

“三试点政策协同”的绿色创新叠加效应： 来自“创新型城市”“智慧城市”“宽带中国”试点的证据

高志刚^{1,2}, 严威威¹, 韩延玲³

(1. 新疆财经大学经济学院, 新疆 乌鲁木齐 830012;

2. 新疆科技学院经济学院, 新疆 库尔勒 841000;

3. 新疆财经大学统计与数据科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830012)

摘要:党的二十届三中全会强调,要加快发展新质生产力,推动绿色低碳转型与数字中国建设深度融合,提升城市创新驱动发展能力。本文以创新型城市、智慧城市与宽带中国三类国家试点为准自然实验,系统考察其对城市绿色创新的叠加效应及作用机制。研究发现:(1)“三试点”政策显著提升了城市绿色创新水平,进一步的结构分解分析显示,该政策组合对实质性绿色创新、策略性绿色创新的促进作用依旧显著,结论在排除前置效应后依然稳健;(2)机制检验表明,知识网络嵌入性与环境规制强度是两条有效路径;(3)扩展性分析显示,“三试点”具有更突出的协同治理优势,试点次序会影响治理效果;(4)试点城市对邻近非试点城市存在显著的空间溢出效应。综上,未来应进一步优化创新生态、智慧治理与数字基建的协同推进路径,以期绿色低碳转型和新质生产力培育提供制度保障。

关键词:创新型城市;智慧城市;宽带中国;三试点;绿色创新

中图分类号:F124.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2026)02-0122-15

Superposition effect of green innovation of “three pilot policy synergies”: Evidence from the pilot projects of “innovative city”, “smart city” and “broadband China”

GAO Zhigang^{1,2}, YAN Weiwei¹, HAN Yanling³

(1. School of Economics, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, China;

2. Xinjiang Institute of Science and Technology, Korla 841000, China;

3. School of Statistics and Data Science, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, China)

Abstract: The Third Plenary Session of the 20th CPC Central Committee emphasized that it is necessary to accelerate the development of new quality productivity, promote the deep integration of green and low-carbon transformation and the construction of digital China, and enhance the city's innovation-driven development capability. In this paper, the superposition effect and mechanism of innovative city, smart city and broadband China on urban green innovation are systematically investigated based on quasi-natural experiments. The research findings are as follows: (1) The “three pilot” policy has significantly improved the level of urban green innovation. Further structural decomposition analysis

基金项目:国家自然科学基金项目“绿色全要素能源效率对新疆经济高质量发展的影响研究”(72064035)。

作者简介:高志刚(1972—),男,河南濮阳人,博士,新疆科技学院二级教授,研究方向为区域经济高质量发展和循环经济发展。通信作者:严威威。

shows that the policy combination still plays a significant role in promoting substantive green innovation and strategic green innovation, and the conclusion is still stable after excluding the pre-effect. (2) The mechanism test shows that the embeddedness of knowledge network and the intensity of environmental regulation are two effective paths. (3) The expansibility analysis shows that the “three pilot projects” have more prominent advantages in collaborative governance, and the pilot order will affect the governance effect. (4) The pilot cities have significant spatial spillover effects on neighboring non-pilot cities. To sum up, in the future, we should further optimize the collaborative promotion path of innovation ecology, smart governance and digital infrastructure in order to provide institutional guarantee for green and low-carbon transformation and the cultivation of new quality productivity.

Key words: innovative city; smart city; broadband China; three pilot projects; green innovation

党的二十大和二十届三中全会强调,要“加快经济社会发展全面绿色转型”“深化生态文明体制改革”。习近平总书记多次指出,绿水青山就是金山银山,绿色发展是高质量发展的底色,必须将绿色创新纳入城市发展总体规划,引领产业结构调整和技术进步。在此背景下,绿色创新成为推动城市高质量发展的核心动力。数字基础设施建设、智慧治理和创新生态是实现城市绿色创新的重要支撑。我国先后启动了创新型城市、智慧城市与宽带中国三大试点政策,着力构建覆盖数字基础设施、智慧治理体系和创新生态的城市发展框架。

2008年,国家发展和改革委员会批准深圳作为全国首个国家创新型城市试点。2010年,国家发展和改革委员会同意大连等16个城市开展国家创新型城市创建。与此同时,科技部也出台《关于进一步推进创新型城市试点工作的指导意见》,明确将创新型城市作为区域经济创新发展中心。此后,2011年、2012年、2013年连续批准多批试点城市,创新型城市试点达到61个。2018年,科技部支持吉林等17个城市开展创新型城市建设。2022年,科技部公布支持包括河北省保定市等25个城市在内的最新一批创新型城市名单。智慧城市试点政策自2012年年底启动,至2014年共实施3批,共计290个试点。首批确定全国90个试点地区,这些试点旨在将智慧理念融入城镇化进程。第二批试点名单于2013年公布,规模大幅扩大至103个。第三批包括84个新增试点及13个扩大范围试点。宽带中国试点政策自2014年启动以来共推出3批试点名单。第一批包括39个示范城市(群),2015年、2016年继续确定共计78个示范城

市(群)。

选择创新型城市、智慧城市与宽带中国三大试点政策进行研究,具有内在的理论与实践契合度。从理念上看,三者共同体现了创新、协调、绿色、数字化的城市高质量发展。实践上,这三大政策在推进过程中也呈现出叠加效应。智慧城市应用大量依赖宽带网络的普及,创新型城市政策鼓励的高新技术产业也需要数字基础设施和智慧管理的配合。三者的结合有助于形成数据要素驱动、治理体制创新和科技成果转化的“良性循环”。从国家政策层面看,党的二十大报告明确提出要以数字中国建设、创新驱动发展战略和绿色低碳转型协同推进高质量发展,强调数字化、智能化与绿色化的深度融合。随后,党的二十届三中全会和四中全会进一步强调以体制机制创新推动新质生产力发展,促进科技创新、数字基础设施建设与生态文明建设的协同发力。在此背景下,创新型城市、智慧城市和宽带中国三类试点虽非以绿色创新为直接目标,但其分别从创新体系、治理模式与数字基础设施等维度,为绿色创新营造了关键制度条件。将三类试点与绿色创新纳入统一框架,具有明确的政策依据与现实合理性。

一、文献综述

(一)“三试点”政策相关研究

在“三试点”政策的研究中,学者主要探讨了政策的内涵、目标、实施效果。具体而言,研究主要集中在以下几个维度:一是“三试点”政策内涵方面,宽带中国试点、智慧城市试点和创新型城市试点分别侧重于数字基础设施发展^[1]、城市治理现代化与包容性发展^[2]、技术与知识等创新要素^[3];二是“三试点”政策目标方面,宽带中国试点

强调通过信息基础设施建设支撑经济数字化转型和服务社会民生^[4],智慧城市试点致力于通过智能化管理优化资源配置和提升城市治理效率^[5],而创新型城市试点的目标是颠覆性技术创新^[6];三是“三试点”政策的实施效果方面,学者看法较为一致,均为正向影响。宽带中国试点通过增强环境规制、促进产业结构升级、提升信息化水平与增加政府研发资金激发跨区域绿色创新^[7-8],智慧城市试点能够有效提升城市绿色创新水平^[9],创新型城市试点对城市创新水平产生显著的正向影响^[10]。

(二)绿色创新相关研究

绿色创新研究现状体现了从概念界定到实证深化的进程,学者从测度、驱动因素以及绩效评估等视角展开探讨。从测度视角,对于绿色创新,学者有较多观点,多采用万人绿色专利申请数量^[11]、绿色专利申请数量^[12]、绿色专利授权量^[8]、样本城市绿色发明专利数量与全部城市绿色发明专利数量之比^[13];对于实质性绿色创新与策略性绿色创新,学界看法较为一致,多使用绿色发明专利数量衡量实质性绿色创新、绿色实用型专利数量衡量策略性绿色创新^[14]。从驱动因素视角,研究聚焦于内外部因素两方面。内部因素主要包括高等教育资源禀赋^[15]、城市舒适性^[16]、政府引导基金^[17]等,外部因素则涉及数据要素^[18]、数字经济^[19]等。从绩效评估视角,主要从经济绩效、环境绩效及区域协同等视角展开。从经济绩效视角来看,研究者普遍强调绿色创新对产业升级与经济发展的促进作用^[20];环境绩效视角则聚焦绿色创新对其的提升效应^[21];区域协同视角突出绿色创新在中国城市中的空间溢出效应,利用空间杜宾模型评估其对邻近区域发展的辐射作用^[22]。

(三)“三试点”政策对城市绿色创新的影响效应相关研究

梳理已有研究,目前关于“三试点”政策对城市绿色创新影响的系统性探讨尚不充分,学界对其叠加效应的关注仍较为有限。围绕创新型城市、智慧城市、宽带中国“单试点”政策的相关议题,较多学者开展了较为深入的研究,上文已进行了阐述,这里不再赘述。与此同时,已有部分学者

对“双试点”政策的协同效应展开分析,与本文最相关的两篇文献:一是主要探讨宽带中国与智慧城市“双试点”政策对城市数智化发展的影响^[23],二是验证了智慧城市与创新型城市“双试点”政策对新质生产力发展的促进效应^[24]。但这两篇文献有以下几点不足:一是这些文献局限于二元互动框架,对多政策的叠加效应缺乏全面刻画;二是机制层面仅停留于宏观资源配置或效率提升的描述性解释,未深入剖析知识网络嵌入性与环境规制强度的传导作用;三是未进行空间效应衰减边界分析,无法揭示政策溢出的地理辐射强度与范围。

尽管“双试点”政策的研究已取得一定进展,但“三试点”政策的综合效应分析仍然是一个未被探讨的领域。现有文献主要侧重于单一政策或双重政策对绿色创新的影响,却未探讨创新生态、智慧治理与数字基建三者协同作用对绿色创新的叠加效应。在多重政策的交织作用下,政策之间的相互作用可能带来比单独政策更为显著的影响。因此,本文研究旨在探索“三试点”政策对城市绿色创新的综合效应及其机制,为政策实施和优化提供更为全面的理论和实证依据。

本文的边际贡献在于:第一,阐释了“三试点”政策对城市绿色创新影响的理论机制,深入剖析它们在绿色创新中的协同作用,揭示了多重政策的交织作用如何推动绿色创新,同时将绿色创新视为总体性概念,并进一步区分其内部构成,分别考察“三试点”政策协同对实质性绿色创新与策略性绿色创新的差异化影响,为政策评估领域提供了新的视角与研究框架;第二,通过引入机制分析,探讨了知识网络嵌入性和环境规制强度在“三试点”政策影响绿色创新中的机制作用,通过对这两种机制的深入分析,可以为政策制定者提供在不同背景下提升绿色创新效能的政策建议;第三,针对“三试点”政策的识别问题,本文引入多组对比分析,全面涵盖“三试点”与“双试点”“单试点”“各自独立试点”之间的差异化比较,进一步考察了政策实施顺序对城市绿色创新的影响,提高了政策效应识别的精度与可靠性;第四,本研究通过空间计量模型分析揭示了“三试点”政策的空间溢

出效应,最佳溢出半径约为 200 km²,这一空间效应在胡焕庸线以东地区尤其明显。该发现为理解政策在空间维度上的扩展效应提供了新的实证依据,在设计区域发展战略时应考虑跨区域政策联动与协同治理。

二、理论机制与研究假说

为更清晰地揭示“三试点”政策对城市绿色创新的影响,本文从直接效应与间接效应两方面阐释“三试点”政策对城市绿色创新影响的作用机制,如图 1 所示。

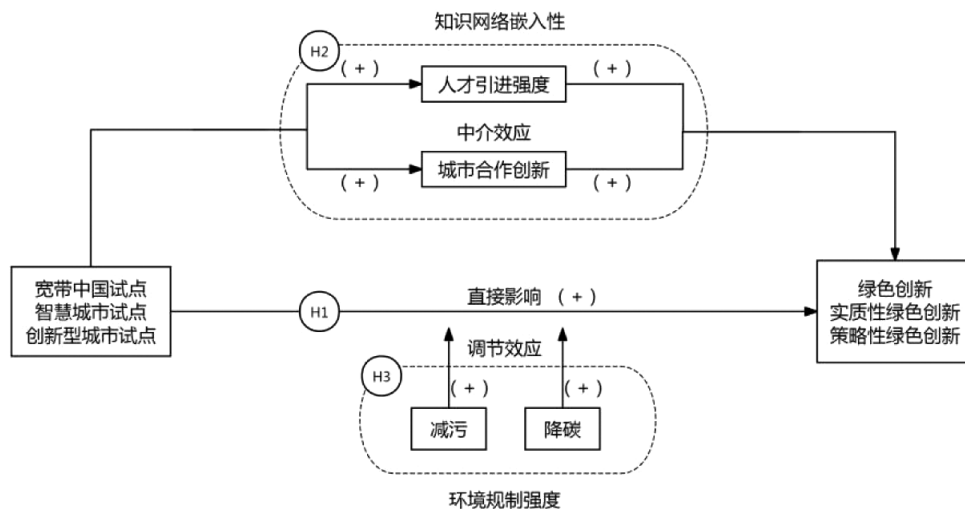


图 1 “三试点”政策绿色创新叠加效应的作用机制

（一）“三试点”政策对城市绿色创新的直接影响机理

1. “三试点”政策对城市整体绿色创新的直接影响

创新型城市建设被定位为促进区域创新体系完善、培育新动能、引领经济发展新常态的关键举措。根据国家发展和改革委员会和科学技术部的相关文件,其总体要求是科技创新为城市发展的核心驱动力,拥有丰富的创新资源和高效的创新服务体系。政策明确要通过完善创新体系、构建创新平台、强化企业主体地位,加大对科研机构、高校和重点产业的投入,培育战略性新兴产业集群。创新型城市试点以创造优良创新生态为目标,为绿色创新提供了政策和制度支撑。

智慧城市建设被视为贯彻创新驱动发展和推进新型城镇化战略的重要举措。其功能定位是通过“智慧”的规划和管理,将“集约、低碳、生态、智慧”等先进理念融合到城镇化进程中,优化城市资源配置、改善宜居环境,最终实现城市高质量发展。智慧城市试点重在构建全方位的城市智能化应用场景,为绿色技术的实用化提供了试验田和

应用驱动。

宽带中国战略强调网络基础设施对国民经济的支撑和推动作用,要求将宽带提速与产业创新紧密结合,培育以企业为主体、产学研用紧密结合的创新体系,提升自主创新能力。宽带基础设施的普及与升级,为城市绿色创新提供了广泛的信息技术支撑和开放共享平台。

2. “三试点”政策对城市实质性绿色创新的直接影响

创新型城市试点重视原始创新和关键技术攻关,特别是在战略性新兴产业领域。通过增加研发机构数量、支持实验室和技术中心建设,更利于产出技术含量高的绿色发明专利,直接提高绿色技术创新的质量。

智慧城市试点围绕先进科技应用开展高技术研究,强调通过“新一代信息技术”和创新环境下的可持续创新,实质上鼓励高技术含量的创新活动。在此背景下,城市管理优化所需的底层技术与算法创新,将产生相对更多的发明型绿色专利。

宽带中国试点是推进网络核心技术和关键产品研发,尤其在“绿色节能、量子通信”等领域突破

核心技术。此类高投入、高壁垒的研发活动多以发明专利形式保护,其创新性和技术含量高。宽带网络为这些研发提供了必要的技术平台,有利于激发绿色发明创新。

3. “三试点”政策对城市策略性绿色创新的直接影响

虽然创新型城市试点政策更强调基础研究和原始创新,但也通过鼓励成果转移转化等方式,促进技术成果的市场化落地,这为成熟度较高的绿色技术创新提供了发展机会。

智慧城市的许多应用偏向提升现有城市设施的智能化与高效性,如智能路灯控制系统等,这些改良式技术多采用实用新型专利保护。智慧城市倡导多方协同创新和便民惠民的服务理念,为实用性较强、成熟度较高的技术创新提供了广阔市场。政策下各类智慧社区、智慧园区示范工程的建设,为相关监测系统带来直接需求,从而促进策略性绿色创新的活跃。

宽带网络的快速普及也为大量实用性技术创新提供条件,如面向节能监测的传感器网络、智能家居等。这些应用往往具有较低的创新门槛、生命周期较短,可通过实用新型专利加以保护。宽带中国试点政策通过推动智能终端研制等示范应用,间接促进了以提高效率、降低能耗为目标的策略性绿色创新。

综上所述,三类试点政策分别从不同层面作用于城市绿色创新,共同驱动城市绿色创新在不同维度上的量质齐升。基于上述分析,提出如下假设。

假设 H1:“三试点”政策能有效促进城市绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新。

(二)“三试点”政策影响城市绿色创新的传导机理

1. 知识网络嵌入性

知识网络嵌入性可通过“人才引进”与“城市合作创新”两个维度来刻画。其中,高水平人才作为知识溢出与技术转化的关键节点,体现了知识网络的节点价值;而城市合作创新则反映了知识要素在区域间的共享与流动,体现了知识网络的

链接深度。

(1)“三试点”政策对人才引进强度的影响

创新型城市试点通常伴随着人才支持政策,增强对外来人才的吸引力与长期稳定性。国家科技部、国家发展改革委相关文件中明确提出要着力完善人才管理、评价、流动、激励机制,培育引进高水平科技人才。创新型城市试点推动建设高水平研发机构、产业技术创新中心与创新服务平台,为不同层次人才提供发展平台和实践场景,提升引才转化率与留存率。

智慧城市试点通过改善数字基础设施与制度性安排改变城市对人才的“吸引力”。首先,智慧城市作为发展重点,会在地方政府工作报告、试点公示等明确列示,从而在信息层面向高端人才发出强烈引才信号,改变人才空间流动预期,进而提高当地人才引进强度。其次,智慧城市推动建设数据平台和产业园区等,为技术型人才提供更充分的工作与合作场景,从而降低技术匹配与任务实现成本,提升引才意愿与吸引力。再次,智慧城市往往伴随政务服务便利化、公共服务智能化,这些治理改善提高城市生活质量与人才留存概率,从而在引进效果上放大政策倾向的影响。

2013 年,国务院印发《宽带中国战略及实施方案》,明确将建设光纤宽带网络作为国家战略性基础设施,并提出“加大高层次人才引进和培养,吸引海外高层次人才在华创新创业”。这一政策推动各地加大对数字基础设施领域专业人才的引进和培育力度,提高城市对外部高端人才的吸引力,从而增强城市在全国乃至全球知识网络中的嵌入程度。

高层次人才跨区域流动带来大量隐性知识与显性知识,对城市绿色创新至关重要。地方政府强化人才政策实施强度意味着更多创新资源和人才聚集,有助于创新要素的有效流动,促进城市绿色创新水平提升。

(2)“三试点”政策对城市合作创新的影响

创新型城市政策强调提升城市自主创新能力和创新生态建设。创新型城市往往被鼓励开展区域协同创新,如共建国家级科研平台和高新技术园区,强化与周边城市的技术协作。政策的创新

驱动导向吸引了科研院所、高校、企业等多元创新主体加强互联互通,进一步加深了城市在知识合作网络中的嵌入度。

智慧城市建设强调平台化与跨区域数据协同,这直接创造了促进城市间联合创新的通道。一方面,城市级数据平台等使得异地科研机构与企业更容易共享应用数据、开展联合试验,从而增加联合发明的可能性。另一方面,试点项目往往是跨单位、跨城市的示范工程,这类工程需要不同城市间企业与科研院所联合承担,从而带来联合专利输出。

宽带网络建设降低了城市间信息沟通成本,为跨区域合作创新创造了条件。有研究表明,宽带中国战略显著促进了城市间合作创新的发展,说明数字基建增加了城市间技术协作与知识流动^[25]。

联合申请专利本质上是组织间共享研发成果的行为,反映了共同申请人之间的创新合作关系。通过合作创新,城市能够引入外部知识,加速技术扩散。参与合作创新可以增加创新主体的资源可获取性并促进信息交流,从而提高创新绩效。因此,提出如下假设。

假设 H2:“三试点”政策通过知识网络嵌入性提升城市绿色创新水平。

2. 环境规制强度

(1)减污在“三试点”政策与城市绿色创新关系中的调节作用

首先,PM_{2.5}的显著下降反映出地方在空气质量治理方面的政策力度和治理成效。空气质量改善往往伴随公众对环境质量的更高期望与支付意愿,从而扩大绿色产品和绿色技术的市场需求。在这种需求约束下,“三试点”政策所提供的创新资源、智慧治理与数字平台更易转化为有市场支撑的绿色专利输出。具体而言:宽带中国通过提升网络覆盖与速率,降低绿色产品数字化推广等的交易成本,使企业更容易将环境改善相关技术商业化;智慧城市构建的城市级环境监测与公共信息平台,增强环境信息公开与公众监督,形成对绿色产品和服务的即时反馈,加速技术的迭代与

应用。

其次,PM_{2.5}的持续改善既是监管政策实施的结果,也是地方执行力与治理能力提升的象征。高效的污染治理体系通常伴随更完善的执法、更多的监测数据以及更强的政府市场协同能力,这些要素提高了“三试点”政策向绿色创新产出的“转化率”,即相同的数字基建或创新生态投入在治理能力强的城市里更易生成专利成果。具体表现为:智慧城市的数据共享将环境监测、企业合规需求与研发主体连接起来,使得企业在满足监管要求的同时发现商业化创新空间,从而催生绿色创新。

此外,环境改善不仅反映监管强度,也表征地方在绿色技术吸收、试点示范等方面的基础能力。已经在减污方面取得进展的城市通常具有更多示范项目与试验平台,这提高了研发协同性与技术扩散速度。在此背景下,“三试点”政策提供的平台被更高效地用于技术创新与产业化发展,从而促进绿色创新。

(2)降碳在“三试点”政策与城市绿色创新关系中的调节作用

一方面,CO₂碳排放强度的持续下降通常源于产业结构向低碳、高附加值方向转型与能效提升。这种结构性变迁提升了企业和城市对长期、系统性绿色技术的投入回报预期。与之相配套的创新型城市试点通过制度安排放大了这种回报,从而使得在碳强度下降更显著的城市,“三试点”政策对城市绿色创新的拉动显著加强。而碳强度的下降还往往伴随能源价格机制的改革,这些市场化调节机制提高了低碳技术的经济价值与市场回报,从而使“三试点”政策更容易通过降低交易成本与提升系统效率来实现绿色创新。

另一方面,碳强度下降的城市往往被视为低碳转型成果显著的先导地区,因而更容易吸引绿色金融资源以及社会资本参与低碳技术的研发与产业化,使得在碳强度改善更显著的城市,“三试点”投入更易转化为普遍的绿色专利产出与高价值发明。基于此,提出如下假设。

假设 H3:环境规制强度在“三试点”政策影响城市绿色创新中呈现出显著的正向调节作用。

三、研究设计

(一) 模型设定与变量说明

1. 模型设定

本文利用双重差分模型进行分析,研究样本选择中国 285 个城市,时间选择 2010—2023 年。基准模型设定为:

$$pat_{i,t}/inv_{i,t}/uti_{i,t} = \alpha_1 + \beta_1 treat_i \times time_t + \lambda_1 x_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, i 代表城市, t 代表年份, $pat_{i,t}$ 、 $inv_{i,t}$ 、 $uti_{i,t}$ 分别表示绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新; $treat_i$ 表示政策分组虚拟变量,取 1 代表实验组,0 为控制组; $time_t$ 为时间虚拟变量,取值为 1 表示政策实施后,0 为政策实施前; $x_{i,t}$ 为一组控制变量; γ_t 和 μ_i 分别为时间固定效应和个体固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机误差项。系数 β_1 衡量“三试点”政策对城市绿色创新、实质性绿色创新及策略性绿色创新的作用大小。

2. 变量说明

(1) 被解释变量:用城市绿色专利申请数加 1 的自然对数衡量绿色创新^[26],为刻画绿色创新的内部构成,借鉴于海云等^[14]的研究,进一步将其区分为实质性绿色创新和策略性绿色创新,采用绿色发明专利申请数加 1 的自然对数衡量实质性绿色创新,绿色实用型专利申请量加 1 的自然对数衡量策略性绿色创新。

(2) 核心解释变量:“三试点”政策所构建的虚拟变量。

(3) 中介变量:知识网络嵌入性。①人才引进强度。绿色创新的实现不仅依赖于物质资本和技术设施的投入,更依赖于知识要素的跨区域流动与有效吸收。高水平人才是知识扩散与技术转化的核心载体,其流动不仅带来显性的研发成果与技术经验,还承载隐性的知识与关系网络。因此,人才引进强度能够有效反映一个城市在外部知识网络中的嵌入程度与知识吸收能力。人才引进强度的测度借鉴陈曦等^[27]的做法,用加权关键词数与政府工作报告总词数之比来衡量各城市人才引进强度。②城市合作创新。联合专利申请通常需要不同主体在知识、技术、资本等层面的深度合

作,不同于单一申请专利,联合专利更强调合作创新过程中的关系依赖,更贴近“嵌入性”的理论内涵。因此,联合专利不仅代表了知识要素的共享与流动,更是衡量知识网络嵌入性的直观指标。因此,用地级市联合申请的专利数量衡量城市合作创新。

(4) 调节变量:环境规制强度。选择减污水平与降碳水平两个环境治理绩效指标,分别采用 $PM_{2.5}$ 浓度年均下降率与碳排放强度年均下降率来加以衡量。考虑到原始数据中下降率指标大部分为负值,若直接使用则会导致解释方向与政策逻辑不一致。为保证变量的正向解释性,本文对原始指标统一取相反数,使其转化为改善型指标,即数值越大代表环境治理成效越佳。

(5) 控制变量:借鉴韩先锋等^[28]、郭丰等^[29]的做法,将以下指标选择为控制变量。①经济发展水平(各地级市人均 gdp 的自然对数)。较高的经济发展水平意味着更强的资源积累能力和研发投入能力,有助于为绿色创新提供物质与资金支持。②产业结构升级(城市第三产业产值/第二产业产值)。随着产业结构升级,资本与劳动力逐步脱离高污染、高排放行业,转向环保技术研发、科技服务等低碳高附加值部门,从而提升区域整体的绿色研发投入能力和创新效率。③金融发展水平(年末金融机构存贷款余额/地区生产总值)。绿色创新通常具有高风险、高投入和长周期特征,金融体系的发达程度决定了创新主体能否获得充足资金支持。④人力资本水平(普通高等学校在校学生数/年末总人口)。理想情况下,人力资本水平应以“专科及以上学历人口占比”衡量,该指标能够更直接反映城市劳动人口的受教育程度。然而,在数据可得性约束下,本文采用“普通高等学校在校学生数/年末总人口”作为城市人力资本水平的替代指标。

(二) 数据来源

绿色创新数据来源于中国研究数据服务平台,经济发展水平、产业结构、金融发展水平、人力资本水平数据来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及各省市统计公报,合作创新数据来

源于国家知识产权局,PM_{2.5}数据来源于韦晶、李占清团队在国家青藏高原科学数据中心公布的数据,二氧化碳排放量数据来源于中国碳核算数据库。使用趋势外推法与线性插值法填补部分缺失值。各变量描述性统计分析见表1。

表1 变量描述性统计分析

变量类型	变量符号	变量名称	样本数量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	pat	绿色创新	3 990	4.997	1.706	0.000	10.372
	inv	实质性绿色创新	3 990	4.078	1.779	0.000	10.084
	uti	策略性绿色创新	3 990	4.445	1.669	0.000	9.302
核心解释变量	did	城市虚拟变量与时间虚拟变量的交互项	3 990	0.057	0.232	0.000	1.000
	int	人才引进强度	3 990	0.002	0.003	0.000	0.028
机制变量	coo	地级市合作创新	3 990	3.986	1.869	0.000	10.624
	pm	PM _{2.5} 浓度年均下降率	3 990	0.037	0.088	-0.323	0.355
	CO ₂	碳排放强度年均下降率	3 990	0.039	0.128	-1.858	0.702
控制变量	gdp	经济发展水平	3 990	10.758	0.715	8.555	13.185
	ins	产业结构	3 990	1.093	0.623	0.109	5.690
	fin	金融发展水平	3 990	2.602	1.260	0.588	14.420
	hum	人力资本水平	3 990	0.020	0.025	0.000	0.185

四、实证分析

(一) 基准回归分析

为初步识别数字基建、智慧治理与创新生态三类试点政策对城市绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新的影响,表2进行了基准回归分析。无论是否在模型中引入控制变量,核心解释变量的估计系数均在1%的水平上显著为正,这一结果在所有被解释变量上均高度一致,验证假设H1。

为排除那些仅实施单一或双重试点的城市可能存在的政策预期或政策交叉影响对估计结果的干扰,确保“三试点”政策的估计系数捕捉的是其真正的叠加效应。本文构造了一个更为纯净的实验组与控制组。实验组为仅保留同时实施创新型城市、智慧城市与宽带中国三大试点的城市,控制组为仅包含从未参与任何上述试点的城市。回归结果表明,在此纯净样本下,“三试点”政策虚拟变

表2 基准回归

变量	(1) pat	(2) pat	(3) inv	(4) inv	(5) uti	(6) uti
did	0.190 *** (5.41)	0.148 *** (4.33)	0.274 *** (6.61)	0.232 *** (5.63)	0.158 *** (3.87)	0.119 *** (2.96)
gdp	—	0.480 *** (9.64)	—	0.563 *** (9.51)	—	0.382 *** (6.95)
ins	—	0.030 (0.84)	—	0.011 (0.28)	—	0.014 (0.35)
fin	—	0.054 *** (3.32)	—	0.058 *** (2.91)	—	0.045 *** (2.62)
hum	—	3.473 *** (3.18)	—	1.161 (1.05)	—	4.920 *** (4.27)
Constant	4.987 *** (3.16)	-0.412 (-0.73)	4.063 *** (3.61)	-2.174 *** (-3.26)	4.436 *** (3.15)	0.093 (0.15)
Observations	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990
R ²	0.951	0.953	0.933	0.935	0.944	0.946
个体固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是

注: *、**、*** 分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平,括号内为 t 值,下同。

表3 排除“单试点”政策前置效应

变量	(1) pat	(2) inv	(3) uti
did	0.178 *** (4.82)	0.263 *** (5.79)	0.143 *** (3.35)
gdp	0.400 *** (5.14)	0.495 *** (5.12)	0.234 *** (2.59)
ins	-0.062 (-1.05)	-0.063 (-0.97)	-0.084 (-1.31)
fin	0.087 *** (3.39)	0.067 ** (2.03)	0.068 ** (2.33)
hum	5.957 *** (3.63)	1.662 (0.92)	8.610 *** (5.19)
Constant	0.106 (0.12)	-1.697 (-1.56)	1.382 (1.35)
Observations	1 834	1 834	1 834
R ²	0.942	0.921	0.935
个体固定	是	是	是
时间固定	是	是	是

(二) 平行趋势检验

借鉴大多数文献做法,为缓解多重共线性问题,将政策实施的前一期予以剔除,将2021—2023年的数据汇总到2020年。图2的平行趋势检验结果显示,所有估计系数政策前均不显著,而政策后逐渐显著为正,表明样本满足平行趋势假设,且创新生态、智慧治理与数字基建的绿色创新叠加效应存在持续的积极影响。

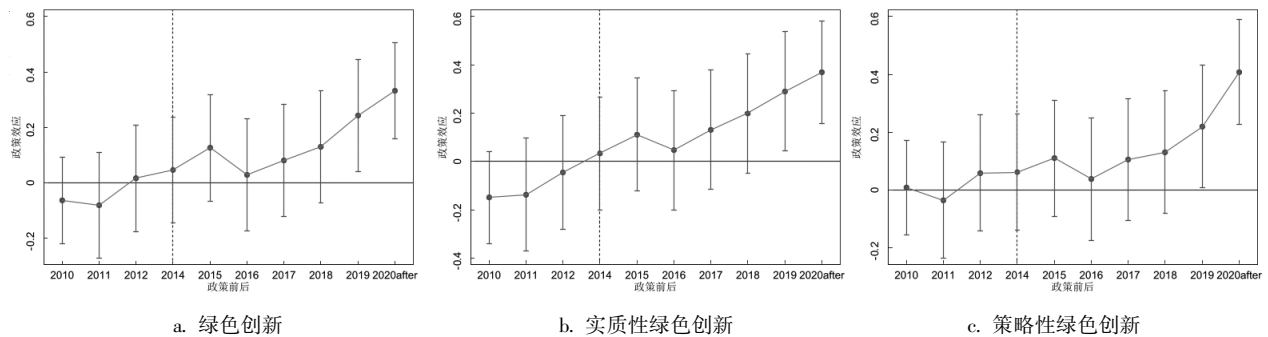


图2 平行趋势检验

(三) 稳健性检验(回归结果略去备索)

1. bacon 分解检验。鉴于创新型城市、智慧城市与宽带中国试点政策呈现出分批次、多时点的渐进推行特征,实验组城市政策介入时间存在差异,可能导致处理效应存在异质性。将全样本估计量分解为所有可能的两两组别进行比较,从而识别潜在偏误的来源。表 4 分解结果显示,渐进 did 设定中不存在严重的负权重问题,异质性处理效应并未驱动基准回归结果,确保了基准回归中“三试点”政策对绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新的显著正向促进效应是稳健且可靠的。

表 4 bacon 分解结果

组别	(1)控制组类型	pat 权重	pat 估计值	inv 权重	inv 估计值	uti 权重	uti 估计值
第一组	从未受到“三试点”政策冲击	0.964	0.196	0.964	0.283	0.964	0.163
第二组	后受到“三试点”政策冲击	0.020	0.010	0.020	0.022	0.020	0.060
第三组	先受到“三试点”政策冲击	0.016	0.059	0.016	0.035	0.016	-0.035

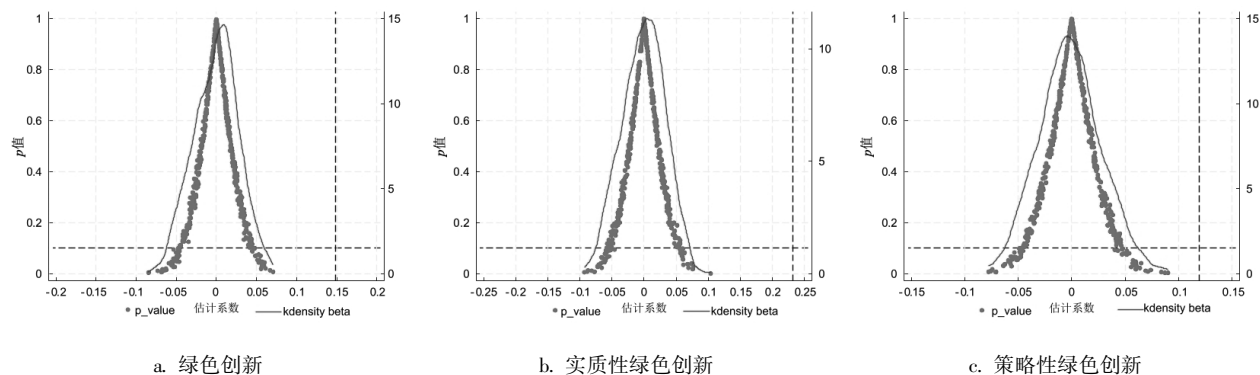


图 3 安慰剂检验

4. 加入基准变量。为检验“三试点”政策城市的选择是否因其行政层级而存在系统性偏差,从而对估计结果产生混淆性影响,本文进行了纳入基准变量的稳健性检验。回归结果显示,纳入省会城市时间趋势后,“三试点”政策变量系数依然显著为正,证实了政策叠加效应的稳健性。

5. 排除政策预期影响。为缓解试点政策实施前存在的预期效应对估计结果造成的潜在干扰,在基准回归模型中引入“三试点”政策虚拟变量的滞后一期项,回归结果显示,核心解释变量的估计系数依然显著为正,有效排除了政策预期对核心结论的干扰。

6. psmdid。为缓解“三试点”政策可能存在的样本选择偏差问题,确保处理组与对照组在政策

2. 安慰剂检验。为排除不可观测因素或随机性对基准回归结果的驱动,验证政策效应的可靠性,本文进行反事实的安慰剂检验。图 3 安慰剂检验结果显示,真实估计系数位于 500 次随机模拟系数分布的最右端,且模拟系数紧密围绕零值分布。基准回归所捕捉到的绿色创新提升效应不是由随机因素或模型设定偏误所导致,从而显著增强了创新生态、智慧治理与数字基建具有绿色创新叠加效应这一核心结论的可信度。

3. 时间趋势检验。为排除处理组与对照组城市间差异化发展趋势对估计结果的潜在干扰,本文进行了控制城市时间趋势的稳健性检验,发现在纳入时间趋势后,“三试点”政策对各类绿色创新的促进效应依然在 1% 水平上显著为正,证明了核心结论的稳健性。

实施前具有可比性,本文采用倾向得分匹配双重差分法进行稳健性检验。借鉴高志刚等^[30]的研究方法,构造一个在预处理期可观测特征上更为平衡的“反事实”对照组。并基于匹配后的新样本,重新进行双重差分估计。从图 4 的平衡性检验结果可以看出,所有协变量的标准化偏差显著减小,表明匹配效果良好,样本选择偏差得到有效缓解。回归结果表明,经 psmdid 调整后,“三试点”政策对绿色创新的促进效应依然显著,有效证实了基准回归结果的可靠性。

7. 排除其他政策干扰。本文针对“科技和金融结合”试点政策进行稳健性检验。回归结果表明,在控制“科技和金融结合”政策变量后,核心解释变量的系数估计值依然在 1% 的水平上显著为

正。表明“三试点”政策的估计效应并未受到“科技和金融结合”试点政策的驱动,本文所识别的绿色创新叠加效应是独立且稳健的。

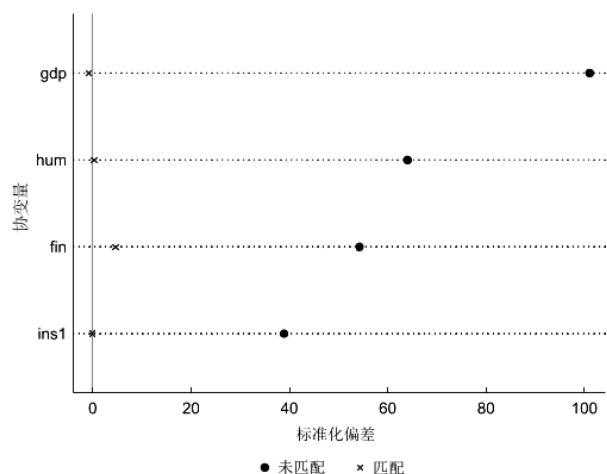


图4 平衡性检验

8. 改变样本时间。将原样本的时间范围调整为2014—2023年。回归结果显示,样本期调整后,核心解释变量的估计系数依然在1%的水平上显著为正,证实了创新生态、智慧治理与数字基建的绿色创新叠加效应是稳健存在的。

9. 工具变量检验。为缓解模型潜在的内生性问题,本文采用工具变量法进行稳健性检验,选取核心解释变量的滞后一期作为工具变量。第一阶

段回归结果表明工具变量与内生变量相关性足够强。第二阶段估计得到的各类系数仍显著为正,表明在控制内生性后,“三试点”政策的绿色创新叠加效应依然稳健存在。

(四) 机制检验

借鉴现有文献普遍做法,采用两步法验证前文的理论假说,由表5列(1)的结果可知,“三试点”政策对人才引进强度的估计系数显著为正,验证了“三试点”政策的实施确实增强了城市在外部知识网络中的嵌入程度。而人才集聚能够驱动绿色创新活动开展,促进城市绿色创新水平的提升^[31]。从表5列(2)的结果可以发现,“三试点”政策对城市合作创新具有显著的正向作用,这一结果表明城市合作创新能够作为合理的中介渠道。而合作创新是绿色创新质量提升的重要原因^[32]。换言之,“三试点”政策不仅直接推动了绿色创新产出,还通过增强城市合作创新这一“知识网络嵌入性”渠道,间接促进了绿色创新的扩散与提升。

表5列(3)~列(8)汇报了环境规制强度作为调节变量的结果,可以发现,减污降碳均在“三试点”政策与城市绿色创新的关系中起到正向调节作用,即环境规制强度越高的城市,“三试点”政策对其绿色创新的促进作用越强。

表5 机制检验结果

变量	(1) int	(2) coo	(3) pat	(4) inv	(5) uti	(6) pat	(7) inv	(8) uti
<i>did</i>	0.001 ** (2.15)	0.141 *** (2.88)	0.244 *** (6.56)	0.279 *** (6.08)	0.218 *** (4.56)	0.115 *** (2.95)	0.205 *** (4.59)	0.089 ** (1.99)
<i>pm</i>	—	—	-0.167 (-1.55)	-0.093 (-0.68)	-0.223 ** (-2.02)	—	—	—
<i>did × pm</i>	—	—	1.771 *** (4.75)	0.878 ** (2.29)	1.857 *** (4.37)	—	—	—
<i>CO₂</i>	—	—	—	—	—	-0.034 (-0.65)	-0.076 (-1.21)	0.012 (0.22)
<i>did × CO₂</i>	—	—	—	—	—	0.660 ** (2.32)	0.563 ** (2.14)	0.552 * (1.72)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Constant</i>	-0.000 (-0.29)	-2.465 *** (-2.89)	-0.481 (-0.86)	-2.209 *** (-3.31)	0.020 (0.03)	-0.453 (-0.80)	-2.232 *** (-3.34)	-0.077 (-0.12)
<i>Observations</i>	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990
<i>R²</i>	0.306	0.907	0.953	0.935	0.946	0.953	0.935	0.946

(五) 进一步分析

1. “单试点”政策效应识别。对样本进行重新筛选,从全样本中,仅保留那些只实施了宽带中国试点但未实施智慧城市和创新型城市试点的城市作为实验组。从未参与任何上述三项试点的城市作为对照组。基于该子样本,进行 *did* 估计。同

理,进一步识别智慧城市与创新型城市试点的独立效应。表6估计结果显示,在各自纯净的子样本中,3个“单试点”政策均对城市绿色创新与实质性绿色创新有显著的促进作用,对城市策略性绿色创新有促进作用但不显著。

表 6 “单试点”政策效应分析

变量	宽带中国			智慧城市			创新型城市		
	(1) pat	(2) inv	(3) uti	(4) pat	(5) inv	(6) uti	(7) pat	(8) inv	(9) uti
<i>did</i>	0.100 ** (2.15)	0.136 ** (2.50)	0.087 (1.55)	0.097 ** (2.04)	0.174 *** (2.87)	0.028 (0.55)	0.118 * (1.73)	0.153 ** (2.46)	0.078 (0.98)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Constant</i>	-0.263 (-0.33)	-2.254 ** (-2.42)	1.015 (1.14)	2.178 ** (2.42)	-1.683 (-1.54)	3.299 *** (3.29)	0.656 (0.68)	-2.225 * (-1.95)	2.337 ** (2.05)
<i>Observations</i>	1 820	1 820	1 820	1 988	1 988	1 988	1 722	1 722	1 722
<i>R</i> ²	0.895	0.840	0.891	0.896	0.842	0.892	0.926	0.892	0.921

2. 基于“单双试点”政策对照的“三试点”政策总效应。重新界定样本范围,剔除未参与任何试点的城市,仅保留实施创新型城市、智慧城市、宽带中国“单试点”的城市、实施任意两类试点的城市以及同时实施三类试点的城市。将“三试点”城市设定为实验组,“单双试点”城市作为对照组。表 7 回归结果表明“三试点”政策的系数显著为正,说明“三试点”政策对城市绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新的影响相较于“单双试点”政策具有显著提升作用。

3. 基于各类“单试点”政策对照的“三试点”政策总效应。在剔除“无试点”城市的基础上,只保留仅实施宽带中国单一试点政策的城市,这些城市被视为对照组。与此同时,保留实施“三试点”政策的城市,作为实验组。在模型估计后,表 8

表 7 基于“单双试点”政策对照的“三试点”政策总效应

变量	(1) pat	(2) inv	(3) uti
<i>did</i>	0.160 *** (4.81)	0.222 *** (5.48)	0.134 *** (3.37)
控制变量	是	是	是
个体固定	是	是	是
时间固定	是	是	是
<i>Constant</i>	0.245 (0.36)	-0.103 (-0.13)	-0.190 (-0.27)
<i>Observations</i>	2 562	2 562	2 562
<i>R</i> ²	0.963	0.949	0.954

列(1)~列(3)回归结果显示“三试点”政策的估计系数在统计上显著,说明政策叠加效应显著存在,且对绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新有较强的促进作用。同理,按照上述方法筛选样本,表 8 列(4)~列(8)中系数为正且显著,表明“三试点”政策相较于智慧城市政策、创新型城市试点政策能够更有效地推动城市各类绿色创新。

表 8 基于各类“单试点”政策对照的“三试点”政策总效应

变量	宽带中国			智慧城市			创新型城市		
	(1) pat	(2) inv	(3) uti	(4) pat	(5) inv	(6) uti	(7) pat	(8) inv	(9) uti
<i>did</i>	0.118 ** (2.30)	0.124 ** (2.38)	0.109 *** (2.59)	0.137 *** (3.66)	0.227 *** (4.55)	0.105 ** (2.50)	0.109 *** (3.07)	0.116 *** (2.60)	0.104 ** (2.40)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Constant</i>	-3.154 *** (-2.63)	-0.434 (-0.40)	-2.230 ** (-2.15)	0.947 (0.88)	0.722 (0.49)	1.177 (1.06)	3.061 *** (3.10)	5.329 *** (4.14)	1.847 (1.48)
<i>Observations</i>	742	742	742	952	952	952	714	714	714
<i>R</i> ²	0.943	0.949	0.960	0.963	0.944	0.957	0.966	0.955	0.950

4. 基于各类“双试点”政策对照的“三试点”政策总效应。将同时叠加创新型城市试点的城市作为实验组,而仅实施宽带中国、智慧城市“双试点”的城市作为对照组。表 9 列(1)~列(3)回归结果显示,相较于宽带中国、智慧城市“双试点”城市,“三试点”城市在绿色创新水平上的估计系数显著为正,表明在数字基建和智慧治理已经发挥

作用的背景下,叠加创新型城市试点仍能显著提升绿色创新产出。类似的,依据上述方法对样本进行筛选,表 9 列(4)~列(6)回归结果表明,相较于宽带中国、创新型城市“双试点”政策,“三试点”政策在绿色创新水平上的估计系数显著为正。这一发现表明叠加智慧治理能够进一步显著提升绿色创新产出,体现出智慧治理与其他两类政策之

间存在显著的互补性。表9列(7)~列(9)回归结果表明在智慧治理与创新生态已经共同发挥作用的背景下,宽带中国试点政策能够进一步促进城市绿色创新。

表9 基于各类“双试点”政策对照的“三试点”政策总效应

变量	基于宽带中国与智慧城市			基于宽带中国与创新型城市			基于智慧城市与创新型城市		
	(1) pat	(2) inv	(3) uti	(4) pat	(5) inv	(6) uti	(7) pat	(8) inv	(9) uti
<i>did</i>	0.079*** (3.52)	0.236*** (4.20)	0.069*** (3.40)	0.150*** (4.77)	0.161*** (3.91)	0.148*** (3.83)	0.201*** (5.52)	0.169*** (3.48)	0.233*** (5.44)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Constant</i>	1.747 (1.19)	2.326 (1.56)	2.482** (2.01)	1.520 (1.46)	1.987 (1.54)	2.069* (1.66)	3.461*** (3.43)	4.484*** (2.91)	3.452*** (2.98)
<i>Observations</i>	686	686	686	854	854	854	616	616	616
<i>R</i> ²	0.952	0.955	0.960	0.973	0.962	0.958	0.972	0.958	0.957

5. 政策实施顺序异质性。考虑到不同城市在政策试点推进中的先后顺序存在差异,“单试点”政策的实施路径可能对最终的“三试点”叠加效应产生重要影响。因此,有必要进一步探讨政策实施顺序的异质性,以识别“三试点”政策的最优推进路径。表10回归结果显示,不同实施顺序的

“三试点”城市在绿色创新效应上存在明显差异。具体而言,“创新型城市—智慧城市—宽带中国”这一路径对城市各类绿色创新的提升效应最为显著,该结果亦与当前相关管理部门在实践中所采用的政策推进顺序高度一致。

表10 政策实施顺序异质性

变量	智慧城市—宽带中国—创新型城市			智慧城市—创新型城市—宽带中国			创新型城市—智慧城市—宽带中国		
	(1) pat	(2) inv	(3) uti	(4) pat	(5) inv	(6) uti	(7) pat	(8) inv	(9) uti
<i>did</i>	0.102** (2.29)	0.178** (2.47)	0.028 (0.30)	0.115 (0.67)	0.179* (1.80)	0.023 (0.20)	0.072** (2.44)	0.175** (2.02)	0.031** (2.28)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>Constant</i>	-1.662 (-1.07)	0.565 (0.19)	1.185 (0.58)	12.676 (1.32)	5.330 (0.55)	16.816 (1.60)	7.396*** (5.70)	9.106*** (5.65)	9.203*** (6.07)
<i>Observations</i>	168	168	168	56	56	56	210	210	210
<i>R</i> ²	0.972	0.933	0.943	0.947	0.933	0.951	0.984	0.981	0.972

(六) 空间效应分析

1. 空间计量模型的选择。根据前文基准回归结果,“三试点”政策对城市绿色创新、实质性绿色创新、策略性绿色创新的影响具有相似性。因此这里只对城市绿色创新的空间效应展开分析。表11结果显示,在经济地理嵌套矩阵下,空间滞后模型更加稳健。在邻接矩阵下空间杜宾模型为更优选择。

表11 LM检验与Hausman检验

矩阵	检验方法	LM	Wald	Hausman
空间邻接矩阵	LM-Lag	1 586.166***	18.19***	37.07***
	Robust-LM-Lag	414.056***		
	LM-Error	1 544.154***	27.49***	
	Robust-LM-Error	372.044***		
经济地理嵌套矩阵	LM-Lag	192.903***	10.52*	79.94***
	Robust-LM-Lag	56.157***		
	LM-Error	136.764***	82.40***	
	Robust-LM-Error	0.018		

2. 空间效应检验。表12中的空间邻接矩阵下的SDM估计结果显示,无论是哪种固定效应设定,“三试点”政策对绿色创新的主效应始终在1%的统计水平上显著为正。同时,直接效应与间接效应均显著为正,表明“三试点”政策不仅能有效提升本地绿色创新水平,还能产生显著的空间溢出效应。说明在地理邻近关系下,“三试点”政策通过区域间的技术模仿和治理经验借鉴得以跨区域传导。

相比之下,在经济地理嵌套矩阵下的SAR模型结果表现出一定差异。仅加入个体固定效应时,直接效应与间接效应均显著为正,表明城市间经济规模与区位条件的差异在一定程度上强化了绿色创新的空间联动性。但在引入时间固定效应

以及双重固定效应后,直接效应依然保持显著,而间接效应虽为正但不显著。

表 12 不同权重矩阵及固定效应下检验结果

变量	空间邻接矩阵(SDM)			经济地理嵌套矩阵(SAR)		
<i>did</i>	0.176 *** (4.29)	0.525 *** (7.31)	0.143 *** (3.73)	0.187 *** (4.48)	0.643 *** (7.97)	0.145 *** (3.69)
<i>rho</i>	0.595 *** (50.19)	0.467 *** (32.18)	0.280 *** (14.21)	0.661 *** (48.44)	0.013 (0.53)	0.027 (0.93)
<i>Sigma2_e</i>	0.138 *** (43.86)	0.922 *** (42.08)	0.119 *** (43.76)	0.143 *** (44.02)	1.117 *** (44.66)	0.126 *** (44.66)
<i>AIC</i>	3 793.571	11 142.51	2 858.028	3 884.105	11 780.02	3 075.743
<i>BIC</i>	3 837.612	11 186.55	2 902.069	3 928.146	11 824.06	3 119.784
直接效应	0.197 *** (4.21)	0.558 *** (7.16)	0.147 *** (3.67)	0.206 *** (4.40)	0.646 *** (7.80)	0.147 *** (3.63)
间接效应	0.236 *** (4.09)	0.423 *** (6.70)	0.052 *** (3.42)	0.352 *** (4.19)	0.007 (0.44)	0.004 (0.93)
总效应	0.433 *** (4.16)	0.981 *** (7.07)	0.199 *** (3.64)	0.558 *** (4.30)	0.653 *** (7.65)	0.151 *** (3.58)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	否	是	是	否	是	是
个体固定效应	是	否	是	是	否	是
观测值	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990	3 990

3. “三试点”政策空间衰减边界分析。本文参照曹清峰^[33]的研究范式,进一步构建扩展模型,旨在系统检验“三试点”政策的空间衰减边界效应及其区域异质性表现。

$$pat_{i,t} = \alpha_2 + \beta_2 treat_i \times time_t + \sum_{d=100}^{800} \varphi_d Q_{i,t}^d + \lambda_2 x_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

在模型(2)中:新增引入的控制变量 $Q_{i,t}^d$ 用于度量空间溢出效应,其中参数 d 表示城市之间的球面地理距离(单位:km, $d \geq 100$)。 φ_d 表示空间溢出效应值,用以刻画城市 i 在年份 t 所处的 $[d - 100, d]$ 千米范围内是否存在“三试点”城市,若存在则赋值为 1,否则为 0。从图 5 中能够发现,“三试点”政策对城市绿色创新的空间影响具有明显的边界特征。当城市间的地理距离在 200 km 左右

时,政策的空间溢出效应最为强烈,表明在较近距离范围内,试点城市能够对邻近城市的绿色创新活动形成正向带动。随着距离的进一步扩大,政策效应呈现逐渐递减趋势,但在 470 km 范围内,溢出效应始终保持正向,说明“三试点”政策在中短距离区间内能够持续对周边城市产生积极的创新辐射效应。然而,当距离超过 470 km 时,空间溢出效应逐渐转化为虹吸效应,即试点城市通过吸引有限的创新要素和政策资源,反而削弱了更远距离城市的绿色创新能力。

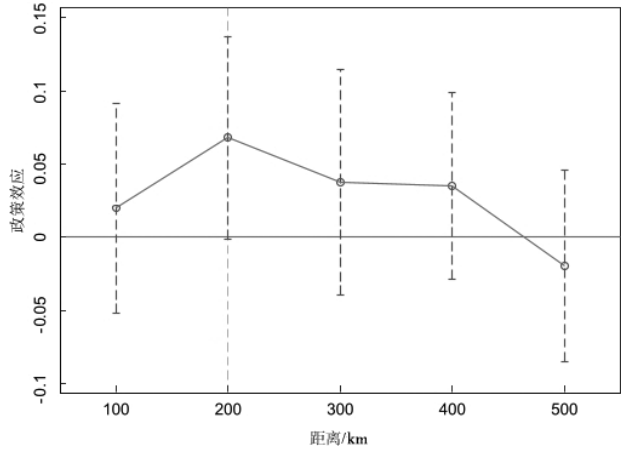
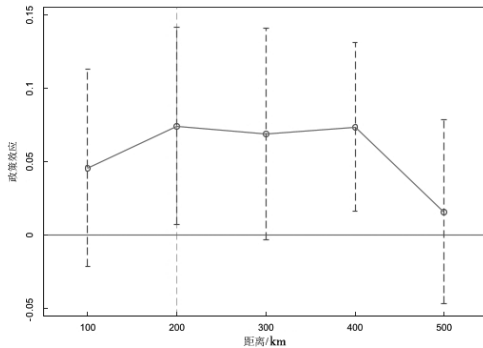
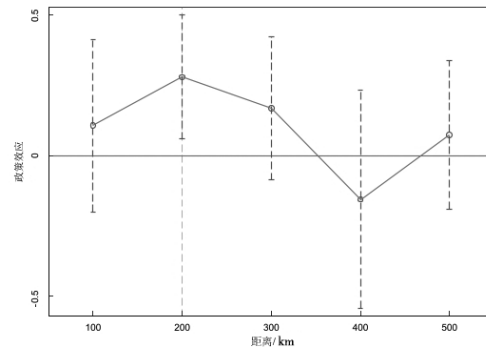


图 5 空间溢出效应衰减边界

图 6 展示了空间溢出效应衰减边界的胡焕庸线异质性。从图 6 能够发现,胡焕庸线以东地区和胡焕庸线以西地区均表现为,在城市间距离为 200 km 时,“三试点”城市对邻近城市的空间溢出效应最强,之后逐渐下降。但区别在于胡焕庸线以东城市在 500 km 内始终表现为空间溢出效应。而胡焕庸线以西地区仅在 350 km 左右表现为空间溢出效应,之后变为虹吸效应。



a. 胡焕庸线以东



b. 胡焕庸线以西

图 6 空间溢出效应衰减边界的胡焕庸线异质性

五、结论与启示

本文基于创新型城市、智慧城市与宽带中国三类试点政策,系统评估了“三试点”政策对城市绿色创新的叠加效应及其作用机制。研究表明,“三试点”政策在整体上显著提升了城市绿色创新水平,并且在实质性绿色创新和策略性绿色创新两个维度上均产生了积极作用。这说明创新生态体系、智慧化治理能力与数字化基础设施在政策层面形成了相互促进的合力,能够有效推动绿色技术研发与应用。进一步的机制分析显示,知识网络嵌入性是其中的重要中介路径,环境规制强度在政策效应中呈现出显著的正向调节作用。进一步的扩展性分析表明,“三试点”政策相较于“双试点”与“单试点”政策更具协同优势。在政策实施次序上,“先创新型城市、再智慧城市、后宽带中国”的路径能够更有效释放绿色创新潜能。空间效应分析呈现显著的外溢效应,且胡焕庸线以东地区溢出范围更大。综上,“三试点”政策不仅在城市层面强化了绿色创新能力,而且通过空间溢出效应促进了区域间的绿色协同发展。研究结论为深化创新化、智慧化与数字化的政策耦合,以及在国家层面为推动绿色低碳转型提供了坚实的实证支持。

第一,强化创新生态、智慧治理与数字基建的协同推进机制。在未来的政策设计中,国家相关部门应强化政策衔接,建立三类政策的协同推进机制,避免各类政策孤立运行,从而最大化政策效益。具体来说,应当确保创新生态、智慧治理与数字基建政策在设计和实施上相互支持。通过建立统一的政策框架和协调机制,增强不同政策间的互补性,形成强大的政策合力,以提高政策实施的效能。

第二,以知识网络嵌入性为抓手,提升绿色创新的人才与合作驱动力。一方面,应通过建立绿色技术领域的人才“引育留”机制,吸引高端人才,推动绿色研发团队建设;另一方面,应鼓励政府、高校、企业之间开展绿色技术联合攻关,推动形成跨区域的绿色创新联盟。同时,依托数字化平台建设国家级绿色技术数据库和知识共享平台,促

进知识在不同区域间的快速流动与应用转化。

第三,优化环境规制与政策试点的耦合机制。未来应构建更为科学的环境规制体系,推动“硬约束”与“软激励”相结合。一方面,应完善排污许可、碳排放交易等制度,加大对高耗能企业的监管力度;另一方面,应对绿色技术研发与应用企业提供税收优惠、绿色金融支持及研发补贴。通过刚性约束与激励措施并举,形成有利于绿色创新的外部制度环境,使“三试点”政策在高环境规制背景下发挥更强效能。

第四,注重试点次序设计,优化政策实施路径。在未来新一轮试点推广中,结合各城市的基础条件与发展阶段,强化国家部委之间的协调对接,科学安排试点顺序。例如,对于科技创新基础较好的城市,应优先布局创新型城市试点,再通过智慧治理平台放大绿色创新的应用价值,最后以数字基建作为普惠性支撑。这样不仅可以提高政策效率,还能避免因资源错配导致的政策效应减弱。

第五,发挥空间溢出效应,推动区域绿色创新协同。在政策设计中强化区域联动机制。建立跨区域绿色创新走廊,推动东部核心城市的绿色技术扩散至中西部地区。同时,应依托国家级新区、自由贸易区等平台,加快绿色创新要素在更大范围内的流动,缩小区域发展差距。

参考文献:

- [1] 邓荣荣,吴云峰.有福同享:城市数字基础设施建设与经济包容性增长[J].上海财经大学学报,2023,25(1):3-18.
- [2] 袁达松.智慧城市法治现代化建设的现实挑战及应对策略[J].人民论坛·学术前沿,2025(11):36-45.
- [3] 曹希广,邓敏,刘乃全.通往创新之路:国家创新型城市建设能否促进中国企业创新[J].世界经济,2022,45(6):159-184.
- [4] 胡宏兵,赵春旭,万晨声.数字经济、人力资本效应与城市创新产出[J].财贸经济,2025,46(1):133-150.
- [5] 张国峰,陈俊汝.城市智慧化建设能否提升吸引FDI业绩指数[J].中国经济问题,2025(1):57-72.
- [6] 万安位,黄永春.低碳城市与创新型城市减碳技术选择机制[J].中国人口·资源与环境,2024,34(2):23-31.
- [7] SONG S, WEN J, Li Y, et al. How does digital economy

- affect green technological innovation in China? new evidence from the “broadband China” policy[J]. *Economic analysis and policy*, 2024, 81: 1093-1112.
- [8] 孟醒, 朱平芳. 数字基建驱动绿色创新的效应与机制研究: 基于“宽带中国”战略的政策实验[J]. *经济与管理研究*, 2025, 46(1): 90-108.
- [9] 吴鸣然, 黄卫东. 智慧城市建设对城市绿色创新效率的直接影响与扩散效应: 基于 173 个城市的“准自然实验”[J]. *软科学*, 2024, 38(3): 29-36.
- [10] 王翔翔, 刘瀑. 城市发展转型提升创新水平吗?: 来自国家创新型城市试点的证据[J]. *经济经纬*, 2023, 40(2): 34-44.
- [11] HE J. The impact of energy transition policies on urban green innovation: evidence from the new energy demonstration cities in China[J]. *Economic change and restructuring*, 2025, 58(3): 34-34.
- [12] 王惠, 张念明. 地方债管理体制改革的绿色创新效应: 基于多时点双重差分法的验证[J]. *中南财经政法大学学报*, 2025(5): 40-54.
- [13] 徐志伟, 欧阳业. 从“孤岛”到“绿洲”: 中国城市污染控排的空间效应[J]. *当代财经*, 2025(3): 126-141.
- [14] 于海云, 郑明波. 科技金融会激励中国企业进行绿色创新吗: 基于“促进科技和金融结合试点”政策的证据[J]. *科学学研究*, 2025, 43(6): 1237-1249.
- [15] 麦均洪, 盛益健. 高等教育资源禀赋的城市创新产出效应及机制研究: 基于 2009—2022 年珠三角城市群面板数据的实证分析[J]. *学术研究*, 2024(5): 62-70.
- [16] 白小虎, 魏强. 城市舒适性如何影响创新产出?: 基于中国城市面板数据的实证研究[J]. *上海经济研究*, 2024(10): 88-100.
- [17] 庄德林, 方芳, 朱晨. 政府引导基金对城市创新的影响研究: 基于政府引导与市场运作的双重属性[J]. *贵州财经大学学报*, 2025(1): 61-70.
- [18] 杜运伟, 李思雨. 数据要素赋能城市绿色创新的机制与效应研究: 来自国家级大数据综合试验区的证据[J]. *审计与经济研究*, 2025, 40(5): 106-117.
- [19] QIU Y, GAO C, SONG N. Trickle-down or siphon: the spillover effects of the digital economy on green innovation from the perspective of the circular economy [J]. *Socio-economic planning sciences*, 2025, 102: 102328.
- [20] GHARBI S, ZARRAD O, KALAI M, et al. Examining the symmetric and the asymmetric impacts of green innovation and digitalization on the European Union’s green economic growth [J]. *Discover sustainability*, 2025, 6(1): 929.
- [21] FEI F, TRUNG V H, MOHANTY P P. Does green innovation play a crucial role for environment sustainability? evidence from ASEAN countries. [J]. *Journal of environmental management*, 2025, 393: 126961.
- [22] 王俊豪, 谢倩莹, 史丹. 绿色技术创新对能源效率的影响研究[J]. *财贸经济*, 2024, 45(6): 143-159.
- [23] 韩先锋, 李佳佳, 徐杰. “宽带中国”战略与智慧城市试点政策协同对城市数智化发展的影响研究[J]. *管理学报*, 2026, 23(1): 51-60.
- [24] 何雄浪, 邓舒耀. 创新型城市和智慧城市双试点政策促进新质生产力发展效应研究[J]. *西北民族大学学报(哲学社会科学版)*, 2025(1): 123-135.
- [25] 种照辉, 高志红, 覃成林. 网络基础设施建设与城市间合作创新: “宽带中国”试点及其推广的证据[J]. *财经研究*, 2022, 48(3): 79-93.
- [26] 姚芳, 赵锴, 夏俊馨. 数字经济赋能绿色发展的可持续性机制研究[J]. *当代经济科学*, 2025, 47(4): 36-50.
- [27] 陈曦, 吴英巨, 朱建华. 新质生产力视角下地方人才引进与全要素生产率[J]. *经济管理*, 2024, 46(12): 104-120.
- [28] 韩先锋, 郑酌基, 徐杰, 等. 绿色数字基建驱动城市绿色创新的机制及效应研究[J]. *管理学报*, 2025, 22(1): 95-105.
- [29] 郭丰, 杨上广, 柴泽阳. 双创示范基地建设能促进城市绿色技术创新吗: 基于双重差分模型的检验[J]. *科学与科学技术管理*, 2023, 44(7): 143-161.
- [30] 高志刚, 苟红霞. 城市绿色交通碳治理效果评估: 来自低碳交通运输体系试点政策的经验证据[J]. *城市发展研究*, 2023, 30(8): 100-109.
- [31] 鲍鹏程, 尹朝静, 杨坤. 创新人才集聚能提升城市碳排放绩效吗: 来自中国地级市的经验证据[J]. *经济与管理研究*, 2025, 46(2): 24-42.
- [32] 杨志红, 王小林. 企业数字化转型与绿色协同创新行为[J]. *经济学动态*, 2024(12): 73-91.
- [33] 曹清峰. 国家级新区对城市经济增长的带动效应: 基于 70 大中城市的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2020(7): 43-60.