

# 高铁网络、区位优势与区域创新

周文韬 杨汝岱 侯新烁\*

**摘要:** 本文探讨高铁网络对区域创新的影响及其作用机制。首先以 2008—2017 年高铁线路数据为基础构建高铁网络指标体系,衡量地级市在高铁网络中的区位优势,并由此对接创新专利数据,进一步在模型中研究高铁网络对区域创新的影响。研究发现:中国高铁网络结构的发展是一个动态演变的过程。相较于无权视角,加权视角下的网络指标能更好地刻画地级市位于高铁网络中的区位优势。地级市当期的各阶加权网络指标分别提高一个百分点,会引起地级市下期的每万人中发明申请数量提高 0.16、0.10 和 0.05 件。异质性分析表明,地级市区位优势的改善对区域创新能力的影响发挥不同作用。相较于人才要素,区位优势的改善显著影响资金和信息这两类创新要素集聚,从而提升区域创新能力。区位优势对于区域创新的影响是一个长期动态的过程并存在“时滞效应”。本文提出将网络分析方法与传统计量经济学方法相结合的新思路,为高铁网络建设规划以及区域创新能力提升提供了研究基础。

**关键词:** 高铁网络;区位优势;区域创新;网络分析

## 一、引言与文献述评

党的十九大报告提出,“从二〇三五年到本世纪中叶,在基本实现现代化的基础上,再奋斗十五年,把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国”的宏伟目标,明确了建设“交通强国”的重大决策,高速铁路是交通设施建设中至关重要的部分。从 2008 年首条高铁线路开通至 2021 年,中国高铁运营总里程接近 4 万公里,高铁列车总数约为 3 万辆,远超世界上其他国家。<sup>①</sup> 根据 2016 年《中长期铁路网规划》(发改基础[2016]1536 号),预计至 2030 年中国的高铁路网规划将从“四纵四横”扩展为“八纵八横”。现今,中国的高铁路网系统已可视为全球最大的高铁网络。因此,本文重点关注高铁网络,试图通过网络分析法刻画中国高铁网络宏观结构和地级市高铁网络区位优势,将高铁网络指标纳入计量实证研究中,从全新的角度研究高铁网络对区域创新的影响。

\*周文韬,北京大学经济学院,邮政编码:100871,电子信箱:zwjoecknight0402@163.com;杨汝岱,北京大学经济学院,邮政编码:100871,电子信箱:rdyang@pku.edu.cn;侯新烁,湘潭大学商学院,邮政编码:411105。

本文得到国家自然科学基金重点项目“全球-地方互动与中国区域产业重构”(项目编号:41731278,第一资助)、国家社会科学基金青年项目“以路网建设促成区域协调发展的空间机制和路径研究”(项目编号:17CJL019)的资助。感谢匿名审稿专家的宝贵意见。作者文责自负。

①数据来源:2020 年 12 月 22 日国务院新闻办发布的《中国交通的可持续发展》白皮书。

网络分析法的基本思想是对网络中的节点关系进行研究,通过建立网络关系矩阵来量化测量网络的结构以及节点信息(Freeman,1996)。早期,学者广泛运用网络分析法探索信息、技术、生物网络(Albert and Barabási,2002)。近年来,学者开始将网络分析法运用到经济学研究中,通过社会网络或贸易网络等来分析和研究经济问题(Acemoglu et al.,2015)。在此背景下,网络分析方法在高铁研究中也得到了应用,其核心思想是将高速铁路网系统视为网络,高铁站点视为网络中的节点,节点间的连接则由转运速度或客流量等信息衡量。相关文献主要研究高铁网络的整体结构和演变(方大春、孙明月,2015),并对局部网络和节点特征进行细化分析(吴凤连等,2020)。这些研究主要讨论高铁网络空间特征和经济关联,鲜有针对区域的网络区位优势的研究,且多数研究并未将网络属性纳入计量实证范式当中。在既有研究基础上,本文从中国高铁网络无权和加权视角出发,构建反映区位优势的网络指标,实证分析高铁网络对于区域创新的影响。与本文计量方法最接近的文献讨论了地级市层面的高铁网络及其影响。罗能生等(2019)构建了无权视角下的中国高铁网络模型,解释了高铁网络对于城市生态效率的影响。然而,上述文献均未构建完备的网络指标体系,且并未在实证研究中细致分析网络指标的影响。

创新是经济增长的重要动力(Solow,1957),创新要素集聚提升创新能力。近年来,随着我国高铁建设的快速高质量发展,学者开始从“创新要素流动”视角分析高铁对区域创新的影响。其基本逻辑是高铁开通促进了区域间创新要素的流动和集聚,从而提高了区域创新能力。内生增长理论表明,区域创新能力的提升主要源于研发投入和知识溢出。其中,研发投入主要包括研发人才和研发资金。人才对科学技术的更新和发展发挥着至关重要的作用。当今中国,高铁已成为人才流动的重要媒介和载体,通过提升交通便捷度,完善基础设施,能够加速区域间人才流动,吸引区域内人才集聚(Bernard et al.,2019)。研发资金是保障创新能力稳步提升的重要支撑,其所发挥的引导作用能激励创新并加大投入。高铁开通重塑了区域空间结构,使得区域间投资增加,创造更多投资机会,降低创新成本与风险(Donaldson and Hornbeck,2016)。信息是知识创新的原材料和源泉,高铁开通为信息流动提供高速通道,促进知识流动、增强知识可达性、加速技术扩散与知识型工业转型(Chen and Hall,2011)。

从具体的实证计量方法上看,涉及高铁研究的文献多采用简化范式回归(Reduced-form Estimation),基本思路是将高铁开通视为虚拟变量放入计量模型中分析(颜银根等,2020)。与现有文献不同的是,本文认为区域间的高铁关系十分复杂,传统指标和分析方法很难刻画高铁结构以及自身区位优势,由此,本文试图构建高铁网络并衡量地级市的高铁网络区位优势,探讨高铁网络对于区域创新的影响。区别于现有文献研究,本文主要有两点拓展:第一,现有文献多关注区域高铁是否开通,可视为区域的一维网络,而本文的区位优势网络指标是以中国高铁网络为基础,通过网络结构和链接权重构建得出,这可以理解为区域的二维网络。第二,本文试图将网络分析方法与传统计量分析方法相结合,识别区位优势网络对区域创新能力的促进作用。

本文的边际贡献体现在以下三个方面:第一,从网络分析的视角构建中国高铁网络,并建立“区位优势”网络指标,使得各区域在高铁网络中的位置信息能够量化。第二,本文分别讨论了无权 and 加权框架下网络指标的差异,链接权重的引入使得加权网络指标的解释力更强。相较于现有文献的高铁开通虚拟变量,本文在网络指标构建上有所创新。本文提出如

何将网络分析方法与传统计量经济学方法相结合的新思路,具有一定的学术价值。第三,拓展研究中,通过区域异质性分析、中介机制检验、动态效应分析,多角度讨论了高铁网络对区域创新影响的内在机制,为高铁网络建设规划以及区域创新能力提升提供了研究基础。

## 二、理论机制与网络模型

### (一) 理论机制

“高铁”即现代化高速铁路。“高铁网络”作为空间经济学概念,即以高铁为物化技术载体所联接起来的高端铁路运输服务系统,是将关键区位相联结,以完成商务、政务、科技、旅行等业务人员及劳动力高速高效转运的服务站、经济圈与活动网。中国高铁网络建设作为经济地理学与空间经济学实践应用的全球范例,尽管其初始时间远晚于西欧与日本,但是在技术与硬件建设上、在网络化服务的空间与区位布局上、在管理运营的规模与效益上,远超过于西欧和日本的高铁现状。根据2016年《中长期铁路网规划》(发改基础[2016]1536号),中国高铁客运专线由之前的“四纵四横”(已建成运营)扩展为现今的“八纵八横”(正在规划、建设并即将建成),并以此为骨干通道,辅以重要区域网、大城市之间的城际高铁为补充,从而形成的中国高铁网络,到2030年其总里程将达到4.5万公里,中国高铁空间布局也由早期的局部连通转变为现在的整体网络。作为交通基础性高端设施改善的里程碑式超级工程,中国高铁网络在加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局中,在以创新驱动发展战略为“硬核”、以供给侧结构性改革为先导、有效推进消费需求侧提质升级的时代大背景下,将发挥它综合性、人本性、辐射性和边际性等重要作用,从而带动其他网络型产业的蓬勃发展及传统产业的网络化升级,特别是在带动人才交流、研发设计、技术创新、创意扩散、服务升级、产业优化、市场规模扩张等方面有着独特的网络效应与优势。

“网络效应”即网络(网络型企业)所能实现的功能、效益、影响与反应,如“极化效应”与“涓滴效应”、“虹吸效应”与“均衡效应”等,也可以说是一种“独特的需求侧现象”(冯永晟、张昊,2021),它包括预期效应与实际效应两种。高铁网络效应作为高铁服务网络在高铁运输供给端优化变迁完成后所创生、重构与表现出来的“独特的需求侧现象”,包括如何影响高铁出行需求行为与高铁网络规模变迁的关系;如何定位并打造高铁服务网络产业的发展特征;如何调节并实现高铁服务网络建设规模扩张中供给侧与需求侧的理性均衡;如何预判并构建高铁网络效应中技术创新与智力资源高效配置的内在机制;如何探寻并优化高铁网络布局的区位优势与经济发展空间、动能与指数的影响机理等。这些都是高铁服务网络效应研究中的核心议题,也是助推中国超大规模的统一市场、实现经济高质量发展的基础性研究工作,从而也构成了当下中国政府制定政策、引导创新、培育市场、完善规则的重大挑战。

中国高铁服务网络的建成与运营,就其现实与未来效应而言,必将带来经济社会从“表层结构”到“深层结构”的外部升级与内生变迁:(1)高铁网络的建成运营标志着中国交通运输网络的分流与优化,平衡区域、城市与乡村间经济活动空间分布差异成为可能(谢燮、杨开忠,2015)。人货分流,结构优化;城市联群扩容、产能扩张,区域城市群落功能有效融合;中国经济地理空间不断扩大,区位布局与地缘地理优势明显增强;再加上“不完全竞争,规模收益递增”的网络经济效应凸显出来,以至于国家版图、领土主权治理不断强化(藤田昌久等,2010)。可以说,高铁网络效应首先表现为经济社会的结构性系统创新。(2)高铁网络的建成运营标志着中国国内统一大市场的经济发展新格局基本形成。“一日经济圈”“一小时经

济圈”“半小时经济圈”已不再是梦想蓝图,而是抬脚可达、举手可成的现实存在;而且服务网络层级分工更明细,区位经济活动链接功能更强劲,区域、城市分工定位更准确。国有资本和企业 在公平竞争的大市场背景下有了不断做强做优做大的基础条件与发展路径,当然也包括民营资本和其他资本(洪银兴、桂林,2021)。可以说,高铁网络效应其次表现在产业扩张、资本融通上的金融网络创新。(3)高铁网络的建成运营标志着以人为本的创新驱动发展战略呈规模化、集约化、网络化态势顺利落地。知识呈网络化传播,创意呈网络化扩散,技术呈网络化演进,研发设计呈网络化集聚;随着低中高“三端”创新型人才网络的高效配置与专业劳动力的便捷流动而重新赋能企业与产业,以实现企业发展的技术创新与规模扩张。可以说,高铁网络效应还表现在实现规模、金融与系统等创新驱动因素之上的人才流动网络创新。(4)高铁网络的建成运营标志着“创造性破坏”与“建设性摧毁”在整个地缘性区域内、区位上及城市间等“就业网络生态”上开花结果。先创造再破坏,先建设再摧毁;高铁网络催化着传统高能耗、高污染的落后企业与产能不断退出和调整,推动着高端生产性、服务性、绿色环保节能的网络型企业与产业不断生成、扩张和升级;它在破坏低端就业的同时创造高端就业,在摧毁传统就业的同时创造新型就业,为改善就业结构、扩大就业半径,提升就业率与就业质量起着有形无形、潜移默化的调节作用(施震凯等,2021)。可以说,高铁网络效应最后表现在其所覆盖的产业链、经济带和功能区上的就业网络创新。

综上所述,高铁网络的经济影响效应是全方位、全要素、全价值链和全过程的。本文主要的研究工作与核心主旨是对高铁网络的“网络效应、区位优势与区域创新”进行尝试性的学理推导与相对客观的实证建模及数据分析。具体来说,本文构建 2008—2017 年中国高铁网络,通过测算地级市层面的网络指标来刻画区位优势,并将其引入双向固定效应模型当中,以分析高铁网络对于区域创新的影响和作用机制。如图 1 所示,高铁网络日益完善和紧密会导致网络中各节点区位优势的改变,从而影响交通便利性、资源配置效率和知识可达性,进而通过人才、资金和信息等创新要素的流动和集聚对区域创新产生影响。

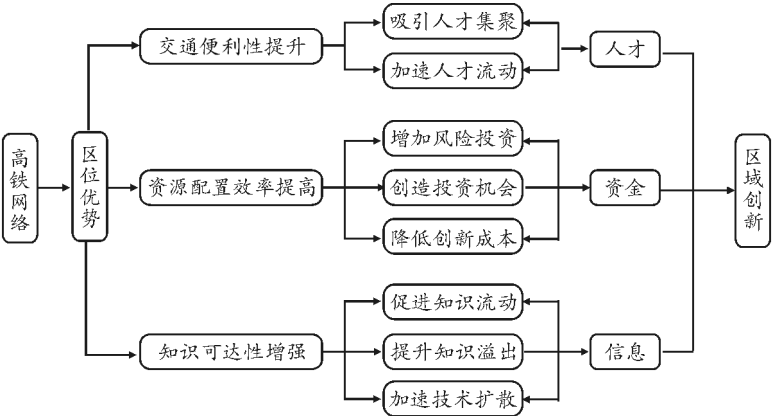


图 1 高铁网络对区域创新的影响机制

以上述思路为基础,本文构建中国高铁网络并通过此网络得出相应的“区位优势”指标体系,提出一种将实证经济学检验与网络分析相结合的框架,在这一框架下研究高铁网络如何影响中国区域创新能力;采用多种方法做出稳健性检验;同时还从区域异质性、中介机制和动态效应多角度拓展研究其内在机制。



## (二) 网络模型

高铁网络模型的基本框架是:地级市可以视作中国高铁网络中的节点,地级市间所开通的高铁线路可以视为节点间的链接,链接的新增或改变会影响节点处于高铁网络的位置,而地级市的高铁网络位置反映其区位优势。从网络的整体结构来说,中国高铁网络是动态变化的,随着每年新高铁线路的开通,中国高铁网络更加密集完善。它不仅包含以高铁站为单位的交通主体的简单集合,还包含各个站点之间的车次、流量、速度等重要信息,这些信息反映交通主体间错综复杂的客流流动关系。从网络分析的角度来说,将交通主体作为节点,它们之间的客流流动关系视为节点间的链接,则中国的高铁网络可以视为一个交通流动系统 $G$ ,这个系统 $G$ 通过有序三元组表示:

$$G=(V,E) \quad (1)$$

(1)式中:节点集 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$ , $v_i$ 为网络中的节点,表示包含在中国高铁网络中的高铁站点;链接集 $E=\{e_{ij}\}$ , $e_{ij}$ 为节点间的链接,表示节点间的客流流动关系。其中 $i$ 和 $j$ 分别代表地级市的编号,地级市 $i$ 和地级市 $j$ 都与高铁网络中的节点 $v_i$ 和节点 $v_j$ 相对应,链接集 $E$ 中的每个链接 $e_{ij}$ 都与节点集 $V$ 中的节点对 $\{v_i,v_j\}$ 相对应。

基于上述系统,借鉴周文韬等(2020)的网络构建思路,建立2008—2020年包含258个地级市的中国高铁网络。<sup>①</sup> 本文用矩阵 $A^t$ 表示 $t$ 年的无权高铁网络,当且仅当在 $t$ 年地级市 $i$ 和地级市 $j$ 之间开通了高铁线路,矩阵 $A^t$ 中的元素 $a_{ij}^t=a_{ji}^t=1$ (即节点 $v_i$ 和节点 $v_j$ 之间的链接),否则 $a_{ij}^t=a_{ji}^t=0$ ;用矩阵 $W^t$ 表示 $t$ 年的加权高铁网络,当且仅当 $t$ 年地级市 $i$ 和地级市 $j$ 之间开通了高铁线路,矩阵 $W^t$ 中的元素 $e_{ij}^t=e_{ji}^t>0$ (即节点 $v_i$ 和节点 $v_j$ 间的链接),否则 $e_{ij}^t=e_{ji}^t=0$ ,其中 $t=2008,\cdots,2020$ ,矩阵 $A^t$ 和 $W^t$ 的维度为 $N\times N$ , $N=258$ 。加权网络中链接的赋值方法如下:首先,统计高铁站点对间的车次数量 $TrainNumber$ 。其次,通过站点对间的里程距离 $Distance_{ij}^t$ 和不同车次在站点间的运行时间 $DuringTime_{ij}^t$ 计算车次运行时速。随后,将各车次的运行时速加总得出站点间的总转运速度 $SumSpeed_{ij}^t$ 。最后,由于本文构建的是无向网络,因此我们为了减少原始数据缺失所带来的误差,计算 $SumSpeed_{ij}^t$ 和 $SumSpeed_{ji}^t$ 的平均值得出 $e_{ij}^t$ 。需要说明的是,我们尝试使用高铁的客流数据对链接权重赋值,但是客流数据难以统计,只能获取少数核心高铁站的总客流数据,难以得到相邻高铁站之间的客流数据。此外,如果采用平均转运速度,则会忽略地级市间的高铁车次数量信息。为了满足链接权重的可加性,我们最终采用总转运速度来衡量链接权重。

$$SumSpeed_{ij}^t = \sum_{TrainNumber} \frac{Distance_{ij}^t}{DuringTime_{ij}^t} \quad (2)$$

$$e_{ij}^t = e_{ji}^t = \frac{SumSpeed_{ij}^t + SumSpeed_{ji}^t}{2} \quad (3)$$

<sup>①</sup>在链接方向性上,中国的高铁线路虽然有明确的方向性但却是对称的,例如“北京南—上海虹桥”的高铁线路一定会存在“上海虹桥—北京南”的高铁线路相对应,因此我们在本文研究中认为中国高铁网络是无向的。本文借鉴周文韬等(2020)的研究,采用无权和加权两种链接构建方法构建网络。后续研究中,我们还构建了包含省份节点的高铁网络,囿于篇幅,省份层面的实证分析备索。

三、指标构建与特征刻画

本部分构建地级市层面的网络指标体系,并通过指标体系对地级市的高铁区位优势进行特征事实刻画。

(一) 网络指标构建

利用高铁航线数据所构建的中国高铁网络,计算出反映区位优势的地级市网络指标  $HSRnetwork_{it}$ ,本文重点关注三类网络指标:度 (Degree,  $D$ ) 和强度 (Strength,  $S$ )、近邻平均度 (Average Nearest-Neighbor Degree,  $ANND$ ) 和加权近邻平均强度 (Weight Average Nearest-Neighbor Strength,  $WANNNS$ )、接近中心性 (Closeness Centrality,  $CC$ ) 和加权接近中心性 (Weight Closeness Centrality,  $WCC$ )。

度定义为网络中给定节点已经建立的链接数量,其刻画的是高铁网络中地级市的高铁关系数目,具体计算方式为 (Jeong et al., 2001):

$$Degree_i^t = \sum_j a_{ij}^t \tag{4}$$

强度定义为网络中给定节点所有链接权重之和,其刻画的是高铁网络中地级市的高铁关系强度,具体计算方式为:

$$Strength_i^t = \sum_j e_{ij}^t \tag{5}$$

近邻平均度定义为网络中给定节点的所有相邻节点的度数均值,其刻画的是网络中与给定地级市存在高铁开通关系的相邻地级市的高铁关系数目均值,具体计算方式为 (Fagiolo et al., 2010):

$$ANND_i^t = \frac{1}{Degree_i^t} \sum_j a_{ij}^t Degree_j^t \tag{6}$$

加权近邻平均强度定义为网络中与给定节点的所有相邻节点的强度加权平均值,其刻画的是网络中与给定地级市存在高铁开通关系的相邻地级市的高铁关系强度加权平均均值,具体计算方式为:

$$WANNNS_i^t = \frac{1}{Strength_i^t} \sum_j e_{ij}^t Strength_j^t \tag{7}$$

接近中心性 (Sabidussi, 1966) 定义为网络中给定节点与其他所有节点的平均最短路径长度 (Dijkstra, 1959) 的倒数,由于各年份中国高铁网络中均存在孤立节点,本文参照 Wasserman 和 Faust (1995) 的思路,构建接近中心性指标<sup>①</sup>,具体计算方式如下:

$$CC_i^t = \frac{(n^t - 1)^2}{(N - 1) \sum_{v_i, v_u \in V} dist_{i,u}} \tag{8}$$

(8) 式中:  $N=258$  为中国高铁网络的维度,  $n^t$  为网络中完全连通子网络的维度<sup>②</sup>,  $dist_{i,u}$  表示  $t$  年高铁网络中地级市  $i$  到地级市  $u$  的最短路径长度。接近中心性越高的节点越处于网络整

① 囿于篇幅,接近中心性的推导备索,如有兴趣请联系作者。  
② 虽然本文设定各年份的中国高铁网络维度在各年份中均一致,但是各年份网络中均包含孤立节点,为了方便后续网络指标跨年份比较,定义各年份的完全连通子网规模为  $n^t$ 。

体结构的中心位置,其影响范围也越大。在高铁网络中地级市的接近中心性越高,说明通过高铁网络从该地级市出发能更快速地到达更多的地级市,刻画的是地级市在高铁网络中的影响力,接近中心性越高的地级市在网络中越核心。

加权接近中心性是接近中心性的加权扩展,指标构建的基本思路与接近中心性一致,区别在于最短路径的选择中考虑了链接的权重,具体计算方式为:

$$WCC_i^t = \frac{(n^t - 1)^2}{(N - 1) \sum_{v_i, v_u \in V} wdist_{i,u}^t} \quad (9)$$

(9)式中  $wdist_{i,u}^t$  表示  $t$  年高铁网络中地级市  $i$  到地级市  $u$  的最短加权路径长度,加权网络中将节点间链接权重的倒数和视为路径长度(Li et al., 2013)。在高铁网络中,加权接近中心性中的最短路径考虑到了各个高铁站间的车次和速度,以便能更好地衡量区域节点在整个高铁网络中的核心地位。

对于区域网络指标的经济含义,需要进行如下说明:加权网络指标实际上是在无权网络指标的基础上考虑链接的权重。度/强度只考虑了与目标节点一步距离的联系,刻画的是节点自身的区位优势,属于一阶指标;近邻平均度/加权近邻平均强度考虑到了与目标节点二步距离的联系,刻画的是节点周边的区位优势,属于二阶指标;接近中心性/加权接近中心性则考虑到了与目标节点任意距离的联系,刻画的是节点相对于整体网络的区位优势,属于高阶指标。本文中链接权重不仅反映地级市间高铁联系的强弱,也反映了地级市间创新要素流动速度的快慢。<sup>①</sup>

## (二) 区位优势刻画

本文中的区位优势通过节点网络指标来刻画,因此有必要对各阶网络指标作特征事实刻画。图2汇报了各年份地级市层面网络指标的核密度估计。<sup>②</sup>从图2(a)和(b)发现,一阶指标呈现右偏分布,大多数地级市自身区位优势较弱,说明大多数地级市处于高铁网络的边缘位置,少数地级市处于高铁网络的核心位置;随着时间的推移,一阶指标的峰值呈现下降趋势,说明地级市间的高铁联系越来越紧密;强度峰值的下降幅度明显快于度峰值的下降幅度,说明在加权视角下地级市的高铁联系不仅数量增加且强度加大,意味着更多边缘位置的地级市提升了其自身的区位优势。从图2(c)和(d)发现,二阶指标同样呈现右偏分布,说明大多数地级市的周边地级市位于高铁网络较边缘的位置;随时间推移,二阶指标的峰值呈现下降趋势,说明地级市的周边高铁联系越来越紧密;近邻平均度的峰值下降幅度快于加权近邻强度峰值的下降幅度,说明在加权视角下地级市周边的联系强度的增加并没有其数量增加迅速,地级市周边的区位优势呈现不均衡发展态势。从图2(e)和(f)发现,接近中心性近似正态分布,峰值随年份下降,均值随年份增加,这说明随着高铁网络的发展,越来越多的地级市能够通过高铁网络到达更多的其他地级市,且更多的地级市提升了其整体区位优势;加权接近中心性呈现左偏分布,且峰值下降幅度快于接近中心性,说明在加权网络框架下高

①为了方便后文行文,所有网络指标统一称为  $HSRnetwork_{it}$ , 囿于各阶网络指标的数量级存在巨大差异,特做数字化处理,使得  $HSRnetwork_{it} \in [0, 100]$ , 单位为“百分比”。

②囿于篇幅,正文每隔两年绘制一次核密度估计图,跨度为2009—2017年,其余备索。此外,省份层面网络指标的核密度估计也能得到相似的结论。

铁网络中核心地级市的整体区位优势提升明显快于边缘地级市并呈现集聚现象。需要特别说明的是,通过比较加权与无权视角,我们认为在网络构建中纳入链接权重后能更好地刻画区域节点的区位优势。

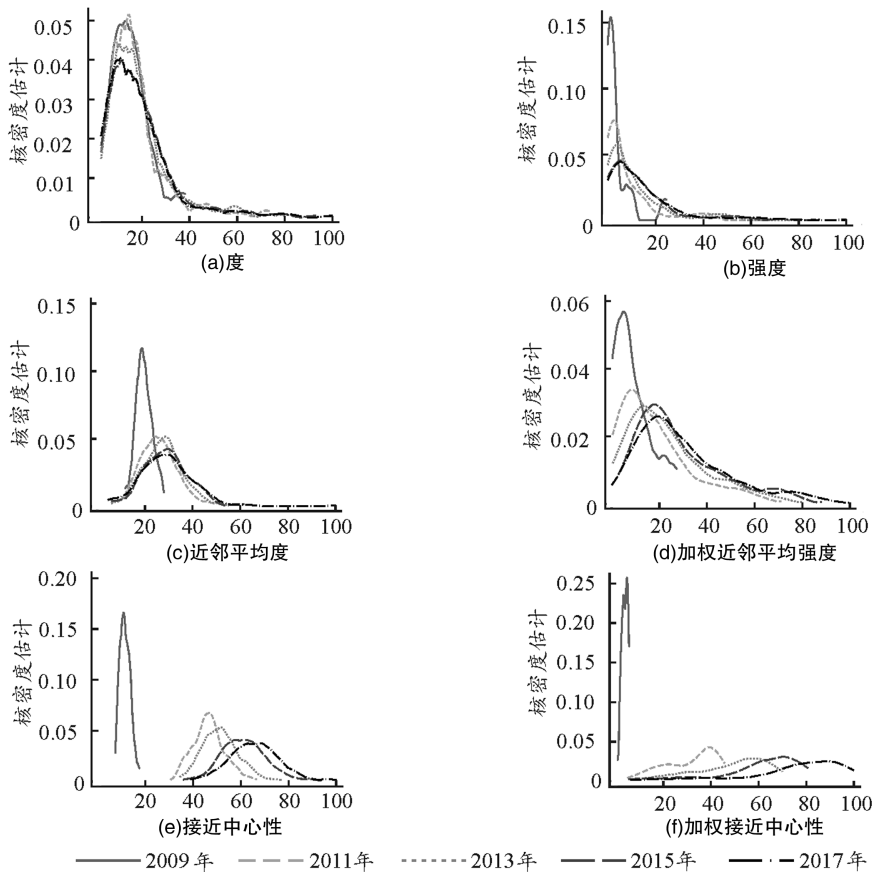


图2 地级市层面核心解释变量核密度估计

为了更直观地考察高铁网络中的区域节点的区位优势分布,本文对高铁网络做可视化处理<sup>①</sup>,我们发现高铁网络呈现“核心-边缘”结构,少数地级市位于高铁网络核心而多数地级市位于高铁网络边缘。此外,本文还对高铁网络区位优势进行排名<sup>②</sup>,发现各阶网络指标的排名各不相同且不存在太大的相关性,这说明各阶网络指标的确能够从多角度反映不同层面区位优势的经济含义。随着时间推移,高铁网络构建日趋完善,各阶网络指标的排名均发生了变化,这说明高铁网络结构的发展是一个动态演变的过程。

四、实证分析

(一) 模型设定

1. 计量模型构建

本文利用第三部分所构建的高铁网络指标体系  $HSRnetwork_{it}$ ,将其纳入面板数据双向固

① 囿于篇幅,地级市和省份层面的可视化图备索。  
② 囿于篇幅,地级市和省份层面的区位优势排名备索。



定效应模型中,考察高铁网络对于区域创新能力的影响。需要特别说明的是,由于高铁网络带来的创新效应存在时滞,本文重点关注的是当期地级市的高铁网络区位优势对于下期区域创新能力的影响。

$$Innovation_{i,t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 HSRnetwork_{i,t} + \alpha_k X_{i,k,t} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t+1} \quad (10)$$

(10)式中: $i$ 代表地级市, $t$ 代表年份;被解释变量  $Innovation_{i,t+1}$  表示地级市在  $t+1$  年的创新能力;核心解释变量  $HSRnetwork_{i,t}$  是地级市  $i$  在  $t$  年的高铁网络指标,反映的是地级市  $i$  在第  $t$  年高铁网络中的区位优势; $\alpha_1$  为本文密切关注的高铁网络指标对区域创新能力的影响系数,预期符号为正; $X_{i,k,t}$  表示选取的  $k$  个控制变量, $\alpha_k$  是各控制变量的回归系数; $\delta_i$  表示个体固定效应,即不随时间变化影响地级市高铁区位优势的特定制因素; $\sigma_t$  表示时间固定效应,即不随个体变化影响地级市高铁区位优势的特定制因素; $\varepsilon_{i,t+1}$  为服从标准分布的随机干扰项。

## 2.数据来源和描述性统计

本文整合中国研究数据服务平台(CNRDS)下的高铁航线数据(CRAD)、创新专利研究数据(CIRD)、城市统计数据(CCSO)以及清科集团(Zero2IPO)下属的私募通数据(PEDATA),构建中国的高铁网络并给出反映节点区位优势的网络指标、区域创新能力指标、控制变量以及其他变量。<sup>①</sup> 构建中国高铁网络的数据来自高铁航线数据库,通过CRAD中的高铁列车信息、高铁线路信息和高铁站开通时间三个数据集匹配得出各年份的高铁网络,我们将高铁线路信息与高铁站开通时间进行匹配并剔除货运和停运线路就能得到2008—2020年属于高铁网络中的所有站点名称,再与高铁列车信息数据进行匹配得到2008—2020年的高铁网络。本文采用创新专利研究数据库中的专利申请情况来构建区域创新能力指标。创新专利研究数据中包含的两个子数据集分别是各省市专利获得情况与申请情况。专利申请数据的年份跨度从1989—2018年,专利获得数据的年份跨度从1990—2018年。我们对比两个数据集发现,在个别年份中某区域的专利获得数量远远超过当年的专利申请数量。由于从申请专利到获得专利需要审核时间,各专利的申请与获得之间的期限也各不相同,这就导致使用专利获得数据并不能很好地代表当期的创新水平。因此,我们选用专利申请数量作为指标代替模型中的被解释变量。

此外,实证检验中需要控制区域信息的相关变量,这些数据来自城市统计数据库。具体地,我们借鉴卞元超等(2019)的研究,引入以下控制变量:(1)经济发展水平(*Economy*),选取各地级市当年人均地区生产总值作为其衡量指标,单位为万元,并采用以2002年为基期的各省份的GDP指数对其做去价格化处理,以控制经济发展水平对于区域创新的影响;(2)对外开放水平(*Open*),选取各地级市当年实际利用外资金额占地级市当年地区生产总值的百分比作为衡量指标,我们通过当年的人民币兑美元实际汇率将实际利用外资金额核算为人民币单位并做去价格化处理,以控制对外开放水平对于区域创新能力的影响;(3)人力资本水平(*Human*),选取各地区当年每万人中科学研究、技术服务和地质勘查业从业人数作为替代指标,以控制人力资本水平对于区域创新能力的影响;(4)城镇化水平(*Urban*),选取各地区当年城市建设用地面积占全市土地面积的百分比作为替代指标,以控制城镇化水平对于区域创新能力的影响;(5)基础设施建设水平(*Facility*),选取各地区当年年末实有城市道路面积作为替代指标,单位为平方公里,以控制基础设施建设水平对于区域创新能力的影响。

①囿于篇幅,详细数据介绍和数据处理与修正方法备索。

响;(6)金融发展水平(*Finance*),选取各地区当年年末金融机构各项贷款总额占当年金融机构存、贷款总额的百分比作为替代指标,以控制金融发展水平对于区域创新能力的影响;(7)产业结构水平(*Structure*),选取第二产业和第三产业生产总值与第一产业生产总值的比例作为替代指标,以控制产业结构水平对于区域创新能力的影响;(8)政策支持环境(*Support*),选取各地区当年科技支出占财政支出的百分比作为替代指标,以控制政策支持环境对于区域创新能力的影响。同时,借鉴龙玉等(2017)的研究,采用各地级市当年所获得的风险投资金额数据(*Venture Capital, VC*)来衡量各地级市的创新资金投入,该数据来自清科私募通数据库。

需要说明的是,在本文所收集的原始数据中,高铁航线数据库的时间跨度为2008—2020年,创新专利研究数据库的时间跨度为1989—2018年,由于创新专利研究数据库中2003年前包含的地级市较少,且2003年之前和2018年的数据样本存在较严重缺失,因此在匹配后得出的有效样本中,数据跨度为2003—2017年<sup>①</sup>。核心解释变量和控制变量均为 $t$ 期,时间跨度为2002—2016年,而被解释变量均为 $t+1$ 期,时间跨度为2003—2017年。在理论机制和网络模型的基础上,后文将对计量模型进行检验,反映“区位优势”的网络指标是本文最为关注的解释变量,我们认为随着中国高铁网络的日益紧密,地级市的高铁网络区位优势对于区域创新的作用会越来越重要。表1报告了地级市层面主要变量的描述性统计结果。<sup>②</sup>

表 1 主要变量描述性统计

变量	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
<i>Innovation</i> (件/万人)	4 451	2.5140	7.9964	0	136.7351
<i>Degree</i>	4 451	5.8315	11.6122	0	100
<i>ANND</i>	4 451	8.3283	13.7252	0	100
<i>CC</i>	4 451	16.5418	26.3436	0	100
<i>Strength</i>	4 451	3.7769	9.7520	0	100
<i>WANNs</i>	4 451	7.4604	15.0251	0	100
<i>WCC</i>	4 451	16.1562	28.0200	0	100
<i>Economy</i> (万元)	4 070	2.6353	3.0686	0.0237	37.6091
<i>Open</i> (%)	3 954	2.6557	2.9140	0.0013	62.0192
<i>Human</i> (人/万人)	4 069	19.8702	33.3390	0.5152	506.0536
<i>Urban</i> (%)	4 061	1.5403	3.7614	0.0030	46.1192
<i>Facility</i> (平方公里)	4 066	14.3219	20.3921	0.0100	214.9000
<i>Finance</i> (%)	4 057	44.7476	3.9659	10.9874	79.1670
<i>Structure</i> (%)	4 088	18.1629	105.2166	1.0044	3332.3333
<i>Support</i> (%)	4 054	2.4803	5.1114	0	41.3859

(二)实证结果分析

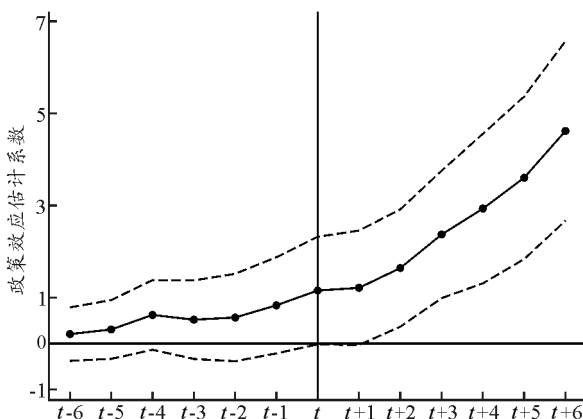
1.基准回归结果

在进行实证分析前,我们先对计量思路进行简要讨论。本文采用的是双向固定效应面

①中国在2008年才正式开通第一条高铁线路,因此2003—2007年各地级市均未包含在高铁网络当中,在数据处理中对这一阶段的各地级市的网络指标均补0。实际上,我们的实证检验既考察了在高铁网络中地级市的区位优势从无到有,也考察了地级市的区位优势从低到高这两种情况对于区域创新能力的影响。

②囿于篇幅,正文只报告地级市层面主要变量描述性统计,省份层面备案。

板模型,已有文献的普遍方法是将高铁开通视为准自然实验,在双重差分模型中纳入高铁开通虚拟变量讨论高铁开通前后区域创新能力的改变。然而,在标准双重差分模型中,政策分组变量是二值虚拟变量,这种设定体现的只是个体实行政策与未实行政策的区别,无法体现出程度的变化。即高铁开通虚拟变量仅能刻画地级市是否开通高铁,并不足以反映地级市的高铁网络区位优势。实际上,地级市位于高铁网络中区位优势强弱对于区域创新能力的影响是不同的,因此本文的思想更类似于标准双重差分方法的连续扩展,即连续型双重差分(Nathan and Nancy,2011)。此外,由于各个地级市的高铁开通年份各不相同,因此本文的计量思路也类似于多期双重差分法。为此,我们将刻画地级市高铁区位优势的网络指标转化为高铁开通虚拟变量,采用事件研究法的思想,进行多期平行趋势检验,结果如图3。可以看出,在地级市开通高铁政策时点前,各期的估计系数基本近似于0(即95%的置信区间包含了0值),这表明在高铁开通前,各地级市的创新能力并没有出现异质性的时间趋势,这一点支持了本文的平行趋势假定。在地级市开通高铁政策时点后,地级市高铁开通对于区域创新能力的影响在数量级上开始显著增加,这说明高铁开通后控制组和处理组的创新能力增长趋势发生明显变化,所以本研究符合平行趋势假设的前提条件。



注:图中实线是地级市开通高铁的政策效应估计系数,虚线是95%的置信区间, $t$ 为地级市开通高铁的政策时间。

图3 开通高铁地级市和未开通高铁地级市的区域创新能力平行趋势检验

表2汇报了无权网络视角下以区域创新能力为被解释变量的基准回归结果。被解释变量( $Innovation_{i,t+1}$ )为地级市*i*在*t*+1期每万人中发明申请数量,解释变量则为地级市*i*在*t*期的无权高铁网络指标( $HSRnetwork_{it}$ )和相关的控制变量。相较于前三列,后三列加入了控制变量,所有回归均控制年份和地级市层面的固定效应。从表2的前三列结果可以观察到,各阶无权网络指标的估计系数均在1%的显著性水平上正向显著。从表2后三列的结果可以观察到,在加入控制变量之后,各阶无权网络指标的估计系数变小,但仍基本在1%的显著性水平上正向显著。这说明地级市位于高铁网络中的区位优势的确能促进区域创新能力的提升,具体来说, $t$ 期地级市的各阶无权网络指标分别提升一个百分点,会使地级市*t*+1期每万人中发明申请数量提高0.05、0.05和0.03件。控制变量基本在1%的显著水平上显著,表明经济发展水平、人力资本水平等控制变量的提升均对区域创新能力有显著正向影响,这与已有文献较为吻合。对外开放水平( $Open$ )的系数符号为负,表明外商投资与本地创新产业因竞争而造成了挤出效应(卞元超等,2019)。

表 2 基准回归:无权视角估计结果

变量	$t+1$ 期地级市每万人中发明申请数量					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Degree</i>	0.2037 *** (0.0346)			0.0506 ** (0.0219)		
<i>ANND</i>		0.0907 *** (0.0204)			0.0485 *** (0.0127)	
<i>CC</i>			0.0735 *** (0.0128)			0.0332 *** (0.0071)
<i>Economy</i>				1.7611 *** (0.5250)	1.7817 *** (0.5230)	1.7836 *** (0.5143)
<i>Open</i>				-0.1120 (0.1024)	-0.1043 (0.0998)	-0.1060 (0.1006)
<i>Human</i>				0.1178 *** (0.0354)	0.1283 *** (0.0355)	0.1233 *** (0.0352)
<i>Urban</i>				0.4353 (0.3235)	0.4316 (0.3134)	0.4283 (0.3162)
<i>Facility</i>				0.0800 ** (0.0325)	0.0866 *** (0.0311)	0.0814 *** (0.0306)
<i>Finance</i>				0.1349 *** (0.0490)	0.1314 *** (0.0483)	0.1311 *** (0.0480)
<i>Structure</i>				0.0058 ** (0.0026)	0.0054 ** (0.0025)	0.0054 ** (0.0025)
<i>Support</i>				0.2734 *** (0.0861)	0.2748 *** (0.0856)	0.2705 *** (0.0839)
<i>City, Year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	4 451	4 451	4 451	3 939	3 939	3 939
<i>R<sup>2</sup></i>	0.7126	0.6878	0.6977	0.8606	0.8612	0.8622

注:括号内为回归所得系数标准误,所有的回归系数标准误均在地级市层面进行聚类(cluster)。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。如无特殊说明,下同。

表 3 汇报了加权网络视角下以区域创新能力为被解释变量的基准回归结果,同表 2 一致,表 3 前三列未加入控制变量,后三列加入控制变量。从表 3 的前三列结果可以观察到,各阶加权网络指标的估计系数均在 1%的显著性水平上正向显著。从表 3 后三列的结果可以观察到,在加入控制变量之后,各阶加权网络指标的估计系数变小,但仍然均在 1%的显著性水平上正向显著。这同样说明地级市位于高铁网络中的区位优势的确能够促进区域创新能力的提升,具体来说, $t$  期地级市的各阶加权网络指标分别提升一个百分点,会使地级市  $t+1$  期每万人中发明申请数量提高 0.16、0.10 和 0.05 件。其他控制变量的回归结果也与表 2 类似,这里不再赘述。对比表 2 的回归结果,加权网络视角下各阶网络指标的回归系数均大于无权网络视角下的回归系数,这说明在考虑链接权重的异质性后反映区位优势的指标解释力更强。由于无权视角忽略了链接权重的异质性,而加权视角下的网络指标包含更多的信息,因此加权网络指标比无权网络指标能更好地反映高铁网络中区域



层面的区位优势,这在前文的特征事实刻画中也有体现。此外,本文还在省份层面进行基准回归,并采用地级市每万人中实用新型和外观设计申请数量替换被解释变量<sup>①</sup>,估计结果均与基准回归保持一致。

表 3 基准回归:加权视角估计结果						
变量	<i>t</i> +1 期地级市每万人中发明申请数量					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Strength</i>	0.3593 *** (0.0490)			0.1635 *** (0.0421)		
<i>WANNs</i>		0.1845 *** (0.0344)			0.1027 *** (0.0206)	
<i>WCC</i>			0.0870 *** (0.0141)			0.0461 *** (0.0082)
<i>Economy</i>				1.5168 *** (0.4621)	1.5884 *** (0.4619)	1.7405 *** (0.4927)
<i>Open</i>				-0.0901 (0.0917)	-0.1010 (0.0891)	-0.1030 (0.0975)
<i>Human</i>				0.0987 *** (0.0366)	0.1292 *** (0.0336)	0.1236 *** (0.0350)
<i>Urban</i>				0.4388 (0.3372)	0.4044 (0.3022)	0.4221 (0.3144)
<i>Facility</i>				0.0664 ** (0.0272)	0.0823 *** (0.0275)	0.0774 *** (0.0292)
<i>Finance</i>				0.0896 * (0.0462)	0.0997 ** (0.0447)	0.1179 ** (0.0467)
<i>Structure</i>				0.0068 *** (0.0025)	0.0054 ** (0.0023)	0.0054 ** (0.0025)
<i>Support</i>				0.2543 *** (0.0836)	0.2530 *** (0.0820)	0.2615 *** (0.0808)
<i>City, Year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	4 451	4 451	4 451	3 939	3 939	3 939
<i>R<sup>2</sup></i>	0.7630	0.7263	0.7087	0.8713	0.8715	0.8661

2.稳健性检验

首先,模型中存在遗漏变量的可能,对省份层面的外生冲击对于地级市层面也会产生影响。我们在地级市层面中加入了省份层面冲击的固定效应,回归结果见表4。我们发现在控制地级市+省份×年份固定效应后,无权视角和加权视角下网络指标的回归系数值和显著性均只发生略微的降低,加权视角下各阶网络指标的回归系数值和显著性水平仍明显高于无权视角,这证明了基准回归结果的稳健性。

①囿于篇幅,省份层面基准回归、地级市每万人中申请的实用新型数量和外观设计数量替换被解释变量的回归结果备索。

表 4 稳健性检验:控制地级市+省份×年份固定效应

变量	<i>t</i> +1 期地级市每万人中发明申请数量					
	无权视角			加权视角		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
一阶指标	0.0123 (0.0234)			0.1006 ** (0.0443)		
二阶指标		0.0340 *** (0.0124)			0.0719 *** (0.0194)	
高阶指标			0.0187 *** (0.0067)			0.0293 *** (0.0075)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>City, Province×Year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	3 859	3 859	3 859	3 859	3 859	3 859
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.9014	0.9022	0.9021	0.9048	0.9057	0.9034

注:圆于篇幅,控制变量未报告,下同。

随后,地级市的高铁网络区位优势可能与地级市的创新能力相关,虽然基准模型中采用 *t* 期的网络指标对 *t*+1 期的区域创新能力进行检验,可以在一定程度上缓解模型的内生性,但模型中的双向因果关系带来的内生性问题并未完全控制。故结合文献和资料的梳理,本文借鉴吉赞和杨青(2020)的思路,选取地理坡度的倒数构造工具变量,地级市的地理坡度越小,修建高铁的难度就越小,其位于高铁网络中的区位优势的提升则越容易,即地级市地理坡度的倒数与其区位优势呈正相关关系;并且地理坡度是一种外生变量,不会直接影响到创新能力。因此,本文利用地理坡度的倒数与年份变量的交乘项作为工具变量。在一阶段的回归中,地理坡度的倒数与高铁网络指标呈显著正相关关系;此外,各列回归结果中 Cragg-Donald F 统计量与 Kleibergen-Paap F 统计量均大于 Stock-Yogo 值中 10% 偏误的临界值,这说明工具变量的选取是有效的<sup>①</sup>。表 5 汇报了工具变量二阶段的结果,回归结果同样证明了基准回归是稳健的。

表 5 稳健性检验:工具变量

变量	<i>t</i> +1 期每万人中发明申请数量					
	无权视角			加权视角		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
一阶指标	0.2035 *** (0.0489)			0.2324 *** (0.0481)		
二阶指标		0.1287 *** (0.0314)			0.1085 *** (0.0240)	
高阶指标			0.0660 *** (0.0157)			0.0574 *** (0.0133)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>City, Year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	3 939	3 939	3 939	3 939	3 939	3 939
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.4707	0.5008	0.5141	0.5486	0.5567	0.5367

①圆于篇幅,工具变量一阶段的结果备索。

最后,考虑到  $t$  期的区域创新能力会影响  $t+1$  期的区域创新能力,将当期的区域创新能力作为解释变量纳入模型中,进一步采用动态面板两步系统 GMM 方法来解决,回归结果见表 6。两步系统 GMM 方法的回归结果中,各列回归的  $AR(1)$  统计量的  $p$  值均小于 0.05,说明一阶差分后存在自相关, $AR(2)$  统计量的  $p$  值均大于 0.1,说明二阶差分后不存在自相关,通过了模型残差自相关检验。无权 and 加权视角下, *Innovation* 的滞后期对当期的影响均在 1% 的显著水平上正向显著,各阶网络指标的结果与基准回归类似,这再次验证了前文结论的稳健性。此外,采用替换被解释变量、倾向值得分匹配方法进行稳健性检验后,基准回归结果依然稳健<sup>①</sup>。稳健性检验的结果证实了相比无权视角,加权网络指标能更好地反映并刻画地级市的高铁网络区位优势。接下来我们将围绕加权视角进一步展开拓展研究。

表 6 稳健性检验:基于两步系统 GMM 方法

变量	$t+1$ 期每万人中发明申请数量					
	无权视角			加权视角		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
一阶指标	0.0122*** (0.0044)			0.0203** (0.0078)		
二阶指标		0.0098*** (0.0031)			0.0162*** (0.0047)	
高阶指标			0.0062*** (0.0017)			0.0069*** (0.0019)
$t$ 期地级市每万人中发明申请数量	1.0674*** (0.0353)	1.0680*** (0.0352)	1.0663*** (0.0353)	1.0578*** (0.0388)	1.0569*** (0.0371)	1.0633*** (0.0357)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
City, Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
AR(1)	-2.9808 (0.0029)	-2.9846 (0.0028)	-2.9808 (0.0029)	-2.9925 (0.0028)	-2.9962 (0.0027)	-2.9798 (0.0029)
AR(2)	-0.7359 (0.4618)	-0.7356 (0.4620)	-0.7354 (0.4621)	-0.7243 (0.4689)	-0.7371 (0.4611)	-0.7288 (0.4661)
N	3 940	3 940	3 940	3 940	3 940	3 940

注:AR 统计量括号内为  $Prob>z$  的值。

五、拓展研究

(一) 区域异质性分析

从基准回归和稳健性检验的结果来看,由于加权网络指标中考虑了链接的异质性,因此,其解释力更强。然而,对于具体区域来说,中国的地级市发展存在差异,并且高铁网络的空间分布也不均衡,有必要考虑地级市间的异质性。在以往的研究中,地级市间的异质性通常使用地理位置来衡量,普遍的划分方法是“东西”划分和“南北”划分,然而地理位置的“东

① 囿于篇幅,替换被解释变量和倾向值得分匹配方法的稳健性检验结果备索。

西”划分和“南北”划分并不能体现出地级市间高铁网络区位优势的差异性。因此,本文通过网络分析计算出地级市的网络中介中心性,识别出不同类型的地级市在高铁网络中的通道作用,按照这一思想对样本进行分组。本文选用加权中介中心性作为分组指标,加权中介中心性刻画的是高铁网络中地级市的枢纽地位,具体计算方式为:

$$WBC_i^t = \frac{n^t - 1}{N - 1} \sum_s \sum_d \frac{Q_{s,i,d}^t}{\zeta_{s,d}^t}, s \neq i \neq d$$

(11)

(11)式中: $\zeta_{s,d}^t$ 表示 $t$ 年的高铁网络中地级市 $s$ 到地级市 $d$ 的加权最短路径条数, $Q_{s,i,d}^t$ 表示 $t$ 年高铁网络中地级市 $s$ 到地级市 $d$ 且经过地级市 $i$ 的加权最短路径条数, $(n^t-1)/(N-1)$ 则为各年份的完全连通子网络占总网络的比例。我们按照加权中介中心性将样本分为四组,在基准回归模型的基础上对地级市进行异质性分析,回归结果见表7<sup>①</sup>。

表 7 拓展研究:按照加权中介中心性分城市的异质性分析

变量	t+1 期地级市每万人中发明申请数量					
	90%~100%			75%~90%		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Strength	0.0002 (0.0514)			0.2340 ** (0.1060)		
WANNs		0.0413 (0.0638)			0.1052 * (0.0604)	
WCC			0.0010 (0.0328)			0.0354 * (0.0186)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
City, Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.9658	0.9659	0.9658	0.8643	0.8578	0.8538
N	362	362	362	488	488	488

变量	t+1 期地级市每万人中发明申请数量					
	50%~75%			0~50%		
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Strength	0.1848 ** (0.0771)			0.1920 ** (0.0789)		
WANNs		0.1005 ** (0.0403)			0.0705 ** (0.0270)	
WCC			0.0378 ** (0.0155)			0.0330 *** (0.0120)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
City, Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.8600	0.8550	0.8459	0.7200	0.7210	0.7069
N	846	846	846	1 447	1 447	1 447

① 囿于篇幅,加权中介中心性数据以及具体的分组方法备索。此外,本文还将地级市的加权中介中心性标准化到[0,1],按照阈值分为四组,分别是(0.1,1]组别、(0.01,0.1]组别、(0,0.01]组别和等于0组别,对异质性分析做稳健性检验,结果备索。



可以发现,在所有组别中各阶网络指标的符号均为正,与基准回归结果一致。具体到不同的分组,中介中心性最高的地级市组别中,各阶网络指标的回归系数均不显著,随着地级市中介中心性的减弱,各阶网络指标的回归系数显著性均有着明显提升。由于中介中心性代表地级市在高铁网络中与其他所有地级市的互动,不仅代表相邻城市的直接交流,更重要的是一种“掌控”能力,体现城市在交通网络中的枢纽地位(罗能生等,2019)。因此,对于高中介中心性组别核心解释变量不显著的可能解释有两点:(1)由于中介中心性高的地级市样本过少,且高中介中心性的地级市样本基本都是经济发展水平较高的大城市,其高铁网络区位优势对于其区域创新能力的影响被自身较高的经济、社会、资源发展水平所替代。(2)现有研究也证明高铁具有“虹吸效应”(马光荣等,2020),中介中心性高的城市可能通过虹吸效应集聚大量创新资源,其自身的高铁网络区位优势提升对于其区域创新能力的影响有限。而对于中介中心性不是那么高的组别来说,不管是从地理区位或是经济发展水平的角度来看,其吸附创新要素的能力都不强,与经济发展水平较高城市的网络位置越近,高铁网络所带来的要素“溢出效应”与“均衡效应”越明显。因此,越位于高铁网络边缘的地级市,其区位优势的改变越能显著挖掘其创新潜力并带动区域创新能力的提升。当然,异质性分析所得出的结论比较初步,但也启发我们在后续研究中,讨论不同地级市的网络聚类性、地级市间的网络距离等所带来的不同网络效应的影响。此外,本文还依据《第一财经周刊》推出的新一线研究室“2017年中国城市分级完整名单(包含338个地级市)”对高铁网络中地级市进行异质性分析<sup>①</sup>,结果与表7类似。

## (二)中介机制检验

地级市在高铁网络中的区位优势地位改变能够影响区域创新要素再分配,并会使地级市的创新要素集聚程度加深从而影响到区域创新能力,我们认为区域创新能力是创新要素集聚发挥作用的结果。本文结合图1构建如下中介效应模型,以考察高铁网络区位优势是否通过创新要素集聚这一机制影响区域创新能力。

$$Talent_{i,t+1} = \beta_0 + \beta_1 HSRnetwork_{i,t} + \beta_k X_{i,k,t} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t+1} \quad (12)$$

$$Capital_{i,t+1} = \theta_0 + \theta_1 HSRnetwork_{i,t} + \theta_k X_{i,k,t} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t+1} \quad (13)$$

$$Information_{i,t+1} = \gamma_0 + \gamma_1 HSRnetwork_{i,t} + \gamma_k X_{i,k,t} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t+1} \quad (14)$$

$$Innovation_{i,t+1} = \psi_0 + \psi_1 HSRnetwork_{i,t} + \psi_2 Talent_{i,t+1} + \psi_3 Capital_{i,t+1} + \psi_4 Information_{i,t+1} + \alpha_k X_{i,k,t} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t+1} \quad (15)$$

(12) — (14) 式中:分别使用  $t+1$  期地级市的人才水平 ( $Talent_{i,t+1}$ )、资本水平 ( $Capital_{i,t+1}$ )、信息水平 ( $Information_{i,t+1}$ ) 来替换 (10) 式中的被解释变量,考察网络指标对于创新要素的影响。随后,在 (10) 式中分别纳入各创新要素作为解释变量来考察单一传导机制。最后,在 (15) 式中纳入所有创新要素以考察要素集聚对于区域创新能力的影响。其中  $X_{i,k,t}$  表示选取的  $k$  个控制变量,  $\delta_i$  表示个体固定效应,  $\sigma_t$  表示时间固定效应,  $\beta_1$ 、 $\theta_1$ 、 $\gamma_1$  分别是分项机制讨论模型中的核心系数,预期符号为正,  $\psi_1$ 、 $\psi_2$ 、 $\psi_3$ 、 $\psi_4$  分别代表最终机制讨论模型中的核心系数,预期符号为正。本文参照吉赞和杨青 (2020) 的研究,选取普通高等学校在校学生与年

<sup>①</sup> 囿于篇幅,按照“2017年中国城市分级完整名单”的地级市异质性分析备案。

平均人口的比值作为 *Talent* 的替代变量;借鉴龙玉等(2017)的研究,选取地级市的风险投资总额作为 *Capital* 的替代变量;参照石敏俊和张雪(2020)的研究,选取地级市互联网宽带接入用户数作为 *Information* 的替代变量;其他控制变量与基准回归一致,回归结果见表 8。<sup>①</sup>可以发现,各阶网络指标均在 1% 的显著性水平上正向显著,虽然网络指标的显著性并未降低,但是回归系数的大小与其 *t* 值的绝对值相较于基准回归结果有明显下降,这说明中介机制的确存在。*Talent* 的估计系数为正不显著,*Capital* 和 *Information* 的估计系数均在 1% 的显著性水平上显著。我们认为地级市的区位优势的提升,确实能带来资金和信息这两个创新要素的集聚效应,并由此影响区域创新能力。此外,人才这一机制变量并不显著,可能的解释是人才的要素集聚效应容易被高铁开通所带来的“虹吸效应”(张克中、陶东杰,2016)所抑制,地级市高铁网络区位优势的提升虽然促进了人才流动,但是并不一定能起到留住人才的作用,有待后续进一步的研究。

表 8 拓展研究:机制分析

变量	t+1 期地级市每万人中发明申请数量		
	(1)	(2)	(3)
<i>Strength</i>	0.1323 *** (0.0420)		
<i>WANNS</i>		0.0880 *** (0.0189)	
<i>WCC</i>			0.0362 *** (0.0073)
<i>Talent</i>	0.0424 (0.0494)	0.0483 (0.0484)	0.0320 (0.0494)
<i>Capital</i>	0.2210 *** (0.0627)	0.2265 *** (0.0610)	0.2285 *** (0.0595)
<i>Information</i>	0.0610 *** (0.0213)	0.0634 *** (0.0213)	0.0642 *** (0.0218)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes
<i>City, Year FE</i>	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	2 416	2 416	2 416
<i>R<sup>2</sup></i>	0.9165	0.9172	0.9151

(三) 动态效应分析

高铁网络中地级市的区位优势改变对于区域创新能力的作用可能需要几年的时间才能完全显现,即可能存在动态“时滞效应”。本文借鉴诸竹君等(2019)的研究,在基准回归方程中分别加入网络指标的提前一期、滞后一期、滞后二期和滞后三期项,回归结果如表 9。可以发现各阶网络指标提前一期的系数均不显著,说明高铁网络区位优势对于区域创新能力不存在明显的预期效应。各阶网络指标滞后一期、滞后二期、滞后三期的系数均为正,表明地级市的高铁区位优势对区域创新能力存在动态时滞效应。滞后一期的结果与基准回归类似;滞后三期显著且回归系数最大,说明地级市区位优势的提升需要经过三期才能对区域创

①囿于篇幅,正文只汇报了合并机制分析的回归结果,其他备索。

新能力的影响达到最大;滞后二期不显著,说明这种“时滞效应”存在明显的“半衰期”情况。动态效应分析不仅再次验证了基准回归结果的稳健性,同时说明高铁网络中地级市的区位优势对于区域创新能力的影响效应是一个长期动态的过程。

表 9 拓展研究:动态效应分析			
变量	$t+1$ 期地级市每万人中发明申请数量		
	一阶指标	二阶指标	高阶指标
	(1)	(2)	(3)
提前一期	0.0120 (0.0192)	0.0056 (0.0121)	0.0028 (0.0060)
滞后一期	0.0544 *** (0.0199)	0.0272 *** (0.0083)	0.0196 *** (0.0065)
滞后二期	0.0244 (0.0265)	0.0038 (0.0177)	0.0227 * (0.0135)
滞后三期	0.1336 *** (0.0319)	0.0886 *** (0.0180)	0.0604 *** (0.0128)
Control	Yes	Yes	Yes
City, Year FE	Yes	Yes	Yes
N	3 388	3 388	3 388
R <sup>2</sup>	0.8943	0.8933	0.8877

六、结论与启示

本文基于网络分析视角,研究中国高铁网络对于区域创新的影响。整合中国研究数据服务平台下的高铁航线数据、创新专利研究数据、城市统计数据和清科集团下属的私募通数据等资源,在网络分析的视角下模型化包含中国 258 个地级市的高铁网络,构建反映区位优势的完善网络指标体系,对中国高铁网络进行了全面的刻画,在双向固定效应模型中探究地级市的高铁网络区位优势如何影响区域创新,并采用多种方法进行稳健性检验。同时从区域异质性分析、中介机制检验和动态效应分析多角度拓展了内在机制。

本文的主要结论如下:第一,中国高铁网络结构的发展是一个动态演变的过程。相较于无权视角,加权视角下的区位优势网络指标解释力更强。第二,加权视角下,各阶网络指标分别提高一个百分点,会使地级市每万人中发明申请数量提高 0.16、0.10 和 0.05 件。第三,拓展研究中的异质性分析表明,位于高铁网络核心枢纽地位的地级市,其区位优势的提升对其创新能力的影响作用不显著,越位于高铁网络边缘的地级市,其区位优势的提升越能显著影响其创新能力。中介机制检验表明,相较于人才要素而言,区位优势的改善显著影响资金和信息这两类创新要素集聚从而提升区域创新能力。动态效应分析表明,区位优势对于区域创新的影响是一个长期动态的过程并存在“时滞效应”。

基于以上研究,本文提出以下三点政策建议:第一,国家在发展和建设全局性高铁网络(八纵八横)时,其溢出效应如果尚难以覆盖和填平边远地区创新力的不足,还应着力发展其他交通模式为主导的交通网络,以实现区域经济发展与高铁网络区位优势的有效对接。第二,各地区需要因地制宜地推动自身的高铁建设。一方面,要在提升自身高铁区位优势的同时,加强与周边地区的联系,加快本地区与周边地区经济发展互补融合,形成产业集聚效应,

共同提升区域创新能力;另一方面,对于经济发展较为落后的地区来说,仅靠提升高铁区位优势并不能提升其区域创新能力,还需要不断提高自身综合优势,推动经济发展,才能发挥高铁网络区位优势对于区域创新能力的积极作用。第三,区位优势改善所带来的创新要素集聚虽然能提升区域创新能力,但仍需时刻警惕“虹吸效应”,关键还需要提高地区自身对创新要素的吸附能力。考虑到区位优势的改善对区域创新能力的提升存在“时滞效应”,各地区需要优化自身经济结构,营造良好的经济环境,在完善高铁网络建设之后充分发挥其对各创新要素的链接作用,实现创新要素的高效联动及充分利用,才能借助高铁网络提升区域创新能力。

### 参考文献:

- 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。
- 方大春、孙明月,2015:《高铁时代下长三角城市群空间结构重构——基于社会网络分析》,《经济地理》第10期。
- 冯永晟、张昊,2021:《网络效应、需求行为与市场规模——基于邮政快递业的实证研究》,《中国工业经济》第1期。
- 洪银兴、桂林,2021:《公平竞争背景下国有资本做强做优做大路径——马克思资本和市场理论的应用》,《中国工业经济》第1期。
- 吉赞、杨青,2020:《高铁开通能否促进企业创新:基于准自然实验的研究》,《世界经济》第2期。
- 龙玉、赵海龙、张新德、李曜,2017:《时空压缩下的风险投资——高铁通车与风险投资区域变化》,《经济研究》第4期。
- 罗能生、田梦迪、杨钧、李建明、王玉泽,2019:《高铁网络对城市生态效率的影响——基于中国277个地级市的空间计量研究》,《中国人口·资源与环境》第11期。
- 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。
- 石敏俊、张雪,2020:《城市异质性与高铁对城市创新的作用:基于264个地级市的数据》,《经济纵横》第2期。
- 施震凯、邵军、王美昌,2021:《创造还是破坏:高铁开通对制造业就业变动的影响效应》,《经济评论》第1期。
- 藤田昌久、克鲁格曼、维纳布尔斯,2010:《空间经济学——城市、区域与国际贸易》,中译本,中国人民大学出版社。
- 吴凤连、郝丽莎、王晓歌、张莉,2020:《基于高铁联系的中国东部城市服务业发展潜力格局——社会网络分析视角》,《经济地理》第4期。
- 谢燮、杨开忠,2015:《交通成本、劳动力流动与区域经济差异——新经济地理学透视》,吉林出版集团股份有限公司。
- 颜银根、倪鹏飞、刘学良,2020:《高铁开通、地区特定要素与边缘地区的发展》,《中国工业经济》第8期。
- 张克中、陶东杰,2016:《交通基础设施的经济分布效应——来自高铁开通的证据》,《经济学动态》第6期。
- 周文韬、杨汝岱、侯新烁,2020:《世界服务贸易网络分析——基于二元/加权视角和QAP方法》,《国际贸易问题》第11期。
- 诸竹君、黄先海、王煌,2019:《交通基础设施改善促进了企业创新吗?——基于高铁开通的准自然实验》,《金融研究》第11期。
- Acemoglu, D., O. Asuman, and T. S. Alireza. 2015. "Systemic Risk and Stability in Financial Networks." *American Economic Review* 105(2): 564-608.
- Albert, R., and A. L. Barabási. 2002. "Statistical Mechanics of Complex Networks." *Reviews of Modern Physics* 74(1): 47.
- Bernard, A. B., A. Moxnes, and Y. U. Saito, 2019. "Production Networks, Geography and Firm Performance." *Journal of Political Economy* 127(2): 639-688.
- Chen, C., and P. Hall. 2011. "The Impacts of High-speed Trains on British Economic Geography: A Study of



- the UK's InterCity 125/225 and Its Effects." *Journal of Transport Geography* 19(4): 689-704.
22. Dijkstra, E.W. 1959. "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs." *Numerische Mathematik* 1(1).
23. Donaldson, D., and R. Hornbeck. 2016. "Railroads and American Economic Growth: A 'Market Access' Approach." *Quarterly Journal of Economics* 131(2): 799-858.
24. Fagiolo, G., J. Reyes, and S. Schiavo. 2010. "The Evolution of the World Trade Web: A Weighted-network Analysis." *Journal of Evolutionary Economics* 20(4): 479-514.
25. Freeman, L. C. 1996. "Some Antecedents of Social Network Analysis." *Connections* 19(1): 39-42.
26. Jeong, H., S. P. Mason, A. L. Barabási, and Z. N. Oltvai. 2001. "Lethality and Centrality in Protein Networks." *Nature* 411(6833): 41-42.
27. Li, M., J. X. Wang, H. Wang, and Y. Pan. 2013. "Identification of Essential Proteins from Weighted Protein-protein Interaction Networks." *Journal of Bioinformatics and Computational Biology* 11(3): 1341002.
28. Nathan, N., and Q. Nancy. 2011. "The Potato's Contribution to Population and Urbanization: Evidence from a Historical Experiment." *The Quarterly Journal of Economics* 126(2): 593-650.
29. Sabidussi, G. 1966. "The Centrality Index of a Graph." *Psychometrika* 31(4): 581-603.
30. Solow, R. M. 1957. "Technical Change and the Aggregate Production Function." *The Review of Economics and Statistics* 39(3): 312-320.
31. Wasserman, S., and K. Faust. 1995. "Social Network Analysis: Methods and Applications." *Contemporary Sociology* 91(435): 219-220.

## High-speed Rail Network, Location Advantage and Regional Innovation

Zhou Wentao<sup>1</sup>, Yang Rudai<sup>1</sup> and Hou Xinshuo<sup>2</sup>

(1: School of Economics, Peking University; 2: School of Business, Xiangtan University)

**Abstract:** This paper discusses the impact of the high-speed rail network on regional innovation and its mechanisms. Based on the 2008-2017 high-speed rail line data, we first constructed an indicator system of the high-speed rail network to measure the location advantages of prefecture-level cities in the high-speed rail network and then connected with the innovation patent data to further study the impact of the high-speed rail network on regional innovation in the model. The results show that the development of the high-speed rail network structure in China is a dynamic evolution process. Compared with the binary perspective, the network indicators under the weighted perspective can better describe the location advantages of prefecture-level cities in the high-speed rail network. An increase of one percentage point in the weighted network index of each level of the prefecture-level city in the current period will lead to an increase of 0.16, 0.10, and 0.05 in the invention applications per ten thousand people in the next period. The heterogeneity analysis shows that the improvement of the location advantages of the prefecture-level city has different effects on the regional innovation capabilities. Compared with the talent factor, the improvement of location advantage significantly affects the agglomeration of the two types of innovation factors, namely capital and information, so as to enhance the regional innovation capabilities. The influence of location advantage on regional innovation is a long-term dynamic process with a "Time-lag effect". The research of this paper puts forward a new idea of how to combine the network analysis methods with the traditional econometric methods, which provides a research foundation for the planning of high-speed rail network construction and the improvement of regional innovation capabilities, and has certain academic value.

**Keywords:** High-speed Rail Network, Location Advantage, Regional Innovation, Network Analysis

**JEL Classification:** L92, O31, R12

(责任编辑:彭爽)