

京津冀创新资本流空间演化研究

叶堂林^{a,b}, 吴明桓^a

(首都经济贸易大学 a. 城市经济与公共管理学院; b. 特大城市经济社会发展研究院, 北京 100070)

摘要: 创新已成为当前推动中国经济高质量发展的第一动力, 随着信息通信技术的发展, 资源能够以流的形式实现跨区域流动, 流空间已成为推动城市群创新发展的新组织形式。选取京津冀城市群13个地级市的科学技术服务业资本互投数据, 构建基于流空间视角下的京津冀城市群创新资本流空间网络, 并运用 gephi 软件进行可视化分析, 研究2012—2021年京津冀创新资本流空间的基本特征及演化趋势。研究结果显示, 京津石三足鼎立的流空间格局基本形成, 节点城市之间的创新关联愈发紧密; 节点城市的独立性特征愈发明显, 推动了信息利用效率提升和流空间发展; 创新资本流空间资源分布趋于协调稳定; 子群内部成员创新关联强度提升显著。京津冀应实现更多的创新互动, 优化区域创新流空间结构; 推进区域创新协同, 建立多元主体实时协调又相互支撑的区域创新流空间。

关键词: 京津冀; 城市群; 创新; 创新资本; 流空间; 社会网络分析

中图分类号: F061.5; F124.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-2700 (2025) 01-0053-14

一、问题提出

创新活动依赖特定的空间载体产生, 在空间内实现要素资源的高度集中和高效扩散, 最终实现其自身价值^[1]。城市群作为由区域空间和自然、社会因素构成的一体化城市集群区域, 是当前城市化发展的重要空间形式^[2-3]。城市群内部各个创新主体通过良性互动和协同合作形成一种长期的、稳定的、共赢的关系, 有利于城市群整体创新能力的显著提升。随着通信技术的发展, 现代人的信息交流方式和行为空间发生了改变, 城市的本质也由以内部组织关系为主逐渐转变为更加强调城市作为空间节点, 以及城市间相互作用和联系的重要性。在这一背景下, 流空间这种新的空间组织形式逐步取代原有的场所空间, 以实际地理空间 (如城市群) 为载体, 成为区域间沟通交流的新组织形态^[4]。此时, 创新要素和资源能够以更低的成本和更灵活的形态在区域内自由穿梭, 创新主体依托平台实现与多个主体对接, 实现创新的高效联结, 有助于在重大创新难题上实现突破。这样更灵活的形式, 使得城市之间的创新关联通过实体流和虚拟流的形态形成更为深入复杂的经济联系, 最后在一定的地理空间范围内形成创新联系紧密、要素流动密集的创新流空间形态。

创新流要素是指影响创新在地理空间中传播和演变的因素和条件。这些要素包括创新活动的地理距离和地理链接性、创新人才的流动性、创新资本和资金的流动性、消费者和市场需求、创新生态系统。创新流要素在不同地理区域之间的相互作用和流动有助于创建更加活跃和有竞争力的创新生态系统, 推动经济增长和

收稿日期: 2023-09-02; 修回日期: 2024-03-28

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“数字经济对区域协调发展的影响与对策研究”(23&ZD078); 教育部人文社会科学研究项目专项任务项目“推动京津冀高质量发展研究”(23JD710022)

作者简介: 叶堂林 (1972—), 男, 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院/特大城市经济社会发展研究院教授、博士生导师; 吴明桓 (1999—), 女, 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院硕士研究生, 通信作者。

创新的发展。不同于其他创新流要素, 创新资本涵盖范围广, 是创新活动产生和创新能力更新的关键要素, 在推动创新技术和知识的传播、建立和完善创新生态系统等方面均具有重要作用。从地理经济学的角度来看, 创新资本的存在通过吸引更多的创新者、投资者和企业来到特定地区, 有助于提高创新的速度和效率, 有利于提升知识和技术的溢出效应。从城市建设发展和政策制定的角度来看, 城市管理者通过制定政策来吸引风险投资、支持初创企业和提供创新基础设施, 以创造有利于创新资本流动的环境。

京津冀城市群是中国最具发展活力和潜力的地区之一, 打造全国创新驱动经济增长引擎是其重要的发展目标^[5]。对于区域发展而言, 创新协同是重中之重^[6]。在京津冀城市群内形成创新资本流空间, 有利于城市群内创新主体进一步打破沟通壁垒, 带来创新要素、资源整合效率的全新升级, 以新的空间形式进一步强化城市群内的创新协同, 有利于进一步实现创新能力突破。本文基于流空间的视角, 对京津冀城市群创新资本流空间进展与成效进行分析, 梳理当前创新资本流空间的格局分布和节点网络的作用机理, 有助于厘清京津冀城市群创新资本流空间下的城市体系结构以及各城市的创新流空间地位, 对推动京津冀城市群协同创新、促进京津冀城市群高质量发展具有重要的现实意义。

二、文献综述

(一) 创新的内涵

创新的概念最早来自发达国家。熊彼特 (Schumpeter) 首次提出创新理论, 认为所谓创新就是要“建立一种新的生产函数”, 即“生产要素的重新组合”^[7]。随后, 索洛 (Solow) 在《在资本化过程中的创新: 对熊彼特理论和评论》中对技术创新理论深入研究, 首次提出技术创新成立的两个条件, 即新思想来源和以后阶段的实现发展^[8]。慕斯 (Mueser) 发现大约四分之三文献在技术创新界定上接近于如下表述: 技术创新是经过一段时间后, 发展到实际成功应用的新思想和非连续性的技术活动^[9]。中国经济学领域的学者认为技术创新是研究生产力的发展和变化; 管理学领域的学者认为创新是包括科技、组织、商业和金融等一系列活动的综合, 是创新主体开发新的资源以及对现有资源进行重新整合或更高效能使用的社会过程^[10-11]; 社会学领域的学者认为, 技术创新是指新思想和技术活动从构思到成功应用的整个过程^[12-14]。

(二) 创新网络

创新网络起源于20世纪60年代, 弗里曼 (Freeman) 首次提出创新网络这个概念, 他认为创新网络是一种基本制度安排, 目的是应对系统性创新, 其联结机制主要基于企业间的互助创新与合作共赢关系。创新网络演化在内容上主要关注随着时空演变的节点、节点间关系以及整体网络结构特征的变化。在区域创新网络方面, 现有研究认为区域创新网络的演化可以看作是节点间关系重塑所导致的创新网络局部或整体形态的变化, 也就是网络节点及节点间相互作用关系的演化, 以及网络整体空间尺度及网络结构的演化^[15-16]。学者们大多选取某个省份或城市群作为对象展开研究, 例如江苏省、长三角城市群、长江经济带等, 并采用社会网络分析方法和QAP分析模型, 从多维邻近视角展开研究, 归纳区域创新网络的格局、演化特征及影响因素^[16-19]。通过大量研究, 学者们发现, 除了地理邻近性, 技术、认知、制度和社会邻近性等都对区域创新网络的形成和发展具有显著影响^[20-22]。在全球创新网络方面, 尤宇等 (2024) 基于中国省域数据, 利用熵权法对不同维度下创新网络的综合指数进行测评, 并利用基尼系数、核密度估计法考察区域差异及来源、分布动态^[23]。研究数据上多采用专利申请数据、转让数据、合作数据、论文合作数据等^[16]。

(三) 流空间

流空间的概念最早由美国传播学家卡斯特 (Castells) 提出, 他将流空间看作通过流动而运作的共享时间之社会实践的物质组织。卡斯特的流空间理论为新时期社会中的区域关系和区域网络结构提供了新的解释方法^[13]。事实上, 对流空间的研究实际上并非一个崭新的命题, 传统区域理论中的工业区位论和中心地理论都曾有过“流要素”带来产业布局与地域空间格局变化的阐释, 既包括了“流要素”运动的区域经济发展条件与作用, 也包括了经济运行“投入—产出”过程中“流要素”流动与商品化等。传统区域理论中强调的是“流要素”的条件、意义, 而“流要素”的运动及其地域组合本身就表现为流空间的

过程。这种由信息带来的因流动而运作的共享时间之社会实践的物质组织空间形态是社会学意义的流空间,但其作用并且依附于或物化为场所空间,决定了其内在的地理属性特征^[24]。

此后,国内外相关研究不断走向深入,主要涉及时空观、空间构成、流空间结构模式等方面。在时空观与空间构成方面,随着新时空观研究的开始,全球数字网络的发展使得空间开始表现出强烈的数字化特征,学者们进而开始对空间的形式进行深入研究,虚拟空间、网络空间、超空间等名词的涌现,表明城市间的物质联系很大程度上不再取决于地理距离,而是处于物质的流动过程中^[25]。对于流空间的结构模式研究方面,学者们大多从几何层面的空间结构角度出发,认为空间是由点、线、面三种要素的不同组合构成,并开始通过关系型数据对流空间进行描述^[26]。国内学者对流空间研究多注重区域空间的理性重构,从地理学或传统中心地理论的视角对流空间进行理解,通过节点、联系、格局等不同的方面和空间层次对流空间下城市群变形结构进行识别,进而揭示中国区域的空间重构^[27-30]。李艳等(2021)基于反身性视角对空间的建构进行诠释,表明个体行动与区域网络结构韧性具有地域反身性^[31]。郑安邦和冯华(2024)从流空间视角切入,提出数据流空间是数字经济时代非竞争的数据在各网络节点之间不断复制共享与往复传输所形成的虚拟空间场域^[32]。

流空间的实证研究现状如下。国内外学者主要基于各种有向的流数据或移动数据的变化规律构建城市网络进行结构分析,以此揭示城市运动的空间特征。卢艾尔等(Louail et al., 2015)提出以 2×2 矩阵的形式提取移动网络粗粒体特征,在流动性的情况下,根据城市的通勤结构进行空间分类^[33]。一方面,很多学者对旅游流空间的结构进行了研究,主要通过观察法、旅游者时空账户、现代追踪技术对旅游流数据进行搜集,并运用地理学相关概念和理论,通过中心性分析、相关性分析、AOI空间识别、社会网络分析等方法,利用Gephi、Ucinet、ArcGIS等软件,对区域旅游流空间的结构和演化过程进行分析^[34-35]。另一方面,流空间的发展为学者们探索城市群空间结构提供了新的思路。基于流空间的视角,学者们基于信息流、交通流构建流空间网络,对城市群空间联系特征与演进趋势进行重构分析,主要采用复杂网络分析、社会网络分析、空间自相关分析等方法探究流数据网络特征^[36]。

(四) 社会网络与流空间的区别

总体来讲,流空间就是不同“流要素”的运动过程及其地域组合本身,是“不必地理邻接即可实现共享时间的社会实践的物质组织”^[27,37]。流空间强调了不同流要素间的流通和互动,反映了城市作为经济中心吸引要素流入的特性,涵盖了劳动力市场、消费市场,生产链等方面。社会网络往往通过三个维度进行识别:第一,社会网络构成的基本要素是节点,节点的数量以及节点之间的社会关系是衡量社会网络特征的一个维度;第二,社会网络中个体之间的关系强度也是表征社会网络的关键要素,反映了社会网络成员之间链接的紧密程度;第三,个体之间交流的频率是社会网络特征的另一关键维度,即网络的互动性^[38]。流空间同样体现了个体之间的社会关系以及社会关系的强度,但不同的是,流空间是信息技术发展下的产物,依托信息通信技术和互联网功能,社会网络和社会关系得以以信息流、要素流的形式存在于动态虚拟空间当中,意味着社会关系由传统的有形空间形式向虚拟的流动空间形式的转变,改变了传统的生产、交换、分配和消费的模式,为构建新的社会形态提供了基础^[39]。不仅如此,流空间的要素在流动的过程中具有矢量性,更侧重强调不同要素在流动、互通状态下的网络动态格局,以及随着时间推移,这种流动、互通状态下的区域网络动态格局的演变趋势。

通过梳理有关创新内涵以及流空间的相关研究,可以看到,创新发展的重要意义得到了学术界的广泛认同,并且基于信息化全球化背景下的区域流空间组织研究开始受到国内外学术界的关注。现有的创新及流空间的研究成果为本文提供了重要参考,但在研究内容与研究视角方面仍存在拓展空间。从研究内容上来看,探究流空间网络的学者大多仅从单一时间维度分析了流空间的格局特征,忽略了不同阶段下流空间格局的演化情况;同时,学者们仅从流空间格局的表象特征上提出可行的优化路径,忽略了其他因素的影响。从研究视角上来看,研究创新的学者大多从非矢量的固定指标角度衡量创新能力,忽略了信息通信技术发展下创新资源跨区域流动带来的创新能力提升。

信息通信技术和大数据的发展是流空间形成的基础。2012年7月, 国务院印发《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》(国发〔2012〕28号), 标志着中国正式进入数据化时代。因此, 以2012年为起始年, 本文选取2012年、2015年、2018年、2021年4个年份, 分析不同阶段下创新流空间的格局演化特征。此外, 本文基于流空间的视角, 利用科学研究与技术服务业的资本有向流数据, 对京津冀城市群创新资本互投的流空间特征进行分析, 一定程度上弥补了现有研究视角和研究内容的局限性。

三、研究方法数据来源

(一) 研究方法

社会网络分析是探究社会角色之间结构关系和属性的规范和方法。社会网络分析方法将社会看作一个相互关联的网络, 网络中的节点之间存在着互动联系, 通过对网络进行分析进而探讨社会关系的结构及属性。社会网络研究通常关注社会关系的整体属性和个体属性两个方面, 既包括了整个网络之间的结构特征, 也包括了各个节点在整个网络中的地位以及节点与节点之间的作用特点。近年来, 社会网络分析方法被应用于地理经济学、城市经济学等学术领域, 学者们利用该方法从事了大量有关流空间、网络空间的研究。本文中, 京津冀城市群可以看作是由各个地级市组成的城市网络, 地级市作为网络中的节点, 在网络中形成了节点关系, 通过 Gephi 和 Ucinet 软件能够直观清楚地展现城市群流空间的结构特征, 并对其节点特征进行描绘。

一是流空间的宏观结构特征分析, 包括平均度、平均路径长度、网络密度、聚类系数。其中, 平均度侧重于探求一个空间中各个节点的直接关联程度。平均路径长度能体现出流空间中任意两个节点的联通特性, 距离越小表明联系越紧密。网络密度侧重于测算整个流空间的结构密集度, 网络中连接数越多, 密度越大。平均聚类系数侧重于描述流空间中节点之间连接的紧密程度。

二是流空间的微观结构特征分析, 包括特征向量中心度、接近中心度、中介中心度、凝聚子群分析。其中, 特征向量中心度 (eigenvector centrality) 往往根据某一节点的邻居节点数量和重要性来判断该节点

的重要程度。 $EC_i = x_i = c \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$, x_i 表示节点 i 的重要性, c 为比例常数, 记 $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$, 经过多次迭代达到稳态时, 可以写成如下矩阵形式: $x = cAx$, 这里 x 表示的是矩阵 A 的特征值 c^{-1} 对应的特征向量。接近中心度 (closeness centrality) 反映某一节点的独立性特征, 如果一个节点离其他的节点都很近, 那么该点越容易到达其他点, 因此在网络中越处于核心地位。公式为: $d_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} d_{ij}$, $CC_i = \frac{1}{d_i} = \frac{n-1}{\sum_{j \neq i} d_{ij}}$,

这个点的接近中心性是基于该节点到网络中其余所有节点的最短路径之和。中介中心度 (betweenness centrality) 用于衡量节点对资源的控制力。若一个节点处于许多其他节点对的捷径 (最短的途径) 上, 就表明该节点具有较高的中介中心度。凝聚子群分析的目的是研究行动者之间关系的紧密程度。 $BC = \sum \frac{d_{st}(\cdot)}{d_{st}}$,

其中 d_{st} 表示 s 到 t 的最短路径数量, $d_{st}(\cdot)$ 表示从 s 到 t 的最短路径中经过节点的数量。凝聚子群 (co-cohesive subgroup) 是为了揭示社会行动者之间实际存在的或者潜在的关系。当网络中某些主体之间的关系较为密切, 并结合成一个次级团体时, 社会网络分析就将这样的团体称为凝聚子群。当网络中存在凝聚子群, 且凝聚子群密度较高时, 说明处于凝聚子群内部的这些主体之间联系紧密, 拥有更频繁的信息交互与合作。

(二) 数据来源

本文对京津冀创新资本流空间的进展与成效进行探究。流空间构建方面, 选用龙信大数据中北京、天津和河北的 11 个地级市之间的科学技术服务业的资本互投数据, 经过处理得到 13×13 的有向流数据矩阵, 进而构建京津冀创新资本流空间网络。具体见表 1。

表 1 指标选取及数据来源

指标名称	数据名称	数据来源
创新资本输出水平	创新对外投资金额	龙信大数据平台
创新资本输入水平	吸收外地创新投资金额	龙信大数据平台

四、京津冀城市群创新流空间结构特征及演化分析

（一）京津冀城市群创新资本流空间宏观结构特征

1. 京津石“三足鼎立”的流空间格局基本形成，节点城市之间的创新关联愈发紧密

从流空间的整体结构特征来看，京津冀城市群创新资本流空间变化显著，基本形成了京津石“三足鼎立”的空间格局。2012 年，京津冀创新资本流空间的城市节点之间联系较为松散，但北京的中心地位凸显，天津为第一个次中心。2015 年，北京与天津的创新资本互通日趋紧密，石家庄与其他地区的创新关联增加，逐渐成为京津冀创新资本流空间的第二个次中心。2018 年，京津冀创新资本流空间的整体结构进一步复杂化，13 个城市节点之间的创新资本关联愈发紧密，形成了以北京为中心，以天津、保定、石家庄为多个次中心的“一核多枢”的空间特征。2021 年，京津冀创新资本流空间结构趋于稳定，以北京为中心，天津、石家庄为次中心的“三足鼎立”的基本局面已经形成，保定、邢台、沧州、唐山等多个城市节点在流空间中具有一定的地位与作用，秦皇岛、衡水、承德则仍处于流空间的结构边缘。具体见图 1。

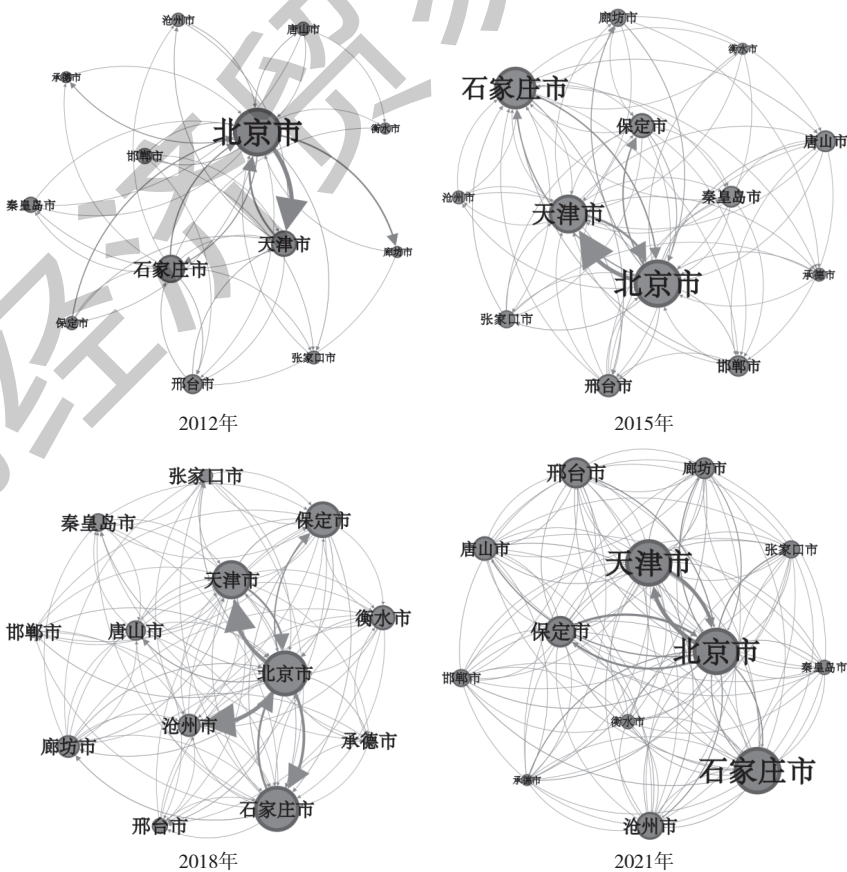


图 1 2012—2021 年京津冀创新资本流空间结构特征变化情况

从城市节点之间的关联情况来看 (见表 2), 京津冀创新资本流空间中各个节点之间创新关联愈发紧密, 京津两地已与所有节点城市实现双向创新关联。2012 年, 北京出度、入度分别为 11、10, 总度值位列京津冀城市群首位, 且与其他节点城市差距明显。2015 年, 北京总度值首次达到 24, 意味着北京与京津冀创新资本流空间中的所有节点城市均建立了双向创新关联。石家庄、天津、保定、邢台、邯郸、唐山、秦皇岛 7 个节点城市的总度值增长明显。2021 年, 京津两地已经与流空间中所有节点建立双向创新关联, 且流空间中大部分节点城市之间均已形成稳定的双向创新关联关系。

表 2 2012—2021 年京津冀城市群创新资本流空间节点城市度数变化情况

城市	2012 年	2015 年	2018 年	2021 年
保定市	4	12	20	21
北京市	21	24	24	24
沧州市	4	6	14	15
承德市	3	6	9	17
邯郸市	5	10	9	19
衡水市	3	5	15	17
廊坊市	3	8	14	18
秦皇岛市	5	10	12	18
石家庄市	11	21	24	21
唐山市	4	10	13	18
天津市	10	19	21	24
邢台市	7	11	11	13
张家口市	4	8	10	17

2. 京津冀创新资本流空间结构日趋复杂, 关联数量和关联强度增长趋势明显

通过 Gephi0. 10. 1 软件, 计算得出京津冀创新资本流空间的平均度、密度、聚集系数、平均路径长度, 从不同视角反映了流空间的宏观结构的演化趋势, 发现京津冀创新资本流空间的整体结构朝着不断复杂化的方向发展, 各个节点城市之间的创新关联数量和关联强度均得到了显著提升, 意味着流空间内节点之间的创新联系愈发紧密, 有利于促成更多的创新合作。

空间网络中的平均度和平均路径长度可以反映一个空间中各节点之间实现创新关联的便捷程度, 侧重于网络可达性的探究。从平均度的发展趋势来看, 2012—2021 年, 京津冀创新资本流空间平均度依次为 3. 231、4. 308、5. 154、5. 769、6. 692、7. 692、7. 538、7. 462、8. 846、8. 923, 呈逐年递增的趋势, 说明京津冀创新资本流空间中的城市节点与其他节点之间的直接关联程度逐渐增强, 有利于创新合作强度和流通性的提升。从平均路径长度的发展趋势来看, 2012—2021 年, 京津冀创新资本流空间的平均路径长度依次为 1. 771、1. 673、1. 571、1. 519、1. 442、1. 359、1. 372、1. 378、1. 263、1. 256, 平均路径长度呈逐年缩短的稳定态势, 表明流空间中每个节点平均通过 1. 256 个节点就可以与其他节点发生联系, 说明京津冀创新资本流空间的整体传输性能和效率显著提升, 流空间网络的可达性较高。

网络密度和聚集系数可以反映一个空间中各个节点之间的联系紧密度, 侧重于关联密集度的探究。从网络密度的发展趋势来看, 2012—2021 年, 京津冀创新资本流空间密度依次为 0. 269、0. 359、0. 429、0. 481、0. 558、0. 641、0. 628、0. 622、0. 737、0. 744, 呈现逐年递增的稳定态势, 意味着京津冀创新资本流空间的结构日趋复杂, 城市节点之间的创新资本互投日趋紧密, 创新合作越来越多, 创新资源流通

性逐渐增强。从平均聚类系数的发展情况来看,2012—2021年,京津冀创新资本流空间的平均聚类系数依次为0.575、0.729、0.755、0.709、0.687、0.711、0.745、0.741、0.776、0.788,基本呈现逐年递增的态势,且逐渐趋近于1。说明京津冀创新资本流空间的节点之间连接紧密,并呈现出小世界特征^①。具体趋势见图2。

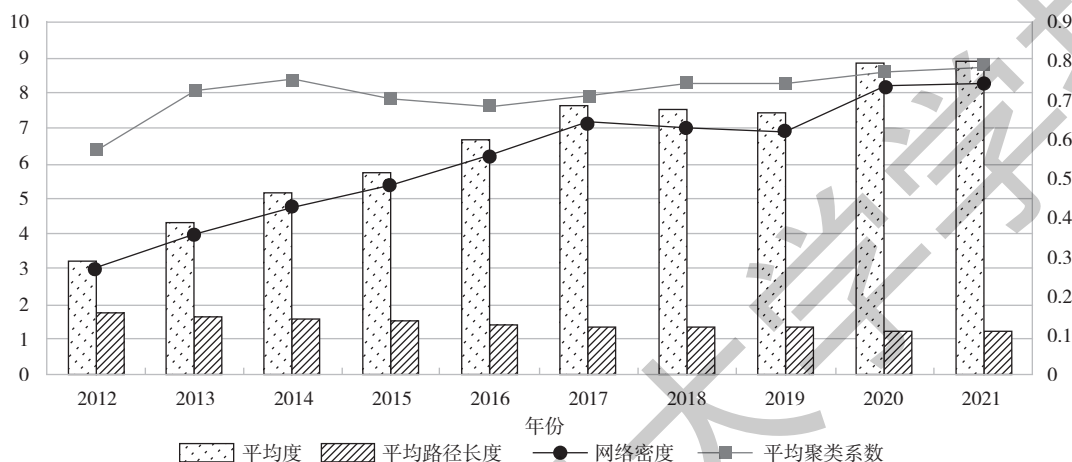


图2 2012—2021年京津冀创新资本流空间宏观结构演变趋势

（二）京津冀城市群创新资本流空间微观结构特征

1. 京津石在创新资本流空间中占据重要地位，节点城市之间的地位差距逐年缩小

从发展现状来看（见表3），2021年，特征向量中心性位于京津冀城市群创新资本流空间前三位的是北京、天津、石家庄，在创新资本流空间中占据重要地位。沧州、承德、衡水特征向量中心性均超过0.80，说明这些节点城市与周边建立了较为密切的创新资本联系。从发展趋势来看，2012—2021年，京津冀城市群中大部分节点城市的特征向量中心性特征增长明显，保定、沧州、承德、邯郸、衡水、廊坊、石家庄、天津、张家口均呈现明显的递增态势。由此可见，北京在京津冀创新资本流空间中的地位并未发生较大改变，始终是流空间中最重要核心节点城市。但其他边缘节点城市的关联地位逐年上升，说明北京与其他节点城市的地位差距逐渐缩小，原先地位较低的节点城市开始与更多邻近城市建立创新关联，使得京津冀创新资本流空间的结构愈发紧密复杂。

表3 2012—2021年京津冀创新资本流空间节点城市特征向量中心性

城市	2012年	2015年	2018年	2021年
保定市	0.25	0.54	0.90	0.77
北京市	1.00	1.00	1.00	1.00
沧州市	0.31	0.41	0.69	0.85
承德市	0.37	0.52	0.42	0.80
邯郸市	0.25	0.63	0.46	0.75
衡水市	0.44	0.28	0.81	0.80

^① 小世界特征（small-world effect）表现为在社会网络中，多数节点只拥有少量与其他节点的联系，被称作长程联系（long range correlation），这些数量少但聚集度高的节点在与其它社会节点的联系中起着中心角色的作用；同时，人们往往只与自己相邻的朋友、熟人或同事保持频繁联系，被称作局域联系。这种拥有大量的局域联系和长程联系构成的平均路径短、点聚集度大的网络叫作小世界网络。

表3(续)

城市	2012 年	2015 年	2018 年	2021 年
廊坊市	0.25	0.36	0.52	0.61
秦皇岛市	0.62	0.57	0.61	0.47
石家庄市	0.49	0.84	1.00	1.00
唐山市	0.25	0.72	0.49	0.61
天津市	0.75	0.86	0.85	1.00
邢台市	0.69	0.49	0.71	0.68
张家口市	0.44	0.36	0.61	0.73

2. 节点城市的独立性特征愈发明显, 推动了信息利用效率的提升和流空间的发展

从发展现状看(见表4), 2021年, 接近中心性在京津冀创新资本流空间位于前三位的是北京、天津、石家庄, 且节点城市之间的接近中心性差距均为1.00。说明这些核心节点城市与流空间内其他节点均能建立直接的创新联系, 使得信息的传递效率更高, 创新资源利用更加充分。不仅如此, 流空间中大部分节点城市均呈现较高的接近中心度特征, 说明这些节点城市已经具有较高的独立性, 这使得整个流空间结构的稳定性更高, 创新资源的运行效率也更高。从接近中心度的发展趋势看, 2012—2021年, 保定、沧州、邯郸、衡水、廊坊、秦皇岛、石家庄、唐山、天津、邢台、张家口均呈现显著递增态势; 北京基本保持稳定, 承德出现轻微浮动。由此可见, 北京的信息独立性始终处于较强地位, 与流空间中任意节点城市的距离都很近, 不需要依赖其他节点就能实现创新资源的传递。除此之外, 随着其他节点城市的独立性逐渐增强, 它们开始逐渐摆脱对北京、天津等核心节点城市的依赖, 极大地推动了信息利用效率的提升和创新资本流空间格局的演变。

表4 2012—2021年京津冀创新资本流空间节点城市接近中心性

城市	2012 年	2015 年	2018 年	2021 年
保定市	0.57	0.71	0.86	0.86
北京市	0.92	1.00	1.00	1.00
沧州市	0.55	0.57	0.71	0.75
承德市	0.50	0.52	0.63	0.60
邯郸市	0.60	0.60	0.63	0.71
衡水市	0.00	0.57	0.67	0.63
廊坊市	0.52	0.63	0.80	0.80
秦皇岛市	0.50	0.63	0.63	0.80
石家庄市	0.75	0.92	1.00	1.00
唐山市	0.55	0.57	0.75	0.86
天津市	0.60	0.80	0.92	1.00
邢台市	0.46	0.71	0.60	0.92
张家口市	0.50	0.63	0.60	0.71

3. 京津石三地的资源控制能力凸显, 创新资本流空间资源分布趋于协调稳定

中介中心度(betweenness centrality)用于衡量节点对资源的控制力。若一个节点处于许多其他节点对

的捷径（最短的途径）上，就表明该节点具有较高的中介中心度。从中介中心度发展现状来看（见表5），2021年，京津冀创新资本流空间中介中心度排名前三位的是北京、石家庄、天津，均为9.39，且与其他节点城市的中介中心度差距明显。这说明北京、天津、石家庄在创新资源和信息的控制力上拥有绝对地位，是其他非核心节点城市之间实现创新联系的关键途径。不仅如此，其他非核心节点城市的中介中心性较低，说明这些节点城市仍处于流空间中的结构边缘，无法实现对大量信息和资源的搜集，不利于这些节点城市实现有效、快速的创新突破。从中介中心度的发展趋势上看，流空间中大部分节点都呈现中介中心度稳定递增的态势。2012—2021年，保定、沧州、承德、邯郸、衡水、廊坊、秦皇岛、唐山、张家口这9个节点城市的中介中心性明显提升，而北京、石家庄、天津、邢台这四个城市的中介中心性下降明显。由此可见，最初处于流空间结构边缘的节点城市逐渐拥有对创新资源的控制能力，且这些边缘节点城市与北京、石家庄、天津的资源控制力差距明显缩小，这意味着创新资源分布得到优化，京津冀创新资本流空间的结构正朝着协调、稳定的方向发展。

表5 2012—2021年京津冀创新资本流空间节点城市中介中心性

城市	2012年	2015年	2018年	2021年
保定市	0.00	2.67	8.83	2.09
北京市	86.17	39.23	16.27	9.39
沧州市	0.00	0.00	1.09	1.98
承德市	0.00	0.00	0.14	0.67
邯郸市	0.00	0.64	0.00	1.30
衡水市	0.00	0.00	1.66	0.29
廊坊市	0.00	0.56	1.21	1.58
秦皇岛市	0.00	0.48	1.36	0.27
石家庄市	12.17	19.89	16.27	9.39
唐山市	0.00	0.50	1.03	1.03
天津市	10.17	16.17	9.63	9.39
邢台市	2.50	0.48	0.00	2.06
张家口市	0.00	0.39	0.52	0.58

4. 京津石构成规模最大的创新关联子系统，子群内部成员创新关联强度提升显著

为进一步探究京津冀创新资本流空间的聚类特征，进一步揭示节点城市之间存在的实际联系和潜在联系，本文采用ucinet6.0中的CONCOR模块分析方法，设置最大分割深度为2、收敛标准为0.2，将京津冀创新资本流空间简化为块模型，见图3。京津冀创新资本流空间的子群结构变化较明显，流空间内的子群结构不够稳定，但子群中的各个成员之间的关联关系愈发紧密，创新沟通愈发频繁。

从凝聚子群的数量和成员结构来看（见图3），2012年，京津冀创新资本流空间被分为四个子群，其中第一子群形成了以北京为核心，邢台为节点的最大规模子系统；第二子群由张家口、沧州、衡水、承德、秦皇岛构成子系统；第三子群由天津、石家庄、唐山构成子系统；廊坊、保定、邯郸构成的第四子群为最小规模子群。2015年，京津冀创新资本流空间的第二层级依旧为四个子群，但各个子系统的结构发生了较大变化。北京凭借自身强大的创新资源，形成了最具独立性和规模性的创新子系统，天津和石家庄也快速崛起，一跃组成仅次于北京的第二大规模的系统。2018年，京津冀创新资本流空间的整体创新关联度明显提高，表现为第二层级仅有3个子群。2021年，京津冀创新资本流空间的子系统结构进一步调整，子群数量增加为4个。其中，以北京为核心，天津、石家庄为节点，组成了规模最大的第一子系统，其他子群的成员结构也出现了较大调整。说明京津冀创新资本流空间中的节点城市并不依赖地理

邻近性形成关联, 创新资本流空间已跨越地域空间的局限性, 在更大范围构成了创新联系, 但子群结构仍处于不断调整的过程中, 尚未形成较为稳定的团体结构。

从流空间各个凝聚子群的密度来看 (见表6), 2012年, 四个凝聚子群中, 子群1和子群3的密度分别为0.500和0.167, 子群2和子群4的密度均为0.000, 说明此时虽然在流空间内形成了子系统, 但子系统内部各成员之间的关联和沟通较少, 关系较为松散, 有的系统甚至基本没有沟通和交流。2015年, 流空间内的子群内部关系明显改善, 除北京自成体系外, 子群2内的成员之间的联系和沟通非常频繁, 建立了较为紧密的关联关系, 子群4的密度为0.071, 子群3的密度为0.000, 说明这两个系统内的成员之间的关系更趋向于随机分布, 并不存在明显的关联特征。2018年, 凝聚子群数量缩减为3个, 子群内部各成员的关联强度明显改善, 子群1的密度为1.000, 子群2为0.767, 子群3为0.450。2021年, 各个子群内部的创新关联进一步得到强化, 子群1和子群2的密度为1.000和0.917, 说明此时子群1和子群2内的成员之间已经形成了频繁紧密的沟通和联系, 且具有一定的规模。子群3和子群4的密度分别为0.500和0.333, 说明这两个子群内部的成员之间的关联仍较松散, 分布更加随机, 需要进一步改善。

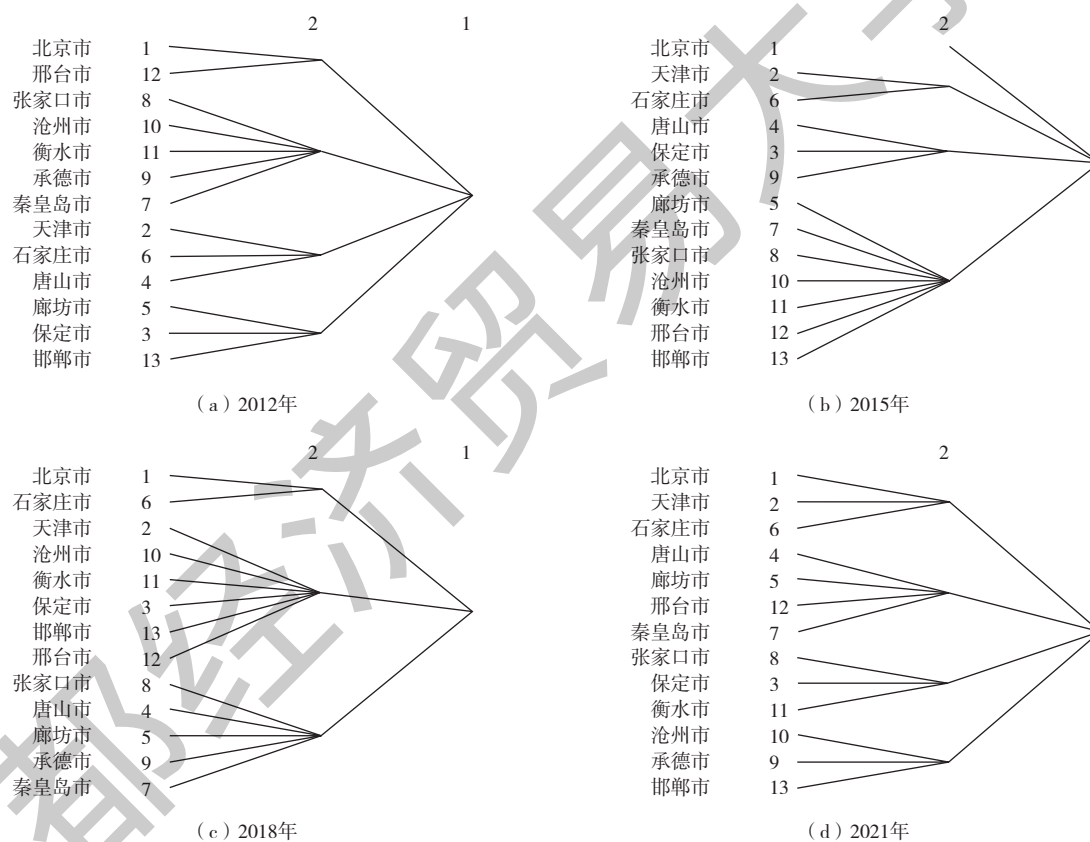


图3 2012—2021年京津冀创新资本流空间凝聚子群分布情况

表6 2012—2021年京津冀创新资本流空间凝聚子群密度变化情况

年份	子群1	子群2	子群3	子群4
2012	0.500	0.000	0.167	0.000
2015		1.000	0.000	0.071
2018	1.000	0.767	0.450	
2021	1.000	0.917	0.500	0.333

五、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

一是京津石三足鼎立的基本局面已经形成,流空间的创新关联日趋紧密。2021年,京津冀创新资本流空间基本形成了以北京为中心,天津、石家庄为次中心的基本局面,保定、邢台、沧州、唐山等多个城市节点在流空间中具有一定的地位与作用,秦皇岛、衡水、承德仍处于流空间的结构边缘。不仅如此,大部分城市之间已经形成双向创新关联,流空间内部的节点间创新关联明显增加。2021年,京津冀创新资本流空间中各个节点城市度值依次为北京(24条)、天津(24条)、保定(21条)、石家庄(21条)、唐山(18条)、邯郸(19条)、廊坊(18条)、秦皇岛(18条)、张家口(17条)、承德(17条)、衡水(17条)、沧州(15条)、邢台(13条)。说明京津两地已经实现与流空间中所有节点建立双向创新关联,且流空间中大部分节点城市之间已形成稳定的双向创新关联关系。

二是京津冀创新资本流空间的可达性和关联紧密度增长明显。京津冀创新资本流空间的平均度从2012年的3.231增长至2021年的8.923,说明节点城市之间的直接关联性逐渐增强,有利于流空间内创新合作强度和信流流通性的提升。平均路径长度从1.771缩短至1.256,意味着2021年,流空间中的每个节点平均只需要通过1.256个节点就可以与其他节点发生关联,网络可达性提升明显。网络密度从2012年的0.269增加至2021年的0.744,说明创新资本流空间的结构不断复杂化,创新关联密集性增强,意味着创新合作将越来越多,创新资源也更易实现高效流通。平均聚类系数从2012年的0.575增加至2021年的0.788,意味着京津冀创新资本流空间的节点之间连接紧密,并呈现出小世界特征。

三是京津石地区的流空间地位凸显,节点城市之间的发展差距明显缩小。2021年,京津冀创新资本流空间的节点城市特征向量中心度依次为北京(1.00)、天津(1.00)、石家庄(1.00)、沧州(0.85)、衡水(0.80)、承德(0.80)、保定(0.77)、邯郸(0.75)、张家口(0.73)、邢台(0.68)、唐山(0.61)、廊坊(0.61)、秦皇岛(0.47)。这说明北京、石家庄、天津拥有较多的邻居节点,且邻居节点也具有较高的地位。不仅如此,其他边缘节点城市的特征向量中心度也在逐年上升,说明北京与其他节点城市的地位差距逐渐缩小,原先地位较低的节点城市开始与更多的邻居城市建立创新关联。

四是创新流空间中节点城市的独立性及资源控制能力凸显。从节点城市的独立性来看,2021年,京津冀创新资本流空间节点城市的接近中心度依次为北京(1.00)、石家庄(1.00)、天津(1.00)、邢台(0.92)、唐山(0.86)、保定(0.86)、廊坊(0.80)、秦皇岛(0.80)、沧州(0.75)、邯郸(0.71)、张家口(0.71)、衡水(0.63)、承德(0.60),流空间中大部分节点城市呈现较高的接近中心度特征,说明这些节点城市具有较高的独立性,这使得整个流空间结构的稳定性更高,创新资源的运行效率也更高。从节点城市的资源掌控力来看,2021年,京津冀创新资本流空间节点城市的中介中心度依次为北京(9.39)、天津(9.39)、石家庄(9.39)、保定(2.09)、邢台(2.06)、沧州(1.98)、廊坊(1.58)、邯郸(1.30)、唐山(1.03)、承德(0.67)、张家口(0.58)、衡水(0.29)、秦皇岛(0.27),处于流空间边缘的节点城市已经拥有了一定的创新资源控制力,但与京津石三大城市还存在较大的差距,意味着大部分创新资源仍掌握在核心节点城市中,不利于边缘节点城市获得丰富的创新资源,难以快速实现创新突破。

(二) 政策建议

第一,应借助核心城市力量带动外围城市实现更多的创新互动,优化区域创新流空间结构。京津冀应当积极推动边缘节点城市之间形成创新关联,加快构建以北京为中心,津石为次中心,保沧廊邢等多个地区为重要节点的层层递进的创新资本流空间结构。一方面,应当积极构建新的创新互动关系。通过积极加大创新资本投资、创新人员的储备力度,推动保定、沧州、廊坊、邢台等关键节点城市的创新能力提升,并实现创新资本向边缘节点地区外溢,使这些节点成为流空间边缘地区间建立创新互动的重要枢纽。另一方面,应当充分维护并深化已经建立好的创新关联。京津冀城市群中各个节点城市之间的创

新关联仍旧存在不稳定性,无法建立持久的关联体系。各地政府应当通过构建技术交流平台、产业技术联盟等有关共享平台,积极建设两个地区之间的长效合作机制,并充分发挥北京、天津、石家庄为创新资源“总控中心”的作用,为京津冀实现创新突破搭建稳定的区域间创新合作桥梁,实现创新资源与信息的高效流通,推动京津冀城市群创新能力的提升。

第二,应推进京津冀区域创新协同,建立多元主体实时协调又相互支撑的区域创新流空间。流空间的关键在于创新信息与资源的实时互通,京津冀应当积极构建城市间各级政府、科研机构、高校、企业等各类创新主体互通有无的创新合作桥梁,为区域间不断强化创新联系、促成创新合作提供机会和保障。一方面,应当首先明确不同创新主体的基本职责,积极以企业为创新引领,充分依托高校和科研机构在凝聚人才和基础研究方面的优势,为创新关系的搭建提供关键要素和核心科技力量;应借助中介机构充当创新资源的“黏合剂”,借助金融机构充当创新应用的“催化剂”,积极为创新活动拓宽资本渠道、提供优质服务;另外,还应充分发挥政府的作用,以合理的政策手段辅助创新发展。另一方面,应当积极推动建设区域间创新共同体,利用咨询会、讲座、年会等活动形式,利用互联网跨地区展开创新交流活动,为创新主体之间实现互动合作提供更多契机。

第三,应当积极推动产业链与创新链的有机融合,使产业升级与技术研发互为供求。京津冀三地应当围绕产业结构升级重点任务加强科技成果应用转化。北京应坚持高端引领发展,并加快新一代信息技术产业科技成果的产业化,以节能环保为着力点,做优节能环保产业,加强环保领域的核心技术攻关与知识产权保护,提升创新成果转化能力。天津应加强先进制造和人工智能等战略性新兴产业的资金和人才投入,开发关键共性技术。河北应着力发展环境友好型高端产业,通过运用现代科学知识和先进技术方法推动传统产业的“强链”“补链”“延链”,并聚焦大数据、互联网、高端装备制造、新能源等新兴产业领域,加大重点领域的研发投入,缩小与京津两地的创新差距。

第四,积极开展促进科技创新的战略举措。一是提高创新能力。加大政府和企业创新研发上的投入是推动科技进步的基础。促进科研机构与企业之间的合作,加速知识的转化和应用,将研究成果转化为生产力。通过推动高校与产业界的合作,培养与市场需求紧密对接的科技创新人才,为学术研究提供实际应用的平台。二是优化产业结构。发展高新技术产业和高端制造业是提升国家竞争力的关键。政府制定相关政策和激励措施,引导资本和资源流向高增值领域,促进经济结构的优化升级。促进不同城市间的产业合作与协同发展,有助于形成创新网络,实现资源共享和优势互补,加速创新成果的产生和应用。三是增加创新投资。通过税收激励和财政支持增加企业的创新投入,降低企业从事研发活动的成本和风险,激励更多的企业加大研发力度。引导基金等金融工具的设立,为初创企业和创新项目提供必要的资金支持,帮助其度过研发和市场化的初期阶段。

参考文献:

- [1] 李政. 创新与经济发展:理论研究进展及趋势展望[J]. 经济评论, 2022(5): 35-50.
- [2] 李兰冰, 高雪莲, 黄玖立. “十四五”时期中国新型城镇化发展重大问题展望[J]. 管理世界, 2020, 36(11): 7-22.
- [3] 石坚, 宁越敏, 姚树洁, 等. 中国城市群、都市圈和中心城市: 东北振兴视角[J]. 城市观察, 2023(4): 38-62.
- [4] 杨辉宇, 曾达, 李苗苗, 等. 多元流空间视角下粤港澳大湾区城市生态位研究[J]. 地理学报, 2023, 78(8): 1983-2000.
- [5] 叶堂林, 毛若冲. 京津冀科技创新与产业结构升级耦合[J]. 首都经济贸易大学学报, 2019, 21(6): 68-79.
- [6] 周密, 胡清元. 区域科技创新政策协同的多维度文本分析——基于京津冀和长三角的异质性视角[J]. 首都经济贸易大学学报, 2022, 24(6): 59-76.
- [7] 熊彼特. 经济发展理论[M]. 郭武军, 吕阳, 译. 北京: 华夏出版社, 2015.
- [8] SOLOW C S. Innovation in the capitalist process: a critique of the Schumpeterian theory[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1951, 65(3): 417-428.
- [9] 毛凯军, 吴贵生. 自主创新内涵初探[J]. 经济纵横, 2007(10): 2-5.
- [10] 傅家骥, 程源. 企业技术创新: 推动知识经济的基础和关键[J]. 苏南乡镇企业, 1998(9): 18-19.

- [11] 刘凤朝. 浅析国家创新系统研究中对“创新”的界定[J]. 软科学, 2000(4): 59-60.
- [12] 刘劲杨. 知识创新、技术创新与制度创新概念的再界定[J]. 科学与科学技术管理, 2002(5): 5-8.
- [13] 张凤海, 徐丽娜, 侯铁珊. 关于技术创新概念界定的讨论[J]. 生产力研究, 2010(3): 26-27.
- [14] 陈劲, 李飞宇. 社会资本: 对技术创新的社会学诠释[J]. 科学学研究, 2001(3): 102-107.
- [15] FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues[J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [16] 沈丽珍, 饶悦, 蒙晓雨, 等. 区域创新网络格局演化与影响因素——以江苏省为例[J]. 科技管理研究, 2023, 43(13): 1-10.
- [17] 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.
- [18] 李迎成, 杨钰华, 马海涛. 邻近视角下长三角城市多尺度创新网络形成的微观机制[J]. 地理学报, 2023, 78(8): 2074-2091.
- [19] 江凯乐, 梁双波. 长江经济带技术创新网络格局演化及其多维邻近性机制[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(9): 1796-1805.
- [20] 鲜果, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市间创新网络结构及其邻近性机理[J]. 世界地理研究, 2018, 27(5): 136-146.
- [21] 叶琴, 曾刚, 陈弘挺. 组织与认知邻近对东营市石油装备制造业创新网络演化影响[J]. 人文地理, 2017, 32(1): 116-122.
- [22] 胡杨, 李郁. 多维邻近性对产学研合作创新的影响——广州市高新技术企业的案例分析[J]. 地理研究, 2017, 36(4): 695-706.
- [23] 尤宇, 刘云, 赵瑞雪. 本土创新网络与全球创新网络耦合协同性测度——基于中国省域数据的实证分析[J]. 科学学研究, 2024, 42(7): 1513-1526.
- [24] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford: Blackwell, 1996.
- [25] FLUSSER V. Ende der geschichte, ende der stadt? [M]. Germany: Picus, 1992.
- [26] GRAHAM S, MARVIN S. Telecommunications and the city: electronic spaces, urban places[M]. London: Routledge, 1995.
- [27] 高鑫, 修春亮, 魏治. 城市地理学的“流空间”视角及其中国化研究[J]. 人文地理, 2012, 27(4): 32-36.
- [28] 王钊, 杨山, 龚富华, 等. 基于城市流空间的城市群变形结构识别——以长江三角洲城市群为例[J]. 地理科学, 2017, 37(9): 1337-1344.
- [29] 王士君, 廉超, 赵梓渝. 从中心地到城市网络——中国城镇体系研究的理论转变[J]. 地理研究, 2019, 38(1): 64-74.
- [30] 王玉珊. 流空间视角下区域协同创新网络研究[J]. 商业经济, 2021(2): 102-104.
- [31] 李艳, 孙阳, 陈雯. 反身性视角下信息流空间建构与网络韧性分析: 以长三角百度用户热门搜索为例[J]. 中国科学院大学学报, 2021, 38(1): 62-72.
- [32] 郑安邦, 冯华. 数据流空间视角下知识溢出的内生经济增长机制[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(2): 3-20.
- [33] LOUAIL T, LENORMAND M, PICORNELL M, et al. Uncovering the spatial structure of mobility networks[J]. Nature Communications, 2015, 6: 6007.
- [34] ROTH C, KANG S M, BATTY M, et al. Structure of urban movements: polycentric activity and entangled hierarchical flows[J]. PLoS ONE, 2011, 6(1): e15923.
- [35] 刘大均, 陈君子. 成渝城市群旅游流网络空间与区域差异研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(12): 112-119.
- [36] 李苑君, 吴旗韬, 吴康敏, 等. “流空间”视角的电子商务快递物流网络结构研究——以珠三角城市群为例[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(2): 20-26.
- [37] CASTELLS M. The informational city: information technology, economic restructuring and the urban-regional progress[M]. Oxford: Blackwell, 1989.
- [38] 孙晓华, 郭旭, 范世龙. 社会网络、技能提升与就业地选择[J]. 经济研究, 2023, 58(5): 116-134.
- [39] 林承园. 信息流空间、流动空间与网络社会: 卡斯特对新马克思主义空间理论的研究与发展[J]. 理论月刊, 2019(7): 20-26.

The Spatial Evolution and Influencing Factors of Innovation Capital Flow in the Beijing-Tianjin-Hebei Region

YE Tanglin, WU Minghuan

(Capital University of Economics and Business, Beijing 100070)

Abstract: Innovation has become the first driver for the high-quality development of China's economy. With the development of information and communication technology, resources can be realized in the form of flow across regions, and the flow space has become a new organizational form to promote the innovative development of urban agglomerations. The formation of innovation capital flow space in the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster is conducive to breaking the communication barriers of innovation subjects in the city cluster, upgrading innovation factors and resource integration efficiency, and further strengthening the innovation synergy within the city cluster in the form of new space, thus facilitating further breakthrough of innovation capability. From the perspective of flow space, this paper analyzes the progress and effectiveness of innovation capital flow space in the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster, sorting out the distribution pattern of innovation capital flow space and the role of the node network, which helps clarify the structure of the city system under the innovation capital flow space in the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster and the status of innovation flow space in each city. It promotes the synergistic innovation of the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster and has practical significance for promoting the high-quality development of the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster.

This paper employs capital mutual investment data of the science and technology service industry among 13 prefecture-level cities in the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster to construct the network of innovation capital flow space of the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster and analyzes it by using the gephi software, showing the basic characteristics and evolution trend of the innovation capital flow space of the Beijing-Tianjin-Hebei city cluster in 2012–2021. It is found that the “three-legged tripod” pattern in Beijing, Tianjin, and Hebei has been formed and the innovation links in the flow space are increasingly close; the accessibility of the innovation capital flow space in Beijing, Tianjin, and Hebei and the closeness of the linkage have increased significantly; the status of Beijing, Tianjin, and Shijiazhuang in the flow space has been promoted, and the development gap between the node cities has been reduced significantly; the independence of the node cities and their ability to control the resources in the innovation flow space have been strengthened.

The proposed policy measures are as follows. Firstly, core cities should drive the peripheral cities to achieve more innovation interaction and optimize the spatial structure of the regional innovation flow. Secondly, the Beijing-Tianjin-Hebei regional innovation synergy should be promoted to establish a real-time coordinated and mutually supportive regional innovation flow space. Thirdly, the organic fusion of the industrial chain and the innovation chain should be actively promoted to make the industrial upgrading and the technological R&D mutual supply and demand. Fourthly, the strategic initiatives for promoting scientific and technological innovation should be adopted.

Keywords: Beijing-Tianjin-Hebei region; urban agglomeration; innovation; innovation capital; flow space; social network analysis

(责任编辑: 宛恬伊)