

# 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

宋德勇, 朱文博, 丁海

(华中科技大学经济学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**在数字经济快速发展的背景下,企业数字化能否促进绿色技术创新引起了学术界的关注。已有研究对企业数字化水平的度量缺乏统一的标准,并且没有对企业数字化影响绿色技术创新的微观路径进行全面深入的检验。区别于现有研究,文章不仅基于无形资产数据度量企业的数字化水平,还对上市公司年度报告进行了更细化的文本分析,用在“管理层讨论与分析”的“业绩回顾”中的数字化词频占比来度量企业实际的数字化水平,并运用网络招聘大数据对构造的指标进行检验。在此基础上,文章考察重污染行业企业数字化对绿色技术创新的影响,并运用上市公司专利申请明细数据对微观作用机制进行探讨与检验。研究表明,重污染行业企业的数字化能够显著促进企业绿色技术创新,这一结论在经过IV估计、反事实分析和改变估计方法等一系列稳健性检验后依然显著成立。机制分析表明,企业数字化主要通过提升企业的信息共享水平和知识整合能力从而促进企业绿色技术创新。异质性分析表明,对于环保投资水平更高以及所在地区环境规制力度更强的企业,数字化产生的绿色创新激励效应更大。文章清晰揭示了企业数字化促进企业绿色创新的机理,拓展了企业数字化的相关研究,剖析了企业数字化与绿色可持续发展实现兼容的路径。这对于中国在全球数字化浪潮下实现经济绿色转型和“碳达峰”“碳中和”目标具有重要的政策启示,也可以为中国数字经济发展提供有意义的参考。

**关键词:**企业数字化;绿色技术创新;知识整合;信息共享

中图分类号:F270;F205 文献标识码:A 文章编号:1001-9952(2022)04-0034-15

DOI: [10.16538/j.cnki.jfe.20211218.304](https://doi.org/10.16538/j.cnki.jfe.20211218.304)

## 一、引言

绿色技术创新是转变经济发展方式、实现绿色可持续发展的重要动力,也是中国实现“碳达峰”“碳中和”的重要支撑。2021年,国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》,强调绿色低碳科技创新行动是“碳达峰”行动的重点任务,提出要强化企业创新主体地位,支持企业承担国家绿色低碳重大科技项目,加快绿色低碳科技革命。而从绿色技术创新的本质、特征等多个层面深入探讨绿色技术创新的影响因素,可以为中国实现“碳达峰”“碳中和”目标与绿色可持续发展提供借鉴。

收稿日期:2021-07-10

基金项目:国家社会科学基金重大项目(18ZDA050)

作者简介:宋德勇(1966-),男,湖北松滋人,华中科技大学经济学院教授,博士生导师;

朱文博(1995-),女,河南新乡人,华中科技大学经济学院,博士研究生;

丁海(1994-)(通讯作者),男,山东东营人,华中科技大学经济学院,博士研究生。

此外,当今数字化发展浪潮席卷全球,抢抓数字化发展先机,对于提升中国经济的核心竞争力和推动经济高质量发展至关重要。在数字经济快速发展的背景下,越来越多的企业借助新兴的数字技术进行数字化变革,提升企业的数字化水平。2020年以来,《中小企业数字化赋能专项行动方案》《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》等助力企业数字化转型的政策相继发布,企业数字化成为未来企业改革和转型的重要方向。基于此,考察数字化是否能促进企业的绿色技术创新,有助于为中国发展数字经济提供理论参考。

一些研究对企业数字化与绿色技术创新的关系进行了初步的探讨与分析。El-Kassar 和 Singh(2019)运用 215 家公司的微观调研数据,通过实证分析发现,企业大数据的应用会通过影响企业的绿色创新活动从而进一步影响企业的竞争优势。然而,El-Kassar 和 Singh(2019)的研究并未对企业数字化影响企业绿色技术创新的作用机制进行全面的分析和实证检验。在此基础上,Mubarak 等(2021)对工业 4.0 技术影响企业绿色创新行为的机制进行了实证检验,发现工业 4.0 技术能够通过高效的信息传递和知识积累来激励开放式创新实践,这有助于进一步激励企业从事更多的绿色创新活动。

然而,上述研究对企业数字化水平的度量没有统一的标准,并且没有对企业数字化影响绿色技术创新的微观路径进行分析与实证检验。区别于已有研究,第一,本文基于文本分析方法构造了更细化的企业数字化指标,并运用网络招聘大数据对本文构造的企业数字化指标进行了数据质量检验。第二,基于绿色技术创新的特征探究了数字化影响绿色技术创新的路径,从而为理解数字化与绿色技术创新的关系提供了来自微观层面更全面、更深入的机制探讨。第三,为处理企业数字化与绿色技术创新之间的内生性问题,进行了一系列稳健性检验。第四,本文进一步探讨了对于不同特征的企业而言,企业数字化对绿色技术创新影响的异质性。

在度量指标上,本文不仅借鉴祁怀锦等(2020)的研究,基于企业无形资产明细数据构造衡量企业数字化水平的指标,而且还进一步基于文本分析方法构造更细化的企业数字化水平度量指标。事实上,运用文本分析的方法度量数字化水平已在文献中有广泛应用(赵宸宇,2021),然而,上述文献对年报中数字化相关词频的识别较为粗糙。与现有研究不同的是,本文在统计数字化相关词频数量时对词频出现在“管理层讨论与分析”的“业绩回顾”还是“未来展望”部分进行区分。“业绩回顾”是企业对上一年度完成工作的回顾,其中的数字化词频数更能反映企业实际的数字化水平。使用这一指标进行实证分析也有助于进一步排除其他因素对估计结果的影响,能更准确地识别数字化对绿色技术创新的影响。此外,现有文献均没有运用多个数据集对数字化指标的质量进行检验。为了检验数据质量的可靠性,本文基于 94531 条上市公司网络招聘数据对构造的数字化指标进行了检验。

在机制识别上,本文结合绿色技术创新的特征,对企业数字化促进绿色技术创新的微观机制进行实证检验。发现,企业数字化主要通过提升企业的信息共享水平和知识整合能力从而促进企业绿色技术创新。具体地,第一,相较于一般的技术创新,与企业生产及低碳管理过程相关的绿色创新需要整合资源消耗、环境影响与制造系统的信息,这对企业信息共享能力提出了更高的要求。企业数字化能够通过提升企业的信息共享水平(Goldfarb 和 Tucker, 2019; 戚聿东和肖旭, 2020)促进企业内外部资源环境相关信息的传递与交流,进而促进企业绿色技术创新。第二,从知识层面上看,绿色创新本质上是一项跨学科、跨领域的创新活动,涉及企业生产、污染减排和能源控制等不同领域知识在组织内的创造、整合与扩散,仅依靠企业在单一技术领域内的知识开展绿色创新难以取得成效(于飞等, 2019; Mubarak 等, 2021)。企业数字化能促进协同创新(张昕蔚, 2019),进而实现不同技术领域间各类知识的整合与重构,激励企业的绿色技术创新。

在处理企业数字化与绿色技术创新之间的内生性问题上,本文借鉴赵奎等(2021)的研究,通过控制地区一年份固定效应的方式,缓解地方性相关政策等遗漏因素可能产生的内生性问题。此外,Lewbel(1997)提出了一种有效的内部工具变量方法,能够在一定程度上消除内生性偏差,这一方法在现有研究中得到广泛的应用(张杰等,2011)。李唐等(2020)采用这种方法构建企业数据管理能力的工具变量。本文参考Lewbel(1997)以及李唐等(2020)的方法,为企业数字化水平构造工具变量进行稳健性检验。缓解内生性后,企业数字化促进绿色技术创新的结论依然成立。

本文还根据企业层面和地区层面的差异考察了企业数字化对绿色技术创新激励效应的异质性。结果表明,对于环保投资水平较高的企业而言,数字化对其产生的绿色技术创新激励效应更大。对于所在地区环境规制力度较弱的企业而言,其面临的环保压力较小,企业本身缺乏绿色创新的激励,数字化对其绿色技术创新的激励效应也相应较弱。

本文的边际贡献体现在以下三个方面:第一,基于企业的微观数据识别并实证检验了企业数字化促进绿色技术创新的微观机制,清晰揭示出企业数字化能够通过信息共享和知识整合效应促进企业绿色技术创新,拓展了现有相关研究。第二,本文从绿色技术创新的视角考察了数字化与企业可持续发展之间的关系,实证结果进一步支持了Mubarak等(2021)的研究结论,揭示了企业数字化与绿色可持续发展实现兼容的路径,有助于为中国实现经济绿色转型以及“碳达峰”“碳中和”目标提供政策启示。第三,进一步基于企业和地区层面的特征对企业数字化影响绿色技术创新的异质性进行了分析,丰富了相关研究。

## 二、理论分析

(一)企业数字化与绿色技术创新。根据自然资源基础观(NRBI)理论,企业的技术能力等内部组织要素是其进行绿色技术创新,从而构建持续竞争优势的基础(杨东和柴慧敏,2015)。而创新财力资源、人力资源、技术资源和知识资源等因素都会对企业的绿色技术创新能力产生影响(毕克新等,2014)。其中,创新技术资源是企业改进现有技术并自主完成技术创新的能力(毕克新等,2014),其对企业的研发能力具有显著的正向影响(Schoenecker和Swanson,2002)。

基于此,企业数字化可能通过优化企业创新技术资源从而影响企业的绿色技术创新。第一,企业数字化有助于促进企业内外部信息的交流与融合,加强内外部信息的集成与共享,从而提升企业的创新能力(Subramaniam和Youndt,2005)。第二,数字技术在企业层面的应用能够拓展创新资源的配置范围,激励企业开展联合创新,这也能够提高企业基于现有技术进行自主技术创新的能力,进而优化企业的创新技术资源。综上,本文认为,企业数字化能够通过优化企业的创新技术资源,从而促进企业绿色创新水平的提升。

(二)企业数字化对绿色技术创新的影响机制。结合绿色技术创新的特征,本文进一步分析数字化影响绿色技术创新的具体机制。学者们普遍认为绿色创新不仅需要整合资源消耗与制造系统的信息,对企业信息共享能力也提出了更高的要求,而且还涉及企业内外部不同技术领域的知识整合,仅依靠企业以往的技术经验及在单一技术领域内的知识积累难以开展绿色创新(于飞等,2019)。企业数字化能够产生信息共享效应和知识整合效应,促进企业优化创新技术资源,进而提升绿色技术创新水平。

1. 信息共享效应。企业数字化能够加速信息在组织结构中的送达和回馈,促进企业内外部环境和资源相关信息的共享,从而激励企业从事绿色技术创新活动。信息共享包括内部和外部两个维度,内部信息共享是指企业内部不同组织机构间信息的传递与整合,通过各部门信息相互之间的交流与融合,促进企业整合内部资源(Carr和Kaynak,2007)。外部信息共享则主要侧重

于企业与外部市场参与者之间的交流与合作。大量研究表明,信息共享对于企业技术创新具有重要影响(Mooi 和 Frambach, 2012; Kulangara 等, 2016)。Brynjolfsson 和 Hitt(2003)的研究发现,企业内部信息共享能够通过内部资源的有效集成产生互补性创新。Subramaniam 和 Youndt(2005)的研究表明,员工之间的信息共享能够提升企业创新能力。特别地,企业生产和管理过程中的绿色创新需要进一步结合制造和管理系统各个环节的资源消耗和环境影响信息,对于企业的信息共享能力要求较高。Biondi 等(2002)的研究表明,信息共享对于促进中小企业的绿色研发创新具有重要作用。基于此,企业信息共享能力的提升更有助于企业制造、管理及研发部门之间共享环境和资源的相关信息,加速企业内外部环境资源相关信息的共享,加强研发人员之间的交流,优化企业的创新技术资源,促进企业的绿色技术创新。

而企业数字化有助于促进企业的信息共享(戚聿东和肖旭, 2020)。Goldfarb 和 Tucker(2019)通过研究发现,企业数字化促进了企业信息实时共享,使企业拥有更高的生产柔性和供应链协同能力。综上,本文认为,企业数字化能够通过提升企业的信息共享能力来帮助企业整合内外部资源,从而优化企业的创新技术资源,激励企业进行绿色创新。

2. 知识整合效应。企业数字化能够促进研发资源和知识的整合,优化企业创新技术资源,从而有效促进企业开展绿色创新活动。从知识层面上看,绿色创新本质上是一项复杂的知识活动,涉及企业生产、污染减排等不同技术领域的知识在组织内创造、整合与扩散,仅依靠企业以往的技术经验及在单一技术领域内的知识开展绿色创新难以取得成效。企业在绿色创新过程中需要不断整合来自多个技术领域的知识,对内外部知识进行管理并有效利用,以掌握绿色创新的主流技术、新理念和发展趋势(于飞等, 2019)。因此,知识整合是制造企业实现绿色创新的有效途径和重要机制(Strambach, 2017)。

企业数字化的基础技术有助于促进知识的整合。张昕蔚(2019)发现数字技术的应用将拓展创新资源配置空间,促进创新生态系统内企业、大学、科研院所等多元创新主体共同参与跨区域、跨领域的协同创新活动。Mubarak 等(2021)的研究表明,工业 4.0 技术能够促进企业的开放式创新,从而激励企业从事绿色创新活动。综上,本文认为,数字技术在企业层面的应用能够促进研发资源集成共享,有助于不同技术领域间各类知识元素的整合与重构,从而促进企业绿色技术创新水平的提升。

(三)企业数字化对绿色技术创新影响的异质性。

1. 基于企业环保投资水平视角。企业数字化能够优化企业的技术创新资源,从而激励企业进行绿色技术创新。而对于环保投资水平不同的企业而言,这一激励效应存在异质性。如果企业不重视环保投资,即便企业数字化优化了企业的技术创新资源,企业也不会进行绿色技术创新。而如果企业重视环保投资,那么企业数字化更可能促进企业完成绿色技术研发,缩短企业的绿色创新研发周期,加快企业绿色创新成果的应用。因此,本文认为,对于环保投资水平较高的企业而言,数字化对其产生的绿色技术创新激励效应更大。

2. 基于地区环境规制强度视角。对于所在地区环境规制强度更大的企业而言,其面临的环保压力更大,从事绿色创新活动的激励更大。因此,企业数字技术的应用能够对企业绿色技术创新产生更大的影响。而对于所在地区环境规制强度较小的企业而言,其面临的环保压力较小,企业本身缺乏绿色创新的激励,数字化对企业绿色创新的激励效应也相应较弱。

### 三、数据与研究设计

(一)数据说明。本文使用的上市公司财务数据来自国泰安数据服务中心(CSMAR),发明专利数量数据来自 *Incopat* 数据库。样本的时间区间为 2011—2018 年。根据环保部上市公司环保

核查行业分类管理名录,筛选出上市公司中属于重污染行业的企业。本文选取重污染行业的企业进行研究的主要原因在于,重污染行业是中国环保部门重点监控的对象,绿色技术创新对于重污染行业企业的长远发展至关重要。

本文对数据进行了如下筛选:(1)剔除已经退市的公司;(2)剔除数据缺失的公司;(3)剔除所有者权益账面值为负的公司样本;(4)基于相关会计准则,剔除资产负债率异常的样本。

(二)研究设计。使用如下回归模型来分析数字化程度对企业绿色创新的影响:

$$envpatr_{it} = \beta_0 + \beta_1 digit_{it} + \rho X + \delta_i + \vartheta_t + \gamma_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $i$ 、 $j$ 、 $t$ 分别表示上市公司、行业以及时间。被解释变量为 $envpatr_{it}$ ,即企业的绿色创新,具体包括 $envpatr\_total_{it}$ 、 $envpatr\_inv_{it}$ 和 $envpatr\_uti_{it}$ 三个度量指标。核心解释变量为 $digit_{it}$ ,代表企业的数字化程度,包括基于无形资产数据度量的变量 $digit\_ratio$ 和基于文本分析方法度量的变量 $digit\_ratio\_text\_past$ ,系数 $\beta_1$ 体现了企业数字化对绿色技术创新的影响。 $X$ 为控制变量。 $\delta_i$ 为年份固定效应, $\vartheta_t$ 为企业固定效应。为了控制随时间变化的行业层面不可观测因素,引入行业-年份固定效应 $\gamma_{jt}$ 。 $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

(三)变量定义。

1. 企业绿色技术创新水平。本文采用绿色专利数占总专利数的比重来度量企业的绿色创新。相比单纯的专利数量,采用相对量指标能剔除其他不可观察因素的影响,从而缓解实证中可能存在的内生性问题。基于世界知识产权组织(WIPO)公布的《绿色专利清单》中的IPC代码识别绿色创新。专利的类型包括发明、实用新型和外观设计专利。由于外观设计专利不采用IPC分类,因此,本文只考虑发明专利和实用新型专利两种专利类型。其中,发明专利更具有创造性和技术含量,而实用新型内含创新程度较低,只保护产品的形状和构造。根据专利的类型,本文构造三个衡量企业绿色技术创新水平的变量。①绿色专利总申请量占专利总申请量的比例( $envpatr\_total$ )。②绿色发明专利申请量占企业总发明专利申请量的比例( $envpatr\_inv$ )。③绿色实用新型专利申请量占企业总实用新型专利申请量的比例( $envpatr\_uti$ )。

2. 企业数字化。目前,对于企业数字化水平的度量是相关研究的难点,现有文献主要有三种度量方法。第一,祁怀锦等(2020)使用企业年末无形资产明细项中与数字经济相关部分的金額占无形资产总额的比例度量企业数字化程度。第二,大量研究运用数字化相关关键词在年报中的词频数量或占比度量企业的数字化转型或数字化水平(赵宸宇,2021;袁淳等,2021)。第三,相关研究采取问卷调查的方式获取企业的数字化水平数据(刘政等,2020)。本文借鉴第一种方法构造衡量企业数字化水平的变量,并根据第二种方法进一步检验。

①基于数字化相关无形资产度量企业数字化水平。首先,本文搜集上市公司无形资产明细数据,借鉴祁怀锦等(2020)的研究,根据数字化相关关键词<sup>①</sup>手工识别企业的数字化相关无形资产。其次,计算数字化相关无形资产金额占企业总无形资产金额的比例( $digit\_ratio$ ),并将其作为衡量企业数字化程度的变量。

②基于文本分析度量企业数字化水平。本文基于上市公司年报中“管理层讨论与分析”(简称MD&A)部分“数字化”相关关键词的词频占比来构造衡量企业数字化水平的变量。2005年,中国证监会修订的《公开发行证券的公司信息披露内容与格式准则》中规定,上市公司要对报告期内经营情况进行回顾并对未来发展进行展望。因此,如果上市公司管理层将数字化作为企业

<sup>①</sup> 本文筛选数字化相关无形资产使用的关键词包括“管理系统”“软件”“网络平台”“智能平台”“数据系统”“数字化”“数据平台”“人工智能”“机器学习”“数字分析”“大数据”“区块链”“物联网”“深度学习”“云计算”“工业互联网”等。

发展战略的重要组成部分,并为实现企业数字化转型制定相应的行动策略,这一重大事项无疑会对企业的生产经营以及未来发展产生重要影响。因此,根据证监会的年报信息披露原则,企业需要在MD&A内容中对其进行披露。一般而言,企业针对数字化战略的重视和实施程度越高,越会倾向于披露“数字化”相关信息。

因此,借鉴袁淳等(2021)的做法,本文构造数字化水平的步骤如下:首先,结合政府报告和数字化相关报告,使用“词表法”筛选特定的文本从而构建“数字化”词表。其次,在企业年度报告中提取出MD&A部分的内容,运用Python中的jieba分词工具对MD&A内容进行分词并剔除停用词。最后,统计每家企业MD&A中数字化关键词的词频数量,并借鉴杨德明和毕建琴(2019)的方法,使用MD&A中数字化关键词的词频数量占MD&A总词频的比重( $digit\_ratio\_text$ )作为企业数字化程度的代理变量。

值得指出的是,根据中国证监会的规定,企业需要在年报的MD&A部分披露两个方面的信息:对企业经营业绩的回顾和未来战略的展望。因此,为了准确地衡量企业真实的数字化水平,本文对数字化相关词频出现在MD&A业绩回顾部分还是未来展望部分进行区分。在此基础上,统计出业绩回顾部分提到的数字化相关词频占比( $digit\_ratio\_text\_past$ )以及未来展望部分提到的数字化相关词频占比( $digit\_ratio\_text\_future$ )。“业绩回顾”是企业对上一年度完成工作的回顾,因此, $digit\_ratio\_text\_past$ 更能反映企业的实际数字化水平。

3. 其他控制变量。本文选取可能影响企业绿色技术创新水平的变量作为控制变量,包括企业层面的资产水平( $asset$ ),即企业资产总额的自然对数;资产收益率( $ROA$ ),等于税前利润比上总资产;滞后期绿色技术创新水平( $envpat$ ),即滞后一期的企业绿色专利申请总量的自然对数;创新水平( $innovation$ ),即企业专利申请总量的自然对数;托宾 $Q$ 值( $tobinq$ ),即企业托宾 $Q$ 值的自然对数;负债水平( $debt$ ),用企业负债总额的自然对数衡量;地级市层面的环境规制力度( $ER$ ),即地级市政府工作报告中环保词频数量。

#### 四、实证检验及结果

(一)企业数字化水平指标数据质量的检验。由于目前关于企业数字化的度量还尚未形成统一的标准,企业数字化水平度量指标的数据质量对于研究结论的可靠性至关重要。基于此,本文对前文构造的两个数字化指标的数据质量进行检验。具体而言,通过考察变量之间是否具有共同趋势,从而检验企业数字化水平变量是否可靠。首先,本文将以无形资产度量的数字化水平指标与基于文本分析构造的数字化水平指标进行对比。从图1(a)可以看出,以无形资产度量的企业数字化变量( $digit\_ratio$ )与以文本分析度量的企业数字化变量( $digit\_ratio\_past\_text$ )呈明显的正相关关系,从而表明本文基于不同方法所构造的数字化指标具有系统性的关系,能够在一定程度上反映企业数字化的真实水平。其次,还基于网络招聘数据度量企业的数字化水平,进一步对本文的数据质量进行检验。网络招聘因其高效灵活、成本低等优点,近年来成为中国企业的招聘渠道。2019年,58同城、前程无忧、智联招聘三家网络招聘平台占据市场份额接近80%。基于此,我们收集了上述三家招聘平台的招聘数据。由于网络招聘在近些年才逐渐成规模,在2017年之前,相关网站的数据较难获取且缺失很多。而本文的研究区间为2011—2018年,因此,运用2018年上市公司招聘的数字化相关人才数量( $digit\_staff$ )衡量企业的数字化程度,将 $digit\_staff$ 与基于文本分析构造的数字化水平指标( $digit\_ratio\_past\_text$ )进行对比。从图1(b)可以看出,上述两个指标同样呈明显的正相关关系,从而表明本文基于不同方法所构造的数字化指标能够较好地反映企业真实的数字化水平。

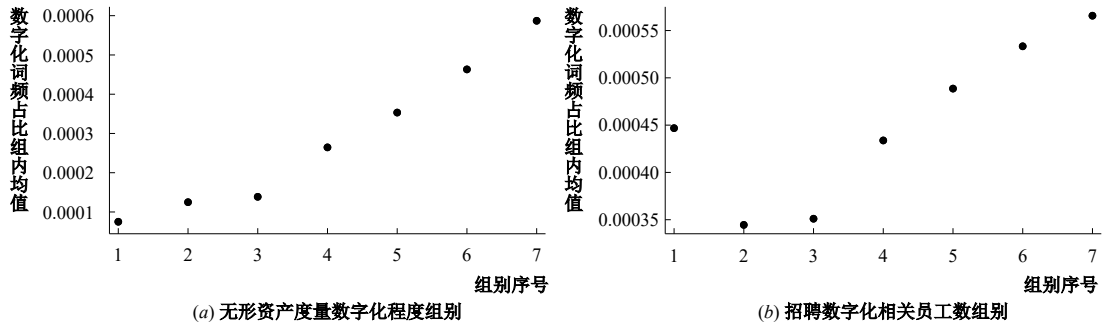


图1 企业数字化度量指标数据质量检验

注：具体绘图方法是，将 *digit\_ratio* 与 *digit\_staff* 从小到大排列分成 7 等份，然后计算每一组别内 *digit\_ratio\_text\_past* 的均值，以组别序号为横轴，每一组别内 *digit\_ratio\_text\_past* 均值为纵轴绘制图形。

(二) 数字化水平对企业绿色创新的影响。

1. 基准回归。本文的实证结果表明企业数字化对企业绿色技术创新水平的提升产生了显著的促进作用。具体而言，以数字化相关的无形资产金额占无形资产总金额的比例 (*digit\_ratio*) 作为核心解释变量，以企业绿色专利申请占总专利申请的比例 (*envpatr\_total*) 作为被解释变量，运用模型(1)进行实证分析。表1报告了基准回归的结果，结果显示，在控制不同固定效应和不同的标准误差聚类层级下，*digit\_ratio* 的系数均显著为正，从而说明企业数字化能够显著促进企业绿色技术创新水平的提升。

表1 数字化程度对企业绿色创新的影响——基准回归结果

	<i>envpatr_total</i>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>digit_ratio</i>	0.1248*(1.93)	0.1384**(2.39)	0.1248*(1.86)	0.1384**(2.10)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业-年份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业-年份固定效应	不控制	控制	不控制	控制
聚类层级	行业	行业	企业	企业
观测值	4 646	4 644	4 646	4 644
$R^2$	0.4040	0.4159	0.4040	0.4159

注：括号内为t值，\*、\*\*和\*\*\*分别表示1%、5%和10%的显著性水平。为节省篇幅，未报告控制变量系数和常数项。下表统同。

2. 进一步分析。进一步运用基于文本分析构造的数字化变量作为被解释变量进行实证分析，回归结果见表2。列(1)报告了以“业绩回顾”部分的数字化相关词频占比作为解释变量的估计结果，*digit\_ratio\_text\_past* 的系数显著为正。基于前文的分析，这一指标更能反映企业真实的数字化水平，因此，这一结果表明企业数字化能够显著促进企业绿色创新水平的提升。列(2)是以“未来展望”部分的数字化相关词频占比作为解释变量的估计结果，*digit\_ratio\_text\_future* 的系数为正且不显著。根据前文的分析，这一指标表示企业可能即将开展数字化相关的工作，而不代表企业真实的数字化水平。因此，在估计结果中，这一指标不显著能够进一步说明列(1)的估计结果是稳健的。列(3)是以企业 MD&A 部分的总数字化相关词频占比作为解释变量的估计结果，*digit\_ratio\_text* 的系数同样为正且不显著，说明本文的结论是稳健的。

3. 区分专利类型。由于发明专利和实用新型专利内含的创新程度不同，数字化对不同类型专利影响的机制也会存在差异。因此，本文分别检验了企业数字化对不同类型专利所产生的影响，回归结果见表3。列(1)、列(2)是以绿色发明专利占比作为被解释变量的估计结果，*digit\_ratio*

和 $digit\_ratio\_text\_past$ 的系数均为正且显著,说明企业数字化能够显著促进企业绿色发明专利水平的提升。而以绿色实用新型专利占比作为被解释变量的估计结果中, $digit\_ratio$ 和 $digit\_ratio\_text\_past$ 的系数为正但不显著,这说明数字化对于企业的绿色实用新型专利没有产生显著的影响。可能的原因在于,一般而言,实用新型专利内含的创新程度更低,创新点大多围绕产品的形状和构造。因此,企业在实用新型专利研发过程中面临的困难相比发明专利更少。因而,企业数字化对绿色实用新型专利的影响较小。

表2 数字化程度对企业绿色创新的影响——进一步分析

	<i>envpatr_total</i>		
	(1)	(2)	(3)
<i>digit_ratio_text_past</i>	22.0138 <sup>*</sup> (2.00)		
<i>digit_ratio_text_future</i>		9.9530(0.76)	
<i>digit_ratio_text</i>			13.8538(1.65)
控制变量	控制	控制	控制
观测值	4 644	4 644	4 644
$R^2$	0.4158	0.4154	0.4157

注:在行业层面对标准误进行聚类,并控制企业和行业一年份固定效应。除表5和表6外下表统同。

表3 数字化程度对企业绿色创新的影响——区分专利类型

	<i>envpatr_inv</i>		<i>envpatr_util</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>digit_ratio</i>	0.0885 <sup>*</sup> (2.08)		0.0608(1.23)	
<i>digit_ratio_text_past</i>		37.3982 <sup>***</sup> (4.00)		20.9959(1.52)
控制变量	控制	控制	控制	控制
观测值	4 644	4 644	4 644	4 644
$R^2$	0.4009	0.4023	0.3989	0.3994

### (三)稳健性检验。

1. 内生性问题。虽然在模型(1)中,使用相对量指标度量企业的绿色创新水平能够在一定程度上缓解内生性问题,但实证结果仍有可能受不可观测因素的影响。<sup>①</sup>可能存在同时影响企业数字化程度和企业绿色创新水平的因素,如地方性的相关政策扶持和行业方面的外生冲击等。为此,本文采用两种方式缓解内生性问题。第一,借鉴赵奎等(2021)的研究,通过控制地区一年份、行业一年份固定效应的方式分别控制地方性相关政策和行业层面外生冲击的影响。在稳健性检验中,本文进一步控制省份一年份固定效应,这在一定程度上可以缓解遗漏变量所导致的内生性问题。回归结果见表4列(1)所示,可以看出, $digit\_ratio$ 的系数仍然显著为正,说明本文的结论较少受遗漏变量引起的内生性问题的影响,基准回归的结论是稳健的。第二,借鉴李唐等(2020)的方法,基于Lewbel(1997)的研究思路为企业数字化水平构造工具变量。<sup>②</sup>Lewbel(1997)提出的构造工具变量的方法是一种不借助外部因素构建有效内部工具变量的方法,采用上述方法构造工具变量有助于在一定程度上消除内生性偏差。具体而言,本文采用企业数字化水平与按二位数

① 企业数字化水平不太可能受企业绿色创新专利占比的影响,本文不太可能存在反向因果关系。

② 由于本文的核心解释变量,即企业数字化水平与李唐等(2020)研究中的解释变量——企业数据管理能力内涵较为相似,因此,本文借鉴该方法构造工具变量。



行业和省份分类的数字化水平均值差额的三次方作为工具变量(Lewbel\_IV)。表4列(2)报告了IV估计的回归结果。Kleibergen-Paap rk LM统计量在5%的水平上显著,拒绝工具变量识别不足的原假设;Cragg-Donald Wald F统计量大于Stock-Yogo,弱工具变量识别F检验在10%显著性水平上的临界值拒绝弱工具变量的原假设,上述检验表明本文选取的工具变量是合理可靠的。IV估计结果中,digit\_ratio的估计系数显著为正,表明本文主要结论仍成立。

表4 稳健性检验

	envpatr_total					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
digit_ratio	0.1274 <sup>*</sup> (2.06)	0.1214 <sup>***</sup> (3.20)		0.1632 <sup>*</sup> (2.11)	0.3117 <sup>**</sup> (2.10)	0.1434 <sup>**</sup> (2.44)
digit_rev_fake			0.0063(0.54)			
Kleibergen-Paap rk LM statistic	-	4.048 <sup>**</sup>	-	-	-	-
Cragg-Donald Wald F statistic	-	5 582.57[16.38]	-	-	-	-
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	4 644	4 644	4 644	3 982	4 671	4 624
R <sup>2</sup>	0.4454	0.0134	0.4154	0.4074	-	0.4163
Pseudo R <sup>2</sup>	-	-	-	-	0.2514	-

2. 反事实检验。为了检验企业数字化变革而非其他可能的因素对企业绿色创新产生了激励效应,构造虚假的企业数字化变革变量(digit\_rev\_fake)。将digit\_rev\_fake与绿色创新水平进行回归分析,若系数不显著,则说明是数字化变革而非其他可能的因素激励了企业的绿色创新。digit\_rev\_fake的构造方法如下:首先,构造企业数字化变革虚拟变量(digit\_rev),若第t年企业的数字化水平(digit\_ratio)从0变为大于0,则将t年定为企业数字化变革的发生年。若年份为企业发生数字化变革当年及之后,则digit\_rev取值为1,否则取值为0。其次,构造虚假的企业数字化变革变量。本文将企业进行数字化变革的年份相较于真实年份提前两年,若处于虚假改革年当年及之后,则digit\_rev\_fake取值为1,否则取值为0。回归结果报告于表4列(3),digit\_rev\_fake的系数不再显著,说明企业绿色创新水平的提升是由企业的数字化变革导致的。

3. 剔除从未申请专利的企业。考虑到样本期内部分企业从未申请过专利,这可能影响本文的回归结果。为了消除专利申请数量为0的样本对回归结果可能产生的干扰,本文将样本期内专利申请量一直为0的公司剔除。回归结果报告于表4列(4),在剔除从未申请过专利的企业后,企业数字化水平(digit\_ratio)对企业绿色技术创新水平仍然具有显著正向的影响,这与前文的结论一致,也进一步增强了本文结果的可信度。

4. 更换回归方法。由于企业绿色创新占比变量(envpatr\_total)在0处存在左截断的特征,因此,本文进一步采取Tobit回归方法进行稳健性检验,回归结果见表4列(5),可以看出,digit\_ratio的系数仍然显著为正,说明本文的结论是稳健的。

5. 更换环境规制度量方法。本文通过改变控制变量中环境规制的度量方法进行稳健性检验。借鉴何爱平和安梦天(2019)的研究,选取各省当年污染治理投资总额占全国污染治理投资总额的比重来衡量环境规制强度。回归结果见表4列(6),可以看出,digit\_ratio的系数仍然显著为正,说明本文的结论是稳健的。

### 五、机制检验

根据前文的分析,数字化可能通过信息共享效应与知识整合效应优化企业的技术创新资源,激励企业从事绿色创新活动。本节对上述机制进行实证检验。

(一)信息共享效应。

1. 基于上市公司微观数据的检验。由于企业的信息共享水平较难直接测度, 现有文献大多基于问卷调查获取度量企业信息共享水平的数据(彭正银等, 2019)。限于数据的可得性,<sup>①</sup>本文基于上市公司年报进行文本分析, 从中获取企业主动披露的信息共享水平。上市公司年度报告是企业披露信息的重要载体, 因此, 如果上市公司在报告期内信息共享程度提升, 则上市公司有可能通过年报披露相关情况。综上, 本文通过对上市公司年报进行文本分析, 从中提取“信息共享”和“信息集成”等关键词, 并手工分析其含义, 从而得到衡量上市公司信息共享水平的虚拟变量(*inform*)。如果企业在报告期年报中披露信息共享相关信息, 并且其含义为信息共享水平的提升等, 则*inform*取值为 1, 否则, *inform*取值为 0。

本文使用如下模型对中介机制进行检验: ①将数字化水平与中介变量进行回归, 如果系数显著, 则表明数字化能够对中介变量产生影响; ②将数字化水平与企业绿色技术创新水平进行回归, 如果系数显著, 说明企业数字化能够对企业绿色技术创新产生影响; ③将数字化水平、中介变量和企业绿色技术创新水平进行回归, 如果数字化水平的系数不显著或者显著但系数的绝对值降低了, 而中介变量的系数显著, 则证明企业数字化是通过中介机制影响了企业的绿色技术创新。按照上述检验步骤, 中介机制的验证模型设定如下:

验证数字化水平对中介变量的影响:

$$mechanism_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 digit_{it} + \rho X + \delta_t + \vartheta_i + \gamma_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

验证数字化水平对企业绿色技术创新的影响:

$$envpatr\_total_{it} = \beta_0 + \beta_1 digit_{it} + \rho X + \delta_t + \vartheta_i + \gamma_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

将数字化水平、中介变量同时放入方程:

$$envpatr\_total_{it} = \sigma_0 + \sigma_1 digit_{it} + \sigma_2 mechanism_{it} + \rho X + \delta_t + \vartheta_i + \gamma_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, *mechanism*包含两个机制变量: *inform*和*ipc\_new\_sta*。其他变量定义均与模型(1)一致。其中, *inform*是检验信息共享效应中介机制的变量, *ipc\_new\_sta*是检验知识整合效应机制的变量。

本文基于文本分析构造的信息共享水平变量(*inform*)进行中介机制检验。第一步实证结果见表 5 列(1), 可以看出, 数字化能够显著提升企业的信息共享水平。第二步回归结果见表 5 列(2), 结果表明, 数字化能够显著促进企业绿色技术创新水平的提升。第三步估计结果见表 5 列(3), *inform*的系数显著为正, 且*digit\_ratio*的系数绝对值降低。这一实证结果与前文的机制分析一致, 说明数字化通过促进企业提升信息共享水平, 从而显著提升企业绿色技术创新水平。

表 5 机制检验

	<i>inform</i> (1)	<i>envpatr_total</i> (2)	<i>envpatr_total</i> (3)	<i>ipc_new_sta</i> (4)	<i>envpatr_total</i> (5)
<i>digit_ratio</i>	5.9334*** (3.56)	0.1384** (2.39)	0.1348** (2.36)	0.4921* (1.83)	0.1296** (2.21)
<i>inform</i>			0.0336* (1.79)		
<i>ipc_new_sta</i>					0.0179*** (5.13)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
企业/行业-年份固定效应	不控制	控制	控制	控制	控制
年份/行业固定效应	控制	不控制	不控制	不控制	不控制

① 由于本文的样本数据为上市公司数据, 较难通过问卷方式获取测度企业信息共享水平的数据。

续表 5 机制检验

	<i>inform</i>	<i>envpatr_total</i>	<i>envpatr_total</i>	<i>ipc_new_sta</i>	<i>envpatr_total</i>
观测值	3 984	4 644	4 644	4 644	4 644
$R^2$	-	0.4159	0.4163	0.3476	0.4251
Pseudo $R^2$	0.0523	-	-	-	-

注：在行业层面对标准误进行聚类。

2. 基于世界银行 2012 年调研数据的进一步证据。为了保证结论的稳健性,本文还运用调研数据对信息共享效应进行检验。世界银行于 2012 年对中国 2 700 家企业进行了全方位的调研,其中涉及企业数字化和信息共享水平的相关信息。然而,由于世界银行的调研数据没有报告企业的名称,因此,我们无法根据企业的名称获取企业绿色技术创新的数据。限于数据的可得性,只能基于世界银行的数据检验企业数字化能否促进企业信息共享和集成水平的提升。

借鉴傅颖等(2021)的度量方法,本文使用调查数据中企业对“通信技术(计算机、互联网和软件)支持企业业务活动的程度”问题的回答构造度量企业数字化水平的变量。其中,调研问卷中业务活动主要包含五个,分别是“供应商关系”“产品和服务”“生产与运营”“营销”和“顾客关系”。企业对上述问题的回答分别为“从不”“很少”“有时”“经常”和“完全”五个,其所代表的企业数字化水平依次递增。因此,对于上述回答,依次将相关变量赋值为 1、2、3、4、5,并通过主成分分析法构造综合的企业数字化变量(*digit\_wb*)。借鉴韩孟孟等(2020)的研究,本文根据调查数据中企业对“企业运营过程中,有多少职能部门使用总部统一提供的数据平台或操作系统”问题的问答构造衡量企业信息共享水平的虚拟变量(*inform\_wb*)。企业对该问题的回答分别为“全部”“有些”或“没有”,所代表的企业信息共享水平递减。因此,对于上述回答,依次将 *inform\_wb* 赋值为 3、2、1,数值越大表示企业内部信息共享程度越高。此外,本文选取如下可能影响企业信息共享水平的控制变量:企业规模(*size\_wb*),员工人数取自然对数衡量;所有权性质(*state\_wb*),即国有股份占企业总股份比例;国际化程度(*ex\_wb*),即企业直接出口产品占销售额的比例;企业年龄(*age\_wb*),采用 2011 年减去企业注册成立年份,再取自然对数;竞争程度(*compi\_wb*),即企业面临多少竞争对手(当  $n < 5$ , *compi\_wb* 赋值为 1;当  $5 < n < 10$  时, *compi\_wb* 赋值为 2;当  $n > 10$  时, *compi\_wb* 赋值为 3);企业所在地区(*capi\_wb*),如果位于省会城市,则 *capi\_wb* 取值为 1,否则, *capi\_wb* 取值为 0。表 6 报告了将企业信息共享水平作为被解释变量,企业数字化程度作为解释变量进行实证分析的估计结果,可以看出,企业数字化水平的提升能够显著提升企业的信息共享水平,与前文的分析一致。

表 6 机制检验——进一步证据

	<i>inform_wb</i>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>digit_wb</i>	0.0721***(5.43)	0.0707***(6.13)	0.0650***(4.93)	0.0650**(2.35)
控制变量	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	不控制	控制	控制
地区固定效应	不控制	控制	控制	控制
聚类层级	行业	行业	行业	地区
观测值	1 352	1 352	1 352	1 352
$R^2$	0.0640	0.3117	0.3331	0.3331

(二)知识整合效应。根据前文的分析,企业数字化能够通过知识整合效应促进企业从事绿色创新活动。为了对知识整合效应进行检验,我们运用企业专利申请的详细信息数据,基于各项

专利完整的 *IPC* 分类代码,统计得到企业每年发明专利申请中所涉及的新的技术领域的数量 (*ipc\_new*)。具体而言,借鉴于飞等(2019)的研究,运用专利所在 *IPC* 代码的前四位识别专利所在的知识领域。如果专利所属 *IPC* 分类代码的前四位相同,则属于同一个知识领域。<sup>①</sup>借鉴 Lin 等(2021)的研究思路,本文使用企业专利涉及的新的知识领域数量度量企业知识整合程度,具体而言,本文基于企业每年专利申请所涉及的知识领域信息,计算出企业各年申请的专利所涉及的新的技术领域(企业当年以前的专利从未涉及过的知识领域)数量,并除以企业当年申请的专利数量进行标准化,最终得到代理变量 *ipc\_new\_sta*。

本文同样基于前文的机制检验模型对知识整合效应进行实证检验。第一步实证结果见表 5 列(4),可以看出,数字化能够显著提升企业的知识整合能力。第二步回归结果见表 5 列(2),结果表明,数字化显著提升了企业绿色专利占比,促进了企业绿色技术创新水平的提升。第三步估计结果见表 5 列(5),*ipc\_new\_sta* 的系数显著为正,且 *digit\_ratio* 的系数绝对值降低。说明数字化通过提升企业知识整合程度,从而显著提升了企业绿色技术创新水平。这一实证结果与前文的机制分析一致,表明企业数字化能够通过知识整合效应对企业的创新产生显著正向影响,进而提升企业的绿色技术创新水平。

## 六、异质性分析

(一)基于企业环保投资水平的异质性。数字技术的应用优化了企业进行绿色创新的技术资源,而企业对于绿色发展的重视程度直接决定了企业是否会进行绿色创新。如果企业投入较多的资金进行环保投资,那么数字化对于企业绿色创新的激励效应会更大,而如果企业不重视绿色发展,即便企业进行数字化,其绿色创新水平也可能没有显著提升。基于此,本文按企业的环保投资水平高低,将企业分为两组并进行分组回归。实证结果见表 7 列(1)和列(2),可以看出,在以环保投资水平高的企业为样本的回归结果中,企业数字化水平的提升能够显著激励企业从事绿色技术创新。而以环保投资水平低的企业为样本的回归结果中,企业数字化水平的提升不能对企业的绿色技术创新水平产生显著的影响。上述结果表明,对于更加重视绿色发展的企业而言,数字化水平的提升更能优化企业的创新技术资源,从而促进企业绿色技术创新水平的提升。

表 7 异质性分析

	(1)环保投资水平高	(2)环保投资水平低	(3)环境规制强	(4)环境规制弱
<i>digit_ratio</i>	0.2208*(1.77)	0.0929(0.90)	0.2182*(1.83)	0.0724(0.80)
控制变量	控制	控制	控制	控制
观测值	1 711	2 921	2 056	2 348
$R^2$	0.4348	0.4248	0.5105	0.5029

(二)基于环境规制强度的异质性。对于所在地区环境规制力度不同的企业而言,企业数字化对其绿色技术创新所产生的激励效应也存在差异。本文按企业所在地区环境规制力度的强弱将上市公司分为两组,通过分组回归的方式对比数字化对不同地区企业绿色技术创新的影响。分组回归结果见表 7 列(3)和列(4)。可以看出,对于所在地区环境规制力度强的企业,数字化对其绿色技术创新的影响更大,而对于所在地区环境规制力度弱的企业,数字化对其绿色技术创新的影响较小。上述实证结果与前文的理论分析一致,即当企业面临的环保压力较大,企业更有激励从事绿色创新活动,数字化对企业产生的绿色创新激励效应也越大。

<sup>①</sup> *IPC* 代码为 B06B1/10 与 B06B3/04 的专利,前四位均为 B06B,因此属于同一知识领域。

## 七、结论与政策建议

绿色技术创新是转变经济发展方式、实现绿色发展的重要动力,在数字经济快速发展的背景下,企业的数字化水平不断提高,研究企业数字化能否促进企业绿色技术创新对于中国经济转型和高质量发展至关重要。本文运用2011—2018年中国重污染行业上市公司微观数据,构造更细化的数字化水平度量指标,在此基础上考察数字化对企业绿色创新的影响及其作用机制。研究发现:①重污染行业企业的数字化能够显著提升企业的绿色技术创新水平,且对于内含创新程度更高的绿色发明专利的促进作用更大。该结论通过 $IV$ 估计、反事实分析、改变估计方法等一系列稳健性检验后依然成立。②机制分析表明,企业数字化主要通过信息共享和知识整合效应从而促进企业绿色创新水平的提升。③异质性分析表明,对于环保投资水平更高以及所在地区环境规制力度更强的企业而言,数字化产生的绿色创新激励效应更大。

本文厘清了企业数字化与绿色技术创新的关系,对于推动中国可持续发展以及企业数字化改革具有重要的政策启示。①政府应加快推广数字技术在企业生产等环节的应用,以数字化赋能企业可持续发展。本文研究表明,数字化能够激励企业进行绿色技术创新,实现企业发展与可持续生产的融合与统一。因此,政府部门应鼓励企业在生产、管理与创新过程中推广云计算和区块链等数据处理技术,落实数字仿真、大数据分析等技术在研发创新和节能减排管理过程中的应用,构建以数字技术为基础的可持续发展研发创新体系,以数字化赋能企业环境治理和绿色生产智慧化。②企业应利用数字化技术加强企业内外部信息共享平台的建设,促进企业信息共享水平的提升。本文研究表明,企业数字化能够通过提升企业信息共享水平,从而促进企业绿色技术创新。因此,企业应在生产制造、能耗管控和供应链等各个环节加强数字技术的应用,依托数字化技术实现企业内外部知识信息的共享,提升绿色技术创新效率,以数字技术助力企业绿色发展。③相关部门应鼓励新型产学研创新开放平台的建设,将企业、高校、科研院所、个人和团体等更多创新主体纳入互联互通的创新生态。本文的研究表明,知识整合在企业技术创新过程中起重要的作用。基于此,相关部门应借助数字技术进一步促进创新组织方式网络化和生态化,促进产学研协作创新。④在数字经济快速发展的背景下,环保部门应积极引导企业依托数字技术开展绿色技术创新。本文研究表明,外部的环境规制等因素会影响企业数字化所产生的绿色创新激励效应。因此,政府可以通过税收和财政补贴等多种激励手段以及颁布标准和相关规范等行政手段,更好地引导并鼓励企业进行环保投资与环境治理。

### 主要参考文献:

- [1]毕克新,王禹涵,杨朝均.创新资源投入对绿色创新系统绿色创新能力的影响——基于制造业FDI流入视角的实证研究[J].中国软科学,2014,(3):153-166.
- [2]傅颖,徐琪,林嵩.在位企业流程数字化对创新绩效的影响——组织惰性的调节作用[J].研究与发展管理,2021,(1):78-89.
- [3]韩孟孟,张三峰,顾晓光.信息共享能提升企业生产率吗?——来自中国制造业企业调查数据的证据[J].产业经济研究,2020,(1):42-56.
- [4]何爱平,安梦天.地方政府竞争、环境规制与绿色发展效率[J].中国人口·资源与环境,2019,(3):21-30.
- [5]李唐,李青,陈楚霞.数据管理能力对企业生产率的影响效应——来自中国企业—劳动力匹配调查的新发现[J].中国工业经济,2020,(6):174-192.
- [6]刘政,姚雨秀,张国胜,等.企业数字化、专用知识与组织授权[J].中国工业经济,2020,(9):156-174.
- [7]彭正银,黄晓芬,隋杰.跨组织联结网络、信息治理能力与创新绩效[J].南开管理评论,2019,(4):187-198.

- [8]祁怀锦,曹修琴,刘艳霞.数字经济对公司治理的影响——基于信息不对称和管理者非理性行为视角[J].改革,2020,(4):50-64.
- [9]戚聿东,肖旭.数字经济时代的企业管理变革[J].管理世界,2020,(6):135-152.
- [10]杨德明,毕建琴.“互联网+”、企业家对外投资与公司估值[J].中国工业经济,2019,(6):136-153.
- [11]杨东,柴慧敏.企业绿色技术创新的驱动因素及其绩效影响研究综述[J].中国人口·资源与环境,2015,(S2):132-136.
- [12]于飞,刘明霞,王凌峰,等.知识耦合对制造企业绿色创新的影响机理——冗余资源的调节作用[J].南开管理评论,2019,(3):54-65.
- [13]袁淳,肖土盛,耿春晓,等.数字化转型与企业分工:专业化还是纵向一体化[J].中国工业经济,2021,(9):137-155.
- [14]张杰,周晓艳,李勇.要素市场扭曲抑制了中国企业 R&D?[J].经济研究,2011,(8):78-91.
- [15]张昕蔚.数字经济条件下的创新模式演化研究[J].经济学家,2019,(7):32-39.
- [16]赵宸宇.数字化发展与服务化转型——来自制造业上市公司的经验证据[J].南开管理评论,2021,(2):149-161.
- [17]赵奎,后青松,李巍.省会城市经济发展的溢出效应——基于工业企业数据的分析[J].经济研究,2021,(3):150-166.
- [18]Biondi V, Iraldo F, Meredith S. Achieving sustainability through environmental innovation: The role of SMEs[J]. International Journal of Technology Management, 2002, 24(5-6): 612-626.
- [19]Brynjolfsson E, Hitt L M. Computing productivity: Firm-level evidence[J]. The Review of Economics and Statistics, 2003, 85(4): 793-808.
- [20]Carr A S, Kaynak H. Communication methods, information sharing, supplier development and performance: An empirical study of their relationships[J]. International Journal of Operations & Production Management, 2007, 27(4): 346-370.
- [21]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.
- [22]Goldfarb A, Tucker C. Digital economics[J]. Journal of Economic Literature, 2019, 57(1): 3-43.
- [23]Kulangara N P, Jackson S A, Prater E. Examining the impact of socialization and information sharing and the mediating effect of trust on innovation capability[J]. International Journal of Operations & Production Management, 2016, 36(11): 1601-1624.
- [24]Lewbel A. Constructing instruments for regressions with measurement error when no additional data are available, with an application to patents and R&D[J]. Econometrica, 1997, 65(5): 1201-1213.
- [25]Lin C, Liu S B, Manso G. Shareholder litigation and corporate innovation[J]. Management Science, 2021, 67(6): 3346-3367.
- [26]Mooi E A, Frambach R T. Encouraging innovation in business relationships: A research note[J]. Journal of Business Research, 2012, 65(7): 1025-1030.
- [27]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, 2021, 32(5): 1007-1022.
- [28]Schoenecker T, Swanson L. Indicators of firm technological capability: Validity and performance implications[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2002, 49(1): 36-44.
- [29]Strambach S. Combining knowledge bases in transnational sustainability innovation: Microdynamics and institutional change[J]. Economic Geography, 2017, 93(5): 500-526.

[30]Subramaniam M, Youndt M A. The influence of intellectual capital on the types of innovative capabilities[J]. *Academy of Management Journal*, 2005, 48(3): 450–463.

## Can Firm Digitalization Promote Green Technological Innovation? An Examination Based on Listed Companies in Heavy Pollution Industries

Song Deyong, Zhu Wenbo, Ding Hai

(School of Economics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Summary:** With the rapid development of the digital economy, whether firm digitalization can promote green technological innovation has attracted considerable attention from the academic in recent years. Nevertheless, in the existing literature, there is no unified standard for measuring firm digitalization and few studies have explored the channels through which firm digitalization affects green technological innovation in depth. In contrast to the existing literature, this paper not only measures firm digitalization employing intangible assets data, but also analyzes the annual reports of listed companies in a more detailed textual way, where we use each firm's digital-related text proportion in the "Performance Review" of "Management Discussion and Analysis" to more accurately measure firm digitalization. This paper also employs online recruitment data to test the constructed indicators above. On this basis, it examines the impact of firm digitization on green technological innovation in heavy pollution industries, and uses patent application data with detailed information to explore and test the microscopic mechanism which is rarely explored in the existing literature.

This study shows that firm digitalization in heavy pollution industries can significantly promote green technological innovation, and this finding still holds significantly after a series of robustness tests. Firm digitalization in heavy pollution industries has a more significant effect on green invention patents with higher originality, while it does not have a significant effect on green utility patents with lower originality. The mechanism analysis shows that firm digitalization primarily promotes green technological innovation by enhancing the information sharing and knowledge integration ability of firms. Heterogeneity analysis shows that the positive effect of digitization on green technological innovation is greater for firms with more environmental investment and stronger environmental regulation in their regions.

The main contributions of this paper are as follows: First, it identifies and empirically examines the micro mechanism through which firm digitalization promotes green technological innovation, and clearly reveals that firm digitalization can promote green technological innovation through improving information sharing and knowledge integration, which expands the existing related research. Second, it examines the relationship between firm digitalization and sustainable development from the perspective of green technological innovation, revealing the path of compatibility between firm digitalization and sustainable development, which helps to provide policy insights for achieving economic green transformation. Third, it analyzes the heterogeneity of firm digitalization affecting green technological innovation based on the characteristics of firms and regions, helping to enrich the related research.

**Key words:** firm digitalization; green technological innovation; knowledge integration; information sharing

(责任编辑 石头)