

文章编号: 1673-1646(2025)01-0106-09

数字化转型如何影响制造业绿色发展?

——基于A股上市公司的经验证据

张怡宁, 赵公民*, 武勇杰

(中北大学 经济与管理学院, 山西 太原 030051)

摘要: 数字化与绿色化协同发展是实现高质量发展的重要路径。文章选取2007年—2022年A股制造业上市公司数据, 运用双重差分法实证检验数字化转型对制造业绿色发展的影响, 并进一步分析其作用机制和异质性特征。结果发现: 数字化转型能够促进制造业绿色发展, 并且这一结论在多种稳健性检验下依然成立。机制检验结果表明, 数字化转型通过技术进步、人力资本水平提升、内部控制水平提升三条路径来提升制造业绿色发展水平。此外, 在中西部地区, 数字经济发展第三梯队以及ESG表现不佳的企业, 数字化转型对于绿色发展的促进作用更为显著。

关键词: 数字化转型; 绿色发展; 双重差分模型; 制造业企业

中图分类号: F27 **文献标识码:** A **doi:** 10.62756/xbsk.1673-1646.2025014

引用格式: 张怡宁, 赵公民, 武勇杰. 数字化转型如何影响制造业绿色发展?: 基于A股上市公司的经验证据[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2025, 41(1): 106-114.

How Does Digital Transformation Affect the Green Development of Manufacturing Industry? Empirical Evidence from A-Share Listed Companies

ZHANG Yining, ZHAO Gongmin*, WU Yongjie

(Economics and Management School, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The coordination of digitalization and green development is an important path to achieving high-quality development. Based on the data from A-share listed manufacturing companies from 2007 to 2022, this article examines the impact of digital transformation on the green development of the manufacturing industry using the difference-in-differences (DID) method. It further analyzes the mechanisms and heterogeneous characteristics of this effect. The results show that digital transformation can promote the green development of the manufacturing industry, and this conclusion holds even under various robustness tests. Mechanism testing results indicate that digital transformation enhances the green development of the manufacturing industry through three pathways: technological progress, improvement of human capital, and enhanced internal control levels. Additionally, in the central and western regions, the third-tier digital economy development and companies with poor ESG performance, the promoting effect of digital transformation on green development is more significant.

Key words: digital transformation; green development; difference-in-differences model; manufacturing enterprises

收稿日期: 2024-05-09

基金项目: 山西省科技战略研究专项: 强化山西省企业创新主体地位研究(202204031401002)。

作者简介: 张怡宁(1998—), 女, 硕士生, 从事专业: 企业管理。E-mail: mtdzdmz@163.com。

* 通信作者: 赵公民(1970—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 从事专业: 服务创新。E-mail: zhaogml@nuc.edu.cn。

数字化转型是一场重大的挑战和机遇,是为建立新商业模式更深层次的重塑与再造^[1],是高质量可持续发展的关键,能够破解发展瓶颈,为中华民族伟大复兴注入强劲动能。放眼全国,数字发展方兴未艾,数字化转型已经不是“选择题”,而是“必答题”。制造业作为实体经济的基础,深化制造业与数字化转型深度融合,推动大数据、云计算、工业互联网广泛应用,是制造业发展的必然选择,是培育高质量发展新动能的必要举措。当前,我国生态文明建设仍然面临诸多矛盾和挑战,环境问题长期积累叠加,尚未得到改善。绿色发展将成为中国经济可持续发展的战略核心。因此,制造业数字化转型能否实现创新突破,打造社会经济发展新动能,在推动经济社会发展绿色低碳转型方面能否取得积极成效成为了亟待研究的重大课题。

数字化是信息技术发展的高级阶段,并逐渐成为全球经济复苏和增长的重要驱动力。由于各方对数字化的定义有所不同,进而导致对数字化的测度方法也有一定区别。吴非等(2021年)将上市企业公布的年报中与“数字化转型”相关的词条借助爬虫技术归集衡量微观企业数字化程度^[2]。袁淳等(2021年)在已有研究的基础上建立相对完备的数字化词典^[3]。在影响机制方面,现有研究对于数字化转型的研究主要集中在宏观、中观、微观层面。宏观层面主要是从数字化转型能够改善信息不对称^[4]、提升要素配置效率^[5]等方面进行研究;中观层面主要探究数字化转型在提升产业链、供应链韧性^[6]和实现产业结构的协调、高质量发展等方面的影响^[7]。微观层面主要集中于数字化技术影响企业融资约束、绿色创新和助力公司管理革新^[8]等方面。

绿色全要素生产率(green total factor productivity,缩写为GTFP)是由全要素生产率(total factor productivity,缩写为TFP)演变而来,将考虑环境因素的非期望产出纳入研究框架,是衡量经济转变方式的重要评价指标^[9]。吴军(2009年)通过采用传统径向的、角度的DEA方法计算方向性距离函数测量纳入环境因素的全要素生产率^[10]。原毅军等(2015年)等运用SBM方向性距离函数与Luenberger生产率指数测算中国工业绿色全要素生产率^[11]。现有研究对于国家、区域、行业等不同层面绿色全生产要素开展研究和测算,如流通业^[12]、生产性服务业^[13]等具体产业以及区域层面^[14]等。在影响机制方面,已有研究发现对外直接投资^[15]、环境规制^[16]等因素会通过直接或间接两条路径对绿色全要素生产率产生影响。

随着数字技术的不断渗透,数字化转型成为助推经济发展稳增长,推动数字技术融入经济社会发展各行业各领域,促进传统产业转型升级,抢占新赛道,抢滩新蓝海,从而提升经济发展效率,扎实推动绿色发展的新动能^[17]。吴传清等(2022年)认为长江经济带数字化转型可显著提升制造业绿色发展效率^[18]。靳毓等(2022年)认为数字化转型通过提高企业融资效率、强化外部监督、提高整合能力,进而促进了企业绿色创新^[19]。现有研究对于数字化转型及其影响日益丰富,然而,数字化转型对于微观层面,特别是制造业企业的绿色效应仍未得到充分研究,对其重要性和联系认识仍存在不足,尤其缺乏深入的机制分析。基于此,本文以2007—2022年A股制造业上市公司为研究对象,通过实证分析进一步揭示数字化转型影响制造业绿色发展的微观过程,并对数字赋能经济高质量发展提出有益的尝试和补充,形成新的引导。

1 理论分析与研究假设

随着新一轮科技革命和产业变革深入发展,数字技术推动产业集群将生产模式从传统制造向绿色智造转型,为制造业企业绿色发展提供了新动能新引擎。一方面,企业在进行数字化转型的过程中,往往会投入较多资金,此时,企业面临的压力可能会促使企业做出降低绿色投入的选择。另一方面,根据资源编排理论,企业的竞争力来源于资源的优劣及其排列组合的协同效应,数字化转型能够协调企业内部资源,为制造业企业绿色发展打下坚实基础。现有研究发现,数字化转型促进制造业绿色发展的影响主要分为三方面。一是强化竞争效应。数字技术能带动传统行业特别是制造业企业全要素、全产业链、全价值链绿色化数字化协同发展,打开数字技术赋能的“黑箱”^[20],推动制造业技术创新和高质量发展,为制造业企业实现零碳制造创造先发优势,增强了消费动能对制造业绿色发展的促进效应。二是提升创新效率。数字化能够促进信息快速、低成本流动,扩容和优化创新生产要素体系,重塑创新格局^[21]。大数据等数字技术的应用正在推动企业全面、及时掌握宏观经济、市场需求与发展等关键信息,开辟新的市场和商业模式,将绿色产品引入市场,提高绿色产品设计和制造效率,实现科技创新与绿色发展的良性互动,进一步实现制造业绿色发展,创造更多的社会价值。

三是发挥治理效应。企业可以通过深化数字化管理,完善数字化转型战略,实现业务流程的优化和智能化,使得企业矫正错配资源,降低企业试错和监督成本,减少其从事机会主义与利己行为的机会,推动企业提质增效,促进制造业绿色发展激发企业活力,创造规模化效益。

基于以上分析,本文提出假设H1:数字化转型能够促进制造业绿色发展。

首先,数字化转型促使信息传输效率提升,能降低信息搜集、传递、验证等成本,引发创新交互。数字技术与能源等其他要素融合,能够构建智慧能源新业态,释放数字技术作为绿色创造源的关键作用^[22],加速创新资源要素流动,进一步带动企业绿色技术创新。数字技术向制造业研发、生产、经营、管理等环节不断深化渗透融合,对制造业企业的生产过程进行计划、组织、控制并不断优化和重组,充分挖掘和利用数字信息资源,进而提升自主创新效率,促进企业开展绿色活动,赋能绿色制造。此外,随着数字化转型进程的不断推进,技术进步改变了生产方式,有利于制造业企业降低生产成本,提升产线创效能力,改进生产流程,完善运营模式,进一步优化生产要素配置,提升绿色发展水平^[23]。

其次,现有研究认为人工智能与智能制造能够提高生产效率、提升产业效益,为人的全面自由发展奠定了更为坚实的物质基础^[24],进而推动校企政产学研合作,提升员工专业教育技能水平,提高人才发展水平,有利于绿色低碳技术攻关,加速绿色技术创新。此外,教育人力资本的绿色效应不断增强,高水平的人力资本倾向于消费升级和更高层次的就业,他们往往具有更强的环境保护倾向,能够进一步增加绿色产品的市场占有率,从而带动制造业绿色发展水平的提升。

最后,内部控制是企业有效防范风险,规范权力运行,降低风险,实现企业控制目标的重要手段。根据交易成本理论,企业实施业务决策会发生大量成本和费用,数字技术与管理的深度融合能够驱动企业内控效能提升,强化风险管理能力和内部监督机制,促进企业内部要素协同,通过风险评估与控制活动减少研发失败风险,降低绿色技术创新活动的不确定性,实现制造业绿色生产。同时,数字化转型改变了企业原有内部控制模式,推动形成内部控制信息平台,实现企业高质量绿色发展。此外,企业的内部控制质量提升能够减少企业管理者短视行为,提升企业开展绿色活动的积极性,进而改善环境绩效^[25]。

基于以上分析,本文提出假设:

H2a:数字化转型能够通过技术进步促进制造业绿色发展。

H2b:数字化转型能够通过人力资本水平提升促进制造业绿色发展。

H2c:数字化转型能够通过内部控制水平提升促进制造业绿色发展。

2 研究设计与数据说明

2.1 计量模型设计

现有文献大多将数字化转型视为一项战略政策,将2015年视为我国数字化转型战略实施的重要节点,但该方法未能考虑到各企业实施数字化转型战略的差异。因此,本文借鉴任志成等^[26](2022年)的研究方法,将数字化转型视为一项准自然实验,引入双向固定虚拟变量,利用双重差分模型探究数字化转型对制造业绿色发展的影响。数字化转型词频如表1所示。

表1 数字化转型词频

类别	词汇
人工智能技术	人工智能、商业智能、图像理解、投资决策辅助系统、智能数据分析、智能机器人、机器学习、深度学习、语义搜索、生物识别技术、人脸识别、语音识别、身份验证、自动驾驶、自然语言处理
大数据技术	大数据、数据挖掘、文本挖掘、数据可视化、异构数据、征信、增强现实、混合现实、虚拟现实
云计算技术	云计算、流计算、图计算、内存计算、多方安全计算、类脑计算、绿色计算、认知计算、融合架构、亿级并发、EB级存储、物联网、信息物理系统
区块链技术	区块链、数字货币、分布式计算、差分隐私技术、智能金融合约
数据技术运用	移动互联网、工业互联网、移动互联、互联网医疗、电子商务、移动支付、第三方支付、NFC支付、智能能源、B2B、B2C、C2B、C2C、O2O、网联、智能穿戴、智慧农业、智能交通、智能医疗、智能客服、智能家居、智能投顾、智能文旅、智能环保、智能电网、智能营销、数字营销、无人零售、互联网金融、数字金融、Fintech、金融科技、量化金融、开放银行

注:资料来源:巨潮资讯网、上市公司年报。

为了验证假设1,本文通过构建如下双重差分模型进行实证分析,具体公式如下:

$$gtfp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 treat_i \times post_t + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $gtfp_{it}$ 指 i 企业第 t 年的绿色全要素生产率, $treat_i$ 为政策分组变量, $post_t$ 为时间虚拟变量, α_0 为常数项, X_{it} 为控制变量集合, μ_i 与 δ_t 分别为个体与时间固定效应, ϵ_{it} 为残差。

2.2 变量选取及数据说明

2.2.1 被解释变量($gtfp_{it}$)

本文采用基于非期望产出 SBM 模型和 Malmquist 指数测度制造业企业绿色全要素生产率^[27]。SBM-ML 模型充分考虑了投入产出的松弛变量情况, 使测度结果更能够符合经济现实。

在指标选取方面^[28], 所选用投入和产出具体的评价指标如下:

1) 投入指标。投入要素包括资本、劳动、能源三种投入。劳动投入以企业员工数作为代理变量; 资本投入以企业固定资产净额作为代理变量; 能源投入以企业所在城市工业用电量按企业从业人员占城市城镇人员就业比重进行换算作为代理变量。

2) 产出指标。产出指标包括期望和非期望两

种产出指标两个方面。本文选取企业营业总收入作为期望产出。非期望产出变量用企业的三废产生量表示, 包括工业 SO_2 排放量、工业废水排放量以及工业烟尘排放量。

2.2.2 解释变量($treat_i \times post_t$)

本文的核心解释变量为数字化转型实施企业的虚拟变量($treat_i \times post_t$)。 $treat_i$ 变量用于划分处理组和控制组, 在观测时间区间内进行了数字化转型的企业 $treat_i$ 赋值为 1, 否则取 0。 $post_t$ 变量用于划分数字化转型冲击的时点, 本文将年报中数字化转型词频数首次高于样本平均值的企业年份设置为转型冲击点^[29], 在该年度之后取值都为 1, 之前则为 0。

2.2.3 控制变量

本文选取如下控制变量: 资产负债率(Lev)、净资产收益率(Roe)、企业托宾 Q 值($TobinQ$)、账面市值比(Bm)、两职合一($Dual$)、现金流量净额(Cfo)、企业成立年龄(Age)、政府补助($Subit$)。变量具体定义如表 2 所示。

表 2 变量定义

变量符号	变量名称	变量定义	单位
$gtfp_{it}$	绿色全要素生产率	基于非期望产出 SBM 模型和 Malmquist 指数	/
$treat_i \times post_t$	数字化转型	进行数字化转型为 1, 否则为 0	/
Lev	资产负债率	企业总负债/总资产	%
Roe	净资产收益率	企业净利润/净资产	%
$TobinQ$	托宾 Q 比率	公司市值/企业资产净值	%
Bm	账面市值比	每股净资产/每股股价	%
$Dual$	两职合一	董事长和总经理为同一人为 1, 否则为 0	/
Cfo	现金流量净额	企业经营活动现金流净额	千亿元
Age	企业成立年龄	观测年份与企业成立年份的差值取对数	年
$Subit$	政府补助	企业当期获得的政府补助	亿元

表 3 描述性统计结果

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
$gtfp_{it}$	22 695	0.997 8	0.115 3	0.739 7	1.170 4
$treat_i \times post_t$	22 695	0.617 8	0.485 9	0.000 0	1.000 0
Lev	22 695	0.413 1	0.197 4	0.057 5	0.928 9
Roe	22 695	0.051 1	0.152 4	-0.882 2	0.336 8
$TobinQ$	22 695	0.210 8	0.128 8	0.087 6	0.829 7
Bm	22 695	0.594 1	0.236 1	0.120 5	1.139 0
$Dual$	22 695	0.294 6	0.455 9	0.000 0	1.000 0
Cfo	22 695	0.049 7	0.067 1	-0.139 5	0.246 6
Age	22 695	2.104 3	0.755 0	0.693 1	3.332 2
$Subit$	22 695	0.010 9	0.014 0	0.000 2	0.089 7

2.3 数据来源及说明

文本识别法是当前衡量数字化转型程度的主流方式, 本文通过文本识别法测度企业数字化转型程度^[30]。利用 Python 软件收集上市公司企业年报, 提取相关特征词频以衡量数字化转型。考虑到数据的可得性, 本文采取 2007 年—2022 年我国 A 股制造业上市公司面板数据作为样本。研究全部变量数据来源于 CSMAR 数据库, 部分缺失数据采用插值法进行处理。同时剔除 ST、ST* 企业、在样本期内上市或退市的企业、金融业企业及数据缺失较多的企业, 最终获得 2 712 家上市公司的 22 695 条年度样本观测值, 详见表 3。

3 测算结果与实证分析

3.1 基准回归检验

表 4 列出了数字化转型对制造业绿色发展的基准回归结果。为检验假设 H1, 利用双重差分模型进

行回归检验,第(1)列汇报了只有被解释变量和核心解释变量的双重差分回归结果,交互项 $treat_i \times post_t$ 的系数为0.129,第(2)列加入控制变量,交互项 $treat_i \times post_t$ 系数为0.125,第(3)列控制了个体和时间效应, $treat_i \times post_t$ 系数为0.001,第(4)列包括了控制变量,且控制了时间和地区效应, $treat_i \times post_t$ 系数为0.001,均在1%的水平上显著,这表明受企业数字化转型的影响,制造业绿色发展水平得到提升,从而支持了研究假说H1。

表4 基准回归结果

参数	(1)	(2)	(3)	(4)
$treat_i \times post_t$	0.129 3*** (0.001 3)	0.124 9*** (0.001 3)	0.001 1*** (0.000 2)	0.001 1*** (0.000 2)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体效应	NO	NO	YES	YES
时间效应	NO	NO	YES	YES
_cons	0.917 9*** (0.001 0)	0.880 7*** (0.004 9)	0.996 8*** (0.000 8)	0.997 1*** (0.000 2)
N	22 695	22 695	22 695	22 695

注:括号内为标准误,*** $p < 0.01$,** $p < 0.05$,* $p < 0.1$,下同。

3.2 平行趋势检验

运用双重差分法需要满足平行趋势假设这一重要前提,本文通过绘制平行趋势检验图检验处理组和控制组在政策前的时间趋势是否存在差异。如图1所示,在数字化转型前分组虚拟变量与政策实施虚拟变量的交互项均不显著,数字化转型后的系数值基本显著大于0,满足平行趋势假定,因而使用双重差分方法得到的结果是稳健的。在数字化转型实施第一年,系数小于0,在政策实施后五年,系数逐年递减,可能是由于如下原因:一是数字化转型初期可能存在滞后效应;二是同数字化转型在施行数年后,对绿色发展的边际作用逐渐减弱。

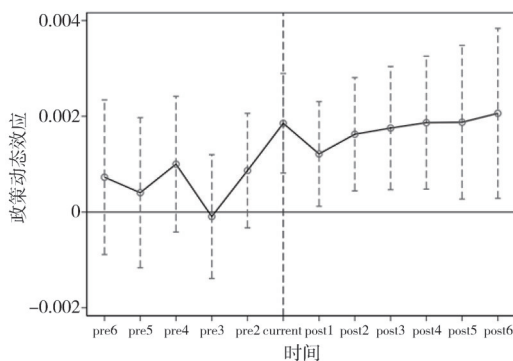


图1 平行趋势检验图

3.3 稳健性检验

3.3.1 更换被解释变量

为验证本文结论的可靠性,采用绿色成果转化效

率^[31]作为替代变量进行计算用以衡量制造业绿色发展程度,结果显示显著性变化较小,所得结论与前述一致。

表5 更换被解释变量

参数	(1)	(2)	(3)	(4)
$treat_i \times post_t$	0.177 9*** (0.002 8)	0.171 3*** (0.002 7)	0.003 9* (0.002 3)	0.004 0* (0.002 3)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体效应	NO	NO	YES	YES
时间效应	NO	NO	YES	YES
_cons	0.432 9*** (0.002 2)	0.339 4*** (0.010 4)	0.535 4*** (0.007 6)	0.540 3*** (0.001 7)
N	22 695	22 695	22 695	22 695

3.3.2 安慰剂检验

为确保关于数字化转型与制造业绿色发展的因果关系存在,验证回归结果的稳健性,本文采用安慰剂检验进行验证,如图2所示,对交互项随机抽取500次,验证系数与基准结果是否存在显著差异。绝大部分回归的t值小于真实回归t值,且服从正态分布,符合安慰剂检验预期,由此可得,本文的实证结果并未受到外部政策冲击和遗漏变量的严重干扰,表明模型设计稳健有效。

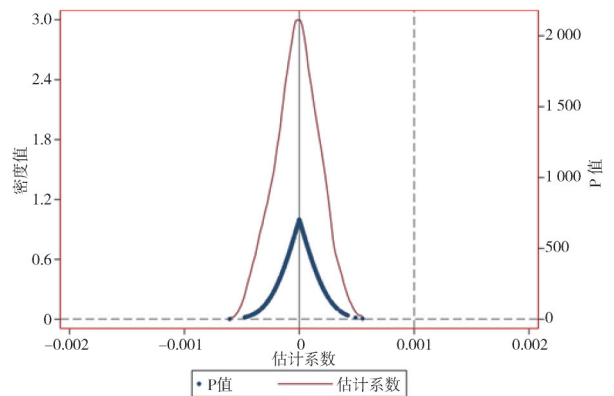


图2 安慰剂检验

3.4 内生性检验

为减少潜在的内生性问题,本文引入解释变量滞后一阶的方法进行内生性检验^[32],详见表6。由回归结果可知,与基准回归差异较小,进一步验证了文章的结论。

表6 内生性检验

参数	(1)	(2)	(3)	(4)
$L.treat_i \times post_t$	0.126 2*** (0.001 3)	0.122 3*** (0.001 3)	0.000 9*** (0.000 3)	0.000 9*** (0.000 3)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体效应	NO	NO	YES	YES
时间效应	NO	NO	YES	YES
_cons	0.933 8*** (0.001 0)	0.902 1*** (0.005 1)	1.007 1*** (0.000 9)	1.007 6*** (0.000 2)
N	22 695	22 695	22 695	22 695

4 异质性检验和作用机制检验

4.1 异质性检验

前文验证了数字化转型对制造业绿色发展的作用,为进一步考察数字化转型促进制造业绿色发展的差异化影响,探究不同区位条件、不同数字发展水平和 ESG 发展水平数字化转型对于制造业绿

色发展的影响,本文从以下三方面对样本分组进行异质性研究:

4.1.1 区位条件异质性

由于不同地区经济效益、资源禀赋、产业结构等方面均存在不同程度的差异,本文按企业注册地的地理位置不同划分为东部省(区、市)企业、中部省(区、市)企业、西部省(区、市)和东北部省(区、市)^[33],并进行分组回归,回归结果如表 7 所示。

表 7 东、中、西部地区数字化转型对制造业绿色发展的回归结果

参数	东部地区		西部地区		中部地区		东北部地区	
$treat_i \times post_t$	0.123 2*** (0.001 6)	0.120 0*** (0.001 6)	0.140 8*** (0.003 5)	0.129 4*** (0.003 4)	0.137 0*** (0.003 4)	0.128 9*** (0.003 3)	0.129 4*** (0.006 4)	0.125 9*** (0.006 4)
控制变量	NO	YES	NO	YES	NO	YES	NO	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
$_cons$	0.925 0*** (0.001 3)	0.896 4*** (0.006 2)	0.902 5*** (0.002 5)	0.819 0*** (0.012 4)	0.909 0*** (0.002 6)	0.826 1*** (0.012 5)	0.913 1*** (0.004 6)	0.924 9*** (0.024 9)
N	15 384	15 384	3 055	3 055	3 260	3 260	996	996

4.1.2 数字发展水平异质性

本文参考《中国数字经济发展指数报告(2023年)》,按企业所在省(区、市)的数字经济指

数报告排名将其划分为数字发展第一梯队、第二梯队、第三梯队^[34],并进行分组回归,回归结果如表 8 所示。

表 8 不同数字发展水平数字化转型对制造业绿色发展的回归结果

参数	第一梯队		第二梯队		第三梯队	
$treat_i \times post_t$	0.123 7*** (0.001 6)	0.120 3*** (0.001 6)	0.136 3*** (0.002 8)	0.128 0*** (0.002 7)	0.147 6*** (0.004 8)	0.134 1*** (0.004 7)
控制变量	NO	YES	NO	YES	NO	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
$_cons$	0.923 8*** (0.001 3)	0.900*** (0.006)	0.909 5*** (0.002 0)	0.835 4*** (0.010 1)	0.899 2*** (0.003 4)	0.847 3*** (0.018 4)
N	16 334	16 334	4 856	4 856	1 505	1 505

4.1.3 ESG 发展水平异质性

ESG 侧重关注企业在环境、社会和管治中的绩效表现^[35],现已成为政府落实可持续发展理念的重要参考指标。本文按照企业 ESG 评级库中企业 ESG 得分,将企业 ESG 得分大于样本均值的企业赋值为 1,否则为 0,并进行分组回归,回归结果如表 9 所示。

表 9 不同 ESG 表现数字化转型对制造业绿色发展的回归结果

参数	ESG 表现良好		ESG 表现不佳	
$treat_i \times post_t$	0.115 0*** (0.002 0)	0.111 7*** (0.002 0)	0.135 2*** (0.001 7)	0.130 9*** (0.001 7)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES	YES
$_cons$	0.947 1*** (0.001 6)	0.918 6*** (0.007 3)	0.900 5*** (0.001 3)	0.863 8*** (0.006 6)
N	9 337	9 337	13 358	13 358

由表 7、表 8 和表 9 结果可以看出,无论是东部经济发达地区,还是西部经济较为落后的地区,数字

发展水平如何,ESG 表现如何,数字化转型均能有效推动制造业绿色发展。数字化转型对制造业绿色发展的回归系数在东、西、中部和东北部地区分别为 0.120 0、0.129 4、0.128 9、0.125 9,这可能是由于东部地区数字发展已较为完善,中西部和东北部相对落后,数字化转型对制造业绿色发展的提升作用则表现更为明显。数字化转型对制造业绿色发展的回归系数在第一、二、三梯队分别为 0.120 3、0.128 0 和 0.134 1,且均通过了 1% 的显著性水平检验,这可能是由于第一梯队数字经济发展水平较高,基础设施较为完善,出现边际效益递减的现象。第三梯队发展相对落后,在数字化发展方面具有巨大的市场潜力和发展空间,数字赋能作用和服务效能提升更加显著。数字化转型对制造业绿色发展的回归系数在 ESG 表现良好和不佳地区的回归系数分别为 0.111 7 和 0.130 9,可能是由于企业 ESG 表现良好,在资源利用、社会关系和公司治理等方面更具优势,产生边际效益递减现象。

4.2 作用机制检验

通过前文理论分析,数字化转型可能从技术进步、人力资本和内部控制水平提升三个角度影响制造业绿色发展。本文将通过设定如下机制检验模型进行实证检验:

$$Mechanism_{it} = \beta_0 + \beta_1 treat_i \times post_t + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Mechanism_{it}$ 为技术进步、人力资本和内部控制水平提升三个机制变量,其余变量与前文保持一致。具体而言,本文选用研发人员占比 Rd 衡量企业技术进步。

根据中介效应的三步检验法,由表10可以得出技术进步存在正向中介作用,即数字化转型能够增加企业研发投入,激发创新活力,进而促进制造业绿色发展。在1%水平上显著,说明技术进步^[36]发挥中介效应,故假设H2得到验证。

表10 作用机制检验结果

参数	(1)	(2)	(3)
	$gtfp_{it}$	Rd	$gtfp_{it}$
$treat_i \times post_t$	0.001 1*** (0.000 2)	0.006 7*** (0.001 7)	0.001 1*** (0.000 2)
Rd			0.002 4** (0.000 9)
$-cons$	0.996 8*** (0.000 8)	0.065 3*** (0.005 5)	0.996 7*** (0.000 8)
控制变量	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES
N	22 695 (4)	22 695 (5)	22 695 (6)
	$gtfp_{it}$	Hc	$gtfp_{it}$
$treat_i \times post_t$	0.001 1*** (0.000 2)	0.078 1*** (0.003 1)	0.000 9*** (0.000 2)
Hc			0.002 3*** (0.000 5)
$-cons$	0.996 8*** (0.000 8)	0.181 5*** (0.010 0)	0.996 4*** (0.000 8)
控制变量	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES
N	22 695 (7)	22 695 (8)	22 695 (9)
	$gtfp_{it}$	Ic	$gtfp_{it}$
$treat_i \times post_t$	0.001 1*** (0.000 2)	0.010 2*** (0.002 2)	0.001 1*** (0.000 2)
Ic			0.001 3* (0.000 7)
$-cons$	0.996 8*** (0.000 8)	0.661 0*** (0.007 2)	0.996 0*** (0.000 9)
控制变量	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES
N	22 695	22 695	22 695

为了验证假设H3,继续利用中介效应三步法进行验证,本文选用本科以上员工占比 Hc 衡量人力资本提升^[37]。由表10可以得出人力资本提升存在中介效应,即数字化转型能够促进人力资本提升,提升制造业绿色发展水平,在1%水平上显著,说明人力资本提升发挥中介效应,故假设H3得到验证。

为了验证假设H4,继续利用中介效应三步法进行验证,本文运用Python文本分析与机器学习的方法作为计量基础测量,从企业客户关系管理、内部控制维度出发构建评价指标体系测量企业内部控制水平^[38]。由表10可以得出内部控制水平提升存在中介效应,即数字化转型能够促进内部控制水平提升,提升制造业绿色发展水平,且在1%水平上显著,说明内部控制提升发挥中介效应,故假设H4得到验证。

5 研究结论与政策建议

作为推动产品、服务与流程的重要变革措施,数字化转型旨在新建一种商业模式,提高资源配置效率并提升运营效能,为制造业绿色发展提供新的思路和机遇。本文以制造业A股上市公司2007年—2022年面板数据为样本,结合双重差分模型深入探讨了数字化转型对制造业绿色发展的影响。通过以上实证研究,得出结论如下:数字化转型能够显著提升制造业绿色发展水平,在进行稳健性检验和内生性检验后上述促进效应依然成立;数字化转型能够推动企业技术进步,优化人力资本结构配置,提升企业内部控制水平,促进企业高质量发展,进而推动制造业绿色发展;此外,上述影响存在地区异质性,在中西部地区、数字经济发展第三梯队、ESG表现较为不佳的企业数字化转型对绿色发展的提升作用更为显著。

基于以上研究结论,本文从数字化与绿色发展的角度,提出如下建议:

第一,企业要在数字化进程中重视绿色发展。1) 强化技术创新和制度创新,推进低碳技术工艺的装备发展,充分激发数字经济潜力,打造数字化集成且具有绿色主导力的产业链;2) 持续加大研发投入力度,加快高水平科技自立自强,实现规划敏捷和研发流程的数字化,将创新基因根植于企业生命中,同时找准科技绿色化建设方向,促进企业降本增效、提高绿色生产率;3) 加大“数字+绿色”化人才培养,重视人才、引进人才。依托不仅有绿

色金融背景知识,同时也具备数字化思维方式和技术实际操作能力的人才,使之成为推动经济高质量发展和绿色转型的澎湃动力。4)制造业企业要充分抓住数字化转型红利,提高内部控制质量,赋能日常生产管理流程之中,确立数字化转型目标,并定期检查,加快提升制造业核心竞争力,向先进的、数字化、智能化、绿色化转型。

第二,充分考虑当前地区、企业间的发展差异。1)继续有效发挥数字化转型对于中西部地区、数字经济发展第三梯队、ESG表现不佳的企业对于制造业绿色发展的提升作用,加大资金投入,以缓解企业面临的融资困境,提供更多政策支持。2)减轻东部、东北部地区、数字经济发展第一、第二梯队、ESG表现良好企业的压力,使得制造业企业能够更多依托数字化转型的发展红利,抢抓数字机遇,培育壮大新业态、新模式。3)开展地区合作模式,推进区域协同发展,依靠技术进步打破融合壁垒,建立数字时代竞争优势。

第三,实现数字化转型,需要更好发挥政府作用。政府应大力推动数字化转型建设,加快推进新型信息基础设施建设,发挥各方面积极作用,为企业数字化转型营造良好的发展环境。1)积极启动数字化转型升级攻坚行动,主动推进制造业企业数字化改造全覆盖、制造业企业数字化应用全覆盖,加快推动企业高端化、智能化、绿色化发展;2)支持制造业重点行业龙头骨干企业建设,选定中小企业树立行业数字化转型标杆,并做好典型案例经验总结和推广;3)对于发展情况优势明显的企业,进一步巩固拓展这些优势并积极探寻其他有效路径;4)推动小微企业和传统制造业企业全方位、全链条、全流程的数字化改造,消除企业对转型失败的顾虑,释放经济潜力。

参考文献

[1] 周冬华,万贻健.企业数字化能提升企业全要素生产率吗?[J].统计研究,2023,40(12):106-118.

[2] 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,2021,37(7):130-144.

[3] 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(9):137-155.

[4] 翟胜宝,程妍婷,谢露.商业银行数字化转型与风险承担水平[J].北京工商大学学报(社会科学版),2023,38(2):75-86.

[5] 黄大禹,谢获宝,邹梦婷.数字化转型提升了企业的要素配置效率吗?:来自中国上市企业年报文本分析的经验证据[J].金融与经济,2022(6):3-11.

[6] 陶锋,王欣然,徐扬,等.数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J].中国工业经济,2023(5):118-136.

[7] 陈堂,陈光.数字化转型对产业结构升级的空间效应研究:基于静态和动态空间面板模型的实证分析[J].经济与管理研究,2021,42(8):30-51.

[8] 文逸凤,张克勇,董瀚.科技金融对实体企业金融化的影响:基于融资约束的中介效应[J].中北大学学报(社会科学版),2024,40(2):46-53.

[9] 屈小娥,赵昱钧,王晓芳.我国对“一带一路”沿线国家OFDI是否促进了绿色发展:基于制度环境和吸收能力视角的实证检验[J].国际经贸探索,2022,38(6):89-102.

[10] 吴军.环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析[J].数量经济技术经济研究,2009,26(11):17-27.

[11] 原毅军,谢荣辉.FDI、环境规制与中国工业绿色全要素生产率增长:基于Luenberger指数的实证研究[J].国际贸易问题,2015(8):84-93.

[12] 董文,佐赫.供应链数字化对商贸流通业绿色全要素生产率的影响:基于长江经济带沿线省域的实证[J].商业经济研究,2023(8):23-26.

[13] 李体欣,倪志兴,许瑞琦.生产性服务业集聚对城市绿色全要素生产率的影响及门槛效应[J].南方金融,2022(5):59-69.

[14] 谢东江,胡士华.绿色金融、产业结构与城市工业绿色全要素生产率[J].国际金融研究,2023(5):46-56.

[15] 刘乾,钟昌标,黄远浙.对外直接投资与中国工业绿色全要素生产率:基于环境规制与吸收能力视角分析[J].生态经济,2022,38(3):79-85.

[16] WANG X L, SHAO Q L. Non-linear effects of heterogeneous environmental regulations on green growth in G20 countries: Evidence from panel threshold regression [J]. Science of the Total Environment, 2019, 660: 1346-1354.

[17] 祁怀锦,刘斯琴.企业数字化发展对绿色创新的影响及其作用机理[J].当代经济科学,2023,45(4):72-83.

[18] 吴传清,孟晓倩.长江经济带数字化转型对制造业绿色发展影响研究[J].南通大学学报(社会科学版),2022,38(6):37-47.

[19] 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.

[20] 霍春辉,吕梦晓,许晓娜.数字技术与制造企业全球

- 价值链地位攀升: 打开数字技术赋能的“黑箱”[J]. 南方经济, 2023(3): 11-28.
- [21] 温璐迪, 郭淑芬. 数字化对区域创新格局的重塑效应研究: 基于中国城市的经验数据[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(10): 46-56.
- [22] 曹裕, 李想, 胡韩莉等. 数字化如何推动制造企业绿色转型?: 资源编排理论视角下的探索性案例研究[J]. 管理世界, 2023, 39(3): 96-112.
- [23] 朱东波. 环境规制、技术创新与中国工业结构绿色转型[J]. 工业技术经济, 2020, 39(10): 57-64.
- [24] 林剑. 论人工智能的发展对人的劳动解放与社会解放的意义[J]. 人文杂志, 2019(11): 19-24.
- [25] 蔡靖怡, 张亚连. 内部控制、数字化转型与企业环境绩效: 来自重污染行业的经验证据[J]. 绿色财会, 2023(2): 3-8.
- [26] 任志成, 赵梓衡. 数字化转型对制造业全要素生产率提升的影响: 来自上市公司的微观证据[J]. 工业技术经济, 2022, 41(11): 23-30.
- [27] 朱喜安, 马樱格. 数字经济对绿色全要素生产率变动的影响研究[J]. 经济问题, 2022(11): 1-11.
- [28] ZHAO G, ZHANG Y, WU Y. Implementation Effect, long-term mechanisms, and industrial upgrading of the low-carbon city pilot policy: An empirical study based on city-level panel data from China[J]. Sustainability, 2024, 16(19), 8316.
- [29] 马亚明, 马丽敏, 于博. 数字化转型能够降低银行信用风险吗?: 基于交叠DID模型的实证检验[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2024(3): 3-18.
- [30] SENYO P K, KARANASIOS S, AGBLOYOR E K, et al. Government-led digital transformation in FinTech ecosystems [J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2024, 33(3), 101849.
- [31] 肖仁桥, 陈小婷, 钱丽. 异质环境规制、政府支持与企业绿色创新效率: 基于两阶段价值链视角[J]. 财贸研究, 2022, 33(9): 79-93.
- [32] 王姗姗, 翟永会, 刘满成. 数字贸易对地区绿色全要素生产率的影响与异质性分析[J]. 商业经济研究, 2024(20): 114-117.
- [33] 曹泽, 刘兴. 人力资本结构对绿色全要素生产率影响的空间计量分析[J]. 科技管理研究, 2022, 42(19): 232-243.
- [34] 李钺霆, 高煜, 唐珺. 双元创新视角下数字经济对制造业技术创新的异质性影响[J]. 统计与决策, 2024, 40(1): 174-178.
- [35] 樊莹. ESG评级分歧如何影响企业绿色创新?[J]. 会计之友, 2024(21): 81-89.
- [36] 刘伟, 徐腾达. 科技金融生态促进数字经济发展的组态分析: 基于模糊集定性比较分析(fsQCA)的研究[J]. 工业技术经济, 2024, 43(11): 106-114.
- [37] DONG P, ZHU Y, DUAN S, et al. How does the digital economy promote a culture of business innovation? A study based on human capital allocation perspective[J]. Sustainability, 2023, 15(8): 6511.
- [38] 陈小军, 吉富星. 客户关系管理、内部控制与企业并购绩效测度综合评价: 基于多元线性回归模型分析[J]. 管理评论, 2021, 33(8): 256-262.