

“双碳”目标下的数字化转型： 来自低碳城市试点的证据*

• 童心楚 彭可可 代昀昊
(华中科技大学经济学院 武汉 430074)

【摘要】实现“双碳”目标，数字化是重要路径。本文利用低碳城市试点政策自 2010 年开始逐步扩大试点这一准自然实验，基于 2007—2022 年的上市公司微观数据，运用交错双重差分模型评估了该政策对企业数字化转型的影响。研究表明：低碳城市试点政策总体上显著促进了企业的数字化转型。机制分析表明，“双碳”目标的设立使企业增加研发资金和人力资本投入，从而促进企业进行数字化转型。调节效应分析表明，外部监管压力较大、可用资源较多的企业受到低碳城市试点冲击后的数字化转型升级更加明显，且与地区数字基础设施建设相关的政策试点能够和低碳城市试点发挥协同效应。在低碳城市试点后提升了数字化水平的企业能够获得更好的环境绩效和 market 价值。本文的研究结论拓宽了低碳城市试点政策效应评估的有关研究，阐释了低碳城市试点如何引导企业数字化，为促进低碳转型过程中的高质量发展提供了有益启示。

【关键词】 低碳城市试点 数字化转型 高质量发展
中图分类号：F270 文献标识码：A

1. 引言

党和政府历来高度重视生态文明建设，党的二十大报告明确将人与自然和谐共生列为“中国式现代化”的五个具体表现之一，强调绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节。随着互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术加速创新，我国数字经济也已迈入快速发展阶段。根据中国信通院发布的《中国数字经济发展研究报告（2023 年）》的测算，截至 2022 年，中国数字经

* 基金项目：国家自然科学基金面上项目“劳动者权益保障视角下的企业雇员关系研究：治理因素及经济后果”（72372048）；中央高校基本科研业务费资助“环境监管、绿色人力资本需求与企业环境绩效”（2025JYCXJJ042）。

通讯作者：代昀昊，E-mail: daiyunhao@hust.edu.cn。

济规模已达到 50.2 万亿元, 同比增长 10.3%, 数字经济占 GDP 比重相当于第二产业占国民经济的比重, 达到 41.5%, 持续为国民经济稳增长保驾护航^①。2023 年 7 月发布的《国家低碳城市试点工作进展评估报告》中显示, 以上海、宁波、广州、南平等城市为代表的试点地区通过将数字经济指标纳入试点目标、构建高效低碳现代产业体系、聚焦重点产业链等方式, 以数字赋能低碳, 取得了较好的成效^②。因此, “双碳” 目标的确定对我国产业提出绿色低碳发展的新要求, 而随着数字技术的进一步发展, 传统产业数字化的快速推进能够为低碳转型提供新的解决思路。2024 年 1 月 11 日发布的《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》中也强调, 要推进产业数字化、智能化同绿色化深度融合, 建设绿色智慧的数字生态文明^③。绿色化和数字化作为新质生产力的两大时代特征, 其协同发展不仅有广阔的发展前景, 还对经济高质量发展具有重要意义。

企业作为我国数字化转型实施的主体, 其数字化发展程度对企业自身高质量发展具有重大意义。通过数字化转型, 企业能够降低内外面临的成本费用 (袁淳等, 2021), 从而提升全要素生产率和创新绩效 (赵宸宇等, 2021; 刘淑春等, 2021)。同时, 企业应用数字技术也有助于开展绿色技术创新活动 (宋德勇等, 2022)。尤其是在“双碳” 目标下, 面对减碳挑战, 数字技术可以提升能效、推进系统优化、协同上下游产业链、促进形成新的生产和消费方式, 并为各行各业带来大规模的技术更迭, 从而构建绿色低碳的产业生态。以腾讯为例, 其在 2022 年发布的《腾讯碳中和目标及行动路线报告》中提到, 腾讯会议自 2019 年推出以来累计减少了 1500 多万吨碳排放, 帮助传统产业实现了低碳运营, 是腾讯利用自身技术和能力积极帮助各行业减碳与绿色转型、使数字化和绿色化充分结合的实例。

为尽快实现社会低碳发展, 国家发展和改革委员会在 2010 年正式启动了首批低碳城市试点工作, 并在 2012 年和 2017 年两次扩大试点范围, 这一政策成为中国经济向绿色低碳全面变革的一项关键政策。低碳城市试点政策的逐步推行为评估企业在“双碳” 目标下的转型决策提供了理想的环境 (Chen et al., 2022)。政策文件包括加快建立低碳产业体系、建立温室气体排放数据统计和管理体系等要求^④, 相较于非试点城市, 试点城市在产业数字化低碳化改造、数据智能化精细化管理方面具有潜在的市场需求与制度红利, 发展数字经济逐渐成为低碳建设的重要内涵。因此, 本文拟从数字化转型角度出发, 使用低碳城市试点政策提供的宝贵准自然实验, 探讨微观企业主体在“双碳” 目标下, 如何实现数字化与绿色化的协同发展。

本文基于 2007—2022 年我国 A 股上市企业数据, 构造交错双重差分模型考察了低碳城市试点政策实施对当地企业数字化转型程度的影响。研究表明, 低碳城市试点政策的实施能够显著提升企业的数字化发展水平。本文还参考 Bertrand 和 Mullainathan (2003) 进行了动态效应回归, 发现受

① http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202304/t20230427_419051.htm。

② https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202307/content_6892095.htm。

③ https://www.gov.cn/zhengce/202401/content_6925405.htm。

④ 国家发展改革委关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知, https://www.gov.cn/zwgk/2010-08/10/content_1675733.htm; 国家发展改革委印发关于开展第二批国家低碳省区和低碳城市试点工作的通知, <https://dtfz.ccchina.org.cn/Detail.aspx?newsId=45637>; 国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知, https://www.gov.cn/xinwen/2017-01/24/content_5162933.htm。

到低碳城市试点政策影响的企业仅在政策实施后显著提升了数字化水平,且这一效应具有一定的持续性。接着,我们使用倾向得分匹配法、堆叠回归估计量(Cengiz et al., 2019)、安慰剂检验、工具变量回归以及更换变量测度等方法重新进行分析,主要结果仍然成立。

低碳试点政策的推行会给企业的生产经营提出更高要求,从而要求企业进行要素再配置,倒逼企业增加研发与人力资本投入以实现有效转型(Porter and van der Linde, 1995)。本文对低碳城市试点后企业为达到低碳减排的转型目标而进行数字化转型的“创新补偿效应”机制进行检验,发现低碳城市试点政策的实施确实使得企业的资本化研发投入占比与研究生以上学历员工占比都得到了显著提升。同时,根据资源依赖理论,本文发现低碳城市试点政策的实施能够与外部监管压力相互促进,倒逼企业进行数字化转型,进一步验证了“创新补偿效应”(李俊青等, 2022)。低碳城市试点对企业数字化转型的促进作用在企业拥有更多可用资源时,以及在第三产业、碳排放强度较低行业、成熟期企业、劳动密集型企业中更明显。此外,与地区数字基础设施建设相关的政策试点(如“宽带中国”网络基础设施建设试点、创新型城市试点、国家级大数据综合实验区设立政策等)能够与低碳城市试点政策发挥协同效应。在经济后果方面,本文发现低碳城市试点带来的企业数字化转型程度的提高有助于改善企业的环境绩效,提升企业的市场价值。

本文的贡献主要体现在以下三个方面:第一,在“双碳”目标的背景下,从企业数字化转型的微观视角丰富了低碳城市试点政策的经济后果研究。现有针对低碳城市试点影响的文献主要聚焦于宏观层面(宋弘等, 2019; 张兵兵等, 2021),发现试点在改善空气质量、抑制城市碳排放、提升能源效率等方面的作用,而对于政策的微观影响讨论较少。现有的微观影响研究从企业层面的就业(王锋和葛星, 2022)、绿色创新与绩效(徐佳和崔静波, 2022; Chen et al., 2022)等角度展开,而本文关注低碳城市试点对企业数字化转型的影响,揭示了企业在面对地区环境政策改变时可能做出的反应和行动,补充了对低碳城市试点政策产生的微观效应的考察^①。

第二,结合“弱波特假说”和“资源依赖理论”,从环境制度压力视角构建了政策倒逼企业调整要素投入的解释框架,拓展了企业数字化转型驱动因素的有关文献。在探讨企业数字化转型影响因素的相关文献中,主要视角有地方财政(吴非等, 2021a)、资金与人才要素(赖晓冰和岳书敬, 2022)等,研究验证了这些因素对企业数字化转型的激励效应。由于数字经济是一种重要的社会技术现象和制度现象,这意味着从制度层面来考察企业数字化变革的影响因素尤为关键。本文以低碳城市这一环境政策为出发点,发现低碳城市试点政策的实施通过倒逼企业主动增加研发资金和人力资本的投入,进而向高质量发展的目标转型升级,并且政策能与外部监管压力相互促进,共同推进

^① 与本文最为相关的是低碳城市试点影响企业数字化的研究,虽有少数研究讨论了二者关系,但尚未形成共识,仍存在需要进一步识别和分析的问题。现有文献认为低碳城市试点政策能够通过缓解企业融资约束,进行绿色技术创新,从而促进企业数字化转型(马绍雄和孙淼林, 2024; 廖露露等, 2024),本文则主要关注企业在环境规制压力下对要素进行再配置从而进行数字化转型的路径,发现企业在伴随低碳城市试点实施而加强的环境监管下,将增强技术资本积累、优化人力资本结构,为企业数字化转型提供要素基础。同时,赵振智等(2024)认为地区的环境关注对低碳城市试点与企业数字化转型的关系具有调节作用。本文则从企业和地区等方面受到的潜在监管压力和行业层面的监督压力进行了更为系统的分析,更综合地反映了监管压力对企业数字化转型的影响。此外,本文发现地区数字基础设施建设相关试点政策与低碳试点政策之间存在一定的协同效应,并对在环境规制压力下企业进行数字化转型后的环境绩效改善和市场价值提升进行了讨论,丰富了数字化转型的经济后果。

企业数字化转型，丰富了企业数字化转型的制度驱动因素研究。

第三，为数字化和绿色化的“双化协同”战略实施提供有益参考。本文发现，在低碳城市试点政策的促进下，进行数字化转型这一行动能够使企业最终实现整体绿色绩效的提高和市场价值的提升，这证明了以数字化助力“双碳”目标的“双化协同”战略的有效性，有助于推动经济社会最终形成绿色高质量发展的新格局。本文的发现也为进一步推进低碳城市建设和促进企业数字化转型提供了经验证据和实践参考。

余下部分的结构安排如下：第二部分为制度背景和假设推导；第三部分为研究设计；第四部分为实证结果，包括基准回归、动态效应、稳健性检验、潜在影响机制、异质性分析、政策协同效应分析、经济后果；第五部分为研究结论和政策启示。

2. 制度背景与假设推导

2.1 低碳城市试点

2009 年底国务院宣布中国 2020 年控制温室气体排放行动目标，为控制温室气体排放、探索绿色低碳发展模式、引领和示范全国低碳发展，国家发展和改革委员会于 2010 年、2012 年、2017 年先后启动了第三批低碳城市试点，旨在通过低碳城市建设倒逼经济进行全面低碳转型。为积累对不同地区和行业分类指导的工作经验，试点名单由首批的 5 个省份和 8 个城市扩大至第三批的 45 个城市，试点范围也呈现出向全国辐射的趋势，显示出对低碳城市建设与加快经济发展方式转变和经济结构调整的高度重视。

综合第三批低碳城市试点政策文件来看，首先，在试点城市遴选机制上，首批试点地区由国家自上而下确立，第二、第三批试点地区采取了自下而上的申报形式并增加专家评审环节，各试点确定后需充分考虑地区自身资源禀赋、发展阶段、产业结构和工作基础，进行长期全面规划，在程序上具备科学性；其次，在试点城市级别上，第三批试点地区的行政级别依次下沉，表现为以大型中心地区为主逐步下沉到以地级市为主，试点政策的执行效力逐步提升；最后，在试点城市特征上，试点范围覆盖经济发达区、生态环境保护区、资源型地区和老工业基地等，可以为全国不同性质地区的低碳实践提供借鉴和参考。总体而言，试点选择倾向于为各类地区提供低碳建设经验，最终逐步推广到全国，因此在地区特征上不存在明显的倾向性。

各试点地区紧密围绕试点政策的具体任务和工作要求，把绿色低碳融入城市发展建设的全过程，不仅以绿色理念引领经济社会发展，还积极推动产业与能源消费的转型。2017—2022 年试点城市年均 GDP 增速达 5.8%，产业结构和能源使用得到优化，在实现经济量的合理增长的同时达成质的有效提升，并有效控制了地区二氧化碳排放。试点城市在政策落实过程中，将发展数字经济作为构建低碳产业体系的重要内涵。2023 年 7 月发布的《国家低碳城市试点工作进展评估报告》中显示，以上海、宁波、南平等城市为代表的试点地区通过将数字经济指标纳入试点目标、构建高效低碳现代产业体系、探索实施碳普惠机制等方式，以数字赋能低碳，取得了较好的成效。广州创新提出了

“链长制”聚焦重点产业链，加大传统产业数字化低碳化改造力度，还以新一代技术方案建设绿色零碳智慧码头，完成了粤港澳大湾区首个全自动化集装箱码头的建设。上述实践也为本文对低碳城市试点的数字化效应的研究提供了现实案例和良好基础。

目前，学者们从多方面探讨了低碳城市试点政策在城市和企业层面的环境效应与经济效应。从环境效应角度，低碳城市试点能减少企业排污、降低电力消费、促进创新，从而发挥空气质量改善作用（宋弘等，2019）。从城市的经济效应角度，低碳城市试点不仅有助于提升城市的能源效率，还能促进城市绿色经济增长（张兵兵等，2021）。从企业的经济效应角度，低碳城市试点能促进企业创新（徐佳和崔静波，2020）和可持续发展（Chen et al., 2022）。在环境效应和经济效应以外，低碳城市试点还能显著提高城市层面和企业层面的就业水平，发挥积极的社会效应（王锋和葛星，2022）。少数文献聚焦了低碳城市试点政策对企业数字化的影响（马绍雄和孙焱林，2024；廖露露等，2024；赵振智等，2024），但仍存在有待进一步探讨的方面。因此，低碳城市试点政策在企业层面的经济效应及其微观机制还需要进一步识别和分析。在全方位的经济社会绿色低碳转型中，处在试点城市的企业作为承担低碳减排任务的主要角色，其战略选择与业务重心将受到较大影响，启动低碳城市试点政策对城市和本地企业都至关重要。

2.2 假设推导

从数字化实践来看，企业数字化转型的影响因素还有待更多研究。许多企业不具备转型条件或者自身转型意愿不足，急需借助外部压力和动力推进数字化转型的进程，因此政府不仅直接使用各种补贴对企业进行激励，还出台许多政策来发挥政府“看得见的手”的作用，以弥补市场自发形成动力的不足。已有研究证实了政府的各类补助能够通过缓解融资约束、增加资金研发投入与提升创新产出、供应链传递等方式为企业的数字化转型赋能（余典范等，2022；吴非等，2021a）；对于特定的政策，相关研究也发现了以基础设施建设为主要内容的政策试点有助于促进企业数字化变革（赖晓冰和岳书敬，2022）。

在实现经济社会绿色转型的目标下，企业行为将直接面临环境政策带来的重大影响，可称为环境规制风险（Nguyen and Phan, 2020），环境规制风险会对企业行为和企业市场价值产生影响（Bolton and Kacperczyk, 2021）。根据以往的研究，“合规成本理论”和“创新补偿理论”是关于环境规制经济后果的两大主流讨论。“合规成本理论”认为，环境监管阻碍了企业生产率和国际竞争力的提高，原因可能在于环境法规通过增加环境相关投资或成本，增加了企业整体的成本负担（涂正革和谌仁俊，2015；Krueger et al., 2020）。但另一方面，“创新补偿理论”认为设计合理的环境规制会倒逼企业进行长期规划并合理投资，增加研发与人力资本的投入，产生创新补偿效应，也被称为“波特假说”（Porter and van der Linde, 1995）。Jaffe 和 Palmer（1997）进一步将“波特假说”分为“弱波特假说”“强波特假说”和“狭义波特假说”。其中，“弱波特假说”认为适当的环境规制对企业的创新活动具有促进作用；“强波特假说”强调环境规制对企业的“创新效应”大于“成本效应”，从而提升企业竞争力；“狭义波特假说”认为灵活的环境规制更有利于激励创新。已有文献发现，环境监管政策可以鼓励企业投资研发和使用清洁技术，从而减少污染（Aghion et al., 2016；

Acemoglu et al., 2016; Brown et al., 2022)。在中国的制度背景下,环境规制的增强同样也会诱发企业绿色技术创新(徐佳和崔静波,2020;代昀昊等,2023;刘建秋等,2024),实现企业环境治理和盈利目标的双赢,支持了“弱波特假说”。同时,遵守较高环境标准或监管要求的企业将获得更高的市场价值,因此企业可能会出于稳定市场价值的考虑,减少碳密集型技术的使用,并自愿转向更高效的生产方式(Dionne and Spaeter, 2003)。总体而言,数字技术的发展能够为绿色低碳发展提供新动能,推动传统产业转型升级,优化资源配置,通过智能化手段实现降本增效与绿色发展的统一,因此,本文认为环境规制在推动企业节能减排的过程中,将通过要素再配置激发企业的数字化动力。具体而言,低碳城市试点政策可能产生创新补偿效应,通过增强技术资本积累、优化人力资本结构等方式为企业数字化转型提供要素基础。

一方面,企业数字化发展的核心要素之一是充足的研发投入。由于数字化转型是一个长期、渐进的过程,企业在研发方面的资金投入是企业数字化转型过程中的有效保证(赖晓冰和岳书敬,2022)。低碳城市试点的实施显著提升了地方政府对环境保护的优先级,政策导向将环境绩效的压力有效传导至企业等经济主体,促使企业进行节能减排和转型升级,大部分试点城市还明确了通过技术创新来推动城市低碳发展的目标(徐佳和崔静波,2020),为企业转型升级提供了清晰的指引,因此试点政策的实施将伴随着企业的技术投入与革新。已有研究证实,企业在面临环境规制时会增加技术类投资来提升现有技术水平,为企业数字技术的研发与应用提供充足的资金支持,从而驱动企业数字化深度转型(吴非等,2021a)。在政府和市场层面,为落实低碳城市试点目标,地方政府与投资者都有较强的激励加大对企业数字化转型的优惠倾斜和资金支持;从企业内部来说,积极的市场反应也会诱使企业主动调配更多研发资金来加速数字化转型进程。因此,低碳城市试点政策将促使企业加大研发资金投入并转化为技术资本积累,为数字化转型提供支持。

另一方面,企业数字化转型不仅需要资金投入,更需要配套的人力资本支持(余典范等,2022)。政策试点通常伴随着大量相关项目的刚性需求产生,这些项目需要依托高质量人力资本来完成,进一步促进了高学历高技能人才向试点城市的汇聚。低碳城市试点政策要求以新一代信息技术为支撑,以建立智慧生产管控系统等措施,实现产业数字化低碳化转型,这可能加快机器设备对低技能劳动力的替代,也创造了对高技能、高学历劳动力的巨大需求,因此导致的高素质人才涌入为企业数字化转型注入了优质的人力资本(葛力铭等,2024)。同时,根据“资本-技能互补”理论以及数字技术与人力资本关系的实证研究(申广军,2016;刘启仁和赵灿,2020),数字技术的应用要求企业在加大研发投入和提高效率的同时,同步提升企业人力资本水平以实现技术与人力的良性互动和协同发展,这迫使企业主动调整和优化自身的人力资本结构(王锋和葛星,2022)。高质量劳动力能有效匹配生产方式变革与组织重构,从而显著提升企业生产率,并赋予企业更高效的管理体系和更强的创新动能,为企业的数字化战略决策提供智力支持。因此,在追求商业利益最大化的驱动下,企业需要通过提升人力资本质量来强化自身竞争力,并适应低碳目标建设的需要。

综上,低碳城市试点政策的实施将通过研发投入和人力资本的赋能效应使企业主动向高质量发展的目标转型升级,映射于企业自身展现为数字化水平的提升。

据此,本文提出以下假设:

H1: 低碳城市试点政策的实施会促使当地企业进行数字化转型。

3. 研究设计

3.1 数据来源与样本选择

本文选取 2007—2022 年沪深两市 A 股上市公司作为初始研究样本，并进行如下处理：（1）剔除金融类上市公司；（2）剔除主要变量缺失的样本。其中，低碳城市试点数据来自国家发展和改革委员会相关文件，企业数字化转型数据来自年报文本，其他公司层面、行业层面、城市层面的经济数据来自国泰安（CSMAR）数据库。为避免异常值干扰，本文对所有连续数据在 1% 和 99% 分位数进行缩尾处理。最终本文得到包括 4545 家公司的 42440 个企业-年度观测值。

3.2 模型设定与变量定义

根据《国家发展改革委关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》《国家发展改革委关于开展第二批低碳省区和低碳城市试点工作的通知》《国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知》，2010 年我国政府正式启动低碳城市建设试点，并在 2012 年和 2017 年相继批复第二批和第三批低碳城市试点名单。低碳城市名单同时包括省份、地级市、县级市及同级行政区划，本文仅保留地级市及以上试点区域。

本文研究低碳城市试点对企业数字化转型影响的模型设定如下：

$$\text{Digital}_{it} = \alpha + \beta \text{Treat}_i \times \text{Post}_t + \gamma \text{Controls}_{it} + \text{FirmFE} + \text{YearFE} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中，被解释变量 Digital_{it} 代表企业 i 在第 t 年的数字化程度，参考袁淳等（2021）和吴非等（2021a, 2021b），本文对上市公司年报中管理层讨论与分析（MD&A）部分中涉及“数字化转型”的特征词^①进行搜索匹配、词频计数、加总并取自然对数进行衡量。由于企业年报在管理层讨论与分析部分的内容不仅包含管理层对过去业绩的评价讨论，也包含对未来可能影响公司的重要事件、趋势和不确定性的分析，用于衡量企业在数字化方面的重视程度和投入力度较为合适。在本文的主要回归分析中，使用数字化关键词出现次数的自然对数作为因变量进行分析，在稳健性检验部分，还参考袁淳等（2021）使用数字化关键词占管理层讨论与分析部分总字数的比例、企业数字化技术无形资产占年末总资产的比例以及企业数字经济发明专利申请量作为企业数字化转型的替代变量进行考察。

Treat_i 表示低碳城市试点地区的虚拟变量，企业所在城市或省份属于政策公布的试点地区则取值为 1，否则为 0； Post_t 表示政策时点前后的虚拟变量，低碳城市试点开始后取值为 1，否则为 0。对低

^① 参考袁淳等（2021）和吴非等（2021a, 2021b），数字化转型相关的特定关键词包括五个层面：人工智能技术、大数据技术、云计算技术、区块链技术和数字技术运用。

碳城市试点政策的考察包含三批,第一批试点包括 5 个省份和 8 个城市,第二批试点包括 1 个省份、27 个城市和 1 个地区,第三批试点包括 41 个城市和 4 个区或自治县,其中的地区、区和自治县不包括在样本中。具体试点城市列表见表 1。考虑到前两批试点政策于下半年生效,本文以 2011 年、2013 年和 2017 年作为三批政策开始产生影响的事件年份。

表 1 三批试点城市列表

试点批次	试点时间	试点城市/省份
第一批	2010 年 7 月 19 日	广东省、辽宁省、湖北省、陕西省、云南省、天津市、重庆市、深圳市、厦门市、杭州市、南昌市、贵阳市、保定市
第二批	2012 年 12 月 26 日	北京市、上海市、海南省、石家庄市、秦皇岛市、晋城市、呼伦贝尔市、吉林市、大兴安岭地区、苏州市、淮安市、镇江市、宁波市、温州市、池州市、南平市、景德镇市、赣州市、青岛市、济源市、武汉市、广州市、桂林市、广元市、遵义市、昆明市、延安市、金昌市、乌鲁木齐市
第三批	2017 年 1 月 7 日	乌海市、沈阳市、大连市、朝阳市、逊克县、南京市、常州市、嘉兴市、金华市、衢州市、合肥市、淮北市、黄山市、六安市、宣城市、三明市、共青城市、吉安市、抚州市、济南市、烟台市、潍坊市、长阳土家族自治县、长沙市、株洲市、湘潭市、郴州市、中山市、柳州市、三亚市、琼中黎族苗族自治县、成都市、玉溪市、普洱市思茅区、拉萨市、安康市、兰州市、敦煌市、西宁市、银川市、吴忠市、昌吉市、伊宁市、和田市、第一师阿拉尔市

$Controls_{it}$ 为包括企业特征和地区特征的控制变量矩阵。考虑到企业和城市层面的其他因素可能对企业数字化程度带来潜在影响,本文参考余典范等 (2022)、赖晓冰和岳书敬 (2022),选取如下企业特征和城市特征作为控制变量:企业规模 (Size),以总资产的自然对数衡量;资产负债率 (Lev),以总负债和总资产的比值衡量;资产收益率 (ROA),以净利润和总资产的比值衡量;董事长与总经理是否兼任 (Dual),若董事长与总经理为同一人则取值为 1,否则为 0;政府补贴比例 (Subsidy),以政府补助占总资产的比重衡量;企业年龄 (Age),以企业成立年限的自然对数衡量;高管数字化背景 (Digital background),若高管中任意一人具有数字化背景(所学专业涉及“信息、智能、软件、电子、通信、系统、网络、自动化、无线、计算机”)则取值为 1,否则为 0;高管研发背景 (R&D background),若高管中任意一人具有研发背景(职业背景涉及研发)则取值为 1,否则为 0;城市人口, $\ln(pop)$,企业所在城市人口数量的自然对数;城市 GDP, $\ln(gdp)$,企业所在城市 GDP 的自然对数。所有变量定义见表 2。

表 2 变量定义

Digital	数字化转型相关关键词在年报 MD&A 部分中出现次数的总和加 1 并取对数
Treat	如果企业所在地区进入三轮低碳城市试点名单,则取值为 1,否则为 0

续表

Post	如果企业所在地区进入三轮低碳城市试点名单, 并且时间在政策冲击后, 则取值为 1, 否则为 0
Size	企业规模, 对总资产取自然对数
Lev	资产负债率, 总负债与总资产的比值
ROA	资产收益率, 净利润与总资产的比值
Dual	两职合一, 董事长与总经理兼任则取值为 1, 否则为 0
Subsidy	政府补贴, 政府补助占总资产的比重
Age	企业年龄, 对企业成立年数取自然对数
Digital background	高管团队是否拥有数字化背景, 高管的所学专业涉及“信息、智能、软件、电子、通信、系统、网络、自动化、无线、计算机”则视为有数字化背景, 若高管中任意一人具有数字化背景则取值为 1, 否则为 0
R&D background	高管团队是否拥有研发背景, 高管的职业背景涉及研发则视为有研发背景, 若高管中任意一人具有研发背景则取值为 1, 否则为 0
Ln (pop)	企业所在城市人口数量的自然对数
Ln (gdp)	企业所在城市 GDP 的自然对数
Policy_1	智慧城市试点代表的虚拟变量, 企业所在城市在该政策实施后取值为 1, 否则为 0
Policy_2	“宽带中国”网络基础设施建设试点代表的虚拟变量, 企业所在城市在该政策实施后取值为 1, 否则为 0
Policy_3	创新型城市试点代表的虚拟变量, 企业所在城市在该政策实施后取值为 1, 否则为 0
Policy_4	国家级大数据综合试验区设立政策代表的虚拟变量, 企业所在城市在该政策实施后取值为 1, 否则为 0
LowCarbon_city	城市当年是否成为低碳城市试点, 是则取值为 1, 否则为 0
City_Digital	$t-1$ 期城市中所有上市企业数字化转型程度的平均值
Industry_1	根据《三次产业划分规定》对《国民经济行业分类》进行的产业划分, 若企业属于第一产业则取值为 1, 否则为 0
Industry_2	根据《三次产业划分规定》对《国民经济行业分类》进行的产业划分, 若企业属于第二产业则取值为 1, 否则为 0
Growing	使用企业现金流净值划分企业的生命周期, 若企业处于成长期则取值为 1, 否则为 0
Mature	使用企业现金流净值划分企业的生命周期, 若企业处于成熟期则取值为 1, 否则为 0
Declining	使用企业现金流净值划分企业的生命周期, 若企业处于衰退期则取值为 1, 否则为 0

此外, 本文在模型中还控制了企业个体固定效应和年份固定效应, 以剔除时间趋势和企业层面不变的混淆因素, 并在城市层面对标准误进行聚类调整。

在基准回归中, 双重差分项 $Treat_i \times Post_t$ 的系数 β 是本文关注的重点, 该系数反映了低碳城市试点政策对企业数字化程度的影响。若系数显著为正, 表明试点政策有助于促进试点地区企业的数字

化转型。

3.3 描述性统计

各主要变量的描述性统计如表 3 所示。由表可见，企业数字化转型程度 Digital 的均值为 1.0550，标准差为 1.2869，表明不同企业之间数字化转型程度存在较大差异。在研究样本中，74.80%的样本企业位于试点城市，55.65%的样本受到试点政策影响。另外，有 64.43%的样本拥有数字化背景高管，7.56%的样本拥有研发背景高管。

表 3 描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
Digital	42440	1.0550	1.2869	0.0000	0.6931	4.5850
Treat	42440	0.7480	0.4342	0.0000	1.0000	1.0000
Post	42440	0.5565	0.4968	0.0000	1.0000	1.0000
Size	42440	22.0847	1.3832	19.3223	21.8792	26.4519
Lev	42440	0.4361	0.2185	0.0509	0.4253	0.9750
Dual	42440	0.2879	0.4528	0.0000	0.0000	1.0000
ROA	42440	0.0402	0.0710	-0.2748	0.0397	0.2231
Subsidy	42440	0.0100	0.0134	0.0000	0.0055	0.0808
Age	42440	2.8514	0.3694	1.6094	2.8904	3.4657
Digital background	42440	0.6443	0.4787	0.0000	1.0000	1.0000
R&D background	42440	0.0756	0.2643	0.0000	0.0000	1.0000
Ln (pop)	42440	6.4514	0.6634	4.6221	6.4939	8.1192
Ln (gdp)	42440	8.8992	1.1474	5.9315	8.9887	10.6739

4. 实证结果与分析

4.1 基准回归

按照上述构建的基准模型，本文首先考察低碳城市试点对上市企业数字化程度的总体影响，结果如表 4 所示。表 4 的第 (1) 列未加入控制变量，但控制了企业个体固定效应和年份固定效应，第 (2) 列加入控制变量。表 4 的结果表明，低碳城市试点政策促进了试点地区上市公司的数字化发展。其中，第 (2) 列 Treat×Post 的系数估计值为 0.0839，在 5%的水平上通过了显著性检验。

关于控制变量，企业规模、高管研发背景、城市人口均对企业数字化有一定的促进作用，而资

产负债率对企业数字化产生了负向影响，与已有文献基本一致（余典范等，2022；赖晓冰和岳书敬，2022）。

表 4 基准回归

变 量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Post	0.0818 *** (2.6182)	0.0839 ** (2.5520)
Size		0.1955 *** (13.6685)
Lev		-0.1312 ** (-2.3832)
ROA		-0.1089 (-1.1040)
Dual		0.0212 (0.9925)
Subsidy		-0.3865 (-0.7784)
Age		0.1440 (1.1037)
Digital background		-0.0238 (-1.4641)
R&D background		0.0674 ** (1.9917)
Ln (pop)		0.1933 ** (2.3386)
Ln (gdp)		-0.0427 (-0.9658)
截距项	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	42440	42440
调整 R ² 值	0.716	0.722

注：括号内为经城市聚类标准误计算得到的 t 值，***、**、* 分别代表估计的系数在 1%、5% 和 10% 的水平下显著，下同。

4.2 动态效应

双重差分模型要求处理组和对照组满足平行趋势假定, 因此本文采用以下模型进行事前趋势检验并探究政策的动态效应:

$$\begin{aligned} \text{Digital}_{it} = & \alpha + \sum_{s=2}^5 \beta_s \text{Treat}_i \times \text{Before}_{t-s} + \beta_t \text{Treat}_i \times \text{Current}_t \\ & + \sum_{s=1}^5 \beta_s \text{Treat}_i \times \text{After}_{t+s} + \gamma \text{Controls}_{it} + \text{FirmFE} + \text{YearFE} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

其中, Before_{t-s} 、 Current_t 和 After_{t+s} 是一组虚拟变量, 若某年为企业所在城市实施低碳试点政策的前 s 年、当年、后 s 年, 则取值为 1, 反之为 0。其余变量与模型 (1) 中含义相同。考虑到政策实施前五年和后五年的数据较少, 本文将试点前五年之前的期数归并到 $t-5$ 期, 将试点后五年之后的期数归并到 $t+5$ 期, 并以 $t-1$ 期为基期。

本文在式 (2) 中重点关注系数 β_t , 其反映了在低碳城市试点政策实施的第 t 年, 试点城市与非试点城市企业的数字化程度差异。在本文的研究情境中, 平行趋势假定要求在低碳城市试点实施之前, 试点城市和非试点城市的企业在数字化程度上的时间趋势是基本保持一致的; 而在政策实施后, 试点城市的企业数字化程度相对于非试点城市将出现显著的改变。

低碳城市试点政策动态效应的结果如表 5 所示。以第 (2) 列的结果为例, 在试点政策实施前, 试点地区与非试点地区企业的数字化程度没有明显差异, 所有系数均不显著异于零; 从试点后第三期开始, 试点地区企业的数字化程度相较非试点地区显著持续提高, 表明低碳城市试点政策对试点地区企业的数字化程度具有长期的改善效应。

表 5 动态效应

变 量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Before5	-0.0397 (-0.6477)	-0.0583 (-0.9815)
Treat × Before4	-0.0354 (-0.7870)	-0.0429 (-0.8882)
Treat × Before3	-0.0313 (-0.8774)	-0.0353 (-0.9339)
Treat × Before2	-0.0024 (-0.0905)	0.0003 (0.0103)

续表

变 量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Current	0.0091 (0.3540)	0.0121 (0.4619)
Treat × After1	0.0361 (1.4827)	0.0363 (1.4524)
Treat × After2	0.0638* (1.7377)	0.0635 (1.5521)
Treat × After3	0.1183** (2.3103)	0.1229** (2.2392)
Treat × After4	0.1319*** (2.9924)	0.1356*** (2.8171)
Treat × After5	0.1483*** (3.0408)	0.1429*** (3.1089)
截距项	是	是
控制变量	否	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	42440	42440
调整 R ² 值	0.716	0.722

4.3 稳健性检验

基准回归表明, 低碳城市试点政策促进了企业数字化转型。为了排除混淆因素对研究结论的干扰, 仍需进行一系列稳健性检验。本文通过倾向得分匹配模型、对多期 DID 设定中处理效应异质性的处理、安慰剂检验、其他稳健性检验等进行分析, 以确保结果的可靠性。

4.3.1 PSM-DID

尽管试点政策对企业行为的影响相对外生, 但由于企业数字化程度可能反映所在地区较好的经济状况, 从而影响低碳城市试点政策的试点地区选取, 由于反向因果产生内生性偏误, 同时, 还可能存在一些同时影响试点城市选取和企业数字化程度的遗漏变量。因此, 本文使用倾向得分匹配双重差分模型, 以缓解潜在的内生性问题。使用 1:1 不放回最邻近匹配法, 基于每轮试点样本与非试点样本在试点前一年的数据, 将三批试点分开匹配, 选取所有控制变量与行业作为匹配变量得到最

终匹配样本。表 6 第 (1) 列的结果显示, 经过匹配后 $Treat \times Post$ 的系数估计值仍在 10% 的水平上显著为正, 这进一步验证了低碳城市试点政策促进企业数字化转型的结论。

表 6 PSM-DID 和堆叠回归

变 量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Post	0.0720* (1.9196)	0.1631*** (3.9658)
Size	0.1679*** (10.2872)	0.1878*** (13.5172)
Lev	-0.1421** (-2.0805)	-0.1232*** (-2.6571)
ROA	-0.0222 (-0.1949)	0.0262 (0.3333)
Dual	0.0548** (1.9815)	0.0211 (1.2250)
Subsidy	0.1135 (0.1648)	-0.2582 (-0.5791)
Age	-0.0247 (-0.1703)	-0.0350 (-0.3289)
Digital background	-0.0032 (-0.1531)	-0.0048 (-0.3093)
R&D background	0.1515*** (3.2246)	0.1422*** (3.6466)
Ln (pop)	0.0477 (0.9692)	0.0994 (1.6302)
Ln (gdp)	0.0363 (0.8308)	0.0356 (0.8870)
截距项	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	26497	54035
调整 R ² 值	0.662	0.680

4.3.2 堆叠回归

随着交错双重差分在经济学研究上的普遍使用,许多学者关注到了异质性处理效应的潜在问题,即同一处理对于不同个体产生的效果存在差异,这种差异可能表现在接受处理后时长或者不同时点接受处理的组别两个维度。在此背景下,传统的双向固定效应模型估计量存在潜在偏误,静态情形下会存在“坏的控制组”问题,较早接受处理的样本会成为较晚处理样本的控制组,动态情形下每一期的估计系数会受到跨期交叉污染而难以解释,甚至还会面临平行趋势检验失效的风险(Goodman-Bacon, 2021)。因此,本文使用 Cengiz 等(2019)提出的堆叠回归估计量重新进行回归,以确保结果的稳健性。

从直觉上看,这种方法为每一个处理组的观测都匹配了从未接受处理或尚未接受处理的观测,进而形成一个新的数据集,随后将这些数据集都堆叠在一起,通过进一步加入组别-个体、组别-时间固定效应进行线性回归。因此,在使用该检验方法前,删除退出样本^①,并保持标准误在城市层面聚类。表6第(2)列汇报了加入控制变量的总效应^②,回归结果表明低碳城市试点政策实施使企业数字化程度显著提高。

4.3.3 Goodman-Bacon 分解

Goodman-Bacon 分解的核心是将双向固定效应估计量拆分为若干个 2×2-DID 组合,并计算出每一个 2×2-DID 对应的处理效应和权重,再对处理效应异质性问题是否严重做出判断。由于 Goodman-Bacon 检验要求平衡样本且不存在政策退出,本文根据该标准保留这部分样本,且不加入控制变量。结果如表7所示,较早被处理的个体作为较晚被处理个体的控制组时,对应的权重是 0.2244,平均处理效应为-0.0098,对最终平均处理效应造成的总影响仅为-0.0022。而 TWFE 估计量最终的平均处理效应为 0.1267,绝大部分来自以从未被处理的个体为控制组估计的系数。因此在本文设定下,处理效应异质性带来的偏误是较小的。

表 7 Goodman-Bacon 分解

组 别	系数	权重
以“从未接受处理组”为控制组	0.1804	0.6270
以“尚未接受处理组”为控制组	0.1064	0.1486
以“较早接受处理组”为控制组	-0.0098	0.2244
TWFE 估计量最终平均处理效应	0.1267	/

① 这里的退出样本不是由于试点政策的退出,而是由于企业地址的变更。

② 使用 Cengiz 等(2019)提出的堆叠回归估计量的动态效应结果同样显示在试点政策实施前,试点地区与非试点地区企业的数字化程度保持平行趋势,试点政策实施后所有系数均不显著异于零,受篇幅限制,未在正文报告。

4.3.4 安慰剂检验

进一步, 为避免基准回归结果是由不可观测的遗漏变量或偶然因素造成的, 本文在全国所有城市中随机抽取 139 个城市替换处理组城市进行安慰剂检验^①, 其余城市作为虚假的对照组城市, 可以得到实施安慰剂的低碳城市试点政策对企业数字化影响的系数估计值。将上述过程重复 1000 次, 最终得到 1000 个回归系数及对应的 p 值, 通过绘制这 1000 个系数估计值的核密度分布图, 可以发现回归系数更多落在 0 值左侧且接近正态分布。而表 4 基准回归中第 (2) 列的系数为 0.0839, 落在虚假回归系数分布的右尾位置 (95 分位数的右侧), 因此可以排除本文的基准结果是由不可观测因素导致的可能性。

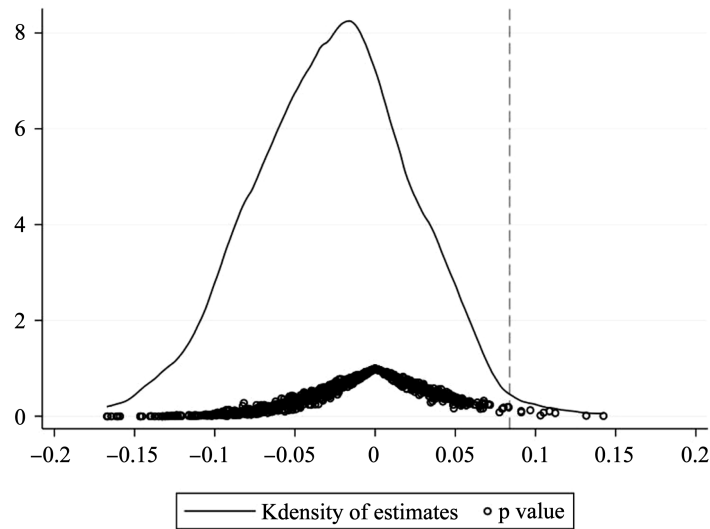


图 1 安慰剂检验

另外, 为避免试点城市选择有较强的倾向性, 而这些倾向性可能影响企业的数字化程度, 本文选取 2010 年各城市的二氧化碳排放水平、PM2.5 水平、人口、GDP 进行排序, 选择排序最靠前的 139 个城市作为虚假的处理组城市, 并重复回归, 回归结果见表 8。结果显示, 无论将二氧化碳排放水平、PM2.5 水平较高或较低的城市设为试点城市, 都无法发现低碳城市试点与企业数字化程度之间存在显著正向关联。说明本文的基准结果不太可能是由以下两种情况驱动的: (1) 环境质量较好的城市因更易达到较高的目标而被选中成为试点, 而较好的城市环境可能代表更发达的经济, 这使当地的企业更容易提升数字化水平; (2) 环境质量较差的城市因更易实现减排而进入试点, 而这些

^① 这里选择 139 个城市主要是依据三批试点中涉及的城市数量。具体抽取过程如下: 将所有城市按照随机顺序排列, 将前 85 个城市设置为第一批虚假的处理组城市, 从 2011 年开始实施政策; 将第 86~109 个城市设置为第二批虚假的处理组城市, 从 2013 年开始实施政策; 将第 110~139 个城市设置为第三批虚假的处理组城市, 从 2017 年开始实施政策; 将剩余城市作为从未进行政策试点的伪对照组。抽取结束后将以上获得的城市名单合并回企业年度面板, 并进行基准回归。

城市环境质量较差的原因可能是工业的粗放发展, 因此也拥有某些可促进企业数字化发展的特征。在使用城市人口降序与 GDP 降序排列获得的虚假试点城市构造处理组时, 结果也显示没有显著影响, 说明城市特征影响低碳城市试点政策对企业数字化促进作用的可能性也较小。

表 8 使用城市特征抽取试点城市安慰剂检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	CO ₂ 降序	PM2.5降序	CO ₂ 升序	PM2.5升序	人口降序	GDP降序
	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Treat×Post false	-0.1206* (-1.7573)	-0.1585* (-1.9086)	-0.0352 (-1.0032)	-0.1570*** (-2.9084)	-0.0659 (-0.6500)	-0.0099 (-0.1624)
截距项	是	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	42440	42440	42440	42440	42440	42440
调整 R ² 值	0.721	0.721	0.721	0.722	0.721	0.721

4.3.5 低碳城市试点选择的影响因素

为进一步探究企业所在城市是否被选为低碳城市试点的影响因素, 缓解反向因果的可能, 选取未被选为低碳试点城市的所有年份样本, 以及被选为低碳试点城市在试点前和试点当年的样本, 以是否低碳城市试点 (LowCarbon_city) 作为被解释变量, $t-1$ 期的城市平均数字化转型程度 (City_Digital) 作为解释变量, 并控制一系列城市特征, 包括人口总数的自然对数 (LnPopulation)、GDP 的增长率 (GDP growth)、第二产业生产总值占比 (GDP2%)、第三产业生产总值占比 (GDP3%)、人均二氧化碳排放量 (CO₂)。结果如表 9 所示, 不管是城市平均数字化转型程度, 还是其他控制变量的系数都不显著, 表明城市整体的数字化转型程度、经济特征和环境特征并不是城市被选为低碳试点的决定因素, 说明低碳试点城市的选择在经济特征和环境特征上没有明显的倾向性, 这也在一定程度上缓解了反向因果问题的影响。

表 9 企业所在城市是否被选为低碳城市试点的影响因素

变 量	LowCarbon_city
City_Digital	0.0128 (1.4919)

续表

变 量	LowCarbon_city
LnPopulation	-0.0428 (-0.6637)
GDP growth	-0.0038 (-0.1157)
GDP2%	-0.0119 (-0.0563)
GDP3%	0.1486 (0.5473)
CO ₂	0.0013 (0.5649)
截距项	是
控制变量	是
城市固定效应	是
年份固定效应	是
样本量	1844
调整 R ² 值	0.330

4.3.6 工具变量

参考 Hering 和 Poncet (2014), 本文使用城市平均风速作为工具变量, 以尽量缓解低碳城市试点政策对企业数字化转型的影响中可能存在的内生性问题。平均风速可以反映影响空气中污染物扩散速度的气象条件, 污染扩散速度较慢的城市更可能成为低碳城市试点的目标, 因为在排放量一样的情况下, 空气中的二氧化碳和污染气体更有可能在较长时间内保持较高水平, 但平均风速是由大范围的天气系统决定的, 主要受到地理和气候因素影响, 因此可以视为当地经济活动的外生因素, 与当地企业的数字化转型水平没有直接关联。如表 10 所示, 在第一阶段回归, 低碳城市试点与平均风速 (Wind speed) 在 1% 的水平上显著负相关, 同时第一阶段回归的 F 值为 108.509, 表明城市平均风速与低碳城市试点之间的相关性较强, 较不可能存在弱工具变量问题。在第二阶段回归, 低碳城市试点的系数在 5% 的水平上显著为正, 这表明本文在采用工具变量法缓解内生性问题后, 依然可以得到稳健的结论。

表 10 使用城市平均风速作为工具变量

变 量	(1)	(2)
	第一阶段	第二阶段
	Treat×Post	Digital
$\widehat{\text{Treat} \times \text{Post}}$		0.6491** (2.0904)
Wind speed	-0.1144*** (-10.4167)	
截距项	是	是
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	38527	38527
调整 R ² 值	0.781	-0.018
一阶段 F 值	108.509	

4.3.7 其他稳健性检验

为排除混淆因素对研究结论的干扰，本文还进行了一系列稳健性检验，主要从排除研究样本期间其他政策的干扰、替换变量定义等维度进行分析。

表 11 展示了其他稳健性检验的结果。已有文献发现智慧城市试点、“宽带中国”网络基础设施建设试点、创新型城市试点以及国家级大数据综合试验区设立等政策能够有效促进当地企业的数字化转型（赖晓冰和岳书敬，2022；白俊红等，2022；孙伟增等，2023）。智慧城市试点政策主要侧重于智能设备和智能技术的应用，基于信息技术变革带来城市治理模式跃升，以改善城市发展形态；“宽带中国”网络基础设施建设试点的主要目的为推进中国战略性公共基础设施建设；创新型城市试点政策要求试点城市在创新投入、企业创新、成果转化、高新技术产业、科技惠民、创新环境等方面进行建设；国家级大数据综合试验区设立政策旨在进行大数据制度创新、公共数据开放共享、大数据创新应用、大数据产业集聚、大数据流通、数据中心整合利用、大数据国际交流合作等方面的试验探索（孙伟增等，2023）。由于在本文的样本期间，上述政策也同时作为试点进行，为避免本文结果受其他政策的干扰，在稳健性检验中进一步分别控制智慧城市试点（Policy_1）、“宽带中国”网络基础设施建设试点（Policy_2）、创新型城市试点（Policy_3）、国家级大数据综合试验区设立（Policy_4）这四个政策，重新对式（1）进行回归。表 11 的第（1）至（5）列的结果表明，无论是分别控制其他政策试点，还是同时控制其他政策试点，Treat×Post 的系数均在 5% 的水平上显著为正，表明在控制其他可能产生影响的政策试点后，低碳城市试点政策仍然能够促进企业的数字化转型。

此外,参考袁淳等(2021),分别使用数字化转型关键词数量占年报 MD&A 部分总字数的比例(Digital%)以及企业数字化技术无形资产占年末总资产的比例(Digital intangible assets%),并从数字化技术研发角度使用企业数字经济发明专利申请量加 1 并取自然对数(Ln digital economy patent)作为企业数字化程度的替代变量。第(6)至(8)列报告了该结果,与前文一致。

总体而言,上述结果表明低碳城市试点政策对企业数字化转型的促进作用是稳健的。

表 11 其他稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital%	Digital intangible assets%	Ln digital economy patent
Treat × Post	0.0839** (2.5652)	0.0724** (2.2872)	0.0848** (2.5890)	0.0839** (2.5930)	0.0735** (2.3937)	0.0059* (1.9184)	0.0660** (2.0269)	0.0481* (1.7146)
Policy_1	0.0006 (0.0111)				0.0038 (0.0783)			
Policy_2		0.0928*** (3.6959)			0.0900*** (3.6488)			
Policy_3			0.0628 (1.3914)		0.0624 (1.5270)			
Policy_4				0.0191 (0.6851)	0.0196 (0.7351)			
截距项	是	是	是	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	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	42440	42440	42440	42440	42440	42440	32942	42440
调整 R ² 值	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.659	0.750	0.771

4.4 潜在影响机制

根据前文的理论分析,低碳城市试点政策可以通过要素再配置促进企业数字化转型。在低碳转型的目标下,受低碳城市试点政策影响的企业会主动在研发与人力资本方面加大投入,实现数字化

绿色化系统协同转型。为验证这一机制，本文使用资本化研发支出占当期净利润的比重、研究生以上学历员工占比分别代表企业在研发投入、人力资本上的表现^①。

首先，张倩倩等（2017）发现资本化研发支出可以代表研发在未来一期的价值增值能力，因此本文选择资本化研发支出占当期净利润的比重（Capitalized R&D%）来衡量企业研发。表 13 第（1）列展示了使用资本化研发支出占当期净利润的比重作为因变量的回归结果，Treat×Post 的系数在 1% 的水平上显著为正，表明低碳城市试点政策的实施有效提高了企业的研发投入。由于资本化研发投入通常最终进入存货或无形资产项目，表明产出了对企业有用的、未来将产生经济效益的成果^②，因此本文认为资本化研发投入能够有效代表企业加大研发投入的决心，低碳城市试点政策的实施能使企业加大研发投入，增强技术资本积累，为数字化转型提供资金支持。

接着，本文从企业的员工学历结构进行分析，关注在企业的所在地成为低碳城市试点后，企业员工的整体学历是否提高。本文使用研究生以上学历员工占比（Graduate employees%）作为人力资本的衡量，表 13 第（2）列展示了相应结果，Treat×Post 的系数在 10% 的水平上显著为正，表明所在地进行低碳城市试点后，企业的高学历员工占比得到提升，高素质人才的增多为企业数字化转型注入了优质的人力资本，得以与技术资本发挥更强的互补作用，为企业的数字化转型提供智力支持。

表 12

机制检验

变 量	(1)	(2)
	Capitalized R&D%	Graduate employees%
Treat × Post	2.1560 *** (2.9069)	0.0020 * (1.9085)
截距项	是	是
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	42440	41606
调整 R ² 值	0.123	0.798

① 低碳城市试点政策的推出伴随着直接财政投入、资金借贷优惠、设立园区等配套措施，以推进低碳城市建设目标的顺利达成，因此企业获得的外部资金支持也可能有利于数字化转型。但在未报告的结果中，并未发现受试点政策影响的企业获得了更多的外部资金扶持（如政府补贴），同时企业的融资约束程度也并未受到低碳城市试点政策的影响而发生显著改善。因此，低碳转型的目标下，企业更可能是通过主动提升研发投入以实现数字化转型。

② 虽然研发费用资本化有时会成为研发型企业平滑业绩的工具，但研发投入资本化的条件严格，开发阶段的支出仅在满足条件时才能资本化，且无形资产同样存在摊销，不同处理方式最终对企业损益影响不大。

4.5 异质性分析

进一步, 本文试图探究低碳城市试点政策影响企业数字化的异质性, 主要从外部监管压力、资源约束、行业特征和企业特征四个方面进行分析。

4.5.1 外部监管压力

根据波特假说, 环境规制产生的成本压力会倒逼企业进行长期规划并合理投资, 增加研发与人力资本的投入, 产生创新补偿效应, 从而提高企业在未来的生产率与竞争力 (Porter and van der Linde, 1995)。同时, 资源依赖理论认为企业在经营发展过程中由于不具备所需的全部资源, 会依赖其他重要外部组织 (Hillman et al., 2009)。企业对政府的依赖尤为突出, 低碳城市试点政策旨在通过低碳城市建设倒逼经济进行全面低碳转型, 企业配合环境治理能获得未来在融资、资源分配、政策扶持等方面的潜在好处 (张琦等, 2019)。同时, 政府还可以通过征收环境税费、进行环保补贴等方式, 将环境治理压力传导至企业, 最终实现污染减少和经济发展^①。因此, 本文预期企业为了更好地管理对外部组织的依赖, 当其面临的监管压力更大时, 低碳城市试点政策对企业数字化转型的效应会更强。

监管压力一方面来自企业自身面临的环境压力, 本文使用企业周边二氧化碳排放量和城市二氧化碳排放量来衡量企业面临的潜在碳风险, 数据来源于 Center for Global Environmental Research^②。表 13 Panel A 的第 (1) 列展示了使用企业注册地周边 1km 范围内二氧化碳排放量的自然对数 (Firm_CO₂) 进行交乘的结果, 交乘项系数在 1% 的水平上显著为正, 说明企业周边碳排放量较高时, 低碳城市试点政策对企业数字化转型程度的促进作用更大; 第 (2) 列展示了使用城市二氧化碳排放量的自然对数 (City_CO₂) 进行交乘的结果, 交乘项系数在 10% 的水平上显著为正, 说明当企业所在城市的二氧化碳排放量较高时, 低碳城市试点政策对企业数字化转型程度的促进作用更大。面对碳风险增强对企业可能产生的负面影响 (Krueger et al., 2020), 企业出于稳定市场价值的考虑, 自愿转向更高效的生产方式 (Dionne and Spaeter, 2003), 选择进行更彻底的数字化转型以实现低碳发展。

监管压力另一方面来自政府环境治理压力, 本文首先借鉴陈诗一和陈登科 (2018) 的方法, 采用地方政府工作报告中环境相关关键词词频作为地方政府环境治理压力的代理变量。省政府工作报告一般发布于年初, 主要内容是总结上一年的工作成果, 并宣布当年的目标任务和重点工作, 体现了政府计划在当年实施的治理政策。该指标一方面能够反映政府对环境问题的关注和重视程度, 另一方面能反映政府即将进行环境治理的力度, 因此能衡量企业面临的所处地区的环境监管强度和减排压力。Panel A 第 (3) 列展示了使用省级政府报告中环境相关关键词词频的自然对数 (Gov_report

^① 在未报告的结果中, 利用城市层面的数据进行分析, 发现被选为低碳城市试点后城市环境行政处罚数量显著上升, 表现出环境监管强度的提升。

^② https://db.cger.nies.go.jp/dataset/ODIAC/DL_odiacc2020b.html, 该数据截至 2021 年。

_env) 进行交乘的结果, 交乘项系数在 10% 的水平上显著为正, 说明当企业所在省的政府报告中对环境相关关键词提及次数更多时, 低碳城市试点政策对企业数字化转型程度的促进作用更大。因此, 当监管强度与减排压力都较强时, 企业所在城市施行低碳试点会使企业进行更大力度的数字化转型, 以达成能耗限制下产出相对提高的高质量发展。

其次, 本文还选取地方财政环境保护支出作为地方政府环境治理压力的代理变量, 数据来自中国环境统计年鉴。地方政府的环境保护支出不仅以设立排放目标等方式给予企业外在压力, 还可能为企业提供支持, 有助于产业结构调整、能源结构优化、建立可持续产业体系, 从而增加企业的可用资源, 使企业走上数字化发展道路。Panel A 第 (4) 列展示了使用企业所在省份地方财政环境保护支出的自然对数 (Province_env_inv) 进行交乘的结果, 交乘项系数在 1% 的水平上显著为正, 说明当企业所在省份在环境保护上的支出力度较大时, 低碳城市试点政策对企业数字化转型程度的促进作用更大。

4.5.2 资源约束

本文从企业可用资源的角度进行考察。吴非等 (2021a) 研究发现缓解融资约束后, 企业有充足的资源为数字化转型提供保障, 证明了融资约束对数字化的重要性。受以上研究启发, 本文使用企业规模、企业周边 5km 内金融机构数量衡量企业可用资源的丰富程度, 验证其是否对低碳城市试点政策与企业数字化的关系存在调节作用。具体而言, 本文使用企业规模衡量企业内部可用资源的丰富程度, 并使用企业周边金融机构数量衡量企业所面临的银行竞争水平。表 13 Panel B 第 (1) 列展示了使用企业规模进行交乘的结果, 第 (2) 列展示了使用企业 5km 内金融机构数量的自然对数 (Financial_outlets_skm) 交乘的结果, 显示当企业的可用资源越多时, 低碳城市试点对企业数字化的促进作用越大。这一结果可能的原因是, 当低碳城市试点政策施行时, 可用资源多的企业更有能力负担有关环境政策的额外成本, 从而提供更多资源用于数字化转型投入, 进而对数字化转型产生更大的促进作用。

4.5.3 行业特征

在行业特征上, 本文进一步检验了三大产业分类和不同碳密集度行业的异质性结果。根据《三次产业划分规定》对《国民经济行业分类》进行的产业划分, 本文将行业归类到三大产业, 并以第三产业为基准, 在回归中加入第一产业和第二产业虚拟变量与相应的交互项。结果如表 13 Panel C 第 (1) 列所示, 第一产业和第二产业与低碳城市试点的交互项的系数均显著为负, 表明第三产业的企业相较于一二产业在低碳城市试点后达成了更大程度的数字化转型, 原因可能在于第三产业具有轻资产特性, 主要的减排途径和数字化表现都为管理层面的优化, 通常不需要进行设备技术的替换升级, 因此进行数字化改造的成本相对较低, 更易达成数字化转型的较大提升。借鉴王锋和葛星 (2022)、徐佳和崔静波 (2020), 本文使用行业碳排放量与行业总资产的比值衡量碳排放强度 (CO_2 _intensity), 并在回归中加入碳排放强度与相应的交互项。结果如表 13 Panel C 第 (2) 列所示, 交互项的系数显著为负, 表明碳排放强度较高的行业在低碳城市试点后数字化程度提升幅度较小, 原因可能是碳排放强度较高的行业重资产设备更新成本高, 技术路径依赖强, 因此进行数字化转型的阻

力较大。

4.5.4 企业特征

在企业特征上, 本文检验了企业生命周期和要素密集度的异质性结果。参考黄宏斌等 (2016), 本文使用企业现金流净值划分企业的生命周期。表 13 Panel D 第 (1) 至 (3) 列展示了企业处在不同生命周期的异质性结果, 成熟期企业的交互项系数显著为正, 成长期和衰退期企业的交互项系数均不显著, 表明成熟期企业在低碳城市试点后的数字化程度获得了较大的提升。前文的结果显示, 当企业内在资源更充裕时, 低碳城市试点对数字化转型的促进作用也更强。而成熟期企业通常已进入平稳经营阶段, 拥有稳定现金流, 能承担数字化转型的固定成本投入, 同时已基本建立完善的管理结构和人才梯队, 拥有一定研发能力, 人才储备和技术积累能够适配数字化建设的需求, 且成熟期企业在供应链中也拥有较强的主导权, 因而转型阻力较小。相较而言, 成长期企业尽管可能数字化投入意愿较强, 但资金和人力等资源更多用于市场扩张; 衰退期企业资源有限, 数字化投入意愿也较弱。第 (4) 列展示了关于企业要素密集度的异质性结果, 本文使用固定资产净额与员工人数的比率进行企业要素密集度的划分, 若低于当年所有企业的中位数则认为该企业属于劳动密集型企业, 反之则为资本密集型企业。劳动密集型企业 (Labor_intensive) 的交互项系数显著为正, 表明劳动密集型企业相较资本密集型企业, 在低碳城市试点后数字化程度获得了更大的提升。这可能是因为劳动密集型企业原有技术门槛较低, 引入数字化设备的边际收益更大, 且替代传统劳动力的成本优势明显, 而资本密集型企业的复杂技术体系可能需要更多的高技能工人, 因而转型阻力更大。

表 13 异质性分析

Panel A 外部监管压力				
变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Digital	Digital	Digital	Digital
Treat × Post	0.0684 ** (2.1232)	0.0645 ** (2.2880)	0.0858 ** (2.5891)	0.0501 (1.4975)
Treat × Post × Firm_CO ₂	0.0401 *** (2.9923)			
Treat × Firm_CO ₂	0.0295 (0.2779)			
Firm_CO ₂	0.0127 (0.2732)			
Treat × Post × City_CO ₂		0.0323 * (1.6979)		
Treat × City_CO ₂		0.1256 (1.2461)		

续表

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Digital	Digital	Digital	Digital
City_CO ₂		-0.0976 ** (-2.2430)		
Treat × Post × Gov_report_env			0.1141 * (1.9551)	
Treat × Gov_report_env			-0.0356 (-0.6650)	
Gov_report_env			-0.0355 (-1.5880)	
Treat × Post × Province_env_inv				0.0934 *** (2.7859)
Treat × Province_env_inv				0.0660 (1.5476)
Province_env_inv				0.0728 *** (2.8442)
截距项	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	38479	38501	42440	42440
调整 R ² 值	0.713	0.713	0.722	0.722

Panel B 资源约束

变量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Post	0.0589 * (1.9272)	0.0661 * (1.9447)
Treat × Post × Size	0.0308 ** (2.3784)	
Treat × Size	0.0376 (1.2794)	
Treat × Post × Financial_outlets_5km		0.0322 ** (2.4660)

续表

变量	(1)	(2)
	Digital	Digital
Treat × Financial_outlets_5km		-0.0363 (-1.1692)
Financial_outlets_5km		0.0117 (0.9708)
截距项	是	是
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	42440	34376
调整 R ² 值	0.722	0.731

Panel C 行业特征

变 量	(1)	(2)
	Digital _{t+1}	Digital _{t+1}
Treat × Post	0.0715 ** (2.1876)	0.0712 * (1.8427)
Treat × Post × Industry_1	-0.4731 *** (-3.1640)	
Treat × Industry_1	-0.0801 (-0.2720)	
Industry_1	-0.3782 *** (-2.8386)	
Treat × Post × Industry_2	-0.2511 *** (-3.0130)	
Treat × Industry_2	0.1896 (1.1963)	
Industry_2	-0.3263 *** (-6.2884)	
Treat × Post × CO ₂ _intensity		-0.0056 *** (-2.7340)
Treat × CO ₂ _intensity		0.0048 * (1.7696)

续表

变 量	(1)	(2)
	Digital _{t+1}	Digital _{t+1}
CO ₂ _intensity		0.0027*** (2.6154)
截距项	是	是
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	42440	25832
调整 R ² 值	0.724	0.681

Panel D 企业特征

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Digital	Digital	Digital	Digital
Treat × Post	0.0829** (2.5053)	0.0838** (2.5532)	0.0830** (2.5323)	0.0842*** (2.6565)
Treat × Post × Growing	-0.0126 (-0.3846)			
Treat × Growing	-0.0086 (-0.2760)			
Growing	0.0058 (0.7774)			
Treat × Post × Mature		0.0394* (1.7565)		
Treat × Mature		-0.0193 (-0.7453)		
Mature		-0.0048 (-0.5961)		
Treat × Post × Declining			-0.0315 (-0.7019)	
Treat × Declining			0.0444 (0.9593)	
Declining			-0.0035 (-0.3001)	

续表

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Digital	Digital	Digital	Digital
Treat × Post × Labor_intensive				0.2446*** (5.5696)
Treat × Labor_intensive				-0.1966*** (-3.0756)
Labor_intensive				0.1086*** (5.6410)
截距项	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	42440	42440	42440	42440
调整 R ² 值	0.722	0.722	0.722	0.723

4.6 政策协同效应分析

此处进一步讨论低碳城市试点政策与样本期内其他可能影响企业数字化转型的政策之间是否存在协同作用。与稳健性检验部分一致，选取智慧城市试点、“宽带中国”网络基础设施建设试点、创新型城市试点以及国家级大数据综合试验区设立政策，构造这些相关政策与低碳城市试点政策的交互项并进行回归。具体而言，以智慧城市试点政策为例，Policy_1 表示如果城市当年已经实施了智慧城市试点政策则取值为 1，否则取值为 0；Policy_n1 表示如果城市当年不是智慧城市试点则取值为 1，否则取值为 0，其他政策依此类推。

实证结果见表 14，对于企业的数字化转型，智慧城市试点政策与低碳城市试点政策之间不存在显著的协同作用，而“宽带中国”网络基础设施建设试点、创新型城市试点、国家级大数据综合试验区设立政策与低碳城市试点政策之间都存在协同作用。具体来看，智慧城市试点政策与低碳城市试点政策对企业的数字化转型不存在显著的协同作用，原因可能在于智慧城市试点政策的核心目标是提升城市治理效率和民生服务质量，其技术应用主要服务于城市管理和公共服务而非企业生产经营环节，而低碳城市试点政策则聚焦节能减排等与企业生产经营直接相关的改进，二者在企业数字化层面的交集有限。“宽带中国”网络基础设施建设与国家级大数据综合试验区建设能以网络基础设施赋能低碳技术，以数据驱动减排，创新型城市试点则致力于绿色技术创新导向，这三个政策都属于在技术应用或产业升级上与低碳目标挂钩，因此与低碳城市试点政策更可能产生协同效应，共同促进企业数字化转型。

表 14 政策协同效应

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Digital	Digital	Digital	Digital
Treat×Post×Policy_1	0.0844 (1.4055)			
Treat×Post×Policy_n1	0.0837** (2.2633)			
Treat×Post×Policy_2		0.1306*** (3.1044)		
Treat×Post×Policy_n2		0.0490 (1.5743)		
Treat×Post×Policy_3			0.1251** (2.4681)	
Treat×Post×Policy_n3			0.0431 (0.8429)	
Treat×Post×Policy_4				0.1262*** (3.3541)
Treat×Post×Policy_n4				0.0818** (2.5594)
截距项	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	42440	42440	42440	42440
调整 R^2 值	0.722	0.722	0.722	0.722

总体而言，该结果表明部分地区数字化基础设施的相关试点政策能够与低碳城市试点政策产生协同效应，在相关政策的组合推动下，有助于地区的低碳经济和数字经济的相互融合，对促进区域协调发展产生深远影响。

4.7 经济后果

本文目前的结果表明，在所在地实行低碳城市试点政策后，企业的数字化程度会得到提升，但试点城市企业数字化程度的改善是否能作用于企业的长期环境表现和市场价值还未知，因此本部分

将对经济后果进行分析。

参考 Chen 等 (2022), 本文以和讯 CSR 得分的环境分项得分作为对企业环境绩效的综合评估, 引入数字化转型程度的变化量 $\Delta Digital_{i,t+1}$ 与低碳城市试点的交乘项, 构造如下模型进行回归:

$$\begin{aligned} EnvironmentalScore_{i,t+1} = & \alpha + \beta_1 Treat_i \times Post_t \times \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \beta_2 Treat_i \times \Delta Digital_{i,t+1} + \beta_3 Post_t \times \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \beta_4 Treat_i \times Post_t + \beta_5 \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \gamma Controls_{it} + FirmFE + YearFE + \varepsilon_{i,t+1} \end{aligned} \quad (3)$$

表 15 第 (1) 至 (3) 列的因变量分别为 $t+1$ 期、 $t+2$ 期、 $t+3$ 期的和讯 CSR 得分中的环境分项得分。结果显示, 当企业所在城市被选为低碳城市试点后, 如果企业的数字化程度提高, 那么和讯环境评分也会显著提高, 并且这一效应从试点后第二年开始至少持续两年, 这与低碳城市试点工作通知中说明的试点的长期持续特性相符。结合前文的分析, 本文的结果表明不仅低碳城市试点政策能显著提高企业的数字化转型程度, 同时低碳城市试点与数字化转型还能共同促进企业整体绿色绩效的改善。

本文选取托宾 Q 值作为对企业市场表现的综合评估, 同样引入数字化转型程度的变化量 $\Delta Digital_{i,t+1}$ 与低碳城市试点的交乘项, 构造如下模型进行回归:

$$\begin{aligned} TobinQ_{i,t+1} = & \alpha + \beta_1 Treat_i \times Post_t \times \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \beta_2 Treat_i \times \Delta Digital_{i,t+1} + \beta_3 Post_t \times \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \beta_4 Treat_i \times Post_t + \beta_5 \Delta Digital_{i,t+1} \\ & + \gamma Controls_{it} + FirmFE + YearFE + \varepsilon_{i,t+1} \end{aligned} \quad (4)$$

表 15 第 (4) 至 (6) 列的因变量分别为 $t+1$ 期、 $t+2$ 期、 $t+3$ 期的托宾 Q 值。结果显示, 当企业所在城市成为低碳城市试点后, 如果企业数字化程度提升, 那么托宾 Q 值也将提升, 这反映了资本市场对企业在低碳城市试点政策下的数字化建设对企业价值提升的认可。结合前文的实证结果, 低碳城市试点在促进企业数字化转型的过程中会相应提高企业的研发投入和人力资本, 这为企业在转型过程中持续进行创新活动提供了基础, 有助于改善企业业绩。同时可用资源多的企业更有能力负担有关环境政策的额外成本, 从而提供更多资源用于数字化转型, 进而对数字化转型产生更大的促进作用, 这将进一步提高优势企业在行业中的市场竞争力, 最终提升企业价值。

表 15 经济后果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Environmental Score _{t+1}	Environmental Score _{t+2}	Environmental Score _{t+3}	Tobin Q _{t+1}	Tobin Q _{t+2}	Tobin Q _{t+3}
Treat×Post× $\Delta Digital_{i,t+1}$	0.0167 (0.1402)	0.2445 *** (2.6585)	0.3563 *** (3.7632)	0.0035 (0.2027)	0.0342 * (1.8521)	0.0390 * (1.7805)
Treat× $\Delta Digital_{i,t+1}$	-0.0932 (-0.7529)	-0.1337 (-1.3475)	-0.2721 ** (-2.4589)	-0.0184 (-0.8334)	-0.0185 (-0.8300)	-0.0458 * (-1.8264)

续表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Environmental Score _{t+1}	Environmental Score _{t+2}	Environmental Score _{t+3}	Tobin Q _{t+1}	Tobin Q _{t+2}	Tobin Q _{t+3}
Treat×Post	-0.1487 (-0.4874)	0.0368 (0.1851)	0.1544 (0.9799)	0.0187 (0.5210)	0.0008 (0.0186)	-0.0181 (-0.4510)
ΔDigital _{t+1}	0.0592 (1.0027)	-0.0995* (-1.7825)	-0.0620 (-0.8830)	0.0035 (0.3007)	-0.0148 (-1.3775)	-0.0085 (-0.7674)
截距项	是	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	26673	23268	19696	39939	36780	32945
调整 R ² 值	0.444	0.420	0.376	0.607	0.607	0.620

5. 研究结论与政策启示

在“3060”目标下, 企业要进行绿色转型, 需要依赖更多技术手段, 重视数字化能力。本文基于 2007—2022 年 A 股上市公司数据, 以企业年报管理层讨论与分析部分数字化关键词词频作为衡量指标, 考察了低碳城市试点政策是否能促进企业的数字化转型, 进而推动企业转向绿色发展。结果表明, 低碳城市试点政策在一定程度上能推动企业的数字化转型, 且具有长期效应。此结果在进行处理效应异质性稳健估计、安慰剂检验、引入工具变量、排除研究样本期间其他政策的干扰、替换变量定义等一系列稳健性检验后仍然成立。政策主要通过产生创新补偿效应, 倒逼企业加大对人力资本和研发的投入以实现低碳转型目标。同时, 在企业面临较强外部监管压力、拥有较多可用资源时效应更为明显, 且与地区数字基础设施建设相关的政策试点能够和低碳城市试点发挥协同效应。另外, 对于那些在政策试点中提升了数字化水平的企业, 其整体绿色绩效与市场价值也会得到改善。

本文的研究结论为有效推进当前数字化与绿色化协同转型发展提供了如下政策启示:

第一, 以低碳城市试点政策为契机, 加快企业数字化绿色化协同转型, 以数字化赋能绿色化, 以绿色化牵引数字化。本文结果表明低碳城市试点政策对企业的数字化转型具有促进效应, 且由此产生的数字化升级能进一步作用于企业绿色绩效与市场价值, 因此企业可以借鉴这一路径实现高效低碳发展, 强化数字化思维, 加大研发资金与人才的投入, 提升企业的创新能力与数字化水平, 实现数字化绿色化的协同转型。处于不同行业与地区的企业要结合自身发展条件进行数字化建设。异质性结果表明, 低碳城市试点对第三产业企业、碳排放强度较低行业的企业、成熟期企业、劳动密

集型企业数字化转型的促进作用更明显,因此,数字化基础薄弱的企业更要利用政策积极提升数字化转型能力,补全短板。

第二,应稳步实行环境试点政策,不断强化低碳城市试点对企业数字化转型的政策赋能效应。低碳城市试点政策在开展期间取得了积极成效,为各地的绿色低碳发展积累了宝贵经验。从影响机制来看,企业主要通过增加研发资金和人力资本投入来实现数字化转型。然而,本文的异质性分析显示企业在转型过程中仍然会受到可用资源的影响,因此政府应大力支持企业进行技术、管理等方面的创新,让企业在投入资金和人才时没有后顾之忧,以此激发各类市场主体绿色低碳转型的内生动力和创新活力,实现低碳减排和高质量发展的双赢。

第三,政府应给予企业适当的关注和支持,做好政策配套措施打造有利的外部环境,以引导企业转向低碳高质量的发展道路。异质性分析表明,来自地方政府的环境监管、治理压力能与低碳城市试点对企业数字化转型的正向效应相互促进。因此,地方政府应当落实政策、完善评价体系,形成足够的政策压力,并引导营造良好的营商环境,与政策赋能效应形成合力共同促进企业数字化,使环境政策产生更充分的减碳排、促发展的效果。

◎ 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, 39 (6).
- [2] 陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展 [J]. 经济研究, 2018, 53 (2).
- [3] 代昀昊,童心楚,王砾,等.法治强化能够促进企业绿色创新吗? [J]. 金融研究, 2023 (2).
- [4] 葛力铭,郑贺允,孙鹏博,等.低碳赋能增效:低碳城市试点政策对环境福利绩效的影响 [J]. 统计研究, 2024, 41 (2).
- [5] 黄宏斌,翟淑萍,陈静楠.企业生命周期、融资方式与融资约束——基于投资者情绪调节效应的研究 [J]. 金融研究, 2016 (7).
- [6] 赖晓冰,岳书敬.智慧城市试点促进了企业数字化转型吗?——基于准自然实验的实证研究 [J]. 外国经济与管理, 2022, 44 (10).
- [7] 李俊青,高瑜,李响.环境规制与中国生产率的动态变化:基于异质性企业视角 [J]. 世界经济, 2022, 45 (1).
- [8] 廖露露,佟孟华,李慧.命令控制型环境规制与企业数字化转型——来自低碳城市试点政策的经验证据 [J]. 技术经济, 2024, 43 (10).
- [9] 刘建秋,尹广英,吴静桦.碳排放权交易政策是否促进了企业数字化转型? [J]. 经济学动态, 2024 (8).
- [10] 刘启仁,赵灿.税收政策激励与企业人力资本升级 [J]. 经济研究, 2020, 55 (4).
- [11] 刘淑春,闫津臣,张思雪,林汉川.企业管理数字化变革能提升投入产出效率吗 [J]. 管理世界, 2021, 37 (5).
- [12] 马绍雄,孙焱林.低碳转型与企业数字化——来自低碳城市试点的证据 [J]. 产业经济研究,

2024 (4).

- [13] 戚聿东, 肖旭. 数字经济时代的企业管理变革 [J]. 管理世界, 2020, 36 (6).
- [14] 申广军. “资本—技能互补”假说: 理论、验证及其应用 [J]. 经济学 (季刊), 2016, 15 (4).
- [15] 宋德勇, 朱文博, 丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新? ——基于重污染行业上市公司的考察 [J]. 财经研究, 2022, 48 (4).
- [16] 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, 35 (6).
- [17] 孙伟增, 毛宁, 兰峰, 等. 政策赋能、数字生态与企业数字化转型——基于国家大数据综合试验区的准自然实验 [J]. 中国工业经济, 2023, 40 (9).
- [18] 涂正革, 谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波特效应? [J]. 经济研究, 2015, 50 (7).
- [19] 王锋, 葛星. 低碳转型冲击就业吗——来自低碳城市试点的经验证据 [J]. 中国工业经济, 2022, 39 (5).
- [20] 吴非, 常曦, 任晓怡. 政府驱动型创新: 财政科技支出与企业数字化转型 [J]. 财政研究, 2021a (1).
- [21] 吴非, 胡慧芷, 林慧妍, 等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据 [J]. 管理世界, 2021b, 37 (7).
- [22] 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, 37 (12).
- [23] 余典范, 王超, 陈磊. 政府补助、产业链协同与企业数字化 [J]. 经济管理, 2022, 44 (5).
- [24] 袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 等. 数字化转型与企业分工: 专业化还是纵向一体化 [J]. 中国工业经济, 2021, 38 (9).
- [25] 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).
- [26] 张琦, 郑瑶, 孔东民. 地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于《环境空气质量标准 (2012)》的准自然实验 [J]. 经济研究, 2019, 54 (6).
- [27] 张倩倩, 周铭山, 董志勇. 研发支出资本化向市场传递了公司价值吗? [J]. 金融研究, 2017 (6).
- [28] 赵宸宇, 王文春, 李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率 [J]. 财贸经济, 2021, 42 (7).
- [29] 赵振智, 程振, 吕德胜. 低碳城市建设能成为企业数字化转型的新动能吗? ——来自低碳城市试点的经验证据 [J]. 商业研究, 2024, 66 (3).
- [30] 郑思齐, 万广华, 孙伟增, 等. 公众诉求与城市环境治理 [J]. 管理世界, 2013 (6).
- [31] Acemoglu, D., Akcigit, U., Hanley, D., et al. Transition to clean technology [J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124 (1).
- [32] Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hémous, D., Martin, R., et al. Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry [J]. *Journal of Political Economy*,

- 2016, 124 (1).
- [33] Bertrand, M. , Mullainathan, S. Enjoying the quiet life? Corporate governance and managerial preferences [J]. *Journal of Political Economy*, 2003, 111 (5).
- [34] Bolton, P. , Kacperczyk, M. Do investors care about carbon risk? [J]. *Journal of Financial Economics*, 2021, 142 (2).
- [35] Brown, J. , Martinsson, G. , Thomann, C. Can environmental policy encourage technical change? Emissions taxes and R&D investment in polluting firms [J]. *Review of Financial Studies*, 2022, 35 (10).
- [36] Cengiz, D. , Dube, A. , Lindner, A. , et al. The effect of minimum wages on low-wage jobs [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2019, 134 (3).
- [37] Chen, S. , Mao, H. , Sun, J. Low-carbon city construction and corporate carbon reduction performance: Evidence from a quasi-natural experiment in China [J]. *Journal of Business Ethics*, 2022 (180).
- [38] Dionne, G. , Spaeter, S. Environmental risk and extended liability: The case of green technologies [J]. *Journal of Public Economics*, 2003 (87).
- [39] Goodman-Bacon, A. Difference-in-differences with variation in treatment timing [J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225 (2).
- [40] Hering, L. , Poncet, S. Environmental policy and exports: Evidence from Chinese cities [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2014, 68 (2).
- [41] Hillman, A. , Withers, M. , Collins, B. Resource dependence theory: A review [J]. *Journal of Management*, 2009, 35 (6).
- [42] Jaffe, A. , Palmer, K. Environmental regulation and innovation: A panel data study [J]. *Review of Economics and Statistics*, 1997, 79 (4).
- [43] Krueger, P. , Sautner, Z. , Starks, L. The importance of climate risks for institutional investors [J]. *The Review of Financial Studies*, 2020, 33 (3).
- [44] Nguyen, J. , Phan, H. Carbon risk and corporate capital structure [J]. *Journal of Corporate Finance*, 2020 (64).
- [45] Porter, M. , van der Linde, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9 (4).

**Digital Transformation Under the Double Carbon Goals:
Evidence From the Low-carbon City Construction**

Tong Xinchu Peng Keke Dai Yunhao

(School of Economics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074)

Abstract: Digitalization is an important path to achieve the double carbon goal. This paper uses a quasi-

natural experiment to evaluate the impact of the low-carbon city pilot policy on the digital transformation of enterprises based on a dataset of listed companies from 2007 to 2022 using a staggered difference-in-difference method. The results show that the low-carbon city pilot policy significantly promotes the digital transformation of enterprises. The mechanism analysis shows that the establishment of the double carbon target makes enterprises to increase investment in R&D and human capital, so as to improve their digitalization level. The moderating effect analysis shows that enterprises with more external pressure and available resources are more significantly affected by the pilot low-carbon city and then upgrade their digitalization. , and policy pilots related to regional digital infrastructure development can be synergized with low-carbon city pilot policy. Enterprises that improve their digitalization level in the pilot low-carbon city can obtain better environmental performance and market value. The findings of this paper broaden the assessment of the effects of low-carbon city pilot policies and explain how low-carbon city pilots induce the digitalization of enterprises, providing useful insights for promoting high-quality development in the process of low-carbon transformation.

Key words: Low-carbon city construction; Digital transformation; High-quality development

专业主编：潘红波