

数字化转型对企业绿色技术创新的影响

——基于知识吸收与资源配置的双中介模型

黎宇豪

西南科技大学经济管理学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2026年8月11日; 录用日期: 2026年9月10日; 发布日期: 2026年9月17日

摘 要

数字经济与“碳达峰、碳中和”目标的协同推进, 使数字化转型能否驱动企业绿色技术创新成为亟待检验的核心命题。本文整合资源基础理论与知识基础理论, 构建绿色知识吸收能力与创新资源配置效率的双中介模型, 并引入环境规制作为调节变量, 以2011~2024年A股上市公司为样本进行实证检验。研究发现: 数字化转型显著促进了企业绿色技术创新, 经内生性与稳健性检验后结论依然成立; 绿色知识吸收能力与创新资源配置效率分别发挥中介作用, 构成知识积累与资源优化的并行传导路径; 环境规制正向调节数字化转型与绿色技术创新的关系, 为波特假说提供了数字化情境的新证据; 驱动效应呈现行业与区域的异质性, 高污染行业及西部地区效应更为突出。本文揭示了数字化转型赋能绿色技术创新的双重内在机理, 为企业推进数字化绿色化协同转型与政府优化政策布局提供了经验依据。

关键词

数字化转型, 绿色技术创新, 知识吸收能力, 资源配置效率, 环境规制

The Impact of Digital Transformation on Enterprise Green Technology Innovation

—A Dual-Mediation Model Based on Knowledge Absorption and Resource Allocation

Yuhao Li

School of Economics and Management, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: August 11, 2026; accepted: September 10, 2026; published: September 17, 2026

Abstract

The synergistic advancement of the digital economy and the goals of “carbon peaking and carbon

文章引用: 黎宇豪. 数字化转型对企业绿色技术创新的影响[J]. 可持续发展, 2026, 16(9): 121-134.

DOI: 10.12677/sd.2026.169321

neutrality” makes the question of whether digital transformation can drive enterprise green technology innovation a core issue that urgently needs to be tested. This paper integrates resource-based theory and knowledge-based theory to construct a dual-mediation model of green knowledge absorption capacity and innovation resource allocation efficiency, and introduces environmental regulation as a moderating variable. An empirical test is conducted using A-share listed companies from 2011 to 2024 as a sample. The study finds that: digital transformation significantly promotes enterprise green technology innovation, and this conclusion remains valid after endogeneity and robustness tests; green knowledge absorption capacity and innovation resource allocation efficiency play mediating roles, constituting a parallel transmission path of knowledge accumulation and resource optimization; environmental regulation positively moderates the relationship between digital transformation and green technology innovation, providing new evidence for Porter’s hypothesis in a digital context; the driving effect exhibits industry and regional heterogeneity, with more prominent effects in high-pollution industries and western regions. This paper reveals the dual intrinsic mechanism by which digital transformation empowers green technology innovation, providing empirical evidence for enterprises to promote coordinated digital and green transformation and for governments to optimize policy layout.

Keywords

Digital Transformation, Green Technology Innovation, Knowledge Absorption Capacity, Resource Allocation Efficiency, Environmental Regulation

Copyright © 2026 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

气候变化作为全球性议题，其紧迫性日益凸显。中国作为世界上最大的发展中国家，长期面临统筹经济增长与环境保护的双重考验。中国明确提出“碳达峰、碳中和”目标(以下简称“双碳”目标)，绿色技术创新被确立为应对碳排放约束的核心驱动力。然而，绿色技术创新具有高投入、长周期与强外部性等典型特征，企业普遍面临资源约束与技术瓶颈的双重挑战，亟需新的驱动力以突破创新困境。

与此同时，以人工智能、大数据、云计算为代表的新一代数字技术正深度重塑经济格局。据中国信息通信研究院发布的《中国数字经济发展研究报告(2025年)》显示，2024年我国数字经济规模达59.2万亿元，占GDP比重升至43.8% [1]，数字化转型已从企业发展的可选项演变为核心战略。从微观层面看，数字化转型不仅是技术迭代，更是对业务流程、组织架构与价值创造逻辑的系统性重塑。

上述两大趋势并非彼此孤立，而是存在深刻的内在耦合。数字技术作为通用目的技术，通过数据要素驱动打破信息孤岛、优化资源配置，为绿色创新提供底层技术支撑；绿色发展理念则为数字技术应用确立了价值导向与应用场景。《促进数字化绿色化协同转型发展实施方案（2026-2030年）》中，已明确将“双化协同”作为重要政策导向[2]。然而，数字化与绿色化的深度融合并非自发实现，而是深受企业内部知识吸收能力、资源配置效率与外部制度环境等多重因素制约。若缺乏对绿色知识的有效内化与创新资源的精准配置，数字化投入难以切实转化为绿色创新绩效。

现有文献对数字化转型与绿色技术创新的关系已展开丰富探讨，多数研究证实二者存在显著正向关联[3]-[5]。在作用机制层面，学者们从内部控制[6] [7]、资源配置[8] [9]、ESG管理[10] [11]及知识吸收[12] [13]等视角进行了多维探索。尽管如此，现有研究仍存在拓展空间。第一，机制检验多局限于单一中介渠

道，鲜有研究将知识吸收能力与资源配置效率纳入同一分析框架进行并行检验。绿色技术创新兼具知识创造与资源投入的双重属性，仅依靠单一路径难以完整阐释其传导逻辑。第二，边界条件分析有待深化，环境规制作为引导企业绿色转型的重要制度安排，其与数字化转型的交互作用尚未得到充分实证检验。

基于上述研究缺口，本文依托资源基础理论与知识基础理论构建整合分析框架，同步检验绿色知识吸收能力与创新资源配置效率的双重中介效应，并引入环境规制作为调节变量，系统剖析数字化转型作用于企业绿色技术创新的内在机制与约束边界。本文的贡献体现在三个方面：第一，揭示“知识内化”与“资源优化”的并行传导路径，弥补单一路径研究的局限；第二，验证环境规制在数字化转型与绿色创新关系中的正向调节作用，为波特假说提供数字化情境的新证据；第三，识别行业与区域的异质性效应，为差异化政策制定提供实证依据。

2. 文献综述与理论基础

2.1. 数字化转型与绿色技术创新的直接效应

数字经济与绿色低碳发展的深度融合是当前企业高质量发展的核心趋势。目前主流研究普遍认可数字化转型对企业绿色技术创新存在显著的正向驱动效应。部分研究对绿色技术创新进行细分后发现，数字化转型对不同类型绿色创新的赋能效果存在差异。刘亦文和高京淋[14]针对制造业企业的研究表明，数字化转型对绿色发明专利的促进效应显著强于绿色实用新型专利，证实其能够推动企业开展更高质量的突破性绿色创新。Li 等[15]基于创新链视角的研究同样证实，数字化转型不仅能够提升绿色专利申请数量，还可显著改善绿色创新效率与质量。

2.2. 数字化转型影响绿色技术创新的作用机制

现有研究围绕传导路径形成了多维度机制解释。在内部控制层面，数字化转型能够提升企业内部控制质量，有效缓解绿色创新中的信息壁垒与道德风险。在资源配置层面，郭丰等[16]发现数字化技术能够优化企业人力资本结构并提升产学研合作水平；张泽南等[17]指出数字化转型可通过提升信息披露质量缓解外部融资约束；成新轩等[18]指出数字化转型能够降低外部交易成本，倒逼企业加大绿色研发投入。

2.3. 文献述评与研究空间

综合上述文献，现有研究已初步建立了数字化转型与绿色技术创新之间的正向关联，并从多重视角阐释了传导机制。但仍存在以下拓展空间：第一，机制检验多聚焦单一中介渠道，缺少对知识吸收能力与资源配置效率并行传导路径的整合分析。绿色技术创新兼具知识创造与资源投入双重属性，单一路径难以完整阐释其赋能逻辑。第二，现有研究较少关注两大中介机制之间的内在关联。知识吸收能力的提升有助于企业更精准地识别高价值绿色技术方向，从而引导资源向高效率领域配置；而资源配置效率的改善又能为知识吸收提供更充裕的要素支撑。二者可能存在相互强化或先后次序关系，这一理论可能性尚未得到充分检验。第三，边界条件分析有待深化，环境规制如何与数字化转型交互作用于绿色创新，仍需进一步实证厘清。基于上述研究缺口，本文构建双中介整合分析框架，并引入环境规制作为调节变量，以拓展现有理论边界。

3. 理论分析与研究假设

3.1. 数字化转型与绿色技术创新

资源基础理论与动态能力理论为理解数字化转型的企业价值提供了支撑。作为一项新型异质性资源，数字化转型能够为企业绿色技术创新积累必要的要素禀赋。

资源空间。在外部交易维度,数字技术凭借信息互联互通优势,有效缓解企业与上下游主体及外部投资者之间的信息不对称,降低交易成本[19]。企业可依托数字化渠道及时捕捉市场需求动态与政策导向,精准锚定绿色技术创新的研发方向,减少无效研发投入。在内部运营维度,云端数据处理与智能化生产系统能够优化生产流程,降低管理成本与资源损耗,将结余资源导入绿色研发环节。

从资源供给与融资保障的视角看,数字化转型能够拓宽绿色创新的资源供给渠道。在资本市场维度,数字化转型推动企业经营数据标准化披露,降低投资者信息甄别成本与风险溢价,提升融资可得性,有效缓解绿色技术创新面临的融资约束[20]。在政策资源维度,数字化转型提升企业对环保政策的感知与响应能力,帮助企业获取创新补贴与税收减免等政策资源[21]。

从知识流动与跨界融合的视角看,数字化转型有助于释放知识要素的价值创造功能。数字化平台能够打破组织内部壁垒,提升知识流转效率,推动环境技术、绿色工艺等知识在组织内部快速流动[22]。同时,数字技术能够打破行业边界,推动跨界知识融合,企业可通过线上研发合作平台强化与产业链上下游、科研机构及高校的技术联动,构建绿色技术创新生态圈[23][24]。基于上述分析,提出以下假设:

H1: 数字化转型对企业的绿色技术创新具有显著的驱动效应。

3.2. 绿色知识吸收能力的中介作用

知识基础理论认为,知识是企业最具战略价值的核心资源,企业的竞争优势根植于其创造、整合与应用知识的能力[25]。绿色技术创新本质上是绿色知识的创造、积累与应用过程。金昕等[26]认为,知识吸收能力较强的企业能够有效识别并引进外部知识资源,推动其突破现有技术范式。

从数字化转型对吸收能力的赋能逻辑看,数字化转型能够打通企业与外部利益相关者的信息交互渠道,加速知识资源的流转交换,持续提升企业对外部异质性知识的甄别、消化与利用能力[27]。数字化信息体系有效缓解了信息不对称,为吸收能力的培育提供了资源与场景支撑。从吸收能力赋能创新的传导逻辑看,高水平的吸收能力有助于企业精准识别、吸纳并落地前沿绿色技术与低碳工艺,为绿色技术迭代提供核心知识支撑[28]。数字化转型的创新赋能效果高度依赖企业内部的知识转化能力,必须依托成熟的知识吸收机制,才能将数字化优势转化为实质性创新产出[29]。

延伸至绿色技术创新领域,数字化转型积累的海量数字资源与行业创新经验,需要通过知识吸收能力完成内化重构,最终作用于绿色技术研发与低碳生产等环节。Albort-Morant 等[30]指出,知识吸收能力是驱动绿色产品创新的重要前因。Chen 等[31]通过实证检验进一步验证,吸收能力对增量型、激进型及服务型绿色创新均具有显著正向驱动作用。基于上述逻辑,提出如下假设:

H2: 绿色知识吸收能力在数字化转型与企业绿色技术创新之间起中介作用。

3.3. 创新资源配置效率的中介作用

基于资源基础理论,绿色技术创新作为一项高投入、长周期和高风险的活动,高度依赖企业资源的有效配置。然而,受限于资源稀缺性与信息不对称,传统模式下企业往往难以实现资源的最优配置。数字化转型通过重塑信息处理流程与组织架构,显著提升了资源配置效率。

从内部组织与决策机制看,数字化转型能够打通各业务系统间的壁垒,促进信息、资源与知识在各部门间自由流动。戚聿东和肖旭[32]指出,数字化转型正推动企业组织结构由垂直化层级向扁平化架构转型,有效提升管理效率,激发内生发展动能。谢康等[33]进一步阐释,数字化技术与生产研发过程的融合,使各部门能够围绕绿色创新目标高效协同,加速了绿色产品从概念到市场的转化。

此外,高效的资源配置是破解绿色技术创新资源约束的核心路径。张月芳[34]证实,要素高效配置能集聚绿色创新所需资源,与环境规制形成协同赋能。许汉友和徐逸飞[35]研究发现,高效资源配置能集中优势资源支撑高难度的实质性绿色创新,通过降本增效释放冗余资源,为绿色创新持续投入提供保障。

值得关注的是，知识吸收能力与资源配置效率之间并非彼此孤立，而是存在潜在关联。知识吸收能力较强的企业能够更准确地识别绿色技术机会，从而引导研发资源向高回报领域集中，提升配置效率；同时，资源配置效率的改善能够释放更多冗余资源，为知识搜寻与内化活动提供要素保障。二者可能形成“知识识别引导资源流向－资源保障支撑知识深化”的良性循环。然而，受限于研究聚焦于并行路径的识别，本文暂不构建链式假设，但在理论层面为后续研究指明了方向。综合上述分析，提出如下假设：

H3：创新资源配置效率在数字化转型与企业绿色技术创新之间起中介作用。

3.4. 环境规制的调节作用

传统观点认为环境规制会增加企业治理成本、抑制创新。波特假说则从长期动态视角指出，适度的环境约束会倒逼企业开展绿色研发，长期创新收益能够覆盖环保合规支出[36]。

环境规制能够改变数字资源转化为绿色创新成果的效率，具备典型的调节变量属性。数字化本身提供算力、数据等通用技术基础，而环境规制则重塑企业使用这些技术工具的动机与方向。当环境规制趋严时，企业面临更强的减排压力，倾向于将数字化转型的重点放在能耗监测、清洁工艺开发和绿色专利上，从而强化数字化对绿色创新的促进效应。若规制力度相对宽松，企业缺乏足够的动力进行绿色导向的数字化应用，数字化资源更多流向生产流程优化与成本控制等环节，其对绿色技术创新的拉动效果便会被削弱。杨永杰和阮鑫妍[37]、刘海楠等[38]的实证检验均证实，环境规制能够正向强化数字化转型对绿色技术创新的促进效果。据此提出如下假设：

H4：环境规制在数字化转型与企业绿色技术创新之间起正向调节作用。

4. 研究设计

4.1. 样本选择与数据来源

本文选取 2011~2024 年中国 A 股上市公司作为初始研究样本，并进行如下筛选：(1) 剔除金融业上市公司；(2) 剔除 ST、*ST 类公司；(3) 剔除核心变量严重缺失的观测值；(4) 对所有连续变量在 1%和 99%分位数处进行双向缩尾处理。最终获得有效观测值 23,335 个。

企业数字化转型指标取自 CSMAR 数字化转型专题数据库，基于上市公司年报全文文本挖掘构建综合指数。绿色专利数据取自 CNRDS 中国研究数据服务平台，严格参照世界知识产权组织(WIPO)绿色专利分类标准进行标识。地区环境规制数据取自历年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及各省级统计年鉴。企业财务与治理数据均来自 CSMAR 核心数据库。

4.2. 变量定义与测量

4.2.1. 被解释变量：绿色技术创新(GTI)

借鉴齐绍洲等[39]和李青原和肖泽华[40]的做法，采用企业绿色专利申请量(去除外观设计)加 1 后取自然对数衡量。选取申请量而非授权量，原因在于授权存在较长审查周期与外部行政因素干扰，申请量更能同步反映企业当年创新成果。

4.2.2. 解释变量：数字化转型(DIG)

借鉴吴非等[41]的做法，采用 CSMAR 数据库提供的数字化转型综合指标，基于企业年报中数字化相关关键词词频构建，将词频加总后加 1 取自然对数。

4.2.3. 中介变量

绿色知识吸收能力(Absorb)。借鉴 Zahra 和 George [42]的扩展框架，本文将吸收能力划分为潜在吸收

能力与现实吸收能力。结合本文研究逻辑，数字化转型首先优化信息获取渠道，主要作用于潜在吸收环节。具体测度上，以研发投入强度(研发投入/营业收入)与研发人员占比(研发人员/员工总数)两项指标标准化后取算术平均值，构建综合指标。

创新资源配置效率(RDEff)。采用数据包络分析(DEA)方法测算企业研发全要素生产率。以研发资本投入与研发人员投入为投入变量，以绿色专利申请量为产出变量，采用 DEA-CCR 投入导向模型测算，值越接近 1 表明效率越高。

需说明的是，两项中介变量虽均涉及研发要素，但理论内核与测算范式存在本质差异。前者基于投入强度与人员占比构建，刻画知识识别与消化的基础禀赋；后者采用 DEA 非参数前沿模型测算，刻画既定投入下的成果转化相对效率。二者理论边界清晰，不存在度量重叠。

4.2.4. 调节变量：环境规制(ER)

参考傅京燕和李丽莎[43]和任晓松等[44]的测算方法，选取单位工业产值工业废水排放量、二氧化硫排放量、烟尘排放量三类污染强度指标，先做反向标准化处理，再运用熵值法赋权加权，得到地区环境规制综合指数。

4.2.5. 控制变量

选取以下控制变量：企业规模(Size，总资产自然对数)、资产负债率(Lev，总负债/总资产)、营业收入增长率(Growth，本年营收/上年营收 - 1)、公司成立年限(Age，当年年份 - 成立年份 + 1 取自然对数)、产权性质(SOE，国有控股为 1)、管理层持股(Mshare，管理层持股数/总股数)、董事会规模(Board，董事会人数自然对数)、股权集中度(Top1，第一大股东持股比例)、资产周转率(ATO，营业收入/平均总资产)、经营亏损(Loss，净利润小于 0 为 1)。全部变量定义汇总于表 1。

Table 1. Variable definition table
表 1. 变量定义表

变量性质	变量名称	变量符号	变量测度说明
被解释变量	绿色技术创新	GTI	绿色专利申请量加 1 取自然对数
解释变量	数字化转型	DIG	数字化关键词频加 1 取自然对数
中介变量	绿色知识吸收能力	Absorb	研发投入强度与研发人员占比标准化均值
	创新资源配置效率	RDEff	DEA-CCR 模型测算研发全要素生产率
调节变量	环境规制	ER	熵值法测算环境规制综合指数
控制变量	企业规模	Size	年末总资产的自然对数
	资产负债率	Lev	总负债/总资产
	营业收入增长率	Growth	本年营收/上年营收 - 1
	公司成立年限	Age	当年年份 - 公司成立年份 + 1 取自然对数
	产权性质	SOE	国有控股为 1，否则为 0
	管理层持股	Mshare	管理层持股数/总股数
	董事会规模	Board	董事会总人数自然对数
	股权集中度	Top1	第一大股东持股比例
	资产周转率	ATO	营业收入/平均总资产
	经营亏损	Loss	净利润小于 0 为 1，否则为 0

4.3. 实证模型设定

本文采用双向固定效应模型，同时控制企业个体固定效应与年份固定效应。

4.3.1. 基准回归模型

为检验假设 H1，构建如下基准模型：

$$GTI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DIG_{it} + \sum \alpha_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$
 (4-1)

其中， i 表示企业， t 表示年份， μ_i 、 λ_t 和 ε_{it} 分别表示企业个体固定效应、时间固定效应和随机扰动项。 α_1 为核心解释变量的待估参数，若 α_1 显著为正，则假设 H1 成立。

4.3.2. 中介效应模型

参照江艇[45]提出的两步法识别思路，放弃传统逐步回归法。第一步通过计量回归验证数字化转型对中介变量的正向作用；第二步依托成熟理论推导中介变量对绿色技术创新的正向影响。构建如下模型：

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIG_{it} + \sum \beta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$
 (4-2)

其中， M_{it} 依次代入绿色知识吸收能力(Absorb)与创新资源配置效率(RDEff)。若 β_1 显著为正，且第二步理论推演成立，则中介机制成立。

4.3.3. 调节效应模型

为检验假设 H4，在基准模型基础上引入环境规制及其与数字化转型的交互项：

$$GTI_{it} = \delta_0 + \delta_1 DIG_{it} + \delta_2 ER_{it} + \delta_3 DIG_{it} \times ER_{it} + \sum \delta_k Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$
 (4-3)

交互项构造前对 DIG 与 ER 进行均值中心化处理。若 δ_3 显著为正，则假设 H4 成立。

5. 实证检验与结果分析

5.1. 描述性统计

Table 2. Descriptive statistics
表 2. 描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
GTI	23,335	0.689	1.044	0	7.918
DIG	23,335	1.648	1.415	0	6.306
Size	23,335	22.29	1.297	19.52	26.45
Lev	23,335	0.415	0.195	0.0320	0.910
Growth	23,335	0.139	0.352	-0.673	5.076
Age	23,335	2.967	0.319	1.099	4.234
SOE	23,335	0.298	0.457	0	1
Mshare	23,335	0.158	0.199	0	0.704
Board	23,335	2.103	0.198	1.609	2.708
Top1	23,335	0.332	0.145	0.0750	0.758
ATO	23,335	0.593	0.351	0.0470	2.645
Loss	23,335	0.104	0.306	0	1

表 2 报告了主要变量的描述性统计结果。绿色技术创新(GTI)的均值为 0.689，标准差为 1.044，最小值为 0，最大值为 7.918，表明企业间绿色技术创新水平差异显著，呈现右偏分布特征。数字化转型(DIG)的均值为 1.648，标准差为 1.415，部分企业数字化指标取值为 0，表明仍有企业尚未布局数字化业务。控制变量方面，企业规模均值为 22.29，资产负债率均值为 0.415，产权性质均值为 0.298 (国有企业占比 29.8%)，经营亏损均值为 0.104 (约 10.4%的观测样本处于亏损状态)。所有变量统计特征与 A 股上市公司主流文献结论基本吻合，样本具备良好代表性。

5.2. 相关性分析与共线性检验

Pearson 相关分析显示，数字化转型(DIG)与绿色技术创新(GTI)在 1%统计水平上显著正相关，初步表明数字化转型程度越高的企业绿色创新产出越具优势。多数控制变量与被解释变量存在显著相关关系。方差膨胀因子(VIF)检验显示，所有变量 VIF 最大值为 1.654，均值为 1.251，远低于临界值 10，表明模型不存在严重多重共线性问题。

5.3. 基准回归结果

基准回归结果如表 3 所示。模型(1)仅纳入核心解释变量，模型(2)进一步纳入全部控制变量，两组模型均控制个体与年份固定效应。模型(1)中数字化转型(DIG)系数为 0.0331，在 1%水平显著为正。模型(2)纳入控制变量后，DIG 系数为 0.0273，仍在 1%水平显著为正，系数小幅下降符合预期，表明剥离企业异质性干扰后，数字化转型对绿色技术创新的正向作用稳定存在。控制变量方面，企业规模、营业收入增长率、管理层持股均显著为正，经营亏损显著为负，均符合理论预期。基准回归结果验证了假设 H1。

Table 3. Benchmark regression results
表 3. 基准回归结果

变量	(1) GTI	(2) GTI
DIG	0.0331*** (0.0070)	0.0273*** (0.0071)
Size		0.0793*** (0.0145)
Lev		0.0261 (0.0491)
Growth		0.0300** (0.0138)
Age		-0.1054 (0.0970)
SOE		0.0116 (0.0337)
Mshare		0.1556*** (0.0593)
Board		-0.0289 (0.0452)
Top1		-0.126***
ATO		-0.029***
Loss		0.060***
_cons	0.6346*** (0.0123)	-0.8255** (0.4190)
个体固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
N	23,335	23,335
R ²	0.6281	0.6295

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

5.4. 稳健性检验

5.4.1. 替换解释变量

借鉴赵宸宇等[46]的指标构建思路重新测算数字化转型指数(DIG1)。如表 4 模型(2)所示, 更换测度方式后, 数字化转型指数回归系数在 1%水平显著为正, 与基准回归高度一致, 表明核心结论不受解释变量测度方法干扰。

5.4.2. 替换被解释变量

将被解释变量替换为绿色专利授权量重新回归。表 4 模型(3)结果显示, 数字化转型(DIG)系数为 0.0195, 在 1%水平显著为正, 证明核心结论不受被解释变量测度视角影响, 具备较强可信度。

Table 4. Robustness tests for replacement variables

表 4. 替换变量的稳健性检验

变量	(1) 基准回归 GTI	(2) 替换解释变量 GTI	(3) 替换被解释变量 GTI1
DIG	0.0273 ^{*****} (0.0071)		0.0195 ^{***} (0.0065)
DIG1		12.5998 ^{***} (0.1142)	
Size	0.0793 ^{***} (0.0145)	0.0087 (0.0098)	0.0501 ^{***} (0.0134)
Lev	0.0261 (0.0491)	-0.0157 (0.0334)	0.0755 [*] (0.0442)
Growth	0.0300 ^{**} (0.0138)	0.0249 ^{***} (0.0095)	0.0298 ^{**} (0.0128)
控制变量	控制	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes	Yes
N	23,335	23,335	23,335
R ²	0.6295	0.8203	0.5992

5.5. 内生性检验

本文内生性风险主要源于反向因果、遗漏变量与测量误差。为缓解内生性偏误, 采用两阶段最小二乘法(2SLS)进行工具变量回归。借鉴肖土盛等[47]的方法, 选取同省份同年度其他企业数字化转型的均值(peer_DIG)作为工具变量。

Table 5. Results of the instrumental variable method

表 5. 工具变量法结果

变量	(1) 第一阶段 DIG	(2) 第二阶段 GTI
peer_DIG	0.2207 ^{***} (0.0450)	
DIG		0.5664 ^{**} (0.2211)
控制变量	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes
N	23,335	23,335
R ²	0.8088	-0.4438
F 值	23.42	
Kleibergen-Paap rk LM	28.389	
Cragg-Donald Wald F	31.011	

如表 5 所示，第一阶段回归中工具变量 `peer_DIG` 对 `DIG` 的系数为 0.2207，在 1%水平显著为正，F 统计值为 23.42，远大于临界值 10，不存在弱工具变量问题。第二阶段回归中，`DIG` 系数为 0.5664，在 5%水平显著为正。Kleibergen-Paap rk LM 统计量为 28.389，显著拒绝识别不足原假设；Cragg-Donald Wald F 与 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量均高于 Stock-Yogo 临界值，进一步验证工具变量有效性。综合检验结果，在剥离内生性干扰后，核心结论依然成立。

5.6. 进一步分析

5.6.1. 中介效应检验

表 6 报告了中介效应检验的第一步回归结果。第(1)列显示，数字化转型对绿色知识吸收能力的回归系数为 0.0069，在 1%水平显著为正，表明数字化转型能够显著提升企业绿色知识吸收能力。第(2)列显示，数字化转型对创新资源配置效率的回归系数为 0.0029，同样在 1%水平显著为正，表明数字化转型能够显著优化创新资源配置效率。依据江艇两步法识别思路，第一步实证检验已确认数字化转型对中介变量的正向作用。第二步依托理论推导，绿色知识吸收能力的提升有助于企业识别、获取与转化外部绿色技术知识，为绿色创新提供知识基础；创新资源配置效率的提升则有助于释放研发产能、提高绿色创新产出转化率。综合两步法检验结果，假设 H2 与 H3 得到验证，绿色知识吸收能力与创新资源配置效率在数字化转型驱动绿色技术创新过程中均发挥显著中介作用。

Table 6. Results of mediation effect test
表 6. 中介效应检验结果

变量	(1) Absorb	(2) RDEff
DIG	0.0069*** (0.0024)	0.0029*** (0.0009)
Size	0.0057 (0.0055)	0.0622*** (0.0018)
Lev	-0.1065*** (0.0180)	-0.0213*** (0.0067)
Growth	-0.0115** (0.0045)	-0.0016 (0.0020)
控制变量	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes
N	19,257	23,335
R ²	0.8850	0.7844

5.6.2. 调节效应检验

Table 7. Results of the moderating effect test
表 7. 调节效应检验结果

变量	(1) GTI	(2) GTI
DIG	0.0273*** (0.0071)	0.0218*** (0.0076)
ER		-0.1123 (0.2265)
DIG × ER		0.3404** (0.1601)
控制变量	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes
N	23,335	23,335
R ²	0.6295	0.6295

表 7 报告了调节效应检验结果。第(2)列显示，在引入环境规制及其交互项后，DIG 系数为 0.0218，在 1%水平显著为正。交互项 DIGxER 的系数为 0.3404，在 5%水平显著为正，表明环境规制在数字化转型驱动绿色技术创新过程中发挥正向调节作用，假设 H4 得到支持。从经济意义看，环境规制强度每提升 1 个单位，数字化转型对绿色技术创新的边际效应增强 0.3404 个单位。该发现印证了波特假说在数字化转型情境下的适应性：环境规制作为外部制度压力，能够引导企业将数字化转型释放的创新资源更多地配置于绿色技术领域，强化数字化的绿色创新驱动效应。

5.6.3. 异质性分析

(1) 行业异质性。依据行业污染特征将样本划分为高污染与非高污染两组。表 8 结果显示，高污染企业组 DIG 系数为 0.0610 (1%显著)，非高污染企业组系数为 0.0229 (1%显著)，高污染企业系数明显更大(组间系数差异约 0.038)。表明高污染企业面临更严苛的环境合规压力，借助数字化手段提升绿色创新的动机更为强烈，数字化转型的绿色创新驱动效应更为突出。

Table 8. Industry heterogeneity results
表 8. 行业异质性结果

变量	(1) 高污染企业 GTI	(2) 非高污染企业 GTI
DIG	0.0610*** (0.0167)	0.0229*** (0.0080)
控制变量	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes
N	5953	17,382
R ²	0.6049	0.6395

(2) 区域异质性。将样本划分为东部、中部与西部三组进行回归。表 9 结果显示，东部地区 DIG 系数为 0.0289 (1%显著)，西部地区系数为 0.0446 (5%显著)，中部地区系数为 0.0118 (不显著)。效应呈现“西部边际效应最强、东部显著性最稳健、中部尚未显现”的梯度特征。从数据上看，西部地区的系数值最大(0.0446)，这可能与西部地区传统产业占比较高、数字化改造的空间较大有关，即所谓“后发优势”——该地区企业可通过跨越式采纳数字技术实现绿色技术的快速追赶，但这一解释需结合西部样本企业的具体行业分布加以审慎对待；东部地区效应稳定(系数 0.0289，显著性水平最高)，可能依托于其完善的市场化创新生态与充足的创新资源储备；中部地区效应尚未显现(系数 0.0118，不显著)，可能源于该地区在政策激励强度与创新资源禀赋方面均处于相对弱势，政策支持力度与区域创新资源梯度差异并存的格局，制约了数字化转型绿色创新效应的释放。

Table 9. Regional heterogeneity results
表 9. 区域异质性结果

变量	(1) 东部 GTI	(2) 中部 GTI	(3) 西部 GTI
DIG	0.0289*** (0.0083)	0.0118 (0.0181)	0.0446** (0.0204)
控制变量	控制	控制	控制
个体/年份固定效应	Yes	Yes	Yes
N	16,870	3848	2613
R ²	0.6343	0.6526	0.5635

6. 研究结论与对策建议

6.1. 研究结论

本文基于 2011~2024 年中国 A 股上市公司面板数据，运用双向固定效应模型、中介效应模型与调节效应模型，实证检验了数字化转型对企业绿色技术创新的影响及其作用机制，得到以下主要结论：

第一，数字化转型对企业绿色技术创新具有显著的正向驱动效应。基准回归与系列稳健性检验均支持该结论，且在引入工具变量控制内生性后依然成立，表明数字化转型是驱动企业绿色技术创新的重要力量。

第二，绿色知识吸收能力与创新资源配置效率在数字化转型与绿色技术创新之间发挥并行中介作用。数字化转型通过拓宽知识搜寻边界、促进知识内化重构，以及优化研发资源投入产出转化效率，构成“知识积累”与“资源优化”两条差异化传导路径。二者互为补充，共同阐释了数字化转型赋能绿色创新的内在机理。

第三，环境规制在数字化转型驱动绿色技术创新过程中发挥正向调节作用。环境规制作为外部制度压力，能够引导企业将数字化转型释放的创新资源更多地配置于绿色技术领域，实现制度压力与技术能力的协同增效，为波特假说提供了数字化情境的新证据。

第四，驱动效应呈现显著的行业与区域异质性。高污染行业效应强于非高污染行业；西部地区边际效应最强，东部地区显著性最稳健，中部地区效应尚未显现。这一发现为差异化政策制定提供了实证依据。

6.2. 对策建议

政府层面：

第一，加大数字基础设施建设投入。持续加大对 5G、工业互联网、数据中心等新型基础设施的投入，尤其强化对中西部地区的倾斜性布局，缩小区域数字鸿沟。结合“东数西算”工程，推动西部地区数字基础设施跨越式发展，同时着力破解中部地区因资源不足导致的驱动失灵困境。数字基础设施建设须遵循绿色化导向，防范基础设施扩张带来的新增碳排放。

第二，强化环境规制的引导与激励功能。统筹运用命令控制型、市场激励型与公众参与型三类环境规制工具，构建刚性约束与柔性激励相互支撑的复合体系。在命令控制层面适度强化排放标准执行力度，在市场激励层面扩大碳排放权交易、绿色信贷等工具的覆盖范围，在公众参与层面完善环境信息公开与环保信用评价机制。环境规制政策应与数字经济发展政策协同设计，实现制度压力与技术赋能的协同增效。

第三，实施差异化的产业与区域政策。将高污染行业确立为数字化与绿色化协同推进的重点领域，综合运用财政补贴、税收激励等政策工具加大支持力度。在区域维度，关注中部地区的政策洼地问题，在中部崛起战略深化实施中加大数字基础设施建设与绿色创新扶持，推动形成东中西部各展所长、梯度协同的绿色创新格局。

企业层面：

第一，加快数字化转型步伐。系统部署人工智能、大数据、云计算等前沿技术，构建数字化研发平台与绿色供应链管理体系，将数字化转型与绿色发展战略深度融合，确保数字化投入切实转化为绿色技术创新产出。同时强化复合型人才队伍建设，为持续转型提供人力保障。

第二，提升绿色知识吸收能力。加大研发投入强度，提升研发人员占比，借助大数据与人工智能拓宽绿色知识搜寻边界。构建数字化知识管理系统与共享平台，促进跨部门知识流动。积极构建开放式绿色创新生态，加强与高校、科研院所及上下游企业的协同合作。

第三, 优化创新资源配置效率。借助数字技术推动研发管理从粗放向精细化转变, 引入研发项目管理系统与智能决策支持工具, 构建跨部门研发资源共享平台, 形成数据驱动的研发决策模式。建立常态化效率监测机制, 定期评估研发投入产出比, 持续提升绿色创新产出转化率。

第四, 主动响应环境规制。将环境规制纳入战略决策框架, 前瞻布局绿色技术创新。加强环境信息披露与绿色品牌建设, 积极参与碳排放权交易、绿色信贷等市场化工具, 拓宽绿色创新融资渠道。关注规制强度动态变化, 在规制趋严背景下持续加大绿色技术研发投入。

参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展研究报告(2025 年) [R/OL]. 北京: 中国信息通信研究院. https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202603/t20260323_717128.htm, 2026-09-10.
- [2] 中央网信办等七部门联合印发《促进数字化绿色化协同转型发展实施方案(2026-2030 年)》[EB/OL]. https://www.cac.gov.cn/2026-09/04/c_1790271981702331.htm, 2026-09-04.
- [3] 李刚, 黄苗苗. 数字化转型赋能企业绿色技术创新的影响研究——基于中国上市公司的经验数据[J]. 工业技术经济, 2025, 44(6): 96-105.
- [4] Sun, Z., Zhao, L., Mehrotra, A., Salam, M.A. and Yaqub, M.Z. (2024) Digital Transformation and Corporate Green Innovation: An Affordance Theory Perspective. *Business Strategy and the Environment*, **34**, 433-449. <https://doi.org/10.1002/bse.3991>
- [5] Huang, Y. and Lau, C. (2024) Can Digital Transformation Promote the Green Innovation Quality of Enterprises? Empirical Evidence from China. *PLOS ONE*, **19**, e0296058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296058>
- [6] 高智林, 谭文浩. 企业数字化转型会促进绿色技术创新吗?——基于文本分析方法的经验证据[J]. 财经论丛, 2024(1): 79-91.
- [7] 程秋旺, 蔡雪雄, 文守逊. 数字化转型、绿色创新与企业漂绿行为[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2025, 40(1): 37-50.
- [8] 凌士显, 姬梦佳. 企业数字化与制造业绿色技术创新[J]. 商业研究, 2023(4): 10-18.
- [9] 林永佳, 杨畅, 蔡幸. 企业数字化转型与绿色创新能力升级——基于网络效应的分析[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2023, 43(2): 3-19.
- [10] 张慧, 石云帆, 孟纹羽, 等. 企业数字化转型对绿色技术创新的影响——基于 ESG 视角[J]. 统计与决策, 2025, 41(15): 150-155.
- [11] 黄晶, 张乐, 明洋. 企业数字化转型与绿色全要素生产率——技术创新的偏向性视角研究[J]. 南京财经大学学报, 2025(4): 89-99.
- [12] 张新启, 钟昌标, 杨西畔, 等. 数字化转型对高新技术企业创新绩效的影响研究——吸收能力的中介作用视角[J]. 工业技术经济, 2025, 44(4): 140-150.
- [13] 刘海曼, 龙建成, 申尊焕. 数字化转型对企业绿色创新的影响研究[J]. 科研管理, 2023, 44(10): 22-34.
- [14] 刘亦文, 高京淋. 制造业企业数字化转型对绿色技术创新的影响研究[J]. 统计与决策, 2025, 41(20): 165-170.
- [15] Li, N., Xu, Y. and Xie, Y. (2025) How Digital Transformation Intensity Enables Persistent Green Innovation? An Empirical Study of Chinese A-Share Listed Firms. *SAGE Open*, **15**, No. 3. <https://doi.org/10.1177/21582440251363286>
- [16] 郭丰, 杨上广, 柴泽阳. 企业数字化转型促进了绿色技术创新的“增量提质”吗?——基于中国上市公司年报的文本分析[J]. 南方经济, 2023(2): 146-162.
- [17] 张泽南, 钱欣钰, 曹新伟. 企业数字化转型的绿色创新效应研究: 实质性创新还是策略性创新? [J]. 产业经济研究, 2023(1): 86-100.
- [18] 成新轩, 丰义, 李明峰. 制造业数字化转型与绿色技术创新的关系研究[J]. 工业技术经济, 2025, 44(1): 115-121.
- [19] Liao, F.M., Hu, Y.Y., Chen, M.J. and Xu, S. (2024) Digital Transformation and Corporate Green Supply Chain Efficiency: Evidence from China. *Economic Analysis and Policy*, **81**, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.11.033>
- [20] 王京滨, 刘赵宁, 刘新民. 数字化转型与企业全要素生产率——基于资源配置效率的机制检验[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(3): 23-33.
- [21] 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.

- [22] 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.
- [23] 杨鹏, 孙伟增. 企业数字技术应用对绿色创新质量的影响研究[J]. 管理学报, 2024, 21(2): 232-239.
- [24] 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.
- [25] Grant, R.M. (1996) Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm. *Strategic Management Journal*, 17, 109-122. <https://doi.org/10.1002/smj.4250171110>
- [26] 金昕, 夏丰华, 邵俊岗. 数字化转型对制造企业发展质量影响效应检验[J]. 统计与决策, 2022, 38(20): 169-173.
- [27] 肖静, 曾萍, 任鸽. 数字化转型、吸收能力与制造企业双重绩效——地区数字化水平的调节作用[J]. 研究与发展管理, 2023, 35(2): 129-143.
- [28] 甄杰, 谢宗晓, 董坤祥. 企业数字化转型中吸收能力影响组织敏捷性机理探究——IT 创新和流程创新的链式中中介作用[J]. 中央财经大学学报, 2023(1): 105-114.
- [29] 余江, 白宇彤, 孟庆时, 等. 数字化转型战略对企业数字创新绩效影响研究[J]. 科研管理, 2024, 45(4): 1-11.
- [30] Albort-Morant, G., Leal-Rodriguez, A.L. and De Marchi, V. (2018) Absorptive Capacity and Relationship Learning Mechanisms as Complementary Drivers of Green Innovation Performance. *Journal of Knowledge Management*, 22, 432-452. <https://doi.org/10.1108/jkm-07-2017-0310>
- [31] Chen, Y., Tang, G., Jin, J., Li, J. and Paillé, P. (2014) Linking Market Orientation and Environmental Performance: The Influence of Environmental Strategy, Employee's Environmental Involvement, and Environmental Product Quality. *Journal of Business Ethics*, 127, 479-500. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2059-1>
- [32] 戚聿东, 肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. 管理世界, 2020, 36(6): 135-152, 250.
- [33] 谢康, 肖静华, 王刊良, 等. 企业高质量数字化转型管理: 理论前沿[J]. 管理学报, 2024, 21(1): 1-9.
- [34] 张月芳. 环境规制、资源配置与绿色技术创新关系研究[J]. 价格理论与实践, 2022(5): 190-193.
- [35] 许汉友, 徐逸飞. 数字化转型、绿色技术创新与企业价值[J]. 财会通讯, 2025(3): 54-59.
- [36] Ambec, S., Cohen, M.A., Elgie, S. and Lanoie, P. (2013) The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? *Review of Environmental Economics and Policy*, 7, 2-22. <https://doi.org/10.1093/reep/res016>
- [37] 杨永杰, 阮鑫妍. 数字化转型、绿色技术创新与企业 ESG 表现——环境规制的调节作用[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2023(5): 34-47.
- [38] 刘海楠, 朱磊, 井彩红. 数字化转型对制造业企业绿色创新的影响研究——基于环境规制的调节作用和动态能力的中介效应[J]. 生产力研究, 2024(2): 93-99.
- [39] 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.
- [40] 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, 55(9): 192-208.
- [41] 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.
- [42] Zahra, S.A. and George, G. (2002) Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension. *The Academy of Management Review*, 27, 185-203. <https://doi.org/10.2307/4134351>
- [43] 傅京燕, 李丽莎. 环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究——基于中国制造业的面板数据[J]. 管理世界, 2010(10): 87-98.
- [44] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95-106.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 肖土盛, 孙瑞琦, 袁淳, 等. 企业数字化转型、人力资本结构调整与劳动收入份额[J]. 管理世界, 2022, 38(12): 220-235.