

数字经济提升我国城市绿色创新效率的作用机制研究

钟耕昊

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年4月17日; 录用日期: 2025年5月9日; 发布日期: 2025年6月12日

摘要

绿色创新在推动区域高质量发展中起到至关重要的作用, 数字经济提升绿色创新效率对落实创新驱动发展战略和提高城市绿色发展水平具有重大意义。本文基于我国275个地级及以上城市2011~2022年的面板数据, 利用超效率SBM模型、纵横向拉伸法对绿色创新效率和数字经济进行测度, 进而系统研究数字经济对绿色创新效率的影响机制, 探究要素配置和产业结构的中介作用、市场水平和政府治理的调节作用。研究结果表: 1) 数字经济对绿色创新效率的提升有着显著促进作用, 呈现差异化驱动格局, 这一结论经过一系列稳健性检验保持稳定。2) 机制分析表明, 数字经济通过改善劳动价格扭曲显著推动着绿色创新效率提升, 但产业结构惯性与资本价格扭曲形成抑制效应; 市场化水平构成正向调节变量, 过度行政干预则产生效率折损。3) 异质性分析显示, 数字经济水平、资源禀赋、城市等级三维异质性检验, 发现数字经济具有跨域效率趋同效应。基于实证研究结果, 文章提出了在推动数字化、绿色化助力经济高质量发展的对策建议。

关键词

数字经济, 绿色创新, 要素配置, 产业结构

Research on the Mechanism of Digital Economy in Enhancing the Green Innovation Efficiency of Chinese Cities

Genghao Zhong

School of Finance & Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 17th, 2025; accepted: May 9th, 2025; published: Jun. 12th, 2025

Abstract

Green innovation plays a crucial role in promoting high-quality regional development. The enhancement of green innovation efficiency by the digital economy is of great significance for implementing the innovation-driven development strategy and improving the green development level of cities. Based on the panel data of 275 prefecture-level and above cities in China from 2011 to 2022, this paper measures the green innovation efficiency and the digital economy using the super-efficiency SBM model and the longitudinal stretching method, and then systematically studies the impact mechanism of the digital economy on the green innovation efficiency, and explores the mediating role of factor allocation and industrial structure, as well as the moderating role of market level and government governance. The research results are as follows: 1) The digital economy has a significant promoting effect on the improvement of green innovation efficiency, presenting a differentiated driving pattern. This conclusion remains stable after a series of robustness tests. 2) Mechanism analysis shows that the digital economy significantly promotes the improvement of green innovation efficiency by improving labor price distortion, but the inertia of industrial structure and capital price distortion have an inhibitory effect; marketization level constitutes a positive moderating variable, and excessive administrative intervention leads to efficiency loss. 3) Heterogeneity analysis shows that the three-dimensional heterogeneity test of digital economy level, resource endowment, and city grade reveals that the digital economy has a cross-domain efficiency convergence effect. Based on the empirical research results, the paper puts forward countermeasures and suggestions for promoting digitalization and greenization to contribute to high-quality economic development.

Keywords

Digital Economy, Green Innovation, Factor Allocation, Industrial Structure

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

改革开放四十余年来，我国经济总量从 1980 年的 4517.8 亿元跃升至 2024 年的 141 万亿元，对全球经济增长贡献率持续超 30%¹。但传统要素驱动模式面临环境约束趋紧与区域失衡加剧双重挑战，亟需构建“经济 - 环境 - 区域”协同发展新范式。绿色创新通过耦合生态理念与技术体系重构发展模式，而数字经济作为新动能，其赋能作用成为破解传统路径依赖的关键命题。

本文从三个视角展开论述：第一，要素配置与产业结构转型。我国市场化改革进程中，劳动力与资本市场存在显著错配，研发要素成本受体制转型影响突出。同时，重工业转型滞后叠加人口老龄化，加剧绿色转型压力。数字经济通过降低要素流动壁垒、促进创新要素重组，为破解结构性矛盾提供技术支撑。第二，制度协同机制构建。需在“市场水平”与“政府治理”动态平衡中推进改革：市场端深化要素市场化配置体制改革，政府端通过《“十四五”规划》等政策引导数字技术赋能，形成“技术创新 - 制度创新”双向驱动。第三，区域差异化路径。针对数字经济发展水平、资源禀赋和城市能级的异质性，需探究数字经济影响绿色创新效率的差异化特征。从而提出本文所涉及的问题，数字经济能否通过优化要素

¹ 参见《向前发展，需要更大的推动力》，http://scdfz.sc.gov.cn/gzdt/zyhy/content_174613。

配置、促进产业协同提升绿色创新效率？那么，要素市场改革与产业结构升级在其中发挥何种传导作用？政府规制与市场机制如何协同构建数字赋能生态？进一步，在区域差异视角下数字经济的绿色创新效应呈现何种差异特征？这些问题的解答，对构建数字化与绿色化协同发展机制具有重要价值。在理论层面，研究揭示数字经济重塑创新要素配置、重构产业组织形态、再造区域协同网络的三重作用机制。在实践层面，为因地制宜制定数字经济发展战略、完善要素市场化配置制度、构建差异化的“政府-市场-产业”联动机制提供决策依据。特别是在全球绿色竞争加剧背景下，深入剖析数字经济与绿色创新的协同路径，对实现发展模式根本性转变具有战略意义。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字经济与绿色创新效率

数字经济作为以数据要素为核心驱动力的新型经济形态，依托网络化、智能化等技术手段，通过数据资源的深度开发与跨界融合，重构了传统经济系统的运行范式[1]。其本质特征体现为要素数字化、产业智能化、资源共享化，正在成为继农业经济、工业经济之后的新型经济形态[2]。在此演进过程中，绿色创新效率作为衡量区域创新系统生态效益的重要指标，反映了单位资源投入下环境友好型创新成果的产出效能[3]。数字经济与绿色创新的深度融合，主要通过技术赋能与业态重构双重机制推动效率提升。在技术赋能维度上，数字技术的渗透重构了绿色创新的实现路径。数字技术集成应用，如大数据动态建模、区块链确权共享、AI 仿真试错，重构绿色创新流程，实现研发精准度提升与全流程生态优化[4]。研究表明，数字平台通过整合分散的创新资源，可系统性改善绿色技术的供需匹配效率[5]。在业态重构维度上，数字经济催生出绿色创新的新型实践场域。消费端数字化显性化生态偏好倒逼企业创新响应，生产端智能化通过数字孪生技术驱动制造流程清洁化与资源动态优化，协同构建全链绿色创新体系[6]。产业跨界融合趋势下，数字基础设施加速绿色技术向建筑、交通等领域的渗透，形成光伏建筑一体化等复合型创新模式。同时，数字市场透明化促使环境成本内部化，迫使企业将绿色创新纳入核心竞争力构建，形成“创新-效益”的良性循环机制。

基于此，提出本文假设 1：

H1：数字经济提升城市绿色创新效率。

2.2. 数字经济提升绿色创新效率的中介机理：要素配置与产业结构

我国要素市场在转型过程中存在的资源错配与制度约束，客观上抑制了绿色创新资源的优化配置。数字经济通过双重路径破解这一困境：其一，重塑要素配置逻辑。数字技术通过消除信息壁垒、降低交易成本，推动资本、技术等要素突破行政边界与行业壁垒。这种精准配置机制既缓解了传统市场的逆向选择问题，也通过要素集聚效应降低绿色创新的边际成本[7]。其二，驱动产业结构跃迁。数字技术渗透催生清洁能源、智能环保等新兴业态，同时倒逼传统产业进行绿色化改造。这种结构升级不仅拓展绿色技术的应用场景，更通过产业关联效应形成创新扩散网络[8]。在此过程中，数字经济展现出独特的传导机制：要素配置优化为绿色创新提供资源保障，产业结构升级创造技术应用空间，二者形成协同互促效应。

基于此，提出本文假设 2：

H2：数字经济通过改善要素配置和优化产业结构提升城市绿色创新效率。

2.3. 数字经济提升绿色创新效率的调节机理：市场水平与政府治理

数字经济对绿色创新效率的调节效应受制度环境双重影响[9]。市场化水平差异塑造要素配置效能：

高市场化区域成熟的竞争机制与灵敏价格信号协同，加速生态需求数据向创新决策转化，数字技术助力企业构建绿色专利交易网络，释放市场配置优势；而低市场化地区行政干预导致的要素黏性，易造成绿色技术供需结构性失衡。政府治理效能通过双向路径强化创新效应：制度供给方面，构建数字基建投资机制和完善绿色技术标准，划定数字技术生态化轨道，例如环境监测数据与企业碳排放系统的治理闭环；政策协同方面，运用数字政务精准实施绿色激励政策，降低创新试错成本。两类机制存在动态适配性：高市场化区域需通过数据确权制度防范数字垄断，低市场化地区则依赖政府基建投入破除体制壁垒。制度环境的协同作用最终将数字经济红利转化为绿色创新动能。

基于此，提出本文假设 3：

H3： 市场水平与政府治理正向调节数字经济与城市绿色创新效率的关系。

本文构建了数字经济影响绿色创新效率的作用路径模型，如图 1 路径机制图所示。

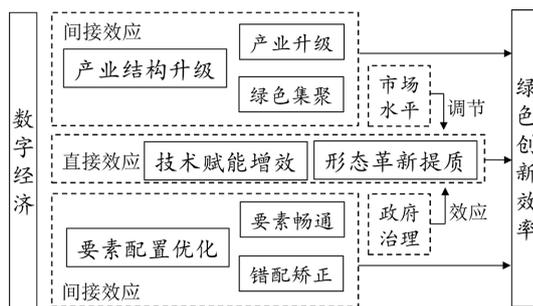


Figure 1. Path mechanism diagram

图 1. 路径机制图

3. 指标测度与模型设计

3.1. 变量定义

3.1.1. 被解释变量：绿色创新效率

科学合理的评价指标体系是评估城市绿色创新效率的关键。绿色创新效率将环保与经济增长结合，强调创新过程中资源节约与污染减少。本文从创新投入与创新产出两个维度选取指标。研究方法采用改进的超效率 SBM-DEA 模型，突破传统 DEA 的三大局限：通过引入非径向、非角度处理方式，有效捕捉投入产出松弛变量；通过设置独立权重向量 λ ，实现决策单元相对效率的精准度量。我国城市绿色创新投入产出指标如表 1 所示。

Table 1. Selection of input-output indicators for urban green innovation efficiency evaluation

表 1. 城市绿色创新效率投入产出指标选取

指标类型	一级指标	二级指标
投入	人员投入	规模以上工业企业 R&D 人员数
	资本投入	规模以上工业企业 R&D 经费内部支出
	能源投入	环境治理投入
		全社会用电量
期望产出	经济效益	人均 GDP
	创新效益	专利授权量
	绿色发展	建成区绿化覆盖率

续表

非期望产出	环境污染	工业废水排放量 工业二氧化硫排放量 工业烟粉尘排放量
-------	------	----------------------------------

3.1.2. 解释变量：数字经济

综合国内外数字经济测度的指标体系，考虑到数字经济核心内涵和城市层面相关数据的可获得性，本文借鉴赵涛等[10]和陈贵富等[11]从数字基础设施、数字产业化和产业数字化三个维度测度数字经济发展指标体系，如表 2 所示。在数字经济发展水平测度方法选择中，传统熵值法虽通过客观赋权减少人为干扰，却难以捕捉指标间关联性；主成分分析法依赖信息浓缩实现降维，易造成关键数据损耗；层次分析法因主观赋权存在显著人为偏差。为突破单一方法局限，本文基于郭亚军、王常凯等学者研究，引入纵横向拉开档次法，通过动态整合时序数据与全局权重优化，在保留指标原始信息完整性的同时，既消除主观干扰，又能同步解析区域间差异特征与时间维度上的演进规律，实现横向空间对比与纵向发展效率评估的有机统一，显著提升测度结果的系统性与动态解释力。

Table 2. Construction of the digital economy indicator system

表 2. 数字经济指标体系构建

一级指标	二级指标	三级指标	数据来源
数字经济	数字基础设施	每百人移动电话用户数	《中国城市统计年鉴》
		每百人互联网用户数	
	数字产业化	信息传输、计算机服务和软件从业人员占比	
		人均电信业务总量	
产业数字化	数字普惠金融指数	北京大学数字普惠金融指数	

3.1.3. 中介变量：要素配置与产业结构

1) 资源配置。资源配置通常包括资本配置和劳动力配置两个方面，从而以资本价格扭曲和劳动力价格扭曲两个负向指标衡量资源配置效率。计算价格扭曲首先要估计出各地区的资本和劳动力的要素产出弹性 β_K 和 β_L 。本文参考赵志耘等的做法[12]，利用索洛余值法来测算要素产出弹性。

2) 产业结构。产业结构优化作为绿色创新的核心传导路径，通过数字经济驱动的技术渗透效应重塑产业生态。数字技术应用加速产业向高技术、高附加值方向转型，同步淘汰高耗能产业并催生绿色新业态，构建起数字经济与绿色创新的协同通道。本文采用泰尔指数倒数量化产业结构合理化程度，揭示在数字技术扩散与绿色创新效率提升间的桥梁作用。

3.1.4. 调节变量：市场水平与政府治理

1) 市场水平。作为数字经济与绿色创新的协同催化剂，市场化水平通过资源配置效率与竞争激励机制调节二者关系。高市场化地区依托成熟的市场机制，加速数字经济驱动的资源精准配置与创新反馈，强化企业绿色技术研发动力；低市场化地区则因行政干预过度、竞争不足及资源错配，抑制数字经济对绿色创新的赋能潜力。采用熵值法综合人均 GDP、固定资产投资及实际使用外资三项指标，量化区域市场化进程差异。

2) 政府治理。政府治理通过政策工具矫正市场失灵，构建“有效市场 + 有为政府”双轮驱动模式。

在数字经济背景下，政府通过绿色产业基金、税收优惠等政策降低企业创新风险，引导资源向低碳领域倾斜，同时依托环境法规强化绿色创新约束力。其调节效应体现在平衡市场短期逐利性与绿色创新长期收益的矛盾，尤其在技术研发初期发挥关键支撑作用。选取工业污染治理总投资对数，反映政府环境治理投入强度与政策执行效能。

3.1.5. 控制变量

绿色创新效率受到多重因素的影响，为减少遗漏变量残差，更加准确地、合理地探讨数字经济对绿色创新效率的影响，本文参考相关研究选取城市经济密度、财政投资力度、科教支出、人力资本、环境规制、绿色金融作为控制变量，并在分析当中控制年份和省份。通过这种方式，能够更全面地评估影响城市绿色创新效率的各类因素，提高研究的可靠性。

3.2. 模型建立

为检验数字经济与绿色创新效率之间的关系，验证 H1，构建模型：

$$GTEP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{it} + \alpha_2 Z_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

为检验资源配置与产业结构在数字经济影响绿色创新效率当中的中介作用，验证 H2，构建模型：

$$M_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{it} + \alpha_2 Z_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GTEP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{it} + \alpha_2 M_{it} + \alpha_3 Z_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中，中介变量 M_{it} 分别为资本价格扭曲(CMI)、劳动力价格扭曲(LMI)、产业结构(IS)，其他变量同基准回归模型。

为检验市场水平和政府治理在数字经济影响绿色创新效率当中的调节作用，验证 H3，构建模型：

$$GTEP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{it} + \alpha_2 Dige_{it} \cdot GOV_{it} + \alpha_3 Z_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$GTEP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{it} + \alpha_2 Dige_{it} \cdot MAR_{it} + \alpha_3 Z_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

3.3. 样本选择与数据来源

本文的研究对象为我国 275 个地级市的面板数据。考虑到数据的可得性，选取的时间为 2011~2022 年。部分缺失数据采用插值法得出。此外，为剔除极端值的影响，本文对所有连续变量的数据进行了 1% 的缩尾处理，具体如表 3 所示。

Table 3. Data description

表 3. 数据说明

变量类型	变量含义	测算方式	数据来源
被解释变量	绿色创新效率	超效率 SBM	
核心解释变量	数字经济	纵横向拉伸	
中介变量	资本价格扭曲	计算推导	《中国统计年鉴》 《中国科技统计年鉴》 《中国环境统计年鉴》 以及各地级市统计年鉴
	劳动力价格扭曲	计算推导	
	产业结构	泰尔指数	
调节变量	市场化水平	熵值法测算	
	政府治理	工业污染治理总投资取对数	
控制变量	城市经济密度	地区生产总值/行政区域土地面积	

续表

财政投资力度	固定资产投资/政府财政一般支出
科教支出	地方财政科学技术支出和教育支出/地方公共财政支出
人力资本	普通本专科在校学生数/年末总人口
环境规制	地区环保支出/地方公共财政支出
绿色金融	区位熵测算

4. 实证分析

4.1. 基准回归分析

基于 2011~2022 年 275 个地级市动态面板数据, 通过 Hausman 检验选定固定效应模型, 验证数字经济对绿色创新效率的促进作用, 见表 4。基准回归结果显示: 数字经济系数始终显著为正, 加入控制变量及控制地区、时间固定效应后, 其估计值稳定在 0.1326, 并通过 5% 显著性检验, 表明数字经济水平每提升 1%, 绿色创新效率相应提高 0.13%, 假设 1 成立。

Table 4. Benchmark regression results of the impact of digital economy on urban green innovation efficiency

表 4. 数字经济影响城市绿色创新效率的基准回归结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)
Dige	0.2180*** (0.0120)	0.2052*** (0.0129)	0.1569*** (0.0155)	0.1480*** (0.0217)	0.1326** (0.0879)
CED		0.1088** (0.0034)	0.0474 (0.0370)	0.0377 (0.0370)	-0.1042*** (0.0048)
FD		0.0016 (0.0016)	0.0026 (0.0016)	0.0024 (0.0016)	-0.0057*** (0.0011)
ST			0.0000*** (0.000)	0.0000*** (0.000)	0.0000*** (0.000)
HC			0.0000*** (0.000)	0.0000*** (0.000)	-0.0000*** (0.000)
ER				0.0005*** (0.0001)	0.0006*** (0.0001)
GF				0.0904 (0.0756)	-0.0550 (0.0748)
_cons	0.6744*** (0.0044)	0.0287 (0.2036)	0.3591 (0.2171)	0.3511 (0.2175)	1.4061*** (0.0530)
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	NO	NO	NO	NO	YES
R ²	0.017	0.021	0.031	0.035	0.547
F	328.3012	113.4346	75.1727	55.9675	108.5015
N	3300	3300	3300	3300	3300

注: 括号内的数值为标准误差; *、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

4.2. 中介效应分析

研究通过逐步回归法验证数字经济通过产业结构优化(H2)和要素配置调整(H3)影响绿色创新效率的传导机制,如表5所示。结果显示:

产业结构中介路径:数字经济直接推动绿色创新效率提升 0.1326%,但产业结构转型滞后产生负向部分中介效应,间接抑制效率 0.085,占比 37.78%,反映传统产业数字化适配不足对创新效率的阶段性拖累,尤其在低技术领域,数字技术渗透受限导致结构矛盾凸显。

要素配置中介路径:劳动力价格扭曲缓解产生正向中介效应,系数为-0.1734,贡献总效应的 22.62%,体现劳动力成本优化对创新投入的促进作用;资本价格扭曲加剧则产生负向中介效应,系数为 0.1243,削弱总效应 14.32%,揭示资本市场政策干预导致的资源配置低效问题。此外本文还通过 Sobel 检验与 Bootstrap 法证实,产业结构与要素配置的中介效应在 1%水平显著,直接与间接路径均稳健成立。研究揭示,数字经济对绿色创新的影响需突破传统产业转型阵痛与要素市场分割的双重约束,通过结构性改革释放其技术红利。

Table 5. Analysis of mediating effect results

表 5. 中介效应结果分析

变量	模型(1)		模型(2)		模型(3)	
	mal	gtep	lmi	gtep	cmi	gtep
mal		-0.2279*** (0.0434)				
lmi				-0.1734*** (0.0391)		
cmi						0.1243*** (0.0270)
dige	0.3703*** (0.0095)	0.2328*** (0.0269)	0.1739*** (0.0105)	0.1787*** (0.0226)	0.1487*** (0.0152)	0.1670*** (0.0220)
_cons	1.1275*** (0.1332)	0.3996 (0.1635)	0.2081* (0.1239)	0.1786 (0.2538)	1.4375*** (0.1792)	-0.0362 (0.2566)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Sobel 检验		-0.085*** (0.0000)		-0.030*** (0.0000)		-0.019*** (0.0000)
Bootstrap 检验		-0.0852*** (0.0000)		-0.3034*** (0.0000)		-0.0185*** (0.0000)
R ²	0.8542	0.717	0.7543	0.716	0.4891	0.716
F	57.17	24.6423	29.96	24.5442	9.23	24.5625
N	3300	3300	3300	3300	3300	3300

注:括号内的数值为标准误差;*、**和***分别表示在 10%、5%和 1%的水平下显著。

4.3. 调节效应分析

研究通过交互项回归验证市场水平与政府治理对数字经济赋能绿色创新效率的调节作用,如表6所示。

市场水平：交互项系数在 10% 水平显著正向，表明高市场化地区通过优化资源配置与强化竞争激励，显著放大数字经济对绿色创新的促进作用。成熟市场机制下，数字技术加速信息流动与创新成果转化，降低绿色技术研发成本与风险，形成“市场驱动 - 技术扩散 - 效率提升”良性循环。政府治理：交互项系数在 1% 水平显著负向，揭示过度行政干预抑制数字经济创新效能。政策刚性导致市场灵活性下降，数字技术应用受限于繁复审批与管制，加剧资源错配与创新滞后，尤其在快速迭代的绿色技术领域，行政壁垒阻碍市场主体活力释放。结论表明，需构建“有效市场主导 + 适度政府补位”协同机制。

Table 6. Analysis of marketization level and government governance regulation effect
表 6. 市场化水平和政府治理调节效应分析

	模型(1)	模型(2)
Dige	0.1919* (0.075)	-1.3832*** (0.000)
Gov	0.1063** (0.036)	
Mar		-0.0451*** (0.000)
interaction1	-0.1015* (0.088)	
interaction2		0.1182*** (0.000)
_cons	0.3098 (0.135)	0.8629*** (0.000)
控制变量	控制	控制
固定效应	控制	控制
R ²	0.221	0.245
F	40.6819	46.6534
N	3300	3300

注：括号内的数值为标准误差；*、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

4.4. 稳健性检验

为消除数字经济与绿色创新效率的内生性干扰，研究采用三阶段检验，如表 7 所示。

1) 滞后一期数字经济回归显示系数 0.2278，5% 水平显著；2) 剔除直辖市样本后系数 0.2419，结果稳健；3) 以 1984 年邮政通信量与全国互联网用户数交乘项为工具变量(IV)，2SLS 回归系数 3.6274，证实工具变量有效性。三类方法均显示数字经济对绿色创新效率存在显著正向影响，缓解反向因果与遗漏变量偏误，基准结论稳健可靠。

4.5. 异质性分析

本文从不同数字经济水平、不同资源禀赋、不同城市等级三个方面进行异质性分析，如表 8 所示。

1) 数字经济水平异质性分析。中低水平地区因基建补缺与技术扩散呈现更高边际效应，体现后发追赶优势；高水平地区受技术瓶颈与路径依赖制约，边际成本上升。政策需分层施策：前者强化技术普及，后者突破制度壁垒以释放持续动能。

Table 7. Robustness test
表 7. 稳健性检验

	模型(1)	模型(2)	模型(3)
Dige	0.2278* (0.0987)	0.2419* (0.1024)	3.6274* (1.6295)
_cons	1.4193*** (0.0560)	1.3231*** (0.0638)	3.5211** (1.2850)
控制变量	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制
R ²	0.555	0.531	.
F	95.8355	74.4140	
N	3025	2928	2592

注：括号内的数值为标准误差；*、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

2) 资源禀赋异质性分析。资源型与非资源型城市均受数字经济正向驱动，但作用路径分化：资源型城市通过数字经济优化传统产业能效、引导资本向绿色技术倾斜，但受限于路径依赖，需加强研发投入与政策引导以突破“高碳锁定”；非资源型城市依托灵活产业结构，直接对接数字技术应用场景，实现绿色创新效率的快速提升。

3) 城市等级异质性分析。大型与中小城市均显著受益，但作用强度差异显著：大型城市凭借高经济密度与创新集聚效应，通过数字技术整合产业链资源、放大市场需求，形成规模化的绿色创新生态；中小城市受限于资源分散与基建薄弱，数字经济主要通过局部效率改进驱动绿色创新，需依托区域协同网络弥补单体能力短板。

Table 8. Heterogeneity analysis
表 8. 异质性分析

变量	数字经济水平		资源禀赋异质性		城市等级异质性	
	高水平	中低水平	资源型城市	非资源型城市	大型城市	中小型城市
Dige	0.1541** (0.0468)	0.2813*** (0.0372)	0.1241*** (0.0375)	0.1450*** (0.0287)	0.2865*** (0.0381)	0.1341*** (0.0313)
_cons	1.1240** (0.3439)	0.1241 (0.4277)	0.8246** (0.2874)	-0.0440 (0.3265)	1.2632*** (0.3801)	0.1063 (0.2698)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R ²	0.032	0.201	0.102	0.145	0.256	0.053
F	5.7714	44.3716	17.5709	40.2012	49.3522	13.8398
N	1512	1513	1308	1992	1212	2088

注：括号内的数值为标准误差；*、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。

5. 结论与建议

5.1. 结论

本文基于 2011~2022 年我国 275 个地级市的面板数据，旨在探讨数字经济对绿色创新效率的影响。

首先，数字经济显著提升绿色创新效率，其作用路径体现为：技术层面通过数据共享与精准研发降低创新成本，加速技术迭代；产业层面倒逼企业优化运营模式，重构高附加值产业链，形成“技术突破 - 生态升级 - 效率跃升”传导机制。其次，产业结构转型滞后产生负向中介效应，传统产业数字化适配不足导致阶段性效率损耗；要素市场中劳动力价格扭曲缓解贡献正向效应，而资本错配削弱效率，揭示要素市场化改革滞后对创新系统的深层制约。再次，市场化水平通过竞争机制增强数字经济创新效能，而政府过度干预因政策刚性产生抑制效应，需构建“有效市场 + 适度治理”协同框架。最后，异质性分析发现，中低水平地区呈现后发追赶效应，高水平地区受技术瓶颈制约；资源型城市需突破“高碳锁定”，非资源型城市依托场景创新快速提升效率；型城市依赖规模效应，中小城市需区域协同补足短板。

5.2. 建议

基于本文的研究结果，为推动数字经济提升绿色创新效率，提出以下对策建议：首先，推动数字化普及，助力区域发展。推行传统产业“智改数转”专项行动，设立数字化绿色技改基金；深化要素改革，建立资本错配监测机制，完善劳动力跨区域流动政策。其次，深化市场化改革，释放创新潜力。高市场化地区建设数字技术交易平台，强化数据产权保护；低市场化地区推行负面清单管理，减少行政准入限制；政府治理转向标准制定与动态监管，建立绿色技术认证体系。最后，实施差异化策略。在区域层面，东部强化技术协同攻关，西部加大数字基建投入。在城市层面，资源型城市试点智慧矿山工程，非资源型城市拓展绿色金融应用。在能级层面，大型城市组建创新联合体，中小城市共建区域协同平台。

参考文献

- [1] 李长江. 关于数字经济内涵的初步探讨[J]. 电子政务, 2017(9): 83-92.
- [2] 佟家栋, 张千. 数字经济内涵及其对未来经济发展的超常贡献[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2022(3): 19-33.
- [3] 白俊红, 陈新. 数字经济、空间溢出效应与区域创新效率[J]. 研究与发展管理, 2022, 34(6): 67-78.
- [4] 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.
- [5] Chang, Y.B. and Gurbaxani, V. (2012) The Impact of It-Related Spillovers on Long-Run Productivity: An Empirical Analysis. *Information Systems Research*, **23**, 868-886. <https://doi.org/10.1287/isre.1110.0381>
- [6] 史普润, 李昆, 贾军. 国家高新区创新平台效应的实证研究[J]. 科研管理, 2019, 40(12): 21-30.
- [7] 李雪, 吴福象, 竺李乐. 数字经济与区域创新绩效[J]. 山西财经大学学报, 2021, 43(5): 17-30.
- [8] 李清华, 何爱平. 数字经济对区域经济协调发展的影响效应及作用机制研究[J]. 经济问题探索, 2022(8): 1-13
- [9] 张慧, 易金彪, 徐建新. 数字经济对区域创新效率的空间溢出效应研究——基于要素市场化配置视角[J]. 证券市场导报, 2022(7): 13-22.
- [10] 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.
- [11] 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(8): 118-136.
- [12] 赵志耘. 以科技创新引领供给侧结构性改革[J]. 中国软科学, 2016(9): 1-6.