

DOI: 10.5846/stxb202107262020

张广来,张宁,任亚运.大气污染规制对城市空气污染的防治成效——基于准实验分析.生态学报,2022,42(19):7932-7940.

Zhang G L, Zhang N, Ren Y Y. The Effect of air pollution regulation on urban air pollution prevention and control: Evidence from a Quasi-Natural Experiment. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(19): 7932-7940.

大气污染规制对城市空气污染的防治成效 ——基于准实验分析

张广来¹, 张 宁^{2,*}, 任亚运³

1 江西财经大学经济学院, 南昌 330077

2 山东大学蓝绿发展研究院, 威海 264200

3 贵州财经大学经济学院, 贵阳 550025

摘要: 以 2003 年实施的大气污染防治重点城市政策为准自然实验, 运用双重差分模型从区域层面分析了大气污染规制对城市空气污染治理的影响, 研究发现: (1) 大气污染规制在 1% 的显著性水平下降低了重点城市的工业二氧化硫排放强度, 工业二氧化硫排放量以及城市 PM_{2.5} 年均浓度值。 (2) 大气污染防治重点城市政策实施后的 9 年时间内有效减少了 12215.8 万 t 城市工业二氧化硫排放量, 并且使得城市 PM_{2.5} 年均浓度改善 2.97 μg/m³, 下降比分别达到了 36.2% 和 8.5%, 平均每年减少了 3.7% 的城市工业二氧化硫排放量并降低 0.944% 的城市 PM_{2.5} 浓度值。 (3) 大气污染防治重点城市政策对于城市空气污染治理主要是通过减少能源消耗量、增加城市污染治理力度、促进规制地区产业结构转型升级和提升生产技术水平等渠道予以实现。

关键词: 大气污染防治重点城市政策; 城市空气污染; 防治成效; 双重差分模型

The Effect of air pollution regulation on urban air pollution prevention and control: Evidence from a Quasi-Natural Experiment

ZHANG Guanglai¹, ZHANG Ning^{2,*}, REN Yayun³

1 School of Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330077, China

2 Institute of Blue and Green Development, Shandong University, Weihai 264200, China

3 School of economics, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

Abstract: Based on the quasi-natural experiment of the key city policy of air pollution control implemented in 2003, this paper analyzes the impact of air pollution regulation on urban air pollution control from the regional level by using Differences-in-Difference model. The results show that: (1) air pollution regulation significantly reduce the intensity of industrial sulfur dioxide emission, industrial sulfur dioxide emission and PM_{2.5} annual concentration in key cities. (2) In the nine years after the implementation of the policy, 122.158 million tons of urban industrial sulfur dioxide emissions have been effectively reduced, and the average annual concentration of PM_{2.5} has been improved by 2.97 μg/m³, with the reduction ratio of 36.2% and 8.5% respectively. The average annual sulfur dioxide emission of urban industry has been reduced by 3.7% and the urban PM_{2.5} concentration has been reduced by 0.944%. (3) The key city policy of air pollution prevention and control for urban air pollution control is mainly realized by reducing energy consumption, increasing the intensity of urban pollution control, promoting the transformation and upgrading of regional industrial structure and improving the level of production technology.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72033005); 中国博士后科学基金项目 (2021M701507); 教育部人文社会科学研究项目 (20YJC790014); 江西省教育厅科技项目 (GJJ200534)

收稿日期: 2021-07-26; 网络出版日期: 2022-05-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangn928@126.com

Key Words: air pollution prevention and control key city policy; urban air pollution; regulation effect; DID

大气污染作为“头号”环境问题,已被证实对人类的生命健康和社会经济发展具有显著的负面影响。根据《2018 中国生态环境状况公报》统计数据显示,2018 年全国所有地级及以上城市中有 217 个城市(占比 64.2%)的环境空气质量属于超标,所有城市全年空气质量发生重度污染和严重污染的天数分别为 1899 天次和 822 天次。面对日趋严峻的大气污染防治形势,中国政府实施了一系列环境治理政策以不断地强化大气污染规制。但目前关于环境规制可否促进城市空气质量改善从而实现区域环境治理的讨论中,主要存在有“倒逼减排”与“绿色悖论”的双重结论。持“倒逼减排”观点的学者们认为:首先,环境规制实施后,政府可能通过征收能源税或向污染排放企业征收排污费等手段增加企业的生产成本,进而限制能源的使用量。同时,政府还可能通过补贴新能源等方式,鼓励更多的企业使用更加清洁的替代能源,进而不断地减少企业生产过程中对化石能源的使用量,实现减少污染排放的目的;其次,合理有效的大气污染规制能够在一定程度上减少高耗能产业和高污染企业的盈利空间,使得高污染行业的企业竞争力有所下降,并通过清洁型产业竞争力的提升和生产规模的扩大促使城市产业结构转型升级,进而改善城市空气质量^[1-2];再次,地方政府在严格的环境规制目标任务下,会通过增加污染治理投资额的方式进行污染物的末端治理;最后,大气污染规制有可能会推动企业进行技术创新,优化企业的资源配置,提升企业竞争力和全要素生产率,实现“创新波特效应”。企业通过更多地采用绿色生产技术和提升生产效率的方式从而降低污染物的排放,实现空气质量的有效改善^[3-4]。综上,可以得知大气污染规制主要通过改变地区能源消耗量、污染治理力度、城市产业结构和生产技术水平等方面对地区空气质量产生影响。

但另一部分持“绿色悖论”的学者研究发现,伴随着环境规制力度的提升,短期内可能会产生“显示”效应,即资源所有者预计到能源开采和使用成本在未来不断提升后,会加速对现有能源的开采和使用,导致短期内的大量能源消耗和污染排放^[5]。此外,新能源技术的推广和清洁能源使用技术升级带来的能源替代效应,也会在一定程度上倒逼现有的资源所有者对化石能源的加速开发,从而产生过度的能源消耗和污染排放^[6-7]。与此同时,国内也有部分学者针对环境规制的“绿色悖论”影响进行了检验佐证^[8-9]。因此,大气污染规制政策实施后,究竟是产生了“倒逼减排”还是“绿色悖论”还有待进一步验证讨论,即大气污染规制的环境治理效应尚未确定。基于此,本文以 2003 年实施的大气污染防治重点城市政策为准自然实验,运用双重差分模型从区域层面分析大气污染规制对城市空气污染治理的影响效应及内在传导机制。

1 实证研究设计

1.1 政策背景与模型设定

为应对严峻的大气污染问题以及保护和改善生态环境,我国于 2002 年由原国家环境保护总局正式印发了《大气污染防治重点城市划定方案》的通知,要求根据城市环境污染现状和综合经济能力,以及相关省政府对 2005 年大气环境质量达标的承诺,将 1998 年划定的 47 个环保重点城市,以及《酸雨和二氧化硫污染防治“十五”计划》中要求在 2005 年达标的双控区城市、当前大气环境污染超标但大概率可于 2005 年达标的城市和部分亟需增强保护的旅游文化与生态文明城市等 66 个城市作为重点选择对象,总计设立 113 个大气污染防治重点城市。针对已设立的大气污染防治重点城市,我国于 2003 年 1 月 6 日正式出台了《关于大气污染防治重点城市限期达标工作的通知》,要求所有重点城市实施严格的环境管控措施治理大气污染和完成限期达标工作,并定期公布各重点城市的环境空气质量,对逾期未达标的大气污染防治重点城市,将严格限制新建对空气产生污染的项目。

基于上述政策的实施与推行,各重点城市空气质量得到积极改善。因此,本文将中国大气污染防治重点城市政策视为大气污染规制的一项准自然实验,选择“大气污染防治重点城市”作为处理组,“非大气污染防治重点城市”作为对照组,利用双重差分法(Difference-in-Differences, DID)分析大气污染防治重点城市政策

的空气净化治理效应。在考虑模型设定有效性的基础上,本文选择将 2003 年作为研究大气污染防治重点城市政策效果的基期。此外,为了保证 DID 估计的有效性以及政策评估效应不受到事前分组的影响,本文依照政策制定标准,对 2000 年全国有大气环境质量监测数据的 338 个城市综合经济能力及环境污染现状和城市是否属于双控区城市、大气环境质量是否超达到二级标准、是否国家重点旅游文化城市进行控制,从而有效地保证 DID 的分组随机性^[10]。而为了控制以上分组选择标准的时间变化差异对 DID 模型估计结果的影响,本文借鉴已有文献的处理方法^[11],将各分组选择标准变量与时间多项进行交乘。本文基准 DID 估计模型如公式(1)所示:

$$Y_{it} = \beta_1 \text{Treatment}_i \times \text{Post 2003}_t + (S \times f(t))' \theta + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 i 表示的是城市, t 表示年份。被解释变量 Y_{it} 为城市层面大气污染防治成效的被解释变量。 Treatment_i 为大气污染防治政策的虚拟变量,当城市属于大气污染防治重点城市时,即城市属于处理组时, $\text{Treatment}_i = 1$,反之,则 $\text{Treatment}_i = 0$ 。 Post 2003_t 表示大气污染防治政策的实施时间的虚拟变量, $\text{Post 2003}_t = 1$ 表示的是政策实施后($t \geq 2003$), $\text{Post 2003}_t = 0$ 表示政策实施前($t < 2003$)。 S 是大气污染防治重点城市的 6 个分组选择变量, $f(t)$ 是时间 t 的多次项,分别用 S 乘以时间 t 、 t^2 和 t^3 作为控制变量。 α_i 和 γ_t 分别表示城市与年份的固定效应。 ε_{it} 为受时间变化影响的随机误差项。

1.2 数据来源和变量说明

1.2.1 数据来源

本文的研究数据最终为 1998 年至 2012 年的中国城市面板数据,数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》和各城市历年国民经济发展统计公报等。此外,文中所使用的城市 PM2.5 浓度指标来自哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的卫星监测数据。

1.2.2 变量说明

(1) 被解释变量为城市空气净化治理变量,分别用城市的工业 SO₂ 排放量、工业 SO₂ 排放强度和 PM2.5 年均浓度予以表示,为了保证所选指标的平稳性,对各个指标进行对数化处理。

(2) 控制变量为前文所提到的第二批大气污染防治重点城市的分组选择标准变量。分别为城市是否属于双控区城市、大气环境质量是否超达到二级标准、是否国家重点旅游文化城市、城市总人口、人均 GDP 和城市单位面积二氧化硫排放量。

(3) 机制分析变量。本文选择城市能源消耗量、城市治污投入、产业结构变化和城市绿色全要素生产率分别反映地区能源消耗量、污染治理力度、城市产业结构和生产技术水平这四个影响城市空气质量的具体机制。其中,城市能源消耗量用当年实际能源使用量(对数形式)予以表示,城市治污投入用环境污染治理投资总额(对数形式)反映,产业结构变化分别用第二产业和第三产业占城市 GDP 比重表示,城市绿色全要素生产率则用考虑负产出下的城市绿色发展水平予以表示,本文使用两期修正权重非径向方向距离函数进行计算^[12]。

2 实证结果

2.1 基准回归结果

基于前文的分析,本文首先对大气污染防治重点城市政策的污染防治成效进行实证检验。表 1 基准回归结果中的被解释变量分别为城市的工业 SO₂ 排放强度($\ln_SO_2_density$)、工业 SO₂ 排放量(\ln_SO_2) 和 PM2.5 年均浓度($\ln_PM2.5$)。由表 1 发现,无论是否加入政策分组选择标准变量,所有回归结果均显著为负。基准回归结果表明,大气污染防治重点城市政策在 1% 的显著性水平下降低了重点城市的工业 SO₂ 排放强度,工业 SO₂ 排放量以及城市 PM2.5 年均浓度值,证明了大气污染防治重点城市政策对于城市空气净化治理产生了显著的影响,有利于重点城市空气质量的改善,并减少城市工业二氧化硫排放量。

表 1 大气污染防治重点城市政策对城市空气污染治理的影响

Table 1 The Effect of air pollution regulation on urban air pollution prevention and control

被解释变量: Explained Variable	ln_SO ₂ _density		ln_SO ₂		ln_PM2.5	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Post×Treatment	-0.321 *** (0.115)	-0.362 *** (0.114)	-0.300 *** (0.108)	-0.333 *** (0.113)	-0.067 *** (0.021)	-0.085 *** (0.023)
S×t		YES		YES		YES
S×t ²		YES		YES		YES
S×t ³		YES		YES		YES
城市固定效应 City fixed effect	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应 Year fixed effect	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值 Observations	3073	3073	3073	3073	3075	3075

回归系数下汇报的是聚类在城市层面的稳健标准误,***表示1%的显著性水平;ln_SO₂_density表示工业二氧化硫排放强度的对数,ln_SO₂表示工业二氧化硫排放量的对数,ln_PM2.5表示PM2.5年均浓度的对数,Post表示政策实施前后的时间虚拟变量,Treatment表示政策实施的分组表虚拟变量,t表示时间趋势项,S表示的是大气污染防治重点城市的分组选择标准变量,所有回归结果均控制了城市和年份固定效应;限于篇幅,基准回归的表中没有汇报各控制变量的回归结果

2.2 城市空气污染治理效应的量化计算

根据表1中的模型回归系数结果,可以进一步计算出2003年实施大气污染防治重点城市政策后,城市空气质量改善的大小幅度与城市工业SO₂减排的绝对量。具体来看,大气污染防治重点城市政策使得重点城市工业SO₂排放强度降低了36.2%,使得城市工业SO₂排放量减少了33.3%,并使得城市PM2.5年均浓度值下降了8.5%。而本文研究的政策实施时间为2003—2012年(共9年),因此可以得到大气污染防治重点城市政策在2003年实施后平均每年降低城市PM2.5浓度0.944%,年均减少城市工业SO₂排放量3.7%和工业SO₂排放强度4.022%。进一步地,由于样本期内所有非大气污染防治重点城市(控制组样本)的工业SO₂排放强度、城市工业SO₂排放量和城市PM2.5年均浓度的平均值分别为111.4万t/亿元、36684.96万t和34.936μg/m³,因此可以计算出大气污染防治重点城市政策的实施后的9年时间内有效减少了12215.8万t城市工业SO₂排放量与降低城市工业SO₂排放强度40.327万t/亿元,并且使得城市PM2.5年均浓度改善2.97μg/m³。

由于大气污染防治重点城市政策是一项典型的命令控制型环境规制政策,中央政府在政策颁布后实施了多项严格的管控措施,如大气污染防治重点城市应加快城市能源结构调整、减少城市原煤消费(通过推广清洁能源、划定高污染性燃料禁燃区等方式)并发展洁净煤使用技术、促进热电联产与集中供热发展、推行清洁生产、强化机动车污染排放监督管理、控制城市建筑工地与道路运输中的扬尘污染、提高城市绿化水平(最大限度减少裸露地面)和降低城市大气环境中悬浮颗粒物浓度等措施改善城市空气质量,并由原国家环保总局等部门对以上措施的落地与实施进行有效监督检查。因此,在严格的规制措施下,大气污染防治重点城市的空气质量得到了有效治理。但是,此处计算的城市空气污染治理效应结果可能还具有不确定性,主要源于同期其它可能影响大气污染治理的相关环境政策,如:2002年实施的SO₂排放权交易试点政策和2006年实施的“十一五”计划中对SO₂减排目标进行设定并纳入官员绩效考核的规制政策。这些同期发生的大气污染规制政策可能导致本部分空气污染治理效应量化结果的高估和不确定。因此,本文将在后续稳健性检验部分进一步考虑同期其它大气环境政策的影响,从而保证本文估计结果的可靠性。

2.3 稳健性检验

2.3.1 平行趋势假设检验和动态效应分析

DID模型得以成立的重要条件之一即满足平行趋势假定。在本文中,也就是要求处理组城市和控制组城市在大气污染防治重点城市政策实施前,城市空气质量的变化趋势应该保持一致。本文借鉴已有文献^[13],通过(2)式的设定,不仅可以检验大气污染规制发生前处理组和控制组样本是否满足平行趋势假设,还能进行政策影响效果的动态效应分析,具体模型设定如下:

$$Y_{it} = \sum_{\mu} \beta_{\mu} \text{Treatment}_i \times \text{Post}^{\mu} + (S \times f(t))' \theta + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中,下标 μ 代表的是大气污染防治重点城市政策实施的第 μ 年,本文分别检验了政策前三年的平行趋势假定以及政策实施后四年的动态效应情况,因此将 μ 分别取值为-3(2000年)、-2(2001年)、-1(2002年)、0(2003年)、1(2004年)、2(2005年)、3(2006年)和4(2007年),而 Post^{μ} 是年份虚拟变量,如年份为2000年,则 $\text{Post}^{-3}=1$,其余均为0。在(2)式中,重点关注的是系数 β_{μ} 的变化,DID模型满足平行趋势假设检验的条件是 β_{2000} 、 β_{2001} 和 β_{2002} 都不显著,而 $\beta_{2003 \leq \mu \leq 2007}$ 是显著的。此外,通过比较 $\beta_{2003 \leq \mu \leq 2007}$ 的变化情况,能够分析大气污染规制对于城市空气污染治理的动态影响效果。

本文将不同被解释变量的动态效应回归结果分别用图1、图2和图3予以反映。从以下动态效应图中可以看出在2003年之前,大气污染规制的边际效应基本在0值附近,而从2003年大气污染防治重点城市政策实施后,边际效应线迅速向右下方倾斜,且城市工业 SO_2 排放强度和城市工业 SO_2 排放量的回归系数结果在2003年以后基本都在-0.2值线以下,说明了大气污染规制对城市污染物排放产生了显著的负向冲击影响。而城市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度的回归系数结果在2004年以后才开始显著为负,且基本集中在-0.1值线上下,同样说明了大气污染规制对城市空气质量产生了显著的改善作用,但大气污染规制对城市空气质量的优化效应具有一定的时滞性。

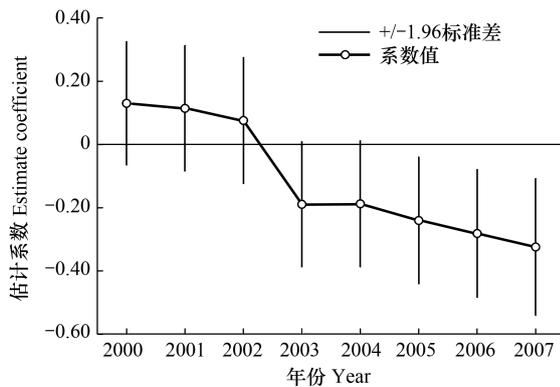


图1 城市工业 SO_2 排放强度的动态效应图

Fig.1 Dynamic effect diagram for urban industry SO_2 emission intensity

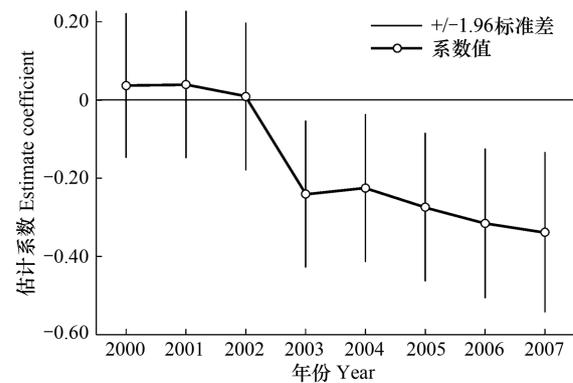


图2 城市工业 SO_2 排放量的动态效应图

Fig.2 Dynamic effect diagram for urban industry SO_2 emission

2.3.2 考虑同期其它大气环境政策的稳健性检验

为了排除同期其它实施的大气污染环境规制政策影响,本研究考虑了2006年起实施的新一轮“十一五”计划中对 SO_2 减排目标进行设定并纳入官员绩效考核的规制影响。国务院于2006年下发了《关于“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划的批复》,批复中列出了2005年各省 SO_2 排放量、2010年各省减排百分比目标,同时各省副省长也签署了省级污染减排目标正式合同。因此,考虑到该政策也可能对城市空气污染治理产生影响,进而有可能使得本文估计结果产生偏差,故本部分稳健性检验将样本时间缩短为1998—2005年进行分析,主要回归结果见表2的第(1)—(3)列。此外,还有学者发现市场交易型环境规制同样会对

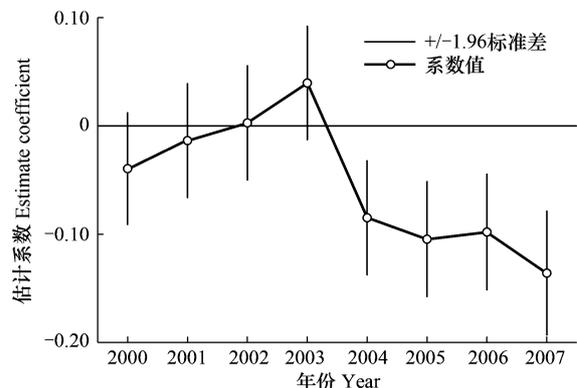


图3 城市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度的动态效应图

Fig.3 Dynamic effect diagram for city's average annual concentration of $\text{PM}_{2.5}$

区域经济发展和环境保护产生影响^[13]。在大气污染防治重点城市政策实施前后,我国实施的较为典型的市场交易型环境规制政策是 2002 年开始推行的“4+3+1”的 SO₂排放权交易试点政策,在山东、山西、江苏、河南四省,上海、天津、柳州三市以及中国华能集团公司实行 SO₂排放权交易政策。因此,本部分进一步控制了城市是否属于 SO₂排放权交易试点地区的虚拟变量 (*SETS_Dummy*) 与时间趋势 (*T*) 的交乘项,从而剔除 SO₂排放权交易试点政策对于本研究实证结果的干扰,主要回归结果见表 2 的第(4)–(6)列。研究发现,无论是考虑 2006 年实施的“十一五”计划中对 SO₂减排目标政策,还是考虑 2002 年实施的 SO₂排放权交易试点政策,表 3 的回归结果基本与前文的回归结果保持一致,进一步保证了本文基准回归结果的稳健性。

表 2 考虑同期其它大气环境规制政策影响的稳健性检验结果

Table 2 Results of considering the other air regulation policies in the same period

被解释变量 Explained Variable	ln_SO ₂ _density (1)	ln_SO ₂ (2)	ln_PM2.5 (3)	ln_SO ₂ _density (4)	ln_SO ₂ (5)	ln_PM2.5 (6)
Post×Treatment	-0.274 ** (0.108)	-0.287 ** (0.110)	-0.036 * (0.021)	-0.360 *** (0.115)	-0.342 *** (0.114)	-0.090 *** (0.022)
S×t	YES	YES	YES	YES	YES	YES
S×t ²	YES	YES	YES	YES	YES	YES
S×t ³	YES	YES	YES	YES	YES	YES
SETS_Dummy T	No	No	No	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	1638	1638	1640	3073	3073	3075

SETS_Dummy 表示城市是否属于二氧化硫排污权交易地区的虚拟变量,回归系数下汇报的是聚类在城市层面的稳健标准误,***、**、* 分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平

2.3.3 安慰剂检验(Placebo Test)

本部分的稳健性检验主要借鉴现有文献^[13],对大气污染规制的空气污染治理效应进行了安慰剂检验。通过将 2003 年所有的城市样本进行打乱,然后随机选择大气污染防治重点城市并将其设置为处理组样本 *Treatment_t*,再依据原 DID 模型的设定估计出此时随机选定处理组情形下的大气污染规制的回归系数,并将该过程重复地进行 500 次随机模拟,最终得到回归系数的分布情况。图 4、图 5 和图 6 分别是针对城市工业 SO₂排放强度、城市工业 SO₂排放量和城市 PM2.5 年均浓度的安慰剂检验结果。由于本文基准结果中针对上述三个不同的被解释变量的回归系数分别为-0.362、-0.333 和-0.085,但可以发现经过 500 次随机模拟后的安慰剂检验的回归系数结果基本全都分布在基准回归结果以外,证实了本文的基准结果并非为其它不可观测的因素导致的,大气污染规制对城市空气污染治理具有显著的正向作用。

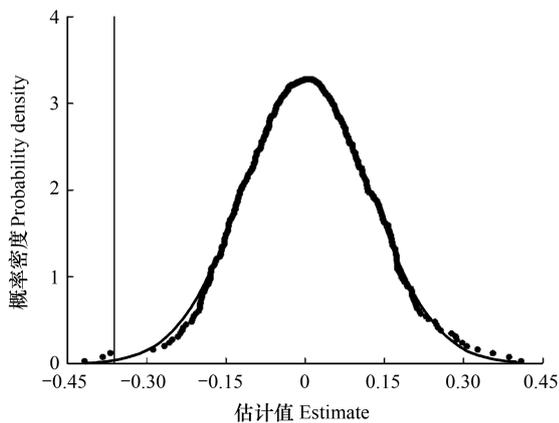


图 4 大气污染规制影响城市工业 SO₂排放强度的安慰剂检验

Fig.4 Placebo test results for urban industry SO₂ emission intensity

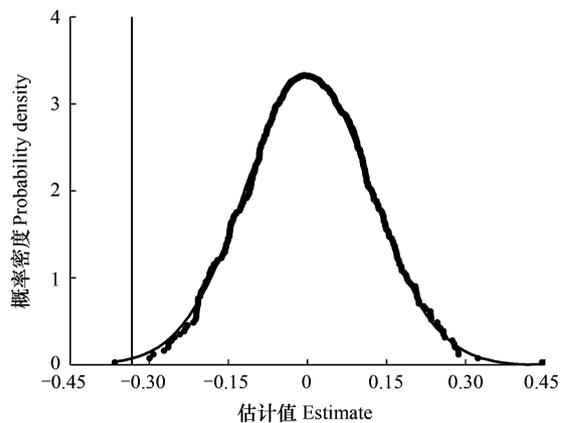


图 5 大气污染规制影响城市工业 SO₂排放量的安慰剂检验

Fig.5 Placebo test results for urban industry SO₂ emission

2.3.4 伪证检验

本部分稳健性检验基本思路是考虑到大气污染防治重点城市政策主要目标是为了改善城市空气质量,通过严格的环境规制措施强化对城市空气质量的管控,进而减少大气污染排放和提升城市空气质量。因此,本文认为该政策的实施主要是针对空气污染的管控,理应体现在对 SO₂ 排放的减少和 PM_{2.5} 浓度的降低效果,而对其他非空气污染源的影响可能不明显。故本文进一步构建了关于水污染影响的伪证检验,将城市工业废水排放量(对数形式)作为被解释变量(ln_Water_pollution_emissions),检验大气污染规制对水污染排放的影响效应。理论上该影响的系数结果应该不显著,从而反向证明该政策对于城市空气污染治理的真实效果。回归结果如表 3 所示,研究发现大气污染规制未对城市工业废水排放量的减少产生显著影响,从反面佐证了本文结论的可靠性。

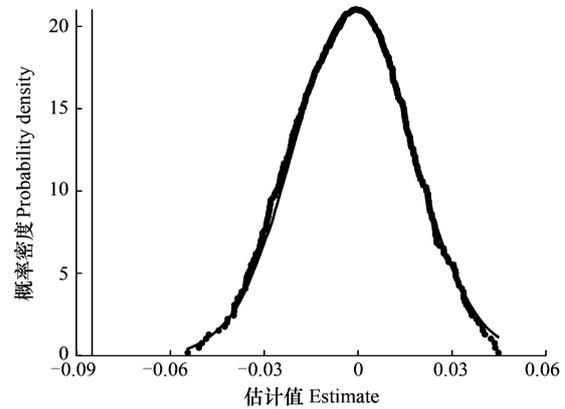


图 6 大气污染规制影响城市 PM_{2.5} 年均浓度的安慰剂检验
Fig.6 Placebo test results for city's average annual concentration of PM_{2.5}

3 机制分析

本文结合前文的理论分析,选择城市能源消耗量、城市治污投入、产业结构变化和城市绿色全要素生产率分别反映地区能源消耗量、污染治理力度、城市产业结构和生产技术水平这四个影响城市空气质量的具体机制,并将上述机制作为被解释变量进行回归分析,具体机制分析结果见下表 4。

表 3 大气污染规制对城市工业废水排放量影响的伪证检验结果

Table 3 Falsification test results for urban industrial wastewater emissions

被解释变量 Explained Variable	ln_Water_pollution_emissions		被解释变量 Explained Variable	ln_Water_pollution_emissions	
	(1)	(2)		(1)	(2)
Post×Treatment	-0.046 (0.066)	0.022 (0.063)	S×t ³		YES
S×t		YES	城市固定效应	YES	YES
S×t ²		YES	年份固定效应	YES	YES
			观测值	2866	2866

ln_Water_pollution_emissions 表示城市工业废水排放量的对数

表 4 的第(1)列回归结果显示,大气污染防治重点城市政策实施后,城市的能源使用量显著降低,这也与政策规定中要求加快城市能源结构调整、降低原煤量使用和推广清洁生产方式等措施相符合。同时,第(2)列回归结果中,大气污染规制对城市环境污染治理投资总额的影响系数在 10%的显著性水平下显著为正,说明大气污染防治重点城市为了实现空气质量的达标,进一步增加了对于环境污染治理的力度。这在一定程度上与地区政府长期以来实施的“先污染、后治理”的发展模式相吻合。这种末端污染治理的方式尽管在一定程度上可以改善城市环境质量,但并非根治手段,政府仍然应当探索出科学有效的绿色发展模式。再者,就大气污染规制通过影响产业结构的变化改善城市环境质量而言,大气污染防治重点城市政策实施可能在一定程度上对地区产业结构转型升级产生影响,如对重点城市内的高污染行业企业采取整改或关停的方式进行处理,进一步加快发展地区第三产业,促使城市产业结构中第二产业占比的减少和第三产业占比的增加。第(3)列和第(4)列的回归结果也显示,大气污染规制在 10%的显著性水平下降低了城市第二产业占比,并有效增加了第三产业的占比。这也说明了大气污染防治重点城市政策实施后城市通过自身产业结构的变化改善了地区环境质量。最后,本文还从城市绿色全要素生产率的视角进行分析,主要是为了判断大气污染规制实施后是否可能产生创新效应,进而与前文几个机制共同对城市空气质量的改善起到促进作用。第(5)列的回

归结果显示,大气污染规制在 5% 的显著性水平下正向影响城市的绿色全要素生产率,说明了大气污染规制有助于推动城市进行技术创新,实现空气质量的有效改善,以上发现也与现有文献研究结论相一致^[14]。

综上,本文机制检验结果表明:大气污染规制对城市空气污染治理效应的影响,一是通过减少城市工业生产过程中的实际能源消耗量降低城市工业 SO₂ 污染的排放量,进而改善城市空气污染;二是通过提高城市环境污染防治投资总额进一步加大对城市空气污染的末端治理;三是通过减小重点城市产业结构中的第二产业占比与增加第三产业占比实现地区产业结构的转型升级,进而对城市污染减排和空气质量的改善产生促进作用;四是通过提升城市绿色全要素生产率进一步实现大气污染规制的创新补偿效应,以生产技术进步的方式实现城市空气质量的改善。

表 4 大气污染防治重点城市政策实现城市空气污染治理效应的机制检验结果

Table 4 Results of the mechanism test for the air pollution regulation effect

被解释变量 Explained Variable	能源使用量 Energy consumption (1)	污染治理投资额 Pollution control investment (2)	第二产业占比 Proportion of secondary industry (3)	第三产业占比 Proportion of primary industry (4)	城市绿色 全要素生产率 City's green total factor productivity (5)
Post×Treatment	-0.099 ** (0.043)	0.240 * (0.39)	-0.042 * (0.023)	0.082 * (0.046)	0.015 ** (0.006)
S×t	YES	YES	YES	YES	YES
S×t ²	YES	YES	YES	YES	YES
S×t ³	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	3075	3075	3075	3075	2870

回归系数下汇报的是聚类在城市层面的稳健标准误, ** 和 * 分别表示 5% 和 10% 的显著性水平

4 结论与启示

本文以大气污染防治重点城市政策的实施为准自然实验,运用 DID 模型实证检验出大气污染规制显著地降低了重点城市的工业 SO₂ 排放强度,工业 SO₂ 排放量以及城市 PM_{2.5} 年均浓度值,证明了大气污染规制有利于重点城市的污染减排与空气质量的改善。而进一步通过对大气污染规制的空气污染治理效应的量化计算发现,大气污染防治重点城市政策实施后的 9 年时间内有效减少了 12215.8 万 t 城市工业 SO₂ 排放量,并且使得城市 PM_{2.5} 年均浓度改善 2.97 μg/m³, 下降比分别达到了 36.2% 和 8.5%, 平均每年减少了 3.7% 的城市工业二氧化硫排放量并降低 0.944% 的城市 PM_{2.5} 浓度值。最后,本文发现大气污染防治重点城市政策对于城市空气污染治理主要是通过减少能源消耗量、增加城市污染治理力度、促进规制地区产业结构转型升级和提升生产技术水平等渠道予以实现。基于以上研究结论和中国目前的大气污染规制现状,本文提出以下几点政策建议:

(1) 优化能源消费结构,打造现代能源体系。应由政府主导,企业与政府协同合作,构建由传统能源转向低碳能源的全新能源消费模式。其中,污染性工业企业应逐步实现可再生能源对传统能源的生产性替代。政府可通过提高传统能源使用税与排污收费等方式,引导企业降低传统能源应用与减少污染物排放,并同步采取低碳能源应用补贴激励企业使用低碳能源。此外,还应积极开放有序竞争的低碳能源市场,制定与其配套的市场准入制度,积极引导低碳能源投资并加大民营资本引入,完善市场管理与运营机制。

(2) 加大城市环境治理投入,提高整体治理效率。城市环境部门可率先根据各地实际情况拟定专项治理计划,合理引入治理资金并依托资金杠杆效应充分吸纳社会资源,保障规制地区城市治理资金的投入规模。同时,应制定相关政策增强治理资金在应用中的政策与法律约束力,确保治理资金流的稳定性。并逐步改变传统城市环境治理中“先污染后治理”的弊病,将环境治理进程由生产末端转移至生产前端,实现“摇篮式”的

城市污染治理。

(3) 促进产业结构转型升级,提升产业综合质量。首先,需对“高污染、高排放与高能耗”的“三高”企业生产进行严格管控,避免各类生产废物的直接排放,从源头处引导企业开展绿色生产,并关停与淘汰部分落后老旧的生产企业,夯实产业结构转型的第一道防线。其次,重点推动科研、教育、生产三位一体的节能减排创新研究与成果转化体系构建,实现减排模式的优化与减排技术的创新。最后,应延伸转型视角,从具有高市场潜力与优质投资来源的服务业入手,通过对第三产业的大力发展推动绿色低碳生产的实现。

参考文献(References):

- [1] 周迪,周丰年,王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析. 资源科学, 2019, 41 (3): 546-556.
- [2] 宋弘,孙雅洁,陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究. 管理世界, 2019, 35 (6): 95-108.
- [3] 黄金枝,曲文阳. 环境规制对城市经济发展的影响——东北老工业基地波特效应再检验. 工业技术经济, 2019, (12): 4.
- [4] 原毅军,陈喆. 环境规制,绿色技术创新与中国制造业转型升级. 科学学研究, 2019, 37 (10): 1902-1911.
- [5] Jensen S, Mohlin K, Pittel K, Sterner T. An introduction to the Green Paradox: The unintended consequences of climate policies. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2015, 9 (2): 246-265.
- [6] Van der Ploeg, F, Withagen C. Is there really a green paradox? *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 64 (3): 342-363.
- [7] Van der Ploeg, F, Withagen C. Global warming and the green paradox: A review of adverse effects of climate policies. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2015, 9 (2): 285-303.
- [8] 陆建明. 环境技术改善的不利环境效应: 另一种“绿色悖论”. *经济学动态*, 2015, (11): 68-78.
- [9] 伍格致,游达明. “绿色悖论”再探析——基于经济政策不确定性视角. *系统工程*, 2018, (10): 61-72.
- [10] Gentzkow M. Television and voter turnout. *The Quarterly Journal of Economics*, 2006, 121 (3): 931-972.
- [11] Li P, Lu Y, Wang J. Does flattening government improve economic performance? Evidence from China. *Journal of Development Economics*, 2016, (123): 18-37.
- [12] 王兵,刘光天. 节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角. *中国工业经济*, 2015, (05): 57-69.
- [13] Zhang G L, Zhang N. The effect of China's pilot carbon emissions trading schemes on poverty alleviation: A quasi-natural experiment approach. *Journal of Environmental Management*, 2020, (271): 110973.
- [14] 韩晶,刘远,张新闻. 市场化,环境规制与中国经济绿色增长. *经济社会体制比较*, 2017, (5): 105-115.