

数字经济对长江经济带制造业绿色转型的影响研究*

陈洁,刘梦真

(重庆工商大学成渝地区双城经济圈建设研究院,重庆 400067)

摘要:长江经济带是我国“T型”增长极核心区域,数字经济优势显著。制造业作为产业之本,在区域经济发展中发挥重要支撑作用。本文基于2010—2022年长江经济带108个城市的面板数据,运用基准模型、中介效应模型和空间杜宾模型,分析长江经济带数字经济与制造业绿色转型两者间的内在联系。研究发现,数字经济以及分指数可以推动长江经济带制造业绿色转型;数字经济主要通过促进产业结构升级、提升能源利用效率和推动技术创新三种渠道,促进长江经济带制造业绿色转型;长江经济带数字经济以及分指数对制造业绿色转型具有显著的空间溢出效应。研究结论对于长江经济带进一步释放数字红利和优化数字经济空间布局,推动绿色产业集聚具有一定借鉴价值。

关键词:长江经济带;数字经济;制造业绿色转型;空间溢出效应

中图分类号:F752

文献标志码:A

文章编号:1672-0598(2026)03-0024-16

一、引言与文献综述

我国经济已进入高质量发展关键期,制造业新动能是推动这一进程的主引擎。党的二十大报告明确提出,要加快数字经济发展,推动制造业绿色转型。作为全国经济的重要支撑,长江经济带制造业发挥了核心作用,但仍处于全球价值链低端,面临环境污染和生态破坏等问题。为实现生态与经济双赢,必须加快结构升级、技术创新与发展模式优化,推动制造业绿色转型,促进质的有效提升和量的合理增长。在此背景下,新一代信息技术正加速赋能数字经济,为提升制造业绿色全要素生产率带来新的契机。

* 收稿日期:2025-03-18

基金项目:重庆市社会科学规划一般项目(2023NDYB48)“绿色金融赋能成渝地区双城经济圈制造业转型升级的机理与路径研究”;重庆市教育科学规划课题(K24YG2080338)“西部金融中心建设背景下绿色金融支持与重庆市高校人才培养模式研究”;重庆市教委人文社科项目(24SKGH139)“成渝地区双城经济圈数字基础设施建设对制造业转型升级影响研究”

作者简介:陈洁(1983—),女,重庆渝中人;经济学博士,重庆工商大学成渝地区双城经济圈建设研究院助理研究员,主要从事区域创新与高质量发展、应用社会学研究。

刘梦真(2000—),女,湖北随州人;重庆工商大学成渝地区双城经济圈建设研究院硕士研究生,主要从事国民经济宏观运行与调控研究。

本文引用格式:陈洁,刘梦真.数字经济对长江经济带制造业绿色转型的影响研究[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2026,43(3):24-39.

现有文献主要从制造业绿色发展与绿色全要素生产率两个维度研究数字经济与制造业绿色转型之间的关系。从制造业绿色转型视角看,数字经济的驱动作用贯穿产品设计、生产、使用、回收及供应链全链条^[1],通过促进上游要素绿色化、中游能源效率提升及下游循环消费,助力制造业绿色发展^[2]。数字技术依托数据要素边际效益递增,对绿色转型具有长期效应^[3],但存在门槛特征^[4]及空间溢出效应^[5]。从制造业绿色全要素生产率视角看,数字经济主要通过促进技术进步与改善技术效率提升绿色全要素生产率^[6]，“数字红利”随着数字经济发展水平提升而愈发突出^[7]。数字经济可通过技术创新、市场化水平提升、产业结构升级及数字化人力资本积累等渠道发挥作用,但产业结构高级化尚未呈现正向强化效应^[8]。

现有研究多关注数字经济影响制造业绿色转型的因果效应,较少从产业结构升级、能源效率提升和技术创新三个维度探究其作用机制,更鲜有从新经济地理视角分析其空间溢出效应。本文的边际贡献如下:第一,以绿色全要素生产率为切入点,系统考察数字经济对长江经济带制造业绿色转型的影响,阐释制造业绿色转型与绿色全要素生产率的内在关联,明确提升绿色全要素生产率对推动绿色转型的关键作用。第二,将产业结构升级、能源效率提升和技术创新纳入统一分析框架,以提升绿色全要素生产率为导向,揭示数字经济通过三条路径协同驱动制造业绿色转型的传导机制。第三,引入新经济地理视角,分析数字经济对制造业绿色转型的空间溢出效应,为长江经济带制造业绿色转型提供新的理论依据与实践思路。

二、理论分析与研究假设

(一)数字经济对制造业绿色转型的影响效应分析

1. 数字发展环境对制造业绿色转型的影响效应

数字发展环境主要通过数字基础设施与政策环境驱动制造业绿色转型。数字基础设施具有平台支撑作用。一方面,其网络效应使数据价值呈几何级增长,为数据要素流通提供低成本、高效率的传播渠道,有助于实现边际报酬递增与规模经济^[9]。另一方面,凭借高渗透性,数字基础设施得以融入制造业全环节,为绿色转型提供技术支撑^[10]。数字政策环境则依托“政府—社会—公众”一体化平台,通过强制披露企业污染物排放数据、强化监测力度,有效遏制“偷排多排”等搭便车行为,倒逼企业节能减排。同时,数字化治理推动“命令式”与“奖励式”环境规制协同发力,强化政府生态监管职能,引导制造业向低碳高附加值方向升级。

2. 数字产业化对制造业绿色转型的影响效应

数字产业化的本质是挖掘并持续释放数据价值的动态过程。数字产业化对制造业绿色转型存在产业替代效应和产业关联效应。产业替代效应体现在数字经济催生新兴产业(如ICT产业),其产品种类丰富且成本较低,对传统制造业产品形成替代或升级,并不断渗透传统产业,形成数字生态^[11],进而促进制造业绿色转型。数字产业化的关联效应主要在于制造业上游供货商和下游需求商的绿色转型,上游企业基于产品生产需求,实现有效供给,推进企业资源高效配置^[12],下游企业根据数据分析进行科学决策,减少信息不对称,实现线上线下双管齐下,降低环境成本,进而促进制造业绿色发展。

3. 数字融合应用对制造业绿色转型的影响效应

数据要素与传统生产要素融合,实现增加产出、促进技术进步和优化资源配置。制造业中高污染行业通过“互联网+”实现技术飞跃式进步,降低能耗和减少污染物排放,进而推动制造业绿色转型。网络技术催生的数据管理平台具备数据提取、智能分析、质量检测等功能,推动供给者单边生产模式转向供需双向决定模式,促进制造业生产智能化与产品个性化设计,丰富产品种类,满足多样化需求,实现供需交

易双方“去中介化”,降低生产成本和交易成本,提高资源配置效率,推动绿色生产和交易^[13]。基于以上分析,提出以下假设:

H1:数字经济发展(数字发展环境、数字产业化、数字融合应用)对长江经济带制造业绿色转型具有促进作用。

(二)数字经济影响制造业绿色转型的作用机制分析

1. 基于产业结构升级视角

从产业结构合理化看,数字经济能够优化要素配置,提升供需匹配精度。一方面,大数据、区块链与互联网平台加速要素集聚,推动产业部门数字化治理,减少信息不对称,促进上中下游协同生产,实现要素资源优化配置^[14-15]。另一方面,数据要素与传统生产要素深度融合,改变要素投入比例,提高利用效率,进一步强化结构合理化水平^[16]。从产业结构高级化看,数字化产品兼具低成本与绿色清洁优势,同时,数字经济与传统产业深度融合,延伸产业链条、拓展产业功能,成为结构升级的重要路径^[17]。

产业结构升级的演化趋势之一为产业生态化,进而推动制造业绿色转型。产业生态化推动资源节约型技术研发与绿色产业体系建设,引导制造业围绕生态标准进行生产力布局,从生产源头减少能源投入与污染排放^[18]。与此同时,产业结构高级化进程中逐步淘汰高污染、高能耗、低附加值产业,倒逼制造业企业转变要素投入结构^[19]。基于以上分析,提出以下假设:

H2:长江经济带数字经济发展通过促进产业结构升级(产业结构高级化、产业结构合理化)推动制造业绿色转型。

2. 基于能源利用效率视角

数字经济通过替代效应与渗透效应推动能源结构优化,助力制造业绿色转型。在替代效应方面,数字产品应用于能源领域,替代高污染、不可再生能源,增加清洁能源投入,推动能源绿色供给^{[20][21]}。在渗透效应方面,数字技术提升传统设备能源利用率,改善能源结构^[22],同时促进要素协同与供需平衡,优化生产工艺,减少能源消耗过程中的污染物排放,进而提高能源利用效率^[23]。

制造业绿色转型的关键目标是实现低能耗、低排放与高增长,能源高效利用促进制造业绿色转型的影响主要在于改变能源使用种类和减少污染物排放,增加同等能源投入下的经济产出,提高能源投入产出比。提高能源利用效率是从制造业生产过程中减少不可再生能源的使用,充分运用清洁能源,同时减少污染物排放,进而促进制造业绿色转型。基于以上分析,提出以下假设:

H3:长江经济带数字经济发展通过提高能源利用效率推动制造业绿色转型。

3. 基于技术创新视角

数字经济的蓬勃发展提升了区域内的生产效率,降低了运营成本,减少了资源消耗,还催生了一系列技术革新^[24]。究其原因,数字经济有效平衡了资源环境与经济增长的关系,而技术创新是其核心驱动力。数字经济对经济体的技术创新产生了直接的提升作用,即数字经济的“直接效应”。数字经济通过优化人力资本结构^[25],提高了整体的研发效率,从而推动技术创新,即数字经济的“间接效应”。在数字经济的推动下,数字融合应用加速推进技术创新的需求增加和技术创新效率提升^[26]。

技术创新加速了供求信息的传播,降低了企业信息成本,提高了交易效率。高新技术融入传统的生产要素,通过知识溢出效应,提升了制造业从业者专业水平,推动了制造业向高效发展模式转变^[27],进行智能化、数字化和高级化的改造,降低能源使用成本,从而提高整个行业的综合生产效率^[28],加快绿色制造的发展步伐。基于以上分析,提出以下假设:

H4:长江经济带数字经济发展通过促进技术创新推动制造业绿色转型。

(三) 数字经济影响制造业绿色转型的空间溢出效应

长江经济带数字经济对制造业绿色转型主要在技术溢出、知识溢出和要素配置等方面存在空间溢出效应。首先,长江经济带的数字企业和平台以人工智能技术为基础,通过技术溢出的方式,推动了长江经济带制造业绿色转型进程。其次,伴随着数字经济的发展,数字企业、创业团队和专业人才不断涌现,在长江经济带内的数字经济生态系统中形成了一个知识共享的环境^[29],推动了绿色技术和管理的传播和应用。此外,数据要素具有外部性、低成本复制、非排他性、即时性的特征,能减少信息不对称,促进制造业资源高效配置^[30],提升了周边地区制造业的绿色发展水平,也促进了整个长江经济带的可持续发展。基于以上分析,提出以下假设:

H5:长江经济带数字经济发展对制造业绿色转型具有空间溢出效应。

三、研究设计

(一) 模型构建

1. 基准回归模型

本文采用双固定效应模型考察长江经济带数字经济及其分指数对制造业绿色转型的影响效应,以制造业绿色全要素生产率($GTFP$)作为制造业绿色转型的替代变量。构建具体计量模型如下:

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $GTFP_{it}$ 表示 t 城市第 i 年的制造业绿色全要素生产率水平; D 包含数字经济发展指数(DE_{it})以及数字发展环境指数($DEVE_{it}$)、数字产业化指数(DI_{it})和数字融合应用指数(DF_{it}),分别表示 t 城市第 i 年的数字经济发展指数; X 为本文的控制变量; β_1 为长江经济带数字经济对制造业绿色全要素生产率的估计系数值,是本文主要关注的系数, β_2 为控制变量对制造业绿色全要素生产率的影响系数; μ_i 和 η_t 分别表示模型的城市固定效应和时间固定效应; ε_{it} 为模型的随机扰动项。

2. 中介效应模型

本文参考江艇(2022)的做法^[31],只考察自变量与中介变量的关系,克服传统中介效应的缺陷,以制造业绿色全要素生产率($GTFP$)作为制造业绿色转型的替换,具体计量模型如下:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, M 为中介变量,主要包括产业结构高级化(TS)、产业结构合理化(TL)、能源利用效率(EU)和技术创新($TECH$)。其余变量同式(1)。

3. 空间计量模型

本文选用空间杜宾模型(SDM)评估长江经济带数字经济影响制造业绿色转型的空间溢出效应,具体计量模型如下:

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \rho W_n GTFP_{it} + \beta_1 DE_{it} + \alpha_1 W_n DE_{it} + \beta_2 X_{it} + \alpha_2 W_n X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $\beta_n(n=1,2)$ 为数字经济和控制变量对制造业绿色全要素生产率的估计系数值; $\alpha_n(n=1,2)$ 为数字经济和控制变量对制造业 $GTFP$ 的空间滞后系数; ρ 为空间自回归系数; W 为空间权重矩阵。其余变量同式(1)。

(二) 变量说明

1. 被解释变量

本文选用制造业绿色全要素生产率衡量制造业绿色转型^[32-33],采用 SBM-GML 指数法测算。为了更加准确地描述绿色全要素生产率,采用绿色全要素生产率的累乘值^{[34][35]},其投入和产出指标包括投入、期望产出、非期望产出。表 1 为制造业绿色全要素生产率的具体指标。

表 1 长江经济带制造业绿色全要素生产率测度指标

变量维度	变量名称	单位	
投入	资本投入:各市辖区规模以上工业企业的流动资产和固定资产净值	元	X1
	劳动力投入:各市辖区工业部门的员工人数	人	X2
	能源投入:各地级及以上城市市辖区的工业用电总量	千瓦时	X3
期望产出	城市市辖区规模以上工业总产值	元	Y
非期望产出	工业废水排放量	吨	B1
	工业二氧化硫排放量	吨	B2
	工业烟尘排放量	吨	B3

2. 解释变量

围绕数字经济发展的核心内容,运用数字发展环境、数字产业化、数字融合应用 3 个维度共计 20 个指标(如表 2 所示),评估数字经济发展程度^[36-39]。

表 2 数字经济指标体系

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
数字经济 发展指数	数字发展环境	数字基础设施	光纤长度
			互联网宽带接入用户普及率
			移动互联网用户普及率
	创新驱动环境	政策环境	移动电话基站数
			电子信息产业固定资产投资占 GDP 比重
			每万人数字经济相关发明专利授权数量
	数字产业化	软件信息服务业发展水平	每万人高等院校学生在校人数
			政府工作报告中“数字经济”的相关词频率
		硬件设备制造业发展水平	ICT 投资占全社会固定资产投资总投资的比重
			政府数字化治理群众参与度
数字融合应用	第二产业数字化转型	软件信息服务业增加值占 GDP 的比重	
		软件信息服务业从业人员数量	
	第三产业数字化转型	硬件设备制造业增加值占 GDP 的比重	
		电信产业增加值占 GDP 的比重	
		城市工业机器人安装密度	
		工业企业电子商务交易额/工业企业产品销售收入	
		工业应用互联网比重	
		互联网产业主营业务收入*工业产值比重/工业企业产品销售收入	
		电子商务交易额占 GDP 比重	
		数字普惠金融指数	

3. 中介变量

(1) 产业结构升级。通过计算制造业在第三产业与第二产业产值比率的方式^[40],来量化产业结构的高级化进程(*TS*),采用泰尔指数衡量产业结构合理化(*TL*)。

(2) 能源利用效率(*EU*)。采用长江经济带地级市单位 GDP 能耗衡量能源利用效率^[41-42]。

(3) 技术创新(*TECH*)。采用长江经济带地级市发明专利授权量作为技术创新的代理变量^[43],并取对数处理。

4. 控制变量

本文选取经济发展水平(*pgdp*)、对外开放程度(*fdi*)、金融发展水平(*fin*)、科技教育水平(*edu*)、城镇化水平(*urb*)、政府干预程度(*gov*)、社会消费水平(*scu*)作为控制变量^{[44][45]}。具体变量定义如表3所示。

表3 变量定义

变量分类	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	制造业绿色全要素生产率	<i>GTFP</i>	SBM-GML 指数法
	数字经济	<i>DE</i>	
解释变量	数字发展环境	<i>DEVE</i>	熵权法赋权得到的综合指数
	数字产业化	<i>DI</i>	
	数字融合应用	<i>DF</i>	
中介变量	产业高级化	<i>TS</i>	第三产业与第二产业产值比率
	产业合理化	<i>TL</i>	泰尔指数
	能源利用效率	<i>EU</i>	长江经济带地级市单位 GDP 能耗(吨标准煤/万元)
	技术创新	<i>TECH</i>	发明专利授权量,并取对数处理
	经济发展水平	<i>pgdp</i>	人均 GDP
控制变量	对外开放程度	<i>fdi</i>	外商直接投资实际使用金额占地区生产总值比重
	金融发展水平	<i>fin</i>	年末贷款余额占地区生产总值比重
	科技教育水平	<i>edu</i>	教育支出和科技支出占地方财政一般预算内支出比重
	城镇化水平	<i>urb</i>	各地级市年末城镇常住人口与总人口之比
	政府干预程度	<i>gov</i>	各地级市财政支出占同期 GDP 的比重
	社会消费水平	<i>scu</i>	社会零售品销售总额占 GDP 的比重

(三) 数据来源与说明

本文选取 2010—2022 年长江经济带 108 个地级市作为样本,样本数据主要来源于《中国城市统计年鉴》和 EPS 等数据库的官方统计数据。相关变量的描述性统计见表 4。

表4 变量的描述性统计

变量名称	符号	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
绿色全要素生产率	<i>GTFP</i>	1 404	0.955	0.068	0.693	1.395
数字经济发展指数	<i>DE</i>	1 404	0.070	0.062	0.011	0.956
数字发展环境	<i>DEVE</i>	1 404	0.152	0.085	0.008	0.712
数字产业化	<i>DI</i>	1 404	0.078	0.065	0.006	0.511
数字融合应用	<i>DF</i>	1 404	0.298	0.139	0.016	0.963

续表4

变量名称	符号	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
产业结构高级化	<i>TS</i>	1 404	0.971	0.455	0.272	5.697
产业结构合理化	<i>TL</i>	1 404	0.037	0.024	0.001	0.430
能源利用效率	<i>EU</i>	1 404	0.072	0.051	0.009	0.657
技术创新	<i>TECH</i>	1 404	5.371	1.932	0	10.708
经济发展水平	<i>pgdp</i>	1 404	5.666	3.538	0.719	20.898
对外开放程度	<i>fdi</i>	1 404	0.019	0.018	0.003	0.093
金融发展水平	<i>fin</i>	1 404	1.535	0.255	0.311	2.530
科技教育水平	<i>edu</i>	1 404	0.195	0.035	0.054	0.334
城镇化水平	<i>urb</i>	1 404	0.275	0.141	0.057	0.903
财政支出水平	<i>gov</i>	1 404	0.191	0.083	0.054	0.688
社会消费水平	<i>scu</i>	1 404	0.004	0.005	0.001	0.042

四、实证结果与分析

(一) 基准模型回归结果分析

本文根据 Hausman 检验结果,采用时间、城市双固定效应估计模型进行回归,具体回归结果见表 5 第(1)—(5)列。第(1)列结果未加入控制变量,其中 *DE* 的系数为 0.228,而当引入控制变量后的第(2)列结果中,*DE* 的系数为 0.150,在 1%和 5%的水平下显著为正,表明数字经济发展指数(*DE*)与制造业绿色全要素生产率(*GTFP*)之间存在正向关联,结论支持了假设 H1,即长江经济带数字经济对制造业绿色转型具有促进作用。由表 5 第(3)—(5)列可知,*DEVE*、*DI* 和 *DF* 的估计系数均显著为正,说明数字发展环境、数字产业化和数字融合应用对制造业绿色转型的促进效应显著,结果进一步验证了假设 H1。

表 5 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>DE</i>	0.228*** (5.05)	0.150** (3.10)			
<i>DEVE</i>			0.002*** (2.71)		
<i>DI</i>				0.095** (2.47)	
<i>DF</i>					0.005*** (3.08)
<i>pgdp</i>		-0.035** (-2.45)	-0.035** (-2.47)	-0.041*** (-2.91)	-0.035** (-2.46)
<i>fdi</i>		-0.010*** (-4.97)	-0.010*** (-4.31)	-0.010*** (-4.94)	-0.010*** (-4.02)
<i>fin</i>		-0.032** (-3.11)	-0.031*** (-3.01)	-0.035** (-3.39)	-0.033*** (-3.25)

续表5

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>edu</i>		0.060 (0.80)	0.061 (0.82)	0.097 (1.31)	0.089 (1.21)
<i>urb</i>		0.023*** (4.78)	0.022*** (4.08)	0.019*** (4.95)	0.024*** (4.18)
<i>gov</i>		0.018** (2.39)	0.023** (2.51)	0.028** (2.60)	0.038*** (2.83)
<i>scu</i>		4.747*** (3.88)	4.084*** (4.08)	4.869*** (5.70)	4.895*** (5.74)
常数项	0.947*** (168.660)	1.964*** (10.96)	1.961*** (10.90)	2.079*** (11.56)	1.966*** (10.97)
时间效应	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是
观测值	1 404	1 404	1 404	1 404	1 404
R ²	0.544 8	0.440 7	0.445 3	0.452 4	0.440 7

注: *、**、***分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平;括号内数值为 *t* 值。

(二) 稳健性检验

1. 替换解释变量

本文采用互联网综合发展指数(*INT*)^[46]替换数字经济发展指数(*DE*)。表6第(1)列结果显示,*INT*的估计系数为0.345,在5%的水平下显著为正,说明本文的基准回归结果具有稳健性。

2. 替换被解释变量

本文将被解释变量替换为二氧化碳排放量与GDP的比值^[47],结果见表6第(2)列,数字经济发展指数(*DE*)为-0.001,在1%的水平下显著为负,说明本文的基准回归结果具有稳健性。

3. 剔除直辖市

考虑到直辖市的经济发展水平以及数字经济发展与非直辖市的地级市存在较大差异^[48],将长江经济带中的上海、重庆两个直辖市剔除,重新放入模型(1)中进行回归,估计结果见表6第(3)列,系数估计值为0.152,说明剔除直辖市之后本文的基准回归结果具有稳健性。

表6 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4) 内生性检验		(5)
	替换解释变量	替换被解释变量	剔除直辖市	一阶段	两阶段	
	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	<i>DE</i>	<i>GTFP</i>	
<i>DE</i> (<i>INT</i>)	0.345** (2.01)	-0.001*** (-5.68)	0.152*** (4.03)			1.489*** (4.94)
<i>IV</i>				0.017*** (11.53)		
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制

续表6

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	替换解释变量	替换被解释变量	剔除直辖市	内生性检验	
	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	一阶段	两阶段
	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	<i>GTFP</i>	<i>DE</i>	<i>GTFP</i>
常数项	1.991*** (11.11)	1.061*** (8.99)	1.987*** (11.26)	0.161*** (2.61)	1.597*** (9.24)
时间效应	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是
观测值	1 404	1 404	1 378	1 404	1 404
R^2	0.449 2	0.618 8	0.465 9	0.483 3	0.537 1
弱识别检验					40.712 [16.38]

注：*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；括号内数值为 t 值。括号中无内容的值为 Stock-Yogo 弱识别检验在 10%水平上的临界值。下同。

4. 内生性检验

鉴于数字经济与制造业绿色转型之间可能存在双向影响,以及模型中可能忽略了某些关键因素,导致内生性偏差,本文采用工具变量方法进行内生性检验。选取 1984 年每百万人邮局数量与前一年电信业务从业人员占比相乘^[49],构建了工具变量(IV)。表 6 第(4)列报告了第一阶段的回归结果,显示工具变量与数字经济之间存在直接的正向关联。第(5)列是第二阶段的回归结果,系数同样在 1%的水平下显著为正,并且 Cragg-Donald Wald F 统计值为 40.712,远大于临界值 16.38,这表明所选的工具变量成功地通过了弱识别检验,并不存在弱工具变量的问题。

(三)分位数回归

上述基准回归结果主要报告了数字经济在均值期间对制造业绿色转型的影响,为全面分析数字经济对其条件分布的影响,准确评价其尾部特征,本文采用分位数回归模型进行回归,分别估计在 0.10、0.25、0.50、0.75 和 0.90 这 5 个分位点上数字经济对制造业绿色全要素生产率的非线性影响,若各分位点回归系数存在差异,则表明数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响具有异质性,系数越大则影响越强。

表 7 的(1)–(5)列展示了分位数回归结果。结果显示,在 0.10、0.25、0.50、0.75、0.90 分位点上,数字经济回归系数至少通过了 10%的显著性水平,数字发展环境、数字产业化和数字融合应用的系数值同样表明数字经济对制造业绿色转型具有不同分位的正向影响。

结果表明,数字经济的促进作用在制造业绿色全要素生产率水平中等时最强,在较低或较高水平时相对减弱。因此,为最大化政策效能,应将制造业绿色转型保持在合理水平。

表 7 分位数回归结果

变量	<i>GTFP</i>				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	0.10 分位点	0.25 分位点	0.50 分位点	0.75 分位点	0.90 分位点
<i>DE</i>	0.086** (2.02)	0.079*** (2.77)	0.034*** (2.81)	0.252*** (2.95)	0.113* (1.84)

续表7

变量	GTFP				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	0.10分位点	0.25分位点	0.50分位点	0.75分位点	0.90分位点
<i>DEVE</i>	0.001*** (3.46)	0.001** (2.47)	0.002*** (3.21)	0.005*** (3.90)	0.005*** (5.41)
<i>DI</i>	0.154*** (4.81)	0.113*** (4.98)	0.055*** (5.75)	0.017*** (3.92)	0.175*** (4.74)
<i>DF</i>	0.003*** (3.13)	0.002*** (3.07)	0.001** (2.17)	0.001*** (4.41)	0.002*** (5.34)
控制变量	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是	是
观测值	1 404	1 404	1 404	1 404	1 404

(四) 作用机制检验分析

表8第(1)列中 *DE* 的估计系数值为0.613,在1%的水平下显著为正,表明数字经济的发展能够促进长江经济带产业结构高级化。第(2)列 *DE* 的估算系数为-0.013,表明数字经济具备缓和产业结构扭曲的能力,驱动产业结构趋向合理布局。由此可得,推动产业结构升级是数字经济促进长江经济带制造业绿色转型的关键路径之一,实证结果验证了假设 H2。第(3)列 *DE* 的估计系数值为-0.860,且在1%的水平下显著为负,这表明发展数字经济能够有效地削减每一单位 GDP 对应的能耗水平。由此可见,数字经济的发展能够提高长江经济带能源利用效率,进而促进制造业绿色转型,验证了研究假设 H3。第(4)列 *DE* 的估计系数值为0.382,在1%的水平下显著为正,表明在长江经济带中,技术创新是数字经济促进制造业绿色转型的关键途径之一,验证了研究假设 H4。

表8 作用机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>TS</i>	<i>TL</i>	<i>EU</i>	<i>TECH</i>
<i>DE</i>	0.613*** (3.83)	-0.013** (-2.57)	-0.860*** (-4.55)	0.382*** (3.43)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	3.648*** (6.17)	-0.645* (-1.97)	-0.238** (-3.64)	5.665** (2.88)
时间效应	是	是	是	是
城市效应	是	是	是	是
观测值	1 404	1 404	1 404	1 404
R^2	0.670 9	0.547 3	0.618 4	0.672 6

(五) 空间溢出效应

由于数字经济发展打破了时空限制,缩短了时间与空间的距离,极大地提高信息传播速度和准确性,减少信息不对称,从而增强区域内经济活动的关联度。本文通过构建经济距离空间权重矩阵,进行空间自相关性检验,以此开展空间效应分析。

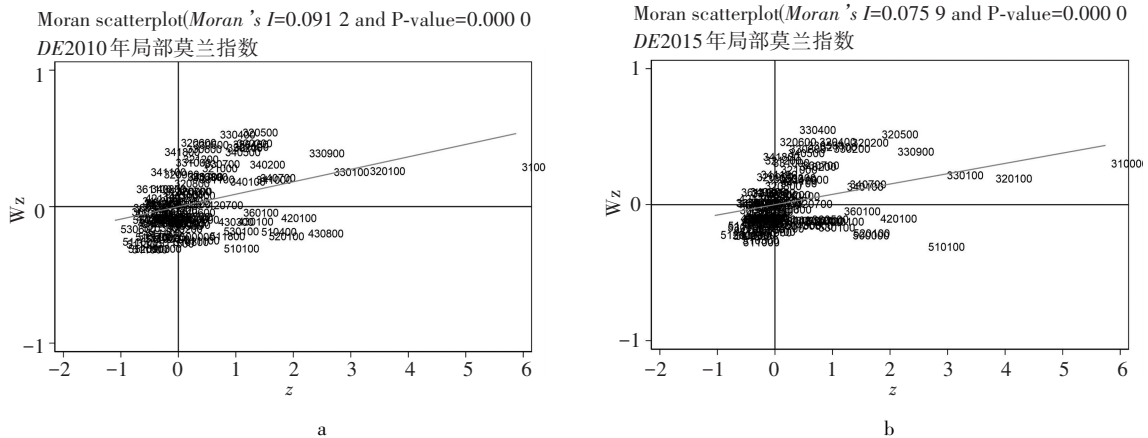
1. 空间自相关检验

由表 9 可以发现,数字经济发展指数(*DE*)和制造业绿色全要素生产率(*GTFP*)的莫兰指数(*Moran's I*)整体上均在 1%的水平上显著为正,这表明长江经济带数字经济发展与制造业绿色转型呈现出空间聚集的特性。

表 9 空间相关性检验结果

年份	<i>DE</i>		<i>GTFP</i>	
	<i>Moran's I</i>	Z 值	<i>Moran's I</i>	Z 值
2010	0.091***	8.622	0.014	0.375
2011	0.111***	10.019	0.281***	23.493
2012	0.084***	7.799	0.375***	31.100
2013	0.059***	6.450	0.098***	8.690
2014	0.075***	7.347	0.333***	28.583
2015	0.076***	7.316	0.370***	30.753
2016	0.066***	6.453	0.461***	38.019
2017	0.065***	6.368	0.147***	12.729
2018	0.056***	5.612	0.440***	36.339
2019	0.051***	5.217	0.453***	37.323
2020	0.052***	5.435	0.231***	19.560
2021	0.042***	4.684	0.299***	25.399
2022	0.036***	4.081	0.278***	23.398

空间全局相关性分析关注整个研究区域内的空间分布格局,但忽略了个别地区的独特空间特征。为了弥补这一不足,本文引入了局部空间相关性分析。从图 1 可以看出,数字经济发展指数(*DE*)的 2010 年、2015 年和 2022 年莫兰指数(*Moran's I*)均在 1%的水平上显著为正,存在空间自相关性。*GTFP* 的 2010 年 *Moran's I* 并不显著,但 2015 年和 2022 年 *Moran's I* 均在 1%的水平上显著为正。



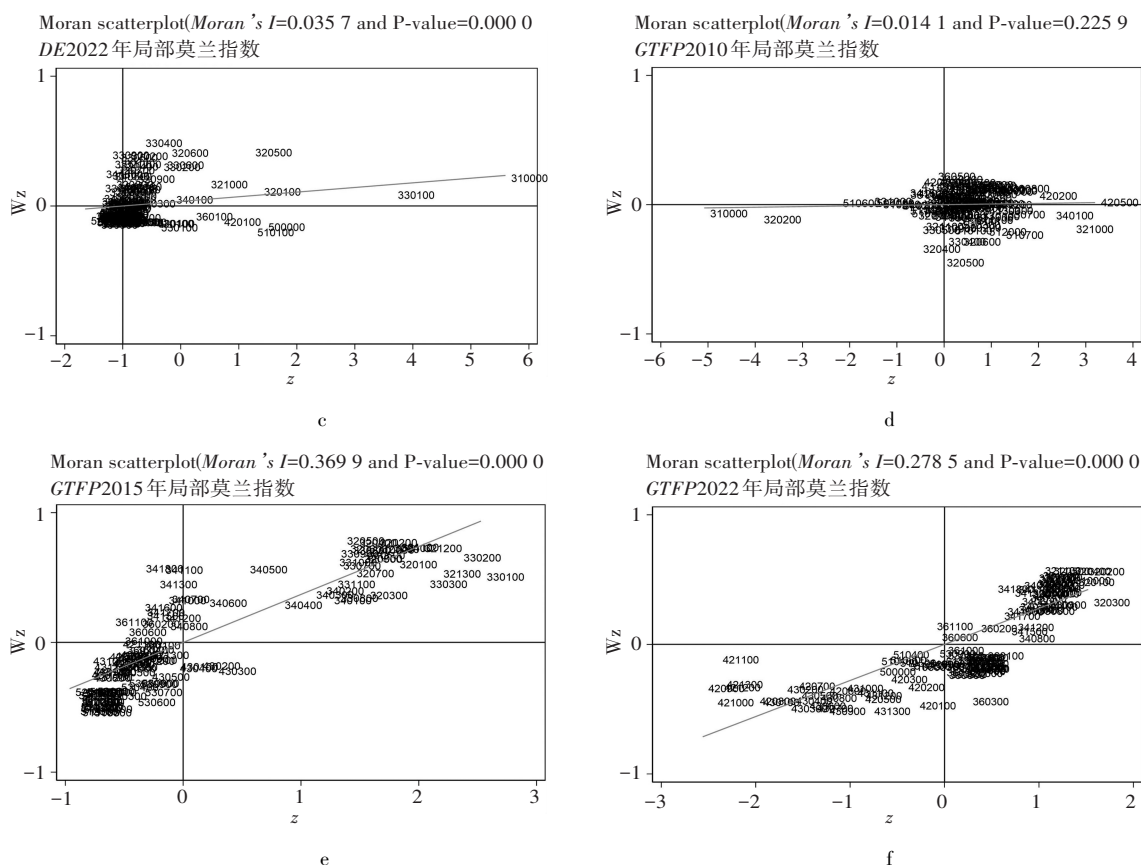


图 1 数字经济 (DE) 与制造业绿色全要素生产率 (GTFP) 的局部莫兰指数

2. 空间溢出效应

根据上述的空间相关性检验结果,长江经济带的数字经济与制造业绿色转型展现出明显的正向空间关联性。本文根据表 10 的结果采用时间、个体双固定效应的空间杜宾模型 (SDM) 进行分析。

表 10 空间计量模型选择的检验结果

检验类别	统计量	检验类别	统计量
LM-Spatial error	369.261***	LR-Spatial lag	24.28***
Robust LM-Spatial error	368.693***	LR-Spatial error	22.39***
LM-Spatial lag	399.511***	Wald-Spatial lag	22.68***
Robust LM-Spatial lag	11.349***	Wald-Spatial error	25.51***
Hausman test	39.34***		

表 11 第(1)列展示了在考虑空间地理因素后,DE 的系数估计值为 0.214,在 1%的水平上显著为正,表明在加入空间影响后,数字经济促进制造业绿色转型的作用进一步增强。 $W \times DE$ 的估计系数值为 1.757,在 1%的水平上显著为正,揭示了长江经济带数字经济在促进制造业绿色转型方面具有正面的空间溢出效应。另外,表 11 第(2)一(4)列的结果表明长江经济带的数字发展环境、数字产业化和数字融合应用有效助推了制造业绿色转型,并具有显著的空间溢出效应,验证了研究假设 H5。

表 11 空间计量结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
DE	0.214*** (4.79)			

续表11

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
$W \times DE$	1.757*** (3.24)			
$DEVE$		0.004*** (5.13)		
$W \times DEVE$		0.033** (4.30)		
DI			0.113*** (3.24)	
$W \times DI$			0.367*** (2.99)	
DF				0.013*** (6.61)
$W \times DF$				0.023** (2.54)
控制变量	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是
个体效应	是	是	是	是
观测值	1 404	1 404	1 404	1 404
ρ	0.685*** (9.41)	0.685*** (9.45)	0.676*** (9.08)	0.653*** (8.39)
R^2	0.589 3	0.517 0	0.513 2	0.490 2
$Log-L$	324.145	232.748	231.945	222.836

本文采用偏微分方法进行空间效应分解,表 12 报告了空间杜宾模型下数字经济发展以及分指数影响制造业绿色转型的空间效应分解结果。由表 12 可以发现,在空间杜宾模型下,数字经济(DE)的直接效应为 0.169,在 1%的水平上显著,间接效应为 1.366,在 5%的水平上显著,且空间溢出效应大于直接效应,表明数字经济对制造业绿色转型具有显著的空间溢出效应,进一步验证了假设 H5。在数字发展环境($DEVE$)、数字产业化(DI)和数字融合应用(DF)影响制造业绿色全要素生产率($GTFP$)的空间效应分解中,直接效应与间接效应均显著为正,且直接效应小于空间溢出效应。

对长江经济带而言,城市数字经济发展可通过信息、技术与知识的溢出效应,带动周边城市制造业绿色全要素生产率提升。其一,本地区企业通过与周边企业信息交流,学习先进生产经验与管理经验,优化生产方式,推动绿色效率提升。其二,数字技术的研发成本高、风险大,先发地区在技术创新上取得突破后,技术成果可通过人才流动、技术转让等方式向周边扩散,帮助邻近企业提升生产效率与绿色技术水平。其三,数字经济加速知识传播,本地区积累的数字经验可通过学术交流、产业合作溢出至周边,激发其创新活力,从而整体提升区域制造业绿色全要素生产率。

表 12 数字经济影响制造业绿色转型的空间效应分解

变量	直接效应	间接效应	总效应
DE	0.169*** (3.10)	1.366** (2.35)	1.535** (2.06)
$DEVE$	0.003*** (3.16)	0.104** (2.54)	0.107** (2.45)

续表12

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>DI</i>	0.106*** (2.80)	0.850** (2.21)	0.956** (2.68)
<i>DF</i>	0.013*** (5.61)	0.041** (2.59)	0.054** (2.57)

五、结论与对策建议

(一) 研究结论

本文采用长江经济带2010—2022年108个城市的样本数据,采用熵值法和SBM-GML指数法测算长江经济带数字经济发展水平和制造业绿色全要素生产率,运用双固定效应模型,实证研究长江经济带数字经济对制造业绿色化转型的影响以及这一过程中的传导路径,得出以下主要结论:第一,数字经济发展以及分维度下的数字发展环境、数字产业化和数字融合应用能够促进长江经济带制造业绿色转型。第二,产业结构升级、能源效率提升以及技术创新是数字经济促进长江经济带制造业绿色转型的重要作用路径。第三,数字经济对长江经济带制造业的绿色转型具有明显的空间溢出效应,数字经济所带来的知识与技术扩散,有效加速了周边地区制造业绿色转型。

(二) 对策建议

基于以上研究结论,提出如下对策建议:

第一,夯实数字基础,赋能传统产业升级。要加大对数字基础设施建设滞后地区的支持力度,激发数字经济潜能,缓解因营商环境差异导致的企业过度集聚,降低中小企业运营风险与竞争压力,增强其数字化转型的意愿与能力。要深化工业互联网创新实践,构建层级分明、体系完备的平台架构,孵化推广基于平台的系统解决方案。要强化政府引领作用,通过财政激励等政策工具,缓解企业数字化转型的资金约束,为传统产业注入新动能。

第二,深化数字融合,构建创新人才体系。要推动数字技术深度应用,利用AI、区块链、云计算、智能机器人等新一代技术,对制造业研发、生产、管理、物流等全链条进行数字化改造,提升制造业全产业链生产效率,优化资源配置,加速产业智能化转型。要构建制造业创新生态网络,强化产业链上下游协同与技术联动,优化要素配置,为培育世界级产业集群注入创新动能。要改革高等教育体系,以激发创新为导向,革新教学方法,强化创新型人才培养,为制造业绿色转型提供坚实的人才支撑。

第三,优化空间布局,强化区域协同效应。要建立绿色产业集聚区,吸引绿色制造与数字经济企业入驻,形成集聚效应;支持区内企业开展技术交流与合作,共享成功经验,强化技术溢出与知识溢出。要优化长江经济带城市间数字经济空间格局,加强区域合作与联动,缩小内部发展差距,提升数字基础设施的整体效能。要深化区域合作机制,建立长江经济带数字经济协同平台,推动各省市政策协调、信息共享与资源整合,形成推动制造业绿色转型的区域合力。

参考文献:

- [1] 陈素梅,李晓华.数字经济驱动制造业绿色发展的作用机理[J].企业经济,2022(12):140-150.
- [2] 周茜.数字经济对制造业绿色发展的影响与机制研究[J].南京社会科学,2023(11):67-78.
- [3] 李帅娜,刘东阁,梁志杰.促进还是抑制:数字化与制造业绿色转型发展[J].当代经济管理,2024(1):52-61.
- [4] 肖静,曾萍,章雷敏.地区数字化水平、绿色技术创新与制造业绿色转型[J].华东经济管理,2023(4):1-12.

- [5] 吴剑辉,许志玉.数字经济驱动制造业绿色转型:门槛效应与空间溢出效应[J].现代管理科学,2023(2):124-133.
- [6] 蔡玲,汪洋.数字经济与城市绿色全要素生产率:影响机制与经验证据[J].统计与决策,2022(9):11-16.
- [7] 魏绪石,周桐桐,马中东,等.数字经济与黄河流域制造业绿色全要素生产率关联性研究[J].人民黄河,2024(4):15-22.
- [8] 惠宁,杨昕.数字经济驱动与中国制造业高质量发展[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022(1):108-122.
- [9] Jones C I, Tonetti C. Nonrivalry and the economics of data[J]. American Economic Review, 2020(9):2819-2858.
- [10] 郭炳南,王宇,张浩.数字经济发展改善了城市空气质量吗——基于国家级大数据综合试验区的准自然实验[J].广东财经大学学报,2022(1):58-74.
- [11] Frank A G, Mendes G H S, Ayala N F, et al. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: a business model innovation perspective[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 141:341-351.
- [12] 余文涛,吴士炜.互联网平台经济与行业生产效率变革——基于第三次经济普查数据的实证研究[J].财经科学,2019(8):55-68.
- [13] 陈晓红,李杨扬,宋丽洁,等.数字经济理论体系与研究展望[J].管理世界,2022(2):208-224.
- [14] 朱春红.信息产业发展与产业结构升级的关联性研究[J].经济与管理研究,2005(9):67-69.
- [15] 廖杉杉,鲁钊阳,李瑞琴.数字经济发展促进产业结构转型升级的实证研究[J].统计与决策,2024(2):29-34.
- [16] 李春发,李冬冬,周驰.数字经济驱动制造业转型升级的作用机理——基于产业链视角的分析[J].商业研究,2020(2):73-82.
- [17] 余泳泽,刘冉,杨晓章.我国产业结构升级对全要素生产率的影响研究[J].产经评论,2016(4):45-58.
- [18] 肖远飞,姜瑶.数字经济对工业绿色生产效率的影响研究[J].现代管理科学,2021(8):100-109.
- [19] 杨岚,周亚虹.环境规制与城市制造业转型升级——基于产业结构绿色转型和企业技术升级双视角分析[J].系统工程理论与实践,2022(6):1616-1631.
- [20] 张修凡,范德成.数字经济发展赋能我国低碳经济转型研究——基于国家级大数据综合试验区的分析[J].科技进步与对策,2023(19):118-128.
- [21] 杜传忠,王飞.产业革命与产业组织变革——兼论新产业革命条件下的产业组织创新[J].天津社会科学,2015(2):90-95,99.
- [22] 郭美晨,杜传忠. ICT提升中国经济增长质量的机理与效应分析[J].统计研究,2019(3):3-16.
- [23] 张少军,李东方.生产非一体化与能源利用效率——来自中国行业面板数据的经验研究[J].中国工业经济,2009(2):66-75.
- [24] 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.
- [25] 贾婷月,张兆安,司继春,等.数字基础设施能推动制造业高质量发展吗?——基于创新与人力资本结构双重视角的研究[J].上海经济,2023(6):21-38.
- [26] 韩先锋,刘娟,李勃昕.“互联网+”驱动区域创新效率的异质动态效应研究[J].管理学报,2020(5):715-724.
- [27] 张峰,宋晓娜.资源禀赋、技术进步与制造业绿色转型[J].统计与决策,2020(13):98-102.
- [28] 陈阳,逯进,于平.技术创新减少环境污染了吗?——来自中国285个城市的经验证据[J].西安交通大学学报(社会科学版),2019(1):73-84.
- [29] 梁向东,苏在坤.数字经济驱动中国制造业高质量发展的空间效应[J].江汉论坛,2023(6):19-25.
- [30] 曹长帅,郑琼.数字经济对工业绿色转型的驱动效应[J].中国流通经济,2023(9):34-50.
- [31] 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.
- [32] 吴琦,孙守恒.区域制造业绿色转型研究:基于绿色金融供需匹配度视角[J].南京社会科学,2025(2):40-54.
- [33] 陈旭东,鹿洪源,郭权.以税扩绿:绿色税收促进制造业绿色化转型了吗?[J].经济与管理评论,2024(4):72-85.
- [34] 邱斌,杨帅,辛培江. FDI技术溢出渠道与中国制造业生产率增长研究:基于面板数据的分析[J].世界经济,2008(8):20-31.
- [35] 陈超凡.中国工业绿色全要素生产率及其影响因素——基于ML生产率指数及动态面板模型的实证研究[J].统计研究,2016(3):53-62.
- [36] 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(10):65-75.

- [37] 王军,朱杰,罗茜.中国数字经济发展水平及演变测度[J].数量经济技术经济研究,2021(7):26-42.
- [38] 余东华,崔岩.双重环境规制、技术创新与制造业转型升级[J].财贸研究,2019(7):15-24.
- [39] 李研.中国数字经济产出效率的地区差异及动态演变[J].数量经济技术经济研究,2021(2):60-77.
- [40] 千春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011(5):4-16,31.
- [41] 侯建,康国,白婉婷.数字经济、环境规制与区域绿色创新绩效[J].经济问题探索,2023(11):177-190.
- [42] 王政,喬扬,史颖,等.一种面向能源贫困识别的轻量可解释梯度提升树[J].山西大学学报(自然科学版),2024(6):1190-1200.
- [43] 赵莹,魏晓博.数字经济赋能区域绿色发展的效应与机制研究——基于技术创新和产业升级的中介效应[J].西南大学学报(自然科学版),2023(8):21-30.
- [44] 汤凯,刘晓康.数字经济与城市绿色创新差距——基于我国城市面板数据的实证研究[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2025(3):67-84.
- [45] 王小波,孔莉霞.城市数字经济发展对制造业集聚水平的影响[J].经济地理,2023(9):131-138.
- [46] 黄群慧,余泳泽,张松林.互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J].中国工业经济,2019(8):5-23.
- [47] 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(6):11-22.
- [48] 吴传清,孟晓倩.长江经济带数字化转型对制造业绿色发展影响研究[J].南通大学学报(社会科学版),2022(6):37-47.
- [49] 胡德龙,石满珍.数字经济对企业全要素生产率的影响研究[J].当代财经,2023(12):17-29.

The Impact of the Digital Economy on the Green Transformation of Manufacturing in the Yangtze River Economic Belt

CHEN Jie, LIU Mengzhen

(Institute for Chengdu-Chongqing Economic Zone Development, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The Yangtze River Economic Belt serves as the core region of China's "T-shaped" growth pole, exhibiting significant advantages in the digital economy. Manufacturing, as the foundation of industry, plays a vital supporting role in regional economic development. Based on panel data from 108 cities in the Yangtze River Economic Belt from 2010 to 2022, this study employs a baseline model, a mediation effect model, and the Spatial Durbin Model to analyze the intrinsic relationship between the digital economy and the green transformation of manufacturing within the belt. The findings indicate that the digital economy, including its sub-indices, can effectively promote the green transformation of manufacturing in the Yangtze River Economic Belt. Specifically, the digital economy facilitates this transformation primarily through three channels: promoting industrial structure upgrading, enhancing energy efficiency, and advancing technological innovation. Moreover, both the digital economy and its sub-indices exert significant spatial spillover effects on the green transformation of manufacturing in the region. The conclusions of this study offer valuable insights for further unleashing digital dividends, optimizing the spatial layout of the digital economy, and promoting the agglomeration of green industries within the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; digital economy; green transformation of manufacturing; spatial spillover effect

(责任编辑:李栋桦)