

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2026.02.007

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:文梦瑶,侯兰功,马澈.川渝地区国家级高新区合作网络演化及影响机制[J].西安理工大学学报,2026,42(2):218-227.

Wen Mengyao, Hou Langong, Ma Che. Evolution and influence mechanism of national high-tech zones cooperation network in the Sichuan-Chongqing region[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2026, 42(2): 218-227.

川渝地区国家级高新区合作网络演化及影响机制

文梦瑶, 侯兰功, 马 澈

(西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 探究川渝地区国家级高新区的合作网络结构及其影响机制, 对于优化区域高新技术合作、促进区域高新技术高质量协调发展具有重要支撑作用。本文基于川渝地区国家级高新区之间的合作数据构建合作网络, 运用社会网络分析法探究合作网络的结构演化特征, 并采用指数随机图模型进一步分析网络形成的影响机制。研究结果表明: 研究期内该合作网络整体呈现双核驱动格局, 其规模虽不断扩大但发展不平衡; 该合作网络密度显著增加, 尽管网络发育尚不健全, 但合作路径不断丰富, 网络连通性持续优化; 区域国家级高新区合作网络形成过程中, 各高新区的技术创新能力和经济基础要素对合作网络的形成有正向影响, 组织邻近性、制度邻近性与社会邻近性作为关键影响因素共同推动网络演化, 促进各国家级高新区之间的合作。

关键词: 川渝地区; 国家级高新区; 区域合作网络; 社会网络分析; 指数随机图模型

中图分类号: F299

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2026)02-0218-10

Evolution and influence mechanism of national high-tech zones cooperation network in the Sichuan-Chongqing region

Wen Mengyao, Hou Langong, Ma Che

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Investigating the cooperative network structure and its influencing mechanisms of national high-tech zones in the Sichuan-Chongqing region plays a crucial supporting role in optimizing regional high-tech cooperation and promoting high-quality coordinated development of regional high-tech industries. This paper constructs a cooperative network based on the cooperation data among national high-tech zones in the Sichuan-Chongqing region, explores the evolutionary characteristics of the cooperative network structure by the social network analysis, and further analyzes the influencing mechanisms of network formation through the exponential random graph model. The research findings indicate that during the study period, the cooperative network overall exhibits a dual-core driven pattern, with its scale continuously expanding but development remaining unbalanced; the density of the cooperative network significantly increases, and although the network development is not yet fully mature, the cooperation pathways continue to diversify,

收稿日期: 2024-11-08; 网络首发日期: 2025-04-15

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20250415.1421.002>

基金项目: 浙江省哲学社会科学基金项目(19NDJC003Z); 浙江省科技厅软科学基金项目(2018C35063); 西南科技大学研究生创新基金资助项目(24ycx1116)

第一作者: 文梦瑶, 女, 硕士生, 研究方向为区域发展与规划。E-mail: wenmy25356@163.com

通信作者: 侯兰功, 男, 博士, 教授, 硕导, 研究方向为区域发展与规划。E-mail: lgonghou@swust.edu.cn

and network connectivity continuously improves; in the formation of the regional national high-tech zones cooperative network, the technology innovation capability and economic foundation elements of each high-tech zone have a positive impact on the formation of the cooperative network, with organizational proximity, institutional proximity and social proximity as key influencing factors jointly driving network evolution and promoting cooperation among national high-tech zones.

Key words: Sichuan-Chongqing region; national high-tech zones; regional cooperation network; social network analysis; exponential random graph models

国家级高新技术产业开发区(以下简称“国家级高新区”)作为我国经济最活跃、创新资源最密集的高新技术产业发展载体^[1],其合作与协同发展已成为不可忽视的议题。当前,地方各地区国家级高新区自成体系的情况较为突出^[2],但单一国家级高新区的孤立发展模式已难以适应全球化背景下日益复杂的市场需求与技术变革。为应对全球价值链重构带来的竞争压力,推动区域高新技术产业高质量发展,川渝地区 12 家国家级高新区于 2021 年共同发起并成立了成渝地区双城经济圈高新区协同创新战略联盟。这表达了川渝两地对于国家级高新区之间实现资源共享、优势互补和网络化协同发展的迫切需求。因而研究川渝地区双城经济圈国家级高新区的合作网络具有现实意义。

既有研究表明,对区域协同发展网络的研究多聚焦于宏观层面的国家或城市^[3-4],而较少关注中观尺度的国家级高新区的合作网络特征。有学者基于开发区群的视角研究了开发区群的综合效益^[5],或使用重力模型刻画了区域内各个开发区之间的联系^[6]。也有学者结合关系地理学中的集群网络与全球生产网络等^[7],采用数学模型来模拟开发区间的生产合作网络。此类研究主要关注其发展定位^[8]、政策与产业结构评价^[9]、创新效率^[10]等传统议题。近年来,随着中国开发区建设的深入推进,有学者开始关注国家级高新区的空间布局特征及其影响因素,如赵新正等^[11]利用国家级经开区和高新区的产值数据,探讨了城市间空间关联网络的空间结构与布局特征。目前,关于国家级高新区的研究大多从经济学、管理学、空间布局角度展开,且多采用引力模型构建空间关联网络,无法真实捕捉其合作关系,而且较少涉及其网络演化机制,仅有马淑燕等^[12]通过地理探测器分析了其网络特征的影响因素。相比于地理探测器,指数随机图模型(exponential random graph model, ERGM)通过将内生动力与外生机制仿真模拟相结合,能够推断出网络结构的演化机制,在分析网络形成的动力机制方面具有优势。ERGM 的构建可有效解释网络结构的某种微观特

征^[13],能更好地识别影响节点连接的显著因素,因此成为近年来研究网络关系形成及其影响因素的重要方法^[14]。已有学者应用 ERGM 研究了城市间知识合作网络结构演化的影响机制^[15]、金融科技空间的网络演化^[16]等。

综上所述,随着区域协同发展需求的日益增强,区域间的合作关系及其形成机制成为学者们关注的重点。国家级高新区作为创新要素集聚和产业升级的核心载体,其合作网络的形成及演化机制不同于一般城市网络,以其为研究对象更能体现知识溢出、技术扩散和创新协同等区域创新系统的核心特征。然而,现有关于合作网络发展及其形成机制的研究明显较少。鉴于此,本文基于国家级高新区合作视角,利用社会网络分析方法与指数随机图模型来探讨川渝地区国家级高新区合作网络的演化特征及影响机制。以期在中观层面丰富合作网络对区域协同发展作用的理论研究的同时,为川渝地区国家级高新区的资源整合、高新技术产业合作、区域协同发展等提供有益参考。

1 研究数据与方法

1.1 国家级高新区交流合作网络的构建

国家级高新区之间通过交流互访学习、签订合作协议以及召开会议等多种形式,形成了广泛的制度、技术合作联系。本文以川渝地区 12 家国家级高新区为研究对象(图 1),以各高新区间的合作新闻数量为网络边联系强度,构建国家级高新区合作网络。

合作新闻具有实时性和连续性且来源较为丰富,能够客观反映高新区之间的正式合作关系。因其真实性、可靠性与丰富性等独特优势,合作新闻成为分析城市间复杂制度联系的崭新工具^[17]。同时,相较于企业投资等经济联系数据,合作新闻更易获取,更能体现政府主导下的制度性合作特征,这与国家级高新区作为政策实施载体的属性高度契合。因此,本文从各国家级高新区管委会官方网站、国家级高新区所在地政府网站、四川省科学技术厅、重庆市科学技术局及人民网([https://www. people. com. cn/](https://www.people.com.cn/))等

官方新闻媒体网站抓取 2020 年 1 月至 2023 年 12 月研究区内各国家级高新区之间的公共合作新闻共 3 701

条,通过人工筛选整理出合作新闻的数据库,并以公共合作新闻数量作为网络边联系强度。

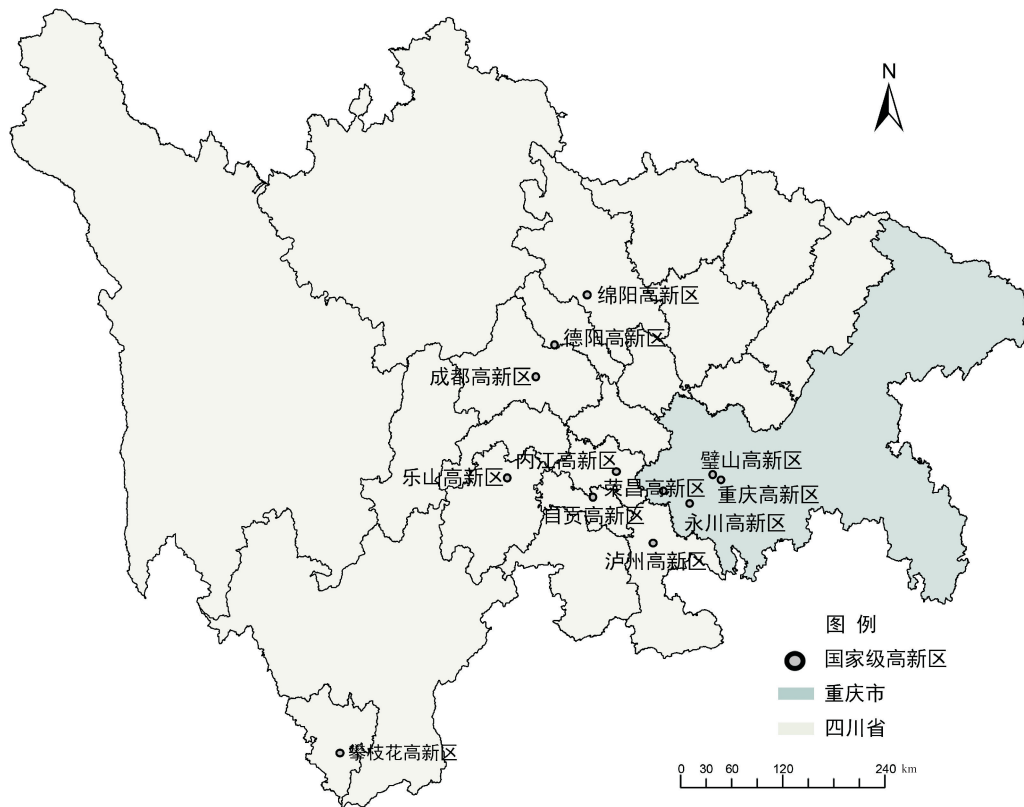


图 1 川渝地区国家级高新区分布

Fig. 1 Distribution of national high-tech zones in Sichuan and Chongqing

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2767 的标准地图制作,底图无修改。

1.2 网络分析方法

本文主要基于社会网络分析法来分析川渝地区国家级高新区合作网络的空间拓扑结构演化,以对应网络形成的内生动力和外生动力。对于空间结构,主要通过对联系边的强度进行可视化来分析其空间分布特征。对于拓扑结构,主要通过对合作网络的拓扑属性进行统计性描述,从整体特征和个体特征两个层面进行复杂网络指标测度,包括网络密度、平均度、模块化、平均路径长度、平均聚类系数、度数中心性。

1.3 指数随机图模型与变量设定

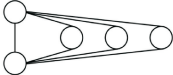
指数随机图模型(ERGM)是一种源自社会网络分析法的适用于描述复杂网络节点和网络拓扑关系的概率模型^[13],能够通过概率函数推断并定量模拟内生结构因素与外生属性因素对原有网络结构或特定网络现象的影响差异,从而解释合作网络的形成与演化机制^[18]。ERGM 的模拟与检验可在 R 语言 statnet 包中通过 ergm 实现,其一般形式如下:

$$P_r(Y = y | \theta) = \frac{1}{K} \exp \left\{ \theta^T z(y) + \theta_a^T z_a(y, x) + \theta_b^T z_b(y, g) \right\} \quad (1)$$

式中: $z(y)$ 为一系列可能影响网络形成的纯网络结构统计量; $z_a(y, x)$ 为与节点属性相关的网络统计量; $z_b(y, g)$ 为与其他外部关系网络相关的网络统计量; θ^T 、 θ_a^T 、 θ_b^T 分别为三种网络结构统计量的估计参数向量; K 为归一化常数,主要用于确保模型具有适当的概率分布。

在 ERGM 仿真模拟中,所选变量类型包括内生网络结构变量、外生节点属性变量和网络关系协变量(表 1)。本文研究的是无向对称网络,针对此网络选择边效应(Edges)和几何加权边共享伙伴(GWESP)作为内生结构变量。主要关注网络中共享相同边的三角结构数量,以此检验合作网络的基本连接模式以及传递性与聚类性趋势是否显著。

表 1 ERGM 变量描述及解释
Tab. 1 Description and interpretation of ERGM variables

变量类型	ERGM 统计量	机制	示意图	统计意义
网络结构	Edges	基础效应		截距项用于说明节点间产生联系的基本倾向
	GWESP	传递效应		统计项用于统计网络中边之间的共享伙伴数目分布
节点属性	Absdiff	同配效应		属性越大的国家级高新区是否发生合作的可能性越大
	Nodecov	马太效应		某属性强的国家级高新区是否更为活跃而更容易与其他国家级高新区产生合作
关系属性	Edgecov	协同效应		在其他网络中存在关系的国家级高新区在网络中是否更容易产生联系

注:○为属性一般的节点;●为属性较强的节点;—为节点间已经产生合作;---为节点间可能产生合作。

节点属性变量选择与国家级高新区技术创新能力和经济基础条件直接相关的因素来表征,包括研发投入经费支出、研发人员数量、各国家级高新区生产总值、专利申请数量、企业数量、高校数量,用以检验节点属性强弱是否更容易产生合作联系。邻近合作网络的关系属性变量则基于多维邻近性分析框架,从地理、制度、组织和社会邻近性等方面进行考量。地理邻近性^[19]通过各国家级高新区间的欧式距离表征;制度邻近性用各国家级高新区是否处于《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》的规划范围来表示;组织邻近性^[20]通过各国家级高新区是否处于同一省份来表征;社会邻近^[15]表征在 2020 年是否有过合作,用以反映合作网络发展是否存在社会邻近或路径依赖,将 2020 年的合作网络二值化后作为社会邻近的边协变量引入模型。所有外生变量的统计数据均来自《中国科技统计年鉴》《中国火炬统计年鉴》以及政府工作报告,研究时段为 2021—2023 年,2023 年部分缺失数据采用插值法补齐。此外,本文还对所选的连续性控制变量进行了自然对数处理^[21]。

2 合作网络演化特征

2.1 合作网络空间演化特征

图 2 为 2020—2023 年四个时间节点的川渝地区国家级高新区合作网络拓扑图。图中将节点间的联系强度划分为较弱联系、一般联系、较强联系、强联系四个等级。由图 2 可知,研究期间区域合作不断加深,虽然强联系在 2021、2022 年受疫情影响有所减少,但较强联系在研究时段内整体呈增加趋势,说明研究时段内区域合作网络的整体网络化程度不

断提高,并呈现出扩张态势。网络整体结构呈现以成都高新区、重庆高新区为两大核心节点向外辐射的态势,形成典型的“双核心”格局;同时,自贡高新区、德阳高新区、绵阳高新区等次级中心正逐步崛起,其余节点间的联系则相对松散,与网络理想状态仍存在一定差距。

2.2 网络拓扑结构

2.2.1 整体网络特征

从川渝地区国家级高新区合作网络拓扑指标(表 2)来看,整体网络密度由 0.439 上升到 0.659,表明区域内国家级高新区的合作交流逐渐密切。网络节点平均度由研究初期的 4.833 增加到研究期末的 7.333,反映出该区域国家级高新区合作网络的连通性增强,信息或资源在网络中的传递效率提高,节点间的协作互动增多。

表 2 川渝地区国家级高新区合作网络拓扑指标

Tab. 2 Topology index of cooperation network of national high-tech zones in Sichuan-Chongqing

指标	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
密度	0.439	0.273	0.349	0.659
平均度	4.833	2.727	3.833	7.333
模块化	0.072	0.151	0.181	0.041
平均路径长度	1.561	1.727	1.652	1.341
平均聚类系数	0.824	0.785	0.769	0.804

另外,本文采用“模块化”指标来判断合作网络中社区结构的强弱,四个时间切片的模块化指标均处于一个较低的水平,表明网络中社区结构的特征不突出,合作网络节点选择网络路径的联系较为单

一。这可能是由于川渝地区国家级高新区的协调合作机制还不够健全,某些高端发展平台的建设发展竞争大于合作^[22]所致。同时,将该合作网络的平均路径长度、平均聚类系数与同等规模下的随机网络进行对比,发现 2020—2022 年尽管合作网络的平均聚类系数大于随机网络的平均聚类系数(0.602),网络整体呈现集聚发展,但是平均路径长度均大于随

机网络的平均路径值(1.409),说明网络中存在缺乏社交互动的群体,而未表现出小世界特征;至 2023 年,合作网络的平均聚类系数高于随机网络的平均聚类系数,且平均路径长度低于随机网络的平均路径值,说明区域合作网络从 2023 年开始呈现出小世界特征,区域内各节点的连接更为紧密,该合作网络进入了新的发展阶段。



图 2 川渝地区国家级高新区合作网络拓扑结构

Fig. 2 Topological structure of the cooperation network of the national high-tech zone in Sichuan-Chongqing

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2767 的标准地图制作,底图无修改。

2.2.2 个体网络特征

从合作网络节点度中心性排序(表 3)来看,2020—2023 年成都高新区始终位列第一,在整个网络中是最具影响力的存在;同时自贡高新区、德阳高新区、绵阳高新区、内江高新区、永川高新区的度中心性有一定幅度的提升,说明这些节点在局部范围内影响力在逐渐扩大,从而形成了次级网络核心,使该网络向多层级核心、多元化、复杂化演进。这类节点往往拥有高水平的高新技术产业载体,例如拥有

省会城市、直辖市的资源禀赋,具有较发达的经济水平、较高的研发投入、更多的高新技术研发人员、更好的高新技术研发平台和丰富的高校资源等。而一些区位优势不明显、资源禀赋不突出的节点,如璧山高新区,或不属于《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》规划范围的高新区,如攀枝花高新区,其度中心性排名始终比较靠后,表明其尚未与其他节点形成紧密的合作关系,是未来合作网络发展需要重点关注的对象。

表 3 川渝地区国家级高新区合作网络节点度中心性排序

Tab. 3 Centrality ranking of the nodes of the cooperation network in the national high-tech zone in Sichuan-Chongqing

排序	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
1	成都高新区	成都高新区	成都高新区	成都高新区
2	重庆高新区	自贡高新区	德阳高新区	绵阳高新区
3	内江高新区	德阳高新区	自贡高新区	重庆高新区
4	荣昌高新区	内江高新区	内江高新区	永川高新区
5	永川高新区	乐山高新区	泸州高新区	荣昌高新区
6	自贡高新区	重庆高新区	重庆高新区	泸州高新区
7	泸州高新区	永川高新区	乐山高新区	内江高新区
8	璧山高新区	绵阳高新区	绵阳高新区	自贡高新区
9	德阳高新区	攀枝花高新区	荣昌高新区	乐山高新区
10	绵阳高新区	泸州高新区	璧山高新区	璧山高新区
11	乐山高新区	荣昌高新区	永川高新区	德阳高新区
12	攀枝花高新区	璧山高新区	攀枝花高新区	攀枝花高新区

3 合作网络影响机制

3.1 ERGM 拟合结果分析

为探讨川渝地区国家级高新区合作网络的形成机制,采用 ERGM 实证检验网络形成的影响因素及其影响程度(表 4)。与回归模型类似,通过 t 统计量检测参数的显著性,同时通过赤池信息准则(AIC)、贝叶斯信息准则(BIC)和对数似然值来衡量模型的拟合程度,三个值越小说明拟合优度越高、模型解释力越强。

ERGM 的模型 1 选取边(E)、GWESP(G)两个内生网络结构变量,并加入区域各节点的地理邻近网络(L)、组织邻近网络(O)、制度邻近网络(R)、社会邻近网络(S);模型 2 选取内生网络结构变量(同上)及节点属性变量,包括研发投入经费支出(X)、研发人员数量(P)、各国家级高新区生产总值(Y)、专利申请数量(T)、企业数量(N)、高校数量(U);模型 3 则将上述网络结构变量、邻近网络变量、各节点禀赋变量全部纳入。

模型 1 中就网络内生变量而言,边(E)呈负显著且标准误降低, G 均不显著。表明研究期间区域合作网络的边密度较低,传递性和聚类性趋势不显著,网络形成更多是受外生网络协变量的影响,而非内生结构变量的驱动。由前文网络拓扑结构可知,该合作网络至 2023 年才演化出小世界特性,并且表现出聚集中心较为单一的特征,这意味着区域网络内部的多数发展机会被少数高新区抢占。就网络外生因素而言,社会邻近性系数为正且显著,组织邻近性与制

度邻近性由正显著演化为不显著,地理邻近性网络由正相关转变为负相关,表明区域内国家级高新区之间城际交流上的壁垒有所破除,高新技术研发的专业化发展使得各高新区更加依赖社会邻近网络。

模型 2 将各高新区的节点禀赋特征引入模型,其回归结果显示,企业数量、专利申请数量和高校数量的系数显著为正,而研发投入经费支出与区域生产总值显著为负。这表明区域国家级高新区合作网络节点在相互选择的过程中,更倾向于与拥有大量高新技术企业及更多创新资源平台的节点建立紧密合作关系。这种倾向体现了国家级高新区在发展过程中对跨区域资源整合共享的需求,以此加速科技成果的转化并带动经济发展。

模型 3 将内生结构变量、邻近性网络变量及节点属性变量全部纳入模型,对比各模型的 AIC、BIC、对数似然值,模型 3 的拟合结果均更优,说明模型 3 的模拟结果更接近真实的区域国家级高新区合作网络,能较好地解释该合作网络的形成机制。从网络的内生结构来看,网络整体较为稀疏,内生结构特性并非网络演化的关键因素,该网络演化更多是受其他外生因素或节点属性的驱动。从邻近网络关系来看,各高新区更倾向于与同省域、拥有相似政策管理机制或曾有过合作关系的高新区产生合作交流,不过这些合作壁垒正逐步被打破。从节点属性要素来看,地区生产总值、研发人员数量、专利申请数量、企业数量、高校数量这些因素都对该网络的形成具有推动作用,但在不同时期其具体影响尚存在差异。由此可知,国家级高新区的经济基础与技术

创新能力是增强自身在区域合作网络中竞争力与吸引力的关键要素。

表 4 川渝地区国家级高新区合作网络的 ERGM 回归结果

Tab. 4 ERGM regression results of the national high-tech zone cooperation networks in Sichuan-Chongqing

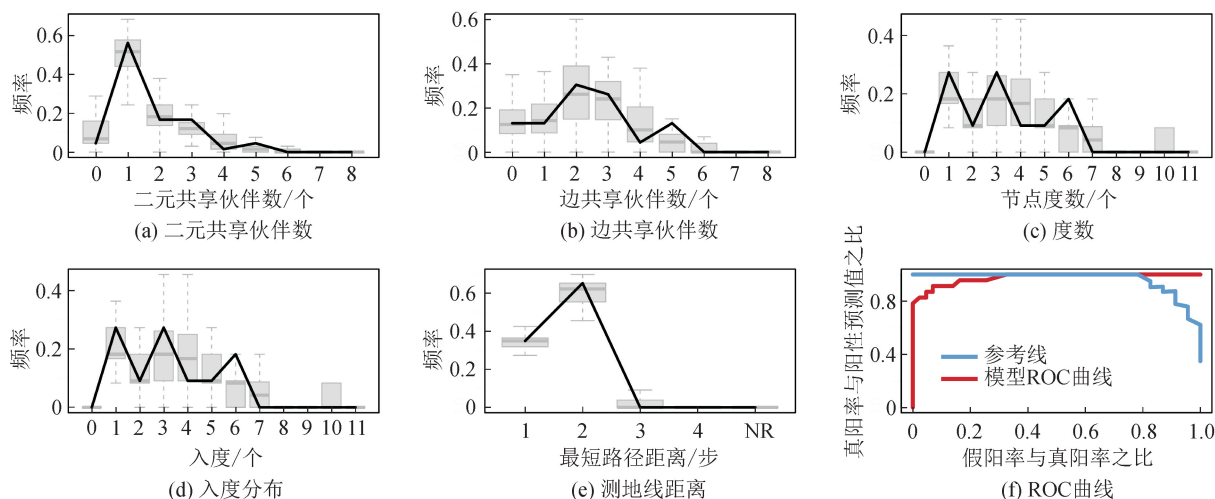
变量	2021 年			2022 年			2023 年		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
E	-45.057*	107.629*	-16.739	-26.846**	131.160**	82.530	-2.963	-1.038	82.905*
	(17.591)	(42.516)	(23.532)	(9.285)	(41.837)	(49.105)	(11.616)	(23.668)	(37.357)
G	0.737	0.610	0.949	0.231	-0.608	-0.836	1.957	1.326	1.535
	(0.609)	(0.804)	(0.922)	(0.568)	(0.801)	(0.874)	(5.926)	(14.712)	(7.014)
X	-18.628**	-7.070*		-0.672	-4.375		-0.769	3.155	
	(6.705)	(3.599)		(1.704)	(2.818)		(3.536)	(1.835)	
P	15.214**	5.223		-6.163**	-5.139*		0.924	-4.667*	
	(5.651)	(3.993)		(2.118)	(2.222)		(3.628)	(1.945)	
Y	-7.106	-10.745		-9.248**	-8.659*		0.731	3.994	
	(6.050)	(5.802)		(3.107)	(3.863)		(1.147)	(2.100)	
T	3.362*	2.223		1.636*	3.265*		1.341**	1.352	
	(1.354)	(1.239)		(0.791)	(1.444)		(0.510)	(0.847)	
N	1.245	8.999*		10.629***	12.810**		0.909	1.440	
	(2.792)	(4.390)		3.105	(4.530)		(2.053)	(2.775)	
U	2.048	2.566		2.873*	1.370		0.432	5.854*	
	(1.750)	(2.004)		(1.1797)	(2.108)		(1.004)	(2.775)	
L	6.105*	5.469	3.580*		2.898	-0.369*		-16.151*	
	(2.654)	(4.134)	(1.458)		(2.296)	(1.702)		(6.434)	
O	5.706**	8.948*	3.868***		4.496**	1.908		-0.755	
	(1.921)	(3.590)	(1.069)		(1.729)	(0.826)		(1.402)	
R	4.737*	12.479	4.370**		6.489	1.953		-4.562	
	(2.249)	(9.757)	(1.602)		(7.745)	(1.314)		(2.807)	
S	5.545**	8.474*	2.340*		1.842	2.635**		-2.643	
	(1.846)	(4.025)	(0.942)		(2.304)	(0.846)		(1.953)	
AIC	48.79	46.16	45.91	68.74	55.70	50.48	91.50	73.64	59.17
BIC	61.93	63.68	72.18	81.88	73.22	76.75	82.46	91.16	85.44
对数似然值	18.394	-15.079	-10.954	-28.371	-19.851	-13.238	-28.662	-28.822	-17.584

注:***表示 $p < 0.001$,**表示 $p < 0.01$,*表示 $p < 0.05$;括号中数值为稳健标准误。

3.2 拟合优度检验

本文通过拟合优度^[23]来检验上述模型的科学性与准确性。拟合优度检验以模型收敛为前提,对比仿真网络与实际观测网络之间的特征差异。基于模型对网络进行仿真,包括二元共享伙伴数、边共享伙伴数、度数、入度分布、测地线距离、ROC 曲线指标。

本文对 2023 年的模型 3(全模型)进行拟合优度检验(图 3)。由图 3 可知,模拟网络箱线图的中位数接近观测网络的实黑线,ROC 曲线突向左上角则表明模型拟合效果较好,说明该仿真网络能较好地解释上述各指标。



注:黑实线表示原有观测网络的特征统计量;虚线及箱线图表示仿真网络在95%置信区间下的测度结果;NR表示未达到。

图3 动态指数随机图模型的拟合优度图

Fig. 3 Goodness-of-fit plot of a dynamic exponential random graph models

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以川渝地区12家国家级高新区为研究对象,基于2020—2023年各国家级高新区之间的合作数据构建了区域合作网络,采用社会网络分析法分析了其空间及拓扑特征,并采用ERGM探讨了该区域国家级高新区合作网络的形成机制。

1) 在研究期间,川渝地区国家级高新区合作网络的“双核心”格局比较稳定,成都高新区、重庆高新区双核驱动,自贡高新区、德阳高新区、绵阳高新区等次级中心逐步崛起,使得合作网络逐渐紧密。但该合作网络中的区域合作水平仍有待提升,各高新区间合作联系的紧密程度仍存在不均衡性。

2) 就网络拓扑结构而言,各国家级高新区合作网络密度显著增加且规模有所扩张,呈现出一种非对称的网络架构特征。尽管合作网络中社区结构特征不明显,但随着合作路径的不断丰富,在研究期内该合作网络的连通性整体持续优化,资源在网络中的传递效率逐渐提高。

3) 就合作网络的形成机制而言,川渝地区国家级高新区合作网络是网络结构变量、邻近网络关系变量与节点属性变量共同作用的结果。只是该区域合作网络在演化过程中由于网络结构较为松散,其成长性与链接对该网络的形成影响甚微。在多维邻近网络关系中,除地理邻近性由正相关转变为负相关,组织邻近网络、制度邻近网络与社会邻近网络均发挥着积极的作用,这意味着各国家级高新区之间的合作将不再受距离的限制。考虑到合作成本和效

率,制度环境、规划政策、管理机制、知识技术基础等方面相似的节点,其隐性壁垒较小,更有利于开展合作。此外,节点属性中体现高新技术创新能力和经济基础两个维度的因素对网络演化存在显著正向影响。

4.2 讨论

本文对川渝地区国家级高新区合作网络及其演化机制进行了探讨,相较于前人研究,本文采用公共合作新闻搭建了合作网络,使用ERGM将内生影响因素与外生影响因素纳入该网络演化机制进行研究。结果发现,研究期内该网络较为稀疏,网络的形成更多是依赖外部因素,而非内部结构特征;同时,各国家级高新区的经济基础与技术创新能力是增强自身在区域合作网络中竞争力与吸引力的关键要素,这与马淑燕等^[12]关于中国国家级高新区空间分布影响因素的研究发现一致;此外,本文还得出地级市的行政边界对高新区的合作网络具有抑制作用,制度邻近性与社会邻近性能积极促进网络演化。这也在一定程度上验证了闫怡然等^[7]关于开发区生产合作网络的研究结论及赵新正等^[11]关于国家级开发区空间组织特征的研究结果。

据此,本文提出三点建议。

1) 优化川渝地区高新技术资源分配,推动培育新的高新技术产业增长极。目前,区域国家级高新区合作网络尚未形成紧密链接,应鼓励和支持孵化一批具有引领示范作用的高新技术产业集群。在此基础上促进网络节点的多元化与多层次发展,增强内生动力在网络演化中的作用,在避免马太效应的同时,促进合作网络向多中心、扁平化发展。

2) 重点完善跨区域知识、高新技术等领域的合作配套政策,健全跨区域科研平台建设。要进一步突破行政壁垒,积极吸纳攀枝花高新区这类边缘节点,以点带面,进而基于多维邻近性加强与周边城市的战略融合,推动区域形成上下游配套的高新技术产业体系。

3) 统筹兼顾不同国家级高新区的实际发展需求与特点,依据不同高新区的功能定位,推进小尺度、差异化合作联盟建设,以此弥补节点在资源禀赋、技术能力等方面的不足,同时避免“同质化”竞争,从而实现川渝地区国家级高新区的紧密合作,助力区域内高新区的高质量发展。

本文探索了川渝地区国家级高新区合作网络的演变特征,并基于 ERGM 对其影响机制进行了测度。但本研究也存在一定局限:首先,本文仅基于已有新闻信息来构建合作网络可能不够全面,新闻报道可能对非公开合作或敏感领域合作存在选择性报道的倾向。其次,不同高新区的新闻发布机制存在差异,可能影响数据的绝对可比性。高新区之间的专利转移、高新技术企业之间的合作联系也很重要,今后可从多角度收集国家级高新区的合作数据,分析合作网络的耦合关系。再次,采用 ERGM 分析合作网络演化的影响因素时,所构建的指数随机图模型是将所有控制变量视为一种单纯的累积,忽略了多维邻近性影响可能存在的复杂交织情况。这种假设可能导致模型无法充分揭示合作网络形成的深层机制。后续研究可以构造多层网络分析构架,深入探讨组织邻近与其他邻近性交互对合作网络的影响。

参考文献:

- [1] 高春东,魏颖,金凤君. 国家高新区发展定位和思路探讨[J]. 中国行政管理, 2019(3): 158-159.
- [2] 袁海,秦思,张丽姣,等. 邻近性、网络依赖性与国家级高新区间协同创新网络演化——以我国东部国家级高新区为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2024, 45(5): 77-91.
Yuan Hai, Qin Si, Zhang Lijiao, et al. Proximity, network dependence and the evolution of collaborative innovation network in the national high-tech sector: take the national high-tech zone in eastern China as an example[J]. Science of Science and Management of Science and Technology, 2024, 45(5): 77-91.
- [3] 刘承良,桂钦昌,段德忠,等. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理[J]. 地理学报, 2017, 72(4): 737-752.
Liu Chengliang, Gui Qinchang, Duan Dezhong, et al. Structural heterogeneity and proximity mechanism of global scientific collaboration network based on co-authored papers[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(4): 737-752.
- [4] 安俞静,刘静玉,乔墩墩. 中原城市群城市空间联系网络格局分析——基于综合交通信息流[J]. 地理科学, 2019, 39(12): 1929-1937.
An Yujing, Liu Jingyu, Qiao Dundun. Urban spatial connection and network structure in Zhongyuan Urban Agglomeration: a study based on integrated traffic and information flow [J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(12): 1929-1937.
- [5] 王兴平,赵虎,朱凯,等. 综合效益导向的开发区群整合策略研究——以宁波市开发区群为例[J]. 规划师, 2011, 27(9): 26-31.
Wang Xingping, Zhao Hu, Zhu Kai, et al. Comprehensive benefit oriented development park strategies: Ningbo example[J]. Planners, 2011, 27(9): 26-31.
- [6] 滕堂伟,施春蓓. 区域经济联系与卫星城产业区发展: 以上海临港产业区为例[J]. 经济地理, 2013, 33(8): 61-67.
Teng Tangwei, Shi Chunbei. Regional economic linkage and the development of satellite regions: case study of Shanghai Lingang Industrial Park [J]. Economic Geography, 2013, 33(8): 61-67.
- [7] 闫怡然,王兴平. 江苏省域开发区间生产合作网络及其对中国“一带一路”境外园区的发展启示[J]. 城市发展研究, 2023, 30(3): 21-29, 97.
Yan Yiran, Wang Xingping. Networks of production cooperation among development zones in Jiangsu Province and its implications for the development of China's "Belt and Road" overseas parks[J]. Urban Development Studies, 2023, 30(3): 21-29, 97.
- [8] 曹敏娜,王兴平. 高新技术产业开发区的功能定位研究——以南京高新区为例[J]. 人文地理, 2003, 18(2): 37-41, 74.
Cao Minna, Wang Xingping. Research on functional orientation of high-tech park—taking Nanjing High-tech Park as an example [J]. Human Geography, 2003, 18(2): 37-41, 74.
- [9] 王鹏,吴思霖,李彦. 国家高新区的设立能否推动城市产业结构优化升级? ——基于 PSM-DID 方法的实证分析[J]. 经济社会体制比较, 2019(4): 17-29.
Wang Peng, Wu Silin, Li Yan. Can the establishment of national high-tech zones improve and upgrade the urban industrial structure? An empirical analysis based on the PSM-DID method[J]. Comparative Economic & Social Systems, 2019(4): 17-29.
- [10] 储姗姗,汪涛,夏四友,等. 创新价值链视角下企业创

- 新效率差异及影响因素分析——基于江苏省国家高新区企业的验证[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 269-279.
- Chu Shanshan, Wang Tao, Xia Siyou, et al. Differences and influencing factors of enterprise innovation efficiency based on innovation value chain: a case study on enterprises of national high-tech zones in Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(2): 269-279.
- [11] 赵新正,冯长安,李同昇,等. 中国城市网络的空间组织特征研究——基于开发区联系的视角[J]. 地理研究, 2019, 38(4): 898-910.
- Zhao Xinzheng, Feng Chang'an, Li Tongsheng, et al. Spatial organization characteristics of urban network in China: an analysis based on linkages between China's national-level development zones[J]. Geographical Research, 2019, 38(4): 898-910.
- [12] 马淑燕,赵祚翔,王桂玲. 中国国家高新技术产业开发区时空格局特征及影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(8): 95-102, 239.
- Ma Shuyan, Zhao Zuoxiang, Wang Guiling. Spatio-temporal evolution and driving factors of China's national high-tech industrial development zones[J]. Economic Geography, 2022, 42(8): 95-102, 239.
- [13] Garry R, Pattison P, Kalish Y, et al. An introduction to exponential random graph (p^*) models for social networks [J]. Social Networks, 2007, 29(2): 173-191.
- [14] Lu C, Li B. The influence factors of innovation networking formation based on ERGM:evidence from the smart medical industry[J]. Journal of Digital Economy, 2023, 2: 64-80.
- [15] 戴靓,曹湛,马海涛,等. 中国城市知识合作网络结构演化的影响机制[J]. 地理学报, 2023, 78(2): 334-350.
- Dai Liang, Cao Zhan, Ma Haitao, et al. The influencing mechanisms of evolving structures of China's intercity knowledge collaboration networks [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(2): 334-350.
- [16] 刘程军,陈亦婷,陈秋驹,等. 企业投资视角下金融科技的空间联系网络演化与影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(2): 136-146.
- Liu Chengjun, Chen Yiting, Chen Qiuju, et al. Evolution and influencing factors of the spatial connection network of financial technology from the perspective of enterprise investment [J]. Economic Geography, 2023, 43(2): 136-146.
- [17] 李响,严广乐. 区域公共治理合作网络实证分析——以长三角城市群为例[J]. 城市问题, 2013(5): 77-83.
- Li Xiang, Yan Guangle. Empirical analysis to the collaborative network for regional public governance: taking Yangtze River Delta Urban Agglomeration for example[J]. Urban Problems, 2013(5): 77-83.
- [18] 韩刚,史修松,刘志敏. 基于 ERGM 模型的江苏省城市网络紧凑性形成机理研究[J]. 地理科学进展, 2021, 40(12): 2025-2034.
- Han Gang, Shi Xiusong, Liu Zhimin. Formation mechanism of network compactness in Jiangsu Province based on exponential random graph models [J]. Progress in Geography, 2021, 40(12): 2025-2034.
- [19] 戴靓,刘承良,王嵩,等. 长三角城市科研合作的邻近性与自组织性[J]. 地理研究, 2022, 41(9): 2499-2515.
- Dai Liang, Liu Chengliang, Wang Song, et al. Proximity and self-organizing mechanisms underlying scientific collaboration of cities in the Yangtze River Delta [J]. Geographical Research, 2022, 41(9): 2499-2515.
- [20] 王海花,孙芹,郭建杰,等. 长三角城市群协同创新网络演化动力研究:基于指数随机图模型[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(14): 45-53.
- Wang Haihua, Sun Qin, Guo Jianjie, et al. Research on evolution dynamic of collaborative innovation network in the urban agglomeration of Yangtze River Delta based on ERGM[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2021, 38(14): 45-53.
- [21] 陈钰芬,王科平. 多维邻近性视角下人工智能合作创新网络演化研究[J]. 管理学报, 2023, 20(7): 1045-1055.
- Chen Yufen, Wang Keping. Research on the evolution of AI cooperative innovation network from the perspective of multi-dimensional proximities[J]. Chinese Journal of Management, 2023, 20(7): 1045-1055.
- [22] 魏颖,张军,曹方,等. 成渝地区双城经济圈国家高新区高质量发展研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(4): 75-82.
- Wei Ying, Zhang Jun, Cao Fang, et al. Study on high quality development of dual-city economic circle national high-tech industrial development zones in Chengdu-Chongqing Region[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(4): 75-82.
- [23] Cranmer S J, Desmarais B A, Menninga E J. Complex dependencies in the alliance network[J]. Conflict Management and Peace Science, 2012, 29(3): 279-313.

(责任编辑 周 蓓)