引用格式:尹建华, 高小慧. 企业数字化转型与绿色创新关系: 一项基于 TOE 框架的元分析[J]. 技术经济, 2025, 44(11): 49-65.
Yin Jianhua, Gao Xiaohui. The relationship between digital transformation and green innovation: A meta-analysis based on TOE framework [J]. Journal of Technology Economics, 2025, 44(11): 49-65.

企业数字化转型与绿色创新关系: 一项基于 TOE 框架的元分析

尹建华, 高小慧
(对外经济贸易大学国际商学院, 北京 100029)

摘 要: 数字化转型是企业获取竞争优势的重要来源,在促进企业实现绿色高质量发展方面发挥重要作用。本文基于 TOE (Technology-Organization-Environment)框架,41 篇实证文献,68602 个独立样本中的 41 个效应值,应用元分析方法从技术维度、组织维度和环境维度对数字化转型与企业绿色创新之间的关系展开分析,进而探究了文化背景、行业类型、变量衡量方式及绿色导向水平在两者关系中的调节效应。结果显示:①数字化转型与企业绿色创新存在显著的正相关关系;数字化转型技术维度、组织维度和环境维度均对绿色创新存在显著正向影响。②从文化背景看,处于西方文化背景下的企业,数字化转型对绿色创新的影响更加显著;③从变量衡量方式来看,数字化转型采用主观方式衡量时,数字化转型对绿色创新的影响更为显著;④从绿色导向水平看,绿色导向水平越高的国家,数字化转型对绿色创新的提升作用更加显著;⑤在不同的行业类型中,数字化转型对绿色创新的影响不显著。研究结论丰富和细化了数字化转型与绿色创新之间关系的现有研究成果,对于未来进行纵向研究和情景化研究具有一定的启示意义,同时也为数字化转型背景下促进企业绿色创新发展提供一定的管理依据。

关键词: 数字化转型; 绿色创新; 元分析; TOE
中图分类号: F270 **文献标志码**: A **文章编号**: 1002-980X(2025)11-0049-15
DOI:10. 12404/j. issn. 1002-980X. 24051419

一、引言

在推动经济由高速增长向高质量发展的过程中,我国也面临着严峻的环境问题和资源约束等带来的诸多挑战。“双碳”目标的提出为我国企业实现绿色高质量发展指明了方向。加快经济发展方式转变、推动产业结构升级成为破解企业与环境“和谐共生”发展难题的解决方式[1]。绿色创新兼具“创新”和“绿色”两大特点,是实现企业可持续发展的重要战略支撑[2],是促进经济发展方式转变、实现绿色可持续发展的重要动力[3]。与此同时,随着大数据、互联网、云计算等数字科技的不断发展,越来越多的企业利用新兴技术进行数字化变革,让数字化转型成为促进产业优化升级、实现绿色高质量发展的重要方式。以三一集团等为代表的头部企业,率先通过数字化转型探索出绿色可持续发展新范式[4]。在此背景下,如何借助数字化转型赋能企业绿色创新,进而培育新质生产力,成为亟待深入探究的重要命题。

回顾已有研究,尽管学者们对数字化转型如何影响企业绿色创新展开了广泛讨论,但尚未达成共识,存在正相关、负相关和倒 U 型等结论。一方面,部分学者认为,数字化转型可以促进企业绿色创新。例如,Mubarak 等[5]指出数字化转型有助于提高企业绿色创新绩效。肖静和曾萍认为数字化可以提高企业绿色创新的数量和质量[6]。另一方面,则有学者认为企业过度的数字化转型不利于企业绿色创新,数字化转型与

收稿日期: 2024-05-14
基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于环境规制的重污染企业环境战略选择及其协同演化研究”(71874029);国家自然科学基金面上项目“基于嵌入性视角的我国居民可持续消费行为的社会化养成理论与实证研究”(72074046);中央高校基本科研业务费专项资金“双重锁定下数字技术赋能现代制造业新质生产力涌现的机制和路径研究”(24XZ02)
作者简介: 尹建华(1975—),博士,对外经济贸易大学国际商学院教授,研究方向:绿色创新;高小慧(1996—),对外经济贸易大学国际商学院博士研究生,研究方向:绿色创新。

企业绿色创新之间存在倒U型关系。例如,王旭等[7]发现在企业数字化转型过程中数据信息爆炸式的涌现,会导致企业难以利用和捕获这些价值性信息,不利于企业创新。王锋正等[8]认为企业可以利用数字技术高效配置资源要素,增加绿色创新知识储备。然而,随着数字技术的不断发展,数据信息过载、数据质量和数据安全等问题将在一定程度上抑制绿色创新的产生。此外,还有学者指出,数字化转型与绿色创新存在负相关关系。例如,Dong等[9]发现数字技术对绿色创新存在负向影响。

虽然现有文献对数字化转型与企业绿色创新的关系进行了研究,但存在一定局限:一是,现有文献主要聚焦于数字化转型是否及如何对企业绿色创新产生影响[4,10],研究结论具有较大差异。元分析方法(Meta-analysis)主要针对具有共同研究主题且相互独立的研究结果进行综合性分析,并可以克服传统文献综述中存在的"评论偏见"等问题[11]。因此,本文拟采用元分析方法对现有的实证研究结果进行二次分析,通过评估数字化转型与企业绿色创新之间的关系,解释对于不同研究结果之间的争论。二是,现有关于数字化转型与绿色创新相关的文献主要集中于数字技术或数字能力等单一维度[5,8,10],而对于数字化转型不同维度对企业绿色创新的影响研究较少。本文拟基于TOE(technology-organization-environment)框架,将数字化转型分为技术维度、组织维度和环境维度,分析比较不同维度对企业绿色创新的影响。此外,已有研究对于数字化转型与企业绿色创新之间关系的调节机制探索不足[5,6,8]。本文尝试挖掘影响数字化转型与企业绿色创新关系的调节变量,分析影响二者关系的调节机制,进而综合考察两者之间的关系。

本文基于TOE框架,运用元分析方法分析数字化转型与企业绿色创新之间的关系以及二者之间可能存在的调节效应。首先,运用元分析方法探究数字化转型及其各维度与企业绿色创新之间的综合效应;其次,研究在数字化转型与企业绿色创新之间可能存在的调节机制,探究在不同测量条件下数字化转型对企业绿色创新的作用机理;最后,基于元分析结果提出促进企业绿色创新的管理策略,为企业实施数字化转型战略提供实践启示。

二、理论与研究假设

(一)数字化转型与绿色创新

数字化转型是指企业将数字技术引入到企业生产管理体系中,通过帮助组织实现业务流程改进、价值创造,进而推动企业绩效提升的过程[12-14]。绿色创新是企业在产品生命周期内,通过设计、生产和销售更为环保的产品,旨在减轻环境负担的同时实现经济利益的最大化[15]。从企业生产经营活动视角来看,企业绿色创新涵盖了绿色创意产生、绿色产品设计、绿色产品生产和营销等过程,而数字化转型则对企业整个生命周期的信息挖掘和协同活动创造机会并影响企业的市场生态环境。因此,本文拟基于企业生产经营视角来探索数字化转型如何促进绿色创新。

在绿色创意产生阶段,数字化转型可帮助企业快速掌握市场动态需求、了解绿色技术前沿和绿色转型相关信息,整合集成内外部绿色信息、合理化配置相关资源,进而为企业通过外部搜索及内部整合以加速绿色创意的涌现创造了条件[7]。

在绿色产品设计阶段,数字化转型赋予企业绿色研发过程的设计灵活性和可重复性,为企业修复产品缺陷并加速绿色产品迭代升级提供多维度支持[16]。同时,数字技术还可助力企业优化业务流程,甚至引致技术范式的更迭,增强企业的创新能力,有利于企业持续优化绿色产品设计,进而形成可持续竞争优势。

在绿色产品生产和营销阶段,数字化转型能够帮助企业提高绿色产品生产效率并识别新的绿色创新机会[3]。一方面,数字技术的不断发展有助于激发消费者多样化产品的需求[17],实现用户需求与企业绿色研发创新的精准匹配,这不仅可以提高绿色产品的研发效率,还有助于提高绿色产品的生产和销售水平。另一方面,企业还可以借助数字技术不断感知用户对于产品的需求并进行改进,进而发现绿色创新的潜在研究方向。

基于此,提出假设1:

数字化转型对企业绿色创新有正向的影响作用(H1)。

（二）数字化转型维度与绿色创新的关系

技术-组织-环境（TOE）框架是由 Tornatizky 和 Fleischer[18] 于 20 世纪 90 年代提出，最初用于分析技术应用情景对技术应用效果的影响，随后学者们将组织因素和环境因素纳入，并被广泛应用于解释组织的技术整合和采纳行为[19]。TOE 框架被广泛应用于分析企业采纳创新技术的影响因素及不同类型信息技术创新的采用[20]。由于该框架并未规定技术、组织和环境三类因素的具体解释变量，具有一定的敏捷性和可操作性[20]，已经被广泛应用于绿色创新[6]和数字化转型[12]等领域。TOE 框架是一个基于技术应用背景的综合分析框架，在不同的应用情景中其表现形式也不同。谭海波等[17]认为在应用 TOE 框架时，需要根据具体情况分析和确定影响因素，不断细化和丰富该模型的内涵，从而可以更好地解决实际问题。

在数字化背景下，企业的数字化转型并非简单的软件升级或者对供应链技术方面的改进，而是企业依据其发展战略，利用数字技术，对企业业务活动、流程和能力等进行的重大转型[3,7]。仅从单一因素考虑数字化转型对绿色创新的影响，难以体现出不同维度因素在企业数字化转型对绿色创新的影响中发挥的重要作用。因此，本文借鉴马鸿佳等[22]和白雪洁等[23]的研究，基于 TOE 框架，将企业数字化转型分为技术维度、组织维度和环境维度，如图 1 所示。其中，技术维度是指数字技术所固有的特征属性以及企业数字技术的应用，是驱动企业数字化转型的关键技术要素[24]，Vial[13] 认为企业可通过数字技术改善企业运营流程，加速企业推进数字化转型进程。组织维度是指组织所具备的数字资源和能力，涉及组织的数字化能力和数字化战略等[12,25]，是加速企业数字化转型的重要支撑[23,25]。环境维度是指企业所面临的外部环境数字化水平，主要是指数字基础设施[8,26]，数字基础设施是企业数字化转型发展的根本支撑，可以为企业数字化转型提供有力环境支撑和要素供给。这三个维度相互补充和协同，共同构成数字化转型的核心要素。

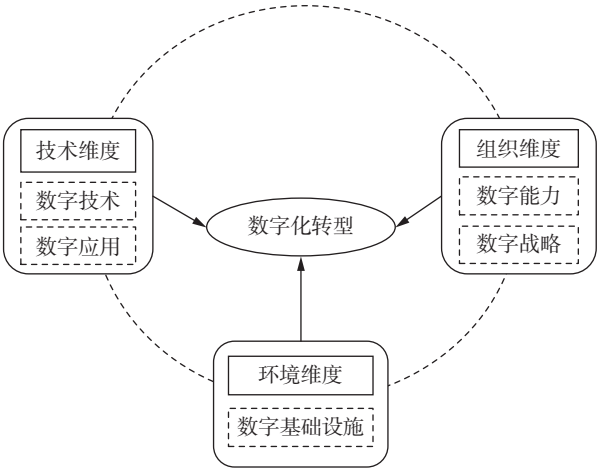


图 1　TOE 框架下数字化转型的划分维度

1. 数字化转型技术维度与绿色创新

借鉴 Yoo 等[26] 的研究，数字化转型技术维度主要是指企业数字技术所固有的特征属性，以及企业的数字技术应用过程。数字技术的可重新编程性、生成性和可感知性等特征可以为特定用户或者特定情境提供行动潜力的技术可供性[27]，凭借资源积累优势，帮助企业将数字技术与特定场景相结合，促进企业开展绿色低碳研发工作，提升企业绿色创新动力。在数字技术应用方面，企业可以利用数字技术不断优化业务流程并提高协作效率[28]。首先，数字技术为信息的交流、交换和传播提供了新途径[17]，不仅有助于企业传递有价值的信息，还可帮助企业在海量信息中筛选出关键信息，提高信息透明度，提升企业绿色创新动力。其次，企业可利用数字技术优化内部业务流程，降低信息搜寻、市场交易等成本，推动企业生产柔性化，促进企业供应链协同及经营风险管控，从而提升绿色创新链协同能力[29]。此外，从知识管理视角来看，数字技术将不断促进企业内绿色知识的更新和发展，推动企业研发资源和知识的不断整合，促进不同技术领域内的各类知识的整合与碰撞[30]，激发创新灵感，有效管理内外部知识，进而提升企业绿色创新绩效。最后，数字技术还可不断激发创新活力，再造创新流程，激发企业开展绿色创新的动力，帮助获取持续竞争优势。

基于此，提出假设 2：

数字化转型技术维度对企业绿色创新有正向的影响作用（H2）。

2. 数字化转型组织维度与绿色创新

数字化转型组织维度主要是指组织所具备的数字资源和能力，涉及组织的数字化能力和数字化战略

等[12,26]。数字化转型广泛存在于企业研发、生产、营销和服务等流程,为此,企业不仅需要大规模数字技术,还需要将这些数字技术转化为数字化能力[31-32],数字化能力可以反映出企业对数字技术的利用程度。双碳背景下,借助绿色创新实现高质量发展已成为企业的必然选择。数字化能力可帮助企业洞察市场环境变化,了解消费者的环保需求变换以及市场竞争者的绿色动态,及时、便捷地获取绿色创新相关信息[33],并基于这些信息调整企业绿色创新资源部署,显著激发企业生产绿色产品、服务或工作流程等的潜力[34]。企业的数字化战略不仅可以为企业实施数字化转型目标、过程和结果提供指导方针,还可以重塑企业顶层绿色认知,促进企业绿色创新理念形成[7],进而引导企业绿色创新活动。数字技术提升了企业获取环境信息与识别环境风险的能力[35],数字化战略有助于指导企业将绿色发展理念纳入企业生产经营活动中,明确绿色产品和服务的提升方向,进而提升绿色创新水平。

基于此,提出假设3:

数字化转型组织维度对企业绿色创新有正向的影响作用(H3)。

3. 数字化转型环境维度与绿色创新

数字化转型环境维度是指企业面临的外部市场环境的数字化程度,即企业面临的外部数字化环境[8,36],主要包含数字基础设施。本文认为数字化环境可有效提高企业绿色创新水平,这是因为:一方面,数字基础设施建设能够为企业发展提供信息和数据等高端生产要素,数字技术设施越完善,越有利于发挥数字化平台和数字生态系统的协同作用,进而可促进企业实现从低端制造向高端制造的转变[29],提高企业绿色创新水平。另一方面,数字化环境为企业间资源共享、信息交换构建了技术平台,可以有效提升知识流动效率,降低绿色创新要素流动和储存成本,增强企业绿色创新的意愿[26]。此外,在数字化环境背景下,组织间信息交流的效率可得到有效提升,一定程度上缓解了组织信息不对称问题,进而提升了企业绿色创新效率。同时,数字技术设施具备跨时空传播信息的能力,有利于促进跨区域间的知识交流和传播,从而提升绿色技术扩散水平。

基于此,提出假设4:

数字化转型环境维度对企业绿色创新有正向的影响作用(H4)。

(三)调节效应分析

数字化转型与绿色创新之间的关系研究在不同国家的企业中都得到了验证,但是不同文化背景的国家、不同行业等因素均可以影响数字化转型与绿色创新的关系,并得到不一致的结论。例如,王旭等[7]的研究认为制造业企业和重污染行业中数字化转型带来的影响不同;处于东方文化背景或西方文化背景下的企业形成的价值观会影响企业数字化转型的认知和进展[37];一个国家对于绿色实践的重视程度和未来承诺也会影响到企业利用数字化转型来促进绿色转型的方式[35]。元分析中,调节变量一般源于实证研究中的控制变量[37],组织情景中的测量因素如数字化转型衡量方式也会对变量之间的关系产生影响[30]。考虑到数字化转型与绿色创新关系可能受到情境因素影响,结合影响的强弱和元分析数据所需数据的可得性,本文重点从企业所处文化背景、行业类型、变量衡量方式和绿色导向水平四个方面来分析其所起的调节作用,以深入探讨数字化转型与企业绿色创新关系的异质性来源。

1. 文化背景的调节作用

成长于不同文化背景下的企业对于数字化转型的认知亦有所不同,进而可能会对企业绩效产生异质性影响[38]。Hofstede[39]的跨文化理论指出东西方在不确定性规避、权利距离等方面存在巨大差异。其中,处于西方文化背景下的企业更强调冒险精神和个人成就导向,员工具有较高的风险容忍度。这有助于营造鼓励冒险和探索的组织氛围,促进数字化环境的建设,企业可以借助外部数字基础设施来获取并整合相关绿色数据资源。西方文化背景更强调个体主义、自主性和冒险精神等文化价值观,因而员工对企业数字战略的接受度更高,有助于提升企业在绿色解决方案开发与实施过程中的数字化能力。此外,西方文化背景倾向于培养较为开放和创新的思维方式,这有利于数字技术的研发与应用,进而促进企业绿色知识的更新与发展。东方文化背景下,企业往往更倾向于采取稳健和渐进的变革方式。东方文化通常具有较强的不确定性规避倾向和集体主义等文化特征[24,39],这些文化属性使企业在战略决策中更强调稳定性和可预测性,一

定程度上降低了其利用数字技术进行绿色创新的意愿，不利于企业数字化能力的提升。同时也降低了外部数字基础设施建设的积极性，制约了良好数字化环境的形成。因此，在西方背景下，数字化转型对企业绿色创新的影响更为显著。

基于此，提出假设 5：

相较于东方文化，西方文化背景下数字化转型对企业绿色创新的影响更为显著（H5）。

2. 行业类型的调节作用

不同行业的数字化转型对企业绿色创新的影响也不尽相同[40]。例如，在制造业中，随着数字技术的不断发展，无论是传统制造业还是高新技术制造业，均需利用数字技术来促进全要素、全产业链的全面链接，整合企业资源，进而推动绿色创新多样化的发展[41]。数字技术有助于制造业企业动态优化研产供销等流程，提高资源配置效率，降低能源消耗和污染排放[3]。制造业企业将其绿色发展目标纳入数字化战略中，能够有效整合内部资源与外部创新要素，形成以可持续发展为目标的战略导向[7]；企业数字化能力可以帮助企业进行产品销量预测，通过收集各关键环节信息并以此打通信息壁垒，帮助管理者分析决策。此外，数字基础设施有利于发挥数字平台与数字生态系统的协同效应，为企业提供绿色技术前沿信息和环境数据关键生产要素，从整体上提升企业绿色创新水平。而非制造业企业等一般劳动密集型行业往往依赖于员工劳动生产率的提升[42]，在进行数字化、产业规模等方面的投入要低于制造业企业，因此企业数字化转型的作用效果要低于制造业企业。制造业企业可以在其制造和服务系统中不断集成数字化技术，促进企业绿色创新产品的研发和生产，提高企业可持续发展的能力[11]。靳毓等[3]以制造业为研究对象，发现制造业企业数字化转型更有利于企业绿色创新。

基于此，提出假设 6：

相较于非制造业企业，数字化转型在制造业企业中对绿色创新的影响更为显著（H6）。

3. 变量测量方式的调节作用

变量测量方式是影响研究结果的重要因素[42]，用元分析来分析变量衡量的方式有助于进一步明晰数字化转型与企业绿色创新的内涵。在对数字化转型与企业绿色创新的衡量方式上，学术界目前尚未形成统一的观点，主要包含客观衡量和主观衡量两种方式。客观衡量方式中，常以上市公司年报中统计相应的数字化相关词汇或者数字化基础设施投入等来衡量数字化转型[42-43]，以绿色专利数量或者研发投入等来衡量企业绿色创新水平[6,8]。该种衡量方式具有透明度较高且不易受主观因素影响等特点，但无法完整刻画企业数字化转型程度以及绿色创新效果[24]。主观衡量方式则多以调查问卷的方式通过对企业自我评估来获取数据，可以从多维度对企业数字化转型程度进行测量，具备较高的可信度[42]，且具有针对性强、标准化程度高的优势，一定程度上可以弥补客观衡量方式的不足，但是也容易被调查对象的主观偏差所影响[44]。主观偏差主要源于管理者对企业数字化战略经营的重视程度，在企业进行数字化转型活动中，管理者通常会对企业做出更高的自我评价。张宝建等[42]和 Yi 等[45]指出采用主观调查方式下数字化转型产生的影响效果更大。因此，在主观测量中往往会高估数字化转型对企业绿色创新的作用，导致客观衡量方式与主观衡量方式存在偏差。

因此，提出假设 7：

相较于客观衡量方式，主观衡量方式下数字化转型对企业绿色创新的影响更为显著（H7）。

4. 绿色导向水平的调节作用

绿色导向水平（green orientation）是指一个国家过去的绿色实践以及未来的绿色承诺[35]，反映了其对解决环境问题的重视程度。一方面，在高绿色导向水平的国家，企业可能会面临更为严格的绿色环境压力，这将促使企业增强环保意识并不断履行绿色责任。当面临经济利益和环境责任的冲突时，企业的强环保意识会形成内驱力，引导企业实施环境友好行为，不断提高企业绿色创新水平。另一方面，在高绿色导向水平国家中企业会积极开展环境管理行为，同时，企业会将更多的时间、资源等投入到绿色创新活动中[46]，这将可能促使企业在塑造行业环境竞争规则方面抢占先发优势。此外，在高水平绿色导向水平的国家中，企业可以获得丰富的环保投资来支持绿色产业的发展。因而，更倾向于采纳先进的数字技术，以获取绿色竞争优势。

绿色导向水平高的国家通常会对企业绿色可持续发展战略提出更高要求，企业更有动机在企业内部制定绿色导向的数字战略并系统性构建内部数字化能力，从而提升企业绿色资源配置效率。绿色导向水平高的国家更倾向于建设完备的数字基础设施[35]，便于企业低成本接入高质量的绿色数据与技术资源，缩短绿色创新研发周期[30]，助力企业形成绿色研发成果，提升企业绿色创新水平。

基于此，提出假设 8：

绿色导向水平高的国家中企业数字化转型对绿色创新的影响更为显著（H8）。

据此，本文的概念模型如图 2 所示。

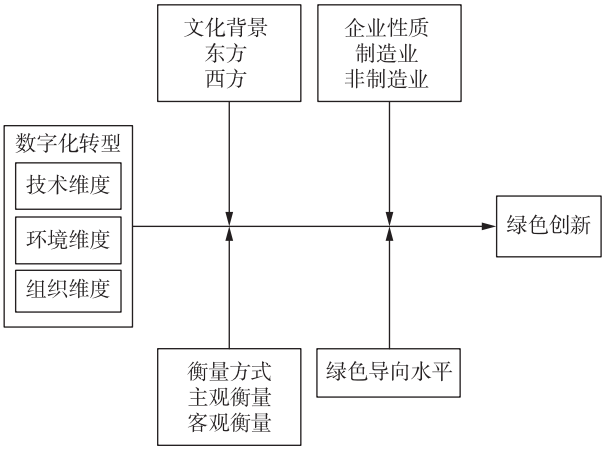


图 2　概念模型图

三、研究设计

（一）研究方法

元分析方法（Meta-analysis）起源于心理学，由学者 Beecher[47] 首次提出，逐步发展为系统的研究方法。元分析方法是汇总所有的相关结果并进行逐个分析和评价，并对不同精确值的研究赋予不同的权重，最后计算变量间的加权平均值，力图揭示变量间的真实关系的方法。该方法目前越来越多地应用于管理学、医学和教育学等领域。

（二）研究过程

1. 检索和筛选研究文献

本文的文献搜索和检索过程如下：①中文文献主要通过中国知网（CNKI）、万方和维普等数据库中使用“数字化转型”“数字化”“大数据”等以及相近词语以及“绿色创新”“环境创新”“绿色产品创新”“绿色流程创新”和“绿色技术创新”等及相近词语进行检索；②外文文献主要在 Web of Science、Google Scholar 和 Wiley 等数据平台，以“green innovation”OR“eco-innovation”OR“environmental innovation”OR“sustainable innovation”OR“green product innovation”OR“green process innovation”AND“digital *”OR“digital transformation”OR“Big data”OR“IT capacit *”OR “blockchain”OR“Industry 4.0”OR “information technology”OR “Cloud”OR “Digital technologies”OR “artificial intelligence”OR “Information and communications technology（ICT）”等为检索词进行检索；③检索相关硕博士论文和会议论文；④根据确认的文献，追溯参考文献中的实证研究。

论文筛选过程如下：①文章类型必须是实证性文献；②必须报告样本数量和能够描述两者关系的效应值，例如相关系数 r 或者其他通过推导可转换为所需的效应值（如 t 或者 β 等）；③研究主题必须是数字化转型或数字化转型某几维度与绿色创新的关系；④若多篇文献样本相同且独立，则影响因子高的文献被选入。论文搜索时间截至 2023 年 5 月，筛选过程如图 3 所示。此外，若文献报告了同一变量不同维度下的多个效应值，参考陈佳玲[37]的研究，转换公式如下：

$$r=0.98\beta+0.05\alpha,\beta\geq 0,\alpha=1;\beta<0,\alpha=0 \quad (1)$$

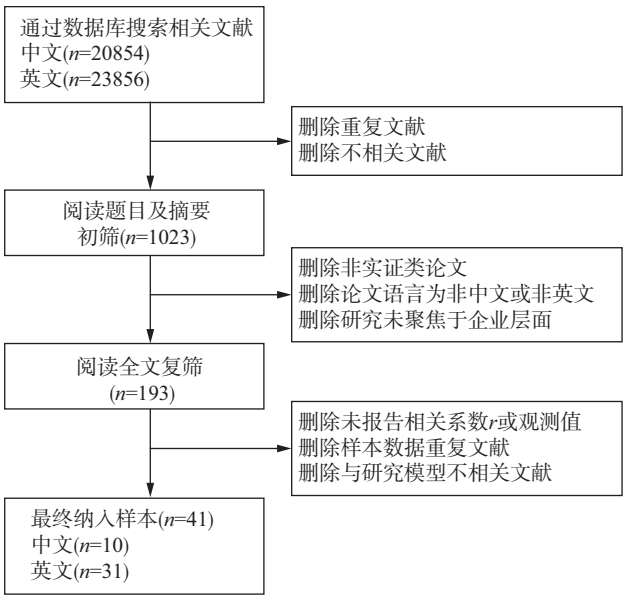


图 3　文献筛选流程

$$r_{xy}=\frac{\sum r_{x_i}r_{y_j}}{\sqrt{n+n(n-1)\bar{\gamma}x_ix_j}}\frac{1}{\sqrt{m+m(m-1)\bar{\gamma}y_iy_j}} \tag{2}$$

若文献未直接给出相关系数 r，给出回归系数 β，则借鉴 Peterson 和 Brown[48] 提出的转化公式进行处理，转化公式如式(1)所示。其中，β 为正时，用 $\alpha=1$ 进行系数转化；β 为负时，则用 $\alpha=0$ 进行系数转化。若文献并未报告整体效应值，只分析了数字化转型各子维度与企业绿色创新的关系，则按照解学梅和陈佳玲[37] 提出的转化方法进行处理，如式(2)所示。其中，r_{xy} 为合并后总的整体效应值；$\sum r_{xi}r_{yj}$ 为 X_i 和 Y_j 的效应值之和；$\bar{\gamma}x_ix_j$ 为所有变量 X 的相关系数均值；$\bar{\gamma}y_iy_j$ 为所有变量 Y 的相关系数均值；m 和 n 分别为 X 和 Y 的变量数值。

最终得到 41 篇有效文献，其中中文期刊 8 篇，外文期刊 33 篇，硕博论文 1 篇，会议论文 1 篇。有效文献共包含 41 个效应值，共计 68602 个独立样本。表 1 报告了纳入元分析的 41 篇文献的主要编码信息。

表 1　元分析文献来源

期刊或来源	篇数	对应的文献
Technovation	1	Han 等[49]
Technological Forecasting and Social Change	2	Chin 等[50]
Journal of Business Research	1	Bag 等[51]
Information & Management	1	Lin 等[52]
IEEE Transactions on Engineering Management	2	Imran 等[53]；Halbusi 等[54]
Business Strategy and the Environment	3	Guo 等[55]；Xin 等[56]；Bhatia 和 Kumar[57]
其他	23	Dong 等[9]；Li 等[58]；Ali 等[59]；Qian 等[60]；Bhagat 等[61]；Bag 等[62]；Khatib[63]；Yu 等[64]；Wei 和 Sun[65]；Hu 等[66]；Hung 等[67]；Zhu 和 Li[68]；Munodawafa 和 Johl[69]；Kong 等[70]；Palciche 和 Prester[71]；Shirazi 和 Hajli[72]；Li 等[73]；Nasiri 等[74]；Khatib[75]；Millan 等[76]；Waqas 等[77]；Singh 和 Kassar[78]；Tian 等[79]；Hu 等[80]
国内期刊(如南开管理评论、科研管理等)	7	王锋正等[81]；宋德勇等[82]；贾涛等[83]；潘持春和王菲[84]；郭玥沁等[85]；吴泓和刘京华[86]；肖静和曾萍[87]
硕博论文	1	张艳[88]
总计	41	

注：资料来源基于相关文献整理。

2. 文献编码

其一，对自变量进行编码，具体而言：将数字化转型技术维度、组织维度和环境维度分别编码为 0，1，2。其二，对本文涉及的调节变量分别按照以下标准进行编码：①变量衡量方式分为主观衡量方式和客观衡量方式，分别编码为 0，1。②文化背景借鉴 Hofstede[39] 的研究，分为东西方文化维度。其中，西方文化编码为 0，东方文化编码为 1。③企业性质划分中，如果样本属于制造业，则编码为 1，否则为 0。④绿色导向水平，不同国家拥有不同的绿色导向水平，借鉴 Li 等[35] 的研究，采用全球绿色经济指数(Global Green Economy Index，GGEI)来衡量国家绿色导向水平。全球绿色经济指数主要从国家领导力和气候变化、市场和投资、部门效率以及环境等四个方面来衡量国家绿色经济，具体包含媒体对国家绿色经济的报道、可再生电力占全国电量的百分比、清洁技术创新的商业环境以及废水处理等方面。

3. 样本数据

通过对各项研究进行编码后发现，在 41 个效应值中，19 个效应值表征了企业数字化转型的技术维度($k=19$)，14 个效应值表征了企业数字化转型的组织维度($k=14$)，6 个效应值表征了企业数字化转型的环境维度($k=6$)。41 个效应值说明了衡量方式($k=41$)，其中 30 个效应值采用主观调查方式衡量，11 个效应值的因变量衡量方式为客观衡量方式。40 个效应值发生在不同文化背景的国家($k=40$)，其中 31 个效应值发生在东方文化背景下，9 个效应值发生在西方文化背景下。41 个效应值说明了样本采用的企业类型($k=41$)，其中 17 个效应值的样本属于制造业，24 个效应值的样本属于非制造业。34 个效应值说明了不同国家的

绿色导向水平($k=34$)。具体情况如表 2 所示。

4. 元分析过程

本文采用 CMA3. 3 软件进行分析,具体过程如下:先将获得的文献利用 Excel 软件进行整理,具体包含作者、文献题目、发表时间、样本量、效应值及调节效应编码数据,并将效应值统一转化为相关系数 r。随后,利用 CMA3. 3 元分析软件对每个相关系数 r 进行 Fisher' s Z,利用转换后的相关系数作为效应值进行分析[35]。再次,利用漏斗图、失安全系数和 Begg 检验等方法来进行发表偏倚检验。此外,选择统计模型,主要利用 Q 值检验和 I^2 值进行异质性检验,依据异质性结果来选择统计模型。最后,对相关效应值进行假设检验。样本森林图如图 4 所示。

表 2　数据分布情况

维度		效应值
数字化转型	技术维度	19
	组织维度	14
	环境维度	6
衡量方式	主观调查	30
	客观调查	11
文化背景	东方文化背景	31
	西方文化背景	9
企业类型	制造业	17
	非制造业	24
绿色导向水平		34

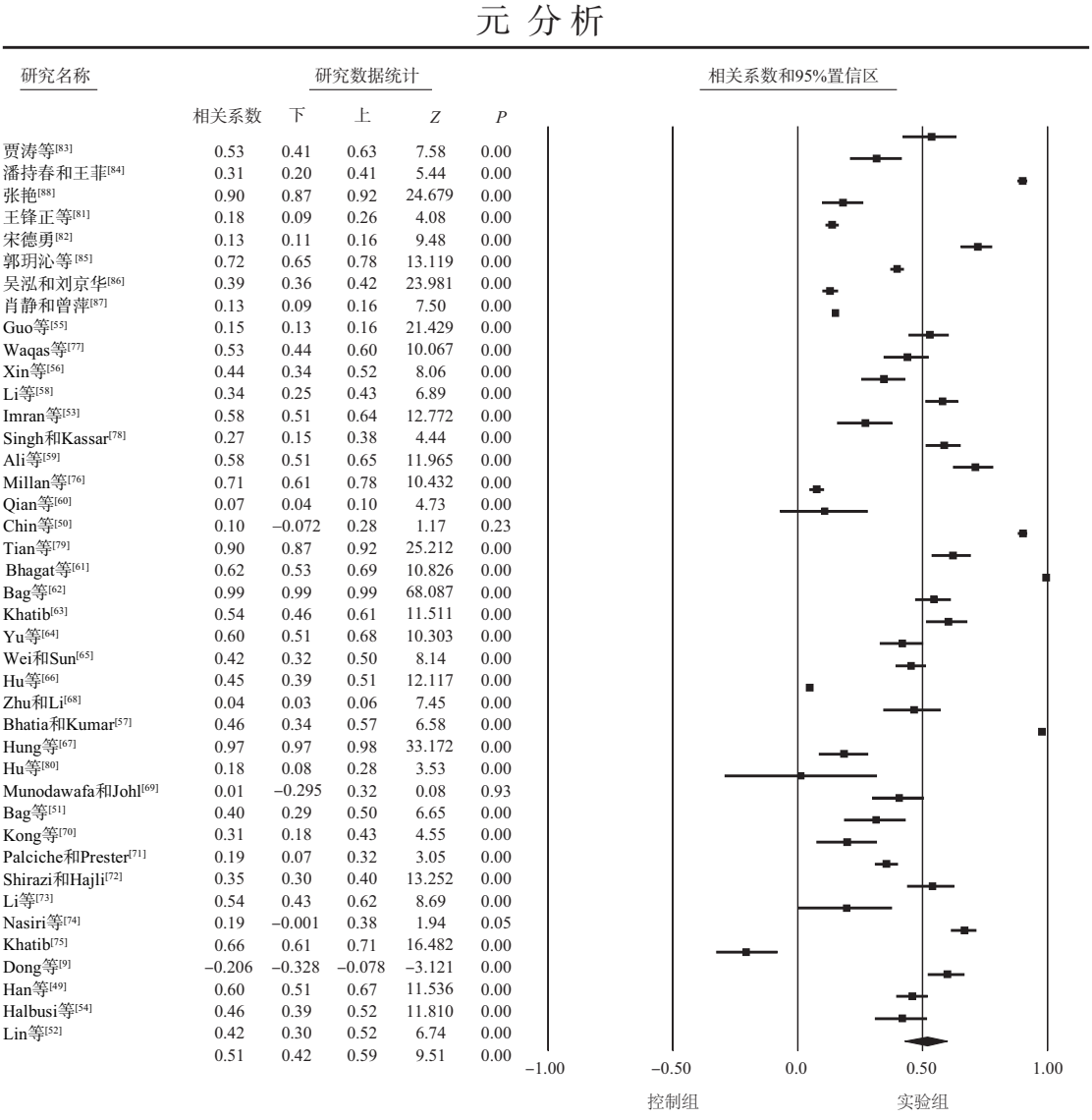


图 4　总体样本森林图

四、分析与结果

（一）发表偏倚检验与异质性检验

本文利用漏斗图和失安全系数进行发表偏倚检验。数字化转型及其各维度与绿色创新的漏斗图分别如图 5～图 8 所示。可以发现，大部分研究的效应值均集中于顶部，且基本对称分布，因此本文存在发表偏倚的可能性较低。本文所有假设关系的失安全系数分别为 16612、1200、6059 和 2347，远高于安全系数标准 215、105、80 和 40，见表 3。因此，本文的研究样本不存在显著的发表偏倚问题，结果可靠。

本文通过 Q 和 I^2 来判断是否存在异质性，若 Q 显著，表明主效应存在异质性；若 Q 显著且 I^2>60%，则表明应采用随机效应模型[22]。异质性检验结果如表 3 所示，整体效应（数字化转型-企业绿色创新）的 Q 为 7805.849，P<0.01；I^2 为 99.488%，表明元分析中 99.488%的变异由效应值的真实差异引起，存在异质性。同理，数字化转型技术维度-绿色创新的 Q 为 4601.916，P<0.01；I^2 为 99.609%，表明 99.609%的变异由效应值的真实差异引起，存在异质性。数字化转型组织维度-绿色创新的 Q 为 519.424，P<0.01；I^2 为 97.497%，表明 97.497%的变异由效应值的真实差异引起，存在异质性。数字化转型环境维度-绿色创新的 Q 为 22.093，P<0.01；I^2 为 99.689%，表明 99.689%的变异由效应值的真实差异引起，存在异质性。以上分析均表明本文的研究样本存在异质性，因此本文选择随机效应模型进行进一步分析。

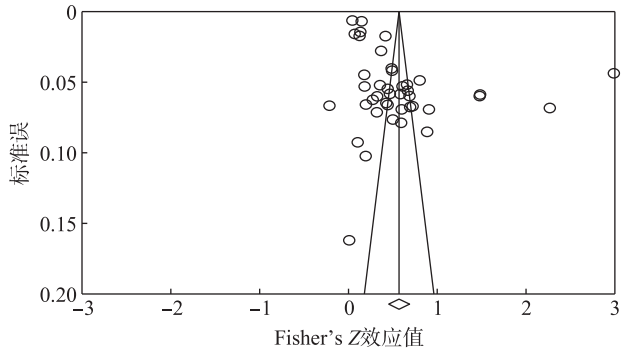


图 5　整体效应漏斗图

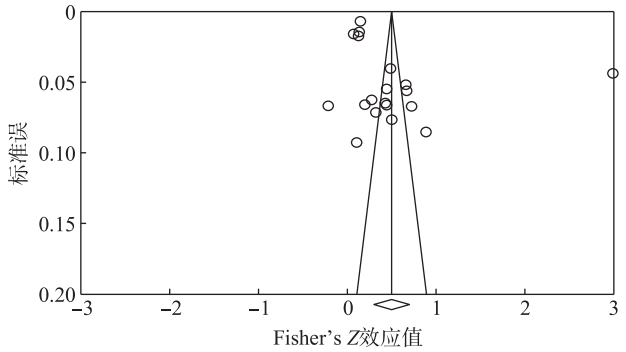


图 6　数字化转型技术维度-绿色创新漏斗图

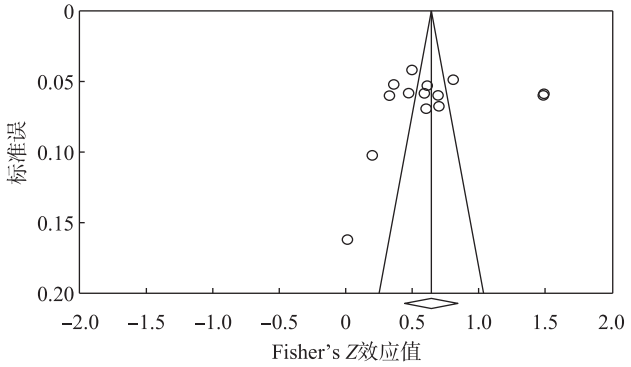


图 7　数字化转型组织维度-绿色创新漏斗图

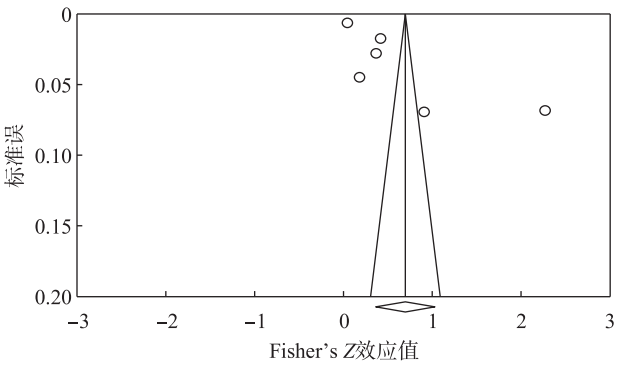


图 8　数字化转型环境维度-绿色创新漏斗图

表 3　发表偏倚和异质性检验结果

假设关系	样本量	异质性检验			发表偏倚
		Q	df	I^2（%）	失安全系数
数字化转型-绿色创新	41	7805.849***	40	99.488	16612
技术维度-绿色创新	19	4601.916***	18	99.609	1200
组织维度-绿色创新	14	519.424***	13	97.497	6059
环境维度-绿色创新	6	22.093***	5	99.689	2347

注：* 代表 P<0.1，** 代表 P<0.05，*** 代表 P<0.01。

(二)效应值检验

1. 整体效应

表4结果表明,在随机效应模型中,企业数字化转型与绿色创新综合效应值 r 为0.516,属于强相关关系①,95%置信区间为0.424~0.597,不包含0,表明数字化转型与企业绿色创新在95%置信区间内显著相关,验证了假设H1。该研究结果表明,数字化转型能够提升企业绿色创新水平,为之后企业实施数字化战略提供了一定的经验证据。

表4 整体效应检验结果

模型	综合效应值	效应值数目	样本量	95%置信区间		双尾检验	
				下限	上限	Z	P
固定效应模型	0.203	41	68602	0.196	0.211	53.977	0.000
随机效应模型	0.516	41	68602	0.424	0.597	9.518	0.000

2. 数字化转型各维度与绿色创新关系检验

表5结果表明,数字化转型技术维度与绿色创新的相关综合系数为0.461(P<0.01),95%置信区间为0.290~0.604,不包含0,表明数字化转型技术维度与绿色创新在95%置信区间显著正相关,验证了假设H2。数字化转型组织维度与绿色创新的相关综合系数为0.565(P<0.01),95%置信区间为0.414~0.685,不包含0,数字化转型组织维度与绿色创新在95%置信区间显著正相关,验证了假设H3。数字化转型环境维度与绿色创新的相关综合系数为0.601(P<0.01),95%置信区间为0.347~0.773,不包含0,数字化转型环境维度与绿色创新在95%置信区间显著正相关,验证了假设H4。从关系强度看,数字化转型技术维度与绿色创新表现出正向中等强度的相关关系,数字化转型组织维度和环境维度与绿色创新表现出高度正相关关系。数字化转型环境维度对企业绿色创新的促进作用最为显著,表明数字技术设施建设可以为企业发展提供信息和数据等生产要素,有利于降低绿色创新要素流动和储存成本。相较于技术维度和组织维度,数字化转型环境维度是企业数字化发展的根本支撑[8],高度发达的数字基础设施可为企业数字技术和数字能力的提升奠定良好的基础,有助于加快绿色知识的传播和共享,获得绿色创新的外溢效应。

表5 各维度效应检验结果

假设	模型	综合效应值	效应值数目	样本量	95%置信区间		双尾检验	
					下限	上限	Z	P
H2	固定	0.209	19	35584	0.199	0.219	40.018	0.000
H2	随机	0.461	19	35584	0.290	0.604	4.871	0.000
H3	固定	0.592	14	3997	0.571	0.612	42.192	0.000
H3	随机	0.565	14	3997	0.414	0.685	6.279	0.000
H4	固定	0.130	6	28503	0.119	0.142	220.93	0.000
H4	随机	0.601	6	28503	0.347	0.773	4.090	0.000

3. 调节因素检验

从上文分析可知,数字化转型与企业绿色创新之间存在高度异质性,这一差异主要来自于情境因素和测量因素的不同。按照王洪青和彭纪生[89]的研究,本文主要采用 Q 统计量来检验调节作用的差异性。

表6结果表明,在文化背景上,处于东方文化背景中的企业的综合效应值(r=0.431,P<0.01)小于处于西方文化背景中的企业的综合效应值(r=0.751,P<0.01),且组间异质性显著(Q=17.934,P<0.01),验证了假设H5。这一结果证实了西方文化背景下的企业愿意承担数字化转型带来的失败风险,通过数字化转型提升绿色创新水平。因此,文化背景正向调节数字化转型与绿色创新之间的关系。在变量衡量方式上,采用客观方式衡量的综合效应值(r=0.407,P<0.01)要小于采用主观方式衡量的综合效应值(r=0.553,P<0.01),且组间异质性显著(Q=2.779,P<0.1),验证了假设H7。相较于客观衡量方式,主观衡量方式下数字化转型对企业绿色创新的影响更大。因此,衡量方式正向调节数字化转型与绿色创新之间的关系。在企业

① 0.1<|r|<0.3,表明变量之间存在弱相关;0.3<|r|<0.5,表明变量之间存在中度相关;|r|>0.5,表明变量之间存在强相关。

性质中，制造业企业的综合效应值（$r=0.513$，$P<0.01$）要低于非制造业企业的综合效应值（$r=0.518$，$P<0.01$），但组间异质性不显著（$Q=0.004$，$P>0.1$），假设 H6 未得到验证。这与王海花等[24]的研究一致；相较于传统制造业，高新技术行业中数字化对企业创新的影响更为显著。其可能原因在于，传统制造业面临的不确定性要小，而运用数字技术去降低成本、提高生产效率等的效果对主要利益相关者会更为显著[24]。

此外，将绿色导向水平变量纳入元分析中，发现绿色导向水平的回归系数为正且显著（$r=0.623$，$P=0.000$），如表 7 所示，表明绿色导向水平对数字化转型与绿色创新具有强化作用，即在绿色导向水平高的国家中，当企业面临严格的环境压力时，更愿意在绿色创新活动中投入资源和时间，因此企业数字化转型对绿色创新的影响作用会更强，假设 H8 得到验证。

表 6　调节变量分析结果

分类	调节变量		效应值数	综合效应值	95%置信区间	Z	I^2	Q	df
文化背景	H5	东方	31	0.431	0.334~0.519	7.958***	98.774	2446.964***	30
		西方	9	0.751	0.643~0.829	9.022***	99.713	2787.738***	8
		组间						17.934***	1
行业类型	H6	制造业	17	0.513	0.370~0.631	6.256***	97.886	756.929***	16
		非制造业	24	0.518	0.400~0.618	7.537***	99642	6429.084***	23
		组间						0.004	1
衡量方式	H7	客观	11	0.407	0.236~0.553	4.429***	99.3862	1627.835***	10
		主观	30	0.553	0.466~0.629	10.411***	99.225	3741.022***	29
		组间						2.779*	1

注：* 代表 $P<0.1$，** 代表 $P<0.05$，*** 代表 $P<0.01$。

表 7　绿色导向水平的调节效果

调节变量	k	r	95%置信区间		双尾检验	
			低	高	Z	P
绿色导向水平	34	0.623	0.506	0.740	10.41	0.000

4. 敏感性分析

借鉴解学梅和陈佳玲[37]的研究，选用逐一排除法对各影响机制的效应值进行敏感性分析。在 CMA3.3 软件中依次排除每一个效应值并计算剩余研究的相关系数。本文共 41 个效应值，采用随机模型分析发现，每次排除任何一项效应值后，剩余综合效应值以及 95%置信区间范围基本未发生明显改变，表明企业数字化转型与绿色创新之间的关系具有稳健性，研究结果稳定可靠。结果如图 9 所示。

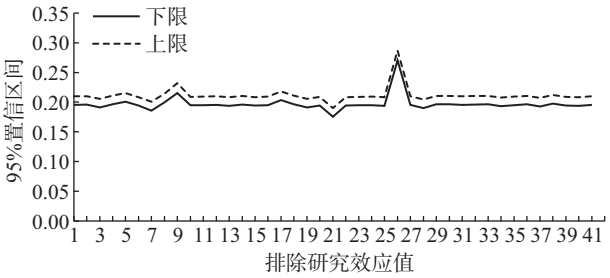


图 9　敏感性分析

五、结论

（一）研究结论

本文通过对关于数字化转型与企业绿色创新之间关系的 41 篇实证研究进行元分析，基于 TOE 框架，检验了数字化转型不同维度与企业绿色创新之间的关系，探讨了文化背景、行业类型、因变量衡量方式和绿色导向水平对数字化转型与企业绿色创新之间关系的调节作用。主要得出以下结论：

(1)数字化转型能够促进企业绿色创新,且数字化转型与企业绿色创新存在显著的正相关关系(r=0.516)。企业可以借助数字化转型在绿色创新全过程中实现协同与赋能,对绿色创意产生、绿色产品设计到绿色生产与营销各阶段均产生积极促进作用。企业可以通过数字化转型重构生产管理体系,从而优化业务流程、提高资源配置效率,最终提升企业绿色创新水平。

(2)数字化转型各维度均能正向促进企业绿色创新,但其影响力存在差异。其中,环境维度的相关性最高(r=0.601),表明外部数字基础设施和政策环境对绿色创新具有较强的支持作用;其次是组织维度(r=0.565),证明企业内部数字化能力与战略导向对于绿色创新的推动作用明显;技术维度的相关性相对较弱(r=0.461),但仍可以为绿色创新提供技术支撑。总体来看,三个维度的影响程度依次为:环境维度、组织维度和技术维度。

(3)调节因素方面,不同情境与测量因素会显著影响数字化转型与绿色创新之间的关系。西方文化背景下的企业由于更强调冒险精神和个人成就导向,数字化转型对绿色创新的影响更强(r=0.751)。主观衡量方式可以从多方面衡量数字化转型程度,因而数字化转型对绿色创新的相关性更高(r=0.553)。绿色导向水平亦显著正向调节二者关系(r=0.623),即在绿色导向更强的国家中,数字化转型对绿色创新的促进效应更加明显。然而,数字化转型对绿色创新的作用在制造业和非制造业的影响中没有显著差异。

(二)理论贡献

本文的理论贡献在于:

(1)拓展了数字化转型与绿色创新关系的微观研究视角。从数字化转型的技术、组织和环境三个维度,揭示了其对绿色创新的差异化影响。当前数字化转型与绿色创新的关系中存在研究机制单一[5,8,12]、研究结论不一致[5,8,10]等问题。本文不仅考察了数字化转型对绿色创新的直接影响,还将数字化转型分为技术维度、组织维度和环境维度,考察这三个维度对绿色创新的影响,使得数字化转型对绿色创新的影响逻辑更为清晰。研究结果显示数字化转型环境维度对绿色创新的影响最为显著,其次依次为组织维度和环境维度。研究结论从更加微观的角度深入挖掘了数字化转型的不同维度对企业绿色创新的影响,拓展了数字化转型与绿色创新的相关研究。

(2)明确了数字化转型对企业绿色创新影响的边界条件。已有研究更多研究了数字化转型和企业绿色创新之间的直接关系,对于二者之间可能存在的调节机制探索不足[5-6]。本文通过在数字化转型与企业绿色创新中构建调节变量,将文化背景和行业类型纳入情境因素,将绿色创新衡量方式和绿色导向水平纳入测量因素,采用元分析方法分析影响数字化转型与企业绿色创新关系的调节机制,丰富了数字化转型与企业绿色创新关系的边界研究。

(3)拓展了元分析方法在数字化转型与企业绿色创新之间的应用。本文采用元分析方法探究数字化转型对绿色创新的影响,通过对当前数字化转型与企业绿色创新关系的研究样本采用严谨的文献筛选、数据编码等过程进行科学分类汇总与定量分析,一定程度上避免了传统实证研究方法的局限性,消除了单一研究中可能存在的研究偏差,增强了研究结果的可信度和稳健性,使研究结论更具普遍性和规律性。

(三)实践启示

本文的实践启示在于:

(1)数字化转型是传统企业利用数字技术来促进绿色创新的关键方式。企业应加快推进数字技术的应用,积极部署大数据、人工智能、物联网等先进技术,以实现绿色创意产生、绿色产品设计及绿色生产与营销的全过程协同,进而提升绿色创新效率。此外,应关注数字化转型对资源配置模式和流程重构的系统性影响,助力企业实现从“低端制造”向“高端制造”的跃升。与此同时,企业还需推动绿色理念与数字化转型的深度融合,将绿色目标纳入技术应用与战略制定全过程,以实现数字化与绿色化的深度协同。

(2)企业应在技术、组织和环境等维度协同发力,系统推进绿色创新。首先,政府和相关政策制定者应加快构建数字基础设施,推动形成良好的外部数字生态环境。企业也应主动加强与外部平台、政府和上下游企业之间的数字化对接,降低数据壁垒,提升跨组织绿色协同能力。其次,在组织维度方面,企业应通过组织结构调整、流程再造和文化重塑来强化对数字化转型的战略支撑,提升内部数字化战略制定和执行能

力。最后，在技术维度上，企业应以自身实际需求为出发点，科学选择适合的数字技术工具，推进绿色技术的研发、测试与应用，加速绿色技术成果的转化落地。

（3）企业应根据所处情境特征与外部环境差异，制定差异化的数字化转型策略。首先，在文化背景方面，企业应根据自身所在国家或地区的文化特征，选择匹配的数字化转型路径。如处于风险偏好较低的地区中，可采用循序渐进、试点推广的方式稳步推进数字化转型。其次，在绿色导向水平方面，企业应主动响应国家绿色发展战略，通过数字化手段提升绿色创新绩效，进而反向强化企业对绿色导向的适应性。最后，在衡量方式方面，企业应采取主观和客观相结合的评价方式，多维度对企业数字化转型实施效果进行衡量，便于管理者识别问题并优化发展策略。

（四）研究局限

本文存在以下研究局限：①研究样本局限性。本文基于 TOE 框架，利用 41 篇实证文献中的 68602 个独立样本，探究了数字化转型与企业绿色创新的关系。但是由于元分析方法的条件限制，部分文献主要基于案例研究，未报告相关系数或者可以转换为相关系数的变量，导致无法利用这些文献进行元分析。此外，本文研究仅仅纳入了中英文文献，没有纳入其他语种的文献，从而会导致文献数量不足。因此，在未来的研究中应该尽可能补充足够多的文献，增强研究结果的稳定性。②本文仅检验了文化背景、行业类型、测量方式和绿色导向水平四个影响因素的调节作用，未来可以挖掘更多的情境变量探索对数字化转型与企业绿色创新关系的调节作用，例如企业生命周期、企业规模等。③本文考察了数字化转型对企业绿色创新的影响，未来可通过对企业继续跟踪调查进行纵向研究，探究数字化转型对企业绿色创新的动态影响，进一步深化数字化转型不同维度对企业绿色创新的影响以及动态演化研究。

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] HUANG J W，LI Y H. Green innovation and performance：The view of organizational capability and social reciprocity[J]. Journal of Business Ethics，2017，145(2)：309-324.

[3] 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.

[4] 曹裕，李想，胡韩莉，等. 数字化如何推动制造企业绿色转型？——资源编排理论视角下的探索性案例研究[J]. 管理世界，2023，39(3)：96-112，126，113.

[5] MUBARAK M F，TIWARI S，PETRAITE M，et al. How industry 4.0 technologies and open innovation can improve green innovation performance？[J]. Management of Environmental Quality：An International Journal，2021，32(5)：1007-1022.

[6] 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.

[7] 王旭，张晓宁，牛月微. “数据驱动”与“能力诅咒”：绿色创新战略升级导向下企业数字化转型的战略悖论[J]. 研究与发展管理，2022，34(4)：51-65.

[8] 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.

[9] DONG Q，WU Y J，LIN H，et al. Fostering green innovation for corporate competitive advantages in big data era：The role of institutional benefits[J]. Technology Analysis & Strategic Management，2022，36(2)：181-194.

[10] El-KASSARA N，SANJAY S K. Green innovation and organizational performance：The influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices-ScienceDirect[J]. Technological Forecasting and Social Change，2019，144(1)：483-498.

[11] 王宛秋，龚慧敏，郭婧. 基于元分析的跨界搜索与企业创新绩效关系研究[J]. 科研管理，2022，43(10)：116-126.

[12] VERHOEF P C，BROEKHUIZEN T，BART Y，et al. Digital transformation：A multidisciplinary reflection and research agenda[J]. Journal of Business Research，2021，122：889-901.

[13] VIAL G. Understanding digital transformation：A review and a research agenda[J]. The Journal of Strategic Information Systems，2019，28(2)：118-144.

[14] 刘海曼，龙建成，申尊焕. 数字化转型对企业绿色创新的影响研究[J]. 科研管理，2023，44(10)：22-34.

[15] 申明浩，谭伟杰. 数字化与企业绿色创新表现——基于增量与提质的双重效应识别[J]. 南方经济，2022(9)：118-138.

[16] ACEMOGLU D，AGHION P，BURSZTYN L，et al. The environment and directed technical change[J]. American Economic Review，2012，102(1)：131-166.

[17] 谭海波，范梓腾，杜运周. 技术管理能力、注意力分配与地方政府网站建设——一项基于TOE框架的组态分析[J]. 管理世界，2019，35(9)：81-94.

[18] TORATZKY L G，FLEISCHER M. The processes of technological innovation[M]. Lexington，MA：Lexington Books，1990.

[19] 李大元，刘晓亮，刘浏，等. 元宇宙企业高质量发展的多元组态路径——基于TOE框架[J]. 外国经济与管理，2023，45(7)：3-17.

[20] 邱泽奇. 技术与组织：多学科研究格局与社会学关注[J]. 社会学研究，2017，32(4)：167-192，245-246.

[21] BOSE R，LUO X. Integrative framework for assessing firms' potential to undertake green IT initiatives via virtualization—A theoretical perspective[J]. Journal of Strategic Information Systems，2011，20(1)：38-54.

[22] 马鸿佳，肖彬，王春蕾. 大数据能力影响因素及效用：基于元分析的研究[J]. 南开管理评论，2023，26(2)：143-153，165.

[23] 白雪洁，王欣悦，宋培. 中国企业数字化转型的影响因素研究——基于TOE框架的实证分析[J]. 科学学研究，2024，42(11)：2330-2341.

[24] 王海花，李烨，谭钦瀛. 基于Meta分析的数字化转型对企业绩效影响问题[J]. 系统管理学报，2022，31(1)：112-123.

[25] 李煜华，舒慧珊，向子威. 数字原生企业与非原生企业数字化转型组态路径研究——基于"技术-组织-环境"理论框架[J]. 软科学，2023，37(7)：58-65.

[26] YOO Y，BOLAND R J，LYYTINEN K，et al. Organizing for Innovation in the digitized world[J]. Organization Science，2012，23(5)：1398-1408.

[27] PAGANI M，PARDO C. The impact of digital technology on relationships in a business network[J]. Industrial Marketing Management，2017，67：185-192.

[28] 戚聿东，肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. 管理世界，2020，36(6)：135-152.

[29] 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.

[30] 张铭，曾静，曾娜，等. "技术-组织-环境"因素联动对互联网企业数字创新的影响——基于TOE框架的模糊集定性比较分析与必要条件分析[J]. 科学学与科学技术管理，2024，45(3)：21-40.

[31] LIAO Z J. Institutional pressure，knowledge acquisition and a firm's environmental innovation[J]. Business Strategy and the Environment，2018(7)：849-857.

[32] RIALTI R，ZOLLO L，FERRARIS A，et al. Big data analytics capabilities and performance：Evidence from a moderated multi-mediation model[J]. Technological Forecasting and Social Change，2019，149(12)：119781.

[33] YASMIN M，TATOGLU E，KILIC H S，et al. Big data analytics capabilities and firm performance：An integrated MCDM approach[J]. Journal of Business Research，2020，114：1-15.

[34] MIKALEF P，BOURA M，LEKAKOS G，et al. Big data analytics and firm performance：Findings from a mixed-method approach[J]. Journal of Business Research，2019，98(5)：261-276.

[35] LI L，SHAN S，DAI J，et al. The impact of green supply chain management on green innovation：A meta-analysis from the inter-organizational learning perspective[J]. International Journal of Production Economics，2022，250：108622.

[36] 李雷，杨水利，陈娜. 数字化转型的前因组态与绩效研究——来自中国制造业上市公司的经验证据[J]. 科技进步与对策，2023，40(16)：32-41.

[37] 解学梅，陈佳玲. 供应链多维协同创新与企业绩效：一项元分析的检验[J]. 管理工程学报，2022，36(2)：20-36.

[38] HOFSTEDE G HOFSTEDE G J，MINKOV M. Cultures and organizations. Software of the mind[M]. Revised and expanded 3rd Edition，2010，New York：McGraw-Hill.

[39] HOFSTEDE G. Cultures and organizations. Software of the mind[J]. Administrative Science Quarterly，2014，23(1)：113-119.

[40] GABRIELSSON M，SEPPALA T，GABRILESSON P. Realizing a hybrid competitive strategy and achieving superior financial performance while internationalizing in the high-technology market[J]. Industrial Marketing Management，2016，54：141-153.

[41] SANTOALHA A，CONSOLI D，CSATELLACCI F. Digital skills，relatedness and green diversification：A study of European regions[J]. Research Policy，2021，50(9)：104340.

[42] 张宝建，李坚强，裴梦丹，等. 基于元分析的数字化转型与企业创新关系研究[J]. 研究与发展管理，2023，35(5)：44-58.

[43] 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.

[44] NADEEM M, BAHADAR S, GULL A, et al. Are women eco-friendly? Board gender diversity and environmental innovation[J]. Business Strategy & the Environment, 2020, 29(8): 3146-3161.

[45] YI Y, ZENG S, CHEN H, et al. When does it pay to be good? A meta-analysis of the relationship between green innovation and financial performance[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2023, 70(9): 3260-3270.

[46] PAPAGIANNAKIS G, VOUDOURIS I, LIOUKAS S. The road to sustainability: Exploring the process of corporate environmental strategy over time [J]. Business Strategy and the Environment, 2014, 23(4): 254-271.

[47] BEECHER H K. The powerful placebo[J]. Journal of the American Medical Association, 1955, 159(17): 1602-1606.

[48] PETERSON R A, BROWN S P. On the use of beta coefficients in meta-analysis[J]. Journal of Applied Psychology, 2005, 90(1): 175-181.

[49] HAN M S, MA S, WANG Y G, et al. Impact of technology-enabled product eco-innovation: Empirical evidence from the Chinese manufacturing industry[J]. Technovation, 2023, 128: 102853.

[50] CHIN T, SHI Y, SINGH S K, et al. Leveraging blockchain technology for green innovation in ecosystem-based business models: A dynamic capability of values appropriation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 183: 121908.

[51] BAG S, DHAMIJA P, BRYDE D J, et al. Effect of eco-innovation on green supply chain management, circular economy capability, and performance of small and medium enterprises[J]. Journal of Business Research, 2022, 141: 60-72.

[52] LIN J B, ZENG Y Y, WU S W, et al. How does artificial intelligence affect the environmental performance of organizations? The role of green innovation and green culture[J]. Information & Management, 2024, 61: 103924.

[53] IMRAN R, ALRAJA M, KHASHAB B. Sustainable performance and green innovation: Green human resources management and big data as antecedents[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2023, 70(12): 4191-4206.

[54] HALBUSI H A, ACOSTA P S, POPA S, et al. The role of green digital learning orientation and big data analytics in the green innovation-sustainable performance relationship[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, 71: 12886-12896.

[55] GUO Q, GENG C, YAO N C. How does green digitalization affect environmental innovation? The moderating role of institutional forces[J]. Business strategy and the environment, 2023, 32(6): 3088-3105.

[56] XIN X, MIAO X, CUI R. Enhancing sustainable development: Innovation ecosystem coopetition, environmental resource orchestration, and disruptive green innovation[J]. Business Strategy & the Environment, 2023, 32(4): 1388-1402.

[57] BHATIA M S, KUMAR S. Linking stakeholder and competitive pressure to Industry 4.0 and performance: Mediating effect of environmental commitment and green process innovation[J]. Business Strategy & the Environment, 2022, 31(5): 1905-1918.

[58] LI X W, ZENG W J, XU M. The moderating role of IT capability on green innovation and ambidexterity: Towards a corporate sustainable development[J]. Sustainability, 2022, 14: 16767.

[59] ALI Q, SALMAN A, YAKIMAH H, et al. Does big data analytics enhance sustainability and financial performance? The Case of ASEAN Banks [J]. Journal of Asian Finance Economics and Business, 2020, 7(7): 1-13.

[60] QIAN Y, LIU J, SHI L, et al. Can artificial intelligence improve green economic growth? Evidence from China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30: 16418-16437.

[61] BHAGAT P R, NAZ F, MAGDA R. Role of Industry 4.0 Technologies in Enhancing Sustainable Firm Performance and Green Practices[J]. Acta Polytechnica Hungarica, 2022, 19(8): 230-248.

[62] BAG S, WOOD L C, XU C L, et al. Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance [J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 153: 104559.

[63] KHATIB A W. Can big data analytics capabilities promote a competitive advantage? Green radical innovation, green incremental innovation and data-driven culture in a moderated mediation model[J]. Business Process Management Journal, 2022, 28(4): 1025-1046.

[64] YU D N, TAO S, HANAN A, et al. Fostering green innovation adoption through green dynamic capability: The moderating role of environmental dynamism and big data analytic capability[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19: 10336.

[65] WEI Z, SUN L. How to leverage manufacturing digitalization for green process innovation: An information processing perspective[J]. Industrial Management & Data Systems, 2021, 121(5): 1026-1044.

[66] HU C L, YANG H T, YIN S. Insight into the balancing effect of a digital green innovation (DGI) network to improve the performance of dgi for industry 5.0: Roles of digital empowerment and green organization flexibility[J]. System, 2022, 10: 97.

[67] HUNG B Q, NHAM N T H, HA L T. The importance of digitalization in powering environmental innovation performance of European countries

[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2023, 8(1): 100284.

[68] ZHU R C, LI Q. How has the Internet fostered the greening of enterprises in China? The moderating role of governmental transparency[J]. Management and Decision Economics, 2022, 44(3): 1383-1395.

[69] MUNODAWAFA R T, JOHL S K. Big data analytics capabilities and eco-Innovation: A study of energy companies[J]. Sustainability, 2019, 11(15): 4254.

[70] KONG T, FENG T W, YE C M. Advanced manufacturing technologies and green innovation: The role of internal environmental collaboration[J]. Sustainability, 2016, 8: 1056:

[71] PALICIC I, PRESTER J. Impact of advanced manufacturing technologies on green innovation[J]. Sustainability, 2020, 12(8): 3499.

[72] SHIRAZI F, HAJLI N. IT-enabled sustainable innovation and the global digital divides[J]. Sustainability, 2020, 13: 9711.

[73] LI L X, ZHOU H D, YANG S L, et al. Leveraging digitalization for sustainability: An affordance perspective[J]. Sustainable Production and Consumption, 2023, 35: 624-632.

[74] NASIRI M, SAUNILA M, RANTALA T, et al. Sustainable innovation among small businesses: The role of digital orientation, the external environment, and company characteristics[J]. Sustainable Development, 2022, 30: 703-712.

[75] KHATIB A W. Big data analytics capabilities and green supply chain performance: Investigating the moderated mediation model for green innovation and technological intensity[J]. Business Process Management Journal, 2022, 28(5): 1446-1471.

[76] MILLAN A, ROIDAN J, RODRIGUEZ A, et al. IT and relationship learning in networks as drivers of green innovation and customer capital: Evidence from the automobile sector[J]. Journal of Knowledge Management, 2016, 20(3): 444-464.

[77] WAQAS M, HONGGANG X, AHMAD N, et al. Big data analytics as a roadmap towards green innovation, competitive advantage and environmental performance[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 323: 128998.

[78] SINGH S K, El-KASSAR A N. Role of big data analytics in developing sustainable capabilities[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 213: 1264-1273.

[79] TIAN H, LI Y, ZHANG Y. Digital and intelligent empowerment: Can big data capability drive green process innovation of manufacturing enterprises?[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 377: 134261.

[80] HU R, SHAHZAD F, ABBAS A, et al. Decoupling the influence of eco-sustainability motivations in the adoption of the green industrial IoT and the impact of advanced manufacturing technologies[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 339(10): 130708.

[81] 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.

[82] 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.

[83] 贾涛, 严蕊, 王玉, 等. 客户参与、双元绿色创新与企业绩效——产品智能化的调节作用[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(7): 91-101.

[84] 潘持春, 王菲. 数字赋能如何影响企业绿色转型? ——绿色创新能力与组织惰性的双重影响分析[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2022, 21(4): 89-100, 116.

[85] 郭玥沁, 郭彬, 张荣霞. 双碳背景下数字经济对碳排放强度的影响研究——基于有调节的中介效应检验[J]. 现代管理科学, 2022(6): 138-147.

[86] 吴泓, 刘京华. 数字普惠金融与科技型企业绿色创新[J]. 东南学术, 2023(2): 135-145.

[87] 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.

[88] 张艳. 大数据能力对制造企业绿色工艺创新的影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.

[89] 王洪青, 彭纪生. 辱虐领导与员工破坏行为: 基于多焦点法的元分析[J]. 管理评论, 2018, 30(3): 150-160.

The Relationship between Digital Transformation and Green Innovation: A Meta-analysis Based on TOE Framework

Yin Jianhua, Gao Xiaohui

(Business School, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China)

Abstract: Digital transformation serves as a key driver of competitive advantage and plays a vital role in advancing green and high-quality development. Based on the Technology-Organization-Environment (TOE) framework, a meta-analysis of 41 empirical studies (covering 68602 independent samples and 41 effect sizes) was conducted to investigate the relationship between digital transformation and corporate green innovation, focusing on the technological, organizational, and environmental dimensions. The moderating role of various contextual factors were then examined. The findings reveal digital transformation is strongly correlated with corporate green innovation. The influence of digital transformation on green innovation is not significant in different industry. Each dimension (technology, organization, and environment) exerts a significant positive influence on green innovation. Notably, digital transformation's impact on green innovation is more pronounced within firms rooted in Western cultural contexts. The relationship is stronger when digital transformation is assessed using subjective measures. Higher levels of green orientation heighten the efficacy of digital transformation in driving green innovation. It augments and refines existing literature, offering valuable insights for future vertical and contextual inquiries. Furthermore, it furnishes managerial foundations for advancing green innovation within enterprises amid the era of digital transformation.

Keywords: digital transformation; green innovation; Meta-analysis; TOE framework