

数字赋能与制造业企业绿色转型

——基于“宽带中国”示范城市政策的分析

付晨玉 杨艳琳

内容提要:加强数字基础设施建设能够夯实数字经济发展根基、筑牢企业数字化转型底座、促进信息化和工业化深度融合,是实现经济社会全面数字赋能和绿色转型的重要途径。本文在厘清数字赋能促进制造业企业绿色转型机制的基础上,基于“宽带中国”示范城市政策,利用2008—2021年中国A股制造业上市企业数据和渐进双重差分模型深入分析数字赋能对制造业企业绿色转型的影响。研究结果显示,以数字基础设施建设为支撑的数字赋能能够有效促进制造业企业绿色转型,这一影响在长江经济带地区、清洁生产型行业、非国有制造业和数字化转型水平较低的样本企业体现得更为明显。同时,数字赋能能够通过促进企业提高研发投入和加强污染治理等机制间接促进制造业企业绿色转型,数字赋能与劳动力结构的互补效应也能够提升数字赋能促进制造业企业绿色转型的效果。本文的研究不仅有助于丰富数字化和绿色化协同转型的相关文献,也能为推进数字基础设施建设、引导制造业企业优化资源配置和推动制造业高质量发展提供政策参考。

关键词:数字赋能 制造业企业 绿色转型 数字基础设施 “宽带中国”示范城市政策

中图分类号:F426

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2025)03-0094-18

一、问题提出

制造业是中国国民经济的主体,也是创新发展和绿色发展的主战场。2015年国务院发布《中国制造2025》,将“智能制造”和“绿色制造”列入五大重点工程,明确了中国制造业发展战略任务。在“双碳”目标和数字经济快速发展的时代背景下,工业和信息化部2021年11月印发的《“十四五”工业绿色发展规划》提出“深化生产制造过程的数字化应用,赋能绿色制造”。党的二十大报告提出“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”“加快发展方式绿色转型”,引导数字经济赋能制造业转型升级,走新型工业化道路。在生态环境保护和高质量发展由量变到质变的关键时期,2023年10月习近平总书记在进一步推动长江经济带高质

收稿日期:2024-04-18;修回日期:2025-01-20

基金项目:湖北省教育厅科学研究计划项目“数字赋能湖北省制造业企业绿色转型发展研究”(B2023113);湖北省教育厅哲学社会科学基金项目“异质性信息技术对制造业企业全要素生产率的影响机制研究”(21Q206);湖北经济学院新财经交叉学科研究院开放课题一般项目“数字化赋能制造业绿色转型升级:影响机制和政策效应”(JX202406)

作者简介:付晨玉 湖北经济学院新财经交叉学科研究院(数字经济学院)副教授,通信作者,武汉,430205;

杨艳琳 武汉大学经济发展研究中心/人口·资源·环境经济研究中心教授、博士生导师,武汉,430072。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

量发展座谈会上强调“协同推进降碳、减污、扩绿、增长,把产业绿色转型升级作为重中之重”,再次为制造业高质量发展指明方向。2024年8月,中共中央、国务院印发《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》,从中央层面首次对加快经济社会发展全面绿色转型进行系统部署,明确要求加快数字化绿色化协同转型发展,实现数字技术赋能绿色转型。因此,促进数字经济与实体经济深度融合、以技术创新摆脱传统高污染高耗能高排放的发展模式、加快实现制造业绿色转型既是建设现代化产业体系的重要任务,又是实现高质量发展的关键环节。

以信息网络为核心的数字基础设施是数字经济发展的主要基石,也是推进信息化和工业化深度融合的主要载体。完善信息网络布局、加快数字基础设施建设有利于赋能传统产业转型升级,能够为制造业企业数字化和绿色化发展提供有力支撑^[1]。国务院印发的《“十四五”数字经济发展规划》将“优化升级数字基础设施”作为重要任务,中共中央、国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》也将“夯实数字基础设施”作为数字中国建设基础。然而,学者尚未就数字经济对制造业绿色发展的影响形成统一结论。一方面,数据无论是生产还是消费都需要消耗电力,以数字技术为基础的数字产业本身是高耗能的产业^[2],信息技术和工业化发展会增加碳排放并减弱环境治理效果^[3],从而形成“绿色悖论”。另一方面,数字经济发展带来的生产规模扩大会进一步带动能源消费,产生“回弹效应”,从而引致碳排放增加^[4]。此外,数字基础设施的公共品属性也可能引致“搭便车”现象,容易弱化企业对数字技术的研发和应用活力;而且,数字技术过度应用可能造成“信息超载”,不利于企业创新绩效提升^[5]。那么,在网络强国、数字中国和美丽中国建设背景下,以数字基础设施建设为支撑的数字赋能是否能够以及如何能够推动制造业企业绿色转型成为亟待明确的理论和现实问题。

2013年国务院印发的《“宽带中国”战略及实施方案》提出,发展宽带网络对推进发展方式转变具有重要支撑作用。并且,该方案在“提高宽带网络应用水平”这一重点任务中明确要求“不断拓展和深化宽带在生产经营中的应用,加快企业宽带联网和基于网络的流程再造与业务创新,利用信息技术改造提升传统产业,实现网络化、智能化、集约化、绿色化发展,促进产业优化升级”。“宽带中国”战略旨在提升宽带网络发展和应用水平、促进经济转型发展,能够实现经济社会数字化发展和促进企业数字化转型提供条件,是对整个社会的全面数字赋能过程^[6-7],而且“宽带中国”示范城市的创建也为识别数字赋能促进企业绿色转型的政策效应提供了一个较好的准自然实验。因此,本文在厘清数字赋能促进制造业企业绿色转型机制的基础上,基于分期分批实施的“宽带中国”示范城市政策实践,利用2008—2021年中国A股制造业上市企业数据深入分析数字赋能对制造业企业绿色转型的影响。与已有文献相比,本文的创新点主要体现在以下方面:第一,目前直接研究数字赋能与企业绿色转型的文献较少,相关文献主要从数字化投资情况反映企业数字化水平,较少从数字化转型的政策环境和基础设施条件视角考察企业数字赋能情况;相关文献较少从企业绿色转型结果和企业绿色转型过程两方面反映企业绿色转型的动态渐变特征。本文基于企业数字化转型的基础设施条件,从“宽带中国”示范城市政策视角分析企业数字赋能水平,从效率优化和绿色创新两个方面考察企业绿色转型情况,并利用渐进双重差分模型识别数字赋能促进制造业企业绿色转型的政策效应,丰富了数字赋能与制造业企业绿色转型关系的研究。第二,相关文献主要关注企业数字化转型对企业绿色发展的直接影响和间接影响,忽略了企业数字化转型与生产要素的互补效应对企业绿色发展的影响。本文不仅从企业数字化转型对全要素生产率和绿色技术创新的作用方面探究数字赋能促进制造业企业绿色转型的直接机制,而且从企业研发投入效应、企业污染治理效应等方面分析数字赋能促进制造业企业绿色转型的间接机制,还进一步从企业数字化应用与劳动力结构的互补视角分析数字赋能促进制造业企业绿色转型的互补机制。第三,本文将产业政策和企业行为相结合,为促进制造业数字化和绿色化协同发展提

供经验证据和政策建议。

二、文献综述

在数字经济迅猛发展的背景下,数字技术成为推动高质量发展的新引擎。数字经济与实体经济的融合发展能够变革生产技术和生产方式,赋能传统产业转型发展,有望厚植高质量发展的绿色底色,实现人与自然的和谐共生。近年来学者们开始关注数字经济与绿色发展之间的关系,侧重于从企业绿色发展绩效和企业绿色创新过程等方面研究数字经济对企业绿色转型的影响^[8-10],但是尚未得出一致结论。

从企业绿色发展绩效来看,大量学者研究认为信息技术和数字技术对企业生产率提高具有显著影响。一方面,地区数字经济或信息化发展能够通过降低企业交易成本、优化资源配置和促进创新等机制提高制造业生产率^[11-12]。另一方面,制造业企业自身的数字化转型也能够通过增强技术创新能力、优化人力资本结构、提高资源配置效率、促进先进制造业与现代服务业融合发展等机制提升企业全要素生产率^[13]。但是,也有不少学者研究认为新一代信息技术或人工智能的发展与应用并未对全国或者制造业的生产率产生显著促进作用。布林约尔松等(Brynjolfsson et al., 2017)认为人工智能技术特别是机器学习尚未广泛应用和传播,使得人工智能技术对生产率的影响存在滞后性,因此“索洛悖论”仍然存在^[14]。此外,信息技术和数字经济的发展会直接替代部分低技能劳动力的就业岗位^[15-16],推动制造业就业结构向高技术化和高技能化方向调整,而要素偏向性技术进步与要素投入结构的匹配是提高全要素生产率的重要来源^[17]。一些微观企业层面的研究文献也从劳动力结构与信息技术之间的互补效应视角实现对“索洛悖论”的破解。例如,邵文波等(2018)认为企业信息化水平的提高会增加对高技能劳动力的相对需求、减少对低技能劳动力的相对需求^[18];何小钢等(2019)基于劳动力结构与信息技术的互补机制进行研究,认为高技能劳动力和承诺型雇佣劳动力能够与信息技术形成互补效应,从而促进企业生产率提高^[19]。

从企业绿色发展过程来看,相关研究大部分认为企业数字化转型有利于推动企业绿色技术创新^[20],其影响机制主要表现在三个方面:一是企业数字化转型能够拓展创新技术边界,提升资源利用效率,增强企业盈利能力,从而促进绿色技术创新^[8]。二是企业数字化转型能够通过提升企业的信息共享水平和知识整合能力促进企业绿色技术创新^[21]。三是企业数字化转型能够通过增加企业信息透明度、强化监督和缓解融资约束倒逼企业开展绿色技术创新^[20,22]。但是,也有一些文献认为数字技术发展对企业技术创新存在负面影响。一方面,数字技术发展带来的信息过载可能会降低企业创新效率。例如,韩先锋等(2014)基于2005—2011年中国工业行业面板数据研究认为,信息化与技术创新效率之间存在倒U型关系,即信息化水平的提高对技术创新效率的提升作用会产生“先提高后降低”的趋势^[23]。周青等(2020)认为数字化装备程度存在一个适度规模,数字技术过度应用会带来“信息超载”,反而不利于创新绩效提升^[5]。另一方面,数字经济还可能对传统经济造成技术冲击。例如,许恒等(2020)基于数字经济(企业)与传统经济(企业)之间的非对称竞争的博弈模型研究认为,在数字经济颠覆性创新的巨大冲击下,传统经济可能尚未完成转型就被挤出市场,从而使得数字技术冲击传统经济的负面效应超过技术溢出的正面效应^[24]。

现有文献基于信息技术、数字经济、企业数字化转型等视角深入研究了数字赋能对制造业企业生产率和企业绿色技术创新的影响,为本文提供了丰富的理论基础。然而,目前直接研究数字赋能与企业绿色转型关系的文献不多^[8],既没有得出一致结论,又未将企业绿色转型理解为动态渐变过程^[10],较少同时从转型结果和转型过程两方面系统研究数字赋能对企业绿色转型的影响。而且,现有文献主要根据企业数字化转型文本信息、企业信息化和数字化投资额、企业数字化指标体系、从国外进口数字化产品等因素测算企业数字化水平来表征数

字赋能情况,较少从企业数字化转型的政策环境和基础设施条件方面考察数字赋能情况,而不同地区企业数字化转型程度会受到地区数字化政策支持、数字经济发展水平和信息基础设施条件等因素的影响,优化数字经济政策、完善信息基础设施建设在很大程度上能够解决企业数字化转型中的“不想转、不愿转、不会转”等问题,有利于促进企业数字化转型。此外,已有较多文献研究了数字经济发展对劳动力就业的影响,但是鲜有文献研究数字赋能与劳动力结构之间的互补效应对制造业企业绿色转型的影响。

因此,本文基于企业数字化转型的基础设施条件,从“宽带中国”示范城市政策视角考察数字赋能水平,基于企业绿色转型结果和转型过程,从效率优化和绿色创新两个方面考察企业绿色转型情况,深入研究数字赋能促进制造业企业绿色转型的直接机制、间接机制和互补机制,并使用2008—2021年中国A股制造业上市企业数据实证分析数字赋能对制造业企业绿色转型的影响,从而提出以数字化绿色化协同发展促进制造业企业绿色转型的政策建议。

三、影响机制与假设提出

(一) 数字赋能促进制造业企业绿色转型的直接机制

制造业企业绿色转型是制造业生产兼顾经济效益和环境效益的发展过程,是指企业以绿色发展理念为指导,以资源集约利用和环境友好为导向,以绿色创新为核心,坚持走新型工业化道路;以信息化与工业化深度融合推动制造业生产全过程绿色化、高效化和可持续发展,最终实现经济社会高质量发展和生态环境改善的发展目标^[25]。数字经济是以现代信息网络为主要载体、数据资源为关键要素、数字技术应用为核心动力的新经济形态。加快推进数字基础设施建设,能够夯实数字经济发展根基,提升工业互联网、人工智能、企业上云等应用场景支撑能力,有利于从提高制造业企业数字化接入水平、变革企业数字化管理模式、强化企业数字化技术投入等方面解决企业因“数字底座”不牢、转型经验不足而产生的“不想转、不愿转、不会转”等问题,赋能企业数字化转型。同时,制造业企业数字化转型能进一步增强企业绿色、清洁、高效生产的能力,有利于推动企业提高生产效率和开展绿色技术创新,从而实现绿色转型。因此,以数字基础设施建设为支撑的数字赋能对制造业企业绿色转型的直接影响机制主要体现在以下方面:

第一,数字赋能有利于通过提升制造业企业接入数字化水平增强企业信息网络的连通性,为企业内部和企业之间传播共享创新技术和知识信息提供条件,从而促进企业提高绿色技术创新和高效节能生产的能力,实现绿色转型。数字基础设施是制造业企业数字化发展的根本支撑,关系着企业数字化技术应用和推广的供给质量,也影响着企业内部和企业之间网络信息的连通性^[1]。一方面,提升企业接入数字化水平能够加快企业内部信息传播和信息整合的速度,促进企业内部的技术知识扩散,激发企业技术创新活力^[26-27]。另一方面,提升企业数字化接入水平能够降低企业之间的交流成本,加强企业之间的技术交流与技术合作,有利于促进知识技术的传递和扩散,使企业获得绿色技术创新的外溢效应,从而提升企业绿色创新质量和绿色创新效率^[28]。此外,企业接入数字化还能带动地区软件和信息技术服务产业的发展,有利于促进制造业与生产性服务业集聚发展,从而通过加强中间投入共享和促进知识溢出,使企业减少污染排放、提高生产率^[29]。

第二,数字赋能有利于通过提升制造业企业管理数字化水平变革企业生产经营模式,为提高生产要素的协调性和促进供需精准对接提供条件,从而推动企业降低生产成本、提高投入产出效率,实现绿色转型。企业应用数字技术和数字化设备会引发生产组织结构和经济要素体系的新变化。一是企业管理数字化有利于推动数字技术应用于生产经营的各个环节和模块,能够优化业务流程,加强生产要素之间的协调性,从而缩短生产时间,减少中间消耗,提高生产效率^[30]。例如,通过使用企业资源计划系统(ERP),企业能够实现对资金资源、物

质资源、人力资源和信息资源的集成化和标准化管理,使业务流程自动化,从而能够降低管理成本,提高生产效率。二是企业管理数字化能够通过数据运算和信息加工实现柔性化生产,提高企业应对来自生产过程、市场需求、行业结构的内外部环境冲击和变化的调整能力,从而有利于提高投资效率和产能利用率^[31]。三是数字化管理还能够利用数字技术打通生产、运营、销售等环节,使企业能以较低的成本获取海量用户数据,精准对接用户需求,实现精细化生产,从而有利于减少产能过剩,优化资源配置,提高生产能力。

第三,数字赋能有利于通过提升制造业企业投入数字化水平,增强企业发展动力,为提高企业生产力和优化企业投入要素结构提供条件,从而促进企业提高创新效率和生产效率,实现绿色转型。随着数字技术的快速发展和广泛应用,数据成为不可或缺的生产要素,数据要素本身就具有向生产过程全面渗透的驱动力^[2],能够使生产要素实现新的组合,从而变革传统生产方式,促进技术创新。在企业投入数字化规模不断扩大的过程中,数据要素将不断累积,通过生产要素的信息化共享、集约化整合、协作化开发和高效化利用实现生产资源的优化配置,从而能够提高生产效率,减少资源浪费,推动绿色发展^[32]。而且,企业加强数字化应用有助于企业获取更多市场信息和用户数据来满足消费者需求,增加企业竞争力,从而通过数据资源红利提升产品创新绩效。

据此,本文提出假设 H1:数字赋能能够有效促进制造业企业绿色转型。

(二) 数字赋能促进制造业企业绿色转型的间接机制

数字赋能在推动制造业企业接入数字化、管理数字化和投入数字化的过程中,还能够通过促进制造业企业提高研发投入和加强污染治理等机制实现企业绿色转型。

第一,数字赋能通过提高制造业企业研发投入促进企业绿色转型。研发投入是企业信息技术投资的重要补充性资源,与企业数字化投入存在协同效应^[33]。加大企业研发投入能够增强企业识别和吸收外部技术知识的能力,有助于强化企业数字化转型成效,提高绿色创新效率,从而推动企业绿色转型。数字赋能具有降低企业生产成本、扩大企业生产规模^[10]、提高产品市场绩效^[34]等作用,能够使企业获得更多利润而强化研发投入能力。同时,数字赋能还有助于扩大企业所在地区的规模效应,推动制造业与服务业融合发展,形成多样化集聚效应^[13],从而能够加速知识技术外溢,激励企业提高研发投入,提升企业研发效率和创新能力。

第二,数字赋能通过加强制造业企业污染治理促进企业绿色转型。数字技术本身就具有环境友好性,企业数字化转型推动制造业生产过程集约化、智能化和清洁化发展,有助于促进生产工艺和生产流程的绿色转型,从而可以降低传统制造业粗放式生产带来的能源消耗和污染排放,提高能源利用效率。而且,数字化转型加速推动企业信息要素整合,使管理过程更加透明化和可视化,能够增加企业信息透明度,减少内外部信息的不对称,从而有助于发挥外部监督效应^[20,22],倒逼企业加强污染治理,提高绿色技术创新水平。此外,数字化转型带来的自身生产规模扩大效应和产业集聚规模效应^[8],也能够降低企业生产成本,提高企业经营利润,促进企业之间污染处理技术的共享与溢出,从而有利于从资金和技术方面增强企业污染治理能力,促进企业绿色技术创新水平和生产率提升。

据此,本文提出假设 H2:数字赋能能够通过促进企业提高研发投入和加强污染治理有效推动制造业企业绿色转型。

(三) 数字赋能促进制造业企业绿色转型的互补机制

要素之间能相互补充、相互赋能而产生互补效应^[35]。安东内利(Antonelli, 2016)研究认为技术进步偏向与要素禀赋的一致性程度对全要素生产率提升具有决定性作用^[36];李小平和李小克(2018)研究认为偏

向性技术进步与要素效率增长的匹配程度影响全要素生产率的变化方向和速度^[17]。由于企业数字化开发应用和绿色技术创新需要更多高技能型劳动力和高数字素养劳动力,如果企业劳动力结构能够与企业数字化水平相匹配,就能进一步促进人机协作,充分发挥数字技术的赋能作用,提高企业绿色技术创新能力和全要素生产率,从而加速实现企业绿色转型。

根据“资本-技能互补”假说,相对于非技能劳动或未受教育的“原始”劳动,“技能”劳动或“受过教育的”劳动与物质资本的互补性更强。高教育水平的劳动力具有更高的专业技能、管理能力和创新意识,能够更好地应用和改造新技术,更快地适应新生产模式。制造业企业在推动生产自动化、网络化、智能化的过程中会减少对重复性、程序性岗位的相对需求,形成数字技术和先进设备对低端劳动力的替代,增加对高学历、高技能型劳动力的需求,从而引致企业劳动力结构优化调整^[13,37]。而且,企业数字化会增加对技术研发、智能技术应用的需求,而高技能劳动力能够改善企业创新活动要素禀赋,增强企业技术学习和知识吸收能力,有利于提高研发创新效率,促进绿色技术创新行为,提升企业全要素生产率^[38]。

据此,本文提出假设 H3:数字赋能与劳动力结构的互补能够促进制造业企业绿色转型。

四、研究设计

(一) 模型设定

根据《国务院关于印发“宽带中国”战略及实施方案的通知》(国发[2013]31号)和《工业和信息化部办公厅发展改革委办公厅关于开展创建“宽带中国”示范城市(城市群)工作的通知》(工信厅联通[2014]5号),工业和信息化部、国家发展和改革委员会分别于2014年、2015年和2016年先后三次遴选了117个“宽带中国”示范城市(群),旨在提升宽带网络发展和应用水平,促进经济转型发展。基于“宽带中国”示范城市政策,为考察数字赋能对制造业企业绿色转型的影响效应,本文构建如下渐进双重差分模型进行分析:

$$GT_{it} = \alpha_1 + \beta_1 DID_{it} + X'_{it}\gamma_1 + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,被解释变量 GT_{it} 为企业 i 在第 t 年的绿色转型水平;核心解释变量 DID_{it} 表示企业 i 所在城市在第 t 年是否为“宽带中国”示范城市,以此反映企业数字赋能政策情况; X'_{it} 为一组控制变量; μ_i 为个体固定效应; η_t 为时间固定效应; ε_{it} 为随机误差项。 β_1 是双重差分估计量,从企业层面衡量了“宽带中国”示范城市政策对制造业企业绿色转型的作用,是本文重点关注的估计量。

(二) 变量选择

1. 企业绿色转型

由于中国工业绿色转型是一个渐进过程^[10],表现为通过技术创新推动绿色全要素生产率的持续改善^[39],因此,参考万攀兵等(2021)^[40]、胡洁等(2023)^[9]的研究,本文主要基于企业绿色转型过程和绿色转型结果,从绿色创新和效率优化两个方面考察企业绿色转型情况。其中,企业绿色创新($\ln OGT$)用企业 i 在 t 年获得的绿色专利总数表示,取对数形式,并在稳健性检验中将企业 i 在 t 年申请的绿色专利总数的对数形式($\ln AGT$)作为替换变量;企业效率优化用企业 i 在 t 年的全要素生产率表示。现有文献主要使用 LP 法和 OP 法计算企业全要素生产率,考虑到 LP 法使用中间品投入作为代理变量,能够解决 OP 法以投资为代理变量造成实际投资为负的样本数据损失的问题,估计结果更加精确,因此,本文使用 LP 法测算企业全要素生产率(TFP_{LP})进行实证分析,并使用 OP 法测算企业全要素生产率(TFP_{OP})进行稳健性检验。其中,参考钱雪松等(2018)^[41]、肖文和薛天航(2019)^[42]的研究的方法,以营业收入作为产出变量,以职工人数作为劳动投入变量,以固定资产净额

作为资本投入变量,以企业购建固定资产、无形资产和其他长期资产所支付的现金净额作为企业当期投资,以企业购买商品、接受劳务支付的现金作为中间投入。此外,参考鲁晓东和连玉君(2012)^[43]、肖文和薛天航(2019)^[42],在使用OP法计算企业全要素生产率时,根据企业退市日期和企业简称判断企业是否退出市场。同时,在计算过程中,本文将所有名义变量都换算成以2008年为基期的实际值。

2. “宽带中国”示范城市

这是本文的核心解释变量,主要考察企业*i*办公地所在城市在第*t*年是否为“宽带中国”示范城市。如果企业*i*所在城市获批“宽带中国”示范城市并且 $t \geq t_0$ (*t*为观测年份, t_0 为该城市获批“宽带中国”示范城市的年份),则 DID_{it} 取值为1,否则为0。

3. 控制变量

本文主要控制了影响企业绿色转型的如下变量:企业年龄($\ln Age$),用上市年限表示,取对数形式;企业规模($Size$),用员工人数表示,单位为千人;企业性质(EN),根据企业所有制性质判断,分为国有、民营、外资、国有和民营、国有和外资、民营和外资、其他等类型;企业资产负债率(DAR),用企业负债与企业资产之比表示;企业利润($\ln Itr$),用企业利润总额的对数形式表示。城市经济密度($Density$),使用每平方公里地区生产总值(GDP)的对数值表示;金融发展水平(Fin),使用金融机构存贷款余额之比表示;市场规模($Market$),使用社会消费品零售额占GDP的比重表示。

(三) 数据来源

本文主要采用2008—2021年中国A股制造业上市公司作为研究样本^①,数据来源于深圳希施玛数据科技有限公司CSMAR中国经济金融研究数据库。本文所用的“宽带中国”示范城市(群)名单来自工业和信息化部官网,并将“宽带中国”示范城市与企业所在城市进行匹配。在样本筛选过程中,剔除了同时发行B股或H股的上市公司、ST类上市公司、已退市企业和主要数据不全的上市公司,得到样本共18 263个。为避免极端值的干扰,本文对所有连续变量进行1%的双边缩尾处理。

主要变量的描述性统计结果如表1所示。

表1 主要变量的描述性统计结果

变量指标	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
绿色专利授权数	$\ln OGT$	18 263	0.726 9	1.117 8	0	5.293 3
绿色专利申请数	$\ln ACT$	18 263	0.917 1	1.280 1	0	5.656 0
全要素生产率(LP法)	TFP_{LP}	18 263	7.772 9	0.854 1	4.488 3	10.206 1
全要素生产率(OP法)	TFP_{OP}	18 263	10.101 8	1.055 9	6.204 5	13.203 3
“宽带中国”示范城市	DID	18 263	0.429 6	0.495 0	0	1
企业年龄	$\ln Age$	18 263	2.038 0	0.753 0	0	3.434 0
企业规模	$Size$	18 263	4.435 5	9.417 3	0.008 0	228.152 0
企业性质	EN	18 263	1.908 1	1.117 1	1	8
资产负债率	DAR	18 263	0.393 1	0.208 3	-0.194 7	6.684 5

① 考虑到制造业是中国国民经济的主体,也是创新发展和绿色发展的主战场,本文主要以制造业企业为样本分析数字赋能对企业绿色转型的影响。对于非制造业企业,特别是信息技术服务业、软件业等数字产业企业和传统农业企业,数字赋能对企业绿色转型的影响效应和作用机制可能存在差异,未来可进一步深入研究。

表1(续)

变量指标	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
企业利润	<i>lnlr</i>	18 263	18.806 5	1.490 9	10.504 3	25.034 4
城市经济密度	<i>Density</i>	18 251	0.002 8	0.004 7	0.000 1	0.025 7
城市金融发展水平	<i>Fin</i>	18 251	0.754 0	0.190 2	0.271 6	1.352 4
城市市场规模	<i>Market</i>	18 251	0.756 4	0.258 8	0.191 5	1.665 3

五、实证分析

(一) 基准回归结果

数字赋能对制造业企业全要素生产率影响效应的渐进双重差分模型估计结果如表2所示。从表2可知,“宽带中国”示范城市政策对制造业企业全要素生产率和绿色技术创新的回归系数均为正且通过了显著性检验,该政策使得试点城市的制造业企业生产率比非试点城市的制造业企业生产率平均提高约3.03%,使得试点城市的制造业企业绿色技术创新水平比非试点城市的制造业企业绿色技术创新水平平均提高6.53%。这一结果表明以数字信息基础设施为基石的数字赋能能够促进制造业企业绿色转型。因此,假设H1成立。

表2 基准回归估计结果

变量	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>
<i>DID</i>	0.030 3* (1.714 5)	0.065 3* (1.778 6)
<i>lnAge</i>	0.148 7*** (6.906 7)	0.207 0*** (5.027 3)
<i>Size</i>	0.006 6** (2.299 1)	0.012 0*** (5.2787)
<i>EN</i>	0.000 0 (0.001 6)	0.013 3 (0.857 7)
<i>DAR</i>	0.401 7*** (4.210 4)	0.224 0*** (3.8153)
<i>lnlr</i>	0.187 0*** (27.961 8)	-0.011 1 (-1.466 5)
<i>Density</i>	6.394 1** (2.198 4)	8.607 4* (1.686 3)
<i>Fin</i>	-0.060 2 (-1.192 9)	-0.062 0 (-0.656 6)
<i>Market</i>	-0.034 6 (-0.832 8)	0.074 7 (0.981 1)
常数项	3.806 5*** (26.790 7)	0.288 4 (1.469 1)
个体固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
样本量	17 916	17 916
\bar{R}^2	0.894 0	0.827 5

注:圆括号内的数值为*t*值,*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平,后表同。

从控制变量来看,企业年龄对企业全要素生产率和企业绿色技术创新的影响系数为正且通过了显著性检验,表明经营时间越长的制造业企业越倾向于不断推进绿色转型;企业规模对企业全要素生产率和企业绿色技术创新的影响系数为正且通过了显著性检验,反映出规模越大的企业越有动力加快企业绿色转型;企业资产负债率对企业全要素生产率和企业绿色技术创新的影响系数为正且通过了显著性检验,表明偿债能力越强的企业越有能力加快企业绿色转型;企业利润对企业全要素生产率的影响系数为正且通过了显著性检验,而对绿色技术创新的影响不显著,这反映出盈利能力越强的制造业企业越有利于促进企业生产效率提高,但是制造业企业开展绿色技术创新活动需要较高的成本、面临着较高的风险,企业利润越高并不意味着就能获得越多的绿色专利,所以企业利润水平和绿色专利授权数之间没有表现出显著

的统计关系。城市经济密度对企业全要素生产率和企业绿色技术创新的影响系数为正且通过了显著性检验,这反映出经济发展水平越高的地区越能够为促进当地企业绿色转型提供有利条件。

(二) 平行趋势检验

渐进双重差分模型的关键前提是满足平行趋势假设,即在政策实施前,示范城市和非示范城市的制造业企业全要素生产率和绿色技术创新的变化趋势应该是平行的。因此,本文参考王锋和葛星(2022)^[44]的研究构建模型(2)进行平行趋势检验。

$$GT_{it} = \alpha_2 + \sum_{t=-3}^7 \beta_2 D_{it} + X'_{it} \gamma_2 + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, D_{it} 是一组虚拟变量,若第 t 年企业 i 所在城市获批为“宽带中国”示范城市,则取值为 1,反之则为 0;其余各变量的符号含义与模型(1)相同。在此模型中,本文重点关注系数 β_2 ,该系数表示“宽带中国”示范城市政策实施的第 t 年示范城市与非示范城市企业的绿色转型成效差异。考虑到政策实施前 4 年和后 4 期的数据较少,本文将政策实施前 4 年的数据汇总到第 -4 期,将政策实施后 4 期的数据汇总到第 4 期,并将政策实施当期视为基期。

平行趋势检验结果如图 1 所示,图中的实心点为模型(2)的估计系数 β_2 ,短竖线为聚类到企业层面稳健标准误对应的 90% 上下置信区间。从图 1 可知,“宽带中国”示范城市政策实施前各期的系数估计值均不显著,说明示范城市和非示范城市在政策实施前并没有显著差异;政策实施后,示范城市的企业全要素生产率和企业绿色技术创新水平显著高于非示范城市企业,表明研究样本通过了平行趋势检验。

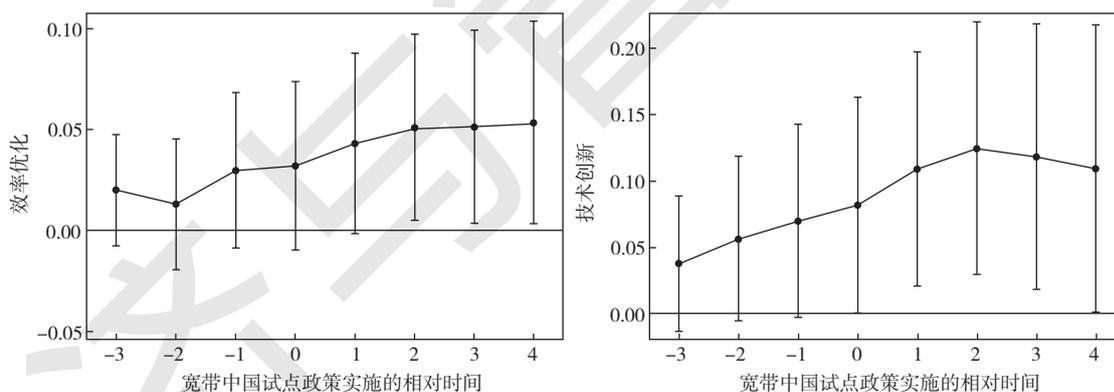


图 1 平行趋势检验结果

注:左图以企业效率优化表示绿色转型,右图以企业绿色技术创新表示绿色转型。

(三) 稳健性检验

为了保证基准回归模型估计结果的稳健性,本文分别采用安慰剂检验、替换模型变量、排除其他政策干扰、倾向得分匹配-双重差分(PSM-DID)等方式进行稳健性分析。限于篇幅,本文简要报告稳健性检验结果。

1. 安慰剂检验

为检验“宽带中国”示范城市政策对制造业企业绿色转型的影响不是由其他随机因素导致的,本文采用安慰剂检验方法对“宽带中国”示范城市政策效应的偶然性加以识别。参考胡洁等(2023)^[9]的做法,根据模型(1)中 DID_{it} 变量的分布情况,本文随机抽样 500 次构建“伪政策虚拟变量”,并重新对模型(1)进行估计,

检验其分别对制造业企业全要素生产率和绿色技术创新的影响系数和 P 值分布。结果显示,“伪政策虚拟变量”对制造业企业全要素生产率和企业绿色技术创新的估计系数落在 0 值附近并呈正态分布,绝大多数 P 值大于 0.1,表明回归结果在 10%的水平下不显著。而且,模型(1)的回归系数估计值位于虚假回归系数分布的高尾位置,表明其在安慰剂检验中属于小概率事件。由此可得,本文基准回归估计结果不是由其他随机因素导致的,具有稳健性。

2. 替换模型变量

为进一步检验基准回归模型(1)估计结论的稳健性,本文还将被解释变量分别替换为使用 OP 法测算的全要素生产率和制造业企业绿色专利申请数。回归结果显示,替换变量之后,“宽带中国”示范城市政策对制造业企业全要素生产率和企业绿色技术创新的影响系数均为正且通过了显著性检验,表明“宽带中国”示范城市政策能够推动制造业企业绿色转型,说明基准回归模型具有稳健性。同时,替换变量之后各控制变量的回归系数符号和显著性均与基准回归模型保持一致,进一步说明以加强数字基础设施提升数字赋能能级确实可以促进制造业企业绿色转型,再次验证假设 H1 成立。

3. 排除其他政策干扰

本文研究样本期间为 2008—2021 年,时间跨度较长,在此时间内国家还颁布了其他政策,可能会影响制造业企业绿色转型,忽略这些政策的影响容易使基准回归模型估计结果有偏。通过梳理相关研究发现,已有较多文献验证了低碳城市试点政策和“智慧城市”试点政策能够有效推动试点地区企业绿色创新,部分文献指出碳排放权交易试点政策能够显著促进工业低碳转型^[45]。而且,低碳城市试点于 2010 年、2012 年和 2017 年分批实施,“智慧城市”试点于 2012 年、2013 年和 2015 年分批实施,碳排放权交易试点政策于 2013 年、2014 年和 2016 年分批实施,这些时间均和“宽带中国”示范城市政策实施时间有部分重合。因此,为了排除以上政策的干扰,本文还在基准回归模型中加入这些政策的虚拟变量,回归结果如表 3 所示。其中, $DTCT_{it}$ 表示第 t 年企业 i 所在城市是否为低碳城市试点,如果是则取 1,否则取 0; $ZHCT_{it}$ 表示第 t 年企业 i 所在城市是否为“智慧城市”试点,如果是则取 1,否则取 0。 $CETM_{it}$ 表示第 t 年企业 i 所在地区是否为碳排放权交易试点,如果是则取 1,否则取 0。可以看出,在控制了低碳城市试点政策、“智慧城市”试点政策和碳排放权交易试点政策后,估计结果和基准回归结果保持一致,再次表明“宽带中国”示范城市政策能够为制造业企业数字赋能提供支撑,数字赋能可以有效促进制造业企业绿色转型。

表 3 排除其他政策干扰的估计结果

变量	TFP_LP				lnOCT			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>DID</i>	0.030 9*	0.030 3*	0.030 5*	0.030 8*	0.066 0*	0.065 4*	0.064 5*	0.065 0*
	(1.744 8)	(1.715 9)	(1.715 0)	(1.733 1)	(1.795 1)	(1.782 2)	(1.751 3)	(1.762 9)
<i>DTCT</i>	-0.010 2			-0.010 3	-0.012 2			-0.014 3
	(-0.638 6)			(-0.636 6)	(-0.380 4)			(-0.434 7)
<i>ZHCT</i>		0.002 8		0.002 5		0.025 5		0.025 9
		(0.130 3)		(0.115 1)		(0.546 4)		(0.555 1)
<i>CETM</i>			-0.001 8	0.000 9			0.009 0	0.013 9
			(-0.121 7)	(0.057 0)			(0.433 9)	(0.652 8)

表3(续)

变量	TFP_LP				lnOGT			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
控制变量	控制							
个体固定效应	控制							
时间固定效应	控制							
样本量	17 916	17 916	17 916	17 916	17 916	17 916	17 916	17 916
$\overline{R^2}$	0.894 0	0.894 0	0.894 0	0.894 0	0.827 5	0.827 5	0.827 5	0.827 5

4. 利用 PSM-DID 修正样本选择性偏误

不同地区企业发展水平的差异,可能导致基准回归模型结果存在样本选择偏误带来的内生性问题。因此,本文使用 PSM-DID 进行稳健性检验。分别使用近邻匹配法和核匹配法后,“宽带中国”示范城市政策对企业全要素生产率和绿色技术创新的系数估计值均在 1%的水平下通过了显著性检验,进一步表明以“宽带中国”示范城市政策表征的数字赋能能够促进制造业企业绿色转型。

六、机制分析

(一) 企业技术研发机制

根据前文的理论分析,“宽带中国”示范城市政策有助于推动数字技术发展、提高制造业企业数字化基础能力,能够激励制造业企业加强技术研发和改进生产技术,进而优化生产效率和促进绿色技术创新,从而推动企业绿色转型。因此,本文使用制造业企业研发投入金额表示企业研发投入水平 RD_{it} , 并取对数形式,来检验企业技术研发机制在数字赋能对制造业企业绿色转型中的影响效应。估计结果如表 4 列(1)所示。

从表 4 可以看出,“宽带中国”示范城市政策对制造业企业研发投入的影响系数为 0.064 9,并在 10%的水平下通过了显著性检验,表明该政策使得试点城市的制造业企业研发投入比非试点城市的制造业企业研发投入平均提高约 6.49%,说明“宽带中国”示范城市政策激励下的数字赋能能够促进制造业企业增加研发投入。因此,制造业企业技术研发是“宽带中国”示范城市政策影响企业绿色转型的传导机制,表明以数字基础设施建设为支撑的数字赋能能够通过促进企业提高研发投入推动制造业企业绿色转型,假设 H2 成立。由此可得,应充分发挥企业技术研发的政策效应,增强企业开展技术研发的内生动力,不断推动制造业企业绿色转型。

(二) 企业污染治理机制

根据前文的理论分析,“宽带中国”示范城市政策有助于推动数字技术发展、提高制造业企业数字化基础能力,能够倒逼企业改善生产方式、提高能源利用效率和加强污染排放监测,进而加强污染治理和减少污染排放,从而推动制造业企业绿色转型。基于此,本文进一步使用制造业企业污染治理水平作为机制变量进行检验。考虑到企业根据清洁生产标准投资环保设备会加速企业资本更新,而折旧率可以作为企业资本更新的代理变量^[40],因此,本文使用制造业企业固定资产折旧额作为污染治理水平的代理变量 ZL,并取对数形式进行检验。估计结果如表 4 列(2)所示。

从表 4 可以看出,“宽带中国”示范城市政策对制造业企业污染治理的影响系数为 0.051 4,并在 10%的水平上通过了显著性检验,表明该政策使得试点城市的企业污染治理投资比非试点城市的企业污染治理投资平均提高约 5.14%,说明“宽带中国”示范城市政策激励下的数字赋能能够促进制造业企业加强污染治

理。因此,制造业企业污染治理是“宽带中国”示范城市政策影响企业绿色转型的传导机制,表明以数字基础设施建设为支撑的数字赋能能够通过促进企业加强污染治理有效推动制造业企业绿色转型,假设 H2 成立。由此可得,应充分发挥企业污染治理的政策效应,激励企业增加环境保护和节能减排设备投资,减少污染排放和提高资源利用效率,不断推动制造业企业绿色转型。

(三) 企业劳动力结构机制

根据前文的理论分析,“宽带中国”示范城市政策有助于增强数字赋能能级、提高制造业企业数字化基础能力,而信息化投资与高技能劳动力之间存在互补效应^[19],制造业企业内部高技能劳动力比例的提升有利于增强企业的技术吸收能力、自主创新能力,提高创新活动资源配置效率,能够更好地发挥技术进步作用,促进企业全要素生产率提高^[38],从而提升企业绿色转型成效。因此,本文在模型(1)的基础上加入试点政策与劳动力结构的交互项,进一步检验企业劳动力结构与“宽带中国”示范城市政策的互补机制在数字赋能对制造业企业绿色转型影响中的效应。其中, LS_{it} 是企业 i 在 t 年的劳动力结构,参考何小钢等(2019)^[19]、孙伟增和郭冬梅(2021)^[37]的研究,主要用劳动力教育结构进行分析。即根据劳动力受教育情况,将大学本科及以上学历劳动力认定为高教育水平劳动力,将高中及以下学历劳动力认定为中低教育水平劳动力,从而使用高教育水平劳动力占比表示高技能劳动力结构。估计结果如表 4 列(3)和列(4)所示。

可以看出,“宽带中国”示范城市政策与劳动力结构的交互项对制造业企业全要素生产率的影响系数为 0.117 3,并在 5%的水平下通过了显著性检验,表明该政策能够与劳动力结构形成互补效应,使得高等教育劳动力占比较大的企业全要素生产率的数字赋能政策效应更强。同时,“宽带中国”示范城市政策与劳动力结构的交互项对制造业企业绿色技术创新的影响系数为 0.366 9,并在 1%的水平下通过了显著性检验,表明该政策能够与劳动力结构形成互补效应,使得高等教育劳动力占比较大的制造业企业绿色技术创新的数字赋能政策效应更强。因此,企业劳动力结构与数字赋能的互补性也是影响制造业企业绿色转型的重要因素,并能够调节数字赋能政策的影响成效,表明假设 H3 也成立。由此可得,制造业企业可以通过优化劳动力结构,引入更多高教育型和高技术型人才,助力数字赋能促进企业绿色转型发展。

表 4 机制检验回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DID</i>	0.064 9*	0.051 4*	0.019 5	0.053 4
	(1.823 0)	(1.770 9)	(1.105 5)	(1.459 0)
<i>LS</i>			0.197 1***	-0.024 1
			(3.562 4)	(-0.331 4)
<i>DID</i> × <i>LS</i>			0.117 3**	0.366 9***
			(2.109 2)	(3.114 5)
控制变量	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	14 018	17 880	17 573	17 573
$\overline{R^2}$	0.842 8	0.900 0	0.896 4	0.830 2

注:列(1)的被解释变量为 $\ln RD$,列(2)的被解释变量为 $\ln ZL$,列(3)的被解释变量为 TFP ,列(4)的被解释变量为 $\ln OGT$ 。

七、异质性分析

(一) 地区异质性

考虑到长江经济带是生态优先绿色发展的主战场,推动长江经济带地区的制造业企业绿色转型是实现经济高质量发展的重要内容,因此,本文根据制造业企业所在地区将样本企业划分为长江经济带地区和非长江经济带地区两类并进行分组分析,估计结果如表5所示。在企业效率优化方面,长江经济带地区和非长江经济带地区“宽带中国”示范城市政策对制造业企业全要素生产率的影响系数均为正,但不显著。这反映出“宽带中国”示范城市政策对长江经济带地区制造业企业与非长江经济带地区制造业企业的影响没有显著差异。但是,影响系数在非长江经济带区域更高,而且非长江经济带地区“宽带中国”示范城市政策试点和企业全要素生产率这两个指标的均值均大于长江经济带地区,反映出长江经济带地区需要进一步加大数字基础设施建设力度,不断提高制造业企业在全国经济发展中的引领作用。在企业绿色创新方面,长江经济带地区“宽带中国”示范城市政策对制造业企业绿色技术创新的影响系数为正且通过了显著性检验,而这一影响在非长江经济带地区不显著,这反映出数字赋能是推动长江经济带地区企业绿色创新发展的有效途径,有利于加快推动长江经济带建设成为创新驱动带。

(二) 行业异质性

考虑到不同要素密集型企业可能在生产模式、技术创新能力、环境影响等方面存在差异,因此,本文参考沈能(2012)^[46]的行业分类,将样本企业按照所在行业的污染排放强度将其划分为污染密集型行业和清洁生产型行业,并分别考察了不同行业类型制造业企业的绿色转型政策效应差异,结果如表5所示。从检验结果可以看出,污染密集型行业和清洁生产型行业企业的绿色转型政策效应存在显著差异,“宽带中国”示范城市政策能够提高清洁生产型行业的企业全要素生产率和企业绿色技术创新水平,但是对污染密集型行业的影响不显著。这可能是因为污染密集型行业主要是资源密集型行业,这类行业的企业主要布局在矿产资源丰富的地区,地质条件较为复杂,数字基础设施建设水平相对较低;而且,污染密集型行业企业面临更大的减排成本,可能会影响企业技术创新和生产率提高。因此,要重点推进污染密集型行业企业数字化转型,加快促进污染密集型行业企业绿色转型。

表5 地区和行业异质性分析回归结果

变量	长江经济带区域		非长江经济带区域		污染密集型行业		清洁生产型行业	
	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>
<i>DID</i>	0.023 6 (1.045 8)	0.128 6*** (2.589 9)	0.031 4 (1.120 7)	-0.019 6 (-0.355 7)	-0.005 7 (-0.206 3)	-0.017 2 (-0.299 5)	0.051 5** (2.485 3)	0.106 7** (2.223 5)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	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	控制	控制
样本量	8 873	8 873	9 017	9 017	6 599	6 599	11 290	11 290
$\overline{R^2}$	0.907 3	0.825 5	0.890 3	0.833 9	0.902 2	0.797 8	0.901 5	0.841 2

(三) 企业性质异质性

考虑到不同所有制企业在生产能力和管理体系等方面存在差异,可能会影响制造业企业绿色转型成

效,因此,本文根据企业所有制性质,将样本企业分成国有企业和非国有企业两类,并分别考察了不同所有制企业的绿色转型政策效应差异,结果如表6所示。从检验结果可知,“宽带中国”示范城市政策对国有企业和非国有企业的全要素生产率影响系数均为正,但是不显著,表明企业生产率政策效应在国有企业和非国有企业之间没有显著差异。“宽带中国”示范城市政策对国有企业和非国有企业的绿色技术创新影响系数为正,对非国有企业的影响在1%的显著水平上显著,表明非国有企业的绿色创新政策效应更强。这可能是因为部分国有制造业企业的管理体系较难快速适应数字化转型中的扁平化和柔性化管理需求,企业创新活力相对较弱,而非国有制造业企业具有更强的绿色技术创新内生动力。而且,国有制造业企业体量较大,受外部政策环境的影响相对较弱,使得“宽带中国”示范城市政策的影响被削弱。相比之下,非国有制造业企业数字基础薄弱,为增强市场竞争力具有更强的绿色转型意愿,因此,“宽带中国”示范城市政策的实施能够强化非国有制造业企业绿色转型条件^[1]。因此,应进一步加快国有制造业企业的数字化转型,引导企业加强绿色技术创新,优化生产经营模式,不断提高企业生产率和绿色转型发展成效。

(四) 企业特征异质性

考虑到不同企业数字化转型能力和水平存在差异,可能会影响“宽带中国”示范城市政策下数字基础设施建设的数字赋能效果。因此,本文结合CSMAR发布的《中国上市公司数字化转型研究数据库》,使用文本分析法统计企业数字化转型相关的词频数据,用来表示企业数字化转型程度。并且,根据各行业企业数字化转型程度的中位数将样本企业分为数字化转型水平较高和数字化转型水平较低两组,进一步考察了它们的绿色转型政策效应差异,结果如表6所示。从检验结果可知,一方面,相较于数字化转型水平更高的企业,“宽带中国”示范城市政策更有利于数字化转型水平较低的企业实现全要素生产率提升。原因可能在于,数字化转型水平较高的企业一般具有较强的数字化基础、先进的数字技术水平和较高的管理效能,它们数字化绿色化协同转型的动力主要来自企业内在发展要求,对政策环境的敏感性相对较低^[1];而数字化转型水平较低的企业更需要“宽带中国”示范城市政策提供的数字基础设施支撑,来解决它们面临的“不想转、不愿转、不会转”等问题。另一方面,“宽带中国”示范城市政策对数字化转型水平较高和较低企业的绿色创新影响系数均为正,但不显著,表明两类企业的绿色创新政策效应没有显著差异。因此,制造业企业应在数字化转型的基础上进一步加强绿色技术研发和应用,加快实现数字化绿色化协同转型发展。

表6 企业异质性分析回归结果

变量	国有企业		非国有企业		企业数字化转型水平较高		企业数字化转型水平较低	
	TFP_LP	lnOGT	TFP_LP	lnOGT	TFP_LP	lnOGT	TFP_LP	lnOGT
<i>DID</i>	0.0389	0.0069	0.0145	0.1128***	-0.0104	0.0238	0.0717***	0.0322
	(1.1840)	(0.0939)	(0.7338)	(2.9036)	(-0.5143)	(0.5145)	(3.1204)	(0.9107)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	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	控制	控制
样本量	5476	5476	12394	12394	7664	7664	7689	7689

表6(续)

变量	国有企业		非国有企业		企业数字化转型水平较高		企业数字化转型水平较低	
	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>lnOGT</i>
\bar{R}^2	0.893 4	0.829 1	0.896 2	0.834 6	0.926 3	0.895 7	0.896 9	0.876 5

八、研究结论与政策建议

本文从直接效应、间接效应和互补效应三个方面探索数字赋能对制造业企业绿色转型的影响机制,并基于“宽带中国”示范城市政策,利用2008—2021年中国A股制造业上市企业数据和渐进双重差分模型系统分析数字赋能对制造业企业绿色转型的影响。研究发现,“宽带中国”示范城市政策对制造业企业全要素生产率和绿色技术创新均具有正向影响,即以数字基础设施建设为支撑的数字赋能能够有效促进制造业企业绿色转型。同时,数字赋能能够通过促进企业提高研发投入和加强污染治理等机制间接促进制造业企业绿色转型,数字赋能与劳动力结构的互补效应也能够提升数字赋能促进制造业企业绿色转型的效果。此外,从影响的异质性角度来看,“宽带中国”示范城市政策对长江经济带地区制造业企业和非国有制造业企业的绿色技术创新具有更明显的数字赋能作用,对数字化转型水平较低企业的全要素生产率具有更强的数字赋能效果;相较于污染密集型行业,“宽带中国”示范城市政策能够更明显地促进清洁生产型行业企业进行绿色化转型。

为加快网络强国、数字中国和美丽中国建设,实现制造业企业数字化和绿色化协同发展,本文提出如下政策建议:

一是加快数字基础设施建设,增强数字赋能能力。作为数字经济发展的基石,数字基础设施是推动企业数字化的根本支撑,决定着数字赋能供给质量。要夯实信息网络基础设施底座,提升数字基础设施规模能级,在长江经济带沿线地区建设以千兆光网、新型城域网、5G承载网等为代表的网络基础设施和以云资源池、边缘云节点、内容分发网络等为代表的云应用基础设施,加快推动企业数字化转型。完善构建“一张网、全互联、超高速、强赋能”的信息基础设施体系,加快推进制造业生产设备网络化改造,提高制造业企业网络互联能力。同时,要强化算力基础设施硬支撑,加快研发基于云和高带宽的各类应用产品,丰富工业互联网应用类型和场景。加快探索建设大数据中心,鼓励企业和政府机构建设数字云平台,不断提升工业互联网对实体经济的支撑服务能力。

二是加速实施两化融合,推动制造业企业数字化转型。积极引导、指导制造业企业开展技术改造,推动制造业企业“生产换线”“机器换人”“设备换芯”是加快推进传统产业数字化、智能化改造升级的重要途径,能够有效增强制造业生产活力、扩大生产规模、提高生产质量。因此,应支持制造业企业加大数字化技术投入,特别是推动污染密集型的传统产业实现由设备数字化更新向生产、管理、销售全流程数字化改造转型。要促进数字经济与实体经济深度融合,加快制造业企业“上云用数赋智”,推动大数据、云计算、人工智能等新技术在制造业企业的广泛应用,打造一批“数字生产线”“数字车间”“数字工厂”等示范企业,推动产业链数字化协同转型。

三是加快发展新质生产力,提高制造业企业研发投入强度。技术创新是引领制造业高质量发展的第一动力,应坚持创新驱动发展战略,加大对制造业企业绿色技术创新的支持和保护力度。通过技术中心、创新

联盟、联合实验室等模式,加强技术攻关和产学研合作力度,打通重点科研成果转化的路径,促进企业间开展绿色技术创新交流合作。加大对污染型企业绿色技术创新的政策扶持力度,采取税收优惠、财政补贴、绿色金融等多元化激励措施,引导制造业企业加快研发低碳、节能、资源高效利用等方面的绿色技术,持续提升清洁生产、清洁能源、资源循环利用等领域的绿色技术水平。

四是构建绿色发展体系,强化制造业企业环境污染治理。提升制造业企业污染治理水平是影响数字赋能促进制造业企业绿色转型的关键因素,应持续完善环境污染监控机制,强化制造业企业的污染治理主体责任,加强工业污染源头治理。一方面,要严格实施落后产能淘汰制度,坚决遏制高污染、高耗能、高排放项目盲目发展,推动低效环保治理设施改造升级。另一方面,要加强对污染密集型行业企业污染治理的指导和帮扶,加快实施钢铁、化工、有色、造纸等重点行业数字化绿色化改造,引导企业加大污染治理投资,推动实施清洁生产改造,加快绿色环保生产技术的应用和推广。

五是加强高技能人才队伍建设,优化制造业企业劳动力结构。高教育水平的劳动力具有更高的专业水平、管理能力和创新意识,能够更好地应用和改造新技术、更快地适应数字化生产模式。应大力实施人才强国和科技强国战略,支持建设一批数字经济创业载体、创业学院,深度融合创新、产业、人才等资源链条,促进数字人才在信息技术、智能制造等领域创新创业,加快培育高技能创新人才。同时,还要引导制造业企业在数字化转型过程中不断优化劳动力结构、完善人才引进政策、组织开展人才数字技能培训,支持企业引进和培养数字化绿色化发展领域的高素质专业人才,加强制造业企业数字化和绿色化协同转型的智力支撑。

参考文献:

- [1]王海,闫卓毓,郭冠宇,等. 数字基础设施政策与企业数字化转型:“赋能”还是“负能”? [J]. 数量经济技术经济研究,2023,40(5):5-23.
- [2]史丹. 数字经济条件下产业发展趋势的演变[J]. 中国工业经济,2022(11):26-42.
- [3]LIU W L, KHAN H, KHAN I, et al. The impact of information and communication technology, financial development, and energy consumption on carbon dioxide emission: evidence from the Belt and Road countries[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(19): 27703-27718.
- [4]LI K, LIN B Q. How to promote energy efficiency through technological progress in China? [J]. Energy, 2018, 143: 812-821.
- [5]周青,王燕灵,杨伟. 数字化水平对创新绩效影响的实证研究——基于浙江省73个县(区、市)的面板数据[J]. 科研管理,2020,41(7):120-129.
- [6]郭劲光,王虹力. 数字赋能下减排战略的创新性选择——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 产业经济研究,2022(4):101-113.
- [7]向仙虹,张瀚月,杨国歌. 数字基础设施建设对包容性低碳发展的影响——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 首都经济贸易大学学报,2024,26(4):3-20.
- [8]戴翔,杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济,2022(9):83-101.
- [9]胡洁,于宪荣,韩一鸣. ESG评级能否促进企业绿色转型? ——基于多时点双重差分法的验证[J]. 数量经济技术经济研究,2023,40(7):90-111.
- [10]李金昌,连港慧,徐嵩婷. “双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究,2023,40(9):27-49.
- [11]黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济,2019(8):5-23.
- [12]杜传忠,刘书彤. 数字经济赋能中国制造业全要素生产率的效应测度及路径分析[J]. 经济与管理研究,2023,44(9):43-65.
- [13]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):114-129.
- [14]BRYNJOLFSSON E, ROCK D, SYVERSON C. Artificial intelligence and the modern productivity paradox: a clash of expectations and statistics [Z]. NBER Working Paper No. 24001, 2017.
- [15]ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.

- [16] 王林辉,胡晟明,董直庆. 人工智能技术、任务属性与职业可替代风险:来自微观层面的经验证据[J]. 管理世界,2022,38(7):60-79.
- [17] 李小平,李小克. 偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长[J]. 经济研究,2018,53(10):82-96.
- [18] 邵文波,匡霞,林文轩. 信息化与高技能劳动力相对需求——基于中国微观企业层面的经验研究[J]. 经济评论,2018(2):15-29.
- [19] 何小钢,梁权熙,王善骞. 信息技术、劳动力结构与企业生产率——破解“信息技术生产率悖论”之谜[J]. 管理世界,2019,35(9):65-80.
- [20] 刘畅,潘慧峰,李珮,等. 数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响和机制研究[J]. 中国软科学,2023(4):121-129.
- [21] 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):34-48.
- [22] 靳毓,文雯,何茵. 数字化转型对企业绿色创新的影响——基于中国制造业上市公司的经验证据[J]. 财贸研究,2022,33(7):69-83.
- [23] 韩先锋,惠宁,宋文飞. 信息化能提高中国工业部门技术创新效率吗[J]. 中国工业经济,2014(12):70-82.
- [24] 许恒,张一林,曹雨佳. 数字经济、技术溢出与动态竞合政策[J]. 管理世界,2020,36(11):63-84.
- [25] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 中国工业绿色转型研究[J]. 中国工业经济,2011(4):5-14.
- [26] CZERNICH N, FALCK O, KRETSCHMER T, et al. Broadband infrastructure and economic growth[J]. The Economic Journal, 2011, 121(552): 505-532.
- [27] 薛成,孟庆玺,何贤杰. 网络基础设施建设与企业技术知识扩散——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 财经研究,2020,46(4):48-62.
- [28] 沈坤荣,林剑威,傅元海. 网络基础设施建设、信息可得性与企业创新边界[J]. 中国工业经济,2023(1):57-75.
- [29] 苏丹妮,盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据[J]. 经济学(季刊),2021,21(5):1793-1816.
- [30] 刘淑春,闫津臣,张思雪,等. 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):170-190.
- [31] 王永进,匡霞,邵文波. 信息化、企业柔性 with 产能利用率[J]. 世界经济,2017,40(1):67-90.
- [32] 许宪春,任雪,常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济,2019(4):5-22.
- [33] 王宇,王铁男,易希薇. R&D投入对IT投资的协同效应研究——基于一个内部组织特征的情境视角[J]. 管理世界,2020,36(7):77-89.
- [34] RICCI F, SCAFARTO V, FERRI S, et al. Value relevance of digitalization: the moderating role of corporate sustainability. An empirical study of Italian listed companies[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 276: 123282.
- [35] BRYNJOLFSSON E, MILGROM P. Complementarity in organizations [M]//GIBBONS R, ROBERTS J. The handbook of organizational economics. Princeton: Princeton University Press, 2013: 11-55.
- [36] ANTONELLI C. Technological congruence and the economic complexity of technological change[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2016, 38: 15-24.
- [37] 孙伟增,郭冬梅. 信息基础设施建设对企业劳动力需求的影响:需求规模、结构变化及影响路径[J]. 中国工业经济,2021(11):78-96.
- [38] 诸竹君,袁逸铭,焦嘉嘉. 工业自动化与制造业创新行为[J]. 中国工业经济,2022(7):84-102.
- [39] 陈诗一. 中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究,2010,45(11):21-34.
- [40] 万攀兵,杨冕,陈林. 环境技术标准何以影响中国制造业绿色转型——基于技术改造的视角[J]. 中国工业经济,2021(9):118-136.
- [41] 钱雪松,康瑾,唐英伦,等. 产业政策、资本配置效率与企业全要素生产率——基于中国2009年十大产业振兴规划自然实验的经验研究[J]. 中国工业经济,2018(8):42-59.
- [42] 肖文,薛天航. 劳动力成本上升、融资约束与企业全要素生产率变动[J]. 世界经济,2019,42(1):76-94.
- [43] 鲁晓东,连玉君. 中国工业企业全要素生产率估计:1999—2007[J]. 经济学(季刊),2012,11(2):541-558.
- [44] 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(5):81-99.
- [45] 王文举,钱新新. 试点碳排放权交易市场对中国工业低碳转型的作用机制研究[J]. 经济与管理研究,2024,45(1):16-34.
- [46] 沈能. 环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验[J]. 中国工业经济,2012(3):56-68.

Digital Empowerment and Green Transformation of Manufacturing Enterprises

—Evidence from “Broadband China” Demonstration City Policy

FU Chenyu¹, YANG Yanlin²

(1. Hubei University of Economics, Wuhan 430205;

2. Wuhan University, Wuhan 430072)

Abstract: Improving the layout of information networks and accelerating digital infrastructure construction can provide strong support for the digitalization and green development of manufacturing enterprises. The “Broadband China” strategy aims to enhance the development and application level of broadband networks and promote economic transformation. It has the potential to facilitate the green transformation of manufacturing enterprises through digitalization. Therefore, based on the clarification of the influence mechanism of digital empowerment on the green transformation of manufacturing enterprises and the “Broadband China” demonstration city (BCDC) policy, this paper conducts empirical research using the data of Chinese A-share listed manufacturing enterprises from 2008 to 2021 and the staggered difference-in-differences model.

The findings indicate that the BCDC policy has a positive impact on the total factor productivity and green technological innovation of manufacturing enterprises. Specifically, digital empowerment supported by digital infrastructure construction can effectively promote the green transformation of manufacturing enterprises. Meanwhile, digital empowerment can indirectly exert this promoting effect through mechanisms such as increasing R&D investment and strengthening pollution control. The complementary effect between digital empowerment and labor structure can also enhance the effectiveness of digital empowerment on the green transformation of manufacturing enterprises. Heterogeneity analysis reveals that the BCDC policy exerts a more significant digital empowerment effect on the green technological innovation of manufacturing enterprises in the Yangtze River Economic Belt region and non-state-owned manufacturing enterprises. It also shows stronger digital empowerment effects on the total factor productivity of enterprises with lower levels of digital transformation. Additionally, the BCDC policy can more significantly promote the green transformation of enterprises in the clean production industry.

This paper enriches the literature on the coordinated transformation of digitalization and greening and provides policy references for advancing digital infrastructure construction, guiding manufacturing enterprises to optimize resource allocation, and promoting high-quality development of the manufacturing industry. To achieve coordinated development of digitalization and greening in manufacturing enterprises, this paper proposes the following policy recommendations: accelerate digital infrastructure construction to enhance digital empowerment capabilities; expedite the integration of informatization and industrialization to promote the digital transformation of manufacturing enterprises; speed up the development of new quality productive forces to increase the intensity of R&D investment in manufacturing enterprises; construct a green development system to strengthen environmental pollution control in manufacturing enterprises; and strengthen the development of highly skilled workforce to optimize the labor structure of manufacturing enterprises.

Keywords: digital empowerment; manufacturing enterprise; green transformation; digital infrastructure; “Broadband China” demonstration city policy

责任编辑:姜 莱;姚望春