

智慧城市建设和绿色技术创新的影响

——基于地级市面板数据的实证研究

武力超¹, 李惟简², 陈丽玲¹, 李嘉欣³

(1. 厦门大学 经济学院国际经济与贸易系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 经济学院经济系, 福建 厦门 361005;

3. 厦门大学 台湾研究院经济所, 福建 厦门 361005)

摘要: 实现高质量发展与兑现碳中和承诺, 有待于绿色技术的进一步创新。针对这一目标, 智慧城市建设和提供了一条可行的途径。为了检验智慧城市对绿色技术创新的影响, 本文基于2006—2018年287个地级市的面板数据, 采用倾向得分匹配和双重差分相结合(PSM-DID)的方法进行实证研究, 发现智慧城市建设和提供了一条可行的途径。机制检验表明, 智慧城市建设和提供了一条可行的途径。异质性检验发现, 智慧城市建设和提供了一条可行的途径。本文对于促进绿色技术创新、营造良好生态环境和推动智慧城市试点建设具有借鉴意义。

关键词: 智慧城市; 绿色技术创新; 碳中和; 异质性分析

中图分类号: F299.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2022)4-0001-16

一、引言

进入21世纪以来, 环境保护议题的重要性逐年提高, 低碳经济已经成为全球发展的趋势与共识。为了推进实现低碳经济, 2016年联合国签署《巴黎协定》, 提出将全球气温上升控制在1.5度之内的长期目标。控制全球变暖需要减少温室气体的排放, 碳中和是实现这一目标的重要途径。碳中和指人为的二氧化碳排放量与二氧化碳移除量相平衡。达到碳中和的途径有两种, 一是通过能源、工业、交通运输与建筑部门的低碳化改革减少碳排放; 二是发展碳捕捉与碳封存技术以实现负排放。这两条途径均有待于绿色技术的创新与进步。

为实现碳中和与绿色技术创新, 世界各国付出了巨大的努力。2020年3月, 欧盟委员会发布《欧洲新工业战略》, 决议在碳中和与数字化双重转型过程中, 探索可行的清洁技术解决方案, 大力开展绿色技术的研究。2020年底, 美国拜登政府宣称将建立“气候先进研究项目机构”, 实施规模庞大的经济激励计划, 以推动绿色技术的发展。日本政府也于2021年初公布了脱碳路线图草案, 旨在通过财政科技投资和绿色技术创新的方式, 加速向低碳社会转型。

作为新兴的发展中大国, 环境保护问题同样是中国的热点问题, 也是实现经济高质量发展的重难点。改革开放的40年间, 中国取得了举世瞩目的经济成就, 但经济发展带来的环境问题也不容小觑。作为全球最大的二氧化碳排放国, 面对有限的资源和经济发展带来的一系列环境问题, 中国必须向低碳经济转型。2020年9月国家主席习近平在七十五届联合国大会一般性辩论上宣布, “中国将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和”。

相比于西方发达国家, 中国碳中和面临着时间更紧、幅度更大的减排任务。中国碳排放总量大, 强度高, 但是从碳达峰到碳中和的时间间隔不到美欧的一半。面对实现碳中和过程中存在的困难, 全国政协经济委员会副主任、中国发展研究基金会副理事长刘世锦指出, 要实现碳中和的目标, 建立更高生产率且可持续的生态文明, 关键要靠绿色技术创新。绿色技术创新一方面指绿色产品创新, 即发明在生产处理和使用过程中

收稿日期: 2021-05-23

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“碳中和背景下企业技术创新引领型发展与政策引导研究”(21BJL088)

作者简介: 武力超, 厦门大学经济学院国际经济与贸易系副教授, 博士研究生导师, 南开大学世界经济博士, 英国伯明翰大学、英国利兹大学访问学者, 研究方向: 国际经济理论与政策, 金融发展与企业创新, 城镇化与城市发展; 李惟简, 厦门大学经济学院经济系本科生, 研究方向: 区域经济学; 陈丽玲, 厦门大学经济学院国际经济与贸易系硕士研究生, 研究方向: 企业技术创新; 李嘉欣, 厦门大学台湾研究院经济所博士研究生, 研究方向: 国际贸易。

对环境无污染或少污染,符合国际环境保护的要求的产品;另一方面指绿色工艺创新,即发明能够减少污染、降低能耗的技术体系(葛晓梅等,2005)。绿色技术创新能够推动碳中和目标的实现,落实我国节约资源保护环境的基本国策,助力打赢我国全面建成小康社会的三大攻坚战,在未来的高质量发展中扮演着极为重要的角色。

从经济角度,绿色技术创新可以降低企业污染防治成本、化解企业出口壁垒并推动新能源战略实施。绿色创新技术能够解决生产污染问题,促进企业的可持续发展。据环保局调查数据显示,8成的中小企业存在污染,占污染源的60%(葛晓梅等,2005)。为了控制污染,企业可以购买排污权、进行末端污染治理或改进现有的技术工艺。前两者只能在短期内帮助企业应付污染问题,只有技术工艺的改良创新可以帮助企业长期解决污染问题。绿色技术能够帮助企业突破国际绿色贸易壁垒,促进企业对外贸易和规模扩张。国家质检总局数据显示,绿色贸易壁垒是阻挡企业对外出口的重要因素之一。2019年度,我国有19.68%的出口企业受到国外技术性贸易措施不同程度的影响,全年出口贸易直接损失额为692.08亿元^①。为了帮助本国产品更好地走出去,出口企业应主动提高产品的环境技术标准,努力通过国际认可的环境标志认证,与国际上的绿色壁垒保护进行抗衡(卢授永和杨晓光,2003;杜强,2003)。绿色技术的发展也是中国新能源战略实施的关键要素,太阳能、潮汐能、核能等新能源将打破以往的传统能源带来的能源紧张和环境污染及能源效率低下的瓶颈(江泽民,2008),降低能源成本并促进解决中国能源问题。

绿色技术创新依靠政府和企业的共同努力,其中快速发展的城市化进程对绿色技术创新起重要影响(刘巧等,2018)。传统的城市化进程虽然能够带来人口等要素空间上的集聚,为企业绿色技术创新提供了必要的条件,但同时也导致了环境污染等“城市病”,新型的城市发展模式亟需形成。2008年IBM(International Business Machines Corporation)初次提出智慧城市概念,认为智慧城市的建设首先应围绕信息建设和物联网网络展开,由此一类以可持续发展和大数据建设为核心的新型城市化体系——智慧城市应运而生,并已经在众多发达国家和发展中国家得到广泛应用。

发达国家的智慧城市建设重视信息化的实现,其中很大一部分以节约能源和改善环境的主题。在欧洲国家,实施以绿色生态为重点的智慧城市占总数的33%,远高于以经济发展、人力资源发展为重点的智慧城市占比(Beretta,2018)。生态创新和绿色技术被认为是欧洲未来发展的关键,欧盟正在努力促进生态现代化和生态创新效率的提高(European Environment Agency, 2014)。欧盟2020战略将着重点放在了技术研发创新和绿色经济等方面,并在第七个环境行动计划(7EAP)中提出到2050年要把欧盟变成一个资源高效、绿色和具有竞争力的低碳经济体。在美国,智慧城市的发展势头迅猛,其主要目标是提高公民满意度和政府应对能力,关注强化城市服务供给的同时妥善应对气候变化^②。在日本,智慧城市的建设目标之一是建设“环境考虑型城市”——认为智慧城市应在基础设施和生活设施两方面灵活运用ICT(information and communication technology),提高经营效率,建造令居民感到更便捷、更舒适的生活城市(李彬等,2015)。智慧城市构想包括未来城市环境构想、智慧社区构想和ICT智慧城镇构想三种类型,分别围绕全球变暖、新能源和ICT智能应用展开。

在中国,智慧城市建设理念更为宏观。中国以建设世界一流智慧城市为目标,以加强城市基础设施建设、提高信息化的城市监管、调整经济结构为落脚点,期望实现绿色城镇化及居民生活质量提高等目标。2016年以来,由国家部委主导的智慧城市试点项目逐渐增加,智慧城市由概念逐渐转向实践。《智慧城市技术参考模型》《智慧城市评价模型及基础评价指标》《智慧城市顶层设计指南》等相继发布,国家标准体系逐渐形成。中国的智慧城市建设过程中,政府为技术研发提供多方面的引导和支持,如鼓励高校科研及创建技术开发区等,尤其重视绿色技术的创新。这一进程将伴随着绿色技术的改进和发展,而绿色技术的应用将使得城市的生态环境进一步得到改善。

为了具体探究智慧城市对绿色技术创新的影响,本文基于中国在2012年开始进行智慧城市试点建设这一准自然实验,以倾向得分匹配法结合倍差法(PSM-DID),基于2006—2018年287个地级市的面板数据,实证研究智慧城市建设的绿色技术创新效应。本文主要有以下三个方面的边际贡献:

首先,本文丰富了关于智慧城市的实证研究文献。目前对智慧城市的研究,大多处于定性研究阶段。学

① 国家质检总局《2019年度国外技术性贸易措施对我国出口企业影响的问卷调查报告》。

② 《上海城市规划》2018年第1期《欧美智慧城市最新实践与参考》。

者多从智慧城市的阶段性特征、单个国家或城市的智慧城市政策内容等方面进行定性研究,而定量方面的研究有所欠缺,本文的研究可以弥补这一方面的不足。

其次,本文丰富了绿色技术创新的影响因素文献。现有的文献大都从环境规制、对外贸易等角度研究绿色技术创新的影响因素,而本文选取城市信息化建设的角度对绿色技术创新进行研究,采用了中国在2012年进行智慧城市试点建设这一绝佳的准自然实验,并以已有文献所提到的影响因素作为模型的控制变量,证明了智慧城市建设对绿色技术创新的促进作用,并从项目资金投入和产业结构升级两个方面,尝试探究了智慧城市建设促进绿色技术创新的机制。

最后,在研究方法上,本文以2006—2018年287个地级市样本作为基础数据,采用PSM-DID相结合的方法研究智慧城市政策的绿色技术创新效应,减少了因为遗漏变量和样本选择误差产生的内生性问题,增加回归结果的稳健性和准确性。

二、文献综述

绿色技术创新作为化解环境污染难题的重要途径,同时也是实现高质量发展和碳中和目标的动力源泉,受到国内外诸多学者的关注。有关文献从环境污染治理、企业绩效提升和技术引入等角度,分别研究了绿色技术创新带来的积极影响和激励绿色创新的可行措施。

首先,关于环境投资与政策方面的研究发现,环境污染投资的增加会对绿色技术创新存在促进作用(Brunnermeier和Cohen,2003)。同时环境规制也将增加环境污染的治理投资,从而会对绿色技术创新产生影响(Johnstone,2005)。国内学者同样注意到环境规制对绿色技术创新的促进作用,并发现环境规制强度和绿色技术创新程度的倒U型关系(徐建中等,2017;李新安,2021),但是对于创新能力较为薄弱的企业,环境规制将导致相关创新活动质量的下降(陶峰等,2021)。同时国内学者考察了不同类型环境规制措施的作用,发现命令控制型、市场化型和相互沟通型规制对不同类型绿色技术创新的影响不同(张倩,2015),其中市场激励型环境政策,如排污税率、排污许可价格和排污权交易试点等,对绿色创新意愿和行为有显著的直接正向作用,得到了众多学者的共识(张倩和曲世友,2013;王娟茹和张渝,2018;齐绍洲等,2018;赵路等,2021)。

与此同时,很多学者关注环境规制和其他因素的交互作用对企业绿色技术创新的影响,发现企业家的人力资本提升能够促进企业的绿色创新(江世英,2021),而高管环保意识(徐建中等,2017)和董事会治理(王锋正和陈方圆,2018)对制度压力与绿色创新关系起到正向调节作用,而企业的战略性目标市场对绿色产品创新有显著影响(Cleff和Rennings,1999)。基于企业绩效视角的研究发现,创新能力对绿色创新战略与企业绩效关系具有调节作用。提高绿色技术创新有利于提升自然资源利用效率,从而改善企业的绩效(Sun et al,2017)。基于时期的研究表明,短期内我国企业绿色创新战略对企业绩效存在负相关关系或影响不明显(李曼和杨静,2017),但从长期来看,绿色创新投入会提升企业财务绩效(林赛燕和徐恋,2021;姜宇涵等,2018)。虽然绿色创新能力在长期能够提高企业绩效,但是短期内激励作用仍显不足,我国国有企业和主板上市公司的重污染企业更加重视绿色技术创新,但是我国重污染上市公司绿色技术创新的整体比例和层次均有待提升(田翠香和孙晓婷,2018)。除自主研发外,从国外引进技术也对企业绿色技术创新存在着促进作用,引进的绿色技术创新可以通过促进企业技术水平的提升赋予企业竞争优势(Hart,1995;Lee和Min,2015;Chan et al,2016;Riillo,2017)。

除了以上方面,很多学者还从地区经济发展、研发投入、对外直接投资和外包等视角研究绿色技术创新的影响因素(许晓燕等,2013;李国祥等,2016;宋维佳和杜泓钰,2017;李玲和夏晓华,2018;杨世迪和刘亚军,2021),此外,从国家、地区或行业层面的相关研究还包括绿色技术创新的对策(张庆普,2001;葛晓梅等,2005),绿色创新效率或评价(王郁蓉,2012;韩孺眉和刘艳春,2017),绿色创新的扩散路径等(王玉婧和刘辉煌,2007;曹霞和张路蓬,2015;毕克新等,2016;方竺乾,2018)。总而言之,绿色技术创新的研究范围十分广泛,但是目前鲜有学者关注城市化对于绿色技术创新的影响,仅有关于城市化对一般技术创新影响的文献研究。国内外学者均发现城市化能够促进技术创新。在美国,大城市的人均专利申请量高于其他规模较小的城市(Pred,1966)。而国内研究同样表明,城镇化过程能够为技术创新提供物质保障,且技术创新的发展也会进一步促进城镇化水平的提高(程开明,2010;仇怡,2013;张小霞和张蕾,2021)。对于这一现象的原因,学者认为主要是因为城市化形成产业集聚效应便于知识信息的交流,从而促进创新的发展(Jacobs,1969;王奇

和岳宏志,2020)。

城镇化的过程能够促进技术创新,但是也带来了一系列“城市病”。因此,智慧城市建设作为解决“城市病”的灵丹妙药,受到了学界的广泛关注。现有文献从多方面探究了智慧城市的建设目标和实现方式。关于智慧城市的建设目标,Nam 和 Pardo(2011)指出智慧城市包含“技术”“人力资本”“制度”三个维度,其中社会文明是智慧城市的建设重点,必须将社会维度和技术维度相结合。关于智慧城市实现方式的研究,表明了创新技术将是智慧城市建设必要的前提条件,而智慧城市最终的建设目标将是鼓励全社会创新,以促进商业的发展和资本的积累(Zygiaris,2013)。在智慧城市的建设过程中,政府则需要通过引进人才、财政补贴、政策鼓励等方式不断更新来吸引人力资源,从而提高城市创新水平,构建城市可持续创新生态(Caragliu 和 Del,2017)。同时,也有学者对智慧城市的建设提出批评意见,如 Hollands(2008)质疑智慧城市中城市治理变革的各类假设及智慧城市中的社会公平问题和可持续性发展问题,并认为目前对智慧城市的研究淡化了新技术和网络化基础设施的发展对城市的一些负面影响。

在国内,针对智慧城市的研究多停留在定性分析层面,也有部分文献结合实证方法开展研究。现有的实证文章表明,智慧城市建设能够显著促进城市的经济增长,提升城市的经济发展质量(张钰静,2017;赵蔡晶和吴柏钧,2020;汤旂璆,2020)。同时,文献证明了智慧城市的建设将提高城市的技术研发水平,显著促进城市的科技创新(刘巧等,2018;袁航和朱承亮,2020),而科技创新的动力源自于智慧城市信息化建设带来的企业交易成本下降(石大千等,2020)、金融业发展(石以涛和张锡宝,2019)和制造业产业水平升级等正面效应(张营营和高煜,2019)。一些实证研究针对智慧城市建设的环保作用进行了研究,发现智慧城市建设能够通过创新驱动产生技术效应、配置效应和结构效应,降低城市污染的9%~24%(石大千等,2018),在工业生产过程中,智慧城市建设也能够显著提升城市的工业生态效率(刘津和李平,2020)。但是,绿色技术创新作为污染治理的一项重要手段,却鲜有文献研究智慧城市建设对其影响。国外学者 Beretta(2018)利用米兰等6个城市包括环境、流动性、能源三个方面共51个项目的数据进行定量分析,研究了在欧盟致力于绿色创新的大背景下意大利智慧城市建设中绿色创新的社会影响。结果表明绿色生态环境项目对于社会整体有益,但这一研究也仅停留在描述性统计阶段。

综上所述,现有文献证明了政府的环境政策能够有效促进企业的绿色创新,而绿色创新将在长期内提高企业绩效,有利于企业及其所在城市的高质量发展。现有研究证明了智慧城市作为新型城镇化的重要途径,能够促进经济发展、城市创新和环境污染治理,但是其对绿色创新的影响研究仍显不足。为弥补这一领域的空白,本文结合中国智慧城市试点建设这一准自然实验,实证研究智慧城市建设的绿色技术创新效应,并考察智慧城市建设影响绿色技术创新的作用机制。一方面,本文为促进绿色技术创新提供了一条可行之道;另一方面,本文研究了智慧城市建设的效果,为进一步推进智慧城市建设的展开提供了理论依据和政策建议。

三、政策背景和机制分析

(一)绿色智慧城市的背景介绍

早在1970年,Wright 和 Steventon(1970)就提出应将信息传感技术嵌入城市并构建全球联动信息网络,打造智能空间。2008年,IBM首次提出智慧城市概念,指出智慧城市的原理是将信息技术嵌入到铁路、桥梁、隧道、道路、建筑物、供水系统、水坝、商业设备和医疗设备中,构建一个“物联网”(Lu,2011),从而实现城市经济的可持续性发展目标。而到目前为止,智慧城市的概念还尚在探讨中。许庆瑞等(2012)总结智慧城市政策不仅仅要体现在经济上,同时,还应囊括社会、文化、生态等多个方面。因此除了科学技术创新,还必须促进社会城市方面的创新,Beretta(2018)则更具体地将智慧城市建设细分为经济、交通、生态环境、人力、生活、社会管理6个方面。在智慧城市概念的探讨中,创新作为智慧城市建设的主要驱动力和工具力量被反复提及。

实践中,欧盟于2006年发起了面向知识社会创新的 Living Labs 网络建设,以期望最终促进欧盟创新系统的发展,建设更为完善的城市系统(宋刚等,2008);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、数据化、无缝移动连接的智慧型城市。2008年阿姆斯特丹启动了“Amsterdam Smart City”计划;2009年,美国比亚迪市与IBM合作,建立第一个美国智慧城市。2015年美国又提出了一项新的智能城市计划,积极规划智能交通、智能电网和智能宽带的设计,投资1.6亿美元用于推动智能城市

计划;2009年,日本推出“*I-Japan*”战略,重点实现电子政务、医疗卫生、教育三大公共领域的智慧化管理和运行。2015年,印度计划通过PPP(*public-private partnership*)项目发展100个智慧城市,并宣布未来五年将投资约75亿美元用于智能城市的建设。在新加坡、迪拜、南安普敦、巴塞罗那、马德里、斯德哥尔摩和纽约都实施了智慧城市技术和项目。

我国在2010年开始推出智慧城市建设的相关政策,首先将武汉和深圳作为试点城市。2012年12月5日,我国发布“关于开展国家智慧城市试点工作的通知”,正式启动智慧城市项目。首批国家智慧城市试点共90个,其中地级市37个,区(县)50个,镇3个。2014年,我国颁布《国家新型城镇化规划》,并于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》,于2017年将智慧城市写入党的十九大报告。“十三五”期间,中国规划对智慧城市的投资规模将超过5000亿元,目前全球已启动或在建的智慧城市已达1000多个,中国在建500个,远超排名第二的欧洲(90个)。虽然欧美在全球城市化进程中拥有先发优势,中国等亚洲国家也在急起直追,中国已经成为全球城市化增长率最高的国家。中国的城镇化率在2016年已经达到57.4%,预计在2050年达到80%^③。

迄今为止,大多数在欧洲城市开发的“智能”项目都侧重于环境及其有效管理的主题。这是因为在欧盟28国,城市化的快速发展导致多于六成的人口居住在城市,高密度的城市人口增加了能源、交通、水、建筑和公共空间的负担,欧洲城市急需“生态创新”的环境。绿色环保创新更是被认为是实现欧洲2020战略的关键要素(Beretta, 2018)。而在国内,十八大提出的五位一体总体布局,将生态文明建设加入未来建设社会主义的着重点之一。2015年出台的《关于加快推进生态文明建设的意见》指出我国必须坚持环境经济可持续发展。由此可见智慧城市建设与城市绿色技术创新相辅相成,研究智慧城市的绿色技术创新效应可以为我国未来的绿色智慧城市建设打下良好基础。

综上所述,本文提出研究假设1:智慧城市的建设能够促进城市的绿色技术创新,从而带来生态环境的改善。

(二)机制分析

在理论上,智慧城市建设通过项目资金增加和产业结构升级两个途径促进绿色技术创新。

1. 项目资金投入

一方面,国家对智慧城市的政策鼓励,将体现在财政支持上。例如,在阿姆斯特丹的绿色智慧城市建设中,共有14个相关项目接受来自欧洲区域发展基金的资金(Zygiaris, 2013);2018年,澳大利亚联邦政府向智慧城市项目下拨资金近60万美元,其中大约十分之一都用于Parramatta市的一个环境监测试点项目,目的是设计出更具有宜居性的城市;在中国,上海信息化发展专项资金2018年支持各企业、单位共计7653.7万元,其中不乏包括数家环保科技有限公司;中国在2017年7月以前的智慧城市PPP项目中,最大单个项目投资额高达48亿,其中财政拨款占据一大部分。政府所投资的PPP项目不仅包括交通、水务等方面,还包括多数智慧环保、节能项目。智慧城市接受的财力支持可以为创新提供物质方面的保障、提供良好的客观环境。当智慧城市将得到的财政支持用于科技支出时,绿色产出也将相应增加。

另一方面,城市化的发展将促进高素质人力资本的积累和多样性发展,人力资本的发展将促进企业的日常经营活动质量的提高和决策有效性的提高;产业内的信息网络将有效地促进信息共享和传播,信息的交流与协作将促进企业间信任感的培养,减小交易摩擦和信息不对称所带来的社会总福利下降;城市化中的产业集聚和分工促进了工业效率的提高,为企业节省了不必要的生产成本(程开明, 2010)。综上,城市化最终将促进企业生产成本的总体下降和利润最大化,促进企业的资本积累从而促进城市 and 全社会的资本积累。仇怡(2013)指出,人口、资本、要素会在城市化的建设过程中逐渐聚集到城市中,从而使得城镇规模扩大和城镇建设质量的提高,最终促进技术创新活动的积极开展;同时,创新具有正外部性,即当一家企业研发出一款新产品时,其他企业可以从该项新产品中获益,以新产品作为下一步研发的基础。创新的正外部性和知识外溢将进一步促进创新的发展,最终形成城市化与技术创新之间的良性循环。进一步地,王治东和张琳(2016)研究发现,在智慧城市建设中,新兴信息等技术行业的发展会进一步促进人力、资本、要素等的集聚。因此,智慧城市的建设会促进资本集聚、积累。当城市的资本积累增加时,会相应地增加新产品的科技投入,从而促进绿色技术的创新。

③ Deloitte Public Sector, TMT Industry and Deloitte Research “Super Smart City—Happier Society with Higher Quality”。

因此本文提出研究假设 2:智慧城市的建设能够鼓励城市的资本积累与新产品的科技投入,从而促进绿色技术创新。

2. 产业结构升级

石大千等(2018)认为智慧城市建设会促进企业技术创新、产品创新、市场创新,进而促进产业结构升级。

技术创新方面,智慧城市建设通过将各类传感器、智能遥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。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、高新产业、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。传统城市产业发展主要依靠劳动、资本等传统要素的投入,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,提升行业的运行效率,进而驱使传统产业更加快速高效地实现结构升级。

产品创新方面,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。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,由粗放型向技术型转变。

市场创新方面,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技术产业,以及新能源、新材料产业,从而开拓了以新技术和高新科技产品为需求主导的新兴市场。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。同时,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)。新兴经济的市场需求扩大会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。

智慧城市的经济发展需要依托以物联网、大数据、移动互联、云计算等为主的信息技术产业,以及新能源、新材料等新兴产业。新兴产业的发展会促进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、低污染的产业特点,绿色技术会随着新兴行业的发展而快速发展。因此新兴产业通过产业结构促进绿色技术创新发展。

因此本文提出研究假说 3:智慧城市建设通过鼓励新型产业发展,推进产业结构转型升级,从而促进城市的绿色技术创新。

四、变量选取和计量模型设定

(一)变量选取

中国在 2012 年正式开始智慧城市试点政策。因此本文构建了 2012 年前后 6 年,即 2006—2018 年的 287 个地级市的面板数据。其中外商直接投资(实际使用金额)、第二产业国内生产总值、GDP、人均 GDP、财政收入、存贷款金额、环境污染投资额、城镇化率和人口数据来自国家统计局。上述变量的描述性统计见表 1。

表 1 主要变量的描述性统计

变量	变量编码	均值	标准误	最小值	最大值
绿色专利授权量(对数)	<i>gpc</i>	3.369	1.557	0	7.663
环境污染治理额投资(对数)	<i>iepc</i>	9.881	0.885	2.996	11.86
FDI 占 GDP 比重	<i>fgdp</i>	0.019	0.018	0	0.115
第二产业占 GDP 比重	<i>sgdp</i>	0.489	0.106	0.148	0.856
人口(对数)	<i>pop</i>	8.150	0.651	5.446	9.362
财政支出占 GDP 比重	<i>gov</i>	0.172	0.095	0.0350	0.872
存贷款占 GDP 比重	<i>allfin</i>	1.409	0.564	0.399	5.056
人均 GDP(对数)	<i>agdp</i>	10.34	0.661	8.150	12.09
城镇化率	<i>urb</i>	0.340	0.166	0.0610	1.002

(二)计量模型设计

本文主要考察智慧城市的建设对于绿色技术创新的影响,利用地级市面板数据,使用倍差法进行估计。已有学者(石大千等,2018)将智慧城市政策视为外生,研究智慧城市政策对环境的减污效果,其认为中国在2012年的智慧城市政策可以视为一次准自然实验,可以使用双重差分(DID)方法克服内生性问题并对智慧城市的政策效果进行检验。这一研究为本文提供了借鉴。本文基准模型如下:

$$Y_{i,t+1} = \beta treatment_i \times post_t + \delta Control_{it} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中: i 和 t 分别为地区和时间;因变量 $Y_{i,t+1}$ 以 $t+1$ 年的绿色专利授权数表示绿色技术创新水平; $treatment_i \times post_t$ 为回归的自变量,其中 $treatment_i$ 为 i 地区是否是智慧城市的虚拟变量,是为1,否则为0, $post_t$ 为时间虚拟变量,2012年及以后为1,以前为0; β 为自变量的系数; $Control_{it}$ 为控制变量; δ 为控制变量的系数; α_i 为省份固定效应,用来控制所有不随时间变化的地区特征; γ_t 为年份固定效应,用来控制固定年份发生在全国范围内会对被解释变量产生影响的冲击; ε_{it} 为残差项。本文的固定效应模型已通过Hausman检验, P 值显著,可以拒绝随机效应原假设,选择固定效应模型。

同时,本文借鉴石大千等(2018)的方法选择样本:①从样本中剔除只对某个区或县设置试点的地级市(如朔州市只将平鲁区作为智慧城市试点),否则将会低估智慧城市的政策效应;②中国至今一共设立了三批智慧城市试点,分别在2012年、2013年和2014年。本文在样本中去掉2013年和2014年新增加的智慧城市试点,仅选取2012年的样本,以保证回归结果完全反映2012年智慧城市建设政策的净效应。

处理后的样本包括智慧城市32个、非智慧城市135个。为了控制对照组选择所带来的估计偏差,选择在各方面特征上尽可能与实验组相似的对照组。本文使用Rosenbaum et al(1983)提出的倾向得分匹配(PSM)法消除样本选择偏差,模型如下:

$$Y_{i,t+1}^{PSM} = \beta treatment_i \times post_t + \delta Control_{it} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中:绿色技术创新水平是本文的核心解释变量。国家知识产权局指出,绿色专利是指以绿色技术为发明主体的发明、实用新型和外观设计专利。其中,绿色技术包括全部有助于提升能源利用率、减少空气污染、实现可持续发展的技术,主要包括替代能源、环境材料、节能减排、污染控制与治理、循环利用技术^④。绿色技术创新是与环境直接相关的一类技术创新。关于环境技术创新的衡量现有文献也有不同的标准,国外文献多使用与环境相关的专利申请数量来衡量(Wagner,2007;Johnstone et al,2010),国内学者使用的相关指标有:单位能耗新产品的销售收入(王锋正等,2018)、内部研发经费支出与技术改造经费投入之和(毕克新等,2011)等。专利是衡量技术创新产出最直接的指标,且专利申请需经相关政府部门,因而专利数据相比企业自报的研发投入更具真实性。绿色专利申请的数量,与企业的环保意识的高低及环境友好程度紧密地联系在一起。企业通过研发绿色环保技术并申请专利,一方面减少了产品生产、销售和使用过程中带来的环境污染、提高了资源利用率;另一方面达到了塑造企业健康形象、吸引消费者的目的。因此本文借鉴国外文献,选取绿色技术创新专利数来衡量地区绿色技术创新水平。关于绿色专利的识别与整理,本文借鉴前人研究,结合经济合作发展组织(OECD)提供的环境技术指标(the OECD indicator of environmental technology)和世界知识产权局(WIPO)提供的绿色技术分类清单(the IPC of green inventory)从专利数据库中识别出绿色专利,更进一步地,本文借鉴Wagner(2007)的研究,使用与绿色技术相关的关键词进一步补充识别绿色专利。

为了尽可能减少遗漏变量对估计结果产生的影响,本文在 $Control_{it}$ 中控制了其他影响绿色技术创新的影响因素。

(1)环境规制强度。已有众多学者(Brunnermeier和Cohen,2003;许士春等,2012;王娟茹和张渝,2018)研究发现,环境规制强度与企业绿色技术创新之间存在正向显著关系。王红梅(2016)基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究,表明市场激励型环境规制和命令控制型环境规制目前仍然是中国治理环境污染最有效的两种环境规制工具。针对市场激励型环境规制工具,王红梅(2016)指出市场激励主要有正向补贴和负向惩罚两类,正向补贴的代理指标主要有当年城市环保基础设施投资总额、当年环境污染治理投资总额。因此本文参考李国祥等(2016)以环境污染治理投资额的对数值表示环境规制强度。

(2)外商直接投资。外商直接投资对于绿色技术创新的影响在学术界存在很大争议,一部分学者认为FDI能带来技术外溢效应,并为中国企业带来先进的技术和管理理念,同时,国内上游或中间产品供应商为

④ 国家知识产权局《中国绿色专利统计报告(2014—2017年)》

满足外资企业对其投入的中间产品的质量和标准要求,则在不断的学习与改革中提高了自己的生产效率从而促进企业的技术发展(何洁,2000)。另一方面,外资企业也可能会通过其雄厚的资本和广泛的信息来源,挖走内资企业的优秀人才、占用国内资源,造成国内企业技术、生产能力的下降。本文参考李永友和沈坤荣(2008)以 FDI 占 GDP 的比重表示外商直接投资。

(3)经济发展水平。经济发达的地区区位优势明显、资金实力雄厚、科研能力较强。因此绿色技术创新水平也较高。具体地,李艳军和华民(2014)认为:一方面,经济发展水平与科技水平和人力资本水平均具有正相关关系,随着经济发展水平提高,技术效率也会随之提升;另一方面,随着收入水平的提高,居民对绿色产品的需求和投资能力也会增强,将有利于提高城市经济的绿色效率。本文参考许晓燕等(2013)以人均 GDP 的对数值表示经济发展水平,参考李艳军和华民(2014)以人口对数值表示城市规模。

(4)产业结构。产业结构会对环境质量产生影响,产业结构的高度化和合理化能够促进环境质量的改善。一般情况下,第二产业被认为是产生大量污染物的产业,第二产业的比重上升加剧地区环境污染。本文参考李艳军和华民(2014)的研究选取第二产业产值占地区生产总值的比重衡量产业结构。

(5)财力支持。已有大量学者实证研究证明科技研发投入与企业技术发展存在很大的正相关关系(沈能和刘凤朝,2012;许晓燕等,2013;范如国和蔡海霞,2012),而在金融市场不发达条件下,企业研发投入的资金除来源于企业自有资金外,相当部分来源于政府财政支持与银行贷款。本文参考成力为和戴小勇(2012)以财政支出占 GDP 的比重表示政府的财力支持。

(6)存贷款占 GDP 比重。金融中介和金融体系对经济发展具有重要作用,金融发展水平越高,越能有效配置市场资源,提高经济效率。解维敏(2011)基于中国上市公司数据,实证考察了地区金融发展对企业 R&D 投入的影响得到:银行业市场化改革的推进、地区金融发展积极地推动我国上市公司的 R&D 投入。因此金融发展可以对企业的绿色技术创新产生影响,本文参考李艳军和华民(2014)以存贷款总额占 GDP 的比重表示金融发展水平。

(7)城镇化水平。张腾飞等(2016)研究指出中国的城镇化与碳排放存在正向影响,但是城镇化会通过人力资本积累和清洁生产技术推广来弱化这种不利影响。本文参考石大千等(2018)以城镇化率表示城镇化水平。

五、实证结果分析

(一)匹配平衡性检验

本文采用 2006—2018 年全国 287 个地级市的面板数据,研究 2012 年第一批智慧城市试点的政策效果,并通过 PSM-DID 相结合的方法,有效解决样本选择偏差和内生性问题。本文采取政策实施前一年即 2011 年进行倾向得分匹配,使用 logit 方法估计倾向得分,根据临近匹配法进行匹配。对于 2012 年设立的每一个智慧城市,选取其 2011 年度各协变量的数据,在所有非智慧城市中选择倾向得分值最接近的一个城市作为匹配对象。最终有 26 个智慧城市与 26 个非智慧城市匹配成功。提取匹配成功的实验组和对照组城市 2006—2018 年的面板数据进行 DID 回归。

表 2 的平衡性检验结果中,实验组与匹配后的对照组协变量均值无显著性差异, T 值都不显著,说明平衡性检验支持 PSM 匹配结果。图 1、图 2 为匹配前后的倾向得分值密度函数图,从图中可以直观看出,实验组和对照组匹配后的概率密度十分接近,进一步验证了 PSM 良好的匹配效果。

表 2 平衡性检验

变量	实验组均值	控制组均值	差分	T	P
环境污染治理投资额	10.336	10.274	0.100	0.33	0.740
FDI 占 GDP 比重	0.023	0.021	0.104	0.34	0.732
第二产业占 GDP 比重	0.567	0.569	-0.015	-0.07	0.947
人口对数	8.225	8.173	0.08	0.28	0.780
财政支出占 GDP 比重	0.133	0.139	-0.102	-0.47	0.644
存贷款占 GDP 比重	1.454	1.435	0.031	0.13	0.893
人均 GDP	10.656	10.596	0.124	0.47	0.640
城镇化率	0.359	0.367	-0.051	-0.20	0.841

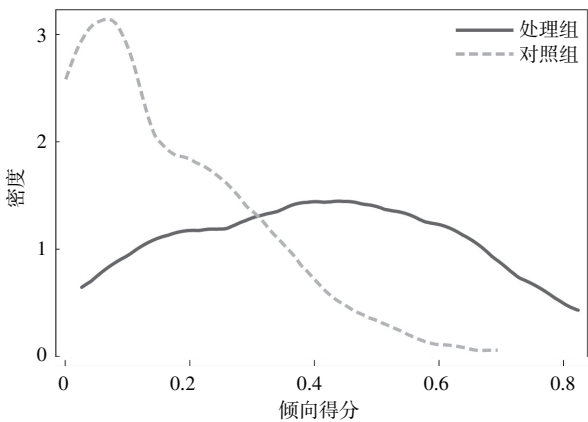


图1 匹配前核密度图

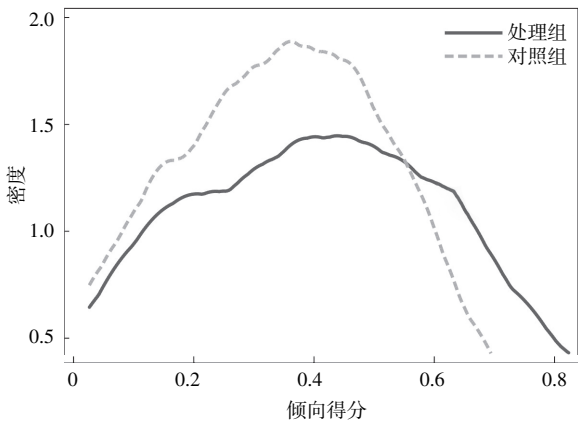


图2 匹配后核密度图

(二)基本回归结果

本文在PSM匹配的基础上,构建DID模型,逐步加入控制变量和年份、省份固定效应,基本回归结果见表3。表3列(3)加入控制变量和年份、省份固定效应的结果表明,智慧城市建设显著地促进了绿色创新技术的发展,交互项($treatment \times post$)系数为0.21,在5%的水平下显著,这表明智慧城市的绿色专利数量将比非智慧城市平均高出23.37%^⑤。

(三)平行趋势检验和年度效应

PSM-DID检验的前提是,样本必须符合平行趋势假说,即实验组和对照组在政策发生之前必须拥有共同的绿色专利增长趋势。本文参考Hering和Poncet(2013)使用的倍差法进行平行趋势检验,以更有说服力的回归数据说明实验组和对照组确实满足平行趋势。这里设置政策之前的时期虚拟变量,考察在政策实施之前,两组样本间的绿色技术创新水平是否已经出现差异。时期虚拟变量包括政策实施前一年(pre_{-1})、政策实施前两年(pre_{-2})、政策实施前三年(pre_{-3})。这里设置政策实施后的时期虚拟变量,政策实施后一年($post_1$)、政策实施后两年($post_2$)、政策实施后三年($post_3$),将其加入模型。

由表4列(1)可知, $treatment \times pre_{-n}$ ($n = 1, 2, 3$)的估计系数均不显著,这说明实验组和对照组的选择满足平行趋势假说。同时, $treatment \times post_1$ 与 $treatment \times$

表3 基本回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>gpc</i>	<i>gpc</i>	<i>gpc</i>
$treatment \times post$	-0.263***(-3.22)	-0.098(-0.80)	0.210**(-2.18)
其他控制变量	不控制	控制	控制
年份固定效应	不控制	不控制	控制
城市固定效应	不控制	不控制	控制
常数项	4.192***(-20.39)	0.41(-0.18)	-16.64***(-5.03)
样本量	624	378	378
R^2	0.019	0.385	0.785

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平下显著;括号内为根据标准误差计算得出的t统计量;控制变量包括环境规制强度、外商直接投资、经济发展水平、产业结构、财力支持、金融发展水平和城镇化水平。

表4 共同趋势检验和年度效应、安慰剂检验、稳健性检验

共同趋势检验和年度效应		安慰剂检验		稳健性检验	
	(1)	(2)	(3)		(4)
	<i>gpc</i>	<i>gpc</i>	<i>gpc</i>		<i>gpc</i>
$treatment \times pre_{-3}$	0.057 (0.30)	$treatment \times post_{2008}$ 0.133 (0.12)		$treatment \times post$	0.210** (2.18)
$treatment \times pre_{-2}$	0.086 (0.54)	$treatment \times post_{2009}$	0.137(1.11)	$policy_{2013}$	-1.540*** (-4.78)
$treatment \times pre_{-1}$	0.030 (1.46)				
$treatment \times post_1$	0.373** (2.28)				
$treatment \times post_2$	0.294* (1.82)				
$treatment \times post_3$	0.332 (1.61)				
其他控制变量	控制	控制	控制		控制
年份固定效应	控制	控制	控制		不控制
城市固定效应	控制	控制	控制		控制
常数项	-16.59*** (-4.93)	-18.54*** (3.46)	-18.47*** (3.45)		-16.64*** (-5.03)
样本量	378	227	227		378
R^2	0.613	0.724	0.723		0.649

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平下显著;括号内为根据标准误差计算得出的t统计量;控制变量包括环境规制强度、外商直接投资、经济发展水平、产业结构、财力支持、金融发展水平和城镇化水平。

⑤ 按照公式 $100 \times (\exp\beta - 1)$ 计算得23.37%。

$post_2$ 的系数显著为正,这说明智慧城市政策效果具有持续性,2012年设立的智慧城市将会在两年的时间内持续促进绿色技术创新发展。

(四)安慰剂检验

为了验证 PSM-DID 结果的稳健性,借鉴 Hung 和 Wang(2014)的方法进行安慰剂检验。首先,构建虚拟政策时间进行安慰剂检验。本文运用双重差分方法的前提是如果不存在智慧城市试点政策,实验组和对照组在绿色专利数量趋势上的差异将不会随着时间的变化而改变。因此,选取 2006—2011 年这一时间段,假设智慧城市试点政策发生在 2008 年($post_{2008}$)和 2009 年($post_{2009}$),进行和基本回归方法一致的检验,结果见表 4 列(2)和列(3)所示。由表 4 可知, $treatment \times post_n$ ($n = 2008, 2009$) 的系数均不显著,这验证了基本回归结果的稳健性,说明基础回归研究结论确实是由 2012 年的智慧城市政策所带来的。其次,本文还采用构建虚拟实验组的方式进行安慰剂检验。在 52 个地级市样本中进行随机抽样,抽取和原来的实验组个数相同的城市作为虚拟实验组进行安慰剂检验,过程重复 500 次,将 500 个 $treatment \times post$ 的回归估计系数绘制成核密度图,如图 3 所示。图 3 中 $treatment \times post$ 的估计系数均值为 -0.0140,标准差为 0.224,远离基本回归估计系数 0.21(垂直虚线表示基本回归估计系数)。说明表 1 的结果确实是由智慧城市政策引起的。

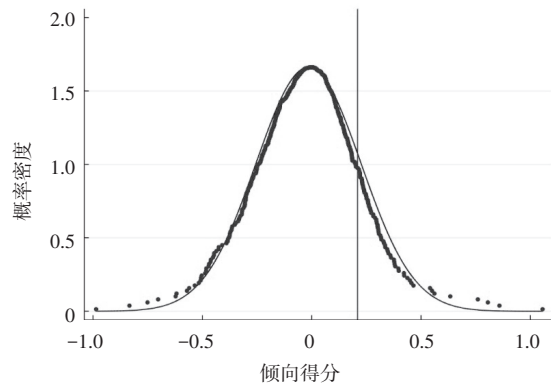


图 3 构建虚拟实验组的安慰剂检验系数核密度图

(五)稳健性检验

2013 年,中国新发布了系列环保政策和法律法规(石大千等,2018),本文认为在这一政策冲击下,企业和城市为了达到国家的环保规定,将进行绿色技术创新从而减少污染排放。因此 2013 年的政策也会对绿色专利数量产生影响,可能将导致本文基本回归的结果存在偏差。因此,本文在基本回归中加入 2013 年这一虚拟变量($policy_{2013}$),检测其对交互项系数的影响。表 4 列(4)为考虑 2013 年政策冲击的回归,交互项 $treatment \times post$ 的系数和显著性没有改变,说明本文结果是稳健的。

(六)机制检验

根据本文进行的智慧城市建设对绿色技术创新的机制分析,智慧城市可以从两个方面促进绿色技术创新的发展,一方面通过绿色创新项目资金投入的提高;另一方面通过全社会创新过程中形成的产业结构升级。本文选取财政科技支出占 GDP 的比重($expenditure$)作为绿色技术研发资金投入指标,选取产业结构升级率($structure$)(第二、三产业产值之和占当地国内生产总值比重)作为产业结构指标。

回归结果见表 5。第一步,先还原基本回归结果,绿色专利数量为被解释变量,交互项($treatment \times post$)为解释变量,估计系数显著为正,说明智慧城市建设促进了绿色专利的增长;第二步,将交互项分别对两个指标进行回归,列(2)和列(3)交互项($treatment \times post$)估计系数显著为正,说明智慧城市建设促进财政科技支出的提高、促进产业结构升级;最后一步,将滞后一期的绿色专利数量(gpc)作为被解释变量,将交互项和两个指标分别放入回归中,列(4)和列(5)研发投入指标($expenditure$)和产业结构指标($structure$)的估计系数都显著,符号都为正,但是交互项的估计系数($treatment \times post$)相比于列(1)中的结果更趋近于零,且 P 值也有下降。绿色创新项目资源投入的增加和产业结构升级能够作为智慧城市建设促进绿色技术创新的发展的部分机制。

表 5 机制检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>gpc</i>	<i>expenditure</i>	<i>structure</i>	<i>gpc</i>	<i>gpc</i>
$treatment \times post$	0.210** (2.18)	0.0304* (-1.77)	0.00823* (-1.74)	0.191** (-1.98)	0.194** (-2.06)
<i>expenditure</i>				0.606*(-1.91)	
<i>structure</i>					1.842* (-1.74)
其他控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-16.64*** (-5.03)	-1.146*** (-3.15)	1.884*** (-10.5)	-15.91*** (-4.82)	-19.26*** (-5.01)
样本量	378	378	377	378	377
R^2	0.6493	0.4733	0.4391	0.6527	0.6511

注:*** **,*分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著;括号内为根据标准误差计算得出的 t 统计量;控制变量包括环境规制强度、外商直接投资、经济发展水平、产业结构、财力支持、金融发展水平和城镇化水平。

(七)异质性检验

1. 经济外向型程度异质性

外向型经济是以全球市场需求为导向,通过合理扩大出口贸易与积极引入外资等对外经济活动来引导和带动国民经济发展,打造国家和地区开放型经济的发展模式和发展策略(路林书,1988)。外向型经济的三个主要特征为先进性、合理性及风险性。其中,先进性表现为对新技术的高度敏感和积极吸收。外向型经济的核心是扩大出口贸易和利用好外资,国际市场对出口产品往往要求一定水平的绿色技术含量,这就迫使企业进行绿色技术创新。此外,外资企业也可能会通过其雄厚的资本和广泛的信息来源,为国内引入急需的生产设备和生产方法,带来技术创新能力的提升。基于此,本文基于城市外向型经济发展视角进行分组回归分析,考察外向型经济发达地区与欠发达地区智慧城市建设对企业绿色技术创新影响的差异。

关于外向型经济发展水平的度量,现有研究的测度指标主要有三类,金融开放度、贸易开放度和资本开放度。谢守红(2008)使用出口总额、实际利用外资数量及资本依存度等指标,运用主成分分析方法计算各城市的外向型经济发展水平。本文在其基础上进一步引入度量地级市金融开放水平的指标:城市外资金融机构的数量和从业人数,使用主成分分析方法更为全面的计算得出各城市的外向型经济发展水平指数(*seoe*)。基于城市外向型经济发展视角的分组回归结果见表6。

表6 异质性分析

变量	外向型经济		人均证券交易额		金融业增加额		私营经济		人力资本	
	below	above	below	above	below	above	below	above	below	above
<i>treatment × post</i>	0.364** (-2.28)	0.0567 (-0.5)	0.668*** (-4.14)	0.182 (-1.48)	0.669*** (-4.38)	0.111 (-0.81)	0.474*** (-2.96)	0.204* (-1.66)	0.241 (-0.98)	0.282** (-2.2)
其他控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-12.01 (-1.49)	-20.74*** (-5.79)	-28.89*** (-8.79)	-10.95* (-1.84)	-26.70*** (-8.82)	-12.46* (-1.88)	-16.22*** (-4.32)	-16.96*** (-2.86)	-8.107 (-1.56)	-23.93*** (-10.18)
样本量	182	199	182	196	200	178	183	195	158	220
<i>R</i> ²	0.5857	0.7376	0.5047	0.7530	0.5372	0.7495	0.5393	0.7454	0.4465	0.6316

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平下显著;括号内为根据标准误差计算得出的*t*统计量;控制变量包括环境规制强度、外商直接投资、经济发展水平、产业结构、财力支持、金融发展水平和城镇化水平;below表示低于相应变量的中位数;above表示高于相应变量的中位数。

表6可知,低于外向型经济指数中位数的分组回归系数显著为正,高于中位数的分组回归系数不显著。这表明外向型经济不发达的地区,智慧城市的绿色技术创新效应更显著,这体现了互补效应。首先,国际市场要求出口产品具备一定水平的绿色技术含量,为生产适销商品,企业必须进行生产技术的绿色升级;其次,外商直接投资存在技术溢出效应,带动企业研发和应用绿色技术;此外,绿色技术的使用往往需要配套的生产设施,外向型经济发达地区,企业可以通过扩大出口,增加外汇收入,引进国内急需的设备。因此在外向型经济发达的地区,企业已进行了大量绿色技术创新活动,智慧城市政策的影响便没有那么显著。但在外向型经济不发达的地区,企业的绿色技术创新尚显不足,智慧城市政策的绿色技术创新效应便显著体现出来。

2. 金融发展水平异质性

技术创新尤其是绿色技术创新存在高风险、信息不对称及投资周期长等特点,诸多研究表明企业的创新活动往往面临融资难问题(Hall 和 Lerner, 2010)。而绿色技术创新的特殊性决定了其融资成本相对其他一般融资项目更高。企业进行技术创新或从外部购买并更新生产技术需要较高的一次性资金投入,持续且稳定的外部资金来源为企业进行技术创新提供重要支持。因此解决融资约束难题是企业更新现有落后技术和进行绿色技术创新的先决条件。

金融发展能够增大资金蓄水池规模,拓宽企业渠道,降低企业的融资难度和资金使用成本。因此金融发展将有助于缓解企业在绿色技术创新过程中所面临的融资难题,使得企业的创新动机不因资金匮乏而流产。基于上述分析,本文基于城市金融发展水平异质性进行分组回归分析,研究不同金融发展水平下,智慧城市建设对企业绿色技术创新的影响。具体地,本文选用人均证券交易额(城市证券交易量/人口数)(*astv*)和金融业增加额(*fav*)衡量城市的金融发展水平。分组回归结果见表6。

由表6可知,通过人均证券交易额或是金融业增加额两种方式衡量的地区金融发展水平,低于中位数的分组回归系数显著为正,而高于中位数的分组回归系数不显著。这表明金融发展水平低的地区,智慧城市的

绿色技术创新效应更显著,这同样体现了互补效应。金融发展水平高的地区能够为企业研发和应用绿色技术提供更为高效和便捷的融资渠道,解决企业更新技术过程中资金投入需求难题,从而更好地促进当地企业开展绿色技术创新。而在低金融发展水平地区,企业融资资源匮乏,融资成本高,这大大限制了企业的绿色技术创新活动,但智慧城市政策的出现为企业的创新活动开展提供了支持。因此在低金融发展水平的地区,智慧城市政策的绿色技术创新效应便显著体现出来。

3. 私营经济发展程度异质性

工业企业生产经营过程中的污染物排放是环境污染的主要来源。学术界关于企业所有制结构与环境污染的关系存在争议。Earnhart 和 Lízal(2007)研究认为所有制结构显著影响企业的环境绩效,相比私营企业,国有企业更显著降低了污染排放。Lee 和 Min(2015)也认为公共企业往往在考虑经营利润的同时还需要承担社会责任,因而其内部化环境外部性的意愿相对较强,从而更倾向于减少污染物排放。成力为和戴小勇(2012)研究发现国有企业研发活动高度集中、研发投入最多,且更具规模经济效应,研发效率高。但耿强和杨蔚(2010)研究表明国有企业的环保表现不明确,存在双向效应,并且在东中西部的环境效应存在差异。孙英瑜(2011)研究指出私营企业完全以盈利为目的,在政府环境规制下,更愿意采用先进的绿色生产技术以减少排污成本,在提高经济效率的同时改善环境质量。不同所有制结构企业内部化环境外部性的意愿不一致,进行绿色技术创新的动力和对技术创新项目采取的行动都存在差异。

本文基于城市私营经济发展程度(*pri*)进行分组回归分析,考察在城市私营经济发展水平高于或等于中位数水平(*above*)和低于中位数水平(*below*)时地区智慧城市建设对于企业绿色技术创新的影响是否存在差异。其中,城市私营经济发展程度使用城市非国有经济产值占工业总产值的比重进行衡量。具体回归结果见表6。

因为两个分组的回归系数都是显著的,为更好比较组间系数差异,进行了费舍尔组合检验,检验结果 P 值不显著,表明两个分组的组间系数差异很小。回归结果和费舍尔组合检验结果说明,智慧城市建设对于不同私营经济发展程度地区的绿色技术创新影响并不存在显著的异质性。

4. 人力资本水平异质性

智慧城市建设对劳动力人力资本水平有较高的要求。因为智慧城市建设以现代信息技术的开展为前提,而信息技术行业对于劳动力素质有较高的要求。受教育水平高的劳动力或高技能劳动者更能适应新兴行业的工作,并在短时间内掌握且熟练掌握技术。在人力资本水平较高的地区,智慧城市建设中的绿色技术创新活动也较容易开展。本文基于地区的人力资本水平进行分组回归分析,考察在人力资本水平高于或等于中位数水平(*above*)和低于中位数水平(*below*)时地区智慧城市建设对于企业绿色技术创新的影响是否存在差异。其中,人力资本根据地区受教育年限(6、9、12)加权衡量得出。具体回归结果见表6。

由表6可知,高于人力资本指标中位数的分组回归系数显著为正,而低于中位数的分组回归系数不显著。这表明智慧城市建设对地区的人力资本水平提出了较高的要求。人力资本水平高的地区,高技能的劳动力有效促进了绿色技术创新的开展,而在人力资本水平低的地区,由于缺少高技能劳动力的支持,企业的绿色技术创新活动受到了很大限制。

六、结论和启示

环境污染的治理是全球共同关注的热点问题,我国政府高度重视环境保护,坚持系统推进绿色增长并提出碳中和承诺。实现绿色增长的诸多途径中,以可持续发展和大数据建设为核心的智慧城市格外引人注目。因此,检验智慧城市建设对绿色技术创新的促进效果,为我国实现绿色增长探索了一条可行的路径,也为我国碳中和的实现给出了规划书和路线图,具有非常重要的政策含义。

本文结合2006—2018年全国287个地级市的面板数据开展准自然实验,使用PSM-DID方法实证检验了智慧城市建设对绿色技术创新的影响。研究结果表明,智慧城市建设对绿色技术创新有显著的正向影响,智慧城市的绿色专利数量将比非智慧城市平均高出23.37%,且这一促进效果具有持续性。机制检验表明,智慧城市建设过程中财政科技支出的增加和产业结构的升级调整,是其促进绿色技术创新的主要原因。异质性检验表明,在低金融发展水平、低外向型经济水平和高人力资本水平的条件下,智慧城市建设促进绿色技术创新的效果更加显著。这说明智慧城市建设对绿色技术创新促进效用明显,是实现绿色增长和碳中和重要途径,各级政府应该重视智慧城市建设过程中对环境保护和绿色创新的积极效应。

本文的结论能够带来以下四个方面的启示:

首先,政府应重视借助智慧城市建设的契机,大力发展绿色环保技术。生态环境问题是中国在改革转型期必须攻克的重难点问题,实现碳中和的重要目标也对绿色技术创新提出了新的要求。因此在以大数据和信息化为中心的智慧城市建设过程中,不仅要考虑到经济、社会效益的实现,还要考虑到应尽可能产生正面的环境效益。各级政府应提供优质公共服务,推动基础设施建设,完善现有法律法规,为绿色技术创新创造良好的市场环境,促进智慧城市建设过程中绿色环保技术的发展。

第二,机制检验的结果表明,在智慧城市的建设过程中,政府可以通过增加财政科技支出,为创新提供物质方面的保障和良好的客观环境,从而促进绿色技术创新。各级政府应加大政策导向力度,下放财政资金、积极开展智慧城市PPP项目等相关项目,促进绿色创新活动的开展。此外政府应出台并完善相关政策法案,为中小企业开展绿色创新提供融资便利,帮助企业更加便捷地将资金投入到科技研发中,促进绿色环保产品的更新换代。

第三,城市化的推进和新兴技术行业的发展,将形成人力资本等要素的集聚效应。这一效应能够推动产业更新换代,从而促进地区的绿色技术创新。这启示我们在智慧城市的建设过程中,应该摒弃粗放型的传统发展道路,选择走技术创新型的经济发展道路。各级政府应依托计算、互联网、大数据等先进技术,实现产业信息网络的构建,加快信息技术行业与传统产业的融合,提高行业的运行效率,促进产业结构优化升级。同时政府应努力提高城市化质量水平,吸引高质量的人才和技术,实现新兴经济的产业集聚,从而促进地区的绿色技术创新。

同时,政府在智慧城市的建设中,需要考虑到不同地区经济社会发展的异质性,因地制宜确立相应的政策法律,精准促进绿色技术创新高效发展。例如在经济较为落后(外向型经济水平低、金融发展水平低)的地区,由于上述地区历史上缺乏开展绿色技术创新的物质条件和社会环境,智慧城市建设对这些地区绿色技术创新的促进作用更为显著。因此当地政府如果在智慧城市建设的进程中注重促进绿色技术创新,能够取得较高的投入回报率,收获明显的成效。中国各地区异质性较为明显,应该在智慧城市建设的进程中,努力减小区域经济差异,鼓励各地区物质资源和人力资本的积累,从而促进区域间的共同发展。

参考文献

- [1] 毕克新,付珊娜,田莹莹,2016. 低碳背景下我国制造业绿色创新系统演化过程:创新系统功能视角[J]. 科技进步与对策, 33(19): 61-68.
- [2] 毕克新,杨朝均,黄平,2011. FDI对我国制造业绿色工艺创新的影响研究基于行业面板数据的实证分析[J]. 中国软科学, (9): 172-180.
- [3] 曹霞,张路蓬,2015. 企业绿色技术创新扩散的演化博弈分析[J]. 中国人口·资源与环境, 25(7): 68-76.
- [4] 程开明,2010. 城市化促进技术创新的机制及证据[J]. 科研管理, 31(2): 26-34.
- [5] 成力为,戴小勇,2012. 研发投入分布特征与研发投入强度影响因素的分析-基于我国30万个工业企业面板数据[J]. 中国软科学, (8): 152-165.
- [6] 邓雅君,张毅,2013. 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, (12): 1-8.
- [7] 杜强,2003. 全球绿色贸易壁垒与我国对外贸易发展对策[J]. 亚太经济, (2): 44-47.
- [8] 范如国,蔡海霞,2012. FDI技术溢出与中国企业创新产出[J]. 管理科学, (4): 13-21.
- [9] 方竺乾,2018. 基于供应链视角的绿色技术创新扩散机制研究[J]. 生态经济, 34(6): 63-67.
- [10] 葛晓梅,王京芳,薛斌,2005. 促进中小企业绿色技术创新的对策研究[J]. 科学学与科学技术管理, (12): 87-91.
- [11] 耿强,杨蔚,2010. 中国工业污染的区域差异及其影响因素——基于省级面板数据的GMM实证分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 10(5): 12-16.
- [12] 韩孺眉,刘艳春,2017. 我国工业企业绿色技术创新效率评价研究[J]. 技术经济与管理研究, (5): 53-57.
- [13] 何洁,2000. 外国直接投资对中国工业部门外溢效应的进一步精确量化[J]. 世界经济, (12): 29-36.
- [14] 江世英,2021. 企业家人力资本对企业绿色创新能力的影响研究[J]. 技术经济与管理研究, (3): 40-44.
- [15] 姜宇涵,罗杨梅,恽瑞丽,2018. 汽车制造企业绿色创新投入与财务绩效的相关性研究[J]. 财务与金融, (1): 15-22.
- [16] 江泽民,2008. 对中国能源问题的思考[J]. 中国石油和化工经济分析, 30(6): 4-16.
- [17] 李彬,魏红江,邓美薇,2015. 日本智慧城市的构想、发展进程与启示[J]. 日本研究, (2): 36-44.
- [18] 李国祥,张伟,王亚君,2016. 对外直接投资、环境规制与国内绿色技术创新[J]. 科技管理研究, 36(13): 227-231, 236.
- [19] 李玲,夏晓华,2018. 污染密集型产业绿色创新效率及影响因素研究[J]. 中国特色社会主义研究, (1): 83-88.

- [20] 李曼, 杨静, 2017. 绿色创新战略、互补性资产与企业绩效研究——基于江苏省上市公司的实证研究[J]. 江苏科技信息, (33): 34-37.
- [21] 李新安, 2021. 环境规制、政府补贴与区域绿色技术创新——基于我国省域空间面板数据的实证研究[J]. 经济经纬, (4): 1-15.
- [22] 李艳军, 华民, 2014. 中国城市经济的绿色效率及其影响因素研究[J]. 城市与环境研究, (2): 36-52.
- [23] 李永友, 沈坤荣, 2008. 我国污染控制政策的减排效果——基于省际工业污染数据的实证分析[J]. 管理世界, (7): 7-17.
- [24] 林赛燕, 徐恋, 2021. 绿色创新能否促进企业财务绩效的提升? ——基于企业集团和供应链的视角[J]. 浙江社会科学, (3): 23-31, 156-157.
- [25] 刘津, 李平, 2020. 智慧城市建设对工业生态效率影响的实证研究——以中国地级市为例[J]. 生态经济, 36(10): 92-97.
- [26] 刘克逸, 2003. 产业信息化对我国产业结构升级的作用及政策取向[J]. 软科学, 17(1): 27-30.
- [27] 刘巧, 石大千, 刘建江, 2018. 智慧城市建设对城市技术创新的影响[J]. 技术经济, 37(5): 84-88.
- [28] 路林书, 1988. 外向型经济与中国经济发展[M]. 北京: 机械工业出版社.
- [29] 卢授永, 杨晓光, 2003. 国际贸易中的绿色瓶颈制约及其对策——透视国际贸易中的环境贸易壁垒[J]. 国际贸易问题, (1): 42-45.
- [30] 齐绍洲, 林岫, 崔静波, 2018. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究, 53(12): 129-143.
- [31] 仇怡, 2013. 城镇化的技术创新效应——基于1990-2010年中国区域面板数据的经验研究[J]. 中国人口科学, (1): 26-35.
- [32] 沈能, 刘凤朝, 2012. 高强度的环境规制真能促进技术创新吗? ——基于“波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, (4): 49-59.
- [33] 石大千, 丁海, 卫平, 2018. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 363(6): 119-137.
- [34] 石大千, 李格, 刘建江, 2020. 信息化冲击、交易成本与企业TFP——基于国家智慧城市建设自然实验[J]. 财贸经济, 41(3): 117-130.
- [35] 石以涛, 张锡宝, 2019. 智慧城市建设促进了金融发展吗? ——基于智慧城市设立的准自然实验研究[J]. 金融与经济, (12): 82-88.
- [36] 宋刚, 纪阳, 唐蔷, 2008. Living Lab 创新模式及其启示[J]. 科学管理研究, 26(3): 4-7.
- [37] 宋维佳, 杜泓钰, 2017. 自主研发、技术溢出与我国绿色技术创新[J]. 财经问题研究, (8): 98-105.
- [38] 孙英瑜, 2011. 不同所有制工业企业环境效应研究[D]. 大连: 东北财经大学.
- [39] 汤旂璆, 2020. 数字经济赋能城市高质量发展——基于智慧城市建设的准自然实验分析[J]. 价格理论与实践, (9): 156-159.
- [40] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩, 2021. 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, (2): 136-154.
- [41] 田翠香, 孙晓婷, 2018. 重污染行业上市公司绿色技术创新调查与分析[J]. 财会通讯, (20): 72-74.
- [42] 王锋正, 陈方圆, 2018. 董事会治理、环境规制与绿色技术创新——基于我国重污染行业上市公司的实证检验[J]. 科学学研究, 36(2): 361-369.
- [43] 王红梅, 2016. 中国环境规制政策工具的比较与选择——基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究[J]. 中国人口资源与环境, 26(9): 132-138.
- [44] 王娟茹, 张渝, 2018. 环境规制、绿色技术创新意愿与绿色技术创新行为[J]. 科学学研究, 36(2): 352-360.
- [45] 王奇, 岳宏志, 2020. 产业集聚对技术创新影响实证研究[J]. 开发研究, (5): 126-133.
- [46] 王玉婧, 刘辉煌, 2007. 绿色技术创新的路径思考——基于绿色壁垒的理性分析[J]. 生态经济, (11): 88-92.
- [47] 王郁蓉, 2012. 我国各区域企业绿色技术创新绩效比较研究[J]. 技术经济, 31(10): 52-59.
- [48] 王治东, 张琳, 2016. 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, 38(3): 99-103.
- [49] 谢守红, 2008. 中国城市外向型经济发展研究[J]. 经济经纬, (2): 68-70, 96.
- [50] 解维敏, 方红星, 2011. 金融发展、融资约束与企业研发投入[J]. 金融研究, (5): 171-183.
- [51] 徐建中, 贯君, 林艳, 2017. 制度压力、高管环保意识与企业绿色创新实践——基于新制度主义理论和高阶理论视角[J]. 管理评论, 29(9): 72-83.
- [52] 许庆瑞, 吴志岩, 陈力田, 2012. 智慧城市的愿景与架构[J]. 管理工程学报, 26(4): 1-7.
- [53] 许士春, 何正霞, 龙如银, 2012. 环境规制对企业绿色技术创新的影响[J]. 科研管理, 33(6): 67-74.
- [54] 许晓燕, 赵定涛, 洪进, 2013. 绿色技术创新的影响因素分析——基于中国专利的实证研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 19(2): 29-33.
- [55] 杨世迪, 刘亚军, 2021. 中国对外直接投资能否提升区域绿色创新效率——基于知识产权保护视角[J]. 国际经贸探

- 索, 37(2): 83-98.
- [56] 袁航, 朱承亮, 2020. 智慧城市是否加速了城市创新?[J]. 中国软科学, (12): 75-83.
- [57] 张倩, 曲世友, 2013. 环境规制对企业绿色技术创新的影响研究及政策启示[J]. 中国科技论坛, (7): 11-17.
- [58] 张倩, 2015. 环境规制对绿色技术创新影响的实证研究——基于政策差异化视角的省级面板数据分析[J]. 工业技术经济, 34(7): 10-18.
- [59] 张庆普, 2001. 我国企业绿色技术创新的主要对策[J]. 学习与探索, (3): 88-92.
- [60] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞, 2016. 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, (2): 47-57.
- [61] 张小霞, 张蕾, 2021. 城镇化与科技创新的相关性研究[J]. 中国经贸导刊, (2): 163-165.
- [62] 张营营, 高煜, 2019. 智慧城市建设对地区制造业升级的影响研究[J]. 软科学, 33(9): 46-52.
- [63] 张钰静, 2017. 智慧城市能否促进经济增长——基于智慧城市建设的准自然实验[J]. 商业经济, (9): 20-22.
- [64] 赵蔡晶, 吴柏钧, 2020. 智慧城市建设促进了城市发展质量提升吗? -基于多期DID方法的政策效应评估[J]. 经济经纬, 37(6): 18-27.
- [65] 赵路, 高红贵, 肖权, 2021. 环境规制对绿色技术创新效率影响的实证[J]. 统计与决策, 37(3): 125-129.
- [66] BERETTA I, 2018. The social effects of eco-innovations in Italian smart cities[J]. Cities, 72: 115-121.
- [67] BRUNNERMEIER S B, COHEN M A, 2003. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 45(2): 278-293.
- [68] CARAGLIU A, DEL BO C, 2017. Much ado about something? An appraisal of the relationship between smart city and smart specialisation policies[J]. Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie, 109(1): 129-143.
- [69] CHAN H K, YEE R W Y, DAI J, et al, 2016. The moderating effect of environmental dynamism on green product innovation and performance[J]. International Journal of Production Economics, 181: 384-391.
- [70] CLEFF T, RENNINGS K, 1999. Determinants of environmental product and process innovation[J]. European Environment, 9(5): 191-201.
- [71] EARNHART D, LÍZAL L, 2007. Direct and indirect effects of ownership on firm-level environmental performance [J]. Eastern European Economics, 45(4): 66-87.
- [72] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2014. Resource-efficient green economy and EU policies [R]. Denmark: European Environment Agency (EEA).
- [73] HALL B H, LERNER J, 2010. The financing of R&D and innovation[M]//HALL B H, ROSENBERG N. Handbook of the Economics of Innovation, Amsterdam: North-Holland, 609-39.
- [74] HART S L, 1995. A natural-resource-based view of the firm[J]. Academy of Management Review, 20(4): 986-1014.
- [75] HERING L, PONCET S, 2014. Environmental policy and exports: Evidence from Chinese cities [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 68(2): 296-318.
- [76] HOLLANDS R G, 2008. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?[J]. City, 12 (3): 303-320.
- [77] HUNG M, WANG Y, 2014. Mandatory CSR disclosure and shareholder value: Evidence from China [R]. Hong Kong: HKUST Working Paper.
- [78] JACOBS J, 1969. The economy of cities[M]. New York: Random House.
- [79] JOHNSTONE N, 2005. The innovation effects of environmental policy instruments [M]// Indicator Systems for Sustainable Innovation. New York: Physica-Verlag HD, 21-41.
- [80] JOHNSTONE N, HAŠČIČ I, POPP D, 2010. Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts[J]. Environmental & Resource Economics, 45(1): 133-155.
- [81] LEE K H, MIN B, 2015. Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance [J]. Journal of Cleaner Production, 108: 534-542.
- [82] LU S, 2011. The smart city's systematic application and implementation in China[C]// International Conference on Business Management & Electronic Information, Guangzhou: IEEE, 116-120.
- [83] NAM T, PARDO T A, 2011. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions[C]// The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research. New York: ACM, 282-291.
- [84] PRED A, 1966. The spatial dynamics of U. S. urban-industrial growth 1800-1914 [J]. Economic Geography, 44 (4) : 372-374.
- [85] RIILLO C A F, 2017. Beyond the question “Does it pay to be green?”: How much green? and when?[J]. Journal of Cleaner Production, 141: 626-640.
- [86] ROSENBAUM P R, RUBIN D B, 1983. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects[J]. Biometrika, 70(1): 41-55.
- [87] SUN L, MIAO C, YANG L, 2017. Ecological-economic efficiency evaluation of green technology innovation in strategic emerging industries based on entropy weighted TOPSIS method[J]. Ecological Indicators, 73: 554-558.

- [88] WAGNER M, 2007. On the relationship between environmental management, environmental innovation and patenting: Evidence from German manufacturing firms[J]. *Research Policy*, 36(10), 1587-1602.
- [89] WRIGHT S, STEVENTON A, 1970. *Intelligent spaces-The vision, the opportunities, and the barriers* [M]. London: Springer.
- [90] ZYGIARIS S, 2013. Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems[J]. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2): 217-231.

Impact of Smart City Construction on Eco-innovation: Empirical Analysis Based on City-level Panel Data

Wu Lichao¹, Li Weijian², Chen Liling¹, Li Jiabin³

(1. Department of International Economics and Trade, School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China;

2. Department of Economics, School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China;

3. Graduate Institute for Taiwan Studies, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: The goal of achieving high-quality development and meeting carbon neutrality commitments requires further innovation in green technologies. In response to this goal, the smart city policy offers a viable pathway. To test the impact of the construction of smart cities on eco-innovation, an empirical study based on panel data of 287 cities from 2006 to 2018 was conducted, using a combination of difference-in-differences and propensity score matching (PSM-DID) methods, and it was found that smart city construction can significantly promote eco-innovation. The mechanism test shows that smart city construction promotes eco-innovation mainly through the increase of financial expenditure on science and technology and the upgrading of industrial structure. Heterogeneity tests found that smart city construction promoted green technological innovation more significantly in area with low environmental regulation stringency, low financial development level, low export-oriented economy level and high human capital level. The results have implications for promoting eco-innovation, creating a good ecological environment, and promoting the pilot construction of smart cities.

Keywords: smart city; eco-innovation; carbon neutrality; heterogeneity analysis