



长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素

严翔 黄永春 柏建成 邹晨

Spatial Network Structure and Driving Factors of Green Innovation Efficiency in Yangtze River Economic Zone

YAN Xiang HUANG Yongchun BAI Jiancheng ZOU Chen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.4309>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江经济带城市化发展水平时空差异

The Spatial and Temporal Differences of Urbanization Development Level in the Yangtze River Economic Zone

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(5): 66 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.5152>

区域大气污染排放效率:变化趋势、地区差距与影响因素——基于长江经济带11省市的面板数据

Study on the Trend,Regional Difference and Influencing Factors of Air Pollution Emission Efficiency—Based on Provincial Panel Data from 11 Provinces of Yangtze River Economic Zone

北京理工大学学报(社会科学版). 2017(6): 38 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.0341>

制度供给与中国地区绿色创新效率

Supply of Institutions and China's Regional Green Innovation Efficiency

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(1): 50 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.5347>

政策与部门视角下中国网络空间治理——基于LDA和SNA的大数据分析

China's Cyber Space Governance from the Perspective of Policy and Departments—Big Data Analysis based on LDA and SNA

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(2): 127 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.2801>

一体化应急应战协作网络结构与演进——以自然灾害和事故灾难事件为例

Structure and Evolution of Integrated Emergency-defense Cooperation Network—Taking Natural Disasters and Accidents as Examples

北京理工大学学报(社会科学版). 2020, 22(6): 96 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2020.7006>

中国技术创新产出的空间分布——来自中国地级以上区域的证据

The Spatial Distribution of China's Technological Innovation Output—Evidence from China's Prefecture-level and Above Regions

北京理工大学学报(社会科学版). 2020, 22(1): 82 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2020.6006>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.4309

长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素

严翔¹, 黄永春¹, 柏建成², 邹晨¹

(1. 河海大学 商学院, 江苏南京 211100; 2. 盐城师范学院 商学院, 江苏盐城 224002)

摘要: 绿色创新效率作为“绿色发展”和“创新驱动”的融合点, 已成为推进长江经济带高质量发展的关键。从社会网络视角, 对流域绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素进行实证分析。研究发现: 流域省际间绿色创新效率的相互依赖关系与空间溢出渠道逐年增多, 空间关联网络密度逐年提升, 各省市皆受到其他地区和整体网络的影响, 等级森严的空间结构逐渐被打破, 网络结构也日趋稳定, 但各地绿色创新效率的协同发展仍有待提升; 网络中板块的形成打破了传统行政边界的桎梏, 各省市逐渐由离散走向联合, 扩散辐射作用使流域省市间形成集群化发展; 板块间关联传导机制具有明显的梯度溢出特征, “马太效应”明显; 此外, 囿于流域间在经济发展模式、绿色创新环境的较大差距, 跨地域创新合作的意愿与动力被削弱, 绿色创新效率的要素流动受阻, 导致省市间存在关联的概率降低。因此, 流域省市应依据其在空间关联网络中的角色与作用, 从整体上把握绿色创新效率提升的空间传递机制, 形成“属性—关系”驱动型发展思路, 缩小绿色创新环境差异, 促进要素跨地区流动, 进而实现全流域经济的绿色协同发展。

关键词: 绿色创新效率; 空间关联; 社会网络分析; 长江经济带

中图分类号: C913

文献标志码: A

文章编号: 1009-3307(2021)06-0072-12

自长江经济带发展上升为国家战略以来, 以“生态优先、绿色发展”为基本思路, 以创新驱动流域绿色发展, 一直是学界关注的焦点。这就要求各地区从空间层面将自身发展置于长江经济带高质量发展“一盘棋”中, 并积极与其他地区建立“关系”, 尤其是在生态环境联治、创新要素流动、技术合作交流等领域, 绿色创新效率作为“绿色发展”和“创新驱动”的融合点, 也自然成为该流域整体绿色协同发展的重中之重。

既存大量文献已基于增长极理论、梯度推移理论等, 从地理学意义上的“邻近”视角与传统空间计量模型, 论证了各地区的绿色创新效率并不可能独立发展, 而会与周边其他地区建立不同程度的空间关联, 存在空间溢出或收敛效应。但囿于研究数据属性与研究方法视角, 现有研究无法呈现出多线程的空间网络结构形态, 相关实证结论不能有效识别地区在区域空间关联网络中的角色与地位, 也未能将关联关系作为政策制定前提, 精确识别出绿色创新发展的重点区域。事实上, 关联性是形成溢出或收敛效应的前提, 是空间网络形成的纽带, 因此, 有必要从社会网络视角, 对长江经济带绿色创新效率的空间关联网络进行系统剖析, 重点了解如下问题: (1) 流域 11 个省市间绿色创新效率的空间关联网络演化趋势及特点如何? (2) 各省市在空间关联网络中的角色与作用是什么? (3) 各空间板块间的聚类特征、关联关系及溢出路径怎样? (4) 空间关联网络格局形成的驱动因素有哪些? 基于上述问题的研究, 不仅是对现有文献的重要补充, 对进一步促进区域协调发展具有重要的理论意义, 同时有助于各省市树立全局意识, 把自身创新发展放到流域协同发展的大局之中, 为流域各地实现绿色协同、有机融合, 形成整体合力提供政策参考。

收稿日期: 2020-09-14

基金项目: 国家社科基金一般项目(21BJY254); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJC630180); 中国博士后科学基金项目(2020M681471); 江苏省博士后科研资助项目(2020Z264)

作者简介: 严翔(1983—), 男, 河海大学博士后, 盐城师范学院副教授, E-mail: yanxiang@hhu.edu.cn; 黄永春(1982—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 通信作者, E-mail: hycsky@hhu.edu.cn; 柏建成(1983—), 男, 西南交通大学博士研究生, 盐城师范学院讲师, E-mail: baijc@my.swjtu.edu.cn; 邹晨(1993—), 男, 博士研究生, E-mail: 269064020@qq.com

一、文献回顾与述评

绿色创新作为“绿色发展”和“创新驱动”的融合点,已成为突破资源环境约束、推进可持续发展的有效手段^[1],效率则可以反映一个地区或产业的资源配置能力,而绿色创新效率(Green Innovation Efficiency, GIE)是绿色创新研究中绩效评价的重要分支,强调资源环境效益与创新效率的结合,表征创新效率的绿色化程度,综合考虑了创新要素投入与产出过程中生态效益与经济收益^[2]。目前学界开始将绿色效率、创新效率及经济效率一同纳入分析框架,并基于数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型,提出了可体现“绿色发展、创新驱动”理念的GIE测度方法^[3],此类研究主要集中在地区与产业两层:地区层面研究中,中国省际GIE整体呈提升趋势,创新效率提升或创新技术进步的单轮驱动方式是主要原因^[4],正向空间相关性显著,中国整体呈东—西—中部递减的空间格局^[5],东部地区绿色创新绩效始终处于“高产出、高效率”水平,中西部地区持续处在“低产出、低效率”水平,空间集聚特征及两极分化趋势说明,中国的区域GIE存在不均衡发展问题^[6];产业层面研究指出,环境约束下的高技术产业GIE在中国八大经济区域存在地域差异,R&D投入强度对高技术产业GIE具有双重门槛效应^[7],工业行业绿色技术创新效率整体呈现上升的发展趋势,但35个工业行业间存在较大差距^[8],东西部省份工业企业的绿色研发和成果转化效率相对较高,中部地区效率相对较低^[9],外商直接投资(Foreign Direct Investment, FDI)显著提高了技术研发阶段的工业GIE,而在成果转化阶段的促进效能降低,存在“倒U形”影响关系^[10]。近些年也出现了一些以长江经济带为样本的研究,结果显示,长江经济带GIE存在显著且不断加强的集聚趋势,局部空间集聚不断趋向高高集聚,且高高集聚主要集中于上、下游流域^[11],GIE增长率的空間格局表现为沿上、中、下游地区逐步递减^[12],地区经济发展水平、污染治理效率、外资利用水平和产业结构高级化对GIE具有显著的正向影响,而地方政府科学技术支出则存在一定的抑制作用^[13]。

从上述文献回顾来看,近年来空间计量方法的兴起极大地改善和弥补了以往研究没有考虑地理空间因素的缺陷,揭示了GIE具有空间特征,但囿于方法和视角的限制,相关研究主要是采用探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA),选取“属性”数据构建地理邻接空间权重矩阵,这类方法的空间权重矩阵是对称的,空间结构不具备矢量特征,在呈现空间作用方向与溢出路径方面存在局限,未能基于“关系”数据考虑多地区间的互动关联。这直接导致既存研究结论仅能反映核心变量是否具有显著的空间正相关性与溢出效应,陈述各地区之间的空间聚类和分布方式,但难以揭示各地GIE在更大尺度上的复杂非对称联动结构^[14],无法明确刻画各地区在整体空间网络中的角色与作用,使得GIE的发展重心无法得到精准定位。事实上,长江经济带省市间虽然存在明晰的行政区划边界,但省市作为行动单元,其活动是互相依赖的,各地GIE的空间关联网络并非呈简单线性关联,很可能存在多线程的复杂网络。如果将全流域视为一个整体网络,该网络可以为各省市的行动提供机会,也可能限制其行动。社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)可以突破传统个体“属性”数据分析的局限,利用“关系”数据描述空间网络的矢量性关联特征,分析网络关联结构对行动者的影响,探究行动者间的“个人变量”对全网络行动产生的影响,近年来开始被国内外学者运用于创新、金融、区域经济等诸多领域的空间效应分析中^[15-17],受到了学术界的普遍认可。因此,本研究对现有研究进行方法拓展与实证补充,选择社会网络分析法构建流域绿色创新效率的空间关联网络,讨论该网络结构的特征演进、各地区在网络中的地位与作用、各板块的角色与溢出路径,并分析网络格局形成的驱动因素,便于厘清长江经济带各地在绿色创新效率方面自身发展和全流域协同发展的关系,研究既符合SNA法的前提假设,也符合当前流域绿色协同发展的战略指向。

二、研究方法

(一)绿色创新效率测定

1. 效率评测模型选择

本文选择 Andersen 和 Petersen^[18]提出的超效率模型测算绿色创新效率,以便更好地区分有效决策单元。同时,根据 Chung 和 Fare^[19]设定的方向性距离函数(Directional Distance Function, DDF),将具有弱

可处置性的非期望产出纳入投入产出效率评价中, 实现对期望与非期望产出的增减约束。此外, 利用 Pastor^[20] 提出的全局参比 Malmquist 指数, 以各期总和作为参考集, 各期参考同一全局前沿, 对多时间点观测值面板数据的被评价决策单元 (Decision Making Units, DMU) 进行测算。最后, 将测算出的具备传递性、循环累加性、跨期可比性等特点的 GML (Global Malmquist-Luenberger) 指数, 代入到下一步关系矩阵的构建与分析中。因为本研究重点是流域绿色创新效率的“空间关联网”, 囿于篇幅限制, 略去效率测度的相关方法说明。

2. 指标评价体系构建

鉴于 GIE 有别于单纯追求经济利益的传统技术创新效率, 也不同于单纯的环境技术创新的投入产出效率, 应该将经济效益、环境效益和社会效益相统一, 因此, 本文参考前人研究^{[5][11][13][21]} 构建 GIE 投入产出指标体系, 如表 1 所示。

表 1 绿色创新效率指标评价体系

一级指标	二级指标	单位	数据来源
人员投入	R&D人员全时当量	人	《中国科技统计年鉴》
资本投入	R&D经费内部支出	万元	《中国科技统计年鉴》
能源投入	地区能源消费总量	万吨标准煤	《中国能源统计年鉴》
期望产出	三种专利申请受理授权总量	项	《中国科技统计年鉴》
	规模以上工业企业新产品销售收入	万元	《中国统计年鉴》
非期望产出	工业“三废”产生量	—	《中国环境统计年鉴》

投入指标包含劳力、资本与资源三要素, 以 R&D 人员全时当量作为人员投入, 以地区 R&D 经费内部支出作为资本投入^[6], 能源作为地区创新发展的要素, 可以代表绿色创新发展的质量, 因此将“综合能源平衡表”中的能源消费总量代理资源约束^[2]; 产出指标方面考虑了创新能力提升与市场经济效益两个方面, 其中, 三种专利授权量因为只能反映创新能力及转换成果, 遗漏了地区创新活力度的衡量, 也忽略了地方对于创新激励的政策导向, 因此本文参照前人研究^[8], 加入了三种专利申请受理量, 并以两者之和综合反映有效科研量。此外, 用规模以上工业企业新产品销售收入衡量创新的市场价值。工业污染是环境污染的主要源头, 可间接反映地区生产技术创新的情况, 所以从“三废”层面, 选择工业固体废弃物产生量、废水排放量、地区 SO₂ 排放量来衡量, 并用熵权法将三类污染量合成为 GIE 的非期望产出^[11]。最终建立的指标体系包含五个一级指标, 六个二级指标, 总数符合 DMU 数与输入输出指标数之积接近的原则^[22-24], 保证了效率测算的区分度与有效性^①。

(二) 社会网络分析

参考既存文献中的方法^[17], 选择引力模型测算流域省市间 GIE 的空间关联。结合研究需要, 提高该模型在本研究中的适用性, 对原始模型进行修正, 将可以反映地区绿色创新发展质量的经济发展水平与地区人均受教育年限纳入, 具体如下

$$\eta_{ij} = v_{ij} \frac{\sqrt[3]{GIE_i \times E_i \times GDP_i} \sqrt[3]{GIE_j \times E_j \times GDP_j}}{D_{ij}} \quad v_{ij} = \frac{GIE_i}{GIE_i + GIE_j} \quad (1)$$

其中, η_{ij} 表示地区 i 和地区 j 间绿色发展效率的关联强度; GIE 表示地区的绿色创新效率; GDP 表示地区经济发展水平; E 表示地区人均受教育年限^{[25][2]}; 两地间的“距离”选择区间球面距离 D_{ij} 表示; 采用地区 i 的 GIE 与地区 i 和 j 的 GIE 之和的比重来修正经验常数 v_{ij} , 以此建立地区间的 GIE 的关联引力矩阵。因为在考察期内流域东、中、西部的经济发展差距较大, 因此, 将中间 2008 年网络矩阵的平均值作为临界值, 当 η_{ij} 大于临界值时, 表示地区 i 对地区 j 存在关联, 并赋值为 1, 反之则赋值为 0。

(三) 数据来源及说明

在保证数据可获得性及连续性基础上, 选取 1998—2017 年长江经济带 11 个省市的面板数据参与分

① 张俊容和郭耀煌^[22]、Cooper 等^[23]、成刚^[24]的研究中都指出, DMU 量不应小于投入和产出量的乘积, 通过超效率 DEA 模型测算发现, 各 DMU 效率值有效且具备可比性, 并不影响下一步研究。

② 本文借鉴 Barro 和 Lee^[25] 的算法衡量区域劳动者平均受教育水平, 将小学、初中、高中和大专及以上学历的受教育年限分别设定为 6 年、9 年、12 年和 16 年, 公式为 $E=(6 \times \text{小学人口} + 9 \times \text{初中人口} + 12 \times \text{高中人口} + 16 \times \text{大专及以上学历人口}) / 6$ 岁以上人口总数。

析,数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和《中国金融年鉴》,驱动因素分析部分的数据来源及说明如表2所示。

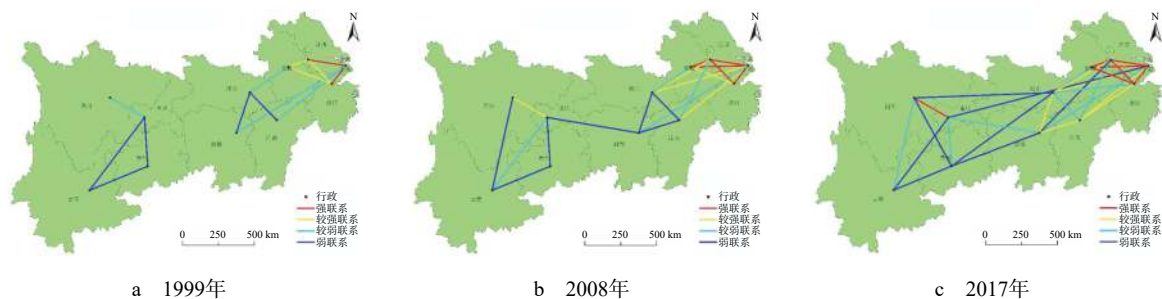
表2 驱动因素数据来源及说明

驱动因素	参数符号	参数说明	数据来源
经济水平差异	PGDP	1998年为基期进行平减,去除价格因素影响	《中国统计年鉴》
产业结构差异	INS2	“工业增加值”占GDP的比重	《中国统计年鉴》
对外开放度差异	OPEN	进出口贸易额占GDP的比重	《中国统计年鉴》
外商直接投资差异	FDI	FDI利用金额占地区生产总值的比值	《中国统计年鉴》
环境规制差异	ER	工业固体废弃物综合利用量与污染治理项目本年完成投资两指标经熵权法合成 ^[26]	《中国环境统计年鉴》
政府科技支持力度差异	GST	按资金来源分,研究与试验发展经费内部支出中的“政府资金”	《中国科技统计年鉴》
金融发展水平差异	FIN	金融机构的存贷款余额表征 ^[27]	《中国金融年鉴》
政府教育支持力度差异	FEE	地方财政支出中的“教育事业支出”	《中国统计年鉴》
地理空间区位差异	GL	当两省市相邻时赋值为1,否则为0	百度地图

三、实证结果与分析

(一)流域整体网络关联结构演变

基于修正后的引力模型确定地区间GIE的关联矩阵,通过Ucinet软件中的可视化绘图工具,测算出1999年、2008年、2017年流域绿色创新效率的空间关联网络结构。从图1可以直观地看出,流域省市间的连线在增多,交互关系在不断增强,说明绿色创新效率的发展不仅受制于本地的经济、社会、技术等因素的影响,也逐渐超越地缘意义上的相邻或相近,呈复杂、多线程的空间关联网络结构特征。具体来说,1999年除了长三角省市间存在较强关系以外,中部与东部的省市间联系较少,西部地区相对孤立,仅在邻近省市间存在弱关联,这反映出当时流域省市间囿于行政大区体制,省际联系被人为割裂,地区间不存在长期的分工协作,普遍滋生的地方保护主义引致诸侯经济形成,造成了区域间发展互设藩篱,少数短期的任务分工也是迫于行政命令使然;从考察期中段2008年的网络关联结构判断,省市间的连线与强度皆呈不断提升态势,中部省市的桥梁作用初现,这一定程度上体现出西部大开发战略与中部崛起计划的积极效应,但当期政策更注重对特定地区的定向扶持,而省市间创新发展与环境治理的协同机制尚未建立;2017年东部省市间已由强联系线所贯通,虽然中西部的关联偏弱,但流域各省市的GIE皆受到来自其他地区和整体空间关联网络的影响。由此可见,在当前流域高质量发展背景下,任何地区的GIE都不可能孤立发展,落后地区不能画地为牢,发达地区更不可独善其身,应该从全局视角考量地区GIE的提升。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

图1 流域绿色创新效率的网络关联结构动态演进趋势

具体分析流域绿色创新效率网络结构中四个关键指标的动态演化趋势:

网络关联度是有向网络中任意两个节点间的方便可达程度,如果网络成员间的关联不是直接可达,而是过多依赖中介成员而间接可达,则该网络相对脆弱。网络密度用来评测在流域整体网络结构中地区

间关联的紧密程度，网络密度越大则关系越紧密。如图 2 所示，考查期内全流域的网络关系数与网络密度逐年提升，说明 GIE 的空间关联网络越来越紧密。就网络关联数而言，理论上省市间的最大关系总数为 110 个，但最大年份的关系数仅为 43，不足理论总数的 1/2，说明各地间的互动交流较少，网络关联仍较松散，省际之间的交流合作还须进一步加强。网络密度值整体上也呈上升趋势，在 2017 年达到最高

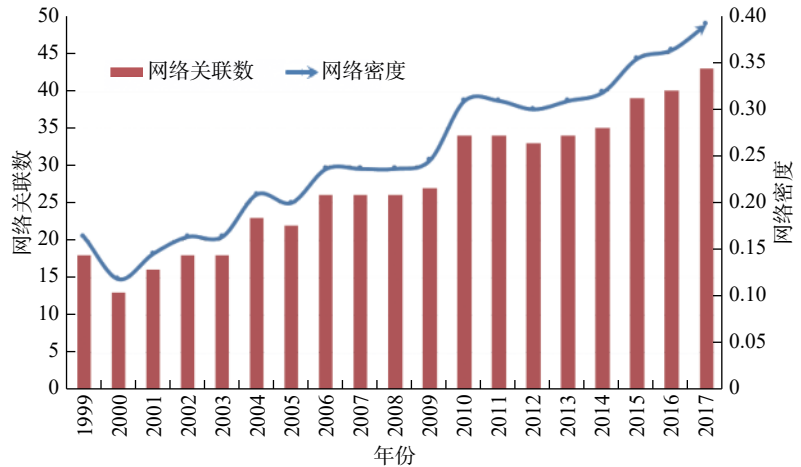


图 2 流域空间关联网络关系数与网络密度

值 0.391，虽然较中国金融发展关联网络的网络密度 0.823 还有很大差距^{[6]41}，但网络密度并不是越大越好，该数值的提升也伴随着冗余连线的增多，一旦超过了网络的容纳阈限，将会提高区域间绿色创新要素的互动成本，抑制要素的外溢与集聚，因此空间关联网络的优劣与否，还需要对下文网络效率与网络等级两个指标进行综合测评。

网络效率越高，说明连线越少，网络越简单，结构也越不稳定。网络等级表征节点的等级结构和支配地位，若网络中的两个节点彼此可达，则具有互惠性，反之则说明存在等级结构，等级越森严，越多节点在网络中处于从属边缘地位。如图 3 所示，流域整体网络效率与网络等级皆呈波动下降的趋势。流域网络效率由 1999 年的



图 3 网络效率与网络等级度

0.822 下降至 2017 年的 0.267，说明考察期内各地 GIE 发展的关联提升，多重叠加现象增多，关联空间溢出渠道增加；考察期初段的网络等级值较高，表明该时期流域存在“等级森严”的网络结构，极化现象严重，较多地区处于网络边缘与从属地位。2017 年的空间关联网络等级降为 0.636，表征省市间的相互影响与相互依赖逐步增强，但相较中国区域经济增长的空间网络等级 0.129^{[7]728}，差距亦很明显，也反映了各地 GIE 的协同发展仍有待提升。

综合上述流域整体关联网络结构的特征演进分析，长江经济带发展初期，发展模式差异与政策体制壁垒在一定程度上削弱了跨区域协作交流的动力，阻碍了绿色创新资源的统筹配置，较低的网络关系数与密度反映出沿江省市间的交流合作水平较低，森严的网络等级与较高的网络效率也抑制了区间信息与技术的流动互通，松散且不稳定的网络结构在面临诸如技术变革、环境污染等外部冲击时，难以维系地区经济社会的可持续发展。随着长江经济带战略深化，流域一体化与市场化进程加快，区间体制边界被逐渐打破，行政指令对资源配置的干预程度被削弱，而市场机制在资源配置中的基础性作用日益强化，一定程度上激发了地区绿色创新的动力，加速了诸如资本、技术、人才等要素在各地和行业间的流通速度，逐渐打破以往等级森严的区域 GIE 空间结构，网络结构日益稳定。由此可见，增强各地区间的协调合作，调整流域网络内部结构，适当提高网络关联密度，维持整体网络结构的稳定性，是流域 GIE 空间优化配置的关键。

(二) 个体网络关联结构特征分析

本文所用的社会网络分析法不仅强调对全流域关联网络的特征演进展开描述，更为重要的是剖析各省市在整个空间关联网络中的地位和作用，识别出各地 GIE 发展对整个网络产生的重要影响。因此，本

部分对地区的点度中心度、中介中心度、接近中心度和特征向量中心度四个指标进行测评,具体结果如表3所示。

表3 个体网络关联结构中心性分析

地区	1999年点度中心度			2008年点度中心度			2017年点度中心度		
	出度	入度	中心度	出度	入度	中心度	出度	入度	中心度
上海	2	4	40	3	5	30	7	8	70
江苏	3	3	30	5	4	50	6	7	60
浙江	3	3	30	3	3	30	5	6	60
安徽	2	3	30	5	4	50	4	6	60
江西	1	2	30	2	4	40	4	6	60
湖北	3	2	30	4	4	40	5	5	50
湖南	2	1	30	2	2	20	5	5	50
重庆	1	1	10	1	1	10	2	3	40
四川	1	2	10	1	1	10	1	1	20
贵州	0	0	0	0	0	0	2	2	20
云南	0	0	0	0	0	0	1	1	10

地区	中介中心度			接近中心度			特征向量中心度		
	1998年	2009年	2017年	1998年	2008年	2017年	1998年	2009年	2017年
上海	8.889	27.852	31.110	19.231	30.303	71.429	51.195	56.702	53.930
江苏	1.111	4.963	5.741	18.868	29.412	58.824	69.351	63.405	55.372
浙江	1.111	3.889	4.761	18.868	27.027	55.556	69.351	42.405	48.901
安徽	4.444	4.963	4.376	18.868	29.412	58.824	67.344	63.405	55.382
江西	1.111	3.111	3.229	18.868	27.027	58.824	25.597	49.452	55.372
湖北	4.444	12.444	10.132	18.868	29.412	58.824	43.753	60.157	55.372
湖南	1.111	5.004	13.333	18.868	25.000	62.500	25.597	25.510	42.910
重庆	0	15.556	38.222	10.000	26.316	62.500	0	13.953	20.188
四川	0	10.001	12.177	10.000	22.220	52.632	0	3.247	13.160
贵州	0	0	20	0	0	43.478	0	0	3.701
云南	0	0	0	0	0	31.250	0	0	0.657

点度中心度值越高,意味着某地区与网络中其他地区间的关联越多,对他地的“控制力”也就越强。测算结果显示,11个省市的数值都呈上升趋势,尤其是位于中西部的鄂湘渝川黔滇六省,点度中心度有了明显的提升,但地区相对排位并未有太大变化。其中,上海始终保持领先地位,2017年70%的省市与其有着直接关联,在整个关联网络中具有较强辐射能力。此外,长三角省市的度数中心值常年位于高位,点入度较高且高于点出度,反映了该区域与其他地区间的联系更紧密,说明该片区内向联系需求增强,集聚效应强于辐射效应,对中西部的“虹吸效应”明显;中西部省市中,重庆表现最为突出,近十年的点度中心度增长最快且明显高于西部其他地区,起到了很好的连接作用。位处西南边陲的黔滇两地,早先点出度与点入度均为0,受到中东部GIE发展的影响甚微,处于整个关联网络的边缘地带,但随着经济发展,尤其是国家长江经济带战略和“一带一路”倡议的深入,使得越来越多的省市纳入到整个GIE网络中,两地在后期均实现了零的突破。总体来看,流域网络的出入度非均衡性与非对称性明显,表征各地区间在绿色创新效率的发展方面供给匹配程度不高,说明长江经济带省市在绿色创新效率方面存在着要素配置不均衡问题。

中介中心度值越大,说明该地处于许多地区间捷径上的次数越多,在网络中发挥的“桥梁”与“中介”作用越明显。测算结果显示,流域一直存在三个核心中介节点。在东部长三角地区,自“十四大”报告中提出“以上海浦东开发为龙头,带动长江三角洲和整个长江流域地区经济的新飞跃”以后,与上海毗邻的

长三角地区就在各领域与浦东开放开发政策接轨,所以上海的强中介地位稳固,是流域最重要的关联节点,这也一定程度上削弱了江浙在局部网络中的地位及对资源的控制权;中部鄂湘两省是承东启西,串联流域省市间协调发展的桥梁,自纳入“中部崛起计划”以后,两地依靠其重要的地缘优势,无论是在承接产业技术转移,还是环境治理联防联控方面,都是各类资源分配和流动的必经路径。近些年两省自身也建立了一批高技术产业基地与全国生态文明建设示范区,尤其在原本积淀深厚的装备制造业基础上,强化“中部智造”,推动制造业高质量发展,这也提高了两省对周边地区创新关联网络的控制强度,中介中心度不断提升。但一个特殊情况是,中部中介强节点逐渐由湖北转向湖南,2017年湖南的中介作用已超越湖北,成为区域性关键枢纽,这可能归因于湖北的传统工业基数较高,而湖南在融媒体、娱乐、旅游等产业中的GIE更高;西部的关键枢纽是重庆,该市在传统工业基底上,注重GIE的提升,实施以大数据智能化为引领的创新驱动发展计划,强化了创新资源投入和科技成果转化,高新技术产业化指数已位列全国第一。与此同时,该市通过重庆科学城,联动国家自主创新示范区、两江协同创新区,打造西部创新资源集聚地。这些举措不仅加快了本地创新要素的“物理变化”,而且推动了与邻近省域协同创新的“化学反应”,使重庆成为该区域绿色创新的中心,中介中心度数值不仅稳居第一,且逐年增加。值得注意的是贵州的中介中心度在近些年异军突起,虽然地处省际间的毗邻处,但该地数字经济增速连续四年位居全国第一,同时也被纳入全国生态文明试验区,在GIE关联网络中也起到一定的示范与传导作用。

接近中心度方面,如果一个地区通过比较短的路径就可与大量其他地区相连,那么该地区就具有高值接近中心度,地区也就越靠近网络的中心,越易对其他地区产生影响。测算结果显示,接近中心度在流域早期省市间的差异不大,而云贵两地为0,因为在绿色创新效率发展初期,两省与较发达的东部地区水平相距较远,获得创新资源的能力偏弱,不利于其在整体网络中获益。2017年空间网络中各省市都有了大幅提升,云贵两省在2017年也达到30%以上,各地都可通过比较短的路径与多数省市相连,也说明流域GIE网络正趋于扁平化,空间网络的关联性 & 流动效率提升,这与前文的结论一致,流域各地的绿色创新效率相互影响,省市间的GIE合作加深。此外,排名前三位的沪、湘、渝三地的接近中心度皆已达到62%以上,在获取创新资源方面的能力较其他地区更强,保持了较高的绿色创新流动效率。换言之,如果缺少了这三个“中转”节点,将会大大减少全网络创新资源的流动渠道,极大降低空间网络整体的要素流动效率。

特征向量中心度方面,一个节点的重要性既取决于其连接点的数量,也取决于其邻居节点的重要性,所以可通过计算“邻居”节点的特征值来反映该节点的重要程度。如你被一个很受欢迎的行动者选择,那么你的中心度也将提高。测算结果显示,东部下降与中西部上升形成鲜明对比,呈此消彼涨态势。究其原因,流域各地间关联数、中介中心度等参数的提升都会在某些区块形成高质量增长极,与之相邻地区也势必因空间溢出效应而受益,近些年中西部地区通过增加与东部发展水平较高地区的联系,使得东部的相对重要程度削弱,中西部相应提升。事实上,经过多年的快速发展,流域省市在创新资源投入和科技成果转化方面,已由东部一枝独秀向东中西协同发展转变。东部地区继续引领绿色创新发展,中西部地区的绿色创新水平提速也很快,西南的重庆与四川已成为区域科技创新的中心。值得关注的是,云贵地区特征向量值提升不大,因此两地应审视其在流域网络结构中的角色与发展路径,不仅要与邻近省市学习交流,更应突破地缘限制,主动加强与东部发达地区间的联系,提升该地在绿色创新网络结构中的地位。

(三)空间聚类与溢出路径分析

长江经济带上、中、下游间的发展情境各异,已形成数个增长极,所以有必要进一步探析关联网络的空间聚类与溢出路径差异。块模型(Block models)分析是根据“结构对等性”原则,将网络中处于相似位置的节点归为同一板块,成为整体网络的“子网络”。本文借此解析2017年流域GIE关联网络中的空间聚类与关系溢出路径,借鉴SNA相关研究的做法^[7],将流域11个省市划分为净溢入板块、净溢出板块、双向溢出板块和经纪人板块四类板块。

实证结果如表4所示,板块I包括江浙沪皖赣五省市,板块II包括鄂湘两省,板块III包括渝滇两地,板块IV包括川黔两省。整个网络中存在56个关联关系,四个板块内部的关系数是25个,板块外部

关系数是31个,板块之间存在明显的空间关联与溢出效应。其中,板块I对板块内和板块外均产生了溢出效应,因此板块I为“双向溢出板块”;板块II对其他板块发出的关系数与接收来自其他板块的关系数相当,在网络溢出路径中扮演着“桥梁”和“中介”的作用,因此是“经纪人板块”;板块III的溢出关系数大于受益数,为“净溢出板块”;板块IV接收来自其他板块的关系数大于自身溢出关系数,为“净溢入板块”。由此可见,板块的形成打破了传统的行政边界限制,各省市也逐渐从离散走向联合,扩散辐射作用使流域省市间形成集群化发展,长江经济带绿色创新效率空间关联网络的一体化逐渐增强。

表4 空间关联网络的角色划分

板块	接受关系矩阵/个				接收板块外关系数	溢出板块外关系数	期望内部关系比例/%	实际内部关系比例/%	板块角色类型
	I	II	III	IV					
I	19	8	2	2	11	12	40.00	61.29	双向溢出
II	7	2	1	2	10	10	10.00	16.67	经纪人
III	3	1	2	2	4	6	10.00	25.00	净溢出
IV	1	1	1	2	6	3	10.00	40.00	净溢入

为了更清晰地反映各板块间的溢出效应及传导路径,需要根据各板块之间关联关系的分布,测算出各板块的密度矩阵,如表5所示。经测算,2017年全球网络密度为0.391,如果板块密度矩阵中的格值大于全局网络密度,就在像矩阵中赋值为1,反之为0。最后,将密度矩阵转换为像矩阵。

表5 绿色创新效率各板块的密度矩阵与像矩阵

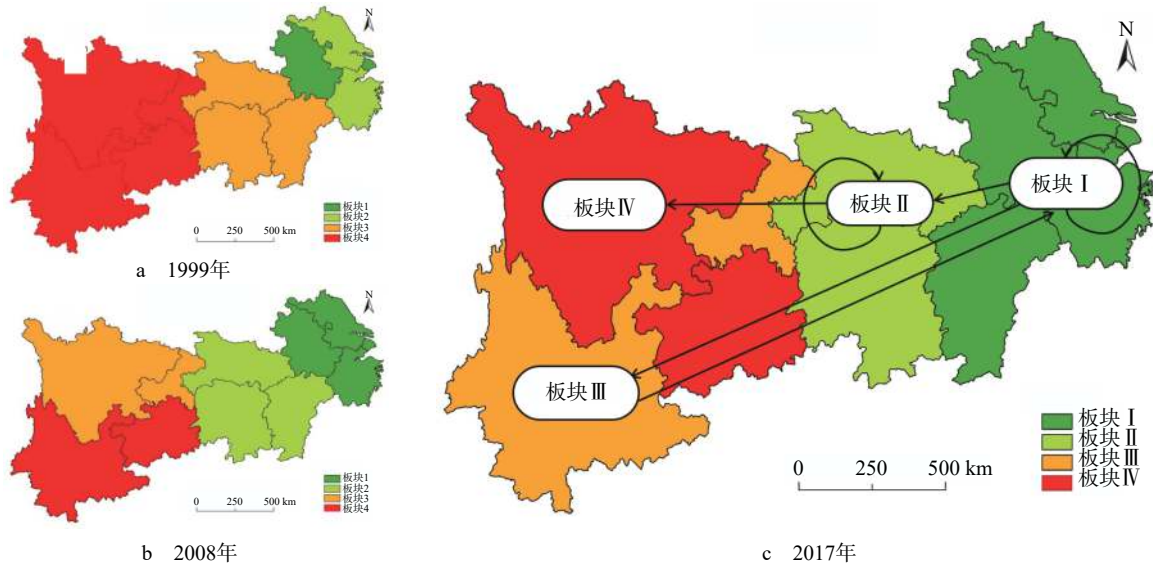
板块	密度矩阵				像矩阵			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I	0.87	0.90	0.45	0.24	1	1	1	0
II	0.32	1.00	0.39	0.42	0	1	0	1
III	0.58	0.04	0.14	0.12	1	0	0	0
IV	0.03	0.00	0.02	0.32	0	0	0	0

根据像矩阵绘制出图4所示的四大板块关联关系,板块I除了通过内部溢出影响板块内省市外,也将GIE的发展动能传递给板块II与板块III,属于双向溢出;板块II一方面在板块内溢出,另一方面也作为“桥梁”对板块IV进行创新溢出;板块III不仅内部互动不明显,其资源要素也被虹吸到板块I,扮演着“奉献者”的角色。具体分析,长三角地区早期受沿海经济及非均衡发展思想的影响,在GIE方面发展较快,并且已经将板块内影响范围西扩至安徽与江西,同时亦通过“虹吸效应”,吸收来自板块外重庆与云南的创新要素。湖南、湖北将其区位优势转化为先发优势,成为串联流域省市间创新要素流动的关键节点,既接受来自东部发达地区的关系辐射,将积极影响在板块内互动吸收,并且承担着将创新动能扩散到四川与贵州的重担。

由此看出,长江经济带绿色创新效率的空间关联网络传导机制具有明显的梯度溢出特征,呈现出的“马太效应”说明,越发达的地区越容易吸附绿色创新要素,而越落后的地区越容易产生创新要素的“逆向溢出”。从溢出路径来看,接下来应将流域省市间绿色创新效率的联系向更高层次的链式空间网络阶段推进,加强地区间协作联动能力,拓展创新互动交流渠道,着力解决当前中西部地区GIE的发展路径依赖和传导机制锁定问题。各省市都应结合区位条件、资源禀赋、经济基础,在长江经济带高质量发展“一盘棋”中找到自己错位发展的重点方向,解决好同质化发展的问题。

(四)驱动因素分析

前文通过块模型分析,得知整个网络具有区域异质性。既存相关研究中指出,地区间在经济发展模式、绿色创新环境、地理空间区位等方面的差异会影响绿色创新效率的发展^{[11][13][15][28]},初步推断,GIE的空间关联网络形成也会由多因素综合驱动,其间的作用机理主要表现在如下方面:地区发展模式方面,经济发展水平是地区发展的重要保障,经济差异可以直接影响科技创新的发展速度与地区间的合作意



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作，底图无修改。

图4 流域绿色创新效率板块关联

愿；工业是开展绿色创新占比最高的领域，是开展创新的硬环境^[11]，地区间在工业基础与创新能力方面的差距，将直接影响由传统资源环境消耗型低端制造业向环境友好型高新技术产业升级的发展速度；高开放度的地区市场化程度与竞争越强，在绿色技术方面的交流也越频繁，更易于创新成果的转移转化与绿色产品的市场消化，直接促进 GIE 的提升^[29]，但也存在向市场化程度较低的地区渗透、间接影响 GIE 的情况；早先“污染天堂假说”认为 FDI 不利于 GIE 的提升，但随着地方创新驱动的刚性需求加大，势必会对招商引资的项目进行甄别筛选，注重发挥 FDI 项目在绿色创新方面的示范效应，加速对 FDI 先进技术的消化吸收，进而影响地区间绿色创新效率的差距。绿色创新环境方面，环境规制可以约束企业行为，倒逼企业开展创新，推进产业绿色发展，政府科技支持力度一方面可以起到引导示范作用，另一方面也可以降低企业前期的成本投入压力与风险，激发其开展技术创新的内生动力^[8]，因此，地方政府在这两方面的投入强度不同，将直接影响地区间发挥 GIE 正外部性的效能；金融作为经济的“总调度师”，通过资金配置人财物等要素资源，支撑绿色创新效率的提升^[16]，金融活跃地区可以依托科创金融服务、绿色资产担保债券、可持续发展债券等金融产品，拓展绿色创新的融资渠道；此外，人既是绿色产品的消费者也是生产者，是创新的主体，受教育程度高低是绿色创新质量的保障^[13]，政府在教育方面的支持力度差异可以影响绿色创新投入方面的生产效率与产出方面的生活排放两个方面。地理空间区位方面，GIE 的空间效应与地理距离显著相关^{[2][12]}，地理邻接地区通过交流合作与竞争示范，可以促进更多的创新发展外溢^[15]。基于上述作用机理，提出如下假设：

假设 1. 流域空间关联网络主要受到上述九个驱动因子的影响。

因为 SNA 法的研究变量均为关系数据，各自变量之间可能存在高度相关性，不符合常规统计方法的高斯条件。非参数方法二次指派程序 (Quadratic Assignment Procedure, QAP) 不以自变量不相关为前提假设，通过比较关系矩阵中对角格值的相似性，测算出关系变量矩阵间的相关性系数，并对系数进行非参数检验。故不必考虑影响因子的“多重共线性”问题，更适用于本文以“关系”数据为前提的假设检验。建立的 QAP 分析模型如式 (2) 所示，括号内皆为差异因子，以地区间影响因素差值的绝对值矩阵来表示，GIE 空间关联矩阵亦转变为对称矩阵。数据规范化对于基于距离的算法尤为重要，鉴于不同矩阵单元的量度单位不同，运用 Z-score 法对网络矩阵进行标准化处理，使每个驱动因子矩阵均值为 0，标准差为 1。

$$R_{GIE} = f(PGDP, INS2, OPEN, FDI, ER, GST, FIN, FEE, GL) \tag{2}$$

本文选取的驱动因素 (具体解释见表 2) 在 QAP 相关分析中，都与 GIE 的空间关联矩阵显著相关，囿于文章篇幅，相关分析结果在此不再赘述。继续选择这些驱动因素作为解释变量参与 QAP 回归分析，选择随机置换次数为 5 000，调整后的判定系数 R^2 为 0.511，在 1% 水平上显著，具体回归结果如表 6 所示。

表6 QAP回归分析结果

解释变量	驱动因子	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性	概率1 ^a	概率2 ^b
地区发展模式	PGDP差异	-0.001	-1.077*	0.082	0.919	0.082
	INS2差异	-0.248	-0.251**	0.011	0.990	0.011
	OPEN差异	0.134	1.307*	0.056	0.056	0.944
	FDI差异	-0.317	-0.320***	0.008	0.993	0.008
绿色创新环境	ER差异	-0.032	-0.188**	0.011	0.089	0.011
	GST差异	-0.097	-0.096**	0.022	0.078	0.022
	FIN差异	-0.000	-0.055	0.376	0.624	0.376
	FEE差异	0.001	0.406**	0.017	0.017	0.984
地理空间区位	GL差异	0.039	0.495***	0.000	0.000	1.000

注:上标a表示随机置换产生的判定系数绝对值不小于观察到的判定系数的概率;上标b表示随机置换产生的判定系数绝对值不大于观察到的判定系数的概率。

在地区发展模式方面,从个体主义视角,运用传统计量研究方法的文献指出,经济水平与发展模式可以促进当地GIE的发展^{[11][13]},但本研究利用关联网络变量的研究结论则与既存研究形成鲜明对比。PGDP、INS2两方面的差异对GIE的空间关联性显著为负,一方面说明沿江粗放型发展模式以及传统工业产值的增加往往需要巨大的能源、资本和人力投入,同时会带来空气污染、水污染、土地污染等环境问题。另一方面也说明,如果地区间的经济水平、产业结构差距较大,那么地区间会因为“没有共通点、差距过大”,而在绿色创新合作方面的意愿与动力削弱,GIE网络中的要素流动也会受阻,甚至通过技术转移的形式向欠发达地区迁移部分污染产业,造成“共生”发展的可能性降低,更倾向与发展水平和发展模式相近的地区强强联合,形成“马太效应”;此外,OPEN对GIE的空间关联性的影响系数显著为正,对外贸易额、市场化程度的提高能够促进企业的创新绩效的提升^[29],同时,因为高开放度的地区市场化程度与竞争越强,出于拉动内需、开辟新市场以及规避本地竞争的需要,更易选择向市场化程度较低的地区渗透,在贸易中也促进了技术合作,减少了对资源环境的浪费,间接促进两地在GIE方面的合作交流;最后,虽然东部发达地区已经开始通过转变引资方式,提高引资质量,鼓励FDI对绿色创新研发的投入,但FDI对知识密集型绿色产业的支持存在较大的地域差,尤其是流域中西部在承接技术梯度转移的进程中,成本优势与环境资源依赖型产业一直是FDI关注的重点,这很可能造成FDI对GIE空间关联性的影响系数显著为负。

在绿色创新环境方面,ER差异对GIE空间关联性的影响显著为负,环境规制虽然可以提升本地的GIE^[11],但地区间的过大差异一定会成为绿色创新高地与洼地间技术转移及吸收的壁垒,即流域内省市更趋向于选择绿色创新环境水平接近的地区进行联系;GST差异的影响显著为负,这与地区发展模式的分析相似,一方面,政府的科创投入是把双刃剑,虽然一定程度上可以缓解地区绿色创新资金不足的问题,但同时又会对企业的绿色创新产生挤出效应,使企业丧失绿色创新的市场主导地位,进而抑制绿色创新活力^[30],另一方面,如果某地政府在科技资金上的投入较小,而寄希望获得周边地区的协助也是不现实的,如何激发本地创新发展内驱力,主动与周边发达地区交流合作才是关键;FEE差异的影响显著为正,因为财政教育支出差异会造成地区人才培养的差异,而人才往往更倾向于向创新环境更好的地区流动,促进了区域间绿色创新效率的联系;在所有解释变量中,FIN对GIE空间关联性的影响系数未通过显著性检验。究其原因,近年来流域省市都加大了对绿色创新发展的金融支持,设立了科技创投基金、成果转化引导基金、科技信贷资金池、创新券等,但现实中“盘子大、不敢投”的现象普遍存在,扶持国企的多而扶持民企的少,锦上添花的有但雪中送炭的少,加之流域金融体系的开放度不够,而依靠资本市场风险投资或信用担保获得绿色创新直接融资的渠道少,所以地区间的金融发展水平差异并未对地区间绿色创新效率的关联建立产生实质性影响。

在地理空间区位方面,GL差异对GIE空间关联性具有正向影响,在1%的水平上显著,这与既存文献结论相符合^[15],说明在流域省市相邻地区间存在更多的创新发展外溢,地理位置的邻接有助于区域创新要素的流动以及创新动能的传递,更易于建立协同合作关系。

四、结论与建议

本文构建了考虑环境约束的超效率 DDF-DEA 模型,将测度的绿色创新效率 GML 指数作为社会网络分析的“关系”数据,对长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素进行了实证分析。研究发现:考察期内流域各地在 GIE 发展的关系连线增多,关系的空间溢出渠道增加,存在多重叠加的溢出效应,网络等级度与网络效率也明显下降,网络结构日趋稳定,但流域在 GIE 方面也存在要素配置不均衡问题,造成整体空间关联网络还不够紧密,仍存在较大的提升空间。同时,网络中板块的形成打破了传统的行政边界的限制,空间关联网络传导机制具有明显的梯度溢出特征,越发达的地区越容易吸附绿色创新要素,而越落后的地区越容易产生要素的逆向溢出。此外,囿于流域间在经济发展模式、绿色创新环境的差距较大,造成跨地域创新合作的意愿与动力被削弱,GIE 的要素流动受阻,导致省市间存在关联的概率降低。由此可见,提升长江经济带整体的绿色创新效率,需要在顶层设计与基层发展两方面,不断调整和优化 GIE 的空间关联网络结构,对此提出如下政策建议。

1. 整体上把握流域绿色创新效率提升的空间传递机制,以局部促整体。国家在促进长江经济带绿色发展、创新协同的进程中,要依据各区域在空间关联网络中的角色与作用,因地制宜、因时制宜,激发双向溢出效应地区的活力,发挥好“经纪人”板块地区的“桥梁”作用,推动资金、人力、技术等绿色创新要素的省际流动,拓宽绿色创新动能的溢出渠道,以点带块、以块推带,提升长江经济带整体绿色创新效率。

2. 地区形成“属性—关系”驱动型绿色创新发展思路,提升空间关联。各地不能仅从本地属性视角求发展,落后地区不能画地为牢,发达地区更不可独善其身,要结合区位条件、资源禀赋等特征,关注与他地建立纽带关系,把握省际间绿色创新效率发展的内部联系,根据其在关联网络中的地位,将空间溢出渠道的增加作为重要导向,将自身发展放在流域整体发展的“一盘棋”中,找到错位发展的方向与路径,实现局部和全局相协调。

3. 促进绿色创新效率网络的要素跨地区流动,缩小绿色创新环境差异。流域省市间由历史原因造成的经济水平与发展模式差异在短期内无法抹平,因此,在运用环境规制、技术创新及转移甄别机制等政策工具时,要以降低省际贸易和技术交流壁垒为导向,既要注重规制的多元化制订,也要关注跨区域合作时的衔接问题。一方面要鼓励东部地区继续向中西部进行绿色产业技术转移,利用空间溢出渠道和产业链延伸打破行政边界,激发内地市场需求,增强绿色创新互动;另一方面中西部地区要优化营商环境,加速交通基础设施建设,缩减物理距离与通勤时间,降低跨区域互动成本,在规制上主动衔接发达地区,引导创新要素的传导与溢出;同时,也要利用跨区贸易及人才流动对网络关联结构的积极影响,发挥教育与生态文明建设对于绿色创新效率提升的促进效能。

参考文献:

- [1] MEDEIROS F D, JANINE, RIBEIRO D, et al. Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 65(4): 76-86.
- [2] 滕堂伟, 瞿丛艺, 胡森林, 等. 长三角城市群绿色创新效率格局分异及空间关联特征[J]. *华东师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2019, 51(5): 107-240.
- [3] 任耀, 牛冲槐, 牛彤, 等. 绿色创新效率的理论模型与实证研究[J]. *管理世界*, 2014(7): 176-177.
- [4] 崔蓉, 费锦华, 孙亚男. 中国省际绿色创新生产率的变动及其空间溢出效应研究[J]. *宏观经济研究*, 2019(6): 132-145.
- [5] 沈能, 周晶晶. 技术异质性视角下的我国绿色创新效率及关键因素作用机制研究: 基于 Hybrid DEA 和结构化方程模型[J]. *管理工程学报*, 2018, 32(4): 46-53.
- [6] 王彩明, 李健. 中国区域绿色创新绩效评价及其时空差异分析: 基于 2005—2015 年的省际工业企业面板数据[J]. *科研管理*, 2019, 40(6): 29-42.
- [7] 王惠, 王树乔, 苗壮, 等. 研发投入对绿色创新效率的异质门槛效应: 基于中国高技术产业的经验研究[J]. *科研管理*, 2016, 37(2): 63-71.
- [8] 成琼文, 贺显祥, 李宝生. 绿色技术创新效率及其影响因素: 基于我国 35 个工业行业的实证研究[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2020, 26(2): 97-107.
- [9] 钱丽, 王文平, 肖仁桥. 共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(5): 27-39.

- [10] 聂名华, 齐昊. 对外直接投资能否提升中国工业绿色创新效率: 基于创新价值链与空间关联的视角[J]. 世界经济研究, 2019(2): 111-122, 137.
- [11] 杨树旺, 吴婷, 李梓博. 长江经济带绿色创新效率的时空分异及影响因素研究[J]. 宏观经济研究, 2018(6): 107-117, 132.
- [12] 李汝资, 刘耀彬, 王文刚, 等. 长江经济带城市绿色全要素生产率时空分异及区域问题识别[J]. 地理科学, 2018, 38(9): 1475-1482.
- [13] 易明, 程晓曼. 长江经济带城市绿色创新效率时空分异及其影响因素[J]. 城市问题, 2018(8): 31-39.
- [14] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET 软件应用[C]//第二界社会网与关系管理研讨会. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学社会学系, 2007.
- [15] 邵汉华, 周磊, 刘耀彬. 中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素[J]. 科学学研究, 2018, 36(11): 2055-2069.
- [16] 肖燕飞. 中国区域金融发展关联网络的构建与分析: 1978—2018[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 138-146.
- [17] 刘华军, 贾文星. 中国区域经济增长的空间网络关联及收敛性检验[J]. 地理科学, 2019, 39(5): 726-733.
- [18] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Ence, 1993, 39(10):1261-1264.
- [19] CHUNG Y, FARE R. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. Microeconomics, 1995, 51(3): 229-240.
- [20] PASTOR J T, LOVELL C A. A global malmquist productivity index[J]. Economics Letters, 2005, 266-271.
- [21] 冯志军. 中国工业企业绿色创新效率研究[J]. 中国科技论坛, 2013(2): 82-88.
- [22] 张俊容, 郭耀煌. 评价指标与 DEA 有效的关系[J]. 系统工程理论方法应用, 2004(6): 520-523.
- [23] COOPER W W, SEIFORD L M, TONE K. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2007.
- [24] 成刚. 数据包络分析方法与 MaxDEA 软件[M]. 北京: 知识产权出版社, 2014.
- [25] BARRO R, LEE J W. International comparison of educational attainment[J]. Journal of Monetary Economics, 1993(3): 363-394.
- [26] 严翔, 成长春. 长江经济带科技创新效率与生态环境非均衡发展研究: 基于双门槛面板模型[J]. 软科学, 2018, 32(2): 11-15.
- [27] 吕朝凤. 金融发展、不完全契约与经济增长[J]. 经济学(季刊), 2018, 17(1): 155-188.
- [28] 黄磊, 吴传清. 长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2019, 25(3): 1-13.
- [29] 赵莹. 对外贸易、市场结构对高技术企业创新绩效的影响[J]. 经济研究导刊, 2019(24): 12-15+19.
- [30] WALLSTEN S J. The effects of government-industry R&D programs on private R&D: the case of the small business innovation research program[J]. Rand Journal of Economics, 2000(1): 82-100.

Spatial Network Structure and Driving Factors of Green Innovation Efficiency in Yangtze River Economic Zone

YAN Xiang¹, HUANG Yongchun¹, BAI Jiancheng², ZOU Chen¹

(1. Business School, Hohai University, Nanjing Jiangsu 211100, China;

2. Business School, Yancheng Teachers University, Yancheng Jiangsu 224007, China)

Abstract: As the integration point of “innovation-driven” and “green development”, green innovation efficiency has become the key to promoting high-quality development in Yangtze River Economic Zone (YREZ). This study empirically analyzed the spatial correlation network structure and driving factors of green innovation efficiency from the perspective of social network analysis. The study finds that the overflow channels and mutual relation between provinces increase yearly, so does the density of spatial correlation networks. Green innovation efficiency in all provinces are influenced by other regions and the overall spatial network in this basin, the hierarchical spatial structure is gradually broken down, and the network structure becomes increasingly stable. However, synergistic development of green innovation efficiency in different regions still needs to be improved. The formation of “plates” in the network breaks the traditional administrative boundary, the provinces changed from discrete to united gradually, and the diffusion radiation made the provinces in the basin form a cluster development. The transmission mechanism of correlation network has obvious gradient overflow characteristics, meanwhile, the “Matthew effect” is obvious. In addition, constrained by the large gap between economic development model and green innovation environment in this basin, the willingness and motivation of trans-regional innovation cooperation is weakened, and flow of elements of green innovation efficiency is blocked, resulting in a reduced correlation probability among those provinces and municipalities. Therefore, based on their roles in the spatial correlation network, the provinces and municipalities in this basin should grasp the overall spatial transmission mechanism of the improvement of green innovation efficiency, form an “attribute-relationship”-driven development approach, narrow down the difference in green innovation environment, and promote factors flow across regions to realize the green and coordinated development of the basin’s economy.

Keywords: green innovation efficiency; spatial correlation; social network analysis; Yangtze River Economic Zone

[责任编辑: 宋宏]