

数字化转型对上市企业绿色技术创新的影响探析

——基于沪深上市重污染企业数据

周 斌,胡宇秋

(西南石油大学经济管理学院,四川 成都 610500)

摘 要: 在实现“双碳”目标和数字化变革的时代背景下,我国重污染企业数字化转型和绿色发展已经引起社会各界广泛关注。基于沪深上市重污染企业在2007—2021年期间的非平衡数据进行实证分析,同时将高管薪酬和政府补助作为调节变量探讨数字化转型对重污染企业绿色技术创新的影响,结果发现:数字化转型对重污染企业绿色技术创新具有显著的正向激励作用,而高管薪酬和政府补助将强化数字化转型对企业绿色技术创新的正向影响。因此,应通过完善数字化基础设施、加强数字技术变革与绿色技术创新融合发展、优化企业业务流程等措施,充分发挥数字化转型对重污染企业绿色技术创新的重要作用,努力推动重污染企业实现绿色发展,助力“双碳”目标早日实现。

关键词: 数字化转型;绿色技术创新;重污染企业;绿色发展;融合发展;碳达峰碳中和

中图分类号: F275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5094(2025)04-0058-13

党的二十大报告提出,要协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。党的二十届三中全会进一步指出,要健全绿色低碳发展机制,促进绿色低碳循环发展经济体系建设。深化绿色技术研发与创新应用是实现上述战略目标的重要路径。对于企业而言,绿色技术创新不仅面临着经济投入大、运行周期长等具体问题,而且面临着市场环境不确定、知识产权机制不完善等不利因素,迫切需要更多的发展机遇和政策动力。

今天,数字化转型已经成为企业发展的必然要求。数字化转型不仅加速了企业从传统的数字化模式向“新数字”“新生态”模式的演进,而且将带来企业组织、生产方式和业务流程的深刻变革。当前,企业数字化转型规模正在日益扩大,推动了研发资源与业务、技术等要素的融合,激发了企业进行绿色技术创新的积极性。结合上述背景,本研究基于沪深上市重污染企业2007—2021年期间的非平衡数据,同时将企业内部的高管薪酬和企业外部的政府补助作为调节变量,深入探讨数字化转型对重污染企业绿色技术创新的影响情况,以便为重污染企业绿色技术创新提供借鉴,进而争取为国家制定绿色低碳环保政策提供理论支撑。

一、文献综述

目前,学界针对数字化转型与绿色技术创新之间关系的研究主要分为两种情况。一是研

基金项目: 国家社科基金重大项目“统筹新能源发展与国家能源安全重要关系及实践路径研究”(24&ZD106)。

作者简介: 周 斌,西南石油大学经济管理学院副教授,硕士生导师,研究方向:低碳行为与政策分析。

引文格式: 周斌,胡宇秋.数字化转型对上市企业绿色技术创新的影响探析——基于沪深上市重污染企业数据[J].西南石油大学学报(社会科学版),2025,27(04):58-70.

究数字化转型对绿色技术创新的影响。例如,Xue,L从数字化转型对绿色技术创新的影响机理出发,发现数字化转型能够显著促进绿色技术创新,其内在机理在于数字化转型能够有效缓解资金约束,尤其是引入政府补助后,可以正向影响绿色技术创新水平^[1]。郭丰等通过对中国上市公司年报进行文本分析,证明数字化转型不仅能正向提升企业绿色技术创新数量,还能对企业绿色技术创新质量产生积极影响^[2]。二是研究数字化转型对企业的作用。Kleinert,J.认为,数字化将降低一些行业的市场进入壁垒,不断变化的技能要求将为争取曾经相对稳定的市场或建立新的市场提供有利机会^[3]。Lakemond,N.认为,当数字技术能够增加复杂性、扩展功能、系统集成和持续开发时,将进一步促进系统架构和组织方法间复杂关系的演变^[4]。Ren,Y.,B. Li在探讨绿色技术创新能力对上市企业财务绩效ROE的影响中发现,当可再生能源公司进行数字化转型时,其绿色技术创新能力表现较好,由此带来的财务绩效也更好。Wu,Y.以企业绿色技术创新为中介变量,研究了数字化转型对全要素生产率TFP的影响^[5]。曾庆芬认为,数字化发展对重污染企业具有促进节约成本、提升生产效率等正向影响,并可以使其盈利能力显著提升^[6]。王汀汀等通过实证分析,证明企业数字化转型能从多个方面对绿色技术创新产生深刻影响^[7]。

综上所述,目前学界就企业的数字化转型与绿色技术创新的关系进行了较为深入的研究,取得了较为丰硕的成果。但也必须看到,多数研究都将对象集中到整体上市企业方面,宏观性有余,微观性不足,尤其是针对重污染企业数字化转型与绿色技术创新关系的研究尚有诸多不足。同时,多数研究针对的是数字化转型对企业绿色技术创新影响的程度,而针对其影响机制的研究还有待进一步深入。有鉴于此,本研究将以在沪深股市上市的重污染企业作为样本,通过企业申请的绿色专利数量衡量企业的绿色技术创新能力,并探讨高管薪酬和政府补助在重污染企业绿色技术创新过程中的调节作用。

二、研究假设

(一) 数字化转型对重污染企业绿色技术创新的影响

环境适应性理论认为,在瞬息万变的外部环境中,企业需要迅速地对环境变化作出回应并实现与环境的有效融合。对重污染企业而言,以数字技术为基础的数字化环境,给其发展提供了一个全新的外部环境。一方面,数字化可通过增强企业风险承担能力和缓解融资约束双重路径有效推动企业绿色创新水平的提升。重污染企业的生产运营具有显著的环境外部性特征,叠加“双碳”战略实施带来的政策规制强化,使得这类企业面临更大的环境风险与经营压力。然而,实施数字化转型战略能够助力重污染企业实现生产流程再造与运营结构优化,推动其高耗能、高排放的传统生产模式向清洁化、智能化方向转型升级。另一方面,重污染企业要实现污染物减排目标,可通过从源头实施污染预防控制与从末端提升污染治理效能两条路径来实现,然而,这两条路径均需以技术创新为支撑。因此,解决污染排放问题的根本在于构建技术创新体系。换言之,企业应当整合既有资源,聚焦绿色技术研发,在数字化转型背景下通过突破性技术革新实现生产全流程的清洁化改造。基于这些情况,本研究提出假设 H_1 :数字化转型能够显著提高重污染企业的绿色技术创新能力。

(二) 高管薪酬和政府补助的调节作用

本研究通过梳理文献,发现内在的企业高管薪酬与外在的政府补助会对企业数字化转型与绿色技术创新产生重要影响,故拟将二者作为调节变量做进一步的研究。一是高管薪酬将对提升重污染企业技术创新能力起重要作用。根据委托代理理论,信息不对称性会导致高管与股东的目标函数不一致,这主要体现在长、短期利益权衡差异和风险偏好上。从企业长期利益权衡来看,企业对绿色技术创新的开发与投入会产生绿色效益,从而提升企业形象,同时使其股票价格升高,增加公司竞争优势。因此,在利益—利润驱动下,作为核心决策者的重污染企业高管群体将更倾向于加大绿色技术创新投资。这样一来,不仅能够对冲传统生产模式的环境治理成本,而且还可以通过技术壁垒构建新的竞争优势。在企业短期利益权衡方面,根据现有研究可知,高管薪酬对企业的创新能力会产生显著的影响。同时,翁辰等将针对高管的货币、股权和在职消费三种激励模式分别与企业创新活动进行负二项回归,发现其均会对企业创新产生显著影响^[8]。二是政府补助作为政策传导机制的重要工具,其作用于企业绿色技术创新的路径呈现出双重调节效应:调节效应之一是通过财政转移支付直接补偿企业因研发投入而产生的沉没成本,有效缓解绿色技术研发因周期长、数量大而带来的流动性约束;调节效应之二是政府补助作为国家战略导向的认证机制,能使企业创新项目的融资成本降低。现有研究在将政府补助作为中介去探索其在环境规制和绿色技术创新之间的作用,分析其在产业技术复杂性与绿色技术创新之间的作用时,均发现该变量具有正向的调节作用。

当然,现有研究在探讨重污染企业的绿色技术创新驱动机制时,也存在研究范式的结构性偏差,更多的是以高管薪酬和政府补助作为中介去研究某个因子对企业技术创新的影响。鉴于这一情况,本研究将把高管薪酬和政府补助作为双调节变量,并在此基础上分析数字化转型对重污染企业绿色技术创新能力的影响。由此,本研究提出假设 H_2 :高管薪酬能够显著增强数字化转型对重污染企业绿色技术创新的正向影响; H_3 :政府补助对数字化转型与重污染企业绿色技术创新间的关系具有显著正向调节效应。

三、研究设计

(一) 数据选取

本研究基于沪深上市重污染企业在2007—2021年期间的非平衡数据,从国泰安数据库(CSMAR)和中国科研数据服务平台(CNRDS)提取相关数据来分析企业的数字化转型、高管薪酬、政府补助以及绿色技术专利数量。在研究中,笔者剔除了ST、ST*、金融保险等企业、指标缺失严重的企业以及控制变量有异常值的企业,并用1%和99%的分位点缩小了所有的连续性变量。

(二) 模型构建

本研究根据研究目的及变量设置,构建了如下回归模型:

$$GTI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * DT_{it} + \alpha_2 * Z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

在公式(1)中, GTI_{it} 表示样本单位*i*在*t*年的绿色技术创新; DT_{it} 是核心解释变量,表示样本单位*i*在*t*年的地区数字化转型; α_1 是自变量的回归系数; Z_{it} 为模型控制变量的集合; α_0 、 ε_{it} 分别为回归方程的常数项和误差项。

为了进一步探讨高管薪酬和政府补助对上市企业绿色技术创新的调节作用,本研究在回归模型(1)中分别加入交互项,相应的模型分别表示如下:

$$GTI_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 * DT_{it} + \gamma_2 * salary_{it} + \gamma_3 * DT_{it} * salary_{it} + \gamma_4 * Z_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

$$GTI_{it} = \beta_0 + \beta_1 * DT_{it} + \beta_2 * GOV_{it} + \beta_3 * DT_{it} * GOV_{it} + \beta_4 * Z_{it} + \mu_{it} \quad (3)$$

在公式(2)(3)中,Salary、GOV 分别表示高管薪酬和政府补助,其他设定与回归模型(1)相同。

(三) 变量说明

1. 被解释变量:绿色技术创新(GTI)

重污染行业绿色低碳转型进程的系统性推进与产业结构优化重构直接关系到“双碳”目标的整体实现效能,故本研究选取重污染上市公司绿色专利申请量作为衡量企业绿色技术创新的核心变量。通过梳理相关文献,本研究发现,发明专利申请耗时长、易受外界环境影响,且专利申请时就会影响企业的盈利。因此,本研究用重污染上市公司的绿色专利申请数量来衡量企业的绿色技术创新能力,同时在稳健性检验中用重污染企业的绿色专利获得数量作为变量。

2. 解释变量:数字化转型(DT)

借鉴吴非^[9]、李思飞^[10]等的研究方法,本研究运用企业年报中与“数字化”相关的词汇频数来衡量数字化转型。根据 CSMAR 数据库,与“数字化”相关的词汇频数主要有“人工智能技术”“云计算技术”“区块链技术”“大数据技术”“数字技术应用”。同时,本研究参考姜奇平的做法^[11],将“数字化”词频加 1 后进行了自然对数处理。

3. 调节变量:高管薪酬(Salary)和政府补助(GOV)

现实中,企业高管薪酬一般分为货币薪酬和股权薪酬。当前,货币薪酬在各大企业中应用得较多,股权薪酬应用较少,因此,本研究借鉴唐松的研究方法^[12],选取上市公司排名前三的高管薪酬作为调节变量,并用其自然对数作为衡量高管薪酬水平的指标。同时,本研究根据尹洁等的研究思路,选取政府补助总额的自然对数作为调节变量(相关数据来源于 CSMAR 数据库),并用其自然对数作为衡量政府补助水平的指标。

4. 控制变量

借鉴王馨、王营的研究方法^[13],本研究选取了控制变量:企业规模(Size),用总资产的自然对数表示;董事会规模(BOS),用董事会人数加 1 后取自然对数衡量;资产负债率(Ratio),用负债总额除以资产总额衡量;利润率(Profit),用营业利润与营业总收入的比值表示;企业成长性(Growth),用营业收入增长额与上期营业收入比值来表示。

综上所述,本研究涉及的各个变量的具体定义如表 1 所示。

表 1 变量的定义

变量类型	变量名称	定义
解释变量	数字化转型(DT)	上市公司数字化转型频次加 1 后的对数值
被解释变量	绿色技术创新(GTI)	上市公司绿色专利数量
调节变量	高管薪酬(Salary)	排行前三的公司高管的货币薪酬总额的自然对数
	政府补助(GOV)	政府补助总额的自然对数
控制变量	企业规模(Size)	总资产的自然对数
	董事会规模(BOS)	董事会人数加 1 后的对数值
	资产负债率(Ratio)	负债总额除以资产总额
	利润率(Profit)	营业利润与营业总收入的比值
	企业成长性(Growth)	营业收入增长额与上期营业收入比值

(四) 描述性统计

解释变量、被解释变量、调节变量、控制变量的描述性统计结果(如表2所示)。从表2可以看到,在本研究中代表绿色技术创新(GTI)的重污染企业绿色专利授权最小值为0,最大值为127,标准差为17.98,表明企业间的绿色专利授权量差异较大。此外,重污染企业数字化转型(DT)的最小值为0.693,最大值为2.565,标准差为0.531,表明企业间数字化转型(DT)存在较小差异;同时,数字化转型(DT)的均值为1.217,与本研究爬取的上市公司年报数据和统计的与“数字化转型”相关词频所得的结果基本一致(均值为1.148),说明本研究数据选取有效。从表2中还可看到,企业个体特征的控制变量均在合理范围内。

表2 变量的描述性统计

变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
绿色技术创新(GTI)	13 732	6.761	17.98	0	127
数字化转型(DT)	13 732	1.217	0.531	0.693	2.565
高管薪酬(Salary)	13 732	17.41	1.521	13.07	21.42
政府补助(GOV)	13 732	14.52	0.702	12.77	16.51
企业规模(Size)	13 732	22.14	1.250	19.93	25.97
董事会规模(BOS)	13 732	2.226	0.174	1.792	2.708
资产负债率(Ratio)	13 732	0.398	0.194	0.0578	0.916
利润率(Profit)	13 732	0.0772	0.187	-1.055	0.509
企业成长性(Growth)	13 732	0.206	1.066	-1.586	7.615

本研究涉及的解释变量、被解释变量、调节变量、控制变量的相关系数矩阵(如表3所示)。从表3可以发现:数字化转型(DT)与绿色专利量(GTI)的相关系数矩阵在1%水平上显著为正,表明重污染企业的DT表现与绿色技术创新绩效之间存在正相关关系;所有变量间的相关系数均小于0.5、膨胀因子(VIF)小于3,意味着本研究的模型的多重共线性问题不严重。

表3 变量的系数矩阵

绿色技术创新(GTI)	1								
数字化转型(DT)	0.162***	1							
政府补助(GOV)	0.414***	0.213***	1						
高管薪酬(Salary)	0.251***	0.244***	0.444***	1					
企业规模(Size)	0.464***	0.075***	0.676***	0.446***	1				
董事会规模(BOS)	0.091***	-0.088***	0.158***	0.085***	0.272***	1			
资产负债率(Ratio)	0.238***	0.006	0.308***	0.082***	0.489***	0.143***	1		
利润率(Profit)	-0.016*	-0.038***	0.021**	0.132***	0.012	0.019***	-0.380***	1	
企业成长性(Growth)	-0.015*	-0.022**	-0.119***	-0.099***	-0.126***	-0.035***	-0.051***	-0.01	1

注:* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

四、实证分析

(一) 基准回归

数字化转型(DT)对重污染企业绿色技术创新(GTI)影响的回归结果(如表4所示)。其中,第(1)和(2)式是以绿色技术创新(GTI)为因变量,在有无控制变量的情况下,分别检验了自变量数字化转型(DT)对绿色技术创新能力的作用,第(3)和(4)式加入了调节变量高管薪酬(Salary)和政府补助(GOV)及其与数字化转型(DT)的交互项,分别检验其对绿色技术创新能力的影响。第(2)式的回归结果显示,在加入控制变量后,解释变量数字化转型(DT)显著,且正向影响绿色技术创新($\alpha=1.806, p<0.01$),说明随着企业数字化转型程度的不断提升,重污染企业的绿色技术创新能力也随之显著提升, H_1 得到验证。究其原因,是由于随着高污染企业数字化转型升级的持续推进,其绿色研发活动能够获得更先进的技术支撑,进而显著提升其绿色技术创新能力。

表4 基准回归与调节检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
数字化转型(DT)		1.806** (-4.34)	1.309*** (-3.54)	0.981*** (-2.97)
高管薪酬(Salary)			0.578 (-1.2)	
数字化转型*高管薪酬 (DT*Salary)			3.793*** (-4.65)	
政府补助(GOV)				0.385** (-2.56)
数字化转型*政府补助 (DT*GOV)				2.797*** (-6.84)
企业规模 (Size)	5.414*** (-6.82)	5.128*** (-6.56)	4.942*** (-6.27)	4.623*** (-5.87)
董事会规模 (BOS)	0.108 (-0.07)	0.099 (-0.06)	0.021 (-0.01)	0.079 (-0.05)
资产负债率 (Ratio)	-2.324 (-1.52)	-2.139 (-1.44)	-2.239 (-1.48)	-1.399 (-0.93)
利润率 (Profit)	0.184 (-0.35)	0.056 (-0.11)	0.161 (-0.3)	-0.028 (-0.05)
企业成长性 (Growth)	0.285*** (-2.86)	0.275** (-2.87)	0.346*** (-3.48)	0.386*** (-3.99)
常数项 (Constant)	-112.441*** (-6.39)	-108.335*** (-6.25)	-112.158*** (-6.06)	-103.604*** (-6.04)
观测值 (Observations)	13 429	13 429	13 429	13 429
行业固定 (Company FE)	是	是	是	是
年份固定 (Year FE)	是	是	是	是
调整后的系数 (R ²)	0.719	0.722	0.723	0.73

注:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$;括号内为标准差。

(二) 调节变量检验

为了检验重污染企业高管薪酬的调节作用,本研究在表4第(3)式中加入数字化转型(DT)

与高管薪酬(Salary)的交互项,发现其双固定效应模型回归结果显著($\gamma_1=1.309, p<0.01$),说明高管薪酬能够正向影响绿色技术创新能力;同时,数字化转型(DT)与高管薪酬(Salary)的交互项同样显著,且正向影响绿色技术创新研发能力的提升($\gamma_3=3.793, p<0.01$)。据此,可以发现企业高管薪酬对企业绿色技术创新具有一定的促进作用,假设 H_2 得到实证支持。也就是说,在数字化转型发展程度相近的重污染企业中,给予高管较高的薪酬,能够强化其对重污染企业绿色技术创新能力的提升作用。究其原因,在于薪酬激励强度达到一定水平后,高管人员会把更多的精力投入到提升企业形象、促进企业绿色发展的任务中。

为了检验政府补助对数字化转型与绿色技术创新所起的调节作用,本研究在表4第(4)式中加入数字化转型(DT)与政府补助(GOV)的交互项,结果为($\beta_1=0.981, p<0.01$),反映出交互项同样显著正向影响绿色技术创新研发能力的提升($\beta_3=2.797, p<0.01$),表明政府补助对重污染企业绿色技术创新具有一定的促进作用,假设 H_3 得到实证支持。也就是说,政府补助对重污染企业的绿色技术创新具有激励效应,不仅缓解了长周期、高投入研发活动带来的资金约束,而且通过降低投资者风险预期显著增强了资本市场对绿色转型项目的投资信心。

(三) 稳健性检验

1. 替换被解释变量

基准回归和调节变量检验初步证明数字化转型有助于提升重污染企业的绿色技术创新能力,高管薪酬将进一步强化数字化转型对绿色创新的促进作用。为了使结论更具可靠性,本研究对其进行了稳健性检验,在检验中对关键变量依次进行替换,即将核心被解释变量“重污染上市公司的绿色专利数量”替换为“重污染企业上市公司的专利总量”,结果如表5所示,第(1)式是原始数据,第(2)式表示将核心解释变量替换成专利总量且同时控制行业、时间效应之后的回归结果。从表5可见,系数符号基本保持一致(均为正),且均在1%水平上显著。

表5 更换自变量后的稳健性检验

变量	绿色专利数量	专利总量
	(1)	(2)
数字化转型(DT)	1.806 ^{***} (-4.34)	1.078 ^{**} -2.16
企业规模(Size)	5.128 ^{***} (-6.56)	3.408 ^{***} -3.49
董事会规模(BOS)	0.099 (-0.06)	-1.327 (-0.62)
资产负债率(Ratio)	-2.139 (-1.44)	-4.430 ^{**} (-2.10)
利润率(Profit)	0.056 (-0.11)	-2.556 ^{***} (-2.85)
企业成长性(Growth)	0.275 ^{***} (-2.87)	-0.432 ^{***} (-4.39)
常数项(Constant)	-108.335 ^{***} (-6.25)	-65.406 ^{***} (-2.95)
观测量(Observations)	13 429	7 881
行业/年度固定效应 (Company/Year FE)	是	是
调整后的系数(R2)	0.722	0.722

注:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$;括号内为标准差。

结合国内绿色技术专利从研发到获得授权的周期的不确定性甚至可能延长等实际情况,本研究又借鉴 Fang^[14]、冉戎^[15]的研究方法,将绿色技术创新能力指标进行 t+2 期处理,结果如表 6 所示。从表 6 可见,绿色技术创新能力指标的主回归效应估计系数分别为 1.078、28.105,均在 1% 的水平上显著为正,证明上述结论稳健。

表 6 对绿色专利申请量作 t+2 期处理的稳健性检验

变量	绿色专利数量	专利总量	t+2 期绿色专利申请量
	(1)	(2)	(3)
数字化转型(DT)	1.806*** (-4.34)	1.078** -2.16	28.105*** -2.59
企业规模(Size)	5.128*** (-6.56)	3.408*** -3.49	81.331*** -4.25
董事会规模(BOS)	0.099 (-0.06)	-1.327 (-0.62)	-9.576 (-0.19)
资产负债率(Ratio)	-2.139 (-1.44)	-4.430** (-2.10)	-81.040** (-2.37)
利润率(Profit)	0.056 (-0.11)	-2.556*** (-2.85)	-5.763 (-0.70)
企业成长性(Growth)	0.275*** (-2.87)	-0.432*** (-4.39)	5.549*** -3.41
常数项(Constant)	-108.335*** (-6.25)	-65.406*** (-2.95)	-1 673.805*** (-3.83)
观测量(Observations)	13 429	7 881	13 429
行业/年度固定效应(Company/Year FE)	是	是	是
调整后的系数(R2)	0.722	0.722	0.722

注:* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01;括号内为标准差。

2. 替换解释变量

借鉴吴友^[16]的稳健性检验方法,本研究将重污染企业的数字化转型能力继续采用虚拟变量 0 和 1 来衡量,即:如果企业数字化转型指标高于 0 则赋值为 1,否则赋值为 0。利用这一数字化转型新的衡量指标对替换后的模型进行重新检验,回归结果如表 7 所示。

表 7 替换数字化转型后的稳健性检验

变量	替换后的模型	替换后的调节模型	
	(1)	(2)	
替换后的数字化转型(DT1)	1.986*** (-7.97)	-48.460*** (-6.34)	2.334*** (9.60)
高管薪酬(Salary)		-1.335*** (-3.19)	
替换后的高管薪酬交互项(DT1*Salary1)		3.499*** (-6.71)	
政府补助(GOV)			0.166 (1.11)
替换后的政府补助交互项(DT1*GOV1)			1.793*** (8.57)
企业规模(Size)	5.068*** (-6.44)	4.777*** (-6.19)	4.832*** (6.11)
董事会规模(BOS)	0.286 -0.18	0.203 (-0.13)	-0.029 (-0.02)

续表7 替换数字化转型后的稳健性检验

变量	替换后的模型		替换后的调节模型	
	(1)	(2)	(3)	(4)
资产负债率(Ratio)	(-2.014)	-1.733	-1.788	
	(-1.35)	(-1.18)	(-1.19)	
利润率(Profit)	0.048	0.039	0.272	
	(-0.09)	(-0.08)	(0.52)	
企业成长性(Growth)	0.267***	0.293***	0.306***	
	(-2.78)	(-3.1)	(3.18)	
常数项(Constant)	-106.342***	-53.697***	-104.130***	
	(-6.10)	(-3.21)	(-6.03)	
观测量(Observations)	13,429	13,429	13,207	
行业/年度固定效应 (Company/Year FE)	是	是	是	
调整后的系数(R2)	0.723	0.726	0.723	

注:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$;括号内为标准差

从替换数字化转型变量指标的回归结果来看,数字化转型的回归系数为1.986且符号为正,说明数字化转型确实可以显著促进重污染企业绿色技术创新能力提高。同时,数字化转型与高管薪酬的交互项回归系数为3.499,均在1%水平下显著,说明高管薪酬激励的调节效应明显。

综上所述,为了检验实证分析的稳健性,本研究采用替换数字化转型变量的方法进行稳健性检验。稳健性检验回归结果充分说明,随着重污染企业数字化转型程度的提高,高管薪酬激励的调节效应明显增强。这与之前的分析结果相符,由此,假设 H_1 与 H_2 的稳健性得到了进一步的验证。

3. 工具变量法检验

为了应对研究中可能存在的逆向因果关系导致的内生性问题,本研究采用工具变量法来予以检验,即通过引入外生性工具变量进行两阶段估计,以期有效缓解核心解释变量与误差项之间的相关性偏误。借鉴张泽南(2023)^[17]的研究方法,本研究以网络宽带接入端口数量(单位:每亿个)和移动电话普及率(单位:每百个)为工具变量进行回归分析,具体结果如表8所示。从表8可以看出,在剔除可能的内生性变量(或内部影响因素)之后,核心解释变量数字化转型(DT)的估计系数为1.806,且统计量(S)为72.49(注:已超过10),拒绝了“弱工具变量”的假定。这一情况进一步说明了数字化转型对重污染企业绿色技术创新的推动作用。

表8 工具变量法检验结果

变量	工具变量
数字化转型(DT)	1.806*** (-6.31)
观测量(Observations)	13,429
控制变量(CV)	控制
行业/时间固定效应 (Company/Year FE)	是
统计量(S)	72.49

注:* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$;括号内为标准差。

五、异质性分析

(一) 企业成长性分组的回归分析

根据企业生命周期理论,高成长性企业和低成长性企业在组织架构与变革响应方面呈现显著差异。一般来说,处于发展初期的成长性企业通常具有扁平化的组织结构和敏捷的决策机制,因此能够快速响应数字化转型带来的变革需求。而步入成熟期或衰退期的低成长性企业,其科层制组织架构的刚性特征往往导致其出现路径依赖:一方面,固化的高管激励体系弱化了其创新驱动动力;另一方面,冗余的管理层级阻碍了环境信息的有效传导。这种组织惯性使得低成长性企业在实施数字化转型时,更易产生技术应用与绿色创新的协同困境,因此也易强化数字技术对污染治理技术升级的抑制作用。

结合上述观点,本研究采用分组回归方法来探究数字化转型对重污染企业绿色技术创新的影响在不同成长性企业中的异质性特征。在研究中,用营业收入增长率来衡量公司的成长性,并以营业收入增长率为标准,将在其中位数之下的企业认定为低成长性企业,在其中位数之上的企业认定为高成长性企业,随后进行分组分析,具体结果如表9所示。在表9中,由于两组数据均显著,因此本研究又进行了组间差异检验,发现系数小于0.1,说明组间差异系数显著。经模型回归,结果显示:在控制相关变量后,低成长性企业的数字化转型回归系数达到1.147且通过显著性检验;而高成长性企业则表现出更强的数字化转型效应,其回归系数为2.116且在1%统计水平上高度显著。由此可知,与低成长性企业相比,高成长性企业的数字化转型发展更能带动高污染企业绿色技术创新能力的正向提升。

表9 以企业成长性分组的回归结果

变量	低成长性企业		高成长性企业	
	(1)	(2)	(3)	(4)
数字化转型(DT)	1.786*** (-3.14)	1.147** (-2.03)	2.788*** (-4.72)	2.116*** (-3.67)
常数项(Constant)	4.961*** (-7.16)	-103.160*** (-5.55)	3.705*** (-5.13)	-117.550*** (-5.29)
控制变量(CV)		控制		控制
行业/时间固定效应 (Company/Year FE)	是	是	是	是
调整后的系数(R2)	0.741	0.749	0.691	0.702
组间差异系数(GCV)			2.85*	

注:* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01;括号内为标准差。

(二) 企业经营成本分组的回归分析

数字化转型在企业推动绿色技术创新过程中,涉及资金、信息等核心要素的协同配置,其融资成本、资金使用效率等财务指标直接影响数字化转型进程与技术创新效能。本研究为了检验企业经营成本在主效应中的异质性,借鉴已有研究方法,采用职工薪酬现金支出与总资产的比值(应付职工薪酬/总资产)作为人力资本成本的衡量指标^[18],并采用扣除人力资本成本后的营业成本除以总资产来衡量物质资本成本,结果如表10所示。由表10可见,对于人力资本成本,数字化转型(DT)的估计系数显著为负;对于物质资本成本,数字化转型(DT)的估计系

数则不显著。这一情况说明重污染企业数字化转型对人力成本的抑制作用显著强于对物质资本成本的影响。究其原因,在于人力成本主要包含员工薪酬、技能培训及组织优化三类支出,数字化转型通过重构人力资源管理体系,可以实现招聘选拔、培训开发、绩效评估等模块的流程优化与效率提升,从而显著降低相关管理成本。比较而言,物质资本成本主要受制于设备更新周期与技术替代成本,其降本效应呈现相对滞后的特征。

表10 以企业经营成本分组的回归结果

变量	人力资本		物质资本	
	(1)	(2)	(3)	(4)
数字化转型(DT)	0.001 (-0.57)	-0.014*** (-3.21)	0.088 (-1.2)	0.094 (-1.28)
常数项(Constant)	0.011*** (-10.33)	0.011*** (-10.31)	0.473*** (-5.3)	4.262** (-2.46)
控制变量(CV)		控制		控制
行业/年度固定效应 (Company/Year FE)	是	是	是	是
调整后的系数(R2)	0.36	0.361	0.0594	0.077

注:* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01;括号内为标准差

六、管理意义

本研究基于沪深上市重污染企业在2007—2021年期间的非平衡数据,通过设定高管薪酬激励与政府补助两个调节变量,系统解析了数字化转型对企业绿色技术创新的作用机制,结果发现:数字化转型能够显著提升企业绿色技术创新水平,可以构成推动企业绿色转型与实现“双碳”目标的核心驱动力;高管薪酬激励通过提升决策效率、政府补助通过缓解融资约束,可以强化数字化转型的绿色创新效应;高成长性企业的数字化转型增效作用较之低成长性企业更为显著;数字化转型可以通过人力资本全流程优化产生成本集约效应,实现人力资本效率的帕累托改进。

在国家实现“双碳”目标的指引下,为了进一步推动重污染企业的绿色发展,充分发挥数字化转型对重污染企业绿色技术创新的促进作用十分必要。基于上述结论,国家、社会和企业可以通过积极采取以下政策和措施,全力助推重污染企业绿色发展。第一,努力完善数字化基础设施。重点推进以5G网络、智能数据中心和产业技术转化平台为核心的新型基础设施建设,着力打通科技成果转化堵点。通过搭建制造业数字化协同创新网络,提升资源要素配置效能。第二,积极促进数字技术应用与绿色技术创新融合。重点是加快重污染企业信息化建设,进一步拓宽企业技术整合渠道,积极推进企业研发、生产、服务、管理等全流程信息化。同时,优化企业业务流程,降低企业经营成本。第三,注重培养数字化转型和绿色技术创新的人才。重污染企业应通过与高等学校、科研机构等机构开展产学研合作,努力培养具有数字化水平、绿色创新能力的人才队伍,不断优化企业人力结构。第四,探索建设多元激励体系。尝试建立“基本薪酬+创新绩效股权”的激励体系,对完成数字化转型与绿色技术攻关的管理层实施限制性股票激励制度。将数字化渗透率、绿色专利转化率等指标纳入高管考核体系,实现战略目标与绩效考评的深度绑定。

综上所述,随着我国“双碳”目标的持续推进,数字化转型与绿色发展深度融合将成为企业突破资源环境约束、实现可持续发展的关键路径。虽然本研究的假设均得到验证,但样本数据主要来源于上市的重污染公司,行业聚焦的特征使得研究结论在跨行业推广时存在一定的局限性,相关结论是否对其他类型企业的数字化转型与绿色技术创新实践具有参考价值尚需进一步验证。因此,今后的研究亟需构建跨行业、跨区域、跨所有制形式的立体化研究框架,样本覆盖到战略性新兴产业、现代服务业等领域,同时引入中小微企业和专精特新企业的实践案例,通过多源异构数据的交叉验证,不断提升研究结论的普遍性和适用性。此外,后续研究还可以从多学科交叉视角出发,结合企业微观实践与宏观政策导向,进一步深化对数字技术赋能企业绿色技术创新的动态规律与边界条件的认识,以期为国家、社会、企业构建数字化驱动的绿色创新生态系统提供相应的理论支撑与实践指导。

参考文献

- [1] XUE L, ZHANG Q, ZHANG X. Can digital transformation promote green technology innovation? [J]. Sustainability, 2022, 14(12): 7497.
- [2] 郭丰, 杨上广, 柴泽阳. 企业数字化转型促进了绿色技术创新的“增量提质”吗? ——基于中国上市公司年报的文本分析[J]. 南方经济, 2023(02): 146-162
- [3] Kleinert J. Digital transformation[J]. Empirica, 2021(01): 1-3.
- [4] Lakemond N, Holmberg G, Pettersson A. Digital transformation in complex systems[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024(71): 192-204.
- [5] WU y, shi F, WANG y. Driving impact of digital transformation on total factor productivity of corporations: The mediating effect of green technology innovation[J]. Emerging Markets Finance and Trade, 2024(05): 950-966.
- [6] 曾庆芬, 廖宏涛. 重污染企业数字化发展的减排效应研究[J]. 江西社会科学, 2023, 43(01): 110-121.
- [7] 王汀汀, 贾婧雅, 张芳. 制造业数字化转型对绿色技术创新的影响——来自沪深A股上市制造业企业的证据[J]. 工业技术经济, 2023, 42(04): 91-99.
- [8] 翁辰, 马良泽. 高管薪酬激励与企业创新——基于中国上市公司的经验证据[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2022, 28(03): 67-81.
- [9] 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(07): 130-144, 10.
- [10] 李思飞, 李鑫, 王赛, 等. 家族企业代际传承与数字化转型: 激励还是抑制?[J]. 管理世界, 2023, 39(06): 171-191.
- [11] 姜奇平, 刘宇洋, 端利涛. 数字化转型、多元化经营与企业绩效[J]. 技术经济, 2023, 42(04): 82-96.
- [12] 唐松, 孙铮. 政治关联、高管薪酬与企业未来经营绩效[J]. 管理世界, 2014, 248(05): 93-105, 187-188.
- [13] 王馨, 王莹. 绿色信贷政策增进绿色创新研究[J]. 管理世界, 2021, 37(06): 173-188, 11.
- [14] FANG v w, TIAN x, tice s. Does stock liquidity enhance or impede firm innovation?[J]. Journal of Finance, 2014, 69(05): 2085-2125.
- [15] 冉戎, 董迪, 胡轩, 等. 抑制或促进: 企业社会责任与绿色创新绩效[J]. 科研管理, 2023, 44(06): 95-106.
- [16] 吴友. 风险投资管理参与、数字化转型与企业创新[J]. 上海经济研究, 2023, 416(05): 78-92.
- [17] 张泽南, 钱欣钰, 曹新伟. 企业数字化转型的绿色创新效应研究: 实质性创新还是策略性创新?[J]. 产业

经济研究, 2023, 122(01): 86-100.

[18] 陆正飞, 王雄元, 张鹏. 国有企业支付了更高的职工工资吗?[J]. 经济研究, 2012(03): 28-39.

责任编辑: 李桂东

编辑部网址: <http://sk.swpuxb.com>

Effects of Digital Transformation on Green Technology Innovation in Listed Companies: An Analysis Based on Data Mining of Enterprises of Heavy Pollution in Shanghai and Shenzhen Stock Markets

ZHOU Bin, HU Yuqiu

(School of Economics and Management, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan, 610500, China)

Abstract: In the context of the "carbon peaking and carbon neutrality" goals and digital transformation, the digital transformation and green development of enterprises of heavy pollution in China have attracted attention from all sectors of society. Based on imbalanced data of enterprises of heavy pollution in the Shanghai and Shenzhen stock markets from 2007 to 2021, this article conducts an empirical analysis to explore the impact of digital transformation on green technology innovation in enterprises of heavy pollution with executive compensation and government subsidies as moderating variables. We found that digital transformation has a significant positive incentive effect on green technology innovation in enterprises of heavy pollution, and executive compensation and government subsidies will strengthen the positive impact of digital transformation on corporate green technology innovation. According to the research findings, we proposed to accelerate the improvement of digital infrastructure, strengthen the integration and development of digital technology transformation and green technology innovation system, and to optimize enterprise business processes so as to give full play to the important role of digital transformation in green technology innovation of enterprises of heavy pollution, to promote the green development of enterprises of heavy pollution, and to help achieve the "carbon peaking and carbon neutrality" goals.

Keywords: digital transformation; green technology innovation; enterprises of heavy pollution; green development; integrated development; carbon peak and carbon neutrality