

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2023.03.011

成渝地区双城经济圈知识创新网络结构研究^①

刘叶¹, 侯兰功¹, 何小勤²

1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010; 2. 湖州师范学院 经济管理学院, 浙江 湖州 313000

摘要: 创新是城市与区域发展的核心动力, 城市创新体系是提升区域创新能力的重要支撑, 以科研合著论文为媒介的创新网络是研究城市创新系统的重要视角. 以 2006—2020 年成渝地区双城经济圈城市间论文合著数据构建知识创新网络, 运用社会网络分析方法对该区域知识创新网络的整体特征、网络中心度和网络结构等方面进行分析, 从而揭示成渝地区双城经济圈知识创新网络的动态演化规律. 研究发现: ①该区域整体网络密度偏低, 呈现缓慢增长趋势, 整体网络凝聚力不断增强, 呈现“小世界”特性; ②知识创新网络从“单中心、低层次”发展为“多中心、多层次”, 双核城市成都和重庆创新极化效应显著, 节点城市的中心性均有提升; ③知识创新网络结构呈现“核心-边缘”特征, 区域内创新联系多发生在核心区的节点城市, 空间分布不均衡, 呈现出西部紧密、东部稀疏的格局.

关键词: 成渝地区双城经济圈; 合著论文; 知识创新网络; 社会网络分析

中图分类号: F129.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2023)03-0074-10

Research on Knowledge Innovation Network Structure of Chengdu-Chongqing Economic Circle

LIU Ye¹, HOU Langong¹, HE Xiaoqin²

1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010, China;

2. School of Economics and Management, Huzhou Normal University, Huzhou Zhejiang 313000, China

Abstract: Innovation is the core power of urban and regional development. The urban innovation system is an important support to improve regional innovation ability, and the innovation network based on scientific research co-authored papers is an important perspective to study the urban innovation system. This paper constructed a knowledge innovation network based on the co-authorship data of Chengdu-Chongqing economic circle between 2006—2020, using the social network analysis method on the overall characteristics of the regional knowledge innovation network, network center, network structure was analyzed, so as to reveal the dynamic evolution law of Chengdu-Chongqing economic circle and the knowledge innovation network. The results showed that: ①The overall network density in this region was low, showing a slow growth trend, and the overall network cohesion was increasing, showing a “small world” characteristic; ②The knowledge innovation network develops from “single-center, low-level” to “multi-center, multi-level”. The innovation polarization effect of dual-core cities Chengdu and Chongqing was significant, and the centrality of node cities was improved. ③The structure of the knowledge innovation network was core-

① 收稿日期: 2022-06-01

基金项目: 2019 年度浙江省哲学社会科学规划课题重点课题(19NDJC003Z); 浙江省科技厅软科学课题(2018C35063).

作者简介: 刘叶, 硕士研究生, 主要从事区域发展与城市规划研究.

edge. The innovation links in the region mostly occur in the node cities in the core region, and the spatial distribution was unbalanced, showing a tight pattern in the west and sparse in the east.

Key words: Chengdu-Chongqing economic circle; co-authored paper; knowledge innovation network; social network analysis

在世界经济发展转型和全球化发展浪潮中,创新日益成为各国经济发展的主要着力点,也是推动城市和区域社会发展的重要力量^[1].在知识经济的背景下,创新要素和创新资源快速交流,协同创新活动频繁发生,各种横向和纵向的创新联系相互交错,形成的区域创新网络正在映现^[2].城市群作为区域创新发展的空间载体^[3],区域内城市创新发展网络化^[4-5],能够突破城市资源禀赋的局限,以“借用规模”的方式^[6]更好地吸引创新要素的聚集和扩散^[4],促进区域内创新要素的有效流动,对创新资源进行优化配置,进而推进区域创新能力的提升.区域间的创新网络关系蕴含着一定的地域形态与空间特性^[7],其结构的形成规律和演化对区域发展具有重要影响^[5].

合著论文和合作专利是科技创新与发展的重要成果,也是衡量地区科技进步程度的标准.目前的研究主要是利用城市间科技合作成果模拟城市间创新关系,以论文数据库和专利数据库为数据来源,挖掘城市间合著论文数量和合作专利数量等,建立城市间创新联系矩阵,构建创新网络^[8].目前,区域创新网络的研究集中于创新网络的数据选择构建及网络结构的分析和演化两个方面.一方面,学者们从各个层面对创新网络数据的选择构建进行了深入探讨. Matthiessen 等^[9]基于科学引文索引(1997—1999)数据对全球研究中心的实力、相互关系和节点性进行分析,其研究发现,全球合作网络的顶级节点是伦敦和旧金山湾区,洛杉矶、波士顿和纽约构成第二级节点,其中节点城市中中心性最突出的研究中心为圣地亚哥、西雅图、波士顿、纽约和旧金山湾区. Cao 等^[10]运用 2014 年城市间联合专利申请数据建立中国城市间技术创新网络,研究发现,中国城市创新网络呈现出“核心-边缘”结构和大分散、小集聚的空间格局;同时受胡氏线的约束,创新网络的等级制度表现为东高西低. 桂钦昌等^[11]利用 2017 年高被引合作论文数据建立全球城际科研合作网络,其研究发现,全球城市科研合作网络空间呈现以北美、西欧、东亚和澳大利亚为顶点的四边形格局,网络拓扑结构呈现出以北美、欧洲和亚太城市的三极格局,轴辐式和分布式结构特征并存. 周灿等^[12]基于 2014 年全国 292 个地级市城市间合作发明专利信息为数据构建中国城市创新网络,从网络资本与城市创新关系进行探讨,发现城市创新网络具有小世界特征和择优连接性. 另一方面,学者们利用社会网络分析法、复杂网络分析法等研究创新网络的中心性和凝聚子群等网络特征,探究创新网络动态演化,揭示网络形成的空间演化规律. Ribeiro 等^[13]利用 2009 年授予的 167 315 项美国专利商标局专利及其引用的论文,分析在创新网络中中心位置的跨国企业如何在全球范围内与大学和其他公司互动. 吴素春等^[14]以湖北省论文合著数据,运用社会网络分析和地理信息系统技术等,研究得出,湖北省科研协作网络呈“V”字形的一极多核的网络格局. 李建成等^[15]以 2000—2015 年长三角城市群论文合作数据构建科学知识网络,得出长三角城市群科学知识整体网络结构指标间呈幂率函数关系,长三角城市自我中心网络的度分布为“钟”分布. 许培源等^[16]研究运用 Web of Science 数据库的论文数据研究粤港澳大湾区知识创新网络,发现该区域知识网络从“广州、香港”双核结构演化为“广州、深圳、香港”三角形结构,并形成了“广州-东莞-深圳-香港”大湾区东部沿海创新集聚带,整体呈现“多中心、多节点、多子群”的格局.

综上所述,以合著论文为研究数据的知识创新网络和以专利数据为研究数据的技术创新网络,从不同角度反映了城市的创新能力. 论文数据较专利数据来说,具有前瞻性和科学代表性. 科研合作有着明显的社会互动属性^[17],合著作者间的关系映射到城市间的空间联系,反映的是区域内城市间进行知识分享、知识创造的创新联系、创新要素、创新资源的吸收和转化. 以知识创新流空间视角探究区域内城市网络结构与空间格局,为城市间协同创新发展提供新的思路^[18],同时,切合国家创新发展战略的需求. 在构建国内国际双循环相互促进的新发展格局的背景下,成渝地区双城经济圈未来作为促进社会经济发展,推动科技创新和产业结构升级的新发展高地. 本文以成渝地区双城经济圈为研究单元,以知识创新流视角探讨区域内城际间组织逻辑和空间结构,以城市为尺度,区域内城际间合著论文为切入点,参考马海涛^[8]构建科技成果异城合作关系的方法,构建成渝地区双城经济圈知识创新网络,以城市网络研究范式探讨其网络结构及

空间演化过程, 并进行实证研究分析, 以期为成渝地区双城经济圈制定区域创新协同机制, 以及西部地区城市创新网络建设与区域创新发展和管理提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究以《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》中的 16 座城市为研究对象, 研究时间为 2006—2020 年, 选取国际期刊数据库, 如 Web of Science(WOS)核心合集数据库(<https://www.webofscience.com>)、国内期刊数据如万方数据知识服务平台数据库(<https://www.wanfangdata.com.cn>)、中国知网(<https://www.cnki.net/>)及维普网(<http://www.cqvip.com/>)等多源数据, 确保数据的科学性和稳定性. 在数据库设置检索条件, 对 16 座城市进行两两城市检索, 通过数据清洗、去重等即可得出区域内城市间的合著论文数量. 根据检索的合著论文作者单位住址信息, 将 2 个及 2 个以上论文作者机构所在地信息映射到 16 座城市的地理空间上, 整理汇总得到成渝地区双城经济圈城市间知识创新网络. 纵观成渝地区的发展历程: 2006 年, 《西部大开发“十一五”规划》发布, 提出建设成渝经济区; 2011 年, 国务院批复《成渝经济区区域规划》; 2016 年, 国务院批复同意《成渝城市群发展规划》; 2020 年, 中共中央政治局审议《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》. 以每 5 年为时间节点, 同时考虑政策文件发布的时间基础, 能够更好厘清区域内创新合作状态, 选取 2006 年、2011 年、2016 年和 2020 年时间截面数据, 探究研究期内区域创新网络的组织结构演化特征.

1.2 社会网络分析法

社会网络分析法(social network analysis, SNA)描述群体关系的结构、社会网络中行为主体之间的互动关系及其合作网络的结构特征^[19]. 社会网络分析法利用图论、概率论等方法对网络关系数据、网络规模及网络结构变动进行计量和可视化分析. 社会网络分析法应用于合作创新领域, 从不同角度、不同层次对创新网络进行深入探索, 能够揭示创新网络特征和网络属性. 本研究运用社会网络分析法从整体网络、个体网络层面展开, 以网络密度、平均距离、聚类系数和凝聚子群等拓扑指标及网络的小世界等复杂网络特性的刻画, 剖析成渝地区双城经济圈的知识创新网络结构与演化情况.

1.2.1 整体网络分析

整体网络分析以网络密度、平均距离、聚类系数等指标反映整体网络的规模、交互性、联系强度的特征^[20]. 网络密度是指在网络中城市间的实际关联数量与其最大关联数量的比率, 是衡量网络整体性的最基础指标, 反映了网络中节点间的疏密关系. 通常, 网络密度越高, 表示创新合作网络中区域内各个城市的选择、行为产生的影响越大, 表明创新网络整体性越好, 网络内创新联系紧密. 其计算公式为

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k r_{ij}}{k(k-1)} \quad (1)$$

式中: D 为创新网络密度, r_{ij} 为城市 i 与城市 j 间的创新合作量, k 为成渝地区的城市数.

平均距离是指两个不同节点的距离平均值, 反映了城市间交流畅通程度. 一般情况下, 平均距离较小, 表示创新网络中城市间可达性好, 效率高. 其计算公式为

$$L = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} l_{ij} \quad (2)$$

式中: L 表示平均距离, l_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的距离.

聚类系数是指网络中节点的聚集情况, 即网络的紧密程度. 聚类系数越大, 网络结构的效率越高. 其计算公式为

$$C = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \quad (3)$$

式中: C 表示网络的聚类系数, k_i 表示与节点 i 相连接的 k 个节点, E_i 表示与节点 i 相连接的 n 个节点之间实际存在的边数.

1.2.2 网络中心性模型

社会网络分析法中测度网络节点及其形成的个体网络在整体网络中的位置和关系称为中心性. 中心性

反映的是在整个创新网络中某一城市中心化程度,该城市的节点位置大小处于网络中怎样的中心地位,其他城市对该城市的依赖程度如何.本研究参考许培源等^[16]的计算方法测量网络中心性,选取度数中心度、接近中心度、中间中心度3个指标进行分析,刻画不同城市在网络中的重要性.

度数中心度 C_{D_i} (degree centrality)指在网络中该节点直接相接的其他节点的数量,用以衡量该节点在网络中的中心位置程度.度数中心度越高,说明该节点在网络中处于较重要的位置.在知识创新网络中,度数中心度表示某一城市与其他节点城市有直接创新联系,产生论文合作关系的城市数量.其计算公式为

$$C_{D_i} = \frac{r_{ij}}{n-1} \quad (4)$$

式中: n 指与城市 i 有创新联系的城市个数, r_{ij} 为城市 i 与其他城市之间的创新合作数量.

接近中心度 C_{C_i} (closeness centrality)指度量该节点到达其他节点的最短路径,数据越小说明越容易到达其他节点,即平均路径最短.节点在网络中的独立自主性,是指不受其他城市影响的程度高低.接近中心度越高,独立自主性越强,说明这一节点城市和其他城市间的联系程度越密切,传递资源上越便捷.在知识创新网络中,接近中心度越高表示某一城市独立创新能力越强.其计算公式为

$$C_{C_i} = \sum_{j \neq i}^N \frac{r_{ij}}{n-1} \quad (5)$$

式中: n 指与城市 i 有创新联系的城市个数, r_{ij} 为城市 i 与其他城市之间的创新合作数量.

中间中心度 C_{B_i} (betweenness centrality)是指在网络中该节点帮助任意其他两个节点间在最短路径进行相互联系的次数,该节点在网络中充当“中间者”的次数越多,则中间中心度越大.在知识创新网络中,中间中心度表示某一城市担任创新联系“中间人”的角色.其计算公式为

$$C_{B_i} = \frac{\sum_{j < k} \frac{g_{jk(C_i)}}{g_{jk}}}{(n-1)(n-2)} \quad (6)$$

式中: n 指与城市 i 有创新联系的城市个数, r_{ij} 为城市 i 与其他城市之间的创新合作数量, g_{jk} 为城市 j 和城市 k 之间创新合作的捷径数量, $g_{jk(C_i)}/g_{jk}$ 表示城市 i 处于城市 j 和城市 k 间创新捷径上的概率.

1.2.3 凝聚子群

在社会网络分析法中,凝聚子群(派系)是指具有相对较强的、直接的、紧密的、经常的或者积极的关系或具有共同的特征等所构成的行动者子集,将网络内部相关性形式化地表现出来^[16].网络凝聚子群分析就是对网络内部形成的具备较强联系的小群体进行划分,说明城市群内部存在创新联系紧密、创新合作更加频繁的组团,可以从整体把握网络内部发展状态.运用Ucinet软件Network模块中Roles & Positions的迭代相关收敛法,计算各城市节点之间的结构对等性程度,衡量各城市节点之间的相似性,得出各级城市子群.

2 成渝地区双城经济圈知识创新合作网络结构分析

2.1 知识创新网络结构特征分析

从2006—2020年间成渝地区双城经济圈合著论文总量总体呈现逐年递增的态势,从2006年的4 850篇到2020年的16 820篇,增加了2.47倍.在此期间,区域内合著论文共148 590篇,其中高校发文占比66.2%(如大学和研究所等),企业发文占比23.2%(如医院和公司等),政府部门发文占比10.6%(如环境监测站和公益机构等).通过弦图的方式对城市间知识创新流进行可视化表达,以圆弧长短表示城市合著论文数量,弦的粗细反映城市间合作流向强弱程度,直观地揭示城市间知识创新交互关系.成渝地区双城经济圈合著论文城市间对比来看(图1),成都的合著论文数量位于首位且高于其他城市论文数量,重庆位列第二;相反,广安、眉山的论文数量较少,合著论文的数量较初期有大幅的增加,说明这些城市存在着一定创新发展潜力.成都、重庆等创新要素集聚,是创新活动较活跃的城市,始终处于区内创新的中心地位,而广安、眉山这类城市由于发展起步较晚,缺少创新主体,导致创新水平相对较弱,处于区内创新边缘.

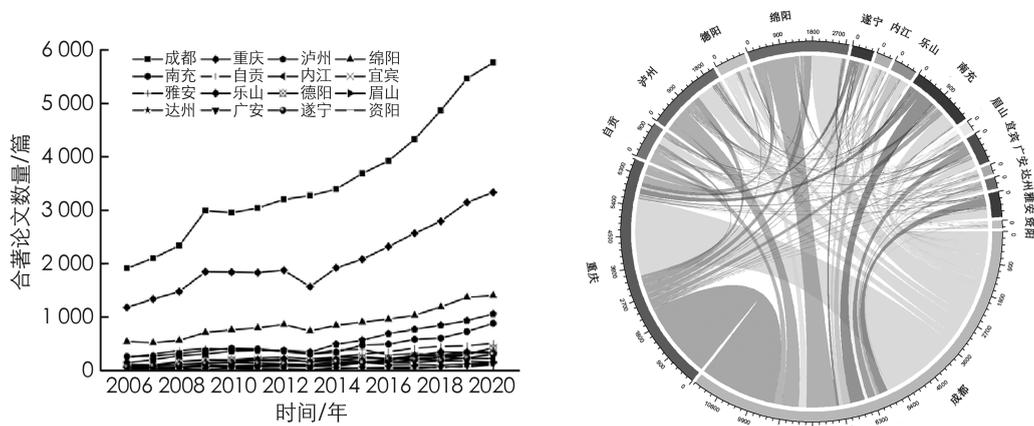


图 1 成渝地区双城经济圈城市间合著论文数量折线图及知识创新流弦图

2.1.1 整体网络特征分析

本研究以成渝地区双城经济圈的合著论文构建创新网络,采用 Ucinet 6.0 软件计算研究该区域创新网络结构特征:网络密度、平均距离和聚类系数等指标(表 1),分析得出成渝地区双城经济圈创新网络整体网络特征。

表 1 2006—2020 年间成渝地区双城经济圈知识创新网络结构特征

时间/年	节点数	关系总数	平均距离	聚类系数	网络密度
2006	8	60	1.71	0.34	0.25
2007	9	66	1.73	0.36	0.28
2008	10	70	1.64	0.39	0.29
2009	10	76	1.64	0.47	0.32
2010	11	81	1.66	0.44	0.34
2011	13	88	1.63	0.53	0.37
2012	14	90	1.63	0.55	0.38
2013	14	80	1.67	0.51	0.33
2014	16	94	1.61	0.52	0.39
2015	16	90	1.60	0.54	0.40
2016	16	96	1.60	0.50	0.40
2017	16	100	1.58	0.54	0.42
2018	16	110	1.54	0.57	0.46
2019	16	114	1.53	0.59	0.48
2020	16	134	1.44	0.69	0.56

2006—2020 年,在国家政策引导下川渝地区的发展战略逐渐得到了进一步的完善,推动了成渝地区城市间开展广泛而密切的合作创新活动.2006 年开始,节点数不断增加,显示成渝地区双城经济圈创新网络初具规模,而且呈不断扩大的趋势;到 2014 年,16 个城市均建立了创新合作,创新网络实现全覆盖.网络关系总数在 2006 年至 2012 年快速增加,2012 年之后进入较小的波动稳定增长期,到 2020 年达到 134 个,且未来呈现持续增长的趋势.这说明创新网络规模效益日见成效,成渝地区参与合作创新的创新主体、创新对象、创新范围均呈现扩散效应.成渝地区双城经济圈参与创新合作的城市关联度越来越高,合作创新主体的创新交流次数也在增加,交流次数的增加说明网络中创新主体之间的创新深度在逐步加深。

创新网络密度由 2006 年的 0.25 发展到 2020 年的 0.56,年增幅为 2.07%,标准差由 0.03 增加至 0.07;整体网络密度数值偏低且增幅缓慢,对照吕丹等^[21]的研究,成渝城市群中联合申请专利构建的创新网络,计算得出 2006—2018 年网络密度年增长率 2.05%,网络密度由 2006 年的 0.050 0 增长到 2018 年的 0.316 7;网络密度数值不高说明创新网络中节点城市之间虽然建立了创新联系但联系不够密切,未来需要

巩固城市之间的合作创新,增大联系强度;网络密度的标准差较大,说明创新网络创新联系存在非均衡状态^[22],网络内部存在差异化发展.总体来说,成渝地区双城经济圈的创新网络密度逐年上升,虽在研究期间达到理论值的“1”的半数,但是整体网络密度偏低,网络结构松散,创新网络在空间上呈连接状态不致密,说明成渝地区双城经济圈的创新集聚的规模效应未能发挥完全,网络的外部性较弱,创新网络需要区域内城市间加强创新合作的频率,未来有较大的成长空间^[23].

通过计算得出,成渝地区双城经济圈整体创新网络的平均距离从 1.71 减少至 1.44,聚类系数从 0.34 增加至 0.69,表明该创新网络具有逐渐向小世界网络演化的趋势(小世界网络的基本特征是具备较高的聚类系数和较短的平均距离,若创新网络满足小世界特征,则说明创新网络的通达性好,网络中的多种资源要素能够快速流动,提高整体创新效率).这主要归因于信息技术水平及交通基础建设的快速发展.而创新政策的出台、创新体制机制的完善,亦会使得创新网络中城市间的知识沟通与分享的成本降低、壁垒减少,从而网络中信息要素、创新资源和技术等创新要素流动效率得以提升.

2.1.2 网络中心性分析

创新网络中心性的分析,本研究选择度数中心度、接近中心度、中间中心度 3 个指标用以衡量创新网络中节点城市的位置、独立能力和控制程度.运用 Ucinet 软件中 Centrality 模块计算成渝地区双城经济圈知识创新网络中心性各指标,将得出的结果列于表 2.

表 2 成渝地区双城经济圈创新网络中心性分析

城市	度数中心度				接近中心度				中间中心度			
	2006 年	2011 年	2016 年	2020 年	2006 年	2011 年	2016 年	2020 年	2006 年	2011 年	2016 年	2020 年
成都	33.33	66.67	80.00	93.33	8.24	16.67	32.61	93.75	5.83	35.71	43.81	50.91
重庆	26.67	33.33	66.67	73.33	8.33	15.79	31.25	78.95	2.38	2.38	23.81	21.38
自贡	0	13.33	20.00	40.00	0	15.31	27.27	62.50	0	0	0	0.48
泸州	6.67	6.67	20.00	60.00	6.20	15.15	27.27	71.43	0	0	0	5.83
德阳	6.67	6.67	6.67	33.33	6.20	15.15	25.86	60.00	0	0	0	0
绵阳	13.33	20.00	20.00	46.67	8.24	15.46	27.27	65.22	0	0	0	0.91
遂宁	0	0	6.67	20.00	0	0	25.00	55.56	0	0	0	0
内江	0	6.67	13.33	26.67	0	15.15	26.79	57.69	0	0	0	0
乐山	0	6.67	6.67	13.33	0	15.15	25.86	51.72	0	0	0	0
南充	0	20.00	20.00	46.67	0	15.46	27.27	65.22	0.64	0	0	1.46
眉山	0	0	6.67	6.67	0	0	25.86	50.00	0	0	0	0
宜宾	0	6.67	13.33	26.67	0	15.15	26.79	57.69	0.32	0	0	0
广安	0	0	0	6.67	0	0	0	45.46	0	0	0	0
达州	0	0	13.33	13.33	0	0	26.79	53.57	0	0	0	0
雅安	0	13.33	13.33	6.67	0	15.31	26.79	50.00	0	0	0	0
资阳	0	0	0	6.67	0	0	0	50.00	0	0	0	0

由表 2 可见,成渝地区双城经济圈内的各个城市的度数中心度不断上升,显示城市间创新合作程度在不断提高,区域知识创新网络内部联系紧密度不断增加.其中,成都、重庆在网络中始终处于中心位置,在 2011 年成都率先显露创新极化影响,知识溢出的效应作用于周边的雅安、自贡等城市;重庆的度数中心度逐年增加,随后成为新的创新极核;创新网络生长有着择优连接性^[24],两个中心城市度数中心性不断增加,作为网络枢纽的权力不断增强.泸州、绵阳、南充等次中心城市度数中心度增幅显著,创新溢出效应促进其更容易发挥自身优势.

在接近中心度方面,各城市间的接近中心度数值成倍数增长,说明成渝地区双城经济圈创新网络整体网络联结性增强,畅通程度提高,能以最短网络距离与其他城市进行创新联系,各节点城市拥有独立创新能力,对创新网络中心城市的依赖性减小.其中,成都和重庆有着较高的接近中心度,说明两个城市分别作为省会城市和直辖市拥有更多的资源与优势,在网络内部传递创新信息的能力强,独立创新能力突出.在研究初期,各个城市的接近中心度较低且差异不大;在 2020 年,绵阳、南充和泸州 3 个城市的接近中心度

增幅显著,说明其社会经济发展水平较优越,创新投入较多且增幅较大,能够较为广泛地开展产学研合作,促进各类创新主体间的互动交流,营造潜力巨大的创新空间。

中间中心度反映网络中的节点对网络的控制程度强弱.该区域的成都和重庆有着较高的中间中心度,表明该区域的创新联系主要通过成都和重庆来实现,表现为“中间人”的角色,区内城市间借助“中间人”的搭桥进行间接性的创新联系.而其他城市的中间中心度无数值变化或变化很小,说明其他城市间直接联系比较少,在创新网络中处于弱势地位,对网络内资源掌握能力相对较差。

综合来看,成渝地区双城经济圈创新网络节点城市中心性演化过程表现出“路径依赖”,表现为区域内大多数节点城市度数中心性和接近中心性较明显地增加,少数节点城市处于较低水平;成都和重庆处于网络中心位置,具有较强的控制力和影响力,自身资源支配和控制能力强^[25],同时在创新网络中起到“桥梁”的作用;重庆存在“行政边界”的壁垒效应,创新辐射效应未得到有效发挥;而近年来绵阳、德阳、自贡和南充等城市崛起,在创新网络中心位置、权利影响方面有较大提升,城市等级、创新能级及知识结构相似的城市更容易展开知识创新合作,未来成渝地区双城经济圈创新网络发展有双核主导转化为多节点多组团趋势。

2.1.3 凝聚子群分析

凝聚子群是指一个行动者子集合,在此集合中的行动者之间具有相对较强、直接、紧密、频繁的或者积极的关系.知识创新网络中,凝聚子群可用于揭示和刻画知识网络凝聚子群的个数以及每个凝聚子群包含哪些城市成员,分析城市群内部存在的创新联系和创新合作密切的群体^[26].运用 Ucinet 软件中的 CONCOR 迭代相关收敛法,进行成渝地区双城经济圈知识创新网络凝聚子群分析,所得出的结果列于表 3。

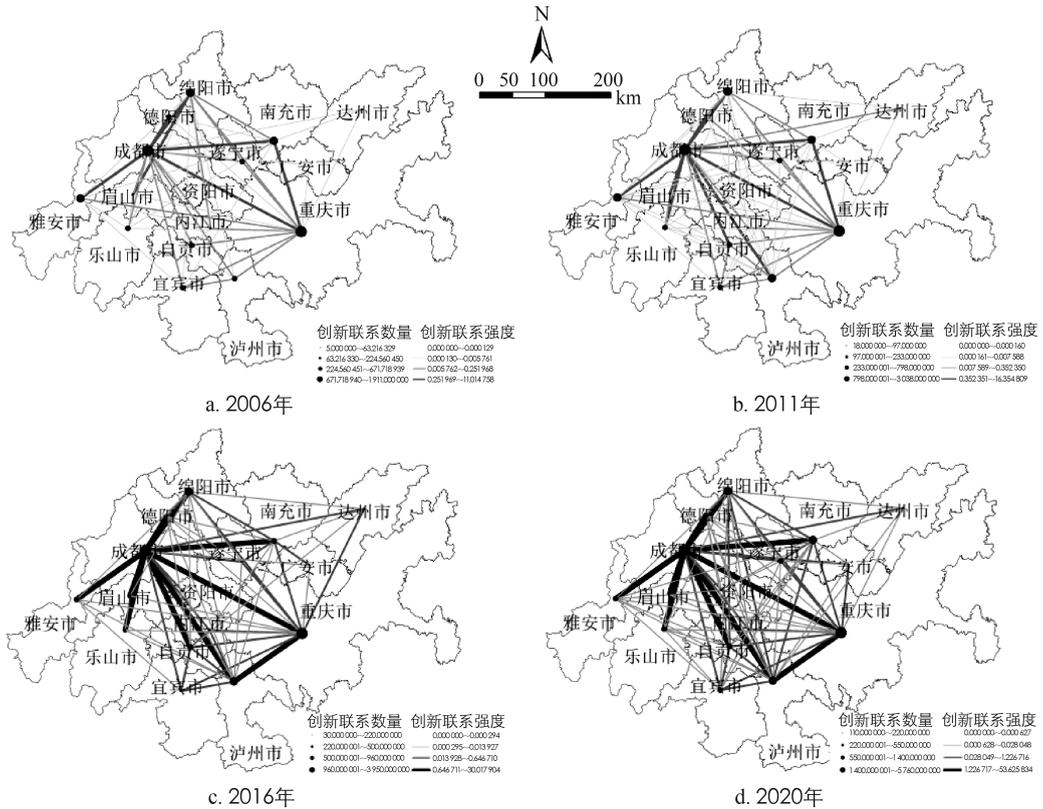
表 3 成渝地区双城经济圈知识创新合作网络凝聚子群分析

类型	2006 年	2011 年	2016 年	2020 年	
第 1 子群	成都	成都	成都	成都	
	重庆	重庆	重庆	重庆	
			绵阳	绵阳	
			南充	泸州	
			泸州	南充	
		南充	南充	自贡	自贡
		雅安	绵阳	遂宁	雅安
第 2 子群	泸州	泸州	雅安	德阳	
	自贡	德阳	宜宾	宜宾	
	内江	雅安	达州	遂宁	
	绵阳	自贡	内江	达州	
	宜宾	乐山	乐山	内江	
	乐山	内江	德阳	乐山	
		宜宾			
第 3 子群	德阳	眉山	眉山	广安	
	眉山	广安	广安	资阳	
	广安	达州	资阳	眉山	
	达州	遂宁			
	遂宁	资阳			
	资阳				

成渝地区双城经济圈创新网络可划分为 3 个子群,其中,第 1 子群以成都、重庆为主,辅以绵阳、南充、泸州,形成紧绕双核心的城市组团;第 2 子群包含宜宾、自贡、德阳、遂宁、乐山、雅安、内江和达州 8 个城市,围绕在第 1 子群周边分布,这些城市接受成都、重庆的知识溢出而形成纵向创新联系,但彼此间横向关联不足;第 3 子群含广安、眉山和资阳 3 市,该子群网络结构简单、内部网络联系较少,均为网络中心度较低、联系较弱的边缘城市,对区域整体创新合作行为的影响较低.通过凝聚子群的分析可见,成渝地区双城经济圈知识创新网络联系以围绕核心城市形成的纵向联系为主,其他城市间的横向联系尚显不足。

2.2 知识创新网络结构空间演化分析

本研究运用空间相互作用模型对成渝地区双城经济圈城市间创新联系强度进行测量,采用自然断点法以合著论文点的大小代表城市创新数量,以连线的粗细代表城市创新联系强度,识别成渝地区双城经济圈知识创新网络空间格局及其演化特征(图2)。



注:基于自然资源部标准地图服务网站标准地图(审图号:GS(2019)1823)制作

图2 成渝地区双城经济圈知识创新合作网络空间演化

在网络形成初期的2006年呈现以成都为单核心,重庆为支点,节点城市为绵阳、雅安、南充。成都作为省会城市具有较强的创新吸引力,以成都作为创新极核存在涓滴效应^[27],整体创新网络联系普遍呈现出弱联系;在2011年,大部分城市与成都和重庆产生连接,网络密度略有增长,成都和重庆的中心度增加、创新联系强度有所加强,但整体网络仍呈低层次。在创新网络发展期的2016年及2020年,创新网络密度与合著论文体量有较大的增加,成都和重庆两个核心城市在创新合作中循环积累和自我强化^[28-29],两个城市间的创新关系由相互竞争转为协同发展,能够较大程度吸引网络中的其他节点城市的创新资源和创新要素^[30]。在整个创新网络演化过程中,成都主要辐射和影响成都平原地区城市,并与区域内节点城市全部建立创新联系,重庆主要影响辐射川东北与川南地区城市,南充、泸州、绵阳、雅安、自贡等创新次中心形成,成渝地区双城经济圈知识创新网络出现双核心圈层式结构和多中心网络化的联系特征。成渝地区双城经济圈在创新环境、创新资源等方面占据优势,在知识流动和创新转化方面相形见绌;比如成都和重庆拥有较多高等学校,科研院所云集,还有国家级科技创新中心,绵阳、泸州、宜宾拥有电子信息、装备制造、光电新能源等优势产业,未来成渝地区双城经济圈应强化产学研合作,提高自主创新,提高创新转化效率,整合资源优势,转化竞争优势。

在成渝地区双城经济圈知识创新网络的演化过程中,其网络节点、网络规模、范围和密度都得到了较快的增长和提升,网络结构基本形成,且日趋完善。但是,创新网络的空间演化呈现不均衡性^[31]。在网络形成初期,以成都和重庆为创新极核城市与周围城市开展创新联系和交流,成都和重庆之间存在竞争;在网络发展时期,在以“成都-重庆”为双核心的“极化-扩散”作用下,网络中各节点城市的合作强度和合作范围都有所提升,随着网络的发展,节点的数量越来越多,其来源和方向也呈现出持续扩展的趋势,为创新网

络的后期成长与进化提供动力,促进成渝地区双城经济圈的知识创新网络形成“本地-跨界”联系网络密集的卓越创新网络,这样不仅能够利用“本地蜂鸣”联系,而且能够同区域外进行频繁的信息交换,促进外部知识在本地区域的传播,并借助区域内创新中心极化效应,获得较高的创新收益,抢占创新高地。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究以成渝地区双城经济圈城市间合著论文数据构建知识创新网络,运用社会网络分析法,探讨成渝地区双城经济圈知识创新网络的总体特征、拓扑结构和空间格局的演化过程。

1) 2006—2020年,成渝地区双城经济圈城市间合著论文数量有较为显著的增长,发文量增加2.47倍,年增长16.45%;从成渝地区双城经济圈城市间创新合作关系来看,从初期以首位度高的中心城市对外单向的简单联系,逐渐发展为区域内全部地级市多向化、复杂化的协同阶段;创新网络快速发展,网络规模、关系总数和网络密度等有明显增加;创新网络有“小世界”特征,网络连通性、可达性有显著增加。

2) 成渝地区双城经济圈创新网络呈现“双核”结构,由早期的成都和重庆的单核极化,到“成都-重庆”双核圈层式扩散。成都和重庆具有较高的网络中心性,说明两者在创新网络中属于领导者的角色,在网络位于较中心的位置,拥有较高的控制能力及独立自主权;伴随着泸州、南充、绵阳等节点城市在创新网络中位置、控制力及独立性的不断提升,网络中心性演化呈现“路径依赖”特征,显现出“成都-重庆”双核圈层式、递推式发展。

3) 成渝地区双城经济圈创新网络表现“一主多支”空间形态,以“成都-重庆”为主干线,以“成都-绵阳”“重庆-泸州”为多条支线;区域内知识创新合作多发生以创新能级相似、创新潜力较强的节点城市,如绵阳、南充等;处于核心城市毗邻区的资阳、达州等城市创新边缘城市囿于创新活力不足,较少参与创新合作,创新联系呈现“西密东疏、中部塌陷”空间格局。

3.2 讨论

本研究以创新流空间视角探究成渝地区双城经济圈创新网络的结构特征与空间格局,提供以下建议以供思考。

1) 成渝地区双城经济圈城市间创新要素资源存在较大的梯度,城市间创新能级差异大,需要加大科研费用的投入,吸引创新资源,加速创新要素的流动与集聚;作为成渝地区双城经济圈双核心城市,重庆需要强化创新枢纽功能,发挥自身地理优势、等级优势和制度优势,通过积极参与和嵌入成渝地区双城经济圈创新网络;打破行政壁垒,增进与川内城市人才、知识、技术等创新要素的城际交流,打造高效互通的创新信息平台,实现成渝创新一体化。

2) 成渝地区双城经济圈城市需要完善基础信息通信设施建设,提升城市自身可达性,提高城际间通畅性,降低城际合作的时间成本和经济成本;优化南北向圈层式创新组团城市,打造东西向创新要素流动走廊,填补中部塌陷;针对创新边缘城市,需要激发创新潜力自身网络资本^[32],评估自身产业特色,立足优势资源开展专业化合作。

3) 成渝地区双城经济圈通过制度安排,缩小城市间政策差异,重点扶持和鼓励川内城市开展紧密的本地合作,形成良好的“本地蜂鸣”。在此基础上,利用省会城市和直辖市的行政优势,广泛开展全国创新中心城市知识合作,接受外部的知识溢出,形成“本地-跨界”联系管道^[33],开放科研创新窗口,扩展成渝地区双城经济圈合作的空间尺度,强化双核极化-扩散,发挥梯度推移,相互促进、彼此关联,促进成渝地区双城经济圈知识创新网络蓬勃发展。

本研究运用社会网络分析法,从图论角度考量网络结构变化,在以后研究中,尝试从网络结构内生和外两个层面,解析网络动态演化与其结构内在关联关系。本研究的尺度仅关注成渝地区双城经济圈,由于知识流动的外溢性特点,创新网络在知识溢出空间尺度效应不尽相同,因此在以后研究中应探究跨区域地方-全国双重尺度创新网络结构和演化机制,挖掘创新网络多尺度知识溢出效应及影响机制。在研究数据方面,本研究在构建创新网络时结合了国内外期刊数据库,虽数据源类型多但存在一定局限性,城市间创新网络不仅是合著论文方面,技术交流和人才流动对于知识网络的构建也具有重要的意义,在后续的研究工

作中需要在数据全面性基础上进一步深化,构建覆盖面广、联系紧密的创新网络,深入剖析知识网络空间结构和演化机制,提高成渝地区双城经济圈各城市间的创新协作水平,促进区域内外协同创新有利于更好融入国家创新大循环。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 甄峰,徐海贤,朱传耿.创新地理学——一门新兴的地理学分支学科[J].地域研究与开发,2001,20(1):9-11,18.
- [3] 陈嘉平,黄慧明,陈晓明.基于空间网格的城市创新空间结构演变分析——以广州为例[J].现代城市研究,2018(9):84-90.
- [4] 涂建军,徐桂萍,姜莉,等.成渝地区双城经济圈流空间网络特征[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(1):12-23.
- [5] 刘大均,陈君子.成渝城市群旅游流网络空间与区域差异研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(12):112-119.
- [6] 香林,戴靓,朱禧惠,等.中国城市知识创新网络的等级性与区域性演化——以合著科研论文为例[J].现代城市研究,2021(1):25-31.
- [7] 徐艳,黎明.基于新浪微博视角下的城市网络空间特征分析——以重庆市主城区为例[J].西南师范大学学报(自然科学版),2014,39(6):43-49.
- [8] 马海涛.知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟[J].地理学报,2020,75(4):708-721.
- [9] MATTHIESSEN C W, SCHWARZ A W, FIND S. The Top-Level Global Research System, 1997-99: Centres, Networks and Nodality. An Analysis Based on Bibliometric Indicators [J]. Urban Studies, 2002, 39(5-6): 903-927.
- [10] CAO X Z, ZENG G, LIN L, et al. Hierarchical Characteristics and Proximity Mechanism of Intercity Innovation Networks: A Case of 290 Cities in China [J]. COMPLEXITY, 2021(1): 5538872.
- [11] 桂钦昌,杜德斌,刘承良,等.全球城市知识流动网络的结构特征与影响因素[J].地理研究,2021,40(5):1320-1337.
- [12] 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.
- [13] RIBEIRO L C, KRUSS G, BRITTO G, et al. A Methodology for Unveiling Global Innovation Networks: Patent Citations as Clues to Cross Border Knowledge Flows [J]. Scientometrics, 2014, 101(1): 61-83.
- [14] 吴素春,聂鸣.以创新型城市为主导的区域科研合作网络研究——以湖北省论文合著数据为例[J].情报杂志,2013,32(8):125-131.
- [15] 李建成,王庆喜,唐根年.长三角城市群科学知识网络动态演化分析[J].科学学研究,2017,35(2):189-197.
- [16] 许培源,吴贵华.粤港澳大湾区知识创新网络的空间演化——兼论深圳科技创新中心地位[J].中国软科学,2019(5):68-79.
- [17] 高爽,王少剑,王泽宏.粤港澳大湾区知识网络空间结构演化特征与影响机制[J].热带地理,2019,39(5):678-688.
- [18] 周灿,曾刚,宓泽锋,等.区域创新网络模式研究——以长三角城市群为例[J].地理科学进展,2017,36(7):795-805.
- [19] 刘军.整体网分析讲义:UCINET软件实用指南[M].上海:格致出版社,上海人民出版社,2009.
- [20] 王方方,杨焕焕.粤港澳大湾区城市群空间经济网络结构及其影响因素研究——基于网络分析法[J].华南师范大学学报(社会科学版),2018(4):110-120,191.
- [21] 吕丹,王等.“成渝城市群”创新网络结构特征演化及其协同创新发展[J].中国软科学,2020(11):154-161.
- [22] 游小珺.多维邻近视角下美国高校科研合作的空演化与动力机制研究[D].上海:华东师范大学,2018.
- [23] 宋潇.成渝双城经济圈区域合作创新特征与网络结构演化[J].软科学,2021,35(4):61-67.
- [24] 王方方,李香桃.粤港澳大湾区城市群空间结构演化机制及协同发展——基于高铁网络数据[J].城市问题,2020(1):43-52.
- [25] 周勇,汤娜.外溢效应与攀比效应对城市地价空间关联的影响[J].地理与地理信息科学,2019,35(2):111-119.
- [26] 邵璇璇,姚永玲.长江中游城市群的空间网络特征及其影响机制[J].城市问题,2019(10):15-26.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 邱坚坚,刘毅华,陈浩然,等.流空间视角下的粤港澳大湾区空间网络格局——基于信息流与交通流的对比分析[J].经济地理,2019,39(6):7-15.
- [31] 曹湛,彭震伟.中国三大城市群知识合作网络演化研究:结构特征与影响因素[J].城乡规划,2021(5):50-61.
- [32] 戴靓,纪宇凡,王嵩,等.中国城市知识创新网络的演化特征及其邻近性机制[J].资源科学,2022,44(7):1494-1505.
- [33] 曹湛,戴靓,杨宇,等.基于“蜂鸣—管道”模型的中国城市知识合作模式及其对知识产出的影响[J].地理学报,2022,77(4):960-975.