

【数字技术如何支持绿色发展·主持人语】在“绿色化”成为全球经济发展新方向的后疫情时代背景下,以低碳发展为特征的绿色高质量增长模式是践行碳达峰与碳中和战略目标的关键所在,也是支撑我国经济社会可持续发展的必然选择。作为经济社会绿色化转型和系统性变革的重要抓手,数字技术能否最大程度地发挥助力城市清洁低碳和节能减排的强大潜能,关系着区域经济绿色、低碳、循环发展的路径模式和时序安排。因此,科学研判数字技术的环境效应,精准探析数字技术助力低碳转型的路径机制,对于圆满完成“30·60”战略目标和“十四五”规划数字中国建设任务具有重要的理论价值和现实意义。

本期推出的两篇文章,都是借助计量经济学的实证手段检验“双碳”战略目标引领下数字技术对区域碳排放的抑制效应,其中“产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应研究”一文以“新兴技术与绿色低碳产业深度融合”的政策架构为研究方向,从产业转型升级的角度探寻以新一代数字技术赋能智慧城市建设、助推城市绿色低碳转型的新路径,进而识别在城市特色指标和资源禀赋差异下智慧城市建设和产业转型升级双向赋能区域破解“稳发展、促减排”困局的基础条件;而“数字化转型促进中国企业节能减排了吗?”一文通过研究数字化转型对企业节能减排的影响效应,发现企业在数字化转型作用下借助技术创新能力提升和生产经营活动结构优化实现节能减排的机制路径,进而揭示企业内外部环境对数字化转型节能减排效果的异质性影响,对中国企业实现数字化转型与节能减排的协同发展提供重要启示。

——马文杰

DOI: 10.16538/j.cnki.jsufe.2022.05.001

产业转型升级视角下智慧城市建设的 碳减排效应研究

李珊, 湛泳

(湘潭大学 商学院, 湖南 湘潭411105)

摘要:随着我国迈入“双碳”目标下经济社会绿色转型的攻坚阶段,智慧城市建设和城市发展“赋能聚力”和“加档提速”的战略意义更加凸显。文章基于2003—2020年221个地级市面板数据,选用多期DID模型和PSM-DID模型实证检验了产业转型升级视角下智慧城市建设和城市碳排放的影响。研究发现:智慧城市建设和产业转型升级能显著降低区域碳排放水平,产业转型升级是智慧城市建设和城市碳排放抑制区域碳排放的有效路径,其中数字化发展和绿色创新能力较好、具备经济集聚优势、严格环境规制的城市碳减排效应更为显著。因此,智慧城市建设和产业转型升级的双向赋能可以开创循环经济新格局,对区域经济减污降碳和绿色转型发挥重要作用。文章的核心结论有助于激活产业转型升级视角下智慧城市建设和城市碳排放抑制效应的“创新红利”和“结构红利”,也为实现“新兴技术与绿色低碳产业深度融合”的政策愿景提供了路径支撑和决策依据。

收稿日期: 2022-06-07

基金项目: 湖南省社科基金重大项目(22ZDA023)。

作者简介: 李珊(1990—),女,湖南湘潭人,湘潭大学商学院博士研究生(通讯作者);

湛泳(1976—),男,湖南益阳人,湘潭大学商学院教授、博士生导师。

关键词: 智慧城市建设; 产业转型升级; 碳排放; PSM-DID

中图分类号: F062.9; F062.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-0150(2022)05-0003-16

一、引言

在“碳达峰、碳中和”上升为国家战略的背景下,“十四五”规划开启我国经济社会低碳转型与绿色发展的新篇章,明确“绿色化”“智能化”“数字化”协同发展的重点方向,强调推动大数据、人工智能、高速宽带、第五代移动通信(5G)等新兴技术与绿色低碳产业深度融合^①,而新型智慧城市建设则成为实现“双碳”战略目标的有力抓手。据21世纪经济报道,城市地区的碳排放在国内总量占比高达80%。为应对城市化进程加速带来的诸多问题,2008年IBM首次发布“智慧城市”计划,智慧城市建设的探索和试点自2012年起成为国家性方针政策。作为碳减排的主战场和“双碳”战略目标的重大应用场景,新型智慧城市建设被视为城市绿色低碳转型的根本出路,是探索城市低碳减排和经济高质量发展的共赢路径,是繁荣数字经济、构建“数字中国”的有效载体,在加速产业结构升级、强化数据治理能力、优化城市运营管理、提升城市综合竞争力等方面发挥重要作用,也为新冠疫情防控常态化下的高效治理和精准施策提供了技术支撑,充分彰显了以“智能化”“数字化”赋能经济社会绿色化转型和系统性变革的必要性。作为全球范围内规模最大的智慧城市建设实施国,我国智慧城市相关试点城市累计超过800个,智慧城市在步入高速发展通道的同时,也成为构建城市新发展格局的科学有效的战略选择。与此同时,为适应高质量发展目标要求、落实生态文明建设战略部署,我国城市正处于由要素和投资驱动向创新驱动跃迁的关键阶段,智慧城市建设作为信息技术和城市化高度融合的崭新发展模式,被认为是绿色技术创新“赋能聚力”的重要推动力(宋德勇等,2021)。因此,在“30·60”战略目标和“十四五”数字中国建设任务的引领下,如何激发智慧城市建设助力城市清洁低碳和节能减排的强大潜能,是需要政府和学术界深入研讨和探索解决的重要课题。

对此,本文选择从产业转型升级的角度探寻智慧城市建设助推城市绿色低碳转型的新路径。作为城市经济绿色高质量发展的重要抓手,智慧城市建设与产业转型升级能否达到协同联动的理想效果,关系到区域经济绿色转型的路径模式和时序安排。智慧城市建设是信息化与新型城镇化结合的最佳发展模式,是新兴产业和传统产业驱动力的融合,不仅以新一代信息技术创新应用为核心催生绿色技术进步,加速移动互联、云计算、人工智能等技术密集产业的培育和兴起,还以“新基建”为载体为新兴产业发展提供智能基础设施与应用场景支持。同时,产业转型升级为智慧城市建设创造持续的投资拉动和崭新的发展活力,智慧城市建设 and 产业转型升级是相互促进、共同发展的关系(Caragliu和Del Bo,2019)。而产业转型升级被认为是节能减排的根本路径,且我国碳排放70%以上集中于生产领域,特别是工业生产领域,产业体系低碳化是实现经济发展和环境友好“双赢”的重要支撑条件(Wang等,2018)。因此,在城市经济探寻绿色转型发展路径的背景下,研究产业转型升级视角下智慧城市建设对城市低碳发展的影响至关重要,对于助力碳排放“阻击战”和生态文明建设具有重要的理论价值和现实意义。鉴于此,本文旨在对产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应进行理论梳理和实证检验,以期在城市实现减污降碳目标和经济转型发展,以及可持续、可循环、绿色高质量发展模式选择策略提供参考建议。

既有文献大多集中于智慧城市建设与产业转型升级(王敏等,2020; Wang和Deng,2022)、环境污染(石大千等,2018; Chu等,2021; 崔立志和陈秋尧,2019; Gao和Yuan,2022)、低碳发展(黄

^①参见中共中央、国务院于2021年10月发布的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》。

和平等, 2022; 张荣博和钟昌标, 2022)和绿色全要素生产率(范洪敏和米晓清, 2021; Jiang 等, 2021; Wang 等, 2022)两两关系的研究, 为本文提供了坚实的研究基础和明晰的理论逻辑, 但鲜有学者深入探讨产业转型升级视角下智慧城市试点政策对区域碳排放的影响。在已有学术成果的基础上, 本文可能的边际贡献主要表现在以下三方面: 首先, 在绿色发展重塑全球产业体系与竞争格局的背景下, 基于2003—2020年221个城市面板数据测算智慧城市试点的碳减排效应, 丰富和拓展了“双碳”战略目标实现路径的研究成果和分析视野; 其次, 以“新兴技术与绿色低碳产业深度融合”的政策架构为研究方向, 以产业转型升级为视角深入探讨智慧城市对区域碳排放的抑制效应, 为城市实现绿色化、智能化、数字化协同发展提供路径支撑与决策依据; 最后, 基于城市之间在绿色创新、数字化基础、资源禀赋方面不均衡的发展现状, 进一步识别了产业转型升级视角下智慧城市助推城市经济绿色低碳转型的基础条件, 有利于各级地方政府最大程度地激活产业转型升级视角下智慧城市对区域碳减排效应的“创新红利”和“结构红利”, 以区域合力共同实现生态文明发展高层次目标和美丽中国美好愿景。

二、理论分析与研究假说

低碳发展是积极践行“双碳”战略目标的必然选择, 是强化应对全球气候变化的坚定举措, 是全力构建生态文明“美丽中国”的重要保障(邵帅等, 2022)。智慧城市建设利用自身具备的信息技术优势、优质资源禀赋和智能管理体系, 通过调动全社会创新能力、创业活力和资源配置效应与城市产业发展深度融合, 为构建绿色低碳循环发展的高质量经济体系提供重要助力(范洪敏和米晓清, 2021)。

(一) 智慧城市建设与城市碳排放

智慧城市建设具有绿色经济转型效应, 是解决城市环境问题的重要抓手(石大千等, 2018)。其一, 智慧城市建设以“产业智慧化”推动生产方式向智力与技术密集型转变, 依托清洁生产技术进步促进能源效率提升和经济发展方式转变(姚圣文, 2022), 依托专业化集聚模式加速创新型产业聚变和要素集约节约(任晓松等, 2020), 结合新一代信息技术“低碳排强度、高减排能力”优势, 从源头上减轻污染排放压力(Benzerrouk等, 2021), 进而加速实现碳排放和经济发展“脱钩”。其二, 智慧城市建设以“城市智慧化”构建高效、便捷、精准的城市运行模式, 依托智能交通网络和绿色短途移动解决方案缓解城市拥堵, 兼顾便捷出行和绿色经济可持续交通(Jiang 等, 2021); 依托严格的“大数据”监管和数字化治理手段全面提高环境监测能力, 倒逼环境质量持续优化(Li 等, 2021); 依托“新基建”的普及和碳交易平台激发数字经济环境改善效应(Shahnazi, 2021), 加速实现区域“碳中和”目标。其三, 智慧城市建设以人才“虹吸效应”、知识扩散效应和“学习型城市”标杆效应为城市发展提供智力支持, 依托生态文明理念和榜样示范效应引导居民生活方式绿色化变革(Chu 等, 2021), 依托非正式环境规制和环保责任意识优化环境治理格局(Li, 2022), 并依托城市经济实力的持续增强全力支持城市环境治理和研发投入(Gao和Yuan, 2022)。由此, 本文提出以下研究假说:

假说H₁: 从新型城市发展和循环经济的视角来看, 智慧城市建设依托科学管理和绿色技术进步能够有效降低城市碳排放强度。

(二) 智慧城市建设、产业转型升级与城市碳排放

作为“新基建”和数字经济的首要服务对象, 以ICT技术赋能的智慧城市建设是区域产业转型升级的重要“助推器”和“加速器”(宋德勇等, 2021)。而产业转型升级是生态文明建设的必由之路, 是加速经济绿色高质量发展的核心驱动力(刘志华等, 2022), 是智慧城市建设助推区域

破解“稳发展、促减排”困局的有效路径(黄和平等, 2022)。首先, 产业结构特征从根本上决定能源消耗和污染排放的分布格局, 产业结构高级化是区域经济绿色发展转型的重要内容(Wei和Zhang, 2020)。产业结构从劳动、能源、资本密集型向知识、技术密集型高新产业和高附加值服务业转变, 既是要素组织形式更替的过程, 也是区域能源节约和减污降碳的过程, 能够加速环境库兹涅茨曲线倒U形拐点的产生(刘备和董直庆, 2020)。其次, 要素资源配置是影响区域碳排放的重要因素, 产业结构合理化是要素优化配置的重要表现(程中华等, 2019)。要素和技术的高度集聚对区域创新能力具有正向的动态效应, 以产业上下关联和前后联动的增强提升资源要素利用效率, 通过经济活动的规模化运作和专业化分工推进成本节约、资源最优配置的绿色经济发展, 持续释放产业结构碳减排潜力(Mahmood等, 2020)。最后, 绿色创新驱动是实现“碳中和”战略目标的重要路径, 产业技术效率是减污降碳的关键环节(Nasir等, 2021)。绿色技术迭代推动能源结构和产业结构的深化调整和双向优化, 有效激活绿色产品研发和市场竞争热度, 能够显著降低单位生产总值碳排放, 以能源节约和动力转换保障经济效率提升和绿色低碳转型(湛泳和李珊, 2022)。由此, 本文提出以下研究假说:

假说H₂: 基于新经济地理学和内生增长理论, 智慧城市建设可以通过产业结构转型升级对城市碳排放起到促降作用。

(三) 智慧城市建设碳减排效应的异质性

基于文献梳理和机制分析, 本文认为绿色技术创新、数字化发展基础和资源禀赋特征是产业转型升级视角下智慧城市建设影响区域碳排放的重要因素, 结合我国城市间极不均衡的发展现状, 产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应在不同水平的绿色技术创新、数字化发展基础和资源禀赋特征下将存在显著差异。基于绿色技术创新层面, 绿色科技创新应用是智慧城市建设过程中产业体系低碳化发展的关键支撑。一方面, 依托绿色技术创新发展壮大5G、人工智能、云计算、数字经济等环境友好型产业, 通过“挤出效应”压缩高耗能、高排放、高污染产业生存空间, 促进智慧城市产业发展方式向生态环保方向转型; 另一方面, 依托技术“溢出效应”和创新“示范效应”推动清洁能源成本下降和需求上升, 实现产业技术效率的整体提升, 促进智慧城市能源消费结构向绿色低碳方向转型。基于数字化发展基础层面, 在智慧城市建设进程加速的背景下, 信息化手段与产业生态融合成为不可或缺的生产应用工具, 也是推进城市节能减排的重要载体。其一, 智慧城市依托数字技术促进企业信息共享和创新协作, 结合科学管理手段实现对企业边界的拓展和中间环节的优化, 以企业研发、生产、运营效率的整体提升推动资源节约和污染减排; 其二, 智慧城市依托数字技术低投入、“高”产出的模式优势, 以跨行业跨领域的泛在物联和集成创新倒逼产业组织模式和生产方式革新, 促进产业组织效率向高效集中方向转型; 其三, 智慧城市依托数字技术开放、协同、共享、联结的优势, 实现对产业污染治理手段和能源管理模式的多维度渗透, 以多渠道的动态管理模式推动能源使用效率和治理效能的提升。基于资源禀赋特征层面, 人力资源、经济基础、基础设施投资是智慧城市建设过程中不可或缺的投入要素, 能够显著提升城市整体创新能力、公共服务效率和政府治理能力, 在严格的环境规制的辅助下, 智慧城市通过构建智能化、精准化、全方位的管理体系为城市产业绿色转型塑造良好的发展环境, 进而助力区域经济绿色高质量发展。因此, 绿色技术创新、数字化发展基础较好和具有资源禀赋优势的城市, 在产业转型升级视角下推进的智慧城市建设可能对区域碳排放产生的影响更大更显著。由此, 本文提出以下研究假说:

假说H₃: 基于城市特色指标和资源禀赋差异, 产业转型升级视角下智慧城市建设对区域碳排放的影响存在显著异质性。

三、研究设计

(一) 模型设定

基于智慧城市试点政策的准自然试验,本文选用多期(渐进)双重差分模型和281个地级市层面数据评估智慧城市建设对区域碳排放强度的影响。考虑到试点城市涵盖地、县级城市,为确保研究结论的合理性和准确性,本文在回归模型中剔除59个非地市级试点城市和2019年经历行政区划调整的莱芜。经处理后,样本城市合计为221个城市,其中处理组为住建部2012年开始分三批发布的86个智慧城市试点城市,对照组为135个非试点城市。根据DID模型建立的基本要求,参考宋弘等(2019)、胡兆廉等(2021)的研究方法,新设表示城市和年份差异的双重倍差变量 $Smart_Policy_{it}$ 。同时,为避免样本选择偏差与内生性问题,本文进一步引用PSM-DID模型和其他检验方法确保结论的稳健性和科学性,以期在更科学更精准的范围获得智慧城市建设试点政策的碳排放处理效应。

考虑到智慧城市试点政策是分批次增加试点城市范围的,为科学评估智慧城市试点政策对城市碳排放的影响效应,本文构建以下实证模型:

$$Carbon_{i,t} = \alpha + \beta Smart_Policy_{i,t} + \gamma Control_Var_{i,t} + CityFE + YearFE + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别为城市和年份, $Carbon$ 为城市碳排放水平, $Smart_Policy$ 为智慧城市政策变量, $Smart_Policy=1$ 代表城市 i 在年份 t 属于智慧城市试点城市, $Smart_Policy=0$ 代表城市 i 在年份 t 不属于智慧城市试点城市。 $Control_Var$ 为控制变量,控制影响区域碳排放水平的其他因素,包括城市财政自主权、经济活动水平、信息化基础、基础设施建设、绿色碳汇水平、研发投入、实际利用外资水平等。 $CityFE$ 为城市固定效应, $YearFE$ 为年份固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。估计系数 β 测量了城市碳排放放在智慧城市试点政策冲击前后的平均差异。

(二) 变量说明

1.被解释变量:城市碳排放($Carbon$)。本文参考韩峰和谢锐(2017)、孙鹏博和葛力铭(2021)的做法,基于历年天然气、液化石油气、全社会用电量消费测度城市二氧化碳排放量,并进行对数化处理。具体测算方法为:

$$Carbon_{i,t} = C_u + C_p + C_t = \kappa E_u + \nu E_p + \phi(\eta \times E_t) \quad (2)$$

其中, C_u 、 C_p 、 C_t 分别表示城市历年天然气、液化石油气和全社会用电量产生的碳排放, E_u 、 E_p 、 E_t 分别表示城市历年消耗的天然气、液化石油气和全社会用电量数据。因为燃煤发电是电力消费引致碳排放的主要原因,且目前我国城市燃煤发电的比例居高不下,因此主要测算燃煤发电的碳排放量。 η 表示燃煤发电占城市总发电量的比例,考虑到我国各城市燃煤发电占比差异不大,采用历年《中国电力年鉴》发布的煤电占比数据统一衡量城市层面的煤电比例^①。 κ 、 ν 、 ϕ 分别表示天然气、液化石油气、煤电燃料链温室气体排放系数,根据中国合同能源管理网数据, κ 、 ν 分别为2.1622kg/m³和3.1013 kg/kg,根据马忠海等(1999)的研究结论, ϕ 为1.3023 kg/(kw·h)。

2.核心解释变量:智慧城市建设试点政策($Smart_Policy$)。本文将智慧城市建设试点政策作为一项准自然试验,以城市虚拟变量与政策实施时间虚拟变量的交互项($Treat \times Post$)表示智慧城市建设试点政策的政策处理效应($Smart_Policy$)。具体而言,将智慧城市试点城市 $Treat$ 设置为1,代表处理组,将非试点城市设置为0,代表对照组;将试点政策实施前后的时间虚拟变量分别设置为0和1。因为智慧城市试点城市是在2012—2014年分批设立的,不同智慧城市试点城

^①根据2004—2021年《中国电力年鉴》,2003—2020年煤电发电量在总发电量中的平均比例分别为82.9%、82.5%、81.8%、83.3%、83.35%、81.22%、81.81%、80.81%、82.45%、78.72%、78.58%、75.8%、73.71%、71.85%、71.7%、70.4%、68.9%、67.9%。

市的政策时间虚拟变量不完全一致。

3.控制变量 (*Control_Var*)。为了更科学准确地分析产业转型升级视角下智慧城市建设在碳减排中发挥的作用,还需要加入对区域碳排放产生潜在影响的其他因素。借鉴胡兆廉等(2021)的研究方法,具体包括:(1)经济活动水平 (*Wage*),以城镇从业人员职工平均工资的对数形式来表示;(2)信息化基础 (*Pinf*),以互联网宽带订购用户数占城市总人口数量的比值来表示;(3)财政自主权 (*Fiscal*),以财政收入与支出的比值来表示;(4)基础设施建设 (*Infra*),以人均道路面积的对数形式来表示;(5)实际利用外资 (*Fdi*),以当年外商实际投资额占地区生产总值的比值来表示,并使用平均汇率将单位从美元换算为人民币;(6)研发投入 (*Sic*),以城市当年科研事业费支出的对数形式来表示;(7)绿色碳汇水平 (*Green*),以城市建成区绿化覆盖率的对数形式来表示。

(三) 样本选取与数据来源^①

本文基础数据为2003—2020年的281个地级及以上城市的面板数据,经处理后的样本数据为221个地级及以上城市,其中智慧城市试点城市为处理组,非试点城市为对照组。数据来源于Wind资讯数据库、EPS数据库、《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》以及城市历年国民经济和社会发展统计公报。

四、实证检验

(一) 平行趋势检验^②

双重差分模型对智慧城市试点政策进行评估的必要前提是被解释变量在处理组和对照组的样本选取满足随机原则,即两组样本城市在未被列为试点城市前,碳排放水平不存在明显的差异。同时,在被列为试点城市后,智慧城市建设试点政策的变化趋势存在显著区别。本文参考Beck等(2010)的研究方法,引入智慧城市试点政策实施前后合计16年的观测区间,将智慧城市试点前7年和后8年的虚拟变量纳入回归模型中,借助虚拟变量的显著性结果来验证样本数据是否满足平行趋势要求。表1展示了观测区间各年份虚拟变量估计值的显著性及其动态变化趋势,根据回归结果可知,智慧城市试点政策实施前的估计值系数均不显著,表明试点政策实施前两组样本城市之间的碳排放水平的变化趋势不具备系统性差别,符合双重差分模型的平行趋势假设要求。政策实施之后的虚拟变量均显著异于0,表明智慧城市试点城市能够在政策实施后发挥碳减排效应,且呈现持续增强的趋势。

表1 平行趋势检验结果

变量	<i>Carbon</i>	变量	<i>Carbon</i>	变量	<i>Carbon</i>	变量	<i>Carbon</i>
<i>Admico_7</i>	-0.0143(-1.56)	<i>Admico_3</i>	-0.0229(-1.09)	<i>Admico1</i>	-0.0466*(-1.65)	<i>Admico5</i>	-0.2369***(-7.42)
<i>Admico_6</i>	-0.0137(-1.04)	<i>Admico_2</i>	-0.0206(-0.91)	<i>Admico2</i>	-0.0915***(-3.02)	<i>Admico6</i>	-0.2986***(-9.03)
<i>Admico_5</i>	-0.0195(-1.19)	<i>Admico_1</i>	-0.0166(-0.69)	<i>Admico3</i>	-0.1443***(-4.71)	<i>Admico7</i>	-0.3493***(-10.19)
<i>Admico_4</i>	-0.0285(-1.47)	<i>Admico0</i>	-0.0275(-1.06)	<i>Admico4</i>	-0.1878***(-6.01)	<i>Admico8</i>	-0.3671***(-10.71)
<i>Control_Var</i>	YES	<i>Control_Var</i>	YES	<i>Control_Var</i>	YES	<i>Control_Var</i>	YES
<i>Obs</i>	3978	<i>Obs</i>	3978	<i>Obs</i>	3978	<i>Obs</i>	3978
<i>Adj.R²</i>	0.7783	<i>Adj.R²</i>	0.7783	<i>Adj.R²</i>	0.7783	<i>Adj.R²</i>	0.7783

注:***、**、*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为t值,使用聚类稳健标准误进行估计,并加入城市个体固定效应和时间固定效应。下同。

①篇幅所限,主要变量描述性统计结果未列示,留存备索。

②篇幅所限,平行趋势检验图未列示,留存备索。

(二) 共同支撑检验^①

在确认模型满足平行趋势检验要求后,需要进一步采用倾向性得分匹配法寻找对照组中从控制变量特征表现上与处理组匹配效果好的样本,以尽可能降低DID方法的非随机选择偏误。具体而言,将经济活动水平、信息化基础、财政自主权、基础设施建设、实际利用外资、研发投入和绿色碳汇水平设定为协变量,基于是否为智慧城市试点城市的虚拟变量,对表示城市特征的协变量进行Logit回归,测算各城市加入试点城市名单的概率,即倾向得分匹配值,并使用1:1近邻匹配法从对照组中筛选出与处理组的试点城市特征最为契合的样本数据,有效降低不同城市之间碳排放的系统性偏差。表2展示了PSM-DID模型的共同支撑检验结果,即城市特征系统性误差缩减前后的对比情况。在倾向性得分匹配后,处理组和对照组不同控制变量的样本均值分布均匀,且标准误差的绝对值均低于5%的控制水平,符合共同支撑检验要求。同时,本文借助倾向性匹配得分绘制密度函数图以进一步观测处理组与对照组的拟合效果。在倾向性得分匹配后,概率分布密度函数图的拟合效果得到显著改善,说明模型匹配效果较好,再次验证了本文采用PSM-DID检验方法的科学性和合理性。

表2 倾向得分匹配前后控制变量的共同支撑检验

变量名称		处理组均值	对照组均值	标准误差	T值	P值
Econo	匹配前	4.5299	4.5058	18.6	5.66	0.008
	匹配后	4.5299	4.5354	-2.0	-0.57	0.571
Pinf	匹配前	0.1573	0.1484	12.7	3.77	0.024
	匹配后	0.1573	0.1508	2.0	1.25	0.211
Fiscal	匹配前	0.4877	0.3973	43.2	13.50	0.000
	匹配后	0.4877	0.4886	-0.4	-0.11	0.912
Infra	匹配前	1.1554	1.1092	21.7	6.70	0.000
	匹配后	1.1554	1.1554	0.0	0.00	0.999
Fore	匹配前	0.0188	0.0174	12.3	3.65	0.026
	匹配后	0.0188	0.0199	-1.8	-0.95	0.342
Sic	匹配前	4.0539	3.8698	24.0	7.48	0.000
	匹配后	4.0539	4.0548	-0.1	-0.03	0.974
Green	匹配前	1.5641	1.5558	11.6	3.35	0.019
	匹配后	1.5641	1.5657	-1.4	-0.39	0.700

(三) 多期DID回归和PSM-DID回归

本文采用多期DID模型和PSM-DID模型,并引入双向固定效应和聚类稳健标准误对智慧城市试点政策的碳减排效应进行测算。表3展示了多期DID和PSM-DID回归结果,其中模型(1)和模型(2)为多期DID回归结果,模型(3)和模型(4)为PSM-DID回归结果,两个模型均包含不加入控制变量和加入控制变量后的估计结果两个部分。根据多期DID回归结果可知,无论是是否引入控制变量,智慧城市试点政策(Smart_Policy)对区域碳排放(Carbon)的降低都存在显著的推动作用,作用力度高达22.73%,研究假设H₁得到初步印证。

表3 基准回归和PSM-DID回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Smart_Policy	-0.2273***(-12.89)	-0.2283***(-13.35)	-0.1984***(-12.06)	-0.2003***(-12.09)
Constant	5.3015***(478.02)	3.9601***(12.62)	5.3189***(419.58)	4.2263***(16.03)
Control_Var	NO	YES	NO	YES
Obs	3978	3978	2506	2506
Adj.R ²	0.7320	0.74316	0.7163	0.7304

^①篇幅所限,倾向得分值概率分布密度函数图未列示,留存备索。

为规避多期DID检验的选择性偏差,消除由政策冲击造成的处理组和对照组之间的系统性差别,本文在共同支撑检验的基础上提取相应的非试点城市进行双重差分估计,引入PSM-DID模型进行再次检验。根据倾向性得分匹配后的PSM-DID回归结果,主要解释变量的系数略有下降,表明多期DID模型对政策效应的估计偏高,但系数符号和显著性与多期DID回归结果保持高度一致。智慧城市试点对城市碳排放的促降作用达到19.84%,且系数在1%的水平上高度显著,进一步验证了智慧城市建设和区域碳减排的促进作用。

(四) 稳健性检验

1. 安慰剂检验。为尽可能消除因部分不可观测的城市特征对智慧城市试点政策评估效应造成的影响,本文参考白俊红等(2022)对多期DID模型的安慰剂检验方法,即同时随机构建伪处理组虚拟变量 $Treat^{random}$ 与伪政策冲击时间变量 $Post^{random}$,设定虚拟智慧城市试点政策对221个样本城市进行500次的随机冲击。如图1所示,在政策冲击时间随机的前提下,每次随机抽选86个城市作为处理组,并将此过程重复500次以得到500组虚拟变量 $Treat^{random}$ (即 $Treat^{random} \times Post^{random}$)。根据结果所示,安慰剂检验生成的核密度集中于0附近,且P值大多高于0.1,与基准回归模型中实际政策估计系数-0.2283存在显著差异。

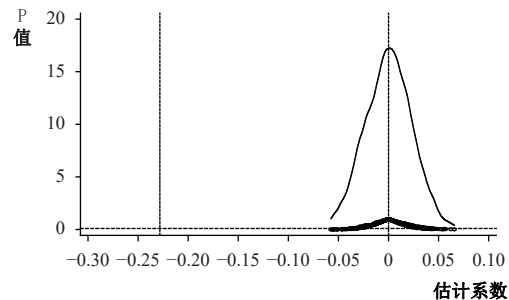


图1 安慰剂检验后的系数估计值分布

注: X轴为500次随机抽取生成的 $Treat^{random}$ 估计系数。黑色的圆圈为估计系数的P值,实线为估计系数的核密度分布,旁侧的虚线为实际政策的估计系数。

2. 替换碳排放衡量指标。为进一步检验本文的研究结果是否受碳排放指标测量方式的影响,本文借鉴黄和平等(2022)的研究方法,基于CEADs(中国碳核算数据库)数据库中1997—2019年290个城市碳排放清单测算地级市碳排放总量,并选取历年碳排放总量与地级市GDP的比值作为地级市碳排放强度(CEI)的衡量指标,最后引入本文2003—2019年核心解释变量和控制变量的相关城市数据重新进行回归。结果如表4所示,智慧城市建设和试点政策系数仍然显著为负,说明智慧城市建设和试点政策显著降低了城市碳排放水平。

3. 被解释变量滞后一期。考虑到碳排放强度可能存在的序列自相关和惯性关联等内生性问题,上一年度的碳排在智慧城市建设和政策影响下会传导至当前年度,所以本文将上一年度的碳排放作为解释变量加入全样本回归模型进行再次验证。回归结果如表4所示,加入被解释变量滞后项后智慧城市建设的降碳效应仍然显著存在,验证了前文核心结论的稳健性。

4. 排除其他政策。考虑到地方政府政策的实施周期具有长期性,在周期内会存在许多类似或关联政策同步或交叉进行,不可避免地带来政策叠加效应。所以,本文需要搜集在样本周期内颁布的与智慧城市建设和区域碳排放相关性较大的其他政策,并检验其对回归结果的冲击效应。有鉴于此,为有效识别和排除其他政策的影响,本文在全样本回归中分别加入了低碳城市试点 $Lowc$ (宋弘等,2019)、创新型城市试点 $Inno$ (苏涛永等,2022)、碳排放交易权试点城市 $Tanp$ (张艳等,2022)三类政策变量,以此识别在控制其他政策影响的条件下,智慧城市试点政策和区域碳排放的因果关系。表4结果显示,在加入三类政策变量后,智慧城市建设的政策效应仍然高度显著,系数符号不变且数值略有提升,说明其他政策的叠加并未对智慧城市建设和区域碳排放的因果关系带来冲击,前文研究结论是相对稳健的。而从三类政策变量的结果来看,

低碳城市和创新型城市试点均能够显著降低区域碳排放水平,碳排放交易权试点的降碳作用暂未显现。

表4 稳健性检验结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	更换碳排放指标	被解释变量滞后一期	排除其他政策的影响		
<i>Smart_Policy</i>	-0.0243***(-10.52)	-0.0688***(-24.81)	-0.2193***(-12.62)	-0.2213***(-13.00)	-0.2262***(-13.11)
<i>L.Carbon</i>		0.8697***(77.13)			
<i>Lowc</i>			-0.0521***(-2.07)		
<i>Inno</i>				-0.0677***(-3.94)	
<i>Tanp</i>					0.0319(1.22)
<i>Constant</i>	0.0294***(28.23)	0.5062***(5.96)	3.9807***(12.76)	4.0148***(13.09)	3.9898***(12.73)
<i>Control_Var</i>	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	3757	3757	3978	3978	3978
<i>Adj.R²</i>	0.2552	0.9511	0.7443	0.7460	0.7437

5.样本数据筛选。为进一步剔除样本数据非随机性对模型估计结果的影响,本文借鉴龙玉等(2017)的研究方法,将样本范围缩小至“外围城市”重新进行回归,即剔除样本内所有省会城市、直辖市、副省级城市等中心城市。同时,为剔除样本数据极端值的影响,本文参考张兵兵等(2021)的做法,对数据进行缩尾1%和断尾1%处理。回归结果如表5所示,调整样本范围和剔除极端值影响后的检验结果仍然与上文保持一致,智慧城市建设的碳减排效应仍然高度显著,本文核心结论得到再次验证。

表5 稳健性检验结果(二)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	样本数据筛选			反事实检验		
	外围城市	缩尾1%	断尾1%	提前1年	提前2年	提前3年
<i>Smart_Policy</i>	-0.2296***(-12.96)	-0.2180***(-13.12)	-0.2163***(-13.93)	-0.0113(-0.99)	-0.0045(-0.38)	-0.0080(-0.65)
<i>Constant</i>	3.8896***(12.15)	3.8076***(11.72)	3.7993(10.71)	2.5909***(9.90)	2.5928***(9.24)	2.5735***(8.06)
<i>Control_Var</i>	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	3762	3978	3464	2210	1989	1768
<i>Adj.R²</i>	0.7456	0.7631	0.7534	0.7451	0.7286	0.6965

6.反事实检验。为进一步规避模型设定可能因变量遗漏、反向因果问题引致的回归偏误,本文引入反事实检验模型再次检验前文估计结果的稳健性,即通过更改智慧城市建设的开始时间,来消除因其他因素而不是试点政策造成的差异与被解释变量之间的关联。具体而言,将智慧城市建设的开始时间分别提前1年、2年和3年,并重新设定虚拟变量加入全样本回归模型进行实证检验。根据回归结果,智慧城市建设估计变量在三个模型结果中均不显著,再次验证了智慧城市建设的政策效应。综合以上多种稳健性检验方法,本文核心结论的科学性和稳健性得到进一步有效验证。

(五) 机制检验

基于前文的理论基础和机制分析,为检验产业转型升级视角下智慧城市建设的试点政策对城市碳排放的影响,本文引入智慧城市建设与产业转型升级的交互项 $Smart_Policy \times Ind_Pro$ 并构建如下检验模型:

$$Carbon_{i,t} = \alpha + \beta Smart_Policy_{i,t} + \delta Ind_Pro_{i,t} + \theta Smart_Policy_{i,t} \times Ind_Pro_{i,t} + \gamma Control_Var_{i,t} + CityFE + YearFE + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

考虑到智慧城市建设主要从技术创新和效率升级层面作用于产业转型,本文选择从产业结构高度化层面度量产业转型升级指标(Ind_Pro),如果变量系数显著,则说明产业转型升级是智慧城市建设助力城市碳减排的影响机制。具体而言,借鉴刘伟和张辉(2008)、袁航和朱承亮(2018)的做法,以城市历年三次产业占比和各产业劳动生产率的乘积加权值来表示。具体测算方法为:

$$Ind_Pro_{i,t} = \sum_{m=1}^3 y_{i,m,t} \times lp_{i,m,t} = \sum_{m=1}^3 [y_{i,m,t} \times (Y_{i,m,t}/L_{i,m,t})], m = 1, 2, 3 \quad (4)$$

其中, $y_{i,m,t}$ 为城市*i*第*m*产业在年份*t*占地区生产总值的比例, $lp_{i,m,t}$ 、 $Y_{i,m,t}$ 、 $L_{i,m,t}$ 分别表示城市*i*第*m*产业在*t*年的劳动生产率、产业增加值和就业人员数量。

表6展示了产业转型升级视角下智慧城市建设影响城市碳排放的多期DID和PSM-DID回归结果,其中模型(1)和模型(2)为多期DID回归结果,模型(3)和模型(4)为PSM-DID回归结果,两个模型均包含不加入控制变量和加入控制变量后的估计结果两个部分。根据回归结果可知,智慧城市建设 and 产业转型升级的交互项在1%的水平上始终显著为负,且作用力度介于7.35%–33.54%之间。据此,研究假说H₂智慧城市建设试点政策通过产业转型升级推动城市碳排放下降的机制得到验证。

表 6 机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Smart_Policy</i>	1.8569*** (6.52)	0.4106** (2.08)	1.6190*** (5.95)	0.2926 (1.50)
<i>Smart_Policy</i> × <i>Ind_Pro</i>	-0.3354*** (-7.11)	-0.0987*** (-3.02)	-0.2892*** (-6.41)	-0.0735** (-2.27)
<i>Ind_Pro</i>	-0.3354*** (-7.11)	-0.0515* (-1.90)	0.5130*** (19.94)	-0.0735** (-2.41)
<i>Constant</i>	2.1601*** (13.54)	2.5238*** (10.56)	2.6597*** (17.92)	2.9089*** (12.84)
<i>Control_Var</i>	NO	YES	NO	YES
<i>Obs</i>	3978	3978	2506	2506
<i>Adj.R²</i>	0.4701	0.7295	0.4491	0.6946

五、产业转型升级视角下智慧城市建设碳减排效应的异质性分析

本文的异质性分析主要回答以下问题:产业转型升级视角下,智慧城市建设试点政策对城市碳排放的影响效应是否因城市绿色创新能力和数字化发展基础的不同而具有显著差异?试点政策是否因城市地理区位和资源禀赋的不同而呈现差异化的结果?

(一)城市特色指标的异质性

考虑到城市绿色创新能力和新型基础设施建设在智慧城市建设过程中发挥的重要作用,以及我国城市间数字化发展和绿色创新能力差距日益扩大的现实情况,有必要考察在不同水平的数字化发展基础和城市绿色创新能力下智慧城市建设 and 产业转型升级对区域碳排放是否存在显著的异质性影响。鉴于此,本文分别参考王俊豪和周晟佳(2021)、董直庆和王辉(2021)的研究方法,引用腾讯研究院发布的2019年数字中国指数中351个地级市的数字化综合指数和地级市每千名研发人员绿色发明专利的申请量来分别代表城市数字化发展水平和绿色技术创新水平,并根据中位数将以上两个指标各划分为低水平城市和高水平城市两种类型。根据表7的回归结果,在高水平的城市数字化发展基础和绿色技术创新支撑下,产业转型升级视角

下智慧城市建设试点政策的降碳效果更显著,验证了其在城市数字化发展和绿色技术创新条件下存在的异质性作用。

表7 城市特色指标异质性检验结果

特色指标	城市数字化发展差异		城市绿色技术创新差异	
	低水平	高水平	低水平	高水平
<i>Smart_Policy×Ind_Pro</i>	-0.0692(-1.64)	-0.1302***(-2.61)	-0.0852(-1.59)	-0.1190***(-3.15)
<i>Constant</i>	2.5684*** (7.14)	2.5037*** (11.65)	2.4537*** (5.73)	2.5178*** (10.11)
<i>Control_Var</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	1980	1998	1980	1998
<i>Adj.R²</i>	0.6885	0.8114	0.7053	0.7616

(二)城市地理区位异质性

基于我国区域之间高度不均衡的经济发展基础、产业结构水平和显著的气候差异,地理区位可能是影响产业转型升级视角下智慧城市建设抑制碳排放的重要因素,因此,本文从经济和地理区域分布两个维度来进一步检验碳减排效应的异质性。

依据经济区域分布,本文将样本城市划分为东、中、西和东北地区四个部分。回归结果如表8所示,东部地区显著为负且碳减排效应最明显,作用力度高达20.28%,这得益于经济相对领先的东部地区具备的信息技术、资金、人才、政策、基础设施等优势条件,为产业结构高级化和绿色转型提供了良好基础,进而能够通过高新技术产业与高端生产性服务业的持续发展有效降低区域碳排放强度。中部地区显著为负且碳排放抑制作用为9.87%,这是因为中部地区正处于全面加速崛起的攻坚时期,智慧城市建设驱动城市创新实力显著增强,能有效推动经济发展方式向集约型转变,但作为重要的制造业集聚地,区域第二产业比重居高不下,碳排放压力仍然显著存在,因此碳减排作用力度小于东部地区。西部地区和东北地区的回归结果为负但均不显著,究其原因主要有:一方面,西部地区经济发展落后,近年来成为东中部地区高能耗产业转移的“污染庇护所”,且承接的重污染企业是当地经济发展和税收增长的重要源头,在经济增长和政绩考核双重压力下当地政府无法有效推动碳减排工作;另一方面,东北地区作为老工业基地,产业转型和经济振兴面临巨大的绿色化、现代化调整压力,且缺乏灵活的政策体系和完善的体制机制来应对减排降碳的现实挑战。

表8 城市地理区位异质性检验结果

地理区位	经济区域差异				地理区域差异	
	东部地区	东北地区	中部地区	西部地区	南方地区	北方地区
<i>Smart_Policy×Ind_Pro</i>	-0.2028**(-2.56)	-0.2663(-1.00)	-0.0987**(-2.07)	-0.0937(-1.65)	-0.1596***(-3.26)	-0.0647(-1.47)
<i>Constant</i>	2.3928*** (8.99)	3.4996*** (8.73)	0.7573*** (3.08)	2.3008*** (4.44)	2.0534*** (4.04)	2.8731*** (10.96)
<i>Controls</i>	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	1008	504	1170	1296	2016	1962
<i>Adj.R²</i>	0.8498	0.7765	0.7802	0.6626	0.7228	0.7439

依据地理区域分布,本文将样本城市划分为南北地区两个部分。根据回归结果,南方地区的交互效应高度显著为负,碳减排作用力度达到15.96%,而北方地区交互项系数符号为负但不显著,这主要因为南方地区具有相对良好的经济条件和技术基础,智慧城市建设 and 产业发展依托于强大的经济实力和创新驱动,对能源的依赖和资源的消耗相对较小。北方地区煤炭、钢铁等重工业和高耗能产业占比高,能源消耗和污染排放严重,加上冬季北方地区集中燃煤供暖,

进一步加剧了碳排放压力,导致碳减排工作推进难度较大。以上回归结果验证了产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应在地理区位分布方面存在的异质性影响。

(三)城市资源禀赋异质性

针对城市之间人才要素、经济基础、资源集聚、环境规制、综合实力方面存在的差异,有必要进一步梳理产业转型升级视角下智慧城市建设和不同城市资源禀赋下的碳减排效应是否具有异质性。有鉴于此,本文以城市每万人普通高等教育在校生人数对数和人均GDP对数分别代表人力资本水平和经济发展基础,以第二、第三产业增加值与城市建设用地面积的比值代表经济集聚水平,以单位GDP二氧化硫排放量的负向指标代表环境规制强度,并将以上四个指标二等分为低水平城市和高水平城市两组。同时,引用第一财经《中国城市商业魅力排行榜》2019年的排名结果,本文将样本城市划分为二线及以上与二线以下两个部分。

根据表9展示的异质性检验结果,人才要素和资金要素是助推产业转型升级视角下智慧城市建设和发挥碳减排效应的重要因素,高水平的人力资本和经济基础条件下,交互项的区域降碳效应分别为9.8%和10.7%。高经济集聚水平下的交互项碳减排效应高达18.05%,说明资源集聚充分调动了知识溢出、降本增效、集中监管等中间效应,优化清洁技术和能源结构,对区域碳排放发挥强有力的抑制作用。环境规制是产业转型升级视角下智慧城市建设和影响碳排放强度的有效路径,抑制效应高达14.78%,说明在严格的环境监管政策和较高的公众环保意识环境下,试点政策和产业升级的融合能够推动生态环境改善和环境效益提升。从城市综合实力角度来看,二线以下城市的交互项系数显著为负,说明对于综合实力水平较低的城市,在被评为智慧城市试点后,产业体系的碳排放下降更多,与孙鹏博和葛力铭(2021)的研究结论一致。以上回归结果充分验证了研究假说H₃,在不同的城市资源禀赋条件下,产业转型升级视角下智慧城市建设和对区域碳排放发挥显著的异质性影响。

表9 城市资源禀赋异质性检验结果

资源禀赋	人力资本		经济基础		经济集聚		环境规制		综合实力	
	低水平	高水平	低水平	高水平	低水平	高水平	低水平	高水平	二线以上	二线以下
<i>Smart_Policy</i> × <i>Ind_Pro</i>	-0.0685 (-1.40)	-0.0980*** (-2.87)	-0.0390 (-0.83)	-0.1070** (-2.22)	-0.0589 (-1.55)	-0.1805*** (-3.06)	-0.0807 (-1.65)	-0.1478*** (-2.91)	-0.0804 (-0.93)	-0.1107*** (-3.25)
<i>Constant</i>	2.0849*** (6.03)	3.4972*** (16.09)	2.3631*** (6.86)	2.7553*** (12.56)	2.9077*** (13.36)	2.0227*** (4.25)	2.8722*** (12.81)	2.0309*** (4.72)	3.0239*** (6.45)	2.5123*** (4.25)
<i>Controls</i>	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	1980	1998	1980	1998	1980	1998	1980	1998	360	3618
<i>Adj.R²</i>	0.7355	0.7487	0.7308	0.7328	0.7134	0.7254	0.7146	0.7321	0.7210	0.7331

六、研究结论与政策启示

在全球经济步入绿色转型的时代背景下,以低碳发展为特征的绿色高质量增长路径是我国经济发展的必然选择,而智慧城市建设和驱动产业转型升级是实现碳达峰与碳中和战略目标的关键。本文基于2003—2020年我国221个地级市面板数据,借助多期DID模型和PSM-DID模型实证检验了智慧城市建设和对区域碳排放的影响。主要结论如下:第一,智慧城市建设和地区经济低碳化发展的重要驱动力,平均作用力度达到19.84%—22.83%,结合更换碳排放指标、排除其他政策、反事实检验等多种稳健性检验方法,核心结论仍然高度显著。第二,产业转型升级是智慧城市建设和抑制区域碳排放的有效路径,以新一代数字技术赋能的智慧城市建设和产业绿色转型、结构升级的双向赋能是区域破解“稳发展、促减排”困局的重要抓手,整体而

言能够降低区域碳排放强度7.35%—9.87%。第三,产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应具有显著异质性。其中,在特色指标层面,在高水平的绿色技术创新和数字化发展基础上,降碳效果更显著;在地理区位层面,东中部地区、南方地区碳减排效应高度显著,东北、西部地区和北方地区作用不明显;在资源禀赋层面,人力资本、经济基础、经济集聚和环境规制水平均是产业转型升级视角下智慧城市建设发挥降碳作用的重要因素,而目前综合实力较低的城市存在更为显著的碳减排潜力。本文的核心结论能为实现“新兴技术与绿色低碳产业深度融合”的政策愿景提供如下政策启示:

第一,深度挖掘科学管理和绿色技术创新应用优势,推动智慧城市建设成为引导城市经济绿色转型发展的持续动力。加强大数据、人工智能、高速宽带、5G等新兴技术研发部署,加速智慧传感器、物联网、通讯平台等新型基础设施建设和迭代升级,加快实体经济、数字经济和创新要素融合与协同发展,以智慧城市建设的“技术红利”激发实体经济内生循环和转型潜力,构建清洁、节能、高效、协同的绿色技术创新体系,并辅以高标准多领域的污染排放限值和高精度智能感知监控系统,最大限度地激发智慧城市建设赋能产生的区域碳减排效应。例如,借助物联网、大数据、自动驾驶等新兴技术完善智慧交通管控系统,通过实时监测与合理分流降低城市拥堵和延误指数,综合利用新能源交通设施、智能公共交通和绿色短途出行方案,实现城市交通领域的低碳运营。

第二,持续释放创新驱动和高端要素资源集聚效应,推动智慧城市建设成为加速产业结构绿色低碳转型的重要抓手。以数字化、绿色化、智慧化为发展方向,加速新型信息技术和环友好型科技成果的有效融合,加快新兴战略、节能环保、清洁能源产业的培育壮大,优化产业链、技术链、人才链、资本链的合理分工和科学布局,以智慧城市建设的“结构红利”驱动现代产业转型升级和提质增效,构建资源节约与环境保护的生产体系、空间布局和产业生态,并辅以需求升级引致的绿色消费市场倒逼供给改善机制,进而形成低能耗、可循环、低排放、可持续的绿色产业格局。具体而言,充分发挥智慧城市建设过程中的信息技术和人力资本优势,一是鼓励区域特色企业和龙头企业借助信息化手段壮大产业发展规模,并依托“大数据”监管和环境规制引导高污染、高能耗企业完成生产方式转型;二是重点关注系统架构、大数据、自动控制等领域专业技能人才的培育,完善与智慧城市建设相适应的应用型知识教育和科技创新平台建设,为城市智慧产业聚集发展提供专业人才储备。

第三,加快创新智慧城市和产业转型升级融合机制,凝聚协同降碳优势成为实现生态文明美丽中国愿景的有力支撑。加速推进智慧城市建设由管理端向生产端的延伸,加强智慧城市建设和社会多领域的有效互动和渗透融合,切实发挥对人工智能、智能智造、节能环保等高精尖产业的创新驱动和技术赋能作用,打造以智慧城市建设为基础架构的战略性新兴产业生态圈,凝聚智慧城市建设的引擎动力效应和产业转型升级的应用支撑效应,以智慧城市建设和产业转型升级的协同互动和联动发展,构建支撑城市低碳减排和经济高质量发展的长效机制,确保“30·60”战略目标的有序推进。具体而言,充分把握新兴技术与绿色低碳产业融合发展机遇,实现智慧技术在研发设计、采购调配、生产制造、物流仓储、营销运营等生产领域的综合应用,以人工智能、云计算、大数据等新兴技术在公共服务、社会治理、产业生态中的创新应用为契机,积极打造以数字化、绿色化、智慧化为主题的企业、园区、城区不同层次的“双碳”标杆,以绿色产业集群化发展支持城市经济低碳转型和全面升级。

第四,积极把握智慧城市和新型基础设施建设机遇,明确区域战略定位形成优势互补绿色协调协同发展的经济格局。充分利用智慧城市建设为区域经济绿色低碳转型带来的重要机遇,探索和推广智慧城市试点驱动绿色发展的成功经验,立足城市资源禀赋和经济基础不平衡特

性,结合当地“新基建”基础和产业发展实际,尊重区域经济优势互补和协调发展规律,推行差异化、精准化的治理策略,将碳排放绩效目标纳入规划指标和政策指引的核心内容,完善区域经济低碳绿色循环发展的保障机制与运营体系,以“政府+市场”的双轮驱动和双管齐下推动经济社会发展与碳排放脱钩。一方面,加强被评为智慧城市的试点城市之间的内部联系,完善智慧城市建设相关技术和资源共享机制,实现绿色技术创新成果和数字化资源的合理流动,解决部分试点城市因绿色技术缺位、数字化发展滞后面临的环境治理低效与产业转型困难等问题。另一方面,以城市地理区位和资源禀赋特征为考量因素,分类指导智慧城市试点建设和推广,对于信息化基础较薄弱的西部和东北地区,应注重信息化基础设施建设和专业技能人才引进;对于重工业和供暖集中的北方地区,应优先改善能源消费结构,逐步压缩高能耗、高排放产业占比;对于综合实力相对较强的南方地区和东中部地区,应充分发挥其资源要素优势,建立健全多级联动、智慧生态的城市组织模式。

主要参考文献:

- [1] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2022, (6).
- [2] 程中华, 刘军, 李廉水. 产业结构调整与技术进步对雾霾减排的影响效应研究[J]. *中国软科学*, 2019, (1).
- [3] 崔立志, 陈秋尧. 智慧城市渐进式扩容政策的环境效应研究[J]. *上海经济研究*, 2019, (4).
- [4] 董直庆, 王辉. 城市财富与绿色技术选择[J]. *经济研究*, 2021, (4).
- [5] 范洪敏, 米晓清. 智慧城市建设与城市绿色经济转型效应研究[J]. *城市问题*, 2021, (11).
- [6] 韩峰, 谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗?——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2017, (3).
- [7] 胡兆廉, 聂长飞, 石大千. 鱼和熊掌可否得兼?——创新型城市试点政策对城市产业集聚的影响[J]. *产业经济研究*, 2021, (1).
- [8] 黄和平, 谢云飞, 黎宁. 智慧城市建设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*, 2022, (5).
- [9] 刘备, 董直庆. 技术进步的能源偏向诱发“碳锁定效应”了吗[J]. *产经评论*, 2020, (4).
- [10] 刘伟, 张辉. 中国经济增长中的产业结构变迁和技术进步[J]. *经济研究*, 2008, (11).
- [11] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 科技创新、产业结构升级与碳排放效率——基于省际面板数据的PVAR分析[J]. *自然资源学报*, 2022, (2).
- [12] 龙玉, 赵海龙, 张新德, 等. 时空压缩下的风险投资——高铁通车与风险投资区域变化[J]. *经济研究*, 2017, (4).
- [13] 马忠海, 潘自强, 贺惠民. 中国煤电链温室气体排放系数及其与核电链的比较[J]. *核科学与工程*, 1999, (3).
- [14] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, (4).
- [15] 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*, 2022, (2).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] 宋弘, 孙雅洁, 陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. *管理世界*, 2019, (6).
- [19] 苏涛永, 郁雨竹, 潘俊汐. 低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应——基于绿色创新与产业升级的协同视角[J]. *科学学与科学技术管理*, 2022, (1).
- [20] 孙鹏博, 葛力铭. 通向低碳之路: 高铁开通对工业碳排放的影响[J]. *世界经济*, 2021, (10).

- [21] 王俊豪, 周晟佳. 中国数字产业发展的现状、特征及其溢出效应[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, (3).
- [22] 王敏, 李亚非, 马树才. 智慧城市建设是否促进了产业结构升级[J]. 财经科学, 2020, (12).
- [23] 姚圣文, 张耀坤, 赵兰香. 智慧城市试点政策能否助推城市创新水平提升?——基于多时点DID的实证研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, (5).
- [24] 袁航, 朱承亮. 国家高新区推动了中国产业结构转型升级吗[J]. 中国工业经济, 2018, (8).
- [25] 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, (1).
- [26] 张兵兵, 周君婷, 闫志俊. 低碳城市试点政策与全要素能源效率提升——来自三批次试点政策实施的准自然实验[J]. 经济评论, 2021, (5).
- [27] 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).
- [28] 张艳, 郑贺允, 葛力铭. 资源型城市可持续发展政策对碳排放的影响[J]. 财经研究, 2022, (1).
- [29] 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.
- [30] Benzerrouk Z, Abid M, Sekrafi H. Pollution haven or halo effect? A comparative analysis of developing and developed countries[J]. *Energy Reports*, 2021, 7: 4862–4871.
- [31] 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.
- [32] Chu Z, Cheng M M, Yu N N. A smart city is a less polluted city[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 172: 121037.
- [33] Gao K, Yuan Y J. Is the sky of smart city bluer? Evidence from satellite monitoring data[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 317: 115483.
- [34] Jiang H L, Jiang P C, Wang D, et al. Can smart city construction facilitate green total factor productivity? A quasi-natural experiment based on China's pilot smart city[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 69: 102809.
- [35] Li B. Effective energy utilization through economic development for sustainable management in smart cities[J]. *Energy Reports*, 2022, 8: 4975–4987.
- [36] Li V O K, Lam J C K, Han Y, et al. A big data and artificial intelligence framework for smart and personalized air pollution monitoring and health management in Hong Kong[J]. *Environmental Science & Policy*, 2021, 124: 441–450.
- [37] Mahmood H, Alkhateeb T T Y, Furqan M. Industrialization, urbanization and CO₂ emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis[J]. *Energy Reports*, 2020, 6: 1553–1560.
- [38] Nasir M A, Canh N P, Lan Le T N. Environmental degradation & role of financialisation, economic development, industrialisation and trade liberalisation[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 277: 111471.
- [39] Shahnazi R. Do information and communications technology spillovers affect labor productivity?[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2021, 59: 342–359.
- [40] Wang J X, Deng K. Impact and mechanism analysis of smart city policy on urban innovation: Evidence from China[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2022, 73: 574–587.
- [41] Wang K L, Pang S Q, Zhang F Q, et al. The impact assessment of smart city policy on urban green total-factor productivity: Evidence from China[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2022, 94: 106756.
- [42] Wang Z, Jia H F, Xu T, et al. Manufacturing industrial structure and pollutant emission: An empirical study of China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 197: 462–471.
- [43] Wei W X, Zhang M R. The non-linear impact of industrial structure on CO₂ emissions in China[J]. *Applied Economics Letters*, 2020, 27(7): 576–579.

Carbon Emission Reduction Effect of Smart City Construction from the Perspective of Industrial Transformation and Upgrading

Li Shan, Zhan Yong

(School of Business, Xiangtan University, Hunan Xiangtan 411105, China)

Summary: As China enters the critical stage of green economic and social transformation under the “double carbon” goal, the strategic significance of smart city construction in “empowering” and “accelerating” urban development has become more prominent. Based on the panel data of 221 prefecture-level cities from 2003 to 2020, this paper selects multi-period DID and PSM-DID models to empirically test the impact of smart city construction on urban carbon emissions from the perspective of industrial transformation and upgrading, and further verifies the rationality of the conclusion combined with a variety of robustness tests.

The main conclusions are as follows: First, smart city construction is an important driving force for the low-carbon development of the regional economy, with an average effect of 19.84%–22.83%. Combined with a variety of robustness tests such as replacing carbon emission indicators, excluding other policies, and counterfactual testing, the core conclusions are still highly significant. Second, industrial transformation and upgrading is an effective way for smart city construction to curb regional carbon emissions. The two-way empowerment of smart city construction and industrial green transformation and structural upgrading enabled by the new generation of digital technology is an important way for the region to overcome the dilemma of “stabilizing development and promoting emission reduction”. On the whole, it can reduce the regional carbon emission intensity by 7.35%–9.87%. Third, from the perspective of industrial transformation and upgrading, the carbon emission reduction effect of smart city construction has significant heterogeneity. Specifically, at the level of characteristic indicators, the carbon emission reduction effect of high-level green technology innovation and digital development foundation is more significant; in terms of geographical location, the carbon emission reduction effect in the eastern, central and southern regions is highly significant, while the effect in the northeastern, western and northern regions is not obvious; at the level of resource endowment, human capital, economic foundation, economic agglomeration and environmental regulation level are all important factors for smart city construction to play a role in carbon emission reduction from the perspective of industrial transformation and upgrading, and cities with low comprehensive strength have more significant carbon emission reduction potential.

In a word, the two-way empowerment of smart city construction and industrial transformation and upgrading can create a new pattern of circular economy and play an important role in carbon emission reduction and green transformation of regional economy. The conclusions help to activate the “innovation dividend” and “structural dividend” of the regional carbon

(下转第107页)