

数字化转型、产业结构合理化与绿色全要素生产率

侯文伟

内蒙古师范大学经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2026年5月2日; 录用日期: 2026年6月22日; 发布日期: 2026年6月30日

摘要

选取2011~2023年中国30个省级行政区面板数据, 运用基准回归模型和中介效应检验模型, 量化考察数字化转型对绿色全要素生产率的影响效应, 以及产业结构合理化作为中介变量的作用机制。研究结果显示, 数字化转型能够显著地正向促进绿色全要素生产率水平的提升。同时, 在经过内生性研讨和稳健性检验后发现, 这一结论具有较好的稳健性。对产业结构合理化的中介效应检验结果表明, 产业结构合理化是数字化转型促进绿色全要素生产率水平提升的重要作用途径之一。异质性分析结果说明, 在南方地区和对外开放程度较高的地区, 数字化转型对绿色全要素生产率水平提升有更明显的驱动作用。

关键词

数字化转型, 产业结构合理化, 绿色全要素生产率

Digital Transformation, Rationalization of Industrial Structure and Green Total Factor Productivity

Wenwei Hou

College of Economics and Management, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: May 2, 2026; accepted: June 22, 2026; published: June 30, 2026

Abstract

The panel data of 30 provincial-level administrative regions in China from 2011 to 2023 were selected, and the benchmark regression model and the intermediate effect test model were used. The

paper quantitatively investigates the effect of digital transformation on green total factor productivity, and the mechanism of industrial structure rationalization as an intermediary variable. The results show that digital transformation can significantly and positively promote the level of green total factor productivity. At the same time, after the endogeneity study and robustness test, it is found that this conclusion has good robustness. The results show that the rationalization of industrial structure is one of the important ways to promote the level of green total factor productivity through digital transformation. The results of heterogeneity analysis show that digital transformation has a more obvious driving effect on the improvement of green total factor productivity in the southern region and the regions with a higher degree of opening up.

Keywords

Digital Transformation, Rationalization of Industrial Structure, Green Total Factor Productivity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球气候变化与资源环境约束日益严峻的背景下，绿色全要素生产率(Green Total Factor Productivity, GTFP)作为衡量经济高质量发展的重要指标，兼顾了资源利用效率与环境成本的双重优化，成为实现“双碳”目标的核心路径之一。与此同时，数字化转型作为新一轮科技革命的核心驱动力，正通过重塑生产模式、优化资源配置、加速技术创新等方式，深刻影响经济社会的可持续发展进程。然而，数字化转型如何影响绿色全要素生产率？其中介效应是通过什么来产生效果的？其内在作用机制是否存在空间异质性？这些问题尚未形成系统性的理论解释与实证共识，亟须深入探讨。

2. 文献综述

2.1. 数字化转型与绿色全要素生产率

数字化转型对绿色全要素生产率(GTFP)的提升作用已得到多维度实证支持。从宏观层面看，刘赢时等(2018)发现产业结构升级对 GTFP 的促进作用显著大于能源效率，且东部地区效果更突出[1]；王巧然(2023)基于城市群数据证实，数字经济通过优化市场化程度推动 GTFP 增长，其效应遵循梅特卡夫法则，呈现边际递增特征[2]。微观与中观层面，刘文俊等(2023)以制造企业为样本，指出数字化转型通过绿色技术创新和人力资源配置优化提升 GTFP，东部地区及国有企业、高科技行业表现更显著[3]；周晓辉等(2021)则从城市视角验证，数字经济通过节能减排和资本配置优化直接推动 GTFP，且产业数字化和数字产业化是长期动力[4]。王嘉歆(2024)针对流通业的研究进一步显示，数字化转型对国有流通企业 GTFP 的促进效应强于非国有企业，技术创新与人力资源配置是关键渠道[5]。

2.2. 产业结构合理化

产业结构合理化在数字化转型与 GTFP 的关系中扮演重要角色，其作用机制与异质性特征成为研究焦点。吕铁(2019)提出，传统产业数字化转型通过智能制造、平台赋能推动产业协同与要素流动，优化产业结构合理性[6]；陶锋等(2023)从产业链韧性视角发现，下游企业数字化转型通过供需匹配优化、稳定供需关系等路径，推动产业链资源重组，间接促进产业结构合理化[7]。区域差异方面，周晓辉等(2021)指出，

数字经济对南方城市 GTFP 的提升依赖绿色技术创新,对北方城市则侧重资本配置优化;刘文俊等(2023)补充,东部地区数字化转型的 GTFP 效应更显著,与产业结构适配性高密切相关。此外,易靖韬等(2021)关于企业出口的研究虽聚焦出口领域,但其揭示的创新与竞争调节效应,为理解数字化转型中产业结构调整边界条件提供了参考[8];操小娟等(2024)则提示,政府数字治理(如“互联网+政务服务”)可能通过优化制度环境,强化数字化转型对产业结构与 GTFP 的正向影响[9]。

3. 理论分析与研究假设

3.1. 数字化转型

数字化转型通过多维度作用机制对绿色全要素生产率产生显著的促进效应,其核心逻辑在于数字技术与生产实践的深度融合,既优化了要素配置效率,又重构了环境约束下的生产函数。

数字化转型通过数字技术与生产实践的深度融合,优化要素配置效率并重构环境约束下的生产函数,从而显著促进绿色全要素生产率(GTFP)提升。从资源配置效率看,数字化工具通过实时数据采集与智能分析精准匹配生产要素供需,如物联网监测能耗、大数据调控库存,减少资源浪费并提升单位产出效率,数字技术的非竞争性特征有助于缓解要素边际报酬递减,增强资源投入与绿色产出之间的弹性。从环境治理能力看,数字技术构建全流程环境监管体系,区块链确保排污数据真实,人工智能识别异常排放,数字孪生模拟污染扩散路径,这种精准管控降低企业合规成本并通过倒逼工艺升级减少单位产出的污染排放,使 GTFP 更真实反映技术进步质量。从绿色技术创新看,数字平台加速知识与技术扩散,云计算降低研发门槛,工业互联网促进绿色专利跨界应用,数字与绿色技术融合(如 AI 驱动的碳捕集)催生新范式,对 GTFP 产生乘数效应。综上,提出如下假设:

假设 1:数字化转型能显著促进绿色全要素生产率的提升。

3.2. 数字化转型与产业结构合理化

数字化转型能够通过重塑产业间生产要素的流动规则来对产业结构合理化起到显著的正向作用,产业结构合理化的核心在于使得各个产业间比例逐渐地变得协调且要素配置高效,而数字化技术的出现为这一过程提供了全新的实现路径[10]。从生产要素配置的市场机制上看,数字化转型提升了价格信号的传递效率与准确性,打破了原有的信息壁垒和减少了信息不对称的现象,使得资本、劳动等生产要素能更快地从生产过剩产业流向供给缺乏的产业;在产业关联方面,数字化技术的出现,使得跨产业的协同成为可能,这种产业之间“数字纽带”的形成不仅降低了交易成本,更是通过价值链的重构促进了产业间的投入产出关联,使得各个产业的生产活动不再割裂地进行,而是相互协作相互配合地进行生产;从产业内部升级的角度看,数字化转型加速了低效产业的出清与高效产业的扩张,使得那些可以适应数字化浪潮的产业被市场淘汰,而能够接受数字化技术改造的传统产业则继续生存下去。同时,数字技术催生的各类新兴产业凭借其高生产率优势吸引生产要素的集聚,从而与传统产业进行良性互补,进而促进产业结构的合理化。综上提出如下假设:

假设 2:数字化转型能显著促进产业结构合理化。

3.3. 产业结构合理化的作用机制

数字化转型通过驱动产业结构合理化,成为提升绿色全要素生产率(GTFP)的核心作用路径。这一路径的核心在于利用数字技术重塑资源配置逻辑,实现经济系统效率与环境效益的协同跃升[11]。首先,在要素配置优化方面,数字技术(如大数据、物联网)打破信息壁垒,实现要素供需的精准匹配,使资本、劳动、能源等从高耗低效部门流向绿色高效部门,减少资源错配与浪费,降低单位产出的污染排放,构成

GTFP 提升的微观基础。其次,在产业协同与绿色效能方面,数字平台模糊产业边界,促进制造业与智能化服务、绿色技术研发的深度融合;数据追踪使物质流、能源流可视化,支撑跨企业资源共享与协同减排;数字工具加速绿色技术的研发与渗透,增强知识溢出效应,释放系统性能效红利。最后,在宏观政策与市场引导方面,基于产业运行数据,政策制定者可精准识别高污染环节,通过绿色信贷、碳税等工具引导资本向低碳领域集聚[12];数字平台强化市场信号,倒逼企业优化生产结构、淘汰落后产能,避免区域低效竞争,推动绿色产业集群发展。综上,产业结构合理化将数字化转型的力量有效传导至 GTFP 提升,超越末端治理,触及发展方式转变的核心。综上提出如下假设:

假设 3:产业结构合理化是数字化转型促进绿色全要素生产率提升的重要作用路径。

4. 研究设计

4.1. 样本与数据

以 2011~2023 年为研究时间跨度,剔除西藏及港澳台地区的数据之后,选取 30 个省级行政区的面板数据,运用实证研究的方法来分析数字化转型与绿色全要素生产率的影响效应。数据来源于历年各省统计年鉴、国家统计局、《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》等。对于部分年份的省份数据缺失值,运用插值法进行填补,以此来保证数据的完整性。

4.2. 变量测度与说明

4.2.1. 被解释变量

绿色全要素生产率(GTFP)。其衡量的是在同时考虑期望产出和非期望产出的双重约束之下,一个经济体或区域在特定时期内全部生产要素的综合利用效率及其动态变化。与传统的全要素生产率(TFP)仅关注经济效率不同,GTFP 的核心创新在于将环境因素内生,将其视为生产过程中不可避免的副产品(非期望产出),并评估在努力减少环境负外部性的前提下,实现经济增长的效率水平。借鉴现有学者的研究成果[13],对绿色全要素生产率的测度是以地区实际 GDP 为期望产出变量,投入要素中劳动要素用年末就业人数来衡量,资本要素用固定资本存量(利用永续盘存法计算所得)来衡量[14],非期望产出以地区排放的工业废水(万吨)、工业二氧化硫(万吨)和一般工业固体废弃物(万吨)作为指标来衡量,指标体系如表 1 所示,并使用 SBM-GML 模型来对绿色全要素生产率进行计算[15][16]。

Table 1. Evaluation index system of green total factor productivity

表 1. 绿色全要素生产率评价指标体系

项目	一级指标	变量	
投入	劳动力投入	年末就业人数(万人)	
	资本投入	固定资本存量(亿元)	
	能源投入	能源消耗总量(万吨标准煤)	
绿色全要素生产率	期望产出	地区国民生产总值	
	非期望产出	工业废水排放	工业废水排放(万吨)
		工业二氧化硫排放	工业二氧化硫排放(万吨)
		工业固体废弃物	一般工业废弃物(万吨)

4.2.2. 核心解释变量

数字化转型(DT)。数字化转型是以数字化技术、数字化产品和数字化平台的基础设施为支撑点,进

而引发个人、组织、产业等多个层面变革的过程。与单纯的“数字化”(Digitalization)或“信息化”(Informatization)不同,数字化转型的本质在于“转型”(Transformation),其核心特征表现为:技术融合性:并非单一技术应用,而是多种数字技术的集成与协同创新;数据驱动性:将数据作为新型关键生产要素,驱动决策智能化与运营精准化;系统重构性:引发商业模式创新(如平台化、服务化)、生产方式变革(如柔性制造、智能生产)、组织形态演进(如网络化、敏捷化)及产业边界融合;价值创造性:目标在于提升效率、创新产品/服务、增强竞争力并开拓新增长点。基于现有学者的研究基础[17][18],综合考虑数字化转型涉及的基础设施、经济效益与研发投入,从数字化基础设施、数字化能力与应用和数字化投入三个维度来构建数字化转型的综合评价指标体系,如表2,并且使用熵值法来对数字化转型进行测算。

Table 2. Evaluation index system of digital transformation

表 2. 数字化转型评价指标体系

项目	一级指标	二级指标	变量	属性
数字化转型	数字化基础设施	光缆覆盖率	光缆密度(公里/平方千米)	正
		互联网普及率	域名数(个)	正
			互联网宽带接入用户数/地区常住人口数	正
		移动设备普及率	移动电话普及率(部/百人)	正
	数字化能力与应用	网站普及率	每百家企业拥有网站数量(个)	正
		数字化商业	电子商务销售额(亿元)	正
		数字化产业	软件业务收入(亿元)	正
		数字化金融	数字普惠金融指数	正
	数字化投入	数字化人员占比	信息传输、软件和信息技术服务业城镇就业人员比重	正
		科技创新投入	规模以上工业企业 R&D 经费(亿元)	正

4.2.3. 中介变量

产业结构合理化(RIS)。它衡量的是生产要素(资本、劳动、能源等)在不同产业部门之间配置的协调程度与效率水平,反映产业系统内部供需结构的动态适配性与资源利用的整体有效性。其本质在于通过消除扭曲、减少错配,使产业结构符合特定发展阶段下资源禀赋、技术条件和环境约束的最优状态,实现产业间比例协调、分工深化与耦合共生。借鉴现有学者的研究[19],可以用泰尔指数来衡量产业结构合理化的程度,公式为 $RIS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_{(i,m,t)}}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_{(i,m,t)}}{L_{(i,m,t)}} \frac{Y}{L} \right)$, 式中 Y 代表地区生产总值(GDP), $Y_{(i,m,t)}$ 代表 i 地区第 m 产业在 t 时间的生产总值, L 代表地区总劳动投入(就业人数), $L_{(i,m,t)}$ 代表 i 地区第 m 产业在 t 时间的劳动投入, 本文研究的是第一、二和三产业, 因此, $i = 1, 2, 3$ 。RIS 是产业结构合理化的负向指标, 即产业结构越合理 RIS 的值越小, 反之, RIS 的值越大。

4.2.4. 控制变量

本文控制了如下可能影响绿色全要素生产率的其他因素: 第一, 受教育程度(ED), 以当地高等教育人数占该地区总人数的比重来衡量; 第二, 第三产业增加值(SI)占比, 以第三产业增加值占全产业增加值的比重来衡量; 第三, 对外开放程度(TO), 以进出口总额占当地生产总值的比重来衡量。

4.3. 模型构建

4.3.1. 基准回归模型

在上述理论分析和研究假设的基础上，构建如下基准回归模型，定量分析数字化转型对绿色全要素生产率的影响作用：

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DT_{it} + \alpha_2 M_{it} + m_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， i ， t 分别代表省级行政区和时间， $GTFP$ 代表绿色全要素生产率， DT 代表数字化转型， M 代表控制变量， m_i 表示个体固定效应， ε_{it} 代表随机扰动项。

4.3.2. 中介效应检验模型

本文将产业结构合理化(RIS)作为中介变量，构建中介效应模型。中介效应模型的检验步骤为：第一步，检验模型(1)中数字化转型(DT)的回归系数 α_1 是否显著；第二步，对数字化转型与产业结构合理化进行回归，判断模型(2)中的数字化转型的系数 β_1 是否显著；第三步，构建数字化转型与产业结构合理化对绿色全要素生产率影响的模型(3)，检验数字化转型与产业结构合理化的系数 γ_1 ， γ_2 是否显著。在三个模型的回归结果中，若 α_1 、 β_1 和 γ_2 显著而 γ_1 不显著，则说明产业结构合理化具有完全的中介效应；若 α_1 、 β_1 、 γ_1 和 γ_2 均显著，则说明产业结构合理化具有间接的中介效应。模型(2)与模型(3)的具体形式如下：

$$RIS_{it} = \beta_0 + \beta_1 DT_{it} + \beta_2 M_{it} + m_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GTFP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DT_{it} + \gamma_2 RIS_{it} + \gamma_3 M_{it} + m_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

4.4. 描述性分析

表 3 为各变量描述性统计的结果。观察数据发现，绿色全要素生产率的均值为 0.3876，标准差为 0.2404；绿色全要素生产率的最大最小值分别为 1 与 0.182，这表明我国各地区的绿色全要素生产率的差异十分明显。同时，数字化转型的最大值与最小值分别为 0.6697 与 0.0365，这表明我国各省级行政区的数字化转型程度存在明显的区域差异性。

Table 3. Descriptive statistics for each variable

表 3. 各变量描述性统计结果

变量类型	名称	符号	样本总量	标准差	平均值	最大值	最小值
被解释变量	绿色全要素生产率	GTFP	390	0.2404	0.3876	1	0.182
核心解释变量	数字化转型	DT	390	0.1122	0.2148	0.6697	0.0365
中介变量	产业结构合理化	RIS	390	0.1031	0.1570	0.4980	0.0061
	受教育程度	ED	390	0.0787	0.1558	0.5049	0.5365
控制变量	第三产业占比	FWY	390	0.4702	0.5062	9.5525	0.0599
	对外开放程度	TRADE	390	1.2118	0.3264	23.4975	0.0076

5. 实证结果分析

5.1. 基准回归

为检验数字化转型对绿色全要素生产率(GTFP)的影响，本文构建基准回归模型，结果如表 4 所示。无论是否加入控制变量，数字化转型(DT)的回归系数均在 1% 的统计水平上显著为正，加入控制变量后系数为 0.7704，说明数字化转型能够显著促进 GTFP 提升，假设 1 得证。其作用机制在于数字技术降低信息壁垒与交易成本，实现产业链全环节实时感知与智能决策，并通过知识溢出推动清洁技术渗透，弱化

环境约束对生产率的压制效应。从控制变量看，受教育程度(ED)、第三产业占比(FWY)和对外开放程度(TRADE)的系数分别为 0.6002、0.2001 和 0.1070，均通过 1%显著性检验，表明高素质劳动力、服务业结构优化及国际经贸合作均能正向驱动 GTFP。加入控制变量后模型拟合优度(Adj-R²)为 0.632，优于未加入时的 0.4992，因此后续分析采用加入控制变量的回归结果。

Table 4. Baseline regression results

表 4. 基准回归结果

变量	GTFP	
	(1)	(2)
DT	0.7390*** (0.0624)	0.7704*** (0.1303)
ED		0.6002*** (0.1907)
FWY		0.2001*** (0.0808)
TRADE		0.1070*** (0.1070)
常数项	0.2290*** (0.1403)	0.1950*** (0.0224)
固定效应	yes	yes
样本总量	390	390
Adj-R ²	0.4992	0.632

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

5.2. 稳健性检验

5.2.1. 核心解释变量滞后一期

为了缓解内生性的偏误特别是反向因果，即核心解释变量数字化转型会受到绿色全要素生产率的影响，于是采用将核心解释变量数字化转型(DT)替换为滞后一期的(DT_{t-1})。结果如表 5 所示，滞后项系数仍在 1%统计水平上显著为正，且与基准模型的方向一致，这表明基准回归得到的结论具有稳健性，同时也符合技术扩散的时滞特征，数字化投入需要经过组织变革和技术消化周期，其对绿色全要素生产率的提升效应会在次年显现。

Table 5. Core explanatory variables lag one-stage regression results

表 5. 核心解释变量滞后一期回归结果

变量	GTFP
DT	1.2495*** (0.1978)
ED	0.2113* (0.4003)
FWY	0.5005* (0.4918)
TRADE	0.3198** (0.0727)
常数项	0.1044*** (0.0147)
样本总量	360
Adj-R ²	0.645

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

5.2.2. 剔除特殊样本

相较于其他省级行政区，北京、上海、江苏、广东、浙江、天津和重庆地区的经济发展水平较高，并且具有相关的环境保护政策，数字技术和新兴产业发展比较迅速，因此其在数字化转型影响绿色全要素生产率上具有较大的优势，从而容易导致研究结论出现偏误。故而，将上述地区的面板数据剔除重新进行回归检验，结果如表 6 所示。观察数据可知，数字化转型对绿色全要素生产率的影响的显著性与正负方向都与基准回归的检验结果相同，充分证明了文章的核心结论较为稳健和可靠。

Table 6. Regression results after exclusion of special samples

表 6. 剔除特殊样本后的回归结果

变量	GTFP
DT	0.67533*** (0.1305)
ED	0.0263* (0.1566)
FWY	0.0023** (0.0498)
TRADE	0.1204* (0.0659)
常数项	0.3167*** (0.0236)
样本总量	299
Adj-R ²	0.642

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

5.3. 中介效应检验

表 7 为中介效应检验结果，其中，模型(1)的回归结果显示，数字化转型对绿色全要素生产率产生显著的正向作用。模型(2)的回归结果表明，数字化转型显著地促进了产业结构的合理化，回归系数为负的原因是产业结构合理化是一个负向指标，即产业结构合理化的数值越小则产业结构合理化的程度就越高。因此，假设 2 得到证明。在模型(1)的基础之上，在模型(3)中加入了产业结构合理化这一中介变量，结果显示，数字化转型的回归系数显著为正，且产业结构合理化的回归系数显著为负，这仍旧是由于产业结构合理化是一个负向指标，同时，在加入产业结构合理化这一中介变量之后，模型(3)中的数字化转型的回归系数变小，说明中介变量有效。因此，假设 3 成立。

Table 7. Intermediate effect test results

表 7. 中介效应检验结果

变量	GTFP	RIS	GTFP
	(1)	(2)	(3)
DT	0.7704*** (0.1303)	-0.2342*** (0.0692)	0.6574*** (0.1201)
RIS			-0.0798*** (0.0906)
控制变量	Yes	Yes	Yes
常数项	0.1950*** (0.0223)	0.3121*** (0.1187)	0.0543*** (0.3482)
固定效应	Yes	Yes	Yes
Adj-R ²	0.632	0.74	0.659

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

5.4. 异质性分析

5.4.1. 区域异质性

以“秦岭-淮河”为分界线将样本分为南方与北方地区，回归结果如表 8 所示。数字化转型在南方和北方地区均显著正向影响绿色全要素生产率(GTFP)，系数分别为 2.0752 和 0.9525，均通过 1%显著性检验，但南方地区的促进作用显著强于北方。其原因在于：南方地区以长三角、珠三角为核心，民营经济活跃，高技术制造业与现代服务业占比高，与数字化转型适配性强；而北方地区重工业占比高，传统制造业数字化改造面临设备更新、流程重构等高成本与长周期壁垒。同时，南方省份更早布局“数字+绿色”协同政策，5G 基站、数据中心等新型基础设施密度为北方的 1.5~2 倍，环境规制强度更高，形成“政策倒逼+技术赋能”叠加效应；此外，南方聚集了全国 70%以上的数字经济独角兽企业，创新转化效率与对外开放程度均高于北方，转型动能更充足。

Table 8. Regional heterogeneity test results

表 8. 区域异质性检验结果

变量	南方地区	北方地区
DT	2.0752*** (0.2097)	0.9525*** (0.2189)
控制变量	Yes	Yes
常数项	0.0695*** (0.0433)	0.2971*** (0.1069)
固定效应	Yes	Yes
样本总量	182	208
Adj-R ²	0.741	0.708

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

5.4.2. 对外开放水平异质性

Table 9. Heterogeneity test results of opening level

表 9. 对外开放水平异质性检验结果

变量	对外开放水平较高地区	对外开放水平较低地区
DT	1.2369*** (0.2375)	1.0151** (0.2188)
控制变量	Yes	Yes
常数项	0.0772*** (0.0540)	0.2738*** (0.0319)
固定效应	Yea	Yes
样本总量	195	195
Adj-R ²	0.636	0.445

注：***、**、*分别为 1%、5%、10%的显著性水平，()内为标准误。

以“各省的对外贸易总额占比”测算各个地区的对外开放水平，将各省级行政区 2011~2023 年的对外开放水平进行平均，再区域 30 个省级行政区对外开放水平平均值的中位数，将 30 个省级行政区分解为对外开放水平较高和较低的两组，分析数字化转型对绿色全要素生产率的异质性影响，结果见表 9。表中数据显示，在对外开放水平较高的地区，数字化转型的回归系数在 1%的统计水平上显著为正；在对外

开放水平较低的地区,数字化转型的回归系数,通过了5%的统计水平的显著性检验,表明在对外开放水平较高地区数字化转型对绿色全要素生产率的促进作用更加明显。究其原因,在于对外开放程度较高的地区,更加容易接受来自海外先进的绿色技术和管理经验,同时可以吸纳来自海外的高水平人才,从而使得数字化转型对绿色全要素生产率的促进作用好于对外开放程度较低的地区[20]。

6. 结论与启示

以2011~2023年中国30个省级行政区为样本,实证分析发现:数字化转型对绿色全要素生产率(GTFP)具有显著正向影响,经过内生性与稳健性检验后结论依然可靠;产业结构合理化在其中发挥中介作用,验证了“数字化转型→产业结构合理化→GTFP提升”的传导路径;区域异质性表明,南方地区数字化转型对GTFP的促进作用强于北方地区;对外开放程度较高地区的数字化转型驱动效应更为明显。基于此,提出如下政策启示:一是强化数字化转型的顶层设计与基础设施建设,重点推进5G、工业互联网、数据中心等新型基础设施均衡布局,向北方地区倾斜资源,并将“数字+绿色”协同纳入地方绿色发展考核体系。二是以数字化转型驱动产业结构绿色化重构,建立跨产业数据共享平台,促进要素从高耗能产业向绿色低碳产业流动,支持“数字+制造”“数字+服务”跨界融合,降低全产业链的能耗与排放。三是激发产业结构合理化的中介效能,对结构失衡地区通过税收优惠、专项补贴等激励企业数字化改造,加速低效产业退出,依托数字化平台推动产学研协同,提升绿色技术渗透效率。四是差异化推进区域数字化与绿色发展,南方地区依托现有优势发展“数字+绿色”创新集群,北方地区加大传统产业数字化政策支持,设立专项基金用于重工业设备更新与流程重构,加强南北技术合作以降低转型成本。五是提高对外开放与数字化转型的协同效应,鼓励高开放地区建设“数字贸易+绿色制造”试点,引进国际先进数字技术与环境管理经验,提升本土企业绿色生产能力。综上,数字化转型是提升GTFP的关键引擎,产业结构合理化是其核心传导路径,通过精准施策可释放“数字赋能绿色”的乘数效应,为“双碳”目标与经济高质量发展提供支撑。

参考文献

- [1] 刘赢时,田银华,罗迎. 产业结构升级、能源效率与绿色全要素生产率[J]. 财经理论与实践, 2018, 39(1): 118-126.
- [2] 王巧然. 城市群数字经济发展与绿色全要素生产率: 作用机理与普惠性质[J]. 中国流通经济, 2023, 37(6): 51-64.
- [3] 刘文俊,彭慧. 区域制造企业数字化转型影响绿色全要素生产率的空间效应[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 33-44.
- [4] 周晓辉,刘莹莹,彭留英. 数字经济发展与绿色全要素生产率提高[J]. 上海经济研究, 2021, 33(12): 51-63.
- [5] 王嘉歆. 数字化转型对流通业绿色全要素生产率的影响效应: 理论和实证检验[J]. 商业经济研究, 2024(10): 126-129.
- [6] 吕铁. 传统产业数字化转型的趋向与路径[J]. 人民论坛·学术前沿, 2019(18): 13-19.
- [7] 陶锋,王欣然,徐扬,等. 数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J]. 中国工业经济, 2023(5): 118-136.
- [8] 易靖韬,王悦昊. 数字化转型对企业出口的影响研究[J]. 中国软科学, 2021(3): 94-104.
- [9] 操小娟,张诗嘉. 政府数字治理与绿色全要素生产率提升——来自“互联网+政务服务”试点政策的证据[J]. 上海经济研究, 2024(12): 42-56.
- [10] 王林梅,邓玲. 我国产业结构优化升级的实证研究——以长江经济带为例[J]. 经济问题, 2015(5): 39-43.
- [11] 刘定平,施雨. 数字经济推动绿色全要素生产率的作用机制与空间溢出效应研究[J]. 统计理论与实践, 2024(6): 3-9.
- [12] 涂心语,严晓玲. 数字化转型、知识溢出与企业全要素生产率——来自制造业上市公司的经验证据[J]. 产业经济研究, 2022(2): 43-56.
- [13] 曾岚婷,陈毅辉,周小亮. 数字化转型与绿色全要素生产率耦合协调的时空格局及分异机理研究[J]. 环境科学研究, 2025, 38(6): 1383-1396.

-
- [14] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952-2000[J]. 经济研究, 2004, 39(10): 35-44.
- [15] Tone, K. (2001) A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **130**, 498-509. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(99\)00407-5](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(99)00407-5)
- [16] Oh, D. (2010) A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index. *Journal of Productivity Analysis*, **34**, 183-197. <https://doi.org/10.1007/s11123-010-0178-y>
- [17] 刘飞. 数字化转型如何提升制造业生产率——基于数字化转型的三重影响机制[J]. 财经科学, 2020(10): 93-107.
- [18] 杨文溥. 中国产业数字化转型测度及区域收敛性研究[J]. 经济体制改革, 2022(1): 111-118.
- [19] 干春晖, 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, 46(5): 4-16, 31.
- [20] 李从欣, 杨晓敏. 区域数字化对绿色全要素生产率影响研究——基于金融资源配置效率的调节效应[J]. 金融理论与教学, 2024, 42(4): 57-70.