

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2025.04.006

低碳城市与智慧城市双试点提升绿色全要素生产率研究

何雄浪,李楠新

(西南民族大学 经济学院,四川 成都 610225)

摘要:试点是推动高质量发展的有效手段,不同试点叠加会产生政策协同作用。低碳城市试点和智慧城市试点通过互促互补机制共同促进城市绿色全要素生产率提升,能够产生比单试点更强的政策效应。利用 2003—2022 年我国 284 个城市的数据,通过多时点双重差分模型分析发现:低碳城市与智慧城市双试点显著提升了试点城市的绿色全要素生产率,且双试点的提升作用显著强于单试点;两个试点同时实施的政策效应最强,先低碳城市试点后智慧城市试点的政策效应次之,先智慧城市试点后低碳城市试点的政策效应最弱;双试点能够通过降低能源消耗强度、推动数字经济发展、促进产业结构升级 3 条路径提升城市绿色全要素生产率;试点前的城市环境基础与双试点的绿色全要素生产率提升效应存在倒 U 型关系,双试点对绿色全要素生产率的提升作用随着城市创业活跃度的提高和试点实施时长的增加而增强。因此,应重视并充分发挥不同试点组合的政策效应,并从政策效应的传导渠道入手优化试点政策、提升试点效果。

关键词:绿色全要素生产率;低碳城市试点;智慧城市试点;双试点;政策协同

中图分类号:F293;F124.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2025)04-0083-15

引用格式:何雄浪,李楠新.低碳城市与智慧城市双试点提升绿色全要素生产率研究[J].西部论坛,2025,35(4):83-97.

HE Xiong-lang, LI Nan-xin. Research on the enhancement of green total factor productivity through dual pilots of low-carbon city and smart city[J]. West Forum, 2025, 35(4): 83-97.

一、引言

我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。一方面,面对全球气候和环境变化的重大挑战,以低碳节能、生态循环为核心特征的绿色发展道路已成为世界各国实现可持续发展的战略选择。另一

* 收稿日期:2024-12-12;修回日期:2025-04-22

基金项目:西南民族大学“维舟团队”专项资金项目(SMUWZ202404)

作者简介:何雄浪(1972),男,四川南充人;教授,博士,主要从事区域经济与民族经济研究;E-mail:hexionglang@sina.com。李楠新(1996),男,湖南娄底人;博士研究生,主要从事民族经济与区域经济研究;E-mail:1465481871@qq.com。

方面,通过技术进步和转型升级提升生产效率依然是经济发展的核心动力。因此,绿色全要素生产率成为衡量经济发展质量的关键指标。绿色全要素生产率的提升体现了经济增长与资源环境改善的协同并进,并非仅仅依靠市场机制就能实现,需要建立系统化的政策体系予以引导和支持。因此,积极探索和运用适宜的政策工具以促进绿色全要素生产率提升,是新时代推进经济高质量发展的必然选择。为此,我国开展了一系列试点,各种试点产生的政策效应受到学者们的广泛关注。在众多试点政策中,低碳城市试点和智慧城市试点是两项具有代表性的政策举措:低碳城市试点聚焦于减少碳排放、调整能源结构,以推动城市发展的绿色转型;智慧城市试点则通过利用数字信息技术提升城市治理效能,为城市绿色转型提供技术支撑。两项政策的结合能够实现“低碳化”与“智能化”的深度融合,为提升城市绿色全要素生产率提供双重政策驱动力。

现有文献分别就低碳城市试点和智慧城市试点对绿色全要素生产率的影响进行了探讨。相关实证研究发现:低碳城市试点显著提升了试点城市的绿色全要素生产率(余硕等,2020;王亚飞等,2021;熊广勤等,2022)^[1-3],并存在显著的正向空间溢出效应(Wang et al.,2022)^[4],还能够产生挤出高碳领域外资(何兵等,2025)^[5]、促进污染减排(何雄浪等,2024)^[6]、降低碳排放强度(Zhang et al.,2022)^[7]等作用;智慧城市试点不仅促进了试点城市绿色全要素生产率提升(申洋等,2021;宣旻等,2021;湛泳等,2022)^[8-10],还显著提升了企业的绿色全要素生产率(惠献波,2023)^[11]。然而,面对复杂多变的外部环境和风险挑战,单一试点的政策效果往往难以完全达到预期,多试点政策的协同实施有助于政策衔接与互补,从而形成较为完善的政策体系,覆盖经济社会的更多层次,产生更好的政策效应。近年来,双试点乃至多试点的政策效应逐渐受到学界重视,相关文献开始涌现,但关于低碳城市和智慧城市双试点的政策效应研究还较为稀缺。郝向举等(2023)^[12]利用2004—2017年我国1890个县域城市的面板数据分析发现,低碳城市与智慧城市发展模式的叠加促进了城市绿色低碳发展;高煜昕和高明(2025)^[13]基于2006—2020年我国280个城市的面板数据研究表明,低碳城市和智慧城市双试点政策对城市全要素能源效率的促进效果优于单试点政策。

综上所述,现有文献大多仅关注单一试点对于城市绿色全要素生产率的影响,对多种政策实施情境下的双试点效应鲜有涉及,忽略了具有时间交错性和空间重叠性的多元政策产生的协同效应。考虑到低碳化是实现绿色发展的重要路径,智能化是提升生产效率的有效措施,低碳城市建设和智慧城市建设能够对城市绿色全要素生产率提升产生显著的协同作用(张娜等,2014)^[14],本文聚焦低碳城市试点与智慧城市试点的协同作用,探讨双试点的绿色全要素生产率提升效应,并采用2003—2022年我国284个城市的数据进行实证检验。本文的边际贡献主要包括:一是在研究视角上,探究了低碳城市和智慧城市双试点的绿色全要素生产率提升效应,拓展了相关领域的研究;二是在理论研究上,通过探讨低碳城市试点与智慧城市试点的互促机制和互补机制,阐释了双试点产生协同作用的机理,并分析了低碳城市和智慧城市双试点提升城市绿色全要素生产率的3条路径(降低能源消耗、推动数字经济发展、促进产业结构升级),有助于深入认识试点叠加的积极作用以及促进高质量发展的有效路径;三是在实证分析上,进一步从试点前的环境基础、城市创业活跃度、试点实施时长等方面考察了低碳城市和智慧城市双试点提升绿色全要素生产率的异质性,为完善试点政策、提升试点效应提供了借鉴和启示。

二、理论分析与研究假说

面对全球气候变化问题以及国内经济社会发展需求,我国制定实施了一系列控制温室气体排放的政策与举措。国家发展改革委先后于2010年、2012年及2017年通过了《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》《关于开展第二批低碳省区和低碳城市试点工作的通知》《关于开展第三批国家低碳城

市试点工作的通知》,分三批推进低碳城市试点工作。在相近的时间段内,智慧城市建设在推动新型城镇化中的重要意义得到重视,2012年住房和城乡建设部印发《国家智慧城市试点暂行管理办法》和《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(试行)》,同时公布了首批智慧城市试点名单,并于2013年和2015年相继公布了第二、三批试点城市名单。低碳城市试点和智慧城市试点两项政策协同实施,不仅推动了试点城市的绿色智能转型,还为其他城市提供了可复制、可推广的经验模式。

1. 低碳城市试点与智慧城市试点的协同作用

由于低碳城市试点与智慧城市试点分别对城市绿色全要素生产率的提升作用已得到相关理论和实证研究的支持,这里主要探讨两者的协同作用。低碳城市试点与智慧城市试点两项政策均致力于资源的高效利用与可持续发展,在目标导向上具有内在一致性,但在具体着力点和政策工具上又存在显著差异,这种一致性与差异性的并存构成了两项政策互促与互补的基础(郝向举,2023)^[12]。

在提升城市绿色全要素生产率方面,低碳城市试点与智慧城市试点的互促机制(政策效果的相互增强)主要体现在以下方面:第一,发展路径相同。低碳城市和智慧城市试点政策均旨在通过减少对传统行业的经济依赖、提高资源能源利用效率、助推高新技术产业发展等方式,实现城市的可持续发展,这种目标一致性为试点政策的整合规划提供了价值基础。第二,产业转型升级互促。低碳城市试点要求对传统产业进行低碳化改造以减少碳排放,智慧城市试点则鼓励新型数智产业的培育和发展,两者共同推动城市产业转型升级,产生优化产业结构的乘数效应。第三,低碳城市试点的政府主导型治理与智慧城市试点的市场参与型治理相结合,形成“政府定标—企业创新—公众监督”的多主体协同治理网络,促使各类经济主体共同发力,协同推动城市绿色全要素生产率提升。

低碳城市试点与智慧城市试点的互补机制(政策功能的相互弥补)主要体现在以下方面:第一,政策工具互补。低碳城市试点侧重于环境税费、强制标准等环境规制的“硬约束”,而智慧城市试点则偏好税收抵免、政府补贴等市场激励的“软引导”,二者结合既能避免“监管失灵”,又可防范“市场失灵”。第二,技术供需互补。低碳城市试点通过排放标准约束和清洁能源使用要求等创造了大量低碳技术需求,而智慧城市试点通过数字基础设施建设和研发补贴等提升技术供给能力,形成“需求牵引—供给支撑”的良性闭环,共同催生和加快绿色技术进步。第三,时间维度互补。低碳城市试点通过短期的排放管控快速改善环境质量,智慧城市试点通过长期的技术积累培育绿色发展新动能,两项政策共同实施既满足当前的环保需求,又为未来的绿色发展奠定技术基础,弥补了单一政策的时间局限性,为提升城市绿色全要素生产率提供长效内生动能。

进一步地,低碳城市试点和智慧城市试点的互促互补机制在以下三个维度发挥协同作用:一是在要素层面,促进绿色技术与数据要素的深度融合;二是在产业层面,实现传统产业改造与新兴业态培育的良性互动;三是在制度层面,优化约束机制与激励机制的政策组合。最终通过“技术革新—结构优化—制度完善”的三维路径系统性提升城市绿色全要素生产率。

基于上述分析,本文提出假说H1:低碳城市和智慧城市双试点显著提升了城市绿色全要素生产率,且双试点的政策效应大于单试点的政策效应。

2. 低碳城市试点与智慧城市双试点提升绿色全要素生产率的路径

(1)降低能源消耗强度路径。低碳城市试点往往指向加强能源管理体系建设,致力于通过完善能源统计审计和监测考核机制、推进节能改造等措施降低能源消耗强度(李广明等,2017)^[15]。根据污染天堂假说(Copeland et al, 2004)^[16],严格的环保标准会促使高耗能产业逐步退出或转型。同时,碳排放权

交易市场的建立使企业的碳减排行为能够产生直接经济收益,从而激励企业主动降低能源消耗强度。智慧城市试点则通过税收优惠和财政补贴政策降低企业数字化转型成本,促进自动化控制系统、物联网监测技术等在生产中的渗透和城市治理中的应用,实现生产过程和社会治理的精准控制和优化。当两项政策叠加实施时,低碳城市试点创造的减排需求与智慧城市试点提供的数字解决方案相结合,形成技术供需的良性循环,推动绿色全要素生产率持续增长。

(2) 推动数字经济发展路径。在低碳城市试点中,企业为达到绿色低碳约束目标,需要接触、吸收、学习和扩散新经验、知识、技术及管理方式,对企业信息传输和接收利用能力提出较高要求,推动企业提高数字化程度以增强绿色知识技术的外溢和吸收效率(Haefner et al., 2020; 何雄浪等, 2023)^[17-18]。智慧城市试点则会直接促进城市数字经济发展,通过建立拥有海量数据的城市运行和治理数字化体系,推动城市数据资源的融通和共享,为城市数字经济发展提供坚实的技术支撑。低碳城市试点和智慧城市试点在推动数字经济发展中产生协同作用,低碳城市试点提供了需求导向和价值目标,智慧城市试点则为数字经济发展提供了直接的技术支撑和路径选择,二者在“减碳”与“增智”目标下形成政策合力,实现产业数字化与绿色化的深度融合,有效提升城市绿色全要素生产率。

(3) 促进产业结构升级路径。在低碳城市试点过程中,地方政府通常会设置较为严格的环保红线与排放标准,促使经济主体不得不进行绿色转型,从而催生出更多的绿色、清洁行业;而无力承担相应治污成本、难以达到约束目标的企业则会选择迁移到环境规制较弱的地区,使本地的高污染高消耗产业占比降低(Cheng et al., 2019)^[19],进而优化产业结构。在智慧城市试点推进过程中,政府有针对性地制定发展规划,加大创新支持和投入力度,吸引技术和人才进入,促使城市发展要素从低附加值的劳动密集型行业转向知识、技术密集型行业(胡兆廉等, 2020)^[20]。两项政策的叠加进一步推动产业要素的优化重组,形成绿色原材料供应商与数字化服务商相互扶持、绿色产品消费市场与数字化销售渠道相互促进的新型产业联盟,城市产业结构在此过程中实现转型升级,绿色全要素生产率因此得到提升。

基于上述分析,本文提出研究假说 H2: 低碳城市和智慧城市双试点能够通过降低城市能源消耗强度、推动城市数字经济发展、促进城市产业结构升级 3 条路径提升城市绿色全要素生产率。

三、实证研究设计

1. 基准模型构建

为检验低碳城市和智慧城市双试点政策对城市绿色全要素生产率的影响,本文根据两个试点分批次、渐进式推广的特点,借鉴 Beck 等(2010)^[21]的研究,构建如下多期双重差分模型:

$$GTFP_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 Lowcar_Smart_{it} + \alpha_3 Control_{it} + \eta_i + \mu_t + \varepsilon_{it}$$

其中,下标 i 和 t 分别代表城市和年份,被解释变量“绿色全要素生产率”(GTFP_{it})为 i 城市在 t 年的绿色全要素生产率,核心解释变量“低碳智慧双试点”(Lowcar_Smart_{it})为样本城市是否为低碳城市和智慧城市双试点城市的政策虚拟变量,Control_{it} 表示控制变量, η_i 为城市固定效应, μ_t 为时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(1) “绿色全要素生产率”的测算。绿色全要素生产率是衡量经济增长质量与可持续性的重要指标,反映经济增长过程中资源利用效率和环境绩效的提升。借鉴 Tone(2002)^[22]的研究,本文采用包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算样本城市的绿色全要素生产率,要素投入、期望产出、非期望产出的指标选取见表 1,其中少量缺失数据采用多重插补法填充。

表 1 城市绿色全要素生产率测算指标

指标说明		计算方法
要素投入	资本投入	固定资产投资实际值(亿元)
	劳动力投入	城镇单位从业人员期末人数(人)
	土地投入	城市建设用地面积(平方公里)
	能源投入	全年用电总量(亿千瓦时)
期望产出	经济发展	地区生产总值(亿元)
非期望产出	污染物排放	工业二氧化硫排放量(吨)
		工业废水排放量(吨)
		工业氮氧化物排放量(吨)

(2)政策变量的赋值方法。本文实证分析涉及3个政策变量:一是“低碳智慧双试点”,以低碳城市和智慧城市双试点城市为实验组、其他城市为对照组,实验组城市实施双试点当年及以后年份取值为1,否则取值为0;二是“低碳城市试点”,以低碳城市试点城市为实验组、其他城市为对照组,实验组城市实施低碳城市试点当年及以后年份取值为1,否则取值为0;三是“智慧城市试点”,以智慧城市试点城市为实验组、其他城市为对照组,实验组城市实施智慧城市试点当年及以后年份取值为1,否则取值为0。

(3)控制变量选取。参考 Auffhammer 等(2016)^[23]的研究,选取6个城市层面的控制变量:一是“经济发展水平”,用人均GDP(元)的自然对数值衡量;二是“城镇化水平”,用城镇化率(绝对值)衡量;三是“金融发展水平”,用年末金融机构人民币各项贷款余额(万元)的自然对数值衡量;四是“政府干预程度”,用地方一般公共预算支出与地区生产总值之比衡量;五是“对外开放水平”,用外商实际投资额与地区生产总值之比衡量;六是“教育水平”,用地区普通高等学校数的自然对数值衡量。

2. 样本选择与数据处理

本文以我国地级及以上城市为研究样本,样本期间为2003—2022年。剔除数据缺失严重的地级市样本以及建市较晚和被撤销的地级市样本,最终得到284个城市样本。城市层面的数据主要来自相应年度的《中国城市统计年鉴》以及各城市统计年鉴,对于少量缺失数据不进行填补处理。主要变量的描述性统计结果如表2所示。

表 2 主要变量的描述性统计结果

变 量		观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	绿色全要素生产率	5 680	0.356	0.328	0.000	2.593
核心解释变量	低碳智慧双试点	5 680	0.061	0.252	0	1
	低碳城市试点	5 680	0.228	0.426	0	1
	智慧城市试点	5 680	0.180	0.384	0	1
控制变量	经济发展水平	5 679	10.355	0.857	4.600	15.670
	城镇化水平	5 623	0.511	0.176	0.110	1.000
	金融发展水平	5 679	16.000	1.381	12.550	20.690
	政府干预程度	5 610	0.173	0.114	0.030	2.350
	对外开放水平	5 536	0.002	0.007	0.000	0.130
	教育水平	5 494	1.369	1.103	0.000	4.530

四、实证结果分析

1. 平行趋势检验与基准回归

采用多时点双重差分模型进行政策效应评估,需要满足平行趋势假设,即实验组与对照组在政策实施前应具有一致的变化趋势。本文采用 McGavock (2021)^[24] 提出的事件研究法进行平行趋势检验。结合数据特征,以双试点实施当年为基准期(即第 0 期),设置政策实施前 9 年和后 11 年的政策时点虚拟变量,构建如下计量模型: $GTFP_{it} = \beta_0 + \sum_{l=1}^9 \beta_{pre_s} D_{pre_s} + \beta_{current} D_{current} + \sum_{l=1}^{10} \beta_{post_s} D_{post_s} + \beta_2 control_{it} + \eta_i + \mu_t + \varepsilon_{it}$ 。检验结果见图 1,其中,圆点为估计值,垂直虚线为 95% 的置信区间。在双试点实施之前,虚拟变量估计系数的置信区间均包含 0,表明实验组与对照组城市的绿色全要素生产率变化趋势不存在显著差异,符合平行趋势假设;在双试点实施后,从第 6 期开始虚拟变量估计系数值显著为正,表明双试点的政策效应显著(虽然存在一定的时间滞后性)。

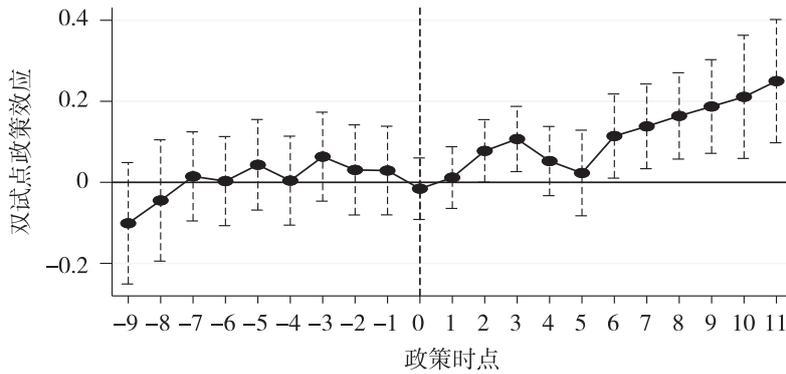


图 1 平行趋势检验结果

表 3 为基准模型检验结果。无论是否加入控制变量,“低碳智慧双试点”的回归系数均在 1% 的水平上显著为正。考虑到低碳城市和智慧城市双试点的政策效应存在滞后性,对解释变量进行滞后 1 期和 3 期处理后重新进行检验,解释变量滞后项的回归系数依然在 1% 的水平上显著为正。此外,为消除极端值的影响,对“绿色全要素生产率”进行 5% 和 95% 的缩尾处理后重新进行检验,“低碳智慧双试点”的回归系数还是在 1% 的水平上显著为正。由此证明,低碳城市和智慧城市双试点显著提升了试点城市的绿色全要素生产率。

表 3 基准回归结果

变 量	绿色全要素生产率		绿色全要素生产率(缩尾)
低碳智慧双试点	0.140*** (0.017)	0.123*** (0.018)	0.113*** (0.017)
L1. 低碳智慧双试点		0.119*** (0.018)	
L3. 低碳智慧双试点			0.103*** (0.018)

续表 3

变 量	绿色全要素生产率				绿色全要素生产率(缩尾)
经济发展水平	0.048 ^{***}	-0.030 [*]	-0.053 ^{***}		0.043 ^{***}
	(0.016)	(0.016)	(0.017)		(0.015)
城镇化水平	0.071	0.117 ^{**}	0.057		0.094 [*]
	(0.053)	(0.057)	(0.065)		(0.050)
金融发展水平	0.056 ^{***}	0.073 ^{***}	0.071 ^{***}		0.056 ^{***}
	(0.016)	(0.016)	(0.017)		(0.015)
政府干预程度	-0.104	-0.138 ^{**}	-0.276 ^{***}		-0.114 [*]
	(0.066)	(0.066)	(0.079)		(0.062)
对外开放水平	0.206	-0.735	-0.905		0.756
	(1.027)	(1.072)	(1.103)		(0.968)
教育水平	-0.009	-0.025 ^{**}	-0.010		-0.012
	(0.012)	(0.013)	(0.013)		(0.011)
常数项	0.346 ^{***}	-1.039 ^{***}	-0.514 [*]	-0.211	-1.021 ^{***}
	(0.003)	(0.268)	(0.277)	(0.291)	(0.253)
城市固定效应	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
观测值	5 680	5 320	5 060	4 528	5 320
R ²	0.533	0.550	0.561	0.594	0.535

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著,括号内为稳健标准误,下表同。

2. 双试点的放大效应检验

为检验低碳城市和智慧城市双试点对试点城市绿色全要素生产率的提升作用是否大于单试点,进行如下分析:第一,分别以“低碳城市试点”“智慧城市试点”“低碳智慧双试点”为核心解释变量进行基准模型检验,回归结果见表 4 的(1)(2)(3)列。虽然“低碳城市试点”“智慧城市试点”“低碳智慧双试点”的回归系数均在 1%的水平上显著为正,但“低碳智慧双试点”的系数明显大于“低碳城市试点”和“智慧城市试点”的系数,表明双试点的政策效应大于单试点的政策效应。第二,剔除既非低碳城市试点也非智慧城市试点的样本(即所有样本均为至少实施了某一项试点的城市),检验双试点相对于单试点的净政策效应,回归结果见表 4 的(4)列。“低碳智慧双试点”的回归系数在 1%的水平上显著为正,表明双试点比单试点能更有效地提升城市绿色全要素生产率,即两个试点叠加通过政策协同作用产生了比单个试点更强的政策效应。至此,本文提出的假说 H1 得到验证。

进一步检验双试点实施先后顺序的不同是否会带来政策效应的差异。分别以先实施低碳城市试点后实施智慧城市试点的双试点城市、先实施智慧城市试点后实施低碳城市试点的双试点城市、同时实施低碳城市试点和智慧城市试点的双试点城市为实验组(对照组均为非双试点城市)进行基准模型检验,回归结果见表 4 的(5)(6)(7)列。低碳城市试点和智慧城市试点同时实施的政策效应最强,先实施低碳城市试点后实施智慧城市试点的政策效应次之,先实施智慧城市试点后实施低碳城市试点的政策效应最弱。可见,同时实施低碳城市和智慧城市试点能更好地发挥两项政策的协同作用。

表4 双试点放大效应及试点顺序差异检验结果

变 量	绿色全要素生产率						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
低碳城市试点	0.049*** (0.012)						
智慧城市试点		0.044*** (0.013)					
低碳智慧双试点			0.123*** (0.018)	0.108*** (0.018)			
先低碳后智慧					0.113*** (0.023)		
先智慧后低碳						0.083*** (0.030)	
低碳和智慧同时							0.226*** (0.035)
时间趋势	未控制	未控制	未控制	未控制	控制	控制	控制
观测值	5 320	5 320	5 320	3 421	4 945	4 785	4 690
R ²	0.548	0.547	0.550	0.613	0.530	0.546	0.557

注:所有模型均控制了控制变量以及城市和年份固定效应,限于篇幅,控制变量和常数项估计结果略,下表同。

3. 稳健性检验

(1) 安慰剂检验。为缓解遗漏变量和随机因素对模型回归结果的干扰,参考 Cai 等 (2016)^[25] 的研究,通过随机抽取实验组的方法构建伪政策变量进行安慰剂检验,重复 1 000 次随机抽取和检验,得到的伪政策变量系数值和 p 值汇总如图 2 所示。其中,水平方向的虚线表示 10% 的显著性水平,垂直方向的虚线表示基准回归的结果。伪政策变量的系数正态分布于 0 值附近,且大多位于基准回归值的左侧。因此,可以排除基准模型的政策效应是由未观察到的遗漏变量或随机因素所导致的可能性,双试点城市相对其他城市的绿色全要素生产率提升确实是由低碳城市试点和智慧城市试点带来的。

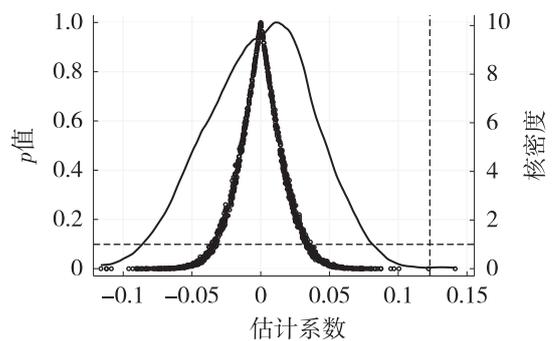


图2 安慰剂检验结果

(2) 控制非随机因素的影响。参考 Li 等 (2016)^[26] 的研究,在基准模型中加入城市特殊属性虚拟变量与时间趋势 T 的交互项,重新进行回归。其中,城市特殊属性包括是否为省会城市、是否属于“两控区”、是否为沿海城市、是否属于经济特区(是取值为 1,否取值为 0), T 为当期年份与样本期间起始年的差值。

(3) PSM-DID 检验。考虑到试点城市的遴选并非随机的,为缓解样本选择偏误的干扰,采用多时点 PSM-DID 模型进行稳健性检验。倾向得分匹配采用 k 值为 2 的最近邻近匹配法,匹配变量为所有控制变量。匹配后变量的标准化偏差从最高 79.0% 下降至 2.4%~7.7%,总偏误明显降低,且均小于平衡性检验要求的 20% 红线标准,伪相关系数平方值由匹配前的 0.179 降低至 0.002~0.013,表明倾向得分匹配有效降低了实验组样本与对照组样本的组间差异。采用匹配后的样本重新进行模型检验。

(4) 控制时间趋势。虽然城市和年份固定效应已经吸收了大部分城市层面的潜在干扰因素,但仍存在一些不可观测的因素会随时间推进对城市绿色全要素生产率产生影响,从而造成估计偏误。为控制因时间变化引起的外生干扰,借鉴宋弘等(2019)^[27]的研究,在基准模型中引入控制变量与时间趋势的交互项,重新进行回归。

(5) 控制竞争性政策的影响。在样本期间,2008 年启动的国家创新型城市试点和 2013 年启动的碳排放交易权试点均会对城市绿色全要素生产率产生影响,为排除这两项竞争性政策的干扰,在基准模型中同时加入“创新型城市试点”和“碳排放权交易试点”政策虚拟变量,重新进行模型检验。

(6) 删除直辖市样本。考虑到直辖市与其他城市在经济体量、政策优势等方面存在显著差异,删除直辖市样本后重新进行模型检验。

上述稳健性检验结果见表 5,所有模型的回归结果均支持“低碳城市和智慧城市双试点显著提升了试点城市的绿色全要素生产率”的结论,表明本文的分析结果是稳健的。

表 5 稳健性检验结果

变 量	控制非随机因素	PSM-DID 检验	控制时间趋势	控制竞争性政策影响	删除直辖市样本	
低碳智慧双试点	0.057*** (0.017)	0.037* (0.019)	0.090*** (0.018)	0.103*** (0.028)	0.117*** (0.018)	0.110*** (0.018)
省会城市×T	0.002 (0.002)					
“两控区”×T	0.003** (0.001)					
沿海城市×T	0.020*** (0.001)					
经济特区×T	0.006 (0.004)					
碳排放权交易试点				0.031 (0.034)		
创新型城市试点					0.026* (0.015)	
时间趋势	未控制	未控制	控制	未控制	未控制	未控制
观测值	5 300	3 596	5 320	5 320	5 320	5 243
R ²	0.933	0.160	0.563	0.551	0.551	0.538

4. 机制检验

遵循江艇(2022)^[28]的建议,本文的机制检验主要考察解释变量对机制变量的影响。根据前文理论分析提出的3条路径,选取以下3个机制变量:一是“能源消耗强度”,参考邹甘娜等(2023)^[29]的方法,用能源消耗总量与GDP之比衡量,其中能源消耗总量为天然气供气总量、液化石油气供气总量、全社会用电量之和(根据工业和信息化部发布的相应折算系数折算成总标准煤)。二是“数字经济发展水平”,借鉴赵涛等(2020)^[30]的研究,从互联网发展和数字金融普惠两方面,选取互联网普及率、相关从业人员情况、相关产出情况、移动电话普及率、数字普惠金融指数等指标,使用主成分分析法进行测算。三是“产业结构高级化”,参考Wang和Li(2024)^[31]的方法,用第三产业从业人员占比与第二产业从业人员占比之差衡量。

机制检验结果见表6。“低碳智慧双试点”对“能源消耗强度”的回归系数值显著为负,表明低碳城市和智慧城市双试点显著降低了试点城市的单位GDP能源消耗。能源消耗强度降低意味着节能技术的推广和应用直接提升了生产和资源利用效率,同时也减少了污染物排放,有利于城市绿色全要素生产率的提升(刘赢时等,2018)^[32]。“低碳智慧双试点”对“数字经济发展水平”的回归系数值显著为正,表明低碳城市和智慧城市双试点显著推动了城市数字经济发展。数字经济的发展促进了智慧能源管理、智能制造、绿色交通等领域的创新发展,推动了环境监测与治理的精准化,减少了资源浪费和碳排放,为提升绿色全要素生产率提供了有力支撑(程文先等,2021)^[33]。“低碳智慧双试点”对“产业结构高级化”的回归系数值显著为正,表明低碳城市和智慧城市双试点显著促进了城市产业结构升级。随着产业结构的升级,绿色制造、清洁能源、节能环保等新兴产业占比提升,高消耗、高污染产业转型升级,社会生产集约化水平提高,绿色全要素生产率也将持续提升(逯进等,2021)^[34]。由此,本文提出的假说H2得到验证,即低碳城市和智慧城市双试点能够通过降低能源消耗强度、推动数字经济发展、促进产业结构升级3条路径提升城市绿色全要素生产率。

表6 机制检验结果

变 量	能源消耗强度		数字经济发展水平		产业结构高级化	
低碳智慧双试点	-0.186 ** (0.077)	-0.163 ** (0.078)	0.067 *** (0.017)	0.069 *** (0.017)	0.087 * (0.047)	0.092 ** (0.051)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制	未控制	控制
观测值	5 637	5 302	5 660	5 300	5 670	5 310
R ²	0.250	0.323	0.926	0.929	0.051	0.051

五、进一步讨论:异质性分析

1. 环境基础异质性

由于各个城市的地理区位、资源禀赋、产业结构、经济发展水平等存在显著差异,试点前的环境基础条件具有异质性,由此可能产生低碳城市和智慧城市双试点政策效应的异质性。参考祁毓等(2024)^[35]的研究,以2000年的PM_{2.5}浓度作为衡量城市环境基础的指标,通过三分位法将样本城市分为“环境基础较差”(PM_{2.5}浓度较高)、“环境基础中等”(PM_{2.5}浓度中等)、“环境基础较好”(PM_{2.5}浓度较低)

三组,构造3个环境基础组别虚拟变量,分别以“低碳智慧双试点”与3个虚拟变量的交互项为核心解释变量进行检验,回归结果见表7的(1)(2)(3)列。环境基础较差交互项和环境基础中等交互项的回归系数在1%的水平上显著为正(环境基础中等交互项的回归系数数值更大),环境基础较好交互项的回归系数不显著,表明低碳城市与智慧城市双试点显著提升了试点前环境基础较差和中等城市的绿色全要素生产率,但对环境基础较好城市的绿色全要素生产率没有显著影响。其原因可以基于“环境库兹涅茨曲线”进行解释,即城市的环境基础与双试点的政策效应或许存在“倒U型”关系:在环境基础较好的城市中,双试点对绿色全要素生产率的提升作用由于边际效应递减而不显著;在环境基础较差的城市,双试点政策主要指向解决环境污染问题,可能会牺牲短期经济增长,对绿色全要素生产率的提升作用受到一定限制;在环境基础中等的城市中,双试点的推进具有较好的实施环境、经济基础和效应空间,因此产生的政策效应最强。

2. 创业活跃度异质性

试点的政策效应通常与发展环境和经济主体的响应程度相关,考虑到创业活跃度能够反映城市的营商环境以及经济主体的发展积极性,本文认为低碳城市 and 智慧城市双试点对绿色全要素生产率的提升作用会因城市创业活跃度的不同而表现出异质性。参考白俊红等(2022)^[36]的方法,采集企查查数据库中的新创企数据,以每百人新建企业数衡量城市创业活跃度,同样使用三分位法构建“创业活跃度较低”“创业活跃度中等”“创业活跃度较高”3个虚拟变量,分别以“低碳智慧双试点”与3个虚拟变量的交互项为核心解释变量进行检验,回归结果见表7的(4)(5)(6)列。创业活跃度较低交互项的回归系数不显著,创业活跃度中等交互项的回归系数在5%的水平上显著为正,创业活跃度较高交互项的回归系数在1%的水平上显著为正(且系数值明显大于创业活跃度中等交互项)。上述结果表明,当城市创业活跃度较低时,低碳城市 and 智慧城市双试点对城市绿色全要素生产率的影响不显著;随着城市创业活跃度的提高,双试点对城市绿色全要素生产率的提升作用逐渐显现,并不断增强。创业活跃度提高意味着城市的营商环境改善、发展机会增加,有利于新技术、新业态、新模式的产生和推广,经济主体也将面临更多的资源和机会,能够更好地响应、适应和利用试点政策,从而增强试点政策的实施效果。因此,低碳城市 and 智慧城市双试点对绿色全要素生产率的提升作用会随着城市创业活跃度的提高而增强。

3. 试点时长异质性

试点的政策效应往往会随试点时间的变化而不同。本文将低碳城市 and 智慧城市双试点实施时长分为短期(0至2年)、中期(3至5年)和长期(5年以上),构建相应的试点时长虚拟变量,分别以“低碳智慧双试点”与3个试点时长虚拟变量的交互项为核心解释变量进行检验,回归结果见表7的(7)(8)(9)列。短期交互项的回归系数不显著,中期交互项的回归系数在5%的水平上显著为正,长期交互项的回归系数在1%的水平上显著为正(且系数值明显大于中期交互项)。上述结果表明,当实施时长较短时,低碳城市 and 智慧城市双试点对城市绿色全要素生产率的影响不显著;随着实施时长的增加,双试点对城市绿色全要素生产率的提升作用逐渐显现,并不断增强。在双试点初期,由于发展惯性和路径依赖的存在,试点政策本身需要不断优化,各经济主体需要对政策变化进行适应,加之利用政策红利也需要付出一定转型成本,试点的政策效应发挥受到限制;随着试点的持续推进,试点政策趋于完善,各经济主体逐渐适应试点政策,加之技术累积、产业升级、数字化转型等不断释放内生动能,试点的政策效应得以显现和增强。因此,低碳城市 and 智慧城市双试点实施时间越长,其提升绿色全要素生产率的作用越为强劲。

表 7 异质性分析结果

变 量	环境基础异质性			创业活跃度异质性			试点时长异质性		
	绿色全要素生产率			绿色全要素生产率			绿色全要素生产率		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
低碳智慧双试点× 环境基础较差	0.095***								
	(0.030)								
低碳智慧双试点× 环境基础中等		0.168***							
		(0.025)							
低碳智慧双试点× 环境基础较好			0.031						
			(0.035)						
低碳智慧双试点× 创业活跃度较低				0.052					
				(0.025)					
低碳智慧双试点× 创业活跃度中等					0.082**				
					(0.027)				
低碳智慧双试点× 创业活跃度较高						0.113***			
						(0.026)			
低碳智慧双试点× 短期							-0.056		
							(0.035)		
低碳智慧双试点× 中期								0.066**	
								(0.033)	
低碳智慧双试点× 长期									0.145***
									(0.019)
观测值	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320
R ²	0.547	0.550	0.546	0.547	0.547	0.548	0.546	0.546	0.551

六、结论与启示

本文从低碳城市与智慧城市双试点的视角出发,采用我国 284 个城市 2003—2022 年的数据,通过包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算城市绿色全要素生产率,运用多时点双重差分模型分析双试点对城市绿色全要素生产率的影响,主要结论如下:第一,低碳城市与智慧城市双试点显著提升了试点城市的绿色全要素生产率,该结论在经过一系列稳健性检验后依然成立。第二,双试点对城市绿色全要素生产率的提升作用显著强于单试点,两个试点同时实施的政策效应最强,先低碳城市试点后智慧城市试点的政策效应次之,先智慧城市试点后低碳城市试点的政策效应最弱。第三,机制检验结果表明,低碳城市与智慧城市双试点能够通过降低能源消耗强度、推动数字经济发展、促进产业结构升级 3 条路径提升城市绿色全要素生产率。第四,异质性分析结果显示,双试点显著提升了试点前环境基础较差和中等城市的绿色全要素生产率,但对环境基础较好城市的影响不显著;当城市创业活跃度较低、试点实施时长较短时双试点对城市绿色全要素生产率的影响不显著,随着城市创业活跃度的提高、试点实施时长的增加,双试点对城市绿色全要素生产率的提升作用逐渐显现,并不断增强。

基于以上结论,本文得到如下启示:第一,推动低碳城市试点和智慧城市试点等多项政策的组合实施,更快更高质量地促进经济绿色转型和高质量发展。低碳城市试点与智慧城市试点同时实施能够形

成政策上的互促与互补,若资源禀赋和时机允许,可优先考虑将单试点城市升级为双试点城市,充分利用双试点的政策协同效应,促进经济的绿色转型与可持续发展。第二,重视从传导渠道入手增强双试点的政策效应,优化政策发力机制。在能源效率方面,推广节能技术,建立能效标识制度,促进节能降耗;在数字化经济发展方面,提供补贴、设立基金、搭建平台,支持企业数字化转型;在产业结构转型升级方面,通过税收优惠、基金支持等手段,推动传统产业转型升级和新兴产业发展。第三,低碳城市和智慧城市试点应秉持因时、因地制宜的原则,避免盲目跟风。应聚焦生态环境提升空间大、创业活跃的重点城市,积极推进双试点,充分发挥政策杠杆作用。经济基础薄弱、产业结构单一的城市应慎重实施严苛的环境管制。同时,试点政策需长远规划、持续投入,避免短期行为,聚焦长期效益。

参考文献:

- [1] 余硕,王巧,张阿城.技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J].经济与管理研究,2020,41(8):44-61.
- [2] 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.
- [3] 熊广勤,方扶星.低碳城市建设提升了绿色全要素生产率吗?——基于278个地级市的实证研究[J].福建论坛(人文社会科学版),2022(12):101-114.
- [4] WANG K,LI J,XU R. The impact of low-carbon city pilot policy on green total-factor productivity in China's cities[J]. Environmental Science and Pollution Research International,2022,30(9):24299-24318.
- [5] 何兵,于秀秀.促进还是抑制:低碳城市试点对外商直接投资的影响[J].西部论坛,2025,35(1):51-64.
- [6] 何雄浪,李楠新.低碳城市建设能显著吸引人口流入吗?——来自中国低碳城市试点工作的经验证据[J].城市与环境研究,2024(1):79-98.
- [7] ZHANG E,HE X,XIAO P. Does smart city construction decrease urban carbon emission intensity? Evidence from a difference-in-difference estimation in China[J]. Sustainability,2022,14(23):1-16
- [8] 申洋,郭俊华,朱彦.智慧城市建设对地区绿色全要素生产率影响研究[J].中南大学学报(社会科学版),2021,27(2):140-152.
- [9] 宣旻,张万里.智慧城市、经济集聚与绿色全要素生产率[J].现代经济探讨,2021(9):12-25.
- [10] 湛泳,李珊.智慧城市建设、创业活力与经济高质量发展——基于绿色全要素生产率视角的分析[J].财经研究,2022,48(1):4-18.
- [11] 惠献波.智慧城市建设与企业绿色全要素生产率:内在机制与经验证据——基于“赋能”和信贷配给的视角[J].企业经济,2023,42(2):118-128.
- [12] 郝向举,何爱平,薛琳.城市发展模式叠加与绿色低碳发展——基于智慧城市与低碳城市协同减排的实证分析[J].城市问题,2023(7):93-103.
- [13] 高煜昕,高明.低碳城市与智慧城市双试点政策对全要素能源效率的影响效应研究[J].经济体制改革,2025(2):76-84.
- [14] 张娜,陈伟平.智慧城市与低碳城市共生机理研究——基于信息通信的视角[J].系统科学学报,2014,22(1):53-55+65.
- [15] 李广明,张维洁.中国碳交易下的工业碳排放与减排机制研究[J].中国人口·资源与环境,2017(10):141-148.
- [16] COPELAND B R,TAYLOR M S. Trade,growth,and the environment[J]. Journal of Economic Literature,2004,42(1):7-71.
- [17] HAEFNER L,STERNBERG R. Spatial implications of digitization:state of the field and research agenda[J]. Geography compass,2020,14(12):e12544.
- [18] 何雄浪,史世姣.绿色发展政策能够促进就业显著增加吗?——基于中国284个城市面板数据的实证分析[J].吉首大学学报(社会科学版),2023,44(3):34-46.

- [19] CHENG J, YI J, DAI S, et al. Can low-carbon city construction facilitate green growth? Evidence from China's pilot low-carbon city initiative[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 231:1158-1170
- [20] 胡兆廉,石大千,司增緯. 创新型城市能否成为产业结构转型的“点睛之笔”——来自国家创新型城市试点建设的证据[J]. *山西财经大学学报*, 2020, 42(11):70-84.
- [21] BECK T, LEVINE R, LEVKOV A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. *Journal of Finance*, 2010, 65(5):1637-1667.
- [22] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1):32-41.
- [23] AUFFHAMMER M, SUN W Z, WU J F, et al. The decomposition and dynamics of industrial carbon dioxide emissions for 287 Chinese cities in 1998-2009[J]. *Journal of Economic Surveys*, 2016, 30(3):460-481.
- [24] MCGAVOCK T. Here waits the bride? The effect of Ethiopia's child marriage law[J]. *Journal of Development Economics*, 2021, 149:102580.
- [25] CAI X, LU Y, WU M, 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, 123:73-85.
- [26] LI P, LU Y, WANG J. Does flattening government improve economic performance? Evidence from China[J]. *Journal of Development Economics*, 2016, 123:18-37.
- [27] 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.
- [28] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. *中国工业经济*, 2022(5):100-120.
- [29] 邹甘娜,黄纪强,张文春. 环境税能否降低中国能源消耗[J]. *经济理论与经济管理*, 2023, 43(6):95-105.
- [30] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. *管理世界*, 2020, 36(10):65-76.
- [31] WANG Y, LI L. Digital economy, industrial structure upgrading, and residents' consumption: Empirical evidence from prefecture-level cities in China [J]. *International Review of Economics and Finance*, 2024, 92:1045-1058.
- [32] 刘赢时,田银华,罗迎. 产业结构升级、能源效率与绿色全要素生产率[J]. *财经理论与实践*, 2018, 39(1):118-126.
- [33] 程文先,钱学锋. 数字经济与中国工业绿色全要素生产率增长[J]. *经济问题探索*, 2021(8):124-140.
- [34] 逯进,李婷婷. 产业结构升级、技术创新与绿色全要素生产率——基于异质性视角的研究[J]. *中国人口科学*, 2021(4):86-97+128.
- [35] 祁毓,杨春飞,陈诗一. 绿色转型发展中的财政激励与协同治理——来自“山水工程”试点的证据[J]. *经济研究*, 2024, 59(10):132-150.
- [36] 白俊红,张艺璇,卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2022(6):61-78.

Research on the Enhancement of Green Total Factor Productivity through Dual Pilots of Low-carbon City and Smart City

HE Xiong-lang, LI Nan-xin

(School of Economics, Southwest Minzu University, Chengdu 610225, Sichuan, China)

Summary: Green Total Factor Productivity (GTFP) is a crucial indicator for measuring the quality and

sustainability of economic growth. Its enhancement relies not only on technological progress and improved resource allocation efficiency, but also requires synergistic support from policy systems. China has implemented a series of pilot policies aimed at improving urban GTFP. However, a single pilot policy often fails to fully achieve the desired outcomes, whereas the coordinated implementation of multiple pilot policies can more systematically promote urban GTFP growth.

This study focuses on the perspective of the dual-pilot policy of low-carbon city and smart city. Theoretically, it constructs an analytical framework for how dual-pilot policy affects GTFP. Empirically, based on panel data of 284 prefecture-level cities in China from 2003 to 2022, it employs a super-efficiency SBM model incorporating undesirable outputs to measure urban GTFP and systematically demonstrates the specific effects of dual-pilot policy on GTFP enhancement using a multi-period difference-in-differences model. The main findings are as follows: (1) The dual-pilot policy effectively improves urban GTFP; (2) The GTFP enhancement effect of dual-pilot policy exceed that of individual low-carbon city or smart city pilot policy, with cities transitioning from single to dual-pilot status showing significant GTFP improvement, particularly when both policies are implemented simultaneously; (3) The dual-pilot policy fails to significantly boost GTFP in samples with superior environmental baselines, low entrepreneurial activity, or short policy implementation periods, whereas it demonstrates the strongest GTFP promotion effects in cities with moderate environmental baselines, highest entrepreneurial vitality, and longest policy implementation; (4) The dual-pilot policy positively influences urban GTFP primarily by reducing energy consumption per unit GDP, accelerating urban digital transformation, and facilitating industrial upgrading.

The marginal contributions of this study are threefold: First, it systematically investigates whether the coordinated implementation of dual-pilot policy—“low-carbon city pilot” and “smart city pilot”—effectively enhances urban GTFP, thereby enriching the theoretical literature in this field. Second, it constructs a framework to systematically demonstrate the synergistic and complementary mechanisms through which dual-pilot policy promotes urban GTFP, unveiling the “black box” of intrinsic interactions among multiple policies. Third, it explores heterogeneous patterns in the effects of dual-pilot policy, revealing that policy effectiveness is significantly correlated with urban ecological environmental baselines, entrepreneurial activity levels, and policy implementation durations, while also evaluating three potential indirect effects: energy consumption reduction, digital transformation acceleration, and industrial structure upgrading.

The conclusions of this study provide theoretical and practical insights for China’s exploration of green development pathways, the improvement of urban GTFP, the consolidation of early achievements from low-carbon city and smart city pilot policies, and the full realization of the potential synergies from the coordinated use of multiple policy instruments.

Keywords: GTFP; low-carbon city pilot; smart city pilot; dual-pilot; policy synergy

CLC number: F293; F124.5

Document code: A

Article ID: 1674-8131(2025)04-0083-15

(编辑:朱 艳;刘仁芳)