

有效还是失灵：政策对中国省域碳排放强度影响机制研究

牛奔

安徽理工大学, 安徽 淮南 232001

摘 要： 探究政策实施效果对碳中和碳达峰目标的实现具有积极意义。研究选取《能源生产与消费革命战略》，基于2008—2021年中国30省市数据，运用合成控制法对《战略》政策实施效果及驱动因素进行分析。结果显示：（1）《战略》对响应省份发挥了正向的调节作用，在碳排放强度数值方面，河北下降10%，江苏下降15%，山东下降4%。（2）从政策效应角度，响应省份具有差异性。（3）从调节效应角度，第三产业占比、城镇化率、技术创新能力对碳排放强度起到正向的调节作用。

关 键 词： 碳排放强度；合成控制法；政策效应；碳减排

Effectiveness or Failure: A Study on the Mechanism of Policy Influence on Provincial Carbon Intensity in China

Niu Ben

Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001

Abstract： Exploring the effect of policy implementation is of positive significance to the realization of carbon neutrality and carbon peaking. Based on the data of 30 provinces and cities in China from 2008 to 2021, this paper selects the Strategy of Energy Production and Consumption Revolution to analyze the policy implementation effect and driving factors of the Strategy by means of synthetic control method. The results show that: (1) The Strategy has a positive regulating effect on the response provinces. In terms of carbon emission intensity, it decreases by 10% in Hebei, 15% in Jiangsu and 4% in Shandong. (2) From the perspective of policy effect, the response provinces are different. (3) From the perspective of regulatory effect, the proportion of tertiary industry, urbanization rate and technological innovation ability have positive regulatory effects on carbon emission intensity.

Keywords： carbon emission intensity; synthetic control method; policy effect; carbon emission reduction

引言

伴随着经济社会发展，推进“双碳”工作是破解资源环境约束突出问题、实现可持续发展、推动经济结构转型升级的迫切需要。数据显示，2022年，我国能源生产总量达44.1亿吨标准煤，能源消费总量达54.1亿吨标准煤。如何有效降低能源生产与消费过程的碳排放强度也就成为了中国如期实现“双碳”目标的重中之重。为保证能源保供与节能减排，解决与完善能源生产与消费问题以期履行碳排放承诺助力，国家发展改革委员会与国家能源局共同制定了《能源生产与消费革命战略（2016—2030）》^[1]（以下简称《战略》）。

现有文献对我国碳减排政策开展了广泛研究。陈飞宇等聚焦于城市居民的支持意愿与执行意愿，系统地评估了中国城市生活垃圾强制分类政策的实施效果以及基于文本挖掘的合成控制法分析中国碳普惠制的居民低碳行动效应^[2]；王兆华等以北京市位列设置发展情景分析碳排放目标与其余因素的内生性关系^[3]；韩晓飞等从能源需求角度分析得出不同减排路径的效果各不相同^[4]。相关学者在“双碳”政策的内涵^[5、6]、理论框架^[7]等诸多角度进行了深入研究。在研究方法角度，Kaul等利用合成控制法论证了结果变量与协变量之间的关系^[8]，齐小媛等利用合成控制法研究了碳排放交易制度如何影响中国的碳排放^[9]。本文从能源领域^[10]碳排放制度出发，选取具有代表性的政策利用合成控制法研究从顶层设计出发的政策效应对降低碳排放的影响。

一、研究方法 with 变量说明

合成控制法被广泛应用于研究和评估试点政策的具体实施效果,通过为政策试点构造“反事实”比较单元,选择合适的非试点省份加权合成出最佳对照组,模拟试点省份在未受到政策影响时的情况。

给定 $B+1$ 个省份,在 $t \in [1, T]$ 时期内居民碳排放强度数据。其中, s_{it}^N 表示第 i 省份在时间点 t 上,未响应《战略》时的碳排放强度; s_{it}^I 表示第 i 个省份在时间点 t 上,响应该政策时的碳排放强度。若 T_0 为政策实施节点,则 $t \leq T_0$ 时,碳排放强度不受政策影响, $s_{it}^N = s_{it}^I$; 在政策响应后, $t > T_0$ 时, $\alpha_{it} = s_{it}^I - s_{it}^N$ 为政策效果。对于响应省份,可观测到 s_{it}^I , 而假设未响应政策的数据 s_{it}^N 无法观测,本文采用 Abadie 等提出的因子模型进行估计:

$$s_{it}^N = \delta_t + \theta_i Z_i + \lambda_t \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

(1) 式中, δ_t 是影响所有被选取省份的时间固定效应, Z_i 为预测控制变量,本文选择二氧化碳排放量、经济发展水平 (GDP)、第一、第二、第三产业结构水平、城镇化率、技术创新能力 (被授予专利数量)、能源生产总量和能源消费总量作为预测控制变量。 λ_t 是 $1 \times F$ 维无法观测到的公共因子向量, μ_i 是 $F \times 1$ 维不可观测的省份固定效应, ε_{it} 是不能观测的短期冲击,在省份水平上的均值为 0。

假设第一个省份, $i=1$ (试点省份) 响应了《规划》, 剩余 B 个省份, $i=2, 3, \dots, B+1$ 均未响应该政策。考虑一个 $K \times 1$ 维的权重向量 $W = (w_2, w_3, \dots, w_{B+1})$, 其中 $w_B \geq 0$, $w_2 + w_3 + \dots + w_{B+1} = 1$, 每一个向量都代表一个虚拟的合成控制组合, 即对 B 个省份的权重。

假定存在 $W^* = (w_2^*, w_3^*, \dots, w_{B+1}^*)$ 使得在 $t \leq T_0$ 时, 有

$$\sum_{b=2}^{B+1} w_b^* s_{bt} = s_{1t}, \dots, \sum_{b=2}^{B+1} w_b^* s_{btT_0} = s_{1T_0} \text{ 和 } \sum_{b=2}^{B+1} w_b^* Z_b = Z_1 \quad (2)$$

在式 (2) 中, 当 $t > T_0$ 时, 有 $s_{1t}^N - \sum_{b=2}^{B+1} w_b^* s_{bt}^N$ 趋近于 0, 可以用 $\sum_{b=2}^{B+1} w_b^* s_{bt}^N$ 作为 s_{1t}^N 的无偏估计, 得到政策效果的估计值为

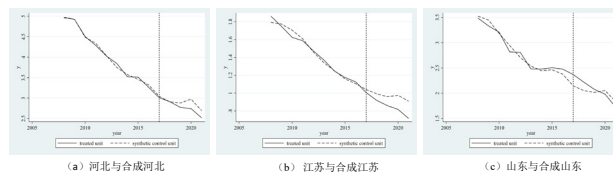
$$\hat{\alpha}_{1t} = s_{1t}^I - s_{1t}^N = s_{1t}^I - \sum_{b=2}^{B+1} w_b^* s_{bt}^N, t \in [T_0+1, \dots, T] \quad (3)$$

根据权重向量 W^* 即可估计出 $\hat{\alpha}_{1t}$ 的值。

二、实证结果与讨论

(一) 《战略》对各省份碳排放强度的效果分析

本文依据《战略》发现明确响应的省级单位有 5 个: 河北、江苏、湖北、湖南、山东并将此 5 个省份列为处理组, 将北京、上海、安徽等 25 个非试点省市作为对照组, 用于拟合未响应《战略》时的情况, 即采取分析每个试点省份的方式, 分别构建河北、江苏、湖北、湖南、山东的合成控制省份 (湖南省、湖北省由于数据缺失未列入研究中)。利用合成控制法进行计算, 构成合成河北、合成江苏、合成山东的合成省份图。其中, 实线代表现实省份, 虚线代表合成省份。

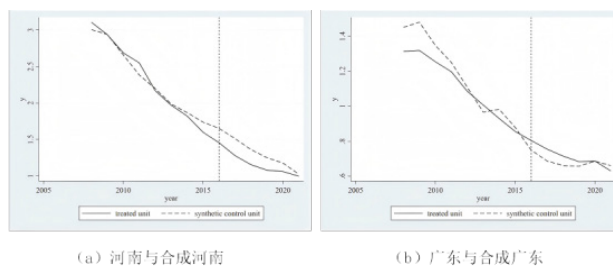


> 图 1 碳排放强度的真实值与合成值对比

在图 1 中, 实线为试点省份碳排放强度的真实值, 虚线为合成值, 时间轴虚线左侧为《战略》确定试点省份之前的时期, 右侧为试点省份确定后的时期。从拟合结果来看, 在《战略》实施前, 合成河北、合成江苏与合成山东的碳排放强度和实际情况大致重合, 表明合成控制法较好地复制了政策实施前碳排放强度的变化轨迹。并且, 自《战略》实施后, 河北和江苏的实际碳排放强度明显低于合成值, 山东则在 2020 年前后实际碳排放强度明显低于合成值, 说明目前《战略》对于降低省份碳排放强度具有明显的效果。进一步地从碳排放强度数值方面分析, 河北下降 10%, 江苏下降 15%, 山东下降 4%。真实河北与合成河北在《战略》实施之后的差值最大, 政策效应最为显著, 真实江苏与合成江苏之间的差值则较小, 说明存在一定的政策效应, 山东的情况则最为特殊, 在《战略》实施前后真实山东的碳排放强度在合成山东的碳排放强度之上, 在 2020 年之后才存在政策效应。

(二) 地区稳健性检验

本文选择三个合成省份占比最大的省份作为虚假处理组, 检验结果如图 2 所示, 从中可以明显看出, 当河南作为处理组时, 与对照组相比较时, 在 2012 年左右就比合成河南的碳排放强度低, 且假设其收到政策冲击之后, 河南与合成河南的碳排放强度走势基本相同, 并未明显受到政策冲击影响。当广东省作为处理组时, 真实广东与合成广东在 2019 年以前的走势基本一致, 在 2020 年时重合, 说明并未明显受到政策冲击影响, 表明《战略》对虚假处理组未产生政策效应, 从而证明本文的政策评估结果通过地区稳健性检验。



> 图 2 碳排放强度的真实值与合成值对比

(三) 调节效应分析

基于合成控制法实证分析了《战略》对试点省份产生的影响, 发现在政策实施后, 河北等省份的碳排放强度下降速度有所提高。但对于政策而言, 试点省份的社会环境和技术条件等也将影响政策的效用。本文借助调节效应的检验方法, 讨论经济发展、技术创新能力等变量的调节作用。结果详见表 1。

表1 调节效应检验结果			
变量	河北碳排放强度	江苏碳排放强度	山东碳排放强度
	系数	系数	系数
碳排放量	0.341***	0.273***	0.255***
GDP	-0.482***	-0.484***	-0.465***
第一产业占比	0.239***	0.251***	0.237***
第二产业占比	0.288***	0.253***	0.279***
第三产业占比	-0.369***	-0.352***	-0.361***
城镇化率	-0.321***	-0.324***	-0.313***
能源消费总量	0.0120	-0.0800	-0.0310
技术创新能力	-0.385***	-0.393***	-0.382***
能源生产总量	0.522***	0.536***	0.529***
注：*P < 0.10, **P < 0.05, ***P < 0.01。			

依据上表，GDP、技术创新能力、第三产业占比与城镇化率分别在三个响应省份实施了《战略》之后起到显著的正向调节作用；能源生产总量、碳排放量、第二产业占比与第一产业占比则在《战略》实施之后起到负向调节作用。一方面，伴随着国家愈发重视绿色经济的发展以及“双碳”政策的提出，单位经济能耗的下降会带动碳排放强度的下降；第三产业的占比增加也将带动碳排放强度的下降，服务业的经济占比增长说明第一、第二的占比下降，会直接显著地降低碳排放量，碳排放强度也就随之下降；技术创新能力的增强也会带动碳排放强度的降低，各种专利

的发明会降低碳排放以及提高能源利用率。相对应地，带动碳排放强度负增长的4个变量都会在各自领域增加碳排放量进而影响碳排放强度。

三、政策建议

1. 加强政策响应力度。部分省份在响应了《战略》后均取得了积极的政策效应。建议中央政府向响应省份倾斜资源以吸引其他省份响应《战略》，地方政府也应根据自身省份具体情况响应《战略》以期获得更加显著的政策效应。

2. 提高政策出台频率，提升时效性。①响应省份中出现政策效应滞后的现象，②响应省份的政策效应有强有弱，存在差异性。因此，建议中央在制定碳减排制度时缩小政策时间跨度，加大政策出台频率，同时，中央与地方政策也应积极为《战略》出台相关的法律法规与配套设施，以增加政策的可持续性并解决“后续乏力”等问题。

3. 加强第三产业占比、推进城镇化进程、发展技术创新能力以及保证经济的绿色可持续发展。第三产业占比、城镇化率、技术创新能力与GDP的增长对降低碳排放强度具有积极正向的调节作用。因此，建议政府加大对这些要素的资源倾斜力度，完善产业结构，增加第三产业服务业的占比，推动城镇化进程，加大技术创新能力，实现经济的绿色可持续发展。

参考文献

[1] 杜祥琬. 对我国《能源生产和消费革命战略(2016—2030)》的解读和思考[J]. 中国科技奖励, 2017, (07): 6-7.

[2] CHEN F, CHEN Q, HOU J, et al. Effects of China's carbon generalized system of preferences on low-carbon action: A synthetic control analysis based on text mining[J]. Energy Economics, 2023, 124: 106867.

[3] WANG Z, LIU T. Scenario analysis of regional carbon reduction targets in China: A case study of Beijing[J]. JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY, 2015, 7(4): 043125.

[4] HAN X, JIAO J, LIU L, et al. China's energy demand and carbon dioxide emissions: do carbon emission reduction paths matter?[J]. NATURAL HAZARDS, 2017, 86(3): 1333-1345.

[5] 蒋水全, 谭蕴林, 孙芳城, 等. 低碳城市建设、环境审计与企业碳排放——基于低碳城市试点政策的准自然实验[J]. 审计与经济研究, 2024, 39(03): 20-32.

[6] 魏亿钢, 石佳伟, 许冠南. 中国低碳政策演进、阶段特征与治理模式变革[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(04): 761-770.DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230112003.

[7] 周成. “双碳”政策的知识图谱、研究热点与理论框架[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2023, 25(04): 94-112.DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2023.1966.

[8] KAUL A, KLOESSNER S, PFEIFER G, et al. Standard Synthetic Control Methods: The Case Of Using All Preintervention Outcomes Together With Covariates[J]. JOURNAL OF BUSINESS & ECONOMIC STATISTICS, 2022, 40(3): 1362-1376.

[9] QI X, HAN Y. How Carbon Trading Reduces China's Pilot Emissions: An Exploration Combining LMDI Decomposition and Synthetic Control Methods[J]. POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES, 2020, 29(5): 3273-3284.

[10] 张毅, 李学军, 汪觉恒, 等. 能源领域双层多段式碳排放驱动因素分析[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S1): 149-155.DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.CN24022801.