

引用格式: 白洋, 邱子芮. 智慧城市试点对邻地环境的空间溢出效应[J]. 资源科学, 2024, 46(8): 1651-1667. [Bai Y, Qiu Z R. Spatial spillover effects of smart city pilot on neighboring environments[J]. Resources Science, 2024, 46(8): 1651-1667.] DOI: 10.18402/resci.2024.08.14

智慧城市试点对邻地环境的空间溢出效应

白洋, 邱子芮

(中国石油大学(华东) 经济管理学院, 青岛 266555)

摘要:【目的】智慧城市将新一代信息技术应用于资源与环境管理, 助推城市可持续发展。现有研究关注智慧城市的本地环境治理效果, 却忽视了其可能对邻地污染的影响, 以及对邻近智慧城市和非智慧城市的差异性溢出效果。【方法】基于2005—2020年中国217个地级市面板数据, 将智慧城市试点作为准自然实验, 利用空间杜宾双重差分模型评估智慧城市建设的“本地-邻地”污染效应。【结果】研究发现: ①智慧城市政策对邻地的污染排在4种空间矩阵下均有显著的正向溢出效应, 经过数据缩尾、证伪检验、排除其他政策影响及内生性检验后依然成立。②政策时空动态效应分析结果显示智慧城市对污染的溢出效应在时间上存在滞后性, 而在空间距离上遵循地理距离衰减规律。③机制研究表明, 智慧城市建设形成区域创新效应, 通过知识溢出使智慧城市污染减少, 但导致传统重工重污染产业向邻近非智慧城市转移而使其污染增加。【结论】智慧城市政策虽然改善了本地环境, 但是产生了“以邻为壑”的环境污染现象, 污染主要转入到了邻近的非智慧城市。政府应强化智慧城市政策中“协同治理”概念, 加强相邻地区地方政府间, 特别是智慧城市与邻接非智慧城市之间的区域联防联控措施。

关键词:智慧城市; 污染转移; 空间溢出效应; 空间双重差分; 区域协同治理; 中国

DOI: 10.18402/resci.2024.08.14

1 引言

改革开放以来, 中国城市化经历了快速发展, 平均每年新增城镇常住人口超过1600万人。在城市化发展过程中, 经济发展重心及劳动力向发达的中心城市流动聚集, 与快速城市化伴生的能源紧缺、环境污染以及管理秩序混乱等“城市病”问题愈加明显, 传统的城市发展模式已然不能适应当代发展现状。中国于2012年出台智慧城市试点政策, 通过引入一系列创新应用如城市大脑、城市运管服平台等, 使城市的经济、社会和环境形成良性互动与绿色发展。经过10余年发展, 智慧城市从城市自然体系、经济体系到社会体系构建了动态数据库, 通过分析处理收集到的数据, 实现了公共资源的动态高效配置和城市污染的实时监控。比如推广智能

交通系统以减少拥堵和污染、建设智能电网以提高能源利用效率、实施智能建筑项目以降低碳排放以及采用大数据和物联网技术以优化公共服务和应急响应等。相对于仅以生态环境为核心目标的绿色城市和低碳城市等政策, 智慧城市政策是对城市发展模式的一种深刻革新, 在环境效应中展现出独特的优势。这种以信息化、智能化为基础的发展模式, 更加符合当前社会对高效、智能、绿色发展的需求, 展现了强大的时代感和前瞻性。智慧城市建设成为治疗“城市病”的良方。但是与此同时, 随着建设产业带和招商引资工作的推进, 地区间经济发展、信息技术及环境标准等方面的差异不断加大。低碳产业与绿色技术在中心城市聚集或固化, 资源空间配置的弹性降低。环境治理的区域差异日益

收稿日期: 2023-12-21; 修订日期: 2024-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(72274216; 72274095)。

作者简介: 白洋, 男, 山西晋中人, 教授, 研究方向为能源经济与管理。E-mail: ybai@upc.edu.cn

通讯作者: 邱子芮, 女, 山东烟台人, 博士生, 研究方向为能源经济系统管理与政策分析。E-mail: qzr0616@163.com

明显,一些高污染、高排放的产业就近向周边地区迁移和扩散,呈现出“污染避难所”的特征。目前来看,智慧城市政策在环境治理方面的全局辐射治理效果并不显著^[1],是否存在“污染避难所”效应这一问题尚未得到足够重视与深入探究。

在早期的研究中,国内外学者主要关注城市发展与环境的关系,并开展了一系列实证研究,研究发现城市化与环境污染之间的关系较为复杂,主要包括正向促进关系^[2]、负向抑制关系^[3]以及非线性关系^[4]3种观点。城市化可以有效促进生产和建设规模,导致能源需求和污染增加^[5];但也会产生规模效应和集聚效应,提高城市的能源利用效率^[6]。2008年IBM公司提出了“智慧地球”这一概念,各国掀起了智慧城市建设的浪潮,许多文献开始关注智慧城市与城市环境之间的关系。如Martin等^[7]首次提出了城市智能可持续性修复的概念;Bibri等^[8]和Marsal-Llacuna等^[9]均认为智慧城市建设应向智能可持续领域发展。智慧城市的建设理念带有鲜明的“生态保护与绿色发展”色彩。国内学者从2018年左右开始研究智慧城市的环境效应,聚焦于智慧城市政策对城市环境污染^[10,11]、生态效率^[12]、绿色技术^[13]、气候变化^[14]、能源强度^[15]、绿色全要素生产率^[16]等的影响。智慧城市是传统城市演变发展的新形态,实际上是一种基于科技创新的重大技术进步,进而驱动城市发展跃升到高级形态^[11]。传统城市管理模式以土地、劳动力、资本等传统要素为主,而智慧城市治理借力大数据、云平台等信息技术手段,促进高素质人才、高科技企业与研发资本等创新要素的集聚^[17],要素投入以知识、技术等为主,引导城市技术进步方向转向环境友好型。宏观上看,智慧城市将智能监控设备等智慧因子嵌入电网、水利、交通、政务等公共网络系统中,并将智能技术手段应用于新能源的生产、储备和供应等过程中,优化城市能源系统^[18],实现城市的节能减排。微观上看,企业作为智慧城市建设的受益者,在污染源头方面,通过数字基础设施建立高效、无边界的开放创新网络,为企业绿色生产工艺的研发与应用提供技术支撑和外部激励^[19];在污染处理方面,智慧城市建设将传感器、无线网络等和智能技术应用到城市企业的排污活动中,智慧感测、动态采集并自动控制

企业生产过程中的环境污染、能源消耗以及可能造成的生态破坏等^[11]。

总的来看,现有文献多基于本地视角对智慧城市政策的环境效应展开研究,并一致认为智慧城市政策对本地的环境污染具有优化效果。但是,一方面,环境污染物具有跨界扩散的明显特征;另一方面,地区之间环境准入制度^[20]、产业集聚政策^[21]和政绩竞争考核^[22]的差异会导致落后地区深陷环境污染的困局。除经济长期粗放式发展遗留的环境存量问题以外,污染转移更是不容忽视的重要原因^[23]。在这其中,污染跨区域溢出^[20,24]和污染产业/企业的跨区域转移^[25,26]都导致了周边落后城市吸收了中心城市的污染。在中国,“政府主导”是智慧城市规划的显著特点,而在中国式标尺竞争和“晋升锦标赛”的背景下,以放松环境标准实现经济增长目标以及政府间为争夺流动性资源而形成的“搭便车”现象,可能导致“以邻为壑”和“逐底竞争”的困境^[27,28],这或许是无法彻底解决环境污染问题的重要原因。Angelidou^[29]强调智慧城市的空间功能与区域集群特征,应在地理战略上应用信息与通信技术于城市,使每个地区的功能因空间邻近和资源节约而升级。但现实中智慧城市政策是否实现了“区域协同治理”,还是产生了“被迫牺牲者”,政府的政策设计和学者们的实证研究都鲜少关注这个问题。

基于此,本文可能的边际贡献在于:①研究视角上,不同于单纯研究智慧城市本地环境效应,而是从更全面的“本地-邻地”效应入手,探究智慧城市政策是否会造成污染的“以邻为壑”现象;由于智慧城市对周围城市既存在涓滴效应也存在虹吸效应,具有非均衡的时空收敛影响,因此进一步具体分析对邻近智慧城市和非智慧城市的局部差异性污染溢出效果,以期更精确地评估智慧城市政策对局部环境的影响。②研究机制上,扩展经典的ACT环境污染模型,从市场力量和政府行为双角度构建经济集聚、知识溢出、产业结构与政府竞争理论机制框架,更全面地分析智慧城市对周边城市环境质量的影响路径。③研究内容上,建立时间动态效应模型和空间动态效应模型,补充了现有文献在考察智慧城市政策环境治理长效性方面忽略的时空异质性问题,以期避免政府出于利益最大化驱动而导

2024年8月

致的资源长期投入无效及全局利益的损失。

2 研究假设

2.1 理论模型

借鉴 Levinson 等^[30]、沈坤荣等^[23]的理论模型,建立一个包括智慧城市政策的局部均衡模型。模型假设主要包括:①模型涵盖 1、2 两个地区。②两地区具有不同的城市智慧治理水平,存在信息技术补贴 μ 且 $\mu_1 > \mu_2$, 以及存在不同程度的环境规制要求,以污染税 σ 表示, $\sigma_1 > \sigma_2$ 。③企业 τ 生产使用资本 K 和劳动 L 两种生产要素,地区间要素可以自由流动且价格外生给定,因此生产成本差异源于资本的使用成本,在不同地区里的生产成本 c 满足 $c_1 < c_2$; 此外,由于流动资本的价格在地区间是相同,故地区 1 中的污染企业搬迁过程中的资本使用成本还包括迁移成本。④初始情形下,地区 1 有企业 τ , 地区 2 没有任何企业,企业 τ 的污染排放程度 $\eta(\tau)$ 满足其一阶导数 $\eta'(\tau) > 0$ 且 $0 < \eta(\tau) < 1$ 。

由于受到政府对环境的要求,企业还需要投入治理污染排放的成本比例为 θ 。假设企业产量 $q(\tau)$ 和污染排放量 $e(\tau)$ 为规模报酬不变(CRS)生产函数形式:

$$q(\tau) = [1 - \theta(\tau)]F[K(\tau), L(\tau)] \quad (1)$$

$$e(\tau) = [1 - \theta(\tau)]^{\frac{1}{\eta}}F[K(\tau), L(\tau)] \quad (2)$$

其中, $\frac{dq}{d\theta} < 0$, $\frac{de}{d\eta} > 0$ 。

以地区 1 为考察对象,在生产要素价格 P 、信息技术补贴 μ_1 和污染税 σ_1 给定情况下,企业通过调整 θ 获得利润最大化,即:

$$\max_{P, \theta(\tau)} (P - c_1 + \mu_1)[1 - \theta(\tau)]F[K(\tau), L(\tau)] - \theta(\tau)c_1F[K(\tau), L(\tau)] + \quad (3)$$

$$\sigma_1[1 - (1 - \theta(\tau))^{\frac{1}{\eta}}]F[K(\tau), L(\tau)] \quad (4)$$

s.t. $0 \leq \theta \leq 1$

由利润最大化的一阶条件解得: $\frac{d\theta}{d\sigma_1} > 0$,

$\frac{d\theta}{d\mu_1} < 0$ 。当 σ_1 增加, μ_1 减少时,企业投入治理污染排放的成本会增加。

联立式(1)和式(2),可得:

$$q(\tau) = e(\tau)^{\eta}[F(K(\tau), L(\tau))]^{1-\eta} \quad (5)$$

上式可以看作以污染排放和企业产出为投入要素的柯布道格拉斯生产函数,其要素价格分别为 σ 和 $c - \mu$, 由利润最大化一阶条件可得,企业 τ 在地区 1、2 的单位成本为:

$$C_i(\tau) = W\sigma_i^{\eta}(c_i - \mu_i)^{1-\eta}, i = 1, 2$$

$$\Psi = \left[\left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right)^{\eta-1} + \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right)^{\eta} \right] \quad (6)$$

式中: Ψ 为常数。当 $C_2(\tau) < C_1(\tau)$ 时, 即

$\frac{c_1 - \mu_1}{c_2 - \mu_2} > \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^{\frac{\eta(\tau)}{1-\eta(\tau)}}$ 时, 迁移才会发生。

$\frac{\eta(\tau)}{1 - \eta(\tau)} > 0$ 且关于 η 递增, 当 $C_2(\tau) = C_1(\tau)$, 即

$\frac{c_1 - \mu_1}{c_2 - \mu_2} = \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^{\frac{\eta(\tau)}{1 - \eta(\tau)}}$ 时, 对 σ_1, μ_1 求导, $\frac{d\eta}{d\sigma_1} < 0$,

$\frac{d\eta}{d\mu_1} > 0$; 由此, σ_1 增加或 μ_1 减少时, 都会使 η 减少,

从而使 $C_2(\tau) < C_1(\tau)$, 发生迁移。

由上述推理可知,当本地智慧城市加大环境约束、减少信息技术补贴时,会增加污染企业的治污成本;当成本难以承担时,甚至诱发迁移现象发生,促使本地环境改善。具体而言,污染企业为达到绿色生产的要求,需要承担更多的生产成本投入,包括调整生产要素、升级生产工艺、分类生产的污染排放物等;同时,企业还面临着一定的沉没成本以及污染违规成本,即使获得新技术补贴,短期内的企业利润难以弥补转型升级所需的成本损失。除此之外,智慧城市借助 5G、数据挖掘、云平台与物联网等新一代信息技术,构建城市管理网络系统,要求企业升级信息管理技术,对其排污行为进行全方位和实时监控,使企业既要应对技术革新的要求,还要承担严密无缝的监管压力。因此,在多方因素影响下,企业更倾向于选择改制、重组或迁移至智慧治理程度不那么高的城市。这虽然使本地污染减少,但以非智慧城市污染增加为代价,导致了环境治理效率的无谓损失,即发生“污染避难所”效应。据此,提出假说:

H1: 智慧城市政策改善了本地城市污染,但导致污染转移现象发生,且对邻近智慧城市与非智慧城市具有差异性溢出效果。

2.2 空间溢出路径

经典的ACT环境污染模型提出规模效应、技术效应和结构效应是影响地区间污染转移的关键因素。其中,规模效应主要指市场扩张及经济规模扩大所导致的污染排放增大;技术效应是通过技术创新改进生产方式,从而减少环境污染;结构效应则是关注产业专业化对环境的影响。除此之外,由于污染物排放具有负外部性的特点以及政府间竞争与合作的关系愈加密切,政府的外部干预作用也不容忽视^[31]。因此,本文认为智慧城市政策是以市场力量和政府行为为中介共同影响城市环境,并从市场作用下的规模效应、技术效应和结构效应及政府作用下的竞争效应4个方面,提出主要的影响机制(图1),4种效应分别对应经济集聚、知识溢出、产业转移和政府竞争。

2.2.1 经济集聚

智慧城市建设中的智慧技术深入发展引发生生产率效应,促进了城市间生产要素的协调高效运转,产生规模经济效应^[16]。智慧城市建设形成了要素聚集红利和空间区位集聚优势,实现区域生产的规模报酬递增,通过经济活动集聚对污染转移产生如下影响:①要素的流动和集聚,加速要素资源的循环充分利用,缩减了企业运行的交易费用、运输费用与协调费用,减少中间运输环节的能源消耗;②资源集聚促进区域经济一体化进程和城市经济

效率提升,深化城市间的专业化分工程度,并通过规模经济效应促进了前后关联企业生产率的提升,扩大了城市的市场潜力和生产规模,从而可能增加区域内污染;③先进的管理理念和管理模式对周围城市产生示范模仿效应,带动了区域内城市智慧治理的发展进程,促进城市间协同创新合作和协调互补发展,从而降低整体区域污染。

2.2.2 知识溢出

智慧城市将通信技术应用与城市治理中的政府治理、企业生产与居民服务领域中,促进信息技术融合集成、互联互通,加强城市间智慧交通连接和经济联系,有效促进知识溢出^[32]。智慧城市带来的信息化冲击能够促进信息的有效传递,促进群际边界外溢和空间拓展,改善区域内的信息可达性,使创新要素在更大范围内流动,从而优化外部整体创新环境,实现技术转移和技术融合,降低污染排放^[33]。此外,信息化的发展促进了非编码的隐性知识和软信息的传递与溢出,减少信息不对称,提高周围地区的资本市场运作和资源配置效率,从而使其他地区可以避免资源浪费,降低污染物排放强度。

2.2.3 产业转移

根据污染天堂假说和要素禀赋假说,政府规制以及初始禀赋的差异导致生产活动中存在污染的产业发生非连续性或间歇性的转移。智慧城市建设使区域之间可移动要素的转移成本降低,加深了

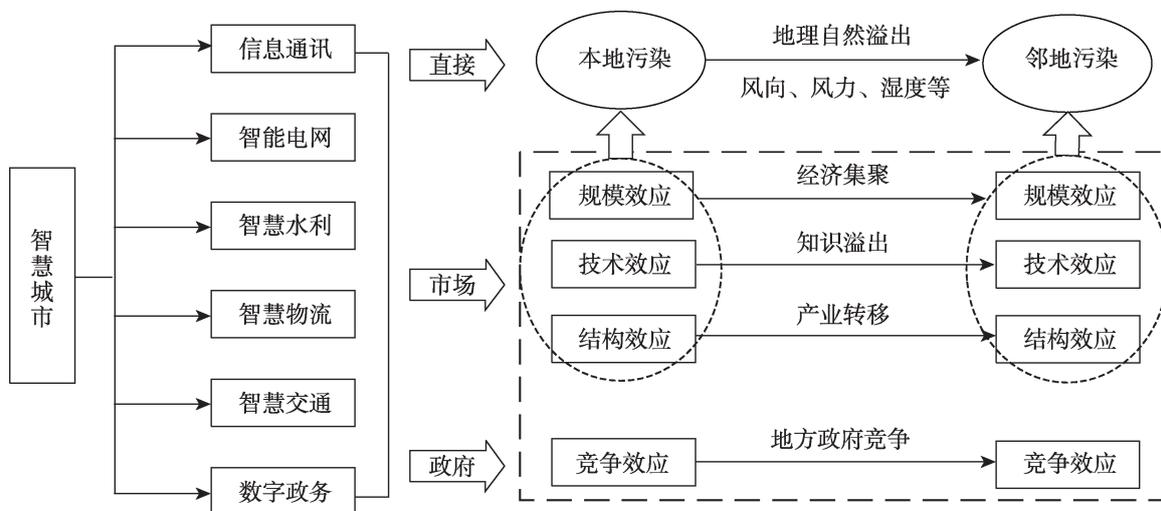


图1 智慧城市污染溢出机制

Figure 1 Pollution spillover mechanism of smart cities

2024年8月

污染企业为规避严格的排污要求而选择迁移的可能性,从而影响各地区的产业结构,也对各地区污染产生影响。一方面,智慧城市具有提高城市能源利用效率和改善环境的隐形要求,使高污企业面临生产成本上升与行业竞争力下降的问题,倒逼企业选择迁移。另一方面,信息技术与数字基础设施加深了城市间的合作交流,减少了贸易壁垒与贸易成本,更容易产生产品输送,这就导致对于高污染产业,智慧城市更倾向于从高效率地区购入低成本产品而不是本土生产,这进一步提高了落后地区污染产业的竞争力,造成产业转移现象^[1]。

2.2.4 政府竞争

智慧城市政策对环境的治理效果除了以上市场内生生化导向路径外,也会受到政府竞争的影响。许多学者认为财政分权导致地方政府面对经济发展与环境保护的抉择时,更偏好于经济目标^[22]。Lipscomb^[34]利用巴西河流水污染的面板数据,发现财政分权产生跨越管辖边界的外部性,致使河流水质恶化。地方政府往往为了追求自身辖区利益的最大化而作出更加偏好经济增长的行为,导致搭便车行为和逐底竞争的境地。为争夺流动性资源,地方政府可能会选择放松环境标准以在市场上实现竞争优势,使地区间的非平衡现象愈加严重。据此,提出假说:

H2:智慧城市试点政策可能通过经济集聚、知识溢出、产业转移以及政府竞争对污染溢出产生影响。

3 研究数据与方法

3.1 样本与数据来源

研究期内部分城市发生行政级别变化、个别城市数据缺失严重,以及存在区(县)、镇层级地区的试点城市,为精确估计智慧城市试点的净效应,故选择将以上城市从样本中予以剔除,最终选取2005—2020年217个地级行政单元(因数据缺失未包含港澳台藏的地级行政单元,后文简称地级市)作为研究对象。数据主要来源于中国城市统计年鉴、中国环境统计年鉴、各省份统计年鉴及EPS数据平台。利用插值法将部分数据缺失补齐,最终形成中国217个地级市16个年份的平衡面板数据。

3.2 基准模型构建

双重差分法(DID)是以准自然实验为基础的政

策效应评估方法,可以有效缓解遗漏变量误差问题,避免内生性。但是,传统DID方法不仅容易遗漏空间溢出效应,还与其严格的个体间相互独立假设相悖,从而影响评估结果的准确性与可信度。主要原因在于:①环境污染物具有跨界扩散的典型自然属性,地区间污染具有强烈的空间依赖性;②区域一体化水平的提高使地区之间可移动要素的流动成本降低;③各地区之间的经济活动日益频繁,各地区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合作等方式解决整体环境问题,使环境治理也具备空间相关性。由此,相较于传统DID方法,采用DID模型与空间计量模型结合的空间双重差分方法(SDID)来评估智慧城市政策的环境绩效,放松了空间单位之间相互独立的假设^[35],对政策效应的评估既包括了对本地的直接影响,也具有对邻地的空间溢出效应,可以获得更全面准确的政策评估结果。

因此,本文将智慧城市政策作为“准自然实验”,由于各个城市进入试点名单的时间顺序不同,故构建多期SDID模型研究智慧城市政策环境治理的直接效果和间接效果,并分析其对邻近城市的差异性空间溢出效应。DID和SDID模型分别如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \beta W did_{it} + \rho W Y_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \sum \theta_k W X_{itk} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中: Y_{it} 为被解释变量,表示*i*城市*t*年的污染排放; did_{it} 为核心解释变量,即智慧城市的虚拟变量; W 为不同的空间权重矩阵; X_{itk} 为控制变量,其中*k*为控制变量类型(详见后文); $W did_{it}$ 为核心解释变量的空间滞后项; $W Y_{it}$ 为被解释变量的空间滞后项; β_0 为智慧城市试点后对本地的环境污染影响; βW 为智慧城市试点后对邻地环境污染的平均效应,即智慧城市政策对污染的空间溢出效果; α_0 为常数项; ρ 、 δ_k 、 θ_k 为待估系数; μ_i 为城市固定效应; v_t 为年份固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。本文主要关注系数 β_0 和 βW 。

然而,处理组对所有地区的平均溢出效应包括邻近的处理组和控制组两类地区,其间接效应可能是不同的。比如,由于处理地区的直接效应更重

要,间接效应是未处理地区的唯一效应,故处理地区的间接效应较小,未处理地区的间接效应较大。此时,平均溢出效应作为所有地区的评价,将会低估处理的实际效应。为进一步分析智慧城市政策对邻近不同城市的差异性溢出效果,借鉴 Chagas 等^[36]以及王群勇^[37]的处理方法,在每个时间点上,对矩阵 W 进行如下分解:

$$W = W_{T,T} + W_{T,NT} + W_{NT,T} + W_{NT,NT} \quad (9)$$

式中: $W_{T,T}$ 和 $W_{NT,NT}$ 分别为处理组对相邻处理组和相邻控制组的影响; $W_{T,NT}$ 和 $W_{NT,T}$ 分别为控制组对相邻处理组和相邻控制组的影响。由于非智慧城市试点地区对邻地污染没有影响,故构建 $W_{T,NT}did_{it}$ 和 $W_{NT,NT}did_{it}$ 为 0 矩阵。模型进一步改造如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \beta(W_{T,T} + W_{NT,NT})did_{it} + \rho WY_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \sum \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式中:系数 $\beta W_{T,T}$ 和 $\beta W_{NT,NT}$ 分别为智慧城市对邻近智慧城市和非智慧城市的不同空间溢出平均影响。

为全面分析智慧城市政策对污染转移的影响效果,采用 4 种空间权重对空间双重差分模型进行处理,分别为空间邻接权重矩阵 W_1 、地理距离空间权重矩阵 W_2 、经济距离空间权重矩阵 W_3 、经济-地理嵌套矩阵 W_4 。具体测度方法如下:

$$W_1 = \begin{cases} 1, & \text{两城市在地理位置上相邻} \\ 0, & \text{两城市在地理位置上不相邻} \end{cases} \quad (11)$$

$$W_2 = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (12)$$

$$W_3 = \begin{cases} \frac{1}{|pgdp_i - pgdp_j|}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (13)$$

$$W_4 = W_2 \times W_3 \quad (14)$$

式中: W_1 的元素在两城市空间上相邻时取值为 1, 否则为 0; W_2 利用两城市 (i, j) 间地理距离 d_{ij} 的倒数来表示; W_3 选择城市间 2005—2020 年平均人均 GDP ($pgdp$) 差值的倒数表示地区间经济距离; W_4 将地理距离空间权重矩阵及经济距离空间权重矩阵进行嵌套处理构建矩阵。

3.3 时空动态与机制检验模型构建

基础模型反映的是智慧城市政策对城市污染

的平均影响,并没有反映政策效果的时间异质性和空间异质性。为此,本文在模型(7)的基础上构建时间动态效应模型和空间动态效应模型,分析政策实施后的时间动态变化以及不同空间距离阈值下的影响。

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_t (\gamma_t did_{it} + \beta_t W did_{it}) + \rho WY_{it} + \delta_k X_{it} + \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \sum_{\varphi} \sum_j W_{ij}^{\varphi \sim \varphi + 100} did_{it} + \rho WY_{it} + \delta_k X_{itk} + \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

式中: did_{it} 依据邓荣荣等^[38]的处理方法,加入政策后每一年的虚拟变量; γ_t 与 β_t 分别为每一年的政策效应及其溢出效应的大小;参照沈坤荣等^[39], $W_{ij}^{\varphi \sim \varphi + 100}$ 为阈值 ($\varphi, \varphi + 100$] 的地理距离倒数矩阵, $\varphi = 100, 200, \dots, 700$ km, 当距离在阈值范围内,矩阵内元素取值为地理距离的倒数,否则为 0。

在机制分析中,根据前文的理论分析,智慧城市建设能够基于经济集聚、知识溢出、产业转移和政府竞争机制影响污染溢出。为检验 H2,参考陈诗一等^[40]的做法构建两阶段传递效应模型,即下式(17)和(19),并进一步区分溢出影响机制在邻接智慧城市和非智慧城市之间的作用,构建模型(17)和模型(18)进行检验。

$$channel_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \beta W did_{it} + \omega W channel_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \sum \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

$$channel_{it} = \alpha_0 + \beta_0 did_{it} + \beta(W_{T,T} + W_{NT,NT})did_{it} + \omega W channel_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \sum \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

$$Y_{it} = \alpha_0 + \rho WY_{it} + \gamma channel_{it} + \omega W channel_{it} + \sum \delta_k X_{itk} + \sum \theta_k WX_{itk} + \mu_i + v_i + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

式中: $channel_{it}$ 为经济集聚、知识溢出、产业转移和政府竞争机制; ω 为待估系数。

3.4 变量说明

表 1 为本文变量及其描述性统计。

3.4.1 被解释变量

被解释变量为城市污染排放,对于环境污染的

表1 变量及其描述性统计

Table 1 Variable design and descriptive statistics

变量	说明	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>polu</i>	污染排放指数	3472	1.000	0.787	0.032	7.272
<i>agg</i>	经济集聚	3472	10.277	0.725	7.782	12.456
<i>inno</i>	知识溢出	3472	6.753	1.664	1.609	11.435
<i>indus</i>	产业转移	3472	0.930	0.521	0.094	5.348
<i>gov</i>	政府竞争	3472	0.016	0.019	0.000	0.249
<i>inve</i>	投资情况	3472	0.757	0.350	0.008	2.688
<i>hc</i>	人力资本水平	3472	0.014	0.019	0.000	0.145
<i>ln infra</i>	基础设施建设水平	3472	2.641	0.471	-0.942	4.096
<i>ln tele</i>	信息化发展情况	3472	12.760	1.103	5.468	15.585
<i>ln hosp</i>	医疗卫生水平	3472	3.547	0.411	2.096	4.857

衡量并没有统一的标准,有的学者采用一种或几种工业污染物排放量作为衡量环境污染水平的代表性指标,也有学者采用环境污染综合指数来衡量环境污染水平。由于中国主要的污染源头是工业,故借鉴朱平芳等^[41]和沈坤荣等^[23]的计算方法,选取工业污染排放指数作为污染排放的代理变量。考虑到数据的可获得性,选取工业SO₂排放量和工业废水排放量两个指标。虽然很多文献还加入了烟(粉)尘排放量,鉴于本文选取的研究时间范围较长,烟(粉)尘排放量前后统计口径不一,故将此去除。基于单位面积工业SO₂排放量和工业废水排放量计算工业污染排放指数(*polu*),计算公式如下:

$$polu = \frac{\phi_{i1} + \phi_{i2}}{2}, \phi_{is} = \frac{\xi_{is}}{\sum_{i=1}^{217} \xi_{is} / 217} \quad (20)$$

式中: ϕ_{is} 为城市*i*污染物*s*($s=1, 2$)相对全国范围内平均水平的排放指数; ξ_{is} 为城市*i*污染物*s*的排放量。

3.4.2 解释变量

解释变量为智慧城市试点政策虚拟变量(*did*),是组别虚拟变量*du*和时间虚拟变量*dt*的乘积。国家住建部和科技部分别于2012年、2013年和2015年开展设立了第三批国家智慧试点城市。由于第一批试点城市于2012年末确立实施,考虑到政策实施效果具有一定的滞后性,故将2013年作为智慧城市试点的第一年。若城市为试点城市($du = 1$)且处于试点政策实施当年及其以后年份($dt = 1$),则 $did = 1$ (处理组),否则 $did = 0$ (对照组)。

3.4.3 中介变量

经济集聚(*agg*):经济集聚表示某一地理区域内生产、消费等经济活动的集中程度。高达等^[42]认为人均GDP较高的地区经济集聚程度也较高。鉴于此,采用各城市实际人均GDP取对数来表示经济集聚。

知识溢出(*inno*):知识作为典型创新要素,是创新技术扩散的重要驱动力。本文以城市创新能力衡量区域知识溢出,借鉴张治栋等^[43]的做法,选择地级市发明专利申请数并取对数来表示,数据来源于CNRDS中国研究数据服务平台。

产业转移(*indus*):在污染转移的同时,产业结构也发生着不同产业间进行梯度转移的过程。参照干春晖等^[44],用第三产业增加值与第二产业增加值之比衡量地区间产业转移的程度

政府竞争(*gov*):地方政府围绕流动性要素以招商引资的方式展开竞争,获取资源优势。参考朱英明等^[45],以城市实际利用外商直接投资占GDP总额的比重度量地方政府竞争行为。

3.4.4 控制变量

投资情况(*inve*):以固定资产投资占地区总产出的比重表示。

人力资本水平(*hc*):以城市普通高等院校在校生占城市年末总人口比重表示。

城市基本情况:将人均道路面积、人均国际互联网用户数和人均医院卫生院床位数取对数,分别代表城市的基础设施建设水平(*infra*)、信息化发展情况

(tele)和医疗卫生水平(hosp)。

以上5个控制变量分别对应前文公式中的 $k=1, 2, 3, 4, 5$ 。

4 结果与分析

4.1 平行趋势检验

由于基础回归结果可能在试点政策开展前就成立,故需要检验处理前样本变化趋势是否相同,即进行平行趋势检验。图2为平行趋势检验图。在政策实施前,各期平均处理效应在0附近波动,即处理组与对照组城市的污染水平在试点政策前不存在显著差异,符合平行趋势假定。从政策实施当期开始曲线趋势明显下降,说明智慧城市试点政策能够有效推动城市污染排放水平的降低。政策实施第3年开始,试点地区的污染水平开始显著超过非试点地区,智慧城市试点政策的环境治理效果呈现出一定的趋势效应。

4.2 空间相关性检验

污染排放的空间分布存在不稳定性及区域异

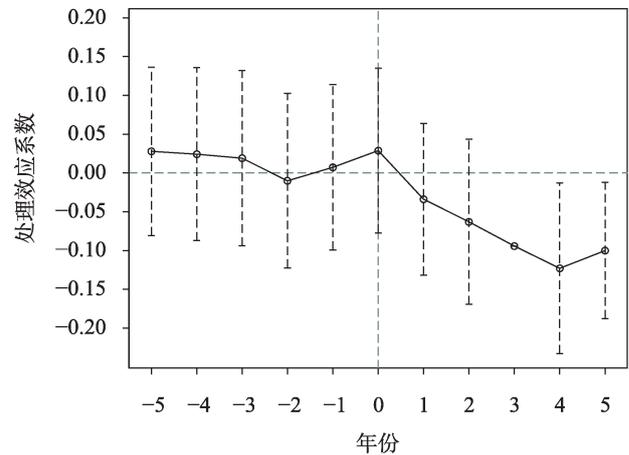


图2 平行趋势检验图

Figure 2 Parallel trend test diagram

质性,因此需要采用局部莫兰指数检验空间依赖性。经过显著性检验后,将局部莫兰指数与整体均值进行比较,样本空间单元可以被划分为4种分布类型。以空间邻接权重矩阵(W_1)为代表矩阵进行分析,结果如图3所示,横坐标为 $z = x_i - \bar{x}$,纵坐标

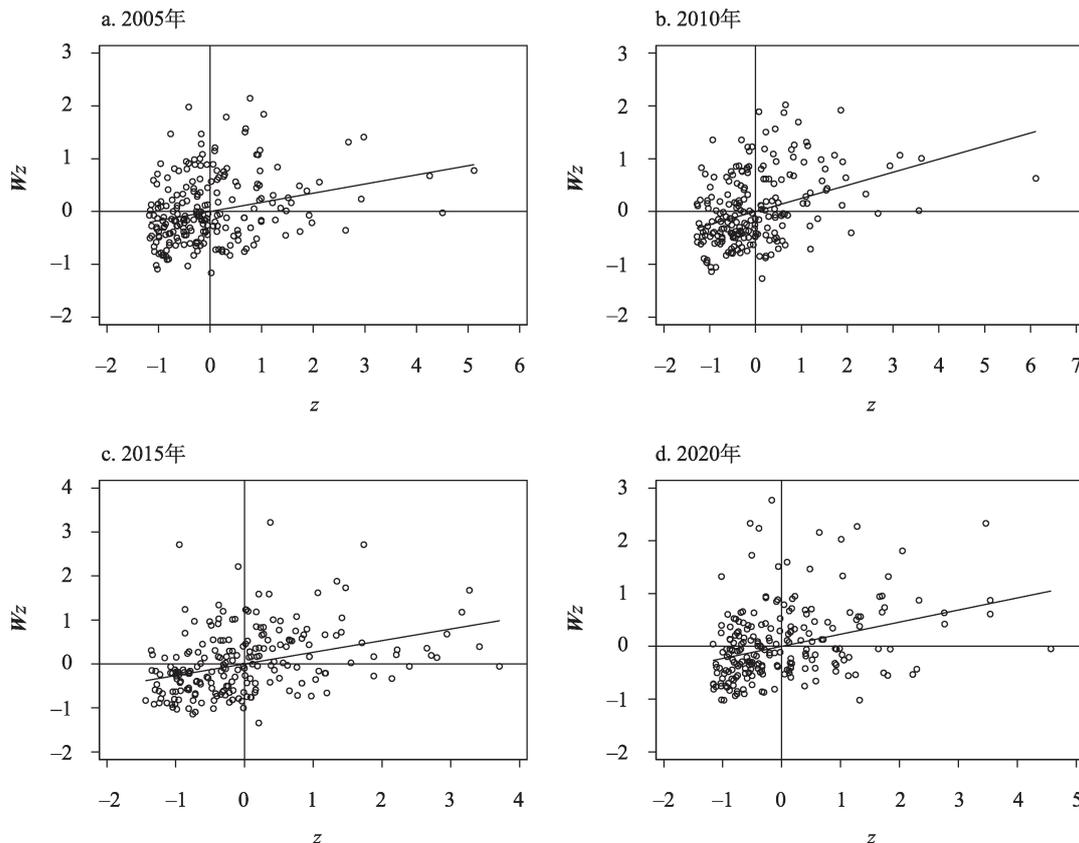


图3 2005、2010、2015和2020年各城市污染排放的Moran's I图

Figure 3 Moran's I chart of pollution by city in 2005, 2010, 2015, and 2020

2024年8月

为 Wz 。其中, x_i 为城市 i 污染值; \bar{x} 为污染平均值。图中共有 4 个象限, 一象限为高-高型正相关, 三象限为低-低正相关, 二、四象限则表示负相关区域。可以看出, 2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年的污染排放分布均大多位于第三象限位置, 呈现出空间正相关联系, 说明城市间的污染排放具有显著的正向空间溢出效应。

4.3 基准模型结果

首先, 通过 LM 检验与 Wald 检验结果进而选取合适的空间计量模型, 表 2 中显示 LM 检验与 Wald 检验均显著拒绝原假设, 表明模型中同时存在空间滞后项与空间误差项, 因此应选取基于空间杜宾模型的 SDID 模型探究智慧城市试点政策对邻地污染转移的影响。从空间邻接、地理距离、经济距离、经

济-地理 4 个视角建立空间基准模型(表 3)。

表 3 模型(7)为不考虑空间影响的多期双重差分估计, 模型(8)为空间双重差分估计结果, 模型(10)以空间邻接矩阵为例进一步区分了空间溢出的差异化影响。由表 3 的回归结果可知, 多期 DID 模型和 SDID 模型中 did 的系数均显著为负, 说明了智慧城市政策对本地有着显著的污染治理效果。 $W \times did$ 的系数在 4 种空间矩阵下均显著为正, 表明智慧城市政策的开展对邻地的污染排放表现为正向溢出作用, 也就是说, 对于与本地区无论是在地理距离或经济距离相近的周围地区, 智慧城市诱发了污染转移的现象。进一步细分差异化溢出影响, 无约束 SDID 模型回归结果中显示 $W_{T,T} \times did$ 系数显著为负, $W_{NT,T} \times did$ 系数显著为正, 表明智慧城市

表 2 Wald 检验和 LR 检验结果

Table 2 Results of Wald test and LR test

变量	W_1	W_2	W_3	W_4
<i>LM_lag</i>	431.162***	820.863***	47.778***	88.756***
<i>Robust_LM_lag</i>	144.484***	691.281***	40.274***	19.197***
<i>LM_error</i>	289.576***	129.934***	30.391***	73.868***
<i>Robust_LM_error</i>	2.898*	0.352	22.887***	4.309**
<i>Wald_spatial_lag</i>	38.06***	66.39***	82.79***	62.55***
<i>Wald_spatial_error</i>	37.18***	53.84***	76.43***	55.53***

表 3 智慧城市政策对邻地污染转移的空间基准回归结果

Table 3 Spatial benchmark regression results of smart city policies on pollution transfer to neighboring areas

变量	(7)	(8)				(10)
	多期 DID	W_1	W_2	W_3	W_4	差异化溢出
<i>did</i>	-0.098*** (-3.953)	-0.083*** (-3.581)	-0.085*** (-3.477)	-0.131*** (-5.301)	-0.122*** (-4.896)	-0.095*** (-3.858)
$W \times did$		0.083** (2.218)	0.319*** (2.944)	0.281*** (5.013)	0.256*** (4.664)	
$W_{T,T} \times did$						-0.167*** (-3.195)
$W_{NT,T} \times did$						0.077* (-1.852)
$W \times Control$	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Control</i>	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R^2	0.782	0.044	0.294	0.040	0.091	0.678
N	3,472	3472	3472	3472	3472	3472

注: ()中数字为 t 统计量, []中数字为 p 值, ***, **, * 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。下同。

政策的环境治理效果具有空间异质性,在带动周边智慧城市降低环境污染的同时对非智慧城市产生污染转移。假说H1成立。对于智慧城市来说,相邻智慧城市政策的实施可以有效促进地区间的技术交流与合作,比如共同开发面向智慧交通、智能能源管理、环境监测和治理的新方案。这种合作超越了地理界限(经济空间矩阵下仍然显著),智慧城市能够通过数字化平台和网络连接相互学习和支持,协同推动城市环境治理。但对于非智慧城市来说,智慧城市政策的实施,一方面加剧了城市间资源的流动与竞争,产生虹吸效应,加大城市间发展的两极分化;另一方面,智慧城市严格的规制条件导致污染产业迁移,最终使非智慧城市的污染增加。智慧城市与非智慧城市之间的合作壁垒包

括基础设施、技术能力、经济资源的差异以及面临数据共享与隐私保护的挑战。解决这些阻力需要鼓励智慧城市帮扶非智慧城市,通过政策支持、技术交流、资金帮助和跨部门协作等增强非智慧城市的技术接受和应用能力,实现区域一体化发展。

4.4 稳健性检验

4.4.1 数据缩尾

由于数据可能存在异常值而导致回归结果伪显著,因此采用数据缩尾的方法对数据层面的稳健性进行检验。选择 winsorize 进行 5% 水平的缩尾处理,这样可以将超出 5 百分位范围的数值替换为其 5 百分位数值,最大限度保留数据信息。回归结果见表 4,回归系数符号与原回归结果一致,且与原始数据所得结果十分接近,排除了异常值的干扰。

表 4 数据缩尾检验结果

Table 4 Data winsorization test results

变量	W_1	W_2	W_3	W_4
<i>did</i>	-0.071*** (-4.068)	-0.063*** (-3.443)	-0.099*** (-5.331)	-0.092*** (-4.926)
$W \times did$	0.077*** (2.716)	0.271*** (3.352)	0.196*** (4.659)	0.182*** (4.447)
<i>Control</i>	YES	YES	YES	YES
城市固定	YES	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES	YES

4.4.2 证伪检验

为保证政策效应来源的唯一性,参考 Hung 等^[46]的研究,利用智慧城市试点提出前的 2005—2012 年数据进行证伪检验。假设 2006、2007、2008、2009 年为虚拟政策干预点,以 W_1 为例,重复基准回归过程。表 5 回归结果中, $W \times did$ 系数变得不再显著,推翻了其他年份政策实施会对环境产生溢出影响的假设。回归系数绝对值相较于原基准回归结果变小了,说明确实是 2013 年起智慧城市建设实施后

表 5 证伪检验结果

Table 5 Results of falsification test

年份	<i>did</i>	$W \times did$
2006	-0.095***	0.055
2007	-0.078***	0.051
2008	-0.057***	0.065
2009	-0.044*	0.082

本地环境得到了优化,却对邻地形成了污染溢出。

4.4.3 排除其他政策影响

由于地方政府政策的实施具有长周期的特点,因此在估计智慧城市试点政策的环境治理效果时,不可避免地存在样本期内类似或关联政策的交叉影响。为识别和排除其他政策对估计效应的影响,借鉴石大千等^[11]的方法,搜索了智慧城市试点政策实施年份发生的环境类政策,并检验其对回归结果的冲击效应。鉴于此,加入 2012 年 12 月颁布的“低碳城市试点政策”,以及 2013 年实施的“碳排放交易权政策”,其中,考虑到政策实施具有一定的滞后,故将低碳城市试点政策也视作 2013 年实施。分别建立这两类政策的虚拟变量 did_1 和 did_2 ,纳入基准回归模型中。表 6 结果显示,无论是本地效应还是邻地效应,智慧城市政策的政策效果在 4 种空间权

2024年8月

表6 排除其他政策影响的检验结果

Table 6 Test results of excluding other policies' influences

变量	低碳城市试点政策				碳排放交易权政策			
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_1	W_2	W_3	W_4
<i>did</i>	-0.090*** (-3.829)	-0.087*** (-3.502)	-0.133*** (-5.256)	-0.123*** (-4.830)	-0.085*** (-3.663)	-0.088*** (-3.572)	-0.135*** (-5.388)	-0.122*** (-4.853)
$W \times did$	0.122*** (3.145)	0.425** (2.397)	0.280*** (4.720)	0.262*** (4.548)	0.083** (2.204)	0.508*** (3.980)	0.288*** (5.053)	0.263*** (4.755)
<i>did</i> ₁	0.040 (0.826)	0.022 (0.435)	0.014 (0.289)	0.009 (0.186)				
$W \times did_1$	-0.325*** (-3.709)	-0.554 (-0.778)	0.001 (0.005)	-0.050 (-0.419)				
<i>did</i> ₂					0.127 (1.504)	0.134** (2.346)	-0.047 (-1.209)	-0.019 (-0.475)
$W \times did_2$					-0.172* (-1.697)	-0.817*** (-2.803)	0.032 (0.318)	-0.082 (-0.782)
<i>Control</i>	YES							
城市固定	YES							
时间固定	YES							

重矩阵视角下仍然保持显著,侧面表明了本文的研究结论是相对稳健的。

4.4.4 内生性检验

为避免内生性问题,利用工具变量法进行内生性检验。借鉴郭庆宾等^[15],选择上一年省内其他智慧城市数量占比乘以1984年的城市历史财政收支比作为智慧城市政策的工具变量*iv*。回归结果如表7所示,第一阶段回归结果中,工具变量*iv*与核心解释变量*did*显著正相关,第二阶段中*did*系数仍显著为负。此外,Cragg-Donald Wald *F*统计量为17,通过弱工具变量检验且拒绝不可识别的原假设,说明基准回归结果通过内生性检验。

表7 工具变量估计结果

Table 7 Estimation results of instrumental variables

变量	第一阶段 <i>did</i>	第二阶段 <i>polu</i>
<i>iv</i>	0.108*** (4.136)	
<i>did</i>		-0.164*** (-3.462)
<i>Control</i>	YES	YES
城市固定	YES	YES
时间固定	YES	YES

5 进一步分析

5.1 政策时空动态效应分析

按公式(15)-(16)估计智慧城市试点政策对城市污染的本地效应与溢出效应,并绘制出变化趋势图。图4表示智慧城市对城市污染的时间异质性影响,从本地效应来看,智慧城市政策在2013和2015年实施后,滞后一年污染治理效果较为明显,之后污染抑制程度有所下降,到2020年效果又变大,这可能是由于政策刚颁布时,城市首先对市容市貌等城市环境方面的约束加强,而关于网络基础设施建设与数字技术升级等需要时间成本与资源投入,因

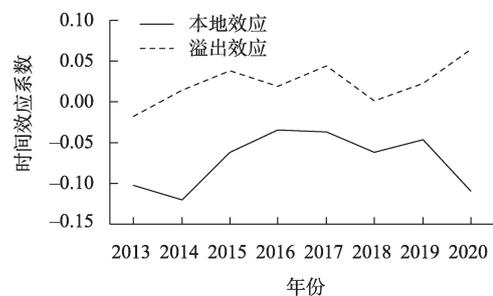


图4 智慧城市对城市污染的时间异质性影响

Figure 4 Effect of smart cities on temporal heterogeneity of urban pollution

此政策的治理效果存在滞后性。同时,污染企业的迁移需要一定的时间,反映在污染的溢出效应上也具有一定的滞后性,故智慧城市政策对城市污染的溢出作用在2013年系数为负,2014年后系数虽呈波动趋势,但一直为正。图5为智慧城市对城市污染

的空间异质性影响,其本地效应基本不变,但政策对邻地的污染溢出效应随地理距离阈值的增加呈现先变小、后变大、又变小的趋势特征,并在100~200 km和600~700 km左右达到峰值,在700~800 km最低。说明智慧城市政策虽然可以凭借网络效应突破地理壁垒进行资源配置与知识溢出,但其污染转移仍然离不开地理空间的约束,具有地理距离衰减的特征。

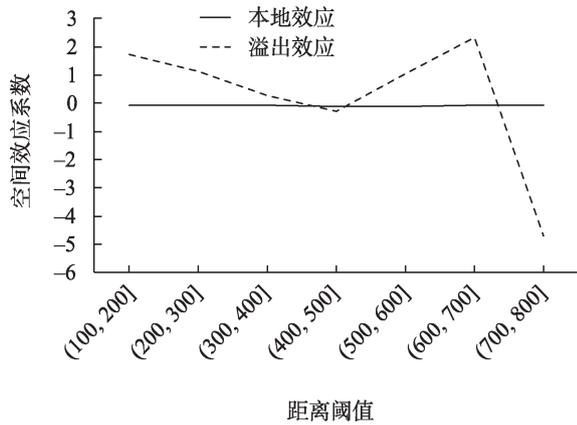


图5 智慧城市对城市污染的空间异质性影响

Figure 5 Spatial heterogeneity of urban pollution affected by smart cities

5.2 机制检验

4种溢出机制的检验结果如表8所示。模型(17)的结果,对于回归系数 did 来看,智慧城市政策的实施可以提高城市的经济集聚程度和优化产业结构。对于回归系数 $W \times did$ 来看,智慧城市试点政策对邻近城市的经济集聚和产业转移有着负向溢出效应,而对知识溢出有着正向的空间溢出。在模型(19)中,规模效应的系数符号显著为正,技术效应、结构效应与竞争效应则显著为负,这说明知识溢出、产业结构优化以及政府的有效竞争可以减

表8 机制检验结果

Table 8 Results of mechanism test

变量	agg		inno		indus		gov		polu
	(17)	(18)	(17)	(18)	(17)	(18)	(17)	(18)	(19)
did	0.015*	0.014*	-0.032	-0.009	0.045***	0.045***	-0.001	-0.001**	
	(1.911)	(1.670)	(-1.548)	(-0.397)	(2.873)	(2.707)	(-1.471)	(-2.031)	
$W \times did$	-0.035***		0.145***		-0.080***		0.001		
	(-2.826)		(4.356)		(3.147)		(0.702)		
$W_{T,T} \times did$	-0.010		0.037		0.023		-0.000		
	(-0.370)		(0.503)		(-0.654)		(-0.172)		
$W_{NT,T} \times did$	-0.033		0.217***		-0.089***		0.000		
	(1.639)		(-4.021)		(-3.131)		(0.160)		
agg									0.122**
									(2.293)
inno									-0.035**
									(-1.810)
indus									-0.044*
									(-1.764)
gov									-1.567***
									(-2.709)
$W \times Control$	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Control	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

2024年8月

少城市环境污染。综合模型(17)和模型(19)回归结果发现,智慧城市政策实现本地环境的改善可以通过升级产业结构,向以生产性服务业为主的产业结构方向优化。在智慧城市政策影响城市污染的空间溢出机制中,智慧城市政策通过降低邻地经济集聚性和激发创新动力进而改善周边城市的环境污染;但造成了产业转移现象,导致邻地污染产业比例上升,形成污染就近转移。假说H2中经济集聚、知识溢出、产业转移的空间溢出路径成立,而政府竞争路径未成立。一方面,智慧城市的高效管理和技术创新能够降低城市对外部资源的依赖并伴随着城市内经济活动的集聚,这可能会导致周边地区的投资和经济活动相对减少。这种经济活动的重新分配可能会减轻邻地的环境压力,因为经济活动的减少可能伴随着工业排放和资源消耗的下降。另一方面,智慧城市作为创新和技术发展的中心,通过建立创新生态系统,比如研究中心、创业孵化器和转移平台等,利用数据的合作网络促进了技术和知识的流动,使邻近地区学习并采用更清洁的生产技术和更高效的资源管理方法。由于智慧城市在追求环境可持续性和高技术标准时,实施了一系列严格的环保措施和高环境标准,导致运营成本较高、技术水平不足的污染产业产生转移,即发生“污染避难所效应”。

进一步细分差异性空间溢出机制影响,模型(18)中的回归系数 $W_{N,T} \times did$ 的结果显示,技术效应符号显著为正,结构效应显著为负,智慧城市试点政策显著提高了周围非智慧城市的创新水平,减少其污染;却造成污染产业迁移的状况,从而导致相邻非智慧城市的污染增加。由此可见,智慧城市政策可以借助新一代信息技术突破信息流动的地理壁垒,实现城市之间的信息共享,通过构建创新网络与技术融合转移带动区域内污染水平的降低。与此同时,智慧城市严格的城市管理要求以及可移动要素的流动成本降低,导致传统重工重污染产业向相邻监管不严和技术要求较低的非智慧城市转移而使其污染增加。

6 结论与政策建议

6.1 结论

基于2005—2020年中国217个地级市面板数

据,构建空间杜宾双重差分模型,本文分析了智慧城市试点政策对邻近城市的全局污染溢出与城市间差异性溢出效应,并进一步探索政策的时空动态效应以及溢出影响中可能存在的机制。得到如下结论:

(1)智慧城市试点政策显著降低本地污染,却诱发了“污染转移”现象。污染溢出效果在局部范围内存在空间差异性,细化发现智慧城市政策在带动周边智慧城市降低环境污染的同时对非智慧城市产生污染转移。

(2)智慧城市建设对污染的溢出效应在时间上存在滞后性,而在空间距离上遵循地理距离衰减规律。

(3)智慧城市对周边城市形成区域创新效应,通过知识溢出协同减少污染排放,但在产业转移方面,导致传统重工重污染产业向邻近非智慧城市转移而使其污染增加。此外,地区之间经济集聚性加大也会导致污染由智慧城市转入非智慧城市。

6.2 政策建议

根据本文结果,智慧城市政策制定的基本原则和总体设计方向应倾向于“区域协同治理”。为保证中国智慧城市政策的长效性,促进城市间协同治污,提出以下相关对策建议:

(1)结合智慧城市与非智慧城市异质性特征,构建深度耦合的环境协同治理机制。智慧城市与非智慧城市在资源丰富度、基础设施、技术发展和产业结构等均存在较大差异,非智慧城市承接了主要的污染转入。为此,政府在继续突出智慧城市环境治理效能的同时,加强相邻地区地方政府间,特别是智慧城市与邻接非智慧城市之间联防联控。以智慧城市为核心建立分工明确的都市圈,构建跨区域环境联防联控机制,实现资源共享、优势互补和协调联动。比如通过建立区域性的信息共享平台,为区域内城市提供实时数据的共享和通讯,一旦发现环境风险,所有相关城市均可快速响应并实现协同防控。

(2)利用智慧城市数字技术的溢出机制,辐射技术创新的良性环境效应。在机制检验中非智慧城市只有通过技术效应获得了积极的环境影响。利用智慧城市的数字化优势为本地-邻地协同降污

提供技术支撑尤为重要。特别是,智慧城市应承担起带动周围非智慧城市技术发展的责任,扩展群际信息化网络,建设开放的协同创新平台,以革新绿色生产技术为主破除“以邻为壑”污染转移的困境。其中,提高技术补贴以促进数字信息技术在企业的生产、管理和研发等关键环节中的快速应用和深度融合,鼓励头部高科技企业与非智慧城市中的研发机构开展共同研发项目,带动整个区域的技术升级,实现“先智”带“后智”。

(3)筑牢重污染产业的协同监管体系,避免非智慧城市成为“污染避难所”。研究发现智慧城市的污染转移现象实际上隐藏在产业转移的表象之下。智慧城市应利用好本地的资源优势与技术优势,迫使高排放、高污染与高耗能产业转型升级而不是转移。以产业集聚为依托,形成城市间密切的产业良性互动,促进绿色行业内的研发人员、资本和清洁产品等资源跨区域流动。充分发挥工业集聚的减排效应,强制重污染企业迁入工业园,并提供配套基础设施和统一排放治理的政策与资金支持,严格限制重点企业的污染排放量并重点监测。针对区域间智慧城市政策引致污染就近转移的作用范围,制定差异化产业规制政策,构筑产业协同监管机制,推动相邻城市同步环境标准,联动构建城市圈一体化的清洁产业体系。

参考文献(References):

- [1] 张荣博, 钟昌标. 智慧城市试点、污染就近转移与绿色低碳发展: 来自中国县域的新证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(4): 91-104. [Zhang R B, Zhong C B. Smart city pilot projects, nearby pollution transfer, and green and low-carbon development: New evidence from Chinese counties[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(4): 91-104.]
- [2] 卢洪友, 张奔. 长三角城市群的污染异质性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8): 110-117. [Lu H Y, Zhang B. Study on pollution heterogeneity of urban agglomeration in Yangtze River Delta[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 110-117.]
- [3] Satterthwaite D. Environmental transformations in cities as they get larger, wealthier and better managed[J]. The Geographical Journal, 1997, DOI: 10.2307/3060185.
- [4] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(1): 36-60. [Shao S, Zhang K, Dou J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. Journal of Management World, 2019, 35(1): 36-60.]
- [5] 陆铭, 李鹏飞. 城乡和区域协调发展[J]. 经济研究, 2022, (8): 16-25. [Lu M, Li P F. Urban, rural and regional coordinated development[J]. Economic Research Journal, 2022, (8): 16-25.]
- [6] Ehrhardt-Martinez K, Crenshaw E M, Jenkins J C. Deforestation and the environmental Kuznets Curve: A cross-national investigation of intervening mechanisms[J]. Social Science Quarterly, 2002, 83(1): 226-243.
- [7] Martin C, Evans J, Karvonen A, et al. Smart-sustainability: A new urban fix?[J]. Sustainable Cities and Society, 2018, DOI: 10.1016/j.scs.2018.11.028.
- [8] Bibri S E, Krogstie J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review[J]. Sustainable Cities and Society, 2017, 31: 183-212.
- [9] Marsal-Llacuna M L, Colomer-Llinas J, Melendez-Frigola J. Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the smart cities initiative[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2015, 90(1): 611-622.
- [10] Chu Z, Cheng M W, Yu N N. A smart city is a less polluted city[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121037.
- [11] 石大千, 丁海, 卫平, 等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018, (6): 117-135. [Shi D Q, Ding H, Wei P, et al. Can smart city construction reduce environmental pollution[J]. China Industrial Economics, 2018, (6): 117-135.]
- [12] Yao T T, Huang Z L, Zhao W. Are smart cities more ecologically efficient? Evidence from China[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, DOI: 10.1016/j.scs.2019.102008.
- [13] 刘伟丽, 陈腾鹏. 智慧城市建设对企业绿色技术创新的影响研究: 基于数字化转型的调节效应分析[J]. 经济纵横, 2023, (7): 68-78. [Liu W L, Chen T P. Research on the impact of smart city construction on green technology innovation of enterprises: Analysis of regulatory effects based on digital transformation[J]. Economic Review Journal, 2023, (7): 68-78.]
- [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, 29(5): 105-112. [Huang H P, Xie Y F, Li N. Does smart city construction promote low-carbon development? “Quasi-natural experiment” based on national smart city pilot[J]. Urban Development Studies, 2022, 29(5): 105-112.]
- [15] 郭庆宾, 汪涌. 城市发展因智慧而绿色吗?[J]. 中国软科学, 2022, (9): 172-183. [Guo Q B, Wang Y. Smarter the city develops, the greener the city develops?[J]. China Soft Science, 2022, (9):

2024年8月

- 172-183.]
- [16] 宣畅, 张万里. 智慧城市、经济集聚与绿色全要素生产率[J]. 现代经济探讨, 2021, (9): 12-25. [Xuan Y, Zhang W L. Smart city, economic agglomeration and green total factor productivity[J]. Modern Economic Research, 2021, (9): 12-25.]
- [17] 姚璐, 王书华, 范瑞. 智慧城市试点政策的创新效应研究[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(2): 94-111. [Yao L, Wang S H, Fan R. Research on the innovation effect of smart city pilot policies[J]. Research on Economic and Management, 2023, 44(2): 94-111.]
- [18] Mosannenzadeh F, Bisello A, Vaccaro R, et al. Smart energy city development: A story told by urban planners[J]. Cities, 2017, 64: 54-65.
- [19] Yan Z M, Sun Z, Shi R. Smart city and green development: Empirical evidence from the perspective of green technological innovation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2023, DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122507.
- [20] Keller W, Levinson A. Pollution Abatement Costs and Foreign Direct Investment Inflows to U.S. States[J]. Review of Economics and Statistics, 2002, 84(4): 691-703.
- [21] 苏丹妮, 盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排: 来自中国的微观新证据[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(5): 1793-1816. [Su D N, Sheng B. Industrial agglomeration, agglomeration externalities and firm emission reduction: New micro evidence from China[J]. China Economic Quarterly, 2021, 21(5): 1793-1816.]
- [22] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗: 来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济, 2021, (2): 136-154. [Tao F, Zhao J Y, Zhou H. Does environmental regulation improve the quantity and quality of green innovation: Evidence from the target responsibility system of environmental protection[J]. China Industrial Economics, 2021, (2): 136-154.]
- [23] 沈坤荣, 金刚, 方嫻. 环境规制引起了污染就近转移吗?[J]. 经济研究, 2017, 52(5): 44-59. [Shen K R, Jin G, Fang X. Do environmental regulations cause pollution to move closer? [J]. Economic Research Journal, 2017, 52(5): 44-59.]
- [24] 张红丽, 沈镭, 李艳梅. 京津冀经济活动隐含的碳排放转移: 基于多区域投入产出模型的分析[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2287-2298. [Zhang H L, Shen L, Li Y M. Carbon dioxide emission transfers embodied in interregional economic activities in Beijing-Tianjin-Hebei according to multiregional input-output model[J]. Resources Science, 2017, 39(12): 2287-2298.]
- [25] 朱泳丽, 丁利杰. 长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素: 基于产业转移视角[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1373-1387. [Zhu Y L, Ding L J. Spatial effects and influencing factors of carbon emission intensity in Yangtze River Delta urban agglomeration: An industrial transfer-based perspective[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1373-1387.]
- [26] 金刚, 沈坤荣, 李剑. “以地谋发展”模式的跨界污染后果[J]. 中国工业经济, 2022, (3): 95-113. [Jin G, Shen K R, Li J. The transboundary pollution consequences of land-driven development mode[J]. China Industrial Economics, 2022, (3): 95-113.]
- [27] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地-邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019, (1): 100-118. [Dong Q Z, Wang H. Local-neighborhood effect of green technology of environmental regulation[J]. China Industrial Economics, 2019, (1): 100-118.]
- [28] 刘华军, 彭莹. 雾霾污染区域协同治理的“逐底竞争”检验[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 185-195. [Liu H J, Peng Y. A “race to the bottom” test of collaborative management in haze pollution area[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 185-195.]
- [29] Angelidou M. Smart city policies: A spatial approach[J]. Cities, 2015, DOI: 10.1016/j.cities.2014.06.007.
- [30] Levinson A, Taylor M S. Unmasking the pollution haven effect[J]. International Economic Review, 2008, 49(1): 223-254.
- [31] 丁焕峰, 孙小哲, 王露. 创新型城市试点改善了城市环境吗?[J]. 产业经济研究, 2021, (2): 101-113. [Ding H F, Sun X Z, Wang L. Has the innovative cities pilot project improved the urban environment?[J]. Industrial Economics Research, 2021, (2): 101-113.]
- [32] 石大千, 李榕, 刘建江. 信息化冲击、交易成本与企业TFP: 基于国家智慧城市建设的自然实验[J]. 财贸经济, 2020, (3): 117-130. [Shi D Q, Li G, Liu J J. Informatization impact, transaction cost and TFP of enterprise: Natural experiments based on Chinese smart city construction[J]. Finance and Trade Economics, 2020, (3): 117-130.]
- [33] 盛科荣, 王丽萍, 孙威. 网络权力、知识溢出对中国城市绿色经济效率的影响[J]. 资源科学, 2021, 43(8): 1509-1521. [Sheng K R, Wang L P, Sun W. Impacts of network power and knowledge spillovers on China's urban green economic efficiency[J]. Resources Science, 2021, 43(8): 1509-1521.]
- [34] Lipscom M, Mobarak A M. Decentralization and pollution spillovers: Evidence from the re-drawing of county borders in Brazil[J]. Review of Economic Studies, 2017, DOI: 10.1093/restud/rdw023.
- [35] 张中祥, 曹欢. “2+26”城市雾霾治理政策效果评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(2): 26-36. [Zhang Z X, Cao H. Quantitative assessment of the effects of the air pollution control policy in the ‘2+26’ cities[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(2): 26-36.]
- [36] Chagas A L S, Azzoni C R, Almeida A N. A spatial difference-in-differences analysis of the impact of sugarcane production on respiratory diseases[J]. Regional Science and Urban Economics, 2016, DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2016.04.002.
- [37] 王群勇, 王西贝. 高铁对城市经济增长的差异化溢出效应研

- 究[J]. 经济纵横, 2022, (3): 47-58. [Wang Q Y, Wang X B. Research on differential spillover effect of high-speed rail on urban economic growth[J]. Economic Review Journal, 2022, (3): 47-58.]
- [38] 邓荣荣, 张翔祥, 陈鸣. 低碳试点政策对生态效率的影响及溢出效应: 基于空间双重差分的实证分析[J]. 调研世界, 2022, (1): 38-47. [Deng R R, Zhang A X, Chen M. The impact and spillover effect of low-carbon pilot policies on ecological efficiency: An empirical analysis based on spatial differential analysis[J]. Research World, 2022, (1): 38-47.]
- [39] 沈坤荣, 金刚. 中国地方政府环境治理的政策效应: 基于“河长制”演进的研究[J]. 中国社会科学, 2018, (5): 92-115. [Shen K R, Jin G. The policy effects of local governments' environmental governance in China: A study based on the evolution of the "river-director" system[J]. Social Sciences in China, 2018, (5): 92-115.]
- [40] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34. [Chen S Y, Chen D K. Air pollution, government regulations and high-quality economic development [J]. Economic Research Journal, 2018, 53(2): 20-34.]
- [41] 朱平芳, 张征宇, 姜国麟. FDI与环境规制: 基于地方分权视角的实证研究[J]. 经济研究, 2011, 46(6): 133-145. [Zhu P F, Zhang Z Y, Jiang G L. FDI and environmental regulation: An empirical study from the perspective of decentralization[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(6): 133-145.]
- [42] 高达, 李格. 政府合作与城市群能源效率: 基于长三角城市经济协调会的准自然实验[J]. 软科学, 2022, 36(2): 78-85. [Gao D, Li G. Government cooperation and energy efficiency of urban agglomeration: A quasi-natural experiment based on the Yangtze River Delta urban economic coordination committee[J]. Soft Science, 2022, 36(2): 78-85.]
- [43] 张治栋, 赵必武. 智慧城市建设对城市经济高质量发展的影响: 基于双重差分法的实证分析[J]. 软科学, 2021, 35(11): 65-70. [Zhang Z D, Zhao B W. The impact of smart city construction on the high-quality development of urban economy: Empirical analysis based on double difference method[J]. Soft Science, 2021, 35(11): 65-70.]
- [44] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(5): 4-16. [Gan C H, Zheng R G, Yu D F. The impact of industrial structure change on economic growth and fluctuation in China[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(5): 4-16.]
- [45] 朱英明, 杨连盛, 吕慧君, 等. 资源短缺、环境损害及其产业集聚效果研究: 基于21世纪我国省级工业集聚的实证分析[J]. 管理世界, 2012, (11): 28-44. [Zhu Y M, Yang L S, Lv H J, et al. Resource shortage, environmental damage and the effect of industrial agglomeration: an empirical analysis of provincial industrial agglomeration in China in the 21st century[J]. Journal of Management World, 2012, (11): 28-44.]
- [46] Hung M Y, Shi J, Wang Y X. The effect of mandatory CSR disclosure on information asymmetry: Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. Social Science Electronic Publishing, 2013, DOI: 10.2139/ssrn.2206877.

Spatial spillover effects of smart city pilot on neighboring environments

BAI Yang, QIU Zirui

(School of Economics and Management, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: **[Objective]** Smart cities apply the next generation information technology to resource and environmental management to promote sustainable urban development. Existing studies focus on the local environmental governance effects of smart cities, but ignore their possible impacts on the environmental pollution of neighboring areas and differential spillover effects on neighboring smart cities and non-smart cities. **[Methods]** Based on the panel data of 217 prefecture-level cities in China from 2005 to 2020, the smart city pilot was taken as a quasi-natural experiment, and the local area-neighboring area pollution effect of smart city construction was evaluated by using the spatial Dubin differential model. **[Results]** The study found that: (1) Smart city policies had significant positive spillover effects on neighboring area pollution emissions under the four spatial matrices, and the results are still valid after the robustness test of data winsorization, falsification test, exclusion of other policy effects, and endogeneity test. (2) The analysis of the spatiotemporal dynamic effect of policies showed that the spillover effects of smart cities on pollution had a time lag, while the spatial distance followed the attenuation law of geographical distance. (3) The mechanism study showed that the construction of smart cities had a regional innovation effect, which reduced its pollution through knowledge spillover, but led to the transfer of traditional heavy industry and heavy polluting industries to neighboring non-smart cities and increased their pollution. **[Conclusion]** Although smart city policies optimize the local environment, they produce a “beggar-thy-neighbor” environmental pollution phenomenon, especially that mainly neighboring non-smart cities bear the pollution transfer. The government should emphasize the concept of collaborative governance in smart city policies and strengthen the awareness of regional joint prevention and control between local governments in neighboring areas, especially between smart cities and neighboring non-smart cities.

Key words: smart city; pollution transfer; spatial spillover effect; spatial difference-in-differences model; regional collaborative governance; China