

文章编号:1003-2053(2026)08-1695-15

数智化与企业绿色创新“低质低效”困境破解

杨浩昌¹,刘贤雯¹,李廉水²

(1. 南昌大学经济管理学院, 江西南昌 330031; 2. 南京信息工程大学中国制造业发展研究院, 江苏南京 210044)

摘要:推进企业数字化、智能化同绿色化深度融合,破解绿色创新“低质低效”双低困境成为理论与现实的重要问题。本文基于2014-2023年沪深A股上市公司数据,从“提质扩量”和“效率提升”双重视角,探究数智化对企业绿色创新的影响及其作用机制。结果显示:(1)数智化不仅可以促进企业绿色创新提质扩量,而且能够实现企业绿色创新效率提升,经过一系列稳健性检验后该结论依旧成立。(2)机制检验表明,数智化主要通过优化创新资源配置和降低信息不对称等途径破解企业绿色创新“低质低效”困境。(3)异质性分析发现,高环境规制地区、高科技行业、国有和大型企业数智化对绿色创新“提质增效”的作用更为显著。(4)作用效果研究表明,数智化破解绿色创新“低质低效”困境能够进一步提高企业经济、环境以及社会责任表现。本文的研究结论为以数智化驱动企业绿色创新“提质增效”,从而实现“双碳”目标和提升国家创新体系整体效能,塑造企业高质量发展新动能新优势提供了有益启示。

关键词:数智化;绿色创新“低质低效”;创新资源配置;信息不对称;作用效果

中图分类号:F062.3

文献标识码:A

改革开放以来,我国经济快速发展,国内生产总值自2010年超过日本并连年稳居世界第二,然而在经济规模扩张的过程中也存在碳排放总量大、能源利用率偏低等问题。根据国家知识产权局发布的《绿色低碳专利统计分析报告(2024)》,2016-2023年,中国绿色低碳专利申请公开量累计57.3万件,年均增长10.0%,尽管中国绿色低碳专利申请公开量及占全球比重整体呈上升趋势,但我国绿色创新表现出“数量增长、质量滑坡”现象^[1,2]。同时,世界知识产权组织(WIPO)发布的《2024年全球创新指数报告》显示,中国排名世界第11位,但根据国际能源署(IEA)发布的《全球能源评论2025》报告,中国是全球最大的煤炭消费国,这意味着中国绿色创新效率与发达国家相比可能仍存在较大差距^[3]。中国绿色创新正呈现出数量增长而质量滑坡和效率低下的困境^[4]。因此,如何破解我国企业绿色创新“低质低效”困境成为实现“双碳”目标和提升国家创新体系整体效能亟待解决的关键问题。

当前,世界百年未有之大变局加速演进,数字化、网络化、智能化逐渐成为企业转型升级的重要方

向,是我国重塑经济高质量发展新优势的战略选择^[5,6]。2024年7月,《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》明确指出“推进产业数字化智能化同绿色化的深度融合,实现数字技术赋能绿色转型”。数智化将大数据和人工智能有机结合起来,推动了技术革命性突破、生产要素创新性配置和产业转型升级,不仅可以提高企业全要素生产率实现节能减排,并且能有效驱动科技创新和技术进步,进而赋能企业绿色发展和创新提质增效^[7,8]。

因此,研究数智化破解企业绿色创新“低质低效”困境的机制及其作用效果,对于推进数字化智能化同绿色化的深度融合,赋能企业绿色创新“提质增效”,从而塑造我国企业高质量发展新动能新优势具有重要的理论价值和现实意义。

1 文献述评

随着能源环境约束与绿色创新数量增长而质量滑坡和效率低下逐渐成为制约创新驱动和高质量发展的主要瓶颈,绿色创新提质增效问题也日渐成为

收稿日期:2025-06-18;修回日期:2025-08-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72574094);江西省宣传思想文化领域高层次人才专题项目(25ZXRC06);教育部人文社会科学基金项目(24YJC790213)

作者简介:杨浩昌(1989-),男,副教授、博士生导师,E-mail: yanghaochang89@163.com。刘贤雯(2001-),女,硕士研究生。李廉水(1957-),男,教授、博士生导师。

社会关注的焦点。关于数智化对绿色创新提质增效的影响,相关研究主要基于绿色创新质量、绿色创新效率等单一层面,从数字化或智能化角度展开。(1)关于数智化对绿色创新质量的影响研究,李金昌等^[9]研究发现,企业数字化转型对绿色创新质量具有显著的正向影响。Han 和 Mao^[10]发现智能化转型促进了企业绿色创新质量的提高。肖静和曾萍^[11]研究发现,数字化能够显著提升企业绿色创新质量和数量,并且对绿色创新质量提升作用更为明显。(2)关于数智化对绿色创新效率的影响研究,主要有两种观点:一种认为数字化或智能化显著促进绿色创新效率。张琦等^[12]研究发现,工业智能化能够显著提高绿色创新效率。Lin 和 Xie^[13]研究发现,数字化转型对绿色创新效率具有显著的正向影响。另一种则认为数字化或智能化对绿色创新效率的影响存在不确定性。Li 等^[14]研究结果显示,在数字经济的影响下,战略性新兴产业的绿色创新效率总体呈 U 型波动趋势。

综上所述,已有文献为研究通过数智化破解企业绿色创新“低质低效”困境提供了有益借鉴,但是仍存在以下问题有待深入探索:首先,关于绿色创新提质增效的研究较少,相关文献大多集中于绿色创新质量或效率等单一维度,鲜有从“提质扩量”和“效率提升”双重视角对绿色创新进行研究,不利于统筹好绿色创新提质增效中提高质量和做大总量以及提升效率的关系。其次,现有关于数智化赋能绿色创新提质增效的直接研究并不多见,相关文献主要从数字化或智能化等单一层面分析,且研究结论也存在较大分歧,同时缺乏探究数智化对绿色创新的影响机制。再次,数智化可能会因区域、行业、企业不同具有不同程度的影响,而现有文献相对缺乏基于差异性特征,深入探究数智化对绿色创新“提质增效”的异质性影响。此外,鲜有进一步分析数智化破解企业绿色创新“低质低效”困境带来的作用效果。

鉴于此,本文的边际贡献可能在于:(1)基于“提质扩量”和“效率提升”双重视角,分析数智化对企业绿色创新的影响,且从优化创新资源配置、降低信息不对称方面揭示数智化影响企业绿色创新提质增效的作用机制与传导路径,以期探究利用数智化破解企业绿色创新“低质低效”双低困境提供新的思路与方案。(2)进一步基于区域、行业、企业层面差异性特征,探究数智化对企业绿色创新提质增效

的异质性影响,为相关部门精准施策提供一定的理论支持与经验证据;(3)将推进企业经济、环境及社会责任表现作为数智化破解企业绿色创新“低质低效”困境带来的影响纳入分析框架,深化和拓宽了破解企业绿色创新“低质低效”情境下数智化的作用效果研究,不仅为推进企业数字化、智能化同绿色化深度融合提供了新着力点,也为提高企业持续获利能力、环境绩效和社会责任表现提供了实践启示和新的可能性。

2 理论分析与研究假设

2.1 数智化与企业绿色创新提质增效

绿色创新是企业实现减污降碳,推动经济绿色低碳转型的重要手段,随着数智技术的快速发展和广泛应用,数智化转型将驱动企业绿色创新由“低质低效”向“提质增效”转变。具体来说:

(1)数智化通过大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术可以有效提高企业生产设备的数字化和智能化水平,推动企业绿色创新流程与生产方式变革重组,加快绿色创新产出,提升绿色创新效率。同时,数智化也有助于加快企业污染物处理工艺升级,进而降低企业生产过程中能源消耗和污染物排放,促进绿色创新数量增加与质量提升,实现企业绿色创新“提质增效”。

(2)一方面,企业通过数智技术能够以更高水平实现对市场需求的精准识别,充分挖掘与整合信息,加快知识共享与技术溢出,从而激发企业绿色创新活力与潜能,促进绿色创新成果产生与扩散^[3],进而提高企业绿色创新数量与质量。另一方面,能够有效推动技术革命性突破、生产要素创新性配置,有利于新技术、新产业、新业态、新模式的培育与构建,从而提高企业全要素生产率实现节能减排,推进企业绿色创新效率提升,进而推动企业绿色创新“提质增效”。

(3)随着数字化智能化的深度融合,推动企业由“大”向“强”、由“智”向“质”转变,数智化将倒逼传统产业进行绿色低碳转型和创新驱动升级,从而迫使企业淘汰高污染、高能耗、高排放产业项目,推动企业进行实质性绿色创新,挤掉“绿色创新泡沫”,带动资本、劳动、技术和信息等要素向绿色创新效率高的行业流动,最终赋能企业绿色创新“提质增效”。因此,提出如下假设:

H1a:数智化对企业绿色创新数量存在显著的提升作用。

H1b:数智化对企业绿色创新质量存在显著的提升作用。

H1c:数智化对企业绿色创新效率存在显著的提升作用。

2.2 创新资源配置的中介作用

数智化将数字技术和智能技术融合,使得各种优质创新要素高效流向关键核心技术领域,促进了企业颠覆性、原创性技术的创新资源配置效率和科技创新效率提高,进而促进企业绿色创新“提质增效”。

肖静和曾萍^[11]指出企业自身创新资源主要分为人才和资金两方面,是优化企业资源配置的重要关注点。数智化能够提升企业创新人力资源配置效率与创新财力资源配置效率,进而推动企业绿色创新“提质增效”。一方面,人力资源具有强大的创造力,创新人才掌握创新知识与技术,能够推动企业整体绿色创新能力提升,引入和培养具有创新思维和能力的高技术人才,有助于在绿色创新中保持有利地位。另一方面,创新财力投入为企业进行绿色创新活动提供了充足保障,企业通过增加研发投入,进行开拓创新逐步实现创新能力的改善与升级。创新资源配置的优化,有利于降低组织内部沟通成本,从而加快创新要素整合^[15],实现企业绿色创新“提质增效”。因此,提出如下假设:

H2a:数智化能够通过优化创新资源配置提升企业绿色创新数量。

H2b:数智化能够通过优化创新资源配置提升

企业绿色创新质量。

H2c:数智化能够通过优化创新资源配置提升企业绿色创新效率。

2.3 信息不对称的中介作用

随着信息技术的发展,企业数智化对于信息共享提出了更高要求,出于市场竞争及运营成本多方面考虑,部分企业未披露相关信息,一定程度上加剧了信息不对称程度。数智化不仅能够降低企业信息不对称所带来的搜寻成本,还能提高信息透明度和实效性,信息知识能够以低成本、迅速实时交流与分享^[16],促进企业绿色创新“提质增效”。

一方面,随着数智技术的广泛运用,国家对于数字经济支持力度不断加大,企业进行数智化战略与国家的方针政策相符合,引发大量的媒体及分析师关注,通过“曝光”吸引大量投资者及社会关注,降低投资者与企业间信息不对称程度增强市场正面预期^[17],为企业进行绿色创新提供更多资源,加快信息共享与知识整合,促进高质量绿色创新成果扩散、流动、共享,进而提升企业绿色创新数量与质量以及效率。另一方面,通过外部约束作用,可以在一定程度上抑制企业虚假绿色创新发展的想法,督促企业更加重视实质性绿色创新,推动企业绿色创新“提质增效”。因此,提出以下假设:

H3a:数智化能够通过降低信息不对称提升企业绿色创新数量。

H3b:数智化能够通过降低信息不对称提升企业绿色创新质量。

H3c:数智化能够通过降低信息不对称提升企业绿色创新效率。

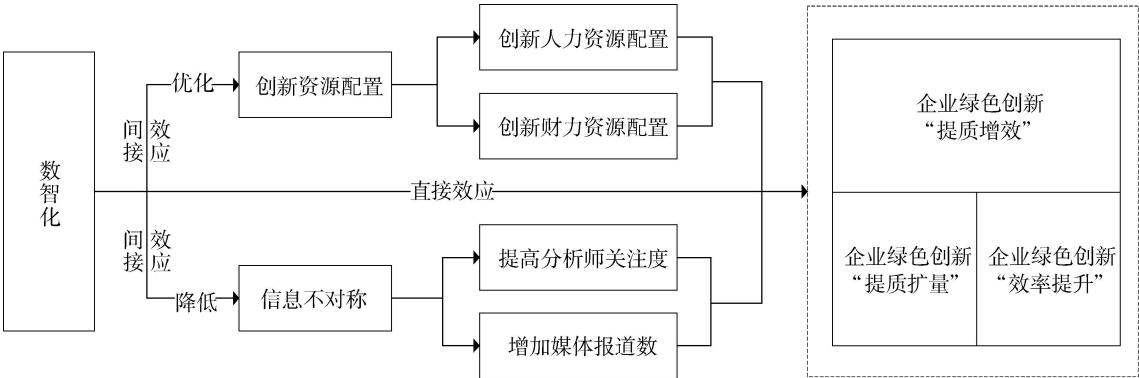


图 1 数智化对企业绿色创新“提质增效”的影响机理

Figure 1 Impact mechanism of digital intelligence on "quality and efficiency improvement" in enterprise green innovation

3 研究设计

3.1 样本选择与数据来源

本文选取中国沪深A股上市公司2014–2023年数据作为研究样本,并对数据进行如下处理:(1)剔除金融和房地产行业数据;(2)剔除样本期内ST、*ST或PT企业及主要变量缺失样本;(3)将连续变量进行上下1%的缩尾处理,以避免极端值影响。本文研究数据主要来源于CNRDS、CSMAR数据库、上市公司年报、巨潮资讯网等。

3.2 变量说明

(1) 被解释变量

绿色创新“提质增效”(GIP)。本文基于“提质扩量”和“效率提升”双重视角,从绿色创新数量与质量以及效率三个方面来衡量。其中借鉴王馨和王营^[18]的做法,将绿色实用新型专利与发明专利总量衡量绿色创新数量(GIS),绿色发明专利申请数量衡量绿色创新质量(GIQ),均加1后取自然对数;参考刘畅等^[19]的研究,绿色创新效率(GIE)采用绿色创新产出和绿色创新投入比值衡量,其中绿色创新投入以上市公司年度研发支出对数替代,绿色创新产出以上市公司绿色发明专利和实用新型专利的总申请量加1取自然对数衡量。

(2) 解释变量

数智化水平(DI)。参考吴非等^[20]、张秀娥等^[8]的研究方法,以企业年报关键词词频统计构建企业数智化指标。选取五大类别共76个特征词,借助Python的Jieba分词功能,对年报进行文本处理并提取关键词进行加总,同时将其对数化处理,得到企业数智化水平。

(3) 机制变量

①创新资源配置。分为创新人力资源配置和创新财力资源配置,参考肖静和曾萍^[11]、郭玥^[21]的研究,创新人力资源配置以企业研发人员占比(IRp)表示,创新财力资源配置以研发支出与总资产的比值(RD)表示。

②信息不对称性。参考李鑫等^[17]的做法,采用分析师关注度(Analysts)和新闻报道数(News)对信息不对称进行衡量。其中,分析师关注度指标以分析师关注人数加1取自然对数;新闻报道数以媒体正面新闻报道数加1取自然对数表示。

(4) 控制变量

本文参考已有研究,结合研究目的,控制变量选取如下:公司规模(Size),总资产取自然对数;总资产周转率(ATO),营业收入比平均资产总额;营业收入增长率(Growth),营业收入增长额比上一年营业收入;托宾Q值(TobinQ),市值比总资产;公司成立年限(FirmAge),当年年份减公司成立年份加1并对数化处理。

3.3 模型构建

(1) 基准回归模型

为了探究数智化对企业绿色创新“提质增效”的影响,构建以下模型进行检验:

$$GIP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DI_{it} + \sum \alpha_j Controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标*i*表示企业,*t*表示年份,GIP为被解释变量,表示企业绿色创新“提质增效”,分别采用绿色创新数量GIS、绿色创新质量GIQ、绿色创新效率GIE表示,DI为解释变量,表示企业数智化水平,Controls为一系列控制变量, μ_i 、 δ_t 、 ε_{it} 分别表示个体固定效应、年份固定效应以及随机误差项。此外,本文对标准误差进行企业层面的聚类调整。

(2) 中介机制检验模型

为了探讨数智化对企业绿色创新影响的内在机制,构建中介效应模型并结合基准回归对假设进行检验,其中IR表示创新资源配置,包括创新人力资源配置IRp和创新财力资源配置RD。

$$IR_{it} = \beta_0 + \beta_1 DI_{it} + \sum \beta_j Controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GIP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DI_{it} + \gamma_2 IR_{it} + \sum \gamma_j Controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

同时,关于信息不对称(Inform)的中介作用,通过以下中介效应模型进行检验,采用分析师关注度(Analysts)和新闻报道数(News)来分别衡量信息不对称。

$$Inform_{it} = \theta_0 + \theta_1 DI_{it} + \sum \theta_j Controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$GIP_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 DI_{it} + \varphi_2 Inform_{it} + \sum \varphi_j Controls_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

4 实证结果与分析

4.1 基准回归分析

表 1 汇报了基准回归的结果,其中第(1)、(3)、(5)列未加入控制变量,第(2)、(4)、(6)列加入控制变量。从结果看,数智化的系数均在 1% 水平上显著为正,表明数智化能够促进企业绿色创新“提质增效”,假设 H1a、H1b 和 H1c 得到验证。

表 1 基准回归结果
Table 1 Benchmark regression results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>GIS</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>	<i>GIE</i>
<i>DI</i>	0.0238 *** (4.1496)	0.0198 *** (3.3892)	0.0232 *** (4.9922)	0.0205 *** (4.2852)	0.0012 *** (3.8387)	0.0010 *** (3.2942)
<i>Size</i>		0.0612 *** (4.3553)		0.0431 *** (3.6656)		0.0024 *** (3.2115)
<i>ATO</i>		0.0414 * (1.9069)		0.0314 * (1.6739)		0.0016 (1.4246)
<i>Growth</i>		-0.0317 *** (-3.3047)		-0.0257 *** (-3.3354)		-0.0016 *** (-3.1627)
<i>TobinQ</i>		0.0106 *** (2.6906)		0.0109 *** (3.2096)		0.0005 ** (2.2400)
<i>FirmAge</i>		0.0756 (0.5720)		0.0192 (0.1780)		0.0029 (0.4169)
<i>Constant</i>	0.3742 *** (37.4688)	-1.2494 *** (-2.6140)	0.2454 *** (30.2859)	-0.8048 ** (-2.0609)	0.0200 *** (37.7967)	-0.0427 * (-1.7019)
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238
<i>Adj R²</i>	0.6790	0.6797	0.6593	0.6598	0.6613	0.6616

注: *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 水平上显著,括号内为 *t* 值,下文同。

4.2 稳健性检验

(1) 内生性问题处理

① 工具变量法

为了解决逆向因果和遗漏变量等导致的内生性问题,采用工具变量法进行两阶段最小二乘回归(2SLS),参考李雪松等^[22]的做法,采用份额移动工具变量法与 Lewbel 的方法构造数智化的工具变量,记为 *IV*。表 2 报告了回归结果,第一阶段 *IV* 在 1% 水平上显著,说明工具变量具有相关性。第二阶段 *DI* 系数显著为正,在使用工具变量的情况下,企业数智化对绿色创新表现均具有显著的正向影响,同时 Kleibergen - Paap *rk LM* 统计量和 Kleibergen - Paap *rk Wald F* 统计量表明拒绝工具变量识别不足和弱工具变量假设。因此本文选取的 *IV* 是合理的,基准回归的结果是稳健的。

② 倾向得分匹配法

考虑到可能存在样本自选择偏误问题,无法准确评估数智化对企业绿色创新“提质增效”的真实影响。因此,采用倾向得分匹配法(*PSM*)进一步检验数智化对企业绿色创新“提质增效”的影响,通过匹配具有相似特征的企业,缓解内生性问题。参考李金昌等^[9]的做法,采用年度数智化均值作为划分标准,将高于样本均值设置为处理组,低于均值为对照组,进一步使用本文所有控制变量作为协变量,采用 1 : 1 最近邻匹配,确保两组样本在公司特征上基本一致。

对匹配后的样本数据进行回归,结果如表 3 所示,数智化对企业绿色创新的影响系数均显著为正,与基准回归基本一致,说明在进一步消除选择偏差问题后,本文的结论仍然稳健。

表 2 工具变量法检验回归结果

Table 2 Instrumental variable method test regression results

变量	第一阶段		第二阶段	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>DI</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>
<i>IV</i>	0.0349 * * *			
	(37.4602)			
<i>DI</i>		0.0316 * *	0.0403 * * *	0.0016 * *
		(2.3828)	(3.3889)	(2.3779)
<i>Size</i>	0.1011 * * *	0.0644 * * *	0.0424 * * *	0.0026 * * *
	(4.7669)	(3.8664)	(3.0629)	(2.9303)
<i>ATO</i>	0.0473	0.0622 * *	0.0477 * *	0.0027 * *
	(1.4548)	(2.3952)	(2.1319)	(1.9827)
<i>Growth</i>	0.0456 * * *	-0.0345 * * *	-0.0290 * * *	-0.0018 * * *
	(3.2686)	(-3.0419)	(-3.1775)	(-2.9062)
<i>TobinQ</i>	0.0282 * * *	0.0109 * *	0.0120 * * *	0.0005 * *
	(4.4346)	(2.4039)	(3.0710)	(1.9668)
<i>FirmAge</i>	-0.5725 * * *	0.0196	-0.0081	-0.0004
	(-3.0545)	(0.1170)	(-0.0589)	(-0.0472)
<i>Constant</i>	0.5738			
	(0.8283)			
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	22,505	22,505	22,505	22,505
<i>Kleibergen - Paap rk LM</i> 统计量			721.279 * * *	
<i>Kleibergen - Paap rk Wald F</i> 统计量			1403.326 [16.38]	

(2)其他稳健性检验

①替换被解释变量

以企业联合申请的绿色专利之和重新刻画企业绿色创新数量 *GIS*_2 ,申请的绿色发明专利被引用数量替换绿色创新质量 *GIQ*_2 ,绿色发明专利的申请数作为绿色创新产出,绿色创新投入使用研发投入金额,计算绿色创新效率 *GIE*_2 ,表 4 结果表明,数智化的回归系数仍显著为正,说明结果具有稳健性。

②替换解释变量

考虑到词频构建可能存在偶然性,本文替换解释变量,参考赵宸宇等^[7]的研究,重新构建特征词库进行处理,得到数智化指标 *DIGI* ,结果如表 4 第(4) - (6)列显示,解释变量系数仍显著,验证了基准回归结果是稳健的。

③剔除计算机、通信和其他电子设备制造业行业

计算机及通信等行业的数字化智能化及信息化程度较高,可能对回归结果有影响,因此剔除样本中计算机、通信和其他电子设备制造业行业进行回归,表 4 结果表明,剔除部分行业样本数据后,数智化对企业绿色创新数量与质量以及效率的影响仍然是显著的。

④剔除部分年份

考虑到部分年份受到冲击会影响结果,本文剔除 2015 年(中国股灾)和 2018 年(亚洲金融危机)的样本数据,以尽可能避免不可抗因素带来的影响,结果与基准回归基本一致,因此本文研究结论是稳健的。

表 3 PSM 检验回归结果

Table 3 PSM test regression results

变量	(1)	(2)	(3)
	GIS	GIQ	GIE
<i>DI</i>	0.0205*** (2.6403)	0.0158** (2.5092)	0.0010*** (2.5091)
<i>Size</i>	0.0830*** (4.5109)	0.0659*** (4.1975)	0.0035*** (3.5387)
<i>ATO</i>	0.0436 (1.4916)	0.0298 (1.2174)	0.0018 (1.1416)
<i>Growth</i>	-0.0274* (-1.9034)	-0.0209* (-1.7491)	-0.0015* (-1.9277)
<i>TobinQ</i>	0.0153*** (2.9498)	0.0143*** (3.3675)	0.0007*** (2.5210)
<i>FirmAge</i>	0.0032 (0.0201)	-0.0537 (-0.4270)	-0.0009 (-0.1055)
<i>Constant</i>	-1.5216*** (-2.5509)	-1.0866*** (-2.2208)	-0.0564* (-1.7923)
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	14,889	14,889	14,889
<i>Adj R²</i>	0.6770	0.6569	0.6601

表 4 稳健性检验

Table 4 Robustness tests

变量	替换被解释变量			替换解释变量		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	GIS_2	GIQ_2	GIE_2	GIS	GIQ	GIE
<i>DI</i>	0.0137*** (3.4060)	0.0400*** (2.7648)	0.0011*** (4.3102)			
<i>DIGI</i>				1.0128** (2.1427)	1.2297*** (2.8885)	0.0521*** (2.1691)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	28,238	9,177	28,238	28,238	28,238	28,238
<i>Adj R²</i>	0.5566	0.7563	0.6415	0.6796	0.6598	0.6616

续表 4

变量	剔除行业影响			剔除部分年份		
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>
<i>DI</i>	0.0202*** (3.2944)	0.0204*** (4.0594)	0.0010*** (3.1960)	0.0234*** (3.7206)	0.0224*** (4.4153)	0.0012*** (3.5862)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	25,010	25,010	25,010	23,602	23,602	23,602
<i>Adj R</i> ²	0.6833	0.6631	0.6662	0.6822	0.6586	0.6645

4.3 机制检验

(1) 创新资源配置机制检验

本文选用创新人力资源配置和创新财力资源配置作为创新资源配置的机制变量,结果如表 5 所示。数智化能够提升企业创新资源配置,同时数智化和

创新资源配置的系数至少在 5% 水平上显著为正,且自变量的回归系数均小于基准回归系数,数智化可以通过提升企业创新资源配置,进而提高企业绿色创新数量与质量以及效率,假设 H2a、H2b、H2c 分别得到验证。

表 5 创新资源配置检验结果
Table 5 Innovation resource allocation test results

变量	创新人力资源配置					创新财力资源配置		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>IRp</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>	<i>RD</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>
<i>DI</i>	0.2670*** (3.4939)	0.0143** (2.3562)	0.0166*** (3.3101)	0.0007** (2.2809)	0.0598*** (4.5646)	0.0185*** (3.1619)	0.0194*** (4.0375)	0.0010*** (3.1245)
<i>IRp</i>		0.0037*** (3.7608)	0.0029*** (3.3947)	0.0002*** (3.4605)				
<i>RD</i>						0.0219*** (4.5115)	0.0188*** (4.4422)	0.0009*** (3.4124)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	26,004	26,004	26,004	26,004	28,238	28,238	28,238	28,238
<i>Adj R</i> ²	0.9005	0.6887	0.6680	0.6711	0.8689	0.6801	0.6603	0.6619

(2) 信息不对称机制检验

降低信息不对称性从企业分析师关注度和媒体正面新闻报道数两个角度考虑,从表 6 可以看出,数智化对分析师关注度和媒体正面新闻报道数的系数均显著,同时数智化和机制变量对绿色创新的系数均显著,说明数智化能够通过降低信息不对称实现企业绿色创新“提质增效”,假设 H3a、H3b、H3c 成立。

4.4 异质性分析

为进一步探究不同属性的企业数智化对于绿色创新“提质增效”的影响,按照区域、行业、企业异质性进行分组回归,同时采用费舍尔组合检验组间系数差异。

(1) 区域异质性

企业所在地区的环境规制强度不同,数智化对绿色创新的影响也可能存在差异。政府的环境规制越强,企业越可能投入更多资源进行绿色创新,提升

生产效率、减少环境污染,以迎合政府的要求。本文按照企业所在地区环境规制强度将上市公司划分为高环境规制和低环境规制,结果如表 7 第(1) - (6)列所示。数智化在高环境规制地区对于绿色创新“提质增效”具有显著的促进作用,在低环境规制地区的促进作用并不显著,且具有显著的组间差异。

表 6 信息不对称检验结果
Table 6 Information asymmetry test results

变量	分析师关注度					媒体报道数		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>Analysts</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>	<i>News</i>	<i>GIS</i>	<i>GIQ</i>	<i>GIE</i>
<i>DI</i>	0.0166 *	0.0196 ***	0.0203 ***	0.0010 ***	0.0138 *	0.0197 ***	0.0204 ***	0.0010 ***
	(1.7882)	(3.3520)	(4.2445)	(3.2598)	(1.8024)	(3.3696)	(4.2693)	(3.2762)
<i>Analysts</i>		0.0144 **	0.0129 ***	0.0007 **				
		(2.5590)	(2.7437)	(2.3073)				
<i>News</i>						0.0106 **	0.0076 *	0.0005 *
						(2.1507)	(1.8032)	(1.9122)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238	28,238
<i>Adj R²</i>	0.7107	0.6798	0.6599	0.6617	0.7909	0.6797	0.6598	0.6617

(2)行业异质性

根据企业是否属于高科技行业将样本划分为高科技企业 and 非高科技企业,从表 7 第(7) - (12)列可以看出,数智化发展对高科技行业企业绿色创新具有显著的促进作用,对非高科技行业企业的促进作用并不显著,可能是高科技行业企业本身数字化智能化程度较高,资源技术具有优势,在绿色创新“提质增效”方面的积极性更高。

(3)企业异质性

①产权性质异质性

按照产权性质将样本划分为国有和非国有企业,回归结果如表 7 第(13) - (18)列所示。数智化对国有企业和非国有企业的绿色创新均有显著影响,且对国有企业的促进作用更显著,可能由于国有企业相较于非国有企业具有更多的技术和资金支持,使得国有企业的数智化对企业绿色创新“提质增效”的作用更加明显。

②企业规模异质性

根据样本企业规模中位数,将企业划分为大型和中小型企业,结果如表 7 第(19) - (24)列所示。数智化对于大规模企业绿色创新数量与质量和效率均有显著的正向影响,对于中小型企业,数智化对绿

色创新质量的影响显著为正,而对绿色创新数量和效率的影响并不显著,且大型企业的促进作用更显著。可能是由于企业进行绿色创新存在一定的风险,且收益具有不确定性,开展创新活动需要持续性的资金、人员等支持,大型企业具备一定的抗风险能力,进行数智化转型能够显著促进绿色创新,中小型企业技术资金等处于薄弱地位,获取信息及先进技术成本更高,开展创新活动中需要承担一定的风险,导致对绿色创新影响不显著。

4.5 作用效果分析

绿色创新不仅是促进企业在市场竞争中获得优势地位、增强持续获利能力的驱动力量,也是企业主动承担社会责任、践行可持续发展理念的重要途径,有助于协调经济增长与环境保护实现“双赢”^[23]。因此,本文从经济、环境、社会责任三个方面来分析数智化破解绿色创新“低质低效”的作用效果。

一是企业持续获利能力。企业绿色创新水平提升能够增强企业在市场中的地位,增强持续获利能力。借鉴杨仁发和杨梅君^[24]的研究,选取每股企业自由现金流对企业持续获利能力进行衡量,如表 8 所示。第(1)列的 *DI* 系数显著为正,表明数智化能够有效提升企业持续获利能力,第(2) - (4)列回归

表 7 异质性分析回归结果

Table 7 Heterogeneity analysis regression results

变量	区域层面												行业层面																																			
	GIS				GIQ				GIE				GIS				GIQ				GIE																											
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)																								
控制变量	高规制				低规制				高规制				低规制				高科技				非高科技				高科技				非高科技																			
	0.0222***				0.0024				0.0205***				0.0083				0.0012***				0.0001				0.0249***				0.0075				0.0250***				0.0100				0.0013***				0.0004			
	(2.7239)				(0.2813)				(2.9814)				(1.2194)				(2.6855)				(0.1835)				(3.2569)				(0.8514)				(4.1342)				(1.3223)				(3.1602)				(0.8750)			
	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
	id FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
N	14,564	12,354	14,564	12,354	14,564	12,354	14,564	12,354	14,564	12,354	12,354	12,354	14,564	12,354	14,564	12,354	12,354	12,354	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	19,063	9,131	9,131													
Adj R ²	0.6804	0.7016	0.6519	0.6959	0.6637	0.6803	0.6810	0.6599	0.6676	0.6110	0.6615	0.6483	0.032**	0.078*	0.030**	0.077*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*	0.064*	0.091*														
费舍尔组合检验																																																
企业层面																																																
变量	产权性质												企业规模																																			
	GIS				GIQ				GIE				GIS				GIQ				GIE																											
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)												
控制变量	国有				非国有				国有				非国有				大规模				中小规模				大规模				中小规模				大规模				中小规模											
	0.0371***				0.0113*				0.0381***				0.0118**				0.0018***				0.0006*				0.0283***				0.0096				0.0275***				0.0112**				0.0014***				0.0005			
	(3.2562)				(1.6893)				(4.0359)				(2.1912)				(3.0999)				(1.7152)				(3.0095)				(1.3153)				(3.4255)				(2.0505)				(2.8837)				(1.2706)			
	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
	id FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes												
N	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	8,641	19,597	19,597	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907	13,995	13,907													
Adj R ²	0.7299	0.6465	0.7176	0.6174	0.7101	0.6317	0.7259	0.5884	0.7047	0.5578	0.7129	0.5793	0.028**	0.009***	0.043**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*	0.041**	0.053*														
费舍尔组合检验																																																

注: 组间系数差异检验的经验 P 值通过费舍尔组合检验得到, *bootstrap* 抽样次数为 1000 次。

结果表明数智化破解绿色创新“低质低效”困境有助于提升企业持续获利能力。

表 8 持续获利能力的作用效果分析
Table 8 Analysis on the effect of sustainable profitability

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DI</i>	0.0659*** (2.3807)	0.0620*** (2.2392)	0.0621*** (2.2410)	0.0621*** (2.2447)
<i>GIS</i>		0.1958*** (4.4967)		
<i>GIQ</i>			0.1798*** (3.5000)	
<i>GIE</i>				3.6347*** (4.4430)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	27,176	27,176	27,176	27,176
<i>Adj R²</i>	0.2180	0.2188	0.2184	0.2187

二是企业环境绩效。参考王馨和王营^[18]的研究,使用企业当年是否获得环境表彰衡量。企业绿色创新水平提升,能够进一步增加企业对环境的积极作用,增强企业的环境表现,结果如表 9,可以看出数智化破解绿色创新“低质低效”困境也有助于提高企业环境绩效,提升企业正面形象。

三是企业社会责任表现。绿色创新“提质增效”有利于推进企业积极履行社会责任,实现企业高质量发展。本文采用华证 ESG 得分衡量企业社会责任表现,ESG 包含了可持续发展和企业社会责任的综合理念^[25],结果如表 10 所示,可以看出数智化破解绿色创新困境能够进一步提高企业社会责任表现。

5 结论与政策启示

基于 2014 – 2023 年沪深 A 股上市公司数据,本文从“提质扩量”和“效率提升”双重视角分析了数智化对企业绿色创新的影响及其作用机制。研究结论如下:(1)数智化不仅可以促进企业绿色创新提质扩量,而且能够实现绿色创新效率提升,该结论在经过一系列稳健性检验后依然成立。(2)机制检验表明,数智化主要通过优化创新资源配置和降低信息不对称等途径破解企业绿色创新“低质低效”困境。(3)异质性分析发现,高环境规制地区、高科技

行业、国有企业、大型企业的数智化对企业绿色创新数量、质量和效率的促进作用更加显著。同时,数智化破解绿色创新“低质低效”困境能够进一步提高企业持续获利能力、环境绩效以及社会责任表现。

基于此,得出以下政策启示:

一是以数智化赋能绿色化,推进数字化智能化同绿色化的深度融合。应积极深化人工智能、大数据等数智技术应用,实现数智技术赋能绿色转型。同时,应加大对数字化、智能化等新型基础设施建设的支持力度,构建完善的数智基础设施体系,鼓励企业用数智技术、绿色技术改造提升传统产业,支持企业进行绿色创新活动,加快数字化智能化同绿色化的深度融合,推动经济社会绿色低碳转型,促进企业绿色创新高质量发展。

二是持续优化创新资源配置,降低信息不对称。一方面,应加强创新资源统筹和协调能力,坚持有效市场和有为政府有机结合,优化激励机制吸引优秀人才,并通过专项科研经费、创新基金等资金支持。另一方面,应注重创新资源的合理配置,通过数智技术实现创新资源利用最大化,并推进提效降耗。此外,还应建立健全信息披露制度,提高信息公开性和透明度,减少信息不对称风险,提升企业内外部信息传输效率,构建跨部门、跨行业的数据共享平台,整合信息资源,打破数据孤岛,进而破解企业绿色创新“低质低效”双低困境。

表 9 环境绩效的作用效果分析

Table 9 Analysis on the effect of environmental performance

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DI</i>	0.0079 * *	0.0077 * *	0.0076 * *	0.0077 * *
	(2.1675)	(2.1055)	(2.0933)	(2.1154)
<i>GIS</i>		0.0112 * *		
		(2.2898)		
<i>GIQ</i>			0.0129 * *	
			(2.1524)	
<i>GIE</i>				0.1824 * *
				(2.0549)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	28,238	28,238	28,238	28,238
<i>Adj R²</i>	0.3854	0.3856	0.3856	0.3856

表 10 企业社会责任表现的作用效果分析

Table 10 Analysis on the effect of social responsibility performance of the enterprise

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>DI</i>	0.0192 * *	0.0186 * *	0.0186 * *	0.0186 * *
	(2.0810)	(2.0221)	(2.0201)	(2.0250)
<i>GIS</i>		0.0280 * *		
		(2.5261)		
<i>GIQ</i>			0.0279 * *	
			(2.0680)	
<i>GIE</i>				0.5152 * *
				(2.5213)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>id FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>year FE</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	27,908	27,908	27,908	27,908
<i>Adj R²</i>	0.5068	0.5070	0.5069	0.5070

三是实施差异性数智化转型策略,促进绿色创新整体“提质增效”。基于各地区资源禀赋和比较优势,制定差异化的数智化转型实施方案,根据行业与企业不同的特征属性对企业数智化转型精准助力,为数智化转型落后的行业和企业给予合理的政策倾斜与资金扶持,同时对部分缺乏绿色创新动力的行业和企业,制定相应的激励政策或专项补贴来缓解绿色创新初期带来的成本压力。通过实施优势

互补的数智化转型策略,加速弥合不同区域、行业和企业绿色创新水平差距,探索建立跨区域协同、跨行业耦合和跨企业合作的绿色创新共享模式,促进企业绿色创新整体“提质增效”。

参考文献:

[1] 陶锋,赵锦瑜,周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济,2021(2):136-154. Tao F, Zhao

- J Y, Zhou H. Does environmental regulation improve the quantity and quality of green innovation——Evidence from the target responsibility system of environmental protection [J]. *China Industrial Economics*, 2021(2):136–154.
- [2] Tang C, Xu Y, Hao Y, et al. What is the role of telecommunications infrastructure construction in green technology innovation? A firm – level analysis for China[J]. *Energy Economics*, 2021, 103: 105576.
- [3] Yang H, Li L, Liu Y. The effect of manufacturing intelligence on green innovation performance in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 178: 121569.
- [4] 诸竹君,黄先海,王毅. 外资进入与中国式创新双低困境破解[J]. *经济研究*, 2020, 55(5):99–115. Zhu Z J, Huang X H, Wang Y. FDI entry and the solution to the double low dilemma of Chinese innovation[J]. *Economic Research Journal*, 2020, 55(5):99–115.
- [5] 李廉水,石喜爱,刘军. 中国制造业40年:智能化进程与展望[J]. *中国软科学*, 2019(1):1–9, 30. Li L S, Shi X A, Liu J. 40 years of manufacturing in China: Intelligentization process and outlook [J]. *China Soft Science*, 2019(1):1–9, 30.
- [6] 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*, 2023, 58(3):97–115. Huang B, Li H T, Liu J Q, et al. Digital technology innovation and the high – quality development of Chinese enterprises: Evidence from enterprise’s digital patents[J]. *Economic Research Journal*, 2023, 58(3):97–115.
- [7] 赵宸宇,王文春,李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率[J]. *财贸经济*, 2021, 42(7):114–129. Zhao C Y, Wang W C, Li X S. How does digital transformation affect the total factor productivity of enterprises? [J]. *Finance & Trade Economics*, 2021, 42(7):114–129.
- [8] 张秀娥,王卫,于泳波. 数智化转型对企业新质生产力的影响研究[J]. *科学学研究*, 2025, 43(5):943–954. Zhang X E, Wang W, Yu Y B. Research on the influence of digital intelligence transformation on the new quality productivity of enterprises [J]. *Studies in Science of Science*, 2025, 43(5):943–954.
- [9] 李金昌,连港慧,徐蔼婷. “双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023, 40(9):27–49. Li J C, Lian G H, Xu A T. Study on the path of enterprise green transformation under the carbon peaking and carbon neutrality goals: An empirical study on digitalization driving greenization [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2023, 40(9):27–49.
- [10] Han F, Mao X. Impact of intelligent transformation on the green innovation quality of Chinese enterprises: Evidence from corporate green patent citation data[J]. *Applied Economics*, 2024, 56(45):5342–5359.
- [11] 肖静,曾萍. 数字化能否实现企业绿色创新的“提质增量”? ——基于资源视角[J]. *科学学研究*, 2023, 41(5):925–935, 960. Xiao J, Zeng P. Does digitalization improve the quality and quantity of enterprise green innovation? ——Based on resource perspective [J]. *Studies in Science of Science*, 2023, 41(5):925–935, 960.
- [12] 张琦,蒋军锋,贾窦洁. 工业智能化对绿色创新效率的影响研究——基于政府干预的调节效应分析[J]. *贵州财经大学学报*, 2023(5):101–110. Zhang Q, Jiang J F, Jia D J. Research on the influence of industrial intelligence on green innovation efficiency——A analysis of the moderating effect based on government intervention[J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics*, 2023(5):101–110.
- [13] Lin B, Xie Y. Impact assessment of digital transformation on the green innovation efficiency of China’s manufacturing enterprises[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024, 105: 107373.
- [14] Li X, Zhang Y, Zhou S, et al. Exploration and future trends on spatial correlation of green innovation efficiency in strategic emerging industries under the digital economy: A social network analysis[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 359: 121005.
- [15] 李璨,陈博,张艾嘉,等. 我国制造业企业数字化转型路径分类及绩效研究[J]. *科学学研究*, 2025, 43(8):1715–1728. Li C, Chen B, Zhang A J, et al. Research on path classification and performance of digital transformation in Chinese manufacturing enterprises[J]. *Studies in Science of Science*, 2025, 43(8):1715–1728.
- [16] 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. Wang F Z, Liu X L, Zhang L, et al. Does digitalization promote green technology innovation of resource – based enterprises? [J]. *Studies in Science of Science*, 2022, 40(2):332–344.
- [17] 李鑫,徐琼,王核成. 企业数字化转型与绿色技术创新[J]. *统计研究*, 2023, 40(9):107–119. Li X, Xu Q, Wang H C. Enterprise digital transformation and

- green technology innovation[J]. Statistical Research, 2023,40(9):107-119.
- [18] 王馨,王营.绿色信贷政策增进绿色创新研究[J].管理世界,2021,37(6):173-188,11. Wang X, Wang Y. Research on the green innovation promoted by green credit policies[J]. Journal of Management World, 2021,37(6):173-188,11.
- [19] 刘畅,潘慧峰,李珮,等.数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响和机制研究[J].中国软科学,2023(4):121-129. Liu C, Pan H F, Li P, et al. Impact and mechanism of digital transformation on the green innovation efficiency of manufacturing enterprises in China[J]. China Soft Science, 2023(4):121-129.
- [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):130-144,10. Wu F, Hu H Z, Lin H Y, et al. Enterprise digital transformation and capital market performance: Empirical evidence from stock liquidity[J]. Journal of Management World, 2021, 37(7):130-144,10.
- [21] 郭玥.政府创新补助的信号传递机制与企业创新[J].中国工业经济,2018(9):98-116. Guo Y. Signal transmission mechanism of government innovation subsidy and enterprise innovation[J]. China Industrial Economics, 2018(9):98-116.
- [22] 李雪松,党琳,赵宸宇.数字化转型?融入全球创新网络与创新绩效[J].中国工业经济,2022(10):43-61. Li X S, Dang L, Zhao C Y. Digital transformation, global innovation network and innovation performance[J]. China Industrial Economics, 2022(10):43-61.
- [23] 杨柳勇,张泽野.绿色信贷政策对企业绿色创新的影响[J].科学学研究,2022,40(2):345-356. Yang L Y, Zhang Z Y. The impact of green credit policy on corporate green innovation[J]. Studies in Science of Science, 2022,40(2):345-356.
- [24] 杨仁发,杨梅君.数字化转型的持续性创新效应研究[J].数量经济技术经济研究,2025,42(2):109-129. Yang R F, Yang M J. Persistent innovation effect of digital transformation[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2025,42(2):109-129.
- [25] 肖红军,丁凤茹.中国ESG发展:“十四五”回顾与“十五五”展望[J].改革,2025(4):44-62. Xiao H J, Ding F R. China's ESG development: Review of the 14th Five-Year Plan and prospects for the 15th Five-Year Plan[J]. Reform, 2025(4):44-62.

Digital intelligence and the solution of the dilemma of "low quality and low efficiency" in enterprise green innovation

YANG Hao - chang¹, LIU Xian - wen¹, LI Lian - shui²

(1. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. China Institute of Manufacturing Development, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Since the reform and opening up, Chinese economy has been developing rapidly, Gross Domestic Product (GDP) surpassed that of Japan in 2010 and has remained the second largest in the world for consecutive years ever since. However, a host of issues have emerged in the process of economic scale expansion, such as high total carbon emissions and relatively low energy utilization efficiency. According to the Report on Statistical Analysis of Green and Low - Carbon Patents (2024) released by the China National Intellectual Property Administration, the cumulative number of published green and low - carbon patent applications in China reached 573,000 from 2016 to 2023, with an average annual growth rate of 10.0%. Although the number of green and low - carbon patent applications published in China and their proportion of the global total showed an overall upward trend, China's green innovation is characterized by a phenomenon of "growing quantity alongside declining quality". At the same time, the World Intellectual Property Organization (WIPO) released the Global Innovation Index 2024, which shows that China ranks 11th worldwide in innovation capacity. Nevertheless, the Global Energy Review 2025 published by the International Energy Agency (IEA) shows that China remained the largest coal consumer globally. This implies that there may still be a significant gap between China's green innovation efficiency and that of developed countries. China's green innovation is now caught in a dilemma where quantity is growing while quality is declining and efficiency remains low. Therefore, how to break through the predicament of "low quality and low efficiency" in green innovation among Chinese enterprises has become a critical issue, which is essential to achieving the carbon peaking and carbon neutrality goals and boosting the overall performance of China's innovation system.

It has become an important issue in theory and reality to promote the deep integration of enterprise digitalization, intelligence and greening, and solve the dilemma of green innovation. Based on the listed companies in Shanghai and Shenzhen A – shares from 2014 to 2023, this study explores the impact and mechanism of digital intelligence on enterprise green innovation from the dual perspective of "improving quality and expanding quantity" as well as "enhancing efficiency". The results show that: (1) Digital intelligence can not only promote the quantity and quality, but also improve efficiency, and the conclusion still holds after testing for robustness. (2) The mechanism testing shows that digital intelligence breaks through the green innovation dilemma by optimizing the innovation resources allocation and reducing information asymmetry and other means. (3) Heterogeneity analysis shows that high environmental regulation areas, high – tech industries, state – owned and large enterprises, digital intelligence plays a more significant effect on the improvement of the green innovation. (4) The effect consequences study shows that the promotion of enterprise green innovation by digital intelligence can further improve the economic, environmental, and social responsibility performance of the enterprise. The conclusion of this study provides useful insights for leveraging digital intelligence to drive enterprise green innovation, achieving the dual – carbon goals and boosting the overall performance of China’s innovation system, and shaping new driving forces and advantages for high – quality development of enterprises.

Key words: digital intelligence; "low quality and low efficiency" of green innovation; innovation resources allocation; information asymmetry; effect consequences

(上接第 1634 页)

The behavioral logic of open science in enterprises:
A method based on literature review and literature clustering analysis

ZHANG Xue – wen¹, DU Tian – xiang², CHEN Kai – hua³

(1. School of Business, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050010, China;

2. School of Marxism, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050010, China;

3. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: More and more technology – based enterprises are frequently adopting open science practices. According to traditional economic theory, open science has always been the behavioral norm and value principle of universities and research institutions, while the open science behavior of enterprises may reduce the benefits they obtain from innovation monopoly. Faced with the active phenomenon of open science in enterprises and the insufficient explanatory power of traditional theories, it is particularly necessary and urgent to study the logic and rationality of open science behavior in enterprises. On the basis of literature review, this article adopts a combination of bibliometric and manual coding methods. Through the analysis of relevant literature in the Web of Science database, it is found that: (1) research on open science in enterprises is shifting from phenomenon focus to mechanism cognition; (2) The open science behavior of enterprises can be interpreted from three behavioral logics, namely scientific research driven logic, market competition driven logic, and collective innovation driven logic. (3) From the perspective of the internal mechanism of whether enterprises can gain competitive advantages in open science behavior, analyze and propose the rationality of the triple logic of open science behavior for enterprises. The research conclusion provides a more systematic perspective for a deeper understanding of the increasing number of enterprises engaging in open science behavior; To promote open innovation, policy references have been provided from a theoretical perspective.

Key words: enterprise open science; behavioral logic; literature clustering analysis; literature review