

数字经济对低碳转型的影响机制与提升路径

李颜平

南京邮电大学经济学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年10月15日; 录用日期: 2025年10月29日; 发布日期: 2025年11月21日

摘要

在“双碳”目标和数字经济大力发展的背景下, 探究数字经济对低碳转型的影响机制与提升路径具有重要意义。利用2008~2023年中国31个省级行政单位的面板数据, 探讨了数字经济与低碳转型的关系。研究发现: 数字经济对低碳转型具有显著正向促进作用, 该结论在稳健性检验后仍然成立; 中介效应检验表明, 绿色技术创新与产业结构升级在数字经济影响低碳转型的路径中发挥部分中介作用; 异质性分析表明, 无论是东部地区, 还是中、西部地区, 数字经济对低碳转型均具有显著促进效应; 从战略区域维度看, 在长江经济带数字经济对低碳转型的促进效应同样显著; 政策效应分析表明, “宽带中国”政策实施后数字经济的低碳转型驱动效应显著增强。

关键词

数字经济, 低碳转型, 绿色技术创新, 产业结构升级, 宽带中国

The Impact Mechanism and Enhancement Pathways of the Digital Economy on Low-Carbon Transformation

Yanping Li

School of Economics, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

Received: October 15, 2025; accepted: October 29, 2025; published: November 21, 2025

Abstract

Against the backdrop of the “dual carbon” goals and the vigorous development of the digital economy, exploring the impact mechanisms and enhancement pathways of the digital economy on low-carbon transformation holds significant importance. Using panel data from China’s 31 provincial-level administrative units spanning 2008 to 2023, this study examines the relationship between the

digital economy and low-carbon transition. The findings reveal that the digital economy exerts a significant positive effect on low-carbon transition, a conclusion that remains robust after stability tests. Mediating effect tests indicate that green technological innovation and industrial structure upgrading partially mediate the pathway through which the digital economy influences low-carbon transition. Heterogeneity analysis shows that the digital economy significantly promotes low-carbon transition in both eastern regions and central/western regions. From a strategic regional perspective, the digital economy also significantly promotes low-carbon transformation in the Yangtze River Economic Belt. Policy effect analysis indicates that the low-carbon transformation driving effect of the digital economy significantly strengthened after the implementation of the “Broadband China” policy.

Keywords

Digital Economy, Low-Carbon Transition, Green Technology Innovation, Industrial Structure Upgrading, Broadband China

Copyright © 2025 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

近年来,随着气候变暖的严峻性持续提升,低碳转型已经成为中国发展战略[1]。数字经济作为推动中国经济建设的新引擎与新动力,对促进经济高质量发展发挥着重要作用。与此同时,实现低碳转型是经济高质量发展的助推器,二者共同构成高质量发展的关键支撑。在此过程中,数字经济通过提升生态效率,正成为助力低碳转型的中坚力量。2023年,全国生态环境保护大会强调,深化人工智能等数字技术应用,构建美丽中国数字化治理体系,建设绿色智慧的数字生态文明。2024年,国家发展改革委办公厅与国家数据局综合司联合印发《数字经济发展2024年工作要点》,部署数字基础设施、产业数字化转型等9方面任务。其中“深化制造业智改数转网联”“加快建设全国一体化算力网”等举措,契合“数字化绿色化协同转型”战略导向,以数字技术赋能产业升级,间接助力高质量绿色发展。目前,根据国际能源署(IEA)发布的《全球能源回顾2025》报告显示,2024年中国能源相关二氧化碳排放量约119.6亿吨,约占全球该领域排放总量的三分之一,因此需要迫切解决低碳转型问题。2025年全国两会进一步强调,应当把握数字化、网络化、智能化发展大势,把创新作为第一动力、把安全作为底线要求、把普惠作为价值追求,加快推动网络空间创新发展、安全发展、普惠发展,携手迈进更加美好的“数字未来”。推动数字经济与生态文明建设深度融合,通过二者协同联动构建资源高效利用、排放精准管控的绿色低碳数字经济新生态。因此,科学研究数字经济对低碳转型的影响机制和提升路径,有助于解决经济高质量发展过程中的迫切问题。

当前国际学者关于数字经济与碳排放的研究主要从影响机制、空间效应和中介效应三个维度展开。Ding Y等(2025)[2]强调提升数字产业技术实力、降低能源消耗强度、优化产业结构、实施严格的环境规制是实现碳减排的关键机制;Zhang J等(2024)[3]从空间效应视角构建RCEP国家数字经济对低碳物流效率影响的理论框架;Jin H等(2025)[4]运用中介效应模型和有调节的中介效应模型检验了DE和LCES的潜在影响渠道和调节机制。而国内学者关于数字经济与低碳转型的研究主要从数字经济赋能低碳转型的产业领域、模型方法和影响效应三个维度分析。其一,在数字经济赋能低碳转型的产业领域方面,学者们从农业、体育产业、能源产业等产业层面进行深入探讨。陈中伟和汤灿(2023)[5]引入社会化服务角度,

通过回归分析模型实证检验区域数字经济发展对农业碳排放的影响机制；王孟和刘东锋(2022) [6]指出数字技术赋能能够降低体育产业的碳排放强度，促进体育产业降碳脱碳，助力体育产业逐步实现碳达峰碳中和；孙菲等(2024) [7]研究区域数字赋能水平与传统能源产业低碳转型的效果。其二，在模型方法的应用方面，张哲华和钟若愚(2023) [8]提出，应用固定效应模型、中介效应模型及面板门槛模型，实证检验数字经济对城市低碳转型的影响及绿色技术创新在二者间的中介效应。其三，在影响效应方面，张平淡和郝时雨(2025) [9]指出数字经济引领绿色低碳转型主要通过数字经济与绿色创新的双向赋能机制、对资源配置格局的重塑机制、对产业优化升级的推动机制发挥作用。

基于以上文献综述的梳理，关于数字经济对低碳转型的影响，学者们主要关注内生增长模型(杨刚强等, 2023) [10]、中介效应模型(余姗等, 2022) [11]等模型开展研究。本文的边际贡献主要体现在三方面：其一，在研究场景拓展上，基于 2008~2023 年中国 31 个省级行政单位的面板数据，将数字经济影响低碳转型的绿色技术创新与产业结构升级双中介路径、东中西部及长江经济带区域差异的地理异质性与“宽带中国”政策效应纳入同一实证检验场景，验证了已有结论。其二，在机制分析细化上，不仅探究数字经济与低碳转型的直接关联，更进一步区分绿色技术创新与产业结构升级的中介路径差异，厘清了数字经济赋能低碳转型的复杂多重作用链条。其三，在实证方法应用上，以基准回归为基础，通过稳健性检验与异质性分析形成完整实证链条，为数字经济与低碳转型因果关系的识别提供了可复现的方法参考。

2. 理论机制与研究假设

2.1. 数字经济对低碳转型的直接影响

数字经济赋能行业绿色低碳发展，引领我国经济实现结构转型，成为推动我国经济高质量、可持续发展的主要动力，这已是基本共识[12]。其一，数字经济具有网络效应。数字要素具备可复制性、融合性、低成本传播的特征，进而可跨区域自由流动。因此其依托互联互通的信息网络，打破壁垒、提升资源可及性，降低要素流动中的能源消耗成本，为低碳转型提供支撑。但数字经济的“虚拟性”离不开实体基础设施支撑，且 AI 等计算密集型应用正推动能耗快速增长，可能形成新的碳排放增长点。其二，数字经济具有知识溢出效应。数字平台将低碳技术、碳核算方法等专业知转化为可便捷获取的内容，降低中小企业知识获取成本以快速应用节能方案，助力低碳转型目标的实现。同时需警惕回弹效应，数字技术带来的效率提升可能刺激消费与生产规模扩张，部分抵消节能成果。据此，本文提出以下假设：

假设 1：数字经济能够正向作用低碳转型。

2.2. 数字经济对低碳转型的间接影响

在数字经济高速发展过程中，物联网、大数据等新兴数字技术逐渐普及，能有效降低城市企业内部绿色技术研发门槛与清洁技术的接入成本[13]，为企业绿色技术创新提供坚实的技术基础与成本优势，加速技术成果向实际生产转化。一方面，数字经济通过技术赋能与资源整合来强化绿色技术创新。其依托大数据、云计算等技术将绿色技术研发成果、环保管理经验等知识要素整合至数字平台，同时通过数字平台聚合多元主体资源，形成创新合力，切实提升绿色技术创新实效。但此类数字基础设施的运行存在显著能耗压力，且电子设备快速迭代产生的电子废物已成为突出环境问题。另一方面，绿色技术创新通过多领域技术突破实现低碳转型。在能源端依托储能技术优化能源结构来构建多能互补体系，在工业领域借助碳捕集利用与封存技术提升能效与循环水平，在交通系统通过新能源车、智能交通实现脱碳，为低碳转型提供助力。据此，本文提出以下假设：

假设 2：数字经济能够通过加强绿色技术创新，进而推动低碳转型。

在数字经济时代背景下，产业结构升级是推动经济发展模式转型与质量提升的核心引擎，其演进进

程既受到数字技术迭代的驱动，又为低碳转型提供关键支撑。数字经济对产业结构升级的驱动作用主要体现在两个维度。一方面，依托大数据、云计算构建的虚拟协作网络，使产业链上下游企业突破地理限制实现高效联动，加速生产要素向优势区域与优势产业集聚，从而为产业结构向高端化、集约化演进奠定要素基础；另一方面，数字技术的快速迭代推动了各行各业的积极变革，传统产业不断被淘汰，新兴产业开始形成，同时伴随着劳动生产率的提高[14]。但部分新兴数字产业存在结构性高耗能特征，且数字消费扩张可能加剧能源资源错配。作为经济转型的核心环节，产业结构升级进一步为低碳转型提供了坚实的组织载体与效率支撑。据此，本文提出以下假设：

假设 3：数字经济能够通过加强产业结构升级，进而推动低碳转型。

3. 模型假设与数据来源

3.1. 模型设定

3.1.1. 基准回归模型

$$GTFP_{it} = a_0 + a_1 Dig_{it} + a_2 Z + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$
 (1)

其中， $GTFP_{it}$ 表示低碳转型， Dig_{it} 表示数字经济， a_0 表示常数项， a_1 表示各自变量的回归系数， Z 表示控制变量即人力资本水平、财政支持力度、政府污染治理水平和经济发展水平， μ_i 为不随时间变化的地区固定效应， δ_t 指代时间固定效应， ε_{it} 为随机扰动项 i 为地区， t 为时间。

3.1.2. 中介效应模型

$$M_{it} = b_0 + b_1 Dig_{it} + b_2 Z + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$
 (2)

$$GTFP_{it} = c_0 + c_1 M_{it} + c_2 Z + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$
 (3)

$$GTFP_{it} = d_0 + d_1 M_{it} + d_2 Dig_{it} + d_3 Z + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$
 (4)

其中， M_{it} 表示中介变量即绿色技术创新和产业结构升级。

3.2. 变量选取

3.2.1. 被解释变量：低碳转型

低碳的核心内涵是通过技术创新、能源结构优化、产业模式调整及消费行为引导等多元路径，减少人类活动过程中化石能源消耗与温室气体排放，进而实现经济社会发展与生态环境承载能力的协调适配，降低对全球气候系统的负面影响。为科学量化低碳转型水平，本文参考李靖等(2025) [15]研究框架，选取绿色全要素生产率($GTFP$)衡量低碳转型水平。该指标采用 SBM-GML 指数法来测度(见表 1)。

Table 1. Index system of low-carbon transformation level
表 1. 低碳转型水平指标体系

指标	变量	单位
投入指标	劳动	年末从业人员 万人
	资本投入	资本存量 亿元
		城市建设用地面积 平方公里
	能源消耗	供水总量 亿吨
		用电总量 亿千瓦时

续表

产出指标	期望产出	地区生产总值	亿元
		全体居民人均可支配收入	元
		城市绿地面积	万公顷
	非期望产出	二氧化碳排放量	万吨
		废水排放量	万立方米
		工业烟粉尘	吨
		二氧化硫排放量	万吨

3.2.2. 解释变量：数字经济

数字经济作为新型经济形态，其发展水平的测度需要兼顾基础设施支撑、产业发展动能与社会经济环境。本文借鉴王军等(2021) [16]研究，从三个核心维度设计指标体系：一是反映数字经济发展根基的基础支撑维度，二是体现数字产业核心竞争力的产业活力维度，三是反映数字经济外部条件的经济环境维度，共同构成数字经济指标体系。其中变量的选择主要依照科学严谨性、层次合理性及数据的可获取性等原则，最终选取 12 个变量(见表 2)。在指标处理环节，采用熵权法依据各指标信息熵值确定权重，避免主观赋权带来的偏差，同时对所有指标进行标准化转换，消除不同指标间单位和量纲差异，为后续准确测度数字经济发展水平奠定基础。

Table 2. Index system of digital economy development level
表 2. 数字经济发展水平指标体系

指标		变量	单位	属性
数字基础设施	硬件设施	电话普及率(包括移动电话)	部/百人	+
		移动电话年末用户	万户	+
		互联网宽带接入用户	万户	+
	软件设施	网站数	万个	+
		电信业务总量	亿元	+
		规模以上工业企业 R&D 经费	万元	+
数字产业发展	产业发展	国内发明专利申请授权量	项	+
		软件产品收入	万元	+
		电子商务销售额	亿元	+
		互联网上网人数	万人	+
		政府科学支出占比	%	+
数字经济环境	创新环境			
	人才环境	高等教育从业人员	人	+

3.2.3. 机制变量：绿色技术创新和产业结构升级

绿色技术创新水平是推动低碳转型的核心技术驱动因素。本文借鉴蒋金荷和黄珊(2024) [17]的做法，采用每万人拥有的绿色专利申请量作为衡量指标。产业结构升级是影响碳排放规模与强度的结构性关键因素，本文以第三产业增加值与第二产业增加值的比值作为衡量指标[18]。

3.2.4. 控制变量

本文参考现有研究[19]-[21]选取以下控制变量。人力资本水平(*Edu*)，以高等教育从业人员数量与区域总从业人员数量的比值衡量；财政支持力度(*Fs*)，以地方财政一般预算支出与区域生产总值的比值衡量；政府污染治理水平(*Gpcc*)，以环境污染治理投资额占区域生产总值的比重衡量；经济发展水平(*Gdp*)，以地区生产总值取对数衡量。

3.3. 数据来源

本文以我国 31 个省级行政单位 2008~2023 年的面板数据为样本(由于数据的可得性原因，本文研究不包含我国港澳台地区的样本数据)，数据来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国生态环境统计年报》以及国家知识产权数据库等。变量描述性统计见表 3。

Table 3. Descriptive statistics of variables
表 3. 变量描述性统计

变量	变量说明	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>GTFP</i>	低碳转型	496	0.673	0.286	0.018	1.075
<i>Dig</i>	数字经济	496	0.464	0.251	0.031	1.038
<i>GTC</i>	绿色技术创新	496	7.522	1.728	0.000	10.933
<i>Iup</i>	产业结构升级	496	1.382	0.768	0.543	5.852
<i>Edu</i>	人力资本水平	496	0.020	0.006	0.007	0.044
<i>Fs</i>	财政支持力度	496	0.275	0.194	0.098	1.326
<i>Gpcc</i>	政府污染治理水平	496	1.185	0.817	0.050	4.625
<i>Gdp</i>	经济发展水平	496	10.762	0.567	9.193	12.286

4. 实证分析

4.1. 基准回归

表 4 汇报了数字经济对低碳转型的基准回归结果。由列(1)可知，在未纳入控制变量的情况下，数字经济对低碳转型的影响系数为 1.056，且在 1%的显著性水平下通过统计检验，这表明在未排除其他干扰因素的初始设定中，数字经济已呈现出对低碳转型的显著正向促进作用，初步为数字经济推动低碳转型的研究假设提供了经验证据。进一步观察列(2)，在加入人力资本水平、财政支持力度、政府污染治理水平以及经济发展水平共 4 个控制变量以排除其他潜在因素干扰后，数字经济对低碳转型的影响系数调整为 1.710，且依旧在 1%的显著性水平下显著。这一结果表明，即便控制了其他可能影响低碳转型的变量，数字经济对低碳转型的正向促进效应仍稳定存在，且其统计显著性未因控制变量的纳入而减弱，充分验

证了数字经济与低碳转型之间正向关联的稳健性，假设 1 成立。

Table 4. Benchmark regression results
表 4. 基准回归结果

变量	(1)低碳转型	(2)低碳转型
数字经济	1.056*** (0.023)	1.710*** (0.058)
人力资本水平		-12.104*** (2.383)
财政支持力度		0.639*** (0.137)
政府污染治理水平		0.037*** (0.009)
经济发展水平		-0.294*** (0.035)
常数项	0.183*** (0.012)	3.066*** (0.336)
时间固定效应	是	是
地区固定效应	是	是
样本量	496	496

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为标准误，下同。

4.2. 稳健性检验

为验证基准回归结果的可靠性，本文采用两种方法进行稳健性检验(见表 5)。方法一：变量缩尾处理。考虑到极端值可能通过影响估计效率导致结果偏误，参考现有文献普遍做法，对核心解释变量即数字经济发展水平与被解释变量即低碳转型进行 1%分位数的双向缩尾处理，重新构建回归模型进行估计。检验结果显示，数字经济的回归系数为 1.721，在 1%统计水平下显著为正，与基准回归结果方向一致且显著性未发生实质性变化，表明核心结论未受极端值干扰，具备较好的稳健性。

方法二：剔除直辖市样本。我国直辖市在行政层级、人口集聚度、经济基础及政策支持等方面与普通省级行政单位存在系统性差异，可能导致样本异质性偏误。为排除该因素影响，本文剔除北京、上海、天津、重庆四个直辖市样本后重新进行回归。结果显示，数字经济的回归系数为 1.763，仍在 1%统计水平下显著为正，核心解释变量的作用方向与显著性均保持稳定，进一步佐证了基准回归结论的可信度。

Table 5. Robustness test results
表 5. 稳健性检验结果

方法	方法一 缩尾处理		方法二 去除直辖市	
变量	(1)缩尾后的低碳转型	(2)缩尾后的低碳转型	(3)低碳转型	(4)低碳转型
缩尾后的数字经济	1.058*** (0.023)	1.721*** (0.057)		
数字经济			1.045*** (0.025)	1.763*** (0.064)
人力资本水平		-12.463*** (2.355)		-16.812*** (2.801)
财政支持力度		0.629*** (0.136)		0.513*** (0.143)
政府污染治理水平		0.037*** (0.008)		0.040*** (0.009)
经济发展水平		-0.296*** (0.035)		-0.276*** (0.037)
常数项	0.183*** (0.012)	3.094*** (0.332)	0.199*** (0.013)	2.950*** (0.349)
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
样本量	496	496	432	432

4.3. 机制检验

4.3.1. 数字经济、绿色技术创新与低碳转型的传导路径

表 6 汇报了绿色技术创新在数字经济影响低碳转型过程中的中介效应检验结果，具体分析如下：列(1)呈现数字经济对绿色技术创新的回归结果，其回归系数为 0.605，且在 1%显著性水平下显著，表明数字经济对绿色技术创新具有显著正向驱动作用。这一结论与既有研究逻辑一致：数字经济以数据作为关键生产要素，通过打破区域与行业间的技术研发信息壁垒，实现创新资源的跨主体整合；同时借助人工智能算法优化研发路径、大数据技术模拟实验场景，推动绿色技术研发流程智能化升级，叠加平台化组织模式降低创新主体间的协作交易成本，共同为绿色技术创新活动提供多维支撑。列(2)检验绿色技术创新对低碳转型的影响，回归系数为 0.079 且通过 1%显著性水平检验，证实绿色技术创新是提升低碳转型效率的核心路径。从作用机制看，绿色技术创新既能够通过能源梯级利用、碳捕集等技术改进能源利用效率、减少碳排放总量，又能通过光伏、风电等清洁能源技术开发拓宽低碳能源供给渠道，同时驱动传统高耗能产业工艺升级，从生产端推动产业结构绿色低碳转型。列(3)纳入数字经济、绿色技术创新与低

碳转型的全变量回归结果显示，数字经济对低碳转型的回归系数为 1.695 且在 1%显著性水平下显著，绿色技术创新对低碳转型的回归系数为 0.025。这表明在控制中介变量后，数字经济仍能直接促进低碳转型，而绿色技术创新发挥部分中介作用，由此验证假设 2 成立。

Table 6. Results of mechanism test 1
表 6. 机制检验 1 结果

变量	(1)绿色技术创新	(2)低碳转型	(3)低碳转型
数字经济	0.605*** (0.200)		1.695*** (0.058)
绿色技术创新		0.079*** (0.022)	0.025* (0.013)
人力资本水平	-74.562*** (8.256)	1.329 (4.303)	-10.273*** (2.579)
财政支持力度	2.780*** (0.476)	0.616** (0.240)	0.571*** (0.142)
政府污染治理水平	-0.071** (0.030)	-0.039*** (0.014)	0.038*** (0.009)
经济发展水平	2.254*** (0.123)	0.328*** (0.068)	-0.349*** (0.046)
常数项	-16.187*** (1.165)	-3.608*** (0.537)	3.464*** (0.400)
时间固定效应	是	是	是
地区固定效应	是	是	是
样本量	496	496	496

4.3.2. 数字经济、产业结构升级与低碳转型的传导路径

表 7 呈现产业结构升级在数字经济影响低碳转型中的中介效应检验结果，具体分析如下：列(1)为数字经济对产业结构升级的回归结果，其系数为 1.406 且通过 1%显著性水平检验，表明数字经济显著正向驱动产业结构升级。这一机制符合“数字赋能产业转型”理论。数字经济通过打破产业间要素流动与协同创新的信息壁垒，依托大数据精准匹配供需、人工智能优化生产链，推动产业向技术密集型转型，同时借助平台化生态降低产业主体间协作成本，促进一二三产业跨界融合，加速产业结构向高级化、合理化演进。列(2)检验产业结构升级对低碳转型效率的影响，系数为 0.220 且在 1%水平显著，证实产业结构升级是低碳转型的重要支撑。从作用路径看，产业结构升级通过降低高耗能第二产业占比、提升低能耗服务业与战略性新兴产业比重，优化产业能源消费结构，同时带动生产要素向绿色低碳领域集聚，倒逼传统产业绿色改造，从结构层面降低碳排放强度。列(3)纳入数字经济、产业结构升级与低碳转型的全变量回归结果显示，数字经济对低碳转型系数为 1.899，产业结构升级系数为-0.135。这表明控制中介变量后，数字经济仍直接推动低碳转型。尽管产业结构升级系数符号变化，但这一结果并非对其中介作用的否定：一方面，绿色创新门槛未完全跨越导致产业升级的减排效应未能释放，另一方面能源结构转型滞后于产业升级的用能需求，部分高端制造与数字产业仍依赖化石能源支撑，而其统计显著性与中介路径

逻辑仍验证了假设 3 成立。长期来看，随着转型成本消化、绿色技术突破临界门槛，以及能源结构向清洁能源深度转型，产业结构升级的碳减排潜力将逐步释放，其中介作用也会持续显现。

Table 7. Results of mechanism test 2
表 7. 机制检验 2 结果

变量	(1)产业结构升级	(2)低碳转型	(3)低碳转型
数字经济	1.406*** (0.110)		1.899*** (0.065)
产业结构升级		0.220*** (0.034)	-0.135*** (0.024)
人力资本水平	-5.711 (4.547)	-4.518 (3.875)	-12.873*** (2.310)
财政支持力度	0.868*** (0.262)	0.615*** (0.227)	0.756*** (0.135)
政府污染治理水平	0.012 (0.016)	-0.035** (0.013)	0.038*** (0.008)
经济发展水平	-0.229*** (0.067)	0.432*** (0.039)	-0.325*** (0.035)
常数项	3.061*** (0.642)	-4.316*** (0.339)	3.478*** (0.333)
时间固定效应	是	是	是
地区固定效应	是	是	是
样本量	496	496	496

4.4. 异质性分析

1) 东部地区、中部地区与西部地区

参考张哲华和钟若愚(2023)的研究思路，将研究区域划分为东部地区¹、中部地区²与西部地区³。表 8 区域异质性分析结果显示，数字经济对低碳转型的促进作用在东中西部均显著，各区域回归系数均通过 1%显著性水平检验。东部地区数字经济回归系数为 1.782，其效应源于数字经济与绿色产业的深度融合。该区域数字基建密度高、科创资源集聚，通过智慧能源管理、工业互联网碳追踪等技术，实现高耗能产业精准减排；中部地区数字经济回归系数达 2.006，呈现最强驱动效应，得益于数字赋能传统产业转型的后发优势。中部作为传统工业基地，借助数字技术对钢铁、化工等行业进行智能化改造，降低单位产值能耗；西部地区数字经济回归系数为 1.792，该区域依托“东数西算”战略完善数字基建，通过数字技术赋能生态旅游、绿色农业发展，同时推动新能源基地数字化运营，提升清洁能源供给能力。上述结果表明，数字经济对低碳转型的促进作用具有普适性，进一步验证了前文核心结论的稳健性。

¹东部地区：北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南。
²中部地区：山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南。
³西部地区：内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

Table 8. Results of geographic heterogeneity analysis (1)
表 8. 地理异质性分析结果(一)

地区	东部地区	中部地区	西部地区
变量	(1)低碳转型	(2)低碳转型	(3)低碳转型
数字经济	1.782*** (0.092)	2.006*** (0.105)	1.792*** (0.124)
人力资本水平	-9.308** (3.610)	-32.248*** (4.419)	-7.646 (4.830)
财政支持力度	1.770*** (0.350)	0.694** (0.344)	0.551*** (0.181)
政府污染治理水平	0.021 (0.018)	0.054*** (0.013)	0.031** (0.014)
经济发展水平	-0.466*** (0.066)	-0.243*** (0.052)	-0.340*** (0.067)
常数项	4.776*** (0.650)	2.823*** (0.502)	3.337*** (0.614)
时间固定效应	是	是	是
地区固定效应	是	是	是
样本量	192	144	160

2) 长江经济带与非长江经济带

参考薛冰欣和陈敏(2024) [22]的研究思路，将研究区域划分为长江经济带与非长江经济带。长江经济带流经省级行政单位包括：上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州共 11 个省级行政单位。表 9 异质性分析结果显示，数字经济对低碳转型的促进作用在两大区域均通过 1%显著性水平检验，但驱动强度与机制存在差异。在长江经济带样本中，数字经济对低碳转型的回归系数为 1.659。作为国家生态优先战略的核心区域，长江经济带以“共抓大保护、不搞大开发”为导向，数字经济更多聚焦于智慧环保、绿色制造及低碳交通，在生态保护红线内推动低碳转型，驱动路径更侧重绿色效率提升；而在非长江经济带样本中，数字经济回归系数为 1.815，其驱动效应源于产业转型与基建补短板的双重叠加。该区域部分省级行政单位仍存在数字基建薄弱、传统高耗能产业占比偏高的特征，数字经济一方面通过“新基建”建设，夯实低碳转型基础，另一方面通过工业互联网、人工智能等技术深度改造钢铁、煤炭等传统产业，大幅降低单位产值能耗。两类区域的显著结果进一步证实，无论是否处于生态约束核心区，数字经济对低碳转型的促进作用均具有稳定性，前文核心结论的普适性得到验证。

Table 9. Results of geographic heterogeneity analysis (2)
表 9. 地理异质性分析结果(二)

地区	长江经济带	非长江经济带
变量	(1)低碳转型	(2)低碳转型
数字经济	1.659*** (0.100)	1.815*** (0.071)

续表

人力资本水平	-9.977** (4.839)	-11.884*** (2.833)
财政支持力度	1.341*** (0.468)	0.723*** (0.143)
政府污染治理水平	0.070*** (0.026)	0.025*** (0.009)
经济发展水平	-0.215*** (0.065)	-0.409*** (0.043)
常数项	2.045*** (0.579)	4.228*** (0.419)
时间固定效应	是	是
地区固定效应	是	是
样本量	176	320

4.5. 政策效应分析

“宽带中国”政策是我国推动数字基础设施建设的标志性战略，2013 年国务院印发《“宽带中国”战略及实施方案》，明确提出“构建宽带、融合、安全、泛在的下一代信息基础设施”，标志着政策正式启动推行。2015 年 2 月，工业和信息化部部署实施“宽带中国”2015 专项行动，明确提出“加快建设网络强国和制造业强国”的核心目标。该政策通过强化数字基础设施硬支撑，为 2015~2023 年样本期内的数字经济发展奠定关键基础。政策实施后的回归结果显示(见表 10)，数字经济对低碳转型的回归系数为 0.950，且在 1%显著性水平下显著。这一结果印证了政策的调节效应，“宽带中国”构建的高速网络底座，为智慧能源管理、碳排放实时监测、工业低碳化改造等应用提供了技术支撑，使数字经济在优化能源配置、推动产业减排方面的作用充分释放，进而强化了对碳排放的正向抑制效应，为政策驱动型绿色发展提供了经验佐证。

Table 10. Results of policy effect analysis

表 10. 政策效应分析结果

变量	(1)低碳转型	(2)低碳转型
数字经济	0.561*** (0.029)	0.950*** (0.109)
人力资本水平		-5.366** (2.327)
财政支持力度		0.224 (0.138)
政府污染治理水平		-0.019** (0.008)
经济发展水平		-0.191** (0.087)

续表

常数项	0.496*** (0.020)	2.434*** (0.898)
时间固定效应	是	是
地区固定效应	是	是
样本量	248	248

5. 结论与建议

5.1. 结论

本文基于 2008~2023 年中国省级面板数据，实证检验数字经济对低碳转型的影响机制和提升路径。结果显示：第一，数字经济对低碳转型具有正向促进作用，且该结论经稳健性检验后仍成立。第二，绿色技术创新与产业结构升级是数字经济促进低碳转型的重要作用渠道。第三，无论是东部地区还是中、西部地区，数字经济对低碳转型均具有显著促进效应，在长江经济带数字经济对低碳转型的促进效应同样显著，且“宽带中国”政策实施后其效应显著，整体证实数字经济对低碳转型促进效应的稳健性与普适性。

5.2. 建议

第一，强化数字赋能绿色技术创新的机制突破。针对当前算力资源分布不均、创新链与产业链协同不足的问题，应构建“算力基建、创新协同、政策保障”三位一体的提升体系。一是加快数字新基建和绿色技术进步[23]，利用光通信技术的高带宽、低时延特性满足绿色技术研发的算力需求。二是搭建跨区域数字创新协作平台，推动高校、科研机构与企业的数据共享和技术攻关，重点突破碳捕集、新能源消纳等领域的数字化技术。三是实施差异化创新激励政策，对数字技术与绿色技术融合的研发项目给予税收减免和专项补贴。

第二，深化数字驱动产业结构低碳升级的路径设计[24]。聚焦传统产业锁定效应与新兴产业协同不足的痛点，推动传统高耗能产业数字化转型，在钢铁、化工等行业推广智能监测、柔性生产等技术，通过实时数据优化生产流程，降低单位产值能耗。此外，培育数字赋能的绿色新兴产业，重点发展智慧能源、低碳交通等领域，依托数字平台推动新能源汽车、储能设备等产业的集群化发展，形成规模效应。同时，建设数字低碳产业园区，通过统一的数字管理平台实现园区内企业的能源梯级利用和废弃物资源化，促进产业链上下游的低碳协同。

第三，构建数字经济引领的区域低碳联动机制[25]。实施差异化区域策略，建立跨区域数字协同平台，推动低碳技术、数据要素、人才资源的跨区域流动，设立区域低碳发展基金，支持跨省域的数字低碳项目合作，同时统一数字低碳发展标准，由行业协会牵头制定算力网络接口、碳排放数据核算等领域的统一规范，降低区域协同成本，确保数字经济对低碳转型的促进作用在全国范围内高效释放。

参考文献

- [1] 张兵兵, 董安然, 段玉婉. 碳达峰目标如何引领城市低碳转型——来自准自然实验的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(7): 177-196.
- [2] Ding, Y., Zhang, F. and Wang, X.H. (2025) Digital Economy Enabling Low-Carbon Development—Spatial Spillover and Heterogeneity. *Empirical Economics*, **69**, 639-659. <https://doi.org/10.1007/s00181-025-02756-7>
- [3] Zhang, J., Liu, H., Wang, J. and Huang, Q. (2024) Spatial Impact of the Digital Economy on Low-Carbon Logistics

- Efficiency in RCEP Countries. *Journal of Environmental Management*, **360**, Article 121221.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121221>
- [4] Jin, H., Guo, J., Li, Y., Wang, S. and Tang, L. (2025) Inhibit First and Then Promote? The Relationship between Digital Economy and Urban Low-Carbon Energy Security. *Journal of Cleaner Production*, **495**, Article 144977.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144977>
 - [5] 陈中伟, 汤灿. 数字经济发展对农业碳排放的影响及其时空效应[J]. 科技管理研究, 2023, 43(12): 137-146.
 - [6] 王孟, 刘东锋. 数字技术赋能体育产业低碳发展的理论逻辑、现实困境与实施路径[J]. 体育学研究, 2022, 36(1): 71-80.
 - [7] 孙菲, 刘颖, 孙崇亮, 等. 数字赋能对传统能源产业低碳转型的影响机制[J]. 科技管理研究, 2024, 44(2): 172-180.
 - [8] 张哲华, 钟若愚. 数字经济、绿色技术创新与城市低碳转型[J]. 中国流通经济, 2023, 37(5): 60-70.
 - [9] 张平淡, 郝时雨. 数字经济引领绿色低碳转型的现实基础、理论机理与路径选择[J]. 北京行政学院学报, 2025(4): 118-128.
 - [10] 杨刚强, 王海森, 范恒山, 等. 数字经济的碳减排效应: 理论分析与经验证据[J]. 中国工业经济, 2023(5): 80-98.
 - [11] 余姗, 樊秀峰, 蒋皓文. 数字经济发展对碳生产率提升的影响研究[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(7): 26-35.
 - [12] 张争妍, 李豫新. 数字经济对我国碳排放的影响研究[J]. 财经理论与实践, 2022, 43(5): 146-154.
 - [13] Wang, L., Chen, L. and Li, Y. (2022) Digital Economy and Urban Low-Carbon Sustainable Development: The Role of Innovation Factor Mobility in China. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 48539-48557.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-19182-2>
 - [14] 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.
 - [15] 李靖, 张晖, 韩青. 数字经济与实体经济融合对城市经济绿色低碳转型的影响: 空间效应与机制检验[J]. 经济体制改革, 2025(4): 105-114.
 - [16] 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, 38(7): 26-42.
 - [17] 蒋金荷, 黄珊. 贸易新业态对绿色技术创新的影响研究——来自跨境电商综合试验区政策的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(12): 133-154.
 - [18] 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.
 - [19] 张杰, 付奎, 刘炳荣. 数字经济如何赋能城市低碳转型——基于双重目标约束视角[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2022, 42(8): 3-23.
 - [20] 付奎, 刘炳荣, 张杰. 数字产业发展何以赋能区域低碳转型——基于经济结构调整的视角[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2025, 25(3): 93-107.
 - [21] 钟文, 郑明贵, 钟昌标. 数字经济发展与城市低碳转型: 影响效应与机制检验[J]. 统计与决策, 2024, 40(22): 109-114.
 - [22] 薛冰欣, 陈敏. 数字经济赋能下长江经济带物流产业低碳转型路径研究[J]. 价格月刊, 2024(3): 79-88.
 - [23] 张戢. 数字新基建、绿色技术进步与低碳经济转型[J]. 经济经纬, 2024, 41(1): 57-69.
 - [24] 廖小菲, 申雨瑶. 数字经济对中国城市低碳转型的影响机理及效应[J]. 经济地理, 2024, 44(6): 31-41.
 - [25] 古丽娜尔·玉素甫, 李晓琪. 数字经济对中国城市低碳转型的异质性影响: 基于城市蔓延与要素扭曲视角[J]. 科技管理研究, 2025, 45(9): 199-210.