

# 产业转移对碳排放和大气污染的 协同治理效应与空间溢出分析

——基于国家级承接产业转移示范区政策的实证研究

朱虹 储骁奕

**【摘要】**承接产业转移是优化生产力空间布局的重要方式,而产业转移对碳排放和大气污染的协同治理与空间溢出效应是发展绿色经济亟需探讨的问题。基于2003—2017年中国285个地级市的面板数据,利用多时点双重差分法和空间计量模型,考察国家级承接产业转移示范区政策的碳排放和大气污染协同治理效应、内在机制与空间溢出状况。结果显示:国家级承接产业转移示范区政策显著降低了示范区城市碳排放和大气污染程度。机制分析表明,国家级承接产业转移示范区政策提高了示范区城市绿色技术创新水平和政府环境治理力度,从而实现碳排放和大气污染的协同治理。进一步的空间溢出分析表明,国家级承接产业转移示范区政策的环境治理效应存在空间溢出,显著带动了试点城市周边200千米内城市的碳排放和大气污染协同治理,对200千米外城市的环境治理带动效应不显著。因此,中央政府应因地制宜,有序扩大政策范围,同时鼓励地方政府加大绿色技术创新支持力度并增强自身环境治理水平。

**【关键词】**产业转移;双重差分法;碳排放;大气污染;空间溢出

**【作者简介】**朱虹,南京大学商学院教授、博士生导师,研究方向:消费者行为;储骁奕(通讯作者),南京大学商学院硕士研究生,研究方向:环境治理。

**【原文出处】**《产经评论》(广州),2023.4.77~91

## 一、引言

近年来,碳排放和大气污染造成的全球变暖等气候变化成为威胁全人类的严峻问题,引起世界各国的重视(Dong et al., 2022<sup>[1]</sup>; Xiao et al., 2022<sup>[2]</sup>)。我国在过去40年间创造了经济高速增长的奇迹,同时也付出了巨大的环境代价。据统计,2019年我国二氧化碳排放量占全球的27%,成为世界第一大碳排放国,2020年全国PM<sub>2.5</sub>平均浓度刚达到世界卫生组织第一阶段35微克每立方米的目標值,距离10微克每立方米的指导值还任重道远。环境问题不仅影响经济的可持续发展,更对人民的生命健康造成损

害。为此,我国政府提出“双碳”战略目标,即力争2030年前二氧化碳排放达到峰值,2060年前实现碳中和目标(Zhang et al., 2022)<sup>[3]</sup>。与此同时,我国经济也正处于产业结构调整升级的关键时期,部分制造业呈现从东南沿海向内陆转移的趋势,产业要素正在地理空间上经历优化再分配的过程(王一鸣, 2020)<sup>[4]</sup>。如何兼顾产业升级和环境保护,走出一条绿色低碳高质量发展道路,是国家面临的重要课题。

产业转移作为兼顾产业发展和环境保护的重要途径(Zhang, 2021)<sup>[5]</sup>,受到广泛关注。产业转移通常是指某些产业在产品需求、资源供给和环境规制发

生变化后,从一个国家或地区转移到另一个国家或地区的经济现象和过程,是经济发展的必然规律(Yu和Zhang,2022)<sup>[6]</sup>。自我国2010年开始实行国家级承接产业转移示范区政策以来,对产业转移相关主题的探讨始终是研究的热点。现有研究已较为全面地从资源配置效率(贺胜兵等,2019<sup>[7]</sup>;李建军,2012<sup>[8]</sup>)、产业结构调整(陈凡和周民良,2020)<sup>[9]</sup>、区域经济增长(陈凡等,2017)<sup>[10]</sup>、缩小经济差距(熊凯军,2022)<sup>[11]</sup>等角度论证了国家级承接产业转移示范区政策的经济效应,如在优化生产力空间布局,形成合理产业分工体系,促进区域经济协调发展等方面的正面效应。那么,国家级承接产业转移示范区政策能否同时实现环境治理效应?会对环境产生怎样的影响?这是本研究的重要背景亦是主要内容。

部分学者分析了国家级承接产业转移示范区政策对承接地环境治理的影响,例如示范区政策的环境协调发展(孙雷,2020)<sup>[12]</sup>、碳减排(Yu和Zhang,2022)<sup>[6]</sup>、大气污染治理(陈凡和周民良,2019<sup>[13]</sup>;Ge et al.,2022<sup>[14]</sup>)等效应,为后续研究提供了良好的理论支撑和经验借鉴。本文将进一步考察国家级承接产业转移示范区政策对碳排放与大气污染的协同治理,这是十分必要和重要的。因为碳排放和大气污染具有同根同源、相互作用的特点,两者的防治及应对方法具有一定的同质性(高壮飞,2019)<sup>[15]</sup>,中国生态环境部环境与经济政策研究中心将碳排放和大气污染的协同治理定义为既在控制温室气体排放的过程中减少了大气污染物的排放,也在控制大气污染物排放的过程中减少了温室气体的排放,所以对两者的协同治理效应进行研究具有重要现实意义。同时,由于温室气体和大气污染物都是以气体形式存在的,可能会溢出到周边城市,但现有研究较少对示范区政策环境治理的空间溢出效应进行分析。为此,本文基于2010—2013年间设立的十个国家级承接产业转移示范区,采用多时点双重差分法和空间计量模型,利用2003—2017年中国285个地级市的面板数据进行实证检验。首先研究了国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染的协同治理效应,并进行了

一系列稳健性检验来确保结果的可靠性;然后构建中介效应模型检验示范区政策发挥环境治理效应的内在机制;最后使用空间杜宾模型分析示范区政策环境治理的空间溢出效应,并确定了具体的溢出距离。本文可能的边际贡献有:(1)从碳排放和大气污染协同治理角度出发,更全面地考察了国家级承接产业转移示范区政策的环境治理效应;(2)使用空间杜宾模型分析了示范区政策环境治理的空间溢出效应,得到具体的溢出距离,丰富了示范区政策环境治理的研究;(3)考察了示范区政策环境治理的中介机制,为下一步政策指导提供参考。

后文内容结构:第二部分为文献回顾,第三部分为研究设计,第四部分为实证结果分析,第五部分为空间溢出效应分析,第六部分为结论与政策启示。

## 二、文献回顾

### (一)政策背景

改革开放以来,东部地区凭借对外出口优势和国家政策的扶持,积极引进外资,承接国际产业,促进了劳动密集型和出口导向型制造业的蓬勃发展(Ge et al.,2022)<sup>[14]</sup>。近年,随着国内国际产业分工深刻调整和东部地区产业要素过度集聚而引发的拥挤效应,资源丰富、要素成本低、市场潜力大的中西部地区成为东部地区产业转移的承接地。在这种情况下,中央政府实施了产业转移政策,以促进东部地区的产业转移到中西部地区。虽然政府并未制定具体的环境治理政策来指导承接产业转移示范区的环境保护工作,但在产业转移指导文件中提出了要求。例如2010年《国务院关于中西部地区承接产业转移的指导意见》(以下简称《意见》)中明确提出坚持节能环保、严格产业准入的基本原则,并加强资源节约和环境保护。2018年《产业发展与转移指导目录》提出要牢固树立和践行“绿水青山就是金山银山”的理念,严守不破坏生态环境的底线,防止跨区域污染转移。显然,国家对于产业结构升级、促进经济发展的愿望固然迫切,但并未忘记环境保护的初衷。因此,应系统研究国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染的协同治理效果,以确定政策的环境绩效。

## (二)理论分析和假设提出

### 1. 环境治理效应

产业转移带来的环境污染问题备受关注。部分学者支持“有害论”,Leonard(1984)<sup>[16]</sup>提出“污染天堂”假说,认为发达国家环境规制水平通常高于发展中国家,因此高污染、高能耗的产业会从发达国家向发展中国家转移,而部分发展中国家为促进经济发展而降低环境规制门槛,使本国成为了高污染产业的“污染天堂”,后续学者研究了城市间产业转移的污染效应,认为污染密集型产业迁入可以缓解迁出城市的环境压力,但会影响迁入城市,从而增加污染总量,危害生态环境(Zheng 和 Shi, 2017<sup>[17]</sup>; Li et al., 2019<sup>[18]</sup>)。另一部分学者则认为不存在“污染天堂”效应,他们认为合理的环境规制会促进企业创新,降低污染控制成本,最终降低污染物排放(Ge et al., 2020<sup>[19]</sup>; Zeng 和 Zhao, 2009<sup>[20]</sup>; Jaffe et al., 1995<sup>[21]</sup>)。尤其是产业迁入国家或地区采取严格的环境规制时,产业迁移不仅可以帮助当地提升经济绩效,同时也可以降低环境污染物排放(Rubashkina et al., 2015<sup>[22]</sup>; Zhao 和 Yin, 2011<sup>[23]</sup>)。《意见》中,中央政府一再强调注重环境保护,强化污染防治,严禁污染产业和落后生产力转入承接地。说明我国的产业转移政策是以严格的环境规制作为依托,因此,国家级承接产业转移示范区政策可能不会产生“污染天堂”效应,反而会对迁入地生态环境产生有利影响,促进当地的碳排放和大气污染协同治理。

由此,本文提出假设1:国家级承接产业转移示范区政策不会对示范区生态环境造成不利影响,反而会提升示范区碳排放和大气污染的协同治理能力。

### 2. 环境治理的空间溢出效应

根据空间经济学理论,实施地区性政策的核心区会对周边地区的生产要素产生虹吸效应,从而产生特定范围的生长阴影(Cuberes et al., 2021)<sup>[24]</sup>。地区性政策可能会通过抑制靠近核心区的相邻城市的生产活动来降低污染排放(曹清峰, 2020)<sup>[25]</sup>。而随着区域间空间距离的进一步扩大,地区性政策的溢出效

应将逐渐减弱甚至消失,对周边地区的影响不再显著(张勇杰, 2017)<sup>[26]</sup>。一般来说,我国试点政策扩散会经历两种形式(肖涵月等, 2022)<sup>[27]</sup>:第一种是“自上而下”的组织扩散化,即中央政府以“自上而下”的行政命令逐渐将政策推广至非试点城市;第二种是“平行”的自组织化,即受地方政府间竞争压力的驱动,试点城市取得的效果会被非试点城市学习和模仿,从而形成自发的政策扩散。鉴于国家级承接产业转移示范区政策具有弱约束和弱激励的特点,本文主要关注国家级承接产业转移示范区政策的平行扩散效应。同时,地理距离更近的城市会与试点城市有更强的竞争和合作关系,因此,溢出效应是有一定距离的,会随着地理距离的增加而衰减直至消失。例如,国家级新区政策效应溢出的空间范围在150~200KM内(曹清峰, 2020)<sup>[25]</sup>,低碳城市试点政策效应溢出的空间范围在250KM内(肖涵月等, 2022)<sup>[27]</sup>。

由此,本文提出假设2:国家级承接产业转移示范区政策会对示范区周边城市的环境治理产生溢出效应,但溢出效应只存在于一定空间范围内。

### 3. 机制分析

政策评估不仅要弄清楚政策的具体效应,更应探索效应背后的作用机制,为下一步政策指导提供参考。通过梳理文献,本文探索了两种可能存在的机制,即绿色技术创新水平和政府环境治理力度。

技术创新作为经济转型发展的核心驱动力,它在促进经济增长和生态治理中的作用非常关键(Jiang et al., 2020<sup>[28]</sup>; Yang et al., 2022<sup>[29]</sup>)。绿色技术的出现更是为环境治理提供了支撑,是实现可持续高质量发展的重要途径(武云亮等, 2021<sup>[30]</sup>; 范丹和孙晓婷, 2020<sup>[31]</sup>; 陈喆和郑江淮, 2022<sup>[32]</sup>)。《意见》提出,示范区要加强人才开发和就业服务,完善社会保障制度,大力发展跨区域产业技术创新联盟,为承接产业转移提供必要的人力资源和智力支持。表明我国的产业升级过程是以高新技术作为支撑的,而不是简单的旧产业复制嫁接。

由此,本文提出假设3:国家级承接产业转移示范区政策通过提高示范区绿色技术创新水平来提升



碳排放和大气污染协同治理效应。

地方政府作为地区性政策的执行者,其对中央政策的贯彻程度影响了政策的实施效果(席建成和韩雍,2019)<sup>[33]</sup>。政府环境治理力度不仅影响地方生态环境,还会影响中央对政策效果的评估。《意见》提出,地方政府应当完善基础设施保障,承接产业转移时将资源承载能力和生态环境容量作为参考依据,贯彻资源节约和环境保护理念,推动经济发展与资源环境保护相协调。表明中央要求示范区地方政府加大环境治理力度,兼顾产业转移与环境保护,扮演好绿色发展“执行者”的角色。

由此,本文提出假设4:国家级承接产业转移示范区政策通过提高示范区地方政府环境治理力度来提升碳排放和大气污染协同治理效应。

### 三、研究设计

#### (一)模型构建

自国务院2010年正式批复《皖江城市带承接产业转移示范区规划》开始,中央先后批复了广西桂东承接产业转移示范区、重庆沿江承接产业转移示范区、湘南承接产业转移示范区、湖北荆州承接产业转移示范区、晋陕豫黄河金三角承接产业转移示范区、四川广安承接产业转移示范区、甘肃兰白承接产业转移示范区、宁夏银川—石嘴山承接产业转移示范区和江西赣南承接产业转移示范区共十个示范地区,涉及1个直辖市、28个地级市和3个省直管市。由于每一个示范区包含的试点城市和启动时间都不相同,标准双重差分难以识别政策净效应。为此,本文选用多时点双重差分模型来评估国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染治理的净效应。具体模型设定如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 did_{it} + \beta_1 \sum X_{jit} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, $i$ 、 $t$ 表示城市与年份,被解释变量 $Y_{it}$ 表示 $t$ 年 $i$ 城市的碳排放和大气污染; $did_{it}$ 为核心解释变量,若 $t$ 年 $i$ 城市实施了国家级承接产业转移示范区政策,则 $did_{it}$ 取值为1,若没有实施,则取值为0; $\alpha_1$ 为核心估计参数,反映了国家级承接产业转移示范区政策对试点城市碳排放和大气污染协同治理的净效

应; $X_{jit}$ 为一系列控制变量,包括经济发展水平、产业结构、人口密度、基础设施建设、对外开放力度、政府规模和金融发展水平; $\mu_i$ 为地区固定效应; $\gamma_t$ 为时间固定效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

#### (二)变量选取

##### 1.被解释变量

###### (1)碳排放

地级市二氧化碳排放的测度一直是学者们关心的问题。为降低测量误差,本文参考Chen et al.(2020)<sup>[34]</sup>对中国地级市二氧化碳排放的测算方法,将得自美国国家航空航天局的两套夜间灯光数据(DMSP/OLS和NPP/VIIRS),结合中国县级矢量图,并采用粒子群优化-反向传播(PSO-BP)算法,统一两套夜间灯光数据的卫星图像尺度,在此基础上考虑县级陆地植被的碳固存值,反演出中国县级碳排放,最后根据区县碳排放数据推算出各地级市碳排放总量(万吨),再除以地级市当年年末人口数(万人),得到地级市人均碳排放量来表示碳排放水平。

###### (2)大气污染

我国生态环境部自2013年开始陆续公布地级市空气质量指数(AQI)和 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 等污染物浓度,但本文样本时间范围为2003—2017年。因此,借鉴Dong et al.(2022)<sup>[1]</sup>、薛飞和周民良(2022)<sup>[35]</sup>的做法,使用加拿大达尔豪斯大学大气成分分析组发布的 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的栅格数据,进一步利用ArcGIS软件将此栅格数据解析为285个城市的 $PM_{2.5}$ 质量浓度数据(微克每立方米),再除以地级市当年年末人口数(万人)得到地级市万人均 $PM_{2.5}$ 质量浓度来表示大气污染水平。

##### 2.核心解释变量

本文以国家级承接产业转移示范区实施时间和所涉及的地区生成政策虚拟变量 $did$ ,具体来说,若某一城市被设定为国家级承接产业转移示范区,则将该地区当年和之后年份赋值为1,否则为0。

##### 3.控制变量

为尽可能减少偏误,借鉴已有研究选取以下控制变量:(1)经济发展水平,采用当年GDP的对数来衡

量;(2)产业结构,采用第三产业GDP占总GDP的比重来衡量;(3)人口密度,采用人口密度的对数来衡量;(4)基础设施建设,采用人均道路面积来衡量;(5)对外开放力度,采用当年实际利用外资额占地区GDP的比重来衡量;(6)政府规模,采用政府公共财政支出与地区GDP之比来衡量;(7)金融发展水平,采用年末金融机构存贷款余额占地区GDP的比重来衡量。

#### 4. 机制变量

根据理论分析,本文选择绿色技术创新水平和政府环境治理力度作为机制变量。采用地区当年绿色专利获得总数的对数来衡量绿色技术创新水平,采用地区当年年末人口数与地区当年绿化面积比值的对数来衡量政府环境治理力度。

#### (三)数据来源与说明

本文以2003—2017年我国285个地级市的面板数据为研究样本。其中,碳排放数据来自CEADs数据库,PM<sub>2.5</sub>数据来自加拿大达尔豪斯大学大气成分分析组,绿色专利数据来源于CNRDA数据库,其余数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》以及各省市统计年鉴。并对所有以货币表征的数据以2003年为基期,采用地级市所在省份的GDP平减指数进行平减。

### 四、实证结果分析

#### (一)基准回归结果

表1为国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染协同治理影响的基准回归结果。列

(1)、列(3)结果表明,在仅控制城市固定效应和年份固定效应的情形下,核心解释变量did的系数分别在5%和1%的水平上显著为负,初步验证了国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染治理有显著的促进作用。列(2)、列(4)结果表明,在加入一系列控制变量后,核心解释变量did的系数在1%的水平上显著为负。可见,国家级承接产业转移示范区政策显著地降低了碳排放,并改善了大气污染情况。从回归系数值来看,国家级承接产业转移示范区政策使得示范区城市的碳排放降低了62.5%,大气污染降低了2.4%。

#### (二)平行趋势检验

平行趋势假设是运用多时点双重差分法评估政策效果的关键前提。该假设是指在政策实施前,试点城市和非试点城市的碳排放和大气污染变化趋势应当是平行的。为此,采用Jacobson et al.(1993)<sup>[36]</sup>提出的事件研究法进行平行趋势检验,该方法具体表示如下:

$$Y_{it}=a_0+\sum_{n=2003, n \neq 2003}^{2017} \alpha_n did_{it}+\beta_j \sum X_{jit}+\mu_i+\gamma_t+\varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中,did是政策实施的年度虚拟变量,本文重点关注系数 $\alpha_n$ ,其反映了国家级承接产业转移示范区政策实施的第t年试点城市与非试点城市的碳排放和大气污染差异。考虑到2003—2005年数据较小,参考其他学者的做法,将这三年的数据汇总到2006年,即第-4期,并剔除政策实施前1年来降低多重共线性。

表1

基准回归结果

| 变量        | (1)碳排放                | (2)碳排放                 | (3)大气污染               | (4)大气污染               |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| did       | -0.480**<br>(-2.119)  | -0.625***<br>(-2.967)  | -0.023***<br>(-4.732) | -0.024***<br>(-4.896) |
| 控制变量      | NO                    | YES                    | NO                    | YES                   |
| 城市固定效应    | YES                   | YES                    | YES                   | YES                   |
| 年份固定效应    | YES                   | YES                    | YES                   | YES                   |
| 常数项       | 6.823***<br>(191.770) | -16.001***<br>(-4.545) | 0.148***<br>(194.235) | 0.429***<br>(5.278)   |
| 样本量       | 4275                  | 4274                   | 4275                  | 4274                  |
| R-squared | 0.889                 | 0.906                  | 0.917                 | 0.918                 |

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

具体结果如图1所示,系数估计值在政策实施前均不显著,说明政策实施前,试点城市与非试点城市碳排放和大气污染的时间变动趋势是一致的,通过了多时点双重差分法的平行趋势检验。在试点政策启动后,估计系数的绝对值逐渐变大,表明国家级承接产业转移示范区政策显著降低了碳排放并改善大气环境质量。同时,随着政策的深入,国家级承接产业转移示范区政策的碳减排和大气污染治理效应逐渐增强。

### (三)安慰剂检验

影响多时点双重差分法识别政策净效应的一个隐患是非观测因素的干扰。为了避免不可观测的遗漏变量影响基准回归结果,借鉴王锋和葛星(2022)<sup>[37]</sup>的做法,采取替换处理组城市的方式进行安慰剂检验。

具体做法为,在285个样本城市中随机抽取29个城市设定为虚拟的处理组城市,其余城市作为虚拟的对照组城市,可以得到实施城市安慰剂检验的国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染协同治理的系数估计值。重复500次随机抽取后,得到500个回归系数及其对应的p值。图2为这500个系数估计值的核密度分布和p值分布图,可以发现回归系数落在0值附近且近似服从正态分布,说明绝大多数回归结果不显著,可以拒绝原假设。同时,基准回归的系数估计值-0.625和-0.024位于虚假回归系数分布的高尾位置,说明在安慰剂检验中属于小概率事件。由此,基准回归结果可以排除不可观测因素的影响。

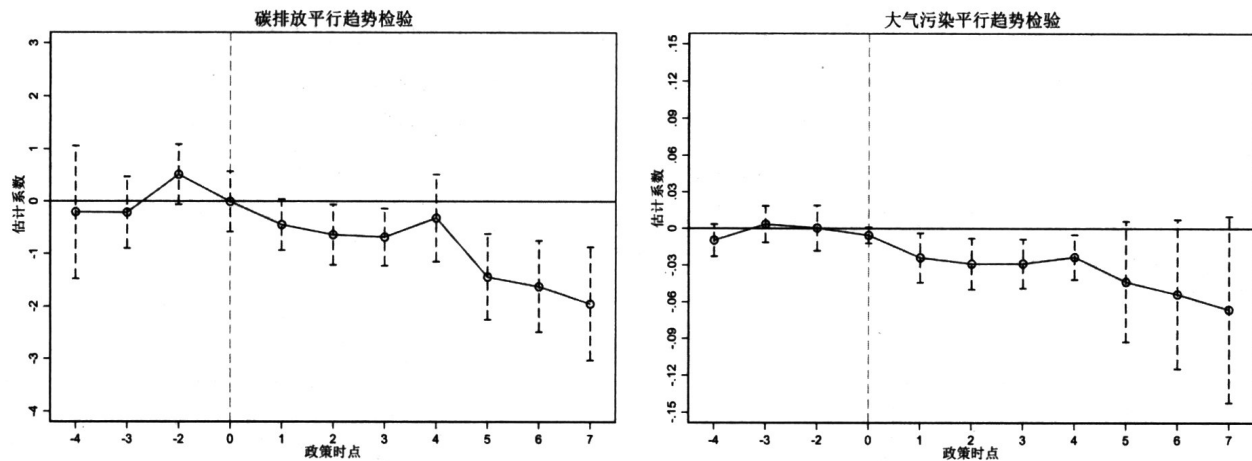


图1 平行趋势检验

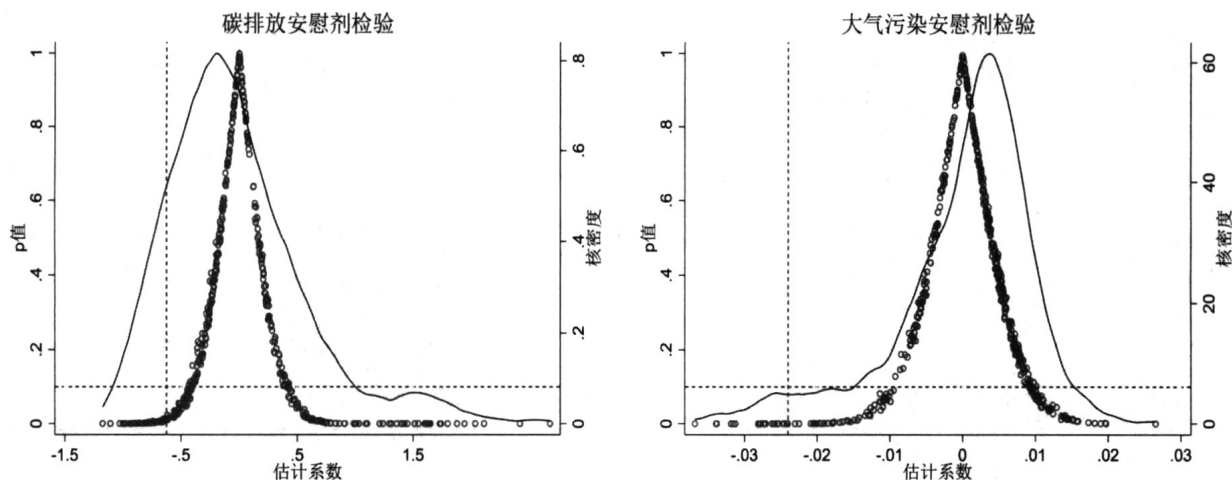


图2 安慰剂检验结果

#### (四)稳健性检验

为确保多时点双重差分法的适用性及基准回归结果的稳健性,本文从改变变量的定义方式、对被解释变量缩尾处理和排除其他试点政策干扰三个维度进行稳健性分析。

##### 1. 改变变量的定义方式

在基准回归中,使用人均二氧化碳排放和万人均PM<sub>2.5</sub>质量浓度来定义碳排放和大气污染。在稳健性检验中,选择地级市碳排放总量和地级市PM<sub>2.5</sub>质量浓度衡量地级市碳排放和大气污染。回归结果如表2列(1)、列(2)所示,政策虚拟变量did的系数仍显著为负,基本结论没有改变。

##### 2. 缩尾处理

为避免基准回归结果受到极端值的影响,对被解释变量分别截尾1%和5%后,重新按式(1)进行回归,结果如表2列(3)—列(6)所示。其中,列(3)、列(4)为1%缩尾处理后的回归结果,列(5)、列(6)为5%缩尾处理后的回归结果。结果表明,剔除极端值后,政策虚拟变量did的系数仍显著为负,与基准回归结果一致。

##### 3. 排除其他政策的影响

为避免样本期间其他政策影响示范区政策的碳排放和大气污染协同治理效应,造成基准估计结果偏误,本文梳理了2003—2017年的政策文件,发现低

碳城市政策会对碳排放和大气环境质量产生影响。为此,构造低碳城市政策的虚拟变量didd,如果某城市在某一年实行低碳城市政策,则令didd=1,否则为0。控制低碳城市政策后的回归结果如表2列(7)、列(8)所示,与基准回归结果一致,did的系数仍显著为负,再次验证了基准回归的稳健性。

#### (五)机制分析

前文使用多时点双重差分法和一系列稳健性检验证实了国家级承接产业转移示范区政策具有显著的碳排放和大气污染协同治理效应。那么,国家级承接产业转移示范区政策发挥碳排放和大气污染协同治理效应的机制是什么?根据前文理论分析,国家级承接产业转移示范区政策可以通过提高绿色技术创新水平和加强政府环境治理力度来实现碳排放和大气污染协同治理。因此,为了验证假设3和假设4,本文参考白俊红等(2022)<sup>[38]</sup>的方法,构建机制检验模型如下:

$$Med_{it} = \alpha_1 did_{it} + \beta_k \sum X_{jit} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \alpha_2 did_{it} + \alpha_3 Med_{it} + \beta_l \sum X_{jit} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中,Med<sub>it</sub>为影响城市碳排放和大气污染协同治理的绿色技术创新水平和政府环境治理力度机制变量。首先通过模型(3)检验国家级承接产业转移示范区政策与机制变量的回归系数 $\alpha_1$ 是否显著,若 $\alpha_1$ 显著,说明示范区设立对机制变量产生了显著影响,

表2 稳健性检验

| 变量        | (1)<br>替代碳排放           | (2)<br>替代大气污染         | (3)<br>碳排放            | (4)<br>大气污染           | (5)<br>碳排放            | (6)<br>大气污染           | (7)<br>碳排放            | (8)<br>大气污染           |
|-----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| did       | -0.307*<br>(-0.593)    | -2.111***<br>(-3.987) | -0.238*<br>(-1.648)   | -0.024***<br>(-8.591) | -0.603***<br>(-6.393) | -0.014***<br>(-6.840) | -0.613***<br>(-6.486) | -0.014***<br>(-6.949) |
| didd      |                        |                       |                       |                       |                       |                       | -0.088<br>(-1.475)    | -0.002*<br>(-1.694)   |
| 控制变量      | YES                    | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   |
| 城市固定效应    | YES                    | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   |
| 年份固定效应    | YES                    | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   |
| 常数项       | -53.392***<br>(-6.172) | 91.087***<br>(10.296) | -8.600***<br>(-3.559) | 0.327***<br>(6.857)   | 2.396<br>(1.520)      | 0.368***<br>(10.663)  | 2.493<br>(1.580)      | 0.370***<br>(10.727)  |
| 样本量       | 4274                   | 4274                  | 4274                  | 4274                  | 4274                  | 4274                  | 4274                  | 4274                  |
| R-squared | 0.955                  | 0.932                 | 0.931                 | 0.945                 | 0.947                 | 0.948                 | 0.947                 | 0.948                 |

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。



则进行下一步检验,否则停止检验;接着对模型(4)进行回归,在控制了国家级承接产业转移示范区政策后,机制变量的回归系数 $\alpha_3$ 是否显著,若系数 $\alpha_1$ 与 $\alpha_3$ 均显著,则表明机制变量的中介效应成立。如果系数 $\alpha_2$ 显著且符号与 $\alpha_1*\alpha_3$ 符号一致,则说明机制变量具有部分中介效应,其对总效应的贡献率为 $\alpha_1*\alpha_3/(\alpha_1*\alpha_3+\alpha_2)$ 。

首先,对绿色技术创新水平进行机制检验,结果如表3所示。列(1)为模型(3)的回归结果,可以看到示范区政策变量的系数在1%的水平上显著为正,说明示范区政策显著促进了绿色技术创新水平的提升。列(2)和列(3)为模型(4)的回归结果,可以看到示

范区政策变量和绿色技术创新水平变量的系数都在1%的水平上显著为负,且系数 $\alpha_2$ 符号与 $\alpha_1*\alpha_3$ 符号一致,说明绿色技术创新水平对示范区政策的碳排放和大气污染协同治理产生了部分中介效应,结合系数估计值可以求得这一效应对总效应的贡献度分别为12.04%和5.19%,验证了假设3。

其次,对政府环境治理力度进行机制检验,结果如表4所示。列(1)为模型(3)的回归结果,示范区政策变量的系数在1%的水平上显著为正,说明示范区政策显著提升了政府环境治理力度。列(2)和列(3)为模型(4)的回归结果,可以看到示范区政策变量和政府环境治理力度变量的系数都在1%的水平上显著

表3 机制分析:绿色技术创新水平

| 变量        | (1)绿色技术创新水平           | (2)碳排放                 | (3)大气污染               |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| did       | 0.315***<br>(6.748)   | -0.550***<br>(-2.597)  | -0.023***<br>(-4.607) |
| 绿色技术创新水平  |                       | -0.239***<br>(-3.349)  | -0.004**<br>(-2.488)  |
| 控制变量      | YES                   | YES                    | YES                   |
| 城市固定效应    | YES                   | YES                    | YES                   |
| 年份固定效应    | YES                   | YES                    | YES                   |
| 常数项       | -2.606***<br>(-3.337) | -16.624***<br>(-4.721) | 0.419***<br>(5.142)   |
| 样本量       | 4275                  | 4275                   | 4275                  |
| R-squared | 0.942                 | 0.906                  | 0.918                 |

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

表4 机制分析:政府环境治理力度

| 变量        | (1)政府环境治理力度         | (2)碳排放                 | (3)大气污染               |
|-----------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| did       | 0.086***<br>(2.453) | -0.566***<br>(-2.702)  | -0.022***<br>(-4.635) |
| 政府环境治理力度  |                     | -0.686***<br>(-7.245)  | -0.017***<br>(-7.555) |
| 控制变量      | YES                 | YES                    | YES                   |
| 城市固定效应    | YES                 | YES                    | YES                   |
| 年份固定效应    | YES                 | YES                    | YES                   |
| 常数项       | 4.665***<br>(7.949) | -12.800***<br>(-3.630) | 0.507***<br>(6.220)   |
| 样本量       | 4275                | 4275                   | 4275                  |
| R-squared | 0.912               | 0.907                  | 0.919                 |

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。



为负,且系数 $\alpha_2$ 符号与 $\alpha_1$ 符号一致,说明政府环境治理力度对示范区政策的碳排放和大气污染协同治理产生了部分中介效应,结合系数估计值可以求得这一效应对总效应的贡献度分别为9.44%和6.23%,验证了假设4。

### 五、空间溢出效应分析

在前文验证了国家级承接产业转移示范区政策对碳排放和大气污染的协同治理效应及内在机制后,本文进一步考察国家级承接产业转移示范区政策实施究竟是发挥示范作用,促进了周边城市碳排放和大气污染协同治理,还是承接产业转移示范区城市为承接东部地区的产业而将环境压力转移给周边城市,加重了周边城市的碳排放和大气污染。借鉴孙哲远和宋锋华(2022)<sup>[39]</sup>的研究,将示范区政策变量引入空间计量模型,构建基于285个城市经纬度的空间权重矩阵,结合空间杜宾模型讨论国家级承接产业转移示范区政策的空间溢出效应。

#### (一)全局空间相关性检验

为验证被解释变量和解释变量是否具有空间自

相关性,首先对285个城市的碳排放、大气污染和示范区政策变量进行Moran检验,结果如表5所示。2003—2017年间,被解释变量和解释变量的Moran指数均在1%的水平上显著为正,表明存在空间关联性,应当进一步构建空间计量模型进行分析。

#### (二)空间计量模型选择及结果检验

确定存在空间溢出效应后,首先进行LM检验,对空间误差项和空间滞后项进行检验。结果显示,碳排放和大气污染的空间滞后项和空间误差项均在1%的水平上通过了LM检验,因此,选择空间杜宾模型作为基准回归模型,同时,Hausman检验表明应使用固定效应。为考察双重差分杜宾模型是否会退化为双重差分空间滞后模型和双重差分空间误差模型,本文使用LR检验和Wald检验,结果均拒绝了原假设,即双重差分杜宾模型是合适的。

在分析解释变量的空间效应时,如果采用空间杜宾模型系数度量其空间溢出效应会存在系统性偏差。本文根据LeSage和Pace(2009)<sup>[40]</sup>提出的空间回归模型偏微分方法,将碳排放和大气污染协同治理

表5 全局空间相关性检验

| 年份   | 碳排放      | 大气污染     | 国家级承接产业转移示范区政策 |
|------|----------|----------|----------------|
| 2003 | 0.087*** | 0.015*** | 未开始            |
| 2004 | 0.087*** | 0.026*** | 未开始            |
| 2005 | 0.088*** | 0.024*** | 未开始            |
| 2006 | 0.088*** | 0.033*** | 未开始            |
| 2007 | 0.088*** | 0.023*** | 未开始            |
| 2008 | 0.087*** | 0.017*** | 未开始            |
| 2009 | 0.087*** | 0.027*** | 未开始            |
| 2010 | 0.083*** | 0.024*** | 0.071***       |
| 2011 | 0.080*** | 0.026*** | 0.059***       |
| 2012 | 0.082*** | 0.023*** | 0.048***       |
| 2013 | 0.081*** | 0.026*** | 0.040***       |
| 2014 | 0.085*** | 0.017*** | 0.040***       |
| 2015 | 0.084*** | 0.024*** | 0.040***       |
| 2016 | 0.084*** | 0.026*** | 0.040***       |
| 2017 | 0.084*** | 0.023*** | 0.040***       |

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

表6 空间计量模型选择检验结果

| LM 检验              |                            | 碳排放          | 大气污染         |
|--------------------|----------------------------|--------------|--------------|
| Spatial Error      | Moran's I                  | 121.800***   | 115.489***   |
|                    | Lagrange Multiplier        | 13000.000*** | 12000.000*** |
|                    | Robust Lagrange Multiplier | 9591.988***  | 2946.026***  |
| Spatial Lag        | Lagrange Multiplier        | 4254.430***  | 9277.289***  |
|                    | Robust Lagrange Multiplier | 376.591***   | 116.746***   |
| Hausman 检验         |                            | 55.160***    | 34.570***    |
| LR 检验              |                            |              |              |
| LR_spatial_lag     |                            | 153.170***   | 32.540***    |
| LR_spatial_error   |                            | 128.170      | 34.760***    |
| Wald 检验            |                            |              |              |
| Wald_spatial_lag   |                            | 21.420***    | 32.520***    |
| Wald_spatial_error |                            | 28.110***    | 24.840***    |

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

的溢出效应分解为直接效应、间接效应和总效应,结果如表7所示。示范区政策变量did对碳排放和大气污染协同治理的直接效应、间接效应和总效应均显著为负,表明国家级承接产业转移示范区政策不仅对试点城市有显著的碳排放和大气污染协同治理效应,对周边城市也产生了溢出效应,降低了周边城市的碳排放,并改善大气环境质量。

### (三)空间溢出距离分析

为进一步讨论国家级承接产业转移示范区政策

空间溢出的具体距离,借鉴曹清峰(2020)<sup>[25]</sup>的做法,设定如下模型:

$$Y_{it}=a_0+\alpha_1 did_{it}+\sum_{s=100}^{450} \delta_s N_{it}^s+\beta_j \sum X_{jit}+\mu_i+\gamma_t+\varepsilon_{it} \quad (5)$$

式(5)在式(1)的基础上引入了一组新的控制变量 $N_{it}^s$ 。其中,参数s表示任意两个城市间的球面距离,以此衡量城市间的地理距离( $s \geq 100$ ,单位为千米)。具体而言,如果在t年距离城市i( $s=50, s_j$ )的空间范围内存在国家级承接产业转移示范区,那么 $N_{it}^s=1$ ,否则 $N_{it}^s=0$ 。因此,变量 $N_{it}^s$ 的系数 $\delta_s$ 衡量了国家级承接产

表7 空间溢出效应分解

|           | 碳排放       | 大气污染      |
|-----------|-----------|-----------|
| 直接效应      | -0.006*** | -0.016*** |
|           | (-2.890)  | (-3.230)  |
| 间接效应      | -0.657**  | -1.109**  |
|           | (-2.060)  | (-1.970)  |
| 总效应       | -0.663**  | -1.125**  |
|           | (-2.070)  | (-1.990)  |
| 控制变量      | YES       | YES       |
|           |           |           |
| Spa-rho   | 0.930***  | 0.889***  |
|           | (52.630)  | (34.130)  |
| sigma2_e  | 0.000***  | 0.002***  |
|           | (46.070)  | (46.090)  |
| 样本量       | 4275      | 4275      |
| R-squared | 0.142     | 0.008     |

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

业转移示范区设立后对周边城市碳排放和大气污染的影响。在具体回归分析中,以50千米为单位,分别对 $s=100, \dots, 350, 400, 450$ 时进行回归,结果如图3所示。可以发现,随着与国家级承接产业转移示范区距离的增加,国家级承接产业转移示范区对周边城市碳排放和大气污染协同治理呈现先带动、后减弱的趋势。具体看,国家级承接产业转移示范区对周边150千米内城市的碳减排有显著带动效应,对于150千米—200千米内的城市,带动效应依旧存在但逐渐减弱,对于200千米外城市的碳减排无显著带动效应;同时,国家级承接产业转移示范区也显著带动了周边200千米内城市的大气污染治理,并随着距离的增加带动效应逐渐减弱,当距离超过200千米后,带动效应变得不显著。空间溢出距离的分析与上文双重差分空间杜宾模型的结果相符,表明国家级承接产业转移示范区不仅促进了试点城市的碳排放和大气污染协同治理,也带动了周边200千米内城市的碳排放和大气污染协同治理,对于200千米外城市的碳排放和大气污染协同治理带动效应不显著。因此,证实了假设2。

## 六、结论与政策启示

国家级承接产业转移示范区政策是我国探索兼顾经济发展和环境治理的高质量可持续发展道路的一次重要尝试。本文将2010—2013年间设立国家级承接产业转移示范区视作一项准自然实验,利用2003—2017年中国285个城市的面板数据,采用多

时点双重差分法和空间杜宾模型评估了示范区政策的碳排放和大气污染协同治理效应、作用机制以及空间溢出效应。主要结论为:(1)国家级承接产业转移示范区政策并未产生“污染避风港”效应,同时降低了示范区城市的碳排放和大气污染程度。相对于非试点城市,示范区政策的推行使试点地区碳排放下降了约62.5%,大气污染下降了约2.4%。此结论在经过平行趋势检验、改变变量的定义方式、对被解释变量进行缩尾处理和排除其他试点政策干扰等稳健性检验后依旧成立。(2)国家级承接产业转移示范区政策通过提升绿色技术创新水平和加强政府环境治理力度实现了碳排放和大气污染的协同治理。(3)国家级承接产业转移示范区政策存在空间溢出效应,促进了周边地区的碳减排和大气污染治理,具体溢出距离在200千米以内,超过200千米,溢出效应减弱直至消失。

根据研究结论得到以下政策启示:(1)总结和推广国家级承接产业转移示范区的经验,继续在中西部设立新的示范区。承接产业转移示范区已被证实是在促进当地经济发展的同时,在减少碳排放和大气污染方面具有独特的优势。因此,中央政府应根据资源禀赋、要素情况和市场规模合理选择新的示范区,扩大政策范围,提高政策效率。(2)地方政府要扮演好执行者的角色。机制分析表明,绿色技术创新水平和政府环境治理力度是承接产业转移示范区实现碳排放和大气污染协同治理的关键。在后面的示

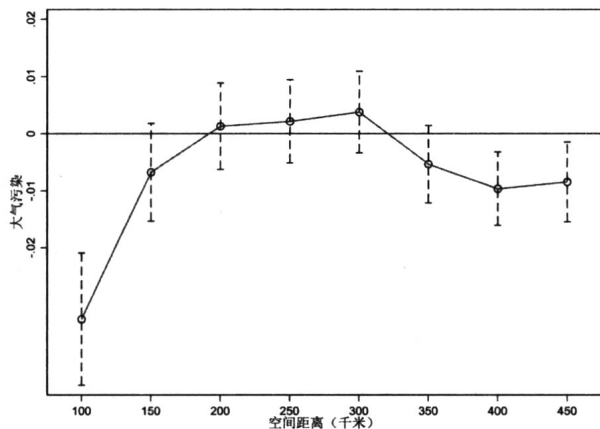
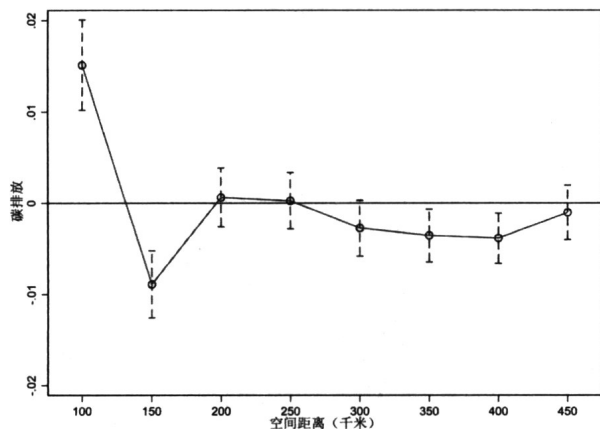


图3 空间溢出距离分析

范区推广中,地方政府要坚持环境保护的基本原则,加大绿色技术的投入力度,完善人才制度,同时,增强自身环境治理水平,把人民的健康福祉放在首要位置。(3)鉴于示范区政策环境治理的空间溢出效应和具体溢出距离,中央政府在规划新的示范区时应考虑区域间的地理距离,合理运用示范区环境治理的空间溢出效应,使政策效果最大化。

#### 参考文献:

- [1] Dong, Z., Xia, C., Fang, K. Effect of the Carbon Emissions Trading Policy on the Co-Benefits of Carbon Emissions Reduction and Air Pollution Control[J]. *Energy Policy*, 2022, 165: 1-10.
- [2] Xiao, R., Tan, G., Huang, B. Pathways to Sustainable Development: Regional Integration and Carbon Emissions in China[J]. *Energy Reports*, 2022, 8: 5137-5145.
- [3] Zhang, Q. Y., Cai, B. F., Wang, M. D. City Level CO<sub>2</sub> and Local Air Pollutants Co-Control Performance Evaluation: A Case Study of 113 Key Environmental Protection Cities in China[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2022, 13(1): 118-130.
- [4] 王一鸣. 百年大变局、高质量发展与构建新发展格局[J]. *管理世界*, 2020, 36(12): 1-13.
- [5] Zhang, Y. Can Green Industrial Policy Improve Total Factor Productivity? Firm-Level Evidence from China[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2021, 59: 51-62.
- [6] Yu, Y., Zhang, N. Does Industrial Transfer Policy Mitigate Carbon Emissions? Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 307: 1-9.
- [7] 贺胜兵, 刘友金, 段昌梅. 承接产业转移示范区具有更高的全要素生产率吗?[J]. *财经研究*, 2019(3): 127-140.
- [8] 李建军. 承接产业转移与湖南省产业结构优化升级问题研究[J]. *湖南社会科学*, 2012(5): 138-141.
- [9] 陈凡, 周民良. 国家级承接产业转移示范区是否推动了产业结构转型升级?[J]. *云南社会科学*, 2020(1): 104-110.
- [10] 陈凡, 韦鸿, 童伟伟. 承接产业示范区能够推动经济发展吗?——基于双重差分方法的验证[J]. *科学决策*, 2017(3): 68-94.
- [11] 熊凯军. 产业转移示范区建设有助于缩小地区城乡收入差距吗?——基于国家级承接产业转移示范区准自然实验[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2022(3): 123-136.
- [12] 孙雷. 皖江城市带承接产业转移示范区经济-社会-环境协调发展研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2020.
- [13] 陈凡, 周民良. 国家级承接产业转移示范区是否加剧了地区环境污染[J]. *山西财经大学学报*, 2019(10): 42-54.
- [14] Ge, T., Lv, X., Ma, L. Can Industrial Relocation Reduce Air Pollution? Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10: 1-13.
- [15] 高壮飞. 长三角城市群碳排放与大气污染排放的协同治理研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [16] Leonard, H. J. Are Environmental Regulations Driving US Industry Overseas?[M]. Washington: Conservation Foundation, 1984.
- [17] Zheng, D., Shi, M. Multiple Environmental Policies and Pollution Haven Hypothesis: Evidence from China's Polluting Industries[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 141: 295-304.
- [18] Li, T., Liu, Y., Wang, C. Decentralization of the Non-capital Functions of Beijing: Industrial Relocation and Its Environmental Effects[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 224: 545-556.
- [19] Ge, T., Li, J., Sha, R. Environmental Regulations, Financial Constraints and Export Green-Sophistication: Evidence from China's Enterprises[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 251: 1-28.
- [20] Zeng, D. Z., Zhao, L. Pollution Havens and Industrial Agglomeration[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(2): 141-153.
- [21] Jaffe, A. B., Peterson, S. R., Portney, P. R. Environmental Regulation and the Competitiveness of U. S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us?[J]. *Journal of Economic Literature*, 1995, 33(1): 132-163.
- [22] Rubashkina, Y., Galeotti, M., Verdolini, E. Environmental Regulation and Competitiveness: Empirical Evidence on the Porter Hypothesis from European Manufacturing Sectors[J]. *Energy Policy*, 2015, 83: 288-300.
- [23] Zhao, X., Yin, H. Industrial Relocation and Energy Consumption: Evidence from China[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2944-2956.
- [24] Cuberes, D., Desmet, K., Rappaport, J. Urban Growth Shadows[J]. *Journal of Urban Economics*, 2021, 123: 1-17.
- [25] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应——基于70大中城市的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2020(7): 43-60.



[26]张勇杰.渐进式改革中的政策试点机理[J].改革,2017(9):38-46.

[27]肖涵月,孙慧,王慧,等.从“试点”到“扩散”:低碳城市试点的包容性低碳增长效应分析[J].产业经济研究,2022(3):28-40.

[28]Jiang, L., He, S., Cui, Y. Effects of the Socio-Economic Influencing Factors on SO<sub>2</sub> Pollution in Chinese Cities: A Spatial Econometric Analysis Based on Satellite Observed Data[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 268: 1-10.

[29]Yang, S., Liu, W., Zhang, Z. The Dynamic Value of China's High-Tech Zones: Direct and Indirect Influence on Urban Ecological Innovation[J]. Land, 2022, 11(1): 1-19.

[30]武云亮,钱嘉兢,张廷海.环境规制、绿色技术创新与长三角经济高质量发展[J].华东经济管理,2021(12):30-42.

[31]范丹,孙晓婷.环境规制、绿色技术创新与绿色经济增长[J].中国人口·资源与环境,2020(6):105-115.

[32]陈喆,郑江淮.绿色技术创新能够促进地区经济高质量发展吗?——兼论环境政策的选择效应[J].当代经济科学,2022(4):43-58.

[33]席建成,韩雍.中国式分权与产业政策实施效果:理论

及经验证据[J].财经研究,2019(10):100-111.

[34]Chen, J., Gao, M., Cheng, S. County-Level CO<sub>2</sub> Emissions and Sequestration in China During 1997-2017[J]. Scientific Data, 2020, 7(1): 1-12.

[35]薛飞,周民良.区域联防联控的空气污染治理效应研究[J].软科学,2022(8):84-90.

[36]Jacobson, L. S., LaLonde, R. J., Sullivan, D. G. Earnings Losses of Displaced Workers[J]. American Economic Review, 1993, 83(4): 685-709.

[37]王锋,葛星.低碳转型冲击就业吗——来自低碳城市试点的经验证据[J].中国工业经济,2022(5):81-99.

[38]白俊红,张艺璇,卞元超.创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J].中国工业经济,2022(6):61-78.

[39]孙哲远,宋锋华.城市交通工具变迁能否降低碳排放?——基于双重差分模型的经验证据[J].干旱区资源与环境,2022(8):1-8.

[40]LeSage, J., Pace, R. K. Introduction to Spatial Econometrics[M]. New York: Chapman and Hall/CRC, 2009.

## Co-governance Effect and Spatial Spillover Analysis of Industrial Transfer on Carbon Emissions and Air Pollution: An Empirical Study Based on the Policy of National Demonstration Zones for Undertaking Industrial Transfer

Zhu Hong Chu Xiaoyi

**Abstract:** Based on the panel data of 285 prefecture-level cities in China from 2003 to 2017, this paper uses time-varying DID and spatial econometric model to investigate the collaborative governance effect, internal mechanism and spatial spillover of carbon emissions and air pollution of the national policy of undertaking industrial transfer demonstration areas were investigated. The results show that the industrial transfer demonstration area policy has significantly reduced the carbon emissions and air pollution levels of the demonstration area cities. The analysis of the mechanism shows that the policy of industrial transfer demonstration area has improved the level of green technology innovation and the government's environmental governance in the demonstration area cities, so as to achieve the coordinated governance of carbon emissions and air pollution. Further spatial spillover analysis shows that the environmental governance effect of the industrial transfer demonstration area policy has spatial spillover, which significantly drives the coordinated governance of carbon emissions and air pollution in cities within 200 kilometers around the pilot cities, and the driving effect of environmental governance in cities beyond 200 kilometers is not significant. In view of this, the central government should expand the scope of policies in an orderly manner according to local conditions, and encourage local governments to increase investment in green technology and enhance their own environmental governance.

**Key words:** industrial transfer; DID; carbon emissions; air pollution; spatial spillover