

数字化转型赋能企业碳排放管理研究

——基于 CSMAR 数字化转型指标的分析

杨平 吕雁琴 朱智猛

(新疆大学经济与管理学院, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要:随着数字技术的日益成熟,数字化转型已经成为推动企业碳排放管理能力提升的重要驱动力。本文基于 2011—2021 年中国 A 股上市企业的数据,检验了数字化转型对企业碳排放管理水平的影响及其内在机制。研究发现,数字化转型不仅降低了企业碳排放量,也改善了企业碳绩效,从“量”和“效率”两个方面同时促进了企业碳排放管理水平的提升。该结论在经过一系列内生性和稳健性检验后仍然成立。进一步研究发现,数字化转型对企业碳排放管理水平的提升作用在东部地区企业、国有企业和非重污染企业中更加明显。机制检验结果显示,数字化转型通过降低能源消耗量、优化能源结构以及促进绿色技术创新来提升企业碳排放管理水平。本文对数字化转型如何赋能企业碳排放管理提供了经验证据,为在双碳背景下加强数字化转型促进企业减排增效提供了一定参考。

关键词:数字化转型;企业碳排放管理;能源消耗;绿色技术创新

中图分类号:F27 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2025)02-0112-12

一、引言

实现“碳达峰、碳中和”,是贯彻新发展理念、构建新发展格局及推动经济高质量发展的内在要求。为此,国家及地方政府相继颁布了一系列关键性文件,旨在完善碳排放管理体系。2018 年 1 月,《中华人民共和国环境保护法》正式施行,标志着我国环境治理法治化迈出了重要一步。此后,碳排放管理相关政策体系不断健全。2021 年 10 月,国务院印发了《2030 年前碳达峰行动方案》;2024 年 7 月,国务院办公厅印发了《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》。这些文件明确提出了要建立健全减排增效的企业碳排放管理机制,并提供了系统的框架和明确的实施路径。在此基础上,地方政府也积极响应,制定了具体的企业碳排放管理实施细则,如 2019 年 1 月北京市开始实施的《碳排放管理体系

收稿日期:2024-05-29

基金项目:国家社会科学基金项目“新疆文化与旅游深度融合的路径与对策研究”(22XJY036);新疆大学优秀博士研究生创新项目“金融科技对绿色技术创新的影响研究”(XJU2024BS011)

作者简介:杨平(1994—),男,湖北荆门人,新疆大学经济与管理学院博士生;

吕雁琴(1973—),女,山东郓城人,新疆大学经济与管理学院教授,本文通讯作者;

朱智猛(1996—),男,陕西宝鸡人,新疆大学经济与管理学院博士生。

实施指南》，2022年实施的《长三角生态绿色一体化发展示范区碳达峰实施方案》，2024年4月山西省实施的《重点行业企业碳排放管理体系建设指南》。这些区域地方细则均将碳排放量和碳排放绩效作为碳排放管理的主要监测指标，为企业实施碳排放管理提供了更为明确的着力点和操作指导。企业作为碳排放的重要责任主体，是政府实施有关碳排放管理政策的主要作用对象，而碳排放量的减少和碳绩效的提升是企业碳排放管理的核心目标^[1]。其中，“减排”意味着企业要在生产端直接控制能源消耗，在一定时期内实现碳排放总量的下降，直观地体现出企业取得的碳排放管理成果。而“增效”则强调通过提升资源利用效率、优化生产流程等方式，增加企业每单位碳排放获得的营业收入，实现经济效益与环境效益的双赢，是企业碳排放管理水平提升的重要表现。因此，对碳排放量和碳绩效进行综合把控，是提升企业碳排放管理水平的必然要求。随着双碳“1+N”政策体系^①的逐步建立，完善碳排放管理已从企业自主选择行为转变为合规经营的内在要求，是企业积极履行社会责任的重要体现。

近年来，以大数据、云计算、人工智能等为代表的数字技术，正深刻影响着企业的生产方式及管理流程^[2]，为企业完成碳排放管理目标提供助力。《“十四五”数字经济发展规划》明确要求各产业在数字化转型过程中以推进绿色发展作为目标之一。中国信通院在《中国数字化绿色化协同转型发展进程报告(2023)》中指出，数字化、绿色化协同发展在助力双碳目标实现过程中发挥着重要作用。理论上，数字化转型可以通过推动绿色技术创新，提升生产效率，有效改善企业的碳排放管理能力，进而抑制企业碳排放水平^[3]。然而，数字化转型初期对能源的大量消耗可能会产生能源反弹效应，导致数字技术在短期内无法起到节能减排的效果^[4]，难以充分发挥其在企业碳排放管理中的积极作用。因此，探究数字化转型能否赋能企业碳排放管理及其传导路径，对于推动企业绿色转型升级具有重要的现实意义。

数字化转型改变了企业价值创造的底层逻辑，是企业可持续发展的重要驱动力。现有研究从企业碳排放量和企业碳绩效两个视角着手，探讨了数字化转型如何影响企业碳排放管理。一些学者发现数字化转型能够降低企业碳排放量和提升企业碳绩效。具体而言，从企业内部路径来看，数字化转型优化了要素配置效率^[5]，加强了环境信息披露程度^[6]，促进了技术进步^[7]。从企业外部路径来看，数字化转型缓解了企业的融资约束^[8]，强化了企业间的供应链合作^[9]，削弱了包括市场竞争和经济政策不确定性在内的外部压力^[10]。这些都为企业降低碳排放量和提升企业碳绩效营造了良好的内外部环境^{[11][12][13]}。另一些学者却指出数字化转型不利于企业碳排放量的降低和碳绩效的提升。他们认为信息和通信技术的发展应用促进了新能源的使用，例如数字化转型提高了用电量和用电强度^[14]，加剧了能源需求总量，形成了“数字化反弹”^[15]，反而增加了企业碳排放量^[16]，降低了企业碳绩效^[17]。还有部分学者认为数字化转型对企业碳排放量和碳绩效具有非线性影响。Higón等(2017)发现，数字化转型在通过增加电力消耗提高碳排放量的同时，也会通过应用智能系统来降低碳排放量，最终使数字化转型与碳排放量之间呈倒U型关系^[18]。王山和余东华(2024)发现，数字化转型在应用初期会降低企业碳绩效，但随着数字技术的深入使用，碳绩效会得到改善^[15]。

通过对现有文献的梳理可以发现，学界围绕数字化转型对企业碳排放的影响展开了较为丰富的探讨，但是尚未形成一致的结论，并且鲜有文献综合考虑数字化转型对企业碳排放量和企业碳绩效的影响。有鉴于此，本文可能的边际贡献主要有三点。第一，在研究视角方面，本文从实现碳排放量降低和碳绩效提升的企业碳排放管理的核心目标入手，综合观察企业碳排放管理的成效。具体地，本文从“减排”和“增效”两个视角研究数字化转型对企业碳排放管理水平的影响，以期更加全面地揭示数字化转型在企业碳排放管理过程中发挥的作用，为企业能否通过数字化转型实现碳排放管理目标提供有力的经验支撑。第二，在机制路径方面，本文从能源消耗和绿色技术创新两个角度拓展了数字化转型影响企业碳排放管理水平的理论机制，这有助于完善数字化转型赋能企业碳排放管理的理论框架。第三，在指标选取方面，本文使用CSMAR数据库中的数字化转型指标。该指标从战略引领、技

术驱动、组织赋能、环境支撑、数字化成果和数字化应用六个维度进行构建,更加全面地反映了企业数字化转型程度,为本文结论的合理性奠定坚实基础。

二、理论分析与研究假说

(一)数字化转型对企业碳排放管理的直接影响

数字化转型是指企业采用数字技术推动企业生产方式和组织管理数字化的过程^[19]。碳排放源于产品制造过程,而企业生产过程、组织管理是产品制造的两个重要方面。因此,本文从这两个角度阐明数字化转型如何直接影响企业碳排放管理。

从生产过程来看,数字化转型在企业生产过程中展现出巨大潜力,主要通过提升企业生产决策效率、引入智能化生产系统,促进企业碳排放管理水平提升。在需求端,企业通过运用数字技术扩大企业信息搜索的范围,以获取更全面的市场需求数据,帮助企业准确把握市场动态和预测消费者需求,并据此制定合理的生产计划,有效避免资源浪费与过度生产,从而减少碳排放,在“总量”上有利于企业碳排放管理。在供给端,数字化转型推动了企业生产设备的智能化升级,使生产流程更加智能化和精细化,这使得企业能够实时监控生产过程,根据产品状态自动地改进调整生产参数,提高生产效率和产品质量,确保生产过程的稳定性和高效性,这种生产方式能够增强企业市场竞争力,有助于改善企业销售业绩并实现规模经济,使企业能够以较低的碳排放获得更高的销售业绩,从而提高碳绩效,在“效率”上有利于企业碳排放管理水平的提升。

从组织管理来看,数字化转型可以通过提升企业内部信息共享协同能力和内部控制质量,优化企业碳排放管理。其一,数字化转型的一个鲜明特征在于数据的收集、处理与应用,这推动了企业各部门信息的共享与协同。而由各部门信息共享创造的集成化管理平台,将碳排放数据与企业的其他运营数据相连接,形成了全企业范围的碳排放管控体系,这不仅使得企业能够准确识别碳排放源,制定针对性的减排方案,而且还可以提高企业各部门执行碳减排方案的效率,以尽可能地降低碳排放量,提升企业碳排放管理水平。其二,数字化转型促使企业组织架构趋于扁平化和无边界化,有利于提高企业内部控制质量^[20]。基于内部控制理论,企业内控系统的逐步完善,有利于企业碳信息向外披露和内部监测,督促管理者及时报告并规范碳信息的披露行为。而碳信息披露质量的提升不仅避免了因信息不对称导致的环境监管风险,也为企业带来良好的声誉,有助于吸引更多的外部投资。外部资金的投入和良好的社会声誉激励,增强了企业购买先进节能环保设备的能力和动力,这不仅增强了企业产品生产能力,也有助于碳排放量减少,使企业能够以较低的碳排放获得更多的销售收入,实现碳绩效的提升,进而提升企业碳排放管理水平。据此,本文提出如下研究假设。

H1:数字化转型能够提升企业碳排放管理水平。

(二)数字化转型影响企业碳排放管理的路径分析

1.数字化转型、能源消耗与企业碳排放管理

能源是经济社会发展的关键要素,但以煤炭为主的化石能源消费是碳排放增加的主要原因之一^[21]。近年来,数字技术迅速发展,不仅有利于企业及时调整能源使用策略,提高资源配置效率,还促使建立了新型能源生态系统,从总体上改进了能源生产和消费模式,降低了能源消耗量,优化了能源使用结构,从而实现企业碳排放管理水平的提升。

一方面,企业借助数字技术的识别能力,对能源使用过程中的各个环节进行智能监测,识别与减少能源浪费,优化能源分配和使用策略,从而降低企业碳排放量,同时也有助于开发以新能源为代表的可再生能源^[22],提高清洁能源比重,减少对传统高碳能源的依赖,在“量”上有利于企业实现碳排放管理水平的提升。另一方面,企业凭借数字技术精准的统计分析能力和灵活的智能调整能力,协调企业发展过程中化石能源和清洁能源的使用比例,降低各种能源使用比例调整时的摩擦成本;此外,数字化管理模式使企业更加敏锐地洞察能源价格和能源供给状况,增强了企业面对能源价格波动、能源供给变动的反应能力,使其在应对市场变化时可以更灵活地调整能源使用结构,最大化提升企业的能源利用效率,在保证企业生产及经营利益最大化的同时兼顾环境效益,实现碳绩效水平的改善,在“效

率”上有利于企业实现碳排放管理水平的提升。综上,数字化转型通过使企业获得高效的数字技术识别、统计分析和智能调整能力,从能源消耗量和能源结构两方面实现能源使用的优化,促进企业碳排放管理水平的提升。据此,本文提出如下研究假设。

H2:数字化转型可以通过降低能源消耗量、优化能源结构实现企业碳排放管理水平的提升。

2.数字化转型、绿色技术创新与企业碳排放管理

数字化转型以特有的技术创新途径,尤其是通过绿色技术创新,对企业碳排放管理产生了积极影响。绿色技术创新有助于改进产品、流程和服务管理,并以实现环境可持续为目标^[23]。数字化转型不仅通过构建开放合作平台,提升了信息的挖掘能力和传输效率,推动企业资源配置优化,而且提高了信息透明度,使外部对企业的监督能力增强,形成倒逼机制,促使企业加大绿色技术研发投入,从而系统性地推动绿色技术创新,帮助企业实现碳排放管理水平的提升。一方面,绿色技术创新可以通过优化生产工艺与末端治理,有效降低碳排放总量,从生产源头上促进企业碳排放管理水平的提升^[24];另一方面,绿色技术创新通过改进生产流程、优化产品设计以及重构碳排放的治理范式^[25],不仅能够直接降低企业的碳排放量,而且能够改善企业的碳绩效水平。具体而言,绿色技术创新增加了社会各界对企业“绿色形象”的认可程度,提高了产品的市场竞争力,有助于企业通过规模经济效应进一步促进碳减排,并降低单位产值的碳消耗,实现碳绩效水平的提升。不仅如此,销售终端市场的积极反馈为企业持续改进碳排放管理体系提供动力,进而形成“绿色技术创新—碳绩效提升—市场认可”的良性循环,进一步提升了碳绩效水平,助力企业碳排放管理水平的提升。综上,数字化转型能够通过支持绿色技术创新增强企业的碳排放管理能力。据此,本文提出如下研究假设。

H3:数字化转型可以通过促进绿色技术创新实现企业碳排放管理水平的提升。

三、研究设计

(一)数据来源

本文选择2011—2021年中国A股上市企业作为研究样本,根据企业总部所在地将其匹配到地级市,然后按照以下原则对样本进行筛选:(1)剔除处于金融行业的企业样本;(2)剔除已经退市的企业样本;(3)剔除样本区间内ST、*ST和PT的企业样本。其中上市企业数据来自CSMAR数据库,地级市层面的数据来自《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国宏观经济数据库》《地级市统计公报》《地级市政府工作报告》《碳排放核算与数据集》和《中国信息产业年鉴》。同时,本文对少量缺失数据通过线性插值进行补充,并对所有连续型变量进行1%和99%水平的缩尾处理。为了减少数据的离散性,本文也对部分指标进行对数化处理。

(二)模型构建

为了考察数字化转型对企业碳排放管理水平的影响,本文构建了如下双重固定效应模型:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DCG_{it} + \alpha_2 controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, i 和 t 分别代表企业和年份。 Y_{it} 为被解释变量,表示企业碳排放管理水平,具体从企业碳排放量(CO_2)和企业碳绩效(CP)两个方面展开讨论。 DCG_{it} 表示 i 企业 t 年的数字化转型程度。 $controls_{it}$ 表示一系列控制变量。 μ_i 表示不随时间变化的企业个体固定效应。 δ_t 表示时间固定效应。 ϵ_{it} 表示随机扰动项。

(三)变量定义

1.被解释变量

根据上文可知,企业碳排放管理的核心是降低碳排放量和提升碳绩效。因此,本文将这两个指标作为企业碳排放管理水平的代理变量。囿于数据的可得性,本文借鉴王浩等(2022)的测度方法^[26],从上市企业每年披露的社会责任报告、可持续发展报告和环境报告中收集相关数据,并按照《温室气体核算体系》标准对企业碳排放核算后取自然对数,从而得到企业碳排放量(CO_2)指标。对于企业碳

绩效(CP)指标,本文借鉴了 Clarkson 等(2011)的方法^[27],用企业每单位碳排放获得的营业收入的自然对数值来衡量,单位碳排放所获得的营业收入越多,其碳绩效表现越佳。

2.核心解释变量

本文的核心解释变量为数字化转型(DCG),采用 CSMAR 数据库测算的数字化转型综合指标衡量。该指标根据战略引领、技术驱动、组织赋能、环境支撑、数字化成果和数字化应用 6 个一级指标加权计算得出,同时这 6 个一级指标下面又包括 31 个二级指标。相对于大多数文献仅使用数字化转型相关词频作为其代理变量不同,本文使用 CSMAR 数据测算的数字化转型综合指标,不仅克服了文本分析存在的语义模糊性和主观性局限,而且能够更加精确地量化企业数字化转型的深度和广度,从而全面地反映出企业数字化转型程度。

3.控制变量

为了缓解遗漏变量引起的内生性问题,本文控制了可能影响企业碳排放管理水平的诸多因素。其中,企业层面的控制变量包括:企业规模(Size),以企业期末总资产的自然对数值表示;财务杠杆(Lev),使用企业总负债与总资产之比表示;总资产净利润率(Roa),以公司净利润与总资产平均余额之比表示;现金流比率(Cash),以经营活动产生的现金流量净额除以总资产表示;第一大股东持股比例(Top1),以第一大股东持股份额占总股本的比重表示;企业年龄(Age),以所在年度与公司成立年份之差的自然对数值表示;企业价值(TBQ),以企业的市值与企业总资产之比表示。城市层面的控制变量包括:经济发展水平(Pgdp),采用各城市实际人均 GDP 的自然对数值衡量;产业结构(Str),采用第二产业产值占 GDP 的比重衡量;环境规制强度(Eru),采用环境词频数占政府工作报告总词频数的比重衡量。具体变量描述性统计结果见表 1。由表 1 结果可知,在企业碳排放管理水平变量中,碳排放量的最小值为 8.122,最大值为 17.322,标准差为 1.127;碳绩效的最小值为 4.795,最大值为 12.595,标准差为 0.348。这说明企业之间的碳排放管理水平虽存在差异,但整体分布相对集中。数字化转型变量的均值为 0.647,标准差为 0.866,表明企业数字化转型的整体水平尚不高,并且不同企业之间的数字化转型水平存在较大差异。其余变量结果与现有文献类似,在此不一一赘述。

表 1 变量描述性统计

变量类型	变量名称	符号	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	企业碳排放量	CO ₂	11594	11.528	1.127	8.122	17.322
	管理水平 碳绩效	CP	11594	10.044	0.348	4.795	12.595
核心解释变量	数字化转型	DCG	11594	0.647	0.866	0.000	4.828
	企业规模	Size	11594	22.246	1.100	19.528	27.897
企业层面 控制变量	财务杠杆	Lev	11594	0.429	0.196	0.016	0.996
	总资产净利润率	Roa	11594	0.041	0.065	-0.662	0.466
	现金流比率	Cash	11594	0.050	0.069	-0.657	0.489
	第一大股东持股比例	Top1	11594	0.343	0.146	0.024	0.891
	企业年龄	Age	11594	2.291	0.647	1.099	3.401
	企业价值	TBQ	11594	2.008	1.302	0.684	25.506
	经济发展水平	Pgdp	11594	8.895	1.078	5.033	10.674
城市层面 控制变量	产业结构	Str	11594	3.692	0.298	2.460	4.329
	环境规制强度	Eru	11594	0.003	0.001	0.000	0.012

四、实证结果与分析

(一)基准分析

表 2 展示了基准回归结果,所有模型均采用稳健标准误估计。其中,列(1)和(2)为未加入企业个体固定效应和时间固定效应的回归结果,列(3)和(4)加入企业个体固定效应,而列(5)和(6)进一步加

入时间固定效应。实证结果表明,数字化转型对企业碳排放量会产生显著的抑制作用,对企业碳绩效有显著的促进作用。具体来说,数字化转型对企业碳排放量和碳绩效的影响系数分别为-0.0316和0.0354,且均通过了1%的显著性水平检验。这表明数字化转型有助于企业碳排放管理水平提升,主要体现在碳排放量下降和碳绩效提升两个维度,证实了H1。

表2 基准回归检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	CO ₂	CP	CO ₂	CP	CO ₂	CP
DCG	-0.0224*** (0.0054)	0.0209*** (0.0037)	-0.0365*** (0.0067)	0.0327*** (0.0056)	-0.0316*** (0.0067)	0.0354*** (0.0056)
Size	0.8223*** (0.0063)	0.0222*** (0.0040)	0.7202*** (0.0163)	0.0168 (0.0152)	0.7409*** (0.0173)	0.0277* (0.0162)
Lev	0.7962*** (0.0337)	-0.2217*** (0.0226)	0.5036*** (0.0538)	-0.1315** (0.0498)	0.4452*** (0.0558)	-0.1619** (0.0524)
Roa	1.9007*** (0.1205)	-0.6130*** (0.0691)	1.6593*** (0.1128)	-0.5395*** (0.0793)	1.5642*** (0.1126)	-0.5876*** (0.0803)
Cash	0.7536*** (0.0952)	0.7007*** (0.0595)	0.2775*** (0.0839)	0.2265*** (0.0666)	0.3003*** (0.0850)	0.2412*** (0.0673)
Top1	0.1728*** (0.0365)	-0.0243 (0.0235)	0.0923 (0.0918)	-0.0054 (0.0761)	0.1095 (0.0918)	-0.0092 (0.0765)
Age	-0.0119 (0.0086)	0.0107* (0.0057)	0.1455*** (0.0200)	0.0100 (0.0160)	0.1881*** (0.0289)	-0.0099 (0.0234)
TBQ	-0.0008 (0.0044)	0.0005 (0.0026)	0.0090** (0.0040)	-0.0017 (0.0035)	0.0214*** (0.0046)	0.0056 (0.0040)
Pgdp	-0.0181*** (0.0053)	-0.0098** (0.0033)	0.0014 (0.0080)	-0.0039 (0.0066)	0.0029 (0.0081)	-0.0091 (0.0066)
Str	-0.0236 (0.0189)	0.1183*** (0.0126)	-0.0078 (0.0290)	0.0395 (0.0261)	-0.0347 (0.0301)	0.0212 (0.0273)
Eru	-7.3663** (3.6735)	-0.4759 (2.3422)	-9.3455** (3.4873)	2.4620 (2.8639)	-5.5334 (3.7176)	5.5606* (3.0329)
常数项	-6.9636*** (0.1716)	9.2580*** (0.1091)	-5.1021*** (0.3830)	9.5791*** (0.3599)	-5.5940*** (0.4159)	9.4850*** (0.3879)
个体固定效应	否	否	是	是	是	是
年份固定效应	否	否	否	否	是	是
N	11594	11594	11594	11594	11594	11594
R ²	0.783	0.044	0.918	0.389	0.919	0.399

注:括号中为稳健标准误,*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平上显著,下表同。

(二)稳健性检验

1.工具变量法

考虑到数字化转型与企业碳排放管理水平之间可能存在逆向因果关系,即碳排放管理水平的提升也会倒逼企业加快数字化转型。因此,本文采用工具变量法缓解可能存在的内生性问题,借鉴肖土盛等(2022)的方法^[28],以本地区同一年同行业内的其他企业数字化转型均值作为工具变量(IV)进行回归。从表3可以看出,在第一阶段的估计中,工具变量与数字化转型之间存在显著的正相关关系,且Kleibergen-Paap rk Wald F统计值均为12733.500,远大于15%显著性水平下的临界值8.96,排除了存在弱工具变量的可能性。此外,Kleibergen-Paap rk LM统计值均为1465.566,且p值均小于0.01,拒绝了工具变量不可识别的原假设,进一步确认了工具变量与内生变量之间的强关联性。在考虑逆向因果引起的内生性问题后,数字化转型对企业碳排放管理水平依然具有显著的提升作用,说明了本文结论的稳健性。

表 3

内生性检验

变量	CO ₂		CP	
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
IV	0.9080 *** (0.0080)		0.9080 *** (0.0080)	
DCG		-0.0285 ** (0.0090)		0.0316 *** (0.0074)
控制变量	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
Kleibergen-Paap rk LM statistic		1465.566		1465.566
Kleibergen-Paap rk Wald F statistic		12733.500		12733.500
N	11594	11594	11594	11594

2.城市固定效应

鉴于宏观环境可能会对企业数字化转型产生影响,本文通过加入城市固定效应,以控制在城市层面上不随时间变化的相关因素,这可以有效地消除不同城市间固有差异对研究结果的影响。表 4 中列(1)和(2)的回归结果显示,在控制城市层面不随时间变化的因素后,数字化转型对企业碳排放管理水平的提升作用依然显著,说明本文结论较为稳健。

3.剔除特殊行政区样本

为避免行政特性对基准回归结果产生影响,本文将企业所在地为北京、天津、上海和重庆四个直辖市的样本删除。表 4 列(3)和(4)的回归结果表明,数字化转型对企业碳排放管理水平仍然具有显著的提升作用,说明本文结论较为稳健。

4.改变时间范围

考虑到重大公共卫生事件的影响,本文将 2020 年及以后的样本剔除,重新对 2011—2019 年的研究样本进行检验。表 4 列(5)和(6)的回归结果与上文基准回归结果一致,证明了本文结论的稳健性。

表 4

稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	控制城市固定效应		剔除直辖市企业样本		改变时间范围	
	CO ₂	CP	CO ₂	CP	CO ₂	CP
DCG	-0.0309 *** (0.0068)	0.0363 *** (0.0056)	-0.0290 *** (0.0074)	0.0338 *** (0.0061)	-0.0301 *** (0.0083)	0.0346 *** (0.0068)
常数项	-5.5572 *** (0.4154)	9.4980 *** (0.3965)	-5.4824 *** (0.4626)	9.5315 *** (0.4578)	-5.0605 *** (0.4965)	9.1404 *** (0.4829)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	否	否	否	否
N	11594	11594	9323	9323	8726	8726
R ²	0.920	0.403	0.912	0.374	0.923	0.423

(三)异质性分析

1.区域异质性

相比中西部地区,我国东部地区在经济发展水平、基础设施建设以及政策支持等方面通常具有明显的优势。这种差异可能导致企业在数字化转型过程中面临的情况不同,从而影响企业碳排放管理效果。本文通过地区分组回归对此进行检验,表 5 列(1)和(2)的回归结果显示,从碳排放量和碳绩效两个方面来看,数字化转型对东部地区企业碳排放管理水平的提升效果最为明显,影响系数分别为 -0.0396 和 0.0391。表 5 列(3)~(6)的结果显示,数字化转型对中西部地区企业碳排放管理水平的影

响并不显著。可能的原因在于,东部地区数字化基础设施更加完善,企业更容易获得数字化转型所需的资源和技术,能够有效地利用数字化手段优化企业生产流程和提升能源使用效率,从而减少碳排放并提升碳绩效。而中西部地区的数字化发展水平和经济基础相对落后,企业在数字化转型过程中面临的挑战更多,如在资金投入、技术应用和人才支持等方面处于劣势,限制了数字化转型对企业碳排放管理水平正面影响的发挥。

表 5 企业区域异质性

变量	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)	
	东部地区企业样本						中部地区企业样本					
	CO ₂		CP		CO ₂		CP		CO ₂		CP	
DCG	-0.0396*** (0.0078)	0.0391*** (0.0066)	-0.0199 (0.0160)	0.0209 (0.0129)	0.0064 (0.0232)	0.0303 (0.0194)						
常数项	-5.3356*** (0.5042)	9.7593*** (0.4882)	-7.4516*** (0.8993)	9.4079*** (0.7289)	-4.6115*** (1.3620)	8.1040*** (1.1576)						
控制变量	是	是	是	是	是	是						
个体固定效应	是	是	是	是	是	是						
年份固定效应	是	是	是	是	是	是						
N	8384	8384	2013	2013	1189	1189						
R ²	0.922	0.409	0.922	0.397	0.894	0.385						

2. 企业所有制异质性

国有企业和非国有企业在资源获取、管理机制及决策流程等方面存在诸多差异,这些差异可能影响数字化转型的实施成效,使数字化转型对企业碳排放管理的影响存在异质性。本文根据企业所有制进行分组回归检验,表 6 列(1)和(2)的回归结果显示,在国有企业中,数字化转型对企业碳排放量的影响系数显著为-0.0609,而非国有企业显著为-0.0232,且组间系数差异检验 P 值为 0.000。这表明国有企业数字化转型对企业碳排放量的抑制作用更为突出。表 7 列(1)和(2)展示了数字化转型对碳绩效的回归结果,在国有企业样本中的影响系数为 0.0448,而在非国有企业中为 0.0334,且组间系数差异检验的 P 值为 0.040。这表明数字化转型对碳绩效的提升作用在国有企业中更为明显。总体来看,数字化转型对国有企业碳排放管理水平的提升作用更为突出。可能的原因在于,相比非国有企业,国有企业能够获得更多的政府支持和资源,有利于其采用新技术和执行环境政策。

3. 行业异质性

一方面,本文依据国家统计局《国民经济行业分类》(2019 年修改版)标准将企业划分为高科技企业和低科技企业。具体而言,将研发投入大、产品附加值高、国际市场前景良好的技术密集型企业认定为高科技企业,其余认定为低科技企业,据此进行分组检验。由表 6 列(3)和(4)及表 7 列(3)和(4)可知,数字化转型对碳排放管理水平的提升作用在高科技企业和低科技企业中均得到体现,但组间差异系数检验并未通过。这说明数字化转型对企业碳排放管理水平的提升作用在高科技企业和低科技企业中并不存在显著的差异。可能的原因是,尽管高科技企业通常具备较强的技术吸收能力,能够更快地引入和应用先进的数字技术,有效地发挥数字化转型对企业碳排放管理水平的积极影响,但是低科技企业的初始碳排放管理水平一般相对较低,引入数字技术带来的碳排放管理水平提升潜力更大,使数字化转型对其碳排放管理水平的提升作用并不弱于高科技企业。

另一方面,本文借鉴潘爱玲等(2019)的研究^[29],根据《上市公司环保核查行业分类管理名录》和《上市公司行业分类指引》(2012 年修订)将企业划分为重污染企业 and 非重污染企业,并进行分组检验。由表 6 列(5)和(6)及表 7 列(5)和(6)可知,相较于重污染企业,数字化转型对非重污染企业碳排放管理水平的提升作用更为突出,且组间系数差异检验结果也支持这一结论。这说明相较于重污染企业,数字化转型对非重污染企业碳排放的抑制效果更为突出,且在提升碳绩效方面也存在一定优势。可能的原因在于非重污染企业碳排放量较小,且更具灵活性,其主营业务所耗费的能源并不多。在数字化转型的推动下,非重污染企业能够更容易地调整生产流程和能源使用,实现企业碳排放管理水平的提升。

表 6

异质性检验 I

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国有企业	非国有企业	高科技企业	低科技企业	重污染企业	非重污染企业
	CO ₂					
DCG	-0.0609*** (0.0140)	-0.0232** (0.0076)	-0.0346*** (0.0079)	-0.0232* (0.0122)	-0.0201 (0.0124)	-0.0345*** (0.0080)
常数项	-5.6580*** (0.7419)	-5.2841*** (0.5000)	-5.3093*** (0.4920)	-6.0762*** (0.7701)	-3.7115*** (0.5886)	-6.3848*** (0.5606)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
N	4308	7227	7105	4453	4164	7398
R ²	0.920	0.902	0.916	0.918	0.925	0.919
组间 P 值	0.000		0.180		0.010	

表 7

异质性检验 II

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国有企业	非国有企业	高科技企业	低科技企业	重污染企业	非重污染企业
	CP	CP	CP	CP	CP	CP
DCG	0.0448*** (0.0122)	0.0334*** (0.0064)	0.0348*** (0.0068)	0.0318** (0.0099)	0.0282** (0.0105)	0.0362*** (0.0067)
常数项	8.8779*** (0.7836)	10.0824*** (0.3871)	9.6098*** (0.4462)	9.5425*** (0.5865)	9.0159*** (0.4936)	9.8795*** (0.5590)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
N	4308	7227	7105	4453	4164	7398
R ²	0.433	0.390	0.404	0.426	0.315	0.432
组间 P 值	0.040		0.370		0.050	

五、机制检验

根据上文的基准回归结果可知,数字化转型显著提升了企业碳排放管理水平,那么其中的作用机制如何?基于理论分析部分,本文聚焦能源消耗与绿色技术创新两个作用渠道,并构建机制检验模型对此进行识别。

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 DCG_{it} + \beta_2 controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, M_{it} 表示机制变量,分别为能源消耗和绿色技术创新。在探讨数字化转型如何通过能源消耗影响企业碳排放管理的过程中,本文使用能源消耗量(Ene)和能源结构(Est)共同衡量企业的能源消耗情况。其中,能源消耗种类主要包括天然气、液化石油气和电力,因此本文将企业对这些能源的消耗转化为标准煤并求和,得到企业能源消耗总量^[30]。对于能源结构,参考吕朝凤等(2024)的研究^[31],本文使用企业消耗的化石能源与二次能源产生的热值之比进行衡量。此外,本文以上市公司每年绿色专利申请占其专利申请总量的比重表征企业绿色技术创新水平(Gpat)。具体结果见表8。

列(1)的结果显示,数字化转型对企业能源消耗量的影响显著为负,表明数字化转型会通过抑制企业能源消耗提升企业碳排放管理水平。列(2)结果显示,数字化转型对企业能源结构的影响显著为负,说明数字化转型能够通过优化企业能源结构实现企业碳排放管理水平的提升,H2得证。关于绿色技术创新作用渠道的检验结果见表8中的列(3)。回归结果表明,数字化转型对绿色技术创新的影响显著为正,说明随着企业数字化转型的推进,企业的绿色技术创新能力也随之增强,进而有利于企业碳排放管理水平的提升,证实了H3。

表 8

作用机制:能源消耗与绿色技术创新

变量	(1)	(2)	(3)
	Ene	Est	Gpat
DCG	-0.0075 ** (0.0030)	-0.0071 ** (0.0022)	0.0429 *** (0.0094)
常数项	9.3452 *** (0.2794)	-0.7542 *** (0.1459)	-1.3135 ** (0.4367)
控制变量	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
N	11594	11594	11594
R ²	0.924	0.758	0.771

六、结论与政策建议

本文利用 2011—2021 年中国上市企业数据,深入讨论了数字化转型对企业碳排放管理水平的影响。研究结果表明,数字化转型会显著提升企业碳排放管理水平,且主要表现在抑制企业碳排放和提升企业碳绩效两个方面。在经过多种内生性检验及稳健性检验后,这一结论依然稳健。异质性分析发现,数字化转型对企业碳排放管理水平的影响在不同地区、所有制和行业之间存在差异。具体而言,数字化转型对企业碳排放管理水平的提升作用在东部地区企业、国有企业和非重污染企业中更加突出。机制检验结果表明,数字化转型能够通过降低能源消耗量、优化能源结构和促进绿色技术创新实现企业碳排放管理水平的提升。结合上述的研究结论,本文具有如下政策启示。

第一,加速企业数字化转型,以数字化赋能企业碳排放管理。首先,企业应加大数字化投入力度,完善数字化基础设施,包括云计算平台、大数据中心、物联网系统等,为企业碳排放管理提供更好的技术支持。其次,企业应尝试将数字技术深度融入生产、管理等各个环节,通过智能化手段提升生产效率,改善企业碳排放管理。最后,加强数字化人才队伍建设,提升员工的数字化素养和技能,确保数字化转型能够持续推动企业碳排放管理水平提升。同时,政府在实施推动企业数字化转型政策的过程中,应充分依据企业所有制特征、所处行业污染程度以及地区禀赋特征精准施策,避免一刀切的情况出现。

第二,企业应为数字技术的使用配备专业人才,充分利用数字技术识别企业的能耗情况,通过智能化手段优化能源使用方案,降低能耗水平。此外,企业应积极建立完善的能源管理系统,为数字化转型推动能源结构优化创造良好的基础条件,实现对不同类型能源使用情况的精准监控和智能调整,以最小的成本提高清洁能源使用比例,为改善企业碳排放管理提供有力支撑。

第三,企业应充分利用数字化转型带来的技术创新机遇,加大绿色技术的研发力度,并建立绿色技术转移和转化机制,推动绿色技术从研发到应用的快速转化,降低企业应用绿色技术的门槛和成本。此外,企业应进一步推动绿色技术在企业全生命周期的广泛应用,通过数字化转型实现绿色技术的快速推广和普及,进一步提升企业碳排放管理水平。

注释:

①双碳“1+N”政策体系中的“1”指的是 2021 年《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,这是管总管长远的,在一系列双碳“1+N”政策体系中发挥统领作用。“N”则包括能源、工业、交通运输、城乡建设等分领域分行业碳达峰实施方案,以及科技支撑、能源保障、碳汇能力、财政金融价格政策、标准计量体系、督察考核等一系列保障方案。

参考文献:

- [1] 张洋,薛志峰,胡姗,等.适宜碳排放双控的生产与消费侧管理目标研究[J].中国人口·资源与环境,2024(10): 11—17.
- [2] 戚聿东,肖旭.数字经济时代的企业管理变革[J].管理世界,2020(6):135—152.
- [3] 屠西伟,张平淡.企业数字化转型、碳排放与供应链溢出[J].中国工业经济,2024(4):133—151.

[4] 张思思,崔琪,马晓钰.数字要素赋能下有偏技术进步的节能减排效应[J].中国人口·资源与环境,2022(7):22—36.

[5] Feng, S., Mao, Y., Li, G., et al. Enterprise Digital Transformation, Biased Technological Progress and Carbon Total Factor Productivity[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2025 (1): 154—184.

[6] Chen, Y., Zhang, M., Matthews L., et al. Digital Transformation and Environmental Information Disclosure in China: The Moderating Role of Top Management Team's Ability[J]. Business Strategy and the Environment, 2024, 33 (8): 8456—8470.

[7] 王凯,关锐,胡鸣镝,等.数字经济与碳排放绩效:以中国276个城市为例[J].环境科学研究,2023(9):1824—1834.

[8] 赵家悦,卢锐.企业数字化转型的融资价值:基于数字化转型的新度量[J].会计研究,2024(6):55—69.

[9] 雷玉桃,彭文祥,张萱.工业数字化转型的碳减排效应研究——来自中国行业的经验证据[J].经济经纬,2024(1):97—109.

[10] 邓慧慧,曾庆阁,赵晓坤.制造业企业数字化转型、外部压力与碳绩效[J].浙江社会科学,2023(10):36—48.

[11] 张悦,来逢波,程钰.市域尺度上市企业数字化转型演变及对碳排放影响[J].经济地理,2024(5):106—116.

[12] 李治国,孔维嘉,李兆哲.制造业企业数字化转型的碳绩效:内在机制与经验证据[J].当代经济科学,2024(4):100—111.

[13] 张尧,于丽洁,王元彬,等.新质生产力、供应链深度数字化与企业碳绩效——来自关键数字技术专利的证据[J].中国人口·资源与环境,2024(10):80—93.

[14] Salahuddin, M., Alam, K. Internet Usage, Electricity Consumption and Economic Growth in Australia: A Time Series Evidence[J]. Telematics and Informatics, 2015, 32(4): 862—878.

[15] 王山,余东华.数字经济的降碳效应与作用路径研究——基于中国制造业碳排放效率的经验考察[J].科学学,2024(2):310—321.

[16] Lee, J. W., Brahmasrene, T. ICT, CO2 Emissions and Economic Growth: Evidence from a Panel of ASEAN[J]. Global Economic Review, 2014, 43(2): 93—109.

[17] 易子榆,魏龙,王磊.数字产业技术发展对碳排放强度的影响效应研究[J].国际经贸探索,2022(4):22—37.

[18] Higón, D. A., Gholami, R., Shirazi, F. ICT and Environmental Sustainability: A Global Perspective[J]. Telematics and Informatics, 2017, 34(4): 85—95.

[19] 陶锋,王欣然,徐扬,等.数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J].中国工业经济,2023(5):118—136.

[20] 张钦成,杨明增.企业数字化转型与内部控制质量——基于“两化融合”贯标试点的准自然实验[J].审计研究,2022(6):117—128.

[21] 苏健,梁英波,丁麟,等.碳中和目标下我国能源发展战略探讨[J].中国科学院院刊,2021(9):1001—1009.

[22] 陈晓红,胡东滨,曹文治,等.数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J].中国科学院院刊,2021(9):1019—1029.

[23] 解学梅,韩宇航.本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”?——基于注意力基础观的多案例研究[J].管理世界,2022(3):76—106.

[24] 侯林岐,蔡书凯,王雅莉.政府“向绿而行”如何提升企业碳绩效?——基于政府绿色采购视角[J].软科学,2024(12):26—35.

[25] 肖仁桥,王冉,钱丽.数字化水平对企业碳绩效的非线性影响——绿色技术创新的中介作用[J].科技进步与对策,2023(5):96—106.

[26] 王浩,刘敬哲,张丽宏.碳排放与资产定价——来自中国上市公司的证据[J].经济学报,2022(2):28—75.

[27] Clarkson, P. M., Li, Y., Richardson, G. D., et al. Does It Really Pay to Be Green? Determinants and Consequences of Proactive Environmental Strategies[J]. Journal of Accounting and Public Policy, 2011, 30(2): 122—144.

[28] 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(12):220—237.

[29] 潘爱玲,刘昕,邱金龙,等.媒体压力下的绿色并购能否促使重污染企业实现实质性转型[J].中国工业经济,2019(2):174—192.

[30] 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

Research on Digital Transformation Empowering Enterprise Carbon Emission Management: An Analysis Based on CSMAR Digital Transformation Indicators

YANG Ping LV Yanqin ZHU Zhimeng

(School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: With the increasing maturity of digital technology, digital transformation has become an important driving force to promote the improvement of corporate carbon emission management capability. Based on the data of Chinese A-share listed companies from 2011 to 2021, this paper examines the impact of digital transformation on the carbon emission management level of enterprises and the intrinsic mechanism. It is found that digital transformation not only reduces corporate carbon emissions, but also improves corporate carbon performance, and simultaneously promotes corporate carbon emission management level from both "quantity" and "efficiency" aspects. This finding remains robust after considering a series of endogeneity and robustness tests. Further research found that the effect of digital transformation on carbon emission management level of enterprises is more prominent among enterprises in the eastern region, state-owned enterprises and non-heavy polluting enterprises. The results of the mechanism test show that digital transformation improves the carbon emission management of enterprises by reducing energy consumption, optimizing energy structure, and promoting green technology innovation. This paper provides empirical evidence on how digital transformation empowers enterprise carbon emission management, and provides some reference for strengthening digital transformation to promote enterprise emission reduction and efficiency in a dual-carbon context.

Key words: Digital Transformation; Enterprise Carbon Emission Management; Energy Consumption; Green Technology Innovation

(责任编辑:姜晶晶)