

# 智慧城市和排污权交易组合政策对中国城市 雾霾的影响研究\*

邓光耀, 吴幽

(兰州财经大学统计与数据科学学院, 甘肃 兰州 730030)

**摘要:**城市发展中的雾霾问题仍然威胁着生态环境, 探寻政策联合减霾效应且兼顾环境效益与经济发展成为建设美丽中国新的目标。基于2006—2021年的城市数据, 运用多期双重差分评估国家智慧城市试点和排污权交易城市试点对雾霾的影响。研究显示, 经过安慰剂检验等一系列稳健性检验之后, 智慧城市和排污权交易组合政策对城市减霾效果依旧显著, 且政策效果具有时滞性。同时, 该组合政策通过提升能源效率、促进技术创新的手段可以达到减霾目标, 但产业升级效应的作用路径尚未显现。进一步研究发现, 政策的减霾效果与地理位置、行政等级、经济集聚程度、资源依赖程度存在关联, 呈现中部和东部显著减霾而西部不显著的特征, 且非重点、低经济聚集地、资源依赖低的城市减霾状态更加明显。因此, 促进减霾需立足实际, 联合智慧城市与排污权交易政策, 提升能源利用效率和技术创新能力, 减少高资源依赖地区化石能源消费, 把握地区、位置、资源差异, 实现城市阶梯发展, 推广试点经验。

**关键词:**智慧城市; 排污权交易; 减霾; 多期双重差分

**中图分类号:** X196

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-0598(2026)02-0068-14

## 一、引言

经过数十年的大气污染治理, 空气质量得到明显改善。但近年来却有所反弹, 气候变暖、春季沙尘暴频繁等仍威胁着生态环境。在新的形势要求下, 对如何做好雾霾防治提出了更高要求。其中, 制度创新在此发挥着重要作用, 如何打好政策与科技的“组合拳”实现环境与经济的“双赢”变成了主要目标。智慧城市试点开始于2012年, 先后由37个地级市增加到193个城市(区、县、镇)。排污权交易试点城市于2007年批复, 先后由11个地区发展到28个省(自治区、直辖市)自行开展, 试点规模逐步壮大。

在现有研究中, 可以发现空气污染主要来源于机动车尾气, 并在秋冬季污染加大<sup>[1]</sup>。对于探究雾霾危害影响的研究颇多, 发现雾霾污染不仅会带来身体上的危害, 还对人的心理健康、行为决策、反应能力

\* 收稿日期: 2025-02-27

**基金项目:** 国家自然科学基金(72363021)“增加值贸易视角下虚拟水国际贸易的核算、网络特征及影响因素研究”

**作者简介:** 邓光耀(1985—), 男, 湖南邵阳人; 经济学博士, 兰州财经大学统计与数据科学学院教授, 硕士生导师, 主要从事资源环境统计研究。

吴幽(2000—), 女, 重庆大渡口人; 兰州财经大学统计与数据科学学院硕士研究生, 主要从事资源环境统计研究。

**本文引用格式:** 邓光耀, 吴幽. 智慧城市和排污权交易组合政策对中国城市雾霾的影响研究[J]. 重庆工商大学学报(社会科学版), 2026, 43(2): 68-81.

等产生不利影响<sup>[2]</sup>,而实现减霾的相关研究大多集中在城市规划、协作治理、行业改革、环境规制的政策创新等方面。

在环境规制的政策创新中,智慧城市和排污权交易试点城市发挥难以忽视的作用。智慧城市的相关研究涉猎较广,大致分为三部分:(1)智慧城市相关的城市规划建设,包括对城市运行管理<sup>[3]</sup>、信息基础设施建设<sup>[4]</sup>等广泛建议;(2)在政策评估中,对作用机理详细探讨,联合产业结构升级和技术创新<sup>[5]</sup>等进一步推动智慧城市建设和发展;(3)对社会环境、生态效应因素的影响,包括减少水污染、空气污染<sup>[6]</sup>、优化能源消耗等方式实现环境治理优化。而对于排污权交易试点城市的相关研究大致集中在排污权市场中,工业排放与环境污染联系极大,环境权益交易推动创新实现减污<sup>[7]</sup>。同时又激励促进制造业企业延展价值链向服务转型进发,末端污染治理实现减污减排<sup>[8]</sup>。由于经济发展目标转向提质增效,随之排污权交易驱动数字经济<sup>[9]</sup>等主题接踵而至,发现不只是从个体和时间的角度分析降污,还有从空间的角度入手,发现数字经济不仅能减少本地污染,更能改善周围环境<sup>[10]</sup>。政策产生的环境效益发生明显改善,环境质量改善效果更明显,碳、硫<sup>[11]</sup>等排放明显降低。但发挥政策效应下的传导机制和对雾霾的影响仍待进一步探究。

尽管对两种政策的单独分析已有充分研究,但将排污权交易和智慧城市联系在一起,探究其减霾效果的研究较少。第一,双政策组合的研究较少,且双政策协同对环境的影响相关研究大多研究其减碳效果,本文尝试增加补充研究雾霾的相关文献。第二,在基准回归中加入气候变量,同时新增能源效率作为机制变量,将经济聚集程度和资源依赖度纳入异质性分析,增强了文章结论的说服力。鉴于此,本文基于多期双重差分模型研究智慧城市和排污权交易试点城市协同对雾霾的影响,试图回答以下问题:智慧城市和排污权交易试点城市协同是否能实现减霾作用?若答案是肯定的,那么智慧城市和排污权交易组合政策是通过什么机制影响雾霾?影响是否存在异质性?文章可能存在以下边际贡献:首先,在研究议题上,采用研究智慧城市和排污权交易试点城市协同对雾霾的影响。目前只有较少文章研究了多种政策的影响效应,本研究将对我国智慧城市建设和排污权交易市场的政策评价进行补充和扩展。其次,在估计方法上,综合采用多期双重差分并纳入气候变量设置基准模型、非期望产出的超效率SBM模型测度能源效率,用平行趋势检验、PSM-DID模型、安慰剂检验保证结论的可靠性。最后,在识别策略上,本研究借助多期双重差分的估计框架,从能源效率、技术创新和产业升级的角度进行智慧城市和排污权交易组合政策的机制分析,再根据地理、行政、经济集聚和资源禀赋分析其异质性,最后探究验证其协同作用。

## 二、研究假设

当前处于新型城镇化的快速发展时期,城市雾霾地域性和季节性排放超标问题仍然未解决,恰当的环境规制能为绿色发展提供新的驱动力。在城市建设中引入智慧城市转型,联合信息技术和通信技术,致力于低投入、高产出、高效率,通过前端的清洁生产与末端的污染处理,运用创新技术在各类需求,打造科学发展、高效管理、生活美好的城市<sup>[12]</sup>。同时在建设时纳入排污权交易制度,初始排污权的分配、交易成本及价格都会影响制度效率,但无论是通过出售剩余排污权获得回报的高效率主体还是购买排污权满足排污额度的低效率主体,在面对利润最大化的目标下,都会进行污染治理,进而减少排污量<sup>[13]</sup>。所以,在实行双政策的情况下,智慧城市促进城市生活方式的绿色转型降低城市污染和排污权从排污主体的角度减少和控制污染气体排放,均可以实现城市减霾的目标。基于此,本文提出如下假设:

H1:智慧城市和排污权交易组合政策对城市雾霾有显著降低作用。

为正确理解智慧城市联合排污权交易制度的减霾机制,将雾霾的减少归结为以下三个原因:能源效

率效应、技术创新效应和产业升级效应。解决雾霾问题的核心是能源结构和技术创新<sup>[14]</sup>。可以发现,煤炭燃烧是产生雾霾的主要因素之一,同时要素资源不断向高效率、高技术方向流动,而对于高耗能产业容易受到淘汰,由此资源配置的不合理导致能源效率的降低,进一步加深了排放污染<sup>[15]</sup>。智慧城市建设使得新能源技术得到进一步开发应用,且数字基础设施的投入让传统模式发生改变,数字及网络技术的搭建在提升生产效率的同时也激励煤炭等高污染能源消费的清洁替代效应。同时排污权交易的实施也让高污染相关产业环境成本增加,这类市场激励型环境规制会让能源消费迫切转型<sup>[16]</sup>,依靠新能源材料使能源消耗降低,进一步提高能源效率。减少化石能源的消耗,积极提高新能源消费比重,才能进一步提升能源利用效率,从而减少雾霾产生。

智慧城市的内核在于创新驱动动力,其中技术创新是主要动力<sup>[17]</sup>。新技术的创新一方面体现在生产、节能、环保的角度,通过在使用环保产品运用清洁生产技术形成预防,另一方面增加研发投入,提高创新能力,形成节能减排机制能有效减少大气污染<sup>[18]</sup>。通过限制排污额度,排污权交易让高污染企业内部交易并不容易,为达到排污额度仍需寻求技术创新突破。有研究表明,大部分污染的减少来自技术变革,同时企业生产模式因技术创新而发生改变,减少污染效果表现良好,常用环境策略以实现卓越的环境和经济绩效<sup>[19]</sup>。新技术、新方法、新产品的开发会减少资源环境的损害,通过结构、技术、配置促进绿色创新能力,也可以降低空气污染。

调整产业结构、促进产业升级是解决雾霾的有效途径。数字时代数据成为新的生产要素,智慧城市建设带动物联网、新能源产业等不断发展,能有效促进传统生产要素的优化与再分配,进一步推动产业升级,减少污染产生<sup>[20]</sup>。同时,加快新业态发展,催生新产业、改造传统产业,提高传统产业的生产效率,让新兴产业、绿色产业起示范作用和带头作用,促进产业合理化发展并实现产业升级<sup>[21]</sup>。在经济效益、环保效益、私人利益和社会福利的矛盾之下,排污权制度让产权明确,降低其交易成本,将资源优化配置,实现经济和环保的协调发展从而推动产业结构合理化,高效率的生产降低了污染。由此,提出如下假设:

H2:智慧城市和排污权交易组合政策通过提升能源效率、技术创新和促进产业升级从而实现城市减霾效果。

### 三、模型设定和数据说明

#### (一) 模型设定

本文讨论智慧城市和排污权交易组合政策对城市雾霾是否有降低的作用,为解决研究所存在的各种内生性问题,进一步分析政策效应的影响,本研究采用多期双重差分模型用以识别双试点建设前后对雾霾的影响情况。相应的多期双重差分模型设定如下:

$$PM2.5_{it} = \beta_0 + \beta_1 ZP_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $PM2.5_{it}$ 是被解释变量,表示城市雾霾平均浓度; $i$ 、 $t$ 分别表示城市和年份; $ZP_{it}$ 是核心解释变量,表示是否为智慧城市和排污权交易双试点城市,其取值规则为:城市同时满足智慧城市和排污权交易试点城市的当前年度及以后的年度 $ZP_{it}$ 的取值为1,其余为0; $X_{it}$ 是一组控制变量,表示可能随着 $i$ 、 $t$ 变动从而影响城市碳排放效率的控制变量; $\mu_i$ 和 $\lambda_t$ 分别表示城市和时间固定效应,即分别将城市的雾霾不随时间变化的个体因素以及不随城市变化的时间因素进行控制; $\varepsilon_{it}$ 表示随机扰动项; $\beta_1$ 是核心系数,表示智慧城市和排污权交易组合政策实施对雾霾的净效应,若 $\beta_1 < 0$ 且显著,说明双试点政策试点会显著降低雾霾浓度,彰显了政策的有效性。

## (二) 变量选择

### 1. 被解释变量

城市雾霾平均浓度( $PM_{2.5}$ ),运用达尔豪斯大学大气成分分析组发布的基于卫星监测的年度期内均值栅格数据表示。由于城市长期粗放式发展带来的空气污染加重,因此,改善空气质量的首要目标是控制  $PM_{2.5}$ 。

### 2. 核心解释变量

是否同时实施智慧城市试点和排污权交易城市试点( $zp$ ),同时实施为 1,否则为 0。同时剔除数据缺失较多的试点城市。

### 3. 控制变量

经济发展基础( $Eco$ )以城市人均生产总值表示,由环境库兹涅茨曲线可知经济发展与环境存在相关性。产业结构( $INDU2$ )用第二产业占城市生产总值表示,第二产业在生产过程中能源消耗、资源开采和工业排放均会产生大量污染。对于人力资本水平( $Stu$ )、研发投入( $Dep$ )、外商投资水平( $FDI$ )、金融发展( $Fde$ )分别以城市每万人普通高等大学在校生人数、科技支出占地方公共财政支出的比重、实际利用外商直接投资额占城市生产总值、以各市金融机构各项贷款余额与城市生产总值的比值表示。随着城市交通的日益繁忙,公交车数量不断增加,其尾气排放也会促使污染产生,参考赵彦云等<sup>[22]</sup>的研究,公共交通( $Tra$ )以年末实有公共汽(电)车营运车辆数表示。气象变量:平均气温( $Temp$ ),分析气候变化对雾霾的影响,发现高温使得雾霾恶化。

### 4. 机制变量

市场竞争日益加剧,环境资源压力日益增加,在全球产业链中需要从有相关政策引导优化产业实现“两低两高”目标,所以本文从能源效率、技术创新和产业升级三个方向检验影响机制。

能源效率( $Ene$ )参考张洪和颜金香<sup>[23]</sup>运用非期望产出 SBM 模型计算。选取就业人数、资本存量、夜间灯光值作为投入指标,分别表示劳动力、资本以及能源消费量,城市 GDP 作为期望产出变量,非期望产出包括工业二氧化硫排放量、二氧化碳排放量。其中,资本存量参考张军等<sup>[24]</sup>的永续盘存法计算,以 2006 年作为基期,估算的折旧率采用 9.6%。能源消费参考张兵兵等<sup>[25]</sup>采用夜间灯光总亮度的平均值表示。二氧化碳排放量运用,包括人工煤气天然气、液化石油气、全社会用电量、总热能(包括蒸汽供热和热水供热)。根据联合国政府间气候变化专门委员会 2006 年的报告,每千克原煤的碳排放系数为 2.53 kg  $CO_2/kg$ ,参考吴建新等<sup>[26]</sup>的研究,计算城市产生的碳排放量。关注并提升能源效率既节约经济成本,降低能源消费,又降低燃烧过程中产生的空气污染物,进一步推动技术进步和政策创新。具体公式如下:

$$Ene = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{\frac{1}{c_1 + c_2} \left( \sum_{r=1}^{c_1} \bar{y}_r^+ + \sum_{q=1}^{c_2} \bar{y}_q^- \right)} \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j x_{ij}, \bar{y}^+ \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{ij}^+, \bar{y}^- \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{ij}^-$$

$$\bar{x} \geq x_k, \bar{y}^+ \leq y_k^+, \bar{y}^- \geq y_k^-, \lambda_j \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m;$$

$$r = 1, 2, \dots, c_1; q = 1, 2, \dots, c_2$$

其中, $Ene$ 为能源效率; $x_{ik}$ 为投入矩阵中的元素,包含变量劳动、资本、能源, $i$ 表示第  $i$  个投入要素, $k$ 表示当前效率为基准的第  $k$  个决策单元数; $y_{rk}^+$ 、 $y_{qk}^-$ 分别为期望产出、非期望产出矩阵中的元素, $r$ 和  $p$ 分

别为第  $r$  个和第  $p$  个期望产出和非期望产出要素;  $\lambda_j$  为权重向量, 是各个决策单元的权重;  $n$  为决策单元数 DUM;  $m$  为投入指标数;  $j$  是第  $j$  个 DMU;  $c_1$ 、 $c_2$  分别表示期望和非期望产出指标数。

技术创新(*Inno*)参考 Gao 等<sup>[27]</sup>的研究, 选择用当年申请的发明数量及实用新型数量总和表示技术创新能力。通过引入新技术、新产品和服务可以提升市场竞争优势和生产效率, 推动社会进步及寻找新的经济增长点, 解决社会面临的资源短缺和环境污染等问题。

本文参考李珊和湛泳<sup>[28]</sup>的研究, 以历年各产业劳动生产率作为各产业占比加权值, 综合各产业得出历年各个城市的产业转型升级(*lnUpindus*)指标。测度如下:

$$\ln Upindus_{it} = \sum_{k=1}^3 \text{indus}_{ik} \times \text{Lab}_{ik} = \sum_{k=1}^3 [\text{indus}_{ik} \times (y_{ik}/\text{lab}_{ik})] \quad (3)$$

其中,  $\text{indus}_{ik}$  表示在第  $i$  个城市第  $t$  年的第  $k$  产业占地区生产总值比例;  $\text{Lab}_{ik}$  表示劳动生产率;  $y_{ik}$  表示产业增加值;  $\text{lab}_{ik}$  表示就业人数。

### (三) 数据说明

基于数据的可获得性, 样本选取 2006—2021 年中国 284 个地级市的面板数据来探究智慧城市和排污权交易组合政策对城市雾霾的影响。其中, 样本数据不含港澳台地区, 同时由于西藏地区大多数数据不完整、样本内行政级别发生变化的城市数据有差异且部分城市数据难以获得, 因此剔除以上情况样本城市。能源数据均来自《中国能源统计年鉴》, 经济数据均来自《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国区域统计年鉴》、中国研究数据服务平台(CNRDS), 《中国能源统计年鉴》及中国经济统计数据库等。同时, 雾霾数据来源于达尔豪斯大学大气成分分析组发布的基于卫星监测的年度期内均值栅格数据, 气候数据来源于国家青藏高原科学数据中心。此外, 使用插值法弥补了局部数据缺失。

## 四、实证及检验

### (一) 基准回归

表 1 是基准回归结果。其中, 列(1)表示不加入控制变量的数据回归结果; 列(2)是加入控制变量的数据回归结果; 列(3)是加入控制变量且时间固定的回归结果; 列(4)是加入控制变量且控制时间和个体的面板数据回归结果; 列(5)和列(6)是添加温度控制变量的回归结果。

表 1 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	无控制变量	个体固定	时间固定	双固定回归	添加温度控制变量	
<i>zp</i>	-11.570 3*** (-25.592 6)	-8.183 0*** (-12.493 3)	5.750 8*** (9.564 9)	-2.228 9*** (-4.268 6)	-2.368 6*** (-4.422 8)	-2.240 4*** (-4.358 7)
<i>Eco</i>		-0.076 1 (-1.277 9)	-0.040 6 (-1.117 9)	-0.015 2*** (-3.807 3)		-0.016 0*** (-4.066 9)
<i>INDU2</i>		0.020 1 (0.953 7)	0.026 1 (0.942 1)	0.002 1*** (3.593 6)		0.002 3*** (3.857 4)
<i>Stu</i>		-0.542 7*** (-5.959 4)	0.186 3*** (5.515 4)	-0.094 6** (-2.379 2)		-0.092 5** (-2.379 1)
<i>Dep</i>		-0.864 9*** (-4.579 2)	-0.036 6 (-0.431 2)	-0.302 1*** (-3.798 8)		-0.304 1*** (-3.873 0)

续表1

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	无控制变量	个体固定	时间固定	双固定回归	添加温度控制变量	
<i>FDI</i>		0.109 4 (1.272 2)	0.311 2** (2.776 0)	-0.111 5** (-2.099 5)		-0.109 4** (-2.125 8)
<i>Tra</i>		1.345 7*** (3.504 1)	0.127 5 (0.066 2)	0.385 7* (1.832 9)		0.663 6*** (2.984 7)
<i>Fde</i>		-0.014 5** (-2.581 0)	-0.026 5* (-1.978 8)	0.000 4 (0.349 9)		0.000 5 (0.478 4)
<i>Temp</i>					-0.186 7*** (-7.137 9)	-0.198 0*** (-7.703 6)
<i>_cons</i>	45.334 2*** (742.103 4)	51.451 7*** (35.878 3)	42.149 1*** (24.148 2)	50.971 8*** (133.179 8)	52.486 6*** (113.130 3)	53.187 9*** (100.567 6)
<i>N</i>	454 4	454 4	454 4	454 4	454 4	454 4
城市固定	是	是	否	是	是	是
年份固定	否	否	是	是	是	是
<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	0.112	0.262	0.077	0.754	0.752	0.757
<i>sigma_u</i>	14.495	18.626	7.460	14.143	13.648	14.132
<i>sigma_e</i>	7.953	7.251	13.547	4.186	4.204	4.159
<i>rho</i>	0.769	0.868	0.233	0.919	0.913	0.920

注:statistics in parentheses \*表示  $p < 0.1$ ; \*\*表示  $p < 0.05$ ; \*\*\*表示  $p < 0.01$ 。下同。

由基准回归模型结果可知,在不加入控制变量时,列(1)的核心系数显著为负,说明政府实施智慧城市和排污权交易双试点是能显著降低城市雾霾的,假设 H1 得以验证。列(2)在加入控制变量后核心解释变量仍显著为负,但系数的绝对值有变小趋势,说明加入了有效的控制变量。列(3)核心系数显著为正,说明在控制时间的情况下,智慧排污政策在当前时间下难以改变排污增加的可能性。但是在后续研究中可以知道,该政策的实施效果是具有滞后性的。由列(4)可知,经济发展基础的提升、人力资本水平的提高、研发投入的增加和外商投资水平增大均可以显著减少雾霾,意味着城市在提高人均 GDP 的同时,需要关注高素质人才流入,扩大大学招生,增加大学生人数,提高科技支出占地方公共财政的比重,重视发展科技创新,吸引外商进入城市投资发展,提高实际利用外商投资额占 GDP 的比重,则会抑制雾霾排放,从而达到降污的目标。而第二产业占 GDP 比重的提高会促进 PM2.5 的产生,即产业结构向第二产业占比增加会让城市污染加剧,同时说明了现在大多数城市仍靠着传统行业发展经济。同时,公共交通能显著增加污染排放,说明尽管大多数城市公交车采用电车,但是部分非电车排放的增多仍然会增加雾霾浓度。金融发展对雾霾的影响并不显著,可能原因是未能有效支持绿色产业的发展或未能引导资金流向清洁能源领域,那么其对雾霾的改善作用可能会受到限制。由于温度是影响雾霾的重要因素,在其他研究中,一般尝试添加经济控制变量而未考虑气候因素,所以该研究尝试加入温度控制变量使得结果更加具有说服力。由上表列(5)(6)可知,在未添加经济控制变量的情况下,智慧排污政策和温度变量均显著为负,说明温度的增加会减少雾霾的产生,且智慧排污政策在温度的影响下依旧保持降污效力。在加入经济控制变量后,各变量的系数符号及显著性均未发生改变,与双固定回归结论一致,进一步说明添加温度变量的合理性。

## (二) 平行趋势检验

对于智慧城市和排污权交易组合政策的减污效应的探究需首先进行平行趋势检验查看其动态效应。探究在实施双试点政策之前,试点城市和其他试点城市之间历年的城市雾霾是否存在不同的变化趋势。

参考张国兴等<sup>[29]</sup>的研究框架,构建模型如下:

$$PM2.5 = \alpha + \sum_{k=-7}^9 \beta_k D_{it}^k + \rho X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$D_{it}^k$  表示政策实施对应的前 7 年到后 9 年的系列虚拟变量,赋值规则设置为:  $action_i$  表示第  $i$  个城市实施双试点政策的年份。若  $year-action_i \leq -7$ , 则  $D_{it}^{-7} = 1$ ; 若  $year-action_i = k$ , 则  $D_{it}^k = 1$ ; 若  $year-action_i \geq 9$ , 则  $D_{it}^9 = 1$ , 其余情况均为 0。参数  $\beta_k$  反映了双试点政策在实施前后对城市碳排放效率的影响,若  $\beta_k$  不显著则平行趋势检验通过。

图 1 绘制了系数  $\beta_k$  的估计值及置信区间,可以看出在政策实施前七年,系数  $\beta_k$  均较为平缓,变化较小且不显著,可以通过平行趋势检验。在政策实施后的一年里,试点城市和其他城市虽呈现出并无区别,而在试点后第二年开始,其系数呈现明显下降趋势,且置信区间逐渐不包括 0,系数显著为负,说明了双试点政策有助于城市明显地降污,可以降低城市的 PM2.5 浓度,但具有一定的时滞性。

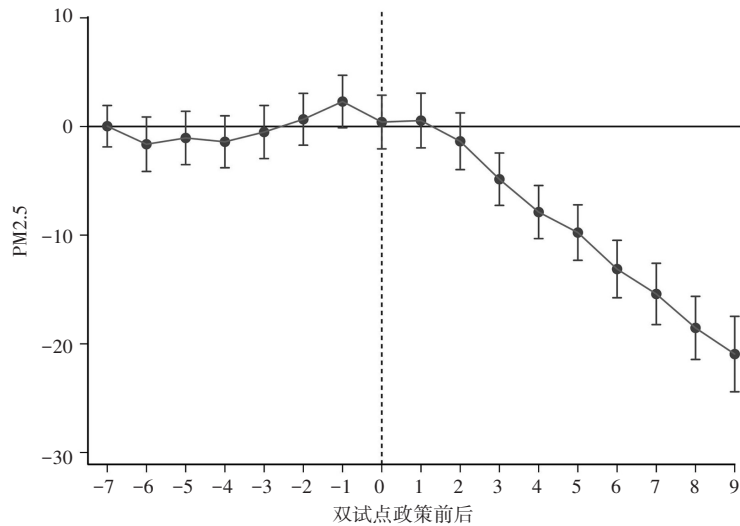


图 1 平行趋势检验

### (三) PSM-DID 检验

由于试点城市的选择是在综合考虑各地区的实验性和代表性进行选择的,所以选择方式上并不一定具有随机性,可能存在不确定因素会对实验结果造成影响,使得估计产生误差。在满足平行趋势检验的前提下,采用逐年匹配的方式基于 PSM-DID 模型对估计系数进行稳健性检验,以此缓解内生性问题。具体匹配变量采用已有的九个控制变量,将卡尺最近邻匹配方法运用于 Logit 模型中,通过回归计算倾向得分,将试点城市与非试点城市进行匹配,再对采用 DID 方法对匹配样本进行估计拟合。其中,列(1)采用固定效应的 DID 模型进行回归,列(2)采用权重不为空的样本进行回归,列(3)采用满足共同支撑假设的样本进行回归和列(4)使用频数加权回归进行回归。

表 2 PSM-DID 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>fe</i>	<i>weight!</i> =.	<i>on_support</i>	<i>weight_reg</i>
<i>did</i>	-0.319 4*** (-10.123 8)	-0.246 1*** (-6.518 6)	-0.319 4*** (-10.123 8)	-0.241 2*** (-7.017 8)
<i>_cons</i>	52.639 0*** (122.624 2)	53.618 8*** (44.012 7)	52.639 0*** (122.624 2)	54.270 9*** (50.256 0)

续表2

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>fe</i>	<i>weight!</i> =.	<i>on_support</i>	<i>weight_reg</i>
<i>N</i>	4 544	2 619	4 544	3 337
经济、温度控制变量	是	是	是	是
城市、年份固定	是	是	是	是
<i>Adj. R</i> <sup>2</sup>	0.744	0.749	0.744	0.753
<i>sigma_u</i>	13.973	13.990	13.973	13.973
<i>sigma_e</i>	4.137	4.200	4.137	4.123
<i>rho</i>	0.919	0.917	0.919	0.920

由表2回归结果可知,四种样本下的双试点政策降污效果仍然显著为负,同时在满足共同支撑假设的样本城市其降污效果最好。相比基准回归结果,其回归系数的绝对值均有不同程度的提高,影响作用保持负向效果,说明虽然智慧城市和节排污权交易双试点城市的选择并非随机,估计结果存在细微偏差,但本文结论依然稳健。

#### (四) 安慰剂检验

在智慧城市和排污权交易组合政策实施之后,双试点城市和其他城市对PM2.5影响引起的变化趋势可能受到其他随机因素影响,可进行安慰剂检验。采用选择随机处理组的方法,重新设置抽取交互项,若伪政策变量系数在虚拟设置情况下依然显著,则说明真正的核心解释变量的估计值可能存在偏差。具体操作步骤包括:首先,从原始数据集排除处理组的样本数据;其次,将随机模拟的处理组合并到剩余的原始数据组中;最后,新组合的数据进行回归。通过将上述步骤进行1 000次模拟,可以得到伪政策变量的估计结果。

其核密度分布如图2所示,伪政策变量系数分布的均值在0附近,且近似服从正态分布。而真正的核心解释变量的系数距离0比较远,表明变量的大多数系数不显著,所以我们可以认为该模型的结果是稳健的。

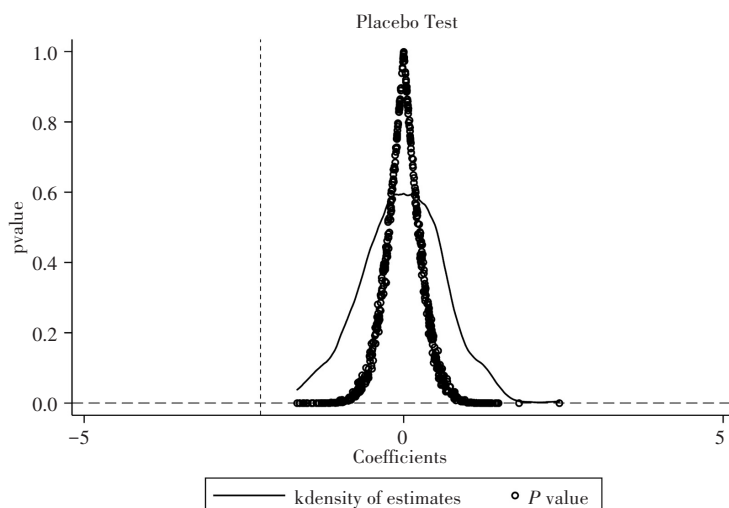


图2 安慰剂检验

## 五、影响机制检验

根据江艇<sup>[30]</sup>的观点,本文选用的能源效率(*Ene*)、技术创新(*Inno*)、产业升级(*InUpindus*)作为三种影

响机制检验效应,用于检验假设 H2 是否成立,根据表 3 中回归结果,能源效率、技术创新影响机制显著成立,但是产业升级影响机制不显著。

### (一) 能源效率效应

根据表 3 可知,智慧城市和排污权交易组合政策能显著优化能源效率,实现在能源转换、传输和利用过程中,高效利用能源减少浪费和损耗,从而降低对环境的负面影响。在高质量发展中,实现经济的发展不单是需要注重数量,更需关注质量,高耗能、高污染、高排放的生产模式急需调整,此时能源效率的提升成为促进发展的重要指标。在能源供应紧张或价格波动较大的情况下,提高能源效率有助于减少对外部能源供应的依赖,降低能源安全风险,高效的能源利用可以为企业和国家提供更多的能源保障。市场机制倒逼企业减排,政策协同让数字化技术实现能源管理的精细化,而排污权交易通过市场化机制激发企业减排动力,进一步提升能源效率。这种智慧排污政策带来的积极效应将减少二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放,提升能源利用的合理性,实现环境降污作用。

### (二) 技术创新效应

在机制检验中,智慧城市和排污权交易组合政策激发技术创新效应显著,随着政策不断完善,科技的连续进步,研发投入增加,人力资本投入增加,从而新的技艺、材料不断涌现,奠定了技术进步的知识积累,创新由此有了坚实基础。同时,伴随着智慧城市和排污权交易组合政策所提出的研发费用加计扣除等系列政策直接降低企业研发成本,提升创新投入意愿。且政策推动加速成果转化和市场化,区域协同发展,强化激励机制与人才吸引,为创新提供保障。政策的分阶段支持,让目标定位明确,通过财政资金撬动社会资本,基金引导,产学研联合攻关,政策迭代升级,通过制度设计降低风险、优化资源配置,形成正向循环。由此可以看出,智慧排污城市要求的技术升级带来的技术创新效应也被广泛运用到实践中。

### (三) 产业升级效应

由表 3 可知,智慧城市和排污权交易组合政策对于产业升级的影响并不显著,其原因可能是在智慧降污中具有明显优势,但对于驱动降污效力促进产业升级的影响尚在孕育。在早期的粗放式经济发展中,地区产业结构可能存在固化情况,在重视传统产业的同时,新兴产业尚未形成规模,导致产业升级效应缓慢。首先,智慧城市及排污权交易双政策是鼓励信息技术及控制排放与产业发展进行深度融合,但是在实行过程中可能缺乏机制和具体措施,导致产业接受度和应用能力有限。其次,智慧排污其基础设施建设需要大量的资金流入,配套设施难以跟上,且在城市建设中缺乏统一规划,难以形成合力聚集于产业升级中。且部分企业环保意识难以跟上,仍然将其视为成本负担,导致产业升级效果并不显著。最后,当下中国产业仍在发展中,部分关键技术仍需通过进口实现,这在某种程度上限制了升级。只有克服以上障碍,才能进一步实现智慧降污减霾目标。

表 3 影响机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>Ene</i>	<i>Inno</i>	<i>lnUpindus</i>
<i>zp</i>	2.765 9*	0.351 8**	-0.072 1
	(1.866 3)	(2.295 1)	(-1.041 4)
<i>N</i>	454 4	454 4	454 4
经济、温度控制变量	是	是	是
城市、年份固定	是	是	是
<i>r2_a</i>	0.088 5	0.255 9	0.526 1

续表3

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>Ene</i>	<i>Inno</i>	<i>lnUpindus</i>
<i>sigma_u</i>	19.692 3	0.857 2	0.827 0
<i>sigma_e</i>	10.877 1	0.897 7	0.571 2
<i>rho</i>	0.766 2	0.477 0	0.677 0

## 六、异质性分析

由于不同城市的地理位置、行政水平、矿产资源以及经济水平存在明显差异,因此从城市的外在特征到内在发展处理进行分级探究。其中,外在特征按照地理位置和行政等级分别讨论其外在异质性,相对内在发展处理按照经济聚集程度和资源依赖程度进行划分讨论其内在异质性,该分组评估了智慧城市和排污权试点城市的实施对环境治理的平均效果。根据分类标准将城市划分为若干亚类,具体模型如下:

$$PM2.5_{it} = \alpha + \sum_p \lambda_p zp_{it} \times heter_{it}^p + \varphi control_{it} + \zeta_i + \tau_t + v_{it} \quad (5)$$

其中, $\lambda_p$ 表示第 $p$ 类城市的平均政策性效应; $heter_{it}^p$ 表示第 $i$ 个城市第 $t$ 年第 $p$ 类虚拟变量,其中包括地理位置 region 中的三小类、行政等级 admi 中的两小类、经济聚集程度 Eco\_gath 中的两小类以及资源依赖程度中的两小类,具体定义详见下面分析。

### (一) 地理位置

在绿色发展的背景下,自然环境在各个地区均存在区别,造就了人文差异、政策导向不同和经济发展不平衡等情况,按地理位置划分研究有助于了解不同地区的可持续发展进度,为应对全球挑战和实现“双低双高”目标提供思路。按照国家地理位置将城市分为三类,并设置三个虚拟变量,分别为东部地区 region\_east,中部地区 rengion\_central 和西部地区 region\_west。对于东部城市,region\_east = 1,其他城市 region\_east = 0 与西部地区 region\_west 类似。由此得到核心解释变量  $zp\_east = zp * region\_east$ ,同理可得  $zp\_central$ 、 $zp\_west$ 。由表 4 第(1)列可知,政策实施在东部和中部城市都发挥显著环境减霾作用,而西部地区不显著。出现差异的可能原因是西部产业以重工业、能源产业为主,且技术及资金受限,在发展经济的同时放松了对环境的监管,同时公众参与执行力度不足,从而导致尽管实行了环境政策,但环境仍未得到改善。而东部和中部地区相比西部各方面产业结构得到优化升级,同时拥有临近沿海的先天地理优势,经济发展较好,同时公众环保意识较强,政策执行和监管力度较大,所以在实行智慧排污政策时能够产生积极反馈。因此,未来西部地区需要加大政策执行及监管力度,积极推动产业智能化、清洁化,提升技术创新及能源利用率。

### (二) 行政等级

城市行政等级不同有助于实现分级管理,同时在面对各地区经济文化发展中的巨大差异,可以因地制宜地制定政策。按照城市行政等级设置两个虚拟变量,分别为重点城市 admi\_key 和一般城市 admi\_ordinary。将直辖市、省会城市及副省级城市作为重点城市 admi\_key 赋值为 1,其他城市为 0。对于一般城市 admi\_ordinary 则是除重点城市之外的城市赋值为 1,其他城市为 0。由此得到核心解释变量  $zp\_key = zp * admi\_key$ ,同理可得  $zp\_ordinary$ 。由表 4 第(2)列可知,智慧排污政策在一般城市和重点城市中起到了显著降污作用。说明两类城市通过政策有效地监督实施,即使行政等级不同,政策也同样能起到了相同的作用,进一步推动绿色环境目标的实现。在未来城市也应该继续实行智慧城市和排污权交易组合政

策,既要保证城市的环保目标,又要积极推进城市绿色技术创新发展。

### (三) 经济聚集程度

在全球化推进中,经济活动日益呈现集中化趋势,资源的不均衡分配导致富的更富,穷的更穷,对于贫富差距较大地区研究其降污效果是否存在异质性。参考范洪敏等<sup>[31]</sup>的研究,选取城市市辖区 GDP 占全省 GDP 比重表示经济聚集程度。设置两个虚拟变量高聚集地  $Eco\_high$ 、低聚集地  $Eco\_low$ 。对于高聚集地则将各个城市均值大于 10% 的城市对应变量赋值为 1,其他城市则为 0。低聚集地  $Eco\_low$  类似。由此得到核心解释变量  $zp\_high = zp * Eco\_high$ ,同理可得  $zp\_low$ 。由表 4 第(3)列可知,无论是在经济高聚集地还是在经济低聚集地,平均政策效应都呈现出显著减少 PM2.5 的效果,说明无所谓经济聚集的高低,政策带来的减污作用所辐射到的是发展经济的各个地区。但高低不同区域对应的政策效果各有不同,对于低聚集区更有效。可能原因是,相对于经济高聚集地区,那些低聚集区的经济发展水平不高,环境治理基础较差,在经历实施相关政策后,往往可以展现出令人瞩目的进步幅度,整体降污效率则会更胜一筹。

### (四) 资源依赖程度

对于资源丰富地区的开采程度不断扩大造就经济短期会发展迅速,其代价则可能是大气污染、水污染、土壤污染、地质灾害等一系列环境问题,那么政策实施是否会对资源依赖不同程度的地区产生不同影响。参考李虹等<sup>[32]</sup>的研究,采用采掘业从业人员与总人口的比值表示资源依赖程度。引入两个虚拟变量资源丰裕  $reso\_abundant$ 、资源匮乏  $reso\_lack$ ,对于资源丰富地区将均值大于 1% 的城市对应的  $reso\_abundant$  变量赋值为 1,其他城市为 0。资源匮乏  $reso\_lack$  地区类似。由此得到核心解释变量  $zp\_abundant = zp * reso\_abundant$ ,同理可得  $zp\_lack$ 。由表 4 第(4)列可知,对于不同资源依赖程度的地区实施政策均展现出显著降低各城市 PM2.5 的效果,但是对于资源依赖度较低之地的降污效果更好。一般来说资源丰裕之地的资源依赖度较高,则此类地区第二产业较为发达,受污染程度相对较高,同时在一定程度上难以广泛应用绿色清洁技术,政策实施过程及效果也会较为缓慢和艰难,无形中降低了降污效果。而对于低资源依赖度的城市大多发展第三产业,在执行低消耗低排放过程中发展清洁能源及技术,自然有利于减污。

表 4 异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	地理位置	行政等级	经济聚集程度	资源依赖程度
$zp\_east$	-1.995 7*** (-3.643 3)			
$zp\_central$	-3.787 6*** (-6.070 3)			
$zp\_west$	1.598 5 (1.512 8)			
$zp\_key$		-2.069 6** (-2.034 8)		
$zp\_ord$		-2.2721*** (-4.082 2)		
$zp\_high$			-2.028 9*** (-2.652 1)	

续表4

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	地理位置	行政等级	经济聚集程度	资源依赖程度
<i>zp_low</i>			-2.340 3*** (-3.835 8)	
<i>zp_abundant</i>				-2.075 6*** (-2.714 2)
<i>zp_lack</i>				-2.364 7*** (-4.012 6)
<i>_cons</i>	53.023 2*** (102.962 1)	53.195 4*** (99.331 9)	53.193 8*** (100.155 7)	53.188 7*** (100.344 4)
<i>N</i>	454 4	454 4	454 4	454 4
经济、温度控制变量	是	是	是	是
城市、年份固定	是	是	是	是
<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	0.760	0.757	0.757	0.757
<i>sigma_u</i>	14.239	14.136	14.138	14.131
<i>sigma_e</i>	4.134	4.159	4.159	4.159
<i>rho</i>	0.922	0.920	0.920	0.920

## 七、结论与政策启示

智慧城市试点和排污权交易是实现城市减霾的重要举措。本文选取2006—2021年中国284个地级市的数据,通过构建多期双重差分模型分析智慧城市和排污权交易组合政策对城市雾霾的影响,并进行稳健性分析,进一步探究其影响机制和异质性。结果发现:(1)实施智慧城市和排污权交易组合政策具有减霾作用,且政策实施效果具有时滞性,在经过系列的稳健性检验后结果仍成立;(2)从影响机制分析可知,智慧城市和排污权交易组合政策主要通过技术创新和产业升级促进减霾,而产业升级的减霾效益并不显著;(3)由异质性分析可知,智慧城市和排污权交易组合政策在地理位置、行政等级、经济聚集程度、资源依赖程度不同的城市均存在显著差异,其中对中部地区城市、非重点城市、经济聚集程度低的城市、资源依赖程度较低城市的减霾效果更好,而西部地区城市减霾作用并不显著。为推动智慧城市和排污权交易组合政策实施以实现减霾作用,本研究提供以下政策启示:

1. 合理规划并扩大排污权交易和智慧城市政策实施范围,加强政策实施过程的包容性。不断深化改革,建立政策先行试验区,将环境保护政策与智慧创新政策相结合,联合多部门协作加强智慧城市建设,同时将排污权交易纳入保护环境政策中。完善并提高雾霾监测能力,加强雾霾治理政策间的协调性,建立统一考核标准。同时加强城市产业层面的相关减霾研究,加大对低污染、高精尖产业的财政支持,助力实现绿色发展。

2. 关注政策对于能源利用效率和技术创新能力的提升达到的减霾作用,发挥高能效、新技术的引领作用。具体而言,地方政府应通过加强研发投入,尤其是对污染治理等技术研发,同时引入人才、加快智能化基础设施建设,发挥数据要素作用促进资源的合理分配。最后,发挥高新技术产业、绿色生产示范作用,推动技术革新,提高能源加工转化效率,大力发展使用清洁能源(如太阳能、风能等),从根源上实现减污。

3. 分类实现城市梯度发展,因地制宜、各有侧重。关注一般和重点城市的政策实施差异,特别在西部地区城市不敏感,则需另行其他政策实现减霾,而在中部和东部地区的减霾效果较好的情况下,应加大政

策实施的先行力度,将两类政策共同作用的试点经验进行积极推广。同时,把握经济聚集区的减霾差异,减少高资源依赖地区化石能源消费,为建设美丽中国做出实际行动。

### 参考文献:

- [1] 马勤,许振波. 杭州市临安区冬季 PM<sub>2.5</sub> 化学组成特征和来源解析[J]. 浙江大学学报(理学版),2024(4):511-520.
- [2] 邓慧慧,支晨. 雾霾治理、户籍制度改革与城市劳动生产率[J]. 中国人口·资源与环境,2024(4):138-149.
- [3] 周利敏,罗运泽. 数智赋能:智慧城市时代的应急管理[J]. 理论探讨,2023(2):69-78.
- [4] 袁淳,从阡匀,耿春晓. 信息基础设施建设与企业专业化分工——基于国家智慧城市建设的自然实验[J]. 财经研究,2023(6):34-48.
- [5] YAN Z M, SUN Z, SHI R, et al. Smart city and green development: Empirical evidence from the perspective of green technological innovation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*,2023,191:122507.
- [6] SALMAN M Y, HASAR H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques[J]. *Sustainable Cities and Society*,2023,94:104567.
- [7] 赖俊明. 环境权益交易对企业绿色创新的影响研究——基于二氧化硫排污交易政策视角[J]. 软科学,2024(2):117-123.
- [8] 孙晓华,张竣楠,李佳璇. 市场型环境规制与制造企业转型升级——来自“排污权交易”的微观证据[J]. 数量经济技术经济研究,2024(1):90-109.
- [9] CHEN H, YUAN B B, LI Z H, et al. The internal mechanism and impact of digital economy on China's smog pollution: Based on the perspective of industrial structure coordination[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*,2025(11):1994-2010.
- [10] 周韩梅,刘新智,孔芳霞. 数字经济发展能否减少中国雾霾污染?——基于空间杜宾模型的检验[J]. 当代经济管理,2024(4):1-11.
- [11] 董平,杨艳琳. 空气污染、排污权交易与区域环境质量提高[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2021(6):101-109,190-191.
- [12] 储震,程名望. 智慧城市建设和环境污染改善——微观证据与影响机制[J]. 经济科学,2023(6):66-85.
- [13] 魏巍贤,马喜立. 能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J]. 中国人口·资源与环境,2015(7):6-14.
- [14] 黄和平,谢云飞,黎宁. 智慧城市建设是否促进了低碳发展?——基于国家智慧城市试点的“准自然实验”[J]. 城市发展研究,2022(5):105-112.
- [15] 宋德勇,陈梁,王班班. 环境权益交易如何实现减污降碳协同增效:理论与经验证据[J]. 数量经济技术经济研究,2024(2):171-192.
- [16] 石大千,丁海,卫平,等. 智慧城市建设和降低环境污染[J]. 中国工业经济,2018(6):117-135.
- [17] KAUFMANN R K. The mechanisms for autonomous energy efficiency increases: A cointegration analysis of the US energy/GDP ratio[J]. *The Energy Journal*,2004(1):63-86.
- [18] WANG N, WEI C H, ZHAO X F, et al. Does green technology innovation reduce anthropogenic PM<sub>2.5</sub> emissions? Evidence from China's cities[J]. *Atmospheric Pollution Research*,2023(3):101699.
- [19] XU N, ZHANG F, XUAN X. Impacts of industrial restructuring and technological progress on PM<sub>2.5</sub> pollution: Evidence from prefecture-level cities in China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*,2021(10):5283.
- [20] 郭秋秋,马晓钰. “宽带中国”战略和低碳城市双试点的减污效应研究[J]. 产业经济研究,2023(5):129-142.
- [21] YANG M W, YANG W J, WANG Z, et al. Does the pilot construction of new-energy cities promote particulate matter 2.5 (PM<sub>2.5</sub>) reduction? Evidence from China[J]. *Frontiers in Environmental Science*,2023,11:1094935.
- [22] 赵彦云,陆香怡,王汶. 低碳城市的 CO<sub>2</sub> 与 PM<sub>2.5</sub> 减排协同效应分析[J]. 中国环境科学,2023(1):465-476.
- [23] 张洪,颜金香. 新发展理念下中国 31 省区市旅游业发展效率分析[J/OL]. 重庆工商大学学报(社会科学版), <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1154.C.20220601.1128.002.html>.

- [24] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究,2004(10):35-44.
- [25] 张兵兵,陈思琪,曹历娟. 城市因“智慧”而低碳吗?——来自智慧城市试点政策的探索[J]. 经济评论,2022(6):132-149.
- [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(1):54-60.
- [27] GAO D, WANG G M. Does the opening of high-speed rails improve urban carbon efficiency? Evidence from a spatial difference-in-difference method[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023(45):101873-101887.
- [28] 李珊,湛泳. 产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应研究[J]. 上海财经大学学报,2022(5):3-18,107.
- [29] 张国兴,樊萌萌,马睿琨,等. 碳交易政策的协同减排效应[J]. 中国人口·资源与环境,2022(3):1-10.
- [30] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济,2022(5):100-120.
- [31] 范洪敏,米晓清. 智慧城市建设与城市绿色经济转型效应研究[J]. 城市问题,2021(11):96-103.
- [32] 李虹,邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. 经济研究,2018(11):182-198.

## The Combined Effects of the Smart City and the Emissions Trading System on Urban Haze in China

DENG Guangyao, WU You

(School of Statistics and Data Science, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730030, Gansu, China)

**Abstract:** Urban haze remains a persistent threat to the ecological environment during city development. To build a Beautiful China, exploring the synergistic haze reduction effects of policy combinations while balancing environmental benefits and economic growth has emerged as a critical objective. Based on city-level panel data from 2006 to 2021, this study employs a multi-period difference-in-differences (DID) approach to evaluate the impact of two national pilot policies—the Smart City initiative and the Emissions Trading System (ETS)—on urban haze. The results indicate that, after undergoing a series of robustness checks, including placebo tests, the combined policy of the Smart City and ETS continues to demonstrate a significant haze reduction effect, with the impact exhibiting a notable time lag. Furthermore, this policy combination achieves haze reduction goals by enhancing energy efficiency and promoting technological innovation, although the pathway through industrial upgrading is not yet evident. Additionally, the haze-reduction effectiveness of the policies is associated with geographic location, administrative level, degree of economic agglomeration, and resource dependency. Specifically, significant haze reduction is observed in central and eastern regions, but not in the western region. Haze reduction effects are more pronounced in non-key cities, cities with low economic agglomeration, and cities with low resource dependency. Therefore, to effectively mitigate haze, it is essential to tailor approaches to local conditions by jointly implementing the Smart City and ETS policies, enhancing energy utilization efficiency and technological innovation capacity, reducing fossil fuel consumption in highly resource-dependent regions, taking into account regional, locational, and resource disparities, fostering tiered urban development, and promoting pilot program experiences.

**Keywords:** Smart City; emissions trading; haze reduction; multi-period difference-in-differences

(责任编辑:李栋桦)