

## 数字化转型对企业环境绩效的影响：

### 绿色技术创新的中介效应与环境规制的调节作用

#### THE FACTORS INFLUENCING IMPULSE PURCHASES OF ONLINE KNOWLEDGE-BASED PAID PRODUCTS BASED ON THE CIFE MODEL —THE MODERATING EFFECT OF CONSUMER CONFIDENCE

赵弘扬<sup>1\*</sup>, 贺明明<sup>2</sup>

Hongyang Zhao<sup>1\*</sup>, Mingming He<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>泰国博仁大学国际学院

<sup>1,2</sup>International College, Dhurakij Pundit University, Thailand

Received: September 2, 2024 / Revised: September 30, 2024 / Accepted: October 11, 2024

#### 摘要

在全球可持续发展背景下，绿色转型和低碳发展成为企业发展的必然选择。数字化转型，尤其是在大数据、人工智能、区块链和云计算等技术推动下，已成为提升企业竞争力和环境绩效的关键途径。鉴于中国制造业是主要污染排放源，如何通过数字化转型和绿色技术创新改善企业环境绩效成为重要研究议题。本文基于可持续发展理论、绿色技术创新理论等，构建了数字化转型对企业环境绩效影响的模型，探讨了绿色技术创新的中介作用及环境规制的调节效应。利用 2010 至 2022 年中国沪深 A 股上市公司数据，采用固定效应和门槛效应模型进行实证分析。研究结果显示：1) 数字化转型对企业环境绩效有显著正向影响；2) 绿色技术创新在数字化转型与环境绩效之间起到中介作用；3) 命令控制型、市场激励型和自愿型环境规制对数字化转型与绿色技术创新的关系有负向调节作用，说明过度规制可能抑制数字化转型的效果；4) 市场激励型环境规制在绿色技术创新对企业环境绩效的作用中起到积极调节效果。研究发现，环境规制的调节效应存在门槛，表明其影响受规制强度或实施方式影响。本研究为企业绿色转型和数字化转型提供了理论支持，对优化环境规制政策具有现实意义。

**关键词：**数字化转型 绿色技术创新 环境绩效 环境规制

## Abstract

In the context of global sustainable development, green transition and low-carbon development have become essential pathways for enterprise growth. Digital transformation, especially driven by technologies such as big data, artificial intelligence, blockchain, and cloud computing, has become a key driver of corporate competitiveness and environmental performance. Given that China's manufacturing sector is a major source of pollution, a critical research issue is how to improve corporate environmental performance through digital transformation and green technological innovation. Based on the sustainable development theory, green technological innovation theory, and other related perspectives, this study constructed a model to examine the impact of digital transformation on corporate environmental performance, examining the mediating role of green technological innovation and the moderating effect of environmental regulation. Using panel data from Chinese listed companies in the Shanghai and Shenzhen A-share markets from 2010 to 2022, fixed effects and threshold effects models were employed for empirical analysis. The results indicate that: (1) digital transformation has a significant positive impact on corporate environmental performance; (2) green technological innovation plays a mediating role between digital transformation and environmental performance; (3) command-and-control, market-based, and voluntary environmental regulations have a negative moderating effect on the relationship between digital transformation and green technological innovation, suggesting that excessive regulation may inhibit the effectiveness of digital transformation; (4) market-based environmental regulation plays a positive moderating role in the impact of green technological innovation on corporate environmental performance. The study also finds that the moderating effect of environmental regulation has a threshold, indicating that its impact depends on the intensity or implementation method. This research provides theoretical support for corporate green and digital transformation and offers practical insights for optimizing environmental regulation policies.

**Keywords:** Digital Transformation, Green Technological Innovation, Environmental Performance, Environmental Regulation

## 引言

在全球可持续发展目标的推动下，企业如何在追求经济效益的同时，最大限度地减少对环境的负面影响，已成为各国政府和学术界关注的核心议题。近年来，数字化转型已成为企业提升竞争力和应对环境挑战的关键手段。通过应用大数据、云计算和人工智能等数字技术，企业能够优化资源配置、提高生产效率，并显著减少污染排放。然而，现有研究对数字化转型如何具体影响企业的环境绩效缺乏系统性的探讨，尤其是在绿色技术创新的中介作用和环境规制的调节作用方面，研究仍显不足 (Vial, 2019)。

尽管一些研究表明数字化转型可以直接改善企业的环境绩效，但这些研究多聚焦于发达国家的企业案例，忽视了中国这样快速发展的经济体中的企业所面临的独特挑战和机遇。特别

是在中国，随着绿色发展政策的推进，制造业企业如何通过数字化转型来提升环境绩效成为了一个亟待深入研究的课题。因此，本文将通过实证分析，探讨数字化转型、绿色技术创新与环境规制之间的关系，为理论研究和企业实践提供新的洞见。

本研究选择中国制造业企业作为研究对象，探讨数字化转型对企业环境绩效的影响机制。研究重点在于分析绿色技术创新在数字化转型与企业环境绩效之间的中介作用，并进一步考察不同类型的环境规制如何调节这一关系。通过对 2010 至 2022 年间中国沪深 A 股上市制造业企业的面板数据进行分析，本文旨在揭示数字化转型如何通过绿色技术创新和环境规制，推动企业实现更高的环境绩效。

制造业是中国经济的支柱产业，但同时也是资源消耗和环境污染的主要来源之一。在全球环境保护要求日益严格的背景下，中国制造业企业如何通过数字化转型推动绿色技术创新，进而提升环境绩效，是一个具有重大现实意义的问题。现有研究主要关注数字化转型对经济效益的影响，而对其环境效益的研究相对不足，尤其是在考虑环境规制和绿色技术创新的情况下。本研究通过构建并验证理论模型，揭示数字化转型、绿色技术创新与环境规制对企业环境绩效的综合影响，为政策制定和企业管理提供实证支持，帮助企业在实现数字化转型的同时，实现经济效益与环境保护的双赢目标 (Porter & VanderLinde, 1995; Ambec & Lanoie, 2008)。

通过梳理研究背景、范围和问题的重要性，本研究为理解中国制造业企业的数字化转型和环境绩效之间的关系提供了进一步的分析和讨论。

## 研究目的

本研究基于可持续发展理论、绿色技术创新理论及外部性理论，旨在探讨数字化转型对企业环境绩效的影响机制。具体而言，本研究旨在通过以下方面进行阐述：

1. 运用可持续发展理论，分析数字化转型如何通过提升企业经济效益和优化资源配置，促进企业环境绩效的提升。

2. 基于绿色技术创新理论，研究数字化转型在推动绿色技术创新方面的作用，进一步探讨绿色技术创新在数字化转型与企业环境绩效关系中的中介效应。

3. 结合外部性理论，考察命令控制型、市场激励型和自愿型环境规制在数字化转型对企业环境绩效影响中的调节作用，旨在揭示不同类型环境规制对企业绿色转型的调控效应。

通过实证分析，本研究为企业的数字化转型与绿色发展提供理论支持，并为政府制定更为有效的环境规制政策提供政策建议。

## 文献综述

### 概念阐释

**数字化转型：**数字化转型是指企业通过大数据、云计算、人工智能等数字技术，对业务流程、商业模式和组织结构进行全面的革新和重塑，以提升企业的整体竞争力和运营效率。数字化转型不仅仅是技术上的升级，更是企业管理理念和战略方向的深刻变革。通过数字化转型，企业能够更好地应对市场变化和技术进步带来的挑战，从而实现可持续发展 (Verma et al., 2020)。

**环境绩效：**环境绩效是指企业在生产和运营过程中，通过减少环境污染、提高资源利用效率等措施，对环境保护所做出的贡献。环境绩效的评价通常包括企业排放的污染物数量、资源消耗的效率以及环保措施的实施情况。企业环境绩效则是企业在资源使用和污染减排方面的表现，通常用以评估企业的环境责任和市场竞争力 (Horbach, 2008)。通过提升环境绩效，企业不仅能够履行社会责任，还能获得更好的市场声誉和经济效益 (Klassen & McLaughlin, 1996)。

**绿色技术创新：**绿色技术创新指企业在技术研发和应用过程中，注重减少环境污染、提高资源利用效率，以实现经济效益和环境效益的双赢。绿色技术创新包括开发清洁能源、优化生产工艺、提高资源回收利用率等。绿色技术创新不仅有助于提升企业的环境绩效，还能增强企业的市场竞争力和可持续发展能力 (Freeman, 1987)。

**环境规制：**环境规制是指政府通过法律、行政命令、经济激励等手段，对企业的生产和经营活动进行管制，以减少环境污染、保护生态环境。环境规制分为命令控制型、市场激励型和自愿型三种类型。命令控制型环境规制通常具有强制性，而市场激励型和自愿型环境规制则更注重激励企业自发地进行环保行为 (Conrad, 1995)。

### 理论基础

**可持续发展理论：**可持续发展理论强调经济发展与环境保护的协调统一，主张通过提高经济效率、加强生态环境保护和维护社会公平来促进人类社会的全面进步。这一理论为数字化转型和绿色技术创新提供了理论依据，指出在追求经济增长的同时，应注重环境保护，以实现社会的可持续发展 (World Commission on Environment and Development, 1987)。

**绿色技术创新理论：**该理论主张通过技术创新，特别是绿色技术创新，来实现经济增长和环境保护的双赢。绿色技术创新不仅能够提高企业的资源利用效率，还能减少污染物的排放，从而提高企业的环境绩效。这一理论为研究数字化转型对环境绩效的影响提供了支撑 (Freeman, 1987)。

**外部性理论：**外部性理论强调，企业在追求经济效益的同时，往往会产生对社会和环境的不利影响，即负外部性。环境规制作为一种政府干预手段，可以通过内部化这些外部性，促使企业减少污染，保护环境。外部性理论为理解环境规制在数字化转型和绿色技术创新中的作用提供了理论框架 (Pigou, 1920)。

## 研究假设

在本研究中，提出了多个假设，旨在探讨数字化转型、绿色技术创新和环境规制对企业环境绩效的影响。以下是这些假设的详细阐述及其理论依据。

### 数字化转型对企业环境绩效具有正向影响

数字化转型通过引入先进的数字技术，如大数据、物联网、人工智能等，可以优化企业的生产流程和资源配置，从而减少能源消耗和污染排放。已有研究表明，数字化技术能够提升企业的运营效率并增强其环境管理能力。例如，Vial (2019) 研究指出，数字化转型有助于改善企业的环境绩效，尤其在减少碳足迹方面表现显著。因此，本文提出以下假设：

H1：数字化转型对企业环境绩效具有显著的正向影响。

### 绿色技术创新在数字化转型与企业环境绩效之间起中介作用

绿色技术创新是指企业通过研发和应用环保技术来减少环境负荷和资源消耗。文献表明，数字化转型不仅直接提升了企业的环境绩效，还通过促进绿色技术创新进一步增强了这一效果。例如，Porter 和 Linde (1995) 认为，技术创新可以在减少环境影响的同时提高企业的竞争力。数字化转型不仅通过技术革新直接影响环境绩效，还能通过推动绿色技术创新，间接提高环境绩效 (Wu & Li, 2023; Ambec & Lanoie, 2008)。因此，本文提出以下假设：

H2：数字化转型通过绿色技术创新对企业环境绩效产生间接影响。

### 命令控制型环境规制对数字化转型与企业环境绩效关系的调节作用

命令控制型环境规制是政府通过法律法规强制性要求企业遵守环境标准，从而减少环境污染。研究表明，强制性的环境规制可能在短期内对企业的创新产生抑制作用，但在长期内可能促进企业采用更清洁的技术以提高其环境绩效 (Jaffe & Palmer, 1997)。因此，提出以下假设：

H3：命令控制型环境规制对数字化转型与企业环境绩效的关系具有负向调节作用。

### 市场激励型环境规制对数字化转型与企业环境绩效关系的调节作用

市场激励型环境规制通过经济激励，如税收优惠或排污交易，鼓励企业进行环保投资和技术创新。Liao et al. (2023) 的研究表明，市场激励型环境规制能够显著增强企业的绿色技术创新能力，从而提升环境绩效。因此，本文提出以下假设：

H4：市场激励型环境规制对数字化转型与企业环境绩效的关系具有正向调节作用。

### 自愿型环境规制对数字化转型与企业环境绩效关系的调节作用

自愿型环境规制依赖于企业的社会责任感和公众监督，鼓励企业主动采取环保措施。研究表明，尽管自愿型规制对企业的强制性较弱，但它能够通过增强企业的环境意识，提高其环境绩效 (Delmas & Montes-Sancho, 2011)。因此，提出以下假设：

H5：自愿型环境规制对数字化转型与企业环境绩效的关系具有正向调节作用。

### 命令控制型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效关系的调节作用

在一些研究中,命令控制型环境规制被视为推动企业进行绿色技术创新的重要动力。Porter和Linde(1995)指出,严格的环境规制可以激励企业进行创新,以在遵守环境标准的同时获得竞争优势。因此,本文提出以下假设:

H6: 命令控制型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效的关系具有正向调节作用。

市场激励型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效关系的调节作用

市场激励型环境规制通过经济激励措施,如碳交易和税收优惠,能够有效促进企业的绿色技术创新,进而提升其环境绩效。相关研究表明,市场激励型环境规制有助于企业将环境责任转化为经济效益(Ambec & Lanoie, 2008)。因此,本文提出以下假设:

H7: 市场激励型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效的关系具有正向调节作用。

自愿型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效关系的调节作用

自愿型环境规制虽然不是强制性的,但它通过社会和市场的力量促使企业自愿进行绿色技术创新。研究表明,这种形式的规制能够通过提升企业的品牌形象和市场竞争能力,间接促进其环境绩效(Lyon & Maxwell, 2008)。因此,提出以下假设:

H8: 自愿型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效的关系具有正向调节作用。

数字化转型对企业绿色技术创新的直接影响

数字化转型不仅改善了企业的环境绩效,还促进了绿色技术的研发和应用。Geroski(2000)指出,数字技术可以加速创新进程,提升企业的技术能力,从而推动绿色技术创新。因此,提出以下假设:

H9: 数字化转型对企业绿色技术创新具有显著的正向影响。

绿色技术创新对企业环境绩效的直接影响

绿色技术创新是提高企业环境绩效的关键途径。近年来,越来越多的研究表明,企业通过绿色技术创新,可以显著减少污染排放和资源消耗,进而提升环境绩效(Horbach, 2008)。因此,本文提出以下假设:

H10: 绿色技术创新对企业环境绩效具有显著的正向影响。

命令控制型环境规制对数字化转型与绿色技术创新关系的调节作用

命令控制型环境规制可能会在短期内抑制企业的创新活动,但在长期内,这种规制可能迫使企业采用更为先进的绿色技术,以确保合规性并获得竞争优势(Greaker, 2006)。因此,提出以下假设:

H11: 命令控制型环境规制对数字化转型与绿色技术创新的关系具有负向调节作用。

市场激励型环境规制对数字化转型与绿色技术创新关系的调节作用

市场激励型环境规制被认为是促进绿色技术创新的重要动力,尤其在市场竞争激烈的环境中。Ambec和Lanoie(2008)认为,这种规制通过提供经济激励,能够显著增强企业在绿色技术领域的创新能力。因此,提出以下假设:

H12: 市场激励型环境规制对数字化转型与绿色技术创新的关系具有正向调节作用。

通过这些假设的提出, 本文试图系统性地探讨数字化转型、绿色技术创新和环境规制对企业环境绩效的影响, 并通过实证分析验证这些假设的有效性。

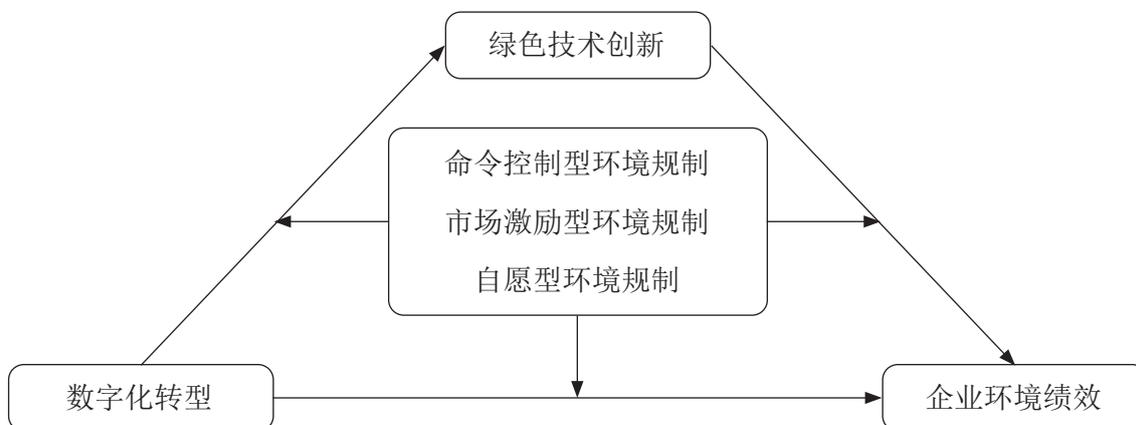


图 1 理论模型图

在现有文献中, 关于数字化转型、绿色技术创新与企业环境绩效之间的关系已有初步研究。Vial (2019)、Porter 和 Linde (1995) 均指出, 数字化转型通过提升绿色技术创新, 进而改善企业的环境绩效。然而, 文献中关于环境规制在这一过程中所起的调节作用, 尤其是命令控制型、市场激励型和自愿型环境规制的差异化影响, 尚未得到充分探讨。因此, 本文结合中国制造业的实际情况, 进一步考察环境规制对数字化转型和绿色技术创新关系的调节作用, 为相关领域提供新的实证证据。

## 研究方法

本文通过广泛收集文献, 结合当前研究进展, 确定了数字化转型、绿色技术创新与环境规制对企业环境绩效的影响路径。本研究参考了 Wu et al. (2021) 研究, 构建数字化转型指数, 借鉴 Wu 和 Li (2023) 的研究方法, 使用绿色发明专利作为衡量绿色技术创新的指标。同时, 参考 Ren et al. (2024) 的研究, 将环境规制划分为命令型、市场激励型和自愿型三类, 为后续实证研究提供了理论基础和研究框架。

本研究选择 2010-2022 年间在中国沪深 A 股上市的制造业公司作为研究样本, 制造业公司以其高污染和高能耗特性成为环境规制的重点领域, 具有很强的示范意义。研究数据来源如下:

环境规制数据: 从《中国城市统计年鉴》及各省级统计年鉴中提取环境监察、排污费等相关数据, 用于构建命令控制型和市场激励型规制指标。

企业环境信息：企业的环境数据主要来自中国研究数据服务平台（CNRDS）、上市公司的年度报告、社会责任报告以及官方网站等，确保数据的广泛性和权威性。

财务与数字化转型数据：企业的财务数据及数字化转型信息来源于国泰安数据库，包含企业的利润、资产结构以及技术应用情况，确保数据的全面性和代表性。

样本筛选标准：为确保数据的可靠性，本文依据以下标准筛选样本：1) 排除在样本观察期间被标记为 ST 或 \*ST 的企业；2) 剔除数据缺失的年份。最终，共筛选出 311 家制造业企业，形成了 4043 个有效观测值，确保了样本的完整性和代表性。

### 变量定义与度量

本文采用文献中常见的量化方法对各项变量进行定义和度量，具体如下：

被解释变量——企业环境绩效（CEP）：采用企业支付的排污费占营业收入的比重来反映其环境绩效，参考了环保经济学文献中的做法，公式为：

$$CEP = LN(\text{企业营业总收入}) / LN(\text{排污费})$$

解释变量——数字化转型（DT）：本文参考 Wu et al. (2021) 提出的文本分析法，计算企业年报中涉及云计算、人工智能、区块链等数字技术的词频，构建企业数字化转型指数，评分范围为 0-20 分。

中介变量——绿色技术创新（GTE）：借鉴 Wu 和 Li (2023) 的研究，采用绿色发明专利的申请数量作为衡量绿色技术创新的指标，该数据从国泰安数据库和企业公开的年报中获取。

命令型环境规制（ERC）：通过地区环境监察机构的人员数占全省总人口的比例来衡量，参考 Yang (2023) 的研究方法。

市场激励型环境规制（ERK）：使用政府补贴与企业净利润的比值来衡量，参考 Ren et al. (2024) 的市场型规制工具度量指标。

自愿型环境规制（ERS）：采用企业是否披露环境保护信息作为衡量标准，具体包括公司环保理念、环境方针、环境管理组织结构等，参考 Li & Ramanathan (2018) 的研究。

表 1 变量定义及度量

变量类别	名称	符号	定义
解释变量	企业环境绩效	CEP	$LN(\text{企业营业总收入}) / LN(\text{排污费})$
被解释变量	数字化转型	DT	$LN(\text{通过内容分析法赋值} + 1)$
中介变量	绿色技术创新	GTE	$LN(\text{绿色专利数量} + 1)$

表 1 变量定义及度量 (续表)

变量类别	名称	符号	定义
调节变量	命令控制型环境规制指标	ERC	地区环境监察机构人员数占全省总人口比例
	市场激励型环境规制指标	ERK	LN (政府补贴 / 企业净利润)
	自愿型环境规制指标	ERS	企业该年度是否披露公司的环保理念、环境方针、环境管理组织结构、循环经济发展模式、绿色发展等情况, 赋值为 1, 否则为 0; LN (ERS + 1)
控制变量	盈利能力	ROA	净利润 / 期末总资产
	资本结构	LEV	期末负债 / 期末总资产
	账面市值比	BM	账面市值比
	产权性质	STATE	国有企业为 1, 非国有企业为 0

来源: 依据资料文献自行整理

### 模型构建

本文构建了一系列模型, 深入探讨数字化转型对企业环境绩效的直接和间接影响。

基准模型: 探讨数字化转型对企业环境绩效的直接作用, 设定如下:

$$CEP_{it} = \alpha + \beta 1 DT_{it} + \sum Controls_{it} + \mu_i + \epsilon_t$$

其中, CEP 为企业环境绩效, DT 为数字化转型指数, Controls 为控制变量集。

中介效应模型: 用于检验绿色技术创新在数字化转型与企业环境绩效之间的中介作用, 绿色技术创新作为中介变量进行进一步分析。

调节效应模型: 本文检验了命令型、市场激励型和自愿型环境规制在数字化转型与企业环境绩效之间的调节作用, 构建了以下调节效应模型:

$$CEP_{it} = \alpha + \beta 1 DT_{it} + \beta 2 Regulation_{it} + \beta 3 (DT_{it} \times Regulation_{it}) + \sum Controls_{it} + \mu_i + \epsilon_t$$

门槛回归模型: 参考 Hansen (1999) 的面板门槛模型, 进一步探讨环境规制在不同强度下的调节作用, 尤其是当环境规制达到某一门槛值时, 其调节作用的变化。

### 内生性分析

内生性问题通常指变量间相互影响所引起的回归偏差。为解决这一问题, 本研究采用了以下两种策略:

控制遗漏变量引起的内生性: 本研究通过运用面板数据的双向固定效应模型, 减少了由于遗漏变量导致的内生性问题。固定效应模型的实证结果证实了该检验方法的有效性。

控制双向因果关系引起的内生性: 考虑到企业环境绩效与数字化转型之间可能存在双向因果关系, 本文引入了滞后一期的企业环境绩效数据, 以减轻双向因果可能造成的偏差。滞后

回归模型的结果（表 2）显示，即使控制了滞后效应，数字化转型对企业环境绩效仍然具有显著的正向影响，滞后一期数字化转型的系数分别为 0.072 和 0.210，均在 1% 的显著水平下显著。

表 2 企业环境绩效滞后 1 期模型回归结果

维度	(1) 滞后 CEP	(2) 滞后 CEP
滞后 DT	0.072*** (0.016)	0.210*** (0.025)
Lev	0.104*** (0.006)	0.082*** (0.008)
ROA	0.102*** (0.010)	0.106*** (0.016)
BM	0.041*** (0.005)	0.047*** (0.006)
_cons	0.575*** (0.005)	0.604*** (0.006)
Year	控制	不控制
N	3732	3732
r2_a	0.3908	0.3189

注：Standard errors in parentheses

\* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

## 研究结果

### 描述性统计分析

对 2010-2022 年 311 家制造业企业的描述性统计分析显示，企业在环境绩效（均值 0.675）、绿色技术创新（均值 0.084）、数字化转型（均值 0.059）以及环境规制（ERC、ERK、ERS）方面存在显著差异。这些数据反映了企业在绩效和创新水平上的不均衡，并为后续实证分析奠定了基础。

表3 变量描述性统计

Variable	N	Mean	S.D.	Min	Max
CEP	4043	0.675	0.069	0.453	0.985
DT	4043	0.059	0.042	0.05	0.993
GTE	4043	0.084	0.045	0.05	0.463
ERC	4043	0.002	0.001	0.001	0.006
ERK	4043	0.733	0.460	0.391	29.620
ERS	4043	0.482	0.500	0	1.000
Lev	4043	0.482	0.178	0.029	0.979
ROA	4043	0.038	0.057	-0.965	0.381
BM	4043	0.324	0.148	0	1.043

注：CEP 企业环境绩效、DT 数字化转型、GTE 绿色技术创新、ERC 命令控制型环境规制指标、ERK 市场激励型环境规制指标、ERS 自愿型环境规制指标、ROA 盈利能力、LEV 资本结构、BM 账面市值比、STATE 产权性质。

### 多重共线性检验

在研究中，为确保回归分析的准确性，本文进行了多重共线性检验。依据表4，所有自变量的VIF值均大于1，且无一项超过10，VIF平均值为1.160。因此，可以确认多重共线性不会影响回归分析的结果。

表4 多重共线性系数表

Variable	VIF	1/VIF
Lev	1.55	0.644
BM	1.31	0.765
ROA	1.23	0.814
DT	1.07	0.936
ERS	1.06	0.946
ERC	1.05	0.952
GTE	1.04	0.963
ERK	1.01	0.988
Mean	VIF	1.160

注：同上

### 相关性分析

在模型回归前，对变量的相关性分析显示，数字化转型、绿色技术创新、各类环境规制、盈利能力和资本结构与企业环境绩效呈显著正相关（相关系数 0.074-0.404， $p$  值均小于 0.05）。账面市值比与企业环境绩效呈较弱负相关（相关系数为 -0.023， $p$  值大于 0.05）。

表 5 变量相关性分析表

项目	CEP	DT	GIP	ERC	ERK	ERS	Lev	ROA	BM
DT	0.304***	1							
GIP	0.186***	0.165***	1						
ERC	0.054***	0.133***	0.089***	1					
ERK	0.126***	0.045***	0.028*	0.042***	1				
ERS	0.291***	0.092***	0.069***	0.097***	0.057***	1			
Lev	0.404***	0.111***	0.061***	-0.073***	0.079***	0.057***	1		
ROA	0.074***	-0.010	0.012	-0.001	-0.037**	0.038**	-0.373***	1	
BM	-0.023	0.018	-0.017	-0.011	-0.010	0.111***	-0.415***	-0.013	1

注：\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

### 多元回归分析

#### 基准模型检验

本文使用 2010-2022 年间的的面板数据，通过 Hausman 检验（ $p$  值 = 0.000）选择了固定效应模型，并加入年份效应以控制宏观经济冲击的影响。表 6 显示了回归结果。

表 6 模型回归结果

项目	(1) CEP	(2) GTE	(3) CEP
DT	0.040***	0.083***	0.036**
	-0.015	-0.017	-0.015
GTE			0.051***
			-0.015
Lev	0.086***	0.008	0.086***
	-0.005	-0.006	-0.005
ROA	0.128***	0.015	0.127***

表 6 模型回归结果 (续表)

项目	(1) CEP	(2) GTE	(3) CEP
	-0.009	-0.01	-0.009
BM	0.024***	-0.005	0.025***
	-0.004	-0.005	-0.004
_cons	0.592***	0.060***	0.589***
	-0.004	-0.004	-0.004
year	是	是	是
N	4043	4043	4043
R <sup>2</sup>	0.645	0.25	0.647
Adj-R <sup>2</sup>	0.614	0.185	0.615

注: Standard errors in parentheses

\*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

回归结果显示,数字化转型(DT)对企业环境绩效(CEP)具有显著的正向影响。具体来说,数字化转型每增加一个单位,企业的环境绩效将提高 0.04 个单位,支持了假设 H1。

#### 中介效应

为探讨绿色技术创新在数字化转型与企业环境绩效之间的中介作用,本文采用中介效应模型进行了分析。结果显示,数字化转型显著促进了绿色技术创新(路径系数为 0.083,  $p < 0.01$ ),进而通过绿色技术创新间接提升了企业环境绩效。模型(3)引入中介企业的数字化转型显著促进了绿色技术创新,并通过这一中介作用,进一步提升了企业环境绩效。数字化转型不仅降低了运营成本、优化了资本结构,还为企业带来了新的商业模式和经济效益,实现了环境与经济的双赢局面。数字化转型对企业环境绩效的直接影响有所减弱,但仍显著,表明绿色技术创新在其中发挥了部分中介作用,支持了假设 H2。

表 7 Bootstrap 中介效应检验

项目	Observed Coefficient	Bias	Bootstrap std. err.	[95% conf. interval]		
间接效应	0.070579	0.00198	0.014007	0.050066	0.104619	(P)
				0.048912	0.103809	(BC)
直接效应	0.213212	-0.00110	0.024016	0.164324	0.256138	(P)
				0.163155	0.255379	(BC)

注: P: Percentile, BC: Bias-corrected

企业的数字化转型显著促进了绿色技术创新，并通过这一中介作用，进一步提升了企业环境绩效。数字化转型不仅降低了运营成本、优化了资本结构，还为企业带来了新的商业模式和经济效益，实现了环境与经济的双赢局面。

#### 调节效应

本研究通过回归分析探讨了命令型环境规制（ERC）、市场激励型环境规制（ERK）以及自愿型环境规制（ERS）在数字化转型对绿色技术创新及企业环境绩效影响中的调节作用，具体结果汇总如下表 8 所示。

表 8 调节效应分析——模型回归结果

变量	GTE (1)	GTE (2)	GTE (3)	CEP (1)	CEP (2)	CEP (3)
DT	0.187*** (0.024)	0.180*** (0.037)	0.145*** (0.024)	0.089*** (0.022)	0.140*** (0.034)	0.070*** (0.022)
ERC	-2.625** (1.319)	-	-	-2.836** (1.210)	-	-
DT_ERC	-49.014*** (8.525)	-	-	-22.259*** (7.816)	-	-
ERK	-	0.001 (0.001)	-	-	0.023*** (0.004)	-
DT_ERK	-	-0.691*** (0.238)	-	-	-0.707*** (0.218)	-
ERS	-	-	-0.004*** (0.002)	-	-	0.003** (0.001)
DT_ERS	-	-	-0.151*** (0.045)	-	-	-0.003116
Lev	0.007 (0.006)	0.007 (0.006)	0.008 (0.006)	0.086*** (0.005)	0.086*** (0.005)	0.085*** (0.005)
ROA	0.015 (0.010)	0.015 (0.010)	0.016* (0.010)	0.127*** (0.009)	0.127*** (0.009)	0.126*** (0.009)
BM	-0.006 (0.005)	-0.006 (0.005)	-0.005 (0.005)	0.024*** (0.004)	0.025*** (0.004)	0.024*** (0.004)
_cons	0.061*** (0.005)	0.056*** (0.004)	0.058*** (0.004)	0.595*** (0.004)	0.587*** (0.004)	0.591*** (0.004)
Year	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	4043	4043	4043	4043	4043	4043
R2	0.258	0.252	0.254	0.647	0.649	0.647
Adj-R2	0.193	0.186	0.188	0.616	0.618	0.615

注：标准误在括号中， $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ \*

根据命令控制型环境规制的检验结果，发现其对数字化转型与企业环境绩效之间的关系存在显著的负向调节作用（系数为  $-0.49$ ， $p < 0.01$ ）。这表明在强制性环境规制较高的情况下，数字化转型对企业环境绩效的正向影响被削弱，可能是由于过度的规制增加了企业的合规成本和运营负担，进而抑制了企业进行绿色技术创新的动力。

该结果验证了 H3 假设，说明过度的命令控制型规制在一定程度上削弱了数字化转型对环境绩效的改善作用。

命令型环境规制（ERC）和市场激励型环境规制（ERK）对数字化转型与绿色技术创新之间的关系表现出显著的负向调节作用。回归结果表明，DT\_ERC 和 DT\_ERK 的系数分别为  $-49.014$  和  $-0.691$ ，均在 1% 的显著性水平下显著。这一结果表明，强制性和市场激励型环境规制可能抑制了企业通过数字化转型实现绿色技术创新的能力，因此，假设 H4、H7、H10 未能成立。

另一方面，市场激励型环境规制对绿色技术创新与企业环境绩效的关系具有显著的正向调节作用。GTE\_ERK 的系数为  $0.936$ ，且在 1% 的显著性水平下显著。此结果支持了假设 H8 的成立，表明市场激励型环境规制能够有效增强绿色技术创新对企业环境绩效的正向影响。

此外，自愿型环境规制（ERS）在数字化转型与绿色技术创新及企业环境绩效之间的调节作用未能显著。回归分析显示，GTE\_ERS 和 DT\_ERS 的系数分别为  $0.038$  和  $0.076$ ，但未能通过显著性检验，这表明自愿型环境规制在这些关系中的调节作用不如预期强，导致假设 H11 未能成立，而假设 H12 得到了支持。

#### 面板门槛模型分析

为了深入探讨环境规制在企业数字化转型对绿色技术创新影响中的调节作用，本研究采用面板门槛模型进行分析。通过 Bootstrap 法显著性检验，结果表明命令型环境规制和市场激励型环境规制在数字化转型与绿色技术创新之间存在显著的单一门槛效应（表 9）。

表 9 门槛效应显著性检验

变量	模型	F 值	P 值	临界值 (10%)	临界值 (5%)	临界值 (1%)
命令型环境规制	单一门槛	109.13	0	46.667	54.696	78.391
市场激励型规制	单一门槛	89.2	0.003	61.169	67.318	75.309

门槛值估计结果显示，命令型环境规制的门槛值为  $0.0020$ ，市场激励型规制的门槛值为  $0.7103$ ，均在 95% 的置信区间内（表 10）。

表 10 门槛估计值及其置信区间

变量	模型	门槛估计值	95% CI
命令型环境规制	单一门槛	0.0020	[0.002, 0.002]
市场激励型规制	单一门槛	0.7103	[0.709, 0.712]

面板门槛回归模型的分析结果表明，环境规制的调节效应随着其强度的变化而发生显著变化。当命令型环境规制低于门槛值时，其对数字化转型的正向影响显著增强，但超过门槛值后，这种影响减弱（表 11）。市场激励型规制在低于门槛值时影响不显著，但超过门槛值后，数字化转型对绿色技术创新的正向影响显著增强（表 12）。

表 11 命令型环境规制面板门槛回归模型

变量	系数	标准误	t	P	95% 置信区间
DT (ERC < 0.002)	0.348	0.056	6.20	0	0.238, 0.458
DT (ERC > 0.002)	0.092	0.054	1.73	0.084	-0.012, 0.191

表 12 市场激励型环境规制面板门槛回归模型

变量	系数	标准误	t	P	95% 置信区间
DT (ERK < 0.7103)	-0.042	0.104	-0.40	0.69	-0.247, 0.163
DT (ERK > 0.7103)	0.167	0.092	1.82	0.07	-0.014, 0.348

研究表明，命令型环境规制和市场激励型规制在数字化转型与绿色技术创新的关系中存在显著的门槛效应。命令型规制的强度超过门槛值后，数字化转型对绿色技术创新的正向影响减弱，而市场激励型规制在超过门槛值后，增强了这种正向影响。这一发现支持了假设 H5 和 H8 的成立，表明不同类型的环境规制在特定强度下对企业的数字化转型和绿色技术创新产生不同的影响。

本文研究结果表明，数字化转型对企业环境绩效具有显著的正向影响，绿色技术创新在其中发挥了中介作用。同时，命令控制型环境规制对数字化转型与环境绩效的关系起到负向调节作用，市场激励型环境规制则表现出正向调节效果。自愿型环境规制的调节作用不显著。研究结果为数字化转型、绿色技术创新及环境规制对企业环境绩效的影响机制提供了实证支持。

## 讨论

本研究分析了 2010-2022 年间 311 家制造业企业的数据，揭示了数字化转型、绿色技术创新和环境规制对企业环境绩效的影响。总体上，研究结果显示数字化转型对企业环境绩效具有显著的正向影响，并且这种影响通过绿色技术创新得到了进一步增强，支持了假设 H1、H2 和 H3。此外，环境规制的门槛效应分析表明，当命令型和市场激励型环境规制达到一定的门槛值时，其对数字化转型与绿色技术创新的调节作用发生了显著变化，支持了假设 H5 和 H8。

与现有文献一致，本研究确认了数字化转型对企业环境绩效的积极影响，特别是在通过绿色技术创新作为中介时，这一影响得到了进一步的强化。然而，研究还发现了一些假设未能成立，值得进一步探讨。

命令型和市场激励型环境规制的负向调节作用（假设 H4、H7、H10）：这些假设未能成立的原因可能在于，尽管规制旨在推动企业创新，但它们也增加了企业的合规成本和操作复杂性。企业可能将资源更多地用于满足规制要求，反而减少了对创新活动的投入，导致了创新效果的削弱。

自愿型环境规制的调节作用（假设 H11）：自愿型环境规制未能显著影响数字化转型与绿色技术创新及环境绩效之间的关系，这可能是由于自愿性规制缺乏强制性，企业在面对这种规制时的主动性和响应度较低，难以产生实质性影响。

这些发现与部分研究对环境规制复杂影响的观点一致，但也揭示了在特定情境下，环境规制可能未能达到预期的调节效果。

本文的研究结果与前文提出的可持续发展理论、绿色技术创新理论和外部性理论相呼应。数字化转型通过绿色技术创新提升了企业环境绩效，验证了技术创新对环境与经济双赢的关键作用。同时，环境规制的调节效应进一步支持了外部性理论，说明不同类型的规制对企业绿色转型的影响具有差异性。这些发现为理论基础提供了有力的实证支持。

## 总结

本研究通过对 2010-2022 年间 311 家制造业企业的数据分析，深入探讨了数字化转型、绿色技术创新和环境规制对企业环境绩效的影响。研究表明：

数字化转型对企业环境绩效具有显著的正向影响，并通过绿色技术创新这一中介，进一步增强了企业的环保表现。这表明，数字化转型不仅能够优化企业的生产流程和管理效率，还能推动企业在环境绩效上的提升，实现经济效益与环境效益的双赢。

环境规制在数字化转型与绿色技术创新及环境绩效之间的调节作用表现出复杂性。命令型和市场激励型环境规制在达到一定门槛值后，其对数字化转型的正向影响有所削弱或增强，

而自愿型环境规制未能显著调节这些关系。这提示环境规制的设计与实施需更加灵活，以有效促进企业的可持续发展。

研究发现部分假设未能成立，尤其是命令型和市场激励型环境规制在某些情境下对创新的负向调节作用，可能与规制增加的合规成本和操作复杂性有关。此外，自愿型环境规制的影响力较弱，表明其在实际应用中可能缺乏足够的强制力和激励性。

## 建议

政府应通过政策激励、财政支持等手段，推动企业加快数字化转型进程，提升其环境管理能力，实现可持续发展。同时，在制定环境规制时，应平衡命令型、市场激励型和自愿型规制的强度，确保规制既能有效控制污染，又不会过度抑制企业的创新活动。市场激励型规制应得到进一步强化，发挥其促进绿色技术创新的作用。

企业管理层应主动推进数字化转型，结合数字技术提升绿色技术创新能力，优化生产流程和管理系统，以提高运营效率和环境绩效。此外，企业应积极响应环境规制，将其视为提升自身竞争力的契机，通过参与绿色认证和环保行动，提升社会责任形象，增强市场影响力。

## 未来展望

本文研究了数字化转型、绿色技术创新和环境规制对企业环境绩效的影响，并得到了实证支持。然而，企业环境绩效还可能受到其他因素的影响，未来研究可以进一步探讨企业文化、管理层环境意识、供应链绿色管理、市场竞争压力等因素如何影响企业的环境表现。此外，技术进步、政策环境以及国际市场的绿色需求也可能在未来为企业环境绩效带来新的挑战 and 机遇。因此，建议政策制定者在设计环境规制时，考虑更多外部变量的复杂性，以更加精准、灵活的方式推动企业绿色转型。企业则应提升内部管理水平，积极应对不断变化的外部环境，进一步推动绿色技术创新，实现可持续发展目标。

## References

- Ambec, S., & Lanoie, P. (2008). Does it pay to be green?: A systematic overview. *Academy of Management Perspectives*, 22(4), 45-62.
- Conrad, K., & Wastl, D. (1995). The impact of environmental regulation on productivity in German industries. *Empirical Economics*, 20, 615-633.
- Delmas, M. A., & Montes-Sancho, M. J. (2011). An institutional perspective on the diffusion of international management system standards: The case of the environmental management standard ISO 14001. *Business Ethics Quarterly*, 21(1), 103-132.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance: Lessons from Japan*. Science Policy Research Unit University of Sussex and Pinter Publishers.

- Geroski, P. A. (2000). Models of technology diffusion. *Research Policy*, 29(4-5), 603-625.
- Greaker, M. (2006). Spillovers in the development of new pollution abatement technology: A new look at the Porter-hypothesis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(1), 411-420.
- Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93(2), 345-368.
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation-new evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163-173.
- Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997). Environmental regulation and innovation: A panel data study. *Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610-619.
- Klassen, R., & McLaughlin, C. (1996). The impact of environmental management on firm performance. *Management Science*, 42(8), 1199-1214.
- Li, R., & Ramanathan, R. (2018). Exploring the relationships between different types of environmental regulations and environmental performance: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1329-1340.
- Lyon, T. P., & Maxwell, J. W. (2008). Corporate social responsibility and the environment: A theoretical perspective. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2), 240-260.
- Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.
- Porter, M. E., & Van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Ren, X., Zeng, H., & Zhao, L. (2022). Environmental regulation, technological innovation, and corporate green development: Empirical evidence from China's manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 348, 131281. [in Chinese]
- Verma, P., Kumar, V., Yalcin, H., & Daim, T. (2023). Organizational architecture of strategic entrepreneurial firms for digital transformation: A bibliometric analysis. *Technology in Society*, 75, 102355.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Wu, F., Hu, H. Z., Lin, H. Y., & Ren, X. Y. (2021). Corporate digital transformation and capital market performance: Empirical evidence from stock liquidity. *Management World*, (7), 130-144. [in Chinese]
- Wu, S., & Li, Y. (2023). A study on the impact of digital transformation on corporate ESG performance: The mediating role of green innovation. *Sustainability*, 15(8), 6568. <https://doi.org/10.3390/su15086568>
- Yang, Z., Chen, J., & Ling, H. C. (2023). Media attention, environmental policy uncertainty, and corporate green technology innovation: Empirical evidence from Chinese A-share listed companies. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, (4), 1-15. [in Chinese]



**Name and Surname:** Hongyang Zhao

**Highest Education:** Doctoral Candidate

**Affiliation:** International College, Dhurakij Pundit University, Thailand

**Field of Expertise:** Business Administration



**Name and Surname:** Mingming He

**Highest Education:** Doctoral Degree

**Affiliation:** International College, Dhurakij Pundit University, Thailand

**Field of Expertise:** Enterprise Digital Transformation and Information  
System User Behavior