

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2026.02.002

# 智能化与绿色化协同对数字产业集聚的影响

## ——基于智慧城市和低碳城市双试点的准自然实验

高志刚<sup>1a,2</sup>, 韩宁<sup>1a</sup>, 韩延玲<sup>1b</sup>

(1. 新疆财经大学 a. 经济学院, b. 统计与数据科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830012;

2. 新疆科技学院 经济学院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:**作为驱动城市智能化绿色化发展的有效政策工具,智慧城市试点和低碳城市试点能够改善试点城市的资源配置与营商环境,从而协同驱动数字产业向双试点城市集聚。以智慧城市试点和低碳城市试点为准自然实验,以从业人员区位熵衡量城市数字产业集聚度,采用我国 298 个地级市 2006—2023 年的面板数据进行多期双重差分检验,分析发现:我国数字产业形成了东部引领、中西部崛起、带状连绵与多中心协同的集聚格局;智慧城市和低碳城市双试点显著促进了双试点城市的数字产业集聚,且政策效应随试点时长的增加而增强,双试点的政策效应大于单试点;双试点能够通过推动数字技术创新和绿色技术创新、增加人力资本积累 3 条路径促进数字产业集聚;双试点显著促进了经济发展水平较高、环境基础较好城市的数字产业集聚,但对经济发展水平较低、环境基础较差城市的数字产业集聚影响不显著。因此,应深化“智能+绿色”政策协同,以区域差异化策略构建数字产业梯度发展新格局。

**关键词:**智慧城市;低碳城市;政策协同;数字产业集聚;数字技术创新;绿色技术创新;人力资本

中图分类号:F293;F124.5 文献标志码:A 文章编号:1674-8131(2026)02-0017-13

**引用格式:**高志刚,韩宁,韩延玲.智能化与绿色化协同对数字产业集聚的影响——基于智慧城市和低碳城市双试点的准自然实验[J].西部论坛,2026,36(2):17-29.

Gao Zhigang, Han Ning, Han Yanling. The impact of synergistic intelligence and green development on digital industry agglomeration: a quasi-natural experiment based on the dual pilots of smart cities and low-carbon cities [J]. West Forum, 2026, 36 (2): 17-29.

\* 收稿日期:2026-01-22;修回日期:2026-03-16

基金项目:国家社会科学基金重大项目(24&ZD041);国家自然科学基金项目(72064035)

作者简介:高志刚(1972),男,河南濮阳人;二级教授,博导,理学博士,新疆科技学院校长,主要从事区域经济高质量发展和循环经济发展研究。韩宁(1993),通信作者,女,江苏徐州人;讲师,在读博士生,主要从事区域经济高质量发展研究;E-mail:1181101776@qq.com。韩延玲(1973),女,山东菏泽人;二级教授,主要从事数量经济研究。

## 一、引言

在全球经济数字化转型的背景下,新一代数字技术迅猛发展,数字经济成为推动经济高质量发展的重要动力源。自2017年“数字经济”首入政府工作报告,至党的二十届四中全会进一步强调“深入推进数字中国建设”,数字经济的战略地位持续提升,成为推进中国式现代化的有力抓手。然而,由于数据要素在空间上趋于集聚而非均匀分布,数字产业的区域分布具有非均衡性特征,需要引导数字产业在不同区域间协调发展以缩小“数字鸿沟”(司聪等,2026)<sup>[1]</sup>。目前,数字产业已发展成为战略性、先导性产业,数字产业集聚不仅是重塑区域经济结构和空间格局的关键因素,更是推动经济社会“智能化、绿色化、融合化”发展的新动能。因此,深入研究数字产业集聚成为新时代加快高质量发展的题中之义。

尽管数字产业可以依托虚拟平台实现技术协同与业务共生,使数字产业集聚突破了传统产业集聚的地理邻近假设,但地理因素并未消亡,反而会因技术迭代迅速、知识需求迫切而呈现出更强的空间集聚倾向(赵放等,2025)<sup>[2]</sup>。目前,学界对数字产业集聚的实证研究主要聚焦于集聚特征、集聚效应和影响因素三个方面。如:我国数字产业集聚水平持续提升,并呈现东高西低的基本格局(李栋等,2023)<sup>[3]</sup>;数字产业集聚所产生的正向外部性提升了城市绿色经济效率(焦岫等,2023)<sup>[4]</sup>、促进了实质性绿色创新(Wang et al., 2024)<sup>[5]</sup>;数字产业集聚水平主要受区位条件、经济规模、市场化程度、数字基础设施与科技人力投入的影响,研发与技术导向明显(孙娜等,2024)<sup>[6]</sup>;创新互动、科技投入和科技成果储量对数字产业集聚具有显著正向影响(叶堂林等,2023)<sup>[7]</sup>。但鲜有文献考察智能化和绿色化对数字产业集聚的影响,而智能化和绿色化作为新一轮科技革命和产业变革的两大核心方向,能够有效促进创新水平和发展质量的提升,为数字产业的发展提供创新动力和生产基础(鞠晓生,2023)<sup>[8]</sup>。因此,有必要深入探讨智能化和绿色化协同对数字产业集聚产生的影响及其作用机制。

数字产业的区位选择并非仅受市场机制的影响,也受政府政策工具的引导。智慧城市试点和低碳城市试点分别是智能化和绿色化的代表性政策工具,前者通过构建数字生态驱动数字产业向数据资源密集区域集聚,后者通过设立绿色目标引导产业的空间布局。两项政策工具协同,能够实现智能化与绿色化的深度融合,并为考察智能化与绿色化协同的经济效应提供了很好的实证样本。随着智慧城市试点与低碳城市试点的持续推进,相关文献对其政策效应的经验分析逐渐增多,但大多考察单个政策的实施效果,如智慧城市试点对绿色技术创新(宋德勇等,2021)<sup>[9]</sup>、碳排放(张兵兵等,2022)<sup>[10]</sup>、能源效率(Tu et al., 2022)<sup>[11]</sup>、创业水平(周文义等,2023)<sup>[12]</sup>、城市宜居度(金祥义等,2024)<sup>[13]</sup>等的影响,以及低碳城市试点对就业(王锋等,2022)<sup>[14]</sup>、碳减排(黄寰等,2023)<sup>[15]</sup>、企业可持续发展(吴宗法等,2024)<sup>[16]</sup>、外商直接投资(何兵等,2025)<sup>[17]</sup>、生态韧性(张明斗等,2025)<sup>[18]</sup>等的影响,仅有个别文献对两项政策叠加的“双试点”效应进行了实证检验。郝向举等(2023)<sup>[19]</sup>研究发现,低碳城市与智慧城市发展模式叠加促进了城市绿色低碳发展;高煜昕和高明(2025)<sup>[20]</sup>分析表明,智慧城市和低碳城市双试点通过促进技术创新提升了城市全要素能源效率;何雄浪和李楠新(2025)<sup>[21]</sup>的研究结果显示,智慧城市和低碳城市双试点通过降低能源消耗强度、推动数字经济发展、促进产业结构升级提升了城市绿色全要素生产率,并产生了“1+1>2”的协同增效效应。

鉴于缺乏关于智能化和绿色化协同促进数字经济发展的实证研究,本文以智慧城市试点和低碳城市试点为准自然实验,采用我国298个地级市2006—2023年的数据,运用多期双重差分模型分析智慧城市和低碳城市双试点对数字产业集聚的影响及其作用机制。本文的边际贡献主要包括:第一,基于政策协同的视角,将智慧城市和低碳城市两项试点纳入同一分析框架,阐释二者协同对数字产业集聚的促进

作用,为正确理解智能化和绿色化协同的数字经济促进效应提供了理论依据和经验证据。第二,探究了智慧城市和低碳城市双试点通过推动数字技术和绿色技术创新、增加人力资本积累促进数字产业集聚的传导路径,有助于深入认识数字产业集群的形成条件与发展动力。第三,通过对比双试点和单试点的政策效应验证了智慧城市试点与低碳城市试点叠加的协同增效作用,并从试点时长、经济水平和环境基础3个方面考察了双试点影响数字产业集聚的异质性,为充分发挥智能化和绿色化的协同作用以及有效促进数字产业集群化发展提供了经验借鉴和政策启示。

## 二、理论分析与研究假说

### 1. 智慧城市和低碳城市双试点对数字产业集聚的影响

智慧城市试点是一项由住房和城乡建设部主导,旨在推动新一代数智技术与城市治理、公共服务及产业发展深度融合的智慧化城市发展政策。国家智慧城市试点于2012年正式启动,住房城乡建设部分别于2013年1月、2013年8月、2015年4月公布了三批国家智慧城市试点名单,三批试点逐步形成了一个覆盖广泛、层次丰富的国家智慧城市建设实验体系,为数智技术在城市发展中的规模化应用提供了关键场景支撑。低碳城市试点政策是一项由国家发展和改革委员会主导的综合性环境规制与政策工具,旨在探索经济增长与碳排放脱钩的绿色化发展路径。国家低碳城市试点于2010年、2012年、2017年分三批推进,首批试点重在明确碳达峰目标(将低碳理念融入地方发展实践),第二批试点关注碳排放控制考核机制(推进低碳设施建设和政策创新),第三批试点深入探索城市全面绿色发展模式。三批低碳城市试点从概念探索走向峰值管控与系统治理,形成了覆盖东中西部、兼顾经济与生态差异的完整试点网络,为实现“双碳”目标和绿色发展提供了关键实践支撑及可复制推广的低碳发展模式。

智慧城市试点政策提出了“建设城市数据平台与算力设施”的要求以及“智慧政务”“智能交通”等场景建设任务,推动试点城市积极构建低成本公共数据平台与算力底座,并将大数据、人工智能等数智技术广泛应用于城市建设场景中。这一方面,改善了数字企业创业和发展环境,降低了数字企业创新的成本和风险,有助于试点城市形成吸引数字企业集聚的“数据-市场-制度”三重优势;另一方面,释放出数字产业发展利好的市场信号,能够吸引数字企业进入并形成虹吸效应,进而产生数字产业集聚效应。低碳城市试点政策不仅提出了碳减排目标,还明确了“建立低碳排放产业体系”与“建立温室气体排放统计体系”等要求,促使试点城市企业积极进行数字化转型,并增强了试点城市进行数字化智能化监测和管理的需求,为相关数字企业发展拓展了市场空间。同时,数字产业通常具有低碳属性,是低碳城市试点城市重点鼓励和支持的发展领域;而且,低碳城市建设带来的生态环境改善优化了营商环境,有助于吸引数字企业进入。因此,低碳城市试点通过创造数字化需求和刚性约束产生的挤出效应,引导生产要素与市场机会偏向数字经济领域,从而催化数字产业的空间集聚与集群化发展(何雄浪等,2025)<sup>[21]</sup>。

智慧城市试点聚焦数字化、智能化转型,低碳城市试点政策强调绿色化、低碳化发展,两者均指向资源的高效配置与可持续发展,内在目标具有高度一致性。智慧城市试点和低碳城市试点均能促进试点城市的数字产业集聚,两项政策叠加则能激发智能化与绿色化的协同效应,更有效地促进数字产业集聚。智慧城市试点通过数智基建投资、产业互联网扶持等形成对数字产业的吸引力,而低碳城市试点通过碳排放控制、产业调整等形成对高碳传统产业的挤出压力,二者合力引导资本、人才等要素向数字经济和绿色经济领域汇聚,为数字产业集聚与集群化发展奠定要素基础。同时,智慧城市试点和低碳城市试点在供需两端形成良性互动,持续激发数字产业集聚的内生动力。智慧城市通过研发支持、场景开

放、平台搭建等措施不断强化数字技术的供给能力,低碳城市设定的减排目标与环境规制催生出对大数据监测、人工智能优化、数字孪生等数字技术的刚性需求,供给支撑与需求牵引相互促进,拓宽了数字技术应用场景、加速了数字成果转化,进而推动专业化、垂直化的数字产业集聚。此外,智慧城市试点推动5G网络、数据中心、工业互联网等数字基础设施集约化建设与互联互通,使地理邻近的企业能够共享算力、网络与平台资源,形成成本分摊与规模经济效应(谭伟杰等,2024)<sup>[22]</sup>;低碳城市试点则激发数字技术创新需求,与智慧城市推动的数据要素流通及平台建设相结合,促使数据、技术、人才与资本在试点城市高密度交汇;基础设施的规模经济与企业间的知识协同相互强化,共同构成对数字企业区位选择的吸引力,进而推动数字产业在双试点城市集聚。

基于上述分析,本文提出假说 H1:智慧城市和低碳城市双试点显著促进了双试点城市的数字产业集聚,且双试点的政策效应大于单试点的政策效应。

## 2. 智慧城市和低碳城市双试点促进数字产业集聚的路径

(1) 数字技术创新效应。智慧城市试点通过建设数字基础设施、开放数据平台和提供制度性激励,降低了数字技术研发与应用的成本与不确定性,从供给侧为数字技术创新活动提供了必要支持(韩先锋等,2025)<sup>[23]</sup>。低碳城市试点通过推进产业结构绿色升级和清洁生产转型,创造出对数字技术与智能化服务的精准需求(尤其是在能源管理、排放监测、生产流程优化等领域),这种需求侧的直接拉动为企业进行数字技术创新提供了明确的市场导向与商业回报预期(刘婷祎等,2025)<sup>[24]</sup>。智慧城市和低碳城市双试点形成的协同效应能够有效促进双试点城市的数字技术创新,而数字技术创新可通过创造新的市场需求、降低企业协作成本、构建技术生态优势等驱动数字产业集聚。数字技术创新不仅会加速高素质人力资本与研发资源的空间集聚,还有利于构建以实际应用场景为导向的数字技术创新区域。在这一区域中,持续涌现的数字技术创新成果通过网络得以快速扩散、迭代与应用,使区域数字产业的核心竞争力持续提升,从而吸引更多相关数字企业入驻,最终形成以技术优势为基础、以数字产业集聚为特征的良好循环空间格局(赵放等,2024)<sup>[25]</sup>。

由此,本文提出假说 H2:智慧城市和低碳城市双试点通过推动数字技术创新促进双试点城市的数字产业集聚。

(2) 绿色技术创新效应。智慧城市和低碳城市双试点为绿色技术创新提供了有力的制度支持和优越的发展环境。智慧城市试点通过布局数字基础设施加速本地数字资本沉淀、数字技术迭代与数字人才储备,为绿色技术创新提供了核心要素供给,并通过完善数字平台与创新生态降低绿色技术研发、交易与迭代的成本与风险(Zou et al., 2023; Han et al., 2024; Xu et al., 2024)<sup>[26-28]</sup>。低碳城市试点通过环境规制倒逼绿色技术研发,并与人工智能、大数据等技术深度融合,催生智慧能源管理、碳监测等新兴数字应用场景,直接拉动了绿色技术的市场需求(辛雅儒等,2024)<sup>[29]</sup>;同时,低碳城市试点通过强化环境规制与优化营商环境,为绿色创新提供了持续动力和良好条件。智慧城市试点和低碳城市试点叠加直接推动绿色技术创新发展,而绿色技术的创新突破又会创造出对更高阶数字要素(如智能传感、碳核算系统)的需求(徐翔等,2025)<sup>[30]</sup>,从而促进数字产业进一步集聚。绿色技术创新通过引导数字资本、技术与人才向绿色领域集聚,形成数字要素配置的虹吸效应,使依赖高密度人才、技术与资本的数字产业能够更高效地利用绿色技术创新的知识溢出(屠西伟等,2025)<sup>[31]</sup>,从而吸引能够适配低碳转型需求的高质量数字企业进入,最终实现数字产业的高水平集聚。

由此,本文提出假说 H3:智慧城市和低碳城市双试点通过推动绿色技术创新促进双试点城市的数

字产业集聚。

(3) 人力资本积累效应。人力资本是凝聚在劳动者身上的知识、技能、健康状况和价值创造力, 其积累是推动技术进步、产业升级与经济增长的核心能动要素。智慧城市和低碳城市试点通过构建“智慧创新”与“绿色宜居”的双重优势, 使双试点城市形成独特的人力资本吸引与增值机制, 进而驱动数字产业集聚。智慧城市试点通过打造“互联网+”创新生态与智能化公共服务体系, 不仅直接为数字产业提供了基础设施与应用场景, 还通过优化创新环境与实现产学研协同育人等增强了高技能人才的留存率与专业化供给。低碳城市试点以环境规制与经济激励为手段, 推动产业绿色转型与生态环境改善, 显著提升城市的绿色化与宜居度, 能够更好地满足高素质人才对生活品质日益增长的偏好, 从而吸引人才流入(吕鑫科等, 2023)<sup>[32]</sup>。智慧城市试点和低碳城市试点叠加共同塑造环境友好、服务高效、创新活跃的城市发展范式, 使试点城市成为高技能人力资本的“引力中心”(何雄浪等, 2024)<sup>[33]</sup>。人力资本的持续汇集为数字产业发展提供了核心创新要素与知识溢出源泉, 降低了数字企业的创新与招聘成本, 进而通过规模效应与网络效应吸引更多数字企业集聚, 最终形成“政策引导-人才汇聚-产业集聚-创新强化”的良性循环, 有效驱动区域数字产业集聚。

由此, 本文提出假说 H4: 智慧城市和低碳城市双试点通过增加人力资本积累促进双试点城市的数字产业集聚。

### 三、实证研究设计

#### 1. 基准模型构建

本文采用多期双重差法检验智慧城市和低碳城市双试点对数字产业集聚的影响, 设定基准模型如式(1)所示:

$$DIA_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DID_{it} + \gamma Controls_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, 下标  $i$  和  $t$  分别代表城市和年份, 被解释变量 ( $DIA_{it}$ ) 为城市  $i$  在  $t$  年的数字产业集聚度, 核心解释变量 ( $DID_{it}$ ) 为双试点政策的虚拟变量 (成为智慧城市和低碳城市双试点城市当年及以后年度取值为 1, 否则取值为 0),  $Controls_{it}$  代表控制变量,  $\lambda_t$  表示年份固定效应,  $\mu_i$  表示城市固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

(1) 城市数字产业集聚度的测算。参考张兵兵等 (2022)<sup>[10]</sup>、刘婷玮和李照晗 (2025)<sup>[24]</sup> 的研究, 采用区位熵指标衡量城市数字产业集聚水平, 计算公式为:  $DIA_{it} = \frac{employed_{it}/employ_{it}}{\sum employed_{it}/\sum employ_{it}}$ 。其中,  $employed_{it}$  为  $i$  城市  $t$  年的数字产业从业人员数量,  $employ_{it}$  为  $i$  城市  $t$  年的就业总人数。

(2) 控制变量的选取。参考焦焘等 (2023)<sup>[4]</sup>、何雄浪和李楠新 (2025)<sup>[21]</sup>、屠西伟和史丹 (2025)<sup>[31]</sup> 的研究, 采用以下控制变量: 一是经济发展水平 ( $PGDP$ ), 用人均 GDP 的自然对数值衡量; 二是金融发展水平 ( $FINDEV$ ), 用金融机构存贷款余额占 GDP 比重衡量; 三是对外开放程度 ( $OPEN$ ), 用外商直接投资额与 GDP 之比衡量; 四是政府支持力度 ( $GOVSUP$ ), 用财政科技支出占预算支出比重衡量; 五是市场化水平 ( $MKTZ$ ), 用王小鲁等 (2025)<sup>[34]</sup> 的市场化指数衡量; 六是城镇化水平 ( $URB$ ), 用非农业人口与总人口之比衡量。

#### 2. 机制检验方法

在式(1)的基础上, 构建中介效应模型如式(2)和式(3)所示:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \gamma Controls_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$DIA_{it} = \delta_0 + \delta_1 DID_{it} + \delta_2 M_{it} + \gamma Controls_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中,  $M_{it}$  为中介变量, 其他变量同式(1)。根据前文理论分析, 选取以下中介变量: 一是数字技术创新( $DTI$ ), 参考赵放等(2024)<sup>[25]</sup>的研究, 采用数字技术专利申请数(对数化处理)衡量城市数字技术创新水平; 二是绿色技术创新( $GTI$ ), 参考玉茹等(2025)<sup>[35]</sup>的方法, 用绿色专利申请数(对数化处理)衡量城市绿色技术创新水平; 三是人力资本( $HC$ ), 借鉴谭燕之等(2025)<sup>[36]</sup>的做法, 采用普通高等学校在校生人数与总人口之比衡量。

### 3. 样本选择与数据处理

基于数据的可得性和完整性, 本文以 2006—2023 年我国 298 个地级市为研究样本, 各变量的原始数据来自相应年度的《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及 EPS 数据库, 部分缺失值采用插值法予以补全。主要变量的描述性统计结果见表 1。从数字产业集聚来看, 2006 年, 高集聚区呈零散分布, 主要集中于长三角、珠三角、京津等沿海经济中心; 2014 年, 高集聚区开始扩散, 在中部省会城市形成新的集聚节点; 2023 年, 高集聚区逐渐连片发展, 呈现出“东部引领, 中西部崛起, 带状连绵与多中心协同”的数字产业集聚格局。进一步比较处理组与控制组的数字产业集聚态势, 2014—2023 年处理组的数字产业集聚度增幅(0.082)高于同期控制组的增幅(0.059), 初步表明双试点政策对处理组城市的数字产业集聚产生了积极影响。

表 1 主要变量的描述性统计结果

变量类型	变量名称	变量符号	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	数字产业集聚度	$DIA$	5 364	0.697	0.645	0.000	6.899
核心解释变量	智慧低碳双试点	$DID$	5 364	0.072	0.258	0	1
中介变量	数字技术创新	$DTI$	5 364	5.014	2.403	0.000	12.164
	绿色技术创新	$GTI$	5 364	4.403	1.972	0.000	10.372
	人力资本	$HC$	5 364	0.018	0.018	0.001	0.120
控制变量	经济发展水平	$PGDP$	5 364	10.516	0.714	7.995	12.486
	金融发展水平	$FINDEV$	5 364	2.193	1.352	0.000	21.301
	对外开放程度	$OPEN$	5 364	1.443	1.755	0.000	12.878
	政府支持力度	$GOVSUP$	5 364	0.015	0.015	0.001	0.079
	市场化水平	$MKTZ$	5 364	11.402	3.150	3.037	22.210
	城镇化水平	$URB$	5 364	0.536	0.166	0.012	1.000

## 四、实证结果分析

### 1. 平行趋势检验与基准回归

使用双重差分模型进行政策效应分析需要满足事前平行趋势假设, 即在政策实施前处理组和控制组应具有相似的演变趋势。由图 1 可知, 在双试点政策实施之前, 年份虚拟变量系数的 90% 置信区间均包含 0, 表明处理组和控制组的数字产业集聚度不存在显著差异, 支持平行趋势假设; 而在双试点政策实

施之后,从第3期开始,年份虚拟变量系数显著为正,表明双试点的政策效应显著,但其对数字产业集聚的促进作用具有一定滞后性。

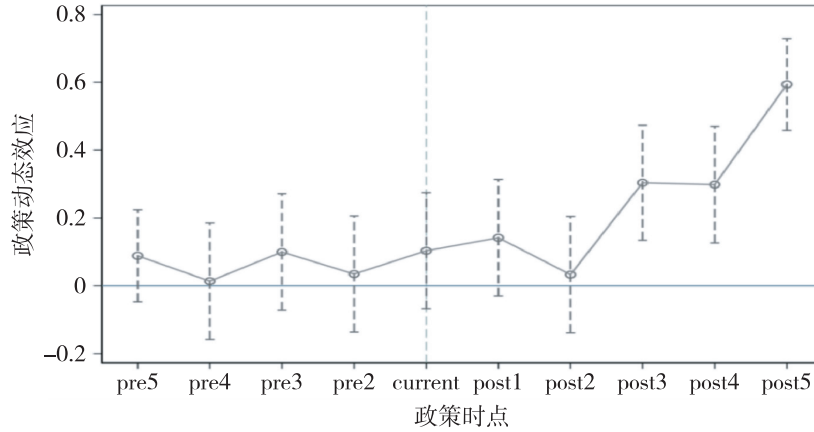


图1 平行趋势检验结果

基准回归结果见表2的列(1)和列(2),无论是否加入控制变量,*DID*的回归系数均显著为正,表明智慧城市和低碳城市双试点显著促进了双试点城市的数字产业集聚。为进一步验证双试点政策对数字产业集聚的促进作用优于单试点政策,构建智慧城市单试点政策虚拟变量(*SC*,成为智慧城市试点城市当年及以后年度取值为1,否则取值为0)和低碳城市单试点政策虚拟变量(*LCC*,成为低碳城市试点城市当年及以后年度取值为1,否则取值为0),并分别进行多期双重差分检验,回归结果见表2的列(3)和列(4)。

表2 基准回归结果

变量	<i>DIA</i>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DID</i>	0.276***(7.401)	0.297***(7.931)		
<i>SC</i>			0.056**(2.087)	
<i>LCC</i>				0.158***(5.974)
<i>PGDP</i>		0.077*(1.838)	0.081*(1.928)	0.101**(2.396)
<i>FINDEV</i>		0.013(1.190)	0.010(0.920)	0.016(1.395)
<i>OPEN</i>		-0.011*(-1.750)	-0.011*(-1.782)	-0.006(-0.908)
<i>GOVSUP</i>		4.447*** (5.233)	4.651*** (5.440)	4.349*** (5.093)
<i>MKTZ</i>		-0.064***(-7.329)	-0.060***(-6.856)	-0.059***(-6.748)
<i>URB</i>		-0.381***(-3.271)	-0.365***(-3.110)	-0.355***(-3.039)
常数项	0.677***(99.290)	0.716(1.560)	0.633(1.368)	0.360(0.782)
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	5 364	5 364	5 364	5 364
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.521	0.531	0.526	0.529

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,括号内为*t*值,下表同。

SC 和 LCC 的回归系数均显著为正, 但明显小于 DID 的回归系数, 表明智慧城市试点和低碳城市试点都显著提升了试点城市的数字产业集聚水平, 而且两项试点叠加能够相互强化对方对数字产业集聚的促进作用, 从而产生“1+1>2”的政策协同效应。由此, 本文提出的假说 H1 得到验证。

## 2. 稳健性检验

(1) 安慰剂检验。本文通过随机分配处理组和控制组构建伪政策变量, 重复 500 次进行安慰剂检验。由图 2 可知, 伪政策变量系数估计值正态分布在 0 附近, 且大部分系数估计值的  $P$  值大于 0.1, 而基准回归的系数(0.297)明显属于异常值, 符合安慰剂检验的预期, 表明基准回归得到的政策效应是除智慧城市和低碳城市双试点之外的其他因素导致的可能性很低。

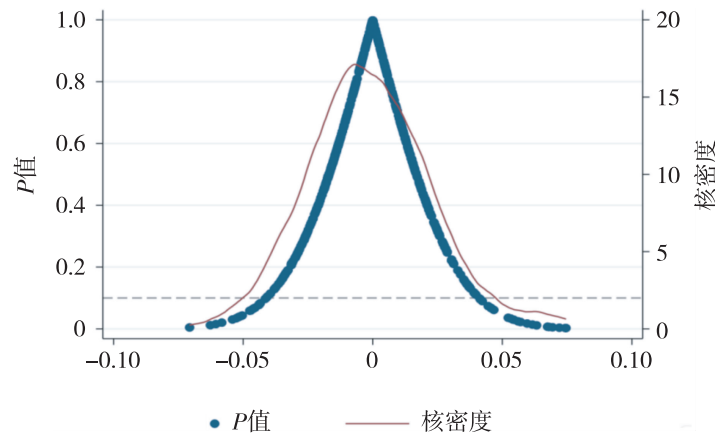


图 2 安慰剂检验结果

(2) PSM-DID 检验。为缓解处理组城市与控制组城市存在系统差异带来的样本选择偏误, 通过倾向匹配得分法(PSM)进行样本匹配。以控制变量为协变量进行 LOGIT 回归, 运用 1:1 最邻近距离法匹配样本, 匹配后的样本通过了平衡性检验, 有效解决了样本自选择问题。采用匹配后的样本重新进行基准回归, 检验结果见表 3 的列(1), DID 的回归系数显著为正, 表明在缓解样本自选择等内生性问题后, 双试点政策实施显著提升了双试点城市数字产业集聚水平的结论依然成立。

表 3 稳健性检验结果

变量	DIA				
	PSM-DID 检验 (1)	解释变量滞后一期 (2)	控制相关政策影响 (3) (4)		数据缩尾处理 (5)
DID	0.150*(1.759)		0.282*** (7.594)	0.294*** (7.909)	0.178*** (6.365)
L1. DID		0.316*** (8.209)			
BN			0.133*** (5.189)		
ET				0.007 (0.194)	
观测值	1 262	5 066	5 346	5 364	5 364
R <sup>2</sup>	0.443	0.539	0.534	0.531	0.586

注: 所有模型均控制了控制变量和城市及年份固定效应, 限于篇幅, 控制变量和常数项估计结果略, 下表同。

(3) 解释变量滞后一期处理。考虑到智慧城市和低碳城市双试点与数字产业集聚之间可能存在互为因果关系, 对核心解释变量 DID 进行滞后一期处理后重新进行检验, 回归结果见表 3 的列(2)。滞后一期的双试点政策变量对数字产业集聚的影响依旧显著为正, 表明基准回归结果具有稳健性。

(4) 控制相关政策影响。考虑到同期实施的相关试点政策可能对基准回归结果产生干扰, 分别在基准模型中增加“宽带中国”示范政策(BN)和碳排放权交易试点政策(ET)的虚拟变量重新进行检验, 回归结果见表 3 的列(3)和列(4)。DID 的回归系数仍然显著为正, 再次表明基准回归结果是稳健的。

(5) 数据缩尾处理。为避免异常值和极端值对回归结果产生干扰, 对所有连续变量进行上下 1% 的缩尾处理后重新进行检验, 回归结果见表 3 的列(5)。DID 的回归系数还是显著为正, 进一步验证了本文分析结果的稳健性。

### 3. 机制检验

机制检验结果见表 4。模型(2)的检验结果显示, 智慧城市和低碳城市双试点对中介变量(数字技术创新、绿色技术创新、人力资本)均具有显著正向影响, 即双试点政策实施显著提升了双试点城市的数字技术创新、绿色技术创新和人力资本水平; 模型(3)的检验结果显示, 模型(1)(即基准模型)加入中介变量后, 中介变量的回归系数显著为正, DID 的回归系数依然显著为正, 但小于基准回归的系数, 表明中介变量发挥了显著的部分中介作用。由此, 假说 H2、H3、H4 得到验证, 智慧城市和低碳城市双试点通过推动数字技术和绿色技术创新、增加人力资本积累 3 条路径促进了双试点城市的数字产业集聚。同时推进智慧城市和低碳城市建设, 通过完善数字基础设施降低创新协作成本与信息壁垒, 通过知识溢出与网络效应形成自我强化的创新循环生态, 通过营造智慧创新与绿色宜居的环境吸引高技能人才集聚, 能够有效推动数字技术和绿色技术创新、显著增加人力资本积累, 从而为数字产业发展提供核心要素(技术与人才)支撑与知识溢出网络, 形成“要素引领-产业集聚”良性循环, 促进数字产业集聚和集群化发展。

表 4 机制检验结果

变量	数字技术创新效应		绿色技术创新效应		人力资本积累效应	
	DTI	DIA	GTI	DIA	HC	DIA
DID	0.090** (1.990)	0.294*** (7.926)	0.092** (2.404)	0.289*** (7.819)	0.002*** (5.821)	0.277*** (7.463)
DTI		0.031*** (2.717)				
GTI				0.084*** (6.216)		
HC						8.374*** (6.747)
观测值	5 364	5 364	5 364	5 364	5 364	5 364
R <sup>2</sup>	0.950	0.533	0.946	0.536	0.926	0.536

### 4. 进一步的讨论: 异质性分析

(1) 试点时长异质性。试点的政策效应往往会随着试点时长的推进而存在差异性。对此, 本文分别检验智慧城市和低碳城市双试点政策实施的短期(0~2年)、中期(3~5年)和长期(5年以上)效应, 回归结果见表 5。短期政策效应不显著, 中、长期政策效应在 1% 的水平上显著, 且长期政策效应(0.671)明显高于中期政策效应(0.189)。在智慧城市和低碳城市试点初期, 由于存在较强的路径依赖和巨大的转

型成本,政策效应难以显现;随着试点的持续推进,政策优化、主体适应及内生动力释放使政策效应逐步显现并不断增强。因此,智慧城市和低碳城市双试点政策实施时间越长,其对数字产业集聚的促进作用也越强。

表 5 试点时长异质性分析结果

变量	DIA		
	短期	中期	长期
<i>DID</i>	0.043(1.137)	0.189*** (4.693)	0.671*** (14.041)
观测值	5 099	5 099	5 124
$R^2$	0.673	0.642	0.575

(2)经济水平异质性。根据城市经济发展水平(人均 GDP)的中位数将样本划分为“发展水平较低”和“发展水平较高”两组,分组检验结果见表 6 的列(1)和列(2)。智慧城市和低碳城市双试点显著促进了经济发展水平较高城市的数字产业集聚,但对经济发展水平较低城市数字产业集聚的影响不显著。其原因可能在于,经济发展水平较高的城市具备更强的资源集聚能力,双试点政策的实施进一步强化了其数字资源的虹吸效应,并通过要素集聚的良性循环为数字产业集聚提供了更好的外部环境,能够吸引汇聚更多的数字企业进入。而经济发展水平较低的城市对数字资源的集聚力较弱,双试点在短期内难以产生显著的虹吸效应。

(3)环境基础异质性。借鉴祁毓等(2024)<sup>[37]</sup>的研究,以  $PM_{2.5}$  浓度作为衡量城市环境基础的代理变量,根据其中位数将样本划分“污染程度较低”和“污染程度较高”两组,分组检验结果见表 6 的列(3)和列(4)。智慧城市和低碳城市双试点显著促进了环境基础较好(污染程度较低)城市的数字产业集聚,但对环境基础较差(污染程度较高)城市数字产业集聚的影响不显著。可能的原因是,污染程度较高的地区发展往往更多地依赖污染较大的传统产业,需优先进行产业转型升级,并承担传统产业绿色转型的巨额成本,这会挤占投向数字产业的资源与政策注意力,从而制约双试点对数字产业集聚的促进作用。

表 6 经济水平和环境基础异质性分析结果

变量	DIA			
	经济水平异质性		环境基础异质性	
	发展水平较低	发展水平较高	污染程度较低	污染程度较高
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DID</i>	0.022(0.424)	0.270*** (3.747)	0.678*** (8.178)	0.036(0.787)
观测值	2 682	2 682	2 683	2 681
$R^2$	0.626	0.602	0.547	0.652

## 五、结论与启示

本文将智慧城市试点和低碳城市试点作为准自然实验,基于我国 298 个地级市 2006—2023 年的面板数据,以从业人员区位熵衡量城市数字产业集聚度,采用多期双重差分模型考察智能化和绿色化协同对数字产业集聚的影响,分析结果表明:第一,2006—2023 年我国数字产业集聚呈现出“东部引领,中西部崛起,带状连绵与多中心协同”的空间演化格局。第二,智慧城市和低碳城市双试点显著促进了双试

点城市的数字产业集聚,且双试点的政策效应大于单试点。第三,数字技术创新、绿色技术创新、人力资本发挥了显著的部分中介作用,即智慧城市和低碳城市双试点通过推动数字技术创新和绿色技术创新、增加人力资本积累3条路径促进了双试点城市的数字产业集聚。第四,在试点时间较长(3年以上)、经济发展水平较高、环境基础较好(污染程度较低)的城市,智慧城市和低碳城市双试点显著促进了数字产业集聚;而在试点时间较短、经济发展水平较低、环境基础较差的城市,双试点对数字产业集聚的影响不显著。基于以上研究结论,本文得到以下启示:

第一,优先推进“智慧城市”与“低碳城市”双试点协同落地。在申报或设计试点政策时,应鼓励“智能+绿色”政策打包实施,由相关部门联合制定一体化行动方案,在园区规划、项目招商、考核指标中同步体现数字化与低碳化要求,避免政策割裂,充分发挥“1+1>2”的政策协同效应。第二,重点针对技术创新与人力资本积累构建专项精准支持体系。可设立“数字绿色融合创新基金”,重点支持人工智能节能、工业互联网降碳等融合技术研发,并对相关领域高端人才给予税收优惠、安居补贴等激励;同时,推动高校开设“数字碳中和”等交叉学科,定向培养既懂数字技术又熟悉绿色管理的复合型人才。第三,实施差异化的渐进推进策略。对经济发达、环境基础好的城市,可全面推行智能化和绿色化,高标准建设数字低碳产业集群;对传统工业比重高、污染较大的城市,应设定“先绿色化、再数字化”的过渡期,前期通过专项补贴引导企业完成节能改造,再逐步导入智慧城市建设项目;对发展水平较低但潜力较大的地区,重点加强数字基建与可再生能源设施布局,为中长期数字产业集聚储备条件。第四,进一步强化区域联动与功能分工导向。对已形成高值连绵带的东部地区,要着重推动绿色算力、碳数据服务等高端环节集聚,深化智慧与低碳的政策融合;对中西部节点城市,则应依托其能源或产业基础,重点支持数字技术赋能传统产业绿色转型,建设特色化、互补性的数字低碳产业集群,避免同质竞争,从而在全国范围构建梯次衔接、协同联动的数字产业空间新格局。

#### 参考文献:

- [1] 司聪,任保平.“十五五”时期完善促进数字产业化和产业数字化政策体系的路径[J].财经问题研究,2026(1):3-15.
- [2] 赵放,张森.数字产业地理集聚与虚拟集聚融合推进中国式现代化[J].山西大学学报(哲学社会科学版),2025,48(1):27-35.
- [3] 李栋,张映芹,李开源.中国省际数字经济核心产业集聚度、非平衡性与动态演进[J].统计与决策,2023,39(18):103-108.
- [4] 焦燠,郭金花,赵国浩.数字产业集聚、地方政府竞争与城市绿色经济效率[J].经济经纬,2023,40(6):51-60.
- [5] Wang X, Diao Y, Han D. Does digital industry agglomeration bring substantive green innovation?—Empirical analysis of SPDM and PTR models based on spatiotemporal dual fixation[J]. Managerial and Decision Economics, 2024, 45(3): 1379-1394.
- [6] 孙娜,陶克涛,杨世伟,等.中国数字产业集聚水平的演变特征与提升策略[J].区域经济评论,2024(1):31-42.
- [7] 叶堂林,刘哲伟,张京亮.数字产业空间集聚影响因素探析[J].科技进步与对策,2023,40(15):75-82.
- [8] 鞠晓生.推进产业智能化绿色化融合化 大力推动现代化产业体系建设[J].红旗文稿,2023(17):34-36.
- [9] 宋德勇,李超,李项佑.新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J].中国人口·资源与环境,2021,31(11):155-164.
- [10] 张兵兵,陈思琪,曹历娟.城市因“智慧”而低碳吗?——来自智慧城市试点政策的探索[J].经济评论,2022(6):132-149.

- [11] Tu Z, Kong J, Shen R. Smart city projects boost urban energy efficiency in China[J]. Sustainability, 2022, 14 (3): 1814.
- [12] 周文义,陶一桃. 智慧城市建设能提升创业水平吗?——基于双重差分模型的检验[J]. 统计研究, 2023, 40 (8): 122-134.
- [13] 金祥义. 智慧城市建设与城市宜居度——基于智慧城市试点的准自然实验[J]. 经济经纬, 2024, 41 (1): 42-56.
- [14] 王锋,葛星. 低碳转型冲击就业吗——来自低碳城市试点的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022 (5): 81-99.
- [15] 黄寰,何广,肖义. 低碳城市试点政策的碳减排效应[J]. 资源科学, 2023, 45 (5): 1044-1058.
- [16] 吴宗法,翟一雯,曾宇飞洋. 低碳城市试点政策对企业可持续发展绩效的影响研究[J]. 上海经济研究, 2024 (11): 53-64, 91.
- [17] 何兵,于秀秀. 促进还是抑制:低碳城市试点对外商直接投资的影响[J]. 西部论坛, 2025, 35 (1): 51-64.
- [18] 张明斗,杨雨欣. 低碳城市建设对生态韧性的影响效应与机制——基于低碳城市试点政策的准自然实验[J]. 华东经济管理, 2025, 39 (4): 69-81.
- [19] 郝向举,何爱平,薛琳. 城市发展模式叠加与绿色低碳发展——基于智慧城市与低碳城市协同减排的实证分析[J]. 城市问题, 2023 (7): 93-103.
- [20] 高煜昕,高明. 低碳城市与智慧城市双试点政策对全要素能源效率的影响效应研究[J]. 经济体制改革, 2025 (2): 76-84.
- [21] 何雄浪,李楠新. 低碳城市与智慧城市双试点提升绿色全要素生产率研究[J]. 西部论坛, 2025, 35 (4): 83-97.
- [22] 谭伟杰,胡润哲. “智”巢何以引凤:智慧城市建设对地区创业活跃度的影响[J]. 经济与管理研究, 2024, 45 (1): 75-93.
- [23] 韩先锋,勾亚楠,董明放. 数智政策协同对城市数字技术创新的影响研究[J]. 科研管理, 2025, 46 (7): 60-69.
- [24] 刘婷祯,李照晗. 低碳城市建设与城市数字技术创新之间的关系研究——基于低碳试点政策的准自然实验[J]. 科学决策, 2025 (2): 107-122.
- [25] 赵放,李文婷,马婉莹. 数据要素市场化能否促进数字产业集聚——来自准自然实验的证据[J]. 浙江学刊, 2024 (3): 143-152.
- [26] Zuo Y, Zhou Y P. Research on influencing factors and configuration effects of green innovation efficiency of patent-intensive industry[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2023, 10 (6): 1-18.
- [27] Han D, Wu H, Lu K. The effect of data element agglomeration on green innovation vitality in China[J]. Humanities & Social Sciences Communications, 2024, 11 (1): 1305.
- [28] Xu J, Hu W. How do external resources influence a firm's green innovation? a study based on absorptive capacity[J]. Economic Modelling, 2024, 133: 106660.
- [29] 辛雅儒,申晨,冯锐,等. 机器人应用、CEO绿色经历与企业绿色技术创新[J]. 经济管理, 2024, 46 (7): 129-145.
- [30] 徐翔,王星,李涛. 数字产业集聚的碳减排效应:来自城市层面的证据[J]. 改革, 2025, (11): 84-99.
- [31] 屠西伟,史丹. 数字产业集聚与企业能源效率改进[J]. 数量经济技术经济研究, 2025, 42 (10): 70-89.
- [32] 吕鑫科,刘程军. 智慧城市试点政策的人力资本集聚效应研究[J]. 上海管理科学, 2023, 45 (5): 51-56.
- [33] 何雄浪,李楠新. 低碳城市建设能显著吸引人口流入吗?——来自中国低碳城市试点工作的经验证据[J]. 城市与环境研究, 2024 (1): 79-98.
- [34] 王小鲁,樊纲,李爱莉. 中国分省份市场化指数报告(2024) [M]. 北京:中国经济出版社, 2025.
- [35] 王玉茹,王昭婷,王盈霏. 绿色技术创新、产业集聚和绿色经济发展[J]. 经济问题, 2025 (4): 101-110.
- [36] 谭燕芝,施伟琦,王宇航. 省域市场主体创造性破坏率的时空分异及收敛性——基于中国工商企业注册数据的考察[J]. 经济地理, 2025, 45 (11): 48-58.

[37] 祁毓, 杨春飞, 陈诗一. 绿色转型发展中的财政激励与协同治理——来自“山水工程”试点的证据[J]. 经济研究, 2024, 59 (10): 132-150.

## The Impact of Synergistic Intelligence and Green Development on Digital Industry Agglomeration: A Quasi-Natural Experiment Based on the Dual Pilots of Smart Cities and Low-Carbon Cities

GAO Zhigang<sup>1a,2</sup>, HAN Ning<sup>1a</sup>, HAN Yanling<sup>1b</sup>

(1. a. School of Economics, b. School of Statistics and Mathematics, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, Xinjiang, China; 2. School of Economics, Xinjiang College of Science & Technology, Korla 841000, Xinjiang, China)

**Summary:** As effective policy tools for driving urban smart and green development, the Smart City Pilot and Low-Carbon City Pilot can improve resource allocation and the business environment in pilot cities, thereby synergistically driving the agglomeration of the digital industry towards these dual-pilot cities. Taking the Smart City Pilot and Low-Carbon City Pilot as quasi-natural experiments, using the location entropy of employees to measure the degree of urban digital industry agglomeration, and employing panel data from 298 prefecture-level cities in China from 2006 to 2023 for a multi-period difference-in-differences test, the analysis reveals that China's digital industry has developed an agglomeration pattern characterized by leadership of the eastern region, simultaneous rise of the central and western regions, belt-like continuous distribution, and multi-center coordination; the dual pilots of Smart City and Low-Carbon City significantly promote digital industry agglomeration in dual-pilot cities, and the policy effect strengthens with the duration of the pilots, with the effect of dual pilots being greater than that of single pilots; the dual pilots can promote digital industry agglomeration through three pathways: promoting digital technological innovation and green technological innovation, and increasing human capital accumulation; the dual pilots significantly promote digital industry agglomeration in cities with higher economic development levels and better environmental foundations, but their impact on cities with lower economic development levels and poorer environmental foundations is not significant. Therefore, it is necessary to deepen “intelligence + green” policy synergy and build a new pattern of gradient development for the digital industry with regionally differentiated strategies.

**Keywords:** smart city; low-carbon city; policy synergy; digital industry agglomeration; digital technological innovation; green technological innovation; human capital

**CLC number:** F293; F124.5

**Document code:** A

**Article ID:** 1674-8131(2026)02-0017-13

(编辑:刘仁芳;朱 艳)