

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2026.01.001

智能化转型、知识动态能力 与制造企业绿色创新

李 钧,王佳晖

(华东师范大学 经济与管理学院,上海 200062)

摘 要:在数字化、智能化、绿色化融合发展的背景下,智能化转型成为企业绿色发展的重要抓手。根据知识基础观和动态能力理论,企业的智能化转型、知识动态能力增强、绿色创新水平提升三者形成良性互动。采用沪深 A 股制造业上市公司 2015—2024 年的面板数据,以人力资本水平衡量企业知识动态能力,基于专利 IPC 分类号前 4 位测度知识动态能力的 3 个子维度(知识获取能力、知识整合能力及知识创造能力),分析发现:制造企业智能化转型显著促进了其绿色创新水平提升,知识动态能力及其 3 个子维度在其中发挥了显著的中介作用;智能化转型显著提升了高科技制造行业企业、东部地区制造企业的绿色创新水平,但对非高科技制造行业企业、中西部地区制造业绿色创新水平的影响不显著;相比非重污染制造行业企业,智能化转型对重污染制造行业企业绿色创新水平的提升作用更显著。因此,政府应引导和激励企业智能化发展,企业应重视知识动态能力建设,各地区和行业应因地制宜推进智能化转型。

关键词:知识获取能力;知识整合能力;知识创造能力;动态能力;绿色专利;知识基础观

中图分类号:F270.7;F273.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2026)01-0001-15

引用格式:李钧,王佳晖.智能化转型、知识动态能力与制造企业绿色创新[J].西部论坛,2026,36(1):1-15.

LI Jun, WANG Jiahui. Intelligent transformation, knowledge dynamic capability, and green innovation in manufacturing enterprises[J]. West Forum, 2026, 36(1): 1-15.

* 收稿日期:2025-09-28;修回日期:2026-01-11

基金项目:上海市哲学社会科学规划课题一般项目(2024BJB010)

作者简介:李钧(1973),女,河南郑州人;副教授,经济学博士,主要从事企业创新管理研究。王佳晖(2002),女,河南三门峡人;硕士研究生,主要从事企业创新管理研究;E-mail:wangjh11172023@163.com。

一、引言

《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》提出,“加快经济社会发展全面绿色转型,建设美丽中国”。制造业作为资源消耗的主要行业,既承担着减少环境污染的重任,又需兼顾可持续发展,是实现绿色转型战略目标的关键领域,而企业绿色创新是助推产业升级、落实“双碳”目标的重要动能(解学梅等,2021)^[1]。因此,制造企业绿色创新成为推进绿色转型、建设美丽中国、实现绿色发展的关键切入点。然而,与常规技术创新相比,企业绿色创新通常面临更高的不确定性和复杂性,需要对跨领域、多类型的知识进行系统性整合、重构乃至再造,并受到内外部诸多因素的制约(Feng et al., 2024)^[2]。在此背景下,深入研究影响企业绿色创新的各种因素,积极探索企业突破绿色创新瓶颈的可行路径,对推动制造业高质量发展和全面绿色转型具有重要的现实意义。

在全球制造业深刻变革的背景下,智能制造作为数字信息技术与先进制造技术深度融合的产物,已成为产业升级的重要方向。我国将智能制造纳入制造强国战略的核心部署,通过开展试点示范等专项举措,积极引导和支持制造企业智能化升级。制造企业的智能化转型是指,企业运用以5G、物联网、云计算等为代表的新一代信息通信技术,结合机器学习、机器视觉等人工智能关键技术,对其产品从研发设计、生产制造直至运营服务的全流程、全生命周期进行系统性改造,最终使制造系统具备自我感知、自主学习、自主决策、自主执行与自主适应等智能化特征的过程(李廉水等,2019)^[3]。在智能化转型进程中,制造企业通过深度融合新一代信息技术与先进制造工艺,不仅重构了内部组织架构,也推动了生产模式的系统性变革(许玉云等,2024)^[4]。那么,这些变化会对制造企业绿色创新产生怎样的影响?制造企业智能化转型的实践是否有效促进了其绿色创新?其背后的作用机制又是什么?

近年来,企业绿色创新受到学术界广泛关注,相关文献从不同视角对企业绿色创新的影响因素进行了深入探讨与实证评估。企业的创新行为取决于其发展战略和运行模式,而技术进步本身又会推动企业进行战略转型和模式升级,因而由技术进步驱动的企业转型对绿色创新的影响成为学者们关注的热点之一。大量实证研究探究了数字化转型对绿色创新的影响,近两年,有学者开始关注数智化转型对企业绿色创新的影响(张万里等,2024;陈丹等,2024;杨浩昌等,2025;邹洋等,2025)^[5-8],但鲜有文献探究智能化转型对企业绿色创新的影响。数字化仅是智能化的基础,二者对绿色创新的影响效应与路径不一定一致,所以随着政府积极推动数字化、智能化、绿色化的协同发展,学者们开始关注智能化与绿色创新的关系。然而,相关实证研究大多从宏观层面分析产业智能化对区域绿色创新的影响(张琦等,2023;肖振红等,2025;孟彩霞,2025;Li et al., 2025)^[9-12],仅有少数文献考察智能化对微观企业绿色创新的影响,比如地区智能化发展能够通过缓解企业融资约束和增加人力资本积累两个渠道促进企业绿色创新(占华等,2022)^[13],但关于企业本身智能化转型对其绿色创新的影响还缺乏经验证据。

总体来看,尽管关于智能化与绿色创新之间关系的研究逐渐增多,但相比数字化与绿色创新的研究还是偏少,而且已有文献多从缓解融资约束、增加人力资本积累、促进技术进步等视角探讨智能化影响企业绿色创新的机制,忽略了绿色创新的知识活动属性。知识基础观将独到的、高价值的知识视为组织创新的核心要素,认为企业竞争优势来源于对知识的利用(Grant, 1996)^[14]。动态能力理论认为,战略资源本身无法带来竞争优势,只有将资源有效整合并运用于管理实践之中才能发挥其作用(Teece, 2007)^[15]。知识本身是一种静态的资源,在复杂多变的管理情境中,企业必须通过持续构建和运用其动态能力——即系统性地获取、整合与创造知识的能力,才能有效激活并释放知识的内在价值(Shamim et

al., 2020)^[16],这一过程凸显了知识动态能力的关键作用。知识动态能力强调企业通过对知识库的持续更新、灵活配置与动态激活,系统性地应对技术变革和市场挑战,从而构建和维持竞争优势(Wang et al., 2007)^[17]。绿色创新本质上是一项复杂的知识活动,要求企业将来自生产运营、污染控制、绿色工艺研发等多技术领域的专业知识进行系统性整合、创造性重构与有效扩散(宋德勇等, 2022)^[18],其成功依赖于企业对绿色知识要素的快速识别、有效融合及持续重构。因此,知识动态能力既是绿色创新的基础能力保障,更是推动绿色理念转化为实际技术成果的核心驱动力(Feng et al., 2024)^[2]。企业能否不断提升和充分利用知识动态能力,直接决定了其绿色创新的数量与质量(Halbusi et al., 2025)^[19],因而有必要从知识动态能力的角度探究智能化转型影响企业绿色创新的机制。

基于上述分析,本文聚焦于微观层面制造企业智能化转型对绿色创新的影响,从知识动态能力维度揭示其作用机制,并利用 2015—2024 年沪深 A 股上市制造企业的面板数据进行实证检验。本文的边际贡献主要包括:第一,从企业智能化转型角度拓展了绿色创新的影响因素研究,并为智能化转型促进制造企业绿色创新提供了经验证据;第二,基于知识基础观和动态能力理论,揭示了智能化转型通过增强知识动态能力促进企业绿色创新的传导机制,有助于深入认识智能化与绿色化的内在关联;第三,利用企业专利数据构建了知识动态能力分维度测度指标(知识获取能力、知识整合能力、知识创造能力),为知识动态能力的量化研究提供了方法借鉴;第四,进一步从技术属性、污染属性、地理区位等维度考察了智能化转型影响制造企业绿色创新的异质性,为充分发挥智能化转型的绿色创新促进效应提供了政策启示。

二、理论分析与假说提出

1. 智能化转型对企业绿色创新的影响

企业绿色创新是指企业通过技术革新和流程优化实现节能降耗、减少污染,促进经济效益与环境效益协同提升的创新实践(解学梅等, 2021)^[1],包括绿色流程创新和绿色产品创新(Ashraf et al., 2024)^[20]。绿色流程创新的核心要义在于,系统性地改良既有生产工艺,从而削减污染物产出、降低生产环节的排放强度,并实现资源综合利用效率的提升(Xie et al., 2019)^[19];绿色产品创新则强调将可持续发展理念融入产品研发、制造、使用乃至回收的全生命周期,以降低对环境产生的负面影响(Chan et al., 2016)^[20]。在制造业智能化变革中,新型智能工具与前沿制造技术深度融合,重塑企业的生产方式和研发组织结构(许玉云等, 2024)^[4],推动绿色创新决策的实施并优化创新流程,进而以绿色创新加快绿色转型。

一方面,智能化转型能够通过大数据、人工智能等先进技术优化创新流程和创新资源配置。比如,人工智能通过深度学习和优化算法在生产流程中自动监测环境变化,帮助识别生产过程中的能耗和资源浪费环节,提供精准的数据支持,辅助绿色工艺流程的优化设计(韩宏华, 2025)^[23]。以美的集团为例,其通过对德国库卡集团的并购,系统引进了高端智能生产装备,同时自主研发了支持全设备互联与数据驱动制造的 SCADA 平台,该系统实时采集制造流程、质量检测、设备运行等多维数据,通过深度分析构建智能决策模型,显著提升响应速度,实施智能化改造后,其整体制造效率提升 50%,生产损耗降低 68%(肖静华等, 2021)^[24]。另一方面,大数据分析技术和人工智能的强化学习模型可以识别节能减排的技术方向和环节,帮助企业洞察潜在的绿色创新需求,助力绿色产品创新(Bouschery et al., 2023)^[25]。

比如,德国西门子集团开发的“数字化双胞胎综合方案”通过产品开发和生产规划虚拟环境与实际生产系统及产品性能之间的闭环连接,实现产品绿色化水平的定量分析和持续优化,绿色产品开发效率大幅提升^①。同时,在智能化转型过程中,制造企业会增加对熟悉智能化生产的管理与研发人才的雇佣,也会加大对员工的专业技术培训力度,以提升人力资本与智能技术之间的匹配度(占华等,2022)^[13],有助于企业在绿色创新中更高效地整合内外部资源与先进技术。

智能化转型还会改变企业创新组织方式,形成多主体互动的绿色创新生态。在新一代信息技术的嵌入和融合下,智能制造通过集成交互与云端协同强化企业数据信息处理能力,绿色创新要素得以实现跨企业的互联互通,为碳捕捉、碳转化、氢能源与绿色制冷等前沿绿色技术的突破提供关键支撑(Feng et al., 2024; 韩宏华, 2025)^{[2][23]},促进绿色创新的实现。比如海尔自主研发了 COSMOPlat 工业互联网平台,该平台以用户为中心,连接各行业以及硬件、软件资源方,形成一种无边界的价值网络,通过聚合和流通跨企业数据要素,支撑了创新协同与可持续业务发展^②。另外,智能化转型有助于构建企业与用户间的互动网络,使企业能够借助大数据分析 with 人工智能等技术更加敏锐地捕捉和响应市场趋势(许玉云等, 2024)^[4],从而降低绿色创新的市场风险,提高绿色产品研发成功率。海尔上海洗衣机互联工厂在上述 COSMOPlat 工业互联网平台赋能下,打造 AIGC 虚拟设计助手,实现与用户的“零距离”共创,加速用户需求洞察和方案设计创新。

基于上述分析,本文提出假说 H1: 智能化转型能够显著提升制造业企业绿色创新水平。

2. 知识动态能力的中介作用

动态能力是企业为应对环境不确定性,通过识别并把握市场机遇,进而对既有资源进行系统性整合与重构,提升组织竞争力的能力(Teece, 2007)^[15]。知识是动态能力形成的重要基础,知识动态能力就是组织持续优化知识资源配置、灵活运用知识资产,以应对外部环境变化并保持竞争优势的能力(Wang et al., 2007)^[17]。在创新情境下,知识动态能力通过持续的知识管理活动来适应环境并推动创新,这些知识管理活动包括:知识感知与获取、知识整合与重构、知识创造与应用(孙家胜等, 2019)^[26]。知识感知与获取为知识更新提供源头活水,知识整合与重构将碎片化知识系统化,知识创造与应用产生新思想、新方案,三者共同驱动企业突破性技术创新和业务发展。基于此,本文从知识获取、知识整合及知识创造 3 个维度对知识动态能力进行解构。

知识获取能力是指企业对内外部知识资源进行吸收、内化的能力,是企业有效获取外部知识并转化为绿色创新潜能的要素之一(孙家胜等, 2019)^[26]。智能化转型通过引入人工智能、大数据、云计算等智能化技术,使企业获取外部信息和知识资源的能力得以显著提升,企业知识库的知识质量与层次也进一步提高(Feng et al., 2024)^[2]。智能化系统可以辅助企业建立起跨部门、跨组织的知识共享平台,激发网络效应与跨界学习(肖静等, 2023)^[27],打破传统信息获取的时空限制,增加知识来源的多样性和广度,从而显著提升企业的知识获取能力。具备较强知识获取能力的企业,可以获取更多的有关生产、节能减排、绿色工艺设计等不同技术领域的异质性知识,拓展企业绿色创新的知识基础,并且不断从外部吸收绿色创新的理念和技术,及时把握市场趋势和消费者需求,从而能够更好把握绿色创新机会。

知识整合能力是指企业将从多源获得的异质性知识进行有效融合与协同应用的能力(李金生等,

^① 资料来源: https://www.miit.gov.cn/jgsj/jns/qjsc/art/2020/art_69d1434003d34ba48c46dc0a32a6611c.html.

^② 资料来源: <http://www.qdeaijing.com/p/533819.html>.

2024)^[28]。企业智能化转型借助数字化平台、数据共享工具以及协同工作系统等工具,打破不同部门、团队和企业间的知识壁垒,加速知识的流动与整合(徐伟,2022)^[29],有助于企业将内部的隐性知识逐步转化为可识别、可应用的显性知识,从而提升知识资源的利用效率。例如,施耐德电气无锡工厂创建的基于人工智能的热处理数字仿真系统,将工艺经验、设备原理等整合起来,通过数字模拟和人工智能遗传算法优化工艺参数,使单台设备能耗降低 25%、氮气消耗减少 36%,这种做法本质上就是通过智能化将隐性知识转化为可迭代的显性知识,进而推动持续的绿色流程创新^①。

知识创造能力是指企业运用创新性思维与技术,对各类知识资源进行系统重构与再造,进而生成新知识体系的动态能力(孙家胜等,2019)^[26]。企业智能化转型通过引入机器学习、深度学习、数据挖掘等技术手段,为企业提供了更加高效的知识分析和创新工具,这些技术工具能够从大量的知识中提取潜在的规律,并对知识进行重组,为绿色创新提供海量的源源不断的新知识,最终形成自主产生新知识的有效机制(韩宏华,2025)^[23]。通过对知识的重组和创造,企业将无序的知识元素转化成有序的价值链,从而有效衔接知识获取、整合与绿色技术创新的各个环节,进一步放大知识要素的价值(李金生等,2024)^[28],有助于企业推出有竞争力的绿色创新产品和服务。例如,宝钢股份在钢铁冶炼这一高能耗、高排放复杂流程中,部署 AI 视觉检测及机器学习优化模型,通过数据挖掘、特征提取、大模型构建等多种方法,构建新的炉温预测模型与炉热控制模型,从而保障高炉冶炼过程稳定顺行,实现高炉生产的“高产、优质、低耗、长寿”^②。

基于上述分析,本文提出假说 H2:智能化转型通过增强知识动态能力提升制造企业绿色创新水平,且该中介作用在知识动态能力的 3 个维度(知识获取能力、知识整合能力、知识创造能力)均存在。

三、实证研究设计

1. 基准模型构建

为检验企业智能化转型对其绿色创新的影响,本文构建基准模型如式(1)所示:

$$Gip_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Intel_{it} + \gamma Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示企业和年份,被解释变量(Gip_{it})“绿色创新”为 t 年 i 企业的绿色创新水平,核心解释变量($Intel_{it}$)“智能化转型”为 t 年 i 企业的智能化转型程度, $Controls$ 代表控制变量集合, μ_i 和 λ_t 分别表示个体固定效应和时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(1)企业绿色创新水平的测度。本文从创新产出(专利)角度衡量企业的绿色创新水平,考虑到专利授权具有明显的时滞性和不确定性(李金昌等,2023)^[30],借鉴占华等(2022)^[13]的研究,依据世界知识产权组织(WIPO)发布的“国际专利绿色分类清单”识别绿色专利,进而用企业当年申请的绿色发明专利与绿色实用新型专利总量作为绿色创新水平的衡量指标,并进行对数化处理(加 1 后取自然对数)。

(2)企业智能化转型程度的测度。已有文献对企业智能化转型水平的测量主要有三种方法:一是以机器人应用程度作为代理变量,二是采用智能制造试点的政策虚拟变量,三是采用文本分析法(企业年报中的相关关键词词频)。工业机器人应用并不能真实体现企业智能化转型状况(许玉云等,2024)^[4],政策虚拟变量法无法反映智能化转型程度(吴非等,2021)^[31],而文本分析法能够较为全面地反映智能

① 资料来源:<https://web.shobserver.com/staticsg/res/html/web/newsDetail.html?id=906496>。

② 资料来源:<http://www.worldmetals.com.cn/viscms/qiyedongtai0275/20250812/268611.html>。

化转型的全貌(杜传忠等,2025)^[32],所以更多学者采用关键词词频衡量企业的智能化转型程度(吴非等,2021;陈俊龙等,2024)^{[31][33]}。本文借鉴李婉红和王帆(2022)^[34]归纳的27个反映企业智能化转型的关键词词典^①,采用Python工具对样本企业年报文本进行特征词提取,进而用智能化转型关键词词频(对数化处理)衡量样本企业的智能化转型程度。

(3)控制变量的选取。借鉴靳毓等(2022)^[35]的研究,选取以下八个控制变量:①资产规模,以期末总资产的自然对数值衡量;②资产负债率,以期末总负债与总资产的比值衡量;③企业年龄,用观测年份与企业成立年份之差加1后的自然对数值衡量;④总资产净利润率,以净利润与平均总资产的比值衡量;⑤托宾Q值,以企业市场价值与总资产之比衡量;⑥成长性,以营业收入增长率衡量;⑦股权集中度,以第一大股东持股比例衡量;⑧独立董事占比,以独立董事人数占董事会总人数的比例衡量。

2. 机制检验方法

为检验知识动态能力的中介作用,在式(1)的基础上,构建递归模型如式(2)和式(3)所示:

$$Med_{it} = \beta_0 + \beta_1 Intel_{it} + \gamma Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$Gip_{it} = \delta_0 + \delta_1 Intel_{it} + \delta_2 Med_{it} + \gamma Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, Med 为中介变量,其他变量同式(1)。人力资本水平的提升不仅为企业创新活动提供了智力支撑,也增强了企业获取和利用知识的能力,有助于企业通过对知识的吸收、利用和整合提升创新水平(苏涛永等,2025)^[36],所以人力资本水平可以反映企业的知识动态能力。本文借鉴高文书和万诗婕(2024)^[37]的方法,采用企业拥有的本科及以上学历员工数量占员工总数比例作为“知识动态能力”的代理变量。同时,进一步依据企业专利的IPC分类号测量知识动态能力的三个分维度:

(1)知识获取能力。企业引用专利的知识领域越广泛、越多元,表明其知识搜索范围越广,吸收获取外部异质性知识的能力越强,因此可以用企业的知识多样性来衡量其知识获取能力。本文借鉴林红英等(2025)^[38]的方法,利用专利的前向引用信息衡量企业知识领域分布的多样性。具体计算方法为:首先,提取企业当年所有专利所引用的全部专利,通过专利IPC分类号前4位(以下简称IPC4)识别其涉及的知识领域;然后,计算不同IPC4类别的赫芬达尔-赫希曼(HHI)指数,即引用的各类IPC4专利数占引用专利总量比例的平方和(若一项被引专利拥有多个IPC分类,则每个分类均独立计入统计),该指数反映了企业专利涉及知识领域的集中度,其值越大则企业的知识多样性越低,是衡量企业知识获取能力的负向指标;最后,采用1减HHI指数的方式将负向指标转化为正向指标,得到中介变量“知识获取能力”,其值越大则企业知识获取能力越强。

(2)知识整合能力与知识创造能力。企业创新活动可视为对其知识库中不同知识元素重新关联与组合的过程,组合方式的新颖程度是区分知识整合与知识创造的关键表征。本文借鉴Carnabuci(2013)^[39]、Verhoeven(2016)^[40]、余良如和于渤(2024)^[41]的方法,将每个专利所包含的不同知识元素(即不同的IPC4)两两组成元素对,形成不同的知识组合,基于五年窗口期($t-5$ 至 $t-1$ 年)判断知识组合的新颖性。若某专利包含的所有知识组合(元素对)都在前五年内出现过,则该专利属于知识整合类专利;若某个专利所包含的知识组合(元素对)中有前五年内未出现过的(包括出现了新知识元素间的组

^①智能化转型关键词包括:智能制造、数字化、智能化、信息化、自动化、云计算、云平台、物联网、数据可视化、信息物理系统、网络物理系统、大数据、感知技术、数据可视化、云制造、主动制造、智慧制造、智能企业、智能终端、智能识别、机器人、工业4.0、工业互联网、互联网+、人机交互、传感器、控制器、数据挖掘。

合、新旧知识元素的组合和旧知识元素的新组合), 则该专利属于知识创造类专利。基于这样的划分, 中介变量“知识整合能力”为企业知识整合类专利占专利总数的比例, “知识创造能力”为企业知识创造类专利占专利总数的比例。需要说明的是, 在专利总数中, 除了知识整合类专利和知识创造类专利外, 还包括单知识元素专利(即仅含有一个 IPC4 分类号), 这部分专利不涉及知识元素的组合。

3. 样本选择与数据处理

2015 年发布的《中国制造 2025》首次提出了“智能制造”这一概念, 为我国制造业的智能化转型指明了发展方向。因此, 本文以 2015 年为实证分析的起始时间, 选取 2015—2024 年沪深 A 股制造业上市企业作为研究样本, 剔除样本期间 ST 类样本以及数据缺失样本, 最终获得 11 689 个观测值。企业财务特征和公司治理等数据来自国泰安数据库(CSMAR), 企业年报文本来自巨潮资讯网, 专利数据来自国家知识产权局和智慧芽专利服务平台。为避免极端值干扰, 对所有连续型变量进行 1% 分位数的缩尾处理。主要变量的描述性统计结果见表 1。

表 1 主要变量描述性统计结果

变量类型	变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	绿色创新	11 689	0.206	0.499	0.000	5.529
核心解释变量	智能化转型	11 689	2.404	1.223	0.000	6.454
控制变量	资产规模	11 689	21.920	1.073	19.690	26.410
	资产负债率	11 689	0.364	0.183	0.049	0.934
	企业年龄	11 689	3.020	0.282	2.079	3.714
	总资产净利润率	11 689	0.041	0.071	-0.415	0.255
	托宾 Q 值	11 689	2.115	1.359	0.792	17.680
	成长性	11 689	0.133	0.343	-0.673	4.429
	股权集中度	11 689	0.322	0.139	0.075	0.743
	独立董事占比	11 689	0.380	0.054	0.286	0.600
中介变量	知识动态能力	11 689	0.245	0.182	0.000	1.000
	知识获取能力	11 689	0.626	0.349	0.000	0.987
	知识整合能力	11 689	0.161	0.149	0.000	0.696
	知识创造能力	11 689	0.340	0.233	0.000	0.889

四、实证结果分析

1. Hausman 检验与基准回归

由于本文所采用的数据为非平衡面板结构, 实证分析前需通过 Hausman 检验来确定应采用固定效应模型还是随机效应模型。检验结果见表 2, P 值远小于 0.01, 显著拒绝“固定效应与随机效应估计结果无显著差异”的原假说。基于此, 后续分析采用固定效应模型以保证估计结果的有效性。同时, 各变量的方差膨胀因子(VIF)均远低于临界值, 表明不存在明显的多重共线性问题。

表 2 Hausman 检验结果及 VIF 检验结果

变量	固定效应	随机效应	差值	标准误	VIF
智能化转型	0.016	0.057	-0.041	0.004	1.010
资产规模	0.063	0.053	0.010	0.010	1.430
资产负债率	0.137	0.326	-0.189	0.027	1.640
企业年龄	0.104	-0.114	0.218	0.033	1.080
总资产净利润率	0.442	0.533	-0.091	0.030	1.510
托宾 Q 值	0.004	0.002	0.002	0.002	1.130
成长性	-0.003	-0.016	0.013	0.003	1.160
股权集中度	0.045	-0.066	0.110	0.067	1.050
独立董事占比	-0.087	-0.091	0.004	0.060	1.010
chi2(15)		176.560			
Prob>chi2		0.000			

基准回归结果见表 3。“智能化转型”的估计系数在 1%的水平上显著为正,表明智能化转型对企业绿色创新具有显著的正向影响,这一结论在加入控制变量后仍然成立。考虑到企业推行智能化转型需要一定时间,其对绿色创新的影响可能存在时间延迟,以“智能化转型”的滞后一期项为核心解释变量重新进行检验,回归系数依然在 1%的显著性水平上为正。由此,假说 1 得到验证,制造企业智能化转型显著促进了其绿色创新水平提升。

表 3 基准回归结果

变量	绿色创新	绿色创新	绿色创新
智能化转型	0.023***(3.92)	0.018***(3.13)	
L1. 智能化转型			0.013***(2.85)
资产规模		0.057***(4.01)	0.055***(3.95)
资产负债率		0.140***(3.24)	0.137***(3.17)
企业年龄		0.291**(2.46)	0.264**(2.23)
总资产净利润率		0.383***(5.35)	0.410***(5.67)
托宾 Q 值		0.005(1.54)	0.004(1.20)
成长性		-0.004(-0.34)	-0.004(-0.37)
股权集中度		0.089(1.02)	0.084(0.97)
独立董事占比		-0.056(-0.49)	-0.066(-0.58)
常数项	0.150***(10.70)	-2.046***(-4.54)	-1.907***(-4.27)
企业和年份固定效应	控制	控制	控制
观测值	11 689	11 689	11 689
R ²	0.598	0.602	0.602

注: *、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著;括号内数值为 *t* 值,下表同。

2. 内生性处理与稳健性检验

(1)工具变量法。为缓解反向因果关系、遗漏变量等内生性问题带来的估计偏误,本文选取企业所在行业内其他企业智能化转型程度均值作为“智能化转型”的工具变量,运用两阶段最小二乘估计法进行内生性处理。行业内的技术扩散效应使同行业企业的智能化水平具有相关性,同时行业整体智能化程度难以对单个企业的创新活动产生直接影响,满足工具变量的外生性要求。2SLS 检验结果见表 4 的 Panel A,工具变量通过了不可识别检验与弱工具变量检验,具有可靠性;第一阶段回归结果显示,工具变量与“智能化转型”显著正相关;第二阶段回归结果显示,经工具变量修正后的“智能化转型”估计系数仍在 1%水平上显著为正。上述分析结果证明,在缓解模型内生性问题后,智能化转型显著提升了制造业企业绿色创新水平的结论依然成立。

表 4 工具变量法和 Heckman 两阶段法分析结果

变量	Panel A:工具变量法		Panel B:Heckman 两阶段法	
	第一阶段 智能化转型	第二阶段 绿色创新	第一阶段 虚拟变量	第二阶段 绿色创新
工具变量	0.438 *** (4.74)			
智能化转型		0.181 *** (2.63)		0.055 *** (8.95)
行业智能化转型率			1.039 *** (3.10)	
逆米尔斯比率				-0.246 *** (-14.44)
Cragg-Donald Wald F 统计量	84.231			
Kleibergen-Paap rk LM 统计量		18.395 ***		
观测值	11 689	11 689	11 689	11 689

注:所有模型均控制了控制变量以及企业和年份固定效应,限于篇幅,控制变量和常数项估计结果略,下表同。

(2)Heckman 两阶段法。计算机、通信及其他电子设备制造等特定行业的企业在智能化转型方面较为积极,也具有较强的创新能力,这可能引发样本选择偏误。为缓解样本选择偏误问题,本文借鉴张吉昌等(2024)^[42]的研究,引入 Heckman 两阶段模型进行修正。第一阶段,构建 Probit 模型,被解释变量为根据核心解释变量“智能化转型”是否高于样本中位数设置的虚拟变量(大于中位数时取值为 1,否则取值为 0),解释变量为行业层面的智能化转型率(当年所属行业内进行智能化转型企业数占该行业企业总数的比例),并纳入前述控制变量,回归估算出逆米尔斯比率。第二阶段,将逆米尔斯比率引入基准模型作为额外控制变量,检验结果见表 4 的 Panel B,“智能化转型”的回归系数仍在 1%的水平上显著为正,进一步表明本文分析结论是稳健的。

(3)稳健性检验。为进一步验证基准模型分析结果的可靠性,进行以下稳健性检验:一是替换解释变量。参考王永钦和董雯(2022)^[43]的方法,采用工业机器人渗透度(“智能化转型 1”)刻画企业智能化转型程度,以其为核心解释变量重新进行检验。二是替换被解释变量。借鉴宋德勇等(2022)^[18]的方法,采用绿色专利申请量与专利申请总量之比衡量企业绿色创新水平(“绿色创新 1”),以其为被解释变量重新进行检验。三是更换回归模型。为处理被解释变量存在 0 值(即有些企业没有申请绿色专利)及左截断特征的问题,采用 Tobit 模型进行估计。四是优化样本。考虑到工业和信息化部、财政部于 2016 年 12 月发布《智能制造发展规划(2016—2020 年)》,其带来的政策冲击可能会对研究结果产生干扰,剔

除 2016 年的样本后重新进行检验。上述稳健性检验结果见表 5, 均支持基准模型的分析结论。

表 5 稳健性检验结果

变量	替换解释变量	替换被解释变量	Tobit 模型	优化样本
	绿色创新	绿色创新 1	绿色创新	绿色创新
智能化转型 1	0.152 ^{**} (2.43)			
智能化转型		0.003 ^{**} (2.55)	0.055 ^{***} (4.39)	0.021 ^{***} (3.42)
观测值	4 145	11 689	4 137	10 870
R^2	0.587	0.338	-	0.613

3. 机制检验

机制检验结果见表 6。“智能化转型”对“知识动态能力”“知识获取能力”“知识整合能力”“知识创造能力”的回归系数均显著为正,表明制造企业智能化转型显著增强了知识动态能力及其 3 个子维度;同时,“知识动态能力”“知识获取能力”“知识整合能力”“知识创造能力”对“绿色创新”的回归系数均显著为正,表明制造企业知识动态能力及其 3 个子维度的提升显著促进了绿色创新。因此,知识动态能力及其 3 个子维度均在智能化转型促进制造企业绿色创新中起到了显著的中介作用,即制造企业智能化转型能够通过增强知识动态能力及知识获取能力、知识整合能力、知识创造能力提升绿色创新水平。由此,假说 H2 得到验证。

表 6 机制检验结果

变 量	Panel A: 知识动态能力		Panel B: 知识获取能力	
	知识动态能力	绿色创新	知识获取能力	绿色创新
智能化转型	0.004 ^{***} (2.73)	0.018 ^{***} (3.04)	0.015 ^{***} (3.35)	0.017 ^{***} (3.01)
知识动态能力		0.177 ^{**} (2.41)		
知识获取能力				0.054 ^{***} (4.24)
N	11 689	11 689	11 689	11 689
R^2	0.607	0.602	0.583	0.602
变 量	Panel C: 知识整合能力		Panel D: 知识创造能力	
	知识整合能力	绿色创新	知识创造能力	绿色创新
智能化转型	0.003 ^{**} (1.99)	0.018 ^{***} (3.06)	0.006 ^{**} (2.19)	0.018 ^{***} (3.06)
知识整合能力		0.116 ^{**} (2.66)		
知识创造能力				0.076 ^{***} (2.91)
N	11 689	11 689	11 689	11 689
R^2	0.694	0.602	0.738	0.602

4. 拓展研究: 异质性分析

(1) 行业技术属性异质性。借鉴白洁(2022)^[44]的方法,依据国家统计局发布的《高技术产业(制造

业)分类(2017)》,对照《2017 国民经济行业分类》,将样本分为“高科技行业”和“非高科技行业”两组^①,分组检验结果见表 7 的 Panel A。智能化转型显著提升了高科技制造行业企业的绿色创新水平,但对非高科技制造行业企业绿色创新的影响不显著。其原因可能在于,相比非高科技制造行业企业,高科技制造行业企业面临需要不断进行技术创新以获取竞争优势的市场压力,绿色创新的能动性更强(郭金花等,2024)^[45],同时也具备更强的智能化转型能力,并享有更多的创新激励政策,因而会更加积极地通过智能化转型提高绿色创新水平。

(2)行业污染属性异质性。借鉴王伊攀和何圆(2021)^[46]的研究,将样本划分为“重污染行业”与“非重污染行业”两组,分组检验结果见表 7 的 Panel B。智能化转型对两类企业的绿色创新都产生了显著的促进作用,其中对重污染制造行业企业绿色创新水平的提升作用更显著(系数的显著性水平更高且绝对值更大)。这与刘畅等(2023)^[47]的研究结论类似,其原因可能是:企业的绿色创新在一定程度上受其绿色转型需求的影响(马文甲等,2023)^[48],在环保监管压力和公众舆论监督持续加大的背景下,重污染制造行业企业往往需要加快绿色转型,更有动力通过智能化转型驱动绿色技术创新,从而实现绿色转型升级(宋德勇等,2022)^[18]。

(3)地理区位异质性。考虑到中部和西部地区的样本量相对较少,依据企业注册地将样本划分为“东部地区”和“中西部地区”两组,分组检验结果见表 7 的 Panel C。智能化转型显著提升了东部地区制造企业的绿色创新水平,但对中西部地区制造企业绿色创新的影响不显著。这一结果与占华等(2022)^[13]的研究结论类似,其原因可能在于:区域的制度环境、创新基础等外部条件会对企业的智能化转型和绿色创新产生影响,相比中西部地区,东部地区拥有较完备的信息基础设施、较充裕的创新要素、较完善的市场机制,智能化与绿色发展深度融合的创新生态已初步形成,而且企业面临更高强度的环保监管,智能化技术能更高效地嵌入绿色创新流程,因而智能化转型对制造企业绿色创新的赋能效应显著;而中西部地区智能化技术的普及和应用程度较低,在创新资源、基础设施等方面存在较大约束(肖振红等,2025)^[10],使得智能化转型对制造企业绿色创新的促进作用受到限制。

表 7 异质性分析结果

变 量	Panel A:行业技术属性异质性		Panel B:行业污染属性异质性		Panel C:区位异质性	
	高科技行业	非高科技行业	重污染行业	非重污染行业	东部地区	中西部地区
	绿色创新	绿色创新	绿色创新	绿色创新	绿色创新	绿色创新
智能化转型	0.023*** (2.74)	0.010 (1.49)	0.025*** (2.85)	0.016** (2.12)	0.020*** (2.82)	0.015 (1.56)
观测值	7 642	4 027	2 925	8 718	8 512	3 107
R ²	0.612	0.476	0.571	0.601	0.606	0.584

五、结论与启示

在数字化、智能化、绿色化融合发展的时代背景下,智能化转型已成为制造企业提升绿色创新水平、实现高质量发展的战略举措。本文采用沪深 A 股制造业企业 2015—2024 年的数据分析发现:制造企业

^① 高科技制造行业包括“医药制造”“航空、航天器及设备制造”“电子及通信设备制造”“计算机及办公设备制造”“医疗仪器设备及仪器仪表制造”“信息化学品制造”等 6 大类,对应的行业代码为 C26、C27、C34、C35、C37、C38、C39、C40、C43。

智能化转型显著提升了其绿色创新水平,该结论在经过内生性处理及一系列稳健性检验后依然成立;制造企业智能化转型能够通过增强知识动态能力及其3个子维度(知识获取、知识整合与知识创造能力)提升绿色创新水平;智能化转型显著促进了高科技制造行业企业、东部地区制造企业的绿色创新水平提升,但对非高科技制造行业企业、中西部地区制造企业绿色创新水平的影响不显著;相比非重污染制造行业企业,智能化转型对重污染制造行业企业绿色创新水平的提升作用更显著。基于上述结论,得到以下启示:

第一,加快推动制造企业智能化转型,充分释放其促进绿色创新的积极效应。政府部门应强化政策引导,明确智能化发展方向,结合财政补贴、税收优惠及政策性金融工具,切实降低企业智能化与绿色化协同转型的成本与风险。同时,应积极推动政企协作与产学研深度合作,鼓励高校及科研机构与企业共建绿色创新生态网络,加速科技成果转化。企业应抓住智能制造发展机遇,积极采纳云计算、大数据、人工智能等先进技术,从战略高度推进全流程智能化,逐步完善智能化应用体系,持续提升自主创新能力。

第二,在借助智能化转型驱动绿色创新的过程中,企业应高度重视和发挥知识动态能力的关键作用。一方面,要利用智能技术带来的信息获取优势,通过大数据监测等手段广泛采集绿色前沿技术、行业动态及市场信息,不断夯实绿色创新的知识基础;另一方面,要利用智能化手段实现内外部知识资源的有效融合与协同应用,将其转化为组织内部的系统性知识;此外,还要通过数据挖掘、深度学习等技术手段对既有知识进行再加工与重组,为绿色创新提供原创性的核心技术支撑。企业应将知识动态能力嵌入智能化转型的全过程,确保技术投入能有效转化为高水平的绿色创新成果。

第三,各地区与行业应遵循“因地制宜”原则,制定适宜有效的智能化发展策略。高科技行业企业应发挥其知识动态能力优势,推动智能技术在低碳工艺、环保材料等前沿领域的深度应用;非高科技行业企业则应注重利用智能技术对传统生产流程进行绿色化改造,通过工艺优化夯实基础能力。东部地区应重点支持智能技术与绿色创新的深度融合及协同发展;中西部地区政府则应加强基础设施建设与资金支持,完善市场化机制,通过深化改革提升智能技术与地方产业的适配度。总之,应通过分类指导与精准施策,充分发挥不同情境下智能化转型对绿色创新的促进作用。

参考文献:

- [1] 解学梅,朱琪玮.企业绿色创新实践如何破解“和谐共生”难题?[J].管理世界,2021,37(1):128-149,9.
- [2] FENG F,LI J,ZHANG F,SUN J. The impact of artificial intelligence on green innovation efficiency: Moderating role of dynamic capability[J]. International Review of Economics & Finance,2024,96:103649.
- [3] 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.
- [4] 许玉云,王军,王霄飞.智能化转型对制造企业技术创新效率的影响[J].统计与决策,2024,40(10):184-188.
- [5] 张万里,黄水明,宣彤.数智化转型如何赋能企业绿色创新——治理结构和社会责任的多重链式中介效应分析[J].商业研究,2024(5):134-144.
- [6] 陈丹,丁晟.数智化转型发展、社会信用环境与绿色创新质效[J].统计与决策,2024,40(19):168-173.
- [7] 杨浩昌,刘贤雯,李廉水.数智化与企业绿色创新“低质低效”困境破解[J/OL].科学学研究,1-12[2025-09-18].
<https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20250918.001>.
- [8] 邹洋,徐靖文.数智化对重污染企业绿色创新的影响研究——基于政府、公众与企业“三方共治”视角[J].河北经贸大学学报,2025,46(6):70-82.
- [9] 张琦,蒋军锋,贾寰洁.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.

- [10] 肖振红,赫博文,马睿. 工业智能化对区域绿色创新绩效的影响研究——基于知识产权保护的门槛效应[J/OL]. 科研管理,1-16[2025-01-06]. <https://link.cnki.net/urlid/11.1567.G3.20250106.1034.006>.
- [11] 孟彩霞. 产业智能化、劳动力集聚与绿色创新能力——基于产业链、人才链和创新链融合视角[J]. 统计与决策,2025,41(12):159-164.
- [12] LI Z, CHEN D, WANG S, et al. The inverted U relationship between industrial intelligence and green innovation efficiency: evidence from China[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*,2025,37(9):982-1000.
- [13] 占华,后梦婷,檀菲菲. 智能化发展对中国企业绿色创新的影响——基于新能源产业上市公司的证据[J]. 资源科学,2022,44(5):984-993.
- [14] GRANT R M. Prospering in dynamically-competitive environments:Organizational capability as knowledge integration[J]. *Organization Science*,1996,7(4):375-387.
- [15] TEECE D J. Explicating dynamic capabilities:The nature and microfoundations of(sustainable) enterprise performance[J]. *Strategic Management Journal*,2007,28(13):1319-1350.
- [16] SHAMIM S,ZENG J,CHOKSY U S, et al. Connecting big data management capabilities with employee ambidexterity in Chinese multinational enterprises through the mediation of big data value creation at the employee level[J]. *International Business Review*,2020,29(6):101604.
- [17] WANG E,KLEIN G,JIANG J J. IT support in manufacturing firms for a knowledge management dynamic capability link to performance[J]. *International Journal of Production Research*,2007,45(11):2419-2434.
- [18] 宋德勇,朱文博,丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新? ——基于重污染行业上市公司的考察[J]. 财经研究,2022,48(4):34-48.
- [19] HALBUSI H A, AL-SULAITI K I, ALWAN A A, et al. AI capability and green innovation impact on sustainable performance: Moderating role of big data and knowledge management[J]. *Technological Forecasting and Social Change*,2025,210:123897.
- [20] ASHRAF S F,LI C,WATTOO M U, et al. Green horizons:Unleashing green innovation through green business strategies and competencies[J]. *Business Strategy and the Environment*,2024,33(5):4233-4251.
- [21] XIE X,HUO J,ZOU H. Green process innovation,green product innovation,and corporate financial performance:A content analysis method[J]. *Journal of Business Research*,2019,101:697-706.
- [22] CHAN H K,YEE R W Y,DAI J, et al. The moderating effect of environmental dynamism on green product innovation and performance[J]. *International Journal of Production Economics*,2016,181:384-391.
- [23] 韩宏华. 人工智能促进制造企业绿色创新的作用机制与实证检验[J]. 现代经济探讨,2025(11):92-101.
- [24] 肖静华,吴小龙,谢康,等. 信息技术驱动中国制造转型升级——美的智能制造跨越式战略变革纵向案例研究[J]. 管理世界,2021,37(3):161-179,225,11.
- [25] BOUSCHERY S G, BLAZEVIC V, PILLER F T. Augmenting human innovation teams with artificial intelligence:Exploring transformer-based language models [J]. *Journal of Product Innovation Management*,2023,40(2):139-153.
- [26] 孙家胜,刘路明,陈力田. 知识动态能力研究进展及前沿演进可视化分析[J]. 科技进步与对策,2019,36(14):151-160.
- [27] 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.
- [28] 李金生,柯雯. 知识搜寻与重构如何促进专精特新中小企业绿色技术创新——战略柔性及激励型环境规制的调节作用[J]. 科技进步与对策,2024,41(7):111-121.
- [29] 徐伟. 工业互联网赋能先进制造业企业转型影响因素——基于山东省先进制造业企业的研究[J]. 济南大学学报(社会科学版),2022,32(5):94-107.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 杜传忠,张榕. 企业智能化转型能否突破全球价值链“低端锁定”困境——基于供应链协同创新的视角[J]. 国际经贸探索,2025,41(10):4-22.
- [33] 陈俊龙,何瑞宇,刘佳丽. 智能制造对制造企业绿色全要素生产率的影响研究[J]. 软科学,2024,38(8):1-6,13.
- [34] 李婉红,王帆. 智能化转型、成本粘性与企业绩效——基于传统制造企业的实证检验[J]. 科学学研究,2022,40(1):91-102.
- [35] 靳毓,文雯,何茵. 数字化转型对企业绿色创新的影响——基于中国制造业上市公司的经验证据[J]. 财贸研究,2022,33(7):69-83.
- [36] 苏涛永,郭鑫,李雅洁. 人工智能促进企业持续性创新了吗? ——基于人力资本结构与知识吸收能力视角[J]. 商业经济与管理,2025(4):71-86.
- [37] 高文书,万诗婕. 企业数字化转型、人力资本与内部薪酬差距[J]. 北京工商大学学报(社会科学版),2024,39(2):31-44.
- [38] 林红英,杨晓辉,游达明. 技术多样性如何促进绿色技术溢出效应——知识整合能力与环境规制政策的协同作用[J]. 科技进步与对策,2025,42(24):12-22.
- [39] CARNABUCI G, OPERTI E. Where do firms' recombinant capabilities come from? Intraorganizational networks, knowledge, and firms' ability to innovate through technological recombination[J]. Strategic Management Journal,2013,34(13):1591-1613.
- [40] VERHOEVEN D, BAKKER J, VEUGELERS R. Measuring technological novelty with patent-based indicators[J]. Research Policy,2016,45(3):707-723.
- [41] 余良如,于渤. 知识重组对高新技术企业创新绩效的影响机制研究[J]. 研究与发展管理,2024,36(3):70-83.
- [42] 张吉昌,龙静,王泽民. 智能化转型如何赋能制造企业高质量发展? [J]. 经济与管理研究,2023,44(4):3-20.
- [43] 王永钦,董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场? ——来自制造业上市公司的证据[J]. 经济研究,2020,55(10):159-175.
- [44] 白洁. 对外直接投资特征对高科技企业生产率的异质性影响[J]. 科研管理,2022,43(7):200-208.
- [45] 郭金花,常帅文,焦岫. 工业机器人应用、媒体关注与企业绿色创新[J]. 南京财经大学学报,2024(5):100-110.
- [46] 王伊攀,何圆. 环境规制、重污染企业迁移与协同治理效果——基于异地设立子公司的经验证据[J]. 经济科学,2021(5):130-145.
- [47] 刘畅,潘慧峰,李珺,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.
- [48] 马文甲,张弘正,陈劲. 企业数字化转型对绿色创新模式选择的影响[J]. 科研管理,2023,44(12):61-70.

Intelligent Transformation, Knowledge Dynamic Capability, and Green Innovation in Manufacturing Enterprises

LI Jun, WANG Jiahui

(School of Economics and Management, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Summary: In the current era marked by deep integration of digitalization, intelligence, and green transformation, the manufacturing sector, a major consumer of resources, plays a critical role in achieving China's "Dual Carbon" goals through its green transition. However, the high uncertainty and complexity

inherent in green innovation necessitate that enterprises possess robust knowledge reconstruction capabilities. With the deepening integration of next-generation information technology and advanced manufacturing processes, it has become crucial to clarify whether and how intelligent transformation drives corporate green innovation by optimizing knowledge activities. While existing studies have explored the relationship between intelligence and green innovation, few have systematically unveiled the micro-level mechanisms through which intelligent transformation empowers green innovation via specific pathways of knowledge acquisition, integration, and creation from the perspective of knowledge dynamic capabilities.

To address this gap, this paper builds a theoretical framework of “intelligent transformation-knowledge dynamic capabilities-green innovation” grounded in the knowledge-based view and dynamic capability theory. Using a sample of Chinese A-share listed manufacturing firms from 2015 to 2024, this study quantifies the degree of corporate intelligent transformation through text analysis; measures green innovation with green patent application data; and employs human-capital level as a proxy for knowledge dynamic capabilities. Furthermore, it constructs separate metrics for knowledge acquisition, knowledge integration, and knowledge creation capabilities based on forward-citation information of patent IPC classifications and indicators of knowledge-combination novelty. Empirically, it analyzes the impact of intelligent transformation on green innovation in manufacturing enterprises and examines the mediating role of knowledge dynamic capabilities.

The findings indicate that intelligent transformation significantly promotes green innovation. Knowledge dynamic capabilities serve as a mediator between intelligent transformation and green innovation. This mediating effect remains robust across sub-dimensions, confirming that knowledge acquisition, knowledge integration, and knowledge creation capabilities are key channels through which intelligent transformation enhances green innovation. Heterogeneity analysis reveals that the green innovation-promoting effect of intelligent transformation is more pronounced in high-tech firms, heavily polluting industries, and enterprises located in eastern regions.

The marginal contributions of this study are threefold: First, it integrates intelligent transformation and green innovation within a unified analytical framework and, by introducing the lens of knowledge dynamic capabilities, opens “the black box” of the relationship between intelligent transformation and green innovation. Second, it constructs a patent-based measurement system for sub-dimensions of knowledge dynamic capabilities, overcoming the subjectivity of survey-based methods and enriching quantitative research approaches in dynamic capability theory. Third, it reveals the heterogeneous impacts of intelligent transformation under different contextual conditions, providing micro-level empirical evidence to support governments in formulating differentiated industrial intelligence policies and guiding firms to build digitally-empowered green innovation systems.

Keywords: knowledge acquisition capability; knowledge integration capability; knowledge creation capability; dynamic capability; green patent; knowledge-based view

CLC number: F270. 7; F273. 1

Document code: A

Article ID: 1674-8131(2026)01-0001-15

(编辑:朱 艳;刘仁芳)