

长三角城市群创新合作网络空间演化研究^①

王承云

摘要:以长三角地区 27 个城市为研究对象,利用各城市 2010—2019 年联合发明专利授权数据信息,构建长三角地区科技创新合作的本地网络与跨界网络。采用整体网络指标、块模型分析、凝聚子集分析与中心性分析等定量研究手段,探究长三角地区城市群本地网络与跨界网络的演变路径。研究发现:长三角地区城市群科技创新合作的本地网络自 2010 年来,网络整体联系强度与合作水平提升明显,处于核心区域的城市作为增长的主导者引领着本地网络的发展,但是增长的不均衡也导致核心区域与边缘区域差异的扩大,限制了区域创新网络的进一步完善;2010—2019 年间,长三角地区城市群科技创新合作的跨界网络规模急速扩张,区域内各城市与外部的创新合作增长明显,作为增长主导的核心城市积极发挥中间人作用,搭建区域内外部交流合作的管道,推动长三角地区城市群整体创新合作绩效的提升;基于关系地理学理论,未来长三角地区城市群科技创新水平提升的重点应该放在缩小区域内部差距上,提升边缘区域的科技创新能力,强化核心区域的知识流动,通过增强“本地蜂鸣”实现城市群科技创新网络的成熟与完善。

关键词:创新地理学;创新网络;社会网络分析;本地蜂鸣—全球管道;长三角地区城市群

中图分类号:F124.3 文献标识码:A 文章编号:1004-8634(2021)05-0117-(10)

DOI:10.13852/J.CNKI.JSHNU.2021.05.012

一、引言

近年来,知识经济在各国经济发展中的作用愈发重要,城市创新、创新联系、网络化研究范式等成为学术界研究的重要议题。城市作为区域与国家的经济中心,汇聚着经济发展与产业增长的资源要素,知识经济时代以知识和技术为主的创新要素成为促进城市经济增长的核心资源。而城市之间通过知识流动与技术合作所形成的科技创新联系,逐步形成城市间科技创新网络,科技创新网络的发展有效推动了区域整体科技创新水平的提高以及区域内各城市的经济增长。关于城市创新网络的研究最早可追溯到 20 世纪 80 年代,荷兰学者唐奈尔(Donnell)最早提出了“城市网络”的概念;卡斯特尔(Castells)的流动空间理论推动了城市网络研究范式的全面转型;^②90 年代,弗里曼(Freeman)提出“创新网络”的概

基金项目:国家自然科学基金项目(42171168)

作者简介:王承云,博士,上海师范大学环境与地理科学学院教授(上海 200234)。

^①王永正、沈泽洲同学对文章的材料搜集与撰写有一定贡献,特此说明及感谢。

^②Castells Manuel, *The Rise of the Network Society*, Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2009.

念;^① 20世纪末,泰勒(Taylor)提出了“世界城市网络”的概念。^② 随着流动空间理论越来越受学者的关注,城市创新空间的研究格局呈现出由等级化向网络化演变的趋势,引发区域创新结构和创新研究范式的变革,经济地理学与创新地理学呈现出网络化转向:新区域主义学者和全球生产网络学者均强调网络在知识流动和科技创新中的作用;霍金斯(Huggins)提出“网络资本”的概念,并将网络视为与物质资本、人力资本和研发投入资本同等重要的资本,是区域经济增长的重要影响因素。^③

针对知识流动和创新网络的空间问题,学界出现了不同的观点与理论。一般来说,根据知识内隐性的差异,可以将知识划分为显性知识和隐性知识,其中显性知识是指那些可以被编码的,能够通过文字、语言等方式记录的知识,隐性知识则是指难以表述且高度内化的知识。^④ 新区域主义理论重视本地化的知识网络对区域创新的作用,强调基于根植性和地理邻近的创新网络推动区域内知识流动与共享,^⑤ 尤其重视隐性知识的传播对创新绩效的提升作用;研究者关注地理空间与网络空间位置,强调集聚效应,研究侧重于考察地理邻近、社会关系邻近、认知邻近等多维邻近性对于创新网络的影响。全球生产网络理论则认为,虽然本地网络知识溢出比跨界知识溢出的强度更高,但是物理距离并不是唯一的影响,跨地域网络对于知识传播与创新绩效具有更重要作用;该理论研究者强调知识的全球扩散,认为跨地域知识的传播有利于避免本地网络出现技术锁定的风险。^⑥ 起初,学术界普遍认为显性知识可以在非本区域内流动,隐性知识只能局限于本区域内,而关系经济地理学者对这样单一尺度知识流动的观点提出了质疑,将本地化视角与跨界视角结合起来,构建了“本地蜂鸣—全球通道”模型。^⑦ 该模型一方面强调高质量与高关联性“本地蜂鸣”的存在对区域网络或集群的有益作用,另一方面也指出区域以外的知识来源,也就是“全球管道”结构的建设,能够将本地创新网络与其他地区连接,外部知识的流入能更有效地刺激本地网络的创新绩效产出。

目前,国内外关于城市间知识溢出与创新联系的研究,主要集中于基于不同的空间尺度讨论知识溢出或创新联系的空间结构与特征、创新网络的拓扑结构与演变过程,以及创新联系的驱动因素与机制等方面。对于如何表征城市间创新联系,目前学术界主要分为两类,一是利用实地调查数据或者统计数据展开城市间创新联系的研究;^⑧ 二是利用合著论文数据或者联合申请专利数据构建城市间的创新网络,

① C. Freeman, “Networks of innovators: A synthesis of research issues”, *Research Policy*, Vol. 20, no. 5(1991), pp. 499-514.

② J. Taylor Peter, Derudder Ben, *World City Network: A Global Analysis*, London: Routledge, 2004.

③ Robert Huggins, “Forms of network resource: Knowledge access and the role of inter-firm networks”, *International Journal of Management Reviews*, Vol. 12, no. 3(2010), pp. 335-352.

④ 王缉慈:《创新的空间:企业集群与区域发展》,北京大学出版社2001年版。

⑤ P. Cooke, K. Morgan, *The associational economy: Firms, regions, and innovation*, Oxford, UK: Oxford University Press, 1998. Anders Malmberg, Peter Maskell, “The Elusive Concept of Localization Economies: Towards a Knowledge-Based Theory of Spatial Clustering”, *Environment and Planning A*, Vol. 34, no. 3(2002), pp. 429-449.

⑥ Peter Dicken, Philip F. Kelly, Kris Olds, Henry Wai-Chung Yeung, “Chains and networks, territories and scales: towards a relational framework for analysing the global economy”, *Global Networks*, Vol. 1, no. 2(2001), pp. 89-112. John Humphrey, Hubert Schmitz, “How does insertion in global value chains affect upgrading in industrial clusters?”, *Regional Studies*, Vol. 36, no. 9(2002), pp. 1017-1027.

⑦ Harald Bathelt, “Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation”, *Progress in Human Geography*, Vol. 28, no. 1(2004), pp. 31-56.

⑧ 吕拉昌、梁政骥、黄茹:《中国主要城市间的创新联系研究》,《地理科学》2015年第1期。王承云、张婷婷:《长三角地区研发产业的空间结构演化》,《地理科学进展》2012年第8期。王越、王承云:《长三角城市创新联系网络及辐射能力》,《经济地理》2018年第9期。Robert Huggins, Daniel Prokop, “Network structure and regional innovation: A study of university - industry ties”, *Urban Studies*, Vol. 54, no. 4(2017), pp. 931-952.

进而展开对创新联系与网络的研究。^①此外,还有的学者关注创新联系与创新网络的理论研究。^②长三角地区城市群作为中国经济体量最大、经济活跃度最高、规模最大的城市群之一,在中国“一带一路”倡议和长江经济带建设中承担着重要使命,城市群内部各城市之间的联系不断趋于网络化,使得长三角地区城市群一直以来都是城市地理学与创新地理学等领域研究的热点区域。国内学者也把目光聚焦于长三角地区,对长三角城市群特定产业的创新空间格局、^③区域创新结构^④等进行研究。综上所述,目前学术界关于城市间知识联系的研究尺度包含了全球、全国、区域等不同尺度,研究的视角涵盖了网络的结构、特征与演化机制、影响因素等,但是,较少将某个区域内部的网络关系与其在全球网络中的网络关系相结合来探究区域创新联系网络的相关特征。本文利用长三角地区 27 个城市联合发明专利授权数据信息,运用关系地理学的相关理论,分别构建科技创新的本地网络与跨界网络,其中本地网络由长三角地区的 27 个城市专利合作联系组成,跨界网络由长三角地区的 27 个城市与全球其他城市之间专利合作联系组成,以探究长三角地区 2010—2019 年区域内部科技创新合作的网络关系及其在全球科技创新网络中的网络关系的演化,为未来长三角地区一体化发展和区域创新能力与创新绩效的提升探索方向与路径。

二、数据与方法

1. 研究区域和数据选取

根据 2019 年 12 月国务院印发的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,长江三角洲区域空间范围包括上海市、江苏省、浙江省、安徽省全域。以上海市,江苏省南京、无锡、常州、苏州、南通、扬州、镇江、盐城、泰州,浙江省杭州、宁波、温州、湖州、嘉兴、绍兴、金华、舟山、台州,安徽省合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城 27 个城市为中心区。本文选取最新划定的 27 个城市所组成的长三角地区城市群作为研究区域。

本文选取联合发明专利授权数据研究长三角地区 27 个城市的科技创新网络,并运用社会网络分析方法,借助 UCINET 等定量分析工具进行计算分析。专利数据作为知识产权的重要体现形式,是世界上最大的信息技术源,世界知识产权组织报告显示,全球约 90%—95% 的科研研发产出包含在专利中,^⑤并且,专利具有可获取性和操作性较强的优点。中国专利分为发明专利、实用新型和外观设计三类,其中发明专利的技术含量高、原创色彩浓厚,通常被作为衡量地区科技创新能力的主要指标。联合发明专利则是指那些由 2 个及以上部门或单位合作申请的发明专利,其能够有效地反映出不同主体间的专利合作情况。合作专利可以较好地体现网络中相关节点的创新合作联系,是研究知识共享与创新合作最直接有效的方式。^⑥

本文研究数据来源于中国专利数据库(www.incopat.com)的专利信息服务平台,由于在中国国家知

① 汪涛、Stefan Hennemann、Lngo liefner、李丹丹:《知识网络空间结构演化及对 NIS 建设的启示——以我国生物技术知识为例》,《地理研究》2011 年第 10 期。周灿、曾刚、宓泽锋:《区域创新网络模式研究——以长三角城市群为例》,《地理科学进展》2017 年第 7 期。李丹丹、汪涛、魏也华:《中国城市尺度科学知识网络与技术知识网络结构的时空复杂性》,《地理研究》2015 年第 3 期。段德忠、杜德斌、谌颖:《中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究》,《地理科学》2018 年第 11 期。Li Yingcheng, A. Phelps Nicholas, “Knowledge polycentricity and the evolving Yangtze River Delta megalopolis”, *Regional Studies*, Vol. 51, no. 7(2017), pp. 1035–1047.

② 连远强:《国外创新网络研究述评与区域共生创新战略》,《人文地理》2016 年第 1 期。Andrea Morrison, Roberta Rabellotti, Lorenzo Zirulia, “When Do Global Pipelines Enhance the Diffusion of Knowledge in Clusters?”, *Economic Geography*, Vol. 89, no. 1(2013), pp. 77–96.

③ 吕国庆、曾刚、郭金龙:《长三角装备制造业产学研创新网络体系的演化分析》,《地理科学》2014 年第 9 期。

④ 沈惊宏、余兆旺、石张宇:《多尺度的泛长江三角洲经济空间格局演变》,《经济地理》2016 年第 2 期。

⑤ Chen-Yuan Liu, James Chingyu Yang, “Decoding patent information using patent maps”, *Data Science Journal*, Vol. 7, no. 1(2008), pp. 14–22.

⑥ B Ó. Huallachain, D S. Lee, “Urban centers and networks of co-invention in American biotechnology”, *Annals of Regional Science*, Vol. 52, no. 3(2014), pp. 799–823. John Hagedoorn, Myriam Cloudt, “Measuring innovative performance: is there an advantage in using multiple indicators?”, *Research Policy*, Vol. 32, no. 8(2003), pp. 1365–1379.

识产权局从申请专利到获批需要较长的一段时间,考虑到数据的完整性,本文选取联合发明专利授权,以国家知识产权局批准授权的时间为准,将研究区间设置为2010—2019年,分别以长三角地区27个城市为申请地址,检索联合发明专利授权信息,获取发明专利的名称、公告日、公开号、申请人信息、IPC分类号等信息。在数据筛选处理中包括以下步骤进行:一是剔除申请人为个人或者个人与机构合作的专利,仅保留申请人均为机构主体的专利信息,共得到41274条专利数据;二是通过天眼查全国企业征信系统、百度企业信用查询系统和百度地图对创新主体与其所在地级城市进行匹配,将创新主体之间的合作关系转换为城市间的联系;三是关系转换后的专利数据就组构为长三角地区城市群在全球范围内的合作专利数据,从结果中再次筛选出创新主体所在地级市均在长三角地区城市群中的专利信息,共24024条组成长三角地区城市群区域内合作专利数据;四是选取合作次数表征城市之间的网络联系强度,提取城市间网络联系强度大于1的边权,以地级市为基本单元分别构建2010—2019年城市间创新合作的无向加权矩阵,最终形成由城市间联系所构成的长三角地区城市群的本地创新合作关系网络与跨界创新合作关系网络。

2. 研究方法

本文运用社会网络分析方法,对长三角地区城市群本地合作网络与跨界合作网络展开分析。本地合作网络作为区域整体网络采用整体网络指标与块模型分析方法测度其网络拓扑结构与网络位置模块的演化;跨界合作网络则采用凝聚子集分析中的Bi-component模块与网络中心性分析测度长三角地区城市群在跨界合作网络中网络位置与结构的演化。

(1) 整体网络指标说明

运用整体网络指标表征长三角地区城市群本地网络的拓扑结构的时空演化,考察城市科技创新网络结构的可达性、集聚性等。整体网络指标主要包括:规模,即网络中节点的数目,是指网络中城市的数目;关系数,即网络中连接节点的线数,文中指两两城市联系次数;密度,即实际存在的关系数除以理论上可能存在的关系总数;平均距离,即两点间最短路径长度的平均值,该值越大,说明网络节点间知识合作的难度越大,知识流动不畅;平均度数,即所有节点度数的平均值,它度量本地网络中城市的平均合作强度;紧凑度,即基于两点间的最短距离度量网络的凝聚性,该值在0—1之间,该值越大说明该网络的凝聚力越强;碎裂化程度,指不能相互连接的节点所占的比例,它度量网络的稳定性,该值越小,说明网络越稳定。

(2) 块模型分析

块模型分析是一种研究网络位置模型的方法,最早由保曼(Boorman)和怀特(White)提出,^①史密斯(Smith)、怀特等曾用此方法研究过世界经济体系,沃瑟曼(Wasserman)等人开发了评价位置内部关系的指标体系^②(见表1),其中 K_i 表示某个板块中成员数目, K 表示整个网络中的成员数目。根据块模型理论,首先是对网络节点进行分区,即把各个网络节点分到各个位置之中。其次是根据一些标准确定各个块的取值,即各个块是1-块,还是0-块。本文采取以密度指标划分区域,因此选用整体网络密度作为划分标准。

表1 块模型板块划分

板块内部关系的比例	板块内外关系比例	
	≈0	>0
$\geq (K_i - 1)/(K - 1)$	双向溢出板块	净收益板块
$\leq (K_i - 1)/(K - 1)$	净溢出板块	孤立者板块

(3) 凝聚子集分析

凝聚子集是网络节点中的一个子集合,在集合中的节点之间具有相对较强的、直接的、紧密的积极关系。凝聚子集分析能够简化复杂的整体社会网络结构,通过凝聚子集分析可以寻找到蕴含在网络中

^① Harrison C. White, Scott A. Boorman, Ronald L. Breiger, "Social Structure from Multiple Networks. I. Blockmodels of Roles and Positions", *American Journal of Sociology*, Vol. 81, no. 4(1976), pp. 730-780.

^② Wasserman, K. Faust, *Social network analysis: methods and applications*, Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

的子结构及其相互之间的关系。本文所采取的是凝聚子集中的成分与切点分析模块,这是为了探究长三角地区城市群的跨界网络中具有更为紧密创新合作关系的子城市群,并结合社会网络方法中的中间人分析方法,探析长三角地区城市群中,在跨界网络中的“守门人”角色的扮演者及其演化。

(4)中心性分析

选取度中心性、接近中心性和中介中心性(表 2)来测度长三角地区城市群在跨界网络中的地位演化,从而衡量长三角地区城市群“全球管道”建设的绩效,探究其未来发展的方向与重点。

表 2 城市科技创新网络的中心性指标及含义

指标名称	表达式	解释	表征解释
度中心性	$C_{D(i)} = \sum_{j \in N} x_{ij}$	测量节点 <i>i</i> 与其他节点的关联数,度量节点处于网络中心位置的程度。 x_{ij} 是 1 或 0 的数值,代表节点 <i>i</i> 与节点 <i>j</i> 是否具有连接关系。	城市 <i>i</i> 度中心度越大,表明其在城市创新网络中的地位越高,具有的网络资本越多,能够获取的外部知识越丰富。
接近中心性	$C_{C(i)} = 1 / \sum_{j \in N} d_{ij}$	以距离为概念计算的个体中心程度,衡量节点 <i>i</i> 与其他节点的接近程度。 d_{ij} 代表节点 <i>i</i> 与 <i>j</i> 之间的距离。	城市 <i>i</i> 的接近中心度越大,表明其通达性越好,知识流动越便捷。
中介中心性	$C_{B(i)} = \sum_{j \in N} \sum_{k \in N, j \neq k \neq i} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$	衡量节点 <i>i</i> 在整体网络中的中介能力。 g_{jk} 代表节点 <i>j</i> 和 <i>k</i> 之间存在最短路径的数目; $g_{jk}(i)$ 是节点 <i>j</i> 和 <i>k</i> 之间存在的经过节点 <i>i</i> 的最短路径的数目。	城市 <i>i</i> 的中介中心度越大,对其他城市的控制能力越强,越能发挥促进知识流动的桥梁作用。

三、实证分析

1. 本地网络分析

(1)本地网络基本拓扑结构分析

运用 UCINET 分析长三角地区城市群本地科技创新网络的拓扑结构(表 3)。表中有效规模是指与网络中其他节点有联系的节点,由于 2010—2013 年间安庆市、池州市、宣城市等城市联合发明专利较少,且合作机构均为其城市内部单位,没有与城市群内其他节点产生联系,故有效规模中未统计这些城市。从时间演化的角度来看,本地网络的关系数、密度、平均度数均呈现出先显著增长又略微下降的轨迹,转折点为 2017 年,但总体上呈上升趋势且涨幅明显,说明网络中节点之间的知识流动与创新合作明显增加,网络中城市间平均合作强度增强。平均距离、紧凑度、碎裂化程度呈现出在一定区间内波动的轨迹,表明节点间知识流动的难度仍然较大,网络的凝聚力不足,网络结构的稳定性仍有待巩固,其中 2011、2013 年平均距离和碎裂化程度较低,城市间联系较为紧凑;2016 年平均距离和碎裂化程度均达到最高,紧凑度降至最低。从网络整体指标的角度看,有些年份出现了关系数、密度、平均度数呈现大幅上升,平均距离和碎裂化程度却同时上涨的现象,同时,相反的现象也有出现。通过具体数据可以发现这是由于,虽然整体网络的关系数和平均度数增加,但是创新联系的增加主要发生在网络中联系密集的核心区域,与此同时边缘区域的关系数与联系强度出现停滞甚至下降,因此,整体网络的碎裂化程度加剧。

表 3 本地科技创新网络的拓扑指标

时间	有效规模	关系数	密度	平均距离	紧凑度	碎裂化程度	平均度数
2010年	21	90	0.1282	1.470	0.77	23.50%	12.821
2011年	21	114	0.1624	1.436	0.78	21.80%	16.239
2012年	24	138	0.1966	1.590	0.71	29.50%	19.658
2013年	24	146	0.2080	1.513	0.74	25.60%	20.798
2014年	26	184	0.2621	1.664	0.67	33.20%	26.211
2015年	27	210	0.2991	1.735	0.64	35.60%	29.915

(续表)

时间	有效规模	关系数	密度	平均距离	紧凑度	碎裂化程度	平均度数
2016年	27	214	0.3048	1.843	0.63	37.20%	30.484
2017年	27	240	0.3419	1.741	0.66	34.30%	34.188
2018年	26	222	0.3162	1.610	0.70	30.50%	31.624
2019年	27	218	0.3105	1.615	0.69	30.80%	31.054

从长三角地区城市群本地创新合作网络的整体演化来看,十年间科技创新合作的网络强度趋于成熟,城市间合作强度与知识溢出效应明显增加,但是网络拓扑结构仍然持续波动,网络稳定性与凝聚力有待提高。

(2) 块模型分析

运用块模型分析模块分别对 2010—2019 年的数据进行计算,在每个年份内,将 27 个城市按照节点间的联系强度与结构划分为 4 个分区,并得到每个分区内外部联系强度数值;再依据该年份整体网络的联系强度(即整体网络密度值)标准进行二值化处理,将所有的块划分为 1-块和 0-块;进而依据板块内外部联系强度将板块划分为四种类型(表 4)。

表 4 基于科技创新合作强度的城市类型划分

该分区内部联系强度	该分区与其他分区联系强度	
	≥整体网络的联系强度	≤整体网络的联系强度
≥整体网络的联系强度	双向溢出板块	净收益板块
≤整体网络的联系强度	净溢出板块	孤立者板块

分析发现,双向溢出板块的内部节点之间具有紧密的科技创新合作联系,同时与板块外部节点建立了密切的合作交流关系,形成了小尺度内完善的创新合作与知识交流模式,具有相当强的协同创新能力,属于长三角地区城市群本地创新网络的核心区域;净溢出板块的内部节点之间科技创新合作联系密切,自主创新能力相对突出,对外部技术依赖性低,但是由于与板块外部的城市合作交流较少,存在一定的技术锁定风险;净收益板块与外部节点的科技创新合作联系较多,创新合作的成果多数与外部城市节点合作完成,板块内部交流较少,知识流动性不强,在一定程度上降低了外部知识流入对板块整体科技创新绩效的贡献,因此,在本地创新网络中净收益板块的地位略低于净溢出板块;孤立者板块内城市节点的创新主体较少,内部创新合作联系较少,与板块外部的知识交流微弱,在整体网络结构中位于边缘区域。

本文选取了 2010、2015、2019 年三个时间节点的块模型分析结果展示长三角地区城市群科技创新网络的板块结构演变趋势(表 5)。

表 5 长三角地区城市群板块类型

时间类型	双向溢出板块	净溢出板块	净收益板块	孤立者板块
2010年	上海、杭州	南京、常州、无锡、扬州、苏州	宁波、合肥、嘉兴、绍兴、南通、湖州、舟山、温州、台州、盐城	金华、镇江、台州、芜湖、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城、马鞍山
2015年	上海、杭州、南京	苏州、无锡、常州、南通、镇江、合肥	台州、宁波、马鞍山、扬州、绍兴、嘉兴、温州、金华、盐城、湖州、泰州、滁州、池州、宣城	芜湖、铜陵、舟山、安庆
2019年	上海、杭州、南京、苏州、无锡	常州、南通、镇江、合肥、扬州、泰州	宁波、绍兴、嘉兴、温州、盐城、湖州、金华	台州、马鞍山、舟山、滁州、芜湖、铜陵、安庆、池州、宣城

从各板块规模与关系结构来看,双向溢出板块规模呈现增长趋势,且增幅较大,表明本地科技创新网络中核心区域不断发展,越来越多的城市跻身核心区域,核心板块的创新能力与水平显著增强。净溢出板块规模基本不变,虽然板块内节点产生流动,但整体规模稳定,表明该板块在本地科技创新网络中的结构较为稳定,网络中各城市节点的自主创新与知识交流活跃。孤立者板块规模虽然一度波动变化,但整体来看变化不大,且板块内城市节点变化不大,孤立者板块在创新网络中处于边缘区域。结合孤立者板块中城市节点的空间位置,不难发现这些城市节点多位于长三角地区的边缘地带,且自身经济发展水平有限,导致其创新能力不足,又缺乏与板块外部的知识交流与联系,故难以打破板块边界,实现升级转型;即使偶然获得机遇打破板块边界,但是由于内外部条件不够成熟,很难保持地位的持续。例如,2015年孤立者板块中多个城市节点流动到净收益板块,但是很快又重回孤立者板块。而净收益板块的规模基本上持续下降,这表明板块内城市节点借助与外部的知识溢出与技术传播实现了自身科技创新能力与水平的提升,从而打破边界进入净溢出板块。

从本地科技创新网络的整体板块结构来看,网络中第二梯队(即净溢出板块)与第三梯队(即净收益板块)均发生向前流动的趋势,从而推动第一梯队(即双向溢出板块)规模持续壮大,但第四梯队(即孤立者板块)却变化不大。该现象也揭示了网络拓扑结构分析中所出现的网络密度上升,平均距离与碎裂化程度却同时上升的原因。虽然不能否认孤立者板块内部的科技创新交流与合作的增长,但是这种增长远低于网络整体平均水平,因此导致整体网络结构的稳定性与凝聚力没有增强。

从各板块城市节点的行政归属来看,上海市始终位于核心区域;江苏省的城市多位于前两个梯队且发展速度稳健,在三省一市中发展速度最为显著,至2019年江苏省仅有盐城市位于第三梯队;浙江省的杭州市处于第一梯队,其余多数城市均位于第三或者第四梯队,但是其发展速度也较为显著,多数城市脱离边缘区域,创新联系能力明显增强;而安徽省大多数城市十年间长期位于第四梯队,创新能力与创新联系强度增长缓慢,省会合肥市也仅近些年步入第二梯队,但并未进入核心区域。总的来看,这十年上海市与江苏省的自主创新能力与协同创新能力最强且保持稳定发展,江苏省创新能力与创新联系强度增长速度最快,浙江省的创新增长也较为显著,而安徽省的自主创新能力及增长速度均低于长三角地区平均水平。

2. 跨界网络分析

(1) 凝聚子群分析

凝聚子群中的成分与切点分析就是根据一定的规则将整个网络分为若干个部分与切点。在网络中,如果拿掉其中的某个节点后,整个网络的结构被分为两个互不关联的成分,该节点就称为切点。根据切点的性质,可以判定属于切点的城市节点在跨界科技创新网络中扮演着中间人的角色。所谓中间人,是指在相同或者不同成分间起到信息传递中介作用的节点。^①通过中间人的中介作用,网络间的某两个部分实现了知识传递与技术交流。

运用 Bi-component 模块对 2010—2019 年间长三角地区城市群科技跨界网络进行分析,在分析结果的整理中,由于部分切点切分的两个成分为一个节点与网络整体的组合,因此将这种类型的切点进行删除,最终得到各年份跨界创新网络中的切点城市(表 6)。

表 6 长三角地区城市群跨界网络中的切点城市

时间	切点城市
2010年	上海市、南京市
2011年	上海市、南京市、杭州市
2012年	上海市、南京市、杭州市、南通市
2013年	上海市、南京市、杭州市
2014年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、宁波市
2015年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、宁波市

^① Roger V. Gould, Roberto M. Fernandez, "Structures of Mediation: A Formal Approach to Brokerage in Transaction Networks", *Sociological Methodology*, Vol. 19, no. 1(1989), pp. 89-126.

(续表)

时间	切点城市
2016年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、宁波市、扬州市
2017年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、扬州市、绍兴市
2018年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、无锡市、嘉兴市
2019年	上海市、南京市、杭州市、合肥市、苏州市、无锡市、嘉兴市、扬州市

这十年切点城市的变化呈现出两个趋势:首先,切点城市的数量随时间推移呈现不断增长的趋势;其次,切点城市从起初集中于三省一市的省会城市或同级别城市,到近年来出现其他地级城市的加入,表明切点城市的覆盖范围呈现逐步扩大的趋势。

对于长三角地区城市群科技创新网络来说,切点城市扮演着技术守门员的角色,通过它们搭建起与长三角地区外部进行知识流动与技术交流的管道,达到提升长三角地区城市群创新绩效的目的,因此,对于网络自身而言,一方面技术守门员的数量越多越有利于获得更多来自外部的知识流动与技术传播,从而有利于进一步降低自身技术锁定的风险;同时技术守门员的增加也能够提升外部知识在本地网络中的流动性并加速本地网络对于外部知识的吸收与反馈,从而增强外部知识的流入带来的创新绩效。另一方面,本地网络中城市节点之间也存在科技创新发展的竞争关系,技术守门员掌握着外部知识的流入,为了提升自身在网络中的竞争力,可能会有意延缓外部知识向网络中其他城市节点的传播,而技术守门员队伍的扩张在一定程度上能够有效避免这种“技术锁定”现象。

此外,从切点城市的空间分布看,集中分布在上海市、江苏省与浙江省,安徽省仅有合肥市为切点城市。因此,就跨界合作与接收外部知识的能力而言,上海市、江苏省与浙江省基本保持在较高的水平上,而安徽省由于技术守门员的数量较少,接收外部知识的数量以及扩散、吸收能力与其余两省一市相比均存在较大的差距。

(2)中心性分析与整体网络指标

结合整体网络指标与中心性分析对长三角地区城市群跨界科技创新网络进行逐年分析,得到长三角地区城市群跨界网络整体指标与长三角地区城市群 27 个城市各项中心性指标的平均值(表 7)。

表 7 长三角地区城市群跨界网络整体指标与城市群平均中心性

时间	规模	关系数	密度	度中心性 (27个城市平均数)	接近中心性 (27个城市平均数)	中介中心性 (27个城市平均数)
2010年	51	210	0.066	9.788	12.615	3.729
2011年	74	314	0.050	9.939	12.578	4.214
2012年	91	442	0.054	11.730	22.760	4.560
2013年	99	594	0.061	13.150	18.500	3.980
2014年	104	712	0.067	14.920	32.360	4.340
2015年	119	908	0.065	16.130	52.620	4.070
2016年	127	988	0.062	16.490	50.590	4.440
2017年	128	1100	0.068	17.640	51.380	4.300
2018年	130	1154	0.069	17.260	32.780	4.140
2019年	138	1210	0.064	16.900	50.990	4.240

从网络整体指标来看,这十年跨界网络的节点规模呈稳步增长,持续不断地有外部城市节点被拓展进入长三角地区城市群跨界科技创新网络,长三角地区城市群与外部进行知识交流与技术合作的管道不断拓宽,区域整体接受来自更多国家和地区的知识溢出;伴随着网络规模扩张,跨界网络中关系数急速增长,2010—2019 年整体涨幅接近 500%,这既表明外部城市节点与区域内城市的知识溢出与技

术交流强度较高,也说明外部知识与技术的流入对区域内多个节点产生影响,从而促进更广泛的城市节点之间的联系。虽然关系系数急速增长的背后有规模扩张的原因,但是跨界网络的密度仍保持持续增长;虽然近些年有所波动,但整体增长明显。总体而言,跨界网络的规模与各城市节点间的联系强度均持续增强,网络拓扑结构也趋于完善与稳定。

从三个中心性指标来看,27个城市度中心性的平均数在2010—2017年间持续增长,2018和2019年有所下降但降幅较小,整体上度中心性的平均数增长明显,这表明长三角地区城市群拥有的网络资本数量增多,能够获取的外部知识与技术增加,城市群整体的协作创新能力与水平增长明显;同时,城市群内度中心性高于平均值的城市数量基本保持在9个左右,说明在跨界网络中长三角地区城市群的网络结构保持稳定,即知识交流与技术合作的增长基本上较为均衡,没有出现增长极不均衡的现象。接近中心性的平均数在10年内波动较为频繁且波动较大,虽然在2018年出现明显回落,但是总体来看增长相当明显且增幅较大,这表明在跨界网络中长三角各城市节点与其他城市节点的联系性持续增强,知识流动性与通畅性提升明显;同时,城市群内接近中心性高于平均值的城市数量也基本保持稳定,知识流动性增长均衡。而中介中心性的平均数基本保持不变,呈现出轻微的波动,表明长三角地区城市群整体在跨界网络中的地位与作用基本稳定,2015年以来城市群内中介中心性高于平均值的城市数量持续增长,这说明长三角地区城市群中处于核心区域的城市对于整个网络的控制力正在逐步增强,更多的核心城市在知识交流与科技创新合作中积极发挥知识传播的桥梁作用,使得边缘区域的城市通过核心区域的中介作用接收知识溢出与技术传播,与外部城市实现科技创新合作。总的来看,这十年长三角地区城市群科技创新合作的跨界网络的网络规模与联系强度均稳定增长,网络内部的流动性以及内外部之间的通畅性均持续提升,尤其是核心城市近年来充分发挥中介作用,促使扩接网络结构与凝聚力也趋于完善。

四、结论与讨论

自2010年以来长三角地区城市群科技创新合作本地网络的网络密度与联系强度提升明显,但内部结构出现明显不均衡发展的现象。虽然各城市节点间知识流动与技术合作模式趋于成熟化,但是对内部结构的进一步分析发现:网络中核心区域是本地科技创新网络成熟化的主要贡献者,核心区域科技创新能力与水平的提升带动了整个网络创新绩效的增长;而处于边缘区域的城市与网络内其他城市节点的创新合作关系进展缓慢,科技创新能力一直没有得到有效提升。这种增长的不均衡已经成为长三角地区科技创新发展的障碍。核心区域与边缘区域之间的差异严重影响长三角地区城市群创新网络结构的稳定,导致网络整体通达性与凝聚力下降;同时,网络结构的不完善也会导致通过“跨界通道”获取的外部知识难以实现完全利用,从而变相增加区域创新成本,影响创新绩效的产生。

相较于本地网络,长三角地区城市群科技创新的跨界网络在2010—2019年间无论是整体规模与联系强度还是网络拓扑结构,均明显增强。这十年间长三角地区城市群技术守门员队伍的不断壮大,带动区域内城市与更多国内外城市产生创新合作联系,推动了网络规模与联系强度的提升。同时,自2015年以来,核心城市的中介作用发挥愈加充分,使城市群各层级城市的协同创新能力与科技创新成果明显提升,没有出现本地网络中较为明显的不均衡增长现象。另外,跨界网络的健康成长还表现在近年来长三角地区城市群在跨界网络中的控制力不断强化,核心区域的城市在跨界网络中较多地承担创新合作的桥梁作用,通过分享创新合作机遇拉动非核心区域协同创新能力的提升。整体来看,这十年间跨界创新网络演变的主导者仍旧是处于核心区域的城市,但是主导者积极发挥中间人作用,带动了整个长三角地区城市群协同创新能力与水平的提升。

基于关系地理学提出的“本地蜂鸣—全球管道”模型的相关理论,不难发现长三角地区城市群科技创新网络在“全球通道”的构建上发展良好,城市群既不断拓宽和外部展开知识交流与技术合作的渠道,又重视外部知识与技术流入对网络内各城市的提升作用,而长三角地区城市群本地网络中核心区域与边缘区域的差异导致“本地蜂鸣”作用弱化。未来长三角地区城市群科技创新网络发展的重心应该放在

缩小核心区域与边缘区域的差距上,既要利用边缘区域科技创新能力的提升推动长三角地区整体科技创新水平的提高,又要强化核心城市的通达性以及对网络整体的控制力,从而实现区域科技创新实力的增强。

Research on the Evolution of Innovation and Cooperation Network Space of Urban Agglomerations in the Yangtze River Delta

WANG Chengyun, WANG Yongzheng, SHEN Zezhou

Abstract: Taking 27 cities in the Yangtze River Delta as the research object, the local and cross-border networks of scientific and technological innovation cooperation in the Yangtze River Delta are constructed by using the data and information of joint invention patent authorization of each city in 2010–2019. The evolution path of local and cross-border networks of urban agglomerations in the Yangtze River Delta is explored by using quantitative research methods such as overall network index, block model analysis, aggregation subset analysis and centrality analysis. The findings are as follows: Firstly, since 2010 the overall network connection strength and cooperation level of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration's local network for scientific and technological innovation cooperation have been significantly improved. As the growth leader, the city in the core region is leading the development of the local network. However, the imbalance of growth also leads to the expansion of the differences between the core region and the edge region, which limits the further improvement of the regional innovation network; Secondly, in the past 10 years the cross-border network scale of scientific and technological innovation cooperation of urban agglomerations in the Yangtze River Delta region has expanded rapidly, and the cooperation between cities in the region and external innovation has grown rapidly. As the core cities that lead the growth, they have actively played the role of middleman, building channels connecting the internal and external communication of the region, and promoting the overall innovation and cooperation performance of the Yangtze River Delta urban agglomeration; Thirdly, based on the theory of relational geography, the key to improve the innovation ability of Yangtze River Delta Urban Agglomeration in the future should be to narrow the gap within the region. Moreover, it is to enhance the technological innovation ability of the marginal areas and strengthen the knowledge flow in the core areas. Furthermore, the improvement of the scientific and technological innovation network of the urban agglomeration can be realized by enhancing the "local buzz".

Key words: innovation geography; innovation network; social network analysis; local buzz and global pipeline; urban agglomeration in Yangtze River Delta

(责任编辑:中和)