

[DOI] 10.19653/j.cnki.dbejdxhb.2023.04.007

[引用格式] 杨飞虎,黄兴,陈佳丽.国家智慧城市试点政策能提升绿色城镇化水平吗?——基于中国276个城市准自然实验数据[J].东北财经大学学报,2023(4):75-87.

国家智慧城市试点政策 能提升绿色城镇化水平吗?

——基于中国276个城市准自然实验数据

杨飞虎,黄兴,陈佳丽

(江西财经大学 经济学院,江西 南昌 330013)

[摘要] 智慧城市作为城镇化和信息化发展到高级阶段的产物,是技术创新环境下城市发展的更高级形态,那么智慧城市是否能够推进绿色城镇化发展?本文基于2006—2020年中国276个地级市面板数据,构建多期DID模型实证分析国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平的影响和作用机制。结果表明,国家智慧城市试点政策能够显著提升绿色城镇化水平;国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响存在异质性,在东部地区、大规模城市 and 较高创新能力的试点城市中,国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平提升作用较为明显,但在其他试点城市中这种影响效应存在差异;国家智慧城市试点政策是通过提升城市环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率提升绿色城镇化水平。本文为推进智慧城市的国家战略、践行绿色发展理念引领下的绿色城镇化道路以实现中国经济社会高质量发展提供了重要启示。

[关键词] 国家智慧城市试点政策;绿色城镇化;多期DID模型;准自然实验

中图分类号:F49;F299.2 文献标识码:A 文章编号:1008-4096(2023)04-0075-13

一、引言

“双碳”目标背景下,“大城市病”“农村衰退”“生物多样性丧失”等传统城镇化模式造成的资源枯竭和环境问题正在迫使中国选择以绿色发展为导向的绿色城镇化道路。2022年发布的

收稿日期:2023-06-15

基金项目:中国特色社会主义理论专项委托课题“新征程上实现全体人民共同富裕研究”(21ZT14);国家自然科学基金地区科学基金项目“新型城镇化建设中公共投资效率评估及效率提升机制研究”(71764010);江西财经大学资助课题“革命老区旅游业对绿色城镇化的作用机理和路径优化研究——以井冈山革命老区为例”(2022091910011371);江西财经大学资助课题“绿色城镇化建设中绿色公共投资的作用机理与实现路径研究”(20220912225236721)

作者简介:杨飞虎(1972—),男,安徽临泉人,教授,博士,博士生导师,主要从事宏观经济理论、投资经济理论研究。E-mail:yfh168@sina.com

黄兴(1997—),男,江西萍乡人,硕士研究生,主要从事投资经济理论研究。E-mail:2741588604@qq.com

陈佳丽(1998—),女,江西萍乡人,硕士研究生,主要从事投资经济理论研究。E-mail:chen4967y@163.com

《“十四五”新型城镇化规划实施方案》中指出要转变城市发展模式，建设宜居、韧性、创新、智慧、绿色、人文城市。党的二十大报告也强调推动绿色发展，促进人与自然和谐共生。

自2008年以来，智慧城市持续在国际上引起广泛关注和建设热潮。2012年，中华人民共和国住房和城乡建设部发布了《关于开展国家智慧城市试点工作的通知》，明确指出智慧城市是集约、绿色、低碳、智能新型发展的内涵要求，是带动产业优化升级的重要途径。《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》将智慧城市纳入到国家发展战略中。“十四五”规划提出实施城市更新行动，分级分类推进新型智慧城市，以实现与市政设施、建筑等相对应的物联网应用和智慧化改造。党的二十大报告指出，要加强城市基础设施建设，打造宜居、韧性、智慧城市。智慧城市要求在试点城市内实践低碳发展路径，构建环境智能监测体系与污染物排放防控体系，打造以低碳排放为特征的现代化产业体系。那么，智慧城市是否是推进绿色城镇化发展的灵丹妙药？智慧城市是如何推进绿色城镇化发展的？因此，借助国家智慧城市试点政策，深入分析智慧城市与绿色城镇化发展之间的关系、作用机制和实现路径显得尤为重要，对于推进智慧城市的国家战略、践行绿色发展理念引领下的绿色城镇化理念、实现中国经济社会高质量发展具有重要的理论价值和现实意义。

二、文献研究

智慧城市和绿色城镇化是顺应当前经济社会环境的城市发展趋势，研究成果丰富。对于智慧城市，国外文献中基本认为其是在以信息与通信技术为中心的基础上发展成为三个核心要素：技术（硬件与软件的基础设施）、人（创造力和教育）、政府（治理与决策）；国内学者如张荣博和钟昌标^[1]主要从智慧化与新一代信息技术角度对智慧城市的概念和内涵进行阐释，较少从具体领域应用和系统观念来表明。关于智慧城市的影响作用及机制研究涉及经济、社会、生态等方面。张营营和高煜^[2]发现智慧城市政策主要通过技术创新路径作用于地区制造业优化升级；周小敏和李连友^[3]通过对中国171个地级市样本的研究发现智慧城市能够显著促进地区经济增长。

智慧城市与绿色发展、绿色城镇化息息相关。Rosario^[4]认为智慧城市不应局限于智能信息技术的概念范围，更应该包括绿色经济与可持续发展的思想。郭昊等^[5]也指出智慧城市具有生态化、绿色化的重要特征。当前关于智慧城市和绿色城镇化两者关系的研究较为薄弱，已有文献主要探讨智慧城市对新型城镇化、城市绿色发展等方面的影响，并支持智慧城市能够促进城市绿色发展和推动城镇化进程。仇保兴^[6]认为智慧城市是一种以智慧方式推动城镇化的创新发展和绿色发展模式，应采用数字技术、智慧手段促进城镇化和工业化的协调发展。王常军^[7]指出智慧城市是以智慧型服务政府为引导的未来城市发展模式，是中国新型城镇化发展的重点方向。张卫东等^[8]指出智慧城市通过技术创新、产业结构升级和生产要素集聚促进城市绿色全要素生产率的提升。在新型城镇化的目标下，城市发展最终将实现“三合一”的未来新兴城镇化发展模式，即与物相连、互联互通、智能化。宋德勇等^[9]研究发现智慧城市加速了城市的智能化发展，带动高新技术产业的壮大，能够促进绿色技术创新。智慧城市不仅激励创新，而且在绿色、低碳、节能减排、减少雾霾和工业污染物排放方面也发挥作用，推动了工业产业结构升级^[1, 10]。

综上，鲜有文献研究智慧城市对绿色城镇化水平的影响，也很少有文献确定智慧城市影响绿色城镇化的作用路径。鉴于此，本文可能的边际贡献体现在：一是在研究视角上，以国家智慧城市试点政策为切入点，系统探讨了智慧城市和绿色城镇化的内在联系，拓展了新发展理念下的绿色城镇化理论研究。二是在研究内容上，揭示了智慧城市影响绿色城镇化水平的直接效应和通过

环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率作用于绿色城镇化的中介效应,加强了该领域的理论研究。上述研究为制定和完善智慧城市和绿色城镇化的政策提供了经验证据,具有一定的现实意义,也为进一步讨论该问题提供了有益的理论参考。

三、理论机制分析

基于已有研究,在传统城市向新型城市转变的过程中,智慧城市具有数字化、智慧化、低碳化三大特征,全面体现创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念与以人民为中心的城市发展理念,着力构建集智慧管理、智慧生活、智慧产业、智慧生态、智慧基础设施于一体的智慧城市建设体系,进而促进绿色城镇化发展。

本文认为智慧城市从智慧管理、智慧生活、智慧产业、智慧生态和智慧基础设施五个方面对绿色城镇化发展产生直接影响:(1)智慧管理影响。智慧管理通过智慧地感知、集成、分析、处理、决策以及城市公共管理各个要素间的整合转型来提升城市运行管理水平、政府行政效能和公共服务能力,有助于社会和谐,加速绿色城镇化进程。同时,智慧管理的建设重点还体现于环境方面,能够实时监测环境数据,密切关注企业生产过程中的排污等信息,从而强化政府监管并使企业减少污染排放,从环境友好方面推动绿色城镇化进程。(2)智慧生活影响。首先,智慧生活的建设通过提升社会主体的生活质量,转变生活方式,满足民众各个方面的需求,有助于推动社会和谐。其次,智慧生活能够促进民众形成绿色消费观念、引导企业推动产业结构及生产过程向绿色化和循环化方向发展,在协调好经济与环境的关系下发展绿色经济,从而助力于实现社会和谐、生态经济与环境友好。(3)智慧产业影响。智慧产业建设注重绿色经济的理念,通过技术突破提升能源使用效率和加快清洁能源开发利用,从资源高效方面推动绿色城镇化深入发展。同时,智慧产业建设能够加速生产要素从低生产率部门向高生产率部门的转移提升整个社会生产率水平,推动产业结构合理化和高级化,并通过经济活动的规模化运作和专业化分工推进成本节约、资源最优配置、提升资源要素利用效率,促进生态经济发展。(4)智慧生态影响。智慧生态建设以生态价值为导向,将生态元素渗透到智慧城市运行的各个方面,集聚发展智慧型生态产业,充分实现信息技术和环境产业的融合,促进城市生产、消费、居住等智能化运行,协调城市经济发展、社会发展和环境承载力之间的关系,为人类发展创造更加和谐、高效、美丽的城市环境,进而对绿色城镇化的生态经济和环境友好方面起到正向作用。(5)智慧基础设施影响。智慧基础设施以技术创新为基石,以生态环境保护为重要前提,包括信息网络设施、信息共享基础设施以及经过智能化改造的传统基础设施三大部分,是经济发展动能转换与削减污染物排放的重要驱动力量,为绿色城镇化提供新引擎,促进绿色城镇化的生态经济发展。根据以上分析,本文提出如下假设1:

H1: 智慧城市能够提升绿色城镇化水平。

智慧城市不仅能对绿色城镇化的高质量发展产生直接影响,还能通过将环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率作用于绿色城镇化的建设。(1)环境基础设施运行效率。智慧城市聚焦现有环境基础设施领域,如智慧交通、智慧节水和智慧能源等,运用信息化和创新技术提升城市资源使用效率,降低环境污染治理成本,进而提升城镇环境基础设施运行效率。环境基础设施运行效率的提升能够激发绿色发展潜能,扩大绿色有效需求,加快落后产能淘汰和高能耗、高污染企业绿色转型,促进产业结构优化;同时,还可以提升环境治理水平,提供优质生态产品,满足人们的生态环境需求,增强人们的幸福感,从而不断提升绿色城镇化中的生态经济、资源高效、环

境友好、社会和谐四方面发展。(2) 绿色全要素生产率。宋德勇等^[9]指出智慧城市能够通过资源配置效应、信息支撑效应和规模集聚效应促进绿色技术创新, 申洋等^[11]也提出智慧城市可以通过科技创新、环境规制和产业结构服务化有效提升绿色全要素生产率。而绿色全要素生产率的提升能够增加产品的技术含量和附加值, 降低了生产过程中的能耗, 提升企业能效, 促进产业转型升级, 减少污染物排放, 有利于环境保护, 从而对绿色城镇化的生态经济、环境友好两方面产生积极影响。根据以上分析, 本文提出如下假设:

H2: 智慧城市可以通过提升环境基础设施运行效率以提升绿色城镇化水平。

H3: 智慧城市可以通过提升绿色全要素生产率以提升绿色城镇化水平。

四、研究设计

(一) 模型设定

1. 多期DID模型

绿色城镇化高质量发展与智慧中国建设息息相关。为了更加科学且稳健地评估国家智慧城市试点政策是否促进了绿色城镇化水平提升, 本文将智慧城市试点政策作为外生冲击, 通过多期DID模型进行评估。从2012年开始, 本文在2013—2014年之间分批次逐步增加试点城市数量, 然而传统DID模型不能满足这一扩容性特点。本文参考Beck等^[12]的研究, 在控制个体效应和时间效应的基础上建立多期DID模型, 以验证国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平的影响, 如式(1)所示。

$$Greurb_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{it} + \sum \alpha_j X_{it} + u_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $Greurb_{it}$ 代表绿色城镇化水平, i 和 t 分别代表所在城市和对应年份。 D_{it} 代表核心解释变量, 如果城市 i 在第 t 年被遴选为国家智慧城市试点则对应虚拟变量取值为1, 若未入选则取值为0。本文重点关注系数 α_1 , 用来衡量国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响。 X_{it} 代表可能影响绿色城镇化水平的其他变量, ε_{it} 代表随机扰动项。式(1)考虑了个体固定效应 u_i 和时间固定效应 δ_t , 能够克服传统回归模型存在的偏误性, 以保证回归结果的稳健性。

2. 机制检验模型

为探求国家智慧城市通过何种作用路径影响绿色城镇化水平, 本文采用机制检验模型进行验证。借鉴胡山和余泳泽^[13]研究思路, 本文构建机制检验模型。

具体步骤为: 首先, 将国家智慧城市试点政策作为核心解释变量, 将绿色城镇化水平作为被解释变量进行回归, 探析国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响, 具体如式(1)所示。其次, 将环境基础设施运行效率($lneioe$)和绿色全要素生产率($lngtfp$)作为被解释变量, 探究国家智慧城市试点政策对这两个变量影响, 具体如式(2)所示。

$$M_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 D_{it} + \sum \gamma_j X_{it} + u_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, M_{it} 表示机制变量。

(二) 变量设定

1. 被解释变量

绿色城镇化水平($Greurb$)。本文借鉴杨角^[14]和周亮等^[15]学者成果, 从生态经济、资源高效、环境友好、社会和谐等四个方面构建绿色城镇化水平综合评价指标体系, 对中国276个地级市的绿色城镇化水平进行综合评价。在运用熵权法客观确定各指标在评价指标体系中权重的基础上, 使用均值标准化测算得出最终得分。本文构建的绿色城镇化水平的综合评价指标体系如表1所示。

表1 绿色城镇化水平的综合评价指标体系

一级指标	二级指标	指标单位	指标属性
生态经济	人均地区生产总值 (X1)	元/人	正向
	城镇居民人均可支配收入 (X2)	元/人	正向
	第三产业增加值占生产总值比重 (X3)	%	正向
	城市生产总值增长速率 (X4)	%	正向
资源高效	单位生产总值能耗 (X5)	吨/万元	负向
	单位生产总值工业废水排放量 (X6)	吨/万元	负向
	单位生产总值工业二氧化硫排放量 (X7)	吨/万元	负向
	一般工业固体废物综合利用率 (X8)	%	正向
环境友好	年均PM2.5浓度 (X9)	微克/立方米	负向
	生活垃圾无害化处理率 (X10)	%	正向
	生活污水处理率 (X11)	%	正向
	建成区绿化覆盖面积占比 (X12)	%	正向
社会和谐	人均道路面积 (X13)	平方米/人	正向
	每万人拥有医疗床位数 (X14)	张/万人	正向
	每万人拥有公路里程数 (X15)	公里/万人	正向
	每百人公共图书馆藏书 (X16)	册/百人	正向

2. 核心解释变量

本文将国家智慧城市试点政策 (D) 作为政策虚拟变量, 使用城市类型虚拟变量和政策实施时间虚拟变量的交互项来代表国家智慧城市试点政策 (D_{it}) 并作为解释变量。具体而言, 本文将试点城市设置为实验组 ($group$) 赋值为1, 非试点城市设置为对照组赋值为0。以试点城市实施时间为分界线, 试点城市实施之前赋值为0, 实施当年及之后年份赋值为1。

3. 控制变量

工业生产能力 ($lnind$)。工业生产可以为城市建设供给必要的要素, 但工业生产中排放的污染物也会阻碍绿色城镇化水平提升。本文工业化生产能力采用各地级市第二产业增加值与城市生产总值比值表示。营商能力 ($lnfdi$)。良好的营商投资环境能够吸引外商外资和人才汇聚, 促进信息交流, 从而激发经济活力、推进城镇化发展。本文用各地级市实际利用外商直接投资额与城市生产总值比值表示营商能力。经济开放能力 ($lnope$)。经济开放能力会影响城镇产业的发展, 本文用各个地级市进出口总额占城市生产总值比重衡量。政府财政能力 ($lngov$)。财政支出是城镇化绿色转型的重要资金来源之一, 因而政府财政能力是影响绿色城镇化水平的重要因素。用政府财政支出占城市生产总值比值来表示。就业结构 ($lnemp$)。就业人员的产业流向, 可以影响绿色城镇化水平。本文用第三产业从业人员人数占总从业人员人数来衡量。

4. 机制变量

环境基础设施运行效率 ($lneioe$)。本文借鉴潘笑菲等^[16]思路构建环境基础设施运行效率评价指标体系测算。绿色全要素生产率 ($lngtfp$)。本文借鉴张英浩等^[17]思路, 以2006年为基期建立绿色全要素生产率评价指标体系并测算, 使用MaxDEA软件测度。

(三) 数据来源

根据数据的及时性、完善性与可得性, 本文最终选择2006—2020年中国276个地级市展开研究。其中, 计算绿色城镇化水平所需的PM2.5浓度数据值来自美国哥伦比亚大学社会经济数据与应用中心公布的测算数据, 智慧城市试点名单来自住房和城乡建设部官方网站, 地级市环境污染治理投资总额借鉴丁焕峰等^[18]思路计算得出。其他数据均来自最新公布的《中国城市统计年鉴》、

地方统计局官网和各省统计公报。剔除了毕节市、铜仁市等2011年之后因行政区划而设立的地级市，以及西藏的拉萨市。缺失数据使用插值法进行填补^①。本文指标体系如表2和表3所示。

表2 环境基础设施运行效率指标体系

类别	指标	名称	单位
投入指标	资金投入	环境污染治理投资总额	万元
	人员投入	水利、环境和公共设施管理业从业人员	万人
	垃圾处理设施	生活垃圾无害化处理厂数	座
	污水处理设施	污水处理厂座数	座
	市容环卫设施	市容环卫专用车辆设备总数	台
产出指标	垃圾处理成效	生活垃圾无害化处理量	万吨
	污水处理成效	污水处理厂处理量	万立方米
	市容环卫成效	道路清扫保洁面积	万平方米

表3 绿色全要素生产率指标体系

类别	指标	名称	单位
投入指标	资本要素	固定资本存量	万元
	劳动要素	年末单位从业人员	万人
	能源要素	全社会用电量	千瓦/小时
产出指标	期望产出	地区生产总值	万元
	非期望产出	工业二氧化硫排放量	吨
		工业烟尘排放量	吨
		工业废水排放量	吨
PM2.5浓度		微克/立方米	

五、实证结果分析

(一) 平行趋势检验和动态检验

平行趋势检验是评估多期DID模型分析国家智慧城市试点政策实施效果的关键。假设在政策实施前后出现了与绿色城镇化相关的不可观测干扰因子，干扰到了城市进入智慧城市试点行列，则在没有遭到冲击的影响以前，实验组与对照组城市的绿色城镇化水平有相同趋势。政策实施之后，实验组和控制组的变化之差，即为净政策效应，且政策的效果可能存在时滞性或衰减等动态变化。同时，本文通过事件分析法进行平行趋势检验和动态检验。限于篇幅，仅对政策实施前5期和后6期进行实证检验，如式(3)所示。

$$Greurb_{it} = c_0 + \sum_{n=-5}^{n=6} (c_n I_{it}^{t-birthyear_i-n}) + \sum_j c_j X_{it} + u_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中， n 表示距离国家智慧城市试点政策实施时间的年份数量， $birthyear_i$ 表示 i 城市成为试点城市的年份。当 $t - birthyear_i = n$ 时， $I_{it}^{t-birthyear_i-n}$ 取值为1，不等于 n 时取值为0。

本文研究了政策实施前后绿色城镇化水平的平行趋势检验与动态变化趋势，通过描述了回归系数 c_n 的变化趋势^②，发现在国家智慧城市试点政策实施之前，回归系数 c_n 均未通过显著性检验，这表明试点城市与非试点城市的绿色城镇化水平变化趋势相同。此外，为了消除共线性的影响，

① 描述性统计结果未在文中列示，留存备案。

② 该表未在文中列示，留存备案。

本文在检验时随机去除掉政策实施前一期。在试点政策执行的当年 c_n 均通过显著性检验,即政策执行后试点城市绿色城镇化水平与非试点城市存在显著差距。因此,国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响满足平行趋势假设这一结论。从上述结果可知,随着政策逐步实施,回归系数的大小和显著性水平均提升,试点城市和非试点城市绿色城镇化水平差距在逐步拉大。

(二) 基准回归

本文将国家智慧城市试点政策作为外生冲击,对二者联系进行分析,基准回归结果如表4所示。模型(1)为未添加控制变量的估计结果,国家智慧城市试点政策的回归结果显著为正,这表明国家智慧城市试点政策显著正向影响了绿色城镇化水平。模型(2)在模型(1)的基础上控制了个体固定效应和时间固定效应,国家智慧城市试点政策的回归系数显著为正。加入控制变量后,无论是在模型(3)的不固定时间效应和个体效应,还是在模型(4)的固定时间效应和个体效应回归系数均为正。这种正向作用影响可能原因有两点:第一,国家智慧城市试点政策优化了城市绿色发展环境,政策实施为绿色城镇化建设打下良好基础;第二,智慧城市可以通过资本投入等直接渠道,提升绿色城镇化水平。提升环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率等会间接影响相关城市的绿色城镇化水平。同时,环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率提升也会促进企业进行绿色转型,进而提升绿色城镇化水平。由此,H1得以验证。

表4 基准回归结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
D_{it}	0.550*** (0.032)	0.172*** (0.048)	0.510*** (0.031)	0.151*** (0.048)
$lnind$			-0.388*** (0.065)	-0.281*** (0.096)
$lnfdi$			-0.029*** (0.010)	0.058 (0.035)
$lnope$			0.180*** (0.011)	-0.003 (0.035)
$lngov$			-0.173*** (0.040)	-0.273*** (0.069)
$lnemp$			-0.261*** (0.061)	0.175* (0.103)
时间固定效应	NO	YES	NO	YES
个体固定效应	NO	YES	NO	YES
样本量	4 140	4 140	4 140	4 140
常数项	0.844*** (0.017)	0.672*** (0.018)	3.406*** (0.390)	0.726 (0.539)
R^2	0.066	0.134	0.179	0.146

从控制变量来看,工业生产能力($lnind$)提升不利于绿色城镇化水平提升。表明中国粗放式的工业贸易加工和工业生产所造成的环境污染效应对于绿色城镇化有不利影响。营商能力($lnfdi$)系数为正,表明开放的环境有利于吸引外资,从而正向促进绿色城镇化水平。经济开放能力($lnope$)系数为负,未能对绿色城镇化水平产生正向影响,这一结果也验证了“污染天堂”假说与城市快速扩张对绿色城镇化带来的负面影响。政府财政能力($lngov$)变量系数为负,表明由于财政支出受到政府预算、绩效考核、地方发展特色等多方面限制,因此经济发展的竞争中,地方政府更有可能在短期内投资经济增长较快的生产领域,对于生态环境保护及城市绿色发展的投入不够,因而未能对绿色城镇化水平产生积极影响。就业结构($lnemp$)变量系数为正,表明越来越多的非农业部门

就业岗位增加,高科技和高技能岗位就业占比稳步上升,为绿色城镇化稳步推进提供了必要的人力资本支持和产业支持。

(三) 内生性与稳健性检验

1. PSM-DID 检验

考虑到智慧城市试点和非试点城市在个体特征上存在差异,为避免内生性问题,本文进一步通过PSM-DID检验国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平的影响在进行倾向得分匹配之后,需

要进行匹配平衡性假设检验，以检验实验组和对照组在匹配前后是否存在差距。

表5 PSM-DID 回归结果

变 量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
D_{it}	0.166*** (0.048)	0.144*** (0.047)	0.170*** (0.046)	0.151*** (0.045)
常数项	0.671*** (0.017)	-0.744* (0.444)	0.665*** (0.016)	-0.397 (0.447)
控制变量	NO	YES	NO	YES
时间固定效应	NO	YES	NO	YES
个体固定效应	NO	YES	NO	YES
样本量	4 140	4 140	4 140	4 140
R ²	0.131	0.092	0.145	0.156

本文将控制变量作为协变量，通过1:1近邻匹配法对控制组进行选取和匹配，由倾向得分匹配结果^①可知匹配之后协变量t统计量未通过显著性水平检验，与匹配之前的协变量t统计量显著性不同。且所有协变量的匹配标准差的绝对值均低于10%，这表明无论是匹配之前还是之后，实验组和对照组之间并不存在明显差异，满足匹配平衡性假设。在计算倾向匹配结果的基础上进行双重差分检验，得出的系数显著为正，表明结果具有稳健性。考虑到将面板数据转化为截面数据会出现自相关问题^[19]。故本文在截面PSM-DID的基础上引入逐期匹配来佐证回归结果的稳健性，在对国家智慧城市试点政策进行逐年匹配过程中得出系数为正且显著，表明模型依然是稳健的。稳健性检验结果显示在时间固定效应和个体固定效应的情况下，无论是否加入控制变量，国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响依然显著为正。表明PSM-DID模型回归结论与基准回归一致，这进一步验证了本文基准回归的估计结果是稳健的。表5列(1)和列(2)的结果表示在截面数据情况下进行的PSM-DID检验，列(3)和列(4)的结果表示在逐期匹配情况下进行的PSM-DID检验。

2. 安慰剂检验^②

考虑到绿色城镇化水平提升不一定仅由国家智慧城市试点政策的冲击所引起，可能还会受到其他无法观测政策的影响，最终致使国家智慧城市试点政策和其他政策一起作用于绿色城镇化水平。为验证基准回归结果的有效性和稳健性，本文进行安慰剂检验。若安慰剂检验中核心解释变量的系数较小或未通过显著性检验，则表明基准回归结果具有稳健性^[20]。本文使用Stata17软件生成伪国家智慧城市试点政策，对276个样本地级市进行了1000次随机实验，每次选择86地级市作为实验组，随机给出时间伪变量，并生成1000组伪变量作为回归检验的核心解释变量。根据安慰剂检验结果，核心解释变量国家智慧城市试点政策的回归系数为-0.115且不显著，这表明被选为国家智慧城市试点后，试点城市绿色城镇化水平提升并非由其他不可观测因素导致的。因此，国家智慧城市试点政策实施后，试点城市绿色城镇化水平提升主要源于国家智慧城市试点政策，并非由其他不可观测政策因素导致，这进一步验证了基准回归结论的稳健性。

3. 排除其他政策的干扰^③

在本文的考察期内，2010年出台的低碳城市试点政策与本文研究内容高度相关。因此，本文在前文基准回归模型中，加入三批次低碳城市试点政策(Lc_policy)实施的时间和政策虚拟变量的交互项^④。由回归结果可知，当低碳中国城市试点政策加入到基准回归模型中时，其系数不显著，而国家智慧城市试点政策的系数依旧显著为正，且核心解释变量的回归系数数值前后差异性不大。因此，这也佐证了国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平具有明显促进作用，其他政策干扰

① 倾向得分匹配结果未在正文中列示,留存备案。
 ② 安慰剂检验结果未在正文中列示,留存备案。
 ③ 排除其他政策的干扰和更换被解释变量的回归结果未在正文中列示,留存备案。
 ④ 为保证低碳城市试点政策对绿色城镇化的净效应,因此本文仅选取国家发展和改革委员会公布的地级市进行检验。

较小。

4. 更换被解释变量

前文基准回归中被解释变量绿色城镇化水平采用平均值熵权法计算得出,本文进一步采用主成分分析法对绿色城镇化水平重新进行测度并重复前文基准回归过程。当使用主成分分析法对绿色城镇化水平(P_score)重新进行测度时,其结果依然显著为正,结果依旧具有稳健性。

六、异质性分析

中国城市间发展存在差距,因此国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响存在异质性。在前文研究的基础上,下面将探究国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响是否会因区域选择、城市规模和创新能力的差异而表现不同。

(一) 城市区域异质性分析^①

区域发展的不协调反映了中国经济发展不平衡的矛盾。本文将276个地级市分为东部地区(*East*)、中部地区(*Middle*)和西部地区(*West*)来讨论。由区域异质性分析结果可知,东部地区系数为0.172且显著,这表明与中部地区和西部地区相比,东部地区试点城市在知识资本、发展要素和优势产业建设等方面具有更强的优势,这种优势可能会导致国家智慧城市试点政策对东部地区试点城市绿色城镇化水平存在显著正向影响。中部地区系数为-0.279且显著,可能的原因是中部地区试点城市的资金、人才和基础设施相对滞后,导致试点城市发展基础较弱,同时为发展自身经济极有可能承接东部较落后产业,导致试点城市绿色城镇化水平受到消极影响。西部地区系数为0.151较小且不显著,可能的原因是西部地区试点城市由于自身地理位置或者经济原因,因而暂时不能完全发挥出国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平提升的显著影响。

(二) 城市规模异质性分析

随着人口数量和相关要素增加,城市规模扩大,聚集效应增强,但由于城市规模的差异,造成不同区域城市之间存在差距,会对试点城市产生一定的影响。《2021年全国城市综合实力排行榜》以城市资源集聚度、城市重要程度、生活方式多样性和城市发展潜力等为依据,将中国城市分为六大类型。基于这一划分标准,本文将一线、新一线和二线城市合并为大规模城市(L_city),将三线城市作为中等规模城市(M_scity),将四线及四线以下城市作为小规模城市(S_city),通过分组回归检验国家智慧城市试点政策因城市规模异质而对绿色城镇化水平产生的差异化影响。回归结果如表6列(1)至列(3)所示,可见大规模城市系数最大且显著,而中等规模城市和小规模城市系数依次减少。这可能的原因是规模较大的城市具有较好的基础设施、较高的产业专业化程度和较丰富的绿色生产要素,有利于绿色城镇化深入持续发展;中等规模城市在初始禀赋和地理位置相对于大规模城市来说较差,所以系数较小;而规模较小的城市由于经济优势较弱,需要优先发展经济,需要承接生产周期短、污染高的重工业,因此不利于绿色城镇化水平提升。

(三) 创新能力异质性分析

区域创新能力差异不仅会造成中国区域发展差异,还会对国家智慧城市试点政策效应造成一定的冲击。为了验证各地区试点城市创新能力差异对绿色城镇化水平影响,本文以万人所获专利技术许可数指标为依据,将创新能力分为高创新能力($Sinn$)和低创新能力($Winn$)地区,结果如表6列(4)和列(5)所示。根据结果可以发现,国家智慧城市试点政策对于创新能力高的试点城市而言回归系数最大且显著为正,对于创新能力低的试点城市而言却具有显著负相关关系。可见,

^① 区域异质性分析结果未在正文中列示,留存备索。

由于各区域间的试点城市创新能力不同，国家智慧城市试点政策对不同创新能力的试点城市绿色城镇化进程产生了不同程度影响。可能的原因在于，创新能力高的试点城市凭借发达的科技水平和雄厚的资金实力有力支持绿色城镇化建设，而创新能力低的试点城市可能在短期内会倾向于将资金和技术等生产要素投入到风险程度低、生产周期短、环境成本高的行业中。因此，创新能力低的试点城市难以体现国家智慧城市试点政策对绿色城镇化的积极影响。

表6 城市规模异质性和创新能力异质性

变 量	城市规模异质性			创新能力异质性	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	大规模城市	中等规模城市	小规模城市	高创新能力城市	低创新能力城市
D_u	0.056*** (0.053)	0.168*** (0.055)	0.256*** (0.060)	0.074 (0.047)	0.727*** (0.178)
L_scity	0.343*** (0.095)				
M_scity		0.070 (0.083)			
S_city			-0.222*** (0.075)		
$Sinn$				0.653*** (0.184)	
$Winn$					-0.632*** (0.184)
常数项	0.136 (0.510)	0.700 (0.540)	0.647 (0.517)	0.198 (0.450)	0.198 (0.430)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
R^2	0.599	0.147	0.151	0.163	0.163

七、作用机制检验

为进一步探究国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平的作用路径和传导过程，本部分继续考察城市环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率是否在政策效应发挥过程中扮演机制角色，并进一步验证H2和H3。具体地，将城市环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率作为机制变量，构建机制检验模型，实证结果如表7所示。

表7 机制检验回归结果

变 量	模型 (1)	模型 (2)
	$lnieio$	$lngtjp$
D	0.068** (0.029)	0.087*** (0.011)
常数项	2.349*** (0.477)	-0.293*** (0.144)
控制变量	YES	YES
时间固定效应	YES	YES
个体固定效应	YES	YES
样本量	4140	4140
R^2	0.117	0.080

(一) 城市环境基础设施运行效率

如前文所述，城市环境基础设施运行效率是衡量试点城市绿色城镇化建设效率的一项重要指标。本文采用投入导向型规模报酬可变的DEA-BCC模型对环境基础设施运行效率进行测度，借鉴潘笑菲等^[16]的研究思路将资金投入、人员投入、污水处理设施、垃圾处理设施以及市容环卫设施作为投入指标，将垃圾处理成效、污水处理成效和市容环卫成效作为产出指标，以城市环境基础设施运行效率，回归结果如表7中列(1)所示。其中，由模型(1)可知，核心解释变量 D 的系数为0.068且显著为正，表明国家智慧城市试点政策推行提升了试点城市的环境基础设施运行效率。可能的原因在于，国家智慧城市试点政策除了为居民带来了方便、环保的生活之外，也促使

试点城市出台相应的政策支持智慧城市,提升了城市环境基础设施运行效率,对试点城市的绿色城镇化发展产生了积极影响。据此,H2得以验证。

(二) 绿色全要素生产率

国家智慧城市试点政策提升绿色全要素生产率本质上是试点城市通过政策引导促进技术、劳动力和资金等生产要素聚集的动态过程,是投入和产出共同作用的结果。本文以2006年为基期,用固定资产价格指数平减固定资本形成总额,并使用永续存盘法计算资本存量,折旧率取11.0%^[21-22]。与传统的DEA模型相比,本文借鉴OH^[23]构建GML指数来测度绿色全要素生产率。使用固定资本存量、年末单位从业人员、全社会用电量作为投入指标,以地区生产总值作为期望产出指标,以工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量、工业废水排放量和PM2.5浓度作为非期望产出指标来测量绿色全要素生产率,回归结果如表7中列(2)所示。由列(2)可知,D系数为0.087在且显著为正,表明国家智慧城市试点政策能够提升绿色全要素生产率,其可能的原因在于,智慧城市试点政策鼓励运用信息和通信技术、物联网、大数据等智慧技术,通过智能化的监测、管理和调度系统,能够更精确地掌握资源的使用情况,实现资源的优化配置和节约,从而提升绿色全要素生产率,进而推动绿色城镇化发展。据此,H3得以验证。

八、结论与政策建议

(一) 结论

本文基于2006—2020年中国276个地级市面板数据,构建多期DID模型检验国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响。研究发现:国家智慧城市试点政策能够显著提升绿色城镇化水平,在通过PSM-DID检验和安慰剂检验等进行稳健性检验后,这一结论依旧成立;国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平影响效应存在异质性。在东部地区、大规模城市和高创新能力的试点城市中,国家智慧城市试点政策对绿色城镇化水平的提升作用较为明显,而在其他试点城市中,这种影响效应随着城市区域、城市规模和创新能力的变化而降低;国家智慧城市试点政策通过提升环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率,提升绿色城镇化水平。

(二) 政策建议

推广国家智慧城市试点政策,有序扩大试点城市覆盖面。国家智慧城市试点政策能够提升绿色城镇化水平,为绿色城镇化发挥出对区域经济高质量发展的带动作用提供有力支撑。由此可见,地方政府应充分认识到智慧城市对绿色城镇化建设引领作用,通过政策扶持、专项基金设立和技术交流等方式充分贯彻实施国家智慧城市试点政策,发挥示范效应以推广政策实施过程中的优秀经验。坚持逐步推进原则,将更多城市纳入试点城市范围,在国家智慧城市试点政策创造的绿色城镇化良好发展环境下,解决绿色城镇化进程中的相关技术、应用和发展问题,提升绿色城镇化建设质量,形成符合城市自身绿色城镇化的领先优势。

探索差异化的智慧城市路径,推进智慧城市深层次发展。本文的异质性检验结果表明,国家智慧城市试点政策明显受到城市区域、城市规模和创新能力的影 响。因此,在今后的国家智慧城市试点政策实施过程中,应关注到地区发展不平衡的问题,根据不同城市的特色和实际问题,因地制宜地制定和落实智慧城市政策,加强对不同城市间的统筹协调,进而推动不同区域试点城市绿色城镇化的协调发展。

智慧城市应发挥环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率对绿色城镇化发展的关键作用。根据实证结果,城市环境基础设施运行效率和绿色全要素生产率的有效提升,与智慧城市战略政

策效力息息相关。城市环境基础设施运行效率提升需要地方政府高度重视入选智慧城市试点这一契机,引导技术能力强、运营管理水平高的专业化主体进入城市环境基础设施建设领域,促进城市环境基础设施的智能化、数字化和网络化发展。提升绿色全要素生产率需要增加研发资金投入、加大科研人才和先进知识技术引进力度,中央政府应引导地方政府构建区域间良性互动创新机制,促进各地区绿色技术渠道的形成,实现绿色生产要素的区间自由流动,促进城市绿色技术进步的良性互动。

参考文献:

- [1] 张荣博,钟昌标.智慧城市试点、污染就近转移与绿色低碳发展——来自中国县域的新证据[J].中国人口·资源与环境,2022(4):91-104.
- [2] 张莹莹,高煜.智慧城市对地区制造业升级的影响研究[J].软科学,2019(9):46-52.
- [3] 周小敏,李连友.智慧城市能否成为经济增长新动能?[J].经济经纬,2020(6):10-17.
- [4] ROSARIO F. The smart city and the green economy in europe:a critical approach [J]. Energies, 2015, 8(6): 4724-4734.
- [5] 郭昊,商容轩,米加宁.智慧城市:理论缘起、进展与未来方向——基于文献挖掘的发现[J].电子政务,2022(11):63-73.
- [6] 仇保兴.智慧地进行城镇建设积极促进中国城镇可持续发展[J].城市发展研究,2012(10):125-128.
- [7] 王常军.数字经济与新型城镇化融合发展的内在机理与实现要点[J].北京联合大学学报(人文社会科学版),2021(3):116-124.
- [8] 张卫东,丁海,石大千.智慧城市对全要素生产率的影响——基于准自然实验[J].技术经济,2018(3):107-114.
- [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(11):155-164.
- [10] 石大千,丁海,卫平等.智慧城市能否降低环境污染[J].中国工业经济,2018(6):117-135.
- [11] 申洋,郭俊华,朱彦.智慧城市对地区绿色全要素生产率影响研究[J].中南大学学报(社会科学版),2021(2):140-152.
- [12] 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.
- [13] 胡山,余泳泽.数字经济与企业创新:突破性创新还是渐进性创新?[J].财经问题研究,2022(1):42-51.
- [14] 杨角.中国绿色城镇化水平评价及实现路径研究[D].西安:西北大学,2020.
- [15] 周亮,车磊,周成虎.中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J].地理学报,2019(10):2027-2044.
- [16] 潘笑菲,孙钰,崔寅,李向春.基于三阶段DEA的三大城市群环境基础设施运营效率研究[J].科技管理研究,2019(6):55-62.
- [17] 张英浩,汪明峰,崔璐明,等.数字经济水平对中国市域绿色全要素生产率的影响[J].经济地理,2022(9):33-42.
- [18] 丁焕峰,孙小哲,王露.创新型城市试点改善了城市环境吗?[J].产业经济研究,2021(2):101-113.
- [19] 谢申祥,范鹏飞,宛圆渊.传统PSM-DID模型的改进与应用[J].统计研究,2021(2):146-160.
- [20] 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.
- [21] 单豪杰.中国资本存量K的再估算:1952—2006年[J].数量经济技术经济研究,2008(10):17-31.
- [22] 张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J].经济研究,2004(10):35-44.
- [23] OH D H. A global malmquist-luenberger productivity index[J].Journal of productivity analysis,2010,34(3): 183-197.

Can the National Smart City Pilot Policy Improve the Level of Green Urbanization: Based on the Quasi-natural Experimental Data of Prefecture-level 276 Cities

YANG Fei-hu, HUANG Xing, CHEN Jia-li

(School of Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

Summary: As a product of urbanization and informatization to an advanced stage, a smart city requires exploring the model, system, technology, and industrial innovation of green and low-carbon development, promoting energy saving and emission reduction, reducing resource waste, and improving the ecological and livable environment, which is a more advanced form of urban development in the context of technological innovation. So, is smart city construction a panacea for promoting green urbanization?

This paper constructs a multi-period DID model to analyze the impact of national smart city pilot policy on the level of green urbanization based on panel data of 276 prefecture-level cities in China from 2006 to 2020, and uses a mechanism test model to examine its path. It is found that firstly the national smart city pilot policy can significantly improve the level of green urbanization, and this finding still holds after robustness testing by the PSM-DID method and placebo test. Secondly, there is heterogeneity in the effect of national smart city pilot policy on the level of green urbanization. In the eastern region, large-scale cities, and pilot cities with strong innovation capacity, the effect of the policy on the level of green urbanization is more obvious, while in other pilot cities, this effect decreases with changes in regional location, city size, and innovation capacity. Thirdly, the national smart city pilot policy can indirectly affect the level of green urbanization through two paths: enhancing the operational efficiency of environmental infrastructure and improving green total factor productivity, both of which play a mechanism role.

Compared with the previous literature, this study makes marginal contributions from two aspects. First, in terms of research perspective, taking the national smart city pilot policy as the entry point, it systematically explores the inner connection between smart city construction and green urbanization, expanding the theoretical study of green urbanization under the new development philosophy. Second, in terms of research content, it reveals the direct effect of smart city construction on the level of green urbanization and the indirect effect on green urbanization through the operational efficiency of environmental infrastructure and green total factor productivity, which strengthens the theoretical research in this field.

This study analyzes the internal mechanism and impact effect of smart city construction on green urbanization, which will help to formulate and improve the policies about smart city construction empowering green urbanization, and also provide important insights into promoting the national strategy of smart city construction and following the path of green urbanization guided by the concept of green development to achieve high-quality economic .

Key words: national smart city pilot policy; green urbanization; multi-phase DID model; quasi-natural experiment

(责任编辑:李明齐)