



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”[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 155-164. [SONG Deyong, LI Chao, LI Xiangyou. Does the construction of new infrastructure promote the ‘quantity’ and ‘quality’ of green technological innovation [J]. China population, resources and environment, 2021, 31(11): 155-164. ]

# 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

宋德勇<sup>1</sup>, 李超<sup>1</sup>, 李项佑<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学经济学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中共广州市黄埔区委党校, 广东 广州 510700)

**摘要** 新型基础设施建设和绿色技术创新是城市高质量发展的实现路径和重要推力, 剖析并识别二者之间的内在联系, 对于中国实现经济绿色转型和创新型国家建设具有重要意义。首先根据“国际专利分类绿色清单”整理了城市层面的绿色专利申请数量, 以此作为衡量绿色技术创新的基础指标, 然后分析了智慧城市影响绿色技术创新的理论机制, 最后将中国智慧城市试点视为新型基础设施建设的一项准自然实验, 利用双重差分模型和2003—2018年的城市面板数据, 从“量”和“质”两个维度, 实证检验了智慧城市对绿色技术创新的政策效应、作用机制以及技术领域异质性。结果表明: ①智慧城市建设显著促进了绿色技术创新的“量质齐升”, 该结论在经过替换被解释变量、剔除弱内生性样本和PSM-DID等稳健性检验后仍成立, 且这种激励效应呈现出逐年递增的特征。②智慧城市建设通过信息支撑效应、规模集聚效应和资金配置效应促进绿色技术创新“量”和“质”的提升, 但人力配置效应的作用渠道并未畅通。③智慧城市建设对替代能源生产类、交通类、能源节约类、废弃物管理类和行政监管与设计类的绿色技术创新“量”与“质”具有显著的激励作用, 但并未显著促进农林类和核能类的绿色技术创新。据此认为: 未来应筑牢绿色可持续发展的底线, 以智慧和绿色相结合的理念释放新型基础设施的创新红利; 以提质增效为核心目标, 强化新型基础设施推动绿色技术创新的政策抓手; 统筹兼顾传统与新型基础设施建设, 加快形成多领域间协同互补的绿色创新格局。

**关键词** 新型基础设施建设; 绿色技术创新; “量”与“质”; 智慧城市

中图分类号 F207 文献标志码 A 文章编号 1002-2104(2021)11-0155-10 DOI: 10.12062/cpre.20210411

新型基础设施建设和绿色技术创新分别作为城市高质量发展的实现路径和重要推力, 两大抓手能否达到协同联动的实践效果, 决定着中国绿色转型的路径模式与时间安排。“十四五”规划明确提出, 要“支持绿色技术创新, 推进清洁生产, 发展环保产业, 推进重点行业和重要领域绿色化改造”, 并将“加快推动绿色低碳发展”列为“十四五”阶段的一项重要目标, 从而发挥绿色技术创新在创新驱动和绿色发展领域的优势。近年来, 新型基础设施建设也上升至国家战略层面, 其影响也逐渐渗透至经济社会的诸多领域。作为实现经济高质量发展的战略平台, 新型基础设施建设可为数字经济、战略性新兴产业提供所需的载体, 催生大量的创新应用和产业形态, 并通过信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施等平台

驱动绿色技术创新。

城市是推动新型基础设施建设和绿色技术创新的核心载体。中国自2012年启动了智慧城市试点, 将物联网、云计算、大数据等技术业态推向实践, 可被视为中国在新型基础设施建设领域的一项较早尝试。这是由于: 从智慧城市的概念和内容来看, 中国所布局实施的“智慧城市建设”是发轫于数字化、信息化等科技端的基础设施建设, 是数字经济背景下对“铁路、公路和基建”为代表的传统基础设施建设的扬弃。尤其是其中所涉及的物联网、云计算、大数据等领域与“新基建”涵盖的内容具有高度一致性。因此, 智慧城市与新型基础设施建设之间相辅相成、密不可分, 可被视为“新基建”的一项先行探索和有益尝试。同时, 十八大以来, 创新驱动战略一以贯之, 中

收稿日期: 2020-12-14 修回日期: 2021-04-19

作者简介: 宋德勇, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为资源与环境经济学和区域经济学。E-mail: sdy5198@126.com。

通信作者: 李项佑, 助理讲师, 主要研究方向为区域经济学。E-mail: lixiangyou@hust.edu.cn。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“环境保护与经济高质量发展融合的机制、路径和政策体系研究”(批准号: 18ZDA050)。

国已成为具有重要影响力的创新大国,而量积累到一定阶段,必须转向质的提升。智慧城市建设的本质是城市发展方式的转变,且自带高质量发展的要求和属性:作为城市发展由要素驱动、投资驱动向创新驱动转变的重大举措,智慧城市可以通过技术创新、产品创新、市场创新、资源配置创新和组织创新引领移动互联、人工智能等一批绿色且技术密集型产业的兴起,实现城市从传统发展到绿色发展的形态跃迁,对于推动绿色技术创新具有“赋能聚力”的重要作用。

既有研究侧重考察基础设施的经济效应<sup>[1-2]</sup>,并对智慧城市的创新效应进行了一定的识别和探讨<sup>[3-4]</sup>,但鲜有文献从“量”与“质”的维度分析智慧城市对绿色技术创新的效应、机制与异质性。那么,基于高质量发展的战略背景,在智慧城市的推动下,绿色技术创新是否实现了数量层面的增加,又是否带来质量层面的跟进?智慧城市对绿色技术创新“量”与“质”的作用机制又是怎样的?具体到不同的技术领域,智慧城市的创新激励效应是否存在异质性?科学回应上述问题,有利于廓清智慧城市对于绿色技术创新的政策效应,对优化“新基建”的整体规划与实施策略,实现经济全面绿色转型,加快创新型国家建设具有重要的学术价值和现实意义。

## 1 文献综述

完善的基础设施既是经济长期稳定发展的重要基石,也是推动技术进步、创新发展的外化载体。既有研究基于交通、信息、投资等具体领域考察了基础设施建设的创新效应,并形成如下主要结论:第一,交通基础设施建设可以提升城市通达程度,通过完善的创新网络激励创新,或加速边缘地区资源要素外流,从而对创新产生“抑制效应”<sup>[5]</sup>。第二,信息基础设施的改善可以通过降低交易成本、提高管理效率、加快产业融合等途径,优化创新资源配置,从而促进技术研发并提升创新效率<sup>[6]</sup>。第三,基础设施投资通过推动技术和知识在区域创新系统中的充分流动,促进创新扩散与外溢<sup>[7]</sup>;同时也会在短期内经由金融市场传导,对企业研发产生挤出效应,从而抑制创新<sup>[8]</sup>。

区别于“铁路、公路和基建”等传统基础设施,新型基础设施既包括新一代信息技术、数字技术等信息基础设施,又包含对传统基础设施进行数字化、智能化改造,将对中国经济社会产生变革性影响,尤其是从根本上改变技术创新的范式,重塑中国的创新格局。具体来看,新型基础设施可为培育现代化创新体系提供数字化、智能化支撑<sup>[9]</sup>,并通过信息基础设施建设加速万物互联,促进区域创新要素流动,从而发挥融合基础设施和创新基础设

施的叠加作用来引领差异化、特色化的创新产业集群。就此而言,智慧城市实现了5G、大数据中心、人工智能等新一代信息技术的推广应用,是促进城市化与信息技术融合发展的崭新模式<sup>[10]</sup>,尤其是所涉及的技术领域伴生于新型基础设施建设,可被视为新型基础设施建设的一种有效尝试。

随着智慧城市概念的兴起和地方的广泛实践,学界对这一重要议题的研究也与日俱增。当前针对智慧城市的相关研究主要分为两支路径:第一类是定性研究,相关学者对智慧城市的概念框架、标准体系、存在问题和经验启示等诸多方面展开探讨和分析<sup>[11-12]</sup>。第二类是定量研究,主要是从三个方面对智慧城市的效果和政策效应展开量化评价。其一,基于指标体系和效率评价等方法对智慧城市的建设效果展开测算分析<sup>[13]</sup>。其二,实证检验了智慧城市建设的的环境效应,这类研究发现智慧城市建设有助于节能减排,缓解城市环境污染,最终实现城市生态环境改善<sup>[14]</sup>。其三,实证检验了智慧城市建设的经济效应,发现智慧城市对城市经济的资源配置和规模效率具有重要影响,可通过技术创新、产业结构升级等路径提升全要素生产率<sup>[15]</sup>,为地区经济发展提供新动能。

与该研究密切相关的属于第二个路径,部分学者探讨了智慧城市建设的创新效应。石大千等<sup>[14]</sup>认为,智慧城市建设是中国经济发展迈入“创新驱动”阶段的一个重要标志,可通过信息化冲击优化创新环境,提升技术创新水平。Caragliu等<sup>[4]</sup>基于欧洲大都市区智慧城市的政策强度和 innovation 产出等数据集,证明了开展智慧城市政策的地区更倾向于创新。Angelidou<sup>[16]</sup>分析了全球15个代表性智慧城市的规划,结果表明大多数智慧城市强调信息和通信技术的贡献,注重知识转移和创新。李霞等<sup>[3]</sup>将中国智慧城市实践分为异质引导与协同溢出两个演化阶段,证明了中国的智慧城市政策演化具有阶段差异,且智慧城市政策能够促进城市技术创新并产生正向外溢。袁航等<sup>[10]</sup>认为智慧城市建设可通过革新信息科学技术、集聚高端人力资本、优化制度营商环境来推动城市创新。张节等<sup>[17]</sup>证明了智慧城市政策对试点地区绿色创新效率具有显著推动作用,且这种政策效应在发展基础较好的东部沿海地区更加突出。

通过以上文献梳理,可以看出有文献针对智慧城市的研究进行了较为丰富的讨论,但仍存在以下不足:第一,尽管部分研究针对智慧城市建设的创新效应进行了实证分析,但围绕绿色创新的文献尚不多见,尤其是基于“量”和“质”两个维度考察智慧城市对绿色技术创新的研究仍尚属空白。第二,相关研究仅着眼于整体效应的推断识别,并未就其作用机制、不同领域异质性进行

深入的理论分析和实证检验。针对上述的研究不足,该研究基于“量”和“质”两个维度,以我国智慧城市试点为准自然实验,考察了“新基建”对于绿色技术创新的驱动效应。此外,也进一步剖析了新型基础设施建设影响绿色技术创新效应的作用机制及其不同技术领域的异质性,以期相关研究结论为优化“新基建”的整体规划布局和完善绿色技术创新体系提供经验支撑。

## 2 理论机制分析

基于现有文献和经济逻辑,智慧城市建设对绿色技术创新可能具有激励效应,并存在以下三种作用机制。

**作用机制1(资源配置效应):**智慧城市建设过程中,地方政府面临城市发展方式转型的压力,政策目标和治理手段加快由要素驱动转向创新驱动,可通过增加科技支出强度和优化人力资本结构来实现创新资源配置,进而激励绿色技术创新。一方面,绿色创新活动本身具有“双重外部性”,地方政府通过加大科技支出强度和实施鼓励性的科技政策,能够为企业绿色技术创新提供资金支持<sup>[18]</sup>,调动企业绿色技术创新的积极性,从而引导资本流向创新部门,实现绿色技术进步。另一方面,智慧城市建设加速了城市的智能化发展,带动高新技术产业的壮大,形成对创新人才的刚性需求,吸引科技人才集聚,提升城市人力资本的数量和质量,从而通过“知识外溢”效应为绿色技术创新提供充分的智力支持<sup>[19]</sup>。

**作用机制2(信息支撑效应):**智慧城市建设提升了城市信息化水平,并通过信息技术的全面革新、渗透和应用实现信息的有效传递,为绿色技术创新提供信息支撑。一方面,信息技术的大规模使用为创新活动提供了高效、智能的信息平台,促进信息在不同生产部门之间的关联创新溢出,从而有利于信息化与技术创新的共同攀升<sup>[20]</sup>。另一方面,信息化水平的提升有利于优化生产分工和布局,通过能源、交通等领域基础设施的智能化,诱发能源综合利用、城市交通管理、污染物减排与治理等领域的绿色技术创新<sup>[21]</sup>。同时信息化互联互通也为城市提供了智能化、动态化、精准化的管理媒介,有助于强化政府环境

监管和社会环境监督以实现“波特效应”,倒逼生产部门进行绿色技术创新。

**作用机制3(规模集聚效应):**技术创新活动依赖于经济活动的集聚,而适度的集聚也能够实现规模化、集约化和高效化生产,促进绿色技术创新<sup>[22]</sup>。智慧城市建设加速了新一代信息技术的普及和渗透,极大程度上提升城市公共服务效率和治理效率,有助于城市扩容提质,加速人才、资本、技术等经济要素集聚,通过实现社会资源配置优化,发挥规模经济和集聚效应来促进绿色技术创新。同时智慧城市建设有利于推进产业结构向技术集约型转型,形成产业空间集聚,激发行业内部竞争,最终通过创新溢出、知识共享和资源配置来激励绿色技术创新活动。

综上,智慧城市建设对绿色技术创新的激励效应可能存在资源配置效应、信息支撑效应和规模集聚效应三种作用机制,如图1所示。

## 3 数据与实证模型

### 3.1 模型设定

由于中国智慧城市试点是分批逐年批复,且覆盖不同行政层级的建制单位,而该研究对象主要集中于地级市层面,因此在处理组和对照组的选择上,进行了以下处理:第一,由于部分城市仅有市域内的区、县获批为智慧城市(例如杭州市上城区、大庆市肇源县等),而非在全市范围内开展智慧城市试点,若将该地级市整体作为处理组样本会低估智慧城市对于绿色技术创新的政策效应。因此,将这一类城市从样本中剔除。第二,借鉴石大千等<sup>[14]</sup>的研究,为了延长政策效应估计的时间区间,从而保证估计结果为智慧城市试点政策的净效应,将2013年、2014年及以后获批的智慧城市从样本中删除,仅将住房和城乡建设部公布的首批国家智慧城市作为处理组,非试点城市作为对照组,同时剔除了部分数据缺失较多的城市,最终仅保留了148个城市。将智慧城市试点获批当年及以后的政策虚拟变量项  $Did$  赋值为1,获批之前赋值为0,构建以下双向固定效应的双重差分模型:

$$Y_{it} = \alpha_1 + \beta_1 Did_{it} + \lambda_1 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

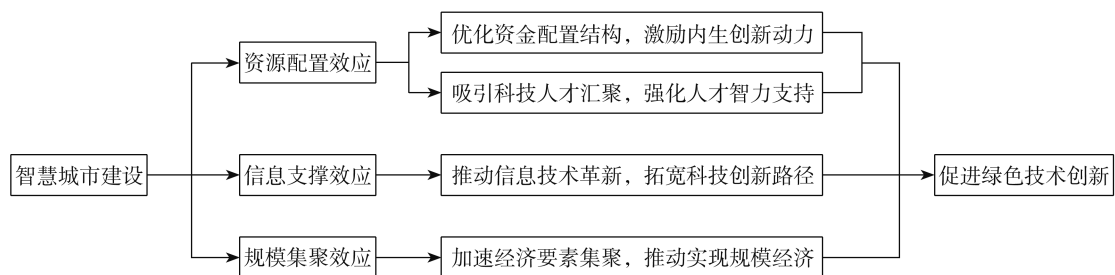


图1 智慧城市建设推动绿色技术创新的路径机制

其中:下标*i*表示第*i*个城市,*t*表示第*t*年,被解释变量 $Y_{it}$ 为绿色技术创新。 $X_{it}$ 为一组控制变量, $\mu_i$ 表示地区固定效应, $\gamma_t$ 表示时间固定效应, $\varepsilon_{it}$ 为随机误差项。 $\alpha_1$ 是关注的重点,其符号正负和数值大小反映了智慧城市建设对绿色技术创新的作用方向及影响程度。

### 3.2 变量设定与说明

#### 3.2.1 被解释变量

世界知识产权组织(WIPO)于2010年推出了一个旨在便于检索环境友好型技术相关专利信息工具,即“国际专利分类绿色清单”,该检索条目依据《联合国气候变化框架公约》将绿色专利划分为七个子类:替代能源生产类、交通类、能源节约类、废弃物管理类、农林类、行政监管与设计类和核能类。该分类清单为准确识别统计城市层面的绿色技术创新提供了可能。借鉴董直庆等<sup>[23]</sup>、王为东等<sup>[24]</sup>的研究,依据国际专利分类绿色清单(IPC Green Inventory)的分类号,检索得到各城市的绿色专利申请数量,以此作为基础指标衡量绿色技术创新。同时根据国家知识产权局对于专利的分类,专利被划分为发明、实用新型和外观设计,且这三类专利的创新性依次降低<sup>[25]</sup>。实用新型和外观设计专利只要求类似的专利申请以前没有被批准过,申请要求和审查标准较为宽松;而发明专利的申请,必须符合“新颖性、创造性和实用性”的要求,具有较高的新颖度和技术创造性,属于高质量的创新<sup>[26]</sup>。鉴于这三类专利数量变化均是创新数量维度的体现,参照胡江峰等<sup>[27]</sup>的研究,以绿色专利(包括发明、实用新型和外观设计)申请总数作为表征技术创新“数量”的基础指标;而相较于实用新型和外观设计专利,发明专利的创新程度最高,参考Hu等<sup>[28]</sup>和刘督等<sup>[29]</sup>的研究,以绿色发明专利申请数量作为衡量技术创新“质量”的基础指标。此外,考虑到研究样本为城市,参考金培振等<sup>[30]</sup>的处理方式,对城市层面绿色专利申请数量进行均值化处理。最终,以每万人绿色专利申请数量( $Pergreenpat$ )衡量绿色技术创新的“数量”,以每

万人绿色发明专利的申请数量( $Pergreeninv$ )表征绿色技术创新的“质量”。为保证结论稳健可信,在稳健性检验部分使用城市层面绿色专利和绿色发明专利申请的总量数据进行替换。

#### 3.2.2 解释变量

核心解释变量是智慧城市虚拟变量 $Did$ ,根据中华人民共和国住房和城乡建设部公布的国家智慧城市首批试点名单及时间进行赋值。

#### 3.2.3 控制变量

基于现有文献,影响绿色技术创新的因素主要包括:①经济发展水平,以人均GDP的对数测度;②对外开放程度,使用当年外商实际使用外资金额占GDP的百分比衡量;③城市规模,采用城市年末总人口数对数值衡量;④环境规制强度,采用单位GDP的工业烟(粉)尘排放量的倒数衡量环境规制水平;⑤基础设施水平,采用人均城市道路面积测度。

研究中所使用的绿色专利申请数据来自Incopat专利数据库,基于IPC绿色清单所公布的分类号、所在城市和申请时间等信息进行专利检索。其他数据主要来自历年《中国城市统计年鉴》,缺失的数据通过查阅各省份和城市的统计年鉴、各城市的年度统计公报、使用插值法等方式进行填补。所有涉及货币价值的经济变量均以2002年为基期进行了平减处理。各主要变量定义及描述性统计见表1。

## 4 实证结果分析

### 4.1 基准回归

分别使用每万人绿色专利申请数量( $Pergreenpat$ )和每万人绿色发明专利申请数量( $Pergreeninv$ )衡量绿色技术创新的“数量”和“质量”,并将其作为被解释变量引入公式(1)。表2汇报了双重差分模型的估计结果,其中(1)列和(2)列报告了智慧城市建设试点对于绿色技术创新“量”的政策效应,(3)列和(4)列报告了智慧城市建设试

表1 主要变量说明及描述性统计

变量名称	变量含义	全样本			处理组			对照组		
		样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差
$Pergreenpat$	绿色技术创新的数量	2 368	0.594	1.574	528	1.276	2.583	1 840	0.399	1.051
$Pergreeninv$	绿色技术创新的质量	2 368	0.292	0.847	528	0.651	1.430	1 840	0.189	0.538
$Lnpergdp$	经济发展水平	2 368	9.851	0.776	528	10.282	0.768	1 840	9.727	0.733
$Open$	对外开放程度	2 368	1.798	2.280	528	2.660	2.269	1 840	1.551	2.223
$Lntotalpeo$	城市规模	2 368	5.726	0.673	528	5.723	0.708	1 840	5.727	0.663
$Regulation$	环境规制强度	2 368	0.124	0.467	528	0.099	0.212	1 840	0.132	0.517
$Infra$	基础设施水平	2 368	3.527	4.387	528	6.025	6.989	1 840	2.811	2.910

点对于绿色技术创新“质”的政策效应。通过表2的(2)列和(4)列可以看出,智慧城市试点政策的估计系数均在5%的水平上显著为正,这表明,作为中国新型基础设施建设的一项较早尝试,智慧城市建设有利于加快节能环保技术的研发和应用,推动实现绿色技术创新的“量质齐升”。从控制变量来看,经济发展水平对绿色技术创新“质”的系数为正,而对“量”的系数为负,这表明在高质量发展目标的引领下,经济发展水平的提高会在一定程度上促进绿色技术创新“质”的提升,而抑制对于“量”的追求。对外开放程度的系数均显著为负,这可能是由于早期鼓励外商投资的政策引入大量的高耗能高污染的生产部门,抑制了技术创新向清洁绿色方向的转变;城市规模、环境规制强度和基础设施建设水平的提高对提升绿色技术创新的“质”与“量”均具有促进作用。

#### 4.2 平行趋势检验

双重差分模型的有效性依赖于处理组和对照组在政策冲击之前不存在时间趋势差异,即如果没有实施智慧城市试点政策,处理组与对照组城市的绿色技术创新变化趋势是一致的。为更严谨地证明处理组和对照组的平行趋势假设,并刻画分析政策冲击在不同时段的影响,借鉴 Jacobson 等<sup>[31]</sup>提出的事件研究法对动态效应进行考察,构建如下模型:

表2 基准回归结果

变量	Pergreenpat		Pergreeniw	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Did</i>	1.420*** (3.104)	1.010** (2.600)	0.792*** (3.051)	0.582** (2.544)
<i>lnpergdp</i>		-0.329 (-0.309)		0.224 (0.372)
<i>Open</i>		-0.095** (-2.254)		-0.049** (-2.135)
<i>lntotalpeo</i>		3.962*** (3.176)		2.273*** (3.412)
<i>Regulation</i>		0.213 (1.386)		0.081 (1.369)
<i>Infra</i>		0.195*** (3.346)		0.090*** (2.791)
<i>cons</i>	0.049 (0.671)	-19.643* (-1.887)	0.018 (0.473)	-14.954** (-2.472)
地区效应	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2 368	2 368	2 368	2 368
<i>R-squared</i>	0.313	0.418	0.284	0.372

注:\* $P<0.10$ ,\*\* $P<0.05$ ,\*\*\* $P<0.01$ ;括号中为*t*值。

$$Y_{it} = \alpha_2 + \sum_{-6 \leq j \leq 6} \delta_j Did_{i,t-j} + \lambda_2 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中: $Did_{i,t-j}$ 表示智慧城市试点实施前后第 $|j|$ 年的哑变量,当处理组城市*i*处在试点批复的第 $(t-j)$ 年时该值取1,反之为0。具体而言,考察智慧城市试点前后各6年的政策效果,详见表3。从绿色技术创新的“数量”和“质量”两个维度来看,在智慧城市试点前,回归系数均不显著,这表明处理组和对照组之间符合平行趋势假设。在智慧城市试点政策当年开始,绿色技术创新的“量”和“质”的系数显著为正,且随着时间的推移,估计系数的值递增且显著性逐渐增强,即智慧城市建设对于绿色技术创新“量”与“质”的激励效应呈现出逐年递增的特征。以上结论表明,由于智慧城市建设是一项循序渐进的系统性工程,信息基础设施和数据平台等诸多配套设施建设并非一蹴而就,因而在智慧城市建设初期,试点政策对于绿色技术创新的激励效应较小,但随着时间推移和配套设施的逐步完善,政策的激励效应也会随之得到强化。

#### 4.3 稳健性检验

为了强化智慧城市建设对绿色技术创新政策效应识别的稳健性,采用如下四种方法进行检验:①替换被解释变量,以城市当年绿色专利申请总量和绿色发明专利的申请总量分别作为被解释变量进行回归;②剔除弱内生性样本,为了避免不同体量城市经济要素和创新资源分布的非平衡性可能造成的干扰,将所有的省会城市从样本中剔除;③更换估计方法,将经济发展水平、对外开放程度、城市规模、环境规制强度和基础设施建设水平作为协变量,基于核匹配进行倾向得分匹配(PSM-DID)估计;④剔除部分时间样本,将2017年和2018年的样本剔除,以此来避免2017年以来鼓励申报并推广智慧城市可能导致的的影响。表4的结果表明,经由以上稳健性检验后,结论仍与前文基本一致,即智慧城市试点显著促进了绿色技术创新的“量质齐升”。

#### 4.4 机制检验

为检验智慧城市建设对绿色技术创新“量”与“质”的影响机制,参考孙天阳等<sup>[32]</sup>的研究,在模型(1)的基础上进行拓展,采用中介效应分析法进行机制检验。首先将倍差项与机制变量进行回归,如模型(3)所示,若倍差项系数 $\beta_3$ 显著,说明智慧城市对于机制变量具有显著影响。其次,将倍差项与机制变量同时放入模型与被解释变量进行回归,如模型(4)所示,若机制变量的系数 $\theta$ 显著,倍差项系数 $\beta_4$ 不显著或仍显著但系数降低,则证明智慧城市通过机制变量 $M_{it}$ 促进了绿色技术创新的提升,模型设定如下:

$$M_{it} = \alpha_3 + \beta_3 Did_{it} + \lambda_3 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \alpha_4 + \beta_4 Did_{it} + \theta M_{it} + \lambda_4 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中,  $M_{it}$  代表机制变量, 其他各变量设定同模型(1)。

#### 4.4.1 资源配置效应

选取科研支出强度(*Scitec*, 具体以科技支出占地方政府财政支出的比值)和科技从业人员数(*Sciemploy*)作为代理变量, 分别从资金和人力两个维度衡量资源配置效应。表5中(1)列—(3)列结果表明, 智慧城市建设可通过提高科技支出强度, 促进绿色技术创新的“量质齐升”, 即资金配置效应得到验证; (4)列—(6)列结果显示, 科技从业人员数有助于从“数量”和“质量”两个维度激励绿色技术创新, 但这种中介效应并不显著。以上结果表明, 智慧城市建设有利于创新资源的优化配置, 特别是通过引导资金流向科技创新部门, 为绿色技术创新提供充分的资金保障; 但相较于资金配置效应, 短期内智慧城市建设的人力配置效应并不显著, 这表明优化人力资本结构和提升人力资本存量是一个长期过程, 未来仍需常态化完善创新型人才体系, 为绿色技术创新提供坚实的智力支持。

#### 4.4.2 信息支撑效应

使用每万人使用互联网用户数(*Internet*)衡量信息化程度, 并将其作为机制变量检验信息支撑效应。根据表6中(1)列—(3)列的结果, 智慧城市建设可通过提高信息化水平激励绿色技术创新的“量与质”, 即信息支撑效应得到验证。这表明, 作为新一代信息技术的重要载体, 智慧城市可以带动互联网、物联网、大数据等高新技术产业的发展, 并通过信息通信技术的广泛应用促进信息化水平大幅提升, 加速研发、生产、应用等部门之间的信息传递和创新扩散, 从而发挥信息支撑效应。

#### 4.4.3 规模集聚效应

采用第二、三产业产值之和与城市建设用地面积的比值(*Agglo*)来度量经济集聚程度, 并以此作为机制变量检验规模集聚效应。表6中(4)列—(6)列的结果显示, 智

表3 平行趋势检验

变量	(1)	(2)
	<i>Pergreenpat</i>	<i>Pergreeninv</i>
<i>Before6</i>	-0.026 (-0.345)	-0.004 (-0.101)
<i>Before5</i>	0.049 (0.762)	0.031 (1.085)
<i>Before4</i>	0.070 (0.908)	0.040 (1.076)
<i>Before3</i>	0.104 (1.081)	0.057 (1.250)
<i>Before2</i>	0.119 (0.907)	0.044 (0.711)
<i>Before1</i>	0.312 (1.440)	0.131 (1.200)
<i>Current</i>	0.561* (1.945)	0.274* (1.688)
<i>After1</i>	0.527* (1.808)	0.288* (1.667)
<i>After2</i>	0.576* (1.782)	0.349* (1.789)
<i>After3</i>	0.891** (2.100)	0.534** (2.067)
<i>After4</i>	1.354** (2.464)	0.810** (2.394)
<i>After5</i>	1.609** (2.396)	0.894** (2.351)
<i>After6</i>	2.205** (2.591)	1.260*** (2.611)
控制变量	是	是
地区效应	是	是
时间效应	是	是
<i>Obs.</i>	2 368	2 368
<i>R-squared</i>	0.436	0.392

注: \*  $P < 0.10$ , \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。

表4 稳健性检验

变量	替换被解释变量		剔除弱内生性样本		PSM-DID		剔除部分时间样本	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>greenpat</i>	<i>greeninv</i>	<i>greenpat</i>	<i>greeninv</i>	<i>greenpat</i>	<i>greeninv</i>	<i>greenpat</i>	<i>greeninv</i>
<i>Did</i>	523.550*** (2.742)	284.979*** (2.673)	0.999** (2.349)	0.585** (2.339)	0.643** (2.196)	0.386** (2.049)	0.677*** (2.722)	0.406** (2.522)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
地区效应	是	是	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2 368	2 368	2 256	2 256	2 327	2 327	1 332	1 332
<i>R-squared</i>	0.331	0.293	0.391	0.345	0.459	0.396	0.433	0.367

注: \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。



智慧城市建设可通过促进城市经济集聚,实现绿色技术创新的“量质齐升”,即规模集聚效应得到验证。这表明,智慧城市通过布局高新技术产业,加速城市智能信息系统的应用,扩大了市场对人力、资本、企业、技术等要素的需求,并通过提升政府治理能力和公共服务效率来优化城市内部环境,吸引要素在城市内的空间集聚,强化知识溢出、技术共享与要素匹配,最终从“数量”和“质量”两个维度激励绿色技术创新。

#### 4.5 异质性分析

如前文所述,根据WIPO的分类标准,绿色专利被划分“替代能源生产类、交通类、能源节约类、废弃物管理类、农林类、行政监管与设计类和核能类”七个子类。考

虑到不同专利类型的技术偏向不尽相同,基于不同技术领域的划分,分别从“量”和“质”的层面揭示智慧城市试点对于绿色技术创新的异质性效应。具体而言,分别使用七个子类的每万人绿色专利申请数和每万人绿色发明专利申请数作为被解释变量,代入模型(1)中进行回归,回归结果汇报在表7和表8中,具体结论及分析如下。

第一,替代能源生产类、能源节约类、交通类、废弃物管理类绿色技术创新的“数量”和“质量”的系数均显著为正,即智慧城市显著推动了这四类绿色技术创新的“量质齐升”。从理念上看,这四类绿色技术创新均与节能减排技术密切相关,契合了智慧城市强调集约、智能、绿色、低碳的新型城镇化发展理念;从实践层面来看,

表5 机制检验 I

变量	资源配置效应					
	(1) <i>Scitec</i>	(2) <i>Pergreenpat</i>	(3) <i>Pergreeninv</i>	(4) <i>Sciemploy</i>	(5) <i>Pergreenpat</i>	(6) <i>Pergreeninv</i>
<i>Did</i>	0.637*** (3.064)	0.794** (2.344)	0.450** (2.248)	0.171 (1.468)	0.831** (2.270)	0.485** (2.239)
<i>Scitec</i>		0.338*** (2.689)	0.208*** (2.813)			
<i>Sciemploy</i>					1.044*** (5.003)	0.569*** (5.676)
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2 368	2 368	2 368	2 368	2 368	2 368
<i>R-squared</i>	0.326	0.470	0.437	0.216	0.473	0.426

注: \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。

表6 机制检验 II

变量	信息支撑效应			规模集聚效应		
	(1) <i>Internet</i>	(2) <i>Pergreenpat</i>	(3) <i>Pergreeninv</i>	(4) <i>Agglo</i>	(5) <i>Pergreenpat</i>	(6) <i>Pergreeninv</i>
<i>Did</i>	0.022* (1.663)	0.910*** (2.681)	0.534** (2.580)	0.075** (2.365)	0.329 (1.246)	0.243 (1.386)
<i>Internet</i>		4.613*** (2.854)	2.269*** (2.766)			
<i>Agglo</i>					9.084*** (5.449)	4.535*** (4.575)
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2 368	2 368	2 368	2 368	2 368	2 368
<i>R-squared</i>	0.627	0.477	0.419	0.465	0.645	0.559

注: \*  $P < 0.10$ , \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。

根据住房和城乡建设部印发的《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系》,以上四类绿色技术创新均为智慧城市建设重点规划实施的技术领域,具体对应着智慧能源、智能交通、智慧环保等专项应用范畴。在智慧城市建设过程中,地方政府可能会重点布局这四类技术领域,并将创新资源向其倾斜,为相关绿色技术的研发和应用提供资金和人力支持,从而产生激励效应。

第二,行政监管与设计类绿色技术创新“量”和“质”的系数均为正,且分别在5%和10%的水平下显著。这表明,智慧城市对城市的治理效率和管理能力均提出了更高要求,有利于推进智能化、动态化、精准化的宏观管理模式变革,这将直接推动城市规划设计和监管模式的深入转型,从而促进行政监管与设计领域的技术创新。

第三,从“数量”和“质量”两个层面来看,农林类和核能类绿色技术创新的系数为正,但均不显著,表明智慧城市并未充分地激励农林类和核能类绿色技术创新。从技术导向来看,农林类绿色技术创新并不属于智慧城市重点规划的行业领域,而核能类技术的空间分布

和技术进步很大程度上依赖于国家能源战略布局。因此在智慧城市建设过程中,这两类技术可能获得的创新资源支持较少,相应的激励效应则有限。

## 5 结论与政策建议

基于2003—2018年中国城市层面的面板数据,运用双重差分模型,分别从“量”和“质”的视角实证检验了智慧城市试点对于绿色技术创新“量”与“质”的政策效应、作用机制以及在不同技术领域的异质性,结论表明:第一,作为中国新型基础设施建设的一种较早尝试,智慧城市有助于促进绿色技术创新的“量质齐升”,且这种激励效应随着时间的推移逐渐得到强化。第二,智慧城市可通过信息支撑效应和规模集聚效应,对于绿色技术创新的“量”与“质”产生促进作用,但资源配置效应并未完全实现。第三,智慧城市对替代能源生产类、交通类、能源节约类、废弃物管理类和行政监管与设计类绿色技术创新的“量”与“质”具有显著激励作用,但对农林类和核能类绿色技术创新的激励效应并不明显。

表7 “数量”层面:分技术领域的异质性检验

变量	(1) 替代能源生产类	(2) 交通类	(3) 能源节约类	(4) 废弃物管理类	(5) 农林类	(6) 行政监管与设计类	(7) 核能类
<i>Did</i>	0.236** (2.367)	0.105*** (3.048)	0.213** (2.580)	0.337** (2.313)	0.030 (1.612)	0.085** (2.008)	0.004 (1.499)
<i>cons</i>	-3.111 (-1.278)	-1.116 (-1.428)	-3.750 (-1.605)	-7.057* (-1.706)	-1.845*** (-3.057)	-2.717** (-2.308)	-0.047 (-0.610)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
地区效应	是	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368
<i>R-squared</i>	0.377	0.332	0.371	0.404	0.300	0.261	0.089

注: \*  $P < 0.10$ , \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。

表8 “质量”层面:分技术领域的异质性检验

变量	(1) 替代能源生产类	(2) 交通类	(3) 能源节约类	(4) 废弃物管理类	(5) 农林类	(6) 行政监管与设计类	(7) 核能类
<i>Did</i>	0.140** (2.367)	0.049*** (3.029)	0.111*** (2.655)	0.180** (2.258)	0.027 (1.485)	0.074* (1.945)	0.002 (1.554)
<i>cons</i>	-2.506* (-1.780)	-0.873** (-2.341)	-2.476** (-2.175)	-4.861** (-2.050)	-1.813*** (-3.075)	-2.398** (-2.379)	-0.027 (-0.563)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
地区效应	是	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是	是
<i>Obs.</i>	2368	2368	2368	2368	2368	2368	2368
<i>R-squared</i>	0.329	0.271	0.348	0.330	0.263	0.232	0.089

注: \*  $P < 0.10$ , \*\*  $P < 0.05$ , \*\*\*  $P < 0.01$ ; 括号中为  $t$  值。



以上的研究结论具有如下政策含义:第一,筑牢绿色可持续发展的底线,以智慧、绿色相结合的理念释放新型基础设施建设的创新红利。既要充分利用人工智能、物联网、大数据等新一代信息技术,推动能源、交通、建筑、环境监测等各领域的智能基础设施网络建设,又要加快信息技术与环境友好型技术的深度融合,推动形成低消耗、可循环、低排放、可持续的产业结构和创新体系。第二,以提质增效为核心目标,强化新型基础设施推动绿色技术创新的政策抓手。要持续发挥地方科技支出和新一代信息技术的支撑作用,充分利用城市内部规模集聚优势,同时补齐优质人力资本领域的短板,以更好地推动绿色技术创新的“量质齐升”。第三,统筹兼顾传统与新型基础设施建设,加快形成多领域间协同互补的绿色创新格局。地方政府应紧密结合政策导向与发展需求,选取节能减排、交通等领域进行重点突破,并“以点带面,点面结合”,尤其是向“十四五”规划中提到的智慧能源、智慧农业等领域渗透,最终形成对各领域绿色技术创新的全面驱动。

#### 参考文献

- [1] 张克中,陶东杰. 交通基础设施的经济分布效应:来自高铁开通的证据[J]. 经济学动态, 2016(6):62-73.
- [2] 姜轶嵩,朱喜. 中国的经济增长与基础设施建设[J]. 管理评论, 2004(9):57-62.
- [3] 李霞,戴胜利,李迎春. 智慧城市政策推进城市技术创新的机理研究:基于演化特征与传导效应的双重视角[J]. 研究与发展管理, 2020,32(04):12-24.
- [4] CARAGLIU A, DEL BO C F. Smart innovative cities: the impact of smart city policies on urban innovation [J]. Technological forecasting and social change, 2019,142:373-383.
- [5] 诸竹君,黄先海,王煌. 交通基础设施改善促进了企业创新吗:基于高铁开通的准自然实验[J]. 金融研究, 2019(11):153-169.
- [6] 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.
- [7] 潘雅茹,罗良文. 基础设施投资对经济高质量发展的影响:作用机制与异质性研究[J]. 改革, 2020(6):100-113.
- [8] 蔡晓慧,茹玉骢. 地方政府基础设施投资会抑制企业技术创新吗:基于中国制造业企业数据的经验研究[J]. 管理世界, 2016(11):32-52.
- [9] 盛磊,杨白冰. 新型基础设施建设的投融资模式与路径探索[J]. 改革, 2020(5):49-57.
- [10] 袁航,朱承亮. 智慧城市是否加速了城市创新?[J]. 中国软科学, 2020(12):75-83.
- [11] 辜胜阻,王敏. 智慧城市建设的理论思考与战略选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(5):74-80.
- [12] LIM Y, EDELENBOS J, GIANOLI A. Identifying the results of smart city development: findings from systematic literature review [J]. Cities, 2019,95:102397.
- [13] WANG M M, ZHOU T, WANG D. Tracking the evolution processes of smart cities in China by assessing performance and efficiency [J]. Technology in society, 2020,63:101353.
- [14] 石大千,丁海,卫平,等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018(6):117-135.
- [15] 张卫东,丁海,石大千. 智慧城市建设对全要素生产率的影响:基于准自然实验[J]. 技术经济, 2018,37(3):107-114.
- [16] ANGELIDOU M. The role of smart city characteristics in the plans of fifteen cities[J]. The journal of urban technology, 2017,24(4):3-28.
- [17] 张节,李千惠. 智慧城市建设对城市绿色创新效率的影响[J]. 统计与决策, 2020,36(19):83-87.
- [18] BAI Y, SONG S Y, JIAO J L, et al. The impacts of government R&D subsidies on green innovation: evidence from Chinese energy-intensive firms [J]. Journal of cleaner production, 2019, 233:819-829.
- [19] 赵领娣,张磊,徐乐,等. 人力资本、产业结构调整与绿色发展效率的作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2016,26(11):106-114.
- [20] 韩先锋,惠宁,宋文飞. 信息化能提高中国工业部门技术创新效率吗[J]. 中国工业经济, 2014(12):70-82.
- [21] 李晓华. 面向智慧社会的“新基建”及其政策取向[J]. 改革, 2020(5):34-48.
- [22] 杨浩昌,李廉水,张发明. 高技术产业集聚与绿色技术创新绩效[J]. 科研管理, 2020,41(9):99-112.
- [23] 董直庆,王辉. 环境规制的“本地-邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019(1):100-118.
- [24] 王为东,王冬,卢娜. 中国碳排放权交易促进低碳技术创新机制的研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020,30(2):41-48.
- [25] 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.
- [26] 黎文靖,郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新:宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. 经济研究, 2016(4):60-73.
- [27] 胡江峰,黄庆华,潘欣欣. 碳排放交易制度与企业创新质量:抑制还是促进[J]. 中国人口·资源与环境, 2020,30(2):49-59.
- [28] HU J F, PAN X X, HUANG Q H. Quantity or quality: the impacts of environmental regulation on firms' innovation-quasi-natural experiment based on China's carbon emissions trading pilot [J]. Technological forecasting & social change, 2020,158:1-12.
- [29] 刘督,万迪昉,吴祖光. 我国创业板市场能够识别创新质量吗?[J]. 科研管理, 2016,37(12):46-54.
- [30] 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, 2019,42(11):99-123.
- [31] JACOBSON L S, LALONDE R J, SULLIVAN D. Earnings losses of displaced workers [J]. American economic review, 1993,83(4):685-709.
- [32] 孙天阳,陆毅,成丽红. 资源枯竭型城市扶持政策实施效果、长效机制与产业升级[J]. 中国工业经济, 2020(7):98-116.

## Does the construction of new infrastructure promote the ‘quantity’ and ‘quality’ of green technological innovation

— evidence from the national smart city pilot

SONG Deyong<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1</sup>, LI Xiangyou<sup>2</sup>

(1. School of Economics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China;

2. Party School of the Guangzhou Huangpu District Committee of CPC, Guangzhou Guangdong 510700, China)

**Abstract** New infrastructure construction and green technological innovation are the implementation method and primary driver of urban high-quality development. Analyzing and identifying the internal relationship between them is of great significance for China to achieve green economic transformation and accelerate the construction of an innovative country. Based on the IPC Green Inventory, this paper sorted out the number of green patent applications at the city level to measure green technological innovation. Then, we analyzed the theoretical mechanism of how smart city construction influenced green technological innovation. Finally, this paper took China's smart city pilot as a quasi-natural experiment of ‘new infrastructure construction’, employed the difference-in-differences model and the panel data from 2003–2018 to test the policy effect on green technological innovation from the dimensions of ‘quantity’ and ‘quality’, and further examined the mechanism and technical field heterogeneity. The results indicated that: ① The construction of smart city significantly promoted the ‘quantity’ and ‘quality’ of green technological innovation, and the result was robust after replacing the independent variables, eliminating endogenous samples and using the PSM-DID method. Moreover, the promotion effect demonstrated gradual intensification over time. ② The ‘quantity’ and ‘quality’ of green technological innovation could be stimulated by information support effect, scale agglomeration effect and fund allocation effect. However, the mechanism of human resource allocation effect did not exist. ③ According to the results of the heterogeneity test, the construction of smart cities had a significant incentive effect on green technological innovation of the specific categories, including alternative energy production, transportation, energy conservation, waste management, administrative regulatory or design aspects. However, it did not significantly promote the green technological innovation of agriculture/forestry and nuclear power generation. Accordingly, this paper believes that: The government should firmly insist the bottom line of sustainable development, and create the innovative dividend of new infrastructure in the future according to the idea of being smart and green. The construction of smart cities should take improving quality and efficiency as the core goal, and optimize policy measures of new infrastructure to promote green technological innovation. Also, the government should give overall consideration of both traditional and new infrastructure construction to accelerate the formation of a green innovation pattern with synergy and complementarity among multiple fields.

**Key words** new infrastructure construction; green technological innovation; quantity and quality; smart city

(责任编辑:李 琪)