

数字经济的碳减排效应及机制研究

叶彩丽

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年7月10日; 录用日期: 2024年10月21日; 发布日期: 2024年10月28日

摘要

数字经济作为一种新兴经济形态, 会对环境产生重要影响。选用2010~2020年我国省级面板数据, 实证分析数字经济对碳排放强度的影响及影响机制。结果表明, 数字经济具有碳减排效应, 可以显著降低碳排放强度, 创新要素错配在数字经济降低碳排放强度的过程中产生“遮掩效应”, 削弱数字经济的碳减排效应。进一步分析发现, 随着环境规制的增强, 数字经济对碳排放强度的抑制作用边际递增; 数字经济在东部和中部地区可以显著降低碳排放强度, 在西部地区则对碳排放强度无明显影响, 表现出区域异质性。应充分利用数字经济的优势, 发挥其碳减排效应, 降低经济对环境产生的不利影响, 助力低碳目标和可持续发展战略目标的实现。

关键词

碳排放, 创新资本错配, 创新人员错配, 遮掩效应, 门槛效应

Research on Carbon Emission Reduction Effect and Mechanism of Digital Economy

Caili Ye

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Jul. 10th, 2024; accepted: Oct. 21st, 2024; published: Oct. 28th, 2024

Abstract

Digital economy, as a new economic form, will have an important impact on the environment. Provincial panel data from 2010 to 2020 were selected to empirically analyze the impact of digital economy on carbon emission intensity and its influencing mechanism. The results show that the digital economy has a carbon emission reduction effect, which can significantly reduce carbon emission intensity, and the mismatch of innovation elements will produce a “masking effect” in the process of reducing carbon emission intensity of the digital economy, weakening the carbon emission

文章引用: 叶彩丽. 数字经济的碳减排效应及机制研究[J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 861-873.

DOI: 10.12677/ecl.2024.1341222

reduction effect of the digital economy. Further analysis shows that with the enhancement of environmental regulation, the marginal inhibition effect of digital economy on carbon emission intensity increases; digital economy can significantly reduce carbon emission intensity in eastern and central regions, but has no significant impact on carbon emission intensity in western regions, showing regional heterogeneity. We should make full use of the advantages of the digital economy, give full play to its carbon emission reduction effect, reduce the adverse impact of the economy on the environment, and contribute to the realization of low-carbon goals and sustainable development strategies.

Keywords

Carbon Emissions, Innovation Capital Mismatch, Mismatch of Innovators, Masking Effect, Threshold Effect

Copyright © 2024 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

自 2020 年我国提出了“碳达峰，碳中和”的目标以来，我国一直将“低碳”作为推动经济可持续发展的重要标准，在众多领域进行创新和变革，以推动能源结构优化和能源效率提升，助力实现“双碳”目标。“双碳”目标对于应对全球气候变化、推动我国经济结构转型和可持续发展具有重要意义，也是当下构建人类命运共同体的迫切需要，尽管我国低碳发展已经取得了一定成绩，产业结构升级、能源结构优化等工作有了较大进展，但对传统能源的消耗依然很大，资源利用率有待提高，面临着产业结构和能源结构转型的巨大压力，全面绿色转型存在着新的挑战和危机，面临重重困境，仍需付出艰苦努力[1]。数字经济是一种以数据资源为关键要素，以数字技术为核心驱动力，以现代信息网络为主要载体，以全要素数字化转型为重要动力的新型经济形态，其快速发展和广泛辐射对经济方式的转变和全球竞争格局的变化起着至关重要的作用。数字技术的出现改变了人们的生活和生活方式，对经济和环境均会产生显著影响，与我国绿色发展密切相关，但同时数字鸿沟和数字基础薄弱等问题也影响着数字经济的发展，推动数字经济健康发展是应对新形势挑战的重要举措[2]。

当前我国数字经济发展对经济产生重要影响的同时，会对生态和环境造成何种影响，能否推动我国经济绿色转型？影响的机制是什么？这对于推动我国实现全面绿色转型，助力经济高质量发展具有重要作用。基于此，在理论分析的基础上，设立实证模型就数字经济对碳排放强度的影响进行探讨，研究数字经济的碳减排效应及其影响机制，助力数字经济发展和经济绿色转型。

2. 文献综述

2.1. 碳排放研究现状

相关研究多为探究影响碳排放的因素，碳排放通常指二氧化碳的排放量，主要来源于能源的使用，因而现有的关于碳排放的影响因素的研究主要涉及与工业、企业密切相关的内容，包括产业结构、能源消费结构和绿色技术创新等。刘志华等认为科技创新、产业结构升级可以降低碳排放量，提升碳排放效率[3]；刘章发等研究发现能源消费强度提升会促进碳排放，消耗的能源越多(特别是煤炭等传统能源)，碳排放量越大[4]；沈世铭等实证分析证明绿色创新能够通过改善能源结构和促进技术进步间接降低碳排放

强度,且绿色科技创新水平越高,降低碳排放强度的能力也越强[5],更进一步,秦烨以空间杜宾模型证明绿色技术创新对工业碳排放的抑制作用存在空间溢出效应,绿色创新对碳排放的抑制作用会在区域间相互影响[6]。当前我国碳排放增速放缓,总体碳排放效率正在逐步提升,区域间碳排放效率差异呈逐渐缩小趋势[7],总体上表现为“东高西低、北高南低”,但西部地区增长速度较快[8]。

2.2. 数字经济研究现状

已有研究多探讨数字经济对宏观经济产生的影响,数字经济通过互联网、大数据等新兴技术形成规模经济、范围经济及长尾效应,打造良好的经济环境和条件。柏培文和张云认为数字经济通过调整要素配置,促进产业智能化,改善就业结构,并通过数字化治理改善劳动者福利[9],陈贵富等也发现城市数字经济发展通过促进技能偏向型技术进步减少不充分就业,产生就业创造效应和就业替代效应[10],促进高质量就业[11]。数字经济还通过新的投入要素、新的资源配置效率和新的全要素生产率促进经济增长[12],与高质量发展形成“高耦合、良协调”的互动格局,促进经济高质量发展[13]。另外,数字经济还通过促进区域产业分散化,增加区域发展协调性,促进全国统一大市场的构建,推动经济全面均衡发展,加快基本公共服务均等化,缩小区域间、行业间收入差距,促进共同富裕[14]。

2.3. 数字经济对碳排放的影响研究现状

数字经济可以利用互联网、大数据等技术,使各要素充分流动、资源配置更加合理,随着数字经济的迅速发展,数字经济对碳排放的影响也受到人们关注,部分学者就数字经济对碳排放的影响进行了研究,大部分学者证明数字经济具有碳减排效应,可以抑制碳排放,降低碳排放强度,而影响机制主要是促进技术创新、优化产业结构和能源结构等[15],也有少部分学者认为数字经济与碳排放强度之间呈现非线性关系,王香艳和李金叶证明数字经济对碳排放规模产生先抑制后促进的正“U”型影响,而对碳排放效率则产生先促进后抑制的倒“U”型影响,这种非线性影响可能与数字基础设施和数字创新环境等因素有关[16]。

综上,数字经济相关研究集中在对经济产生的影响,对环境产生的影响研究较少,数字经济对碳排放产生的影响结论还存在分歧,同时鲜有研究将创新要素错配与数字经济和碳排放纳入同一研究框架中,数字经济对碳排放的影响及影响机制需要进行更多探讨。因此,研究的边际贡献有:(1) 研究包括创新资本错配和创新人员错配在内的创新要素错配在数字经济的碳减排效应中的作用,拓展了数字经济对碳排放强度影响的机制相关研究。(2) 探讨数字经济的碳减排效应随着环境规制的不同如何变化,研究数字经济对碳排放强度的影响具有的非线性特点。

3. 假设提出

3.1. 数字经济降低碳排放强度的直接效应

第一,数字经济带来的数字技术可以降低企业交易成本和边际生产成本,提升企业生产、管理和运营效率,增强企业竞争优势,产生规模效应,大量企业生产上的“规模经济”将改变原有的行业产出结构和产出效率,从而降低资源的耗损,降低碳排放强度。第二,数字经济在发展过程中与传统产业相互融合,产生赋能效应,大数据、云计算和人工智能等数字技术的广泛应用能够提升传统产业生产效率,激发传统产业活力,促进传统产业转型升级,提升传统行业效率,催生出新模式和新业态,而传统产业多为高能耗高污染产业,因此可以显著降低碳排放强度[17]。第三,数字技术的应用可以更好地优化资源配置,提升资源配置效率,产生协同优化效应,使生产、运输等过程更加合理高效,同时数据流通的便利性使得信息更为透明,加速了资源在企业、行业间的流通,智能监控和分析系统也有利于及时调

整设备和流程运行状态,帮助精准匹配资源供需双方,提高资源配置的精准性,减少资源浪费,抑制碳排放强度。第四,数字经济具有绿色创新效应,数字技术的应用利于更及时地收集社会闲散资金,拓宽了绿色创新的融资渠道,同时数字技术还能降低信息不对称,促进绿色资金和环保企业、项目的有效匹配,同时还能追踪金融资金的流向和利用状况,提高资金利用率,促进绿色创新,而绿色创新可以提高绿色全要素生产率,降低能源的损耗,抑制碳排放强度[18]。据此,提出如下假说:

H1: 数字经济可以降低碳排放强度。

3.2. 绿色金融降低碳排放强度的间接效应

第一,数字经济运用互联网技术,破除了传统企业、行业和市场间的时间和空间壁垒,促进了创新要素跨区域跨行业流动,同时有利于对闲散资源的集聚和整合,推动创新要素在不同创新主体间流动与优化利用,提升创新要素的利用效率,促进其合理配置;第二,数字技术的应用使信息获取更为精准和便利,降低了信息不对称,使创新要素的供需信息得到及时传递,创新主体与创新要素可以更加高效地匹配,创新要素的传递方式也更加多样化和便捷化,要素流动成本更低,扩散效率提高,促进创新要素配置效率提升[19];第三,数字技术的应用有助于创新资源由低效率创新部门流向高效率创新部门,促进创新资源的最大化利用,减少资源的浪费,缓解创新要素错配,促进创新要素配置效率提升[20];第四,数字经济的发展使得各类创新要素以数字为纽带进行有机结合与联动,要素间耦合性增强,促进创新要素配置结构合理化,减少创新要素错配。而创新要素的配置状况、错配程度会影响企业的创新行为,对绿色低碳技术的开发和利用产生影响,进而影响企业的生产和经营方式,造成对生产效率的影响,因此必然也会影响碳排放强度。据此,提出如下假说:

H2: 数字经济可以通过创新要素错配的机制间接影响碳排放强度。

3.3. 数字经济降低碳排放强度的非线性

在“绿色悖论”理论中,当政府为了防止环境破坏而制定的环境规制可预期时,供应商预期能源市场下行,从而将大量能源在当下投入市场,导致当期的能源供应量增加,价格降低,加之企业预期未来使用能源的潜在成本会增加,从而进一步促进能源消耗量增加,促进碳排放量增加[21]。因此,当环境规制强度较低时,即使环境规制增加了企业使用能源生产的潜在成本,但相对而言进行绿色创新的成本更高,因而并不会大量减少当期能源消耗,对碳排放强度的抑制作用较弱;随着环境规制强度的增大,企业的生产成本和转型压力变大,当超过某一临界点后,环境规制带来的机会成本超过绿色创新的成本,倒逼企业更加积极地利用数字技术来寻找更高效的减排途径,对生产和经营方式进行升级,增大绿色新兴技术的开发和利用,减少能源消耗,使数字经济的优势得到充分利用,碳减排效应显著增强,同时更强的环境规制也使得企业在利用数字技术的过程中更加注重环境的状况,最大化降低数字经济给环境带来的不利影响,环保意识提升,进一步降低碳排放强度。据此,提出如下假说:

H3: 数字经济对碳排放强度的抑制作用随着环境规制的增强表现出“边际递增”的非线性特点。

4. 研究设计

4.1. 模型设定

本文构建如下双固定效应模型进行基准回归和中介效应回归:

$$CEE_{it} = \alpha_0 + \beta_0 Digital_{it} + \sum \gamma_i X_{it} + \varphi_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$M_{it} = \alpha_1 + \beta_1 Digital_{it} + \sum \rho_i X_{it} + \varphi_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$CEE_{it} = \alpha_2 + \beta_2 Digital_{it} + \beta_3 M_{it} + \sum \eta_i X_{it} + \varphi_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, i 表示个体省份, t 表示时间年份, CEE 为碳排放强度, $Digital$ 为数字经济发展指数, M 为中介变量, X 为一系列控制变量。 φ_i 表示个体固定效应, μ_t 表示时间固定效应, ε_{it} 表示随机扰动项。

4.2. 变量定义

1. 被解释变量

碳排放强度(CEE), 以单位 GDP 消耗的二氧化碳排放量来衡量(CO_2/GDP)。二氧化碳排放量参考李国志等学者的方法, 以各省原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、天然气等能源的消费量总量来计算[22]。计算公式如下:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^9 C_i K_i \quad (4)$$

其中, CO_2 表示一个地区的二氧化碳排放量, C_i 表示第 i 种能源的消耗量, K_i 表示第 i 种能源的二氧化碳排放系数, 排放系数数据来源于 IPCC 发布的第六次评估报告。

2. 核心解释变量

数字经济($Digital$), 用数字经济发展指数来衡量, 指数越大, 数字经济发展水平越高。借鉴赵涛等[23], 从互联网普及率、相关从业人员情况、相关产出情况、移动电话普及率、数字金融发展 5 个方面构建数字经济评价指标体系, 运用熵权法计算综合得分来表征数字经济发展水平, 具体指标体系见表 1。

Table 1. Digital economy evaluation index system

表 1. 数字经济评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
数字经济发展指数	互联网普及率	每百人互联网用户数
	互联网相关从业人员数	计算机服务和软件从业人员占比
	互联网相关产出	人均电信业务总量
	移动互联网用户数	每百人移动电话用户数
	数字金融普惠发展	中国数字普惠金融指数

3. 中介变量

创新要素错配(M_all), 包括创新资本错配(M_cap)和创新人员错配(M_lab)。借鉴已有研究[24], 创新资本错配指数、创新人员错配指数计算方法见式(5)、(6), 创新要素错配指数为二者之和。

$$M_cap_i = |\tau_{Ki}| = \left| \frac{1}{\gamma_{Ki}} - 1 \right|, \quad M_lab_i = |\tau_{Li}| = \left| \frac{1}{\gamma_{Li}} - 1 \right| \quad (5)$$

$$\gamma_{Ki} = \frac{K_i}{K} \bigg/ \frac{s_i \beta_{Ki}}{\beta_K}, \quad \gamma_{Li} = \frac{L_i}{L} \bigg/ \frac{s_i \beta_{Li}}{\beta_L} \quad (6)$$

其中, s_i 为 i 省创新产出份额, $\beta_K = \sum s_i \beta_{Ki}$, 表示创新产出加权的创新资本贡献值, K_i/K 表示 i 省创新资本占全国创新资本的比例, $s_i \beta_{Ki}/\beta_K$ 为创新资本有效配置时 i 省使用创新资本的比例, β_{Ki} 为创新资本产出弹性, 创新人员相应参数解释与之同理, γ_{Ki} 为创新资本错配程度, γ_{Li} 为创新人员错配程度。 β 通过 C-D 生产函数估算得到, 具体过程参考王薇和胡力中的研究[24]。

4. 控制变量

参考已有研究, 控制如下变量: (1) 人力资本投资(Hum), 以高等教育人口数与总人口数比值衡量。

(2) 政府干预(Gov), 以政府支出与 GDP 比值衡量。(3) 外商投资水平(Fdi), 以外商直接投资与 GDP 比值衡量。(4) 城镇化率(Urb), 以城镇人口与总人口比值衡量。(5) 环境规制(Env), 以污染治理完成投资额与第二产业增加值比值衡量。

4.3. 数据来源与变量描述性统计

选用 2010~2020 年我国 30 个省份(除西藏)的数据, 数据主要来源于《中国能源统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国经济普查年鉴》《中国环境年鉴》、CNRDS、CSMAR、《中国统计年鉴》及各地区统计年鉴, 缺失数据通过线性插值法补齐, 数据进行了 1%和 99%缩尾处理, 描述性统计见表 2。

Table 2. Descriptive statistics
表 2. 描述性统计

符号	变量	样本数	均值	标准误	最小值	最大值
CEE	碳排放强度	300	2.260	1.591	0.756	6.575
Digital	数字经济	300	0.239	0.182	0.049	1.000
M_cap	创新资本错配	300	0.538	0.400	0.005	2.380
M_lab	创新人员错配	300	0.277	0.195	0.003	0.945
M_all	创新要素错配	300	0.407	0.242	0.031	1.456
Hum	人力资本投资	300	0.020	0.005	0.008	0.041
Gov	政府干预	300	0.250	0.104	0.110	0.643
Fdi	对外开放水平	300	0.003	0.003	0.000	0.023
Urb	城镇化率	300	0.590	0.122	0.350	0.896
Env	环境规制	300	0.004	0.004	0.000	0.031

5. 实证结果与讨论

5.1. 基准回归结果

结果见表 3, 列(1)~(4)分别为不加控制变量、控制个体和时间固定效应, 加入控制变量、控制时间固定效应但不控制个体固定效应, 加入控制变量、控制个体固定效应但不控制时间固定效应, 加入控制变量且控制个体和时间固定效应时, 基准回归的结果, 数字经济对碳排放强度的影响系数分别为-4.761、-2.516、-1.353、-2.680 且至少在 5%的水平上显著, 验证了假说 H1, 即数字经济可以降低碳排放强度。数字经济通过互联网技术, 加强了信息的流通, 减少了信息不对称, 缓解了资源错配, 提升了资源利用率, 催生新产业和新模式, 帮助产业结构优化和升级、推动技术创新, 进而优化能源结构, 能源利用效率增强, 产生碳减排效应, 降低了碳排放强度。

5.2. 内生性检验

由于测量误差、遗漏变量、双向因果等问题, 模型可能存在内生性, 因此采用如下方法进行内生性检验:

1. 工具变量法

借鉴已有研究, 选择 1984 年邮电业务总量与年份虚拟变量交互项作为工具变量, 采用两阶段最小二乘法进行内生性检验, 回归结果见表 4 中列(1)与列(2)。K-P LM 值为 20.429, 大于 10, 在 1%的水平上

Table 3. Baseline regression results**表 3.** 基准回归结果

变量	(1) CEE	(2) CEE	(3) CEE	(4) CEE
Digital	-4.761*** (0.546)	-2.516*** (0.560)	-1.353** (0.551)	-2.680*** (0.555)
Hum		-43.94*** (15.17)	2.178 (14.11)	-37.31** (15.20)
Gov		4.885*** (0.680)	3.752*** (0.712)	4.694*** (0.683)
Fdi		-30.90*** (10.28)	-19.98** (9.836)	-25.88*** (9.615)
Urb		-0.650 (1.190)	-7.940*** (0.744)	-2.711** (1.255)
Env		-1.541 (6.517)	-19.17*** (6.035)	-6.344 (6.092)
常数项	3.923*** (0.139)	3.511*** (0.578)	6.418*** (0.286)	4.570*** (0.593)
个体固定效应	Yes	No	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	No	Yes
样本数	300	300	300	300
R ²	0.590	—	0.610	0.690

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

Table 4. Results of endogeneity tests**表 4.** 内生性检验结果

变量	(1) Digital	(2) CEE	(3) CEE
L.CEE			1.008*** (0.012)
IV	1.568*** (0.282)		
Digital		-8.497*** (2.325)	-1.117*** (0.132)
常数项	-0.459*** (0.071)	-2.013** (1.000)	-0.796*** (0.097)
控制变量	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes

续表

样本数	300	300	270
K-P LM		20.429***	
K-P Wald F		30.949 {16.38}	
AR (1)			p = 0.012
AR (2)			P = 0.540
Hansen test			P = 0.179

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

显著，工具变量不存在过度识别；K-P Wald F 值为 30.949，大于 10%水平值 16.38，弱工具变量检验通过，工具变量有效。在此情况下，由列(1)可知第一阶段影响系数为 1.568 且在 1%的水平上显著，即工具变量与数字经济显著相关，由列(2)可知第二阶段影响系数为-8.497 且在 1%的水平上显著，即在消除内生性影响后，数字经济依然显著抑制碳排放强度，与基准回归结果一致。

2. 系统 GMM 法

系统 GMM 法能修正未观察到的个体异质性、遗漏变量偏差、测量误差等问题，在一定程度上避免潜在的内生性，回归结果见表 4 列(3)。AR (1)的 p 值为 0.012 小于 0.1，AR (2)的 p 值为 0.540 大于 0.1，证明基准模型中的扰动项 ε_{it} 不存在二阶自相关；Hansen 检验 p 值为 0.179，达到大部分研究学者认可的 0.1~0.25 要求，工具变量有效。在使用系统 GMM 规避内生性后，数字经济对碳排放强度的影响系数为 -1.117 且在 1%的水平下显著，与基准回归结果区别不大，再次证明数字经济可以降低碳排放强度。

5.3. 稳健性检验

回归结果受很多因素影响，为证明基准回归结果可靠，本文采取以下方法进行稳健性检验：

1. 替换核心解释变量

改用主成分分析法计算得到数字经济发展指数进行回归，检验稳健性。结果见表 5 列(1)，数字经济

Table 5. Results of robustness tests
表 5. 稳健性检验结果

变量	(1) CEE	(2) CEE	(3) CEE	(4) CEE
Digital	-4.074*** (1.021)	-0.742*** (0.201)	-1.398** (0.608)	-2.407*** (0.562)
常数项	6.526*** (0.760)	9.502*** (0.215)	3.993*** (0.691)	0.564 (3.329)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本数	300	300	240	300
R ²	0.682	0.270	0.724	0.706

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

对碳排放强度的影响系数为-4.074，且在 1%的水平上显著。

2. 替换被解释变量

以二氧化碳排放量取对数替代碳排放强度进行基准回归，检验稳健性。结果见表 5 中列(2)，数字经济对碳排放量对数值的影响系数为-0.742，且在 1%的水平上显著。

3. 改变样本区间

新冠疫情对我国的经济产生了重要影响，因此将 2019 年及之后年份的样本去除后进行回归，检验稳健性。结果见表 5 列(3)，数字经济对碳排放强度的影响系数为-1.398，且在 5%的水平上显著。

4. 增加控制变量

在原模型的基础上增加产业结构、金融发展水平等控制变量，降低遗漏变量的影响，检验稳健性。结果见表 5 列(4)，数字经济对碳排放强度的影响系数为-2.407，且在 1%的水平上显著。

以上稳健性检验结果与基准回归结果的数值、符号、显著性水平差距不大，充分证明了基准回归结果具有稳健性，再次验证了假说 H1，即数字经济可以抑制碳排放强度。

5.4. 中介效应回归结果

中介效应检验结果见表 6，由列(1)~(3)可知，数字经济对碳排放强度的影响系数为-2.680，数字经济对创新资本错配的影响系数为-1.287，即数字经济可以降低碳排放强度和创新资本错配，加入了创新资本错配以后数字经济对碳排放强度的影响系数为-2.876，相比加入前绝对值变大，创新资本错配对碳排放强度的影响系数为-0.152，所有系数均至少在 5%的水平上显著，总效应为负，直接效应为负，间接效应为正；由列(4)、(5)可知，数字经济对创新人员错配的影响系数为-1.035，即数字经济可以降低创新人

Table 6. Regression of mediating effects
表 6. 中介效应回归

变量	(1) CEE	(2) M_cap	(3) CEE	(4) M_lab	(5) CEE	(6) M_all	(7) CEE
Digital	-2.680*** (0.555)	-1.287** (0.521)	-2.876*** (0.557)	-1.035*** (0.310)	-3.181*** (0.547)	-1.161*** (0.363)	-3.067*** (0.554)
M_cap			-0.152** (0.0662)				
M_lab					-0.484*** (0.108)		
M_all							-0.333*** (0.094)
常数项	4.570*** (0.593)	1.111** (0.556)	4.739*** (0.592)	1.755*** (0.331)	5.419*** (0.602)	1.433*** (0.388)	5.046*** (0.595)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本数	300	300	300	300	300	300	300
R ²	0.690	0.132	0.696	0.483	0.713	0.253	0.705

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

员错配,加入了创新人员错配以后数字经济对碳排放强度的影响系数为-3.181,相比加入前绝对值变大,创新人员错配对碳排放强度的影响系数为-0.484,所有系数均在 1%的水平上显著,总效应为负,直接效应为负,间接效应为正;由列(6)、(7)可知,数字经济对总体创新要素错配的影响系数为-1.161,即数字经济可以降低创新要素错配,加入创新要素错配以后数字经济对碳排放强度的影响系数为-3.067,相比加入前绝对值变大,总体创新要素错配对碳排放强度的影响系数为-0.333,且均在 1%的水平上显著,总效应为负,直接效应为负,间接效应为正。可知总体创新要素错配,包括创新资本错配和创新人员错配均在数字经济降低碳排放强度的过程中产生“遮掩效应”,即创新要素错配降低了数字经济的碳减排效应,验证了假说 H2。可能的原因是创新资本错配和创新人员错配导致创新资源分配不合理,使一些具有潜在价值的数字技术无法获得资金、人员支持,同时创新要素错配阻碍了数字经济与传统产业的融合,导致数字技术无法被传统产业利用,限制了数字经济环保优势的发挥,另外数字经济可以通过技术创新和产业结构升级的机制产生碳减排效应,而创新要素错配对技术创新和产业结构升级产生了负面影响,导致数字经济降低碳排放强度的作用机制无法实现,因此对数字经济的碳减排效应产生“遮掩效应”。

6. 进一步分析

6.1. 门槛回归

设置如下门槛回归模型来检验数字经济抑制碳排放强度的非线性,以验证假说 H3。

$$CEE_{it} = \alpha_3 + \beta_3 Digital_{it} I(Env \leq Z_1) + \beta_4 Digital_{it} I(Z_1 < Env \leq Z_2) + \dots + \beta_{m+3} Digital_{it} I(Env > Z_m) + \sum \theta_i X_{it} + \phi_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \tag{7}$$

其中, $I(\cdot)$ 为指示函数,当符号括号中情况时取 1,反之取 0。 β 为不同门槛值区间下数字经济对碳排放强度的影响系数,门槛变量选择环境规制, Z 为对应的门槛值。

Table 7. Threshold effect tests
表 7. 门槛效应检验

模型	F 统计值	p 值	门槛值
单一门槛	27.07**	0.037	0.008
双重门槛	5.03	0.463	

见表 7,在门槛效应检验中,单一门槛 p 值为 0.037,在 5%的显著性水平上通过了门槛效应检验,而双重门槛效应 p 值为 0.463,没有通过检验,由此可知,本文应选用单门槛回归,经过估计,门槛值为 0.008。

门槛回归结果见表 8,由列(1)可知,在环境规制达到门槛值前,数字经济对碳排放强度的影响系数为-2.961 且在 1%的水平上显著,超过门槛值后,系数变为-4.758 且在 1%的水平上显著,相比较门槛值前,达到门槛值后的系数绝对值变大,说明数字经济对碳排放强度的抑制作用会在环境规制强度达到门槛值后增强,即存在边际递增的非线性特点,验证了假说 H3。可能是因为随着环境规制的加强,企业的环保压力增大,破坏环境的潜在成本增加,倒逼企业进行绿色转型升级,因此企业可能会更加积极地采用数字技术来提高生产效率,减少能源使用量,以达到环境规制的要求,降低自身成本,数字经济的环境效益得以更多地发挥,因此随着环境规制的增强,数字经济对碳排放强度的抑制作用增强。

6.2. 区域异质性分析

按照经济行政地区将样本分为东、中和西部地区进行分组回归,分析异质性。

Table 8. Threshold effect regression
表 8. 门槛效应回归

变量	(1) CEE
Digital (Env ≤ 0.008)	-2.961*** (0.887)
Digital (Env > 0.008)	-4.758*** (1.455)
常数项	4.348*** (1.046)
控制变量	Yes
个体固定效应	Yes
时间固定效应	Yes
样本数	300
R ²	0.720

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

Table 9. Results of regional heterogeneity tests
表 9. 区域异质性检验结果

变量	(1) 东部 CEE	(2) 中部 CEE	(3) 西部 CEE
Digital	-2.390*** (0.524)	-3.975** (1.615)	-1.128 (1.215)
常数项	4.342*** (0.596)	-0.293 (2.581)	10.93*** (2.494)
控制变量	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
样本数	120	90	90
R ²	0.743	0.711	0.798

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号中为标准误。

结果见表 9，由列(1)、(2)可知，在我国东、中部地区，数字经济对碳排放强度的影响系数分别为-2.390、-3.975 且至少在 5%的水平上显著，说明东、中部地区数字经济显著抑制碳排放强度；而由列(3)可知，在西部地区，影响系数变为-1.128 但不显著，说明西部地区数字经济不影响碳排放强度，即数字经济对碳排放强度的影响存在区域异质性。可能是因为东、中部地区经济较为发达，数字基础设施完善，数字经济的优势可以得到充分、及时的利用，因此能抑制碳排放强度；西部地区则由于经济相对落后，基础设施不够完善，数字经济对碳排放强度的抑制作用不强，加上创新要素错配严重，对数字经济的碳减排作用产生更强的“遮掩效应”，削弱了数字经济的碳减排效应，导致数字经济对碳排放强度无明显影响。

7. 结论与建议

选用 2010~2020 年我国 30 个省份的数据，以双固定效应模型实证检验了数字经济对碳排放强度的影

响及影响机制,得到如下结论:(1) 数字经济可以显著抑制碳排放强度。(2) 创新要素错配(包括创新资本错配和创新人员错配)在数字经济抑制碳排放强度的过程产生“遮掩效应”,即创新要素错配这个中介降低了数字经济对碳排放强度的抑制作用。(3) 随着环境规制的增强,数字经济对碳排放强度的抑制作用边际递增。(4) 数字经济对碳排放强度的影响存在区域异质性,在东、中部地区能显著抑制碳排放强度,在西部地区则无明显影响。

研究具有如下政策启示:(1) 加强数字基础设施建设,扩大网络覆盖范围,尤其是要加强西部经济欠发达地区的数字基础设施建设;推动产业数字化转型,引导企业使用大数据、人工智能和物联网等新兴数字技术,促进数字技术与企业生产、管理和营销各环节的融合,优化生产流程和提高企业效率,减少资源浪费;打造数字碳信息共享平台和数字碳交易平台,以便精准施策和协同治理。(2) 建立健全创新资源共享平台,及时发布创新需求、技术成果和人才信息等,减少信息不对称;加强创新风险评估与管理,对创新项目进行全面风险评估,提高创新资源与创新主体的匹配精准度;加强对创新资源配置状况的动态监督与调整,及时发现并纠正错配问题;推动区域间的创新合作平台建设,促进创新资源跨区域流动,避免区域间创新要素重复配置和恶性竞争,实现优势互补和资源共享,促进协同创新;着力增强数字技术与创新要素合理配置之间的耦合性,打造互相促进、共同发力降低碳排放强度的格局和条件。(3) 明确碳排放标准和要求,强化环境监管与执法力度,严格监督企业的环保状况,确保环境规制实施;建立环境规制动态调整机制,根据地区数字经济发展状况、碳减排进展和企业生产经营状况适当调整环境规制的内容和力度,避免“一刀切”;完善碳信息共享平台,促进企业环境信息披露,帮助政府、投资者和公众对企业进行实时监督,督促企业按照环境规制要求生产运营,减少对环境的破坏。

基金项目

贵州省哲学社会科学规划课题“贵州易地扶贫搬迁移民生计模式分类优化及后续帮扶措施研究”(21GZYB57)。

参考文献

- [1] 胡飞. 积极稳妥推进碳达峰碳中和[N]. 经济日报, 2022-11-11(003).
- [2] 韩晶, 陈曦, 冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J]. 改革, 2022(9): 11-23.
- [3] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 科技创新、产业结构升级与碳排放效率——基于省际面板数据的 PVAR 分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 508-520.
- [4] 刘章发, 高建刚, 何丽娜. 中国经济增长、能源消费与二氧化碳排放互动关系研究——基于面板 VAR 的实证分析[J]. 重庆社会科学, 2023(9): 111-124.
- [5] 沈世铭, 许睿, 陈非儿. 中国绿色科技创新对碳排放强度的影响研究[J]. 技术经济与管理研究, 2023(5): 28-34.
- [6] 秦烨. 绿色技术创新对工业碳排放的空间溢出效应——基于异质性环境规制的调节作用[J]. 技术经济与管理研究, 2023(6): 31-35.
- [7] 刘康, 袁敏, 申社芳. 我国区域碳排放效率测度与地区差异分析——基于三阶段 Super-SBM-DEA 方法[J]. 兰州财经大学学报, 2022, 38(2): 44-59.
- [8] 李云燕, 张硕, 张玉泽. 绿色金融视角下中国省域碳排放的时空演变及减排研究[J]. 软科学, 2023, 37(12): 39-48.
- [9] 柏培文, 张云. 数字经济、人口红利下降与中低技能劳动者权益[J]. 经济研究, 2021, 56(5): 91-108.
- [10] 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.
- [11] 胡拥军, 关乐宁. 数字经济的就业创造效应与就业替代效应探究[J]. 改革, 2022(4): 42-54.
- [12] 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.
- [13] 王裕瑾, 李梦玉. 中国数字经济与高质量发展的耦合协调研究[J]. 经济与管理评论, 2023, 39(1): 104-118.

-
- [14] 刘伟丽, 陈腾鹏. 数字经济是否促进了共同富裕?——基于区域协调发展的研究视角[J]. 当代经济管理, 2023, 45(3): 1-10.
- [15] 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.
- [16] 王香艳, 李金叶. 数字经济是否有效促进了节能和碳减排? [J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(11): 83-95.
- [17] 焦帅涛, 孙秋碧. 我国数字经济发展对产业结构升级的影响研究[J]. 工业技术经济, 2021, 40(5): 146-154.
- [18] 龚新蜀, 杜江. 数字经济、绿色创新与企业绿色全要素生产率[J]. 统计与决策, 2024, 40(2): 35-40.
- [19] 姚晨, 胡海洋. 数字经济、创新资源流动与区域创新能力提升——基于城市面板数据的空间杜宾模型研究[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2023, 44(4): 106-115.
- [20] 张营营, 彭硕毅, 白东北. 数字经济影响城市创新质量的效应与机制研究[J]. 经济经纬, 2023, 40(1): 14-24.
- [21] 江三良, 鹿才保. 环境规制影响碳排放效率的外部性及异质性——基于生产性服务业集聚协同的分析[J]. 华东经济管理, 2022, 36(10): 56-69.
- [22] 李国志, 李宗植. 中国二氧化碳排放的区域差异和影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 22-27.
- [23] 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.
- [24] 王薇, 胡力中. 创新要素错配对中国城市群经济高质量发展的影响研究[J]. 管理学报, 2023, 36(5): 60-75.