

# 企业数字化转型是否提升了 绿色技术创新的“量与质” ——基于A股上市公司的实证研究

原小能, 吉翔, 杨晨

(南京财经大学国际经贸学院, 江苏 南京, 210023)

**摘要:**企业绿色技术创新是降低碳排放实现高质量发展的重要途径。当前,越来越多的企业借助新兴的信息技术进行数字化变革,为绿色技术创新提供了有利机遇。从内部治理、商业信用融资和人力资本三个方面剖析企业数字化转型影响绿色技术创新的作用机制,以我国2007—2020年沪深A股上市公司为研究样本,进行实证检验。研究表明:企业数字化转型通过提升内部治理水平、提高商业信用融资能力和优化人力资本结构等促进绿色技术创新;进一步分析发现,数字化转型不仅促进了企业绿色技术创新的“量”,还对绿色技术创新的“质”产生了显著的正向影响。企业数字化转型对绿色技术创新的影响效应在国有企业、大型企业以及非重污染行业中更显著。

**关键词:**数字化转型;绿色技术创新;内部治理;商业信用融资;人力资本

**中图分类号:**F124.3

党的二十大报告指出,要加快发展方式绿色转型,实施全面节约战略,发展绿色低碳产业。在数字技术加速发展的背景下,企业如何通过协同数字化和绿色化,加快绿色技术创新,成为实现“双碳”目标的重要问题。

诸多学者对企业数字化和绿色发展进行了研究。在宏观层面,金环等<sup>[1]</sup>基于电子商务,石大千等<sup>[2]</sup>、宋德勇等<sup>[3]</sup>、韦琳等<sup>[4]</sup>基于智慧城市试点,刘海建等<sup>[5]</sup>基于供应链创新与应用试点,运用双重差分的方法考察数字化对绿色技术创新的影响,发现上述因素皆对绿色技术创新有显著的正向促进作用;庞瑞芝等<sup>[6]</sup>通过熵值法得到反映各地区数字化发展水平的综合指数,同样发现数字经济的发展有利于绿色技术创新。在微观层面,曹裕等<sup>[7]</sup>认为企业数字化行为会提升企业的关键能力,进而带来资源编排行动,推动企业绿色转型;刘畅等<sup>[8]</sup>认为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。王锋正等<sup>[9]</sup>发现数字化技术的应用有利于增强企业技术整合能力从而促进企业绿色技术创新水平的提升。

综上,学者们从多个视角研究了数字化对企业绿色技术创新的影响。本文从微观视角出发,在以下两个方面进行拓展:(1)拓展数字化对企业绿色技术创新的影响机制研究。从内部治理、商业信用融资和人力资本三个维度分析企业数字化转型对技术创新的作用机制,并从企业性质、企业规模以及行业属性三个方面进行异质性分析。(2)优化企业绿色技术创新的衡量指标。已有文献多关注企业绿色专利的数量指标,即企业绿色专利的申请量或授权量,鲜有文献从数量和质量双重视角考察绿色技术创新。本文以绿色专利申请量衡量绿色技术创新的数量,采用申请的绿色专利每年被引用量衡量绿色技术创新的质量,考察数字化对企业绿色

收稿日期:2024-03-15

**基金项目:**国家社会科学基金一般项目“服务业数字生态对低技能劳动力就业的影响机制与适宜性改进政策研究”(23BJY244);江苏省社会科学基金重点项目“服务业数字化促进江苏中等收入群体扩容的机制与路径研究”(22EYA004);国家自然科学基金青年项目“多级数字鸿沟影响地区收入不平等的机制与效应研究:基于非对等经济联系视角”(72203087)

**作者简介:**原小能,博士,教授,研究方向为数字经济、服务经济。

**E-mail:** yxnlyf@163.com

**引文格式:**原小能,吉翔,杨晨.企业数字化转型是否提升了绿色技术创新的“量与质”——基于A股上市公司的实证研究[J].南京工程学院学报(社会科学版),2024,24(1):46-60.

技术创新质与量的影响。

## 一、理论分析与研究假说

企业数字化转型是指企业引入数字技术,改造生产、管理和销售等各业务流程。企业绿色技术创新则是指企业在生产过程中进行技术创新、工艺创新或产品创新,达到减少环境污染、减少原材料和能源损耗的目标。相对于传统的技术创新,绿色技术创新更为复杂,不仅有助于企业降低环境成本,而且能够依靠绿色产品和技术创新构筑新的竞争优势,实现生态保护和科技进步的最佳结合<sup>[10]</sup>。企业数字化转型所伴随的新兴数字技术与创新理念有可能成为企业构筑绿色可持续竞争优势的重要战略手段。

### 1. 企业数字化转型对绿色技术创新的影响

首先,拥有异质性资源是企业保持持续竞争优势的关键,数字化转型所带来的数据信息搜集和处理能力,被视为企业投入日常经营活动中的新要素<sup>[11]</sup>。具体来看,数字技术能够帮助企业实时记录生产经营全过程中的各项数据和指标,将这些结果利用数字技术分析反馈到下一个生产阶段,调整生产过程,有利于优化资源配置、减少无谓耗损、形成新的绿色生产范式,对企业绿色技术创新能力产生帮助。

其次,由于信息不对称问题,企业很难及时、高效地为自身找到合适的合作伙伴,而数字技术能够有效降低企业的信息搜寻成本,帮助企业对外寻求合作伙伴,开展绿色创新;此外,数字化转型后的企业所拥有的数字分析能力,能够帮助其有效判断能否与合作对象达成正式的合作关系,进一步降低在商务谈判上所需要花费的财力和精力,为传统企业带来“降成本”和“提效率”的转变<sup>[12]</sup>。因此,企业数字化转型能够有效降低日常生产经营过程中所支付的市场交易成本,从而激励其开展绿色创新活动。

最后,绿色技术创新的实现离不开新技术的支持,相比于一般性创新活动,绿色技术创新对知识和技术的要求又提升了一个台阶,因此需要更多的知识储备才能实现。数字技术拓宽了企业可获取的网络信息边界,能够获得更多的异质性和前沿性知识,特别是关于环境治理和节能减排等方面的动态信息<sup>[6]</sup>,提高企业突破绿色技术创新阈值限制的可能性。此外,数字技术打破了“时空”限制,使得企业人员能够在互联网、区块链以及元宇宙等信息

技术的帮助下,实现远距离的沟通和交流,帮助企业有效地分析和解决绿色研发和创新问题,促进企业的绿色化发展。

因此,本文提出研究假说1:企业数字化转型能够促进绿色技术创新。

### 2. 企业数字化转型对绿色技术创新的作用机制

企业在经营过程中,可能会遇到各种风险,如经营风险、市场风险、信用风险等。企业可以建立内部控制体系来防范和降低这些风险,保障生产经营活动的顺利开展、监控企业内部风险的发生<sup>[13]</sup>。当下,企业可以依托数字化技术进一步完善内部控制体系,促进绿色技术创新。

一方面,数字化技术强化了企业对信息的处理、流转能力,降低了信息不对称程度,使企业组织结构更加趋于扁平化,这种改变将会显著提高企业内部治理水平。考虑到绿色技术创新成本高、周期长、风险大<sup>[14]</sup>,更需要企业内各部门形成“一盘棋”的组织模式,通过环保信息共享实现专业知识互补,帮助企业提高绿色创新的决策效率<sup>[15]</sup>。例如,研发部门关注绿色技术对于本公司来说是否具有可行性,工艺部门关注绿色产品利用现有的工艺流程是否可以顺利生产,财务部门关注绿色创新的成本对于企业流动资产是否能够承受,产品部门关注绿色产品在当下市场环境是否能够顺利销售<sup>[4]</sup>。因此,企业数字化转型的主要变化就是能够利用数字技术将部门间的信息进行整合,并将这些信息在企业内部共享,有效提升绿色技术创新决策效率,降低企业进行绿色技术创新的不确定性。

另一方面,数字化转型强化了股东对企业的整体控制水平。得益于新一代数字化技术,企业内部信息的流转更为快速,缓解了信息不对称,股东更容易获取企业经营发展的真实情况,从本质上缓解了“委托—代理”问题<sup>[2]</sup>,从而提高了企业内部控制能力。绿色创新作为一种成本高、周期长、风险大的企业技术升级活动,必然会对近期的企业绩效产生不良影响。区别于股东对企业的长远发展考虑,管理层选择规避绿色技术创新行为,将资源投入赢得短期利益的活动中,展现出更多的自身价值。而股东对企业控制水平的提升,迫使管理者与股东的经营理念趋于一致,转而走向绿色发展之路,依靠绿色技术创新实现企业高质量发展,从而在市场上获取竞争优势,赢得长期利益<sup>[16]</sup>。

因此,本文提出研究假说2:企业数字化转型能够有效提升内部治理水平,从而促进绿色技术

创新。

相比于一般性创新活动,融资约束问题成为企业是否能够实现绿色技术创新的关键性问题<sup>[17]</sup>。但随着市场信誉体系的建立,基于供应链上下游的商业信用融资为企业提供了更为宽松的融资环境。相比于其他的融资方式,商业信用融资的借贷灵活性高、限制条款少、融资成本低,因此通过商业信用融资这种非正规金融融资方式可以帮助企业解决绿色技术创新资源不足的问题。

信息不对称通常被认为是企业商业信用建立的阻碍因素,企业自主披露的信息往往十分有限且真实性有待商榷,利益相关者无法准确、及时地获得企业的真实信息,制约企业建立良好的商业信用体系。数字技术强化了企业的信息挖掘能力,数字化转型能够帮助企业将沉淀在内部的信息进行结构化、标准化处理<sup>[18]</sup>,同时提高企业信息对外的传播效率,从而能够向外部利益相关者“推送”更多真实有效的信息。利益相关者获取这些信息后,会增加其对企业债务与生产经营能力预期的稳定性,并进行弹性的“信贷调整”,提高企业在供应链中的商业信用。此外,数字化转型是一种能力的展现。在数字经济时代,拥有数字化技术的企业等于拥有差异性信息资源和人才优势,不仅能够市场竞争中处于优势地位,而且能够为企业的高质量发展提供持久的动力。这可以进一步增强供应链上下游相关企业对企业实力的认可,提高企业自身的商业信用融资能力。

因此,本文提出研究假说3:企业数字化转型能够有效提高商业信用融资能力从而促进绿色技术创新。

企业的人力资本水平在市场竞争过程中发挥着极其重要的作用。高级人才是企业行为的主体,能够放大知识在企业内部的溢出效应,在一定程度上反映企业的核心竞争力。同样,人力资本在企业数字化转型与绿色技术创新之间发挥着重要桥梁作用。数字技术本身的专业性较强,充分释放数字化转型效应所需的门槛要求比较高,因此,企业对高技能劳动者的需求会增加。选择招聘高技术专业人才,或是对员工进行专项培训锻炼,以保证员工更能适应数字化转型后的工作<sup>[19]</sup>,使得企业整体的人力资本水平得以提高。

人力资本优化可以进一步促进绿色技术创新。首先是高级人才往往对环境问题更加重视,在企业的全局生产运营过程中会加入绿色的约束,在日常的工作、交流讨论、产品研发、工艺优化

等方面都会做到绿色全盘考虑,因此企业的绿色技术创新活动的开展将会更加顺畅。不仅如此,企业人力资本结构得到优化后,还可以充分利用数字技术挖掘更深层次的信息资源,并将这些资源进行利用、整合,进而直接作用于绿色技术创新。其次是人力资本优化改变了要素投入结构<sup>[20]</sup>,高级人才可以利用数字化技术监测生产过程中废弃物、气体排放,检验原材料利用效率,检测产品是否达到绿色标准等,促进企业绿色技术创新。最后是环境友好型技术的引进和吸收需要人力资本的参与,高技术人才更能够利用数字化技术及时、敏锐地了解到最前沿生产技术,优化生产工艺,降低原材料消耗、污染排放等问题,从而促进绿色技术创新。

因此,本文提出研究假说4:企业数字化转型能够优化人力资本结构从而促进绿色技术创新。

## 二、研究设计

### 1. 数据来源

考虑到2007年中国上市公司会计准则发生变更,本文选择2007年作为样本起始年份,同时将2020年作为样本的终点。因此,本文以中国沪深A股上市企业2007—2020年的数据作为研究样本,实证检验企业数字化转型对绿色技术创新的影响。在收集和整理2007—2020年上市公司年报资料的基础上,本文利用文本分析法得到上市公司数字化转型指数。企业绿色技术创新的数据来源方式如下:根据世界知识产权组织(WIPO)在2010年推出的“国际专利绿色分类清单”中绿色专利的IPC分类号,从中国国家知识产权局(SIPO)专利检索系统中设置专利类型、IPC分类编码及发明单位(个人)地址检索获取上市企业层面的绿色专利数据。其他公司层面的数据来自Wind数据库和CSMAR数据库。

此外,在收集到原始数据基础上,本文对数据进行了如下处理:(1)剔除金融类上市企业的样本;(2)剔除ST、\*ST的上市企业样本;(3)为排除异常值的干扰,剔除员工少于10人的上市企业样本。经过上述筛选,最终得到23273个观测样本并对所有连续变量进行前后1%分位上的缩尾处理,以减弱离群值对回归结果的干扰。

### 2. 模型设定

本文设定如下双重固定效应模型进行检验:

$$Y_{it} = \alpha + \beta dig_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $Y_{it}$  代表企业  $i$  第  $t$  年绿色技术创新水平; $dig_{it}$  表示企业数字化转型,是本文的核心解释变量; $\beta$  刻画企业数字化转型对绿色技术创新的影响效应,如果在控制一些其他影响因素之后, $\beta$  系数显著为正,则认为企业数字化转型能够促进绿色技术创新,反之则抑制; $X_{it}$  表示所使用控制变量的集合; $\mu_i$  和  $\sigma_t$  分别表示行业固定效应和时间固定效应; $\varepsilon_{it}$  为随机误差项。

### (1) 被解释变量

绿色技术创新( $Y$ ):采用上市公司企业绿色专利申请量衡量绿色技术创新,在使用上市企业每年的绿色专利申请总量( $tpat$ )的基础上,同时使用绿色发明专利申请总数( $fpat$ )以及绿色实用新型专利申请总数( $xpat$ )加以分析,分别用上市企业每年上述三种类型绿色专利申请总数加 1 取自然对数表示。

### (2) 核心解释变量

企业数字化转型水平( $dig$ ):企业对某一特定经营战略和决策的重视程度往往体现在年报中,统计该战略相关关键词在年报中出现的频率可以很好地反映企业在这方面的建设水平。因此,本文参考吴非等<sup>[18]</sup>的做法构建企业数字化水平的指标。具体步骤如下:一是手动收集 2007—2020 年 A 股上市公司的年度报告,下载并转换为 txt 格式,对年报中“管理层讨论与分析”(MD&A)部分进行文本分析。二是构建数字化文本集。具体数字化相关词汇见表 1,主要分为底层技术运用和技术实践应用两大类。其中,底层技术运用主要包括人工智能技术、大数据技术、云计算技术、区块链技术等四大类,依据这四大类可以进一步细化数字化相关技术;数字化技术运用包括移动互联网、工业互联网、移动互联、互联网医疗、电子商务等多个方面。这些数字化相关词汇构成了提取数字化转型词频的文本集。三是构建企业数字化转型指标。考虑到上市公司年报中“管理层讨论与分析”(MD&A)部分文本量不同,文本量大的企业数字化相关词汇出现的概率也相对较多,但这不代表文本量小的企业数字化转型程度低,仅仅使用词频反映各个企业的数字化转型欠妥当。因此,本文使用 MD&A 中数字化关键词的词频占 MD&A 总词频的比重作为企业数字化转型的代理变量,为了表述方便,将该指标乘以 100。企业数字化转型指标数值越大,表明企业数字化转型程度越高。

表 1 数字化转型指数构建及关键词选取

类型	相关词汇
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
技术实践应用	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

### (3) 控制变量

借鉴已有研究<sup>[21]</sup>,本文选取 8 个可能影响企业绿色技术创新的指标作为控制变量。具体包括:财务杠杆( $lev$ ),以企业资产负债率衡量;研发投入( $yanfa$ ),以企业研发投入占营业收入的比重衡量;盈利能力( $roa$ ),以企业总资产净利润率衡量;第一大股东持股比例( $top1$ ),以第一大股东实际持股比例衡量;固定资产占比( $fixed$ ),以企业年末的固定资产总额与总资产的比值衡量;企业成长性( $growth$ ),以企业营业收入增长率衡量;企业规模( $size$ ),以企业资产总额衡量;企业年龄( $age$ ),在企业样本年份减去企业成立年份的基础上加 1 衡量。为减少异方差的影响,本文对所有连续变量进行自然对数处理。具体变量说明见表 2。

### (4) 数据特征及描述性统计

图 1 为上市企业年报披露的数字化相关词频数随时间变化的趋势。可以看出,上市公司年报披露的数字化相关词频数整体呈现快速上升趋势,尤其在 2010 年之后,数字技术高速发展与应用陡增,数字经济规模迅速扩张。图 2 为进行数字化转型与未进行数字化转型的企业绿色专利申请总量随时间变化

的趋势,若当年企业数字化相关词频占比为0,视为未进行数字化转型的企业;反之则视为数字化转型企业。由图2可以看出,进行数字化转型的企业绿色专利申请总量随时间变化逐渐上升,而未进行数字化转型的企业绿色专利申请总量并没有明显的变

化趋势。结合图1和2可以看到,2010年是企业数字化转型爆发的时间点,2011年是数字化转型企业绿色专利申请量暴增的一年,通常创新研发周期有一年左右,正好符合图中呈现的趋势。初步证实企业数字化转型对绿色技术创新有一定的促进作用。

表2 变量说明

变量类型	变量名称	变量符号	变量说明
被解释变量	绿色技术创新	<i>tpat</i>	企业当年申请绿色专利数量
		<i>fpat</i>	企业当年申请绿色发明专利数量
		<i>xpat</i>	企业当年申请绿色实用新型专利数量
核心解释变量	数字化转型	<i>dig</i>	数字化相关词频占总文本比重
	财务杠杆	<i>lev</i>	企业资产负债率
	研发投入	<i>yanfa</i>	企业研发投入占营业收入的比重
	盈利能力	<i>roa</i>	企业总资产净利润率
控制变量	第一大股东持股比例	<i>top1</i>	第一大股东实际持股比例
	固定资产占比	<i>fixed</i>	企业年末的固定资产总额与总资产的比值
	企业成长性	<i>growth</i>	营业收入增长率
	企业规模	<i>size</i>	企业资产总额
	企业年龄	<i>age</i>	当年的年份-成立年份+1

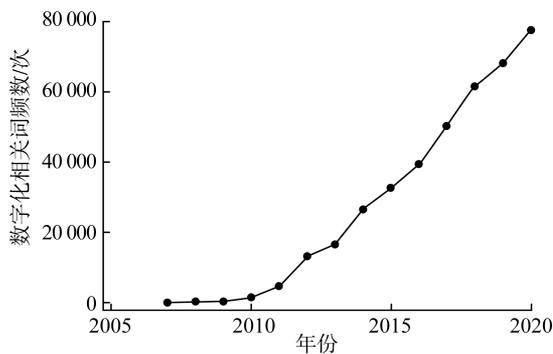


图1 数字化相关词频数变化趋势

表3为本文所使用的主要变量的描述性统计结果。绿色申请专利总数、发明专利以及实用新型专利的均值分别为0.522、0.356和0.313,说明当前上市企业绿色技术创新水平仍较低,存在较大的

提升空间。企业数字化水平的均值为0.167,同样也说明目前上市企业的数字化转型程度不高。此外,其他变量的取值均处于合理范围内,研究样本之间有着较大差异。

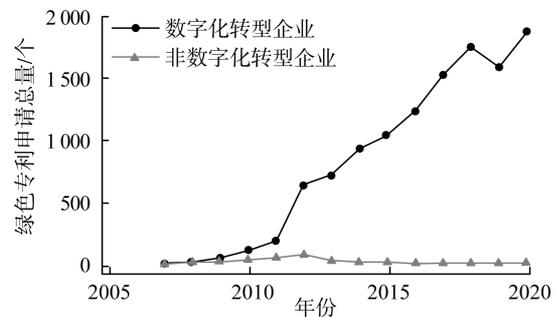


图2 企业绿色技术创新变化趋势

表3 主要变量描述性统计

变量	变量符号	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
绿色技术创新	<i>tpat</i>	23 273	0.522	0.908	0.000	3.951
	<i>fpat</i>	23 273	0.356	0.731	0.000	3.497
	<i>xpat</i>	23 273	0.313	0.661	0.000	3.091
企业数字化	<i>dig</i>	23 273	0.167	0.225	0.000	1.140
财务杠杆	<i>lev</i>	23 273	0.390	0.199	0.047	0.860
研发投入	<i>yanfa</i>	23 273	4.708	4.549	0.030	26.340
盈利能力	<i>roa</i>	23 273	0.046	0.065	-0.239	0.222
第一大股东持股比例	<i>top1</i>	23 273	0.341	0.144	0.088	0.722

续表 3

变量	变量符号	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
固定资产占比	<i>fixed</i>	23 273	0.204	0.143	0.004	0.643
企业成长性	<i>growth</i>	23 273	0.161	0.342	-0.481	1.964
企业规模	<i>size</i>	23 273	22.037	1.258	19.920	26.047
企业年龄	<i>age</i>	23 273	2.824	0.362	1.609	3.497

(5) 相关性分析

对主要变量进行相关性检验的结果如表 4 所示。企业数字化转型与绿色技术创新总量呈显著正相关关系,与绿色发明专利数呈显著正相关关系,但与实用新型专利数并不存在显著的正向影

响。总的来看,能够初步判断出数字技术的应用可能会促进绿色技术创新能力的提升。此外,除 *tpat*、*fpat* 和 *xtap* 高度相关,其他变量的相关系数均在 0.7 以下,说明各变量之间不存在严重的多重共线性。

表 4 相关系数矩阵

变量	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xtap</i>	<i>dig</i>	<i>lev</i>	<i>yanfa</i>	<i>roa</i>	<i>top1</i>	<i>fixed</i>	<i>Growth</i>	<i>size</i>	<i>age</i>
<i>tpat</i>	1											
<i>fpat</i>	0.928***	1										
<i>xtap</i>	0.875***	0.684***	1									
<i>dig</i>	0.067***	0.097***	-0.010	1								
<i>lev</i>	0.157***	0.143***	0.161***	-0.053***	1							
<i>yanfa</i>	0.097***	0.117***	0.020***	0.289***	-0.308***	1						
<i>roa</i>	0.022***	0.025***	0.007	0.011	-0.396***	0.014**	1					
<i>top1</i>	0.021***	0.008	0.042***	-0.120***	0.045***	-0.180***	0.125***	1				
<i>fixed</i>	-0.033***	-0.050***	-0.000	-0.294***	0.158***	-0.250***	-0.130***	0.097***	1			
<i>growth</i>	0.014**	0.015**	0.008	0.064***	0.004	-0.024***	0.283***	-0.010	-0.087***	1		
<i>size</i>	0.256***	0.264***	0.227***	-0.017***	0.550***	-0.258***	-0.078***	0.152***	0.144***	0.014**	1	
<i>age</i>	0.002	0.014**	-0.004	0.034***	0.203***	-0.106***	-0.136***	-0.094***	0.050***	-0.088***	0.248***	1

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

(6) 组间差异检验

表 5 为数字化转型企业和未数字化转型企业的绿色技术创新差异以及企业基本特征的差异。

表 5 组间差异检验

变量	未数字化转型组		数字化转型组		差异性检验 Mean Diff
	N	Mean	N	Mean	
<i>tpat</i>	2 676	0.339	20 597	0.546	-0.207***
<i>fpat</i>	2 676	0.214	20 597	0.374	-0.160***
<i>xtap</i>	2 676	0.203	20 597	0.327	-0.124***
<i>lev</i>	2 676	0.386	20 597	0.391	-0.005
<i>yanfa</i>	2 676	3.499	20 597	4.865	-1.366***
<i>roa</i>	2 676	0.046	20 597	0.046	-0.001
<i>top1</i>	2 676	0.353	20 597	0.339	0.014***
<i>fixed</i>	2 676	0.253	20 597	0.198	0.056***
<i>growth</i>	2 676	0.145	20 597	0.163	-0.018**
<i>size</i>	2 676	21.746	20 597	22.075	-0.329***
<i>age</i>	2 676	2.719	20 597	2.837	-0.118***

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

从表 5 数据可以看出,数字化转型企业组的绿色专利总量、绿色发明专利数以及实用新型专利数

的均值,均高于未数字化转型企业组,且通过了差异性检验,初步说明企业数字化转型与绿色技术创新可能存在正相关关系。除 *lev*、*roa* 以外,其余公司特征变量均存在组间显著差异。

三、实证结果与分析

1. 基准回归检验

表 6 为企业数字化转型影响绿色技术创新的基准回归结果。列(1)为数字化转型对绿色技术创新申请总量(*tpat*)的影响,列(2)为数字化转型对绿色发明专利申请量(*fpat*)的影响,列(3)为数字化转型对绿色实用新型专利申请量(*xpat*)的影响。从结果来看,企业数字化转型能够显著提高绿色技术创新水平。从细分指标来看,数字技术的应用对绿色发明专利在 1% 显著性水平上为正,同时对绿色实用新型专利在 5% 显著性水平上为正。相较于绿色实用新型专利,绿色发明专利的含金量更高<sup>[22]</sup>。因此,数字化技术应用能够推动企业绿色技术创新,且这种效应更体现在高价值的发明专利上。

表6 基准回归结果

变量	(1) <i>tpat</i>	(2) <i>fpat</i>	(3) <i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.243 6*** (0.030 5)	0.218 3*** (0.024 7)	0.049 2** (0.022 6)
<i>lev</i>	0.371 1*** (0.038 9)	0.245 9*** (0.031 5)	0.243 2*** (0.028 7)
<i>yanfa</i>	0.026 1*** (0.001 5)	0.023 6*** (0.001 2)	0.009 5*** (0.001 1)
<i>roa</i>	1.120 1*** (0.100 3)	0.842 4*** (0.081 4)	0.643 8*** (0.074 2)
<i>top1</i>	-0.028 0 (0.039 8)	-0.055 2* (0.032 3)	0.021 7 (0.029 4)
<i>fixed</i>	-0.117 0** (0.045 5)	-0.183 1*** (0.036 9)	-0.017 0 (0.033 6)
<i>growth</i>	-0.076 0*** (0.017 0)	-0.058 6*** (0.013 8)	-0.047 6*** (0.012 6)
<i>size</i>	0.207 9*** (0.005 7)	0.183 9*** (0.004 6)	0.121 0*** (0.004 2)
<i>age</i>	-0.114 2*** (0.018 0)	-0.061 3*** (0.014 6)	-0.090 8*** (0.013 3)
<i>_cons</i>	-4.052 6*** (0.125 5)	-3.739 9*** (0.101 8)	-2.271 8*** (0.092 8)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.175 0	0.164 2	0.149 3
<i>N</i>	23 273	23 273	23 273

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著,括号内为稳健标准误。下同。

从控制变量看,企业财务杠杆(*lev*)、企业研发投入(*yanfa*)、企业盈利能力(*roa*)、企业规模(*size*)对绿色技术创新的影响系数显著为正,说明企业的财务杠杆越高、研发投入越大、利润率越高、规模越大,越有利于绿色技术创新;企业固定资产占比(*fixed*)与企业年龄(*age*)对绿色技术创新的影响系数为负,说明企业固定资产比率越高、企业年龄越大,越不利于绿色技术创新。

## 2. 内生性处理

从上述分析可知,企业数字化转型能够有效推动绿色技术创新。然而,这种推进作用可能受到逆向选择问题的干扰,即相较于绿色技术创新水平较弱的企业,绿色技术创新水平有优势的企业可能本身拥有更高质量的经营管理设备,数字化转型程度也较高。双向因果引致的内生性问题,可能会引起企业数字化转型对绿色技术创新的影响产生偏误,需要进行内生性处理。

首先,本文使用滞后一期解释变量来缓解内生性问题,回归结果见表7列(1)~(3)。从结果来看,企业数字化转型对绿色专利申请总量依然显著为正,且绿色发明专利数以及绿色实用新型专利数的影响系数均显著为正,表明数字化转型对于企业绿色技术创新的影响具有一定的时滞性。

表7 内生性处理

变量	(1) <i>tpat</i>	(2) <i>fpat</i>	(3) <i>xpat</i>	(4) <i>dig</i>	(5) <i>tpat</i>	(6) <i>fpat</i>	(7) <i>xpat</i>
<i>L.dig</i>	0.293 9*** (0.034 3)	0.270 3*** (0.028 0)	0.056 0** (0.025 3)				
<i>dig</i>					1.405 2* (0.816 9)	1.141 3* (0.664 8)	0.939 8 (0.640 5)
<i>iv_dig</i>				0.277 5*** (0.044 2)			
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	19 261	19 261	19 261	23 246	22 807	22 807	22 807
<i>K_PrkLM</i>					34.960*** (0.000)	34.960*** (0.000)	34.960*** (0.000)
<i>C_DWaldF</i>					39.364	39.364	39.364
<i>K_PrkWaldF</i>					35.494	35.494	35.494

其次,本文采用两阶段最小二乘法,借助工具变量解决内生性问题。工具变量的选择必须满足“相关性”和“外生性”两个条件。因此,本文参考何小钢等<sup>[23]</sup>的研究,采用企业所在省份其他企业数字化转型平均水平(*iv\_dig*)作为数字化转型的工具变量。理论上,企业数字化转型会受到企业所在省份外部数字技术环境的影响,因而单个企业数字化转型水平与同一省份的其他企业数字化转型正相关。与此

同时,单个企业数字化转型反过来影响省级层面数字技术环境的可能性较小。表7列(4)~(7)为采用工具变量法检验企业数字化转型对绿色技术创新的估计结果。从结果来看,在第一阶段中,工具变量*iv\_dig*的系数为0.277 5,且在1%显著性水平上显著,即工具变量与企业数字化转型高度相关。Cragg-Donald Wald F 统计量大于弱工具变量10%偏误水平下的临界值16.38,表明不存在弱工具变量问题。此

外,K-P LM 统计量的  $P$  值为 0,拒绝原假设,说明不存在不可识别问题。第二阶段回归结果显示,企业数字化转型对绿色专利申请总数以及绿色发明专利申请数的影响均在 10% 的显著性水平上为正,对绿色实用新型专利申请数没有产生显著影响,但这不影响整体的实证结论。因此,在考虑内生性问题后,企业数字化转型依然显著促进绿色技术创新的提升。此外,与基础回归部分的核心解释变量系数值相比,第二阶段  $dig$  的估计系数明显大于表 6 中对应系数,因此,忽略变量的内生性问题,会严重低估企业数字化转型对绿色技术创新的正面影响。

### 3. 稳健性检验

基准回归部分论证了企业数字化转型可以提高绿色技术创新,但可能存在其他因素影响实证检验的估计结果。为此,下文分别采用替换解释变量、剔除直辖市以及控制省份与年份交互项固定效应方法进一步验证基准回归部分结果的稳健性。

#### (1) 替换解释变量

本文参考陈庆江等<sup>[24]</sup>的研究,采用上市企业年度报告中的数字化词频代替词频占比衡量企业数字技术应用水平,检验上市企业中数字化应用对其绿色技术创新的作用,回归结果见表 8。

表 8 稳健性检验:替换解释变量

变量	(1) $tpat$	(2) $fpat$	(3) $xpat$
$num\_dig$	0.057 6*** (0.005 3)	0.043 8*** (0.004 3)	0.029 3*** (0.003 9)
$lev$	0.375 7*** (0.038 8)	0.250 3*** (0.031 5)	0.243 5*** (0.028 7)
$yanfa$	0.025 5*** (0.001 5)	0.023 3*** (0.001 2)	0.009 0*** (0.001 1)
$roa$	1.105 8*** (0.100 2)	0.832 1*** (0.081 3)	0.635 2*** (0.074 1)
$top1$	-0.032 5 (0.039 8)	-0.059 6* (0.032 3)	0.022 0 (0.029 4)
$fixed$	-0.087 0* (0.045 6)	-0.167 6*** (0.037 0)	0.015 3 (0.033 7)
$growth$	-0.078 3*** (0.017 0)	-0.059 7*** (0.013 8)	-0.050 3*** (0.012 6)
$size$	0.203 7*** (0.005 7)	0.180 9*** (0.004 6)	0.118 2*** (0.004 2)
$age$	-0.106 5*** (0.018 0)	-0.055 5*** (0.014 6)	-0.087 0*** (0.013 3)
$\_cons$	-4.061 9*** (0.125 4)	-3.746 9*** (0.101 7)	-2.276 6*** (0.092 7)
$Indu\_FE$	是	是	是
$Year\_FE$	是	是	是
$r2\_a$	0.176 9	0.165 2	0.151 2
$N$	23 273	23 273	23 273

结果显示,替换核心解释变量( $num\_dig$ )之后,企业数字化转型( $dig$ )对绿色技术创新专利申请总量、绿色发明专利申请数以及绿色实用新型专利申请数的回归系数依然在 1% 的水平上显著为正,证明研究结论的稳健性。

#### (2) 剔除直辖市

考虑到直辖市的特殊性,相比于地级市,其在地域发展水平、数字技术基础设施建设重视程度以及地区绿色发展意愿等方面的要求更高,将直辖市样本加入总样本中可能会对回归结果产生偏误,因此需要将直辖市样本从总样本中进行剔除,回归结果报告见表 9。从表 9 的第(1)~(3)列来看,在剔除处于直辖市地区内的企业后,企业数字化转型( $dig$ )对绿色技术创新专利申请总量、绿色发明专利申请数以及绿色实用新型专利申请数的回归系数依然显著为正,检验结果依然稳健。

表 9 稳健性检验:剔除直辖市

变量	(1) $tpat$	(2) $fpat$	(3) $xpat$
$dig$	0.271 4*** (0.034 4)	0.236 3*** (0.027 7)	0.074 1*** (0.025 7)
$lev$	0.428 5*** (0.042 7)	0.299 5*** (0.034 3)	0.289 2*** (0.031 9)
$yanfa$	0.030 2*** (0.001 7)	0.026 5*** (0.001 4)	0.013 0*** (0.001 3)
$roa$	1.058 7*** (0.109 0)	0.793 7*** (0.087 7)	0.627 0*** (0.081 3)
$top1$	-0.053 9 (0.043 8)	-0.080 7** (0.035 2)	0.008 2 (0.032 7)
$fixed$	-0.221 3*** (0.049 3)	-0.251 0*** (0.039 7)	-0.108 5*** (0.036 8)
$growth$	-0.076 5*** (0.018 5)	-0.061 6*** (0.014 9)	-0.045 6*** (0.013 8)
$size$	0.220 5*** (0.006 5)	0.185 7*** (0.005 2)	0.132 9*** (0.004 9)
$age$	-0.156 8*** (0.019 9)	-0.088 1*** (0.016 0)	-0.125 9*** (0.014 8)
$\_cons$	-4.208 7*** (0.141 1)	-3.710 2*** (0.113 4)	-2.434 6*** (0.105 3)
$Indu\_FE$	是	是	是
$Year\_FE$	是	是	是
$r2\_a$	0.176 4	0.163 5	0.147 3
$N$	18 993	18 993	18 993

#### (3) 控制省份与年份交互项固定效应

企业所属地区的绿色发展环境,包括地区的绿色发展意愿、绿色发展政策等外部因素,也是影响企业绿色技术创新的重要因素,但这些“软”因素可能无法准确度量,进而影响实证结论的稳健性。因

此,下文在保留年份和行业固定效应的基础上,加入上市企业所在省份与年份的交互项效应,以此控制影响企业绿色技术创新的地区发展环境因素,具体实证检验结果见表10。

表10 稳健性检验:控制省份与年份交互项固定效应

变量	(1) <i>tpat</i>	(2) <i>fpat</i>	(3) <i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.231 0*** (0.030 7)	0.210 9*** (0.024 9)	0.041 0* (0.022 7)
<i>lev</i>	0.365 9*** (0.039 2)	0.244 3*** (0.031 9)	0.234 8*** (0.029 0)
<i>yanfa</i>	0.025 9*** (0.001 5)	0.023 3*** (0.001 2)	0.009 5*** (0.001 1)
<i>roa</i>	1.068 3*** (0.101 5)	0.808 9*** (0.082 4)	0.603 7*** (0.075 1)
<i>top1</i>	-0.005 1 (0.040 1)	-0.041 8 (0.032 6)	0.035 9 (0.029 7)
<i>fixed</i>	-0.122 9*** (0.046 2)	-0.186 2*** (0.037 5)	-0.020 1 (0.034 2)
<i>growth</i>	-0.079 2*** (0.017 2)	-0.060 3*** (0.013 9)	-0.050 7*** (0.012 7)
<i>size</i>	0.212 9*** (0.005 8)	0.187 1*** (0.004 7)	0.125 8*** (0.004 3)
<i>age</i>	-0.101 5*** (0.018 3)	-0.050 4*** (0.014 9)	-0.083 1*** (0.013 6)
<i>_cons</i>	-4.196 5*** (0.128 2)	-3.840 7*** (0.104 1)	-2.394 5*** (0.094 9)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.179 6	0.166 5	0.152 7
<i>N</i>	23 246	23 246	23 246

从表10的第(1)~(3)列来看,企业数字化转型(*dig*)对绿色技术创新专利申请总量、绿色发明

专利申请数以及绿色实用新型专利申请数的回归系数均显著为正,检验结果依然稳健。

#### 4. 异质性检验

前文是从整体出发,探讨企业数字化转型与绿色技术创新之间的关系,但考虑到个体差异的不同,有必要将这些异质性因素考虑在内,进一步探讨企业数字化转型与绿色技术创新之间的关系。因此,这里从企业性质、企业规模以及行业属性三个方面,研究企业数字化转型对绿色技术创新的异质性影响。

##### (1) 企业性质

本文将总样本分为国有企业和非国有企业两个子样本进行异质性分析。表11为数字化转型(*dig*)对企业绿色技术创新的回归结果,其中第(1)~(3)列为企业数字化转型对国有企业绿色技术创新的影响,第(4)~(6)列为企业数字化转型对非国有企业绿色技术创新的影响。

从结果来看,企业数字化转型对绿色技术创新专利总量和绿色发明专利数的系数值在国有企业中影响更大,且实用新型绿色专利数在非国有企业并不显著,说明在国有企业中数字化转型对绿色技术创新的推动作用更为明显。这与相关研究结论一致<sup>[25]</sup>。一方面,绿色技术创新有利于生态环境保护,能够提供社会价值,国有企业基于其自身属性更应该承担一定的社会责任。另一方面,绿色技术创新本身就是一项投入多、风险大、周期长的工程,相比于国有企业,非国有企业面临的资金约束将更明显,且非国有企业更多是关注自身利益,将资源投入绿色研发的主动性不强,因此,数字化转型对国有企业绿色技术创新影响更为显著。

表11 异质性检验结果:企业性质

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国有企业			非国有企业		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.472 5*** (0.077 3)	0.467 0*** (0.065 0)	0.113 3** (0.056 2)	0.172 5*** (0.032 3)	0.149 3*** (0.025 7)	0.020 2 (0.024 1)
<i>lev</i>	0.144 7* (0.079 5)	0.056 1 (0.066 8)	0.089 8 (0.057 7)	0.473 5*** (0.044 7)	0.322 7*** (0.035 6)	0.325 9*** (0.033 4)
<i>yanfa</i>	0.035 6*** (0.003 7)	0.033 4*** (0.003 2)	0.012 2*** (0.002 7)	0.025 2*** (0.001 6)	0.022 1*** (0.001 2)	0.009 7*** (0.001 2)
<i>roa</i>	0.911 9*** (0.249 0)	0.648 8*** (0.209 4)	0.445 6** (0.181 0)	1.174 7*** (0.107 2)	0.900 2*** (0.085 3)	0.689 0*** (0.080 1)
<i>top1</i>	-0.087 8 (0.084 5)	-0.170 6** (0.071 0)	0.105 2* (0.061 4)	-0.043 8 (0.046 0)	-0.068 0* (0.036 6)	-0.003 6 (0.034 4)

续表 11

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国有企业			非国有企业		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>fixed</i>	0.088 8 (0.083 4)	-0.080 0 (0.070 2)	0.159 7*** (0.060 6)	-0.255 2*** (0.055 4)	-0.254 4*** (0.044 1)	-0.124 2*** (0.041 4)
<i>growth</i>	-0.068 7* (0.037 4)	-0.047 2 (0.031 5)	-0.049 1* (0.027 2)	-0.073 8*** (0.018 8)	-0.055 0*** (0.014 9)	-0.050 1*** (0.014 0)
<i>size</i>	0.257 6*** (0.010 9)	0.226 4*** (0.009 2)	0.154 3*** (0.007 9)	0.180 1*** (0.007 1)	0.153 9*** (0.005 7)	0.110 7*** (0.005 3)
<i>age</i>	-0.153 7*** (0.046 0)	-0.121 0*** (0.038 7)	-0.085 4** (0.033 4)	-0.128 9*** (0.019 6)	-0.071 6*** (0.015 6)	-0.093 1*** (0.014 6)
<i>_cons</i>	-5.064 6*** (0.273 4)	-4.484 5*** (0.229 9)	-3.099 2*** (0.198 7)	-3.388 8*** (0.156 4)	-3.052 4*** (0.124 6)	-2.024 6*** (0.116 9)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.210 7	0.202 9	0.163 9	0.169 3	0.149 4	0.156 3
<i>N</i>	6 393	6 393	6 393	16 880	16 880	16 880

(2) 企业规模

企业绿色技术创新行为还会受到企业规模的影响。与大型企业相比,中小型企业由于自身缺乏抵押资产,在金融系统中处于相对劣势的地位,所面对的外部融资约束也更为严重。此外,大型企业往往拥有更高质量的技术储备和高端人才储备。因此,本文基于企业规模进行异质性分析。对于企业规模的分类,先计算出样本企业资产总额中位数,再将企业资产总额数大于中位数的企业定义为大型企业,而将企业资产总额数低于中位数的企业定义为中小企业,从而将总样本分为大型企业和中小企业两个子样本,进行分组回归。表 12 为数字

化转型(*dig*)对不同规模企业绿色技术创新的回归结果,其中第(1)~(3)列为大型企业数字化转型对绿色技术创新的影响,第(4)~(6)列为中小型企业数字化转型对绿色技术创新的影响。

从结果来看,相比中小型企业,企业数字化转型对绿色技术创新总量和绿色发明专利数在大型企业中影响更大,且实用新型绿色专利数在中小型企业中并不显著,这与相关研究结论一致<sup>[26]</sup>。大型企业拥有更为宽松的融资环境,本身的技术水平超过了一般中小型企业,且在人才储备方面也领先于中小型企业,数字化转型对绿色技术创新的影响更为显著。

表 12 异质性检验结果:企业规模

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	大型企业			中小型企业		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.385 4*** (0.053 0)	0.358 4*** (0.043 7)	0.133 8*** (0.039 6)	0.171 7*** (0.033 0)	0.141 7*** (0.025 7)	0.017 3 (0.023 8)
<i>lev</i>	0.440 4*** (0.064 8)	0.323 7*** (0.053 4)	0.273 8*** (0.048 4)	0.324 8*** (0.044 2)	0.203 3*** (0.034 4)	0.211 8*** (0.031 9)
<i>ppe</i>	0.034 7*** (0.002 7)	0.031 2*** (0.002 3)	0.014 0*** (0.002 1)	0.020 8*** (0.001 5)	0.018 9*** (0.001 2)	0.006 6*** (0.001 1)
<i>Q</i>	1.734 1*** (0.180 0)	1.353 1*** (0.148 6)	1.074 7*** (0.134 7)	0.687 3*** (0.106 4)	0.502 7*** (0.082 8)	0.321 9*** (0.076 8)
<i>mar</i>	-0.002 6 (0.062 0)	-0.063 6 (0.051 2)	0.046 1 (0.046 4)	-0.094 6* (0.048 4)	-0.089 2** (0.037 7)	-0.033 9 (0.034 9)
<i>caps</i>	0.023 1 (0.068 8)	-0.104 6* (0.056 8)	0.077 8 (0.051 5)	-0.270 5*** (0.057 2)	-0.270 0*** (0.044 5)	-0.114 2*** (0.041 3)

续表 12

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	大型企业			中小型企业		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>roa</i>	-0.101 8*** (0.026 1)	-0.074 9*** (0.021 6)	-0.070 1*** (0.019 5)	-0.030 7 (0.020 7)	-0.024 2 (0.016 1)	-0.009 3 (0.015 0)
<i>size</i>	0.269 6*** (0.010 8)	0.249 3*** (0.008 9)	0.162 4*** (0.008 1)	0.166 6*** (0.013 1)	0.126 1*** (0.010 2)	0.084 1*** (0.009 5)
<i>age</i>	-0.071 2** (0.029 7)	-0.034 2 (0.024 5)	-0.055 4** (0.022 2)	-0.148 2*** (0.020 4)	-0.081 5*** (0.015 9)	-0.118 3*** (0.014 8)
<i>_cons</i>	-5.781 1*** (0.248 1)	-5.480 2*** (0.204 7)	-3.434 7*** (0.185 6)	-2.925 4*** (0.281 2)	-2.333 9*** (0.219 0)	-1.316 0*** (0.203 1)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.189 6	0.180 4	0.164 2	0.124 9	0.108 0	0.109 1
<i>N</i>	11 634	11 634	11 634	11 639	11 639	11 639

## (3) 行业属性

为进一步考察行业属性是否会对绿色技术创新产生影响,本文进一步将研究样本划分为重污染和非重污染两类子行业<sup>①</sup>,并进行分类回归,检验不同污染程度的企业数字化转型对绿色技术创新的作用效应。表 13 为数字化转型(*dig*)对企业绿色技术创新的回归结果,其中第(1)~(3)列为重污染企业数字化转型对其绿色技术创新的回归结果,第(4)~(6)列为非重污染企业数字化转型对其绿色技术创新的回归结果。

从回归结果来看,相比于重污染企业,数字化

转型对非重污染企业绿色技术创新专利总量和绿色发明专利数的回归系数都是正向显著的,表明企业数字化转型的绿色技术创新促进作用在非重污染企业中作用更强。可能的原因是:一方面,企业数字化转型的作用主要体现在信息交流、技术学习和生产销售等多个阶段,不可能从根本上改变其行业属性<sup>[27]</sup>;另一方面,重污染企业积病较深,绿色技术发展滞后,且重污染企业往往为传统工业企业,因此绿色转型难度较大。而非重污染企业自身绿色属性较强,更容易进行绿色技术创新。

表 13 异质性检验结果:行业属性

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	重污染			非重污染		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.045 1 (0.071 2)	-0.033 4 (0.058 4)	0.073 8 (0.048 6)	0.209 2*** (0.035 8)	0.207 5*** (0.028 9)	-0.002 0 (0.027 0)
<i>lev</i>	0.036 8 (0.053 4)	0.018 4 (0.043 8)	-0.034 3 (0.036 5)	0.492 7*** (0.051 8)	0.321 1*** (0.041 8)	0.351 0*** (0.039 0)
<i>yanfa</i>	0.001 9 (0.002 7)	0.003 8* (0.002 2)	-0.001 1 (0.001 9)	0.028 6*** (0.001 8)	0.025 7*** (0.001 5)	0.010 0*** (0.001 4)
<i>roa</i>	0.505 7*** (0.141 9)	0.324 5*** (0.116 5)	0.198 3** (0.096 9)	1.439 1*** (0.131 7)	1.120 4*** (0.106 3)	0.870 1*** (0.099 3)
<i>top1</i>	0.093 8* (0.055 1)	0.050 2 (0.045 2)	0.141 5*** (0.037 6)	-0.070 4 (0.052 8)	-0.085 7** (0.042 6)	-0.028 5 (0.039 8)
<i>fixed</i>	0.461 4*** (0.057 9)	0.252 1*** (0.047 5)	0.393 5*** (0.039 5)	-0.375 9*** (0.065 7)	-0.376 5*** (0.053 1)	-0.158 5*** (0.049 6)
<i>Growth</i>	-0.020 2 (0.026 2)	-0.010 6 (0.021 5)	-0.021 8 (0.017 9)	-0.102 6*** (0.021 5)	-0.081 2*** (0.017 4)	-0.063 5*** (0.016 2)
<i>size</i>	0.186 5*** (0.008 1)	0.141 7*** (0.006 6)	0.111 1*** (0.005 5)	0.218 9*** (0.007 5)	0.204 4*** (0.006 1)	0.127 8*** (0.005 7)

续表 13

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	重污染			非重污染		
	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>	<i>tpat</i>	<i>fpat</i>	<i>xpat</i>
<i>age</i>	-0.112 5*** (0.026 4)	-0.062 6*** (0.021 7)	-0.055 1*** (0.018 0)	-0.110 5*** (0.023 3)	-0.055 6*** (0.018 8)	-0.101 5*** (0.017 6)
<i>_cons</i>	-3.655 5*** (0.176 1)	-2.836 4*** (0.144 5)	-2.261 6*** (0.120 2)	-4.246 7*** (0.166 5)	-4.174 8*** (0.134 4)	-2.332 0*** (0.125 6)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.144 9	0.109 3	0.137 1	0.173 8	0.175 0	0.142 2
<i>N</i>	7 852	7 852	7 852	15 421	15 421	15 421

5. 机制检验

目前,学术界主要是通过交互项模型<sup>[28]</sup>、分组检验模型<sup>[29]</sup>、中介效应模型<sup>[30]</sup>以及文献支撑法<sup>[31]</sup>来检验机制影响。从交互项模型来看,更多是侧重调节效应,通过调节变量来改善或削弱解释变量对被解释变量的影响大小;分组检验模型回归应用在机制检验部分的文献相对较少,且该模型多用于异质性检验。从现有文献来看,中介效应模型依然是机制检验的首要选择,重要的是需要厘清机制变量在解释变量与被解释变量之间的关系,加以文献支撑,这样才能使文章更有说服力。因此,本文遵循现阶段主流做法,使用中介效应模型来检验中间机制的影响。

对于内部治理(*IC*)的检验,本文参考韦琳和马梦茹<sup>[3]</sup>,采用“迪博·中国上市公司内部控制指数”衡量;对商业信用融资能力(*TC*)的检验,参考胡志亮和郑明贵<sup>[32]</sup>的做法,以应付账款、应付票据以及预收账款三者之和除以当年年末总资产衡量;对人力资本(*Human\_stru*)的检验,参考赵宸宇等<sup>[26]</sup>的做法,采用企业中本科及以上学历员工数所占比例衡量;参考温忠麟<sup>[33]</sup>构建中介效应回归模型,对企业数字化转型影响绿色技术创新的机制进行检验:

$$\left. \begin{aligned} M_{it} &= \beta_0 + \alpha_i dig_{it} + \beta_x X_{it} + \mu_l + \sigma_t + \varepsilon_{it} \\ Y_{it} &= \beta_0 + \gamma_i dig_{it} + \theta_i M_{it} + \beta_x X_{it} + \mu_l + \sigma_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: $M_{it}$ 为机制变量,在此以企业的内部控制质量、商业信用融资以及人力资本三条主要途径表征; $\alpha_i$ 为企业数字化转型对机制变量的偏效应参数; $\theta_i$ 为机制变量对绿色技术创新的偏效应参数; $\gamma_i$ 为引入机制变量之后,企业数字化转型对绿色技术创新的偏效应参数;其余参数与回归模型(1)一致。

(1)提升内部治理水平

表 14 为内部治理的机制检验结果,*IC* 指数越大,表明企业内部治理水平越高。列(1)企业数字化转型对内部治理的回归系数为正,且至少在 1%的水平上显著;列(2)~(4)为内部治理的中介效应检验结果,内部治理的系数显著为正,同时数字化转型对绿色创新的影响系数依然显著为正,说明企业数字化转型提高了内部治理水平从而促进了绿色技术创新。

表 14 机制检验结果:内部治理

变量	(1) <i>IC</i>	(2) <i>tpat</i>	(3) <i>fpat</i>	(4) <i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.143 1*** (0.038 0)	0.253 1*** (0.032 5)	0.232 9*** (0.026 5)	0.047 3** (0.024 0)
<i>IC</i>		0.018 0*** (0.005 9)	0.013 3*** (0.004 8)	0.012 5*** (0.004 3)
<i>lev</i>	-0.295 0*** (0.047 5)	0.346 8*** (0.040 7)	0.228 4*** (0.033 1)	0.224 5*** (0.030 0)
<i>yanfa</i>	0.003 1* (0.001 8)	0.026 2*** (0.001 6)	0.023 6*** (0.001 3)	0.009 5*** (0.001 2)
<i>roa</i>	4.115 7*** (0.123 9)	0.984 0*** (0.108 6)	0.742 6*** (0.088 4)	0.539 5*** (0.080 1)
<i>top1</i>	0.095 8* (0.049 6)	-0.028 0 (0.042 4)	-0.057 2* (0.034 5)	0.027 5 (0.031 2)
<i>fixed</i>	-0.138 6** (0.055 8)	-0.067 9 (0.047 7)	-0.153 4*** (0.038 8)	0.021 5 (0.035 1)
<i>growth</i>	0.011 3 (0.020 7)	-0.074 9*** (0.017 7)	-0.058 4*** (0.014 4)	-0.044 7*** (0.013 0)
<i>size</i>	0.048 0*** (0.007 1)	0.212 1*** (0.006 0)	0.188 1*** (0.004 9)	0.123 6*** (0.004 4)
<i>age</i>	-0.085 9*** (0.023 1)	-0.119 5*** (0.019 8)	-0.064 7*** (0.016 1)	-0.092 4*** (0.014 6)
<i>_cons</i>	5.405 0*** (0.157)	-4.246 7*** (0.138)	-3.909 8*** (0.112)	-2.407 5*** (0.102)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.092 6	0.175 9	0.165 1	0.150 0
<i>N</i>	21 085	21 085	21 085	21 085

### (2) 提高商业信用融资能力

表 15 为商业信用融资的机制检验结果。*TC* 数值越大,表明企业商业信用融资水平越高。列(1)中企业数字化转型对商业信用融资的回归系数为正,且至少在 1%的水平上显著;列(2)~(4)为商业信用融资的中介效应检验结果,可以看出商业信用融资指标的系数显著为正,同时数字化转型对绿色专利申请总量以及发明绿色专利数的影响显著为正,对实用新型绿色专利并无显著影响,说明企业数字化转型提高了商业信用融资能力从而促进绿色技术创新。

表 15 机制检验结果:商业信用融资

变量	(1) <i>TC</i>	(2) <i>tpat</i>	(3) <i>fpat</i>	(4) <i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.251 5*** (0.035 0)	0.159 1*** (0.036 5)	0.157 4*** (0.029 5)	-0.010 2 (0.027 1)
<i>TC</i>		0.143 2*** (0.007 9)	0.105 6*** (0.006 4)	0.104 6*** (0.005 9)
<i>lev</i>	3.615 6*** (0.044 8)	-0.153 9*** (0.054 7)	-0.148 6*** (0.044 2)	-0.124 3*** (0.040 7)
<i>yanfa</i>	-0.021 7*** (0.001 9)	0.033 5*** (0.001 9)	0.029 2*** (0.001 6)	0.014 6*** (0.001 4)
<i>roa</i>	1.763 9*** (0.122 4)	1.104 0*** (0.128 2)	0.818 8*** (0.103 7)	0.659 5*** (0.095 3)
<i>top1</i>	0.663 2*** (0.044 8)	-0.145 5*** (0.047 0)	-0.159 3*** (0.038 0)	-0.046 7 (0.034 9)
<i>fixed</i>	-1.383 6*** (0.051 8)	0.035 8 (0.055 0)	-0.080 9* (0.044 5)	0.110 8*** (0.040 9)
<i>growth</i>	-0.066 8*** (0.019 2)	-0.064 7*** (0.020 0)	-0.055 3*** (0.016 2)	-0.038 6*** (0.014 9)
<i>size</i>	-0.085 0*** (0.006 5)	0.232 7*** (0.006 8)	0.206 8*** (0.005 5)	0.135 5*** (0.005 1)
<i>age</i>	-0.041 7** (0.020 0)	-0.122 0*** (0.020 8)	-0.064 8*** (0.016 9)	-0.097 1*** (0.015 5)
<i>_cons</i>	2.250 4*** (0.143 5)	-4.590 4*** (0.150 4)	-4.234 1*** (0.121 8)	-2.602 7*** (0.111 9)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.477 2	0.188 8	0.179 3	0.159 7
<i>N</i>	17 462	17 462	17 462	17 462

### (3) 优化人力资本结构

表 16 为人力资本的机制检验结果。*human\_stru* 指数越大,表明人力资本水平越高。列(1)中企业数字化转型对人力资本的回归系数为正,且至少在 1%的水平上显著;列(2)~(3)为人力资本的中介效应检验结果,可以看出人力资本指标的系数显著为正,同时数字化转型对绿色专利申请总量以及发明绿色专利数的影响显著为正,对实用新型绿色专利并无显著影响,说明企业数字化转型优化了人力资本结构从而促进了绿色技术创新。

### 6. 进一步分析

前述研究都是基于绿色专利的“量”,即企业数字化转型带来的绿色技术创新“量”的提升。那么数字化转型对企业绿色技术创新的“质”是否会产生显著影响?

表 16 机制检验结果:人力资本

变量	(1) <i>Human_stru</i>	(2) <i>tpat</i>	(3) <i>fpat</i>	(4) <i>xpat</i>
<i>dig</i>	0.194 1*** (0.027 0)	0.213 2*** (0.033 6)	0.198 9*** (0.027 2)	0.033 2 (0.024 9)
<i>human_stru</i>		0.119 3*** (0.009 1)	0.101 6*** (0.007 4)	0.061 5*** (0.006 7)
<i>lev</i>	0.006 0 (0.035 1)	0.372 2*** (0.043 6)	0.239 7*** (0.035 3)	0.242 7*** (0.032 3)
<i>yanfa</i>	0.061 0*** (0.001 3)	0.017 9*** (0.001 7)	0.016 6*** (0.001 4)	0.005 0*** (0.001 3)
<i>roa</i>	0.215 3** (0.092 6)	1.100 2*** (0.114 9)	0.808 9*** (0.093 2)	0.636 0*** (0.085 2)
<i>top1</i>	0.036 2 (0.035 8)	-0.053 9 (0.044 5)	-0.073 1** (0.036 1)	0.006 3 (0.033 0)
<i>fixed</i>	-1.240 8*** (0.041 3)	0.034 8 (0.052 4)	-0.058 8 (0.042 5)	0.058 5 (0.038 9)
<i>growth</i>	0.060 1*** (0.015 0)	-0.079 9*** (0.018 7)	-0.060 9*** (0.015 1)	-0.048 7*** (0.013 8)
<i>size</i>	0.102 6*** (0.005 1)	0.197 7*** (0.006 5)	0.176 1*** (0.005 2)	0.116 3*** (0.004 8)
<i>age</i>	0.122 5*** (0.016 3)	-0.117 3*** (0.020 2)	-0.066 9*** (0.016 4)	-0.091 5*** (0.015 0)
<i>_cons</i>	0.346 4*** (0.113 6)	-4.164 8*** (0.141 0)	-3.846 4*** (0.114 3)	-2.339 5*** (0.104 5)
<i>Indu_FE</i>	是	是	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.376 5	0.182 0	0.171 6	0.154 4
<i>N</i>	18 634	18 634	18 634	18 634

区别以往文献以绿色发明专利衡量绿色技术创新“质”的研究<sup>[27]</sup>,本文以申请的绿色专利被引用量(剔除自引量)衡量绿色技术创新的质量,分析企业数字化转型(*dig*)对绿色技术创新质量的影响,回归结果见表 17。其中列(1)为企业数字化转型对每年申请的绿色专利被引用次数的回归结果;而列(2)为企业数字化转型对申请的绿色专利累计被引用次数的回归结果。从结果可以看出,企业数字化转型(*dig*)对申请的绿色专利质量(专利被引用总数和每年被引用次数)的回归系数皆为正,且都在 1%的水平上显著,表明企业数字化转型会显著提高绿色专利的质量。

这是由于在数字化转型下,企业对信息的加工、处理、传播频率等方面也随之增强,从而能够吸收外部丰富的数据信息资源中的异质性、前沿性信息,为绿色技术创新提供知识储备,增强绿色技术

创新潜能。而且利用现代信息技术,企业不仅可以通过构建自主化的网络平台开展绿色技术创新,还可以形成多方参与的、问题导向的绿色技术创新网络组织,通过多方信息交流、技术沟通的方式为企业突破绿色技术创新壁垒提供支撑,最终实现绿色技术创新“质”的提升。

表 17 绿色技术创新的质量

变量	(1) <i>cibya</i>	(2) <i>cibyas</i>
<i>dig</i>	0.183 2*** (0.023 8)	0.294 7*** (0.038 4)
<i>lev</i>	0.140 9*** (0.030 3)	0.196 8*** (0.048 9)
<i>yanfa</i>	0.014 3*** (0.001 1)	0.022 4*** (0.001 9)
<i>roa</i>	0.084 6 (0.078 2)	-0.252 1** (0.126 2)
<i>top1</i>	-0.046 1 (0.031 0)	-0.178 9*** (0.050 1)
<i>fixed</i>	-0.150 7*** (0.035 4)	-0.057 6 (0.057 2)
<i>growth</i>	-0.045 2*** (0.013 2)	-0.094 6*** (0.021 4)
<i>size</i>	0.148 6*** (0.004 4)	0.287 0*** (0.007 2)
<i>age</i>	0.035 7** (0.014 0)	0.158 8*** (0.022 7)
<i>_cons</i>	-3.242 9*** (0.097 8)	-6.394 6*** (0.157 8)
<i>Indu_FE</i>	是	是
<i>Year_FE</i>	是	是
<i>r2_a</i>	0.151 2	0.185 0
<i>N</i>	23 273	23 273

#### 四、主要结论与政策启示

本文基于 2007—2020 年中国沪深 A 股上市公司数据,分析企业数字化转型对绿色技术创新的影响及其作用机制。主要结论如下:(1)从基准回归结果来看,企业数字化转型能够有效促进绿色技术创新,并且在进行内生性处理与一系列稳健性检验之后该结论依然成立。(2)从异质性检验结果来看,数字化转型的绿色技术提升作用对不同类型企业存在差异化影响。在国有企业、大型企业、非重污染行业企业中,数字化转型的绿色技术创新影响效应更为显著。(3)从作用机制来看,数字化转型主要通过提升内部治理水平、提高商业信用融资能

力、优化人力资本结构三个途径促进企业绿色技术创新。(4)从绿色技术创新的“质”来看,企业数字化转型不仅提高了绿色技术创新的“量”,同样给企业带来绿色技术创新“质”的提升。

基于理论分析和实证检验结果,本文提出如下政策建议:(1)政府要积极打造高质量外部环境。数字经济时代,政府应当大力推进以 5G、大数据、互联网等为代表的新基建,扩大数字经济覆盖面,为企业数字化转型提供持续不断的动力;此外,应当健全知识产权保护制度,为企业绿色技术创新提供良好的法律环境。(2)企业要积极转型,在经营活动中应积极主动地运用数字技术对传统生产工艺进行绿色化改造,生产满足客户需求的绿色化产品,打造现代化绿色企业;同时要加强内部治理,应对遇到的各种风险问题,优化企业经营管理模式。

#### 注释:

① 中华人民共和国生态环境部关于《上市企业环境信息披露指南》公开征求意见中划定的重污染行业,具体包括火电、钢铁、水泥、电解铝、煤炭、冶金、化工、石化、建材、造纸、酿造、制药、发酵、纺织、制革和采矿业,其余行业划分为非重污染行业。

#### 参考文献:

- [1] 金环,于立宏,魏佳丽. 国家电子商务示范城市建设对企业绿色技术创新的影响及机制研究[J]. 科技进步与对策,2022(10):81-90.
- [2] 石大千,李格,刘建江. 信息化冲击、交易成本与企业 TFP——基于国家智慧城市建设的自然实验[J]. 财贸经济,2020(3):117-130.
- [3] 宋德勇,李超,李项佑. 新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J]. 中国人口·资源与环境,2021(11):155-164.
- [4] 韦琳,马梦茹. 数字经济发展与企业绿色创新——基于“智慧城市”试点建设的准自然实验研究[J]. 现代财经,2022(8):24-40.
- [5] 刘海建,胡化广,张树山,等. 供应链数字化的绿色创新效应[J]. 财经研究,2023(3):4-19.
- [6] 庞瑞芝,张帅,王群勇. 数字化能提升环境治理绩效吗?——来自省际面板数据的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2021(5):1-10.
- [7] 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(3):96-115.
- [8] 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):121-130.
- [9] 王锋正,刘向龙,张蕾,等. 数字化促进了资源型企业绿色技术创新吗?[J]. 科学学研究,2022(2):332-344.
- [10] Clarke R A, Stavins R, Greeno J, et al. The Challenge of Going

- Green; Green Strategies are Necessary, But Which Ones, and How Will We Pay for Them? [J]. *Harvard Business Review*, 1994, 72(4):37.
- [11] 谢康,夏正豪,肖静华. 大数据成为现实生产要素的企业实现机制:产品创新视角[J]. *中国工业经济*, 2020(5):42-60.
- [12] 何帆,刘红霞. 数字经济视角下实体经济数字化变革的业绩提升效应评估[J]. *改革*, 2019(4):137-148.
- [13] 程莉雅,胡秀群. 企业数字化发展驱动下的内部控制质量提升效应研究[J]. *现代管理科学*, 2022(6):111-119.
- [14] Brown J R, Martinsson G, Petersen B C. Do Financing Constraints Matter for R&D? [J]. *European Economic Review*, 2012, 56(8):1512-1529.
- [15] Wei Z, Sun L. How to Leverage Manufacturing Digitalization for Green Process Innovation: An Information Processing Perspective [J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2021, 121(5):1026-1044.
- [16] Cleff T, Rennings K. Determinants of Environmental Product and Process Innovation [J]. *European Environment*, 1999, 9(5):191-201.
- [17] 李玉婷,史丹. 中国工业能源效率鸿沟的形成机理与实证研究[J]. *山西财经大学学报*, 2018(6):61-73.
- [18] 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(7):130-144.
- [19] 安同良,闻锐. 中国企业数字化转型对创新的影响机制及实证[J]. *现代经济探讨*, 2022(5):1-14.
- [20] 孔令章,李金叶. 数字经济发展对中国绿色经济效率的影响[J]. *经济体制改革*, 2022(6):67-73.
- [21] 李青原,肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据[J]. *经济研究*, 2020(9):192-208.
- [22] 黎文靖,郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新?——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. *经济研究*, 2016(4):60-73.
- [23] 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(9):65-80.
- [24] 陈庆江,万茂丰,王彦萌. 数字技术应用对企业二元创新的影响——基于组织生命周期的实证检验[J]. *软科学*, 2021, 35(11):92-98.
- [25] 温湖炜,圣云. 数字技术应用对企业创新的影响研究[J]. *科研管理*, 2022(4):66-74.
- [26] 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(7):114-129.
- [27] 申明浩,谭伟杰. 数字化与企业绿色创新表现——基于增量与提质的双重效应识别[J]. *南方经济*, 2022(9):118-138.
- [28] 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(12):178-196.
- [29] 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(7):69-83.
- [30] 吴育辉,田亚男,陈韞妍,等. 绿色债券发行的溢出效应、作用机理及绩效研究[J]. *管理世界*, 2022(6):176-193.
- [31] 胡山,余泳泽. 数字经济与企业创新:突破性创新还是渐进性创新? [J]. *财经问题研究*, 2022(1):42-51.
- [32] 胡志亮,郑明贵. 企业战略差异影响了商业信用融资吗?——基于规模歧视、行业特征的调节效应分析[J]. *管理评论*, 2022(6):292-302.

## Enterprise Digital Transformation and Green Technology Innovation —Empirical Research on A-share Listed Companies

YUAN Xiaoneng, JI Xiang, YANG Chen

(School of International Economics & Business, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Green technology innovation is an important way to reduce carbon emissions. At the same time, more and more enterprises are making digital changes with the help of emerging information technology to bring new opportunities for green technology innovation. The paper analyzes the mechanism of enterprises' digital transformation affecting green technology innovation from internal governance, commercial credit financing and human capital and conducts a series of empirical tests using A-share listed companies in China from 2007 to 2020. The study shows that digital transformation of enterprises has a positive impact on the green technology innovation ability by improving the internal governance level, improving the commercial credit financing ability and optimizing the human capital structure. Further analysis shows that digital transformation not only promotes the quantity of green technological innovation of enterprises, but also has a significant positive impact on the quality of green technological innovation. The impact of enterprise digital transformation on green technology innovation is more significant in state-owned enterprises, large enterprises and non-heavy polluting industries.

**Key words:** digital transformation; green technology innovation; internal governance; commercial credit financing; human capital