

智慧城市建设能否降低环境污染

石大千, 丁海, 卫平, 刘建江

[摘要] 本文基于中国 2005—2015 年 197 个地级市的面板数据,在熊彼特创新理论和波特创新驱动理论的框架下,利用双重差分方法评估了智慧城市建设对城市环境污染的影响,并运用双重差分倾向得分匹配法(PSM-DID)进一步进行了验证。本文结论表明:①智慧城市建设显著降低了城市环境污染,平均而言可以降低城市环境污染 9%—24%,基于 PSM-DID 方法的估计结果与上述结论无明显差异。在考虑了 2013 年后的环境保护政策影响之后,虽然智慧城市降低环境污染的作用有所减弱,但其降污效果依然十分显著。②机制验证表明,智慧城市建设运用现代信息技术推动了城市发展模式的创新,通过创新驱动产生技术效应、配置效应和结构效应,进而通过上述三大效应降低了城市环境污染。③城市规模异质性研究表明,中等规模的智慧城市加剧了环境污染,而大型城市的智慧城市建设减污效应明显,智慧城市降低环境污染的效果随城市规模的扩大而增强。④城市特征异质性研究发现,人力资本水平、金融发展程度和信息基础设施水平较高的城市可以显著增强智慧城市的减污效应,且人力资本在智慧城市减污效应的释放中发挥的作用最大。本文对改善城市环境生态,升级城市建设形态以营造良好的城市生活生产环境具有重要的借鉴意义。

[关键词] 智慧城市; 环境污染; 城市规模; 创新驱动; 熊彼特创新

[中图分类号]F120 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2018)06-0117-19

一、引言

改革开放以来,中国经济经历了近 40 年的高速增长,与此同时,环境污染问题也日益严重。在 2014 年世界环境绩效排名中,中国在 178 个国家和地区中排名第 118 位,中国环境污染问题不容乐观。环境污染日益加剧带来一系列环境与发展问题,不仅严重危害了居民健康。中国环境科学研究院在 2011 年的报告中指出,中国居民 1/5 以上的医药支出用于防治由环境污染导致的疾病,而且严

[收稿日期] 2017-11-08

[基金项目] 国家社会科学基金一般项目“高房价抑制制造业转型升级的机理及对策研究”(批准号 17BJL006);教育部人文社会科学基金青年项目“风险投资与高技术企业技术创新三阶段关系研究”(批准号 17YJC630207);教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“发达国家再工业化对中国制造业转型升级的影响及对策研究”(批准号 17JZD022)。

[作者简介] 石大千,武汉大学质量发展战略研究院博士后,经济学博士。丁海,华中科技大学经济学院硕士研究生;卫平,华中科技大学经济学院教授,博士生导师,经济学博士;刘建江,长沙理工大学经济与管理学院副院长,教授,博士生导师,经济学博士。通讯作者:丁海,电子邮箱:sdqmarx@foxmail.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

重损害了经济运行效率。根据环保总局、世界银行以及中科院的测算,中国每年因环境问题导致的经济损失高达国民生产总值的 10%。因此,厘清造成环境污染的因素,寻求降低环境污染的方法不仅是环境经济学研究的主要课题之一,而且也是政府制定环境政策,提高经济发展质量的主要着眼点。毋庸置疑,对这一问题进行深入研究具有重要的理论价值和政策指导意义。

已有众多学者从不同角度对环境污染的影响因素进行了研究。研究发现,环境管制(Lutsey and Sperling, 2008)、FDI(Liang, 2014)、国际贸易(Ang, 2009)、政企合谋(梁平汉和高楠, 2014)、财税体制(Sigman, 2014; 贺俊等, 2016)、经济集聚(Ushifusa and Tomohara, 2013; 张可和汪东芳, 2014)、经济增长(Brajer et al., 2011; 王敏和黄滢, 2015)和城市化(Liddle and Lung, 2010)等,都是影响环境污染比较重要的因素。在这些影响因素研究中,与本文研究最相关的是城市化与环境污染的相关文献。但是,关于城市化与环境污染关系的研究结论却不一致,主要分为三种观点:第一种观点认为城市化加剧了环境污染。Grossman and Krueger(1995)基于跨国面板数据的实证分析表明,城市化与温室效应之间存在密切的相关关系。Kharel(2010)从土地使用角度证明城市化严重影响到当地的生态系统,进而导致生态环境的污染。且城镇化会通过增加能源消费需求而引致严重的环境污染问题(何晓萍等, 2009)。王会和王奇(2011)基于投入产出的实证分析显示,中国城镇化的发展直接推高了污染物的人均排放水平。杨冬梅等(2014)认为,城市化是造成环境污染的主要原因。刘宇(2014)认为由城镇化推动的工业化加快了中国环境恶化的速率。第二种观点认为城市化可以降低环境污染。Satterthwaite(1997)通过研究亚洲、非洲、拉丁美洲的发展中国家的城市环境问题,发现环境污染随着城市规模的扩大呈现缓解趋势,而小城市环境问题却最为严重。陆铭和冯皓(2014)研究发现,以人口和经济活动集聚为核心的城市规模的扩大有利于降低工业污染物的排放强度。张腾飞等(2016)认为,城镇化会增加居民受教育的机会和层次,积累的人力资本更有利于提供更多的清洁技术,可以降低环境污染程度。邓翔和张卫(2018)发现现阶段扩大城市规模对地区环境污染具有显著的抑制作用,通过数量分组、地域分组等方法进行异质性分析后,发现大城市和华北地区的城市规模扩大对环境污染的减缓作用更加显著。第三种观点致力于验证城市化与环境污染间的非线性关系。Ehrhardt-Martinez et al.(2002)认为城市化发展与林地毁坏具有倒 U 型的相关关系。王家庭和王璇(2010)基于不同时间区间的省级面板数据,证实了环境库兹涅茨曲线的存在。Martínez-Zarzoso and Maruotti(2011)建立了国际面板模型,发现城镇化与碳排放之间倒 U 型关系存在。何禹霆和王岭(2012)研究发现,城市化与工业废水呈正 U 型关系,与工业二氧化硫、粉尘、烟尘、固体废弃物排放关系不显著。焦若静(2015)基于新兴经济体国家研究发现,人口小国的城市化率与环境污染呈正向线性关系,中型国家的城市化率与环境污染呈 U 型关系,人口大国的城市化率与环境污染呈倒 U 型关系,人口小国的小城镇发展有利于改善环境质量,中型国家的小城镇与城市群均有助于降低环境污染,人口大国的小城镇与城市群都会对环境造成严重压力。周建仁和陈盈盈(2016)研究认为,城镇化对环境污染的影响具有以城乡均等化为标尺的门槛效应,城乡均等化水平较低时城镇化会加剧环境污染,而城乡均等化水平较高时城镇化不存在这种负面效应。文雯和王奇(2017)研究表明,从全国范围看,城市人均污染排放量随着城市人口规模的增加呈倒 U 型关系。本文认为,上述文献或许忽略了新型城市发展模式影响环境污染的效应,这为本文展开进一步深入研究提供了基础。

中国城市化发展进程表明,环境污染问题主要集中发生在城市区域。本文不禁思考,是否传统的城市发展模式无法逃离污染诅咒的怪圈?通过变革城市治理模式,促进城市技术创新发展,是否可以打破城市发展—环境污染的链条?由此,需要探索一种全新的城市发展模式。本文发现,中国政府于 2012 年施行的智慧城市试点政策就是这样一种全新的城市发展模式,是对传统城市发展模式

的革新。智慧城市概念源自2008年IBM提出的新型社会发展模式——“智慧地球”。随着城市在经济社会发展中的作用日益增大,智慧城市成为智慧地球战略实现的一个突破口和关键要素。作为一种新时代下的城市发展战略,进一步分析发现,智慧城市建设通过利用信息技术变革城市治理模式,提高城市资源配置和利用效率,不仅可以增强规模城市的集聚效应,进一步提高资源配置效率,也能够通过技术创新破解城市病,有益于城市环境治理。本文实证研究表明,智慧城市建设不仅可以强化城市规模扩大的集聚效应,还可以减弱规模过大而导致的拥挤效应。因此,城市发展过程中环境污染问题的关键不在于城市规模过大还是过小,而在于城市治理模式是否变革,城市技术进步是否提升。

基于以上分析,本文自然会问,新型的城市化发展模式是否会降低城市环境污染程度?各城市环境污染问题是否会由于智慧城市建设而缓解,从而实现区域经济的高质量发展?中国于2012年设立首批智慧城市试点,可以看做是新型城市发展模式的一次自然实验,为本文解答上述疑惑提供了绝佳机会。在城市化深入发展的背景下,研究新型城市化发展模式的影响,具有十分重要的理论价值和实践指导意义。

迄今对智慧城市的研究多处于定性分析阶段,基本没有关于智慧城市对经济影响的实证文献,遑论智慧城市对环境污染影响的研究。可以说,本文是首篇基于智慧城市建设试点,利用双重差分方法评估新型城市发展模式对环境污染影响的文献。本文可能的贡献主要在于:①首次利用智慧城市试点政策评估了其对环境的影响,丰富了关于环境污染影响因素方面的文献。②基于熊彼特创新理论和创新驱动理论研究了新型城市发展模式的环境效应,丰富了关于城市化与环境污染方面的文献。同时,本文基于熊彼特创新理论和波特创新驱动理论初步尝试构建了智慧城市建设影响环境污染的理论框架。③本文利用PSM-DID方法评估智慧城市建设的减污效应,丰富了PSM-DID方面的文献。

二、政策背景与研究假设

1. 智慧城市建设的政策背景

20世纪90年代后期,西方国家由“城市蔓延”带来的城市病问题日益加剧,为促进城市健康可持续发展,“新城市主义”和“智慧增长”运动开始兴起,智慧城市理念初具雏形。2008年底,IBM公司首次提出“智慧地球”战略,并进一步将智慧城市作为这一战略的突破口和关键点。智慧城市的定义是,将各类智能感应器、传感器等嵌入到建筑物、电网、公路、桥梁、供水系统、大坝等物体中,通过互联形成物联网,实时动态感测城市中组织(人)、业务(政务)、交通、通讯、水和能源等核心系统运行中的关键信息,进而运用云计算和超级计算机对城市运行中产生的大数据资源进行分析和整合,实现对城市资源的精细和动态高效配置,最终实现城市中生产活动、公共安全、民生、政府服务等智慧式治理和运行以及城市的和谐、可持续发展。

进入21世纪,伴随着新一代信息通信技术的快速发展,世界各国相继掀起了智慧城市的建设热潮,目前全球已启动或在建的智慧城市已达1000多个,未来还将以20%的速度增长。在欧洲,为提升城市竞争力并解决城市病问题,许多国家都确定了智慧城市发展战略,并且主要在交通、能源、公共服务以及基础设施等领域完成了智慧化实践。2005年欧盟正式实施“i2010”战略,并于2006年发起欧洲智慧城市网络建设计划。英国、爱尔兰、德国等也相继推出“数字英国”计划、“T-CITY”实验以及“智慧湾”项目。在亚洲,作为智慧城市的主要实践国之一,韩国政府于2004年推出“U-Korea”发展战略,以信息通信技术为依托,力图建设环保、数字化、无缝移动连接的智慧型城市。新

加坡在 2006 年制定为期十年的“智慧国 2015”计划,运用信息及通信技术实现政府、企业、个人以及基础设施的高度融合,实现信息驱动下的智能国家蓝图。日本于 2009 年推出“I-Japan”战略,重点实现电子政务、医疗卫生、教育等三大公共领域的智慧化管理和运行。在美国,2009 年,迪比克市与 IBM 合作,建立了美国第一个智慧城市,运用物联网将城市中的各种公共资源连接起来,通过分析、整合大数据信息对居民需求做出智能化响应。

伴随着世界各国智慧城市建设浪潮,中国政府也紧随其后。2010 年开始,中央及地方政府就分别从顶层设计到具体应用不断推出指导和鼓励智慧城市建设的相关政策。2012 年 12 月 5 日正式发布“关于开展国家智慧城市试点工作的通知”,并印发《国家智慧城市试点暂行管理办法》和《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(试行)》。首批国家智慧城市试点共涉及 90 个地、县级城市。2014 年,颁布《国家新型城镇化规划》,将智慧城市作为城市发展的新模式,要求大力推进智慧城市建设。2015 年出台《关于开展智慧城市标准体系和评价指标体系建设及应用实施的指导意见》加快推进相关标准制定,智慧城市标准化制定工作正式提上国家日程。更为重要的是,2015 年中央政府首次将智慧城市建设写入政府工作报告,2017 年写进党的十九大报告,与科技强国、质量强国、航天强国、网络强国、交通强国、数字中国等并列。“十三五”期间,中国将进入智慧城市 2.0 时代,规划对智慧城市的投资规模将超过 5000 亿元,并将组织 100 个城市大力推进智慧城市建设。截至 2015 年底,中国 85% 以上的城市都在进行智慧城市建设,智慧城市试点已接近 300 个。可以预见,智慧城市建设将会对中国经济发展的各个方面产生重大而深远的影响。

2. 机制分析

基于前文关于智慧城市建设背景的分析,本文认为智慧城市是传统城市演变发展的新形态,实际上是一种基于社会科技进步和组织变革的重大创新,重大创新将会驱动城市跃升到高级形态。结合熊彼特创新理论^①的主要内容,智慧城市可以理解为融合了技术创新、产品创新、市场创新、资源配置创新和组织创新在内的城市发展模式的一种综合创新。进一步结合波特的创新驱动理论,五大创新是创新驱动的主体内容,是创新驱动的起点。智慧城市是国家经济发展迈上“创新驱动”(Innovation-Driven)阶段的一个重要标志,而由创新驱动推进的智慧城市建设产生技术效应、配置效应和结构效应^②,是创新驱动的过程。三种效应反映在环境保护上,则产生了不断减少环境污染的结果,这是创

① 熊彼特明确指出“创新”的五种情况:采用一种新的产品——也就是消费者还不熟悉的产品——或一种产品的一种新的特性;采用一种新的生产方法,也就是在有关的制造部门中尚未通过经验检定的方法,这种新的方法决不需要建立在科学上新发现的发现的基础之上,并且,也可以存在于商业上处理一种产品的新的方式之中;开辟一个新的市场,也就是有关国家的某一制造部门以前不曾进入的市场,不管这个市场以前是否存在过;掠取或控制原材料或半制成品的一种新的供应来源,也不问这种来源是已经存在的,还是第一次创造出来的;实现任何一种工业的新的组织,比如造成一种垄断地位,或打破一种垄断地位。学界将这五个方面归纳为五个创新,依次对应产品创新、技术创新、市场创新、资源配置创新、组织创新。

② 本文基于创新理论归纳的三大效应并不是凭空创造,而是基于 Grossman and Krueger(1991)的分析,并进一步将其应用到智慧城市建设中。Grossman and Krueger(1991)将规模效应定义为由于贸易和投资活动的增加导致经济活动的扩张,且如果这种类型经济活动的扩张不断持续,将会导致整体污染排放增加。但是,从降低环境污染的角度,这一效应无法与本文智慧城市建设结合,因此,本文将规模效应相机更改为配置效应。根据 Grossman and Krueger(1991)的分析,规模效应在不改变经济活动类型的情况下才会增加污染排放。当调整和优化经济活动的类型时,规模效应可以降低污染排放。这一分析正好与资源配置相契合。其他两个效应分别与本文相对应。

新驱动城市发展的必然。

基于这种考量,本文认为,智慧城市建设对环境污染的影响机制将遵循如下逻辑:智慧城市建设—(城市发展新模式)—五大创新—(创新驱动)—三大效应——降低环境污染^①。

根据逻辑框架,本文首先要厘清智慧城市建设对传统城市发展模式的创新主要体现在哪些方面,这是智慧城市建设创新驱动的起点。由于本文在实证部分的分析是基于城市工业企业排污数据,因此,在理论分析部分将重点聚焦于分析智慧城市建设对微观企业排污行为的影响。基于熊彼特创新理论的五个方面,智慧城市建设创新发展具有以下特点。

技术创新:智慧城市建设通过将各类传感器、智能监控设备等智慧因子应用到城市企业生产活动中,对企业污染治理模式与技术手段进行全方位优化升级,实时动态采集与企业排污活动密切相关的大气、水、能源等各种资源信息,智慧感测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。企业传统的排污和治理方式由此变革为智慧治理模式。

产品创新:智慧城市建设推动信息技术和智能技术应用于企业传统产品中,提高了企业产品及其生产过程中的信息化和智慧化水平,顺应环境净化与生态优化而实现企业传统产品的升级换代。

市场创新:智慧城市的新经济发展需要依托物联网、大数据、移动互联、云计算等新一代信息产业,以及新能源、新材料产业,从而开拓了以新技术和高科技产品为需求主导的新兴市场。而且这些产业的兴起又会带动信息服务、研发、设计、软件、商务服务等生产性服务业的发展,同时催生更多以人才、技术、知识为导向的新兴经济增长点(邓雅君和张毅,2013)。于是,智慧城市下的创新行为将愈益挤压环境污染产业的空间直至驱逐之。

资源配置创新:智慧城市通过借助物联网技术、云计算、SON/IPV6技术、数据挖掘等信息技术,全方位和实时感知城市(具体到本文的焦点即是企业生产和运营活动)发展动态,以构建城市发展动态大数据库,并对收集到的大数据运用云计算进行智能分析和处理,以供经济主体决策之用。对于企业而言,可以通过对市场需求量、需求偏好等需求模式,实行连续实时的动态监控,调整和改变当前的组织方式和商业模式以不断贴近市场需求,实现企业资本、劳动力和能源等生产要素的灵活调度,不断提升企业资源利用效率,避免资源浪费,降低污染物排放强度。

组织创新:智慧城市建设运用新兴信息技术变革传统产业和企业中的组织管理形式,促使其向科学管理、信息管理、网络化管理方向转变。在此过程中,逐步实现传统企业管理模式向智慧治理转变,提高企业经营管理水平和运营效率,降低管理效率低下造成的资源浪费。

上述分析表明,从企业生产和经营的角度而言,智慧城市建设融合了熊彼特创新理论的五个方面,是城市技术创新和组织创新跃升到高级阶段的重要标志之一,是城市发展由要素驱动、投资驱动向创新驱动转变的重大举措。这一变革历程契合了波特的经济发展驱动理论,他认为经济发展是一个由要素驱动→投资驱动→创新驱动的不断上升和高级化的过程。当前,中国正在进入创新驱动的高级发展阶段,而智慧城市建设正是以创新驱动为主导的城市发展新模式。在智慧城市建设的创新驱动下,五大创新又内生地具有技术效应、配置效应和结构效应,从而促进环境污染日益减少。分而言之,基于智慧城市发展的技术效应,本质上会自然抵制和持续消除环境污染。基于智慧城市发展的结构效应,则直接促进了产业结构的不断优化从而产生持续降污效果。其实,降污本身即为结构优化的题中应有之义。智慧城市下的结构优化表现为体量大、污染强的产业及其资源配置活动向外转移和低水平、高能耗、高污染产业及其资源配置方式的不断升级迭代。中国政府在建设智慧城

① 机制图请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)公开附件。

市过程中通过实施创新驱动发展战略实现配置优化、技术进步和结构升级,进而推动城市环境治理产生显著成效,可谓创新驱动理论中国版的经验证明。

依据创新驱动理论的分析思路,本文需要建立起五大创新与三大效应之间的联系,这是智慧城市建设创新驱动发展从而降低环境污染的关键节点。本文进一步梳理如下:

技术创新驱动技术效应和结构效应。王治东和张琳(2016)通过对智慧城市的核心要素进行研究发现,新一代信息技术产业和新材料产业的发展,会促进高端人才、高新企业、研发资本等创新要素的集聚,进而全面提升当地的技术进步水平(技术效应)。传统城市产业发展主要依靠劳动、资本等传统要素投入,而智慧城市依托的物联网等信息技术,是以知识、技术等要素投入为主,具有低成本扩散、边际收益递增和规模报酬递增的特点(刘克逸,2003),有助于加快其与传统产业的融合,优化其产品结构和质量,提升传统行业的运行效率,进而驱使传统产业更加快速高效地实现改造升级,实现结构升级(结构效应)。

产品创新驱动技术效应和结构效应。产品创新是以产品技术含量提高和质量升级为主要特征的生产过程,产品升级换代的过程即为技术创新不断进步的过程(技术效应)。企业产品实现升级换代,意味着其传统的生产技术、生产设备及生产方式的更新升级,将直接优化企业的生产模式和资源利用效率,企业发展走向更高级的生产形态。当行业内所有或者大部分企业在产品创新升级的过程中实现转型,整个行业将实现由粗放型向技术集约型转变(结构效应)。

市场创新驱动配置效应和结构效应。智慧城市的新经济发展需要依托物联网、大数据、移动互联网、云计算等新一代信息技术产业,以及新能源、新材料产业,这些新兴产业的发展会带动资本、劳动、技术及信息等要素向该领域流动和集聚,优化新兴产业和传统产业的资源配置结构(配置效应)。且这些产业的兴起会带动信息服务、研发、设计、软件、商务服务等生产性服务业的发展,同时催生更多以人才、技术、知识为导向的新兴经济增长点,新兴经济的市场需求扩大,吸引企业增加对这部分市场需求的供给,从而实现新兴经济的产业集聚,加快地区产业结构升级(结构效应)。

资源配置创新驱动配置效应。智慧城市建设伴随着智慧技术深入发展,智慧物流、智慧交通、智慧社区等可以实现城市中物流、人流、信息流、交通流的协调高效运转,高效运转的物流、人流、信息流、交通流降低了企业生产经营活动中的交易成本,进而提高企业资源配置效率。不仅可以降低能源消耗强度,还能够提高各种污染排放物的处理效率,提升企业环保能力和治理水平(配置效应)。

组织创新驱动配置效应。智慧城市运用新兴信息技术变革传统产业和企业的组织管理形式,促使其向科学管理、信息管理、网络化管理方向转变。企业通过智慧技术采用科学管理和信息管理模式,调整和改变当前的组织方式和商业模式,以捕捉瞬息万变的市场需求,提高企业资本、劳动力和能源等生产资源的配置调度效率,提升企业资源利用效率,避免资源浪费(配置效应)。

基于上述分析,本文提出预备假设:智慧城市建设具备创新发展特点,且在创新驱动下产生了技术效应、配置效应和结构效应。

在上述分析中,本文讨论了智慧城市建设创新驱动的起点(五大创新)和过程(三大效应),而要最后落脚于创新驱动的城市发展新模式对环境污染的影响,本文需在前述理论基础上分析内生于五大创新的三大效应是如何降低环境污染的,具体分析如下:

刘睿劼和张智慧(2012)基于中国工业经济和环境数据研究认为,中国工业污染减排的主要动力在于技术效应。智慧城市建设的技術效应对环境污染的影响主要在于新技术的进步以及以技术进步为基础的能源消耗的降低。一方面,技术效应促进了生产技术、节能技术和环保技术的进步,降低了环境污染。在环境约束趋紧的背景下,智慧城市建设过程中的技术创新会加快企业节能技术、

环保技术的研发和应用。通过将环保产品以及技术创新所提供的清洁生产技术应用用于能源系统和生产系统,从本质上提高企业资源使用效率,可以形成前端预防,增强城市企业环境污染的防治和治理水平,从而降低环境污染。智慧城市建设中实行智能监控系统的实时监测,提高了企业对环境污染的监控力度和污染信息的获取能力,能够有针对性地对各种污染物和污染源进行有效治理,促进环境保护。尤其是对污染行业和企业而言,智能监控系统的运用,极大地提高了重污染行业对其污染物生产和排放的监测,并进而有利于污染行业和企业采取针对性措施管理和处置超标污染物的排放,最终实现污染企业相对环保生产。李斌和赵新华(2011)基于中国工业行业数据的研究发现,技术效应通过提高行业生产技术和污染治理技术分别使得二氧化硫排放降低 265%和 208%。另一方面,智慧城市技术创新有利于企业研发多种清洁能源,增加清洁能源使用量,替代污染性能源,提高能源利用率和改变能源使用结构,降低能源消耗,从而降低污染排放。更重要的是,污染行业和企业通过采用清洁能源不仅实现对高污染高消耗能源的替代,还能够降低其由于使用高污染能源而增加的生产成本,提高企业利润水平;并进一步通过新增利润反过来增加企业对绿色清洁能源的使用,降低污染排放,形成企业生产良性循环。王飞成和郭其友(2014)研究表明,技术效应提高了城市生产效率,在促进经济增长的同时降低了单位 GDP 能耗,减少了污染物排放。基于此,本文提出:

假设 1:智慧城市建设在创新驱动下,通过技术效应减少企业污染物排放,降低城市环境污染。

智慧城市建设配置效应对环境污染的影响可以从资源配置效率和利用效率角度解释。一方面,在发育良好、竞争充分的市场体系中,要素资源不断流向高效率高技术低能耗的企业,最终在各个产业和行业间达到合理的配置。且新市场的开拓与创新会吸引资源向新兴市场集聚,实现资源重新配置。另一方面,为保护产能落后、资源耗费高、污染严重、生产效率低的产业免受淘汰,政府会通过扭曲要素市场达到目标,导致资源配置不合理,从而降低能源效率(林伯强和杜克锐,2013),而能源低效率利用是导致污染物排放的重要原因(金培振等,2014),且资源错配也会全要素生产率产生重要影响,同样的产出需要消耗更多的能源,从而加重环境污染(罗德明等,2012; Ryzhenkov, 2016)。从智慧城市建设角度而言,智慧城市的技术架构需要依托以物联网、大数据、移动互联、云计算等为主的新一代信息技术产业,以及以新能源材料、信息材料等为主的新材料产业,这些产业均是技术密集型的低污染行业。其发展会带动资本、劳动、技术和信息等要素向该领域流动和集聚,优化新兴产业和传统产业资源配置结构,提高配置效率。同时,企业借助智慧信息技术,通过对市场需求量、需求偏好等需求模式实行连续实时的动态监控,调整和改变当前的组织方式和商业模式以不断贴近市场需求,实现企业资本、劳动力和能源等生产资源的灵活调度,不断提升企业资源利用效率,避免资源浪费,降低废弃污染物排放,进而减少环境污染(王治东和张琳,2016)。对于污染行业和企业而言,新兴产业的发展会形成对传统污染行业 and 企业的倒逼效应,不仅能够促进智慧要素流向污染行业和企业,淘汰污染行业 and 企业的落后产能,还能够通过“鲶鱼效应”优化污染行业 and 企业的资源配置效率。此外,新兴产业的示范效应可以优化污染行业 and 企业的生产经营模式,提高其资源利用效率,降低其能源消耗,减少污染物排放。基于此,本文提出:

假设 2:智慧城市建设在创新驱动下,提高资源配置效率和利用效率,通过配置效应减少企业污染物排放,降低城市环境污染。

智慧城市建设的结构效应对环境污染的影响主要在于通过增加新兴要素的投入和提高新兴产业的发展比重降低了环境污染。与依靠劳动、资本等传统要素投入的产业不同,智慧城市依托的物联网等信息技术是以知识、技术等要素投入为主,具有低成本扩散、边际收益递增和规模报酬递增的特点(刘克逸,2003)。新要素的投入有助于加快其与传统产业的融合,优化其产品结构和质量,提

高能源利用效率,不断提升传统行业的运行效率,进而驱使传统产业更加快速高效地实现改造升级,最终促使其向低能耗低排放的方向转变(徐盈之和孙剑,2009;李晓钟等,2017)。智慧城市的经济发展需要依托以物联网、大数据、移动互联、云计算等为主的新一代信息技术产业,以及新能源、新材料产业,这些产业的兴起又会带动信息服务、研发、设计、软件、商务服务等生产性服务业的发展,同时催生更多以人才、技术、知识为导向的新兴经济增长点(邓雅君和张毅,2013)。这些产业发展比重的提高会加快区域产业结构升级,并因其高附加值、高技术含量和低能耗、低污染的行业特点而减少污染排放,提高环境质量。但是,就目前智慧城市相关新兴产业的发展来看,新兴产业发展比重比较低,尚处于起步阶段。因此,新兴产业通过升级产业结构降低企业污染排放的作用是比较小的。但是,作为未来产业和企业发展的方向,当新兴产业发展比重达到较大比例时,整个行业的污染排放水平都会因此而大幅度下降。从降低污染行业和企业排污水平的角度来看,智慧城市建设中大量使用智慧要素,将大幅度淘汰污染行业和企业所使用的传统高耗能和高污染要素,通过改变和优化污染行业和企业要素投入结构,改善和优化这些行业和企业生产结构和经营模式,污染物排放减少也就自然而然了。此外,从产业发展趋势和绿色经济发展方向而言,污染行业和企业的发展模式是不可持续的,也不符合经济高质量发展要求,而新兴产业发展的模式和生产管理经验为污染行业和企业调整生产方式提供了借鉴,“示范效应”和“倒逼效应”将极大推动污染行业和企业降低污染排放,实现绿色生产。基于此,本文提出:

假设3:智慧城市建设在创新驱动下,增加新要素投入和提高新兴产业比重,通过结构效应减少企业污染物排放,降低城市环境污染。

三、研究设计

1. 模型设定

中国于2009年提出智慧城市建设构想,正式设立智慧城市试点始于2012年,首批设立的智慧城市包含90个地、县级城市,本文可以将智慧城市试点政策看作是一次准自然实验,利用双重差分法评估智慧城市的环境绩效。本文对智慧城市环境绩效的评估主要基于2012年的试点城市样本,将2012年试点设立的智慧城市定义为实验组,非试点城市定义为控制组(具体的实验组和控制组下文详述)。鉴于2013年和2014年分别出现第二批和第三批智慧城市试点城市,本文利用2013年和2014年的试点城市检验本文结果的稳健性。由于政策发生时间较晚,实验期数据样本较短,本文所研究的智慧城市效应均是短期影响,更长期的影响还需进一步完善的数据来实现。本文使用双重差分法(Difference-in-differences, DID)评估智慧城市建设的环境绩效,根据DID模型设立的基本步骤,构建两个虚拟变量:①实验组和控制组虚拟变量。实验组为智慧城市试点城市,定义为1;控制组为非试点城市,定义为0。②政策时间虚拟变量。2012年及之后定义为1,之前定义为0。本文使用地级市层面数据样本,在选取实验组和控制组过程中,本文进行了以下处理:①某些地级市在设立智慧城市时,只将地级市内的某个县或区作为试点城市(如唐山市将曹妃甸区和滦南县作为试点城市)。由于本文使用的是地级城市样本数据,如果将该地级市作为试点城市会低估智慧城市的减污绩效。因此,将这一类地级市从样本中剔除。②为了尽量延长政策估计的时间区间,本文以2012年的智慧城市为实验组作为基准回归。由于2013年和2014年分别有新的智慧城市出现,为了保证本文估计结果为2012年试点政策的净效应,剔除2013年和2014年新出现的智慧城市。本文选取设立智慧城市的省内其他地级市为控制组^①。

^① 实验组和控制组样本详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)公开附件。

但是,中国不同城市发展具有较大异质性,不同城市之间很难满足时间效应一致的条件。因此,在运用 DID 方法前需要使实验组和控制组城市在各方面特征上尽可能地相似,也就是说选择与实验组特征尽可能相似的非智慧城市作为控制组。针对这一问题,本文可以利用从 Heckman(1976)、Rosenbaum and Rubin(1983)发展而来的倾向得分匹配法(PSM)来消除样本选择偏差。PSM 能够解决样本选择偏差问题,但不能避免因变量遗漏而产生的内生性问题,而 DID 能通过双重差分很好地解决内生性问题并得出政策处理效应,但不能很好地解决样本偏差问题,基于此,本文最终采取 PSM-DID 相结合的方法(董艳梅和朱英明,2016),从而更准确评估智慧城市建设降低环境污染的效应。

根据上述分析,本文基于 DID 方法的回归模型设定如下:

$$pollution_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

进一步地,本文基于 PSM-DID 方法进行稳健估计,具体步骤为:①利用 PSM 找到与实验组特征最接近的控制组,②利用匹配后的实验组和控制组进行 DID 回归。具体模型如下:

$$pollution_{it}^{PSM} = \alpha_0 + \alpha_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $pollution$ 为环境污染水平。 X 为相应模型的控制变量,控制一些影响环境污染的相关变量。 ε 为扰动项。模型(1)为环境污染效应模型,用于评估智慧城市对环境污染的影响,其中的控制变量包括经济发展水平、城市化、对外开放、技术创新和产业结构。

2. 数据说明

本文被解释变量为城市环境污染水平,借鉴相关文献(张可和汪东芳,2014)用工业三废表示环境污染水平,具体包括工业二氧化硫排放量(废气)、工业废水排放量和工业固体废弃物排放量。由于地级市数据中没有统计固体废弃物排放的数据,所以本文环境污染度量只包括废水和废气两项,以上指标均分为人均指标和绝对指标。本文还控制了其他影响城市环境污染水平的因素:

城市化,用非农业人口占总人口的比重表示(Panayotou, 1997; 李锴和齐绍洲, 2011)。对外开放,用进出口总额占 GDP 的比重度量,进出口总额用人民币对美元汇率进行换算(Cole, 2004; 李小平和卢现祥, 2010)。经济发展水平,用实际人均 GDP 的对数表示。根据环境库兹涅茨曲线,环境污染水平与经济发展水平之间呈倒“U”型关系。因此,加入经济发展水平的平方项。技术创新,用人均专利数表示(孙军和高彦彦, 2014)。产业结构,用第二产业增加值占 GDP 的比重衡量(Friedl and Getzner, 2003)。

本文所使用数据来自 2006—2016 年《中国城市统计年鉴》,部分地级市部分年份存在数据缺失,本文利用平均增长率方法将其补齐,最终得到 2005—2015 年中国 197 个地级市 11 年的平衡面板数据。从变量的基本统计结果看^①, Panel B 为智慧城市和其他城市环境污染水平差异性检验,检验结果显示,实验组废水和废气排放量均值和中值在政策试点后均显著下降,初步说明了智慧城市建设降低了环境污染水平。而控制组废水和废气排放量均值和中值同样在政策试点之后显著减少,但减少幅度显著小于实验组,这说明本文使用双重差分模型估计具有合理性,但具体政策效应的大小还需要计量方法进行验证。基于以上统计分析,本文利用双重差分估计方法和倾向得分匹配双重差分方法评估智慧城市建设对环境污染的影响。

① 具体结果请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件部分。

四、实证结果及分析

1. 智慧城市建设对环境污染的影响

作为城市建设方面的重大举措，智慧城市利用先进的信息技术和手段变革城市运行和治理模型，无疑将会提高城市资源配置效率，提升城市发展能力，从而能够为改善和治理环境问题提供物质和技术保障。因此，基于信息技术的智慧城市建设为本文研究提供了一个自然实验。因此，本文利用 DID 方法评估智慧城市建设对城市环境污染的影响。

表 1 中，模型(1)—模型(4)为不加入控制变量的模型，模型(5)—模型(8)加入控制变量进行回归，以上四个模型分别为智慧城市建设对人均废气排放量、人均废水排放量、废气排放总量、废水排放总量的影响。所有估计结果表明，无论是否加入控制变量，智慧城市建设对各项污染指标均为显著的负向影响，说明智慧城市建设显著降低了城市环境污染。其中，智慧城市建设显著降低了约 9.17% 的人均废气排放量和约 17.69% 的人均废水排放量，同时，也显著减少了约 9.28% 的废气排放总量和约 17.80% 的废水排放总量。

表 1 智慧城市建设对环境污染的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	人均废气 排放量	人均废水 排放量	废气 排放量	废水 排放量	人均废气 排放量	人均废水 排放量	废气 排放量	废水 排放量
<i>DID</i>	-0.2407*** (0.04)	-0.2229*** (0.04)	-0.1806*** (0.03)	-0.1629*** (0.04)	-0.0917** (0.04)	-0.1769*** (0.05)	-0.0928** (0.04)	-0.1780*** (0.05)
人均 GDP					1.0802*** (0.31)	-0.3102 (0.37)	1.0381*** (0.30)	-0.3522 (0.36)
人均 GDP 平方项					-0.0582*** (0.02)	0.0168 (0.02)	-0.0539*** (0.02)	0.0211 (0.02)
技术进步					-0.0605*** (0.02)	-0.0776*** (0.02)	-0.0281 (0.02)	-0.0452* (0.02)
城市化					0.2086*** (0.04)	0.1656*** (0.04)	-0.0066 (0.04)	-0.0495 (0.04)
对外开放					-0.0003 (0.02)	-0.0075 (0.02)	0.0037 (0.02)	-0.0035 (0.02)
二产业 比重					0.0437 (0.03)	0.0198 (0.03)	0.0872*** (0.03)	0.0633** (0.03)
常数项	-2.1154*** (0.01)	-2.0630*** (0.01)	3.6664*** (0.01)	3.7188*** (0.01)	-7.8431*** (1.53)	-1.2017 (1.80)	-1.5085 (1.45)	5.1328*** (1.74)
样本量	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167
截面数	197	197	197	197	197	197	197	197

注：括号内为标准差，*、** 和 *** 分别为在 10%、5% 和 1% 的水平上显著。

2. 基于 PSM-DID 方法的检验

为克服智慧城市和其他城市的变动趋势存在系统性差异,降低双重差分法估计偏误,本文进一步利用 PSM-DID 方法进行稳健性检验。运用 PSM-DID 方法时,通过是否是智慧城市的虚拟变量对控制变量进行 Logit 回归,得到倾向得分值。倾向得分值最接近的城市即为智慧城市的配对城市,通过这种方法可以最大程度减少不同城市在环境污染水平上存在的系统性差异,从而减少 DID 估计偏误。在进行 PSM-DID 估计前,还需进行模型有效性检验。其中首先需要检验共同支撑假设^①,即匹配后各变量实验组和控制组是否变得平衡,也就是说实验组和控制组协变量的均值在匹配后是否具有显著差异。如果不存在显著差异,则支持使用 PSM-DID 方法。共同支撑假设检验结果表明,从各协变量的检验结果看,匹配后所有变量均不存在显著性差异,而结果变量即环境污染的各项指标存在十分显著的差异,从而证明本文使用 PSM-DID 方法是合理的。具体估计中,本文使用核匹配法进行估计,以检验智慧城市建设降低环境污染的作用是否稳健。在估计之前本文还需要检验实验组和控制组匹配效果^②,通过画倾向得分值密度函数图,在匹配后实验组和控制组倾向得分值的概率密度已经比较接近,说明本文的匹配效果较好。因此,在共同支撑假设基础上进一步证明了 PSM-DID 方法的可行性和合理性。

表 2 结果表明,在利用 PSM-DID 方法之后,智慧城市建设依然显著降低了城市环境污染水平,分别减少了 21.70% 的人均废气排放量和 24.90% 的人均废水排放量,以及 18.80% 的废气排放总量和 24.10% 废水排放总量。PSM-DID 估计的结果与前文双重差分结果并无显著差异,从而进一步支撑了本文实证结论,智慧城市建设的减污效应是十分显著的。

表 2 智慧城市建设与环境污染:PSM-DID 稳健性检验

	政策前实验组 与控制组的 差分	政策后实验组 与控制组的 差分	双重差分结果	政策前实验组 与控制组的 差分	政策后实验组 与控制组的 差分	双重差分结果
	人均废气排放			废气排放		
差分值	0.2560	0.0390	-0.2170	0.1870	-0.0010	-0.1880
标准误	0.0480	0.0640	0.0800	0.0430	0.0570	0.0710
T 值	5.3700	0.6100	2.7300	4.3800	0.0200	2.6600
P 值	0.0000***	0.5430	0.0060***	0.0000***	0.9840	0.0080***
	人均废水排放			废水排放		
差分值	0.1560	-0.0930	-0.2490	0.0870	-0.1540	-0.2410
标准误	0.0450	0.0610	0.0760	0.0530	0.0690	0.0870
T 值	3.4400	1.5300	3.2800	1.6500	2.2300	2.7700
P 值	0.0010***	0.1260	0.0010***	0.0980*	0.0260**	0.0060***

注:*,** 和 *** 分别为在 10%,5% 和 1% 的水平上显著。

① 具体结果请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件部分。

② 具体结果请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件部分。

3. 智慧城市建设影响环境污染的机制检验

从前述实证结果看出,智慧城市建设能够显著降低城市环境污染水平,但智慧城市建设降低环境污染的机制是什么呢?正如前文第二部分理论分析所阐述,智慧城市建设具有创新发展特征,驱动产生技术效应、配置效应和结构效应,并通过上述三大效应降低环境污染水平。为验证这一机制,本文借鉴 Baron and Kenny(1986)的方法验证三大效应的存在性。具体实证检验步骤分为两个阶段,均采用三步法验证。第一阶段验证智慧城市建设创新驱动三大效应^①:①将倍差项与城市创新绩效进行回归,若系数显著,则表明智慧城市建设实现了创新发展;②将倍差项与三大效应分别进行回归,若系数显著,说明智慧城市建设产生了上述三大效应;③将倍差项和城市创新绩效指标同时放入模型分别与三大效应进行回归,若倍差项系数不显著或者显著但系数降低了,则证明智慧城市建设创新发展驱动了三大效应。第二阶段验证智慧城市建设三大效应对环境污染的影响:①将倍差项和三大效应分别进行回归,如果系数显著,则表明智慧城市建设对三大效应有影响;②将倍差项与环境污染水平进行回归,如果系数显著,说明智慧城市建设对环境污染有影响;③将倍差项、三大效应分别和环境污染水平进行回归,如果倍差项变得不显著或者显著但系数降低了,则证明智慧城市建设是通过三大效应降低了环境污染。按照上述检验步骤,本文机制验证模型设定如下:

第一阶段:

验证智慧城市建设对城市创新绩效的影响:

$$cscx_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

验证智慧城市建设对三大效应的影响:

$$js_{it}(pz_{it}, jg_{it}) = \beta_0 + \beta_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

将倍差项和三大效应分别同时放入回归方程:

$$js_{it}(pz_{it}, jg_{it}) = \gamma_0 + \gamma_1 du \times dt + \gamma_2 cscx_{it} + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

第二阶段:

验证智慧城市建设对三大效应的影响:

$$js_{it}(pz_{it}, jg_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

验证智慧城市建设对环境污染的影响:

$$pollution_{it} = \beta_0 + \beta_1 du \times dt + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

将倍差项和三大效应分别同时放入回归方程:

$$pollution_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 du \times dt + \gamma_2 js_{it}(pz_{it}, jg_{it}) + \sum_{i=1}^N b_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中, $cscx$ 为城市创新绩效指标,表示智慧城市建设创新发展的五个方面。这一指标为综合指标,可以综合反映城市创新的各个方面,数据来自于复旦大学产业发展中心《中国城市和产业创新力报告》。 js 为技术效应,用人均专利授权数表示,预期符号为负,表明智慧城市建设提升了城市技

^① 感谢匿名审稿人提出的二阶段机制验证方法。

术创新水平,形成技术效应降低了环境污染。 pz 为配置效应,用全要素生产率表示,该值越大表明资源配置效率越高,配置效应越强(Hsieh and Klenow,2009),预期符号为负。说明智慧城市建设降低了资源错配,提高了资源配置效率,产生配置效应降低环境污染。 jg 为结构效应,用第二产业 GDP 和第三产业 GDP 的比值衡量,预期符号为负,表明智慧城市建设促进了产业结构升级,产生结构效应减少了环境污染。

表 3 结果表明,第一阶段,第一步回归结果显示,智慧城市建设显著提高了城市创新绩效,实现了创新发展。第二步回归结果表明,智慧城市建设与三大效应回归系数均显著为正,表明智慧城市建设具备三大效应。为进一步验证智慧城市建设创新发展驱动三大效应,第三步回归结果表明,技术效应和配置效应系数显著但系数大小降低了,而结构效应不再显著,这一结果表明,智慧城市建设确实通过创新驱动了三大效应,预备假设得到验证。表 4 结果表明,第二阶段,第一步回归结果显示,智慧城市建设对技术效应、配置效应和结构效应的系数均显著为正,表明智慧城市建设在创新城市发展的过程中对三大效应具有正的影响,这一结果符合前文理论分析中对三大效应的归纳。第二步回归结果表明,智慧城市建设均显著降低了废气和废水的排放量,说明智慧城市建设具有降低环境污染的效应。但是具体智慧城市建设降低环境污染的机制是什么,还需第三步检验。第三步检验结果表明,将三大效应和倍差项同时纳入回归方程后,三大效应均显著降低了环境污染,且智慧城市建设降低环境污染的效应依然显著,但系数变小了。如前所述,这一结果证实了,智慧城市建设是通过技术效应、配置效应和结构效应降低环境污染的。至此,本文的三个理论机制均得到验证。

4. 进一步稳健性检验^①

在估计智慧城市建设对环境污染的影响过程中,不可避免地会受到其他政策影响的干扰,从而使得智慧城市政策的估计效应产生高估或者低估。为识别和解决这一问题,本文搜索了智慧城市政策实施之后的年份中发生的其他政策事件。本文发现,2013 年新一届政府产生后十分重视环境保护,颁布和实施了一系列环保政策和法律法规,以解决日益严重的环境污染问题。因此,本文有理由相信,新一届政府实施的各项环保措施产生了降污效果,从而本文智慧城市的降污效果可能产生高估^②。为识别这一影响,本文在基准回归模型中加入 2013 年这一政策虚拟变量。如果加入 2013 年政策虚拟变量后智慧城市建设的政策效果不显著,则表明本文智慧城市建设的减污效应是不存在的,表明本文结论不稳健;如果加入 2013 年政策虚拟变量后智慧城市建设的政策效果显著但系数降低,则本文的估计结果存在高估的现象,但这一高估并不影响本文的结论,从侧面表明本文估计结果的相对稳健性。加入 2013 年政策虚拟变量结果表明,所有基准模型加入 2013 年政策虚拟变量后,2013 年政策效果是十分显著的,表明新一届政府实施的环保政策是有效的。同时,智慧城市建设的政策系数依然十分显著,但系数大小相比基准回归有所降低。这一结论表明智慧城市建设的减污效果确实存在高估,但减污效果依然存在并显著,表明本文估计结论是相对稳健的。

为进一步检验本文估计结果的稳健性,本文将 2013 年和 2014 年的智慧城市加入回归样本以检验智慧城市建设影响环境污染的稳健性,估计结果表明,智慧城市建设依然显著降低了环境污染水平。所有符号与和显著性与前文并没有显著差异,表明本文结论是相对稳健的。

为了识别智慧城市建设的减污效应是否会随着样本时间长短的变化而变化,本文通过改变回归时间区间识别政策对时间变化的敏感性。具体做法为以政策发生时间 2012 年为中间点,前后各选取 1 年、2 年和 3 年的样本进行回归,如果回归系数和显著性没有变化,表明本文估计结果是稳

① 具体结果请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件部分。

② 感谢匿名审稿人指出估计效应存在高估的可能。

表 3 智慧城市建设影响环境污染的机制检验(1)							
被解释变量	创新绩效	技术效应	技术效应	配置效应	配置效应	结构效应	结构效应
<i>Did</i>	9.1733***	1.2779***	0.9226***	0.1449***	0.1207***	0.0463**	-0.0129
	(0.57)	(0.07)	(0.07)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)
创新绩效			0.0387***		0.0026***		0.0039***
			(0.00)		(0.00)		(0.00)
N	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167
N_g	197	197	197	197	197	197	197

注:括号内为标准差,*,**和***分别为在10%、5%和1%的水平上显著。

表 4 智慧城市建设影响环境污染的机制检验(2)									
被解释变量	技术效应	废气排放	废气排放	配置效应	废气排放	废气排放	结构效应	废气排放	废气排放
<i>Did</i>	1.2779***	-0.2407***	-0.1282***	0.1449***	-0.2407***	-0.1791***	0.0463**	-0.2407***	-0.1364***
	(0.07)	(0.04)	(0.04)	(0.01)	(0.04)	(0.04)	(0.02)	(0.04)	(0.04)
技术效应			-0.0880***						
			(0.01)						
配置效应						-0.4251***			
						(0.08)			
结构效应									-0.1280***
									(0.05)
被解释变量	技术效应	废水排放	废水排放	配置效应	废水排放	废水排放	结构效应	废水排放	废水排放
<i>Did</i>	1.2779***	-0.2229***	-0.1714***	0.1449***	-0.2229***	-0.1904***	0.0463**	-0.2229***	-0.1712***
	(0.07)	(0.04)	(0.05)	(0.01)	(0.04)	(0.04)	(0.02)	(0.04)	(0.05)
技术效应			-0.0403***						
			(0.01)						
配置效应						-0.2248**			
						(0.09)			
结构效应									0.0432
									(0.06)
样本量	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167	2167
截面数	197	197	197	197	197	197	197	197	197

注:括号内为标准差,*,**和***分别为在10%、5%和1%的水平上显著。

健的。结果表明,通过改变用于回归的时间区间,智慧城市建设的减污效应系数均显著为负,依然支持前文结论,从而证明本文结论是稳健的。

在以上稳健性检验的基础上,本文进一步利用反事实方法(范子英和田彬彬,2013),进行安慰剂检验,通过人为设定一个智慧城市建设试点时间点,对其减污效应进行检验,如果系数不显著,则表明城市环境污染水平的减少是由智慧城市建设引起的,而不是其他因素,反之,结论不稳健。结果表明,通过设置不同的智慧城市建设试点时点,倍差项系数均不再显著,表明城市环境污染水平的降低确实是由智慧城市建设带来的。至此,通过上述稳健性检验,有理由相信本文估计结果和结论十分稳健。

五、智慧城市建设影响环境污染的异质性分析^①

1. 城市规模异质性

前文分析表明智慧城市建设能够显著降低城市废气和废水排放,改善城市环境,那对不同规模的城市而言,减污效应是否存在?如果存在,那么减污效果是否存在差异?从城市规模的角度而言,规模较大的城市具有经济集聚效应,资源配置和利用效率相应较高,能够降低环境污染程度。同时,规模过大的城市容易产生拥挤效应,加剧城市病和环境污染问题。传统的城市发展过程中不可避免会面临上述两种效应的权衡,而智慧城市建设通过利用信息技术变革城市治理模式,提高城市资源配置和利用效率,不仅可以增强规模城市的集聚效应,进一步提高资源配置效率,也能够通过技术创新改善城市病,有益于城市环境治理。基于这一考虑,本文认为,智慧城市建设不仅可以加强城市规模扩大的集聚效应,还可以减弱规模过大而导致的拥挤效应。根据以上分析,本文进一步对不同规模智慧城市的减污效应进行验证。本文城市规模的划分,依据2014年国务院发布的《关于调整城市规模划分标准的通知》中的最新标准划定。由于样本所限,小规模城市较少,导致回归结果不可信,所以只报告中等以上规模城市结果。

结果表明,中等城市规模下,智慧城市建设增加了不同污染排放指标的排放量,反而加剧了环境污染,说明城市规模较小资源利用效率反而越低,越不利于环境保护,并且利用现代信息技术的智慧城市建设也并不能发挥应有的效应,原因可能在于小城市缺乏信息技术发展的基础。而大城市智慧城市建设显著降低了废气和废水排放量,大城市智慧城市建设具有显著的减污效应。进一步分析发现,不同类型的大城市减污效应存在差异,I型大城市智慧城市建设 and II型大城市智慧城市建设都能产生减污效应,但显著性较弱。通过对特大型及超大型城市进行回归发现,特大型及超大型城市的智慧城市建设产生的减污效应不仅比大型城市智慧城市建设的减污效应更强,且显著性也更高。这一结论强化了城市规模越大,智慧城市建设减污效应越强的观点。从这一结论可以看出,当城市治理模式变革以及城市技术创新深化发展后,传统城市发展过程中的拥挤与污染问题将迎刃而解。污染问题的关键不在于城市规模的大小,而在于城市治理模式是否革新,技术是否进步。

2. 城市特征异质性

对城市特征进行异质性分析需要确定哪些城市发展特征对智慧城市建设有裨益,而不是随意引入一些常见的城市发展特征,需要考虑这些特征的现实意义和政策价值。针对这一点,本文有如下考虑,如前文理论分析所表明,智慧城市建设主要依靠物联网、大数据、云计算、移动互联等新兴信息技术,增强对市场信息的感知、整合、分析以及应用能力,信息传导渠道更为畅通。但是,智慧城市建设通过上述技术能力发挥降低环境污染的作用并不是依靠单个系统能够独立完成的,必定是整个城市系统性运作的结果,这也在一定程度体现了信息技术强大的整合能力。因此,智慧城市建设减污效应的释放,并不是单个系统独立完成的,而是多方综合作用的结果。因此,智慧城市建设需要人(人力资本)、财(财政支出和金融发展)、物(信息基础设施)等的支持才能发挥作用,而这些支持能够保障智慧城市所依赖的信息技术,最大限度提供城市治理污染和环境保护所需要的服务。因此可以说,城市中人、财、物的发展水平对智慧城市建设至关重要,对这些城市发展特征进行分析可以直接为政策设计提供指导。基于此,本文从人、财、物水平等城市发展特征对智慧城市建设降低环境污染的作用进行异质性分析。具体实证过程中,本文用城市人力资本水平表示智慧城市人力方面的支持。用每万人大学生数表示城市人力资本水平,将该指标三等分:一等分组为低人力资本水平

^① 具体结果请详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件部分。

城市,二、三等分组为高人力资本水平城市。本文用政府财政支出比重和金融发展规模表示财力方面的支持,用地级市财政支出占 GDP 的比重和金融机构存贷款余额占 GDP 比重分别衡量,分别将该指标三等分,分别区分低财力支持水平城市和高财力支持水平城市(同人力资本分组方法)。本文用信息基础设施水平表示物力方面的支持。用互联网宽带接入用户数衡量,同样将该指标三等区分低组和高组(同上)。

结果表明,人力资本水平较低的城市,智慧城市建设降低环境污染的作用不显著,而人力资本水平较高的城市,智慧城市建设的减污效应显著为负。这表明人力资本水平对智慧城市建设具有较强的支持作用,能够极大提升智慧城市建设的减污效应。这一结果并不难理解,智慧城市赖以存在的基础是现代信息技术,而这些信息技术的习得具有一定的门槛,受教育水平较低的劳动力明显难以短时间掌握这些技术并熟练运用于实际,而受教育水平较高的劳动力或者高技能劳动力在学习这些技术方面相对容易。在一个人力资本水平较高的城市中,智慧城市建设的相应工作也较容易展开,智慧城市建设的减污效应也相应较大。因而,智慧城市建设对劳动力人力资本水平也就提出了较高要求,这也是信息时代对人提出的高要求。财力支持方面,不同财政支出水平和金融发展水平智慧城市均显著降低了环境污染,但低财政支出组的减污效应大于高财政支出组,而低金融发展水平组的减污效应小于高金融发展水平组。一方面,以财政支出指标表示的财力支持也代表着政府对智慧城市建设的行政干预。当地方政府为 GDP 增长而竞争时,会放弃长远的环境保护和产业升级转型目标,而追求短期经济效益,从而使得在政府干预较强时,智慧城市建设降低环境污染的作用较小。另一方面,财力方面的支持对智慧城市建设较为重要,金融系统的发展程度可以为智慧城市建设提供强大的财力支持,因而对于金融发展水平较高的智慧城市而言,其降低环境污染的作用相对更大。物力支持方面,不同信息基础设施水平智慧城市的减污效应均为负,但只有高组城市的减污效应是显著的,说明只有当智慧技术赖以发挥作用的信息基础设施建设完善,才能为智慧城市建设降低环境污染提供物质保障,从而证明了物力支持对智慧城市减污效应的促进作用。

六、结论与启示

本文基于 2005—2015 年中国 197 个地级市面板数据,利用双重差分模型和 PSM-DID 方法实证检验了智慧城市建设对城市环境污染的影响。本文结论表明,智慧城市建设显著降低了城市环境污染,平均而言可以降低城市环境污染 9%—24%。机制验证表明,智慧城市建设运用现代信息技术,通过技术效应、配置效应和结构效应降低了城市环境污染。异质性研究表明,智慧城市规模具有明显的减污效应,中等规模的智慧城市加剧了环境污染,而大规模的智慧城市降污效应明显,且智慧城市规模越大降低环境污染的作用越强。人力资本水平、金融发展程度和信息基础设施水平较高的城市可以显著增强智慧城市的减污效应,且人力资本增强智慧城市的减污作用最大。

本文的研究结论对支持国家智慧城市建设、降低城市环境污染水平具有重要的指导意义。本文结论的政策含义在于:①智慧城市建设需要雄厚的技术力量来支撑其运行。因此,加大对新一代信息通讯技术的投入力度是政府构建智慧城市的首要任务。在技术进步的基础上,政府要依托智慧产业实现城市产业结构的转型升级,发挥智慧城市结构效应的减污作用。前文分析表明,物联网、大数据、云计算等信息技术是智慧城市建设的技術基础,是支撑新型城市发展战略的重要保障。因此,加强技术研发创新具有重要的战略地位。政府要做好公共服务提供者的角色,重点做好创新研发平台搭建,以提供优良的科研创新研发环境,并着重加强对专业人才的培养,可以联合高校和科研院所的优秀研发人才,为智慧技术的研发创新寻找人力资本支撑。从智慧城市降低环境污染的角度而

言,在大力发展智慧技术的基础上,提高高科技密集型产业比重,重点扶持低能耗环保型产业的发展,促进产业结构向环境友好型转变。②本文城市规模异质性分析表明,城市发展问题的关键并不在于城市规模过大,而在于城市管理和发展模式是否创新。因此,政府在实施新型城镇化战略过程中引入智慧技术有利于提高城市规模发展效率,发挥规模效应和集聚效应降低城市污染的作用。一方面,大规模城市可以大力发展和运用智慧技术,将智慧技术应用到城市和企业生产和生活的各个方面,提高资源配置效率,提高城市居民的生活满意度和企业生产效率,以缓解并消除城市病问题对城市规模扩大的逆向阻碍作用。另一方面,中小城市在保持原有优势的基础上,充分利用智慧城市发展的红利发挥比较优势,针对性应用和发展适应本城市发展特点的智慧项目,以最大限度提高城市治理和运营效率。③智慧城市特征异质性实证结果表明,政府干预的加强反而弱化了智慧城市建设的减污效应。因此,政府在智慧城市建设过程中要明确自身的角色和定位,避免越位。发挥市场在建设智慧城市中的决定性作用的同时,还需要防止政府角色缺位。在需要政府力量支持的领域,政府应在不违背市场规律的前提下给予相应扶持,以保证智慧城市建设项目顺利展开。政府在智慧城市建设过程中,应着力做好“守夜人”角色,应致力于为智慧城市营造安定、和谐和有序的市场环境,保护和促进智慧城市竞争。在智慧项目开发建设进程中,支持企业发挥主导作用,政府部门的工作重点在于保障自由竞争的市场机制良好运行。

〔参考文献〕

- [1]邓翔,张卫.大城市加重地区环境污染了吗[J].北京理工大学学报(社会科学版),2018,(1):36-44
- [2]邓雅君,张毅.智慧城市建设对促进中国转变经济发展方式的作用路径[J].电子政务,2013,(12):2-8.
- [3]董艳梅,朱英明.高铁建设能否重塑中国的经济空间布局——基于就业、工资和经济增长的区域异质性视角[J].中国工业经济,2016,(10):92-108.
- [4]范子英,田彬彬.税收竞争、税收执法与企业避税[J].经济研究,2013,(9):99-111.
- [5]贺俊,刘亮亮,张玉娟.税收竞争、收入分权与中国环境污染[J].中国人口·资源与环境,2016,(4):1-7.
- [6]何晓萍,刘希颖,林艳苹.中国城市化进程中的电力需求预测[J].经济研究,2009,(1):118-130.
- [7]何禹霆,王岭.城市化、外商直接投资对环境污染的影响——基于1997—2010年中国省际面板数据的经验分析[J].经济体制改革,2012,(3):47-50.
- [8]焦若静.人口规模、城市化与环境污染的关系——基于新兴经济体国家面板数据的分析[J].城市问题,2015,(5):8-14.
- [9]金培振,张亚斌,彭星.技术进步在二氧化碳减排中的双刃效应——基于中国工业35个行业的经验证据[J].科学学研究,2014,(5):706-716.
- [10]李斌,赵新华.经济结构、技术进步与环境污染——基于中国工业行业数据的分析[J].财经研究,2011,(4):112-122.
- [11]李锴,齐绍洲.贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J].经济研究,2011,(11):60-72.
- [12]李小平,卢现祥.国际贸易、污染产业转移和中国工业CO₂排放[J].经济研究,2010,(1):15-26.
- [13]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.
- [14]梁平汉,高楠.人事变更、法制环境和地方环境污染[J].管理世界,2014,(6):65-78.
- [15]林伯强,杜克锐.要素市场扭曲对能源效率的影响[J].经济研究,2013,(9):125-136.
- [16]刘虹涛,靖继鹏.信息技术对传统产业结构影响分析[J].情报科学,2002,(3):333-336.
- [17]刘克逸.产业信息化对中国产业结构升级的作用及政策取向[J].软科学,2003,(1):27-30.
- [18]刘睿劼,张智慧.中国工业二氧化硫排放趋势及影响因素研究[J].环境污染与防治,2012,(10):100-104.
- [19]刘宇.中国城镇化进程的工业污染与规制效应分析研究[J].环境科学与管理,2014,(11):1-3.

- [20]陆铭,冯皓. 集聚与减排:城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. 世界经济, 2014,(7):86-114.
- [21]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.
- [22]孙军,高彦彦. 技术进步、环境污染及其困境摆脱研究[J]. 经济学家, 2014,(8):52-58.
- [23]王飞成,郭其友. 经济增长对环境污染的影响及区域性差异——基于省际动态面板数据模型的研究[J]. 山西财经大学学报, 2014,(4):14-26.
- [24]王会,王奇. 中国城镇化与环境污染排放:基于投入产出的分析[J]. 中国人口科学, 2011,(5):57-66.
- [25]王家庭,王璇. 中国城市化与环境污染的关系研究——基于 28 个省市面板数据的实证分析[J]. 城市问题, 2010,(11):9-15.
- [26]王敏,黄滢. 中国的环境污染与经济增长[J]. 经济学(季刊), 2015,(2):557-578.
- [27]王治东,张琳. 技术·空间·资本·人——智慧城市的核心要素探究[J]. 自然辩证法通讯, 2016,(3):99-104.
- [28]文雯,王奇. 城市人口规模与环境污染之间的关系——基于中国 285 个城市面板数据的分析[J]. 城市问题, 2017,(9):32-38.
- [29]徐盈之,孙剑. 信息产业与制造业的融合——基于绩效分析的研究[J]. 中国工业经济, 2009,(7):56-66.
- [30]杨冬梅,万道侠,杨晨格. 产业结构、城市化与环境污染——基于山东的实证研究[J]. 经济与管理评论, 2014,(2):67-74.
- [31]张可,汪东芳. 经济集聚与环境污染的交互影响及空间溢出[J]. 中国工业经济, 2014,(6):70-82.
- [32]张腾飞,杨俊,盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016,(2):47-57.
- [33]张振刚,张小娟. 智慧城市系统构成及其应用研究[J]. 中国科技论坛, 2014,(7):88-93.
- [34]周建仁,陈盈盈. 财政分权和城镇化对地区环境污染的影响[J]. 西部论坛, 2016,(4):92-100.
- [35]Ang, J. B. CO₂ Emissions, Research and Technology Transfer in China [J]. Ecological Economics, 2009,68(10):2658-2665.
- [36]Baron, R. M., and D. A. Kenny. The Moderator-mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986,51(6):1173-1182.
- [37]Brajer, V., R. W. Mead, and F. Xiao. Searching for an Environmental Kuznets Curve in China's Air Pollution[J]. China Economic Review, 2011,22(3):383-397.
- [38]Cole, M. A. Trade, the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve: Examining the Linkages[J]. Ecological Economics, 2004,48(1):71-81.
- [39]Ehrhardt-Martinez, K., E. M. Crenshaw, and J. C. Jenkins. Deforestation and the Environmental Kuznets Curve: A Cross-national Investigation of Intervening Mechanisms [J]. Social Science Quarterly, 2002,83(1):226-243.
- [40]Friedl, B., and M. Getzner. Determinants of CO₂ Emissions in a Small Open Economy [J]. Ecological Economics, 2003,45(1):133-148.
- [41]Grossman, G. M., and A. B. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[R]. NBER Working Paper, 1991.
- [42]Grossman, G. M., and A. B. Krueger. Economic Growth and the Environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1995,110(2):353-377.
- [43]Hsieh, C. T., and P. J. Klenow. Misallocation and Manufacturing TFP in China and India[J]. Quarterly Journal of Economics, 2009,124(4):1403-1448.
- [44]Kharel, G. Impacts of Urbanization on Environmental Resources: A Land Use Planning Perspective [D]. Arlington: University of Texas, 2010.
- [45]Liang, F. Does Foreign Direct Investment Harm the Host Country's Environment? Evidence from China[J]. Current Topics in Management, 2014,17(3):105-121.

- [46]Liddle, B., and S. Lung. Age-structure, Urbanization, and Climate Change in Developed Countries: Revisiting STIRPAT for Disaggregated Population and Consumption-related Environmental Impacts [J]. Population and Environment, 2010,31(5):317-343.
- [47]Lutsey, N., and D. Sperling. America's Bottom-up Climate Change Mitigation Policy[J]. Energy policy, 2008, 36(2):673-685.
- [48]Martínez-Zarzoso, I., and A. Maruotti. The Impact of Urbanization on CO₂ Emissions: Evidence from Developing Countries[J]. Ecological Economics, 2011,70(7):1344-1353.
- [49]Panayotou, T. Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool[J]. Environment and Development Economics, 1997,2(4):465-484.
- [50]Ryzhenkov, M. Resource Misallocation and Manufacturing Productivity: The Case of Ukraine [J]. Journal of Comparative Economics, 2016,44(1):41-55.
- [51]Satterthwaite, D. Environmental Transformations in Cities as They Get Larger, Wealthier and Better Managed [J]. Geographical Journal, 1997,163(2):216-224.
- [52]Sigman, H. Decentralization and Environmental Quality: An International Analysis of Water Pollution Levels and Variation[J]. Land Economics, 2014,90(1):114-130.
- [53]Ushifusa, Y., and A. Tomohara. Productivity and Labor Density: Agglomeration Effects over Time [J]. Atlantic Economic Journal, 2013,41(2):123-132.

Can Smart City Construction Reduce Environmental Pollution

SHI Da-qian^{1,2}, DING Hai², WEI Ping², LIU Jian-jiang³

- (1. The Institute of Quality Development Strategy, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
 2. School of Economics, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;
 3. School of Economics and Management, Changsha University of Science and Technology, Hunan 410114, China)

Abstract: Based on the panel data of prefecture level cities in China, this paper uses difference-in-differences method to evaluate the impact of smart city construction on urban environmental pollution. This paper uses PSM-DID method to further verify the impact of smart city construction on urban environmental pollution. The conclusion of this paper shows that the construction of smart city has significantly reduced the urban environmental pollution. On the average, it can reduce the urban environmental pollution by 9%—24%. The estimation results based on PSM-DID method is not significantly different. Mechanism verification shows that the smart city construction innovating urban development uses modern information technology to produce technical effect, configuration effect and structure effect through innovation driven. Thus it reduces urban environmental pollution through the above three effects. The heterogeneity of cities study reveals that cities with high level of human capital, financial development and information infrastructure can significantly enhance the effect of pollution reduction in smart cities. Human capital enhances the pollution reduction of smart cities. Based on the latest practice of China's urban development, this paper benefits to improve the urban environment ecology and upgrades the urban construction. It is of great significance to create a good environment for urban living and production.

Key Words: smart city; environmental pollution; urban scale; innovation driven; schumpeterian innovation

JEL Classification: Q52 R11 C13

[责任编辑:姚鹏]