

成渝地区双城经济圈协同创新水平测度及空间联系网络演化研究*

龚勤林 宋明蔚 韩腾飞

【摘要】基于基础创新和协同创新两个维度,构建考察城市协同创新综合水平的指标体系;采用引力模型和社会网络分析方法可实现量化数据和关系数据的结合,并从空间维度直观地研究成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络的结构特征和时空演化。结果发现:成渝地区协同创新发展处于探索追赶阶段,协同创新水平不均衡;整体网络联系尚不稳定,协同创新联系强度断层现象严重,各节点的协同创新自主性较为均衡,但成渝双核的“控制力”和“桥梁”作用过强;凝聚子群重构优化形成“成都—荣昌—永川—重庆主城”的协同创新主轴,但存在邻近“抱团”情况,行政壁垒尚未完全破除,缺乏跨越地理格局和行政区划的创新凝聚子群;“接壤区洼地”“东北翼边缘地带”是成渝地区形成紧密协同创新空间联系网络需着力破除的关键点。

【关键词】成渝地区双城经济圈;协同创新;空间联系网络

【作者简介】龚勤林(通讯作者)(1972-),男,四川自贡人,四川大学经济学院,博士,教授,研究方向为区域经济;宋明蔚(1998-),女,四川成都人,四川大学经济学院硕士研究生,研究方向为区域经济;韩腾飞(1997-),女,山东青岛人,四川大学建筑与环境学院硕士研究生,研究方向为城乡规划与设计(成都 610065)。

【原文出处】《软科学》(成都),2022.5.28~37

【基金项目】国家社会科学基金项目(20BJL088);四川省软科学研究项目(2021JDR0160);重庆市科协2021年度智库调研重大项目(2021KXKT02)。

引言

由“要素驱动”到“创新驱动”的经济转型是新时代中国经济高质量发展的需要。2020年10月29日,中共中央十九届五中全会进一步明确了创新在我国现代化建设全局中的核心地位,提出要深入实施创新驱动发展战略,完善国家创新体系。近年来,国家着力科技创新中心建设,在京津冀、长三角、粤港澳等区域培养形成多个以中心城市为引领(如北京、上海、深圳等)的创新集聚区^①,以期通过创新驱动区域经济可持续发展。

协同创新对区域创新绩效的提升具有显著正向作用^②,特别是在以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局下,协同创新已成为我国实现自主创新和建设创新型国家的路径支撑^③。通过区域协同创新,共建以中心城市及其都市圈为

主要发展载体的科技创新中心,是实现创新发展战略的重要途径。

成渝地区双城经济圈是加快西部大开发战略实施、推动“一带一路”倡议发展的重要战略举措。2021年10月,《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》正式颁布,明确提出要“把成渝地区双城经济圈建设成为具有全国影响力的重要经济中心、科技创新中心、改革开放新高地、高品质生活宜居地,打造带动全国高质量发展的重要增长极和新的动力源”。其中,建设科技创新中心是中央赋予成渝地区双城经济圈的重要战略定位与使命。因此,如何通过协同创新共建国家科创中心,成为成渝地区双城经济圈建设需要破解的重大问题。

1 文献综述

协同创新由协同学理论拓展衍生而来。中外学

*本刊责任编辑注:读者如需本文图表资料,请向《软科学》编辑部索取。

者对协同创新已进行了较为充分的研究,包括理论内涵分析^[5]、形成路径及主要模式探讨^[4]、作用及绩效考察^[5]等方面。其中,围绕区域或城市群协同创新的研究主要从以下三方面展开:

一是对区域协同创新的内涵分析与水平测度。国家创新系统、区域创新系统等多尺度创新系统概念的提出^[6,7],强调了区域创新合作的重要性并引起了学界对于区域协同创新的广泛研究。其中,王志宝等^[8]认为区域协同创新包括区内创新主体间的合作效益最大化,以及区内各地区间通过创新合作实现的创新要素布局与流动、创新水平差距的缩小及整体创新水平的提高,这一关于协同创新内涵的概括得到学界较高认同;此外,李俊华等^[9]研究了区域创新主体协同创新机制及其运行机理,为各创新主体依靠区域内部创新资源和支持力量进行协同创新提供借鉴意义。在协同创新水平测度方面,已有包括熵值法^[10]、聚类综合评价法^[11]、灰色 TOPSIS 法与空间自相关分析^[12]等多种研究方法。随着数据可得性的提高,对于协同创新水平的考察对象日益细化,以区域间专利合作数据^[13]、合作发表论文数量^[14]为代表的微观行业数据被广泛应用于区域协同创新水平测度的指标体系中。

二是关于区域协同创新空间联系网络的研究。创新网络是区域创新的主要形式,随着信息技术的更迭和知识流动的加速,传统“中心地”理论、地缘衰减规律及“集聚—扩散”效应等难以有效解释区域间因创新节点增多、创新合作加强、联系通道畅通形成的协同创新网络问题。由此,基于网络化视角和“流空间”理论的区域协同创新空间联系网络成为研究热点。其中,周灿等^[15]基于网络资本视角研究了中国 292 个地级市构成的创新网络,得出中国城市创新网络的空间格局是以京津、宁沪、广深和成都为核心节点构成的菱形结构。李美娟等^[16]提出基于灰靶理论的动态评价方法,利用我国省域创新合作数据构建指标体系,得出在 2009—2013 年间中国省域协同创新能力整体和分项能力不强,产出能力有待提高的结论。此外,关于协同创新空间联系网络的研究方式不断丰富,主要包括引力模型、社会网络分析法^[17]、耦合协调度模型^[18]等。

三是针对城市群等特定区域的协同创新空间联系网络研究。我国区域协调发展及城市群发展战略的提出,促使国内学者逐渐关注协同创新网络与城市群的发展,研究范围主要集中于以粤港澳、长三角等地区。许培源等^[19]基于对粤港澳大湾区城市群的科研合作数据进行的社会网络分析,发现大湾区知识创新网络结构日益紧密且趋于稳定,整体呈现“多中心、多节点、多子群”格局。唐建荣等^[20]研究发现长三角城市群的城市创新网络处于动态演化中,并逐渐形成“核心—次核心—边缘”的稳定态势。李琳等^[21]将科技人员数、专利授权量与高新技术产业总产值等主要指标引入修正引力模型,考察了长江中游城市群的协同创新空间联系网络的时空演变情况,发现长江中游城市群协同创新网络已由原来的双核主导发展为多中心新格局。吕丹等^[22]以成渝城市群为研究对象,利用地级市间合作申请专利数据构建创新网络,研究发现目前成渝大部分创新联系集中在核心区的节点城市之间,需要加强核心区节点城市与边缘区节点城市的创新联系。根据各区域实证结果来看,多中心发展格局已成为区域协同创新发展的主要方向。

综上所述,现有研究已就协同创新的概念内涵、区域协同创新水平测度及创新联系网络、区域协同创新空间联系等方面进行了较为充分的探讨,但尚有不足之处。其中,对于协同创新水平和空间联系网络特征的刻画大多侧重于静态现状分析,有关其动态演化过程的研究有待深入;对于区域协同创新联系网络的衡量多以单一指标法实现(如合作论文和合作申请专利数等),缺乏综合维度的考察;对于区域协同创新的研究集中于以京津冀、长三角为代表的发达地区,对成渝地区双城经济圈的研究相对薄弱。

2 成渝地区双城经济圈协同创新水平的测度分析

2.1 协同创新评价指标体系

协同创新既强调成渝地区双城经济圈内部各地区区间的创新协作互动,也注重区域整体的创新水平发展。对区域协同创新综合水平的考察应包含基础创新和协同创新两个部分^[23]。基础创新水平指标主要考察某一区域的自身创新能力,是其谋求对外合

作并进行协同创新的先决条件;而协同创新水平指标则是某一区域对外协同创新能力与成效的直观体现。由此,本文兼顾指标选取的科学性、独立性、可操作性等原则,构建成渝地区双城经济圈协同创新水平测度与评价指标体系(见表1),并选用熵值法进行协同创新综合水平的计算。

一方面,在基础创新水平的一级指标下,基于创新环境—创新投入—创新产出理论框架的考量,纳入创新投入、环境与成果3个二级指标。首先,创新环境对区域创新具有重要影响,本文主要考察以研发机构数量为代表的科研硬环境与经济发展水平和知识文化氛围等经济人文软环境。其次,创新系统作为投入产出系统,人才、资金等创新投入对创新能力的作用不可或缺,故选取研发人员占常住人口比重、研发经费支出占GDP比重、地方财政科技支出占公共财政支出比重衡量人力与物质资本的创新投入水平。第三,创新成果作为反映创新水平的直观变量,能考察区域技术优势转化的程度和能力,本文选取专利授权数、科技论文发表量、规模以上工业企业新产品销售收入3个三级指标。另一方面,对协同创新水平的测度可分为主体间、区域间2个层面。在主

体协同创新层面,选用R&D外部经费支出、专利所有权转让及许可收入以及研发机构和高等学校研发经费中企业投入占比等数据,以反映企业、高校及其他研发机构的产学研主体间的创新合作与交流情况;对区域协同创新水平的考察则包括技术合同成交额、跨区域合作申请专利数及跨区域合作发表论文数等指标,以反映不同地区间在新产品共研、新技术同享与新知识互学方面的协同与联系。

2.2 研究对象及数据说明

2.2.1 研究对象范围

根据《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》,成渝地区双城经济圈的空间范围包括重庆市的渝中区、万州区等27个区县(以及开州、云阳的部分地区)与四川省的成都市、绵阳市等15个市(除北川县、平武县、万源市、天台县、宝兴县),总面积18.5万平方千米。本文的研究对象即是《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》中确定的行政区划范围。

需说明的是,考虑到开州、云阳的部分地区以及北川、平武等地的数据从所在市(区)中难以剥离;同时,上述地区发展水平较低,对整个区域的影响微弱,故将其纳入所在市(区)中一并研究。此外,由于

表1 协同创新评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	三级指标	权重
协同创新综合水平	基础创新水平 (0.3636)	创新环境(0.0711)	研发机构数量/个	0.0441
			人均GDP/(元/人)	0.0113
			人均拥有公共图书馆藏量/册	0.0157
			研发人员占常住人口比重/%	0.0247
		创新投入(0.0612)	研发经费支出占GDP比重/%	0.0240
			地方财政科技支出占公共财政支出比重/%	0.0125
			专利授权数/件	0.0705
		创新成果(0.2313)	科技论文发表量/篇	0.0951
			规模以上工业企业新产品销售收入/亿元	0.0657
	技术市场成交合同金额/万元		0.1361	
	协同创新水平 (0.6364)	区域协同创新(0.3146)	跨区域合作申请专利数/个	0.1004
			跨区域合作发表论文数/篇	0.0782
			R&D外部经费支出/万元	0.0855
主体协同创新(0.3218)		专利所有权转让及许可收入/万元	0.0891	
		研发机构研发经费内部支出中企业投入占比/%	0.0967	
		高等学校研发经费内部支出中企业投入占比/%	0.0506	

注:括号内为各级指标通过熵值法计算所得权重。

重庆作为直辖市的特殊行政架构,将渝中区、江北区等在内的9个区合并为主城区^②,与重庆市的其余20个区县并列作为独立研究单元,重庆市的21个区(县)与四川省的15个市视为同级研究单元。所以,本文的研究样本共计36个单元,即36个城市。

2.2.2 数据来源与说明

本文的主要数据来自《四川科技统计年鉴》和《重庆科技统计年鉴》,部分指标来源于《重庆统计年鉴》以及《中国城市统计年鉴》。其中,四川各城市的技术市场交易额数据来自四川科学技术促进协会官网;此外,跨区域合作申请专利数通过国家专利局的中国专利数据库进行手动筛选获取,跨区域合作发表论文数通过web of science(SCI)官网获得。

数据年份选用方面,基于数据可获得性,本文将考察期定为2012至2018年间。同时,根据政策梳理,成渝地区双城经济圈的发展提出大致经历了从“成渝经济区”到“成渝城市群”再到“成渝地区双城经济圈”3个阶段。其中,2011年5月,国务院常务会议正式同意批复《成渝经济区区域规划》;2016年4月,国务院正式批复同意《成渝城市群发展规划》。

所以,本文根据两个重要时间节点,将考察的主要年份定为2012年、2017年,对成渝地区双城经济圈协同创新水平进行动态分析。

2.3 协同创新水平测度分析

基于熵值法对指标体系进行计算后得出成渝地区双城经济圈各地区的协同创新水平得分(见表2)。

首先,在考察年份期间,成渝地区双城经济圈协同创新综合水平普遍较低。除作为川渝两地经济中心的成都市和重庆主城区外,其余地区的协同创新水平基本未超过0.1。其次,成渝地区双城经济圈内部部分城市的协同创新水平存在较大的年度波动性,根据袁旭梅等^[24]的研究,较大的数据波动说明对应城市的协同创新发展处于“探索追赶阶段”,即呈现出低水平、高波动的发展趋势。这并非不良现象,虽然此类城市的协同创新水平和能力相对较低,但其一直在探寻合适的发展路径,为提升协同创新能力不断努力。第三,虽然各年份的数据有明显的波动,但成渝地区的协同创新水平总体呈现上升趋势,尤其体现在2017年,随着《成渝城市群规划纲要》的出台,成渝地区的协同创新综合水平有较为明显的提升。

表2 成渝地区双城经济圈协同创新水平

城市	2012年	2015年	2017年	城市	2012年	2015年	2017年
成都市	0.7704	0.8828	0.9300	重庆主城	0.4992	0.4518	0.5910
自贡市	0.2009	0.0748	0.0773	涪陵区	0.0919	0.0862	0.1266
泸州市	0.1058	0.0626	0.0410	长寿区	0.0367	0.0439	0.0365
德阳市	0.2052	0.1504	0.1886	江津区	0.0278	0.0636	0.0676
绵阳市	0.1600	0.2023	0.1880	合川区	0.0159	0.0290	0.0244
遂宁市	0.1084	0.0653	0.0559	永川区	0.0405	0.0507	0.0607
内江市	0.0752	0.0349	0.0399	南川区	0.0232	0.0114	0.0516
乐山市	0.0771	0.0580	0.0850	綦江区	0.0137	0.0897	0.0225
南充市	0.0667	0.0479	0.0389	潼南区	0.0097	0.0245	0.0243
眉山市	0.0725	0.0150	0.0346	铜梁区	0.0155	0.0223	0.0286
宜宾市	0.0999	0.1000	0.1477	大足区	0.0382	0.0297	0.0230
广安市	0.0648	0.0163	0.0164	荣昌区	0.0407	0.0812	0.0544
达州市	0.0566	0.0153	0.0228	璧山区	0.0358	0.0609	0.0683
雅安市	0.0670	0.0637	0.0600	万州区	0.0551	0.0901	0.0472
资阳市	0.0666	0.0126	0.0111	梁平区	0.0060	0.0128	0.0130
黔江区	0.0252	0.0248	0.0169	丰都县	0.0075	0.0170	0.0082
开州区	0.0056	0.0083	0.0069	垫江县	0.0098	0.0147	0.0128
云阳县	0.0010	0.0035	0.0019	忠县	0.0080	0.0076	0.0164

第四,成渝地区双城经济圈协同创新水平表现出较大的地域差异,2017年,成都市和重庆主城两个核心城市协同创新水平最高(分别达到0.9300和0.5910),分别是排位最末的云阳县(0.0019)的489.5倍和311倍。

3 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络的演化研究

为探究成渝双城经济圈的协同创新空间联系网络的结构与特征,本文根据前文测度所得的协同创新综合水平得分,运用引力模型构建成渝地区双城经济圈协同创新联系二值矩阵,并通过社会网络分析法对成渝地区双城经济圈的协同创新空间联系网络结构特征与时空演化进行分析。

3.1 研究方法

3.1.1 引力模型

协同创新是指创新要素在不同区域的空间联系,而知识和技术等作为创新产出,其溢出效应对区域创新的影响会随着地理距离的增加而衰减,因此可借助引力模型对区域间的协同创新空间联系进行衡量,引力模型已广泛运用于距离衰减效应和空间相互作用的研究中^[25]。本文基于相关研究^[26,27],采用如下修正引力模型测算协同创新联系度(R_{ij})。

$$R_{ij} = K_{ij} \frac{C_i C_j}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

其中, R_{ij} 表示*i*与*j*城市之间的协同创新联系强度, C_i 为经熵值法计算得到的各城市协同创新综合水平得分^③。传统研究通常以 $K=1$ 为引力常量,但并未考虑到两城市间的发展差距,因此,本文选用 K_{ij} 为

修正经验常数,为某城市协同创新水平得分占两城市得分之和的比重,计算方式为: $K_{ij}=C_i/(C_i+C_j)$ 。

此外,伴随我国交通运输的快速发展,学界对于空间距离 D_{ij} 的衡量存在较大分歧。较为普遍的方法是运用百度地图等数据平台获取最短公路里程或通过12306官网选取两地间的铁路、公路运营时间及交通费用等^[28],亦有学者将时间距离和空间距离进行耦合计算得出城市间交通距离。考虑到本文的研究对象创新具有较强的溢出效应且无需通过有形交通网络扩散,因此, n 本文中的 D_{ij} 选用两城市政府驻地的直线距离表示。

在此基础上对 R_{ij} 求和可得*i*城市的对外协同创新联系总量 R_i 。

$$R_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (2)$$

3.1.2 社会网络分析法

社会网络分析法为区域创新网络空间关联的研究提供了包括网络密度、中心度分析、凝聚子群分析在内的系列指标,主要从整体网络特征、个体网络特征与网络结构特征三个维度进行考察分析(见表3)。

3.2 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络的特征及演化

3.2.1 整体网络特征分析

根据表2计算结果,使用公式(1)运算得到成渝地区双城经济圈协同创新关联矩阵。为进行网络分析,首先需对协同创新关联矩阵进行二值化处理。本文选用均数平均法,为使计算结果具有可比性,选用基期各城市对其余城市的引力均值作为截断阈

表3 社会网络分析测度指标示意图

维度	指标	含义
整体网络分析	网络密度	反映整体网络联系的紧密程度。密度越大表明网络中各城市之间的经济联系越紧密。
	聚类系数	表示网络整体聚集情况。系数越高说明创新网络的凝聚力越大。
	中心势	反映整体网络对于核心节点的依赖度。数值越大说明网络权力不均匀,中心位置被少数节点控制。
个体网络分析	度数中心度	表示一个节点在网络中的地位。数值越大地位越高。
	接近中心度	表示节点在网络中的自主性。数值越大,自主性越好,越不受其他节点控制。
	中介中心度	表示节点对于网络中其他节点及资源的控制能力。数值越大,控制能力越强;“桥梁”作用发挥越明显。
网络结构特征	凝聚子群	反映网络内各节点的内在关联和组团情况。

值^④,构造出成渝地区双城经济圈协同创新空间关联的0-1非对称矩阵。

将二值有向矩阵导入UCINET软件得到2012年与2017年的成渝地区双城经济圈整体创新网络测度结果(见表4)。

由表4结果可知,2012至2017年,成渝地区双城经济圈协同创新实际关系总量增加,但关系总量仍处于较低水平;网络密度和聚类系数小幅提升,说明成渝地区协同创新网络的紧密度和凝聚力均得以提高,但到2017年成渝地区的网络密度仍然较低,仅为0.2754,说明目前成渝地区双城经济圈协同创新网络仍较为松散,内部不够紧密。从中心势结果来看,成渝地区双城经济圈中心势基本稳定在43左右,但其出度和入度中心势变化对比强烈,具体表现为出度中心势显著降低,入度中心势大幅上升,说明成渝地区整体网络的创新吸引力对核心节点的依赖程度显著增加,但创新输出能力却对核心节点的依赖度明显减弱。总体而言,成渝地区整体协同创新网络对核心节点的依赖程度在6年间不减反增,这是由于对核心城市协同创新辐射效应依赖的增加造成的。

为进一步分析成渝地区双城经济圈协同创新网络密度的稳定性,本文引入不同的截断阈值,以2017年的创新联系矩阵为基础,对成渝地区双城经济圈的网络密度现状进行考察(见表5)。

当截断阈值为1时,整体网络密度为0.6302,关系总量为794,表明此时的网络紧密程度较高,群内网络联系丰富;当截断阈值提高到27.7917(均值)时,网络密度下降至0.1056,关系总量仅133条;截断阈

值继续提高到50时,网络密度仅为0.0643,关系总量仅剩81条。由此可见,成渝协同创新网络密度稳定性不高,内部城市间的协同创新联系层次鲜明,断层现象严重且基本处于较低水平,与前文分析一致。

3.2.2 中心度分析

中心度是衡量网络结构中节点在网络中“权利”与地位的重要指标^[29]。为使不同年份间数据可比,本文所有的中心度数据均用可比中心度表示(见表6)。

从度数中心度来看,重庆主城、成都市始终高居榜首,在成渝地区协同创新网络中拥有绝对核心地位;荣昌区、涪陵区、璧山区等城市的度数中心度有明显提升,2017年与永川区、自贡市、德阳市、宜宾市等城市共同成为成渝地区双城经济圈协同创新网络的节点城市。在接近中心度方面,成渝地区多个城市的接近中心度小幅提高,说明随着各项创新资源的加速流动,成渝地区协同创新更为紧密;各城市结果差距较小,表明成渝地区各城市的协同创新自主性较为均衡,各节点间的相互控制作用基本均衡,对网络核心城市的依赖程度降低。此外,中介中心度的结果证实了重庆主城和成都市协同创新的绝对“桥梁”作用,2017年分别充当“中间人”的次数为47.289和18.381,而其他城市充当“中间人”的次数基本不到1次,说明成渝地区创新联系主要通过双核实现,各城市充当创新联系“中间人”的角色分配不均衡。

由于本文构建的协同创新联系网络为有向矩阵,因此可在考察城市个体中心度特征的基础上进一步分析其在入度、出度网络中的重要性^⑤

表4 成渝地区双城经济圈协同创新整体网络特征

	关系总量	网络密度	聚类系数	中心势	出度中心势	入度中心势
2012年	310	0.2460	0.560	41.85	48.163	12.898
2017年	347	0.2754	0.664	46.22	27.510	51.020

表5 不同截断阈值下的协同创新整体网络特征

截断阈值	≥1	≥3	≥5	≥10	≥27.7917	≥50
网络密度	0.6302	0.4190	0.3365	0.2302	0.1056	0.0643
关系总量	794	528	424	290	133	81

表6 成渝地区双城经济圈协同创新中心度特征

城市	指标	度数中心度		接近中心度		中介中心度	
		2012年	2017年	2012年	2017年	2012年	2017年
重庆主城		88.571	88.571	20.000	24.823	44.868	47.289
成都市		65.714	68.571	19.126	23.649	11.087	18.381
永川区		25.714	28.571	17.766	21.605	0.246	0.599
荣昌区		20.000	28.571	17.588	21.605	0.000	0.697
涪陵区		17.143	28.571	17.500	21.605	0.644	1.916
江津区		14.286	28.571	17.413	21.605	0.028	0.964
璧山区		20.000	25.714	17.588	21.472	0.207	0.289
自贡市		45.714	22.857	18.421	21.341	2.493	0.370
德阳市		31.429	22.857	17.949	21.341	0.588	0.574
宜宾市		17.143	22.857	17.500	21.341	0.070	0.291
大足区		28.571	20.000	17.857	21.212	0.546	0.028
乐山市		22.857	20.000	17.677	21.212	0.179	0.280
铜梁区		11.429	20.000	17.327	21.212	0.000	0.109
遂宁市		31.429	17.143	17.949	21.084	1.367	0.210
泸州市		25.714	17.143	17.766	21.084	0.308	0.034
内江市		31.429	14.286	17.949	20.958	0.630	0.000
绵阳市		22.857	14.286	17.677	20.958	0.137	0.042
南川区		5.714	14.286	17.157	20.958	0.000	0.168
合川区		2.857	14.286	17.073	20.958	0.000	0.028
眉山市		22.857	11.429	17.677	20.833	0.090	0.000
南充市		17.143	11.429	17.500	20.833	0.084	0.000
雅安市		17.143	11.429	17.500	20.833	0.000	0.000
长寿区		8.571	8.571	17.241	20.710	0.000	0.000
潼南区		5.714	8.571	17.157	20.710	0.000	0.000
綦江区		2.857	8.571	17.073	20.588	0.000	0.000
丰都县		5.714	5.714	17.157	20.468	0.000	0.000
垫江县		2.857	5.714	17.073	20.468	0.000	0.000
资阳市		25.714	2.857	17.766	19.553	0.179	0.000
广安市		14.286	2.857	17.413	20.349	0.112	0.000
达州市		5.714	2.857	17.157	20.349	0.000	0.000
万州区		2.857	2.857	17.073	20.349	0.000	0.000
梁平区		0.000	2.857	0.000	20.349	0.000	0.000
忠县		0.000	2.857	0.000	20.349	0.000	0.000
黔江区		2.857	0.000	17.073	0.000	0.000	0.000
开州区		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
云阳县		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:按度数中心度高低依次排列。

(结果见表7)。

结果显示,成渝双核的网络核心地位主要体现在协同创新的外溢方面,二者的入度中心度均高于

65,与中心势分析结果一致。对接近中心度的入度与出度考察可知,成渝地区整体创新输出自主性略优于创新输入自主性,6年间城市平均入度中心度上

表7 成渝地区双城经济圈协同创新出度入度中心度特征

指标 年份 城市	度数中心度				接近中心度			
	2012年		2017年		2012年		2017年	
	入度	出度	入度	出度	入度	出度	入度	出度
重庆主城	88.571	34.286	88.571	31.429	20.000	6.554	24.823	5.785
成都市	65.714	25.714	68.571	17.143	19.126	6.494	23.649	5.710
永川区	14.286	25.714	20.000	20.000	17.413	6.506	21.084	5.747
荣昌区	11.429	20.000	22.857	25.714	15.766	6.481	21.212	5.766
涪陵区	14.286	11.429	25.714	17.143	17.413	6.410	21.341	5.710
江津区	8.571	14.286	25.714	17.143	17.241	6.458	21.341	5.738
璧山区	14.286	17.143	22.857	20.000	17.413	6.470	21.212	5.757
自贡市	45.714	31.429	14.286	20.000	18.421	6.530	18.817	5.738
德阳市	31.429	17.143	22.857	8.571	17.949	6.458	21.341	5.663
宜宾市	11.429	14.286	22.857	11.429	16.204	6.446	21.341	5.700

注:仅展示度数中心度排名前十的节点城市。

升而平均出度中心度下降,说明在成渝地区协同创新自主性整体增强的情况下,各城市创新输入自主性均有所下滑,未来应着力加强成渝地区城市跨界搜索与创新吸收的自主性。

3.2.3 凝聚子群分析

根据各节点的相似属性和联系紧密程度,可以将整体网络划分为若干个子群,每个子群内部关系密切,可看作空间结构中的组织。通过凝聚子群分析,能明晰不同子群体的内部结构特征及各节点互动机理。通过基于迭代相关收敛法的 CONCOR 程序,选择最大分割深度为2,收敛标准为0.2,对成渝地区双城经济圈协同创新网络进行凝聚子群聚类分析(结果见图1和表8)。

结果显示,成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络在两个时点均形成4个凝聚子群,但随着时间和环境政策的改变,部分子群的组成成员产生了明显变化。具体来看,子群一的构成未发生改变,囊括了万州区、云阳县、达州市等9个城市,大部分处于成渝地区双城经济圈东北部的边缘地区,是成渝地区协同创新网络中各节点联系较弱的子群体;子群二发生了较大重构,2017年重庆主城的加入使得子群二的组成成员从2012年仅包括南充市、长寿区等6个城市,扩展到2017年的13个城市;子群三以荣昌区、永川区为主,是介于“核心—边缘城市”之间的城市,子群中心度较低;子群四是以成都市为核心领导的子群,其主要成员与以“成德眉资”构成的成都都

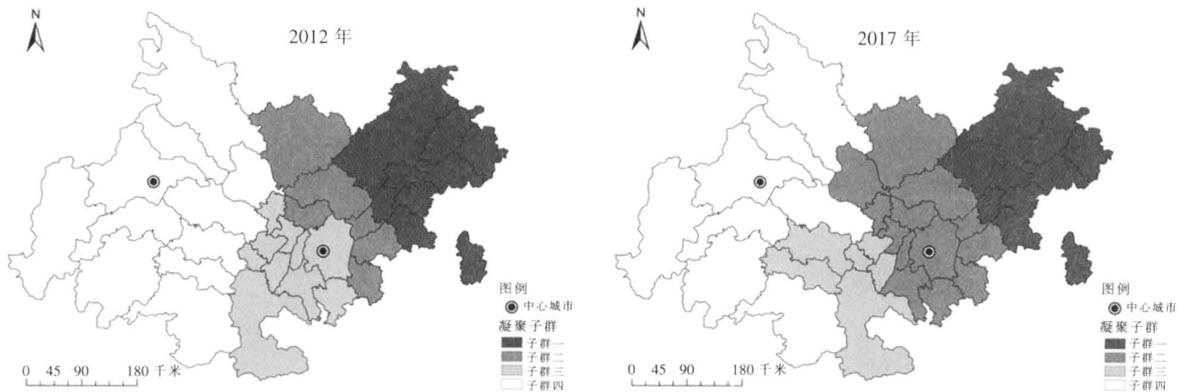


图1 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络凝聚子群分布图

注:该图基于四川测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为图川审(2017)096号和重庆市标准地图服务网站下载的审图号为渝S(2018)038号的标准地图制作,下同。

表8 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络凝聚子群分区表

年份	子群一	子群二	子群三	子群四
2012年	万州区、云阳县、丰都县、达州市、黔江区、梁平区、忠县、垫江县、开州区	南充市、长寿区、涪陵区、合川区、广安市、南川区	荣昌区、潼南区、永川区、綦江区、铜梁区、璧山区、大足区、重庆主城、江津区、泸州市	成都市、德阳市、绵阳市、乐山市、内江市、遂宁市、雅安市、宜宾市、资阳市、自贡市、眉山市
2017年	万州区、云阳县、丰都县、达州市、黔江区、梁平区、忠县、垫江县、开州区	綦江区、璧山区、铜梁区、潼南区、重庆主城、长寿区、江津区、合川区、遂宁市、南川区、涪陵区、南充市、广安市	永川区、荣昌区、内江市、泸州市、大足区、自贡市	绵阳市、成都市、乐山市、雅安市、宜宾市、资阳市、德阳市、眉山市

市圈基本一致。总体来看,地理距离和行政区划对成渝地区协同创新空间联系网络不可忽视,截至2017年凝聚子群仍以地理位置邻近“抱团”,子群构成尚未突破行政壁垒,成渝地区双城经济圈内部缺乏跨越地理格局和行政区划的创新凝聚子群。

表9为2012年和2017年各子群的密度矩阵表,能反映成渝地区双城经济圈城市协同创新之间的内在关系。结果显示,子群一内部联系密度较为稳定,但外部联系较为匮乏,尤其与成都市领导的子群联系密度基本为零,说明从2012年到2017年间,成渝地区双城经济圈东北部的边缘城市几乎未与成都都市圈产生协同创新联系。子群二、三在两年间发生了较大重构,因此二者的内外部联系密度变化较大,重庆主城的从属对子群的重构起到了重要影响。2012年重庆主城领导的子群三内部联系密度高达0.756,是成渝地区双城经济圈中紧密度最高的子群,但到2017年,由于重庆主城和涪陵区、璧山区等节点城市的加入,子群二成为创新网络中紧密度大、对外联系强的重要子群。以成德眉资为主的子群四,由于群内节点城市的减少使得其内外联系紧密度均有所下滑。2017年,子群二、三、四产生了较强的两两

间联系密度,由此“成都—荣昌—永川—重庆主城”的创新主轴已逐步形成。综上,2012—2017年,成渝地区双城经济圈各城市协同创新联系、创新空间网络结构均发生巨大变化,呈现出“双极核、多节点”的协同创新网络格局。

3.3 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络的时空演化

对成渝地区双城经济圈的协同创新水平测度结果与协同创新网络结构分析证实,不同时期成渝地区双城经济圈协同创新网络各节点的子群分布和联系紧密度存在明显空间非均衡性。为便于直观观察,本文运用ArcGIS软件将基于引力模型计算的结果以及社会网络分析的中心度结果投射到地图上(见图2),进行空间联系特征分析。图中,圆点大小表示绝对中心度,以刻画各城市在协同创新网络中的重要程度;线段粗细反映两城市间的协同创新联系强度,衡量各城市之间的协同强度;图形颜色体现各城市相应年份的创新联系总量,表示各城市对外协同创新影响力,通过以上3个维度从整体上观察成渝地区双城经济圈协同创新网络的空间联系演化特征。

表9 成渝地区双城经济圈协同创新网络子群密度矩阵

	子群一	子群二	子群三	子群四
子群一	0.667/0.694	0.056/0.077	0.000/0.000	0.000/0.000
子群二	0.481/0.444	0.500/0.622	0.233/0.218	0.030/0.058
子群三	0.056/0.111	0.350/0.538	0.756/0.533	0.155/0.188
子群四	0.010/0.000	0.091/0.115	0.118/0.083	0.645/0.482

注:表格中为2012年/2017年分析结果。

第一,成渝地区双城经济圈各城市的协同创新联系表现出较大的地域差异,大致呈现为“两极高、中部弱、东北低”的空间格局。成渝地区双城经济圈协同创新发展形成了“接壤区洼地”^[30],其中,广安市、内江市处在四川省和重庆市的接壤地带,其与重庆市的地理位置更近,但与重庆市建立的协同创新联系却不稳定,说明接壤区行政壁垒尚未破除,两省市间缺乏对接壤城市的创新合作共治机制。“东北翼边缘地带”在6年间始终处于较为孤立状态,未能积极融入成渝地区双城经济圈的整体协同创新网络之中。可视化结果与凝聚子群分析结果保持一致,达州市、万州区等10个处在成渝地区双城经济圈东北部的城市在2012年与2017年均未与其他城市产生较为明显的创新联系。

第二,成渝地区双城经济圈协同创新发展水平不均衡,双核“头部效应”突出,空间近邻效应明显。成都市与重庆主城的对外协同创新影响力显著高于其他城市,从2012年到2017年,成都都市圈与重庆主城一小时经济圈的协同创新联系强度明显增加;重庆主城及其紧邻的涪陵区、永川区、璧山区的协同创新对外联系总量明显提高,空间近邻效应明显;而处于成渝双核之间但未与其相邻的自贡市、内江市、遂宁市等城市对外联系总量均有所下滑,说明两大中心城市对科技创新资源的“虹吸效应”明显,对其他城市创新投入的保障并不充分。

第三,成渝地区双城经济圈协同创新节点城市

出现较大重构,创新联系的核心网络结构产生相应变化。2012年,成都市和重庆主城作为协同创新网络的中心城市,分别与德阳市、绵阳市、自贡市、遂宁市、内江市、大足区等节点城市有较强联系;此外,在网络中还存在宜宾市、泸州市等次级节点城市。到2017年,在中心城市不变的基础上,节点城市产生明显变化,涪陵区、荣昌区、璧山区、江津区取代了眉山市、资阳市、遂宁市、大足区的原有节点城市地位。由此,成渝演化形成了以双核核为引领,8个节点城市为主要组成地区的“2+8”成渝协同创新核心网络。

4 结论与启示

本文利用熵值法、引力模型及社会网络分析方法对成渝地区双城经济圈协同创新水平、空间联系网络结构特征及其时空演化进行了测度与分析。主要结论如下:

第一,熵值法计算结果表明,成渝地区双城经济圈协同创新水平不均衡,成渝双核独大且“虹吸效应”明显。协同创新水平在不同年份间出现较大的数据波动,总体呈浮动上升趋势,说明成渝地区双城经济圈的协同创新发展处于“探索追赶阶段”。

第二,成渝地区双城经济圈整体网络联系不稳定,城市间协同创新联系强度呈现明显断层现象。中心度结果证实,成渝地区双城经济圈内各节点的协同创新自主性较为均衡,但双核在整体网络中的“控制力”和“桥梁”作用过强。

第三,2012年至2017年,凝聚子群的分布逐步

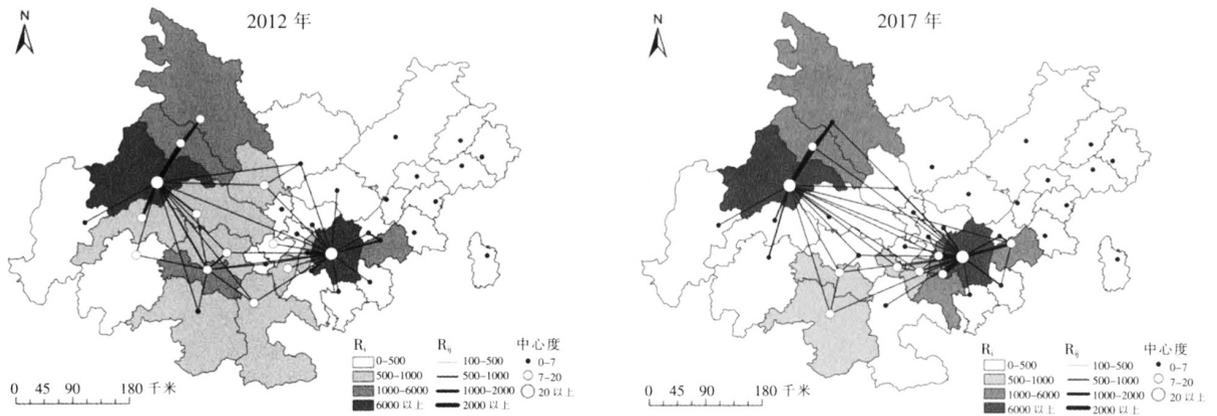


图2 成渝地区双城经济圈协同创新空间联系网络

重构优化,子群间合作加强,逐渐形成了“成都—荣昌—永川—重庆主城”的创新主轴;但凝聚子群邻近“抱团”,行政壁垒尚未完全破除。从子群分布图来看,成渝地区双城经济圈内部缺乏跨越地理格局和行政区划的创新凝聚子群。

第四,根据空间可视化结果,“接壤区洼地”“东北翼边缘地带”是成渝地区双城经济圈形成紧密协同创新网络需着力破除的关键点。

基于以上分析,可以得出促进成渝地区双城经济圈协同创新发展的若干政策启示:

第一,深入探索跨行政边界的协同创新合作机制,通过“双核共振、节点联动、边缘协作”,优化成渝地区双城经济圈协同创新联系网络结构。促进成渝双核间合作共振,充分推动双核的科研院所、高校、企业与产业链的创新协作,提升其作为发展引擎的创新外部转移能力和协同创新辐射力,逐渐形成以成都都市圈和重庆主城一小时经济圈为主的双圈互动机制,从而形成更加紧密的成渝地区双城经济圈协同创新联系网络。促进节点城市的创新联动,支持跨区域节点协作,依托中心城市与节点城市构成的“2+8”成渝协同创新核心网络,加快形成集群化的协同创新发展格局。促进边缘地区的创新协作,对于成渝接壤地区,鼓励基于地理邻近性的跨行政区科创协作,推广“重庆两江新区—广安”的科技创新合作模式,鼓励达州市、遂宁市、内江市、泸州市等行政区交界城市就近与重庆地区进行创新协作,尽快破除成渝两省分治、缺乏互动、邻近抱团的问题。

第二,注重成渝地区双城经济圈内各地区协同创新平衡协调发展。继续发挥成都市与重庆主城作为成渝地区双城经济圈协同发展的策源地作用,依托四川大学、重庆大学、中科院成都分院等成渝主要科创主体,联合争取更多前沿科学中心政策及重大科研攻关项目。同时,促进成渝地区其他创新节点培育壮大,围绕成都市和重庆主城的主要辐射腹地合理布局,加快推动成都科学城、绵阳科技城、重庆科学城及两江协同创新区等建设,引导创新要素、科技要素在德阳市、宜宾市、涪陵区、永川区、荣昌区等重要节点城市落地落户,尽快形成具有一定辐射影响力的协同创新“桥梁”城市。侧重扶持中部及东北

翼地区的发展,努力探索“飞地型”“共建型”协同创新模式,如鼓励成渝双核的高技术产学研主体在两地区设立分部等;对于协同创新水平较低的成渝东北翼边缘地带,应积极培育以梁平区为代表的区域协同创新次中心,鼓励成都高新区、重庆高新区对梁平高新区进行结对帮扶,加快形成东北翼协同创新高地。

第三,坚持“一城多区”路径模式,“内育”与“外引”结合形成开放式协同创新发展格局。“内育”,即以“一城多园”错位联动发展,共建西部科学城,支持西部(成都)科学城“一核四区”错位发展网络安全、航空航天、生命科学等关键技术领域,支持西部(重庆)科学城“一核四片多点”错位发展集成电路、医药健康等关键技术领域,并据此依托西部(成都)科学城、西部(重庆)科学城联动发展,共同壮大西部科学城。“外引”,即化区位优势为协同创新优势,在“双循环”新发展格局下,积极融入“一带一路”建设,以西部科学城为主要载体,多形式集聚“一带一路”国家先进创新成果;同时,立足两横三纵节点,积极谋求与粤港澳、长三角等地区的协同创新合作,努力实现跨区域人才、资金、技术等创新要素的自由流动,深度融入国家创新体系建设。

注释:

①资料来源: http://www.gov.cn/xinwen/2019-11/05/content_5448694.htm。

②重庆主城包括:渝中区、江北区、南岸区、九龙坡区、沙坪坝区、大渡口区、北碚区、渝北区和巴南区。

③由于采用熵值法计算需对各指标进行标准化处理,导致计算结果均小于1,不利于后续数据处理与分析。因此,本文对式(1)中各城市协同创新水平得分均作乘 10^4 处理。此种做法仅改变数据量纲,不会改变计算结果。

④其中,大于该值的数据赋值为1,小于该值的数据赋值为0,对角线数据均赋值为0。

⑤在有向网络中对度数中心度的考察可分为“入度中心度”和“出度中心度”。出度中心度高,表明城市较主动地向网络中其他城市去寻求创新协同;入度中心度较高,表明该城市是重要协同创新策源地。接近中心度同样可分为“入度

接近中心度”与“出度接近中心度”，其大小分别反映城市在对外输出与对内输入网络中的自主性。由于中介中心度衡量的是城市在网络中所处的枢纽地位，因此不存在入度与出度之分。

参考文献：

[1]白俊红,蒋伏心.协同创新、空间关联与区域创新绩效[J].经济研究,2015,50(7):174-187.

[2]叶伟巍,梅亮,李文,等.协同创新的动态机制与激励政策——基于复杂系统理论视角[J].管理世界,2014(6):79-91.

[3]陈劲,阳红娟.协同创新的理论基础与内涵[J].科学学研究,2012,30(2):161-164.

[4]Phelps C, Heidi R, Wadhwa A. Knowledge, Networks, and Knowledge Networks: A Review and Research Agenda[J]. Journal of Management, 2012, 38(4): 1115-1166.

[5]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.

[6]Cooke P, Uranga M G, Etxebarria G. Regional Systems of Innovation: An Evolutionary Perspective[J]. Environment and Planning, 1998, 30(9): 1563-1584.

[7]Kashani S E, Roshani S. Evolution of Innovation System Literature: Intellectual Bases and Emerging Trends[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2019, 146: 68-80

[8]王志宝,孙铁山,李国平.区域协同创新研究进展与展望[J].软科学,2013,27(1):1-4+9.

[9]李俊华,王耀德,程月明.区域创新网络中协同创新的运行机理研究[J].科技进步与对策,2012,29(13):32-36.

[10]杨国忠,颜莺.中国高新技术产业的区域创新能力评价研究[J].工业技术经济,2015,34(9):115-122.

[11]周立,吴玉鸣.中国区域创新能力:因素分析与聚类研究——兼论区域创新能力综合评价的因素分析替代方法[J].中国软科学,2006(8):96-103.

[12]贾春光,程钧漠,谭晓宇.山东省区域科技创新能力动态评价及空间差异分析[J].科技管理研究,2020,40(2):106-114.

[13]龚轶,王峥,高菲.协同创新、区域差异与现代化经济体系布局——以京津冀为例[J].城市发展研究,2019,26(8):71-77.

[14]许治,黄菊霞.协同创新中心合作网络研究——以教

育部首批认定协同创新中心为例[J].科学学与科学技术管理,2016,37(11):55-67.

[15]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.

[16]李美娟,魏寅坤,徐林明.基于灰靶理论的区域协同创新能力动态评价与分析[J].科学学与科学技术管理,2017,38(8):122-132.

[17]Wang C, Rodan S, Fruin M, et al. Knowledge Networks, Collaboration Networks, and Exploratory Innovation[J].The Academy of Management Journal, 2014, 57(2): 484-514.

[18]白丽.知识产权推动创新型经济发展的路径分析[J].经济问题,2020(11):76-84.

[19]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.

[20]唐建荣,李晨瑞,倪攀.长三角城市群创新网络结构及其驱动因素研究[J].上海经济研究,2018(11):63-76.

[21]李琳,彭璨.长江中游城市群协同创新空间关联网络结构时空演变研究[J].人文地理,2020,35(5):94-102.

[22]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.

[23]孙瑜康,李国平.京津冀协同创新水平评价及提升对策研究[J].地理科学进展,2017,36(1):78-86.

[24]袁旭梅,张旭,王亚娜.中国高新技术产业区域协同创新能力评价与分类[J].中国科技论坛,2018(9):13-21.

[25]陈睿山,叶超,蔡运龙.区域经济联系测度方法述评[J].人文地理,2013,28(1):43-47.

[26]吕拉昌,梁政骥,黄茹.中国主要城市间的创新联系研究[J].地理科学,2015,35(1):30-37.

[27]李琳,牛婷玉.基于SNA的区域创新产出空间关联网络结构演变[J].经济地理,2017,37(9):19-25+61.

[28]李陈,靳相木.基于引力模型的中心镇空间联系测度研究——以浙江省金华市25个中心镇为例[J].地理科学,2016,36(5):724-732.

[29]彭芳梅.粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构——基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析[J].经济地理,2017,37(12):57-64.

[30]涂建军,况人瑞,毛凯,等.成渝城市群高质量发展水平评价[J].经济地理,2021,41(7):50-60.