

京津冀科技合作网络的演变特征及影响因素

席强敏¹, 李国平², 孙瑜康³, 吕爽²

(1. 中国人民大学应用经济学院, 北京 100872; 2. 北京大学政府管理学院, 北京 100871;
3. 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院, 北京 100070)

摘要: 构建层次分明、结构合理的科技合作网络对于推动京津冀协同创新具有非常重要的作用。本文从基于知识创新的科研合作网络和基于技术创新的技术合作网络的角度, 使用合作论文和合作专利数据, 采用社会网络分析法对2013—2018年京津冀地区地级及以上城市之间科技合作网络的演变特征进行了分析, 并基于半参数估计和面板计量模型实证检验了影响京津冀78个城市对之间科技合作的主要因素。主要结论为: ① 京津冀科研合作网络快速成长, 呈现北京与天津双核引领, 以京津为主轴、京保石为次轴的空间结构。② 京津冀逐渐形成了以北京为主中心, 天津、石家庄为次中心, 廊坊、保定、沧州为三级枢纽, 其他城市为节点的技术合作网络结构。③ 空间距离越近的城市之间越容易产生科技合作, 高铁开通带来的时空距离压缩可以减弱科技合作的空间衰减系数; 相对于科研合作, 技术合作对于空间距离更为敏感; 技术邻近性是促进城市间科技合作的主要驱动因子, 尤其是对技术合作的促进效应更为明显; 经济发展差距越小的城市之间相对容易产生技术合作。

关键词: 专利合作; 论文合作; 社会网络分析; 半参数估计; 京津冀

DOI: 10.11821/dlxb202206005

1 引言

随着城市化的快速推进, 城市群正成为支撑中国经济增长的主要空间载体, 其创新体系是国家经济发展和参与全球竞争的重要力量。城市群的创新体系是由城市群中不同类型城市基于多主体、跨区域、跨组织的复杂合作, 形成联系紧密、分工合作的区域创新系统。随着创新活动由“地方空间”向“流空间”转型, 区域创新传播也从等级扩散向网络化演变, 引起相关的理论研究向“网络化”转向, 区域创新网络已经成为地理学重要的研究领域^[1]。目前中国城市群的创新网络演变正处于起步阶段, 还存在着制度、技术、文化等诸多壁垒, 而关于城市群的创新网络研究也处于探索阶段, 对于其空间特征及形成机理的认识仍有待加深。因此, 厘清城市群协同创新网络的演变规律及其背后的影响机制, 对于提升城市群的协同创新水平具有重要意义。

对区域创新网络的研究兴起于20世纪90年代, 理论基础主要来自于新产业区、区域创新系统、创新环境学派、全球—地方创新网络等流派^[2]。这些研究通过分析在全球化和

收稿日期: 2021-05-06; 修订日期: 2022-02-28

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(20ZDA040); 国家自然科学基金项目(72003190, 41901147) [Foundation: Major Program of the National Social Science Foundation of China, No.20ZDA040; National Natural Science Foundation of China, No.72003190, No.41901147]

作者简介: 席强敏(1986-), 男, 江西高安人, 博士, 副教授, 研究方向为区域产业空间分析、城市与区域政策评价。
E-mail: xqm815@126.com

通讯作者: 李国平(1961-), 男, 黑龙江拜泉人, 博士, 教授, 研究方向为经济地理、区域经济、城市与区域规划研究。
E-mail: lgp@pku.edu.cn

区域一体化背景下形成的著名产业和创新集群,例如硅谷、第三意大利等,提出了区域层面知识溢出和创新的相关理论。早期的区域创新网络分析方法主要基于引力模型展开^[3],但引力模型只能反映城市间创新合作的潜在可能,并不能很好地反映真实发生的创新联系。随着大数据的应用和社会网络分析方法的引入,基于创新要素流动的区域创新网络分析正成为研究热点。国内相关研究主要从两方面展开:一方面是对全国城市创新网络的时空格局及其变化进行分析^[4],另一方面则是对京津冀、长三角、粤港澳大湾区等主要城市群创新网络的多中心性、等级结构、演变趋势等进行了测度和分析^[5-9]。这些研究主要使用专利、论文、人才等数据,将网络分析方法应用于区域创新研究,为认识区域创新网络的演变规律提供了重要参考,但这些研究仍停留在对创新网络的特征描述上,缺乏对网络演变因素的实证研究,对演变规律的解释性不强。另外,相比于长三角和粤港澳大湾区,目前对京津冀城市群创新网络的研究相对不足。

自2014年京津冀协同发展上升为国家战略以来,打造区域协同创新共同体成为京津冀协同发展的重要目标。聚焦京津冀协同创新的文献主要分为3类:①定性分析京津冀协同创新的进展与存在的问题^[10-11];②建立指标体系对京津冀协同创新情况进行测度与评价^[12];③使用社会网络分析方法对京津冀协同创新的空间组织进行分析,例如邢华等运用社会网络分析方法分析了京津冀城市群的创新网络,并与长三角城市群创新网络进行了对比^[13];吕拉昌等基于创新主体的授权专利合作数据揭示了京津冀城市群的创新联系,发现京津冀城市群逐步形成“双核+多节点”的创新网络格局^[14];Chen等研究了技术邻近如何影响了京津冀协同创新的效率^[15];Zhou等基于复杂网络方法分析了京津冀合作创新网络的12个社群构成^[16]。这些研究大多数是对京津冀协同创新某一方面的刻画,缺乏基于创新价值链的系统视角。

创新价值链是地区间制订协同创新政策时考量的重要因素。Hansen等在2007年率先提出了“创新价值链”的概念,将创新价值链划分为创新的产生、转换和传播3个阶段^[17]。余泳泽等进一步将创新价值链划分为知识创新、技术创新、产品创新3个阶段^[18],被学者们广泛采用。区域协同创新涉及到创新价值链的多个环节,知识创新与技术创新是其中的核心部分,二者的空间网络与形成机制有着明显差别,需要区别分析。知识创新是指通过科学研究发现新知识、新思想、新方法的过程,其创新主体为高校、研究机构等。技术创新是面向生产和应用转化创新,以新技术、新产品的开发为主,其创新主体为企业。知识创新处于创新价值链的前端,是区域技术创新的源泉,而技术创新则处于创新价值链的中后端,是知识创新转化为技术进步并最终促进地区经济增长的重要途径。两者相互联系,缺一不可,都是区域创新体系的核心功能。

基于以上分析,本文在创新价值链的视角下,从基于知识创新的科研合作和基于技术创新的技术合作的维度构建京津冀协同创新网络,分别采用合作论文和合作专利数据,揭示了京津冀自实施协同发展战略以来区域协同创新网络的演变特征,并基于半参数估计和面板计量模型,定量分析了京津冀协同创新网络演变背后的影响因素,为完善京津冀科技合作网络、推动协同创新共同体的建设提出了针对性的建议。与现有研究相比,本文的贡献主要体现在:第一,从知识和技术创新合作两个维度对京津冀城市群科技合作网络的演变特征进行了分析,并对两者的特征进行了对比分析。第二,以城市对为基本单元,从时空邻近、技术邻近、城市发展差距和科技投入等方面实证估计京津冀城市之间科研合作和技术合作的主要影响因素,识别出科研合作与技术合作驱动因子的共性与差异。

2 数据说明与研究方法

2.1 研究对象

本文以京津冀城市群为研究对象,该城市群包括北京、天津与河北两市一省,行政面积21.8万 km^2 ,2019年常住人口1.13亿,地区生产总值达到84580亿元,是中国北方最大的城市群。其中,北京拥有全国最丰富的科技、教育、人才等创新资源,在基础研究、科技服务、高技术产业方面发挥着核心引领作用。面向“十四五”,北京在提出建设“国际科技创新中心”的同时,也提出通过推动区域创新链、产业链、供应链融合,形成以首都为核心的世界级城市群主干构架。但与长三角城市群、粤港澳大湾区相比,京津冀三省市间存在着发展差距过大、创新联系仍不够紧密等问题,因此研究京津冀科技合作网络的演变特征和影响因素,具有重要的理论和实践价值。自2014年京津冀协同发展战略实施以来京津冀协同创新进程明显加快,因此本文选择2013—2018年作为研究时间段,以揭示京津冀协同发展战略实施以来科技合作网络的演变趋势。

2.2 数据说明

论文是知识创新成果的重要体现,合作论文是衡量区域知识创新合作的主要定量指标。本文从中文论文合作和英文论文合作两方面综合度量京津冀城市间论文合作情况。从万方数据库中根据作者单位信息提取京津冀城市之间的中文合作论文,在2013—2018年期间共获取到65496篇京津冀13个地级及以上城市之间的中文合作论文。参考马海涛等的研究^[8],从全球最具权威性的科技论文数据库“Web of Science”的SCI、SSCI、A&HCI论文数据库中选取英文论文合作数据,并对论文作者所在城市进行地理定位,在2013—2018年期间获取到29672篇英文合作论文。

专利数据具有覆盖范围广、标准性强、易获得等优点,能较好地反映技术创新的大部分成果,是目前国内外研究中用以衡量技术创新的主要指标。参考徐宜青等^[9]的研究,使用来自中国国家知识产权局的合作专利数据来代表技术创新。这些专利包括了发明申请、实用新型、外观设计3种类型,其中发明申请专利强调技术新颖性,而实用新型和外观设计重点反映了新产品的开发,因此三者结合能更好地反映创新价值链中后端的创新水平。通过抓取2013—2018年京津冀13地市申请人数量大于1的专利数据,并对多个专利申请人的地址进行解析,将其定位到城市层面,最终共获得2013—2018年京津冀13个地级及以上城市之间的30848项合作申请专利。

2.3 研究方法

本文采用社会网络分析方法对京津冀协同创新网络的演变特征进行分析。①使用Ucinet软件对合作论文和合作专利数据进行网络构建并实现可视化;②计算网络的凝聚性、中心度、网络结构等指标,分析网络的结构特征及其演变;③分析不同城市在网络中的地位及其相互关系,结合每个城市的创新水平变化,分析其在京津冀协同创新中扮演的角色,寻找创新网络中存在的问题。在明晰城市创新网络的演变特征后,使用计量方法进一步分析影响城市间科技合作的因素,为提出针对性的建议提供支撑。

网络的凝聚性可以反映网络整体联系的密切程度,通常采用聚类系数(Clustering Coefficient, CC)进一步揭示网络的联通情况。单个节点的聚类系数为节点*i*与相邻节点之间实际存在的边数与可能存在的总边数之比^[20],而所有节点的平均聚类系数衡量了网络的整体凝聚力,数值越大说明节点之间的关系越紧密,合作交流越便捷^[21]。平均聚类系数的具体计算方法如式(1)所示:

$$CC = \frac{1}{n} \sum_i \frac{2d_i}{k(k-1)} \quad (1)$$

式中： n 为网络中的节点数量； d_i 为节点 i 与相邻节点之间实际存在的边数； k 代表与节点 i 相邻的节点数。关系总数指网络中各节点间直接联系总数，表示城市两两合作的总关系数；网络密度反映了网络中节点之间关联的紧密程度，通过网络中实际存在的关系数与该网络理论上最大可能存在的关系数的比值表示；平均路径长度指网络中城市两两之间距离的平均长度，反映城市之间合作与联系的畅通程度。度数中心度是衡量网络结构中各节点在网络中权利与地位的重要指标^[22]，该指标越高，表示该城市在网络中越处于较中心的位置，与其他城市节点的联系强度越高^[23]。为区分不同城市间的联系强度，本文使用加权方法计算城市度数中心度，权重为城市间论文或专利合作数量。

3 京津冀科技合作网络的演变特征

本文使用合作论文和合作专利数据，从科研合作与技术合作两个方面刻画京津冀协同创新网络，并分别对网络的成长性、凝聚性、网络结构和演变趋势进行分析，总结京津冀协同发展战略实施以来科技合作网络的演变特规律。

3.1 京津冀科研合作网络的演变特征

(1) 科研合作网络的成长性。从网络规模来看，2018年京津冀三地间合作论文数量达到14332篇，相比于2013年增长了42.7%（图1）。其中，北京、天津及河北三地合作论文数量均有不同程度的增加，2018年较2013年的涨幅分别达到55.9%、35.0%、27.0%。从内部结构来看，2018年北京—天津、北京—河北、天津—河北之间的合作论文数占比分别为45.5%、43.5%、11%，由此可见科研合作网络中以京津和京冀合作为主，津冀之间合作较少。从合作论文数量的增长率来看，协同发展战略实施初期合作论文增速较高，2014年增速高达20.2%，之后的增速则呈现波动式变化。从不同类型的论文合作情况来看，2013年之后，三地间英文论文合作大幅增长，中文论文合著增长较为稳定，科研合作成果的国际化水平不断提升。

(2) 科研合作网络的凝聚性。本文使用Gephi数据处理软件进行网络凝聚性分析，测度了京津冀论文合作网络的关系总数、网络密度、平均路径长度和平均聚类系数。由于中文论文的合作在京津冀13个节点城市之间一直都存在，因此本文重点分析京津冀城市间英文论文所构成的科研合作网络指标变化（表1）。结果显示，2013—2018年间京津冀科研合作关系总数从60增加到69，产生论文合作关系的城市对显著增加；网络密度由0.769增加到0.885，网络中节点之间关联的紧密程度不断提高；平均路径长度从1.231下降到1.115，各城市间交流合作的畅通与便利程度得到了明显提升；平均聚类系数从0.867增加到0.901，反映出网络中各节点联系的密切程度进一步增大。

(3) 科研合作网络结构特征。京津冀科研合作网络呈现北京与天津双核引领，以京津为主轴，以京保石为次轴的空间结构（图2）。对科研合作网络的中心度进行分析发现，北京的度数中心度排名第一，处于绝对的核心地位，天津则为次级核心城市。2018

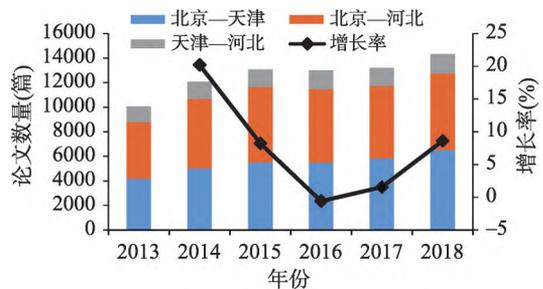


图1 2013—2018年京津冀三地间合作论文数量及增长率

Fig. 1 The number and growth rate of collaborative papers of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2013 to 2018

年北京与天津合作论文数量共 6518 篇, 约占京津冀论文合作总量的 50%, 是科技合作网络的主轴; 其次为北京与石家庄、保定的合作, 分别为 2022 篇与 1063 篇, 占合作总量的 14.1% 和 7.4%, 是科技合作网络的次轴。河北省的其他城市则处于网络的边缘, 其中北京与唐山、秦皇岛、廊坊合作相对紧密, 占京津冀合作总数的比例在 3.8%~5.3% 之间, 且这些边缘节点之间的科研联系较弱。

表 1 2013—2018 年京津冀科研合作网络特征
Tab. 1 Characteristics of research cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2013 to 2018

年份	关系总数	网络密度	平均路径长度	平均聚类系数
2013	60	0.769	1.231	0.867
2014	56	0.718	1.282	0.852
2015	65	0.833	1.167	0.897
2016	66	0.846	1.154	0.896
2017	67	0.859	1.141	0.882
2018	69	0.885	1.115	0.901

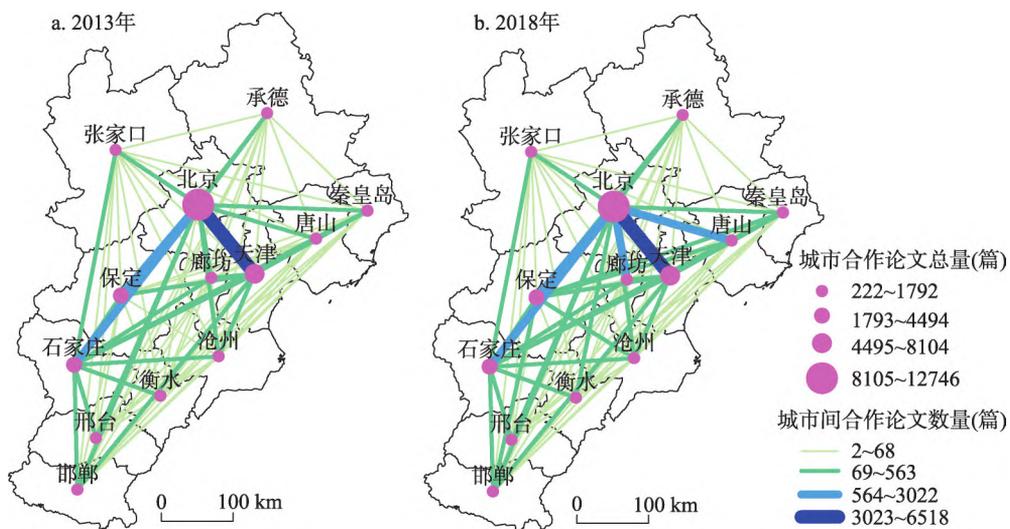


图 2 2013 年和 2018 年京津冀科研合作网络

Fig. 2 Research cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region in 2013 and 2018

(4) 科研合作网络结构演变。2013—2018 年京津冀科研合作网络结构较为稳定, 北京与天津双核地位显著。绝大多数城市间合作论文数量增加 (图 3), 其中北京与天津的合作量增加了 1808 篇, 占整个京津冀增量的 54.5%, 仍是网络生长最重要的动力。北京与网络中所有的城市合作量都在增加, 其中北京与石家庄、保定、唐山合作论文数量增量分别占京津冀增量的 12.9%、6.0%、5.3%, 是京冀合作增加的主要城市对。从网络的衰退情况来看, 2013—2018 年间科研合作关系衰减的城市对主要在天津、石家庄与河北部分城市之间。

3.2 京津冀技术合作网络的演变特征

(1) 技术合作网络的成长性。2018 年京津冀三地合作专利数量达到 8673 件, 相较于 2013 年增加了 2854 件, 增长趋势明显; 北京、天津、河北三地参与京津冀合作的专利数相较于 2013 年分别增加了 45.1%、59.0%、48.7%。2018 年, 北京在京津冀区域内的合作专利中, 与天津、河北合作的比例分别为 41.7% 和 58.3%; 而天津、河北的合作专利中, 与北京合作的比例分别占到 88.1% 和 65.4%。由此可见, 三地间技术合作以京津和京冀为主, 津冀之间合作还很不充分。

(2) 技术合作网络的凝聚性。由表 2 所示的京津冀技术合作网络的联系特征可知, 技术合作大部分指标略低于科研合作网络, 但仍呈现出明显的生长趋势。2013—2018 年

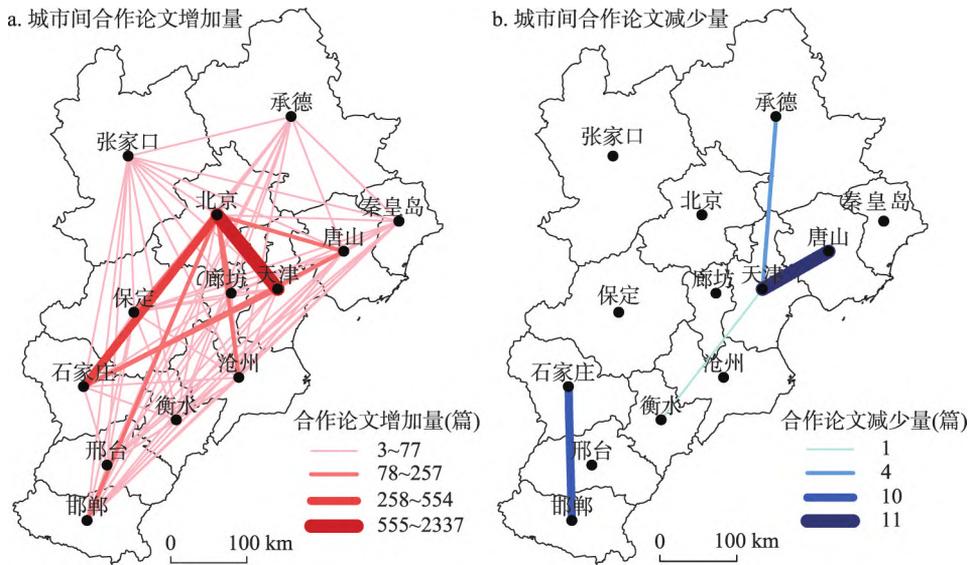


图3 2013—2018年京津冀科研合作网络的变化情况

Fig. 3 Changes in the research cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2013 to 2018

间,京津冀技术合作网络的关系总数从35增加到47,参与到技术合作网络的城市对明显增加。另外,网络密度由0.449增加到0.603,平均路径长度由1.551下降到1.397,平均聚类系数经历先下降后上升的过程,均说明京津冀城市间的技术合作更加频繁,网络的凝聚性进一步提高。

(3) 技术合作网络结构特征。京津冀逐渐形成了以北京为主中心,天津、石家庄为次中心,廊坊、保定、沧州为三级枢纽,其他城市为节点的技术合作网络结构(图4)。北京贡献了京津冀地区约2/3的合作专利产出,是京津冀技术合作网络的绝对核心。天津、石家庄是网络的次中心,2018年其与北京的合作专利数分别占京津冀合作专利总数的35.23%和19.93%,是合作网络的主要轴线。廊坊、保定、沧州处于网络的第三级,其与北京的合作专利共占京津冀的20%左右。河北省的其他城市为网络的边缘节点,这些节点之间的联系占比一般在3%以下。

将合作专利按行业特征划分为高技术行业 and 低技术行业(图5),发现高技术行业的合作关系更加集中在北京、天津、石家庄、保定几个高等级节点中;低技术网络的技术辐射则更为广泛,北京与更多的边缘城市存在技术合作关系,网络中较低等级的城市之间也有更密切的合作。

进一步考虑不同创新主体在技术合作网络中的构成,以考察创新网络中的主体互动情况。由表3所示结果可以发现:京津冀技术合作网络以企业间合作为主,高校之间与研究机构之间的合作不够充分。从相同主体合作类型来看,企业—企业的合作比重达到82.49%,而高校与高校、研究机构与研究机构之间合作的占比分别只有0.72%和1.38%。从产学研合作的角度来看,企业与高校、研究机构的合作转化仍然较低,一定程度上说明京津强大的高校与科研机构创新能力并没有很好地转化为企业的应用。

表2 2013—2018年京津冀技术合作网络联系特征
Tab. 2 Characteristics of technical cooperation network links of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2013 to 2018

年份	关系总数	网络密度	平均路径长度	平均聚类系数
2013	35	0.449	1.551	0.825
2014	41	0.526	1.474	0.775
2015	40	0.513	1.487	0.814
2016	41	0.526	1.474	0.77
2017	44	0.564	1.436	0.782
2018	47	0.603	1.397	0.811

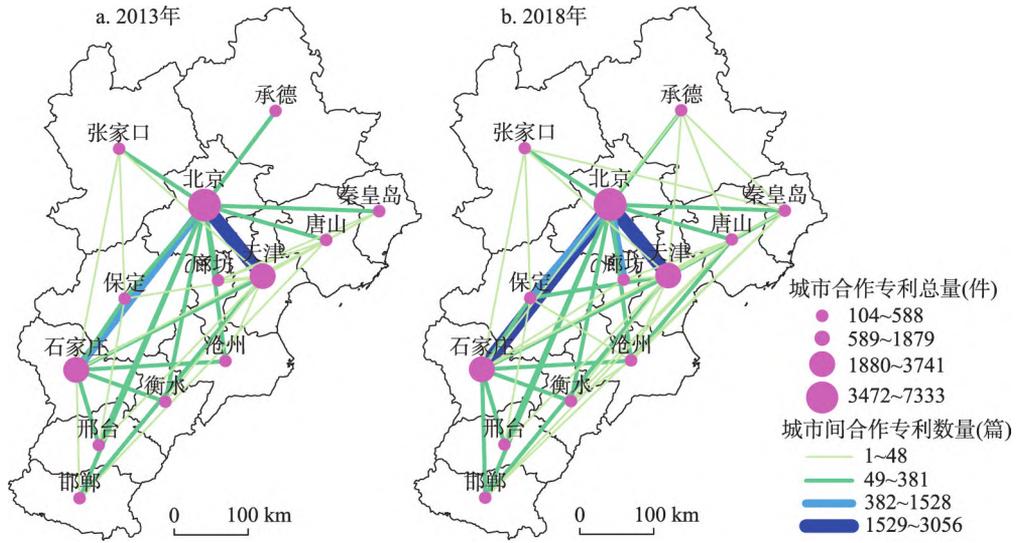


图4 2013年和2018年京津冀技术创新合作网络

Fig. 4 Technical cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region in 2013 and 2018

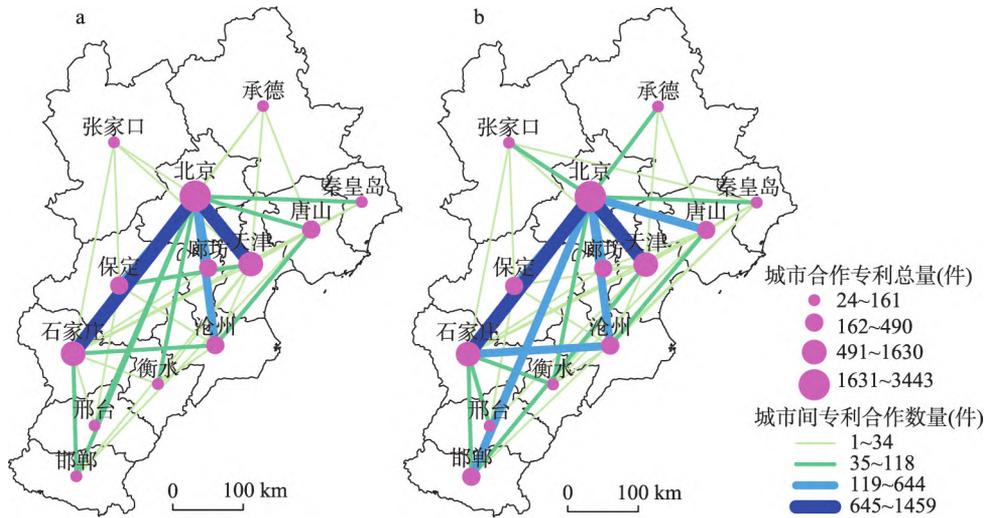


图5 2018年京津冀高、低技术专利合作网络

Fig. 5 High-tech and low-tech cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region in 2018

表3 2018年京津冀技术合作网络中不同主体合作的占比(%)

Tab. 3 Proportions of different subjects in the technical cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region in 2018 (%)

	京津冀	北京—天津	北京—河北	天津—河北
企业—企业	82.49	79.41	84.54	66.82
高校—高校	0.72	0.13	1.11	2.82
研究机构—研究机构	1.38	0.25	2.13	0.47
企业—高校	9.13	10.39	8.28	21.88
企业—研究机构	4.76	7.01	3.25	6.35
高校—研究机构	1.53	2.80	0.68	1.65

④ 技术合作网络结构的演变。图6展示了2013—2018年京津冀技术合作网络的演变情况。可以看出，一方面，北京与天津、石家庄的合作专利增量分别达到1071件和461件，占整个京津冀增量的37.53%和16.15%，说明“富人俱乐部”效应依然是影响创新网络发育的主要因素；另一方面，北京与周边地区的技术合作迅速增强，如与廊坊、沧州、保定的合作数量相较2013年分别增加了2.86%、0.98%和0.70%，明显高于其他地区，且这种增长高于同期的科研合作。相比之下，合作专利数量减少的地区主要为同北京距离较远的城市，例如北部的张家口、承德与南部的衡水、邢台、邯郸等，这也说明地理距离依然在技术合作方面发挥重要作用。

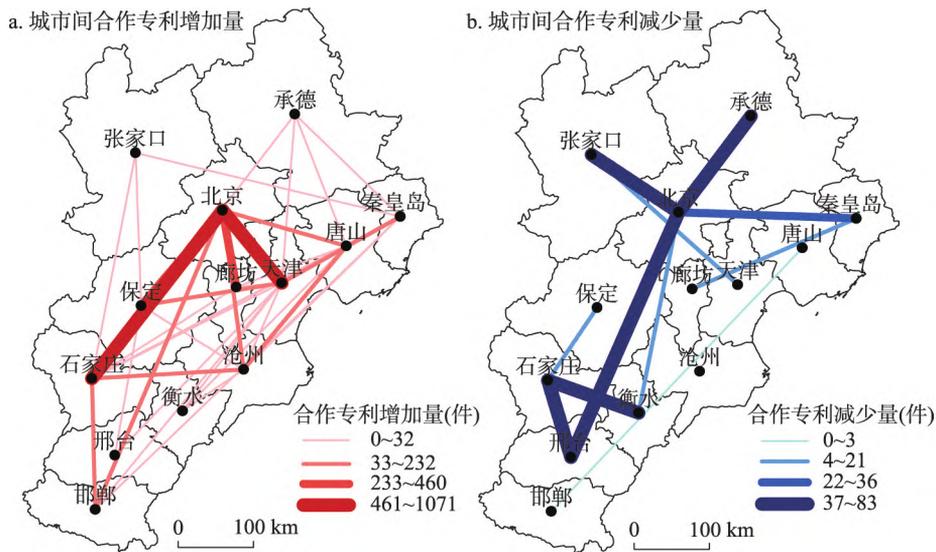


图6 2013—2018年京津冀技术合作网络的变化情况

Fig. 6 Changes in the technical cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2013 to 2018

3.3 京津冀科研合作网络与技术合作网络的对比

自京津冀协同发展战略实施以来，京津冀科研合作网络与技术合作网络都得到了快速的生长，二者均呈现出明显的“核心—边缘”结构，北京在两个网络中参与度都达到40%以上（表4），处于绝对的核心地位。

天津在科研合作网络中扮演着比在技术合作网络中更为突出的角色，这主要是由于天津拥有南开大学、天津大学等知名高校和研究机构，这些机构在区域知识创新合作中发挥着重要作用。而石家庄在技术合作网络中的参与度则高于科研合作网络中的参与度，由此说明石家庄虽然科教资源相对不丰富，但凭借省会的经济实力，吸引了京津企业的技术交流与合作。保定、秦皇岛、唐山属于京津冀科研合作网络的第三级节点城

表4 京津冀各城市合作论文与合作专利的占比
Tab. 4 Proportions of co-authored papers and cooperative patents in Beijing-Tianjin-Hebei region

城市	合作论文占比(%)		合作专利占比(%)	
	2013年	2018年	2013年	2018年
北京	40.96	41.73	43.44	42.28
天津	26.02	27.96	18.75	20.01
石家庄	12.16	10.62	16.16	14.49
保定	6.10	5.64	4.35	4.77
秦皇岛	4.11	3.27	1.07	1.01
唐山	3.98	3.16	1.60	2.83
邯郸	1.87	2.01	1.54	2.24
廊坊	2.11	1.77	2.77	4.16
沧州	0.53	1.13	2.54	4.45
张家口	0.76	0.91	1.59	0.71
邢台	0.59	0.83	2.93	1.19
承德	0.61	0.60	1.33	0.60
衡水	0.20	0.37	1.93	1.27

市,这些城市具有一定的科研人才积累和基础研究能力,但秦皇岛、唐山等城市在技术合作网络中的参与度则不如其在科研合作网络中的参与度,保定、廊坊等城市则凭借邻近北京的地理优势,成为北京技术溢出的主要受益者。

从网络的演变来看,科研合作网络的增长仍主要集中在北京与天津这两大网络核心城市之间,而技术合作网络的增长除了在北京、天津、石家庄这3个高等级节点之间,还表现在北京对廊坊、沧州等周边地区的溢出上。相比之下,科研合作对周边城市的溢出则并不明显。从网络的衰减来看,科研合作的减少表现在河北省内部各城市之间,而技术合作的减少则主要表现在北京与张家口、承德、邢台等边缘节点之间。

4 京津冀科技合作网络的影响因素

本节将在已有相关理论和文献的基础上,利用半参数估计和面板计量模型,实证检验影响京津冀城市间科研合作和技术合作的影响因素。

4.1 模型设定与变量选择

为探究京津冀地区城市间科技合作的影响因素,本文基于计量回归模型,对2013—2018年京津冀地区13个地级及以上城市中任意两个城市组成的78个城市对的面板数据进行实证估计。在实证模型设定过程中,依据已有理论与相关文献,选择和确定科技合作的影响因子。

① 空间邻近性。地理学第一定律指出:任何事物与其他周围事物之间均存在联系,而距离较近的事物总比距离较远的事物联系更为紧密。虽然随着信息通讯技术的发展和交通运输成本的下降,空间距离对于城市之间要素联系与流动的影响有所减弱。但不同于工业提供的产品是有形的且可以存储并进行远距离运输,大部分科技合作过程中需要进行的知识、思想和方法的交流是无形的,不具有可存储性,由此城市之间的科技合作具有“面对面”接触的需求。空间知识溢出的存在和加强,在一定程度上依赖于空间邻近性^[24]。当城市之间的空间距离拉大时,便会增加科技合作的交易成本,进而使科技合作在不同空间距离下呈现差异分布,随空间距离的增加呈现衰减趋势。

交通作为联系地理空间中社会经济活动的纽带,是城市间科技创新活动合作的重要支撑。交通技术与手段决定着城市间相互作用的深度与广度,因而是影响科技合作的重要因素之一。高铁的建设带来的时空压缩将对沿线城市之间的科技合作产生积极的影响,该影响主要源于交通可达性的提高带来的交易成本下降。

基于以上分析,本文认为空间距离越近的城市之间越容易产生科技合作,高铁开通带来的时空距离压缩可以减弱科技合作的空间衰减系数。为对此进行验证,实证模型中加入了城市间的地理距离 dis 和反映城市之间当年是否已开通地铁的虚拟变量 $htra_{c,t-1}$ 代表城市对之间当年是否已开通高铁,开通则值为1,否则为0。

② 技术邻近性。城市之间的科技合作除了受时空距离因素影响外,还会受到认知邻近的影响。认知邻近是指不同的主体之间所拥有的知识、技术的相似性与互补性,是区域间知识溢出的重要前提。认知邻近性强的主体之间更容易共享相关的知识基础,通过相互学习提高彼此的创新水平^[25]。技术邻近性强的城市对,其所拥有产业的知识密集度和知识领域更相近,知识的交易成本更低,因此更容易产生科技合作。

模型中使用专利的技术邻近性衡量两个城市在技术分布上的相似性,计算公式为:

$$tecac_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{ik} x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n x_{ik}^2 \sum_{k=1}^n x_{jk}^2}} \quad (2)$$

式中： x_{ik} 、 x_{jk} 分别代表*i*城市、*j*城市*k*门类专利数占该城市专利数的比例^[26]。

③ 城市发展差距。城市群中城市间的知识溢出除了基于地理邻近的扩散外，还呈现“俱乐部”效应^[27]。由于城市群的不同规模城市之间会存在发展水平的差距和产业结构的差异，因此会形成基于规模等级、知识构成差异的创新位势差，创新的扩散会基于这种差异形成梯度扩散^[28]，经济发展差距越小的城市之间越容易产生科技合作。

模型中用城市之间人均GDP之差的绝对值 $pgdpd$ 衡量城市之间的发展差距。另外，为考察城市间产业结构的差异对科技合作的影响，模型中加入了城市间三次产业占比之差的绝对值之和 $strd$ 衡量城市间三次产业结构相似度。

④ 科技投入。本文还控制了影响科技合作的主要投入变量，包括：研发经费投入 rad ，用两地研发经费支出占GDP比重的平均值衡量；科技服务规模 $tser$ ，用两地每万人科技服务业从业人员数的平均值衡量；在校大学生规模 $unis$ ，用两地每万人在校大学生数量的平均值衡量；在校教师规模 $teac$ ，用两地每万人在校教师数量的平均值衡量。

基于以上分析，本文的计量回归模型如下：

$$pat_{c,t} = \alpha X_{c,t-1} + \mu_c + v_t + \varepsilon_{c,t} \quad (3)$$

$$pap_{c,t} = \beta X_{c,t-1} + \mu_c + v_t + \varepsilon_{c,t} \quad (4)$$

式中：被解释变量 $pat_{c,t}$ 、 $pap_{c,t}$ 分别表示城市对*c*在*t*年的专利合作、论文合作数量的对数，解释变量 $X_{c,t-1}$ 包括上述变量； m_c 、 n_t 分别代表城市对和时间固定效应； $\varepsilon_{c,t}$ 代表随机扰动项。为缓解模型的内生性问题，解释变量均进行了滞后一期处理； α 、 β 是本文关注的回归系数。基于以上模型设定，所得样本相关指标描述性统计分析如表5所示。

表5 变量描述性统计

Tab. 5 Descriptive statistics of variables

变量类型	变量名称	符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	专利合作	pat	468	1.731	2.168	0.000	8.245
	论文合作	pap	468	4.016	1.439	0.693	8.782
解释变量	地理距离	dis	468	5.458	0.521	4.107	6.384
	高铁是否开通	$htra$	468	0.402	0.491	0.000	1.000
	技术邻近性	$tecac$	468	0.119	0.430	0.993	0.119
	经济发展差距	$pgdpd$	468	9.959	1.214	4.263	11.753
	产业结构相似度	$strd$	468	0.268	0.220	0.003	1.000
	研发经费投入	rad	468	1.821	1.896	0.445	13.870
	科技服务规模	$tser$	468	60.363	84.722	4.639	319.011
	在校大学生规模	$unis$	468	225.335	119.364	33.966	534.255
	在校教师规模	$teac$	468	13.951	9.278	1.965	40.579

4.2 实证结果分析

为揭示科技合作与空间距离的关系，利用局部加权回归（Lowess）半参数估计方法对2013年和2018年的样本数据进行分析，拟合曲线如图7所示。随着城市间距离的拉大，专利合作和论文合作数量的对数呈现下降趋势，两年数据显示的结果具有较高的稳健性。对比2013年和2018年的拟合曲线可以发现，无论是专利合作还是论文合作，2013—2018年期间的合作数量在任意空间距离范围内均有所增加，尤其是在400~600 km范围内的增幅明显，由此证明京津冀科技合作的空间范围得以扩大。另外，400~600 km范围内专利合作数量呈现一定幅度的上升趋势，主要是由北京、石家庄与邯郸之间专利合作数量增加带来的。

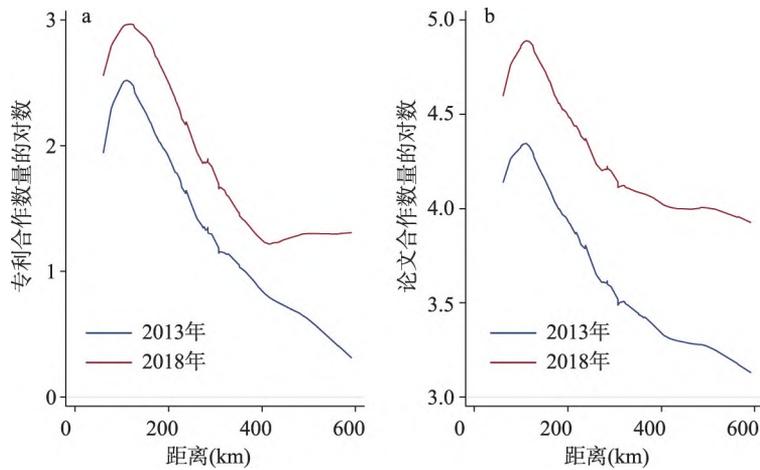


图7 城市间科技合作与空间距离的Lowess拟合曲线

Fig. 7 Lowess fitting curves of science and technology cooperation between cities and spatial distance

由于空间距离是非时变变量，无法与其他时变的解释变量一起放入模型中进行时间与城市对的双固定效应回归，故本文单独用空间距离与专利合作、论文合作进行实证回归。表6中第(1)和(2)列的被解释变量分别为专利合作 *pat* 和论文合作 *pap*，解释变量为空间距离 *dis*。为排除随时间变化的非观测因素对科技合作的影响，模型中控制了年份固定效应。*dis* 的回归系数均为负，且分别在1%和5%水平上显著，印证了空间距离越近的城市之间更容易产生科技合作。从回归系数的大小和显著性的对比来看，专利合作对于空间距离更为敏感，随距离拉大的衰减幅度更大。为考察高铁开通对城市间科技合作随距离衰减程度的影响，表6第(3)、(4)列中分别在第(1)、(2)列的基础上加入空间距离 *dis* 与高铁是否开通 *htra* 的交叉项，*dis* 的回归系数仍显著为负。第(3)列中交

表6 空间距离、高铁开通对城市间科技合作影响的回归结果

Tab. 6 Regression results of the effects of spatial distance and the opening of high-speed rail on science and technology cooperation between cities

自变量	因变量					
	全样本				包含北京的样本	
	(1) <i>pat</i>	(2) <i>pap</i>	(3) <i>pat</i>	(4) <i>pap</i>	(5) <i>pat</i>	(6) <i>pap</i>
<i>dis</i>	-1.193*** (0.438)	-0.741** (0.298)	-1.176*** (0.390)	-0.738*** (0.244)	-1.149* (0.653)	-1.148* (0.688)
<i>dis</i> × <i>htra</i>			0.048* (0.026)	0.006 (0.012)	0.169** (0.072)	-0.003 (0.024)
2014.year	0.130 (0.100)	0.139*** (0.043)	0.125 (0.102)	0.139*** (0.045)	0.020 (0.150)	0.224*** (0.042)
2015.year	-0.003 (0.100)	0.340*** (0.043)	-0.023 (0.102)	0.338*** (0.046)	-0.312** (0.150)	0.314*** (0.042)
2016.year	0.141 (0.100)	0.266*** (0.043)	0.100 (0.104)	0.261*** (0.046)	-0.297** (3.439)	0.286*** (0.042)
2017.year	0.292*** (0.100)	0.271*** (0.043)	0.242** (0.106)	0.264*** (0.047)	0.026 (3.439)	0.285*** (0.042)
2018.year	0.533*** (0.100)	0.605*** (0.043)	0.482*** (0.106)	0.598*** (0.047)	0.105 (0.150)	0.355*** (0.042)
常数项	8.063*** (2.403)	7.788*** (1.632)	7.896*** (2.142)	7.767*** (1.341)	10.999*** (3.439)	11.921*** (3.666)
样本量	468	468	468	468	72	72
城市对数量	78	78	78	78	12	12

注：括号内为经Robust调整后的标准误；*、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平下显著；2014.year、2015.year、2016.year、2017.year、2018.year分别代表相应年份的时间虚拟变量。

叉项的回归系数显著为正,表明高铁开通带来的时空距离压缩可以减弱专利合作的空间衰减程度;第(4)列交叉项的系数虽然为正,但未通过显著性检验,更进一步验证了专利合作相较于论文合作对时空距离更为敏感。

北京在京津冀科技合作网络中处于绝对核心地位,其创新溢出的能力和范围对于推动京津冀协同创新具有非常重要的作用。第(5)~(6)列单独对北京与京津冀其他城市科技合作受空间距离和高铁开通的影响进行实证探究,结论与全样本一致。另外,从年份虚拟变量的系数对比来看,2013—2018年专利和论文合作均呈现增幅逐渐扩大的趋势。

进一步用年份和城市对双固定效应模型实证探究城市间科技合作的影响因素,结果如表7所示。第(1)、(2)列为全样本回归结果,第(3)、(4)列为仅对北京与京津冀其他城市间科技合作的影响因素进行回归的结果。其中,技术邻近性的回归系数在第(1)~(4)列中均为正,且在第(1)~(3)列均通过了显著性检验,由此说明技术邻近性是促进城市间科技合作的主要驱动因子,尤其是对技术合作的促进效应更为明显。

对于专利合作而言,城市间经济发展差距越小,越有利于城市间的专利合作,在第(1)、(3)列中的结论保持稳健;而对于论文合作而言, $pgdpd$ 的回归系数在第(2)和(4)列中均未通过显著性检验,由此说明经济发展差距对科技合作的影响更适合于解释专利合作,而不适用于解释论文合作。这其中可能的原因是专利合作强调的是面向市场应用的技术创新的相互溢出,由此会与城市间的经济发展差距较为相关,而论文合作更多的是受高校与科研院所的影响。

从全样本的回归结果来看,城市间三次产业结构差异越大,越有利进行科技合作,但该影响在北京与京津冀其他城市间的科技合作中不显著。从投入变量的回归结果来看,城市对的研发费用投入力度和在校大学生规模对于科技合作的影响不显著,但科技服务业人员规模和在校教师规模扩大有利于促进专利和论文合作。

表7 城市间科技合作影响因素的回归结果

Tab. 7 Regression results of influencing factors of science and technology cooperation between cities

自变量	因变量			
	全样本		包含北京的样本	
	(1) <i>pat</i>	(2) <i>pap</i>	(3) <i>pat</i>	(4) <i>pap</i>
<i>L.tecac</i>	1.208** (0.521)	0.832*** (0.247)	2.961** (1.153)	0.117 (0.322)
<i>L.pgdpd</i>	-0.089* (0.051)	0.029 (0.024)	-0.006 (0.062)	0.025 (0.044)
<i>L.strd</i>	0.823** (0.420)	0.540*** (0.200)	0.626 (0.956)	0.129 (0.251)
<i>L.rad</i>	-0.006 (0.023)	0.001 (0.010)	0.042 (0.054)	0.010 (0.012)
<i>L.tser</i>	0.009*** (0.003)	0.002 (0.001)	0.029* (0.015)	0.021*** (0.008)
<i>L.unis</i>	-0.000 (0.002)	0.000 (0.001)	-0.007 (0.004)	0.000 (0.001)
<i>L.teac</i>	0.120*** (0.035)	0.095*** (0.017)	0.230*** (0.080)	0.053** (0.025)
样本量	390	390	60	60
城市对数量	78	78	12	12

注:括号内为经Robust调整后的标准误;*、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平下显著;上述回归均控制了年份固定效应和城市对固定效应;方差膨胀因子检验显示不存在多重共线性。

5 结论与启示

本文运用社会网络分析方法,利用合作论文和合作专利的微观数据,揭示了2013—2018年京津冀地区城市之间科研合作和技术合作网络的演变特征,并基于面板计量模

型,实证检验了京津冀城市之间科技合作的主要影响因素。

研究发现:①京津冀科研合作网络快速成长,呈现北京与天津双核引领,以京津为主轴,以京保石为次轴的空间结构。从增长情况来看,2013—2018年以北京—天津的合作论文增量占京津冀增量的一半。②京津冀逐渐形成了以北京为主中心,天津、石家庄为次中心,廊坊、保定、沧州为三级枢纽,其他城市为节点的技术合作网络结构。从增量看,一方面,北京与天津、石家庄的合作专利增量共占京津冀增量的一半多,表明“富人俱乐部”效应依然是影响创新网络发育的主要因素;另一方面,北京与廊坊、沧州、保定等周边地区的技术合作迅速增强。③空间距离越近的城市之间更容易产生科技合作,其中技术合作对于空间距离更为敏感。高铁开通带来的时空距离压缩可以减弱科技合作的时空衰减系数;技术邻近性是促进城市间科技合作的主要驱动因子,尤其是对技术合作的促进效应更为明显;经济发展差距越小的城市之间更容易产生技术合作;科技服务业人员规模和在校教师规模是促进城市间科技合作的主要投入变量。

基于上述结论,本文提出:未来在继续发挥北京的创新优势、强化北京对京津冀辐射带动作用的同时,需要加快提升天津、石家庄、保定等重要节点城市的创新能级,形成一核带动、多级联动的京津冀科技合作网络;进一步完善京津冀内部的高铁、高速公路等基础设施网络,压缩时空距离,以区域间高速交通体系支撑京津冀各类要素的无障碍高效流动^[29],降低科技合作的交易成本,延伸京津冀科技合作的时空范围;围绕科技合作网络布局高技术产业合作网络,加强创新链与产业链的链接,通过高技术产业的跨城市分工合作,带动各城市的经济发展,缩小城市间的经济发展差距,进而促进城市间科技合作,形成“科技合作带动产业分工,产业分工促进科技合作”的良性循环发展模式。

本文分别探讨了京津冀科研合作和技术合作的网络演变特征,但受限于数据的可获性,未能分析京津冀科研与技术之间合作的网络特征,未来需要从产学研一体化的角度进一步深入分析京津冀科技合作的网络特征。

参考文献(References)

- [1] Si Yuefang, Zeng Gang, Cao Xianzhong, et al. Research progress of glocal innovation networks. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 600-609. [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.地理科学进展,2016,35(5):600-609.]
- [2] Zou Lin. Research on evolution of regional knowledge networks: Evidence from equipment manufacturing industry of Yangtze Economic Zone, China [D]. Shanghai: East Normal University, 2018. [邹琳.区域知识网络演化研究:以长江经济带装备制造业为例[D].上海:华东师范大学,2018.]
- [3] Lv Lachang, Liang Zhengji, Huang Ru. The innovation linkage among Chinese major cities. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1): 30-37. [吕拉昌,梁政骥,黄茹.中国主要城市间的创新联系研究.地理科学,2015,35(1):30-37.]
- [4] Duan Dezhong, Du Debin, Chen Ying, et al. Technology transfer in China's city system: Process, pattern and influencing factors. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 738-754. [段德忠,杜德斌,谌颖,等.中国城市创新技术转移格局与影响因素.地理学报,2018,73(4):738-754.]
- [5] Zhou Can, Zeng Gang, Mi Zefeng, et al. The study of regional innovation network patterns: Evidence from the Yangtze River Delta urban agglomeration. *Progress in Geography*, 2017, 36(7): 795-805. [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.地理科学进展,2017,36(7):795-805.]
- [6] Li Y C, Phelps N A. Knowledge polycentricity and the evolving Yangtze River Delta megalopolis. *Regional Studies*, 2017, 51(7): 1035-1047.
- [7] Cao Z, Derudder B, Peng Z W. Comparing the physical, functional and knowledge integration of the Yangtze River Delta City-region through the lens of inter-city networks. *Cities*, 2018, 82: 119-126.
- [8] Ma Haitao, Huang Xiaodong, Li Yingcheng. The evolution and mechanisms of megalopolitan knowledge polycentricity of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2297-2314. [马海涛,黄晓东,李迎成.粤港澳大湾区城市群知识多中心的演化过程与机理.地理学报,2018,73(12):2297-2314.]

- [9] Sheng Yanwen, Gou Qian, Song Jinping. Innovation linkage network structure and innovation efficiency in urban agglomeration: A case of the Beijing-Tianjin-Hebei, the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(11): 1831-1839. [盛彦文, 苟倩, 宋金平. 城市群创新联系网络结构与创新效率研究: 以京津冀、长三角、珠三角城市群为例. *地理科学*, 2020, 40(11): 1831-1839.]
- [10] Li Guoping. Integrated technological innovation in Beijing-Tianjin-Hebei region and pilot role of Xiongan New District. *Exploration of Financial Theory*, 2018(4): 8-11. [李国平. 京津冀科技协同创新与雄安新区的示范引领. *金融理论探索*, 2018(4): 8-11.]
- [11] Jiang Manqi, Liu Chenshi. Conception of Beijing-Tianjin-Hebei innovation chain construction based on enhancing the competitiveness of industrial chain. *Hebei Academic Journal*, 2017, 37(5): 151-157. [江曼琦, 刘晨诗. 基于提升产业链竞争力的京津冀创新链建设构想. *河北学刊*, 2017, 37(5): 151-157.]
- [12] Lu Jitong. Measurement and evaluation of Beijing-Tianjin-Hebei regional collaborative innovation ability based on coordinating measurement model with respect to composite system. *Science and Technology Management Research*, 2015, 35(24): 165-170, 176. [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. *科技管理研究*, 2015, 35(24): 165-170, 176.]
- [13] Xing Hua, Zhang Changming. Emerging of innovation network of urban agglomerations: The patent cooperation and the evolvement of the network of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations. *Areal Research and Development*, 2018, 37(4):61-66. [邢华, 张常明. 浮现中的城市群创新网络: 京津冀城市间专利合作与城市群演进. *地域研究与开发*, 2018, 37(4): 61-66.]
- [14] Lv Lachang, Meng Guoli, Huang Ru, et al. Spatial evolution and organization of urban agglomeration innovation network: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Areal Research and Development*, 2019, 38(1): 50-55. [吕拉昌, 孟国力, 黄茹, 等. 城市群创新网络的空间演化与组织: 以京津冀城市群为例. *地域研究与开发*, 2019, 38(1): 50-55.]
- [15] Chen H J, Xie F J. How technological proximity affect collaborative innovation? An empirical study of China's Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Management Analytics*, 2018, 5(4): 287-308.
- [16] Zhou F, Zhang B. Detecting and visualizing the communities of innovation in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on the patent cooperation network. *Complexity*, 2021: 5354170. DOI: 10.1155/2021/5354170.
- [17] Hansen M T, Birkinshaw J. The innovation value chain. *Harvard Business Review*, 2007, 85(6): 121-130.
- [18] Yu Yongze, Liu Dayong. The study on the path of improvement in China's regional innovation efficiency from the perspective of innovation value chain. *Science Research Management*, 2014, 35(5): 27-37. [余泳泽, 刘大勇. 创新价值链视角下的我国区域创新效率提升路径研究. *科研管理*, 2014, 35(5): 27-37.]
- [19] Xu Yiqing, Zeng Gang, Wang Qiuyu. Pattern evolution and optimization of synergic innovation network in Yangtze River Delta urban agglomeration. *Economic Geography*, 2018, 38(11): 133-140. [徐宜青, 曾刚, 王秋玉. 长三角城市群协同创新网络格局发展演变及优化策略. *经济地理*, 2018, 38(11): 133-140.]
- [20] Ma Haitao, Lu Shuo, Zhang Wenzhong. Coupling process and mechanism of urbanization and innovation in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Geographical Research*, 2020, 39(2): 303-318. [马海涛, 卢硕, 张文忠. 京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理. *地理研究*, 2020, 39(2): 303-318.]
- [21] Yang Hui, Shang Zhicong. Social network analysis of the mechanism of science communication with microblog: A case study of genetically modified food issues. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(3): 337-346. [杨辉, 尚智丛. 微博科学传播机制的社会网络分析: 以转基因食品议题为例. *科学学研究*, 2015, 33(3): 337-346.]
- [22] Zhao Jianyu, Xi Xi, Su Yi. A simulation research on small world effect in knowledge flow's network evolution. *Management Review*, 2015, 27(5): 70-81. [赵健宇, 袭希, 苏屹. 知识流动网络演化中小世界效应的仿真研究. *管理评论*, 2015, 27(5): 70-81.]
- [23] Li Qingbo, Li Zibiao. Network structure and network governance of technology transfer in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(3): 99-106. [李庆博, 李子彪. 京津冀区域技术转移网络结构与网络治理. *科技管理研究*, 2019, 39(3): 99-106.]
- [24] Wen Fangfang. Study on patent collaboration patterns based on co-inventorship bibliometrics [D]. Wuhan: Wuhan University, 2012. [温芳芳. 专利合作模式的计量研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.]
- [25] Li Guoping, Wang Chunyang. Spatial characteristics and dynamic changes of provincial innovation output in China: An investigation using the ESDA. *Geographical Research*, 2012, 31(1): 95-106. [李国平, 王春杨. 我国省域创新产出的空间特征和时空演化: 基于探索性空间数据分析的实证. *地理研究*, 2012, 31(1): 95-106.]
- [26] Jaffe A. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value. *The American Economic Review*, 1986, 76(5): 984-1001.

- [27] Li Lin, Luo Daozheng. Multi-proximity and innovation: The retrospect and prospect on western researches. *Economic Geography*, 2013, 33(6): 1-7, 41. [李琳, 雒道政. 多维邻近性与创新: 西方研究回顾与展望. *经济地理*, 2013, 33(6): 1-7, 41.]
- [28] Cheng Kaiming. Research on the spatial characters of innovation diffusion in urban system. *Studies in Science of Science*, 2010, 28(5): 793-799. [程开明. 城市体系中创新扩散的空间特征研究. *科学学研究*, 2010, 28(5): 793-799.]
- [29] Li Guoping, Song Changyao. Study on the strategy of optimizing the regional spatial structure of Beijing, Tianjin and Hebei. *Hebei Academic Journal*, 2019, 39(1): 137-145. [李国平, 宋昌耀. 京津冀区域空间结构优化策略研究. *河北学刊*, 2019, 39(1): 137-145.]

Evolutionary characteristics of science and technology cooperation network of Beijing-Tianjin-Hebei region and its influencing factors

XI Qiangmin¹, LI Guoping², SUN Yukang³, LYU Shuang²

(1. School of Applied Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. School of Government, Peking University, Beijing 100871, China; 3. School of Urban Economics and Public Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: Building a hierarchical and reasonable structured science and technology cooperation network plays a very important role in promoting collaborative innovation in Beijing-Tianjin-Hebei region (BTH). This paper analyzes the evolutionary characteristics of the science and technology cooperation network between cities in the BTH during 2013-2018 from two perspectives: the research cooperation network based on knowledge innovation and the technology cooperation network based on technology innovation. This paper uses micro data of collaborative papers and collaborative patents and applies social network analysis to examine the evolutionary characteristics of the science and technology cooperation network between cities in the BTH from 2013-2018, and empirically tests the influence of 78 pairs of city in the study area on the science and technology cooperation based on panel econometric model factors. The main conclusions can be drawn as follows. First of all, the rapid growth of the research cooperation network of the BTH presents a spatial structure characterized as the twin cores of Beijing and Tianjin, with Beijing-Tianjin as the main axis and Beijing-Baoding-Shijiazhuang as the secondary axis. Second, the BTH gradually formed a technical cooperation network structure with Beijing as the main center, Tianjin and Shijiazhuang as secondary centers, Langfang, Baoding and Cangzhou as tertiary hubs, and other cities as nodes. Finally, small distance plays a positive role in science and technology cooperation between cities, and the compression of spatial and temporal distance brought by the operation of high-speed rail can weaken the spatial attenuation coefficient of science and technology cooperation. Compared with research cooperation, technical cooperation is more sensitive to spatial distance. Technological proximity is the main driving factor for promoting science and technology cooperation between cities, especially the promoting effect on technological cooperation is more obvious. The smaller the gap of economic development, the easier it is to generate science and technology cooperation cooperation between cities.

Keywords: patent cooperation; paper cooperation; social network analysis; semiparametric estimation; Beijing-Tianjin-Hebei region