

# “大气污染物和温室气体协同控制” 政策的实施效果研究

刘娜<sup>1</sup> 杨斯悦<sup>2</sup> 高新伟<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学(华东)经济管理学院, 山东 青岛 266580; 2. 西北工业大学公共政策与管理学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:** 推动减污降碳协同增效是深入打好污染防治攻坚战, 实现碳达峰的必然要求。将《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》视为一个连贯政策, 运用渐进双重差分法探究了于2015和2018年提出的“大气污染物和温室气体协同控制”政策实施效果。研究表明, “大气污染物和温室气体协同控制”政策显著提高了“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度和“PM-CO<sub>2</sub>”排放量(强度)协同度, 但该政策对“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放量协同度无显著影响。机制分析表明, 提升政府监管水平、弱化政企关系以及增强企业绿色创新是政策的主要传导机制。异质性分析表明, 政策效果在不同能耗水平的城市中具有显著差异, 比起高污染上市公司, 高耗能中小企业在污染物和CO<sub>2</sub>的协同减排措施上仍存在较大改善空间。研究结论对我国优化“持续深入打好蓝天保卫战”相关政策提供启示。

**关键词:** 大气十条; 蓝天三年; 减污降碳协同度; 渐进双重差分

**中图分类号:** F205; TU984.11<sup>+</sup>5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6049(2024)03-0012-11

## 一、引言与文献述评

生态环境部等七部委于2022年6月印发了《减污降碳协同增效实施方案》,明确了2025年和2030年要达到的“减污降碳协同增效”目标。“减污降碳协同增效”已经成为经济社会绿色转型、实现“双碳”目标的总抓手。我国具备多年的大气污染防治攻坚战经验,将降碳理念融入现存的减污政策中越来越成为推动减污降碳协同增效的关键举措<sup>[1]</sup>。

从《大气污染防治行动计划》(简称“大气十条”)到《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(简称“蓝天三年”),再到《空气质量持续改善行动计划》,我国大气污染治理进程不断深入。“大气十条”于2013年发布,实施至2017年底,旨在改善空气质量。2015年8月发布的“大气十条”修订版特别提出“对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨等大气污染物和温室气体实施协同控制”。作为“大气十条”的延续,“蓝天三年”于2018年实施,也加入了协同控制温室气体的要求,与“大气十条”形成内在衔接。尽管大气污染物和CO<sub>2</sub>具有“同根同源”的特点,但末端脱硫脱硝等技术往往伴随“减污增碳”或“减碳增污”的“跷跷板”效应<sup>[2]</sup>。因此,减污降碳协同控制主要体现在污染物和CO<sub>2</sub>的减排同

收稿日期: 2023-11-28; 修回日期: 2024-02-18

基金项目: 国家社会科学基金西部项目“数字赋能制造业‘链主’企业碳足迹减排的影响机制研究”(23XGL025); 山东省自然科学基金项目“基于产业链数据分析的绿色税收基数核定方法研究——以山东省石化行业为例”(ZR2020MG065)

作者简介: 刘娜(1997—),女,山东济宁人,中国石油大学(华东)经济管理学院博士研究生,研究方向为环境政策与减污降碳协同治理; 杨斯悦(1992—),女,陕西西安人,经济学博士,西北工业大学公共政策与管理学院讲师,研究方向为环境政策与绿色低碳发展; 高新伟(1964—),男,甘肃镇原人,管理学博士,中国石油大学(华东)经济管理学院教授,博士生导师,研究方向为能源经济管理。

向性上。那么大气污染治理政策在融入降碳理念后是否有助于减污降碳协同控制?回答此问题对于完善大气污染治理政策、持续深入打好蓝天保卫战具有重要意义。

国内外学者对“大气十条”的减污效应<sup>[3-6]</sup>、降碳效应<sup>[7]</sup>、健康效应<sup>[8-9]</sup>及其他方面的经济效应<sup>[10]</sup>展开了丰富研究。“大气十条”实施后,重点城市的空气质量显著改善,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和SO<sub>2</sub>浓度显著下降,但O<sub>3</sub>浓度显著上升,这一结论在国内外文献中一致。不过,“大气十条”的实施也存在一些负面影响,如加剧区域复合空气污染。此外,“大气十条”对重点资源型城市的减污效应不明显,政策效应具有显著的地区异质性<sup>[6]</sup>。“蓝天三年”也显著提高了空气质量,尤其降低了城市PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>浓度<sup>[11-12]</sup>,在唐山市取得了良好的减污降碳协同效应<sup>[13]</sup>。

多数文献常常采用单边评估方式检验政策的减污效应或降碳效应,少部分文献从污染物与温室气体的协同控制视角入手,但学术界尚未形成统一的“减污降碳协同度”指标。有研究提出以污染物减排量交叉弹性来捕捉减污降碳协同控制程度<sup>[14]</sup>,但多适用于案例分析。另有学者开发了工业园区减污降碳协同发展指数,并评价了包头市稀土高新区的减污降碳进展<sup>[15]</sup>。除了案例研究,还有研究根据大气污染物和温室气体排放量的变动方向定义减污降碳协同控制程度,探究了环境经济目标<sup>[16]</sup>和《环境保护税法》<sup>[17]</sup>对减污降碳协同控制的影响。

可以发现:第一,多数文献未关注到“大气十条”与“蓝天三年”的内在关联,忽视了二者都提出的“大气污染物和温室气体协同控制”理念,研究缺口待弥合。第二,已有的“减污降碳协同度”指标存在不同程度的应用局限,仍需要多角度地进一步探索。为此,本文将“大气十条”与“蓝天三年”政策视为一体,从排放量和排放强度两个维度构建“减污降碳协同度”指标,评估“大气十条”与“蓝天三年”于2015和2018年提出的“大气污染物和温室气体协同控制”政策实施效果。

## 二、机理分析与研究假设

“大气十条”于2015年提出了“大气污染物和温室气体协同控制”的政策要求。“蓝天三年”于2018年提出了“大幅减少主要大气污染物排放总量,协同减少温室气体排放”的要求。由此,本文将2015和2018年两次提出的政策要求统称为“大气污染物和温室气体协同控制”政策。

作为命令控制型政策,“大气污染物和温室气体协同控制”政策主要是通过政府层面“自上而下”的手段对高污染企业进行外部施压,来倒逼高污染企业绿色转型,从而减少大气污染物和温室气体的排放。沿此思路,构建出“大气污染物和温室气体协同控制”政策作用机制框架,如图1所示。

在上端政府层面,政府监管决定着政策实施力度,也是政策贯彻落实的保障。“大气污染物与温室气体协同控制”的政策要求提出后,地方政府对减污降碳的关注度普遍加大,尤其是对政策的重点实施区域,政府的监管力度和环保处罚力度往往会随之提高<sup>[18]</sup>。此外,环保督察以及环保处罚都能显著鼓励高污染企业积极治理污染,进而绿色转型<sup>[19-20]</sup>。这意味着,“大气污染物和温室气体协同控制”政策很可能通过提高政府监管力度来达到减污降碳协同控制。

在中端层面,政企关系连接着政府行为和企业行为,政企关系是否“亲清”决定着政策实施质量。当高污染企业面临较大的绿色转型压力时,可能会利用政企合谋的方式规避较大污染治理成本,从而降低政策效力,使得政策与实践“两张皮”。政企关系越亲近,越有很大可能政企合谋,环境政策治理污染的效果往往在那些政企关系相对不亲近的地方较强<sup>[21]</sup>。考虑到“大气十条”和“蓝天三年”在政策条文均强调了“严格依法监督”,本文认为这可以对政企关系起到震慑作用,实现减污降碳协同控制的政策效果。

在下端企业层面,企业的绿色创新水平决定着减排行为的改进程度,是推动政策实施的重要抓手<sup>[22]</sup>。企业作为基本排放单元,其减排行为受到了“大气污染物和温室气体协同控制”政策的重点约束。“大气污染物和温室气体协同控制”政策作为命令控制型的环境规制,更有利于提高企业的节能减排技术创新水平<sup>[23]</sup>,也能促使企业产出更多的绿色发明专利<sup>[24]</sup>。不少研究也得出,技术进步是减污降碳政策有效性得以发挥的关键路径<sup>[25]</sup>。当企业的减排技术越来越高时,有利于打破“减污增碳”或“减碳增污”的“跷跷板”效应<sup>[2]</sup>,促使污染物和CO<sub>2</sub>同时减排。考虑到“加快技术改造”是“大气十

条”和“蓝天三年”政策措施之一, 本文认为“大气污染物和温室气体协同控制”政策可以通过倒逼企业提高绿色创新水平, 实现减污降碳协同控制。由此, 提出以下假说。

- 假说 1: “大气污染物和温室气体协同控制”政策能显著提高减污降碳协同度。
- 假说 2: “大气污染物和温室气体协同控制”政策通过强化政府监管提高减污降碳协同度。
- 假说 3: “大气污染物和温室气体协同控制”政策通过弱化政企关系提高减污降碳协同度。
- 假说 4: “大气污染物和温室气体协同控制”政策通过提高企业绿色创新提高减污降碳协同度。

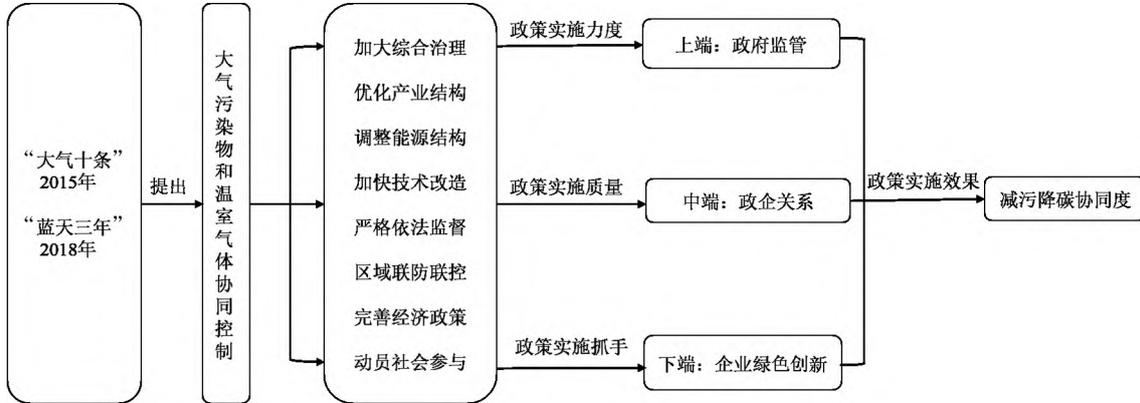


图 1 政策作用机制框架

### 三、数据和方法

#### (一) 模型构建

构建渐进双重差分模型检验“大气污染物和温室气体协同控制”政策的实施效果, 如式(1)所示。

$$Y_{it} = \gamma + \rho Treat_{it} \times After_t + \sum_{k=1}^9 \gamma_k Controls_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中:  $Y_{it}$  包括“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放量协同度、“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度、“颗粒物(PM)-CO<sub>2</sub>”排放量协同度和“PM-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度;  $Control_{it}$  代表 9 个控制变量;  $\mu_i$  和  $\tau_t$  分别为个体固定效应和时间固定效应;  $\varepsilon_{it}$  为随机干扰项。

#### (二) 变量说明

##### 1. 被解释变量

被解释变量包括“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放量协同度( $RSQ$ )、“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度( $SQR$ )、“PM-CO<sub>2</sub>”排放量协同度( $RPC$ )以及“PM-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度( $PQR$ )。参考已有研究<sup>[16]</sup>, 使用《中国城市二氧化碳和大气污染物协同管理评估报告(2020)》中对“减污降碳协同管理绩效”的衡量方法, 与之相区别的是, 本文使用大气污染物和 CO<sub>2</sub> 的直接排放量数据进行计算, 并引入排放强度指标, 如式(2)至式(4)所示。

$$SO_2 \text{ 与 } CO_2 \text{ 排放量(强度) 增长率之和 } SC = \frac{\Delta SO_2}{SO_2} + \frac{\Delta CO_2}{CO_2} \quad (2)$$

$$PM \text{ 与 } CO_2 \text{ 排放量(强度) 增长率之和 } PC = \frac{\Delta PM}{PM} + \frac{\Delta CO_2}{CO_2} \quad (3)$$

$$RSC | SQR | RPC | PQR = \text{总排序值} \left\{ \begin{array}{l} \text{组 1} \rightarrow \text{式(2) | (3) 中 } SO_2 \text{ (PM) 增长率和 } CO_2 \text{ 增长率都为负数} \\ \text{组 2} \rightarrow \text{式(2) | (3) 中 } SO_2 \text{ (PM) 增长率和 } CO_2 \text{ 增长率一正(或0) 一负(或0)} \\ \text{组 3} \rightarrow \text{式(2) | (3) 中 } SO_2 \text{ (PM) 增长率和 } CO_2 \text{ 增长率都为正数} \end{array} \right\} \quad (4)$$

首先计算 SO<sub>2</sub>/PM 和 CO<sub>2</sub> 的排放量(强度)的增长率之和, 如式(2)和式(3)所示。根据增长率的正负性将全样本分为 3 个子样本组: 组 1 代表污染物与 CO<sub>2</sub> 同向减排, 故而排在第一梯队; 组 2 代表存在“减污增碳”或者“减碳增污”的情况, 排在第二梯队; 组 3 代表污染物与 CO<sub>2</sub> 同向增排, 排在第三梯队。将  $SC$  和  $PC$  按照组 1 至组 3 的顺序进行先组内后组间的升序排序, 依据排序结果按照 1 ~ 255(研究样本共 255

个城市) 的数值依次定义  $RSC/SQR/PC/PQR$  的取值。可以看出, 增长率之和越小, 排名越靠前, 即协同减排的幅度越大。也就是说  $RSC/SQR/PC/PQR$  的取值越小, 减污降碳协同度越高。

$SO_2$  和  $PM$  排放量数据来自《中国城市统计年鉴》。对于  $CO_2$  排放量, 参考吴建新和郭智勇<sup>[26]</sup> 的做法, 以城市全社会用电、天然气、液化石油气和热能消耗量分别乘以其对应的碳排放因子, 相加得到, 如式(5)。

$$CO_2 = \alpha E_e + \beta E_g + \lambda E_p + \delta E_h \quad (5)$$

其中:  $E_e$  为城市当年的全社会用电量,  $E_g$  和  $E_p$  分别为天然气和液化石油气供气总量,  $E_h$  为蒸汽和热水两部分总的供热总量;  $\alpha$  为电网基准线平均排放因子;  $\beta$  为天然气碳排放系数  $2.1622 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda$  为液化石油气碳排放系数  $3.1013 \text{ kg/kg}$ ;  $\delta$  为供热总量的碳排放系数  $0.06362 \text{ 万吨/吉焦}$  (首先将供热量转化为原煤消耗量, 再乘以原煤的碳排放系数而得)。电网基准线平均排放因子数据来自生态环境部每年公布的华北、东北、华东、华中、西北和南方 6 大区域电网的基准线排放因子; 天然气和液化石油气的碳排放系数数据均来自 2011 年发布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》。

### 2. 核心解释变量

政策变量与时间变量的交乘项  $Treat \times After$ 。 $Treat$  为政策变量, 若该城市属于“大气十条”和“蓝天三年”政策实施的重点区域, 则记为 1, 否则记为 0;  $After$  为时间虚拟变量, “大气十条”的重点实施城市(除去实施“大气十条”而没有继续实施“蓝天三年”的城市)以 2015 年为节点, “蓝天三年”实施时新加入重点区域的以 2018 年为节点。 $Treat \times After$  按照多时点双重差分法处理赋值。

### 3. 机制变量

(1) 政府监管 ( $\ln PU$ ) 城市当年受理环境行政处罚案件数量的对数值; (2) 政企关系 ( $ZS$ ) 参考已有研究<sup>[27-28]</sup> 将省级层面的市场化指数指标“政府与市场的关系”乘以城市 GDP 占全省 GDP 的比重而得; (3) 企业绿色创新 ( $GI$ ) 城市获得的绿色实用新型专利占总数百分比。

### 4. 控制变量

(1) 经济发展水平 ( $\ln GDP$ ) 对数化后的地区生产总值。(2) 人口规模 ( $\ln PEOP$ ) 对数化后的城市年均常住人口数。(3) 二产比值 ( $SEC$ ) 城市第二产业增加值占比。(4) 三产比值 ( $THIRD$ ) 城市第三产业增加值占比。(5) 能源利

表 1 描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	25 分位数	中位数	75 分位数	最大值
$RSC$	2 805	128	73.625	1	64	128	192	255
$RPC$	2 805	128	73.625	1	64	128	192	255
$SQR$	2 805	128	73.625	1	64	128	192	255
$PQR$	2 805	128	73.625	1	64	128	192	255
$\ln PU$	2 805	2.426	2.231	0	0	2.485	4.234	8.625
$ZS$	2 805	0.715	1.164	0.066	0.267	0.402	0.704	16.987
$GI$	2 805	0.094	0.035	0	0.267	0.089	0.112	0.375
$\ln GDP$	2 805	7.404	0.924	4.896	6.774	7.319	7.991	10.674
$\ln PEOP$	2 805	5.903	0.713	2.97	5.497	5.94	6.405	8.137
$SEC$	2 805	45.529	10.937	11.70	39.24	46.17	52.49	89.34
$THIRD$	2 805	42.881	10.479	10.15	35.51	42.46	48.93	83.87
$ESRATE$	2 805	0.137	0.156	0.008	0.06	0.105	0.158	2.283
$GOV$	2 805	0.203	0.101	0.044	0.136	0.177	0.24	0.916
$RD$	2 805	0.016	0.016	0.001	0.006	0.012	0.021	0.207
$\ln SUN$	2 805	7.563	0.273	6.609	7.383	7.568	7.781	8.128
$WIND$	2 805	2.392	0.946	1.002	1.861	2.152	2.556	7.487

果见表 1。

### (三) 数据来源与描述性统计

选取 2011—2021 年我国 255 个地级市为样本, 主要数据来源为《中国城市统计年鉴》和《中国城市建设统计年鉴》。其他还有: 政府监管 ( $\ln PU$ ) 数据来自北大法宝网中“法律检索”模块, 政企关系 ( $ZS$ ) 数据来自中国分省份市场化指数数据库, 绿色创新 ( $GI$ ) 数据来自国家知识产权局, 日照时数

( $\ln SUN$ ) 和风力( $WIND$ ) 数据来自国家气象科学数据中心。

以“大气十条”和“蓝天三年”政策的重点实施城市为实验组(去除了只实施“大气十条”但未继续实施“蓝天三年”的城市),非重点区域内的城市为对照组,最终包括72个实验组城市(以2015年为节点的城市有48个,以2018年为节点的城市有24个)和183个对照组城市。绘制实验组和对照组  $RSC$ 、 $RPC$ 、 $SQR$  和  $PQR$  的均值变化情况,见图2。

由表1可知, $\ln PU$ 的25分位数为0,表示约25%的样本城市的政府监管力度较小。 $ZS$ 的平均值为0.715,75分位数值为0.704,最大值为16.987,表示约25%的样本城市的政企关系较强。 $GI$ 的平均值为0.094,表示样本城市的绿色实用新型专利获得量占比的平均值为9.4%。

由图2可知,对照组城市的  $RSC$ 、 $RPC$ 、 $SQR$  和  $PQR$  均大于120,在2020年前总体呈波动上升趋势,2020年后有所下降。实验组城市的  $RSC$ 、 $RPC$ 、 $SQR$  和  $PQR$  在2020年前波动下降,但在2020年后有所上升。可看出实验组城市的减污降碳协同度总体优于对照组,尤其在2020年前。

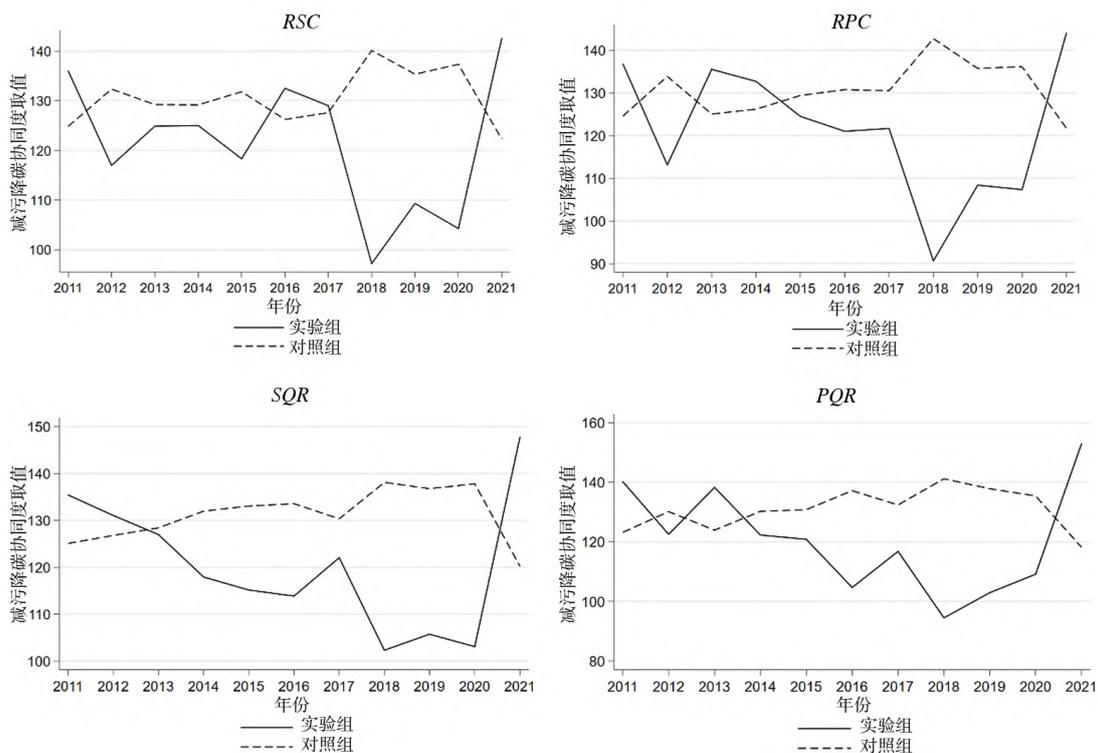


图2 2011—2021年实验组与对照组的平均减污降碳协同度

#### 四、实证结果

##### (一) 基本回归结果

表2为基本回归结果, $Treat \times After$ 对  $RPC$ 、 $SQR$  和  $PQR$  的回归系数分别为  $-19.05$  ( $p < 0.01$ )、 $-10.15$  ( $p < 0.1$ ) 和  $-18.18$  ( $p < 0.01$ ),但对  $RSC$  的回归系数不显著。表明,“大气污染物和温室气体协同控制”政策实施后,“ $PM-CO_2$ ”的排放量和排放强度的协同度均显著提升,“ $SO_2-CO_2$ ”排放强度协同度也显著提升,但“ $SO_2-CO_2$ ”排放量协同度没有明显提高。可能的原因是,与  $PM$  的排放部门主要是高耗能制造业和生活民用部门不同, $SO_2$  的主要排放部门还包括电力行业,且占比较大<sup>[29]</sup>。而2015年全国煤电超低排放改造助力电力行业减排成效显著, $SO_2$  下降了85.2%,完成超低排放改造的燃煤电厂在2017年时就已占比71%<sup>①</sup>。所以  $SO_2$  的末端治理技术在2015年已经相当成熟,排放量的减排空间逐步收窄,因此比起  $CO_2$ ,  $SO_2$  的减排基础较好,在  $SO_2$  和  $CO_2$  减排过程中存在不同步现象。

①数据来自《中国大气污染防治回顾与展望报告2018》。

综上,虽然政策对“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放量协同度无明显影响,但其排放强度协同度 *SQR* 被显著提高。同时,PM 与 CO<sub>2</sub> 的排放量和排放强度也实现了协同降低。假说 1 成立。

(二) 稳健性检验

1. 平行趋势检验

由于研究时间窗口较长,参考王锋和葛星<sup>[30]</sup>的方法,将-7和-6期的数据汇总至-5期,将+6期的数据汇总至+5期。引入各年度虚拟变量和政策变量的乘积后回归,以-4期为基期,结果见图3。所有因变量在政策节点之前的系数均不显著,即实验组和对照组的减污降碳协同度在政策发生年度之前不存在明显差异。政策节点后的回归系数均有个别期显著,表明因变量均受到了政策冲击。平行趋势检验通过。

2. 更换为 PSM-DID 模型

选取卡尺匹配方法(半径为 0.008,小于 0.25 倍的倾向得分的标准差),利用倾向性得分匹配与渐进双重差分法结合的模型(PSM-DID)重新回归,结果如表 3 中列(1)至列(4)。表明政策显著提高了“PM-CO<sub>2</sub>”的排放量和排放强度协同度,也显著提高了“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度。表 2 结论可靠。

表 2 基本回归结果

	(1) <i>RSC</i>	(2) <i>RPC</i>	(3) <i>SQR</i>	(4) <i>PQR</i>
<i>Treat × After</i>	-8.105 (-1.35)	-19.05*** (-3.15)	-10.15* (-1.73)	-18.18*** (-3.07)
<i>lnGDP</i>	57.96*** (4.03)	63.40*** (4.40)	5.379 (0.35)	12.57 (0.79)
<i>lnPEOP</i>	-26.46 (-1.51)	-42.44** (-2.16)	-7.327 (-0.40)	-19.50 (-0.99)
<i>SEC</i>	-3.363*** (-5.44)	-2.809*** (-4.19)	-3.285*** (-4.80)	-3.107*** (-4.43)
<i>THIRD</i>	-3.547*** (-5.77)	-3.034*** (-4.55)	-2.849*** (-4.21)	-2.796*** (-3.95)
<i>ESRATE</i>	69.65*** (3.77)	61.91*** (3.40)	60.60*** (3.94)	48.50*** (2.63)
<i>GOV</i>	74.87 (1.16)	94.46 (1.50)	96.95 (1.51)	108.2* (1.65)
<i>RD</i>	34.16 (0.24)	-117.5 (-0.71)	283.5 (1.35)	181.1 (1.03)
<i>lnSUN</i>	38.14* (1.81)	15.77 (0.74)	3.081 (0.15)	-8.701 (-0.41)
<i>WIND</i>	5.633 (0.82)	3.502 (0.49)	-2.797 (-0.42)	-3.149 (-0.43)
城市 年份	Yes Yes	Yes Yes	Yes Yes	Yes Yes
常数项	-157.4 (-0.75)	12.91 (0.06)	367.0* (1.71)	438.5* (1.96)
R <sup>2</sup>	0.119	0.0979	0.122	0.0959
N	2805	2805	2805	2805

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著,括号内为 *t* 值。

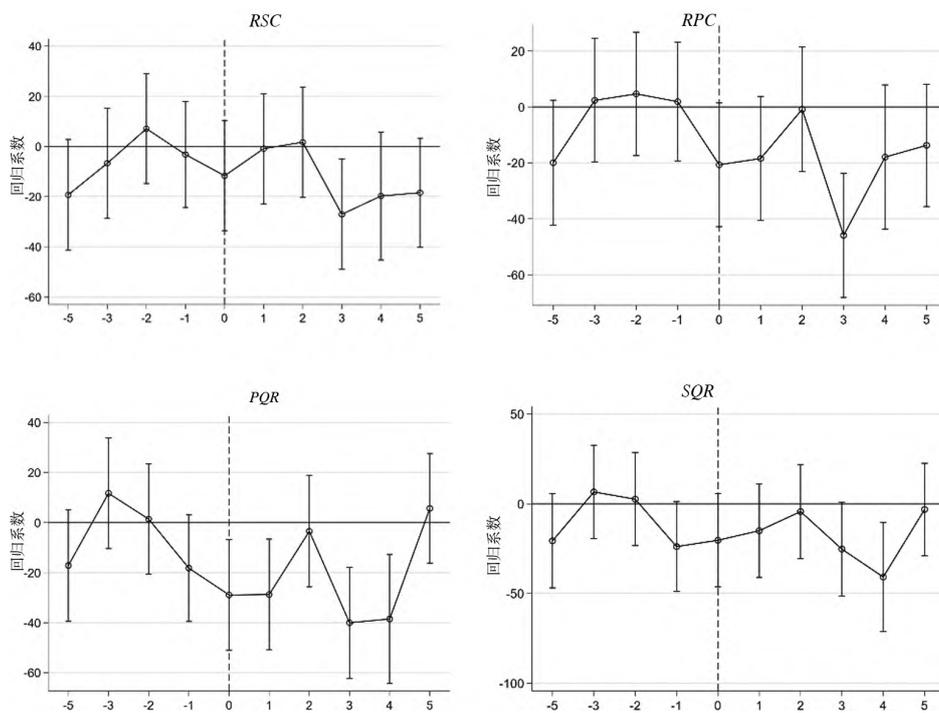


图 3 平行趋势检验

3. 增加控制变量

在原有控制变量基础上再增加地方政府环境关注度(ER)和规模以上的工业企业数量(lnFIRMS)两个变量,结果见表3中列(5)至列(8)。ER用地级市政府工作报告中与环境保护相关的词频占比衡量,lnFIRMS用对数化后的城市当年规模以上的工业企业数量衡量。可知RSC、RPC、SQR和PQR回归系数的符号和显著性都与表2保持一致,再次证明结论稳健。

表3 PSM-DID与增加控制变量的回归结果

	(1) RSC	(2) RPC	(3) SQR	(4) PQR	(5) RSC	(6) RPC	(7) SQR	(8) PQR
<i>Treat × After</i>	-6.545 (-1.04)	-20.15*** (-3.17)	-10.39* (-1.66)	-18.92*** (-2.97)	-8.214 (-1.40)	-19.32*** (-3.47)	-10.29* (-1.67)	-18.58*** (-3.15)
ER					-2099.5 (-1.63)	-338.1 (-0.27)	-738.0 (-0.56)	157.2 (0.13)
lnFIRMS					4.014 (0.50)	-6.752 (-0.77)	-1.564 (-0.20)	-12.02 (-1.37)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	-77.36 (-0.34)	103.1 (0.45)	414.6* (1.85)	575.2** (2.53)	-116.6 (-0.54)	25.99 (0.11)	363.5 (1.64)	433.7* (1.81)
R <sup>2</sup>	0.128	0.109	0.132	0.108	0.0228	0.0213	0.0242	0.0223
N	2597	2597	2597	2597	2805	2805	2805	2805

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

4. 排除2013年“大气十条”政策颁布的影响

“大气十条”于2013年颁布,在2015年之前并没有提出“大气污染物与温室气体协同控制”的政策要求,为排除2013年政策颁布的节点对大气污染治理产生的影响,将时间窗口缩短至2013—2017年,以2015年为节点,新的核心解释变量以DID表示,结果见表4。RSC、RPC、SQR和PQR对应的系数在符号和显著性上与表2一致,表示在“大气十条”实施期间,2015年提出的“大气污染物与温室气体协同控制”政策作用显著,支持假说1,结论稳健。

表4 缩短时间窗口后的回归结果

	(1) RSC	(2) RPC	(3) SQR	(4) PQR
<i>DID</i>	-9.534 (-0.92)	-32.94*** (-3.02)	-17.64* (-1.73)	-35.48*** (-3.21)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	-784.0* (-1.85)	-107.1 (-0.23)	-468.4 (-1.13)	107.1 (0.24)
R <sup>2</sup>	0.0635	0.0574	0.0523	0.0506
N	1275	1275	1275	1275

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

(三) 作用机制分析

接下来检验政府监管、政企关系和企业绿色创新的传导机制作用,结果见表5。

对于政府监管(LNPU),*Treat × After*对LNPU的回归系数显著为正(1.191,  $p < 0.01$ )。这说明政策实施后,政府明显提高了监管水平,环保处罚案件数量显著上升,这对于企业整改具有较大的威慑作用,促进企业加大污染治理投入。当企业重视起减污降碳协同治理,更有可能采取减污降碳协同性更强的污染治理措施,尤其是高污染排污单位,有利于其减污降碳协同度的提高。因此,假说2被支持。

对于政企关系(ZS),*Treat × After*对ZS的回归系数显著为负(-0.0729,  $p < 0.05$ )。这说明,修订版的“大气十条”和“蓝天三年”政策实施后,企业和政府关系的亲近性明显下降。政企关系决定着政策实施的质量,如果政企关系较弱,那么政企合谋的发生概率就会较低,企业逃避环保监管的行为难

以受到政府的包庇,故而进行积极整改,满足减污降碳的政策要求。列(2)的回归结果支持了假说3。

对于企业绿色创新(GI),  $Treat \times After$  对GI的回归系数显著为正(0.00956,  $p < 0.01$ ),即“大气污染物和温室气体协同控制”政策显著提升了重点城市的企业绿色创新水平,企业获得的绿色实用新型专利的数量占比显著提高,假说4被支持。脱硫、脱硝、高效除尘、挥发性有机物控制等方面的技术研发被加强后,将克服“减污增碳”或“减碳增污”的“跷跷板”效应,提高减污降碳协同度。

(四) 异质性分析

高污染企业数量往往决定了城市的能源消耗水平。为甄别“大气污染物与温室气体协同控制”政策在能耗水平不同的城市中的效果差异,接下来从高污染上市公司和非上市高耗能企业两个角度分别进行异质性分析。

从高污染上市公司角度,以城市当年是否含有电力、钢铁、有色金属、建材、石油加工和化工六大高污染行业上市公司为依据,将研究样本划分为“有高污染上市公司组”和“无高污染上市公司组”,根据模型(1)分别回归,结果见表6。

表5 政策的作用机制分析

	(1) LNPU	(2) ZS	(3) GI
$Treat \times After$	1.191*** (7.77)	-0.0729** (-2.55)	0.00956*** (4.02)
控制变量	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes
常数项	0.908 (0.21)	-1.971*** (-2.74)	0.355*** (3.29)
R <sup>2</sup>	0.767	0.151	0.268
N	2805	2805	2805

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

表6 异质性分析: 有无高污染上市公司

	无高污染 RSC	有高污染 RSC	无高污染 RPC	有高污染 RPC	无高污染 SQR	有高污染 SQR	无高污染 PQR	有高污染 PQR
$Treat \times After$	0.805 (0.07)	-14.44* (-1.88)	-14.95 (-1.34)	-21.02*** (-2.62)	-9.067 (-0.81)	-9.842 (-1.28)	-21.26* (-1.92)	-13.62* (-1.69)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	-126.1 (-0.33)	-131.5 (-0.46)	-137.1 (-0.37)	28.31 (0.10)	632.2* (1.68)	180.7 (0.64)	386.0 (1.04)	365.9 (1.23)
R <sup>2</sup>	0.134	0.144	0.117	0.114	0.135	0.147	0.131	0.101
N	1274	1531	1274	1531	1274	1531	1274	1531

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

由表6可知,“有高污染上市公司组”城市显著提升了RSC、RPC和PQR,但“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度SQR没有显著提升。可能的原因是,排放强度协同度和城市的生产总值的变化有关。在“大气十条”和“蓝天三年”政策实施期间,重污染企业面临“两高”项目被削减的压力,经济效益会随之波动,加大了城市生产总值增长的不确定性。因此SO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的排放强度同时下降的难度也会加剧。

从非上市高耗能企业角度,考虑到资源型城市是以自然资源开采加工为主导产业的城市,高耗能企业往往也较多,将样本按照资源型城市和非资源型城市分组后分别回归,结果见表7。

可知,非资源型城市显著提高了“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”和“PM-CO<sub>2</sub>”排放量(强度)协同度,而资源型城市仅显著提高了“PM-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度。资源型城市减排基数大,大气污染物和CO<sub>2</sub>的源头治理相关措施需要逐步落地,高耗能中小企业在污染物和CO<sub>2</sub>的协同减排上仍有较大的提升空间。

表7 异质性分析:不同资源类型城市

	非资源型 RSC	资源型 RSC	非资源型 RPC	资源型 RPC	非资源型 SQR	资源型 SQR	非资源型 PQR	资源型 PQR
<i>Treat × After</i>	-17.43** (-2.17)	7.075 (0.70)	-24.21*** (-2.99)	-15.02 (-1.46)	-15.07* (-1.92)	0.356 (0.03)	-18.40** (-2.30)	-18.37* (-1.75)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	-144.9 (-0.54)	-52.79 (-0.15)	92.25 (0.34)	-246.1 (-0.67)	320.8 (1.23)	491.6 (1.32)	476.4* (1.79)	235.2 (0.62)
R <sup>2</sup>	0.108	0.150	0.0955	0.117	0.128	0.142	0.0932	0.112
N	1705	1100	1705	1100	1705	1100	1705	1100

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

(五) 进一步分析

引入对数化后的城市CO<sub>2</sub>排放量(lnCO<sub>2</sub>)、SO<sub>2</sub>排放量(lnSO<sub>2</sub>)、PM排放量(lnPM)、CO<sub>2</sub>排放强度(lnCG)、SO<sub>2</sub>排放强度(lnSG)和PM排放强度(lnPG)分别作为因变量,进行双重差分回归,结果如表8所示。由表8可知,“大气污染物和温室气体协同控制”政策显著降低了CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>以及PM的排放量和排放强度,单边的减污效应和降碳效应均非常显著。单边评估结果主要刻画碳污排放量(强度)在政策实施后多年的平均变动情况,却难以反映污染物与CO<sub>2</sub>减排同向性的变化,容易掩盖比如“减硫增碳”等的不同步现象。因此,未来在评估环境政策效果时,建议在单边评估减污和降碳效应的基础上增加减排同向性分析,全面把握减污降碳协同控制的实现情况。

表8 单边效应分析

	(1) lnCO <sub>2</sub>	(2) lnSO <sub>2</sub>	(3) lnPM	(4) lnCG	(5) lnSG	(6) lnPG
<i>Treat × After</i>	-0.0385* (-1.73)	-0.265*** (-6.65)	-0.358*** (-7.52)	-0.0508** (-2.27)	-0.264*** (-7.03)	-0.377*** (-7.91)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	5.989*** (7.40)	10.45*** (7.22)	12.08*** (6.97)	5.775*** (6.51)	11.56*** (7.74)	11.79*** (6.23)
R <sup>2</sup>	0.282	0.790	0.553	0.473	0.864	0.682
N	2805	2805	2805	2805	2805	2805

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

五、研究结论与政策建议

本文将“大气十条”和“蓝天三年”视为连贯的同一政策,检验了其于2015和2018年提出的“大气污染物和温室气体协同控制”政策作用效果,并进行了机制和异质性分析。研究结论有:(1)重点区域城市的“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度和“PM-CO<sub>2</sub>”排放量(强度)协同度都显著提高,但政策对“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放量协同度无显著影响。这表明“大气污染物和温室气体协同控制”政策在总体上显著提高了减污降碳协同度,但SO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>在排放量上尚存在减排不同步现象。(2)提升政府监管水平、弱化政企关系以及增强企业绿色创新是“大气污染物和温室气体协同控制”政策发挥作用的作用机制。(3)异质性分析表明,有高污染上市公司的城市在政策实施后显著提高了“SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度和“PM-CO<sub>2</sub>”排放量(强度)协同度,往往包含更多高耗能中小企业的资源型城市仅显著提高了“PM-CO<sub>2</sub>”排放强度协同度。这说明,比起高污染上市公司,高耗能中小企业在部署污染物和CO<sub>2</sub>的协同

减排措施上仍存在较大的改善空间。(4)进一步分析显示,“大气污染物和温室气体协同控制”政策显著降低了CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和PM的排放量和排放强度,减污和降碳的单边效应均非常显著。

根据结论提出以下政策建议:(1)要继续将“大气污染物和温室气体协同控制”的理念融入现存减污政策中,现阶段的“大气十条”和“蓝天三年”总体收到了较好的减污降碳协同控制效果。未来在出台持续深入打好蓝天保卫战相关政策时,应朝着融入“大气污染物和温室气体协同控制”理念的方向进行。(2)城市管理部门应提高对环保处罚案件的重视程度,提高政府监管和政府信息公开水平,树立亲清政企关系的原则,加大对企业绿色创新的资金支持,推进减污降碳协同治理工作。(3)各地政府应重点加强对高污染企业协同减排措施的监管,尤其是非上市的中小企业。下一步也要结合城市资源类型出台更有针对性的持续深入打好蓝天保卫战政策,推动减污降碳协同治理。(4)未来在评估环境政策效果时,建议在单边评估减污降碳效应的基础上增加碳污的减排同向性分析。

#### 参考文献:

- [1]郑逸璇,宋晓晖,周佳,等.减污降碳协同增效的关键路径与政策研究[J].中国环境管理,2021,13(5):45-51.
- [2]毛显强,曾桢,邢有凯,等.从理念到行动:温室气体与局地污染物减排的协同效益与协同控制研究综述[J].气候变化研究进展,2021,17(3):255-267.
- [3]YU Y Y, DAI C, WEI Y G, et al. Air pollution prevention and control action plan substantially reduced PM<sub>2.5</sub> concentration in China [J]. Energy economics, 2022, 113: 106206.
- [4]罗知,李浩然.“大气十条”政策的实施对空气质量的影响[J].中国工业经济,2018(9):136-154.
- [5]陈林,肖倩冰,蓝淑菁.基于产业结构门槛效应模型的环境政策治污效益评估——以《大气污染防治行动计划》为例[J].资源科学,2021,43(2):341-356.
- [6]武祯妮,尹应凯.大气污染防治行动打好了资源型城市的“蓝天保卫战”吗? [J].产业经济研究,2022(1):43-56.
- [7]李少林,王齐齐.“大气十条”政策的节能降碳效果评估与创新中介效应[J].环境科学,2023,44(4):1985-1997.
- [8]MAJI K J, LI V O K, LAM J C K. Effects of China's current air pollution prevention and control action plan on air pollution patterns, health risks and mortalities in Beijing 2014 – 2018 [J]. Chemosphere, 2020, 260: 127572.
- [9]范丹,叶昱圻,王维国.空气污染治理与公众健康——来自“大气十条”政策的证据[J].统计研究,2021,38(9):60-74.
- [10]刘家民,马晓钰,赵斌.“大气十条”政策如何重塑中心——外围产业空间布局? [J].南京财经大学学报,2023(6):67-78.
- [11]JIANG X, LI G L, FU W. Government environmental governance, structural adjustment and air quality: a quasi-natural experiment based on the three-year action plan to win the blue sky defense war [J]. Journal of environmental management, 2021, 277: 111470.
- [12]蔡兴.“蓝天保卫战”空气污染治理效应评估[J].中南大学学报(社会科学版),2022,28(5):78-91.
- [13]邢有凯,毛显强,冯相昭,等.城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估——以唐山市为例[J].中国环境管理,2020,12(4):20-28.
- [14]毛显强,曾桢,刘胜强,等.钢铁行业技术减排措施硫、氮、碳协同控制效应评价研究[J].环境科学学报,2012,32(5):1253-1260.
- [15]杨儒浦,王敏,胡敬韬,等.工业园区减污降碳协同增效评价方法及实证研究[J].环境科学研究,2023,36(2):422-430.
- [16]李红霞,郝石明,要蓉蓉.环境与经济目标设置何以影响减污降碳协同管理绩效? [J].中国人口·资源与环境,2022,32(11):109-120.
- [17]GAO X W, LIU N, HUA Y J. Environmental protection tax law on the synergy of pollution reduction and carbon reduction in China: evidence from a panel data of 107 cities. [J]. Sustainable production and consumption, 2022, 33: 425-437.
- [18]王贤彬,钟夏洋.中央垂直监管如何影响企业环境绩效? ——基于《环境空气质量标准》的准自然实验[J].产业经济研究,2022(6):29-42.

- [19]张明,孙欣然,宋妍.中央环保督察与大气污染治理——基于纵向政府和污染企业的演化博弈分析[J].中国管理科学,2023,31(4):171-182.
- [20]柯劭婧,马欧阳,许年行.竞争对手环保处罚的溢出效应研究——基于企业绿色创新的视角[J].管理科学学报,2023,26(6):21-38.
- [21]李智超,刘少丹,杨帆.环保督察、政商关系与空气污染治理效果——基于中央环保督察的准实验研究[J].公共管理评论,2021,3(4):105-131.
- [22]许冰,来逢波.交通运输结构优化与城市绿色转型:来自地铁扩建的证据[J].浙江工商大学学报,2024(1):97-109.
- [23]张毅,严星.经济环境、环境规制类型与省域节能减排技术创新——基于异质性科研主体的实证分析[J].科技进步与对策,2021,38(8):41-49.
- [24]唐礼智,周林,杨梦俊.环境规制与企业绿色创新——基于“大气十条”政策的实证研究[J].统计研究,2022,39(12):55-68.
- [25]郭沛,梁栋.低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率——基于低碳试点城市的准自然实验研究[J].自然资源学报,2022,37(7):1876-1892.
- [26]吴建新,郭智勇.基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J].统计研究,2016,33(1):54-60.
- [27]王小鲁,樊纲,余静文.中国分省份市场化报告指数(2016)[M].北京:社会科学文献出版社,2017.
- [28]冯伟.“筑巢”与“引凤”:政商关系对FDI的作用特征与机制分析[J].财贸研究,2021,32(7):27-41.
- [29]ZHENG B, TONG D, LI M, et al. Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions [J]. Atmospheric chemistry and physics, 2018, 18(19): 14095-14111.
- [30]王锋,葛星.低碳转型冲击就业吗——来自低碳城市试点的经验证据[J].中国工业经济,2022(5):81-99.

(责任编辑:陈 春;英文校对:谈书墨)

## Policy Implementation Effect of Coordinated Control for Air Pollutants and Greenhouse Gases

LIU Na<sup>1</sup>, YANG Siyue<sup>2</sup>, GAO Xinwei<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

2. School of Public Policy and Administration, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Promoting synergistic pollution reduction and carbon reduction is an inevitable requirement for deepening the battle against pollution and achieving carbon peak. This study explores the Chinese government's "Action Plan for Prevention and Control of Air Pollution" and the "Three-Year Action Plan for Winning the Blue-Sky Defense War" as a coherent policy. It uses a progressive difference-in-differences method to explore the policy effect on the "coordinated control of air pollutants and greenhouse gases" proposed in 2015 and 2018. Research shows that this policy has significantly improved the synergy degree of "SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>" intensity and the degree of the synergy of "PM-CO<sub>2</sub>" emissions (intensity) but has no significant impact on that of "SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>" emissions. Improving the level of government supervision, weakening the relationship between government and enterprises, and enhancing corporate green innovation are shown to be the main mechanisms by which the policy is transmitted. Heterogeneity analysis shows that policy effects are significantly different in cities with different levels of energy consumption. Compared with highly polluting listed companies, high energy-consuming small and medium-sized enterprises still have substantial room for improvement in collaborative emission reduction measures for air pollutants and CO<sub>2</sub>. The findings provide inspiration for China to optimize related policies to "continue to fight in depth to defend the blue sky".

**Key words:** action plan for prevention and control of air pollution; three-year action plan for winning the blue-sky defense war; coordinated control of air pollutants and greenhouse gases; synergy degree of pollution reduction and carbon reduction; progressive difference-in-differences method