

“投入 - 产出”视角下制造企业数字化转型对绿色技术创新绩效的影响机制研究

聂 璐, 江炜昌

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月1日; 发布日期: 2025年5月8日

摘 要

本研究从“投入 - 产出”视角出发, 探讨制造企业数字化转型对绿色技术创新绩效的影响机制。基于2010至2023年沪深A股上市制造企业的数据库, 实证分析了数字化转型通过研发投入对绿色技术创新绩效的中介作用。研究发现, 数字化转型显著提升了制造企业的绿色技术创新绩效和研发投入水平。进一步的机制分析表明, 研发投入在数字化转型与绿色技术创新绩效之间发挥了部分中介作用, 即数字化转型通过促进研发投入的增加, 进而推动了绿色技术创新。此外, 异质性分析显示, 数字化转型对国有企业、东部企业和技术密集型企业的绿色技术创新绩效的提升效应更为显著。本研究为理解数字化转型与绿色技术创新之间的关系提供了新的理论视角, 并为政策制定者和企业管理者提供了实践指导。

关键词

数字化转型, 绿色技术创新绩效, 研发投入, 制造企业

Research on the Influence Mechanism of Manufacturing Enterprise Digital Transformation on Green Technology Innovation Performance from the Perspective of “Input-Output”

Luo Nie, Weichang Jiang

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 1st, 2025; published: May 8th, 2025

文章引用: 聂璐, 江炜昌. “投入-产出”视角下制造企业数字化转型对绿色技术创新绩效的影响机制研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(5): 173-185. DOI: 10.12677/ecl.2025.1451254

Abstract

From the perspective of “input-output”, this study discusses the influence mechanism of digital transformation of manufacturing enterprises on the performance of green technology innovation. Based on the data of A-share listed manufacturing enterprises in Shanghai and Shenzhen from 2010 to 2023, this paper empirically analyzes the mediating effect of digital transformation on green technology innovation performance through R&D investment. It is found that digital transformation has significantly improved the green technology innovation performance and R&D investment level of manufacturing enterprises. Further mechanism analysis shows that R&D investment plays a partial intermediary role between digital transformation and green technology innovation performance, that is, digital transformation promotes green technology innovation by promoting the increase of R&D investment. In addition, the heterogeneity analysis shows that digital transformation has a more significant effect on improving the green technology innovation performance of state-owned enterprises, eastern enterprises and technology-intensive enterprises. This study provides a new theoretical perspective for understanding the relationship between digital transformation and green technology innovation, and provides practical guidance for policy makers and business managers.

Keywords

Digital Transformation, Green Technology Innovation Performance, R&D Investment, Manufacturing Enterprises

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球气候变化加剧以及“双碳”目标加速推进的背景下,绿色技术创新已成为企业突破资源环境约束、实现可持续发展的关键路径[1]。与此同时,随着数字技术的迅猛发展,数字化转型正重塑制造企业的生产模式与创新逻辑,其与绿色技术创新之间的协同效应也逐渐成为学界与业界关注的焦点。然而,现有研究大多集中于从宏观视角探讨数字化转型对绿色创新绩效的直接影响[2][3],聚焦于市场和政府机制。例如,在市场机制上,数据要素可以通过促进经济增长、提升产业结构升级和地区数字化水平等路径促进企业绿色技术创新效率;在政府机制上,多数学者基于“国家大数据综合试验区”的外生政策冲击展开研究,发现数字技术可以通过环境规制、政府环境治理能力等机制促进企业绿色技术创新。

纵观目前研究不难发现,从微观角度对数字转型和绿色技术创新之间内在作用机制的深入剖析仍显不足。尤其是从“投入-产出”视角出发,研究数字化转型如何通过重构资源投入结构驱动绿色技术创新,实现质量与效率双重提升的文献相对较少。当前,企业绿色技术创新面临着高成本、长周期与高风险的多重挑战,其绩效的提升不仅依赖于技术本身的突破,更需要依托于资源的高效配置与动态适配[4]。在此背景下,数字化转型通过数据要素的深度渗透、智能技术的全面嵌入以及组织流程的系统再造,为企业资源投入的精准性、灵活性和协同性提供了全新的范式[5][6]。例如,数字技术可通过实时监测与模拟优化,降低绿色技术研发的试错成本;通过跨部门数据共享与外部创新网络链接,加速知识整合与成果转化。

然而,这一过程中,数字化转型是否能够真正促进企业资源投入绿色创新领域?其“技术赋能”如何转化为实质性的绿色产出?这些问题亟需从“投入-产出”的微观机制层面予以解释。因此,本研究聚焦于“投入-产出”视角,探讨制造企业数字化转型对绿色技术创新绩效的影响机制,旨在揭示数字化转型中研发投入在“数字-绿色”转化链条中承担何种中介角色。这不仅有助于丰富数字化转型与绿色技术创新的理论研究,还能为制造企业在数字化转型过程中实现绿色创新提供实践指导,助力“双碳”目标下经济高质量发展。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字化转型与绿色技术创新绩效

数字化转型是指企业或组织利用数字技术(如大数据、人工智能、物联网、云计算、区块链等)对其业务模式、运营流程、客户体验和创造价值的方式进行系统性变革的过程[7]。其核心目标是通过技术赋能,提升企业的竞争力、效率、灵活性和创新能力,以适应快速变化的市场环境和客户需求。而企业绿色技术创新则强调通过采用绿色技术、工艺和产品创新,减少对环境的影响、提高资源利用效率,以实现经济、社会和生态效益的可持续发展[8]。

当前,数字化转型已经成为不可逆转的大趋势,开展数字化转型几乎成为制造企业的必选项。企业通过将数字技术嵌入生产经营各环节,可以大幅提升绿色技术创新绩效水平。第一,企业可以依托区块链、工业互联网等技术构建双向信息传递体系,打破组织内外信息壁垒,强化环境信息披露透明度与外部监管穿透力,驱动企业主动内化 ESG 目标,形成绿色创新的制度性约束与内生性激励协同效应。另一方面,通过开展数字化转型,企业可以运用数字孪生、物联网等技术实现生产要素的虚拟映射与动态优化,重构数据流和物质流,破解传统资源配置刚性约束,将分散的资源进行集中管理,实现闲散资源的高效重组,实现资源的优化配置和共享,有助于降低企业的运营成本,减少资源错配,提高资源利用效率,从而为绿色创新提供更加充裕高效的资源积累。第三,企业通过数字化转型,提升技术整合水平,优化数字要素组合,实现生产端的数字化、绿色化转型,加速节能减排技术的研发和应用,推动企业在产品设计、生产程序、能源管理等方面的绿色创新。因此,本文提出如下假设:

H1: 数字化转型能提高企业绿色技术创新绩效。

2.2. 数字化转型与研发投入

研发投入(Research and Development Investment, 简称 R&D 投入)是指企业在研究与开发活动中所投入的资源,包括资金、人力、物力和时间等,它是企业技术创新和产品升级的重要驱动力,也是衡量企业创新能力和竞争力的关键指标[9]。

数字化转型有助于企业提升资源配置效率和决策科学性,从而增加研发投入。第一,企业面对快速变化的市场竞争环境,可以利用物联网、大数据、人工智能等数字工具快速提高资源配置效率,将资源尽可能与未来发展密切相关的研发项目相匹配,从而提高研发投入水平,还可以通过企业数字化打破传统的空间距离障碍,弱化知识的流动障碍,进而降低企业的交易成本,从而使企业将更多资金投入创新与研发。第二,企业进行数字化转型还有利于营造开放、透明的经营环境,向外界释放良好信号,降低其与投资者之间的信息不对称现象,更好塑造企业形象,从而得到投资者更多信任和支持,通过高效配置资金,提升企业研发投入水平。第三,在企业数字化的转型过程中,流程式事务性的员工不断减少,而技术型、研发型员工不断增加,因此企业数字化可以内在优化企业的人力资本结构,提高研发型员工在企业员工中的占比,简介加大对研发活动的人员投入,进而促进研发投入水平提升。因此,本文假设:

H2: 数字化转型能促进企业研发投入。

2.3. 研发投入与绿色技术创新绩效

研发投入是绿色技术创新的核心驱动力。研究表明,企业增加研发投入能够显著提升绿色技术创新能力,具体表现为绿色技术专利数量的增加和资源利用效率的提升等方面[10]。一方面,企业研发投入越大,研发资金缺失所带来的研发质量和效率的损失越小,较高的研发投入与较高的研发产出相关。充裕的研发投入,可以加快研发团队的组建和技术攻坚,研发团队的稳定性、凝聚力、执行力和创造力更有保障,进而企业的创新绩效更高。另一方面,研发人员的聚集,不仅可以带来更多的研发活动,而且可以带来更多的知识交流、共享、互补和协作,更快更容易组建创新团队并进行绿色技术攻坚,进而推动研发进展,带来更快更大的研发产出,从而提高绿色技术创新绩效。进一步,企业还可以利用云计算、大数据、人工智能等数字技术,实现研发资源在线规划、共享和按需使用,减少空间距离的障碍,降低研发投入的成本和风险,提高研发资金的使用效率。因此,本文提出如下假设:

H3: 研发投入能提高制造企业绿色技术创新绩效。

2.4. 研发投入的中介作用

数字化技术的应用能够帮助企业更精准地识别市场需求和技术创新方向,优化企业的资源配置、提升信息透明度和管理效率,为企业增加研发投入提供了基础条件,从而将研发资金更有效地投入到绿色技术创新中[11]。第一,数字化转型有效提高企业信息传递的数量与质量,降低企业信息不对称程度,向投资者传递良好信号,降低投资者的决策成本,具有绿色投资倾向的投资者能够更好地了解企业的绿色创新行为,也更愿意加大对企业的投资,从而缓解企业融资约束,获取更多资金投入绿色技术创新;第二,通过开展数字化转型,将各类数字技术嵌入各环节,利用各类资源监控和配置技术,强化对创新资源的实施监测,有助于及时发现闲置资源,并且尽快优化资源配置,将更多资源投入关键环节,提高资源的利用效率,促进绿色技术创新;第三,企业可以通过数字技术提高信息的可利用性,例如可以更加清晰地掌握员工的异质性能力水平,发掘更多研发人才,并通过对员工进行岗位优化调整,将更多研发人才投入到绿色技术创新活动,充分发挥人才价值,进而促进绿色技术创新绩效提升。因此,本文假设:

H4: 研发投入在数字化转型与企业绿色技术创新绩效间发挥中介作用。

3. 研究设计

本文以 2010~2023 年沪深 A 股上市制造业公司数据为研究样本,剔除 ST、*ST、PT 企业和相关变量缺失样本后,对连续变量进行 1%水平双边缩尾处理,最终得到 24,344 组样本观测值。数据来自上市企业年报、中国知识产权局、中国研究数据服务平台和国泰安数据库。为克服可能存在的遗漏变量导致的内生性问题,本文构建个体和时间双向固定效应模型。

绿色技术创新绩效(Patent)。通过企业绿色专利申请数量测度,同时通过加 1 取自然对数消除右偏性影响。

数字化转型(DT)。综合吴非等(2021) [12]和赵宸宇等(2021) [13]的研究,对年报进行文本分析,以数字化转型相关词频(DT_1)作为制造企业数字化转型代理变量,并对加总后数据加 1 并取自然对数以减轻数据右偏性。考虑到企业年报文本长度差异,以及企业可能对数字化转型刻意强调,用总词频与年报总字数之比(DT_2)和甄红线等(2023) [14] (DT_3)构建的数字化转型指标并加 1 并取自然对数替换自变量,以检验稳健性。

研发投入(PUT_in)。通过企业每年的研发投入金额测度,并加 1 取自然对数以消除数据右偏性。

控制变量参照吴非等[12]和赵宸宇等[13]的研究,详细变量定义见表 1。

Table 1. Definition of main variables

表 1. 主要变量定义

变量	指标	变量定义	指标构建
数字化转型	DT_1	数字化转型_总数	年报词频总数 + 1 的自然对数
	DT_2	数字化转型_比例	词频总数/年报总字数
	DT_3	数字化转型_熵权法	参考甄红线等(2023) [14]的研究
研发投入	PUT_in	研发投入金额	研发投入金额 + 1 的自然对数
绿色技术创新绩效	Patent	绿色专利申请数量	绿色专利申请数量 + 1 的自然对数
控制变量 (Controls)	size	企业规模	总资产 + 1 的自然对数
	roa	总资产收益率	净利润/资产总额
	Tobin_Q	企业成长性	公司市值/总资产
	leverage	资产负债率	总负债/总资产
	boardsize	董事会效率	董事会人数的自然对数
	indirecter	董事会独立性	独立董事人数/董事会人数
	share	股权集中度	前五大股东持股比例平方和
	liquid	流动比率	流动资产/总资产
	HHI	行业竞争程度	赫芬达尔指数
	Firm		公司固定效应
Year		年份固定效应	

4. 实证分析

4.1. 变量描述性统计

由表 2 可见, 尽管近年来数字化水平和绿色技术创新水平不断提升, 但企业间依然差距巨大。对于企业数字化转型程度, 最小值和最大值分别是 0 和 5.984, 均值为 3.178, 且标准差为 1.201, 可见企业间数字化转型程度差异极大。同时, 企业绿色技术创新绩效水平和研发投入方面也存在同样的问题, 因此, 如何通过数字化转型促进制造企业绿色技术创新绩效提升显得尤为关键。

Table 2. Descriptive statistical results of main variables

表 2. 主要变量描述性统计结果

变量指标	样本量	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
DT 1	24,344	3.162	1.201	0	3.178	5.984
PUT_in	24,344	18.12	1.395	14.33	18.05	21.98
Patent	24,344	0.404	0.806	0	0	3.738
size	24,344	22.09	1.150	20.06	21.92	25.66

续表

roa	24,344	0.0430	0.0640	-0.197	0.0420	0.226
Tobin_Q	24,344	2.084	1.241	0.870	1.683	7.972
leverage	24,344	0.390	0.189	0.0550	0.382	0.852
boardsize	24,344	2.104	0.190	1.609	2.197	2.565
indirecter	24,344	0.377	0.0540	0.333	0.364	0.571
share	24,344	0.149	0.104	0.0140	0.123	0.514
liquid	24,344	0.0270	0.0260	0.00500	0.0180	0.162
HHI	24,344	0.160	0.117	0.0410	0.126	0.705

4.2. 基准回归检验

表 3 列出了基准假设的回归检验分析结果。列(1)和列(2)表明无论是否加入控制变量, DT_1 与 Patent 间的系数都在 1%水平上显著为正, 说明制造企业数字化转型显著提升绿色技术创新绩效, 假设 H1 成立。从列(3)至列(4)的结果可知, 数字化转型与研发投入的系数也均显著为正, 即数字化转型显著促进研发投入提高, 假设 H2 成立。列(5)和列(6)的结果表明, 无论是否加入控制变量, PUT_in 与 Patent 间的系数均为正, 且都获得 1%水平的显著性支持, 说明制造企业研发投入显著可以提升绿色技术创新绩效, 假设 H3 成立。

Table 3. Benchmark regression test result
表 3. 基准回归检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Patent	Patent	PUT_in	PUT_in	Patent	Patent
DT_1	0.038*** (6.72)	0.032*** (5.66)	0.116*** (14.22)	0.035*** (5.24)		
PUT_in					0.061*** (9.18)	0.053*** (6.82)
_Cons	0.285*** (15.99)	-1.092*** (-3.96)	17.756*** (682.70)	0.064 (0.19)	-0.696*** (-5.81)	-1.176*** (-4.30)
Controls	NO	YES	NO	YES	NO	YES
Firm	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	24,072	24,072	24,072	24,072	24,072	24,072
R ²	0.697	0.697	0.872	0.908	0.697	0.698
Adj_R ²	0.652	0.652	0.853	0.895	0.653	0.653

注: 括号内为 t 值; *, **和***分别表示在 10%、5%和 1%的水平上统计显著, 下同。

4.3. 稳健性检验

4.3.1. 内生性问题分析

本文采用双向固定效应虽能在一定程度上减少内生性问题, 但数字化转型与绿色技术创新之间仍然可能存在互为因果等问题, 因此本文进一步对自变量(L.DT_1)进行滞后处理。

Table 4. Endogenous test results

表 4. 内生性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	滞后一期		2SLS 第一阶段	2SLS 第二阶段
	Patent	Patent	DT_1	Patent
DT_1				0.174*** (3.87)
L.DT_1	0.032*** (5.15)	0.028*** (4.33)		
Mean_DT_1			0.042*** (16.76)	
_Cons	0.317*** (16.00)	-1.222*** (-3.80)		
Controls	NO	YES	YES	YES
Firm	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES
N	19,991	19,991	24,072	24,072
R ²	0.709	0.710		
Adj_R ²	0.663	0.663		
	Kleibergen-Paap rk LM (P-value)		293.977 (0.000)	
	Cragg-Donald Wald F		357.300	
	Kleibergen-Paap Wald rk F		280.767	
	Stock-Yogo 弱工具变量检验临界值		16.38 (10% maximal IV size)	
	Hansen J statistic		0.000	
	Anderson-Rubin Wald test F (P-value)		15.53 (0.0001)	
	Stock-Wright LM S statistic (P-value)		18.11 (0.0000)	

注: ivreghdfe 模型未报告两阶段常数项、R² 和修正后 R²。

表 4 列(1)和列(2)结果显示, L.DT_1 作为核心自变量重新进行回归后, 系数与显著性变化不大, 表明存在双向因果关系, 且数字化转型对企业绿色技术创新的影响具有滞后性。在此基础上, 参考张国胜等(2022) [15]的研究, 进一步选取同地区同行业同年度企业的数字化转型程度均值(Mean_DT_1)作为工具变量, 采用工具变量两阶段估计法(2SLS)处理内生性问题。

从表 4 列(3)和列(4)的结果可知, 第一阶段工具变量与自变量在 1%水平显著正相关, 说明工具变量与自变量是高度相关的, 第二阶段自变量与因变量也在 1%水平显著正相关, 说明工具变量选择具有合理性, 即考虑内生问题影响后, 制造企业数字化转型依然显著促进绿色技术创新绩效提升。LM 统计量也在 1%水平上显著, 拒绝不可识别假设; 除此之外, Cragg-Donald Wald F 统计量和 Kleibergen-Paap Wald rk F 统计量均显著大于弱工具变量检验临界值, 拒绝弱工具变量假设。

4.3.2. 替换自变量

为确保研究结果具有准确性, 本文通过替换自变量进行稳健性检验。从表 5 结果可知, 自变量系数虽然在数值大小和显著性方面有所差异, 但影响方向与前文一致, 即上述结果较为可靠, 研究结果具有稳健性。

Table 5. Substitution independent variable measurement method

表 5. 替换自变量测度方式

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Patent	Patent	Patent	Patent
DT_2	120.667*** (4.50)	106.009*** (3.94)		
DT_3			0.028*** (5.93)	0.024*** (5.11)
_Cons	0.376*** (54.79)	-1.100*** (-3.99)	0.350*** (36.27)	-1.093*** (-3.97)
Controls	NO	YES	NO	YES
Firm	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES
N	24,072	24,072	24,072	24,072
R ²	0.696	0.697	0.697	0.697
Adj_R ²	0.651	0.652	0.651	0.652

4.4. 异质性分析

表 6 列出了企业产权异质性和行业异质性分析结果。列(1)和列(2)结果可知, 无论是国有企业还是非国有企业, 数字化转型均能促进绿色技术创新绩效提升, 但是在国有企业的促进作用更加明显。可能的原因在于, 国有企业本身实力雄厚, 拥有大量人力物力财力等创新资源, 可以满足企业对绿色技术创新的资源需求, 且国有企业的创新决策更加程序化, 风险低, 失败几率和试错成本也比非国有企业低; 同

时, 国有企业作为国家经济的重要组成部分, 拥有特殊的市场地位, 在当今社会推进低碳发展的历史进程中, 可以更早接触到政策动向, 快人一步开展绿色技术创新活动, 积累前期技术优势, 以便后续吸引更多人才, 进一步推进绿色技术创新活动的实施; 再者, 国有企业作为一种特殊的企业形式, 其不仅具有市场责任, 更肩负重大的社会责任, 随着“双碳”目标加速推进, 更加需要投入大量资源开展绿色技术创新, 为市场主体做出表率。

Table 6. Heterogeneity analysis results
表 6. 异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	产权异质性		地区异质性			行业异质性		
	国有	非国有	东部	中部	西部	劳动力密集型	资本密集型	技术密集型
	Patent	Patent	Patent	Patent	Patent	Patent	Patent	Patent
DT_1	0.056*** (4.34)	0.022*** (3.41)	0.038*** (4.50)	0.037*** (2.73)	0.031** (2.25)	0.027*** (3.44)	0.038*** (3.63)	0.043*** (3.31)
_Cons	0.236 (0.42)	-1.856*** (-5.73)	-1.307*** (-3.92)	-1.111* (-1.90)	-0.129 (-0.15)	-1.238*** (-2.60)	-0.366 (-0.52)	-1.793*** (-4.65)
Contros	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Firm	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	6169	17,742	17,266	3940	2783	4759	4481	14,787
R ²	0.738	0.679	0.705	0.707	0.634	0.616	0.610	0.724
Adj_R ²	0.703	0.624	0.660	0.664	0.581	0.555	0.549	0.681

列(3)至列(5)结果可知, 数字化转型对东部、中部和西部企业绿色技术创新绩效的提升效应均显著, 且对东部企业的作用更强。可能是因为, 东部地区条件优越, 企业起步早, 发展好, 拥有大量创新资源, 可以满足绿色技术创新的资源需求; 同时, 东部地区企业数量较大, 大量优秀企业集群式发展, 能产生强大的集群效应, 从而通过技术溢出等方式愈发促进企业绿色技术创新绩效水平提升。

列(6)至列(8)结果表明, 数字化转型对三类资源密集型企业绿色技术创新绩效的提升效应均显著, 但对技术密集型企业的作用更强。可能的原因在于, 技术密集型企业知识和技术比重大, 本身具有较强的技术底蕴和创新意愿, 更加注重绿色技术创新, 也更容易开展数字化转型和绿色技术创新活动, 并且随着数字技术逐步渗透, 其转型程度也在不断加深, 对技术创新的提升也更加明显。

4.5. 滞后效应分析

表 7 为自变量滞后不同期数对绿色技术创新绩效的影响结果。从结果可知, 当自变量滞后五期后, 数字化转型对绿色技术创新绩效的系数才不显著, 说明制造企业数字化转型对绿色技术创新绩效的影响具有较强的滞后性, 企业对于数字化转型的投资, 可能需要经过较长的时间才能有所显现。

Table 7. Lag effect analysis results
表 7. 滞后效应分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Patent	Patent	Patent	Patent	Patent
L.DT_1	0.028*** (4.33)				
L2.DT_1		0.022*** (3.20)			
L3.DT_1			0.022*** (2.97)		
L4.DT_1				0.015** (1.97)	
L5.DT_1					0.012 (1.43)
_Cons	-1.222*** (-3.80)	-1.059*** (-2.87)	-1.528*** (-3.60)	-1.511*** (-3.14)	-1.335*** (-2.59)
Controls	YES	YES	YES	YES	YES
Firm	YES	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES	YES
N	19991	16934	14506	12370	10120
R ²	0.710	0.719	0.731	0.749	0.765
Adj_R ²	0.663	0.673	0.683	0.699	0.716

4.6. 中介效应分析

中介效应参考温忠麟等(2014) [16]的三步法检验, 结果如表 8 所示。表 8 为研发投入中介效应的检验结果, 由各变量的系数可知, 研发投入在制造企业数字化转型促进绿色技术创新绩效中发挥部分中介作用。具体而言, 列(1)和列(2)中, DT_1 的系数为正, 且在 1%水平上显著, 即制造企业数字化转型显著提升绿色技术创新绩效。其次, 在列(3)和列(4)中, DT_1 的系数在 1%水平上显著为正, 说明数字化转型显著提高研发投入水平。最后, 列(5)和列(6)中, DT_1 的系数在 1%水平上显著为正, 小于列(1)和列(2)中 DT_1 的系数, PUT_in 的系数也在 1%水平上显著为正, 说明数字化转型提升制造企业的研发投入, 进而提升绿色技术创新绩效, 即研发投入在制造企业数字化转型与绿色技术创新绩效间发挥部分中介作用。

表 9 所示为中介效应检验参数。从表中结果可知, 直接效应、间接效应和总效应的系数区间均不包含 0, 且获得 1%水平的显著性支持, 即研发投入中介效应的直接效应、间接效应和总效应均显著, 因此, 研发投入在制造企业数字化转型与绿色技术创新绩效间发挥部分中介作用, 假设 H4 成立。

Table 8. Test results of intermediary effect of R&D investment
表 8. 研发投入的中介效应检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Patent	Patent	PUT_in	PUT_in	Patent	Patent
DT_1	0.038*** (6.72)	0.032*** (5.66)	0.116*** (14.22)	0.035*** (5.24)	0.031*** (5.52)	0.030*** (5.34)
PUT_in					0.057*** (8.52)	0.051*** (6.60)
_Cons	0.285*** (15.99)	-1.092*** (-3.96)	17.756*** (682.70)	0.064 (0.19)	-0.722*** (-6.02)	-1.095*** (-3.99)
Controls	NO	YES	NO	YES	NO	YES
Firm	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	24,072	24,072	24,072	24,072	24,072	24,072
R ²	0.697	0.697	0.872	0.908	0.698	0.698
Adj_R ²	0.652	0.652	0.853	0.895	0.653	0.653

Table 9. Mediation effect testing parameters
表 9. 中介效应检验参数

Sgmediation3 模型	Coef	Std Err	z	p	[95% conf. interval]	
Indirect effect	0.001819	0.000385	4.72543	0.000	0.000927 0.002825	
Sobel	Direct effect	0.030481	0.005869	5.19374	0.000	0.018977 0.041984
	Total effect	0.032300	0.005870	5.50264	0.000	0.020795 0.043806
Bootstrap (1000) N = 24,072	ind_eff	0.0018195	0.0004513	4.03	0.000	0.000935 0.002704
	dir_eff	0.0304806	0.0059257	5.14	0.000	0.018867 0.042095

5. 研究结论与政策建议

5.1. 研究结论

本文从“投入 - 产出”视角出发, 选取 2010 至 2021 年沪深 A 股上市制造企业作为研究样本, 实证检验了数字化转型对绿色技术创新绩效的影响, 并深入剖析了其作用机制、驱动因素以及异质性表现。研究表明: (1) 制造企业的数字化转型能够显著提升其绿色技术创新绩效和研发投入水平。这表明数字化转型不仅是企业技术升级的重要途径, 也是推动绿色技术创新的关键动力。(2) 研发投入在数字化转型与绿色技术创新绩效之间发挥了显著的部分中介作用。数字化转型通过优化资源配置、提升创新能力等机制, 促进了研发投入的增加, 进而推动了绿色技术创新绩效的提升。(3) 制造企业数字化转型对绿色

技术创新绩效的提升效应具有一定滞后性, 且存在显著的异质性。具体而言, 国有企业的提升效应显著高于国有企业; 东部企业显著高于中部和西部企业; 技术密集型企业显著高于资本密集型企业 and 劳动力密集型企业。

5.2. 政策建议

基于上述研究结论, 结合相关政策背景和建议, 提出以下政策建议, 以推动制造企业数字化转型与绿色技术创新绩效的提升:

(1) 强化数字化转型的政策支持。首先制定专项政策支持, 政府应出台针对制造企业数字化转型的专项政策, 特别是针对非国有企业和技术密集型企业的支持措施, 鼓励其加大数字化投入。其次优化研发投入的激励机制, 包括税收优惠政策、财政补贴支持以及创新金融支持工具等等。即进一步扩大研发费用加计扣除政策的适用范围, 降低高新技术企业认定门槛, 提高税收优惠力度, 鼓励企业增加研发投入; 实施科技创新券政策, 对企业购买科技创新服务给予补贴, 同时将企业研发投入纳入生产性设备投资补贴范围; 推动金融机构创新金融产品和服务, 加大对制造企业数字化转型和绿色技术创新的资金支持。

(2) 分类施策, 精准支持不同类型企业。具体而言, 针对非国有企业, 加强对其的政策扶持, 通过财政奖补、税收减免等方式, 鼓励其加大数字化转型和研发投入, 提升绿色技术创新能力。针对技术密集型企业, 重点支持其开展前沿技术研发和创新平台建设, 推动人工智能、大数据等技术与绿色制造的深度融合。针对劳动力密集型企业, 引导其通过数字化转型提升生产效率, 减少对低技能劳动力的依赖, 同时鼓励其开展绿色技术创新, 提升资源利用效率。

(3) 加强数据驱动与创新生态建设。首先加强数据基础设施建设, 鼓励企业建设高质量工业数据库, 推进国家工业互联网大数据中心建设, 提升数据驱动的创新能力。其次加强创新生态培育, 支持建设“创新实验室 + 公共服务平台”的数字化转型服务体系, 推动大中小企业协同创新, 形成良好的创新生态。最后加强人才培养与引进, 开展全面数字素养技能提升行动, 健全数字化转型领域人才评价机制, 营造良好的人才发展环境, 同时鼓励企业引进高端技术人才和创新团队, 特别是在数字化转型和绿色技术创新领域, 提供住房补贴、科研启动资金等优惠政策。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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, 40(2): 332-344.
- [4] 杨东, 柴慧敏. 企业绿色技术创新的驱动因素及其绩效影响研究综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S2): 132-136.
- [5] 孔存玉, 丁志帆. 制造业数字化转型的内在机理与实现路径[J]. 经济体制改革, 2021(6): 98-105.
- [6] 吴江, 陈婷, 龚艺巍, 等. 企业数字化转型理论框架和研究展望[J]. 管理学报, 2021, 18(12): 1871-1880.
- [7] 姚小涛, 元晖, 刘琳琳, 等. 企业数字化转型: 再认识与再出发[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2022, 42(3): 1-9.
- [8] 包刚. 绿色技术创新、环保投入与企业可持续竞争力[J]. 财会通讯, 2019(18): 82-86.
- [9] 李广培, 李艳歌, 全佳敏. 环境规制、R&D 投入与企业绿色技术创新能力[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(11): 61-73.
- [10] 张旭, 王宇. 环境规制与研发投入对绿色技术创新的影响效应[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(17): 111-119.
- [11] 刘洁, 栗志慧, 魏方欣. 数字化水平、研发投入对绿色技术创新的影响[J]. 西部经济管理论坛, 2022, 33(5): 37-46.
- [12] 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.

- [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] 甄红线, 王玺, 方红星. 知识产权行政保护与企业数字化转型[J]. 经济研究, 2023, 58(11): 62-79.
- [15] 张国胜, 杜鹏飞. 数字化转型对我国企业技术创新的影响: 增量还是提质? [J]. 经济管理, 2022, 44(6): 82-96.
- [16] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.