

区域数字化转型促进绿色全要素生产率提升

——基于长江经济带的空间计量分析

燕 凯, 崔兴文*, 陈齐萌

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232000)

摘要: 基于大力推进现代化产业体系建设, 加快发展新质生产力, 本研究选取2013—2022年长江经济带省份数据, 借助基准回归和空间计量的方法, 检验区域数字化水平对制造业绿色全要素生产率(GTFP)的影响以及技术创造的中介作用。研究发现, 区域发展数字化能够提升制造业GTFP, 数字化和制造业GTFP均具有空间溢出效应。通过区域异质性研究发现, 数字化对长江经济带中游地区的正向促进作用最大, 对下游地区的正向促进效应最小。未来需要推动长江经济带数字化升级, 鼓励制造业采用先进数字技术, 加强绿色技术创新, 制定差异化政策, 以促进制造业绿色转型。

关键词: 数字化; 制造业; 绿色全要素生产率; 空间计量; 长江经济带; 新质生产力

中图分类号: F427 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-9659(2025)02-0077-10

2023年9月7日, 习近平总书记在新时代推动东北全面振兴座谈会上提出, 要“积极培育新能源、新材料、先进制造、电子信息等战略性新兴产业, 积极培育未来产业, 加快形成新质生产力, 增强发展新动能。”^[1] 面对新质生产力的“新”, 核心在于通过科技创新驱动产业创新, 从而大幅提升全要素生产率(GTFP)。这一过程旨在摆脱传统的经济增长模式, 探索出一条符合新发展理念的先质生产力发展路径, 推动经济社会持续健康发展。长江经济带作为我国发展新质生产力的主阵地, 其制造业的高质量发展对新质生产力的提升至关重要。然而, 随着全球环保意识的增强, 传统的制造业发展模式已难以适应发展新质生产力的要求, 长江经济带制造业在不断提升全球价值链地位的同时, 也面临着生态环境保护的严峻挑战。因此, 加快传统制造业数字化、智能化、绿色化改革, 培育壮大战略性新兴产业来推动长江经济带生态环境改善以及新质生产力发展, 显得尤为迫切。

2022年, 我国数字经济规模占GDP比重达41.5%, 数据成为“新”生产要素, 数字技术成为保障地区实现绿色转型的“新”手段。原因在于区域数字化水平的提升能够优化生产要素配置, 赋能传统产业, 提升生态效率。数字化也极大提高了信息传递的速度, 使得信息、数据、技术、人才在区域间流动的壁垒大大降低, 这使得数字化以跨区域溢出效应来影响GTFP^[2]。因此, 发展数字化可能是推动制造业绿色转型的全“新”方案。

1 文献综述

学术界围绕数字化这一议题进行了诸多探索。1995年Negroponte首次提出数字化概念以来^[3], 学者们对该领域的研究从理论层面逐渐深入实践应用层面, 涉及政府数字化治理、城市数字化建设、企业数字化管理等多方面研究。随着研究的深入, 学术界普遍认为数字化是一个涉及技术创新、模式创新、组织创新等多维度的复杂过程。如庞瑞芝等人提出, 数字化不仅是运用数字技术促进经济发展的过程, 更是推动环境友

[收稿日期] 2024-01-16

[修回日期] 2024-04-14

[基金项目] 安徽高校人文社会科学研究重点项目(SK2020A0196)。

[作者简介] 燕 凯(1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事数字化与绿色创新绩效方面研究, E-mail: yankai0426@126.com.

* [通讯作者] 崔兴文(1980-), 男, 副教授, 主要从事数字化转型方面研究, E-mail: xwcu88@163.com.

好和社会转型的重要手段^[4]。

对于全要素生产率,过去研究大多局限于资本和劳动对产出的直接影响,却忽视了污染排放、生态环境等关键因素,因而未能全面合理地评价经济发展质量^[5]。相关研究主要集中在GTFP的测量以及影响因素方面。GTFP的测量方法可分为以下两类:一是随机前沿分析(SFA)^[6]。基于特定生产函数的SFA模型能够有效捕捉随机因素对生产行为的影响,为深入分析生产活动提供有力工具。Cui等人使用随机前沿分析(SFA)评估了中国36个工业部门的GTFP增长趋势^[7]。二是非参数分析(NPS)。Pittman首先应用数据包络分析(DEA)来考虑污染排放等不期望输出,对GTFP进行了测算^[8]。随后,Fukuyama等人又构建了一个非径向、非方向性的SBM方向距离函数,进一步降低了测量误差^[9]。纵观相关文献,发现GTFP受到多种因素影响。如Li等人指出环境规制和创新能力都能影响GTFP,但创新能力对GTFP的影响存在异质性^[10]。谭美容等人研究长江经济带上游地区,发现产业协同集聚也会正向提升GTFP,这主要通过纯技术效率实现^[11]。

对于数字化与GTFP的关系,现有研究主要分为两类:一是地区数字化对企业GTFP的影响。吴传清等人从区域视角出发,探讨数字化转型如何通过直接和间接机制显著推动制造业的GTFP提升,发现数字化转型能显著推动制造业绿色发展,而能源消费结构呈不利影响^[12]。二是企业数字化对企业GTFP的影响。吕娟等人从重污染企业着手,证实数字化转型能够降低融资成本,驱使企业引入环保技术,进而提升GTFP^[13]。然而,现有研究更多探讨的是数字化对GTFP的直接影响,关于数字化对GTFP影响的时空分布和长期演变趋势方面的深入研究还相对欠缺。

2 理论分析与研究假设

2.1 数字化与制造业GTFP的关系

GTFP的提升主要依赖技术创新、效率提升和环境优化等方面^[14],数字化为其注入了强劲动力。在数字化转型的推动下,制造企业可深度融合技术与创新,探索更多创新路径,从而提升GTFP。

首先,数字化可以从技术效应、规模效应和结构效应来影响制造业GTFP。在技术效应上,利用数字化强渗透性的特点,借助新的先进技术,包括物联网、大数据分析等,促进信息资源共享,克服传统制造业原有的空间限制,使信息技术穿透产业循环,促进绿色技术创新资源集聚与重组优化,提高整体生产效率并减少资源分配不当的情况^[15]。在规模效应上,数字化转型能使制造企业更好地实现生产过程的规模化和自动化。通过规模效应,制造业能够实现更大规模的生产,降低单位产品的生产成本,从而在绿色生产方面实现更高的经济效益。同时,数字技术还可以促进制造业的产业链协同,提高整个产业链的效率和竞争力,这种规模效应有助于提升制造业GTFP。在结构效应上,数字化改变了制造业的内外部结构,包括供应链的协同优化、生产流程的灵活调整等。如物联网技术的应用可以实时监控原材料、在制品、库存等状态,增强供应链的透明度和可追溯性。通过结构效应,制造业能够更好地适应绿色转型的需求,减少对环境的不良影响。同时技术创新促使制造业向高技术、高附加值领域转型,推动产业结构向更高级别发展。基于此,提出假设H1:长江经济带数字化转型可以提升制造业GTFP。

城市作为自然资源和要素自由流动的市场,可以创造更多的绿色财富。数字技术和知识溢出在城市中更为活跃。大城市更容易发生知识溢出,其溢出效应也更加明显^[16]。另外,绿色发展是评估地方经济发展质量的关键指标,具备显著的示范效应。地区利用数字化技术提升GTFP时,其成功经验易引发效仿,从而促使相关知识和技术在周边地区传播。同时,地方政府通过绿色转型保持竞争优势,通过这种竞争可以获得更多资源,从而驱动绿色经济发展。因此,在考虑相应的影响时,有必要考虑空间溢出的作用。基于此,提出假设H2:数字化对制造业GTFP的提升具有空间溢出效应。

2.2 技术创新的中介效应

既往文献指出,数字化能够激励制造业技术创新,实现经济与环境的双重效益^[17],技术创新是破解环境难题、推动工业新常态发展的关键举措。数字化能够为企业提供环境支撑与要素供给,促进技术创新^[18]。原因在于,数字技术以其独特的成长性和同质化特质,不仅能够推动产品不断升级优化,更能够跨越行业壁垒,促进创新要素深度融合。大数据的蓬勃发展依托数据流的高效整合,能够实现资金、人才、云计算、人工智能等多元技术资源的优化配置。这种融合使技术更加普及和通用,大幅提升了创新效率,进而推动GTFP

显著提升。然而,技术创新的外溢可能会对邻近地区的GTFP产生抑制性影响。究其原因,技术的迭代升级会加速生产要素流向中心城市,产生虹吸效应吸引邻近地区高科技产业和企业人员迁移,这将导致周边地区人才和资源外流,从而抑制了周边地区制造业绿色转型发展。此外,随着绿色技术的发展,环境控制标准也随之提高。采用绿色技术和符合更严格环境标准的生产方式对于制造业来说意味着较高的成本,一些高污染或低效的企业可能选择搬迁至其他地区,而引入具有环保技术的企业可能面临生产线的调整和重新配置。这些结构性变化都可能会影响GTFP。基于此,提出假设H3:数字化可以通过促进技术创新来提升制造业GTFP。H3a:技术创新增强了数字化对本地制造业GTFP的正向影响。H3b:技术创新阻碍了数字化对邻近地区制造业GTFP的空间溢出。

3 研究设计

3.1 变量选取与测量

3.1.1 被解释变量:制造业绿色全要素生产率(GTFP)

随着对生态环境的严格限制,制造业的发展必须朝着绿色高质量的方向迈进,以减少资源和环境的损失。在考虑生产活动中可能出现的非期望产出问题时,GTFP成为评估绿色转型绩效的核心指标^[19]。具体借鉴罗军等人的做法^[20],借助SBM-DDF模型,使用ML指数构建包含投入、期望产出和非期望产出的指标体系来测量制造业GTFP。①投入指标:包括资本投入、劳动投入和能源消耗。用制造业固定资产投资额(亿元)代表资本投入;本研究采用永续盘存法进行估算,用制造业平均从业人数(万人)代表劳动投入,用工业能源消费总量(万吨标准煤)代表能源投入;②期望产出指标:用制造业主营业务收入(亿元)衡量期望产出^[21];③非期望产出指标:在数据可得性的基础上,采用工业废弃物产生量(万吨)、废水排放总量(万吨)和工业SO₂排放量(万吨)来衡量非期望产出。由于用ML指数计算的GTFP是动态的,因此借鉴邱斌等人的做法^[22],将第一年的GTFP设置为1,则 $t+1$ 年的GTFP为

$$GTFP_{t+1} = GTFP_t * ML_{t+1} \quad (1)$$

3.1.2 核心解释变量:地区数字化水平(Digital)

借鉴周青等人的做法^[23],分三个维度来衡量长江经济带的数字化水平,并用熵权法计算权重,具体指标如表1所示。

表1 长江经济带数字化水平衡量指标

一级指标	二级指标	三级指标
数字化建设	数字基础设施	互联网宽带接入用户比例
		移动电话交换机容量
数字化应用	数字化的应用	电子商务交易额(亿元)
		互联网普及率
数字化发展	数字产业化	电子信息制造业企业个数(个)
		数字产业收入(邮政业务收入、软件产品收入及电信业务收入之和/GDP)
	产业数字化	软件业务收入占GDP的比重
		数字金融数字化程度指数

3.1.3 调节变量:技术创新(Tech)

技术创新对中国经济转型、促进绿色前沿技术的创造和应用、降低制造成本和提高工业附加值至关重要。技术创新在任何行业都与专利申请密切相关,因此很多专利被广泛用于衡量技术创新^[24]。借鉴陈贵富等人的做法^[25],用每万人加权专利来衡量。具体来说,加权专利数=当年获得的发明数×0.5+当年获得的实用新型数×0.3+当年获得的外观设计数×0.2。数据来源于CNRDS数据库和《中国科技统计年鉴》。

3.1.4 控制变量

选择以下变量作为控制变量:①经济发展水平(PGDP),采用人均GDP来衡量。经济发展和环境质量密切相关,经济发达省份会采用高度工业化和大规模生产的方式,这可能会导致过度的资源消耗和环境污染;②人口规模(POP),用城市人口密度来衡量;③人力资源(EDU),采用在校大学生人数占总人口的比例来衡量。高质量的人力资源有利于创新研发,是转变经济模式的重要驱动力;④外商投资水平(FDI),用外商直接投资额(万元)/地区生产总值(亿元)的大小来表示。外商投资可能会引入新的技术和管理经验,从而促进制造业提高生产和资源利用效率,进而影响制造业GTFP。同时优质外资的清洁技术与绿色生产方式也会引发国内制造企业的模仿和学习;⑤环境规制(ER),用政府环保开支占财政开支的比例来衡量^[26]。一方面,严格的环境规制会推动企业进行技术创新和设备升级,以符合更严格的环保要求^[27]。另一方面,通过控制高污染行业的进入和扩张,防止已经存在的企业扩大规模而加剧环境负担;⑥政府支持(GS),采用规模以上工业企业R&D资金中政府资金占比来衡量^[28]。政府对市场的适当治理有利于资源配置,缓解垄断和信息不对称造成的市场失灵。然而,政府过度干预可能会扰乱市场秩序,导致资源配置效率低下^[29]。为了消除异方差性,对一些变量进行取对数处理。

3.2 实证模型设定——回归模型

为研究长江经济带数字化与制造业GTFP之间的关系,构建以下回归模型

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Digital_{it} + \alpha_2 Control_{it} + \varepsilon_{it}$$

其中, $GTFP_{it}$ 代表省市*i*在*t*年的绿色全要素生产率,是被解释变量。 $Digital_{it}$ 代表省市*i*在*t*年的数字化水平,是核心解释变量。 α_0 为回归方程的常数项, α_1 为解释变量的回归系数, $Control_{it}$ 是控制变量的集合, ε_{it} 为误差项。

3.3 数据来源与处理

选取长江经济带11个省份2013—2022年的面板数据为研究样本。数据来自《中国统计年鉴》和各省份统计年鉴,专利数据来自CNRDS数据库和《中国科技统计年鉴》,缺失数据采用差值法予以补全。相关变量的描述性统计结果如表2所示。

表2 各变量描述性统计表

变量	观测数	平均值	P_{50}	标准差	最小值	最大值	VIF值
GTFP	110	1.296	1.140	0.427	0.771	3.985	—
Digital	110	0.233	0.198	0.154	0.036	0.743	3.890
Tech	110	1.056	2.559	1.116	0.042	5.226	1.620
PGDP	110	30839.310	25323.900	19305.440	5615.600	102807.700	1.010
POP	110	2.595	2.500	0.387	2.080	3.600	5.400
Edu	110	0.194	0.199	0.039	0.099	0.285	1.480
FDI	110	2.278	2.299	0.095	1.996	2.455	2.010
ER	110	0.221	0.178	0.155	0.027	0.772	1.160
GS	110	0.222	0.211	0.067	0.121	0.409	1.670

4 实证结果分析

4.1 基准回归

对基准模型(OLS)进行Hausman检验,结果表明采用固定效应模型进行回归分析更优。表3中,列(1)和列(2)分别展示了未加入和加入控制变量后,数字化对制造业GTFP的回归结果。在加入控制变量后, R^2 值变大,这表明模型的拟合度得到优化,侧面证实了所选控制变量的合理性。

回归分析结果表明,数字化对制造业GTFP的回归系数均为正值,且在5%的显著性水平上显著提升了制造业GTFP,证实了数字化对制造业GTFP的正向促进作用,从而验证了假设H1。从列(1)~列(2)的结果可以看出,未考虑控制变量影响时,回归系数为0.787,但在引入控制变量后,回归系数提升至1.990,这表明提

升数字化水平对制造业GTFP的促进作用显著增强。具体来看,人力资源对长江经济带制造业绿色转型具有显著的正向效应。这可能归因于制造业的绿色转型通常需要应用新的、更环保的生产技术,而高水平的人力资本意味着更高的技能水平和创新能力,有助于企业更好地适应和采用新兴的环保技术,从而推动产业升级和转型。经济发展水平对制造业GTFP的影响系数为0.626,说明经济总量对制造业绿色发展具有正向作用。原因在于,随着人均经济水平的提高,社会对环保和可持续发展的关注度也会增加,这导致市场需求发生变化,消费者更倾向于购买环保产品,从而倒逼制造企业采用绿色制造方式,以满足消费者的期望。另一方面,经济水平的提高通常伴随着科技水平的提升。在高科技水平的背景下,企业更容易进行研发和采用更环保、高效的生产技术,从而推动制造业向绿色转型。政府支持为制造业绿色转型注入了强劲动力。通过环保政策、财政激励和技术支持,推动制造企业采用清洁技术和可持续生产方式,有助于减少对环境的影响^[30]。外商投资对GTFP的回归系数为负,原因在于外商企业可能更注重经济回报而忽视长期的环保目标,同时在不同地区面对环保法规和政府支持的差异也可能导致投资者对绿色转型的投入不足。借鉴肖仁桥等人、金泽虎等人调整样本期的做法^[31-32],去除研究样本最后两年的数据。结果显示,去除最后两年数据后,数字化对制造业GTFP的影响可以忽略,从而验证结论的稳健性。

表3 长江经济带数字化水平对制造业GTFP的回归结果

变量	(1)OLS	(2)OLS	(3)去掉最后两年数据
Digital	0.787*** (3.08)	1.990** (0.58)	1.809** (0.41)
PGDP		0.626** (0.55)	0.528** (0.77)
POP		-0.222*** (7.76)	-0.513*** (0.19)
EDU		2.991* (0.89)	2.031*** (0.41)
FDI	-	-7.060** (3.12)	-7.616** (3.64)
ER		0.686** (2.06)	-0.233 (0.22)
GS		1.202* (0.35)	1.128* (0.62)
R ²	0.081	0.671	0.525
N	110	110	88

注:***、**、*分别表示1%、5%和10%的显著水平,括号内数值为标准误,下同。

4.2 空间溢出效应

4.2.1 空间自相关检验

为了回答长江经济带省份的数字化、制造业GTFP是否具有空间上的自相关性,相关程度如何等问题,采用2013—2022年长江经济带省级面板数据,运用stata17.0软件得到对应年份的全局莫兰指数(Moran's I)。Moran's I是衡量空间自相关性的一个重要指标。Moran's I越趋近于1时,表明空间正相关性越明显;反之越趋近于-1,空间负相关性越明显。空间模型通过引入空间矩阵来研究区域之间的关联程度。

Moran's I的计算方式如式(3)所示。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

上式中, n 表示样本数量, x_i 和 x_j 分别表示空间 i 和空间 j 的样本值, S^2 为 x 的方差, W_{ij} 为空间权重矩阵。根据表 4 可知, 2013—2022 年长江经济带省份的数字化和制造业 GTFP 的 Moran's I 均大于 0, 这说明数字化、制造业 GTFP 具有显著的空间正相关性。

表 4 2013—2022 年数字化和制造业 GTFP 的全局莫兰指数

年份(年)	Digital			GTFP		
	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3
2013	0.549	0.244	0.413	0.203	0.132	0.156
2014	0.523	0.223	0.358	0.288	0.148	0.211
2015	0.546	0.250	0.383	0.092	0.154	0.367
2016	0.562	0.291	0.360	0.001	0.154	0.253
2017	0.560	0.308	0.345	0.229	0.115	0.112
2018	0.553	0.301	0.328	0.306	0.054	0.028
2019	0.549	0.300	0.333	0.340	0.124	0.206
2020	0.534	0.309	0.311	0.365	0.171	0.239
2021	0.516	0.320	0.286	0.094	0.207	0.276
2022	0.515	0.322	0.280	0.100	0.401	0.276

4.2.2 空间计量模型检验

为验证数字化对制造业 GTFP 的空间自相关性, 本研究借助空间计量模型深入剖析其内在关联。参考 Anselin 提出的空间计量分析流程^[33], 得到检验结果(表 5)。LM-Lag 检验的统计量在 1% 水平下显著且 Hausman 检验结果显著, 因此采用固定效应空间滞后模型。

空间模型设置如下

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \lambda W * GTFP_{it} + \beta_1 Digital_{it} + \beta_2 Control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, α_0 表示常数项, λ 表示为空间自回归系数, W 表示空间权重矩阵, 其他与式(2)相同。

表 5 LM 模型检验及 Hausman 检验以及估计结果

检验类型		GTFP	
		value	p-value
LM-error	Moran's I	1.068	0.286
	LM	0.630	0.427
	Robust-LM	12.006	0.001
LM-lag	LM	9.558	0.002
	Robust-LM	20.934	0.000
Hausman Test	Hausman Test	42.690	0.000

4.3 空间实证结果分析

基于邻接矩阵(W_1)、地理距离矩阵(W_2)和经济距离矩阵(W_3), 分别进行空间计量回归, 结果如表 6 所示。模型(2)的结果显示, 长江经济带数字化对制造业 GTFP 的影响系数均为正, 进一步验证数字化发展会对制造业绿色转型产生正向的空间溢出效应, 能够辐射和带动周边区域发展。

为了明晰数字化水平以及控制变量对制造业 GTFP 的影响, 对模型(2)的空间溢出效应进行进一步分解(表 6)。在三种矩阵下数字化的直接效应和间接效应均为正, 这说明数字化水平的高低会拉大区域之间 GTFP 的差距。高水平的数字化发展不仅有利于本区域的制造业绿色转型, 还具有空间扩散作用, 能够推动周边区域的制造业绿色转型, 假设 H_2 得到验证。一方面, 区域内实施高水平的数字化发展通常需要引入先

进的技术和创新。这些技术和创新不仅能对本区域的制造业产生积极影响,还可能通过技术溢出效应传播到周边地区。其他地区可以学习和采用这些技术,促进其制造业绿色转型。另一方面,区域之间存在密切的经济联系。高水平的数字化发展能够加强区域内企业之间的合作与资源共享,形成协同效应^[34]。这种协同效应可能超越区域边界,促使周边区域的制造业也朝着绿色转型方向发展,以适应数字化时代的经济要求。

表6 数字化水平对制造业GTFP的空间影响以及空间溢出效应分解

变量	模型(2)		
	W ₁	W ₂	W ₃
λ	0.388***	0.167**	0.182*
Digital	1.464* (0.756)	2.256*** (0.781)	2.308*** (0.760)
PGDP	0.235 (1.324)	0.156 (0.594)	0.245 (0.745)
POP	1.582 (4.522)	1.082 (0.483)	-0.614 (4.853)
EDU	0.932 (0.799)	1.172 (0.873)	1.349 (0.826)
FDI	-1.447 (5.734)	-1.690 (6.157)	-1.706 (6.612)
ER	-0.332 (0.243)	-0.382 (0.260)	-0.391 (0.259)
GS	-0.927 (2.437)	-1.600 (2.607)	-1.858 (2.603)
LR_Direct	1.572** (0.809)	2.308 (0.805)	2.362*** (0.786)
LR_Indirect	0.826* (0.496)	0.419 (0.314)	0.492* (0.337)
Log-likelihood	120.834	179.389	175.537
N	121	121	121
R ²	0.023	0.436	0.673

5 空间异质性分析与中介识别分析

5.1 空间异质性分析

受到国家发展政策和市场化程度等多方面因素的影响,长江经济带区域的数字化水平和制造业的GTFP在分布上存在高度不均衡现象。长江经济带下游省份由于地处沿海地区,经济较为发达,其数字化水平和GTFP明显高于中下游。因此,为揭示数字化发展对不同区域制造业绿色转型水平,有必要将长江经济带省份分成上、中、下游三个部分分别进行研究。变量与模型的设定与前文保持一致,回归分析的结果如表7所示。从表中的列(1)~(3)数据可以观察到,区域数字化水平对长江经济带上、中、下游地区的回归系数分别为1.252、2.690、1.014。值得注意的是,中游地区的数字化对绿色转型的促进作用显著超过上游和下游地区。相比之下,下游地区的数字化对其绿色转型的影响较小。这主要是因为长江经济带的上、中、下游在经济发展、技术水平和人才资源等方面存在固有差异。下游地区的企业主要以战略性新兴产业为主,其绿色化水平本就较高,这也使得这些地区在数字化发展及制造业GTFP方面持续保持显著优势,从而减弱对制造

业绿色转型的促进作用。对于中游而言,该区域产业结构单一,大部分企业仍然是传统的非绿色企业,并且承接了部分东部地区高污染和高能耗产业。在国家绿色转型政策框架的影响下,中游地区省份绿色转型压力较大,政府可能通过强有力的财政支持和环境规制等措施,鼓励企业积极进行绿色转型。因此,相对于上游和下游地区,中游地区数字化水平对绿色转型的正向影响显著突出。

表7 长江经济带异质性效应分析结果

变量	上游地区(1)	中游地区(2)	下游地区(3)
Digital	1.252** (0.944)	2.690*** (1.312)	1.014** (1.319)
Control	YES	YES	YES
LR_Direct	1.616 (1.225)	3.059 (1.413)	1.113 (1.419)
LR_Indirect	1.524 (1.303)	1.435 (0.998)	-0.251 (0.403)
N	40	30	40
R ²	0.876	0.706	0.0102

5.2 中介识别分析

采用逐步多元回归法识别技术创新的中介机制^[35],以技术创新为中介变量的回归结果见表8中列(1)~(3)。列(1)为第一步,检验数字化与制造业GTFP之间的回归,结果为正。列(2)说明数字化与技术创新之间呈现出显著的正向关系,对区域制造业GTFP产生了较大的影响。这验证了假设H3。同时,模型(3)表明技术创新会阻碍数字化水平与制造业GTFP之间的联系,从而验证假设H3b。此外,列(1)~(3)的回归系数均显著为正,这进一步验证了数字化能够正向促进制造业GTFP提升的结论。

表8 中介效应回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	GTFP	Tech	GTFP
Digital	1.233*** (0.899)	0.702*** (1.005)	0.545** (0.443)
Tech	-	-	0.048* (1.552)
Control	-	YES	YES
N	110	110	110
R ²	0.925	0.801	0.823

6 结论和启示

6.1 研究结论

当前,全球对可持续发展和环境保护日益关注,制造业绿色转型成为学术界和产业界广泛讨论的焦点。理解制造业绿色转型的机制和效果对于推动新质生产力的发展具有重要的战略意义。鉴于此,本研究利用长江经济带11个省份2013—2022年的数字化水平与制造业GTFP数据,借助基准模型和空间计量模型来验证假设。本研究得出以下结论:(1)长江经济带的数字化水平对提升制造业GTFP具有显著作用且技术创新在其中发挥了中介作用;(2)长江经济带的数字化水平和制造业GTFP均显示出正向的空间自相关性,同时对本地及周边地区的制造业绿色转型产生了显著的正向空间溢出效应;(3)长江经济带数字化能够推动制

制造业绿色转型,但其影响存在区域差异,对中游的促进作用最大,上游的次之,下游的较小。

6.2 政策建议

基于上述研究结论,提出政策建议,旨在推动长江经济带制造业的绿色转型:(1)提升数字化水平。推动长江经济带地区在数字化技术方面的投资和创新,鼓励企业运用物联网、大数据分析等先进技术;(2)支持绿色技术创新。加大对绿色技术创新的财政支持和政策激励,鼓励企业在环保技术研发方面取得新突破。建立绿色技术研发与产业化协同机制,促使先进环保技术更快地应用于生产实践;(3)制定差异化政策。针对上、中、下游地区的区域异质性,制定差异化政策,更精准地促进各地制造业的绿色转型。中游地区可能需要更多的政策支持,下游地区则可以考虑更灵活的政策措施;(4)加强区域合作与协同发展。鼓励长江经济带内各省份加强合作,共享绿色技术创新成果和数字化水平提升经验;建立制度化的协同发展机制,促使区域内制造业绿色转型的协同效应;(5)注重中介作用的发挥。通过政策引导,加大对绿色技术创新的支持,以确保其在数字化水平提升中发挥更为有效的中介作用;鼓励企业与研究机构、高校等建立合作关系,推动绿色技术创新的转化与应用;(6)加强监管与执法。建立健全的环保法规与政策框架,强化对制造业环保标准的监管力度。提高违规企业的处罚力度,激励企业更加积极地参与绿色转型,避免环保法规无法落地。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平主持召开新时代推动东北全面振兴座谈会强调:牢牢把握东北的重要使命,奋力谱写东北全面振兴新篇章[EB/OL]. <https://www.gov.cn/yaowen/liebao/202309/content-6903072.htm>.2023-09-09/2023-10-15.
- [2] LI M C, WANG C X, XUE M Y. Analysis of Spatio-temporal Evolution Characteristics and Influence Factors of the Network Attention Degree of Novel Coronavirus Pneumonia Epidemic[J]. *Human Geography*, 2021, 36(02): 110-119, 154.
- [3] NEGROPONTE N P. *Being Digital*[M]. London, UK: Random House Inc, 1995.
- [4] 庞瑞芝,张帅,王群勇. 数字化能提升环境治理绩效吗——来自省际面板数据的经验证据[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2021, 41(05): 1-10.
- [5] WU S, LI B, NIE Q, et al. Government Expenditure, Corruption and Total Factor Productivity[J]. *Clean Prod*, 2017, 168: 279-289.
- [6] YANG X, JIA Z, YANG Z. How does Technological Progress Impact Transportation Green Total Factor Productivity: A Spatial Econometric Perspective[J]. *Energy Rep*, 2021, 7: 3935-3950.
- [7] CUI H R, WANG H, ZHAO Q. Which Factors Stimulate Industrial Green Total Factor Productivity Growth Rate in China? An Industrial Aspect[J]. *Greenh. Gases*, 2019, 9: 505-518.
- [8] PITTMAN R. Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs[J]. *Econ J*, 1983, 93: 883-891.
- [9] FUKUYAMA H, WEBER W. A Directional Slacks——Based Measure of Technical Inefficiency[J]. *Socio-econ Plan Sci*, 2009, (04): 274-287.
- [10] LI C, ZENG M, WANG C. Environmental Regulation, Innovation Capability, and Green Total Factor Productivity: New Evidence From China[J]. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 2022, 29: 39384-39399.
- [11] 谭美容,唐燕,罗胤晨. 城市产业协同集聚对绿色全要素生产率的影响研究——基于2010—2020年长江上游地区的实证分析[J]. *城市观察*, 2023, (06): 141-156.
- [12] 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, 38(06): 37-47.
- [13] 吕娟,吕雁琴,杨平,等. 重污染企业数字化转型对绿色生产效率的影响[J]. *技术经济与管理研究*, 2024, (03): 13-19.
- [14] 乌静,肖鸿波,陈兵. 数字经济对绿色全要素生产率的影响研究[J]. *金融与经济*, 2022, 12(01): 55-63.
- [15] 郭丰,杨上广,柴泽阳. 企业数字化转型促进了绿色技术创新的“增量提质”吗? ——基于中国上市公司年报的文本分析[J]. *南方经济*, 2023, (02): 146-162.
- [16] GAO D, LI G, YU J Y. Does Digitization Improve Green Total Factor Energy Efficiency? Evidence from Chinese 213 Cities[J]. *Energy*, 2023, (05): 142-156.
- [17] 孙国锋,潘珊珊,徐瑾. 制造业投入数字化对绿色技术创新的影响——基于静态和动态的空间杜宾模型研究[J]. *中国软科学*, 2022, 12(10): 30-40.
- [18] 王锋正,赵宇霞,夏嘉欣. 异质环境政策、高管风险偏好与绿色技术创新——基于中国重污染上市公司的实证研究[J]. *科研管理*, 2022, 43(11): 143-153.

- [19] TANG L, LU B, TIAN T. Spatial Correlation Network and Regional Differences for the Development of Digital Economy in China[J]. *Entropy*, 2022, (23): 15–75.
- [20] 罗军, 邱海桐. 城市数字经济驱动制造业绿色发展的空间效应[J]. *经济地理*, 2022, 42(12): 13–22.
- [21] 肖静, 曾萍, 任鸽. 如何提升制造业绿色转型绩效?——基于TOE框架的组态研究[J]. *科学学研究*, 2022, 40(12): 2162–2172.
- [22] 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, (08): 20–31.
- [23] 周青, 王燕灵, 杨伟. 数字化水平对创新绩效影响的实证研究——基于浙江省73个县(区、市)的面板数据[J]. *科研管理*, 2020, 41(07): 120–129.
- [24] DU K, LI J. Towards a Green World: How do Green Technology Innovations Affect Total Factor Carbon Productivity[J]. *Energy Pol*, 2019, 131(08): 240–250.
- [25] 陈贵富, 韩静, 韩恺明. 城市数字经济发展、技能偏向型技术进步与劳动力不充分就业[J]. *中国工业经济*, 2022, (08): 118–136.
- [26] GUO J. Environmental Regulation on Green Technological Innovation: Chinese Evidence of The Porter Effect[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- [27] 宋美喆, 柴江艺. 数字经济背景下环境规制对绿色全要素生产率的影响——基于城市面板数据的分析[J]. *中国流通经济*, 2023, 37(06): 14–26.
- [28] 王婧, 杜广杰. 中国城市绿色创新空间关联网络及其影响效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(05): 21–27.
- [29] 李东海. 产业结构优化对区域创新效率的影响研究——基于创新价值链视角[J]. *经济问题*, 2020, (10): 120–129.
- [30] 徐军委, 刘志华, 平婧怡, 等. 双重环境规制提升了绿色全要素生产率吗?——基于产业结构升级的门槛效应分析[J]. *调研世界*, 2022, (09): 80–88.
- [31] 肖仁桥, 王冉, 钱丽. 数字化水平对企业碳绩效的非线性影响——绿色技术创新的中介作用[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(05): 96–106.
- [32] 金泽虎, 邓超. 长三角地区数字经济高质量发展效应——基于进口贸易的视角[J]. *华东经济管理*, 2024, 38(03): 1–11.
- [33] ANSELIN L. 空间分析理论与方法/空间计量经济学译丛[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- [34] 徐辉, 邱晨光. 数字经济发展提升了区域创新能力吗——基于长江经济带的空间计量分析[J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(13): 43–53.
- [35] 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其应用[J]. *心理学报*, 2004, 36(05): 614–620.

**Regional Digital Transformation Promotes the Improvement of
Green Total Factor Productivity**
——Spatial Econometric Analysis based on the Yangtze River Economic Belt
YAN Kai, CUI Xing-wen*, CHEN Qi-meng
(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology,
Huainan, Anhui, 232000, China)

Abstract: Utilizing data from provinces in the Yangtze River Economic Belt from 2013 to 2022, this study analyzed the impact of regional digitization on green total factor productivity (GTFP) in the manufacturing sector, along with the mediating role of technological innovation. Through the application of benchmark regression and spatial econometric methods, the research findings revealed that an increase in regional digitization positively correlates with the enhancement of GTFP in manufacturing, exhibiting spatial spillover effects. A further heterogeneity analysis across regions indicated that the middle reaches of the Yangtze River Economic Belt benefited most from digitization, whereas the downstream regions showed less significant positive impacts. Moreover, many important reaction systems and their analytical characteristics are displayed in the tables in order to keep this paper for reference.

Keywords: Digitalization; Manufacturing; Green total factor productivity; Spatial metrology; Yangtze River Economic Belt; New Quality Productivity