



移动扫码阅读

聂茜.碳排放权交易对发电行业的政策效应分析[J].能源环境保护,2020,34(6):61-69.

NIE Qian. Analysis on the policy effect of carbon emission trading on power generation industry[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(6): 61-69.

# 碳排放权交易对发电行业的政策效应分析

聂茜

(成都理工大学, 四川 成都 610059)

**摘要:**为研究市场型减排政策对发电行业的减排效果及路径,使用2008-2016年全国30个省份的面板数据,对设立的7个碳交易试点省份做准自然实验,利用合成控制法评估碳排放权交易对发电行业的政策效果,并用中介效应法分析其减排路径。研究发现:在控制各种可能影响结果变量的因素后,天津、上海、广东、福建和湖北的碳排放权交易对发电行业碳排放量产生显著的抑制效果。此外,碳排放权交易通过降低地区发电能源消费总量,调整发电能源消费结构实现发电行业的碳减排。

**关键词:**碳排放权交易;发电行业;合成控制法;中介效应法

**中图分类号:** X022

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-8759(2020)06-0061-09

## Analysis on the policy effect of carbon emission trading on power generation industry

NIE Qian

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** In order to study the effect and path of market-based emission reduction policy on power generation industry, based on the panel data of 30 provinces in China from 2008 to 2016, quasi-natural experiments were carried out on 7 carbon trading pilot provinces. The synthetic control method was used to evaluate the policy effect of carbon emissions trading on the power generation industry, and the intermediary effect method was used to analyze the emission reduction path. The results show that after controlling various factors that may affect the outcome variables, carbon emissions trading in Tianjin, Shanghai, Guangdong, Fujian and Hubei has a significant inhibitory effect on carbon emissions in the power generation industry. In addition, carbon emissions trading can reduce carbon emissions in the power generation industry by reducing the total amount of regional power generation energy consumption and adjusting the power generation energy consumption structure.

**Key Words:** Carbon emissions trading; Power generation industry; Synthetic control method; Mediating effect

## 0 引言

我国是世界上最大的能源消费国,也是世界第一大电力生产国,中国各行业依靠电力实现高速发展的同时也对环境产生了巨大负面影响。以碳排放为例,2019年发电行业二氧化碳排放量占

全国碳排放的46%,可见发电行业碳减排对完成2030年二氧化碳达峰的承诺有着重要意义。根据中电联初步分析,强制性制定技术标准已难以推进电力行业深度减碳。而市场型减排政策符合时代需求,对我国实现绿色经济发展,推进生态文明建设,具有非同凡响的战略意义。

2013年6月起,我国陆续启动8个试点城市的碳排放权交易市场,大部分试点都将高能耗、高排放的发电行业纳入其中。2017年12月,国家发改委要求率先启动发电行业全国碳排放交易市场。根据测算,首批纳入的发电企业碳排放量约占全国的1/3,是迄今全球最大的碳排放权交易市场。中国的资源情况决定了电力结构以火电(特别是煤电)为主,那实施市场型减排政策是否能引导发电行业实现碳减排?内在机制又是什么?这是本文试图回答的问题。因为碳排放权交易试点时间主要集中于2013年年底和2014年上半年,本文将政策时间的分界点统一确定为2014年。由此采用合成控制法探索碳排放权交易对发电行业的政策效应,并采用中介效应法识别该政策对试点地区发电行业碳减排的影响途径,为全国碳排放交易市场的完善提供政策参考。

## 1 文献综述

环境资源是一种不具有排他性但具有竞争性的社会公共产品,经过世界各国政府的政策实践和国内外学者的实证研究,发现合理的环境规制能够抑制污染物的排放。面对中国日趋紧迫的环境问题,建立有效和完善的环境规制执行体系,选择合理有效的环境规制政策,是构建高质量现代化经济体系的必然要求,也是建设美丽中国的推动力<sup>[1-2]</sup>。

政府出台的环境规制政策分为三类:第一类命令控制型政策,传统政府干预经济理论认为,政府拥有着完全信息,在解决环境外部性方面是有效的;第二类财政型政策,来自庇古提出的经济方法,他认为采用税收手段能将环境污染带来的外部性问题转化为排污者的内部成本;第三类市场型政策,基于环境污染的外部性和科斯定理的产权方式,通过将产权边界清晰化赋予环境资源经济价值,在市场主体之间创造出交易市场,最具代表性的是排放权交易<sup>[3]</sup>。

不同环境规制对能源消费和污染物减排的政策效果,一直是学术界持续探讨的问题。

孙鳌<sup>[4]</sup>指出命令控制型政策在发展中国家或许更能有效的减少污染排放。Xue<sup>[5]</sup>认为国家排放总量控制此类“政治性蓝天”的研究从侧面考察了命令控制型政策的治理效果。但研究环境政策工具对环境质量的改善作用时,发现命令控制型政策不能同时对各类污染物起到抑制作用,仅对

某类污染有效;从时序演变特征角度来看,其对促进即期中国节能减排技术的创新效果也并不显著<sup>[6-7]</sup>。而且命令控制型政策可能会出现政策失灵,例如:墨西哥实施的单双号限制政策,中国长江水污染治理出现“污染避难所效应”,均加重环境污染<sup>[8-9]</sup>。

早期在环境规制初始阶段,由于经济手段和市场化政策受人为因素影响较大、缺乏有效监管机制、制度基础薄弱等原因,导致中国依靠命令控制型政策来治理污染。随着发展进入新阶段,国内学者通过建立环境污染的理论模型,分析政府的环境政策效应,认为相比于命令控制型政策的强制性,基于市场的减排手段成本更低,创新激励性和灵活性更强,对生产率的促进更为明显<sup>[10-11]</sup>。

环境税是财政型政策的典型代表,从最优税率的决定来看,在前一期给定税率下,应通过观测企业减排状况来调整本期税率,并能实现“双重红利”<sup>[12]</sup>。Ploeg等<sup>[13]</sup>建议各国设计最优碳税税率碳税时应当综合考虑二氧化碳累计排放量及新增排放量。Yan和Toshihiko<sup>[14]</sup>利用可计算一般均衡模型发现硫税是治理雾霾的有效手段。但财政型政策在实际操作中的减排效果并不稳定,各区域实施不同政策约束会存在“监管泄露”的情况<sup>[15]</sup>。一方面,地方官员会因为绩效考核,牺牲环境以争取最大可能的经济发展,降低环境规制标准<sup>[16-17]</sup>。另一方面,不合理的行政干预将会降低环保税的实施效果,对经济冲击较大<sup>[18-20]</sup>。

碳排放权交易基于产出配置失衡假设,本质上改善了需求侧的分配不均衡问题,为市场主体提供了灵活的减排策略<sup>[21]</sup>。随着命令型减排政策的负面影响越发严重,引入市场型政策解决碳排放问题已成为世界共识。国外研究者广泛认可欧盟碳排放权交易体系所产生的减排效果<sup>[22]</sup>。国内学者发现建立碳市场能够有效降低“污染天堂”效应,降低减排成本,对改善环境、降低二氧化碳排放量有着积极作用<sup>[23-25]</sup>。在全球主要的碳市场中,电力企业都是第一批进入的市场参与主体。因此从实践角度,中国的碳交易机制需要重点关注高度管制下的电力行业<sup>[26]</sup>。电力行业作为能源加工转换的主要部门在电力生产过程中实现排放,而在消费过程中并不产生排放<sup>[27]</sup>。因此,现有文献重点关注环境规制对发电企业效率的影响和微观层面电力企业的碳配额,发现有效

的环境规制提升了发电企业的生产效率和技术效率,而合理的碳配额基准线设定能够有效降低发电企业的碳排放量,促进企业减排的积极性<sup>[28-32]</sup>。

以上文献比较了环境管理的三种政策工具,仔细分析了碳排放权交易对环境规制的有效性,为研究发电行业的减排效应提供了理论基础和实证分析结论。现有文献大都从企业层面分析,考虑到中国发电企业的数量多分布广,仅选取部分发电企业分析碳交易政策的减排效果,研究结论的代表性不够具有说服力。并且,对于在碳排放权交易政策作用下发电行业的减排路径并未提及。因此,本文对各省发电行业进行实证研究,选择合成控制法评估试点地区碳排放权交易的政策效果,再探索该政策影响发电行业碳减排的作用机制。

## 2 模型描述与数据处理

### 2.1 政策评估模型

合成控制法(SCM)根据预测变量对控制对象进行加权合成与处理组特征相似的虚拟对照组,再将虚拟组与处理组进行比较,在选择控制组时避免主观性和随意性问题。因此,本文采用合成控制法来考察碳交易机制对发电行业碳排放量的影响。由于深圳的相关数据已纳入到广东省,将深圳市合并到广东省内。所以本文将北京、上海、广东、天津、湖北、重庆和福建作为实验单元,其余23个省份(除西藏、港澳台地区)作为备选控制单元;将2014年定为碳交易政策实施的开始年份,使用Synth程序进行合成控制模型的估计。

### 2.2 数据来源和变量选取

数据来源于2008-2016年的《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、统计年鉴以及《2006年IPCC国家温室气体指南》。

本文研究内容是碳排放权交易对发电行业的政策效应分析,选取发电行业的碳排放量作为合成控制法的结果变量。借鉴相关研究,选取经济发展水平、人口水平、地区经济发展水平差异、城市规模、地区开放程度、城市的产业结构等变量作为预测变量。具体变量说明如下:

(1)发电行业的碳排放量:本文选取火力发电主要能源的消耗量作为计算电力行业碳排放的投入变量,采用各类能源的碳排放系数进行估算,计算公式为:

$$CC = \sum_{q=1}^N E_q \times S_q \times F_q$$

其中CC表发电行业碳排放量, $E_q$ 代表q类能源消费量,能源种类有:原煤、洗精煤、其他洗煤、煤矸石、焦炉煤气、其他煤气、高炉煤气、燃料油、炼厂干气以及天然气; $S_q$ 代表各类能源标准煤折算系数; $F_q$ 为各类能源碳排放系数。

(2)经济发展水平(Ingdp):使用地区生产总值对数值衡量。

(3)人口水平(Urban):使用城镇化率衡量。

(4)城市的产业结构(Second):使用第二产业占GDP的比重衡量。

(5)城市规模(Inrk):使用人口规模对数值衡量。

(6)地区开放程度(Infldi):使用外商投资企业投资总额占GDP比值的对数化衡量。

(7)地区经济发展水平差异(Ingdp(-1)):使用滞后一期地区GDP的对数形式衡量。

(8)使用2009、2011和2013年的电力碳排放量作为三个额外预测变量,增强控制组和处理组在政策实施前的拟合精确度。

## 3 实证过程与结果分析

### 3.1 政策效应估计

考察试点省份和非试点省份发电行业碳排放量的趋势,大致估计碳排放权交易政策实施效果,如图1所示。

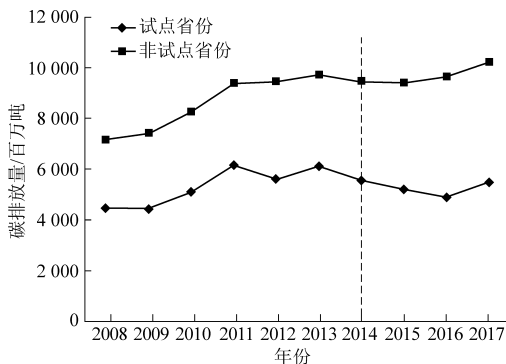


图1 试点省份和非试点省份发电行业年均碳排放量

从图1观察到2014年正式实施碳排放权交易政策后,两者间的差距逐步扩大。即便2017年受天气影响,水力发电总量减少,导致煤炭消费增长2.5%,两者间的差距依然增大。综上可知,碳交易政策对发电行业具有减排作用。

### 3.2 实证结果

为更有针对性的评价碳交易政策对试点省份

发电行业碳排放的影响,本文为试点地区构建相应的合成控制省份,如表 1。

表 1 试点省份预测变量实际观测值与合成控制估计值的比较

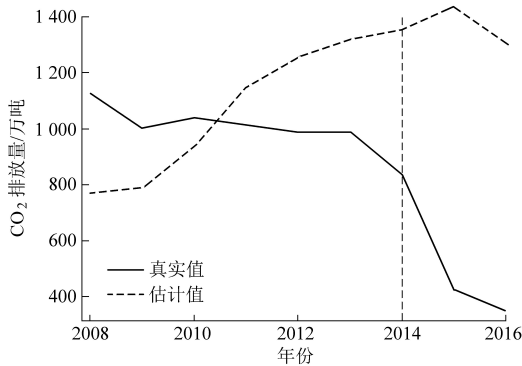
|                               | 北京      |         | 天津      |         | 上海      |         | 广东       |          | 福建      |         | 重庆      |         | 湖北      |         |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                               | 真实值     | 估计值     | 真实值     | 估计值     | 真实值     | 估计值     | 真实值      | 估计值      | 真实值     | 估计值     | 真实值     | 估计值     | 真实值     | 估计值     |
| 经济发展水平<br>(Ingdp)             | 9.758   | 7.953   | 9.378   | 9.085   | 9.903   | 9.757   | 10.917   | 10.579   | 9.831   | 9.813   | 9.271   | 8.67    | 9.933   | 9.525   |
| 地区经济发展<br>(Ingdp(-1))         | 9.86    | 8.071   | 9.491   | 9.199   | 9.99    | 9.866   | 11.016   | 11.684   | 9.952   | 9.927   | 9.406   | 8.785   | 10.06   | 9.629   |
| 人口水平<br>(Urban)               | 0.859   | 0.523   | 0.808   | 0.768   | 0.89    | 0.488   | 0.667    | 0.626    | 0.592   | 0.494   | 0.566   | 0.499   | 0.526   | 0.511   |
| 城市规模<br>(Inrk)                | 7.613   | 6.859   | 7.235   | 8.062   | 7.756   | 8.633   | 9.261    | 8.749    | 8.229   | 8.573   | 7.987   | 7.594   | 8.662   | 8.406   |
| 地区开放<br>程度(Infdi)             | 4.412   | 2.845   | 4.97    | 3.157   | 4.956   | 4.347   | 5.425    | 5.179    | 4.324   | 4.145   | 4.132   | 3.438   | 4.041   | 4.323   |
| 城市产业<br>结构(Second)            | 0.221   | 0.269   | 0.502   | 0.467   | 0.376   | 0.494   | 0.479    | 0.497    | 0.507   | 0.467   | 0.498   | 0.364   | 0.474   | 0.517   |
| CO <sub>2</sub> 排放量<br>(2009) | 1 001.6 | 785.9   | 2 655.8 | 2 821.9 | 4 167.9 | 4 401.3 | 12 155.0 | 12 747.0 | 5 094.1 | 5 127.0 | 2 097.8 | 1 874.7 | 4 088.5 | 4 175.5 |
| CO <sub>2</sub> 排放量<br>(2011) | 1 017.9 | 1 149.3 | 3 999.5 | 4 015.6 | 5 294.4 | 5 337.0 | 16 980.0 | 16 334.0 | 7 568.0 | 7 313.9 | 2 682.5 | 2 765.8 | 5 787.1 | 5 580.2 |
| CO <sub>2</sub> 排放量<br>(2013) | 991.8   | 1 323.7 | 5 243.6 | 5 016.2 | 5 145.5 | 5 251.4 | 16 487.0 | 16 580.0 | 7 093.6 | 7 035.6 | 2 534.4 | 2 701.3 | 4 908.9 | 5 003.8 |

从表 1 可以发现大多数省份预测变量的实际观测值与合成控制估计值十分接近,差异较小,这说明其构造出来的合成控制省份与真实省份在开展低碳试点之前具有较高的相似性。

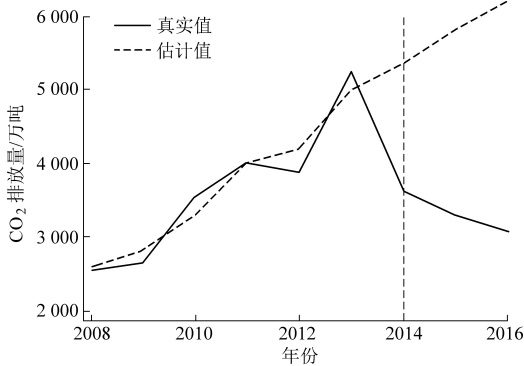
针对北京有正向合成控制率的省份分别为海南(0.951)和四川(0.049);对天津有正向合成控制率的省份分别为江西(0.569)、广西(0.084)、海南(0.122)和新疆(0.225);对上海有正向合成控制率的省份分别为辽宁(0.146)、吉林(0.078)、江西(0.285)湖南(0.13)和四川(0.361);对广东有正向合成控制率的省份分别为江苏(0.396)和浙

江(0.604);对福建有正向合成控制率的省份分别为吉林(0.165)、江苏(0.096)、湖南(0.669)、宁夏(0.017)和新疆(0.053);对重庆有正向合成控制率的省份分别为江西(0.245)、湖南(0.203)和海南(0.552),对湖北有正向合成控制率的省份分别为辽宁(0.219)和江西(0.781)。

试点省份与其相对应的合成省份发电行业碳排放演变路径如图 2 所示。实线代表试点省份实际碳排放量,虚线表示合成省份碳排放量,垂直虚线表示政策实施时间点。



(a) 北京



(b) 天津



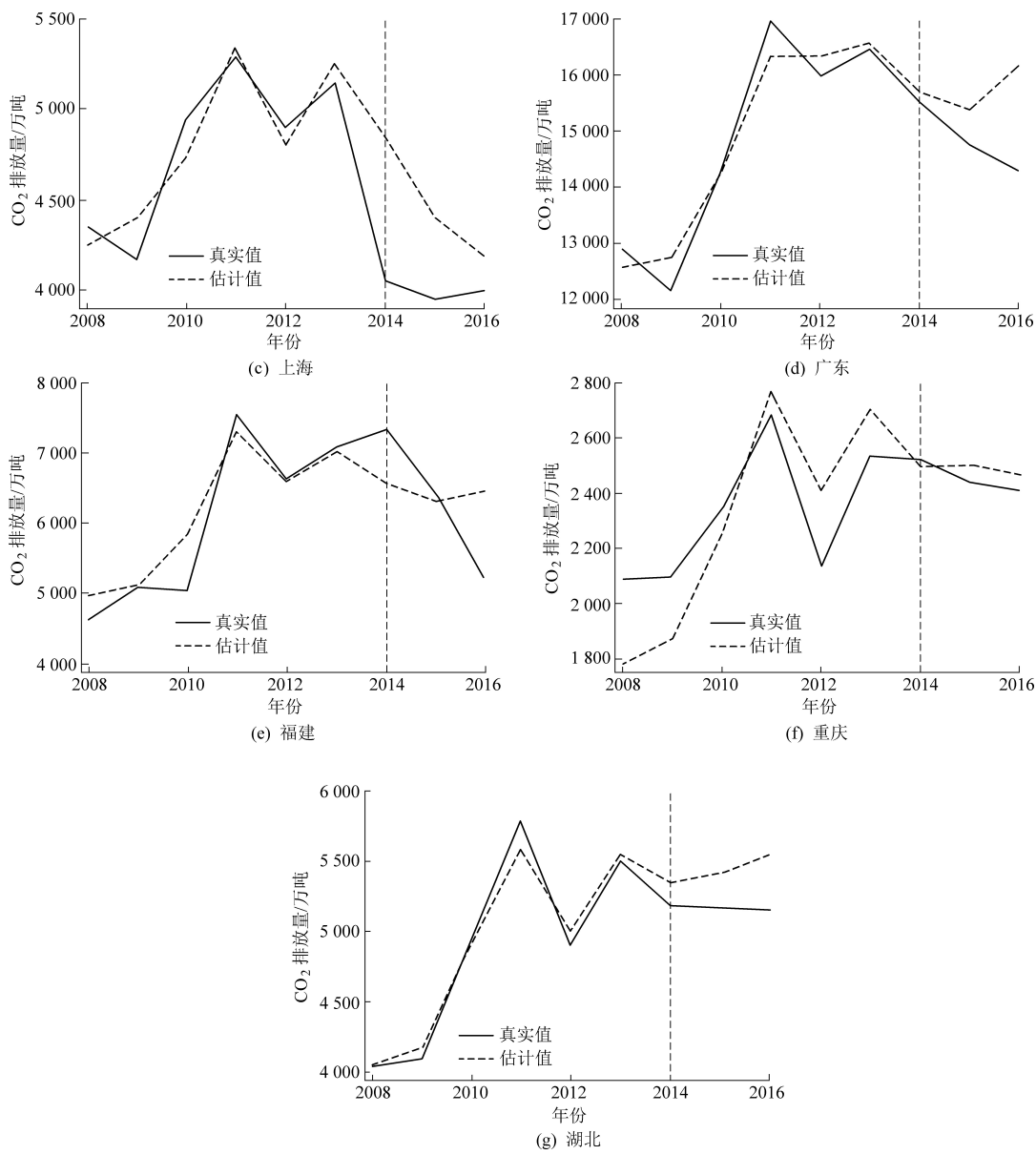


图2 试点省份的发电行业二氧化碳排放量

运用合成控制法后的结果显示,在碳排放权交易政策发布前特征拟合最好的是湖北和天津,其次是广东、上海和福建,拟合情况最差的是北京和重庆。主要原因是,北京特殊的经济、政治地位,其他省份难以完美拟合;重庆未将电力行业纳入其中。由此,下文重点分析拟合状态较好的其余五省。

### 3.3 稳健性检验

#### 3.3.1 安慰剂检验

此方法增强研究结论的稳健性,证实结果产生并非偶然。本文贡献率最高的非试点省份,分别为江西、四川、浙江和湖南,假设同一个时间实施相同政策,再运用合成控制法进行同样的分析,若分析结果得到的政策效应远小于实证分析中的

差异,说明试点省份和合成省份的碳排放量差异确实来源于试点政策的出台,若结果相反,说明实证分析结果无效。

由图2发现,四个省份在假设受到碳排放权交易的政策冲击后,政策效果都不理想。由此证明了试点省份受到的碳排放权交易政策影响并不是偶然。

#### 3.3.2 排序检验法

为检验估计的政策效果在统计意义上显著,选取构造反事实合成省份时合成贡献率为正的所有省份以及选取权重为0的两个省份,并排除平均预测标准差超过试点地区2倍的省份。根据以上标准,为天津、上海、广东、福建和湖北进行排序检验,并以每一个省份的真实发电行业二氧化碳

排放量减去合成的二氧化碳排放量得到差值,对比试点省份与安慰剂检验的非试点省份的差值大小,绘制折线图。

由图4可知,天津、上海、广东、福建和湖北的在政策实施之前变动幅度小于非试点省份,表明

前期拟合程度较好,能够接近真实的情况;政策实施后,变动的程度都大于非试点省份,说明试点省份和非试点省份的合成误差存在显著的差异,证明碳排放权交易政策对试点省份的政策效果显著。

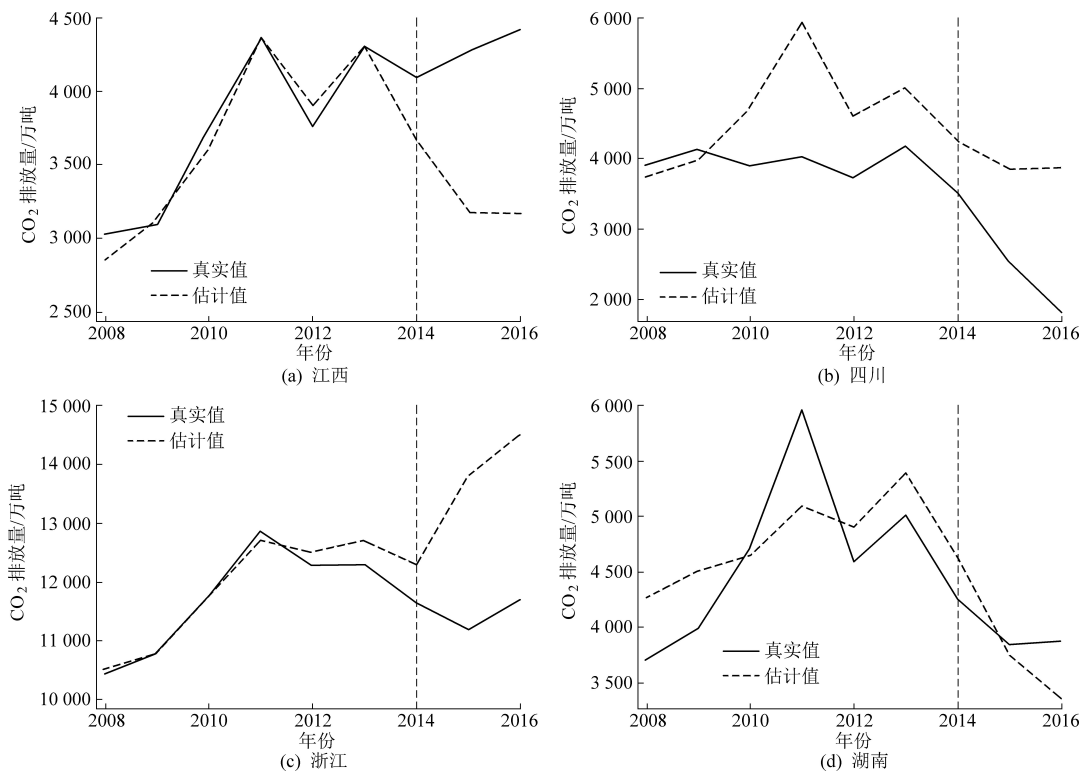
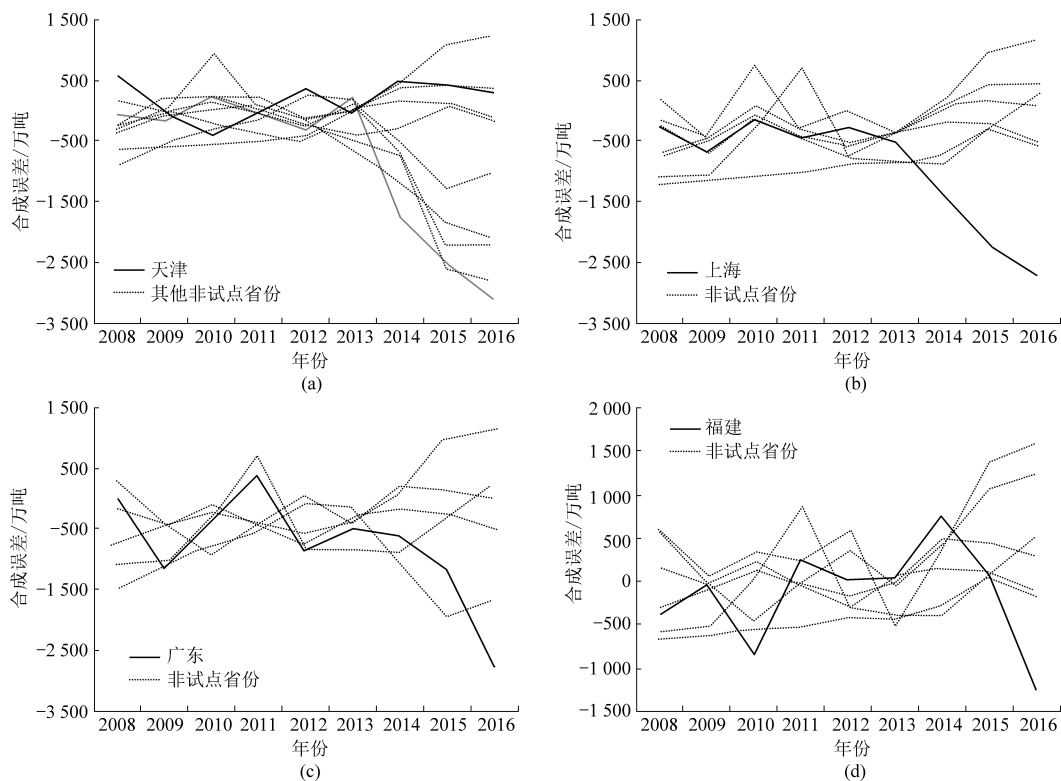


图3 安慰剂检验



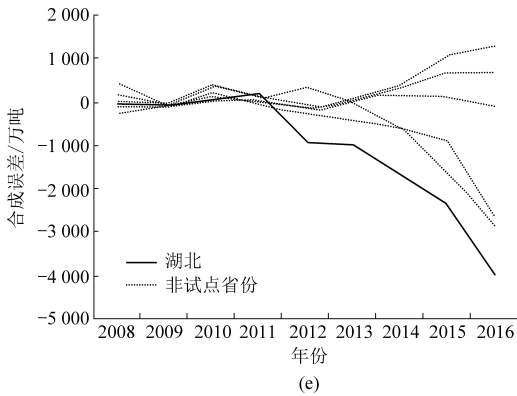


图4 排序检验法

4 碳排放权交易政策机制检验

前文碳排放权交易政策显著减少了试点省份发电行业碳排放量。由机理分析可知,该政策对试点地区发电行业碳排放的影响途径主要是发电能源消费量和发电能源消费结构,为识别这一机制是否存在,本文通过实证分析检验。

4.1 模型设定

借鉴 Baron 和 Kenny(1986)的中介效应模型,构建以下方程:

$$CO_2 = \alpha_{it} + \beta_1 DID + \delta_{control} l_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$W_{it} = \alpha_{it} + \lambda DID + \varphi_{control} l_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$CO_2 = \alpha_{it} + \beta_2 W_{it} + \delta_{control} l_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$CO_2 = \alpha_{it} + \beta_3 DID + \theta W_{it} + \delta_{control} l_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, $DID$ 为碳排放权交易试点的虚拟变量,引入地区、政策两个虚拟变量进行相乘的交互项。如果省份*i*在时期*t*已经成为碳交易试点,则该变量为1,否则为0。 $control_{it}$ 是一组控制变量,包括经济发展水平( $Ingdp$ )、人口水平( $Urban$ )、城市的产业结构( $Second$ )、城市规模( $Inrk$ )地区开放程度

( $Infdi$ )、地区经济发展水平差异( $Ingdp(-1)$ )。 $W_{it}$ 为中介变量,包括:(1)发电能源消费量( $Econ$ ),用各地区实际消耗的火力发电能源消费量衡量;(2)发电能源消费结构( $Stru$ ),煤炭是主要的消费来源,因此采用原煤消费量占火力发电能源消费总量的比重衡量。

4.2 结果分析

表2中第(1)列是模型1的基准回归结果,反映出碳排放权交易政策对发电行业 $CO_2$ 排放量有显著的负面影响,与合成控制法得出的结论一致。第(2)、(3)、(4)列分别是模型2、模型3、模型4的回归结果。第(2)列中 $DID$ 的回归系数显著为负,说明碳交易政策有效减低发电能源消费总量,起到抑制效果。第(3)列中, $Econ$ 的回归系数显著为正,表明发电能源消费总量和发电行业碳排放量正相关。第(4)列回归结果中含有 $DID$ 和 $Econ$ ,相比于第(1)列的基准回归结果, $DID$ 的显著性水平下降,这意味着碳排放权交易政策通过降低发电能源消费量来抑制发电行业二氧化碳排放量。

表2 中介效应检验——发电能源消费总量

| 变量                        | (1)                   | (2)                   | (3)              | (4)               |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
|                           | $CO_2$                | 发电能源消费量( $Econ$ )     | $CO_2$           | $CO_2$            |
| $DID$                     | -5 409.238*** (0.000) | -2 771.897*** (0.000) | —                | 3.098(0.924)      |
| 发电能源消费量( $Econ$ )         | —                     | —                     | 1.964*** (0.000) | 1.965*** (0.000)  |
| 人口水平( $Urban$ )           | -16 950.08*** (0.000) | -8 975.13*** (0.000)  | 327.38(0.439)    | 327.463(0.441)    |
| 地区开放程度( $Infdi$ )         | -1 189.58*** (0.005)  | -611.36*** (0.003)    | -31.24(0.376)    | -31.13(0.368)     |
| 经济发展水平( $Ingdp$ )         | 9 144.95* (0.099)     | 5 839.83*** (0.000)   | 696.22* (0.080)  | 684.627* (0.072)  |
| 地区经济发展水平差异( $Ingdp(-1)$ ) | 2046.23(0.686)        |                       | -706.66* (0.100) | -706.111* (0.099) |
| 城市产业结构( $Second$ )        | 20 921.27*** (0.000)  | 10 531.73*** (0.000)  | -352.64(0.145)   | -352.193(0.141)   |
| 城市规模( $Inrk$ )            | -6 921.68*** (0.000)  | -3 668.76*** (0.000)  | 99.6(0.396)      | 100.341(0.416)    |
| 常数项                       | -37 256.44*** (0.000) | -18 995.7*** (0.000)  | -691.638(0.238)  | -688.932(0.224)   |
| 年份固定效应                    | Y                     | Y                     | Y                | Y                 |
| 地区固定效应                    | Y                     | Y                     | Y                | Y                 |
| 调整的 $R^2$                 | 0.503 3               | 0.504 5               | 0.997 9          | 0.997 9           |
| 观测值                       | 262                   | 262                   | 262              | 262               |

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

表3第(2)列中,DID的回归系数在10%的显著性水平下显著为负,表明碳排放权交易政策对发电能源消费结构有显著的负面影响,意味着碳排放权交易政策能够有效的降低煤炭消费量,倒逼企业的转型升级,提升清洁能源使用,促使发电行业的绿色转型发展。第(3)列中,模型结果显示Stru的回归系数在10%的显著水平下显著为正,表明发电能源消费结构和发电行业碳排放量之间存在正相关。第(4)列中,回归结果中含有DID

和Stru,相比于第(1)列,DID系数的绝对值变小。说明存在中介效应,即碳排放权交易政策通过调整能源消费结构减少发电行业碳排放量。值得注意的是,相比发电能源消费总量的中介效应,这一中介效应中, $\beta_3$ 相对 $\beta_1$ 降低的幅度明显要小,意味着从样本考察期看,事实上碳交易机制通过转变发电能源消费结构的途径抑制发电行业碳排放量的作用有限。

表3 中介效应检验——发电能源消费结构

| 变量                    | (1)                   | (2)                 | (3)                   | (4)                   |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
|                       | CO <sub>2</sub>       | 发电能源消费结构(Stru)      | CO <sub>2</sub>       | CO <sub>2</sub>       |
| DID                   | -5 409.238*** (0.000) | -0.030 2* (0.100)   |                       | -5 356.232*** (0.000) |
| 发电能源消费结构(Stru)        |                       |                     | 5 359.557* (0.100)    | 1 819.025 (0.613)     |
| 人口水平(Urban)           | -16 950.08*** (0.000) | -0.062 5 (0.254)    | -18 629.56*** (0.000) | -17 085.58*** (0.000) |
| 地区开放程度(Infdi)         | -1 189.58*** (0.005)  | -0.006 1* (0.075)   | -1 070.033*** (0.011) | -1 181.122*** (0.000) |
| 经济发展水平(Ingdp)         | 9 144.95* (0.099)     | -0.009 1 (0.359)    | 7 504.281 (0.203)     | 9 347.029 (0.105)     |
| 地区经济发展水平差异(Ingdp(-1)) | 2 046.23 (0.686)      |                     | 2 784.888 (0.598)     | 1 877.311 (0.716)     |
| 城市产业结构(Second)        | 20 921.27*** (0.000)  | 0.167 9** (0.047)   | 22 501.36*** (0.000)  | 20 579.99*** (0.000)  |
| 城市规模(Inrk)            | -6 921.68*** (0.000)  | 0.012 0 (0.346)     | -6 233.679*** (0.000) | -6 954.95*** (0.000)  |
| 常数项                   | -37 256.44*** (0.000) | -0.865 1*** (0.000) | -40 088.76*** (0.000) | -38 876.16*** (0.000) |
| 年份固定效应                | Y                     | Y                   | Y                     | Y                     |
| 地区固定效应                | Y                     | Y                   | Y                     | Y                     |
| 调整的R <sup>2</sup>     | 0.503 3               | 0.104 4             | 0.462 7               | 0.503 5               |
| 观测值                   | 262                   | 262                 | 262                   | 262                   |

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

## 5 结论

实证结果显示碳排放权交易对不同试点地区发电行业碳排放量的政策效果不一致,主要原因是碳排放权交易试点运行状况的差异。利用中介效应发现,碳排放权交易政策通过降低地区发电能源消费总量,调整发电能源消费结构实现发电行业的减排目标。在建设“美丽中国”的历史使命面前,发电行业要坚持绿色发展理念,以构建清洁低碳、安全高效的能源体系为目标,加快推进发电行业绿色转型,助力打赢蓝天保卫战。

上述的实证检验和结果分析为发电行业全国碳排放权交易市场建设提供一些政策启示:

(1)推动碳交易市场建设,倒逼企业绿色转型。碳排放权交易政策对碳减排起到积极的作用,政府应逐步将命令型减排手段向市场型减排

手段转变。借鉴湖北、天津等政策效果好的试点地区经验,不断完善碳交易市场的各项制度体系,在活跃碳市场的同时,促进企业的转型升级,高效生产,以缩减行业碳排放量。

(2)转变电力供应主体,提升天然气发电比例。发电能源消费结构依赖的能源主要是煤炭,通过中介效应发现相比于发电能源消费总量,其抑制发电行业碳排放量的作用是有限的,因为在发电企业的设备更新、升级之后煤炭的排放量将会固定,很难实现更进一步的减排。因此开展清洁能源发电势在必行。风电、水电等可再生能源发电率并不稳定,但天然气发电能效高、占地少、节约资源,适宜于布局在城市及周边,燃气电厂的建设周期相对更短,初始投资相对更低,提升气电比例可有效降低火电碳排放水平,也是增强电力系统灵活性的重要途径之一。

## 参考文献

- [1] 吕臣, 彭淑贞, 方巍. 环境污染与政府规制: 一个新的概念框架与理论分析 [J]. 干旱区地理, 2016, 39 (4): 886-894.
- [2] 屈小娥. 基于能源和环境约束的中国工业绿色增长效率研究 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2017: 84-92.
- [3] 金磊. 资源环境管制与工业竞争力关系的理论研究 [J]. 中国工业经济, 2009 (3): 5-17.
- [4] 孙鳌. 治理环境外部性的政策工具 [J]. 云南社会科学, 2009 (5): 94-97.
- [5] Wenbo Xue, Jinnan Wang, Hao Niu, et al. Assessment of air quality improvement effect under the National Total Emission Control Program during the Twelfth National Five-Year Plan in China [J]. Atmospheric Environment, 2013, 68: 74-81.
- [6] 曾冰, 郑建锋, 邱志萍. 环境政策工具对改善环境质量的作用研究——基于 2001-2012 年中国省际面板数据的分析 [J]. 上海经济研究, 2016 (5): 39-46.
- [7] 叶琴, 曾刚, 戴劭勃, 等. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于 285 个地级市面板数据 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28 (2): 115-122.
- [8] Davis, L. W. The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City [J]. Journal of Political Economy, 2008, 116 (1): 38-81.
- [9] Zhao Chen, Matthew E. Kahn, Yu Liu, et al. The consequences of spatially differentiated water pollution regulation in China [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2018, 88: 468-485.
- [10] 陈诗一. 边际减排成本与中国环境税改革 [J]. 中国社会科学, 2011 (3): 85-100.
- [11] 涂正革, 周涛, 湛仁俊, 等. 环境规制改革与经济高质量发展——基于工业排污收费标准调整的证据 [J]. 经济与管理研究, 2019, 40 (12): 77-95.
- [12] Bovenberg A L, MOOIJ R A. Environment levies and distortionary taxation [J]. American Economic Review, 1994, 84 (4): 1085-1089.
- [13] Ploeg F V D, Rezai A. Cumulative emissions, unburnable fossil fuel, and the optimal carbon tax [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 116: 216-222.
- [14] YAN X, TOSHIHIKO M. Local air pollutant emission reduction and ancillary carbon benefits of SO<sub>2</sub> control policies: application of aim/CGE model to china [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198 (1): 315-325.
- [15] 张文静, 马喜立. 以环境税治理雾霾的减排效果及减排成本——基于动态多区域 CGE 模型 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2020, 22 (3): 36-47.
- [16] 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.
- [17] 游达明, 欧阳乐茜. 环境规制对工业企业绿色创新效率的影响——基于空间杜宾模型的实证分析 [J]. 改革, 2020 (5): 122-138.
- [18] 刘洁, 李文. 征收碳税对中国经济影响的实证 [J]. 中国人口·资源环境, 2011, 21 (9): 99-104.
- [19] 周丹, 赵子健. 基于地区 CGE 模型的碳税效应研究——以上海为例 [J]. 生态经济, 2015, 31 (4): 24-28.
- [20] 叶金珍, 安虎森. 开征环保税能有效治理空气污染吗 [J]. 中国工业经济, 2017 (5): 54-74.
- [21] 周林, 刘泓泓, 曹铭, 等. 全国碳排放权交易市场模拟及价格风险 [J]. 西安交通大学学报 (社会科学版), 2020 (4): 1-15.
- [22] WEI Y M. An overview of current research on EU ETS: Evidence from its operating mechanism and economic effect [J]. Applied Energy, 2010, 87 (6): 1804-1814.
- [23] 汤维祺, 吴力波, 钱浩祺. 从“污染天堂”到绿色增长——区域间高耗能产业转移的调控机制研究 [J]. 经济研究, 2016 (6): 58-70.
- [24] 马忠玉, 冶伟峰, 蔡松峰, 等. 基于 SICGE 模型的中国碳市场与电力市场协调发展研究 [J]. 宏观经济研究, 2019 (5): 145-153.
- [25] 张宁, 张维洁. 中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗? [J]. 经济研究, 2019, 54 (1): 165-181.
- [26] Jotzo F, Löschel A. Emissions trading in China: Emerging experiences and international lessons [J]. Energy Policy, 2014, 75: 3-8.
- [27] 侯建朝, 史丹. 中国电力行业碳排放变化的驱动因素研究 [J]. 中国工业经济, 2014 (6): 44-56.
- [28] 庞雨蒙. 环境政策、竞争引入与异质性发电企业效率 [J]. 经济与管理研究, 2017, 38 (11): 69-79.
- [29] 吴力波, 孙可弢, 时志雄. 环境规制下中国煤炭发电企业成本技术效率研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28 (8): 31-38.
- [30] 许小虎, 邹毅. 碳交易机制对电力行业影响分析 [J]. 生态经济, 2016, 32 (3): 92-96.
- [31] 赵文会, 高姣倩, 宋亚君, 等. 基于供应链的电力行业碳减排投资决策 [J]. 科技管理研究, 2017, 37 (4): 242-249.
- [32] 杨光俊, 徐振, 沈凡卉. 发电行业碳减排及参与碳交易市场的现状分析与展望 [J]. 环境保护, 2018, 46 (15): 22-26.