

引用格式:刘家民,马晓钰.信息基础设施建设与数智化创新:“赋能”还是“负能”——来自“宽带中国”战略的经验证据[J].技术经济,2025,44(2):43-57.

Liu Jiamin, Ma Xiaoyu. Information infrastructure construction and digital-intellectual innovation: Empowerment or negative energy? Empirical evidence from the “Broadband China” strategy[J]. Journal of Technology Economics, 2025, 44(2): 43-57.

信息基础设施建设与数智化创新:“赋能” 还是“负能”

——来自“宽带中国”战略的经验证据

刘家民,马晓钰

(新疆大学经济与管理学院,乌鲁木齐 830046)

摘要:立足于信息基础设施建设带来的时代红利,探讨其对物联网、云计算、人工智能等数智化创新产生的影响及其驱动路径具有重要意义。本文使用2011—2021年中国284个城市面板数据,实证检验信息基础设施建设对数智化创新的影响。研究发现:以“宽带中国”战略表征的信息基础设施建设能够有效提升数字技术、5G技术、人工智能技术、信息技术和电子商务技术等数智化创新水平。该结论经过多种稳健性检验后依然成立。机制检验表明,信息基础设施建设通过提高数智化人才集聚度和优化数智化产业环境,从而增强数智化创新能力。异质性结果显示,信息基础设施建设对数智化创新产生的积极影响因区域和交通特征差异表现出明显的地理梯度效应,整体上从中西部地区到东部地区、从非高铁开通城市到高铁开通城市逐步增强。本文研究为优化信息基础设施建设空间布局 and 差异化提升数智化创新水平提供理论依据。

关键词:信息基础设施建设;数智化创新;“宽带中国”战略

中图分类号:F062.5;F124.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-980X(2025)02-0043-15

DOI:10.12404/j.issn.1002-980X.J24050206

一、引言

数字经济浪潮下,数智化创新是互联网和区块链等新一代数字技术和智能技术的应用与发展,涵盖“‘大智移云物区’+5G”七类相互融合互补,又分别促进的数智化生态技术体系^[1]。数智化技术的快速发展和迭代升级,广泛渗透至社会经济各行业,充分释放数据要素效能,重塑发展动能和竞争优势而打造新质生产力的新引擎^[2]。2024年政府工作报告强调亟须推进数字经济和人工智能创新发展,以赋能经济发展、丰富人民生活 and 提升社会治理现代化水平。这说明为构筑社会经济高质量发展和中国式现代化建设的先发优势,如何快速推进数智化创新成为现阶段的重要抓手。

信息基础设施包括物联传感设施、通信网络设施和算力基础设施,是网络强国和数字中国建设的坚实后盾。新一轮科技革命和产业革命中,2023年国务院印发《数字中国建设整体布局规划》,提出“打通数字基础设施大动脉”,明确将加强数字基础设施建设作为战略总目标,强调5G网络与千兆光网的协同发展、算力基础设施优化配置及传统基础设施的数智化改造的重要性,旨在提升数据资源的量质。2024年17个部门联合发布《“数据要素×”三年行动计划(2024—2026年)》。目标是通过加速信息基础设施建设,以推动数据要素与其他经济要素(如资本、劳动力)的协同发展,并通过数据流动引领物资、人才和资金流动。这能激发数据要素潜能,催生出生物智能、商业航天和低空经济等新兴产业,以及推动产业链供应链优化升级,积

收稿日期:2024-05-02

基金项目:国家社会科学基金西部项目“后计划生育时代新疆少数民族生育转变研究”(21XRK007);新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目:“双循环发展的碳减排效应研究”(XJ2024G010)

作者简介:刘家民(1993—),新疆大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:数字经济与资源配置;(通信作者)马晓钰(1978—),博士,新疆大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:人口学和可持续发展。

极培育生命、量子科学等未来产业,实现数字化与智能化融合创新,反映出信息基础设施建设对数智化创新的引擎作用。一个值得探讨的问题是,信息基础设施支撑数据要素发挥乘数效应,作用于数智化创新的途径是什么?在内在动因分析与驱动路径讨论的基础上,从区域分布与交通便利性两个维度展开异质性分析,以期优化信息基础设施建设的空间布局和加速数智化创新提供政策指引和理论依据。

二、文献综述

数智化创新体现出数字技术与智能技术融合、相互交叉和相互补充,在特定产业的生产与实践中,兼具长尾经济和范围经济的特征^[2],引起学术界和实践管理者越来越多的关注^[3-4]。现有研究中,学者们聚焦于数智化创新的衡量方式及驱动因素展开详细讨论。在测算方面,沈馨怡和吴松强^[5]以技术开发包含的“企业开发数字化产品与服务”,以技术推广包含的“企业推广和宣传数字化技能和管理知识”,以技术应用包含的“企业采用数字技术对现有产品、服务和流程的改造升级”,表征数智化发展。张秀娥等^[6]使用 Python 软件,从上市企业年报中统计人工智能、云计算、区块链、大数据和技术应用出现的词频数,以此反映企业数智化转型。梁玲玲等^[3]从资源数据化、流程数字化和组织智慧化 3 个维度衡量企业数智赋能。显然,众多学者从企业层面构建数智化指标体系。张云和柏培文^[7]则基于宏观省级视角,从数字化的基础设施、用户和平台三个维度构建数字化指标体系,并以相关智能化专利衡量智能化,以两者的交互项表征数智化。与上述文献通过综合指标体系表征数智化创新不同的是,本文从数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新等更细化维度,体现数智化创新的差异性。在驱动因素方面,吴滨和韦结余^[8]从理论层面揭示政策需求在颠覆性技术创新中所发挥的能动作用。张光宇等^[9]采用 fsQCA (two-step fuzzy-set qualitative comparative analysis) 方法,研究不同远程因素和不同外部环境下,跨界技术并购赋能人工智能后发企业颠覆性创新的路径。制造业企业依赖颠覆性技术,通过技术轨道跃迁和场景创新应用两条路径,实现智能化转型^[10]。

信息基础设施作为支撑数字经济、人工智能和互联网等技术发展的“底盘”,尚未有学者直接讨论其与数智化创新之间的内在关系。与本文较为相关的已有文献,主要从信息基础设施建设的经济效应和创新效应展开深入研究。经济效应方面,信息基础设施建设所具有的明显特征是扩大用户规模和提高信息传输速度。信息的溢出效应和扩散效应,使跨产业和跨界的资源配置效率,知识和技术的跨时空传播效率均得到质的提升。自身拥有的信息化和数字化属性增强制造业生产效率和组织水平^[11],降低生产成本而促使智能制造发展^[12]。创新效应方面,信息基础设施建设通过改善企业间资源配置效率,提升企业突破关键技术的能力^[13]。通过增强风险投资活跃度和优化产业结构,以及提高企业处理信息能力,信息基础设施建设为企业开展数字化创新项目营造优良环境^[14],引至企业增加创新投入和创新产出^[15],扩大创新边界^[16]。郑冰等^[17]从宏观视角研究发现,“宽带中国”和“智慧城市”两项试点政策产生的协同效应,促使人才集聚和科技财政投入,从而对城市创新产生持续的推动作用,增强中国经济韧性^[18]。

综上所述,学者们围绕数智化测算方法和驱动因素,以及信息基础设施建设的经济和创新效应,从宏观或微观层面展开系统讨论。这既丰富现有研究理论框架,也为本文考察信息基础设施建设如何影响数智化创新预留研究空间。相较于现有研究,本文可能的边际贡献包含如下三方面:一是相较于学者们采用综合指标体系法构建数智化指标^[7],本文从更为细化的数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新 5 个维度进行衡量,基于“宽带中国”战略这一政策冲击事件,探究信息基础设施建设对各类数智化技术的影响作用。这拓展了信息基础设施建设的相关研究,也为如何差异化驱动数智化创新提供了可行性路径。二是从数智化人才集聚和数智化产业环境两方面,识别和评估信息基础设施建设影响数智化创新的传导路径,加深了对信息基础设施建设与数智化创新内在因果关系的认识和理解,以及解锁了两者内在关系的“机制黑箱”。三是为深入挖掘信息基础设施建设发挥数字乘数效应的差异,本文从地理区位和交通便利性两个层面展开拓展性探究,为政府有针对性地完善政策制度和优化信息基础设施空间布局,以提升数智化创新水平提供参考。

三、政策背景与研究假说

(一) 政策背景

宽带作为新时代经济社会发展的战略性公共基础设施,已成为激活新应用、拓展新业态和创造新模式的物质基础,支撑着通信网络、算力能力和智能传感等技术发展。为提升宽带网络普及率与接入速度,扩大网络覆盖范围,深化网络技术应用,中央人民政府于2014—2016年,审批通过了第三批“宽带中国”试点城市,并在信息基础设施建设方面取得了优异的成绩。例如,2023年12月,中国信息通信研究院发布的《中国宽带发展白皮书(2023)》数据表明,到2023年9月底为止,光纤到户开通端口达到10.8亿个,基本覆盖全部行政村。千兆网络服务能力的10G PON端口数达到2184.8万个,成为固定光纤网络的主流接入方式。开通的5G基站为318.9万个,已覆盖所有地级市和县级市。5G用户规模达到7.4亿户。尤其是到2023年6月底为止,全国在用数据中心机架总规模超过760万标准架,存力总规模超过1080艾字节,每秒能够执行浮点运算次数的算力总规模达到197百亿亿次,近5年年均增速近30%。5G和千兆光网应用案例已融入60个国民经济大类,大幅优化了要素配置结构和增强了投入产出效率,从而提高数智化创新水平。

(二) 信息基础设施建设提升数智化创新的直接效应

信息基础设施具有发展速度快、辐射范围广、影响程度深的特征,是支撑数智化技术发展不可或缺的“底座”。一方面,“宽带中国”战略的核心目标是扩大用户渗透率、提高信息传输速度。而关键技术的研发、智能终端的研制和支撑平台的建设等则是重要的实现方式。例如,“宽带中国”战略支持新型人机交互、量子通信、超高速大容量光传输的发展,以及在云计算、移动互联网、数字家庭等重点领域加大核心芯片、高端光电子器件研发。特别是随着对数据处理、数据计算速度、智能应用领域扩展等提出更高要求,以及为构筑下一代互联网创新发展新优势,新型基础设施的酝酿形成,促使以干线光缆、光子芯片、人工智能、物联网和大数据等为核心的新一代信息技术迭代升级。另一方面,试点城市加大财税扶持,实施税收优惠和加大对宽带应用服务企业的融资支持力度,鼓励全光小微企业和全光工厂部署等,从而吸引大量从事信息化和人工智能领域的企业入驻。这不仅能加强区域内产业链协作和分工,而且数字化、智能化企业间的互动合作和服务效能上升,推动网络切片协同编排、大数据和3D虚拟等技术进步,并大幅增强通用、智算、超算等多元算力技术协同发展。最后,随着“宽带中国”战略推进,信息基础设施共建共享范围拓展,促使数字资源的开放与整合利用,有利于减少复建产生的非必要投资。例如,《中国宽带发展白皮书(2023)》数据显示,截至2023年9月底,超过36%的新建塔类站址通过共享利用社会资源开展建设,累计节约建设投资近2000亿元。这提高了地方政府创新投资效率,并加大数智化创新人才培养及跨国网络合作交流的投资,形成资源共享和协同创新的循环模式^[19],推动人机互动、智能计算等数智化创新技术发展。

基于此,本文提出研究假设1:

信息基础设施建设能够赋能数智化创新(H1)。

(三) 信息基础设施建设影响数智化创新的传导机制

为加速宽带应用深度融入生产生活、互联网的全面普及、技术创新达到国际先进水平,“宽带中国”战略采取人才培养措施,加大宽带人才队伍建设和数智化领域专业技术人才继续教育。在实践中聚集和培养人才时,大力吸引海内外高层次人才,以及建立科研机构、高校创新人才和企业联合培养数字化人才的机制。试点城市内数智化人才规模上升,发挥知识溢出效应,促使数智化创新水平上升。同时,该政策要求培育新市场新业态,加快电子商务、网络金融和现代化物流等现代服务业发展,并壮大物联网、云计算、智能终端等新一代技术产业,吸引数智化企业落地和规模化发展,产生的集聚效应能够提高数智化创新水平。故此,本文从数智化人才集聚、数智化产业环境两个方面,讨论信息基础设施建设影响数智化创新的路径。

1. 数智化人才集聚渠道

数字化、信息化和智能化等专业人才集聚能够提供充分的知识保障和技术经验,并易于催生出新思想、新观点,促使数智化创新。一方面,新一轮科技背景下,培育数字化、人工智能、云计算等数智型人才,是加快中国数智化进程和重塑经济竞争优势的关键因素^[20]。“宽带中国”战略实施人才结构优化、释放数智化人才培育政

策红利。具体要求试点城市优化数智化引才机制,并增强高水平复合型数智化人才的培育力度,从而筑牢数智化技术创新和迭代升级的人才支撑底座。另一方面,“宽带中国”战略通过合作办学、定向培养和继续教育等多元化形式,以及产学研融合项目和专业数智化人才在职培训等方式,增加数字人才有效供给,丰富试点城市内数智化人才劳动力池。例如,近年来北京、四川和广东等地区陆续出台数字人才转型政策,以数字化、智能化等产业为核心,着力培养数字战略科学家、数字技术和技能人才,吸引更多人工智能、生命科学和软件信息等人才汇聚。显然,“宽带中国”战略促使数智化专业人才集聚,为此类技术人才频繁且紧密的面对面交流创造机会,提升了整体学习能力和技能水平^[21]。尤其数智化人才集聚既能够改善个体间的社会网络关系,也可以加强企业内外间的交流合作关系,从而更有效地催生出新的数智化技术,并缩短现有数字技术创新、5G技术创新、信息技术创新、人工智能技术创新、物联网创新及电子商务技术创新等数智化技术升级的周期。

基于此,本文提出研究假设2:

信息基础设施建设通过促使数智化人才集聚赋能数智化创新(H2)。

2. 数智化产业环境优化渠道

数智化产业集群是推动数智化技术创新上升的重要发力点。“宽带中国”战略明确指出,要发挥数字化、智能化等产业支撑能力,加快建立以企业为主体,市场为导向的数智化技术创新体系。一方面,“宽带中国”战略引导试点城市向数智化方向转型,能够吸引信息传输和服务企业、科学研究和技术服务企业、人工智能企业和物联网企业等新兴企业在试点城市内落地和规模化发展。这有利于创建数智化产业集群发展生态,促使数字要素整合和优化配置,为5G技术、信息技术、人工智能和云计算等数智化技术创新提供支撑环境。另一方面,“宽带中国”战略要求地方政府充分整合现有资源,大力推进宽带接入智能终端产业化、区块链、移动互联网、云计算等新一代产业发展。例如,通过建立数智化服务体制,培育和引进一批新兴产业和企业,拉进数智化企业集群间的距离,创造协同发展数智化产业环境,从而缓解关联企业节点间合作交流障碍,激活数智化创新活力。数智化产业间的融合互动和相互促进效应不断增强,进一步扩大了数智化产业间各企业的交叉性和外溢效应,引导数智化创新要素配置到信息化、数字化和智能化等技术研发部门,推动5G技术创新、信息技术创新、大数据技术创新和电子商务创新等数智化技术创新水平上升。

基于此,本文提出研究假设3:

信息基础设施建设通过优化数智化产业环境加速数智化创新(H3)。

四、实证设计

(一) 模型设定

本文以国务院分别于2014年、2015年和2016年总共遴选出的117个“宽带中国”示范城市(城市群),作为数智化创新的外生冲击事件,使用多期双重差分模型(DID),评估信息基础设施建设对数智化创新的影响作用,模型设定如式(1)所示。

$$Dii_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Brc_{it} + \sum_{j=2}^n \alpha_j X_{j,it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中: t 和 i 分别为时间和城市个体; Dii 为数智化创新,包含数字技术创新(Dti)、5G技术创新($5Gi$)、人工智能技术创新(Ati)、信息技术创新(Iti)和电子商务技术创新(Eti); Brc 体现“宽带中国”战略表征的信息基础设施建设; X 为一组控制变量; μ 、 γ 和 ε 分别为城市固定效应、时间固定效应和随机误差项; α 为各变量的回归系数。

(二) 变量选取和数据描述

1. 变量选择

(1)被解释变量:数智化创新(Dii)。本文从数字技术创新(Dti)、5G技术创新($5Gi$)、人工智能技术创新(Ati)、信息技术创新(Iti)和电子商务技术创新(Eti)5个维度体现城市数智化创新水平。其中,数字技术创新使用数字经济专利数表示、5G技术创新使用5G专利数表示、人工智能技术创新使用人工智能产业专利数表示、信息技术创新使用新一代信息技术产业专利数表示、电子商务技术创新使用电子商务专利数表示。

实证分析中,以各类数智化技术专利数与城市年末人口数的比值依次表征。

(2)核心解释变量:信息基础设施建设(*Brc*)。按照现有研究做法,本文以“宽带中国”战略政策表征信息基础设施建设(*Brc*)。*Brc*由个体虚拟变量(*Treated*)和时间虚拟变量(*Time*)的交乘项表示。若某城市属于“宽带中国”示范城市,则*Treated*赋值1,否则赋值0。政策实施当年及之后,*Time*赋值1,否则赋值为0。本文最终获得106个城市样本为实验组,其余178个城市样本为对照组。

(3)控制变量。基于已有研究^[22],本文选取以下变量排除城市特征对实证结果的影响。①政府干预(*Goi*):政府通过税收、转移支付、行政补贴等方式调整宏观经济,从而影响数智化创新水平。本文使用政府一般公共预算支出的对数值衡量政府干预。②消费需求(*Cod*):消费作为推动经济增长的三驾马车之一,居民消费扩量提质会促使供给侧结构性变革^[23],产生的结构效应和规模效应能够影响数智化创新。本文使用城市社会消费品零售总额的对数值衡量消费需求。③教育投入(*Edi*):教育投资增加有助于提升城市内部人力资本规模和质量,产生的知识溢出效应是数智化创新水平上升的动力。本文使用全市教育支出的对数值衡量教育投入。④对外开放(*Fop*):扩大开放有利于引进国际先进研发经验和技術,且有利于企业嵌入全球产业链和价值链,增强自主创新的积极性而影响数智化创新。本文使用全市出口总额的对数值衡量对外开放水平。⑤人口集聚(*Pag*):人口集聚能够引致产业集聚,推动经济增长,吸引外部企业布局于此,增强市场竞争力,促使企业提高技术研发投资而作用于数智化创新。本文使用区位熵方法计算如式(2)所示。

$$Pag_{it} = \frac{Pop_{it}/Are_{it}}{\sum_{i=1}^n Pop_i / \sum_{i=1}^n Are_i} \quad (2)$$

其中:*Pop*为人口数量;*Are*为城市面积。

2. 数据来源于统计性描述

本文选取2011—2021年中国284个地级市及以上城市样本作为研究对象。数字经济专利数、5G专利数、人工智能产业专利数、新一代信息技术产业专利数、电子商务专利数的数据来源于企研·社科大数据平台。其余数据来源于《中国城市统计年鉴》《省级统计年鉴》《地级市统计年鉴》、地级市国民经济和社会发展统计公报、国家统计局等。使用线性插值法补齐缺失数据。表1展示出各变量的统计性描述结果。

表1 变量统计性描述

	名称	变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	数字技术创新	<i>Dti</i>	3124	0.0549	0.2528	0	5.2203
	5G技术创新	<i>5Gi</i>	3124	0.2033	0.7234	0	15.3529
	人工智能技术创新	<i>Ati</i>	3124	0.0911	0.6003	0	11.8353
	信息技术创新	<i>Iti</i>	3124	0.0345	0.1592	0	3.6244
	电子商务技术创新	<i>Eti</i>	3124	0.0153	0.1291	0	5.3479
核心解释变量	信息基础设施建设	<i>Brc</i>	3124	0.2404	0.4274	0	1
控制变量	政府干预	<i>Goi</i>	3124	14.9054	0.8163	11.0953	18.2500
	消费需求	<i>Cod</i>	3124	15.6261	1.0842	11.6644	20.1697
	教育投入	<i>Edi</i>	3124	13.1416	0.8489	8.9736	16.2560
	对外开放	<i>Fop</i>	3124	13.4113	2.2037	3.4657	19.0763
	人口集聚	<i>Pag</i>	3124	1.6139	1.4367	0.0211	31.4703

五、实证检验结果

(一) 基准回归结果分析

表2展示出信息基础设施建设影响数智化创新的基准回归结果。(1)列~(5)列是信息基础设施建设对数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新的回归结果。模型中均纳入控制变量、时间固定效应和城市固定效应。可以发现,所有模型中的*Brc*回归系数均显著为正。这说明相较于非试点城市,信息基础设施建设对试点城市内数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信

息技术创新和电子商务技术创新等数智化创新产生显著的提升作用,假设 H1 得到验证。主要是信息基础设施建设引至信息化人才流动^[24],提高试点城市内数字化、信息化和智能化等数智化行业的人才规模,并引导数智化行业企业入驻,增强数智化产业集聚度,从而优化数智化创新环境,推动数智化创新水平上升。同时,信息基础设施建设对 5G 技术创新和人工智能技术创新的提升效应最大,其次为数字技术创新和信息技术创新,对电子商务技术创新产生的影响作用最小。信息基础设施建设对不同类型数智化技术创新产生的赋能效应存在差异,意味着数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新等数智化技术,在生产生活领域中的应用范围、深度及研发难易程度不同。例如,5G 技术作为宽带网络的核心,应用领域更为广泛,推动云计算、大数据和人工智能等技术深度融合。电子商务技术推动电子商务发展,对物联网模式、大数据处理和人工智能预测具有较大的依赖性。这说明数字技术、5G 技术、人工智能技术、信息技术和电子商务技术等相互融合、嵌套和牵制机制,是信息基础设施建设对各类数智化技术创新产生不一致影响效应的重要原因。

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.0475*** (0.0078)	0.1267*** (0.0284)	0.0671*** (0.0206)	0.0176*** (0.0048)	0.0139** (0.0068)
<i>Goi</i>	-0.0121 (0.0158)	-0.0454 (0.0576)	0.0827** (0.0418)	0.0238** (0.0097)	-0.0233* (0.0138)
<i>Cod</i>	-0.0106 (0.072)	-0.0263 (0.0264)	-0.0350* (0.0191)	-0.0103** (0.0045)	0.0018 (0.0064)
<i>Edi</i>	0.0317** (0.0145)	0.1322** (0.0531)	-0.0535 (0.0385)	-0.0156* (0.0089)	0.0374*** (0.0128)
<i>Fop</i>	-0.0045 (0.0036)	-0.0231* (0.0132)	-0.0054 (0.0096)	-0.0018 (0.022)	-0.0016 (0.0032)
<i>Pag</i>	-0.0364*** (0.0035)	-0.0097 (0.0127)	-0.1754*** (0.0092)	-0.0553*** (0.0021)	0.0274*** (0.0031)
<i>Cons</i>	0.0918 (0.1620)	-0.1500 (0.5914)	0.4487 (0.4287)	0.1548 (0.0997)	-0.1824 (0.1422)
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>R</i> ²	0.8466	0.7502	0.8094	0.8535	0.5466
观测值	3124	3124	3124	3124	3124

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

(二) 稳健性检验

1. 平行趋势检验

为保证信息基础设施建设对数智化创新的正向影响,并不是源于实验组和对照组在政策开始前的系统差异,即“宽带中国”战略政策的实施效果应满足平行趋势假设条件。由此,本文构建如式(3)所示的平行趋势检验模型。

$$Dii_{it} = \beta_0 + \sum_{\theta = -5, \theta \neq 0}^7 \beta_{\theta} Brc_{it} + \sum_{j=1}^n \beta_j X_{j,it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中: Brc_{it} 为虚拟变量,表示“宽带中国”战略的反事实虚拟变量。当 $\theta < 0$ 时,反映政策实施前期。当 $\theta > 0$ 时,反映政策实施后期; β 为待估系数。为避免多重共线性问题,本文剔除政策实施当期观测值。

图 1 和图 2 结果表明,“宽带中国”战略实施之前,信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新等数智化创新产生的影响效应,在 0 值附近波动,且未通过显著性检验要求。这意味着实验组和对照组的数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新水平,在“宽带中国”战略实施前不存在显著差异,即基准模型满足平行趋势检验,表 2 基准回归结果可信。当然,在“宽带中国”战略实施后,信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新产生的显著影响效应逐渐增大,对人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新产生的影响效应在后期表现出不显著特征,意味着信息基础设施建设的数字技术创新和 5G 技术创新的效应具有长效机制,而对人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新的提升效应不具备长效机制。这可能是人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新的迭代升级或新技术浮现存在较高的门槛,且依赖于数字技术创新和 5G 技术创新水平。

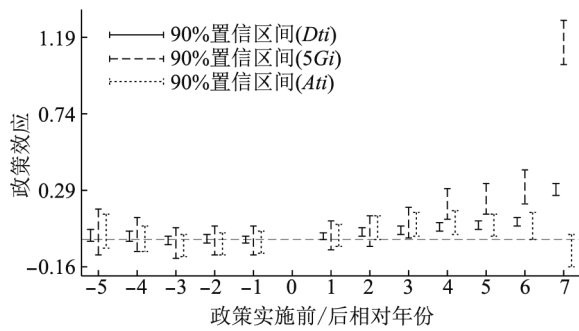


图1 数字技术、5G技术、人工智能技术的创新平行趋势检验

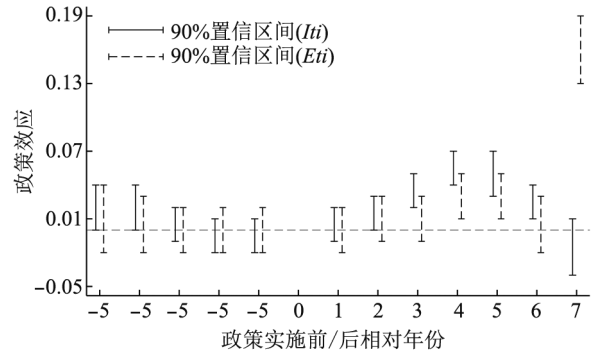


图2 信息技术和电子商务技术的创新平行趋势检验

2. 双重机器学习模型检验

为检验式(1)多期双重差分模型回归结果稳健,本文参照张涛和李均超^[25]做法,采用双重机器学习模型进行检验。主要是相较于式(1)传统因果推断模型,双重机器学习模型基于正则化算法,能够有效避免控制变量冗余带来的“维度诅咒”,并基于处理非线性数据的优势,可以避免模型误设问题^[26]。模型设定与张涛和李均超一致^[25],本文不再列出。按照1:4分割比例,采用神经网络模型预测算法的回归结果如表3所示。可以看出,信息基础设施建设对数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新均产生显著的正向效应,并没有改变先前结论,验证了基准回归结果稳健。

表3 神经网络双重机器学习的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.1182*** (0.0166)	0.3431*** (0.0515)	0.3260*** (0.0421)	0.0646*** (0.0112)	0.3319*** (0.1225)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3124	3124	3124	3124	3124

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

3. 排除城市行政级别影响

鉴于各城市社会经济、资源禀赋、创新能力等存在较大差异,如四大直辖市的综合能力高于其余城市。这可能会导致信息基础设施建设的数智化创新效应存在偏误。因此,本文将四大直辖市样本剔除,回归得到如表4的结果。结果表明,当剔除四大直辖市后,信息基础设施建设对数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新都产生显著的正向影响,意味着在剔除城市行政级别干扰后,信息基础设施建设对数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务技术创新等数智化创新具有提升作用。

表4 剔除城市行政级别的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.0388*** (0.0070)	0.1164*** (0.0285)	0.0559*** (0.0206)	0.0172*** (0.0048)	0.0124* (0.0069)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.8600	0.7506	0.8086	0.8549	0.5445
观测值	3080	3080	3080	3080	3080

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

4. PSM-DID 检验

考虑到“宽带中国”战略试点城市分阶段审批,可能会引致试点城市和非试点城市间出现的系统性差异影响基准回归结果稳健性。本文基于 K 近邻匹配方法逐年为 106 个试点城市随机匹配非试点城市,采用 Logit 模型匹配,再使用式(1)重新估计,所得结果如表 5 所示。可以看出,信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新均产生显著的影响,对电子商务技术创新产生的正向影响不显著。整体上看,经过倾向得分匹配后,信息基础设施建设对以数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新为核心的数智化创新产生有效提升作用,验证了基准回归结果稳健。

表 5 PSM-DID 的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Ili</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.0421 *** (0.0074)	0.1105 *** (0.0277)	0.0615 *** (0.0206)	0.0151 *** (0.0047)	0.0097 (0.0066)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.8625	0.7652	0.8134	0.8624	0.5675
观测值	3098	3098	3098	3098	3098

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

5. 内生性检验

尽管 DID 模型一定程度上能够缓解变量间的内生性问题,但可以推断出,城市数智化创新水平越高,该地区在“宽带中国”战略城市审批方面才拥有优先权,且可能存在由其他遗漏变量带来的结果偏差。故此,本文采取以下两种方法进行内生性检验。

(1) 核心解释变量滞后一期。鉴于“宽带中国”战略政策实施的时间存在多期特性,且在“自上而下”的行政主导模式影响下,“宽带中国”战略的政策效应可能存在滞后性。故此,本文参照刘家民和马晓钰^[27]做法,将核心解释变量信息基础设施建设滞后一期 (*L. Brc*) 重新检验,重新评估结果如表 6 所示。可以发现,滞后一期的信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化技术均产生显著的促进作用,验证了基准回归结果稳健。

(2) 工具变量法检验。尽管将核心解释变量滞后一期一定程度上可以缓解内生性问题,但是模型中依然存在反向因果和遗漏变量等产生的内生性问题。因此,本文参照张涛和李均超^[26]的做法,选取地理变量(河流长度)作为信息基础设施建设的工具变量,可以同时满足相关性和外生性条件。一是,河流长度数值越大,说明城市内河流密度越大,城市地势越复杂,信息基础设施建设的成本则越高,且复杂的地形面貌更可能会引致人口疏散,对该地区企业生产活动产生不利影响,使此类城市成功申请宽带试点的可能性下降,满足相关性要求。其次,河流长度是由自然因素塑造,对当下数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的影响几乎不存在,满足外生性要求。由于河流长度是静态变量,本文按照现有研究做法,使用河流长度与政策执行时间趋势项的交互项,作为信息基础设施建设的工具变量。表 7 列展示出二阶段最小二乘法(2SLS)的估计结果。Anderson canon. Corr. LM 统计量和 Cragg-Donald Wald F 统计量的结果表明,设定

表 6 核心解释变量滞后一期的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Ili</i>	<i>Eti</i>
<i>L. Brc</i>	0.0639 *** (0.0075)	0.1687 *** (0.0276)	0.0785 *** (0.0201)	0.0236 *** (0.0047)	0.0186 *** (0.0067)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.8484	0.7518	0.8097	0.8541	0.5472
观测值	3124	3124	3124	3124	3124

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

的工具变量符合模型要求。排除模型中可能存在的内生性后,信息基础设施建设显著提高数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新水平,说明基准回归结果稳健。

为进一步排除内生性对基准回归结果造成影响,本文也参照张涛和李均超做法^[26],以河流长度与政策执行时间趋势项的交互项作为工具变量,采用基于神经网络预测方法的双重机器学习模型进行内生性检验。双重机器学习模型的内生性检验结果表明(表 7),信息基础设施对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新产生显著的正向影响,验证了基准回归结果稳健。

表 7 工具变量法的回归结果

2SLS					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dit</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.1367*** (0.0105)	0.4325*** (0.0384)	0.2318*** (0.0276)	0.00601*** (0.0064)	0.0449*** (0.0091)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Anderson canon. Corr. LM	1609.653***	1609.653***	1609.653***	1609.653***	1609.653***
Cragg-Donald Wald <i>F</i>	3001.730[16.38]	3001.730[16.38]	3001.730[16.38]	3001.730[16.38]	3001.730[16.38]
<i>R</i> ²	0.8394	0.7400	0.8051	0.8494	0.5433
神经网络双重机器学习的内生性检验					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dit</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.4629*** (0.0454)	1.3400*** (0.1400)	0.9651*** (0.1119)	0.2789*** (0.0303)	1.4394*** (0.3185)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3124	3124	3124	3124	3124

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平。() 内为稳健标准误；[] 中为 Stock-Yogo 临界检验值。

(三) 路径分析

根据前文分析,信息基础设施建设通过促使数智化人才集聚(*Dit*)和优化数智化产业环境(*Din*),提高数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新水平。故此,本文参照郭秋秋和马晓钰^[28]做法,在式(1)的基础上,构建如下机制检验模型:

$$M_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 Brc_{it} + \sum_{j=2}^n \lambda_j X_{j,it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$Dit_{it} = \beta_0 + \beta_1 M_{it} + \beta_2 Brc_{it} + \sum_{j=2}^n \beta_j X_{j,it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中:*M* 为中介变量,包括数智化人才集聚(*Dit*)和数智化产业环境(*Din*)。其中,*Dit* 参照李剑培等^[20]做法,以信息传输、计算机服务和软件业从业人数与城镇单位就业人员的比重表征。数据来源于《中国城市统计年鉴》。*Din* 本文沿用李剑培等^[20]的思路,使用新注册的信息传输软件和信息技术服务企业数、科学研究和技术服务业企业数、物联网企业数、区块链企业数、云计算企业和人工智能企业数的总和,除以城市内所有行业新注册企业数,以此衡量数智化产业环境。新注册企业数据来源于企查查数据库。

1. 数智化人才集聚路径

基于式(4)和式(5),数智化人才集聚作为信息基础设施建设赋能数智化创新传导机制的回归结果如表 8 所示。首先,(1)列展示出信息基础设施建设影响数智化人才集聚的结果。可以发现,信息基础设施建设对数智化人才集聚产生的影响效应为 0.0029,且在 1% 水平上显著。相较于非试点城市,信息基础设施建设能有效提高试点城市内数智化人才集聚度。其次,(2)列~(6)列展示出式(5)的回归结果,信息基础设施建设和数智化人才集聚对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新产生的影响作用。结果表明,信息基础设施建设通过提高数智化人才集聚度,增强数字技

术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的平均因果中介效应 (*ACME*) 分别为 0.0157、0.0485、0.0190、0.0046 和 0.0081, 其对应的 95% 置信区间均在 0 以上, 验证了中介效应的存在性。此外, 中介效应占比分别为 0.3286、0.3799、0.2858、0.2645 和 0.5877, 验证了数智化人才集聚作为信息基础设施建设正向影响数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的渠道的重要性。

因果中介效应需要满足序列可忽略假设, 参照郭秋秋和马晓钰^[28]方法, 通过敏感性分析量化评估上述假定不成立, 对结果稳健性会产生怎样影响。表 8 结果表明, Rho at which $ACME=0$ 、 $R_M^{2*} R_Y^{2*}$ at which $ACME=0$ 、 $\tilde{R}_M^2 \tilde{R}_Y^2$ at which $ACME=0$ 分别表示在 $ACME$ 为 0 时, 式(3)和式(4)中, 干扰项的相关系数 ρ 值、未观察到混淆因子而导致的 D_{ii} 和 M 的总方差的乘积、未观察到混淆因子解释的 D_{ii} 和 M 的总方差的乘积。数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新为被解释变量时, 数智化人才集聚和各类数智化技术创新对应的 Rho 的取值分别为 0.2646、0.2231、0.1197、0.1251 和 0.1550。表 8(1)列~(6)列的 $adj-R^2$ 依次为 0.7655、0.8421、0.7375、0.7921、0.8405、0.5105, 进一步依次计算未观察到的混淆因子对模型的解释力分别为 0.0620 和 0.0418、0.0527 和 0.0586、0.0281 和 0.0249、0.0293 和 0.0198、0.0363 和 0.0759, 远小于文中使用 7 个变量合起来的解释力相当的情况。这一定程度上满足序列可忽略假设, 验证了因果中介效应结果的稳健性, 假设 H2 得到验证。

数智化人才集聚作为信息基础设施建设赋能数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的重要路径, 主要是“宽带中国”战略加速网络宽带基础设施建设。特别是云计算、大数据处理中心等基础设施建设过程中, 创造出丰富的信息化、智能化就业岗位, 引至大量相关人员集聚。同时, “宽带中国”鼓励加大数字化、物联网等方面的人才引进力度, 实施合作办学和继续教育等多元化人才培养形式, 从而提高数智化人才集聚度。试点城市内数智化人才劳动力池的不断丰富, 有助于建立频繁且密切的面对面交流机制, 产生更高的信息化、数字化和智能化等知识溢出效应, 催生出以数字技术、5G 技术、人工智能技术、信息技术、电子商务技术等为核心的新型数智化技术, 以及加速此类技术的迭代升级。

表 8 数智化人才集聚路径检验结果

变量	<i>D_{in}</i> (1)	<i>D_{ii}</i> (2)	<i>5G_i</i> (3)	<i>A_{ii}</i> (4)	<i>I_{ii}</i> (5)	<i>E_{ii}</i> (6)
<i>Brc</i>	0.0029*** (0.0004)	0.0320*** (0.0076)	0.0791*** (0.0280)	0.0486** (0.0206)	0.0131*** (0.0048)	0.0060 (0.0068)
<i>D_{in}</i>		5.4001*** (0.3705)	16.6236*** (1.3673)	6.4681*** (1.0095)	1.5719*** (0.2346)	2.7778*** (0.3332)
R^2	0.7880	0.8573	0.7627	0.8121	0.8558	0.5575
adj- R^2	0.7655	0.8421	0.7375	0.7921	0.8405	0.5105
<i>ACME</i>		0.0157 [0.0115 0.0197]	0.0485 [0.0348 0.0626]	0.0190 [0.0120 0.0275]	0.0046 [0.0029 0.0066]	0.0081 [0.0053 0.0112]
<i>ADE</i>		0.0329 [0.0209 0.0505]	0.0824 [0.0378 0.1474]	0.0511 [0.0181 0.0990]	0.0137 [0.0060 0.0248]	0.0068 [-0.0041 0.0226]
<i>ATE</i>		0.0487 [0.0360 0.0656]	0.1309 [0.0856 0.1936]	0.0700 [0.0392 0.1164]	0.0183 [0.0111 0.0291]	0.0149 [0.0044 0.0303]
中介效应占比		0.3286 [0.2399 0.4373]	0.3799 [0.2504 0.5666]	0.2858 [0.1629 0.4834]	0.2645 [0.1584 0.4160]	0.5877 [0.2664 1.7350]
Rho at which $ACME=0$		0.2646	0.2231	0.1197	0.1251	0.1550
$R_M^{2*} R_Y^{2*}$ at which $ACME=0$		0.0700	0.0498	0.0143	0.0157	0.0240
$\tilde{R}_M^2 \tilde{R}_Y^2$ at which $ACME=0$		0.0021	0.0025	0.006	0.0005	0.0023
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3124	3124	3124	3124	3124	3124

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平。() 内为稳健标准误; [] 内为 95% 置信区间。*ACME*、*ADE* 和 *ATE* 分别表示平均因果中介效应、直接效应和总效应。

2. 数智化产业环境路径

基于式(4)和式(5),数智化产业环境作为信息基础设施建设赋能数智化创新传导机制的回归结果如表9所示。(1)列展示出信息基础设施建设对数智化产业环境的影响结果。结果表明,信息基础设施建设对数智化产业环境产生的影响效应为0.0044,且在1%水平上显著。相较于非试点城市,信息基础设施建设能有效优化试点城市数智化产业环境。其次,(2)列~(6)列展示出式(5)的回归结果,信息基础设施建设和数智化产业环境对数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新产生的影响作用。可以发现,信息基础设施建设通过优化数智化产业环境,赋能数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的平均因果中介效应(ACME)分别为0.0712、0.0712、0.0077、0.0026和0.0095,其对应的95%置信区间均在0以上,说明数智化产业环境的中介效应存在。此外,中介效应比例分别为0.5504、0.5504、0.1178、0.1494和0.6682,验证了数智化产业环境作为信息基础设施建设正向影响数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的渠道的重要性。同样,参照郭秋秋和马晓钰^[28]方法,通过敏感性分析量化评估上述假定不成立时,对结果稳健性会产生怎么影响。经过计算发现,结果满足序列可忽略假设,验证了因果中介效应结果的稳健性,假设H3得到验证。计算方法与上述方法一致,此处不再赘述。

由此可知,信息基础设施建设能有效优化数智化产业环境,进而赋能数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新,即数智化产业环境改善在信息基础设施建设提高数智化创新水平中起到重要的传导作用。主要原因是“宽带中国”战略引导光通信、下一代互联网、移动互联网、新一代移动通信等重大产业发展,鼓励核心技术产业联盟,从而推动大数据、云计算、智能化等数智化产业和企业试点城市内落地和规模化发展,改善数智化创新的产业环境。数智化产业集聚有利于增强上下游产业链的衔接度,提高产业配套能力,进而推动数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新水平上升,并缩短数智化创新周期。

表9 数智化产业环境路径检验结果

变量	D_{in} (1)	D_{ti} (2)	$5G_i$ (3)	A_{ti} (4)	I_{ti} (5)	E_{ti} (6)
Brc	0.0044 *** (0.0007)	0.0257 *** (0.0070)	0.0568 ** (0.0262)	0.0597 *** (0.0207)	0.0151 *** (0.0048)	0.0046 (0.0067)
D_{in}		4.9024 *** (0.1786)	15.7489 *** (0.6715)	1.6773 *** (0.5311)	0.5645 *** (0.1233)	2.0896 *** (0.1720)
R^2	0.7354	0.8789	0.7910	0.8101	0.8546	0.5691
adj- R^2	0.7074	0.8660	0.7688	0.7899	0.8391	0.5233
$ACME$		0.0712 [0.0478 0.0906]	0.0712 [0.0478 0.0906]	0.0077 [0.0031 0.0140]	0.0026 [0.0014 0.0042]	0.0095 [0.0063 0.0124]
ADE		0.0599 [0.0182 0.1207]	0.0599 [0.0182 0.1207]	0.0622 [0.0291 0.1102]	0.0157 [0.0080 0.0268]	0.0054 [-0.0053 0.0210]
ATE		0.1311 [0.0815 0.1887]	0.1311 [0.0815 0.1887]	0.0699 [0.0389 0.1158]	0.0182 [0.0110 0.0291]	0.0149 [0.0042 0.0300]
中介效应占比		0.5504 [0.3773 0.8738]	0.5504 [0.3773 0.8738]	0.1178 [0.0667 0.1986]	0.1494 [0.0889 0.2339]	0.6682 [0.3040 2.2166]
Rho at which $ACME=0$		0.4038	0.4038	0.0593	0.0859	0.2228
$R_M^2 * R_Y^2$ at which $ACME=0$		0.1631	0.1631	0.0035	0.0074	0.0496
$\tilde{R}_M^2 \tilde{R}_Y^2$ at which $ACME=0$		0.0090	0.0090	0.0002	0.0003	0.0057
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3124	3124	3124	3124	3124	3124

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%上显著性水平；()内为稳健标准误；[]内为95%置信区间。 $ACME$ 、 ADE 和 ATE 分别表示平均因果中介效应、直接效应和总效应。

(四) 异质性探讨

1. 地理区位

我国地域幅员辽阔,各城市间经济发展潜力和资源禀赋差异较大,人口空间分布不均衡及政策倾向不同,可能会影响信息基础设施建设的数智化创新效应。为此,本文根据地理区位,将样本划分为东部和中西部地区两组进一步探究,结果如表 10 所示。可以发现,信息基础设施建设对中西部地区和东部地区内数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化技术创新均产生显著促进作用,且在东部地区更大。参照李金昌等^[29]的做法,使用 Bootstrap 的费舍尔组合检验方法,通过抽样 1000 次得到组间系数差异检验结果。信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新的驱动作用存在中西部和东部地区间显著的组间差异。主要是东部地区借助区位和政策优势,在人才吸引力、科教水平、产业发展、对外开放质量等方面具有领先优势,能够强化信息基础设施建设对数智化创新的赋能效应。而中西部城市则受创新资源约束、科技资源匮乏、产业单一等因素影响,削弱了信息基础设施建设对数智化创新的推动作用。此外,无论是在中西部地区还是东部地区,相较于信息技术创新、电子商务技术创新,信息基础设施建设对数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新产生的赋能作用更大,且对 5G 技术创新的正向影响最大。这说明在“宽带中国”战略推进的过程中,5G 技术创新是宽带网络数据传输功率中具有重要作用。借助互联网的信息传输属性,数字技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新和电子商务创新技术相互嵌入,形成相互拉动和牵制的机制,提高数智化创新水平。

表 10 区域异质性回归结果

中西部地区					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.0131 *** (0.0026)	0.0411 *** (0.0083)	0.0108 *** (0.0023)	0.0026 (0.0016)	0.0059 *** (0.0009)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>R</i> ²	0.7342	0.7061	0.8026	0.6419	0.5488
观测值	2024	2024	2024	2024	2024
东部地区					
变量	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.1247 *** (0.0206)	0.3456 *** (0.0732)	0.1745 *** (0.0575)	0.0473 *** (0.0129)	0.0405 *** (0.0193)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
费舍尔组合 检验(<i>P</i>)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
<i>R</i> ²	0.8627	0.7820	0.8165	0.8643	0.5614
观测值	1100	1100	1100	1100	1100

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平;括号内为稳健标准误。

2. 交通便利性

如果说信息基础设施是显性信息传播和扩散的“助推器”,那么高铁网络建设则是深入挖掘隐性信息的“利器”。这主要源于高铁网络便于中高技能劳动力自由流动,对跨界和跨行业的企业管理者随时面对面交流,及专业技术人才商洽起到“桥梁”作用。双方获取更深层次、更精准的需求信息,改善隐瞒性行为和缓解信息不对称,可能会扩大信息基础设施的数智化创新效应。为此,本文将样本按照是否开通高铁划分为两组进行探讨,结果如表 11 所示。结果表明,信息基础设施建设对非高铁开通城市内数字技术创新、5G 技术

创新、人工智能技术创新、信息技术创新等数智化技术创新均产生显著的正向影响,对高铁开通城市内数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新同样产生的显著正向影响大于非高铁开通城市。费舍尔组合检验结果也表明信息基础设施建设的数智化创新效应呈现出显著的交通便利性特征。这验证了上述推论。高铁开通带来的“隐形知识”和信息基础设施建设带来的“显性知识”形成互补关系,增强数智化创新。该结果也表明,信息基础设施需要通过与其他基础设施相互配套,才能更充分地释放数字效能。这为各地方政府根据自身现实情况,不断优化和调整基础设施建设空间布局和规划提供理论依据。此外,信息基础设施建设对电子商务技术创新产生的影响效应在非高铁开通城市内显著为正,但在高铁开通城市内不显著。主要解释是高铁开通为商品流动和交易提供便利,提高买卖双方交易的成功率。这可能弱化了信息基础设施建设对电子商务技术创新产生的影响。非高铁开通城市企业为更好地参与城市内外部市场活动,借助“宽带中国”战略带来的政策红利,积极扩大电子商务方面的技术研发投资,以快速推进在线商城平台建设、在线交易等,打破系统界限,形成交互式的市场反馈效应,从而创造出新的电子商务技术。

表 11 交通便利性质性回归结果

非高铁开通城市					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.058 *** (0.0009)	0.0449 *** (0.0066)	0.0057 *** (0.0009)	0.0047 * (0.0025)	0.0041 *** (0.0009)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.7233	0.8191	0.9210	0.6767	0.5403
观测值	1290	1290	1290	1290	1290
高铁开通城市					
变量	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	<i>Dti</i>	<i>5Gi</i>	<i>Ati</i>	<i>Iti</i>	<i>Eti</i>
<i>Brc</i>	0.0738 *** (0.0155)	0.1529 *** (0.0558)	0.0817 * (0.0423)	0.0252 *** (0.0096)	0.0211 (0.0142)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
费舍尔组合检验(<i>P</i>)	0.000	0.009	0.009	0.001	0.071
R^2	0.8581	0.7707	0.8151	0.8615	0.5549
观测值	1803	1803	1803	1803	1803

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 上显著性水平；括号内为稳健标准误。

六、研究结论与政策启示

基于信息基础设施建设与数智化创新的内在机理与路径分析,以“宽带中国”战略为准自然实验,使用 2011—2021 年 284 个地级市及以上城市面板数据,探究信息基础设施建设对数智化创新的影响。研究发现:①信息基础设施建设显著提升数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新水平。该结论通过内生性、双重机器学习等一系列稳健性检验后,依然成立。②机制研究表明,信息基础设施建设通过提高数智化人才集聚度和优化数智化产业环境,赋能数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新。③异质性分析表明,相较于中西部地区,信息基础设施建设对东部地区数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等数智化创新产生的显著提升效应更大;相较于非高铁开通城市,信息基础设施建设对高铁开通城市数字技术创新、5G 技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新产生的积极效应更明显。同时,信息基础设施建设对非高铁开通城市电子商务技术创新产生显著的促进作用,但未显著提升高铁开通城市内电子商务技术创新水平。为充分释放信息基础设施建设的数智化创新效应,全面推动数字化、智能

化转型升级,

本文根据研究结论提出如下政策启示:

第一,以提质增效为核心目标,夯实信息基础设施建设对数智化创新的政策抓手。伴随“宽带中国”战略不断推进,数智化创新效果愈加明显。故此,试点城市政府需要总结政策实施过程中存在的问题、可改之处及成功经验。这有助于自身调整网络宽带设施布局,且增强对5G、人工智能和电子商务等新一代信息平台的投资力度。相关部门根据实际需求和场景搭建配套的公共服务体系,充分发挥所产生的网络效应,更要引导非试点城市政府适度超前部署网络宽带设施,有序促使信息基础设施与传统产业深度融合,塑造出“互联网+”的创新模式,从而推动落后信息基础设施迭代升级,突破关键核心技术。此外,信息基础设施建设的数字技术创新、5G技术创新、人工智能技术创新、信息技术创新、电子商务技术创新等效应存在明显差异。这源于上述技术的相互嵌套与渗透存在差异。例如,5G技术是其他数智化技术融合发展的“支架”。故此,相关部门需要瞄准各类数智化技术的短板,加大研发资金投入和相关人才培养,以突破技术创新瓶颈,从而带动数智化技术体系协同发展。

第二,加速知识跨界、跨行业循环与共享,营造数智化创新氛围和发展环境。数智化人才是数智化创新的内生驱动力,意味着政府亟须健全“数智化人才”培养机制,加大数智化人才引才力度,以提高数字化、智能化等人才规模和质量,从而产生更高知识溢出效应,支撑数智化技术创新。同时,数智化产业集群是数智化技术创新的主体。这要求相关部门积极吸引数字化、智能化、大数据和物联网等数智化企业落地,培育新一代产业和企业,并引导数智化产业间建立良好的联络合作机制,充分提振5G技术、大数据技术和人工智能技术等研发效率,促使数智化创新水平上升。此外,数字技术、5G技术、人工智能技术、信息技术、电子商务技术等相互融合和嵌套,意味着在数智化人才培养和数智化企业引进方面,需要规避盲目的引才和引企政策,即针对数智化技术的差异性,实施不同的政策制度。这有利于为不同的数智化技术创新,构建配套的人才和企业提供着力点,加速数智化创新和促使传统数智化技术迭代升级。

第三,聚焦区域发展差异,增强新型基础设施的配套性。信息基础设施建设的数智化创新效应存在明显的空间异质性。由此,落实“东数西算”工程,逐步推广“宽带中国”试点城市范围,拓展网络密度和节点数,形成发达地区带动欠发达地区,欠发达地区汲取、学习发达地区先进经验的互补机制。但是,也要避免“东施效颦”,盲目照搬试点城市建设的路径,防止设施功能错配。同时,信息基础设施搭建其他公共服务设施能够更好地发挥数字效能。这要求政府统筹规划、合理布局新基建,以增强产业治理的协调性,提高数智化创新水平。当然,各个地区的资源禀赋、经济基础、地理区位特征和交通便利性等不同,使“宽带中国”战略实施过程中,地区内数智化技术创新效应存在差异。这要求结合自身特征,充分发挥数智化技术创新方面的优势能动作用,与其他地区优势数智化技术创新形成互补作用,从而提高数智化创新的整体水平。

参考文献

- [1] 王秉. 何为数智: 数智概念的多重含义研究[J]. 情报杂志, 2023, 42(7): 71-76.
- [2] 翟云, 潘云龙. 数字化转型视角下的新质生产力发展——基于“动力-要素-结构”框架的理论阐释[J]. 电子政务, 2024(4): 2-16.
- [3] 梁玲玲, 李焯, 陈松. 数智赋能对企业开放式创新的影响: 数智二元能力和资源复合效率的中介作用[J]. 技术经济, 2022, 41(6): 59-69.
- [4] 戚聿东, 郝越, 侯娜, 等. 装备制造企业数智化转型的模式与路径探索——基于山河智能的案例研究[J]. 经济管理, 2022, 44(11): 25-45.
- [5] 沈馨怡, 吴松强. 数智化发展、双重网络嵌入与新创企业韧性——长三角中小集成电路企业的实证研究[J]. 科学学研究, 2024, 42(4): 797-804.
- [6] 张秀娥, 王卫, 于泳波. 数智化转型对企业新质生产力的影响研究[J/OL]. 科学学研究, 1-19 [2024-08-14]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20240518.003>.
- [7] 张云, 柏培文. 数智化如何影响双循环参与度与收入差距——基于省级—行业层面数据[J]. 管理世界, 2023, 39(10): 58-83.
- [8] 吴滨, 韦结余. 颠覆性技术创新的政策需求分析——以智能交通为例[J]. 技术经济, 2020, 39(6): 185-192.
- [9] 张光宇, 宋泽明, 戴海闻. 跨界技术并购如何促进后发企业颠覆性创新? [J]. 科学学研究, 2023, 41(9): 1716-1728.
- [10] 杨瑾, 同智文. 颠覆性技术创新何以驱动装备制造企业智能化转型? [J]. 技术经济, 2024, 43(5): 82-94.
- [11] MENG F, XU Y, ZHAO G. Environmental regulations, green innovation and intelligent upgrading of manufacturing enterprises: Evidence from

- China[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 14485.
- [12] 程广斌, 李伟, 赵川. 信息基础设施建设与企业智能制造——基于“宽带中国”试点的证据[J]. *经济体制改革*, 2024(2): 193-200.
- [13] 杨壮, 吴福象, 龚恩泽. 网络基础设施建设、资源配置效率与关键核心技术突破[J]. *山西财经大学学报*, 2023, 45(8): 86-99.
- [14] 陈静, 张鸿. 数字中国建设、市场化程度与企业数字化创新[J]. *甘肃社会科学*, 2024(1): 193-202.
- [15] XU S, CHEN H, DONG S, et al. Can upgrading information infrastructure improve the innovation ability of companies? Empirical evidence from China[J]. *Telecommunications Policy*, 2023, 47(6): 102569.
- [16] 沈坤荣, 林剑威, 傅元海. 网络基础设施建设、信息可得性与企业创新边界[J]. *中国工业经济*, 2023(1): 57-75.
- [17] 郑冰, 赵彦云, 吕凯波. 数字经济驱动城市创新水平提升的效应与机制——基于“宽带中国”和“智慧城市”两项试点改革的实证分析[J]. *经济问题探索*, 2023(11): 20-36.
- [18] 钞小静, 薛志欣. 新型信息基础设施对中国经济韧性的影响——来自中国城市的经验证据[J]. *经济学动态*, 2023(8): 44-62.
- [19] 王天尧, 杨晓维. 宽带、远程服务与企业分工[J]. *财经研究*, 2023, 49(8): 109-123.
- [20] 李剑培, 韦东明, 顾乃华. 政府引导、政策赋能与企业数字化转型[J/OL]. *数量经济技术经济研究*, 1-22[2024-09-07]. <https://doi.org/10.13653/j.cnki.jqte.20240905.001>.
- [21] 孙晓华, 郭旭, 范世龙. 社会网络、技能提升与就业地选择[J]. *经济研究*, 2023, 58(5): 116-134.
- [22] 牛子恒, 崔宝玉. 网络基础设施建设与劳动力配置扭曲——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J]. *统计研究*, 2022, 39(10): 133-148.
- [23] 马晓钰, 刘家民, 贾文利, 等. 居民消费结构优化、扩大开放与产业结构升级[J]. *西北人口*, 2022, 43(4): 70-81.
- [24] 焦豪, 崔瑜, 张亚敏. 数字基础设施建设与城市高技能创业人才吸引[J]. *经济研究*, 2023, 58(12): 150-166.
- [25] YANG J C, CHUANG H C, KUAN C M. Double machine learning with gradient boosting and its application to the Big N audit quality effect[J]. *Journal of Econometrics*, 2020, 216(1): 268-283.
- [26] 张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距——基于双重机器学习的因果推断[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023, 40(4): 113-135.
- [27] 刘家民, 马晓钰. 数智化创新政策如何推动企业新质生产力发展[J]. *西部论坛*, 2024, 34(4): 17-34.
- [28] 郭秋秋, 马晓钰. “宽带中国”战略和低碳城市双试点的减污效应研究[J]. *产业经济研究*, 2023(5): 129-142.
- [29] 李金昌, 连港慧, 徐蔼婷. “双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023, 40(9): 27-49.

Information Infrastructure Construction and Digital-intellectual Innovation: Empowerment or Negative Energy? Empirical Evidence from the “Broadband China” Strategy

Liu Jiamin, Ma Xiaoyu

(School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Based on the era of dividends brought about by the construction of information infrastructure, it is of great significance to explore the impact of it on digital-intellectual innovations such as digitalization, cloud computing, and artificial intelligence. The driving path were discussed. Utilizing data from 284 Chinese cities from 2011 to 2021, an empirical model of information infrastructure construction on digital-intellectual innovation was constructed. It finds that the construction of information infrastructure, represented by the “Broadband China” strategy, effectively enhances the level of technological innovation in digital-intellectual innovation, such as digital technology, 5G technology, artificial intelligence technology, information technology and e-commerce technology. The conclusion remains valid after various robustness tests. Mechanism tests show that information infrastructure construction enhances digital-intellectual innovation by increasing the concentration of digital-intellectual talent and optimizing the digital-intellectual industrial environment. Heterogeneity results show that the positive impact of information infrastructure construction on digital-intellectual innovation exhibits a clear gradient effect across different regions, progressively strengthening from the central-western to the eastern regions, and from cities without high-speed rail to those with high-speed rail. It provides a theoretical base for optimizing the spatial layout of information infrastructure construction and enhancing the capacity of digital-intellectual innovation.

Keywords: information infrastructure construction; digital-intellectual innovation; “Broadband China” strategy