

# 创新型城市建设的减霾效应评估

——来自试点城市的证据

冉启英<sup>1,3</sup>,王健龙<sup>2</sup>,杨小东<sup>2</sup>,王伟龙<sup>2</sup>

(1. 新疆大学 创新管理研究中心,新疆 乌鲁木齐 830047;2. 新疆大学 经济与管理学院,新疆 乌鲁木齐 830047;  
3. 上海商学院 商务经济学院,上海 201400)

**摘要:**基于2007—2018年中国271个地级市的面板数据,运用DID和PSM-DID模型评估了创新型城市建设对雾霾污染的治理效应。研究发现,创新型城市建设可以降低城市雾霾污染,该结论在经过PSM-DID等方法的稳健性检验后仍成立。异质性分析表明,中部地区创新型城市建设降低雾霾污染的效果最显著,西部地区创新型城市建设对雾霾污染的抑制作用不明显。创新能力低的城市政策推行对雾霾污染的抑制作用显著且高于创新能力高的城市。FDI与环境规制强度高的城市建设能显著降低地级市雾霾污染。作用机制研究表明,创新型城市建设可通过调整产业结构、推动政府政策实施、提升技术创新效率和促使人力资本集聚等途径,对抑制城市雾霾污染产生间接的推动作用,且技术创新效应及人才集聚效应是创新型城市建设抑制雾霾污染的主要原因。

**关键词:**创新型城市建设;雾霾污染;DID;PSM-DID;机制检验

**中图分类号:**F299;X24 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6049(2022)02-0066-10

## 一、引言与文献综述

改革开放至今,我国经济高速增长,经济总量已跻身世界前列,与此同时,粗放式经济增长带来了严重的雾霾污染。《2020中国生态环境状况公报》中的数据显示,我国337个地级及以上城市中,仅有202个城市环境质量达标,占有城市的59.9%,PM<sub>2.5</sub>年均浓度高达33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,远超世界卫生组织发布的《空气卫生准则值》中10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准。近年来,我国多地被大面积、长时间的雾霾天气所笼罩,污染排放问题已成为阻碍我国经济高质量发展的短板。因此,探寻新型城市发展模式刻不容缓。创新型城市发展依靠创新驱动,能够实现经济的内涵式增长,可为城市发展创造良好的竞争、监督和创新环境,对提升区域城市发展水平、增强国家创新能力、抑制环境质量下行、实现经济与环境协调发展具有重大意义。

有学者从传统城市发展对环境的影响方面进行研究。部分学者认为,城市规模的扩张,虽然促进

收稿日期:2021-12-20;修回日期:2022-03-11

**基金项目:**国家自然科学基金项目“西部地区节能潜力与实现机制”(71463057);新疆维吾尔自治区科技创新战略研究专项“新疆科技经费投入机制与绩效评价研究”(2021B04001-4);新疆维吾尔自治区研究生创新项目“土地要素错配如何影响城市绿色发展”(XJ2021G013)

**作者简介:**冉启英(1980—),女,重庆涪陵人,新疆大学创新管理研究中心、上海商学院商务经济学院教授,博士生导师,研究方向为人口、资源与环境经济学;王健龙(1996—),男,重庆长寿人,新疆大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向为人口、资源与环境经济学;杨小东(1996—),男,四川广安人,新疆大学经济与管理学院博士研究生,研究方向为人口、资源与环境经济学;王伟龙(1996—),男,重庆长寿人,通讯作者,新疆大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向为技术经济及管理。

了经济增长,但是由此导致的产能过剩、人口大量流动等一系列问题,造成了产业结构失调、能源消费单一、人口集聚和交通拥堵等现象,进一步加剧了城市雾霾污染,最终导致经济发展与雾霾污染存在显著的“U”型关系<sup>[1-4]</sup>;然而最新研究有异于上述观点,认为城市规模对雾霾污染的影响在城市间存在异质性,其中,大中型城市的雾霾污染程度与城市经济发展质量存在显著的“N”型曲线关系,对小城市而言,雾霾污染与经济发 展的 EKC 假说成立,大中城市发展程度对雾霾污染抑制作用突出,而小城市的抑制作用不足<sup>[5]</sup>。为促进经济高质量发展,面对日益严峻的城市雾霾污染,我们亟须找寻新方法、新思路、新措施来共同抵御。由此,大批学者从财政分权、环境规制、外商直接投资等方面研究雾霾污染的治理措施与效果,发现强化上述措施反而不利于有效降低城市雾霾污染<sup>[6-11]</sup>。也有部分学者从创新角度研究环境污染治理。从技术创新方面来看,虽然技术创新水平会随着工业集聚程度扩大而提高,且技术创新与人力资本存在显著的协同效应,为创新型产业集聚提供优良的外部条件,可降低环境污染<sup>[12-14]</sup>。然而,新技术开发与实施会导致新的环境污染<sup>[15]</sup>。从制度创新方面来看,环境管理制度可通过激励、监管和文化三类制度创新,达到经济增长与环境治理的双重目标<sup>[16]</sup>。

虽然上述学者针对经济与环境协调发展进行了大量的可行性研究,但少有文献对创新型城市的雾霾治理效应进行有效评估,因此,本文采用 DID 与 PSM-DID 方法对创新型城市建设这一政策的环境治理效应进行分析,以便为政策的推广提供实证经验和理论参考。

## 二、机制分析

在城市发展新模式和新机制下,政府行为与企业等创新主体的行为密切相关。对于企业等创新主体而言,通过试点城市的设立,加强企业责任感、规范企业行为、引导企业创新发展,可助推以企业为主体的城市新型模式建设,推动智能技术和绿色技术在企业传统生产中的有效运用,使产品顺应环境净化,进而实现换代升级,从源头上抑制污染物产生。而对政府而言,首先,为达到城市创新水平现有标准,必然对企业创新技术开发与推广过程进行监督,以达到创新型城市考核要求;其次,政府进一步加大对绿色创新领域的投入,汇集各区域绿色创新要素,保障各种绿色创新要素供给,助推创新型城市建设,最终实现雾霾治理;最后,各级政府通过试点政策为城市创新提供便捷的电信通讯、公共交通等基础设施,助力打破创新要素流动的空间壁垒,降低创新市场上信息流动不及时性和不对称性,通过提升资源配置效率,降低环境污染<sup>[17-18]</sup>。为此,本文提出第一个假设:

H1:创新型城市试点建设对雾霾污染存在显著的治理效应。

创新型试点城市建设有利于提升城市创新效率,进而抑制雾霾污染,其原因主要有以下四个方面。

第一,试点城市可通过结构效应来抑制雾霾污染。创新型城市建设应当以深化企业生产制度改革、优化能源消费结构、加强技术创新引进与开发为基本目标,进而增加企业先进生产设备的使用,抑制污染排放,提高环境治理效率。实现上述目标的关键在于产业结构变动的配合,最终达到合理的产业结构比例<sup>[19-20]</sup>。创新型城市建设对具有落后产能、粗放型生产的企业产生巨大冲击,促使企业改变生产结构、更换新设备、限制对煤炭等传统能源的使用,不但可以从源头减少污染物排放,还可以限制高能耗产业不合理运作,引导其关、停、并、转,提升投入产出效益,并促使经济与环境协调发展,进而倒逼企业调整生产方式,优化产业结构<sup>[21-23]</sup>,最终达到降低雾霾污染的效果。

第二,试点城市可通过政府财政支持效应来抑制雾霾污染。一方面,地方政府制定有利于企业发展的绿色政策和设定绿色发展专项基金,加强政策对科技型中小创新企业的引领,坚持政府扶持、企业负责、双创双赢的原则,探究创新型城市发展的新型管理运作机制;另一方面,地方政府通过创新专项资金投入,发挥政府在创新型城市建设的引领作用,引导企业走上合理的创新道路。政府引领途径主要有以下四个方面:一是建立财政专项支出,为创新型试点城市提供政策支持与引导;二是增加财政科技支出,提高企业的创新效率和创新产出<sup>[24]</sup>,进而加强政府资金和社会资本对创新型行业的投入力度;三是实行灵活多变的减税降费举措,提高企业创新技术研发和高新技术设备引进的税收减免额度;四是加大创新行业的信息基础设施建设补贴力度,促进我国高技术行业创新效率的有效提升,

最终将创新应用到绿色技术上,达到高效治理雾霾污染的目的。

第三,试点城市可以通过技术创新效应来抑制雾霾污染。技术创新促进了节能减排技术和生产技术的进步,从源头到末端实现污染减排<sup>[25]</sup>。在环境管制趋严的主流发展背景下,试点政策实施过程中,企业将会把绿色创新技术贯穿到生产各环节,生产绿色环保产品,不仅可以提高资源利用效率,形成企业前端治理,还可以增强企业对环境污染的防治水平,从而抑制雾霾污染。此外,技术创新有助于加快企业对清洁能源的研发,推动清洁能源的广泛使用,调整能源应用结构,从而减少能源消耗,降低雾霾污染。

第四,试点城市可通过人力资本集聚效应来抑制雾霾污染。人才作为创新型城市建设的基本构成要素之一,可以促进城市技术创新和科技研发,进而显著提升区域创新能力<sup>[26]</sup>。一方面,科研企业与高校是国家创新的落脚点,《中华人民共和国促进科技成果转化法》指出,政府需支持高等院校与研发企业联合建立科研实践工作机构,加快知识与科技成果的转化,为创新型城市建设提供智力支持。因此,试点政策要求政府对城市创新基地建设、高校与科创企业合作模式变革、各类双创平台设立提供强大的财政支持,从而促进知识与技术协同发展。另一方面,人才是智能技术发展的核心驱动力,“十三五”规划将大数据战略上升为国家战略,可见国家对创新型人才的迫切需求。在创新型城市建设推动下,各级政府制定相关政策积极引进优秀人才,如户口安置、解决配偶工作、住房补贴、税费减免等,为引进高素质人才提供保障,使双创人才与先进科研团队向城市聚集,有助于城市吸引高质量 FDI、大力发展知识密集型产业,从而发挥人力资本的减污效应,降低城市雾霾污染<sup>[27]</sup>。基于上述分析,本文提出第二个假设:

H2:创新型试点城市建设可以通过产业结构升级效应、政府财政支持效应、技术创新效应、人力资本集聚效应四种中介渠道降低城市雾霾污染水平。

### 三、研究设计

#### (一) 模型设定

2008—2013年,我国陆续设立57个创新型试点城市。2008年,我国设立深圳为首个创新型试点城市;2009年,我国开始第二批创新型试点城市建设。由于样本数据限制,本文选取2009年试点政策作为一次准自然实验,采用双重差分的方法来评估创新型城市建设的减霾作用。由于2011—2013年创新型城市为分批设立,选取第三批和第四批试点城市来检验本文结果的稳健性。

综上所述,构建 DID 模型如下:

$$pol_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 treat \times time + \sum_{j=2}^6 \alpha_j X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

然后,构建 PSM-DID 模型进行稳健性检验,模型如下:

$$pol_{it}^{PSM} = \beta_0 + \beta_1 treat \times time + \sum_{j=2}^6 \beta_j X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $pol$ 表示雾霾污染; $treat \times time$ 为 DID 项,表示时间与政策的交互项,即创新型试点城市政策; $X$ 为一组控制变量; $\alpha$ 、 $\beta$ 为系数, $\mu_i$ 为个体固定效应, $\varepsilon$ 为随机干扰项。

#### (二) 变量选择

##### 1. 被解释变量

PM2.5是雾霾污染的元凶,故本文参考 Ma et al.<sup>[28]</sup>的研究,采用哥伦比亚大学公布的全球 PM2.5 浓度年均值的栅格数据,运用 ArcGIS10.2 软件重新提取出中国 271 个地级市层面的 PM2.5 年均浓度来表示雾霾污染。

##### 2. 政策变量

本文将2009年设立的创新型试点城市作为处理组,将其他非创新型试点城市作为控制组,并构建两个虚拟变量:(1)城市虚拟变量。设立处理组为创新型试点城市政策项  $treat = 1$ ,其他城市政策项  $treat = 0$ 。(2)政策时间虚拟变量。设立2009年及之后的创新型试点城市时间项  $time = 1$ ,其余城市时间项  $time = 0$ 。则试点政策为  $treat \times time$ ,用 DID 来表示。

##### 3. 控制变量

外商直接投资水平( $\ln fdi$ ),以城市外商直接投资占 GDP 比重来衡量。产业结构( $\ln ind$ ),以第三

产业产值占 GDP 的比重来表示。经济发展水平 ( $\lnrgdp$ ), 采用人均 GDP 表示。人口密度 ( $\lnpopl$ ), 使用每平方公里人口数来表示。人力资本 ( $\lnhum$ ), 采用地级市高校在校生人数占该地级市的总人数来表示。同时, 考虑到雾霾污染的空间流动特征, 借鉴陈诗一和陈登科<sup>[2]</sup>的研究方法, 引入空气流动系数 ( $\lnvc$ ) 加以控制<sup>①</sup>。

### (三) 数据说明

本文的数据来自《中国城市统计年鉴》。由于本文从地级市层面研究创新型试点城市建设的雾霾治理效应, 因此, 去除北京、天津、上海、重庆四个直辖市。由于部分地区个别年份的数据缺失, 文中用平均增长率方法补全缺失值。考虑到地级市数据获取的困难性和可得性, 最终选取 2007—2018 年 271 个地级市的面板数据。主要变量的描述性统计如表 1 所示。

## 四、实证分析与讨论

### (一) 创新型城市建设对雾霾污染的影响

由表 2 可知, 模型(1)为未加入控制变量的回归结果, 模型(2)至模型(7)为逐个加入控制变量的回归结果。所有结果均表明,  $DID$  项在 1% 的水平下显著为负, 说明创新型城市建设对城市雾霾污染有显著的抑制作用, 本文的假设 H1 得到验证。从模型(7)可以看出, 创新型城市建设显著降低了约 0.269% 的  $PM2.5$  年均浓度值。

表 2 试点政策对雾霾污染回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$DID$	-0.447*** (-9.37)	-0.466*** (-9.64)	-0.403*** (-8.24)	-0.302*** (-6.06)	-0.336*** (-6.80)	-0.284*** (-5.77)	-0.269*** (-5.32)
$\lnfdi$		0.016** (2.38)	0.025*** (3.74)	0.037*** (5.46)	0.021*** (3.00)	0.029*** (4.11)	0.025*** (3.99)
$\lnind$			-0.254*** (-6.84)	-0.235*** (-6.39)	-0.247*** (-6.77)	-0.148*** (-3.90)	-0.157*** (-4.10)
$\lnrgdp$				-0.110*** (-8.68)	-0.111*** (-8.81)	-0.054*** (-3.83)	-0.044*** (-3.72)
$\lnpopl$					0.077*** (7.92)	0.094*** (9.58)	0.085*** (8.73)
$\lnhum$						-0.084*** (-8.39)	-0.091*** (-8.48)
$\lnvc$							0.042*** (3.58)
$constant$	3.524*** (398.30)	3.523*** (398.06)	4.427*** (33.42)	4.977*** (34.21)	4.524*** (29.17)	3.723*** (20.61)	3.668*** (19.05)
N	3 252	3 252	3 252	3 252	3 252	3 252	3 252
R <sup>2</sup>	0.026	0.027	0.041	0.062	0.080	0.099	0.137

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

### (二) 稳健性检验

#### 1. 基于 PSM-DID 方法的稳健性检验

虽然我国创新型城市建设是在国家综合规划下统一实施并逐步推行的, 但创新型城市建设仍不可避免地受到城市区位、经济发展水平等因素的干扰。本文为尽量消除各个城市在环境污染水平上

<sup>①</sup>空气流通系数的具体算法为: 在 ECMWF 所发布的 ERA-INTERIM 栅格气象数据的基础上, 选取边界层高度与 10 米风速乘积, 并结合大气数量模型, 构建了中国地级市层面空气流动系数变量, 即空气流动系数。

的差异,选取 PSM-DID 方法进行回归分析。在用 PSM-DID 方法进行估计前,需进行模型有效性检验。首先检验实验组和控制组协变量的均值在匹配后是否具有显著差异,即验证是否满足共同支撑假设。如果不存在显著差异,则可以使用 PSM-DID 方法。如表 3 所示,从控制变量的检验结果来看,匹配后所有变量都拒绝了存在显著差异性的原假设,满

表 3 控制组与处理组的共同支撑假设

变量	处理组均值	控制组均值	差分	T 值	P 值
lnfdi	1.456 8	1.405 1	0.051 7	0.80	0.427
lnind	3.830 6	3.786 2	0.044 4	0.79	0.348
lnrgdp	6.501 5	6.543 7	-0.042 2	-0.89	0.376
lnpopl	7.210 1	7.205 6	0.004 5	0.07	0.945
lnhum	1.695 7	1.700 9	-0.005 2	-0.08	0.936
lnvc	7.496 3	7.500 1	-0.003 8	-0.09	0.914

足共同支撑假设,从而证明本文可使用 PSM-DID 方法进行政策评估。在后文估计中,应用核匹配估计方法,验证创新型城市建设是否显著抑制城市雾霾污染。表 4 中回归(1)表明,在消除内生性问题、采用 PSM-DID 方法之后, DID 的回归系数在 5% 的水平上显著为负,表明试点政策的推行明显降低了城市雾霾污染,结论具有稳健性。

表 4 稳健性检验结果

	(1)			(2)			(3)			(4)		
	Before	After	DID	Before	After	DID	Before	After	DID	Before	After	DID
差分值	-0.092	-0.338	-0.246	-0.063	-0.174	-0.111	0.302	0.141	-0.161	1.240	0.041	-1.199
标准误	0.086	0.066	0.108	0.050	0.043	0.066	0.039	0.041	0.056	0.196	0.145	0.244
T 值	-1.700	5.140	2.270	-1.270	4.020	1.670	7.700	3.480	2.850	6.330	0.280	4.920
P 值	0.286	0.000***	0.023**	0.204	0.000***	0.094*	0.000***	0.001***	0.004***	0.000***	0.779	0.000***

## 2. 更改实验组定义标准

由于国家分时间、分批次设立创新型试点城市,前文的回归把 2009 年当作政策发生的时间点,结果可能缺乏说服力。因此,本文借鉴董艳梅和朱英明<sup>[29]</sup>的处理方法,选取 2010 年和 2011 年为政策实施的时间节点,进行进一步的稳健性检验。为了消除新设立的创新型城市对结果的影响,本文删除 2010 年之后出现的试点城市,将 2010 年确定的创新型试点城市作为处理组,按照前文所述方法重新设定政策和时间虚拟变量。依据此方法,处理 2011 年的回归样本。为满足 DID 的共同趋势假设,消除城市间差异,本文依然利用 PSM-DID 方法对 2010 年和 2011 年的两组样本进行估计,结果如表 4 中模型(2)和模型(3)所示。从中可看出,重新定义政策发生时间点并采取 PSM-DID 的估计方法后,创新型城市建设仍然有效抑制了雾霾污染,进一步验证了前文结果的稳健性。

## 3. 改变环境污染的测度方法

鉴于地级市层面氮氧化物指标难以获取,选取工业废气排放量作为衡量雾霾污染的指标,并进行对数化处理,用 PSM-DID 方法进行回归分析,估计结果如表 4 中模型(4)所示。DID 的回归系数在 1% 的水平上显著为负,表明该项政策的实施有效抑制了城市雾霾污染。

以上三种方法的稳健性检验结果表明,创新型试点城市建设对雾霾污染的回归系数均显著为负,政府建立创新型试点城市,将有利于中国资源节约型和环境友好型社会的构建,因此,试点政策的实施会降低城市雾霾污染。

### (三) 异质性分析

#### 1. 城市区位异质性

中国改革开放至今,东部地区一直是国家经济发展的核心区。相较于中西部而言,东部地区依靠得天独厚的地理优势以及长期资本积累,通过国际贸易来引进国外前沿科技,而且国内政府对东部地区制定相对宽松的对外贸易政策,导致中西部地区经济发展水平、基础设施建设与各项政策红利与东部地区有较大差距。所以本文推测创新型试点城市建设的治霾效应在东、中、西部间差异显著。由此本文根据地理区位将样本分为东、中、西部三组进行回归分析,回归结果见表 5 中模型(1)至模型

(3)。从中可看出,东部和中部地区 *DID* 的回归系数均显著为负,但是政策实施对中部地区的雾霾污染抑制作用大于东部地区。原因可能在于,2004 年国家实施促进中部地区崛起战略,极大程度上促进了中部地区产业结构改造升级,提升科技创新能力,进而有利于降低雾霾污染水平。西部地区 *DID* 的回归系数为正,但不显著,说明试点政策在西部的推行,尚未达到预期效果。原因可能是西部地区承接了大部分东、中部地区的污染产业转移,且以高耗能、高污染产业为主。

## 2. 创新能力异质性

我国不同城市在资源禀赋、要素配给、政策落实等方面均存在较大差异,导致城市创新水平在不同城市间差异显著,可能会导致试点政策实施对治霾效应的异质性,因此,本文应用均值分组的方法将城市创新能力分为高、低两组,分别检验试点政策对雾霾污染的影响程度。回归结果见表 5 中模型(4)和模型(5)。虽然创新型试点城市建设在高、低两组间治霾效应显著,但创新能力高的城市抑制雾霾污染的政策效应显著低于创新能力低的城市。可能的原因是,创新水平高的城市产业集中于第三产业和先进制造业,其本身产生的雾霾污染明显低于创新能力落后的城市,导致创新水平低的城市对政策实施效果反应更加敏感,对雾霾污染的抑制作用更强。

表 5 异质性分析

变量	城市区位			创新能力		外商直接投资		环境规制强度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<i>DID</i>	-0.131*	-0.762***	0.067	-0.219***	-1.202***	-0.220***	-0.325	-0.308***	0.367
	(-1.91)	(-7.88)	(0.52)	(-3.49)	(-4.47)	(-4.03)	(-1.62)	(-6.11)	(1.07)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>constant</i>	3.313***	3.666***	5.539***	3.325***	4.224***	3.860***	3.675***	3.313***	4.884***
	(7.73)	(12.15)	(22.28)	(4.81)	(21.27)	(14.16)	(15.36)	(14.70)	(14.04)
N	1 152	1 236	864	578	2 674	1 804	1 448	2 248	1 004
R <sup>2</sup>	0.096	0.197	0.145	0.178	0.096	0.132	0.077	0.114	0.076

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

## 3. 外商直接投资异质性

外商直接投资是影响环境问题的基本因素,一部分学者认为,中国为发展经济主动降低环境规制标准以吸引外资,成为发达国家的“污染避难所”<sup>[30]</sup>;其他学者认为,外商直接投资提供的新技术有利于改善环境质量,发挥“污染光环”效应<sup>[31]</sup>。因此,本文用均值分组法将城市外商直接投资水平分为高、低两组进行回归分析,回归结果见表 5 中模型(6)和模型(7)。由表 5 可知,外商直接投资水平高的城市,其政策推行对抑制雾霾污染有积极作用,但对外商直接投资水平低的城市而言,创新型城市建设的减霾作用并不明显。原因可能是,外商直接投资水平较高的城市积极引进先进生产技术和绿色生产设备,对降低该城市雾霾污染具有显著的推动作用。而外商直接投资水平较低的城市大多是经济发展水平落后地区,本身吸引外资能力不足,且大多数城市把工作重心放在如何推进城市经济建设方面,往往会成为污染企业的转移地,所以政策实施对其治霾效果不明显。

## 4. 环境规制强度异质性

考虑到环境规制对试点政策推行抑制雾霾污染具有协同作用,本文将从环境规制的角度,考察创新型城市建设对环境规制强弱不同的城市政策实施效果的异质性。由于地级市数据获取困难,用人均氮氧化物排放量衡量环境规制强度,其值越大,表示环境规制强度越弱,按其均值分为高、低两组分别进行回归,回归结果见表 5 中模型(8)和模型(9)。对环境规制强度较高的城市,政策实施的治霾效果显著,而对环境规制强度较低的城市,政策实施对降低雾霾污染的作用不显著。可能的原因是,环境规制强度较高的城市,其政府制定大量保护环境的政策和措施,激励企业在生产过程中,将环境税与企业污染处理率挂钩,从源头上减少污染物排放,因此创新型试点城市建设可以显著抑制该城市雾霾污染。

### 五、创新型城市建设影响雾霾污染的机制检验

为验证创新型城市可能通过产业结构调整、政府财政政策、技术创新和人力资本影响城市经济发展与环境治理,最终表现为对雾霾污染的抑制作用,本文借鉴 Baron and Kenny<sup>[32]</sup>对中介效应的分析思路,设定如下计量模型:

$$pol_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 DID + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

验证创新型城市建设对四大效应的影响:

$$MID_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DID + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

将政策项和四大中介变量同时纳入回归模型:

$$pol_{it} = \delta_0 + \delta_1 DID + \delta_2 MID_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中, $MID$ 为中介变量,分别代表产业结构、政府财政支持、技术创新和人力资本要素。产业结构( $lnstr$ )用第三产业产值与第二产业产值的比值来表示;政府财政支持( $lnsci$ )用政府科技支出表示;创新效率( $lnpat$ )用《中国城市和产业创新力报告》中的城市创新绩效指标来表示;人力资本水平( $lnhum$ )的衡量方法如前文所述。对于上述模型进行回归,并基于 Sobel 检验和 Bootstrap 检验来验证中介效应是否存在,具体回归结果见表 6 中模型(1)至模型(9)。

模型(1)的结果表明,试点政策抑制雾霾污染的总效应为 0.434 8,且在 1% 的水平上显著为负。模型(2)和模型(3)表示创新型城市试点政策对产业结构的回归结果及试点政策、产业结构对雾霾污染的回归结果。其中,试点政策对产业结构的回归系数显著为正,说明创新型试点政策有利于调整地级市的产业结构。模型(3)的结果表明,试点政策及产业结构系数都在 1% 的水平上显著为负,说明产业结构有助于降低地级市雾霾污染水平。进一步分析可知,创新型城市建设能够显著调整与改善地级市产业结构,从而发挥政策实施的治霾效果,其中中介效应为 0.024 0,且在 1% 的水平上显著为负,中介效应占总效应的 5.53%。Sobel 检验结果在 5% 的水平上显著,Bootstrap 检验结果在 1% 的水平上显著,验证了产业结构中介效应的存在。

模型(4)和模型(5)分别表示试点政策对政府科技支出的回归结果和试点政策及政府科技支出对雾霾污染的回归结果。对于模型(4)而言,试点政策的系数在 1% 的水平显著为正,表明创新型城市建设会刺激政府增加科技投入,强化地级市政府的引导作用。模型(5)中,试点政策和科技支出的回归系数都在 1% 的水平上显著为负,说明地级市政府会加强对科技产业的投入,从而达到抑制雾霾污染的效果。进一步分析可知,创新型城市建设能够促使政府制定一系列财政政策来增加科技投入,从而促使企业绿色高效生产,达到抑制城市雾霾污染的效果。表 6 中 Sobel 检验表明,中介效应为 0.030 9,且显著为负,占总效应的 6.92%,Bootstrap 间接效应的检验结果在 5% 的水平上显著,也验证了地级市政府科技支出中介效应的存在。

模型(6)和模型(7)分别表示创新型城市试点政策对城市技术创新的回归结果和试点政策及技术创新对雾霾污染的回归结果。模型(6)中,试点政策对地级市创新绩效的回归系数显著为正,表明创新型城市建设有助于城市技术创新效率的提升。模型(7)的结果表明,试点政策与地级市技术创新效率对雾霾污染的回归系数都显著为负,说明城市技术创新效率的提升可提供良好的创新环境,有助于创新型城市建设,提升企业绿色创新效率,从而降低雾霾污染。进一步分析可知,Sobel 检验与 Bootstrap 间接效应的检验在 1% 的水平上显著为负,其间接效应占比为 0.119 7,占总效应的比重为 26.82%,验证了技术创新中介效应的存在。

模型(8)和模型(9)分别表示创新型城市试点政策对人力资本的回归结果以及试点政策、人力资本对地级市雾霾污染的回归结果。模型(8)的结果表明,创新型城市建设显著提升了地级市的人力资本水平,为降低雾霾污染提供了人才保障。模型(9)中,试点政策与人力资本对雾霾污染的回归系数都在 1% 的水平上显著为负,表明人才集聚效应的加强,有助于抑制地级市雾霾污染,也有利于试点政策顺利推行。进一步分析可知,人力资本中介效应为 0.158 1,且显著为负,Bootstrap 的间接效应也在 1% 的水平上显著为负,进而验证了人力资本要素集聚的中介效应的存在,且中介效应占比为

35.41%。上述结果表明,技术创新效应和人力资本效应是创新型城市建设影响雾霾污染的两条主要作用途径。综上所述,本文的假设 H2 得到验证。

表 6 中介效应检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	lnPM2.5	lnstr	lnPM2.5	lnsci	lnPM2.5	lnpat	lnPM2.5	lnhum	lnPM2.5
<i>DID</i>	-0.4348*** (-8.79)	736.1289*** (8.25)	-0.4108*** (-8.23)	3.0596*** (20.46)	-0.4157*** (-8.21)	3.7429*** (23.88)	-0.3267*** (-6.36)	1.9848*** (19.21)	-0.2885*** (-5.82)
<i>lnstr</i>			-0.0001*** (-3.36)						
<i>lnsci</i>					-0.0101*** (-1.81)				
<i>lnpat</i>							-0.0320*** (-6.03)		
<i>lnhum</i>									-0.0797*** (-9.99)
<i>constant</i>	3.5223*** (398.01)	1598.6880*** (96.66)	3.5727*** (205.40)	4.6237*** (166.57)	3.5705*** (130.73)	-0.2058*** (-7.07)	3.5170*** (396.63)	-0.2196*** (-11.46)	3.5063*** (394.42)
<i>Sobel</i>		-0.0240** [-3.11]		-0.0309* [-1.80]		-0.1197*** [-5.85]		-0.1581*** [-8.86]	
<i>Bootstrap(ind_eff)</i>		-0.0240** [-3.07]		-0.0309** [-2.12]		-0.1197*** [-5.21]		-0.1581*** [-9.53]	
<i>Bootstrap(dir_eff)</i>		-0.4108*** [-6.46]		-0.4157*** [-6.86]		-0.3267*** [-4.89]		-0.2885*** [-4.71]	
<i>ind_eff(%)</i>		5.53		6.92		26.82		35.41	
<i>N</i>	3252	3252	3252	3252	3252	3252	3252	3252	3252
<i>R<sup>2</sup></i>	0.023	0.020	0.026	0.114	0.027	0.149	0.037	0.102	0.056

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

## 六、结论与政策建议

创新型城市建设是以科技、人才等创新要素为基础,在推动我国经济发展的同时,能够协调推进城市经济与生态环境的共同发展。本文基于2007—2018年中国271个地级市的面板数据,应用双重差分以及PSM-DID模型进行稳健性检验,验证了创新型城市建设对城市雾霾污染的治理效果。研究表明,创新型城市建设显著抑制了城市雾霾污染,在经过一系列检验后该结论仍然成立。异质性分析表明,试点政策对东中部地区的治霾效果显著高于西部地区;创新能力低的城市治霾效果高于创新能力高的城市;试点政策对外商直接投资水平高的城市具有显著的治霾效应;试点政策对环境规制强度高的城市治霾效果显著。此外,基于机制检验结果发现,创新型试点城市建设通过促进产业结构升级、加强政府财政支持、提高技术创新效率、吸引创新人才集聚间接促进雾霾治理。

根据前文已验证的结论,对中国推进创新型试点城市建设提出如下建议:加大创新型试点城市的推广,并结合城市的区位条件、现有经济特征构建独具特色的创新体系,从而有效发挥创新型城市对雾霾污染的治理作用。同时,相关政府部门应持续完善试点城市评选体系,逐步完善适应新时代要求的创新型试点城市评选标准,构建覆盖内容更为科学的评选指标,并进一步有序增加试点城市数量。此外,政府部门也需强化试点城市建设质量的监督,如出台相关监管法规,通过硬性监管与约束,保证创新型城市的建设质量。同时,应当加强对试点政策效果的跟踪评价与监测,及时调整试点措施,必要时可以采取退出机制,不再将试点效果不佳的城市纳入试点范围,从而确保治霾效果的有效发挥。

基于中介效应结果,本文进一步从以下三方面提出政策建议:(1)以创新型试点城市建设为契机,不断调整产业结构,将优化产业结构作为创新型城市的一个目标,最终实现减霾目的。依托创新型城市试点政策,通过政策扶持、财税奖励等措施大力支持发展绿色产业。比如优先发展低能耗、资源利用率高、污染小的企业,逐步引导高能耗、高污染企业,实现“关、停、并、转”。在兼顾试点城市建设的

同时也要注意环境资源的约束,改变传统城市产业发展模式,不断向更加精细化的创新型城市发展模式转移。(2)加大科技创新强度和科研投入,助力“产—学—研”的合理循环,提升创新型试点城市建设水平。通过创新型试点政策加快研发机构建设,深化科研院所改革,整合现有技术资源,重点加大对科学技术方面的投资,鼓励技术创新,促使研发主体研发出更多有效的环保技术。充分利用现代科学技术开发环保产品,形成“以新兴产业为主,工业产业为辅”的产业发展新格局。(3)大力实施人才战略,为建设创新城市提供坚实的人才保障。根据创新型城市的总体需要,制定人才队伍建设的总体规划。实行人力资本投资战略,注重能力和素质教育。进一步深化人事制度改革,尽快建立市场主导、政府指导的人才资源配置机制。要加大人力资本要素在分配中的比重,完善激励和竞争机制,充分调动各类人才的主观能动性。

#### 参考文献:

- [1] 邵帅,李欣,曹建华. 中国的城市化推进与雾霾治理[J]. 经济研究,2019(2):148-165.
- [2] 陈诗一,陈登科. 能源结构、雾霾治理与可持续增长[J]. 环境经济研究,2016(1):59-75.
- [3] 马丽梅,张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J]. 中国工业经济,2014(4):19-31.
- [4] 王晓红,冯严超. 雾霾污染对中国城市发展质量的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2019(8):1-11.
- [5] 吴勋,白蕾. 财政分权、地方政府行为与雾霾污染——基于73个城市PM<sub>2.5</sub>浓度的实证研究[J]. 经济问题,2019(3):23-31.
- [6] 李涛,刘思明,刘会. 财政行为空间互动是否加剧了雾霾污染?——基于财政-环境联邦主义的考察[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2018(6):3-19.
- [7] 卞元超,吴利华,周敏,等. 国内市场分割与雾霾污染——基于空间自滞后模型的实证研究[J]. 产业经济研究,2020(2):45-57.
- [8] 黄寿峰. 财政分权对中国雾霾影响的研究[J]. 世界经济,2017(2):127-152.
- [9] 张明,李曼. 经济增长和环境规制对雾霾的区际影响差异[J]. 中国人口·资源与环境,2017(9):23-34.
- [10] 严雅雪,齐绍洲. 外商直接投资与中国雾霾污染[J]. 统计研究,2017(5):69-81.
- [11] 杨桐彬,朱英明,刘梦鹤,等. 资源型城市产业协同集聚、市场化程度与环境污染[J]. 产业经济研究,2020(6):15-27+112.
- [12] 李粉,孙祥栋,张亮亮. 产业集聚、技术创新与环境污染——基于中国工业行业面板数据的实证分析[J]. 技术经济,2017(3):1-7.
- [13] 孙军,高彦彦. 技术进步、环境污染及其困境摆脱研究[J]. 经济学家,2014(8):52-58.
- [14] 逯进,赵亚楠,陈阳. 人力资本、技术创新对环境污染的影响机制——基于全国285个城市的实证分析[J]. 长江流域资源与环境,2019(9):2186-2196.
- [15] 陈红喜,刘东,袁瑜. 低碳背景下的企业绿色竞争力评价研究——基于价值链视角[J]. 科技进步与对策,2013(4):116-120.
- [16] 张兆国,张弛,曹丹婷. 企业环境管理体系认证有效吗[J]. 南开管理评论,2019(4):123-134.
- [17] 原毅军,谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J]. 科学学研究,2015(9):1340-1347.
- [18] HUANG K F, YU C M J, SEETOO D H. Firm innovation in policy-driven parks and spontaneous clusters: the smaller firm the better? [J]. The journal of technology transfer, 2012, 37(5): 715-731.
- [19] TIGABU A D, BERKHOUT F, VAN B P. The diffusion of a renewable energy technology and innovation system functioning: comparing bio-digestion in Kenya and Rwanda[J]. Technological forecasting and social change, 2015, 90(A): 331-345.
- [20] WANG Z, YANG L. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case[J]. Ecological indicators, 2015, 48: 41-48.

- [21] 秦颖,武春友,徐光. 企业行为与环境绩效之间关系的相关性分析与实证研究[J]. 科学学与科学技术管理,2004(2):129-132.
- [22] 邹伟进,裴宏伟,王进. 基于委托代理模型的企业环境行为研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014(S1):51-54.
- [23] 马海涛,蔡杨,郝晓婧. 财政科技支出是否促进了中国工业企业创新? [J]. 经济与管理评论,2019(5):43-57.
- [24] 孙早,徐远华. 信息基础设施建设能提高中国高技术产业的创新效率吗? ——基于2002—2013年高技术17个细分行业面板数据的经验分析[J]. 南开经济研究,2018(2):72-92.
- [25] 冉启英,王健龙,王伟龙,等. 土地财政、技术创新与中国绿色发展[J]. 南京财经大学学报,2021(4):64-74.
- [26] 卢进勇,杨杰,邵海燕. 外商直接投资、人力资本与中国环境污染——基于249个城市数据的分位数回归分析[J]. 国际贸易问题,2014(4):118-125.
- [27] 邵帅,李欣,曹建华,等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究,2016(9):73-88.
- [28] MA Z, HU X, SAYER A M, et al. Satellite-based spatiotemporal trends in PM2.5 concentrations: China, 2004—2013 [J]. Environmental health perspectives, 2016,124(2):184-192.
- [29] 董艳梅,朱英明. 高铁建设的就业效应研究——基于中国285个城市倾向匹配倍差法的证据[J]. 经济管理,2016(11):26-44.
- [30] 冉启英,吴海涛. 外商直接投资的污染避难所效应会一直存在吗? ——基于动态门限面板模型的实证分析[J]. 生态经济,2019(4):152-159.
- [31] 李光龙,范贤贤. 产业集聚、外商直接投资与绿色全要素生产率[J]. 南京财经大学学报,2019(5):1-10.
- [32] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations[J]. Journal of personality and social psychology, 1986, 51(6):1173-1182.
- (责任编辑:王顺善;英文校对:葛秋颖)

## Evaluation of Haze Reduction Effect of Innovative City Construction: Evidence from Pilot Cities

RAN Qiyang<sup>1,3</sup>, WANG Jianlong<sup>2</sup>, YANG Xiaodong<sup>2</sup>, WANG Weilong<sup>2</sup>

- (1. Innovation Management Research Center, Xinjiang University, Urumqi 830047, China;  
2. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830047, China;  
3. School of Business Economics, Shanghai Business School, Shanghai 201400, China)

**Abstract:** Based on the panel data of 271 prefecture-level cities in China from 2007—2018, the DID and PSM-DID methods are applied to assess effect of innovative city construction on haze pollution management. It has found that the gradual construction of innovative pilot cities can reduce urban haze pollution, and this conclusion still holds after the robustness verification of PSM-DID and other methods. The heterogeneity analysis shows that the innovative city construction in the central region has the most significant effect on reducing haze pollution, and the innovative city construction in the western region has no significant inhibitory effect on haze pollution. The effect of policy implementation on haze pollution is significantly higher in cities with low innovation capacity than in cities with high innovation capacity, and the pilot city construction in cities with high FDI and environmental regulation intensity significantly reduces haze pollution in prefecture-level cities. The mechanism of action study shows that innovative city construction can indirectly contribute to the suppression of urban haze pollution by adjusting industrial structure, promoting government policy implementation, enhancing the efficiency of technological innovation and promoting the concentration of human capital, and the effect of technological innovation and the concentration of talent are the main reasons for the suppression of haze pollution by innovative city construction.

**Key words:** innovative city construction; haze pollution; DID; PSM-DID; mechanism test