

数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响研究

胡韞希

南京邮电大学经济学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年9月22日; 录用日期: 2025年10月11日; 发布日期: 2025年11月6日

摘 要

企业绿色创新是推动制造业高质量发展的有效抓手。本文以2015~2022年A股制造业上市公司为研究对象, 运用共享投入关联网络DEA模型测度其绿色创新效率, 实证分析数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响效应及作用机制。研究结果表明: 数字化转型能够显著提升制造业企业绿色创新效率。数字化转型通过缓解融资约束和提升媒体关注度两条路径驱动制造业企业绿色创新效率提升。对于重污染企业、处于成长期与衰退期的企业, 以及地处强知识产权保护度地区的制造业企业而言, 其数字化转型对绿色创新效率的提升效果更为显著。基于此, 本文就如何有效利用数字化转型这一契机推动制造业绿色转型提出相应的对策建议。

关键词

制造业企业, 数字化转型, 绿色创新效率, 共享投入关联网络DEA

Research on the Impact of Digital Transformation on the Green Innovation Efficiency of Manufacturing Enterprises

Yunxi Hu

School of Economics, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

Received: September 22, 2025; accepted: October 11, 2025; published: November 6, 2025

Abstract

Enterprise green innovation is an effective means to promote the high-quality development of the

文章引用: 胡韞希. 数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(11): 142-151.

DOI: 10.12677/ecl.2025.14113417

manufacturing industry. This paper takes A-share manufacturing companies from 2015 to 2022 as the research objects, measures their green innovation efficiency using the shared input-related network DEA model, and conducts an empirical analysis on the impact effect and mechanism of digital transformation on the green innovation efficiency of manufacturing enterprises. The research results show: Digital transformation can significantly improve the green innovation efficiency of manufacturing enterprises. Digital transformation drives the improvement of the green innovation efficiency of manufacturing enterprises through two paths: alleviating financing constraints and enhancing media attention. For enterprises with heavy pollution, those in the growth and decline stages, and manufacturing enterprises located in regions with strong intellectual property protection, the improvement effect of digital transformation on green innovation efficiency is more significant. Based on this, this paper proposes corresponding countermeasures and suggestions on how to effectively utilize this opportunity to promote the green transformation of the manufacturing industry.

Keywords

Manufacturing Enterprises, Digital Transformation, Green Innovation Efficiency, Shared Input Linkage Network DEA

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

为实现经济社会发展与生态环境保护的共赢,近年来国家积极推行绿色创新战略,并将其作为解决环境问题的根本之策[1]。制造业既是国民经济的命脉,也是碳减排的重点领域,然而,其长期存在的“三高一低”(高投入、高消耗、高排放、低效益)发展模式,已成为阻碍我国经济可持续发展的重要瓶颈。为此,《中国制造 2025》明确提出“加快制造业绿色改造升级”,将绿色创新作为推动制造业高质量发展的有效手段。在此背景下,探究数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响机制,对我国制造业加快迈向全球价值链中高端具有重要意义。

现有关于数字化转型与绿色创新效率的研究主要分为三类:第一类关注绿色创新效率的测算。Tone 提出的超效率 SBM 模型是测量效率的常用方法[2]。为进一步打开创新效率评价的“黑箱”,Guan 和 Chen 采用关联网 DEA 模型测算区域高技术产业创新过程中两个子阶段的效率[3]。第二类研究关注数字化转型的影响效应。数字化转型是企业赢得竞争优势、提高生产效率的战略选择,对企业绿色技术创新[4]、绩效[5]、新质生产力[6]等均有显著影响。第三类文献关注数字化转型对绿色创新的影响。已有学者发现,数字化转型能够通过强化媒体监督与应用虚拟仿真技术促进企业绿色创新[7],同时,对企业创新效率还存在显著的门槛效应[8]。

然而,现有研究仍存在以下不足:一是缺乏对特定企业和行业等微观层面的系统性考察;二是已有文献多利用 SBM 模型测算绿色创新效率,却未充分考虑绿色创新过程的阶段性特征。相比于以往研究,本文的边际贡献在于:第一,在研究视角上,聚焦于制造业企业,深入探究数字化转型对绿色创新效率的作用机制;第二,在绿色创新效率测度上,将绿色创新过程分解为绿色技术创新和绿色成果转化两个子阶段,并结合创新资源在两阶段的共享关联性,借助共享投入关联网 DEA 模型打开制造业企业绿色创新的“黑箱”。同时,本研究也存在一定的局限性,如样本仅为上市公司所带来的潜在偏差,所得结论

对于其他类型企业未必适用，未来可采用更广泛的样本数据。

大数据和人工智能时代下，数字化转型深刻改变着全球要素配置方式和创新流程，能为制造业企业绿色创新提供动力支持。基于此，本文利用 2015~2022 年制造业企业数据，构建双向固定效应模型，实证分析数字化转型对绿色创新效率的影响效应。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 直接效应分析

制造业企业数字化转型具有阶段性特征，表现为从对数字平台的初步探索，逐步过渡到以数字技术优化管理模式，最终实现生产流程的重构[9]。此过程通过推动创新范式演变，加快绿色技术创新及绿色成果转化，为绿色创新效率的提升奠定基础。一方面，知识积累是创新的核心要素。数字化转型不仅能突破地理边界促进知识共享，还提升数据这一新型生产要素在企业生产、经营与管理各环节的应用效能，使企业能够更精准地把握产品质量改进方向与未来创新路径，从而对创新效率的提升发挥关键作用[10]。另一方面，依托云计算、大数据、人工智能等数字技术，企业能够全面及时获取经济运行态势、市场需求变化、核心技术进展及绿色发展机遇等关键信息，不仅能有效降低创新沉没成本与失败风险，还能加速劳动力、资本等创新要素的集聚，为绿色创新活动的开展提供有力保障[11]。据此提出：

假设 H1：数字化转型能促进制造业企业绿色创新效率提升。

2.2. 中介效应分析

数字化转型为驱动制造业企业绿色创新效率提升提供了可能的实施路径。一是通过缓解融资约束来促进绿色创新效率提升。企业利用数字化技术能够提高经营透明度，向利益相关方释放积极信号以获取更多资金支持；同时，数字化转型还能增加信息披露程度，减少信息不对称，拓宽融资渠道，助力企业获得绿色创新相关的政策与资金扶持[12]。二是通过提升媒体关注度来促进绿色创新效率提升。数字化转型作为国家重点支持的战略方向，是媒体报道的重要议题。制造业企业在推进数字化转型过程中，通过宣传转型成效提升企业形象，会推动自身媒体关注度的提高。而媒体报道、公众关注及潜在负面报道带来的舆论压力，会促使企业自觉规范经营行为，创新发展模式，更加注重生产过程的绿色创新；同时，媒体正面报道也能帮助企业树立良好形象，激励其开展绿色创新实践[13]。据此提出：

假设 H2：数字化转型可通过缓解融资约束和提升媒体关注度来促进制造业企业绿色创新效率提升。

2.3. 异质性分析

从制造业企业微观特征看，相较于非重污染行业，重污染行业面临的外部环境规制压力更大，此类企业通过数字化转型可更有效提高信息透明度、破除资源配置障碍，从而提升绿色创新效率。企业所处生命周期不同，其绿色创新的动机与表现存在差异：处于成长期的企业通常具备较强的市场竞争意识与创新动机，愿意尝试新技术与管理方式以获取竞争优势；处于成熟期的企业则面临较大组织惯性，资源与结构相对稳定，更倾向于优化现有产品与流程，较少探索颠覆性绿色创新；处于衰退期的企业虽资源相对匮乏，但为扭转业务颓势，在数字化转型中更愿意采用新型绿色创新策略，以应对市场变化与环境政策要求。从外部宏观环境看，一方面，高水平知识产权保护能保障企业专利权益，为企业专利成果转化与应用提供支撑；另一方面，健全的知识产权保护体系可为企业数字化转型提供制度与法律保障，坚定其转型决心，进而加速绿色创新效率提升[14]。据此提出：

假设 H3：数字化转型对制造业企业绿色创新效率的提升效应具有异质性。

3. 模型构建与变量说明

3.1. 基准回归模型构建

为检验数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响，构建如下计量模型：

$$GIE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DT_{it} + \alpha_2 control_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \tag{1}$$

其中， i 表示企业个体， t 表示年份；被解释变量 GIE 为绿色创新效率；核心解释变量 DT 为数字化转型程度； $control$ 是控制变量。 μ_i 是个体固定效应， ν_t 是时间固定效应， ε_{it} 是随机扰动项。

3.2. 中介效应模型

为检验数字化转型是否通过缓解融资约束和提升媒体关注度来助力制造业企业绿色创新效率提升，构建如下中介效应模型：

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 DT_{it} + \beta_2 control_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \tag{2}$$
$$GIE_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 DT_{it} + \varphi_2 M_{it} + \varphi_3 control_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

上式中，先考察数字化转型对中介变量 M_{it} 的作用效果，在控制中介变量 M_{it} 后，进一步验证数字化转型对制造业企业绿色创新效率的作用效果。

3.3. 变量选取与数据来源

3.3.1. 被解释变量

被解释变量是绿色创新效率(GIE)。基于两阶段价值链视角，本文将绿色创新过程分为绿色技术创新与绿色成果转化两个阶段，构建如表 1 所示的指标体系，选择共享投入关联两阶段网络 DEA 模型测算制造业企业绿色创新效率。

Table 1. The green innovation efficiency index system of manufacturing enterprises
表 1. 制造业企业绿色创新效率指标体系

阶段	指标	指标说明
绿色技术阶段	劳动投入	研发人员数量/人
	资本投入	研发投入金额/百万元
中间产出	专利产出	专利申请总量/个
	新产品产出	新产品开发项目数/项
绿色成果阶段	期望产出	主营业务收入/百万元
	非期望产出	污染排放总量/吨

3.3.2. 解释变量

核心解释变量是数字化转型(DT)。参考吴非等[15]的做法，通过 Python 爬取企业年报，对数字化转型关键词进行词频统计，将总词频数加 1 取对数后得到。

3.3.3. 中介变量

选取融资约束(KZ)和媒体关注度($Media$)作为中介变量。融资约束(KZ)包含了企业经营性净现金流、现金持有、现金股利和托宾 Q 值等多项财务指标，具有较强的综合性， KZ 指标值越大，表明公司面临的融资约束越高。媒体关注度($Media$)为网络媒体和报刊媒体报道总量加 1 取对数后得到。

3.3.4. 控制变量

为提高研究精度，选取上市年限(*ListAge*)、净资产收益率(*ROE*)、股权集中度(*Herfindahl*)、资产负债率(*Lev*)和流动比率(*Liquid*)作为控制变量，其中股权集中度以企业前十大股东持股比例的平方和衡量。

3.3.5. 数据来源

本文选取 2015~2022 年沪深 A 股制造业上市企业，剔除在 2015 年后上市、ST 类、*ST 类、PT 类、已退市和数据缺失严重的企业，最终得到 850 家企业为研究样本。其中，绿色技术创新阶段投入数据和财务数据来自 CSMAR 数据库，专利数据来自国家知识产权局，其余数据主要来自企业年报、社会责任报告以及官网信息，年报主要从巨潮资讯网获得。变量的描述性统计如表 2 所示。

Table 2. Descriptive statistics of variables
表 2. 变量的描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>GIE</i>	6800	0.0561	0.0944	0.0006	1.0000
<i>DT</i>	6800	3.1714	1.0942	0.0000	6.6307
<i>KZ</i>	6800	1.1744	1.9598	-11.4663	10.3634
<i>Media</i>	6800	5.0238	1.0743	0.6931	9.8169
<i>ListAge</i>	6800	2.5876	0.4690	1.3863	3.4965
<i>ROE</i>	6800	0.0581	0.3196	-14.7064	8.7150
<i>Herfindahl</i>	6800	0.1378	0.1057	0.0029	0.7942
<i>Lev</i>	6800	0.3677	0.1825	0.0000	1.0000
<i>Liquid</i>	6800	2.2461	2.2066	0.0947	49.6307

4. 实证分析

4.1. 基准回归分析

在基准回归分析前需对数据进行多重共线性检验，结果显示 VIF 值均小于 10，即不存在严重的多重

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

	(1)	(2)	(3)
	<i>GIE</i>	<i>GIE1</i>	<i>GIE2</i>
<i>DT</i>	0.0040*** (3.0981)	0.0018* (1.7877)	0.0062*** (3.1385)
常数项	-0.1011*** (-5.0555)	-0.0460*** (-2.9964)	-0.1615*** (-5.2762)
控制变量	控制	控制	控制
时间效应	是	是	是
个体效应	是	是	是
N	6800	6800	6800
R ²	0.0381	0.0212	0.0441

注：括号内为 t 统计值，*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，下表同。

共线性问题。鉴于制造业企业绿色创新过程具有阶段性特征，绿色技术创新与绿色成果转化阶段具有不同的生命周期和规律，故分别检验数字化转型对绿色创新整体效率、绿色技术创新效率(*GIE1*)以及绿色成果转化效率(*GIE2*)的影响，基准回归结果如表 3 所示。

第(1)列显示，数字化转型的估计系数在 1%水平上显著为正，说明数字化转型能够提高制造业企业绿色创新效率，假设 H1 成立。第(2)、(3)列分别汇报了数字化转型对绿色技术创新效率与绿色成果转化效率的影响结果，可以看到，数字化转型对绿色技术创新效率的影响在 10%水平上正向显著，对绿色成果转化效率在 1%水平上正向显著，且绿色成果转化效率的数字化转型回归系数更大，说明我国制造业企业需要进一步提高绿色技术创新效率，积极布局新领域新赛道的引领性技术攻关，吸引集聚高层次技术创新人才，提升科技前沿领域原始创新能力，实现突破式创新，从而提升绿色创新整体效率。

4.2. 内生性检验与稳健性分析

为验证本次实证结果的可靠程度，使用双重机器学习(DML)进行内生性检验，通过替换解释变量和剔除部分数据进行稳健性检验，具体结果如表 4 所示。

Table 4. Summary of endogeneity and robustness test results
表 4. 内生性与稳健性检验结果汇总

	(1)	(2)	(3)
	双重机器学习	替换解释变量	剔除部分数据
<i>DT</i>	0.0040*** (3.05)		0.0039*** (2.8848)
<i>DTI</i>		0.0176* (1.8827)	
常数项	-0.0001 (-0.08)	-0.0862*** (-4.4535)	-0.1029*** (-5.1628)
控制变量	控制	控制	控制
时间效应	是	是	是
个体效应	是	是	是
N	6800	6800	5950

4.2.1. 双重机器学习

双重机器学习结合了正则化方法以及多类机器学习算法，能够自动筛选出有效的控制变量组合，在变量处理和模型估计上更具优势。第(1)列的检验结果再次支持了基准结论。

4.2.2. 替换解释变量

参考张永坤等[16]的研究，将数字化技术无形资产进行加总，计算其占该年度无形资产的比例，即为企业数字化转型程度的代理变量(*DTI*)。结果如第(2)列所示，数字化转型代理变量的回归系数依然显著为正，说明基准回归结论可靠。

4.2.3. 剔除部分数据

2017 年专利申请的统计标准发生了变更，统计范围仅包括已付费的专利申请，故剔除 2017 年的研究样本重新进行检验分析。结果如第(3)列所示，可以看到，数字化转型对绿色创新效率的回归系数显著

为正，进一步证实了基准回归结果的稳健性。

4.3. 中介效应分析

4.3.1. 融资约束的中介效应检验

根据三步法检验步骤，在表 5 第(1)列中可以看到，数字化转型对绿色创新效率的回归系数为 0.0040，在 1%水平上显著，第一步检验通过。第(2)列表明数字化转型对融资约束的回归系数在 1%水平上显著为负，即数字化转型能够缓解制造业企业融资约束，第二步检验通过。第(3)列为数字化转型和融资约束对绿色创新效率的回归，其中融资约束的回归系数显著为负，数字化转型的回归系数为 0.0038，通过了显著性检验，且小于第一步的回归系数 0.0040，因此融资约束在数字化转型与绿色创新效率的关系中发挥部分中介作用，验证了假设 H2。在 Sobel 检验中，P 值小于 0.05，进一步证明了中介效应成立。

4.3.2. 媒体关注度的中介效应检验

表 5 第(1)、(4)和(5)列汇报了媒体关注度的中介效应检验结果。第(4)列是数字化转型对媒体关注度的回归，回归系数在 1%水平上显著为正，说明数字化转型对媒体关注度具有显著正向影响。第(5)列是数字化转型和媒体关注度对绿色创新效率的回归，其中媒体关注度的回归系数为 0.0026，在 5%水平上显著为正，同时自变量的回归系数 0.0038 在 1%水平上显著为正，且与第一步的回归系数相比有所下降，三步法检验通过，Sobel 检验也证明了中介效应成立，因此媒体关注度在数字化转型与绿色创新效率的关系中起到了部分中介作用，假设 H2 成立。

Table 5. Mediation effect analysis
表 5. 中介效应分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>GIE</i>	<i>KZ</i>	<i>GIE</i>	<i>Media</i>	<i>GIE</i>
<i>DT</i>	0.0040*** (3.0981)	−0.1155*** (−4.0094)	0.0038*** (2.9570)	0.0885*** (6.7829)	0.0038*** (2.9077)
<i>KZ</i>			−0.0016*** (−2.6665)		
<i>Media</i>					0.0026** (2.0448)
常数项	−0.1011*** (−5.0555)	−0.3165 (−0.7101)	−0.1016*** (−5.0824)	5.4272*** (26.8934)	−0.1154*** (−5.4482)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	是	是	是	是	是
个体效应	是	是	是	是	是
N	6800	6800	6800	6800	6800
R ²	0.0381	0.2790	0.0393	0.4051	0.0388
Sobel Z		2.220**		1.958**	

4.4. 异质性分析

基于制造业企业微观特征和外部宏观环境视角，按环境污染类型、生命周期以及知识产权保护度进

行分组回归。首先，根据企业环境污染类型将样本划分为重污染企业 and 非重污染企业；其次，根据企业在不同生命周期的资源和行为特点，将企业生命周期划分为成长期、成熟期和衰退期[17]；最后，根据国家知识产权局发布的《全国知识产权发展状况报告》，将各省份知识产权保护度与年度中位数进行对比，得到知识产权保护较强和较弱的两组地区制造业企业样本。回归结果如表 6 所示。

Table 6. Heterogeneity analysis
表 6. 异质性分析

变量	环境污染类型		生命周期			知识产权保护度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	重污染企业	非重污染企业	成长期	成熟期	衰退期	强知识产权保护度	弱知识产权保护度
<i>DT</i>	0.0066*	0.0035***	0.0055***	-0.0021	0.0062*	0.0044***	0.0004
	(1.9365)	(2.8613)	(2.9015)	(-0.8950)	(1.6962)	(3.5411)	(0.0715)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	是	是	是	是	是	是	是
个体效应	是	是	是	是	是	是	是
N	1753	5047	2599	2742	1459	5755	1045
R ²	0.4051	0.0348	0.0284	0.0479	0.0732	0.0418	0.0639

4.4.1. 环境污染类型异质性

按环境污染类型进行分样本回归，从第(1)、(2)列的结果可以发现，数字化转型能显著提高重污染和非重污染企业的绿色创新效率，且在重污染企业中数字化转型的回归系数更大，说明数字化转型对重污染企业绿色创新效率的提升作用更明显。这一结果与前文所述重污染企业面临更强外部环境规制压力、更需通过数字化转型破除资源配置障碍的特征相契合，即环境约束下重污染企业对数字化转型驱动绿色创新的需求与响应更强烈。

4.4.2. 生命周期异质性

第(3)、(4)和(5)列的结果表明，数字化转型对绿色创新效率的影响程度呈现出先下降后上升的趋势，在成熟期阶段，数字化转型对绿色创新效率的影响并不显著。可能的原因在于：处于成熟期的企业通常已经建立了较为稳定的市场份额和运营模式，这种稳定性可能导致企业在创新上持保守态度，因此数字化转型在此阶段可能未能充分发挥其对绿色创新的激励作用。

4.4.3. 知识产权保护度异质性

从第(6)、(7)列的结果可以看出，在知识产权保护度较强的地区，数字化转型能显著提升制造业企业绿色创新效率，而在弱知识产权保护度组别中，数字化转型的回归系数并未通过显著性检验。这意味着健全的知识产权保护体系能为数字化转型成果的落地提供“制度护航”，当企业数字化转型催生的绿色创新成果能得到有效保护时，企业投入绿色创新的意愿与动力更强，数字化转型对绿色创新效率的驱动作用也更易释放；反之，弱保护环境下创新成果面临的不确定性削弱了转型价值，使得数字化转型的正向效应难以有效显现。

5. 结论与建议

本文基于 2015~2022 年制造业上市企业数据，实证检验数字化转型对绿色创新效率的影响效应，得

出如下研究结论：第一，数字化转型能够提升制造业企业绿色创新效率，且对绿色成果转化效率的提升效果更为显著。第二，数字化转型能够通过缓解融资约束与提升媒体关注度来促进绿色创新效率提升。第三，从企业微观特征看，数字化转型对重污染企业绿色创新效率的提升效果更大；纵观企业整个生命周期，数字化转型对绿色创新效率的影响程度呈现出先下降后上升的趋势，对成熟期企业绿色创新效率的提升效果并不显著。从外部宏观环境看，制造业企业所在地区的知识产权保护度越强，数字化转型对绿色创新效率的提升作用越大。基于上述研究结论，提出以下对策建议。

5.1. 加快数字创新，促进制造业企业绿色技术创新效率提升

制造业企业应集中力量进行“从 0 到 1”的原始创新，加快推动重大科技成果“从 1 到 N”的产业化，加强关键核心技术与颠覆性技术创新突破的能力。一方面，企业内部要积极创新生产要素配置方式，提升生产要素配置效率，通过提升新质生产力打造世界一流的专业领军企业。另一方面，企业还应加强与高校、科研院所和金融机构的产学研合作，加快数字化转型，促进绿色技术创新效率提升，从而增强企业核心竞争力。

5.2. 优化金融环境，缓解制造业企业融资约束

政府需制定合理的金融政策，降低信贷错配度，缓解制造业企业融资约束，激励企业进行数字化转型，提升绿色创新能力。融资约束加大、融资成本增加，会使得企业绿色创新的投入成本提高，抑制企业的绿色创新效率。故政府应加快推动金融创新，合规拓展投融资渠道，积极引导信贷资金合理流动，提高资金配置效率。

5.3. 坚持正确舆论导向，发挥媒体的法律外监督作用

进一步提升媒体行业的发展水平，加快我国媒体法律外制度监督体系的形成，引导企业为获得良好舆论导向主动创新，促进媒体的正面报道或负面报道转化为企业进行绿色创新的动力或压力。政府应加强对媒体行业的法律保障和经济支持，提升媒体新闻报道的公正性和公信力，进而促进企业绿色创新。

5.4. 遵循差异化原则，探索符合自身特色的数字化转型路径

对于非重污染企业，应持续加大数字化投入，注重创新引领。处于成长期的企业在注重资本积累的同时也要关注数字技术及绿色创新活动，提高战略前瞻性，当企业发展到成熟阶段时，则应充分发挥自身资源和技术积累的优势，积极进行数字化转型，并利用数智技术提高绿色创新效率。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Tone, K. (2002) A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **143**, 32-41. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(01)00324-1)
- [3] Guan, J. and Chen, K. (2012) Modeling the Relative Efficiency of National Innovation Systems. *Research Policy*, **41**, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.07.001>
- [4] 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.
- [5] 胡元林, 袁楚翔, 朱雁春. 数字化转型对企业绩效的非线性影响[J]. 统计与决策, 2025, 41(10): 160-165.
- [6] 李东海, 王雅秋, 王晓栋, 等. 数字化转型赋能企业新质生产力发展: 影响机制与实证检验[J]. 经济问题, 2025(7): 13-26.
- [7] 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.

- [8] 徐辉, 周孝华, 周兵. 数字化转型对制造业企业创新效率的门槛效应研究[J]. 管理学报, 2024, 37(1): 100-119.
- [9] 董静, 吕孟丽, 孙传超, 等. 对新质生产力的投资能否推动制造业企业的数字化转型? [J]. 外国经济与管理, 2024, 46(9): 134-152.
- [10] 马苓, 刘硕, 郑敏娜. 企业数字化转型、绿色创新与碳绩效——碳排放权交易政策与公众环境关注度的调节作用[J]. 研究与发展管理, 2024, 36(2): 63-73.
- [11] 闫小娜. 数字基础设施的企业创新效应——新质生产力的视角[J]. 经济管理, 2025, 47(8): 40-58.
- [12] 曹兴, 张伟文. 数字化转型对制造企业可持续发展绩效的影响——基于媒体关注的调节效应[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2025, 31(4): 98-112.
- [13] 宋竟, 黄慧娟, 蒋玉石. 数字化转型对企业 ESG 绩效的影响研究[J]. 软科学, 2025, 39(2): 9-15+24.
- [14] 黄勃, 李海彤, 刘俊岐, 等. 数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(3): 97-115.
- [15] 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.
- [16] 张永坤, 李小波, 邢铭强. 企业数字化转型与审计定价[J]. 审计研究, 2021(3): 62-71.
- [17] 田海峰, 刘华军. 企业数字化转型与绿色创新的“双化协同”机制研究[J]. 产业经济研究, 2023(6): 29-41+72.