

高速铁路对中国省际知识溢出的影响

——基于空间计量模型的实证分析

叶 翀, 邵 博

(福州大学 经济与管理学院, 福州 350116)

摘要: 基于文献综述探究高速铁路对知识溢出的影响机理, 利用2003—2020年中国30个省(自治区、直辖市)(考虑到数据的可获得性和有效性, 研究样本不包括海南省以及港澳台地区。)的专利面板数据, 通过莫兰指数(Moran's I)对中国知识产出的空间集聚特征进行刻画, 并构建空间计量模型实证研究高速铁路对中国省际知识溢出的影响效应及溢出距离。研究发现: ①专利空间布局从2008—2015年呈现出空间集聚性, 且该集聚性不断增强, 2015年后集聚性逐渐趋于平缓; ②高速铁路对省际知识溢出具有显著正向影响, 且该影响正在随着铁路网络的完善而不断增强; ③高速铁路对省际知识溢出的影响存在一定距离限制, 具体而言, 2012年中国高速铁路限制距离为2096千米, 误差范围不超过 ± 29 千米; 2017年有效限制距离为2188千米, 误差范围不超过 ± 63 千米, 且随着高速铁路的发展, 预计该限制距离将会逐年增大。基于研究结论, 提出了合理促进高速铁路和知识溢出协同提升和均衡发展的对策建议。

关键词: 高速铁路; 知识溢出; 专利; 空间计量模型; 知识生产函数

中图分类号: F592.99; F207 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2022)6—0031—13

一、引言

21世纪社会最大的生产力就是“科技”, 当前, 中国自主创新能力不断提高, 世界知识产权组织(WIPO)发布的《2020年世界知识产权指标报告》显示, 中国国内外发明专利申请总数超过140万件, 为全世界发明专利申请数量第一大国, 但从整体质量而言, 较发达国家相比还有较大差距。且中国幅员辽阔, 各省份经济发展水平差距较大, 东西部发展不均, 沿海地区整体经济发展较好, 生产力水平较高, 中西部地区及东北地区发展相对滞后, 导致区域间知识创新的落差较大。

高速铁路作为新型交通工具在中国快速发展, 极大地改善了现有的交通方式, 这种改变将同样从地理空间上间接地影响中国区域知识溢出。从2008年开始, 中国高速铁路的快速发展, 交通基础设施的发展大幅降低了区域之间的通行时间成本和经济成本, 提升了区域之间的流通效率, 加速了区域间生产要素的流动, 对解决中国区域发展不平衡和拉动中国内生经济发展具有重要作用。高速铁路网的建设更加完善了中国交通运输网络, 推动人力、资本和技术等要素在更广的范围内优化配置, 加强区域间的联系。高速铁路对不同地区、不同距离的知识溢出的影响程度是“一致”亦或是“差异”? 如何实现大城市和中小城市之间知识溢出的协同发展? 适合中国的最优知识溢出距离是多少? 这些问题关系着国民经济发展, 亟需研究和解决。

本文从知识创新的角度, 基于地理空间经济理论, 深入阐述了高速铁路对知识溢出的影响机理。同时, 从全国30个省(自治区、直辖市)^①出发, 结合空间滞后模型和知识生产函数, 计量研究高速铁路对省际知识溢出的影响及其影响程度和范围。有助于解释铁路沿线区域发展社会的发展, 对于完善区域系统创新体系、加快中国经济社会建设现代化和区域发展一体化都有较大的现实意义。

二、文献回顾

高速铁路对区域发展的作用主要有三种观点, 一种认为高速铁路对区域发展的影响并不明确, 且高速铁

收稿日期: 2021-07-05

基金项目: 国家社会科学基金“中国高速铁路建设对区域经济发展的影响研究”(19FJYB043); 福建省创新战略基金项目“高速铁路网络对福建省区域知识溢出的影响研究: 基于空间异质性的视角”(2021R0019)

作者简介: 叶翀, 博士, 福州大学经济与管理学院教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 区域经济; (通讯作者)邵博, 福州大学经济与管理学院研究助理, 研究方向: 物流管理, 区域经济。

① 考虑到数据的可获得性和有效性, 研究样本不包括海南省以及港澳台地区。

路对区域发展的影响存在时间滞后效应和间接促进作用,时间滞后效应的时间点难以把握,间接促进作用更是难以衡量。Brons et al(2009)认为高速铁路基础设施的高投入并不能直接证明会带来发展效益。Vickerman(2018)表明运输基础设施本身对发展不可能达到变革性的效果,还需要相关的政策措施配合。另一种观点认为高速铁路对区域发展的增长具有推动作用。Blum et al(1997)认为铁路加快沿线城镇化进程,促进城镇经济规模的扩张。还有一种观点认为高速铁路并未促进区域发展的增长,反而抑制了区域经济的发展。Mitchell(1964)在《铁路与美国经济增长》中提出“除非该地区经济发展的需要,否则交通基础设施本身并不会产生多大的作用”,Puga(2008)也认为高速铁路使大城市受益而小城市会受损,从而加剧了区域之间的不平衡。关于高速铁路对区域经济的影响机制方面,尽管不同学者研究有所出入,但基本是从改变可达性和改变经济结构两个方面分析,已有众多国内外学者采用不同的方法对其进行了研究。Clark(1999)构建著名的可达性势模型(accessibility-potential model)并且从旅行时间的角度,认为高速铁路通过缩短两地的旅行时间从而降低工业成本。Levinson和Zhao(2012)认为高速铁路带来旅行时间的减少是高速铁路对经济影响最重要最直接的因素。Ahlfeldt和Feddersen(2015)验证了德国法兰克福—科隆高速铁路开通后对沿线区域经济的影响。Li和Xu(2018)等以日本新干线为例研究了高铁与城市劳动力的相关性,发现高铁加快了沿线城市间的劳动力流动,推动劳动力向中心城市的服务业和制造业聚集。Hall(2009)则认为高铁建设对于区域劳动力和生产要素的流动起到了重新配置的作用,使得要素资源可以从中心城市向周边城市扩散流动。随着我国高铁网络的建设完善,国内关于高速铁路对区域发展的研究也成为热点之一。李红昌等(2016)通过构建双重差分计量模型发现,高速铁路对空间经济的影响具有连锁效应,由最初的可达性变化引起集聚租金的变化,在此基础上引发城市经济与空间集聚的变化,对城市经济和空间集聚变化具有重要影响。林晓言等(2010)通过构建“有无高速铁路”的方式,利用灰色预测模型来定量分析高速铁路对区域经济的影响。段晓晨和孙敬(2014)评价高速铁路对区域环境的影响时借鉴了系统动力学方法,其评估结果可以作为政策制定的重要参考指标。孙学涛等(2020)通过构建空间计量模型(SARAR模型)研究高铁建设对城市经济增长的影响,发现高铁建设对中国城市经济的影响存在空间溢出效应,有利于促进城市经济的发展;李昊等(2020)将高铁建设分为纵贯、横贯和延伸三个阶段,构建空间杜宾模型研究高铁建设对中国四大区域实体经济的空间溢出效应;黎绍凯等(2020)通过构建“反事实”框架的Differences-in-Differences(DID)模型研究了高铁发展对中国产业结构转型升级的因果效应,证实高铁的开通推动了区域产业结构转型升级的进程;马红梅和郝美竹(2020)以粤桂黔高铁经济带为例,通过构建DID模型研究高铁对城市旅游业和经济发展的影响,证实高铁的建设促进了沿线欠发达地区的旅游业和经济发展;杨珩和佟琼(2020)通过构建DID模型研究京沪高铁对沿线城市区域公平的影响,发现京沪高铁促进了沿线城市经济的增长,加速了区域劳动力和人才的流动速度,但对城市间的经济公平产生了不利的影响;王方方和李香桃(2020)基于粤港澳大湾区城市间的高铁班次数据研究其对于城市群经济结构的影响,发现高铁建设加强了粤港澳大湾区城市之间的经济联系,对于缩小收入差距、改善经济结构具有积极意义。林晓言和李明真(2020)等研究了高铁开通对于城市科技创新的影响,研究表明高铁开通和服务强度的增加可以有效提高区域科技创新水平,相较而言,此效应对于区域中心城市的促进效果更加明显。

知识溢出对于区域经济发展,尤其是区域技术创新的发展尤为重要。Polanyi(1958)首次提出知识的显性和隐性的概念,Arrow(1962)随后阐明了知识的累积过程及其经济涵义,至此知识溢出的概念在学术界诞生。Romer(1986)明确指出,技术知识的非竞争性和部分排他性特征是知识溢出生成的根本原因,并将知识作为独立要素引入生产函数,建立了知识溢出的内生增长模型,使用Griliches-Jaffe知识生产函数分析知识生产与溢出。对企业层面而言,科学研究与试验发展(research and development, R&D)投入产出之间并无显著性关系,考虑到知识生产的外部性,这种关系在城市和区域等更广泛范围则表现出了较强显著性,由此判断将企业作为知识溢出的研究对象并不合适(Audretsch和Feldman,1996)。在此背景下,众多学者转向知识溢出的空间性研究,在区域间探讨知识溢出的机制。众多研究者从专利引用、创新产出、创新活动空间分布等不同角度论证了知识溢出的存在性和可度量性,并探讨了知识溢出在促进集聚和推动创新过程中的作用机理(Audretsch和Feldman,1996;Zoltan et al,1999)。关于知识溢出的机理及方法,主要是测度投入产出、全要素生产率(total factor productivity, TFP)或在Cobb-Douglas生产函数基础上利用回归分析、数据包络分析等方法进行间接测量。Jaffe(1986)提出利用专利申请数量作为知识溢出的度量,其实用性和可靠性引起了较大的争议。Nelson(2009)将公开发表论文数量、专利引用数量和技术许可数量三个指标分别作为知识溢出

的测量值进行对比,建议构建一个包含多指标的指标体系对知识溢出进行测量。Caves(1974)首次通过经济学模型实现对知识溢出的测度,以劳动生产率为被解释变量来构建知识溢出模型,开创了用经济数据衡量知识溢出的先河。Grossman 和 Helpman(1991)提出的“创新驱动”增长理论模型,从知识溢出带动 GDP 增长角度构建回归函数测量知识溢出。Grossman 和 Helpman(1995)又在“创新驱动”增长模型基础上提出了 R&D 溢出模型,将全要素生产率作为被解释变量,验证了知识溢出对经济发展的作用。

近年来有关高速铁路和知识溢出相关方面的研究呈指数型增长,但通过对已有文献梳理发现,现阶段研究大多基于两个相互独立的视角,尽管已有相关研究做出了较大贡献,但是有关高速铁路对知识溢出影响方面的理论基础仍较为薄弱。现有关于高速铁路及可达性对知识溢出的影响方面的研究仅仅是研究某一条铁路线对一个区域的影响,很难排除其他因素如政策、经济、环境等的影响。高速铁路与知识溢出方面研究中知识溢出的衡量并没有很好的解决方案。

为了解决上述缺陷,本文在总结和借鉴以往研究的基础上,将从整体的大环境角度去分析高速铁路建成前后对知识溢出的影响,避免考虑因素不全和未考虑其他铁路网的影响等缺陷,在知识溢出的衡量方法上选择广泛获得学术界认可的生产函数法,使数据获取和衡量上尽可能精准。相对以往研究,本文主要从以下几点进行了拓展:第一,在研究高速铁路对区域知识溢出的影响机理时,借鉴物理学中热传导理论与知识溢出路径进行类比,从理论层分析高速铁路分别对三种溢出路径的影响。第二,在研究全国 30 个省(自治区、直辖市)(不包括海南省和港澳台地区)知识溢出时,设置阈值构造判断矩阵,按照标准半径切割形成 6 大溢出区域,分别验证各区域内高速铁路对区域知识溢出的影响,确定区域后再运用二分法再次切割区域进行验证,最终精确得出高速铁路对区域知识溢出的影响有效距离。第三,在构造高速铁路的知识溢出变量时运用了改进的引力模型,同时考虑了时间距离、直线距离和邻近距离三个方面,与知识溢出的机理更为贴切,使得本文指标选取和模型分析更为科学合理。

三、高速铁路对知识溢出的影响机制及演变

科学技术作为第一生产力在经济发展中扮演着重要作用,而中国区域发展不平衡,南北差异大,知识在区域间相互传播路径错综复杂,形式多样化,知识在区域间的溢出渠道也有多种情况。以孙兆刚(2006)提出的三种知识溢出路径,即传导路径、对流路径和辐射路径为框架梳理知识以高速铁路为载体在省域间的溢出行为,如图 1 所示。

高速铁路对知识溢出传导路径的影响。类似于物理热传导中热量从温度高的地区通过载体传导到温度低的地区,知识溢出的传导路径表示知识从存量高的区域流向存量低的区域,主要依靠跨区域投资或引进知识含量较高的技术设备而发生。其中知识存量高的区域与知识存量低的区域之间形成的落差称之为“势差”,势差越大,区域间的知识溢出效应越大。而高速铁路网络的快速发展,改变了现有的时空结构,大幅度缩短了时空效应,减少了两地之间的通行时间,使得区域之间的空间距离在时间上得到了缩短,拉近了两地之间的距离。因为空间距离不再是知识溢出的限制,区域之间便开始了异地投资和异地就业等情况,同时,完善的高速铁路站点配套设施也会吸引大量高新企业及现代制造业的集聚,为培育良好的创业和就业环境奠定基础。高速铁路网络的建设,直接加速了区域间的知识传导。

高速铁路对知识溢出对流路径的影响。类似于热传递中的热对流,知识溢出的对流路径是指知识存储量高的区域和知识存储量低的区域之间,通过某种非特定载体的循环实现区域之间的知识交换达到均衡。这种非特定载体通常是指商品、信息和资本等

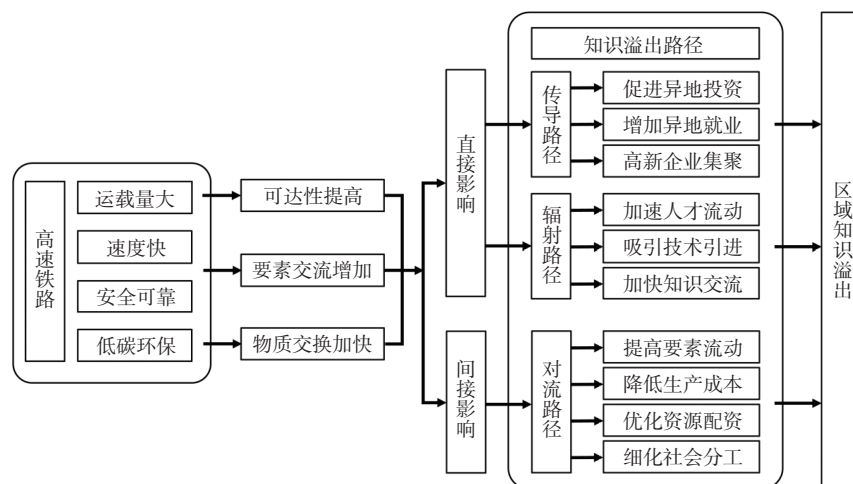


图 1 高速铁路对知识溢出的影响机制

资源要素,其区域间的流动带动知识的相互渗透。一方面,高速铁路的开通改善了区域发展条件,通达性的提升带动了区域商流、物流、信息流等各种资源要素的涌入与流出,从而带动整个区域商品、信息等加速交换,间接为区域知识溢出创造了有利条件;另一方面,高速铁路开通缩短了区域之间的未来时间,使企业在竞争中获得时间上的优势,降低了企业的运营成本。而且通过高速铁路这种交通方式,劳动力、资金等关键要素的流动也为企业的发展增加了机会。生产要素的流动性加快,通过“有形的手”和“无形的手”的结合,使资源配置更加优化与合理,社会分工趋于细化和专业化,间接地促进对邻近区域的知识溢出。

高速铁路对知识溢出辐射路径的影响。物理热传递中的热辐射不依赖任何介质,必定会向外散发热量。同样,在知识溢出中,无论知识存量高低,任何区域的知识创新成果都会向其他区域不断扩散,该创新成果所包含的价值越大,所传播的距离将会越远,并且,该种传播方式不依赖任何载体,而是通过接受者或模仿者的观察学习而来。高速铁路的开通缩短了区域之间的时空距离,促进区域间的人才流动,欠发达地区对人才的吸引力开始增强。高速铁路加快了区域间人的流动,有益于区域间劳动者知识的获取和企业先进技术的引进。同时,高速铁路速度快而载客量大的特点,极大地提高了区域间的运输能力。高运载能力加速了区域间人员流动,两个知识存储单元之间人员的流动速度提高,交流频率加快,使得知识在原有主体间的传播速度加快,区域间的知识溢出效应更大。高速铁路的建设,直接带动了区域间知识由中心向外围辐射。

因为高速铁路运行速度快、运载量大和安全可靠等特点,高速铁路网络将重塑现有的区域空间结构,带来了“时空收缩”效应。这种效应极大的加速了区域间的交流,促进了区域间的商贸网络和知识交流的加速,使得邻近地区异地消费和异地就业成为可能,极大地激发了原有的经济活力,改变了原有的知识创新投入产出方式,加速了区域间的知识溢出效应,扩大了知识溢出的辐射范围。高速铁路网络的发展,从理论推测会加速远距离知识溢出的效应,本研究分别从高速铁路建设前,部分高速铁路开通时,和高速铁路网建设完备三种情况下,阐述知识溢出由邻近到远距离的演变轨迹,其演变过程如图 2 所示。

在未建设高速铁路之前,各省份之间的主要通行方式是普通铁路和公路,但针对远距离省份之间普通铁路和公路通行时间长,交通效率低下。此时,依靠交通带动远距离的知识溢出发生效率低下,知识溢出的主流形式是在邻近的省份之间发生,如图 2 中高速铁路建设前阶段所示,中心省份到邻近省份之间的知识溢出效应发生相对较频繁,邻近省份之间的知识交流频率也较高,但中心省份到远距离省份之间的知识溢出效应较低,远距离省份之间的知识交流相对缺乏。这种省际知识溢出主要的限制因素是距离,随着两省之间距离的增加,知识溢出效应在不断减小。

在部分省份间开通高速铁路后,省份间通行效率大幅提高,高铁缩短了两个省份之间的“时空效应”,异地置业,跨省上班,双城生活等现象开始出现。两省份之间的人力、资本和知识等要素的交流相对过去更加频繁,此时开通了高速铁路的省份之间的远距离知识交流效应得以提高,如图 2 中高速铁路局部开通阶段所示,已开通高速铁路的省份开始出现大规模的远距离知识溢出,且其他已互通高铁的省份间知识交流显著提高。随着高速铁路的快速发展和完善,区域间的远距离知识溢出效应将不断得到增强,并逐步超越邻近省份之间的邻近知识溢出效应。此时,开通高铁的省份知识溢出辐射效应更强,扩散范围也将更广,并且远距离知识溢出效应显著性将不断增强,而邻近知识溢出效应的影响可能会不断减弱。

当大规模高铁网络建成之后,相较于过去交通效率得到了极大的提高,此时省份间的交流频率将较少受制于地理空间因素的限制,空间的时间距离将会成为区域间要素流动的新障碍。这种状态下的知识溢出效应如图 2 中高速铁路网络建设完成阶段所示,此时地理距离导致的邻近知识溢出已经不再具有主导地位,中心省份对所有邻近省份和远距离省份均能产生远距离知识

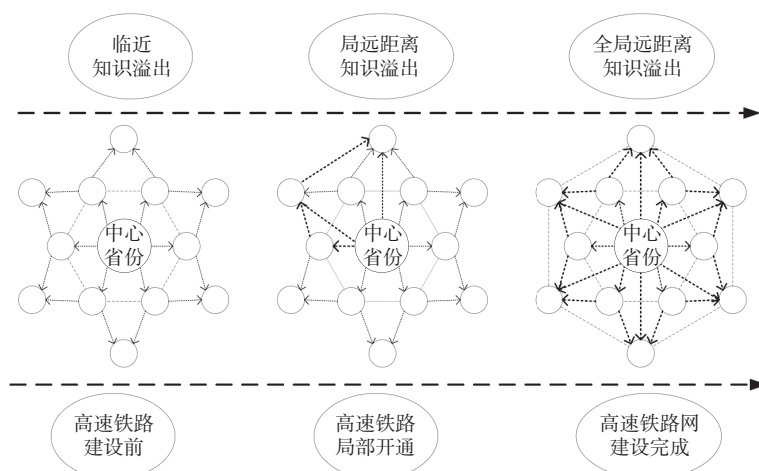


图 2 高速铁路对省际知识溢出影响的演变过程

溢出,且整体而言远距离知识溢出效应较邻近知识溢出效应要强得多。此时基于地理空间距离的知识溢出效应从全局角度而言已经不再显著,基于铁路旅行时间的知识溢出效应显著性将会不断得到增强。尽管“高速铁路网络建设完成后”是较理想状态,但随着中国铁路网络的发展,将会不断向这种趋势靠近,对这种状态的研究也具有一定的现实意义。

上文梳理了知识以高速铁路为载体在省域间的溢出行为路径及其演变,通过对已有研究的整理归纳,结合我国高速铁路建设规划,以及知识产出增量、研发投入和知识产出空间布局的发展轨迹,可以发现高速铁路的发展可以一定程度上促进知识产出增长和知识溢出。但现实中由于涉及众多区域和因素,高速铁路对不同地区、距离的知识溢出的影响程度仍是未知的。基于此,本文将运用空间计量模型,进一步验证高速铁路对知识溢出的影响及其影响程度和范围。

四、模型构建与变量选取

上文从知识创新的角度,梳理了知识以高速铁路为载体在省域间的溢出行为路径及其演变,深入阐述了高速铁路对知识溢出的影响机理。基于此,继续选取全国30个省(自治区、直辖市)(不包括海南省和港澳台地区)的专利数据,构建知识生产函数和空间计量模型,进一步实证检验高速铁路对知识溢出的影响及其影响程度和范围。

(一)空间自相关检验

利用空间计量模型研究经济问题前,应检验变量的空间相关性,只有变量空间自相关,才适用空间计量模型。空间自相关是指一些变量在同一个分布区内的观测数据之间潜在的相互依赖性。其目的是分析某些变量是否存在空间的关联性及其关联程度如何,选择Moran's I 分析区域知识自相关特征。其具体公式为

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

其中: I 为Moran's I 分析值,取值为 $[-1, 1]$,该值越接近1表示空间集聚度越高,越接近-1表示空间分散度越高,越接近0表示空间随机性高; n 为样本总体数量,取样本 n 为30; w_{ij} 为区域 i 到区域 j 的权重; x_i, x_j 均为指标观测值, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

(二)空间权重矩阵

本文重点研究高速铁路通过产生“时空收缩”效应加速省际知识溢出的问题,以高速铁路产生的“时空收缩”效应和各省份的知识存量构建分析变量,研究知识溢出的演变。其中所涉及的“时空收缩”效应是本文重要的中间变量,采用空间权重矩阵来衡量“时空收缩”效应的变化。本文的空间权重矩阵将分别从空间邻近距离矩阵、空间直线距离矩阵、空间时间距离矩阵三个维度进行分析。

(1)空间邻近距离矩阵。通常一阶邻近矩阵分为“车”相邻矩阵、“象”相邻矩阵和“后”相邻矩阵,由于省域之间的邻近一般为“车”相邻模型,故选择一阶邻近矩阵为“车”相邻矩阵。其公式为

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{区域}i\text{和区域}j\text{相邻} \\ 0, & \text{区域}i\text{和区域}j\text{不相邻} \end{cases} \quad (2)$$

(2)空间直线距离矩阵。空间直线距离矩阵则采用省份之间的直线距离衡量其权重,以省会城市几何中心间距离为省会间直线距离,当省域间直线距离越大,其所占权重越小,采用Varga(2006)论证的逆指数衰减函数来反映权重矩阵,并且其衰减系数选取-0.17。公式为

$$w_{ijd} = \exp(-0.17, d_{ij}) \quad (3)$$

其中: d_{ij} 为区域 i 和区域 j 之间的直线距离。

(3)空间时间距离矩阵。空间时间距离矩阵采用省域之间通行所需铁路时间衡量其权重,当省域之间开通高速铁路,该通行时间为高速铁路通行时间,若未开通高速铁路,则选择普通铁路旅行时间作为通行时间。空间时间距离矩阵采用负指数权重矩阵体现,公式为

$$w_{ijt} = \frac{e^{-\beta d_{ij}}}{\sum_{j=1}^n e^{-\beta d_{ij}}} \quad (4)$$

其中： w_{ijt} 为第 t 年区域 i 到区域 j 占区域 i 的比重； d_{ij} 为第 t 年区域 i 到区域 j 的通行时间； β 为逆指数系数，本研究发现取 0.1 时数据波动较小，故 β 为 0.1。

将运用空间邻近距离、空间直线距离和空间时间距离检验高速铁路对知识溢出是否存在影响；在高速铁路对知识溢出存在显著影响的情况下，本文将采用空间直线距离门槛的空间时间距离矩阵分析不同有效距离下高速铁路对知识溢出的影响。门槛效应下的空间时间距离矩阵将按照切割后的溢出区域，在 $(0, 500)$ 、 $(0, 1000)$ 、 $(0, 1500)$ 、 $(0, 2000)$ 、 $(0, 2500)$ 、 $(0, +\infty)$ 的切割半径下构建铁路旅行时间距离矩阵，当两省份之间的距离在门槛半径之内，其时间距离值为上述空间时间距离矩阵 W_{Tt} 的权重变量中旅行时间权重值，当两省份之间距离大于门槛半径，其时间距离权重为 0。公式为

$$w_{ijtM(\text{limit})} = \begin{cases} w_{ijt}, & 0 < d_{ij} \leq M \\ 0, & d_{ij} \geq M \end{cases} \quad (5)$$

其中： $w_{ijtM(\text{limit})}$ 为第 t 年区域 j 对区域 i 的在直线门槛 M 下的空间时间距离权重； M 为切割的溢出有效区域的最大标准半径值。

(三) 知识生产函数模型

知识溢出的存在性早已得到了理论界的广泛认可，国内外学者也在为知识溢出的测量做着不懈努力。本文选取知识生产函数 (knowledge production function, KPF) 作为测度知识溢出的方法。其中 Griliches-Jaffe 模型广受学术界认可，其所需数据均能通过可靠渠道获取，且该模型经过了丰富的实证检验，具有较大可信度。故本文研究知识溢出选择 Griliches-Jaffe 知识生产函数模型。

然而 Griliches-Jaffe 模型亦存在明显缺陷，即并没有直接体现知识溢出指标函数，且没有考虑区域知识存量对知识产出的影响。为克服该缺陷，将 Griliches-Jaffe 模型与上述改进的区域空间误差模型相结合，形成新的空间误差知识生产函数模型。其公式为

$$\ln Q_{it} = \rho \ln W \times S + \alpha \ln K_{it} + \beta L_{it} + \rho \ln S_{it} + \varepsilon \quad (6)$$

其中： Q_{it} 为第 t 年区域 i 的知识产出； W 为空间权重矩阵； S 为研究省份之外的其他省份内知识存量； K_{it} 为第 t 年区域 i 的 R&D 资金投入； L_{it} 为第 t 年区域 i 的 R&D 研发人员全时当量； S_{it} 为第 t 年区域 i 的知识累计存量； ρ 为知识空间溢出系数，当 ρ 为正且呈现显著性时，为知识对该地区具有虹吸效应，当 ρ 为负且呈现显著性时，为知识对该地区具有溢出效应； α 为知识折旧率，参考 Okubo et al (2006) 和 Mancusi (2008) 的研究，选取年折旧率为 15%； β 为对应指标回归系数； ε 为随机误差。

(四) 空间计量模型

为进一步研究高速铁路对区域知识溢出的影响，参照贾善铭和覃成林 (2014)、李红昌等 (2016)、林晓言等 (2010)，结合空间计量模型与知识生产函数，构建空间计量模型，常见的基础空间计量模型有空间滞后模型 (SLM)、空间误差模型 (SEM) 和空间杜宾模型 (SDM)。其中空间滞后模型更偏重于研究同一时间内，区域之间相互作用的关系，适合于估计是否存在空间相互作用及空间相互作用的强度，以反映可能存在的实质性的空间影响。而空间误差模型是随机干扰项具有相关性的回归的特例，在空间误差模型中，机构或区域间的相互作用关系通过随机干扰项来体现，但相互关系并非是研究的重点对象，不能在回归中体现出来。故选择空间滞后模型作为区域知识溢出的空间计量模型。但该模型并未考虑到前期知识积累对现有知识产出的影响，借鉴 Murata et al (2014) 研究，在空间滞后模型的基础上做出一定改进，使得该模型对实际知识溢出分析更具有解释力，避免了截面数据的片面性。改进后的模型公式为

$$Q_{it} = \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \times S_{jt} + \beta X_{it} + \varepsilon; S_{it} = Q_{it-1} + (1 - \alpha) S_{it-1} \quad (7)$$

其中： w_{ij} 为区域 i 到区域 j 的距离权重； ρ 为知识空间溢出系数； X 为知识创新投入变量； Q_{it-1} 为第 $t-1$ 年区域 i 的知识产出； S_{it-1} 为第 $t-1$ 年区域 i 的知识累计存量；又由于本文的研究时间为 2003—2020 年，故选取 2003 年作为专利的初始增长年份，2003 年之前的知识基础采用李佺忆 (2017) 的估计方法。估计公式为

$$S_{i2003} = (1 + k)(k + \alpha)Q_{i2003} \quad (8)$$

其中： k 为该地区2003—2017年专利的平均年增长率。

综上所述,区域的知识发展必定会受到其他区域知识发展的影响,由于知识溢出无法直接衡量的特性,本文利用空间滞后模型与知识生产函数结合构造溢出变量的方法,分别构建模型(9)和模型(10)的综合面板模型,衡量知识溢出随着高速铁路变化而变化的程度。选择空间直线距离矩阵和空间时间距离矩阵两个维度,分析空间滞后模型中溢出效应的显著性。空间直线距离权重模型为

$$\ln Q_{it} = \partial_1 \ln S_{it} + \partial_2 \ln K_{it} + \partial_3 \ln L_{it} + \partial_4 \ln W_t \times S_t + \varepsilon \quad (9)$$

其中： W_t 为第 t 年省份间权重矩阵,本模型中分别采用空间邻近距离矩阵 W_L 、空间直线距离矩阵 W_D 、空间时间距离矩阵 W_T 三种权重变量,分别构建基于邻近距离、直线距离和时间距离的知识溢出分析模型; S_t 为各省份截止第 t 年考虑了累计折旧的知识存量; ∂ 为变量系数。

为分析高速铁路对省际知识溢出效应的影响存在的距离限制。采用具有门槛的铁路时间距离联结矩阵,分别采用(0, 500)、(0, 1000)、(0, 1500)、(0, 2000)、(0, 2500)、(0, $+\infty$)六类门槛构建基于省会城市为中心,若 $d_{ij} \in (0, M)$ 则将区域 j 纳入区域 i 的知识溢出矩阵范围,否则认为区域 j 超出区域 i 的影响有效距离而不纳入其知识溢出范围,构建基于距离矩阵的知识溢出变量。基于门槛距离的铁路时间距离矩阵模型为

$$\ln Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln W_{Mti} \times S_t + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln K_{it} + \varepsilon_i \quad (10)$$

其中： S_t 为各省份截止第 t 年考虑了累计折旧的知识存量; W_{Mti} 为符合 $d_{ij} \in (0, M)$,以区域 i 到区域 j 的铁路距离构建的空间时间距离矩阵; W_T 为空间时间距离矩阵; d_{ij} 为研究区域 i 到溢出区域 j 之间的直线距离; M 为研究的溢出区域的最大边界临界值; β 为变量系数; ε_i 为区域误差变量。

(五)变量说明及数据来源

选取知识产出、研发费用投入和研发人员投入作为被解释变量和解释变量。依据知识生产函数模型,选取当年专利申请数量作为知识产出。参照Hall(2009)、Jaffe(1986)、Puga(2008)等研究,选取R&D经费内部支出、R&D人员全时当量和省份内知识存量作为投入变量。同时构造空间邻近距离矩阵、空间直线距离矩阵和时间距离矩阵,选取空间距离矩阵和各区域累计知识存量多次构造控制变量。变量解释及数据来源见表1下。

表1 变量解释及数据来源

变量	符号	单位	定义	数据来源	
被解释变量	知识产出	Q	件	省份某年专利申请数量	国家专利局
解释变量	资金投入	K	亿元	省份R&D经费内部支出总和	中国科技统计年鉴
	人力投入	L	万人	省份R&D人员全时当量总和	各省科技统计年鉴
	知识存量	S	件	考虑累计折旧的历年专利总和	国家专利局
权重变量	空间邻近距离矩阵	$W_L \times S$	件	W_L 为以省份之间邻近距离0-1所构成的权重矩阵	高铁列车时刻表 国家专利局
	空间时间距离矩阵	$W_T \times S$	件	W_T 为以省份之间高速铁路通行所需时间构成的权重矩阵	中国城市统计年鉴
	空间直线距离矩阵	$W_D \times S$	件	W_D 为省份之间直线距离所构成的权重矩阵	ArcGIS地图数据包
随机误差	时间效应	ε_t		i 地区随时间变化其他因素	
	空间效应	ε_{it}		t 时期随地区变化其他因素	

考虑到中国海南省、香港、澳门和台湾地区与其他各省份之间并无高速铁路联通,无法从铁路角度去考察这四个地区的知识溢出。故研究范围为其他30个省(自治区、直辖市),为对比高速铁路建成前后知识溢出的变化情况,分别截取高速铁路建成前和高速铁路建成后两个截面进行分析,截距为5年,即2003年和2008年两个截面来研究高速铁路建成前,选择2012年和2017年两个截面来研究高速铁路建成后。

五、实证结果分析

(一)空间自相关分析

高速铁路网络的建设必定会使得区域之间的交流更加频繁,产生“时空收缩”效应,推动人力、资本和技术等要素在更广的范围内优化配置,使得知识在原本发展不平衡的区域之间产生更大的溢出效应和虹吸效应,带动各区域协同发展。为研究中国专利产出空间布局,采用莫兰指数(Moran's I)分析中国2003—2020年30个省(自治区、直辖市)的空间集聚性,见表2,结果均通过5%的显著性检验。

表 2 2003—2020 年中国知识产出 Moran's I 指数

时间	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
Moran's I	0.109	0.103	0.118	0.148	0.186	0.220**	0.251**	0.272**	0.267**
Z	1.056	1.012	1.123	1.343	1.630	1.977	2.108	2.262	2.224
时间	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
Moran's I	0.262**	0.271**	0.269**	0.277**	0.263**	0.211**	0.198*	0.201*	0.187
Z	2.190	2.257	2.240	2.302	2.193	1.964	1.732	1.781	1.647

注：*、**和***分别表示通过了 10%、5% 和 1% 水平的显著性检验。

通过分析结果可知,2008—2020 年 Moran's I 指数均能通过 5% 的显著性检验,且该指数均为正向。故可知从 2008 年起各省份专利产出在空间分布上整体均呈现出空间集聚性,且该集聚性从 2008—2015 年不断增强,而 2015 年后尽管省份之间在知识创新上仍存在高度的集聚现象,但该集聚性程度却在不断减小。高速铁路的开通,带来了区域间要素的快速流动,缩短了区域之间的时空距离,改变了现有的区域空间结构。随着 2008 年高速铁路逐步开通,邻近省份特别是东部邻近省份的区域时空距离得到快速改变,区域间要素的加速流动使得原有的知识空间集聚得到了正向加速,这也使得区域间集聚加速。但到 2015 年后,随着中国“四纵四横”铁路网络的铺开,远距离空间的时空效应也得以发挥,空间知识流动不再局限于邻近空间,远距离省份之间的知识流动加速,这使得原本空间集聚的正向作用机制不断减弱,空间集聚性也不断减弱。

(二) 高速铁路对知识溢出影响的显著性分析

根据所构建模型,基于空间邻近距离矩阵、空间直线距离矩阵和空间时间距离矩阵,选取高速铁路建成前(2003 年、2008 年)和高速铁路建成后(2012 年、2017 年)4 个截面数据,分析高速铁路对中国 30 个省(自治区、直辖市)的省际知识溢出的影响。通过对比 2003 年、2008 年、2012 年和 2017 年四个截面中邻近因素、距离因素和高速铁路因素下回归分析指标显著性和指标系数,分析随着高速铁路变化对原有的空间路径依赖性和空间远距离溢出的影响。

由表 3 分析结果可以看出在 2003 年的三种距离矩阵中,空间邻近距离矩阵中的知识溢出效应最为显著,其次为空间直线距离矩阵。说明 2003 年的知识产出增长不仅和自身具有的要素存量相关,空间的交互因素也是不能忽略的。但是在 2003 年的知识溢出中地理距离占据着重要作用,此时普通铁路对省际知识溢出的影响并不显著。可能当时铁路运输效率较差,对区域间的空间作用效应较小,空间要素流动效率低下,远距离空间要素流动较少,导致省际知识溢出主要发生在邻近省份,而远距离省份间的知识溢出受地理空间限制较大,所以省份间的空间邻近距离在知识溢出中占据了主导作用。而对于 2008 年截面的三种矩阵,空间邻近距离矩阵和空间时间距离矩阵的知识溢出效应均在 90% 的置信水平下显著正相关,而 2003 年空间邻近距离矩阵的知识溢出效应呈现出正向显著性,时间距离矩阵的知识溢出效应并没有通过显著性检验。通过分析说明,此时铁路网络对知识溢出产生了显著影响。尽管中国 2008 年才开始兴建高速铁路,但是高速铁路带动整体铁路网络效率的提高,从而来带的时空收缩效应已经开始影响省际知识溢出。相比于 2003 年的知识溢出效应,2008 年高速铁路引起的旅行时间因素逐渐开始影响省际的知识溢出。通过对比可知,空间邻近距离的系数从 2003 年的 0.050 减少到 2008 年的 0.041,而 2008 年空间时间距离矩阵的系数是 0.098,空间邻近因素在知识溢出中扮演的作用在逐渐减小,而铁路效应的作用在逐渐增大。主要是因为空间邻近的省份数量较少,所产生的知识溢出效应在全国整体知识溢出效应中占比不高,更重要的原因是,随着中国高速铁路的开通,整体铁路运行效率得以快速提高,加速了区域间要素流动,从而使得远距离的省份之间的知识溢出迅速提高,故邻近省份之间的知识溢出效应作用才会呈现出越来越小的趋势。但此时,中国省际间的交通方式依旧是以普通铁路为主,高速铁路的建设才刚刚开始,高速铁路对省际知识溢出的影响仍旧较小。

表 3 高速铁路建成前空间计量估计结果

变量	2003 年			2008 年		
	空间直线距离	空间邻近距离	空间时间距离	空间直线距离	空间邻近距离	空间时间距离
Intercept	-5.165(0.118)	-1.656*** (0.000)	-1.432*** (0.000)	-7.200(0.323)	-1.346*(0.012)	-1.803** (0.005)
lnK	0.324(0.137)	0.339(0.167)	0.347(0.165)	0.230(0.187)	0.303(0.188)	0.250(0.112)
lnL	0.389(0.173)	0.319(0.180)	0.314(0.193)	0.280(0.195)	0.269(0.119)	0.346(0.152)
lnW	0.059*(0.082)	0.050** (0.007)	0.023(0.421)	0.181(0.399)	0.041*(0.064)	0.098*(0.082)
lnS	0.435*** (0.000)	0.415*** (0.000)	0.921*** (0.000)	1.102*** (0.000)	1.060*** (0.000)	1.083*** (0.000)
R ²	0.346	0.467	0.233	0.233	0.485	0.336
p	0.015	0.009	0.052	0.084	0.014	0.019

注：*、**和***分别表示通过了 10%、5%、1% 和 0.1% 水平的显著性检验;括号内数值为 p 统计值。

通过对比表4中2012年三个矩阵及表3中2003年、2008年的三种距离矩阵计算结果发现,2012年空间时间距离和空间直线距离均在90%的置信水平下显著影响知识溢出,而空间邻近距离矩阵对知识溢出的影响已经不再显著,且空间时间距离和空间直线距离的影响程度系数分别为0.102和0.122。通过2012年截面数据对比2003年和2008年截面数据,发现高速铁路产生的知识溢出效应在不断增强,而邻近距离的影响已经不再显著,省份之间的空间直线距离开始成为影响知识溢出的因素,并且该因素的影响程度较高速铁路影响因素更高一筹。说明中国高速铁路的快速发展,高速铁路网络已经改变了中国现有的时空效应,高速铁路对空间的时空收缩效应已经对空间经济产生了显著影响,使得中国省际知识溢出不再只发生在邻近省份之间,远距离的知识溢出也开始大规模出现,所以空间直线距离矩阵分析模型显著而空间邻近距离矩阵分析模型不再显著。表4中2017年截面数据显示,三种矩阵的知识溢出因素均具有一定程度的显著性,其中高速铁路因素的知识溢出显著性达到95%,空间邻近距离的知识溢出显著性达到90%。且相对于2003年、2008年和2012年三年的分析模型,2017年分析模型中高速铁路因素的知识溢出程度显著提高,为0.333。说明随着中国高速铁路网络的逐步完善,高速铁路已经极大改变了中国区域的时空结构,省际间知识溢出不再局限于距离的限制,高速铁路带来的“时空收缩”效应极大的促进了区域间的知识溢出,但随着高速铁路网络的普及,省际间知识溢出受高速铁路的影响再次达到了平衡,此时省际邻近再次成为影响省际知识溢出的重要因素。故区域间的空间地理距离已经不再是限制区域发展及知识溢出的唯一因素,这才会出现三种距离矩阵同时显著的现象。

表4 高速铁路建成后空间计量估计结果

时间 变量	2012年			2017年		
	直线距离	空间邻近距离	空间时间距离	直线距离	空间邻近距离	空间时间距离
<i>Intercept</i>	-10.971*(0.063)	-1.416*(0.014)	-1.107(0.056)	-9.855(0.119)	-0.489(0.411)	-0.184(0.206)
<i>lnK</i>	0.299(0.105)	0.290(0.145)	0.210(0.108)	0.295(0.116)	0.263(0.120)	0.292(0.130)
<i>lnL</i>	0.292*(0.050)	0.325(0.147)	0.239(0.133)	0.366*(0.021)	0.276*(0.050)	0.333*(0.036)
<i>lnW</i>	0.122*(0.092)	0.032(0.277)	0.102*(0.086)	0.1970(0.105)	0.081***(0.005)	0.333*(0.036)
<i>lnS</i>	1.032****(0.000)	0.972****(0.000)	0.978****(0.000)	1.040****(0.000)	0.957****(0.000)	0.054****(0.000)
<i>R</i> ²	0.400	0.385	0.310	0.349	0.519	0.402
<i>p</i>	0.006	0.016	0.030	0.047	0.007	0.010

注: *、**和***分别表示通过了10%、5%、1%和0.1%水平的显著性检验;括号内数值为*p*统计值。

通过对比分析高速铁路建成前后空间直线距离矩阵、空间邻近距离矩阵和空间时间距离矩阵中知识溢出变量对区域知识创新的影响分析发现,空间时间距离矩阵中知识溢出变量的影响显著性在不断增强,且持续产生的正向影响效应同样在不断增加。由此可见,随着高速铁路网络的不断发展,大幅缩小了现有的通行时间成本和经济成本,从而改变现有的区域地理时空结构,高速铁路产生的时空收缩效应使得现有的区域不再受限于地理距离的约束,促进了省际之间要素流动,从而使得高速铁路对区域间的知识溢出产生显著的正向影响。

(三) 高速铁路对知识溢出影响的有效距离分析

尽管高速铁路网络对省际知识溢出具有显著正向作用,但是高速铁路的辐射效应通常具有距离限制,当距离过远时高速铁路将不再是便捷的通行工具,此时高速铁路对区域间产生的知识溢出效应将会减小,甚至是不再存在知识溢出效应。为了深入探讨高速铁路对知识溢出的影响限制距离,以不同阈值作为标准半径进行验证。由于我国当前高铁运营平均速度为250千米/小时左右,按照国家发改委“十四五”规划指出的到2025年,我国城市群2小时高铁出行圈将基本形成,故选取500千米作为标准半径溢出阈值。以某一省份为中心,将其按照标准半径分为(0,500)、(0,1000)、(0,1500)、(0,2000)、(0,2500)和(0,+∞)6大溢出区域,并基于空间权重理论构造联通矩阵,以中心区域为基准逐渐添加溢出区域进行回归分析,检验中国省际间高速铁路对知识溢出的影响辐射范围。

采用上述模型,仍以30个省(自治区、直辖市)为研究对象,以高速铁路建成后的2012年和2017年作为截面数据,在6大溢出区域内构造空间距离矩阵,利用每个省份在不同溢出区域内的空间距离矩阵和其他在每个溢出区域内的省份的知识存量构建每个区域内的知识溢出变量,以知识生产函数为参考模型,选择研究人员*K*、研发费用*L*、知识存量*S*和专利申请数量*Q*构建模型,在空间滞后模型下比较每个阈值范围下的知识溢出显著性和系数大小,判断知识溢出在该阈值下的区域中是否有效。通过模型分析找到高速铁路影响下

的知识溢出有效显著的最大范围区域 $(0, b_{min})$, b 为各区域知识溢出有效显著范围的阈值, 选取该范围与其临界值的更大范围 $(0, b_{max})$, 在此两个范围之间采用二分法原则, 找到更为精确的能够受到知识溢出的临界区域, 该区域便是高速铁路对省际知识溢出效应影响的最大有效距离。选取 30 个省(自治区、直辖市)分别以 500、1000、1500、2000 和 2500 为阈值, 形成 $(0, 500)$ 、 $(0, 1000)$ 、 $(0, 1500)$ 、 $(0, 2000)$ 、 $(0, 2500)$ 和 $(0, +\infty)$ 6 个溢出区域, 按照上述模型, 选取 2012 年和 2017 年两个截面数据, 分析得到表 5 所示检验结果。

表 5 高速铁路对知识溢出影响的有效距离检验结果

溢出范围	(0, 500)		(0, 1000)		(0, 1500)	
	2012 年	2017 年	2012 年	2017 年	2012 年	2017 年
变量						
<i>Intercept</i>	-0.882(0.105)	0.837(0.138)	-0.675(0.187)	0.504(0.388)	-0.652(0.196)	0.505(0.388)
$\ln S$	0.985*** (0.000)	0.984*** (0.000)	1.038*** (0.000)	1.040*** (0.000)	1.046*** (0.000)	1.037*** (0.000)
$\ln L$	0.249(0.151)	0.446*(0.012)	0.175(0.269)	0.248(0.193)	0.170(0.280)	0.257(0.178)
$\ln K$	0.190(0.209)	0.450** (0.004)	0.203(0.137)	0.341* (0.029)	0.208(0.125)	0.345* (0.028)
$\ln(W_T \times S)$	0.006(0.439)	0.003(0.604)	0.021(0.101)	0.017(0.114)	0.021*(0.078)	0.016*(0.099)
R^2	0.405	0.514	0.441	0.551	0.439	0.556
p	0.038	0.007	0.009	0.013	0.040	0.016
溢出范围	(0, 2000)		(0, 2500)		(0, +∞)	
	2012 年	2017 年	2012 年	2017 年	2012 年	2017 年
变量						
<i>Intercept</i>	-0.722(0.111)	0.285(0.617)	-1.111*(0.020)	0.072(0.906)	-1.107(0.056)	-0.185(0.805)
$\ln S$	1.081*** (0.000)	1.045*** (0.000)	1.003*** (0.000)	1.021*** (0.000)	0.978*** (0.000)	0.996*** (0.000)
$\ln L$	0.152(0.313)	0.244(0.023)	0.200(0.220)	0.266(0.160)	0.209(0.208)	0.291(0.130)
$\ln K$	0.247(0.064)	-0.353** (0.004)	0.175(0.207)	0.341* (0.029)	0.139(0.313)	0.333* (0.036)
$\ln(W_T \times S)$	0.056*(0.021)	0.042(0.074)	0.029(0.297)	0.046(0.124)	0.002(0.960)	0.054(0.227)
R^2	0.469	0.567	0.415	0.489	0.330	0.373
p	0.011	0.026	0.004	0.015	0.042	0.063

注: *, ** 和 *** 分别表示通过了 10%、5%、1% 和 0.1% 水平的显著性检验; 括号内数值为 p 统计值。

由该回归分析结果可见, 2012 年在 $(0, 1500)$ 、 $(0, 2000)$ 溢出区域内, $\ln(W_T \times S)$ 分别在 90% 和 95% 置信区间内显著相关, 且均存在正向影响, 但是在 $(0, 2500)$ 的溢出区域内 $\ln(W_T \times S)$ 并不显著。故 2012 年高速铁路在 2000 千米范围内对省际知识溢出具有显著正向影响, 但在 2500 千米范围内该溢出效应并不显著。同理, 2017 年在 $(0, 1500)$ 、 $(0, 2000)$ 溢出区域内, $\ln(W_T \times S)$ 均在 90% 置信区间内与省份的全时知识存量之间存在显著正向相关关系, 但是在 $(0, 2500)$ 的溢出区域内 $\ln(W_T \times S)$ 并不显著。故 2017 年高速铁路在 2000 千米范围内对省际知识溢出具有显著正向影响, 而在 2500 千米范围内该效果并不显著。即 2500 千米均已经超出 2012 年和 2017 年的高速铁路对省际知识溢出的影响有效距离, 但 2000 千米却在知识溢出影响的有效距离范围内。

为进一步精确确认高速铁路对省际知识溢出影响有效距离, 采取二分法逐渐逼近影响有效距离临界值。首先确认临界值在 $(2000, 2500)$ 区间范围内, 再重新构建新溢出区域 $(0, 2250)$, 代入模型继续检验, 检验计量结果见表 6。由结果可以看出, $\ln(W_T \times S)$ 未通过置信水平检验, 在该模型中与 Q 之间并无显著相关关系, 故该溢出区域内高速铁路对省域间区域并未产生显著知识溢出效应, 进一步可以确认临界值在 $(2000, 2250)$ 区间范围内。再次使用二分法重新选溢出区域 $(0, 2125)$ 构建研究模型, 检验发现 2012 年 $\ln(W_T \times S)$ 与 Q 在该模型中并无显著关系, 而 2017 年 $\ln(W_T \times S)$ 与 Q 在 $(0, 2125)$ 的溢出范围内在 90% 的置信水平下具有显著正向关系。2012 年高速铁路在 $(0, 2125)$ 区域内无显著知识溢出效应, 但 2017 年高速铁路在 $(0, 2125)$ 区域内存在显著知识溢出效应, 即 2012 年高速铁路的知识溢出有效限制距离临界值在 $(2000, 2125)$ 区间内, 但 2017 年临界值在 $(2125, 2250)$ 区间内。存在 2012 年与 2017 年有效距离不一致的原因, 主要是因为随着高速铁路的快速发展, 高速铁路一方面在不断提速; 另一方面各地区在不断铺设高速铁路网络, 高速铁路的影响辐射范围在不断扩大, 故 2017 年的临界值比 2012 年更大。随着中国高速铁路网络的不断发展, 该临界值将会不断扩大, 高速铁路对中国各地区知识溢出影响的辐射范围也将不断扩大。

针对 2012 年临界值再次采用二分法, 构建溢出区域 $(0, 2067)$, 构建溢出变量代入模型中进行检验, 结果见表 6。通过检验发现, 在 $(0, 2067)$ 的溢出区间内, 2012 年和 2017 年的 $\ln(W_T \times S)$ 对 Q 分别在 95% 和 90% 的置信水平下具有显著正向影响, 在 $(0, 2067)$ 区域内 2012 年和 2017 年高速铁路网络均对省际知识溢出具有显著溢出效应。综上可以得出 2012 年高速铁路对省际知识溢出的影响有效距离在 $(2067, 2125)$ 区间内, 2017 年高速铁路对省际知识溢出影响的有效距离临界值在 $(2125, 2250)$ 区间内。故利用二分法计算得 2096 千米作为 2012 年溢出临界值, 其误差范围在 ± 29 千米内, 2188 千米作为 2017 年溢出临界值, 其误差范围在 ± 63 千米内。

表6 知识溢出空间有效距离计量结果

溢出范围 变量	(0, 2067)		(0, 2125)		(0, 2250)	
	2012年	2017年	2012年	2017年	2012年	2017年
Intercept	0.721(0.111)	0.286(0.615)	-1.092*(0.021)	0.068(0.909)	-1.100*(0.021)	0.088(0.884)
lnS	1.082*** (0.000)	1.046*** (0.000)	1.011*** (0.000)	1.026*** (0.000)	1.007*** (0.000)	1.022*** (0.000)
lnL	0.155(0.303)	0.356*(0.021)	0.195(0.226)	0.260(0.163)	0.197(0.224)	0.268(0.156)
lnK	0.251(0.061)	0.042*(0.066)	0.183(0.183)	0.346*(0.029)	0.178(0.197)	0.346*(0.027)
ln(W _t × S)	0.056*(0.021)	0.526(0.020)	0.034(0.211)	0.052*(0.071)	0.031(0.261)	0.048(0.105)
R ²	0.478	0.526	0.435	0.546	0.411	0.527
p	0.024	0.020	0.015	0.002	0.015	0.018

注：*、**和***分别表示通过了10%、5%、1%和0.1%水平的显著性检验；括号内数值为p统计值。

高速铁路对中国省际知识溢出具有显著影响,但该影响具有有效距离限制,超过有效距离,高速铁路不会对两省份间产生显著知识溢出效应。其2012年有效限制距离为2096千米,误差范围为±29千米;2017年有效限制距离为2188千米,误差范围为±63千米。且随着中国高速铁路技术和铁路网络的发展,该有效距离将会不断被扩大,直至高速铁路网络对中国省际知识溢出的影响范围扩展至全国。

六、研究结论与政策建议

基于文献综述探究高速铁路对知识溢出的影响机理,利用2003—2020年中国30个省(自治区、直辖市)的专利面板数据,通过莫兰指数(Moran's *I*)对中国知识产出的空间集聚特征进行刻画,并构建空间计量模型实证研究高速铁路对中国省际知识溢出的影响效应及溢出距离。最终得出以下结论:①通过对莫兰指数(Moran's *I*)分析发现,中国省域知识布局从2008年起在空间分布上整体呈现出空间集聚性,且该集聚性从2008年到2015年不断增强,而2015年后尽管省份之间的知识创新上仍存在高度的集聚现象,但集聚程度却在不断减小。②高速铁路的开通显著促进省际知识溢出。通过分析高速铁路对中国30个省(自治区、直辖市)间知识溢出的影响发现,高速铁路对知识溢出具有显著正向影响,且该影响从2008—2017年随着高速铁路的快速发展而不断增强。由此推断,高速铁路的进一步发展,极大改变现有地理空间结构,将会更大程度对省际知识溢出产生正向影响。③高速铁路对省际知识溢出的影响具有一定限制性距离,超过该距离高速铁路对省际知识溢出的影响不显著。随着高速铁路的发展,该限制距离将不断扩大,直至高速铁路对知识溢出的影响范围覆盖全国。其中2012年有限限制距离为2096千米,误差范围不超过±29千米;2017年有效限制距离为2188千米,误差范围不超过±63千米。预计2020年该有限限制距离临界值将会进一步扩大。

本研究结论对我国高速铁路建设和布局具有一定的政策启示,总体而言,高速铁路的开通可以显著促进知识溢出,带动我国区域创新水平的提升。因此重视高铁网络布局和建设对于我国新时代创新能力高质量发展具有重要意义。与此同时,高铁网络的快速建设也会使得区域创新更加聚集,虹吸效应的加剧无形之中将拉大发达和欠发达地区的差距,形成“马太效应”而造成区域非均衡发展。因此,基于以上实证结果与研究结论,为促进我国高速铁路和知识溢出协同提升和均衡发展,需对以下几方面加以重视:①发达的交通基础设施是加快人才、信息和劳动力交流的重要载体。因此完善的交通基础设施网络有利于打造良好的知识创新环境。高铁开通对区域创新和知识溢出的促进作用间接上带动我国的经济增长和产业结构优化升级,应充分认识到高速铁路对知识溢出的促进效应,坚持推动高铁网络建设和完善,提高地区可达性,促进区域创新和知识溢出。②合理规划高速铁路线路,在高铁线路规划中,在考虑其建设所带来的经济价值的同时,应充分照顾欠发达地区的发展。加快高铁覆盖我国中小城市及中西部欠发达地区,对区域创新和知识溢出的推动作用更大。因此,在布局“八横八纵”高铁主干网络的同时,需增加覆盖中小城市的支线建设,增强高铁对区域知识溢出的辐射作用。③高速铁路的建设深刻的影响着我国区域创新能力和空间布局,以高铁为载体的知识和技术溢出将影响范围更广,带动作用更大,但是也应警惕高铁建设所带来的创新俱乐部效应,即发达地区通过高铁对欠发达地区的虹吸效应,避免“马太效应”的二元化发展趋势,鼓励高铁建设的同时也应加强协同提升和均衡发展,实现新时代知识创新协调高质量发展。

然而,铁路连接的是城市及州县,但目前中国多数城市均未统计R&D数据,受制于数据可得性,故选取30个省(自治区、直辖市)作为研究对象进行替代。随着基础统计数据的完善,希望今后的研究能够基于本研究思路,更深入地研究高速铁路对市域及县域知识溢出影响,以得到更精准的差异化结论。

参考文献

- [1] 陈彦, 孟晓晨, 2013. 高速铁路对客运市场、区域经济和空间结构的影响[J]. 城市发展研究, 20(4): 119-124.
- [2] 段晓晨, 孙敬, 2014. 高速铁路区域环境累积效应评价方法研究[J]. 铁道运输与经济, 36(11): 65-71.
- [3] 冯广超, 覃成林, 2016. 可达性研究动态及测算模型修订[J]. 地域研究与开发, 35(2): 6-11.
- [4] 贾善铭, 覃成林, 2014. 国外高铁与区域经济发展研究动态[J]. 人文地理, 29(2): 7-12.
- [5] 姜博, 初楠臣, 王媛, 等, 2016. 高速铁路对城市与区域空间影响的研究述评与展望[J]. 人文地理, 31(1): 16-25.
- [6] 黎绍凯, 朱卫平, 刘东, 2020. 高铁能否促进产业结构升级: 基于资源再配置的视角[J]. 南方经济, (2): 56-72.
- [7] 李昊, 范德成, 张书华, 2020. 中国高铁建设对实体经济发展的溢出效应分析[J]. 华东经济管理, 34(1): 54-69.
- [8] 李红昌, LINDA T, 胡顺香, 2016. 中国高速铁路对沿线城市经济集聚与均等化的影响[J]. 数量经济技术经济研究, 33(11): 127-143.
- [9] 李侗忆, 2017. 高速铁路对区域知识溢出的影响研究[D]. 北京: 北京交通大学.
- [10] 林晓言, 陈小君, 白云峰, 等, 2010. 京津城际高速铁路对区域经济影响定量分析[J]. 铁道经济研究, (5): 5-11
- [11] 林晓言, 李明真, 2020. 高铁对沿线城市科技创新的影响——基于粤桂地区的实证研究[J]. 华东经济管理, 34(3): 94-102.
- [12] 路正南, 罗雨森, 2021. 空间溢出、双向 FDI 与二氧化碳排放强度[J]. 技术经济, 40(6): 102-111.
- [13] 罗燊, 林晓言, 2018. 高速铁路影响下的知识可达性与区域梯度——来自中国 31 个省份的证据[J]. 技术经济, 37(2): 69-76.
- [14] 骆玲, 2013. 高速铁路对沿线城镇发展的影响[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 34(5): 109-113.
- [15] 马红梅, 郝美竹, 2020. 高铁建设、区域旅游与经济高质量发展研究——以粤桂黔高铁经济带为例[J]. 重庆社会科学, (2): 79-90.
- [16] 孙学涛, 李岩, 王振华, 2020. 高铁建设与城市经济发展: 产业异质性与空间溢出效应[J]. 山西财经大学学报, 42(2): 58-71.
- [17] 孙兆刚, 2006. 知识溢出的路径分析[J]. 科技成果纵横, (6): 30-32.
- [18] 王方方, 李香桃, 2020. 粤港澳大湾区城市群空间结构演化机制及协同发展——基于高铁网络数据[J]. 城市问题, (1): 43-52.
- [19] 王少鹏, 苗欣茹, 席增雷, 2021. 高校科技创新、空间溢出与区域经济发展[J]. 技术经济, 40(4): 49-57.
- [20] 杨珩, 佟琼, 2020. 京沪高铁对沿线城市区域公平的影响研究[J]. 管理评论, 32(2): 90-101.
- [21] 张莉, 何宽, 朱丽莉, 2012. 高速铁路对区域经济发展的影响要素及机理分析[J]. 铁道运输与经济, 34(12): 64-69.
- [22] 张路娜, 孙红军, 胡贝贝, 2021. 中国国家高新区创新效率增长的空间差异及影响因素研究[J]. 技术经济, 40(6): 1-8.
- [23] 郑彩玲, 张继彤, 2021. 高铁开通对城市创新质量的影响——基于 PSM-DID 模型的实证研究[J]. 技术经济, 40(2): 28-35.
- [24] ACS Z J, FITZROY F R, SMITH I, et al, 1999. High technology employment, wages and university R&D spillovers: Evidence from US cities[J]. Economics of Innovation & New Technology, 8(12): 57-78.
- [25] AHLFELDT G M, FEDDERSEN A, 2015. From periphery to core: Measuring agglomeration effects using high-speed rail [J]. Journal of Economic Geography, 18: 355-390.
- [26] ARROW K J, 1962. The economic implications of learning by doing[J]. Review of Economic Studies, 29(3): 155-173.
- [27] AUDRETSCH D B, FELDMAN M P, 1996. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. American Economic Review, 86(3): 630-640.
- [28] BLUM U, HAYNES K E, KARLSSON C, 1997. Introduction to the special issue the regional and urban effects of high-speed trains[J]. Annals of Regional Science, 31(1): 1-20.
- [29] BRONS M, GIVONI M, RIETVELD P, 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use [J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 43(2): 136-149.
- [30] CAVES R E, 1974. Multinational firms, competition, and productivity in host-country markets[J]. Economica, 41(162): 176-193.
- [31] CLARK D D, 1999. High-speed data races home[J]. Scientific American, 281(4): 94-99.
- [32] GABRIEL M A, ARNE F, 2018. From periphery to core: Measuring agglomeration effects using high-speed rail[J]. Journal of Economic Geography, 18(2): 355-390.
- [33] GROSSMAN G M, HELPMAN E, 1991. Trade, knowledge spillovers, and growth[J]. European Economic Review, 35(23): 517-526.
- [34] GROSSMAN G M, HELPMAN E, 1995. Technology and trade[J]. CEPR Discussion Papers, 269(5220): 11.
- [35] HALL P, 2009. Magic carpets and seamless webs: Opportunities and constraints for high-speed trains in Europe[J]. Built Environment, 35(1): 59-69.

- [36] JAFFE A B, 1986. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value[J]. *American Economic Review*, 76(5): 984-1001.
- [37] LEVINSON D M, ZHAO Z J, 2012. Introduction to the special issue on value capture for transportation finance[J]. *Journal of Transport & Land Use*, 5(1): 1-3.
- [38] LI Z, XU H, 2018. High-speed railroads and economic geography: Evidence from Japan[J]. *Journal of Regional Science*, 58(4): 706-728.
- [39] MANCUSI M L, 2008. International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations[J]. *Journal of International Economics*, 76(2): 155-165.
- [40] MITCHELL B R, 1964. The coming of the railway and United Kingdom economic growth[J]. *Journal of Economic History*, 24(3): 315-336.
- [41] MURATA Y, NAKAJIMA R, OKAMOTO R, et al, 2014. Localized knowledge spillovers and patent citations: A distance-based approach[J]. *Review of Economics and Statistics*, 96(5): 967-985.
- [42] NELSON A J, 2009. Measuring, knowledge spillovers: What patents, licenses and publications reveal about innovation diffusion[J]. *Research Policy*, 38(6): 994-1005.
- [43] OKUBO S, ROBBINS C A, MOYLAN C E, et al, 2006. BEA' s 2006 research and development satellite account: Preliminary estimates for 1959-2002 and effect on GDP and other measures[J]. *Survey of Current Business*, (12): 1-73.
- [44] POLANYI M, 1958. Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy[J]. *Philosophy of Science*, 107(4): 617-618.
- [45] PUGA D, 2008. Agglomeration and cross-border infrastructure[J]. *EIB Papers*, 13(2): 102-124.
- [46] ROMER P M, 1986. Increasing returns and long-run growth[J]. *Journal of Political Economy*, 94(5): 1002-1037.
- [47] VARGA A, 2006. The spatial dimension of innovation and growth: Empirical research methodology and policy analysis[J]. *European Planning Studies*, 14(9): 1171-1186.
- [48] VICKERMAN R, 2018. Can high-speed rail have a transformative effect on the economy?[J]. *Transport Policy*, 62: 34-45.

The Influence of High-speed Railway on Inter-provincial Knowledge Spillover in China: Empirical Analysis Based on Spatial Econometric Model

Ye Chong, Shao Bo

(School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Based on the literature review, the mechanism of high-speed railway on knowledge spillovers was explored. Using the patent panel data of 30 provinces in China from 2003 to 2020, the spatial agglomeration characteristics of China's knowledge output through Moran's I was described, and a spatial econometric model was built to empirically study the impact effect and spillovers distance of high-speed railway on China's inter-provincial knowledge spillovers. The study demonstrated the spatial distribution of China's patents presents spatial agglomeration from 2008 to 2015, and the agglomeration is increasing, and the agglomeration gradually tends to be gentle after 2015. High-speed railway has a significant positive impact on inter-provincial knowledge spillovers in China, and the impact is increasing with the improvement of railway network. There is a certain distance limit for the impact of high-speed railway on the knowledge spillovers among provinces in China. Specifically, the distance limit for China's high-speed railway in 2012 is 2096 kilometers, with the error range not exceeding 29 kilometers. In 2017, the effective limit distance is 2188 kilometers, with the error range not exceeding 63 kilometers. With the development of high-speed railway, the limit distance is expected to increase year by year. Based on the research conclusions, this study puts forward some countermeasures and suggestions on reasonably promoting the coordinated promotion and balanced development of high-speed railway and knowledge spillovers.

Keywords: high-speed railway; knowledge spillover; patents; spatial econometric model; knowledge production function