

“宽带中国”和低碳城市双试点政策的碳减排效应

——基于283个地级市的准自然实验

闫华飞^{1,2}, 章雷敏¹, 肖静³

(1. 武汉工程大学 管理学院, 湖北 武汉 430205; 2. 武汉工程大学 企业与环境协调发展研究中心, 湖北 武汉 430205;
3. 华南理工大学 工商管理学院, 广东 广州 510641)

摘要:“宽带中国”和低碳城市试点政策是实现经济、社会和环境可持续发展的重要战略部署。精准评估二者对城市低碳建设的协同作用,为灵活运用政策组合和推广试点政策提供重要启示。基于2010—2020年中国283个城市的面板数据,以“宽带中国”示范城市和低碳城市为研究对象,运用多期双重差分法,探究双试点政策对城市碳排放的作用效果,并讨论其内在影响机制。研究发现:单试点和双试点政策均能降低城市碳排放,但双试点政策的碳减排作用更明显;先成为“宽带中国”示范城市再成为低碳城市的碳减排效果优于先成为低碳城市再成为“宽带中国”示范城市;双试点政策的碳减排效应在东西部地区和大中型城市更显著;双试点政策主要通过提高发明型和改进型绿色技术创新水平促进城市降碳减排。

关键词:宽带中国;低碳城市;碳减排;双试点

中图分类号:F204 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6049(2023)05-0069-10

一、引言

当前,过量碳排放导致温室效应、环境污染等问题,严重影响着人类的生存和可持续发展。如何有效控制二氧化碳排放,妥善应对气候变化,是世界各国共同面临的新课题。在工业化和城镇化快速发展的关键阶段,我国对石油、天然气等矿产资源的需求不断攀升,产业结构优化、能源利用效率提升及居民生活方式绿色低碳转型面临更大压力^[1]。党的二十大报告指出,要积极稳妥推进碳达峰、碳中和,立足我国能源资源禀赋,有计划分步骤实施碳达峰行动。积极探索城市建设体系和居民消费模式低碳路径,是实现我国经济发展朝“绿色、低碳、可持续”方向转变的重大部署。

碳减排作为一项系统性工程,需要不断完善激励约束机制,综合运用政策工具^[2]。如何合理搭配政策组合、激发碳减排潜力是实现城市低碳转型关键所在。《“十四五”国家信息化规划》提出,要深入推进绿色智慧生态文明建设,以数字化引领绿色化,以绿色化带动数字化,促进数字技术与低碳产业深度融合。“宽带中国”试点政策能推动地区数字化发展,加快适应经济社会高质量发展的信息基

收稿日期:2023-08-23;修回日期:2023-09-14

基金项目:国家社会科学基金一般项目“绿色发展视角下长江经济带工业分工与协作研究”(17BJY080);湖北省高等学校哲学社会科学重大项目“习近平总书记关于推动长江经济带发展的重要论述及其实践研究”(21ZD064);中国高校创新创业教育改革研究基金项目“加拿大高校创新创业教育生态系统构建:经验与启示”(2020CCJG01Z001)

作者简介:闫华飞(1975—),男,湖北黄冈人,管理学博士,武汉工程大学管理学院、企业与环境协调发展研究中心教授,研究方向为创业与创新管理、人力资源管理;章雷敏(1998—),女,湖北襄阳人,武汉工程大学管理学院硕士研究生,研究方向为创业与创新管理;肖静(1995—),男,湖北荆州人,华南理工大学工商管理学院博士研究生,研究方向为企业数字化转型、绿色创新。

基础设施建设,不断推动绿色技术创新,引领低碳经济发展^[3]。低碳城市试点政策是应对气候变化、降低碳排放强度、推动绿色发展的重要抓手,为新一轮能源、技术和产业绿色革命提供政策导向。将二者有效结合,能促进数字化与绿色化协同发展,必将推动城市发展朝低碳绿色方向迈进。

二、文献回顾

已有大量文献对影响碳排放因素展开详细阐述。邵帅等^[4]认为,有效推动中国低碳转型需要在产业结构、能源结构、要素市场、绿色创新、城市化集约等经济结构和技术领域做出协同努力。随着对碳排放影响因素的深度挖掘,学者们逐渐从关注多个影响因素转变为分析单一因素的多个层面。杨昕和赵守国^[5]分析了数字经济对区域碳排放的影响,证实了数字经济能通过提高能源利用效率和优化能源消费结构的方式降低区域碳排放。

近年来,国内外学者逐渐将研究视角聚焦降碳的政策工具。学术界对政策效果评析主要分为以下几类:其一,探讨某一特定政策对城市碳排放的作用效果。汪克亮等^[6]以5个国家级生态文明先行示范区作为准自然实验,证实示范区建设能降低城市碳排放强度。其二,从复合型碳减排政策视角着手,分析同类型多种政策工具对碳减排的组合效应。王茹^[7]将碳税与碳交易两种市场型激励政策工具结合,构建二者协同的多源流理论分析框架,对二者的组合进行研究。其三,对实施目标和对象不一致的宏观政策进行组合,研究其对碳减排的协同作用和影响机制。苏涛永等^[8]采用多期双重差分模型,验证了低碳城市和创新型城市双试点政策的实施对城市碳减排有显著的协同作用。

学者们在多政策效应评估方法的选择上,往往聚集于探索多政策的协同效力及实现路径,综合运用定性和定量两种研究方式,按照时间和空间变动对多政策样本展开动态演变分析。其中,定量研究法又分为构建政策分析模型、构建复合协同度模型、政策文本量化法、内容分析法等。徐培等^[9]将政策分析模型与文本量化方法相结合,讨论人才安居和技术创新的产业升级效应及空间溢出效应。孙薇和叶初升^[10]通过构建多政策分析模型并结合内容分析法,发现“双侧”政策对创新领先型企业的激励是互补的,且因政策实施顺序的差异对企业创新的激励程度也有所不同。

综合来看,与城市碳排放相关的探讨多基于某一个典型政策视角展开,忽略了政策组合的互动关系和综合效力。基于此,本文的边际贡献可能在于:(1)兼顾“宽带中国”和低碳城市双试点政策,丰富了关于宏观政策组合与城市碳排放的研究;(2)从发明型和改进型绿色技术创新两个视角切入,进一步探讨了政策组合影响碳排放的理论机制;(3)系统评估了双试点政策对城市碳排放的协同作用与异质性效应,为政策组合的有效实施提供保障。

三、政策背景与理论机制

(一) 政策背景

近年来,我国宽带网络技术和信息传输能力取得显著提高。2014年10月,中华人民共和国工业和信息化部、国家发展和改革委员会联合公告了2014年度“宽带中国”示范城市(城市群)名单,确定在北京、天津、上海等39个城市开展试点工作。随后,又分别于2015年10月和2016年7月公布了第二批和第三批“宽带中国”示范城市试点名单,三批总计批复了119个城市作为“宽带中国”示范城市。

低碳城市试点政策以低碳经济为发展方向,以顶层设计和示范试点结合为治理模式,以优化城市产业结构和推动能源消费转型为行动路径,加快城市低碳建设。2010年7月,国家发展和改革委员会发布《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》,确定将广东、湖北等5省及天津、重庆等8市列为第一批低碳城市试点地区。随后于2012年11月及2017年1月先后将海南省、北京等28个城市作为第二批低碳省区和低碳城市试点,南京、合肥等45个城市作为第三批低碳城市试点。

(二) 理论机制与研究假设

1. 双试点政策与城市碳排放

“宽带中国”战略和低碳试点政策各有侧重点,在共同推进城市碳减排中,能配合发挥出最大合力。一方面,低碳城市试点政策作为一项城市层面环境规制政策,具有弱约束性、行业针对性和政策组合性的

特点^[11]。对低碳城市而言,进一步成为“宽带中国”示范城市能为城市绿色低碳发展提供全链条支撑。其一,“宽带中国”试点政策的实施能不断完善数字基础设施建设,为生产流通提供零距离接触的数字平台,提高产业效率^[12];其二,数字技术的发展和推广,能有效整合和公开分享统计结果,实现执行低碳城市试点政策的过程监管和效果评估^[13];其三,电子证书、线上排队、网络购票等一系列数字应用的推广使“无纸化”工作方式成为趋势,居民消费模式由传统线下转向线上平台,二氧化碳排放量得以减少^[14]。数字基础设施低碳建设以及数字技术发展是一项集研究、开发、运行和应用于一体的复杂工程^[15]。对“宽带中国”示范城市而言,进一步成为低碳城市能激发城市绿色制度创新潜力,从政策导向上推动城市数字基础设施低碳建设。低碳试点政策作为支持低碳经济发展的配套政策,要求试点地区加快低碳技术研发与推广、建立碳排放数据统计和管理体系^[16]、合理运用低碳技术,以减少能源浪费和环境污染,实现资源消耗集约化^[17],为城市数字基础设施低碳建设提供切实可行的新思路和新途径。因此,本文提出研究假说1。

假说1:双试点政策的实施能够抑制城市碳排放。

2. 技术创新的中介效应

“宽带中国”战略能加快数字技术应用、完善信息基础设施建设、减少创新交易认知差异、加强技术整合能力、提高创新资源的流动性和利用率、提高绿色技术创新水平^[18]。低碳城市试点政策作为一种综合性环境规制政策,在试点城市建设过程中,监管者会制定恰当的激励或惩罚措施,如碳税、绿色金融等配套政策,大大增加了当地企业的排污成本^[19]。迫于政策压力,企业不得不加大在排污治理方面技术创新的资金支持力度,推动绿色技术创新,降低企业碳排放量^[20]。

根据关联的专利类型,将绿色技术创新划分为发明型绿色技术创新和改进型绿色技术创新^[21]。发明型绿色技术创新具有突破性、原创性和新颖性的特点,通过对产品和生产流程进行突破性升级创新,优化城市排污治理范式,大幅提高城市降碳减排能力。改进型绿色技术创新在不涉及核心技术突破的前提下,侧重对产品功能、技术组合提出新的技术方案。虽然改进型绿色技术创新没有突出的实质性进步,但其能通过优化现有工艺和推动末端治理助力城市碳减排。绿色技术快速迭代升级和大规模推广应用能大力发展新能源,通过开发利用可再生能源,逐步降低不可再生资源总占比,促进能源结构向绿色低碳转型,从源头直接降低城市碳排放量^[22]。此外,绿色技术创新能引领新业态、新模式,构建绿色消费数字平台,打通产供销低碳链条堵点,推广绿色用品消费、绿色衣着消费和绿色居住消费,实现经济发展和减污降碳并重^[22]。因此,本文提出研究假说2和假说3。

假说2:实施双试点政策能提高发明型绿色技术创新能力进而推动城市碳减排。

假说3:实施双试点政策能提高改进型绿色技术创新能力进而推动城市碳减排。

四、研究设计

(一) 变量选择与测度

1. 被解释变量

碳排放量(ce)。为便于直接观察城市碳排放变化情况,本文选取城市碳排放量作为被解释变量,对其进行取对数处理。城市碳排放来源不仅包含消耗天然气和液化石油气等能源直接产生的碳排放,还包括热能和城市交通运输等间接产生的碳排放。此外,信息设备和数字平台搭建主要以使用电力能源为主,本文将电力纳入城市碳排放来源。借鉴吴建新和郭智勇^[23]以及郭丰等^[24]的研究,按照对应的碳排放系数分别折算出能源消耗所产生的碳排放量,将其加总即可得到城市碳排放总量,具体测算公式如下:

$$CO_2 = \sum E_i \times C_i \quad (1)$$

其中, CO_2 表示测度的碳排放量, E_i 表示*i*类能源的消耗量, C_i 表示是由联合国政府间气候变化专门委员会提供的*i*类能源的碳排放系数。

2. 核心解释变量

双试点政策虚拟变量(did)。某一城市被确定为双试点城市的当年及之后年份, did 取值为1,反之则

为0。同理设置“宽带中国”示范城市(*broadband*)及低碳城市(*carbon*)的单试点政策虚拟变量,城市在被设立当年及以后均赋值为1,反之则为0。由于第二批低碳城市于2012年末正式实施,故以2013年作为该批试点实施的基期。

3. 中介变量

发明型绿色技术创新(*ingp*):鉴于绿色专利授权量相较于绿色专利申请量更具权威性,更能直观反映城市当年发明型技术创新能力,因此本文选取当年绿色发明专利授权量作为代理变量^[21]。改进型绿色技术创新(*newgp*):选取当年绿色实用新型专利授权量作为改进型绿色技术创新能力的衡量指标^[24]。

4. 控制变量

根据相关文献^[24-26],选择以下指标作为控制变量:政府干预(*gov*),用政府财政支出与GDP比值来表示;经济发展水平(*pgdp*),用人均GDP来表示;对外开放程度(*open*),用进出口总额与GDP比值来表示;外商直接投资(*fdi*),用外商直接投资金额与GDP比值衡量;人口集聚(*density*),用单位面积年末人口总数来表示。

(二) 构建模型

由于“宽带中国”示范城市和低碳城市是分批设立,因此本文采用多期双重差分法估计双试点城市设立对碳减排的影响,模型构建如下:

$$ce_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 did_{it} + \alpha_2 control_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,*ce*表示碳排放量,*did*表示双试点政策的虚拟变量,*control*表示所有控制变量,*i*和*t*分别代表城市和年份, μ_i 表示城市固定效应, σ_t 表示年份固定效应, ε_{it} 表示随机误差项。 α_1 作为本文关注的核心系数,反映了实施双试点政策对城市碳减排影响的净效应水平。本文将标准误聚类到城市层面,排除自相关、异方差等对模型产生的影响。

(三) 数据来源与描述性统计

本文基于2010—2020年全国283个城市的面板数据。“宽带中国”试点城市和低碳城市试点名单源于国家发展和改革委员会及工业和信息化部官方网站,其他数据源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国工业统计年鉴》及中国研究数据服务平台(CNRDS)。对少量缺失数据,采用线性预测法和插值法进行补充。为避免数据极值引起的异方差偏误,对连续型变量进行前后1%的缩尾处理。表1为选取变量的描述性统计结果。

表1 各变量的描述性统计结果

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>ce</i>	3 113	6.122 1	1.139 4	2.126 2	10.885 0
<i>did</i>	3 113	0.087 7	0.282 9	0.000 0	1.000 0
<i>ingp</i>	3 113	88.510 2	234.625 4	0	1 580
<i>newgp</i>	3 113	337.911 7	762.364 6	1	5 172
<i>gov</i>	3 113	0.200 8	0.106 1	0.043 9	1.485 2
<i>pgdp</i>	3 113	10.662 4	0.707 7	8.555 3	13.185 1
<i>open</i>	3 113	0.791 2	2.551 5	0.000 1	18.703 7
<i>fdi</i>	3 113	1.733 0	0.184 3	0.475 9	2.064 5
<i>density</i>	3 113	5.744 5	0.919 1	1.609 4	7.881 6

五、实证分析

(一) 基准模型回归

将“宽带中国”和低碳城市双试点政策的虚拟变量与碳排放量进行基准回归,结果如表2所示。列(1)和列(2)分别为不加入控制变量和加入控制变量的结果,自变量系数为-0.123 3和-0.139 5,且分别在5%和1%的显著性水平下显著。这表明,实施双试点政策能有效降低城市碳排放量,假说1成立。从控制变量结果来看,经济发展水平、对外开放程度以及人口集聚能显著增加城市碳排放量,外商直接投资对城市碳排放量有显著抑制作用,而政府干预虽能促进城市碳减排,但并未通过显著性检验,符合理论预期。

(二) 平行趋势检验

借鉴Jacobson *et al.*^[27]及王峰和葛星^[28]的研究,采用事件分析法检验平行趋势假说。以双试点政策实施之前的5年为基准组,双试点政策启动之后的6年作为对照组,具体模型如下:

$$ce_{it} = \alpha_0 + \sum_{n=1}^5 \beta_{pre_n} P_{pre_n} + \beta_{current} P_{current} + \sum_{n=1}^6 \beta_{post_n} P_{post_n} + \alpha_2 control_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, P_{pre_n} 、 $P_{current}$ 、 P_{post_n} 分别表示双试点政策实施之前年份、实施当期以及实施之后年份的虚拟变量与其对应政策虚拟变量的交互项, β_{pre_n} 、 $\beta_{current}$ 、 β_{post_n} 则为对应的重要观察系数, 其余变量符号及含义与上述模型相同。平行趋势检验结果如图1所示。双试点政策实施前的系数均未通过显著性检验; 双试点政策实施后均通过显著性检验, 已呈现碳减排趋势, 且随着实施年份的增长, 碳减排效应越强。这说明双试点城市和非双试点城市碳排放效应在政策实施前并无明显差异, 本研究通过平行趋势检验。

(三) 稳健性检验

1. 安慰剂检验

为了排除随机因素的干扰, 采用替换处理组个体的方法进行安慰剂检验^[29-30]。由于实施双试点政策的城市共有49个, 为保持研究的一致性, 安慰剂检验也从样本中随机抽取49个城市作为处理组, 其余城市作为控制组。重复该过程500次, 最终得到实施双试点政策对城市碳排放量影响的回归系数, 系数估计值的核密度分布如图2所示。可以看出, 核心解释变量的系数值呈正态分布且均落在0附近, 且多数估计系数的 p 值大于0.1。安慰剂检验回归系数位于基准回归系数分布的低尾位置, 由此可以排除本文的基准回归结果受到不可观测遗漏变量的影响。

表2 基础回归

变量	(1)	(2)
<i>did</i>	-0.1233** (0.0510)	-0.1395*** (0.0512)
<i>gov</i>		-0.0887 (0.2504)
<i>pgdp</i>		0.2664*** (0.1010)
<i>open</i>		0.0004* (0.0003)
<i>fdi</i>		-5.6608* (3.1812)
<i>density</i>		1.4238** (0.6157)
控制变量	NO	YES
城市固定效应	YES	YES
年份固定效应	YES	YES
R ²	0.236	0.252
观测值	3113	3113

注: ***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著, 括号内为聚类稳健标准误。

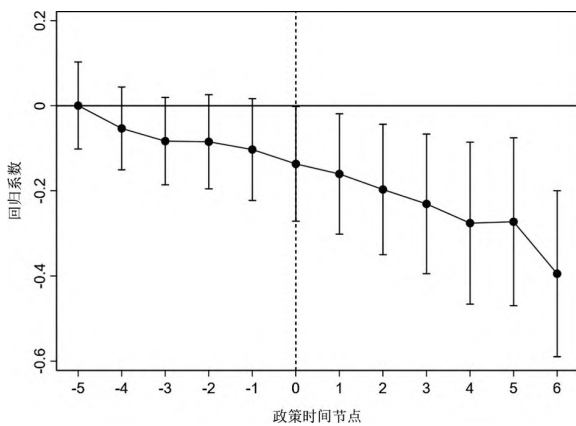


图1 平行趋势检验^①

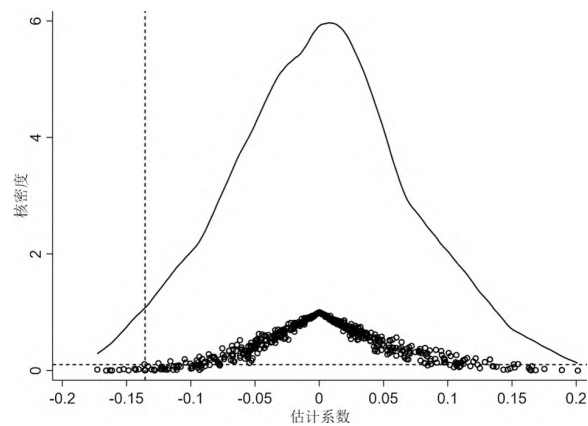


图2 安慰剂检验

2. 其他稳健性检验

(1) 替换被解释变量。为避免因变量测量偏误, 需进一步验证研究结果是否受碳排放指标测量方式的影响。借鉴李珊和湛泳^[31]以及韩峰和谢锐^[32]的研究方法, 基于历年天然气、液化石油气、全社会用电量消费测度城市二氧化碳排放量。回归结果见表3中的列(1), 此时自变量与因变量依然呈显著负相关, 结论不变。(2) 控制区域和年份的交互效应。为避免造成估计偏差, 进一步控制随个体和时间变化的区域时变因素^[33], 结果见表3中的列(2)。核心解释变量系数为-0.1120, 且在1%的显

①实心点表示式(3)估计系数的值, 短竖线为聚类到城市层面稳健标准误对应的95%上下置信区间。

著性水平下显著。由此可见,双试点政策对碳排放量的抑制作用不会随时间和城市个体的变化产生影响,结论通过稳健性检验。(3)剔除其他政策干扰。在评估双试点政策的碳减排效应时,同期还存在其他政策对碳排放的干扰情况。鉴于此,本文发现在政策实施同期还存在碳交易市场、智慧城市以及创新型城市这三个与碳减排密切相关的政策。为此,在基准回归中分别加入这三个政策的虚拟变量,回归结果如表3列中列(3)至列(5)所示。可以发现,自变量系数均为负,且在1%的显著性水平下显著,本文结果具有一定的稳健性。

六、进一步分析

(一) 影响机制

本文选取 Sobel 和 Bootstrap 检验法识别双试点政策对碳减排的中介效应,回归结果如表4所示。Sobel 检验结果显示,Z 值分别为 3.388 0 和 3.633 0,均大于 2.58,在1%的显著性水平下显著。Bootstrap 检验结果发现,在95%显著性水平下的置信区间均不包含 0,p 值小于 0.01,表明设立双试点政策能够通过提高发明型绿色技术创新和改进型绿色技术创新水平降低城市碳排放量,假说 2 和假说 3 成立。其中,发明型绿色技术创新的中介效应为 17.55%,高于改进型绿色技术创新的中介效应。这说明,尽管发明型绿色技术创新具有较高的技术壁垒且需要较高的研发成本,但其作为推动降碳减排的重要驱动力,是实现“双碳”目标的关键举措。

(二) 双试点的协同效应

本文首先分析单试点碳减排效应。在检验“宽带中国”战略碳减排效应时,选取实施“宽带中国”战略及两个政策均未实施的城市作为样本,将实施“宽带中国”战略的城市作为实验组,其余作为对照组进行基础回归,结果如表5所示。列(1)显示自变量系数为-0.092 7,且在10%的显著性水平下显著,列(2)和列(3)自变量系数仍呈显著负相关,表明“宽带中国”试点政策对城市碳排放量具有抑制作用,且效应持久。在检验低碳试点政策碳减排效应时,同理操作,结果如表6所示。低碳试点政策在实施当期对城市碳减排作用不明显,但将自变量滞后两期,系数为-0.084 2,且在10%的显著性水平下显著,这说明低碳试点政策能促进城市碳减排,但具有一定的时滞性。原因在于,低碳试点政策是一种专业型、授权型且极具灵活性与开拓性的环境政策,鼓励地方政府结合城市人才、技术、资源等基础条件,制定合乎自身发展规

表3 其他稳健性检验

变量	(1) 替换被解释变量	(2) 控制时间与个体的交互效应	(3) 碳交易市场	(4) 智慧城市	(5) 创新型城市
<i>did</i>	-0.209 6*** (0.067 9)	-0.112 0*** (0.027 7)	-0.157*** (0.052)	-0.134*** (0.051)	-0.139*** (0.051)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.584	—	0.254	0.255	0.252
观测值	3 113	3 113	3 113	3 113	3 113

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表4 中介机制分析

变量	(1) <i>ingp</i>	(2) <i>newgp</i>
Sobel	0.002 8*** Z=3.388 0	0.001 6*** Z=3.633 0
Bootstrap 95% CI 标准误	[-0.005 8, -0.001 2]	[-0.002 9, -0.000 1]
P 值	0.006	0.001
中介效应值	17.55%	10.28%

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表5 “宽带中国”单试点效应

变量	(1) 不滞后	(2) 滞后一期	(3) 滞后两期
<i>broadband</i>	-0.092 7* (0.049 8)	-0.086 2* (0.051 3)	-0.084 9* (0.048 3)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.222	0.201	0.182
观测值	2 332	2 120	1 908

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

律的行动方案。在政策试点过程中,上级政府明确政策方向,但需要地方政府自行探索实现城市低碳转型路径的具体方法。此外,由于不同试点城市存在较大差异,地方政府对政策解读能力和推广力度参差不齐,学习能力强的地方政府会争先创新形成良好示范典型,通过学习考察等渠道,将知识、技术等扩散至学习能力较弱的城市,以此吸引更多地区推广低碳试点政策^[33-34]。

其次,对比分析双试点政策对城市碳排放量的抑制作用是否优于单试点政策。选取实施政策的城市作为样本,将双试点城市作为实验组,其余作为对照组,对样本数据进行基础回归。此时,自变量系数捕捉到的是单试点政策成为双试点政策对城市碳排放量影响的净效应,具体结果见表7。由表7可知,自变量系数均为负数,且在5%的显著性水平下通过检验。由此可以看出,实施双试点政策比单试点政策的碳减排作用更有效,且影响速度更快。

最后,探讨是先成为“宽带中国”试点城市再成为低碳城市(路径1)还是先成为低碳城市再成为“宽带中国”试点城市(路径2)能有效降低碳排放量。验证路径1时,将先成为“宽带中国”试点城市的双试点城市和未实施政策的城市作为样本,将先成为“宽带中国”试点城市的双试点城市作为实验组,其余作为对照组,对样本数据进行基础回归,结果如表8所示。结果显示,当加入控制变量且将解释变量滞后一期和四期时,自变量系数呈现显著负相关。路径2的验证结果如表9所示。结果表明,加入控制变量或将解释变量滞后一期,自变量系数均为负且不显著。将解释变量滞后四期,自变量系数为-0.0874,且在10%的显著性水平下显著。这说明,先成为“宽带中国”示范城市再成为低碳城市的双试点城市碳减排效果更强、更迅速。原因在于,“宽带中国”战略能发展数字技术,推动设施全面建设和应用,低碳城市试点政策则助力城市设定降碳行动的具体目标和计划。对城市来讲,具备减排能力才能在低碳政策下发时迅速做出反应。因此,先实施“宽带中国”试点政策有助于推动城市数字基础设施建设和技术创新能力提高,帮助城市完善碳减排所必须具备的条件。随后,通过低碳城市试点政策的叠加,各试点城市依据自身情况积极响应政策号召,运用新兴技术加快产业低碳化和低碳产业化进程。

表6 低碳城市单试点效应

变量	(1) 不滞后	(2) 滞后一期	(3) 滞后两期
<i>carbon</i>	-0.0546 (0.0473)	-0.0672 (0.0473)	-0.0842* (0.0501)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.271	0.254	0.229
观测值	2497	2270	2043

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表7 双试点政策与单试点政策对比

变量	(1) 控制变量	(2) 滞后一期	(3) 滞后两期
<i>did</i>	-0.1380** (0.0547)		
<i>L1. did</i>		-0.1328** (0.0560)	
<i>L2. did</i>			-0.1295** (0.0521)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.253	0.241	0.220
观测值	1936	1760	1584

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表8 路径1的协调效应分析

变量	(1) 控制变量	(2) 滞后一期	(3) 滞后四期
<i>did</i>	-0.1347* (0.0743)		
<i>L1. did</i>		-0.1464** (0.0739)	
<i>L2. did</i>			-0.1545** (0.0735)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.279	0.260	0.246
观测值	1353	1230	1107

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

(三) 异质性分析

本文将总样本分为东部、中部和西部三个地区,检验地理区域的异质性,回归结果如表 10 所示。结果显示,双试点政策对东部和西部地区的碳排放量产生显著负影响,与中部地区的碳排放量呈负相关,但尚未通过显著性检验。究其原因,东部地区经济发展水平高,其在资金、科技人才和产业结构等方面更具有比较优势,政策实施能得到良好保障。在西部大开发等国家战略的支持下,西部地区大力引进科技人才,绿色技术创新环境不断改善,清洁能源和可再生能源消费占比逐年增高,城市碳排放量也得到有效抑制。虽然,中部崛起战略的深入推进为中部地区经济发展注入活力,但受制于资源禀赋因素,中部地区产业多为高污染、高耗能的重化工业,短期内难以发挥双试点对城市碳减排的政策效应。

本文将一线城市、新一线城市和二线城市归为大型城市,将三线城市归为中型城市,将四线和五线城市归为小型城市^[34],通过分组回归,检验双试点政策因城市规模异质而对城市碳排放量产生的差异化影响,回归结果如表 11 所示。结果显示,双试点政策对大型城市和中型城市碳排放量的抑制作用明显优于小型城市。原因在于,大中城市经济体量和人口密度大,能源消耗的增多导致城市碳排放量也越多,而这类城市对政策更为敏感,组织推进难度较低,响应速度也更快。此外,政府财政资金相对充裕,具备充足的财政实力直接作用于城市碳排放治理,为企业绿色技术创新和产业结构低碳转型带来政策红利,提高资源配置效率,从而使双试点政策在短期内发挥良好效果。

七、结论与政策建议

本文基于 2010—2020 年中国 283 个城市的面板数据,运用多期双重差分模型及中介效应模型,探究“宽带中国”和低碳城市双试点政策对碳减排的影响、作用机制与协同效应。本文得出以下结论:(1) 双试点城市对城市碳排放的抑制作用更为显著,且不存在时滞性;(2) 发明型绿色技术创新和改进型绿色技术创新在双试点政策促进城市碳减排中发挥中介作用;(3) 相比于单试点城市,双试点城市设立对碳减排效果更明显,且对碳减排的影响更显著;(4) 双试点政策对东西部地区和大中型城市的碳减排效果更优。

基于上述结论,本文提出如下政策建议:(1) 政府在关注能直接实现碳减排目的政策外,还要考虑其他相关政策,建立健全重大政策统筹协调机制,找准不同政策的契合点,优化协同路径、打通传导壁垒、提高运行效率,培育城市碳减排的内生动力,形成政策调控合力,发挥对碳排放的抑制效应。(2)

表 9 路径 2 的协同效应分析

变量	(1) 控制变量	(2) 滞后一期	(3) 滞后四期
<i>did</i>	-0.0303 (0.0596)		
<i>L1. did</i>		-0.0367 (0.0599)	
<i>L2. did</i>			-0.0874* (0.0510)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.285	0.262	0.246
观测值	1441	1310	1179

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表 10 区位异质性分析

变量	(1) 东部地区	(2) 中部地区	(3) 西部地区
<i>did</i>	-0.1484** (0.0745)	-0.0713 (0.0769)	-0.3083** (0.1309)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.309	0.266	0.265
观测值	1243	1188	682

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

表 11 城市规模异质性分析

变量	(1) 大型城市	(2) 中型城市	(3) 小型城市
<i>did</i>	-0.1259** (0.0486)	-0.3563** (0.1734)	-0.0707 (0.0800)
控制变量	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES
R ²	0.560	0.335	0.220
观测值	506	715	1892

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类稳健标准误。

加快技术“硬实力”和人才“软实力”协同提升,不断提高科技研发投入水平,保障绿色技术的研发、应用及推广;建设资源共享服务平台和技术创新交流平台,打破科技研发信息壁垒;建立系统化的绿色知识产权战略和绿色技术转移转化推进机制,提高技术转化效率。(3)各级政府应充分发挥政策工具效应,通过实施动态化、差异化政策,有效缩小城市区域发展不平衡。持续发挥东西部城市的区位优势、资源优势和经济活力,保持双试点政策对碳减排的促进作用。加大中部地区双试点政策实施力度,摆脱对传统重工业的依赖,顺应发展与低碳绿色进程相匹配的优势产业,优化小城市的国土空间,提高建设用地的集约化和复合利用水平,助力生态环境的改善。

参考文献:

- [1] 范庆倩,封思贤. 数字金融影响碳排放的作用机理及效果[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(11):70-82.
- [2] 李清杨,臧旭恒,曲一申. 产业政策与贸易政策协同作用下制造业结构优化升级研究[J]. 亚太经济,2022(3):109-118.
- [3] 冯苑,聂长飞,张东. 宽带基础设施建设对城市创新能力的影响[J]. 科学学研究,2021,39(11):2089-2100.
- [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] 杨昕,赵守国. 数字经济赋能区域绿色发展的低碳减排效应[J]. 经济与管理研究,2022,43(12):85-100.
- [6] 汪克亮,许如玉,张福琴,等. 生态文明先行示范区建设对碳排放强度的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(7):57-70.
- [7] 王茹. 碳税与碳交易政策有效协同研究——基于要素嵌入修正的多源流理论分析[J]. 财政研究,2021,461(7):25-37.
- [8] 苏涛永,郁雨竹,潘俊汐. 低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应——基于绿色创新与产业升级的协同视角[J]. 科学学与科学技术管理,2022,43(1):21-37.
- [9] 徐培,金泽虎,李静. 人才安居、技术创新的产业升级效应及空间溢出效应——基于人才安居城市和创新型城市的准自然实验[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2023,43(2):60-68.
- [10] 孙薇,叶初升. 政府采购何以牵动企业创新——兼论需求侧政策“拉力”与供给侧政策“推力”的协同[J]. 中国工业经济,2023(1):95-113.
- [11] 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.
- [12] 郭劲光,王虹力. 数字赋能下减排战略的创新性选择——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 产业经济研究,2022(4):101-113+142.
- [13] 张杰,付奎. 信息网络基础设施建设能驱动城市创新水平提升吗?——基于“宽带中国”战略试点的准自然试验[J]. 产业经济研究,2021(5):1-14+127.
- [14] 薛飞,周民良,刘家旗. 数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 南方经济,2022(10):19-36.
- [15] 国瀚文. 双碳政策视阈下数字经济绿色发展的法治保障研究[J]. 法律适用,2022(9):50-60.
- [16] 张华. 低碳城市试点政策能够降低碳排放吗?——来自准自然实验的证据[J]. 经济管理,2020,42(6):25-41.
- [17] 周君. 城市基础设施低碳建设的项目集成交付模式与价值评价方法[J]. 城市发展研究,2014,21(6):6-8+12.
- [18] 李广昊,周小亮. 推动数字经济发展能否改善中国的环境污染——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 宏观经济研究,2021(7):146-160.
- [19] 郭沛,梁栋. 低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率——基于低碳试点城市的准自然实验研究[J]. 自然资源学报,2022,37(7):1876-1892.
- [20] POTER M E, LINDE C V D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of economic perspectives,1995,9(4):97-118.
- [21] 肖仁桥,王冉,钱丽. 数字化水平对企业碳绩效的非线性影响——绿色技术创新的中介作用[J]. 科技进步与对策,2023,40(5):96-106.
- [22] JAFFE A B, STAVINS R N. Dynamic incentives of environmental regulations; the effects of alternative policy instruments

- on technology diffusion-science direct[J]. *Journal of environmental economics and management*, 1995, 29(3): 43-63.
- [23] 吴建新, 郭智勇. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. *统计研究*, 2016, 33(1): 54-60.
- [24] 郭丰, 杨上广, 任毅. 数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据[J]. *陕西师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2022, 51(3): 45-60.
- [25] 邵帅, 李嘉豪. “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[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2022, 24(4): 151-162.
- [26] 黄和平, 谢云飞, 黎宁. 智慧城市建设是否促进了低碳发展? ——基于国家智慧城市试点的“准自然实验”[J]. *城市发展研究*, 2022, 29(5): 105-112.
- [27] JACOBSON L S, LALOND R J, SULLIVAN D G. Earnings losses of displaced workers[J]. *The american economic review*, 1993, 83(4): 685-709.
- [28] 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.
- [29] 王雪峰, 廖泽芳. 市场机制、政府干预与碳市场减排效应研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(8): 9-17.
- [30] CAI X Q, LU Y, WU M Q, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. *Journal of development economics*, 2016, 123(C): 73-85.
- [31] 李珊, 湛泳. 产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应研究[J]. *上海财经大学学报*, 2022, 24(5): 3-18+107.
- [32] 韩峰, 谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗? ——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2017, 34(3): 40-58.
- [33] 史修艺, 徐盈之. 低碳城市试点政策的公平性碳减排效果评估——基于工业碳排放视角[J]. *公共管理学报*, 2023, 20(1): 84-96+173.
- [34] 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.

(责任编辑:王顺善;英文校对:谈书墨)

The Carbon Emission Reduction Effect of the Dual Pilot Policy of the Broadband China Strategy and Low-carbon Cities: Quasi-natural Experiments Based on 283 Prefecture-level Cities

YAN Huafei^{1,2}, ZHANG Leimin¹, XIAO Jing³

(1. School of Management, Wuhan University of Engineering, Wuhan 430205, China;

2. Research Center for the Coordinated Development of Enterprise and Environment, Wuhan University of Engineering, Wuhan 430205, China;

3. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The Broadband China Strategy and low-carbon pilot policies are important strategic deployments for achieving sustainable economic, social, and environmental development. Accurately evaluating the synergistic effect of the two on urban low-carbon construction provides important insights for the flexible application of policy combinations and the promotion of pilot policies. This study is based on panel data from 283 cities in China from 2010 to 2020, with Broadband China pilot cities and low-carbon cities as the research objects. The multi-period double difference method is used to explore the effect of the dual pilot policy on urban carbon emissions, and its internal impact mechanism is discussed. This research reveals several important findings. First, implementing single pilot policies can reduce urban carbon emissions, but the carbon reduction effect of dual pilot policies is more significant. Second, the carbon reduction effect of first becoming a Broadband China city and then becoming a low-carbon city is more pronounced than that of first becoming a low-carbon city and then becoming a Broadband China city. Third, the carbon reduction effect of the dual pilot program is more significant in the eastern and western regions, as well as in large and medium-sized cities. Last, the dual pilot program mainly promotes urban carbon reduction and emission reduction by improving the level of innovative and improved green technologies.

Key words: Broadband China; low-carbon cities; carbon emission reduction; double pilot