

长三角数字创新网络空间结构演化及机制差异的多尺度分析

玄泽源, 段进军, 华怡宁, 姚孟超

(苏州大学商学院, 江苏 苏州 215000)

摘要: 本文以长三角地区为研究对象, 从“省域-市域-区县域”空间尺度入手, 通过空间相关性分析、引力模型、社会网络分析等方法剖析长三角不同尺度数字创新分布格局和网络结构特征, 并利用 QAP 方法对不同尺度空间网络结构差异机制进行分析。研究发现: 长三角数字创新活动呈现明显的空间分异格局; 城市群与都市圈正在成为数字创新活动及网络的主要空间表现形式; 长三角数字创新网络的形成与发展是多种社会经济因素相互作用的结果。基于此, 提出长三角数字创新网络构建的政策建议, 各地应当抓住长三角一体化战略, 通过引进数字人才、改善公共交通与数字基础设施等措施促进数字化转型。

关键词: 长三角; 数字创新; 空间分布; 网络结构; 社会网络分析

中图分类号: F061.2 **文献标识码:** A

DOI:10.13580/j.cnki.fstc.2023.04.017

Spatial Structure Evolution and Mechanism Differences of Digital Innovation Networks in the Yangtze River Delta: from a Multi-Scale Perspective

Xuan Zeyuan, Duan Jinjun, Hua Yining, Yao Mengchao

(Business School, Soochow University, Suzhou 215000, China)

Abstract: This paper takes the Yangtze River Delta region as the research object, starting from the spatial scale of “province-city-county”, and analyzes the digital innovation distribution pattern and network structure characteristics of the Yangtze River Delta at different scales by using spatial correlation analysis, gravity force model, social network analysis, and uses QAP method to analyze the mechanism of difference of spatial network structure at different scales. The study found that the digital innovation activities presented obvious spatial differentiation patterns; city clusters and metropolitan areas are becoming the main spatial manifestations of digital innovation activities and networks; the formation and development of digital innovation networks in the Yangtze River Delta is the result of the interaction of various socio-economic factors. Based on this, policy recommendations for the construction of digital innovation networks are proposed, Localities should seize the Yangtze River Delta integration strategy to promote digital transformation through measures such as introducing digital talents and improving public transportation and digital infrastructure.

Key words: Yangtze River Delta; Digital innovation; Spatial distribution; Network structure; Social network analysis

基金项目: 教育部基地重大项目“城镇化进程中的新驱动力研究”(19JJD790008), 苏州大学课外学术科研基金重点项目“多尺度视角下长三角数字创新的空间分布特征及网络结构演化”(KY20220043A)。

收稿日期: 2022-05-16

作者简介: 玄泽源(1997—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济发展。

通信作者: 段进军

0 引言

随着信息技术与互联网的快速发展,数字技术创新应用正在成为区域与城市转型发展的重要特征,数字经济也正成为全球经济增长的核心驱动力并引领行业转型升级,形成全球新一轮产业竞争的制高点^[1]。2022年1月,国务院发布《“十四五”数字经济发展规划》明确指出,要坚持把创新作为引领数字经济发展的第一动力,促进数字技术向经济社会和产业发展各领域广泛深入渗透。在国内经济转型与国际竞争压力增大的双重背景下,数字技术作为数字经济与创新活动的直接表现形式,在地理空间上相互联系与作用,形成新的空间结构与形态,正在向着系统化与网络化范式发展^[2-4]。

从国内外创新研究进展看,创新作为区域和城市发展的主要动力,在区域层面的创新集群和网络一直是城市地理学研究的热点^[5]。国外学者对技术、全球研发网络^[6-7]等研究起步较早,近些年更关注创新网络^[8]、知识溢出^[9]与网络演化^[10]等议题;对于国内学者而言,创新研究虽不是国内经济地理学者的研究重点,但部分学者开始重视创新能力^[11]、知识经济^[12]等创新议题^[13]。随着社会经济发展向数字化转型,数字创新引发越来越多学者的关注,各种支撑数字经济发展的技术融合正在成为研究热点^[1]。数字技术创新正不断超越信息产业界域与互联网技术范畴,形成更加深入的技术经济融合和高质量发展效应^[14],向着网络化与系统化方向发展,数字创新发展演化的产物即为数字创新网络。创新网络是一种应对系统性创新而形成的制度安排,具有自我强化和稳定性强等特征^[15]。在开放合作、协同创新的趋势下,创新网络研究越来越受到重视,已成为演化经济地理学、创新地理学等学科的研究热点^[16]。学者先后从创新网络的格局演变、组织模式、生长机制、演化路径及机理等方面对创新网络进行深度剖析,当前国内的创新网络结构由“单中心放射”向“多中心网络化”转变,中心城市和城市群正在成为承载技术合作的主要空间形式^[16],且受地理距离的阻抗作用,突显出强烈的地理邻近性^[17],随着创新网络规模的扩大,创新技术扩散效率正在逐步提升^[18]。创新活动与创新网络具有多尺度

的空间模式^[19],国内外学者通常从不同尺度对创新网络展开研究。国外学者侧重对跨国创新网络与多中心创新网络进行研究^[20-21];国内学者更多关注不同尺度的创新网络结构研究,孙中瑞等从空间尺度入手,从大范围跨群与小范围群内视角探讨创新网络,认为二者的整体网络特性具有显著差异^[22]。研究方法上,空间计量模型^[14]、社会网络分析^[23]是创新网络结构的常用方法。

综上所述,国内外学者围绕创新网络展开深入探讨并取得了丰富成果,但仍存在以下待深化的内容:①在研究对象上,对数字创新网络结构演化及其影响机制的研究相对较少;②在研究时序上,多数研究多局限于截面数据的定量研究,对于连续的时空动态演化研究不足;③在研究尺度上,多数研究以城市或城市群为重点开展单一尺度创新网络分析,部分研究将尺度聚焦于区域-省域-市域层面,区县域创新网络的构建尚待加强。长三角作为创新资源高浓度集聚、基础设施高能级建设的发展强劲增长极,其数字化转型发展一直位居全国前列且长三角创新网络的突出功能在全国具有示范效应。2019年《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》将长三角规划为苏、浙、皖、沪四省市全部区域,共计41个城市、304个县市区,是我国区域一体化程度高、经济发展活力强、县域经济发达的地区之一。基于此,本文选取2007—2020年长三角相关行业企业的数字发明专利数据,以省域-市域-区县域为尺度分析长三角数字创新的空间格局,并采用修正的引力模型构建数字创新网络,通过社会网络分析方法揭示长三角数字创新网络分布及其演化特征并探究不同空间尺度的影响机制。以期研究成果能为长三角各省市及全国其他地区打造数字创新示范高地与推动数字化转型升级提供经验借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

专利是研发产出的主要体现形式,是衡量创新能力的重要指标^[16]。为了遵循数据选取的统一性与可靠性原则,准确衡量数字创新指标,文章参考孙勇等^[14]的研究成果,选取上市公司数字经济专利数量衡量区域数字创新水平,并根据企业的办公地址确定其所属区域。涉及行业包括计算

机、通信和其他电子设备制造业、电气机械和器材制造业、通用设备制造业、专用设备制造业、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业、电信、广播电视和卫星传输服务业、互联网和相关服务业、软件和信息技术服务业、广播、电视、电影和影视录音制作业9类数字创新相关行业,通过对数据的合并与整理得到了长三角区域2007—2020年的数字创新专利数据。

1.2 研究方法

(1)引力模型。数字创新的空间关联网不仅是数字创新规模在区域间关系的集合,也是进行社会网络分析的基础,本文在借鉴已有研究基础上,采用引力模型来刻画长三角地区数字创新空间联系网络。引力模型源自牛顿万有引力理论,遵循距离衰减原则,用来测度区域间相互作用,表征区域间联系程度^[24]。其基本形式为:

$$F_{ij} = k \frac{Q_i Q_j}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

式(1)单纯考虑地区间的地理距离对区域数字创新的空间关联程度,实际上,随着长三角区域一体化的发展与高铁的修建开通,地区时空距离正被不断缩短,因此本文引入地理距离与时间成本距离。地理距离以各地区几何重心的经纬度距离来表示,时间成本距离以区域间到达的最短时间来表示,省域尺度、市域尺度与不同市的区县域尺度时间成本距离采用省会城市之间、城市之间与区县域之间的高铁到达最短时间表示(没有高铁联系的年份与地区采用铁路或公路客运到达最短时间表示),同市情况下县域尺度的时间成本距离采用区县域之间公路客运最短时间表示。最短时间依据地区间铁路或公路里程除以平均时速计算,平均时速设定为高铁200km/h、铁路100km/h、高速公路120km/h、国道省道80km/h、县乡45km/h,由此计算得到地区间最短通行时间。

此外,由于传统引力模型测算的空间联系网络不具备方向性,这导致地区间引力强度是一致的^[25],但考虑到各地区数字经济发展的基础不同且创新活动具有很强的空间溢出效应,数字创新在地区间的交互作用会产生双向性与非对称性。为了突出长三角地区数字创新联系网络的有向性,本文对传统引力系数 k_{ij} 进行修正,采用某地区的数字创新活动占两个关联地区数字创新活动之和

的比重来表示,修正后的引力模型公式为:

$$F_{ij} = k_{ij} \frac{Q_i Q_j}{D_{ij}^2} \quad (2)$$

式中, $k_{ij} = \frac{Q_i}{Q_i + Q_j}$, $D_{ij} = \sqrt{K_{ij} T_{ij}}$, F_{ij} 为地区*i*、*j*之间数字创新活动的引力值, k_{ij} 为修正的引力系数, Q_i 、 Q_j 分别为*i*、*j*地区的数字创新活动数量, D_{ij} 为地区*i*、*j*之间的距离, K_{ij} 为地区*i*、*j*之间的地理距离, T_{ij} 为地区*i*、*j*之间的时间成本距离。

(2)变异系数。为了反映数字创新活动在长三角不同地区的规模差异与集中程度,本文引入变异系数进行测度。变异系数越大,区域数字创新活动的规模差异与离散程度越大。公式为:

$$C_v = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中, C_v 为变异系数, $\bar{x}$ 为数字创新活动的规模均值, n 为地区个数, x_i 为*i*地区数字创新活动的规模水平。

(3)空间相关性分析。空间相关性分析通常可理解为事物在空间上的依赖关系,通过空间相关性分析及ArcGIS可视化处理,能够直观地看出长三角地区数字创新活动的高低值集聚特征与分布格局。本文采用莫兰指数进行空间相关性检验。

(4)社会网络分析。社会网络分析是一种用于分析社会网络关系结构及其属性的研究方法,它可以对各种关系进行量化分析,并建立“宏观和微观”之间的桥梁。本文运用Ucinet6.0软件,利用网络密度、核心—边缘结构、凝聚子群分析、块模型分析等方法“点线面”多角度描述长三角不同尺度区域的数字创新网络特征及其演化趋势。

2 长三角数字创新的多尺度分析

2.1 数字创新分布格局的多尺度特征

长三角数字创新活动呈现平稳增长趋势,在2007—2010年增长缓慢,2011—2015年进入稳步增长期,2016—2017年有小幅回落,自2017年起数字创新活动迅速增加并保持着较快的增长速度。从增长率看,长三角数字创新活动的增长率在此期间虽有小幅波动,但总体保持着增长态势,这表明长三角地区数字创新越来越丰富,数字化程度正在不断提升。

(1)省域尺度。从省域尺度看,长三角的数字创新活动更多集中在江苏、浙江与上海,安徽省

的数字创新活动数量虽说不及上述两省一市,但是近年来也开始出现更多的数字创新活动。具体分析长三角三省一市的数字创新活动数量发现,江苏省在数字创新活动中保持着绝对的数量优势,占到51.02%,而数量最少的安徽省占比4.06%,二者相差12倍多。浙江省与上海市在此期间数字创新数量呈现波动上升趋势,正在逐步带动长三角社会经济的数字化转型。

(2)市域尺度。为了更好探寻长三角三省一市数字创新活动的内部差异与集聚程度,借助变异系数与莫兰指数,对长三角41个城市数字创新活动实际差异与空间关联进行深度剖析,见表1。数字创新的变异系数值自2007年起波动下降,在2017年后有所提高,城市数字创新水平目前正在呈现差距不断扩大的发展态势。其次,莫兰指数在2007—2020年期间有所上升,空间依赖性显著,换言之,长三角数字创新活动的空间分布正在城市尺度上不断集聚。值得注意的是,莫兰指数自2009年起开始出现显著,因此,下文分析着重于2009—2020年间数字创新的空间分布与网络演化。

表1 2007—2020年长三角城市尺度数字创新活动
空间分异及空间关联

年份	变异系数 (CV)	莫兰指数 (Moran'I)	年份	变异系数 (CV)	莫兰指数 (Moran'I)
2007	2.79	0.06	2014	1.54	0.29***
2008	2.49	0.05	2015	1.42	0.30***
2009	2.02	0.08*	2016	1.64	0.25**
2010	1.79	0.09*	2017	1.34	0.31***
2011	1.50	0.05*	2018	1.63	0.17**
2012	1.49	0.19**	2019	1.80	0.25***
2013	1.26	0.30***	2020	1.81	0.29***

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%显著性水平,下同。

长三角数字创新活动呈现明显的阶段性特征,城市镶嵌特征显著。在2009—2013年间,长三角数字创新变异系数不断下降,在此期间,数字创新活动在长三角地区更加广泛地发展,随着互联网信息技术发展与产业结构转型升级,越来越多的城市开始进入数字化发展进程,出现了数字创新相关活动,南京市、芜湖市、铜陵市、南通市、湖州市、金华市、绍兴市等均在数字创新数量上实现了质的突破。2013—2017年间,变异系数处于小幅波动状态,从空间上看数字创新的空间分

布特征仍然呈现扩散态势,其中江苏省数字创新活动分布的城市最为广泛,这也是省域层面江苏省占据数字创新数量绝对优势的重要原因。自2017年起,数字创新的变异系数值不断提高,与此同时,莫兰指数值也较上一阶段相比有所提高,空间上呈现出明显的分异特征,数字创新活动紧紧环绕在上海、杭州周围,逐渐形成了以上海—杭州、南京—合肥为主的数字创新空间分布格局,城市之间的镶嵌特征显著。

长三角数字创新活动在城市尺度上存在明显集聚特征,数字创新资源呈现向城市群、都市圈集聚的空间效应。长三角数字创新活动全局莫兰指数逐渐上升的同时显著性不断加强,这说明长三角数字创新资源在不断地向城市集聚。具体来看,上海、苏州、杭州、南京、合肥是长三角数字创新资源的主要集聚区,他们在2009—2020年期间集中了62.16%的数字创新专利。与此同时,数字创新资源向城市群、都市圈方向集聚正在成为长三角数字创新活动空间分布的新特征。长三角城市群共计26个城市组成,在2007—2020年间出现过数字创新活动的城市占到长三角城市群城市数量的73%,以上海大都市圈为中心的 digital 创新空间分布格局已初步形成,总体呈现数字创新活动以城市群、都市圈为中心的空间分布特征,这也说明了城市群是创新要素资源的主要集聚地。

(3)区县域尺度。全局莫兰指数并不能很好地显示长三角数字创新的局部集聚特征,因此本文使用局部莫兰指数并对长三角地区做出进一步区域细分,通过县域尺度分析长三角地区内部数字创新活动的局部集聚特征。分析结果显示,长三角地区局部集聚特征主要表现为以上海市辖区、苏州市辖区、昆山市、杭州市辖区为中心的高集聚区,这些区域及其所在城市也是当前长三角乃至全国数字化创新高地;高低离散区主要分布在江宁区、鸠江区、蜀山区、东阳市、椒江区等地,主要表现为当地数字创新活动丰富但是周围地区数字创新活力较低,在空间上呈现“孤岛状”分布格局。低高离散区主要为句容市、富阳市、泰兴市、张家港市、常熟市等地,这些地区周围区县数字创新水平较高,但是所受到的溢出效应不如预期,因此呈现低高集聚特征。

从成因看,高高集聚区经济发展水平、创

新能力等均高于其他县市区，且工业园区和高新技术开发区在此区域分布较为集中，近年来这些区县所在的城市大力推广数字化转型，例如上海市实施信息化发展与融合带动战略、杭州市大力发展智慧城市建设、苏州市正在通过工业互联网加速产业转型升级等等，数字化发展势头迅猛。此外，高高集聚区地理临近，由于创新的溢出效应使得这些区县能够在数字创新过程中相互学习借鉴。高低离散区虽说数字化创新能力强，例如江宁区所在的南京市近年来数字产业化份额位居江苏省第一、蜀山区所在的合肥市被评为科技示范城市，但是由于其经济发展水平与数字创新能力与周边地区差距较大及自身的辐射效应有限，所以并没有形成空间集聚发展由此呈现出“孤岛”格局。低高离散区形成的主要原因为并没有与周边数字创新能力强的县市区形成良好的联动效应，使得自身数字创新发展水平落后于周边地区。

2.2 数字创新时空网络演化的多尺度特征

(1) 省域尺度。依据长三角数字创新活动数量并构建引力模型，得到了多尺度视角下长三角数字创新空间关联网络。从省域尺度看，在 2009—2020 年间，长三角三省一市空间联系网络密度呈现出先下降、后上升的演变态势，数字创新在长三角的空间关联逐步加强，但密度变化过程具有波动性。平均网络密度从 2009—2012 年 0.34 下降到 2013—2016 年 0.32，随后在 2017—2020 年上升为 0.38。尽管网络密度整体上升，但是空间关联的紧密程度仍然偏低，数字创新在长三角内部的联动效应仍具有较大提升空间。

(2) 市域尺度。长三角省域内部发展不平衡，导致城市之间的创新协作能力不尽相同。因此，利用核心边缘结构、凝聚子群分析等方法探究长三角城市数字创新空间关系网络就显得至关重要，见表 2 与图 1。在表 2 与图 1 的分析中，已剔除了在相应年份没有发生数字创新活动的城市。

表 2 核心边缘分析

年份	2009 年	2013 年	2017 年	2020 年
核心区	杭州、上海、无锡	杭州、南通、上海、苏州	常州、杭州、南通、上海、苏州	常州、杭州、上海、苏州
边缘区	合肥、嘉兴、金华、南京、宁波、苏州、台州、温州、镇江	合肥、湖州、金华、丽水、南京、宁波、绍兴、台州、铜陵、温州、无锡、芜湖、扬州	蚌埠、合肥、湖州、嘉兴、金华、南京、宁波、绍兴、台州、温州、无锡、芜湖、盐城、扬州	蚌埠、合肥、湖州、嘉兴、金华、南京、南通、宁波、绍兴、台州、泰州、温州、无锡、芜湖、盐城、扬州、镇江

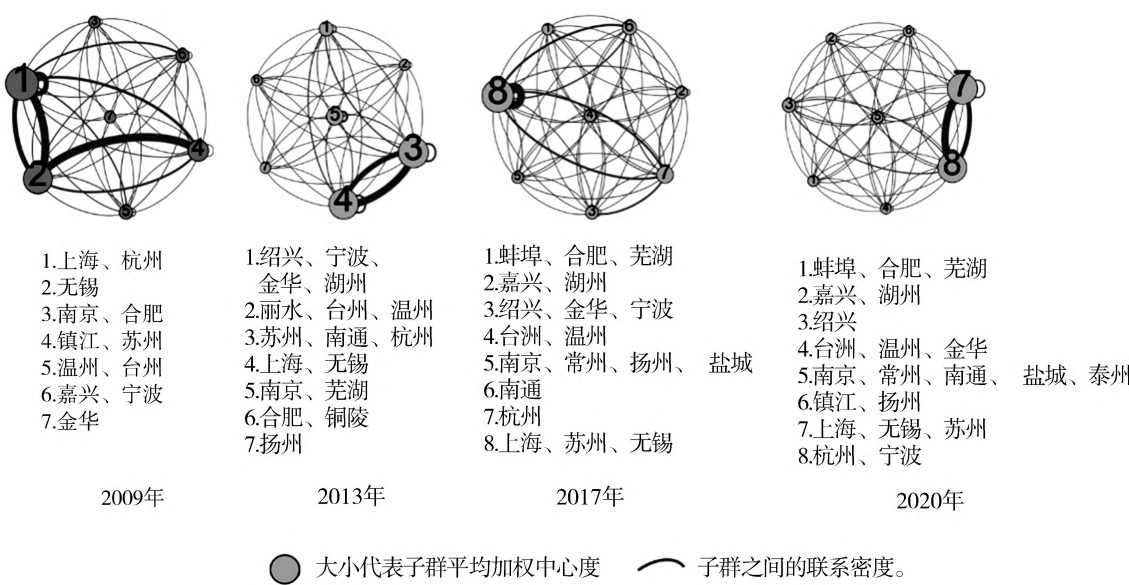


图 1 长三角城市数字创新网络凝聚子群构成及联系

长三角数字创新网络总体呈现出核心-边缘结构。在2009—2020年期间,核心区城市较为稳定,基本形成以上海-苏州-杭州为中心的核心区,而安徽省部分城市、江苏省中部城市与浙江省南部城市数字创新网络地位较低,位于边缘区。一方面,位于核心区的城市由于数字创新活动丰富,其产生的正向空间溢出效应使得核心节点城市数字创新联系更加紧密;另一方面,核心区地理临近,交通便利,频繁的交流与知识流动也能促进数字创新网络形成与发展。从凝聚子群分析看,核心区城市大多在同一子群或具有强联系的大规模子群中,城市间数字创新凝聚力较强,核心层级较为稳定。而边缘城市网络中心性较弱,由于数字创新活动数量相对较小与产业结构有待于向数字化方向转型,数字创新联系更多呈现边缘化的特征,这反映出长三角数字创新发展不平衡。

以上海-杭州为核心的长三角数字创新网络已初步形成,网络联系不断加强。从子群构成看,长三角数字创新网络在不同时段存在的子群个数不同,核心区子群城市规模虽有扩大,但是数量较少。以上海-杭州为中心的子群始终处于数字创新网络的核心位置,而其他城市所形成的子群平均加权中心度相对较小,子群发育缓慢,始终位于网络边缘。从子群演化过程看,长三角数字创新网络联系在不断加强,网络化程度有所提高,但边缘子群之间的联系密度有所下降,网络生长

呈现择优连接的特征,从而使中心节点城市在数字创新网络中的地位不断强化,目前已初步形成以上海-杭州为核心的长三角数字创新网络。

中心城市与城市群正在成为长三角数字创新网络的主要空间形式和重要支撑。以上海、杭州、苏州、无锡等中心城市作为重要节点、以长三角城市群作为主要支撑的长三角数字创新网络正在形成。这些中心节点城市自身经济发展水平高,创新能力强,在数字化转型与创新方面具有很强的经济基础。同时,这些城市交通便利、毗邻上海,强大的辐射能力与创新溢出效应使其容易跨越空间距离进行数字创新联系。此外,杭州市依托阿里巴巴等众多互联网公司,着力进行数字化转型发展,成为数字创新第一梯队,并对周边城市进行重要的数字创新扩散。而江苏省北部、浙江省南部及安徽省部分城市则在长三角地区数字创新空间联系网络中位于边缘区之外的位置,表现出孤立无援的特征。

(3)区县域尺度。长三角地区百强县市众多,其中2020年46个县域入围中国百强县,县域经济发展所带来的创新力量不容小觑。因此为了进一步探究区县市的数字创新空间结构,笔者将长三角行政区域进一步划分并分为市辖区、县级市和县域三种类型,使用ArcGIS构建引力模型并利用块模型分析数字创新关联网络中的结构特征与交互关系,结果如图2所示。

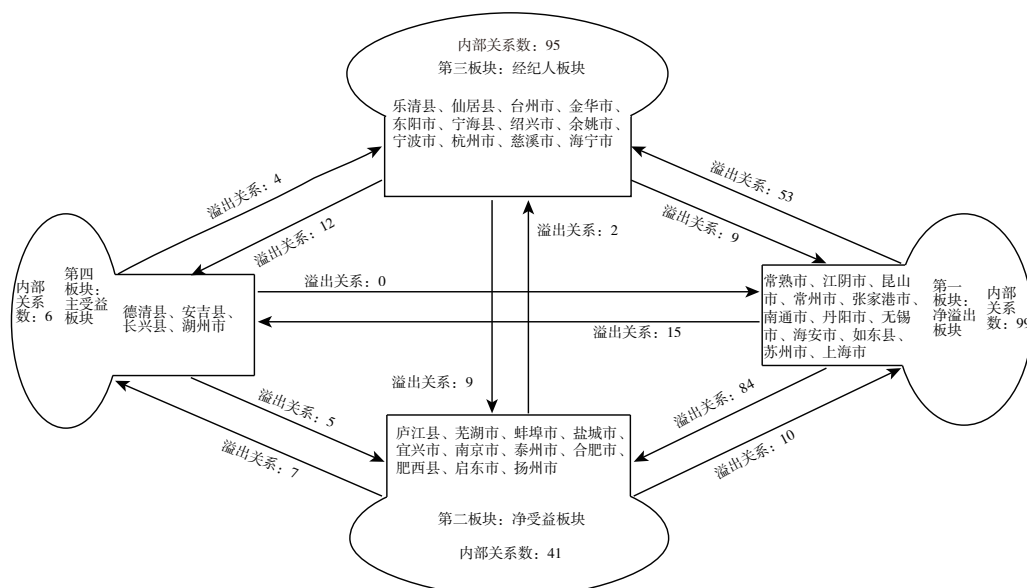


图2 块模型分析

研究发现,2009—2020年,长三角数字创新网络化程度不断提升,整体呈现以上海市辖区、杭州市辖区为中心向周边辐射的特征。2009年数字创新网络整体水平偏低,以上海市辖区为中心向周围发散,联系强度有待提升,同期无锡市辖区的数字创新能力较强,但长三角数字创新网络尚未真正形成。2013年,数字创新网络双核心结构初步显现,苏州市辖区、昆山市接受了更多来自上海市辖区的辐射,无锡市辖区的辐射来源对象逐渐由上海转为苏州;以杭州市辖区为中心的辐射范围主要以浙江省内县市区为主;同时在长三角中部形成了以南京辖区、合肥蜀山区和芜湖鸠江区为首的次中心。2017年长三角有更多县市区参与到数字创新网络当中,数字创新网络也由此变得更为复杂。江阴市、常熟市数字创新联系强度增强;苏州市辖区、昆山市与以浦东新区为首的上海市辖区互相辐射,小区域内形成了三角形的数字创新网络结构;杭州市辖区数字创新辐射能力进一步增强,辐射范围逐渐扩大至长三角城市群区域。2020年以滨江区、西湖区为首的杭州湾区域与上海浦东新区、闵行区为中心的 digital 创新网络节点辐射能力不断扩大,网络密集度进一步增加,数字创新网络在空间上呈现辐射范围广、网络集中度高的特点。

利用块模型分析进一步研究发现,以2020年为例长三角县域数字创新关联网络虽然整体上呈现全局关联特征,但是板块之间分化严重,具有“俱乐部”集聚效应。从板块内部具体看,第一板块内部关系系数为99,发出关系系数为152,接受其余板块关系系数为19,实际内部关系比例为39.44%,大于期望内部关系比例28.95%,是净溢出板块。板块区县大多位于江苏省南部及上海地区,经济基础雄厚,科研院所众多,数字创新辐射能力较强。第二板块内部关系系数为41,发出关系系数为19,接收其他板块关系系数98,实际内部关系比例为68.33%,期望内部关系比例26.32%,是净受益板块。其中第一板块对其溢出关系系数为84,占其接收总数的85.71%,第二板块的县市区与第一板块地理临近,多数区县与第一板块同属长三角城市群,受到上海市辖区及苏南百强县域的数字创新辐射,近年来数字经济快速发展,数字创新竞争力不断上升。第三板块内部关系系数为95,发出关

系数为30,接收其他板块关系系数59,实际内部关系比例为76.00%,期望内部关系比例28.95%,可见,第三板块不仅对其他板块溢出,也接收来自其他板块的关系,因此为经纪人板块。第三板块大致分布在浙江省北部县市区,一方面,该板块与上海、苏南地区地理临近,受到数字创新辐射显著;另一方面,以杭州、宁波县市区为首的浙江省北部本身经济基础好,数字化程度高,因此在长三角数字创新空间关联溢出路径中充当桥梁作用。第四板块内部关系系数为6,发出关系系数为9,接收其他板块关系系数34,实际内部关系比例为40.00%,期望内部关系比例7.89%,是主受益板块,其接受的数字创新空间辐射主要来自第三板块,以浙江省内部县市区辐射为主。

数字创新网络的节点地位与经济发展水平息息相关。辐射能力强的区域多位于上海市辖区、江苏省南部、浙江省北部,而其他地区的数字经济辐射力和吸引力都较为有限。这反映了长三角数字创新具有不平衡的特点,同时在县域尺度上进一步印证了创新活动在不断地向着主要城市与城市群集聚。

2.3 不同尺度的空间分类对比分析特征

长三角数字创新及网络结构在不同尺度的空间分布上呈现出一定的差异性与共性,主要体现在以下方面。

(1)随着空间尺度缩小,数字创新活动的空间分布呈现由分散向集中的演化趋势,空间分布不平衡。从三大空间尺度的比较来看,省域层面江苏省在数字创新活动中有着绝对优势;市域层面表现为数字创新活动向城市群与都市圈集聚;区县域层面则形成了以浦东新区和滨江区为代表的数字创新高地。随着空间尺度的不断缩小,数字创新活动的空间分布呈现由大范围分散向小范围点状集聚的特点,空间分布差距不断扩大。

(2)不同地区在多尺度空间视角下数字创新网络结构与地位呈现不匹配的特征。从省域尺度来看,江苏省的功能与地位位居长三角数字创新网络中心,但是在市县域层面却形成了以浦东新区为代表的上海市辖区与以杭州滨江区为代表的杭州湾区域为中心的双核心数字创新网络,江苏省的主要城市特别是以苏州市、无锡市等为首的苏南地区,数字创新网络的形成主要以接受辐射为主,

从省域到区县不同地区在数字创新网络中扮演的角色不同,由此呈现出不同地区在多尺度视角下数字创新网络结构与地位不匹配的特征。

(3)数字创新正在呈现出向主要城市和城市群集聚的特点。无论是数字创新活动空间分布还是数字创新网络结构演化,均集中在上海市、江苏省南部、浙江省北部与安徽省部分城市,这与长三角城市群及都市圈分布范围大致重合,上海市、杭州市、苏州市等主要城市与城市群正在成为数字创新活动的发生高地与主要空间表现形式,数字创新活动所形成的创新网络正在不断向城市群与都市圈集聚。

3 多尺度下长三角数字创新网络空间结构差异的机制分析

区域数字创新网络的形成与发展是多种社

会经济因素相互作用的结果。本文采用二次指派程序 QAP 方法对 2009 年和 2020 年数据进行分析,以此探究多尺度长三角数字创新空间网络结构的机制差异。由上文分析可知,数字创新网络的形成具有明显的地域性特征,因此,本文将地理邻近 (*DIS*) 作为影响长三角数字创新空间网络的因素之一,将相邻区域设为 1,反之为 0,以此构建地区空间邻接矩阵。其次,社会经济因素也是影响数字创新空间网络的重要环节,因此,本文将运用经济发展水平差异 (*PGDP*)、产业结构差异 (*IST*)、政府投入差异 (*EXP*)、基础设施建设差异 (*INF*)、对外开放程度差异 (*OPEN*) 来衡量社会经济因素在不同空间尺度下对数字创新网络空间结构的影响差异,结果见表 3。

表 3 多尺度下长三角数字创新空间网络的驱动因素回归结果

变量	2009 年			2020 年		
	省域	市域	区县域	省域	市域	区县域
<i>DIS</i>	0.5366 **	0.0709 *	0.1072	0.6069	0.1556 **	0.2071 ***
<i>PGDP</i>	-0.0329	-0.0055	-0.0077	-0.8215	-0.0936 *	-0.0036
<i>IST</i>	0.0055 **	-0.0840 *	-0.0572 **	-0.0011	-0.0795	-0.0002
<i>EXP</i>	-0.9703 **	0.5467 ***	0.6078 ****	-0.9554 **	0.1369 ***	0.2565 **
<i>INF</i>	0.4303	-0.3382 ***	-0.1144 **	0.8483	-0.0249 **	-0.0372 **
<i>OPEN</i>	-0.0854	-0.0268	-0.2733 **	-0.5733	-0.009	-0.0985 **
adj-R ²	0.57	0.48	0.52	0.69	0.42	0.65

回归结果显示,随着空间尺度和时间尺度的变化,不同驱动因子对长三角数字创新空间网络影响的方向与程度也发生了变化,具有明显的差异化特征。具体而言,地理邻近对区域加强数字创新联系具有重要作用,邻近区域具有更频繁的互动和更显著的空间溢出效应,随着时间的推移和空间尺度的缩小,地理作用变得更为显著。经济发展水平会对创新空间网络产生负向影响,随着空间尺度的缩小,地区邻近的经济发展水平相当但是城市、区县的经济水平不断分化,致使影响强度减小,但影响效果并不显著。政府投入的差异也会显著影响数字创新空间网络的形成发展,较大差异导致长三角地区间数字创新关联强度的下降。换言之,政府投入结构相近的区域会拥有更强的数字创新空间关联。从产业结构差异、基

础设施建设差异和对外开放程度的差异来看,不同空间尺度下的作用大小和影响效果并不相同。产业结构差异在 2009 年具有显著性,但是随着长三角各省市和区县产业结构的升级,这种差异对数字创新空间网络的发展影响正在逐渐减弱。基础设施建设差异和对外开放程度差异在不同空间尺度下产生了影响分异。这说明,一方面数字创新蓬勃的发展离不开完善的新型基础设施建设,对外开放也为数字创新提供了交流平台和外资支持;另一方面相近的基础设施和对外开放结构是产生强关联的数字创新网络的重要因素。

长三角数字创新网络的多尺度差异机制是受到地理、社会经济等因素的共同推动。一方面,上海、杭州等城市及其市辖区数字经济发展起步早,科技创新实力强,溢出效应明显,其周边地

区受地理临近的影响数字创新发展较好,因此造成了市际、区县际网络空间结构的差异;另一方面,长三角内部省际差异、市际差异与区县际差异较大,这种差异会随着空间的缩小不断放大,体现在各地区的外资引进、新型基础设施建设与政府财政支出结构上,由此导致数字创新空间发展不平衡,表现为多尺度下长三角数字创新网络空间结构具有显著差异。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)长三角数字创新活动呈现明显的空间分异格局。从省域角度看,江苏省数字创新活动丰富而安徽省的数字创新活动相对较少;从市域角度看,长三角数字创新活动在上海、苏州、杭州、南京、合肥等城市形成集聚分布格局,空间依赖性显著;在区县域尺度上,以上海市辖区、苏州市辖区、昆山市、杭州市辖区为中心形成高高集聚区,而江宁区、鸠江区、蜀山区、东阳市、椒江区等地在空间上呈现“孤岛状”分布格局。

(2)长三角数字创新网络范围日趋扩大,辐射能力显著增强,上海与杭州成为长三角数字创新网络的核心地区。从凝聚子群分析看,长三角数字创新网络联系不断加强,网络化程度有所提高,中心节点城市在数字创新网络中的地位不断强化。从块模型分析看,以杭州湾区与上海为中心的数字创新网络节点辐射范围不断扩大,网络密集度进一步增加,数字创新网络在空间上呈现辐射范围广、网络集中度高的特点,目前已初步形成以上海-杭州为核心的长三角数字创新网络。

(3)长三角城市群与都市圈正在成为数字创新活动及网络的主要空间表现形式。从数字创新的空间分布格局看,2007—2020年长三角数字创新城市占长三角城市群数量的73%,数字创新资源呈现以城市群、都市圈为中心集中的空间分布特征;从数字创新网络结构看,上海、杭州、苏州、无锡等城市是长三角数字创新网络的重要节点,长三角城市群是数字创新网络的重要支撑,二者共同支撑长三角数字创新网络的形成与发展。

(4)地理、社会经济等差异是影响长三角数字创新网络形成与多尺度差异的重要因素。地理邻近、经济发展水平、产业结构、政府投入、基础

设施建设、对外开放程度等因素均会对数字创新网络结构产生影响,同时各地区的外资引进、新型基础设施建设与政府财政支出结构也造成了不同尺度的空间差异。

4.2 建议

(1)加强长三角内部跨区域数字创新网络建设,优化数字资源配置。数字创新在长三角内部发展差距不断扩大,为实现区域数字创新网络建设,应当在长三角数字创新相对落后的城市选取有发展基础与经验的城市,重点加强此类城市与核心城市之间的数字创新合作,通过核心城市带动初步发展城市、初步发展城市带动边缘城市的模式加快城市之间的衔接。鼓励企业在数字创新初步发展城市进行产业投资,财政资金适当向当地数字化企业与数字化研发机构倾斜;此外,皖北、苏北、浙南等地区应当积极加强智慧城市、工业互联网等数字基础设施建设,以实现良性的数字创新网络合作对接。

(2)加大长三角数字核心城市的培育力度,进一步加强地区之间互联互通,促进知识的溢出与流动。杭州与上海等城市在长三角数字创新中扮演着重要角色,加快数字创新资源向杭州、上海等城市集聚,不仅能够增强数字创新凝聚力,还可以降低创新成本。构建长三角数字创新网络,首先要发挥核心城市的资源集聚作用,不断提高中心城市的网络中心度与地位。同时要积极培育南京、合肥等网络次级城市,通过跨区域数字分工协作等方式打造一批数字创新次增长极,不断提高城市的数字创新水平与辐射能力。

(3)深化长三角一体化改革,优化数字功能分工,提高数字创新网络的构建效率。上海、杭州等城市要进一步提升数字创新的服务功能,以数字龙头企业为依托加快引导金融资源、外资对数字创新的支持。苏州、无锡等城市要发挥制造业、科教等优势,一方面要引导制造业数字化转型,鼓励企业接入工业互联网,培养数字创新人才,为数字创新提供储备力量。落后地区特别是皖北、苏北、浙南等区域要尽快抓住一体化契机,发挥生态资源、广阔腹地等特色,与中心城市保持密切联系,通过引进数字人才、改善交通、发展工业互联网等措施加快数字化转型,争取成为数字创新要素外溢的承接土壤。

参考文献:

- [1]陈晓红. 数字经济时代的技术融合与应用创新趋势分析[J].中南大学学报(社会科学版),2018,24(5):1-8.
- [2]刘丹,闫长乐. 协同创新网络结构与机理研究[J].管理世界,2013(12):1-4.
- [3]于明洁,郭鹏,张果. 区域创新网络结构对区域创新效率的影响研究[J].科学学与科学技术管理,2013,34(8):56-63.
- [4]CASTELL M. Therise of network society[M].London;Blackwell Oxford,2009.
- [5]吴志强,陆天赞. 引力和网络:长三角创新城市群的空间组织特征分析[J].城市规划学刊,2015(2):31-39.
- [6]STORPER M. The limits to globalization: technology districts and international trade[J].Economic geography,1992,68(1):60-93.
- [7]STORPER M. Regional "worlds" of production; learning and innovation in the technology districts of France, Italy and the USA[J]. Regional studies,1993,27(5):433-455.
- [8]FRENKEN K, BOSCHMA R A. A theoretical framework for evolutionary economic geography: industrial dynamics and urban growth as a branching process[J].Papers in evolutionary economic geography,2007,7(5):635-649.
- [9]GERTLER M S. Tacit knowledge and the economic geography of context, or the undefinable tacitness of being (there)[J].Journal of economic geography,2003,3(1):75-99.
- [10]TURKINA E, ASSCHE A V, KALI R. Structure and evolution of global cluster networks: evidence from the aerospace industry[J]. Journal of economic geography,2016,16(6):1211-1234.
- [11]何舜辉,杜德斌,焦美琪,等. 中国地级以上城市创新能力的时空格局演变及影响因素分析[J].地理科学,2017,37(7):1014-1022.
- [12]王腾飞,谷人旭,马仁锋. 知识溢出研究的“空间性”转向及人文与经济地理学议题[J].经济地理,2020,40(6):47-59.
- [13]曾刚,王秋玉,曹贤忠. 创新经济地理研究述评与展望[J].经济地理,2018,38(4):19-25.
- [14]孙勇,樊杰,刘汉初,等. 长三角地区数字技术创新时空格局及其影响因素[J].经济地理,2022,42(2):124-133.
- [15]FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues[J].Research policy,1991,20(5):499-514.
- [16]周锐波,邱奕锋,胡耀宗. 中国城市创新网络演化特征及多维邻近性机制[J].经济地理,2021,41(5):1-10.
- [17]段德忠,杜德斌,谌颖,等. 中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究[J].地理科学,2018,38(11):1759-1768.
- [18]张路蓬,薛澜,周源,等. 战略性新兴产业创新网络的演化机理分析: 基于中国2000—2015年新能源汽车产业的实证[J].科学学研究,2018,36(6):1027-1035.
- [19]张凯煌,千庆兰,陈清怡. 多尺度视角下中国新能源汽车产业创新空间格局及网络特征[J].地理科学进展,2021,40(11):1824-1838.
- [20]NONI I D, ORSI L, BELUSSI F. The role of collaborative networks in supporting the innovation performances of lagging-behind European regions[J].Research policy,2018,47(1):1-13.
- [21]BALLAND P A, BOSCHMA R A, CRESPO J, et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification[J].Social science electronic publishing,2019,53(9):1252-1268.
- [22]孙中瑞,樊杰,孙勇. 群内和跨群双视角下成渝城市群合作创新网络时空演化研究[J].地域研究与开发,2022,41(1):26-31,44.
- [23]陈清怡,千庆兰,姚作林. 广东省城市创新发展水平及其网络结构演化[J].经济地理,2021,41(4):38-47.
- [24]李梦程,王成新,刘海猛,等. 黄河流域城市发展质量评价与空间联系网络特征[J].经济地理,2021,41(12):84-93.
- [25]冯颖,侯孟阳,姚顺波. 中国粮食生产空间关联网络的结构特征及其形成机制[J].地理学报,2020,75(11):2380-2395.

(责任编辑 申秋红)