

智能制造对企业绿色二元创新的差异化影响

丁振阔^{1,3}, 李文艳², 王 曦¹, 罗 明^{1,3}

(1. 广西师范大学 经济管理学院, 广西 桂林 541006; 2. 中国地质大学(武汉) 经济管理学院, 湖北 武汉 430074; 3. 广西师范大学 广西高校数字赋能经济发展重点实验室, 广西 桂林 541006)

摘 要: 基于资源基础观, 以2012—2023年中国沪深A股上市公司数据为样本, 实证检验智能制造对企业绿色二元创新的差异化影响, 并探究绿色投资者和环境规制对该影响的调节作用。研究发现: (1) 智能制造能够推动企业绿色二元创新的提升, 且相比绿色探索式创新, 智能制造对绿色利用式创新的促进作用更为突出。在稳健性检验和内生性检验后, 该结论依然成立。(2) 绿色投资者对智能制造与绿色二元创新之间的关系起到强化作用, 并且更明显地增强了智能制造对绿色利用式创新的影响。相比之下, 环境规制则在一定程度上削弱了智能制造对绿色二元创新的促进作用, 尽管这种削弱作用在不同维度的创新之间并无明显差异。(3) 异质性分析显示, 在非高科技行业、大规模企业以及实施智能制造专项试点政策的情境下, 智能制造更有助于促进企业的绿色二元创新。本文的研究发现不仅拓展了智能制造与绿色创新关系的研究文献, 还为企业管理者通过采用智能制造来促进绿色二元创新提供了重要的管理启示。

关键词: 智能制造; 绿色二元创新; 绿色投资者; 环境规制

中图分类号: F270 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4950(2026)07-0100-17

一、引 言

在新一轮科技革命的浪潮中, 智能制造作为制造强国建设的主攻方向, 不仅改变了企业生产要素的配置方式, 还重塑了企业的绿色治理模式。绿色创新作为企业绿色治理模式的重要内容, 其高质量推进离不开前沿技术赋能的重要支撑, 而智能制造通过数智化转型实现资源配置的优化, 突破创新瓶颈, 为企业绿色创新提供了持续的动力。为了将智能制造深度融入绿色创新中, 工业和信息化部《“十四五”智能制造发展规划》将虚实结合、知识驱动、动态优化与绿色低碳同时纳入发展目标, 这是推动智能制造与绿色创新协同发展的重要尝试。从实践来看, 企业中存在两种绿色创新行为, 一是利用现有的环境知识、能力和实践来改进现有的绿色产品和

收稿日期: 2025-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(72462009, 72062006, 72061003); 广西哲学社会科学规划项目(25GLF095)

作者简介: 丁振阔(1987—), 男, 广西师范大学经济管理学院副教授, 硕士生导师;

李文艳(2005—), 女, 中国地质大学(武汉)经济管理学院研究生;

王 曦(2000—), 女, 广西师范大学经济管理学院研究生;

罗 明(1989—), 男, 广西师范大学经济管理学院副教授, 硕士生导师(通信作者, luoming831@163.com)。

结构,实现短期见效的绿色创新,二是利用新信息、知识和技能,开发新的绿色市场和产品,实现突破性绿色创新(Asiaei等,2023)。根据二元创新理论(March,1991),上述两种绿色创新行为可视为绿色二元创新,即绿色利用式创新和绿色探索式创新。然而,企业在将智能制造与绿色二元创新深度融合的过程中普遍存在“路径依赖”:大多数企业常常不断强化短期见效的绿色利用式创新,而较少企业投入具有突破性技术的绿色探索式创新。这一原因在于我国制造企业“大而不强”的固有弊端——自主驱动力不足、创新效率低、关键核心技术受制于人等先天劣势,使得企业不得不将资源集中于利用式创新(余倩和詹新宇,2025;王琳等,2025)。绿色利用式创新虽能快速回应利益相关者的关注和诉求,但往往容易落入短视主义和能力陷阱中(胡楠等,2021);绿色探索式创新虽具有高投入、长周期的特征,但企业若不重视绿色探索式创新,则难以攻克关键的绿色技术,从而无法形成长期可持续竞争优势(Cui等,2025)。在此背景下,识别智能制造对绿色二元创新的影响,并使智能制造对绿色二元创新的作用实现平衡,是亟须解决的重要理论问题,为解决企业绿色创新“短期效益”与“长期价值”矛盾提供实践指导。

关于绿色二元创新与智能制造的相关研究,现有文献已经产生了丰富的洞见,但依然存在如下研究缺口:(1)鉴于不同类型的绿色创新需要不同的资源和能力,但现有文献主要将绿色创新视为单维度构想,尚未清晰阐释智能制造作为企业的前沿技术资源如何差异化影响绿色二元创新。(2)考虑到绿色投资者和环境规制作为企业重要的内外部权变因素,现有文献主要探讨了智能制造对绿色创新影响的中介机制,忽略了绿色投资者和环境规制如何调节两者之间的关系,更未研究其对智能制造与绿色二元创新关系的调节作用。(3)由于企业实施智能制造是个动态发展过程,现有文献多以智能制造政策实施作为准自然实验进行政策效应评估,却鲜有研究利用文本挖掘衡量企业实施智能制造的动态发展水平。

为了填补上述研究缺口,本文探究智能制造对绿色二元创新的差异化影响以及绿色投资者和环境规制对该影响的调节作用,相较于现有文献,边际贡献体现在:(1)基于资源基础观,深入分析智能制造对绿色二元创新的差异化影响,这不仅为企业绿色二元创新影响因素的研究提供了新的切入角度,还丰富了智能制造经济结构的相关研究成果。(2)利用利益相关者理论和制度理论探讨了绿色投资者和环境规制如何调节智能制造对绿色二元创新的影响,为理解不同内部治理结构和外部制度环境下智能制造对绿色二元创新的影响提供了新的见解。(3)聚焦智能制造这一前沿话题,利用文本挖掘方法解析多维度的非结构化文本数据,构建智能制造的动态发展水平指标,丰富了智能制造测量方法的研究文献。

二、文献综述

绿色二元创新驱动因素是近年来绿色创新研究领域的重要议题,现有文献已从能力基础、战略导向、资源资本、治理机制、制度因素及技术情境等层面进行探讨:(1)在能力基础层面,绿色知识获取、吸收与整合能力被视为推动绿色二元创新的核心基础(Asiaei等,2023;Javed等,2025);绿色动态能力通过资源重构在绿色二元创新之间实现动态平衡(Wan等,2025;Chu等,2025)。(2)在战略导向层面,绿色学习导向和绿色创业导向有助于企业持续积累绿色知识、识别绿色机会,从而推动绿色二元创新(Wang等,2020;Shehzad等,2023a)。(3)在资源资本层面,绿色人力资本、结构资本与关系资本为突破性技术研发与流程改进提供关键支撑,从而促进绿色二元创新(Shehzad等,2023b)。(4)在治理机制方面,高管团队技术印记、高管二元环保认知、ESG委员会特征等治理安排均能通过强化企业环境责任、缓释创新风险,从而促进绿色二元创新(席龙胜和赵辉,2022;马美婷等,2023;Huang等,2025)。(5)在制度环境层面,环境规制、碳排放交易及公众环境关注则通过提高污染成本和声誉压力,强化企业绿色二元创新动机(曾经

纬和李柏洲,2022;龚军姣等,2024;Cheng等,2025)。(6)在技术情境层面,数字技术、大数据分析能力以及绿色供应链集成等新兴“数字能力”对企业环境信息处理与流程智能化水平有显著提升作用,推动绿色二元创新(Haylemariam等,2025;Javed等,2025;Zhong和Zhang,2025)。总体而言,现有研究已从多个层面考察了绿色二元创新的驱动因素,然而在技术情境层面的相关研究虽关注数字化和大数据能力等技术因素,却主要停留在传统意义的“数字化”层面,尚未将智能制造纳入绿色二元创新的前因体系。

智能制造是指利用先进信息技术控制机器人在脱离人工干预的情况下独立自主地完成制造生产,是一种新的生产方式(Kusiak,2019),并随着数字化、智能化的发展受到国内外研究者的广泛关注(吴小节等,2023)。其中,就智能制造的结果而言,现有文献关注的焦点逐渐从企业绩效转移到传统创新,进而转移到绿色创新。在早期,智能制造主要面向生产领域,能够通过增加创新投入、提升数字化能力、优化组织变革等途径促进企业绩效的提升(池仁勇等,2020;侯翠梅和苏杭,2023)。随着技术的不断发展和市场竞争的加剧,企业需要发展独特的资源能力以维持竞争优势,智能制造的应用范围也逐渐从生产环节拓展到研发领域,通过促进技术扩散、提升人力资本、增加研发投入等方式促进企业创新(尹洪英和李闯,2022;王雪璐,2024);在当前绿色发展理念推广的背景下,绿色治理成为推动企业高质量发展的治理模式选择,现有文献进一步聚焦于绿色创新领域,研究认为智能制造通过提升企业运营效率、优化内部控制、促进技术创新等渠道促进企业绿色创新(Yang等,2022;谷城和张树山,2023)。由于企业在绿色创新过程中需要做到绿色利用式创新和绿色探索式创新之间的平衡,两类绿色创新在资源需求、研发周期等方面存在显著差异,而智能制造对企业资源配置、技术研发路径的影响具有多维性,那么智能制造对不同类型的绿色创新的影响可能存在差异。然而现有文献仅将绿色创新作为单维度构想来考察智能制造对其的影响(毛其淋和石步超,2024),忽视了智能制造对绿色创新不同维度的影响,并且尚未厘清智能制造对企业绿色二元创新的影响机理。

在分析智能制造和绿色创新关系的基础上,现有文献进一步探讨了智能制造对绿色创新的影响机制,指出智能制造通过研发投入、绿色投资和环境关注等中介机制促进绿色创新的实现(毛其淋和石步超,2024;Zhang等,2024)。然而,智能制造对绿色创新产生影响的边界条件尚未得到充分探讨。智能制造和绿色创新之间的关系受到内部治理结构和外部制度环境的影响,一方面,绿色投资者作为企业内部治理结构中重要的利益相关者,能够通过提供资金支持、整合绿色信息、引进高素质人才等措施引导实施智能制造的企业进行绿色创新。另一方面,环境规制作为外部政策工具,能够对企业战略决策产生压力作用,进而影响企业绿色创新的资金投入与产出。因此,绿色投资者和环境规制如何调节智能制造与企业绿色创新之间的关系,仍需深入研究,他们在智能制造与企业绿色二元创新之间的调节作用更是有待进一步探讨。

现有关于智能制造的研究(黄卓等,2024;Zhu等,2024)多以智能制造政策实施作为准自然实验,聚焦于政策效应的评估,分析了智能制造政策在低碳发展、劳动力水平、全要素生产率和创新等方面产生的效应。这种基于政策事件的研究方法虽能揭示政策的短期冲击效应,但难以反映智能制造在企业生产中的嵌入程度。因此,若想深入了解智能制造对企业绿色创新的作用,需要进一步拓展智能制造的测度方式。基于机器学习的文本挖掘方法对企业多维度非结构化数据进行解析,可以更精确地反映智能制造的动态发展程度(惠丽丽和谢获宝,2024),但现有研究鲜有使用文本挖掘方法对智能制造进行测度,并展开相关研究。

三、理论分析与研究假设

(一)智能制造与企业绿色二元创新

资源基础观认为拥有独特资源和能力的企业能够获得竞争优势,包括信息、人力资本、资

金等重要资源(Barney, 1991; Grant, 1991),上述三类资源是企业创新的重要决定因素(尹洪英和李闯, 2022)。本文认为智能制造可以通过信息渠道、人力资本渠道和资金渠道三条路径影响绿色二元创新。

从信息渠道而言,一方面,智能制造以数字信息为载体,能够利用新一代信息技术识别生产过程中的资源浪费环节和环境负荷节点(Schwab和Davis, 2018),提高生产过程的透明化、可视化程度,打破企业“信息孤岛”,提高信息流动效率,使企业及时进行绿色创新决策调整,进而实现生产系统资源配置的动态优化与绿色创新绩效的持续改进(Tezel等, 2016),推动绿色利用式创新。另一方面,智能制造可以通过信息技术实现分散数据的全面集成(Goldfarb和Tucker, 2019),挖掘隐性绿色发展知识,发现潜在的技术空白点,并借助生成式人工智能技术快速生成和验证新的设计方案,加速绿色探索式创新的进程。

从人力资本渠道而言,一方面,智能制造通过重构生产范式与组织架构,促使企业形成“机器替人”生产模式,催生了适配技术升级的高技能劳动力需求(Autor和Dorn, 2013),推动人力资源实现以研发为主的“哑铃型”升级,实现人机的高效协同,使得企业能够更快速地响应市场绿色需求,推动绿色利用式创新(沈灏等, 2010)。另一方面,智能制造的实施不仅可以通过高技术人才的引进增强人力资本结构异质性,突破研发团队专业壁垒,还可以通过数据共享水平的提高实现绿色知识的交互转化,突破研发团队传统绿色认知边界(Teece等, 1997),打破技术路径依赖,推动绿色探索式创新。

从资金渠道而言,一方面,智能制造的实施能够提升企业生产效率,降低运营成本,产生盈余资金,并通过企业内部创新补偿机制形成“专项资金池”,使资金在其绿色偏好的驱动下快速投入绿色创新活动中,实现现有绿色技术的优化和改进,推动绿色利用式创新。另一方面,绿色探索式创新具有长周期、高风险的特点,需要依赖风险投资支撑,侧重于突破性技术的研发(谷城和张树山, 2023)。智能制造作为国家战略规划,具备稳定的资金支持。由于绿色探索式创新能够为企业带来更高的预期收益,外部融资者更愿意帮助其规避因资金不足而导致的创新中断风险(Jin和Chen, 2024),推动绿色探索式创新。

此外,本文认为智能制造对绿色利用式创新的影响大于其对绿色探索式创新的影响。理由如下:(1)与遵循传统模式的企业相比,实施智能制造的企业往往面临更大的成本控制和市场竞争压力,使其更加注重短期效益。为了在短期内实现快速效益提升,实施智能制造的企业将会更加注重通过提高信息流动效率来实现生产系统资源配置效率的动态优化与绿色创新绩效的持续改进,从而推动绿色利用式创新;而绿色探索式创新需要挖掘隐性绿色发展知识,发现潜在的市场绿色需求和绿色技术空白点,难以在短期内转化为创新效益。(2)由于企业对短期效益的重视,会增加高技能劳动力的引进,优化人力资本结构,从而快速响应市场绿色需求,推动绿色利用式创新。但在资源有限的情况下,企业难以突破研发团队的绿色认知边界,较难推动绿色探索式创新。(3)绿色探索式创新强调首创性和开拓性,需要较长的时间周期来实现,通常具有资金投入高、研发风险大等特点(王琳等, 2025; 贺佳等, 2025)。相比之下,绿色利用式创新的技术开发不确定性较小,且资金投入少、研发周期较短,风险较低(解学梅和韩宇航, 2022)。由于企业的风险规避特征使其不愿轻易涉足不确定性强的领域,与绿色探索式创新相比,绿色利用式创新可以使实施智能制造的企业更好更快地发挥资金使用的效率,从而在市场中取得竞争优势。鉴于此,本文提出如下假设:

H1a:智能制造能够促进企业绿色利用式创新。

H1b:智能制造能够促进企业绿色探索式创新。

H1c:智能制造对绿色利用式创新的影响大于其对绿色探索式创新的影响。

(二)绿色投资者的调节作用

绿色投资者作为资本市场专业投资者和企业的大股东、监督者,根据利益相关者理论(Freeman, 2010),其本质上是企业内部治理结构中的重要利益相关者(姜广省等, 2021),并关注绿色创新决策(Eyraud等, 2013)。首先,由于绿色投资者的投资偏好与智能制造的环保投资、绿色红利等发展特征(Wei等, 2024)相契合,他们更倾向于将资金投入实施智能制造企业的绿色创新项目,使其拥有更充足的资金用于绿色创新战略规划,从而促进绿色二元创新。其次,绿色投资者在绿色创新领域拥有广泛的信息网络和行业洞察力,能够为实施智能制造的企业提供市场绿色动态的最新信息,帮助企业更好地把握绿色创新的方向和机会,提高绿色二元创新效率。再次,绿色投资者通常会带来更多专注于绿色创新的人才,提升绿色二元创新能力。因此,绿色投资者可以正向调节智能制造与绿色二元创新之间关系。

此外,本文认为绿色投资者对智能制造与绿色利用式创新之间关系的调节作用大于对智能制造与绿色探索式创新关系的条件作用。理由如下:(1)由于绿色投资者更倾向于实现企业绿色创新的快速应用和改进(姜广省等, 2021),绿色利用式创新能够在较短时间内减少企业的环境外部不经济性(El-Kassar和Singh, 2019),与绿色投资者追求短期实现经济效益与环境效益双赢的目标相一致,将优先获得其在绿色需求信息方面的支持。(2)由于对绿色创新的快速应用和改进的重视,绿色投资者更注重研发人才的定向输送,在智能制造实施过程中缩短研发周期,便于评估技术进展,从而优先向绿色利用式创新投入资源。(3)绿色利用式创新更注重满足现有市场绿色需求,能够在短期内被绿色投资者观察和评估,更容易获得绿色投资者的技改专项资金,有助于绿色投资者在企业智能制造实施中提高对绿色利用式创新的资金支持力度。综上所述,绿色投资者更能促进实施智能制造的企业开展绿色利用式创新。鉴于此,本文提出如下假设:

H2a:绿色投资者正向调节智能制造与绿色利用式创新之间关系。

H2b:绿色投资者正向调节智能制造与绿色探索式创新之间关系。

H2c:绿色投资者对智能制造与绿色利用式创新之间关系的正向调节大于其对智能制造与绿色探索式创新之间关系的正向调节。

(三)环境规制的调节作用

环境规制是政府为应对污染公共环境的违法违规行为而制定的政策与法律(倪娟等, 2020)。根据制度理论(Tina Dacin等, 2002),环境规制强度反映了政府对环境保护与可持续发展的重视程度和政策力度,严格的环境规制将使实施智能制造的企业为满足环境合规需求而减少用于绿色二元创新的资源,进而产生“挤占效应”(王少飞等, 2024)。首先,由于在严格的环境规制下,企业面临着更大的压力与市场机遇(谭瑾等, 2025),这促使企业削减在智能制造信息系统升级的投入,挤占绿色研发所需的信息资源。其次,严格的环境规制将对智能制造所需的高技能劳动力进行重新配置,导致承担环境合规性任务的高技能人才比例提升,对绿色研发团队的人员配置产生挤占效应,也对研发团队的知识整合产生冲击。再次,严格的环境规制会导致实施智能制造的企业将有限的内部资金从生产性投资转向污染治理和环境合规以获得市场肯定,同时会导致运营风险提高,降低外部投资者对企业的信心,减少了企业获得外部融资的机会,限制了实施智能制造企业的绿色二元创新活动。

此外,本文认为环境规制对智能制造与绿色探索式创新之间关系的负向调节大于其对智能制造与绿色利用式创新之间关系的负向调节。理由如下:(1)由于实施智能制造的企业通常已具备较稳定的信息系统,严格的环境规制带来的信息资源削弱对资源配置优化效率的影响相对较弱;然而企业利用数据整合技术对绿色需求进行挖掘的过程需要实时、准确的生产数

据,这高度依赖信息资源的投入,在信息资源削弱下将受到较大的冲击。(2)严格的环境规制使智能制造所需的高技能人才在绿色研发与环境合规之间进行重新配置,由于人力资本的结构性功能缺口较易填补,人力资本结构的作用相对稳定;然而研发团队知识边界的拓展面临更复杂的要求,一旦关键的高技能人才缺位,将对团队内部的知识整合产生更大的冲击。(3)在严格的环境规制导致智能制造企业的可获得资金减少的情况下,绿色利用式创新更具灵活性和容错性,能够以较低的成本和较短的周期获得初步成果,相对更具韧性,能灵活应对资金短缺的问题,但绿色探索式创新往往需要大量的资金投入用于基础研究,一旦资金链断裂,可能面临项目停滞甚至失败的风险。综上,相比绿色利用式创新而言,绿色探索式创新受到的抑制作用更为显著。鉴于此,本文提出如下假设:

H3a:环境规制强度负向调节智能制造与绿色利用式创新之间关系。

H3b:环境规制强度负向调节智能制造与绿色探索式创新之间关系。

H3c:环境规制对智能制造与绿色探索式创新之间关系的负向调节大于其对智能制造与绿色利用式创新之间关系的负向调节。

综合以上假设,本文的研究模型如图1所示。

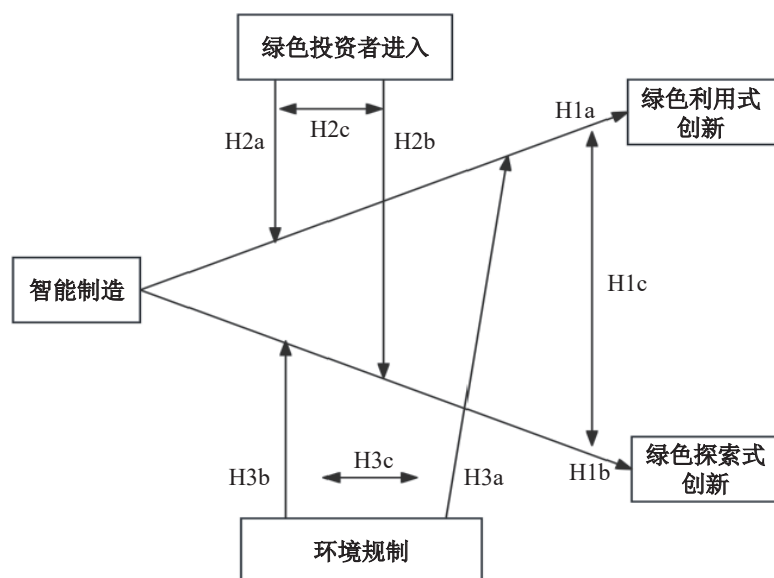


图1 研究模型

四、研究设计

(一)数据来源

考虑到科技部《智能制造科技发展“十二五”专项规划》与生态环境部《绿色制造科技发展“十二五”专项规划》均在2012年同步出台,本文选取2012—2023年中国沪深A股上市公司为研究对象。数据主要为:(1)本文所需的上市公司年报数据来自证监会网站,运用Python爬取词频得到智能制造词频数目;(2)绿色专利申请和授权数据来源于国家知识产权局;(3)相关财务数据和员工学历数据来自国泰安数据库和万德数据库;(4)环境规制数据来源于国家统计局、中国环境统计年鉴。为了提高有效性,对样本做如下处理:(1)剔除样本期间的ST、*ST类、数据缺失严重以及样本期间退市的上市公司;(2)为避免极端值的影响,对连续变量进行1%和99%分位的缩尾处理;(3)为缓解异方差的影响,本文使用稳健标准误进行修正。最终得到2478家企

业共13 623个观测值。

(二)变量定义

1.被解释变量:绿色利用式创新(*GUI*)和绿色探索式创新(*GEI*)。参考胡江峰(2020)、王伟光和韩旭(2023)的做法,本文用绿色实用型专利申请数量衡量绿色利用式创新,绿色发明专利申请数量衡量绿色探索式创新。

2.解释变量:智能制造(*IM*)。为准确刻画企业智能制造程度,参考吴非等(2021),基于上市公司年报文本,以其中的智能制造词频作为测度指标。具体步骤如下:(1)运用Python在上市公司年报中提取管理层讨论与分析(MA&A)文本;(2)提取政策文件和权威文献中与智能化相关的词语,构建自定义词典,并添加到jieba分词库中,运用拓展后的词典对(MA&A)文本进行分词;(3)运用word2vec词袋模型对分好词的文本进行相关词提取,结合人工筛选方式选取出“智能制造”“智能机器”“智能生产”“机器人”“全自动”“全机器”等关键词;(4)批量抓取关键词在年报中出现的总次数来构造智能制造变量。

3.调节变量:(1)绿色投资者(*GI*)。参考姜广省等(2021),使用企业当年的绿色投资基金数量测量。本文从国泰安数据库的基金市场系列中获取“基金主体信息表”和“股票投资明细表”,并进行数据匹配,从而获得沪深A股上市公司投资的基金明细;然后查看基金的“投资目标”和“投资范围”是否包含“环保”“生态”“绿色”“新能源开发”等关键词,以此认定该基金是否为绿色投资基金,并以绿色投资基金数量衡量绿色投资者。(2)环境规制(*ER*)。本文借鉴刘荣增和何春(2021)的做法,从环境规制强度方面设定环境规制指标,采用工业污染治理投资完成额占第二产业产值比重衡量环境规制强度。

4.控制变量

参考吴非等(2021)的研究,选取了财务指标与公司治理层面的变量作为本文的控制变量,包括公司规模(*Size*)、总资产收益率(*ROA*)、管理费用率(*Mfee*)、总资产周转率(*ATO*)、现金流比率(*Cashflow*)、投资收益率(*ROI*)、第一大股东持股比例(*TOP1*)、市净率(*PB*)、托宾Q值(*TobinQ*)、董事会规模(*Board*)。变量定义如表1所示。

表1 变量定义表

变量类型	变量名称	符号	变量测量
被解释变量	绿色利用式创新	<i>GUI</i>	$\ln(\text{绿色实用专利申请数量}+1)$
	绿色探索式创新	<i>GEI</i>	$\ln(\text{绿色发明型专利申请数量}+1)$
解释变量	智能制造	<i>IM</i>	$\ln(\text{智能制造词频总数}+1)$
调节变量	绿色投资者	<i>GI</i>	$\ln(\text{绿色投资者数量}+1)$
	环境规制	<i>ER</i>	工业污染治理投资完成额/第二产业总产值
控制变量	企业规模	<i>Size</i>	$\ln(\text{总资产})$
	总资产收益率	<i>ROA</i>	净利润/总资产平均余额
	管理费用率	<i>Mfee</i>	管理费用/营业收入
	总资产周转率	<i>ATO</i>	营业收入/平均资产总额
	现金流比率	<i>Cashflow</i>	经营活动产生的现金流量净额/总资产
	投资收益率	<i>ROI</i>	投资收益/总资产
	第一大股东持股比例	<i>TOP1</i>	第一大股东持股数量/总股数
	市净率	<i>PB</i>	每股股价/每股净资产
	托宾Q值	<i>TobinQ</i>	市值/总资产
	董事会规模	<i>Board</i>	$\ln(\text{董事会人数}+1)$

(三)模型设定

为验证假设1,本文构建如下模型:

$$GUI_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 IM_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$GEI_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 IM_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$GRQUA_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 IM_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

其中,被解释变量为绿色利用式创新(GUI)和绿色探索式创新(GEI),解释变量为智能制造(IM),控制变量($Controls$)为上述影响绿色二元创新的其他变量。 $GRQUA$ 是绿色二元创新的差值变量,参考Cohen等(2003)的方法进行构建。由于无法直接比较式(1)和式(2)的系数和的大小关系,在构建 $GRQUA$ 的基础上,利用原始的解释变量对其进行回归,并根据 IM 的系数判断 IM 对 GUI 和 GEI 影响程度差异:若 $\gamma_1 < 0$,表明 IM 对 GUI 的影响大于 IM 对 GEI 的影响,反之则表明 IM 对 GUI 的影响小于 IM 对 GEI 的影响。此外,模型引入了年度虚拟变量(η_t)、行业虚拟变量(μ_i)以及随机误差项($\varepsilon_{i,t}$)。

为验证假设2,本文构建如下模型:

$$GUI_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 IM_{i,t} + \alpha_2 GI_{i,t} + \alpha_3 IM_{i,t} \times GI_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$GEI_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 IM_{i,t} + \beta_2 GI_{i,t} + \beta_3 IM_{i,t} \times GI_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

$$GRQUA_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 IM_{i,t} + \gamma_2 GI_{i,t} + \gamma_3 IM_{i,t} \times GI_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

为验证假设3,本文构建如下模型:

$$GUI_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 IM_{i,t} + \alpha_2 ER_{i,t} + \alpha_3 IM_{i,t} \times ER_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

$$GEI_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 IM_{i,t} + \beta_2 ER_{i,t} + \beta_3 IM_{i,t} \times ER_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

$$GRQUA_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 IM_{i,t} + \gamma_2 ER_{i,t} + \gamma_3 IM_{i,t} \times ER_{i,t} + \sum_k \varphi_k Controls_{i,t} + \eta_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

其中,绿色投资者(GI)和环境规则(ER)为本文的调节变量,式(6)和式(9)中的 $GRQUA$ 根据相应研究内容构建,并根据回归系数 γ_3 比较调节效应大小。

五、实证结果及分析

(一)基准回归

本文首先进行基准回归,结果如表2所示,列(1)、列(3)和列(2)、列(4)分别表示未加入控制变量和加入所有控制变量情况下的回归结果。结果显示,智能制造对企业绿色利用式创新和绿色探索式创新均具有显著正向影响,即H1a和H1b得到验证。为进一步检验智能制造对绿色利用式创新和绿色探索式创新的影响差异,本文参考Cohen等(2003)的方法构建变量 $GRQUA$,进行 IM 对 GUI 和 GEI 的影响程度差异比较。检验结果如列(5)所示, IM 的系数($\beta = -0.031$, $p = 0.000$)显示其对 GUI 和 GEI 的影响存在显著差异,表明智能制造对绿色探索式创新的影响小于对绿色利用式创新的影响,从而假设H1c得到支持。

(二)稳健性检验

1. 替换被解释变量的测度

本文采用绿色实用型专利和绿色发明型专利的授权数量分别替换绿色二元创新的测度

(分别记为 $GUIA$ 和 $GEIA$),并进行回归,结果如表3列(1)—(4)所示。结果表明,智能制造对绿色二元创新水平的回归结果与基准回归一致。同时,参考上述方法构建新变量 $GRQUAI$,并对新变量 $GRQUAI$ 进行回归,结果如列(5)所示, IM 的系数($\beta=-0.059, p=0.000$)显示了 IM 对 $GUIA$ 的影响显著大于对 $GEIA$ 的影响,与基准回归保持一致,结论稳健可靠。

表 2 基准回归

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	GUI	GUI	GEI	GEI	$GRQUAI$
IM	0.071*** (8.21)	0.042*** (5.29)	0.078*** (8.44)	0.045*** (5.43)	-0.031*** (-3.46)
控制变量	NO	YES	NO	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
$Constant$	0.571*** (59.06)	-6.090*** (-30.44)	0.570*** (54.59)	-7.713*** (-35.59)	-8.888*** (-38.24)
N	13 623	13 623	13 623	13 623	13 623
Adj_R^2	0.176	0.292	0.116	0.260	0.245

注:括号内为 t 值,***、**、*分别为1%、5%、10%的水平下显著。下同。

表 3 替换被解释变量测度的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$GUIA$	$GUIA$	$GEIA$	$GEIA$	$GRQUAI$
IM	0.068*** (7.90)	0.040*** (5.08)	0.028*** (4.64)	0.011* (1.91)	-0.059*** (-6.36)
控制变量	NO	YES	NO	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
$Constant$	0.559*** (58.04)	-5.763*** (-28.95)	0.262*** (37.90)	-4.015*** (-25.22)	-7.028*** (-26.76)
N	13 623	13 623	13 623	13 623	13 623
Adj_R^2	0.179	0.288	0.072	0.173	0.163

2. 替换解释变量的测度

本文采用企业是否实施智能制造(样本期间企业年报词频大于0的, IMS 赋值为1,反之赋值为0)替换核心解释变量的测度,进行稳健性检验。考虑到智能制造的实施并非随机分配的,而是受到企业自身特征以及外部环境的综合影响,表现出明显的非随机选择特征,导致估计结果存在系统性偏差。为了有效缓解偏差,本文选择倾向得分匹配法(PSM),采用最近邻匹配方法(1:1)对处理组(实施智能制造)和控制组(未实施智能制造)进行匹配,匹配后的回归结果如表4列(1)—(4)所示,表明在实现匹配后,智能制造(IMS)对绿色利用式创新和绿色探索式创新的回归系数分别为0.111($p=0.000$)和0.109($p=0.000$),均显著为正;同时在替换解释变量测度后,参考上述方法构建新变量 $GRQUA2$,并对 $GRQUA2$ 进行回归,结果如列(5)所示, IMS 的系数($\beta=-0.064, p=0.000$)表明其对 GUI 和 GEI 的影响存在显著差异,与基准回归结果一致,结论稳健。

(三)内生性检验

1. 工具变量法

基准回归分析显示,智能制造对企业绿色二元创新存在显著的正向影响,然而,智能制造与绿色二元创新之间可能存在由反向因果造成的内生性问题。本文采取工具变量2SLS法,在

有效缓解反向因果引起的内生性的基础上,进一步检验智能制造对绿色二元创新的正向影响。本文以企业所在地地形起伏度与时间变量的交互项作为工具变量(记为 IV)。一方面,地形起伏度深度影响企业实施智能制造所需的区域网络基础设施支撑水平,并通过交通条件的便利性影响实施智能制造企业的选址,与智能制造技术的升级和应用高度关联,满足相关性要求。另一方面,地形起伏度作为地理环境变量主要影响企业生产流程的选址与生产设备支撑,而绿色二元创新主要受到市场信号、经济激励等影响,而非地貌条件,因此地形起伏度并不直接对企业绿色二元创新产生直接影响,需满足外生性条件(柏培文和张云,2021;谷城和张树山,2023)。在此基础上,本文构建新变量 $GRQUA3$ 进行2SLS回归,结果如表5所示,列(1)所展示的第一阶段结果中,工具变量通过检验,表明地形起伏度与智能制造水平之间存在显著的相关性($\beta=-0.009, p=0.017$),能够作为有效的工具变量;列(2)和列(3)所展示的第二阶段结果中,智能制造对绿色利用式创新的系数估计值($\beta=1.156, p=0.052$)和绿色探索式创新的系数估计值($\beta=1.362, p=0.042$)仍显著为正。同时,参考上述方法构建新变量 $GRQUA3$,并对新变量 $GRQUA3$ 进行回归,第二阶段结果如列(4)所示, IM 的系数($\beta=-1.462, p=0.000$)显示了 IM 对 GUI 的影响显著大于对 GEI 的影响。由上可知,结论稳健可靠。表明在有效缓解模型内生性的基础上,结论依然保持一致。

表 4 倾向得分匹配

变量	(1) <i>GUI</i>	(2) <i>GUI</i>	(3) <i>GEI</i>	(4) <i>GEI</i>	(5) <i>GRQUA2</i>
<i>IMS</i>	0.162*** (10.243)	0.111*** (7.504)	0.166*** (9.721)	0.109*** (6.873)	-0.064*** (-3.763)
控制变量	<i>NO</i>	<i>YES</i>	<i>NO</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	0.546*** (52.743)	-6.103*** (-30.389)	0.549*** (48.877)	-7.728*** (-35.550)	-8.876*** (-38.071)
<i>N</i>	13 617	13 617	13 617	13 617	13 617
<i>Adj_R</i> ²	0.176	0.291	0.114	0.259	0.243

表 5 工具变量法

变量	(1) <i>First stage</i> <i>IM</i>	(2) <i>Second stage</i> <i>GUI</i>	(3) <i>Second stage</i> <i>GEI</i>	(4) <i>Second stage</i> <i>GRQUA3</i>
<i>IV</i>	-0.009** (-2.40)			
<i>IM</i>		1.156* (1.94)	1.362** (2.04)	-1.462*** (-3.29)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-0.434* (-1.95)	-5.057*** (0.299)	-6.432*** (0.307)	-5.878*** (-19.42)
<i>N</i>	13 623	13 623	13 623	13 623
<i>Adj_R</i> ²	0.275	-1.214	-1.475	0.198

2. Heckman 二阶段检验

本文使用 Heckman 二阶段模型缓解来源于企业实施智能制造决策自选择偏差导致的内生

性问题。首先构建了是否实施智能制造(*IMS*)二元变量:若实施赋值为1;反之赋值为0。其次,选择地形起伏度作为工具变量(记为*IV*),在第一阶段Probit回归中,以是否实施智能制造作为因变量,利用第一阶段的回归结果计算出逆米尔斯比率(*IMR*),并带入第二阶段的模型进行回归;同时构建新变量*GRQUA4*进行回归。表6展示了Heckman二阶段的检验结果。结果显示,加入逆米尔斯比率后绿色利用式创新的回归系数($\beta=0.042, p=0.000$)、绿色探索式创新的回归系数($\beta=0.043, p=0.000$)和*GRQUA4*的回归系数($\beta=-0.020, p=0.016$)均显著为正,表明通过控制样本选择偏差,使内生性问题得到有效控制,研究结论仍具有稳健性。

表6 Heckman二阶段检验

变量	(1) <i>IMS</i>	(2) <i>GUI</i>	(3) <i>GEI</i>	(4) <i>GRQUA4</i>
<i>IV</i>	-0.023*** (-3.657)			
<i>IM</i>		0.042*** (5.189)	0.043*** (5.145)	-0.020** (-2.170)
<i>IMR</i>		0.039 (0.392)	0.183* (1.780)	0.252** (2.290)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-3.518*** (-9.319)	-6.172*** (-21.161)	-8.096*** (-26.258)	-9.404*** (-28.408)
<i>N</i>	13 623	13 623	13 623	13 623
<i>Adj_R</i> ²		0.292	0.260	0.245

六、进一步分析

(一)调节机制检验

1.绿色投资者的调节作用

本文将构建智能制造和绿色投资者的交互项($IM \times GI$)进行回归分析,进一步研究绿色投资者对智能制造与绿色二元创新之间关系的调节作用。表7列(1)—(2)显示,交互项($IM \times GI$)对*GUI*的系数($\beta=0.047, p=0.000$)和*GEI*的系数($\beta=0.042, p=0.000$)均在1%的水平显著为正,表明绿色投资者能够显著增强智能制造对绿色利用式创新和绿色探索式创新的促进作用,验证了假设H2a和H2b。同时构建新变量*GRQUA5*进行回归,结果如表7列(3)所示,交乘项 $IM \times GI$ 的系数显著为负($\beta=-0.029, p=0.000$),表明绿色投资者对智能制造与绿色利用式创新之间关系的调节作用显著大于对智能制造与绿色探索式创新之间关系的调节作用,假设H2c得以验证。

2.环境规制的调节作用

本文构建智能制造和环境规制的交互项($IM \times ER$)进行回归分析,进一步研究环境规制对智能制造与绿色二元创新之间关系的调节作用。表7列(4)—(5)显示,交互项($IM \times ER$)对*GUI*的系数($\beta=-0.016, p=0.002$)和*GEI*的系数($\beta=-0.019, p=0.000$)显著为负,表明环境规制强度的提升能够显著抑制智能制造对绿色利用式创新和绿色探索式创新的促进作用,假设H3a和H3b得到验证。同时构建新变量*GRQUA6*进行回归,结果如表7列(6)所示,交互项($IM \times ER$)的系数为正但不显著($\beta=0.004, p=0.516$),表明环境规制对智能制造促进绿色利用式创新和绿色探索式创新不存在显著的差异化影响,其原因在于当前的环境规制以命令控制型为主,具有“一刀切”的政策刚性,未能产生差异化的合规约束,且企业的不同绿色创新研发过程对合规约束的响应程度也具有同质性,资源分配方案的韧性不足,导致企业在智能制造驱动

下无论选择何种类型的绿色创新,均形成相似的资源挤出效应,致使环境规制产生的负向权变作用未呈现显著差异,因而假设H3c未得到验证。

(二)异质性分析

根据“技术—组织—环境”(technology-organization-environment,记为TOE)框架(Tornatzky等,1990),企业在不同的TOE特征层面会存在技术路径与资源分配的差异,影响智能制造对绿色二元创新的促进效应。据此,本文将从技术属性、组织规模、政策环境三个层面进行异质性分析。

表 7 调节机制检验结果

变量	绿色投资者			环境规制		
	(1) <i>GUI</i>	(2) <i>GEI</i>	(3) <i>GRQUA5</i>	(4) <i>GUI</i>	(5) <i>GEI</i>	(6) <i>GRQUA6</i>
<i>IM</i>	0.041*** (5.23)	0.045*** (5.36)	0.048*** (5.36)	0.038*** (4.81)	0.041*** (4.90)	0.044*** (4.90)
<i>GI</i>	0.085*** (7.23)	0.076*** (5.95)	0.082*** (5.95)			
<i>IM*GI</i>	0.047*** (4.83)	0.042*** (4.10)	-0.029*** (-2.67)			
<i>ER</i>				-0.029*** (-5.18)	-0.031*** (-5.26)	-0.033*** (-5.26)
<i>IM*ER</i>				-0.016*** (-3.17)	-0.019*** (-3.49)	0.004 (0.65)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-5.325*** (-24.10)	-7.028*** (-29.28)	-8.218*** (-31.92)	-6.079*** (-30.37)	-7.702*** (-35.55)	-8.937*** (-38.46)
<i>N</i>	13 623	13 623	13 623	13 623	13 623	13 623
<i>Adj_R²</i>	0.297	0.264	0.262	0.293	0.262	0.261

1.技术属性异质性

在不同科技水平的企业中,智能制造的发展会呈现不同的经营策略,进而影响绿色二元创新。本文依据《高技术产业(制造业)分类(2017)》将样本划分为非高科技行业组和高科技行业组进行分组回归,表8的结果显示了智能制造在不同科技水平企业产生的影响存在差异:非高科技行业实施智能制造能显著促进绿色利用式创新($\beta=0.053, p=0.000$)和绿色探索式创新($\beta=0.079, p=0.000$),主要由于其绿色二元创新基础较弱,技术应用的上升空间较大,对智能制造的实施具有较大的边际影响,因此其智能制造能显著提升绿色二元创新水平;但高科技行业企业的智能制造对绿色二元创新的影响不显著,主要由于其创新活动已趋复杂化、技术路径依赖较强,智能制造的实施产生的影响往往被其他因素所稀释。

2.组织规模异质性

鉴于实施智能制造的企业规模存在差异,其具备的基础与资源能力也各不相同,智能制造对绿色二元创新产生的影响也存在差异。本文根据企业规模(*Size*)的中位数分组,并进行回归分析。结果如表9列(1)—(4)所示,大规模企业实施智能制造对绿色利用式创新($\beta=0.093, p=0.000$)和绿色探索式创新($\beta=0.069, p=0.000$)则表现出显著的正向影响,而中小规模企业实施智能制造对绿色利用式创新($\beta=-0.007, p=0.465$)和绿色探索式创新($\beta=0.017, p=0.082$)的影响并不显著。其原因可能是大规模企业作为行业标杆,受到社会的广泛关注,承担着更大的社

会责任,同时具备更强的资源禀赋与技术吸收能力,为智能制造影响绿色双元创新提供资源优势和能力支持,从而大规模企业的智能制造对绿色双元创新呈现出显著的影响;但中小规模企业受到资源约束,仅能在局部领域实施智能制造,未能系统对绿色双元创新产生有效影响,因此中小规模企业的智能制造对绿色双元创新的影响不显著。

表 8 技术属性异质性

变量	非高科技行业		高科技行业	
	(1) <i>GUI</i>	(2) <i>GEI</i>	(3) <i>GUI</i>	(4) <i>GEI</i>
<i>IM</i>	0.053*** (0.013)	0.079*** (0.013)	0.010 (0.010)	-0.001 (-0.011)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-5.236*** (-0.297)	-6.106*** (-0.306)	-6.694*** (-0.271)	-8.845*** (-0.296)
<i>N</i>	5 689	5 689	7 933	7 933
<i>Adj_R</i> ²	0.362	0.307	0.261	0.242

表 9 组织规模异质性

变量	大规模企业		中小规模企业	
	(1) <i>GUI</i>	(2) <i>GEI</i>	(3) <i>GUI</i>	(4) <i>GEI</i>
<i>IM</i>	0.093*** (0.013)	0.069*** (0.014)	-0.007 (-0.009)	0.017* (0.010)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-6.740*** (-0.372)	-9.952*** (-0.404)	-4.448*** (-0.376)	-5.261*** (-0.392)
<i>N</i>	6 812	6 812	6 811	6 811
<i>Adj_R</i> ²	0.322	0.295	0.155	0.128

3.政策环境异质性

本文以《关于开展2015年智能制造试点示范专项行动的通知》为时间分界点进行分组回归,结果如表10所示。在前一个样本期间内,智能制造对绿色利用式创新的系数为正($\beta=0.019$, $p=0.491$),对绿色探索式创新的系数为负($\beta=0.001$, $p=0.964$),且不显著,表明在未实施政策期间,智能制造技术尚未成熟,应用领域受限,导致其未能对绿色双元创新产生系统性的促进作用;在后一个样本期内,智能制造对绿色利用式创新的系数($\beta=0.043$, $p=0.000$)和对绿色探索式创新的系数($\beta=0.046$, $p=0.000$)均显著为正,其原因主要是在政策实施后,企业将获得专项资金、税收优惠等政策红利,形成绿色创新资源的集中效应,同时政策实施能提升企业的绿色偏好,引导更多的资源投入绿色双元创新中。

七、结论和建议

(一)研究结论

本文以绿色双元创新为切入点,基于2012—2023年上市公司数据,综合资源基础观、利益相关者理论和制度理论,通过文本挖掘方法构建了智能制造实施水平的衡量指标,探讨了智能

制造对企业绿色双元创新的差异化影响及其边界条件。研究发现:智能制造对企业绿色利用式创新和绿色探索式创新均具有促进作用,其中智能制造对绿色利用式创新的促进作用更大;绿色投资者和环境规制对智能制造和绿色双元创新之间的关系起到调节作用;异质性分析表明,智能制造对企业绿色双元创新的促进作用在非高科技行业企业、大规模企业以及智能制造试点示范政策实施期间更为显著。

表 10 政策环境异质性

变量	政策实施前		政策实施后	
	(1) <i>GUI</i>	(2) <i>GEI</i>	(3) <i>GUI</i>	(4) <i>GEI</i>
<i>IM</i>	0.019 (0.69)	0.001 (0.05)	0.043*** (5.12)	0.046*** (5.20)
控制变量	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
行业固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
年份固定效应	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>	<i>YES</i>
<i>Constant</i>	-4.746*** (-10.14)	-5.657*** (-11.52)	-6.401*** (-28.76)	-8.252*** (-33.98)
<i>N</i>	2 402	2 402	11 220	11 220
<i>Adj_R</i> ²	0.252	0.219	0.297	0.265

(二)研究贡献

本文的贡献在于:(1)通过考察智能制造对企业绿色双元创新的差异化影响,丰富了智能制造和绿色双元创新的研究文献。一方面,关于智能制造结果的研究仅将绿色创新视为单维度构想,忽略了其利用式和探索式的双重维度;另一方面,关于绿色双元创新在技术情境层面的前因研究仅停留在传统意义的“数字化”层面,忽略了智能制造作为前沿技术对绿色双元创新的影响。本文基于资源基础观,明确考察智能制造对绿色双元创新的差异化影响,丰富了智能制造结果研究和企业绿色双元创新前因研究的文献。(2)通过分别揭示绿色投资者和环境规制对智能制造与绿色双元创新之间关系的调节作用,丰富了智能制造与绿色创新之间关系的研究。本文厘清了智能制造影响绿色双元创新的边界条件,有助于对智能制造和绿色双元创新之间关系形成更完整的认识,为智能制造在不同的内外部条件下对绿色双元创新产生的差异化影响提供了新的洞见,为影响智能制造与绿色双元创新之间关系的权变因素研究做出增量贡献。(3)通过使用文本挖掘方法构建智能制造的测度指标,拓展了智能制造测量方法的研究文献。现有文献多以智能制造政策实施作为准自然实验进行政策效应评估,未能充分反映智能制造在企业生产中的嵌入程度,本文利用文本挖掘方法捕捉智能制造的动态发展水平,能够对智能制造进行更为准确的测度。

(三)管理启示

本文的管理启示在于:(1)在智能制造驱动下,企业既要优先实现现有绿色技术和流程的优化,又要兼顾对突破性绿色技术的研发支持,实现短期效益和长期价值的均衡发展。企业应优先在已具备基础的绿色创新领域部署智能制造技术,快速提升节能改造、产品优化、精益生产等绿色利用式创新,同时为避免陷入“绿色利用式能力陷阱”,要充分发挥智能制造的数据驱动能力对清洁产品生产、突破性绿色技术的研发支持,利用智能技术积累的创新势能,逐步向绿色探索式创新跃迁。(2)企业应将绿色投资者引入智能制造驱动绿色双元创新的价值网络中,但要避免因绿色投资者的短期偏好而带来渐进式绿色创新路径依赖。企业应在短期内提升绿色利用式创新,作为吸引绿色投资者的突破口,并将绿色投资者深度纳入内部治理结构,使其不仅成为绿色创新资金的提供者,还利用其资源构建智能绿色创新生态,成为绿色创新协同

主体。(3)企业应重视创新路径与政策方向的联动,在智能制造驱动下实现环境合规与绿色创新的协同。在政府环境规制的导向下,实施智能制造的企业应构建“政策—技术”关联知识图谱,设计出与政策方向协同的绿色创新研发方案,通过提升企业的政策响应能力以增强资源分配方案的韧性,将政策压力转化为创新动能。

主要参考文献

- [1]柏培文,张云.数字经济、人口红利下降与中低技能劳动者权益[J].经济研究,2021,56(5):91-108.
- [2]池仁勇,梅小苗,阮鸿鹏.智能制造与中小企业组织变革如何匹配?[J].科学学研究,2020,38(7):1244-1250,1324.
- [3]龚军姣,邱旋,徐扬.碳交易市场对企业全要素生产率的影响——绿色双元创新的中介效应[J].南京财经大学学报,2024,(5):78-88.
- [4]谷城,张树山.智能制造何以实现企业绿色创新“增量提质”[J].产业经济研究,2023,(1):129-142.
- [5]贺佳,王分棉,孙宛霖,等.“反向混改”何以影响民营企业实质性绿色创新?——基于制度理论的视角[J].外国经济与管理,2025,47(2):69-83.
- [6]侯翠梅,苏杭.智能化转型对企业创新绩效的影响研究——基于数字化能力的视角[J].工程管理科技前沿,2023,42(2):83-89.
- [7]胡江峰,黄庆华,潘欣欣.碳排放交易制度与企业创新质量:抑制还是促进[J].中国人口·资源与环境,2020,30(2):49-59.
- [8]胡楠,薛付婧,王昊楠.管理者短视主义影响企业长期投资吗?——基于文本分析和机器学习[J].管理世界,2021,37(5):139-156.
- [9]黄卓,陶云清,刘兆达,等.智能制造如何提升企业产能利用率——基于产消合一的视角[J].管理世界,2024,40(5):40-57.
- [10]惠丽丽,谢获宝.智能制造、创新文化与企业成本粘性[J].管理评论,2024,36(5):178-193.
- [11]姜广省,卢建词,李维安.绿色投资者发挥作用吗?——来自企业参与绿色治理的经验研究[J].金融研究,2021,(5):117-134.
- [12]刘荣增,何春.环境规制对城镇居民收入不平等的门槛效应研究[J].中国软科学,2021,(8):41-52.
- [13]马美婷,吴小节,汪秀琼.高管团队技术印记与企业绿色双元创新——环境注意力的中介作用[J].系统管理学报,2023,32(5):976-994.
- [14]毛其淋,石步超.通向绿色发展之路:智能制造与企业绿色转型[J].世界经济,2024,47(9):152-182.
- [15]倪娟,赵晓梦,唐国平.环境规制强度测算方法研究新进展及展望[J].国外社会科学,2020,7(2):64-75.
- [16]沈灏,魏泽龙,苏中锋.绿色管理研究前沿探析与未来展望[J].外国经济与管理,2010,32(11):18-25.
- [17]谭瑾,徐光伟,权小锋.环境规制战略引领与企业跨地区投资[J].外国经济与管理,2025,47(6):135-152.
- [18]王琳,周昕怡,张心舒,等.分合有术:创新型制造企业如何应对双元创新悖论?——基于圣泉集团的单案例研究[J].研究与发展管理,2025,37(4):6-20.
- [19]王少飞,张勇,王禹祺.环境规制与企业并购决策——来自重污染行业的经验证据[J].外国经济与管理,2024,46(12):88-100.
- [20]王伟光,韩旭.国际化速度、双元创新与“专精特新”企业绩效——基于115家中国制造业单项冠军上市企业的实证研究[J].外国经济与管理,2023,45(10):51-67.
- [21]王雪璐.数字化转型对战略性新兴产业双元创新的影响:基于“智能制造试点示范专项行动”的准自然实验[J].中国软科学,2024,(11):201-211.
- [22]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.
- [23]吴小节,马美婷,汪秀琼.智能制造研究述评[J].研究与发展管理,2023,35(6):32-45.
- [24]席龙胜,赵辉.高管双元环保认知、绿色创新与企业可持续发展绩效[J].经济管理,2022,44(3):139-158.
- [25]解学梅,韩宇航.本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”?——基于注意力基础观的多案例研究[J].管理世界,2022,38(3):76-106.
- [26]尹洪英,李闯.智能制造赋能企业创新了吗?——基于中国智能制造试点项目的准自然试验[J].金融研究,2022,(10):98-116.
- [27]余倩,詹新宇.数字技术何以驱动企业创新:非对称驱动效应与机制解析[J].经济评论,2025,(4):101-116.
- [28]曾经纬,李柏洲.组态视角下企业绿色双元创新驱动路径[J].中国人口·资源与环境,2022,32(2):151-161.

- [29]Asiaei K, O'connor N G, Barani O, et al. Green intellectual capital and ambidextrous green innovation: The impact on environmental performance[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2023, 32(1): 369-386.
- [30]Autor D H, Dorn D. The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market[J]. *American Economic Review*, 2013, 103(5): 1553-1597.
- [31]Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage[J]. *Journal of Management*, 1991, 17(1): 99-120.
- [32]Cheng P, Zhang J Y, Chen J Y, et al. Stakeholder attention and ambidextrous green innovation: Evidence from China[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2025, 34(1): 1007-1026.
- [33]Chu Y L, Wu J L, Gu J B. How does green intellectual capital promote green innovation? The mediating role of green dynamic capability and the moderating role of organisational slack[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2025, 34(6): 7469-7487.
- [34]Cohen J, Cohen P, West S G, et al. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences[M]. 3rd ed. New York: Routledge, 2003.
- [35]Cui R X, Xia E J, Guo X L. Antecedent configurations toward radical green innovation: Based on resource orchestration theory[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2025, 214: 124038.
- [36]El-Kassar A N, Singh S K. Green innovation and organizational performance: The influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 144: 483-498.
- [37]Eyraud L, Clements B, Wane A. Green investment: Trends and determinants[J]. *Energy Policy*, 2013, 60: 852-865.
- [38]Freeman R E. Strategic management: A stakeholder approach[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [39]Goldfarb A, Tucker C. Digital economics[J]. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1): 3-43.
- [40]Grant R M. The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation[J]. *California Management Review*, 1991, 33(3): 114-135.
- [41]Haylemariam L G, Umar R M, Oduro S. Modeling the role of big data analytics capabilities in impacting corporate environmental performance: A serial mediation analysis[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2025, 34(6): 7791-7815.
- [42]Huang Y J, Zhang G Q, Chen X F, et al. From awareness to action: The role of ESG committees in driving corporate ambidextrous green innovation[J]. *Energy Economics*, 2025, 150: 108835.
- [43]Javed A, Li Q, Basit A. Enhancing ambidextrous green innovation: The role of green supply chain integration, knowledge capabilities and technology dynamism in manufacturing[J]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2025, 36(2): 431-454.
- [44]Jin M H, Chen Y. Has green innovation been improved by intelligent manufacturing?—Evidence from listed Chinese manufacturing enterprises[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 205: 123487.
- [45]Kusiak A. Editorial: Intelligent manufacturing: Bridging two centuries[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2019, 30(1): 1-2.
- [46]March J G. Exploration and exploitation in organizational learning[J]. *Organization Science*, 1991, 2(1): 71-87.
- [47]Schwab K, Davis N. Shaping the future of the fourth industrial revolution[M]. New York : Crown Currency, 2018.
- [48]Shehzad M U, Zhang J H, Dost M, et al. Linking green intellectual capital, ambidextrous green innovation and firms green performance: Evidence from Pakistani manufacturing firms[J]. *Journal of Intellectual Capital*, 2023a, 24(4): 974-1001.
- [49]Shehzad M U, Zhang J H, Latif K F, et al. Do green entrepreneurial orientation and green knowledge management matter in the pursuit of ambidextrous green innovation: A moderated mediation model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023b, 388: 135971.
- [50]Teece D J, Pisano G, Shuen A. Dynamic capabilities and strategic management[J]. *Strategic Management Journal*, 1997, 18(7): 509-533.
- [51]Tezel A, Koskela L, Tzortzopoulos P. Visual management in production management: A literature synthesis[J]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2016, 27(6): 766-799.
- [52]Tina Dacin M, Goodstein J, Richard Scott W. Institutional theory and institutional change: Introduction to the special research forum[J]. *The Academy of Management Journal*, 2002, 45(1): 45-56.
- [53]Tornatzky L G, Fleischer M, Chakrabarti A K. The processes of technological innovation[M]. Lexington: Lexington Books, 1990.
- [54]Wan X, Chun S, Xue S, et al. The causal and interactive approach to drive sustainability: Role of green dynamic capabilities, ambidextrous green innovation strategy and resource orchestration capability[J]. *Business Process Management Journal*, 2025 DOI: 10.1108/BPMJ-01-2025-0041.

- [55]Wang J R, Xue Y J, Sun X L, et al. Green learning orientation, green knowledge acquisition and ambidextrous green innovation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 250: 119475.
- [56]Wei X H, Jiang F, Chen Y, et al. Towards green development: The role of intelligent manufacturing in promoting corporate environmental performance[J]. *Energy Economics*, 2024, 131: 107375.
- [57]Yang H C, Li L S, Liu Y B. The effect of manufacturing intelligence on green innovation performance in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 178: 121569.
- [58]Zhang W, Ye S Q, Mangla S K, et al. Smart platforming in automotive manufacturing for NetZero: Intelligentization, green technology, and innovation dynamics[J]. *International Journal of Production Economics*, 2024, 274: 109289.
- [59]Zhong X, Zhang Y F. Digital transformation speed and firms' ambidextrous green innovation: Do employee stock ownership and education levels matter?[J]. *Technology in Society*, 2025, 83: 103024.
- [60]Zhu M H, Liang C, Yeung A C L, et al. The impact of intelligent manufacturing on labor productivity: An empirical analysis of Chinese listed manufacturing companies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2024, 267: 109070.

The Differential Impact of Intelligent Manufacturing on Corporate Green Ambidextrous Innovation

Ding Zhenkuo^{1,3}, Li Wenyan², Wang Xi¹, Luo Ming^{1,3}

(1. School of Economics and Management, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China;

2. School of Economics and Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;

3. Guangxi Universities Key Laboratory of Digital Empowered Economy Development, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China)

Abstract: Based on the resource-based view, this paper uses data from China's A-share listed companies on the Shanghai and Shenzhen stock exchanges from 2012 to 2023 to empirically examine the differential impact of intelligent manufacturing on corporate green ambidextrous innovation, and explores the moderating effects of green investors and environmental regulations on this impact. The results show that: (1) Intelligent manufacturing can significantly enhance corporate green ambidextrous innovation. Compared with its impact on green exploratory innovation, intelligent manufacturing has a greater impact on green exploitative innovation. (2) Green investors positively moderate the relationship between intelligent manufacturing and green ambidextrous innovation, and the moderating effect on the relationship between intelligent manufacturing and green exploitative innovation is stronger. Environmental regulations negatively moderate the relationship between intelligent manufacturing and green ambidextrous innovation, but the difference in the moderating effect is not significant. (3) Heterogeneity analysis reveals that under the conditions of non-high-tech industries, large-scale enterprises, and the implementation of special pilot policies for intelligent manufacturing, the promoting effect of intelligent manufacturing is more significant. The findings not only expand the research on the relationship between intelligent manufacturing and green innovation, but also provide important management implications for enterprise managers to promote green ambidextrous innovation through the adoption of intelligent manufacturing.

Key words: intelligent manufacturing; green ambidextrous innovation; green investors; environmental regulations

(责任编辑:王雅丽)