

成渝双城经济圈高新技术产业产业集群协同 创新网络结构及演化研究

伊辉勇¹ 陈豪

(重庆交通大学经济与管理学院, 重庆 400074)

【摘要】:2020年成渝双城经济圈协同发展被提升至国家战略层面,而两地高新技术产业集群创新协同是经济协同发展的关键内容和重要抓手。为探索成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络结构及其演化的规律和特征,基于2012—2020年成渝双城地区创新获奖数据和专利数据构建协同创新网络,从时间和产业两个维度对协同创新网络进行整体和个体网络分析。研究表明,协同创新网络结构呈小世界网络—无标度网络—小世界网络演化,网络规模逐步扩大,网络密度降低,形成以重庆大学、西南交通大学等高校为核心节点的小世界网络。核心节点的发展有利于促进网络规模的扩大。

【关键词】:成渝双城经济圈 高新技术产业 产业集群 协同创新网络 社会网络分析

DOI:10.14059/j.cnki.cn32-1276n.2022.05.007

1 文献综述

2020年国务院规划在西部建设以成渝两地为核心经济驱动器的成渝双城经济圈,并提出了《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》。推动成渝双城经济圈经济建设,有利于形成优势互补、高质量发展的区域经济布局,拓展市场空间,优化和稳定产业链与供应链。成渝双城经济圈内产业集群协同发展有助于推进成渝双城经济圈协同发展体系的形成。随着知识经济时代来临,技术创新难度愈发增大,单层次创新已经无法满足目前的技术创新需求,企业对于创新外部资源的依赖性越来越强^[1]。成功的创新需要团队中各主体的有效合作,合作关系的形成是创新的有效驱动器^[2]。对高新技术产业而言,在其发展中由于技术的高度模糊性和不确定性,企业仅依靠自身的技术资源难以实现技术的完善和市场化,需借助正式或非正式联结的合作创新网络进行协同创新^[3]。

成渝双城经济圈产业集群协同创新为区域间协同创新,关于区域间协同创新的研究,国内外学者已经提出了不同的测度模型。臧欣昱等基于效率视角以SFA方法测度了区域协同创新的影响因素^[4];鲁继通以复合系统协同度模型对京津冀区域协同创新能力进行测度与评价^[5];Yang等以计量经济模型测度生产联系对于区域间合作创新的影响^[6]。这些学者的模型从宏观视角对整体区域的协同创新能力进行评估,但无法识别区域协同创新中的核心主体及其对区域协同创新的影响,且未能考虑到创新主体之间资源要素流动对最终创新结果可能产生的影响。协同创新网络模型有效解决了前文相关问题。

¹基金项目:国家社会科学基金项目——“‘双城经济圈’背景下成渝两地高新产业种群协调发展机制研究”(项目编号:20XGL030;项目负责人:伊辉勇)成果之一。

作者简介:伊辉勇,管理学博士,重庆交通大学经济与管理学院教授、硕士生导师,研究方向:产业经济和协同创新;陈豪,重庆交通大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:产业经济和协同创新。

协同创新网络是一种复杂的创新模式，它旨在突破创新主体间壁垒，形成多元主体协同互动的网络创新模式，协同创新网络能够有效地促进创新知识转移和扩散^[7]。此外，协同创新网络能够给予网络中成员一个共享的创新平台，实现网络中不同成员优势互补、资源共享，从而促进合作创新^[8]。Najafi-Tavani 等研究发现协同创新网络有利于提升产品的创新能力^[9]。Noni 等研究发现协同网络能够增进知识溢出效益，有效促进区域间创新绩效的提升^[10]。崔蕊、霍明奎认为产业集群通过构建知识协同创新网络能够促进知识的创新，推动知识和信息在区域内、集群内的交流和传播^[11]。面对高度复杂的环境及创新需求，协同创新网络模式为跨区域产业集群协同创新提供了新的方向，具有重要的现实意义。

目前有关协同创新网络的研究工作主要集中于协同创新网络形成、演化、结构等方面。郭建杰、谢富纪基于 ERGM 模型对协同网络形成造成影响的内外部属性进行了分析^[12]。何地、郭燕青利用专利数据针对中国新能源汽车的协同创新网络结构进行研究^[13]。曹霞等同样运用专利数据对新能源汽车的合作网络结构及演化进行了研究^[14]。王聪等以人才聚集效应为视角探究了跨区域协同创新网络结构^[15]。研究发现，目前大部分文献以专利数据为来源进行协同创新网络的构建^[16]，通过科技奖项来研究协同创新网络演化及结构文献数量较少。本文以跨区域产业集群协同创新网络的结构、演化及影响因素为研究重点，结合共同申请获奖和专利数据，选取 2012—2020 年(四川、重庆)科学技术奖获奖数据和相关产学研专利数据，运用社会网络分析法，从时间和产业两大维度对成渝双城经济圈高新技术产业产业集群协同创新网络结构及演化展开研究。

2 研究设计及模型

2.1 数据收集及处理

基于科学性以及时效性的考量，本文通过四川省、重庆市人民政府和中国知识产权局收集 2012—2020 年重庆市、四川省科技进步获奖数据和相关产学研申请专利信息，最终收集相关奖项 4998 余条，相关专利数 33678 条。鉴于研究需要对相关冗余数据进行处理，基于协同创新矩阵运用 Uncinet6 对协同创新网络结构及演化进行分析，并且运用 Gephi 软件绘制协同创新网络图。

2.2 网络指标

度数中心度代表节点之间的协同创新的次数，某节点与其他节点之间协同创新次数越多，则该节点度数中心度越大，具备更丰富的创新资源以及更强的协同能力。中间中心度反映创新节点能够多大程度上出现在其他创新节点中间。中间中心度越高代表该节点具备越强的创新资源控制能力，更容易出现在两个节点之中，对网络的控制程度更高^[17]。节点数、平均加权重、网络边数、平均路径长度可以测度整体网络的规模。平均加权重可以测量网络中节点之间的平均协同创新次数。平均路径长度指不同创新节点之间关系形成的平均最短距离。网络密度主要衡量整体网络的紧密程度，网络密度越大代表整体网络越紧密、创新资源流动更频繁。平均聚类系数表示某个节点同时与两个节点存在协同创新关系，并且这两个节点也存在协同创新关系的概率。网络中心势表示整个网络在多大程度上依赖某一节点，可以衡量网络的中心性。

3 实证分析

3.1 产业维度整体网络分析

高新技术产业集群是以高新技术为基础，从事高新技术相关产业的产学研的集合体，本文选取能源、医学、材料化学、交通、电子信息五大高新技术产业构建协同创新网络并对其整体网络结构进行分析，结

果见表 1。

表 1 成渝双城经济圈高新技术产业集群产业维度协同创新网络结构测度指标

产业	节点数	平均路径长度	网络中心势	网络密度	平均聚类系数	平均加权度
能源科学	84	2.8	6.3%	0.052	0.568	4.5
医学	61	2.4	2.7%	0.055	0.464	3.6
材料化学	66	3.4	6.2%	0.049	0.537	3.1
交通	104	2.7	7.2%	0.043	0.584	4.7
电子信息	56	2.2	7.8%	0.089	0.556	5.0

由表 1 可知，从网络规模来看，能源科学、交通产业集群协同创新网络节点数、边数、平均加权度显著高于其他高新技术产业集群协同创新网络。2016 年国家提出成渝城市群一体化发展政策，成渝双城经济圈政府围绕交通建设投入大量资金促进交通建设，在宏观政策上促进了交通产业集群协同创新网络规模发展。成渝双城经济圈能源科学产业规模及技术水平位于较高的层次，同时四川和重庆两地页岩气资源丰富、资源禀赋相近、管网联系紧密，为成渝能源产业一体化高质量发展打下良好基础。

医学产业集群协同创新网络规模较小，网络中心势仅为 2.7%，平均加权度为 3.6，网络结构松散。电子信息产业集群协同创新网络节点数少，但网络中心势高，平均加权度高达 5，创新资源集中程度高，整体网络呈现出小世界性。

材料化学产业集群协同创新平均加权度最低，网络知识传播效率低，协同创新网络规模较小。从整体来看，成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络密度均低于 0.1，同时聚类系数及中心势偏低，网络呈现去中心化，节点之间的联系不紧密，整体协同创新程度较低。主要有以下原因：西部地区的科技水平、高新技术产业集群规模相较于东部有差距，需进一步扩张发展；成渝跨区域产业集群协同创新活动较少，区域内产业集群协同创新活动较多，区域间缺乏协同联动。

3.2 时间维度整体网络分析

以时间维度对整体网络进行分析，可以有效分析出协同创新网络结构演变的规律以及过程，结合相关时间的政府政策能够有效分析出政策对于协同创新网络的影响，进而为成渝双城经济圈提供相关政策启示。

表 2 成渝双城经济圈高新技术产业集群时间维度协同创新网络结构测度指标

年份	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
节点数	39	43	47	43	47	60	68	88	118
平均路径长度	1.9	2.4	2.2	1.7	2.1	2.8	2.6	2.5	2.1
网络中心势	9.30%	6.50%	14.80%	13.20%	11.40%	8.40%	5.30%	5.70%	4.60%

网络密度	0.071	0.069	0.064	0.059	0.056	0.053	0.047	0.042	0.041
平均聚类系数	0.398	0.657	0.498	0.486	0.531	0.543	0.555	0.64	0.701
平均加权度	2.7	2.9	3	2.5	2.8	3.3	3.6	3.8	4.9

由表 2 可知，从整体来看，2012—2020 年成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络规模逐步增大，节点数由 39 个增至 118 个。平均加权度逐步上升，由 2.7 升至 5.0，1 个创新主体平均与 5 个创新主体形成协同创新关系。协同创新网络的节点数量不断增多，网络规模扩大，网络密度不断下降，这表明在网络成长阶段低密度网络更适合知识的广泛传播，有利于知识的大规模扩散进而促进网络规模的提升。网络聚类系数整体趋势逐年上升，2020 年协同创新网络聚类系数达到 0.701，网络中相邻的节点之间更加容易建立起协同创新关系，同时网络具备较短的平均路径长度，整体网络呈现出小世界性^[18]。在协同创新网络中，学研机构的主导性逐步增强，占据网络的核心位置。

2019—2020 年为协同创新网络发展的重要阶段，国务院提出《2019 年新型城镇化建设重点任务》后，成渝双城经济圈的建设提高到国家城市群建设重点战略地位，这直接从宏观政策上促进了两地高新技术产业协同发展，在 2020 年国务院提出《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》后，成渝地区协同创新网络规模随之扩大。中小型企业协同创新时会遇到管理能力不足、资金不足、技术缺乏等问题，成渝政府通过设立产业区、协同创新中心、产业政策扶持等政策推动了相关问题的解决，促进了协同创新网络的发展。

3.3 产业维度个体网络分析

通过产业维度个体网络分析可以梳理出不同高新技术产业集群间协同创新网络的核心节点，进而依靠核心节点展开协同创新活动。基于产业维度针对成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络的个体网络分析，结果见表 3。

表 3 产业维度成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络度排名表

能源科学产业		医学产业		交通产业		材料化学产业		电子信息产业	
节点名	度	节点名	度	节点名	度	节点名	度	节点名	度
重庆大学	67	西南医附	17	西南交大	57	重庆大学	19	重庆大学	64
西南石油	16.3	成都欧林	16	重庆大学	53	重庆文理	13	重庆科院	18
重庆科技学院	21	西南医科	14	重庆交大	43	四川大学	11	重庆邮电	16
四川芙蓉	18	重医一院	13	重庆高速	15	重庆科院	8	四川虹微	14
重能投渝	11	重庆中医院	12	重交科院	15	西南石油	7	电子科大	14
	5.4		17.8		2.8		3.6		16.3

在能源产业协同创新网络中,重庆大学、西南石油大学度数中心度、中间中心度均显著高于其他节点,占据网络的中心位置,对整体网络的控制力强。相关能源企业虽具备一定的创新资源,但对协同创新网络的控制力差。相较于学研机构,企业协同创新的活动存在利益分配、规模限制等问题,导致其拥有丰富的创新资源但并未成为协同创新网络的核心节点。在医学产业协同创新网络中,西南医科大学、西南医科大学附属医院为核心节点,占据网络的核心位置,对网络的控制力强。在交通产业协同创新网络中,重庆大学、西南交通大学为核心节点,这表明具备丰富创新资源的双一流高校对于整体协同创新网络的控制力更强。在材料化学产业协同创新网络中,创新节点度数中心度及中间中心度较低,表明缺乏具备相关丰富创新资源的核心节点。在电子信息产业协同创新网络中,重庆产学研占据网络核心位置,成都相关产学研位于网络的边缘。成都电子信息产业发展水平显著高于重庆,在成渝电子信息产业协同发展上还有较大的空间。综合表3整体分析,发现成渝两地高校及高校附属机构在协同创新网络中占据核心位置并发挥核心节点作用,它们同时具备丰富的创新资源以及强大的知识传播能力,处于网络核心位置。企业虽然具备丰富的创新资源,但由于管理能力、知识资源以及抗风险能力与高校有一定差距,在网络中并未处于核心节点位置,对网络控制能力差。

3.4 时间维度个体网络分析

基于时间维度针对成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络的个体网络分析见表4。由表4可知,2012—2020年重庆大学在成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络中始终占据着核心节点的位置,度数中心度以及中间中心度逐步上升,同时结合网络规模不断扩大可知,核心节点的发展能够有效促进网络规模的发展。2012—2016年为成渝经济区阶段,在该阶段,网络主要以重庆大学为核心节点,网络缺乏核心节点,除重庆大学外其余节点度数中心度及中间中心度均偏低。2016—2019年网络发展进入成渝城市群阶段,网络中节点数量显著增多,但节点的中间中心及度数中心度偏低,节点度分布不均匀呈现出无标度性[19],处于网络核心为成渝两地的高校。2020年网络发展进入成渝双城经济圈阶段,网络中节点度数中心度及中间中心度显著提升,整体网络以重庆大学、西南交通大学、重庆邮电大学等高校为核心创新主体,网络中心性增强,知识传播效率显著提升,形成以高校为核心、企业为边缘的小世界网络。

表4 2012—2020年成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络度排名表

(节点名)度数中心度-中间中心度								
2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
重庆大学 20-10.7	重庆大学 16-6.3	重庆大学 29-35.7	重庆大学 21-8.1	重庆大学 28-25.2	重庆大学 20-5.7	重庆大学 18-10.3	重庆大学 38-26.3	重庆大学 64-48.1
四川建职 10-6.8	四川理工 12-9.2	川煤技中 6-5.2	四川虹微 5-0.7	西南交大 8-10.3	四川农大 10-2.1	重电科院 7-2.6	西南交大 25-24.1	西南石油 31-21.7
重庆交通 10-6.8	西南电院 6-7.3	四川芙蓉 6-5.2	重庆农院 5-0.3	川网电院 6-0	重庆医科 8-2.5	西南交大 7-2.3	四川大学 13-16.5	重庆邮电 26-3.7
重庆文理 7-6.8	四釜山煤 5-0	四川农业 5-7.7	四川农大 4-0	重庆科技 5-0.2	四川上智 6-0	重能投渝 5-0	西南医附 11-11.2	重庆科技 26-16.8
四川大学 6-0	川交勘院 4-1.2	四川广旺 5-0.6	川网电力 3-0	川华绿建 4-0	西南医科 6-1.9	重庆天沛 5-0	川农蚕研 11-9.6	重庆交大 15-8.5

表4整体分析可知,成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络从以单个节点为核心的小世界网络逐步演化为无标度网络,并且随着网络规模的不断扩大逐步形成以成渝两地具备丰富创新资源的高校为核心节点的小世界网络,呈现出中心性。

4 研究结论

本文运用社会网络分析法对成渝双城经济圈高新技术产业集群协同创新网络结构及演化进行定量分析和定性分析,得到以下结论。

时间维度:成渝双城经济圈高新技术产业集群整体协同创新网络演化经历了3个阶段。2011年,《成渝经济区发展规划》被提出,协同创新网络步入第一阶段。在第一阶段成渝地区局部开展协同创新活动,此阶段为网络的萌芽阶段,该阶段网络规模小、网络密度大、中心度高,呈现出小世界性。在2016年《成渝城市群发展规划》提出后,协同创新网络迈入第二阶段。第二阶段为2016—2019年,该阶段协同创新网络的规模扩大、网络密度持续降低,网络呈现去中心化状态、无标度性。2019—2020年,成渝城市群发展与国家其他三大城市群发展提升至相同的战略地位,《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》提出后,协同创新网络迈入第三阶段。在第三阶段,协同创新网络发展迅速,网络规模不断扩大,中心化程度提高,平均聚类系数高,平均路径长度短,网络演化为以成渝两地具备丰富创新资源的双一流高校为核心节点的小世界网络。

产业维度:能源和交通产业集群协同创新网络规模显著高于其他产业集群协同创新网络。在宏观层面,成渝政府围绕交通、能源等优势产业签署了一体化发展协议,有效促进了成渝间协同创新行为。在微观层面,具备丰富创新资源及渠道的重庆大学、西南石油大学、西南交通大学等双一流高校占据了网络的核心位置,有效促进了创新资源的流动。成都相关产学研组织虽具备丰富的电子信息创新资源,但与重庆缺乏有效合作联动。材料化学产业集群协同创新网络规模低、平均路径长,缺乏具备竞争力的创新节点,节点之间难以建立协同创新关系。医学产业集群协同创新网络以地理位置处于成渝双城经济圈中部的西南医科大学及其附属医院为核心节点。

参考文献

- [1] 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.
- [2] XUE X L, ZHANG R X, WANG L, FAN H Q, YANG J, DAI J. Collaborative innovation in construction project: A social network perspective [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2018, 22(2): 417-427.
- [3] 杨春白雪, 曹兴, 高远. 新兴技术合作创新网络演化及特征分析 [J]. 科研管理, 2020, 41(7):20-32.
- [4] 臧欣昱, 马永红, 王成东. 基于效率视角的区域协同创新驱动及影响因素研究 [J]. 软科学, 2017, 31(6):6-9.
- [5] 鲁继通. 京津冀区域协同创新能力测度与评价——基于复合系统协同度模型 [J]. 科技管理研究, 2015, 35(24):165-170, 176.
- [6] YANG R, CHE T, LAI F J. The Impacts of production linkages on cross-regional collaborative innovations: The role of inter-regional network capital? [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2021, 170: 120905.
- [7] 郑季良, 王少芳. 高耗能产业群协同创新网络模型构建及评价研究 [J]. 科技进步与对策, 2017, 34(19):75-81.

[8] 叶斌, 陈丽玉. 区域创新网络的共生演化仿真研究 [J]. 中国软科学, 2015(4):86-94.

[9] NAJAFI-TAVANI S, NAJAFI-TAVANI Z, NAUD P, OGHAZIP, ZEYNALOO E. How collaborative innovation networks affect new product performance: Product innovation capability, process innovation capability, and absorptive capacity [J]. Industrial Marketing Management, 2018, 73: 193-205.

[10] 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.

[11] 崔蕊, 霍明奎. 产业集群知识协同创新网络构建 [J]. 情报科学, 2016, 34(1):155-159, 166.

[12] 郭建杰, 谢富纪. 基于 ERGM 的协同创新网络形成影响因素实证研究 [J]. 管理学报, 2021, 18(1):91-98.

[13] 何地, 郭燕青. 社会网络视角下新能源汽车产业产学研创新网络的实证分析——以东北三省为例 [J]. 技术经济, 2016, 35(12):52-59.

[14] 曹霞, 李传云, 林超然. 基于新能源汽车的专利合作网络演化研究 [J]. 科研管理, 2019, 40(8):179-188.

[15] 王聪, 周立群, 朱先奇, 刘卉. 基于人才聚集效应的区域协同创新网络研究 [J]. 科研管理, 2017, 38(11):27-37.

[16] 宋潇, 张龙鹏. 成渝地区双城经济圈优质跨域合作创新的驱动逻辑——基于区域科技进步获奖数据的分析 [J]. 中国科技论坛, 2021(10):143-152.

[17] CANTNER U, MEDER A, WAL A. Innovator networks and regional knowledge base [J]. Technovation, 2010, 30(9-10) : 496-507.

[18] FREEMAN L C. A set of measures of centrality based on betweenness [J]. Sociometry, 1977, 40(1) : 35-41.

[19] WATTS D J. Networks, dynamics, and the small-world phenomenon [J]. American Journal of Sociology, 1999, 105(2) : 1-10.