

长江经济带地级城市间技术创新关联网络演变特征研究

赵巧芝,张 聪,崔和瑞

(华北电力大学 经济管理系,河北 保定 071003)

摘要:基于修正的引力模型构建长江经济带地级城市间技术创新空间关联网络,运用社会网络分析法探究2013—2018年空间关联网络的演变特征。研究发现:长江经济带城市间技术创新空间关联网络属于低密度、高效率、严格等级的网络类型;上游地区以成渝为典型代表的中心城市影响力明显提升,中游的武汉和长沙两个城市的中间传导角色不断强化,以上海为中心的下游城市群处于核心动力源地位;小群体分析结果显示,四个板块成员之间发生重组,2018年形成4个定位明确的小群体,分别为“双向溢出”板块、“净溢出”板块、“净受益”板块和“经纪人”板块。据此,从区域协同创新角度提出优化长江经济带城市群技术创新网络结构的政策建议。

关键词:长江经济带;技术创新;引力模型;社会网络分析

中图分类号:F062 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)12—0001—10

一、引言

随着科技创新能力快速提升,创新已成为引领中国经济发展的第一驱动力。《国家创新指数报告2020》显示,中国国家创新指数综合排名升至第14位,在中高收入国家中优势明显;同时,2018年研发经费投入规模达到2974.3亿美元,占全球份额的17.50%,居第2位;发明专利和有效发明专利分别位居全球第1和第2位。一系列成绩的同时,中国技术创新系统发展仍面临着基础薄弱、创新资源积累不足及空间分布不均衡的困局,未来国家技术创新发展存在巨大的提升空间(张曦和郭淑芬,2020;中国社会科学技术发展战略研究院,2021)。“十四五”规划报告指出,坚持创新在现代经济体系构建中的核心地位。长江经济带横跨中国东中西三大板块,包括长三角、中游和成渝三大城市群,是中国区域协同发展的重要示范区,在经济规模和人口数量方面占据着中国的“半壁江山”。根据2019年公布的统计数据,该地区专利申请数达到53.57万件,占全国专利申请发明总量50.56%,是中国技术创新系统中的重要一极。加快培育长江经济带技术创新系统发展,已成为中国创新型国家建设中的重要组成部分。在当前区域融合发展的背景下,城市是创新驱动的集中区,是实施创新驱动战略的主要载体,长期以来,由于经济发展水平、地区政策及创新资源禀赋等方面存在明显的区域差异,长江经济带上、中、下游不同城市间的技术创新能力和水平存在着显著的空间差异;另外,各城市依托沿江的区位优势,利用长江便利的内河航道在技术创新领域中的合作不断加深,创新资源交换日益密切,创新成果扩散日益迅速,城市间技术创新的空间关联网络呈现出复杂的结构特征。因此,以长江经济带地级城市为研究样本,探析其技术创新的空间关联网络关键特征及演化态势,提出未来加快长江经济带技术创新整体实力的空间协同发展方案,具有重要的实践价值。

目前关于区域创新的研究成果较为丰富,主要集中于对创新的区域差异和空间相关性的测度分析。在创新的区域差异研究中,刘树峰等(2018)、包海波和林纯静(2019)利用基尼系数分别对三大沿海城市群和长三角城市群创新活动的差异性进行测度分析。曹勇等(2013)利用泰尔系数对四大直辖市的创新能力进行测度,发现北京和上海的城市创新能力较高,天津和重庆的城市创新能力较低。在空间相关性研究中,主要是

收稿日期:2021—06—09

基金项目:河北省社会科学基金项目“河北省绿色生态技术创新系统的培育及其驱动机制研究”(HB20YJ013);华北电力大学研究生双一流课程建设项目“风险管理理论及方法”(2021)

作者简介:赵巧芝,博士,华北电力大学经济管理系副教授,硕士研究生导师,研究方向:技术创新与可持续发展;张聪,华北电力大学经济管理系硕士研究生,研究方向:产业技术创新行为;崔和瑞,博士,华北电力大学经济管理系教授,硕士研究生导师,研究方向:低碳技术创新行为。

利用以下三种方法测度区域创新的空间相关性:第一种是莫兰指数。部分学者选用邻接权重矩阵对能源技术创新、低碳技术创新和创新产出的空间相关性进行测度(杨凡等,2016;Wang et al,2018;Wang和Zhu,2020;楚应敬和周阳敏,2020;李红雨和赵坚,2020),此外有学者认为事物间的相关性会随着距离的增大而变小,据此利用反距离空间权重矩阵对绿色创新效率、低碳技术创新、创新产出水平和创新活动进行相关性测度(苏屹和林周周,2017;马静等,2018;Yang和Liu,2020;Fan et al,2020;Li和Du,2021)。莫兰指数测度的是整体区域创新的相关性,但无法刻画区域内各主体间创新的空间关联情况。第二种是格兰杰因果检验。该方法是在构建自回归模型的基础上利用格兰杰因果检验测度区域间的创新是否相关(Tian和Wang,2018;刘和东和冯博涵,2019;刘那日苏等,2020),格兰杰因果检验与莫兰指数法相比,优势在于格兰杰因果检验可以判别区域内城市或省份间创新的关联情况,但该检验是以时间序列数据为样本,假定在研究期内关联关系保持不变,忽略了由于外部因素导致关联关系改变的情况,检验结果易产生较大偏差。第三种是空间引力模型。引力模型以最新的面板数据为基础,反映了研究对象的最新态势,综合考虑了经济因素和地理因素,不仅可以测度区域整体的相关性还能测度区域内个体间的空间传导路径,克服了莫兰指数法和格兰杰因果检验的缺陷。关于此类研究一方面从全国省际层面展开,Liu et al(2020)以绿色专利授权量为基础,将2007—2017年中国绿色创新发展分为形成期、繁荣期和稳定期,利用改进的引力模型测度省级绿色创新的相关性;刘佳和宋秋月(2018)利用修正的引力模型测度省份间旅游产业绿色创新效率的相关性,据此构建空间关联网络,发现东部省份居于空间关联网络的中心,中西部省份居于网络边缘位置;王文婷等(2020)采用改进的引力模型构建高新区自主创新效率方面的空间关联网络,发现关联网络中的互动关系不断紧密,且等级结构明显;邵汉华等(2018)在测算创新效率的基础上利用空间引力模型构建创新发展网络,利用社会网络分析法研究发现31个省市构成的空间关联网络“核心-边缘”结构明显;白俊红和蒋伏心(2015)认为创新要素流动是空间关联产生的原因,据此构建空间权重矩阵,采用空间计量模型发现区域间创新要素的流动有助于促进区域创新绩效的空间外溢和总体水平的提升;另一方面主要集中于东部地区较发达城市的研究,曾文霞等(2020)研究发现山东省城市间创新关联关系增加,内陆城市“多三角型”和沿海城市“倒T型”关联网络的扩展使得整体网络更加稳健;王腾飞等(2019)基于专利合作数据利用社会网络分析法研究发现长三角城市创新联系逐渐形成“核心-边缘”网络结构。由此可见,利用空间引力模型测度空间相关的研究主要集中于省际层面或某一地区较发达城市层面,对跨区域及欠发达城市的研究较少。

本文的边际贡献如下:首先,以长江经济带的地级城市为研究对象,在重大区域战略融合发展的背景下,城市是经济发展的最基本单元,城市创新是区域创新的基础,从城市层面研究得出的结论和政策更具有参考性;并且长江经济带横跨我国东部、中部和西部,上中下游城市的经济发展水平和创新能力差距较大,如何加快长江经济带城市群的协同创新是本文的研究目的。其次,从空间关联的角度出发,对引力模型进行修正,利用社会网络分析法,以2013—2018年城市专利产出作为最新发展态势评估指标,从整体网络性质、节点中心性、小群体识别及交互关系特征测度三个方面,深入从时间和空间两个维度研究长江经济带技术创新空间关联网络的结构特征及动态演变,依据上中下游各城市所承担的角色作用,为长江经济带上中下游各城市在技术创新协同发展中提出异质性的建议。

二、研究方法 with 数据处理

(一)关联关系测度方法——修正的空间引力模型

空间引力模型是以牛顿的万有引力定律为基础通过拓展延伸得到,广泛应用于空间相互作用的经济模型。本文借鉴前人的研究思路(李琳和牛婷玉,2017;Fan和Xiao,2021),对引力模型进行修正,构建城市间技术创新的空间引力模型,计算公式如式(1)所示。

$$r_{ij} = k_{ij} \frac{\sqrt[3]{P_i G_i T_i} \sqrt[3]{P_j G_j T_j}}{d_{ij}^2}, \quad k_{ij} = \frac{T_i}{T_i + T_j} \quad (1)$$

其中: r_{ij} 表示城市*i*和城市*j*技术创新的引力系数; P 表示年末人口数; G 表示地区生产总值; T 表示技术创新产出规模,采用专利申请量作为衡量技术创新产出的指标; d_{ij} 表示两城市间的地理距离,选用球面距离测度; k_{ij}

表示修正系数,考虑到城市间技术创新关系的双向性和非对称性,用该城市专利申请量占两城市总量之和的比例修正 k_{ij} 。

根据式(1)计算城市间技术创新的引力系数,据此构建空间关联矩阵 R ,取关联矩阵的均值作为临界值,超过或等于该临界值的引力系数,定义为强关联关系,取值为1;否则为弱关联关系,取值为0;并且矩阵对角线上的元素为0,即自身与自身不存在技术创新联系。由此将空间关联矩阵 R 转化为强关联关系矩阵 Z ,以此构建空间关联网络。

(二)复杂关系特征测度方法——社会网络分析法

社会网络分析法(social network analysis, SNA)是通过关系数据评估复杂关联网络结构特征的系统分析方法。本文将长江经济带上99个地级城市作为网络节点,99个城市在技术创新活动的强关联关系作为网络边,构建城市间技术创新空间关联网络,运用社会网络分析法从整体网络特征、节点中心性和小群体结构关系三个维度来测度技术创新空间关联的网络结构特征,进而识别关键节点和小群体信息。

1. 整体网络特征

整体网络特征测度拟通过网络密度、网络关联度、网络效率和网络等级度四个指标展开。其中,网络密度(C_D)是测度复杂网络中节点间关联关系密切程度的指标,通过实际存在的关系数与可能存在的最大关系数之比得到,如式(2)所示。

$$C_D = \frac{L}{n(n-1)} \quad (2)$$

其中: n 表示网络中包含的节点数量; L 表示实际存在的关系数量。网络密度取值区间为 $[0, 1]$,网络密度值越接近1,表明节点间的关联关系越密切,反之,节点间的关联关系越稀疏。

网络关联度是测度复杂网络中节点间的可达性指标。若关联网络中各节点均可到达,则网络关联度值为1,该网络属于通达网络,说明从任意一个节点到另外另一节点均可到达,意味着某一节点信息可以通过该网络通畅地传导到其他每个节点。网络关联度的数学公式如式(3)所示。

$$C_N = 1 - \frac{V}{n(n-1)/2} \quad (3)$$

其中: C_N 表示网络关联度, V 表示有向网络中不可达的点对数。

网络效率(C_E)则是在复杂网络包含节点数确定的条件下存在的冗余关系程度。一方面,网络效率值越高,意味着从一个节点到另一个节点间的冗余路径越少;另一方面,网络效率值越低,表明复杂网络中冗余关系系数越多,即两个节点间的关系传输路径越多,则网络稳定性越强,公式如式(4)所示。

$$C_E = 1 - \frac{S}{\max(S)} \quad (4)$$

其中: S 表示实际存在的冗余线, $\max(S)$ 是可能存在最大冗余数量。

网络等级度(C_H)通过测度网络中非对称可达点对数规模的比重来识别网络中各节点角色作用的差异度,如式(5)所示。网络等级度越高,表明网络中“核心-边缘”结构越明显,节点间存在较为森严的等级关系结构。

$$C_H = 1 - \frac{M}{\max(M)} \quad (5)$$

其中: M 表示网络中对称的可达点对数, $\max(M)$ 表示最大规模数。

2. 节点中心度

中心度是对网络中每个节点的角色进行定位,主要包括度数中心度、接近中心度和中介中心度。本文拟通过度数中心度对技术创新空间关联网络中各节点的地位进行识别。度数中心度通过与该节点直接相连的节点数来测度,度数中心度分为出度和入度两种,出度表示由该节点发出的关系数,入度表示流向该节点的关系数,度数中心度越高,表明该节点与其他节点的关联关系越密切,在社会网络中发挥的影响力越大,越接近于网络中心位置,反之越接近网络边缘位置。此外,分别取引力系数均值的80%和120%作为阈值,对各节点城市的节点中心性进行稳健性检验,进一步验证本文的实证结果。

3. 小群体结构特征分析——块模型

区别于中心度分析,块模型主要是对关联网络中的某些节点构成小群体的特征及小群体间的交互关系

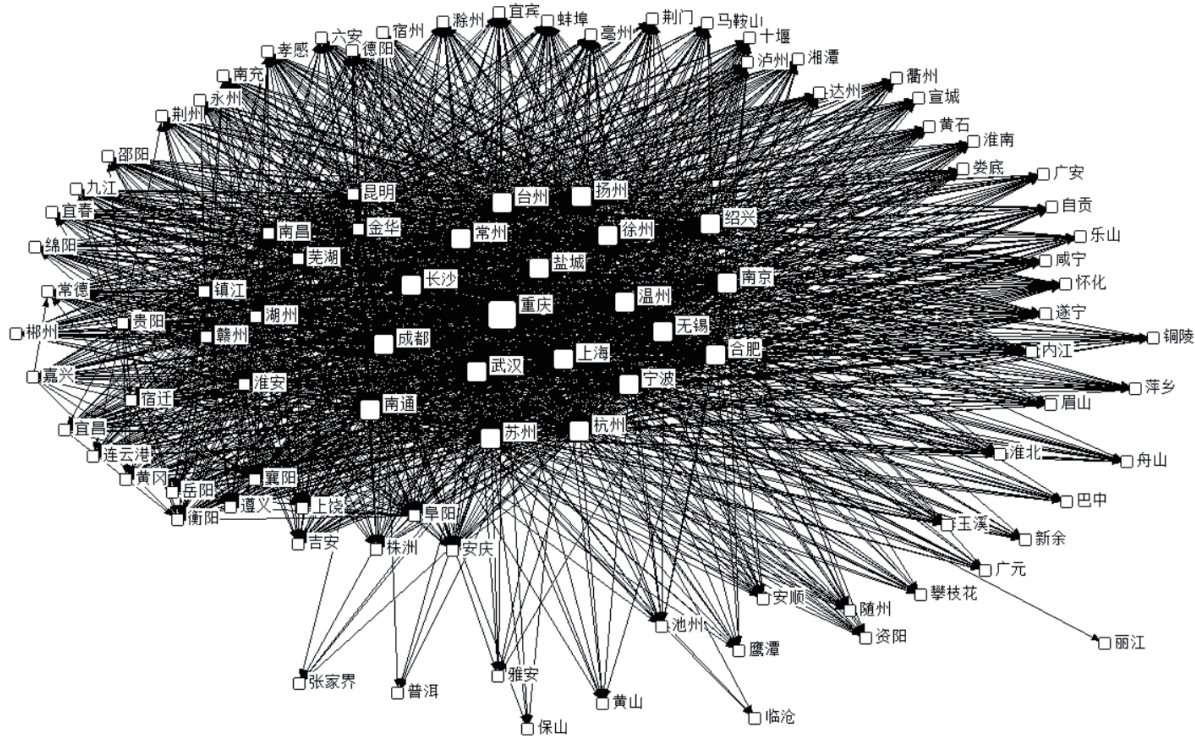


图2 2018年技术创新关联网络拓扑图

(二)整体网络结构特征

为了进一步刻画城市间技术创新关联网络的结构特征,从时间和空间两个维度测度长江经济带城市群的网络密度如图3所示:整体来看,2018年长江经济带城市间可能存在的最大关系数量为9702个,而实际存在的关系数量为2271个,网络密度为0.2341,与2013年相比网络密度提升明显,但相对于最高值1而言,网络密度值仍较低,说明城市间在技术创新活动中形成的关联关系较为稀疏,该网络属于低密度网络类型。长江经济带上游、中游和下游的网络密度差异明显,随着时间的推移,网络密度差距不断拉大,空间关联网络向不均衡方向发展。具体来说,2013年下游城市的网络密度最大,网络密度值为0.3077,上游的网络密度为0.0569,中游的网络密度最小,仅为0.0363。同时下游城市的网络密度提升速度相对较快,中游城市的网络密度提升速度大于上游城市,2017年,中游城市实现反超,其网络密度为0.0927大于上游城市的0.0847。2018年下游城市的网络密度仍为最大,网络密度值为0.4690,中游城市的网络密度为0.1048,上游城市的网络密度最小,仅为0.0913,上中下游网络密度差距逐渐变大。由此可以看出,下游城市技术创新联系不断紧密是整体密度提高的主要原因,中上游城市技术创新联系稀疏是造成整体网络密度偏低的主要原因。

2013—2018年长江经济带技术创新空间关联网络的网络效率、网络关联度和网络等级度测度结果如图4所示,2013—2016年网络关联度逐渐增加,2013年网络关联度为0.8819,2016年网络关联度达到最大值1,2016—

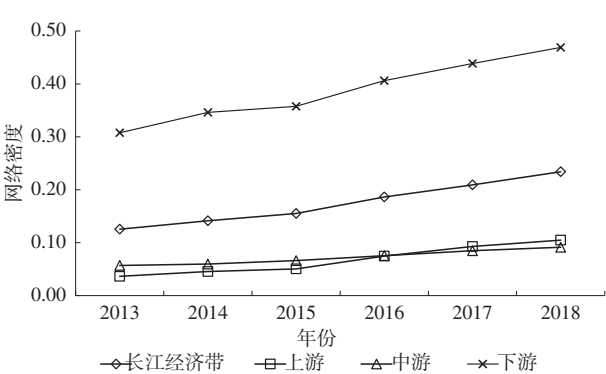


图3 2013—2018年技术创新关联网络密度变化

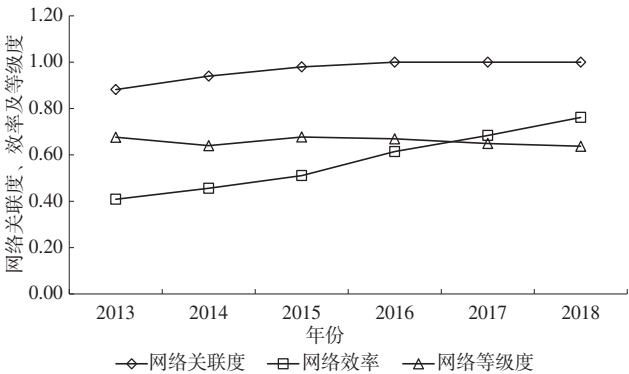


图4 技术创新关联网络统计性质测度结果

2018年网络关联度保持最大值1不变,表明空间关联网络已经形成了通达网络,网络中的各节点均可达,信息可以在任意节点间传递。2013年网络效率为0.4086,到2018年增加至0.7616,网络效率呈稳步上升趋势,意味着节点间的冗余线减少,即从一个节点到另一节点的路径减少,当一条路径被破坏时,其可替代的路线减少,城市间的技术创新联系不足,空间关联网络的稳定性变差。整体来看,2013—2018年网络等级度变化不大,一直维持在0.6以上,网络等级度较高,说明该空间关联网络存在严格的等级结构,并且具有一定的固化性,网络的“核心-边缘”结构明显,表明各城市在空间关联网络中的角色作用存在明显差异。

(三)节点中心性特征

表1为根据中心度测度思路得到的2013年和2018年长江经济带度数中心度排名前20的城市。与此同时,分别取引力系数均值的80%和120%作为阈值对各节点城市的中心性进行稳健性检验,发现度数中心度排名前20的城市相差不大,并且重庆的度数中心度均高于上海,进一步验证了研究结果的准确性。下面通过比较识别研究期内长江经济带各城市节点度数中心度的演变特征。

首先,2013—2018年长江上游地区以成渝为典型代表的中心城市影响力明显提升。2013年和2018年重庆的度数中心度居于首位,2013年重庆中心度为115,到2018年增长为147,上升幅度为27.82%,意味着重庆在长江经济带地级城市间技术创新网络中的影响力明显提升。同时,成都中心度从第4名上升为第3名,度数中心度由106上升至125,上升幅度为17.92%,在长江经济带的技术创新扩散中发挥着重要的节点作用。因此,上游地区的成渝两地是长江经济带技术创新发展中的重要增长极。此外,2013年和2018年重庆的度数中心度大于上海,可能的原因是重庆只是作为中上游城市的中心,而上海是长江经济带的中心,并且由于中上游城市数量较多,导致重庆的度数中心度高于上海。具体来说,重庆和上海的出度值差距较小,但重庆的入度明显大于上海,2018年重庆的入度为51,包括21个中上游城市和30个下游城市,而上海的入度为30,包括8个中上游城市和22个下游城市,表明在中上游地区,与上海相比重庆的接收能力更强。

其次,中游地区的长沙和武汉两个城市的中间传导角色不断强化。2013年武汉和长沙的度数中心度为93和64,位居第9和第13;到2018年度数中心度分别为123和121,位居第5和第7。其中,出度大幅上升,武汉和长沙分别增加了23和48,表明作为连接上游和下游地区的纽带,在承接发达城市的技术创新成果的同时,其技术创新的溢出能力增强。2018年武汉分别对下游39个城市、中游30个城市和上游24个城市产生技术创新溢出,长沙分别对下游38个城市、中游29个城市和上游23个城市产生技术创新溢出。如何培育中游的省会城市南昌成为新的创新增长极,全方位带动中游城市积极承接来自下游发达地区的技术创新溢出,并向上游欠发达城市转移是未来中游地区技术创新发展的重要方向。

最后,以上海为中心的下游城市群处于核心动力源地位。从空间分布来看,排名前20的城市在长江下游集聚,技术创新关联网络结构呈不均衡态势。2013年排名前20的城市中重庆和成都位于上游,武汉和长沙位于中游,其余16个城市位于下游;到2018年昆明和常州进入前20名,镇江和金华退出前20名,15个城市位于下游,2个城市位于中游,3个城市位于上游。由此可见,中心城市向长江下游地区集聚是下游城市关联网络密度较高、增长速度较快的原因,而中上游地区由于创新增长极的缺失导致网络密度偏低并且增长缓慢。

表1 2013、2018年节点城市的度数中心度(前20名)

城市	2013年			城市	2018年		
	中心度	出度	入度		中心度	出度	入度
重庆	115	92	23	重庆	147	96	51
上海	114	92	22	上海	128	98	30
苏州	107	90	17	成都	125	97	28
成都	106	86	20	苏州	123	97	26
杭州	96	77	19	武汉	123	93	30
南京	95	76	19	杭州	121	94	27
宁波	95	77	18	长沙	121	90	31
无锡	93	76	17	南京	120	93	27
武汉	93	70	23	南通	119	91	28
南通	87	68	19	宁波	119	92	27
徐州	79	58	21	无锡	118	91	27
温州	79	60	19	合肥	118	91	27
长沙	64	42	22	温州	116	89	27
绍兴	61	42	19	徐州	115	82	33
合肥	61	41	20	盐城	110	82	28
盐城	55	35	20	常州	105	78	27
扬州	52	33	19	台州	103	76	27
金华	51	33	18	扬州	102	76	26
镇江	42	28	14	绍兴	102	78	24
台州	41	22	19	昆明	97	69	28

(四)小群体结构特征分析

本部分采用 CONCOR 法,并选择最大分割深度为 2 和集中标准为 0.2,99 个地级城市分为 4 个板块,2013 年和 2018 年各板块的组成成员见表 2。可以看出,2013—2018 年板块 1 的城市数量由 20 个减少至 18 个,板块 2 的城市数量由 6 个增加至 10 个,板块 3 的城市数量由 57 个减少至 49 个,板块 4 的城市数量由 16 个增加至 22 个。板块内部成员间发生如下重组:扬州、镇江、金华退出板块 1 加入板块 2;普洱、张家界、鹰潭、临沧、丽江和保山退出板块 2 加入板块 4;常州退出板块 3 加入板块 1,这可能是因为常州邻近板块 1 中的南京、无锡、苏州等中心城市,与中心城市的创新活动联系密切;湖州、淮安、昆明、赣州、南昌、贵阳和芜湖退出板块 3 加入板块 2,淮北和资阳退出板块 3 加入板块 4;咸宁和广安退出板块 4 加入板块 3。板块内少部分成员的调整表明各板块已具有一定的稳定性,各板块的作用功能已经形成。从空间分布来看,2018 年板块 1 的 18 个城市中包括 14 个下游城市、2 个中游城市和 2 个上游城市,板块 1 的成员主要是长江下游的发达城市及中上游的部分省会城市,这些城市的科研院所、高新技术企业等创新主体聚集,知识、技术、资金等创新要素丰富,技术发展水平较高,技术创新能力较强。板块 2 的 10 个城市中包括 6 个下游城市、2 个中游城市和 2 个上游城市。此外,安徽省的 16 个城市中 14 个城市位于板块 3 和板块 4,表明安徽并未融入上海、浙江和江苏的技术创新关联网络,下游关联网络存在优化空间。板块 3 包括 49 个城市,其中 14 个城市位于下游,其余城市位于中上游。板块 4 包括 22 个城市,这些城市主要位于云南、四川和安徽。

以 2018 年为典型年份,识别现阶段技术创新网络的最新发展态势。参考刘华军等(2015)的处理思路,对四个板块进行命名。表 3 为 2018 年创新网络中四个板块内部子网特征及板块间的交互联系。可知,2018 年空间关联网络的关系数量为 2271 个,板块内部关系数为 410 个,板块间的关联关系为 1861 个,比重分别为 18.05% 和 81.95%,表明四大板块间的交互关系占据着绝对主导地位。其中:板块 1 发出的关系数为 1302 个,接收的关系数为 219 个,具有典型的“净溢出”群体特征。板块 2 包括的节点成员数为 10 个,分别发出和接收的关系数为 510 个和 186 个,而内部关系数为 79 个,内部关系比例为 13.41%,明显高于期望内部关系比例 9.18%,属于典型的“双向溢出”板块。板块 3 包括 49 个城市,内部关系数量为 25 个,向其他板块发出的关系数量为 49 个,接收其他板块的关系数量为 1216 个,期望内部关系比例为 48.98%,大于实际内部关系比例 33.78%。因此板块 3 属于“经纪人”板块。板块 4 的内部关系数量为 0 个,向其他板块发出关系数量为 0 个,接收其他板块的关系数量为 240 个,属于“净受益”板块。

图 5 直观地描述了四大板块间的关联关系。可以看出,板块 1、板块 2 和板块 3 之间的关联关系较为紧密,任意两个板块间均存在技术创新关系,而板块 4 仅通过接收板块 1 的技术创新溢出与板块 1 产生技术创新关系。板块 1 不仅自身内部存在技术创新的关联关系,同时对板块 2、板块 3 和板块 4 均产生技术创新溢

表 2 板块成员组成及动态演化

年份	板块名称	具体包括的城市
2013	板块 1(20 个)	上海、南京、无锡、徐州、苏州、南通、温州、台州、盐城、长沙、成都、武汉、杭州、合肥、绍兴、宁波、重庆、扬州、镇江、金华
	板块 2(6 个)	普洱、张家界、鹰潭、临沧、丽江、保山
	板块 3(57 个)	湖州、淮安、昆明、赣州、南昌、贵阳、芜湖、连云港、常德、滁州、宿迁、六安、蚌埠、淮南、马鞍山、宜宾、安庆、湘潭、阜阳、岳阳、嘉兴、遵义、永州、泸州、衢州、上饶、亳州、宿州、黄石、乐山、荆州、宜昌、十堰、荆门、孝感、黄冈、南充、襄阳、株洲、达州、衡阳、邵阳、德阳、绵阳、九江、遂宁、郴州、宜春、怀化、吉安、宣城、自贡、内江、娄底、常州、淮北、资阳
	板块 4(16 个)	萍乡、舟山、攀枝花、池州、随州、广元、黄山、眉山、巴中、安顺、铜陵、玉溪、雅安、新余、咸宁、广安
2018	板块 1(18 个)	上海、南京、无锡、徐州、苏州、南通、温州、台州、盐城、长沙、成都、武汉、杭州、合肥、绍兴、宁波、重庆、常州
	板块 2(10 个)	湖州、淮安、昆明、赣州、南昌、贵阳、芜湖、金华、镇江、扬州
	板块 3(49 个)	连云港、常德、滁州、宿迁、六安、蚌埠、淮南、马鞍山、宜宾、安庆、湘潭、阜阳、岳阳、嘉兴、遵义、永州、泸州、衢州、上饶、亳州、宿州、黄石、乐山、荆州、宜昌、十堰、荆门、孝感、黄冈、南充、襄阳、株洲、达州、衡阳、邵阳、德阳、绵阳、九江、遂宁、郴州、宜春、怀化、吉安、宣城、自贡、内江、娄底、咸宁、广安
	板块 4(22 个)	普洱、张家界、鹰潭、临沧、丽江、保山、萍乡、舟山、攀枝花、池州、随州、广元、黄山、眉山、巴中、安顺、铜陵、玉溪、雅安、新余、淮北、资阳

表 3 长江经济带技术创新空间关联板块的溢出效应(2018 年)

板块名称	接收关系数合计(个)		发出关系数合计(个)		期望内部关系比例(%)	实际内部关系比例(%)
	板块内	板块外	板块内	板块外		
板块 1	306	219	306	1302	17.35	19.03
板块 2	79	186	79	510	9.18	13.41
板块 3	25	1216	25	49	48.98	33.78
板块 4	0	240	0	0	21.43	0.00

出,表明下游发达城市的技术创新溢出能力较强,是长江经济带技术创新发展的“发动机”。板块3的内部关联关系十分稀疏,但与板块2和板块1的关联关系较为紧密,扮演着“经纪人”的作用,促进了技术创新要素和技术创新成果的扩散,为长江经济带技术创新的空间协同发展提供了重要支撑。板块4的成员居于网络边缘位置,这可能是由于中上游欠发达城市经济发展水平较低,技术设施不完善,创新动力不足,技术创新能力较弱,仅接收板块1的技术创新溢出。

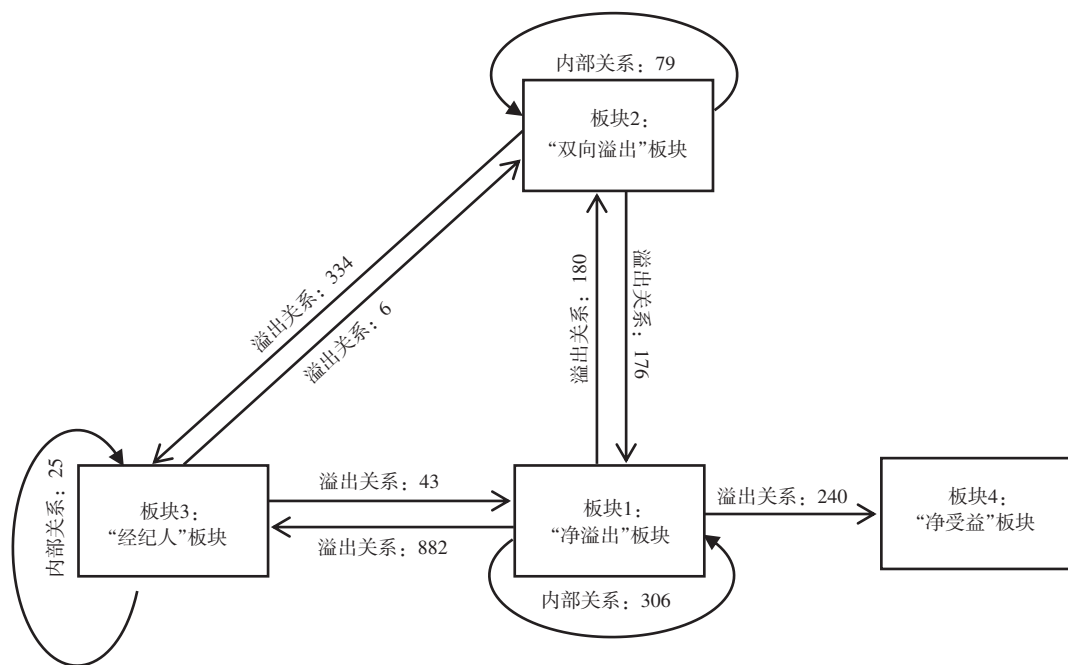


图5 四大板块间相互关系

四、主要结论及政策启示

利用空间引力模型构建技术创新空间关联网络,采用社会网络分析方法对长江经济带技术创新关联网络的时空演变特征进行测度。

（一）主要结论

第一,长江经济带城市间技术创新空间关联网络表现出典型的低密度、高效率且等级森严的复杂网络特征。2013—2018年网络密度从0.1254稳步提升至0.2341,意味着在技术创新发展过程中城市间的关联关系不断加强,但网络密度值仍偏低,该网络属于低密度网络类型,这主要由长江中上游城市技术创新联系不足导致。下游城市的网络密度最高,中上游城市的网络密度较低,随着时间的推移,网络密度差距不断拉大,空间关联网络呈不均衡态势。网络效率由2013年的0.4086增加至2018年的0.7616,空间关联网络的冗余线较少,网络稳定性逐渐变差。网络等级度维持在0.6以上,表明空间关联网络的“核心-边缘”结构明显并具有一定的固化性。2016年网络关联度增加至最大值1,2016—2018年关联度为最大值1,孤点城市从6个下降为0个,关联网络已经形成为通达网络。

第二,与2013年相比,2018年的关联网络结构发生了明显变化:上游地区以成渝为典型代表的中心城市影响力明显提升,中游地区的长沙和武汉两个城市的中间传导角色不断强化,以上海为中心的下游城市群处于核心动力源地位。2013—2018年重庆和成都的度数中心度增加幅度分别为27.82%和17.92%,是长江经济带技术创新发展中的重要增长极,同时由于重庆的入度明显大于上海,重庆的度数中心度高于上海,稳居第1位。2013—2018年武汉和长沙的度数中心度分别增加了30和57,其中两个城市的出度大幅增加,表明其技术创新的溢出能力增强。2018年排名前20的城市中,有15个城市位于长江下游,表明网络中心向下游集聚,未来如何将培育中上游地区新的创新增长极,带动中上游网络边缘的节点城市更好地融入长江经济带技术创新关联网络中,应成为区域协同创新发展的重要方向。

第三,小群体交互机制发生了明显变化,群体内部成员之间发生了重组,99个城市划分为“双向溢出”

“净溢出”“净受益”和“经纪人”四个定位明确的板块。具体来说,扬州、镇江、金华退出板块1加入板块2;普洱、张家界、鹰潭、临沧、丽江和保山退出板块2加入板块4;常州退出板块3加入板块1,这可能是因为常州邻近板块1中的南京、无锡、苏州等中心城市,与中心城市的创新活动联系更加密切,湖州、淮安、昆明、赣州、南昌、贵阳和芜湖退出板块3加入板块2,淮北和资阳退出板块3加入板块4;咸宁和广安退出板块4加入板块3。2018年板块1和板块2的成员主要是下游的发达城市及中上游的省会城市,安徽省并未融入上海、浙江和江苏的技术创新关联网络,下游关联网络存在优化空间。板块1是“净溢出”板块,该板块对板块2、板块3和板块4均产生技术创新溢出,是长江经济带技术创新发展的“发动机”。板块2是“双向溢出”板块。板块3和板块4的成员主要位于长江中上游,板块3是“经纪人”板块,为长江经济带技术创新的空间协同发展提供了重要支撑,板块4是“净受益”板块,该板块的成员不向其他板块发出关系,只接收来自板块1的技术创新溢出。

(二)政策启示

根据以上分析,依据长江上中下游各地区的技术创新发展现状和区位特点,如何优化技术创新空间关联网络,更好地发挥空间协同发展效果,使技术创新成果“逆流而上”,应成为未来长江经济带技术创新协同发展的重要方向。基于此,提出如下政策启示:

首先,强化中心城市在技术创新网络中的“发动机”功能,培育新的创新增长极。长江下游是“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带,是我国重要的对外开放平台,下游中心城市应加强与国际的技术创新合作,积极引进国外的先进技术,通过中外合资创办企业加快国外技术创新成果在国内转化,推进学校、企业和科研院所间跨区域多形式的技术创新合作,合力实现关键性技术突破,以绝对领先的技术创新实力向中上游城市扩散。重庆、成都、长沙和武汉作为中上游地区技术创新的增长极,充分发挥辐射带动作用,以成渝城市群和中游城市群为依托,人才流动和产业联系为载体,通过地理邻近、互动频繁等优势培育成渝发展主轴的遂宁和内江及中游的省会城市南昌成为新的创新增长极,加快技术创新成果向中上游城市的扩散,实现长江经济带技术创新的协同发展。

其次,打破区域壁垒,完善长江经济带技术创新协同发展体系。各级政府应加快出台落实技术创新协同发展的政策,加快交通运输建设,推进市场化进程,打破经济发展水平、地理位置、行政区划对技术创新空间协同发展的限制,同时借助大数据、物联网技术和云计算推动创新要素、信息和成果的跨区域整合互补;建立人才信息共享机制,打造包含不同地区、不同领域、不同层次的人才信息共享平台,加快促进科技人才的跨区域流动;同时发挥“经纪人”板块的桥梁作用,一方面积极承接中心城市的创新成果和产业转移;另一方面通过推进企业创新合作、人才交流等方式带动边缘城市的技术创新发展。

最后,“净受益”板块中的城市应根据自身创新资源禀赋和创新优势开展技术创新活动,主动寻求技术创新合作,积极吸收中心城市的技术创新成果。政府有必要通过政策引导适当抑制省会城市对这些城市创新资源的虹吸作用,完善与创新活动相关的基础设施建设,通过提高待遇、改善居住环境等方式吸引下游城市的高科技人才。积极引导边缘城市与中心城市的技术创新联系,缓和长江经济带技术创新发展的梯度差。提高知识产权保护水平,严厉打击侵权行为,为长江上游地区技术创新营造优良环境。

参考文献

- [1] 白俊红,蒋伏心,2015.协同创新、空间关联与区域创新绩效[J].经济研究,50(7):174-187.
- [2] 包海波,林纯静,2019.长三角城市群创新能力的空间特征及影响因素分析[J].治理研究,35(5):51-58.
- [3] 曹勇,曹轩祯,罗楚珺,等,2013.我国四大直辖城市创新能力及其影响因素的比较研究[J].中国软科学(6):162-170.
- [4] 楚应敬,周阳敏,2020.产业集群协同创新、空间关联与创新集聚[J].统计与决策,36(23):107-111.
- [5] 胡艳,时浩楠,2017.长三角城市群城市创新的空间关联分析——基于社会网络分析方法[J].上海经济研究(4):87-97.
- [6] 李红雨,赵坚,2020.中国技术创新产出的空间分布——来自中国地级以上区域的证据[J].北京理工大学学报(社会科学版),22(1):82-92.
- [7] 李琳,牛婷玉,2017.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,37(9):19-25,61.
- [8] 刘和东,冯博涵,2019.区域创新空间关联特征及其关键因素分析[J].中国科技论坛(5):98-106.
- [9] 刘华军,刘传明,孙亚男,2015.中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究[J].中国工业经济(5):83-95.
- [10] 刘佳,宋秋月,2018.中国旅游产业绿色创新效率的空间网络结构与形成机制[J].中国人口·资源与环境,28(8):127-137.

- [11] 刘军, 2014. 整体网分析: UCINET软件使用指南(第二版)[M]. 上海: 格致出版社, 上海人民出版社.
- [12] 刘那日苏, 苏月, 张建江, 2020. 区域创新的空间溢出效应及其时滞变迁测度[J]. 统计与决策, 36(18): 85-89.
- [13] 刘树峰, 杜德斌, 覃雄合, 等, 2018. 中国沿海三大城市群企业创新时空格局与影响因素[J]. 经济地理, 38(12): 111-118.
- [14] 马静, 邓宏兵, 张红, 2018. 空间知识溢出视角下中国城市创新产出空间格局[J]. 经济地理, 38(9): 96-104.
- [15] 邵汉华, 周磊, 刘耀彬, 2018. 中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素[J]. 科学学研究, 36(11): 2055-2069.
- [16] 苏屹, 林周周, 2017. 区域创新活动的空间效应及影响因素研究[J]. 数量经济技术经济研究[J]. 34(11): 63-80.
- [17] 王腾飞, 谷人旭, 马仁锋, 2019. 长江三角洲城市创新关联演化特征及其影响因素研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 40(12): 121-128.
- [18] 王文婷, 营利荣, 王迪飞, 等, 2020. 国家高新区自主创新效率空间关联网络的实证研究[J]. 技术经济, 39(1): 61-73.
- [19] 杨凡, 杜德斌, 林晓, 2016. 中国省域创新产出的空间格局与空间溢出效应研究[J]. 软科学, 30(10): 6-10.
- [20] 曾文霞, 董会忠, 盛科荣, 等, 2020. 山东省创新网络演变特征及影响因素分析[J]. 科技管理研究, 40(14): 116-122.
- [21] 张曦, 郭淑芬, 2020. 中国工业技术创新效率空间关联及其影响因素[J]. 科学学研究, 38(3): 525-535.
- [22] 中国科学技术发展战略研究院, 2021. 国家创新指数报告 2020[R]. 北京: 科学技术文献出版社.
- [23] FAN F, LIAN H, LIU X Y, et al, 2020. Can environmental regulation promote urban green innovation Efficiency? An empirical study based on Chinese cities[J]. Journal of Cleaner Production, 287: 125060.
- [24] FAN J D, XIAO Z H, 2021. Analysis of spatial correlation network of China's green innovation[J]. Journal of Cleaner Production, 299: 126815.
- [25] LI J, DU Y X, 2021. Spatial effect of environmental regulation on green innovation efficiency: Evidence from prefectural-level cities in China[J]. Journal of Cleaner Production, 286: 125032.
- [26] LIU Y Q, SHAO X Y, TANG M P, et al, 2020. Spatio-temporal evolution of green innovation network and its multidimensional proximity analysis: Empirical evidence from China[J]. Journal of Cleaner Production, 283: 124649.
- [27] SCOTT J, 1988. Social network analysis[J]. Sociology, 22(1): 109-127.
- [28] TIAN X B, WANG J G, 2018. Research on spatial correlation in regional Innovation spillover in China based on patents[J]. Sustainability, 10(9): 3090.
- [29] WANG W D, LU N, ZHANG C J, 2018. Low-carbon technology innovation responding to climate change from the perspective of spatial spillover effects[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 16(2): 120-130.
- [30] WANG Z L, ZHU Y F, 2020. Do energy technology innovations contribute to CO₂ emissions abatement? A spatial perspective[J]. Science of the Total Environment, 726: 138574.
- [31] YANG C J, LIU S N, 2020. Spatial correlation analysis of low-carbon innovation: A case study of manufacturing patents in China[J]. Journal of Cleaner Production, 273: 122893.

Research on the Evolution Characteristics of Technological Innovation Association Network among Urban Cities in the Yangtze River Economic Belt

Zhao Qiaozhi, Zhang Cong, Cui Herui

(Department of Economics and Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei, China)

Abstract: Based on modified gravity model, spatial association network of technological innovation was constructed among urban cities in the Yangtze River Economic Belt (YREB). Social network analysis (SNA) method was applied to explore out their evolution characteristics during 2013—2018. Results are as follows. This network shows lower density, higher efficiency and rigid stratification properties. Such typically central cities as Chengdu and Chongqing cities of upper YREB region show increasing influences significantly of the association network. Wuhan and Changsha cities of middle region of YREB are playing roles as more significant middleman. And such downstream region as surrounding Shanghai city keeps the core power source of YREB network. Based on small cluster analysis, these cities are classified into four blocks and their members changed. In 2018, the four blocks are “bidirectional spillover”, “net spillover”, “net beneficial” and “broker”. Therefore, policy implications are put forward to optimizing technological innovation network structure among urban cities of YREB with respect to regional innovation coordination development.

Keywords: Yangtze River Economic Belt(YREB); technological innovation; gravity model; social network analysis