

# 航空和高铁对中国城市创新能力的影响

罗雪<sup>1</sup>, 毛炜圣<sup>1</sup>, 王帮娟<sup>1</sup>, 刘承良<sup>1,2\*</sup>

(1. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200241; 2. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062)

**摘要:** 交通运输是创新网络中人才流、资本流等知识与技术流动的物理空间承载, 其对城市的创新能力影响已成为经济地理学的交叉前沿热点。论文基于2007—2018年中国城市尺度数据, 以航空和高铁运输为例, 构建交通运输对城市创新能力影响效应的理论框架, 采用双向固定效应面板回归模型, 实证检验航空和高铁对城市创新能力的多重异质性机制, 并探讨了知识传播、资本积累、产业升级在交通运输与创新能力之间的中介效应。研究发现: ① 航空和高铁建设均对城市创新能力有显著正向影响, 高铁对城市的创新溢出效应约为航空的3倍。② 航空和高铁对不同类型城市的创新溢出效应存在显著异质性。城市等级异质性方面, 航空和高铁对中心城市创新能力的正向影响强度高于非中心城市。人口规模异质性方面, 航空对大、中城市创新能力提升有显著正向影响, 对小城市有抑制作用; 高铁运输则对不同人口规模城市的创新能力均有正向影响, 呈现大城市>中等城市>小城市的态势。区域异质性方面, 航空和高铁对东、中、西、东北地区的创新能力均有不同程度的提升作用, 表现出显著的“马太效应”, 东部地区优势地位凸显。③ 航空和高铁均可通过促进技术转移、风险资本配置、外商资本配置间接促使城市创新能力提升。此外, 航空还能够通过促进产业升级间接促使城市创新能力提升。

**关键词:** 航空运输; 高铁运输; 城市创新能力; 双向固定效应面板回归; 中介效应

知识经济时代, 创新作为推动国家和区域经济增长的核心要素和关键支撑<sup>[1-2]</sup>, 正逐渐成为城市应对新一轮科技革命挑战、参与全球产业竞争、提高国际竞争力的共识。流空间(space of flows)视角下, 城市可以在更大的空间尺度上通过知识流动、技术转移等来提高城市的创新绩效, 城市的创新发展前景越来越多地依赖于其所处的物理与虚拟网络空间, 而交通运输是城市克服地理距离对创新主体知识溢出约束作用<sup>[3]</sup>、提升全球创新网络中权力和地位的重要变量。从这个意义上说, 交通运输的正外部性效应成为理解城市创新增长的重要基础。尽管交通运输与创新并无直接关联, 但间接作用的存在强化了交通运输对科技创新的溢出效应。因此, 研究交通运输对城市创新能力影响的作用机理, 不仅是从创新地理学视角下对物理空间对创新空间影响的理论回应, 而且也有助于强化对创

新地理学基本规律及交通运输效应的再认识。

以航空和高铁为代表的高速交通运输产生的时空压缩效应打破了地理距离的桎梏<sup>[4-5]</sup>, 促进了城市间人员、资金、信息、贸易的要素流动、知识扩散和创新外溢, 探讨交通运输与创新能力关系逐步成为人文地理学研究的前沿和热点: ① 机理探讨。航空和高铁开通会促进人才<sup>[6-7]</sup>、投资<sup>[8-9]</sup>等要素的集聚, 并且带来创新要素与创新主体(如商务人士、高级技能人才、科学家、企业家等)之间交流频次的增加<sup>[10-12]</sup>, 如增加商务会议、学术会议、国际博览会等参会出行意愿, 降低创新过程的不确定性<sup>[13]</sup>, 显著提升城市的创新水平<sup>[14]</sup>。交通运输对创新能力存在“溢出效应”与“虹吸效应”的双重效应<sup>[15-16]</sup>, 不同地区、不同等级的城市中呈现出空间异质性特征<sup>[9,17]</sup>。高端制造业区位选址偏好一些通达性较高的交通枢纽城市<sup>[18]</sup>, 这些交通枢纽城市建立的高端产业又进一

收稿日期: 2022-05-12; 修订日期: 2022-08-06。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(21ZDA011); 上海市“曙光人才计划”项目(19SG22)。[Foundation: National Social Science Fund of China, No. 21ZDA011; The Shuguang Talent Plan Fund of Shanghai, No. 19SG22.]

第一作者简介: 罗雪(1998—), 四川达州人, 硕士生, 主要从事科技创新地理研究。E-mail: 51203902016@stu.ecnu.edu.cn

\*通信作者简介: 刘承良(1979—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 主要从事科技创新地理研究。E-mail: clliu@re.ecnu.edu.cn

引用格式: 罗雪, 毛炜圣, 王帮娟, 等. 航空和高铁对中国城市创新能力的影响[J]. 地理科学进展, 2022, 41(12): 2203-2217. [Luo Xue, Mao Weisheng, Wang Bangjuan, et al. The impacts of aviation and high-speed rail on urban innovation capacity in China. Progress in Geography, 2022, 41(12): 2203-2217.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.12.002

步帮助城市集聚各类创新资源,形成交通—产业—创新的循环累积因果机制。②实证研究。研究对象论及公路<sup>[19-20]</sup>、铁路<sup>[20-21]</sup>、高铁<sup>[22]</sup>、航空<sup>[14]</sup>,研究方法涉及倾向得分匹配—倍差法(PSM-DID)<sup>[22]</sup>、双重差分法(DID)<sup>[19,23]</sup>等定量方法,研究尺度涵盖国家<sup>[13-14]</sup>、区域<sup>[24]</sup>、城市<sup>[6,15,22]</sup>及企业<sup>[23,25]</sup>。

综上,学界针对交通运输对区域创新的影响进行了深入研究,但仍存在以下问题值得深入探索:①研究对象主要集中在单一交通运输方式,集成航空和高铁通达性的交通运输系统对创新活动影响差异性的对比分析不足,对其空间异质性规律挖掘不够。②研究机制仅简单揭示交通运输与创新能力间的线性关系,忽视了多重中介机制,可能导致模型结果的偏误,交通运输与创新能力间的多重中介路径仍然是一个“灰箱”。鉴于此,本文构建航空和高铁运输影响城市创新能力的理论框架,基于分组回归和中介效应对比分析二者对不同类型、不同区域城市创新能力影响的空间异质性,一方面有助于厘清交通运输与创新发展的复杂关系,丰富创新地理关于物理空间与创新空间关系研究,另一方面有助于为国家交通运输系统的合理配置、创新要素的有序流动、创新资源的高效配置提供参考。

## 1 理论框架与研究假设

交通运输作为创新要素的流动媒介,对城市创新能力的提升发挥着重要作用<sup>[26]</sup>,交通运输对城市的创新能力影响是直接效应与间接效应的协同耦合过程(图1)。

(1)直接效应。交通运输升级提高了区域可达性<sup>[5]</sup>,使创新主体间知识流、信息流的交互成本降低,引发以高技术人才、技术密集型产品为载体的创新主体间知识、技术的共享与学习,推动缄默知识的跨区域扩散,加快城市知识积累、技术更新与发明创造,从而提升城市的创新能力<sup>[26]</sup>。

(2)间接效应。交通运输升级能够极大地改善沿线城市的创新环境,吸引人才、投资等资源的集聚<sup>[7-8]</sup>,为城市创新的提升以及优质创新公司的培育创造必要条件<sup>[9]</sup>。此外,完善的交通运输能扩大城市的市场规模,快速增长的市场需求将催生更多创新行为<sup>[23]</sup>,进而充分发挥交通的乘数效应,推动创新型城市的建设。

基于此,提出以下研究假设:

H1:航空和高铁运输均能有效促进城市创新能力提升。

交通运输对城市的创新溢出效应主要通过知识传播、资本积累和产业升级3条路径实现:

第一,航空和高铁运输通过促进知识传播促使城市创新能力提升。从外部通道获取并吸收改进技术是提升区域创新水平的重要渠道。专利权交易作为一种市场行为,是衡量技术转移最为直接有效的方式<sup>[27]</sup>。航空和高铁的建设增加了技术转让方和技术需求方之间面对面交流的机会,让技术的传播和扩散变得更为容易<sup>[22]</sup>。

第二,航空和高铁运输通过促进资本积累促使城市创新能力提升。航空和高铁的建设能提高区域可达性,地理可达性的提升有利于“软信息”的传播,使风险投资机构与创业企业之间直接交流互动的成本降低,促进风险投资资源的有效配置,风险投资对企业价值再造、研发创新等有着重要作用<sup>[8]</sup>,在分担技术创新风险和促进技术创新成果转化等方面发挥着至关重要的作用<sup>[28]</sup>。此外,航空和高铁的建设能够改善外商直接投资(FDI)环境,吸引外商直接投资的流入<sup>[29]</sup>,外商直接投资通过示范与竞争效应、技术扩散与吸收效应提升国家的自主创新能力<sup>[30]</sup>。

第三,航空和高铁运输通过促进产业升级促使城市创新能力提升。交通运输的进步带来的时空压缩效应带动要素资源的交流与整合,有利于实现贸易自由化、促进高科技产业增长,创造更多的就业岗位与新兴企业<sup>[31]</sup>,有利于改善服务业就业,刺激新经济产业发展<sup>[32]</sup>,从而吸引社会资本、外商投资、风险资本等不断涌入,加快知识和技术的空间溢出与传播,进而推动产业的升级优化。产业升级可以扩大市场需求,为企业接受新思想、开发新技术创造契机,通过微观需求拉动效应、中观地区协同效应、宏观国际贸易效应带动企业、地区、国家3个层面的自主创新<sup>[33]</sup>。因此,提出以下研究假设:

H2:航空和高铁运输通过促进城市间技术转移提高城市创新能力。

H3a:航空和高铁运输能够通过促进风险资本配置提高城市创新能力。

H3b:航空和高铁运输能够通过促进外商资本配置提高城市创新能力。

H4:航空和高铁运输能够通过促进产业升级提高城市创新能力。

作为一个技术后发型大国,中国科技资源分布

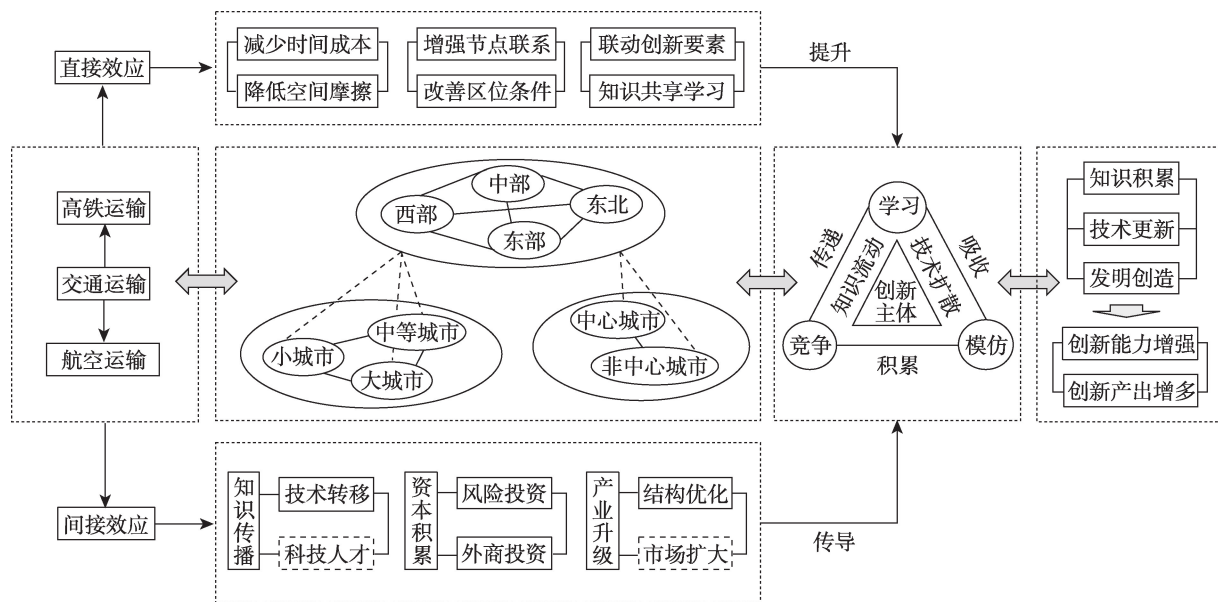


图1 理论框架

Fig.1 Theoretical framework of the research

和区域经济发展不均衡问题尤为突出<sup>[34]</sup>。经济发达城市由于具有创新资源禀赋、区位、市场规模等本地优势,促使资金、人才、知识等创新要素不断向其集聚<sup>[35]</sup>。同时,航空和高铁更倾向于优先在经济发达的城市建设,因此交通运输较为薄弱的偏远地区可能会进一步加剧优质资源的流失,导致创新环境恶化,创新能力活跃度降低<sup>[24]</sup>。因此,交通运输对于不同等级、不同人口规模、不同区域城市的创新溢出效应可能会表现出一定的异质性特征。故而,提出以下研究假设:

H5: 航空和高铁运输对于不同等级、不同人口规模、不同区域城市的创新溢出效应表现出一定的异质性特征。

## 2 方法与数据

### 2.1 研究方法

为筛选恰当的回归模型,本文依次进行  $F$  检验和 Hausman 检验,检验结果强烈拒绝原假设,因此选用固定效应模型。方差扩大因子(VIF)检验结果(7.72)均小于10,排除多重共线性对回归结果的影响。同时,为排除不可观测的个体异质性和时间异质性的影响,引入时间虚拟变量和个体虚拟变量,构建双向固定效应面板回归模型探究航空和高铁运输对城市创新能力的影响,模型如下:

$$\text{Innovation}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Air}_{it} + \beta_2 \text{HSR}_{it} + \sum_{j=1}^n \delta_j Z_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:  $\text{Innovation}_{it}$  为  $i$  城市在  $t$  时期的发明专利申请数量,  $\text{Air}_{it}$  和  $\text{HSR}_{it}$  分别为  $i$  城市在  $t$  时期的航空和高铁客流班次,  $Z_{it}$  为控制变量,  $\beta_0$  为模型截距项,  $\beta_1$  和  $\beta_2$  分别为航空变量系数和高铁变量系数,  $\delta_j$  为各控制变量的影响系数,系数的大小和正负表征其对城市创新能力的影响强度和方向;  $\lambda_t$  为时间固定效应,  $\mu_i$  为个体固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

为考察交通运输建设对城市创新能力的间接作用效应,参考温忠麟等<sup>[36]</sup>的研究方法,运用依次检验回归系数法和 Sobel 检验进行中介效应检验,在式(1)的基础上引入中介变量,进一步构建中介效应模型,如下所示:

$$\text{Mediator}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Air}_{it} + \alpha_2 \text{HSR}_{it} + \sum_{j=1}^n \delta_j Z_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\text{Innovation}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \text{Air}_{it} + \gamma_2 \text{HSR}_{it} + \gamma_3 \text{Mediator}_{it} + \sum_{j=1}^n \delta_j Z_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中:  $\text{Mediator}_{it}$  为中介变量,为  $i$  城市在  $t$  时期的中介变量属性(即专利转移总量、风险投资事件数、外商直接投资额、产业升级);  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  分别为航空和



高铁对中介变量的影响系数; $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 和 $\gamma_3$ 分别表示在控制中介变量的情况下,航空、高铁和中介变量的影响系数; $\alpha_0$ 和 $\gamma_0$ 分别为模型的截距项。式(1)为依次检验回归系数法的第一步,用于验证航空和高铁运输能否对创新能力产生正向影响;式(2)为第二步,用于验证航空和高铁运输能否对中介变量产生显著影响,用 $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 表示;式(3)为第三步,将中介变量加入式(1)中,通过控制中介变量,验证航空和高铁运输对创新能力的直接影响,用 $\gamma_1$ 和 $\gamma_2$ 表示。

2.2 变量说明

(1) 被解释变量

本文的被解释变量为城市创新能力,使用发明专利申请数据来衡量<sup>[37]</sup>。相比其他指标,专利申请数据在衡量城市创新能力方面有以下优势:一是专利数据具有较强的时效性和可获得性<sup>[38]</sup>,且与技术创新之间具有较强的相关性<sup>[39]</sup>;二是发明专利代表核心技术成果,相比实用新型和外观设计专利具有较高的技术水平。

(2) 核心解释变量

本文的核心解释变量为2007—2018年城市的航空和高铁的周运行班次。2007年中国铁路第6次大提速标志着中国正式跨入高铁时代,故选取2007—2018年数据作为研究样本具有合理性。

(3) 控制变量

已有研究表明,城市的人口规模、创新投入、人力资本质量等均会对城市的创新能力产生重要影响<sup>[23,39]</sup>,故选取相应控制变量以排除无关变量的干扰。

(4) 中介变量

依据前文分析,交通运输能够通过促进城市间技术转移、吸引风险投资和外商投资等物质资本积累、优化调整产业升级间接提升城市创新能力。本文以地级市之间专利转出与转入的总量衡量技术转移;选取风险投资事件数(VC)和外商直接投资数据(FDI)衡量投资水平;使用第三产业与第二产业的比重测度产业升级<sup>[40]</sup>。

各变量及其计算方法见表1。

2.3 数据来源

本文所用数据为2007—2018年中国地级市的数据。其中发明专利申请数据来源于国家知识产权局(<https://www.cnipa.gov.cn/>);航空班次数据来自OAG(Official Aviation Guide)数据库(<http://www.oag.cn/>);高铁班次数据来源于中国铁道出版社出版

表1 不同变量的定义及其解释说明

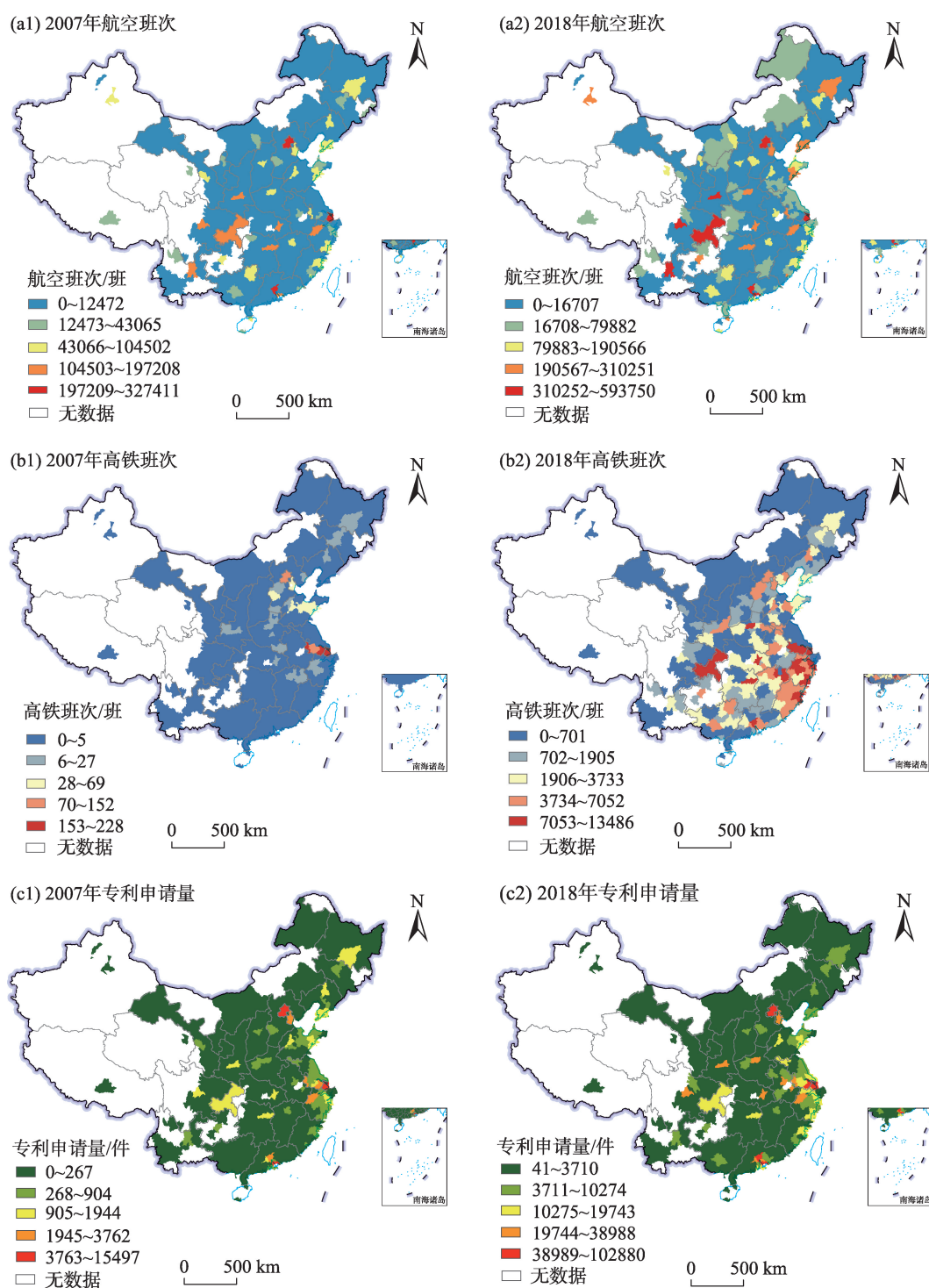
Tab.1 Definition and description of variables

变量名称	含义	计算方法
被解释变量		
innovation	创新能力	发明专利申请数量
核心解释变量		
Air	航空通达性	航空班次
HSR	高铁通达性	高铁班次
控制变量		
Population-S	人口规模	年末人口总数取对数
Tech-spending	创新投入水平	科学技术支出与教育支出之和占地方财政一般预算支出的比值
Population-Q	人力资本质量	科学研究、技术服务和地质勘查业人员数取对数
中介变量		
tech	技术转移	专利转出与转入的总量
VC	风险投资	风险投资事件数
FDI	外商直接投资	外商直接投资额
Industry-up	产业升级	第三产业与第二产业的比值

的《全国铁路旅客列车时刻表》,通过手动整理,获得290个地级市历年高铁经停车次频率数据;专利转移数据来源于国家知识产权局下的中国专利信息平台(<http://search.cnipr.com/>);风险投资事件数来源于CVSource投中数据库(<https://data.cv-source.com.cn>);发明专利授权量数据来源于incoPat专利数据库(<http://www.cnipa.gov.cn/>);宏观经济数据来源于相应年份的《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》及各地级市国民经济和社会发展统计公报。本文研究的基础地理单元为地级及以上行政单位(不含内蒙古的阿拉善盟、锡林郭勒盟、兴安盟,黑龙江的大兴安岭地区,吉林的延边朝鲜族自治州,湖北的恩施土家族苗族自治州,湖南的湘西土家族苗族自治州,四川的阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州,贵州的黔东南苗族侗族自治州、黔南布依族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州,云南的德宏傣族景颇族自治州、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、大理白族自治州、楚雄彝族自治州、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、西双版纳傣族自治州,西藏的阿里地区,甘肃的临夏回族自治州、甘南藏族自治州,青海的海南藏族自治州、海北藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、黄南藏族自治州、果洛藏族自治州、玉树藏族自治州,新疆的伊犁哈萨克自治州、博尔塔拉蒙古自治州、昌吉回族自治州、巴音郭

楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、阿克苏地区、喀什地区、和田地区、塔城地区、阿勒泰地区);其次,由于2011年安徽省地级巢湖市已撤销,为统一口径,本文不包含巢湖市;此外,由于统计数

据缺失,亦不包含港澳台地区,西藏的昌都市、林芝市、那曲市、山南市、日喀则市,新疆的哈密市、吐鲁番市,海南的三沙市。2007、2018年中国航空班次、高铁班次及专利申请量如图2所示。



注:本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1823号标准地图制作,底图无修改。

图2 2007、2018年中国航空、高铁、专利数据

Fig.2 Map of China's aviation, high-speed rail and patent data in 2007 and 2018

### 3 实证结果及分析

#### 3.1 基准回归结果

表2为基准回归结果,模型1考虑时间固定效应与个体固定效应,将航空和高铁班次与发明专利申请数据进行回归,模型2在模型1的基础上加入了控制变量。结果显示,航空和高铁的通达性提升均可显著促进城市创新能力增强,加入控制变量后,有效控制了其他外生变量的干扰,回归系数虽有所降低但依然显著,假设H1成立。

回归结果与Hovhannisyan等<sup>[14]</sup>和卞元超等<sup>[26]</sup>的研究结论一致,区域创新很大程度上取决于创新主体对嵌入在创新网络中的资源和知识的获取,航空和高铁的时空压缩效应剧烈降低了创新网络资源流动的距离摩擦系数,显著促进科技创新人才等创新主体的跨城流动,形成跨区域编码知识与缄默知识集聚与扩散机制。在此过程中,创新主体通过学习、模仿、竞争实现知识传递、积累、吸收、再创新,进而促进发明创造、技术提升、制度改革<sup>[41-42]</sup>。

航空和高铁运输均能促进城市创新能力提升,高铁运输对城市的创新溢出效应约为航空运输的3

倍。可能原因是,知识溢出具有地理邻近机制<sup>[43-44]</sup>,其作用强度随距离增加而衰减<sup>[45]</sup>,知识溢出易发生在邻近地理空间。不同的交通运输方式选择机制对知识交流形成不同的知识溢出强度,高铁与航空竞争态势凸显,2种运输方式80%的流量分别集中于200~1200 km和800~2600 km,在700 km范围内,高铁的运输频次的分配率占有绝对优势,700 km以上则以航空最高<sup>[46-47]</sup>。中国城市间距离普遍在200~1200 km范围内,高铁作为城市间交通出行的首位方式,与航空运输相比,高铁运输在提升跨城缄默知识流动的规模、频率、效率中竞争优势显著,高铁运输对城市创新溢出效应显著强于航空运输。

由于从创新要素投入到创新主体着手发明创造并申报专利需要较长时间,创新要素投入对创新能力的影响具有一定的时间滞后效应<sup>[48-49]</sup>。参考贺灿飞等<sup>[37]</sup>的研究,在基准回归的基础上,引入变量的多阶滞后项将因变量分别滞后1~5年构建模型进行回归(表3),以消除滞后性并缓解内生性问题。结果表明:航空和高铁运输对城市创新能力影响的估计系数在滞后5年内始终显著为正并呈现逐年增长趋势,航空估计系数到第4年滞后期达到最大值,高铁估计系数到第5年滞后期达到最大值,这与卞元超等<sup>[26]</sup>的研究结论一致,交通运输对城市创新能力的影响存在一定的滞后效应,也初步验证了回归结果的稳健性。

#### 3.2 异质性回归结果及分析

不同类型城市在经济水平、创新资源、发展阶段等方面差异显著,为考察不同等级、人口规模和地理区域城市的航空和高铁运输对城市创新能力的影响,根据等级将城市分为中心城市(36个)和非中心城市(254个),其中中心城市包括直辖市、省会城市及计划单列城市,其他为非中心城市;根据城区人口规模将城市分为大城市(>100万人)、中等城市(50~100万人)和小城市(<50万人);根据中国的经济区域将城市划分为东部、中部、西部和东北4大地区<sup>①</sup>。由于分组回归会分散样本量,可能导致样本选择偏误,使得组间回归系数无法直接比较。本文参考连玉君等<sup>[50]</sup>的研究方法,应用Chow test(邹检验)比较组间系数差异,若系数差异显著,则分组回归系数可以进行比较,限于篇幅,文中未展示相应回归结果。

表2 基准回归模型

Tab.2 Benchmark regression model

变量	模型1	模型2
Air	0.0749*** (0.0193)	0.0708*** (0.0192)
HSR	0.2330*** (0.0359)	0.2192*** (0.0329)
控制变量		
Population-S		6872.3180* (3558.8330)
Tech-spending		8614.6720** (4267.8250)
Population-Q		1267.1640** (413.3714)
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.5123	0.5337
样本量	3466	3466

注:括号内为聚类稳健标准误;Yes表明模型已控制个体固定效应与时间固定效应;\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,下同。

① 东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏。陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆;东北地区包括:辽宁、吉林和黑龙江。



表3 因变量多阶滞后回归

Tab.3 Multi-order lagged regression of the dependent variable

变量	模型 3: 滞后 1 年	模型 4: 滞后 2 年	模型 5: 滞后 3 年	模型 6: 滞后 4 年	模型 7: 滞后 5 年
Air	0.0750*** (0.0203)	0.0869*** (0.0241)	0.0930*** (0.0254)	0.1014*** (0.0277)	0.0966*** (0.0262)
HSR	0.2866*** (0.0440)	0.2950*** (0.0436)	0.3784*** (0.0514)	0.4206*** (0.0547)	0.4250*** (0.0567)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.5443	0.5465	0.5612	0.5489	0.5280
样本量	3176	2886	2596	2306	2017

3.2.1 城市等级异质性:相比非中心城市,航空和高铁均对中心城市创新能力的正向影响更强;高铁影响强度大于航空

邹检验显示,核心变量的系数存在显著组间差异,可进行分组回归系数比较。航空和高铁对中心城市和非中心城市均有显著正向影响;二者均对中心城市的影响强度更大,高铁的影响强度大于航空(表4)。

(1) 航空和高铁对中心城市创新能力的正向影响强度高于非中心城市。主要原因可能为:一是中心城市作为高铁建设的优先选择对象,往往拥有更密集的高铁线路和更大的高铁辐射区域<sup>[9]</sup>。因此创新资源禀赋更为丰裕的中心城市从高铁建设中获益更多;二是中心城市的发展基础优于非中心城市,航空和高铁通达性提升加速了资金、人才、知识等创新要素的集聚,更大的本地市场规模所带来的规模报酬递增效应、产业集聚和技术溢出使其创新能力不断增强<sup>[35]</sup>。通过上述累计循环效应,中心城市的发展优势不断扩大,创新能级不断提升。

(2) 高铁的影响强度大于航空。主要原因可能是:一是受地理邻近效应影响,城市更倾向于联络周边城市进行技术的传播与交流<sup>[51]</sup>,与周边城市的技术、知识交流往来更为频繁,高铁作为近距离城市间交通出行的主要方式,更能促进创新主体间知识技术的交互往来,对城市的创新溢出效应更强;二是中心城市日益便捷密集的高铁网络对航空产生了替代作用,高铁的快速发展削弱了航空对中心城市创新能力的影响强度。近年来高铁的开通对航空运输产生了强烈的冲击作用,高铁开通后,部分短途飞机航线被迫停运,航空公司不得不转向边远地区,发展支线航空,竞争高铁服务盲区<sup>[46-47]</sup>。

3.2.2 人口规模异质性:高铁对大、中、小城市创新能力均有正向影响,航空对小城市有抑制作用

邹检验显示,核心变量的系数存在显著组间差异,可进行分组回归系数比较。航空运输对大城市和中等城市具有正向影响,对小城市有抑制作用;高铁对大城市、中等城市和小城市均表现出正向影响(表5)。

表4 城市等级异质性回归结果

Tab.4 Regression results of urban grade heterogeneity

变量	模型 8: 中心城市	模型 9: 非中心城市
Air	0.0629** (0.0262)	0.0266** (0.0206)
HSR	0.2946*** (0.0545)	0.1705*** (0.0435)
控制变量	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.6183	0.3994
样本量	432	3034

表5 人口规模异质性回归结果

Tab.5 Regression results of population size heterogeneity

变量	模型 10: 大城市	模型 11: 中等城市	模型 12: 小城市
Air	0.0626** (0.0214)	0.0237** (0.0209)	-0.0071** (0.0031)
HSR	0.2528*** (0.0430)	0.0959*** (0.0396)	0.0174** (0.0083)
控制变量	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.5951	0.3984	0.3362
样本量	1248	1164	1054

(1) 对于大城市和中等城市,航空对其创新能力提升呈现显著正向影响,这表明大、中城市能够通过航空运输加强对外联系,以便更好地获得外部知识和技术的溢出,通过学习、模仿、竞争实现知识的传递、积累、吸收,进而促进其技术提升与发明创造。同时,航空对大城市创新能力的正向影响强度高于中等城市,这与前文等级异质性检验的回归结果相似。对于小城市,航空运输对其创新能力提升有抑制作用,这可能是交通运输的虹吸效应导致的。航空在促进小城市与其他城市技术、知识交流的同时,也加剧了其高素质人才与创新资本流失的可能性,使得更多优质的创新资源不断向发达地区集聚,进一步恶化本地创新环境,抑制创新能力提升<sup>[16,35]</sup>。

(2) 高铁运输对不同人口规模的城市创新能力均有正向影响,呈现明显的“马太效应”,估计系数呈现出大城市>中等城市>小城市的特征,这与前文高铁运输对中心城市创新能力的提升强度高于非中心城市结果相似。高铁的开通优化了区域创新环境,使大城市获得更好的“相对可达性”<sup>[52]</sup>,从而增强与其他城市的联系和交流,加剧人才、资本集聚,加快技术革新与发明创造。而对于中小城市,高铁建设一方面有利于其学习、引进创新发达地区的知识、经验、资本和技术,另一方面也加剧了大城市的“虹吸效应”,导致高素质人才与创新资本的流失<sup>[16,35]</sup>。因而高铁运输对中小城市的创新能力影响相对较小。

### 3.2.3 区域异质性:“马太效应”显著,东部地区优势地位凸显

邹检验显示,东部、中部、东北地区的核心变量的系数存在显著组间差异,可实现分组回归系数的比较;而西部地区的核心变量的系数不存在显著组间差异,故系数不可直接参与组间比较。航空和高铁的促进效应均表现出显著的“马太效应”,其影响强度均为东部>中部>东北(表6)。

(1) 航空和高铁对东部、中部、西部、东北地区的创新能力均有不同程度的提升作用,这表明交通通达性提高带来的时空压缩效应能够普遍促进地区创新能力的提升,对缩小地区创新发展水平差距有积极作用,同时也进一步验证了基准回归结果的稳健性。

(2) 航空和高铁的促进效应均表现出显著的“马太效应”,影响强度均为东部>中部>东北,东部地区优势地位凸显。这可能是以下3个方面原因导致的:一是东部地区航空和高铁的优势地位都极为

表6 区域异质性回归结果

Tab.6 Regression results of regional heterogeneity

变量	模型 13: 东部地区	模型 14: 中部地区	模型 15: 西部地区	模型 16: 东北地区
Air	0.1034** (0.0423)	0.0788*** (0.0162)	0.0466** (0.0162)	0.0508*** (0.0029)
HSR	0.2126*** (0.0534)	0.1213** (0.0444)	0.1486*** (0.0370)	0.0503** (0.0211)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.5989	0.5792	0.4962	0.6999
样本量	1048	960	1050	408

突出,作为全国经济社会发展的重心,东部地区平坦的地势、完善的基础设施和优良的投资运营环境,使得其航空和高铁运输的网络密度和运输规模明显高于其他地区<sup>[53]</sup>;二是交通运输的起始优势会进一步强化其创新优势,通过吸引创新要素流入,优化城市创新环境,间接增强城市创新能力。经过累计循环效应,不断扩大其发展优势,提升其创新能级;三是东北地区相比中部地区创新资源更加匮乏,高铁运输带来的区位可达性提升、区际交易成本降低、地理约束衰减等边际效应高于中部地区。

(3) 西部地区航空的影响强度较小,约为高铁的1/3。这可能是以下3个方面原因导致的:第一,西部地区以旅游城市支线航空为主,运量不足。虽然西部地区机场数量较多,但以距离短、运量小、频率低的支线航空为主,航空网络化程度差、可达能力较低<sup>[53]</sup>。第二,西部地区航空运输以旅游流为主,商务流不足。西部地区航空节点城市覆盖大量旅游城市:如昆明、乌鲁木齐、西双版纳、丽江、敦煌、吐鲁番等,促进知识转移的商务出行不足。第三,西部地区本地创新水平普遍落后,技术吸收转化的能力较弱,因而航空运输对其创新能力的带动作用相对较小,对其创新能力的影响不显著。

(4) 东北地区航空的影响强度略大于高铁,与其他地区呈现相反态势,这可能与东北三省的地理区位及其本地创新水平有关。一方面,高铁出行主要局限于周边城市<sup>[54]</sup>,东北三省偏居一隅,相对偏远的区位条件使得其对航空出行的需求相对较高;另一方面,东北三省的区域创新能力综合效用指标在全国均处于靠后水平<sup>[55]</sup>,技术就地转让转化并吸收创造的能力不足<sup>[39]</sup>,地区内部技术交流带来的知识溢出有限,城市倾向于从较远地区搜寻知识、技术和资本。



3.3 中介效应回归结果及分析

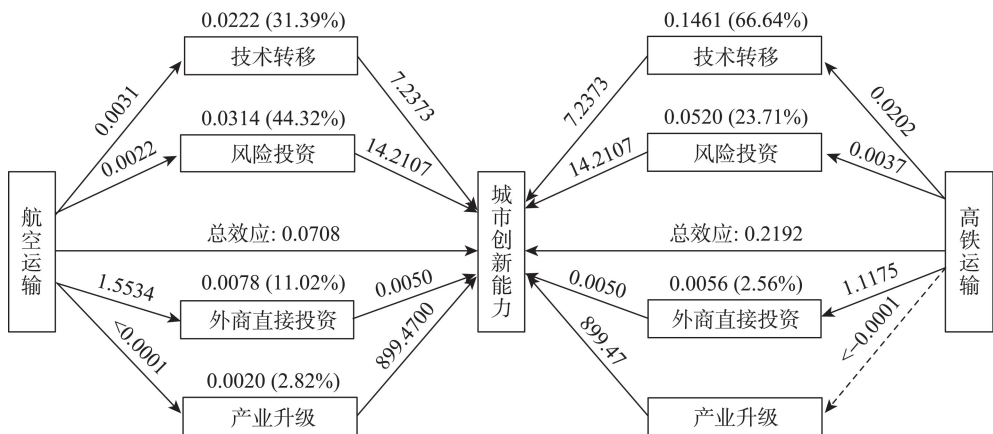
中介效应检验参考温忠麟等<sup>[36]</sup>经典中介检验三步法和Sobel检验法：第一步，检验航空和高铁建设能否显著提升城市创新能力( $\beta_1$ 、 $\beta_2$ )，此结果已在前文中进行验证；第二步，分别检验航空和高铁建设能否显著促进各城市的技术转移、风险投资、外商投资、产业升级( $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ )；第三步，在控制航空和高铁变量的情况下，分别检验各中介变量能否显著提升城市创新能力( $\gamma_3$ )。参考何瑛等<sup>[56]</sup>的相关研究，本文利用Stata 16软件中的sgmediation命令进行中介效应检验，同时在模型中加入时间虚拟变量和个

体虚拟变量，以排除不可观测的个体异质性和时间异质性的影响，并采用滞后一期的因变量构建模型，以缓解中介变量与因变量互为因果的内生性问题，中介效应检验结果如表7及图3所示。

由表7可知，航空和高铁均能通过促进技术转移提升城市创新能力，假设H2成立。其中，航空中介效应大小为0.0222，占总效应的31.39%，高铁中介效应大小为0.1461，占总效应的66.64%。主要归因于专利转让主要通过转让人和接收人双方进行线下洽谈、签订合同、合同履行等途经实现<sup>[39]</sup>，航空和高铁通达性提升极大地缩减了会面的时间成本，

表7 中介效应检验  
Tab.7 Mediation effect test

Air					HSR				
变量	模型 17: tech	模型 18: VC	模型 19: FDI	模型 20: Industry-up	变量	模型 21: tech	模型 22: VC	模型 23: FDI	模型 24: Industry-up
$\beta_1$	0.0708*** (0.0028)	0.0708*** (0.0028)	0.0708*** (0.0028)	0.0708*** (0.0028)	$\beta_2$	0.2192*** (0.0087)	0.2192*** (0.0087)	0.2192*** (0.0087)	0.2192*** (0.0087)
$\alpha_1$	0.0031*** (0.0024)	0.0022*** (0.0001)	1.5534** (0.1311)	<0.0001*** (0.0000)	$\alpha_2$	0.0202*** (0.0008)	0.0037*** (0.0004)	1.1175** (0.4144)	<-0.0001 (<0.0001)
$\gamma_3$	7.2373*** (0.1608)	14.2107*** (0.3198)	0.0050*** (0.0004)	899.4700*** (284.792)	$\gamma_3$	7.2373*** (0.1608)	14.2107*** (0.3198)	0.0050*** (0.0004)	899.4700** (284.792)
Sobel 检验	0.0222*** (0.0018)	0.0314*** (0.0019)	0.0078*** (0.0009)	0.0020*** (0.0007)	Sobel 检验	0.1461*** (0.0064)	0.0520*** (0.0055)	0.0056** (0.0021)	-0.00012 (0.0006)
Goodman-l	0.0222*** (0.0018)	0.0314*** (0.0019)	0.0078*** (0.0009)	0.0020*** (0.0007)	Goodman-l	0.1461*** (0.0064)	0.0520*** (0.0055)	0.0056** (0.0021)	-0.00012 (0.0006)
中介效应大小	0.0222*** (0.0018)	0.0314*** (0.0019)	0.0078*** (0.0009)	0.0020*** (0.0007)	中介效应大小	0.1461*** (0.0064)	0.0520*** (0.0055)	0.0056** (0.0021)	-0.00012 (0.0006)
中介效应占总效应比重	31.39%	44.32%	11.02%	2.82%	中介效应占总效应比重	66.64%	23.71%	2.56%	—



注：图中数据为中介效应或总效应值，括号中百分数为中介效应占总效应比重。

图3 中介效应检验  
Fig.3 Mediation effect test

为专利交易的面对面交流谈判提供更多的机会,对城市间的技术转移促进作用显著。城市通过从外部获取技术,并经过吸收和改进,实现区域自主创新能力的提升。

航空和高铁均能通过吸引风险投资提升城市创新能力,假设H3a成立。其中,航空中介效应大小约为0.0314,占总效应的44.32%;高铁中介效应大小为0.0520,占总效应的23.71%。由于交易和监督成本及信息壁垒的存在,为提高信息获取的准确性和降低所选项目的不确定性,风险投资具有明显的地理邻近效应,风险投资机构在考量投资行为中存在本地偏好现象<sup>[57]</sup>,因而风险投资受航空运输影响不显著。而航空和高铁带来的人员流动有助于企业信息的流通和传播,提高公司信息的透明度,显著降低投资机构“软信息”的获取成本,减少与创业者之间的信息不对称,同时压缩监督监管成本<sup>[58]</sup>。这使得航空和高铁城市会吸引更多的风险投资资源,从而推动地方经济的转型和创新。

航空和高铁均能通过促进外商直接投资提升城市创新能力,假设H3b成立。其中,航空中介效应大小约为0.0078,占总效应的11.02%,高铁中介效应大小为0.0560,占总效应的2.56%。航空和高铁的发展均能促进中国FDI的增长,这与管驰明等<sup>[29]</sup>和韦朕韬等<sup>[59]</sup>的研究结论一致:FDI广泛依赖国际贸易,需要发达的国际物流网络为支撑,航空运输作为国际贸易运输的主要方式,成为吸引FDI的重要因素;高铁开通对FDI的流入存在明显的溢出效应,高铁沿线城市可达性提升能够显著减低运输成本,将扩大市场潜能,加快生产要素流通,进而改善区域经济运营环境,吸引FDI流入。FDI能够带来资本供给和知识、技术的溢出,通过示范与竞争效应、技术扩散与吸收效应促使东道国产业结构高级化、高效化发展,实现技术进步,提升其创新能力<sup>[30]</sup>。

航空运输能够通过促进产业升级间接提升城市创新能力,中介效应大小约为0.0020,占总效应的2.82%,而高铁运输对城市产业升级的影响效应不显著,假设H4部分成立。这可以从以下2个方面对其解释:一是中国高铁设施建设时间相对较短,虽已全面建成“四纵四横”的高铁网,但高铁因其技术特性具有明显的“廊道效应”<sup>[47]</sup>,因而对整体城市的产业结构升级带动效应并不显著;二是航空运输网络主要由各区域经济中心城市连接组成,一方面通过时空压缩效应降低运输成本,吸引高附加值产业以促进产业结构升级,另一方面通过促进国际贸

易、吸引外商投资间接推动产业结构升级。产业升级对创新能力的带动作用主要体现在以下2个方面:一是带动国内、国际市场的扩大与细分,为企业接受新思想、开发新技术创造契机,进而扩大市场需求,以需求拉动企业创新;二是通过打破贸易壁垒,融入全球价值链,以提升创新能力<sup>[33]</sup>。

### 3.4 稳健性检验

本文采用双向固定效应回归模型,消除了不随时间变化的不可观测的个体异质性,以及不随个体变化的时间异质性的影响,同时引入因变量的多阶滞后项以消除滞后性,解决了部分内生性问题。此外,由于不同的样本对于所得的结果具有不同的敏感性,采用分样本回归方法,按照城市等级、人口规模、地理区域分别进行回归,初步验证了研究结论的可靠性。为进一步验证研究结果的稳健性,本文采用变量替换法和工具变量法对回归结果进行稳健性检验,检验结果如表8所示。

#### (1) 变量替换法

本文以发明专利授权量替代专利申请量,进行稳健性检验,据国家知识产权局统计,2020年中国发明专利授权率不到1/2(47.3%),远低于实用新型和外观设计专利(授权率均超过90%)。故选用发明专利授权量作为城市创新能力的替代变量。由于发明专利从申请到授权需经过33~42个月的审查周期,因此对因变量做滞后2年处理<sup>[48-49]</sup>。由表8模型

表8 稳健性检验  
Tab.8 Robustness tests

变量	模型25	模型26	模型27	模型28
Air	0.0255** (0.0089)	0.0488** (0.0155)	0.0507** (0.0166)	0.0515** (0.0179)
HSR	0.0514*** (0.0092)	0.2880*** (0.0584)	0.2953 (0.0596)	0.3265*** (0.0666)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.4146	0.6119	0.6096	0.0630
F(Air)		8248.09	1604.86	629.08
Air-IV		1.0452*** (0.0090)	1.0964*** (0.0207)	1.1504*** (0.0333)
F(HSR)		4039.81	763.76	412.60
HSR-IV		1.1843*** (0.0116)	1.3294*** (0.0225)	1.6310*** (0.0520)
LM统计量		189.14	156.09	155.41
样本量	2886	3178	2890	2602

注:F(Air)和F(HSR)分别为工具变量法一阶段回归对内生变量Air及HSR拟合模型的F检验统计量。

25的回归结果可知,替换因变量后,航空和高铁运输对城市创新能力水平依然具有正向影响,验证了回归结果的稳健性。

#### (2) 工具变量法

机场、高铁站点的选址可能与政策、区位条件等因素相关,而城市的发展条件也会直接影响到城市的创新能力。为解决潜在的内生性问题,在模型26~28中,采用工具变量法,分别将滞后一期、二期和三期的核心解释量作为工具变量进行两阶段回归,实现动态效应检验。滞后的解释变量与解释变量当期有相关性,但与当期扰动项不相关,可被选作工具变量以缓解内生性问题。由表8工具变量法两阶段回归结果可知,克服内生性后,航空和高铁基础设施对城市创新能力水平依然具有正向影响,进一步验证了回归结果的稳健性。

## 4 结论与政策启示

### 4.1 结论与讨论

本文基于大数据挖掘、清洗、提取获得2007—2018年的航空和高铁班次数据以及城市发明专利申请数据,利用双向固定效应面板回归和中介效应检验模型,分析解释了交通对城市创新能力的影响机制。主要结论如下:

(1) 航空和高铁均可有效促进城市创新能力提升。高速交通带来的时空压缩效应可显著提升城市区位可达性,降低信息交互成本,营造良好的创新环境,从而提升城市创新能力。此外,受航空和高铁运输的竞争替代效应及知识溢出的地理邻近性影响,以近距离为主导的高铁运输对城市的创新溢出效应约为航空运输的3倍。

(2) 航空和高铁对不同类型城市的创新溢出效应存在显著异质性。城市等级异质性方面,航空和高铁对中心城市创新能力的正向影响强度高于非中心城市;人口规模异质性方面,航空对大、中城市创新能力提升有显著正向影响,对小城市有抑制作用,高铁运输对不同人口规模的城市创新能力均有正向影响,呈现大城市>中等城市>小城市的态势;区域异质性方面,航空和高铁对东部、中部、西部、东北地区的创新能力均有不同程度的提升作用,表现出显著的“马太效应”,东部地区优势地位凸显。

(3) 航空和高铁均可通过促进技术转移、风险资本配置、外商资本配置间接提升城市创新能力。此外,航空还能够通过促进产业升级间接促进城市

创新能力提升。

本文研究也存在一些局限与不足。首先,以城市节点为研究对象,一定程度上忽略了多维邻近性对其创新能力的影响;不同服务范围区间内航空和高铁建设对城市创新能力影响机制有待探讨。此外,交通运输对城市创新能力影响路径仍需深入挖掘,除专利交易、风险投资、外商投资、产业升级数据外,有待建立人才引进、专利合作、论文合作和项目合作等多维指标进行综合刻画。未来将进一步对以上问题开展研究。

### 4.2 政策启示

(1) 建设交通强国,赋能创新发展。交通建设作为经济社会发展的重要支撑,对中国深入实施创新发展战略有着重要支撑引领作用。新时代高质量发展背景下,应当特别重视交通建设的重要经济效应,以高铁和航空为纽带和依托,深度赋能创新发展:一是交通运输的发展应该更加侧重于高铁建设。单位建设成本下,高铁的创新溢出效应显著高于航空,因此应通过加密运营班次、循环发车、高铁提速、规划高铁新线等手段提升高铁运输效益,条件允许情况下可打造第二通道,如京沪高铁第二通道、沪深沿海第二通道、武广第二通道。二是要重视高铁新城、空港新城建设。参照上海虹桥、上海浦东和北京大兴的综合交通枢纽建设经验,推进高铁、航空“双枢纽”协同配套,加快畅通交通运输主动脉。三是要依托交通规划,出台相应政策,鼓励加大技术转移成果转化、聚力打造招商引资“强磁场”,从而充分发挥其对科技创新体系建设的作用,更快更好地融入“双循环”新发展格局。

(2) 兼顾效率与公平,注重区域协同发展。交通运输对城市创新能力的影响存在“溢出效应”与“虹吸效应”的双重效应,因此,交通建设应在兼顾经济发展效益的同时着重区域发展公平,促进区域协同发展:一是要持续完善大城市交通设施的建设,发挥对中小城市的辐射带动作用;二是要加大投资倾斜力度,扶持中小城市的交通基础设施建设,打造同大城市互联互通的大通道,加速融入高铁“创新圈”;三是统筹规划全国交通综合运输网络的建设,全面推动航空、高铁网络的互联互通,推动人员、资金、信息、贸易等创新要素的流动,促进知识扩散和创新外溢,从而完善区域创新网络,助力创新协同发展。

(3) 谨防虹吸效应,让小城市“活”起来。便利的交通一方面有利于小城市受到来自发达地区的



知识、经验、资本和技术的辐射,另一方面也加剧了其创新资源流失的可能,故小城市应当时刻谨防“虹吸效应”。一是由于航空对小城市的创新能力提升有抑制作用,人口在50万以下的小城市不宜盲目进行机场建设;二是要把握以都市圈为主体的区域协同发展机遇,依托城际铁路、市域铁路规划建设,主动融入都市圈一体化发展,增加城市活力;三是要合理利用低廉地价等优势吸引高新技术企业落地,吸纳高素质人才落户;四是要出台一系列优惠保障措施,除交通建设以外,还应着力优化公共服务供给,提升自身城市吸引力,避免创新资本的流失。

### 参考文献(References)

- [1] Mankiw N G, Romer D, Weil D N. A contribution to the empirics of economic growth [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(2): 407-437.
- [2] Dunning J H. *Regions, globalization, and the knowledge-based economy* [M]. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000.
- [3] Basile R, Capello R, Caragliu A. Technological interdependence and regional growth in Europe: Proximity and synergy in knowledge spillovers [J]. *Papers in Regional Science*, 2012, 91(4): 697-722.
- [4] 周一星, 胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构 [J]. *地理研究*, 2002, 21(3): 276-286. [Zhou Yixing, Hu Zhiyong. Looking into the network structure of Chinese urban system from the perspective of air transportation. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 276-286.]
- [5] 冯长春, 丰学兵, 刘思君. 高速铁路对中国省际可达性的影响 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32(8): 1187-1194. [Feng Changchun, Feng Xuebing, Liu Sijun. Effects of high speed railway network on the inter-provincial accessibilities in China. *Progress in Geography*, 2013, 32(8): 1187-1194.]
- [6] 刘芳. 高速铁路、知识溢出与城市创新发展: 来自278个城市的证据 [J]. *财贸研究*, 2019, 30(4): 14-29. [Liu fang. High-speed rail, knowledge spillover and urban innovation development: Evidence from 278 cities. *Finance and Trade Research*, 2019, 30(4): 14-29.]
- [7] 王春杨, 兰宗敏, 张超, 等. 高铁建设、人力资本迁移与区域创新 [J]. *中国工业经济*, 2020, 37(12): 102-120. [Wang Chunyang, Lan Zongmin, Zhang Chao, et al. High-speed rail construction, human capital migration and regional innovation. *China Industrial Economics*, 2020, 37(12): 102-120.]
- [8] 龙玉, 赵海龙, 张新德, 等. 时空压缩下的风险投资: 高铁通车与风险投资区域变化 [J]. *经济研究*, 2017, 52(4): 195-208. [Long Yu, Zhao Hailong, Zhang Xinde, et al. High-speed railway and venture capital investment. *Economic Research Journal*, 2017, 52(4): 195-208.]
- [9] 庄德林, 刘雨晨, 王帅. 高铁通车对中国城市创业投资网络的影响: 基于跨城市创业投资事件的经验研究 [J]. *地理科学进展*, 2021, 40(10): 1626-1638. [Zhuang Delin, Liu Yuchen, Wang Shuai. Impact of high-speed railway on Chinese urban venture capital network: Empirical study based on cross-city venture capital events. *Progress in Geography*, 2021, 40(10): 1626-1638.]
- [10] Andersen T B, Dalgaard C J. Flows of people, flows of ideas, and the inequality of nations [J]. *Journal of Economic Growth*, 2011, 16(1): 1-32.
- [11] Catalini C, Fons-Rosen C, Gaule P. Did cheaper flights change the geography of scientific collaboration? [R]. Sloan Working Papers. Cambridge, USA: MIT Sloan School of Management, 2016.
- [12] 易巍, 龙小宁, 林志帆. 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 [J]. *中国工业经济*, 2021, 38(9): 99-117. [Yi Wei, Long Xiaoning, Lin Zhifan. Does distance affect university knowledge spillover: Empirical evidence from the opening of Chinese high-speed rail. *China Industrial Economics*, 2021, 38(9): 99-117.]
- [13] Simmie J. Knowledge spillovers and reasons for the concentration of innovative SMEs [J]. *Urban Studies*, 2002, 39(5/6): 885-902.
- [14] Hovhannisyan N, Keller W. International business travel: An engine of innovation? [J]. *Journal of Economic Growth*, 2015, 20(1): 75-104.
- [15] 杨思莹, 李政. 高铁开通对区域创新格局的影响及其作用机制 [J]. *南方经济*, 2020, 38(5): 49-64. [Yang Siying, Li Zheng. Evolution of regional innovation patterns and their functional mechanisms under space-time compression. *South China Journal of Economics*, 2020, 38(5): 49-64.]
- [16] 叶德珠, 潘爽, 武文杰, 等. 距离、可达性与创新: 高铁开通影响城市创新的最优作用半径研究 [J]. *财贸经济*, 2020, 41(2): 146-161. [Ye Dezhu, Pan Shuang, Wu Wenjie, et al. Distance, accessibility and innovation: A study on the optimal working radius of high-speed railway opening for urban innovation. *Finance & Trade Economics*, 2020, 41(2): 146-161.]
- [17] 杜兴强, 彭妙薇. 高铁开通会促进企业高级人才的流动吗? [J]. *经济管理*, 2017, 39(12): 89-107. [Du Xingqiang, Peng Miaowei. Do high-speed trains motivate the flow of corporate highly educated talents? *Business and Management Journal*, 2017, 39(12): 89-107.]
- [18] Bel G, Fageda X. Getting there fast: Globalization, inter-

- continental flights and location of headquarters [J]. *Journal of Economic Geography*, 2008, 8(4): 471-495.
- [19] 张学良. 中国交通基础设施促进了区域经济增长吗: 兼论交通基础设施的空间溢出效应 [J]. *中国社会科学*, 2012(3): 60-77, 206. [Zhang Xueliang. Does China's transportation infrastructure promote regional economic growth: The spatial spillover effect of transportation infrastructure. *Social Sciences in China*, 2012(3): 60-77, 206. ]
- [20] 刘秉镰, 武鹏, 刘玉海. 交通基础设施与中国全要素生产率增长: 基于省域数据的空间面板计量分析 [J]. *中国工业经济*, 2010(3): 54-64. [Liu Binglian, Wu Peng, Liu Yuhai. Transportation infrastructure and the increase in TFP in China: Spatial econometric analysis on provincial panel data. *China Industrial Economics*, 2010(3): 54-64. ]
- [21] 胡鞍钢, 刘生龙. 交通运输、经济增长及溢出效应: 基于中国省际数据空间经济计量的结果 [J]. *中国工业经济*, 2009, 26(5): 5-14. [Hu Angang, Liu Shenglong. Transportation, economic growth and spillover: Conclusion based on spatial econometrics. *China Industrial Economics*, 2009, 26(5): 5-14. ]
- [22] 余泳泽, 庄海涛, 刘大勇, 等. 高铁开通是否加速了技术创新外溢? 来自中国230个地级市的证据 [J]. *财经研究*, 2019, 45(11): 20-31, 111. [Yu Yongze, Zhuang Haitao, Liu Dayong, et al. Does the opening of high-speed rail accelerate the spillover of technological innovation? Evidence from 230 prefecture-level cities in China. *Journal of Finance and Economics*, 2019, 45(11): 20-31, 111. ]
- [23] 诸竹君, 黄先海, 王煌. 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 [J]. *金融研究*, 2019(11): 153-169. [Zhu Zhujun, Huang Xianhai, Wang Huang. Does traffic infrastructure promote innovation? A quasi-natural experiment based on the expansion of the high-speed railway network in China. *Journal of Financial Research*, 2019(11): 153-169. ]
- [24] 何天祥, 黄琳雅. 高铁网络对湖南区域经济协同发展影响 [J]. *地理科学*, 2020, 40(9): 1439-1449. [He Tianxiang, Huang Linya. Impact of high-speed rail network on regional economic coordinated development in Hunan Province based on empirical analysis. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(9): 1439-1449. ]
- [25] 吉赞, 杨青. 高铁开通能否促进企业创新: 基于准自然实验的研究 [J]. *世界经济*, 2020, 43(2): 147-166. [Ji Yun, Yang Qing. Can the high-speed rail service promote enterprise innovation? A study based on quasi-natural experiments. *The Journal of World Economy*, 2020, 43(2): 147-166. ]
- [26] 卞元超, 吴利华, 白俊红. 高铁开通是否促进了区域创新? [J]. *金融研究*, 2019, 62(6): 132-149. [Bian Yuanchao, Wu Lihua, Bai Junhong. Does high-speed rail improve regional innovation in China? *Journal of Financial Research*, 2019, 62(6): 132-149. ]
- [27] 刘承良, 管明明, 段德忠. 中国城际技术转移网络的空间格局及影响因素 [J]. *地理学报*, 2018, 73(8): 1462-1477. [Liu Chengliang, Guan Mingming, Duan Dezhong. Spatial pattern and influential mechanism of interurban technology transfer network in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1462-1477. ]
- [28] 谢雅萍, 宋超俐. 风险投资与技术创新关系研究现状探析与未来展望 [J]. *外国经济与管理*, 2017, 39(2): 47-59. [Xie Yaping, Song Chaoli. Research status analysis of the relationship between venture capital and technological innovation and future prospects. *Foreign Economics & Management*, 2017, 39(2): 47-59. ]
- [29] 管驰明, 马奇骐. 航空运输投资对经济增长的影响及其机制的实证研究 [J]. *中国软科学*, 2010, 25(10): 47-56, 142. [Guan Chiming, Ma Qiqi. Empirical analysis of dynamic effect on economic growth and its mechanism due to China's air transport investment. *China Soft Science*, 2010, 25(10): 47-56, 142. ]
- [30] 冼国明, 严兵. FDI对中国创新能力的溢出效应 [J]. *世界经济*, 2005, 28(10): 18-25, 80. [Xian Guoming, Yan Bing. The spill-over effect of FDI on China's innovation capacity. *The Journal of World Economy*, 2005, 28(10): 18-25, 80. ]
- [31] Bilotkach V. Are airports engines of economic development? A dynamic panel data approach [J]. *Urban Studies*, 2015, 52(9): 1577-1593.
- [32] Percoco M. Airport activity and local development: Evidence from Italy [J]. *Urban Studies*, 2010, 47(11): 2427-2443.
- [33] 吴丰华, 刘瑞明. 产业升级与自主创新能力构建: 基于中国省际面板数据的实证研究 [J]. *中国工业经济*, 2013, 30(5): 57-69. [Wu Fenghua, Liu Ruiming. Industrial upgrading and independent innovation ability construction: Empirical research based on China's provincial panel data. *China Industrial Economics*, 2013, 30(5): 57-69. ]
- [34] 牛方曲, 刘卫东. 中国区域科技创新资源分布及其与经济发展水平协同测度 [J]. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 149-155. [Niu Fangqu, Liu Weidong. Relationships between scientific & technological resources and regional economic development in China. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 149-155. ]
- [35] 马光荣, 程小萌, 杨恩艳. 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 [J]. *中国工业经济*, 2020, 37(6): 5-23. [Ma Guangrong, Cheng Xiaomeng, Yang Enyan. How does transportation infrastructure affect capital flows: A study from high-speed rail and cross-region investment of listed companies. *China Industrial Economics*, 2020, 37(6): 5-23. ]

- nies. *China Industrial Economics*, 2020, 37(6): 5-23. ]
- [36] 温忠麟, 刘红云. 中介效应和调节效应: 方法及应用 [M]. 北京: 教育科学出版社, 2020: 15-89. [Wen Zhonglin, Liu Hongyun. *Mediating and moderating effects: Methods and applications*. Beijing, China: Educational Science Publishing House, 2020: 15-89. ]
- [37] 贺灿飞, 谭卓立. 全球—地方互动与中国城市产业创新 [J]. *城市与环境研究*, 2020, 7(2): 3-23. [He Canfei, Tan Zhuoli. *Global-local interactions and urban industrial innovation in China*. *Urban and Environmental Studies*, 2020, 7(2): 3-23. ]
- [38] 王春杨, 张超. 中国地级区域创新产出的时空模式研究: 基于ESDA的实证 [J]. *地理科学*, 2014, 34(12): 1438-1444. [Wang Chunyang, Zhang Chao. *Spatial-temporal pattern of prefecture-level innovation outputs in China: An investigation using the ESDA*. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(12): 1438-1444. ]
- [39] 刘承良, 牛彩澄. 东北三省城际技术转移网络的空间演化及影响因素 [J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2092-2107. [Liu Chengliang, Niu Caicheng. *Spatial evolution and factors of interurban technology transfer network in Northeast China from national to local perspectives*. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2092-2107. ]
- [40] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响 [J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4-16, 31. [Gan Chunhui, Zheng Ruogu, Yu Dianfan. *An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China*. *Economic Research Journal*, 2011, 46(5): 4-16, 31. ]
- [41] Boschma R, Iammarino S. Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy [J]. *Economic Geography*, 2009, 85(3): 289-311.
- [42] Frenken K, van Oort F, Verburg T. Related variety, unrelated variety and regional economic growth [J]. *Regional Studies*, 2007, 41(5): 685-697.
- [43] Fischer M M, Varga A. Spatial knowledge spillovers and university research: Evidence from Austria [J]. *The Annals of Regional Science*, 2003, 37(2): 303-322.
- [44] Fischer M M, Scherngell T, Jansenberger E. The geography of knowledge spillovers between high-technology firms in Europe: Evidence from a spatial interaction modeling perspective [J]. *Geographical Analysis*, 2006, 38(3): 288-309.
- [45] van Stel A J, Nieuwenhuijsen H R. Knowledge spillovers and economic growth: An analysis using data of dutch regions in the period 1987–1995 [J]. *Regional Studies*, 2004, 38(4): 393-407.
- [46] 丁金学, 金凤君, 王姣娥, 等. 高铁与民航的竞争博弈及其空间效应: 以京沪高铁为例 [J]. *经济地理*, 2013, 33(5): 104-110. [Ding Jinxue, Jin Fengjun, Wang Jiaoe, et al. *Competition game of high-speed rail and civil aviation and its spatial effect: A case study of Beijing-Shanghai high-speed rail*. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 104-110. ]
- [47] 王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通流视角下的空间级联系统比较与地理空间约束 [J]. *地理学报*, 2019, 74(12): 2482-2494. [Wang Jiaoe, Du Delin, Jin Fengjun. *Comparison of spatial structure and linkage systems and geographic constraints: A perspective of multiple traffic flows*. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2482-2494. ]
- [48] 何舜辉, 杜德斌, 焦美琪, 等. 中国地级以上城市创新产出的时空格局演变及影响因素分析 [J]. *地理科学*, 2017, 37(7): 1014-1022. [He Shunhui, Du Debin, Jiao Meiqi, et al. *Spatial-temporal characteristics of urban innovation capability and impact factors analysis in China*. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(7): 1014-1022. ]
- [49] 刘晔, 曾经元, 王若宇, 等. 科研人才集聚对中国区域创新能力的影响 [J]. *经济地理*, 2019, 39(7): 139-147. [Liu Ye, Zeng Jingyuan, Wang Ruoyu, et al. *The relationship between geographical concentration of researchers and regional innovation in China*. *Economic Geography*, 2019, 39(7): 139-147. ]
- [50] 连玉君, 廖俊平. 如何检验分组回归后的组间系数差异? [J]. *郑州航空工业管理学院学报*, 2017, 35(6): 97-109. [Lian Yujun, Liao Junping. *How to test the coefficient difference between groups after grouping regression?* *Journal of Zhengzhou University of Aeronautics*, 2017, 35(6): 97-109. ]
- [51] 周锐波, 邱奕锋, 胡耀宗. 中国城市创新网络演化特征及多维邻近性机制 [J]. *经济地理*, 2021, 41(5): 1-10. [Zhou Ruibo, Qiu Yifeng, Hu Yaozong. *Characteristics, evolution and mechanism of inter-city innovation network in China: From a perspective of multi-dimensional proximity*. *Economic Geography*, 2021, 41(5): 1-10. ]
- [52] 宋文杰, 朱青, 朱月梅, 等. 高铁对不同规模城市发展的影响 [J]. *经济地理*, 2015, 35(10): 57-63. [Song Wenjie, Zhu Qing, Zhu Yuemei, et al. *The impacts of high speed railways for different scale cities*. *Economic Geography*, 2015, 35(10): 57-63. ]
- [53] 王海江, 苗长虹. 中国航空联系的网络结构与区域差异 [J]. *地理科学*, 2015, 35(10): 1220-1229. [Wang Haijiang, Miao Changhong. *Network structure and regional difference of aviation links in China*. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1220-1229. ]
- [54] 王绍博, 郭建科, 罗小龙, 等. 高速铁路对中心城市航空客运市场的空间影响: 基于人均时间价值视角 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38(11): 1665-1674. [Wang Shaobo, Guo Jianke, Luo Xiaolong, et al. *Spatial differentiation*



- of the impact of high-speed rail on aviation passenger market in central cities of China. *Progress in Geography*, 2019, 38(11): 1665-1674. ]
- [55] 宋周莺, 车姝韵, 王姣娥. 东北地区的创新能力演化及其经济带动作用分析 [J]. *地理科学*, 2016, 36(9): 1388-1396. [Song Zhouying, Che Shuyun, Wang Jiaoe. The spatio-temporal analysis of regional innovation capacity and its economic contribution in northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1388-1396. ]
- [56] 何瑛, 于文蕾, 杨棉之. CEO复合型职业经历、企业风险承担与企业价值 [J]. *中国工业经济*, 2019, 36(9): 155-173. [He Ying, Yu Wenlei, Yang Mianzhi. CEOs with rich career experience, corporate risk-taking and the value of enterprises. *China Industrial Economics*, 2019, 36(9): 155-173. ]
- [57] Cumming D, Dai N. Local bias in venture capital investments [J]. *Journal of Empirical Finance*, 2010, 17(3): 362-380.
- [58] 龙玉, 李曜. 风险投资应该舍近求远吗: 基于我国风险投资区域退出率的实证研究 [J]. *财贸经济*, 2016(6): 129-145. [Long Yu, Li Yao. Should venture capitalists seek far? A comparative study of regional exit rate of venture capital investments in China. *Finance & Trade Economics*, 2016(6): 129-145. ]
- [59] 韦朕韬, 孙晋云. 高铁开通能否促进我国中西部地区吸引 FDI? [J]. *南方经济*, 2020, 38(1): 33-45. [Wei Zhen-tao, Sun Jinyun. Can high-speed railway opening promote FDI attraction in Chinese central and western regions? *South China Journal of Economics*, 2020, 38(1): 33-45. ]

## The impacts of aviation and high-speed rail on urban innovation capacity in China

LUO Xue<sup>1</sup>, MAO Weisheng<sup>1</sup>, WANG Bangjuan<sup>1</sup>, LIU Chengliang<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Urban & Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Transportation is the physical carrier of knowledge and technology spatial flows such as talent and capital flows in innovation networks, and its impacts on urban innovation capacity have become a cross-cutting frontier in economic geography. Based on the city-scale data of China from 2007 to 2018 and taking air and high-speed rail transportation as examples, this study constructed a theoretical framework for the effect of transportation on urban innovation capacity, adopted the two-way fixed-effects panel regression model to empirically test the multiple heterogeneity mechanisms of aviation and high-speed rail on urban innovation capacity, and explored the mediation effects of knowledge dissemination, capital accumulation, and industrial upgrading between transportation and innovation capacity. The results are as follows: 1) Both aviation and high-speed rail development have significant positive impacts on urban innovation capacity, and the spillover effect of high-speed rail on urban innovation is about three times that of aviation. 2) The innovation spillover effects of aviation and high-speed rail on different types of cities are significantly different. In terms of urban grade heterogeneity, the positive impact of aviation and high-speed rail on the innovation capacity of central cities is higher than that of other cities. In terms of population size heterogeneity, aviation has a significant positive impact on the innovation capacity of large and medium-sized cities and an inhibitory effect on small cities, while high-speed rail transportation has a positive impact on urban innovation capacity of cities of different population sizes, showing the trend of large cities > medium-sized cities > small cities. In terms of regional heterogeneity, aviation and high-speed rail have improved the innovation capacity of the eastern, central, western, and northeastern cities of China in varying degrees with a significant Matthew effect, and eastern China has a prominent dominant position. 3) Both aviation and high-speed rail can indirectly promote urban innovation capacity by stimulating technology transfer, venture capital allocation, and foreign capital allocation. Aviation can also indirectly promote urban innovation capacity by stimulating industrial upgrading.

**Keywords:** air transport; high-speed rail transport; urban innovation capacity; two-way fixed effects panel regression; mediation effects