

企业数字化转型能否促进绿色创新

——来自中国上市公司的证据

杜 爽, 曹效喜

摘 要: 基于 2007—2020 年上市企业的微观数据并匹配数字化关键词和绿色专利等数据, 对企业数字化转型的绿色创新效应及其作用机制进行了实证分析。研究结果表明: 企业数字化转型显著促进了我国绿色创新水平的提升, 且该影响在考虑各种稳健性检验后依然成立。企业数字化转型对绿色创新水平的影响效应随着专利类别、企业成长阶段、制度壁垒、融资约束、生存能力和技术需求等的不同而表现出一定差异。政府绿色补贴对企业数字化转型的绿色创新效应具有正向调节作用, 在考虑专利周期后结果依旧稳健。企业数字化转型通过降低成本、提高要素配置效率及增加研发投入等方式, 提升绿色创新水平。本文研究结论为推进企业数字化转型、提升绿色创新能力、实现高质量发展提供了较为明确的政策启示。

关键词: 数字化转型; 绿色创新; 创新质量; 企业异质性; 上市公司

中图分类号: F272.7-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2023)04-0056-16

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.20230613.001

一、引 言

党的二十大报告提出以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的战略部署, 并明确将“人与自然和谐共生的现代化”作为“中国式现代化”的重要内容之一, 由此明确了新时代新征程中国生态文明建设的战略任务, 基本基调是实现绿色低碳发展。绿色创新是实现绿色低碳发展的重要手段, 数字经济条件下企业数字化转型为实现绿色创新、促进绿色低碳发展提供了重要条件。目前, 数字经济作为一种新型经济形态正处于快速发展之中。据中国信息通信研究院统计测算, 2021 年我国数字经济规模达到 45.5 万亿元, 同比名义增长 16.2%, 高于同期 GDP 名义增速 3.4 个百分点, 占 GDP 比重达到 39.8%。同时, 数字基础设施日趋完善。根据国家互联网信息办公室最新发布的数据, 截至 2022 年底, 中国已累计建设开通 5G 基站 231 万个, 千兆光网具备覆盖超过 5 亿户家庭的能力; 移动物联网连接数首次超过移动电话用户数, 成为全球第一个实现了“物超人”的国家; IPv6 活跃用户超越 7 亿。数字经济的蓬勃发展和数字基础设施的不断完善有力支撑和促进了各行业、各领域的数字化转型和智能化改造。根据《中国互联网络发展状况统计报告》数据, 截至 2022 年底, 我国重点工业企业关键工序数控化率达 58.6%, 数字化研发设计工具普及率达 77%。

基金项目: 国家社会科学基金项目“新一代人工智能对中国经济高质量发展的影响、趋向及应对战略研究”(20&ZD067); 国家社会科学基金项目“中国制造业关键技术缺失、成因及创新突破路径研究”(19AZD015)

作者简介: 杜爽, 经济学博士, 中国宏观经济研究院经济体制与管理研究所助理研究员(北京 100035); 曹效喜(通讯作者), 南开大学经济学院博士研究生, Nankai_cao.x.x@nankai.edu.cn(天津 300071)

企业数字化转型促进了数字生产力快速增长,引领企业组织、生产方式及业务流程的深刻变革,促进了包括绿色创新效率在内的企业整体运行效率的提升。企业是数字经济发展的微观载体,企业数字化转型是数字经济发展的主要内容,对实现绿色创新,进而实现绿色低碳发展具有重要作用。在数字经济条件下,如何借助于企业数字化转型激励和驱动企业进行绿色技术创新,实现企业发展和生态环境优化的兼顾与双赢,是现阶段我国经济数字化转型面临的一个突出问题。

二、文献综述

尽管数字化转型趋势已很明显,并为行业和企业发展带来一定影响,但目前关于企业数字化转型的环境效应仍然存在一定争议。持肯定意见的文献认为数字化转型能够降低可再生能源的成本,提供更清洁的制造流程^[1],从而通过污染控制、可持续制造的应用和城市化发展为绿色发展做出贡献^[2]。Lu^[3]以跨国面板数据为例证明数字技术是降低碳排放的重要原因,Danish^[4]以“一带一路”沿线国家数据也得到了相同的结论。Tang等^[5]以电信基础设施建设为例发现,企业数字化转型能显著提高绿色创新水平。Ren等^[6]认为互联网发展能够通过智能生产和供应链重组在一定程度上降低能源消耗。持相反意见的学者则认为,随着数字化转型进程的推进,会产生海量的数据,由此使信息管理和利用成本可能会大幅上升,甚至会超出组织的能力,导致信息过载而做出错误的决策^[7],从而不利于绿色创新。另外,数字化转型的加速推进还可能会因为高管缺乏数字化管理经验、员工缺乏专业知识、信息系统部门缺乏时间和精力来推进更多新兴技术的工作^[8],以及知识强度的增加导致产品价格上涨^[9]等对企业的绿色创新过程产生阻碍。

数字化转型影响绿色创新的机制,也是企业数字化转型效应研究的重要问题。主要包括:企业数字化转型有助于降低企业搜寻成本,推动企业有效地进行直接投资,削弱交易方之间信息不对称的不利影响,提高交易匹配效率^[10]。同时,数字化转型带来的更高的信息透明度要求企业管理者提高业务质量,提高公司治理能力,加速业务流程管理,从而有效提高企业的管理效率和管理能力,降低企业代理成本^[11]。数字化转型有助于提高企业资源配置能力。具体来看,数字技术中包含的结构化和非结构化信息拓宽了数据挖掘空间,加快了企业客户长尾需求的响应速度,促进了行业专业化和协同运营,促进了企业的整体运营效率^[12]。数字化技术能够将土地、资本和劳动等生产要素分配到能够有效创造用户价值的领域,并根据反馈结果及时调整和优化生产要素的配置^[13]。数字化转型还能使得信息、技术、研究人员和数据等资源的流动可以打破地域限制,实现最大的绿色创新潜力^[14]。数字化转型通过降低成本和提高资源配置能力缓解融资约束,补充绿色创新资金^[15]。

综上可知,目前学术界对数字化转型的环境效应已进行了一定研究,并取得了相应研究成果,但在研究主题上主要关注污染排放和能源效率等方面,而对绿色创新的关注较少,同时在作用的内在机理、渠道等方面的研究有待进一步深入。基于此,本文在对企业数字化转型促进绿色创新内在机制分析的基础上,选取2007—2020年上市企业数据,从微观视角出发实证考察了数字化转型对绿色创新的作用效应,并进一步识别出当前企业策略型转型和创新质量不高的倾向以及政府补贴的调节作用,最后从成本效应、配置效应和研发效应考察其中的作用机制。本文的边际贡献主要包括:一是在研究主题方面,针对现有研究关于智能技术能否降低污染排放、实现绿色发展方面尚未达成一致结论的现状,本文基于经济社会数字化、绿色化转型的现实背景,探索数字化转型能否带来绿色发展与创新驱动型技术进步,并对创新质量、转型效果和政府补贴作用进行较为系统的讨论;二是在作用机制分析方面,本文通过文献梳理和理论分析细致解读出数字化转型作用于绿色创新的三个层次的潜在渠道,更细致地揭示了数字化转型对绿色创新的潜在影响过程和逻辑链条,深化了对数字化转型绿色效应的理解,也为通过数字化转型驱动绿色发展提供理论依据和有益借鉴。

三、企业数字化转型影响绿色创新的机制分析

企业在推进数字化转型过程中,将数据作为基本生产要素纳入生产经营全过程,通过发挥成本效应(cost)、配置效应(allocation)和研发效应(R&D)的作用,促进企业绿色创新水平的提高,并且这一正向作用远大于企业数字化转型对企业绿色创新可能带来的负面影响。该作用关系可通过以下函数关系表示:

$$GTI(DCG) = GTI_0 + V(DCG(cost, allocation \text{ and } R\&D)) - C(DCG(cost, allocation \text{ and } R\&D)) \quad (1)$$

在上式中,GTI为绿色创新效应,DCG为企业数字化转型;GTI₀为绿色创新净值,V(DCG)为企业数字化转型带来的绿色创新,C(DCG)为企业数字化转型对企业绿色创新带来的负面影响,其中cost、allocation、R&D分别为成本效应、配置效应和研发效应。总体看,随着产业数字化进程的推进,数字技术与企业生产运营全方位、全周期、全产业链的融合不断深化,其正向效应持续放大和强化,将越来越显著地超越或抵消可能产生的负面效应。

基于以上分析提出以下假设:

H1:企业数字化转型总体上会促进绿色创新。

(一)企业数字化转型通过成本效应促进绿色创新水平的提升

第一,数字化转型有利于降低企业减排成本,提高绿色创新水平。企业数字化转型也即是数字技术在企业运营过程中不断被应用的过程,同时也是数据作为基本生产要素被使用的过程,有利于提升减排绩效。具体机制如下。一是利用数字技术可有效整合企业内外部信息,实现绿色创新过程中对信息的传递、流动和共享^[16],并为跨部门绿色协同创新创造条件。二是运用大数据技术,可有效提升企业对能源投入结构、污染排放量以及绿色减排技术等数据信息的收集、积聚、综合分析能力,提升企业进行减排预测和进行相应决策的能力^[17]。三是借助于数字网络技术提升企业绿色技术研发、技术创新和成果转化能力,特别是清洁生产技术或末端治理技术等绿色技术^[18],显著提升企业绿色创新效率。四是利用数字化技术有效跟踪企业原材料、能源消耗及废弃物产出状况,制定实施更加精准的企业排放方案及策略^[19]。

第二,数字化转型有利于节省绿色创新过程中的交易成本。企业数字化能够有效降低企业所面临的外部交易成本,减弱企业绿色创新活动面临的成本约束。在企业数字化转型过程中,数字技术的发展不仅能够降低信息不对称所带来的搜寻、协商、谈判和监督等外部成本^[20],还能够通过信息技术化赋能组织管理,提高信息透明度和实效性,促进企业内部治理机制与外部数字经济发展环境协调互补,从而降低企业绿色创新过程中面临的内外部交易成本,为企业绿色创新提供有效激励。

第三,企业数字化转型有利于降低绿色创新过程中的代理成本。企业数字化极大地丰富了企业业绩信息和环保信息披露的渠道与方式,提高了企业对外信息共享能力,降低了外部利益相关者与企业之间的信息不对称程度,有助于外部投资者及时掌握企业绿色创新动态^[21],更好地参与并协助企业环境治理(如ISO14001认证),为企业绿色创新带来更多外部资源,促进企业绿色研发创新水平的提高。从绿色创新中的市场融资角度看,面对不完全资本市场,企业数字化有利于降低企业处理海量信息的成本,大大拓展市场内外部信息的共享范围,提升企业信息使用的准确性、及时性,有效降低资本市场信息不对称程度^[10],提升企业绿色创新融资效率。

另一方面,企业数字化转型也可能带来成本上升而对绿色创新产生抑制作用。一是数字化转型阶段必然会带来企业战略目标、生产设备的调整以及跨部门资源重新配置,由此带来的沉没成本和资源捆绑会阻碍企业的绿色创新水平^[22];二是数字化转型一般是通过驱动海量数据实现的,管理

海量数据会加大对电力和能源的消耗,可能会超过数字化给环境带来的潜在收益,不利于绿色创新,产生所谓“回弹效应”^[23]。但总体上看,我国数字化转型处于快速发展阶段,其所带来的成本降低效应能够超过或覆盖成本增加效应,因而总体上,企业数字化转型促进了绿色创新。

基于以上分析提出以下假设:

H2:数字化转型通过降低企业成本促进绿色创新。

(二) 企业数字化转型通过配置效应促进绿色创新水平的提升

第一,有利于提升企业绿色创新投资和资本的配置效率。随着企业数字化转型,企业可以借助互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术对绿色创新过程中的各类信息进行挖掘、加工、储存和应用。特别是随着数字化转型的深入,企业将绿色创新过程中的数据编码输出成标准化、结构化信息^[24],有利于拓宽企业获取信息的深度和广度,有效提升信息的可追踪性和完整性,精准分析潜在绿色投资机会的回报率,尽可能避免将资本配置到低回报率甚至负回报率的项目中去,从而提升企业绿色创新投资的资本配置效率。在进行绿色投资和创新过程中,企业通过深入挖掘市场相关重要信息,准确把握市场供求关系,有效识别市场机遇并规避市场风险,合理引导绿色创新投资资本流向,提高绿色创新要素配置效率^[15]。

第二,提升企业绿色产品生产运营过程中的要素配置效率。企业数字化转型的要义即是通过数字化技术的广泛深入应用,重塑企业运营模式、组织结构和管理架构,实现企业从工业化管理转向数字化、智能化管理^[13]。对于企业的绿色产品创新与生产,数字化转型有利于增强企业的信息获取和处理能力,帮助企业识别外部信息的价值并优化其业务和战略,明确产品和服务的提升方向,拓展产品线宽度,制定以用户个性化需求为核心的绿色创新产品发展规划以捕捉潜在市场和边际市场的发展机遇,从而优化生产要素配置^[25]。例如,设备运行中的在线实时数据,可以成为产品性能改进、精准定位长尾客户群体潜在需求的重要数据来源,并通过机器学习、应用、持续反馈与持续更新以优化既有要素的组合方式,引导绿色创新要素的合理化配置^[26]。数字技术有助于识别企业的风险偏好,如企业可以通过数字化技术实现供应链连接和数字客户交互,实现外部有价值的数字资源与各种现有资源的匹配,通过改善和加强与客户和供应商的关系来提高资源匹配的效率,形成用户粘性^[27]。数字化转型有助于减少绿色创新要素的流动障碍,优化不同创新环节中各种要素的配置,为企业开发绿色创新产品或技术提供有力支持。企业还可以有效整合消费者和下游公司的需求信息,匹配供应链中上游和下游公司的信息,以及企业内部生产过程的数据。数字技术的应用,有利于克服绿色产品生产过程中资源配置的地理和技术距离,促进企业内部隐性知识显性化^[28],提升企业知识学习能力和绿色创新能力。

第三,有利于提升政府配置绿色创新资源的效率。从政府进行环境决策和进行绿色治理角度看,政府补贴是企业绿色创新的重要资金来源。数字化转型提高了企业的环境信息透明度和有关部门筛选信息的能力,有利于向政府部门发送相对真实的企业绿色发展信号,有助于政府降低做出环境决策和进行绿色治理的成本,并且有利于政府更准确地向数字化转型程度较高和进行绿色创新绩效较好的企业发放政府补贴^[21]。以碳交易市场为例,政府通过能源与碳信息监测管理,利用物联网、云计算、大数据等新型数字技术进行数据采集和模型分析,及时掌握碳排放目标的完成进度及趋势预测等信息,形成碳排放实时监测网络,识别真正的“绿色”企业,提高政府补贴的准确性^[19]。

与成本效应一样,企业数字化转型在资源配置方面也会产生一定的负面效应,例如,企业数字技术、网络技术的运用会产生一定的网络效应^[29],网络外部性的作用导致企业垄断市场地位的形成,对资源配置和企业绿色创新产生一定负面影响。另外,算法垄断及不合理应用也会对行业劳动者利益带来不利影响,从而一定程度上抑制劳动者的积极性。总体上看,随着政府对数字经济监管水平的不断提升,数字产品市场垄断和算法垄断等造成的负面效应会得到有效控制,企业数字化转

型总体上提升了资源配置效率，促进了绿色创新。

基于以上分析提出以下假设：

H3：数字化转型通过提高资源配置效率促进绿色创新。

（三）企业数字化转型通过研发效应促进绿色创新水平的提升

绿色研发无疑是驱动企业绿色创新发展的根本动力。企业数字化转型通过促进企业绿色技术创新，为绿色创新发展注入强大驱动力。首先，数字化转型通过促进知识流动提升绿色技术创新效率。从本源上说，技术包括与生产有关的知识，技术创新实际上也即实现知识创造和能力构造的过程，是知识积累、学习与运用的过程，而知识的积累、学习与运用则是通过知识的流动或外溢实现^[30]。在数字化转型过程中，企业借助于数字技术、智能技术的应用，加强与内外部合作伙伴的知识交流与合作，产生显著的知识溢出效应^[31]，减少关于新知识的不对称信息，增强企业绿色技术研发与创新能力。数字技术还可以通过数字社交平台支持企业与其他创新主体成员之间进行非正式人际交互，为隐性知识的交流提供有效途径^[28]。其次，数字化转型为强化企业绿色技术创新提供有效激励和有力支撑。一是企业数字化转型促进数字技术的更新迭代，将基础数字化技术与企业特定技术进行有效协同，从而产生明显的技术溢出效应，刺激企业持续进行绿色技术创新。二是借助于大数据、人工智能等新一代信息技术促进科技创新模式和机制不断优化，为企业加快绿色发展领域的关键核心技术创新突破，有效破解现实存在的绿色技术低端锁定提供了契机和条件^[32]。三是提升绿色技术研发过程中的协同创新能力。企业为加快绿色技术创新，与高校、科研机构等形成合作创新联盟或创新共同体^[33]，借助于数字技术、网络技术和智能技术，实现各合作主体间的创新知识共享、科研设备共用、科研人员协同等，通过与商业生态圈内合作伙伴创新活动进行协同和整合，从而提高绿色创新。

企业数字化转型需要投入相应的基础设施、系统设备和工艺等，需要相应的人财物投资，可能会对企业研发投入形成一定的挤出效应，从而对企业绿色创新形成一定的抑制^[34]。但随着政府对新型基础设施的投资不断增加，对企业数字化转型的大力支持会使得这种负面效应得到有效控制。从总体上看，企业的数字化转型有利于通过发挥研发效应促进绿色创新。

基于以上分析提出以下假设：

H4：数字化转型通过增强研发能力促进绿色创新。

四、研究设计

（一）模型设定

根据理论分析，为验证企业数字化转型对绿色创新的影响，构建模型如下：

$$GTI_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 DCG_{i,t} + \gamma X_{i,t} + \lambda_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

其中，GTI为绿色创新；DCG为企业数字化转型指标，是本文的核心解释变量；X为一组控制变量； λ_t 为时间固定效应， μ_i 为企业固定效应， $\epsilon_{i,t}$ 为随机误差， t 表示时间维度， i 表示企业维度。

（二）变量选取

被解释变量：企业绿色技术专利数量。本文采用绿色技术发明专利申请量和获得量来衡量绿色技术创新水平，绿色专利数量越高表明绿色技术创新能力越强。选择该指标的优点，一是具有可量化性，能够最直观地反映企业绿色技术创新活动的产出；二是与研发投入等衡量指标相比，专利具有明确的技术分类，根据不同技术属性进行的分类研究有助于反映创新活动不同价值的内涵和贡献。本文以绿色专利获得量衡量绿色创新水平并以绿色专利申请量进行稳健性检验。为消除右偏分布问题，这里将绿色发明专利获得量加1并取自然对数，得到核心解释变量GTI。

解释变量:企业数字化转型。本文对企业数字化转型的衡量借鉴了吴非等^[35]的研究,以上市公司年报文本中有关数字化转型的词频数占年报总词数的比例衡量。

控制变量:为避免缺失变量引起潜在的内生干扰,这里借鉴王分棉等^[36]和 Wen 等^[27]的研究,对影响企业绿色创新的因素进行控制。包括:总资产回报率(净资产与总资产平均余额之比,ROA);企业价值(Tobin Q);国有企业虚拟变量(国有控股企业取值为1,其他为0,SOE);企业年龄(以当年年份减去公司成立年份,Age);企业规模(年总资产的自然对数,Size);第一大股东持股比例(Top1);财务杠杆(年末总负债与年末总资产之比,Lev);现金持有(Cash);企业成长性(Growth);董事会规模(Board);两职合一(董事长与总经理是同一个人取值为1,否则为0,Dual);机构持股比例(Inst)。

(三) 数据来源

本文的绿色专利数据来自 CNRDS 数据库,控制变量来自 CSMAR、Wind 和 EPS 数据库等,城市层面的数据来自《中国城市统计年鉴》。在进行实证分析之前,本文对各变量进行如下处理:剔除 ST、*ST 和 PT 的企业,缺失值以线性插值法补齐,同时为了消除异常值的影响,对连续变量进行了上下 1% 的缩尾处理。变量的描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 描述性统计

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
GTI	13 160	0.243 9	0.649 9	0.000 0	5.521 4
DCG	13 160	0.049 5	0.081 3	0.002 0	1.241 9
ROA	13 160	0.052 4	0.055 6	-0.260 3	0.477 0
Tobin Q	13 160	1.799 4	1.002 9	0.771 9	15.113 4
SOE	13 160	0.639 4	0.480 2	0.000 0	1.000 0
Age	13 160	2.704 2	0.293 1	0.693 1	3.526 4
Size	13 160	8.855 1	1.574 9	5.230 0	17.322 4
Top1	13 160	0.364 0	0.156 6	0.036 2	0.864 2
Lev	13 160	0.510 0	0.186 8	0.017 8	1.056 4
Cash	13 160	0.042 9	0.083 7	-0.565 5	0.552 6
Growth	13 160	0.250 3	1.518 6	-0.953 2	149.082 3
Board	13 160	2.219 8	0.212 7	1.098 6	3.000 0
Dual	13 160	0.133 4	0.334 0	0.000 0	1.000 0
Inst	13 160	0.440 9	0.231 0	0.000 0	1.721 6

五、实证分析

(一) 基准回归

为验证企业数字化转型对绿色创新的影响,本文首先构造固定效应模型进行实证分析,基准回归结果如表 2 所示。其中,第(1)列为仅控制企业固定效应的估计结果;第(2)列为控制了企业和年份固定效应的估计结果;第(3)列为系统 GMM 模型估计结果。

基准回归的结果表明,无论是否考虑年份固定效应和动态效应,企业数字化转型都会显著促进绿色创新水平。这表明,数字化转型企业倾向于增加对绿色创新活动的投入,以适应数字经济和可持续发展的新要求,假设 1 得到验证。绿色创新的滞后项系数显著为正,也表明企业当期的绿色创新水平受到过去的绿色创新的影响,具有时间连续性。

表 2 基准回归结果

被解释变量	(1)	(2)	(3)
	FE	FE	系统 GMM
	获得的绿色专利数量		
<i>L.GTI</i>			0.926*** (0.000 2)
<i>DCG</i>	0.413*** (0.096 4)	0.397*** (0.096 9)	0.300*** (0.005 4)
<i>ROA</i>	-0.353*** (0.107 0)	-0.391*** (0.107 0)	-0.011 2 (0.009 2)
<i>Tobin Q</i>	0.014 9*** (0.005 0)	0.016 7*** (0.005 8)	0.007 44*** (0.000 4)
<i>SOE</i>	0.056 2** (0.026 0)	0.058 1** (0.026 0)	0.056 7*** (0.000 8)
<i>Age</i>	0.560*** (0.032 2)	0.490*** (0.078 4)	-0.124*** (0.001 4)
<i>Size</i>	0.012 8*** (0.004 0)	0.015 3*** (0.005 1)	0.012 7*** (0.000 1)
<i>Top1</i>	-0.522*** (0.071 7)	-0.507*** (0.072 0)	-0.132*** (0.003 3)
<i>Lev</i>	0.065 6 (0.041 7)	0.061 5 (0.041 9)	-0.009 53*** (0.001 9)
<i>Cash</i>	-0.044 4 (0.047 3)	-0.009 39 (0.048 1)	-0.003 97 (0.004 4)
<i>Growth</i>	-0.012 (0.009 3)	-0.017 2* (0.009 5)	-0.005 75*** (0.000 8)
<i>Board</i>	0.004 5 (0.033 4)	0.004 37 (0.033 5)	0.095 1*** (0.001 6)
<i>Dual</i>	-0.053 7*** (0.014 2)	-0.054 1*** (0.014 2)	0.004 52*** (0.001 0)
<i>Inst</i>	-0.079 0*** (0.020 6)	-0.079 1*** (0.021 4)	0.063 5*** (0.001 6)
<i>_cons</i>	-1.265*** (0.118 0)	-1.104*** (0.211 0)	
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	NO	YES	YES
<i>AR (2)</i>			0.189
<i>Hansen</i>			0.999
<i>N</i>	13 160	13 160	12 220
<i>R-sq</i>	0.071	0.072	

注：括号内为稳健标准误，* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ ，下同。

（二）稳健性检验

1. 替换核心变量。为验证估计结果的稳健性，这里进行了一系列稳健性检验，结果见表 3 第（1）—（2）列。其中，第（1）列为替换解释变量的估计结果，以上市公司年报中拥有的机器人个数为核心自变量进行重新估计；第（2）列为替换被解释变量的估计结果，以绿色专利申请量为因变量进行重新估计。结果表明，在替换解释变量和被解释变量后，本文的基准回归结果依旧是稳健的。

2. 高阶联合固定效应。本文进一步通过控制城市-年份控制效应和省份-年份控制效应以控制城市和省份层面不可观测或不可度量的因素的干扰。表 3 第（3）列为同时控制城市-年份固定效应估计结果；第（4）列为同时控制省份-年份固定效应估计结果。结果表明，数字化转型系数显著为正，表明以上基准回归结果依旧稳健。

表 3 稳健性检验结果:替换变量与高阶联合固定效应

被解释变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	替换解释变量 获得的绿色专利数量	替换被解释变量 申请的绿色专利数量	城市-年份固定 获得的绿色专利数量	省份-年份固定 获得的绿色专利数量
DCG		0.616*** (0.114 0)	0.396*** (0.096 9)	0.397*** (0.097 0)
Robot	0.168*** (0.021 9)			
_cons	-1.410*** (0.214 0)	-1.558*** (0.249 0)	-1.063*** (0.215 0)	-1.136*** (0.227 0)
控制变量	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES
城市固定			YES	
省份固定				YES
N	13 160	13 160	13 160	13 160
R-sq	0.076	0.070	0.076	0.073

注:限于篇幅,控制变量的结果未展示,备案。下同。

3. 内生性检验。从企业数字化转型和绿色创新的互动逻辑来看,二者可能存在选择性偏误和互为因果的内生性问题。本文拟从以下三个维度解决可能存在的内生性问题。

首先,企业数字化转型过程可能会受到企业所在城市的区位和经济发展水平以及自身基础设施条件的影响。为克服样本自选择的影响,本文利用PSM对实验组和对照组进行Logit回归,以控制变量为匹配变量,采用1:1的最近邻匹配方法进行倾向得分匹配,并将匹配后结果重新进行实证分析,结果见表4第(1)列。其次,为尽可能克服样本选择偏误问题,本文构建Heckman两步法模型,第一步先利用Probit模型估计选择方程,并代入风险函数中计算逆米尔斯比率(IMR);第二步则是将第一步回归计算得到的IMR作为控制变量引入原回归方程中,结果见表4第(2)列。最后,为克服反向因果的内生性的问题,本文利用相同城市同一行业其他企业的平均数字化转型程度作为本企业数字化转型的工具变量,结果见表4第(3)列。

表 4 稳健性检验结果:内生性问题

被解释变量	(1)	(2)	(3)
	PSM	Heckman	IV
	获得的绿色专利数量		
DCG	0.413*** (0.099 4)	2.278*** (0.182 0)	0.898*** (0.096 2)
_cons	-0.998*** (0.223 0)	-0.266 (0.217 0)	0.015 7 (0.098 0)
控制变量			
企业固定			
年份固定			
IMR		-1.092*** (0.070 5)	
Kleibergen-Paap rk LM statistic			343.66
Cragg-Donald Wald F statistic			110
Kleibergen-Paap Wald rk F statistic			435.8
N	12 753	13 160	13 160
R-sq	0.074		0.099

可以看出，列（1）显示当考虑样本自选择问题后，本文实证结果依旧稳健。列（2）显示IMR在1%的水平上显著，说明原模型中存在样本选择偏误问题，但回归结果中数字化转型系数依然显著。列（3）中工具变量检验的Kleibergen-Paap rk LM statistic统计量为343.66（P值为0.00），拒绝不可识别的原假设；Kleibergen-Paap Wald rk F statistic统计量为435.8，大于16.38的临界标准，表明弱工具变量的可能性较小。结果表明在控制反向因果后，估计系数仍显著为正。

4. 样本剔除与增加控制变量。为进一步验证回归结果的可靠性，本文对研究样本做如下处理。首先，本文研究主题为企业数字化转型，因此有必要剔除数字化水平本身就比较高的计算机和金融行业企业，重新回归的结果见表5第（1）列。其次，明星企业即市场规模大的企业往往数字化程度更高，也能够通过其市场地位转嫁其数字化转型和绿色研发产生的高成本^[37]，因此本文剔除行业内销售额前三的企业重新回归，结果见表5第（2）列。最后，为缓解遗漏变量偏误带来的内生性问题，本文进一步控制地级市层面的宏观经济因素，包括经济发展水平（GDP）、产业结构（*Secind*，*Terind*）和外商直接投资（FDI），结果见表5第（3）列。

表5 稳健性检验结果：样本剔除与增加控制变量

被解释变量	(1)	(2)	(3)
	剔除计算机和金融行业企业	剔除明星企业 获得的绿色专利数量	增加城市控制变量
DCG	0.327*** (0.0958)	0.336*** (0.0821)	0.233*** (0.0796)
_cons	-1.474*** (0.1860)	-1.040*** (0.1870)	-1.520*** (0.2050)
GDP			0.0221 (0.0147)
Secind			0.0307 (0.0367)
Terind			-0.0247 (0.0373)
FDI			0.0531 (0.0394)
控制变量	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES
N	12581	12418	13160
R-sq	0.076	0.074	0.078

可以发现在剔除计算机和金融行业企业，头部企业和增加宏观经济变量后，实证结果仍与基准回归结果保持一致，进一步验证了实证结果的可信度。

六、进一步分析

（一）异质性分析

1. 专利类别异质性。本文使用的绿色专利数据包括绿色发明和实用新型发明，其中实用新型发明授予快捷方便，通常只接受初步审查而不要求进行实质审查，其程序复杂性、专利期限、审批时间和申请费用等都远低于绿色发明，因此绿色发明专利被视为真正的创新。本文将两种创新形式进行区分并分别进行实证分析，结果见表6第（1）—（2）列。

表 6 异质性检验结果:专利类别和成长阶段

	(1)	(2)	(3)	(5)	(4)
	绿色发明数量	实用型发明数量	成长期	成熟期	衰退期
被解释变量	获得的绿色专利数量				
DCG	0.238*** (0.064 6)	0.319*** (0.091 3)	0.446*** (0.170 0)	0.631*** (0.163 0)	0.214 (0.180 0)
_ cons	-0.987*** (0.140 0)	-0.864*** (0.198 0)	-1.019*** (0.347 0)	-1.511*** (0.437 0)	-0.293 (0.397 0)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES
N	13 160	13 160	5 582	2 579	4 999
R-sq	0.057	0.052	0.089	0.058	0.077

根据实证结果,企业数字化转型对实用型发明的促进效果更加明显,可能的原因在于相对于高质量的发明专利需要长期的技术积累和大量的资金投入,企业更可能会选择采用低成本的实用型发明以减少污染排放或提高生产力。一个典型特征事实是,根据《国家知识产权局 2021 年度报告》数据,2021 年我国共授权发明专利 69.6 万件、实用新型专利 312.0 万件、外观设计专利 78.6 万件,实用新型专利数量远高于发明专利,可见当前我国企业仍以模仿创新为主,自主创新能力不足。

2. 企业成长阶段异质性。根据生命周期理论,企业在不同发展阶段,其盈利能力、规模、投融资策略、成长性、创新意愿等都存在一定差异。由此,企业数字化转型对绿色创新的影响也会随着企业生命周期的不同而有所差异。本文利用现金流组合法将企业分为衰退期、成熟期和成长期三个阶段并分别开展异质性分析,结果见表 6 第(3) — (5)列。

可以看出,成熟期企业数字化转型的绿色创新效应最为明显,成长期企业次之,衰退期企业效果最不明显。可能的解释是,成熟期企业的财务约束更小,风险承受能力强,管理者的环保意识也更强。因此为获得市场竞争优势,企业会采取加大绿色创新投入并提高产品绿色科技附加值。处于成长期的企业面临资金需求大、融资约束高和信息披露不完整等约束,导致对绿色创新技术的投资意愿减少;衰退期企业因缺乏创新激励、企业面临的内外部困境较多,导致其绿色投资的动力不足。

3. 制度壁垒异质性。市场分割导致不同地区企业间交流存在制度成本^[37]。市场分割导致企业数字化转型和绿色创新要素难以实现优化配置,削弱了企业间的竞争同时加剧寻租活动。同时,市场分割也扰乱了市场价格信号,限制了企业的技术交叉融合,阻碍了规模经济的实现。因此本文借鉴赵奇伟等^[38]的研究,并以中位数将样本分为高低两组进行实证分析,结果见表 7 第(1) — (2)列。

表 7 异质性检验结果:制度壁垒和融资约束

	(1)	(2)	(3)	(4)
	制度壁垒		融资约束	
	高市场分割	低市场分割	高融资约束	低融资约束
被解释变量	获得的绿色专利数量			
DCG	0.205 (0.167 0)	0.622*** (0.138 0)	0.180* (0.099 7)	0.427** (0.172 0)
_ cons	-1.537*** (0.390 0)	-1.168*** (0.304 0)	2.310*** (0.315 0)	-0.887** (0.352 0)
控制变量	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES
N	4 167	8 993	7 073	6 087
R-sq	0.065	0.083	0.086	0.087

可以看出，处于低市场分割状态的数字化转型的绿色创新效应更强，原因在于数字化转型促进了网络化信息处理能力，增强了价格信号传递的有效性。数字技术的高渗透性和易共享性突破了时间和地理空间的限制，促进了绿色创新要素流动和供需匹配的边际改进，有效释放了绿色创新潜力。

4. 融资约束异质性。绿色科技创新是一项资金需求量较大、收益不确定性较强和研发周期较长的高风险活动。本文在考虑不同融资能力的基础上，讨论数字化转型对绿色创新的不同影响，结果见表 7 第（3）—（4）列。

由表 7 可见，数字化转型对绿色创新的促进效果在融资约束较低的企业中明显更大。当公司面临内部财务约束和外部融资困难时，管理者倾向于将有限的资金投入到有快速回报的生产活动中，而对绿色创新研发项目的资金投入增速相对较小。相比之下，融资约束程度低的企业资金来源较多，为环保和创新活动提供资金保障的渠道也越多，由此带来的绿色创新效应也更加明显。

5. 生存能力异质性。生存能力是影响数字化转型与企业创新关系的重要因素。只有当企业具有一定的生存能力，获得社会普遍接受的正常利润水平时，才能投资于创新活动。本文采用固定效应估计方法测算企业全要素生产率，并将其按中位数划分为高低两组，回归结果见表 8 第（1）—（2）列。结果正如预期，高生产率组企业数字化转型对绿色创新的影响更强。

表 8 异质性检验结果：生存能力和技术需求

被解释变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	生产率异质性		技术需求异质性	
	高生产率	低生产率	高科技企业	非高科技企业
	获得的绿色专利数量			
DCG	0.378*** (0.109 0)	0.155 (0.113 0)	0.680*** (0.155 0)	-0.043 8 (0.081 6)
_ cons	-3.012*** (0.280 0)	-0.036 1 (0.280 0)	-0.529 (0.335 0)	-1.781*** (0.195 0)
控制变量	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES
N	9 762	3 398	5 804	7 356
R-sq	0.105	0.033	0.12	0.052

6. 技术需求异质性。企业技术创新水平能够在一定程度上反映企业研发能力和人力资本水平，高新技术企业往往具有技术和知识密集型特征，其数字技术和绿色工艺的研发和创新能力也更强。因此，本文按照是否为高科技企业将样本划分为高科技企业和低科技企业，以检验技术需求异质性的影响，结果见表 8 第（3）—（4）列。可以看出，企业数字化转型显著促进了技术水平高的企业的绿色技术创新，而对技术水平较低的企业的效果并不明显，这与上文的分析一致。

（二）拓展性讨论

1. 考虑政府绿色补贴的影响。政府研发补贴通常被视为缓解企业财务约束和弥补市场失灵的有效工具，可以为企业实施绿色创新提供资金支持。但政府补贴也意味着更加严格的环境规制强度，会倒逼企业加速绿色研发，从而引导绿色研发方向。因此，本文将政府补贴与企业数字化转型的交互项纳入模型并做去中心化处理，实证结果见表 9 第（1）列。实证结果表明，政府补贴与企业数字化转型交互项的系数显著为正，原因在于企业数字化转型的发展有助于政府准确评估企业的特点，缓解政府和企业之间的信息不对称，确定补贴目标，促进企业绿色创新。此外，数字化转型也会向政府发出环保合规信号以获得政府的短期支持，从而促进绿色创新。

表 9 进一步分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	政府补贴	专利周期	创新质量	实际转型
被解释变量	获得的绿色专利数量			
<i>DCG</i>	0.361*** (0.097 6)	0.566*** (0.124 0)	-0.163*** (0.004 8)	
<i>Treat * Post</i>				-0.082 4 (0.088 8)
<i>DCG * Subsidy</i>	0.020 9*** (0.007 0)			
<i>_ cons</i>	-1.105*** (0.211 0)	-1.734*** (0.270 0)	-0.678*** (0.202 0)	-1.423*** (0.199 0)
控制变量	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES
<i>N</i>	13 160	13 160	13 160	13 160
<i>R-sq</i>	0.073	0.089	0.152	0.077

2. 考虑专利周期的影响。考虑到绿色专利的复杂性、创新难度大以及研发和授权周期长等因素,这里使用 $t+1$ 年和 $t+2$ 年的绿色专利申请数量衡量绿色技术创新的周期效应并对模型进行重新估计,结果见表 9 第 (2) 列,数字化转型系数依然显著为正,表明在考虑专利周期的影响后数字化转型仍能够促进绿色创新水平。

3. 绿色创新数量还是质量?面对越发严格的环境规制,企业是通过实际提升创新质量以实现绿色发展还是通过增加创新数量以平息来自地方政府和利益相关者的压力,寻求积极的社会影响值得进一步考察。其内部逻辑在于,实现绿色创新质量的提升需要更多资源和更重大的组织变革,这可能会破坏企业内部灵活性,而创新数量的提升的成本更小。因此企业可能会通过单纯模仿或低质量创新来快速响应环境规制。从客观经济事实看,我国发明专利数量也一直滞后于实用型发明数量。为探究实际影响,本文以绿色专利的引用量作为创新质量的代理变量纳入回归方程。结果见表 9 第 (3) 列,数字化转型对创新质量的影响显著为负,表明当前企业创新发展仍是以数量为先,可能在于数字技术的运用使企业进行低质量创新变得更加容易,为了获得政府补贴和税收优惠等经济利益,企业的创新策略往往会被政策性套利扭曲,在短期内过度追求绿色创新数量^[39],这也在一定程度上回应了异质性分析中数字化转型对实用型发明提升效果更加明显的结论。

4. 策略转型还是实际转型?在数字经济蓬勃发展的时代背景下,企业是否会通过在年报中策略性提及数字化转型以迎合市场,获得更多关注。结合信号理论,本文进一步探讨企业是否通过策略型的数字化转型以向市场和政府发射信号,增加获得市场份额和政府补贴的机会。本文将连续 7 年出现数字化转型词频的企业赋值为 1,并将其作为企业进行实际转型的代理变量并构建多期 DID 模型进行实证检验,结果见表 9 第 (4) 列。结果表明, $Treat * Post$ 系数为负但不显著,可以发现当前企业数字化转型确实存在一定的策略性倾向,导致其绿色创新效果并不明显。原因在于企业人为加速数字化进程,导致所采用的数字化技术与企业实际业务水平不匹配,造成一定的沉没成本。

(三) 机制分析

这里从成本效应、配置效应和研发效应三个维度实证检验企业数字化转型影响绿色创新的机制。

针对成本效应,这里以搜寻成本和代理成本进行刻画,即使用公司的海外业务收益作为搜寻成本的代理变量。地理和文化距离都使得企业经常面临巨大的搜索成本来获取和处理潜在客户的信

息^[40]。实证结果见表 10 第（1）列。这里进一步使用管理费用与销售费用占营业收入的比重衡量代理成本，实证结果见表 10 第（2）列。

表 10 机制分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	搜寻成本	代理成本	资本配置	研发投入
被解释变量	获得的绿色专利数量			
DCG	-4.772*** (1.496)	-0.303*** (0.012)	2.006* (1.084)	4.516** (2.074)
_cons	-4.155* (2.161)	0.637*** (0.018)	-0.564 (1.566)	-61.29*** (2.996)
控制变量	YES	YES	YES	YES
企业固定	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES
N	13 160	13 160	13 160	13 160
R-sq	0.023	0.056	0.034	0.306

根据实证结果，企业数字化转型对海外业务收益的回归系数显著为负，表明数字化转型降低了企业经营过程中的搜寻成本，进而促进绿色创新，形成了“企业数字化转型—降低搜寻成本—促进绿色创新”的路径。企业数字化转型对代理成本的回归系数显著为负，表明数字化转型也降低了企业经营过程中的代理成本，同样形成了“企业数字化转型—降低代理成本—促进绿色创新”的路径。综上，本文的假设 2 得到验证。

针对配置效应，这里以资本配置进行刻画，结果见表 10 第（3）列。根据实证结果，企业数字化转型对资本配置的回归系数显著为正，表明数字化转型提升了企业资本配置能力，进而促进绿色创新，形成了“企业数字化转型—提高资本配置能力—促进绿色创新”的路径。综上，本文的假设 3 得到验证。

针对研发效应，这里以 R&D 作为研发投入的代理变量，结果见表 10 第（4）列。根据实证结果，企业数字化转型对 R&D 的回归系数显著为正，表明数字化转型提升了企业研发能力，进而促进绿色创新，形成了“企业数字化转型—提高研发能力—促进绿色创新”的路径。综上，本文的假设 4 得到验证。

七、结论与对策建议

本文基于 2007—2020 年上市公司的微观数据，在厘清理论机制的基础上，实证分析和检验了企业数字化转型对绿色创新的影响。主要研究结论如下。第一，我国企业数字化转型总体上显著提升了绿色创新水平。企业数字化转型通过降低成本、优化资源配置以及增加研发投入，从而促进绿色技术创新。第二，我国企业数字化转型对绿色创新的影响在专利类别、成长阶段、制度壁垒、融资约束、生存能力和技术需求等方面存在较明显的差别。数字化转型对从事实用型绿色技术创新的企业促进效果更为明显，对处于成熟期、低市场分割环境下、融资约束程度较低、生存能力较强和技术需求较高企业的绿色创新效果更为明显。第三，政府绿色补贴能够在企业数字化转型对绿色创新过程中发挥积极作用。政府研发补贴，有利于促进企业引进先进绿色技术、采购环保设备，从而提升绿色创新水平。政府补贴也有利于倒逼企业加速绿色技术研发。政府补贴还具有引导企业绿色研发方向的效用，有利于降低绿色创新的风险。最后，我国企业数字化转型以及绿色创新存在一定

的策略化行为。这种策略性行为具体表现为企业对绿色创新仍以追求创新数量为主,通过更多低质量创新以获得政府补贴和税收优惠。由此导致企业数字化转型对绿色创新质量的影响并不明显。

根据以上研究结论,为有效推进我国企业数字化转型,加快绿色技术创新,应重点采取以下对策。第一,构建数字回收和运维管理平台,助力企业降本增效。利用数字技术构建数字化回收平台,加强网络主设备、配套等设施的全生命周期管理,通过原料废料再利用、能源综合管理等途径,改善工艺流程,推动企业绿色低碳发展。利用数字技术构建设备全周期运维管理平台,通过集中监控、资源规划等管理模块实现成本优化,提高基础设施资源利用率,降低能源消耗和人员成本。

第二,构建供应链数据共享和资源交易平台,优化要素配置能力。通过数字化共享平台整合企业生产过程的全链条信息,增强信息管理的透明度,实时监测上游原材料供应情况以及下游产品需求情况。通过建立高效的绿色化供应链管理平台有效缓解库存和产能过剩问题,提升要素配置能力。利用数字技术构建跨域互通的资源交易数字服务平台,拓宽企业发展中各项资源的需求来源,精准匹配买家和上下游资源配置渠道,推动供需匹配模式的创新。

第三,强化企业数字技术创新,为企业绿色创新提供强有力的技术支撑。加快建设为企业数字化转型发展提供基础支撑的5G、NB-IOT和IPV6等新一代信息技术基础设施,发展集感知、传输、存储、计算、处理于一体的智能信息基础设施新形态。统筹布局云计算平台和绿色创新技术的数据中心,支持企业与高校、科研院所合作共建量子通信、信息安全和智能机器人等技术联合实验室和研究中心,推动新一代信息技术赋能能耗监控系统。

第四,进一步强化企业数字化转型支撑平台。针对数字化转型的绿色创新效应在不同类型企业间差异较大的问题,分层次构建以大型制造企业为基础的数字化共享平台和中小企业的数字化赋能平台,形成从产品设计、生产制造到售后服务的企业、行业、市场等产业生态链,加强横向和纵向产业链的交流、合作、需求对接,从而促进不同规模企业形成各具优势、竞相创新、梯次发展的数字化转型新格局。

第五,有效发挥政府在推动企业数字化转型、实现绿色创新中的作用。政府应进一步推进智能制造装备、核心软件、工业互联网的集成应用,提升综合服务能力。对在数字化转型的取得共性标准、关键技术突破的项目予以研发奖励,并通过财政补贴、税收优惠和政府购买服务等方式,支持产业联盟(协会、学会)开展政策宣讲、产需对接、技术交流、业务培训、项目管理等服务项目。

最后,强化对企业数字化转型项目的审查和营运期监管。针对企业数字化转型中存在策略化转型以及重创新数量而轻质量的问题,强化对企业数字化转型项目的审查和营运期监管,重点对项目用能和减排情况进行综合评价,进一步完善信息纰漏与信息核查机制,通过开展环境信息披露,及时披露数字化项目组合的绿色创新数量和强度,引导推动客户进行实质性的绿色低碳转型。

参考文献

- [1] Moyer, J. D., B. B. Hughes. ICTs: Do they contribute to increased carbon emissions? [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2012(5).
- [2] Feroz, A. K., H. Zo, A. Chiravuri. Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda[J]. *Sustainability*, 2021(3).
- [3] Lu, W. C. The impacts of information and communication technology, energy consumption, financial development, and economic growth on carbon dioxide emissions in 12 Asian countries[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2018(8).
- [4] Danish. Effects of information and communication technology and real income on CO₂ emissions: The experience of countries along Belt and Road[J]. *Telematics and Informatics*, 2019, 45.

- [5] Tang, C. , Y. Y. Xu, Y. Hao, et al. What is the role of telecommunications infrastructure construction in green technology innovation? A firm-level analysis for China[J]. *Energy Economics*, 2021, 103.
- [6] Ren, S. Y. , Y. Hao, L. Xu, et al. Digitalization and energy: How does internet development affect China's energy consumption? [J]. *Energy Economics*, 2021, 98.
- [7] Ozer, M. , M. Dayan. Strategic, organizational and operational challenges of product innovation in emerging economies[J]. *Journal of Global Scholars of Marketing Science*, 2015(1).
- [8] Nambisan, S. , M. Wright, M. Feldman. The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes[J]. *Research Policy*, 2019(8).
- [9] Rodriguez-Moreno, J. A. , M. E. Rochina-Barrachina. ICT use, investments in R&D and workers' training, firms' productivity and markups: The case of ecuadorian manufacturing[J]. *The European Journal of Development Research*, 2019(4).
- [10] Luo, Y. D. , J. Bu. How valuable is information and communication technology? A study of emerging economy enterprises[J]. *Journal of World Business*, 2016(2).
- [11] Amore, M. D. , M. Bennesen. Corporate governance and green innovation[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016, 75.
- [12] Arnold, J. M. , B. Javorcik, M. Lipscomb, et al. Services reform and manufacturing performance: Evidence from India[J]. *The Economic Journal*, 2016(590).
- [13] 江小涓. 高度联通社会中的资源重组与服务业增长[J]. *经济研究*, 2017(3).
- [14] Bernard, A. B. , A. Moxnes, Y. U. Saito. Production networks, geography, and firm performance[J]. *Journal of Political Economy*, 2019(2).
- [15] 罗佳, 张蛟蛟, 李科. 数字技术创新如何驱动制造业企业全要素生产率? ——来自上市公司专利数据的证据[J]. *财经研究*, 2023(2).
- [16] 黄阳华. 基于多场景的数字经济微观理论及其应用[J]. *中国社会科学*, 2023(2).
- [17] 王元彬, 张尧, 李计广. 数字金融与碳排放: 基于微观数据和机器学习模型的研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022(6).
- [18] 韩超, 李鑫平. 在自动化中推动企业绿色转型: 技术进步与产品重构效应[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023(4).
- [19] 胡玉凤, 丁友强. 碳排放权交易机制能否兼顾企业效益与绿色效率? [J]. *中国人口·资源与环境*, 2020(3).
- [20] Adamides, E. , N. Karacapilidis. Information technology for supporting the development and maintenance of open innovation capabilities[J]. *Journal of Innovation & Knowledge*, 2020(1).
- [21] 唐鹏鸣. 数字化转型与企业技术创新: 倒 U 型关系形成机理及其检验[J]. *现代经济探讨*, 2022(12).
- [22] Wu, J. , Z. F. Wu, S. Si. The influences of Internet-based collaboration and intimate interactions in buyer-supplier relationship on product innovation[J]. *Journal of Business Research*, 2016(9).
- [23] 段文斌, 刘大勇, 余泳泽. 异质性产业节能减排的技术路径与比较优势——理论模型及实证检验[J]. *中国工业经济*, 2013(4).
- [24] 徐朝辉, 王满四. 数字化转型对企业员工薪酬的影响研究[J]. *中国软科学*, 2022(9).
- [25] 王开科, 吴国兵, 章贵军. 数字经济发展改善了生产效率吗[J]. *经济学家*, 2020(10).
- [26] 李树文, 罗瑾琨, 胡文安. 从价值交易走向价值共创: 创新型企业的价值转型过程研究[J]. *管理世界*, 2022(3).
- [27] Wen, H. W. , Q. M. Zhong, C. C. Lee. Digitalization, competition strategy and corporate innovation: Evidence from Chinese manufacturing listed companies[J]. *International Review of Financial Analysis*, 2022, 82.
- [28] Shwartz-Asher, D. , S. Chun, N. R. Adamn, et al. Knowledge sharing behaviors in social media[J]. *Technology in Society*, 2020, 63.
- [29] 丛屹, 陈琦. 产业数字化降低了劳动报酬占比吗? ——技术变革和业务转型的双重视角[J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2022(10).

- [30]杜爽,刘刚.智能产业创新系统运行机制及其对中国的启示——基于贝尔谢巴先进科技园区网络安全产业创新系统运行机制的价值网络分析[J].经济与管理研究,2021(12).
- [31]唐韬,李方静,夏伦.企业数字化对劳动生产率的影响——来自中国私营企业的经验证据[J].中国地质大学学报(社会科学版),2022(6).
- [32]Chen,S. Q., H. Zhang. Does digital finance promote manufacturing servitization: Micro evidence from China [J]. *International Review of Economics & Finance*, 2021, 76.
- [33]袁胜超.数字化驱动了产学研协同创新吗?——兼论知识产权保护与企业吸收能力的调节效应[J].科学与科学技术管理,2023(4).
- [34]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(4).
- [35]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(7).
- [36]王分棉,贺佳.地方政府环境治理压力会“挤出”企业绿色创新吗? [J]. 中国人口·资源与环境,2022(2).
- [37]柏培文,喻理.数字经济发展与企业价格加成:理论机制与经验事实[J].中国工业经济,2021(11).
- [38]赵奇伟,熊性美.中国三大市场分割程度的比较分析:时间走势与区域差异[J].世界经济,2009(6).
- [39]黎文靖,郑曼妮.实质性创新还是策略性创新?——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J].经济研究,2016(4).
- [40]戴一鑫,王译潇.企业异地扩张、技术获取与企业创新——基于上市公司设立子公司的经验证据[J].中国地质大学学报(社会科学版),2023(1).

Does Digital Transformation Promote Green Innovation?

— Evidence from Chinese Listed Companies

DU Shuang, CAO Xiao-xi

Abstract: Using micro-data of listed companies from 2007 to 2020 and matching digital keywords and green patent information, this paper empirically tests the green innovation effect and mechanism of digital transformation. The results show that the digital transformation of enterprises significantly promotes green innovation level in China, and the impact is still valid after considering various robustness tests. The impact of the digital transformation of enterprises on green innovation level varies with the types of patents, stages of enterprise growth, institutional barriers, financing constraints, viability and technology needs. Government green subsidies have a positive moderating effect on the green innovation effect of enterprises' digital transformation and the results are still robust after considering the patent cycle. The digital transformation of enterprises promotes green innovation level by reducing search cost and agency cost, improving capital allocation efficiency and increasing R&D investment. The conclusion provides a clear policy enlightenment for enterprises to improve digital transformation, green innovation capabilities and high-quality development.

Key words: digital transformation; green innovation; innovation quality; enterprise heterogeneity; listed companies

(责任编辑 孙 洁)