

数字经济对先进制造业绿色技术创新的影响及其路径

——基于2011—2022年沪深A股上市公司样本的考察

谢宜章, 李标*

(湖南农业大学 商学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 以2011—2022年沪深A股先进制造业上市公司数据为样本, 通过构建系统GMM模型实证检验数字经济对绿色技术创新的影响及其路径。研究发现: 数字经济能够促进先进制造业绿色技术创新, 且资源配置优化和产业结构升级是重要的中介路径; 同时, 环境规制能够发挥显著的正向调节效应; 异质性分析发现, 数字经济仅对非国有、清洁行业、东部地区的先进制造业企业绿色技术创新具备显著的促进作用。因此, 要提高数字基建水平, 优化资源配置与产业结构, 完善环境规制政策, 尊重资源禀赋差异, 以促进先进制造业绿色发展。

关键词: 数字经济; 环境规制; 先进制造业; 绿色技术创新

中图分类号: F49; F424.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2013(2024)05-0096-10

The impact and pathways of digital economy on green technological innovation in advanced manufacturing: An examination based on the sample of A-share listed companies in Shanghai and Shenzhen stock exchanges from 2011 to 2022

XIE Yizhang, LI Biao*

(School of Business, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Using data from Shanghai and Shenzhen A-share listed advanced manufacturing companies from 2011 to 2022 as a sample, this study empirically investigates the impact and pathways of the digital economy on green technological innovation through the construction of a system GMM model. The findings indicate that the digital economy can promote green technological innovation in advanced manufacturing, with resource allocation optimization and industrial structure upgrading serving as important intermediary pathways. Furthermore, environmental regulations exert a significant positive moderating effect. The heterogeneity analysis shows that the digital economy significantly promotes green technological innovation only in advanced manufacturing enterprises of non-state-owned, clean industries and eastern region. Therefore, to foster green development in advanced manufacturing, it is crucial to enhance digital infrastructure, optimize resource allocation and industrial structure, improve environmental regulatory policies, while also respecting the differences in resource endowments.

Keywords: digital economy; environmental regulation; advanced manufacturing; green technological innovation

一、问题的提出

推动绿色发展、促进人与自然和谐共生是“十

收稿日期: 2024-02-28

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(21CJY032); 湖南省教育厅科学研究重点项目(23A0166); 湖南省研究生科研创新项目(QL20230184); 湖南省教育科学规划课题(XJK24BJG001)

作者简介: 谢宜章(1986—), 男, 湖南永州人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为宏观经济管理与可持续发展。

*为通信作者。

四五”规划的重要目标。改革开放以来, 我国经济社会发展突飞猛进, GDP总量跃居世界第二, 我国已然步入“中等强国”行列, 其中制造业的推动作用功不可没。然而, 工业化与城镇化快速发展的背后, “高投入、高能耗、高污染”的发展模式环境成本极高, 资源枯竭、环境污染问题接踵而至, 凸显绿色治理的紧迫性。绿色技术创新, 特别是先进制造业绿色技术创新, 对绿色发展具有重要的示

范效应,是实现经济发展和环境保护“共赢”的重要突破口。在此背景下,数字技术广泛运用所催生的新模式、新业态引领科技革命与产业革命的方向,成为我国经济转型的关键引擎^[1]。推动数字经济与实体经济融合,不仅有助于释放数字红利,促进制造业绿色技术创新,而且能驱动经济高质量发展。

学界关于数字经济与绿色技术创新关系的讨论由来已久,主要以“信息效应”^[2]为基础,认为数字经济能够打破行业间技术壁垒、拓宽信息渠道,给予绿色技术创新强有力的支持^[3,4]。在此基础上,国内外学者开展了一系列实证研究,发现数字经济与提升环境治理效率、推动绿色发展存在直接联系^[5-7]。但也有学者指出数字技术在经济绿色发展中的作用比较有限。如 Avom 等研究发现,ICT 产业的发展对节能减排战略产生了一定的压力^[8]。Stallkamp 等的实证结果也表明,产业数字化非但没有帮助改善环境,反而带来了一定的负向影响^[9]。此外,部分学者发现数字经济与绿色技术创新之间存在非线性关系^[10,11],即两者关系随数字经济发展阶段变化而发生改变。在作用路径方面,大多数研究集中于探讨数字经济通过影响资源配置效率^[12]、产业融合升级^[13]和数字金融^[14]而作用于绿色技术创新的效应。

已有研究对数字经济的绿色技术创新效应进行了大量探讨,为相关领域提供了诸多经验支持并奠定了理论分析的基础,但仍有待进一步完善和拓展。首先,学者们多围绕宏观层面的规模效应展开分析,微观层面的证据较为匮乏,尤其是先进制造业企业的相关研究仍存在较大的发展空间。其次,现有文献往往关注数字经济的单一路径,缺乏对于“数字红利”释放机理的系统考察,未能整体把握数字经济与绿色技术创新的关系。最后,研究数字经济与绿色技术创新的关系容易忽略环境约束这一典型性事实,即环境规制的影响。作为政府的环境治理手段,环境规制既能激励与引导先进制造业企业在技术市场与绿色市场中的生产投资行为,又能约束与规范数字经济发展过程中的环境污染活动,势必影响数字经济对绿色技术创新的作用效果。

基于此,笔者拟运用两步系统 GMM 估计方法,选取 2011—2022 年沪深 A 股相关上市公司的面板

数据,考察数字经济对先进制造业绿色技术创新的影响效应,为推动制造业转型升级、实现经济高质量发展提供启示和借鉴。本文可能的边际贡献在于:在研究对象上,聚焦于先进制造业这一国家战略高地,补充数字经济影响效应的理论及实证研究的不足;在中介路径上,从要素配置优化和产业结构升级两方面探讨数字经济影响先进制造业绿色技术创新的机理;同时,以“有效市场”为逻辑出发点,将“有为政府”纳入分析框架,检验环境规制与数字经济协同促进先进制造业绿色技术创新的效应,进一步扩展现有分析框架。

二、理论分析与研究假设

(一) 数字经济对先进制造业绿色技术创新的影响

近年来,数字经济发展迅速,逐渐向经济社会各个环节渗透,深刻改变了人们的生产生活方式,引发系统性的变革,为经济带来了新的增长点,也为先进制造业绿色技术创新开辟了新的发展路径和可行空间^[15]。一方面,数字经济凭借自身的共享性、分享性等特征,促进不同个体间的信息互通、技术交流与知识扩散,有利于推动创新性思想和科技理念的碰撞,搭建起多元化的思想交流平台,为绿色技术创新活动营造良好的氛围和条件,能够实现不同区域和不同个体之间更好的协同创新^[16],对先进制造业绿色技术创新意愿产生重要的促进作用。另一方面,互联网、云计算、大数据等数字经济形态降低了供给方和需求方之间的信息不对称,从而减少了研发资源的搜寻和匹配成本^[17],能够帮助企业整合研发资源,提高绿色技术创新研发效率。综上,提出如下研究假设:

H₁: 数字经济能促进先进制造业绿色技术创新。

(二) 数字经济影响先进制造业绿色技术创新的路径

Grossman 等研究提出,规模效应、结构效应、技术效应是经济增长与环境保护之间相互影响的底层逻辑^[18]。绿色技术创新是实现经济与环境“双赢”的重要手段,先进制造业企业作为创新主体,其机会感知较为敏锐,在数字经济发展过程中可以充分利用资源配置优化的规模效应与产业结构升

级的结构效应促进绿色技术创新。

1. 资源配置优化

数字经济对生产方式的重塑改变了不同生产要素的地位及组合方式,通过提高信息交换的速度而破除了传统市场上要素流动不畅的弊端[10],进而影响资源配置效率。具体而言,数字技术具备信息检索、统计分析及交易便捷等优势,能够有效解决各生产部门信息碎片化与信息不对称等问题,提高不同部门间的生产协作能力,优化资源配置。此外,在数字经济时代,数据要素是联通生产、研发与销售的桥梁,不仅有助于降低研发成本、缩短创新周期[19],而且能够打破人才、资本及生产要素在属地才能发挥效应的限制[20],提高研发资本、创新人才等要素的匹配效率,有效实现资源整合、配置及转化,促进先进制造业绿色技术创新。由此,提出如下研究假设:

H₂: 数字经济通过优化资源配置效率促进先进制造业绿色技术创新。

2. 产业结构升级

数字经济影响产业结构升级主要体现在两个方面。一是对传统产业生产力的改造,促进产业结构升级;以大数据、人工智能、区块链等新技术为核心的数字经济为产业发展注入新动能,通过资源编排与重构,形成高效、智能的生产模式,实现产业结构向高端制造转型[21];而且,广泛运用数字技术的企业,其生产效率较高,市场表现较好,能够吸引资本市场的关注,稳步提升企业的竞争力,引领实现产业结构跃迁[22]。二是不断衍生新业态,推动产业结构升级。数字经济呈井喷式增长,5G、云计算、工业互联等新型基础设施的快速布局衍生出一系列新业态,催生出诸如智慧车间、智慧中控、智慧财务等新模式,进而不断推动信息部门产业比重的提高,促进产业结构升级[23]。而随着数字化水平不断提升,高效与清洁的生产模式成为趋势,高

耗能、高污染企业由于难以突破桎梏逐步被市场淘汰,倒逼先进制造业企业为维护市场份额而加大研发投入,进而提升绿色技术创新水平[24]。

由此,提出如下研究假设:

H₃: 数字经济通过推动产业结构升级促进先进制造业绿色技术创新。

(三) 环境规制的协同效应

根据经济增长理论,数字要素投入将随着市场规模扩大而增加,由此导致能源需求增加,引发碳排放的“锁定效应”[23]。同时,以市场配置手段为主的数字经济体系存在盲目性、自发性特征,且经济负外部性对企业技术研发的积极性有抑制作用[25],难以将绿色资源有效配置到先进制造业创新活动中,这为环境规制政策提供了施展空间。环境规制既可以通过环保责任、环境标准等强制性监管措施倒逼先进制造业优先选择绿色研发,获得政府合法性认可;也可以利用环境税优惠、环境补贴等激励性手段引导先进制造业加大绿色创新要素及技术投入[26],提高创新效率,满足绿色产品市场需求,获取更大的经济效益。综上所述,提出如下研究假设:

H₄: 环境规制与数字经济协同促进先进制造业绿色技术创新。

理论分析结果表明:数字经济具有规模特征与范围特征,其发展重点主要在于促进要素流动而优化资源配置,这势必会提高企业的研发效率,促使绿色产出增加;同时,数字经济强化了先进制造业企业的市场地位,使先进制造业企业能够获得资本市场的青睐,并挤占“三高”企业发展空间,倒逼先进制造业企业进行产业结构调整与升级;此外,绿色发展过程中,数字化产生的环境污染问题同样不可忽视,且数字经济依靠市场配置资源的手段存在缺陷,环境规制的宏观调节作用举足轻重。本文理论框架如图1所示。

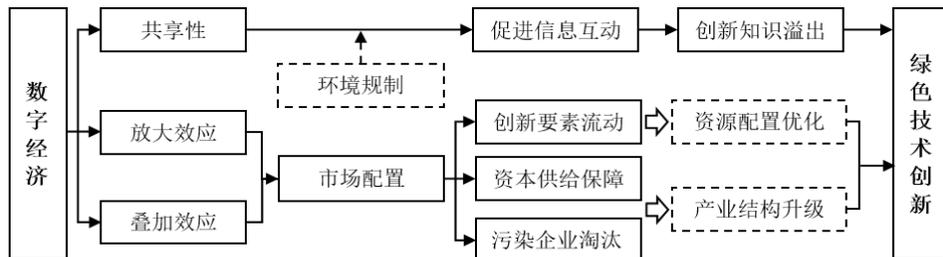


图1 数字经济影响先进制造业绿色技术创新的理论框架

三、研究设计

(一) 模型构建

基于上述分析,本文模型分为两个部分。首先,为考察数字经济对先进制造业绿色技术创新的直接影响,构建计量模型如下:

$$GreT_{ict} = \alpha_0 + \alpha_1 GreT_{ic,t-1} + \alpha_2 Digi_{ct} + \sum X_{ict} + \mu_i + \omega_c + \sigma_t + \varepsilon_{ict} \quad (1)$$

式(1)中: $GreT_{ict}$ 表示绿色技术创新水平,同时引入被解释变量滞后一期 $GreT_{ic,t-1}$ 反映先进制造业绿色技术创新的动态性和延续性; $Digi_{ct}$ 表示数字经济发展水平; $\sum X_{ict}$ 为控制变量; ε_{ict} 为随机误差项。 i 表示先进制造业沪深A股上市企业, c 为所属地级市, t 表示时间。

其次,为检验资源配置优化和产业结构升级的中介路径及环境规制的协同效应,借鉴已有研究的做法^[27],构建如下模型:

$$TFP_{ict} = \beta_0 + \beta_1 TFP_{ic,t-1} + \beta_2 Digi_{ct} + \sum X_{ict} + \mu_i + \omega_c + \sigma_t + \varepsilon_{ict} \quad (2)$$

$$STR_{ct} = \lambda_0 + \lambda_1 STR_{c,t-1} + \lambda_2 Digi_{ct} + \sum X_{ict} + \mu_i + \omega_c + \sigma_t + \varepsilon_{ict} \quad (3)$$

$$GreT_{ict} = \varphi_0 + \varphi_1 GreT_{ic,t-1} + \varphi_2 Digi_{ct} + \varphi_3 ER_{ct} + \varphi_4 Digi_{ct} \times ER_{ct} + \sum X_{ict} + \mu_i + \omega_c + \sigma_t + \varepsilon_{ict} \quad (4)$$

式(2)~(4)中: TFP_{ict} 、 $TFP_{ic,t-1}$ 、 STR_{ct} 、 $STR_{c,t-1}$ 分别表示先进制造业资源配置效率、产业结构升级当期及其滞后一期; ER_{ct} 为环境规制变量;其他变量含义同前。

(二) 变量选取

1. 被解释变量

被解释变量为绿色技术创新($GreT$)。绿色技术创新是通过改善工艺流程、使用替代可再生能源、提高资源综合利用效率等达到节能减排目的的技术创新^[28]。现有绿色技术创新测度与评价主要有数据包络分析(Data Envelope Analysis,简称DEA)^[29]、复合指标评价体系^[30]和单一指标测度等三种方法。考虑到指标构建的要求以及数据可获得性,借鉴徐佳等^[31]的研究,采用上市公司绿色发明专利申请数量占该企业当年申请所有专利的比值衡量先进制造业绿色技术创新。

2. 核心解释变量

核心解释变量为数字经济发展水平($Digi$)。已有文献从省级与地级市层面测算数字经济规模与数字经济发展水平,但尚未有统一标准^[32,33]。考虑到

先进制造业个体的微观特征,为降低变量表征偏差,参考赵涛等^[34]的研究思路,从互联网发展与数字金融发展两个维度出发,构建地级市的数字经济发展水平指标体系(表1),并利用熵权法合成得到最终数据。

表 1 地级市的数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	基础指标(单位)
互联网发展	互联网普及率	百人中互联网宽带接入用户数(户)
	相关从业人员情况	计算机服务和软件从业人员占比(%)
	相关产出情况	人均电信业务总量(元)
	移动电话普及率	每百人移动电话用户数(户)
数字金融发展	数字普惠金融	中国数字普惠金融指数

3. 控制变量

为提高研究结果的可靠性,本文借鉴现有文献的做法^[35,36],控制了一系列随时间变化可能影响先进制造业企业绿色技术创新的变量,具体包括:成立年限($FirmAge$),采用观测年份与公司成立年份之差加1并取自然对数进行度量,不同成立年限的企业其组织决策效率不同,绿色技术创新活动也有所差异;资产规模($Size$),选取企业当年期末总资产的自然对数来表示,资产规模与研发投入紧密相关,对绿色技术创新有直接影响;偿债能力(Lev),选取年末总负债除以期末总资产的比值来衡量,偿债能力反映企业的资本结构,是影响绿色技术创新的重要因素;成长能力($Growth$),采用营业收入增长率进行衡量,成长能力较强的企业其投资门槛较高,影响绿色技术创新活动的外部融资;现金流动比率($Cashflow$),选取企业财报中经营活动产生的现金流净额占总资产的比重进行衡量,现金流动比率是资产利用率的重要表现,对绿色技术创新具有显著影响。

4. 中介变量

一是资源配置优化(TFP)。全要素生产率刻画的是生产活动在一定时间内对于人力、物力、财力等资源开发利用的效率,本质上是一种资源配置效率。因此,借鉴冯自钦等^[37]的研究,选取企业全要素生产率作为资源配置优化的替代变量。

二是产业结构升级(STR)。产业结构升级指产业由低附加值、低技术密集度的低级形态向高附加值、高技术密集度的高级形态转变^[38]。选取各地级市产业结构整体升级指数表征产业结构升级变量,计算公式

为：第一产业增加值占 GDP 比重 $\times 1$ + 第二产业增加值占 GDP 比重 $\times 2$ + 第三产业增加值占 GDP 比重 $\times 3$ 。

5. 调节变量

调节变量为环境规制(ER)。环境规制具有较好的宏观调控功能。参考陈诗一等^[39]的做法, 选用地方政府工作报告中环境相关词频占百分比衡量环境规制强度。

(三) 样本选择与数据来源

目前, 学界关于先进制造业行业划分较为模糊, 参照谢宜章等^[40]的研究, 本文依据 2018 年国家统计局印发的《新产业新业态新商业模式统计分类(2018)》中先进制造业分类, 参照国务院颁布的《中国制造 2025》中提到的重点发展领域行业, 结合《中华人民共和国 2021 年国民经济和社会发展统计公报》和《上市公司管理系统行业分类指引(2012 年修订)》里所列行业, 以现行《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017)为基础, 将先进制造业界定为 10 个行业进行研究^①。以 2011—2022 年沪深 A 股上市公司作为研究样本, 对数据进行手工整理与筛选, 剔除 ST、ST*、PT*类企业样本, 共得到有效样本 10503 个。

数据主要来源于以下四个部分: 结合中国专利数据库和 CNRDS 数据库, 通过手工检索整理补充得到各家上市公司各年的绿色专利申请数据; 数字经济相关指标来自《中国城市统计年鉴》、部分地级市统计年报和 Wind 资讯数据库; 与环境规制相关的环保词汇来自《政府工作报告》; 先进制造业企业层面的控制变量均来自 CSMAR 数据库。各数据库所得变量皆经过 Excel 统一口径处理。对于少数缺失值, 本文采用线性插值法和查找相关统计年报进行补全。

四、实证研究及其结果分析

(一) 基准回归

本文基于 2011—2022 年我国先进制造业企业的面板数据, 构建两步系统 GMM 模型进行回归估计, 估计结果如表 2 所示。滞后一期的绿色技术创新指标与当期指标呈显著正相关, 即证实先进制造业企业绿色技术创新是一个连续累积、动态调整的过程, 有必要保持政策的持续性、连贯性和一致性; 列(1)未加入控制变量, 回归结果可能会产生遗

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>GreT</i>	<i>GreT</i>	<i>GreT</i>	<i>GreT</i>	<i>GreT</i>	<i>GreT</i>
<i>L.GreT</i>	0.075** (0.030)	0.102*** (0.030)	0.088*** (0.029)	0.081*** (0.028)	0.094*** (0.030)	0.095*** (0.030)
<i>Digi</i>	0.021 (0.014)	0.033** (0.014)	0.029** (0.013)	0.027* (0.014)	0.029** (0.014)	0.028** (0.014)
<i>FirmAge</i>		-0.020** (0.009)	-0.027*** (0.009)	-0.030*** (0.009)	-0.032*** (0.009)	-0.031*** (0.009)
<i>Size</i>			0.007*** (0.002)	0.004* (0.002)	0.004* (0.002)	0.004* (0.002)
<i>Lev</i>				0.034*** (0.013)	0.033*** (0.013)	0.037*** (0.013)
<i>Growth</i>					-0.008** (0.003)	-0.008** (0.003)
<i>Cashflow</i>						0.049** (0.024)
<i>Constant</i>	0.034*** (0.007)	0.082*** (0.027)	-0.053 (0.039)	0.016 (0.046)	0.018 (0.047)	0.023 (0.047)
<i>AR(1)</i>	-9.22	-8.94	-9.14	-9.27	-8.99	-8.95
<i>P-value</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>AR(2)</i>	-0.14	0.30	0.09	-0.03	0.18	0.21
<i>P-value</i>	0.889	0.767	0.931	0.972	0.857	0.837
<i>Hansen</i>	76.63	99.62	99.17	91.92	89.45	89.92
<i>P-value</i>	0.153	0.326	0.588	0.483	0.157	0.149

注: 括号中为稳健标准误, **、*、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平。下同。

漏变量等问题；在列（2）至列（6），逐步纳入事先设置好的一系列控制变量。从列（6）的结果可以看出，数字经济对绿色技术创新的估计系数为正，通过了 5% 的显著性水平检验。结果表明，数字经济能够对先进制造业企业绿色技术创新产生显著的促进效应，与前面理论推导的预期结果相吻合。兼具技术属性和经济形态的数字经济向企业生产活动渗透，一方面通过畅通信息渠道、促进绿色技术交流和绿色知识扩散，化解信息不对称问题，降低搜寻成本，有效增强先进制造业绿色技术创新意愿；另一方面借助工业互联网、大数据、区块链等平台，基于数字化、自动化制造设备，数字经济提升了研发效率，能够提高绿色技术创新产出。H₁ 得到验证。

（二）稳健性检验

1. 倾向得分匹配（PSM）

考虑在不同地区数字经济发展水平下，先进制造业企业在企业特质、盈利能力及治理能力等方面存在差异，计量回归的结果可能会因解释变量与控制变量之间的弱相关而缺乏准确性。因此，为进一步减少样本自选择带来的估计偏误，本文以数字经济均值作为分组依据，通过近邻 1:10 匹配方法进行样本平衡性检验（表 3），并对匹配后样本进行回归，结果如表 4 列（1）所示。匹配后的样本偏差在 5% 以内，且 *T* 值不显著，样本平衡性较好；匹配后样本回归结果中，核心解释变量在 5% 的水平上正向显著，说明前文所得结果可靠。

表 3 倾向得分匹配法(PSM)检验结果

变量		平均值		偏差	<i>T</i> 值
		处理组	控制组		
<i>FirmAge</i>	匹配前	2.937	2.832	31.9	16.18***
	匹配后	2.937	2.936	0.3	0.18
<i>Size</i>	匹配前	21.993	21.945	4.2	2.15**
	匹配后	21.993	21.995	-0.2	-0.08
<i>Lev</i>	匹配前	0.399	0.404	-2.6	-1.33
	匹配后	0.399	0.399	0.2	0.11
<i>Growth</i>	匹配前	0.179	0.168	2.8	1.45
	匹配后	0.179	0.182	-0.9	-0.40
<i>Cashflow</i>	匹配前	0.047	0.039	12.7	6.47***
	匹配后	0.047	0.048	-0.5	-0.24

2. 更换测度方法

基准回归中本文解释变量与被解释变量度量方法为熵值法和绿色发明专利占比，而学界存在另

外一种竞争性解释：一是熵值法测算的指标体系中各变量的贡献度不一，指标选取可能存在主观误判的问题；二是先进制造业企业的绿色技术创新水平包含多个方面，绿色实用型专利对于提高其绿色技术创新水平也具有重要影响。在此，本部分利用主成分分析法对数字经济指标重新进行刻画，并选取绿色实用型专利占比替换被解释变量，进而检验回归结果的稳健性。回归结果如表 4 列（2）和列（3）所示，更换测度后的解释变量（*Digi1*）和被解释变量（*GreT1*）的估计结果与基准回归估计结果保持一致，排除了以上竞争性解释的可能性。

3. 剔除直辖市、省会城市样本

互联网的普及使得管理部门享受到“技术红利”，推动提高城市运转效率，同时也可以监督企业生产经营各个环节，并对其提出绿色生产要求和发展战略。然而，各地级市的数字经济发展水平具有明显差异，尤其是直辖市和省会城市作为省级政府税收主要来源，无论是在财政支持还是税收优惠上，其都在重点考虑范围内，因而省会城市的数字经济发展水平往往高于非省会城市。有鉴于此，为验证本文结果的一般性，剔除所在地为直辖市、省会城市的样本，回归结果如表 4 列（4）所示。解释变量保持 5% 的水平正向显著，表明本文结果稳健。

表 4 稳健性检验结果

变量	(1) PSM	(2) 更换因变量	(3) 更换自变量	(4) 剔除部分样本
<i>L.GreT</i>	0.095*** (0.031)		0.088*** (0.029)	0.134*** (0.042)
<i>Digi</i>	0.029** (0.014)	0.062** (0.029)		0.114** (0.054)
<i>L.GreT1</i>		0.171*** (0.036)		
<i>Digi1</i>			0.055** (0.022)	
控制变量	YES	YES	YES	YES
<i>Constant</i>	-0.071 (0.052)	0.200 (1.167)	0.046 (0.118)	0.681 (0.870)
<i>AR(1)</i>	-8.93	-8.43	-9.22	-6.89
<i>P-value</i>	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>AR(2)</i>	0.19	1.07	0.09	0.75
<i>P-value</i>	0.849	0.286	0.925	0.455
<i>Hansen</i>	89.08	73.03	98.11	64.65
<i>P-value</i>	0.164	0.444	0.312	0.384

(三) 作用机制检验

前文就基准回归进行了稳健性检验,结果表明数字经济与先进制造业企业绿色技术创新之间存在稳定的统计关系,可以继续进行二阶段的中介效应检验和协同效应检验。

1. 中介效应检验

表5列(1)、列(2)的回归结果显示,数字经济的估计系数至少在5%的水平上显著为正,表明数字经济可以驱动资源配置优化和产业结构升级。数字经济将强化先进制造业企业发展的内在动力,引导企业关注自动化生产、工业互联网平台、区块链和智慧物流等方面的技术运用,提升资源配置效率,获取持续的经济效益;同时通过人才聚集、信息强化、经济增长效应推动地区产业结构升级,进而促使能源消费结构和市场消费需求向绿色产品转变,刺激企业进行绿色技术创新。综上所述,无论是资源配置优化还是产业结构升级均满足中介效应存在的两个条件,在数字经济促进先进制造业企业绿色技术创新的过程中发挥正向中介效应。 H_2 和 H_3 得到验证。

表5 作用机制检验结果

变量	中介效应		协同效应
	(1)TFP	(2)STR	(3)GreT
L.GreT			0.081*** (0.027)
L.TFP	0.889*** (0.034)		
L.STR		0.613*** (0.098)	
Digi	0.160** (0.081)	0.158*** (0.031)	-0.025 (0.023)
ER			-0.030** (0.012)
Digi×ER			0.077** (0.037)
控制变量	YES	YES	YES
Constant	2.544** (1.267)	0.221 (0.169)	0.340* (0.180)
AR(1)	-5.05	-4.33	-9.15
P-value	0.000	0.000	0.000
AR(2)	-0.44	-0.28	-0.79
P-value	0.661	0.783	0.431
Hansen	8.18	14.44	129.46
P-value	0.225	0.108	0.472

2. 协同效应检验

协同效应回归结果如表5列(3)所示。交互项至少在5%的水平上正向显著,且与基准回归模型中核心解释变量的符号一致,说明环境规制能够协同数字经济对先进制造业企业的绿色技术创新产生推动作用。作为市场配置的有益补充,环境规制的政策属性能够引导人才、技术、资金等要素注入绿色创新领域,有效释放“数字红利”,改善先进制造业企业的资源约束状况,促进其绿色技术创新水平的提高。 H_4 得到验证。

(四) 异质性分析

1. 产权异质性分析

绿色技术创新依赖于企业各种要素资源投入,资金投入始终是企业发展的基础。国有企业具有强大的资源禀赋及资源分配优势^[41],但其组织体系较为固定,政企不分等问题严重,存在制度安排的动力缺陷^[42]。作为地方政府实现政绩的重要工具^[43],国有企业经济效益投资多于环保投资,提升绿色专利质量的意愿不强^[39]。而在非国有企业中,经济正外部性的激励效应进一步加剧市场的竞争,距离技术前沿越近的先进制造业企业,希望尽早实现绿色技术创新突破,以提升自身的盈利能力和竞争力,实现经济与环境的双赢。因此,本文依据企业实际股权控制人界定先进制造业个体的产权性质,将样本划分为非国有企业与国有企业,进行分组回归,结果可见表6列(1)、列(2)。数字经济对国有企业绿色技术创新的估计系数不具备统计显著性,而对非国有企业绿色技术创新的正向作用在5%的水平上显著,与理论预期相符。

2. 行业异质性分析

不同行业、不同领域的企业对资源的吸纳和转化程度不一,先进制造业亦是如此。参照2008年原环保部实施的《上市公司环保核查行业分类管理名录》,根据本文选取行业情况,划定C25石油、煤炭及其他燃料加工业、C26化学原料及化学制品制造业和C27医药制造业为重污染行业,其他则为清洁行业,并进行分组回归,回归结果如表6列(3)、列(4)所示。核心解释变量(Digi)的参数估计仅在清洁行业回归中正向显著,显著性水平为5%,而对重污染行业企业绿色技术创新的正向影响不明显。可能原因在于:重污染行业具有高能耗、高排放、

高污染的特征,进行数字化转型并非易事,在承担高额环境支出的同时,加大数字技术投入较为困难,且短期内通过绿色技术创新获取生态效益难以实现,绿色技术创新意愿较弱,故而数字经济的影响不显著;清洁行业的污染排放强度较低,针对此类的环境支出较少,可以加大在智慧车间改造和工业互联网基础设施建设上的资金、技术及人员投入,进而扩大数字技术的应用范围,更好地服务于绿色技术创新活动。

3. 地区异质性分析

整体上,数字经济促进了先进制造业绿色技术创新,但鉴于地区制度环境及经济发展水平不同,数字经济对绿色技术创新的影响效果可能也有所差异。中西部地区资源禀赋优势较大,但以要素投

入、资源开发和粗加工等产业为主,且数字基础设施建设落后;而东部地区依靠长期发展积累的资金、技术及人才优势,积极培育数字网络生态,能够为企业数字化转型提供更为完善的制度激励。故而,数字经济提升中西部地区先进制造业企业绿色技术创新水平的压力更大且难度更大。基于以上分析,本文依据企业注册所在地省份将样本划分为东部地区和中西部地区^②,并进行实证检验。检验结果如表 6 列(5)、列(6)所示,数字经济促进绿色技术创新的效应在东部省份样本中显著,而在中西部省份中不具备统计显著性,即数字经济能够促进东部省份的先进制造业企业绿色技术创新,而对中西部先进制造业企业绿色技术创新的促进作用不明显。

表 6 面板数据的异质性检验结果

变量	(1) 非国有企业	(2) 国有企业	(3) 清洁行业	(4) 重污染行业	(5) 东部地区	(6) 中西部地区
<i>LGTI</i>	0.093*** (0.030)	0.116** (0.057)	0.088*** (0.030)	0.133** (0.061)	0.105*** (0.032)	0.115** (0.054)
<i>Digi</i>	0.033** (0.015)	0.014 (0.045)	0.034** (0.015)	0.001 (0.070)	0.026 ^c (0.016)	0.026 (0.076)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Constant</i>	-0.040 (0.060)	0.224 (0.851)	0.671 (0.498)	1.207 (0.767)	-0.037 (0.061)	0.230 (0.274)
<i>AR(1)</i>	-7.90	-4.77	-8.00	-4.55	-7.82	-4.92
<i>P-value</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>AR(2)</i>	0.09	0.43	0.39	-0.38	0.11	0.22
<i>P-value</i>	0.930	0.670	0.696	0.705	0.909	0.826
<i>Hansen</i>	90.13	78.35	66.21	75.76	86.50	93.97
<i>P-value</i>	0.278	0.107	0.367	0.130	0.585	0.193

五、结论与政策建议

本文基于 2011—2022 年沪深 A 股上市公司的面板数据,运用两步系统 GMM 模型,使用中介效应、调节效应等前沿计量方法,分析了数字经济对先进制造业绿色技术创新的影响,并进行了稳健性检验、作用机制检验与异质性分析,得出如下结论:数字经济能够显著促进先进制造业绿色技术创新,资源配置优化和产业结构升级是重要的中介路径;环境规制能够协同数字经济发挥对绿色技术创新的促进效应;数字经济对绿色技术创新的正向影响仅在非国有、清洁行业和东部地区的先进制造业企业样本中显著存在。

据此,本文提出如下政策建议:

(1) 提高数字基建水平,促进先进制造业数字化转型。要加强工业互联网的建设,补齐其在应用范围、创新水平与服务质量方面的短板,提升 IT 和 OT 网络的融合度,培育壮大先进制造业企业及运营服务商,切实增强工业互联网的服务及应用能力,进而推动产业实现更快、更好、更有力的发展。

(2) 培育数字共享生态,优化资源配置与产业结构。加快建设数据要素和创新要素共享平台,提高信息部门的地位,打通从上游制造业到中游网络运营、再到下游数据处理中心的全产业链数据通道,打破市场分割与行业垄断造成的信息壁垒,提高资源配置效率,促进一、二、三产业融合升级,释放

数字经济潜能,推动产业向更优形态转型升级。

(3) 发挥制度优势,引导先进制造业绿色发展。政府需做好顶层设计,完善环境规制政策,强化“绿色税制”的激励作用和“碳排放交易”的约束机制,强化非国有企业的社会责任担当,逐步淘汰落后产能与重污染企业,引导资源、技术及政策等要素流向绿色生产领域,助推数字经济有效促进先进制造业绿色技术创新。

(4) 尊重资源禀赋差异,促进先进制造业协同发展。各地应制定差异化发展策略,如东部地区应利用对外开放优势整合与利用国际资源,完善全产业链的数字网络生态,发挥制造业“智造”转型的示范引领作用;中部地区应深化供给侧结构性改革,发挥东西部桥梁作用,充分吸纳创新知识与数字技术;西部地区应抓住“东数西算”机遇,鼓励引导人力资源向新型产业转移,积极促进数字经济的发展壮大,推动实现制造业高质量发展。

注释:

- ① 先进制造业行业界定如下: C25 石油、煤炭及其他燃料加工业, C26 化学原料及化学制品制造业, C27 医药制造业, C34 通用设备制造业, C35 专用设备制造业, C36 汽车制造业, C37 铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业, C38 电气机械和器材制造业, C39 计算机、通信和其他电子设备制造业, C40 仪器仪表制造业。
- ② 东部地区和中西部地区划分如下: 河北省、北京市、天津市、山东省、江苏省、浙江省、上海市、广东省、海南省、福建省为东部地区; 山西省、河南省、湖北省、安徽省、湖南省、江西省、四川省、云南省、贵州省、西藏自治区、重庆市、陕西省、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、广西壮族自治区为中西部地区。

参考文献:

- [1] 韩兆安, 赵景峰, 吴海珍. 中国省际数字经济规模测算、非均衡性与地区差异研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(8): 164-181.
- [2] SIMON H A. Information processing models of cognition [J]. Annual review of psychology, 1979, 30(1): 363-396.
- [3] 杨金玉, 彭秋萍, 葛震霆. 数字化转型的客户传染效应——供应商创新视角[J]. 中国工业经济, 2022(8): 156-174.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 赵云辉, 张哲, 冯泰文, 等. 大数据发展、制度环境与政府治理效率[J]. 管理世界, 2019, 35(11): 119-132.
- [7] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
- [8] AVOM D, NKENGFACK H, FOTIO H K, et al. ICT and environmental quality in Sub-Saharan Africa: Effects and transmission channels[J]. Technological forecasting and social change, 2020, 155: 120028.
- [9] STALLKAMP M, SCHOTTER A P J. Platforms without borders? The international strategies of digital platform firms[J]. Global strategy journal, 2021, 11(1): 58-80.
- [10] 周磊, 龚志民. 数字经济水平对城市绿色高质量发展的提升效应[J]. 经济地理, 2022, 42(11): 133-141.
- [11] 李治国, 李兆哲, 孔维嘉. 数字经济赋能高质量发展过程中的“虹吸集聚”——来自黄河中下游城市层面的经验证据[J]. 经济地理, 2024, 44(1): 45-56.
- [12] 荆文君, 孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展: 一个理论分析框架[J]. 经济学家, 2019(2): 66-73.
- [13] 郭爱君, 张传兵. 数字经济如何影响碳排放强度? ——基于产业结构高级化与合理化的双重视角[J/OL]. 科学学与科学技术管理, 1-28[2024-04-12].
- [14] 王帅龙. 数字经济之于城市碳排放: “加速器”抑或“减速带”? [J]. 中国人口 资源与环境, 2023, 33(6): 11-22.
- [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] 韩先锋, 宋文飞, 李勃昕. 互联网能成为中国区域创新效率提升的新动能吗[J]. 中国工业经济, 2019(7): 119-136.
- [17] 李晓华. 数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制[J]. 改革, 2019(11): 40-51.
- [18] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. The quarterly journal of economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [19] TAN K H, ZHAN Y Z. Improving new product development using big data: A case study of an electronics company[J]. R&D management, 2017, 47(4): 570-582.
- [20] 张梁, 相广平, 马永凡. 数字金融对区域创新差距的影响机理分析[J]. 改革, 2021(5): 88-101.
- [21] 鲁钊阳, 邓琳钰, 黄箫竹, 等. 数字经济促进区域高质量发展的实证研究[J]. 中国软科学, 2023(12): 175-184.
- [22] 王小明, 邵睿, 朱莉芬. 数字经济赋能制造业高质量发展探究[J]. 改革, 2023(3): 148-155.
- [23] 史丹. 数字经济条件下产业发展趋势的演变[J]. 中国工业经济, 2022(11): 26-42.
- [24] 吴传清, 邓明亮. 数字经济发展对中国工业碳生产率的影响研究[J]. 中国软科学, 2023(11): 189-200.
- [25] 谢宜章, 杨帆. 环境规制、研发投入与先进制造业绿色技术创新[J]. 财经理论与实践, 2023, 44(4): 129-136.
- [26] 王定祥, 吴炜华, 李伶俐. 数字经济和实体经济融合发展的模式及机制分析[J]. 改革, 2023(7): 90-104.

- [27] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [28] MENSAH C N, LONG X L, DAUDA L, et al. Technological innovation and green growth in the Organization for Economic Cooperation and Development economies[J]. Journal of cleaner production, 2019, 240(10): 118204.
- [29] 孙燕铭, 谌思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素[J]. 地理研究, 2021, 40(10): 2743-2759.
- [30] GARCÍA-GRANERO E M, PIEDRA-MUÑOZ L, GALDEANO-GÓMEZ E. Eco-innovation measurement: A review of firm performance indicators[J]. Journal of cleaner production, 2018, 191: 304-317.
- [31] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020(12): 178-196.
- [32] 王军, 刘小凤, 朱杰. 数字经济能否推动区域经济高质量发展? [J]. 中国软科学, 2023(1): 206-214.
- [33] 余典范, 龙睿, 王超. 数字经济与边界地区污染治理[J]. 经济研究, 2023, 58(11): 172-189.
- [34] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [35] 金环, 于立宏, 徐远彬. 绿色产业政策与制造业绿色技术创新[J]. 中国人口 资源与环境, 2022, 32(6): 136-146.
- [36] 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, 51(4): 60-73.
- [37] 冯自钦, 张梦维, 丁庭选. 数字经济时代 NGIT 驱动财务共享服务效率的提升机制[J]. 管理科学, 2024, 37(1): 141-158.
- [38] 黄寰, 黄辉, 肖义, 等. 产业结构升级、政府生态环境注意力与绿色创新效率——基于中国 115 个资源型城市的证据[J]. 自然资源学报, 2024, 39(1): 104-124.
- [39] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
- [40] 谢宜章, 王晓玉. 环境分权有利于促进中国先进制造业绿色发展吗?——基于动态空间面板模型的实证检验[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2023, 26(3): 81-91.
- [41] 谢宜章, 唐辛宜, 吴菁琳. 环境信息披露对企业财务绩效的影响——基于沪深 A 股化工行业上市公司的经验分析[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2022, 23(4): 115-124.
- [42] 田利辉, 王可第, 马静, 等. 产融结合对企业创新的影响: 资源协同还是资源诅咒? [J]. 经济学(季刊), 2022, 22(6): 1891-1912.
- [43] 逯东, 孙岩, 周玮, 等. 地方政府政绩诉求、政府控制权与公司价值研究[J]. 经济研究, 2014, 49(1): 56-69.

责任编辑: 曾凡盛

(上接第 66 页)

- [34] 张峰, 战相岑, 殷西乐, 等. 进口竞争、服务型制造与企业绩效[J]. 中国工业经济, 2021(5): 133-151.
- [35] 王馨, 王莹. 绿色信贷政策增进绿色创新研究[J]. 管理世界, 2021, 37(6): 173-188.
- [36] 王岭, 刘相锋, 熊艳. 中央环保督察与空气污染治理——基于地级城市微观面板数据的实证分析[J]. 中国工业经济, 2019(10): 5-22.
- [37] 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.
- [38] 余传鹏, 林春培, 张振刚, 等. 专业化知识搜寻、管理创新与企业绩效: 认知评价的调节作用[J]. 管理世界, 2020, 36(1): 146-166.
- [39] 沈费伟, 陈晓玲. 保持乡村性: 实现数字乡村治理特色的理论阐述[J]. 电子政务, 2021(3): 39-48.
- [40] 杨青, 贾杰斐, 刘进, 等. 农机购置补贴何以影响粮食综合生产能力? ——基于农机社会化服务的视角[J]. 管理世界, 2023, 39(12): 106-123.
- [41] 缪小林, 王婷, 高跃光. 转移支付对城乡公共服务差距的影响——不同经济赶超省份的分组比较[J]. 经济研究, 2017, 52(2): 52-66.
- [42] 何可, 朱信凯, 李凡略. 聚“碳”成“能”: 碳交易政策如何缓解农村能源贫困? [J]. 管理世界, 2023, 39(12): 122-143.
- [43] 孙琳琳, 杨浩, 郑海涛. 土地确权对中国农户资本投资的影响——基于异质性农户模型的微观分析[J]. 经济研究, 2020, 55(11): 156-173.
- [44] 李建伟. 我国劳动力供求格局、技术进步与经济潜在增长率[J]. 管理世界, 2020(4): 96-112.
- [45] 孙学涛, 于婷, 于法稳. 数字普惠金融对农业机械化的影响——来自中国 1869 个县域的证据[J]. 中国农村经济, 2022(2): 76-93.
- [46] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022(6): 61-78.
- [47] 段军山, 庄旭东. 金融投资行为与企业技术创新——动机分析与经验证据[J]. 中国工业经济, 2021(1): 155-173.
- [48] 汪阳洁, 黄浩通, 强宏杰, 等. 交易成本、销售渠道选择与农产品电子商务发展[J]. 经济研究, 2022, 57(8): 116-136.

责任编辑: 黄燕妮