

# 智慧城市建设能促进绿色发展吗？

——基于“准自然实验”的证据

林小莉, 王德起

(首都经济贸易大学 城市经济与公共管理学院, 北京 100070)

**摘要:** 基于2006—2018年我国156个地级市的面板数据, 将2012年智慧城市建设的全国性试点政策作为一次准自然实验, 通过PSM-DID方法检验智慧城市建设的绿色发展效应和影响机制。研究结果表明: 国家试点的智慧城市政策显著提高了我国城市的绿色全要素生产率; 就地区异质性而言, 相比于中西部区域, 试点智慧城市政策对东部区域城市绿色发展的效果更加明显; 机制检验显示: 试点智慧城市政策在全国和中西部地区分别通过产业结构和技术创新产生绿色发展效应, 在东部地区则通过人力资本和基础设施建设实现绿色发展, 并据此为我国新型智慧城市建设提出政策建议。

**关键词:** 智慧城市; PSM-DID; GTFP; 机制

**中图分类号:** F290   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1002—980X(2022)11—0104—10

## 一、引言

目前, 我国各行业产能过剩和过度集聚使得城市运行负担加重, 以工业化推动城镇化建设实现了经济的高速增长, 同时也产生了城市人口拥挤、交通拥堵、空气污染、资源短缺等一系列问题, 工业化时期粗放的发展模式始终制约着我国经济的高质量发展。《国家新型城镇化规划(2014—2020)》明确提出, 推进智慧、绿色、人文的新型城市建设, 实现集约、创新、融合、和谐、绿色的发展模式。信息化成为数字时代经济增长的新动能, 新一代信息技术的兴起也为新时代城市治理提供新的契机, 新兴技术与对城市功能形态需求的深度融合催生了智慧城市这一新型城市发展模式。城市是一种由众多子系统所构成的复杂系统, 所谓智慧城市就是利用物联网、云计算、互联网、大数据和人工智能等新兴技术, 对城市中的所有人口、资源、生态和环境等复杂系统实现数字网格化管理的信息体系, 能够提升城市运行效率, 改善政府治理模式, 提高城市居民的生活质量。作为城镇化和信息化发展到高级阶段的产物, 智慧城市是技术创新环境下城市发展的更高级形态, 其最终目标是对技术的创造性运用以提高城市发展的可持续性, 是解决城镇化进程中城市问题的有效举措, 也是满足人民对美好生活需求的重要途径。

我国政府从2010年起研究发展智慧城市的有关问题, 历经十多年的努力, 各区域智慧城市建设的初显成效。当前的智慧城市建设的概念和实施上大多着眼于智能化构建, 在评估智慧城市的建设成效上也主要从投入-产出的角度判定智慧城市建设的经济效益, 鲜有关注智慧城市建设的社会效益和生态价值。党的十八届五中全会提出“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念, 指明绿色是发展的模式, 十九大报告进一步强调坚持和推进绿色发展, 二十大报告明确提出加快发展方式绿色转型, 促进人与自然和谐共生。因此, 按照绿色发展方式调整城市发展模式已成为必然趋势。鉴于此, 研究利用我国2006—2018年156个地级市的面板数据, 将2012年我国第一批试点智慧城市政策作为一次准自然实验, 采取倾向得分匹配(propensity score match, PSM)与双重差分(difference in differences, DID)相结合的PSM-DID方法评估智慧城市建设的绿色发展效应, 并分析智慧城市对绿色发展的作用机制。研究的创新之处主要在于: 在理论上分析智慧城市对绿色发展的作用机理, 并使用接近“准自然实验”的PSM-DID方法进行实证检验, 使智慧城市政

**收稿日期:** 2022-09-13

**基金项目:** 教育部人文社会科学规划基金项目“京津冀一体化视域下北京绿色发展的空间治理体系研究”(19YJA630074); 北京市社会科学基金重点项目“京津冀城市群国土空间治理推进绿色发展的机制与路径研究”(20GLA005); 国家社会科学基金重点项目“农村集体经营性建设用地入市的制度设计和政策保障研究”(21AGL026)

**作者简介:** 林小莉, 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院区域经济学专业博士研究生, 研究方向: 城市经济与国土空间治理; 王德起, 博士, 首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院教授, 博士研究生导师, 研究方向: 城市经济与土地利用、国土空间治理。

策的绿色发展效应评估更为科学准确;对智慧城市的绿色发展效应进行机制验证,为推动智慧城市建设实践和城市绿色发展提供决策支持。

## 二、文献综述与理论机制

### (一)国内外的相关研究综述

2008年,美国 International Business Machines Corporation(IBM)公司率先提出“智慧地球”的概念,并向政府提供资金建设城市智能化信息基础设施,以实现城市由信息化到数字化再到智慧化的发展模式,在IBM的智慧城市架构中,城市环境治理是最关键的目标之一。2010年,作为智慧地球的子概念,“智慧城市”应运而生。国外对智慧城市的研究开始较早,并在2011年之后呈现增多的趋势,在智慧城市与绿色发展的问题上,国外学者主要从技术和非技术角度展开了相关研究。从技术角度上,智慧城市是由多种子系统所组成的大体系,其生态系统的核心功能是形成可再生的各种资源和可延续的环境生态,智慧城市中新的信息技术能够更加有效地管理资源,是一种新型信息化的城市形态(Menniti et al, 2014)。智慧城市并不能局限于信息技术的应用范围,还应包含对自然资源的更合理使用及更低水平的排放量(Ferrara, 2015)。物联网、大数据分析和云计算等信息技术可以帮助公司匹配最佳规模和品质的制造要求,从而提升公司制造效能,减少物流和交易成本,实现对自然资源的更合理使用以降低污染(Witkowski, 2017)。智慧城市建设能够通过利用高效能源的方法减少城市二氧化碳排放量,从而提升城市绿色全要素生产率(Renata, 2013)。智慧城市需要关注垃圾管理、碳中和、气候相容性等要素,以达到适宜的空气质量(Goswami, 2015)。智慧城市可降低生产与生活的耗能和污染,从线状到网状结构把自然资源利用、清洁制造与垃圾处置集成到一起,以此达到资金节省与质量改善的目的(Liu 和 Peng, 2014)。在非技术角度上,智慧城市规划将有利于政府部门制订一系列可持续发展计划,以便让城市规划的各单位可以更合理的使用城市水土资源,同时加强了城市规划的能源与运输系统基础设施建设,及积极利用可再生能源进行可持续开发(Khansari et al, 2013)。智慧城市设计提高了上下游行业之间的协同效能,同时增强了各行业的协调互动,发挥区域系统对能量利用和废物污染的控制功能(Ramaswami et al, 2016)。

我国政府自2009年提出智慧城市建设,2012年正式启动第一批试点智慧城市建设,又分别于2013年和2014年设立了第二批和第三批智慧城市,并出台的一系列相关政策文件(表1)。

表1 智慧城市建设相关政策

时间	政策名称	政策内容
2012年7月	《国务院关于大力推进信息化发展和切实保障信息安全的若干意见》	促进了城市治理信息资源共享体系建立,带动智慧城市的健康有序发展
2012年12月	《国家智慧城市试点暂行管理办法》《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(运行)》	指导和促进科学建设我国智慧城市
2014年3月	《国家新型城镇化规划(2014—2020)》	进一步推动了智慧城市建设,并明确提出了建设要点和方向
2014年8月	《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》	进一步明确智慧城市建设的规划思想、发展理念、重点任务及安全保障等规定,加大对各地智能城市建设发展实施的引导
2015年6月	《关于开展智慧城市标准体系和评价指标体系建设及应用实施的指导意见》	加速推动国家智慧城市建设规范编制工作
2015年12月	习近平总书记在中央城市工作会议上的讲话	加快智慧城市发展,提升城市治理能力
2016年4月	习近平总书记在网络安全和信息化工作座谈会上的讲话	以信息化促进我国社会管理体制与治理能力的提高,并分级分类推动了新型智慧城市建设
2018年12月	《新型智慧城市评价指标(2018年)》	加快推进新型智慧城市相关标准制定
2019年11月	《中国-东盟智慧城市合作倡议领导人声明》	主张利用智能都市推动环境的可持续发展,缓解因节能与环境保护而存在的矛盾问题

我国学者在智慧城市和绿色生态发展的研究中普遍认为,智慧城市应通过智能化推动城市生态发展,从城市发展路径、模式及顽疾解决等方面指出发展绿色智慧城市是未来城市建设和发展的必然趋势(郑焯和姜蕴珊, 2021)。智能城市建设主要是以防治污染和城市交通的拥堵问题为实际需要驱动,智慧城市是城市经济、社区治理与自然环境和谐发展的新型模式(陈明生等, 2022)。智慧城市能够显著促进绿色技术创新(武力超等, 2022),降低区域碳排放强度(黄和平等, 2022),实现绿色低碳发展(张荣博和钟昌标, 2022)。城市自身就是一个复杂系统,智慧城市的构建呈现跨学科和跨领域的交叉研究特征,从城市科学的角度来看,智慧城市是以信息化手段治理城市的新模式,是推动新型城镇化发展的重要动力(杨凯瑞等, 2022)。在全国智慧城市的建设实践中,沈阳提出利用环保技术与智能科技,建设“生态沈阳”,杭州提出建设“绿色智慧都市”,深圳提出“从技术、

人文、生态建设三大领域方面建设智慧城市”(姚冲等,2021)。在我国智慧城市的评价体系中,有学者提出在智慧城市的建设评估中应更加注重社会效益,如智慧交通的目标是减少交通拥堵和汽车尾气排放,而不是简单考量机动车上安装的传感器数量(王飞和邵磊,2018)。在智慧城市的未来发展中,应推进人地关系地域系统的研究,关注资源约束、环境污染和生态退化等问题(李霞等,2022),推动智慧城市生产生活方式绿色转型,促进智慧城市绿色可持续发展,探索适合我国国情的智慧城市绿色发展的路径。

## (二)智慧城市对绿色发展的理论机制

### 1. 规模经济效应

智慧城市建设能够实现传统市政设施的智能化改造,形成良好的新型基础设施、投资营商和教育医疗环境,吸引高端人才和外商直接投资,促进高技术产业的集聚,产生规模经济效应。信息化是智慧城市建设的最主要特征,也是城市绿色转型的重要动力(付金朋和武春友,2016)。一方面,信息技术可以进行对低技术劳动者的替代及与高科技劳动者的互补,从而大大提高了劳动生产率;另一方面,对传统的优势产业以现代技术为基础能够吸引新型的战略产业,进行节能减排和产业结构提升,建立具备国际竞争优势的产业聚集区,同时以现代信息网络技术为基础形成了促进产学研一体发展的产业信息平台。智慧城市对技术创新具有正向促进作用(宋德勇等,2021),通过创新发展可以催生出低污染、低消耗、高附加值的先进制造技术,从而有效降低了城市在污染领域中的不合理产出,优化能源消费结构。智慧城市拥有引领创新型人力资本聚集的基础条件和良好体制环境(袁航和朱承亮,2020),可以利用虚拟互联网技术促进实体协同发展,把城市打造成集人流、物流、资本流、信息化和数字流为一身的“要素集散地”,从而形成高端要素的产业聚集,形成高端要素和产业集聚,并借助新旧动能转换促进传统工业向高智能产业转型,从而实现原有产业结构的高级化、合理化。同时,催生以智能工业和以新商业模式为首的现代服务业等新业态,形成中高端价值链的上下游集群,在集聚资源形成大规模经济活动的同时,又带动行业之间的科技互动与技术溢出,提高关联企业污染处理水平,实现城市绿色发展。

### 2. 资源配置效应

智慧城市能够依托信息通信技术建立数字化平台,实现城市多主体之间的信息共享和互联互通,产生资源配置效应。政府在智慧城市建设中既是引导者、建设者,同时也是监督者,应耦合市场和公众需求提供顶层规划设计与政策支持,运用政策优势吸引高技术人才和相关产业,合理优化产业布局,政府的数字治理也会加强对企业环境污染的监督。企业可以借助数字化平台实现产业间的信息共享和良性竞争及时掌握市场需求的动态变化,解决信息不对称和市场经济滞后导致的资源低效率配置问题。关联行业和高端人才的聚集带来的信息溢出效应可以在公司内部产生治理污染的合力,通过对大数据的智慧分析处理实现资金、劳动力和资源在公司内部的灵活调配(杜建国等,2020),减少产能过剩和污染,不断实现绿色发展资源的优化配置。从城市的角度看,智慧城市的科技创新能够优化城市要素的投入结构,提高城市资源利用效率,智慧城市的政策溢出效应能够实现城市间的协同发展,纠正地区之间的产能过剩和资源错配问题,为地区实现绿色发展提供有利条件。

### 3. 环境规制效应

环境规制是对经济活动的制度性约束,意味着政府将加大对存在污染企业的审查监管,采取更严格的处理措施从而对污染企业产生“震慑效应”,迫使企业规范生产流程和自治污染行为,减少污染排放。智慧城市建设能够从制度规范和技术改进两方面产生环境规制效应,为城市绿色发展提供保障支撑。长期以来,以要素投入为主的单一经济增长模式及对经济绩效的过度追求,使得地方政府对治理污染的主动性较低,在事中污染监管和事后污染处罚上也存在失职行为(游达明等,2018)。在制度规范上,中央政府在顶层设计中明确提出以人为本和生态文明是智慧城市建设的指导思想,这就要求地方政府在智慧城市的建设实践中必须提升环境规制水平,实现城市生态系统的智慧化管理以改善城市环境。在技术改进上,环境监管部门利用智慧技术可在重点企业和城市重点区域安装传感器和智能监视系统,以实时收集记录企业的排放数据和城市环境数据及时对企业的能源消耗和污染排放进行动态监管,并利用大数据平台对监管数据进行预测分析。同时,企业也会创新治理污染的技术和更新排污设备(姚圣文等,2022),从而弥补环境规制带来的生产成本上升,从客观上提升城市的绿色发展水平。

以上述理论分析为基础,提出研究假设如下:

假设1:智慧城市建设能够显著提升绿色全要素生产率,实现城市绿色发展(H1);

假设2:智慧城市政策的绿色发展效应具有区域异质性(H2);

假设3:智慧城市建设对绿色发展的促进作用因城市基础设施、信息化水平等而异(H3)。

### 三、研究设计

#### (一)数据来源与样本选择

研究数据来源于2006—2018年《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》,我国于2012年开始在90个地、县级城市设立首批智慧城市试点,是一次良好的“准自然实验”。为防止智慧城市政策的绿色效应被低估,将90个地区中只在市辖区或县设立试点智慧城市的地级市从样本中删除。同时,将2013年和2014年设立的第二、三批试点城市从样本中剔除,最终使用全国156个地级市的面板数据实证检验试点智慧城市政策的绿色效应,以保证2012年试点政策净效应评估结果的准确性和稳健性。

#### (二)模型设计

实验中采用了双重差分方法对决策有效性进行评估,双重差分的应用基础在于实验组与控制组必须满足共同趋势假设,即若不考虑智慧城市政策,试点城市和非试点城市的绿色全要素生产率随着时间的变化将不存在系统性差异。在现实中,城市之间城市经济发展水平、社会生态环境状况及其他因素的影响使共同趋势假设无法满足,简单利用双重差分法进行估计会产生非随机选择偏误。倾向得分匹配的双重差分法能减少不可观察且不随时间而改变的组内差距,从而有效解决这一问题。采用近年来倡导的绿色全要素生产率(green total factor productivity, GTFP)作为绿色发展的评价指标,利用我国2006—2018年156个地级市的面板数据,将2012年国家首批试点智慧城市政策视为一次准自然实验,采用PSM-DID方法评估智慧城市建设的绿色发展效应。现将基准回归模型设定为

$$\ln GTFP_{it} = \alpha + \beta_1 smartcity_{it} + \beta_2 time_{it} + \beta_3 smartcity_{it} \times time_{it} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中: $\ln(GTFP_{it})$ 是被解释变量,代表*i*地级市第*t*年的绿色全要素生产率; $smartcity_{it}$ 为智慧城市政策的实验分组变量,表示*i*城市在第*t*年是否为试点智慧城市,将2012年设立的33个试点智慧地级城市设定为“实验组”, $smartcity$ 赋值为1,其余123个非试点地级市设定为“控制组”, $smartcity$ 赋值为0; $time_{it}$ 为实施智慧城市政策的实验分期变量,2012年以前赋值为0,2012年及以后赋值为1; $smartcity_{it} \times time_{it}$ 为实验分组与实验分期虚拟变量的交互项,交互项系数是核心估计参数,表示智慧城市建设对绿色全要素生产率贡献的净影响; $X_{it}$ 为其他一系列控制变量,包括地方政府规模、基础设施建设、信息化水平、产业结构、外商直接投资、人力资本和技术创新, $\alpha$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 及 $\gamma$ 为对应变量的系数; $\varepsilon$ 为随机扰动项。

在实验中,采用PSM-DID方法的基本思路是在所有非试点城市中找到一个地级市*j*,使*j*与试点智慧城市*i*的观察控制变量尽可能匹配,当地级市的个体行为对试验智慧城市政策的影响完全依赖可观察的控制变量后,城市*j*和*i*被选为试点智慧城市的概率相近,便能够相互比较。通过PSM-DID方法,能够通过城市特性变量让实验组对应较为相同的控制组,从而对相同特性数据的城市实现了双重差分的回归,从而解决了城市个体异质性的问题,有效估计智慧城市政策的绿色发展效应。研究中删除了数据缺失过多的城市(如三沙市、日喀则市等),纳入政策效应评估的实验组和控制组样本选择范围见表2,括号中的数值表示该省份中试点智慧城市的个数。在具体应用中,研究采用核匹配的方法来确定权重,并利用Logit回归方法完成对试验中变量和控制组之间的倾向得分估算,即各城市进入实验组的条件概率,并进行一系列稳健性检验。

表2 智慧城市实验组和控制组地域分布(2012年)

实验组	控制组
河北(4)、山西(2)、内蒙古(1)、吉林(1)、江苏(4)、浙江(2)、安徽(3)、福建(1)、江西(1)、山东(3)、河南(3)、湖北(1)、湖南(1)、广东(1)、四川(1)、贵州(1)、西藏(1)、陕西(1)、宁夏(1)	广西(8)、海南(2)、甘肃(5)、辽宁(11)、黑龙江(6)、河北(6)、山西(3)、内蒙古(4)、吉林(2)、江苏(3)、浙江(5)、安徽(3)、福建(4)、江西(3)、山东(5)、河南(7)、湖北(6)、湖南(5)、广东(13)、四川(10)、云南(5)、陕西(5)、宁夏(1)青海(1)

#### (三)变量处理和描述性分析

##### 1. 绿色全要素生产率(GTFP)

借鉴学界现有的研究思路,通过非径向、非角度的slacked based measure(SBM)方向的距离性函数和Malmquist指数计算绿色全要素生产率。计算的GTFP分为投入和产出两大指标,投入指标分为劳动力投入(L)、资本投入(K)和能源投入(E),而产出指标则分为期望产出和非期望产出。利用永续盘存法计算各城市

第  $t$  期的固定资本存量(万元),以此表示资本投入( $K$ ),公式为  $K_t = K_{t-1}(1 - \delta) + (I_t + I_{t-1} + I_{t-2})$ ,其中  $I_t$  为第  $t$  期城市固定资产投资额; $\delta$  为固定资产的折旧率,并将所有数据调整为以 2005 年为基期。使用年末地区单位、个体及私营从业人数(万人)来代表各城市的劳动力投入( $L$ )。由于我国的统计年鉴只报告各省和直辖市的能源消费数据,因此使用各城市全年市辖区的用电量(万千瓦·时)代表能源投入( $E$ )。期望产出使用以 2005 年为基期计算的各地级市实际 GDP(万元)表示,非期望产出则以熵值法拟合的各地级市工业废水排放量(万吨)、工业烟尘排放量(万吨)和工业二氧化硫排放量(万吨)的环境污染综合指标表示。

### 2. 控制变量选取

根据前文对智慧城市绿色发展效应的理论机制分析,研究选取政府规模、基础设施、信息化水平、产业结构、外商直接投资、人力资本和技术创新变量为控制变量。具体来说,政府规模:用当年财政支出占 GDP 的比例来衡量;基础设施:用人均城市道路面积(平方米/人)表示;信息化水平:用人均邮电业务总量(万元/人)表示,其中邮电业务是邮政和电信业务量之和;产业结构:用第二产业和第三产业增加值占 GDP 的比重衡量;外商直接投资:用当年国际平均汇率下实际利用外资总额占 GDP 的比重表示;人力资本:以普通高校在校生人数占城市年末总人口数的比例表示;技术创新:使用各城市企业数占所在省份的比重乘以该省当期的专利授权数量进行估算。个别指标数据存在缺失现象,采用移动平均法进行补齐。

### 3. 变量的描述性统计

表 3 显示了变量的描述性统计,在试点智慧城市政策实施前,非试点智慧城市的  $GTFP$  高于试点智慧城市的,在政策实施后试点和非试点城市的  $GTFP$  均呈现略微下降,但二者之间的差距呈现缩小的趋势。在其他控制变量中,试点智慧城市的基础设施、第二产业占比、外商直接投资、人力资本和技术创新水平在政策实施前后均高于非试点城市的。在试点智慧城市政策实施前,试点智慧城市的信息化平均水平显著低于非试点城市的,但这种差距在政策实施后逐渐缩小;试点和非试点智慧城市的政府规模和第三产业占比均未出现显著差异,试点智慧城市的第三产业占比在政策实施后显著高于非试点城市的,政府规模则低于非试点城市的。在政策实施后,基础设施和外商直接投资的平均水平在试点城市和非试点城市间呈现差距扩大的趋势,第二产业占比、人力资本和技术创新水平则呈现差距缩小的趋势。此外,样本中所有城市的政府规模、基础设施、第三产业占比、人力资本和技术创新水平在智慧城市政策实施后均呈现不同幅度的上升。

表 3 变量的描述性统计

变量	智慧城市政策实施前			智慧城市政策实施后		
	实验组均值	控制组均值	均值差	实验组均值	控制组均值	均值差
$GTFP$	1.0099	1.0265	0.0166 (0.0178)	0.9892	0.9950	0.0058(0.0174)
政府规模	0.1609	0.1818	0.0209 (0.0155)	0.1970	0.2202	0.0232*(0.0138)
基础设施	5.5292	2.6026	-2.9266*** (0.3374)	8.6263	3.3821	-5.2442*** (0.7940)
信息化水平	0.0224	0.0315	0.0091*** (0.0021)	0.0197	0.0239	0.0041*** (0.0013)
第二产业占比	0.5641	0.4900	-0.0741*** (0.0101)	0.5311	0.4734	-0.0577*** (0.0088)
第三产业占比	0.3540	0.3432	-0.0108 (0.0080)	0.3943	0.3740	-0.0203*** (0.0077)
外商直接投资	0.0233	0.0170	-0.0064*** (0.0019)	0.0227	0.0133	-0.0095*** (0.0014)
人力资本	5.1329	4.0995	-1.0333*** (0.0925)	5.2177	4.2521	-0.9656*** (0.0856)
技术创新	6.8784	6.3124	-0.5659*** (0.1219)	7.7517	7.2719	-0.4798*** (0.1107)

注:人力资本和技术创新取对数;均值差=控制组均值-处理组均值;括号内为相应的标准误;\*\*\*、\*\*和\*分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著。

## 四、实证结果与稳健性检验

### (一) 基准回归结果

#### 1. 倾向得分匹配

试点智慧城市的选择并不具有完全的外生性,会受到诸多城市自身因素的影响。因此,需要构建 Logit 模型计算实验组和控制组城市的倾向得分值,即各城市被选为试点智慧城市的条件概率以进行有效匹配。借鉴现有的研究思路,将是否为试点智慧城市这一虚拟变量视为被解释变量,对研究设计中选定的控制变量进行 Logit 回归。由表 4 可知,政府规模、第二产业占比、人力资本和技术创新均在 1% 的显著性水平上正向影响各城市被选为试点智慧城市的概率,第三产业占比在 5% 的水平上起显著作用,说明政府规模较大、第二、第三产业占比较高、人力资本和技术创新水平高的城市成为试点智慧城市的概率更高。信息化水平在 1% 的显著性水平上产生负向选择作用,外商直接投资对是否被选为试点智慧城市未产生显著影响。

表4 Logit倾向得分估计与平衡性检验

变量	Logit倾向得分估计		匹配	均值		标准偏误(%)	T	P
	系数	P		实验组	控制组			
政府规模	1.201***	0.000	匹配前	-1.933	-1.792	-34.2	-3.950	0.000
			匹配后	-1.933	-1.961	6.7	0.590	0.554
基础设施	0.182	0.324	匹配前	1.571	0.838	91.7	10.140	0.000
			匹配后	1.539	1.575	-4.5	-0.400	0.690
信息化水平	-1.252***	0.000	匹配前	-4.080	-3.771	-64.7	-6.960	0.000
			匹配后	-4.084	-4.041	-9.0	-0.840	0.402
第二产业占比	5.003***	0.000	匹配前	3.968	3.874	46.1	4.680	0.000
			匹配后	3.969	3.970	-0.6	-0.070	0.942
第三产业占比	2.926**	0.003	匹配前	3.631	3.557	31.1	3.780	0.000
			匹配后	3.627	3.630	-1.4	-0.130	0.900
外商直接投资	0.005	0.952	匹配前	-4.162	-4.644	42.1	4.550	0.000
			匹配后	-4.187	-4.149	-3.3	-0.290	0.772
人力资本	0.681***	0.000	匹配前	5.208	4.338	90.2	10.300	0.000
			匹配后	5.170	5.173	-0.3	-0.020	0.981
技术创新	0.439***	0.000	匹配前	7.854	6.955	67.6	8.490	0.000
			匹配后	7.843	7.835	0.7	0.060	0.955
常数项	-41.650***	0.000						
R <sup>2</sup>	0.237							

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

为了降低城市间异质性对双重差分预测结果的影响,采用核匹配法对试点政策执行前的城市进行匹配。根据倾向得分匹配的平衡性检验结果得出,所有变量在匹配后的标准偏误绝对值减小且均低于10%,表明实验组与控制组的特征在匹配后很相似,t检验的结果表明实验组与控制组之间没有系统性差异,并满足倾向得分对应的均衡性假定。另外,匹配前后实验组和控制组城市倾向得分的核密度函数图说明,实验组在匹配前核密度函数相对分散,而控制组核密度函数则集中在右侧,实验组和控制组的分布存在比较显著的差别,若直接进行双重差分会产生估计偏差。在核匹配之后,由于实验组概率密度分布比较集中,与控制组的分布差异减小或趋同,再次表明使用倾向得分匹配双重差分估计方法是可行的。

## 2. PSM-DID分析结果

如表5所示,可比较传统 ordinary least squares (OLS)、DID法对试点智慧城市政策的估计结果,并与PSM-DID结果进行对比分析。根据传统OLS结果看出,试点智慧城市政策并没有对城市绿色全要素生产率产生显著影响。这可能是由于忽略了未观测变量的影响,OLS回归对智慧城市政策的估计存在偏误。DID回归结果显示,交互项 $time \times smartcity$ 的系数并不显著,表明DID尽管考虑了未观测变量的影响,但并不能克服选择性偏误问题,导致估计结果仍不准确。匹配思想的运用使PSM-DID方法很好地解决了上述问题,本文的所有基准回归均通过核匹配方法实现匹配,PSM-DID估计结果表明,交互项 $time \times smartcity$ 系数在全国层面显著为正,说明试点智慧城市政策显著提升了全国地级城市的GTFP。由于我国区域经济发展差异较大,为进一步检验智慧城市的绿色发展效应,按照传统的地理区位将156个地级市划分为东部和中西部区域,PSM-DID估计结果表明,东部、中西部地区的 $time \times smartcity$ 交互项系数均通过显著性检验,相较于中西部地区,试点智慧城市政策对东部地区城市

表5 智慧城市政策对GTFP的影响

变量	OLS	DID	PSM-DID		
			全国	东部地区	中西部地区
$time$		-0.053*** (0.011)	-0.055*** (0.013)	-0.077*** (0.014)	-0.058*** (0.021)
$smartcity$	0.001 (0.009)	0.000 (0.014)	-0.031** (0.013)	-0.027* (0.015)	-0.051** (0.021)
$time \times smartcity$		0.001 (0.018)	0.042** (0.018)	0.060*** (0.019)	0.047* (0.028)
政府规模	0.016 (0.013)	0.047*** (0.016)	-1.382*** (0.463)	-2.336*** (0.820)	-0.518 (0.681)
基础设施	0.019*** (0.006)	0.025*** (0.008)	-0.149 (0.249)	0.862* (0.456)	-0.301 (0.354)
信息化水平	0.007 (0.007)	-0.004 (0.010)	-0.467 (0.298)	-0.809* (0.483)	-0.628 (0.435)
第二产业占比	-0.041 (0.032)	-0.051* (0.030)	5.120*** (1.387)	2.694 (2.566)	7.003*** (1.882)
第三产业占比	-0.034 (0.028)	-0.033 (0.032)	1.531 (1.048)	2.792 (2.737)	1.031 (1.240)
外商直接投资	-0.007 (0.005)	-0.009* (0.005)	-0.106 (0.133)	-0.413* (0.234)	0.128 (0.176)
人力资本	0.004 (0.005)	0.003 (0.006)	1.220*** (0.197)	1.991*** (0.465)	1.498*** (0.306)
技术创新	-0.006 (0.004)	0.005 (0.004)	-0.138 (0.132)	0.203 (0.268)	0.667*** (0.254)
常数项	0.302 (0.194)	0.290 (0.198)	-36.617*** (8.402)	-41.657*** (18.028)	-38.423*** (11.012)
R <sup>2</sup>	0.018	0.035	0.020	0.080	0.010
N	1278	1278	1299	380	817

注:括号内为标准误;\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

*GTFP* 的促进作用更显著。这可能是由于改革开放时期的非均衡发展政策,我国东部地区在良好区位优势的基础上拥有了雄厚的经济基础,形成有利于智慧城市发展的环境制度和创新环境,试点智慧城市此基础上绿色发展水平进一步提升。

在其他控制变量方面,*FDI*(foreign direct investment)、信息化水平和基础设施只在东部区域城市呈现显著影响,且系数均为负。政府规模在全国和东部地区呈现显著负向影响,这也与现有的研究结论一致,政府对宏观经济的过度干预也会产生资源配置的低效率,从而对 *GTFP* 产生负向影响。第二产业占比在全国和中西部地区呈现显著正向影响,第三产业占比对 *GTFP* 的影响均不显著。人力资本在全国、东部和中西部地区均对 *GTFP* 产生显著影响,这意味着人力资本投入能够促进知识成果转化,促进城市绿色发展,技术创新仅在西部地区呈现显著影响。本文的实证结果还表明,单纯的 OLS 和 DID 回归都将低估智慧城市政策对绿色经济全要素产出的贡献率,PSM-DID 方法能够在一定程度上消除异质性问题,有效评估智慧城市的绿色发展效应。

## (二)稳健性检验

### 1. 安慰剂检验

我国在 2012 年开始实施第一批试点智慧城市政策。因此,可以利用反事实的研究思路人为地改变政策实施年份,进行时间安慰剂检验。将第一批试点智慧城市政策实施时间分别假定为 2009 年、2010 年、2011 年,即通过改变时间虚拟变量的取值重新进行 PSM-DID 回归,观测交互项系数符号及显著性水平变化。如果交互项系数仍显著为正值,则表明是由已经出现的其他原因而不是试点智慧城市政策而导致了 *GTFP* 的明显不同,反之,则可证实基准回归结论的稳健性。见表 6,若将第一批试点智慧城市政策分别提前至 2009 年、2010 年、2011 年实施,时间安慰剂检验结果显示交互项系数都为负且均不显著,与基准的回归结果比较,其他控制变量结果的变动不大,说明是通过试点智慧城市发展,而不是由于其他随机性原因所造成的 *GTFP* 的明显改善,与上文基准回归结果得出的结论一致。

表 6 时间安慰剂检验:智慧城市政策提前 1~3 年实施

变量	2009 年实施政策	2010 年实施政策	2011 年实施政策
<i>time×smartcity</i>	-0.027 (1.16)	-0.018 (0.94)	-0.011 (0.58)
常数项	0.268 (1.33)	0.297 (1.49)	0.328* (1.69)
控制变量	Yes	Yes	Yes
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.031	0.018	0.046
<i>N</i>	1278	1278	1278

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

### 2. 其他稳健性检验

为保证回归结果的稳健性,使用半径匹配法代替核匹配法进行 DID 回归,结果显示无论是全国层面还是区域层面交互项的系数均未发生显著变化,两种匹配方式得出的结果相同,进一步验证上文回归结果的稳健性。

## (三)智慧城市建设对 *GTFP* 影响的机制检验

本部分将进一步检验智慧城市政策影响 *GTFP* 的内在机制。参考现有的研究思路,以基准回归中的控制变量依次为被解释变量,以交互项为解释变量进行 PSM-DID 回归,以此识别智慧城市政策是否对各控制变量产生了显著性影响,并结合基准回归结果验证影响机制。表 7 显示了全国层面智慧城市政策的机制检验结果,表 8 和表 9 则分别是东部和中西部地区机制检验结果。

表 7 显示,智慧城市建设显著提升了全国层面城市的信息化和技术创新水平,前文表 5 的基准回归结果显示这两者并未对 *GTFP* 产生显著影响。智慧城市建设在一定程度上降低了第二、第三产业占比,这可能是由于智慧城市系统将智能化因子融合到粗放的传统产业中,催生了一批具有高收益、高附加值的技术知识密

表 7 全国智慧城市政策影响 *GTFP* 的机制检验

变量	政府规模	基础设施	信息化水平	第二产业占比	第三产业占比	外商直接投资	人力资本	技术创新
<i>time×smartcity</i>	0.002 (0.09)	2.468 (1.50)	0.005*** (2.80)	-0.016** (2.09)	-0.012** (1.98)	0.002 (0.75)	3.194 (0.12)	1.302** (2.19)
常数项	0.351*** (4.19)	-1.158*** (2.63)	0.030*** (4.08)	0.819*** (8.44)	0.550*** (4.39)	-0.007 (1.27)	-6.500*** (9.60)	-1.274*** (9.65)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.226	0.187	0.180	0.638	0.713	0.232	0.513	0.306
<i>N</i>	1386	1386	1386	1386	1386	1386	1386	1386

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

集型新兴产业。结合前文基准回归结果显示第二产业占比对 *GTFP* 具有显著正向作用,说明智慧城市政策降低第二产业占比从而在一定程度上抑制了 *GTFP*。这可能是由于智慧城市建设带来的产业结构转型升级能够在一定程度上降低城市环境污染,但经济增长效应还未显现。

表8显示,与全国相类似,东部地区的智慧城市建设显著降低了第二产业占比,呈现出了产业结构转型升级效应。同时,东部地区的基础设施和人力资本水平由于智慧城市政策的实施显著提升,这也与前期的理论预期相符合。在基准回归中,东部地区城市的第二产业占比未对 *GTFP* 产生显著影响,基础设施和人力资本则对 *GTFP* 有显著正向影响,说明基础设施和人力资本是东部地区智慧城市实现绿色发展效应的机制。这可以解释为东部地区的经济基础条件更为优越,产业并非绿色经济增长的主导因素,要素集聚、知识溢出等软环境对 *GTFP* 的影响作用更明显。

表8 东部地区智慧城市政策影响 *GTFP* 的机制检验

变量	政府规模	基础设施	信息化水平	第二产业占比	第三产业占比	外商直接投资	人力资本	技术创新
<i>time</i> × <i>smartcity</i>	-0.013 (1.45)	1.711** (2.19)	0.004 (1.31)	-0.023*** (2.87)	-0.011 (1.63)	0.004 (1.16)	3.283* (1.67)	1.374 (1.49)
常数项	0.427*** (6.17)	-9.645*** (2.89)	0.067** (2.26)	0.835*** (6.75)	0.663*** (4.45)	-0.014 (0.86)	-4.653*** (5.09)	-4.602*** (9.11)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	0.203	0.745	0.226	0.790	0.842	0.386	0.831	0.538
<i>N</i>	476	476	476	476	476	476	476	476

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

表9 中西部地区智慧城市政策影响 *GTFP* 的机制检验

变量	政府规模	基础设施	信息化水平	第二产业占比	第三产业占比	外商直接投资	人力资本	技术创新
<i>time</i> × <i>smartcity</i>	0.009 (0.20)	3.659 (1.33)	0.005*** (2.57)	-0.008 (0.74)	-0.008 (0.92)	0.002 (0.87)	-8.919 (0.24)	3.888* (1.90)
常数项	0.229** (2.13)	-1.039*** (2.98)	0.034*** (5.09)	0.817*** (6.45)	0.507*** (3.50)	-0.005 (0.91)	-5.916*** (8.03)	9.386*** (2.86)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	0.297	0.112	0.196	0.626	0.666	0.184	0.543	0.359
<i>N</i>	910	910	910	910	910	910	910	910

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

表9显示,中西部地区的智慧城市建设对城市信息化水平和技术创新有显著的促进作用,利用信息技术变革城市治理模式是智慧城市建设的主要特征,也是国家经济发展迈上“创新驱动”的标志之一。前文基准回归显示,技术创新能显著促进城市绿色发展,信息化水平则对城市 *GTFP* 不产生显著影响。因此,技术创新是中西部地区智慧城市建设促进绿色发展的机制。这可能是由于中西部地区的城镇化水平相对于东部地区较低,要素流动相对缓慢,产业集聚效应不明显,技术创新的带动效应在中西部地区智慧城市 *GTFP* 提升上作用更为显著。

## 五、结论与建议

### (一)主要结论

智慧城市作为新型城市治理模式是城镇化和信息化发展到高级阶段的产物,是破解城市发展难题的可行道路,对实现绿色发展模式以满足人民对美好生活的向往具有重大的现实意义。从理论分析上,智慧城市建设能够产生规模经济效应、资源配置效应和环境规制效应实现城市绿色发展。在实证研究上,基于 2006—2018 年我国 156 个地级市的面板数据,将 2012 年智慧城市全国性试点政策作为一次准自然实验,通过 PSM-DID 方法检验智慧城市的绿色发展效应及作用机制。研究结果显示:智慧城市政策能显著提升全国试点城市的 *GTFP*;智慧城市的绿色发展效应区域差异明显,相较于我国中西部区域,试点智慧城市政策对东部区域城市绿色发展的效果更为显著。机制检验表明,试点智慧城市政策在分别通过产业结构和技术创新在全国和中西部地区城市中产生绿色发展效应,在东部地区则是通过基础设施和人力资本促进城市绿色发展。

### (二)对策建议

基于上述研究结论,得出政策思考如下:

第一,应关注到智慧城市建设所面临的地区发展不平衡问题。试点智慧城市政策对东部地区城市绿色全要素生产率促进作用更为显著,这可能是由于我国东部地区的基础设施更加完善,环境顶层设计和保障机制更为健全。中西部区域也应该充分运用智慧城市这一政策工具,加强基础设施建设和人才引进力度,更好地发挥智慧城市政策对城市绿色发展的促进作用。

第二,应着重补齐短板激发智慧城市的绿色发展效应。值得注意的是,2012年实施的试点智慧城市政策对政府规模和外商直接投资的作用尚未在当期显现,这也间接影响了智慧城市建设的绿色发展效应。在今后我国的新型智慧城市建设中,应加大城市对外开放水平、强化政府在智慧城市的顶层设计和制度体系,从而更好地吸引要素集聚,提升城市人力资本产生的知识溢出效应等。

第三,应立足我国国情探索符合城市特色的智慧城市发展道路。在智慧城市建设过程中注重工业化、城镇化与信息化的耦合协调发展,应根据不同城市的特色和实际问题,“一城一策”创建城市智慧方案,加强城市和区域之间协调互通和产业联动,使信息技术更好地赋能企业创新和产业转型升级,提升智慧城市的绿色发展效应,实现现代城市智慧化治理,从而助推经济高质量发展。

### 参考文献

- [1] 陈明生,郑玉璐,姚笛,2022.基础设施升级、劳动力流动与区域经济差距——来自高铁开通和智慧城市建设的证据[J].经济问题探索,(5):109-122.
- [2] 杜建国,王玥,赵爱武,2020.智慧城市对城市绿色发展的影响及作用机制研究[J].软科学,34(9):59-64.
- [3] 付金朋,武春友,2016.城市绿色转型和发展进程溯及[J].改革,(11):99-108.
- [4] 黄和平,谢云飞,黎宁,2022.智慧城市是否促进了低碳发展?——基于国家智慧城市试点的“准自然实验”[J].城市发展研究,29(5):105-112.
- [5] 李霞,陈琦,贾宏曼,2022.中国智慧城市政策体系演化研究[J].科研管理,43(7):1-10.
- [6] 宋德勇,李超,李项佑,2021.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,31(11):155-164.
- [7] 王飞,邵磊,2018.国内外智慧城市评估研究述评[J].现代城市研究,(6):85-90.
- [8] 武力超,李惟简,陈丽玲,等,2022.智慧城市对绿色技术创新的影响——基于地级市面板数据的实证研究[J].技术经济,41(4):1-16.
- [9] 杨凯瑞,蔡龙珠,班昂,2022.中国智慧城市发展政策的演变与启示——基于对中央政府政策文本的共词分析[J].软科学,36(9):1-21.
- [10] 袁航,朱承亮,2020.智慧城市是否加速了城市创新?[J].中国软科学,(12):75-83.
- [11] 姚冲,甄峰,席广亮,2021.中国智慧城市研究的进展与展望[J].人文地理,36(5):15-23.
- [12] 姚圣文,赵兰香,张耀坤,2022.智慧城市建设提高企业全要素生产率了吗?[J].科学学研究,40(10):1-18.
- [13] 游达明,张杨,袁宝龙,2018.官员晋升锦标赛体制下环境规制、央地分权对环境污染的影响研究[J].中南大学学报(社会科学版),24(3):66-77.
- [14] 张荣博,钟昌标,2022.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,32(4):91-104.
- [15] 郑烨,姜蕴珊,2021.走进智慧城市:中国智慧城市研究的十年发展脉络与主题谱系[J].公共管理与政策评论,10(5):158-168.
- [16] FERRARA R, 2015. The smart city and the green economy in Europe: A critical approach[J]. Energies, 8(6): 4724-4734.
- [17] GOSWAMI P, 2015. Matrix for a smart city[J]. Current Science, 109(2): 247-248.
- [18] KHANSARI N, MOSTASHARI A, MANSOURI M, 2013. Impacting sustainable behavior and planning in smart city[J]. International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning, 1(2): 46-61.
- [19] LIU P, PENG Z, 2014. China's smart city pilots: A progress report[J]. Computer, 47(10): 72-81.
- [20] MENNITI D, SORRENTION N, PINNARELLI A, 2014. In the future smart cities: Coordination of micro smart grids in a virtual energy district[C]//2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Ischia, Italy. IEEE: 676-681.
- [21] RAMASWAMI A, RUSSELL A G, CULLIGAN P J, 2016. Meta-principles for developing smart, sustainable, and healthy cities[J]. Science, 352(6228): 940-943.
- [22] RENATA P D, 2013. Searching for smart city definition: A comprehensive proposal[J]. International Journal of Computers & Technology, 11(5): 2544-2551.
- [23] WITKOWSKI K, 2017. Internet of things, big data, industry 4.0-innovative solutions in logistics and supply chains management[J]. Procedia Engineering, 182: 763-769.

## Can Smart City Construction Promote Green Development? Evidence Based on “Quasi Natural Experiment”

Lin Xiaoli, Wang Deqi

(School of Urban Economics and Public Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

**Abstract:** Based on the panel data of 156 prefecture level cities in China from 2006 to 2018, the national pilot policy of smart city construction in 2012 was regarded as a quasi natural experiment to test the green development effect and impact mechanism of smart city construction through propensity score match-difference in difference (PSM-DID) method. The research results show that the national pilot smart city policy has significantly improved the green total factor productivity of Chinese cities. In terms of regional heterogeneity, compared with the central and western regions, the effect of the pilot smart city policy on the green development of cities in the eastern region is more obvious. The mechanism test shows that the pilot smart city policy generates green development effects through industrial structure and technological innovation in the whole country and the central and western regions respectively, and realizes green development through human capital and infrastructure construction in the eastern region, and accordingly puts forward policy recommendations for the construction of new smart cities in China.

**Keywords:** smart city; propensity score match-difference in difference(PSM-DID); green total factor productivity; mechanism