

# 互联网时代“线下交流”不再重要了吗？

——来自“知识空间溢出”悖论与区域创新的检验

郑维伟<sup>1</sup>，瞿茜<sup>1</sup>，刘耀彬<sup>2</sup>，安玲林<sup>3</sup>

(1.上海交通大学 安泰经济与管理学院，上海 200030; 2.南昌大学 经济管理学院，江西 南昌 330031;

3.重庆大学 经济与工商管理学院，重庆 400044)

**摘要：**创新作为引领发展的第一动力，互联网时代创新知识面临着“线上交流”频率增加与“线下交流”机会减少、“显性知识”创新作用不足与“隐性知识”传播途径有限的双重悖论。本文以互联网信息化水平和交通基础设施建设分别衡量“线上交流”与“线下交流”的便利程度，通过收集 2007—2019 年 283 个地级市的面板数据，构建空间面板杜宾模型，实证研究了线上“显性知识”交流与线下“隐性知识”共享对区域创新成果数量和质量的影响。结果显示，充分考虑了知识在空间上的溢出效应之后，线上与线下交流并非完全替代关系，虽然“线上交流”可以有效提升本地区和邻近地区的创新成果数量，但对创新成果质量的影响十分有限。只有互联网信息化发展带来的“线上交流”效率提升与交通基础设施建设实现的“线下交流”频率提高相结合，才能综合利用“显性知识”和“隐性知识”提升区域创新成果质量。本研究为持续推进以高铁为代表的国家综合立体交通网和工业互联网新型基础设施建设，推动中国创新成果“量”和“质”双提升具有重要启示意义。

**关键词：**线上交流；线下交流；显性知识；隐性知识；区域创新发展

中图分类号：F530 文献标识码：A 文章编号：

DOI:

## 一、引言

2021 年 5 月召开的国务院常务会议上，李克强总理强调要提高知识产权质量，纠正片面追求数量的倾向，坚持数量与质量并重，更加重视专利的质量和转化工作。2022 年 10 月，习近平总书记在党的二十大报告中提及要完善科技创新体系，坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位。从宏观层面看，拥有科技人才的企业作为创新的主体，在促进中国整体创新水平提升方面发挥着不可忽视的重要作用。以华为技术有限公司为例，得益于在研发领域

---

收稿日期：2022-08-17

基金项目：国家自然科学基金优秀青年项目（72222007）、国家自然科学基金面上项目（71973097）、国家自然科学基金重点项目（72031006）和国家社会科学基金重大项目（18ZDA047）

作者简介：郑维伟（1997—），男，重庆人，上海交通大学安泰经济与管理学院博士研究生；瞿茜（1985—）（通讯作者），女，江苏南通人，上海交通大学安泰经济与管理学院院长特聘副教授，博士生导师；刘耀彬（1970—），男，湖北麻城人，南昌大学副校长，长江学者特聘教授，博士生导师；安玲林（1997—），女，湖北恩施人，重庆大学经济与工商管理学院硕士研究生。

的高强度投入，截至 2020 年华为已在全球共持有 4 万余族有效授权专利，且 90%以上为发明专利。可见，实施创新驱动发展战略，重视创新成果数量与质量双提升，对于强化企业创新活力、持续推进经济高质量发展目标实现具有重要现实意义。

近年来一系列研究表明，产业集聚通过信息溢出可以有效降低企业间的搜寻匹配成本，促进先进生产要素高效配置，提升创新水平（彭向和蒋传海，2011）。值得注意的是，以高铁开通和提速为代表的交通基础设施建设加速了人才、技术、资本等要素在地区间的高效流动，互联网信息基础设施的建设和完善则加快了信息的快速传播，这就决定了区域创新水平并非仅仅取决于本地区企业间的交流、学习和知识共享。

尽管互联网和交通基础设施的发展分别对线上和线下交流效率的提升已成为基本事实，但学术界鲜有研究区分二者对于显性和隐性两种不同类别知识传播的差异。并且，伴随着 2020 年以来新冠疫情的肆虐，企业员工通过互联网“线上交流”居家办公的频率和场景大幅增加，部分学者甚至持有“线上交流”可以完全取代“线下交流”的观点，进而鼓吹“地理距离已死论”（Cairncross，2001；徐德英和韩伯棠，2015）。然而，相较于以书面文字、图表和数学公式等表述的“显性知识”，“知道但难以言述”的“隐性知识”逐渐成为企业创新更加必需的重要因素（孙建军等，2022）。由于“隐性知识”具有不易转移、难以规范和容易失真的特点，其通过“线下交流”进行耳濡目染式吸收可以达到更好的效果，通过互联网“线上交流”的效果将大打折扣。由此产生了“互联网发展引发‘线上交流’频率日益增长和‘显性知识’对创新作用相对有限”与“互联网时代‘线下交流’机会逐渐减少和‘隐性知识’是创新必要因素”的矛盾。

从作用机理看，以高铁开通和提速为代表的交通基础设施建设有利于提升区域可达性，形成“时空压缩”和“同城化效应”（董艳梅和朱英明，2016）。如京沪高铁开通后，上海与北京两地间列车通勤最快时间由 14 小时 53 分钟大幅缩短为 4 小时 24 分钟。可见，互联网时代下，交通基础设施建设可以有效打破地理距离约束并推动区域一体化进程，扩大企业研发人员跨区域线下交流“隐性知识”的有效边界（李建成等，2021），促进创新发展。

此外，互联网发展可以通过降低企业创新不确定性、优化创新资源配置及显性知识外溢等渠道，提升区域创新水平。以地区电信业务总量衡量互联网信息化水平，分别以专利申请和授权总数作为创新水平的代理变量绘制散点图（图 1），可以发现两者具有明显正相关性，且随着交通基础设施建设进程推进呈现出不断向右上方移动的特征。上述特征事实似乎表明，以高铁为代表的交通基础设施和互联网信息基础设施的强强联合，可以形成创新发展合力。这背后可能的机制是由于企业间的线上交流合作通常建立在现实相互熟识的情况下，交通基础设施建设不仅增强了“线下交流”频率，还极大程度地改善了互联网“线上交流”的沟通效率和合作网络。由于显性和隐性知识并非完全分开、而是相辅相成的两部分，两者在创新活动中动态地相互作用更加有利于新知识创造（Nonaka 和 von Krogh，2009），这对于形成创新成果数量和质量双提升的合力具有积极作用。

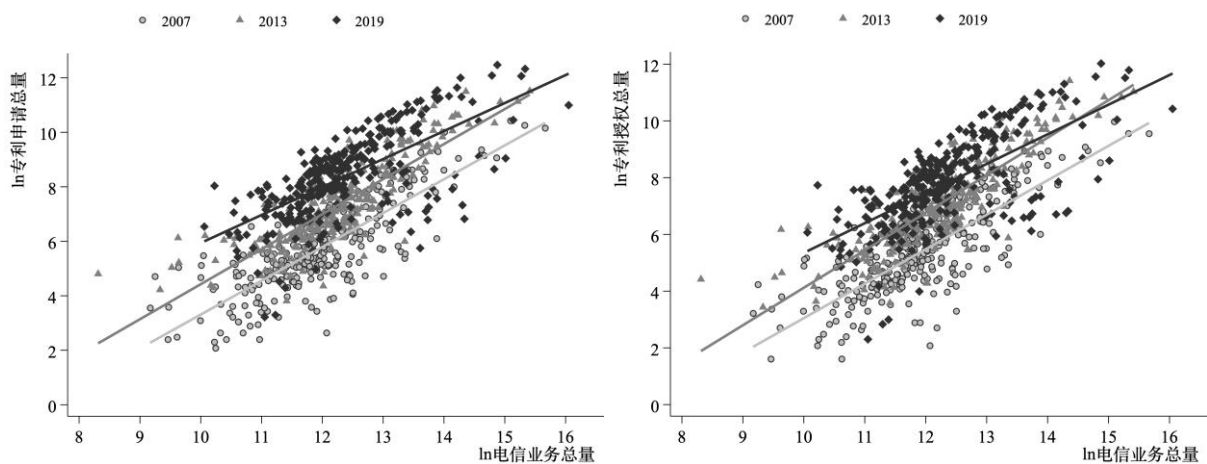


图 1 2007、2013、2019 年中国信息化水平与区域创新水平散点图

考虑到“线上交流”具有“线下交流”所不能忽视的“显性知识”高效率传播，而“线下交流”则具备“线上交流”所缺乏的“隐性知识”高质量共享，只有权衡创新活动中两者的最优组合，才能确保整体创新水平处于最经济位置（Herman, 2013）。因此，值得重点探讨的问题是：互联网时代仅依靠“线上交流”是否足够驱动区域创新水平提升？鉴于以高铁为代表的交通基础设施建设能够显著提高“线下交流”的便捷度、联系范围和频率，互联网发展又对“线上交流”效率提升具有重要影响，两者对创新的促进效应是否存在完全替代关系？进一步，两者对创新成果数量和质量的影响是否存在明显差异？通过探讨线上、线下不同交流方式对显性和隐性知识空间溢出的影响差异，对于持续推进综合立体交通网建设和互联网基础设施建设体系化，最终带动整体创新水平提升具有重要现实意义。

研究发现，尽管互联网时代仅依靠线上“显性知识”交流可以实现本地区和邻近地区的创新成果数量创造，但对质量提升没有显著促进作用；只有与交通基础设施建设引发的“线下交流”成本降低和“隐性知识”共享效率提升相结合，才能形成区域创新成果数量和质量双提升的合力。因此，当前既要持续推进工业互联网新型基础设施建设，又要重视国家综合立体交通网建设和区域一体化发展，从而实现中国整体创新成果“量”和“质”双提升。

本文的主要创新在于：第一，区分了以“显性知识”为主体的“线上交流”和以“线下交流”为载体的“隐性知识”传播渠道差异，提出了互联网时代重视显性与隐性知识合力是解决“知识空间溢出”悖论重要突破口的观点；第二，以高铁作为交通基础设施建设的代表，通过爬取各城市间火车与动车的实际通行时间和发车频次信息，刻画了地理距离约束弱化对“线下交流”便利性的改善程度；第三，采用固定效应空间面板杜宾模型，综合考虑了知识空间溢出和邻近地区的影响，系统分析了互联网和交通基础设施建设对区域创新成果“量”和“质”的促进效应及影响差异。

本文余下部分安排如下：第二部分为文献回顾与理论假说；第三部分交待模型、变量和数据；第四部分为实证结果分析；第五部分进行内生性与稳健性检验；第六部分探讨作用机制；第七部分为异质性探讨；第八部分总结全文。

## 二、文献回顾与理论假说

### （一）知识空间溢出与区域创新发展

部分文献采用双重差分模型（*DID*），分别从互联网发展（种照辉等，2022）或交通基础设施建设（余泳泽等，2019）的单一视角，证实了两者对创新发展的促进作用。然而，这类研究大多忽视了互联网和交通基础设施分别通过线上和线下交流对不同特性知识跨区域传播的异质性影响，及其对创新的合力作用；更为重要的是，仅采用 *DID* 方法会忽视知识固有的外部性，导致估计结果有偏。张学良（2012）较早指出由于传统面板模型未考虑空间溢出效应，会导致参数估计出现严重问题。通过引入空间权重矩阵刻画地区间的相互联系，空间计量模型能够更加准确地识别出知识的空间溢出效应（田相辉和徐小靓，2018）。

由于地理位置接近、邻近地区对本地创新的模仿行为和知识溢出等原因，本地区 and 邻近地区的创新活动在空间维度上将表现出较强的关联性。宛群超和袁凌（2021）发现省域高技术产业的创新能力客观上存在着空间溢出。为数不多采用地级市数据的研究同样证实了创新活动具有的溢出效应（金培振等，2019）。不仅如此，通过对比普通和空间面板模型的回归结果，刘芳（2019）发现如果忽视了创新活动的空间溢出效应，会严重高估影响系数。因此，为确保参数估计的一致和有效，有必要检验创新知识空间溢出效应，故本文提出如下假说：

H1: 邻近地区的创新知识可以显著促进本地区创新发展，即创新知识具有空间溢出效应。

### （二）互联网信息化水平、显性知识与区域创新发展

相较于部分学者持有“地理距离已死”——互联网时代“线上交流”可完全取代“线下交流”的观点，更多学者认为两者并非完全替代的关系（何凌云和陶东杰，2020），即“线上交流”是否可取代部分“线下交流”，需要视具体的知识特性而定。Storper 和 Venables（2004）指出知识分为可编码的“显性知识”（*Codified Knowledge*）和不可编码的“隐性知识”（*Tacit Knowledge*）。从内涵上看，“显性知识”泛指一切可文本化的知识，如能够以书面文字、图表和数学公式等加以表述的基本原理、电子表格、书面程序等（Poleacovschi 等，2019），从而可以通过互联网等载体进行有效传播。相反地，主要包括个人思维模式、经验和所谓的“诀窍”等高度个人化的“隐性知识”，具有难以规范化、不易转移和容易失真等特点，往往需要在线下交流和培训的“干中学”过程中进行获取和积累（Herman，2013），通过互联网传播的效果将大打折扣。

尽管“隐性知识”是企业创新所必需的要素，且在创新过程中起着主导作用，但并不意味着“显性知识”对创新没有促进作用，后者至少能够使企业在创新过程中获得短暂的相对竞争优势（孙建军等，2022），促进创新成果数量创造。事实上，互联网信息技术主要通过拓展创新合作网络、提升“显性知识”传播效率两个渠道提升区域创新水平。

首先，互联网的开放性信息共享功能可进一步拓宽创新研发人员的人际合作网络。随着经济全球化以及数字经济时代的到来，国内外创新技术面临越来越多相互引用和借鉴的需求，互联网作为一种高效便捷的知识流传递、共享技术，能够最大程度地为专利所有者和潜在引用者之间构建便捷的“线上交流”渠道，通过相互间交流和反馈，最终催生新技术的研发创造（余泳泽等，2021）。

其次，互联网信息技术发展对降低企业创新的资金和人力成本、稳固企业间已建立的合

作关系、以及企业与科研院所形成的产学研合作模式具有重要现实意义。特别是面临跨区域合作时，由于距离相对较远，采用“线上交流”的可能性会相应增加。Bloom等（2014）发现通过广泛运用互联网信息技术，企业能够以较低的时间和资金成本实现显性知识传播共享。黄群慧等（2019）证实了互联网发展通过加速企业研发人员学习能力和效率，可大幅缩减企业间技术创新协作的时间成本，显著提升企业生产率。可见，利用好“线上交流”所带来的知识交流效率提升，理论上可以有效提高区域创新成果数量。然而，尽管“线上交流”有利于“显性知识”共享，但由于显性知识对创新研发（特别是创新成果质量）的作用相对有限，且随着显性知识积累到一定规模，新的显性知识对区域创新的边际贡献十分微弱。

特别地，本文将便捷高效的互联网“线上交流”加快“显性知识”跨区域传播，并最终对区域创新产生的影响称为“线上外部性”，并提出如下假说：

H2：互联网时代“线上交流”并不能完全替代“线下交流”，特别是对创新成果质量的替代效应更小。

### （三）交通基础设施建设、隐性知识与区域创新发展

地理距离是阻碍高素质劳动力流动（范欣等，2017）和信息获取（Huang等，2017）的关键因素。理论上，创新知识具有典型的溢出效应，并呈现出随地理距离衰减特征，故如何降低知识外溢过程中的衰减程度，或者如何最大程度地延长有效溢出距离，是提升整体区域创新水平的关键。以高铁为代表的交通基础设施建设通过打破人员跨区域流动限制、降低跨区域通勤时间成本以及增强“线下交流”频率和范围等，对创新施加重要影响。

首先，相较汽车和火车等传统交通工具，高铁的开通和提升能够显著提升地区可达性，从而弱化地区边界（张学良，2012）和促进地区间市场整合，有效破除省际间“以邻为壑”的行政壁垒（范欣等，2017），“从无到有”地实现原本距离较远地区间企业研发人员的跨区域流动，扩大大地区与周边地区的有效联系边界和“隐性知识”共享。

其次，以高铁为代表的交通基础设施建设通过显著降低人员跨区域通行的时间成本，促进人才流动和“隐性知识”线下交流、学习与共享，提升地区间创新合作产出（Dong等，2020）。最直接的证据便是：以高铁为代表的交通基础设施建设形成了人力资本可日际往返的“同城效应”和“N小时经济圈”（邓涛涛和王丹丹，2018）。由于企业研发人员通常具有较高的时间价值，其往往倾向于选择高铁等时间成本较低的交通工具，故高铁在促进高层次人才区际流动的同时，通过线下“隐性知识”交流刺激区域创新发展（王雨飞等，2021）。

再次，以高铁为代表的交通基础设施建设可以在原本处于有效联系边界的地区基础上，进一步扩大与其他周边地区的有效联系范围（叶德珠等，2020）。并且，由于地区间时间成本的大幅缩减，即使前往地理距离较远的地区也变得更加便捷，势必会大幅提升本地区对外交流的范围和频率。可见，随着地理距离约束弱化带来地区间有效联系边界扩大和经济联系强度增加，企业研发人员得以在更大范围和更高频率下进行线下“隐性知识”的学习共享，“干中学”中激发新思想、新技术融合，提升整体创新水平（Zhang等，2020）。

最后，互联网信息技术发展所带来的“线上交流”与“线下交流”并非互相替代的关系，“线上交流”发展进一步拓展了“线下交流”空间（何凌云和陶东杰，2020）。一般地，线上交流与合作往往建立在现实相互熟识的基础上，“线下交流”是实现后续“线上交流”的

基础。在地区间地理距离约束强度较高时，能够有效促进创新产出的“隐性知识”传播会受到较大限制；随着高铁等交通基础设施建设引发地理距离约束弱化，既有利于稳固已建立的合作关系，又有利于研发人员间线下结识和扩大彼此社交圈，显著改善“线上交流”效率。可见，通过综合利用好“线上交流”与“线下交流”的各自优势，对于带动知识空间溢出和提高创新成果研发成功率具有积极影响，最终实现创新成果数量和质量双提升。

相应地，本文将交通基础设施建设引发地理距离约束弱化，并最终对区域创新水平提升产生的影响称为“线下外部性”，并提出如下假说：

H3：交通基础设施建设能够显著增进“隐性知识”跨区域共享，并进一步强化互联网信息化水平对创新的促进效应。

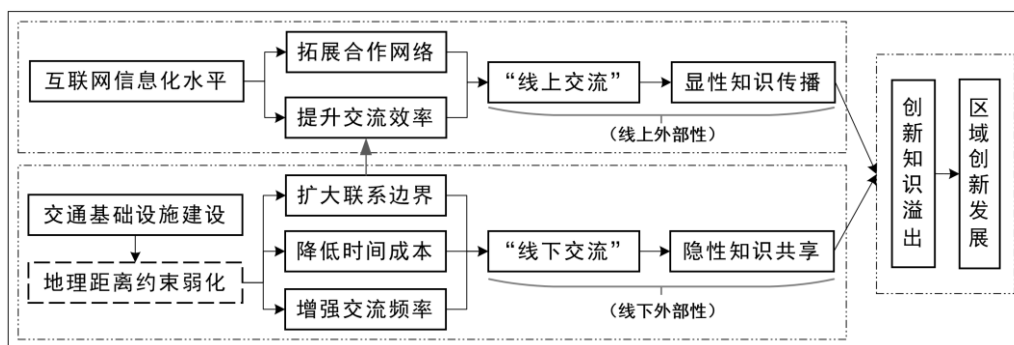


图 2 互联网发展和交通基础设施建设对创新的影响机理

### 三、模型、变量与数据

#### （一）空间面板杜宾模型

理论上，如果上述外部性客观存在，那么为确保参数估计的可靠性，就必须考虑地区间创新水平的空间交互关系。由于空间面板杜宾模型（*Spatial Panel Durbin Model, SPDM*）综合考虑了解释变量和被解释变量的空间依赖性，可将其视为空间溢出效应的标准研究框架；固定效应又能处理不能观测且不随个体或时间变化的异质性带来的内生性问题，因此，我们建立如下双向固定效应空间面板杜宾模型（*two-way FE SPDM*）：

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln INT_{jt} + \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} \tilde{\theta} + \beta \ln INT_{it} + X_{it} \tilde{\beta} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， $Y$ 为区域创新水平； $\ln INT$ 为互联网信息化水平； $X$ 为一系列控制变量； $W$ 为经行标准化后的空间权重矩阵； $\alpha$ 为个体固定效应， $\gamma$ 为时间固定效应； $i$ 、 $j$ 表示不同地区， $t$ 为年份， $n$ 为地区总数； $\varepsilon$ 为随机误差项。

#### （二）变量说明

1. 被解释变量：区域创新水平（ $\ln PAT$  和  $\ln INN$ ）。已有文献大多采用专利申请和授权量、新产品市场价值、专利引用量和城市创新指数等衡量区域创新水平。考虑到发展中国家创新能力仍处于模仿和学习过程中，专利是一个更能体现创新活动价值的指标（宛群超和袁凌，2021）。相较于专利申请量侧重从投入角度体现创新活动，专利授权量能够更好地体现

创新的实际产出数量（陈大峰等，2020）；此外，发明专利因其申请难度最大、技术含量最高、创新价值最大等特性，可以更好地反映创新成果质量（余泳泽等，2021）。因此，本文分别选择专利总授权和发明专利授权量衡量区域创新成果数量和质量。

2. 核心解释变量：互联网信息化水平（ $\ln INT$ ）。本文采用电信业务总量作为互联网信息化水平的代理变量，主要基于以下考虑：相较“国际互联网用户数”单纯用“数量”刻画地区互联网信息化水平，“电信业务总量”通过“价格”衡量电信企业为社会提供的各类电信服务的总数量，能够更加真实地反映地区实际建设和应用的互联网信息化水平。

3. 控制变量。为截断其他潜在因素对区域创新水平的影响，本文控制了生产性服务业<sup>①</sup>专业化（ $\ln MAR$ ）和多样化集聚程度（ $\ln Jacobs$ ）、科研财政投入力度（ $\ln RD$ ）、地区经济发展水平（ $\ln PGDP$ ）、人力资本投资（ $\ln STU$ ）、市场规模（ $\ln Market$ ）以及环境规制强度（ $\ln SO_2$ ）。

4. 空间权重矩阵。鉴于传统对称空间权重矩阵既无法区分发达与不发达地区知识空间溢出效应差异，又不具备时变特征，无法体现近年来交通基础设施建设增强研发人员“线下交流”的基本事实，本文采用了地区间每日列车实际通行时间和发车频次数据，与以往采用“地区间地理距离除以各类型列车设计时速”衡量通行时间的研究（Yu 和 Fan, 2018）相比，本文方法具有两大优势：第一，能够避免忽视不同地区交通线路实际运行时速存在的差异，更好地反映实际情况；第二，可以最大程度地缓解构建的空间权重矩阵与现实的偏差，确保参数估计结果可靠。综上，本文区分了高铁开通前（ $pre$ ）、后（ $post$ ）两个阶段，分别构建了283个地级市间双向非对称的反通行时间距离（ $W_T$ ）和发车频次（ $W_F$ ）空间权重矩阵：

$$W_{Tij} = \begin{cases} 1/\min\{T_{ij}\} & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (2)$$

$$W_{Fij} = \begin{cases} \sum F_{ij} & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (3)$$

其中， $W_T$ 采用“若有直达列车，分别计算火车和动车的最短直达运行时间；若无，计算分别按火车和动车中转的含停留的最短运行时间”原则计算最少分钟数； $W_F$ 仅计算拥有直达车次的每日列车发车频次；若无，计为“0”。K、Z、T和四位数车次作为火车方案，C、D、G字头作为高铁开通后的动车方案；特别地，高铁开通后计算的发车频次包括所有类型列车。

① 以高铁为代表的交通基础设施更能够满足生产性服务业对人力资本、信息和知识快速流动的要求。本文选取的生产性服务业包括：交通运输、仓储和邮政业，信息传输、计算机服务和软件业，批发和零售业，金融业，租赁和商业服务业，科学研究、技术服务和地质勘查业以及教育业。分别采用 Krugman 相对

专业化指数  $MAR_{it} = \sum_{j=1}^n \left| \frac{E_{ijt}}{\sum_{j=1}^n E_{ijt}} - \frac{\sum_{i=1}^m E_{ijt}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{ijt}} \right|$  和改进的相对多样化指数  $Jacobs_{it} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \left[ \frac{E_{ijt}}{\sum_{j=1}^n E_{ijt} - E_{ijt}} \right]^2}$

测度其专业化和多样化集聚程度，其中  $E$  表示  $i$  地区  $j$  产业第  $t$  年的就业人数。

### （三）数据说明

鉴于 2008 年京津城际铁路开通后中国正式步入“高铁时代”，故保留 2007 年全国均无高铁的时期，以便更好地对比火车和动车间的差异；同时，考虑到数据的可得性，以及从 2020 年开始的疫情因素导致居家办公“线上交流”可能性提高的影响，本文最终构建 2007—2019 年中国 283 个地级及以上城市的面板数据，相关数据来源于历年《中国城市统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》，并进行了如下处理：首先，对部分缺失数据采用趋势外推法补齐；其次，对所有货币统计数据均以 2007 年为基期，采用消费者价格指数进行物价平减；最后，对各变量取自然对数处理，以消除异方差影响和便于系数的经济解释。铁路数据通过爬虫抓取 12306（直达方案）、绿行买火车票（最多两次换乘方案）和智行火车票 App（最多三次换乘方案）各类型列车的实际运营数据得到。最终选取的各变量及其描述性统计见表 1。

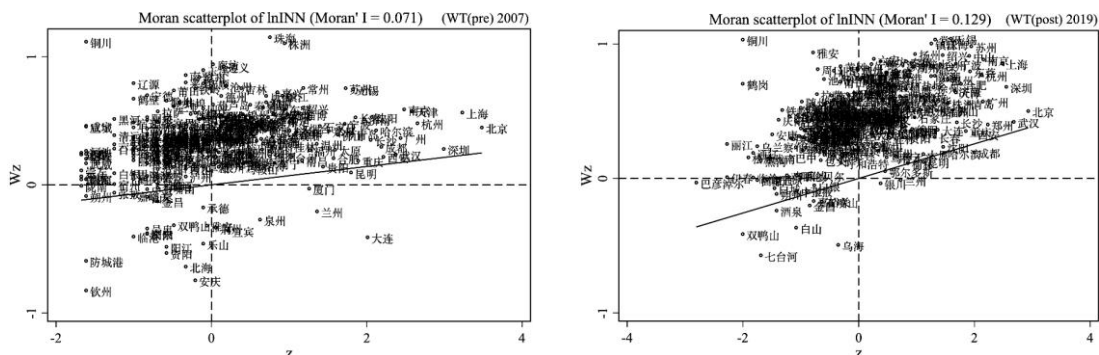
表 1 变量描述性统计表

变量名	变量含义	样本量	标准差	最小值	均值	最大值
lnPAT	专利总授权量取对数	3679	1.7537	1.6094	6.8003	12.0234
lnINN	发明专利授权量取对数	3679	1.9631	0.0000	4.3813	10.8804
lnINT	互联网信息化水平取对数	3679	1.0149	8.3121	12.1955	16.2120
lnMAR	产业专业化集聚取对数	3679	0.4023	-2.7348	-0.9902	0.4820
lnJacobs	产业多样化集聚取对数	3679	0.7772	-6.2552	-0.8619	0.9516
lnRD	科研财政支出取对数	3679	1.4246	-1.0800	9.8546	15.2526
lnPGDP	人均 GDP 取对数	3679	0.6403	4.5449	10.3130	12.8692
lnSTU	每万人大学生数取对数	3679	1.2214	-2.3656	4.5338	7.1787
lnMarket	社会消费品零售总额取对数	3679	1.0889	5.2323	15.1341	18.5759
lnSO <sub>2</sub>	工业二氧化硫排放量取对数	3679	1.2350	0.6931	10.1990	13.4341

## 四、实证结果分析

### （一）空间自相关检验

通过绘制 2007 和 2019 年中国各城市创新成果质量的莫兰指数散点图（图 3），可以发现其呈现出了显著正向空间自相关，且随着时间推移这种高高集聚现象得到不断增强。因此，相关结果初步验证了理论假说 H1 的合理性，也证实了采用空间计量模型的必要性。





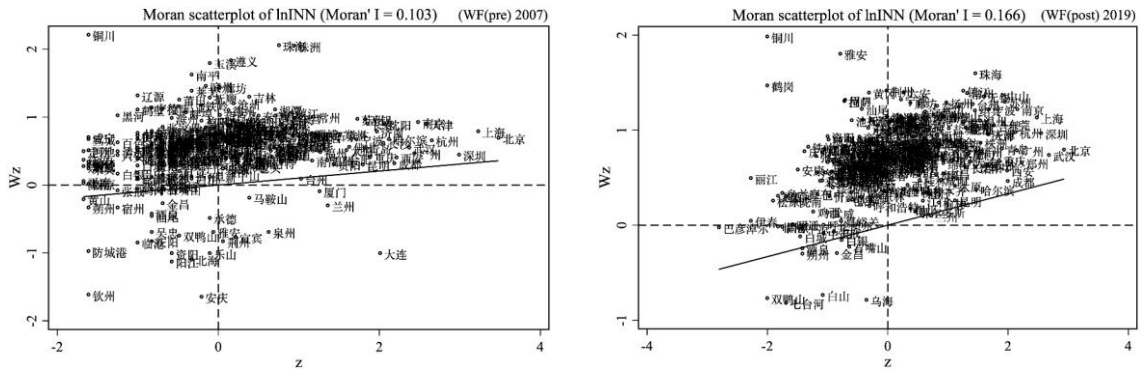


图 3 区域创新成果质量的全局莫兰指数散点图

## (二) 基准回归结果分析

本文进行如下空间计量模型估计形式筛选和检验，以验证相较传统普通面板模型，运用空间计量模型可以更加合理地反映本研究实际情况的直觉。

首先，本文采用普通面板回归模型对互联网信息化水平与区域创新发展的关系进行考察，以此作为空间效应检验前的准备工作。根据相关估计结果（见表 2）可以发现，信息化水平（ $\ln INT$ ）在 1% 显著性水平下对区域创新水平提升具有促进效应，这在一定程度上再次为本文得出的关于“互联网信息化水平有利于促进区域创新发展”的基本理论推断的合理性提供了实证支持。

其次，在普通面板回归模型估计结果的基础上，本文进一步借助  $LM$  检验是否的确存在显著的空间误差效应（*Spatial Error*）或空间滞后效应（*Spatial Lag*）。根据  $LM$  检验相关结果（见表 3），无论是高铁开通前后的非对称反时间距离空间权重矩阵（ $W_{T(pre)}$ 和 $W_{T(post)}$ ）、每日发车频次空间权重矩阵（ $W_{F(pre)}$ 和 $W_{F(post)}$ ）、亦或两者的嵌套空间权重矩阵（ $W_{(pre)}$ 和 $W_{(post)}$ ），其  $Moran's I$ 、 $LM$  检验及稳健  $LM$  检验结果均证实了在不同地理距离约束下，信息化水平对中国区域创新水平的影响既具有明显的空间误差效应，又存在显著空间滞后效应，故非常有必要采用考虑溢出效应的空间计量模型。

再次，尽管  $LM$  检验已经证实了本研究采用空间计量模型的必要性和合理性，但其还无法帮助确定空间自相关模型（ $SAR$ ）、空间误差模型（ $SEM$ ）以及空间杜宾模型（ $SDM$ ）中的具体形式。因此，本文进一步分别构建并估计了以上 6 种空间权重矩阵与 3 种空间计量模型相结合的 18 个空间计量模型回归结果，并采用  $LR$  检验和  $Wald$  检验综合筛选出恰当的空间计量模型形式。表 3 中  $LR$  检验和  $Wald$  检验相关结果表明，无论是对于  $SEM$  与  $SDM$ ，还是  $SAR$  与  $SDM$  之间的“择优选择”而言，其  $LR$  和  $Wald$  统计量均在 1% 的显著性水平下显著拒绝原假设，亦即表明无论对于何种空间权重矩阵，单纯采用  $SAR$  或者  $SEM$  考察互联网信息化水平与区域创新的空间溢出效应都容易导致估计结果出现偏误。换句话说，为了确保相关实证结果的可靠性和有效性，应当采用同时考虑了解释变量和被解释变量空间依赖性的空间杜宾模型（ $SDM$ ）进行实证估计。

然后，在选取  $SDM$  作为实证估计方法的基础上，本文进一步根据  $Hausman$  检验结果，以确定究竟采用随机效应还是固定效应。根据表 3 中  $Hausman$  检验结果，对于所有 6 种空间权重矩阵，其均在 1% 的显著性水平下显著拒绝了采用随机效应的原假设，即对于本研究样

本而言，采用固定效应估计结果将优于随机效应。

最后，在确定选择固定效应下的 *SDM* 作为估计模型的基础上，本文进一步采用联合显著性检验对个体固定、时间固定以及双固定效应进行筛选，从而确定最终的模型估计形式。联合显著性检验（约束模型检验）结果表明（表 3），相较于个体和时间单固定效应而言，采用个体与时间双固定效应进行估计可以更好地拟合和反映现实情况。综上，本文最终采用个体与时间双固定效应下的空间杜宾模型（*SDM*）就互联网信息化水平对区域创新发展的直接影响及其空间溢出效应展开探讨。

表 2 普通面板 OLS 估计结果

	Coefficient	Std. error	t	P>t	[95% conf. interval]	
<i>lnINT</i>	0.0754***	0.0225	3.35	(0.001)	0.0313	0.1196
<i>lnMAR</i>	0.2791***	0.0457	6.10	(0.000)	0.1894	0.3687
<i>lnJacobs</i>	0.0829***	0.0280	2.96	(0.003)	0.0280	0.1379
<i>lnRD</i>	0.4234***	0.0177	23.91	(0.000)	0.3886	0.4581
<i>lnPGDP</i>	0.4231***	0.0302	14.02	(0.000)	0.3639	0.4823
<i>lnperSTU</i>	0.2083***	0.0143	14.56	(0.000)	0.1802	0.2364
<i>lnMarket</i>	0.7981***	0.0255	31.32	(0.000)	0.7481	0.8480
<i>lnSO2</i>	-0.0859***	0.0110	-7.84	(0.000)	-0.1073	-0.0644
<i>_cons</i>	-16.8736***	0.3504	-48.15	(0.000)	-17.5607	-16.1866
<i>N</i>	3679		<i>Adj. R</i> <sup>2</sup>		0.8464	

注：\*\*\*，\*\*和\*分别表示在 1%，5%和 10%水平上显著；括号内为 p 值。

表 3 空间计量模型估计形式检验与设定

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>W</i> <sub>T(pre)</sub>	<i>W</i> <sub>T(post)</sub>	<i>W</i> <sub>F(pre)</sub>	<i>W</i> <sub>F(post)</sub>
LM Test				
Spatial error:				
<i>Moran's I</i>	37.545*** (0.000)	39.482*** (0.000)	27.184*** (0.000)	29.793*** (0.000)
<i>LM statistic</i>	1365.332*** (0.000)	1495.775*** (0.000)	725.960*** (0.000)	863.581*** (0.000)
<i>Robust LM statistic</i>	1361.840*** (0.000)	1507.482*** (0.000)	687.075*** (0.000)	850.852*** (0.000)
Spatial lag:				
<i>LM statistic</i>	32.119*** (0.000)	21.265*** (0.000)	53.302*** (0.000)	33.487*** (0.000)
<i>Robust LM statistic</i>	28.628*** (0.000)	32.973*** (0.000)	14.417*** (0.000)	20.758*** (0.000)
LR Test				
Spatial error	61.46***	115.35***	53.84***	113.61***

	(1)	(2)	(3)	(4)
	$W_{T(pre)}$	$W_{T(post)}$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Spatial lag	30.12*** (0.000)	76.50*** (0.000)	25.96*** (0.001)	72.85*** (0.000)
Wald Test				
Spatial error	61.13*** (0.000)	112.23*** (0.000)	53.84*** (0.000)	112.45*** (0.000)
Spatial lag	29.64*** (0.000)	74.82*** (0.000)	25.65*** (0.001)	71.38*** (0.000)
Hausman Test				
Hausman test	2914.54*** (0.000)	868.42*** (0.000)	2323.42*** (0.000)	438.76*** (0.000)
Joint Significance Test				
Fixed effect ind or both	32.85*** (0.001)	39.76*** (0.000)	122.35*** (0.000)	79.89*** (0.000)
Fixed effect time or both	3409.80*** (0.000)	3603.53*** (0.000)	3602.78*** (0.000)	4180.12*** (0.000)

注：\*\*\*，\*\*和\*分别表示在 1%，5%和 10%水平上显著；括号内为 p 值。

经过 LM、LR 和 Wald 等一系列检验，表 4 汇报了采用双向固定效应空间面板杜宾模型的估计结果。其中，（1）—（4）列为高铁开通前后两个阶段互联网信息化水平对区域创新成果数量（ $\ln PAT$ ）的影响效应；（5）—（8）列则为对创新成果质量（ $\ln INN$ ）的估计结果。

首先，各个空间权重矩阵下，邻近地区的创新水平提升在 1%显著性水平下对本地区创新成果数量和质量均具有正向促进作用；同时，相较地理距离约束强度较大（ $pre$ ）的情况，地理距离约束弱化后（ $post$ ）的空间自相关系数总体上均得到了显著提升。结果证实了邻近地区的创新研发活动会直接影响本地区的创新发展，且随着地理距离约束弱化这种知识空间溢出现象得到进一步增强，佐证了理论假说 H1 的合理性。

其次，在地理距离约束强度较大情况下，互联网信息化水平显著促进了本地区 and 邻近地区的创新成果数量创造，但对创新成果质量没有明显影响。以  $W_{T(pre)}$  的回归结果为例，在控制其他因素的影响后，本地区互联网发展对自身创新成果数量的影响效应为 0.0448，对邻近地区的溢出效应为 0.3646，且都在 5%的显著性水平下显著；然而，其对本地区和邻近地区的创新成果质量均不存在显著影响。究其原因可能是：一方面，本地区同周边地区产业间通常保持着长期固定的合作关系，加之数量导向下的创新成果创造对“隐性知识”的依赖度并不高，即使跨区域“线下交流”的便捷性受限，也可借助于互联网传播“显性知识”促进本地

区和邻近地区创新成果数量增加。另一方面，在地理距离约束强度较大阶段，由于研发人员跨区域流动成本较高，导致“线下交流”并不频繁，从而更有利于创新成果质量提升的“隐性知识”传播有限；并且，随着显性知识积累到一定规模，新的显性知识对区域创新的边际贡献十分微弱，最终导致互联网信息化水平对创新成果质量的影响并不明显。可见，互联网时代并不能仅仅依靠“线上交流”实现区域创新发展，特别是对创新成果质量并不存在显著提升作用，证实了理论假说 H2 的合理性。

最后，在地理距离约束弱化的现实情况下，无论在统计意义还是经济意义上，互联网信息化水平对邻近地区创新成果数量和质量创造均具有显著正向溢出效应。具体而言，地理距离约束弱化后，互联网信息化水平显著提升了本地区 and 邻近地区创新成果数量，特别是对邻近地区具有更大幅度的提升作用；此外，尽管互联网信息化发展对本地区创新成果质量不存在显著影响，但在 5%显著性水平下对邻近地区呈现出正向溢出特征，这与交通基础设施改善主要促进人员跨区域流动的现实情况基本一致。上述研究发现意味着“线上交流”与“线下交流”并非完全替代关系，且“线下交流”对创新成果质量提升更加具有不可替代性，只有将两种方式相结合才能更好地提升区域创新水平，理论假说 H3 得证。

表 4 双向固定效应空间面板杜宾模型回归结果

	lnPAT				lnINN			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$W_{T(pre)}$	$W_{T(post)}$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$	$W_{T(pre)}$	$W_{T(post)}$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$
$\rho$	0.8574*** (0.0342)	0.8504*** (0.0309)	0.5433*** (0.0609)	0.6554*** (0.0553)	0.6896*** (0.0553)	0.6984*** (0.0628)	0.3946*** (0.0459)	0.4939*** (0.0687)
lnINT	0.0448** (0.0196)	0.0352* (0.0197)	0.0491** (0.0199)	0.0336* (0.0200)	0.0162 (0.0270)	-0.0003 (0.0269)	0.0184 (0.0271)	-0.0030 (0.0269)
lnMAR	0.0712 (0.0506)	0.0577 (0.0487)	0.0755 (0.0519)	0.0619 (0.0498)	0.1645*** (0.0592)	0.1645*** (0.0565)	0.1666*** (0.0601)	0.1690*** (0.0568)
lnJacobs	0.0975** (0.0379)	0.1049*** (0.0379)	0.0986*** (0.0381)	0.1083*** (0.0378)	0.1280*** (0.0404)	0.1260*** (0.0397)	0.1309*** (0.0406)	0.1309*** (0.0397)
lnRD	0.1126*** (0.0267)	0.0895*** (0.0253)	0.1274*** (0.0277)	0.1013*** (0.0259)	0.1498*** (0.0366)	0.1228*** (0.0341)	0.1714*** (0.0380)	0.1408*** (0.0351)
lnPGDP	0.2891*** (0.0840)	0.2762*** (0.0820)	0.3087*** (0.0844)	0.2859*** (0.0807)	0.0329 (0.1016)	0.0188 (0.1036)	0.0533 (0.0988)	0.0218 (0.1033)

	lnPAT				lnINN			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$W_{T(pre)}$	$W_{T(post)}$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$	$W_{T(pre)}$	$W_{T(post)}$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$
<i>lnperSTU</i>	0.0476 (0.0368)	0.0359 (0.0385)	0.0514 (0.0372)	0.0358 (0.0385)	0.0620 (0.0523)	0.0493 (0.0492)	0.0574 (0.0513)	0.0410 (0.0472)
<i>lnMarket</i>	0.0163 (0.0333)	0.0099 (0.0332)	0.0215 (0.0355)	0.0119 (0.0337)	0.0513 (0.0371)	0.0404 (0.0339)	0.0571 (0.0396)	0.0457 (0.0350)
<i>lnSO2</i>	0.0120 (0.0174)	0.0216 (0.0176)	0.0077 (0.0175)	0.0211 (0.0176)	0.0304 (0.0239)	0.0447* (0.0239)	0.0290 (0.0239)	0.0453* (0.0238)
<i>W×lnINT</i>	0.3646*** (0.1057)	0.5009*** (0.1414)	0.1927*** (0.0581)	0.3291*** (0.0908)	0.0526 (0.1231)	0.4019** (0.1761)	0.0158 (0.0675)	0.2729** (0.1130)
<i>W×lnMAR</i>	0.1117 (0.1912)	0.1811 (0.2390)	0.0513 (0.1021)	0.1495 (0.1467)	0.5046* (0.2669)	0.4840* (0.2717)	0.2813* (0.1476)	0.3195** (0.1553)
<i>W×lnJacobs</i>	-0.1992 (0.1433)	-0.2296 (0.1906)	-0.1131 (0.0774)	-0.1014 (0.1217)	0.0350 (0.1818)	-0.0065 (0.2143)	0.0134 (0.0993)	0.0329 (0.1296)
<i>W×lnRD</i>	0.1250 (0.0950)	0.3212*** (0.1020)	0.0347 (0.0581)	0.1732** (0.0714)	0.2210* (0.1254)	0.3987*** (0.1373)	0.1006 (0.0763)	0.2435** (0.0982)
<i>W×lnPGDP</i>	-0.2758 (0.2670)	-0.6222** (0.3037)	-0.0792 (0.1649)	-0.2855 (0.2123)	0.0310 (0.3685)	-0.2630 (0.3783)	0.0994 (0.2328)	-0.0459 (0.2580)
<i>W×lnperSTU</i>	-0.0941 (0.1846)	0.2712* (0.1463)	-0.0753 (0.0907)	0.1258 (0.0884)	-0.0621 (0.1320)	-0.3741* (0.2100)	-0.0143 (0.0648)	-0.2080 (0.1289)
<i>W×lnMarket</i>	0.0596 (0.1735)	0.0947 (0.3047)	0.0155 (0.0956)	0.0531 (0.2122)	0.0167 (0.2288)	0.0377 (0.4057)	0.0144 (0.1221)	-0.0095 (0.2698)
<i>W×lnSO2</i>	-0.0528 (0.0681)	-0.1069 (0.0733)	-0.0156 (0.0387)	-0.0528 (0.0475)	-0.0571 (0.0798)	-0.0919 (0.0824)	-0.0400 (0.0453)	-0.0461 (0.0517)
个体效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	3679	3679	3679	3679	3679	3679	3679	3679
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.448	0.402	0.732	0.658	0.573	0.536	0.760	0.679

注：括号内为标准误；\*\*\*，\*\*和\*分别表示在 1%，5%，10%显著性水平下显著，下同。

## 五、内生性探讨与稳健性检验

### （一）采用外生反地理距离空间权重矩阵进行内生性探讨

鉴于以高铁为代表的交通基础设施建设与地区创新发展水平之间可能存在反向因果关系，如北京和上海等创新水平越高的地方对高铁等交通基础设施的需求也越大。因此，为确保主要研究结论的可靠性，本文采用地区间外生的反地理距离空间权重矩阵（ $W_D$ ）进行参数估计和对照。该空间权重矩阵构建方式为：

$$W_D = \begin{cases} 1/d_{ij}^2 & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (4)$$

其中， $d_{ij}$ 为两地质心距离。

根据表 3 第（1）和（2）列的回归结果可知，互联网信息化水平对本地区和邻近地区的创新成果数量均在 1%显著性水平下显著为正，但对创新成果质量的影响并不显著，这与基准回归得到的研究发现高度一致，证实了相关研究结论稳健。

### （二）采用空间动态面板杜宾模型缓解潜在序列相关引起的内生性问题

考虑到创新产出可能存在“鸡蛋相生”的内生性问题，本文进一步引入被解释变量的一阶滞后项，建立如下双向固定效应空间动态面板杜宾模型（*two-way FE SDPDM*）：

$$Y_{it} = \lambda Y_{it-1} + \eta \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt-1} + \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln INT_{jt} + \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} \tilde{\theta} + \beta \ln INT_{it} + X_{it} \tilde{\beta} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中， $\lambda$ 为滞后项系数； $\eta$ 为空间滞后项系数，其他参数含义同式（1）。

在 $W_{F(pre)}$ 和 $W_{F(post)}$ 空间权重矩阵下，互联网信息化水平对创新成果质量的空间动态面板杜宾模型估计结果表明（表 3 第（3）和（4）列），即便考虑了动态效应，其基本结论仍然与前文保持高度一致，证实了本文研究结论可靠。

### （三）替换加权嵌套空间权重矩阵进行稳健性检验

鉴于反通行时间距离（ $W_T$ ）和发车频次（ $W_F$ ）空间权重矩阵仅能从单一维度反映地理距离约束弱化情况，为此，本文进一步构建了两者加权嵌套的空间权重矩阵（ $W_N$ ）：

$$W_{Nij} = 1/2W_{Tij}^z + 1/2W_{Fij}^z \quad (6)$$

其中， $W_T^z$ 和 $W_F^z$ 分别为经行标准化后的反通行时间距离以及发车频次空间权重矩阵。

表 5 第（5）—（8）列汇报了该加权嵌套空间权重矩阵（ $W_N$ ）下，用“互联网用户数”作为互联网信息化水平的代理变量，分别以专利总授权数（ $\ln PAT$ ）和总申请数（ $\ln APP$ ）衡量区域创新成果数量的估计结果。结果发现，在同时考虑地区间通勤时间和联系紧密度情况下，地理距离约束弱化前，互联网信息化发展水平对本地区和邻近地区创新成果数量均存在

显著正向影响；在地理距离约束弱化后，尽管其对本地区创新成果数量的直接影响有所降低，但均大幅提升了邻近地区的创新成果数量创造，说明前文研究结论具有稳健性。

表 5 稳健性与内生性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$W_D$	$W_D$	$W_{F(pre)}$	$W_{F(post)}$	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$
	$\ln PAT$	$\ln INN$	$\ln INN$	$\ln INN$	$\ln PAT$	$\ln PAT$	$\ln APP$	$\ln APP$
直接效应	0.0728*** (0.0242)	0.0239 (0.0284)	0.0406 (0.0490)	0.0158 (0.0189)	0.1267*** (0.0396)	0.1259*** (0.0370)	0.1358*** (0.0426)	0.1330*** (0.0410)
间接效应	7.5449*** (2.4340)	1.6285 (1.5964)	-0.3037 (4.4135)	0.1125*** (0.0202)	0.7434** (0.3339)	0.8870* (0.5026)	0.8005** (0.3470)	1.3191** (0.6322)
总效应	7.6177*** (2.4474)	1.6524 (1.6006)	-0.2631 (4.4249)	0.1284*** (0.0148)	0.8701** (0.3419)	1.0128** (0.5129)	0.9363*** (0.3527)	1.4521** (0.6437)

## 六、互联网与交通基础设施建设对不同知识特性的作用机制探讨

### (一) 互联网信息化水平、“显性知识”存量与创新

为了验证互联网信息化水平是否通过促进“显性知识”空间溢出，进而对创新成果质量施加重要影响，本文从“显性知识”泛指一切可文本化表达的内涵出发，将图书馆藏书量 ( $\ln Book$ ) 作为地区显性知识存量的代理变量 (蒋殿春等, 2021)，按照中介效应的三步法对作用机理进行检验。其中，第一步回归方程同式 (1)，第二、三步见式 (7) ①和 (8)：

$$\ln Book_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln INT_{it} + X_{it} \beta_k + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt} + \delta \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln Book_{jt} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln INT_{jt} + \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} \tilde{\theta} + \tilde{\delta} \ln Book_{it} + \beta \ln INT_{it} + X_{it} \tilde{\beta} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中， $\beta_1 \delta$  和  $\beta_1 \tilde{\delta}$  依次为邻近地区和本地区的中介效应大小，其他参数含义同式 (1)。

表 6 第 (1) 列显示了地理距离约束弱化后，互联网信息化水平对本地区创新成果质量不存在显著影响，但在 5% 显著性水平下对邻近地区具有显著提升作用。第 (2) 列报告了在控制其他因素的影响后，互联网信息化水平对地区显性知识存量具有显著正向影响。在引入地区显性知识存量作为中介渠道后，第 (3) 列结果表明尽管互联网信息化水平对本地区创新成果质量的直接影响不显著，但显著提升了邻近地区的空间溢出效应。这意味着互联网信息化发展的确增强了地区间“显性知识”传播，存在着提升区域创新成果质量的“线上外部性”。

① 数据来源于历年《中国城市统计年鉴》，由于本地区图书馆藏书量不受邻近地区影响，故只需采用面板固定效应回归。

表 6 互联网信息化水平、图书馆藏书量与区域创新成果质量

	(1)	(2)	(3)
	$W_{F(post)}$	FE ( $Y=\ln Book$ )	$W_{F(post)}$
$\rho$	0.4939*** (0.0687)		0.4414*** (0.0671)
$\ln INT$	-0.0030 (0.0269)	0.0217* (0.0121)	-0.0003 (0.0265)
$\ln Book$			0.1889*** (0.0375)
$W \times \ln INT$	0.2729** (0.1130)		0.2833** (0.1145)
$W \times \ln Book$			0.3177** (0.1328)
控制变量	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制
$N$	3679	3679	3679
$R^2$	0.679	0.417	0.696

## (二) 交通基础设施建设与线下“隐性知识”交流传播

由于缺乏城市对层面的人口流动数据，故本文通过考察以高铁为代表的交通基础设施建设能否显著增强人员跨区域流动，以间接检验地理距离约束弱化能否促进“隐性知识”的跨区域学习共享，从而做出是否有利于区域创新发展的推断。为此，本文采用二次指派程序(QAP)进行这种“关系数据”的回归分析。其中，被解释变量为跨年份全国按户口登记地和现住地统计的人口流动差值比例矩阵，解释变量为各省会城市间高铁相较于火车的节约时间矩阵，并均进行了行标准化处理<sup>①</sup>。

表 7 为经过 10000 次随机置换后的 QAP 回归结果，各时间段的人口流动比例结果表明，以高铁为代表的交通基础设施建设通过引发地理距离约束弱化，能够显著增强人员跨区域流动的可能性，从而有利于研发人员跨区域间进行“隐性知识”的交流和共享，最终形成创新水平提升的“线下外部性”。

表 7 交通基础设施建设与人员跨区域流动关系

人口流动比例	2000—2010	2000—2020	2005—2015
高铁节约时间	0.0703* [0.0665]	0.1167* [0.0887]	0.0453** [0.0317]
常数项	0.0310*** [0.0000]	0.0294*** [0.0000]	0.0318*** [0.0000]

注：方括号内为 p 值；\*\*\*，\*\*和\*分别表示在 1%，5%，10%显著性水平下显著。

<sup>①</sup> 数据来源于 2000、2010 和 2020 年《中国人口普查年鉴》以及 2005 和 2015 年《全国 1%人口抽样调查数据》，由于历次全国人口普查和抽样调查仅公布省级层面人员跨区域流动数据，故采用各省会城市间高铁与火车通行时间差值进行匹配。



## 七、进一步讨论：区域层面异质性作用效果分析

鉴于中国各地区互联网和以高铁为代表的交通基础设施建设水平均存在明显的空间差异，而创新知识又主要对邻近地区产生空间溢出效应，故本文进一步基于加权嵌套空间权重矩阵（ $W_{N(pre)}$ 和 $W_{N(post)}$ ）就区域层面的异质性作用效果展开探讨（见表8）。

第一，在地理距离约束弱化前，东部和西部地区互联网信息化水平对本地区和邻近地区的创新成果质量提升均没有显著影响；在地理距离约束弱化后则均呈现出了显著正向溢出效应（分别为0.9562和1.6564）。背后的原因可能是：近年来东部地区较高频率和密度的高铁建设，为该地区人员跨区域流动形成了天然的驱动力；并且东部地区拥有相对完善的互联网基础设施，使之能够更好地发挥显性和隐性知识对创新成果质量提升的合力。此外，得益于前期“西部大开发”等政策倾斜，西部地区形成了以成都、重庆、西安等城市为核心的经济增长极；加之西部地区前期高铁修建数量和覆盖面积较少，在该地区进行高铁等交通基础设施建设能够获得更高的边际收益。

第二，中部和东北地区互联网信息化水平对创新成果质量的影响均呈现出负向溢出效应，且在地理距离约束弱化后得到进一步恶化。具体而言，中部地区在地理距离约束弱化后溢出效应由-0.1393降低到-0.8217，但不显著；东北地区由-0.3291降低到-0.6997，且在1%显著性水平下显著。主要的原因在于上述地区高铁等交通基础设施建设带来的出行便捷导致了本地区创新要素外流，进一步加剧了“中部洼地”和“投资不过山海关”的现实情况。以中部地区的江西省为例，2010年“昌九高铁”的开通有效地促进了江西省内各地级市的经济社会发展；但随着2014年“沪昆高铁”开通运营，受东部发达省市虹吸效应的影响，反而加速了该地区的高素质人力资本外流（刘耀彬和郑维伟，2019）。

可见，为了更好地发挥显性和隐性知识对创新成果质量提升的合力，既要继续加快西部地区的高铁修建进程，助力释放创新发展活力；又要重视中部和东北地区被边缘化现象，采取适当的政策倾斜方式激励和引导部分创新资源回流。

表8 双固定效应空间面板杜宾模型区域异质性结果

	东部地区		中部地区		西部地区		东北地区	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$	$W_{N(pre)}$	$W_{N(post)}$
直接效应	0.0483 (0.0567)	0.0248 (0.0558)	-0.0325 (0.0544)	-0.0332 (0.0558)	0.0805 (0.0492)	0.0347 (0.0450)	0.0934 (0.0731)	0.0738 (0.0792)
间接效应	0.0551 (0.3324)	0.9562** (0.4492)	-0.1393 (0.2821)	-0.8217 (0.6898)	0.2250 (0.3753)	1.6564** (0.7181)	-0.3291 (0.2494)	-0.6997*** (0.1639)
总效应	0.1033	0.9811**	-0.1719	-0.8550	0.3055	1.6911**	-0.2357	-0.6259***

东部地区		中部地区		西部地区		东北地区	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$W_{N(pre)}$ (0.3427)	$W_{N(post)}$ (0.4428)	$W_{N(pre)}$ (0.2998)	$W_{N(post)}$ (0.7117)	$W_{N(pre)}$ (0.3871)	$W_{N(post)}$ (0.7233)	$W_{N(pre)}$ (0.2675)	$W_{N(post)}$ (0.1806)

## 八、基本结论与启示

本文以中国 2007—2019 年 283 个地级市为样本，并经爬虫抓取和手工整理得到反映各城市间列车实际通行时间和发车频次时变特征的空间权重矩阵，运用双向固定效应空间面板杜宾模型，研究在以高铁为代表的交通基础设施建设引发地理距离约束弱化现实背景下，互联网信息化水平对区域创新发展的影响。研究发现，“线上交流”与“线下交流”对创新的促进效应并不存在完全替代关系，互联网时代仅依靠线上“显性知识”传播可以有效促进本地区和邻近地区创新成果数量创造，但对创新成果质量提升没有显著影响；只有与交通基础设施建设引发的“线下交流”成本降低和“隐性知识”共享效率提升相结合，才能综合实现区域创新成果数量和质量双提升的预期效果。

基于上述研究结果，为充分利用显性和隐性知识对创新发展的合力，本文从互联网发展和公共交通基础设施规划布局等角度提出以下政策建议：既要持续推进工业互联网新型基础设施建设体系化，推进云改数转战略，提供数字基础设施新供给；又要重视国家综合立体交通网建设以及区域一体化发展规划。一方面，从前瞻性思考“互联网+”背景下未来数字化信息基础设施建设内容，形成切实高效的产业集群内外部“线上交流”的学习与合作模式；另一方面，从全局性谋划中国未来交通基础设施网络规划，切实推进交通基础设施网与物流运输服务网、信息网以及能源网等融合发展目标的实现，致力于突破地区间地理距离约束对创新要素资源合理流动和优化配置的束缚，着力于释放西部创新发展活力和引导创新资源向中部和东北部地区回流，整体推进地区间创新资源“共建、共研、共享、共用、共赢”，实现中国创新成果“量”与“质”的双提升。

### 主要参考文献：

- [1]陈大峰, 闫周府, 王文鹏. 城市人口规模、产业集聚模式与城市创新——来自271个地级及以上城市的经验证据[J]. 中国人口科学, 2020, (5): 27-40.
- [2]邓涛涛, 王丹丹. 中国高速铁路建设加剧了“城市蔓延”吗?——来自地级城市的经验证据[J]. 财经研究, 2018, (10): 125-137.
- [3]董艳梅, 朱英明. 高铁建设能否重塑中国的经济空间布局——基于就业、工资和经济增长的区域异质性视角[J]. 中国工业经济, 2016, (10): 92-108.
- [4]范欣, 宋冬林, 赵新宇. 基础设施建设打破了国内市场分割吗?[J]. 经济研究, 2017, (2): 20-34.

- [5]何凌云,陶东杰. 高铁开通对知识溢出与城市创新水平的影响测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, (2): 125-142.
- [6]黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019, (8): 5-23.
- [7]蒋殿春,于洋,方森辉. 专利试点政策如何影响城市创新水平[J]. 南开经济研究, 2021(6):34-52.
- [8]金培振,殷德生,金桩. 城市异质性、制度供给与创新质量[J]. 世界经济, 2019, (11): 99-123.
- [9]李建成,陈建隆,邓敏. 地理约束、合作与劳动力知识分配空间偏好[J]. 统计研究, 2021, (11): 115-129.
- [10]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, (4): 14-29.
- [11]刘耀彬,郑维伟. 不同等级高速铁路对区域经济差异的影响——基于DID模型对江西省的实证分析[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2019, (6): 23-33.
- [12]彭向,蒋传海. 产业集聚、知识溢出与地区创新——基于中国工业行业的实证检验[J]. 经济学(季刊), 2011, (3): 913-934.
- [13]孙建军,王树祥,苏志文,等. 双元创新价值链模型构建: 基于扎根理论的企业创新模式研究[J]. 管理评论, 2022, (5): 340-352.
- [14]田相辉,徐小靓. 创新生产的空间效应与结构效应[J]. 管理评论, 2018, (3): 95-101.
- [15]宛群超,袁凌. 创新要素流动与高技术产业创新能力[J]. 科研管理, 2021, (12): 80-87.
- [16]王雨飞,倪鹏飞,赵佳涵,等. 交通距离、通勤频率与企业创新——高铁开通后与中心城市空间关联视角[J]. 财贸经济, 2021, (12): 150-165.
- [17]徐德英,韩伯棠. 地理、信息化与交通便利邻近与省际知识溢出[J]. 科学学研究, 2015, (10): 1555-1563.
- [18]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, (2): 146-161.
- [19]余泳泽,刘凤娟,庄海涛. 互联网发展与技术创新: 专利生产、更新与引用视角[J]. 科研管理, 2021, (6): 41-48.
- [20]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, (11): 20-31.
- [21]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.
- [22]种照辉,高志红,覃成林. 网络基础设施建设与城市间合作创新——“宽带中国”试点及其推广的证据[J]. 财经研究, 2022, (3): 79-93.
- [23]Bloom N, Garicano L, Sadun R, et al. The distinct effects of information technology and communication technology on firm organization[J]. Management Science, 2014, 60(12): 2859-2885.
- [24]Cairncross F. The death of distance: how the communications revolution will change our lives[M]. Massachusetts: Harvard University Press, 2001.
- [25]Dong X, Zheng S, Kahn M E. The role of transportation speed in facilitating high skilled teamwork across cities[J]. Journal of Urban Economics, 2020, 115: 103212.
- [26]Herman A V D B. Three shapes of organisational knowledge[J]. Journal of Knowledge Management,

2013, 17(2): 159-174.

- [27]Huang Z, Li L, Ma G, et al. Hayek, local information, and commanding heights: decentralizing state-owned enterprises in China[J]. *American Economic Review*, 2017, 107(8): 2455-2478.
- [28]Nonaka I, von Krogh G. Tacit knowledge and knowledge conversion: controversy and advancement in organizational knowledge creation theory[J]. *Organization Science*, 2009, 20(3): 635-652.
- [29]Poleacovschi C, Javernick-Will A, Tong T, et al. Engineers seeking knowledge: effect of control systems on accessibility of tacit and codified knowledge[J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2019, 145(2).
- [30]Storper M, Venables A J. Buzz: face-to-face contact and the urban economy[J]. *Journal of Economic Geography*, 2004, 4(4): 351-370.
- [31]Yu M, Fan W. Accessibility impact of future high speed rail corridor on the piedmont Atlantic megaregion[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 73: 1-12.
- [32]Zhang X, Wu W, Zhou Z, et al. Geographic proximity, information flows and corporate innovation: evidence from the high-speed rail construction in China[J]. *Pacific-Basin Finance Journal*, 2020, 61: 101342.

## **Is “Offline Communication” No Longer Important in the Internet Era? The Test from the Paradox of “Knowledge Spatial Spillover” and Regional Innovation**

Zheng Weiwei<sup>1</sup>, Qu Xi<sup>1</sup>, Liu Yaobin<sup>2</sup>, An Linglin<sup>3</sup>

(1. *Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China*; 2. *School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China*; 3. *School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

**Summary:** Innovation is the primary driving force behind development. In the internet era, the innovation knowledge spillover is faced with the double paradoxes: one is the increasing frequency of “online communication” and decreasing opportunities of “offline communication”, and another one is the insufficient innovation effect of “codified knowledge” and limited communication channels of “tacit knowledge”. By using the level of internet informatization and the construction of transportation infrastructure to measure the intensity of “online communication” and “offline communication”, respectively, and collecting a sample of 283 prefecture-level cities from 2007 to 2019, this paper applies the spatial panel Durbin model to study the impact of online “codified knowledge” communication and offline “tacit knowledge” sharing on the quantity and quality of regional innovation. The results indicate that after controlling the spillover effect of knowledge, “online communication” and “offline communication” cannot completely substitute each other. Although “online communication” can effectively increase the innovation quantity in the local and adjacent areas, it has limited effects on the innovation quality. Only by combining the efficiency of “online communication” represented by internet informatization with the

improvement of “offline communication” represented by the high-speed rail construction, one can make the comprehensive utilization of “codified knowledge” and “tacit knowledge”, and hence to improve the quality of regional innovation.

The main contributions are as follows: First, this paper distinguishes the different transmission channels between codified and tacit knowledge, where “codified knowledge” is mainly spread through “online communication” and “tacit knowledge” is through “offline communication”. Then, the paper points out the combination of online and offline communications is the key to solve the paradox of “knowledge spillover”. Second, this paper acquires data of transportation time and frequencies between cities, to capture the improvement of “offline communication” by weakening the geographical distances. Third, this paper applies the two-way fixed effect spatial panel Durbin model to analyze the spatial spillover from neighboring areas, and systematically investigate the effects of internet and transportation infrastructure on the quantity and quality of regional innovation.

**Key words:** online communication; offline communication; codified knowledge; tacit knowledge; regional innovation development