

基于联合专利数据的长株潭城市群 区域创新网络演化研究

龙琳莉^a 周国华^{a,b} 唐承丽^a 张丽^{a1}

(湖南师范大学 a. 地理科学学院; b. 地理空间大数据

挖掘与应用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410081)

【摘要】: 基于 1985—2019 年长株潭城市群联合专利数据, 采用社会网络分析法和空间分析方法探究长株潭城市群创新网络空间特征。结果表明: (1) 创新网络初具规模, 演变阶段性明显。(2) 长株潭主要创新形式是企业与企业间、企业与高校间跨界创新。(3) 本地创新网络存在空间差异, 地理邻近性并非长株潭获取知识的必要条件, 京津冀、长三角、珠三角是重要的外部知识源。(4) 长株潭创新网络呈现“核心—边缘”结构, 大型国有企业是网络核心。(5) 长株潭创新网络存在整体稳定性不足、本土企业的中心性受限制、外部知识源本地转化不足等问题。

【关键词】: 创新网络 合作专利 时空演化 长株潭城市群

【中图分类号】: F124.3; G301 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1005-8141(2022)05-0585-10

0 引言

创新是我国新发展理念的重要组成部分^[1]。技术创新重视企业内外部联系的整合, 形成促进区域开放创新的网络模式^[2,3]。通过创新网络的构建有助于提升区域的竞争力^[3], 我国在《国家创新驱动发展战略纲要》和《“十四五”国家科技创新规划》均指出要推动建设创新网络体系^[3]。活跃的创新联系是社会经济发展的引擎动力。创新是区域经济增长的关键因素, 而城市是创新的主要空间载体, 城市之间的创新是城市创新功能提升的重要基础^[4]。城市既是空间中的重要集聚点, 又是不断扩张的流空间和复杂网络的节点^[5]; 城市群作为多个在空间上相邻的城市所组成的重要区域组织形式, 具有整合区域资源、发挥区域整体优势的特点, 因此要促进城市群的创新研究能力和创新合作提升^[6,7,8]。综上, 城市和城市群的创新网络可增强区域整体创新效率和竞争实力。

创新网络是创新经济学和经济地理学研究的重要议题之一, 区域创新联系通常是根据跨国企业对外直接投资创建的全球网络来概念化的^[9]。创新合作和结网是一个复杂的过程, 需要区域和主体间有知识流动^[10,11,12,13,14,15,16]。①研究视角上, 创新网络研究最早集中在特定企业之间, 产业集群为企业创新提供了良好环境, 使创新网络的研究视角逐渐拓展到城市和城市群、区域、全球创新网络^[17,18,19,20]。②研究区域上, 多以城市为节点。例如, 周灿等^[5]以我国长三角城市群为例, 采用联合专利数据, 从不同空间尺度、网络视角将长三角创新网络划分为 4 种创新模式。③研究内容上, “创新网络”的概念由 Freeman 在 Research Policy

作者简介: 龙琳莉(1996-), 女, 贵州省铜仁人, 硕士研究生, 主要研究方向为城市与区域规划。周国华(1965-), 男, 湖南省娄底人, 教授, 博士生导师, 研究方向为乡村地理、区域发展与国土空间规划。

基金项目: 湖南省科技创新决策咨询暨软科学重点项目(编号: 2018zk3007)

中首次提出,认为创新网络是企业为了应对系统性创新而形成的制度安排^[18,19,20]。近年来,学者从不同尺度拓展了创新网络的涵义。如, Pourmand 等基于资源积累理论、网络理论阐释了网络化是创新过程中增强竞争力的重要手段^[19]。创新网络包含创新网络主体、创新合作关系、创新网络尺度和创新网络结构 4 个维度^[20],区域创新网络是由创新主体用来获取市场关系之外的知识的互动和关系组成,是各个创新主体在进行创新活动的交互作用中建立的稳定系统,是促进技能、专业知识、技术、研发等流动的渠道^[21]。④研究数据上,关系型数据是构建和定量分析创新网络的关键,目前主要获取关系型数据方法有文献计量、合作论文^[5]、专利、区域间创新联系强度^[4,22,23,24,25,26,27,28]。⑤研究方法上,通过发展更具活力和前瞻性的方法,如系统动力学等,关于创新网络的研究得到提升^[29,30,31],创新系统、跨界创新网络关系也得到探索性发展。Huggins 等利用网络中心性作为衡量开放创新能力的一个指标,探讨了“网络”和“开放创新”范式^[31];Ylenia 等从定量的角度深入分析经济、社会和创新活动之间的协同作用^[30]。通过梳理国内外文献,目前学者们将创新网络与区域间不平衡发展联系起来,形成全球—地方联结的多尺度耦合研究,深入揭示影响创新网络的关键因素^[32,33,34]。在区域创新机制研究中强调创新的空间黏性,关注世界经济集聚区、知识极等之间的联系。创新网络特征研究重点关注产业集群创新、新知识获取和流动、企业网络及全球价值链。如,司月芳等对全球—地方创新网络概念、类型及作用进行了界定^[31];邓婕初步探究了长株潭城市群创新网络的特征^[35]。我国城市群创新网络研究成果丰富,但对不同区域创新网络的认识有限,缺少比较研究。因此,对不同所有制主体在创新网络中扮演的角色有待深入探讨,特别是针对我国中西部地区城市群的创新网络的演化特征及其机理相对较少,需进一步探究。

本文以长株潭城市群为研究对象,结合企业、高校、科研机构和其他微观主体层面^[35]与县区之间的创新合作的中观尺度来构建城市群创新网络,对不同所有制主体在创新网络中扮演的角色进行了深入探讨。自 2007 年长株潭城市群被批复为“全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区”以来,近年来创造了全国瞩目的“自主创新长株潭现象”。经过多年的发展,长株潭城市群的科技创新能力不断提高,具备良好的培育创新环境^[35,36]。《长株潭国家自主创新示范区建设三年行动计划(2020—2022 年)》明确提出要探索一系列开放共享的科技合作模式,把构建广泛的创新合作作为一项重要发展目标。2019 年,长沙市、株洲市、湘潭市的专利申请总数为 19358 件,占全省专利申请总量的 62.65%。鉴于此,本文基于 1985—2019 年长株潭城市群区域的联合专利数据构建长株潭城市群区域创新网络,探究其区域创新网络特征及演化,对长株潭城市群提升创新能力和创新竞争力提出建议,对促进长株潭城市群创新协调发展,加强湖南省创新型省份建设具有重要意义,同时也可对其他中部地区城市群提供参考,从而验证创新网络在不同区域是否有相同的特征。

1 研究区域、研究方法与数据来源

1.1 研究区域

长株潭城市群包括长沙、株洲、湘潭 3 市,位于湖南省中东部,具有良好的培育创新环境,是我国唯一一个具有军民融合创新特色的国家级示范区,现已初步形成了科技财力资源、科技人力资源、科技物力资源、科技知识信息资源多样化发展与布局趋势。在工程机械与轨道交通装备方面,“101-7RZ 碳纤维臂架泵车”“智慧轨道快运系统”具有先进一流水平;信息技术方面,“银河麒麟 V10 桌面操作系统”“国内首款全自主固态硬盘控制器芯片系列”等达到国际先进水平;深海深地深空与新材料方面拥有先进技术水平;拥有“天河二号”超级计算机、自主研发的“海底 60 米多用钻钻机”等世界一流技术和“中国动力谷”“湘潭智能制造谷”“长沙麓谷创新谷”等培育创新的环境^[36]。2019 年,长株潭城市群实现地区生产总值 16834.98 亿元,占全省 GDP 的 41.6%;人均 GDP 为 110957 元,约为全省 GDP 的 2 倍。长株潭是湖南省经济发展的核心增长极,在“一带一路”倡议和长江经济带、中部崛起等国家重大战略中占据重要地位。

1.2 数据来源与处理

本文数据主要有长株潭 3 市的联合申请专利数据和社会经济发展统计数据,社会经济发展数据主要来源于《湖南省统计年鉴》。专利成果既是科学和技术研究的输出成果,也可以作为度量区域创新的指标^[37],运用合作专利的数据研究创新网络得到了学者们的广泛认可^[28,39,40,41,42,43]。本文选取国家知识产权局提供的专利授权数据,数据的筛选及处理步骤为^[5,43]:①由于国内专利从

申请到公布需要 18 个月时间, 为确保数据的完整性和可靠性, 本文提取了 1985—2019 年长株潭城市群 3 个地级市的包含两个以上主体合作申请的发明专利信息。为了保证数据的准确性和可比性, 剔除专利申请人为个人或者包含个人与机构的专利数据^[5, 43]。②限于数据的可得性和完整性, 本文只讨论了国内创新联系, 删除了长株潭城市群与国外相关机构的合作关系, 共获得 3264 个创新主体、21857 条创新联系。③参考以往的研究成果^[21], 本文将所有的创新主体划分为企业、高校、研究所和其他 4 类, (“其他”一类主要以政府机构、公共卫生医疗机构、教育机构为主)。④将所有创新主体间的合作划分为本地合作和跨界合作两种。

1.3 研究方法

社会网络分析法(SNA): 本文选择社会网络分析法中的网络密度、平均度数、平均路径长度、中心性等指标来分析长株潭城市群 3 市联合专利创新主体社会网络的关系结构及其属性。

网络密度: 网络密度是用来衡量网络中包含节点间存在联系的密切程度指标^[28, 44], 计算公式为:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n d(n_i, n_j)}{k \times (k - 1)} \dots\dots\dots (1)$$

式中: D 表示网络密度; n 表示网络节点数; d(n_i, n_j) 表示主体 i、j 之间的关联数。d(n_i, n_j)=0, 节点 i、j 无联系; d(n_i, n_j)=1, 节点 i、j 有联系。

平均度数: 平均度数可反映企业之间创新合作的交互能力^[44], 计算公式为:

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{i \in N} C_i \dots\dots\dots (2)$$

式中: \bar{C} 为网络的平均度数; C_i 为节点 i 的度数; N 为节点数。

平均路径长度: 平均路径长度用以表明企业间进行创新交流的便利程度, 计算公式为:

$$L = \frac{1}{C^2} \sum_{1 < i < j < N} d_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

式中: d_{ij} 为节点 i、j 的距离; N 为节点数。

中心性: 中心性包含了中心度和中心势两个方面的内容^[44]。本文借鉴 Neal、Balland 等学者的研究观点^[45, 46, 47], 选择递推中心性(Recursive Centrality)来衡量城市创新网络地位和外部获取知识能力^[5], 计算公式为:

$$RC_{Lr} = \sum_j x_{ij} \sqrt{\sum_j x_{ij}} \dots\dots\dots (4)$$

$$RC_{Nr} = \sum_n x_{mn} \sqrt{\sum_k x_{nk}} \dots\dots\dots (5)$$

$$RC_r = RC_{Lr} + RC_{Nr} \dots\dots\dots (6)$$

式中： RC_{Lr} 、 RC_{NLr} 、 RC_r 分别为城市 r 本地网络、跨界网络、整体网络的递推中心性； x 为创新主体之间的连接量；创新主体 i 、 j 、 f 位于同一个城市， m 、 n 位于不同城市， n 、 h 位于不同城市。

空间分析方法：为了挖掘联合专利创新主体所在地的空间结构，本文根据创新主体获取所属地理位置信息，将创新主体之间合作的转变为各个城市之间的合作，并应用 ArcGIS 软件的 XY 转线工具和制图工具制作长株潭城市群的创新网络图。

2 长株潭城市群创新网络演化特征

2.1 演化阶段的划分

本文收集了 1985—2019 年长株潭城市群联合专利数据，通过筛选处理后，根据合作专利数量的年变化特征(图 1)，将 1985—2019 年的合作专利数据分成 4 个时段进行合作网络的结构研究。4 个阶段分别为：1985—2004 年(萌芽期)、2005—2013 年(激发期)、2014—2016 年(平台期)、2017—2019 年(快速发展期)。

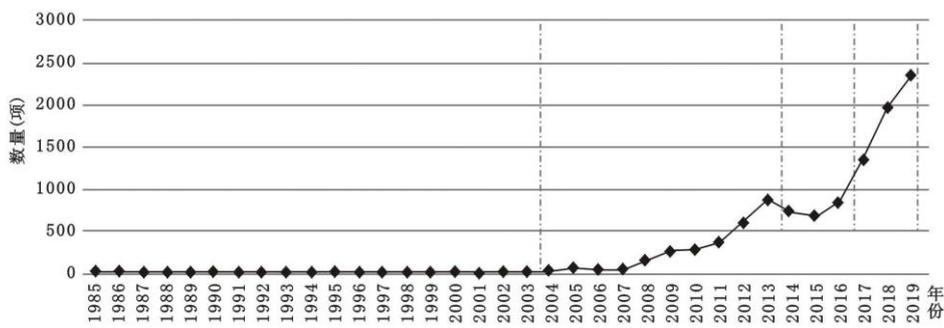


图 1 1985—2019 年长株潭城市群创新数量统计

运用 Ucinet 软件绘制长株潭城市群区域创新网络图(图 2):1985—2019 年创新网络联系日趋紧密，网络结构渐趋复杂，企业与企业、企业与高校是最主要的创新合作形式，高校处于网络核心地位。

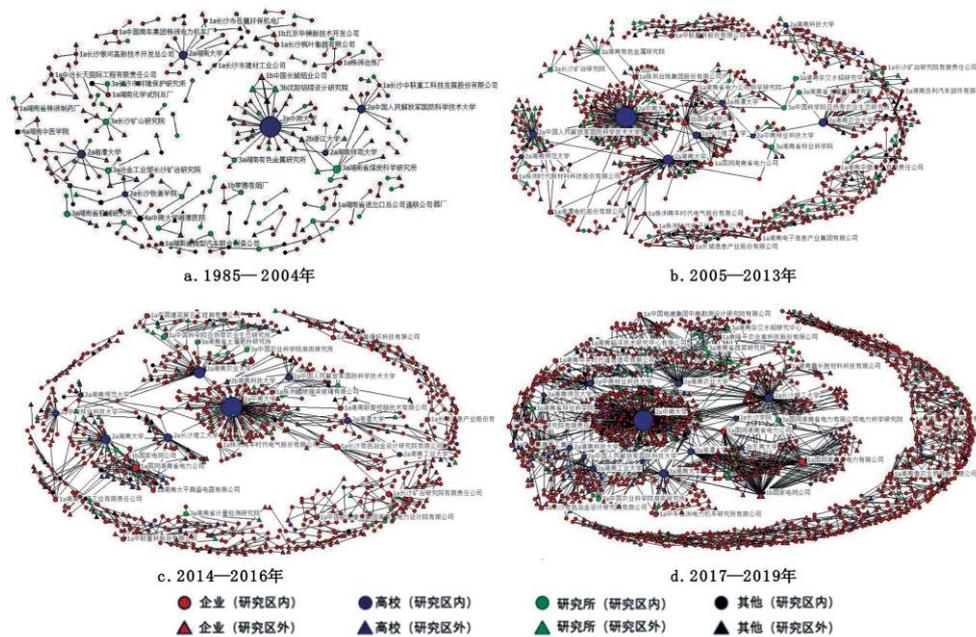


图 2 1985—2019 年长株潭城市群创新网络

从图 2a 可见，1985—2004 年长株潭城市群创新网络规模较小，创新主体数量较少、整体较分散，创新主体之间单一衔接较多，最主要的创新合作形式是跨界企业、高校和研究所之间的合作。如表 1 所示，在这个时期，知识生产能力高、科研能力较强的高校和研究所创新网络中处于核心地位。①高校方面，处于网络中心的高校为中南大学、湖南大学、中国人民解放军国防科技大学、湘潭大学、湖南师范大学，这些院校是长株潭内具有较强的创新能力、科研能力和知识生产能力的组织，是长株潭最初与内外企业进行创新合作的创新主体。②研究所方面，处于网络中心的研究所为湖南省煤炭科学研究所、长沙矿山研究院、湖南有色金属研究院等，这些研究院所主要以从事矿产资源开发科研为主，而湖南省是我国矿产资源最为丰富的省区之一，因此合理开发利用资源的创新活动主要发生在企业和研究所之间。③企业方面，主要依靠高校和研究所形成创新联系，还未形成网络，以机械工程类为主。

从图 2b 可见，2005—2013 年长株潭城市群创新网络规模明显扩张，创新主体数量增多，且形成一定的网络结构。从表 1 可见，在城市尺度上，企业—企业、企业—高校的创新联系强度本地要高于跨界，但创新关系跨界数略高于本地。①高校层面，处于网络中心的高校为中南大学、湖南大学、长沙理工大学、湘潭大学、湖南农业大学、中国人民解放军国防科技大学、湖南师范大学、湖南科技大学，从这一阶段开始，高校明显处于网络的核心地位，长沙理工大学、湖南农业大学的中心地位明显增强。②企业层面，处于网络中心的企业有国家电网公司、国网湖南省电力公司、株洲冶炼集团股份有限公司、长城信息产业股份有限公司、中联重科股份有限公司等，主要是以规模较大、研发密集的国有企业、工程机械类为主，但这一阶段存在企业创新连接中心度不高，大量节点拥有低连接度的现象。③研究所方面，与前一时段差距不大，均以从事矿产资源开发科研为主，但研究院所的中心地位有所下降。

从图 2c 可见，2014—2016 年长株潭城市群创新网络结构进一步紧密，本地企业—企业、企业—高校是最主要的创新合作形式。在城市尺度上，如表 1 所示，企业间创新联系系数和强度大于企业与高校、研究所，本地创新联系强度大于跨界创新联系强度。①高校层面，湖南工业大学、中南林业科技大学的网络中心性明显增强，理工类、农林类高等院校在创新活动中具有知识创造能力，是企业创新的优先连接主体。②企业层面，企业中心性明显增强，处于网络中心的企业有国家电网公司、国网湖南省电力公司、长沙有色冶金设计研究院有限公司、长沙矿冶研究院有限责任公司、湖南联智桥隧技术有限公司、湖南邦普循环科技有限公司等，并形成了一定的创新联系规模。③研究所层面，这一时段中心性较大的研究所主要是中国农业科学院麻类研究所、湖南省土壤肥料研究所、中国科学院亚热带农业生态研究所、湖南省计量检测研究院。

从图 2d 可见，2017—2019 年长株潭城市群创新网络主体间连接紧密度增加，不同主体之间的合作次数增加，形成了较大的创新网络规模。企业间的合作最主要的创新合作形式。在城市尺度上，如表 1 所示，本地企业间创新联系系数小于跨界企业间的关系数，但强度大于跨界；跨界企业与高校的创新联系系数和强度大于本地；本地企业与研究所的创新联系系数小于跨界，但强度大于跨界。①高校层面，长株潭创新网络中高校的核心地位基本固定，并处于核心地位的高校之间的联系更加紧密。②企业层面，企业在创新网络中的中心性进一步增强，与高校、研究所创新联系增强形成网络，大型国有企业凭借其规模较大、研发活动密集的优势，成为基于网络的知识流动的联系桥梁，工程机械、电子信息类企业的中心性增强。③研究所层面，研究所在创新网络中的地位有所下降。

表 1 1985—2019 年长株潭城市群主要创新合作形式数量统计

		1985—2004 年			2005—2013 年			2014—2016 年			2017—2019 年		
		企—企	企—高	企—研									
本地	关系	21	18	23	183	156	48	221	152	48	387	256	80

	强度	26	31	34	1178	495	79	2162	410	56	3564	629	573
跨界	关系	13	36	34	185	182	67	274	173	45	585	324	85
	强度	19	49	37	813	333	139	779	293	55	3155	756	537

综上所述，长株潭城市群创新网络发展具有较强的阶段性特征。1985—2014年，创新网络规模较小，创新数量较少，高校处于创新网络的核心地位；2005—2013年，创新主体数量增幅明显，创新网络规模扩张，企业在创新网络中数量增加但中心性还不足；2014—2016年，创新主体数量出现波动性，但企业的中心性明显增强并形成了一定的创新联系规模；2017—2019年，企业跨界创新联系的数量和强度明显增加，企业在创新网络中的中心地位增强，长株潭创新网络紧密度增强，各创新主体之间进行创新活动的便利程度得到优化。

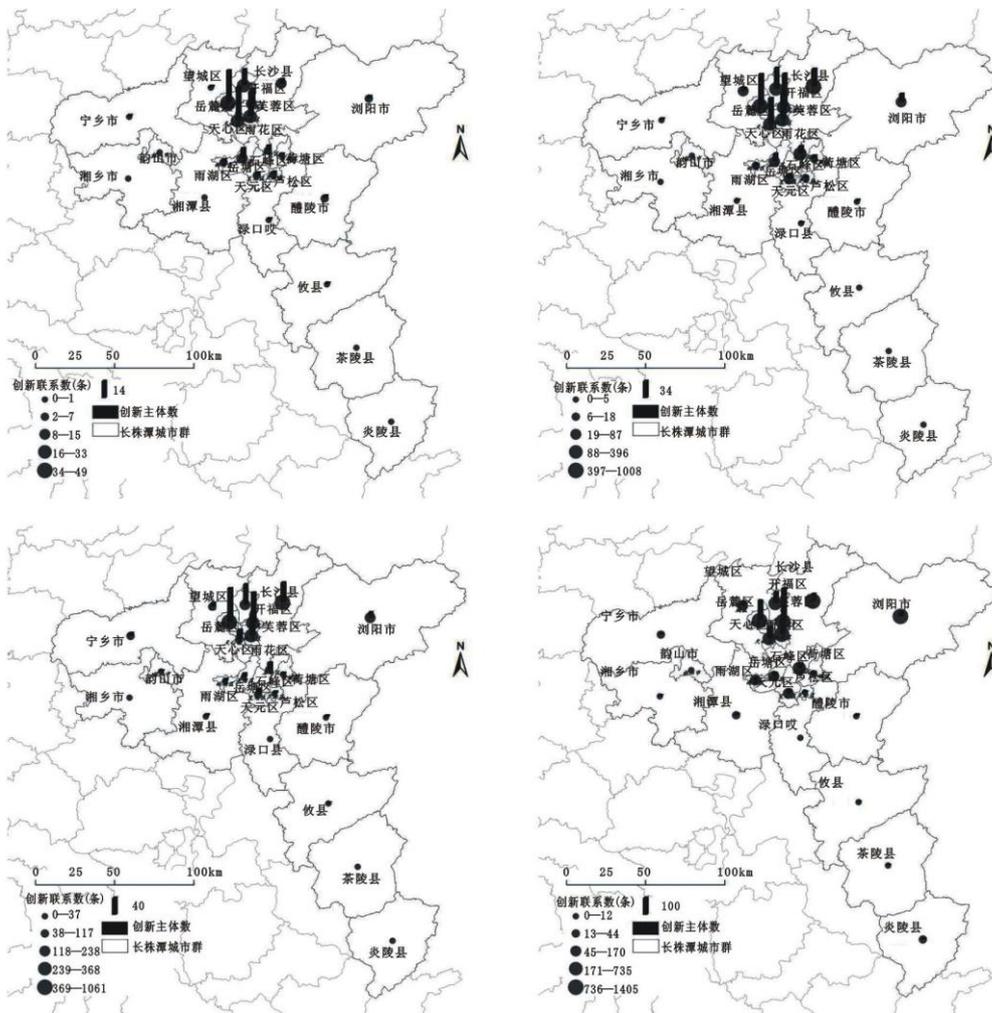


图3 长株潭城市群本地创新网络空间格局

注：基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站GS(2020)4617号标准地图制作，底图无修改。

2.2 本地创新网络的空间演化

本文以区县为空间尺度,绘制了1985—2019年长株潭城市群区域本地创新联系的空间图(图3),从而刻画了长株潭本地知识流动的空间格局演化特征。从图4可知,从数量变化的角度来看,长株潭的本地创新主体逐年增多,1985—2014年长株潭的创新主体共128个,2017—2019年长株潭的创新主体共734个,是1985—2014年的5.73倍。

从空间的角度来看,长株潭城市群创新联系存在较为显著的空间差异。首先,长株潭的创新主体主要集中在长沙市的岳麓区、雨花区、天心区、芙蓉区、开福区和长沙县,这些区域凭借良好的区位优势、高校与研究所资源营商环境吸引了大量具有创新能力的企业在此开展创新活动。其中,既有国有企业,又有山河智能公司、五凌电力公司等创新开发密集的企业。浏阳市近年来创新联系增幅较大,望城区、宁乡市的创新联系增长则相对较平缓。其次,长株潭城市群的创新主体分别集中在株洲市和湘潭市的石峰区、天元区、岳塘区、雨湖区,这些区域也以国有企业为主,企业经营类型主要是工程机械、通用设备制造等。如,株洲联诚集团在轨道交通装备部件方面是全国最大制造商和供应商之一,千金药业公司是全国中成药工业重点的国有企业。第三,创新主体在空间上扩散,湘潭县、攸县、茶陵县、炎陵县分别在2005—2013年、2014—2016年、2017—2019年实现了创新主体从无到有的转变,湘乡、韶山则存在一定的波动性。长沙市作为湖南省的省会城市和长江中游地区重要的中心城市,拥有较多主体参与创新合作,创新主体之间的创新联系十分密切,主要集中在主城区,在本地知识流动和溢出上初具创新网络形态。株洲市、湘潭市相对于长沙市来说,创新主体数量不足,且创新主体之间的创新联系也较为薄弱,主要是本省创新主体之间或者与长沙市的创新主体产生联系。综上所述,长株潭城市群本地创新网络主要是以长沙市为核心,依托该市经济发展水平较高、涵盖高校和科研院所众多、高端科研人才聚集等优势,联合株洲、湘潭多种创新主体形成与经济发展水平具有一定相关性的本地知识流动的创新网络空间格局。

2.3 跨界创新网络的空间演化

以本文城市为空间尺度,分别绘制了长株潭城市群3市的跨界创新联系的空间图,刻画了1985—2019年长株潭跨界知识流动的空间格局变化。从外部获取知识是提升区域创新能力的重要渠道,本文运用ArcGIS软件绘制了不同城市之间合作的网络空间联系图(图4),将创新主体之间的合作转化为创新主体所在城市之间的合作,节点越大,表示有创新联系的城市创新主体多,是合作网络的中心,连线的颜色、粗细则表示城市间创新联系的次数。

从整体上看,1985—2019年长株潭跨界创新联系明显增多,1985—2014年主要是与一些省会城市和经济发达地区产生创新联系,主要的跨界创新联系还是局限于本省内其他地区的城市如衡阳、益阳、郴州等。2017—2019年,长株潭的创新联系已遍布全国众多地区和城市,不仅增强了与发达地区、城市的创新合作,也增加了与落后地区的创新联系。这说明长株潭城市群经过年发展,不仅能承接发达地区的新知识、新技术,还能起到重要的传播知识技术的作用。

从图4a可见,1985—2004年参与创新合作的的城市较少,创新联系数量也较少,与长株潭形成重要创新合作的省外城市有北京、广州、深圳、杭州、上海,省内城市有衡阳、怀化,邻近省份的城市有贵阳。其中,北京和长沙的创新合作次数最多,为12次。从图4b可见,2005—2013年与长株潭产生创新联系的城市显著增加,同时城市之间创新联系明显增多,形成重要创新合作的省外城市有北京、杭州、宁波、广州等,省内城市有郴州、常德、益阳,北京和长沙的创新合作次数增加至307次。同时,长株潭与其他城市合作的区域性逐步显现,与京津冀、长三角、珠三角区域的产生创新联系的城市和创新合作次数增多。从图4c可见,2014—2016年形成重要创新合作的省外城市有北京、杭州、佛山、深圳等,城市间合作次数最多的仍是北京,北京和长沙的创新合作次数增加至547次,省内城市有岳阳、娄底,较上一时段城市间的合作也更频繁。从图4d可见,2017—2019年合作中心为北京、深圳、珠海等,长沙和北京的创新合作次数达到1212次,省内城市有衡阳、常德。参与创新合作的的城市明显增多,创新合作次数也更加频繁,形成了以北京、天津为主的京津冀,以杭州、上海为主的长三角,以广州、深圳为主的珠三角与长株潭创新合作的主要网络通道,是长株潭的重要外部知识源,且由地理距离导致的对知识流动的约束较小,区域的自主创新能力成为与长株潭达成创新联系的关键。同时,依靠地理上的邻近性与周边省份的中心城市武汉、南昌、贵阳、南宁形成密切的创

新合作，知识流动主要受到创新能力和地理距离两个关键因素影响。

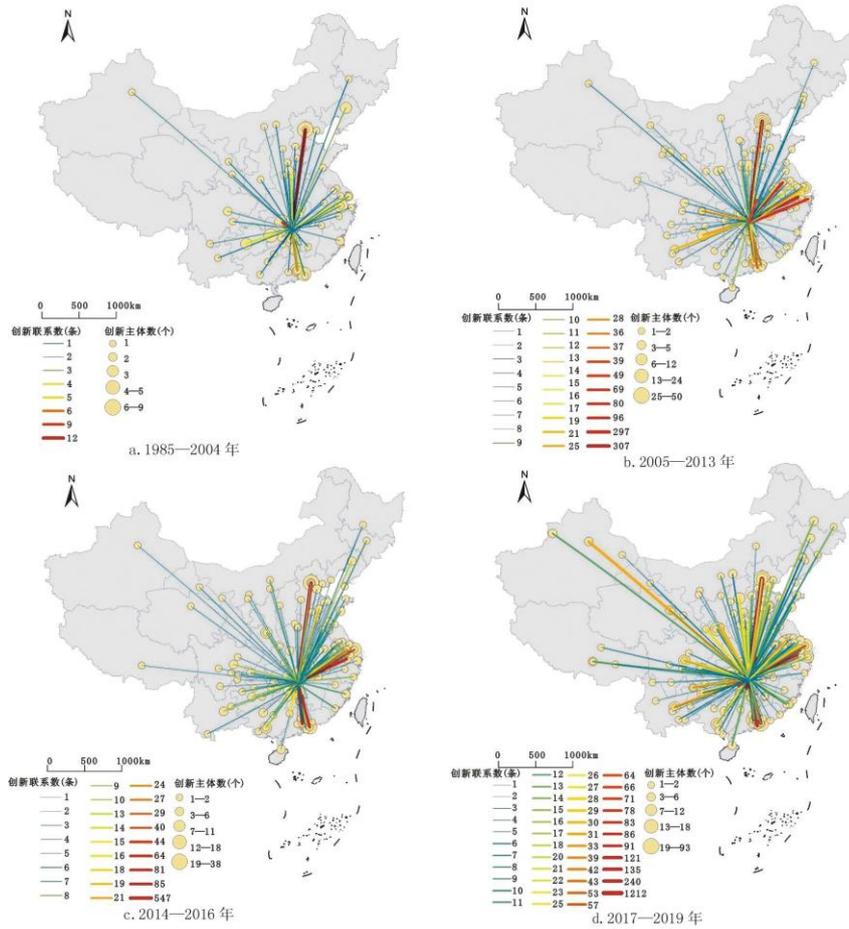


图 4 长株潭城市群跨界创新网络空间格局

注: 基于全国地理信息资源目录服务系统 GS(2016)2556 号标准地图制作, 底图无修改。

总的来看: 时序上, 1985—2019 年长株潭跨界创新网络中产生创新联系的城市数量增幅较大, 且城市间的创新联系强度增强; 区域上, 与长株潭产生创新联系的区域主要集中在京津冀、长三角和珠三角, 这些区域凭借其在国内国际上的创新区域优势成为长株潭重要的创新活动外部知识源。

3 主要问题及调控对策

3.1 主要问题

创新网络整体稳定性不足: 本文对长株潭创新网络拓扑结构进行了特征分析。表 2 统计了 1985—2019 年各阶段的网络拓扑结构特征量。整体来看, 长株潭创新网络虽然起步晚, 但是发展快。创新网络中有越来越多的新兴主体加入, 且在网络中主体的合作频率提升, 主体之间的合作频繁, 创新主体的创新合作能力增强。从网络密度、平均路径长度来看, 尽管整体呈上升趋势, 但仍存在一定的波动性, 说明创新网络的紧密性和稳定性还不足。

表 2 长株潭城市群创新网络拓扑特征

时间	节点	网络密度	平均度数	加权聚类系数	平均路径长度
1985—2004 年	255	0.0063	1.879	0.0670	3.019
2005—2013 年	2709	0.0101	8.035	0.1700	3.917
2014—2016 年	2281	0.0091	7.815	0.6800	4.102
2017—2019 年	5697	0.0071	11.758	0.8990	3.654

长株潭创新网络的结构广度扩张,合作网络的活跃度提升,产生了一些合作团体,但整体网络的通达性不高,结构较为松散、不稳定。创新联系的密切程度和创新交流的便利程度存在波动状况,提高长株潭创新网络的稳定性有利于促进区域创新的可持续发展,从而提升区域创新竞争力。要使创新网络更具竞争力,除了需要大量的创新关系发生之外,还需要构建以本土企业为中心形成的规模子群,依靠获取大量外部知识并向本地转化,从而使区域创新网络稳定性增强。

本土企业的中心性受限制:通过长株潭跨界创新网络演化特征可以发现,创新网络中有越来越多新兴主体加入,且在网络中主体的合作频率提升,创新主体的创新合作能力增强。长株潭跨界创新网络呈现“核心—边缘”结构,大型国有企业和国家电网是网络核心。长株潭缺乏控制全部区域的核心主体,只存在两个大规模子群:一是中南大学,它们在子群中有广泛的结网能力,在构建长株潭创新网络中始终起着创新知识的生产和传送作用;二是国家电网和大型国企集团,它们在子群中是企业创新网络的核心主体,有着较强的控制能力,合作创新活跃。一方面,国家电网和大型国企集团公司规模大、创新能力强,其创新网络的构建主要源于与全国各地子公司之间的所有权关系,如国家电网、格力集团、中车集团等;另一方面,由于装备制造产业领域技术处于转型与升级的重要发展阶段,技术更新快、产业知识流动性强,存在形成网络的内生动力。

但从企业的角度来看,本土企业在创新网络的中心性还不足,主要是以规模较大的国有企业为主。尽管逐年形成规模化、高频次的创新联系,但关键企业的创新连接中心度不高,主要是本省创新主体之间或者与长沙的创新主体产生联系。大量节点拥有低连接度、本地企业之间创新联系出现冗余的现象,这在一定程度上会阻碍城市群创新,过度的根植性会导致区域面临知识锁定阻碍。这表明本地中小企业需与大型企业合作,依靠中心企业的创新关系,促进其他区域主体在本地搜寻知识,扩大能力范围,进而构建跨区域合作关系。

外部知识源本地转化不足:①京津冀与长株潭合作创新最密切,以大型国有企业集团控制的创新网络,电力行业在构建创新网络时强调在不同领域的新技术,通过强有力的组织关系与全国分支机构形成联系,超越了地理距离的限制。②长三角创新主体多元,与长株潭合作创新最为活跃,网络的外向程度高。国有企业和民营企业在与长株潭的创新联系中作用突出,大型民营企业如吉利集团依靠投资在湘潭九华经济区的子公司的组织关系形成密切创新网络。同时,长三角知识源丰富,促进了长株潭与该区域形成创新知识交流。③珠三角的国有企业和民营企业是与长株潭建立联系的主体,但与长三角的装备制造行业不同,民营企业主要集中体现在电子通讯行业,广州、深圳广涉电子通讯。长株潭依靠与珠三角的地理距离优势,能够有效承接电子信息产业的制造环节,从而有效推动长株潭电子信息制造业加速。④其他区域。其他地区与长株潭形成创新联系主要是依靠地理距离的邻近性作用,但存在一些不匹配的现象,如新疆与长株潭存在 34 次合作,这主要是依靠水电部门大型国有企业的全国性分支机构建立的关系网络。

外部知识的有效内化需要内部知识创造和重组能力。长株潭本地创新网络经过 34 年的发展,长株潭依托京津冀、长三角、珠三角和湖南省周围省市形成丰富的跨界创新关系,形成获取外部技术知识的通道。本地创新网络上,存在以长沙市为核心的本地知识流动,但株洲、湘潭的本地创新网络还不够完善。从网络密度来看,长株潭整体网络密度低于长沙、株洲,说明长株潭内

部合作关系不够密切，整体网络的创新合作联动还不协调，缺乏比较密集的本地知识网络。对于外部知识源的内部转化，需要一个联系紧密的创新网络，从而形成良好的知识传播通道。外部知识源本地转化不足，在一定程度上制约了长株潭城市群创新能力的提升。

3.2 调控对策

本文初步揭示了长株潭城市群创新网络演化过程及其网络特征，结合长株潭创新网络构建的实际情况，为构建更加稳定高效的创新网络发展提出以下调控对策建议：①加强城市间交通基础设施建设。地理距离对创新网络的构建具有重要作用，应加强交通基础设施建设，从而降低创新知识交流的地理距离成本。目前长株潭已建成了方便快捷的城际铁路，能够极大地满足3市的通勤交通需求。3市应进一步巩固“半小时交通圈”成果，进一步缩短城市的空间距离，从而减少地理距离对创新合作的限制。②建立创新平台体系，优化创新网络格局。根据长株潭内部各区县的创新能力差异，城市群内部创新合作存在便捷性，给予一定的政策支持，构建创新平台体系有助于研究、产业化和创新创业顺利开展^[48]。依托科技园区、高新技术企业、高校等，构建出具备多元创新主体的创新平台体系，从整体上优化创新格局，强化长沙市的中心地位，加强与京津冀、长三角、珠三角和长江中游城市群各地区的创新联系，最大化空间外部效应。③加大支持力度，扶持中小微企业发展。从长株潭结网过程的不同所有制企业关系可以看出，国有企业拥有完整的组织关系，内部创新网络建构更为稳定，而民营企业的规模和创新网络建构较为有限。各类中小微企业处于创新网络的边缘地带，创新网络的构建具有不稳定的风险，因此应加大对中小微企业的支持与扶持力度，通过改善融资环境，提升其在长株潭创新网络中的活跃度，共同推进长株潭多元创新网络的构建。④引进和聚集高层次科技创新人才，营造良好的区域创新环境。尤其是在前沿科技领域，依托高科技企业、重大创新项目、重点学科、重点实验室等重大研发平台引进高层次创新人才，提高区域创新合作的认知基础、外部知识源本地转化能力。

4 结论与讨论

①从创新网络演化来看，创新网络初具规模，创新网络演变阶段性明显，网络结构多元化发展。根据合作专利数量的年变化特征可以分成4个时段，即1985—2004年(萌芽期)、2005—2013年(激发期)、2014—2016年(平台期)、2017—2019年(快速发展期)。目前长株潭的创新网络正处于快速发展时期，创新发展势头足。②从创新网络的社会网络特征来看，长株潭的创新合作形式主要是在企业与企业间、企业与高校间的创新合作，跨界创新是长株潭最主要的创新形式。一方面，理工类高校具有较强的创新知识生产能力，是本地、跨区域企业创新合作的连接主体，在创新网络中处于中心位置；另一方面，大型国有企业在创新网络中起着中心主导作用，凭借国有企业研发密集、合作关系广泛，在创新网络中处于中心地位，工程机械、电子信息类企业在网络中创新合作数量较多但中心性不足。长株潭在湖南省有较强的经济实力，注重创新发展中企业的推动作用，促使企业重视创新能力的提升。③从创新网络的空间分布来看，首先，长株潭本地创新网络存在空间差异，主要是以长沙市区为核心形成。其次，在跨界创新网络中，京津冀、长三角和珠三角是长株潭联系密切的区域。一方面，基于创新知识获取的择优性原则，这些区域具有强大的知识生产、科学研究、科技创新能力，成为长株潭重要的外部知识源；另一方面，地理上的邻近性对长株潭的创新网络联系有一定的影响，但并非必要条件。同时，京津冀、长三角和珠三角与长株潭构建创新联系的主体上存在差异。京津冀以大型国有企业集团为主控制；长三角与长株潭合作创新最为活跃，创新主体多元；珠三角与长株潭合作以国有企业和民营企业为主，与长株潭有地理距离上的优势。④从提升创新网络发展来看，长株潭创新网络在本土企业的中心性还不足，中小企业创新受限制；京津冀、长三角、珠三角是重要外部知识源，但存在本地转化不足的问题。对于城市群创新网络化发展来说，还需提升自主创新实力、增强创新竞争力：加强交通基础设施建设，依托高科技园区等创新平台体系，优化创新格局，加大支持与扶持力度，促进中小微企业发展，引进高层次创新人才，提高区域创新合作的外部知识本地转化能力。

参考文献：

[1] Dicken P. Geographers and ‘Globalization’: (Yet) Another Missed Boat? [J]. Transactions of the Institute of British Geographers, 2004, 29(1): 5-26.

-
- [2]Rothwell R. Successful Industrial Innovation:Critical Factors for the 1990s[J]. R&D Management, 2010, 22(3) : 221-240.
- [3]司月芳, 曾刚, 曹贤忠, 等. 基于全球—地方视角的创新网络研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(5) : 600-609.
- [4]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.
- [5]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.
- [6]顾朝林. 城市群研究进展与展望[J]. 地理研究, 2011, 30(5) : 771-784.
- [7]方创琳. 京津冀城市群协同发展的理论基础与规律性分析[J]. 地理科学进展, 2017, 36(1) : 15-24.
- [8]魏丽华. 论城市群经济联系对区域协同发展的影响——基于京津冀与沪苏浙的比较[J]. 地理科学, 2018, 38(4) : 575-579.
- [9]Ascani A, Bettarelli L, Resmini L, et al. Global Networks, Local Specialisation and Regional Patterns of Innovation[J]. Research Policy, 2020, 49(8) : 104031.
- [10]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.
- [11]Meagher K, Rogers M. Network Density and R&D Spillovers[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2004, 53(2) : 237-260.
- [12]Lichtenthaler U. External Commercialization of Knowledge:Review and Research Agenda[J]. International Journal of Management Reviews, 2010, 7(4) : 231-255.
- [13]Sammarra A, Biggiero L. Heterogeneity and Specificity of Inter-Firm Knowledge Flows in Innovation Networks[J]. Journal of Management Studies, 2008, 45(4) : 800-829.
- [14]Tomlinson P R. Co-operative ties and Innovation:Some New Evidence for UK Manufacturing[J]. Research Policy, 2010, 39(6) : 762-775.
- [15]Bergenholtz C, Waldstrm C. Inter-Organizational Network Studies——A Literature Review[J]. Industry and Innovation, 2011, 18(6) : 539-562.
- [16]徐维祥, 张凌燕, 刘程军, 等. 城市功能与区域创新耦合协调的空间联系研究——以长江经济带 107 个城市为实证[J]. 地理科学, 2017, 37(11) : 1659-1667.
- [17]胡悦, 马静, 李雪燕. 京津冀城市群创新网络结构演化及驱动机制研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(13) : 37-44.
- [18]Freeman C. Networks of Innovators:A Synthesis of Research Issues[J]. Research Policy, 1991, 20(5) : 499-514.
- [19]Pourmand F H, Mikael H. Networking to Accelerate the Pace of SME Innovations[J]. Journal of Innovation &

Knowledge, 2021, 59(1) : 1-28.

[20]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) : 29-38.

[21]Huggins R, Thompson P. Entrepreneurship, Innovation and Regional Growth:A Network Theory[J]. Small Business Economics, 2015, 45 : 103-128.

[22]Andersson D E, Gunessee S, Matthiessen C W, et al. The Geography of Chinese Science[J]. Environment & Planning A, 2016, 46(12) : 2950-2971.

[23]Sonn J W, Storper M. The Increasing Importance of Geographical Proximity in Knowledge Production:An Analysis of US Patent Citations, 1975-1997[J]. Environment and Planning A, 2008, 40(5) : 1020-1039.

[24]Matthiessen C W, Schwarz A W, Find S. World Cities of Scientific Knowledge:Systems, Networks and Potential Dynamics. An Analysis Based on Bibliometric Indicators[J]. Urban Studies, 2010, 47(9) : 1879-1897.

[25]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, (3) : 525-540.

[26]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.

[27]周晓艳, 侯美玲, 李霄雯. 独角兽企业内部联系视角下中国城市创新网络空间结构研究[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10) : 1667-1676.

[28]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.

[29]岳振明, 赵树宽. 国外创新网络研究回顾与展望[J]. 科技管理研究, 2020, 40(21) : 31-45.

[30]Ylenia M, Gianluca S, Pasquale D V, et al. Evidence from Network Analysis Application to Innovation Systems and Quintuple Helix[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 161 : 120306.

[31]Huggins R, Prokop D, Thompson P. Universities and Open Innovation:The Determinants of Network Centrality[J]. The Journal of Technology Transfer, 2020, 45 : 718-757.

[32]李颖, 马双, 富宁宁, 等. 中国沿海地区海洋产业合作创新网络特征及其邻近性[J]. 经济地理, 2021, 41(2) : 129-138.

[33]黄兴国, 彭伟辉, 何寻. 成渝地区双城经济圈技术创新网络演化与影响机制研究[J]. 经济体制改革, 2020, (4) : 50-57.

[34]Lim H, Kidokoro T. Comparing a Spatial Structure of Innovation Network Between Korea and Japan:Through the Analysis of Co-Inventors' Network[J]. Asia-Pacific Journal of Regional Science, 2017, (1) : 133-153.

[35]邓婕. 长株潭城市群创新网络研究[D]. 长沙: 湖南师范大学硕士学位论文, 2019.

-
- [36]周国华, 陈炉, 唐承丽, 等. 长株潭城市群研究进展与展望[J]. 经济地理, 2018, 38(6) : 52-61.
- [37]陈浩, 陆林, 郑嬿婷. 基于旅游流的城市群旅游地旅游空间网络结构分析——以珠江三角洲城市群为例[J]. 地理学报, 2011, 66(2) : 257-266.
- [39]王黎莹, 池仁勇. 专利合作网络研究前沿探析与展望[J]. 科学学研究, 2015, 33(1) : 55-61.
- [40]王秋玉, 曾刚, 吕国庆. 中国装备制造业产学研合作创新网络初探[J]. 地理学报, 2016, 71(2) : 251-264.
- [41]Anne L. J. Wal T. The Dynamics of the Inventor Network in German Biotechnology: Geographic Proximity Versus Triadic Closure[J]. Journal of Economic Geography, 2014, 14(3) : 589-620.
- [42]Sohn D W, Kim H, Lee J H. Policy-Driven University-Industry Linkages and Regional Innovation Networks in Korea[J]. Environment and Planning C: Government and Policy, 2009, 27(4) : 647-664.
- [43]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.
- [44]刘军. 整体网分析讲义: UCINET 软件实用指南[M]. 上海: 上海人民出版社, 2009.
- [45]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.
- [46]Neal Z. Differentiating Centrality and Power in the World City Network[J]. Urban Studies, 2011, 48(13) : 2733-2748.
- [47]Balland, Martínez B, Morrison. The Dynamics of Technical and Business Knowledge Networks in Industrial Clusters: Embeddedness, Status, or Proximity?[J]. Economic Geography, 2016, 92(1) : 35-60.
- [48]唐承丽, 郭夏爽, 周国华, 等. 长江中游城市群创新平台空间分布及其影响因素分析[J]. 地理科学进展, 2020, 39(4) : 531-541.