

企业数字化转型能否提升绿色全要素生产率？

——基于创新效率的中介效应

于皖昆, 蒋宁*, 张利, 池昊磊

巢湖学院工商管理学院, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年7月2日; 录用日期: 2025年7月31日; 发布日期: 2025年8月12日

摘要

以2012~2023年沪深A股为样本, 探究企业数字化转型能否提升其绿色全要素生产率。研究发现: 数字化转型显著提升企业绿色全要素生产率, 机制分析发现, 数字化转型通过提升创新效率进而提升企业绿色全要素生产率。研究不仅为政府制定数字化与绿色化协同转型政策提供了理论依据, 也为企业通过数字技术实现绿色高质量发展指明了实践路径。

关键词

数字化转型, 绿色全要素生产率, 创新效率, 中介效应

Can Corporate Digital Transformation Enhance Green Total Factor Productivity?

—Mediating Effect Based on Innovation Efficiency

Wankun Yu, Ning Jiang*, Li Zhang, Haolei Chi

School of Business Administration, Chaohu University, Hefei Anhui

Received: Jul. 2nd, 2025; accepted: Jul. 31st, 2025; published: Aug. 12th, 2025

Abstract

This paper selects Shanghai and Shenzhen A-share enterprises from 2012 to 2023 as the research sample to explore the impact of digital transformation on enterprises' green total factor productivity. The results show that digital transformation can positively promote enterprise's green total factor productivity. The mechanism test found that digital transformation promotes green total factor

*通讯作者。

文章引用: 于皖昆, 蒋宁, 张利, 池昊磊. 企业数字化转型能否提升绿色全要素生产率? [J]. 可持续发展, 2025, 15(8): 113-121. DOI: 10.12677/sd.2025.158226

productivity by improving innovation efficiency. The research not only provides a theoretical basis for the government to formulate policies for collaborative digitalization and green transformation, but also points out a practical path for enterprises to achieve green and high-quality development through digital technology.

Keywords

Digital Transformation, Green Total Factor Productivity, Innovation Efficiency, Mediating Effect

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

伴随全球气候变化加剧与资源环境约束趋紧，绿色可持续发展成为我国经济高质量发展的核心战略任务。党的二十大报告明确要求“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”，在此背景下，企业数字化转型作为驱动生产方式变革的关键动能，其能否有效提升绿色全要素生产率，成为学界与政策制定者共同关注的重大现实问题。现有研究多聚焦于单一维度的绿色化研究，系统考察企业数字化转型对绿色全要素生产率影响的研究相对较少，对二者之间作用机制的分析仍缺乏深入分析[1]。基于此，本文聚焦创新效率这一核心中介机制，构建“数字化转型 → 创新效率提升 → 绿色全要素生产率增长”的理论框架，对数字化转型能否提升企业绿色全要素生产率进行深入研究，并探索二者之间的作用机制，对驱动“数字-绿色”协同发展以及政府设计数字化与绿色化协同政策提供决策支撑。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字化转型与绿色全要素生产率

绿色全要素生产率作为评估经济增长与资源环境协调性的关键指标，对于实现经济高质量发展具有重要意义。根据资源基础观，企业通过获取、配置和利用差异化资源形成其核心竞争力，从而突破资源环境约束，而数字化转型通过要素驱动、技术创新和流程优化，助力企业突破资源环境约束，为企业绿色转型提供了新路径[2]，其通过重构企业资源基础、优化资源利用效率并强化动态能力，系统性提升其全要素生产率。一方面，数字技术借助工业互联网和大数据分析等手段，对企业生产全流程和资源配置效率进行优化，实现对生产过程的精确控制和有效节能减排[3]。这种数据驱动的资源优化能力具有路径依赖性，难以被竞争对手简单复制，从而形成绿色生产的持续优势。此外，数字化加速了绿色技术知识的迅速传播和协同创新，能够提升清洁技术研发的效率。另一方面，数字化能够打破信息壁垒，促进绿色技术创新各要素的高效流动与组合，通过加速清洁技术研发与扩散以提升环境友好型产出效率[4]。企业借助数字化能够系统性优化其资源环境绩效，进而驱动绿色全要素生产率的持续增长[5]。基于以上分析，本文提出如下假设：

H1：数字化转型与企业绿色全要素生产率正相关。

2.2. 数字化转型、创新效率与绿色全要素生产率

创新效率作为连接技术投入与产出的关键纽带，通过加速绿色技术突破和优化创新资源配置，对提升绿色全要素生产率具有决定性作用[6]。根据技术赋能理论，数字技术通过重构创新流程、降低创新约

束并增强创新协同，有效缩短绿色技术研发的周期，从而能够系统性增强企业的创新效率[7]，进而提升全要素生产率。一方面，数字技术通过减少创新过程中的信息不对称和试错成本，有效缩短了绿色技术研发周期，同时数字平台促进了跨组织创新要素的快速流动与重组，极大地提高了绿色专利产出效率；另一方面，数字化转型重塑了创新价值链，通过实时监测环境数据精准识别绿色创新需求，并借助数字孪生等技术实现清洁生产工艺的快速迭代优化，形成了“数字化创新投入-绿色技术产出-环境绩效改善”的传导机制，进而推动企业绿色全要素生产率的持续提升[8]。基于以上分析，本文提出如下假设：

H2：数字化转型通过提升创新效率进而促进企业绿色全要素生产率的提升。

3. 研究设计

3.1. 样本选择与数据来源

本文采用 2012~2023 年沪深 A 股的企业数据作为研究样本，并做如下处理：剔除数据缺失和存在异常值的公司；剔除金融类行业的上市公司；剔除 ST 和 PT 等公司；剔除资产负债率大于 1 的公司；并对连续变量在 1%和 99%分位上进行了缩尾(Winsorize)处理。所有数据均来自国泰安数据库，并利用 Excel 和 Stata17.0 对数据进行整理和统计分析。

3.2. 主要变量定义

3.2.1. 被解释变量

本文借鉴崔兴华和林明裕(2019) [9]的做法，将企业环境污染纳入评价体系，采用非径向 SBM-ML 指数对企业绿色全要素生产率(GTFP)进行测度。企业绿色全要素生产率的投入和产出指标的测度如表 1。

Table 1. Green total factor productivity indicator system
表 1. 绿色全要素生产率指标体系

类型	一级指标	二级指标
投入	劳动投入	企业员工数
	资本投入	企业固定资产净额
	能源投入	企业所在城市工业用电量按企业从业人员占城市城镇人员就业比重进行换算
产出	期望产出	企业营业收入
	非期望产出	企业从业人员占所在城市城镇人员就业比重对“工业三废”进行换算

3.2.2. 解释变量

参照吴非等人(2021) [10]的相关研究，以企业数字化转型相关词汇在年报中披露频次的自然对数，构建企业数字化转型程度(Dcg)。

3.2.3. 中介变量

参考王泽民等(2023) [11]的思路度量企业创新效率：第一步分别对企业专利申请量、研发支出进行加 1 并取对数处理，第二步基于取对数处理后的专利申请量与研发支出的比值度量企业创新效率(Innoveff)。

3.3. 模型设定

为了检验数字化转型对绿色全要素生产率的影响，构建模型(1)来验证假设 1。

$$GTFP = \alpha_0 + \alpha_1 Dcg + \alpha_2 Controls + \sum Year + \sum Ind + \varepsilon \tag{1}$$

为了使实证检验结果更加准确，参照现有文献，本文选取如下控制变量(Controls)，变量定义相关解释如表 2 所示。

Table 2. Variable definition table
表 2. 变量定义表

变量性质	变量符号	变量名称	变量定义
被解释变量	GTFP	绿色全要素生产率	采用非径向 SBM-ML 指数测算所得
解释变量	Dcg	数字化转型	Ln(特征词在年报中出现的次数 + 1)
中介变量	Innoveff	创新效率	每单位研发投入的专利申请数
控制变量	Size	企业规模	ln(总资产)
	Lev	资产负债率	负债/总资产
	Roa	资产收益率	净利润/平均总资产
	Growth	营业收入增长率	本年营业收入增加额/上年营业收入总额
	Board	董事会规模	ln(董事会人数)
	Indep	独立董事比例	独立董事人数/董事会人数
	Top10	前十大股东持股比例	前十股东持股数量/总股数
	Balance	股权制衡度	第二大股东持股比例/第一大股东持股比例

4. 实证结果分析

4.1. 描述性统计

由表 3 可知，企业绿色全要素生产率的均值为 1.06，标准差为 0.088，表明不同企业间的 GTFP 存在一定差异。数字化转型的均值为 1.652，标准差 1.423，说明各企业在数字化转型方面水平差异较大，其他控制变量的特征值分布处于较为合理的区间范围。VIF 检验结果显示，各变量的 VIF 值在 1.02~1.66 之间，表明本文选取的各变量之间不存在严重的共线性问题。

Table 3. Descriptive statistical analysis
表 3. 描述性统计

变量	平均值	标准差	最小值	中位数	最大值	VIF
GTFP	1.06	0.088	0.854	1.072	1.246	/
Dcg	1.652	1.423	0	1.386	5.037	1.03
Size	22.287	1.285	19.692	22.09	26.631	1.55
Lev	0.417	0.2	0.03	0.409	0.906	1.64
Roa	0.037	0.068	-0.375	0.037	0.245	1.38
Growth	0.148	0.375	-0.654	0.093	3.39	1.1
Board	2.106	0.194	1.609	2.197	2.708	1.66
Indep	37.855	5.431	30	36.36	60	1.55
Top10	0.574	0.15	0.202	0.581	0.909	1.09
Balance	0.38	0.285	0.008	0.306	1	1.02

4.2. 相关性分析

由表 4 可知,数字化转型与绿色全要素生产率呈正相关,初步印证假设 1 的合理性。自变量之间的相关系数绝对值较小,说明不存在严重的多重共线性。

Table 4. Correlation analysis

表 4. 相关性分析

变量	GTFP	Dcg	Innoveff	Size	Lev	Roa	Growth	Board	Indep	Top10	Balance
GTFP	1										
Dcg	0.211***	1									
Innoveff	0.105***	0.152***	1								
Size	0.201***	0.061***	0.227***	1							
Lev	0.081***	-0.021***	0.051***	0.489***	1						
Roa	-0.081***	-0.041***	0.084***	0.040***	-0.338***	1					
Growth	-0.092***	-0.002	0.039***	0.040***	0.032***	0.270***	1				
Board	-0.068***	-0.060***	0.031***	0.250***	0.126***	0.030***	0.001	1			
Indep	0.051***	0.066***	0.006	-0.012**	-0.010*	-0.016***	-0.005	-0.579***	1		
Top10	-0.088***	-0.069***	0.032***	0.118***	-0.074***	0.243***	0.087***	0.026***	0.021***	1	
Balance	0.032***	0.066***	0.031***	-0.057***	-0.056***	-0.025***	0.020***	0.024***	-0.018***	0.048***	1

注:左下方为 Pearson (皮尔森)相关系数值,*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著。

4.3. 回归结果分析

4.3.1. 主假设检验

基准回归结果见表 5。由表 5 可知,数字化转型 Dcg 与企业绿色全要素生产率 GTFP 在 1%的统计水平下均显著正相关,说明数字化转型显著提升了企业绿色全要素生产率,假设 1 成立。

Table 5. Results of the regression analysis

表 5. 回归分析结果

变量	回归系数	T 值
Dcg	0.0162***	(27.65)
Size	0.0859***	(79.46)
Lev	-0.032***	(-6.18)
Roa	-0.1288***	(-15.37)
Growth	-0.0112***	(-10.22)
Board	-0.0571***	(-10.94)
Indep	-0.00003	(-0.2)
Top10	-0.3308***	(-55.48)
Balance	0.0337***	(10.78)

续表

Constant	-0.5647***	(-19.45)
N	29,719	
Adj R ²	0.6037	
F	3120.66	

Note: t-statistics in parentheses. ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1.

4.3.2. 影响机制分析

根据上文的理论分析,数字化转型主要通过提升创新效率进而对绿色全要素生产率产生影响。为进一步探究二者之间的作用机制,本文借鉴温忠麟等(2005) [12]提出的中介效应模型,在模型(1)的基础上,加入了中介变量创新效率(Innoveff),建立模型(2)和模型(3)对数字化转型影响企业绿色全要素生产率的路径进行实证检验:

$$\text{Innoveff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Dcg} + \beta_2 \text{Controls} + \sum \text{Year} + \sum \text{Ind} + \varepsilon \quad (2)$$

$$\text{GTFP} = \gamma_0 + \gamma_1 \text{Dcg} + \gamma_2 \text{Innoveff} + \gamma_3 \text{Controls} + \sum \text{Year} + \sum \text{Ind} + \varepsilon \quad (3)$$

表 6 第(2)列显示,数字化转型与创新效率在 1%的统计水平下呈现出显著正相关,说明数字化转型能够对企业创新效率起到正向提升作用。表 6 第(3)列显示,引入中介变量后,数字化转型与创新效率均在 1%的统计水平下与企业绿色全要素生产率显著正相关,说明中介效应成立,进一步证实了创新效率是数字化转型与企业绿色创新之间的作用机制。

Table 6. Mediating effect of innovation efficiency

表 6. 创新效率的中介效应

变量	(1)	(2)	(3)
	GTFP	Innoveff	GTFP
Dcg	0.0162*** (27.65)	0.0044*** (8.58)	0.0161*** (27.44)
Innoveff			0.0231*** (3.05)
Size	0.0859*** (79.46)	0.0273*** (29.78)	0.0853*** (77.17)
Lev	-0.0320*** (-6.18)	-0.0156*** (-3.76)	-0.0316*** (-6.11)
Roa	-0.1288*** (-15.37)	-0.0075 (-1.09)	-0.1286*** (-15.35)
Growth	-0.0112*** (-10.22)	0.0013 (1.35)	-0.0113*** (-10.27)
Board	-0.0571*** (-10.94)	0.0041 (0.95)	-0.0572*** (-10.95)

续表

Indep	-0.0000 (-0.20)	-0.0001 (-0.64)	-0.0000 (-0.19)
Top10	-0.3308*** (-55.48)	0.0341*** (6.66)	-0.3316*** (-55.55)
Balance	0.0337*** (10.78)	0.0066** (2.57)	0.0335*** (10.73)
Constant	-0.5647*** (-19.45)	-0.4856*** (-20.42)	-0.5535*** (-18.82)
N	29,719	29,719	29,719
Adj R ²	0.6037	0.6865	0.6039
F	3120.66	155.74	2817.79

Note: t-statistics in parentheses. ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1.

为了缓解中介效应逐步回归检验法的内生性, 本文利用 Sobel 和 Bootstrap 检验对中介效应做进一步分析, Sobel 检验结果 p 值小于 0.05, 表明中介效应显著存在。表 7 为 Bootstrap 检验结果, 由表 7 可知, 间接效应的 95%偏差校正置信区间为(0.0002, 0.0004)不包含 0, 进一步验证了创新效率的中介作用。

Table 7. Bootstrap test

表 7. Bootstrap 检验

效应类型	Observed coefficient	Bootstrap std. err.	z	P > z	95%置信区间
_bs_1	0.0003084	0.0000472	6.53	0	(0.0002, 0.0004)
_bs_2	0.0106528	0.0003467	30.73	0	(0.0099, 0.0113)

4.4. 稳健性检验

1) 更换解释变量。参照赵宸宇等(2021) [13]构建企业数字化转型指数(Digi)再次将其代入模型(1)进行检验。表 8 第(1)列可知, 数字化转型(Digi)与企业绿色全要素生产率依旧在 1%的统计水平呈现显著正相关, 再次验证假设 1 成立。

Table 8. Robustness test

表 8. 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)
	更换解释变量	变量滞后一期	更换样本
Deg (Digi)	0.4148*** (11.79)	0.0155*** (25.92)	0.0153*** (24.76)
Size	0.0912*** (84.29)	0.0858*** (73.69)	0.0950*** (78.07)
Lev	-0.0341*** (-6.44)	-0.0362*** (-6.40)	-0.0521*** (-9.18)

续表

Roa	-0.1323*** (-15.49)	-0.1213*** (-13.29)	-0.1384*** (-13.41)
Growth	-0.0109*** (-9.78)	-0.0102*** (-9.03)	-0.0106*** (-8.83)
Board	-0.0581*** (-10.97)	-0.0512*** (-9.19)	-0.0600*** (-10.41)
Indep	-0.0001 (-0.39)	-0.0001 (-0.33)	-0.0001 (-0.44)
Top10	-0.3396*** (-55.99)	-0.2970*** (-46.07)	-0.3019*** (-45.35)
Balance	0.0365*** (11.40)	0.0358*** (10.66)	0.0297*** (8.67)
Constant	-0.6534*** (-22.18)	-0.5744*** (-18.53)	-0.7643*** (-23.21)
N	29,719	24,951	25,339
Adj R ²	0.5923	0.6056	0.6499
F	2773.53	2441.85	2633.46

Note: t-statistics in parentheses. ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1.

2) 变量滞后一期。由表 8 第(2)列可知滞后一期的数字化转型指标与企业绿色全要素生产率仍显著正相关，假设 1 仍成立。

3) 更换样本。本文参考赵璨等(2020) [14]的研究，采用仅保留深圳证券交易所发布的上市公司信息披露考评结果中评级为“优秀”和“良好”的样本重新回归。由表 8 第(3)列可知数字化转型提升绿色全要素生产率这一核心结论均未发生改变，表明本文结果较为稳健。

5. 结论及政策建议

文章选取 2012~2023 年沪深 A 股上市公司数据作为样本，实证探究数字化转型对企业绿色全要素生产率的影响。研究发现，数字化转型与企业绿色全要素生产率显著正相关，机制分析表明数字化转型通过提高创新效率进而促进企业绿色全要素生产率的提升。

根据上述研究结论，现提出以下政策建议：第一，政府应加大对企业数字化转型的财政补贴与税收优惠，鼓励企业引入智能技术、大数据和云计算，提升数字化水平。同时提供技术指导，推动传统企业向绿色化、智能化转型，以数字化驱动绿色全要素生产率提升。第二，企业应加大研发投入，建立数字化创新平台，提高创新效率。政府可通过设立绿色技术专项基金，支持企业开展低碳技术研发，并完善知识产权保护制度，激励企业将数字化优势转化为绿色创新成果，从而提升绿色全要素生产率。

基金项目

2025 年安徽省大学生创新创业训练项目省级项目(S202510380034)；2024 年度巢湖学院校级科研一

般项目(XWY202401)。

参考文献

- [1] 郑展鹏, 侯迎信, 刘笑言, 曹玉平. 企业数字化转型能否提升绿色全要素生产率?——内在动力与外在压力的视角[J]. 上海经济研究, 2025(4): 89-102.
- [2] 张岩松, 衣长军. 企业数字化转型、绿色创新与 ESG 表现[J]. 统计与决策, 2025, 41(8): 171-176.
- [3] 钟廷勇, 马富祺. 企业数字化转型的碳减排效应: 理论机制与实证检验[J]. 江海学刊, 2022(4): 99-105.
- [4] 师博, 常青. 企业数字化转型赋能绿色创新的效果与机制研究[J]. 经济管理, 2024, 46(11): 67-88.
- [5] 刘文俊, 彭慧. 区域制造企业数字化转型影响绿色全要素生产率的空间效应[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 33-44.
- [6] 刘素荣, 徐文昊, 霍江林. 环境战略升级能否提升企业绿色全要素生产率?——基于数字化转型的驱动与赋能[J]. 西部论坛, 2025, 35(1): 65-83.
- [7] 刘宇, 梁栋, 张硕. 数字化与绿色化协同转型如何赋能高质量发展——来自中国上市公司的证据[J]. 中国流通经济, 2025, 39(1): 25-38.
- [8] 张倩, 王文静, 王蕊. 碳排放权交易对重污染企业全要素生产率的影响效应及作用机制——兼论绿色技术创新和数字化转型的中介效应[J]. 科技管理研究, 2025, 45(10): 207-214.
- [9] 崔兴华, 林明裕. FDI 如何影响企业的绿色全要素生产率?——基于 Malmquist-Luenberger 指数和 PSM-DID 的实证分析[J]. 经济管理, 2019, 41(3): 38-55.
- [10] 吴非, 胡慧芷, 林慧妍, 任晓怡. 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.
- [11] 王泽民, 龙静, 张吉昌. 董事会层级一致性对企业创新效率的影响研究[J]. 管理学报, 2023, 20(1): 96-105.
- [12] 温忠麟, 侯杰泰, 张雷. 调节效应与中介效应的比较和应用[J]. 心理学报, 2005(2): 268-274.
- [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] 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.