

逐“绿”前行：数字技术对民营企业低碳发展的影响机制研究——以长江经济带为例

张皓 陈晓萌 师俊贤 毛子涵 林静之

摘要：在全球气候变化与可持续性发展议题日益紧迫的今天，民营企业作为推动国家经济增长的重要引擎，其发展模式的转化与升级显得格外重要。但现实中，部分民营企业在推进低碳发展方面仍面临诸多挑战，包括意识与认知不足、资金与数字化技术障碍等问题。本文以 2013—2022 年长江经济带的 11 个省市面板数据为样本，利用基准回归模型、中介效应模型和门槛效应模型，探讨了数字技术能否推动民营企业低碳发展以及如何实现民营企业低碳转型。结合研究结果，本文为长江经济带绿色转型提供了策略指导，加速了区域向低碳模式的转变，并为实现民营企业可持续发展、顺应时代潮流、提升自身竞争力提供了政策建议。

关键词：数字技术 低碳发展 长江经济带 数字化转型 开放式创新

一、引言

（一）研究背景与意义

长江经济带作为中国重要的经济发展区域，覆盖了从上海到云南的 11 个省市，拥有丰富的自然资源以及庞大的市场潜能，是中国经济的重要增长极之一。然而由于地理、历史、政策等多种因素的影响，长江经济带上的民营企业发展呈现出发展不均衡的特点。在这种背景下，开放式创新成为一种有效的发展策略，其原理为企业不仅依赖内部资源进行发展，还可积极利用外部资源，包括与高校、研究机构、其他企业等进行合作，以实现长江流域共同发展。



图 1 国务院及相关部委近年相关政策

在此基础上，随着全球对可持续发展的重视与国家对低碳经济的支持，长江经济带民营企业作为推动国家经济增长的重要引擎，其发展模式的转化与升级显得格外重要。国务院及相关部委相继出台了一系列政策文件，包括但不限于《长江经济带发展规划纲要》《长江保护法》等，鼓励企业采用先进的技术和管理方法，实现绿色转型。长江经济带内民营企业在国家政策的引导和支持下，积极寻求低碳发展模式。而这些企业在推进低碳发展转型升级的过程中，也面临诸多挑战，包括意识与认知不足、资金与数字化技术障碍等问题。

理论方面，探索数字技术与开放式创新对低碳转型的影响机制，丰富了数字经济与开放式创新理论，构建了针对长江经济带民营企业的分析框架，并有望催生新商业模式，助力低碳转型。此过程促进了经济学、管理学与环境科学的融合，深入分析了技术创新对成本、盈利及管理的优化，以及对减排的实际贡献。

实践方面，研究为长江经济带绿色转型提供了策略指导，加速了区域向低碳模式的转变。它促进了资源共享平台的建立，实现了跨企业知识传播，为长三角区域带来了新的增长动力。同时，研究成果为政府制定低碳发展政策提供了数据支持，促进了企业与社会和谐共生。

（二）研究框架与研究内容

本文研究框架如图 2。

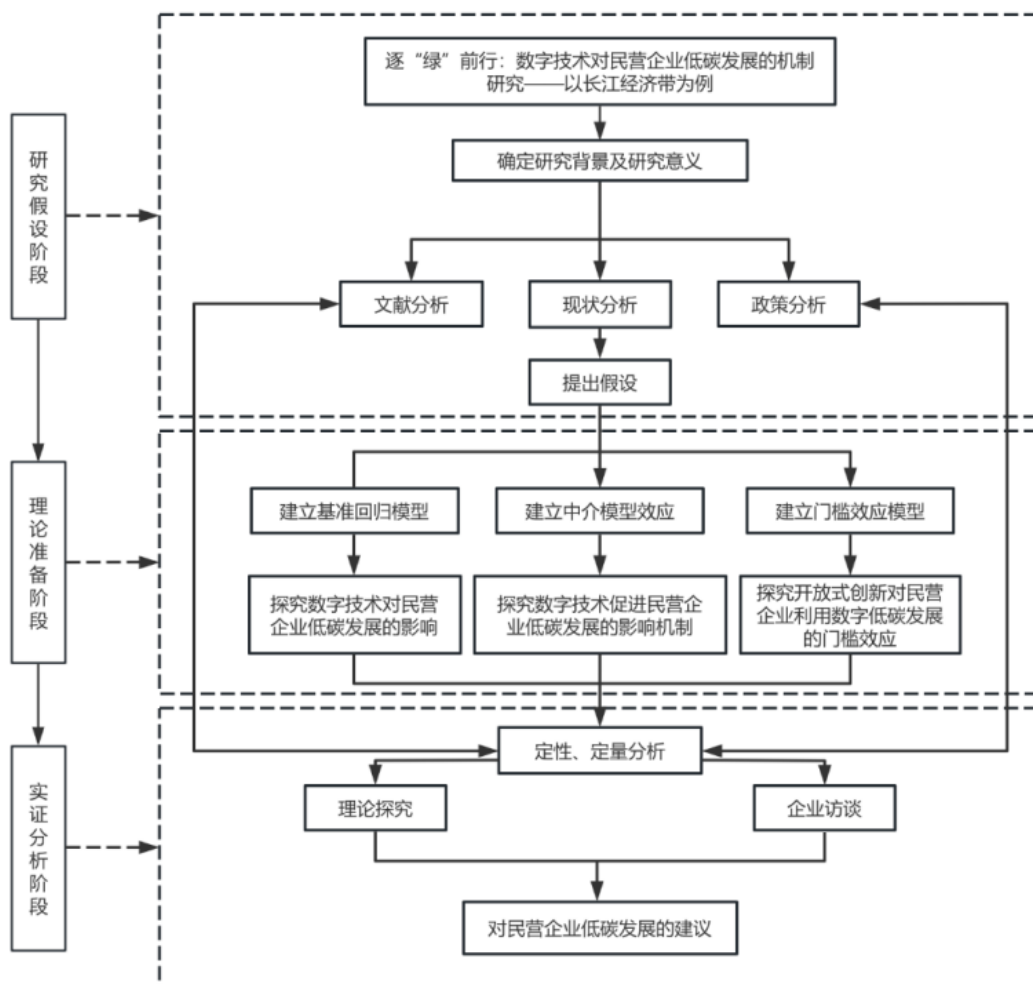


图 2 研究框架图

研究内容如下：

1.长江经济带民营企业发展现状：为了全面把握长江经济带民营企业的发展现状，需从其数量与规模、经营状况、创新能力等多个维度进行深入分析。通过统计数据和实际调研，能够了解长江经济带民营企业的财务表现和市场竞争力、它们在面对国内外经济环境变化时的适应能力和创新潜力

以及其低碳发展水平与能力。

2.数字技术促进的影响机制分析与开放式创新的门槛效应：在探讨数字技术与开放式创新对长江经济带区域民营企业发展的影响时，需要关注区域内民营企业数字化转型的现状和效果，特别是数字技术如何提升运营效率、增强创新能力以及助力低碳转型。同时，通过数据分析与案例研究，深入了解开放式创新的相关指标，探究开放式创新的深度与广度对企业数字化转型低碳发展的门槛效应。

3.提出长江经济带民营企业低碳发展路径的优化建议：根据研究分析的结果，从微观与宏观多个层面，结合多方面因素，提出一套针对长江经济带的民营企业低碳发展优化路径，推动区域内产业可持续发展。

（三）研究创新点

1.数字技术和开放式创新结合的角度：目前大多数研究可能单独探讨数字技术或开放式创新对企业低碳发展的影响，本研究尝试将两者结合起来，研究二者如何共同作用于民营企业的低碳转型。

2.开放式创新的门槛效应及其量化分析：将开放式创新纳入为长江经济带民营企业低碳转型的影响因素，系统地考察了数字技术与开放式创新在不同阶段对企业低碳发展的作用机理，并引入门槛效应模型与其他统计方法量化研究不同发展阶段下开放式创新对民营企业低碳发展的影响阈值

变化，以及这些变化如何影响企业的技术创新能力和市场竞争力。

3.多维度的影响机制探索：探讨数字技术和开放式创新如何通过不同的路径影响企业的低碳发展；此外，本项目采取跨学科视角融合，通过管理学、统计学等学科的交叉融合，确保研究的全面与深入。

4.地域性和行业特异性考量：探讨特定地区（长江经济带内部）和各行业（如零售业、汽车制造业、房地产业等）的民营企业利用数字技术进行低碳转型的路径。

5.实证案例研究与数据驱动的分析方法：本研究收集长江经济带民营企业不同行业多家企业相关数据，包括低碳发展相关指标（如绿色专利申请数目、研发支出指标）以及企业自身指标（如产业类型）等。同时，研究使用熵权法处理和分析大量实证数据，以获得更准确的结果和预测。

二、文献综述

（一）数字技术与民营企业低碳发展的关联探究

近年来，国内外学者针对数字技术与民营企业低碳转型的紧密联系进行了全面而深入的探讨。王砚羽、陈逸涵（2024）在其准实验研究中明确指出，低碳城市试点政策能够显著提升制造业上市公司对数字化的重视程度，进而有效推动企业实现低碳转型。这一发现凸显了政策引导在推动数字技术与低碳转型深度融合中的核心作用。此外，谢涛、刘子正、倪欣悦（2023）的研究进一步揭示，在绿色低碳发展的宏观环境下，民营企业通过积极实施数字化转型，能够实现转型演化的目标，从而达成低碳发展的战略愿景。该研究从民营企业的微观视角出发，详细剖析了数字技术对其低碳转型的具体影响机制。

针对民营企业低碳转型的迫切需求，学者们提出了一系列基于数字技术的创新路径与策略。林晓艳、闫鹏宇、林贤锦（2022）以福建民营企业为具体案例，深入探讨了绿色低碳转型的实践路径与创新举措。他们强调，民营企业应充分利用数字技术优化生产流程，提高能源利用效率，从而顺利实现低碳转型。

（二）数字化转型在推动企业低碳发展中的积极作用研究

数字化转型作为推动企业绿色转型的关键驱动力，正日益受到广大民营企业的青睐与采纳。屠西伟和张平淡的研究

明确指出，企业数字化转型不仅有助于显著提升生产效率、减少资源浪费，还能通过实施供应链的绿色化管理，带动整个供应链的绿色低碳转型。尤其在制造业领域，企业通过引入先进的数字化管理系统，实现了对生产过程的精准控制，从而大幅降低了碳排放量。张倩、朱奕翰（2023）在深入研究碳排放权交易对制造业企业低碳转型的影响时发现，数字化转型能够作为关键的中介变量，有效促进企业实现低碳转型。这一研究为民营企业利用数字化手段积极参与碳排放权交易提供了坚实的理论支撑。

（三）长江经济带民营企业低碳发展面临的现状与挑战分析

长江经济带作为我国经济发展的重要战略区域，其民营企业在低碳转型过程中面临着诸多机遇与挑战。汪大兰、左小明、董晓敏（2023）以广东省民营企业为例，深入剖析了低碳经济背景下企业转型升级的现状及存在的问题。在绿色低碳高质量发展的宏观背景下，民营企业还需高度重视环境合规问题，确保企业生产经营活动符合环保要求。此外，张志鹏和湖泊在《绿色低碳高质量发展背景下的民营企业环境合规》一文中强调，随着环保法规的不断完善与日益严格，民营企业必须进一步强化环境合规管理，确保生产经营活动符合环保标准，避免因环境问题给企业带来不必要的风险和损失。

三、研究假设

假设 1：数字技术对民营企业低碳发展有促进作用。

在当前的绿色低碳发展背景下，民营企业作为经济的重要组成部分，其低碳转型的成效对于实现整体经济结构的绿色化具有重要意义，同时数字技术也正逐渐成为推动民营企业低碳发展的重要力量。屠西伟和张平淡在《企业数字化转型、碳排放与供应链溢出》一文中指出，企业数字化转型能够通过优化供应链管理，减少不必要的能源消耗和碳排放，进而实现低碳发展。此外，钟廷勇和胡俊的研究也显示，企业数字化与 ESG（环境、社会和治理）表现之间存在正相关关系，这进一步证实了数字技术对企业低碳发展的促进作用。基于以上分析，可提出假设 1。

假设 2：数字技术通过促进民营企业数字化转型从而帮助企业低碳发展。

随着数字技术的快速发展，越来越多的民营企业开始意识到数字化转型的重要性，并将其作为实现低碳发展的重要途径。郭沛瑶、马乾龙和尹志超在《数字化转型是企业低碳发展的“助燃剂”吗？——来自中国上市公司的微观证据》一文中，通过实证研究发现，数字化转型能够显著促进企业低碳发展。他们指出，数字化转型不仅能够提高企业运营效率，减少资源浪费，还能通过优化供应链管理、推动产品创新等方式，进一步降低企业的碳排放。此外，王砚羽和陈逸

涵的研究也表明，低碳城市试点政策能够提升制造业上市公司对数字化的关注度，进而推动其低碳转型，充分说明了数字技术通过促进民营企业数字化转型，对企业低碳发展起到了积极的推动作用。基于以上分析，可提出假设 2。

假设 3：数字技术对民营企业低碳发展的影响存在开放式创新的门槛效应。

由于不同组织具有差异化的背景和专长，提高开放式创新广度有利于扩大知识搜寻范围，为企业带来异质性、多样化、独特性的知识资源，提高创新的灵活度、新颖度和效率（Ahuja and Katila,2004），从而释放数字化转型对企业高质量发展的积极影响。在企业发展过程中，企业开放式创新程度越大，越有利于企业克服知识技术碎片化分布的障碍，在更加广阔的知识网络中通过数字技术吸取外部有效信息丰富自身知识结构，推动企业的低碳发展。基于以上分析，可提出假设 3。

四、研究方法 with 数据概述

(一) 数据来源 with 变量说明

1. 数据来源 with 样本处理

本文以 2013—2022 年长江经济带的 11 个省市面板数据为样本，相关数据主要来自统计局等权威机构网站及各种权威统计年鉴，包括各省市统计年鉴、环境状况公报。为了保证结果的稳健性，本文对样本进行如下筛选：（1）剔除所有的 ST 和*ST 的样本（2）剔除存在异常值的样本。最终保留了 9077 条民营企业相关数据。

2. 变量选取

本文选取中国长江经济带 11 个省级行政区 2013—2022 年的面板数据为样本进行实证研究。

(1) 被解释变量

本文的被解释变量为民营企业低碳发展（GT），本文借鉴了中国社会科学院工业经济研究所课题组的研究成果，并融合了邓慧慧和杨露鑫以及孙传旺和张文悦等学者的研究精髓。为全面、客观地反映民营企业的低碳发展成效，采用了四个一级指标以及八个二级指标，构建了一个综合性的评价体系，从而能够更为精准地衡量民营企业的低碳发展水平。

表 1 民营企业低碳发展水平综合评价指标

一级指标	二级指标	符号	具体含义
------	------	----	------

技术创新	企业创新投入	Investment	研发投入金额/总资产
	绿色创新产出	RatioEnvrPat	当年绿色专利授权量与专利授权总数之比
社会评价	社会责任	CSR	和讯社会责任（CSR）得分
	环境表现	ESG	ESG 评分环境等级，C—AAA 分别赋值 1—9
环境保护	环保投资	EPI	企业环保投资金额加 1 的自然对数
	内部控制	CI	博迪内部控制指数
生产水平	绿色生产效率	GTFP	基于 SBM-GML 模型计算的绿色全要素生产率
	劳动生产效率	Labprod	营业总收入与员工人数之比加 1 的自然对数

（2）解释变量为企业数字技术水平（DT）。根据耿景珠等学者的研究，采用逆文档概率词频（TF-IDF）方法，衡量一个企业在特定年份的数字技术水平。

$$DT_{it} = \sum_{d \in D} TF_{dit} \times IDF_{dt}$$

（3）中介变量

本文的主要中介变量聚焦于数字化转型（DGI），其衡量依据在于数字化转型的深入程度。本文在深入研究吴非等学者的工作基础上，进一步拓展并细化了数字化转型的度量

维度。具体地，从**数字技术（ADT）**、**云计算技术（CC）**、**大数据技术（BD）**、**人工智能技术（AI）**以及**区块链技术（BT）**这五大核心领域出发，构建了一个全面且精准的数字化转型关键词词库。利用这一关键词词库，对众多民营企业的年报进行了深入的文本分析，随后通过对这些关键词词频进行加总计算，得以对每一家民营企业的数字化转型程度进行精准量化。

具体如表 2 所示。

表 2 数字化转型关键词词库

分类	关键词词库
数字技术	信息数字化、数字化战略、数字化营销、数字化转型、数字资产、数字孪生、数字生态系统、数字化创新
云计算技术	云计算平台、云计算服务、公有云、私有云、混合云、虚拟化技术、云存储、边缘计算、云服务提供商
大数据技术	大数据分析、数据仓库、数据挖掘、数据治理、数据科学家、实时数据分析、数据流处理、数据质量
人工智能技术	机器学习、深度学习、人工智能算法、人工智能助手、机器人技术、计算机视觉、语音识别、人工智能平台
区块链技术	区块链、分布式账本、加密货币、智能合约、区块链应用、区块链安全、区块链平台、区块链金融

(4) 门槛变量

开放式创新程度（OI）。本文用样本企业在观察年度与

之发生合作创新关系的组织数量总和加 1 的自然对数衡量企业开放式创新广度（2006）。开放式创新程度指标值越大，企业合作创新的专利成果越多，表明企业利用外部资源所涉及的创新网络越广泛。

（5）控制变量

企业本身特征是影响低碳发展水平和数字化转型的基本因素，为了避免其他变量给回归结果造成不一致影响，本文控制了可能影响低碳发展水平的变量，同时加入年份变量（Year）和行业变量（Industry）来控制时间效应和行业效应的影响。

变量定义及衡量如表 3 所示。

表 3 控制变量表

变量名称	符号	具体含义
规模	Size	总资产的自然对数
前五大股东 持股比例	Top5	前五股东持股数量/总股数
托宾 q 值	TobinQ	(流通股市值+非流通股市值 x 每股净资产+负债账面)/总资产
员工总人数	Employ	公司雇佣的全体员工数量
董事人数	Board	公司董事会中的成员数量

3.变量说明

图表示主要变量的描述性统计结果，由图 X 可知，被解

释变量民营企业低碳发展（GT）、解释变量企业数字技术水平（DT）、中介变量数字化转型（DGI）、门槛变量开放式创新程度（OI）的各项数据均处于合理范围之内；民营企业低碳发展的四个一级指标以及八个二级指标的标准差较大，说明其波动较大，体现了各个企业的具体情况有所差别，其中，数字化技术应用水平和数字化转型的最小值为 0，说明还存在一部分制造业未进行数字化建设，还未开始数字化转型，处于传统的生产制造模式。在技术创新角度，有部分企业的数值为 0，尚未进行技术创新投入，尚未形成绿色技术创新成果。

表 4 描述性统计表

指标	样本量	最大值	最小值	均值	标准差
GT	9077	0.78	0.071	0.27	0.078
Investment	9077	0.272	0	0.026	0.022
RatioEnvrPat	9077	1	0	0.069	0.148
CSR	9077	8	0	4.911	2.45
ESG	9077	8	1	4.155	1.064
EPI	9077	23.479	15.773	19.119	0.982
CI	9077	863.93	0	623.101	139.019
GTFP	9077	1.176	0.88	1.062	0.08
Labprod	9077	18.931	10.464	13.782	0.789
DT	9077	0.019	0	0.001	0.002

DGI	9077	5636	0	119.882	361.914
OI	9077	309	0	0.828	6.189
Size	9077	27.011	17.654	21.807	1.032
Top5	9077	0.947	0.078	0.546	0.882353
TobinQ	9077	78.751	0.764	2.157	1.858
ListAge	9077	3.434	0	1.585	0.873
Board	9077	2.833	1.386	2.074	2.833

(二) 研究方法与研究模型

1. 基准回归模型

为分析数字技术对民营企业低碳发展的影响及异质性问题，实证验证假设 1，本文构建如下基准模型：

$$GT_{it} = \alpha + \beta_1 DT_{it} + \gamma_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， GT_{it} 为*i*企业在*t*年的低碳发展水平， DT_{it} 为*i*企业在*t*年的数字技术水平， X_{it} 为控制变量， ε_{it} 为随机扰动项。

2. 中介效应模型

为考察民营企业数字化转型程度在数字技术水平与低碳发展水平的中介作用，实证验证假设 2，本文参考温忠麟等提出的逐步回归法，在模型（1）的基础上建立了如下模型：

$$GT_{it} = \alpha + \beta_1 DT_{it} + \gamma_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GT_{it} = \alpha + \beta_1 DT_{it} + \beta_2 DGI_{it} + \gamma_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

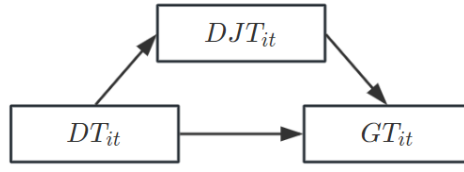


图 3 模型示意图

3. 门槛效应模型

$$GT_{it} = c + aDT_{it}I + \theta X_{it} + \varepsilon_{it}(q_{it} \leq \gamma) \quad (4)$$

$$GT_{it} = c + bDT_{it}I + \theta X_{it} + \varepsilon_{it}(q_{it} \geq \gamma) \quad (5)$$

$$GT_{it} = c + aDT_{it}I(q_{it} \leq \gamma) + bDT_{it}I(q_{it} \geq \gamma) + \theta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, GT_{it} 为 i 企业在 t 年的低碳发展水平 (被解释变量), DT_{it} 为 i 企业在 t 年的数字技术水平 (解释变量), $I(\cdot)$ 为示性函数; c 为截距项; q_{it} 为门槛变量, γ 为门槛估计值; X_{it} 为控制变量, ε_{it} 为随机扰动项; 门槛值两边 DT_{it} 对 GT_{it} 的影响程度分别为 a 和 b 。

4. TOPSIS 法

TOPSIS 法, 即“逼近理想解排序法” (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), 是一种严谨而理性的综合评价方法。此方法通过比较有限个评价对象与理想化目标的接近程度, 从而实现对评价对象的科学排序, 进而确定最优方案。TOPSIS 法的基本思想是, 最优的方案应该是与负理想解 (各指标取最劣值的组合) 最远离, 与正理想解 (各指标取最优值的组合) 最接近的方案。根据民营企业低碳发展水平指标, 构建初始决策矩阵 n 个评价对象, m 个

评价指标，建立以下的标准化矩阵：

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{pmatrix} \quad (7)$$

从而定义最大值

$$\begin{aligned} Z^+ &= (Z_1^+, \dots, Z_m^+) \\ &= (\max\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \max\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\}) \end{aligned} \quad (8)$$

定义最小值

$$\begin{aligned} Z^- &= (Z_1^-, \dots, Z_m^-) \\ &= (\min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \min\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\}) \end{aligned} \quad (9)$$

定义第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个评级对象与最大值距离为

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^+ - z_{ij})^2} \quad (10)$$

定义第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个评级对象与最小值距离为

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^- - z_{ij})^2} \quad (11)$$

可以得出第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个评级对象未归一化的得分

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (12)$$

很明显 $0 \leq S_i \leq 1$ ，且 S_i 越大 D_i^+ 越小，即接近最大值。

可以将得分归一化：

$$S'_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (13)$$

满足 $\sum_{i=1}^n S'_i = 1$ 。

从而根据归一化后的得分即为 n 个评价对象的综合评价结果，以此建立民营企业低碳发展水平的综合评价体系。

5. 面板效应模型选择

在初步完成模型设定之后，需要确定适合本文研究内容的模型。根据相关文献，面板数据回归分析主要用到三种模型：**混合回归模型**、**固定效应模型**以及**随机效应模型**，基于此，本文将对数据进行 ADF 单位根检验，保证数据平稳，随后进行 Hausman 检验，以期获得适合本文研究内容的模型。

(1) 混合回归模型

混合估计模型建立在这样一个假设之上，即解释变量对被解释变量的影响程度在不同个体之间是恒定的，即不随个体的变化而有所差异。从横截面维度和时间维度两个层面来看，模型假定不同个体或不同时间点之间在影响程度上不存在显著差异。基于这一假设，我们可以将所有数据视作一个整体，采用普通最小二乘法（OLS）进行参数估计，以探究解释变量与被解释变量之间的关系。

假设

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m,it} + u_{it} \quad (14)$$

$i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; m = 1, 2, \dots, M$

其中 Y_{it} 为被解释变量， α 表示截距项， $X_{m,i}$ 为解释变量， β_{km} 为相应的回归系数， u_{it} 为误差项（标量）。写成矩阵形式如下：

$$Y_i = 1_T \alpha + X_i \beta + U_i \quad (15)$$

其中，

$$\begin{aligned} Y_i &= \begin{bmatrix} Y_{i1} \\ Y_{i2} \\ \vdots \\ Y_{iT} \end{bmatrix}_{T \times 1}, 1_T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{T \times 1}, X_i \\ &= \begin{bmatrix} X_{1i1} & X_{2,1} & X_{3i1} & \cdots & X_{Ki1} \\ X_{1i2} & X_{2i2} & X_{3i2} & \cdots & X_{Ki2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ X_{1iT} & X_{2iT} & X_{3iT} & \cdots & X_{KiT} \end{bmatrix}_{T \times M}, \\ \beta &= \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}, U_{i \times 1} = \begin{bmatrix} u_{i1} \\ u_{i2} \\ \vdots \\ u_{iT} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

进一步简化，可写为

$$Y = 1_{NT} \alpha + X \beta + U \quad (17)$$

其中，

$$\begin{aligned} Y &= \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix}_{NT \times 1}, 1_{NT} = \begin{bmatrix} 1_T \\ 1_T \\ \vdots \\ 1_T \end{bmatrix}_{NT \times 1}, X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}_{NT \times M}, \\ \beta &= \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}_{M \times 1}, U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_T \end{bmatrix}_{MT \times 1} \end{aligned} \quad (18)$$

对任何个体和截面，回归系数 α 和 β_m 都相同。

(2) 固定效应模型

在面板数据线性回归模型，若各个截面或时间序列间，仅存在模型截距项的差异性，而斜率系数保持一致，则此类模型被归类为固定效应模型。

其模型的一般形式如下

$$Y_{it} = \alpha_0 + \lambda_i + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m,it} + u_{it} = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m,it} + u_{it} \quad (19)$$

其中， Y_{it} 表示因变量 $X_{m,it} (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; m = 1, 2, \dots, M)$ 表示自变量， $u_{it} (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T)$ 表示随机误差项。

也可写成如下矩阵形式

$$Y_i = 1_T \alpha_i + X_i \beta + U_i \quad (20)$$

其中，

$$\begin{aligned} Y_i &= \begin{bmatrix} Y_{i1} \\ Y_{i2} \\ \vdots \\ Y_{iT} \end{bmatrix}_{T \times 1}, \quad 1_T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{T \times 1}, \quad X_i \\ &= \begin{bmatrix} X_{1,i1} & X_{2,i1} & X_{3,i1} & \cdots & X_{M,i1} \\ X_{1,i2} & X_{2,i2} & X_{3,i2} & \cdots & X_{M,i2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{1,iT} & X_{2,iT} & X_{3,iT} & \cdots & X_{M,iT} \end{bmatrix}_{T \times M} \\ \beta &= \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}_{M \times 1}, \quad U_i = \begin{bmatrix} u_{i1} \\ u_{i2} \\ \vdots \\ u_{iT} \end{bmatrix}_{T \times 1} \end{aligned} \quad (21)$$

进一步简化，可写为

$$Y = M\alpha + X\beta + U \quad (22)$$

其中,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix}_{NT \times 1}, \quad M = \begin{bmatrix} 1_T & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1_T & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1_T \end{bmatrix}_{NT \times N}$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix}_{N \times 1}, \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}_{NT \times M}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}_{M \times 1}, \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (23)$$

(3) 随机效应模型

基本形式如下

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m,it} + \lambda_i + w_{it} \quad (24)$$

模型也可以用矩阵表示为

$$Y_i = 1_T \alpha_i + X_i \beta + W_i \quad (25)$$

$$Y_i = \begin{bmatrix} Y_{i1} \\ Y_{i2} \\ \vdots \\ Y_{iT} \end{bmatrix}, \quad 1_{T \times 1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{T \times 1}, \quad X_i = \begin{bmatrix} X_{1,i1} & X_{2,i1} & X_{3,i1} & \cdots & X_{M,i1} \\ X_{1,i2} & X_{2,i2} & X_{3,i2} & \cdots & X_{M,i2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{1,iT} & X_{2,iT} & X_{3,iT} & \cdots & X_{M,iT} \end{bmatrix}_{T \times M},$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix}_{M \times 1}, \quad W_i = \begin{bmatrix} w_{i1} \\ w_{i2} \\ \vdots \\ w_{iT} \end{bmatrix}_{T \times 1} \quad (26)$$

进一步简化, 可写为

$$Y = M\alpha + X\beta + W \quad (27)$$

其中,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix}_{NT \times 1}, M = \begin{bmatrix} 1_T & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1_T & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1_T \end{bmatrix}_{NT \times N}, \quad (28)$$

$$1_T = \begin{bmatrix} X_1 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix}_{N \times 1}, X = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}_{NT \times 1}$$

五、数字技术促进民营企业低碳发展的实证结果与分析

（一）民营企业低碳发展水平

项	信息熵值 e	信息效用值 d	权重(%)
Investment	0.971	0.029	12.488
RatioEnvrPat	0.848	0.152	64.994
EPI	0.995	0.005	2.001
CI	0.995	0.005	2.036
ESG	0.992	0.008	3.324
CSR	0.98	0.02	8.374
Labprod	0.997	0.003	1.288
GTFP	0.987	0.013	5.495

熵权法的权重计算结果显示，Investment 的权重为 12.488%、RatioEnvrPat 的权重为 64.994%、EPI 的权重为 2.001%、CI 的权重为 2.036%、GTFP 的权重为 5.495%、ESG 的权重为 3.324%、Labprod 的权重为 1.288%、CSR 的权重为 8.374%，其中指标权重最大值为 RatioEnvrPat（64.994%），最小值为 Labprod（1.288%），由此权重可计算出民营企业低碳发展的综合评价指数。RatioEnvrPat 和 Investment 的权重占比最高，说明对于技术创新对于民营企业低碳发展来说极为重要。

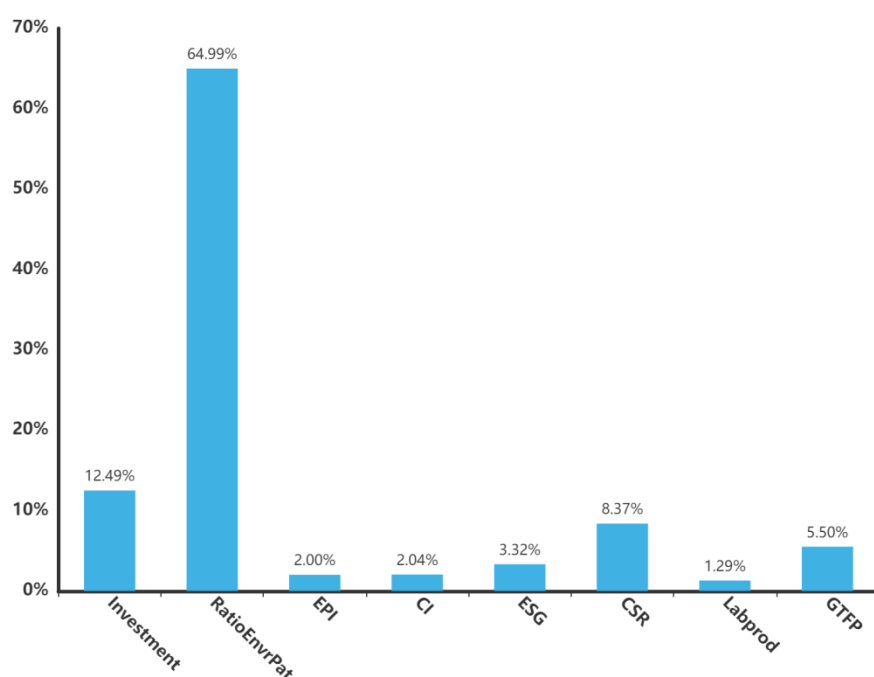


图 4 民营企业低碳发展指标权重

（二）相关性分析

本节对各种变量进行 Pearson 相关性分析，结果见表。

表 5 相关性分析表

	GT	DT	DGI	OI	Size	Board	Top5	TobinQ	Employ
GT	1.00***								
DT	0.182***	1.00***							
DGI	-0.009	0.108***	1.00***						
OI	0.047***	0.011	-0.031***	1.00***					
Size	0.189***	-0.003	0.167***	-0.02*	1.00***				
Board	-0.041***	-0.011	-0.224***	0.007	-0.167***	1.00***			
Top5	-0.09***	0.057***	0.061***	0.038***	-0.345***	-0.065***	1.00***		
TobinQ	0.029***	0.004	0.442***	0.005	0.488***	-0.504***	0.029***	1.00***	
Employ	0.019*	-0.037***	0.082***	-0.007	0.166***	-0.098***	-0.062***	0.101***	1.00***

***、**、*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平

从上表可知，数字技术水平和民营企业低碳发展水平、

数字化转型程度均呈正相关关系，并在 1%的显著性水平上显著。也就是说企业数字技术应用水平越高，其低碳发展水平、数字化转型程度越高。数字技术水平和开放式创新程度的相关性不显著，说明其可能不仅仅存在简单的线性关系，而是有更深层次的作用机制。

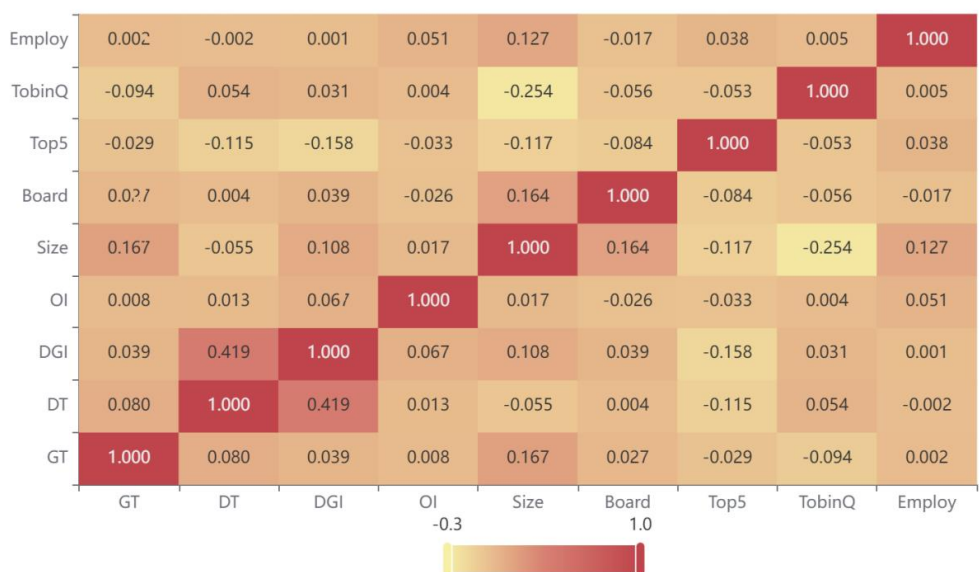


图 5 相关性热力图

（三）基准回归分析

在基准回归之前，本文首先对被解释变量、解释变量和控制变量进行多重共线性检验，检验结果如下表：

表 6 多重共线性检验

	VIF	1/VIF
DT	1.02	0.980
Size	1.48	0.675
ListAge	1.76	0.568
TobinQ	1.14	0.878

Board	1.03	0.968
Top5	1.36	0.735
Mean VIF	1.30	

可知，变量的最大 VIF 值为 1.76，最小值为 1.02，模型整体的 VIF1.30，远小于 10。故变量之间不存在多重共线性问题。基于此进行基准回归分析，首先，本文通过 hausman 检验来确定使用随机效应模型或固定效应模型。模型结果与 hausman 检验结果见表 7。

表 7 hausman 检验结果表

	(1)	(2)
	GT	GT
DT	4.319*** (4.597)	4.875*** (7.550)
Size	0.024*** (13.381)	0.022*** (16.645)
ListAge	0.007*** (3.827)	-0.004*** (-2.659)
TobinQ	-0.002*** (-3.443)	-0.002*** (-3.951)
Board	-0.013* (-1.766)	-0.021*** (-3.630)
Top5	-0.087***	-0.070***

	(-7.519)	(-8.040)
_cons	-0.183***	-0.105***
	(-4.643)	(-3.633)
FE	YES	NO
RE	NO	YES
N	9077	9077
R ²	0.103	0.096
Hausman 检验	P=0.0000	

经检验，P 值为 0.0000，拒绝原假设，故选择固定效应模型。

接下来，本文进行固定效应模型类型的选择，生成时间虚拟变量并进行回归，检验时间变量的显著性，判断是否需要使用时间固定效应模型。结果发现，P 值为 0.0000，则在后续问题中，本文使用双向固定效应模型完成实证分析。数字技术水平与企业低碳发展水平的基准回归结果如表 8。

表 8 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	GT	GT	GT	GT
DT	10.793*** (7.444)	2.103* (1.834)	4.319*** (3.520)	1.946* (1.706)
Size			0.024*** (8.887)	0.013*** (4.718)

ListAge			0.007*** (2.971)	-0.023*** (-8.394)
TobinQ			-0.002*** (-2.607)	-0.001 (-1.121)
Board			-0.013 (-1.459)	-0.002 (-0.306)
Top5			-0.087*** (-5.576)	-0.044*** (-2.772)
_cons	0.260*** (186.797)	0.222*** (70.414)	-0.183*** (-3.335)	0.004 (0.069)
控制变量	NO	NO	YES	YES
时间	NO	YES	NO	YES
个体	YES	YES	YES	YES
N	9077	9077	9077	9077
R ²	0.017	0.149	0.103	0.164

表 8 报告了基准回归的检验结果，列(1)报告了数字技术水平指数对企业低碳发展水平的单变量回归结果，数字技术水平的回归系数为 10.793，且在 1%水平上显著；列(2)报告了增加年份时间固定效应后的单变量回归结果，数字技术水平的回归系数为 2.103，在 10%水平上显著；列(3)报告了增加 Size、ListAge、TobinQ、Board、Top5 等作为控制变量后的回归结果，数字技术水平的回归系数为 4.319，且在 1%水

平上显著。列(4)报告了增加年份时间固定效应后的基准回归结果，数字技术水平的回归系数为 1.946，且在 10%水平上显著。结果表明，数字技术水平指数推动了企业低碳水平的发展，本文的假说 H1 得到验证。

（四）稳健性检验

为保障回归结果的可信度，本文进行了一系列稳健性检验，包括更改为 LSDV 模型、对各变量进行 1%缩尾处理等，回归结果均与前文主效应的研究结论一致。

1.更改模型

表 9 LSDV 模型检验结果

	GT
DT	1.946** (2.13)
Size	0.013*** (7.17)
ListAge	-0.023*** (-9.92)
TobinQ	-0.001 (-1.12)
Board	-0.002 (-0.35)
Top5	-0.044***

	(-2.81)
	-0.025
_cons	(-0.62)
时间	YES
个体	YES
N	9077
R ²	0.601

2.稳健性检验——1%缩尾处理

表 10 缩尾处理检验结果

	GT_w
DT_w	2.839** (2.32)
Size_w	0.013*** (5.03)
ListAge_w	-0.023*** (-8.61)
TobinQ_w	-0.000 (-0.52)
Board_w	0.000 (0.04)
Top5_w	-0.044*** (-2.81)

_cons	-0.015 (-0.27)
时间	YES
个体	YES
N	9077
R ²	0.181

（五）内生性分析

本文虽已尽可能控制影响民营企业低碳发展的其他变量，但不可避免产生遗漏变量偏误或样本选择偏误等内生性问题，本文使用解释变量的滞后一期作为工具变量进行回归，并采用两阶段最小二乘法（Two-stageLeastSquares，2SLS）模型对样本数据重新进行回归。内生性检验如表 5 所示。

表 11 内生性分析

	(1)	(2)
	DT	GT
L.DT	0.984*** (239.70)	
DT		2.896*** (5.70)
Size	0.000 (0.43)	0.013*** (13.89)
ListAge	-0.000**	-0.007***

	(-2.04)	(-4.90)
TobinQ	0.000	-0.001
	(0.41)	(-1.39)
Board	0.000	0.018***
	(0.77)	(3.74)
Top5	-0.000	-0.023***
	(-0.87)	(-3.35)
Constant	0.000	-0.005
	(0.20)	(-0.26)
固定效应	控制	控制
Observations	7,488	7,488
R-squared	0.889	0.139

由表 11 第一阶段结果可知，工具变量对数字技术水平指数的影响在 1%的显著性水平上为正，说明两者之间具有较强的相关性；由第二阶段回归结果可知，在考虑了内生性问题之后，数字技术水平指数对企业低碳发展水平的正向影响依然在 1%的显著性水平上显著。

（六）异质性分析

为进一步分析企业所在地区差异、上市年限、职权分配等情况，对研究样本进行进一步的异质性分析，结果如表 12、表 13 所示。

1.异质性分析——地区

鉴于不同企业位于长江经济带的不同区域，存在经济差异及地域差异，从而对企业低碳发展水平的影响具有异质性，因此本文将长江经济带上中下游划分，探究其异质性。

本文根据样本所在地区为依据，将样本划分为长江经济带中上下游三组，上游包括重庆市、四川省、贵州省、云南省；中游包括江西省、湖北省、湖南省；下游包括上海市、江苏省、浙江省。进一步分析企业数字技术水平对企业低碳发展影响的区域异质性，结果如表 12 所示。

表 12 异质性分析

	(1)上游	(2)中游	(3)下游
	GT	GT	GT
DT	-0.681 (-0.187)	0.910 (0.458)	3.667* (1.699)
Size	0.011* (1.804)	0.008 (1.294)	0.014*** (4.108)
ListAge	-0.023** (-2.181)	-0.005 (-0.660)	-0.027*** (-8.358)
TobinQ	-0.000 (-0.027)	-0.000 (-0.529)	-0.001 (-1.316)
Board	0.001 (0.075)	0.029 (1.425)	-0.008 (-0.807)

	-0.063	0.024	-0.048**
Top5	(-1.360)	(0.648)	(-2.542)
	(5.212)	(7.883)	(10.504)
_cons	0.032	-0.039	0.010
	(0.245)	(-0.283)	(0.157)
时间	YES	YES	YES
个体	YES	YES	YES
N	934	967	7176
R ²	0.198	0.253	0.155

由上表可知，在长江经济带中游地区，企业数字技术水平在 10% 的显著性水平上正向影响其企业低碳发展水平；在长江经济经济带上下游地区，企业数字技术水平对企业低碳发展影响不显著。上述结果表明，在中游区域，企业通过引入和应用数字技术，如智能化管理、大数据分析、云计算等，不仅提高了生产效率和产品质量，还显著促进了节能减排和资源的高效利用。数字技术的应用使得企业能够更精确地控制生产过程中的能耗和排放，从而实现了低碳发展的目标。而在长江经济带的上游和下游地区，企业数字技术水平对低碳发展的影响不显著，这归因于区域间的发展阶段、产业结构、技术基础及市场环境的差异，以及政策支持、资源配置的不足。同时，企业对于数字技术和低碳发展的认知程度及实施意愿的缺乏，也限制了这些地区企业数字技术转化为低

碳发展实际成效的能力。

2. 异质性分析——ListAge（上市年限）

鉴于不同公司上市年限不同，使得其在发展方向和发展策略上有所不同，从而对企业低碳发展水平的影响具有异质性，本文将根据上市年限从小到大样本均分为低中高三类，进一步分析企业数字技术水平对企业低碳发展影响的区域异质性，结果如表 13 所示。

表 13 异质性分析

	(1)低	(2)中	(3)高
	GT	GT	GT
DT	-0.681 (-0.187)	0.910 (0.458)	3.667* (1.699)
Size	0.010* (1.682)	0.012** (1.969)	0.011** (2.350)
ListAge	-0.033*** (-5.327)	0.005 (0.195)	-0.019 (-0.547)
TobinQ	-0.003** (-2.006)	-0.001 (-0.955)	-0.001 (-1.196)
Board	-0.012 (-0.935)	-0.018 (-1.262)	0.001 (0.088)
Top5	-0.060* (-1.947)	-0.005 (-0.175)	-0.033 (-1.131)

	0.101	0.006	0.046
_cons	(0.730)	(0.047)	(0.366)
时间	YES	YES	YES
个体	YES	YES	YES
N	3026	3312	2739
R ²	0.042	0.100	0.131

由上表可知，上市年限较高的企业在其数字技术水平与企业低碳发展水平之间存在着正向关系，并且这种关系在 10% 的显著性水平上得到了验证。这意味着，对于那些在市场上运营时间较长、经验更为丰富的企业来说，它们在数字技术方面的投入和应用能够显著地促进其低碳发展水平。而对于新上市的企业来说，它们可能需要更加注重资源积累、战略调整和管理经验的学习，以便在未来更好地利用数字技术来推动低碳发展。

六、数字技术促进民营企业低碳发展的影响机制分析

(一) 中介效应分析

在理论分析中,本文提出数字技术通过促进民营企业数字化转型从而帮助企业低碳发展。为了探究数字技术水平赋能企业低碳发展的作用机制,本文选择企业数字化转型程度作为中介变量。为了检验企业数字化转型程度在其中的中介效应,本文基于双向固定效应模型,进一步构建以企业数字化转型程度为中介变量的中介效应模型进行实证检验。中介效应结果如表 14 所示。

表 14 中介效应检验结果

	(1)	(2)	(3)
	GT	DGI	GT
DT	4.771*** (4.94)	89076.33*** (45.17)	1.927*** (3.90)
DGI			0.00000472* (1.99)
Size	0.0135*** (14.97)	18.701*** (4.68)	0.013*** (14.86)
ListAge	-0.011*** (-9.20)	70.737*** (13.77)	-0.011*** (-9.39)
TobinQ	-0.001 (-1.30)	-0.900 (-0.46)	-0.001 (-1.29)

Board	0.016*** (3.60)	8.219 (0.43)	0.016*** (3.59)
Top5	-0.027*** (-4.26)	-57.715** (-2.09)	-0.0263=*** (-4.22)
_cons	-0.071 (-3.53)	-475.616 (-5.36)	-0.068*** (-3.41)
固定效应	控制	控制	控制
N	9,077	9,077	9,077
R-squared	0.142	0.226	0.143

注：***、**、*分别表示在 0.01、0.05、0.10 水平上显著。

企业数字化转型程度在中介效应检验中即存在直接效应也存在间接效应，数字技术水平对企业的综合得分指数有显著的正向影响，且这种影响部分通过数字化转型程度来中介。企业提升数字技术水平并推进数字化转型，可以有效提升其低碳发展水平，本文的假说 H2 得到验证。

（二）门槛效应分析

为检验开放式创新水平对主效应可能存在的门槛效应，本部分以开放式创新程度作为门槛变量，基于门槛模型对面板数据集进行门槛效应估计。表 15 显示，以开放式创新程度作门槛变量具备的门槛效应在单门槛和双门槛时 P 值分别为 0.0133 和 0.0300，通过了统计学意义上 5%的水平下的显著性检验。

表 15 门槛效应检验结果

门槛数	门槛值	F 值	P 值	临界值		
				10%	5%	1%
第一门槛	0.7599	26.69	0.0133	14.3403	18.3754	32.2323
第二门槛	0.7271	35.50	0.0300	19.7817	28.4561	41.4719
第三门槛	1.7864	25.38	0.4133	57.7329	67.0555	82.0970

因此，开放式创新程度适合采用双门槛效应模型进行估计。最终计算得出开放式创新程度门槛值为 0.7599 和 0.7271。本文的假说 H3 得到验证。

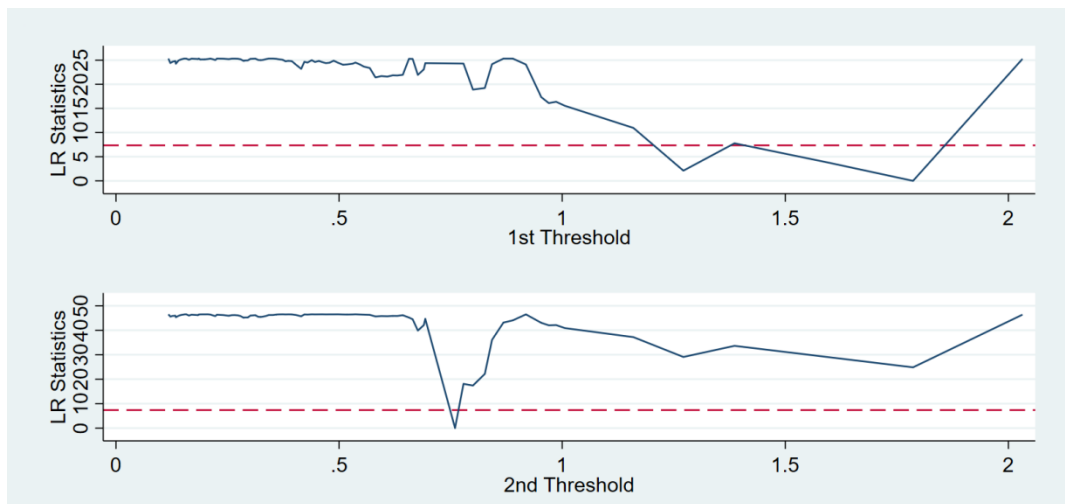


图 6 门槛效应检验结果

七、结论与建议

本文聚焦于中国长江经济带的 11 个省级行政区，涵盖了 2013 年至 2022 年的面板数据，全面而深入地剖析民营企业低碳发展的内在机制，揭示数字化转型在促进企业低碳发展中的重要作用。这些发现不仅为企业实现可持续发展提供了有益的启示和借鉴，还为相关政策制定者提供了有力的决策依据。因此，综合定量和定性分析的结果，提出以下政策建议。

（一）加强数字基础设施建设，提供良好规制环境

实证分析结果显示，数字技术能促进沿线民营企业实现低碳发展，发展循环经济，推动各产业向绿色低碳方向转型升级，加速经济带向绿色低碳模式转变。因此，政府部门需不断加强数字基础设施建设，充分挖掘数据资源的潜力，营造一个良好的规制环境。首先，政府部门应激励与数字经济相关的领域发展，实现产学研一体化，消除数据孤岛现象，构建信息“聚集地”和资源“对接器”，助力企业突破技术限制，大步迈向绿色发展。此外，地方政府应通过税收减免、研发资助和激励机制等措施，鼓励企业在生产过程中始终贯彻环保的理念，营造一个稳定的宏观经济政策环境，减少企业在转型过程中的经济负担。最终，政府需制定关于企业环境信息公开的法规和标准，对企业的环保表现和碳排放情况进行评估，以此激发企业向低碳发展转型的动力。

（二）加强核心技术开发，提升绿色金融服务质效

民营企业利用数字技术推动实现低碳发展，需要绿色金融服务提供的资金支持。因此，金融机构需致力于关键技术的创新与升级，以提高绿色金融业务的质量和效率。首先，金融机构应构建先进的金融数据系统，不断推进技术革新，增强数据处理能力，减少与企业间的交易成本，更精准地进行客户分析与跟踪。其次，金融机构应扩展其绿色金融产品线，积极探索与碳排放权相关的各种金融产品，打造一个多层次、多样化的绿色金融市场，从而提升服务效率。最后，金融机构应提供专业的咨询服务和风险评估，协助企业评估绿色项目的可行性及其潜在风险，支持企业在可再生能源、清洁技术和环境保护项目上的发展，推动低碳经济的稳定与长远发展。只有金融机构不断加强核心技术开发，提升绿色金融服务质效，企业才能够充分借助金融市场实现绿色发展、低碳发展、高质量发展。

（三）主动优化生产流程，培育绿色智慧生产方式

长江经济带拥有丰富的创新资源和较强的科技转化能力，结果显示数字技术能激发民营企业的创新潜能，促进清洁能源、智能管理、循环经济等各领域的新技术、新业态发展。企业研发和应用新材料，可以提高能源使用效率，促进科研成果的产业化，从而为整个长三角区域注入新的增长活力，从长三角区域向外拓展，为全国范围内民营企业进行低

碳转型创新发展提供范式。因此，企业需主动改进其生产过程，加快产业结构的优化，以培养出环保和智能化的生产模式。首先，企业应增加对研发的投资，更新生产设施，促进工业自动化在生产过程中的应用，以实现从原材料采购到产品制造、废物处理和资源再利用的全链条低碳转型。其次，企业应全面审视产品的设计、制造、分销和回收利用，特别是在关键行业中实施清洁生产改革，以提升生产效率和环境标准，将低碳理念融入到智能制造体系中。最后，企业应促进不同社会主体之间的信息交流，充分利用数据资源，打破技术障碍，促进资源共享和优势互补，共同推进污染减排和碳排放降低，携手推动可持续的低碳发展。

（四）保持开放式创新，推动高质量低碳发展

从研究结果来看，数字技术能够促进企业高质量低碳发展，且对企业高质量低碳发展的影响存在开放式创新的门槛效应。开放式创新程度越高，越有利于释放数字技术对企业低碳发展的促进作用。对此，企业应当优化资源配置，充分利用数字化转型在资源构建、资源集中和资源激活过程中的潜力。企业需要加速融入数字生态系统，主动与供应链和产业园区等产业集群建立联系，通过工业互联网平台促进协作创新，增强资源的整合与应用能力，为推动高质量低碳的发展打下坚实的基础。同时，企业也需要扩大开放式创新的合作领域，同时维持适度的合作紧密度。作为国家创新驱动战

略的核心力量，企业应积极构建广泛的开放式创新网络，加速先进知识的吸纳、转化与应用，确保自身的独立性和核心竞争力，为持续的竞争优势提供支持，以促进低碳发展。

附录：参考文献

- [1] 屠西伟,张平淡.企业数字化转型、碳排放与供应链溢出[J/OL].中国工业经济,2024,（04）:133-151.
- [2] 邢灿.智慧城市升级城市全域数字化转型提速[N].中国城市报,2024-05-27.
- [3] 何珺.全域数字化转型分步实施构筑城市竞争新优势[N].机电商报,2024-05-27.
- [4] 钟廷勇,胡俊.企业数字化转型与 ESG 表现——基于管理者学习理论视角[J/OL].会计之友,2024,（11）:118-126.
- [5] 张志鹏, 胡泊.绿色低碳高质量发展背景下的民营企业环境合规[C]//《法治实务》集刊 2024 年第 1 卷——区域协调发展的法治保障研究文集.北京市顺义区人民法院.
- [6] 王砚羽,陈逸涵.低碳城市试点政策与企业数字化关注度——基于中国制造业上市公司的准实验研究[J].北京邮电大学学报（社会科学版）,2024,26（01）:31-47.
- [7] 孙琳.践行绿色发展理念民营企业向绿而行[N].人民政协报,2024-01-05（005）.
- [8] 张倩,朱奕翰.碳排放权交易对制造业企业低碳转型的影响研究——以数字化转型为中介变量[J].煤炭经济研究,2023,43（09）:29-39.
- [9] 张倩,凌雁.绿色金融赋能金华民营企业高质量发展的路径研究[J].产业创新研究,2023,（17）:141-143.

- [10] 初磊,杨佳琪,于婉凝.民营鲁企向“绿”向“新”[N].经济导报,2023-09-13(002).DOI:10.28420/n.cnki.njjdb.2023.000058.
- [11] 谢涛,刘子正,倪欣悦.绿色低碳环境下民营企业转型演化研究[J].中国市场,2023,(16):111-114.
- [12] 陈怡,卢慧航.绿色共富愿景下民营经济角色定位和作用路径——以浙江省长兴县为例[J].湖州职业技术学院学报,2023,21(01):90-94.
- [13] 汪大兰,左小明,董晓敏.低碳经济背景下广东省民营企业转型升级研究[J].商讯,2023,(03):5-8.
- [14] 林晓艳,闫鹏宇,林贤锦.福建民营企业绿色低碳转型的实践与路径创新[J].福建工程学院学报,2022,20(05):450-455.
- [15] 民营企业在绿色低碳高质量发展中大有可为[N].人民政协报,2022-06-23(003).
- [16] 郭沛瑶,马乾龙,尹志超.数字化转型是企业低碳发展的“助燃剂”吗?——来自中国上市公司的微观证据[J].财经问题研究,2024,(01):72-85.
- [17] 杏稼龙,吴福象,徐霞.数字技术对企业无形资产投入强度的影响[J].山西财经大学学报,2024,46(05):43-56.
- [18] 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,2

023（3）:97-115.

- [19] 钟坚,冯峥.知识产权制度建设与企业数字技术创新——来自中国制造业上市公司的证据[J/OL].广东财经大学学报:1-15
- [20] 王瑶,王秀芝.数字技术对制造业生产效率的影响研究[J].科技广场,2024（02）:47-58.
- [21] 萨茹拉,马婷婷,杜晓彤.数字普惠金融对农村居民收入影响分析——基于 282 个地级以上城市面板数据[J].金融理论与教学,2024,42(04):29-37
- [22] 潘胜男.研发支出视角下企业 ESG 表现对绿色技术创新影响的研究[J].商展经济,2024,(15):186-192.
- [23] 李鹏,郭新玲,富潇睿,等.农户数字素养能否助力乡村生态振兴? ——基于中国家庭追踪调查(CFPS)数据的验证[J/OL].林业经济,1-16[2024-09-13]
- [24] 朱信哲,李梅.数字普惠金融助力农业数字化转型的影响研究——来自中国 A 股农业上市企业的经验证据[J].商展经济,2024,(09):61-64.