

大气污染联防联控政策对生态文明建设 建设绩效的影响研究

刘丹 刘俊玲 郑宇婷 张琦¹

(福州大学 经济与管理学院, 福建 福州 350108)

【摘要】:基于2012—2018年首批生态文明试验区的26个地级市数据,构建经济发展—环境治理的关联系统,运用网络SBM模型测算了地区生态文明建设绩效,进一步采用双重差分法评估大气污染联防联控政策对试验区生态文明建设及经济发展、环境治理水平的影响。结果表明:(1)该政策显著提升了城市环境治理水平,但对经济发展水平没有产生显著影响。(2)该政策存在时滞性,随着时间的推移,该政策对城市生态文明建设绩效的提升效果逐渐显现并不断增强。(3)该政策对工业污染物的影响存在异质性,在源头生产阶段,显著降低了工业烟(粉)尘产生量,在末端治理阶段,显著抑制了工业二氧化硫排放量。

【关键词】: 大气污染联防联控政策 生态文明 双重差分法 网络SBM模型

【中图分类号】: F062.2; X196 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)07-212-08

改革开放40多年来,中国经济列车高速飞奔,城镇不断扩张。但与此同时,高能耗、高排放的经济发展方式也敲响了生态警钟,“雾霾围城”“蓝藻水华”等环境污染现象频繁爆发^[1]。虽然近十年来,中国每年的环境污染治理成本高达GDP的10%,但若继续走粗放型生产模式拉动经济增长的老路,依照目前的治理技术水平,环境改善的拐点何时来临仍未可知^[2]。日益严峻的环境污染问题成为社会各界高度关注的焦点,可喜的是,党和政府对污染防治和生态建设的重视程度日益提高。为了避免经济发展过程中带来的环境污染问题,党的十七大报告明确提出:“建设生态文明,基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式。”党的十八大以来更是把生态文明建设摆到“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局的战略位置^[3]。只有加快生态文明建设才能化解工业文明理念下经济发展与生态环境的对抗,实现从“用环境换经济发展”到“用经济发展优化环境”,确保中国经济社会可持续健康发展。

福建省、江西省、贵州省作为首批国家生态文明试验区积极开展各项整治活动,扎实推进生态文明建设。在大气污染治理方面,实践结合相关学者的理论研究,发现大气污染难根治、易反复的根源在于大气污染物易聚集在排放源所在的“空气流域”和易蔓延至其他行政区^[4]。政府意识到了大气污染需要协同治理。2014年以来,闽赣黔三省陆续出台大气污染联防联控实施方案,明确指出要“建立区域大气污染联防联控机制,扭转区域污染连片化的态势,推动空气质量整体提升”。该政策主要提出了两点要求:一是实现主要大气污染物排放总量的显著降低,二是升级产业水平,从源头减少污染物产生,实现经济高质量发展和环境高水平治理,推进生态文明建设。那么在实际执行过程中,该政策是否能推动企业研发技术、引进设备,实现“清洁生产”和优化“末端治理”,进而降低大气污染物的排放量,该政策能否对生态文明的建设起到推动作用?针对这些问题,本文以首批国家

¹作者简介:刘丹,博士,教授,研究方向为绩效评价与管理。E-mail:ldan88@126.com;郑宇婷,博士,讲师,研究方向为绩效评价与管理、运作管理。E-mail:ytzheng@fzu.edu.cn

基金项目:国家社会科学基金项目“国家生态文明试验区建设绩效评价及治理对策研究”(19BGL012)

生态文明试验区作为研究案例开展评估。

1 文献综述

目前关于生态文明的研究主要集中在其评价方法、评价指标体系等领域。在评价方法上，一些学者采用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)以及基于松弛变量测度(slack-based measure, SBM)对生态文明建设效率进行测算，避免了指标赋权导致的主观偏差^[5]。这些研究大多将生态文明建设过程视为“黑箱”，无法准确识别出各阶段绩效。在评价指标体系上，多数学者侧重于制度、经济、环境、社会等方面^[6,7,8]。其中：生态制度主张通过法律来严格惩治破坏环境行为，健全环境保护和生态安全管理制度；生态经济主张在维护生态环境基础上的可持续经济增长；生态环境主张人与自然和谐共处；生态社会倡导绿色的发展方式和生活方式。因此，我国生态文明的建设就是保障广大人民的整体利益和长远利益，以绿色发展为导向，兼顾经济高质量和生态高颜值协调并进，满足人民对美好生活的需要。

生态文明建设就是遵循可持续发展理念，寻求经济增长与环境保护的协调发展之路。大气污染联防联控政策对区域生态文明建设的影响，就是通过对环境污染治理和经济增长两方面的作用得以实现。目前学者们对联防联控政策的研究主要集中在环境效应和经济效应两个方面。

大气污染联防联控政策的环境效应。部分学者发现协同治理能抑制大气污染物排放，对改善区域环境有积极作用。其中，Wang 等^[9]、杨斯悦等^[10]、Biddle & Koontz^[11]、毛显强和张庆勇^[12]针对不同的研究样本，利用双重差分模型发现大气污染联防联控政策对主要空气污染物均有显著的减排效应。赵志华和吴建南^[13]利用三重差分模型考察了 2010—2015 年中国 275 个地级市大气污染协同治理的效果，发现大气污染协同治理对降低工业二氧化硫排放量有积极作用。然而，也有学者认为联防联控政策是以牺牲短期内的经济利益来保障“蓝天”的实现，长期而言，并不能从根本上改善地区空气质量^[14,15,16]。

大气污染联防联控政策的经济效应。联防联控政策的实施不仅会影响经济主体(如企业)的排污行为，而且会通过影响经济主体(如企业)的生产经营对经济增长产生影响。关于环境政策与经济发展的关系主要分为“成本提高说”和“波特假说”两类观点。“成本提高说”认为环境政策提高了企业的生产成本，进而对城市的经济发展不会起到促进作用。在 Siegel^[17]、Löfgren 等^[18]的研究中发现环境规制对企业的生产水平及效益产生显著影响。然而，“波特假说”认为环境政策通过激励企业的创新行为和生产效率促进城市经济增长。胡宗义和杨振寰^[19]发现联防联控政策的实施可以有效控制污染，实现企业的高质量发展和拉动城市经济发展。

从已有文献来看，大多学者从大气污染联防联控政策的环境效应、经济效应展开实证研究，环境效应侧重于分析污染物减排效果和空气质量改善效果，经济效应侧重于分析企业生产率变化和城市经济增长变化。大气污染联防联控政策的相关理论与实证研究不断完善，但仍有很大的探索空间。首先，学术界对大气污染联防联控政策的综合效应研究较少，大气污染联防联控政策能不能实现经济增长与环境治理的“双赢”，推动我国生态文明建设有待进一步探讨。其次，大气污染联防联控政策强调从源头上开展生态环境的治理与保护，倒逼能源结构绿色低碳转型和生态环境质量协同改善^[20]。鲜有文献从宏观角度上考虑到环境政策对污染物产生量的影响，但大气污染联防联控政策能否转变粗放型生产方式，从源头上减少污染物产生量尚无定论。

鉴于此，本文从污染物产生量既是经济发展的“产出”，也是环境治理的“投入”这一角度出发，构建了一个以污染物产生量为中间变量的经济发展与环境治理的关联系统，利用双重差分模型，系统估计大气污染联防联控对试验区整体生态文明建设水平及经济发展、环境治理水平的影响。本文可能的边际贡献在于：首先，在研究方法上，通过构建一个经济发展与环境治理关联模型，运用网络 SBM 模型测算区域生态文明建设绩效，避免了指标加权法的主观偏差和传统 DEA 的“黑箱”。其次，在研究内容上，综合考虑经济发展和环境治理，从区域生态文明建设的角度来分析大气污染联防联控政策的实施效果，拓宽了该政策的研究维度。

2 大气污染联防联控政策对生态文明建设绩效的影响研究设计

2.1 样本选择

福建省、江西省、贵州省作为首批纳入国家生态文明试验区的省份，肩负探索绿色发展路径、完善生态文明制度体系的责任。科学评价大气污染联防联控政策的实施对试验区生态文明建设的影响可以为全国生态文明建设工作积累重要经验，为环境与经济双赢发展提供决策参考，为打造“美丽中国”助力添彩。基于数据的可获得性原则，剔除数据严重缺失的3个自治州，本文选取福建省、江西省、贵州省的26个地级市作为研究对象。另外，考虑到闽赣黔三省分别在2017年、2014年、2014年开展大气污染联防联控专项活动，本文选取2012—2018年的数据，有利于进行政策实施前后的比较。

2.2 模型构建

2.2.1 双重差分模型

近年来，越来越多的学者采用双重差分法，通过比对受到政策影响的处理组和未受到政策影响的对照组，从而评估政策实施的“净效应”。比如，Yang等^[21]、Gehritz^[22]、杨斯悦等^[10]、毛显强和张庆勇^[12]均运用双重差分模型评估国内外环境政策的影响。因此，为了有效评价大气污染联防联控政策对生态文明建设的影响，本文将大气污染联防联控政策的实施作为一次准自然实验，采用双重差分法，将我国首批生态文明示范区的地级市分为两组，一组是2012—2018年实施大气污染联防联控政策的城市(记为实验组¹)，另一组是2012—2018年始终没有实施大气污染联防联控政策的城市(记为对照组²)。对照组选取了同省的城市，保证了与处理组所处的地理位置、自然环境的相似性，满足双重差分法要求的平行趋势，构建的双重差分基准模型具体如下：

$$\ln(Y)=\alpha_0+\alpha_1city\times time+\alpha_2control+\lambda_t+\phi_i+\varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中： i 和 t 分别表示第 i 个城市，第 t 年；变量 $city$ 表示是否为处理组城市，大气污染联防联控试点城市为1，非试点城市为0； $time$ 为时间虚拟变量， $time$ 为1说明城市在该年实施了大气污染联防联控政策， $time$ 为0说明尚未进行大气污染联防联控； $control$ 为控制变量，代表影响生态文明建设的其他因素； λ_t 代表时间固定效应， ϕ_i 代表城市固定效应， ε_{it} 代表随机误差项。

被解释变量 Y 表示城市生态文明建设绩效。鉴于生态文明本质上就是在以较少的生态投入(能源消耗)满足较高的经济产出和优美的生态环境的需求，本文将生态文明建设绩效分解为经济发展绩效和环境治理绩效两阶段，其中，城市经济发展绩效，反映城市经济绿色化水平；城市环境治理绩效，反映城市环境保护程度。

核心解释变量： $city\times time$ 为核心关注变量，衡量大气污染联防联控试点城市的生态文明建设绩效相比于非试点城市的平均变化。若系数为正且通过显著性检验，说明大气污染联防联控政策有效推进区域生态文明建设，政策有效。

控制变量：参照已有的研究成果，基于可拓展的随机性的环境影响评估(stochastic impacts by regression on population, affluence and technology, STIRPAT, STIRPAT)模型和环境库兹涅茨曲线(EKC)，本文从人口密度(pop)、人均国民收入(pgdp)、技术水平(tech)、产业结构(2ind)、对外开放程度(investment)五个层面选取影响因素。其中：人均国民收入采用人均GDP进行衡量；技术水平基于研发强度这一角度，采用科技支出占公共财政支出的比重进行衡量^[23]；产业结构：考虑到环境污染物主要来自第二产业，采用第二产业生产总值占地区生产总值的比重进行衡量^[24]；对外开放程度采用人均外资额度进行衡量^[25]。

2.2.2 基于DEA-SBM的城市生态文明建设绩效评价模型与指标

DEA 作为绩效测算的重要工具,被广泛地应用在环境绩效评价、生态绩效评价等方面。相比于传统的 DEA 模型,网络 SBM 模型一方面能打开“黑箱”,评价决策单元整体绩效及其子系统绩效,了解被评价系统内部运作的真实情况,另一方面可以有效处理非期望产出问题以及变量松弛性问题。鉴于此,本文采用 Tone^[26]提出的网络 SBM 模型测算整体绩效(生态文明建设绩效)及其子系统绩效(经济发展绩效、环境治理绩效),具体见模型(2)。

$$\rho_o^* = \min \frac{\sum_{k=1}^K w^k \left[1 - \frac{1}{m_k + \varphi_{(k,h)}} \left(\sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-}}{x_{io}^k} + \sum_{t=1}^{\varphi_{(k,h)}} \frac{s_t^{(k,h)}}{z_{to}^{(k,h)}} \right) \right]}{\sum_{k=1}^K w^k \left[1 + \frac{1}{v_{1k} + v_{2k} + \varphi_{(k,h)}} \left(\sum_{r=1}^{v_{1k}} \frac{s_r^{dk}}{y_{ro}^{dk}} + \sum_{r=1}^{v_{2k}} \frac{s_r^{uk}}{y_{ro}^{uk}} + \sum_{t=1}^{\varphi_{(k,h)}} \frac{s_t^{(k,h)}}{z_{to}^{(k,h)}} \right) \right]}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j^k x_{ij}^k + s_i^{k-} = x_{io}^k, i=1, \dots, m_k \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^k z_{it}^{(k,h)} + s_t^{(k,h)} = z_{to}^{(k,h)}, t=1, \dots, \varphi_{(k,h)} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^k y_{rj}^{dk} - s_r^{dk} = y_{ro}^{dk}, r=1, \dots, v_{1k} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^k y_{rj}^{uk} + s_r^{uk} = y_{ro}^{uk}, r=1, \dots, v_{2k} \\ z^{(k,h)} \lambda^k = z^{(k,h)} \lambda^k \\ \sum_{k=1}^K w^k = 1 \\ \lambda^k \geq 0, s_i^{k-} \geq 0, s_r^{dk} \geq 0, s_r^{uk} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:假定系统有 n 个决策单元 $DMU_j (j=1, \dots, n)$, 包含 k 个阶段 $(k=1, \dots, K)$, m_k 和 v_k 表示第 k 个阶段的投入与产出数量, $\varphi_{(k,h)}$ 表示阶段 k 到阶段 h 的中间指标的个数; x^k 表示 k 阶段的投入, y^{dk} 表示 k 阶段的期望产出, y^{uk} 表示 k 阶段的非期望产出, $z^{(k,h)}$ 代表阶段 k 到阶段 h 的连接, 即中间产出; λ^k 表示 k 阶段的模型权重, s^{dk} 和 s^{uk} 分别表示期望产出和非期望产出的松弛变量; w^k 表示第 k 阶段的权重, 考虑到经济发展与环境治理需要协同并进, 因此, 经济发展与环境治理的重要性相同, 即 $w^1=w^2$ 。

在经济发展子系统中, 参考国内大多学者的研究, 选取能源消耗、劳动力、资本作为投入, GDP 作为产出。另外, 城市经济发展时不可避免会产生污染物, 考虑工业污染是环境污染最重要的来源, 同时兼顾数据的可获得性, 选取工业二氧化硫产生量、工业烟粉尘产生量为中间变量。在环境治理子系统中, 将节能环保支出纳入指标体系中, 选取二氧化硫排放量、工业烟粉尘排放量作为非期望产出。研究采集的原始数据均来自 2013—2019《中国城市统计年鉴》、各地级市统计年鉴及环境公报等(表 1)。

表 1 基于 DEA-SBM 的城市生态文明建设绩效评价指标体系

系统	类别	一级指标	二级指标
经济发展子系统	投入指标	能源消耗	能源消耗总量
		劳动力	年末从业人员数
		资本	固定资产投资

	产出指标	经济产出	GDP
中间变量		污染物产生量 工业烟粉尘产生量	工业二氧化硫产生量
环境治理子系统	投入指标	资本	节能环保支出
	产出指标	污染物排放量	工业二氧化硫排放量
			工业烟粉尘排放量

3 基于 DEA-SBM 和双重差分模型的实证研究结果及分析

3.1 平均效应

3.1.1 联防联控政策对生态文明建设绩效的影响

无论是未加入控制变量的分析结果[表 2 第(1)列], 还是加入控制变量的分析结果[表 2 第(2)列], 双重差分的核心解释变量 DID 的系数虽都为正值, 但显著性检验均不通过。大气污染协同治理对城市生态文明建设没有产生显著影响。地方政府将大气污染联防联控政策视为改善环境质量的重要手段和推进生态文明建设的新引擎, 然而数据结果表明大气污染联防联控政策的实施未能推动生态文明建设。这有必要打开“黑箱”, 进一步分析大气污染协同治理对经济发展和环境治理哪一方面没有产生显著影响造成总体结果的不显著。

表 2 模型(1)的回归结果

变量	生态文明建设绩效		经济发展绩效	环境治理绩效
	(1)	(2)	(3)	(4)
DID	0.0358 (0.0339)	0.0385 (0.0353)	0.1562 (0.0245)	0.0969** (0.0550)
pop		0.0322 (0.1347)	0.0907 (0.0935)	0.0235 (0.2119)
pgdp		0.0702** (0.0578)	0.0910*** (0.0401)	0.0932 (0.0908)
2ind		-0.0174** (0.1476)	0.1237 (0.1024)	-0.0080*** (0.2321)
tech		0.0163*** (0.0243)	0.0052*** (0.0169)	0.0200*** (0.0382)
investment		0.0408* (0.0233)	0.0091** (0.0161)	0.0356** (0.0366)
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
R ²	0.6347	0.6539	0.6179	0.6166

注：上角标*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，括号内为标准误。表 3、表 4、表 6、表 7 同。

3.1.2 联防联控政策对经济发展绩效、环境治理绩效的影响

为考察大气污染联防联控政策对经济发展绩效、环境治理绩效的影响，本文利用模型 (1) 进行样本回归，结果见表 2 的第 (3)、(4) 列。第 (3) 列结果显示在控制其他因素的干扰后，大气污染协同治理促进了城市经济发展，但这一结果并没有通过显著性检验。大气污染联防联控政策虽然致力于打破行政区划协同减排，倒逼产业结构调整优化，但在短时间内无法明显推动城市经济发展，实现经济绿色高质量发展。第 (4) 列结果表明在消除诸多控制变量的干扰后，实施大气污染联防联控政策会导致城市环境治理绩效平均提升 9.69%，同时，控制变量中的产业结构、技术水平变量通过显著性检验。第二产业占总 GDP 的比重与环境治理绩效呈负相关关系，可能是由于第二产业主要包含传统高耗能产业，其资源利用率低的生产方式导致污染物排放多；技术水平与环境治理绩效呈正相关关系，原因在于技术进步能够带来污染物处理技术的创新，减少污染排放量，提高城市环境治理水平。对外开放水平与环境治理绩效呈正相关水平，可能是对外开放有利于引进国外环境友好型的技术，提升污染的治理绩效。回归结果说明大气污染联防联控政策可以释放“绿色驱动力”，提升环境治理水平，切实让广大群众享受大气污染联防联控整治行动带来的环境红利。

实证结果表明，大气污染协同治理对城市经济发展和环境治理的影响存在明显差异，其对经济发展无显著促进作用导致了整体生态文明建设绩效的不显著。

3.2 动态效应

考虑到政策的效果往往受到时间的影响^[27]，为进一步检验大气污染联防联控政策对生态文明建设绩效及经济发展绩效、环境治理绩效的动态影响，本文借鉴付明卫等^[28]的研究思路，在基准模型 (1) 上加入时间虚拟变量 ($year_i$) 与处理组变量 ($city$) 的交互项 (DID) 进行面板估计。其中， $year_i$ 表示政策实施的第 i 年， $year_i$ 为 1 说明该年是试点城市实施大气污染联防联控政策的第 1 年，其余年份为 0，其余变量均与基准模型 (1) 相同。这样， DID_1 、 DID_2 、 DID_3 、 DID_4 、 DID_5 分别表示在政策实施的第 1 年、第 2 年、第 3 年、第 4 年、第 5 年对绩效的影响。

从表 3 可以看出，大气污染联防联控政策效果存在时滞性。对生态文明建设而言，政策实施的第 1~3 年核心解释变量系数 (DID_1 、 DID_2 、 DID_3) 均不显著。在政策实施的第 4 年，其对生态文明建设的促进作用才显著并逐渐增强。从子阶段层面来说，对经济发展绩效而言，在大气污染联防联控政策实施的前 3 年，经济发展绩效没有发生显著变化，在随后的第 4 年和第 5 年，大气污染联防联控政策显著提升了经济发展绩效。对环境治理绩效而言，大气污染联防联控政策实施的第 3 年起，政策开始发挥作用，环境治理绩效显著提升，从边际效应大小来看， DID_3 、 DID_4 、 DID_5 系数的绝对值持续增加，边际效应递增，环境治理水平逐年增强。

以上的分析结果表明，政策的实施效果存在滞后性，需要一段时间才能发挥作用。长远而言，大气污染联防联控政策的实施对生态文明建设具有显著的促进作用。政策的执行也明显提升城市经济发展和环境治理水平，实现经济高质量发展和环境高水平发展。并且，政策的“提升”效果随着执行时间的推移而增加。

3.3 异质性分析

表 3 政策效果的动态效应

变量	总阶段绩效	子阶段绩效
----	-------	-------

	生态文明建设绩效	经济发展绩效	环境治理绩效
DID ₁	-0.0095 (0.0384)	0.0023 (0.0303)	0.0165 (0.0630)
DID ₂	0.0115 (0.0429)	0.0138 (0.0339)	0.0667 (0.0709)
DID ₃	0.1133 (0.0530)	0.0183 (0.0418)	0.2253** (0.0870)
DID ₄	0.2619*** (0.0583)	0.0785* (0.0460)	0.3816** (0.0957)
DID ₅	0.3564*** (0.0582)	0.1352*** (0.0459)	0.5414*** (0.0958)
控制变量	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
R ²	0.7515	0.6448	0.7997

由前文的分析可知，大气污染协同治理显著提升了环境治理绩效，但对经济发展绩效没有产生显著影响。为识别造成这一现象的具体原因，就需要进一步从经济发展和环境治理的产出物来分析造成环境污染的具体污染源。因此，将 GDP、工业二氧化硫产生量、工业烟(粉)尘产生量、工业二氧化硫排放量和工业烟粉尘排放量分别作为因变量构建双重差分模型，具体的模型如下：

$$\ln(Q) = \beta_0 + \beta_1 \text{city} \times \text{time} + \beta_2 \text{control} + \lambda_t + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中：Q 为经济发展的产出指标和环境治理的产出指标，具体而言，经济发展的产出指标选取 GDP、工业二氧化硫产生量 (Pso₂)、工业烟(粉)尘产生量 (Psmog)，环境治理的产出指标选取工业二氧化硫排放量 (Eso₂)、工业烟粉尘排放量 (Esmog)。核心解释变量系数表示大气污染联防联控政策的实施对产出指标 (Q) 的影响，其余变量均与基准模型 (1) 设定相同。

从表 4 的实证结果可知，在控制了相关变量及个体、时间固定效应的情况下，大气污染联防联控政策对 GDP 的效果不显著。从污染物的产生量来看，大气污染协同治理对工业二氧化硫的产生量没有显著影响，但显著降低工业烟粉尘的产生量，平均减少了 44.54%。从污染物的排放量来看，实施大气污染联防联控政策后试点城市的工业二氧化硫排放量显著减少，平均降低了 16.49%，工业烟(粉)尘的排放量虽然减少但没有通过显著性检验。进一步可以得出大气污染联防联控政策的实施虽然有效降低了工业烟粉尘产生量，但对 GDP 和二氧化硫产生量的影响不显著是导致经济发展绩效不显著的主要原因。并且，试点城市环境治理绩效的提升主要由于大气污染联防联控政策的实施显著降低了工业二氧化硫排放量。

以上回归结果表明大气污染联防联控政策对不同污染物的产生和排放影响显著差异。当城市面对多种污染物时，往往存在博弈的行为。大气污染联防联控政策的试点城市涉及工业烟粉尘企业优先选择“清洁生产”，通过技术因素降低工业烟粉尘的产生量，如试点城市的钢铁企业通过技术革新提高能源使用效率，降低平均吨钢综合能耗，从源头降低污染物的产生量；而试点城市二氧化硫的排放量虽然显著减少但其产生量无显著变化，表明了工业二氧化硫的相关企业优先选择“末端治理”，通过提高除硫率来完成减排任务。据《第二次全国污染源普查公报》《中国环境统计年鉴》、各地区市统计年鉴等资料和相关文献发现工业二氧化硫大多来自普通类型的工业企业，数量多且变化大。相比而言，工业烟(粉)尘主要来自钢铁、建材等大企业，在研发技术所需的雄厚资金和科研人才方面更具优势^[13]。另外，钢铁、建材行业生产流程长且环节多，工业烟粉尘排放渠道多。而二氧化硫主要来自煤炭等化石燃料的燃烧过程，其工业排放源集中在企业内各种燃烧设备^[29]。再者，国家“十一五”“十二五”规划均

把工业二氧化硫减排设为目标，未涉及工业烟(粉)尘减排，二氧化硫排放监测体系更为完善，政府在执行大气污染联防联控政策时对工业二氧化硫排放量监测工作更为熟悉^[30]。任务的难度是影响博弈行为的重要因素^[31]，因此，面对执行大气污染联防联控政策时，工业烟(粉)尘相关的企业往往优先选择通过新技术等方式优化生产过程、提高能源使用效率来减少污染物产生量，而工业二氧化硫相关企业往往优先选择购买除硫设备等方式进行污染末端治理。

表 4 DID 模型 (3) 的回归结果

变量	GDP	PSO ₂	Psmog	ESO ₂	Esmog
DID	0.0815 (0.0151)	0.1008 (0.1267)	-0.4454** (0.2131)	-0.1649** (0.0870)	-0.0518 (0.1287)
控制变量	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是
R ²	0.9953	0.8748	0.7482	0.9288	0.8711

4 稳健性检验

4.1 平行趋势检验

本文借鉴常用的平行趋势假设检验方法，绘制了政策实施前后实验组和对照组的年度生态文明建设绩效均值、年度经济发展绩效均值和年度环境治理绩效均值的走势。由图 1~图 3 可以看出，政策实施前两组城市的绩效均值变动趋势基本一致，平行趋势假设成立。

4.2 倾向匹配得分后的双重差分法 (PSM-DID)

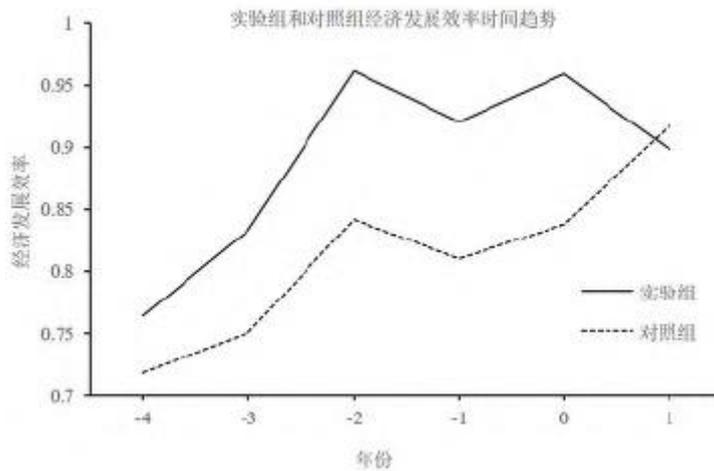


图 1 实验组和对照组经济发展绩效时间趋势

注：图中 0 代表政策实施当年，-1 代表政策实施的前一年，1 代表政策实施的后一年，以此类推。图 2、图 3 同。

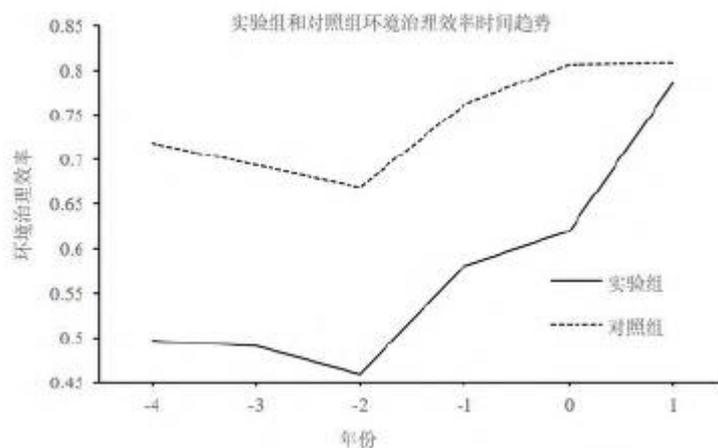


图 2 实验组和对照组环境治理绩效时间趋势

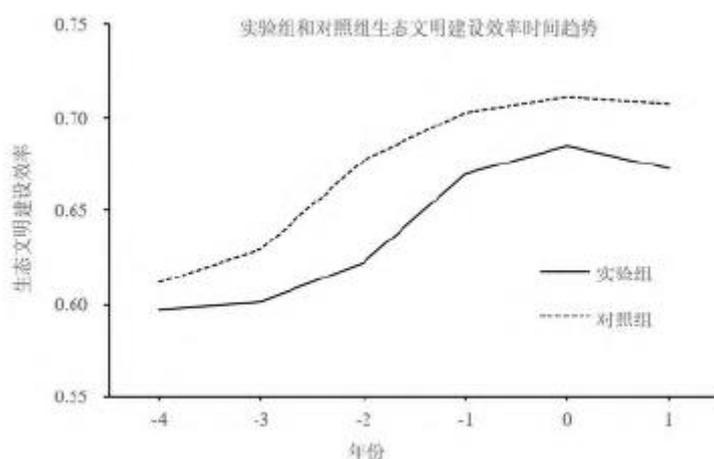


图 3 实验组和对照组生态文明建设绩效时间趋势

考虑到不同城市的个体特征不能完全趋于一致，为尽可能消除“选择性偏差”的影响，采用 PSM 和 DID 相结合的方法，进一步加强实验组与控制组的可比性，使得回归结果更加准确。表 5 表明了匹配后的样本通过了平衡性检验，证实了匹配后样本的有效性。表 6 显示了对匹配后的新样本进行回归后的结果。结果表明大气污染协同治理对城市经济发展和环境治理的影响存在明显差异，其对经济发展无显著促进作用导致了整体生态文明建设绩效的不显著，与前文的结论一致。因此，利用双重差分模型得到的回归结果是稳健的。

4.3 反事实检验

表 5 匹配后的平衡性检验

变量	均值	偏差/%	P

	实验组	对照组		
pop	6.0198	5.7358	52.4	0.003
	5.9539	6.0234	12.8	0.548
pgdp	10.7710	10.6660	18.4	0.004
	10.7320	10.7470	2.6	0.906
2ind	-0.8302	-0.7087	70.6	0.000
	-0.8280	-0.8195	4.9	0.840
tech	-0.4166	-4.3699	35.7	0.034
	-4.1970	-4.2564	10.4	0.658
investment	4.6378	4.7598	10.9	0.000
	4.7048	4.6563	4.3	0.642

表 6 PSM-DID 回归结果

变量	总阶段绩效	子阶段绩效	
	生态文明建设绩效	经济发展绩效	环境治理绩效
DID	0.0387 (0.0353)	0.1562 (0.0245)	0.0971*** (0.0550)
控制变量	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
R ²	0.6539	0.6179	0.6166

为排除其他政策因素的干扰，使用反事实检验法将政策实施的时间提前两年或滞后两年，其余变量不变进行估计。结果表明当政策的实施时间提前两年，DID 的估计系数不显著，环境治理方面并没有得到与真实效应相同的显著正效应；当政策的实施时间滞后两年，DID 估计系数显著。由前文的动态性检验可知，政策的效果存在时滞性，延后政策的实施时间使得政策效应凸显，试点城市的生态文明建设绩效、经济发展绩效和环境治理绩效均显著提升。这一检验结果证实了上文回归结果是稳健可信的。

5 结论与建议

5.1 研究结论

本文依据双重差分法的思路，以大气污染联防联控政策这一外生冲击构造一项“准自然实验”，利用 2012—2018 年首批生

态文明试验区的 26 个地级市数据，构建经济发展—环境治理的关联系统，运用网络 SBM 模型测算了地区生态文明建设绩效，进一步采用双重差分法评估了大气污染联防联控政策对城市生态文明建设绩效、经济发展绩效和环境治理绩效的影响，并运用了平行趋势检验、PSM-DID、反事实检验等方法进行稳健性检验以确保评估结果的可靠性。结果表明：(1)从平均效应来看，大气污染联防联控政策对城市生态文明建设的促进作用没有通过显著性检验，其原因在于联防联控政策虽然显著提升了城市环境治理水平，但对经济发展水平没有产生显著影响。(2)从动态效应来看，政策存在时滞性，需要一段时间才能发挥作用。随着时间的推移，政策对城市生态文明建设绩效的提升效果逐渐显现并不断增强，实现经济增长与环境治理的“双赢”。(3)从污染物异质性来看，在源头生产阶段，大气污染联防联控政策显著降低了工业烟(粉)尘的产量；在末端治理阶段，大气污染联防联控政策对工业二氧化硫的排放量具有显著的抑制作用。

5.2 政策建议

(1) 加快区域大气污染联防联控政策的有效落实。

本文的实证结果表明，从长远来看，大气污染联防联控政策提升了城市生态文明建设，实现“青山绿水”和“金山银山”的有机统一，为其他地区生态文明建设提供有益借鉴。第一，政府应尽早制定、落实大气污染联防联控政策。以削减大气污染物排放为手段，建立统一规划、统一监测、统一协调的区域大气污染联防联控机制，深化区域内环保、住建、气象等多部门协同合作，加强区域大气环境联合执法监管，扎实做好大气污染防治工作。第二，政府要建立大气污染联防联控长效机制。组织有关部门不断跟踪评估政策实施效果，根据不同阶段、不同地区的具体执行情况，及时发现问题，不断改进相应制度，确保大气污染联防联控政策的长期有效实施。

(2) 制定不同污染物的针对性减排方案。

根据本文的研究结果可知，面对政府实施大气污染联防联控政策，工业烟(粉)尘相关的企业往往优先选择优化生产过程来减少污染物产生量，而工业二氧化硫相关企业往往优先选择污染末端治理来降低污染物排放量。因此，政府要强化对工业烟(粉)尘相关企业末端排放的监测，加强对工业二氧化硫相关企业污染源头的控制，推动企业逐步形成“源头清洁生产—末端污染治理”的治理体系，实现地区污染减排，增强人民蓝天幸福感。第一，强化工业烟(粉)尘相关企业末端排放的监测。政府可实地调查，摸清烟(粉)尘排放的工序及重点污染源点，一方面对重点排放源开展除尘系统改造升级，提高除尘效率，保证这些点位的排放达标。另一方面强化重点排放源的监测系统，保障监测数据的科学性和合理性，遏止企业想在监测点位设置上鱼目混珠的可能，着力解决排放监测设备良莠不齐、运行不规范等问题。第二，加强工业二氧化硫相关企业污染源头的控制。一方面政府可通过各种激励措施促进企业研发能源高效率技术使燃料充分燃烧，减少能源消耗量，如对煤炭利用率高的企业给予金融和税收等方面的优惠，并通过建立示范项目推广研发技术的应用。另一方面政府可通过价格杠杆控制含硫煤炭的使用，综合利用政策、法律和经济的多重手段降低含硫煤炭的使用，同时加大对风电、光伏、地热能等各种清洁能源的技术研发。

表 7 政策时点提前两年或滞后两年的回归结果

变量	提前两年			滞后两年		
	生态文明建设绩效	经济发展绩效	环境治理绩效	生态文明建设绩效	经济发展绩效	环境治理绩效
DID	0.0085 (0.0462)	-0.0286 (0.0319)	0.0469 (0.0731)	0.2376*** (0.0382)	0.0695** (0.0292)	0.3492*** (0.0615)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是

个体固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.6511	0.6189	0.6090	0.7249	0.6313	0.6800

参考文献:

[1]Vennemo H,Aunan K,Lindhjem H,et al.Environmental pollution in China:Status and trends[J].Review of Environmental Economics and Policy,2009,3(2):209-230.

[2]Liu M,Ronald S,Zhang B.Does environmental regulation affect labor demand in China?Evidence from the textile printing and dyeing industry[J].Journal of Environmental Economics & Management,2017,86:277-294.

[3]沈满洪,谢慧明.生态文明建设:浙江的探索与实践[M].北京:中国社会科学出版,2018.

[4]Qin M M,Wang X S,Hu Y T,et al.Formation of particulate sulfate and nitrate over the pearl river delta in the fall:Diagnostic analysis using the community multiscale air quality model[J].Atmospheric Environment,2015,112:81-89.

[5]Kuosmanen T,Kortelainen M.Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis[J].Journal of Industrial Ecology,2005,9(4):59-72.

[6]刘举科,孙伟平,胡文臻.生态城市绿皮书:中国生态城市建设发展报告(2014版)[M].北京:社会科学文献出版社,2014.

[7]李艳芳,曲建武.城市生态文明建设评价指标体系设计与实证[J].统计与决策,2018(5):57-59.

[8]Zhang H W,Lan Z R.Urban sustainable development evaluation index system of ecological civilization construction—a case study of Tianjin city[J].Applied Mechanics and Materials,2013,361-363:90-96.

[9]Wang H,Zhao L,Xie Y,et al.“APEC Blue”—The effects and implications of joint pollution prevention and control program[J].Science of The Total Environment,2016,553:429-438.

[10]杨斯悦,王凤,刘娜.《大气污染防治行动计划》实施效果评估:双重差分法[J].中国人口·资源与环境,2020(5):110-117.

[11]Biddle J C,Koontz T M.Goal specificity:A proxy measure for improvements in environmental outcomes in collaborative governance[J].Journal of Environmental Management,2014,145(12):268-276.

[12]毛显强,张庆勇.“2+26”城市治霾方案效果评估:以山东省为案例的研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(3):83-92.

[13]赵志华,吴建南.大气污染协同治理能促进污染物减排吗?——基于城市的三重差分研究[J].管理评论,2020(1):286-297.

-
- [14] Jia K, Chen S W. Could campaign-style enforcement improve environmental performance? Evidence from China's central environmental protection inspection[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 245:282-290.
- [15] 杜雯翠, 夏永妹. 京津冀区域雾霾协同治理措施奏效了吗?——基于双重差分模型的分析[J]. *当代经济管理*, 2018(9): 53-59.
- [16] 石庆玲, 郭峰, 陈诗一. 雾霾治理中的“政治性蓝天”——来自中国地方“两会”的证据[J]. *中国工业经济*, 2016(5): 42-58.
- [17] Siegel R. Why has productivity slowed down[J]. *Data Resources US Review*, 1979(1):59-65.
- [18] Löfgren Å, Wråke m, Hagberg T, et al. The effect of EU-ETS on Swedish industry's investment in carbon mitigating technologies[R]. Gothenburg: Working Papers in Economics, 2013.
- [19] 胡宗义, 杨振寰. “联防联控”政策下空气污染治理的效应研究[J]. *工业技术经济*, 2019(7): 129-135.
- [20] 高桂林, 陈云俊. 评析新《大气污染防治法》中的联防联控制度[J]. *环境保护*, 2015(18): 42-46.
- [21] Yang Z, An M, Shao S, et al. Does carbon intensity constraint policy improve industrial green production performance in China? A Quasi-DID analysis[J]. *Energy Economics*, 2017, 68:271-282.
- [22] Gehritz M. The effect of low emission zones on air pollution and infant health[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 83:121-144.
- [23] 陈春香, 邓峰. 产业转移对区域绿色创新效率的空间效应分析[J]. *生态经济*, 2020(9): 76-81.
- [24] 王小伟, 韩芳, 王卫. 基于 IPAT 原理的区域大气污染物排放定量研究[J]. *生态经济*, 2019(11): 176-181.
- [25] 刘典, 蔺雪芹. 京津冀地区经济协同发展的时空演化特征及影响因素[J]. *城市问题*, 2020(3): 28-37.
- [26] Tone K, Tsutsui M. Network DEA: A slacks-based measure approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197(1):243-252.
- [27] Czyżewski B, Smędzik-Ambroży K, Mrówczyńska-Kamińska A. Impact of environmental policy on eco-efficiency in country districts in Poland: how does the decreasing return to scale change perspectives?[J/OL]. *Environmental Impact Assessment Review*, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106431>.
- [28] 付明卫, 叶静怡, 孟侯希, 等. 国产化率保护对自主创新的影响——来自中国风电制造业的证据[J]. *经济研究*, 2015(2): 118-131.
- [29] 程梦婷, 李凌波. 工业污染源二氧化硫排放监测技术进展[J]. *当代化工*, 2017(10): 2116-2118.
- [30] Zhang P, Wu J N. Performance-based or politic-related decomposition of environmental targets: A multilevel

analysis in China[J].Sustainability,2018,10(10):1-16.

[31]Hamidullah M F,Wilkins V M,Meier K J.Looking for their dick vermeil:How prior performance influences the selection decision[J].Public Organization Review,2009,9(1):1-14.

注释:

1 实验组城市: 福州、莆田、宁德、厦门、漳州、泉州、南昌、九江、宜春、贵阳、遵义、毕节、安顺。

2 对照组城市: 三明、龙岩、南平、景德镇、萍乡、新余、鹰潭、赣州、上饶、吉安、抚州、六盘水、铜仁。