

文章编号: 1673-1646(2025)03-0217-08

# 数字化转型何以促进光伏企业绿色创新绩效?

## ——基于全要素生产率的中介作用

郭小强, 张爱琴\*, 刘章良, 薛文川

(中北大学 经济与管理学院, 山西 太原 030051)



**摘要:** “碳达峰、碳中和”背景下, 光伏企业能否实现数字化转型关系到产业的降本增效、绿色低碳及高质量发展程度。文章基于2011年—2022年沪深A股光伏上市公司数据, 实证检验了数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的影响。研究发现: 数字化转型显著提升了光伏企业绿色创新绩效; 在作用机制上, 数字化转型通过增强企业的全要素生产率, 进而提升了光伏企业的绿色创新绩效; 内部控制作为调节变量不仅直接促进光伏企业的绿色创新绩效, 而且能够正向调节数字化转型对绿色创新绩效的影响; 异质性分析表明, 数字化转型对光伏企业的绿色创新绩效的影响具有显著的产权性质差异性, 相较于非国有企业, 国有企业影响效应更为显著。

**关键词:** 数字化转型; 光伏企业; 绿色创新绩效; 全要素生产率; 内部控制

**中图分类号:** F49; F832.51 **文献标识码:** A **doi:** 10.62756/xbsk.1673-1646.2025071

**引用格式:** 郭小强, 张爱琴, 刘章良, 等. 数字化转型何以促进光伏企业绿色创新绩效?: 基于全要素生产率的中介作用[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2025, 41(3): 217-224.

# How Does Digital Transformation Contribute to Green Innovation Performance in Photovoltaic Enterprises?

## ——Based on the Mediating Role of Total Factor Productivity

GUO Xiaoqiang, ZHANG Aiqin\*, LIU Zhangliang, XUE Wenchuan

(School of Economics and Management, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Under the background of “carbon peak and carbon neutrality”, whether photovoltaic (PV) enterprises can realize digital transformation is related to the industry’s degree of cost reduction and efficiency, green and low-carbon and high-quality development. The article is based on the data of PV enterprises listed in Shanghai and Shenzhen A-shares from 2011 to 2022, the impact of digital transformation on the green innovation performance of PV enterprises is empirically tested. The study found that: ① digital transformation significantly improves the green innovation performance of PV enterprises; ② in terms of the mechanism of action, digital transformation enhances the green innovation performance of PV firms by increasing their total factor productivity, which in turn enhances the green innovation performance of PV enterprises; internal control as a moderating variable not only directly promotes the green innovation performance of PV enterprises but also positively moderates the impact of digital transformation on green innovation performance; ③ heterogeneity analyses show that the impact of digital transformation on the green innovation performance of PV enterprises is significantly differentiated by the nature of property rights, and the impact effect of state-owned firms is more significant compared to non-state-owned firms.

收稿日期: 2024-06-18

基金项目: 2022年山西省哲学社会科学规划课题: 山西中部城市群创新能力差异及高质量协同发展路径研究(2022YY104); 2023年山西省科技战略研究专项: 数智赋能背景下山西省区域创新生态系统运行效率测度、障碍因素及对策研究(202304031401078)

作者简介: 郭小强(1995—), 男, 硕士生, 从事专业: 工商管理。E-mail: 2858111203@qq.com。

\*通信作者: 张爱琴(1975—), 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事专业: 创新管理。E-mail: zhangaiqin@nuc.edu.cn。

**Key words:** digital transformation; photovoltaic enterprises; green innovation performance; total factor productivity; internal control

“双碳”(碳达峰、碳中和)是中国转变经济发展方式的主导战略,也是促进经济高质量发展的关键举措,而绿色技术创新则是保证“双碳”目标得以成功实现的关键。光伏产业作为新能源产业的中坚力量,在推动实现绿色经济,实现“双碳”目标中扮演着关键角色<sup>[1]</sup>。近年来,中国光伏企业借助国内外多重的市场、政策机遇获得了迅猛发展,在产业规模、市场拓展、产业体系方面占据领先优势。然而,中国光伏企业仍面临发电成本高、储能技术滞后、技术创新不足等发展痛点,迫切需要在新一代数字科技支撑和引领下,对光伏企业上下游全要素进行数字化升级改造,提升创新绩效,以应对产业发展挑战<sup>[2-3]</sup>。在“十四五”规划期间,光伏行业将与新一代信息技术深度融合。预计2025年全球将有90%的光伏电站完成数字化改造。基于此,全流程的智能化将使得电站管理变得更加简便,有效降低人力成本,并增强预警及应对风险的能力。因此,为了满足可持续发展的需求,光伏企业必须适应不断变化的市场环境,持续推动自身的数字化转型进程。

理论上,现有研究重视数字化技术在企业的应用和贡献。数字化技术广泛应用在企业的碳排放监控、环境数据精准采集和可视化等生产环节的各部分<sup>[4]</sup>。数字化转型不只是增强了信息资源的价值,也促进了知识的共享与协同发展,突破了不同行业间的技术障碍<sup>[5-6]</sup>,此外,它还扩展了企业获取信息的途径,补充了企业在信息收集和分析方面的短板<sup>[7]</sup>。但现有研究对于特定环境条件下特定行业的数字化转型促进机制研究不足,特别是针对数字化转型“赋能”光伏企业绿色创新发展的内在机制缺乏充分的探讨,不利于光伏企业有针对性地制定绿色创新战略从而推动产业可持续发展。

综上,本研究从实践和理论中的待解决问题出发,剖析数字化转型对光伏企业绿色创新的驱动效应,探索在“双碳”目标下光伏企业实现智能化、网络化、数字化的绿色创新之道;在研究机制上,尝试搭建企业数字化转型影响光伏企业绿色创新绩效的理论框架,揭示数字化转型驱动光伏企业绿色创新的影响路径。同时,本文还基于光伏企业驱动效果的相关因素进行分组回归,分析光伏企业数字化驱动绿色化的产权性质异质性效果,旨在为光伏企业在“双碳”目标指导下的绿色转型提供实践参考。

## 1 文献回顾与研究假设

### 1.1 企业数字化转型

企业数字化转型即将大数据、人工智能、云计算和物联网等先进技术整合使用,以此激发企业的全面变革。这一过程使企业能够灵活调整其商业和战略模式,优化操作流程,并以此增强市场竞争力<sup>[8]</sup>。早期研究强调数字化的技术特性<sup>[9-10]</sup>,通过技术视角分析数字化的定义、含义及核心要素,集中讨论数字化转型的策略与前期实施步骤<sup>[11]</sup>。后期,研究主要聚焦于数字化对宏观经济和微观企业,特别是企业经济效益的影响<sup>[12]</sup>。

理论上,企业数字化转型能积极促进管理、变革与创新。例如,高厚宾和王蕾瑞<sup>[13]</sup>指出,企业数字化转型对减轻融资限制、推动绿色技术创新有重要价值。王小林和杨志红<sup>[14]</sup>指出企业数字化转型利用要素替代、技术渗透以及竞争模式转变的融合效应,实现转型的经济社会价值,促进企业创新和高质量发展。刘海建等<sup>[15]</sup>从过程和结果的视角梳理并探讨了企业数字化引起的企业绿色创新,指出数字化促进了企业绿色创新的产出、降低了企业绿色创新成本以及企业数字化的绿色创新实现了环境绩效与经济绩效的统一。陈剑等<sup>[16]</sup>指出企业运营管理在数字化背景下的一些典型特征,并基于此构建了企业运营的理论体系和框架。

现有研究表明,在企业绩效的提高上,Farrington和Alizadeh<sup>[17]</sup>等研究发现,构建链式智能组织,利用数字化手段,可缩短调试周期,加速虚拟研发,提升研发成功率。在产品绩效的提升上,基于数字化转型对企业创新的影响研究,大都聚焦于运营管理和商业模式层面,通过变革组织结构及生产方式提升创新研发效率和绩效<sup>[18-19]</sup>。吴非等<sup>[20]</sup>从资本市场的角度提出,企业数字化显著提高了股票流动性水平。

### 1.2 绿色创新绩效

在学术界,对绿色创新绩效的评估主要呈现为两种主流方法,一是以绿色专利作为核心指标,通过这一单一维度来衡量绿色创新绩效,如杨戈宁<sup>[21]</sup>将专利申请量进行对数化处理后的数值作为测度企业绿色创新绩效的指标,考虑到了由于专利审核周期较长而产生的不稳定性 and 不确定性。二是基于投入与产出

的视角,构建了一个包含多个指标的综合评价体系来衡量绿色创新绩效,如王忠等<sup>[22]</sup>以质量和贡献为导向,借助投入-产出效率分析,构建科研项目绩效评价体系的概念模型及创新绩效综合评价指标。此外,对于绿色创新绩效的影响因素研究,主要涉及两个方面:外部环境与企业内部条件。外部环境为主要因素,包括了制度、市场和各项政策等。娄琬婷等<sup>[23]</sup>认为技术、市场与政府补贴均会对绿色创新绩效产生影响,政府补贴作为光伏产业发展过程中的重要一环,因此其对企业创新绩效的作用受到了学者们广泛关注,是光伏产业绿色创新能力提升的重要因素。企业内部因素主要在组织能力、组织战略及管理者水平三个方面发挥作用<sup>[24]</sup>。

综上所述,首先,对于数字化转型和创新绩效的研究大多数集中在文献综述和理论分析上,实证研究也主要是数字化转型对企业创新绩效直接影响路径的检验。鲜有文献将数字化转型与其他因素进行融合,并研究其对企业创新绩效的影响及其作用机理。其次,现有关于中介效应的研究主要从经济、社会和生态三个方面寻找中介变量,忽略了管理要素和生产要素对主效应具体作用机制和调节过程的探讨。虽然有少量研究关注了企业管理要素对机制过程的影响,但仍需要进一步的研究,因此选择企业全要素生产率、内部控制分别作为中介变量和调节变量展开研究。基于企业数字化前瞻性和管理、生产要素对创新绩效的影响,本文构建了数字化转型对光伏企业创新绩效影响的理论框架,在后文进一步分析并提出研究假设。

### 1.3 数字化转型与光伏企业的绿色创新绩效

从光伏企业视角看,现有文献主要探讨了宏观的产业政策和微观的经济绩效。在产业政策方面,董鸿源<sup>[25]</sup>和王茂福<sup>[2]</sup>等研究发现,通过产业政策对企业创新绩效的机制研究,梳理出光伏企业的创新体系和理论。在经济绩效方面,现有研究主要关注能够给企业带来经济绩效的人或行为,如经理人<sup>[26]</sup>、资源整合<sup>[27]</sup>和产业信用风险传染<sup>[28]</sup>等。刘扬等<sup>[26]</sup>指出,经理人技术创新管理能力在股权、债权融资对光伏企业技术创新质量影响关系中的重要作用并最终改善企业的管理进而带来经济效益。王国红等<sup>[27]</sup>研究指出,以参加相关经营活动的方式,资源整合能够帮助光伏企业增强价值的创造,同时资源整合能够改变企业获取价值的方式,助力企业动态价值链的延伸。宋凌峰等<sup>[28]</sup>研究发现,企

业之间的商业和担保信贷支持呈现出明显的顺周期特征,与自身风险敞口相比,企业核心层面对行业信贷风险传染的影响更为明显。

数字化转型可以直接影响光伏企业的绿色创新绩效。基于技术角度<sup>[29]</sup>,数字技术本质上属于一种环保、清洁的技术形态,而数字化转型的核心特征在于数字技术的运用,这种运用显著提升了企业的管理效能。数字化推动开放式创新模式的兴起,通过使用计算机辅助设计(computer-aided design,简称CAD)、大数据分析等工具,可以缩短研发周期,高效处理市场信息,提升创新绩效。基于管理角度<sup>[30]</sup>,数字化转型通过利用数字技术与供应商、研究机构等建立创新网络,保障企业创新环境的健康、有序性,降低创新活动的风险,从而为提升企业绿色创新绩效提供了保障。因此,本文提出如下假设:

H1: 光伏企业的数字化转型能够提升企业的绿色创新绩效。

### 1.4 企业全要素生产率的中介作用

数字化转型可以降低信息不对称程度,从而提高企业全要素生产率。其一,基于信息优势的角度,与传统的信息收集方式不同,数字化转型借助自动化工具、移动设备,从海量的信息中提取信息,使员工随时随地分享信息,帮助管理者更好、更快的理解信息并做出决策。其二,通过数字化手段,企业能够更高效地处理和利用信息,实现快速响应市场变化,为企业优化投资决策提供了有力支持。数字化转型为企业赋予了强大的数据处理能力,企业能够凭借数字平台和技术应对内部和外部的海量、非结构化、非标准数据<sup>[20]</sup>,有效将其转化为结构化和标准化的信息,从而提高信息的可用性。其三,基于成本的角度,数字化转型通过降低要素的转化成本,提升人力和技术创新效率,进而为创新绩效的提升创造了条件。可见,数字化转型有助于企业更准确地捕捉市场信息,企业可以更快更准确地对这些信息进行解读,从而快速作出市场预测和决策,优化生产流程,提升生产效率。

H2: 数字化转型通过提高全要素生产率来提升光伏企业绿色创新绩效。

### 1.5 内部控制的调节作用

内部控制对绿色创新绩效的影响主要体现在战略、风险和信

则,从而推动企业资源向绿色技术创新领域集中;从风险防范角度,内部控制通过构建风险预警机制,评估和辨识风险,确保绿色创新项目的顺利进行;从信息管理角度,内部控制着重于提升绿色创新信息的透明度和实时性,建立高效的信息交流渠道,为绿色创新决策提供有力支撑。

内部控制利用数字化转型带来的技术,如大数据分析等,不仅提升了自身的运作效率,也便于对绿色创新活动进行实时追踪,保障绿色创新流程的高效进展。数字化转型在数字赋能下促进企业经营活动与数字技术的结合,促使管理者权责分明,避免责任推诿,强化企业数字化下更严格的内部控制系统<sup>[31]</sup>,增加企业创新绩效。

内部控制通常借助制度和方法的制定与实施对企业风险进行识别、评估、控制和监督,有助于强化企业内部控制的效果和质量,保障企业在数字化转型过程中的创新过程顺利进行<sup>[32-33]</sup>,同时及时发现和解决问题,降低创新风险以及促进创新效率,进而提升创新绩效。相反,若企业内部控制质量不高,不能及时识别数字化转型下的机遇和挑战,增加企业违规风险<sup>[34]</sup>,进而会阻碍企业的创新活动,降低企业的创新绩效。因此,本文认为随着数字化转型不断推进,高质量的内部控制会增强数字化转型对企业创新绩效的促进作用。基于上述分析,提出假设如下:

H3:企业内部控制有助于提升企业的绿色创新绩效。

H4:内部控制水平正向调节数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的影响。

## 2 研究设计

### 2.1 研究样本与数据来源

本文研究2011年—2022年沪深A股光伏上市公司,其中绿色创新绩效的衡量以国家知识产权局公开发表的绿色专利信息为依据。数字化转型的原始数据依据信息披露平台巨潮资讯网上的年度报告。借鉴吴非<sup>[20]</sup>的做法,将该次数字化转型程度记为A类,基于以下五个维度:数字技术运用、云计算技术、大数据技术、区块链技术、人工智能技术,对76个数字化相关的词频进行统计分析。参考赵宸宇<sup>[35]</sup>的做法,将该次数字化转型程度记为B类,基于以下四个维度:现代信息系统、智能制造、互联网商业模式、数字技术应用,对99个数字化相关的词频进行统计分析。针对企业,构建一个数字化术语词典,并进一步将其

与Python的JIEBA分词库相结合,移除常见的停顿词,统计这些词汇在全年度的企业报告中出现的频率。内部控制信息是从迪博内部控制数据库中收集得来。控制变量是从CSMAR数据库中获取。对原始数据按照以下方式进行筛选:(1)排除了金融企业以及被标记为ST和\*ST的企业;(2)对所有连续变量进行了1%和99%的WINSORIZE缩尾处理,有效减少了极端值或异常值对数据分析的潜在干扰;(3)删除了存在严重异常的样本。最后,经过上述筛选和处理,获得了1800组高质量的样本数据。随后,使用STATA17.0统计分析软件对这些数据进行分析。

### 2.2 模型设定

以下是基于研究假设构建的模型:

$$\ln ipt = \alpha_0 + \alpha_1 \ln dt_t + \alpha_2 \text{controlst} + \sum \text{year} + \epsilon_t \quad (1)$$

$$TFPt = \beta_0 + \beta_1 \ln dt_t + \beta_2 \text{controlst} + \sum \text{year} + \epsilon_t \quad (2)$$

$$\ln ipt = \gamma_0 + \gamma_1 \ln dt_t + \gamma_2 TFPt + \gamma_3 \text{controlst} + \sum \text{year} + \epsilon_t \quad (3)$$

$$\ln ipt = \mu_0 + \mu_1 \ln dt_t + \mu_2 \text{controlst} + \mu_3 \ln dt_t \times \text{ict} + \sum \text{year} + \epsilon_t \quad (4)$$

$$\ln ipt = \mu_0 + \mu_1 \ln dt_t + \mu_2 \text{controlst} + \mu_3 TFPt \times \text{ict} + \sum \text{year} + \epsilon_t \quad (5)$$

其中, $ip_t$ 为光伏企业的绿色创新绩效; $dt_t$ 表示数字化转型; $\alpha_1$ 、 $\beta_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\mu_3$ 为本文的主要关注系数; $controls$ 为控制变量; $year$ 表示时间固定效应; $\epsilon_t$ 表示随机扰动项; $TFP_t$ 为中介变量; $ic_t$ 为调节变量;模型中下标 $t$ 表示年份。

### 2.3 变量测度

#### 2.3.1 被解释变量

光伏企业绿色创新绩效(innovation performance,简称 $ip$ )。借鉴刘宇嘉等<sup>[36]</sup>的研究做法,依据由世界知识产权组织整理的IPC(Intellectual Property Communication,知识产权委员会)绿色清单,有利于选择对环境友好型的专利技术,将从专利申请数量中筛选的绿色发明专利申请数量作为衡量绿色创新绩效的指标。按照世界知识产权组织的绿色专利分类准则,绿色专利被归为两大类:绿色发明专利与绿色实用新型专利。其中,绿色发明专利更能彰显企业的绿色创新力;同时,专利授权有滞后性,而专利申请数量较稳定<sup>[37]</sup>,从而更准确地体现企业的绿色创新产出。因此,采用绿色专利申请数加1后的自然对数作为衡量

绿色创新绩效的指标。

2.3.2 解释变量

数字化转型(digital transformation, 简称 *dt*), 文中参考了吴非等<sup>[20]</sup>的方法, 基于“数字技术实践”与“底层技术运用”两维度, 构建数字化转型词典, 提取公司年报相关词汇, 统计词频并对数化处理, 以评估数字化转型程度。

2.3.3 中介变量

全要素生产率(total factor productivity, 简称 *TFP*)。参照鲁晓东等<sup>[38]</sup>研究方法, 运用 LP 方法, 基于柯布一道格拉斯生产函数测算企业全要素生产率。

2.3.4 调节变量

内部控制(inner control, 简称 *ic*)。选取迪博数据库的“内部控制指数”为核心指标, 该指数融合了内部控制各环节要素, 结合独立董事、监事会意见及会计事务所权威评价, 准确反映企业内部控制质量<sup>[39]</sup>。

2.3.5 控制变量

参照以往研究, 本文选择企业规模(*size*)、管理层持股比例(*mshare*)、两职合一(*dual*)、应收账款占比(*rec*)、第五大股东持股比例(*top5*)以及上市年限(*listage*)为控制变量, 具体变量定义见表 1。

表 1 变量的定义

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	创新绩效	<i>ip</i>	ln(年度企业发明专利申请量+1)
解释变量	数字化转型	<i>dt</i>	ln(企业数字化相关词频统计量+1)
中介变量	全要素生产率	<i>TFP</i>	采用 LP 法测算得到
调节变量	内部控制	<i>ic</i>	迪博内部控制指数
控制变量	企业规模	<i>size</i>	年总资产的自然对数
	管理层持股比例	<i>mshare</i>	管理层持股数据除以总股本
	两职合一	<i>dual</i>	董事长与总经理是同一个人则为 1, 否则为 0
	应收账款占比	<i>rec</i>	应收账款净额与总资产的比值
	第五大股东持股比例	<i>top5</i>	前五大股东持股数量/总股数
	上市年限	<i>listage</i>	ln(当年年份-上市年份+1)

3 实证结果与分析

3.1 描述性统计

使用 STATA17.0 软件获得的描述性统计结果如表 2 所示, 基于此, 可以看出光伏企业的绿色创新绩效整体水平相对较低, 绿色专利申请的标准差为 2.02, 表明不同光伏企业的绿色创新绩效存在显著差异; 数字化转型程度的标准差为 1.04, 表明不同光伏企业的数字化转型程度也存在较大差异。此外, 标准差最大的是企业规模, 表明样本中企业规模存在较大差异。

表 2 变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	中位数	最小值	最大值
<i>lnip</i>	1 800.00	3.48	2.02	3.64	0.00	7.92
<i>lndt</i>	1 800.00	3.38	1.04	3.43	0.00	5.75
<i>TFP</i>	1 800.00	8.85	0.89	8.84	6.41	11.03
<i>ic</i>	1 800.00	622.50	156.40	657.60	0.00	808.60
<i>size</i>	1 800.00	23.15	1.14	23.05	20.71	25.86
<i>mshare</i>	1 800.00	0.15	0.38	0.02	0.00	2.80
<i>dual</i>	1 800.00	0.40	0.49	0.00	0.00	1.00
<i>rec</i>	1 800.00	0.14	0.09	0.13	0.00	0.58
<i>top5</i>	1 800.00	0.49	0.17	0.45	0.09	0.88
<i>listage</i>	1 800.00	2.27	0.80	2.40	-0.69	3.43

3.2 基准回归结果

如表 3 所示, 在未加入控制变量时, 列(1)显示数字化转型对绿色创新绩效影响的回归系数为 0.46, 且在 1% 的置信水平下显著为正, 表明数字

化转型能够明显提升光伏企业的绿色创新绩效。在加入控制变量和自变量时, 列(3)显示数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的回归系数为 0.30, 且在 1% 的置信水平下显著为正, 进一步表明数字化转型有利于提升光伏企业绿色创新绩效。由此验证了本文的研究假设 H<sub>1</sub> 成立。

表 3 数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的影响

	(1)	(2)	(3)
变量	<i>lnip</i>	<i>lnip</i>	<i>lnip</i>
<i>lndt</i>	0.46*** (3.91)		0.30*** (2.72)
<i>size</i>		0.34*** (3.28)	0.27** (2.44)
<i>mshare</i>		1.43*** (6.84)	1.74*** (6.49)
<i>dual</i>		-0.69*** (-2.78)	-0.76*** (-3.08)
<i>rec</i>		10.69*** (8.24)	9.59*** (6.98)
<i>top5</i>		-2.49*** (-3.38)	-2.39*** (-3.28)
<i>listage</i>		0.59*** (3.29)	0.63*** (3.51)
<i>_cons</i>	1.68*** (3.57)	-6.16** (-2.50)	-5.49** (-2.26)
<i>N</i>	1800.00	1800.00	1800.00
<i>R<sup>2</sup></i>	0.07	0.39	0.41
<i>adj. R<sup>2</sup></i>	0.05	0.37	0.38
<i>F</i>	3.86	18.08	21.30

注: 10%、5%和1%的水平上显著分别用\*、\*\*和\*\*\*表示, 下同。

### 3.3 中介效应检验

通过数字化转型,企业能够突破传统要素的局限,提供多元化的解决方案,进而消除绿色创新绩效中的壁垒,实现更高效、更环保的创新发展。这不仅有助于企业提升生产效率,还能有效推动绿色创新绩效的持续增长。选择全要素生产率作为企业生产率的度量指标,全要素生产率越高,资源配置效率越高,企业创新绩效越高。如表4所示,呈现了中介效应回归模型检验的结果。表4中列(1)显示企业数字化转型与全要素生产率的回归系数为0.13且在1%的置信水平上显著为正,列(2)显示加入全要素生产率后,全要素生产率与企业绿色创新绩效的回归系数为0.28且在10%的置信水平上显著为正。由此验证了H<sub>2</sub>。

表4 企业全要素生产率的中介效率和内部控制的调节效应

变量	(1) TFP	(2) lnip	(3) lnip	(4) lnip
lndt	0.13*** (3.07)	0.30** (2.58)	0.30*** (2.70)	0.11** (0.74)
TFP		0.28* (1.83)		
ic			0.00** (2.23)	
lndt*ic				0.00* (1.79)
size	0.56*** (14.85)	0.23* (1.69)	0.21** (2.05)	0.22** (2.13)
mshare	0.03 (0.30)	1.78*** (5.27)	1.76*** (5.26)	1.81*** (5.37)
dual	-0.13 (-1.46)	-0.73*** (-3.04)	-0.77*** (-3.25)	-0.78*** (-3.26)
rec	0.75 (1.55)	9.32*** (7.13)	9.07*** (7.00)	9.07*** (6.95)
top5	0.39 (1.56)	-2.47*** (-3.67)	-2.42*** (-3.65)	-2.47*** (-3.71)
listage	-0.04 (-0.77)	0.67*** (4.01)	0.72*** (4.32)	0.69*** (4.17)
_cons	-4.77*** (-5.58)	-5.19** (-2.14)	-5.07** (-2.24)	-4.34* (-1.84)
N	1 800.00	18 00.00	1 800.00	18 00.00
R <sup>2</sup>	0.56	0.40	0.42	0.41
adj. R <sup>2</sup>	0.55	0.38	0.40	0.39
F	42.65	19.89	20.91	20.53

### 3.4 调节效应检验

依据表4第(3)列的实证结果,可以得出内部控制与光伏企业绿色创新绩效呈显著正相关关系,验证了H<sub>3</sub>。由此推测实施内部控制的企业内部禀赋条件不同,每个企业善于通过运用不同的方法来利用外部力量进而实施内部控制,引进、消化和吸收新的内部控制方式,企业内部控制能够促进创新能力不足的资源型企业获得更为优质、高效、低成本、低污染的产

业链。

由表4第(4)列可知,内部控制与数字化转型交互效应的回归系数通过了10%的显著性水平检验,且积极增强绿色创新绩效,H<sub>4</sub>得到了验证。由此推测光伏企业获益于数字化转型带来的各类要素资源,而内部控制方式更好地与其结合作用于企业发展,从而促进光伏企业绿色创新绩效。

### 3.5 稳健性检验

进行替换因变量的稳健性检验,为了衡量光伏企业在绿色创新的实际绩效,选用绿色专利授权数量作为替代变量进行检验。通过计算绿色发明专利授权数量加1的自然对数,构建一个能够量化企业的绿色创新绩效的指标,并将其作为因变量的替代进行稳健性检验。如表5列(1)所呈现,光伏企业数字化转型与其绿色创新绩效之间在1%水平下仍然显著。由此表明本文回归结果具有稳健性。

进行替换自变量的稳健性检验,为了衡量光伏企业数字化转型的推进程度,选择当年上市公司年报中数字化相关的数字化转型程度B<sup>[38]</sup>作为替代自变量指标进行稳健性检验。通过这一稳健性检验,得到了表5列(2)的回归结果。该结果显示采用新的自变量度量方式与原始度量方式所得到的结果高度一致。由此表明上文基准回归结果具有稳健性。

表5 稳健性检验

变量	(1) lnlip	(2) lnip	(3) lnip
lndt	0.35*** (2.75)		0.24* (1.71)
lnlndt		0.43*** (4.38)	
controls/year	控制	控制	控制
_cons	1.64*** (3.50)	2.43*** (7.43)	2.55*** (4.51)
sigma_u			1.99*** (9.12)
sigma_e			0.88*** (17.84)
N	1 800.00	1 800.00	1 800.00
R <sup>2</sup>	0.06	0.08	
adj. R <sup>2</sup>	0.04	0.06	
F	3.05	4.85	

进行Tobit回归模型的稳健性检验,由于绿色专利申请数这一解释变量包含大量0值,并展现出明显的左截断特征,所以选择此回归模型进行稳健性检验。如表5列(3)所示,不仅证实了基准回归结果的稳健性,还进一步强化了数字化转型在推动光伏企业绿色创新绩效方面的积极作用。

### 3.6 异质性检验

企业产权性质的差异在企业战略、政策制定等多个方面发挥着不同的作用,因此进行产权性质的异质性分析对于提升光伏企业绿色创新绩效非常重要。

如表 6 所示,当以所有企业为研究样本时,由列(1)可知数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的回归结果显著为正。同时,为了更清晰地了解产权性质的影响,对所有样本进行了分组,分为国有企业和非国有企业两个样本,回归结果分组见列(2)和列(3)。结果表明,非国有企业结果的回归系数为 0.42,且在 1% 的水平上具有显著性,国有企业结果的回归系数为 1.07,且在 1% 的水平上具有显著性。国有企业的系数大于非国有企业,由此表明国有企业中数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的提升作用更显著。

表 6 基于产权性质的异质性检验

	(1) 全样本	(2) 国有企业	(3) 非国有企业
变量	<i>lnip</i>	<i>lnip</i>	<i>lnip</i>
<i>lndt</i>	0.46*** (3.91)	1.07*** (1.30)	0.42*** (3.60)
<i>controls/year</i>	控制	控制	控制
<i>_cons</i>	1.68*** (3.57)	0.42*** (0.17)	1.70*** (3.48)
<i>N</i>	1 800.00	532.00	1 268.00
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.07	0.07	0.09
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.05	-0.09	0.07
<i>F</i>	3.86	0.37	3.90

## 4 结论与启示

### 4.1 研究结论

本文多维度探究了数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的影响机理以及企业内在控制在其中的调节效应和企业全要素生产率在其中的中介效应。以 2011 年—2022 年中国沪深 A 股光伏上市公司为样本的实证结果表明:1) 数字化转型程度对绿色创新绩效存在显著的正向影响;2) 数字化转型能够通过企业全要素生产率对光伏企业绿色创新绩效发挥显著的正向影响;3) 企业内部控制能够促进企业绿色创新绩效,且正向调节企业数字化转型对光伏企业绿色创新绩效的影响。

### 4.2 实践启示

1) 企业管理者需重视环境复杂性,强化数字化意识,以数字化创新为动力,确保未来竞争优势;推动数字化与绿色创新绩效的深度融合;加快

光伏企业数字化人才“软”建设与数字化技术“硬”建设的协同发展。

2) 光伏企业可以组建高数字素养团队,利用数字化转型改变或优化原有的创新发展组织和管理方式,实现光伏企业的绿色发展。同时,增加内部研发资金和研发人员投入,培养自身对各类创新资源的技术整合能力,探索适合企业实际的绿色数字化设计解决方案。基于此,光伏企业将更有效的实现数字化转型,也能更充分发挥企业数字化投资的作用。

3) 加强光伏企业内部控制。管理部门需要加强企业的内部控制,有利于企业提高管理和经营效率,提升光伏企业供应链的端到端的协同。企业管理者需要科学地配置内部资源,以减少企业创新过程中的内部障碍,为创新活动创造更加顺畅的通道。

4) 企业管理者需考量数字化战略对创新投入产出的影响,预判创新前景,实施个性化数字战略,赢得竞争优势。

### 参考文献

[1] 董梅,李存芳. 低碳省区试点政策的净碳减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(11): 63-74.

[2] 王茂福,管竹笋. 观念叠加对企业创新绩效的影响: 基于中国光伏产业的实证研究[J]. 软科学, 2024, 38(3): 1-7.

[3] 孙全胜. 数字经济赋能企业绿色技术创新的三重路径研究[J]. 中州学刊, 2023(11): 26-32.

[4] 韩晶,陈曦,冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J]. 改革, 2022(9): 11-23.

[5] 肖旭,戚聿东. 产业数字化转型的价值维度与理论逻辑[J]. 改革, 2019(8): 61-70.

[6] 肖土盛,吴雨珊,亓文韬. 数字化的翅膀能否助力企业高质量发展: 来自企业创新的经验证据[J]. 经济管理, 2022, 44(5): 41-62.

[7] 王锋正,刘向龙,张蕾等. 数字化促进了资源型企业绿色技术创新吗?[J]. 科学学研究, 2022, 40(2): 332-344.

[8] KLOS C, SPIETH P, CLAU T, et al. Digital transformation of incumbent firms: A business model innovation perspective[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2023, 70(6): 2017-2033.

[9] BRYNJOLFSSON E, HITT L. Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending [J]. Management science, 1996, 42(4): 541-558.

- [10] MAJCHRZAK A, MARKUS M L, WAREHAM J. Designing for digital transformation [J]. MIS Quarterly, 2016, 40(2): 267-278.
- [11] VIAL G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda [J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2019, 28(2): 118-144.
- [12] 谢康, 夏正豪, 肖静华. 大数据成为现实生产要素的企业实现机制: 产品创新视角 [J]. 中国工业经济, 2020(5): 42-60.
- [13] 高厚宾, 王蕾瑞. “绿色的馈赠”: 数字化转型对企业环境绩效的影响: 来自中国制造业 A 股上市公司的经验证据 [J]. 河南师范大学学报(哲学社会科学版), 2023, 50(5): 88-94.
- [14] 王小林, 杨志红. 高质量发展视角下企业数字化转型的机理 [J]. 求索, 2022(4): 126-134.
- [15] 刘海建, 胡化广, 张树山等. 供应链数字化的绿色创新效应 [J]. 财经研究, 2023, 49(3): 4-18.
- [16] 陈剑, 黄朔, 刘运辉. 从赋能到使能: 数字化环境下的企业运营管理 [J]. 管理世界, 2020, 36(2): 117-128.
- [17] farrington t, alizadeh a. On the impact of digitalization on R&D: R&D practitioners reflect on the range and type of digitalization's likely effects on R&D management [J]. Research-Technology Management, 2017, 60(5): 24-30.
- [18] YOO Y, HENFRIDSSON O, LYYTINEN K. Research commentary: The new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research [J]. Information Systems Research, 2010, 21(4): 724-735.
- [19] TEECE D J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world [J]. Research Policy, 2018, 47(8): 1367-1387.
- [20] 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.
- [21] 杨戈宁, 万泳淇, 杨浩昌. 制造业数字化转型与企业创新绩效 [J]. 统计与决策, 2024(11): 168-172.
- [22] 王忠, 文宇峰, 孙玉芳等. 创新质量和贡献导向下科研项目绩效评价体系研究 [J]. 管理科学, 2021, 34(1): 28-37.
- [23] 娄婉婷, 龚丽敏, 张一驰. 政府补贴对创业企业的创新绩效影响研究 [J]. 科学学研究, 2024, 42(8): 1760-1770.
- [24] 邢新朋, 刘天森, 王建华. 制造业企业绿色组织认同对绿色创新绩效的影响: 基于环境承诺与可持续探索/利用实践的链式中介作用 [J]. 科技进步与对策, 2020, 37(21): 91-99.
- [25] 董鸿源, 袁潮清. 产业政策对光伏企业创新绩效的影响研究: 基于区域创新体系的调节作用 [J]. 技术经济, 2023, 42(6): 36-46.
- [26] 刘扬, 赵晓丽. 光伏企业融资渠道对技术创新质量的影响: 基于经理人创新管理能力的调节效应 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2023, 25(4): 52-64.
- [27] 王国红, 汪媛媛, 黄昊等. 资源整合对企业价值链延伸的影响研究 [J]. 研究与发展管理, 2020, 32(4): 48-60.
- [28] 宋凌峰, 刘志龙. 价值链网络、企业异质性与产业信用风险传染: 基于中国光伏产业的研究 [J]. 财贸研究, 2019, 30(6): 14-23.
- [29] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型 [J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
- [30] 张远, 王爱强. TOE 理论框架下的制造企业创新绩效组态路径 [J]. 财会月刊, 2023, 44(22): 152-160.
- [31] 易露霞, 吴非, 常曦. 企业数字化转型进程与主业绩效: 来自中国上市企业年报文本识别的经验证据 [J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2021, 41(10): 24-38.
- [32] 马永强, 路媛媛. 企业异质性、内部控制与技术创新绩效 [J]. 科研管理, 2019, 40(5): 134-144.
- [33] CROSSAN M M, APAYDIN M. A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature [J]. Journal of Management Studies, 2010, 47(6): 1154-1191.
- [34] 陈红, 纳超洪, 雨田木子, 等. 内部控制与研发补贴绩效研究 [J]. 管理世界, 2018, 34(12): 149-164.
- [35] 赵宸宇. 数字化转型对企业劳动力就业的影响研究 [J]. 科学学研究, 2023, 41(2): 241-252.
- [36] 刘宇嘉, 刘力钢, 邵剑兵. 高管团队稳定性、动态能力与企业绿色创新绩效: 数字化转型的调节作用 [J]. 研究与发展管理, 2024, 36(5): 173-186.
- [37] 卢建霖, 蒋颖. 绿色金融、数字化与制造业升级 [J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2022(4): 44-53.
- [38] 鲁晓东, 连玉君. 中国工业企业全要素生产率估计: 1999—2007 [J]. 经济学(季刊), 2012, 11(2): 541-558.
- [39] 王萍, 卜华, 刘波. 红色文化与企业内部控制: 影响效应及实证检验 [J]. 统计与决策, 2023, 39(22): 173-177.