

智慧城市建设试点对碳排放绩效的影响研究

彭华荣 凌可 徐佳*

摘要:数字化正全面融入经济社会发展各领域和全过程,是推动我国加快发展方式绿色转型的关键力量,但政策实践效果有待检验。本文基于2008—2018年中国215个城市的面板数据,利用多期DID方法研究智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的影响。研究表明:智慧城市建设试点政策有效提升了试点地区的碳排放绩效,此结论在进行了PSM-DID、随机抽取示范城市和政策实施时间、排除混淆政策因素、滞后试点政策实施时间、删减部分政策试点样本等一系列的稳健性检验后仍然成立;智慧城市建设试点政策通过促进绿色技术进步、推动产业优化升级、提升政府治理能力的渠道以实现碳排放绩效的提升;智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的正向影响呈现出地区异质性,提升碳排放绩效效应主要体现在东部地区、高网络建设水平地区、非资源诅咒地区、非资本密集型地区、数字金融发展高水平地区、政策高执行力度地区以及偏向技术研发、数字产业、公共服务建设的地区;智慧城市建设试点政策对于提升碳排放绩效具有正向的空间溢出效应,有效提升了邻近地区的碳排放绩效。以上研究结果为智慧城市建设实现经济发展和节能减排的双赢提供了重要启示。

关键词:碳排放绩效;智慧城市建设;数字化;准自然实验

一、引言

当前,随着新一轮科技革命和产业变革深入发展,数字化正全面融入经济社会发展各领域、全过程,是推动我国加快发展方式绿色转型、实现“双碳”目标的关键力量(陈晓红等,2021)。我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系中明确提出数字化、绿色化融合发展,推动互

*彭华荣,碳排放权交易所省部共建协同创新中心,湖北经济学院低碳经济学院,邮政编码:430205,电子邮箱:m13296632059@163.com;凌可,湖北经济学院低碳经济学院,邮政编码:430205,电子邮箱:a13207981210@163.com;徐佳(通讯作者),华中师范大学经济与工商管理学院,邮政编码:430079,电子邮箱:xujia@ccnu.edu.cn。

本文系国家自然科学基金青年项目“数字技术诱发的工业行业能源回弹效应研究:机制、测度与政策优化”(72304092)、“政府引导型和市场驱动型绿色金融影响企业绿色创新的作用机制与协同效应研究”(72003076),湖北省自然科学基金青年项目“双碳背景下智能制造的能源回弹效应评估及应对策略研究”(2022CFB605)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议,文责自负。

网、大数据、人工智能、第五代移动通信(5G)等新兴数字技术赋能绿色低碳转型。为抓住新一代信息技术对经济高质量发展带来的机遇,自2008年起,中国开始布局智慧城市建设,旨在将物联网、大数据、云计算、人工智能等数字技术深度融合于城市规划、建设、管理和服务等各个层面,创新新一代信息技术,发展智慧型产业,提升智慧型应用水平,进而提升城市系统运行效率和可持续发展(武永超,2021)。自2012年起,我国政府开始推行智慧城市试点政策,并逐步扩大试点范围,于2013—2015年共批复三批209个地区试点。

推行这一政策的目的在于推进集约、智能、绿色、低碳的新型城镇化。智慧城市基于现代信息通信技术、物联网信息基础设施展开建设,以可持续发展为理念,实现资源的有效管理,是一种新型信息化和集约化的城市发展形态。考虑能源投入和碳排放非期望产出的全要素碳排放绩效能够反映出能源环境资源利用的有效性(邵帅等,2022b),提升全要素碳排放绩效是低碳经济发展和经济高质量发展的重要体现。由此引发本文关注的话题,在当前中国大力促进数字化发展及有序推进碳达峰碳中和目标的背景下,智慧城市建设能否有效提升碳排放绩效?其具体的作用渠道是什么?深入探讨这一问题对于实现经济发展与环境保护的双赢,实现绿色低碳发展,助力我国碳达峰碳中和目标的实现具有十分重要的现实意义。

已有研究对于智慧城市如何影响环境质量并未得出一致的观点。一类文献发现智慧城市建设提升单要素碳生产率(Song et al., 2023)、改善绿色全要素生产率(湛泳、李珊, 2022),降低环境污染(石大千等, 2018)、降低碳排放(Guo et al., 2022; Wu, 2022),有效提升能源效率而且并未引起城市的能源回弹效应(郭庆宾、汪涌, 2022)。第二类文献认为智慧城市可能对低碳发展有不利影响。张荣博和钟昌标(2022)指出智慧城市试点政策作为一种硬约束,会导致中国东部地区存在“污染避难所”现象,产生“污染转移黏性”,出现污染“以邻为壑”问题,从而增加邻近地区的碳排放规模。智慧城市虽然加快城市的数字化发展,但是可能会导致能源消费量增加,从而引发能源回弹效应,增加碳排放(Monfaredzadeh & Berardi, 2015)。此外,也有学者发现智慧城市的智慧度和碳排放之间的关系是非线性的(Yigitcanlar & Kamruzzaman, 2018)。现有文献存在以上分歧的可能原因在于数字化和智能化对于碳排放的增长具有双重作用。一方面,数字化和智能化能够提高生产和运行效率,提高能源生产技术水平,减少能源消费,从而抑制碳排放量的增长(Zhang et al., 2022);其次,数字基础设施可以打破时空壁垒、提高信息化水平、增加媒体关注度、改善公司治理、促进企业的绿色技术创新(Tang et al., 2021),从而减少碳排放;再者,数字化发展提高生产率、优化资源配置,促进产业结构升级,并有利于淘汰传统落后产业,从而降低高污染、高能耗产业的比重(Ren et al., 2021)。另一方面,数字化发展增加算力的需求,同时增加其他耗电设备如服务器、存储设备的需求,因此增加能源消耗(Plepys, 2002)。Van Heddeghem等(2014)也指出,数字化发展过程中,通信网络、个人电脑和数据中心的电力消费均随时间呈现快速上升的趋势,且高于全球平均电力消费增

长率,对碳排放带来潜在负面影响。此外,数字产品也会通过产业前向和后向联系,导致电力、金属、非金属、化工、交通等上下游部门的大量排放(Zhou et al., 2022)。

已有研究从数字经济、数字基础设施等方面较多地探讨了数字化对于碳排放或能源消费的影响,部分文献研究了智慧城市的政策效果,但关于智慧城市是否及如何影响碳排放绩效的研究相对而言较少,仅Cheng等(2022)从全要素碳排放绩效的角度分析了智慧城市对城市绿色低碳发展的影响。由于数字化和智能化对于碳排放影响存在正反两方面的影响,探究智慧城市建设对于碳排放绩效的影响可以丰富此类文献;其次,现有文献对智慧城市建设影响碳排放绩效的作用机制探索不足,智慧城市从新型基础设施建设、新一代信息技术创新、培育发展智慧型产业和提升城市管理水平等方面深刻改变城市运行效率,需要进一步明晰这种变革影响碳排放绩效的内在规律。

基于此,本文将考察中国实施的智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的影响及其内在机理,本文的边际贡献可能在于:第一,在研究视角上,从数字化的角度识别了智慧城市建设影响碳排放绩效的净效应,有利于揭示数字化发展影响碳排放绩效的内在机制和复杂联系。第二,在方法上,考虑地区技术异质性测度城市碳排放绩效时,采用基于数据驱动的机器学习方法自动为决策单元分组构造异质性随机前沿,有利于减小主观分组带来的偏误。第三,在实证上,探讨智慧城市建设对不同区位、网络设施建设水平、资源禀赋、要素结构、数字金融发展及不同政策执行力度与政策偏向的地区碳排放绩效的异质性影响,并揭示智慧城市建设对空间邻近地区碳排放绩效的空间溢出效应,能够识别数字化发展赋能节能减排的重点区域经济特征,进而提供更具针对性的政策启示。

二、作用机制及理论假说

智慧城市建设旨在从新型基础设施建设、智慧产业、数字化管理和服务系统方面推进先进数字技术广泛应用及数字产业快速发展,提高数字化水平和城市管理水平。考虑到智慧城市建设试点以基础设施、智慧产业与经济、智慧服务与管理为重要建设内容,本文认为智慧城市建设利用新一代信息通信技术从推动产业结构优化升级、促进绿色技术进步和提升政府治理能力三个方面对城市碳排放绩效产生影响,如图1所示。

(1)推动产业结构优化升级。第一,智慧城市建设拓展新一代信息通信技术在传统产业中的应用,加速传统产业改造,有利于提升碳排放绩效。智慧城市建设的基础是新型基础设施的建设和新一代信息通信技术的发展,包括城市信息基础设施的升级、数字化管理服务平台建设以及物联网、云计算等技术的创新发展,这些有利于不断拓展和深化数字化手段和技术在生产经营中的应用。在国家智慧城市建设指导意见中也提到,要加速工业化与信息化深度融合,发展工业互联网等新兴业态,加快发展信息服务业,促进数字技术应用向旅游、餐饮、

文化娱乐、家庭服务、养老服务等领域发展。传统产业的信息化发展有利于加速传统行业的数字渗透,利用数字化改造提升传统行业,优化传统行业的供应链、价值链(张艳萍等,2022),实现网络化、数字化、集约化、绿色化生产和发展,促进产业优化升级,节约资源并降低碳排放(李言、朱棋娜,2023)。第二,智慧城市建设利用新一代信息通信技术加快构建现代化产业体系,有利于提升碳排放绩效。在智慧城市各试点方案中均不同程度地提及,利用新一代信息通信技术,发展智慧产业、高新技术产业、现代服务业等现代化产业体系为智慧城市建设的重要内容。一方面,智慧型产业通过精准匹配市场供求(赵涛等,2020),降低搜寻成本和交易成本(袁航、朱承亮,2022),从而降低资源消耗和碳排放。另一方面,新型基础设施和新一代信息通信技术支撑物理环境的互联化、数据化、共享化进而优化产品的生产、传输、交易、消费环节(陈晓红等,2022),实现效率的提升和资源的节约,有利于提升碳排放绩效。基于此,本文提出如下假说:

假说1:智慧城市建设利用新一代信息通信技术构建现代化产业发展体系,推动产业结构优化升级从而提升试点城市碳排放绩效。

(2)促进绿色技术创新。第一,智慧城市试点会推动新型基础设施建设和新一代信息技术快速发展,加速人力资本积累和投资集聚,促进绿色技术创新。智慧城市的建设伴随着新型基础设施的更新升级和新一代信息技术的飞速发展。根据智慧城市建设指导意见和各试点城市建设方案,新型基础设施的建设和更新升级是各智慧城市建设试点的重要目标。各智慧城市试点加快城市新型基础设施建设、更新换代及新一代信息通信技术的应用,加速人力资本积累和投资集聚。资金和要素投入是提升区域创新水平的关键(周文韬等,2021)。这有利于培育大数据、人工智能、数字孪生、区块链等信息技术为主导的新型产业(谢文栋,2022),并促进传统高耗能高排放产业的转型升级,提升区域的绿色创新水平。第二,智慧城市建设有利于推进数字普惠金融,缓解融资约束,促进绿色技术创新。智慧城市建设的专项应用中包括智能金融,利用大数据、人工智能、云计算等新技术提供普惠数字金融服务,提高金融服务的可得性。由于绿色创新活动会因收益不确定性、前期投入资金大、创新过程信息不对称而面临融资约束的问题(徐佳、崔静波,2020),智慧城市建设利用数字技术提供数字普惠金融,有利于缓解企业融资约束问题,激发企业的绿色创新活力。最后,新一代信息通信技术可以降低信息不对称和获取创新资源的成本,促进绿色技术创新。新一代信息技术具有共享性和外溢性的特点,能够突破时间和空间壁垒加速知识传递(薛成等,2020),降低企业获取创新资源的成本。数字技术的发展有助于企业打破信息壁垒,降低信息不对称(张杰、付奎,2021),提高绿色创新效率并降低绿色创新风险,从而激励市场主体的绿色技术创新行为,提高能源利用效率、降低碳排放,进而提升碳排放绩效。基于此,本文提出如下假说:

假说2:智慧城市建设能够通过新型基础设施建设和新一代信息技术加速资本和人力集

聚、缓解融资约束、降低信息不对称来促进绿色技术进步,从而提升试点城市碳排放绩效。

(3)提升政府治理能力。第一,智慧城市建设通过智慧政务提高政府治理能力进而提高碳排放绩效。一方面,智慧城市建设助推数字政府以及移动民生服务的形成,建立集约化数字平台,推动各部门数据资源整合共享,实现政务服务统一建设和管理,全面优化办事流程,消除“信息孤岛”现象,提升政府公共服务的效率进而提高地方政府的治理能力。另一方面,智慧城市建设通过政务信息化平台推动政府信息公开,提升公众参与进而形成有效监督,改善政策制定的单向化(刘俸奇等,2021)。智慧政府掌握海量用户数据,运用政府数字化办公决策平台对大数据进行分析研判,有利于提高政府决策的科学性和精准性,提高地方政府治理能力。第二,智慧城市建设推动能源环保智能监测体系加速形成,提高政府环境治理能力。环境保护是地方政府的重要职能,智慧城市建设的重要专项内容包括智慧能源和智慧环保,政府采取数字化的节能监测体系,对工业、交通及大型公共建筑等主要用能行业及城市环境质量实施智能监测。以上提升政府治理能力的渠道能够有效优化资源配置、实现能源消费和环境质量的动态监测和预警,有利于提高碳排放效率。基于此,本文提出如下假说:

假说3:智慧城市建设通过智慧政务、智慧能源和智慧环保提升地方政府治理能力进而提升试点城市碳排放绩效。

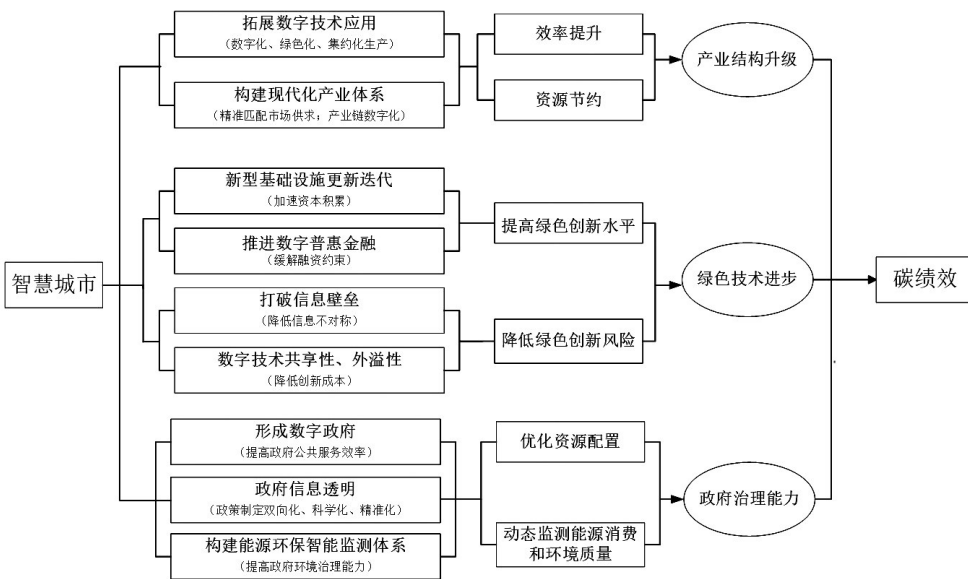


图1 智慧城市试点政策对碳排放绩效的作用机制

三、研究设计

(一)模型说明

本文将中国智慧城市建设试点政策视为准自然实验,采用政策评估方法中广泛使用的双

重差分方法(任亚运等,2022),识别智慧城市建设是否能够提升城市碳排放绩效。通过比较处理组(实行政策地区)和对照组(未实行政策地区)在政策实施前后的差异,来识别智慧城市试点提升碳排放绩效的因果效应。中华人民共和国住房和城乡建设部于2013年2月发布首批(2012年)智慧城市试点,2013年8月发布第二批(2013年)智慧城市试点,2015年4月发布第三批(2014年)智慧城市试点,共批复209个城市试点(批复的县级、区级试点上升到地级市)。考虑到城市实施该政策的多时点性,借鉴Beck等(2010),利用多期DID及逐年PSM-DID方法评估智慧城市建设试点政策对于碳排放绩效的影响,具体模型设置如方程(1)所示:

$$CP_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Smart_city_{it} + \alpha_2 Controls_{it} + w_i + u_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 为城市, t 为年份, CP 为碳排放绩效,政策虚拟变量 $Smart_city_{it}$ 表示 i 城市在 t 年批复为智慧城市建设试点,其系数 α_1 反映智慧城市建设试点政策对碳绩效影响的净效应; $Controls_{it}$ 为一系列控制变量; w_i 为地区固定效应, u_t 为时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(二)变量设置

1. 被解释变量

碳排放绩效衡量一定量的碳排放实现的经济收益。相比单要素碳排放绩效,全要素碳排放绩效考虑了多种要素的替代作用和相互影响,能够更加准确全面地反映碳排放绩效。本文使用方向距离函数估计城市碳排放绩效,考虑中国城市在经济发展、技术水平和能源环境等方面存在较大的差异,为样本城市构建异质性生产前沿面测度碳排放绩效更为合理。已有研究在测度全要素碳排放绩效时,或者忽略技术异质性为所有决策单元构造同一生产技术前沿,或者主观选择单一变量对决策单元进行分组进而构造异质性生产前沿。为解决不考虑技术异质性和主观分组构造异质性生产前沿带来的偏误问题,本文参考Wang等(2022),引入多个外生技术变量,采用基于数据驱动的机器学习方法效率树自动将决策单元分组,构造异质性随机前沿。假定所有决策单元的生产技术由外生技术变量决定,将具有同样生产技术的决策单元划分为同一组,在同一生产技术前沿面进行评估。

其中,测度全要素碳排放绩效的投入产出变量为:各地级市GDP为期望产出(Y), CO_2 排放量为非期望产出,生产投入为资本存量 K ,从业人数 L ,能源消费总量 E 。用于自动分组的外生技术变量为:外商投资水平(FDI),为外商实际投资根据平均汇率换算后占GDP的比重;贸易开放水平($OPEN$),以进出口总额与GDP之比表示;技术水平($TECH$),以科技支出与GDP之比表示;创新水平($HUMAN$),以信息传输、计算机服务和软件从业人数与年末单位从业人数之比表示。

2. 核心解释变量

核心解释变量是智慧城市建设试点政策虚拟变量 $Smart_city_{it}$,若 i 城市在 t 年为智慧城

市试点,则赋值为1,否则为0。

3. 控制变量

(1)外商投资水平(*FDI*),以外商实际投资占GDP的比例表示。(2)城镇化率(*UR*),以城镇常住人口与地区总人口的比值表示(Zhang & Liu, 2015)。(3)环境规制(*LGR*),以人均绿地面积表示环境规制水平(邝嫦娥、路江林, 2019)。(4)基础设施建设(*PR*),以人均道路面积代表基建水平(张兵兵等, 2022)。(5)信息化水平(*Infm*),以人均邮电业务总量与人均GDP表示。

(三)数据说明

基于数据的可获取性,本文采用2008—2018年我国215个地级市的面板数据作为研究样本,智慧城市试点在2012—2014年共批复209个,将批复试点中的区、县、镇合并至地级市层面,则本文样本中共包含125个智慧城市试点。碳排放量数据主要来自于中国碳核算数据库(Shan et al., 2019);地区生产总值、资本存量、人力资本、贸易水平、对外开放水平、技术水平、创新水平等数据来自于EPS数据库;城市能源消耗数据来源于Wang等(2022)。智慧城市试点城市名单来源于中华人民共和国住房和城乡建设部官网。城镇化率数据来自于各省市统计年鉴,人均绿地面积、人均道路面积、人均邮电业务总量主要来自于EPS数据库。地区生产总值、城镇化率等缺失的数据在各省市统计年鉴、各地级市国民经济和社会发展统计公报以及各地级市政府工作汇报中补齐。变量的描述性统计如表1所示。

表1 各变量的描述性统计

变量	含义	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
<i>Y</i>	GDP	2365	254.904	334.096	17.246	3276.987
<i>CO₂</i>	碳排放	2365	4141.281	4166.303	134.221	43624.750
<i>K</i>	资本存量	2365	523.229	607.994	18.073	6813.718
<i>L</i>	劳动力	2365	1243.964	2117.387	71.000	17175.200
<i>E</i>	能源消费	2365	376.386	561.291	11.993	7864.415
<i>FDI</i>	外商投资	2365	2.189	2.053	0.000	21.779
<i>OPEN</i>	贸易开放	2365	2.076	31.605	0.051	323.247
<i>TECH</i>	技术水平	2365	0.258	0.240	0.013	4.147
<i>HUMAN</i>	创新水平	2365	1.323	0.990	0.046	10.256
<i>CP</i>	碳排放绩效	2365	0.485	0.229	0.016	1.000
<i>Infm</i>	信息化水平	2365	2.258	2.720	0.025	80.663
<i>UR</i>	城镇化率	2365	54.835	14.756	22.345	100.000
<i>lnLGR</i>	环境规制	2365	2.418	0.980	-0.405	6.046
<i>lnPR</i>	基础设施建设	2365	2.707	0.430	0.315	4.095

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

根据方程(1)构建的模型,本部分量化了智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的影响。此外,为了避免智慧城市建设试点政策评估中存在的选择性偏差问题,本文同时进行了倾向得分匹配。由于智慧城市建设试点政策实施年份不一致,多期DID的混合匹配容易产生匹配对象在政策前后不一致的问题。因此,本文采用逐年PSM-DID的方法,对每一年的截面数据进行匹配。匹配后的核密度曲线如图2和附表1—2所示。匹配后两条核密度曲线图更为接近,同时附表1—2表明匹配前后匹配变量的显著性及伪决定系数 R^2 均有较大差异。因此可认为匹配效果较好,可以进行后续DID估计。

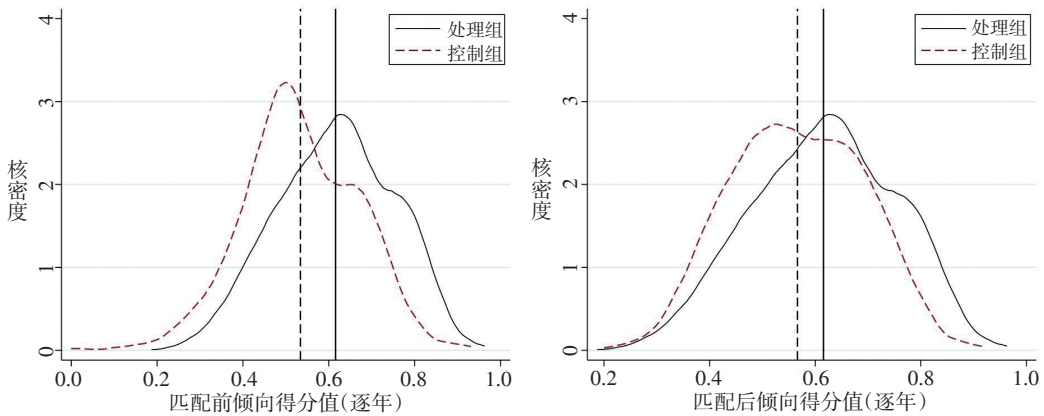


图2 匹配前后核密度曲线图

多期DID和逐年PSM-DID的回归结果表2所示,其中(1)(2)(3)列分别是多期DID模型关于碳排放绩效的回归结果,(4)(5)(6)列是逐年PSM-DID的回归结果。所有的回归都控制时间固定效应和城市固定效应,且都采用在城市层面的聚类调整标准误差。

由表2可知,智慧城市建设显著提升了试点城市的碳排放绩效。表2的结果显示,不论是采用多时期DID还是逐年PSM-DID方法,政策虚拟变量的系数大都在5%显著性水平下显著为正;而在经过逐年匹配并控制各项控制变量之后,第(6)列中的核心解释变量系数在1%的水平上显著为正,这表明智慧城市建设提升了试点城市的碳排放绩效。具体而言,试点城市在政策实施后相比非试点城市的碳排放绩效提高约0.05。因此,可以认为智慧城市试点政策的实施对于我国碳排放绩效具有正向提升效应。

(二) 平行趋势检验

平行趋势检验是进行DID分析的必要前提条件,即检验在政策实施前试点城市的碳排放

绩效是否与非试点城市有相同的发展趋势,本文以事件分析法进行检验,模型如下:

表2 智慧城市建设对碳绩效的影响

	DID			逐年PSM-DID		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Smart_city</i>	0.046** (2.44)	0.048** (2.55)	0.048** (2.58)	0.047** (2.40)	0.049** (2.57)	0.049*** (2.60)
<i>FDI</i>		-0.006* (-1.75)	-0.007* (-1.89)		-0.005 (-1.44)	-0.006* (-1.66)
<i>Infm</i>		-0.006*** (-3.48)	-0.006*** (-3.52)		-0.009*** (-6.69)	-0.009*** (-6.62)
<i>UR</i>			0.002 (0.63)			0.003 (1.00)
<i>lnLGR</i>			0.009 (0.25)			0.007 (0.20)
<i>lnPR</i>		-0.065** (-2.55)	-0.067*** (-2.65)		-0.076*** (-3.13)	-0.077*** (-3.25)
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	2365	2365	2365	2285	2285	2285
调整的R ²	0.687	0.695	0.695	0.688	0.697	0.698

注: *、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平,括号内为t值。回归均采用以地级市层面为聚类变量的稳健标准误。下表同。

$$CP_{it} = \hat{\alpha}_0 + \sum_{k=-6}^{k=6} \hat{\alpha}_k policy_{it} + \delta Controls_{it} + w_i + u_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $\sum_{k=-6}^{k=6} \hat{\alpha}_k policy_{it}$ 是作为智慧城市建设试点政策的虚拟变量合集,系数 $\hat{\alpha}_k$ 的显著性表示试点城市与非试点城市的碳绩效是否有相同的发展趋势。当 $k < 0$, 即智慧城市建设试点政策实施之前,系数不显著异于0,则认为在政策实施前试点城市与非试点城市的碳排放绩效不存在显著差异;当 $k > 0$, 即智慧城市建设政策实施之后,系数显著异于0,表明政策实施之后试点城市和非试点城市的碳排放绩效趋势有了显著的改变,则通过平行趋势检验,反之则不通过。

平行趋势检验的结果如图3所示。可以发现,在智慧城市建设试点政策实施年份之前^①,试点城市和非试点城市的碳排放绩效均没有显著的差异。在政策实施后,处理组相对对照组的碳排放绩效呈现显著的上升趋势。因此,可以认为碳排放绩效通过了平行趋势检验,利用多时期双重差分模型考察智慧城市建设对城市碳排放绩效的影响是合理的。

①为避免多重共线性,删除政策实施前一年。

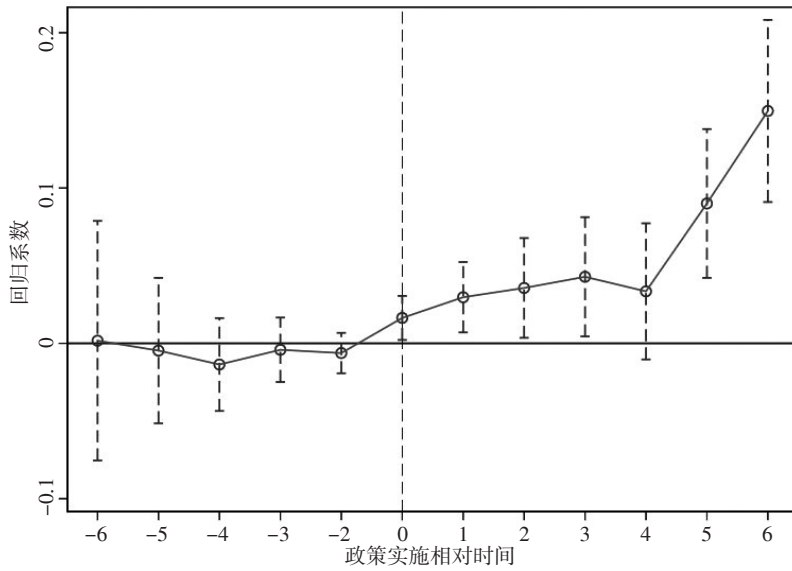


图3 平行趋势检验

(三)稳健性检验

1. 安慰剂检验

为了进一步检验智慧城市试点是否确实有效提升了碳排放绩效,而非其他随机因素或遗漏变量的影响,本文采取随机抽取处理组和政策实施时间的安慰剂检验,来验证基准回归结果的稳健性。首先,对215个城市样本进行500次随机抽取,每次随机抽取125个城市样本,构造伪智慧城市试点。其次,对抽取出的伪智慧城市试点城市随机抽取政策实施节点,构建500组虚假政策交互项。如果不存在其他随机因素或遗漏变量的影响,虚假的政策交互项的估计系数应不显著异于0。交互项的回归系数结果呈现在图4中,可以看到,随机构造政策交互项的回归系数集中分布在0左右,其P值也大多都大于10%,而真实的智慧城市试点政策对碳排放绩效的影响(图4中垂线)明显不同于安慰剂检验得到的估计值,属于安慰剂检验的异常值。因此,可以说明,评估的智慧城市试点政策对碳排放绩效的影响并未受到随机因素和遗漏变量问题的干扰。

2. 排除其他政策干扰

由于智慧城市试点政策分三期发布,本文的样本期(2008—2018年)较长,考虑期间可能会有多种其他政策因素混淆实证结果,需要排除2008—2018年实施的其他混淆政策的影响,以保证结果的稳健性。考虑到“宽带中国”战略示范城市建设政策(*Broadband_China*)、资源型城市建设(*Resource_city*)、碳排放权交易试点(*Carbon_city*)及低碳城市建设(*LowCarbon_city*)主要是以完善数字基础设施、优化资源配置、节能减排为目标的政策,因此作为可能影响碳排放绩效的混淆政策因素进行考虑。回归结果如表3所示,其中第(1)(2)(3)(4)列分

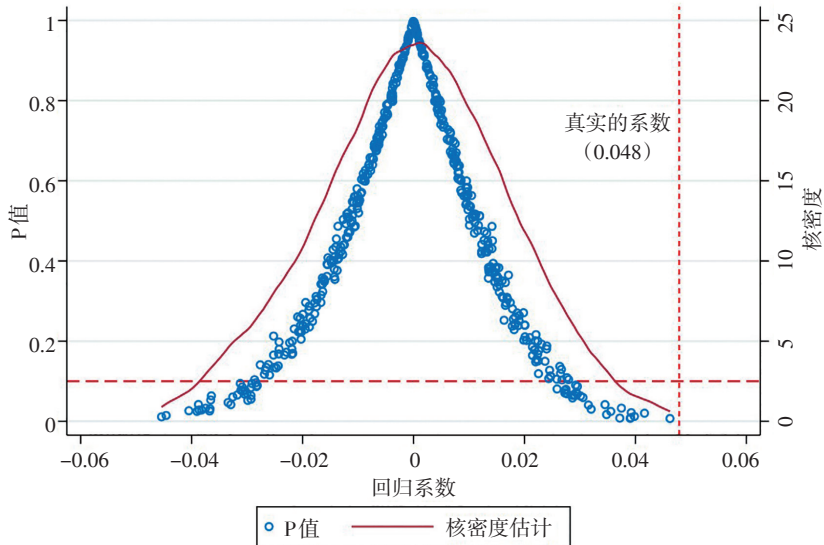


图4 安慰剂检验结果

别为控制“宽带中国”战略示范城市建设、资源型城市建设、碳排放权交易试点政策及低碳城市建设政策的结果,第(5)列为共同控制各类混淆政策后的结果。由表3可知,不管是分别控制“宽带中国”战略政策、资源型城市建设、碳排放权交易试点政策、低碳城市建设的情况下,还是共同控制各类混淆政策下,智慧城市建设试点政策的实施对于提高碳排放绩效的效应仍然显著。

表3 排除其他政策干扰后的DID结果

	CP				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Smart_city</i>	0.042** (2.20)	0.040** (2.24)	0.049*** (2.63)	0.046*** (2.48)	0.034* (1.82)
<i>Broadband_China</i>	0.059*** (3.04)				0.053*** (2.84)
<i>Resource_city</i>		-0.083*** (-3.58)			-0.077*** (-3.31)
<i>Carbon_city</i>			0.030 (1.55)		0.006 (0.31)
<i>LowCarbon_city</i>				0.036** (2.08)	0.027 (1.55)
控制变量	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
样本量	2365	2365	2365	2365	2365
调整的R ²	0.699	0.703	0.695	0.696	0.707

3. 滞后试点政策实施时间

由于试点政策实施可能存在滞后性, 本文进行滞后试点政策实施时间的稳健性检验, 结果如表4所示。第(1)列为将三次智慧城市试点政策均滞后一期进行检验的结果; 第(2)列是将2012年和2013年的试点政策视为2013年实施的结果; 第(3)列将三次试点政策均视作2014年的试点政策进行检验。结果表明, 核心解释变量系数的显著性及大小均与本文基准回归结果的差异较小, 因此本文得到的结论是稳健的。

表4 滞后试点政策实施时间的稳健性检验结果

	均滞后一期	2012年和2013年视为 2013年实施	均视为2014年实施
	(1)	(2)	(3)
<i>Smart_city</i>	0.045** (2.38)	0.055*** (2.65)	0.055** (2.50)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	2365	2365	2365
调整的R ²	0.695	0.696	0.695

4. 删减部分政策试点样本

由于智慧城市批复试点包含部分区、县、镇, 在基准回归模型中区、县、镇合并至地级市层面, 这种做法在一定程度上会放大政策效应, 本文借鉴Shu等(2023)将县及乡镇试点所在的城市样本删除, 并比对某些区试点是否能够上升到地级市层面。经比对后仅保留地级市与部分区(新区、示范区、科技城、先导区、开发区等)试点, 并将这些区试点上升到地级市。保留部分区的缘由是, 地级市对该类新区、示范区等投资力度较大, 因而其能够部分代表地级市的政策效应; 同时, 其能够产生示范效应, 从而促使当地信息化发展。此外, 考虑到区试点相比城

表5 删除部分政策试点样本的稳健性检验结果

	删除县、镇并保留部分区	部分区滞后一期
	(1)	(2)
<i>Smart_city</i>	0.045** (2.37)	0.043** (2.31)
控制变量	是	是
城市固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	2365	2365
调整的R ²	0.695	0.694

市试点实施效果往往更具有滞后效应,将部分区上升到地级市的样本做滞后一期处理。由表5可知,删减政策试点样本后,不论滞后与否,系数大小变化不大且依旧显著,证明智慧城市建设试点政策的实施对于提高碳排放绩效的效应仍然显著。

(四)影响机制检验

基准回归的结果表明智慧城市政策显著提升试点城市的碳排放绩效,且通过一系列稳健性检验仍然成立。那么该项政策是通过何种途径影响城市碳排放绩效?正如前文机制分析部分所述,智慧城市可能通过优化产业结构、促进绿色技术进步、提升政府治理水平的路径提高碳排放绩效。本节探讨以上机制是否存在。

本文分别采用第三产业与第二产业的就业比重表征产业转型升级,各地区获得的绿色发明专利授权数表征绿色技术进步。由于政府治理能力展现出地方政府职能的发挥和社会公共事务的治理,包含经济、社会、文化、政治和生态等多方面。因此,本文从政府绩效、监管质量、经济发展和民生保障多个维度选取指标构建综合指标(*Gov*)表征政府治理能力(刘俸奇等,2021)。具体而言,分别选择表征行政效率、政府规模、环境监管、经济产出、教育水平、研发能力和用电保障的指标,采用信息熵方法构建政府治理能力的综合指标,具体指标如附表3所示。表6为智慧城市试点政策提升碳排放绩效的机制检验结果。

表6第(1)列结果表明,智慧城市试点政策显著提升第三产业相对第二产业就业人数比重,表明智慧城市有效促进劳动要素流向现代服务业等生产部门,促使产业结构朝着合理化、高度化和清洁化方向转型升级。这个结果证实假说1,即智慧城市推动产业结构优化升级从而提升试点城市碳排放绩效。一方面,智慧城市通过加速工业化与信息化智能融合,推动智能制造产业发展,加快发展信息服务业,利用新一代信息通信技术推动传统产业转型升级;另一方面,智慧城市推动5G、人工智能、虚拟现实等前沿数字技术高新技术产业发展,促进数字技术在实践中与更多服务业场景融合,促使新业态新模式快速发展,现代服务业加速崛起,推动产业结构转型升级。

表6第(2)列结果显示,智慧城市试点政策能够有效增加绿色发明专利授权数,即有利于促进试点城市的绿色技术进步,进而提高能源利用效率,提高减排技术水平从而提升碳排放绩效。该结果证实假说2。智慧城市大大推动新一代信息技术创新和数字基础设施的建设和更新,催生信息技术为主导的新型产业,促进信息产业与传统高耗能高排放产业的深度融合,从而提升区域的绿色创新水平。这已得到已有研究的支持,郭劲光和王虹力(2022)发现数字基础设施的建设显著地提升了地区绿色技术创新水平。其次,新一代信息技术也能够破除时间空间壁垒,降低企业对资源的获取成本。另外,智慧城市促进数字金融的发展,缓解中小企业融资约束难题,激发企业绿色创新活力。

由表6第(3)列结果可知,智慧城市试点政策有效提升试点地区的政府治理能力,证

实假说3。以智慧政务为中心的智慧管理和服是各智慧城市建设试点的重要任务。一方面,通过智慧政府建设提升政府的履职服务能力和监管水平,提高政府服务的效率,提升决策的科学性,提升政府治理能力,实现资源的节约和效率的提升。其次,智慧城市试点建设从城市智能管理、智能交通、智慧环保、智慧共用平台等城市治理领域,优化资源的配置,提高资源利用效率和运行效率,降低资源消耗和碳排放,提高碳排放绩效。

表6 机制检验结果

	产业转型升级	绿色技术进步	政府治理能力
	(1)	(2)	(3)
<i>Smart_city</i>	0.001** (2.00)	0.200*** (3.52)	0.008*** (3.12)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	2365	2365	2365
调整的R ²	0.828	0.931	0.977

(五)异质性分析

1. 区域异质性

中国东部、中部和西部在经济发展、碳排放水平、产业结构以及数字化发展上都具较大差异,智慧城市建设试点政策对于中国东部、中部和西部地区的碳排放绩效可能具有异质性的影响,本文在基准模型的基础上,将样本分为东部、中部和西部地区考察智慧城市建设试点政策对不同区域碳排放绩效的异质性影响。结果如表7所示,可知智慧城市建设试点政策的实施对提升东部地区的碳排放绩效有促进作用,这得益于中国东部地区的高新产业发达、人才集聚

表7 地区异质性回归结果

	东部地区	中部地区	西部地区
	(1)	(2)	(3)
<i>Smart_city</i>	0.089*** (3.44)	0.025 (0.87)	-0.009 (-0.21)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	957	957	451
调整的R ²	0.737	0.680	0.693

等经济条件基础。随着智慧城市的推进,建设新型基础设施、构建现代化产业体系、发展新技术和新业态,推动产业持续升级及技术创新水平增高,有利于促进东部地区碳排放绩效的提升。然而,智慧城市建设对中部和西部地区的碳排放绩效影响并不显著,这可能与中部和西部地区较多地承接东部地区的产业转移相关,智慧型产业和传统领域的数字化转型基础相对较弱,未能较好地利用智慧城市建设对其产业转型、技术创新和资源配置的支撑作用。

2. 网络建设水平的异质性

智慧城市建设试点政策旨在通过推动数字技术创新应用、加强城市管理和服务体系数字化建设,促进城市走向集约、智能、绿色和低碳的新型城镇化道路。地区网络建设水平是发挥数字技术创新应用的基础,直接影响到该项政策的实施效果,因而,智慧城市对碳排放绩效的影响很可能因地区网络建设水平的差异呈现异质性。本文以各地级市宽带接入率作为衡量网络建设水平的指标,依据宽带接入率的平均值将样本地区分为高网络建设水平地区和低网络建设水平地区,以考察智慧城市建设试点政策对不同网络建设水平地区碳排放绩效的异质性影响。结果如表8中的第(1)和(2)列所示,可以发现:

智慧城市建设试点政策对于高网络建设水平地区的碳排放绩效具有显著提升作用,而这种影响在低网络建设水平地区并不存在。网络建设水平较高的地区往往有着高技术含量且清洁的数字化产业,数字化发展通过数据要素的重新配置、生产流程的优化和调整、生产设备的升级更新可以减轻对环境的不利影响。对于低网络建设水平的地区而言,其依赖的产业偏传统,因而数字化发展并未得以发挥其优势而显著提升碳排放绩效。这个结果表明,应综合考虑区域优势和产业特征,加大数字基础设施投资力度和建设强度,一方面可以进一步释放高网络建设水平地区的碳减排潜力,另一方面也引导低网络水平区域加强数字化与传统行业的产业融合以促进经济结构转型,充分发挥数字化应用到城市管理及生产优化中的节能减排赋能作用。

表8 网络建设水平与资源禀赋类型异质性回归结果

	高网络建设水平地区	低网络建设水平地区	非资源诅咒地区	资源诅咒地区
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Smart_city</i>	0.099*** (3.85)	0.018 (0.96)	0.051*** (2.91)	0.049 (0.93)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	1068	1279	1789	561
调整的 R ²	0.818	0.745	0.736	0.632

3. 资源禀赋类型的异质性

对于具有能源资源禀赋的资源型城市,其经济发展可能完全依赖于能源,更多发展能源密集型产业,并形成路径依赖和锁定效应,长期不利于经济增长,形成“资源诅咒”(邵帅、齐中英,2008)。这种地区往往形成资源产业依赖,传统产业转型较难。新一代信息通信技术难以发挥产业转型升级、促进新兴产业发展的作用。因此,智慧城市试点政策对碳排放绩效的影响可能因城市是否为资源依赖型城市而具有异质性的差异。本文参考姚予龙等(2011)构造的资源诅咒系数,将资源诅咒系数大于1的城市归为资源诅咒型城市,将资源诅咒系数小于1的城市归为非资源诅咒型城市。资源诅咒型城市表明该地区一次能源生产量在整个区域中占的比重大于其第二产业产值在整个区域的比重,该地区的资源优势并没有转化为经济优势。接着,考察智慧城市试点政策对资源诅咒型地区和非资源诅咒型地区碳排放影响的异质性。结果如表8中的第(3)和(4)列所示,可以发现:智慧城市试点政策的实施能够显著提升非资源诅咒型地区的碳排放绩效,然而,并未显著影响资源诅咒型地区的碳排放绩效。原因可能在于,第一,资源诅咒型城市的产业结构偏能源密集型产业,因其丰富的能源资源禀赋产生路径依赖,难以利用数字化推动产业结构升级减少其能源消费和碳排放。第二,资源诅咒型城市因能源丰裕往往会挤出科技研发投入(李江龙、徐斌,2018),不利于在智慧城市建设中学习吸收新技术,影响了该地区提高能源效率和减少排放的创新能力。

4. 要素结构的异质性

产业结构很大程度上取决于生产要素禀赋和结构,要素结构的变化推动产业结构的变化。资本密集型产业通常更倾向于污染密集型产业(王勇等,2022),而且,以扩大生产和重复投资为目的的资本投入可能导致过快的能源消费和碳排放(邵帅等,2022a)。因此,智慧城市对于不同要素结构的地区的碳排放绩效可能具有异质性影响。本文以劳均资本存量表征资本密集度,依据资本密集度的平均值将样本地区分为资本密集型地区和非资本密集型地区,考察智慧城市试点政策影响不同要素结构地区碳排放绩效的异质性。结果如表9中的第(1)和(2)列所示,可以发现:智慧城市试点政策显著提升了非资本密集型地区的碳排放绩效,而对资本密集型地区的碳排放绩效无显著影响。资本密集型地区对资本投资的需求较高,行业往往集中在重工业和基础设施建设,非资本密集型地区依赖于劳动力和技术要素,行业集中在服务业和高新技术领域。各智慧城市试点的建设重点在于推动新一代信息技术和数字化管理服务、发展智慧型产业和建设智慧民生与智慧政务等方面,这些领域更多地依赖于高素质劳动力和技术要素,因而智慧城市试点在非资本密集型地区更能充分发挥其优化资源配置的作用,通过数字化生产和管理提高生产效率,进而提升碳排放绩效。

表9 要素结构与数字金融发展异质性回归结果

	资本密集型地区	非资本密集型地区	数字金融发展高水平地区	数字金融发展低水平地区
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Smart_city</i>	0.026 (0.84)	0.069*** (3.02)	0.056** (2.02)	0.033 (1.33)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	959	1390	1163	1202
调整的 R ²	0.800	0.723	0.709	0.690

5. 数字金融发展的异质性

不同智慧城市试点地区的数字基础设施、数字技术水平、金融发展往往具有较大程度的差异,导致数字金融发展也具有地区差异。数字金融发展有助于缓解企业的融资约束,促进企业绿色技术创新。因此,对于不同数字金融发展程度的地区,智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的影响可能存在异质性。为此,本文以北京大学数字普惠金融指数表征数字金融发展程度(郭峰等,2020),依据其平均值将样本地区分为数字金融发展高水平地区和数字金融发展低水平地区,以考察智慧城市建设试点政策影响不同数字金融发展地区碳排放绩效的异质性。结果如表9中的第(3)和(4)列所示,可以发现:智慧城市建设试点政策显著提升数字金融发展高水平地区的碳排放绩效,而对数字金融发展低水平地区的碳排放绩效无显著影响。原因可能在于数字金融发展高水平地区具有较为完备的新型基础设施和较高的数字化程度水平以支撑其数字金融的发展,而智慧城市的建设能够进一步有效提升新型基础设施建设,孵化新型数字智慧产业,建设数字化管理平台并完善智慧服务体系,进而提供了更加便利的数字金融服务,缓解企业的融资约束,激活企业的经济活力,降低要素错配(邓荣荣、张翱翔,2021),提升生产效率和技术创新,从而提升企业碳排放绩效。

6. 政策执行的异质性

各地区资源禀赋、经济发展状况不同,对智慧城市建设的具体方案也不相同,主要表现为政策执行力度与政策建设偏向的差异。为了探究这种差异对碳排放绩效的影响是否有异质性,本文搜集2012—2014年所有国家部门协同指导智慧城市建设发布的各类政策以及智慧城市专项试点名单(附表4)。若智慧城市试点执行附表4所列国家部门发布的协同指挥智慧城市建设政策,则其为高执行力度试点,反之为低执行力度试点。再次,依据附表4所列各国

家部门发布的政策内容将智慧城市试点建设偏向分为技术研发、数字产业、公共服务。不同执行力度和建设类型的智慧城市政策对碳排放绩效的影响回归结果如表10所示,可以发现:智慧城市建设执行力度大的试点更为显著地增加了城市碳排放绩效;相较于未偏向某一建设类型的智慧城市,有明确建设偏向的智慧城市试点能更显著地增加试点地区的碳排放绩效。可能的原因是,由于各部门多项智慧城市相关政策的协同作用,高执行力度的试点可以在各项具体政策的指引下有的放矢,对诸如数字消费、云计算、智慧园区等重要方向加强建设,促进产业结构升级、提高绿色技术水平而显著提升碳绩效。明确的建设偏向也让智慧城市试点的建设有清晰目标,通过结合自身发展特点和优势在技术研发、数字产业和公共服务等重要数字化领域精准发力,促进碳绩效提升。

表 10 智慧城市试点政策建设类型异质性回归结果

	高执行力地区	低执行力地区	偏向技术研发	不偏向技术研发	偏向数字产业	不偏向数字产业	偏向公共服务	不偏向公共服务
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Smart_city</i>	0.042* (1.66)	0.015 (0.50)	0.055** (2.04)	0.024 (0.92)	0.067** (2.42)	0.023 (0.94)	0.079** (2.32)	-0.005 (-0.19)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	1408	957	1100	1265	957	1408	946	1419
调整的 R ²	0.707	0.673	0.734	0.668	0.757	0.667	0.757	0.667

(六)拓展性分析

由于我国碳排放往往存在空间关联和空间集聚,而大数据、物联网等新一代信息技术更加紧密地联系了地区和地区之间的经济发展和产业关联,数字化产业本身也具有较强的经济集聚效应,因此,智慧城市建设对试点城市碳排放绩效的影响是否存在空间溢出效应值得关注。一方面,智慧城市试点政策可能会导致“虹吸效应”,智慧城市试点地区会吸纳周边地区的资源、资本和人才更多倾向于聚集在智慧城市试点地区,导致区域之间经济差距拉大,削减了周边城市的发展潜能,制约了周边地区的发展,不利于提升周边地区的碳排放绩效。另一方面,智慧城市建设可能发挥其示范效应,带动周边地区建设新型基础设施、发展数字化和智慧型产业,并利用创新模式提升政府治理水平,周边地区学习模仿智慧城市试点地区加强绿色技术水平研发及优化产业结构升级,进而使得其碳排放绩效水平也得以提高。

表 11 空间计量模型 LM 检验

检验指标	检验方法	统计值	P 值
LM_error 检验	LM_error	139.253	0.000
	LM_error_robust	3.562	0.059
LM_lag 检验	LM_lag	158.605	0.000
	LM_lag_robust	22.911	0.000

表 11 中 LM 检验的结果表明滞后项和误差项均表明需要考虑空间依赖性。本文构建混合了空间滞后模型和空间误差模型的广义空间回归模型(SAC),以探究智慧城市建设对于碳排放绩效的影响是否具有空间溢出效应,如下式所示:

$$CP_{it} = \rho W \times CP_{it} + \alpha_1 Smart_city_{it} + \alpha_2 Controls_{it} + w_i + u_t + \mu_{it} \quad (3)$$

$$\mu_{it} = \lambda W \mu_{it} + \varepsilon_{it}, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (4)$$

其中, W 为地理空间权重矩阵,其他变量定义同前文。

回归结果如表 12 所示,空间自回归系数 ρ 和空间误差项系数 λ 均在 1%水平下显著,表明需要考虑城市碳排放绩效的空间依赖性。对回归系数进行偏微分处理后得到的直接效应表示解释变量影响本区域碳排放绩效的程度,间接效应表示解释变量影响邻近地区碳排放绩效的程度。可以发现,智慧城市建设试点政策显著提升试点城市的碳排放绩效,且智慧城市建设试点政策实施会对相邻城市的碳排放绩效产生显著正向影响,即存在显著的正向空间溢出效应,这表明智慧城市建设试点地区有效发挥了其示范效应,通过产业集聚和技术创新引导带动周边地区的新型基础设施发展和技术水平提升,推动邻近地区产业结构升级,提升邻近地区的碳排放绩效。

表 12 广义空间回归模型估计结果

	回归系数	直接效应	间接效应	总效应
<i>Smart_city</i>	0.039*** (4.66)	0.043*** (4.58)	0.047*** (3.82)	0.090*** (4.32)
ρ	0.576*** (15.88)			
λ	-0.429*** (-7.59)			
控制变量	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	2365	2365	2365	2365
调整的 R ²	0.083	0.083	0.083	0.083

五、结论与政策建议

数字化和绿色化协同转型发展是我国经济高质量发展的必然要求。2012年以来先后分三批推进的智慧城市建设试点政策有效推进我国数字化发展。为探究数字化发展对我国经济低碳转型的影响,本文基于2008—2018年期间中国215个城市面板数据,利用多期DID方法研究了智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的影响,可以得出以下结论和政策启示。

第一,智慧城市建设试点政策有效提升了试点地区的碳排放绩效,此结论在进行了PSM-DID、随机抽取示范城市和政策实施时间、排除混淆政策因素、滞后试点政策实施时间、删减部分政策试点样本等一系列的稳健性检验后仍然成立。因此,需持续推进智慧城市建设,加快推进建设数字中国,特别是作为数字化发展支撑的新型基础设施和新一代信息技术,如5G基站建设、数据中心、工业互联网、人工智能等。

第二,智慧城市建设试点政策对碳排放绩效的积极影响呈现出地区异质性,提升碳排放绩效效应主要体现在东部地区、高网络建设水平地区、非资源诅咒地区、非资本密集型地区、数字金融发展高水平地区、政策高执行力度地区以及偏向技术研发、数字产业、公共服务的智慧城市建设类型地区。因此,政府有关部门应充分考虑区域发展的不均衡性,统筹考虑各个地区不同的发展阶段、资源禀赋、产业特征、区域优势,在东部地区、网络建设水平较高地区、非资源诅咒地区、非资本密集型地区、数字金融发展高水平地区以及政策执行力度大、偏向技术研发、数字产业、公共服务的智慧城市建设类型地区发挥智慧城市建设协调经济发展和节能减排双赢的示范作用,同时,要加快其他地区智慧城市建设的步伐,实现数字化的区域协调均衡发展。

第三,智慧城市建设试点政策通过促进绿色技术进步、推动产业优化升级、提升政府治理能力的渠道实现碳排放绩效的提升。首先,需强化数字化发展促进绿色创新效应的作用路径,通过提供优质的新型基础设施、信息通信技术的应用,提高城市数字化水平,吸引社会投资新型基础设施建设和新一代信息技术研发,加大绿色研发创新力度,吸引高质量科技人才。其次,要加快传统行业的数字化转型进程。借助当前新型基础设施和新一代信息技术助推实体产业的转型升级,推动传统行业的数字化、集约化、绿色化生产和发展,实现能源高效利用。再次,利用数字化手段持续推进政务服务的信息共享和业务整合,不断优化资源配置,提升公共服务的质量及效率,加速提升政府治理能力。

第四,智慧城市建设试点政策对于提升碳排放绩效具有显著的空间正向溢出效应,有效提升邻近地区的碳排放绩效。因此,要充分发挥智慧城市建设提升碳排放绩效的示范效应,非试点邻近地区可利用区位和经济互动优势,加快产业数字化转型发展,推动数字化产业集聚,提高城市数字化水平,提高城市数字化治理能力等。

附录:

附表1 逐年平衡性检验(匹配前)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	2008bef	2009bef	2010bef	2011bef	2012bef	2013bef
<i>FDI</i>	0.1907** (2.2038)	0.1033 (1.2051)	0.0600 (0.7568)	0.0615 (0.6770)	0.1111 (1.3481)	0.1416 (1.5723)
<i>Infm</i>	-0.1746*** (-2.6251)	-0.1093* (-1.6811)	-0.1676*** (-2.7142)	-0.2778* (-1.7366)	0.0110 (0.1252)	-0.3100 (-1.3232)
<i>UR</i>	0.0173 (1.2781)	0.0191 (1.3983)	0.0207 (1.4848)	0.0166 (1.1837)	0.0261* (1.7835)	0.0341** (2.2534)
<i>lnLGR</i>	0.1193 (0.5718)	0.1629 (0.7662)	0.2275 (1.0340)	0.2822 (1.2539)	0.0802 (0.3590)	-0.0356 (-0.1494)
<i>lnPR</i>	-0.1084 (-0.2902)	-0.0508 (-0.1404)	-0.0815 (-0.2337)	0.0402 (0.1333)	0.2299 (0.6766)	0.2473 (0.7140)
伪决定系数 R ²	0.0682	0.0490	0.0624	0.0585	0.0491	0.0651

续附表1 逐年平衡性检验(匹配前)

	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	2014bef	2015bef	2016bef	2017bef	2018bef
<i>FDI</i>	0.1764* (1.9259)	0.2246** (2.0410)	0.1788* (1.7370)	0.0518 (0.6224)	0.0049 (0.0706)
<i>Infm</i>	-0.3022 (-1.4772)	-0.0426 (-0.3402)	-0.2705** (-1.9921)	-0.1303 (-1.0784)	-0.0090 (-0.3407)
<i>UR</i>	0.0366** (2.3861)	0.0146 (0.9109)	0.0178 (1.0873)	0.0252 (1.5128)	0.0247 (1.5270)
<i>lnLGR</i>	-0.0412 (-0.1740)	0.3241 (1.3511)	0.2712 (1.0806)	0.2589 (1.0442)	0.3083 (1.2311)
<i>lnPR</i>	0.2217 (0.6198)	0.2936 (0.7992)	0.1050 (0.2807)	0.2777 (0.7595)	0.2336 (0.6195)
伪决定系数 R ²	0.0780	0.0747	0.0789	0.0602	0.0488

附表2 逐年平衡性检验(匹配后)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	2008aft	2009aft	2010aft	2011aft	2012aft	2013aft
<i>FDI</i>	-0.0515 (-0.4247)	0.0325 (0.2710)	0.0480 (0.3470)	-0.0255 (-0.2527)	-0.0625 (-0.5875)	0.0195 (0.1606)
<i>Infm</i>	0.0662 (0.5827)	0.0178 (0.1796)	0.0041 (0.0287)	-0.0425 (-0.1850)	0.0043 (0.0554)	0.0972 (0.3515)
<i>UR</i>	-0.0009 (-0.0380)	-0.0268 (-1.2803)	0.0249 (0.9342)	-0.0002 (-0.0111)	-0.0277 (-1.1874)	-0.0285 (-1.1782)
<i>lnLGR</i>	0.1510 (0.4073)	0.4430 (1.4959)	-0.3445 (-0.9891)	-0.0575 (-0.1708)	0.4587 (1.3116)	0.3823 (1.1077)
<i>lnPR</i>	0.2084 (0.4077)	-0.6101 (-1.1649)	-0.1811 (-0.3154)	0.2525 (0.5159)	-0.0411 (-0.0895)	-0.0850 (-0.1864)
伪决定系数 R ²	0.0058	0.0216	0.0113	0.0030	0.0146	0.0110

续附表2 逐年平衡性检验(匹配后)

	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	2014aft	2015aft	2016aft	2017aft	2018aft
<i>FDI</i>	0.0529 (0.5551)	-0.0106 (-0.0748)	-0.0803 (-0.6966)	0.1461 (1.1551)	0.0251 (0.2768)
<i>Infm</i>	0.2973 (0.9528)	0.0581 (0.4845)	-0.1344 (-0.7457)	0.1698 (1.3005)	0.0028 (0.0875)
<i>UR</i>	-0.0052 (-0.2253)	-0.0177 (-0.6301)	0.0230 (0.9673)	0.0131 (0.5282)	-0.0057 (-0.2467)
<i>lnLGR</i>	0.0055 (0.0170)	0.2178 (0.5859)	-0.2963 (-0.8576)	-0.2474 (-0.7441)	0.1043 (0.3244)
<i>lnPR</i>	-0.1975 (-0.3730)	0.1285 (0.2335)	0.1787 (0.3442)	0.0656 (0.1343)	-0.2463 (-0.4823)
伪决定系数 R ²	0.0117	0.0055	0.0150	0.0204	0.0029

附表3 政府治理能力综合指标体系

	一级指标	二级指标	计算公式	影响方向
政府治理能力	政府绩效	行政效率	政府财政收支比	+
		政府相对规模	公共管理和社会组织从业人数/总人数	+
	监管质量	环境监管	工业废水排放量/工业企业数	-
	经济发展	经济产出	人均GDP	+
		教育水平	大学生人口/总人数	+
		研发能力	科技支出/GDP	+
	民生保障	用电保障	人均用电量	+

附表4 2012—2014年智慧城市各类相关试点政策及建设类型划分

试点名称	组织单位	时间	试点数量(个)	偏向
智慧城市技术和标准试点	科学技术部	2013年	20	技术研发
国家信息消费试点	工业和信息化部	2013—2014年	104	数字产业、公共服务
智慧城市时空云平台建设试点	国家测绘地理信息局	2013—2014年	104	技术研发
基于云计算的电子政务公共平台试点	工业和信息化部	2013年	20	技术研发、公共服务
信息惠民国家试点城市	国家发展改革委	2014年	80	技术研发、公共服务
2014年度宽带中国示范城市	工业和信息化部、国家发展改革委	2014年	39	数字产业、公共服务
国家智慧城市2014年度专项试点(统计示范地):			75	
城市公共信息平台以及典型应用			11	公共服务
城市网格化管理服务	住房和城乡建设部、科学技术部		7	技术研发、公共服务
智慧社区			29	公共服务
智慧园区		2014年	12	数字产业、公共服务
地下管线安全			8	技术研发
建筑节能与能源管理			2	技术研发
智慧水务			2	技术研发、公共服务
智慧工地			2	技术研发、数字产业
产业要素集聚			2	数字产业

参考文献:

- [1] 陈晓红,胡东滨,曹文治,等. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. 中国科学院院刊,2021,36(9):1019-1029.
- [2] 陈晓红,李杨扬,宋丽洁,等. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界,2022,38(2):208-224.
- [3] 邓荣荣,张翱翔. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. 资源科学,2021,43(11):2316-2330.
- [4] 郭峰,王靖一,王芳,等. 测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J]. 经济学(季刊),2020,19(4):1401-1418.
- [5] 郭劲光,王虹力. 数字赋能下减排战略的创新性选择——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 产业经济研究,2022,(4):101-113.
- [6] 郭庆宾,汪涌. 城市发展因智慧而绿色吗?[J]. 中国软科学,2022,(9):172-183.
- [7] 邝嫦娥,路江林. 环境规制对绿色技术创新的影响研究——来自湖南省的证据[J]. 经济经纬,2019,36(2):126-132.
- [8] 李江龙,徐斌. “诅咒”还是“福音”:资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J]. 经济研究,2018,53(9):151-167.
- [9] 李言,朱棋娜. 大数据技术如何影响绿色全要素生产率? ——来自国家大数据综合试验区试点的经验分析[J]. 环境经济研究,2023,8(03):27-45.
- [10] 刘俸奇,储德银,姜春娜. 财政透明、公共支出结构与地方政府治理能力[J]. 经济学动态,2021,(4):107-123.
- [11] 任亚运,余坚,张广来. 异质性气候政策的减碳效应——基于直接与长期对比视角的考察[J]. 环境经济研究,2022,7(02):11-30.
- [12] 邵帅,范美婷,杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界,2022a,38(2):46-69.
- [13] 邵帅,齐中英. 西部地区的能源开发与经济增长——基于“资源诅咒”假说的实证分析[J]. 经济研究,2008,(4):147-160.
- [14] 邵帅,尹俊雅,范美婷,等. 僵尸企业与低碳转型发展:基于碳排放绩效的视角[J]. 数量经济技术经济研究,2022b,39(10):89-108.
- [15] 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.
- [16] 王勇,陈诗一,朱欢. 新结构经济学视角下产业结构的绿色转型:事实、逻辑与展望[J]. 经济评论,2022,(4):59-75.
- [17] 武永超. 智慧城市建设能够提升城市韧性吗?——一项准自然实验[J]. 公共行政评论,2021,14(4):25-44.
- [18] 谢文栋. “新基建”与城市创新——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 经济评论,2022,(5):18-34.
- [19] 徐佳,崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济,2020,(12):178-196.
- [20] 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.
- [21] 姚子龙,周洪,谷树忠. 中国资源诅咒的区域差异及其驱动力剖析[J]. 资源科学,2011,33(1):18-24.
- [22] 袁航,朱承亮. 数字基础设施建设加速中国产业结构转型升级了吗?——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 经济问题探索,2022,(10):118-133.
- [23] 湛泳,李珊. 智慧城市建设、创业活力与经济高质量发展——基于绿色全要素生产率视角的分析[J]. 财经研究,2022,48(1):4-18.
- [24] 张兵兵,陈思琪,曹历娟. 城市因“智慧”而低碳吗?——来自智慧城市试点政策的探索[J]. 经济评论,2022,(6):132-149.

- [25] 张杰,付奎. 信息网络基础设施建设能驱动城市创新水平提升吗?——基于“宽带中国”战略试点的准自然试验[J]. 产业经济研究, 2021, (5): 1-14+127.
- [26] 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, 32(4): 91-104.
- [27] 张艳萍,凌丹,刘慧岭. 数字经济是否促进中国制造业全球价值链升级?[J]. 科学学研究, 2022, 40(1): 57-68.
- [28] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [29] 周文韬,杨汝岱,侯新烁. 高铁网络、区位优势与区域创新[J]. 经济评论, 2021, (4): 75-95.
- [30] Beck, T., R. Levine, and A. Levkov. Big bad banks? The Winners and Losers from Bank Deregulation in the United States[J]. *The Journal of Finance*, 2010, 65(5): 1637-1667.
- [31] Cheng, Z., L. Wang, and Y. Zhang. Does Smart City Policy Promote Urban Green and Low-carbon Development?[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 379: 134780.
- [32] Guo, Q., Y. Wang, and X. Dong. Effects of Smart City Construction on Energy Saving and CO₂ Emission Reduction: Evidence from China[J]. *Applied Energy*, 2022, 313: 118879.
- [33] Monfaredzadeh, T. and U. Berardi. Beneath the Smart City: Dichotomy Between Sustainability and Competitiveness[J]. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2015, 6(3): 140-156.
- [34] Plepys, A. The Grey Side of ICT[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2002, 22(5): 509-523.
- [35] Ren, S., Y. Hao, L. Xu, et al. Digitalization and Energy: How Does Internet Development Affect China's Energy Consumption?[J]. *Energy Economics*, 2021, 98: 105220.
- [36] Shan, Y., J. Liu, Z. Liu, et al. An Emissions-Socioeconomic Inventory of Chinese Cities[J]. *Scientific Data*, 2019, 6(1): 1-10.
- [37] Shu, Y., N. Deng, and Y. Wu, et al. Urban Governance and Sustainable Development: The Effect of Smart City on Carbon Emission in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, 193: 122643.
- [38] Song, T., J. Dian, and H. Chen. Can Smart City Construction Improve Carbon Productivity?—A Quasi-natural Experiment Based on China's Smart City Pilot[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 92: 104478.
- [39] Tang, C., Y. Xu, Y. Hao, et al. What is the Role of Telecommunications Infrastructure Construction in Green Technology Innovation? A Firm-Level Analysis for China[J]. *Energy Economics*, 2021, 103: 105576.
- [40] Van Heddeghem, W., S. Lambert, B. Lannoo, et al. Trends in Worldwide ICT Electricity Consumption from 2007 to 2012[J]. *Computer Communications*, 2014, 50: 64-76.
- [41] Wang, A., S. Hu, and J. Li. Using Machine Learning to Model Technological Heterogeneity in Carbon Emission Efficiency Evaluation: The Case of China's Cities[J]. *Energy Economics*, 2022, 114: 106238.
- [42] Wu, S. Smart Cities and Urban Household Carbon Emissions: A Perspective on Smart City Development Policy in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 373: 133877.
- [43] Yigitcanlar, T. and M. Kamruzzaman. Does Smart City Policy Lead to Sustainability of Cities?[J]. *Land Use Policy*, 2018, 73: 49-58.
- [44] Zhang, C. and C. Liu. The Impact of ICT Industry on CO₂ Emissions: A Regional Analysis in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 44: 12-19.
- [45] Zhang, W., X. Liu, and D. Wang, et al. Digital Economy and Carbon Emission Performance: Evidence at China's City Level[J]. *Energy Policy*, 2022, 165: 112927.
- [46] Zhou, X., D. Zhou, Z. Zhao, et al. A Framework to Analyze Carbon Impacts of Digital Economy: The Case of China[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 31: 357-369.

The Impact of Smart City Construction Pilot on Carbon Emission Performance

Peng Huarong^{a,b}, Ling Ke^b, Xu Jia^c

(a: Collaborative Innovation Center for Emissions Trading System Co-constructed by the Province and Ministry, Hubei University of Economics; b: School of Low Carbon Economics, Hubei University of Economics; c: School of Economics and Business Administration, Central China Normal University)

Abstract: Digitalization and intelligence are being comprehensively integrated into all fields and processes of economic and social development, and are key forces to promote the green transformation of China's accelerated development mode, but the effect of policy practice has yet to be tested. Based on the panel data of 215 cities in China during 2008–2018, this paper investigates the impact of smart city construction pilot policies on carbon emission performance using a multi-period DID approach. The results show that the smart city construction pilot policy effectively enhances the carbon emission performance of pilot regions. Further research found that the pilot policy of smart city construction improves carbon emission performance through the channels of promoting green technology advancement, promoting industrial optimization and upgrading, and enhancing government governance capacity. The enhancement effect is mainly reflected in eastern regions, regions with high network construction level, non-resource-cursed regions, non-capital intensive regions, and regions with high level of digital financial development, with high policy implementation and regions where the type of construction favors technology research and development, digital industry, and public services. Finally, the smart city construction pilot policy has a significant positive spatial spillover effect on improving carbon emission performance, and effectively improves the carbon emission performance of neighboring regions. The research results provide important insights for smart city construction to achieve a win-win situation of economic development and energy conservation and emission reduction.

Keywords: Carbon Emission Performance; Smart City Construction; Digitalization; Quasi-natural Experiment

JEL Classification: Q51, Q58

(责任编辑:朱静静)