

王庆喜, 胡志学. 多维邻近下浙江城市创新网络演化及其机制研究 [J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1380-1388. [Wang Qingxi, Hu Zhixue. Urban innovation network of Zhejiang from the perspective of multidimensional proximities. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1380-1388.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.08.009

多维邻近下浙江城市创新网络演化及其机制研究

王庆喜, 胡志学

(浙江工业大学经济学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 以浙江 90 个县级城市(城区)为对象, 基于大数据专利文本挖掘析取城市间合作申请专利数, 构建创新网络, 采用空间网络模型和负二项回归模型分析 2007—2017 年浙江城市创新网络的网络结构、时空演化及创新合作强度的影响机制。研究发现: ① 浙江城市创新网络规模逐渐扩张, “小世界性”显著, 通达性较好, 整体呈以杭州湾区为核心的“网络局部化、辐射中心化”特征, 等级层次性清晰; ② 浙江城市创新合作强度与经济规模、教育水平、政策支持、技术势差、城市行政等级、技术邻近性、边界相邻效应显著正相关且受地理距离约束, 认知邻近性和制度邻近性与创新合作间分别呈“U”型和倒“U”型曲线关系, 网络效应更多在整体网层面上促进了创新合作。在特定省份县级城市层面探讨了如何加强城市创新网络协同效应, 以促进地方城市间的创新联系。

关键词: 城市创新网络; 创新合作; 多维邻近; 浙江

中图分类号: F129.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2021)08-1380-09

流空间时代, 创新不再是“本地创新”, 创新主体更倾向于同其他创新主体合作^[1], 从而形成各种层面上的创新网络。在全球-地方网络视角下, 单个城市作为网络节点正加速嵌入到创新网络中, 成为技术创新“孵化器”与知识流动“中转站”^[2]。浙江力图成为新时代展示中国特色社会主义制度优越性的“重要窗口”, 目前正在由城市化向城市网络化方向发展, 希望通过加强城市间创新协同效应, 实现新旧动能转换和经济结构优化。因此, 探讨浙江城市创新网络的特征及其演化机制, 不仅可以为浙江本省如何更好地展示“窗口”效应提供参考, 同时对中国其他省(市、区)通过完善城市创新网络来提升区域创新水平给出借鉴。

从前人研究来看, 对创新网络的定量刻画多为基于论文合作数的知识合作网络^[3]和具有定向性的技术转移关系网络^[4]等; 研究主体涉及微观层面的企业^[5]、产学研合作^[6]以及宏观层面的城市群、国家乃至全球。鉴于论文合作主要偏向科学知识, 专利合作更多偏向技术知识^[3], 而经济活动受技术知识的影响更为直接, 因此在区域创新网络研究中广泛使用专利合作数据^[7]。城市创新网络作为

区域创新网络的分支, 更重视小尺度城市间的创新合作交流。目前国内对城市创新网络的研究多集中在国家^[8]和城市群层面^[9], 典型如京津冀^[10]、长三角^[11]、粤港澳大湾区^[12]等, 节点城市多以地级市为主, 对于较小尺度, 如单个省内县级城市创新网络的研究尚不太多。相关研究也多从“格局-过程-机理”层面展开^[13], 内容涉及创新网络的网络复杂性^[14]、个体网和整体网拓扑特征^[15]等, 对演化机制剖析相对较少^[16]。

多维邻近与创新一直都是演化经济地理学关注的焦点。20 世纪 90 年代, 法国邻近动力学派提出的“多维邻近性”概念指出地理邻近不再是影响知识和创新要素流动的唯一要素^[17]。Boschma 将邻近性划分为地理、组织、社会、认知和制度邻近性^[18]。相关研究大多揭示出 Boschma 等人提出的多维邻近性在不同程度上对创新网络演化具有促进作用^[19,20]。然而邻近性的影响并非完全静态, 过度邻近导致的“锁定效应”往往会导致“邻近悖论”, 随着创新主体所处阶段不同邻近性会产生倒“U”型或“U”型影响^[21]。总体来看, 多维邻近性被认为是综合作用于创新网络形成与知识流动的基本动

收稿日期: 2020-06-29; 修订日期: 2020-10-14

基金项目: 浙江省自然科学基金一般项目(LY18G030043)资助。[Foundation: Zhejiang Natural Science Foundation (LY18G030043).]

作者简介: 王庆喜(1976-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 博导, 主要从事技术创新与区域经济发展研究。E-mail: wqx1976@zjut.edu.cn

力,目前多数研究仍集中讨论地理集聚与创新关系,对于多维邻近性与创新网络演化非线性关系的考察较为薄弱,需要进行深入探索。

综上,本文基于浙江省 90 个县级城市单位的多年专利合作数据,构建城市间的创新网络,描述整体网络结构及其空间演化,并运用负二项回归模型考察了创新网络的合作影响机制,最后得出本文的结论及政策建议。本文的特色主要包括:一是在研究像浙江这样的省内城市创新网络时,除少数研究采用论文合作数外,前人多基于引力模型来构建城市间创新联系^[22],且多在市级层面。当前,专利合作数据成为测度创新联系的主流^[23],且在演化经济地理强调尺度更为精细化的研究导向下^[13],基于县级城市的专利合作创新网络研究无疑能够得到更为直接和精确的结果。二是前人研究城市创新网络多在国家和大区(如长三角地区等)层面展开,针对省级层面的研究较少。由于省级层面上创新政策和资源更容易协调,因此其实际效果更为明显,现实意义更强。三是从多维邻近视角考察创新网络演化机制仍是当前演化经济地理学的热点,本研究在这方面有望推进相关研究进展。

1 研究方法

1.1 模型构建

前人多采用修正后的空间互动作用模型(或引力模型)来衡量区域间创新联系。本文基于空间互动模型原理^[24],将所考察网络作为无向网络看待,构建城市间创新网络的影响机理模型如下:

$$Y_{ij,t} = \alpha_0 + \sum_{q \in Q} \beta^q A_{i,t}^q + \sum_{r \in R} \gamma^r B_{j,t}^r + \sum_{p \in P} \theta^p D_{ij,t}^p + \sum_{l \in L} \varphi^l control_l + v_{ij,t} \quad (1)$$

式中, $Y_{ij,t}$ 为主体间创新联系水平,由 t 年城市 i 和城市 j 合作申请专利数得到; α_0 为模型常数项; $A_{i,t}^q$ 为 t 年城市 i 的第 q 个特征属性变量; β^q 为对应待估系数; q 为变量索引集 Q 中的元素; $B_{j,t}^r$ 为 t 年城市 j 的第 r 个特征属性变量; γ^r 为对应系数; r 为变量索引集 R 中的元素; $D_{ij,t}^p$ 表示 t 年城市 i 和城市 j 之间的第 p 维邻近性; θ^p 为相应的距离效应系数; p 为变量索引集 P 中的元素; $control_l$ 为控制变量; φ^l 为待估系数; l 为变量索引集 L 中的元素; $v_{ij,t}$ 为

随机扰动项。本文被解释变量为城市间合作申请专利数,存在大量 0 值,为得到无偏估计,借鉴前人研究,本文选择负二项回归进行参数估计^[25,26]。

1.2 变量测度

1) 创新合作强度。合作申请专利数能更好地体现创新网络中节点的创新联系,是表征知识共享最直接有效的方式^[27]。本文采用大数据文本挖掘方法,基于国家知识产权局公布的数十万份专利文件,利用 R 语言文本分析整理出 2007—2017 年浙江各县级城市(城区)专利申请数据,并从中辨识、析取各城市间联合申请专利数据。

2) 双边城市特征变量。创新受益于知识的交流和互动,是人才和资金等要素协作的结果。创新主体包括大学、科研院所等,创新活动需要资金等资源投入,同时还需要地方政府在制度上给予支持。据此,本文将经济发展水平(人均 GDP, $pergdp$)、教育水平(教育支出, edu)、政策支持(科学技术支出, $policy$)作为特征变量来控制城市资源异质性对主体间创新合作强度的影响。

3) 多维邻近。借鉴 Boschma 等前人研究结果^[18],本文中的多维邻近除了传统的地理邻近外,还包括技术、制度和认知邻近。其中,地理邻近用 2 种方式进行衡量,一是利用城市间的球面距离($gDistance$)表征地理距离,二是使用虚拟变量区分边界邻近效应($border$),若 2 市交界则取值为 1,否则为 0。

技术邻近性($tDistance$)衡量城市间在技术知识上的相同程度,这里用基于专利分类体系的结构相似系数进行测度,其计算公式如下:

$$T_{ij} = \sum_{k=1}^8 H_{ikt} H_{jkt} / (\sum_{k=1}^8 H_{ikt}^2 \sum_{k=1}^8 H_{jkt}^2) \quad (2)$$

式中, T_{ij} 为城市 i, j 之间的技术邻近值; H_{ikt} 为城市 i 在 t 年第 k 类 IPC 分类号中的专利申请数; H_{jkt} 为城市 j 在 t 年第 k 类 IPC 分类号中的专利申请数。技术邻近值取值 0~1,越接近于 1 表明城市间技术邻近性高。

制度邻近性($sDistance$)基于城市的市场化程度来衡量。相似的制度环境下创新主体的激励相容,从而有利于双方合作。市场化程度高的城市其创新主体的积极性也高,更鼓励人才等创新要素的自由流动,从而加强城市间的创新联系。参考前人研究^[28],这里基于历年来的《中国市场化指数》报告^[29],测算出各城市的市场化程度平均值,继而

得出城市间的市场化结构相似度,最后将均值和相似系数相乘得到城市间制度邻近程度的测度^[30]:

$$I_{ij} = \left[\sum_{k=1}^9 P_{ikt} P_{jkt} / \left(\sum_{k=1}^9 P_{ikt}^2 \sum_{k=1}^9 P_{jkt}^2 \right) \right] \times (S_{it} S_{jt} / 2) \quad (3)$$

式中, I_{ij} 为城市 i, j 间的制度邻近值; P_{ikt} 为 t 年城市 i 第 k 个指标值; P_{jkt} 为 t 年城市 j 第 k 个指标值; S_{it} 和 S_{jt} 分别表示 t 年城市 i 和 j 的市场化程度指数。

认知邻近性(cDistance)反映创新主体在交流时的认知理解一致性。参考前人研究,本文通过构建城市间产业结构相似度来衡量认知邻近性^[31]。利用考察期内各城市制造业大类的工业总产值数据^[32],剔除核燃料加工业、烟草制造业等数据缺失大的行业,基于余下的 21 个行业产值数据,测算出城市间的认知邻近水平。具体公式如下:

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^{21} F_{ikt} F_{jkt} / \left(\sum_{k=1}^{21} F_{ikt}^2 \sum_{k=1}^{21} F_{jkt}^2 \right) \quad (4)$$

式中, C_{ij} 为城市间的认知邻近值; F_{ikt} 和 F_{jkt} 分别为 t 年城市 i 和城市 j 第 k 个行业的工业总产值。

4) 网络效应。本文测算了整体网(NETstruc)和个体网(NETchar)2 个层面的网络结构相似度。前者利用结构洞指标、聚类系数等进行计算,后者利用介数中心性、邻近中心性、度中心性以及特征向量中心性指标等进行计算。在网络特征指标基础上,参考结构相似系数公式计算出网络结构相

似度。

5) 控制变量。城市间的技术差距和所属级别会影响到它们的网络地位和创新合作,因此控制变量需要纳入这些因素的影响。考虑到创新主体从开始接触到协作成功需要时间,且不同性质的专利申请周期相差较大,本文使用城市双方前 1 a 专利申请量之差,并取其绝对值来表示城市间的技术差异水平(differ)。同时,用虚拟变量来表示城市行政级别(grade),若城市为市辖区则赋值为 1,反之为 0。

2 浙江省城市创新整体网络的演化分析

2.1 创新网络结构性特征分析

浙江城市创新整体网络规模扩张较快,集聚性有所提高但仍不强,“小世界”特性明显。如表 1 所示,2007—2017 年浙江城市创新网络的节点数从仅占有县级单位数量的一半逐步提升至 89 个,网络节点数接近饱和;节点间关系数同样呈持续递增态势,增幅远超节点增幅;各年份网络密度均小于 0.1,研究期间内从 0.016 增加至 0.077,区域内创新网络整体结构松散,空间层面上呈弱连接状态;平均度数增长最快,节点间的创新联系也越来越紧密,创新网络逐渐由稀疏网络成长为稠密复杂网络;网络直径逐渐减小且均小于随机网络直径,说明创新网络存在一定的集聚性,但平

表 1 2007—2017 年创新整体网络结构性指标

Table 1 Overall innovative network structure indicators in 2007-2017

年份	关系数	节点数	网络密度	网络直径	平均度数	平均路径长度	平均聚类系数
2007	64.0	47.0	0.016	7(10)	2.73	2.81	0.13
2008	101.0	62.0	0.025	6(10)	5.51	2.75	0.15
2009	109.0	64.0	0.027	7(10)	5.16	2.67	0.14
2010	132.0	72.0	0.033	6(10)	6.73	2.62	0.16
2011	109.0	63.0	0.027	6(11)	7.67	2.66	0.22
2012	149.0	75.0	0.037	5(8)	12.87	2.46	0.21
2013	159.0	80.0	0.039	6(7)	17.13	2.60	0.17
2014	199.0	82.0	0.049	5(7)	21.13	2.57	0.23
2015	249.0	85.0	0.061	5(6)	29.27	2.47	0.23
2016	255.0	85.0	0.063	5(6)	34.22	2.38	0.25
2017	310.0	89.0	0.077	5(6)	40.62	2.43	0.27

注:网络直径表示网络中距离最长的2个节点间经历的边数,括号内数值为相同节点数和关系数下随机网络的统计特征值;平均度数即平均而言单节点与网络中其他节点间相互联系的个数;平均路径长度即网络中任意2个节点间经历最少边数的平均值。

均聚类系数最大值仅为 0.27, 整体集聚性较弱。创新网络平均路径长度数值缓慢下降且整体小于随机网络, 说明浙江城市创新网络呈现“小世界”特性。随着时间推移“小世界”特性更加明显, 节点间交流合作更加通畅无阻碍。这应该是浙江省加强区域协同联系、交通和通讯成本降低的结果。

2.2 创新网络空间演化分析

从创新网络的空间演化来看, 由单中心结构趋向复杂化结构。本文以 2007 年和 2017 年为研究期限终端, 取 2007 年、2012 年和 2017 年 3 个时间节点来考察演变态势。其依据为: 2007 年在 2008 年金融危机前, 2012 年 11 月国家召开了“十八大”, 更加重视区域协同发展, 且 2012 年也大致处在中点位置, 2017 年 10 月召开了“十九大”, 因此, 以这 3 个节点进行划分, 阶段性特征相对明显且合理。分析结果表明, 2007 年浙江城市创新网络呈“单中心辐射”状, 创新合作中心集中在杭州市西湖区、下城区, 以杭州各区为中心向周边辐射, 网络整体水平偏低, 浙北、浙西等地参与创新合作较少。2007—2012 年, 参与创新合作的城市数量逐年增加, 创新网络变得更为复杂。至 2012 年, 杭州市各区原本较强的核心结构更趋明显, 同期宁波市各区的次中心地位有一定程度提升, 舟山、丽水等地仍处在创新合作边缘, 创新合作活动稀少。至 2017 年, 基本上所有县区均参与到创新网络合作中去, 空间上整体呈现出“网络局部化、辐射中心化”的复杂特征, 杭州湾区城市占据强核心地位, 向外辐射知识溢出频繁, 宁波、温台沿海城市间创新网络密集性次之, 浙西城市间创新网络最为稀疏。这说明城市间的创新联系空间格局大体上受到它们经济联系空间格局的影响。

进一步考察发现, 节点的经济地位也大致反映了其创新地位。强核心和次强核心地区多位于浙北及浙东南沿海地区, 这些地区有着雄厚的经济实力和较强的创新能力, 说明经济基础可以在一定程度上反映创新网络地位; 浙南和浙西多位于边缘和次边缘层, 经济发展水平相对落后, 距杭州湾区城市较远; 从行政单元级别来看, 市辖区网络等级地位居高, 其中省会市辖区集中在最核心区, 其原因可能在于这些城市拥有较多数量的高校和研究机构。一般来说, 城市间创新联系同城市经济发展水平具有一定相关性^[7], 经济越发达的城市, 其创新氛围和创新条件越好, 与其他城市的交

流活动更多, 在网络中的等级地位往往也高。

3 浙江省城市创新合作强度影响机制分析

首先对各种模型设定进行 Hausman 检验, 发现其 P 值都远小于 0.05, 因此本文使用固定效应的负二项回归模型对城市创新合作强度进行回归(表 2)。

根据以上实证分析结果, 可以发现, 城市特征、多维邻近和网络效应均对城市创新合作强度有着不同的显著影响。基于包含所有变量影响的模型 7 的分析结果, 得到其影响机制(图 1)。

综合多个模型结果, 从城市主体属性来看, 经济规模系数和教育水平系数均显著为正, 说明经济越发达、城市教育水平越高越有利于创新交流合作; 政策支持系数为正但显著性稍差, 说明科学技术支出对城市间创新合作强度有一定程度的促进作用但效果不太明显。这可能是因为创新交流合作多属市场化行为, 政府科学技术支出到创新成果之间的转化效率不高, 有待进一步提升。

从多维邻近性来看, 空间距离回归系数显著为负, 边界邻近系数显著为正, 说明地理邻近性对城市间创新合作有显著促进作用, 地理距离对创新合作的阻碍作用非常明显, 这与 Maskell 等人的研究指出地理距离会削弱知识溢出正向外部性的观点相合^[33], 也从侧面证实了“地理邻近死亡论”起码在浙江城市创新合作的发展过程中并不成立。创新合作这一强互动过程需要双方大量的实体接触, 地理邻近无疑减少了创新交流的空间阻碍。技术邻近系数显著为正, 表明技术邻近性对主体间创新合作有显著促进作用。城市在隐性知识上的匹配有利于双方的创新合作, 知识交流过程更为流畅和高效。

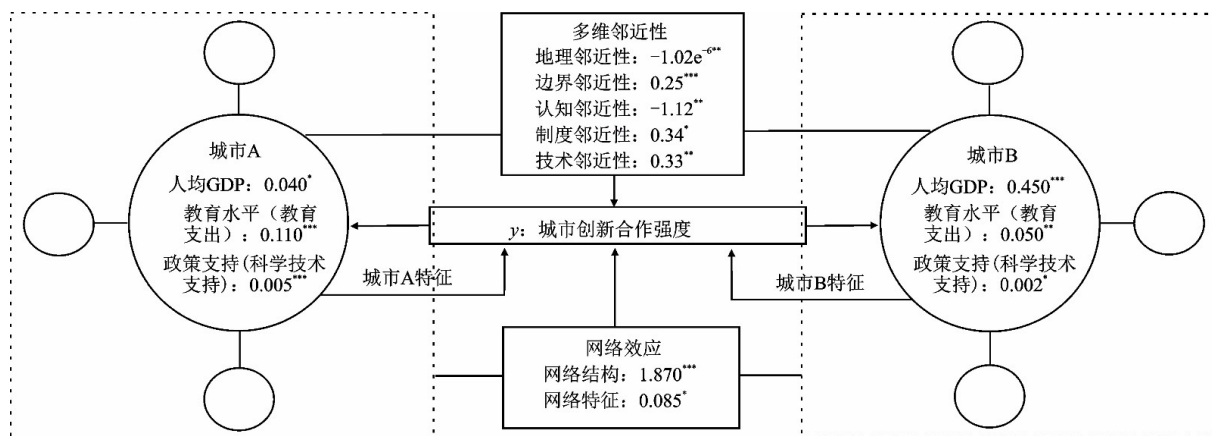
值得注意的是, 认知邻近有显著为负的一次项系数和显著为正的二次项系数, 表明其与创新合作存在着“U”型关系。也就是说, 当认知邻近处在较低水平时, 不利于创新合作, 但随着城市间认知邻近水平的提高, 其对创新合作强度的积极效应会越来越大。制度邻近性一次项系数基本显著为正而二次项系数显著为负, 说明制度邻近性与创新合作强度呈倒“U”型关系。这说明制度邻近在较低范围内对创新合作强度有促进作用, 但其

表2 创新合作强度负二项回归模型估计结果

Table 2 Estimated results of innovative cooperation magnitude for negative binomial regression model

变量类别	变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7
经济发展水平	<i>pergdp1</i>	0.313***			0.225**			0.041*
	<i>pergdp2</i>	0.875***			0.712***			0.445***
教育水平	<i>edu1</i>	0.124***			0.100**			0.111***
	<i>edu2</i>	0.106***			0.093***			0.054**
政策支持	<i>policy1</i>	0.005***			0.002			0.005***
	<i>policy2</i>	0.006***			0.005***			0.002*
地理邻近性	<i>gDistance</i>		-2.5e-6***			-4.75e-6***		-1.02e-6**
	<i>border</i>		0.236**			0.272**		0.251**
认知邻近性	<i>cDistance</i>		-2.127***			-1.867***		-1.122***
	<i>cDistance</i> ²		2.051***			1.655***		1.468***
制度邻近性	<i>sDistance</i>		0.671***			0.399*		0.343*
	<i>sDistance</i> ²		-1.700***			-1.052***		-1.122***
技术邻近性	<i>tDistance</i>		0.910***			0.513***		0.327**
网络效应	<i>NETstruc</i>			2.457***			2.178***	1.871***
	<i>NETchar</i>			0.034*			0.011***	0.085*
控制变量	<i>grade</i>				0.369***	0.603***	0.359***	0.013*
	<i>differ</i>				5e-4***	9e-4***	7e-4***	4e-4***
常数项		-4.191***	-0.321*	-2.813***	-4.004***	-1.091***	-0.321***	-0.386***
Log likelihood		-4930.0	-5186.0	-4875.0	-4887.0	-4978.0	-4771.0	-4691.0
Wald $\chi^2(6)$		622.0	129.0	553.0	717.0	587.0	786.0	953.0
Hausman <i>P</i>		<1e-4	<1e-4	<1e-4	<1e-4	<1e-4	<1e-4	<1e-4

注：*pergdp*为经济发展水平，1和2代表城市1和2，下同；*edu*为教育水平（教育支出）；*policy*为政策支持（科学技术支出）；*gDistance*为城市间的球面距离表征地理距离；*border*为边界邻近效应；*cDistance*为认知邻近性；*sDistance*为制度邻近性；*tDistance*为技术邻近性；*NETstruc*为整体网的网络结构相似度；*NETchar*为个体网的网络结构相似度；*grade*为城市行政级别；*differ*为城市间的技术差异水平；*、**、***分别表示显著性水平 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ ；变量系数栏为空白表示该变量没有纳入回归模型，故无系数。



注：*、**、***分别表示显著性水平 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ ；空圈表示网络中其他有联系的城市

图1 浙江城市创新合作强度影响机制

Fig.1 Impact mechanism of innovative cooperation among Zhejiang cities

边际效应在加速递减。其原因可能是在市场化初期, 制度环境的相似性有助于增强创新主体间的信任, 降低地方保护主义对跨区域创新合作的阻碍, 从而为企业间沟通交流减少制度成本, 但这种“制度红利”随着双方市场制度的不断完善, 将会迅速下降。

从创新网络特征来看, 两大网络属性系数都是显著为正, 表明网络效应对城市间创新合作强度有显著促进作用。当城市间网络特征、网络结构相似度较高时, 知识交流更为顺畅。网络结构相似度效应及其显著性高于网络特征相似度, 说明就城市本身网络个体特征而言, 网络结构属性对城市间创新合作的影响更为明显, 网络效应更多地体现在整体层面上。其政策涵义是, 要关注整体网络结构优化, 以点带面, 点面结合, 发挥中心城市的“领头羊”作用。

从控制变量来看, 技术势差、城市行政等级系数均显著为正, 说明创新合作主要集中在自身创新能力较强的城市间, 弱势创新主体倾向与创新能力较强的城市交流合作, 整体呈两极分化状态; 同时从浙江省的城市空间体系来看, 高等学校、科研院所、高技术企业等多处于地级市的市辖区, 而这些市辖区通常又为创新网络枢纽, 其他县级城市在这方面处于天然劣势。

4 结论

本文以浙江省 90 个县(市、区)为研究对象, 基于 2007—2017 年合作申请专利数据构建浙江城市创新网络, 采用大数据文本分析、空间网络分析、负二项回归等方法析取数据并建立模型, 系统分析了浙江城市创新网络的网络结构、时空演化及创新合作强度的影响机制, 得出以下结论:

1) 从网络演化来看, 网络规模不断扩张, 网络结构渐趋复杂。2007—2017 年, 浙江城市创新网络规模逐渐扩张, 由稀疏网络趋向于稠密复杂网络, 表现出区别于随机网络的“小世界”性, 网络整体上具备较好的通达性, 但仍有提升空间。创新网络空间格局整体上呈现出以杭州湾区城市为核心的“网络局部化、辐射中心化”特征, 有清晰的等级层次。以杭州市市辖区为核心, 宁波、温州、金华等为次核心的“中心-外围”结构越发凸显, 浙西城市则居于创新网络边缘。

2) 从影响机制来看, 不同维度的邻近性对城市创新合作强度的影响各异, 此外, 城市特征和网络效应也有着显著影响。浙江城市创新合作强度与经济规模、教育水平、政策支持显著正相关, 技术势差、城市行政等级存在正向推动作用。地理邻近性、边界相邻是影响创新合作的正向因素。认知邻近性与创新合作间呈现“U”型关系, 说明在认知邻近处于较低水平时, 不利于创新合作, 但随着城市间认知邻近水平的提高, 其对创新合作强度的边际效应越来越强。与此相反, 制度邻近性与城市间呈倒“U”型曲线关系, 说明制度邻近在较低范围内对创新合作强度有促进作用, 但其作用随着城市间市场制度的完善将越来越弱。技术邻近性的作用为正, 说明技术结构上的相似性可以促进城市间的技术交流。网络效应也具有正向作用, 这中间, 较之于城市网络个体特征而言, 城市网络结构特征对城市间知识交流的促进作用更为明显, 网络效应更倾向于整体层面, 这说明要重点关注网络整体结构的发展完善, 突出核心城市的“领头羊”作用。

3) 从政策涵义来看, 根据实证分析结果, 为加强浙江各县级城市间的创新合作, 一是需要加快建设城际间的交通基础设施建设, 降低因地理距离而产生的知识交流成本。浙江已经建成了比较完善的高速公路网, 目前正在建设的杭绍台、杭温高速铁路有望进一步缩短空间旅行时间, 从而减少地理距离对创新合作的阻滞作用。二是吸引创新人才, 加强产业研发, 尤其是基础性的共性产业技术开发, 以夯实城市间创新合作的认知基础, 提高技术上的交流邻近性。这对于浙西、浙南创新水平较低的城市来说意义尤甚, 因为认知和吸收水平低就很难承接技术上的外溢, 需要突破一定门槛。三是打破城市间的行政藩篱, 缩小城市间的制度距离, 促进技术人才、创新要素在各城市间的交流, 实现技术市场一体化和创新平台的协同。四是从整体上优化创新网络格局, 在进一步提高城市间创新合作强度的基础上, 突出杭州、宁波等创新型城市的中心地位, 强化台州、温州、金华等次中心的功能作用, 通过极化和辐射效应实现以点带面的效果, 以最大化知识的空间外部效应。本文的研究结论和政策涵义对国内其他省份通过完善城市创新网络来提高省份创新水平也有着一定的借鉴意义。

参考文献(References):

- [1] 周灿, 曹贤忠, 曾刚. 中国电子信息产业创新的集群网络模式与演化路径[J]. 地理研究, 2019, 38(9): 2212-2225. [Zhou Can, Cao Xianzhong, Zeng Gang. Cluster network model and evolution path of China's electronic information industry innovation. *Geographical Research*, 2019, 38(9): 2212-2225.]
- [2] 段德忠, 杜德斌, 刘承良. 上海和北京城市创新空间结构的时空演化模式[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1911-1925. [Duan Dezhong, Du Debin, Liu Chengliang. Spatial-temporal evolution mode of urban innovation spatial structure: A case study of Shanghai and Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1911-1925.]
- [3] 李丹丹, 汪涛, 魏也华, 等. 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[J]. 地理研究, 2015, 34(3): 525-540. [Li Dandan, Wang Tao, Wei Yehua et al. Spatiotemporal complexity of the structure of scientific knowledge networks and technical knowledge networks in Chinese cities. *Geographical Research*, 2015, 34(3): 525-540.]
- [4] 刘承良, 管明明, 段德忠. 中国城际技术转移网络的空间格局及影响因素[J]. 地理学报, 2018, 73(8): 1462-1477. [Liu Chengliang, Guan Mingming, Duan Dezhong. The spatial pattern and influencing factors of China's inter-city technology transfer network. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1462-1477.]
- [5] Maskell P. Towards a knowledge-based theory of the geographical cluster[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2001, 10(4): 921-943.
- [6] 马艳艳, 刘凤朝, 孙玉涛. 中国大学-企业专利申请合作网络研究[J]. 科学学研究, 2011, 29 (3): 390-395 + 332. [Ma Yanyan, Liu Fengchao, Sun Yutao. Research on China university-enterprise patent application cooperation network. *Scientific Research*, 2011, 29 (3): 390-395 + 332.]
- [7] 周灿, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市创新网络结构与创新能力研究[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1297-1308. [Zhou Can, Zeng Gang, Cao Xianzhong. Chinese inter-city innovation networks structure and city innovation capability. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1297-1308.]
- [8] 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. [Duan Dezhong, Du Debin, Shen Ying et al. Study on the spatiotemporal complexity and growth mechanism of China's urban innovation network. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1759-1768.]
- [9] 马双, 曾刚. 网络视角下中国十大城市群区域创新模式研究[J]. 地理科学, 2019, 39(6): 905-911. [Ma Shuang, Zeng Gang. Regional innovation models of China's ten major urban agglomerations from the perspective of network. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(6): 905-911.]
- [10] 吕拉昌, 孟国力, 黄茹, 等. 城市群创新网络的空间演化与组织——以京津冀城市群为例[J]. 地域研究与开发, 2019, 38 (1): 50-55. [Lyu Lachang, Meng Guoli, Huang Ru et al. The spatial evolution and organization of the urban agglomeration innovation network: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Areal Research and Development*, 2019, 38 (1): 50-55.]
- [11] 殷德生, 吴虹仪, 金桩. 创新网络、知识溢出与高质量一体化发展——来自长江三角洲城市群的证据[J]. 上海经济研究, 2019(11): 30-45. [Yin Desheng, Wu Hongyi, Jin Zhuang. Innovation network, knowledge spillover and high quality integration development—Evidence from Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Shanghai Economic Research*, 2019(11): 30-45.]
- [12] 刘心怡. 粤港澳大湾区城市创新网络结构与分工研究[J]. 地理科学, 2020, 40(6): 874-881. [Liu Xinyi. Structure and division of urban innovation network in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(6): 874-881.]
- [13] 周灿, 曾刚, 尚勇敏. 演化经济地理学视角下创新网络研究进展与展望[J]. 经济地理, 2019, 39(5): 27-36. [Zhou Can, Zeng Gang, Shang Yongmin. Research progress and prospect of innovation network from the perspective of evolutionary economic geography. *Economic Geography*, 2019, 39(5): 27-36.]
- [14] 鲜果, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市间创新网络结构及其邻近性机理[J]. 世界地理研究, 2018, 27 (5): 136-146. [Xian Guo, Zeng Gang, Cao Xianzhong. Innovative network structure and its proximity mechanism in Chinese cities. *World Geographic Research*, 2018, 27 (5): 136-146.]
- [15] 苟德轩, 沙勇忠. 产学研合作创新网络结构测度与分析[J]. 情报杂志, 2013, 32 (6): 191-197. [Gou Dexuan, Sha Yongzhong. Measurement and analysis of network structure of industry-university-research cooperation innovation. *Journal of Information*, 2013, 32 (6): 191-197.]
- [16] 潘峰华, 方成, 李仙德. 中国城市网络研究评述与展望[J]. 地理科学, 2019, 39(7): 1093-1101. [Pan Fenghua, Fang Cheng, Li Xiande. The progress and prospect of research on Chinese city network. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1093-1101.]
- [17] Torre A, Gilly J P. On the analytical dimension of proximity dynamics[J]. *Regional Studies*, 2000, 34(2): 169-180.
- [18] Boschma R. Proximity and innovation: A critical assessment[J]. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [19] Balland P A, Belso-Martínez, José Antonio et al. The dynamics of technical and business knowledge networks in industrial clusters: Embeddedness, status, or proximity?[J]. *Economic Geography*, 2016, 92(1): 35-60.
- [20] Broekel T, Hartog, Matté. Explaining the structure of inter-organizational networks using exponential random graph models[J]. *Industry & Innovation*, 2013, 20(3): 277-295.
- [21] 夏丽娟, 谢富纪, 王海花. 制度邻近、技术邻近与产学研协同创新绩效——基于产学研联合专利数据的研究[J]. 科学学研究, 2017, 35(5): 782-791. [Xia Lijuan, Xie Fuji, Wang Haihua. In-

- stitutional proximity, technical proximity, and industry-university collaborative innovation performance: A study based on industry-university joint patent data. *Scientific Research*, 2017, 35(5): 782-791.]
- [22] 徐梦周, 潘家栋. 浙江省域经济联系与创新联系的空间形态及分异演化格局[J]. *浙江社会科学*, 2019(4): 36-44+68+156. [Xu Mengzhou, Pan Jiadong. Spatial pattern and differentiation evolution of regional economic connection and innovation connection in Zhejiang Province. *Zhejiang Social Sciences*, 2019(4): 36-44+68+156.]
- [23] 叶琴, 曾刚. 不同知识基础产业创新网络与创新绩效比较——以中国生物医药产业与节能环保产业为例[J]. *地理科学*, 2020, 40(8): 1235-1244. [Ye Qin, Zeng Gang. The comparison of innovation networks and innovation performance between different knowledge-based industries: Taking China's biomedical industry and environmental industry as examples. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(8): 1235-1244.]
- [24] Scherngell T, Hu Y. Collaborative knowledge production in China: Regional evidence from a gravity model approach[J]. *Regional Studies*, 2011, 45(6): 755-772.
- [25] 王若宇, 黄旭, 薛德升, 等. 2005-2015 年中国高校科研人才的时空变化及影响因素分析[J]. *地理科学*, 2019, 39(8): 1199-1207. [Wang Ruoyu, Huang Xu, Xue Desheng et al. Spatio-temporal change of faculty members of higher education institute and its influential factors in China in 2005-2015. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(8): 1199-1207.]
- [26] 张丽, 韩增林. 大连市文化企业的空间分布变化与区位影响因素[J]. *地理科学*, 2020, 40(4): 665-673. [Zhang Li, Han Zenglin. The spatial variation and location influencing factors of cultural firms in Dalian City, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(4): 665-673.]
- [27] Huallachain B Ó, Lee D S. Urban centers and networks of co-invention in American biotechnology[J]. *The Annals of Regional Science*, 2014, 52(3): 799-823.
- [28] 党兴华, 弓志刚. 多维邻近性对跨区域技术创新合作的影响——基于中国共同专利数据的实证分析[J]. *科学学研究*, 2013, 31(10): 1590-1600. [Dang Xinghua, Gong Zhigang. The impact of multidimensional proximity on cross-regional technology innovation cooperation —Empirical analysis based on Chinese common patent data. *Scientific Research*, 2013, 31(10): 1590-1600.]
- [29] 樊纲, 王小鲁, 朱恒鹏. 中国市场化指数[M]. 北京: 经济科学出版社, 2011. [Fan Gang, Wang Xiaolu, Zhu Hengpeng. *Indexes on Chinese marketization*. Beijing: Economic Science Press, 2011.]
- [30] 刘凤朝, 楠丁. 地理邻近对企业创新绩效的影响[J]. *科学学研究*, 2018, 36 (9): 1708-1715. [Liu Fengchao, Nan Ding. The impact of geographical proximity on enterprise innovation performance. *Studies in Science of Science*, 2018, 36 (9): 1708-1715.]
- [31] 段德忠. 中国城市技术转移的空间演化研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2018. [Duan Dezhong. *Study on the spatial evolution of urban technology transfer in China*. Shanghai: East China Normal University, 2018.]
- [32] 国家统计局. 国民经济行业分类(GB/T 4754—2017)[EB/OL]. [2017-09-29]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/hyflbz/201710/t20171012_1541679.html. [National Bureau of Statistics. *Classification of national economic industries*. [2017-09-29]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/hyflbz/201710/t20171012_1541679.html.]
- [33] Maskell P, Malmberg A. Localised learning and industrial competitiveness[J]. *Cambridge Journal of Economics*, 1999, 23(2): 167-185.

Urban Innovation Network of Zhejiang From the Perspective of Multidimensional Proximities

Wang Qingxi, Hu Zhixue

(School of Economics, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Taking ninety county-level cities in Zhejiang Province as geographical units, this article uses spatial analysis and negative binomial regression model to examine the structure, spatio-temporal evolution and impact mechanism of Zhejiang city innovative network from 2007 to 2017, with the data of co-application patents based on big text data mining. The study finds that: Firstly, the scale continues to expand and the structure becomes more and more complex in network evolution. In the study period, the scale of Zhejiang city innovative network has been growing from a sparse network to a dense network, but it is still underdeveloped. The network acts as small-world feature which is superior to random network, and the whole network has good accessibility and communication efficiency. Innovative network shows core-periphery pattern which is centralized, localized, and hierarchical, centers around Hangzhou Great Bay Area, leaves western Zhejiang cities in the edge. Secondly, as for impact mechanism, proximity of different dimension has different impact on the level of city innovative cooperation. In addition, city characteristics and network effects also have significant impacts. The intensity of city innovative cooperation in Zhejiang Province is significantly positively correlated with their economic scale, education level and policy support, and the technological gap and the administrative level also play a positive role. Geographical proximity and border proximity are positive factors affecting innovation cooperation. The relationship between cognitive proximity and innovative cooperation is u-shaped, which indicates that when cognitive proximity is at a low level, it is not conducive to innovation cooperation. However, with the increase of inter-city cognitive proximity, its marginal effect on innovative cooperation becomes more and more strong. On the contrary, relationship of innovative cooperation and institutional proximity shows an inverted 'U-shaped' curve, indicating that institutional proximity has a positive effect on innovative cooperation level at a lower level, but its effect will become weaker with the improvement of city market system. Technology proximity shows a positive effect, indicating that the similarity of technology structure makes the knowledge interaction among the cities more smoothly. Third, network effects play a positive role in promoting inter-city innovative cooperation. Compared with individual node network characteristics, network structure characteristics formed by cities surrounding the nodes play a more significant role in promoting cooperation. Innovative network more inclined to show the overall effect, so we should focus on the optimization of network structure, taking the advantage of role of core node.

Key words: urban innovation network; innovation cooperation; multidimensional proximities; Zhejiang Province