

数字经济促进碳减排了吗？

——基于30个省级行政区的数据检验

李梦瑶, 张涛*, 高路群, 宋晓景, 李昌俊

巢湖学院工商管理学院, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年3月12日; 录用日期: 2026年4月10日; 发布日期: 2026年4月17日

摘要

以2011~2023年国内30个省级行政区的面板数据为研究样本, 探究数字经济对区域碳减排的影响效应以及作用原理。研究发现: 数字经济显著促进碳减排效应, 且这一作用在西部地区尤为突出。机制分析发现, 数字经济促进中介变量产业结构升级进而提高了碳减排效应。研究结论不仅为数字经济赋能绿色低碳转型提供了来自省级层面的实证依据, 也为各地区制定差异化的数字化减排方案、优化产业结构及推进跨区域协同减排, 提供了理论分析与实证支撑。

关键词

数字经济, 碳减排, 产业结构

Has the Digital Economy Promoted Carbon Emission Reduction?

—A Test Based on Data from 30 Provincial-Level Administrative Divisions

Mengyao Li, Tao Zhang*, Luqun Gao, Xiaojing Song, Changjun Li

School of Business Administration, Chaohu University, Hefei Anhui

Received: March 12, 2026; accepted: April 10, 2026; published: April 17, 2026

Abstract

Using panel data from 30 provincial-level administrative divisions in China from 2011 to 2023 as the research sample, this study explores the impact of the digital economy on regional carbon

*通讯作者。

emission reduction and its underlying mechanisms. The findings reveal that the digital economy significantly promotes carbon emission reduction, with this effect being particularly pronounced in the western regions. Mechanism analysis indicates that the digital economy promotes the upgrading of the industrial structure, thereby enhancing the carbon emission reduction effect. The research conclusions not only provide empirical evidence at the provincial level for the digital economy to empower the green and low-carbon transformation but also offer decision-making references for regions to implement differentiated digital emission reduction policies, optimize the industrial structure, and promote regional coordinated emission reduction.

Keywords

Digital Economy, Carbon Emission Reduction, Industrial Structure

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“双碳”目标成为国家战略、数字经济深度融入经济社会的时代背景下，数字技术革新与绿色低碳转型已成为推动高质量发展的关键驱动力。作为全球可持续发展与国际合作中积极履行义务、具备广泛经济影响力的新兴市场国家，我国于2021年9月29日在联合国大会上郑重提出“2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和”的“双碳”战略目标[1]。数字经济被广泛视作对国家经济社会整体发展具有核心影响的关键领域，我国在国家层面已围绕数字经济发展、数字技术与实体经济融合及数字化国家建设，出台了一系列系统性政策与中长期规划[2]。当前，我国正处于产业结构优化升级、经济社会发展绿色化的关键阶段，如何依托数字经济突破传统发展模式下的碳排放困境，实现经济增长与碳减排的联动推进，成为亟待解决的重大课题。

我国地域辽阔，东中西部地区在数字基础设施水平、产业结构布局、资源禀赋条件等方面存在显著差异，这可能导致数字经济的碳减排效应呈现区域分化特征。基于此，本文选取2011~2023年我国除港澳台及西藏外30个省级行政区的面板数据，系统考察了数字经济对我国区域碳减排的影响以及通过产业结构升级的中介效应，进一步分析了区域异质性特征，为优化数字经济赋能碳减排的政策体系、促进区域绿色协同发展提供了理论参考与实证依据，助力我国如期实现碳达峰、碳中和与能源结构转型目标。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字经济与碳减排

在经济数字化转型的背景下，数字经济通过技术赋能、资源重置与制度创新，建立起多维度、全链条的碳减排生态体系。在能源领域，智能电网的动态调度技术实现了新能源发电与传统能源的高效互补，大数据驱动的能源消费监测系统能够精准识别高耗能环节，促进了能源利用效率的根本性突破；在生产端，工业互联网平台打通产业链上下游数据壁垒，数字孪生技术模拟生产全流程并优化了工艺参数，从源头上降低了单位产出的碳排放强度；在流通与消费领域，智慧物流通过路径算法优化了运输里程，远程办公、数字贸易等新业态减少了线下活动的能源消耗，推动消费模式向低碳化转型[3]。此外，随着5G、人工智能、区块链等数字技术的持续优化，数字经济对传统产业的迭代优化能力持续增强，减排机制更趋完善、减排效果更具持续性。因此，数字经济的发展水平越高，碳减排的边际效应越显著，对全球“双碳”目标的支撑作用也越突出。基于以上分析，本文提出如下假设：

H1: 数字经济的发展水平越高, 促进碳减排效应越显著。

2.2. 数字经济、产业结构与碳减排

根据已有研究显示, 数字经济对碳减排的促进作用存在中介效应, 基础设施建设与绿色技术创新为主要传导路径。有学者指出产业结构升级可能是数字经济与碳减排之间的潜在中介。朱庆生和曹情情(2025)指出数字经济通过数字化金融维度的发展, 能为绿色技术创新提供关键的资金支持, 而绿色技术创新与产业结构升级的协同, 将形成“技术创新 - 结构优化 - 减排增效”的良性循环[4]。吴琦和任大明(2021)也强调数字经济与绿色发展的深度融合已经成为实现碳达峰与碳中和目标的关键支撑, 而产业结构升级正是这种深度融合的核心载体[5]。基于以上分析, 本文提出如下假设:

H2: 数字经济的发展能够通过产业结构升级实现碳减排。

3. 研究设计

3.1. 模型设定

为了检验数字经济对碳减排的影响, 构建基准模型(1)来验证假设 1。

$$CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{i,t} + \gamma Controls_{i,t} + \mu_{i,t} + \delta_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, i 表示城市个体, t 表示年份, $Dig_{i,t}$ 表示城市 i 在第 t 年的数字经济发展水平; $CE_{i,t}$ 表示城市 i 在 t 年份的二氧化碳排放强度; $Controls_{i,t}$ 代表一系列控制变量, $\mu_{i,t}$ 为省份固定效应; $\delta_{i,t}$ 为时间固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 表示随机扰动项。

3.2. 主要变量定义

3.2.1. 解释变量

数字经济。在衡量数字经济综合发展水平时, 本文借鉴邵莹莹等(2024) [6]、吴剑辉和郭永欣(2024) [7] 的研究从数字化基础设施、数字产业化、产业数字化三个维度下分设 19 个二级指标从而构建数字经济指标测算体系, 具体可见下表 1。最终利用熵值法对数字经济的整体发展水平进行量化评估。

Table 1. Digital economy indicator system

表 1. 数字经济指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标具体定义	属性
数字经济	数字化基础设施	互联网宽带接入率	互联网宽带接入端口数/地区常住人口数	+
		互联网宽带普及率	移动电话交换机容量	+
		移动电话设施规模	长途光缆线路长度	+
		长途光缆线路长度	直接数据	+
		网页数	直接数据	+
数字经济	数字产业化	域名数	直接数据	+
		人均电信业务总量	电信业务总量/地区常住人口数	+
		移动电话普及率	直接数据	+
		信息传输、软件和信息技术服务业法人单位数	直接数据	+
		信息软件业就业人员占比	信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员/城镇单位就业人员	+

续表

	国内专利申请授权量	直接数据	+
	国内专利申请受理量	直接数据	+
	北京大学数字普惠金融指数	直接数据	+
	有电子商务交易活动的企业数比重	直接数据	+
	电子商务销售额	直接数据	+
产业数字化	每百家企业拥有网站数	直接数据	+
	二三产业增加值	第二产业增加值 + 第三产业增加值	+
	科技创新投入	规模以上工业企业 R&D 经费	+
	快递量	直接数据	+

3.2.2. 被解释变量

碳排放数据是衡量地方经济发展与环境可持续性的重要指标。碳排放数据通常包括二氧化碳排放量，来源包括能源消耗以及工业、交通、建筑等领域的排放。本文借鉴丛建辉等(2014) [8]、徐翔等(2025) [9] 的相关研究，以各省二氧化碳排放量的对数值来衡量该地区碳排放强度(CE)。

3.2.3. 中介变量

通过参考章玉贵和曹德军(2025)思路[10]，为了检验产业结构升级在数字经济促进碳减排中的作用，本文利用产业结构高度化指数(IndStr)来进行度量。具体计算方式如下： $\text{IndStr} = \text{第一产业增加值占 GDP 比重} * 1 + \text{第二产业增加值占 GDP 比重} * 2 + \text{第三产业增加值占 GDP 比重} * 3$ 。具体可见下表 2。

Table 2. Variable definition table

表 2. 变量定义表

变量性质	变量符号	变量名称	变量定义
被解释变量	CE	企业碳排放量	$\ln(\text{二氧化碳排放量})$
解释变量	Dig	数字经济	熵值法指标综合测算
中介变量	IndStr	产业结构	三大产业加权比值
	Income	经济发展水平	$\ln(\text{人均 GDP})$
	Urban	城镇化水平	地区城镇人口与该地区总人口的比值
	Open	对外开放程度	货物进出口总额*美元对人民币汇率/地区生产总值
控制变量	Er	环境规制	工业污染治理完成投资/工业增加值
	Trans	交通基础设施水平	$\ln(\text{货运总量})$
	PSize	人口密度	地区总人口/地区行政区划面积
	EC	能源结构	地区用电量/地区总用电量

3.3. 数据来源及处理

本文选取 2011 年~2023 年 30 个省级行政区(除港澳台和西藏外)的省级面板数据作为研究样本。数据来源于《中国统计年鉴》、北京大学数字金融研究中心、《中国环境统计年鉴》以及各省政府工作报告等。其中核心解释变量数字经济综合发展水平测算的各指标主要借鉴北京大学数字金融研究中心数据库、而被解释变量碳排放核算依据的二氧化碳排放量数据主要来源于《中国能源统计年鉴》。部分数据通过

计算得出，缺失数据则采用插值法或类推的方式进行补充。并利用 Excel 和 Stata17.0 对数据进行整理和统计分析。

4. 实证结果分析

4.1. 描述性统计

由表 3 数据可知，被解释变量碳排放强度的均值为 19.45，标准差为 0.738，说明不同地区间的碳排放强度差异相对较小，整体水平较为集中。核心解释变量数字经济的均值为 0.136，标准差为 0.112，意味着各地区数字经济发展水平存在一定差距，部分地区的数字经济发展程度显著高于其他地区。中介变量产业结构的均值为 2.407，标准差为 0.123，表明各地区产业结构的整体布局相对稳定，但仍存在小幅差异。其余控制变量如经济发展水平、城镇化水平等的特征值分布均处于合理区间，未出现极端异常值。

Table 3. Descriptive statistics

表 3. 描述性统计

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	中位数	最大值
ce	390	19.45	0.738	17.69	19.38	20.85
dig	390	0.136	0.112	0.0180	0.103	0.584
indstr	390	2.407	0.123	2.164	2.395	2.834
income	390	9.336	0.462	8.660	9.212	10.76
urban	390	0.606	0.120	0.370	0.590	0.890
trans	390	11.70	0.850	9.466	11.97	12.73
ps	390	474.4	705.4	7.975	292.9	3913
open	390	0.269	0.273	0.0130	0.147	1.294
er	390	0.0030	0.0030	0	0.0020	0.0190
ec	390	0.0330	0.0230	0.0050	0.0270	0.0940

4.2. 回归结果分析

4.2.1. 主假设检验

下表 4 报告了数字经济和碳减排的基准回归结果，模型(1)、(2)和(3)分别列示核心解释变量控制固定效应、仅加入控制变量以及同时加入控制变量和固定个体时间效应三种情形，回归结果显示核心解释变量数字经济均能在 1% 水平上负向显著影响碳排放。即表明数字经济水平越高，越能发挥碳减排效应，即 H1 成立。

Table 4. Analysis of baseline regression results

表 4. 基准回归结果分析

VARIABLES	(1) CE	(2) CE	(3) CE
dig	-0.4632*** (-5.2047)	-1.6369*** (-9.6618)	-0.4439*** (-4.4841)
income		0.2093*** (3.1570)	-0.0605 (-1.6093)

续表

urban		1.3317*** (6.7281)	1.0011*** (4.6002)
trans		0.4582*** (20.5401)	0.0622*** (2.7100)
ps		0.0001*** (3.8473)	0.0003 (1.3680)
open		-1.3231*** (-13.6615)	-0.2664*** (-4.5686)
er		-3.0293 (-0.7000)	-4.2046*** (-2.9997)
ec		20.9517*** (22.5290)	11.1343*** (11.4042)
Constant	1.9501*** (15.6163)	11.1866*** (16.9169)	18.2985*** (51.8803)
Id FE	Yes	NO	Yes
Year FE	Yes	NO	Yes
Observations	390	390	390
AdR-squared	0.0473	0.8576	0.8608

注：t-statistics in parentheses。***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1, 下表同。

4.2.2. 影响机制分析

据表 5 中介回归结果可知：与第(1)列基准回归比对，第(2)列报告了解释变量数字经济对中介变量产业结构的机制影响，即数字经济在 1% 水平上显著正向影响产业结构，证实了随着数字经济技术的发展能加快生产要素向第三产业流动，从而发挥数字经济成为产业结构布局优化的助推器；第(3)列中在基准回归的基础上新增产业结构中介变量后，数字经济与产业结构均在 1% 的统计水平下与碳排放显著负相关，表明产业结构的优化能够降低碳排放强度，数字经济发展促进中介变量产业结构升级进而发挥碳减排效应，以上逻辑验证了产业结构的中介作用机制，因此假设 H2 得到验证。此外，Bootstrap 中介效应效率检验结果显示间接和直接两种效应的置信区间均不包含 0，表明产业结构中介作用显著。

Table 5. Mediation effect of industrial structure

表 5. 产业结构的中介效应

VARIABLES	(1) CE	(2) IndStr	(3) CE
dig	-0.4439*** (-4.4841)	0.2010*** (4.5820)	-0.3181*** (-3.2547)
IndStr			-0.6260*** (-5.4880)
income	-0.0605 (-1.6093)	-0.0298 (-1.5990)	-0.0791** (-2.1838)

续表

urban	1.0011*** (4.6002)	-0.2243** (-1.9745)	0.8607*** (4.0902)
trans	0.0622*** (2.7100)	-0.0262** (-1.9978)	0.0458** (2.0609)
ps	0.0003 (1.3680)	0.0002** (2.4120)	0.0005** (2.0303)
open	-0.2664*** (-4.5686)	0.2298*** (7.7834)	-0.1225** (-1.9825)
er	-4.2046*** (-2.9997)	3.1981*** (4.4065)	-2.2026 (-1.5802)
ec	11.1343*** (11.4042)	-1.8888*** (-4.2018)	9.9519*** (10.3506)
Constant	18.2985*** (51.8803)	2.9831*** (17.6687)	20.1660*** (42.0145)
Id FE	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes
Observations	390	390	390
AdR-squared	0.8608	0.8675	0.857

4.3. 异质性分析

由于不同省级行政区在地理区位、资源禀赋、产业基础等方面存在显著差异，数字经济对碳减排的影响可能呈现区域异质性特征。为深入考察这一情境差异，本文将 30 个省级行政区样本划分为东部、中部和西部三大区域子样本，分别检验数字经济的碳减排效应，回归结果如表 6 所示。

Table 6. Analysis of heterogeneity
表 6. 异质性分析

VARIABLES	(1) 东部 CE	(2) 中部 CE	(3) 西部 CE
dig	-0.0469 (-0.7321)	-0.1843 (-0.6257)	-3.2305*** (-6.5670)
IndStr	-0.1202*** (-3.8665)	0.0461 (1.1883)	-0.0314 (-0.3395)
income	0.3661** (2.351)	-0.9338** (-2.1414)	1.7120** (2.4877)
urban	0.0599*** (3.5774)	0.0368 (1.5233)	-0.0824 (-1.6104)
trans	0.0021 (0.309)	0.0040*** (3.3621)	0.0072*** (5.056)

续表

ps	-0.1066** (-2.5459)	-0.1671 (-1.2761)	-0.3961** (-2.1877)
open	4.5726*** (2.7812)	-1.6781 (-0.7421)	-5.6367*** (-2.7340)
er	2.8269*** (3.6162)	8.8350*** (6.6649)	19.3899*** (10.1349)
Constant	19.5744*** (62.3947)	17.7488*** (40.965)	18.2864*** (21.6797)
Id FE	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes
Observations	143	104	143
AdR-squared	0.836	0.651	0.884

表6列(1)和列(2)结果显示,东部和中部地区数字经济(dig)的回归系数均为负,但未通过统计显著性检验,表明这两大区域数字经济的碳减排效应尚未充分显现。列(3)结果显示,西部地区数字经济的回归系数为-3.2305,且在1%的水平上显著负向影响碳排放强度,说明西部地区数字经济对碳减排的促进作用更为突出。

推测其原因主要有三:一是产业结构差异,西部地区第一、第二产业占比相对较高,传统高耗能产业转型升级空间更大,数字经济通过优化生产流程、提升能源效率等途径发挥的碳减排边际效应更为显著;二是减排基数差异,东部和中部地区第三产业发展成熟,产业固有碳排放强度较低,数字经济的减排空间相对有限;三是区位优势差异,西部地区部分省级行政区具备清洁能源禀赋和低碳产业布局基础,数字经济与低碳产业的融合更易产生协同减排效应。

4.4. 稳健性检验

为确保基准回归结论的可靠性,本文通过替换被解释变量、核心解释变量滞后一期和剔除特殊样本三种方法进行稳健性检验,结果如表7所示。

(1) 替换被解释变量

参考崔和瑞和王雪姣(2025)的研究方法将被解释变量替换为人均碳排放量的自然对数(CE1),重新代入基准回归模型进行检验[11]。表7列(1)结果显示,数字经济(dig)的回归系数为-0.6537,且在1%的水平上显著为负,表明无论采用何种碳排放强度衡量指标,数字经济的碳减排效应均稳定存在。

(2) 核心解释变量滞后一期

考虑到数字经济对碳减排的影响可能存在时间滞后效应,将核心解释变量替换为数字经济滞后一期(dig_11)进行回归。表7列(2)结果显示,滞后一期的数字经济仍在1%的水平上显著负向影响碳排放强度,回归系数为-0.4113,进一步验证了假设H1的可靠性,说明数字经济的碳减排效应具有持续性。

(3) 剔除特殊样本

由于北京、上海、天津、重庆四大直辖市在政治地位、经济政策、资源配置等方面与普通省级行政区存在显著差异,可能对回归结果产生干扰。借鉴孟维福等(2023)的做法,剔除四大直辖市样本后重新回归[12]。表7列(3)结果显示,数字经济(dig)的回归系数为-0.4766,且在1%的水平上显著为负,表明基准回归结论并未受到特殊样本的影响,具有较强的稳健性。

Table 7. Robustness tests

表 7. 稳健性检验

变量	(1) 替换被解释变量 CE1	(2) 变量滞后一期 CE	(3) 剔除样本 CE
dig/dig_l1	-0.6537*** (-6.7949)	-0.4113*** (-3.7767)	-0.4766*** (-3.0183)
IndStr	-0.1199*** (-3.2825)	-0.0531 (-1.4103)	-0.0707 (-1.5791)
income	0.5122** (2.4222)	1.0762*** (4.9356)	1.2759*** (3.9267)
urban	0.0232 (1.0392)	0.0537** (2.1084)	0.0541** (1.9957)
trans	-0.0004* (-1.6847)	0.0002 (0.6865)	0.0003 (0.6087)
ps	-0.2374*** (-4.1898)	-0.3108*** (-5.1374)	-0.3962*** (-5.1169)
open	-2.0871 (-1.5324)	-5.0292*** (-3.6617)	-4.2022*** (-2.6815)
er	8.9182*** (9.4006)	10.0110*** (9.1378)	11.4087*** (10.9617)
Constant dig	11.7207*** (34.4457)	18.3516*** (50.1798)	18.4726*** (46.9982)
Id FE	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes
Observations	390	360	338
AdR-squared	0.744	0.758	0.777

5. 结论与建议

文章选取 2011~2023 我国除港澳台及西藏外 30 个省级行政区的面板数据, 实证探究了数字经济对碳减排的影响、作用机理及区域异质性。研究发现, 数字经济对碳减排具有显著促进作用, 且该作用部分通过产业结构升级实现。进一步分析发现, 数字经济的碳减排效应在西部地区尤为突出, 在东部和中部地区尚未表现出统计显著性。

根据上述研究结论, 现提出以下政策建议: 第一, 企业应深化数字化转型与绿色低碳发展的融合。利用大数据、人工智能、工业互联网等数字技术, 完善生产流程、提高能源使用效率、降低单位产出碳排放。第二, 政府应实施差异化、精准化的区域数字减排政策。针对西部地区数字经济的显著减排效应, 应加大数字基础设施的投入, 支持其利用数字技术推动传统产业的绿色更新改造。对于东部和中部地区, 应引导数字经济向服务业低碳化、工业高端化等方向精进, 深化数字技术在低碳服务、智慧能源等领域的创新应用[13]。第三, 加强产业结构升级在数字减排中的联动效应。政府可通过财税激励、绿色信贷等

政策,鼓励企业利用数字技术改造升级传统产业,发展数字商务、智慧物流等低碳服务业,促进产业结构向绿色化、精细化方向演进,增强数字经济通过产业结构优化实现碳减排的传导效能。

基金项目

巢湖学院 2025 年国家级大学生创新创业训练项目(202510380038);安徽省高校人文社科项目“全球价值链嵌入视域下‘双碳’目标驱动安徽省制造业高质量发展作用机制研究”(2023AH052079);巢湖学院校级重点科研项目“数字赋能环巢湖区域城乡融合发展内在机理和路径研究”(XWZ202303)。

参考文献

- [1] 渠慎宁,史丹,杨丹辉.中国数字经济碳排放:总量测算与趋势展望[J].中国人口·资源与环境,2022,32(9):11-21.
- [2] 杨刚强,王海森,范恒山,岳子洋.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.
- [3] 缪陆军,陈静,范天正,吕雁琴.数字经济发展对碳排放的影响——基于278个地级市的面板数据分析[J].南方金融,2022(2):45-57.
- [4] 朱庆生,曹情情.数字经济对碳减排的影响及作用机制——基于PVAR模型和中介效应分析[J].平顶山学院学报,2025,40(5):94-100.
- [5] 吴琦,任大明.数字经济助力绿色低碳发展[J].金融博览,2021(22):16-17.
- [6] 邵莹莹,花俊国,李冰冰.数字经济对城乡融合发展的赋能效应与机制研究[J].农业现代化研究,2024,45(3):477-487.
- [7] 吴剑辉,郭永欣.数字经济助推新型城镇化发展:基于空间杜宾模型和门槛模型的分析[J].资源开发与市场,2024,40(9):1350-1361.
- [8] 丛建辉,刘学敏,赵雪如.城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J].中国人口·资源与环境,2014,24(4):19-26.
- [9] 徐翔,王星,李涛.数字产业集聚的碳减排效应:来自城市层面的证据[J].改革,2025(11):84-99.
- [10] 章玉贵,曹德军.数字经济赋能新质生产力的理论机制与实证检验[J].上海经济研究,2025(6):76-88.
- [11] 崔和瑞,王雪姣.数字经济对碳减排的影响——基于产业结构和科技创新视角[J].华北电力大学学报(社会科学版),2025(4):35-49.
- [12] 孟维福,张高明,赵凤扬.数字经济赋能乡村振兴:影响机制和空间效应[J].财经问题研究,2023(3):32-44.
- [13] 孙成龙,李莹,鲁汇智.制造业“双碳”目标的多维实现路径与宏观经济效应[J].技术经济与管理研究,2025(10):1-7.