

# 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

刘畅<sup>1</sup>, 潘慧峰<sup>1</sup>, 李珮<sup>2</sup>, 冯雅欣<sup>1</sup>

(1. 对外经济贸易大学金融学院, 北京 100029; 2. 厦门大学管理学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:**不同于以往文献采用词频统计度量企业数字化转型,基于上市公司实际资金投入构造了新的数字化转型的度量指标。以2009—2020年中国A股制造业上市公司为样本,实证分析数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响及机制。实证结果表明:(1)数字化转型能显著提升制造业企业的绿色创新效率,在国有企业和重污染企业样本中更为显著。(2)数字化转型通过强化媒体监督、应用虚拟仿真技术两个渠道提高企业绿色创新效率。本文从绿色创新效率视角为理解数字化如何引领绿色化提供了有益参考。

**关键词:**数字化转型;绿色创新效率;媒体监督;虚拟仿真

中图分类号:F270 文献标识码:A 文章编号:1005-0566(2023)04-0121-09

## Impact and mechanism of digital transformation on the green innovation efficiency of manufacturing enterprises in China

LIU Chang<sup>1</sup>, PAN Huifeng<sup>1</sup>, LI Pei<sup>2</sup>, FENG Yaxin<sup>1</sup>

(1. School of Banking and Finance, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China;

2. School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** This paper proposes a new measure of digital transformation which is different from methods used in previous studies. Using the panel data of Chinese manufacturing listed companies, this paper examines the impact of digital transformation on green innovation efficiency. The results show that: (1) Digital transformation of listed manufacturing companies can significantly improve the green innovation efficiency; (2) Digital transformation of manufacturing industry improves the green innovation efficiency by strengthening media supervision and applying virtual simulation technology. This paper offers a reference for the synergy between digital and green transformation.

**Key words:** digital transformation; green innovation efficiency; media supervision; virtual simulation

目前,我国制造业增加值稳步提升,产业结构不断优化,但同时存在投入大、消耗多、排放重等亟待解决的突出问题。党的二十大报告中明确指出,推动高质量发展,要推进新型工业化,加快建设制造强国,推动制造业高端化、智能化、绿色化

发展。2018年,习近平总书记在中国科学院、工程院的院士大会上的讲话中提到,先进制造技术正在加速制造业的智能化和绿色化转型。以数字化引领绿色化,以绿色化带动数字化,是高质量发展和实现“双碳”目标的新动能。

收稿日期:2022-12-28 修回日期:2023-03-27

基金项目:对外经济贸易大学杰出青年学者资助项目(19JQ05)。

作者简介:刘畅(1996—),女,江西赣州人,对外经济贸易大学博士生,研究方向为数字化转型。通信作者:李珮。

数字化转型是制造业企业实现跨越式发展和绿色转型的新动力和新机遇。数字化转型有高依附性和融合性的特质,在改造生产工艺、优化生产过程方面有独特优势。数字技术能够帮助企业串联技术、数据和知识链条,提供映射现实的虚拟实验空间和模型,为企业绿色创新提供有利条件。但从资源依赖理论出发,数字化转型的实施将占用企业的资金资源,可能会增加企业资金压力,影响投资决策,挤占对绿色创新活动的资源投入。曹裕等<sup>[1]</sup>认为制造业企业在同时开展数字化转型和绿色转型时,可能存在数字能力与绿色发展阶段需求不匹配的问题。基于以上分析,数字化转型对企业绿色创新效率的影响有不确定性,数字化转型是否赋能制造业绿色创新,是否能提升绿色创新效率是学界和业界关心的重要问题。

关于绿色创新的影响因素,以往文献从制度压力<sup>[2-4]</sup>、绿色金融工具<sup>[5-7]</sup>、对外投资<sup>[8]</sup>、政府补助<sup>[9]</sup>、媒体关注<sup>[10]</sup>和高管环保意识<sup>[11-12]</sup>等方面进行研究。在研究数字化转型与绿色创新的相关文献中,宋德勇等<sup>[13]</sup>使用绿色专利占专利总数的比例衡量企业绿色技术创新,研究发现重污染行业上市公司开展数字化转型能促进绿色技术创新。肖静等<sup>[14]</sup>则使用绿色创新的绝对数量和绿色发明专利的绝对数量分别衡量绿色创新数量和质量,研究发现我国上市公司数字化转型能提升绿色创新水平。上述研究关注绿色创新的产出如绿色技术专利的数量,鲜有学者考察数字化转型对绿色创新效率的影响。而创新效率是产出和投入的比值,体现了创新的质量,具有深刻的政策含义。目前,我国国家创新体系整体效能还不强,创新效率的提高是我国制造业高质量发展、提高竞争力的重要保障。基于此,本文着眼于制造业企业的绿色创新效率,使用我国制造业上市公司数据,重新构建刻画企业数字化转型的指标,实证检验数字化转型是否能提高绿色创新效率,并考察其影响的机制和渠道。

## 一、假设提出

### (一)数字化转型与企业绿色创新效率

数字化转型有助于企业增强自主创新能力,

促进协同创新和开放创新,提高绿色创新效率。一方面,企业数字化转型利用积累的数据驱动创新范式转换,增强自主创新能力。借助大数据、互联网、人工智能等数字技术,企业可以全面、及时掌握宏观经济、市场需求与发展、技术前沿、绿色发展新机遇等关键信息,降低创新沉没成本和失败风险。企业利用数字技术分析与创新行为相关的大量数据的模式,发掘创新路径和方法。这有利于优化创新流程,加快绿色关键技术的探索和研发进程,实现绿色创新效率和水平的提升<sup>[15]</sup>。另一方面,数字技术为研发和创新提供了联合创新的系统、平台和工具<sup>[16-17]</sup>,推动了创新机制的转变,加速了联合绿色创新产出,提高了绿色创新效率。数字化转型催生网络化协同创新生态系统,通过打造数字化研发平台促进开放式创新,能够更好地汇聚、整合、连接和配置数据、技术、人才、资本等创新要素和资源,促进知识共享,激发创新活力。数字化研发平台和网络加快了企业间不同技术的聚合,促进了复杂绿色关键技术的突破。在企业实践中,存在数字化转型提高企业绿色创新效率的现实经验。一汽集团推进研发数字化转型,应用数字孪生与虚拟仿真,提高开发效率,缩短开发周期,研发了多项氢能和燃料电池绿色技术。基于以上分析,提出假设 H1:数字化转型能够提升企业绿色创新效率。

### (二)数字化转型、媒体监督与企业绿色创新效率

数字化转型作为国家大力推行的战略,是媒体关注和报道的重要方向。媒体作为信息中介,其对企业的报道将向社会公众传递信息,引导社会评价上市公司的方向,降低上市公司和利益相关者之间的信息不对称,这将影响上市公司的行为决策<sup>[18]</sup>。企业在数字化转型取得成效,易受到媒体关注并作为正面宣传对象进行采访报道,向社会宣传数字化转型战略的优势和成果。而企业的媒体关注度上升后,会在媒体和社会公众的监督下进一步规范自身的经济和社会行为。在推动绿色转型上,媒体对企业的正面行为如绿色技术创新、节能减排效果的报道和关注可以帮助企业

树立良好形象,增加社会公众对其的认可度,激励企业持续投入绿色技术创新<sup>[19]</sup>;媒体对企业负面行为如偷排污染物、监测数据造假等违规违法的报道和关注可以对企业施加社会舆论压力,监督企业改进生产和污染治理,承担相应的违规后果。另外,媒体对企业环境行为的负面报道容易引起社会公众的共鸣,可能会对当地政府及相关部门产生舆情压力和环境绩效压力,激励当地官员监督和督促企业进行整改,提高企业绿色创新效率。基于以上分析,提出假设 H2:数字化转型增加媒体关注度进而提高绿色创新效率。

### (三)数字化转型、虚拟仿真与企业绿色创新效率

虚拟仿真和数字孪生技术能够帮助企业利用生产过程中积累的工业数据进行研发设计模拟,降低企业的研发边际成本和资源消耗,缩短企业的研发周期,提高企业绿色创新效率。企业进行数字化转型,将传统生产要素数字化,使用数控生产设备与生产管理系统互联,加速企业积累工业数据,推动企业进行工业大数据挖掘和分析,明确生产工艺的改进方向和创新需求,这是企业使用虚拟仿真和数字孪生技术的前期基础。虚拟仿真和数字孪生通过数据和模型对物理世界的状态进行模拟和描述,使得工业企业能够在数字空间对生产过程准确刻画,且具有实时性和高效性。这能够帮助研发人员观察规律,提高模型预测的精准程度,缩短研发周期。研发方式的改进减少了实际实验验证的操作,降低研发的原料消耗和废物产生。企业实践中,宁德时代使用虚拟仿真和大数据技术加速了对电解液和正极等电池材料的开发,研发周期缩短 30%,研发成本降低 30%。如莱克电气应用结构、电子、电磁等 CAD(计算机辅助设计)工具,基于设计资源库,构建电机产品多学科虚拟样机,并开展机械、电磁、热等多学科联合仿真分析与优化,产品研制周期缩短 55%。长城汽车通过实时采集室内外温度和制冷机系统负荷,利用校核系统模型实时决策制冷运行的最佳效率点,动态控制制冷机并联回路压力平衡和水泵运行频率,降低制冷站整体能耗,节能率达到

16% 以上。基于以上分析,提出假设 H3:数字化转型的企业可以通过虚拟仿真技术提高绿色创新效率。

## 二、企业数字化转型的度量

### (一)现有度量方法评述

现有文献主要使用了量表法、指标法和文本分析法测度企业数字化转型。部分文献通过量表法衡量企业数字化转型的技术应用水平、应用范围和应用后产生的绩效<sup>[20-23]</sup>,量表法构建的指标包含现实信息,但易受到问卷设计和被调研人的主观影响。指标法往往选取“无形资产”科目衡量数字化转型的程度<sup>[24-25]</sup>,该做法可能会遗漏制造业企业在生产和检测流程中对数字化设备的大量投入。

目前较多文献采用文本分析法构建企业数字化转型指标,词频指标的准确性易受到企业策略性披露的影响。文本分析法的总体思路是将选取的公告文本进行分词后,与设定的数字化相关关键词匹配,使用得到的关键词频数构建指标<sup>[26-30]</sup>。绝大部分文献使用上市公司年度报告或其中的“管理层讨论与分析”部分作为语料获得词频,但为了迎合资本市场,上市公司可能粉饰财务数据和策略性披露。赵璨等<sup>[31]</sup>发现上市公司可能依靠在年报中自愿披露“互联网+”相关内容进行概念炒作,夸大其在“互联网+”战略实施中的进展,吸引投资者注意力和买入资金。由此可推断,年报中存在数字化关键词并不意味着企业实际进行了数字化转型,数字化转型词频高并不代表上市公司实际数字化转型的投入多。

### (二)数字化转型指标构建

在梳理以往文献测度数字化转型方法的基础上,本文基于上市公司资金实际使用情况度量制造业企业数字化转型。在文本分析语料的选取上,本文使用上市公司发布的年度募集资金存放与实际使用情况的专项报告。该公告披露了上市公司当期是否使用募集资金投入数字化项目及其金额。根据《上市公司监管指引第 2 号——上市公司募集资金管理和使用的监管要求》,上市公司董事会需要充分论证投资项目的可行性,上市公



司披露募集资金实际使用情况应当真实、准确、完整且经过年度审计,该报告进行策略性披露的操作空间很小。

关键词选取上,本文参考了一系列与数字化相关的经典文献和政策文件。首先借鉴戚聿东等<sup>[27]</sup>的数字化转型理论框架,选择数字化的关键技术词汇。其次选择《关于加快培育发展制造业优质企业的指导意见》《推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展方案》《中小企业数字化赋能专项行动方案》《新一代人工智能发展规划》等重要文件,扩展数字化转型的关键词词库。

具体文本匹配步骤上,本文首先提取上市公司年度募集资金存放与实际使用情况的专项报告中的募集资金使用情况对照表,该表覆盖了上市公司承诺投资项目、项目变更情况、承诺投资总额、截至期末累计投入金额、是否达到预计效益等关键信息。接着使用数字化转型关键词对提取的文本内容进行匹配,形成上市公司年度内是否投资数字化相关项目的虚拟变量,该指标为衡量制造业上市公司数字化转型的第一个变量(*Digi\_Lag\_1*)。

在确认企业投资数字化项目后,从报告中提取项目截至期末累计投入金额。本文在文本分析的基础上进行人工筛查,避免投资项目变更造成的投入金额重复计算。考虑到上市公司可能使用自有资金或银行信贷资金等除资本市场募集资金以外的资金来源投入数字化项目,本文使用上市公司财务报表附注中“无形资产”和“在建工程”科目的明细项目对募集资金投入数字化项目金额进行印证和补充。本文对最终去重加总的数字化投入金额加一取对数,形成衡量制造业上市公司数字化转型程度的第二个代理变量(*Ln\_Invest\_Digi*)。

### (三) 指标合理性分析

本文所构建指标的合理性主要体现在使用上市公司资金实际使用情况构造数字化转型的度量指标。由前文对指标构建过程的描述可知,该做法能准确判定上市公司是否实际开展数字化转型,并获取数字化转型投入金额,弥补了使用词频构建数字化转型指标易受到策略性披露误导的缺陷。

为了进一步验证本文构建的数字化转型程度指标的合理性,本文对比分析上市公司数字化转型程度的词频变量与本文构建的数字化转型指标。词频数据来源于国泰安数据库,该数据库参照吴非等<sup>[29]</sup>的数字化转型相关关键词词库得出词频。依据数字化关键词词频变量和本文构建的数字化累计投入程度变量,将上市公司样本观测分为“只说不做”“知行合一”两组,未数字化转型的企业样本则排除。对参与本文回归的 15 828 个观测描述性统计,在排除了 4 476 个观测后,“只说”的观测值个数为 4 939,“知行合一”的观测个数为 6 413。由此可知,“只说”的现象显著存在,且该类观测在全样本中比重较大,说明使用词频度量数字化转型程度会受到上市公司策略性披露的影响。

## 三、研究设计

### (一) 样本选取与数据来源

本文选取 2009—2020 年的中国 A 股制造业上市公司为样本,并对样本进行如下筛选:①剔除了当年交易状态为 ST、\*ST、PT 的公司;②剔除了已退市的公司;③剔除当年上市的公司;④剔除了参与回归的变量包含缺失值的样本。本文对所有连续变量进行了 1% 缩尾处理。上市公司财务数据来源于 CSMAR 数据库,上市公司公告数据来源于巨潮资讯网,上市公司绿色创新专利数据来源于 CNRDS 数据库。

### (二) 变量定义

#### 1. 被解释变量:绿色创新效率(*GreenInnov*)

本文借鉴权小锋等<sup>[32]</sup>的思路,使用绿色创新产出和创新投入的比值衡量绿色创新效率。受限于上市公司绿色创新投入数据不可得,本文使用公司年度研发支出对绿色创新投入进行近似替代。上市公司的绿色创新产出则使用上市公司绿色发明专利、实用新型和外观设计专利的总申请量加 1 的自然对数衡量。

#### 2. 解释变量:数字化转型

本文基于制造业上市公司资金实际投向构造了两个数字化转型变量。一是数字化转型的虚拟变量(*Digi\_Lag\_1*),如上市公司在募投项目中涉及

数字化项目,则取1,否则取0。二是数字化转型的连续变量(*Ln\_Invest\_Digi*),根据上市公司当年对数字化转型的累计资金投入构造。

### 3. 控制变量

本部分实证模型包含的控制变量主要有:①企业规模,该变量使用上市公司总资产的对数衡量;②企业年龄,该变量使用面板数据中观测的年份减去企业的成立年份得到;③企业资产负债率,即企业的总负债除以总资产;④资产收益率,即企业当年净利润占总资产的比例;⑤董事会规模,使用上市公司董事会人数的对数衡量;⑥环境规制程度,该变量使用上市公司所在地区当年投入废气废水污染治理的金额占该年工业产值的比重衡量。

表1 变量定义

变量符号	变量名称	变量定义
<i>GreenInnov</i>	绿色创新效率	$\ln(\text{绿色专利申请数量} + 1) / \ln(\text{研发支出} + 1)$
<i>Digi_Lag_1</i>		虚拟变量,该年上市公司是否进行数字化专项,是为1,否为0
<i>Ln_Invest_Digi</i>	数字化转型	上市公司年度募投资金使用情况专项报告公告中披露的数字化项目投入金额与财务报表附注中“在建工程”“无形资产”科目披露的数字化项目增加金额对照后,确认上市公司当年对数字化转型的累计投入金额,并在加一后取对数。为了便于观测回归系数,对该变量调整量纲除以100
<i>Size</i>	企业规模	上市公司总资产的对数值
<i>EstablishAge</i>	企业年龄	当年年份—成立年份
<i>Leverage</i>	资产负债率	总负债/总资产
<i>ROA</i>	资产收益率	净利润/总资产
<i>BoardSize</i>	董事会规模	$\ln(\text{董事会人数})$
<i>EnvirProtect</i>	环境规制程度	上市公司所在地区年度投入废气废水污染治理的金额占该年工业产值的比重
<i>Subsidies</i>	政府补助	上市公司财务报表附注中“政府补助”科目明细项目与数字化有关的补助金额
<i>Atten_Media</i>	媒体监督	上市公司当年被媒体报道的数量取对数
<i>DigiGreen</i>	虚拟仿真	基于发布的社会责任报告,使用数字化关键词“虚拟”“仿真”“模拟”“建模”“数字实验”等和绿色关键词“节能”“减排”“环保”“降碳”等进行匹配,并且要求该类关键词存在于同一语句当中,并对句频取对数

### (三)模型设计

本文使用面板回归模型检验制造业企业数字化转型对企业绿色创新效率的影响进行估计。

$$GreenInnov_{it} = \alpha + \beta Digi_{it} + \gamma X'_{it} + \mu_p + \xi_j + \vartheta_i + \varepsilon_{it}$$

式中,被解释变量 *GreenInnov* 为制造业上市公司的绿色创新效率,主要解释变量数字化转型包含两类,其中 *Digi\_Lag\_1* 为虚拟变量,表示上市公司数字化转型是否在募投项目中涉及数字化相关项目,*Ln\_Invest\_Digi* 为连续变量,表示上市公司当年对数字化转型的累计投入程度。控制变量包括企业规模、企业年龄、资产收益率、资产负债率、董事会规模和地区环境规制程度。为减少内生性问题的干扰,模型中控制了年份、行业和地区固定效应。

## 四、基准实证结果

### (一)描述性统计

本部分基准回归所使用变量的描述性统计列示在表2中。参与回归的制造业上市公司一年份观测值共有15 828个。被解释变量企业绿色创新效率(*GreenInnov*)的均值为0.033,标准差为0.05,最大值为0.207。主要解释变量数字化转型中,虚拟变量 *Digi\_Lag\_1* 的均值为0.22,标准差为0.415,连续变量 *Ln\_Invest\_Digi* 的均值为0.022,标准差为0.056。

表2 描述性统计

变量	N	Mean	SD	Min	Max
<i>Digi_Lag_1</i>	15 828	0.220	0.415	0.000	1.000
<i>EnvirProtect</i>	15 828	0.003	0.002	0.000	0.025
<i>Holder_Top1</i>	15 828	33.756	14.230	2.866	89.093
<i>ROA</i>	15 828	0.040	0.060	-0.233	0.196
<i>Leverage</i>	15 828	0.396	0.191	0.055	0.859
<i>Size</i>	15 828	22.051	1.144	20.029	25.514
<i>EstablishAge</i>	15 828	17.069	5.438	5.000	31.000
<i>BoardSize</i>	15 828	2.123	0.189	1.609	2.639
<i>Ln_Invest_Digi</i>	15 828	0.022	0.056	0.000	0.225
<i>GreenInnov</i>	15 828	0.033	0.050	0.000	0.207

### (二)回归结果分析

本部分对数字化转型对企业绿色创新效率的影响进行回归分析。表3中,第(1)列和第(2)列的解释变量为上市公司是否数字化的虚拟变量(*Digi\_Lag\_1*)。第(1)列为不含控制变量的回归模型,数字化转型的回归系数为0.007,统计上在1%的水平上显著,第(2)列的回归模型中含有控制变量,数字化转型的回归系数为0.004,在1%的

水平上显著为正。表中第(3)列和第(4)列的解释变量为上市公司的数字化投入的累计程度。第3列为不含控制变量的回归模型,数字化变量的回归系数为0.06,并在统计上1%的水平显著。第(4)列为含有控制变量的回归模型,数字化变量的系数为0.026,在1%的水平上显著。以上回归结果均表明数字化转型能够显著提升企业绿色创新效率。经济意义上,制造业上市公司开展数字化转型能够促进上市公司绿色创新效率提高0.4%。

表3 数字化转型对上市公司绿色创新效率的影响

序号	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	<i>GreenInnov</i>	<i>GreenInnov</i>	<i>GreenInnov</i>	<i>GreenInnov</i>
<i>Digi_Lag_1</i>	0.007*** (6.606)	0.004*** (4.896)	- -	- -
<i>Ln_Invest_Digi</i>	- -	- -	0.060*** (8.312)	0.026*** (4.062)
<i>Size</i>	- -	0.019*** (43.487)	- -	0.019*** (43.428)
<i>EstablishAge</i>	- -	-0.000** (-2.517)	- -	-0.000*** (-2.669)
<i>Leverage</i>	- -	0.009*** (3.835)	- -	0.008*** (3.633)
<i>ROA</i>	- -	0.014** (2.339)	- -	0.014** (2.271)
<i>BoardSize</i>	- -	0.002 (1.162)	- -	0.002 (1.031)
<i>Holder_Top1</i>	- -	-0.000*** (-3.573)	- -	-0.000*** (-3.539)
<i>EnvirProtect</i>	- -	-0.145 (-0.453)	- -	-0.143 (-0.449)
<i>Constant</i>	0.031*** (73.385)	0.386*** (-42.883)	0.031*** (78.824)	-0.385*** (-42.645)
<i>Observations</i>	15 828	15 828	15 828	15 828
<i>R<sup>2</sup></i>	0.145	0.315	0.146	0.314
<i>Industry FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Prov FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Year FE</i>	YES	YES	YES	YES

注:Robust t-statistics in parentheses, \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

### (三) 内生性问题

本部分的基准回归结果表面上上市公司数字化转型能够提升绿色创新效率。尽管已经通过控制行业、地区和年度固定效应缓解了一部分内生性问题,但理论上可能仍存在遗漏变量的影响导致内生性。本部分参照易靖韬等<sup>[33]</sup>通过工具变量法缓解内生性问题。本文为解释变量 *Ln\_Invest\_Digi* 选择的工具变量是企业所在行业内其他企业的数字化转型程度的平均值。该工具变量满足相关性

和排他性标准。在相关性上:第一,同行业的企业基本具备该行业普遍的特性,在数字化技术的应用上可能具有相似的需求。如电器机械制造行业与酒类制造行业对数字化技术的需求有所不同,酒类制造行业企业的生产过程更依赖生产者的生产经验,应用数字化技术较多是在销售环节,如数字化营销,机械制造可以在生产过程中结合数字化和自动化,在原先设备的基础上进行升级改造,应用数控系统。第二,以往文献表明企业数字化转型具有同群效应<sup>[28]</sup>,由于同行业内企业互为竞争关系,在行业内已有进行数字化转型并且提升绩效的范例时,企业可能竞相模仿,进行数字化转型。因此,同行业内其他企业的数字化水平均值与本企业的数字化转型程度应为正相关关系。在排他性上,其他企业的数字化水平均值应该不会直接对本企业的绿色创新效率造成影响。

表4报告了使用工具变量的二阶段回归结果。数字化转型投入程度的回归系数为0.027并在1%的水平上显著。表明在缓解了内生性问题后,制造业上市公司数字化转型仍然提高了绿色创新效率。

表4 数字化转型对上市公司绿色创新效率的影响——工具变量法

变量	(1)
	<i>GreenInnov</i>
<i>Ln_Invest_Digi</i>	0.027*** (4.146)
<i>Kleibergen - Paap rk LM statistic</i>	2 901.516
<i>Cragg - Donald Wald F statistic</i>	1.2e + 06
<i>Observations</i>	15 823
<i>R<sup>2</sup></i>	0.313
<i>Controls</i>	YES
<i>Industry FE</i>	YES
<i>Prov FE</i>	YES
<i>Year FE</i>	YES

注:Robust z-statistics in parentheses, \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

### (四) 稳健性检验

#### 1. 更换被解释变量

本部分将被解释变量绿色创新效率更换为本年度上市公司申请的绿色发明专利和实用性专利数量加1的对数与研发投入对数的比值,以检验本章基准回归结论的稳健性。回归结果表明更换绿色创新效率衡量方法后,数字化转型对绿色创新



效率的提升作用依然存在。

## 2. 解释变量滞后两期

考虑到部分上市公司募投项目的建设期较长,本部分将解释变量数字化转型滞后两期代入回归模型。回归结果表明解释变量滞后两期后,数字化转型对绿色创新效率的提升作用依然存在。

## 五、异质性分析

### (一) 产权性质的异质性分析

由于绿色技术创新能创造较大的社会效益,符合国家战略规划,而干预国有企业的战略决策是政府推进国家战略规划的重要途径,本文预期国有企业数字化转型提高绿色创新效率的作用相比非国有企业更大。为了验证该假设,本部分将制造业上市公司依据其产权性质分为国有企业和非国有企业进行分样本回归结果呈现在表5中。第(1)列和第(2)列的主要解释变量为制造业企业是否进行数字化转型的虚拟变量,第(1)列的企业样本为国有企业,第(2)列的企业样本为非国有企业,数字化转型对企业绿色创新效率的显著提升作用在两组企业中均存在。第(3)列和第(4)列的主要解释变量为制造业上市公司数字化转型的累计投入程度,第(3)列的企业样本为国有企业,数字化累计投入对绿色创新效率的回归系数在国有企业中显著为正,第(4)列的企业样本为非国有企业,数字化累计投入对绿色创新效率的回归系数在该组中不显著。总体回归结果表明国有企业中数字化转型对企业绿色创新存在显著的提升作用。

表5 数字化转型对企业绿色创新效率的影响——产权性质异质性

序号	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	国有企业	非国有企业	国有企业	非国有企业
<i>Digi_Lag_1</i>	0.004 *** (4.579)	0.008 *** (3.593)	- -	- -
<i>Ln_Invest_Digi</i>	- -	- -	0.031 *** (4.383)	0.018 (1.236)
<i>Observations</i>	11 281	4 547	11 281	4 547
<i>R<sup>2</sup></i>	0.284	0.389	0.284	0.387
<i>Controls</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Industry FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Prov FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Year FE</i>	YES	YES	YES	YES

注:Robust t-statistics in parentheses, \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1 有统计学意义。

### (二) 污染程度的异质性分析

本部分将制造业上市公司依据其是否是重污染制造业进行分组,回归结果呈现在表6。第(1)列和第(2)列的主要解释变量为上市公司是否进行数字化的虚拟变量。第(1)列的回归样本为重污染行业的上市公司,该模型中数字化转型的回归系数为0.004并在1%的水平上显著。第(2)列的回归样本为非重污染行业的上市公司,该模型中的数字化转型变量的回归系数为0.003并在1%的水平上显著。结果表明,数字化转型对企业绿色创新效率的显著提升作用在两组企业中均存在。特别地,在重污染企业中数字化转型对绿色创新效率的提升作用更大。第(3)列和第(4)列的回归模型主要解释变量为上市公司对数字化转型的累计投入程度。第(3)列的回归样本为重污染行业的上市公司,该模型中数字化转型的回归系数为0.025并在1%的水平上显著。第(4)列的回归样本为非重污染行业的上市公司,该模型中的数字化转型变量的回归系数为0.019但在统计上不显著。该结果表明上市公司数字化转型投入程度的提高对绿色创新效率的正面影响显著存在于重污染行业中。

表6 数字化转型对企业绿色创新效率的影响——污染程度异质性

序号	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	重污染	非重污染	重污染	非重污染
<i>Digi_Lag_1</i>	0.004 *** (3.880)	0.003 ** (2.029)	- -	- -
<i>Ln_Invest_Digi</i>	- -	- -	0.025 *** (3.298)	0.019 (1.587)
<i>Observations</i>	5 317	10 511	5 317	10 511
<i>R<sup>2</sup></i>	0.349	0.205	0.349	0.204
<i>Controls</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Industry FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Prov FE</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Year FE</i>	YES	YES	YES	YES

注:Robust t-statistics in parentheses, \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1 有统计学意义。

## 六、机制分析

### (一) 媒体监督机制

本部分检验了企业数字化转型是否会提升媒体关注度,进而提升对企业进行绿色创新的监督作用。本文参考江艇<sup>[34]</sup>的方法,进行中介效应的机制分析。对该机制的检验结果呈现在表7第

(1)列至第(2)列中。回归模型的被解释变量为当年该上市公司的媒体报道数量加一的对数,回归模型控制了企业特征等变量和年份、行业、地区的固定效应。第(1)列的主要解释变量为上市公司是否进行数字化转型的虚拟变量,该变量的回归系数为0.162,在1%的水平上显著。第(2)列的主要解释变量为数字化转型累计投入程度,该变量的回归系数为0.87,并在1%的水平上显著。回归结果表明数字化转型会提升媒体对该制造业上市公司的关注度,检验了数字化转型通过提高媒体对上市公司的关注度进而提高绿色创新效率的传导机制。数字化转型作为国家大力推行的战略,是媒体关注和报道的重要方向。企业在数字化转型取得成效,易受到媒体关注并作为正面宣传对象进行采访报道,向社会宣传数字化转型战略的优势和成果。而企业的媒体关注度上升后,会在媒体和社会公众的监督下进一步规范自身的经济和社会行为。

表 7 数字化转型影响绿色创新效率机制分析

序号	(1)	(2)	(3)
变量	<i>Atten_Media</i>	<i>Atten_Media</i>	<i>DigiGreen</i>
<i>Digi_Lag_1</i>	0.162*** (8.488)	-	-
<i>Ln_Invest_Digi</i>	-	0.870*** (6.239)	0.164** (2.288)
<i>Observations</i>	15 828	15 828	15 828
<i>R<sup>2</sup></i>	0.427	0.426	0.141
<i>Controls</i>	YES	YES	YES
<i>Industry FE</i>	YES	YES	YES
<i>Prov FE</i>	YES	YES	YES
<i>Year FE</i>	YES	YES	YES

注:Robust t-statistics in parentheses, \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$  有统计学意义。

## (二)虚拟仿真机制

本部分对数字化转型是否能提高企业虚拟仿真技术的应用进而提升绿色创新效率的机制进行实证分析。本文在制造业企业发布的社会责任报告中,使用数字化关键词“虚拟”“仿真”“模拟”“建模”“数字实验”等和绿色相关关键词“节能”“减排”“环保”“降碳”等进行匹配,并且要求该类关键词存在于同一语句当中。最终统计出该上市公司该年度的社会责任报告中符合以上要求的句子频数。频数大于1则表明该上市公司当年使用虚拟仿真技术赋能生产制造,做到节能减排的

绿色发展,达成了绿色创新。对该频数取对数构建本部分的被解释变量 *DigiGreen*。

使用数字化转型累计投入程度对企业使用虚拟仿真技术提升绿色创新的回归结果列示在表7第(3)列中,数字化转型累计投入程度的回归系数为0.164,在5%的水平上显著为正。该结果表明,上市公司的数字化累计投入程度越高,越有可能使用虚拟仿真技术进行绿色创新,节约创新成本和缩短研发周期,提高绿色创新效率。

## 七、结论与政策建议

实证结果表明:①数字化转型能显著提升制造业企业的绿色创新效率,在国有企业和重污染企业样本中更为显著。②数字化转型通过强化媒体监督、应用虚拟仿真技术两个渠道提高企业绿色创新效率。

基于以上结论,本文提出以下政策建议:第一,我国政府应坚定推进制造业企业特别是重污染企业开展数字化转型,提高企业绿色创新效率。数字技术在制造业的应用可以提供新的创新方式,助力数字化、绿色化协同转型。第二,政府、工信部和行业协会应推进建设工业互联网平台和数据要素交易市场,增强工业数据和共享参数在企业间的交易和流动,加快企业使用虚拟仿真技术进行创新的进程。

### 参考文献:

- [1]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):96-112,126,113.
- [2]杨艳芳,程翔.环境规制工具对企业绿色创新的影响研究[J].中国软科学,2021(S1):247-252.
- [3]廖文龙,董新凯,翁鸣,等.市场型环境规制的经济效应:碳排放交易、绿色创新与绿色经济增长[J].中国软科学,2020(6):159-173.
- [4]王晓祺,郝双光,张俊民.新《环保法》与企业绿色创新:“倒逼”抑或“挤出”?[J].中国人口·资源与环境,2020,30(7):107-117.
- [5]HUANG Y, CHEN C, LEI L, et al. Impacts of green finance on green innovation: a spatial and nonlinear perspective [J]. Journal of cleaner production, 2022(365):132548.
- [6]RAO S, PAN Y, HE J, et al. Digital finance and corporate green innovation: quantity or quality? [J]. Environmental



science and pollution research, 2022, 29(37): 56772-56791.

[7] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究, 2018, 53(12): 129-143.

[8] 田红彬, 郝雯雯. FDI、环境规制与绿色创新效率[J]. 中国软科学, 2020(8): 174-183.

[9] 王永贵, 李霞. 促进还是抑制: 政府研发补助对企业绿色创新绩效的影响[J]. 中国工业经济, 2023(2): 131-149.

[10] 赵莉, 张玲. 媒体关注对企业绿色技术创新的影响: 市场化水平的调节作用[J]. 管理评论, 2020, 32(9): 132-141.

[11] 崔秀梅, 王敬勇, 徐国宇. 环境不确定性、高管任期与企业绿色创新[J]. 科学决策, 2021(10): 20-39.

[12] BEGUM S, ASHFAQ M, XIA E, et al. Does green transformational leadership lead to green innovation? the role of green thinking and creative process engagement[J]. Business strategy and the environment, 2022, 31(1): 580-597.

[13] 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.

[14] 肖静, 曾萍. 数字化能否实现企业绿色创新的“提质增效”? ——基于资源视角[J]. 科学学研究, 2022(7): 1-19.

[15] 孙国锋, 潘珊珊, 徐瑾. 制造业投入数字化对绿色技术创新的影响——基于静态和动态的空间杜宾模型研究[J]. 中国软科学, 2022(10): 30-40.

[16] 胡媛媛, 陈守明, 仇方君. 企业数字化战略导向、市场竞争力与组织韧性[J]. 中国软科学, 2021(S1): 214-225.

[17] 王巍, 姜智鑫. 通向可持续发展之路: 数字化转型与企业异地合作创新[J]. 财经研究, 2023, 49(1): 79-93.

[18] 于忠泊, 田高良, 齐保全, 等. 媒体关注的公司治理机制——基于盈余管理视角的考察[J]. 管理世界, 2011(9): 127-140.

[19] 张玉明, 邢超, 张瑜. 媒体关注对重污染企业绿色技术创新的影响研究[J]. 管理学报, 2021, 18(4): 557-568.

[20] 池毛毛, 叶丁菱, 王俊晶, 等. 我国中小制造企业如何提升新产品开发绩效——基于数字化赋能的视角[J]. 南开管理评论, 2020, 23(3): 63-75.

[21] 孟韬, 赵非非, 张冰超. 企业数字化转型、动态能力与商业模式调适[J]. 经济与管理, 2021, 35(4): 24-31.

[22] 陈楠, 蔡跃洲, 马晔风. 制造业数字化转型动机、模式与成效——基于典型案例和问卷调查的实证分析[J]. 改革, 2022(11): 37-53.

[23] 易靖韬, 曹若楠. 流程数字化如何影响企业创新绩效? ——基于二元学习的视角[J]. 中国软科学, 2022(7): 94-104.

[24] 刘政, 姚雨秀, 张国胜, 等. 企业数字化、专用知识与组织授权[J]. 中国工业经济, 2020(9): 156-174.

[25] 刘飞, 田高良. 信息技术是否替代了就业——基于中国上市公司的证据[J]. 财经科学, 2019(7): 95-107.

[26] 王敬勇, 孙彤, 李珮, 等. 数字化转型与企业融资约束——基于中小企业上市公司的经验证据[J]. 科学决策, 2022(11): 1-23.

[27] 戚聿东, 蔡呈伟. 数字化对制造业企业绩效的多重影响及其机理研究[J]. 学习与探索, 2020(7): 108-119.

[28] 陈庆江, 王彦萌, 万茂丰. 企业数字化转型的同群效应及其影响因素研究[J]. 管理学报, 2021, 18(5): 653-663.

[29] 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, 10.

[30] 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.

[31] 赵璨, 陈仕华, 曹伟. “互联网+”信息披露: 实质性陈述还是策略性炒作——基于股价崩盘风险的证据[J]. 中国工业经济, 2020(3): 174-192.

[32] 权小锋, 尹洪英. 中国式卖空机制与公司创新——基于融资融券分步扩容的自然实验[J]. 管理世界, 2017(1): 128-144.

[33] 易靖韬, 王悦昊. 数字化转型对企业出口的影响研究[J]. 中国软科学, 2021(3): 94-104.

[34] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.

(本文责编: 海洋)