

DOI: 10.19361/j.er.2024.03.06

高铁网络如何促进城市间合作创新

——基于高铁网络通达性与合作专利的实证分析

吕爽 孙铁山 张洪鸣*

摘要: 本文使用 2008—2019 年中国 282 个地级及以上城市所组成的城市对的面板数据,分别构建铁路出行时间数据集以及城市间合作专利数据集,基于空间相互作用理论讨论高铁网络通达性的提升如何促进城市间的合作创新。研究发现,高铁网络通达性提高了城市间的合作创新产出;在城市关联视角下,高铁网络通达性通过促进城市间技术关联和市场关联程度的提升,作用于城市间合作创新产出;但高铁带来的网络通达性的提升对城市间合作创新的促进作用存在差异,城市间的地理距离以及城市是否直接接入高铁网络均会对此产生影响。本文的研究发现为完善区域创新格局、优化高铁沿线城市分工提供了一定的政策启示。

关键词: 高铁;网络通达性;城市间合作创新;技术关联;市场关联

中图分类号: F124.3

一、引言

党的二十大报告提出,“必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力”。随着知识经济时代的到来,知识竞争成为区域竞争的焦点,技术创新越来越成为推动地区经济发展的主要动力源泉,也是国家建设现代化经济体系、提升国际竞争力的战略支撑。然而在技术迭代更新的速度不断加快、当今国际经济复杂多变的态势下,单个创新主体通常面临较大风险,城市间的合作创新提供了跨区域技术转移和知识交流的潜在渠道,更能迎合创新市场的需求,成为创新主体进行创新活动的重要方式,也是区域经济发展的重要驱动力(Wang et al., 2022;王岳龙、袁旺平,2023)。合作创新活动依赖面对面交流(易巍等,2021),地理距离是合作创新的天然障碍,远距离协作增加了面对面交流的时间成本,使得城市之间的合作创新随着地理距离的增加而衰减。现有研究表明,城市间的交通成本深刻影响着创新交流与合作(Dong et al.,2020)。

近十几年来,中国高速铁路(以下简称“高铁”)的大规模建设重塑了国内的时空格局,截至 2023 年末,中国高铁运营里程达到 4.5 万公里^①,日趋成熟的高铁网络极大缩短了城市

*吕爽,北京大学政府管理学院,邮政编码:100871,电子信箱:ls1998@pku.edu.cn;孙铁山(通讯作者),北京大学政府管理学院,邮政编码:100871,电子信箱:tieshansun@pku.edu.cn;张洪鸣,北京大学政府管理学院,邮政编码:100871,电子信箱:hzmzhang67@pku.edu.cn。

本文是国家自然科学基金项目“多重异质下交通发展与城市空间重构的互动响应研究”(41971156)的阶段性研究成果。作者感谢匿名审稿专家和编辑部的宝贵建议,文责自负。

①数据来源:《我国高铁达到 4.5 万公里》,载于中国政府网(https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202401/content_6925054.htm),2024 年 1 月 9 日。

之间的出行时间。高铁对区域创新的促进作用已经达成共识,相关研究主要关注高铁开通如何作用于城市或区域层面创新水平的变化,并从个人、企业、高校等多个层面进行了论证(白俊红等,2017;易巍等,2021)。其基本逻辑是高铁通过促进创新要素的流动来提高区域创新水平,即高铁带来的出行成本降低极大便利了人员跨区流动,提高了研发人员面对面交流的概率,在知识的共享与学习中促进本地创新水平的提升(卞元超等,2019)。

近两年也有一些研究关注到高铁开通对城市间合作创新的影响(Wang and Cai, 2020; Wang et al., 2022; Yao and Li, 2022; Hanley et al., 2022),然而这些研究仅讨论了影响是否存在以及可能存在的异质性,在影响机制的讨论中仍按照高铁如何促进城市本地创新的逻辑,仅强调了要素流动的作用。但城市间合作创新与城市的本地创新行为不同,合作创新更强调地区间的互动,而仅从要素流动视角讨论高铁对城市间合作创新有促进作用,其隐含的前提假设是:频繁的人员交互一定能够引发合作创新行为。但现有关于合作创新的文献已经对物理共处的作用提出质疑,认为知识共享不会自发地在近距离内发生(Micek, 2020)。城市间合作创新作为空间相互作用的一种形式,该行为的发生应具备空间相互作用的三种前提条件:即通达性(Transferability)、互补性(Complementarity)以及中介机会(Intervening Opportunity)(Ullman, 1957)。其中互补性最为关键,以城市间的相互关联为基础。例如,合作创新需要城市间具有相似的知识基础,从而降低知识交流的成本,创新活动的高风险性也需要合作双方具有共担风险的信任基础(Ma and Xu, 2023),从技术与资金两方面实现互补与支撑。因此,本文基于空间相互作用理论引入城市关联视角,探讨高铁建设是否会作用于城市间的多维度关联关系从而促进合作创新。这补充了现有文献中较少关注的高铁开通如何促进城市间合作创新的问题,进一步丰富了对高铁影响合作创新的内在机制的讨论和分析;有利于更加客观地认识城市间合作创新行为的发生过程,以及辩证看待高铁建设的创新效益,启发城市重视城市内部发展建设,如注重创新积累与市场环境建设等,不以高铁作为城市经济发展与社会建设的唯一寄托。

在研究方法层面,现有研究大多将高铁开通作为一项准自然实验,使用双重差分法(DID)验证高铁开通的创新效益。这种方法虽然能够较为准确地识别因果关系,但仅仅考察了高铁刚开通时的外生冲击,没有进一步追踪其动态变化,并且其中也蕴含着高铁开通这一事件对所有城市的外生冲击同质化的前提假设。另外,在有关城市间合作创新的实证研究中,一个关键的问题在于城市间的合作创新如何测度。国内外学者通常采取两种做法:其一,使用城市间真实关联数据,但此类数据获取难度较大,受制于数据可得性,通常选择人员流动、专利引证等数据表征城市间潜在的创新合作意愿或能力(Hanley et al., 2022);其二,使用城市层面创新要素存量的变动间接反映其流动过程,如使用研发人员数量在高铁开通前后的变化来反映城市间人力资本的交流(谭志雄等,2022),使用春节前后城市迁入、迁出人口的数量来反映城市间的劳动人口流动等(王春杨等,2020)。这些做法没有直接测度合作创新,对真实发生的合作创新行为刻画不足。

针对上述研究现状及不足,本文对2008—2019年中国282个地级及以上城市所组成的城市对样本展开研究,并构建铁路出行时间数据集和城市间合作专利数据集,从作用效果、影响路径和异质性三个维度探讨高铁网络通达性提升对城市间合作创新的影响。本研究的边际贡献主要体现在以下两个方面:(1)关注高铁对城市间合作创新的影响,基于空间相互作用理论讨论城市间合作创新发生的条件,同时考虑了技术关联和市场关联作为互补性的

两种关联机制,从城市关联的角度梳理了高铁网络通达性对城市间合作创新的影响路径并进行实证检验,进一步丰富了对高铁影响合作创新的内在机制的讨论和分析;(2)构建了铁路出行时间数据集和城市间合作专利数据集,以城市间真实发生的关系数据反映城市关联关系,直接测度合作创新行为。本文的研究发现有助于理解高铁网络如何促进城市间合作创新,为中国高铁建设和区域创新格局塑造提供实证证据。

本文余下部分的结构安排为:第二部分基于已有研究进行理论分析,梳理高铁建设带来的网络通达性提升对城市间合作创新的影响路径,并提出研究假设;第三部分介绍研究设计、变量与数据;第四部分实证分析高铁建设带来的网络通达性提升对城市间合作创新的影响,并检验结论的稳健性;第五部分进一步分析;最后为全文的结论与政策建议。

二、理论分析与研究假设

(一) 高铁网络通达性通过提升城市间的相互关联促进城市间合作创新

城市间空间相互作用需要具备三种前提条件:即通达性、互补性以及中介机会,通达性主要取决于城市间的交通成本和地理距离摩擦(乔彬等,2019),互补性通常与比较优势和贸易模式相关,而中介机会则强调了除空间相互作用双方外的“第三者”竞争关系(Chang, 2004)。其中,高铁带来的出行成本降低提高了城市之间的通达性(周文韬等,2021),通达性的提升强化了城市间的相互关联,从而促进互补性的提升;而中介机会常常被视为改变区域空间相互作用格局的因素,与其他两种条件相比,对空间相互作用规模的影响稍弱。本部分主要讨论分析高铁网络通达性通过提升城市间的相互关联从而促进城市间合作创新,对于中介机会的讨论将在第五部分“进一步讨论”中涉及。

1. 合作创新需要城市之间具有技术关联与市场关联

创新具有“创造性破坏”的本质,不断地从内部革新技术结构,破坏旧的、建立新的。合作创新则需要双方共同完成这一过程,这不仅需要双方具有相似的技术基础以减轻相互理解的障碍,即具有一定程度的技术关联;而且需要创造性新技术的引入,新技术的市场化往往伴随着资金的流动,市场关联程度高的城市之间可以以更低的成本共享新技术。此外,创新过程伴随着高投入与高风险,需要合作双方具有较强的信任基础,市场关联带来的频繁互动有助于提升城市间共担风险的相互信任(Lauvås and Steinmo, 2021)。

城市间技术关联主要是指城市之间知识基础或技术经验的相似程度,技术关联通过降低沟通成本促进城市间合作创新,创新成本与创新成果是决定创新主体间是否会合作创新的重要因素。技术关联使创新主体具有相似的技术认知,有效降低了主体间的沟通成本,能够加快互补性知识的获取与整合过程,有利于提高合作频率与创新效率。因此,一方面,技术关联程度高可以缩小区域间的技术距离,降低沟通成本,有利于合作伙伴之间的频繁交互(Paci et al., 2014);另一方面,拥有相似技术的行为主体之间技术关联程度更高,这样的行为主体更易于建立新的合作关系。

创新合作过程所产生的新知识、新技术是生产新产品的前提,而新产品进入市场要考虑盈利回报与风险成本的权衡,因此创新合作伙伴的选择在很大程度上具有市场导向性。市场关联越强,合作创新行为发生的可能性越大。比如,不同城市间发生企业互相投资行为越多,城市间人员、资金等要素的往来也就越密切,这增进了合作创新的可能。同时,密切的市场关联也为合作创新提供了信任基础,降低了合作创新的风险,有利于合作创新行为的发生。

2. 高铁网络通达性能够提升城市间的技术关联与市场关联

与其他交通运输方式不同,高铁以客运为主,其开通增大了人口的跨区流动性,通过降低人们在空间上流动的时间成本,促进面对面的交流和信息传递(马光荣等,2020;孙伟增等,2022)。尤其是对于驾车出行太远、乘坐飞机出行太近的城市,如北京和石家庄、上海和合肥等,高铁建设大大降低了跨城市通勤的时间成本。根据世界银行于2019年发布的《中国的高速铁路发展》分析报告,中国高铁乘客中有40%—60%为商务出行,这些高铁乘客所携带的信息、知识、技术、资金与契约,都将提升城市之间技术、市场等相互关联程度。

高铁网络通达性提升通过促进累积学习过程提升城市间的技术关联程度。一方面,随着创新要素的长期流动,高铁网络通达性提升促进了城市间在人员、资本、创新活动等方面的交互,并发生基于知识基础的交流,根据累积学习过程,参与者的知识基础随着时间的推移不断变化,且越来越倾向于相互依靠彼此来获得特定的知识并利用他人的经验(Balland et al., 2015)。在这一过程中,参与者与交互者共享更相似的知识基础,共同进行新知识的创造,技术关联程度不断提升。另一方面,由于知识创造具有专业性,许多研究团队由具有互补技能的个体组成,人在流动过程中所携带的专业化知识与技术是城市创新的重要基础,而这种专业化往往具有一定的本地根植性,人与技术类型的交互进一步促进城市间技术关联的提升,从而增大其合作创新的概率(Květoň et al., 2022)。

高铁网络通达性提升通过优化城市区位优势强化城市间的市场关联。高铁开通提高了所在城市的可达性,明显提升了城市的区位优势和市场潜力,降低了所在城市的贸易成本,增进了城市之间的市场关联,有利于新研究团队的组建。在搜寻新合作伙伴的过程中,研究者们通常需要会面和互动,城市区位优势的提升将有利于这一过程,如通过学术会议、学术交流、企业相互学习、新成果发布会等形式创造合作的场景,扩大潜在合作范围。此外,在新经济地理学的理论模型中,高铁建设通过改变城市与市场的距离也降低了所在城市的贸易成本,造成实际工资变化(王春杨等,2020),这进一步吸引人才的流动、提升城市的市场层级,强化了这一路径的促进作用。

3. 高铁网络通达性通过提升城市间的技术关联与市场关联促进合作创新

基于以上分析,高铁网络通达性通过提升城市间的技术关联与市场关联两条路径促进城市间的合作创新(图1)。

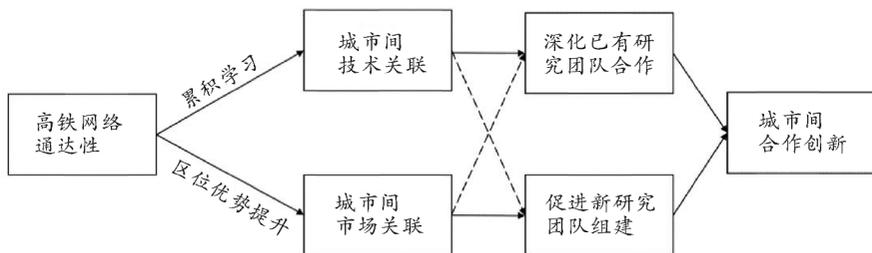


图1 高铁网络通达性提升促进城市间合作创新的两条路径

技术关联通过降低地区间的沟通成本促进创新合作,可以实现创新要素在区域内充分流动、创新资源在地区间共享与协作,从而形成群体优势,在此基础上进一步缩小区域差异。而高铁建设带来的创新要素流动促进了城市间的知识交流,不断反馈、强化城市间的技术关联,有利于合作创新的发生。市场关联通过增进地区间资金往来以及信任基础促进合作创

新行为的发生,而高铁网络通达性带来的城市区位优势提升进一步降低了城市间的贸易成本,增进了城市间的市场关联,扩大了潜在的创新合作范围。对于尚未组建合作团队创新主体,高铁建设增进了城市与核心市场(大城市)、外部市场(较小城市)之间的联系,扩大了潜在合作范围;对于已有的研究团队,高铁带来的频繁交互使得双方共享更加相似的知识与技术,鼓励在原有合作基础上更多的合作。

然而在互联网时代,有学者对技术交流对地理距离的依赖提出质疑,认为知识跨地区的传播与合作可以通过互联网实现(Cairncross, 2001;徐德英、韩伯棠, 2015)。但也有很多研究表明,远程线上交流无法替代面对面交流,信息技术发展所带来的“线上交流”与面对面的“线下交流”之间并不具有替代关系,前者反而拓展了后者的空间,尤其是对于隐性知识的传播,很大程度上依赖面对面的直接交流(何凌云、陶东杰, 2020)。也有研究证明,交通成本的下降对科学知识的生产有显著的促进作用,且这一效果在青年学者群体中更明显(Dong et al., 2020)。

综上所述,高铁网络通达性通过提升城市间的相互关联促进城市间合作创新,这一过程不仅能够深化已有研究团队合作,也有利于新研究团队的组建,从而促进城市间合作创新,因此本文提出假设1与假设2:

假设1:高铁网络通达性提升提高了城市间的合作创新水平。

假设2a:高铁网络通达性通过促进城市间技术关联程度的提升提高城市间的合作创新水平。

假设2b:高铁网络通达性通过促进城市间市场关联程度的提升提高城市间的合作创新水平。

(二) 高铁网络通达性提升促进城市间合作创新水平的异质性分析

1. 地理距离的异质性

人的流动已经被证明是知识扩散的重要机制(Hanley et al., 2022),高铁的作用建立在与其他客运方式竞争优势的基础上。与其他运输方式相比,高铁出行的突出优势是准时、高频率、大容量、低票价和低污染,填补了汽车出行距离太远、飞机出行距离太近的空白,因此对公路和航空运输等其他出行方式产生一定的替代作用。现有研究表明,高铁对其他客运方式的替代作用是非线性的,Lawrence等(2019)显示,在600公里范围内,高铁为主导的出行方式替代了汽车和航空旅行等其他出行方式;也有学者指出,在160—800公里的旅行距离范围内,高铁比汽车和飞机具有更显著的出行优势(Button, 2012),Vickerman(2017)指出高铁与飞机竞争的最有效距离是200—600公里。

高铁建设带来的出行成本降低具有空间异质性。因此,高铁对城市间合作创新的影响对于地理上接近且在高铁范围内的城市来说应该是更突出的。郭进和白俊红(2019)对中国高铁建设进行研究,发现中国高铁建设尤其方便了1000公里距离段内频繁进行跨地区往来的公务出差人员;Hanley等(2022)以中国高铁建设为研究对象,发现高铁对创新合作的影响是非线性的,200公里以内的城市合作创新受到高铁建设的促进作用最大。因此,有必要探讨高铁建设对城市合作创新水平影响的地理距离异质性。

2. 高铁城市与非高铁城市的异质性

有高铁直接连通的城市即“高铁城市”(“非高铁城市”指没有高铁直接连通的城市)在高铁开通后与其他城市之间的可达性显著提升(孙伟增等, 2022)。与非高铁城市相比,高铁

建设对高铁城市的影响更为直接,高铁及高铁站点等配套服务的便利程度极大提高了出行舒适度,会显著提升高铁城市的客流量,这同时在城市内部增加了大量的消费需求,城市区位优势的提升显著区别于非高铁城市。Dong等(2020)利用研究论文发表和引用的数据集,直接研究了高铁开通对高铁城市与非高铁城市高校研究合作的差异化影响。他们发现,当城市被高铁连接时,现有合作的共同作者生产力上升,并且出现了新的共同作者对。因此,城市是否直接接入高铁网在享受高铁建设带来的效益方面存在明显的差异性,这不仅对已经存在的研究团队存在差异化作用,也影响潜在的新研究团队组建,有必要探讨高铁建设对高铁城市与非高铁城市影响的异质性。

基于以上分析,本文提出假设3:

假设3a:高铁网络通达性对城市间合作创新水平的作用具有随地理距离衰减的非线性特征。

假设3b:高铁网络通达性对城市间合作创新水平的促进作用对高铁城市更为突出。

三、研究设计与变量说明

本文以两两城市组成的城市对为研究对象,使用2008—2019年中国地级及以上城市所组成的城市对面板数据,探讨高铁网络通达性提升对城市间合作创新的影响。由于行政区划调整以及数据完整性等原因,在研究过程中剔除了部分城市^①,最终对全国282个地级及以上城市所组成的城市对展开研究。

(一) 模型设定

为考察高铁网络通达性提升对城市间合作创新的影响,本文构造如下实证计量模型:

$$\ln(pat)_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln(time)_{ijt} + \alpha \ln X_{ijt} + \delta_{ij} + \tau_t + \mu_{it} + \theta_{jt} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

(1)式中: i 和 j 代表城市, t 代表年份;被解释变量 $\ln(pat)_{ijt}$ 为城市 i 与城市 j 在 t 年的合作专利数量加1取自然对数形式,表示城市间合作创新水平;核心解释变量 $\ln(time)_{ijt}$ 为城市 i 与城市 j 在 t 年通过铁路网出行的最短时间的倒数的自然对数形式,表示高铁网络通达性。 X_{ijt} 为一系列控制变量,表示城市对层面与合作创新有关的随时间变化的特征; δ_{ij} 和 τ_t 分别是城市对层面的个体固定效应和时间固定效应,分别控制城市对层面不随时间变化的因素以及各年份间不同城市对的共同差异。在此基础上,本文还加入了城市 i -年份 t 的固定效应 μ_{it} 和城市 j -年份 t 的固定效应 θ_{jt} ,以控制城市层面随时间变化的特征; ε_{ijt} 为随机扰动项。估计系数 β_1 反映了高铁网络通达性对城市间合作创新的影响。

由于城市间的合作创新在本质上是双向的,本文采用引力模型来构建(1)式,引力模型最初常用于国际贸易相关研究,近年来越来越多被用于合作创新和知识流动研究,是研究个体间关系数据较为常用的方法。另外,在选择估计方法时考虑本文数据的两大特征:第一,被解释变量合作专利数量存在大量的零值,使得残差不再遵循正态分布;第二,被解释变量合作专利数量本质上属于关系数据,变量之间往往难以避免自相关和多重共线性问题,如果采用传统的统计检验方法,参数估计值的方差和标准差将增大,变量的显著性检验失去意义。基于此,本文采用泊松伪最大似然估计法(Poisson Pseudo

^①如在样本期间内经历行政区划调整的海南省三沙市、儋州市,贵州省毕节市、铜仁市;数据完整性较差的西藏自治区日喀则市、昌都市、林芝市,青海省海东市,新疆维吾尔自治区哈密市等。

Maximum Likelihood Method, PPML) 来估计(1)式,即使观测值中存在很大比例的零值和异方差问题,它也能比 OLS 更好地估计参数(Wang and Cai, 2020);并且与传统的泊松模型和负二项模型相比,PPML 可以有效地解决收敛失败的问题(Silva and Tenreiro, 2006);即使数据不服从泊松分布,PPML 也可以得到一致性的估计结果。在针对具有大量零值的关系数据的实证检验中,PPML 也是学者们广泛使用的估计方法(Wang and Cai, 2020;章韬等, 2023),以减少估计偏误。

(二) 变量设定

1. 被解释变量(城市间合作创新水平)

本文使用城市间合作申请专利数量表征城市间合作创新水平(pat_{ijt})。本文提取了 2008—2019 年中国国家知识产权局所有专利申请记录中共同申请人数在 2 位—10 位的专利条目,并删除了个人申请者所拥有的专利,因为个人申请者无法获取其地址信息。研究范围锁定在所有申请人均为非个人的类型,包括企业、高校、研究机构和其他组织等,使用百度地图 API、高德地图 API 等工具,利用地理解析方法确定各申请人所在地级市,并进一步统计城市间的合作创新联系。具体来讲,如果一项专利具有三位共同申请人,且分别来自城市 A、B、C,则对于此项专利构建 A-B、A-C、B-C 三个城市对,每对城市对创新合作数量增加一次。此外,由于本文主要关注城市间的合作创新,因此城市内部的专利合作以及跨国专利合作并不包含在数据集内。最终形成城市 i -城市 j -年份 t 的面板数据,排除在研究期限内没有共同申请专利行为的城市对,保留在 12 年内至少合作申请专利一次的城市对,数据集共包含 113 748 个观测值,涉及 282 个城市所组成的 9 479 个城市对。

使用合作专利数据代理城市知识发展水平的可行性在于,一方面专利与科技创新直接相关,合作专利申请是合作创新的主要途径以及可度量指标;另一方面专利数据多是以行政方式注册的,出现统计误差的概率较小,数据相对易得。本文专利数据来源于国家知识产权局,从 incopat.com 数据库下载处理所得。

2. 核心解释变量(高铁网络通达性)

使用城市间通过铁路网出行的最短时间的倒数来衡量($time_{ijt}$)。目前对城市间最短出行时间的测度方法主要包含栅格算法和网络分析法两种,前者主要针对面状栅格数据,后者更加适合对铁路网进行拟合。本文采用网络分析法,使用 ArcGIS 软件中的网络分析工具构建所有城市对之间的铁路网,对高速铁路和普通铁路设定不同的运行时速,计算地级市政府所在地之间的最短铁路交通时间。

本文参考 Baum-Snow 等(2017)的处理方法,以 2010 年的铁路网为基准,按照年份叠加每一年开通的高铁线路^①,由于只考虑了高铁开通对铁路网的影响,因此出行时间的变化可以准确反映高铁开通带来的时间缩短,即高铁网络通达性。具体来讲,城市之间的出行时间由城市内部交通时间与铁路交通时间组成,其中铁路交通时间为综合高铁交通时间和普通铁路交通时间的最短铁路交通时间,高铁站点之间速度设定为 220 km/h,普通铁路网的速度设定为 80 km/h,在城市内部(地级市政府到高铁站点或普通铁路网)的交通速度设定为 30km/h。举例来说,城市 A 与城市 B 之间有铁路网直接连通,但在 2012 年才开通高铁,那

^①当年开通的高铁线路数据整理自历年高铁开通的新闻,包含 2008—2019 年每年高铁开通的站点和线路。

么 2012 年出行时间的减少来源于直通高铁的建设;若城市 C 与城市 D 之间没有直接连通高铁,但其在铁路网中的最短路径上,存在新高铁线路的开通,那么出行时间的减少同样得益于高铁建设。

3. 控制变量

参考国内外关于城市间合作创新的研究(Wang and Cai, 2020; Hanley et al., 2022; 王岳龙、袁旺平, 2023), 本文控制了经济发展水平、产业发展阶段、创新主体数量、创新投入强度、人力资本水平以及城市基础设施建设水平等可能影响城市间合作创新的因素。其中, 经济发展水平使用 GDP 衡量(*gdp*); 产业发展阶段使用第二产业增加值占 GDP 比重衡量(*sindustry*); 企业和高校是重要的创新主体, 也是产出创新成果的主要来源, 使用规模以上企业数量(*ind*)和高校数量(*univ*)代表创新主体数量; 知识是创新的主要动力源, 科技创新与教育是知识生产的重要领域, 使用科学技术支出占地方一般公共预算支出比重(*prd*)和教育支出占地方一般公共预算支出比重(*pedu*)代表创新投入强度; 使用科学研究、技术服务和地质勘查业从业人员数(*labor*)和普通高校在校生数量(*stu*)代表城市人力资本水平; 使用医院数(*hospital*)和公共图书馆藏书数量(*book*)代表城市公共服务设施建设水平。以上数据均来自于历年《中国城市统计年鉴》, 少数城市缺失了部分数据, 通过相应年份的《国民经济与社会发展统计公报》以及 CEIC 数据库补全。在此基础上构建城市对层面的控制变量, 通过不同年份城市 *i* 与城市 *j* 对应指标的加总构建形成城市 *i*-城市 *j*-年份 *t* 的面板数据, 变量缀以“_sum”后缀, 如 2019 年城市 *i* 与城市 *j* 经济发展水平使用 2019 年城市 *i* 与城市 *j* 的 GDP 之和衡量(*gdp_sum*)。

所有变量均以自然对数形式加入模型中, 相关变量的描述性统计如表 1 所示。

表 1 变量描述性统计

变量	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>pat</i> (件)	6.4206	56.7580	0	3 984
<i>ttime</i>	0.1650	0.1949	0.0163	3.0694
<i>gdp_sum</i> (万亿元)	0.5798	0.6556	0.0178	7.3527
<i>sindustry_sum</i> (%)	95.3276	15.1300	26.8400	176.0500
<i>ind_sum</i> (个)	4503.3160	3266.6739	93	31626
<i>univ_sum</i> (所)	35.8965	28.6184	1	176
<i>prd_sum</i> (%)	4.5144	2.5413	0.1519	26.0477
<i>pedu_sum</i> (%)	35.3875	6.3645	8.5978	168.9614
<i>labor_sum</i> (万人)	6.3565	10.7863	0.0500	140.6500
<i>stu_sum</i> (人)	395919.2100	333751.6300	1623	3320147
<i>hospital_sum</i> (家)	467.8126	281.4635	27	3776
<i>book_sum</i> (千册)	15030.8770	21791.1680	0	434600

注:表 1 为原值。

四、实证结果及稳健性检验

(一) 基准模型结果

为验证假设 1, 探究高铁网络通达性对城市间合作创新是否存在显著促进作用, 本文使用城市对层面的面板数据对(1)式进行模型估计, 结果如表 2 所示。表 2 中第(1)、(2)列为仅控制城市对和年份固定效应的估计结果, 第(2)列在第(1)列的基础上加入城市对层面的控制变量, 可以看到, 无论是否加入控制变量, 高铁网络通达性对城市间合作创新都存在显

著的促进作用,系数均通过1%的显著性检验。第(3)、(4)列为控制城市对、年份、城市和年份乘积三个维度固定效应的估计结果,第(4)列在第(3)列的基础上加入城市对层面的控制变量,高铁网络通达性系数仍然为正,且均通过1%的显著性检验。这表明,高铁网络通达性提升对城市间合作创新存在显著的促进作用,假设1得到检验。

表 2 基准模型估计结果

	<i>lnpat</i>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>lnptime</i>	0.0980*** (0.0288)	0.0835*** (0.0282)	0.1390*** (0.0402)	0.1310*** (0.0401)
<i>lngdp_sum</i>		-0.0649*** (0.0068)		0.0470* (0.0247)
<i>lnsindustry_sum</i>		0.0836 (0.0799)		0.2950 (0.540)
<i>lnind_sum</i>		0.4230*** (0.0446)		-0.1420 (0.1150)
<i>lnuniv_sum</i>		0.0010 (0.0625)		-0.0009 (0.1170)
<i>lnprd_sum</i>		0.0101 (0.0264)		0.1260 (0.0774)
<i>lnpedu_sum</i>		-0.1730*** (0.0606)		0.3440 (0.6210)
<i>lnlabor_sum</i>		-0.0973*** (0.0329)		0.0950 (0.0646)
<i>lnstu_sum</i>		0.1880*** (0.0450)		-0.1090 (0.0876)
<i>lnhospital_sum</i>		-0.2410*** (0.0298)		0.0592 (0.0953)
<i>lnbook_sum</i>		0.0042 (0.0081)		6.81e-05 (0.0238)
常数	0.4290*** (0.0507)	-3.8490*** (0.8160)	0.5760*** (0.0708)	-0.0754 (3.6790)
城市对固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市×年份固定效应	否	否	是	是
Observations	113 748	113 748	105 002	105 002
<i>Pseudo R</i> ²	0.4323	0.4346	0.4472	0.4473

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平上通过显著性检验,括号内为城市对层面的聚类标准误。下表同。

(二) 稳健性检验

1. 考虑城市间合作创新的滞后性

合作创新并不是可以瞬时完成的活动,合作者的搜寻、从研发到产出的过程都需要一段时间,而且创新要素沿铁路网的流动也是一个持续的过程。因此,将核心解释变量滞后一期对(1)式进行检验,考察合作创新的滞后性,结果如表3第(1)列所示。发现核心解释变量滞后一期后,高铁网络通达性仍然能够显著促进城市间的合作创新,但系数显著性相比基准模型有所下降。这主要是因为,虽然合作创新不能瞬时完成,但参与创新合作的人员对出行时间成本变化的反应较为敏感、迅速,尤其是针对其中商务化、年轻化的旅客。

2. 剔除部分城市样本

本文研究对象为全国 282 个地级及以上城市所组成的城市对,其中北京、上海、天津、重庆 4 个直辖市与地级市处于不同行政等级,地级市中还包含省会城市、副省级城市等经济社会发展水平较为突出、行政等级更高的城市。这些城市可能受到较为明显的政策优惠或具有较强的经济社会联系而导致效应识别异常,因此,本文将涉及这些城市的城市对全部剔除重新进行回归,剔除后样本中不包含这些城市相互合作形成的城市对,也不包含这些城市与其他城市合作创新所形成的城市对。由于高铁主要是连接直辖市、省会和副省级城市等区域性中心城市,沿途中小城市的经济规模并不是决定高铁是否从该地级市经过的直接原因,因此,剔除掉大城市的样本也更能缓解内生性的问题(王春杨等,2020)。估计结果如表 3 第(2)列所示,核心解释变量系数仍然显著为正,但显著性水平有所下降,主要是因为剔除的城市本身创新水平较高、创新基础较强、对创新资源流动的需求更大,合作成本下降对其影响更为明显,但这仍然可以验证检验结果稳健。

3. 更换模型的再验证

被解释变量城市间合作专利数量存在大量零值,除了使用本文所采取的 PPML 模型估计外,学界通常也使用 Tobit 模型处理这一情况。由于 Tobit 模型采用最大似然估计法,因此不能进行固定效应的面板数据分析,本文采用混合截面数据的 Tobit 模型进行估计,并加入了年份虚拟变量。结果如表 3 第(3)列所示,显示高铁网络通达性提升仍然能够促进城市间的合作创新,估计结果通过 1% 的显著性检验,验证了基准模型结果的稳健性。

表 3 稳健性检验结果

	Inpat		
	(1)	(2)	(3)
	PPML	PPML	Tobit
Inntime		0.1970* (0.1060)	0.8980*** (0.0230)
L.Inntime	0.0660* (0.0385)		
控制变量	是	是	是
城市对固定效应	是	是	否
年份固定效应	是	是	否
城市×年份固定效应	是	是	否
年份虚拟变量	否	否	是
Observations	97 714	37 149	113 748
Pseudo R ²	0.4418	0.3445	0.1508

4. QAP 回归分析

由于本文所使用的大部分变量属于关系数据,变量之间往往难以避免自相关和多重共线性问题,导致传统统计检验方法得出的估计量非有效,参数估计值的方差和标准差将增大,变量的显著性检验失去意义(刘军,2007)。二次指派程序(Quadratic Assignment Procedure, QAP)作为一种随机化检验方法,以重复抽样为基础,得出两个或多个矩阵之间的相关系数并进行非参数检验,该方法以对矩阵数据的置换为基础,不要求变量间的独立性。为了有效避免变量间可能存在的共线性所带来的估计偏差,本部分使用 QAP 回归分析进行稳健性检验。运用 Ucinet 软件,选择 2 000 次随机置换,对基准模型各变量研究期内年均值

进行 QAP 回归分析,结果如表 4、表 5 所示。表 4 显示调整后的 R^2 为 0.5571,说明 11 个矩阵变量可以解释城市间合作创新的 55.71%;样本体积为 39 621,282 个城市构成了 282 行 282 列的对称矩阵,忽略对角线的元素,剩下 $282 \times (282-1)/2 = 39 621$ 个观测值。表 5 为 QAP 回归分析得到的各变量矩阵的回归系数及检验指标,其中核心解释变量 ($\ln time$) 标准化回归系数为 0.6742,且通过了 1% 的显著性检验,验证了基准模型回归结果的稳健性。

表 4 QAP 回归分析模型拟合结果

R^2	调整后的 R^2	置换次数	样本体积
0.5572	0.5571	2 000	39 621

表 5 QAP 回归分析结果

	(1)	(2)	(3)
	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性概率值
$\ln time$	0.4098	0.6742	0.0005
$\ln gdp_sum$	0.2057	0.1287	0.0005
$\ln sindustry_sum$	-0.0995	-0.3287	0.0790
$\ln ind_sum$	-0.2153	-1.2824	0.0005
$\ln univ_sum$	-0.0720	-0.1764	0.0585
$\ln prd_sum$	0.4646	0.5076	0.0005
$\ln pedu_sum$	0.1732	0.4476	0.0170
$\ln labor_sum$	0.2872	0.3497	0.0005
$\ln stu_sum$	-0.0790	-0.7188	0.0235
$\ln hospital_sum$	0.2300	1.0122	0.0005
$\ln book_sum$	0.2385	1.6078	0.0005
常数	0.0005	0.0000	0.0000

五、进一步分析

(一) 基于互补性与中介机会的分析

前文针对高铁网络通达性对城市间合作创新的影响进行了理论分析,并使用数据对基准模型进行了初步验证,接下来基于空间相互作用理论中的互补性与中介机会,进一步考察高铁网络通达性如何影响城市间合作创新。具体而言,检验高铁网络通达性通过影响城市间技术关联和市场关联,从而作用于城市间合作创新水平的路径是否存在;以及在控制互补性与中介机会的基础上,考察高铁网络通达性对城市间合作创新的影响。基于此,构建模型如(2)、(3)式所示:

$$\ln(relation)_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln(time)_{ij} + \alpha \ln X_{ij} + \delta_{ij} + \tau_t + \mu_{it} + \theta_{jt} + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

$$\ln(pat)_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln(time)_{ij} + \beta_2 \ln(relation)_{ij} + \beta_3 \ln(IO)_{ij} + \alpha \ln X_{ij} + \delta_{ij} + \tau_t + \mu_{it} + \theta_{jt} + \varepsilon_{ijt} \quad (3)$$

(2)式考察了高铁网络通达性对城市间相互关联的影响, $relation$ 代表城市间相互关联,分别为本文关注的城市间技术关联与市场关联;(3)式考察了在控制互补性与中介机会的基础上,高铁网络通达性对城市间合作创新的影响, IO 代表中介机会,其他变量及符号与基准模型保持一致。

1. 检验高铁网络通达性提升通过影响城市间技术关联促进合作创新

本文使用 Jaffe (1986) 的测算方法度量城市之间的技术关联,其本质为城市之间技术结

构的相似程度。使用不同城市申请专利所包含的技术类别构成表征其技术结构,并进一步度量城市间的技术关联,计算方法如(4)式所示:

$$tech_{ijt} = \frac{\sum_{k=1}^m F_{kit} F_{kjt}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m F_{kit}^2 \sum_{k=1}^m F_{kjt}^2}} \quad (4)$$

(4)式中: $tech_{ijt}$ 代表城市*i*与城市*j*在*t*年的技术结构相似系数,*k*代表专利类型,*m*代表专利类型的数量。使用国际专利分类(IPC)大类作为专利分类标准,研究范围内共有122个技术领域大类($m=122$); F_{kit} 与 F_{kjt} 分别代表*t*年城市*i*与城市*j*在*k*大类的专利申请数量,使用对应城市、对应技术领域的专利申请数量代入计算。技术结构相似系数取值在0—1之间,值越大代表城市间技术结构越相似,即技术关联程度越高。

将技术关联程度($tech_{ijt}$)加1取自然对数引入模型,估计(2)式,结果如表6第(1)列所示。结果显示,高铁网络通达性系数显著为正,说明当前高铁网络通达性提升会显著增进城市间的技术关联程度。已有大量研究证明,技术关联对城市间合作创新具有显著的促进作用,因为区域之间技术关联程度越高,沟通成本越低,新的技术和知识越容易吸收,越容易产生基于相似技术基础的合作创新(Paci et al., 2014)。因此,技术关联程度的提升是高铁建设促进城市间合作创新水平提升的路径之一,假设2a得到检验。

表6 互补性分析结果

	(1)	(2)
	ln $tech$	ln $invest$
ln $time$	0.0055* (0.0034)	0.1250*** (0.0212)
控制变量	是	是
城市对固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
城市×年份固定效应	是	是
Observations	113 604	102 421
Pseudo R^2	0.0149	0.3872

2. 检验高铁网络通达性提升通过影响城市间市场关联促进合作创新

本文使用不同城市企业间注册资本投资额度量城市间的市场关联。注册资本投资行为常常发生在母公司与子公司之间,也可能发生在具有上下游关系等产业关联的企业之间,能够反映城市间的市场关联。投资数据来源于2008—2019年中国工商企业注册数据库中的企业投资新增数据,该数据包含投资城市、被投资城市、投资金额等,本文将其中涉及的企业投资关系数据汇总到城市层面。由于本文考虑的合作创新不区分方向性,而投资行为包含从投资者到被投资者的方向关系,本文将城市间企业投资数额不区分方向地加总得到城市间的市场关联程度。具体来说,城市A与城市B之间的市场关联为城市A企业接受城市B企业注册资本投资数额与城市A企业向城市B企业注册资本投资数额的加总。

将市场关联程度($invest_{ijt}$)加1取自然对数引入模型,估计(2)式,结果如表6第(2)列所示。结果显示,高铁网络通达性系数显著为正,并且通过了1%的显著性检验,说明当前高铁网络通达性提升会显著增进城市间的市场关联程度。而市场关联程度的提升既能提供已有的信任基础,降低合作者的搜寻成本与合作风险,又能为创新成果产出后的市场化流通提供

支持,为合作创新行为的开展提供了极大的便利。因此,市场关联水平的提升是高铁网络通达性促进城市间合作创新水平提升的路径之一,假设 2b 得到检验。

3. 检验控制互补性与中介机会后高铁网络通达性促进城市间合作创新

根据中介机会理论,在一定距离内的空间相互作用与该距离内的竞争数量成反比 (Stouffer, 1940)。在本文的研究场景中,对于城市 A 与城市 B 的合作创新,到城市 A 或城市 B 的直线距离小于城市 A 与城市 B 之间直线距离的城市(本文称为“缓冲区城市”,见图 2)的创新能力越强,对城市 A 与城市 B 的合作创新的竞争能力越强。本文使用城市专利申请数量衡量城市创新能力,将缓冲区城市当年专利申请数量加总作为城市对 A-B 之间的中介机会,中介机会数值越大,意味着城市间合作面临的竞争越强,越不利于城市间合作创新。将中介机会(IO_{ijt})加 1 取自然对数引入模型,估计(3)式,结果如表 7 所示。结果显示,高铁网络通达性系数显著为正,分别通过了 10%和 1%的显著性检验,说明在控制了互补性与中介机会的基础上,高铁网络通达性提升仍然会显著增进城市间合作创新;互补性系数显著为正,技术关联与市场关联系数分别通过了 10%和 1%的显著性检验,说明城市间关联程度提升促进城市间合作创新;中介机会系数在统计学上不显著,说明在控制了通达性与互补性的基础上,中介机会不对空间相互作用的规模产生直接影响。

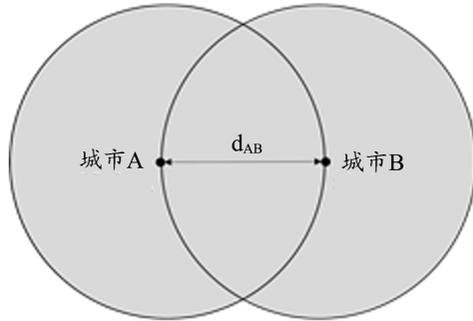


图 2 “缓冲区城市”范围示意图(阴影部分)

表 7 控制互补性与中介机会的分析结果

	lnpat	
	(1)	(2)
lnitime	0.0055* (0.0034)	0.1250*** (0.0212)
lnitech	0.3520* (0.1840)	
lninvest		0.0084*** (0.0022)
lnIO	0.0591 (0.0531)	0.0639 (0.0528)
控制变量	是	是
城市对固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
城市×年份固定效应	是	是
Observations	105 002	105 002
Pseudo R ²	0.4473	0.4474

(二) 异质性分析

1. 地理距离异质性

上文理论分析指出,地理距离影响着高铁网络通达性的作用。为探讨地理距离异质性,本部分对全部样本分组讨论。根据城市间的直线距离(d),分为600公里以内($d \leq 600$)、600—1 000公里($600 < d \leq 1\ 000$)和1 000公里以上($d > 1\ 000$)三组,回归结果如表8所示。结果显示,只有对于距离在600公里以内的城市对,核心解释变量系数为正,且通过5%的显著性检验,超过距离600公里的城市间,高铁建设带来的网络通达性提升不能显著促进城市间的合作创新。这说明高铁建设带来的时空压缩效应应在600公里内最为显著,也在这个区间内,高铁对其他出行方式的替代作用最为明显,本文分析结果与Lawrence等(2019)一致,假设3a得到检验。

表8 地理距离异质性分析结果

	lnpat		
	(1)	(2)	(3)
	$d \leq 600$	$600 < d \leq 1\ 000$	$d > 1\ 000$
lnitime	0.1340** (0.0586)	0.1880 (0.1660)	0.0270 (0.1540)
控制变量	是	是	是
城市对固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市×年份固定效应	是	是	是
Observations	29 740	19 799	39 800
Pseudo R ²	0.4521	0.4295	0.4287

2. 高铁城市与非高铁城市异质性

上文理论分析指出,高铁网络通达性对合作创新的促进作用在高铁城市与非高铁城市之间可能存在差异,本部分对此进行验证。结果见表9。

表9 高铁城市与非高铁城市异质性分析结果

	lnpat	
	(1)	(2)
lnitime	0.3070*** (0.0555)	0.3130*** (0.0551)
lnitime×hsr2	0.1850*** (0.0379)	
lnitime×hsr1	0.0882*** (0.0199)	
lnitime×hsr		0.0941*** (0.0189)
控制变量	是	是
城市对固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
城市×年份固定效应	是	是
Observations	105 002	105 002
Pseudo R ²	0.4474	0.4474

根据城市对中的城市是否为高铁城市,本文对城市对进行如下三类别的划分:两个城市均为高铁城市、仅有一个城市为高铁城市和两个城市均为非高铁城市,分别构建虚拟变量

$hsr2$ 和 $hsr1$ 。若城市对两个城市均为高铁城市,则 $hsr2$ 取 1,否则取 0;若仅有一个城市为高铁城市,则 $hsr1$ 取 1,否则取 0。在此基础上构建高铁网络通达性以及城市对属性交互项 $lnttime \times hsr2$ 和 $lnttime \times hsr1$,用以检验高铁城市与非高铁城市异质性,结果如表 9 第(1)列所示。结果显示,两个交互项系数均显著为正,且通过 1%的显著性检验,说明城市直接接入高铁网能够显著促进与其他城市合作创新水平的提升。其中, $lnttime \times hsr2$ 项系数绝对值更大,说明当两个城市均为高铁城市时,高铁网络通达性提升对城市间合作创新促进作用更强。

另外,表 9 第(2)列显示了加入交互项 $lnttime \times hsr$ 的估计结果,其中 hsr 表示城市对中高铁城市的数量,取值为 0、1、2。结果显示,系数显著为正且通过 1%的显著性检验,说明随着城市对中高铁城市数量的增加,高铁网络通达性提升对城市间合作创新促进作用更强,与表 9 第(1)列结果相吻合,假设 3b 得到检验。

六、结论与建议

2008 年以来,中国高铁建设迅猛发展,不仅改变了区域空间格局,也为中国经济发展赋予了新的活力,尤其对高铁沿线和直通城市提供了发展的强劲动力。现有研究主要从要素流动的视角分析了高铁对区域创新的促进作用,而且将这一过程视为瞬时的、短期的,仅考虑规模上的影响;然而城市间的合作创新本质上是城市间的互动行为,在要素流动以外,还需要城市间的技术和市场关联保证合作创新行为的发生。

本文基于中国 282 个地级及以上城市所组成的城市对的真实关系数据,以 2008—2019 年为研究期限,重点考察了高铁网络通达性对城市间合作创新的影响及其途径和异质性。在现有理论及实证研究的基础上,从技术关联和市场关联两个维度讨论了高铁网络通达性提升促进城市间合作创新的作用路径,并分别利用专利申请数据和企业投资数据测算了城市间的技术关联与市场关联,实证分析了高铁对城市间合作创新的作用路径。

本文的研究发现主要包括:(1)高铁网络通达性主要通过增进城市间的技术关联与市场关联促进城市间合作创新水平的提升。一方面,高铁网络通达性提升促进了城市间在人员、资本、创新活动等方面的交互,并发生基于现有技术基础的交流,根据累积学习过程,参与者与交互者共享更相似的技术基础,技术关联程度提升,增进合作创新的概率,共同进行新技术和新产品的创造;另一方面,高铁网络通达性提升带来的城市区位优势提升以及贸易成本降低极大增进了与其他城市间的市场关联,这为城市间的合作创新提供了良好的信任基础与风险共担机制,有利于合作创新行为的发生。(2)高铁网络通达性对城市间合作创新的影响存在显著的异质性。一方面,随着地理距离的增加,高铁带来的出行成本优势下降,研究发现,在 600 公里范围内高铁对其他出行方式的替代作用较为显著,促进城市间合作创新的提升;另一方面,城市是否开通高铁极大影响了要素流动的便利性,随着城市对中高铁城市数量的增加,高铁网络通达性提升对城市间合作创新促进作用随之增强,当两个城市均为高铁城市时,促进作用最强。

本文研究有利于客观分析高铁带来的创新效益,具有如下政策启示:(1)做好高铁沿线城市分工,实现创新效益最大化。高铁网络通达性提升会在一定程度上使得城市间技术结构趋同,在便利的交通条件下更容易造成创新效益较好的城市对另一方创新资源的“虹吸作用”。因此,应强化高铁沿线城市间的分工合作,发挥地区比较优势,实行差异化的创新发展策略。(2)完善高铁线路空间布局,充分发挥高铁对区域创新格局的配置作用。高铁网络通

达性提升能够为城市带来显著的区位优势,目前东部地区高铁线路和车次密度均远高于中西部地区,创新资源流动重心明显东移,呈现出非平衡分布的格局。因此,应完善高铁线路布局,尤其缩短中小城市到区域中心城市的时间距离,更有助于共享创新资源,提升区域创新效益。(3)辩证看待高铁创新效益,重视城市内部发展建设。在高铁常态化的背景下,开通高铁不应当作为城市经济发展与社会建设的唯一依托,高铁建设带来的创新效益对地理距离以及城市属性等因素反应敏感,在搜寻创新合作伙伴时,也应当从技术关联、市场关联等角度评估合作成本,追求创新效益最大化。

参考文献:

- 1.白俊红、王钺、蒋伏心、李婧,2017:《研发要素流动、空间知识溢出与经济增长》,《经济研究》第7期。
- 2.卞元超、吴利华、白俊红,2019:《高铁开通是否促进了区域创新?》,《金融研究》第6期。
- 3.郭进、白俊红,2019:《高速铁路建设如何带动企业的创新发展——基于Face-to-Face理论的实证检验》,《经济理论与经济管理》第5期。
- 4.何凌云、陶东杰,2020:《高铁开通对知识溢出与城市创新水平的影响测度》,《数量经济技术经济研究》第2期。
- 5.刘军,2007:《QAP:测量“关系”之间关系的一种方法》,《社会》第4期。
- 6.马光荣、程小萌、杨恩艳,2020:《交通基础设施如何促进资本流动——基于高铁开通和上市公司异地投资的研究》,《中国工业经济》第6期。
- 7.乔彬、张蕊、雷春,2019:《高铁效应、生产性服务业集聚与制造业升级》,《经济评论》第6期。
- 8.孙伟增、牛冬晓、万广华,2022:《交通基础设施建设与产业结构升级——以高铁建设为例的实证分析》,《管理世界》第3期。
- 9.谭志雄、邱云淑、李后建、韩经纬,2022:《高铁开通、人才流动对区域创新的影响及作用机制》,《中国人口·资源与环境》第8期。
- 10.王春杨、兰宗敏、张超、侯新烁,2020:《高铁建设、人力资本迁移与区域创新》,《中国工业经济》第12期。
- 11.王岳龙、袁旺平,2023:《地铁开通、协同合作与企业创新》,《经济评论》第6期。
- 12.徐德英、韩伯棠,2015:《地理、信息化与交通便利邻近与省际知识溢出》,《科学学研究》第10期。
- 13.易巍、龙小宁、林志帆,2021:《地理距离影响高校专利知识溢出吗——来自中国高铁开通的经验证据》,《中国工业经济》第9期。
- 14.章韬、冷玉婷、杨佳妮,2023:《市场关联与价格黏性:来自城市间航班价格的证据》,《世界经济》第3期。
- 15.周文韬、杨汝岱、侯新烁,2021:《高铁网络、区位优势与区域创新》,《经济评论》第4期。
- 16.Balland, P. A., R. Boschma, and K. Frenken. 2015. “Proximity and Innovation: From Statics to Dynamics.” *Regional Studies* 49(6):907-920.
- 17.Baum-Snow, N., L. Brandt, J. V. Henderson, M. A. Turner, and Q. Zhang. 2017. “Roads, Railroads, and Decentralization of Chinese Cities.” *Review of Economics and Statistics* 99(3):435-448.
- 18.Button, K. 2012. “Is There Any Economic Justification for High-speed Railways in the United States?” *Journal of Transport Geography* 22: 300-302.
- 19.Cairncross, F. 2001. *The Death of Distance: How the Communications Revolution Is Changing Our Lives*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- 20.Chang, S. E. 2004. “Transportation Geography: The Influence of Walter Isard and Regional Science.” *Journal of Geographical Systems* 6(1): 55-69.
- 21.Dong, X., S. Zheng, and M. E. Kahn. 2020. “The Role of Transportation Speed in Facilitating High Skilled Teamwork across Cities.” *Journal of Urban Economics* 115, 103212.
- 22.Hanley, D., J. Li, and M. Wu. 2022. “High-speed Railways and Collaborative Innovation.” *Regional Science and Urban Economics* 93, 103717.
- 23.Jaffe, A. B. 1986. “Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms’ Patents, Profits and Market Value.” *American Economic Review* 76(5):984-1001.
- 24.Květoň, V., J. Novotný, J. Blažek, and D. Marek. 2022. “The Role of Geographic and Cognitive Proximity in

- Knowledge Networks: The Case of Joint R&D Projects.” *Papers in Regional Science* 101(2): 351–372.
25. Lauvås, T., and M. Steinmo. 2021. “The Role of Proximity Dimensions and Mutual Commitment in Shaping the Performance of University–industry Research Centres.” *Innovation* 23(2): 182–208.
26. Lawrence, M., R. Bullock, and Z. Liu. 2019. *China’s High-Speed Rail Development*. Washington, DC: The World Bank Group.
27. Ma, H., and X. Xu. 2023. “The Effects of Proximities on the Evolving Structure of Intercity Innovation Networks in the Guangdong – Hong Kong – Macao Greater Bay Area: Comparison between Scientific and Technology Knowledge.” *International Journal of Urban Sciences* 27(3): 390–413.
28. Micek G. 2020. “Studies of Proximity in Coworking Spaces: The Basic Conceptual Challenges.” *European Spatial Research and Policy* 27(1): 9–35.
29. Paci, R., E. Marrocu, and S. Usai. 2014. “The Complementary Effects of Proximity Dimensions on Knowledge Spillovers.” *Spatial Economic Analysis* 9(1): 9–30.
30. Silva, J. S., and S. Tenreyro. 2006. “The Log of Gravity.” *The Review of Economics and Statistics* 88(4): 641–658.
31. Stouffer S. A. 1940. “Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance.” *American Sociological Review* 5(6): 845–867.
32. Ullman, E. L. 1957. *American Commodity Flow*. Seattle: University of Washington Press.
33. Vickerman, R. 2017. “Beyond Cost–benefit Analysis: The Search for a Comprehensive Evaluation of Transport Investment.” *Research in Transportation Economics* 63: 5–12.
34. Wang, J., and S. Cai. 2020. “The Construction of High-speed Railway and Urban Innovation Capacity: Based on the Perspective of Knowledge Spillover.” *China Economic Review* 63, 101539.
35. Wang, Y., G. Cao, Y. Yan, and J. Wang. 2022. “Does High-speed Rail Stimulate Cross-city Technological Innovation Collaboration? Evidence from China.” *Transport Policy* 116: 119–131.
36. Yao, L., and J. Li. 2022. “Intercity Innovation Collaboration and the Role of High-speed Rail Connections: Evidence from Chinese Co-patent Data.” *Regional Studies* 56(11): 1845–1857.

How High-speed Rail Network Promotes Inter-city Collaborative Innovation? Empirical Analysis Based on High-speed Rail Network Accessibility and Co-patents

Lyu Shuang, Sun Tieshan and Zhang Hongming
(School of Government, Peking University)

Abstract: This paper uses the panel data of city pairs composed of 282 prefecture-level and above cities in China from 2008 to 2019 to establish databases on rail travel time and inter-city co-patents, respectively, to examine the effects of HSR network accessibility on promoting inter-city collaborative innovation based on spatial interaction theory. The study indicates that HSR network accessibility enhances inter-city collaborative innovation output. From the perspective of city linkages, HSR network accessibility contributes to inter-city collaborative innovation output by promoting technological and market linkages between cities. However, variations exist in the promoting impact of HSR network accessibility on inter-city collaborative innovation, based on geographical distance between cities and direct access to HSR network. The findings of this paper provide policy reference for improving the regional innovation pattern and the division of labor among cities along HSR lines.

Keywords: High-speed Rail, Network Accessibility, Inter-city Collaborative Innovation, Technological Linkage, Market Linkage

JEL Classification: R11, O30, R41

(责任编辑:惠利、陈永清)