



“低碳城市”试点政策能否促进绿色技术进步?

邵帅 李嘉豪

Can the Low-carbon Policy Promote the Progress of Green Technology?

SHAO Shuai LI Jiahao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.1672>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

低碳城市试点政策的工业污染物净减排效应

Analysis of the Net Emission Reduction Effect of the Industrial Pollutants in Low-carbon Pilot Cities

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(5): 16 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.7255>

长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素

Spatial Network Structure and Driving Factors of Green Innovation Efficiency in Yangtze River Economic Zone

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(6): 72 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.4309>

城市低碳发展与新型城镇化耦合协调研究——以中国低碳试点城市为例

Coupling Coordinating between Carbon Emissions and Urbanization—A Case of Chinese Low Carbon Pilot Cities

北京理工大学学报(社会科学版). 2017(2): 20 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.0203>

省际R&D技术溢出对碳排放的影响

The Impact of R&D Technology Spillover between China's Regions on Carbon Emissions

北京理工大学学报(社会科学版). 2018(2): 32 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2018.3938>

企业低碳意识对低碳行为的影响机制研究——基于“意识—情境—行为”视角

A Study on the Influence Mechanism of Low-carbon Awareness on Low-carbon Behavior—Based on the Consciousness-Context-Behavior System Model

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(5): 30 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.3439>

多主体互动博弈下建筑企业低碳转型的演化机理

Evolutionary Mechanism of Low-carbon Transformation of Construction Enterprises under Multi-agent Interaction Games

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(1): 17 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.0625>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.1672

“低碳城市”试点政策能否促进绿色技术进步？ ——基于渐进双重差分模型的考察

邵 帅，李嘉豪

(华东理工大学 商学院, 上海 200237)

摘 要: 低碳城市建设是推动节能减排、实现中国2030年碳达峰目标和经济社会全面绿色转型的一项重要举措，而促进绿色技术进步则是推动绿色发展的必然选择。但是，现有文献鲜有从网络视角对绿色技术进步的空间关联效应进行深入探讨。基于2005—2020年中国绿色发明专利授权数据构建了专利引证网络，以城市专利引证和被引证数量分别表征城市绿色技术进步和绿色技术溢出水平，并运用渐进双重差分模型（Time-varying DID）考察了“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步和绿色技术溢出的影响，进而识别了城市绿色技术进步的来源、靶向目标和参与主体。研究发现：“低碳城市”试点政策显著促进了城市绿色技术进步和绿色技术溢出，这一结论在经过平行趋势检验、倾向得分匹配-DID检验和安慰剂检验等一系列稳健性检验后依然成立。同时，“低碳城市”试点政策也促进了跨区域绿色技术进步和绿色技术溢出，且对高行政级别城市及其周边的试点城市影响更强；该政策对高污染行业绿色技术进步和绿色技术溢出的影响更加明显，且对企业绿色技术进步和绿色技术溢出的影响强于科研院所等非营利机构。

关键词: “低碳城市”；绿色技术进步；专利质量；专利引证网络；社会网络分析

中图分类号：F205

文献标志码：A

文章编号：1009-3370(2022)04-0151-12

为了达成中国承诺的2030年碳达峰目标和实现经济社会全面绿色转型，国家发展和改革委员会于2010年开始实行低碳城市试点，并于2012年和2017年进一步扩大了试点范围。“低碳城市”试点政策是一种特殊的、广义的环境政策，不同于单一的环境污染治理政策，它具有先行先试的特点，旨在通过提升能源利用效率、发展可替代清洁能源等多元化手段促进绿色技术进步，进而实现低碳目标^[1-2]。学术界已从研发投入、专利授权数量以及能源效率等视角，证实了绿色技术进步对提升碳排放绩效具有显著的正向影响^[3-5]。但是，学术界关于环境政策能否促进试点城市绿色技术质量提升这一问题仍未能达成共识。不仅如此，随着数据可得性以及分析手段的发展，本文基于Incopat数据库中授权的绿色发明专利数据测算发现，绿色技术进步并不完全来自于本地，有超过70%的绿色技术进步来自于邻近地区，这些跨区域专利引证、授权许可等联系数量的增加推动了区域创新网络的形成。因此，从网络视角厘清“低碳城市”试点政策能否促进城市绿色技术进步具有重要的理论和现实意义。本文运用渐进双重差分模型（Time-varying DID），以2005—2020年中国大陆地区城市层面数据为样本，实证检验了“低碳城市”试点政策对试点城市绿色技术进步的影响。

一、文献综述

近年来，环境政策的评价研究逐渐成为学术界的焦点，学者们从生态绩效、经济绩效和就业等不同方面探讨了“低碳城市”试点的政策效应^[6-8]。但是，现有文献普遍将技术创新作为“低碳城市”试点等环境政策生效的过渡机制，仅少数学者就“低碳城市”试点政策如何通过技术进步实现节能减排这一问题进行了考察^[9]，而直接研究“低碳城市”试点政策对绿色技术进步影响的文献更是凤毛麟角。事实上，学术界

收稿日期：2022-07-31

基金项目：国家社科基金重大项目“推动能源供给侧与消费侧协同绿色发展促进人与自然和谐共生研究”（21ZDA084）；国家自然科学基金项目（71922015，71773075）；上海市“科技创新行动计划”软科学项目（22692103400）

作者简介：邵帅（1981—），男，博士，教授，E-mail:shaoshuai8188@126.com

就环境政策能否有效促进绿色技术进步尚未达成统一结论^[10-11],而“低碳城市”试点政策作为一项综合性的环境政策,其对绿色技术进步的影响更加复杂^[12]。此外,虽然有些文献已经探讨了碳排放交易、环境保护税等环境政策对城市或企业绿色技术进步的影响^{[11][13]},但仅探讨了单一环境政策的绿色技术进步效应。更重要地是,上述文献普遍忽视了政策的空间效应,仅有少数文献运用空间计量模型进行分析^[14],而空间计量模型依赖于地理邻近性假设,也无法准确反映当前我国绿色技术进步的网络化发展趋势^[15]。

如何测度绿色技术进步是准确评估“低碳城市”试点政策效应首要解决的问题。现有研究普遍认为绿色技术进步可以从投入、产出和绩效三个角度进行测度,其中投入和绩效角度主要通过研发投入、创新效率等指标衡量,而产出角度则主要通过专利数据测算^[3-5]。与研发投入或效率指标相比,专利数据能够提供更充足的微观信息,使研究者可以细分绿色技术进步的来源、参与主体和应用领域^[16]。其次,现有文献从增长极、梯度转移等理论和现实层面论证了绿色技术进步存在空间关联性^[17]。随着专利数据可得性的提高以及社会网络分析方法的广泛运用,学者们由基于绿色专利申请量或授权量等指标,运用空间计量等方法间接刻画区域间的邻近关联^[14],转变为采用专利转移、授权以及引证等关系型数据直接构建区域创新网络^[18-20]。其中,专利引证关系相比于其他关系类型具有以下两点优势,即引证次数不仅更能反映绿色技术进步的质量,还能够清晰刻画绿色技术进步的路径。

二、理论分析与研究假说

(一)政策背景

“低碳城市”试点政策是一项综合性环境政策,旨在通过鼓励绿色技术创新,完善低碳产业体系,推动城市产业结构优化升级和能源消费结构清洁转型,促进绿色技术进步,最终实现节能减排。自2010年7月国家发展与改革委员会宣布将湖北、云南等5个省份和深圳、杭州等8个城市列为“低碳城市”试点地区以来,2012年11月和2017年1月先后公布了第二批和第三批试点地区,其中第二批试点地区包括海南省和北京、上海等28个城市,第三批试点地区包括南京、合肥等41个城市和4个区县。在建设低碳城市建设的过程中,三批试点城市普遍十分重视绿色技术创新,并制定了一系列促进绿色技术进步的政策。具体而言,这些政策按照执行强度可划分为指令型、市场型和鼓励型,其中指令型政策主要包括重点用能企业的低碳改造工程等,市场型政策则包括推动重点用能单位与节能低碳技术企业的相关合作等,鼓励型政策主要包括举办全民范围的低碳技术推广活动等。因此,“低碳城市”试点政策的推行对城市绿色技术进步预期可以发挥出显著的促进作用。

(二)影响机制

现有文献指出,技术进步可划分为“学习→消化→吸收→再创新”四个阶段^[21],而绿色技术进步是指通过“再创新”环节产出绿色专利。由于绿色专利的产生必然伴随着绿色技术溢出,因而本文将从绿色技术进步和绿色技术溢出两个维度进行实证考察。本文认为,“低碳城市”试点政策可能对绿色技术进步和绿色技术溢出均会产生显著影响。首先,“低碳城市”试点政策扩大了试点城市中企业和科研院所等创新主体的学习范围,降低了其信息不对称性。具体而言,信息不对称性等因素是制约企业和科研院所等创新主体技术进步的重要因素,特别是对于企业而言,信息不对称性加剧了其融资约束,限制了其创新行为^[22]。而“低碳城市”试点政策的实施能够有效降低信息不对称性。比如,一些试点城市政府会主动牵头引进先进的绿色技术,或是举办本地企业与异地节能低碳技术企业的合作对接会等,同时试点政策还能够吸引一些低能耗企业迁移其中^[23],从而在一定程度上降低了企业等创新主体进行绿色创新的不确定性和信息不对称性。其次,在技术“消化”和“吸收”阶段,绿色技术进步的推动需要持续的研发投入,时间与研发成本的不确定性是阻碍绿色技术进步的现实问题^[3],而“低碳城市”试点政策的实施可以降低城市中各创新主体消化、吸收的时间与研发成本。具体而言,“低碳城市”试点政策往往会涉及产业、金融投资等多个领域,如设立先进低碳技术试点,重点解决高污染领域先进绿色技术引进的成本高、落地难等问题^[7]。最后,在“再创新”阶段,“低碳城市”试点政策往往会采取中央指定与地方自主申报相结合的方式,并要求市主要领导负主要责任,因此加入试点意味着城市需要承担更多减排责任,在一定的压力下

各创新主体的研发效率可能会因此提高^[23]，由此，本文可以提出以下假说：

假说1.“低碳城市”试点政策会促进试点城市的绿色技术进步。

“低碳城市”试点政策的实施还可能产生试点城市的绿色技术溢出，其逻辑主要体现在以下三个方面。首先，“低碳城市”试点政策的一个重要目标就是积累低碳发展经验并进行推广，因此“低碳城市”试点政策可能会产生示范效应^[14]，进而促进试点城市绿色技术的溢出，带动周边城市绿色技术的进步。其次，“低碳城市”试点政策可能会通过产业关联效应引致试点城市绿色技术溢出。具体而言，产业关联性绿色技术溢出不仅体现在企业内部，即通过企业组织关系实现绿色技术的溢出，还可能体现在具有类似的生产技术结构的企业之间，因为企业可以通过绿色技术进步降低生产成本、提高生产率，从而直接提升企业的利润水平，并吸引其他企业争相效仿^[24]。此外，“低碳城市”试点政策还可能通过市场效应诱发绿色技术溢出，具有先进技术的产品在不同区域之间的交易流动，可以为技术相对落后的区域学习模仿先进技术而促进相应区域的绿色技术进步^[25]。由此，本文可以提出如下假说：

假说2.“低碳城市”试点政策会促进试点城市的绿色技术溢出。

绿色技术的持续进步是有效实现“双碳”目标的重要保障，但仅依靠本地的绿色技术进步和绿色技术溢出，无论从规模上还是从效率上来讲均可能无法达到预期效果。而网络外部性理论指出，在要素自由流动的条件下，城市嵌入区域或全国绿色创新网络可以获得正向溢出效应^[26]。这种正向溢出效应不仅表明网络中心城市能够进一步集聚绿色创新要素，还意味着网络非中心城市也可以通过积极嵌入网络，谋求与邻近中心城市进行合作，“借用”后者的创新基础设施、平台等优质资源实现自身的跨越式发展^[27]。“低碳城市”试点政策的实施则恰好可以推动创新要素的跨区域流动，无论就政府牵头引进先进的绿色技术和相关人才并制定相应的创新激励和人才引进政策来看，还是对企业通过自身组织关系进行跨区域产业布局和调整产业结构而言，这些举措均可以在不同程度上推动创新要素的跨区域流动，提升试点城市在绿色专利引证网络中的嵌入程度。因此，从其他城市吸收先进的技术，促进城市间的技术交流合作能够更加有效地促进绿色技术进步。据此，本文提出如下假说：

假说3.“低碳城市”试点政策对城市间绿色技术进步和绿色技术溢出的影响大于城市内部。

“低碳城市”试点政策对高污染行业与中低污染行业均会产生显著影响，但由于“低碳城市”试点政策对两类行业的侧重不同，且不同行业间的技术结构存在差异，因此试点政策对绿色技术进步和绿色技术溢出的影响会存在异质性^[8]。一方面，高污染行业作为碳排放“大户”，一直以来都是一系列环境政策的落脚点，“低碳城市”试点政策也不例外^[2]，试点城市的绿色技术进步可能会在政策的支持下偏向高污染行业。但另一方面，高污染行业可能是一些试点城市的支柱产业，一旦相关行业的绿色技术研发不畅，势必会影响从业者的生计，进而产生更大的绿色技术进步阻力^[11]。因此，出于降低风险等方面的考虑，“低碳城市”试点政策也可能会以中低污染行业为切入口，大力发展新能源产业、零碳建筑等。据此，本文提出如下假说：

假说4.“低碳城市”试点政策对高污染行业绿色技术进步和绿色技术溢出的影响大于中低污染行业。

“低碳城市”试点政策对绿色技术进步和绿色技术溢出的影响也可能因为创新主体的身份不同而产生异质性。企业和科研院所最大的不同在于前者具有营利性质，因此在进行创新活动时往往会考虑研发成本与收益。首先，“低碳城市”试点政策将提高环境规制强度，一方面根据“波特假说”，适当的环境规制强度将驱动企业进行绿色技术创新，另一方面根据“成本—收益理论”，企业也可能会压缩研发投入而用于支付环境治理成本。其次，对于科研院所等非营利性机构而言，“低碳城市”试点政策对其并未产生任何负面影响，甚至还可能会驱使一些企业与之进行合作，从而促进绿色技术进步。但是，与企业相比，“低碳城市”试点政策对非营利机构的约束性较弱，因此非营利机构的创新动力也相对不足。据此，本文提出如下假说：

假说5.“低碳城市”试点政策对营利性质的创新主体绿色技术进步和绿色技术溢出的影响大于非营利性质的创新主体。

三、数据来源与模型设计

(一) 专利数据来源与处理

本文所使用的专利数据均来源于 Incopat 数据库, 这是由北京合享智慧科技有限公司创立的大型专利数据平台, 其数据直接来源于国家知识产权局 (CNIPA)。绿色发明专利的界定标准为世界知识产权组织 (WIPO) 在 2010 年 9 月公布的“国际专利分类绿色清单” (IPC Green Inventory), 这是目前学术界公认的绿色专利分类方法。本文的数据处理过程主要分为两步, 首先根据绿色专利清单中提供的 IPC 分类号从 Incopat 数据库获取了 1985—2020 年授权的绿色发明专利, 接着根据上述绿色专利的家族引证情况进一步收集相关被引证专利的数据, 并以此为基础构建 2005—2020 年的专利引证网络。

(二) 绿色专利引证网络构建

绿色技术进步是指企业、科研院所等创新主体在现有技术水平下所取得的新颖绿色技术, 而绿色专利的申请与授权往往被视为绿色技术进步的直观表现, 其申请量和授权量已经成为衡量绿色技术进步的重要指标。但是, 绿色专利的申请或授权数量往往仅能反映静态的绿色技术进步结果, 无法揭示技术进步的路径、参与的相关主体等动态因素。事实上, 根据技术进步理论可将技术进步划分为两个阶段和五大基本要素, 两个阶段是指技术分享和技术的再利用, 五大要素则是技术来源和接受者、被转移的技术类型、转移渠道以及转移机制^[20]。专利引证反映了对既有专利的继承和创新, 涵盖了技术进步的两个阶段, 因此本文拟基于技术进步理论构建绿色发明专利引证网络。需要特别指出的是, 本研究所涉及的绿色发明专利均为授权专利而非申请专利, 这是因为申请专利仅能反映创新的数量, 授权专利则更能反映创新的质量和创新能力。同时, 根据本文对绿色技术进步的定義, 每一条专利引证联系中的引证方必须为授权的绿色发明专利, 而被引证方则不作特别要求。据此, 本文借鉴 Huang 等^[19] 和 Li 等^[20] 的做法构建了城市层面的专利引证网络。具体而言, 本文将中国 291 个地级市视为绿色专利引证网络的节点城市, 并基于式 (1) 构建 2005—2020 年绿色专利引证网络 G_t , 其中 G_t 为 291×291 的矩阵, $t=2005, 2006, \dots, 2020$ 年。

$$w_{ij}^t = \sum_{k=1}^{n_t} \text{greenpat}_k$$

$$\text{greenpat}_k = \begin{cases} 1, & i \in \text{loc}_{\text{family}_{\text{greenpat}_k}} \\ 0, & i \notin \text{loc}_{\text{family}_{\text{greenpat}_k}} \end{cases} \quad (1)$$

其中, w_{ij}^t 表示 t 年绿色专利引证网络中 i 市到 j 市的绿色技术溢出流量; n_t 表示 t 年 j 市的绿色专利授权数量; greenpat_k 表示 t 年 j 市第 k 项绿色专利是否引证了申请地址位于 i 市的专利; $\text{family}_{\text{greenpat}_k}$ 表示 t 年 j 市第 k 项绿色专利的家族引证情况; $\text{loc}_{\text{family}_{\text{greenpat}_k}}$ 则表示 t 年 j 市第 k 项绿色专利所引证专利的申请地址的集合。

(三) 计量模型

“低碳城市”试点政策既会导致试点城市与非试点城市之间的地区差异, 也会导致低碳试点城市落实政策前后的差异。上述两类差异为本文采用双重差分模型评估“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步的影响提供了进行准自然实验的空间。同时, “低碳城市”试点政策分别于 2010 年、2012 年和 2017 年公布了第三批低碳试点城市名单, 这意味着传统双重差分模型不再适用。因此, 本文借鉴王锋和葛星^[8] 的做法, 构建渐进双重差分模型考察“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步的影响。具体模型如下

$$\text{ID}_i = \alpha + \beta \text{Policy}_{it} + \lambda X_{it} + \eta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\text{OD}_i = \alpha + \beta \text{Policy}_{it} + \lambda X_{it} + \eta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, ID_i 表示城市 i 的绿色技术进步, 以城市 i 在专利引证网络中的入强度衡量; OD_i 表示城市 i 的绿色技术溢出, 以城市 i 在专利引证网络中的出强度衡量; Policy_{it} 为“低碳城市”试点政策的虚拟变量, 表示城市 i 在 t 年是否实施了该政策, 实施为 1, 反之为 0; X_{it} 表示 t 年影响城市 i 绿色技术进步和绿色技术溢出的一系列控制变量; η_i 和 μ_t 分别表示城市固定效应和时间固定效应; α 和 ε_{it} 分别表示常数项和随机扰动项。

(四) 变量选取与数据说明

本文以入强度 (ID) 和出强度 (OD) 作为核心被解释变量, ID_i 越大表示城市 i 的发明授权绿色专利引证其他城市专利的次数越多, 这直接体现了城市 i 的绿色技术进步; OD_i 越大表示城市 i 的专利被其他

城市授权的绿色发明专利引证越频繁，这体现了城市 i 的绿色技术溢出。入强度和出强度的表达式如下所示，其中 w_{ji}^t 指 t 年城市 i 引证城市 j 的次数， w_{ij}^t 指 t 年城市 i 被城市 j 引证的次数

$$ID_i = \sum_j w_{ji}^t \quad (4)$$

$$OD_i = \sum_j w_{ij}^t \quad (5)$$

本文的核心解释变量为政策虚拟变量 (Policy _{it})，用以刻画“低碳城市”试点政策对绿色技术进步的影响，试点城市名单来源于国家发改委发布的相关文件。具体而言，由于“低碳城市”试点政策实施的时间分别为 2010 年 7 月、2012 年 11 月和 2017 年 1 月，考虑到前两批试点政策普遍于下半年生效，且绿色发明专利受政策影响的周期较长^[4]，故本文以 2011 年、2013 年和 2018 年作为政策实施的基期，而受政策冲击影响后的年份最多可到第 9 年，同理，受政策影响前的年份最多可追溯至 13 年前。

除此以外，本文还将城市经济发展水平 (ln gdp)、产业结构 (inds)、外商直接投资水平 (ln fdi)、信息化水平 (ln info) 和政府干预 (gov) 作为控制变量引入回归方程，以控制影响城市绿色技术进步和绿色技术溢出的其他重要因素。其中，经济发展水平以人均 GDP 予以刻画；产业结构以第二产业产值与第三产业产值的比值表示；外商直接投资水平以外商直接投资金额表示；信息化水平以邮政业务收入表示；政府干预则以地方一般公共预算支出占地区生产总值的比重衡量。需要特别指出的是本文对经济发展水平、外商直接投资水平以及信息化水平均取自然对数，另外还运用插值法和手动补充的方式对空缺数据进行补充，上述变量均来源于中国城市统计年鉴。

四、实证结果

(一) 基准回归

本文基于网络视角重点考察了“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步的影响。表 1 汇报了基准回归结果，其中列 (1) 和列 (2) 分别为仅控制个体和时间固定效应而未加入其他控制变量的回归结果，“低碳城市”试点政策虚拟变量的系数均显著为正，列 (3) 和列 (4) 则进一步表明“低碳城市”试点政策虚拟变量在加入控制变量后依然显著为正，上述回归结果验证了本文所提出的假说 1 和假说 2。“低碳城市”试点政策不仅显著提升了试点城市的绿色技术进步，还显著促进了试点城市内的绿色技术溢出。除核心解释变量以外，表 1 中控制变量的估计结果显示，人均 GDP 与政府干预变量的系数均显著为负，试点城市的经济发展水平以及政府干预能力对绿色技术进步存在显著的负向效应，这意味着节点城市的经济发展与政府干预的重心并未放在绿色技术进步方面。其次，外商直接投资水平、信息化水平和产业结构变量的系数显著为正，说明试点城市的外商直接投资、信息化水平越高以及产业结构中二产比重占比越高越有助于促进绿色技术进步。

(二) 稳健性检验

1. 平行趋势检验与倾向得分匹配-DID 检验

双重差分方法有效的前提是满足平行趋势假定，即在“低碳城市”试点政策实施前后试点和非试点城市间绿色技术进步的演变趋势应该是相近的。本文参考 Beck 等^[28]的方法进行平行趋势检验，在回归中加入节点城市成为“低碳城市”试点城市的虚拟变量，以追踪“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步的逐年影响。图 1 绘制了 95% 置信区间水平下平行趋势检验的结果，可以发现“低碳城市”试点政策实施前的估计值普遍为负且不显著，而政策实施后绿色技术进步和绿色技术溢出的系数显著为正。这一方面反映了平行趋势假设成立，另一方面也表明“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步产生了显著的促进作用。

在平行趋势检验的基础上，本文借鉴孙鹏博和葛力铭^[29]的做法进一步运用倾向得分匹配-双重差分 (PSM-DID) 方法对潜在的内生性稳定予以更严格的控制。在进行 PSM-DID 时，首先通过“低碳城市”试点政策对控制变量进行 Logit 回归得到倾向得分值，再采用一对一邻近匹配法保留倾向得分值最为接近的非试点城市作为新的对照组。结果表明 PSM-DID 估计结果与基准回归结果基本一致，这进一步证明了基准回归结果的稳健性 (表 2)。

表 1 基准回归结果

解释变量和控制变量	绿色技术溢出		绿色技术进步	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Policy	0.201 3*** (0.023 0)	0.210 8*** (0.025 0)	0.180 6*** (0.022 1)	0.189 6*** (0.023 8)
ln gdp			-0.214 2*** (0.039 8)	-0.229 5*** (0.042 9)
ln fdi			0.010 6*** (0.002 3)	0.011 0*** (0.002 4)
inds			0.054 8*** (0.010 0)	0.056 5*** (0.010 9)
ln info			0.044 1*** (0.012 6)	0.045 7*** (0.014 1)
gov			-0.234 4*** (0.059 7)	-0.234 6*** (0.062 2)
adj. R ²	0.548	0.537	0.561	0.549
N	4 656	4 656	4 656	4 656

注：括号内为稳健性标准差；***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

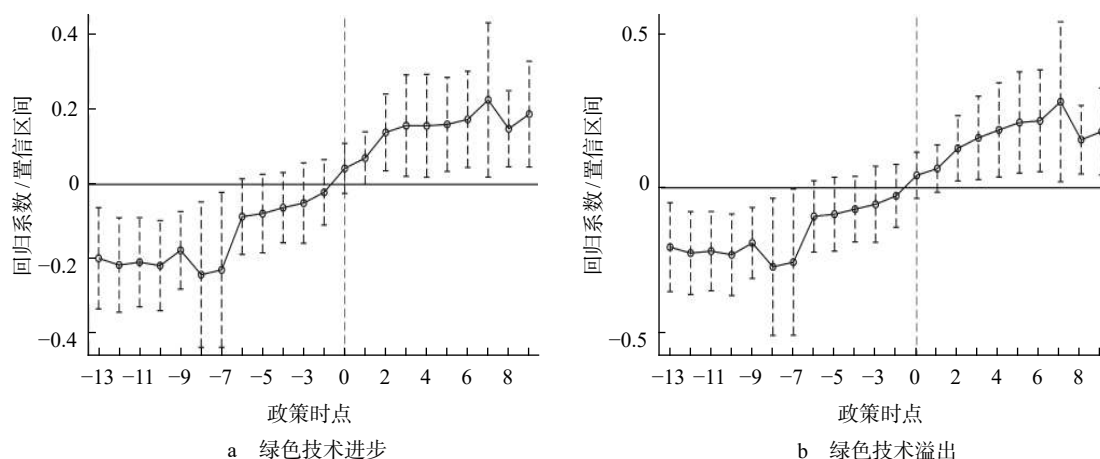


图 1 平行趋势检验

2. 安慰剂检验

为了排除政策冲击的内生性和城市异质性对研究结论的影响，本文参考孙鹏博和葛力铭^[29]的做法进行了重复 500 次的安慰剂检验。图 2 展示了安慰剂检验的结果，左图是以绿色技术进步指标为被解释变量的结果，右图则是以绿色技术溢出指标为被解释变量的结果。图中右侧虚线为基准回归（表 1）中政策实施变量的系数估计值，圆点的横纵坐标依次表示随机组合情况下政策虚拟变量的系数与 p 值情况，曲线为核密度分布图。如图所示，随机样本的 p 值普遍在 0.1 以上，且基于随机样本得到的系数估计值也普遍小于基准回归中得到的系数估计值，这进一步说明本文得到的结果是稳健的。

(三) 异质性分析

前文的回归结果表明，“低碳城市”试点政策具有显著的绿色技术进步效应。然而，对于“低碳城市”试点政策在网络视角下通过何种途径促进绿色技术进步仍未可知。下文将进一步探究“黑箱”内部的作用机制。

1. 城市绿色技术进步的源泉：就地取材还是他山之石

在绿色技术研发过程中，城市内部的企业、科研院所等创新主体可以针对特定情境改进本地绿色技

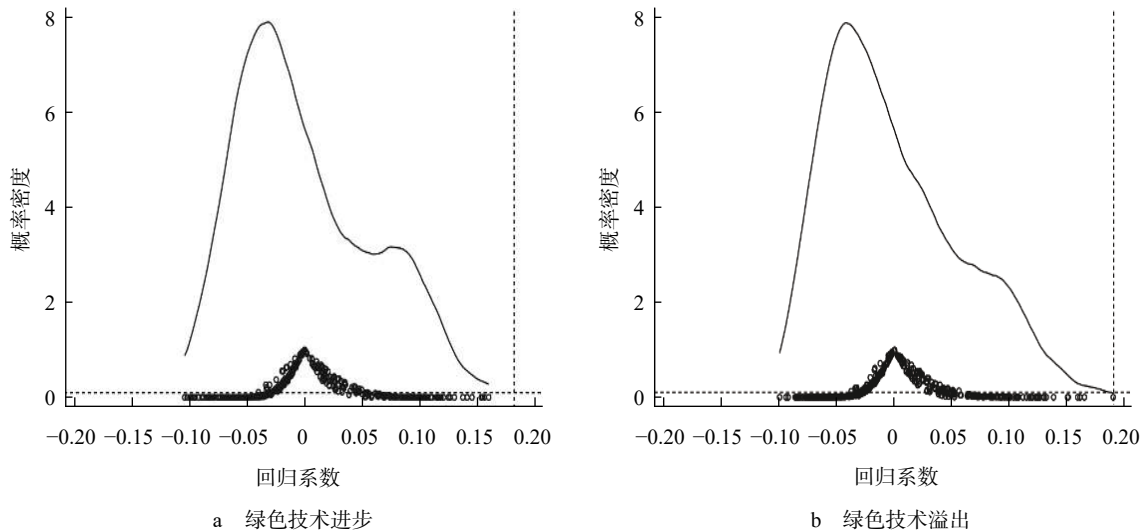


图2 安慰剂检验

表2 PSM-DID 回归结果

解释变量和控制变量	绿色技术进步	绿色技术溢出	绿色技术进步	绿色技术溢出
	(1)	(2)	(3)	(4)
Policy	0.164 3*** (0.023 9)	0.154 0*** (0.023 7)	0.154 1*** (0.026 8)	0.151 6*** (0.026 7)
ln gdp		-0.297 6*** (0.073 8)		-0.344 9*** (0.093 1)
ln fdi		0.022 5*** (0.005 0)		0.031 2*** (0.007 3)
inds		0.093 0*** (0.020 8)		0.121 6*** (0.029 9)
ln info		0.053 8*** (0.018 6)		0.046 7** (0.018 2)
gov		-0.307 9*** (0.094 3)		-0.290 7*** (0.097 8)
adj. R ²	0.531	0.547	0.512	0.526
N	3 125	3 125	2 737	2 737

注：括号内为稳健性标准差；***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

术，往往具有更易取得绿色技术进步，但同时也对本地创新主体的科研能力和技术基础提出了更高的要求。相比而言，从异地企业、高校和科研院所等创新主体引进技术或相关人才能够显著降低城市绿色技术进步的门槛，但是需要承担更高的成本与风险。基于此，本文首先对被解释变量进行分解，考察在“低碳城市”试点政策的作用下城市绿色技术进步的主要来源。具体而言，本文根据每条引证联系中涉及的两个专利申请地址是否相同判别城市绿色技术进步究竟是来源于本地还是网络空间，本地空间下城市*i*的绿色技术进步和绿色技术溢出等于绿色专利引证网络中的 w_{ii}^t ，即*t*年城市*i*以自身为对象的绿色技术溢出流量，网络空间下城市*i*的绿色技术进步与绿色技术溢出分别等于 $ID_i - w_{ii}^t$ 和 $OD_i - w_{ii}^t$ 。回归结果验证了假说3，即“低碳城市”试点政策对试点城市绿色技术进步和绿色技术溢出的促进作用主要来源于网络空间，列（3）和列（6）中“低碳城市”试点政策对网络空间下绿色技术进步和绿色技术溢出的系数分别为0.1377和0.1287，占政策总效应的76.25%和67.88%（表3）。

此外，还可以发现，除2005年外，直辖市、省会城市及副省级城市的异地绿色技术进步和绿色技术溢出总量占全部异地绿色技术进步和绿色技术溢出数量的比重始终高于64.7%和69.2%，高行政级别城市

始终是专利引证网络中跨区域集聚和溢出绿色技术的重要枢纽。基于上述特征事实,本文以城市行政级别高低区分中心和非中心城市,基于假说3进行拓展性分析。具体而言,本文引入城市行政级别虚拟变量(level)与政策的交互项,来验证“低碳城市”试点政策对中心城市和非中心城市的异质性影响;另外,通过引入试点城市与其最近的中心城市间的地理距离的对数(ln dis)与政策的交互项,并剔除中心城市样本,来验证“低碳城市”试点政策的地理异质性。回归结果表明,若试点城市为高行政级别城市,则“低碳城市”试点政策对本地空间与网络空间下城市的绿色技术进步和绿色技术溢出的影响更大;非中心试点城市与中心城市间的距离越近,“低碳城市”试点政策对网络空间下城市的绿色技术进步和绿色技术溢出的正向影响越强。

表3 本地空间与网络空间考察

解释变量和控制变量	本地空间		网络空间					
	绿色技术进步和绿色技术溢出		绿色技术进步			绿色技术溢出		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	总效应	中心城市	总效应	中心城市	中心距离	总效应	中心城市	中心距离
Policy	0.051 9*** (0.008 4)	-0.003 5* (0.002 1)	0.137 7*** (0.016 2)	-0.018 4*** (0.005 4)	0.153 1*** (0.020 0)	0.128 7*** (0.014 3)	-0.010 7* (0.005 5)	0.186 6*** (0.027 1)
Policy×level		0.269 1*** (0.039 6)		0.757 9*** (0.073 4)			0.677 0*** (0.061 3)	
Policy×Indis					-0.028 5*** (0.003 7)			-0.034 4*** (0.005 1)
ln gdp	-0.054 8*** (0.012 5)	-0.034 0*** (0.009 0)	-0.174 7*** (0.031 4)	-0.116 1*** (0.023 3)	-0.034 4*** (0.007 3)	-0.159 4*** (0.028 3)	-0.107 0*** (0.021 3)	-0.038 1*** (0.008 2)
ln fdi	0.002 8*** (0.000 7)	0.001 4*** (0.000 5)	0.008 2*** (0.001 8)	0.004 2*** (0.001 3)	0.000 2 (0.000 3)	0.007 8*** (0.001 7)	0.004 2*** (0.001 2)	0.000 5 (0.000 4)
inds	0.014 5*** (0.003 4)	0.012 2*** (0.002 8)	0.042 0*** (0.007 8)	0.035 5*** (0.006 4)	0.003 2** (0.001 4)	0.040 2*** (0.006 9)	0.034 4*** (0.005 7)	0.006 4*** (0.002 0)
ln info	0.006 4*** (0.002 5)	0.001 3 (0.001 9)	0.039 3*** (0.011 9)	0.025 1*** (0.008 5)	0.008 7*** (0.002 1)	0.037 7*** (0.010 4)	0.025 0*** (0.007 2)	0.010 6*** (0.002 6)
gov	-0.042 5*** (0.013 4)	-0.019 7* (0.010 4)	-0.192 1*** (0.049 6)	-0.127 8*** (0.037 5)	-0.070 5*** (0.011 8)	-0.191 9*** (0.047 1)	-0.134 4*** (0.036 4)	-0.085 7*** (0.014 7)
adj. R ²	0.567	0.609	0.532	0.617	0.535	0.553	0.640	0.530
N	4 656	4 656	4 656	4 656	4 160	4 656	4 656	4 160

注:括号内为稳健性标准差,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

2.城市绿色技术进步的靶向:行业污染密集程度

“低碳城市”试点政策实施的最终目的是有效降低试点城市的碳排放水平,降低高污染行业的碳排放水平更是重中之重,因此“低碳城市”试点政策对高污染行业中绿色技术进步与绿色技术溢出的影响可能更大。但是,“低碳城市”试点政策也呈现“中央请客,地方买单”的特点,故对于部分经济发展仍依赖于高污染行业的低碳试点城市而言,短期内也可能将工作重点放在减排阻力较小、见效更快的中低污染行业。本文基于《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表》识别专利的所属行业,并借鉴潘爱玲等^[30]的研究根据行业污染密集程度划分为高污染行业和中低污染行业,进一步考察“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步靶向。回归结果表明(表4),实施低碳政策对试点城市高污染行业的绿色技术进步与溢出的影响略强于中低污染行业,这意味着“低碳城市”试点政策虽然一定程度推动试点城市加强了对高污染行业的技术改造,但依然存在“捡软柿子捏”的现象。

3.城市绿色技术进步的主体

“低碳城市”试点政策与普通的环境规制政策不同,即后者往往将企业作为唯一的实施对象,而前者综合性更强,涉及的行动主体也更多。具体而言,企业的创新行为一般是营利导向,而非企业性质的大

专院校、科研院所等的创新行为往往是基于学术追求等非营利导向，因此企业为主体的创新行为往往更易受到低碳政策的影响。本文按照专利的申请人身份信息判断其是否与企业相关，进而分别检验“低碳城市”试点政策对企业与非企业创新主体绿色技术进步与绿色技术溢出的影响。回归结果表明（表5），低碳政策对试点城市以企业为创新主体的绿色技术进步与绿色技术溢出的影响要强于非企业性质的创新主体，且低碳政策对企业的绿色技术进步影响更为明显。这意味着“低碳城市”试点政策作为一项综合性的环境政策，它不仅显著促进了企业的绿色技术进步和绿色技术溢出，还对非企业性质的创新主体具有显著影响，同时“低碳城市”试点政策对于企业，特别是企业的绿色技术进步方面的影响更大。

表4 行业分类考察

解释变量和控制变量	绿色技术进步		绿色技术溢出	
	高污染行业 (1)	中低污染行业 (2)	高污染行业 (3)	中低污染行业 (4)
Policy	0.101 4*** (0.012 9)	0.088 2*** (0.011 6)	0.097 6*** (0.012 1)	0.083 0*** (0.010 7)
ln gdp	-0.119 5*** (0.022 8)	-0.110 0*** (0.020 8)	-0.116 4*** (0.021 7)	-0.097 8*** (0.019 0)
ln fdi	0.005 0*** (0.001 2)	0.006 0*** (0.001 3)	0.004 8*** (0.001 1)	0.005 8*** (0.001 2)
inds	0.026 4*** (0.005 4)	0.030 1*** (0.005 7)	0.026 2*** (0.005 1)	0.028 6*** (0.005 2)
ln info	0.020 4*** (0.006 3)	0.025 3*** (0.007 9)	0.021 3*** (0.006 1)	0.022 7*** (0.006 6)
gov	-0.117 7*** (0.030 2)	-0.116 9*** (0.032 4)	-0.126 9*** (0.031 0)	-0.107 5*** (0.029 2)
adj. R ²	0.594	0.473	0.604	0.478
N	4 656	4 656	4 656	4 656

注：括号内为稳健性标准差，***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

表5 政策作用主体分类考察

解释变量和控制变量	绿色技术进步		绿色技术溢出	
	营利性企业 (1)	非营利性机构 (2)	营利性企业 (3)	非营利性机构 (4)
Policy	0.105 0*** (0.014 3)	0.084 6*** (0.010 2)	0.115 8*** (0.015 3)	0.064 8*** (0.007 8)
ln gdp	-0.130 3*** (0.025 3)	-0.099 2*** (0.018 4)	-0.140 0*** (0.027 2)	-0.074 2*** (0.013 5)
ln fdi	0.006 3*** (0.001 4)	0.004 7*** (0.001 0)	0.006 8*** (0.001 5)	0.003 8*** (0.000 8)
inds	0.032 8*** (0.006 7)	0.023 8*** (0.004 4)	0.035 9*** (0.006 9)	0.018 8*** (0.003 4)
ln info	0.024 5*** (0.007 7)	0.021 3*** (0.006 5)	0.026 7*** (0.007 9)	0.017 4*** (0.004 8)
gov	-0.120 8*** (0.033 9)	-0.113 7*** (0.028 8)	-0.136 3*** (0.036 4)	-0.098 1*** (0.023 8)
adj. R ²	0.506	0.593	0.529	0.593
N	4 656	4 656	4 656	4 656

注：括号内为稳健性标准差，***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

五、结论与政策含义

建设“低碳城市”是中国推动节能减排,实现“双碳”目标和经济全面绿色转型的一项试点政策,其能否有效促进绿色技术进步是实现减排与绿色发展目标的关键。现有文献尚未对此达成共识,也未能就绿色技术进步的空间关联效应对其空间进步路径开展专门考察。本文尝试将双重差分模型与网络分析模型相结合,将“低碳城市”试点政策视为一项准自然实验,基于2005—2020年中国绿色发明专利构建专利引证网络,以专利引证和被引证数量分别表征城市绿色技术进步和绿色技术溢出,运用渐进双重差分模型定量考察“低碳城市”试点政策对城市绿色技术进步和绿色技术溢出的影响,并进一步识别了该政策对城市绿色技术进步的来源、靶向目标和参与主体。

研究发现,“低碳城市”试点政策显著促进了城市绿色技术进步和绿色技术溢出。此结论在进行了平行趋势检验、PSM-DID检验和安慰剂检验这一系列稳健性检验后依然成立。我们还发现,从城市绿色技术进步和绿色技术溢出来源看,“低碳城市”试点政策的绿色技术进步和绿色技术溢出效应主要来源于网络空间而非本地空间。进一步分析发现,高行政级别城市始终是绿色专利引证网络中的中心城市,除2005年外,其跨区域绿色技术进步和绿色技术溢出均占有所有跨区域绿色技术进步和绿色技术溢出联系总和的65%以上。中心城市相比于非中心城市,受“低碳城市”试点政策的影响更大,而非中心城市与中心城市间地理距离越近,“低碳城市”试点政策对其的正向影响越大。从靶向目标看,“低碳城市”试点政策对高污染行业绿色技术进步和绿色技术溢出的作用效果更强;从参与主体看,该政策对企业绿色技术进步和绿色技术溢出的影响强于科研院所等非营利机构。

本文的研究结论为建设低碳城市以及促进城市绿色技术进步和绿色技术溢出提供了重要的政策启示。

第一,应该盘活全国绿色技术“存量”,打造绿色创新网络。绿色技术进步离不开对已有技术的吸收与再创新,更离不开研发资金、人才等创新要素的持续投入。因此,要想实现长期可持续性的绿色技术进步,就必须让优质的绿色技术被更多人了解,让创新要素自由流动起来,打造结构合理、联系紧密的绿色创新网络。本文的研究结果表明,“低碳城市”试点政策显著促进了试点城市的绿色技术进步和绿色技术溢出,这些城市对构建绿色创新网络发挥了重要作用。因此,政府应当提炼试点城市建设经验、形成典型案例,尽快推出低碳城市建设相关的指导意见,为进一步向全国推动试点做好充足的准备。

第二,应该建立以低碳试点城市为中心的地区协调机制,形成区域创新合力。当前创新要素的跨区域流动逐渐成为常态,网络空间已经成为“低碳城市”试点政策推动试点城市绿色技术进步和绿色技术溢出的重要来源,其中高行政级别城市作为绿色创新网络的中心城市,对推动城市绿色技术进步和绿色技术溢出更是发挥了重要作用。因此,在建设低碳城市的过程中,中心城市应充分积极发挥龙头作用,形成全局意识。如地方政府应当进一步完善市场导向的绿色技术创新体系,制定绿色技术认定标准,为区域内其他城市引进或转让高质量的绿色技术提供便利,而非中心城市则应当主动寻求与中心城市间的合作,如鼓励企业进行跨区域产业布局、加强城市间生态规划的深度对接、建立常态化联系机制以增强政策的沟通协调等。

第三,需要针对高污染行业制定更明确的指导方案,积极引导高污染行业绿色技术进步。本文的异质性分析结果表明,“低碳城市”试点政策对高污染行业绿色技术进步和绿色技术溢出的推动作用更为显著,但同时“低碳城市”试点政策对高污染行业的影响仅略高于中低污染行业。从长期来看,高污染行业的低碳化转型是实现“低碳城市”试点政策目标的重要一环,这也需要更多高质量绿色技术的支撑。因此,各试点城市应针对高污染行业制定更明确有效的指导方案,早行动早解决。

第四,在推进“低碳城市”试点政策的过程中,应该充分调动企业、科研院所等多方的绿色创新积极性。本文关于绿色技术进步和绿色技术溢出的创新主体身份的异质性结果表明,“低碳城市”试点政策无论是对企业还是对非企业相关的科研院所等创新主体都具有显著的推动作用。因此,在推进“低碳城市”试点政策的过程中,一方面应针对企业的营利性质,在适当提高环境规制强度的同时,积极引导企业主

动寻求与科研院所之间的合作，另一方面也应针对科研院所等非营利机构，制定相应的激励机制，充分调动他们进行绿色创新的积极性。

参考文献：

- [1] 宋弘, 孙雅洁, 陈登科. 政府空气污染治理效应评估: 来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. *管理世界*, 2019, 35(6): 95-108+195.
- [2] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. *中国工业经济*, 2020(12): 178-196.
- [3] 金刚, 沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴: 环境规制执行互动与城市生产率增长[J]. *管理世界*, 2018, 34(12): 43-55.
- [4] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展: 基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. *管理世界*, 2022, 38(2): 46-69+4-10.
- [5] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 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*, 2018, 53(12): 129-143.
- [6] 董梅. 低碳城市试点政策的工业污染物净减排效应: 基于合成控制法[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2021, 23(5): 16-30.
- [7] 王亚飞, 陶文清. 低碳城市试点对城市绿色全要素生产率增长的影响及效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(6): 78-89.
- [8] 王锋, 葛星. 低碳转型冲击就业吗: 来自低碳城市试点的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2022(5): 81-99.
- [9] YANG Z, SHAO S, YANG L. Unintended consequences of carbon regulation on the performance of SOEs in China: the role of technical efficiency[J]. *Energy Economics*, 2021, 94: 1-12.
- [10] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗: 来自环保目标责任制的证据[J]. *中国工业经济*, 2021(2): 136-154.
- [11] 刘金科, 肖翊阳. 中国环境保护税与绿色创新: 杠杆效应还是挤出效应?[J]. *经济研究*, 2022, 57(1): 72-88.
- [12] 庄贵阳. 中国低碳城市试点的政策设计逻辑[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(3): 19-28.
- [13] CAI X, ZHU B, ZHANG H, et al. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? evidence from Chinese listed companies[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 746: 1-12.
- [14] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. *中国工业经济*, 2019(1): 100-118.
- [15] LOSACKER S. “License to green”: regional patent licensing networks and green technology diffusion in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 175: 1-17.
- [16] 王班班. 环境政策与技术创新研究述评[J]. *经济评论*, 2017(4): 131-148.
- [17] 严翔, 黄永春, 柏建成, 等. 长江经济带绿色创新效率的空间关联网络结构及驱动因素[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2021, 23(6): 72-83.
- [18] 段德忠, 谌颖, 杜德斌. 技术转移视角下中国三大城市群区域一体化发展研究[J]. *地理科学*, 2019, 39(10): 1581-1591.
- [19] HUANG Y, LI R, ZOU F, et al. Technology life cycle analysis: from the dynamic perspective of patent citation networks[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 181: 1-13.
- [20] LI X, YUAN X, LUND H, et al. Tracing the technology transfer of battery electric vehicles in China: a patent citation organization network analysis[J]. *Energy*, 2022, 239: 1-13.
- [21] 路风. 冲破迷雾: 揭开中国高铁技术进步之源[J]. *管理世界*, 2019, 35(9): 164-194+200.
- [22] 吴伟伟, 张天一. 非研发补贴与研发补贴对新创企业创新产出的非对称影响研究[J]. *管理世界*, 2021, 37(3): 137-160+10.
- [23] 田玲, 刘春林. “同伴”制度压力与企业绿色创新: 环境试点政策的溢出效应[J]. *经济管理*, 2021, 43(6): 156-172.
- [24] 文雁兵. 我国农业科技自主创新能力研究: 基于产业关联效应和FDI技术溢出视角[J]. *科学学研究*, 2015, 33(7): 1017-1025+1034.
- [25] NING L, WANG F. Does FDI bring environmental knowledge spillovers to developing countries? the role of the local industrial structure[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2018, 71(2): 381-405.
- [26] 陆军, 毛文峰. 城市网络外部性的崛起: 区域经济高质量一体化发展的新机制[J]. *经济学家*, 2020(12): 62-70.
- [27] MEIJERS E, BURGER E, HOOGERBRUGGE M. Borrowing size in networks of cities: city size, network connectivity and metropolitan functions in Europe[J]. *Papers in Regional Science*, 2016, 95(1): 181-198.
- [28] BECK T, LEVINE R, LEVKOV A. Big bad banks? the winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. *The Journal of Finance*, 2010, 65(5): 1637-1667.
- [29] 孙鹏博, 葛力铭. 通向低碳之路: 高铁开通对工业碳排放的影响[J]. *世界经济*, 2021, 44(10): 201-224.
- [30] 潘爱玲, 刘昕, 邱金龙, 等. 媒体压力下的绿色并购能否促使重污染企业实现实质性转型[J]. *中国工业经济*, 2019(2): 174-192.

Can the Low-carbon Policy Promote the Progress of Green Technology? —An Investigation based on Time-varying DID Model

SHAO Shuai, LI Jiahao

(School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The construction of low-carbon cities is a pilot policy to promote energy conservation and emission reduction, achieve China's 2030 carbon peak goal and comprehensive green transformation of economy and society. Promoting the progress of green technology is an important starting point to achieve the goals of emission reduction and green development. However, the existing literature rarely discusses the spatial correlation effect of green technology progress from the perspective of network, and fails to reveal the spatial path of green technology progress. Based on the authorized patents of Chinese green invention from 2005 to 2020, a patent citation network is constructed, and the progress and spillover of urban green technology are characterized by the number of urban patent citations and citations respectively. The impact of the pilot policy of low-carbon city on urban green technical progress and spillover by using a vary-difference-in-difference model, and analyze factors of urban green technology progress such as the source, target and participants. The result shows that the pilot policy of low-carbon city significantly promoted the progress and spillover of urban green technology. This conclusion is still valid after a series of robustness tests such as parallel trend test, PSM-DID test and placebo test. At the same time, the pilot policy of low-carbon city mainly promotes cross regional green technology progress and spillovers, and has a stronger impact on high-level administrative cities and their surrounding pilot cities; The pilot policy of low-carbon city has a stronger effect on the progress and spillover of green technology in high pollution industries; The pilot policy of low-carbon city has a slightly higher impact on the progress and spillover of green technology of enterprises than non-profit institutions such as scientific research institutes.

Keywords: “low-carbon city”; green technical progress; patent quality; patent citation network; Social network analysis

[责任编辑:孟青]