

引用格式:于智涵,方丹,杨谨.资源型经济转型试验区政策对碳排放的影响评估:以山西省为例[J].资源科学,2021,43(6):1178-1192. [Yu Z H, Fang D, Yang J. Impact of the "National Comprehensive Reform Zone for Resource-Based Economy" policy on carbon emissions: A case study of Shanxi Province[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1178- 1192.] DOI: 10.18402/resci.2021.06.10

# 资源型经济转型试验区政策对碳排放的影响评估 ——以山西省为例

于智涵,方 丹,杨 谨

(中国地质大学(北京)经济管理学院,北京 100083)

**摘 要:**低碳发展已成为新时期经济社会发展的主要导向,在山西省资源型经济转型的探索道路中,降低碳排放,不断提高可持续发展能力,是其实现转型和高质量发展的基础。本文基于2004—2017年山西省面板数据,运用合成控制法并建立中介效应模型,研究资源型经济转型综合配套改革试验区政策对碳排放的政策效果及作用机理。研究发现:①资源型经济转型能够有效地抑制山西省碳排放量的增加。在研究时段内,受到政策冲击后山西省的碳排放仅增长89.6%,与合成控制法模拟的山西省135.5%的碳排放增长相比,共减少碳排放78944.68万t。②在政策实施后的短期内,环境规制、产业结构升级均在5%的显著水平上有效抑制了碳排放,其中环境规制发挥中介效应,产业结构升级的作用表现为直接效应。③在短期内,金融发展、技术创新分别在10%和5%的水平上促进了碳排放,从中均发挥“遮掩效应”。由此说明,资源型经济转型综合配套改革试验区政策通过加强管制、产业转型等手段为山西省低碳发展作出了贡献,但是还需要进一步反思并完善有关金融发展、科技创新的制度体系。本文结果有助于为山西省及更多的资源型地区经济低碳高质量转型提供借鉴。

**关键词:**资源型经济转型;国家综合配套改革试验区;碳排放;合成控制法;中介效应;山西省

DOI :10.18402/resci.2021.06.10

## 1 引言

化石能源的大量开发与粗放利用使碳排放持续增长,由此引发的全球变暖已经严重影响了人类的生存与社会的发展。山西省作为中国重要的能源富集区,长期以来以煤炭资源为核心驱动当地经济发展。在经济实力增强的同时,过度依赖煤炭的粗放型增长模式带来的弊端也日趋明显。除了产业结构单一、产能过剩、经济持续低迷发展等经济结构问题以外,过度的碳排放也是不容忽视的问题之一。粗放的经济方式使山西省的能源利用效率低下,而以资源型产业为主的产业结构导致其他产业萎缩,形成以高耗能产业为主的经济结构,

这些因素导致山西省碳排放量居高不下<sup>[1]</sup>。在发展低碳经济、倡导节能减排的时代背景下,减少碳排放也是资源型经济转型的重要目标。如何平衡能源消耗和经济发展的关系,寻求低碳可持续发展路径,已成为山西省全方位转型的重大课题。

国家综合配套改革试验区(后文简称综改区)是中国在经济社会发展的新阶段,在科学发展观的指导下,为促进地方经济社会发展而推出的一项新举措。山西省作为资源型经济的典型省份,其资源环境与经济发展的深层次矛盾受到国家的高度重视。为了帮助山西省摆脱“资源诅咒”,实现资源型经济转型,国务院于2010年12月1日正式批复设立

收稿日期:2020-06-02;修订日期:2020-11-03

基金项目:国家自然科学基金青年项目(71704164);教育部人文社会科学基金青年项目(17YJC790187);中国地质大学(北京)基本科研业务费专项资金资助项目(2652018248)。

作者简介:于智涵,山东济南人,本科生,主要研究方向为资源环境经济与政策。E-mail: zhihan25961@163.com

通讯作者:杨谨,山东临沂人,博士,副教授,主要研究方向为资源环境经济与政策。E-mail: yangjin@cugb.edu.cn

2021年6月

“山西省国家资源型经济转型综合配套改革试验区”(后文简称资源型经济转型试验区)。作为综改区政策中资源型经济转型改革的试点省份,山西省肩负探索建立促进资源型转型的体制机制、破解长期积累的深层次矛盾的任务,旨在为国家其他资源型地区提供可借鉴的经验,探索出可行的制度体系以及发展模式<sup>[2]</sup>。从试验区成立至今,政府全力推动转型的试点先行工作稳步推进,重点领域改革已取得阶段性成果。

作为中国改革向纵深推进的战略部署,综改区受到政府和学术界的广泛关注。就综改区政策本身,许多学者研究关注了政策的创新性<sup>[3]</sup>、政策的绩效评价指标体系<sup>[4]</sup>、政策的经济溢出效应等<sup>[5]</sup>。具体到资源型经济转型综合改革试验区,现有研究已证明山西在政策实施后各方面转型绩效十分显著<sup>[6]</sup>。可持续发展综合能力及可持续发展能力系统的协调度有了较大提高<sup>[7]</sup>,经济发展质量明显提升<sup>[8]</sup>,产业高级化水平呈波动上升,产业合理化水平有了一定程度的提高<sup>[9]</sup>。尽管资源型经济转型试验区政策对于经济发展质量提升和产业结构升级具有明显的正面促进作用已被证实,但是政策的各项措施是否会对碳排放产生影响还有待证明。

围绕资源型经济转型,国内外学者也展开了广泛的研究。Anty等<sup>[10]</sup>首次提出“资源诅咒”理论,指出丰富的自然资源对一些国家的经济增长反而是一种限制;随后Sachs等<sup>[11]</sup>对95个发展中国家/地区进行实证检验,证实了“资源诅咒”确实存在。长期以来,学者都致力于解决如何破解资源型地区“资源诅咒”的难题,针对“加快经济结构转型,摆脱对资源产业的依赖”这一目标提出相应的政策措施,从强化制度建设入手,解决“资源诅咒”问题<sup>[12-14]</sup>。随着低碳经济发展模式流行,资源型经济转型开始注重与“低碳”结合,越来越多的学者从低碳视角入手对资源型经济转型进行研究:阎晓<sup>[15]</sup>利用LMDI分解、脱钩理论、线性回归等方法对资源型城市低碳转型的影响因素展开研究,重点研究了经济规模、产业结构、能源结构、技术进步、人口规模对转型的影响;徐君等<sup>[16]</sup>在此基础上考虑了更多影响因素,通过构建资源型城市低碳转型的驱动力-障碍模型,分析了七大驱动力因素和七大障碍因素对资源型城市低碳转型的影响,并发现不同影响因素在资源

型城市低碳转型的不同阶段,其作用的强弱和方向处于动态变化的过程中。刘晓燕等<sup>[17]</sup>基于产业异质性视角,分析不同能源强度和碳排放强度的资源型产业低碳发展的最优路径。谭玲玲等<sup>[18]</sup>基于考虑非期望产出DEA模型对17个典型资源型城市进行低碳转型绩效评价,进一步发现不同类型的资源型城市转型效果也存在差异,东部和中部资源型城市低碳转型效果比西部好,综合型和煤炭型资源城市转型效果最佳。张逸昕等<sup>[19]</sup>基于非期望产出SBM模型评价典型资源型城市的低碳转型效果,并进一步将生产率指数分解,得出低碳技术进步是促进资源型经济转型的主要源泉。虽然现有研究已经全面评价了资源型经济低碳转型的效果并检验了其影响因素,但是资源型经济转型影响碳排放的作用机理仍然值得更深入的探讨。资源型经济转型试验区政策对碳排放的影响路径都有哪些?各个影响路径是否能够有效发挥作用?这些问题还有待进一步探索。

综上所述,现有研究缺少对资源型经济转型试验区政策对碳排放作用效果的实证分析,资源型经济转型对碳排放的影响机理还值得进一步研究。基于此,本文将资源型经济转型试验区的设立作为一个自然实验,探讨在资源型经济转型试验区政策实施前(2004—2010年)和政策实施后(2011—2017年)山西省碳排放的变化情况,并进一步构建中介效应模型,探讨环境规制、金融发展、科技创新、产业结构升级4条路径对碳排放的作用机制。为了克服主观因素造成的样本选择偏误及未观测到的因素造成的内生性问题,本文采用纯数据驱动的合成控制法进行实证分析,以期今后的政策改进与完善提供证据、经验和思路。

## 2 理论分析与研究假设

结合现有文献对碳排放影响因素的分析以及2012年颁布的《山西省国家资源型经济转型综合配套改革试验总体方案》(后文简称《总方案》),本文就政策可能会对山西省碳排放产生影响的途径提出假设。

H1:资源型经济转型试验区政策通过环境规制对碳排放产生影响。

《总方案》中明确提出“生态环境显著改善”,使“生态破坏、环境污染、安全事故、能源消耗等问题

明显改观”是资源型经济转型的主要目标,并把“以生态环境保护和治理修复为主要抓手,着力提高可持续发展能力”作为主要任务,把“完善环境资源税收”作为主要措施。在政策指导下,资源型经济转型试验区进一步深化资源税收改革,并建立节能减排、产业准入标准,强化节能、环保等指标约束。

针对环境规制对碳排放的影响,现有研究持两种不同观点:一方持“绿色悖论”观点,即供给侧对环境规制的响应使能源所有者加速能源的开采,增加能源的消费,从而对碳排放产生正向影响;另一方则持“倒逼减排”观点,即政府能通过征税等手段增加化石能源生产者、使用者的成本,从而减少化石能源的使用,也可采用命令-控制的手段限制高污染企业的生产活动,限制企业使用化石能源,强制企业进行技术创新以提高碳减排效率。进一步研究发现,这两种作用并不是线性的,环境规制对碳排放表现出显著的倒U型态势,且在不同地区不同的门槛下环境规制对碳排放呈现不同的影响<sup>[20-23]</sup>。

H2:资源型经济转型试验区政策通过金融发展对碳排放产生影响。

基于山西省产业结构单一、资源型产业主导的现状,金融业的发展一方面能够促进传统行业转型升级,另一方面能为新兴产业的培育和发展提供有力支持。《总方案》中明确提出将“加强金融创新与改革”作为资源型经济转型配套改革的主要措施,加快构建与转型相适应的金融体系,加大对重点领域的信贷支持,发展晋商金融。《实施方案(2013—2015年)》《实施方案(2016—2020年)》提出不断健全金融改革的措施,使金融改革更好地为经济转型服务。

现有研究表明,金融发展对碳排放的影响较为复杂,同时存在促进和抑制两种效应。①从抑制的角度看,金融发展可以鼓励企业进行节能减排的技术革新、支持产业转型升级从而遏制碳排放。②从促进的角度看,金融的发展更有利于企业融资进而扩大生产规模,生产规模的扩大会增加对能源的消耗,造成碳排放量上升;还可以通过金融中介使消费者更容易获得资金购买大宗商品,需求增加刺激企业的供给增加,从而消耗更多的能源用于生产,导致碳排放增加。金融发展对碳排放的绩效取决于两种效应的相对大小,且这种效应存在空间异质

性,与碳排放之间有较复杂的作用关系<sup>[24-26]</sup>。

H3:资源型经济转型试验区政策通过技术创新对碳排放产生影响。

资源型经济转型试验区成立伊始就强调以科技创新引领推动山西省资源型经济转型,把创新驱动发展作为推动山西省资源型转型。《总方案》中明确强调,健全科技创新体制机制为经济转型的重大举措,在《实施方案(2013—2015年)》《实施方案(2016—2020年)》中进一步把“创新驱动,先行先试”作为指导思想,不断把技术创新摆在转型发展更突出的重要位置。省政府采取各项措施发展高新技术产业,培育和引进领军人才团队,促进科技与产业的深度融合,以求通过科技创新实现经济高质量发展。

技术创新是影响碳排放的关键因素。同样地,技术创新对碳排放的作用也存在抑制和促进两种效应。技术创新可以通过规模效应促进碳排放,也可以通过技术效应抑制碳排放。具体地,技术创新带动了经济增长与经济规模的扩大,从而间接地增加了碳排放量;技术创新也可以通过提高能源利用效率、提高减排效率直接地减少碳排放。学者研究发现,技术创新对碳排放的作用机制较复杂,最终效果还要考虑到技术创新的作用路径、地区本身的产业结构、经济发展情况和技术基础等因素的影响<sup>[27-29]</sup>。

H4:资源型经济转型试验区政策通过产业结构升级对碳排放产生影响。

山西若想破除“资源诅咒”,就必须紧紧围绕产业结构优化、促进产业多元化发展探索出适合山西的改革路径。《总方案》中明确指出资源型经济转型试验区要围绕“产业转型、生态修复、城乡统筹、民生改善”四大任务探索建立促进资源型经济转型的体制机制,其中首要任务就是产业转型。产业转型一方面聚焦于通过技术创新改造提升传统资源型产业,另一方面培育和发展大数据、物联网、电子信息、智能制造、生物医药、食品加工、新材料、新能源等新兴产业和高新技术产业,着重发展现代服务业,使产业结构总体向高级化演进。

已有多数研究表明,产业结构与碳排放有紧密的关联,产业结构调整与升级是实现低碳发展的重要途径。随着产业结构优化升级,高耗能工业占比



2021年6月

逐渐减小,能源消费强度和化石能源消耗占比会逐渐降低,同时新能源产业的兴起也提高了清洁能源在能源结构中的比重。因此产业结构升级降低了能源消耗强度,改善了能源结构,起到节能减排的作用<sup>[30,31]</sup>。

通过上述文献梳理与机制分析可知,资源型经济转型试验区政策可以通过环境规制、金融发展、技术创新、产业结构升级等4种途径对碳排放产生影响(图1)。在实践中政策的具体效果如何,还需要进一步实证检验。

### 3 方法、变量与数据

#### 3.1 研究方法

##### 3.1.1 合成控制法

本文采用Abadie等<sup>[32]</sup>首次提出的合成控制法(synthetic control method, SCM),基本思路是对现有多个备选控制单元进行适当加权,合成一个控制组,根据可观测的经济特征与干预前结果变量选择控制组与确定权重。具体做法是在构建控制组权重时通过测度预测变量之间的距离确定权重取值,由此得到最优权重组合。经过加权之后,合成地区的各项经济特征应该尽量接近处理地区。控制单元由数据驱动从样本省份中客观选取,选取的控制单元能够经过加权组合,较好地拟合政策实施前处理地区的各项特征。这样做可以最大程度地构建与处理组有相同碳排放演变趋势的控制组,同时可以展示出政策冲击前两者碳排放路径的相似程

度。相比于双重差分法、双重差分倾向得分匹配法,合成控制法通过预测变量的数据来决定权重的大小,更好地避免了控制组的内生性偏误,以求构建与处理组在经济特征、演变趋势上最大程度相似的控制组。以控制组作为对照对处理地区展开分析,更具有说服力<sup>[32]</sup>。

本文拟采用该方法考察资源型经济转型试验区政策对山西省碳排放的作用与影响。给定 $K+1$ 个省份 $T$ 期的面板数据,令 $C_{it}^N$ 表示第 $i \in [1, K+1]$ 省份在政策未实施时的 $t$ 时间的碳排放量, $C_{it}^I$ 表示 $i$ 省份在政策实施后的 $t$ 时间的碳排放量。假定 $i$ 省份在时点 $t=T_0$ 开始实施资源型经济转型试验区政策,则在 $[1, T_0]$ 期,有 $C_{it}^I = C_{it}^N$ ;政策实施后,即 $[T_0+1, T]$ 期内,令 $\alpha_{it} = C_{it}^I - C_{it}^N$ 表示政策在 $[T_0+1, T]$ 期内资源型经济转型试验区政策对 $i$ 省份的碳减排效应。对于实施资源型经济转型试验区政策的省份, $C_{it}^I$ 是已知的受到政策影响后的碳排放量,但是假设 $i$ 省份没有实施政策时的碳排放量 $C_{it}^N$ 是无法估计的。因此,本文采用Abadie等<sup>[33]</sup>提出的因子模型估计 $C_{it}^N$ :

$$C_{it}^N = \delta_t + \theta_i Z_i + \lambda_i u_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $\delta_t$ 是时间趋势项,代表所有省份碳排放的时间固定效应; $Z_i$ 为 $(r \times 1)$ 维可以观测到的、不受政策影响的控制变量; $\theta_i$ 是 $(1 \times r)$ 未知参数向量; $u_i$ 为 $(F \times 1)$ 维不可观测的地区固定效应; $\lambda_i$ 为 $(1 \times F)$

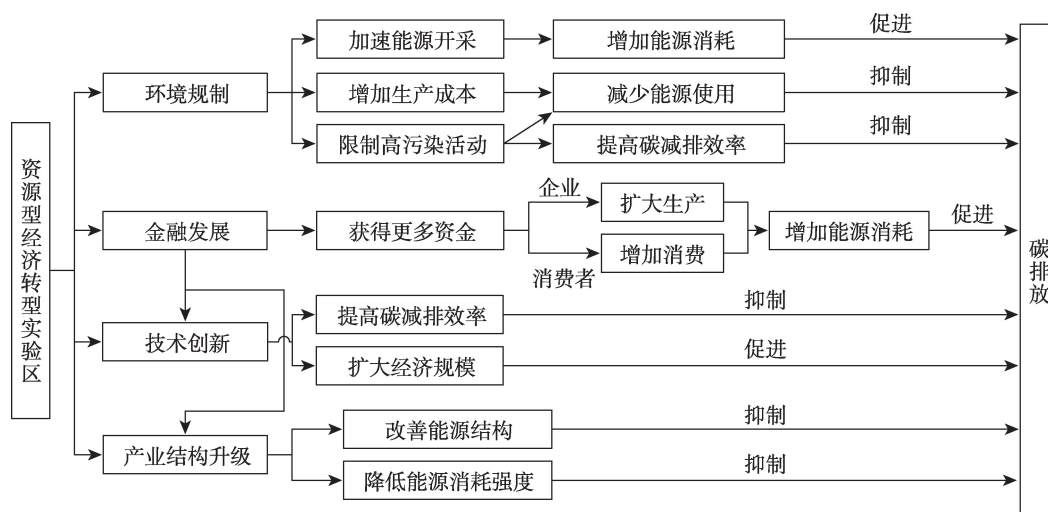


图1 资源型经济转型试验区对碳排放的作用机制

Figure 1 Influencing mechanism of resource-based economy comprehensive reform zone on carbon emissions

维观测不到的公共因子向量;  $\varepsilon_{it}$  为无法观测到的短期冲击, 均值为0。估计  $C_{it}^N$  的方法是对控制组地区加权来模拟实验组的特征。

为此, 要通过预测变量来构造  $(K+1)$  维的权重向量  $W=(w_2, \dots, w_{K+1})$ , 满足对任意的  $k$ ,  $w_k \geq 0$ , 且  $w_2 + \dots + w_{K+1} = 1$ 。  $s, n$  指代  $[1, T_0]$  中的具体年份<sup>[33]</sup>。每个向量  $W$  的特定值代表非政策实施地区合成控制组的权重。通过对每个对照组省份进行加权, 得到合成控制的结果变量为:

$$\sum_{k=2}^{K+1} w_k C_{kt} = \delta_t + \theta_t \sum_{k=2}^{K+1} w_k Z_k + \lambda_t \sum_{k=2}^{K+1} w_k u_k + \sum_{k=2}^{K+1} w_k \varepsilon_{kt} \quad (2)$$

假定存在一个向量组  $W^* = (w_2^*, \dots, w_{K+1}^*)'$  使得:

$$\sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{k1} = C_{11}, \dots, \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{kT_0} = C_{1T_0}, \text{ 且 } \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* Z_k = Z_1 \quad (3)$$

如果能够证明  $\sum_{t=1}^{T_0} \lambda_t^1 \lambda_t$  非奇异, 则有:

$$C_{1t}^N - \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{kt} = \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* \sum_{s=1}^{T_0} \lambda_s \left( \sum_{t=1}^{T_0} \lambda_t^1 \lambda_t \right)^{-1} \lambda_s^1 (\varepsilon_{kt} - \varepsilon_{1t}) = - \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* (\varepsilon_{kt} - \varepsilon_{1t}) \quad (4)$$

Abadie等<sup>[33]</sup>证明, 在自然实验发生前时间较长的情况下, 式(4)的左边趋近于0, 也就是  $C_{1t}^N - \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{kt} \rightarrow 0$ , 因此可以用  $\sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{kt}$  作为  $C_{1t}^N$  的无偏估计, 从而可以得出目标省份政策效果  $\alpha_{it}$  的估计值  $\hat{\alpha}_{it}$  为:

$$\hat{\alpha}_{it} = C_{it} - \sum_{k=2}^{K+1} w_k^* C_{kt}, t \in [T_0, \dots, T] \quad (5)$$

### 3.1.2 中介效应模型

借助 Hayes<sup>[34]</sup>的中介效应检验方法, 构造以下模型:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_1 treat_{it} + v control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$M_{it} = \beta_0 + \chi treat_{it} + \phi control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$Y_{it} = \gamma_0 + \beta_2 treat_{it} + \phi M_{it} + \eta control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

公式(6)-(8)为中介效应分析中的模型1、模型2和模型3。其中,  $Y_{it}$  为  $CO_2$  排放量的对数值  $\ln Carbon$ ;  $treat_{it}$  为政策实施的虚拟变量, 借鉴 Hoynes等<sup>[35]</sup>对自然实验的变换方式, 将处理组虚拟变量和政策实施时点虚拟变量进行交叉相乘所得,

若  $i$  省份在  $t$  时期已经设立为资源型经济转型试验区, 则该变量赋值1, 否则0;  $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$  表示固定截距;  $\beta_1$ 、 $v$ 、 $\chi$ 、 $\phi$ 、 $\beta_2$ 、 $\phi$ 、 $\eta$  表示回归系数;  $\varepsilon_{it}$  表示随机扰动项;  $M_{it}$  是政策影响  $CO_2$  排放的中介变量;  $control_{it}$  代表一系列控制变量。模型1考察资源型经济转型试验区对  $CO_2$  排放的影响, 模型2考察资源型经济转型试验区对中介变量的影响, 模型3加入中介变量作为解释变量, 考察中介变量在政策实施与  $CO_2$  排放之间的中介效应。下面将通过比较山西实际数据与合成数据, 使用中介效应模型探究转型试验区对  $CO_2$  排放的影响机制。

### 3.1.3 碳排放的测度方法

由于空气中的  $CO_2$  主要来自于化石燃料的燃烧, 因此, 本文根据各省煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等8种与碳排放有密切关联的化石燃料的消耗量来估算  $CO_2$  排放量  $Carbon$ 。具体估算公式如下:

$$Carbon = \sum_{i=1}^8 E_i \times NCV_i \times CEF_i \quad (9)$$

式中:  $E_i$  代表能源  $i$  的燃烧消耗量;  $NCV_i$  为能源  $i$  的平均低位发热量, 用于将各种能源消费量转化为能源单位;  $CEF_i$  表示能源  $i$  的  $CO_2$  排放因子。  $CO_2$  排放因子数据来源于《2006年IPCC国家温室气体清单指南》, 具体数值如表1所示。

### 3.2 控制变量与中介变量选取

本文参考 Grossman等<sup>[36]</sup>环境库兹涅茨曲线得到经济规模、技术水平和经济结构是影响环境的三大因素, 同时借鉴现有对碳排放影响因素的研究<sup>[37-39]</sup>, 选取经济发展水平  $Pgdg$ 、工业化水平  $Ind$ 、城镇化水平  $Urban$ 、收入水平  $Inc$  与人口规模  $Pop$  作为控制变量研究政策的作用效果; 选取环境规制  $Tax$ 、金融发展  $Fin$ 、技术创新  $ln No$ 、产业结构高级化  $Ais$  作为中介变量研究政策的影响路径。控制变量与中介变量说明如下:

(1) 经济发展水平  $Pgdg$ : 经济发展通过规模效应增加碳排放量, 又通过技术进步和能源结构多元化减少碳排放。本文采用人均GDP作为衡量指标。

(2) 工业化水平  $Ind$ :  $CO_2$  排放主要来源于工业中化石燃料的燃烧。故用工业增加值占GDP的比重反映工业化水平对  $CO_2$  排放的影响。

(3) 城镇化水平  $Urban$ : 城市规模的集聚经济

2021年6月

表1 能源平均低位发热量与CO<sub>2</sub>排放系数

Table 1 Average low calorific value of energy and coefficients of carbon dioxide emissions

能源名称	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
NCV/(kJ/kg)	20908	28435	41816	43070	43070	42652	41816	38931
CEF/(kg/TJ)	95977	105996	73333	70033	71500	74067	77367	56100

效应和集聚不经济效应,以及城市空间结构决定的交通方式及距离都影响着CO<sub>2</sub>的排放。本文用城镇人口占总人口比重作为度量指标。

(4)收入水平 *Inc*:收入水平对不同行业的温室气体排放存在着差异性影响。本文采用城镇单位就业人员平均工资衡量。

(5)人口规模 *Pop*:人口规模体现一个地区对资源与能源的需求量。本文采用年末总人口数衡量。

(6)环境规制 *Tax*:资源税税额反映政府对资源环境的管制力度。本文采用政府收取资源税额衡量环境规制的程度。

(7)金融发展 *Fin*:本文利用金融机构存贷款余额占GDP比重代表金融部门发展的总体规模,作为衡量金融发展的指标。该指标基于Goldsmith<sup>[40]</sup>提出的金融相关比率指标(金融总资产与名义GDP的比率)计算。考虑到中国人民银行太原市中心支行在2010年出台了《山西省绿色信贷政策效果评价办法(试行)》,山西省的绿色金融在研究时间段内一直以绿色信贷为主,因此本文借鉴张云辉等<sup>[41]</sup>的研究,选取六大高耗能产业利息支出占比 *Gc* 从侧面反映绿色信贷规模,以绿色信贷衡量山西省的绿色金融水平。

(8)技术创新 *In No*:本文选用地区发明专利申请授权量的对数作为衡量技术产出指标。借鉴林春艳等<sup>[42]</sup>的研究,利用国家知识产权局的专利检索及服务平台获取省份的绿色专利授权数,并对其取对数衡量绿色技术创新 *Gte*。

(9)产业结构高级化 *Ais*:为了全面反映产业结构升级的内涵,本文借鉴唐宇娣等<sup>[43]</sup>的研究,将第一、二、三产业均包含在内,采用产业结构升级指数衡量地区产业结构的高级化,计算公式如下:

$$Ais_{jt} = \sum_{j=1}^3 q_j \times j, j = 1, 2, 3 \quad (10)$$

式中:  $q_j$  为第  $j$  产业的产值比重。

### 3.3 数据来源

本文选取2004—2017年30个省(直辖市、自治

区)的面板数据(西藏、香港、澳门、台湾由于数据缺失未作统计)作为初始样本,根据碳排放的各项影响因素拟合一个与山西省相似的控制组进行政策效果评估。选取的时间段为2004—2017年,主要是因为山西省2004年实行了煤炭资源税改革,为了避免煤炭资源税改革对碳排放的影响,本文使用2004年以后的数据。相关数据主要来源于《中国统计年鉴》(2005—2018)、各省统计局官方网站;测算CO<sub>2</sub>排放量时所采用的煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气8个品种化石能源的消费总量数据来源于《中国能源统计年鉴》以及国家统计局新版数据库。金融数据来源于《中国工业统计年鉴》(2005—2018年)。

## 4 结果与分析

### 4.1 政策效果检验

表2展示了资源型经济转型试验区设立以前,山西实际数据与合成数据各项特征的拟合效果。合成的省份分别有河北省、山东省、黑龙江省、内蒙古自治区和青海省。各项指标拟合差距相对较小,总体而言,控制组较好地拟合了政策实施前的CO<sub>2</sub>排放路径。因此,该方法可以用于对山西省进行政策实施效果的评估。

图2展示了资源型经济转型试验区设立前后山西省CO<sub>2</sub>排放实际数据与合成数据的变化趋势。图

表2 预测变量实际值与合成值的对比

Table 2 Comparison between actual and synthetic values of predictive variables

预测变量	单位	山西实际数据	山西合成数据
<i>Pgdp</i>	元	17273.71	19939.93
<i>Ind</i>	%	0.50	0.46
<i>Urban</i>	%	0.441	0.44
<i>Inc</i>	元	22088.71	21946.96
<i>Pop</i>	万人	3410.00	4804.10
<i>Carbon</i> (2009年)	万t	42392.33	42341.09
<i>Carbon</i> (2007年)	万t	38685.78	38378.91
<i>Carbon</i> (2005年)	万t	32309.71	32997.90



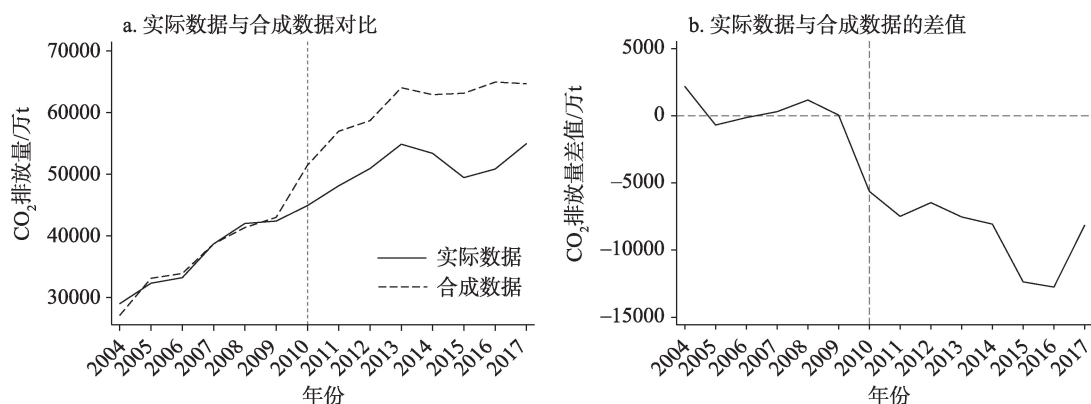


图2 2004—2017年山西省碳排放实际数据与合成数据的差距

Figure 2 The gap between actual and synthetic carbon emission data in Shanxi Province, 2004-2017

2a显示,如果山西未被设立为资源型经济转型试验区,2017年的CO<sub>2</sub>排放量相较于2004年增长135.5%,而山西省2017年的实际碳排放仅增加89.6%,即在该政策影响下碳排放量减少增加45.9%,共减少碳排放78944.68万t。图2b可以更直观地看出在政策实施前后山西省实际碳排放与模拟碳排放的差距,在近3年碳排放量的差距可以达到10000万~15000万t。在2009年以前,两者的碳排放量走势高度重合,2009年合成数据与实际数据开始发生分离。虽然资源型经济转型试验区的设立时间在2010年,但是政府前期也作了许多政策铺垫,这些政策也相应地在资源型经济转型试验区实施方案中得到进一步落实。比如2008年的煤炭企业转产、煤炭城市转型试点,2009年召开多次会议对转型工作进行研讨,并相应对煤化工产业、冶金产业、装备制造业等产业进行调整和振兴规划,落实煤炭工业可持续发展政策措施试点工作,这些举措都对CO<sub>2</sub>排放产生一定影响。在2010年之后,CO<sub>2</sub>排放差异逐渐明显,2013年开始,差距进一步扩大,山西省实际CO<sub>2</sub>排放量有所下降,这说明随着政策不断推进,管理实施不断成熟,CO<sub>2</sub>排放得到了更有效的抑制。总体来看,政策对CO<sub>2</sub>排放已经起到显著的抑制作用。上述结果充分显示了该政策在抑制CO<sub>2</sub>排放方面取得了较好的成效。

#### 4.2 稳健性与有效性检验

为了进一步证明山西省CO<sub>2</sub>排放的抑制确实源于资源型经济转型试验区的设立而非其他偶然因素,而且政策效果在统计上显著,本文利用Abadie等<sup>[33]</sup>提出的安慰剂检验法进行检验。具体地,假设

控制组省份同样在2010年受到该政策的影响,再利用合成控制法构造出控制组样本的合成对象,并得到一系列样本实际值与合成值的差异,这种差异即为“政策效果”。本文借鉴刘乃全等<sup>[44]</sup>的研究,剔除了政策实施前平均预测标准差APSD高于试点省份APSD二倍的省份,然后将山西的政策效果和控制组其余样本省份的政策效果进行比较,如图3a结果显示。在2010年政策实施后,试点省份山西的政策效果要明显大于控制组样本,也就是说政策冲击对山西CO<sub>2</sub>排放的抑制效果要优于其他地区。即表明在5%的显著性水平下,资源型经济转型试验区的设立可以有效抑制CO<sub>2</sub>排放的增长。上述结果说明,山西省CO<sub>2</sub>排放的抑制确实源于资源型经济转型试验区的设立,且政策效果显著。

同时,本文还借鉴Abadie等<sup>[45]</sup>提出的基于时间的安慰剂检验方法,将政策的实施时间前移至2008年。图3b结果显示,以2008年为政策冲击点时,山西省实际数据与合成数据差异并不大,二者的路径变化与以2010年政策冲击点的情况基本吻合,这表明合成控制法的结果不会随着时间的变化而变化,结论是稳健的。

#### 4.3 作用机制分析

结合前文分析,资源型经济转型试验区政策可通过环境规制、金融发展、技术创新、产业结构升级对山西省CO<sub>2</sub>排放产生抑制作用。为了对该政策的影响机制进行验证,本部分将建立中介效应模型进行分析。由于4条改革路径随着资源型经济转型试验区设立就开始提出,并贯穿于山西省“十二五”规划中,所以本文将作用时间设为2010年,重点讨论

2021年6月

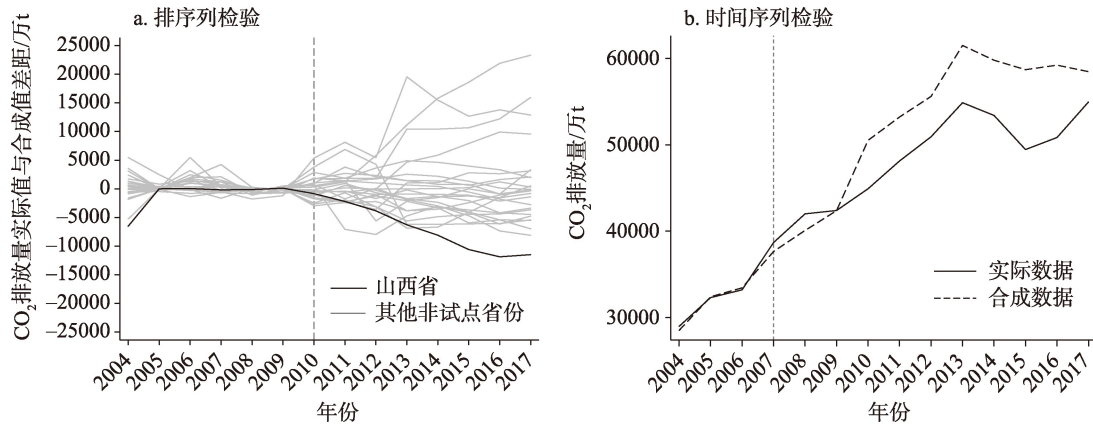


图3 2004—2017年山西省碳排放数据的安慰剂检验

Figure 3 Placebo test-sequential column test for carbon emission data in Shanxi Province, 2004-2017

短期内减排效果作用机制。

#### 4.3.1 环境规制

环境规制的中介效应模型中,本文选取  $Tax$  作为环境规制的衡量指标,选取单位 GDP 能耗  $Econ$ 、 $SO_2$  排放量  $Sulfur$ 、政府财政规模  $Gov$  作为控制变量。回归结果见表3。

回归结果显示,模型1中政策实施变量的回归系数为负且在1%水平上显著,说明了资源型经济转型试验区的设立对  $CO_2$  排放起到了显著的抑制作用,与合成控制法得出的结论相吻合。模型2中政策实施的回归系数显著为正,说明资源型经济转型试验区设立后政府采取措施加大了环境规制的力度。模型3政策实施的回归系数  $\beta_2$  ( $-9.01e-02$ ),与基准回归中的系数  $\beta_1$  ( $-9.34e-02$ ) 相比绝对值减小,且模型2中政策实施  $\chi$  系数(66.00)、模型3中资源税收对碳排放量  $\phi$  系数( $-6.15e-04$ )之积与  $\beta_2$  同号,支持了环境规制中介效应的存在,且为部分中介效应。这证实了资源型经济转型试验区的设立使政府加大了环境规制的力度,加强了对环境污染的治理,是  $CO_2$  排放量得到抑制的途径之一。

#### 4.3.2 金融发展

金融发展的中介效应模型中,选取金融机构存贷款余额占 GDP 比重  $Fin$  作为金融发展指标。控制变量选取  $Pgdp$ 、固定资产投资完成额占 GDP 比重  $Inv$ ,回归结果如表4所示。

模型2中,系数  $\chi$  (0.79)显著为正,说明转型试验区促进了金融规模扩大;在模型3中,系数  $\phi$  (0.10)在10%显著水平下为正,说明金融发展在一

表3 环境规制的多元回归结果

Table 3 Multiple regression results of environmental regulation

	模型1 $\ln Carbon$	模型2 $Tax$	模型3 $\ln Carbon$
$treat$	$-9.34e-02^{***}$ (0.03)	$66.00^{***}$ (17.10)	$-9.01e-02^{***}$ (0.02)
$Pgdp$	$1.71e-05^{***}$ ( $5.16e-06$ )		$1.89e-05^{***}$ ( $4.24e-06$ )
$Ind$	$1.29^{***}$ (0.30)		$0.96^{***}$ (0.27)
$Urban$	$0.05^{***}$ (0.014)		$0.06^{***}$ (0.012)
$Inc$	$-8.45e-06^*$ ( $4.70e-06$ )		$-1.26e-05^{***}$ ( $4.02e-06$ )
$Pop$	$-2.82e-04^{***}$ ( $3.12e-05$ )		$-3.03e-04^{***}$ ( $2.62e-05$ )
$Econ$		$73.28^{**}$ (28.46)	
$Sulfur$		$-1.52e-04^{***}$ ( $3.68e-05$ )	
$Gov$		$44.77^*$ (22.49)	
$Tax$			$-6.15e-04^{***}$ ( $1.81e-04$ )
$Cons$	$8.35^{***}$ (0.68)	$-272.00$ (205.30)	$8.19^{***}$ (0.56)
$N$	28	28	28
Adj $R^2$	0.99	0.68	0.99

注:\*\*\*、\*\*、\* 在本文中均分别表示在1%、5%、10%水平上显著相关,下同。



定程度上促进了碳排放。由于此时  $\chi$ 、 $\phi$  的乘积与  $\beta_2$  (-0.09) 符号相反,说明金融发展在政策冲击与  $\text{CO}_2$  排放之间发挥了遮掩效应,掩盖了部分政策冲击对  $\text{CO}_2$  排放的抑制效果。进一步,本文选取金融发展中与减排有紧密关联的部分进行分析,考察绿色信贷的回归结果,发现模型4中政策实施对绿色信贷系数  $\chi$  (0.13) 并不显著(表4),又对其进行 Sobel 检验(表5),系数仍不显著,说明其不存在中介效应<sup>[46]</sup>。这说明政策虽然促进了当地的金融发展,扩大了存贷款规模,但是却没有有效地促进绿色信贷的发展。根据《2018 地方绿色金融发展指数与评估报告》显示,山西省绿色金融发展总指数为 12.07,列全国第 23 名;政策推动措施得分为 3.81,列全国第 25 名;市场效果形成得分为 8.26,处于低于 10 分的弱势水平。以上数据表明,山西省绿色金融发展尚处于比较落后的水平。

结合实证结果和已有研究,金融发展之所以在减排中起到消极作用,主要是由于:①山西省的绿色金融刚刚起步,绿色金融体系尚未健全,相应的

政策措施尚未成熟,发展过程中存在着绿色金融实践主体、资金来源和产品供给单一等弊病<sup>[47]</sup>,绿色金融整体水平比较落后。②长期以来山西省的金融创新都是围绕着煤炭行业展开,金融资本大多被用于支持重工业的发展。根据 2017 年山西省上市公司财务报表显示,高耗能产业的贷款规模仍占到 47%(数据来源:Wind 数据库)。这说明,金融资金在高耗能产业与绿色环保产业之间配置不够合理,投放在绿色环保经济活动的金融资金规模较小,使金融规模的扩大对碳排放起到了负面影响。考虑到金融政策扶持具有一定的时滞性,特别是对于山西这样金融基础较薄弱的省份,政策体系构建需要一定的时间,因此,仅在政策实施后的短期内,金融发展的间接效应“遮掩”了政策冲击对  $\text{CO}_2$  排放的抑制作用。

#### 4.3.3 技术创新

技术创新的中介效应模型中,以  $\ln No$  作为衡量技术创新的指标。以  $Pgdp$ 、普通高等学校在校人数的对数  $\ln Edu$ 、科技研发支出占财政支出的比

表4 金融发展的多元回归结果

Table 4 Multiple regression results of financial development

	模型1 $\ln Carbon$	模型2 $Fin$	模型3 $\ln Carbon$	模型4 $Gc$
$treat$	-0.09*** (0.03)	0.79*** (0.18)	-0.09*** (0.03)	0.13 (0.09)
$Pgdp$	1.71e-05*** (5.16e-06)	1.04e-06 (1.10e-05)	1.53e-05*** (4.96e-06)	-1.66e-05** (6.83e-06)
$Ind$	1.29*** (0.30)		1.75*** (0.37)	
$Urban$	0.05*** (0.01)		0.06*** (0.01)	
$Inc$	-8.45e-06* (4.70e-06)		-1.25e-05** (4.93e-06)	
$Pop$	-2.82e-04*** (3.12e-05)		-1.88e-04*** (5.80e-05)	
$Inv$		0.83 (0.57)		-0.05 (0.15)
$Fin$			0.10* (0.06)	
$Cons$	8.35*** (0.68)	1.87*** (0.26)	7.26*** (0.87)	0.91*** (0.09)
$N$	28	28	28	24
Adj $R^2$	0.99	0.58	0.99	0.83

2021年6月

表5 绿色金融的Sboel检验结果

Table 5 Sboel text results of green finance

Coef	Std Err	z	P> z
0.01	0.05	0.20	0.84

重  $\ln Rd$  作为控制变量进行回归分析(表6)。

资源型经济转型试验区政策的实施对技术创新的估计系数在10%的显著水平上为正,表明该政策的实施对技术创新起到一定正向影响。 $\chi$  (0.14)、 $\phi$  (0.23)乘积与  $\beta_2$  (-0.14)符号相反,同样解释为“遮掩效应”。值得注意的是,技术创新对  $CO_2$  排放的估计系数显著为正,表明技术创新显著促进了  $CO_2$  排放,这显然与大部分的研究有所出入。本文又进一步以绿色技术创新进行回归,得出绿色技术创新的中介效应并不显著(表7),政策没有对绿色技术创新产生显著的影响,结合实证结果和已有研究,技术创新在短期内促进碳排放的原因可能有3点:①山西省粗放型经济增长模式仍然存在,产业结构以污染型重工业为主导。受到经济基

础的制约,山西省的技术创新更侧重于提高生产效率、拉动经济增长,进而带动了地区工业生产规模和经济规模不断扩大,反而造成了  $CO_2$  排放的增加。②山西省创新模式以自主创新为主,考虑到山西省薄弱的技术基础,自主创新的成本会大于其收益,无法在短时间内起到显著的减排效果。结合山西省的技术基础和知识积累情况,加强对技术的吸收与消化,会更利于山西省经济增长方式的转变。自政策实施以来,虽然山西省大中型工业企业的科研内部经费支出一直维持在较高水平,但是用于消化吸收技术的经费逐年降低。自2010年算起,企业用于消化吸收的经费支出占总内部经费支出的比重平均为3.35%(数据来源:《中国科技统计年鉴》),缺少对引进技术的吸收和消化也是制约山西经济转型的重要原因<sup>[48,49]</sup>。③山西省突破性低碳技术创新活动尚不活跃,技术创新未注重对技术轨道的根本改变,缺少发掘更深层次、具有深远影响力的技术<sup>[50]</sup>。考虑到技术创新对碳排放影响存在时滞性,

表6 技术创新的多元回归结果

Table 6 Multiple regression results of technological innovation

	模型1 $\ln Carbon$	模型2 $\ln no$	模型3 $\ln Carbon$	模型4 $Gte$
<i>treat</i>	-0.090*** (0.03)	0.14* (0.08)	-0.14*** (0.02)	0.07 (0.14)
<i>Pgdp</i>	1.71e-05*** (5.16e-06)	2.22e-05** (9.57e-06)	8.72e-06** (4.00e-06)	
<i>Ind</i>	1.29*** (0.30)		1.37*** (0.21)	-2.64e-06 (1.63e-05)
<i>Urban</i>	0.05*** (0.0141)		0.05*** (9.9e-03)	
<i>Inc</i>	-8.45e-06* (4.70e-06)		-1.22e-05*** (3.37e-06)	
<i>Pop</i>	-2.82e-04*** (3.12e-05)		-2.75e-04*** (2.18e-05)	
$\ln Rd$		3.49-03 (3.35e-03)		1.62*** (0.43)
$\ln Edu$		0.96*** (0.25)		9.76e-03 (0.00572)
$\ln No$			0.23*** (0.05)	
<i>Cons</i>	8.35*** (0.68)	-2.37 (2.36)	6.95*** (0.56)	-11.26** (4.02)
<i>N</i>	28	28	28	28
Adj $R^2$	0.99	0.98	0.99	0.97

表7 绿色技术创新的多元回归结果

Table 7 Multiple regression results of green technological innovation

Coef	Std Err	z	P> z
0.00	0.18	0.56	0.95

新技术研发后的扩散需要一定时间,要经历规模化、商业化的过程才能起到显著的减排作用。因此,仅在短期内,技术创新促进了CO<sub>2</sub>排放并从中起到了遮掩效应。

#### 4.3.4 产业结构升级

表8为产业结构升级的回归结果。研究产业结构优化升级对CO<sub>2</sub>排放影响机制时,本文使用产业结构高级化指数 *Ais* 来进行分析。控制变量选取 *Pgdp*、*Inv*。

模型2中系数  $\chi$  (0.11)显著为正,说明资源型经济转型试验区提高了产业高级化程度。模型3中系数  $\phi$  (-2.10)显著为负,说明产业转型有效抑制了CO<sub>2</sub>排放的增加。然而  $\chi$ 、 $\phi$  的乘积与  $\beta_2$  (-0.17)同号,且乘积绝对值大于  $\beta_2$  绝对值,这说明产业结构

表8 产业结构升级的多元回归结果

Table 8 Multiple regression results of industrial structure upgrading

	模型1 ln Carbon	模型2 <i>Ais</i>	模型3 ln Carbon
<i>treat</i>	-0.09*** (0.03)	0.11*** (0.02)	-0.17*** (0.03)
<i>Pgdp</i>	1.71e-05*** (5.16e-06)	2.79e-07 (1.52e-06)	1.26e-05** (4.64e-06)
<i>Ind</i>	1.29*** (0.30)		0.14 (0.46)
<i>Urban</i>	0.05*** (0.01)		0.09*** (0.02)
<i>Inc</i>	-8.45e-06* (4.70e-06)		-1.43e-05*** (4.46e-06)
<i>Pop</i>	-2.82e-04*** (3.12e-05)		-4.56e-04*** (6.38e-05)
<i>Inv</i>		0.06 (0.08)	
<i>Ais</i>			-2.10*** (0.70)
<i>Cons</i>	8.35*** (0.68)	2.23*** (0.035)	12.62*** (1.53)
<i>N</i>	28	28	28
Adj <i>R</i> <sup>2</sup>	0.99	0.51	0.99

优化对CO<sub>2</sub>排放并不是通过中介效应实现,且产业结构优化对CO<sub>2</sub>排放的直接影响要大于资源型经济转型试验区政策的影响。山西省作为依赖化石能源的重工业基地,结构性矛盾突出,经济发展持续低迷,资源与环境破坏严重,产业转型发展迫在眉睫。为此,山西省出台了一系列转型升级的政策,比如加快培育和发展战略性新兴产业,着重发展现代服务业,实施文化产业创新政策,促进旅游业改革发展等,加大力度摆脱对资源型产业的依赖,实现经济高质量发展。由此来看,除了资源型经济转型试验区,山西省对产业转型升级额外投入了更多精力。因此,产业转型升级对CO<sub>2</sub>排放的直接抑制效果更强。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

本文基于“国家资源型经济转型综合配套改革试验区”在山西的政策试点,选取2004—2017年山西省面板数据,运用合成控制法研究资源型经济转型试验区政策对山西省碳排放的政策效果。为了更深入地讨论资源型经济转型试验区如何抑制碳排放,本文在文献梳理和机制分析的基础上构建了中介效应模型,并分析了环境规制、金融发展、技术创新、产业结构升级4条路径对碳排放的作用效果。研究得出以下结论:

(1)资源型经济转型试验区政策从2010年起对碳排放的抑制效应逐渐显著,在2013年抑制效应进一步加强,碳排放量得到有效控制。总体来说,资源型经济转型抑制了山西省的碳排放,为山西发展低碳经济作出了贡献。

(2)在政策实施后的短期内,环境规制、产业结构升级对碳排放起到抑制效应,其中环境规制以中介效应发挥作用,产业结构升级以直接效应更为明显;金融发展、技术创新则发挥间接效应促进了CO<sub>2</sub>的排放,具体解释为“遮掩效应”。说明资源型经济转型试验区需要进一步反思完善有关金融发展、科技创新的制度体系。

### 5.2 政策建议

基于研究结论,本文的政策建议如下:

(1)从合成后的政策效果图可以看出,山西省碳排放的实际值与合成值的差距存在波动,政策效果并不稳定。因此,在制定和调整政策的同时,也



2021年6月

要建立健全监管、调整机制,要对改革的社会经济效益进行定期的监控与反馈,以便及时发现实施过程中的问题,这样才有助于资源型经济转型试验区预期效果的实现。

(2)在短期内,金融发展对碳排放发挥了促进效应,这与政策初衷相悖。政府近年来“加快商业银行改革,转变经营方式,充实资本规模”“加大对重点产业、和有效益、有前景中小企业的信贷支持”等举措确实扩大了山西的金融规模,促进了山西的金融深化,但是政策欠缺对绿色金融的关注,金融改革的具体举措没有引导金融资源向绿色环保的经济活动倾斜,因此导致了资金在高耗能产业与绿色环保产业之间配置不够合理的问题。若想发挥金融在低碳发展中的正面作用,山西应加大力度培育和发展绿色金融。银行还需完善绿色信贷业务机制,积极展开融资模式的创新,加大对清洁技术、绿色环保企业的资金支持;政府还需进行全方位的规划和具体指导,加强绿色金融的顶层设计,引导资金流向环保产业,健全绿色金融发展的激励与监督机制,使金融体系更好地支持资源型经济转型。

(3)技术创新并没有在短期内发挥理想的减排作用,这启示山西省在实践探索中应注意结合技术基础薄弱、知识积累不足的实际情况,制定适合自身发展的科技创新政策。虽然山西注重了将科技创新与低碳环保相结合,在《总方案》中着重提到“实施低碳创新发展行动计划,实现煤基低碳重大专项,在多个节能环保领域实现核心技术重大突破”,但是在选择技术进步路径时,欠缺与自身实际情况的结合,导致创新成本较高,技术进步成效较慢。目前山西省的创新模式以自主创新为主,模仿创新活动以及突破性技术创新活动并不活跃,而受到技术差距、要素禀赋和吸收能力的影响,在山西省的节能减排中起到关键作用的恰恰就是模仿创新和突破性技术创新。本文建议,今后山西省可以适当加强对引进技术的消化吸收以及模仿改造,在引进技术-消化吸收-模仿创新的基础上再进一步提高自主创新能力,这样有利于其在较短时间以较低成本提高技术创新水平;就技术本身而言,在进行创新时要更注重技术轨道的改变以及减排成本的降低,同时科技政策的重心也应该放到更高层次、更有深远影响力的技术上,以求实现科技创新

水平“质”的飞跃。

(4)山西省作为传统的资源型地区有很强的代表性,山西的问题,同时也是全国资源型地区普遍存在的,山西在改革探索中取得的成就、遇到的困难瓶颈,也值得其他资源型地区借鉴与反思。山西的实践历程给其他资源型地区的转型提供了经验:①多元化的产业结构可以帮助资源型地区摆脱资源依赖,发展模式集约化、大型化,是低碳可持续发展的关键。②环境规制可以有力地支持资源型地区的经济转型,建立在市场机制基础上的环境规制手段(如资源税收)可以成为有力的政策工具。③应着重引导金融资金向绿色环保的经济活动倾斜,鼓励绿色金融的发展,以更好地发挥金融在低碳发展中的正面效应。④要结合自身的实际情况选择适合的科技创新路径,在进行创新时应注重更深层次的技术改变与减排成本的降低,努力使技术创新成为推动转型发展的动力源泉与核心支撑。

#### 参考文献(References):

- [1] 彭红松,郭丽佳,章锦河,等.区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展[J].资源科学,2020,42(4):593-606.[Peng H S, Guo L J, Zhang J H, et al. Research progress and implication of the relationship between regional economic growth and resources environmental pressure[J]. Resources Science, 2020, 42(4): 593-606.]
- [2] 山西省机构编制委员会办公室,太原市机构编制委员会办公室课题组.国家综合配套改革试验区的发展模式和路径探析:以山西转型综合改革示范区为例[J].经济问题,2018,(11):104-109.[Office of Shanxi Public Sector Reform Commission, Taiyuan Municipal Commission for Public Sector Reform Office Research Group. An analysis of the development mode and path of the National Comprehensive Supporting Reform Pilot Zone: A case study of Shanxi Transformation Comprehensive Reform Demonstration Zone[J]. On Economic Problems, 2018, (11): 104-109.]
- [3] 程栋,王家庭.论国家综合配套改革试验区制度创新:基于演化阶段及实现机制的视角[J].贵州社会科学,2015,(3):140-146.[Cheng D, Wang J T. On the system innovation of the national comprehensive reform pilot zone: Based on the evolution stage and the realization mechanism[J]. Guizhou Social Sciences, 2015, (3): 140-146.]
- [4] 顾颖,李志强,陈泽坤.基于熵值法的山西省转型综改区建设绩效评价[J].经济问题,2015,(7):120-123.[Gu Y, Li Z Q, Chen Z K. Performance evaluation of integrated reform area of Shanxi based on entropy method[J]. On Economic Problems, 2015, (7): 120-123.]

- [5] 王家庭, 毛文峰, 杨禄. 国家综合配套改革试验区的经济溢出效应研究[J]. 区域经济评论, 2016, (3): 39-47. [Wang J T, Mao W F, Yang L. A study on the economic spillover effect of national comprehensive supporting reform pilot area[J]. Regional Economic Review, 2016, (3): 39-47.]
- [6] 吴青龙, 朱美峰, 郭丕斌. 基于脱钩理论的资源型经济转型绩效评价研究[J]. 经济问题, 2019, (6): 121-128. [Wu Q L, Zhu M F, Guo P B. Research on performance evaluation of resource-based economy transformation based on decoupling theory[J]. On Economic Problems, 2019, (6): 121-128.]
- [7] 郭淑芬, 马宇红. 资源型区域可持续发展能力测度研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(7): 72-79. [Guo S F, Ma Y H. Comprehensive evaluation for sustainable development capacity of resource-based region[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(7): 72-79.]
- [8] 郭淑芬, 郭金花. “综改区”设立、产业多元化与资源型地区高质量发展[J]. 产业经济研究, 2019, (1): 87-98. [Guo S F, Guo J H. The establishment of “National Comprehensive Reform Zone”, industrial diversification and high-quality development of resource-based regions[J]. Industrial Economics Research, 2019, (1): 87-98.]
- [9] 郭金花, 郭淑芬. 国家综合配套改革试验区设立促进了地方产业结构优化吗? 基于合成控制法的实证分析[J]. 财经科学, 2019, (8): 69-81. [Guo J H, Guo S F. Has the establishment of national comprehensive supporting reform pilot zone promoted the optimization of industrial structure? Empirical analysis based on synthetic control method[J]. Finance & Economics, 2019, (8): 69-81.]
- [10] Auty R M. Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis[M]. London: Routledge, 1993.
- [11] Sachs J D, Warner A M. Natural Resource Abundance and Economic Growth[R]. NBER Working Paper No. 5398, 1995.
- [12] 胡之光, 陈甬军. 中国“资源诅咒”现象中的体制转型因素研究[J]. 东北大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 35-42. [Hu Z G, Chen Y J. Research on institutional transformation factors in the phenomenon of “Resource Curse” in China[J]. Journal of Northeastern University (Social Science), 2019, 21(1): 35-42.]
- [13] 严太华, 胡尧. 基于资源脱钩视角的资源型城市分类[J]. 资源科学, 2019, 41(12): 2172-2181. [Yan T H, Hu Y. Classification of resource-based cities from the perspective of resource decoupling[J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2172-2181.]
- [14] 赵伟伟, 白永秀. 资源开发过程中腐败的发生及制度影响[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 251-261. [Zhao W W, Bai Y X. Corruption in the exploitation of natural resources and effect of institution[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 251-261.]
- [15] 阎晓. 山西省煤炭资源型经济低碳转型研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012. [Yan X. Research on Low Carbon Transformation of Coal Resource-based Economy in Shanxi Province[D]. Chongqing: Southwest University, 2012.]
- [16] 徐君, 高厚宾, 王育红. 资源型城市低碳转型的“驱力-障碍”因素分析[J]. 科技管理研究, 2014, 34(24): 239-242. [Xu J, Gao H B, Wang Y H. Analysis on drive and obstacle factors of low-carbon transformation in resource-based cities[J]. Science and Technology Management Research, 2014, 34(24): 239-242.]
- [17] 刘晓燕, 孙慧. 资源型产业碳排放驱动因素演化与低碳发展路径选择[J]. 统计与决策, 2019, 35(2): 53-57. [Liu X Y, Sun H. The evolution of carbon emission driving factors of resource-based industries and the choice of low-carbon development path[J]. Statistics and Decision, 2019, 35(2): 53-57.]
- [18] 谭玲玲, 肖双. 基于全要素生产率视角资源型城市低碳转型效果评价模型[J]. 中国矿业, 2018, 27(2): 58-64. [Tan L L, Xiao S. Evaluation model of resource based cities low-carbon transition effect based on total factor productivity[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(2): 58-64.]
- [19] 张逸昕, 张杰. 资源型城市低碳转型阶段性及其全要素生产率评价: 基于非期望产出SBM模型[J]. 科技管理研究, 2020, 40(14): 76-83. [Zhang Y X, Zhang J. Stage and total factor productivity evaluation of low carbon transition in resource-based cities: SBM model based on non-expected output[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(14): 76-83.]
- [20] Van Der Ploeg F, Withagen C. Is there really a green paradox?[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2012, 64(3): 342-363.
- [21] Smulders S, Tsur Y, Zemel A. Announcing climate policy: Can a green paradox arise without scarcity?[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2012, 64(3): 364-376.
- [22] 张华, 魏晓平. 绿色悖论抑或倒逼减排: 环境规制对碳排放影响的双重效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(9): 21-29. [Zhang H, Wei X P. Green paradox or forced emission-reduction: Dual effect of environmental regulation on carbon emissions[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(9): 21-29.]
- [23] 王康, 李志学, 周嘉. 环境规制对碳排放时空格局演变的作用路径研究: 基于东北三省地级市实证分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(2): 343-357. [Wang K, Li Z X, Zhou J. The effects of environmental regulation on spatio-temporal carbon emissions patterns: Empirical analysis of prefecture-level cities in Northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(2): 343-357.]
- [24] Sadorsky P. The impact of financial development on energy consumption in emerging economies[J]. Energy Policy, 2010, 38(5): 2528-2535.
- [25] 朱东波, 任力, 刘玉. 中国金融包容性发展、经济增长与碳排放[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 66-76. [Zhu D B, Ren L, Liu Y. Financial inclusive development, economic growth and carbon emissions in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(2): 66-76.]
- [26] 何运信, 许婷, 钟立新. 金融发展对二氧化碳排放的影响效应及作用路径[J]. 经济社会体制比较, 2020, (2): 1-10. [He Y X, Xu T, Zhong L X. How does financial development affect carbon-dioxide emissions in China?[J]. Comparative Economic & Social Sys-

2021年6月

- tems, 2020, (2): 1-10.]
- [27] Jaffe A B, Newell R G, Stavins R N. Environmental policy and technological change[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2002, 22(1): 41-70.
- [28] 申萌, 李凯杰, 曲如晓. 技术进步、经济增长与二氧化碳排放: 理论和经验研究[J]. *世界经济*, 2012, (7): 83-100. [Shen M, Li K J, Qu R X. Technological progress, economic growth and carbon dioxide emissions: Theoretical and empirical studies[J]. *The Journal of World Economy*, 2012, (7): 83-100.]
- [29] 张兵兵, 徐康宁, 陈庭强. 技术进步对二氧化碳排放强度的影响研究[J]. *资源科学*, 2014, 36(3): 567-576. [Zhang B B, Xu K N, Chen T Q. The influence of technical progress on carbon dioxide emission intensity[J]. *Resources Science*, 2014, 36(3): 567-576.]
- [30] 周迪, 王雪芹. 中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2305-2316. [Zhou D, Wang X Q. Research on coupling degree and coupling path between China's carbon emission efficiency and industrial structure upgrade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(11): 2305-2316.]
- [31] 周迪, 罗东权. 绿色税收视角下产业结构变迁对中国碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 693-709. [Zhou D, Luo D Q. Green taxation, industrial structure transformation, and carbon emissions reduction[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 693-709.]
- [32] Abadie A, Gardeazabal J. The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country[J]. *American Economic Review*, 2003, 93(1): 113-132.
- [33] Abadie A, Diamond A, Hainmueller J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2010, 105(490): 493-505.
- [34] Hayes A F. Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium[J]. *Communication Monographs*, 2009, 76(4): 408-420.
- [35] Hoynes H, Page M, Stevens A H. Can targeted transfers improve birth outcomes? Evidence from the introduction of the WIC program[J]. *Journal of Public Economics*, 2011, 95(7): 813-827.
- [36] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a north American free trade agreement[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 1991, DOI: 10.3386/w3914.
- [37] Kaya Y. Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group[R]. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1990.
- [38] 李健, 马晓芳, 苑清敏. 区域碳排放效率评价及影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2019, 39(12): 4293-4300. [Li J, Ma X F, Yuan Q M. Evaluation and influencing factors' analysis of regional carbon emission efficiency[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, 39(12): 4293-4300.]
- [39] 王瑛, 何艳芬. 中国省域二氧化碳排放的时空格局及影响因素[J]. *世界地理研究*, 2020, 29(3): 512-522. [Wang Y, He Y F. Spatiotemporal dynamics and influencing factors of provincial carbon emissions in China[J]. *World Regional Studies*, 2020, 29(3): 512-522.]
- [40] Goldsmith R W. *Financial Structure and Development*[M]. New Haven: Yale University, 1969.
- [41] 张云辉, 赵佳慧. 绿色信贷、技术进步与产业结构优化: 基于PVAR模型的实证分析[J]. *金融与经济*, 2019, (4): 43-48. [Zhang Y H, Zhao J H. Green credit, technological progress and industrial structure optimization: An empirical analysis based on PVAR model[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2019, (4): 43-48.]
- [42] 林春艳, 宫晓蕙, 孔凡超. 环境规制与绿色技术进步: 促进还是抑制: 基于空间效应视角[J]. *宏观经济研究*, 2019, (11): 131-142. [Lin C Y, Gong X H, Kong F C. Environmental regulation and green technology advancement: Promoting or suppression: Based on the perspective of spatial effects[J]. *Macroeconomics*, 2019, (11): 131-142.]
- [43] 唐宇娣, 朱道林, 程建, 等. 差别定价的产业用地供应策略对产业结构升级的影响: 基于中国277个城市的实证分析[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 548-557. [Tang Y D, Zhu D L, Cheng J, et al. Impact of differential pricing strategy of land supply on the upgrading of industrial structure: A study based on the empirical analysis of 277 cities in China[J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 548-557.]
- [44] 刘乃全, 吴友. 长三角扩容能促进区域经济共同增长吗[J]. *中国工业经济*, 2017, (6): 79-97. [Liu N Q, Wu Y. Can the enlargement in Yangtze River Delta boost regional economic common growth?[J]. *China Industrial Economics*, 2017, (6): 79-97.]
- [45] Abadie A, Diamond A, Hainmueller J. Comparative politics and the synthetic control method[J]. *American Journal of Political Science*, 2015, 59(2): 495-510.
- [46] 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, (5): 614-620. [Wen Z L, Zhang L, Hou J T, et al. Testing and application of the mediating effects[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2004, (5): 614-620.]
- [47] 陈昱燃, 熊德平. 基于政府和金融机构视角下的资源转型地区绿色金融发展研究: 以山西省为例[J]. *金融理论与实践*, 2019, (11): 54-61. [Chen Y R, Xiong D P. Research on the development of green finance in resource transformation areas from the perspective of government and financial institutions: A case study of Shanxi Province[J]. *Financial Theory Practice*, 2019, (11): 54-61.]
- [48] 唐末兵, 傅元海, 王展祥. 技术创新、技术引进与经济增长方式转变[J]. *经济研究*, 2014, (7): 31-43. [Tang W B, Fu Y H, Wang Z X. Technology innovation, technology introduction and transformation of economic growth pattern[J]. *Economic Research Journal*, 2014, (7): 31-43.]
- [49] 何彬, 范硕. 自主创新、技术引进与碳排放: 不同技术进步路径对碳减排的作用[J]. *商业研究*, 2017, (7): 58-66. [He B, Fan S. Independent innovation, technological introduction and carbon emis-



- sion: The role of different technological progress paths in carbon emission reduction[J]. Commercial Research, 2017, (7): 58–66.]
- [50] 卢娜, 王为东, 王森, 等. 突破性低碳技术创新与碳排放: 直接影响与空间溢出[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5): 30–39.

[Lu N, Wang W D, Wang M, et al. Breakthrough low-carbon technology innovation and carbon emissions: Direct and spatial spillover effect[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(5): 30–39.]

## Impact of the “National Comprehensive Reform Zone for Resource-Based Economy” policy on carbon emissions: A case study of Shanxi Province

YU Zhihan, FANG Dan, YANG Jin

(School of Economics and Management, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract** Low-carbon development has become the main theme of economic and social development in China in the new era. In the process of economic transformation of resource-based economy of Shanxi Province, reducing carbon emissions and enhancing sustainability are the foundation for the transition to high-quality development. Based on the panel data of Shanxi Province from 2004 to 2017, this study employed the synthetic control method to study the effect of the “Comprehensive Reform Zone” policy on carbon emissions. A mediating effect model was also established to investigate the key influencing factors and mechanism of influence. The results show that: (1) The reform policy of resource-based economy can effectively restrain the increase of carbon emissions in Shanxi Province. During the study period, compared with the carbon emission increase of 135.5% in the synthetically modeled result of Shanxi Province, affected by the policy, the actual carbon emissions in the province only increased by 89.6%, reducing carbon emissions by  $6.55 \times 10^7$  tons in total. (2) In the short term after the policy is implemented, environmental regulation and industrial structure upgrading both have effectively reduced carbon emissions at the 5% significance level. Environmental regulation played a mediating role while industrial structure upgrading functioned as a direct driving factor. (3) In the short term, financial development and technological innovation have increased the carbon emissions at the significance level of 10% and 5%, respectively. The results show that the policy of comprehensive reform zone has contributed to the low-carbon development of Shanxi Province by strengthening regulation and industrial transformation. However, it is still necessary to further consider the implications of financial development and scientific and technological innovations.

**Key words:** resource-based economy transition; National Comprehensive Reform Zone; carbon emissions; synthetic control method; mediating effect model; Shanxi Province