

# 数字基建驱动绿色创新的效应与机制研究

——基于“宽带中国”战略的政策实验

孟醒 朱平芳

**内容提要:**推进以数字基础设施为代表的新型基础设施建设可以对城市的绿色创新发展产生重要影响并提供转型发展的新机遇。本文采用多期双重差分模型对中国278个城市在2010—2022年的面板数据进行实证分析,检验“宽带中国”战略对城市绿色创新的直接影响和作用机制。实证结果表明,“宽带中国”战略对试点城市的绿色专利申请数量和质量均有促进作用。机制检验结果表明,试点政策主要通过增强环境规制、促进产业结构升级和提升信息化水平影响城市的绿色创新水平。城市类型异质性分析结果表明,数字基础设施的建设对各类型试点城市的绿色创新数量均有促进作用,但是仅对东部地区、非资源型城市的绿色创新质量有显著提升;城市产业异质性分析结果表明,数字基础设施建设对数字产业、新能源产业的绿色创新发展起到了“数质齐升”的效果,有助于城市向绿色创新发展方向转型,进一步分析发现在绿色创新上仍存在“重数量、轻质量”的偏好,从而限制了对城市绿色全要素生产率的提升作用。

**关键词:**“宽带中国”战略 绿色创新 行业异质性 绿色创新结构 数字基础设施建设

**中图分类号:**F124.3;F283

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-7636(2025)01-0090-19

## 一、问题提出

当前,中国经济已进入高质量发展阶段,正在以新发展理念为引领加快培育新质生产力。在由“速度领跑”向“质效优先”转变的关键时期,作为绿色发展“内动力”的绿色创新扮演着至关重要的角色。绿色创新具有“绿色”和“创新”双重属性,既可基于清洁生产、节能技术有效降低环境污染与改善生态环境,又能通过技术变革培育经济增长新动能,助推高质量发展。“十四五”规划和党的二十大报告均强调加快高质量绿色创新发展的重要性与紧迫性,要支持绿色技术创新,发挥绿色技术创新在创新驱动和绿色发展领域的优势。城市是推动绿色技术创新发展和应用的核心载体,在此背景下对实现绿色创新发展的基础设施建设提出了新的要求。数字基础设施作为新型基础设施框架体系的重要组成部分,在传统网络信息基础设施的软硬件

收稿日期:2024-08-30;修回日期:2024-12-10

基金项目:国家社会科学基金一般项目“数字经济促进现代化产业体系建设的测度研究”(23BTJ015);国家自然科学基金面上项目“非线性分位数样本截距和选择模型的估计与应用——基于非参数筛分法(Sieve Method)”(72273091)

作者简介:孟醒 上海社会科学院数量经济研究中心博士研究生,上海,200235;

朱平芳 上海社会科学院数量经济研究中心研究员、博士生导师,通信作者。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

通信软件、设备、数据库建设的基础上,更强调技术的数字化特性、组合性和动态性,能够催生大量的创新应用和产业形态,为数字经济、战略性新兴产业提供所需的载体<sup>[1]</sup>。因此,科学回答数字基础设施建设能否有效赋能绿色创新、促进城市绿色转型显得尤为重要。

绿色创新作为一种驱动经济与环境协同发展的创造性活动,其核心在于通过新技术、新产品提升能源使用效率并减少污染排放,从而实现环境友好型发展。自布劳恩和韦德(Braun & Wield,2007)<sup>[2]</sup>首次提出绿色技术概念以来,学界对绿色创新的定义不断深化。齐绍洲等(2018)认为绿色创新可以带来能够减少环境污染的新技术和新产品,从而减少在生产过程中对高耗能原材料和高排放能源的使用<sup>[3]</sup>。本文关注现有文献对绿色创新影响因素的讨论。从外部环境来看,政府监督、环境规制约束等因素在推动绿色创新中发挥着重要作用<sup>[4]</sup>;从内在因素来看,组织认同、企业治理等因素也被证实对绿色创新产生显著影响<sup>[5-6]</sup>。克雷森齐等(Crescenzi et al.,2012)和查诺克等(Charnock et al.,2014)的研究均表明城市的基础设施建设会影响城市的创新 and 经济发展<sup>[7-8]</sup>。国内学者进一步研究发现在信息基础设施的基础上融合交通、电力等其他基建的建设投入对企业绿色技术创新的提升具有促进作用,但这一影响在不同地区和工业化水平上表现差异较大<sup>[9]</sup>。韩先锋等(2024)研究发现,绿色数据中心作为具有绿色技术的新型数字基础设施可以激发城市绿色创新活力,并取得实质性的绿色创新成果<sup>[10]</sup>。

本文关注的另一类文献侧重于考察政策激励对绿色创新的影响。基于智慧城市、创新型城市、跨境电商综合试验区等政策的研究为激发城市绿色创新提供了多角度的政策启示<sup>[11-13]</sup>。同时,现有文献都关注了政策试点通过影响企业行为进而推动绿色创新活动的开展,丰富了政策影响创新活动的具体作用机制。肖仁桥等(2023)基于低碳城市试点的准自然实验,证实了该政策提高了企业绿色创新积极性,并从企业规模和产权性质角度揭示了政策效应的异质性<sup>[14]</sup>。需要注意的是,政策对绿色创新的影响并非单一维度。以环保目标责任制为例,该政策以落实政府部门的环保责任目标和范围为主,陶锋等(2021)研究发现,该政策虽然提升了绿色专利的申请数量,但却导致绿色专利的质量出现明显下滑<sup>[15]</sup>。这一发现引发了对绿色创新数量与质量平衡的深入思考,强调在制定相关政策时需要综合考虑创新的多维度影响。

上述文献表明,绿色创新的发展受到经济趋势和政策环境的双重影响,而数字基础设施建设既体现了经济发展的宏观趋势,为绿色创新提供了新的动力,同时各类政策措施在不同程度上影响着绿色创新的数量和质量。数字基础设施在经济社会发展过程中具有重要的战略地位,可以起到支撑作用和引领作用。中国已经有较多政策推动带有数字化发展特征的基建项目,其中“宽带中国”战略的发布时间较早,政策效果受其他政策的影响较小,且涉及的范围更广,更适合评估数字基建驱动城市绿色创新的实际效果。尽管现有研究基于政策评估方法已经对“宽带中国”这一战略和相应的社会影响进行了探讨,但其对城市绿色创新数量和质量方面的作用,以及对城市绿色创新结构的进一步影响,仍然是一个亟待深入研究的领域<sup>[16]</sup>。

本文旨在通过构建理论分析框架,深入探讨“宽带中国”战略试点政策对城市绿色创新的影响,关注其对城市绿色创新数量增长和质量提升的双重效应,并在现有文献的基础上进一步分析作用机制,特别是结合城市层面和企业层面分析具体的作用渠道和相互影响。通过这一多维度的研究,本文不仅为数字经济时代加快推进城市经济绿色发展提供实证支持,也有效拓宽城市绿色创新活动影响因素的研究视角,特别是在创新数量与质量平衡发展方面提供了新的参考。

## 二、政策背景与理论分析

### (一) 政策背景

在全球数字化浪潮席卷而来的新时代,数字基础设施已然成为衡量国家信息化发展能力的关键指标。

截至2023年底,中国在数字化发展上取得了显著成就:5G基站总数达到337.7万个,光网城市覆盖所有地级市,算力规模跃居世界第二。与此同步,中国数字经济规模连续多年保持全球第二,从2012年的11万亿元攀升至2023年的56.1万亿元,在国内生产总值(GDP)中的占比从22%提升至40%以上,彰显了数字经济的蓬勃活力<sup>①</sup>。然而,在全球数字经济快速发展的大环境下,中国的数字基础设施建设与应用仍面临诸多挑战,如发展环境尚需完善、区域发展不平衡等。有研究指出,尽管西部地区的宽带渗透率与中部地区相近,但其对西部经济发展的推动效应尚不明显<sup>[17]</sup>。为更好地建设数字基础设施,实现数字基建与经济深度结合,“宽带中国”战略应运而生。根据国务院于2013年颁布的《“宽带中国”战略及实施方案》,工业和信息化部联合国家发展改革委分三批批复了117个城市(群)为“宽带中国”试点地区,开始了各城市升级改造数字基础设施的进程。该战略不仅着眼于现有数字基础设施的优化升级,更致力于提升对数字化发展成果的应用水平,促进东中西部及城乡地区宽带网络的协调发展。具体而言,战略强调利用适度超前规划的宽带网络推动应用创新,“深化宽带在各行业、各领域的集成应用,培育新型服务、新市场、新业态”;同时,“着力突破产业瓶颈”,“促进市场公平竞争和资源有效利用”;此外,“加快建立以企业为主体、市场为导向、产学研用紧密结合的技术创新体系,促进国内外优势资源的整合利用,提升自主创新能力”。现有研究发现“宽带中国”战略引领的数字基础设施建设发展能够释放巨大的创新驱动效应,拓展本地区高新技术产业发展与空间外延<sup>[18]</sup>,同时“宽带中国”战略可以大力推动城市发展数字经济<sup>[19]</sup>,以大数据、人工智能等为代表的新兴互联网技术以数字化的方式融入经济发展中,不仅可以减少信息的不对称性、降低监管成本,还可以促进经济发展、优化产业结构、促进创新发展等<sup>[20-21]</sup>。

在“宽带中国”战略的推动和地方绿色发展需求的双重驱动下,试点地区的宽带信息网络建设有望得到显著提升。随着各领域的数字化程度日益提高,数字基础设施作为新质生产力的重要组成部分,可以成为解决城市经济发展中要素流动受阻、发展效率低下等问题的关键一步。

## (二) 理论基础

现有研究指出,随着社会经济全面数字化转型,数字要素加速嵌入政府、市场的各个方面<sup>[1]</sup>,数字基础设施建设逐渐成为重要的新质生产力物质基础<sup>[22]</sup>。首先,“宽带中国”战略的基本目标就是显著提升城市的信息化水平,由信息化带来的资源配置效应可以显著增加各类主体的交流机会,提高各类生产要素、创新要素的配置效率,进而提升该地区的创新效率,最终体现为该地区绿色创新水平的提升。这不仅有助于增加绿色创新的数量,还能提高绿色创新成果的质量,改善城市绿色创新的结构特点,对城市创新和绿色发展产生直接的促进作用。

在“宽带中国”战略试点政策的支持下,试点城市着力于构建新一代数字基础设施,以匹配当前经济社会发展的需求,在此基础上还可以对未来经济、产业结构的发展方向起到指引作用。通过不断提高信息智能设备的普及率,提升城市内部的数字化水平,企业间、城市间、区域间会进行更多的互动和溢出<sup>[23]</sup>,加速对数字科技成果的应用,最终显著提升数字化水平。根据梅特卡夫法则,随着各类信息设备的使用规模不断扩大,可以降低数字化转型过程中相关投入的边际成本,而由相应硬件设施带来的边际收益会呈现不断增长的趋势。因此,数字基础设施建设可以大幅降低信息搜寻成本,加速各类知识、信息和数据的传播,产生技术报酬递增效应<sup>[24]</sup>,推动了绿色创新在数量上实现增长。

<sup>①</sup> 数据来源于国家数据局发布的《数字中国发展报告(2023年)》和中国信息通信研究院发布的《中国数字经济发展研究报告(2024年)》。

在万物互联时代,数字基础设施建设推动了大数据平台的形成与发展,使创新要素能够互联互通、自由高效地流动,由数字基础设施建设带来的信息化效应能够加速并优化城市内部研发投入要素的配置效率和创新效率<sup>[25]</sup>,从而提升绿色创新水平。绿色创新发展的实现需要来自产业界、学术界、政府等各类创新主体之间实现协同合作<sup>[26]</sup>。数字基础设施通过促进区域间、产业间各类创新要素的交换,增强了各类创新主体的交流合作,从而实现了城市绿色创新在质量上的提升。因此,各类数字经济生产力要素加速发展,为数字基础设施建设水平较好的城市注入新的创新动力。

基于上述分析,本文提出研究假设 H1:数字基础设施建设能够提高城市绿色创新的数量和质量。

### (三) 作用机制分析

基于上述理论基础和现有研究的结果,本文认为以“宽带中国”战略试点推动的数字基础设施建设可以从产业结构升级、数字化转型和环境规制效应三条路径影响城市的绿色创新。首先,以“宽带中国”战略为引领的数字基础设施建设会促使城市走向绿色创新发展的道路,作为城市管理者的政府会采取一系列手段来实现这一目标。波特假说认为适度的环境规制不仅可以提高生产效率,还能激发企业的创新活力<sup>[27]</sup>,实现环境友好型生产。因此,政府会通过提高现有环境规制强度等方法来促进绿色创新发展。其次,基于“宽带中国”战略的基本原则中包含了以适度超前的数字基础设施来服务产业发展,引导产业向高附加值、高级化水平发展的目标,城市中的传统产业可以在数字基建的帮助下实现绿色创新发展,同时在政府通过强化环境规制的大背景下,该城市的创新活力得以释放,会促使新的产业出现,最终实现产业结构的升级。最后,在城市不断建设超前数字基建的过程中,企业作为创新主体会主动适应发展趋势,在外部竞争压力和内部发展需求的共同作用下寻求数字化转型<sup>[28]</sup>。

#### 1. 环境规制强度效应

城市要实现绿色创新发展离不开政府的积极引导和适度奖惩,数字基建为政府提供了更丰富的手段与措施,使得政府可以通过监测城市生产生活产生的碳排放量来衡量当前绿色创新发展的效果。随着数字基础设施对产业发展的支撑作用日益凸显,数字基础设施对政府实施环境规制的影响主要体现在创新政府碳排放监管方式和促进生产方式的低碳转型两个方面。

数字基础设施建设为提升政府碳管理水平提供了契机,使得碳排放数据的统计与实时监测成为可能,从而推动政府碳排放管理能力的提升。通过对监测数据的高效采集、有效整合、公开共享和应用拓展,为政府制定碳减排政策提供了坚实的数据支撑。借助大数据平台,政府可以显著提升环保监察的执法效率<sup>[29]</sup>,迫使企业将更多资源投入高质量绿色创新领域,从而驱动城市绿色创新发展。数字基建也为企业建立生产与能源管理系统提供了可能。利用数据库、物联网等数字化技术优化生产流程,有效降低生产成本和能源消耗<sup>[30]</sup>,对能效的高标准约束,促使试点城市将更多资源配置到有助于降低能耗并产生经济价值的绿色创新上。当绿色创新带来的效益超过能源规制成本时,试点地区将更有动力进行绿色技术研发,进而触发“创新补偿”效应<sup>[31]</sup>。这种效应不仅能够抵消环境规制带来的短期成本,还能在长期推动企业竞争力的提升和可持续发展。

基于上述分析,本文提出研究假设 H2:数字基础设施建设可以通过提升环境规制强度提高城市的绿色创新的数量和质量。

#### 2. 产业结构升级效应

以“宽带中国”战略为引领的数字基础设施建设会不断推动城市脱离原有的落后产业结构,促使城市追

求绿色创新发展,对城市绿色创新的数量和质量产生了深远影响。数字基建对新一代数字信息技术的应用推动了各个产业积极使用数据这一新质生产力要素,让产业间具备了协作、共建、创新的能力<sup>[32]</sup>,不仅推动了传统制造业的更新换代,还强化了产业链协作,形成的更具韧性的产业链条为城市提供了经济弹性和可持续发展的基础,增强了城市适应变化和应对挑战的能力。这种稳定和可持续的发展基础为城市绿色创新创造了有利环境,有效地促进了绿色创新成果数量的增加。与此同时,在中央和地方政府的政策支持下,具有先导性的数字基础设施建设推动了对大数据、云计算、数字孪生等新型数字技术的落地应用,以数字化发展为企业加速了数据产业、虚拟现实产业、高端制造产业等新一代信息技术产业的发展,进而推动城市的产业结构向高附加值、高劳动生产率的方向不断发展。在这一过程中,多元化的创新主体和多层次的产业协同实现了集聚,促进了跨领域、跨行业开发出更加先进和高效的绿色技术解决方案,实现高质量的绿色创新<sup>[33-34]</sup>。此外,数字基础设施的完善还为绿色技术的研发、测试和应用提供了理想的平台,例如智能电网、智慧交通系统等都可以依靠先进的数字基础设施实现,能够直接减少能源消耗和环境污染,还为进一步的绿色创新提供了宝贵的数据和实践经验。

基于上述分析,本文提出研究假设 H3:数字基础设施建设可以通过产业结构升级效应提高城市绿色创新的数量和质量。

### 3. 企业数字化转型效应

企业作为城市实现绿色创新的重要主体,在城市整体通过数字基础设施建设以实现转型发展的背景下,会主动选择加速数字化发展。首先,在企业不断发展的需求和产业结构调整激烈竞争压力下,企业通过数字化转型可以更有效地管理资源。数字化过程中不断投入的数据要素可以将现有创新资源进行高效整合,实现资源的优化配置,有助于降低企业的运营成本,减少资源错配并提高资源利用效率,从而为绿色创新提供更加充裕、高效的资源积累<sup>[35]</sup>。其次,企业通过数字化转型可以提升技术吸收能力,在生产过程中加速尖端技术的研发,推动企业在产品设计、生产程序、能源管理等方面的绿色创新<sup>[36]</sup>。伴随着政策实施,城市需要购进大量新型的配套设施、产品与服务,这意味着试点城市将涌现更多、更新商业机会,吸引更多带有数字化特征的新型创业者。因此,数字化转型既能提高企业的创新风险接受度,增强企业抗风险能力,激发其加大对绿色创新活动的研发投入<sup>[37]</sup>,又可促使数字技术与能源开发、清洁生产 and 绿色制造等领域深度融合,提升企业绿色技术研发进程中的数字化含量,进而实现效率更高、质量更优的城市绿色创新发展。

基于上述分析,本文提出研究假设 H4:数字基础设施建设可以通过推动企业数字化转型提高城市绿色创新的数量和质量。

## 三、研究设计与变量选取

### (一) 模型设定

本文的目的是探究以“宽带中国”为核心的数字基础设施建设能否促进区域创新能力提升和产业转型发展,为了合理且稳健地评估政策效果,本文采用多期双重差分(time-varying DID)方法对政策效果进行识别。“宽带中国”试点政策始于2014年,并于2015年和2016年分批次逐步增加试点城市,本文参考贝克等(Beck et al., 2010)<sup>[38]</sup>的研究,设定控制城市个体效应和时间效应的多期 DID 模型,具体形式如下:

$$Y_{it} = \alpha_1 + \beta_1 policy_{it} + X'_{it}\gamma_1 + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标  $i$  表示第  $i$  个城市,  $t$  表示年份,被解释变量  $Y_{it}$  为绿色创新水平,从数量和质量两个方面进行衡量。解释变量  $policy_{it}$  为虚拟变量,本文重点关注  $policy_{it}$  的系数  $\beta_1$ , 该系数衡量数字基础设施对城市绿色创新情况的影响。 $X'_{it}$  表示控制变量向量。在进行实证回归时,本文加入时间固定效应  $\delta_t$  和城市固定效应  $\mu_i$ , 剔除时间趋势和其他不可观测因素带来的影响,确保结果的稳健性,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。估计时采用了地级市层面的聚类标准误。

为检验数字基础设施建设影响城市绿色创新发展的作用机制,参考江艇(2022)<sup>[39]</sup>的做法,本文设定如下模型以检验数字基础设施建设促进绿色创新的具体作用机制:

$$Z_{it} = \alpha_1 + \beta_1 policy_{it} + X'_{it} \gamma_1 + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,机制变量  $Z_{it}$  分别为环境规制强度( $ENV$ )、城市产业结构升级( $TS$ )和企业数字化转型程度( $Digital$ ),然后通过理论推导说明这些机制变量与城市绿色创新的关系和影响方向,对数字基础设施建设通过影响环境规制强度、产业结构升级和企业数字化转型进而促进城市绿色创新的传导链条进行检验。

## (二) 变量定义与描述性统计

本文选取的变量样本为 278 个地级市在 2010—2022 年的平衡面板数据。样本的时间范围需要兼顾政策发布时间和数据可得性,试点名单分三次于 2014 年、2015 年和 2016 年公布,为避免其他因素对政策效果的影响,本文确定 2010—2022 年为样本时间范围,并根据三批次“宽带中国”示范城市名单对样本进行分组,得到试点城市共 105 个,非试点城市共 173 个。实证研究涉及的其他变量来自《中国城市统计年鉴》《中国信息产业年鉴》、各地级市统计年鉴、深圳希施玛数据科技有限公司 CSMAR 中国经济金融研究数据库等,部分缺失的数据通过插值补充得到。

### 1. 被解释变量

核心被解释变量为各地级市的绿色创新水平,本文从绿色创新的数量( $GP$ )和质量( $GPI$ )两个方面对绿色创新水平进行衡量,使用绿色专利授权数(万件)代表数量,使用绿色发明专利授权数(万件)代表质量。为得到各城市的绿色专利数据,本文参考周力和沈坤荣(2020)<sup>[40]</sup>的研究,对各城市历年申请的专利中符合世界知识产权组织(WIPO)“国际专利分类绿色清单”<sup>①</sup>的专利进行筛选,得到各城市的绿色专利授权和申请情况。

### 2. 核心解释变量

本文核心解释变量为“宽带中国”试点城市的虚拟变量  $policy$ , 对于某一城市进入“宽带中国”试点名单的当年及以后的时间,该变量取值为 1,反之取值为 0。

### 3. 控制变量

考虑到其他因素对各地区绿色创新水平也会产生影响,本文设定的控制变量如下:科研投入( $GOV$ ),利用当地政府财政科研支出占财政支出的比值来衡量;外商投资水平( $FDI$ ),采用当年外商实际投资金额占地区生产总值的比值来表示;经济发展水平( $pGDP$ ),采用人均 GDP 金额来衡量,单位为万元;人力资本水平( $HUMAN$ ),采用各地级市每万人的大学生在校人数来衡量;互联网普及率( $INFO$ ),以互联网宽带接入端口数除以城市总人口数来衡量当地的传统数字基础设施水平,以此来控制城市层面某些因素可能对“宽带中国”战略具有的影响。

① “国际专利分类绿色清单”包括替代能源生产、运输、节能减排、废物管理、农业/林业、行政和监管或设计方面、核能发电等领域。

#### 4. 作用机制变量

本文选择能够反映产业结构升级、数字化转型和环境规制强度的指标对作用机制进行检验。具体来说,参考潘红波和高金辉(2022)<sup>[41]</sup>的做法,采用地级市层面的碳排放量与第二产业产值增加值的比值来反映环境规制强度(*ENV*);采用城市层面第三产业与第二产业的比值来度量城市产业结构升级(*TS*);参考吴非等(2021)<sup>[42]</sup>的做法,利用A股上市公司年报得到的数字化转型<sup>①</sup>程度(*Digital*)来验证数字化转型效应。上述数据来自各地级市统计年鉴、上市公司年报、万得(Wind)数据库以及中国碳排放数据库(CEADs)。

#### 5. 城市行业绿色创新变量

“宽带中国”战略提出要不断创新宽带应用模式,以云计算、物联网等为代表的数字产业和以新能源汽车、新材料等为代表的新能源产业,既体现了宽带网络产业链对传统能源产业的升级作用,又反映了绿色创新的发展方向与应用。因此,本文重点考察“宽带中国”战略对这两个行业的影响,将上市公司绿色专利和绿色发明专利申请数分别加总来反映城市各行业的绿色创新水平。将2010—2022年相关行业<sup>②</sup>的上市公司绿色专利和绿色发明专利申请数按城市分别加总,得到各城市数字产业和新能源产业的绿色创新情况。

#### 6. 其他变量

为了进一步研究数字基建驱动绿色创新的实际影响和效应,本文还考察了城市的绿色创新偏好和绿色全要素生产率。具体来说,通过计算绿色专利申请数中绿色发明专利的占比来反映绿色创新偏好(*GPI<sub>a</sub>*);考虑到试点政策主要推动了城市完善基础设施,可以促进产业向绿色创新方向发展,所以本文利用绿色全要素生产率(*GTFP*)来进一步衡量该城市的绿色发展水平<sup>[43]</sup>。

表1展示了变量定义和描述性统计结果。

表1 变量定义和描述性统计结果

变量类型	变量名称	变量符号	变量含义	样本量	均值	标准差
被解释变量	绿色创新数量	<i>GP</i>	以绿色专利授权数反映绿色创新数量/万项	3 614	0.042 9	0.123 8
	绿色创新质量	<i>GPI</i>	以绿色发明专利授权数反映绿色创新质量/万项	3 614	0.008 7	0.036 8
控制变量	科研投入	<i>GOV</i>	财政科技支出占当年财政支出比例/%	3 614	0.195 9	0.073 4
	外商投资水平	<i>FDI</i>	外商直接投资占当年GDP比例/%	3 614	0.258 3	0.358 1
	经济发展水平	<i>pGDP</i>	城市经济发展水平/万元	3 614	5.510 8	3.373 8
	人力资本水平	<i>HUMAN</i>	城市人力资本水平/人	3 614	1.997 0	2.488 2
	互联网普及率	<i>INFO</i>	各地级市现有信息化基础/个	3 614	0.336 1	0.941 1
机制变量	产业结构升级	<i>TS</i>	各地级市第三产业增加值与第二产业增加值的比值	3 614	1.09 5	0.631 7
	环境规制强度	<i>ENV</i>	城市碳排放量与第二产业产值增加值的比值/(百万吨/亿元)	3 614	0.043 5	0.047 0
	数字化转型程度	<i>Digital</i>	利用上市公司年报数据反映数字化转型程度	42 335	13.040 4	33.183 0

① 将上市企业年报中五大类别词语的词频求和来刻画数字化转型程度,分别是“人工智能”“区块链”“云计算”“大数据”“数字技术应用”。通过将上市公司与政策虚拟变量进行匹配,得到受“宽带中国”战略影响的处理组和对照组。

② 参考《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,将计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)、电信、广播电视和卫星传输服务(I63)、互联网和相关服务(I64)与软件和信息技术服务业(I65)定义为数字产业,将新能源产业上、中、下游代表性企业所在的行业定义为新能源产业,包括化学原料及化学制品制造业(C26)、非金属矿物制品业(C30)、专用设备制造业(C35)、汽车制造业(C36)、电气机械及器材制造业(C38)和电力、热力生产和供应业(D44)。

表1(续)

变量类型	变量名称	变量符号	变量含义	样本量	均值	标准差
行业变量	数字产业绿色创新数量	<i>GP_d</i>	数字产业上市公司绿色专利申请量/项	3 614	7.365 5	43.034 8
	数字产业绿色创新质量	<i>GPI_d</i>	数字产业上市公司绿色发明专利申请量/项	3 614	3.354 2	23.806 0
	新能源产业绿色创新数量	<i>GP_n</i>	新能源产业上市公司绿色专利申请量/项	3 614	17.916 2	84.138 0
	新能源产业绿色创新质量	<i>GPI_n</i>	新能源产业上市公司绿色发明专利申请量/项	3 614	5.204 2	27.515 2
其他变量	绿色创新偏好	<i>GPI_a</i>	绿色专利申请在发明专利中的占比/%	3 614	0.395 2	0.154 9
	绿色全要素生产率	<i>GTFP</i>	绿色全要素生产率	3 614	1.009 3	0.034 1

资料来源:根据软件 Stata 整理得到。

## 四、实证分析与检验

### (一) 基准回归

表 2 显示了“宽带中国”战略对城市绿色创新数量和质量影响的估计结果。“宽带中国”战略(*Policy*)对绿色创新数量(*GP*)影响的回归系数为 0.041 4,在 1%的水平下显著为正,说明“宽带中国”战略对试点城市绿色创新发展起到了促进作用。“宽带中国”战略对绿色创新质量(*GPI*)影响的回归系数为 0.009 8,且在 1%的水平下显著为正,表明“宽带中国”战略对试点城市的绿色发明专利授权数也有促进作用,说明

表 2 基准回归结果

变量	<i>GP</i>	<i>GPI</i>
<i>Policy</i>	0.041 4 <sup>***</sup> (0.010 5)	0.009 8 <sup>***</sup> (0.003 0)
<i>GOV</i>	0.057 4 <sup>**</sup> (0.025 0)	0.010 8 <sup>*</sup> (0.005 6)
<i>FDI</i>	0.040 3 (0.027 0)	0.008 4 (0.005 5)
<i>pGDP</i>	0.016 9 <sup>***</sup> (0.005 3)	0.004 5 <sup>**</sup> (0.002 1)
<i>HUAMN</i>	0.001 4 (0.008 6)	0.002 3 (0.002 4)
<i>INFO</i>	0.000 4 (0.001 9)	0.000 4 (0.000 5)
常数项	-0.068 1 <sup>***</sup> (0.019 8)	-0.014 3 <sup>**</sup> (0.006 0)
城市固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
$R^2$	0.261 4	0.152 2
样本量	3 614	3 614

注:括号内为标准差,\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著,后表同。

“宽带中国”战略对绿色创新的正向影响不仅体现在数量上,还体现在质量较高的发明专利。假设 H1 得到初步验证。从控制变量的回归系数来看,由政府主导的科研投入(*GOV*)变量系数均显著为正,说明政府增加对科研的投入可以提高绿色专利授权数和绿色发明专利授权数,对提升绿色创新的数量和质量均可以起到一定的效果。经济发展水平(*pGDP*)的回归系数同样显著为正,但是小于变量 *GOV* 的回归系数,说明经济发展水平同样可以全面提升绿色技术创新的“量”和“质”。外商投资金额占比(*FDI*)和人力资本水平(*HUMAN*)的回归系数均为正,但并不显著。以互联网宽带接入端口数除以城市总人口来衡量的互联网普及率(*INFO*)并不会对绿色创新产生影响,从侧面验证了“宽带中国”战略实施的必要性。

### (二) 平行趋势检验

采用多期双重差分法的重要前提是



处理组和对照组在政策实施前满足平行趋势检验,即在第一批名单公布前“宽带中国”试点城市与非试点城市在绿色创新上具有相同的变化趋势。2010—2022年不同城市组别的绿色发明专利和绿色实用新型专利平均申请量的变化趋势见图1。

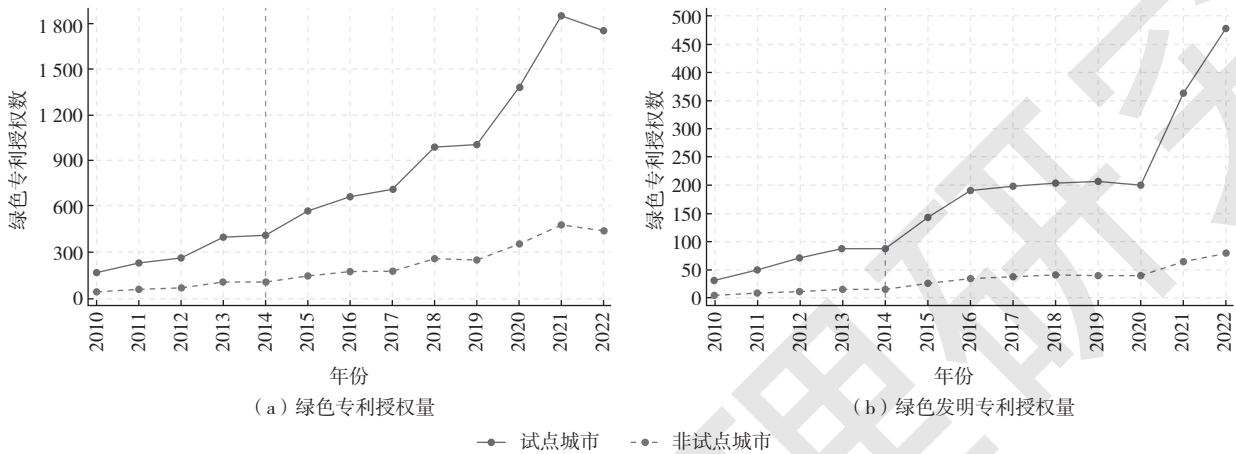


图1 绿色创新水平变化趋势

由图1可见,“宽带中国”试点城市组别的绿色专利授权数(GP)和绿色发明专利授权数(GPI)一直高于非试点城市组别。从2014年第一批试点名单公布开始,两个组别在绿色专利和绿色发明专利授权数的增长速度上拉开了较大的差距,试点城市组绿色专利授权数的增长幅度逐年增大,绿色发明专利授权数在2014—2016年逐年增长,随后保持在较高水平,直至2021年又出现了较大的增长。因此,本文继续通过事件分析(event study)法进行平行趋势检验和动态检验,具体如下:

$$Y_{it} = \alpha_2 + \sum_{-3 \leq j \leq 3} \theta_j did_{it} + X'_{it} \gamma_2 + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中,各变量符号与基准回归结果一致,  $did_{it}$  表示“宽带中国”战略试点实施前后第  $|j|$  年的虚拟变量,当处理组城市  $i$  处在试点批复的第  $t-j$  年时该值取1,反之则取0。本文继续考察“宽带中国”战略第一批试点前后3年的政策效果。图2展示了政策实施前后城市绿色创新水平的动态变化趋势。回归系数  $\alpha_n$  在政策实施当年和之后均通过了显著性检验,说明“宽带中国”试点在政策实施当年就已发挥作用,不存在时滞。

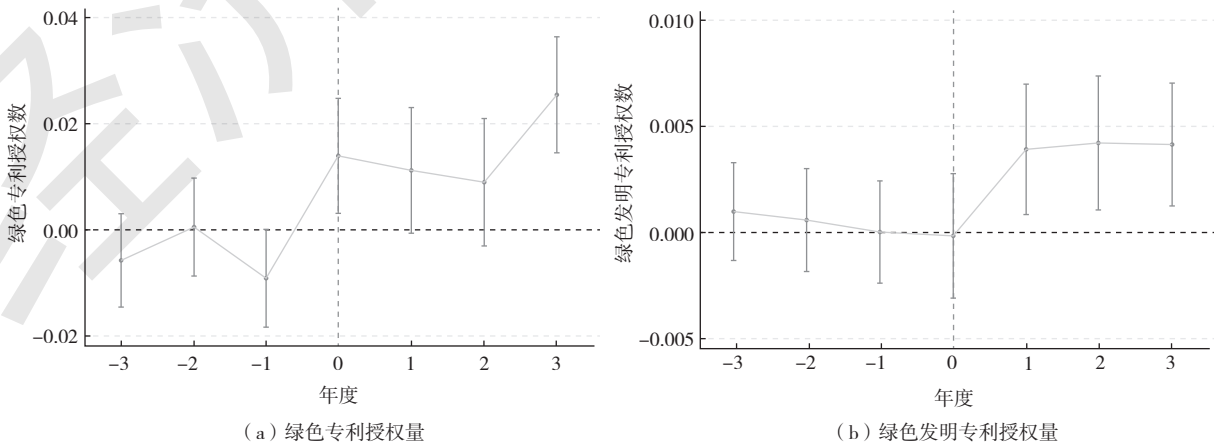


图2 平行趋势检验

### (三) 稳健性检验

#### 1. 倾向评分匹配-双重差分(PSM-DID)检验

为了规避由于选择性偏误而带来的内生性问题,本文通过 PSM-DID 方法进一步控制其他可能影响城市是否被加入试点名单的因素,以此检验数字基础设施建设对城市绿色创新的影响。PSM-DID 方法的基本思路是根据城市的特征变量信息进行线性(Logistic)回归,计算倾向匹配得分值(P-score),然后采用 K 近邻匹配法选取与每个试点城市特征最为接近的非试点城市样本,最终将匹配成功的样本与原始样本进行多期双重差分(DID)估计。表 3 汇报了利用 PSM-DID 方法得到的政策变量回归系数,在加入控制变量并控制双向固定效应后政策变量对绿色创新数量和质量影响的回归系数分别为 0.039 2、0.008 7,且均显著。系数显著为正说明“宽带中国”战略确实提升了试点城市的绿色创新水平,基准回归的结果是稳健的。

表 3 稳健性检验回归结果 I

变量	GP	GPI
Policy	0.039 2*** (0.010 4)	0.008 7** (0.003 4)
常数项	-0.064 5*** (0.018 1)	-0.011 8** (0.004 3)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
R <sup>2</sup>	0.257 5	0.164 6
样本量	3 518	3 518

#### 2. 安慰剂检验

在现实生活中,可能还会存在其他事件影响城市绿色创新水平,“宽带中国”试点政策和该事件会共同影响城市的绿色创新。因此,本文进行安慰剂检验(placebo test)来验证基准回归结果的稳健性。若在安慰剂检验中得到的政策变量回归系数较小或未通过显著性检验,说明基准回归结果具有稳健性<sup>[44]</sup>。具体步骤为保持“宽带中国”战略的试点城市样本不变,在样本期内随机抽取 1 年作为政策实施的时间点,通过新的样本对式(1)进行重新估计,并随机抽样 1 000 次得到“宽带中国”试点政策的回归系数。

图 3 刻画了安慰剂检验估计结果的核密度分布,虚线处为基准回归核心解释变量实际的系数估计值,可以发现实际的系数估计值与安慰剂检验中的估计参数并不一致。根据安慰剂检验的结果,随机抽取的政策实施时间的估计系数在 0 附近,且未通过显著性检验,说明被选为“宽带中国”试点城市后,城市绿色创新水平的提升并非由其他不可观测因素导致的。由安慰剂检验结果可以得出结论,“宽带中国”试点政策实施后,城市绿色创新水平的提升源于数字基础设施的建设和改善,并非由其他不可观测因素导致。这也进一步验证了基准回归结论的稳健性。

#### 3. 其他稳健性检验

为了进一步验证“宽带中国”战略能够带来绿色创新效应这一识别结果的稳健性,本文采用如下三种方

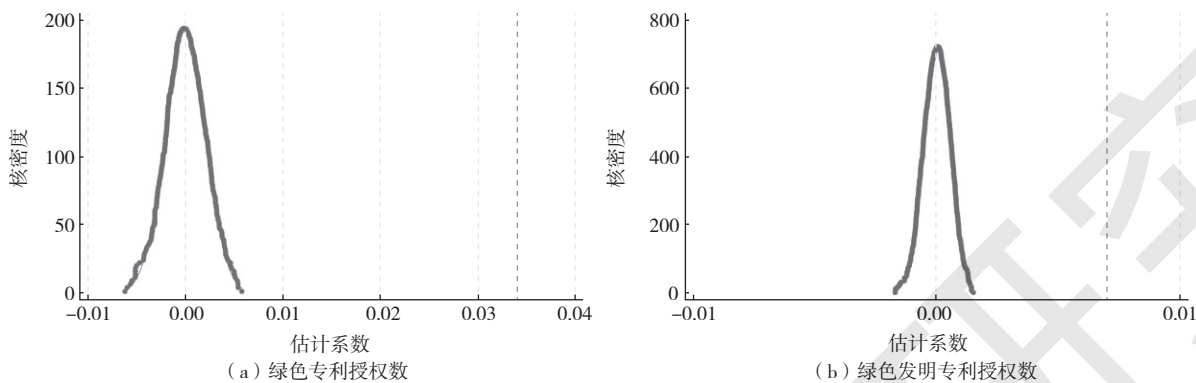


图3 安慰剂检验

法进行检验:(1)替换被解释变量,以城市当年绿色专利申请量( $GP_a$ ,单位:万件)衡量绿色创新数量,以绿色发明专利申请量( $GPI_a$ ,单位:万件)衡量绿色创新质量;(2)缩短样本时间跨度,随着对数字化发展的日益重视,为了减小其他相关因素对估计结果造成的影响,在稳健性分析中将样本研究时间跨度缩短为2010—2020年,以此来排除外部环境变化带来的影响;(3)工业和信息化部于2015年、2016年公布第二批和第三批试点城市名单,所以不排除第二批和第三批城市“主动”加入试点城市的可能,从而存在内生性问题,所以本文剔除整体样本中的第二、三批试点城市继续进行双重差分回归。

表4展示了上述检验的回归结果。结果表明,替换被解释变量后,“宽带中国”战略对绿色创新的影响依然是正向的,对绿色专利申请量影响的回归系数为0.0624,对绿色发明专利申请量影响的回归系数为0.0328,均在1%的水平下显著。将样本时间区间缩短后的回归系数分别为0.0281和0.0059,且在1%的水平下显著,验证了“宽带中国”战略对城市绿色创新的促进作用。剔除第二、三批试点城市的回归结果表明,第一批试点城市实施“宽带中国”战略后在绿色创新上优于其他非试点城市,与本文基准回归结果一致。

表4 稳健性检验回归结果 II

变量	替换被解释变量		缩短样本时间跨度		剔除第二、三批试点城市	
	$GP_a$	$GPI_a$	$GP$	$GPI$	$GP$	$GPI$
<i>Policy</i>	0.0624*** (0.0160)	0.0328*** (0.0091)	0.0281*** (0.0030)	0.0059*** (0.0009)	0.1232*** (0.0081)	0.0312*** (0.0018)
常数项	-0.0948*** (0.0285)	-0.0484*** (0.0155)	-0.0573*** (0.0052)	-0.0110*** (0.0009)	-0.0543*** (0.0092)	-0.0113*** (0.0029)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
$R^2$	0.2699	0.2158	0.3219	0.2155	0.3066	0.1991
样本量	3614	3614	3058	3058	2730	2730

## 五、作用机制与异质性分析

### (一) 作用机制检验

根据文中对作用机制的分析,“宽带中国”战略试点政策有利于城市提升环境规制强度、推动城市产业结构的升级并进一步推动数字化转型,有效促进城市绿色创新发展。表5列出了基于模型(2)进行机制检验的回归结果,所有结果均控制了时间和城市固定效应。结果表明,“宽带中国”战略在1%的水平上降低了试点城市的碳排放强度,说明环境规制带来的激励效应超过了抑制效应,为创新主体提供了有力的创新环境,从而促进了城市的绿色创新<sup>[15]</sup>。样本期内“宽带中国”战略推动了试点城市产业结构的升级,“宽带中国”战略可以通过推动产业向高附加值、低能耗的方向发展,加快推动产业的绿色创新<sup>[45]</sup>。数字基础设施建设对不同城市上市公司数字化转型的影响结果显示,数字基建对企业数字化转型影响的回归系数显著为正,说明位于试点城市的上市公司实现了更深入的数字化转型,大大降低了企业创新面临的不确定性和风险,提升了企业创新效率和运营水平,从而推动了城市的绿色创新发展<sup>[46]</sup>。结合前文对作用机制的理论分析可知,数字基础设施建设可以通过产业结构效应、环境规制强度效应和数字化转型效应促进绿色创新的数量和质量,假设H2、H3、H4得到验证。

表5 作用机制检验回归结果

变量	ENV	TS	Digital
Policy	-0.0069** (0.0032)	0.0510*** (0.0168)	0.0796** (0.0310)
常数项	0.0920*** (0.0318)	0.9482*** (0.0281)	0.0242*** (0.0092)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
R <sup>2</sup>	0.1004	0.5887	0.3495
样本量	3058	3614	27767

注:此处控制变量包括公司规模(Size)、资产负债率(LEV)、固定资产占比(PPE)、总资产报酬率(ROA)、经营活动现金净额/总资产(Cash)、产权性质(SOE)、董事会规模(Board)、独立董事占比(Ind)、账面市值比(BM)、两职合一(Dual)和企业年龄(Age)。

### (二) 异质性分析

#### 1. 地理区域异质性

“宽带中国”战略的重要任务之一就是推进区域宽带网络协调发展,并且针对东、中、西部地区提出了符合其所处发展阶段的信息化目标。本文将样本城市分为东、中、西部三个区域来考察“宽带中国”战略的政策效果,表6展现了东、中、西部地区不同的政策效果。“宽带中国”战略在东部试点城市的回归系数在1%的水平下显著为正,在中部试点城市的回归系数在5%的水平下显著为正,在西部试点城市的回归系数虽然为正但不显著。

东部地区在经济发展水平、产业结构、人才资源等方面具有先天优势,更容易发挥数字基础设施的资源配置效应,提高创新要素的配置效率,从而在绿色创新数量和质量上表现更为突出<sup>[47]</sup>。其次,东部地区的创新生态系统更加完善,能够更好地利用数字基础设施建设带来的机遇,促进“产学研”协同创新,提高绿色创新的质量。从作用机制来看,东部地区相较于中西部地区在产业结构、企业发展和政府治理上均具有优势,试点政策更容易发挥效果。从实证结果来看,中部地区的政策已产生一定效果,但仍有提升空间。中部地区的发展基础虽然较东部地区落后,但仍具备一定的工业基础和人才积累,因此,中部地区城市应进一步加强数字基础设施建设,优化产业结构,做好承接东部地区产业转移的任务,畅通国内大循环运转。此外,还需要通过制定更具吸引力的人才政策,加强产学研合作,加速绿色创新成果的转化和应用。事实上,西部地区非常适合成为当前数字经济的重要产业基地,当前贵州、新疆等地依靠丰富的自然资源建设了大数据中心、算力中心等数字化平台,实现了与东部、中部地区的合作。然而,数字基建的覆盖面和深度仍有待提升。西部地区需要将数字基建与其他政策深度结合,培育数字经济新业态、新模式。西部地区未来应加强人才培养与技术创新,激发西部地区主动创新的动力,利用“一带一路”和西部大开发战略等机遇实现绿色创新发展。

表 6 区域异质性分析回归结果

变量	GP			GPI		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部
<i>Policy</i>	0.092 5*** (0.022 2)	0.014 0** (0.005 8)	0.001 5 (0.006 6)	0.022 1*** (0.006 9)	0.003 6** (0.001 5)	0.000 9 (0.001 6)
常数项	-0.343 5*** (0.099 2)	-0.043 8** (0.017 7)	-0.049 8** (0.022 7)	-0.064 2*** (0.020 5)	-0.008 0** (0.003 4)	-0.010 6** (0.004 9)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
$R^2$	0.431 9	0.324 3	0.334 6	0.248 9	0.205 5	0.273 0
组间系数差异检验 $P$ 值	0.000			0.000		
样本量	1 300	1 274	1 040	1 300	1 274	1 040

## 2. 资源型城市异质性

考虑到城市资源禀赋会影响发展路径,本研究将城市样本划分为非资源型城市和资源型城市进行回归。由表 7 可知,政策变量对非资源型、资源型城市绿色专利授权数影响的回归系数均显著为正,政策变量仅对非资源型城市的绿色发明专利授权数有正向影响。总体来说,“宽带中国”战略对资源型或非资源型试点城市的绿色创新数量均存在促进作用,但由于资源型城市的发展路径受限,对高质量绿色创新的促进作用主要体现在非资源型城市。

结合作用机制路径对这一结果进行分析,“宽带中国”战略作为推动数字基础设施建设的重要政策,其对城市绿色创新的影响与城市的资源禀赋、产业结构和发展路径密切相关。首先,非资源型城市通常

具有更加多元化的产业结构,这使得这类城市在数字基础设施建设的推动下,更容易实现产业向高附加值、高级化方向发展。相比之下,资源型城市的产业结构往往受制于资源依赖,转型压力较大<sup>[48]</sup>,难以快速适应数字化转型带来的机遇。其次,非资源型城市的企业普遍更灵活,更容易接受和应用新技术。这使得这类城市能够更快地实现数字化转型,提高技术吸收能力,加速尖端技术的研发和应用。最后,从环境规制强度效应来看,资源型城市通常面临更大的环境压力和更严格的环境规制,这可能会限制城市的创新发展。

从长期发展战略来看,资源型城市应充分利用数字基建的机遇,通过加强政策引导与扶持,推动产业结构向绿色、智能化转型。政府应出台专项政策,鼓励企业采用数字化技术提升生产效率,减少资源消耗和环境污染,同时引进和培育新兴产业,形成多元化的产业结构。此外,还需提升资源型城市的技术吸收与应用能力,加强与高校、科研机构的合作,培养数字技术和绿色创新方面的人才。

表 7 资源型城市和非资源型城市的异质性分析回归结果

变量	GP		GPI	
	非资源型城市	资源型城市	非资源型城市	资源型城市
Policy	0.0518*** (0.0150)	0.0043* (0.0023)	0.0119*** (0.0042)	0.0005 (0.0005)
常数项	-0.0910*** (0.0297)	-0.0057* (0.0031)	-0.0192** (0.0095)	-0.0008 (0.0007)
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
R <sup>2</sup>	0.3278	0.4326	0.2053	0.2395
组间系数差异检验 P 值	0.000			
样本量	2184	1430	2184	1430

### 3. 城市行业异质性

从表 8 可以看出,数字基础设施在数字产业和新能源产业的回归系数均显著为正,说明政策对试点城市重点产业的绿色创新起促进作用。作为新兴产业的代表,数字产业和新能源产业顺应了数字基建的发展趋势,是城市绿色创新发展的重要载体。数字基建与数字产业的发展密切相关,直接巩固了其发展基础的创新,还为新能源产业提供了智能化、高效化的发展平台,环境规制进一步激发了其在绿色技术方面的创新活力。

表 8 城市行业绿色创新异质性分析回归结果

变量	GP <sub>d</sub>	GP <sub>n</sub>	GPI <sub>d</sub>	GPI <sub>n</sub>
Policy	0.2588*** (0.0730)	0.2668*** (0.0897)	0.2082*** (0.0618)	0.2202*** (0.0709)

表8(续)

变量	<i>GP_d</i>	<i>GP_n</i>	<i>GPI_d</i>	<i>GPI_n</i>
常数项	-0.236 1** (0.117 0)	-0.140 9 (0.153 2)	-0.215 2** (0.108 3)	-0.495 8*** (0.143 7)
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.215 8	0.301 1	0.172 4	0.242 4
组间系数差异检验 <i>P</i> 值		0.000		0.000
样本量	3 614	3 614	3 614	3 614

### (三) 进一步分析:绿色创新结构变化

前文实证结果表明,“宽带中国”战略的实施对城市绿色创新产生了积极影响,但对绿色创新类型偏好的影响还需要进行进一步的讨论。具体而言:政策实施后,试点城市的绿色专利授权数和绿色发明专利授权数均得到了显著增加,但是绿色发明专利授权数的增长速度在2016年之后出现了停滞,绿色专利授权数的增长速度则始终较高,说明城市在进行绿色创新时可能会更倾向于选择难度较小的绿色实用新型专利,从而导致重视数量而轻视质量的问题。因此,本文进一步分析“宽带中国”战略对绿色创新结构的影响。

首先,考虑到专利申请数更能体现进行创新研发时的主观能动性,因此本文通过计算绿色专利申请数中绿色发明专利的占比来反映绿色创新结构(*GPI\_a*);然后,考虑到试点政策主要推动了城市完善基础设施,可以促进产业向绿色创新方向发展,所以本文参考余硕等(2020)<sup>[49]</sup>的做法,采用绿色全要素生产率(*GTFP*)衡量该城市的绿色发展水平<sup>[43]</sup>。绿色全要素生产率在传统全要素生产率的基础上,进一步考虑了能源消耗和环境污染因素,可以更全面地评估经济活动的可持续性。本文将劳动、资本、能源消耗量作为投入指标,地区生产总值作为期望产出,工业三废(二氧化硫、烟粉尘和废水)排放量作为非期望产出,采用基于松弛值测算的模型-马姆奎斯特-卢恩伯格(SBM-Malmquist-Luenberger)指数法<sup>①</sup>测算得到各地级市的绿色全要素生产率。这种方法不仅评估了生产效率的改善情况,还反映了技术进步和环境管理在促进绿色增长方面的作用。

表9展示“宽带中国”战略对全部样本城市绿色创新偏好的影响和绿色全要素生产率的影响。回归系数表明“宽带中国”战略降低了绿色发明专利在申请总量中的占比,同时并未提升试点城市的绿色全要素生产率,说明当前城市绿色创新发展确实存在“重数量、轻质量”的现象。考虑到资源型城市更需要平衡经济效益和环境污染的关系,实现绿色创新发展,所以本文进一步对是否属于资源型城市进行异质性分析(见表9)。非资源型城市样本中试点城市申请绿色发明专利的占比下降,对试点城市绿色全要素生产率无提升效果;资源型城市样本中,试点城市申请的绿色发明专利占比有所提升,尽管并不显著,同时对绿色全要素生产率几乎没有影响。上述结果说明,城市绿色创新发展离不开高质量绿色发明专利的支撑。绿色发明专利不仅是

① 采用软件 DEAP 2.1 进行计算。

衡量城市创新能力的重要指标,也是推动绿色技术突破和产业转型的关键动力。虽然城市的数字产业和新能源产业在绿色创新发展上取得了一定的成就,但是还有待进一步全面提高绿色创新质量,以提升城市的绿色全要素生产率<sup>[50]</sup>。

表9 城市绿色创新结构变化回归结果

变量	全样本		非资源型城市		资源型城市	
	<i>GPI<sub>a</sub></i>	<i>GTFP</i>	<i>GPI<sub>a</sub></i>	<i>GTFP</i>	<i>GPI<sub>a</sub></i>	<i>GTFP</i>
<i>Policy</i>	-0.017 1*	0.004 4	-0.024 3**	0.005 3	0.018 1	-0.000 2
	(0.009 0)	(0.009 1)	(0.010 1)	(0.008 2)	(0.016 2)	(0.007 8)
常数项	0.358 9***	0.268 2***	0.368 8***	0.283 1***	0.362 3***	0.254 2***
	(0.016 9)	(0.024 2)	(0.016 8)	(0.014 2)	(0.023 1)	(0.011 0)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
$R^2$	0.089 1	0.144 6	0.095 9	0.173 5	0.105 2	0.101 5
样本量	3 614	3 614	2 184	2 184	1 430	1 430

## 六、研究结论与政策建议

通过绿色创新培育推动中国式现代化发展的绿色生产力,不断提升社会经济高质量发展的“含绿量”,对促进经济社会发展全面绿色转型具有重要支撑和引领作用。在此背景下,本文基于278个地级市在2010—2022年的平衡面板数据,采用多期DID模型检验了“宽带中国”战略对不同城市绿色创新的影响。模型结果表明,“宽带中国”战略可以提高试点城市对绿色专利和绿色发明专利的授权数量,也就是提升了绿色创新的数量和质量。通过检验“宽带中国”战略影响城市绿色创新的作用机制,本文发现试点政策通过加强环境规制、升级产业结构和促进创新主体数字化转型来影响城市绿色创新,并且作用机制之间存在相互促进的作用。城市类型异质性分析结果显示,“宽带中国”战略促进了东部和中部试点城市绿色创新的“数质齐升”,对东部城市的正向影响更大,对西部地区试点城市的影响主要体现在绿色创新数量上。这一结果说明,产业基础较好、创新要素较丰富的地区可以充分发挥试点政策效果。“宽带中国”战略促进了非资源型城市绿色创新数量和质量的提升,对资源型城市绿色创新的影响较小且主要体现在数量上,说明资源型城市受限于自身的资源禀赋和发展基础,并不能完全发挥政策效果。城市产业异质性分析结果显示,“宽带中国”战略对数字产业和新能源产业实现绿色创新起到了支撑作用。进一步研究城市的绿色创新结构可以发现,城市在绿色创新过程中出现了“重数量、轻质量”的偏好,绿色专利申请数中发明专利的占比有所降低,未能有效提升城市的绿色全要素生产率。

本文的实证结果具有以下现实意义和政策内涵。第一,数字基础设施建设不仅可以提高创新效率来增强经济发展动力,还能通过践行绿色创新发展理念来改善社会福利。近年来,在新发展格局下中国经济高质量发展需要从内部找动力,“新基建”无疑成为全球大变局下中国经济增长新引擎。因此,未来中国应进



进一步加大数字基础设施建设力度,加快对数据新质生产力要素的应用,通过大数据、人工智能、工业互联网等新兴产业的发展,进一步巩固数字基础设施带来的数字红利。第二,各城市应该针对产业发展特点提供更加精确的配套支持,促进相关企业实现数字化转型,从而实现绿色创新。此外,还需要通过发挥政府职能,推动社会生活绿色发展,倒逼创新主体加大创新投入。第三,考虑到数字基础设施对发展基础较弱城市的支撑作用还有进一步提升空间,政府应因地制宜,统筹考虑城市发展的资源禀赋和特征,实施差异化政策,利用数字基础设施促进发展、缩小差距。第四,建议中部地区与东部地区做好衔接,持续优化产业结构并吸引高端人才;西部地区应发挥资源优势,深化数字基建与政策的融合,积极配合东部地区的数字化发展,培育数字经济新业态;资源型城市则需利用数字基建推动传统产业绿色智能化转型,提升技术吸收能力,并强化环境规制与监测。

#### 参考文献:

- [1] BAIYERE A, GROVER V, LYYTINEN K J, et al. Digital “x”—charting a path for digital-themed research[J]. *Information Systems Research*, 2023, 34(2): 463-486.
- [2] BRAUN E, WIELD D. Regulation as a means for the social control of technology[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2007, 6(3): 259-272.
- [3] 齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新?——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129-143.
- [4] 郭凌军,刘嫣然,刘光富. 环境规制、绿色创新与环境污染关系实证研究[J]. *管理学报*, 2022, 19(6): 892-900.
- [5] 张秀娥,李梦莹. 外部压力与内部绿色组织认同对绿色创新的影响[J]. *管理科学*, 2023, 36(1): 34-45.
- [6] 王锋正,陈方圆. 董事会治理、环境规制与绿色技术创新——基于我国重污染行业上市公司的实证检验[J]. *科学学研究*, 2018, 36(2): 361-369.
- [7] CRESCENZI R, RODRIGUEZ-POSE A, STORPER M. The territorial dynamics of innovation in China and India[J]. *Journal of Economic Geography*, 2012, 12(5): 1055-1085.
- [8] CHARNOCK G, PURCELL T F, RIBERA-FUMAZ R. City of rents: the limits to the Barcelona model of urban competitiveness[J]. *International Journal of Urban and Regional Research*, 2014, 38(1): 198-217.
- [9] 高小玲,陆文月. 新基建、产业集聚与绿色技术创新——基于制造企业数据的实证研究[J]. *研究与发展管理*, 2023, 35(4): 19-33.
- [10] 韩先锋,郑酌基,徐杰,等. 绿色数字基建驱动城市绿色创新的机制及效应研究[J/OL]. *管理学报*, 2024[2024-08-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1725.C.20240703.1157.002.html>.
- [11] YAN Z M, SUN Z, SHI R, et al. Smart city and green development: empirical evidence from the perspective of green technological innovation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, 191: 122507.
- [12] 蒋金荷,黄珊. 贸易新业态对绿色技术创新的影响研究——来自跨境电商综合试验区政策的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2024, 41(12): 133-154.
- [13] 姚璐,王书华,范瑞. 智慧城市试点政策的创新效应研究[J]. *经济与管理研究*, 2023, 44(2): 94-111.
- [14] 肖仁桥,马伯凡,钱丽,等. 低碳城市试点政策对企业绿色创新的影响及其作用机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(5): 125-137.
- [15] 陶锋,赵锦瑜,周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. *中国工业经济*, 2021(2): 136-154.
- [16] 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.
- [17] 韩宝国,朱平芳. 宽带对中国经济增长影响的实证分析[J]. *统计研究*, 2014, 31(10): 49-54.
- [18] 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, 48(3): 79-93.
- [19] 秦文晋,刘鑫鹏. 网络基础设施建设对数字经济发展的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. *经济问题探索*, 2022

(3):15-30.

- [20] 薛飞,周民良,刘家旗. 数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 南方经济,2022(10):19-36.
- [21] 马青山,何凌云,袁恩宇. 新兴基础设施建设与城市产业结构升级——基于“宽带中国”试点的准自然实验[J]. 财经科学,2021(4):76-90.
- [22] 孙早,徐远华. 信息基础设施建设能提高中国高技术产业的创新效率吗?——基于2002—2013年高技术17个细分行业面板数据的经验分析[J]. 南开经济研究,2018(2):72-92.
- [23] 安同良,杨晨. 互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应[J]. 经济研究,2020,55(2):4-19.
- [24] 马明. 网络基础设施的两面性与区域创新能力非均衡发展[J]. 福建论坛(人文社会科学版),2016(7):181-185.
- [25] DUGGAL V G, SALTZMAN C, KLEIN L R. Infrastructure and productivity: an extension to private infrastructure and its productivity[J]. Journal of Econometrics, 2007, 140(2): 485-502.
- [26] 薛成,孟庆玺,何贤杰. 网络基础设施建设与企业技术知识扩散——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 财经研究,2020,46(4):48-62.
- [27] PORTER M E, VAN DER LINDE C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. The Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 97-118.
- [28] 孙伟增,郭冬梅. 信息基础设施建设对企业劳动力需求的影响:需求规模、结构变化及影响路径[J]. 中国工业经济,2021(11):78-96.
- [29] 金浩,陈诗一. 地理距离对政府监管企业污染排放的影响效应研究——兼论数据技术监管的作用[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(10):109-128.
- [30] 方冬莉. 数字经济对中国城市能源利用效率的影响——基于技术赋能和技术外溢视角[J]. 资源科学,2023,45(2):296-307.
- [31] CHAKRABORTY P, CHATTERJEE C. Does environmental regulation indirectly induce upstream innovation? New evidence from India[J]. Research Policy, 2017, 46(5): 939-955.
- [32] 郭凯明,潘珊,颜色. 新型基础设施投资与产业结构转型升级[J]. 中国工业经济,2020(3):63-80.
- [33] 杨浩昌,李廉水,刘军. 高技术产业聚集对技术创新的影响及区域比较[J]. 科学学研究,2016,34(2):212-219.
- [34] 白俊红,蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究,2015,50(7):174-187.
- [35] 方文龙,聂婉妮,赖丹. 企业数字化转型、资源配置与绿色创新能力[J]. 财会月刊,2023,44(13):139-145.
- [36] 张泽南,钱欣钰,曹新伟. 企业数字化转型的绿色创新效应研究:实质性创新还是策略性创新? [J]. 产业经济研究,2023(1):86-100.
- [37] 籍明明. 数字金融、知识产权保护与企业技术创新能力[J]. 中国软科学,2024(7):147-156.
- [38] BECK T, LEVINE R, LEVKOV A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. The Journal of Finance, 2010, 65(5): 1637-1667.
- [39] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济,2022(5):100-120.
- [40] 周力,沈坤荣. 国家级城市群建设对绿色创新的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(8):92-99.
- [41] 潘红波,高金辉. 数字化转型与企业创新——基于中国上市公司年报的经验证据[J]. 中南大学学报(社会科学版),2022,28(5):107-121.
- [42] 吴非,胡慧芷,林慧妍,等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界,2021,37(7):130-144.
- [43] 郑梦,常哲仁. 绿色低碳转型与企业环境社会责任——基于低碳城市试点的准自然实验[J]. 经济与管理研究,2023,44(7):126-144.
- [44] 余泳泽,潘妍. 高铁开通缩小了城乡收入差距吗?——基于异质性劳动力转移视角的解释[J]. 中国农村经济,2019(1):79-95.
- [45] 王晋立. 绿色发展战略、技术选择与低碳经济转型——基于新结构经济学视角[J]. 首都经济贸易大学学报,2023,25(3):3-17.
- [46] 刘少波,卢曼倩,张友泽. 数字化转型提升了企业风险承担的价值吗? [J]. 首都经济贸易大学学报,2023,25(2):61-80.
- [47] 钞小静,薛志欣,孙艺鸣. 新型数字基础设施如何影响对外贸易升级——来自中国地级及以上城市的经验证据[J]. 经济科学,2020(3):46-59.
- [48] 王亚楠,苏明明,董航宇. 中国资源型与非资源型城市扩张驱动机制差异[J]. 资源科学,2024,46(6):1226-1237.
- [49] 余硕,王巧,张阿城. 技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J]. 经济与管理研究,2020,41(8):44-61.
- [50] 陈治,张少华. 数字经济、空间溢出与区域创新能力提升——基于中国274座城市数据的异质性研究[J]. 管理学报,2023,36(1):84-101.

## Effect and Mechanism of Green Innovation Driven by Digital Infrastructure —A Policy Experiment Based on the “Broadband China” Strategy

MENG Xing, ZHU Pingfang

(Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200235)

**Abstract:** This paper investigates the impact of digital infrastructure development on urban green innovation using the “Broadband China” strategy as a quasi-natural experiment. Employing a multi-period difference-in-differences (DID) model with panel data of 278 Chinese cities from 2010 to 2022, the findings reveal significant improvements in both the quantity and quality of green innovation in pilot cities. Mechanism analysis identifies three key pathways through which the “Broadband China” strategy fosters green innovation: enhanced environmental regulation, industrial structure upgrading, and digital transformation.

The “Broadband China” strategy advances urban green innovation by reshaping cities’ economic and technological landscape. First, enhanced environmental regulation acts as a crucial driver by leveraging real-time monitoring and big data analytics, enabling local governments to enforce stricter environmental standards. Second, industrial structure upgrading is transitioning cities from resource-intensive industries to high-value, low-carbon sectors. Third, digital transformation equips firms with advanced tools and platforms that streamline operations, reduce inefficiencies, and foster collaboration across industries.

The impact of the “Broadband China” strategy varies widely across regions and industries. Eastern cities, characterized by well-established industrial bases, advanced digital ecosystems, and abundant innovation resources, experience the most pronounced improvements in both the quantity and quality of green innovation. In contrast, central and western cities see more modest benefits, primarily in terms of increased green innovation quantity. Similarly, resource-based cities encounter additional barriers due to their reliance on traditional industries and lack of diversified economic structures.

Industry-specific analysis highlights that the “Broadband China” strategy effectively promotes green innovation within emerging sectors, particularly the digital and new energy industries. The digital industry benefits from enhanced infrastructure, facilitating the development of cutting-edge technologies and processes. Similarly, the new energy sector leverages digital solutions to optimize operations and improve environmental performance.

Despite its positive outcomes, the “Broadband China” strategy faces several challenges. To cope with these challenges, this paper proposes the following recommendations. Firstly, policies should incentivize advanced green technology R&D to enhance the sustainability of urban development. Secondly, the central and western regions require tailored strategies such as talent attraction and industrial upgrading to maximize policy benefits. Thirdly, efforts should be concentrated on diversifying industrial structures, promoting digital transformation, and strengthening environmental governance. Fourthly, further investment in the digital and new energy sectors is essential to maintain their leadership in green innovation. Fifthly, leveraging digital tools can improve the enforcement of environmental regulations and drive sustainable practices across industries. Lastly, cross-regional knowledge sharing and resource allocation can help bridge the disparities in green innovation development.

**Keywords:** “Broadband China” strategy; green innovation; industry heterogeneity; green innovation structure; digital infrastructure

责任编辑:宛恬伊