

双碳政策对我国能源强度影响及异质性分析

张更新

河南理工大学 工商管理学院, 中国·河南 焦作 454000

摘要: 双碳政策旨在改善我国碳排放, 降低我国能源强度。分析双碳政策对我国能源强度改善机制与效果, 测度双碳政策实施前后能源强度改善程度, 有利于深入优化政策引导。本文基于2017-2022年我国内地32个省市自治区能源面板数据, 把数据分为实验组和对照组, 采用DID双重差分法, 构建回归方程进行测度分析。结果表明, 双碳政策对我国能源强度改善具有显著效应, 政策实施有效促进我国能源强度降低; 政策通过产业结构升级和绿色技术进步和环保支出投入间接对我国能源强度产生影响; 同时由于我国地区差异较大, 能源强度降低存在空间异质性, 不同地区在接受政策及实施上存在异质性, 中西部地区面对政策的反应更显著。双碳政策实施对我国能源强度改善具有正向作用, 需要保持政策的持续性, 强化监督管理, 由于东西部差异较大, 政策要考虑梯度考核安排, 注重地区差异, 因地制宜发挥政策作用。

关键词: 双碳政策; 能源强度; 能源转型

Impact of carbon peaking and carbon neutrality goals on China's energy intensity and heterogeneity analysis

Zhang Gengxin

School of Business Administration, Henan Polytechnic University, China Hennan Jiaozuo 454000

Abstract: The dual carbon policy aims to improve China's carbon emissions and reduce its energy intensity. Analyzing the mechanism and effectiveness of the dual carbon policy in improving China's energy consumption intensity, measuring the degree of improvement in energy consumption intensity before and after the implementation of the dual carbon policy, is beneficial for further optimizing policy guidance. This article is based on energy panel data from 32 provinces, municipalities, and autonomous regions in mainland China from 2017 to 2022. The data is divided into an experimental group and a control group, and the DID double difference method is used to construct a regression equation for measurement and analysis. The results indicate that the dual carbon policy has a significant effect on improving China's energy consumption intensity, and the implementation of the policy effectively promotes the reduction of China's energy consumption intensity; At the same time, due to significant regional differences in China, there is spatial heterogeneity in the reduction of energy consumption intensity, and there is heterogeneity in the acceptance and implementation of policies in different regions. The response of the central and western regions to policies is more significant. The implementation of the dual carbon policy has a positive effect on improving China's energy consumption intensity. It is necessary to maintain the continuity of the policy and strengthen supervision and management. Due to the significant differences between the eastern and western regions, the dual carbon policy should consider gradient assessment arrangements, pay attention to regional differences, and play a policy role according to local conditions.

Keywords: Dual carbon policy; Energy intensity; Energy transformation

0 引言

2020年9月, 中国提出“双碳”目标。根据碳达峰、碳中和任务, 国家发改委实施能源强度和能源消费总量“双控”要求, 推动节能降耗与高质量发展。能源强度是衡量能源利用效率和经济发展对能源依赖程度的重要指标, 其下降有助于缓解能源约束、改善环境、提升能源安全并促进可持续发展。全球能源强度整体下降, 得益于生产

效率提升、产业结构优化、清洁能源利用和技术进步。国际能源署(IEA)等机构持续发布全球能源强度数据, 为各国政策提供参考。国内外研究普遍表明, 能源强度降低是碳减排的重要因素。鉴于“双碳”政策与能源强度变化存在因果联系, 其变化可反映政策实施效果, 因此, 测度“双碳”政策前后能源强度的变化并分析其影响机制与异质性, 有助于深化政策实施。

1 文献综述

国内外学者就碳排放和能源强度关系的研究主要集中在以下几个方面:

基于不同行业的碳排放和能源强度关系研究,这类研究以某一行业为切入点,分析碳排放和能源强度之间的关系。学者尚珂^[1]利用系统耦合理论对我国 30 个省市 2010-2019 年物流业与信息业融合发展水平进行分析,运用门槛模型实证研究两大产业融合水平对物流业能源强度的影响。结果表明我国物流业与信息业融合水平总体较低,融合水平与物流业能源强度之间存在显著的门槛效应。

基于科技、产业结构等不同视角的碳排放和能源强度关系研究,这类研究从影响能源强度的因素中选择其中一项进行着重分析。比如学者 Zhao L^[2]使用机器学习模型,收集 2006 年至 2019 年中国 254 个城市的数据,研究绿色金融改革试点政策对能源强度的影响及其潜在机制,得出试点区的建立对缓解能源强度产生重大影响。

基于总体视角的碳排放和能源强度关系研究,这类研究没有区分某一特定的行业和某一影响因素,采用整体的视角研究某一地区或全国的碳排放和能源强度关系。学者商燕^[3]的文章使用 2005—2021 年我国 30 个省份能源消费和碳排放数据,运用 LMDI 方法探讨我国省域尺度碳排放强度的时空演变特征研究结果表明:全国 2005—2021 年碳排放强度总体上呈波动上升趋势,增速逐渐放缓,且碳排放强度较强的地区主要集中于西部地区。

综上,学者们从行业、技术、结构^[4,5]及总体层面对能源强度展开分析。未来研究可进一步:扩大样本范围以全面评估政策效果、系统考察环境规制、技术创新与产业结构的联动效应、结合地区异质性揭示政策作用的差异机制。

2 研究设计

为评估“双碳”政策实施后我国能源强度的变化效果,本研究基于政策前后城市面板数据,选取合适的样本与方法开展量化实证分析,以揭示“双碳”政策对能源经

济增长效率的影响。

2.1 研究思路与方法选择

为量化“双碳”政策对能源强度的影响,本文采用双重差分法进行实证分析。通过收集政策实施前后不同城市的数据,比较实验组与对照组的变化差异,以识别政策的净效应。与仅设虚拟变量的回归不同, DID 方法通过选择在政策前具有相似趋势的对照组进行对比,从而更准确地评估政策影响的显著性。

自 2020 年 9 月“双碳”目标提出以来,政策实施总体保持稳定,适合纳入短期政策分析框架。研究将碳达峰试点城市设为实验组,非试点城市为对照组,并确保平行趋势假设成立。通过构造政策与时间虚拟变量的交互项,引入双重差分回归模型,对政策效应进行实证检验。在此基础上,开展动态效应分析与平行趋势检验,以验证模型设定的合理性。最后,通过稳健性与异质性检验,进一步确认估计结果的可靠性,并揭示政策效应在不同地区或群体间的差异。

2.2 研究样本选择

根据国家发改委公布的首批碳达峰试点名单,本研究选取 15 个省区的 25 个城市作为“双碳”试点样本。在样本划分中,将这 25 个城市所在的 14 个省份设为处理组,其余 14 个省区作为对照组。由于年度数据缺失,暂未纳入新疆、西藏、甘肃和台湾;以 2020 年 9 月“双碳”目标提出为政策界限,选取其前 3 年的国内 GDP 与能源消耗数据作为对照期。

2.3 变量定义和数据来源

(1) 被解释变量:本文的被解释变量为能源强度,即单位 GDP 所消耗的能源。

(2) 核心解释变量:本文的核心解释变量为政策实施(Treat × Time)。研究使用城市虚拟变量(Treat),分析实验组与对照组在实施双碳政策前后的能源强度差异。在此基础上,引入时间虚拟变量(Time),对比政策实施前后,两个组别的政策效应是否不同。

表1 变量的指标选择与数据来源

变量类型	变量名称及代码	定义与赋值	数据来源
被解释变量	能源强度(EI)	能源经济效率	2017-2022《统计年鉴》
核心解释变量	双碳政策虚拟变量(Treat*Time)	(0,1)	
控制变量	GDP	宏观经济综合指标	2017-2022《统计年鉴》
	能源消耗总量(EC)	能耗指数	2017-2022《统计年鉴》
	经济水平指数(PE)	年末常住人口与地区生产总值之比	2017-2022《统计年鉴》
	教育水平指数(ED)	教育支出与财政支出之比	2017-2022《统计年鉴》、各省财政支出
	政府规模指数(FI)	财政支出与GDP之比	2017-2022《统计年鉴》、各省财政支出

(3) 控制变量：考虑到除核心变量以外，能源强度也会受到其他因素的影响，本文参考国内外文献，选择国内生产总值 (GDP)^[16]、能源消耗总量^[1] (EC)、经济水平指数 (PE)^[5]、教育水平指数 (ED)^[16] 和政府规模指数 (FI^[6]) 作为控制变量 (见表 1)。

2.4 平行趋势检验和动态效应检验

采用双重差分法评估政策的实施效果时，要求必须满足一个重要的假设，即在政策实施之前，实验组与对照组中的能源强度满足相对稳定的变动趋势，且不随时间的发展产生较大的差异。若政策实施前两个组的数据不具有相同的变动趋势，则有可能是政策以外的因素导致结果的变化，从而导致结果不可信。因此，为了检验平行趋势检验成立与否，根据双重差分模型，加入时间虚拟变量，观察政策的动态效应是否满足假设，参考 Lalonde^[8] 等所提出的事件研究法，设定如下计量模型进行平行趋势检验：

$$Efficiency_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 \sum_{2017}^{2022} (Treat_i \times Time_t) + \alpha_3 C_{it} + \theta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式 (1) 表示加入了动态效应的回归模型， α_4 、 α_5 、 α_6 均为回归系数；表示省份， t 表示年份； $Efficiency_{it}$ 为被解释变量，表示省份 t 年的能源强度； $Time_t$ 为时间虚拟变量； $Treat_i$ 为政策虚拟变量； $Treat_i \times Time_t$ 为双重差分模型的交互项，用于双碳政策的影响； C_{it} 表示一系列控制变量， θ_i 为省份的固定效应； γ_t 为年份的固定效应； ε_{it} 表示随机误差项； β_{2020} 为政策实施当年， $\beta_{2017} - \beta_{2019}$ 为政策实施前三年， $\beta_{2021} - \beta_{2022}$ 为政策实施后两年。

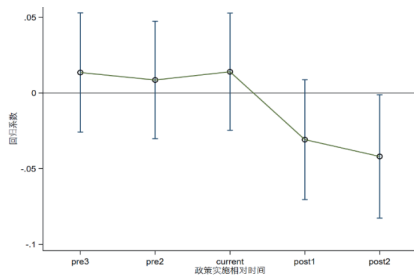


图1 平行趋势检验结果

根据平行趋势检验结果 (见图 1)，横轴为政策实施节点，current 代表政策实施当期即 2020 年，纵轴为系数的估计值。在双碳政策实施的前 3 年中，控制组和实验组的系数均在 95% 的置信区间中均包含了 0，可见，在没有双碳政策影响的情况下，实验组和对对照组不存在明显的显著性差异；在双碳政策实施后两年内，从第二年开始系数不在 95% 的置信区间，说明政策从第二年开始逐渐生效，考虑到政策的实施具有滞后性，且从第一年到第二年有明显的差异变化，说明基本满足平行趋势假设，因此，符合双重差分法的使用前提。

3 统计检验和分析

3.1 回归模型构建

本研究将试点省份设为实验组，其余省份为对照组，以能源强度为被解释变量，将政策虚拟变量与时间虚拟变量的交互项作为核心解释变量，构建双重差分回归模型。

$$Efficiency_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 (Treat_i \times Time_t) + \alpha_3 C_{it} + \theta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式 (1) 表示兼顾地区和年份双向固定效应的双重差分估计模型， α_1 、 α_2 、 α_3 均为回归系数；表示省份， t 表示年份； $Efficiency_{it}$ 为被解释变量，表示省份 t 年的能源强度； $Time_t$ 为时间虚拟变量； $Treat_i$ 为城市虚拟变量； $Treat_i \times Time_t$ 为双重差分模型的交互项，用于双碳政策的影响； C_{it} 表示一系列控制变量， θ_i 为省份的固定效应； γ_t 为年份的固定效应； ε_{it} 表示随机误差项。其中，系数 α_2 为本文所需的政策效应，即双碳政策对于能源效率变化的净效益。

3.2 参数结果估计

本文通过逐渐加入控制变量的方式提升精度，从而使模型结果具有更强的稳健性，即模型 (1) 为一元回归分析，在没有任何控制变量的基础上，评估双碳政策对能源强度改善的影响；模型 (2) - (5) 在模型 (1) 的基础上，逐步按顺序添加能耗指数 (EC)、经济发展指数

表2 逐步加入控制变量回归结果

变量	(1)EI	(2)EI	(3)EI	(4)EI	(5)EI
DID	-0.094*** (0.015)	-0.103*** (0.017)	-0.045*** (0.012)	-0.046*** (0.012)	-0.044*** (0.012)
Ec		0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)
PE			2.537*** (0.184)	2.528*** (0.186)	1.951*** (0.246)
ED				-0.323 (0.484)	0.872 (0.597)
FI					0.891*** (0.255)

注：(1) 10%、5%、1% 的显著性水平检验分明用 *、**、*** 表示。

(PE)、教育水平指数(ED)、政府规模指数(FI)等控制变量,表示在加入不同控制变量的情况下,双碳政策对能源强度改善的作用。具体的回归结果见表 2。

与模型(1)相比,模型(2)-(5)的拟合优度逐渐上升,从侧面也反映出模型构建的合理性。由表 2 可以看出,在不断地加入控制变量过程中,除加入控制变量产业结构指数(SS)外,核心解释变量 DID 的系数始终处于 1% 的显著水平上,符号和方向也没有发生变化,表明双碳政策对能源强度的改善具有较强的稳健性。

3.3 稳健性检验

在运用双重差分法评估政策实施效果时,样本会面临内生性、选择偏差等诸多不确定性因素的干扰,对回归结果产生影响。为确保研究结果具有稳健性,本文通过安慰剂实验来检验。

为探究结果的稳健性,本文参考 Li^[18] 学者的方法,通过随机生成实验组的方式来完成安慰剂实验,整个过程分别重复 500 次、2000 次,得到的结果如图 3、4 所示:

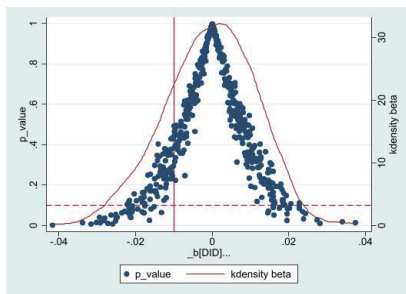


图2 随机抽取实验组500次-P值

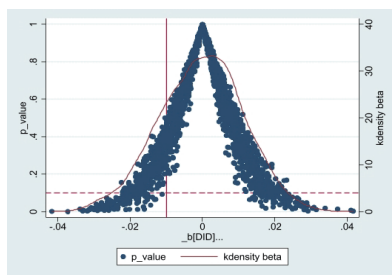


图3 随机抽取实验组2000次-P值

在重复随机抽样 500 次、2000 次之后,得到的 p 值散点图显示,大多数点的分布紧密围绕 0,表明随机抽到的系数与基准回归的系数有显著不同。此外,在 $p=0.1$ 的临界值线上,存在着大量的散点,意味着这些随机抽签的系数至少在 10% 的置信区间上是不显著的,表明随机抽取样本的实验不具有显著性,进一步证明之前实验所采用的数据具有显著性。

3.4 异质性分析

基准回归表明双碳政策整体上降低了试点城市的碳排

放水平,考虑到政策实施效果并非均质,在不同地区之间政策效果有所偏差,有必要进一步揭示政策的异质性。

本文参考学者李荣华^[4] 作异质性分析分组的基础上,把样本群体分为两组:东部和中西部,根据国务院发改委的批复,东部包含沿北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南 10 省(市),其余城市为中西部组。在此基础上进行分组回归,观察两组的差别,导入 stata 软件进行分析,结果如表 6 中(2)(3)所示:

表3 异质性分析结果

变量	(1)EI	(2)EI	(3)EI
DID-E	-0.044*		
	(-1.209)		
DID-W	-0.126***		
	(-5.583)		
RD	-0.000	0.000	-0.000
	(-0.538)	(0.591)	(-0.751)
SS	-0.566***	0.461	-0.616**
	(-2.924)	(0.900)	(-2.365)
ES	-2.359	-1.579	-2.158
	(-1.583)	(-0.879)	(-1.024)
DID		-0.061***	-0.108***
		(-3.180)	(-2.691)
_cons	0.957***	0.359	1.058***
	(7.891)	(1.486)	(6.462)

注:(1) 10%、5%、1% 的显著性水平检验分别用 *、**、*** 表示。

参数结果显示,双重差分项的系数为负值,且在 10% 的置信水平上显著,这表明双碳政策对东西部地区的能源强度改善均具有较强效应,结合区域发展差异,东西部在能源强度改善细节方面还存在略微不同。为进一步揭示差异性,把东西部两组和被解释变量生成新的虚拟交互变量,进行回归检验,结果如表 7 所示,其中 DID-E 解释的是东部地区的显著性,DID-W 是西部地区的显著性,根据结果显示两个地区的系数均为负值,但对于西部地区回归结果显示在 5% 置信水平上,由此可以得出政策对于西部地区的效应明显大于东部地区,主要原因在于,东部沿海地区已经进入后工业化阶段,其自身的发展水平很高,该地区的能源强度数值本身就处于一个较低的水平,所以对于政策的反映没有中西部明显。除此之外,中西部地区近年来承接了东部产业转移,进而对能源强度产生明显影响。

4 结论与建议

4.1 研究结论

双碳政策对我国能源强度的改善具有显著促进作用。研究结果显示,双重差分项的回归系数为负值且在 10% 的置信区间上显著,表明政策对我国高能耗消费具有抑制效应。其次,双碳政策的实施效果具有明显的滞后性,反映

政策实施到产生效果需要一定周期。动态效应检验表明,随着时间推移,双碳政策效应逐渐增强。最后,政策对东西部地区影响强度各异,中西部能源强度改善显著性大于东部。

4.2 政策启示

(1) 政府应强化政策执行力度,推动全面落实。优化能源和经济结构,降低能源强度,提升能源经济效率。重点推进产业结构升级和绿色技术创新,鼓励企业和机构参与绿色转型,加大绿色能源研发应用,提高全社会能源利用效率。

(2) 为确保政策持续效果,需加强监督评估机制。中央和地方政府定期检查政策执行情况,保证政策长期有效。建立健全反馈机制,根据效果动态调整,提升政策灵活性和适应性。

(3) 针对政策效果异质性,应依据区域差异制定差异化政策。中西部加大科技投入和人才引进,推动产业升级;东部继续鼓励绿色技术创新,发挥示范作用。促进东西部地区协作交流,共享技术和资源,推动全国均衡发展。

参考文献:

[1] 尚珂,魏修建.物流业与信息业融合发展对其能源强度的影响[J].河南大学学报(社会科学版),2023,63(03):19-23+152.DOI:10.15991/j.cnki.411028.2023.03.021.

[2] Zhao L ,Liu G ,Jiao H , et al.China's endeavor to reduce energy intensity: Does the green financial reform and innovation pilot zones policy matter?[J].Journal of environmental management,2024,370122631.

[3] 商燕,奥布力·塔力普,娜迪拉·阿不都热苏力.中国省域能源消费碳排放强度的时空演变及影响因素研究[J/OL].新疆师范大学学报(自然科学版),1-7[2024-10-11].https://doi.org/10.14100/j.cnki.1008-9659.20240905.001.

[4] 李荣华,杜昊.“双碳”目标下碳排放权交易试点的减排效应与区域差异[J].经济与管理研究,2023,44(11):25-44.DOI:10.13502/j.cnki.issn1000-7636.2023.11.002.

[5] 秦悦.产业结构优化对能源效率的影响研究[D].河南财经政法大学,2023.DOI:10.27113/d.cnki.ghncc.2023.000700.

[6] 杜俊涛,宋马林.绿色财政支出对资源利用效率的非

线性影响——基于政府治理的调节效应分析[J].中国地质大学学报(社会科学版),2023,23(05):31-43.DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.20230818.001.

[7] 张克中,王娟,崔小勇.财政分权与环境污染:碳排放的视角[J].中国工业经济,2011,(10):65-75. DOI:10.19581/j.cnki.ciejournal.2011.10.007.

[8] ROBERT L, LOUIS J, DANIEL S.Earnings losses of displaced workers[J].American Economic Review, 1993, 83(4): 685-709.

[9] 袁汝华,贾葵源.双碳背景下流域横向生态补偿政策对碳排放的影响[J].农林经济管理学报,2024,23(03):377-386.DOI:10.16195/j.cnki.cn36-1328/f.2024.03.40.

[10] 温忠麟,张雷,侯杰泰等.中介效应检验程序及其应用[J].心理学报,2004,(05):614-620.

[11] 温忠麟,叶宝娟.中介效应分析:方法和模型发展[J].心理科学进展,2014,22(05):731-745.

[12] 陈瑞,郑毓煌,刘文静.中介效应分析:原理、程序、Bootstrap方法及其应用[J].营销科学学报,2013,9(04):120-135.

[13] Hayes A.F. Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-based Approach[M]. New York: Guilford Press, 2013.

[14] 江程铭,李纾.中介分析和自举(Bootstrap)程序应用[J].心理学探新,2015,35(05):458-463.

[15] 张涵,康飞.基于bootstrap的多重中介效应分析方法[J].统计与决策,2016,(05):75-78.DOI:10.13546/j.cnki.tjyc.2016.05.019.

[16] 李鹏,李响,袁永娜.低碳城市试点政策对城市能源强度的影响机制及空间溢出效应[J].科技管理研究,2024,44(19):221-232.

[17] 金都,刘新平.中国能源结构转型:碳减排效应、驱动因素及碳达峰探索[J/OL].安全与环境学报,1-8[2024-12-05].https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2024.0074.

[18] Li P., Lu Y., Wang J. Does flattening government improve economic performance? Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2016, 123(09) : 18-37.