸易成本^[29,30]。②集散性包括集聚性和扩散性(图3c、3d)。集聚性指具备某种属性国家的商品进口更为活跃,扩散性指具备某种属性国家的商品出口更为活跃。经济规模和收入水平是推动国家技术水平和生产能力增强以及海外市场扩张重要基础,是推动商品进出口增长的关键因素。国家收入水平还反映了国内消费者对国际产品的需求偏好,这种需求偏好影响着国家的商品进口^[31]。

2.3 外生网络

假设全球商品贸易网络生长受外生网络嵌入性影响。商品贸易网络的外生网络包括人文、社会、文化、政治等关系网络,通过交易成本影响商品贸易,作用机制如图4所示。Granovetter^[32]提出嵌入性理论,认为经济活动嵌入人文社会关系,人文社会关系会通过交易成本效应和市场信息传递效应等影响个体经济行为,进而影响国家经济政策。人文社会关系能够降低信息搜索成本而实现有效



图3 国家选择偏好的嵌套模型

Figure 3 Nested model of country selection preference

注:黑色节点代表国家拥有某种属性,白色节点代表国家未拥有该属性,箭头方向表示贸易流方向。

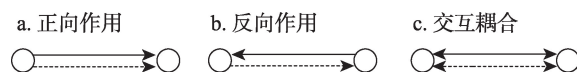


图4 外生网络交互关系格局

Figure 4 Interaction structure of exogenous network

注:虚线代表外部关系网络,实线代表商品贸易网络。

交易,降低市场交易风险而增强贸易关系稳定性,还能通过建立非正式“社会团体”克服广泛存在的非正式贸易壁垒^[33]。以产品相似、共同语言和殖民关系为表现的关系网络更具提高价格信息对称性,匹配国际买卖双方的优势。Rauch等^[33]检验了华人网络效用发现,非正式壁垒对国际贸易影响巨大,华人网络对差别产品贸易存在积极作用,能够推动双边贸易规模提升60%。

3 研究数据及方法

3.1 商品贸易网络构建

本文通过联合国贸易数据库(UN Comtrade)获取商品进出口数据,数据类型选择国际贸易标准分类(Standard International Trade Classification, SITC)第三版,数据处理及网络构建如下。①鉴于研究数据的完整性和连续性,选择1996—2016年为研究年份,并建立缺失数据处理规则,补充少数国家(地区)或少数年份缺失的数据。例如,将对方国家(地区)的进口额替代为数据缺失国家(地区)的出口额,通过相邻年份或其他年份商品贸易数据估算缺失数据。由于缺失的商品进出口额占全球商品进出口额比例较小,整体低于0.01%,因此这些处理对研究结果的科学性和客观性影响甚微。②基于所得国家(地区)进出口额数据,借助R语言软件生成全球商品贸易流量的关联矩阵。首先,构建节点的集合:

$$V_i = [v_i^t] (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

$$V_j = [v_j^t] (j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (2)$$

式中: V_i 和 V_j 分别代表为节点 i 和 j 集合; v_i^t 代表 t 年份国家(地区) i ; v_j^t 代表 t 年份国家(地区) j 。

其次,建立商品贸易的权重矩阵 W :

$$W_{i,j} = [w_{i,j}^t] \quad (3)$$

式中: $w_{i,j}^t$ 代表 t 年份国家(地区) v_i 到国家(地区) v_j 的出口额。最后,构建商品贸易网络:

$$G = v_i^t, v_j^t, w_{i,j}^t \quad (4)$$

2022年3月

3.2 社会网络分析方法

3.2.1 网络统计特征

运用社会网络分析方法,引入包括图密度、平均度、平均加权重、平均聚类系数、平均路径长度,构建全球商品贸易网络^①统计特征判定体系(表1)。

3.2.2 网络中心性

度中心性即节点度值,强调节点重要性由其对外连接边的数量决定。权重度中心性即节点权重度值,强调节点重要性由其对外连接边的权重决定。中介中心性(BC)强调节点重要性由其是否处在其他两个节点连接的位置决定,由所有节点间的最短路径经过该节点的次数衡量,这一指标反映国家(地区)在商品贸易网络中的中转和衔接功能^[11,34],公式如下:

$$BC_i = \frac{2}{n^2 - 3n + 2} \sum_{j=1, j \neq i}^n \sum_{k=1, k \neq i, j}^n \frac{\delta_{ij}^k}{\delta_{ij}} \quad (5)$$

式中: n 代表节点数; δ_{ij}^k 代表节点 i 到节点 j 的最短路径经过节点 k 的次数; δ_{ij} 代表节点 i 到节点 j 的最短路径数。

特征向量中心性(EC)强调与之相连的邻接节点越重要,则该节点就越重要,公式如下:

$$EC_i = x_i = c \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (6)$$

$$X = cAx \quad (7)$$

式中: x_i 和 x_j 分别为节点 i 和节点 j 的重要性度量值; X 是矩阵 A 的特征值 c^{-1} 对应的特征向量; $A=(a_{ij})$ 是邻接矩阵,如果节点 i 和节点 j 相邻,则 a_{ij} 等于1,如果节点 i 和节点 j 不相邻,则 a_{ij} 等于0, c 是比例常数。经过多次迭代到达稳定状态时,公式(6)就可以写成公式(7)的矩阵形式。如果给商品贸易网络

中的所有节点分配相对分数,与高得分节点连接比与低得分节点同等连接贡献更大,此时该节点的 EC 值就越大^[11,34]。

3.2.3 优势流分析模型

优势流(Dominant Flow)分析模型用图论和关系结构方法刻画不同尺度空间之间的等级性^[35]。节点之间可能存在无数关系流,构成网络结构骨架是这些关系中最大关系流,即优势流。本文构建了关系矩阵刻画全球商品贸易网络的等级结构(图5)。蓝色方格表示一个节点所有关系流中的优势流, $a1$ 是全球商品贸易网络中的主导型节点,其优势流流向比自身规模小的节点 $b1$, $b1$ 和 $b2$ 的优势流流向 $a1$, $b3$ 的优势流流向 $b1$, $b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 的共同特点就是存在规模更小的节点与其相连,所以 $b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 属于次级主导型节点, $c1$ 、 $c2$ 、 $c3$ 、 $c4$ 的优势流流向比自身规模大的节点,不存在其他节点的优势流流入,属于从属型节点。与现有研究仅考虑节点规模单一属性相比,本文同时考虑节点规模和节点间流量和流向,所得结果能更加客观反映现实。

3.3 指数随机图模型(ERGM)

指数随机图模型是近年来社会网络分析的热点模型之一,以“自下而上”和“内外兼顾”的视角解释关系网络的生长^[23,36]。本文运用ERGM从网络自组织性、国家(地区)匹配性、国家(地区)集散性和外生网络嵌入性4个维度及其交互作用探究全球商品贸易网络生长的动力机制。全球商品贸易网络(Trade Network, TN)存在 n 个节点 $V=\{1, 2, 3, \dots, n\}$,设定 $M=\{(i, j); i \in V, i \neq j\}$ 是节点之间所有的可能边。 $G=(V, E)$ 是商品贸易网络, E 是商品贸易网络的边, E 是 M 的子集。首先建立随机变量 Y 表示 M

表1 网络统计特征判定体系

Table 1 Indicator system of network statistical characteristics

指标	内涵
图密度	商品贸易的紧密程度和网络图的完备程度
平均度	各节点对外贸易关系数的平均值,指示全球商品贸易的活跃度
平均加权重	各节点对外贸易强度的平均值,指示全球商品贸易的规模
平均聚类系数	节点之间形成短距离关系的程度,平均聚类系数为0,说明网络中节点没有邻接边,平均聚类系数为1,说明节点与所有邻接点都连接
平均路径长度	商品贸易可达性和商品贸易网络连通性,是反向指标,其值越高可达性越低

注:网络统计公式已被学界熟知,为避免文章内容过于冗长,故表格未列出具体公式,源公式可参考文献[11]。

① 全球商品贸易网络的节点均代表国家(地区)。

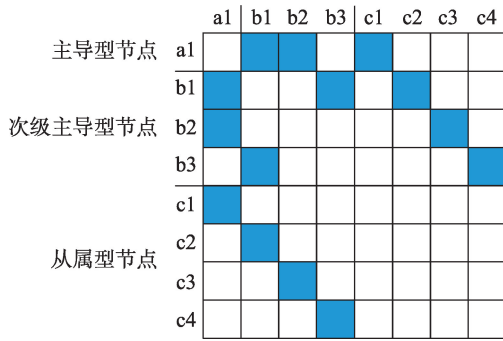


图5 等级结构概念模型

Figure 5 Conceptual model of hierarchical structure

的元素,当 $(i, j) \in E$, 则 $y_{i,j}=1$, 否则 $y_{i,j}=0$; 其次基于变量 Y 构建随机邻接矩阵 $y=[y_{i,j}]$, 所有随机邻接矩阵构成可行集; 最后用 $Pr(Y=y|\theta)$ 来表示在 θ 条件下 y 在 Y 中出现的概率。基于 ERGM 基础公式^[36], ①构建存在自组织性变量的基础模型和高阶模型, 公式如下:

$$P(TN=X)=(1/k)\exp(\theta_1 Edges + \theta_2 Mutual) \quad (8)$$

$$P(TN=X)=(1/k)\exp(\theta_3 Istar(3) + \theta_4 Ostar(3) + \theta_5 Triangle) \quad (9)$$

②构建存在国家(地区)匹配性和集散性变量的属性模型, 公式如下:

$$P(TN=X)=(1/k)\exp(\theta_1 Edges + \theta_6 Homophily(country_i, country_j) + \theta_7 Sender(country_i, country_j) + \theta_8 Receiver(country_i, country_j)) \quad (10)$$

③构建存在外生网络嵌入性变量的复合模型,

公式如下:

$$P(TN=X)=(1/k)\exp(\theta_1 Edges + \theta_6 Homophily(country_i, country_j) + \theta_7 Sender(country_i, country_j) + \theta_8 Receiver(country_i, country_j) + \theta_9 Edgecov(N_{ij})) \quad (11)$$

式中: $P(TN=X)$ 代表随机矩阵 X 在商品贸易网络 TN 中出现的概率 P ; $country_i$ 、 $country_j$ 分别代表国家(地区) i 、 j ; $Homophily(country_i, country_j)$ 表示国家(地区) i 和国家(地区) j 的收入水平 ($Income$)、制度环境质量 (WGI)、港口设施质量 ($Port$)、市场开放水平 (OPN) 的趋同性, 其他变量同理。 k 是标准化常量。另外, ERGM 其他主要变量的意义如表2, 国家(地区)匹配性、国家(地区)集散性和外生网络嵌入性选取的变量如表3所示。本文采用马尔科夫链蒙特卡罗极大似然估计法(MCMC)对模型进行检验, 用 t 统计量检验参数的显著性, 要求 p 值小于 0.1。模型的间接性和拟合度用赤池信息量(AIC)和贝叶斯信息量(BIC)这两个参数评判。最后借助 R 语言 statnet 程序包模型检验。

4 结果与分析

4.1 全球商品贸易网络的生长特征

4.1.1 拓扑结构: 双核互动转向大三角格局

除平均路径长度和平均聚类系数, 1996—2016 年全球商品贸易网络的各项统计量呈上升态势(表4)。网络节点数由 207 个增加至 222 个, 边数从

表2 ERGM变量描述

Table 2 Exponential random graph model (ERGM) variables

变量	名称	示意图	统计意义
<i>Edges</i>	边数		类似线性回归的常数项
<i>Mutual</i>	互惠性		商品贸易关系的互惠性
<i>Istar(3)</i>	入-3星		商品贸易网络的聚敛性
<i>Ostar(3)</i>	出-3星		商品贸易网络的扩张性
<i>Triangle</i>	传递三元组		形成商品贸易集群的倾向
<i>Homophily</i>	趋同性		属性相近国家(地区)间的商品贸易倾向
<i>Sender</i>	扩散性		具备某属性国家(地区)的出口倾向
<i>Receiver</i>	集聚性		具备某属性国家(地区)的进口倾向
<i>Edgecov</i>	二元关系协变量		国家(地区)间存在其他关系的商品贸易倾向

2022年3月

表3 解释变量与数据来源说明

Table 3 Explanatory variables and data sources

变量	指标	说明	来源
匹配性	国家(地区)收入水平(<i>Income</i>)	按世界银行划分为高(H)、中高(MH)、中低(ML)、低(L)4个等级,处于同一等级视为收入水平趋同	世界银行数据库
	制度环境质量(<i>WGI</i>)	对公共治理指数加和与均值化,差值小于0.5表示制度环境质量趋同	世界银行数据库
	港口设施质量(<i>Port</i>)	分为7个等级,处于同一个等级或相邻等级视为港口设施质量趋同	《2016—2017年全球竞争力报告》
集聚性	市场开放水平(<i>OPN</i>)	由贸易额与GDP的比值反映,其差值小于0.1表示市场开放水平趋同	世界银行数据库
	产业优势(<i>RCA</i>)	分为资本与技术密集型(<i>RCA-CT</i>)、劳动密集型(<i>RCA-LB</i>)和初级产品密集型(<i>RCA-P</i>)	笔者计算所得
嵌入性	殖民历史网络(<i>col_net</i>)	通过1945年前存在殖民关系或者同属一个宗主国关系构建网络	CEPII数据库
	留学生交流网络(<i>inter-stu_net</i>)	通过2016年两个国家(地区)存在留学生流动关系构建网络	UNESCO
	语言同构网络(<i>lan_net</i>)	通过两个国家(地区)至少9%的人口使用同一种语言的关系构建网络	CEPII数据库
	论文合作网络(<i>pap_net</i>)	通过2016年存在共同发表论文关系构建网络	Web of Science

注:制度环境质量、基础设施质量和市场开放水平按照组内方差最小、组间方差最大的标准分为高(H)、中(M)、低(L)3个等级,集散性选择国家(地区)经济优势指标,划分等级如国家(地区)收入水平所述。

4394个增加至8536个,图密度从0.206提升到0.348,表明全球商品贸易更加紧密,网络趋向完备。平均度和平均加权重度增长意味着各国家(地区)对外建立商品贸易关系的概率和规模更高。平均聚类系数下降指示了国家(地区)商品贸易的空间更多元。平均路径长度的值在1.6~1.8范围且趋于下降,表明商品贸易关系并不局限于二元结构,存在多个三元组,商品贸易具备第三国效应,但第三国效应逐渐弱化。分阶段看,2014年之后的网络边数、密度、平均度和平均加权重度都出现不同程度

下降,尤其2015年之后出现大规模下滑。究其原因,一是美日欧等发达国家持续实施量化宽松财政政策,高负债导致高杠杆,低利率造成汇率波动,引发世界贸易规模性收缩;二是美日欧等发达国家的工业部门出现“重返制造业”战略调整,导致消费驱动型国家的经济增长结构发生重大变化,发展中经济体需求整体下降;三是大宗商品价格大幅下跌,全球贸易规模减少。

全球商品贸易网络呈现“枢纽-辐射”式结构,由以“双核”互动主导转向以“三核”互联主导的“大

表4 1996—2016年全球商品贸易网络的特征统计量

Table 4 Characteristic statistics of the global commodity trade network, 1996-2016

年份	节点数/个	边数/条	密度	平均度	平均加权重度	平均聚类系数	平均路径长度
1996	207	4394	0.206	42.25	39937	0.875	1.808
1998	207	5632	0.264	54.42	44208	0.840	1.742
2000	219	6780	0.284	61.92	52746	0.830	1.725
2002	220	7122	0.296	64.75	53934	0.831	1.711
2004	219	7698	0.322	70.30	76307	0.832	1.682
2006	221	8089	0.333	73.20	99103	0.831	1.672
2008	221	8690	0.357	78.64	131148	0.828	1.648
2010	220	8813	0.366	80.12	124750	0.829	1.639
2012	224	8905	0.357	79.51	146208	0.833	1.658
2014	221	9062	0.373	82.01	153590	0.836	1.634
2016	222	8536	0.348	76.90	126822	0.839	1.658

注:表中仅列出间隔年份的统计量。

三角”结构(图6)。1996年,网络以美国和德国主导,空间联系以区域内贸易为主,高度值节点集中在欧盟国家。排名前0.5%商品贸易流量所占比重大达44.81%,关系对集中在西欧、北美、亚太等区域内部。其中,西欧12对,商品贸易流量占比为17.36%;北美2对,商品贸易流量占比为10.70%;亚太4对,商品贸易流量占比为5.72%。这些区域内商品贸易流量在前0.5%关系对占比高达75.38%。值得注意的是,北美与亚太商品贸易联系在该年份开始显露,前0.5%关系对中有6.75%的商品贸易流量由二者贡献。2016年,网络以中国、美国和德国主导,空间上表现为北美、西欧和东亚跨区域互联的“大三角”格局。排名前0.5%的商品贸易流量所占比重大为46.39%。西欧18对,商品贸易流量占比下降至12.66%;北美有2对,商品贸易流量占比下降

至7.79%;亚太10对,商品贸易流量占比上升至10.63%。总体看,商品贸易网络的中间位序国家(地区)增多,跨区域联系强化,亚太的域内和域外商品贸易流量均出现大幅增长。前0.5%关系对存在10个亚太与西欧、北美的跨区域贸易,占比提高至15.31%。

4.1.2 等级结构:两大集群分化为三大集群

1996年和2016年全球商品贸易等级网络都属于非连通网络,但网络集群结构存在差异(图7)。1996年,美国主导的集群最大,德国主导的集群次之,中国主导的集群初露雏形。美国是56个国家最大商品贸易伙伴,日本、韩国、加拿大等6个国家属于次级主导型节点,这些国家是北美与亚太地区的商品贸易中转站。德国是29个国家最大商品贸易伙伴,法国、意大利、英国等7个国家属于次级主导

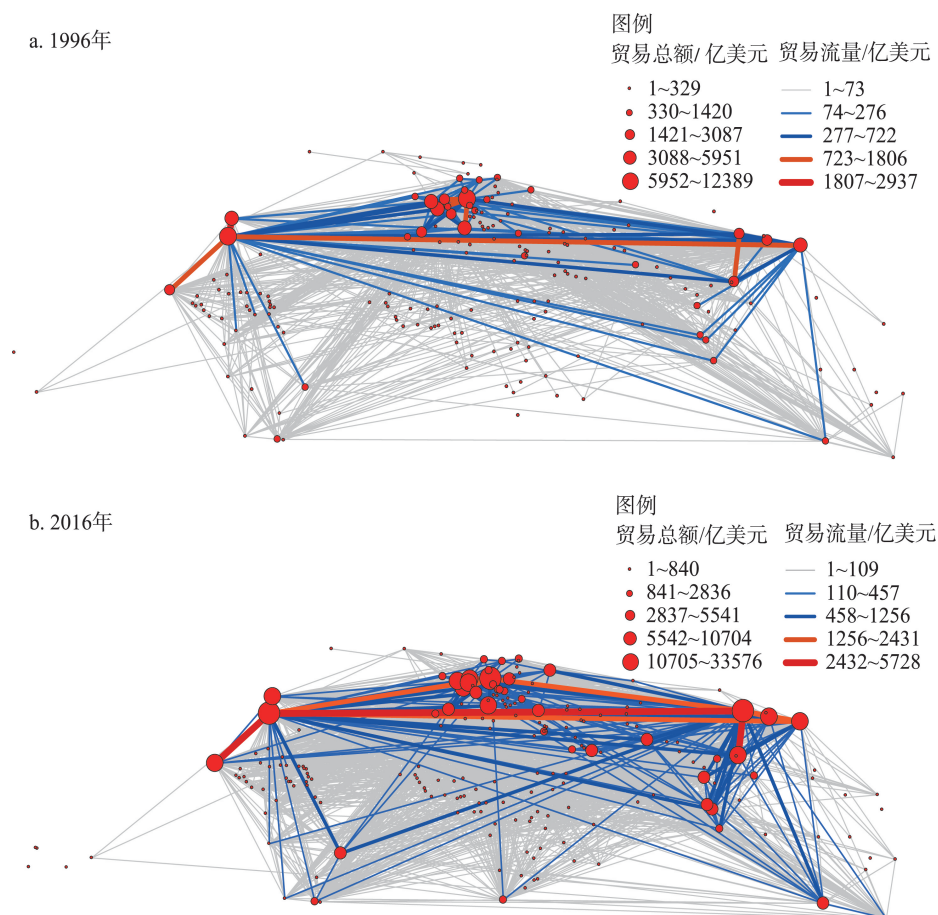


图6 1996年和2016年全球商品贸易网络的拓扑结构

Figure 6 Topology of the global commodity trade network, 1996 and 2016

注:为了增加信息的获取性,图中仅展示国家(地区)间贸易流量和国家(地区)贸易总额高于1亿美元的线段和节点。线段粗细与贸易流量成正比,节点大小与贸易总额成正比,节点位置为各国家(地区)首都(首府)坐标。

2022年3月

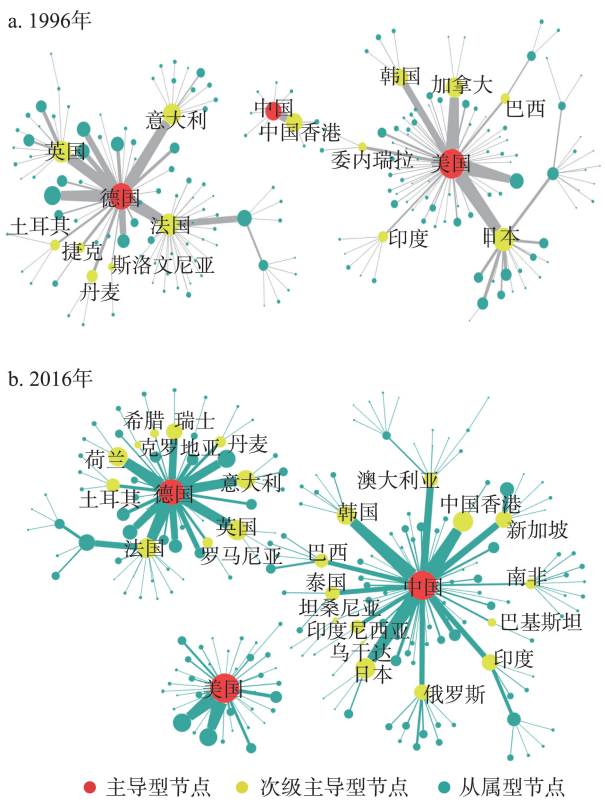


图7 1996年和2016年全球商品贸易网络等级结构
Figure 7 Hierarchy of global commodity trade network,
1996 and 2016

注:节点大小与加权重度成正比,边粗细与商品贸易流量正相关。

型节点,这些国家是欧洲商品贸易的中转站,法国在该集群中的中转功能最强。中国主导的集群有10个国家(地区),中国香港是唯一的次主导型节点。2016年,中国主导的集群大幅拓展,成为全球最大商品贸易集群。德国和美国主导的集群都出

现不同程度收缩。中国是50个国家(地区)最大商品贸易伙伴,中国香港、日本、韩国、新加坡等14个国家(地区)属于次级主导型节点,这些国家(地区)是亚太、中亚、南亚等地区的中转站。德国最大商品贸易伙伴数量减少为25个,次主导型节点有10个国家,增加了瑞士、希腊、克罗地亚、荷兰、罗马尼亚等5个国家,捷克和斯洛文尼亚退出。这个变化表明欧洲区域一体化有效促进了欧盟商品贸易的均衡化发展。美国主导的集群变化尤为明显,最大商品贸易伙伴数量大幅减少至35个,次主导型节点消失,表明美国强化了集群内商品贸易的控制力与吸附力,吸收了集群内所有的商品贸易资源。

4.1.3 节点属性:北美、西欧和东亚国家(地区)始终占据高位

高中心性国家(地区)一直集中在北美、西欧和东亚(表5)。①度中心性反映了国家(地区)商品贸易关系的活跃度。1996年,度中心性居前3的是英国、美国和日本,其拥有最多商品贸易关系。其他前10国家集中在西欧,中国仅列第9位。2016年,度中心性居前3的是美国、日本和中国,揭示了东亚经济的整体复兴并加强了跨区域商品贸易。②权重度中心性反映了国家(地区)商品贸易的强度。1996年,权重度中心性居前3的是美国、德国和日本,这3个国家拥有最高的贸易流量,其他前10国家(地区)集中在西欧和东亚,中国和中国香港分列第9、10位。2016年,权重度中心前10出现较大变化,东亚国家(地区)排名跃升,中国、中国香港、日

表5 1996年和2016年中心性指标前10名的国家(地区)

Table 5 Top 10 countries (regions) of centrality, 1996 and 2016

排名	1996年				2016年			
	度中心性	权重度中心性	中介中心性	特征向量中心性	度中心性	权重度中心性	中介中心性	特征向量中心性
1	英国	美国	英国	英国	美国	美国	美国	美国
2	美国	德国	美国	意大利	日本	中国	日本	中国
3	日本	日本	日本	德国	中国	德国	德国	德国
4	德国	法国	法国	法国	德国	日本	英国	日本
5	法国	英国	德国	美国	英国	中国香港	澳大利亚	荷兰
6	意大利	意大利	澳大利亚	荷兰	荷兰	法国	荷兰	法国
7	荷兰	加拿大	意大利	日本	法国	英国	法国	英国
8	韩国	荷兰	荷兰	丹麦	意大利	荷兰	中国	意大利
9	中国	中国香港	韩国	中国	韩国	意大利	意大利	韩国
10	西班牙	中国	中国	西班牙	西班牙	韩国	新西兰	西班牙

本、韩国在其中占据4个席位,西欧国家多退出前10。③中介中心性反映了国家(地区)的中转功能。1996年,中介中心性居前3的为英国、美国和日本,这3个国家网络中占据“结构洞”位置,具备获取国际市场非对称信息和商品资源的优势。2016年,前10国家变化较小,前3位为美国、日本和德国,中国由第10上升至第8位。④特征向量中心性反映出国家(地区)在商品贸易网络的第三国效应。1996年,特征向量中心性前3均为西欧国家,包括英国、意大利和德国,这得益于该时期欧洲区域一体化在国际市场交易的巨大优势。美国和中国仅位居第5、9位。2016年,北美自由贸易区和亚太经合组织的深度发展,推动美国和中国的特征向量中心性上升至第1位和第2位,中美两国对邻接国家(地区)的贸易溢出效应逐渐强化。

4.2 全球商品贸易网络生长的动力机制

4.2.1 网络自组织性

加入三角结构变量会导致 ERGM 估计参数不收敛^[23],故本文建立基础模型和高阶模型分开估计检验,结果如表6所示:①*Mutual*通过0.1%显著性水平检验,系数为2.1140,表明每增加一对互惠关系,其他孤立节点建立商品贸易的概率增加8.28($e^{2.1140}$,下同)倍。互惠关系不仅能增加政府机会主义行为的成本,而且会降低贸易不平衡性、减少贸易摩擦、营造双赢的贸易空间,进而推动商品贸易网络有序发展。②*Istar*(3)通过0.1%显著性水平检验且系数为-0.0012, *Ostar*(3)通过0.1%显著性水平检验且系数为0.0001,说明大规模出口是商品贸易网络扩张的重要内生动力之一。商品贸易网络既

具有增长性和择优机制,也具有中心推动效应,高出度国家(地区)能始终在网络占据中心地位。③*Triangle*通过0.1%显著性水平检验且系数为0.0182,每增加一个传递性结构,网络密度增加1.02倍,揭示了全球商品贸易网络的多集群运作模式,多边商品贸易关系是网络有序扩张的基础。世界已逐步形成多个贸易集团,各集团通过关税政策吸引其他国家参与。集团内贸易既能减低谈判成本、摩擦成本、市场准入成本等交易成本,又能强化国家间技术溢出效应,推动商品贸易发展。

4.2.2 国家(地区)匹配性

全球商品贸易网络生长存在国家(地区)匹配性,而且匹配性具有等级差异。结果如表7所示:①*Homophily(Income)*通过0.1%显著性水平检验且系数为0.4879,说明了收入趋同的国家(地区)间商品贸易概率是存在差异的1.63倍。*Homophily(Income-H)*、*Homophily(Income-MH)*、*Homophily(Income-ML)*和*Homophily(Income-L)*都通过0.1%显著性水平检验,前二者系数为正,后二者系数为负,表明高收入和中高收入的国家(地区)间存在商品贸易倾

表7 匹配性的估计结果

Table 7 Results of matching model estimates

	属性模型(3)	属性模型(4)
<i>Edges</i>	-0.4862***	-0.5138***
<i>Homophily(Income)</i>	0.4879***	
<i>Homophily(WGI)</i>	-0.3021***	
<i>Homophily(Port)</i>	0.0356	
<i>Homophily(OPN)</i>	0.1467***	
<i>Homophily(Income-H)</i>		1.0846***
<i>Homophily(Income-MH)</i>		0.1422**
<i>Homophily(Income-ML)</i>		-0.5741***
<i>Homophily(Income-L)</i>		-1.0427***
<i>Homophily(WGI-H)</i>		0.0540*
<i>Homophily(WGI-M)</i>		0.0202
<i>Homophily(WGI-L)</i>		-0.4732***
<i>Homophily(Port-H)</i>		0.1103
<i>Homophily(Port-M)</i>		0.2247***
<i>Homophily(Port-L)</i>		-1.6765***
<i>Homophily(OPN-H)</i>		0.7090***
<i>Homophily(OPN-M)</i>		-0.7416***
<i>Homophily(OPN-L)</i>		0.1985**
<i>AIC</i>	33082	30733
<i>BIC</i>	33123	30847

表6 基础模型和高阶模型的估计结果

Table 6 Results of base model and higher-order model estimates

局部结构效应	基础模型(1)	高阶模型(2)
<i>Edges</i>	-1.3208***	
<i>Mutual</i>	2.1140***	
<i>Istar</i> (3)		-0.0012***
<i>Ostar</i> (3)		0.0001***
<i>Triangle</i>		0.0182***
<i>AIC</i>	30011	29013
<i>BIC</i>	30035	29038

注:*, **, ***分别代表在5%、1%、0.1%统计水平上显著,系数表示 $e^{\text{系数值}}$ 倍。下同。

2022年3月

向,中低收入和低收入的国家(地区)间不存在商品贸易倾向。商品贸易具有经济邻近性,国家倾向选择与本国经济发展差异小的贸易伙伴,这一结论仅适用于中高和高收入水平。由于收入水平低的国家更多依赖与发达国家贸易,彼此间贸易联系较弱。②*Homophily(WGI)*通过0.1%显著性水平检验且系数为-0.3021,表明制度环境质量趋同的国家(地区)间商品贸易概率是存在差异的0.74倍。*Homophily(WGI-H)*通过5%显著性水平检验且系数为正,说明高质量制度环境的国家(地区)间存在商品贸易倾向。高质量制度环境能为贸易提供良好的契约约束环境和交易保障机制,还会通过影响交易安全带来价格加成,因此高质量制度环境的国家间倾向贸易。③*Homophily(Port-M)*和*Homophily(Port-L)*都通过0.1%的显著性水平检验,前者系数为正,后者系数为负,表明中等港口设施质量的国家(地区)间倾向商品贸易,低港口质量的国家(地区)间不倾向商品贸易。基础设施质量如何影响国际贸易的争论一直存在,一些学者指出基础设施改善会降低运输成本,提高商品贸易规模^[2,37];另一些学者却认为由于商品贸易的邻国效应,基础设施改善会增强贸易伙伴的可替代性,反而抑制东道国的出口规模^[38]。研究结果表明,中等港口设施质量国家(地区)的贸易伙伴可替代性和运输成本都居于平均水平,彼此间存在更高的商品贸易偏好。

④*Homophily(OPN)*通过0.1%显著性水平检验且系数为0.1467,表明市场开放趋同国家(地区)的商品贸易概率是存在差异的1.16倍。*Homophily(OPN-H)*通过0.1%显著性水平检验且系数为正,*Homophily(OPN-M)*通过0.1%显著性水平检验且系数为负,*Homophily(OPN-L)*通过0.1%显著性水平检验且系数为正,说明高市场开放水平和低市场开放水平的国家(地区)间都存在商品贸易倾向,中等市场开放水平的国家(地区)间不存在商品贸易倾向。市场开放能突破国际贸易的体制机制障碍,促进国际要素的有序流动和高效配置,推动各国市场的深度融合,为商品贸易增长扩大空间。

4.2.3 国家(地区)集散性

全球商品贸易网络存在国家(地区)集散性,结果如表8所示:①*Sender(Income-H)*、*Sender(Income-MH)*和*Sender(Income-ML)*都通过0.1%显著性水平检验,系数依次为2.0308、1.3216和0.7352,意味着高收入、中高收入、中低收入国家(地区)相对低收入国家(地区)具有出口优势,出口概率分别是低收入国家(地区)的7.62倍、3.75倍和2.08倍。②*Sender(RCA-CT)*和*Sender(RCA-LB)*都通过0.1%显著性水平检验,系数分别为1.5418和0.7647,意味着资本与技术密集型和劳动密集型国家(地区)相对初级产品密集型国家(地区)具有出口优势,其出口概率分别是初级产品密集型国家(地区)的4.67

表8 集散性的估计结果

Table 8 Results of distribution model estimates

	属性模型(5)	属性模型(6)	属性模型(7)
<i>Edges</i>	-2.4109***		-2.5603***
<i>Sender(Income-H)</i>	2.3454***		2.0308***
<i>Sender(Income-MH)</i>	1.4568***		1.3216***
<i>Sender(Income-ML)</i>	0.8962***		0.7352***
<i>Receiver(Income-H)</i>	0.8602***		0.07243***
<i>Receiver(Income-MH)</i>	0.4447***		0.3911***
<i>Receiver(Income-ML)</i>	0.3005***		0.2354***
<i>Sender(RCA-CT)</i>		1.5418***	0.9978***
<i>Sender(RCA-LB)</i>		0.7647***	0.6298***
<i>Receiver(RCA-CT)</i>		0.6361***	0.4432***
<i>Receiver(RCA-LB)</i>		0.3345***	0.2886***
<i>AIC</i>	29765	31353	28921
<i>BIC</i>	29822	31393	29010

倍和2.15倍。③*Receiver(Income-H)*、*Receiver(Income-MH)*和*Receiver(Income-ML)*都通过0.1%显著性水平检验,系数依次为0.0724、0.3911和0.2354,表明高收入、中高收入、中低收入国家(地区)相对低收入国家(地区)具有进口优势,进口概率分别是低收入国家(地区)的1.08倍、1.48倍和1.27倍。④*Receiver(RCA-CT)*和*Receiver(RCA-LB)*均通过了0.1%显著性水平检验,系数分别为0.4432和0.2886,表明资本与技术密集型和劳动密集型国家(地区)相对初级产品密集型国家(地区)具有进口优势,进口概率分别是初级产品密集型国家(地区)的1.56倍和1.33倍。经济发展水平和优势产业等级越高的国家在全球商品贸易网络中更为活跃,其不仅具有国际市场竞争优势,出口大规模商品,也具有国内消费市场潜力,进口大量商品。

4.2.4 外生网络嵌入性

全球商品贸易网络生长存在外生网络嵌入性,结果如表9所示。*Edgecov(col_net)*通过0.1%显著性水平检验且系数为1.1793,表明嵌入殖民历史网络的国家(地区)间商品贸易概率是其他国家(地区)的3.25倍。*Edgecov(lan_net)*通过0.1%显著性水平检验且系数为0.1718,意味着嵌入语言同构网络的国家(地区)间商品贸易概率是其他国家(地

区)的1.18倍,其系数是这4个指标中最低的。*Edgecov(pap_net)*通过0.1%显著性水平检验且系数为1.7266,表明嵌入论文合作网络的国家(地区)间商品贸易概率是其他国家(地区)的5.62倍。*Edgecov(interstu_net)*通过0.1%显著性水平检验且系数为1.7504,表明嵌入留学生交流网络的国家(地区)间商品贸易概率是其他国家(地区)的5.76倍。总体上,存在人文社会关系的商品贸易更具扩张性。拥有殖民历史同质性的两个国家文化认同感更强,商品贸易更密切。例如,非洲和欧洲国家密切的贸易联系主要受殖民历史的影响。留学是国家间人文交流的重要途径之一,能有效弱化国家间的社会文化和价值观差异,对突破文化壁垒具有积极作用。共同语言使用既能降低沟通障碍,也能减少由法律标准差异引起的额外成本,还能提高国家间互信度,推动贸易关系发展。科技论文合作会带来知识溢出效应,推动国家间形成产品生产的协同效应,进而强化商品贸易。此外,模型(12)的AIC和BIC值最低,表明综合模型的拟合优度最佳。其中,除*Homophily(WGI)*、*Receiver(RCA-CT)*和*Receiver(RCA-LB)*3个变量系数的正负值和显著性出现变化外,其他变量系数均与上述模型保持一致。这一结果表明在其他变量的作用下,制度环境质量的作

表9 嵌入性与综合模型的估计结果

Table 9 Results of external thrusts model and synthetic model estimates

	复合模型(8)	复合模型(9)	复合模型(10)	复合模型(11)	综合模型(12)
<i>Edges</i>	-1.7218***	-1.7480***	-2.6002***	-2.1050***	-2.7229***
<i>Mutual</i>	2.1158***	2.1297***	1.5636***	1.4786***	1.1571***
<i>Homophily(Income)</i>	0.2711***	0.2595***	0.2593***	0.2136***	0.2171***
<i>Homophily(WGI)</i>	-0.1602***	-0.1732***	-0.1255***	-0.0899**	-0.0566
<i>Homophily(Port)</i>	0.1057***	0.1088***	0.0432	0.1773***	0.1181***
<i>Homophily(OPN)</i>	-0.1910***	-0.1847***	-0.1547***	-0.1770***	-0.1684***
<i>Sender(RCA-CT)</i>	1.5794***	1.5771***	1.7219***	1.4979***	1.6417***
<i>Sender(RCA-LB)</i>	0.8519***	0.8611***	0.7908***	0.7788***	0.7530***
<i>Receiver(RCA-CT)</i>	-0.1320**	-0.1089*	-0.0263	-0.2164***	-0.1227*
<i>Receiver(RCA-LB)</i>	0.023	0.0153	-0.0495	-0.0757	-0.0975*
<i>Edgecov(col_net)</i>	1.1793***				0.3970*
<i>Edgecov(lan_net)</i>		0.1718***			0.1183**
<i>Edgecov(pap_net)</i>			1.7266***		1.3365***
<i>Edgecov(interstu_net)</i>				1.7504***	1.3845***
<i>AIC</i>	28422	28467	24684	24232	22645
<i>BIC</i>	28512	28556	24773	24321	22759

2022年3月

用出现弱化。而且,随着发展中国家的贸易参与度持续提升,资本技术密集型和劳动力密集型国家的进口优势开始消失。论文合作网络和留学生交流网络对网络生长的作用机制也逐渐超过了殖民历史网络和语言同构网络。

5 结论与政策启示

5.1 结论

网络化是当今全球商品贸易的主要特征,商品贸易机制需要重新审视。本文在探究1996—2016年全球商品贸易网络生长特征与规律的基础上,深度解析了全球商品贸易网络的生长动力机制。主要结论如下:

(1)全球商品贸易网络的拓扑结构、等级结构以及国家(地区)中心性都处于动态演化中。①商品贸易网络的“核心-边缘”特征依旧稳定,但空间格局已发生较大变化,表现出由“双核互动”向“三核交互”的“大三角”格局转变。②全球商品贸易的等级网络非联通性网络,断裂形成多个商品贸易集群,1996年形成两大优势集群,中国主导的集群初具雏形,2016年分化形成三大优势并立的集群,以中国为主导的集群出现较大幅度的扩张生长。③国家(地区)的网络功能差异显著,主导型国家(地区)发挥着商品贸易网络的引领作用,次级主导型国家(地区)承担着商品贸易网络的中转功能,从属型国家(地区)则为高等级国家(地区)提供资源、土地、劳动力等生产要素。中国在全球商品贸易网络中的地位与功能不断强化。

(2)全球商品贸易网络生长受网络自组织性、国家(地区)匹配性、国家(地区)集散性和外生网络嵌入性共同驱动。商品贸易的互惠关系是驱动网络扩张的主要结构,传递性三元组作用相对较弱。国家(地区)匹配性和集散性对网络生长作用显著,拥有收入水平、市场开放的趋同性和制度环境异质性的两个国家(地区)存在商品贸易倾向,而且国家(地区)匹配性存在等级差异。高收入水平和资本与技术密集型国家(地区)具备最显著的进出口优势。网络生长还受殖民历史网络、留学生交流网络、语言同构网络、论文合作网络等外生网络嵌入性的正向作用。论文合作网络和留学生交流网络的作用强于殖民历史网络和语言同构网络,说明了

高级要素的空间流动是突破国家(地区)间商品贸易壁垒的关键因素。

(3)全球商品贸易网络生长的动力机制解释仍是建立在相对比较优势理论的基础上,匹配性和集散性都是在国家的比较优势下发挥效用。网络自组织性说明了若国家不存在生产要素禀赋差异,全球商品贸易网络依然可以依靠内生结构效应驱动生长。外生网络嵌入性说明了虽然全球化进程试图消除地缘关系约束,但国际贸易仍无法摆脱地理性并始终嵌入在特定的地缘关系中。这些地缘关系可以通过交易成本效应和信息关联效应影响国家贸易网络的生长。地理性也是形成国家间生产要素禀赋差异的根源。要素禀赋差异则推动着国际要素流动的自由化和国际分工体系的复杂化,为全球商品贸易网络创造了生长空间,使得全球贸易形成南南合作、北北合作和南北合作三环并重的格局。

5.2 政策启示

根据以上研究结果,本文提出如下政策启示:

(1)鉴于全球商品贸易网络结构的“核心-边缘”特征,中国对外商品贸易政策宜遵循“邻近国家—欧亚区域—全球范围”由近及远的三环空间原则。在邻近地区深化RCEP合作机制,推动亚太地区经济一体化进程。在欧亚区域依托“一带一路”的经济合作平台,强化与沿线国家的商品贸易联系。在全球范围巩固与发达国家的商品贸易联系,强化中国全产业链的发展优势,同时增强与第三世界国家的商品贸易。

(2)全球商品贸易网络的自组织效应表明了贸易关系依赖性能够增加国家政府机会主义行为的成本,促进国家间商品贸易合作的稳定性。中国需要高度强调互惠商品贸易关系的积极作用,在已有互惠关系基础上拓展新互惠关系,推动经济全球化的可持续发展,同时保障商品贸易网络高效、稳定地运行。

(3)考虑到全球商品贸易网络存在国家选择偏好和外生网络影响,中国需要构建长久稳定、公平公正、可预期的国际营商环境,积极吸引外商直接投资,因地制宜、因时制宜地调整经贸合作政策,以适应不同国家的商品贸易偏好。同时也要大力推

进国内企业“走出去”,包括增强与西亚北非在资源领域的产能合作、与东南亚和南亚地区的制造业合作、与中东欧出口加工业的合作;发挥华人、华侨地缘经济效应,利用孔子学院积极推广汉语获取语言红利;强化与相关国家科学技术合作和,以高级要素的高流动性突破国家间商品贸易壁垒。

参考文献(References):

- [1] 张幼文. 世界经济的基础理论与学科体系[J]. 世界经济研究, 2020, (7): 3-16. [Zhang Y W. Basic theory and discipline system of world economy[J]. World Economy Studies, 2020, (7): 3-16.]
- [2] 蒋小荣, 杨永春, 刘清, 等. 多重贸易网络的空间演化特征及其影响因素: 基于货物、服务和增加值贸易的比较[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1419-1427. [Jiang X R, Yang Y C, Liu Q, et al. Spatial evolution characteristics and influencing factors of trade multi-dimensional network: A comparative study based on trade in goods, services and value-added[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1419-1427.]
- [3] 李晖, 刘卫东, 唐志鹏. 全球贸易隐含碳净转移的空间关联网络特征[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 682-692. [Li H, Liu W D, Tang Z P. Spatial correlation network of net carbon transfer in global trade[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 682-692.]
- [4] 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 rediction for potential trade links[J]. Resources Science, 2022, 44(1): 70-84.]
- [5] 段德忠, 杜德斌. 全球高科技产品贸易结构演化及影响因素[J]. 地理学报, 2021, 75(12): 2759-2776. [Duan D Z, Du D B. Structural evolution of global high-tech trade system: Products, networks and influencing factors[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 75(12): 2759-2776.]
- [6] Garlaschelli D, Loffredo I M. Structure and evolution of the world trade network[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2005, 355(1): 138-144.
- [7] 唐晓彬, 崔茂生. “一带一路”货物贸易网络结构动态变化及其影响机制[J]. 财经研究, 2020, 46(7): 138-153. [Tang X B, Cui M S. Research on the dynamic change of goods trade network structure and its impact mechanism of countries along the Belt and Road[J]. Journal of Finance and Economics, 2020, 46(7): 138-153.]
- [8] 王涛, 王晴晴, 孟勇. 全球中间品贸易的网络结构特征演变分析: 基于世界投入产出表的研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(1): 59-67. [Wang T, Wang Q Q, Meng Y. Analysis on the evolution of the network structure of global intermediate trade: Based on the perspective of world input-output table[J]. Journal of Statistics and Information, 2021, 36(1): 59-67.]
- [9] 朱学红, 彭婷, 湛金字. 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.]
- [10] 杨文龙, 游小珺, 杜德斌. 商品贸易网络视角下地缘经济系统的属性与功能演进[J]. 地理研究, 2021, 40(2): 356-372. [Yang W L, You X J, Du D B. The evolutionary properties and functions of the geo-economic system from the perspective of global commodity trade network[J]. Geographical Research, 2021, 40(2): 356-372.]
- [11] 杨文龙, 杜德斌, 马亚华, 等. “一带一路”沿线国家贸易网络空间结构与邻近性[J]. 地理研究, 2018, 37(11): 2218-2235. [Yang W L, Du D B, Ma Y H, et al. Network structure and proximity of the trade network in the Belt and Road region[J]. Geographical Research, 2018, 37(11): 2218-2235.]
- [12] Chen S W, Qiang P. The trade network structure of the “One Belt and One Road” and its environmental effects[J]. Sustainability, 2020, DOI:10.3390/su12093519.
- [13] 何则, 杨宇, 刘毅, 等. 世界能源贸易网络的演化特征与能源契合关系[J]. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1621-1632. [He Z, Yang Y, Liu Y, et al. Characteristics of evolution of global energy trading network and relationships between major countries[J]. Progress in Geography, 2019, 38(10): 1621-1632.]
- [14] Cingolani L, Iapadre L, Tajoli L. International production networks and the world trade structure[J]. International Economics, 2018, 153(5): 11-33.
- [15] 强文丽, 张翠玲, 刘爱民, 等. 全球农产品贸易的虚拟耕地资源流动演变及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1704-1714. [Qiang W L, Zhang C L, Liu A M, et al. Evolution of global virtual land flow related to agricultural trade and driving factors[J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1704-1714.]
- [16] 袁红林, 辛娜. 中国高端制造业的全球贸易网络格局及其影响因素分析[J]. 经济地理, 2019, 39(6): 108-117. [Yuan H L, Xin N. Global trade network pattern and influencing factors of advanced manufacturing in China[J]. Economic Geography, 2019, 39(6): 108-117.]
- [17] 刘伟, 高志刚. 丝绸之路经济带沿线国家贸易联系、影响因素及效率研究: 基于社会网络分析与随机前沿引力模型的实证研究[J]. 俄罗斯东欧中亚研究, 2018, (6): 134-152. [Liu W, Gao Z G. Trade links, factors and efficiency of countries along the Silk Road Economic Belt: An empirical research based on social network analysis and stochastic frontier gravity model[J]. Russian, East European & Central Asian Studies, 2018, (6): 134-152.]
- [18] 陈烨, 谢凤燕, 王珏, 等. 中国友好城市关系是否促进了城市出口贸易: 基于二模网络视角[J]. 国际贸易问题, 2020, (5): 89-101.

2022年3月

- [Chen Y, Xie F Y, Wang Y, et al. Does China's friendship city relationship promote city exports: Based on the view of two-mode network[J]. *Journal of International Trade*, 2020, (5): 89-101.]
- [19] 吴群峰, 杨汝岱. 网络与贸易: 一个扩展引力模型研究框架[J]. *经济研究*, 2019, 54(2): 84-101. [Wu Q F, Yang R D. Network and trade: Research on the extended gravity equation[J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54(2): 84-101.]
- [20] Borchert I, Yotov V Y. Distance, globalization, and international trade[J]. *Economics Letters*, 2017, 153(4): 32-38.
- [21] 种照辉, 覃成林. “一带一路”贸易网络结构及其影响因素: 基于网络分析方法的研究[J]. *国际经贸探索*, 2017, 33(5): 16-28. [Zhong Z H, Qin C L. The trade network structure of “One Belt One Road” and its influence factors: A study based on analytic network process[J]. *International Economics and Trade Research*, 2017, 33(5): 16-28.]
- [22] 刘林青, 闫小斐, 杨理斯, 等. 国际贸易依赖网络的演化及内生机制研究[J]. *中国工业经济*, 2021, (2): 98-116. [Liu L Q, Yan X F, Yang L S, et al. Research on the evolution and endogenous mechanism of international trade dependence network[J]. *China Industrial Economics*, 2021, (2): 98-116.]
- [23] 许和连, 孙天阳, 成丽红. “一带一路”高端制造业贸易格局及影响因素研究: 基于复杂网络的指数随机图分析[J]. *财贸经济*, 2015, 36(12): 74-88. [Xu H L, Sun T Y, Cheng L H. Trade patterns and influence factors of high-end manufacturing on “One Belt and One Road”: A study based on the exponential random graph models[J]. *Finance & Trade Economics*, 2015, 36(12): 74-88.]
- [24] 刘林青, 陈紫若, 田毕飞. 结构依赖如何影响贸易网络形成及演化: 以“一带一路”为例[J]. *世界经济研究*, 2020, (6): 106-120. [Liu L Q, Chen Z R, Tian B F. How does structural dependence affect the formation and evolution of trade network: An empirical analysis based on “the Belt and Road”[J]. *World Economy Studies*, 2020, (6): 106-120.]
- [25] Ward D M, Ahlquist S J, Rozenas A. Gravity's rainbow: A dynamic latent space model for the world trade network[J]. *Network Science*, 2013, 1(1): 95-118.
- [26] Cranmer J S, Desmarais A B, Menninga J E. Complex dependencies in the alliance network[J]. *Conflict Management and Peace Science*, 2012, 29(3): 279-313.
- [27] Talles G M, Viviani S L, Marcelo J B, et al. Institutions and bilateral agricultural trade[J]. *Procedia Economics and Finance*, 2014, (14): 164-172.
- [28] 刘德学, 孙博文. 经济制度距离与贸易发展: 基于跨国面板数据的实证研究[J]. *国际商务(对外经济贸易大学学报)*, 2019, (1): 21-33. [Liu D X, Sun B W. Economic institutional distance and trade development: An empirical study based on cross-national panel data[J]. *International Business*, 2019, (1): 21-33.]
- [29] 于津平, 张艳艳. “一带一路”国家铁路联通对中国出口的影响[J]. *世界经济与政治论坛*, 2021, (1): 147-172. [Yu J P, Zhang Y Y. The influence of railway link of “the Belt and Road” countries on Chinese exports[J]. *Forum of World Economics & Politics*, 2021, (1): 147-172.]
- [30] 胡再勇, 付韶军, 张璐超. “一带一路”沿线国家基础设施的国际贸易效应研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2019, 36(2): 24-44. [Hu Z Y, Fu S J, Zhang L C. Study of international trade effect of the infrastructure under the Belt and Road Initiatives[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2019, 36(2): 24-44.]
- [31] 马弘, 秦若冰. 收入水平、收入分布与进口需求[J]. *经济科学*, 2020, (2): 20-33. [Ma H, Qin R B. Per-capita income, income distribution and import demand[J]. *Economic Science*, 2020, (2): 20-33.]
- [32] Granovetter M. Economic action and social structure: The problem of embeddedness[J]. *American Journal of Sociology*, 1985, 91(3): 481-510.
- [33] Rauch E J, Trindade V. Ethnic Chinese networks in international trade[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2002, 84(1): 116-130.
- [34] 周晶, 陈少伟. 丝绸之路经济带沿线国家经济地位及关系研究[J]. *经济问题探索*, 2020, (12): 111-118. [Zhou J, Chen S W. Research on the economic status and relationship of countries along the Silk Road Economic Belt[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2020, (12): 111-118.]
- [35] 侯纯光, 杜德斌, 刘承良, 等. 全球留学生留学网络时空演化及其影响因素[J]. *地理学报*, 2020, 75(4): 681-694. [Hou C G, Du D B, Liu C L, et al. Spatio-temporal evolution and factors influencing international student mobility networks in the world[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 681-694.]
- [36] Johannes P. Introduction to network modeling using exponential random graph models (ERGM): Theory and an application using R-project[J]. *Computational Economics*, 2019, 54(3): 845-875.
- [37] 程叶青, 张金萍, 陈妍. 资源禀赋、经济基础与海南自由贸易港建设[J]. *资源科学*, 2021, 43(2): 229-240. [Cheng Y Q, Zhang J P, Cheng Y. Resource endowment, economic foundation, and the construction of the Hainan Free Trade Port[J]. *Resources Science*, 2021, 42(2): 229-240.]
- [38] 张艳艳, 于津平. 交通基础设施、相邻效应与双边贸易: 基于中国与“一带一路”国家贸易数据的实证研究[J]. *当代财经*, 2018, (3): 98-109. [Zhang Y Y, Yu J P. Transportation infrastructure, adjacent effects and bilateral trade: An empirical analysis based on the trade data of China and “The Belt and Road” countries[J]. *Contemporary Finance & Economics*, 2018, (3): 98-109.]

Growth characteristics of the global commodity trade network and its dynamic mechanism

YANG Wenlong¹, DU Debin², SHENG Lei¹

(1. Institute of World Economy, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China; 2. Center for Geopolitical and Strategic Studies, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: In the era of economic globalization, with the frequent commodity flows between countries and prominent characteristics of commodity trade networking, it is urgent to explore the interactions and evolution mechanism of global commodity trade based on the logic of the relationship network. Combining the social network analysis method and ArcGIS visualization tool and based on the data of commodity trade flow in various countries from 1996 to 2016, this study revealed the growth process, spatial patterns, and dynamic mechanism of the global commodity trade network. The results indicate that: (1) The network shows expansionary growth, and the “big triangle” of spatial structure with the interaction of three cores is becoming increasingly more mature. The advantages of the three commodity trade clusters also become clearer. The cluster led by China has expanded dramatically, while those led by the United States and Germany have shrunk. Division of labor in the network is clear among countries, and the network functions are significantly different and show different characteristics of change. (2) The growth of global commodity trade networks is driven by endogenous dynamics such as self-organization, national matching, national distribution, as well as external thrusts such as exogenous network embedding. Reciprocal relationships are the main structure of self-organization. National income levels, market opening convergence, and institutional environment heterogeneity are the key factors of matching. Economic advantages and industrial competitiveness are important foundations of distribution. The colonial history network, the international student exchange network, the language isomorphism network, and the cooperative publication network are important exogenous networks. The law of comparative advantage is still applicable to explain the growth of global commodity trade networks, especially for national matching and distribution.

Key words: global commodity trade network; growth characteristics; dynamic mechanism; network self-organization; social network analysis method; ERGM