

# 创新型城市试点改善了城市环境吗?

丁焕峰 孙小哲 王 露

(华南理工大学 经济与金融学院, 广东 广州 510006)

**摘要:**创新驱动发展为环境污染治理提供了新的动力和方向,创新型城市试点是创新改善环境的典型空间例证。基于中国2003—2015年282个城市面板数据,运用双重差分法评估了创新型城市试点对城市环境的改善效应。结果表明:创新型城市试点能显著减少以PM<sub>2.5</sub>、工业二氧化硫、工业废水为代表的污染物排放,从而改善城市环境。与此同时,中介效应机制的检验结果发现,创新能力提升与产业结构优化升级是其中主要的影响渠道,但政府环境干预的机制暂未达到理想的环境改善效果。进一步的拓展分析发现:创新型城市试点对经济欠发达地区具有“雪中送炭”效应,对经济发达地区也具有“锦上添花”作用,且对发达地区的环境改善程度更为显著;政策所产生的空间溢出效应已在流域治理中显示出良好效果,但空气治理中的区域联动仍需加强。坚持市场在绿色资源空间配置中的决定性地位,更好地发挥政府在治理污染中的作用,以及全面提升区域协同治理效能,是创新型城市试点发挥更大环境改善效应的关键所在。

**关键词:**创新型城市;城市环境;创新能力提升;产业结构优化升级;双重差分法

**中图分类号:**F205 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-9301(2021)02-0101-13

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2021.02.008

## 一、引言

自改革开放以来,中国经济增长取得了举世瞩目的成就。然而,长期以来“高污染、高能耗”的粗放式发展与“先污染、后治理”的不正确治理方式引致了严重的环境污染,日益严峻的环境污染已成为制约中国经济社会高质量发展的重大难题。“绿水青山就是金山银山”,党的十九大报告将污染防治列为决胜全面建成小康社会的三大攻坚战之一,要求持续推进蓝天、绿水、净土保卫战。党的十九届五中全会进一步提出,构建生态文明体系,促进经济社会发展全面绿色转型,建设人与自然和谐共生的现代化。因此,打赢污染防治攻坚战,建设生态文明,是满足人民美好生活需要、推动经济高质量发展的重要内容。

技术创新为环境污染治理提供了新的动力和方向。然而在文献研究中,关于技术创新对环境是否存在“波特效应”的结论不尽相同。大多数研究认为创新能改善环境<sup>[1-2]</sup>,但一些学者研究认为两者无显著相关性或存在非线性关系<sup>[3-5]</sup>。另一方面,政府行为所表征的环境规制的实施对环境的影响,也是一项重要的研究议题。学界将环境规制分为命令控制型与市场型政策两类,但有关其影响的结论也存在争议。就命令控制型政策而言,已有学者实证研究发现,环境监管<sup>[6]</sup>、环保约谈<sup>[7]</sup>、“大

收稿日期:2020-12-21;修回日期:2021-02-25

**作者简介:**丁焕峰(1970—)男,湖北孝感人,华南理工大学经济与金融学院教授、博士生导师,研究方向为区域经济与城市发展;孙小哲(1995—)男,陕西宝鸡人,华南理工大学经济与金融学院博士研究生,研究方向为区域经济与城市环境;王露(1993—),女,湖南衡阳人,通讯作者,华南理工大学经济与金融学院博士研究生,研究方向为区域经济与城市环境。

**基金项目:**国家社会科学基金重点项目(18AJY008)

气十条”<sup>[8]</sup>等环境规制手段对环境质量有提升作用,但另一些学者则认为,由于地方政府间“逐底竞争”的“竞次”效应<sup>[9-10]</sup>,以及企业面临的“遵循成本效应”,短期内命令控制型规制政策可能会出现“绿色悖论”<sup>[11]</sup>。针对市场型环境规制政策,部分学者研究了排污权交易、环保税的政策工具效果,其结论均支持这类政策能改善环境<sup>[12-13]</sup>,但另有学者则认为上述政策作用效果有限<sup>[14-15]</sup>。综上可见,已有文献关于技术创新、环境规制的环境改善效果未达成一致结论,而内生性偏差、实证分析缺少控制组对照等问题是主要原因。此外,城市是推动环境治理的基本空间载体,近年来也有相关研究分析试点政策对城市的影响。文献普遍使用 DID 方法,实证支持低碳城市试点<sup>[16]</sup>、环保法庭设立<sup>[17]</sup>以及文明城市评选<sup>[18]</sup>等政策能有效改善环境的结论。然而,上述试点政策均以环境改善作为主要目标,随之产生的样本自选择问题导致估计效果出现偏误。

既然现有文献普遍认为技术创新与政府政策能够对环境改善产生影响,那么相应的以创新提升为主导、市场与政府并行推动的创新型城市试点政策,在发挥科技引领辐射带动区域经济发展作用的同时,也势必会对污染物排放产生影响,是创新改善环境的典型空间例证。更为重要的是,由于创新型城市试点政策对环境影响的随机性较强,因此对这一实际例证的评估,是对现有研究争议的一次更为准确有力的回应,更是采用系统论的观点全面分析试点政策影响效应的一项重要实践总结,将为环境治理提供全新思路。然而,目前关于创新型城市试点的研究仍主要关注其经济效应<sup>[19]</sup>及创新效应<sup>[20]</sup>,缺少了对环境改善效应的评估,更遑论对驱动途径、异质性影响的分析。那么,创新型城市试点政策已推行 13 年,该政策能否改善城市环境?存在哪些主要的影响机制?更进一步地,区域差异以及政策空间溢出效应又是否会对环境污染物减排产生影响?厘清上述问题,有助于准确理解创新型城市与环境改善的内在关联,为更好地发挥创新型城市污染减排作用提供实践证据,为打赢污染防治攻坚战、建设美丽中国提供经验启示,兼具理论价值与现实意义。

基于此,本文以创新型城市试点作为准自然实验,利用中国地级市数据,使用双重差分模型(DID)评估政策所产生的环境改善效应,并通过中介效应模型识别主要影响机制。与此同时,本文进一步分析了区域特质、城市规模以及政策空间溢出效应对政策效果的异质性影响。本文的主要创新点包括:(1)从城市层面搭起了创新型城市试点政策对环境影响的联系通道,拓展了创新型城市的相关研究,为更好地理解创新对环境的作用提供经验支撑。(2)在定量评估创新型城市试点政策所产生的环境改善效果的同时,深入解析其逻辑传导机制,探究并检验了异质性影响,总结了创新型城市试点的成功经验。(3)结合创新型城市在环境方面随机性较强这一特点,运用 DID、PSM-DID、工具变量等方法,更准确地识别了环境改善效果。

## 二、政策背景与假设提出

### (一) 政策背景

创新型城市试点是城市打造区域创新高地和提高综合竞争力的重要举措。2008 年,深圳市率先成为中国首个创新型城市试点。随后,依据相关政策文件<sup>①</sup>,国家循序渐进地展开试点推广工作,截至 2018 年共设立了 6 个批次累计 76 个创新型城市。梳理和总结政策推广历程可以发现,创新型城市试点具备如下两个特征:(1)市场与政府并行推动,空间由点及面展开。在试点过程中,试点城市需结合本地区资源禀赋、市场环境等基础条件,并依据规划纲要性文件指导相关的创新活动,因地制宜探索差异化的创新发展路径。此外,创新型城市在空间上由发达地区向欠发达地区渐次推进。东部地区因创新市场条件较好,成为率先推进试点的区域,之后东部与中西部的区域布局得到逐步统筹。(2)发展历程阶段性明显,建设目标层次性深化。从整体上看,创新型城市试点政策大致经历了探索试点与系统推进两个阶段,建设目标也随之丰富强化。在探索试点阶段,促进城市创新水平是主导目标,增加创新投入、优化创新环境以及促进创新要素集聚是对应的重点任务。随着新发展理念的不断深入贯彻,创新型城市试点也愈加注重顶层设计以谋划城市高质量发展,进而进入系统推进阶段。在此阶

段中,绿色发展尤其得到了关注。其中,《关于进一步推进创新型城市试点工作的指导意见》附带的监测评价指标涉及了主要污染物排放量减少幅度、城市空气质量指数、城市污水处理率等考核指标。《建设创新型城市工作指引》更是明确将“绿色低碳”作为建设的主要目标之一,并强调依靠科技创新破解绿色发展难题,加快环境友好型社会建设,打造人与人、人与自然和谐共处的美丽家园。

纵观创新型城市扩容历程,可以肯定的是,试点政策将最为直观地影响着城市的创新水平。同时,科技创新也是减少环境污染的主要手段,客观上政策也将起到改善环境的效果。随着人们对环境污染问题的不断重视,环境改善明确成为创新型城市试点的发展新目标,试点政策对环境的影响更不能被忽视。因此,坚持系统论观点准确评估创新型城市的环境改善效果,将有助于全面深入认识试点政策的影响,对未来政策的精准推广有重要意义。

## (二) 假设提出

创新型城市除发挥创新辐射引领的作用外,还兼顾污染防治“示范区”的重担,是实现经济与环境“双赢”目标的区域典范。依据环境经济学理论,技术效应和结构效应是影响地区环境污染程度的关键因素<sup>[21]</sup>。其中,技术效应主要通过生产技术进步和低碳环保技术升级,有效减少污染排放量;结构效应则来源于生产活动中的污染密集型产业对环境质量的影响。与此同时,环境本身具有公共物品的属性,由于外部性的存在,环境改善不仅需要依靠市场力量,更离不开政府对环境的外部干预<sup>[22-23]</sup>。创新型城市试点正是市场力量与政府行为共同作用的结果。一方面,技术创新与产业结构优化升级是我国转变经济增长方式、推动区域可持续发展的双支柱,试点城市建设能够通过要素集聚和规模效应,加速技术创新和产业转型升级,从生产环节上减少能耗,从而改善环境质量。另一方面,试点城市的获批具有政策激励和引导的能动作用,同样会对环境污染产生影响。因此,本文从市场作用下的技术效应和结构效应及政府作用下的环境干预两个层次三个方面,提出主要的影响机制(见图1)。

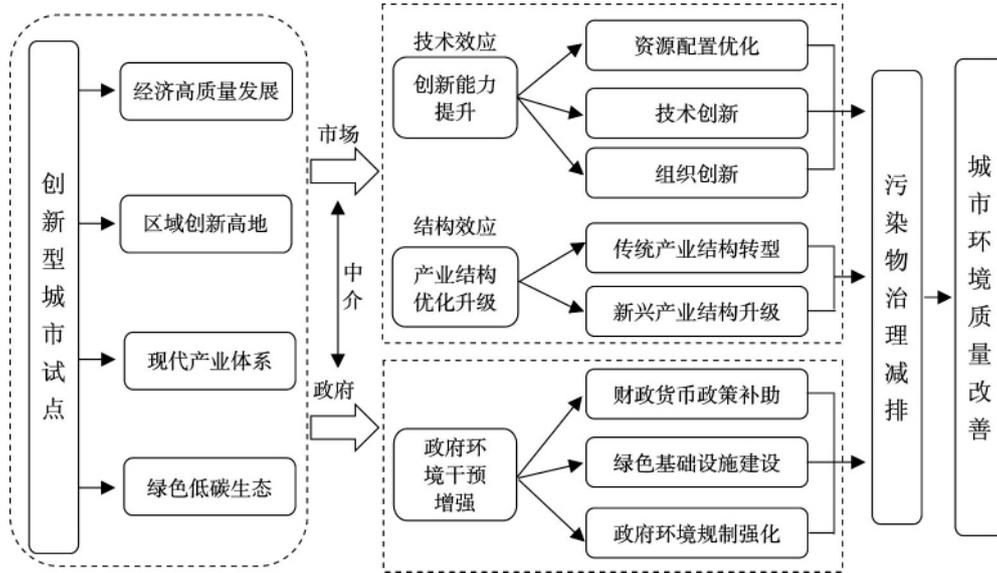


图1 创新型城市试点对城市环境的影响机制

### 1. 创新能力提升

创新能力提升所带来的技术效应,是城市环境改善的主要动力<sup>[24]</sup>。创新型城市试点通过增加创新投入、促进创新要素集聚、加速技术创新和组织创新等方式,实现了资源配置最优化,共同提升了城市创新能力。首先,在资源优化配置方面,技术创新在促进生产效率提升的同时,降低了单位产出的要素需求量,进而使企业提高清洁能源利用率,优化生产要素投入结构。此外,技术创新良性循

环更有利于城市汇集高端人才、研发资本、高新企业等创新要素<sup>[25]</sup>,从而使先进的环保技术和领先的管理经验更易转移应用,有利于企业动态精准掌握市场需求量、需求偏好信息,进而改善环境<sup>[26]</sup>。其次,在技术创新方面,创新型城市为环保技术研发提供强有力的外部激励<sup>[27]</sup>。在此激励下,一大批具有核心技术、致力于环保创新的企业进入,将在清洁能源、环保设备、绿色制造工艺等方面寻求突破。与此同时,技术中介市场、交易平台、产学研协同创新体系的培育和发展,将共同加速科研成果的学习、共享与转化。最后,在组织创新方面,新兴企业为获得长足发展,将对环保设备进行全方位优化升级,并在发展战略、管理制度和内部控制等方面加强与国际接轨,逐步形成“源头清洁生产—末端指挥治理”的完整体系,最终实现企业的绿色生产。

## 2. 产业结构优化升级

产业结构升级所产生的结构效应,也是影响环境污染的重要途径<sup>[28]</sup>。随着产业结构协同性的不断提高,结构比渐趋合理,所产生的环境正效应将逐步显现。创新型试点城市能够借助政策优惠并贯彻新发展理念,有效推动产业结构优化升级,由此产生环境改善效果。一方面,传统污染密集型产业选择清洁生产应用、治污技术改造、直接退出等方式<sup>[29]</sup>,实现生产绿色化转型,部分“三高”企业在“污染避难所”驱动下<sup>[30]</sup>主动进行产业转移,迁出试点地区,进而提升区域内产业结构转型效应。另一方面,试点政策催生了以高新技术产业、战略性新兴产业和现代生产性服务业为代表的低污染、低能耗的新行业、新部门。同时,此类产业的关联和溢出效应对传统高污染产业起到了“鲶鱼效应”<sup>[31]</sup>,在一定程度上也倒逼传统粗放型产业加快绿色化升级改造的步伐。通过上述作用机制,创新型城市试点建设能够充分发挥结构效应优势,促进产业结构优化升级,减少能源消耗和污染物排放,进而改善城市环境质量。

## 3. 政府环境干预增强

创新型城市试点对环境的影响除了通过上述市场内生导向途径外,也离不开政府因势利导的推动<sup>[32]</sup>。在设立创新型城市试点后,地方政府会采取积极的行为策略,例如对环保技术创新与环境治理实施更为积极的财政货币政策,完善绿色基础设施建设,以及强化环境规制力度,从而有助于推动城市环境改善<sup>[33]</sup>。具体而言,首先,地方政府采取财政配套、贷款贴息、直接奖励和项目补助等方式激励企业环保技术研发以及绿色智能生产,同时搭建创新合作平台,保护创新主体合法权益,激发企业治理污染的活力和积极性。其次,地方政府推动网络信息、环境绿化、公共交通网络等绿色基础设施建设,倡导绿色生活模式,极大控制了环境污染物的排放。最后,地方政府会积极完善污染物采集与核算信息系统,健全环境监管体系,从而增强本地区环境规制力度<sup>[34-35]</sup>。然而,受区域资源禀赋、地理条件等先天条件,以及“逐底竞争”“过度干预”等多重因素的影响,政府环境干预的环境改善效应需进一步验证。

因此,据以上分析,本文提出如下研究假设:

**H1:** 创新型城市试点能够有效改善城市环境。

**H2:** 创新型城市试点通过提升地区创新能力、推动地区产业结构优化升级、增强政府环境干预三种途径减少污染物排放,进而改善城市环境。

## 三、研究设计

### (一) 模型设置

#### 1. H1 的验证

为检验假设 1,本文采用多期双重差分法,使用含虚拟变量  $DID$  的面板双向固定效应模型估计环境改善效应。具体而言,模型设定如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

模型(1)中,下标  $i$  和  $t$  分别表示第  $i$  个地区和第  $t$  年,  $Y_{it}$  为被解释变量环境污染指标,  $X_{it}$  为控制

变量组  $\mu_i$  代表个体固定效应,  $\gamma_t$  代表时间固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为误差项。由模型(1)可知, DID 核心解释变量的估计参数  $\beta_1$  度量了创新型城市对地区环境污染物的影响。若创新型城市试点这一政策确实改善了城市环境水平, 则系数  $\beta_1$  应该显著为负。

## 2. H2 的验证

H2 提出了创新型城市试点改善城市环境的主要机制, 依据中介效应方法, 本文建立如下中介效应模型进行研究:

$$Medium_{it} = \delta_0 + \delta_1 DID_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$Y_{it} = \theta_0 + \theta_1 DID_{it} + \theta_2 Medium_{it} + \theta X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

对于所选定的中介变量 *Medium*, 依次进行如下检验: 首先对总效应模型的系数进行检验, 此部分在估计模型(1)已完成; 其次, 当中介检验模型(2)中  $\delta_1$  符合预期且显著时, 方可进行下一步检验; 最后在此条件下, 当直接效应模型(3)中  $\theta_2$  显著时, 可以认为存在中介效应, 当  $\theta_2$  不显著时, 则进行 Sobel 检验, 若检验结果显著则说明中介效应显著存在。通过上述中介效应模型, 可以判断创新型城市试点设立能否通过创新能力提升、产业结构优化升级、政府环境干预增强机制显著影响城市环境。

## (二) 变量选择

### 1. 被解释变量

衡量环境污染一般选择“三废”指标, 但考虑到地级市数据的可得性以及统计口径变化, 本文从《中国城市统计年鉴》中搜集了工业二氧化硫与工业废水排放数据。此外, 随着社会对雾霾污染的逐渐重视,  $PM_{2.5}$  含量也成为当前各界关注的环境污染物。因此, 本文将哥伦比亚大学发布的中国地级市年均  $PM_{2.5}$  数据也作为环境污染指标之一。在度量方式上, 本文使用人均指标衡量, 同时在后续分析中使用强度指标进行稳健性检验。

### 2. 核心解释变量

本文的核心解释变量为创新型城市试点虚拟变量 *DID*。由于创新型城市试点的设立是分时段批复的, 因此本文为保持处理组动态调整变化, 将处理组城市在设立创新型城市试点之前的  $DID_{it}$  设为 0, 设立当年及以后的  $DID_{it}$  设为 1, 若在时间跨度内该地区不是创新型城市则将  $DID_{it}$  一直设为 0。

### 3. 控制变量

(1) 人口密度(*Density*)。人口密度所体现的人口集聚水平及城市规模会影响地区污染物排放, 本文采用每平方公里人口数的对数来衡量。(2) 经济发展(*Pergdp*)。经济发展水平是影响环境污染的重要因素, 本文采用实际人均 GDP 的对数来衡量。(3) 工业规模(*Industry*)。地区工业规模与污染排放具有直接关系<sup>[36]</sup>, 本文采用规模以上工业总产值的对数来衡量。(4) 投资率(*Investment*)。投资是经济发展的内在引擎, 也是影响地区治理污染水平的重要因素, 本文采用固定资产投资占 GDP 的比重来衡量。(5) 消费水平(*Consumption*)。居民消费行为会影响制造环节并对环境产生影响, 本文采用社会消费品零售总额的对数来衡量。(6) 对外开放水平(*Open*)。在经济全球化背景下, 局部区域的环境污染问题可能会借助投资贸易等方式转移, 先进的治污技术亦可通过投资贸易等方式传播, 故需要控制对外开放对地区环境所产生的“污染天堂”或“污染光环”效应<sup>[37]</sup>。本文采用外商直接投资占 GDP 比重来衡量对外开放水平。其中, 外商直接投资使用当年实际使用外资金额并根据当年中间汇率平均值折算成人民币来衡量。(7) 公共交通(*Bus*)。公共交通所代表的基础设施水平对污染物排放具有一定影响, 对此本文采用每万人拥有公共汽电车辆的对数来衡量。

### 4. 中介变量

(1) 选择城市创新指数的对数衡量城市创新能力(*Innovation*)这一中介变量。其中, 城市创新指数来自《中国城市和产业创新力报告 2017》<sup>[38]</sup>, 该数据能有效衡量城市的创新能力。(2) 选择产业结构高度化指数衡量产业结构升级(*Structure*)这一中介变量。产业结构高度化指数的计算方式为:

$Structure = \sum_{i=1}^3 R_i \times i$ 。其中  $R_i$  为第  $i$

个产业占 GDP 的比重。相对于以往研究的设定,该指数符合三个产业的贡献程度,能较好反映产业结构优化升级的内在特点。(3) 选择城市实际治理投资额的对数衡量政府环境干预 (Intervention) 这一中介变量。一般而言,城市治理污染投资额直接反映了政府对城市环境治理保护的重视程度与干预力度<sup>②</sup>。由于治理污染投资额仅存在省级层面的数据,为此本文选择数据归并方式得到地级市层面数据。具体而言,考虑到城市治理污染

投资与本地财政支出实力密切相关,因此将城市财政支出除以对应省份的财政支出作为比重,乘以对应省份的治理污染投资额,再进行实际值调整并取对数,最终得到该城市的政府环境干预变量。

### (三) 数据来源

考虑到地区数据的可获得性,在时间选择上本文选择 2003—2015 年的年度数据分析。又由于数据的可得性,在截面选择上,选择中国地级市地区作为样本,并将部分区划新增、调整或数据缺失的地级市予以剔除,统计范畴涵盖中国 282 个地级城市<sup>③</sup>。其中,据科技部公布的创新型城市名单,整理得到 58 个地级市作为创新型城市试点的处理组(见表 2)。除  $PM_{2.5}$ 、创新能力变量外,本文所用数据均来自《中国城市统计年鉴》、EPS 数据库,部分缺失数据通过相应地区对应年份的城市统计年鉴加以补充<sup>④</sup>。

## 四、实证结果分析

### (一) 基准分析

为检验 H1,本文依据基准回归方程(1),使用双向固定效应的面板回归,分析创新型城市试点对城市三种污染物排放量的影响,结果如表 3 所示。

在表 3 中,列(1)、列(3)、列(5)为不加入控制变量的估计结果,列(2)、列(4)、列(6)为加入了相关控制变量后创新型城市对城市环境污染排放影响的估计结果。结果显示,无论是否加入控制变量,本文关注的核心解释变量 DID 对各类污染物指标的回归系数均显著为负,这表明创新型城市的设立有助于减少污染物的排放,进而改善了城市环境。此外,经济发展、工业规模、消费水平的系数显著为正,反映出经济发展与环境污染之间存在权衡取舍问题。对外开放水平的系数显著为正,支持了“污染天堂”的假说。相较于不加入控制变量的结果,加入控制变量估计得到的分析结果更为合理准确。将此估计所得系数取自然指数再减 1,可得到创新型城市相比于未设立地区的污染物减排增长率<sup>⑤</sup>。具体而言,相比于控制组地区,创新型城市减少了 9.93% 的人均二氧化硫排放量、2.91% 的人均  $PM_{2.5}$  含量以及 5.79% 的人均工业废水排放量。由于二氧化硫所产生的酸雨等环境危害更为

表 1 主要变量描述与计算方法

变量类别	变量名称	计算方法
被解释变量	工业二氧化硫( $SO_2$ )	人均工业二氧化硫排放量的对数
	$PM_{2.5}$ ( $PM_{2.5}$ )	人均 $PM_{2.5}$ 含量的对数
	工业废水(Water)	人均工业废水排放量的对数
核心解释变量	创新型城市(DID)	虚拟变量(0,1)
控制变量	人口密度(Density)	每平方公里人口对数
	经济发展(Pergdp)	实际人均 GDP 的对数
	工业规模(Industry)	规模以上工业总产值的对数
	投资率(Investment)	固定资产投资占 GDP 的比重
	消费水平(Consumption)	社会消费品零售总额的对数
	对外开放水平(Open)	实际利用外资金额/GDP
	公共交通(Bus)	每万人拥有公共汽电车辆的对数
	中介变量	创新能力(Innovation)
	产业结构升级(Structure)	产业结构高度化指数
	政府环境干预(Intervention)	城市实际治理投资额的对数

表 2 创新型城市试点所在地级市分布情况

年度	试点城市	合计
2008 年	深圳	1
2010 年	北京、天津、唐山、石家庄、包头、太原、大连、沈阳、哈尔滨、上海、南京、苏州、无锡、常州、宁波、嘉兴、福州、厦门、景德镇、南昌、济南、烟台、武汉、长沙、广州、南宁、海口、重庆、成都、贵阳、昆明、西安、宝鸡、兰州、西宁、银川	36
2011 年	秦皇岛、呼和浩特、长春、连云港、镇江、洛阳	6
2012 年	南通、郑州、乌鲁木齐	3
2013 年	杭州、泰州、盐城、扬州、湖州、萍乡、济宁、青岛、南阳、襄阳、宜昌、遵义	12

严重,因此工业二氧化硫成为环境治理的重点减排目标,其减排效果也最为明显。综上所述,创新型城市试点对环境污染减排效果明显,支持假设 H1。

## (二) 机制检验

本文依据中介效应模型(1)至模型(3)对假设 H2 所提出的三条机制进行逐一检验。首先,基准回归所展示的总效应模型中,核心解释变量 *DID* 的系数均显著为负,已表明创新型城市试点减少了城市环境污染物排放,这一结果可确保下文进行中介检验模型以及直接效应模型分析。表 4 至表 6 分别显示了三种机制的检验结果。

表 4 为创新能力的中介效应检验结果。在列(1)的中介检验模型中,创新型城市试点对创新能力的估计系数显著为正,说明创新型城市试点有效提升了城市的创新能力。列(2)至列(4)的直接效应模型将创新能力(*Innovation*)纳入基准回归,发现对于各类环境污染物排放,创新能力这一中介变量的估计系数均显著为负,且 *DID* 的系数显著为负,估计值的绝对值小于基准回归中相应系数的绝对值。上述结果表明,创新型城市通过提升城市创新能力,进而改善了城市环境,技术效应这一中介途径显著存在。

表 5 为产业结构升级的中介效应检验结果。列(1)的中介检验模型中,创新型城市试点对产业结构升级的估计系数显著为正,说明创新型城市试点有利于促进产业结构升级。列(2)至列(4)的直接效应模型通过将产业结构升级(*Structure*)纳入基准回归后发现,产业结构升级作为中介变量对各类污染物的估计系数都显著为负,且核心解释变量 *DID* 的系数显著为负,估计值的绝对值小于基准回归中相应系数的绝对值,但下降幅度小于创新能力。上述结果表明,创新型城市试点促进了地区产业结构优化升级,从而有效抑制了城市环境污染物排放,结构效应这一中介影响也同样显著存在。

表 3 基准回归结果

变量	<i>SO</i> <sub>2</sub> (1)	<i>SO</i> <sub>2</sub> (2)	<i>PM</i> <sub>2.5</sub> (3)	<i>PM</i> <sub>2.5</sub> (4)	<i>Water</i> (5)	<i>Water</i> (6)
<i>DID</i>	-0.172 0*** (-4.55)	-0.104 6*** (-2.72)	-0.024 6** (-2.45)	-0.029 5*** (-2.90)	-0.073 2*** (-2.26)	-0.059 6* (-1.79)
<i>Density</i>		-0.054 0 (-0.84)		-0.079 4*** (-4.69)		0.028 0 (0.51)
<i>Pergdp</i>		-0.031 8 (-0.44)		0.117 4*** (6.08)		0.065 7 (0.58)
<i>Industry</i>		0.202 6*** (7.37)		0.039 4*** (5.43)		0.111 7*** (4.72)
<i>Investment</i>		-0.036 6 (-0.66)		-0.050 3*** (-5.43)		-0.175 5*** (-3.68)
<i>Consumption</i>		0.235 1*** (4.48)		0.074 0*** (5.34)		0.001 8 (0.04)
<i>Open</i>		1.989 8*** (3.61)		0.438 3** (3.01)		0.465 3 (0.98)
<i>Bus</i>		0.050 1* (1.92)		-0.008 0 (-1.16)		0.043 0* (1.92)
_cons	9.128 7*** (337.98)	10.052 6*** (10.75)	11.519 1*** (1609.38)	12.484 3*** (50.52)	7.076 3*** (306.36)	5.007 9*** (6.21)
地区效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	3 666	3 666	3 666	3 666	3 666	3 666
F	68.39***	39.52***	374***	116.78***	63.89***	35.27***
R <sup>2</sup>	0.054 8	0.081 8	0.233 6	0.259 8	0.021 3	0.034 4

注:(1)圆括号中为 *t* 值;(2)\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。

表 4 创新能力的中介效应检验结果

变量	中介检验模型		直接效应模型	
	<i>Innovation</i> (1)	<i>SO</i> <sub>2</sub> (2)	<i>PM</i> <sub>2.5</sub> (3)	<i>Water</i> (4)
<i>DID</i>	0.212 3*** (7.02)	-0.097 1** (-2.51)	-0.021 1** (-2.08)	-0.055 3* (-1.65)
<i>Innovation</i>		-0.030 2* (-1.62)	-0.039 4*** (-6.83)	-0.020 9* (-1.74)
_cons	0.581 7 (0.79)	10.163 3*** (10.91)	12.501 4*** (50.87)	5.058 3*** (6.27)
控制变量	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
N	3 666	3 666	3 666	3 666
F	34.87***	39.57***	118.02***	35.10***
R <sup>2</sup>	0.888 8	0.075 7	0.269 8	0.034 0

注:(1)圆括号中为 *t* 值;(2)\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著;(3)篇幅所限,未列出控制变量的结果。

表6为政府环境干预的中介效应检验结果。列(1)的中介检验模型显示,创新型城市试点对政府环境干预的回归系数显著为正,说明创新型城市试点有利于正向激励政府增强环境干预力度。列(2)至列(4)的直接效应模型将政府环境干预(Intervention)纳入基准回归。结果显示,仅在 $PM_{2.5}$ 回归中,政府环境干预的估计系数显著为负,且对应核心解释变量DID的系数也显著为负,说明政府环境干预能由此引发 $PM_{2.5}$ 的减排。然而,对于二氧化硫和工业废水排放,中介变量的系数并不显著,也未能通过对应的Sobel检验。上述结果表明,创新型城市试点有助于强化政府对城市环境治理的引导与干预,但仅有利于 $PM_{2.5}$ 的减排,暂不能促进其他污染物减排。因此,创新型城市试点通过政府环境干预途径影响城市环境的假设得到部分验证。

上述机制检验反映出相关中介变量的中介效应发挥着结构性差异。首先,创新能力提升是创新型城市试点改善城市环境的主要渠道。创新型城市的设立激发了城市创新活力。企业通过技术研发,改进了工艺并更新了环保设备,极大提升了治污能力。同时,创新激励污染治理的相关科技产品、设备的研发与更新换代,也使得环境治理的成本不断下降,更有利于清洁生产在企业的推广。其次,产业结构升级在此过程中也起到了重要的中介作用。在设立创新型城市后,产业结构调整与升级成为一项重要任务。一些高污染、高耗能的制造业企业转移,一批创新能力强、产品附加值高、环境污染小的企业进入,同时包括互联网、物联网、大数据、云计算、人工智能等在内的新业态不断涌现,这均有助于减轻本地环境污染。最后,创新型城市试点激励了政府对环境的干预,但目前仅有助于减少部分环境污染,尚未完全发挥其改善环境的作用,有进一步提升的空间。上述结果表明,创新能力提升与产业结构升级所代表的市场机制,是实现绿色资源优化配置的主导内驱力,而精准适度的政府环境干预也将助力环境改善。未来应着力提高政府环境干预能力,完善市场化治污机制,以形成良好的绿色发展生态。

### (三) 稳健性检验

为确保研究结论稳健,本文采用如下四种方式进行稳健性检验:(1)安慰剂检验。借鉴Cai *et al.* [39]的检验方法,通过随机选取处理组的方式选择地区安慰剂进行检验。(2)PSM-DID。引入倾向得分匹配双重差分法对原有结果进行重新估计。(3)替换被解释变量。将被解释变量替换为强度指标进行回归。(4)工具变量。在创新型城市设立过程中,文化积淀、历史底蕴所代表的城市文化特质是一个需要考虑的重要内容。历史上的国都城市均对当今城市发展有着深远的历史影响。因此,历史国都

表5 产业结构升级的中介效应检验结果

变量	中介检验模型		直接效应模型	
	Structure (1)	SO <sub>2</sub> (2)	PM <sub>2.5</sub> (3)	Water (4)
DID	0.0161*** (3.69)	-0.0982** (-2.54)	-0.0292** (-2.86)	-0.0565* (-1.69)
Structure		-0.3702** (-2.43)	-0.0249* (-1.71)	-0.0299* (-1.87)
_cons	1.7985*** (16.98)	10.7032*** (10.99)	12.5308*** (48.63)	5.0576*** (6.03)
控制变量	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
N	3666	3666	3666	3666
F	33.20***	39.54***	106.60***	34.65***
R <sup>2</sup>	0.3191	0.0835	0.2592	0.0347

注:(1)圆括号中为t值;(2)\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;(3)篇幅所限,未列出控制变量的结果。

表6 政府环境干预的中介效应检验结果

变量	中介检验模型		直接效应模型	
	Intervention (1)	SO <sub>2</sub> (2)	PM <sub>2.5</sub> (3)	Water (4)
DID	0.0726** (2.11)	-0.1058 (-1.36)	-0.0291** (-2.02)	-0.0617 (-1.02)
Intervention		0.0353 (0.67)	-0.0184*** (2.67)	0.0596 (1.33)
_cons	-8.6443*** (-10.34)	10.3770*** (6.84)	12.6478*** (31.95)	5.5527*** (3.94)
控制变量	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
N	3666	3666	3666	3666
F	210.84***	14.50***	105.38***	5.96***
R <sup>2</sup>	0.5578	0.0803	0.2624	0.0383
Sobel 检验		0.0026 [1.39]		0.0043 [1.12]

注:(1)圆括号中为t值,方括号为z值;(2)\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;(3)篇幅所限,未列出控制变量的结果。

与创新性城市设立呈正相关,满足工具变量的相关性假设。此外,历史国都由历史条件决定,满足工具变量的外生性假设。因此,参考曾婧婧和周丹萍<sup>[40]</sup>的做法,使用历史国都作为工具变量进行回归。以上四种稳健性检验结果均表明,创新型城市设立对城市环境有改善作用的结论稳健<sup>⑥</sup>。

## 五、进一步分析

### (一) 地区异质性对城市环境的影响

中国幅员辽阔,地区间经济发展、资源禀赋存在较大差异,那么地区异质性是否会导致减排效应存在差异呢?为回答上述问题,本文按照两类区域划分标准<sup>⑦</sup>将全国所有地级市划分为东中西部城市以及南北部城市,并对模型(1)依次进行估计,分析不同区域位置下各类环境污染物所受影响的大小差异,表7报告了回归结果。

在表7中, *E*、*M*、*W* 分别代表东、中、西部地区, *N*、*S* 分别代表北部、南部地区。可以发现,两种不同地区分类下针对工业二氧化硫的减排成效均显著,这同样表明环境危害性最大的工业二氧化硫成为各地的重点减排任务。从效果量来看,中部和南部地区工业二氧化硫排放量减少更多,这与中国目前的酸雨区分布带集中于这一地区密切相关。此外,从三类污染物的总体减排效果来看,东部、西部以及北部地区的创新型城市试点能更有效地减少污染物排放,改善环境质量,而中部、南部地区则在  $PM_{2.5}$  以及工业废水排放中均不具有减排效应。上述结果表明,创新型城市试点的环境改善效应具有空间不平衡性特征,对经济欠发达地区具有“雪中送炭”效果,对经济发达地区也具有“锦上添花”作用,对处于中等发展水平的地区则效果并不显著。出现上述结论可能的原因在于:欠发达地区高污染高耗能的能源化工、有色冶金、建材等重化工业比重长期较高,污染程度大,处于经济发展与环境破坏的权衡困境中,而设立创新型城市试点会激发政府提高环境干预能力,促进企业节能减排技术创新,也使得本地产业结构得到调整优化升级,从而带来显著的环境改善效果。同时,经济发达地区本身在要素集聚、技术创新、规模优势、市场环境以及政策优惠等方面具有优势,创新型城市试点使其自身优势得以更有效发挥,也能促进环境污染物减排,改善城市环境。相较于上述两类地区,处于中等发展水平的地区则“中规中矩”效果并不显著。

### (二) 城市规模异质性对城市环境的影响

除了区域异质性外,城市规模大小也会影响减排效果的发挥。为此,本文进一步对不同城市规模下创新型城市的减污效应进行验证。具体采用两种标准对城市规模进行划分:一种是参照国务院《关于调整城市规模划分标准的通知》,依据城区常住人口规模进行划分。由于超大以及特大城市数目较少,为便于研究,本文将大、特大以及超大城市归并为大城市类型,根据人口规模划分出大、中、小城市三个子样本组。另一种则是依据城市经济规模进行划分,本文按人均GDP大小将样本同样划分为大、中、小城市三个子样本组。基于此,本文对模型(1)依次进行分组回归,结果见表8。

在表8中, *POP* 代表人口规模, *PGDP* 代表经济规模, *B*、*M*、*S* 分别代表大、中、小城市。结果同样显示,相比于中城市,大城市与小城市组别中创新型城市的设立对环境污染的减排效果会更加明显,存在着“锦上添花”与“雪中送炭”的效果。更为重要的是,无论根据哪种划分标准,大城市因设立创新型城市试点而对三类环境污染物所产生的减排效应都更为显著。出现这一结果的关键在于,设立创新型城市试点最重要的目标是促进当地的技术创新与经济发展,而其所带来的环境改善效应更多属于“无心插柳柳成荫”的效果,这也意味着污染物减排更多依赖于市场化内生行为。同时,本文在

表7 地区异质性检验结果

变量	$SO_2$	$PM_{2.5}$	<i>Water</i>
	(1)	(2)	(3)
<i>DID-E</i>	-0.099 6* (-1.70)	-0.031 9** (-2.30)	0.003 9 (0.09)
<i>DID-M</i>	-0.264 4*** (-4.39)	-0.010 6 (-0.58)	-0.009 0 (-0.14)
<i>DID-W</i>	-0.160 4* (-1.84)	-0.035 3* (-1.76)	-0.217 2** (-2.93)
<i>DID-N</i>	-0.104 2* (-1.73)	-0.045 5** (-3.22)	0.137 4** (2.78)
<i>DID-S</i>	-0.148 2** (-2.55)	-0.001 1 (-0.09)	0.011 4 (0.26)
控制变量	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制

注:(1) 圆括号中为 *t* 值;(2) \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著;(3) 篇幅所限,未列出控制变量、*N*、*F* 及  $R^2$  的结果,备索。

机制检验中的结论也进一步印证了上述分析。因此,对于大规模城市而言,其创新能力与产业基础条件较好,市场环境优越,设立创新型城市更能从产业技术革新与产业结构调整中获益,所带来的环境减排规模优势将更强,因而“锦上添花”效果更明显。从这一结论可以看出,在治理环境污染的过程中,除了要更好发挥政府环境干预作用外,更要使市场在绿色资源空间配置中起决定性作用,发挥创新与产业结构升级的内生驱动力,从而更好地带动环境污染物减排。

### (三) 空间溢出效应对城市环境的影响

除了异质性外,空间溢出效应也会影响创新型城市与城市环境的关系。首先,环境污染物具有扩散跨界的典型自然属性,因此不能忽视地区间的空间依赖相关性。此外,各地区之间特别是创新型城市之间的经济活动日益频繁,也存在着合作交流渠道,会通过学习借鉴先进治理经验、吸纳关键创新技术以及共同协商解决区域环境问题等方式,间接促进本地环境污染物治理。

空间双重差分(SDID)模型既考虑到环境污染物空间相关性,也能识别创新型城市间可能存在的空间外溢效应。因此,本文借鉴 Sunak and Madlener<sup>[41]</sup>的研究,构建如模型(4)所示的空间杜宾双重差分模型(SDID-SDM)分析空间溢出影响:

$$Y_{it} = \beta_0 + \rho Y_{it} W_{it} + X\beta + W_{ij} X\varphi + \beta_1 DID_{it} + \beta_2 W_{ij} DID_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中,被解释变量、解释变量、控制变量的含义与模型(1)相同, $W_{ij}$ 是空间权重矩阵,本文将其定义为地区间地理距离 $d_{ij}$ 的倒数,即 $W_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases}$ ,此外在回归时对其进行标准化处理。 $\rho$ 是空间滞后项的系数,反映出环境污染物是否存在空间联系。 $\beta_1$ 与 $\beta_2$ 是重点关注的参数,其中 $\beta_1$ 衡量不受其他处理组影响下处理组受到的自身创新型城市政策试点所产生的效应, $\beta_2$ 则衡量其他处理组对处理组所产生的政策空间溢出效应。相比于系数 $DID$ 变量的直接与间接效应大小是更为精确的估计方法。表9为考虑到空间相关性及政策空间溢出效应的模型估计结果。

在表9中,对于所有回归,随机误差项标准差平方 $\sigma_2_e$ 都显著,说明模型结果均可接受,可进一步分析。针对三类不同污染物,系数 $\rho$ 显著为正说明环境污染物在地区间确实存在着扩散效果,而 $DID$ 项对应的直接效应系数均显著为负,则表明在考虑了环境污染物、相关控制变量的空间关联以及创新型城市之间的政策空间溢出效应后,创新型城市试点所带来的环境改善效应依旧显著存在。此外, $W \times DID$ 项对应的间接效应系数仅在工业废水排放中显著为负,则表明在污水治理中,创新型城市之间通过吸收学习、借鉴经验、合作治理等方式,产生了政策空间溢出下的环境改善效应。因此,在当前中国环境治理中,流域治理已得到了各处理组地区的密切协

表8 城市规模异质性检验结果

变量	$SO_2$	$PM_{2.5}$	$Water$
	(1)	(2)	(3)
$DID-POP_B$	-0.0523* (-1.67)	-0.0518*** (-2.97)	-0.0795* (-1.79)
$DID-POP_M$	0.0150 (1.08)	-0.0076 (-0.34)	0.0323 (0.43)
$DID-POP_S$	-0.0426 (-0.24)	-0.0688* (-1.79)	-0.1174* (-1.84)
$DID-PGDP_B$	-0.1640*** (-4.55)	-0.0961* (-1.85)	-0.0843** (-2.48)
$DID-PGDP_M$	0.0848 (1.19)	-0.0441* (-1.74)	0.0718 (0.80)
$DID-PGDP_S$	0.0996 (0.46)	-0.1031** (-2.03)	0.1910 (0.95)
控制变量	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制

注:(1)圆括号中为t值;(2)\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;(3)篇幅所限,未列出控制变量、N、F及 $R^2$ 的结果,备索。

表9 空间DID回归结果

变量	$SO_2$	$PM_{2.5}$	$Water$
	(1)	(2)	(3)
$DID$	-0.1017** (-2.77)	-0.0229** (-2.96)	-0.0436* (-1.78)
$W \times DID$	0.0822 (0.23)	-0.0912 (-1.21)	-0.5067* (-1.66)
$\rho$	0.6057*** (7.57)	0.9793*** (170.80)	0.4492*** (4.82)
控制变量	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制
$\sigma_2_e$	0.1794*** (42.69)	0.0080*** (42.66)	0.1325*** (42.74)
直接效应	-0.0998** (-2.63)	-0.0447* (-2.08)	-0.0459* (-1.72)
间接效应	0.1287 (0.13)	-0.0213 (-1.10)	-0.9629* (-1.70)
N	3666	3666	3666
$R^2$	0.0030	0.0144	0.0011

注:(1)圆括号中为z值;(2)\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%水平上显著;(3)篇幅所限,未列出控制变量的结果,备索。

作,但空气治理还未形成区域联动效果。环境污染联防联控符合区域整体的公共利益诉求,更有助于在环境污染治理方面形成一致合力。在未来的创新型城市建设中,各创新型城市之间要加强交流与合作,互相学习经验,取长补短,提高区域协同治理效能,以更好地促进地区共同减排。

## 六、结论与政策启示

创新驱动发展为环境污染治理提供新的动力和方向,创新型城市试点是其中典型的空间例证。本文基于中国2003—2015年282个城市面板数据,运用双重差分法准确评估了创新型城市试点对城市环境的改善效应,得到如下结论:(1)创新型城市试点能显著减少以 $PM_{2.5}$ 、工业二氧化硫、工业废水为代表的污染物排放。因此,创新型城市试点是有效改善城市环境的代表性政策之一。(2)创新能力提升与产业结构优化升级是其中主要的影响渠道,二者通过提升治污效能,降低治污成本,促进新产品、新部门、新业态的产生,因而有助于环境改善;但政府环境干预的机制暂未达到理想的环境改善效果。(3)创新型城市试点对经济欠发达地区具有“雪中送炭”效果,对经济发达地区也具有“锦上添花”作用。由于环境治理受市场化行为主导驱动,故“锦上添花”的环境改善程度更为显著。同时,政策所产生的空间溢出效应已在流域治理中显示出良好效果,但空气治理中的区域联动仍需加强。

基于上述分析,本文对于创新型城市的未来发展提出了如下政策建议:(1)坚持市场在绿色资源空间配置中的决定性作用,形成以创新能力提升与产业结构优化升级为内核的绿色经济体系。充分发挥技术创新的减污作用,通过市场化手段促进企业排污技术的革新改造,增加研发投入激励,激发企业绿色创新活力。打造环境友好型产业结构,重视高污染、高排放的传统制造业转型升级,推动产业链向微笑曲线两端延伸,积极培育物联网、大数据、云计算、人工智能等新动能。(2)更好地发挥政府在污染治理中的作用。强化创新型城市建设评价中对环境保护的考核,提高环境规制强度,积极实施有利于企业科技创新及产业结构优化升级的财政税收政策。有序推进创新型城市的试点建设,在经济发达地区优先考虑设立创新型城市,在规模较小地区设立试点后要持续推进市场化治理方式。(3)全面提升区域污染协同治理效能。强化区域污染防治协作机制,通过加强创新型城市间污染治理经验的学习交流与推广合作,实现试点城市间减排政策的统一推进。构建跨区域环境治理联防联控联动机制,打破传统“属地模式”,开展废气、废水和固体废弃物的联防联控,在更大程度上发挥创新型城市试点对环境改善的政策空间外溢效果。

## 注释:

- ①政策文件主要包括《关于推进国家创新型城市试点工作的通知》(发改高技〔2010〕30号)、《建设创新型城市工作指引》(国科发创〔2016〕370号)、《关于支持新一批城市开展创新型城市建设的函》(国科函创〔2018〕59号)。
- ②本文对政府环境干预这一中介变量进行了改进,感谢外审专家的意见。
- ③因区划调整或新增而予以剔除的地级市主要包括合肥市、巢湖市、毕节市、铜仁市、三沙市、海东市以及儋州市。同时,在数据收集中,拉萨市、陇南市以及中卫市数据缺失较为严重,也予以剔除。因此,本文的统计范畴涵盖282个地级城市。
- ④篇幅所限,相关变量的描述性统计结果未列出,备索。
- ⑤核心解释变量的系数可看作处理组与控制组GDP对数之差,亦可表示为两组GDP商的对数值。
- ⑥篇幅所限,相关稳健性检验结果未列出,备索。
- ⑦东、中、西部地区分类原则为:东部地区城市主要包括北京、天津、河北、辽宁、吉林、黑龙江、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南这13个省份的地级市,中部地区城市主要包括内蒙古自治区、山西、河南、安徽、湖北、江西、湖南这7个省份的地级市,西部地区城市主要包括四川、云南、贵州、重庆、陕西、甘肃、青海、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、广西壮族自治区这10个省份的地级市(西藏自治区数据缺失)。北部、南部地区分类原则为:北部地区城市主要包括北京、天津、河北、辽宁、吉林、黑龙江、山东、内蒙古自治区、山西、河南、陕西、甘肃、青海、新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区这15个省份的地级市,南部地区城市主要包括江苏、上海、浙江、福建、广东、海南、安徽、湖北、江西、湖南、四川、云南、贵州、重庆、广西壮族自治区这15个省份的地级市(西藏自治区数据缺失)。

## 参考文献:

- [1] CHIOU T Y, CHAN H K, LETTICE F, et al. The influence of greening the suppliers and green innovation on environmental performance and competitive advantage in Taiwan [J]. *Transportation research part E: logistics and transportation review* 2011, 47(6): 822-836.
- [2] 杨小东, 冉启英, 张晋宁. 城市创新行为、财政分权与环境污染[J]. *产业经济研究* 2020(3): 1-16.
- [3] ZAILANI S, GOVINDAN K, IRANMANESH M, et al. Green innovation adoption in automotive supply chain: the Malaysian case [J]. *Journal of cleaner production* 2015, 108: 1115-1122.
- [4] 沈可挺, 龚健健. 环境污染、技术进步与中国高耗能产业——基于环境全要素生产率的实证分析[J]. *中国工业经济* 2011(12): 25-34.
- [5] 白俊红, 聂亮. 技术进步与环境污染的关系——一个倒U形假说[J]. *研究与发展管理* 2017(3): 131-140.
- [6] ZHANG B, CHEN X, GUO H. Does central supervision enhance local environmental enforcement? Quasi-experimental evidence from China [J]. *Journal of public economics* 2018, 164: 70-90.
- [7] 石庆玲, 陈诗一, 郭峰. 环保部约谈与环境治理: 以空气污染为例[J]. *统计研究* 2017(10): 88-97.
- [8] 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.
- [9] 李胜兰, 初善冰, 申晨. 地方政府竞争、环境规制与区域生态效率[J]. *世界经济* 2014(4): 88-110.
- [10] 郭峰, 石庆玲. 官员更替、合谋震慑与空气质量的临时性改善[J]. *经济研究* 2017(7): 155-168.
- [11] 苏昕, 周升师. 双重环境规制、政府补助对企业创新产出的影响及调节[J]. *中国人口·资源与环境* 2019(3): 31-39.
- [12] FOWLIE M, HOLLAND S P, MANSUR E T. What do emissions markets deliver and to whom? Evidence from Southern California's NOx trading program [J]. *American economic review* 2012, 102(2): 965-993.
- [13] 叶金珍, 安虎森. 开征环保税能有效治理空气污染吗[J]. *中国工业经济* 2017(5): 54-74.
- [14] 涂正革, 谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波特效应? [J]. *经济研究* 2015(7): 160-173.
- [15] 范庆泉, 张同斌. 中国经济增长路径上的环境规制政策与污染治理机制研究[J]. *世界经济* 2018(8): 171-192.
- [16] 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[J]. *管理世界*, 2019(6): 95-108+195.
- [17] 范子英, 赵仁杰. 法治强化能够促进污染治理吗? ——来自环保法庭设立的证据[J]. *经济研究* 2019(3): 21-37.
- [18] 逮进, 赵亚楠, 苏妍. “文明城市”评选与环境污染治理: 一项准自然实验[J]. *财经研究* 2020(4): 109-124.
- [19] 陈晨, 张广胜. 国家创新型城市政策、高端生产性服务业集聚与地区经济高质量发展[J]. *财贸研究* 2020(4): 36-51.
- [20] 李政, 杨思莹. 创新型城市试点提升城市创新水平了吗? [J]. *经济学动态* 2019(8): 70-85.
- [21] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment [J]. *The quarterly journal of economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [22] 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.
- [23] BERMAN E, BUI L T. Environmental regulation and productivity: evidence from oil refineries [J]. *Review of economics and statistics* 2001, 83(3): 498-510.
- [24] 万建香, 汪寿阳. 社会资本与技术创新能否打破“资源诅咒”? ——基于面板门槛效应的研究[J]. *经济研究*, 2016(12): 76-89.
- [25] 罗德明, 李晔, 史晋川. 要素市场扭曲、资源错置与生产率[J]. *经济研究* 2012(3): 4-14+39.
- [26] RYZHENKOV M. Resource misallocation and manufacturing productivity: the case of Ukraine [J]. *Journal of comparative economics* 2016, 44(1): 41-55.
- [27] BORGHESI S, CAINELLI G, MAZZANTI M. Linking emission trading to environmental innovation: evidence from the Italian manufacturing industry [J]. *Research policy* 2015, 44(3): 669-683.
- [28] 黄滢, 刘庆, 王敏. 地方政府的环境治理决策: 基于SO<sub>2</sub>减排的面板数据分析[J]. *世界经济* 2016(12): 166-188.
- [29] 王书斌, 徐盈之. 环境规制与雾霾脱钩效应——基于企业投资偏好的视角[J]. *中国工业经济* 2015(4): 18-30.
- [30] CHENG J, YI J, DAI S, et al. Can low-carbon city construction facilitate green growth? Evidence from China's pilot low-carbon city initiative [J]. *Journal of cleaner production* 2019, 231(9): 1158-1170.

- [31] 李晓钟, 陈涵乐, 张小蒂. 信息产业与制造业融合的绩效研究——基于浙江省的数据[J]. 中国软科学 2017(1): 22-30.
- [32] LIN J, MONGA C, TE VELDE D W, et al. DPR debate: growth identification and facilitation: the role of the state in the dynamics of structural change[J]. Development policy review 2011 29(3): 259-310.
- [33] REN S, LI X, YUAN B, et al. The effects of three types of environmental regulation on eco-efficiency: a cross-region analysis in China[J]. Journal of cleaner production 2018, 173: 245-255.
- [34] 金刚, 沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴? ——环境规制执行互动与城市生产率增长[J]. 管理世界 2018(12): 43-55.
- [35] 杨超, 程宝栋, 于畅. 经济发展与环境治理的跷跷板: 官员竞争博弈下的策略变化[J]. 商业经济与管理 2020(1): 55-64.
- [36] 戴魁早. 技术市场发展对出口技术复杂度的影响及其作用机制[J]. 中国工业经济 2018(7): 117-135.
- [37] 许和连, 邓玉萍. 外商直接投资导致了中国的环境污染吗? ——基于中国省际面板数据的空间计量研究[J]. 管理世界 2012(2): 30-43.
- [38] 寇宗来, 刘学悦. 中国城市和产业创新力报告 2017[R]. 复旦大学产业发展研究中心 2017.
- [39] CAI X, LU Y, WU M, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. Journal of development economics 2016, 123(1): 73-85.
- [40] 曾婧婧, 周丹萍. 区域特质、产业结构与城市创新绩效——基于创新型城市试点的准自然实验[J]. 公共管理评论 2019(3): 66-97.
- [41] SUNAK Y, MADLENER R. The impact of wind farm visibility on property values: a spatial difference-in-differences analysis[J]. Energy economics 2016, 55(5): 79-91.

(责任编辑: 戴芬园)

## Has the innovative cities pilot project improved the urban environment?

DING Huanfeng, SUN Xiaozhe, WANG Lu

(School of Economics and Finance, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Innovation-driven development provides new impetus and direction for environmental pollution control. Innovative city pilot is a typical spatial example of that. Based on the panel data of 282 cities in China from 2003 to 2015, this paper uses the difference-in-differences method to evaluate the improvement effect of innovative city pilot on the urban environment. The results show that innovative city pilot can significantly reduce representative pollutant emissions such as PM<sub>2.5</sub>, industrial sulfur dioxide and industrial wastewater, thereby improving the urban environment. At the same time, the test result of the intermediary effect mechanism shows that the improvement of innovation capability and the optimization and upgrading of industrial structure are the main means of influence, but the mechanism of government environmental intervention has not yet achieved the desired effect of environmental improvement. Further expansion analysis finds that the innovative city pilot has the effect of “sending charcoal in the snow” to underdeveloped regions and the effect of “icing on the cake” to developed regions, and the effect of environmental improvement in developed regions is more significant. Moreover, the spatial spillover effect produced by the policy has shown good results in watershed governance, but the regional linkage in air governance still needs to be strengthened. Therefore, insisting on the decisive role of the market in the spatial allocation of green resources, giving better play to the government’s role in pollution control, and comprehensively improving the effectiveness of regional coordinated governance are the keys for innovative city pilot project to exert greater environmental improvement effects.

**Key words:** innovative city; environmental improvement; improvement of innovation ability; optimization and upgrading of industrial structure; difference-in-differences method