

# “双碳”背景下低碳城市政策评估与异质性研究

## ——基于准自然实验的多时点 DID 分析

关 华<sup>1</sup>, 刘 珂<sup>2</sup>

(1. 河北经贸大学《经济与管理》编辑部, 河北 石家庄 050061;

2. 河北经贸大学 经济研究所, 河北 石家庄 050061)

**摘 要:** 低碳城市建设对实现“双碳”目标具有积极的推动作用。基于 2003—2019 年中国 281 个地级及以上城市面板数据, 采用多时点双重差分模型评估低碳城市政策及异质性视角下的政策实施效果。结果表明: 低碳城市政策实施带来了绿色发展效应。从动态效果来看, 绿色发展效应不具有持续性。低碳城市政策对东部地区、超大规模、高创新指数城市的绿色发展效应更明显, 对不同行政等级城市的绿色发展效应不明显。因此应进一步扩容低碳试点城市, 加强政府监管, 因地制宜地推进低碳城市建设。

**关键词:** 低碳城市; 政策评估; 多时点双重差分; 异质性

**中图分类号:** F127      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2095-929X(2022) 04-0015-13

## 一、引 言

改革开放 40 多年来, 我国经济快速发展, 同时也产生了严重的空气污染问题。2020 年我国碳排放量高达 9 899.3 百万吨, 占全球二氧化碳排放总量的 30.7%<sup>①</sup>, 二氧化碳的排放导致全球变暖、温室效应等气候问题, 严重制约人类社会的可持续发展。为应对全球气候变化, 《巴黎协定》推动各成员国以自主贡献的方式参与碳减排行动。我国积极响应联合国的号召, 习近平总书记 2020 年提出 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的“双碳”目标, 从现在到碳达峰的时间仅有不到 10 年, 从碳达峰到碳中和的过渡期仅有 30 年, 时间紧迫, 任务繁重。

城市是经济发展的载体, 同时也是碳排放的主要产生者。截至 2021 年, 我国城镇化水平已达 64.7%<sup>②</sup>, 推进城镇化进程中消耗大量的能源, 导致城市碳排放量逐年增加。为减少碳排放并确保达到中国设立的 2030 年控制温室气体排放目标, 推进城市绿色发展, 我国自 2010 年起先后开展了三批低碳省区(市)试点工作, 试点工作明确指出在城镇化快速发展的阶段, 既要发展经济又要降低碳强度, 积极探索出不同地区推进绿色发展实现碳达峰碳中和的有效路径。目前, 我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 绿色发展是建设高质量现代化经济体系、解决污染问题的根本之策。实现绿色发展, 要从环境保护与经济发展的关系分析, 生

基金项目: 国家社会科学基金项目“乡村产业结构演进的绿色发展效应及路径设计研究”(20BJL039)。

作者简介: 关华, 女, 黑龙江牡丹江市人, 博士, 河北经贸大学《经济与管理》编辑部编审, 研究方向: 低碳经济。

①数据来源:《BP 世界能源统计年鉴 2021》。

②数据来源: 国家统计局。

态环境要保护,社会经济也要发展。诚然,低碳城市政策的出发点是在发展高质量经济的同时减少二氧化碳排放量,即实现绿色发展,但由于其政策的弱约束性特点,可能导致低碳城市政策很难发挥推动经济绿色增长、减少碳排放的效果。另外,试点城市建设所取得的效果可能受到城市异质性特征的影响,如区域、规模、行政等级和创新水平等因素。因此,在“双碳”约束下,推广低碳试点城市的建设经验,发挥试点带动整体的作用,评估近十年来低碳城市政策的实施效果,考察城市异质性视角下的低碳城市建设情况,能够为因地制宜建设低碳城市总结可供参考的经验,对进一步推进城市绿色发展实现“双碳”目标具有重要意义。

二、政策梳理与文献综述

(一) 政策梳理

为妥善应对气候变化,2009年11月国务院提出到2020年我国碳排放强度较2005年下降40%~45%,并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展的中长期规划中。此目标一经提出,各地纷纷采取发展低碳产业、建设低碳城市、倡导低碳生活等行动落实中央决策部署。2010年部分省市主动申报开展低碳城市试点工作,经国家发改委研究决定将五省八市作为低碳试点城市。2011年国务院印发了《“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知》,为确保完成“十二五”控制温室气体排放目标,国家发改委决定在第一批试点城市的基础上继续扩大试点地区范围,将北京、上海等28个城市作为第二批试点城市。2017年,为进一步推进绿色低碳发展、落实“十三五”规划纲要部署,早日实现各个城市的碳达峰目标,国家发改委选定了第三批低碳试点城市。具体试点情况见表1。

表1 低碳城市政策试点情况

试点批次	第一批次	第二批次	第三批次
确定时间	2010年7月	2012年4月	2017年1月
申报类型	主动申报	主动申报	组织推荐、专家点评
发布文件	《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》(发改气候〔2010〕1587号)	《国家发展改革委关于开展第二批国家低碳省区和低碳城市试点工作的通知》(发改气候〔2012〕3760号)	《国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知》(发改气候〔2017〕66号)
试点省份	广东、辽宁、湖北、陕西、云南	海南	无
试点城市	天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定	北京、上海、石家庄、秦皇岛、晋城、呼伦贝尔、吉林、苏州、淮安、镇江、宁波、温州、池州、南平、景德镇、赣州、青岛、济源、武汉、广州、桂林、广元、遵义、昆明、延安、金昌、乌鲁木齐	乌海、沈阳、大连、朝阳、南京、常州、嘉兴、金华、衢州、合肥、淮北、黄山、六安、宣城、三明、吉安、抚州、济南、烟台、潍坊、长沙、株洲、湘潭、郴州、中山、柳州、三亚、成都、玉溪、拉萨、安康、兰州、西宁、银川、吴忠、伊宁、第一师阿拉尔
试点县级市及区	无	大兴安岭地区	逊克县、共青城市、长阳土家族自治县、琼中黎族苗族自治县、普洱市思茅区、敦煌市、昌吉市、和田市

(二) 文献综述

很多学者对低碳城市政策的实施效果进行了深入分析,主要涉及以下四个方面:一是低碳城市政策对企业全要素生产率的影响。关宇航等<sup>[1]</sup>、赵振智等<sup>[2]</sup>运用双重差分法对中国沪深两市A股上市公司进行实证分析,发现低碳城市政策的实施能够在一定程度上诱发企业进行技术创新、优化资源配置,促使企业向创新、环保的增长方式转变,进而促进企业全要素生产率的提升。二是低碳城市政策对绿色经济增长的影响。韦东明和顾乃华<sup>[3]</sup>、臧传琴和孙鹏<sup>[4]</sup>、王巧和余硕<sup>[5]</sup>等基于双重差分法,发现低碳城市政策可显著促进城市绿色

全要素生产率提升,低碳城市政策具有显著的绿色增长效应。三是低碳城市政策对创新的影响。部分学者从企业绿色技术创新视角分析发现低碳城市政策实施对企业绿色技术创新有显著的促进作用<sup>[6-7]</sup>;也有学者从城市技术创新视角分析发现低碳城市政策实施能够产生创新驱动效应,低碳城市通过增加科技人才数量及技术研发投入等方式促进城市技术创新<sup>[8-9]</sup>。胡求光和马劲韬<sup>[10]</sup>则基于创新价值链视角分析发现低碳城市试点政策对绿色技术创新效率具有显著的促进作用。四是低碳城市政策对空气质量的影响。部分学者认为低碳城市政策能够改善空气质量。如 Wolff<sup>[11]</sup>和 Gehrsitz<sup>[12]</sup>运用双重差分法对低碳城市试点政策进行实证研究,发现该政策能减少当地的空气污染。陈启斐和王双徐<sup>[13]</sup>、王华星和石大千<sup>[14]</sup>、宋弘等<sup>[15]</sup>认为低碳城市建设显著降低了城市空气污染,低碳城市主要通过产业结构升级和技术创新等途径来降低空气污染。部分学者则认为低碳城市政策具有减排效果。Yangbowen 等<sup>[16]</sup>、张华<sup>[17]</sup>运用双重差分法对低碳政策效果进行评估,研究结果表明低碳政策具有减排效果,并有利于促进实施省份的经济发展,试点城市的碳排放量相比于非试点城市有所下降,碳排放水平显著降低。董梅<sup>[18]</sup>则采用合成控制法对 24 个低碳试点城市的工业污染物净排放效应进行分析,结果显示各个城市的工业废水、废气、固体废物排放强度均有显著下降。

综上所述,现有研究已取得了丰富的成果,但仍存在完善的空间。一方面,当前从绿色发展角度对低碳城市政策评估的文献相对匮乏;另一方面,多数学者采用标准双重差分法对同一批次的城市进行研究,不易识别政策实施的动态过程。因此,文章基于三次低碳城市试点提供的准自然实验,采用多时点双重差分法从经济和环境两个维度考察低碳城市政策的绿色发展效应。对比已有文献,本文可能存在的边际贡献在于:(1) 将低碳城市政策看作一项准自然实验,采用多时点双重差分模型,从绿色发展的角度出发,将绿色发展效应分为经济效应和环境效应,更加全面的评估低碳城市政策实施带来的绿色发展效应。(2) 将低碳城市政策分三个阶段进行动态效果分析,使研究结论更加丰富。(3) 从城市异质性视角对低碳城市政策效果进行分析,能够对试点城市建设工作提供针对性建议,并为非试点城市提供低碳城市建设经验。

### 三、研究设计

#### (一) 双重差分模型

双重差分方法广泛应用于对某一项政策效果的评估。该方法能最大程度地解决遗漏变量带来的内生性问题,降低时间效应和个体效应对政策评估结果的影响。本文将 2010 年开始实施的低碳城市政策看作一项准自然实验,将绿色发展效应分为经济效应与环境效应,采用多时点双重差分法验证低碳城市政策的绿色发展效应。双重差分回归模型设定为如下形式:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Treatment + \beta_2 Period + \beta_3 Treatment \times Period + \delta X_{it} + \mu_{it} + \gamma_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中  $i$  表示城市; $t$  表示时间; $Y_{it}$  为绿色发展效应,分别以绿色全要素生产率的增长率和二氧化碳排放强度表示; $Treatment$  为政策虚拟变量, $Treatment = 1$  则表示该城市受到政策冲击,为试验组, $Treatment = 0$  则表示该城市未受到政策冲击,为对照组; $Period$  为时间虚拟变量, $Period = 1$  则表示为政策冲击后, $Period = 0$  则表示为政策冲击前; $Treatment \times Period$  为低碳城市政策与政策实施时间两者的交互项; $\beta_3$  为两次差分后的估计量,即低碳城市政策的绿色发展效应。 $X_{it}$  为控制变量, $\mu_{it}$  为城市固定效应, $\gamma_{it}$  为时间固定效应, $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

#### (二) 变量选取与数据说明

##### 1. 被解释变量和解释变量

本文选取绿色全要素生产率的增长率为经济效应被解释变量。借鉴余奕杉和卫平<sup>[19]</sup>的计算方法,采用非期望产出-超效率 SBM 模型和全局参比的 GML 指数法,在规模不变(CRS)的条件下使用 MAXDEA7Ultra 软件测算 281 个城市历年的绿色全要素生产率的增长率(以下简称绿色生产率)。投入产出指标及说明如表

2 所示。选取二氧化碳排放强度作为环境效应被解释变量,碳排放强度则由城市二氧化碳排放总量与实际地区生产总值的比值得出。核心解释变量为政策虚拟变量和时间虚拟变量的交互项,即  $DID = Treatment_{it} \times Period_{it}$ 。本文样本包含三个批次的试点方案,考虑到政策实施效果具有滞后性且第一批与第二批低碳城市政策实施时间仅差两年,因此将前两批低碳试点开始实施的年份设定为 2012 年,将第三批低碳试点开始实施的年份设定为 2017 年。

表 2 投入产出表

类别	变量指标	简称	单位	指标说明
投入	劳动力	$L$	人	城市单位从业人数与私营和个体从业人数之和
	资本	$K$	元	借鉴刘常青等 <sup>[20]</sup> ,采用“永续盘存法”估算资本存量
	能源	$E$	万千瓦时	全年用电总量
期望产出	经济产出	$Y$	万元	不变价格的 GDP,以 2002 年为基期对 GDP 进行价格平减
	生态效益	$B$	%	借鉴余硕等 <sup>[21]</sup> ,采用城市绿化覆盖率衡量
	社会效益	$S$	辆	借鉴石龙宇和孙静 <sup>[22]</sup> ,采用年末公共营运汽车衡量
非期望产出	污染产出	$CO_2$	吨	城市二氧化碳排放量

2.控制变量

从经济效应方面来看,本文借鉴刘赢时等<sup>[23]</sup>的研究,选取以下五个控制变量:(1)对外开放水平( $Fdi$ ):以城市实际使用外资金额(采用中间汇率换算的金额)占地区生产总值的比重衡量。(2)交通设施( $Tf$ ):以年末实有城市道路面积来衡量。(3)城镇化水平( $urb$ ):以城市年末非农业总人口占城市总人口的比重衡量。(4)人力资本水平( $Hcl$ ):以城市普通高等学校在校学生人数占城市年末总人口数的比重衡量。(5)政府支持程度( $Dgs$ ):以城市地方财政一般预算内支出占地区生产总值的比重衡量。

从环境效应方面来看,选取以下五个控制变量:(1)能源强度( $ene$ ):以各城市消耗的能源总量与实际城市 GDP 的比值来衡量。(2)产业结构( $ind$ ):以城市第二产业与地区生产总值的比值来衡量。(3)人均国内生产总值( $pgdp$ ):以城市生产总值与城市总人口的比值来衡量。(4)研发强度( $R\&D$ ):以城市 R&D 内部经费支出占 GDP 的比重衡量。(5)城镇化水平( $urb$ ):以城市年末非农业总人口与总人口的比值来衡量。

以上变量数据来自《中国城市统计年鉴》《中国区域统计年鉴》《中国能源统计年鉴》,各城市统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报等。为保证样本数据完整性,本文剔除了数据严重缺失的巢湖、毕节、铜仁、三沙、儋州、海东、济源、金昌、河池、日喀则、昌都、林芝、山南、那曲、吐鲁番、哈密等地区数据,最终选择 2003—2019 年中国 281 个地级及以上城市,部分缺失数据采用插值法进行补充。各变量的描述性统计分析情况见表 3 和表 4。

表 3 经济效应各变量描述性统计分析

变量类型	变量名称	含义	样本数量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	$GR$	绿色生产率	4496	1.2592	2.2975	0.0224	105.0948
虚拟变量	$Year$	年份	4496	2012	4.6103	2004	2019
	$Id$	城市	4496	141	81.1262	1	281
解释变量	$DID$	$Treatment_{it} \times Period_{it}$	4496	0.1210	0.3262	0	1
控制变量	$Fdi$	对外开放水平	4496	1.9138	2.0576	0.0002	19.8805
	$ln tf$	交通设施	4496	6.8637	1.0201	0.0000	10.0060
	$ln urb$	城镇化水平	4496	3.3159	0.6212	0.6441	5.6255
	$Hcl$	人力资本水平	4496	1.6413	2.2236	0.0000	14.0007
	$Dgs$	政府支持程度	4496	17.0655	9.8031	4.0486	148.5164

表 4 环境效应各变量描述性统计分析

变量类型	变量名称	含义	样本数量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	ln $c_{die}$	二氧化碳排放强度	4777	11.5125	3.0648	6.7538	25.7391
虚拟变量	Year	年份	4777	2011	4.8995	2003	2019
	Id	城市	4777	141	81.1257	1	281
解释变量	DID	$Treatment_{it} \times Period_{it}$	4777	0.1139	0.3177	0	1
控制变量	lnene	能源强度	4777	6.6724	1.8339	0.5395	14.3058
	lnind	产业结构	4777	4.4495	0.1086	3.9140	4.6052
	lnpgdp	人均地区生产总值	4777	10.2151	0.8387	4.5951	13.0557
	lnR&D	R&D 经费占比	4777	0.5225	1.5005	-9.8356	5.2906
	lnurb	城镇化水平	4777	3.3179	0.6151	0.6441	5.6255

四、实证结果与分析

(一) 平行趋势检验

运用双重差分模型进行检验的一个重要前提是需要满足政策实施前实验组与对照组在时间上具有共同的变动趋势,即满足平行趋势假设。具体来说,在低碳城市政策实施前,实验组与对照组在绿色生产率和二氧化碳排放强度上应该具有相同的变化趋势,即两变量在政策实施前不存在明显差异性。

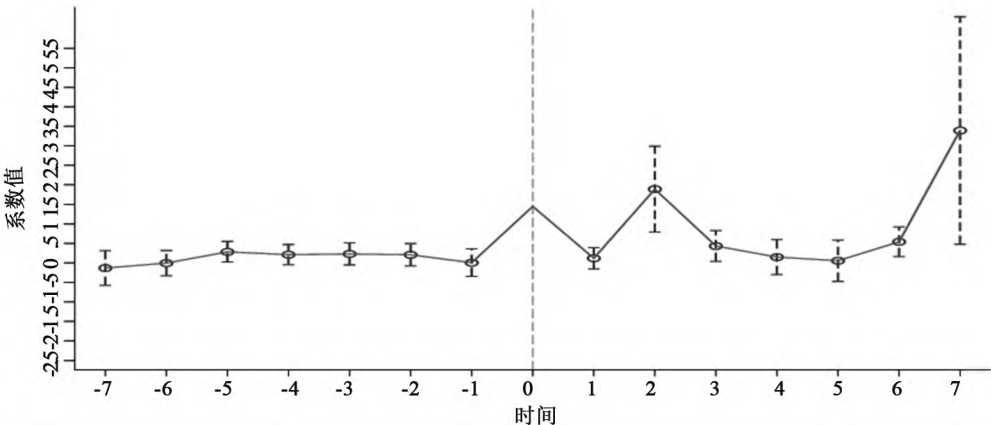


图 1 经济效应平行趋势检验图

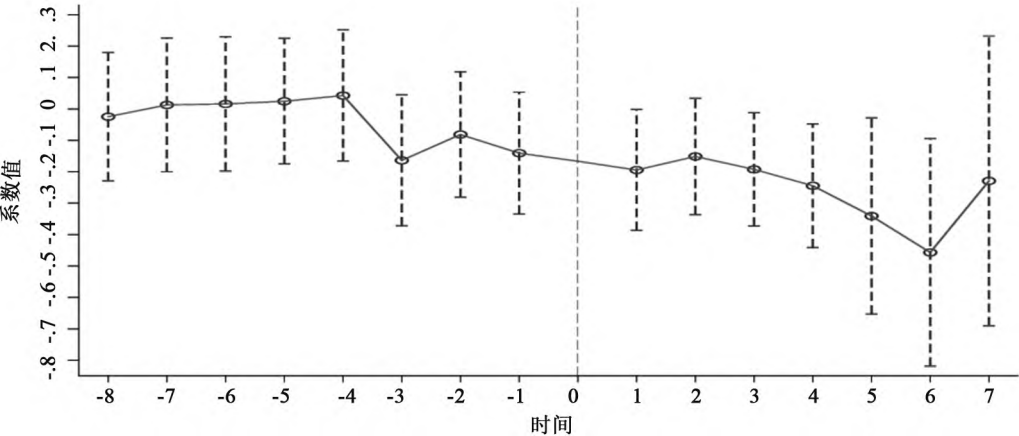


图 2 环境效应平行趋势检验图

为了验证双重差分模型是否适用,在回归模型(1)的基础上加入了政策实施前各时点虚拟变量与低碳城市实验组和对照组虚拟变量的交互项,绘制了如图1和图2的系数走势图。由图1可知,在低碳城市政策实施前的时间段里,系数值在0值附近徘徊,可以说明实验组和对照组城市绿色生产率的变动趋势并无明显差异。但在政策实施后,其系数值大部分较为显著,且在波动中增长,表明低碳城市政策是引起试点城市和非试点城市绿色生产率变化趋势不一致的重要原因,即低碳城市政策显著促进了城市绿色生产率增长。由图2可知,在低碳城市政策实施前,系数值在0值附近徘徊,说明实验组和对照组的城市碳排放强度变化趋势不存在显著性差异。由于本文考虑到政策效果的滞后性,且考虑到第一批试点与第二批试点政策实施时间的紧凑性而实际选取的政策冲击时间为2012年,从平行趋势图中可以看出,二氧化碳排放强度在2010年后明显下降,表明政策实施后的第一年就存在一定的冲击性,政策时效性强。在政策冲击后,系数值持续下降,说明政策实施的负向驱动效果明显,即低碳城市政策显著降低了城市碳排放强度。但是这种增降幅度差异是否确实由低碳城市政策导致的,还需通过实证模型进一步检验。

## (二) 实证分析

低碳城市的绿色发展效应回归结果如表5所示,模型(1)和模型(3)为不加入控制变量的回归结果,模型(2)和模型(4)为加入控制变量的回归结果,所有模型均控制了时间固定效应和城市固定效应。从模型(1)~(4)的回归结果来看,无论是否加入控制变量,核心解释变量DID的系数均在1%的显著性水平上显著。低碳城市政策显著提升了城市绿色生产率,降低了城市碳排放强度,说明低碳城市政策产生了正的绿色发展效应,能显著促进城市绿色发展水平。低碳试点城市在中央和地方政府的共同监督和支持下,可通过降低能源强度、调整产业结构、加大低碳技术创新研发投入、鼓励低碳出行方式等途径促进城市绿色发展,充分发挥政策效应,激发内生动力和活力。本文结论与臧传琴和孙鹏<sup>[4]</sup>、张华<sup>[17]</sup>等以前两批试点城市为研究对象检验的结果相似,但与两位学者的研究不同之处在于,本文选取2003—2019年城市面板数据,将2017年新获批的试点城市加入模型中,并采用多时点双重差分对政策效果进行动态性评估,使估计结果更加全面。

表5 基本回归结果

变量	GR		变量	lncdie	
	(1)	(2)		(3)	(4)
DID	0.5938*** (0.1544)	0.5512*** (0.1436)	DID	-0.0929*** (0.0308)	-0.0836*** (0.0305)
Fdi		-0.0315* (0.0179)	lnene		0.0294*** (0.0102)
lnnf		-0.0682 (0.0790)	lnind		1.4117*** (0.2737)
lnurb		-0.0259* (0.0143)	lnpgdp		-0.1787*** (0.0431)
Hcl		0.0392 (0.0832)	lnR&D		-0.0556*** (0.0120)
Dgs		-0.1503 (0.1340)	lnurb		-0.0608* (0.0313)
常数项	1.1874*** (0.0266)	2.0362*** (0.6967)	常数项	11.5231*** (0.0075)	7.0429*** (0.8394)
时间固定效应	YES	YES	时间固定效应	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	城市固定效应	YES	YES
样本数量	4496	4496	样本数量	4777	4777
R <sup>2</sup>	0.1121	0.1150	R <sup>2</sup>	0.9794	0.9798

注:括号中数值为稳健标准差,\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。下同。

从经济效应的回归结果来看,外商直接投资在10%的显著性水平上显著为负,说明外商直接投资对城市



绿色生产率的提高没有积极作用。虽然外商直接投资可以引进国外先进技术,但大量的外商直接投资多投资于高污染行业,反而增加了污染物的排放,进而降低城市绿色生产率。城镇化率在 10% 的显著性水平上显著为负,表明城镇化率的提高抑制城市绿色生产率的提升,在一定程度上影响地方经济发展。

从环境效应的回归结果来看,能源强度与城市二氧化碳排放强度存在正相关关系,说明能源的使用在一定程度上促进了城市废气排放,增加二氧化碳排放量。尤其是资源禀赋丰富的城市,其煤炭、石油、电力等能源的消耗加剧了城市碳排放。其次,产业结构与城市碳排放强度呈现出正相关关系,说明第二产业占地区生产总值比重越大,城市二氧化碳排放强度越高,因此降低第二产业比重能够更好地促进碳排放强度的下降。从研发强度来看,研发强度与碳排放强度呈负相关关系,说明城市在研发方面投入的费用越多,则该城市的碳排放强度越低。显然,研发促进了技术创新,在一定程度上能减少二氧化碳排放量或提高城市生产总值,进而降低城市碳排放强度。城镇化水平体现出人口因素对于城市碳排放强度的影响,与能源强度等因素相比,其并不是影响城市碳排放的主要因素。最后,人均地区生产总值对城市碳排放具有负向影响,表明我国低碳经济发展趋势较好,在经济发展的同时,碳排放强度也降低了。

### (三) 稳健性检验

#### 1. PSM-DID 检验

考虑到低碳城市试点的选择并非具有随机性,且为进一步提高基准回归结果的准确性,采用 PSM-DID 来研究低碳城市政策的绿色发展效应。倾向得分匹配-双重差分法分为三步:首先,采用 logit 模型分别对经济效应模型中的对外开放水平、交通设施、城镇化水平、人力资本水平、政府支持程度五个协变量和环境效应模型中的能源强度、产业结构、人均地区生产总值、R&D 经费占比、城镇化水平五个协变量进行匹配得分估计,找到与实验组无明显差异的对照组,并采用近邻匹配方法确定权重,施加共同支持条件,最终得出与实验组城市相匹配的对照组城市。然后,对匹配后的试验组与对照组进行平衡性检验,若匹配后的协变量不存在显著差异,则说明匹配成功。最后,将匹配成功的实验组与对照组进行双重差分回归。PSM 平衡性检验结果如表 6 所示,各匹配变量的标准化偏差如图 3 和图 4 所示。从表 6 中可以看出,各协变量的  $t$  值在匹配后均变得不显著,说明匹配后的实验组与对照组无明显差异。从图中可以直观看出,匹配前后各变量的标准差差异显著减小,并处于共同支持范围内。因此,绿色发展效应模型的 PSM 平衡性检验结果符合双重差分模型的共同趋势假设前提,可以进一步进行 DID 检验。

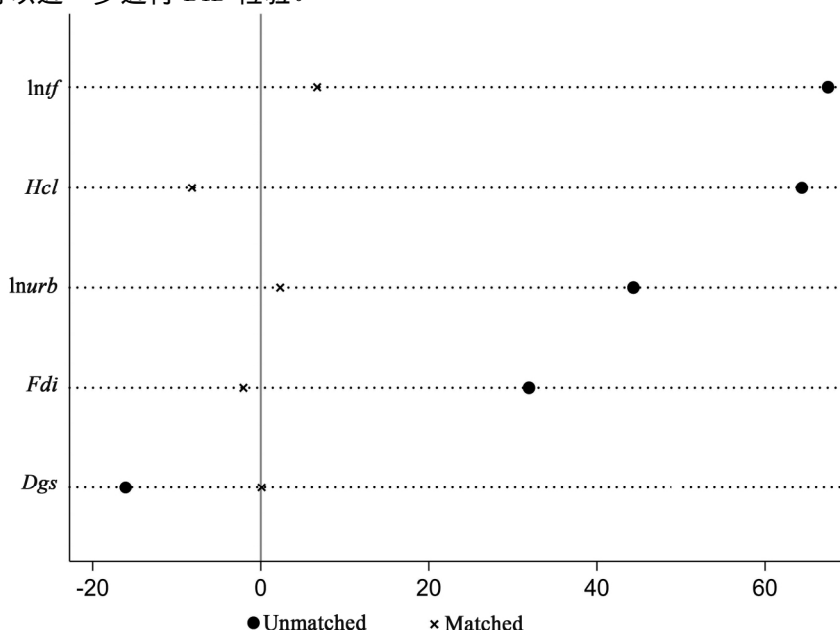


图 3 经济效应各匹配变量的标准化偏差图

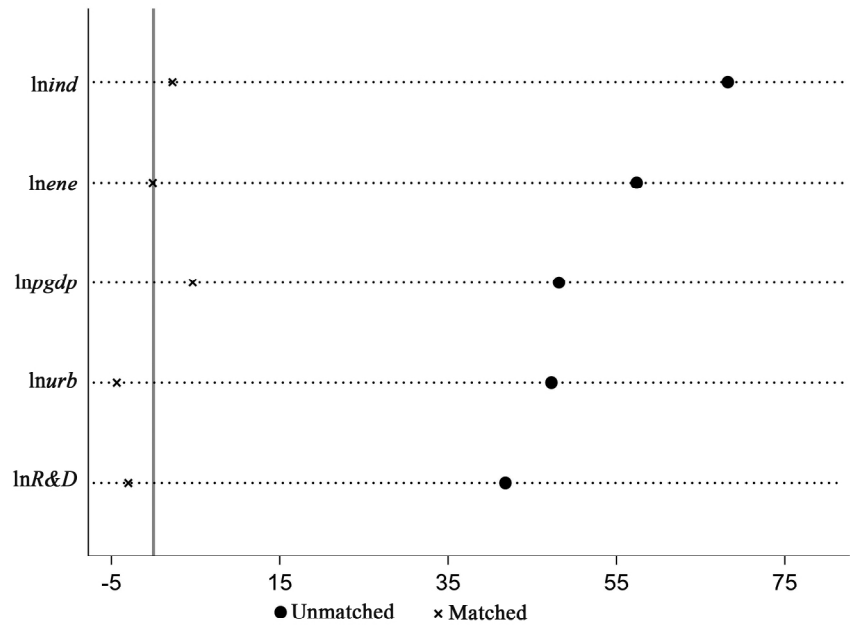


图 4 环境效应各匹配变量的标准化偏差

表 6 PSM 平衡性检验结果

变量	匹配状态	试验组	对照组	t 值	变量	匹配状态	试验组	对照组	t 值
Fdi	前	2.4404	1.7567	0.0000	lnene	前	7.4948	6.4099	0.0000
	后	2.4404	2.4848	0.6586		后	7.4851	7.4676	0.8239
Intf	前	7.3982	6.7106	0.0000	lnind	前	4.5011	4.433	0.0000
	后	7.3982	7.3300	0.1403		后	4.5009	4.4986	0.5473
lnurb	前	3.5197	3.2561	0.0000	lnpgdp	前	10.5200	10.1180	0.0000
	后	3.5197	3.5060	0.5931		后	10.5180	10.5150	0.9472
Hcl	前	2.8014	1.2477	0.0000	lnR&D	前	0.9901	0.3732	0.0000
	后	2.8014	2.9991	0.1336		后	0.9867	1.0384	0.3867
Dgs	前	15.8170	17.2591	0.0000	lnurb	前	3.5298	3.2503	0.0000
	后	15.8170	15.8090	0.9823		后	3.5289	3.5493	0.4172

PSM-DID 模型检验结果如表 7 所示。无论是否加入控制变量,核心解释变量 DID 的系数均在 1%的水平上显著,表明低碳城市政策对提高城市绿色生产率和降低城市二氧化碳排放强度具有显著促进作用,与上文基准回归结果一致,进一步肯定低碳城市政策能显著促进城市绿色发展的结论。

表 7 PSM-DID 模型检验

变量	GR		lnedie	
DID	0.5976*** (0.1562)	0.5513*** (0.1443)	-0.0971*** (0.0293)	-0.0855*** (0.0291)
控制变量	否	是	否	是
常数项	1.1879*** (0.0267)	2.4824*** (0.8093)	11.5235*** (0.0072)	6.5397*** (1.0596)
固定效应	YES	YES	YES	YES
样本数量	4767	4767	4451	4451
R <sup>2</sup>	0.1131	0.1160	0.9791	0.9797

2.其他稳健性检验

除进行 PSM-DID 检验,本文借鉴司春晓等<sup>[24]</sup>、袁航和朱承亮<sup>[25]</sup>的做法,通过剔除直辖市样本①及缩短样

①直辖市样本:北京市、天津市、上海市、重庆市。



本时间跨度<sup>①</sup>的方法做进一步稳健性检验,回归结果如表 8 所示。两项稳健性检验结果均与基准回归结果一致,证明低碳城市政策确实带来了绿色发展效应。

表 8 其他稳健性检验

变量	剔除直辖市样本检验				缩短样本时间跨度检验			
	GR		ln <sub>cdie</sub>		GR		ln <sub>cdie</sub>	
<i>DID</i>	0.5020 *** (0.1527)	0.4629 *** (0.1425)	-0.0867 *** (0.0296)	-0.0773 *** (0.0294)	0.2172 ** (0.1000)	0.2270 ** (0.1040)	-0.1020 *** (0.0237)	-0.0936 *** (0.0233)
控制变量	否	是	否	是	否	是	否	是
常数项	1.1874 *** (0.0269)	1.8829 *** (0.6834)	11.5149 *** (0.0072)	7.1492 *** (1.0727)	1.1574 *** (0.0240)	2.5941 ** (1.2343)	10.6426 *** (0.0070)	7.7983 *** (1.5650)
固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本数量	4432	4432	4709	4709	2810	2810	2810	2810
R <sup>2</sup>	0.1073	0.1096	0.9795	0.9799	0.1413	0.1426	0.8384	0.8417

#### (四) 低碳城市政策的动态效果检验

低碳城市政策的实施可以分为三个阶段,分别是 2010 年 7 月选定的天津市等 8 个城市、2012 年 4 月选定的“8+25”个城市,以及 2017 年 1 月选定的“8+25+34”个城市。本文设置第一阶段的核心解释变量为  $DID_1$ ,政策执行区间为 2010—2011 年;设置第二阶段的核心解释变量为  $DID_2$ ,政策执行区间为 2012—2016 年;设置第三阶段的核心解释变量为  $DID_3$ ,政策执行区间为 2017—2019 年。三个阶段低碳城市政策的效果差异回归结果如表 9 所示。

表 9 三个阶段低碳城市政策的效果差异

变量	GR		ln <sub>cdie</sub>	
$DID_1$	-0.2267 (0.2794)	-0.2303 (0.2695)	0.0485 (0.0585)	0.0434 (0.0571)
$DID_2$	0.0120 (0.1547)	-0.0218 (0.1530)	-0.1190 *** (0.0297)	-0.1127 *** (0.0300)
$DID_3$	1.4203 *** (0.3564)	1.3571 *** (0.3506)	-0.0233 (0.0659)	-0.0092 (0.0651)
控制变量	否	是	否	是
常数项	1.1961 *** (0.0288)	2.0216 *** (0.6851)	11.5174 *** (0.0070)	7.0061 *** (1.0824)
固定效应	YES	YES	YES	YES
样本数量	4496	4496	4777	4777
R <sup>2</sup>	0.1197	0.1221	0.9794	0.9798

从表 9 可以看出,对经济效应而言,第一阶段和第二阶段的绿色生产率提升效果并不明显,实验组和对照组之间并没有显著差异,而在第三阶段上绿色生产率提升效果变得显著,绿色生产率提升了 1.357 1 个单位。该结论表明低碳城市政策的经济效应在三个试验阶段后才整体显现,说明继续扩大低碳城市试点范围有助于实现全国整体经济高质量发展;对环境效应而言,第一阶段和第三阶段政策对二氧化碳排放强度的下降效果并不明显,而第二阶段的下降效果较明显,即三阶段政策效果呈现出从无到有再到无的特征。第一阶段至第二阶段,随着试点城市范围的扩大,成效逐渐明显,而第二阶段至第三阶段,随着试点城市的扩大,效果反而不明显。其中的原因可能在于第三阶段低碳城市政策实施中存在“搭便车”行为,只是个别城市的二氧化碳排

①样本时间跨度缩短为 2008—2017 年。

放强度的降低,不能拉动整体行为,也可能是第三批试点城市于2017年推行,样本期最终为2019年,评估期仅为两年,政策效果还未完全显现。一方面说明低碳城市政策的有效实施需要严格的制度把控,促使所有试点城市共同发力,实现碳减排目标;另一方面,有必要持续关注低碳试点城市碳减排情况,以便科学评估第三批试点城市的政策执行情况。从三个阶段低碳城市政策的效果差异回归结果可以看出,无论是实现经济的高质量发展还是降低碳排放强度,由“点”及“面”的扩大低碳城市试点范围,加大低碳城市建设力度,增强各级政府联合建设的能力是促进城市整体绿色发展,提升绿色发展水平的重要途径。

五、城市异质性检验

(一) 区域异质性分析

为验证低碳城市政策实施的区域异质性效果差异,本文将281个城市划分为东部、中部、西部三大区域。回归结果如表10所示,结果显示低碳城市政策对东部地区的绿色发展效应明显,对中部和西部地区的绿色发展效应不明显。原因可能是:(1)东部地区存在的先天地理优势,无论是经济发展基础、科技水平还是资源禀赋都比中西部地区更具发展优势,因此东部地区能优先从低碳城市政策的实施中获益,促进其经济高质量发展。(2)东部地区高新技术产业与服务业的快速发展使该地区的碳排放强度不断降低,而中、西部地区资源匮乏,是东部地区重污染产业转移的主要地区,重污染产业的发展使中、西部地区的碳排放强度不断升高,减排难度大,导致低碳城市政策难以发挥减排效果。

表 10 区域异质性检验结果

变量	东部		中部		西部	
	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>
DID	0.4040*** (0.1358)	-0.1423*** (0.0397)	0.5349 (0.3590)	-0.0202 (0.0496)	0.7270** (0.2984)	-0.1260 (0.0774)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	1.1191 (0.7830)	4.3116** (1.9231)	3.5126*** (1.3234)	6.3343*** (1.5310)	0.6730 (1.6680)	9.6934*** (2.8713)
固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本数量	1808	1808	1744	1744	944	944
R <sup>2</sup>	0.2388	0.9858	0.1278	0.9818	0.1031	0.9676

(二) 规模异质性分析

为验证不同规模的城市绿色发展水平受政策的影响程度,本文将研究的281个城市划分为小城市、中等城市、大城市、特大城市及超大城市五类<sup>①</sup>,考虑到小城市和中等城市样本量偏少,故不对小城市和中等城市进行分析。回归结果如表11所示,结果表明低碳城市政策对大城市和特大城市的绿色发展具有显著的促进作用,对超大城市的绿色发展没有显著促进作用。这一结果说明城市规模越大,越不利于政策发挥。由于城镇化进程加快,大规模城市的承载压力和容纳压力较大,其必须通过技术创新、合理优化空间资源布局等方式来提升自身竞争力,以应对城市集群带来的难题。这就要求低碳城市政策战略方向应及时转向大规模城市,保证各规模城市均从政策中获益,实现协同并进。

①五类城市根据2014年国务院印发的《关于调整城市规模划分标准的通知》,以城区常住人口数为统计口径进行划分。城区常住人口数小于50万为小城市、大于等于50万小于100万为中等城市、大于等于100万小于500万为大城市、大于等于500万小于1000万为特大城市、大于等于1000万为超大城市。

表 11 规模异质性检验结果

变量	大城市		特大城市		超大城市	
	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>
<i>DID</i>	0.2758 <sup>**</sup> (0.1309)	-0.0651 <sup>*</sup> (0.0386)	0.7419 <sup>**</sup> (0.2980)	-0.1241 <sup>***</sup> (0.0393)	1.2798 <sup>**</sup> (0.5873)	-0.1237 (0.0833)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	1.5465 (0.9491)	7.8821 <sup>***</sup> (1.3363)	1.8728 (1.3740)	6.8447 <sup>***</sup> (1.8312)	3.9725 (4.1761)	6.8613 <sup>*</sup> (3.7505)
固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本数量	2672	2672	1408	1496	240	255
R <sup>2</sup>	0.1028	0.9892	0.1865	0.9894	0.3476	0.9912

### (三) 行政等级异质性分析

为验证不同行政等级的城市绿色发展水平受政策的影响程度, 本文将研究的 281 个城市由高至低划分为直辖市、副省级城市<sup>①</sup>、非副省级省会城市、普通地级市四个等级<sup>[26]</sup>, 考虑到直辖市城市样本较少, 故将直辖市和副省级城市合为一个类别进行分析。回归结果如表 12 所示, 结果显示低碳城市政策对直辖市及副省级城市、非副省级省会城市的经济效应不明显, 对普通地级市的经济效应较明显。原因可能是行政等级高的城市, 人才资源相对丰富, 是经济高质量发展的领头军, 其绿色生产率的提升相对困难, 而行政等级低的城市, 自身资源缺乏, 更容易在政策福利中加速提高自身经济发展水平。低碳城市政策仅对非副省级省会城市的环境驱动效应明显, 而对直辖市及副省级城市、普通地级市的环境驱动效应不明显, 显然这一结果与低碳城市政策实施的降碳目的“背道而驰”, 说明高行政等级城市虽较低行政等级城市拥有较高的权利和资源调配能力, 但未能积极保障低碳政策有效推行, 实现上行下效示范引领作用。

表 12 行政等级异质性检验结果

变量	直辖市及副省级城市		非副省级省会城市		普通地级市	
	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>
<i>DID</i>	0.5011 (0.6570)	0.1068 <sup>*</sup> (0.0566)	0.8448 (0.5506)	-0.1121 <sup>*</sup> (0.0670)	0.2437 <sup>**</sup> (0.1159)	-0.0316 (0.0347)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-0.3275 (8.9949)	-21.9391 <sup>***</sup> (5.9766)	-0.0165 (9.5247)	-14.0192 <sup>**</sup> (6.1581)	1.7278 <sup>***</sup> (0.5283)	8.4400 <sup>***</sup> (1.0940)
固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本数量	304	323	416	442	3776	4012
R <sup>2</sup>	0.4264	0.9974	0.2537	0.9905	0.0997	0.9788

### (四) 创新水平异质性

为验证不同创新水平的城市绿色发展水平受政策的影响程度, 采用北京大学企业大数据研究中心编制的中国区域创新创业指数( IRIEC) 衡量城市创新水平, 按照年度均值将样本分为高创新水平城市 and 低创新水平城市两部分并进行 DID 回归分析, 回归结果如表 13 所示。结果显示, 低碳城市政策对高创新水平城市的绿色发展具有显著的促进作用, 对低创新水平城市的绿色发展没有显著促进作用。可能有两个原因: 一是高创新水平城市创新能力强, 拥有先进的生产技术, 低碳城市政策的实施并不会影响其绿色生产率的提升, 而低

①副省级城市包括: 沈阳市、长春市、哈尔滨市、南京市、武汉市、广州市、济南市、杭州市、西安市、成都市、深圳市、厦门市、宁波市、青岛市、大连市。

创新水平城市创新能力较差,受低碳政策影响较大,从而影响城市绿色生产率的提升。二是创新水平高的城市多数为直辖市、省会城市,其自身技术创新优势更有利于发挥低碳政策的降碳效应,而创新指数低的城市创新人才紧缺,资源匮乏,创新能力较弱很难落实低碳政策,实现降碳目的。

表 13 创新水平异质性检验结果

变量	高创新水平		低创新水平	
	GR	ln <sub>cdie</sub>	GR	ln <sub>cdie</sub>
<i>DID</i>	0.4158 <sup>*</sup> ( 0.2216)	-0.1041 <sup>**</sup> ( 0.0431)	0.6656 <sup>***</sup> ( 0.1894)	-0.0566 ( 0.0399)
控制变量	YES	YES	YES	YES
常数项	3.4996 <sup>**</sup> ( 1.3944)	7.6998 <sup>***</sup> ( 1.5801)	1.5473 ( 0.9442)	6.2512 <sup>***</sup> ( 1.4868)
固定效应	YES	YES	YES	YES
样本数量	1824	1929	2672	2839
R <sup>2</sup>	0.1228	0.9790	0.1229	0.9798

## 六、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

本文将低碳城市政策作为一项准自然实验,基于 2003—2019 年城市面板数据,采用多时点双重差分模型评估低碳城市政策的绿色发展效应。研究发现:

第一,低碳城市政策显著提升了城市绿色生产率并同时降低了城市碳排放强度,这一结果经过 PSM-DID 检验、剔除直辖市样本和缩短样本时间跨度等稳健性检验后依然成立,表明低碳城市政策的实施显著提升了城市绿色发展水平。

第二,从政策的动态效果看,对经济效应而言,当试点城市从第一批的 8 个城市扩大到第三批 67 个城市后,低碳城市政策的经济效应才显现出来,继续扩大试点范围有利于释放政策的经济效应;对环境效应而言,随着试点城市范围的扩大,政策效果从明显转为不明显,说明政策实施中部分城市存在“搭便车”行为。

第三,低碳城市政策的实施对绿色发展水平的提升作用存在异质性。这主要体现在:分地区异质,对比中西部地区,东部地区的城市绿色发展水平有显著提升;分城市规模异质,对比超大城市,大城市和特大城市对城市绿色发展水平的影响更为显著;分城市行政等级异质,行政等级高的城市,政策实施的经济效应较明显,环境效应不明显;而行政等级低的城市,低碳政策实施的经济效应不明显,环境效应较明显;分城市创新能力异质,对比低创新指数城市,高创新指数城市对绿色发展水平的影响更显著。

### (二) 政策建议

为进一步推进低碳城市建设,提升绿色发展水平,基于以上研究结论,提出以下政策建议:

第一,在“双碳”约束下,由“点”及“面”地推进非试点城市进入低碳试点城市建设中。低碳城市政策的实施能够提升试点城市绿色发展水平,对实现环境保护和经济高质量发展的“双赢”格局具有积极作用。因此政府应该进一步扩大试点城市范围,加大该政策的推行力度。

第二,低碳城市政策实施中应进一步加强政府监管力度。通过对低碳城市政策动态效果分析,可以看出部分低碳城市在碳减排过程中存在“搭便车”现象,同时低碳城市政策具有弱环境规制性,因此政府部门应采取更为严格的监管措施,密切监督试点城市碳减排执行情况,以保证低碳城市政策得以落实。

第三,因地制宜的推进低碳城市建设。政府应加大对中西部地区、超大规模城市和低行政等级城市的低碳建设扶持力度,加大绿色低碳技术的研发投入,以创新驱动引领城市绿色发展,从而保障“双碳”目标的实现。

## 参考文献:

- [1]关宇航,师一帅,李莉.低碳城市政策提升企业全要素生产率了吗:基于高质量发展要求的审视[J].海南大学学报(人文社会科学版),2021,39(6):149-158.
- [2]赵振智,程振,吕德胜.国家低碳战略提高了企业全要素生产率吗:基于低碳城市试点的准自然实验[J].产业经济研究,2021(6):101-115.
- [3]韦东明,顾乃华.城市低碳治理与绿色经济增长:基于低碳城市试点政策的准自然实验[J].当代经济科学,2021,43(4):90-103.
- [4]臧传琴,孙鹏.低碳城市建设促进了地方绿色发展吗:来自准自然实验的经验证据[J].财贸研究,2021,32(10):27-40.
- [5]王巧,余硕.城市异质性视角下中国低碳试点政策的绿色增长效应评估[J].软科学,2020,34(9):1-8.
- [6]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.
- [7]熊广勤,石大千,李美娜.低碳城市试点对企业绿色技术创新的影响[J].科研管理,2020,41(12):93-102.
- [8]宋德勇,李项佑,李超,等.中国低碳城市建设的创新驱动效应评估:兼论多重嵌套试点示范机制的完善[J].科技进步与对策,2020,37(22):28-37.
- [9]逯进,王晓飞.低碳试点政策对中国城市技术创新的影响:基于低碳城市试点的准自然实验研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2019,19(6):128-141.
- [10]胡求光,马劲韬.低碳城市试点政策对绿色技术创新效率的影响研究:基于创新价值链视角的实证检验[J].社会科学,2022(1):62-72.
- [11]WOLFF H. Keep your clunker in the suburb: low-emission zones and adoption of green vehicles[J]. Economic Journal, 2014, 124(578):481-512.
- [12]GEHRSTZ M. The effect of low emission zones on air pollution and infant health [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 83(5):121-144.
- [13]陈启斐,王双徐.发展服务业能否改善空气质量?来自低碳试点城市的证据[J].经济学报,2021,8(1):189-215.
- [14]王华星,石大千.新型城镇化有助于缓解雾霾污染吗:来自低碳城市建设的经验证据[J].山西财经大学学报,2019,41(10):15-27.
- [15]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.
- [16]YANG B W, LIU L P, YIN Y H. Will China's low-carbon policy balance emission reduction and economic development? Evidence from two provinces [J]. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 2021, 13(1):78-80.
- [17]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.
- [18]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.
- [19]余奕杉,卫平.中国城市绿色全要素生产率测度研究[J].生态经济,2021,37(3):43-52.
- [20]刘常青,李磊,卫平.中国地级及以上城市资本存量测度[J].城市问题,2017(10):67-72.
- [21]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.
- [22]石龙宇,孙静.中国城市低碳发展水平评估方法研究[J].生态学报,2018,38(15):5461-5472.
- [23]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.
- [24]司春晓,孙诗怡,罗长远.自贸区的外资创造和外资转移效应:基于倾向得分匹配-双重差分法(PSM-DID)的研究[J].世界经济研究,2021(5):9-23,134.
- [25]袁航,朱承亮.智慧城市是否加速了城市创新?[J].中国软科学,2020(12):75-83.
- [26]石磊.地方政府双重目标管理与环境污染:基于中国城市数据的经验研究[J].财经理论与实践,2022,43(1):104-113.

(下转第38页)

## Does Export Tax Rebate Rate Increase Restrain Industry Green Total Factor Productivity?

CHEN Fang , CHEN Qun

( School of Economics , Anhui University , Hefei 230601 , China )

**Abstract:** As an important trade policy of China , export tax rebate is an effective measure to curb the export of the products of high energy consumption and high emission. Based on the panel data of 35 China industries from 2003 to 2015 and the industry green total factor productivity calculated by SBM directional distance function , the action effect and action mechanism of export tax rebate policy on green development are tested by adopting DID model and PSM-DID method and taking the substantial adjustment of the export tax rebate policy in 2008 as the exogenous impact variable. The results show that the export tax rebate policy has a significant inhibitory effect on industry green development level , and the action mechanism indicates that the export tax rebate policy inhibits industry green development level by affecting the “energy saving” and “emission reduction” effects; and that there exists obvious industry heterogeneity in policy inhibition. Accordingly , it is suggested to set up differentiated export tax rebate policies , further optimize tax rate formulation and tax item structure speed up the process of industry optimization so as to promote the rational flow of resources and strengthen the examination and approval management of export tax rebate.

**Key words:** export tax rebate; green total factor productivity; difference-in-differences; SBM

( 责任编辑 刘 远 )

( 上接第 27 页 )

## Policy Evaluation and Heterogeneity Research of Low Carbon Cities under the Background of “Double Carbon”: Multi-time Point DID Analysis Based on Quasi Natural Experiment

GUAN Hua<sup>1</sup> , LIU Ke<sup>2</sup>

( 1. Editorial Department of Economics and Management , Hebei University of Economics and Business , Shijiazhuang 050061 , China; 2. Economic Research Institute , Hebei University of Economics and Business , Shijiazhuang 050061 , China )

**Abstract:** The construction of low-carbon cities plays a positive role in promoting the realization of the “double carbon” goal. Based on the panel data of 281 China cities at prefecture level and above from 2003 to 2019 and by adopting the multi-time point double difference model , this research evaluates the policy of low-carbon cities and their policy implementation effect from the perspective of heterogeneity. The results show that: The implementation of low-carbon city policy has brought about green development effect; The green development effect is not sustainable from the dynamic effect; The low-carbon city policy has more obvious green development effect on eastern region cities , super large-scale cities and high innovation index cities , but has no obvious green development effect on the cities of different administrative levels. Therefore , it is necessary to further expand the pilot low-carbon cities , strengthen government supervision , and promote the construction of low-carbon cities according to the local conditions.

**Key words:** low carbon city; policy evaluation; multi-time point double difference; heterogeneity

( 责任编辑 李延太 )