

政府数字治理如何助推城市低碳转型?

——基于双重机器学习的因果推断

李艳姗 刘红 朱为利

摘要:政府数字治理是数字变革背景下政府治理模式创新和治理方式现代化的重要举措,旨在通过制度驱动和技术赋能推动城市低碳转型。本文选取2006—2023年中国273个地级及以上城市面板数据,设定双重机器学习模型,基于信息惠民试点政策考察政府数字治理对城市低碳转型的影响及其作用机制。研究结果显示,政府数字治理能够推动城市低碳转型。机制检验结果表明,政府数字治理能够通过提高环境治理效率、激励双重技术创新和增强公众环境关注,推动城市低碳转型。异质性分析结果表明,政府数字治理对城市低碳转型的促进作用在外围城市、资源型城市、数字基础设施较好的城市和数字人才禀赋较为丰富的城市中更强。本文的研究不仅为政府数字治理的环境效应研究提供了新的理论阐释和经验证据,也为数字变革背景下推动政府治理现代化、增强有为政府赋能城市低碳转型提供新思路。

关键词:政府数字治理 城市低碳转型 环境治理效率 技术创新 公众环境关注

中图分类号:F124.5;F49.1

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2026)04-0115-16

一、问题提出

自“双碳”目标提出以来,中国减碳行动已卓有成效,实现了由初期探索阶段向全面深化实施阶段的迈进。然而,国际能源署(IEA)发布的《全球能源评论2025》显示,2024年中国二氧化碳排放量为126亿吨,约占全球二氧化碳排放总量的三分之一。中国在碳减排过程中面临的趋势性压力尚未得到根本缓解。同时,在当前全球气候变化不断演进和国际经济格局深度调整的背景下,中国低碳转型仍面临着多重严峻挑战。一方面,气候变化引发的频繁极端气候事件不仅影响经济社会稳定性,也增加了能源结构调整的复杂性,提升了低碳发展过程中的能源转型成本;另一方面,国际贸易摩擦的加剧和全球产业链的重塑加大了低碳技术引进和市场拓展难度,限制了绿色技术在低碳转型中的应用。为此,2025年《政府工作报告》着重强调要“加快发展绿色低碳经济”“积极稳妥推进碳达峰碳中和”“协同推进降碳减污扩绿增长”。城市是经济社会活动的集中区域,面对多重挑战,积极推动城市低碳转型既是缓解气候危机的关键举措,也是实现经济、社

收稿日期:2025-07-21;修回日期:2026-03-16

作者简介:李艳姗 辽宁大学国际经济政治学院博士研究生,沈阳,110036;

刘红 辽宁大学国际经济政治学院教授、博士生导师,通信作者;

朱为利 辽宁大学国际经济政治学院博士研究生。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

会和环境协同发展的核心路径。

政府作为经济社会发展的核心引领者,在城市低碳转型过程中扮演着重要角色。然而,传统政府治理模式仍然难以有效解决城市低碳转型过程中面临的政府部门间协同性欠佳、多主体协作机制不完善和低碳技术创新不足等一系列现实问题^[1]。面对现实需要,政府数字治理这种新型治理模式逐渐成为城市低碳转型的重要驱动力。在推动政府数字治理过程中,信息惠民国家试点为政府数字治理提供了城市层面重要实验场景。2014年6月,国家发展改革委联合多部门印发《关于同意深圳市等80个城市建设信息惠民国家试点城市的通知》(发改高技[2014]1274号),确立深圳市等80个城市为试点,旨在提升政府公共服务水平,推进政务部门信息共享与业务协同,创新社会治理和公共服务机制。同时,该政策将信息惠民工程的重点从医疗健康、教育和社区服务等公共服务领域拓展至生态环境和交通等多个领域,为城市低碳转型提供重要的数据支撑和机制保障。具体实施过程如表1所示。

表1 信息惠民试点政策实施过程

出台时间	政策文件	相关政策内容
2012年7月	《国务院关于印发“十二五”国家战略性新兴产业发展规划的通知》(国发[2012]28号)	首次提出信息惠民工程,侧重产业培育领域;要求发展高效节能和先进环保等新兴产业,推行清洁生产和低碳技术,促进资源节约型和环境友好型社会建设
2013年8月	《国务院关于促进信息消费扩大内需的若干意见》(国发[2013]32号)	强调加快实施信息惠民工程,尤其是提升教育和医疗等民生领域信息服务水平,多场景助力城市低碳转型
2014年1月	《关于加快实施信息惠民工程有关工作的通知》(发改高技[2014]46号)	明确把信息惠民综合试点行动计划列为信息惠民工程重点任务,这种试点先行、多领域协同推进方式为城市低碳转型探索可复制实践路径
2014年6月	《关于同意深圳市等80个城市建设信息惠民国家试点城市的通知》(发改高技[2014]1274号)	明确深圳市等80个城市为试点,将政策重点从公共服务领域拓展至生态环境等多个领域,推动政府信息化治理能力全面嵌入城市低碳转型核心环节
2016年4月	《国务院办公厅关于转发国家发展改革委等部门推进“互联网+政务服务”开展信息惠民试点实施方案的通知》(国办发[2016]23号)	按照“两年两步走”思路,争取两年实现“一号一窗一网”目标,通过政务服务集约化和政府示范效应推动城市低碳发展

资料来源:中国政府网。

根据政策的总体目标和主要任务,信息惠民试点工作能够将信息技术和数字技术深度融合到公共管理中,使得政府可以通过分析动态监测数据为城市低碳转型相关政策制定提供数据支撑。同时,试点城市凭借数字化赋能优势,能够打破不同区域公共部门之间的信息藩篱,便于实现各地环境数据互联互通。这就加快了低碳发展理念和治理经验在不同部门之间的共享与传播,进而有利于增强跨区域协作能力,推动城市低碳转型。此外,全流程一体化在线服务的开通不仅推动了政府治理模式创新和效能提升,也有助于环境信息透明化、政府信息传播精准化和政策实施方式多元化,进而有效提高了公众环境关注程度,加快了共建共治共享的城市低碳转型生态建设,为实现城市低碳转型提供强劲动力。因此,基于信息惠民试点政策,探究政府数字治理对城市低碳转型的影响及其内在逻辑,不仅可以清晰地理解和评估政府数字治理对城市低碳转型的作用,也可以为数字变革时代下推动政府数字化转型提供新思路。

现有研究从多个角度系统探讨这种新型治理模式的影响效应,为本文提供有益借鉴。相关研究从社会公平和民生角度出发,认为居民家庭经济状况核对信息系统等政府数字治理新模式的出现能够有效提高低保瞄准效率^[2],增进社会福利,促进共同富裕^[3]。立足政府效率视角,政府数字治理的推进不仅能够借助政务一体机提升政府审批服务效率^[4],也能够通过人大预算联网监督缓解信息不对称,规范政府预算执行,提

高政府支出效率^[5]。基于企业发展层面,现有研究认为政府数字治理不仅能够通过改善数字发展环境直接推动企业数字化进程^[6],还能够通过提高信息透明度等途径间接驱动企业数字化转型^[7]。不仅如此,政府数字治理在保障企业供应链安全^[8]、降低非生产性支出^[9]和提升投资效率^[10]等方面的重要作用也得到不少学者证实。少量研究关注到政府数字治理的环境效应。政府数字治理能够从制度、技术和行为等角度赋能环境治理效率提升^[11],例如数字技术赋能乡村治理能够提升农村居民生活垃圾分类水平,并通过多主体参与提高农村环境治理效率^[12]。具体到碳减排层面,有学者认为政府数字治理能够减少企业二氧化碳排放量^[13]。然而,政府数字治理带来的人力资本提升和科学支出增加极大提高了城市碳排放强度,并不利于城市环境改善^[14]。需要说明的是,城市低碳转型是一个多维度的系统性过程,并不直接等同于碳排放量和碳排放强度,因此政府数字治理能否以及如何促进城市低碳转型仍然有待探讨。

梳理上述文献发现,现有学者基于政府效率和企业发展等多个视角对政府数字治理的影响效应展开丰富研究,并且已经关注到政府数字治理的环境效应,但仍存在以下不足:一是既有文献大多关注政府数字治理的社会效应和经济效应,虽然也有学者从单一的碳排放量和碳排放强度视角出发考察政府数字治理的环境效应,但没有将研究从总量控制和强度约束层面深入到系统变革层面,使得政府数字治理的环境效应评估缺失重要一环;二是现有研究中作用机制大多基于资源配置、技术创新和结构优化等视角,且异质性分析多从城市特征层面展开,难以多维度深入探究政府数字治理影响城市低碳转型的作用机制和异质效应。有鉴于此,本文基于系统变革层面,结合信息惠民试点政策,将政府数字治理与城市低碳转型纳入同一框架,通过双重机器学习模型系统考察政府数字治理对城市低碳转型的影响及其作用机制,以期深化现有研究。

本文的边际贡献主要体现在两个方面。一是立足于城市低碳转型这一系统变革层面,挖掘政府数字治理带来的城市低碳转型效应。本文相关分析不再局限于单一碳排放的变化,而是基于系统变革层面,将政府数字治理与城市低碳转型纳入同一分析框架,这为推动政府治理方式现代化和城市绿色可持续发展提供了新思路。二是深化政府数字治理影响城市低碳转型的作用机制和异质效应,明确政策启示。本文从环境治理效率、双重技术创新和公众环境关注三个角度出发,深入剖析了政府数字治理对城市低碳转型的内在影响路径,为政府治理新模式下有为政府赋能城市低碳转型提供理论依据和经验证据;此外,进一步从城市数字基础设施和数字人才禀赋角度探究了政府数字治理影响城市低碳转型的数字环境异质性,为政策制定提供了针对性依据。

二、理论分析与研究假设

(一) 政府数字治理对城市低碳转型的影响

政府数字治理的核心特征是治理环节数智转型、数据驱动政策制定和跨界协同多元共治。数字技术与治理理论的深度融合不仅能够促进政府部门业务流程整合再造,也能够带来政府治理模式与管理制度深度变革,为城市低碳转型提供强劲动力。首先,政府数字治理强化了综合性政务服务平台、政策文件数据库和政务新媒体矩阵体系传递政府低碳发展理念和相关政策的能力。例如,一体化碳治理平台的搭建可以为政府部门与社会各主体之间提供一个信息双向流动的高效环境^[15],增强彼此之间生态环境信息交互效率,有效推动低碳发展理念在社会的广泛传播,进而全方位、多层次和宽领域带动城市低碳转型。其次,大数据分析技术的应用可以通过分析动态监测数据为城市低碳转型相关政策制定提供数据支撑,减少传统政府治理中由信息滞后带来的认知偏差和决策错位问题^[16]。最后,政府数字治理有利于打破地方政府之间和政府内部部门之间的信息壁垒,加快低碳发展理念和经验在各公共部门之间的共享与传播,便于不同地区低碳转型政策的相互学习借鉴。这有利于增强跨区域协作能力,为城市低碳转型提供良好的政策支持和制度支撑。

基于此,本文提出假设1:政府数字治理能够推动城市低碳转型。

(二) 政府数字治理影响城市低碳转型的作用机制

1. 政府数字治理的环境治理效率提升效应

政府数字治理能够通过环境监管智能化和跨区域协同治理提高环境治理效率。一方面,政府数字治理能够提升环境监管智能化水平,从而提高环境治理效率。数字技术和智能化设备的应用能够实现环境信息收集和资源整合,例如政府可以通过数字传感器、智能监测设备和卫星遥感技术等对生产型企业污染排放行为进行全方位和动态化的环境监测。监测系统中环境数据的自动化采集、整理和分析不仅大大提高了政府环境监管的效率和灵活性,也能够有效防止企业通过篡改排放数据等非正式手段规避监管的行为,进而提高政府环境治理效率^[17]。另一方面,政府数字治理可以强化跨区域协同治理,提高环境治理效率。凭借数字化赋能优势,政府数字治理打破了不同区域公共部门之间的信息藩篱,有助于实现各地环境数据互联互通,为地方政府之间环境治理协同提供数据基础。同时,这也能够为政府内部生态环境监测、执法和应急等多个部门协同联动提供远程数字技术支持,从而增强政府环境治理协同性,提升政府环境治理效率^[11]。

政府环境治理是影响城市绿色发展效率的关键因素^[18],在推动城市低碳转型过程中发挥着重要作用。一方面,环境治理效率的提高能够直接作用于城市低碳转型的政策制定、传达和实施等各个环节,激励企业加快高效节能和低碳生产设备的投入运营,推动企业生产工艺和流程的高级化以及清洁化水平提升,进而推动城市低碳转型。另一方面,政府环境治理的实现主要体现在环境立法、环境执法和环境投资三个方面^[19],而环境法规的完善、环境执法能力的提升和环境投资的增加又能够间接规范城市碳排放监管,为城市碳治理提供必要的资金支持,促进城市低碳转型。

基于此,本文提出假设2:政府数字治理能够通过提高环境治理效率,促进城市低碳转型。

2. 政府数字治理的双重技术创新激励效应

政府数字治理通过提高创新资源配置效率、优化技术创新环境和促进创新要素集聚等途径赋能数字技术创新和绿色技术创新,进而推动城市低碳转型。首先,政府数字治理能够提高创新资源配置效率。根据新制度经济学交易成本理论,合理的制度安排和治理结构能够降低企业交易成本,而政府数字治理凭借数字化赋能能够优化政府运行机制,精简行政流程管理,降低创新主体所面临的审批、寻租等制度性交易成本,这会对企业创新研发产生挤入效应,为企业数字技术创新和绿色技术创新提供资金支撑^[20]。其次,政府数字治理能够优化技术创新环境。政府数字治理带来的政策信息公开和政民互动会改善政策生态环境,客观上优化技术创新环境,降低市场创新主体对政策不确定性的主观感知^[21],进一步激发市场各主体进行数字技术创新和绿色技术创新的意愿。同时,政府数字环境监管可以有效减少企业漂绿行为,提高污染型企业绿色研发和生产意识,这有利于优化绿色技术创新环境,进而推动绿色技术创新^[20]。最后,政府数字治理促进了创新要素集聚。政府数字治理依托数字技术加快了创新要素在各主体间的流动,有利于构建官、产、学、研创新网络协作体系,促进创新人才、资本等要素集聚,降低单个主体创新风险,形成强大创新合力,进而提高各主体数字技术和绿色技术创新能力。

数字和绿色双重技术创新不仅能够直接为城市低碳转型提供必要的技术支持,也能够推动产业结构优化和能源结构转型,进而从末端治理和源头控制两条路径实现城市低碳转型。一方面,双重技术创新在碳捕捉、利用和封存领域的深度应用规范了城市碳排放监测和管理,提高了碳处理效率,从末端治理层面推动城市低碳转型。具体而言,绿色技术创新能够在开发新型催化剂和吸附剂、提高捕获效率的同时推动绿色封存材料和技术的研究,增强碳封存的安全性和稳定性;而数字技术创新可以增强智能控制和优化算法,从而实现碳捕捉、利用和封存的最优化和精细化操作,与绿色技术创新协同推进城市碳排放末端治理^[22]。另

一方面,双重技术创新推动了数字技术和绿色技术在全行业各个环节中的深度应用,这不仅能够引导高耗能、高排放传统产业向低碳、绿色新兴产业转型,也能够逐步降低高碳能源依赖程度,拓展清洁能源使用范围^[23]。由此带来的产业结构优化和能源结构调整能够直接从源头控制由于生产方式落后、能源利用效率低下和高碳能源依赖带来的碳排放增加,有效释放双重技术创新的减碳效应,加快城市低碳转型进程。

基于此,本文提出假设3:政府数字治理能够通过激励数字和绿色双重技术创新,促进城市低碳转型。

3. 政府数字治理的公众环境关注增强效应

公众环境参与是现代环境治理体系中多元主体协同共治的重要内容。数字治理模式下,政府数据公布、信息管理和政策实施方式发生转变,由此带来的环境信息透明化、政府信息传播精准化和政策实施方式多元化有效提高了公众环境关注程度,为实现城市低碳转型奠定了坚实的公众参与基础。首先,政府可以通过数字治理打造公开透明、实时动态的环境数据共享平台,便利公众环境信息获取。例如,政府对空气监测数据的及时公开,使人们更直观地关注到由污染物排放带来的环境变化,增强公众对周围环境污染的感知与关注^[24]。其次,政府利用大数据分析等技术能够多渠道协同传播和精准推送环境政策信息,传播环保知识和环保理念,引导公众关注环境污染问题。最后,新型治理模式下,政府可以利用虚拟现实(VR)等沉浸式数字技术模式构建多元体验场景进行宣传教育,深化公众环保认知,并通过碳积分等激励机制鼓励公众环保活动参与,增强公众环境关注。

公众对环境关注程度的提高能够促使公众主动参与环境决策,强化公众环境监督^[25],进而促进城市低碳转型。一方面,随着公众环境关注度的提高,积极参与环境决策的人会越来越多。由此形成的上下互动环境治理模式不仅有助于环境政策制定者深入了解不同群体的利益诉求和关注点,更有利于城市减碳政策科学制定和顺利实施。另一方面,公众环境关注程度提升有助于公众更加主动通过环境监督应用程序和在线举报平台等渠道行使公众环境监督权利。公众的监督评价不仅能够减少地方政府环境治理不作为行为,也能够对重点企业污染违法排放行为形成一定约束,弥补政府环境监管不足^[26]。这既规范了城市低碳转型中的政府行为,也能够倒逼企业在追求经济效益的同时注重降污减排,进而推动城市低碳转型。

基于此,本文提出假设4:政府数字治理能够通过增强公众环境关注,促进城市低碳转型。

三、实证设计

(一) 样本选取与数据来源

本文基于2006—2023年中国273个地级及以上城市面板数据展开研究。碳排放量数据来源于全球大气研究排放数据库(EDGAR);数字技术创新和绿色技术创新数据均来源于国家知识产权局,并经过手动筛选后整理得到地级市层面指标;其他变量主要来源于历年《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》,以及各城市统计年鉴和统计公报,少量缺失值通过插值法补齐。

(二) 模型设定

本文被解释变量城市低碳转型是根据超效率-基于松弛变量测算(Super-SBM)模型计算得到的综合指标,不可避免地会受到经济发展波动和社会行为变化等众多复杂因素的影响。为了尽可能控制诸多复杂因素对政府数字治理影响城市低碳转型的干扰,并且考虑到研究变量之间并非简单线性关系,本文借鉴切尔诺茹科夫等(Chernozhukov et al.)^[27]提出的双重机器学习模型识别政府数字治理对城市低碳转型的影响。部分线性双重机器学习模型设定如下:

$$Ct_{it} = \theta_0 Dg_{it} + g(X_{it}) + U_{it}, E(U_{it} | Dg_{it}, X_{it}) = 0 \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别代表城市和年份; Ct_{it} 为城市低碳转型; Dg_{it} 为政府数字治理; X_{it} 为可能包含混淆变量的高维控制变量集合; θ_0 为处理系数; $g(X_{it})$ 为一个关于控制变量的函数, 具体形式可由机器学习算法估计得到; U_{it} 为误差项。

同时, 为解决估计偏误问题, 设定如下辅助回归模型:

$$Dg_{it} = m(X_{it}) + V_{it}, E(V_{it} | X_{it}) = 0 \tag{2}$$

其中, $m(X_{it})$ 为 Dg_{it} 对 X_{it} 的回归函数, V_{it} 为误差项且其条件均值为 0。

为检验政府数字治理对各机制变量的影响, 设定如下机制检验模型:

$$M_{it} = \alpha_0 Dg_{it} + g(X_{it}) + U_{it}, E(U_{it} | Dg_{it}, X_{it}) = 0 \tag{3}$$

其中, M 表示机制变量, 具体包括环境治理效率、数字技术创新、绿色技术创新和公众环境关注。其余变量设定与基准回归模型保持一致。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

城市低碳转型 (Ct)。城市低碳转型是一项复杂多维的系统性工程, 采用单一指标衡量具有一定片面性。本文借鉴现有研究^[28], 采用 Super-SBM 模型借助软件 Matlab 基于多个指标综合测度城市全要素碳排放效率, 以此作为城市低碳转型的衡量指标。具体计算公式如下:

$$Ct = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}}{1 + \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{r0} + \sum_{t=1}^{q_2} s_t^{b-} / b_{t0} \right)}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq j_0}^n x_j \lambda_j - s_i^- \leq x_0, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1, j \neq j_0}^n y_j \lambda_j + s_r^+ \geq y_0, r = 1, 2, \dots, q_1 \\ \sum_{j=1, j \neq j_0}^n b_j \lambda_j - s_t^{b-} \leq b_0, t = 1, 2, \dots, q_2 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+, s_t^{b-} \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, j \neq j_0 \end{cases} \tag{4}$$

其中, n, m, q_1 和 q_2 分别为决策单元、投入、期望产出和非期望产出要素的数量; s_i^- 、 s_r^+ 和 s_t^{b-} 为投入、期望产出和非期望产出对应的松弛变量; λ_j 为权重变量; x_j, y_j, b_j 分别表示第 j 个决策单元中投入、期望产出和非期望产出矩阵元素。式(4)中要素投入包括劳动投入(年末单位从业人员数)、资本投入(固定资本存量)和能源投入(能源消费总量), 期望产出为实际地区生产总值(GDP), 非期望产出为城市碳排放量。

2. 解释变量

政府数字治理 (Dg)。本文借鉴何雨可等^[21]的研究, 以信息惠民试点政策表征政府数字治理。若城市在当年已经实施该政策则变量取 1, 否则取 0。

3. 控制变量

为提高政策效应估计的准确性, 同时考虑到双重机器学习在应对高维控制变量方面的优势, 本文在通行做法的基础上控制了更多影响城市低碳转型的因素。具体如下: 土地面积 ($Land$), 用建成区面积衡量; 贸易依存度 ($Trad$), 用进出口贸易额与 GDP 的比值衡量; 经济发展水平 ($Econ$), 用人均 GDP 衡量; 政府干预程度 ($Gove$), 用地方财政一般公共预算内支出与 GDP 的比值衡量; 人口密度 ($Popd$), 用总人口数与总面积的比值衡量; 外商直接投资 (Fdi), 用实际使用外商直接投资额占 GDP 的比重衡量; 工业化水平 ($Indu$), 用第二产业

增加值占 GDP 的比重衡量;城镇化水平(*Urb*),采用城镇人口占总人口的比重衡量;金融发展水平(*Fina*),用年末金融机构各项存贷款余额与 GDP 之比衡量;地区工资水平(*Wage*),用人均薪资衡量;人力资本水平(*Capi*),用普通本专科在校学生数除以年末总人口衡量;环境规制强度(*Envi*),以各城市的环保词频所在句子的字数占整个政府工作报告总字数的比重衡量。

(四) 变量描述性统计

主要变量的描述性统计结果见表 2。其中,城市低碳转型(*Ct*)的均值为 0.264 4,标准差为 0.118 0,最小值为 0.080 7,最大值为 1.482 1,这表明样本期内城市低碳转型水平的离散程度相对较小。政府数字治理(*Dg*)的均值为 0.144 5,说明有 14.45%的样本观测值处于政策实施状态。此外,各控制变量之间离散程度差异较大,数据分布覆盖合理区间,能够为后续回归分析提供可靠支撑。

表 2 描述性统计结果

变量类型	变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	<i>Ct</i>	4 914	0.264 4	0.118 0	0.080 7	1.482 1
解释变量	<i>Dg</i>	4 914	0.144 5	0.351 6	0	1
控制变量	<i>Land</i>	4 914	0.014 6	0.019 9	0.000 6	0.164 5
	<i>Trad</i>	4 914	0.194 6	0.325 8	0.000 3	3.498 8
	<i>Econ</i>	4 914	4.949 9	3.439 2	0.009 9	26.469 9
	<i>Gove</i>	4 914	0.178 8	0.083 1	0.042 7	0.687 6
	<i>Popd</i>	4 914	0.049 7	0.055 6	0.000 6	0.624 5
	<i>Fdi</i>	4 914	0.017 6	0.018 2	0.000 0	0.131 6
	<i>Indu</i>	4 914	0.460 5	0.108 4	0.106 8	0.856 4
	<i>Urb</i>	4 914	0.542 4	0.164 3	0.115 1	0.997 5
	<i>Fina</i>	4 914	2.414 3	1.177 6	0.587 9	7.976 0
	<i>Wage</i>	4 914	5.473 3	2.913 9	0.737 8	22.456 2
	<i>Capi</i>	4 914	0.019 2	0.024 6	0.000 1	0.184 8
	<i>Envi</i>	4 914	0.941 7	0.300 1	0.000 0	2.977 1

四、实证结果与分析

(一) 基准回归

为估计政府数字治理对城市低碳转型的影响效应,本文采用套索回归、梯度提升、弹性网络和支持向量机四种算法并基于 5 折交叉验证对式(1)和式(2)进行预测求解。同时,构建双重差分(DID)模型进行回归,以提供政策效应的初步估计结果,作为双重机器学习回归结果的参照基准,结果如表 3 所示。可以发现,在控制了时间固定效应和城市固定效应的情况下,无论采用何种算法,核心解释变量政府数字治理(*Dg*)的回归系数均显著为正,即政府数字治理能够推动城市低碳转型。由此,假设 1 得到验证。具体来看,表 3 第一列回归结果显示,*Dg* 的回归系数为 0.013 6,且在 1%水平下显著为正,这表明实施政府数字治理政策城市的低碳转型水平较未实施政策的城市平均提升了 0.013 6 个单位。此外,鉴于套索回归在处理变量选择与模型不确定性上的表现更为稳健,后文均采用这种解释性较强的算法进行分析。

表 3 基准回归结果

变量	套索回归	梯度提升	弹性网络	支持向量机	双重差分模型
<i>Dg</i>	0.013 6*** (0.003 8)	0.012 1** (0.0050)	0.013 6*** (0.003 8)	0.028 0*** (0.005 1)	0.019 7*** (0.004 4)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	未控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4 914	4 914	4 914	4 914	4 914

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平下显著,括号内为稳健标准误,后表同。

(二) 内生性分析

由于数据限制,基准回归结果可能存在样本选择偏差、反向因果等内生性问题,本文采用工具变量法、考虑城市固有差异和使用倾向得分匹配-双重差分(PSM-DID)方法进行分析。首先,参照蒋金荷和黄珊^[29]的研究,用机器学习模型筛选出中位数结果,然后采用两阶段最小二乘(2SLS)模型进行回归。具体工具变量选取借鉴韩峰等^[30]的研究,采用明朝驿站数与上一年人均 GDP 的交互项(*IV*)衡量。其次,试点城市选择并非完全随机,城市自然环境和政策行政固有特征会对其造成影响。因此,本文在基准回归模型中借鉴相关研究^[31],加入由是否为经济特区和是否为大气污染控制区构成的 0-1 变量以及城市地形起伏度进行分析,以缓解由未知因素遗漏可能造成的内生性问题。最后,PSM-DID 方法能够通过倾向得分对样本进行匹配,以减少处理组城市和控制组城市的特征差异,在此基础上采用双重差分法可以更加有效地分离政策的处理效应。本文采用 1:4 卡尺内近邻匹配、半径匹配和核匹配三种方法进行匹配,以缓解样本选择偏差造成的内生性问题。

表 4 为采用以上三种方法进行内生性分析的具体结果。可以发现,政府数字治理的回归系数均在 1%水平下显著为正。同时,工具变量法回归结果中 Kleibergen-Paap rk *LM* 统计量在 1%水平下显著,拒绝了原假设工具变量不可识别问题;Kleibergen-Paap Wald rk *F* 统计量为 802.658,明显大于 Stock-Yogo 检验在 10%水平下的最大工具变量临界值 16.38,拒绝了弱工具变量假设。这说明本文工具变量选取是合理的。以上结果表明,在充分考虑内生性问题的情况下,基准回归结果中政府数字治理有利于城市低碳转型的结论并没有发生改变。

表 4 内生性分析回归结果

变量	工具变量法		考虑城市固有差异	PSM-DID		
	第一阶段	第二阶段		卡尺内近邻匹配	半径匹配	核匹配
<i>Dg</i>		0.053 0*** (0.010 7)	0.014 1*** (0.003 7)	0.025 9*** (0.005 8)	0.025 9*** (0.005 8)	0.025 9*** (0.005 8)
<i>IV</i>	0.015 3*** (0.000 5)					

表4(续)

变量	工具变量法		考虑城市 固有差异	PSM-DID		
	第一阶段	第二阶段		卡尺内近邻匹配	半径匹配	核匹配
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	未控制	未控制	控制	未控制	未控制	未控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Kleibergen-Paap rk LM	185.298***					
Kleibergen-Paap Wald rk F	802.658					
样本量	4 914	4 914	4 914	3 755	3 755	3 758

(三) 稳健性检验

本文从重设模型、排除并行政策干扰、更换计量方法等角度进行稳健性检验。

1. 重设机器学习模型

基准回归部分已经采用套索回归、梯度提升等四种算法进行预测分析,本部分使用以下两种方法重设机器学习模型:一是将样本分割比例由 1 : 4 改为 1 : 2 和 1 : 6,二是构建更为一般的交互式模型并采用随机森林算法进行双重机器学习预测分析。由表 5 可知,采用 3 折交叉验证和 7 折交叉验证以及构建交互式模型并采用随机森林算法得到的解释变量回归系数无论是方向还是显著性,基本与基准回归结果保持一致。

2. 排除并行政策干扰

在考察信息惠民试点对城市低碳转型的政策效应时,不可避免受到同时期其他政策干扰,从而造成基准回归结果偏误。因此,在回归中逐步加入低碳城市(*carbon*)、国家新一代人工智能创新发展试验区(*ai*)和国家级大数据综合试验区(*digital*)三个试点政策,以排除同时期其他政策的干扰。表 5 结果显示,排除并行政策干扰后,政府数字治理的回归系数均在 1%水平下显著为正,即基准回归结果依然成立。

表 5 稳健性检验回归结果

变量	重设机器学习模型			排除并行政策干扰		
	3 折交叉验证	7 折交叉验证	随机森林	低碳城市	低碳城市、 人工智能	低碳城市、人工智能和 国家级大数据
<i>Dg</i>	0.013 1*** (0.003 8)	0.015 8*** (0.004 0)	0.022 1*** (0.002 0)	0.013 6*** (0.003 8)	0.013 5*** (0.003 8)	0.013 5*** (0.003 8)
<i>carbon</i>				控制	控制	控制
<i>ai</i>				未控制	控制	控制
<i>digital</i>				未控制	未控制	控制
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制

表5(续)

变量	重设机器学习模型			排除并行政策干扰		
	3折交叉验证	7折交叉验证	随机森林	低碳城市	低碳城市、人工智能	低碳城市、人工智能和国家级大数据
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4 914	4 914	4 914	4 914	4 914	4 914

3. 更换计量方法

为验证政策效应识别的因果有效性,采用事件研究法,将政策发生前一期作为基期,政策实施前后超过5期归并为第5期,进行平行趋势评估,结果见图1。可以看到,在信息惠民试点政策实施之前,解释变量的回归系数均不显著,满足事前平行趋势假定,验证了基准回归结果的可靠性。

4. 其他稳健性检验^①

一是加入交互固定效应。为避免时间和城市维度上的信息缺失,基准回归结果中已加入时间固定效应和城市固定效应。然而,省份作为重要的行政层级,在中国政府的治理架构中占据关键地位,省份内部城市往往拥有相似的发展环境。因此,本文进一步在基准回归中引入省份-时间交互固定效应进行回归。二是数据缩尾处理。考虑到离散值可能会导致估计结果偏差,本文对所有变量双侧缩尾1%后进行回归。三是调整研究样本。进一步剔除部分城市对研究样本进行调整,以考察样本选择偏误对基准回归结果的影响。上述稳健性检验结果均表明基准回归所得结论是稳健的。

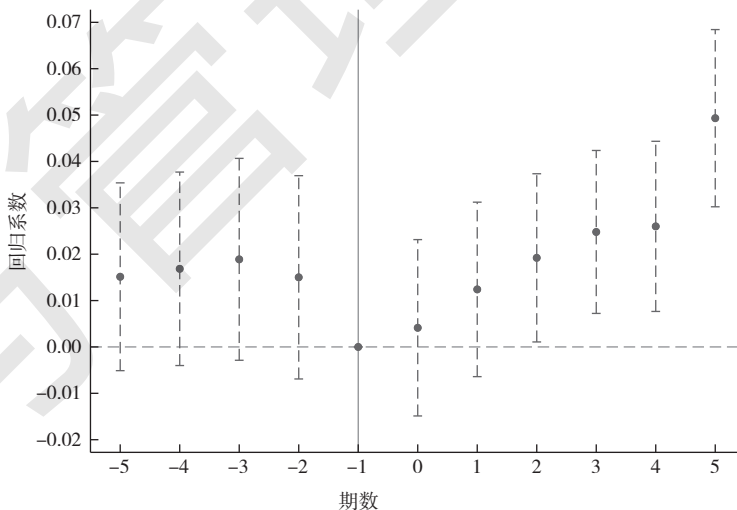


图1 平行趋势评估结果

(四) 机制检验

尽管在基准回归分析中已经实证检验了政府数字治理对城市低碳转型的促进作用,并通过一系列内生性分析和多角度稳健性检验验证了这一结论的稳健性,但尚未对理论分析中政府数字治理影响城市低碳转型的具体路径进行验证。在机制检验部分,本文继续采用双重机器学习方法构建计量模型,实证检验政府数字治理对各机制变量的影响,深入剖析政府数字治理能否通过提升环境治理效率、激励数字与

^① 限于篇幅,其他稳健性检验具体回归结果略,留存备案。

绿色双重技术创新和强化公众环境关注三条路径推动城市低碳转型,以此验证假设 2 至假设 4。

1. 环境治理效率提升效应

本文环境治理效率指标借鉴包国宪和关斌^[32]的研究,采用 Super-SBM 模型进行测算。由表 6 第一列回归结果可知,政府数字治理的回归系数为 0.027 1,且在 1%水平下显著。这说明政府数字治理能够提高城市环境治理效率。政府环境治理效率的提升会倒逼企业增强低碳发展意识,促使企业加大高效节能和清洁生产设备的投入,这有助于推进企业生产工艺的低碳化和生产流程节能化,进而推动城市低碳转型。综上,政府数字治理能够通过提高环境治理效率促进城市低碳转型。由此,假设 2 得到验证。

2. 双重技术创新激励效应

本文数字技术创新借鉴李雪琴等^[33]的研究采用数字发明专利申请总量衡量,绿色技术创新借鉴张爱国等^[34]的研究采用绿色专利申请总量衡量。由表 6 第二列和第三列回归结果可知,政府数字治理的回归系数均在 1%水平下显著为正。这意味着政府数字治理能够激励数字和绿色双重技术创新。数字和绿色技术创新不仅能够通过赋能末端治理直接作用于城市低碳转型,也能够重塑能源生产结构,转变能源消费结构,同时推动产业结构升级和提高数智融合水平,以此间接推动城市低碳转型。因此,政府数字治理能够通过激励数字和绿色双重技术创新促进城市低碳转型。由此,假设 3 得到验证。

3. 公众环境关注增强效应

公众环境关注采用百度“环境污染”搜索指数^[35]和百度“雾霾”搜索指数^[36]两种方法进行衡量。由表 6 最后两列回归结果可知,无论采用哪种方法衡量公众环境关注,政府数字治理的回归系数仍在 1%水平下显著为正。这说明,政府数字治理能够有效提高公众环境关注。公众环境参与在城市低碳转型过程中不可或缺。一方面,公众环境参与过程中不可避免带来公众环保意识提高,促使公众通过绿色出行和使用节能环保家电等方式积极参与城市碳减排;另一方面,公众积极参与环境监督,在规范政府减碳行为的同时也能够倒逼企业减排,带动城市低碳转型。综上,政府数字治理能够通过增强公众环境关注促进城市低碳转型。由此,假设 4 得到验证。

表 6 机制检验回归结果

变量	环境治理效率	数字技术创新	绿色技术创新	公众环境关注	
				百度“环境污染”搜索指数	百度“雾霾”搜索指数
<i>Dg</i>	0.027 1*** (0.007 4)	0.102 8*** (0.019 0)	0.040 0*** (0.004 9)	0.088 0*** (0.008 7)	0.325 4*** (0.046 0)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4 914	4 914	4 914	3 549	3 549

注:由于百度搜索量数据在 2010 年之前存在大量缺失,为避免数据质量问题造成的结果偏误,最后两列样本观测时间为 2011—2023 年,样本量有所减少。

(五) 异质性分析

1. 城市特征异质性

中国政府在现实政策设计中虽然强调中心城市的辐射引领作用,但更加注重区域协调发展。因此,本文依据城市层级特征将城市分为中心城市和外围城市两类。其中,中心城市包括省会城市和计划单列市,其他为外围城市。由表7前两列回归结果可以看到,政府数字治理在外围城市中的回归系数显著为正,但是在中心城市中的回归系数并不显著,这说明政府数字治理对外围城市低碳转型的促进作用更强。可能的解释在于,政府通过数字治理不仅可以精准识别外围城市在低碳转型过程中的资源需求,也能够通过数字技术和绿色技术扩散为外围城市低碳转型提供强劲动力,使得政府数字治理对外围城市低碳转型的边际促进作用更强。

城市资源禀赋是城市发展的关键基础性因素,本文从资源禀赋角度将城市划分为资源型城市和非资源型城市两类,以探究政府数字治理影响城市低碳转型的城市属性异质性。表7后两列回归结果显示,政府数字治理在资源型城市中的回归系数均为正,但在非资源型城市中的回归系数并不显著。因此,政府数字治理对资源型城市低碳转型的促进作用更明显。相较于非资源型城市,资源型城市经济发展模式大多呈现资源导向特征,对经济发展方式转型的需求更为迫切,政府实施数字治理赋能城市低碳转型将带来更高的边际效应。

表7 城市特征异质性回归结果

变量	城市层级		城市属性	
	中心	外围	资源型	非资源型
<i>Dg</i>	0.011 2 (0.007 0)	0.011 3 *** (0.004 6)	0.031 8 *** (0.005 6)	0.005 3 (0.005 1)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	630	4 284	1 926	2 988

2. 数字环境异质性

政府数字治理是数字技术与公共管理深度融合下的新型治理范式,其有效开展很大程度上依赖于城市良好数字环境所提供的技术基础、数据资源与创新保障。本文进一步从数字基础设施和数字人才禀赋两方面探讨城市数字环境差异带来的异质性特征。具体分类借鉴田鸽^[37]的研究,依据中国工业和信息化部公布的第三批宽带中国试点城市(城市群)名单,以是否为宽带中国试点城市作为分类标准,将宽带中国试点城市定义为数字基础设施较好的城市,其他为数字基础设施欠佳的城市。同时,借鉴韩先锋等^[38]的研究,将各城市期初的计算机服务和软件从业人员占总从业人员的比重由高到低进行排序,在此基础上进行三等分,一、二等分组定义为数字人才禀赋较为丰富的城市,剩下一组为数字人才禀赋较为匮乏的城市。

由表 8 可知,在数字基础设施较好和数字人才禀赋较为丰富的城市,政府数字治理的回归系数在 1% 水平下显著为正,而在数字基础设施欠佳和数字人才禀赋较为匮乏的城市中的回归系数并不显著。这表明,政府数字治理对数字基础设施较好和数字人才禀赋较为丰富城市低碳转型的促进作用更强。数字基础设施建设和数字人才的引入能够为政府数字治理高效推进提供充足的“物”和“人”,使得政府在新型治理模式下更有效发挥环境治理优势。例如,在政府数字治理通过激励双重技术创新加速城市低碳转型时,数字基础设施较好和数字人才禀赋较丰富的城市更有利于打破双重技术创新领域和边界,加速双重创新要素流动,为政府数字治理的城市低碳转型效应发挥提供坚实基础。

表 8 数字环境异质性分析回归结果

变量	数字基础设施		数字人才禀赋	
	设施较好	设施欠佳	较为丰富	较为匮乏
<i>Dg</i>	0.043 6*** (0.006 5)	0.005 7 (0.005 7)	0.021 1*** (0.004 5)	0.001 7 (0.006 0)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	1 764	3 150	3 276	1 638

五、结论与建议

政府数字治理是数字变革背景下政府创新治理模式和提升治理效能的重要举措。政府通过数字技术与公共管理的深度融合,有效弥补传统政府治理不足,为实现有为政府赋能城市低碳转型提供新思路。本文基于 2006—2023 年中国 273 个地级及以上城市面板数据,构建双重机器学习模型,深入考察政府数字治理对城市低碳转型的影响及其作用机制。研究发现,政府数字治理能够推动城市低碳转型,该结论在经过内生性分析和稳健性检验后依然成立。机制检验结果表明,提高环境治理效率、激励数字和绿色双重技术创新、增强公众环境关注是政府数字治理推动城市低碳转型的三条重要路径。异质性分析发现,当城市特征和数字环境不同时,政府数字治理对城市低碳转型的影响存在较大的异质性特征。从城市特征维度看,政府数字治理对城市低碳转型的促进作用在外围城市和资源型城市更强;从数字环境维度看,政府数字治理对城市低碳转型的促进作用在数字基础设施较好和数字人才禀赋较为丰富的城市更强。

基于此,本文提出以下政策建议:

第一,加快推进政府数字治理进程,深化信息惠民等政府数字治理相关试点政策应用,赋能城市低碳转型。首先,政府应根据治理需求与治理目标积极运用大数据和区块链等技术,通过全量编目、动态更新和多源校核等方式完善碳排放数据资源体系建设。其次,注重数字治理主体的数字能力培育,通过专题讲座、培训课程、试点案例分析和情景模拟等方式建立政务人员数字素养培训体系。例如,依托优秀试点地区等设

立实践教学基地,通过优秀试点地区经验交流与共享,推动各地政务人员数字意识的加强和数字技术的实践应用能力,提升政府数字治理效能。最后,完善数字治理项目评估体系。通过可视数据等形式在电脑端和移动端多种渠道反馈评估结果,明确改进方向,同时邀请评估结果较好和试点政策实施较为成功的政府分享经验,实现“一地成功,多地复用”。

第二,畅通政府数字治理助推城市低碳转型的作用渠道,发挥政府数字治理在提高环境治理效率、激励双重技术创新和增强公众环境关注中的重要作用。首先,政府可以通过构建一体化环境监测体系和创新生态环境监管模式提高环境治理效率。数字治理模式下,政府可以利用卫星遥感和物联网等技术实现大数据模拟,及时全面监控生态环境变化趋势,在此基础上针对重点污染区域拓展无人机监测等非现场监管手段,实现环境高效治理。其次,政府可以加强与高技术创新企业合作,为双重技术创新提供政策和资金支持。最后,借鉴深圳市宝安区“数据一本账”在数据资源梳理、应用和公开方面的宝贵经验,推动“环境数据一本账”建设,促进环境数据的规范管理与公开透明,提高公众参与城市环境治理的热情。同时,除了线上民意征集和网络论坛等渠道,还应注重公众环境监管平台建设。例如,通过政务平台微信小程序设置环境问题公开上传模块,形成“发现—上报—解决—监督”治理环节一体化通道,提升政府环境治理效率,加快城市低碳转型。

第三,重视城市特征和数字环境差异对政府数字治理的低碳转型效应发挥带来的影响。首先,继续发挥政府数字治理在外围城市低碳转型中的重要作用。通过奖金津贴和税收优惠等物质激励和荣誉表彰等精神激励引导人才、技术和投资向外围城市转移,促进这些城市经济发展和资源整合。其次,非资源型城市政府数字治理在推动低碳转型时的重点要放在优化交通出行、提升建筑领域节能和规范商业服务等方面。最后,注重城市数字环境培育。一方面,政府应加快5G基站建设,推进千兆光纤网络建设,优化网络布局;在此基础上,还应完善数据安全法规,加强数据安全和隐私保护,规范数字基础设施建设。另一方面,通过学校加强数字技术相关人才培养和政企联合培养等方式加快数字人才培养。

参考文献:

- [1] 顾向一, 祁毓. 迈向合作治理: 我国碳排放权交易治理体系的重构[J]. 江苏社会科学, 2023(5): 163-172.
- [2] 王军辉, 揭梦吟, 何青. 数字治理与现金转移支付瞄准效率[J]. 经济研究, 2024, 59(4): 153-172.
- [3] 黄先海, 朱昊杰, 袁逸铭, 等. 政府数字化转型、社会福利与共同富裕[J]. 经济理论与经济管理, 2024, 44(10): 32-48.
- [4] 毕青苗, 徐现祥. 数字政府如何提高政府效率——来自政务一体机的证据[J]. 经济学报, 2024, 11(3): 243-274.
- [5] 欧阳洁, 彭鹭, 陆毅. 数字化转型下的人大预算监督与政府支出效率——基于信息不对称视角的分析[J]. 管理世界, 2024, 40(11): 137-157.
- [6] 伦晓波, 刘颜. 数字政府与企业数字化转型: 通向数字中国之路[J]. 经济管理, 2024, 46(8): 5-25.
- [7] 陈晔婷, 何思源, 宋语嫣, 等. 政府数据治理对企业数字化转型的影响研究[J]. 北京联合大学学报(人文社会科学版), 2025, 23(5): 69-81.
- [8] 许家云, 廖河洋. 数字政府如何影响企业供应链安全[J]. 国际贸易问题, 2024(5): 89-105.
- [9] 于文超, 王丹. 数字政府建设能降低企业非生产性支出吗? ——来自中国上市公司的经验证据[J]. 财经研究, 2024, 50(1): 124-138.
- [10] LIU L Y, FENG Y. Government digital governance and corporate investment efficiency[J]. Finance Research Letters, 2025, 77: 107018.
- [11] 谢文栋. 政府数字化转型何以提升地方政府环境治理效率? ——基于“制度、技术与行为”多维度的考察[J]. 电子政务, 2025(10): 119-132.
- [12] CHEN X, XING L R, WANG K, et al. How does digital governance affect the level of domestic waste separation for rural residents? Empirical evidence from rural areas in Jiangsu Province, China[J]. Frontiers in Public Health, 2023, 11: 1122705.
- [13] ZOU S H, FAN X B, ZHOU Y C, et al. Achieving collaborative pollutant and carbon emissions reduction through digital governance: evidence from

- Chinese enterprises[J]. *Environmental Research*, 2024, 263: 120197.
- [14] ZHANG D G, ZHU Z X. The impact of digital governance on urban carbon emissions: quasi-natural experimental evidence based on “National Pilot Policy of Information Benefiting the People”[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2025, 500: 145287.
- [15] ZOU Q, MAO Z J, YAN R X, et al. Vision and reality of e-government for governance improvement: evidence from global cross-country panel data [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, 194: 122667.
- [16] WANG H L, GUO J G. New way out of efficiency-equity dilemma: digital technology empowerment for local government environmental governance [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 200: 123184.
- [17] 赵云辉, 张哲, 冯泰文, 等. 大数据发展、制度环境与政府治理效率[J]. *管理世界*, 2019, 35(11): 119-132.
- [18] 郭爱君, 张娜, 邓金钱. 财政纵向失衡、环境治理与绿色发展效率[J]. *财经科学*, 2020(12): 72-82.
- [19] WU L H, MA T S, BIAN Y C, et al. Improvement of regional environmental quality: government environmental governance and public participation [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 717: 137265.
- [20] 朱为利, 刘红, 李艳娜. 政府数字治理与绿色产品出口[J]. *当代财经*, 2025(11): 127-140.
- [21] 何雨可, 牛耕, 逮建, 等. 数字治理与城市创业活力——来自“信息惠民国家试点”政策的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2024, 41(1): 47-66.
- [22] 杜传忠, 曹效喜, 刘书彤. 数据要素市场化与地区绿色低碳发展——来自数据交易平台建设的准自然实验[J]. *经济与管理研究*, 2025, 46(4): 25-44.
- [23] 王连, 檀晶, 李钰焜. 数字技术创新对区域协调发展的影响研究——来自城市数字专利的经验证据[J]. *首都经济贸易大学学报*, 2025, 27(4): 49-65.
- [24] PAN D, FAN W C, KONG F B. Dose environmental information disclosure raise public environmental concern? Generalized propensity score evidence from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 379: 134640.
- [25] WANG Y F, ZHAO Z H, SHI M, et al. Public environmental concern, government environmental regulation and urban carbon emission reduction—analyzing the regulating role of green finance and industrial agglomeration[J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 924: 171549.
- [26] LIU X S, MU R. Public environmental concern in China: determinants and variations[J]. *Global Environmental Change*, 2016, 37: 116-127.
- [27] CHERNOZHUKOV V, CHETVERIKOV D, DEMIRER M, et al. Double/debiased machine learning for treatment and structural parameters[J]. *The Econometrics Journal*, 2018, 21(1): C1-C68.
- [28] LIU M Y, CHEN L P, SHENG X R, et al. Zero-waste city pilot and urban green and low-carbon transformation: quasi-experimental evidence from China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2024, 206: 107625.
- [29] 蒋金荷, 黄珊. 贸易新业态对绿色技术创新的影响研究——来自跨境电商综合试验区政策的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2024, 41(12): 133-154.
- [30] 韩峰, 孙沛哲, 李陈华. 政府数字治理与新质生产力发展——基于生产关系优化调整视角的研究[J]. *城市问题*, 2025(8): 22-35.
- [31] LU Y, TAO Z G, ZHU L M. Identifying FDI spillovers[J]. *Journal of International Economics*, 2017, 107: 75-90.
- [32] 包国宪, 关斌. 财政压力会降低地方政府环境治理效率吗——一个被调节的中介模型[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(4): 38-48.
- [33] 李雪琴, 郑酌基, 韩先锋. 乘“数”而上: 政府数据治理赋能企业数字创新[J]. *数量经济技术经济研究*, 2024, 41(12): 68-88.
- [34] 张爱国, 李雙江, 陈香凝, 等. 长江中游城市群绿色技术创新时空分布特征及影响因素研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2025, 34(10): 2170-2184.
- [35] 陈永泰, 单炳霖. “双碳”目标下政府审计对碳排放的空间溢出效应[J]. *经济地理*, 2025, 45(3): 171-180.
- [36] 叶堂林, 张彦淑, 王雪莹. 数字经济服务业提升了区域绿色创新效率吗? ——基于产业协同集聚与公众环境关注的双重视角[J]. *经济与管理研究*, 2025, 46(4): 45-60.
- [37] 田鹤. 数字基础设施能否缩小社会经济地位的性别差距[J]. *世界经济*, 2024, 47(10): 221-248.
- [38] 韩先锋, 勾亚楠, 董明放. 数智政策协同对城市数字技术创新的影响研究[J]. *科研管理*, 2025, 46(7): 60-69.

How can Government Digital Governance Promote Urban Low-Carbon Transformation? —Causal Inference Based on Double Machine Learning

LI Yanshan, LIU Hong, ZHU Weili
(Liaoning University, Shenyang 110036)

Abstract: Against the backdrop of ongoing global climate change and profound adjustments in the international economic landscape, actively promoting urban low-carbon transformation (ULCT) is not only a key measure to mitigate the climate crisis but also a core path to achieve coordinated economic, social, and environmental development. As the primary driver of economic and social development, the government plays an indispensable role in ULCT. However, traditional governance models still struggle to effectively address a series of practical challenges encountered during this transformation, such as poor coordination between government departments, incomplete multi-stakeholder collaboration mechanisms, and insufficient innovation in low-carbon technologies. Therefore, government digital governance, as a new governance model, is gradually becoming a driving force for ULCT.

From the perspective of the National Pilot Policy of Information Benefiting the People, this paper uses panel data from 273 prefecture-level and above cities in China from 2006 to 2023 to construct a double machine learning model, thoroughly examining the impact and mechanisms of government digital governance on ULCT. The findings confirm that government digital governance can promote ULCT, and this conclusion remains valid after a series of endogeneity treatments and robustness checks. The mechanism test indicates that improving environmental governance efficiency, incentivizing both digital and green technological innovation, and enhancing public environmental awareness are three important pathways. Heterogeneity analysis reveals that when urban characteristics and digital environments differ, the impact of government digital governance on ULCT is heterogeneous. From the perspective of urban characteristics, government digital governance has a stronger promoting effect on low-carbon transformation in peripheral cities and resource-based cities; from the perspective of the digital environment, the promoting effect is stronger in cities with better digital infrastructure and stronger digital talent endowment.

To empower urban low-carbon transformation, the paper proposes several tailored policy recommendations, including accelerating the process of government digital governance, and deepening the application of pilot policies related to government digital governance; leveraging the crucial role of government digital governance in enhancing environmental governance efficiency, incentivizing dual technological innovation, and increasing public environmental awareness; and addressing the impact of heterogeneity in urban characteristics and digital environments.

The marginal contributions of this paper are mainly reflected in two aspects. First, it explores the effects of government digital governance on ULCT, providing new ideas for modernizing government governance and promoting sustainable urban development. Second, it examines the intrinsic mechanisms, clarifying targeted policy implications to advance the modernization of government governance and enhance the capacity of an effective government to empower urban low-carbon transition in the context of digital transformation.

Keywords: government digital governance; urban low-carbon transformation; environmental governance efficiency; technological innovation; public environmental awareness

编校:蒋 琰