

中国低碳试点政策实施效果评估

任亚运 程芳芳 傅京燕*

摘要:为应对全球气候变化,中国作出了一系列碳减排承诺并出台系列低碳政策措施,其中低碳试点政策是非常重要的一项针对性政策,其政策有效性事关中国低碳减排承诺能否顺利实现。故本文选择2008–2015年省级面板数据,利用双重差分模型评估低碳试点政策的效果,结果显示我国低碳试点政策显著降低了二氧化碳排放量和排放强度。为进一步排除其他政策对低碳试点政策有效性的干扰,本文做了一系列稳健性检验,均验证了研究结果的可靠性。根据研究结果,本文从将低碳试点政策在全国范围内推广、积极探索低碳控排新技术、建立控制温室气体排放目标考核制度三个层面给出具体的政策建议。

关键词:碳排放;低碳试点政策;双重差分

一、引言

随着工业化和城镇化进程的不断推进,人类活动以及不断上涨的能源需求导致二氧化碳排放不断增加,碳减排已经成为应对气候变化不可逆转的趋势。据2018年“全球碳项目”发布的《2018年全球碳预算报告》指出,能源消费带来的化石燃料排放量连续两年攀升,其中2017年全球化石燃料燃烧导致的二氧化碳总排放量中中国占比27%,远超美国10%和欧盟5%的比例。从人均碳排放量的角度来看,全球人均排放水平为4.8tCO₂(人·年),中国人均碳排放量为7tCO₂(人·年),美国为16.2tCO₂(人·年),欧盟为7.1tCO₂(人·年),由此可知中国人均碳排放虽然低于美国和欧盟,但仍高于全球平均水平。在碳减排要求日益严格以及节能减排成为能源需求主旋律的背景下,中国碳排放压力日益增加。

*任亚运,暨南大学经济学院,邮政编码:510632,电子信箱:renyayun@sina.com;程芳芳(通讯作者),暨南大学经济学院,邮政编码:510632,电子信箱:695508403@qq.com;傅京燕,暨南大学经济学院,暨南大学绿色与低碳发展研究院,邮政编码:510632,电子信箱:fuan2@163.com。

本文系国家社会科学基金项目“高质量发展视角下经济增长与环境保护的联动机制及共融模式”(19BJY079)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议,文责自负。

由化石能源消费产生的大量二氧化碳,加剧了以气候变暖为特征的全球气候变化,并导致一系列气候连锁反应,控制碳排放成为全球的一致。作为全球性问题,碳减排需要国际各缔约方在《联合国气候变化框架公约》下携手应对,中国作为世界经济主要贡献者,也是遭受气候变化不利影响最为严重的国家之一。因此为积极应对气候变化,努力控制温室气体排放,履行《巴黎协定》,中国承诺将在2030年左右达到碳排放峰值,单位国内生产总值碳排放强度相对于2005年下降60%~65%,并在2030年前将非化石能源占一次能源消耗的比重提高到20%。为应对全球气候变化,中国在2009年国民经济和社会发展规划中明确提出要在“2020年单位国内生产总值二氧化碳比2005年下降40%~45%”,随后也出台了一系列诸如《“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》《碳排放权交易管理暂行办法》等低碳政策,这反映出中国为应对气候变化所作出的努力。

在诸多低碳政策措施中,低碳试点政策是专门为控制碳排放提出的政策约束,对后续的碳排放交易机制、绿色发展等产生了重要的影响。2010年11月国务院提出2020年控制温室气体排放行动目标后,各地纷纷主动采取行动落实中央决策部署。根据地方申报情况,统筹考虑各地的工作基础和试点布局的代表性,经沟通和研究,2010年7月,国家发展和改革委员会确定首先在广东、辽宁、湖北、陕西、云南五省和天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定八市开展低碳试点工作。然而,Unearthed网站根据中国官方数据的分析显示,2018年上半年中国碳排放量增加了3%,在此之前中国碳排放虽经过几年的下滑,但2017年再次增长2%^①。因此,在大力倡导节能减排、控碳减碳等背景下,低碳试点政策是否有效值得评估,该研究对我国今后的碳减排工作以及实现国际减碳承诺具有重要的现实意义和参考价值。

二、文献回顾

碳排放关系到全球气候变化问题,低碳研究已受到诸多学者的重视,根据研究视角的不同,现有研究大致存在三种主题:

首先是低碳与经济增长。如:刘竹等(2011)以首批低碳试点省份为研究对象,对其经济增长与二氧化碳排放关系的脱钩进行了分析,研究发现试点省份在1995-2008年间经济增长与碳排放均呈现“弱脱钩”态势。刘洁和李文(2011)从碳税视角研究发现短期内征收碳税会抑制经济增长,降低社会经济总量,但随着碳税体制不断完善,对经济增长的负面效应将逐渐减弱。时佳瑞等(2015)基于可计算一般均衡模型引入碳交易机制模块,研究发现碳交易机制能有效地降低碳排放,促进中国节能减排进程,但同时也会对经济发展产生一定的负面冲击,Bouznit和Pablo-Romero(2016)则认为如果经济继续增长,CO₂排放量将反弹增加。刘海英和

^①数据来源:<http://www.tanjiaoyi.com/article-24868-1.html>。

王钰(2019)利用空间相关模型与空间溢出模型研究发现,在用能权与碳排放权同时可交易的环境政策组合下,CO₂排放量显著下降,而且还体现出最佳的经济红利效应。Wang等(2016)从城市化的角度研究碳排放与经济增长的关系,发现城市化与碳排放之间存在长期均衡协整关系,城市化加剧了二氧化碳排放。

其次是低碳与能源消费。邵帅等(2010)以上海市工业分行业能源终端消费的二氧化碳排放量为目标,研究发现煤炭消费比重越高碳排放规模和碳排放强度越高,但是高强度的技术研发和高效率的能源利用对碳排放规模和强度均表现出显著的抑制作用。Appiah(2018)基于一定的研究假设研究加纳地区的能源消耗和二氧化碳排放之间的相互影响,结果表明该地区的能源消耗和二氧化碳排放之间存在格兰杰因果关系,且因果关系是双向的。其他学者也得出类似结果(Hwang & Yoo, 2014; Mirza & Kanwal, 2017)。Pereira, A. M.和R. M. Pereira(2017)认为提高能源效率可减少二氧化碳排放并产生积极的经济效应,但会增加公共支出和外债。Dogan和Seker(2016)的研究发现可再生能源可以减少碳排放,而不可再生能源增加了二氧化碳排放,并支持EKC假设。Cruz和Dias(2016)则认为经济体主要通过能源密集型结构转型和提高能源利用效率降低总能耗和碳排放。

再次是低碳与空间溢出。付云鹏等(2015)、刘佳骏等(2015)均基于空间计量模型,利用中国省份面板数据研究了碳排放强度的空间效应,都发现了中国省份碳排放强度具有较高的空间相关性。赵巧芝等(2018)同样通过对中国2000-2015年30个省份碳集聚特征进行测度,发现中国省份碳排放强度呈现高水平集中、低水平集聚的空间溢出效应。Zhang等(2018)则基于引力模型将空间因素纳入考量范围,利用中国2005-2014年省份数据检验了中国二氧化碳排放的重心在区域水平上的运动轨迹。何文举等(2019)研究也发现中国各个省域的碳排放存在着空间集聚效应,且东部地区的碳排放明显高于西部地区。

最后是关于低碳政策效果评估的相关研究。刘天乐和王宇飞(2019)对低碳城市试点政策落实的问题及其对策进行了定性分析。庄贵阳(2020)同样从定性角度基于过程理论、央地关系视角构建了中国低碳城市政策“试点-扩散”机制与政府行为的分析框架。宋弘等(2019)以“低碳城市”建设试点政策为切入点,主要从定量角度实证检验了政府环境治理的空气污染防治效应。逯进等(2020)同样从定量角度对低碳城市试点产业结构升级效应进行了实证检验、评估。当然,也有部分学者直接对低碳试点政策的碳排放效应进行了检验,譬如邓荣荣和詹晶(2017)、周迪等(2019)都分别基于城市层面数据实证检验了低碳试点政策对碳排放绩效的影响。

通过以上文献梳理发现:一方面,以往学者已经在碳排放与经济增长、能源消费等的相互关系,以及其在空间溢出方面的研究上取得了丰硕的成果。另一方面,近年来也有部分学者更加聚焦地针对中国的低碳试点政策进行了具体剖析,其中包含了针对政策设计及运行机制

的定性分析以及政策效应量化评估的定量分析。但通过梳理后发现,在专门的低碳政策效应评估方面,定性分析已相对较为成熟,定量分析上也已有学者对其空气污染效应、产业结构影响等方面进行了研究,但在这些协同效应研究之前针对直接政策标的物碳排放的研究仍是重要的一环。虽然近年来也有少部分学者基于城市层面数据对低碳试点政策的碳排放效应进行了直接评估,但鉴于城市层面能源种类相关数据较为缺乏,个体直接以标准煤折算出的碳排放数据用于相关政策的专门评估可能在精度方面略有欠缺。因此本文选择基于中国碳排放数据库(CEADs)的碳排放数据,以直观的政策标的物即碳排放作为研究目标,选择双重差分计量模型对中国低碳试点政策进行量化评估,以期为今后对低碳试点政策进行其他协同减排、健康等效应的研究提供有效性前提。

三、模型设定与数据说明

(一)模型设定

本文将中国的低碳试点政策视为一次准自然实验,由于城市层面碳排放数据无法直接获得,且城市层面能源种类相关数据较为粗糙,测算结果用于专门的政策评估可能会产生偏差,故本文碳排放相关指标以CEADs碳排放数据库官方测算数据来进行衡量。鉴于该碳排放数据为省级层面数据,本文将广东、辽宁、湖北、陕西、云南五省和天津及重庆两个直辖市视为实验组,深圳特区属于广东省,故自然被包含在实验组,厦门、杭州、南昌、贵阳、保定分别为各省的一个城市,排放体量占比很小,故本文暂时将其与各自省份一并视为控制组。

对于政策冲击时间的确定,因为第一批低碳省区和低碳城市试点工作的通知是在2010年7月公布,但当时试点省、市的工作重心是低碳发展规划的编制、低碳绿色发展的配套政策的制定、以低碳排放为特征的产业体系的建立等准备工作,因此本文将2011年设置为时间节点,即2008-2010年为政策未实施期,2011-2015年为政策实施期。基于上述设定,借鉴任亚运和傅京燕(2019)的研究方法,本文构建双重差分模型如下:

$$CE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 post_t + \alpha_2 treat_i + \alpha_3 (treat_i \times post_t) + \lambda_i + \gamma_t + \mu_{it} \quad (1)$$

$$CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 post_t + \beta_2 treat_i + \beta_3 (treat_i \times post_t) + \delta_i + \zeta_t + \xi_{it} \quad (2)$$

其中 CE_{it} 指代二氧化碳排放量, CI_{it} 为碳排放强度, i, t 分别表示地区和时间; $treat_i$ 代表实验组虚拟变量, $treat_i = 1$ 表示地区 i 属于实验组, $treat_i = 0$ 表示 i 地区属于控制组; $post_t$ 代表实验期虚拟变量, $post_t = 1$ 表示 t 时期实施了低碳试点政策, $post_t = 0$ 表示 t 时期没有实施低碳试点政策; λ_i 、 δ_i 为个体固定效应, γ_t 、 ζ_t 为时间固定效应, μ_{it} 、 ξ_{it} 为扰动项。方程(1)和(2)的系数 α_3 和 β_3 是本文所关注的政策效果。

基础双重差分模型(1)、(2)在一定程度上可以解决样本选择偏误导致的偏差估计问题,但是,由于影响被解释变量的因素有很多,会存在遗漏重要变量导致估计结果不一致的可

能。为此,本文在上述模型的基础上增加一系列控制变量,见模型(3)和(4):

$$CE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 post + \alpha_2 treat + \alpha_3 (treat_i \times post_t) + \sum \alpha_j control_{jit} + \lambda_i + \gamma_t + \mu_{it} \quad (3)$$

$$CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 post + \beta_2 treat + \beta_3 (treat_i \times post_t) + \sum \beta_j control_{jit} + \delta_i + \zeta_t + \xi_{it} \quad (4)$$

其中, $control_{jit}$ 分别代表平减后人均GDP、FDI占比、产业结构、废气治理投资占比、要素禀赋结构、能源结构、能源效率等,其他变量的含义跟前文保持一致,具体指标衡量如下:

首先,被解释变量包括:(1) CE 代表碳排放量,用CEADs碳排放数据库测算的各省份及直辖市结果指代;(2) CI 代表碳排放强度,用单位生产总值的二氧化碳排放量度量,即碳排放量与国内生产总值的比值。

其次,控制变量共有7个:(1) $rjgdp$ 代表经济发展水平,用人均国内生产总值表示。不同的经济发展阶段,各地区承担的碳减排责任不同,因此经济发展与碳排放之间存在密切的联系。(2) $fdir$ 代表FDI占比,用实际利用外商投资额占国内生产总值之比进行表征。促进碳减排除了适度的政策之外,技术创新也是一个重要的推动因素,而技术引进主要是以外商直接投资的形式实现的(任亚运、傅京燕,2019),故将与技术引进相关因素纳入控制变量范畴。(3) str 代表产业结构,用第二产业产值占国内生产总值的百分比衡量。目前我国产业结构处在转型调整期,产业结构调整的力度越大,碳排放减少幅度也越大(张捷、赵秀娟,2015),因此将产业结构变量作为控制变量引入模型中。(4) eg 代表环境治理情况,用废气治理费用占国内生产总值的比例度量。碳减排属于环境治理范畴,考虑到大气环境污染的同根同源性,环境规制是影响碳排放重要的因素变量,因此将环境治理变量放入控制变量中,提高回归结果精确度。(5) fes 代表要素禀赋结构,刘婕和魏玮(2014)认为资源要素禀赋与碳减排效率之间存在相关关系,本文用固定资本存量对年末总人数的占比衡量。(6) es 代表能源结构,用化石能源消耗占总能源比例表示。(7) ee 代表能源效率,用单位能耗产值即国内生产总值与能源消费量比值度量。

(二)数据来源与说明

为了得到相对干净的样本,考虑到2008年金融危机的经济波动节点,本文将起始年份设为2008年。为保证数据样本的一致性,由于CEADs官方数据库公布的碳排放最新数据截止到2015年,因此本文将数据样本限定在2008–2015年。另外,西藏和港澳台地区的关键变量缺失严重,将其从样本数据中剔除,选择除西藏和港澳台地区之外的30个省份(直辖市)作为研究样本。相关指标的具体来源如下:国内生产总值、外商直接投资额来自历年《中国统计年鉴》;年末总人数来自各省级行政区历年统计年鉴;环境治理投资额来自历年《中国环境统计年鉴》及《中国环境年鉴》;能源投入(能源消费量)来自《中国能源统计年鉴》;物质资本存量数据来自中国人力资本与劳动经济研究中心;CO₂排放量来自于中国碳排放数据库(CEADs)。本文对以金额为单位的相关原始数据都进行了以2000年为基期的价格平减,为减缓异方差

问题,本文对非虚拟变量进行了对数化处理。变量的描述性统计分析见表1。

表1 变量描述性统计

变量	样本	平均值	标准差	最小值	最大值
$\ln CE$	240	5.5313	0.7627	3.4695	7.3473
$\ln CI$	240	-3.5311	0.7321	-5.2743	-1.5528
$\ln rjgdp$	240	0.8836	0.5111	-0.4797	2.0882
$\ln fdir$	240	0.5944	1.0021	-5.0108	2.4673
$\ln str$	240	3.8464	0.2043	2.9826	4.1190
$\ln eg$	240	-2.8112	0.9593	-7.2962	-0.2249
$\ln fes$	240	1.5053	0.6505	-0.1199	2.9960
$\ln es$	240	4.4508	0.0880	4.0366	4.5618
$\ln ee$	240	-0.2531	0.4972	-1.6178	0.5375

四、实证结果及分析

政策效应评估最常用的方法就是双重差分法,因为政策相对于经济主体而言一般是外生的,可以尽量避免逆向因果问题。此外,使用固定效应估计一定程度上也缓解了遗漏变量偏误问题,可以很大程度上避免内生性问题的困扰。但是,该方法在使用时有本身的假设或前提条件,即处理组和对照组在政策实施之前必须具有共同的变化趋势。本文首先对实验组和非实验组二氧化碳平均排放量的平行趋势进行检验,检验结果见图1,结果显示2011年政策实施之前实验组和控制组的二氧化碳排放量走势基本一致,基本满足双重差分模型的应用假设。

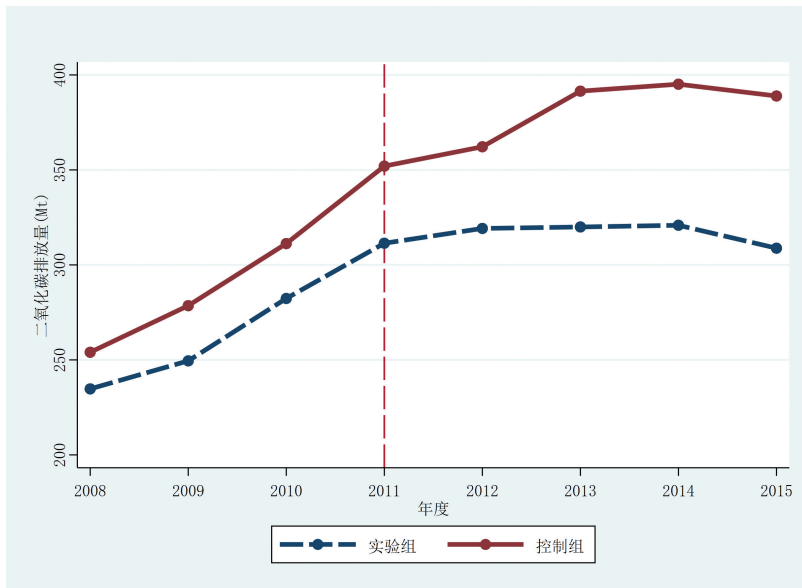


图1 二氧化碳排放量的平行趋势检验结果

在验证二氧化碳排放量满足平行趋势检验的基础上,本文利用双重差分法评估低碳试点政策效果。为了尽可能降低回归估计偏误问题,实现结果之间的有效对比,本文依次选择不加控制变量仅控制时间效应、引入控制变量并仅控制时间效应、引入控制变量并控制时间效应和个体效应的双向固定效应模型进行估计。

表2为低碳试点政策对碳排放量以及碳排放强度的影响回归结果。模型(1)和(4)是不包含任何控制变量的基准模型,但控制了时间效应。模型(2)和模型(5)为增加了人均GDP、外商直接投资占比、产业结构、废气治理投入、要素禀赋结构、能源结构以及能源效率控制变量,并控制了时间效应。模型(3)和模型(6)为引入控制变量并在控制时间效应的基础上再次控制个体效应的模型。本文只以第(3)和第(6)列为例进行结果解读。

表2 主回归结果

变量	ln CE			ln CI		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>treat × post</i>	-0.036 (-0.28)	-0.129*** (-3.73)	-0.124*** (-3.75)	-0.386*** (-3.29)	-0.140*** (-3.30)	-0.155*** (-3.93)
ln rjgdp		0.519*** (3.40)	0.404*** (2.91)		-0.283** (-1.98)	-0.095 (-0.62)
ln fdir		0.041** (2.22)	0.045** (2.23)		0.036 (1.51)	0.047** (2.29)
ln str		-0.020 (-0.09)	-0.092 (-0.38)		-0.003 (-0.01)	-0.164 (-0.68)
ln eg		-0.034* (-1.72)	-0.035* (-1.82)		-0.031* (-1.68)	-0.031 (-1.63)
ln fes		0.133 (1.50)	0.262*** (2.95)		0.192** (2.00)	0.282*** (3.05)
ln es		1.523*** (2.98)	1.366*** (2.88)		1.639*** (3.16)	1.428*** (2.92)
ln ee		-0.759*** (-4.22)	-0.866*** (-4.31)		-1.002*** (-5.31)	-0.837*** (-3.92)
控制变量	否	是	是	否	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
个体固定	否	否	是	否	否	是
观测值	240	240	240	240	240	240
R ²	0.033	0.760	0.763	0.061	0.716	0.724

注:(1)***,**, *分别表示在1%,5%和10%水平上显著;(2)括号中为t统计量。下表同。

由第(3)列可知,本文最为关心的核心解释变量交互项的回归系数在1%水平上显著为负,这表明中国低碳试点政策实施后显著降低了试点地区的二氧化碳排放量。由第(6)列可知,本文最为关心的核心解释变量交互项的回归系数同样在1%水平上显著为负,这表明中国

低碳试点政策实施后显著抑制了试点地区的碳排放强度。正如宋弘等(2019)所言,原因可能在于:一是低碳试点政策引致的低碳技术在诸如道路交通、非道路交通、电力热力以及能源工业等主要碳排放部门的应用大幅度降低了二氧化碳排放量,绿色低耗能环保产业的引进、清洁能源的利用、清洁型生产方式、绿色循环产业的推动以及低碳生活方式的宣传等都在一定程度上对碳减排起到促进作用。二是低碳试点政策可以促进产业结构调整。新常态下的减碳控制,产业结构优化是关键。试点地区的碳减排压力转化为低碳技术进步和产业结构升级的动力,促进碳减排技术产业化,使产业结构向有利于节能减排的方向调整,促进传统产业升级、新兴产业快速发展,注重清洁型产业低碳、高效和可持续发展,最终抑制碳排放。三是低碳试点政策能够优化能源结构。低碳试点政策可以通过合理调整能源消费结构、大力倡导清洁无烟煤等清洁项目以优化燃煤,适时进行煤改气改革,充分利用光能、风能等清洁能源发电和开发清洁能源,提高能源利用率等,以推动碳减排实现国际减排承诺。

五、稳健性检验

为检验主回归结果,本文进一步从PSM-DID稳健性检验、动态DID、横向去除碳交易政策后年份、纵向去除碳交易政策试点、纵向去除第二批和第三批低碳试点地区、安慰剂检验等形式对实证结果的稳健性进行验证。

(一)PSM-DID检验

虽然前文图1可以在一定程度上表明实验组和控制组的平行趋势假设基本得到满足,但更加严谨的处理和检验仍然必要。为此,本部分采用倾向得分匹配双重差分法(PSM-DID)进行稳健性检验,思路为在实验组和控制组中通过协变量进行匹配、筛选,分别选出两组中特征变量相似的地区,再次进行双重差分过程。具体做法为选择政策前即2011年以前样本数据,以和碳排放高度相关的可能影响到是否进入低碳试点组的相关变量,如:平减后人均GDP、产业结构、能源结构、对外开放度(ow)^①为协变量进行卡尺1:4匹配,从实验组和控制组中选出更加平衡的样本。匹配之后的新样本平衡性检验结果见表3。结果显示各变量匹配后偏差都小于10,且t统计量都不显著,即接受实验组与控制组无系统差异的原假设,表明这一匹配结果是有效的,适合采用双重差分倾向性得分匹配法来进行估计。

图2为PSM后协变量偏差图,●代表未PSM前实验组和控制组的差异度,×代表匹配后的差异度,结果显示匹配后变量的标准化偏差缩小了,均小于等于10%。图3为PSM后共同区间范围图,由图可以直观地看出倾向得分匹配之后的大部分观测值落在了共同取值范围内,落在非共同取值范围内的观测值在回归估计时会被剔除,虽然损失了一定的样本量,但保

^①用出口额占国内生产总值之比表示。

证了待估计系数的准确性,这些结果均可以说明上述PSM处理的数据适合进行双重差分实证检验。

表3 PSM有效性检验

变量		均值		偏差	偏差减少比例	T检验	
		实验组	控制组			T	p>t
rjgdp	匹配前	2.3935	2.0921	24.8	74.8	1.00	0.322
	匹配后	2.3755	2.2996	6.2		0.18	0.858
str	匹配前	50.671	48.043	38.8	74.8	1.38	0.171
	匹配后	50.625	49.963	9.8		0.34	0.737
es	匹配前	84.775	87.286	-41.4	98.2	-1.57	0.119
	匹配后	85.447	85.401	0.8		0.03	0.980
ow	匹配前	20.133	15.334	23.2	56.8	0.99	0.324
	匹配后	17.312	15.24	10		0.35	0.731

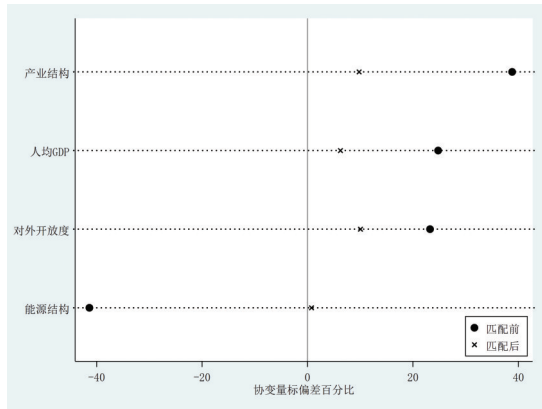


图2 PSM后协变量偏差图

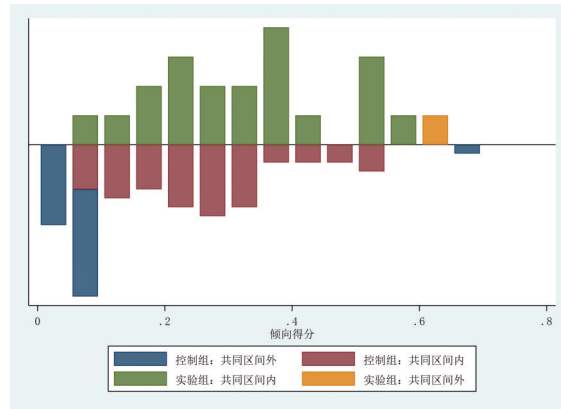


图3 PSM后共同区间范围图

表4 PSM后主回归结果

变量	ln CE			ln CI		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>treat × post</i>	-0.395*** (-2.81)	-0.162*** (-3.66)	-0.164*** (-4.27)	-0.146 (-1.03)	-0.182*** (-2.93)	-0.199*** (-3.73)
控制变量	否	是	是	否	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
个体固定	否	否	是	否	否	是
观测值	144	144	144	144	144	144
R ²	0.088	0.725	0.731	0.049	0.729	0.742

在经上述PSM及平衡性检验后,本文将政策后样本数据与PSM后所保留的在共同区间的样本(即匹配上的样本)进行纵向匹配,并删除政策后的未在政策前PSM处理后保留的地区,

以保证样本的干净。为保证前后回归结果的可对比性,本部分仍然采用不加控制变量仅控制时间效应、引入控制变量并仅控制时间效应、引入控制变量并控制时间效应和个体效应的双向固定效应模型进行估计,结果见表4。结果显示核心解释变量的回归系数均在1%的水平上显著,与前文主回归结果一致,大多数控制变量的符号也没发生变化,与前文基本保持一致,证明了本文主回归结果的稳健性,即中国低碳试点政策降低了二氧化碳排放量和碳排放强度。

(二)动态效应检验

由于政策的效应释放会随时间变化,本部分将对低碳试点政策的动态效应进行检验,同时也是对上文二氧化碳排放量共同趋势的侧面印证。具体做法为,分别用政策虚拟变量与政策前后年份的各年份虚拟变量进行交乘,以样本基年2008年为基准,然后用被解释变量二氧化碳排放量及碳排放强度对这些虚拟交乘项及控制变量进行回归,结果见图4。其中图4a为低碳试点政策对二氧化碳排放量的动态政策效应图,图4b为低碳试点政策对碳排放强度的动态政策效应图。

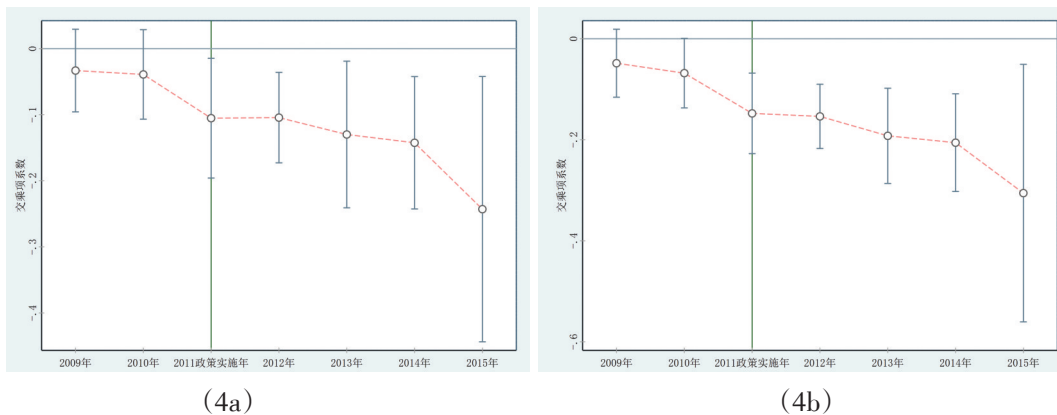


图4 低碳试点政策对碳排放量及碳排放强度的动态效应检验

由图4a可知,政策实施年份以前的2009年及2010年交互项系数置信区间与0轴相交,说明该交互项系数不显著,这两年政策效应为0,2011–2015年低碳试点政策效应系数均显著小于0,符合实际情况。同样,图4b结果显示政策实施年份以前的2009年及2010年交互项系数置信区间与0轴相交,同样说明该交互项系数不显著,这两年政策效应为0,2011–2015年低碳试点政策效应系数均显著小于0,与前文主回归结果一致,说明主回归结果具有稳健性。此外,由图可知无论是碳排放量还是碳排放强度,随着时间变化,核心解释变量系数绝对值有增大趋势,说明低碳试点政策对试点地区碳排放量以及排放强度的抑制效应越来越明显,政策红利得到充分释放。

(三)横向去除碳交易政策后年份检验

由于中国还在2014年针对部分地区进行了碳交易政策试点,在低碳试点组里,部分地区

是碳交易试点,部分地区是非碳交易试点,在低碳非试点组里也存在同样的问题,2014年之后低碳试点政策效果可能会受到碳交易政策的干扰。为了排除其影响,本部分去除碳交易开始后,即2014年以后的样本,留下的即为碳交易政策以前所有地区都未受到碳交易政策干扰的样本,重新回归结果见表5。为了使前后结果具有可比性和得到无偏一致的回归结果,本部分直接选择双向固定效应模型进行回归检验。通过原始结果和稳健性结果对比可知,核心解释变量回归系数的显著性以及方向都没有发生根本性的变化。

表5 横向去除碳交易政策后年份的检验结果

变量	ln CE		ln CI	
	(1)原始结果	(2)稳健性结果	(3)原始结果	(4)稳健性结果
<i>treat × post</i>	-0.124*** (-3.750)	-0.072* (-2.01)	-0.155*** (-3.931)	-0.100*** (-3.31)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是
观测值	240	210	240	210
R ²	0.763	0.832	0.724	0.704

(四)纵向去除碳交易政策试点地区检验

2011年低碳政策的试点和非试点地区里面分别包含了2014年开始实施的碳交易政策试点,除上文横向对样本数据进行时间维度处理外,还可以纵向对样本数据进行清洗。因此,为了剔除碳交易政策的影响,本部分将碳交易政策试点地区从整个样本中纵向去除,留下即为全时期所有没有受到碳交易政策干扰的地区样本,回归结果见表6。同样,为了使前后结果具有可比性和得到无偏一致的回归结果,直接选择双向固定效应模型进行回归检验。通过原始结果和稳健性结果对比可知,核心解释变量回归系数的显著性以及方向都没有发生根本性的变化,但系数绝对值同样都有所下降,再次说明低碳试点政策受到了碳交易政策的干扰。

表6 纵向去除碳交易政策试点地区检验结果

变量	ln CE		ln CI	
	(1)原始结果	(2)稳健性结果	(3)原始结果	(4)稳健性结果
<i>treat × post</i>	-0.124*** (-3.75)	-0.104** (-2.28)	-0.155*** (-3.93)	-0.109** (-2.33)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是
观测值	240	192	240	192
R ²	0.763	0.810	0.724	0.687

(五) 去除第二、三批低碳试点政策地区检验

为了探索不同类型地区控制温室气体排放路径以实现绿色低碳发展,2012年国家发展和改革委员会公布了第二批低碳试点,为了剔除第二批低碳试点政策对首批低碳试点政策的干扰,本部分在样本中直接去掉第二批试点新加入的省份地区北京、上海、海南,由于第三批试点政策时间不在样本时间内,可以不予考虑,为了使前后结果具有可比性和得到无偏一致的回归结果,同样直接选择双向固定效应模型进行回归检验,处理后回归结果见表7。通过原始结果和稳健性结果对比可知,核心解释变量回归系数的显著性以及方向都没有发生根本性的变化,系数绝对值大小变化很小,说明主回归结果是稳健的。

表7 纵向去除第二、三批试点地区的检验结果

变量	ln CE		ln CI	
	(1)原始结果	(2)稳健性结果	(3)原始结果	(4)稳健性结果
<i>treat × post</i>	-0.124*** (-3.75)	-0.135*** (-3.35)	-0.155*** (-3.93)	-0.167*** (-3.63)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是
观测值	240	216	240	216
R ²	0.763	0.763	0.724	0.712

(六) 安慰剂检验

为了排除省份-年份层面不可观测因素影响回归结果的可能性,本文选择随机分配试点地区的方法对表2的双向固定效应回归结果进行安慰剂检验。具体做法为从30个省份中随机选取7个省份作为低碳试点政策地区,其余省份为非试点地区。因此,本文进行200次随机抽样并利用新样本进行模型(3)和模型(4)的回归,并进一步绘制了200个估计系数的分布及

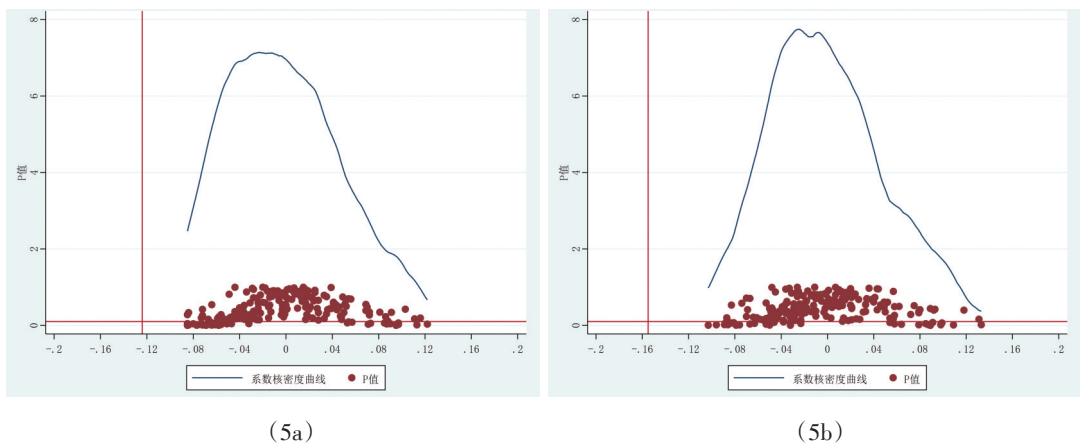


图5 安慰剂检验

其P值,结果见图5。图(5a)为碳排放量的双向固定效应估计结果,图(5b)为碳排放强度的双向固定效应估计结果。结果显示核密度曲线的峰值出现在系数为0的地方,且大多数系数的P值大于0.1,进一步在图中添加表2中第(3)列和第(6)列交互项的估计系数值,发现该值在本次安慰剂检验中属于异常值。总之,低碳试点政策对碳排放量和碳排放强度的影响不太可能由省份-年份层面不可观测因素驱动。

六、结论与建议

本文以2008-2015年中国30个省级行政区的面板数据为研究样本,采用双重差分法实证检验了中国低碳试点政策对碳排放量及碳排放强度的影响,进一步以倾向得分匹配双重差分法(PSM-DID)、动态DID、横向去除碳交易政策后年份、纵向去除碳交易政策试点、纵向去除第二批和第三批低碳试点地区、安慰剂检验等途径进行了一系列稳健性检验,结果发现:中国低碳试点政策不仅抑制了试点地区碳排放量,而且还降低了试点地区的碳排放强度,同时稳健性检验也表明了结果的可靠性。低碳试点政策的推行调动了试点地区在技术节能、优化能源结构、提高能源利用效率、减排技术投入以及低碳生活方式等方面的内在积极性。各试点结合自身经济基础、要素禀赋等积极探索适应本地的低碳发展模式,推动了全国碳减排以及绿色发展进程。根据本文研究结果,得出以下政策建议:

第一,将低碳试点政策在全国范围内推广。由结论可知,低碳试点政策显著降低了碳排放量和排放强度,因此,有必要将低碳政策在全国范围内推广与普及。各省份依据自身发展特点建立低碳发展制度,探索适合本地区低碳绿色发展模式与路径,加强绿色低碳、绿色消费生活方式的宣传工作,将低碳理念融入经济社会发展中。

第二,积极探索低碳控排新技术。低碳试点政策的成效关键在于低碳技术的研发与应用,尤其是火电、冶金、交通和建筑等一些高碳产业,这些产业碳排放强度大,减排空间也大,因此高效、低碳的能源利用必须依靠科技创新,为节能减排途径及潜力提供全新的思路。

第三,因地制宜建立低碳目标责任考核体系。根据地方二氧化碳减排目标完成情况、低碳清洁型产业布局建设、低碳科学技术创新等方面评估地方二氧化碳排放强度达标情况,将这些相关指标和具体减排任务分配到具体的参与二氧化碳减排的地方企业,进一步制定适合本地区的碳排放指标完成和考核体系,并对各参与考核的责任主体进行二氧化碳减排目标完成情况的监督和评估。

参考文献:

[1] 邓荣荣,詹晶. 低碳试点促进了试点城市的碳减排绩效吗——基于双重差分方法的实证[J]. 系统工程, 2017,35(11):68-73.

- [2] 付云鹏,马树才,宋琪. 中国区域碳排放强度的空间计量分析[J]. 统计研究,2015,32(06):67-73.
- [3] 何文举,张华峰,陈雄超,颜建军. 中国省域人口密度、产业集聚与碳排放的实证研究——基于集聚经济、拥挤效应及空间效应的视角[J]. 南开经济研究,2019,(02):207-225.
- [4] 刘海英,王钰. 用能权与碳排放权可交易政策组合下的经济红利效应[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(05):1-10.
- [5] 刘佳骏,史丹,汪川. 中国碳排放空间相关与空间溢出效应研究[J]. 自然资源学报,2015,30(08):1289-1303.
- [6] 刘洁,李文. 征收碳税对中国经济影响的实证[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(09):99-104.
- [7] 刘婕,魏玮. 城镇化率、要素禀赋对全要素碳减排效率的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2014,(8):42-48.
- [8] 刘天乐,王宇飞. 低碳城市试点政策落实的问题及其对策[J]. 环境保护,2019,47(01):39-42.
- [9] 刘竹,耿勇,薛冰,付加锋,唐笑飞. 中国低碳试点省份经济增长与碳排放关系研究[J]. 资源科学,2011,33(04):620-625.
- [10] 逯进,王晓飞,刘璐. 低碳城市政策的产业结构升级效应——基于低碳城市试点的准自然实验[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2020,40(02):104-115
- [11] 任亚运,傅京燕. 碳交易的减排及绿色发展效应研究[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(05):11-20.
- [12] 邵帅,杨莉莉,曹建华. 工业能源消费碳排放影响因素研究——基于 STIRPAT 模型的上海分行业动态面板数据实证分析[J]. 财经研究,2010,36(11):16-27.
- [13] 时佳瑞,蔡海琳,汤铃,余乐安. 基于 CGE 模型的碳交易机制对我国经济环境影响研究[J]. 中国管理科学,2015,23(S1):801-806.
- [14] 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,(6):95-108.
- [15] 张捷,赵秀娟. 碳减排目标下的广东省产业结构优化研究——基于投入产出模型和多目标规划模型的模拟分析[J]. 中国工业经济,2015,(6):68-80.
- [16] 赵巧芝,闫庆友,赵海蕊. 中国省域碳排放的空间特征及影响因素[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2018,20(01):9-16.
- [17] 周迪,周丰年,王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. 资源科学,2019,41(03):546-556.
- [18] 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.
- [19] Appiah, M. O. Investigating the Multivariate Granger Causality Between Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions in Ghana[J]. Energy Policy, 2018, 112: 198-208.
- [20] Bouznit, M. and M. P. Pablo-Romero. CO₂ Emission and Economic Growth in Algeria[J]. Energy Policy, 2016, 96: 93-104.
- [21] Cruz, L. and J. Dias. Energy and CO₂ Intensity Changes in the EU-27: Decomposition into Explanatory Effects[J]. Sustainable Cities and Society, 2016, 26: 486-495.
- [22] Dogan, E. and F. Seker. Determinants of CO₂ Emissions in the European Union: The Role of Renewable and Non-renewable Energy[J]. Renewable Energy, 2016, 94: 429-439.
- [23] Hwang, J. H. and S. H. Yoo. Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Evidence from Indonesia[J]. Quality & Quantity, 2014, 48(1): 63-73.
- [24] Mirza, F. M., and A. Kanwal. Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth in Pakistan: Dynamic Causality Analysis[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 72: 1233-1240.
- [25] Pereira, A. M. and R. M. Pereira. Reducing Carbon Emissions in Portugal: The Relative Roles of Fossil Fuel

Prices, Energy Efficiency, and Carbon Taxation[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2017, 60 (10): 1825–1852.

[26] Wang, Y., L. Li, J. Kubota, R. Han, X. Zhu, and G. Lu. Does Urbanization Lead to More Carbon Emission? Evidence from a Panel of BRICS Countries[J]. Applied Energy, 2016, 168: 375–380.

[27] Zhang, G., N. Zhang, and W. Liao. How do Population and Land Urbanization Affect CO₂ Emissions Under Gravity Center Change? A Spatial Econometric Analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 202: 510–523.

Evaluation of the Implementation Effect of China's Low Carbon Pilot Policy

Ren Yayun^a, Cheng Fangfang^a and Fu Jingyan^{a,b}

(a: College of Economics, Jinan University; b: Green and Low Carbon Development Institute, Jinan University)

Abstract: In response to global climate change, China has made a series of carbon emission reduction commitments and issued a series of low-carbon policy measures, of which the low-carbon pilot is a very important and targeted policy, and its policy effectiveness is related to whether China's low carbon emission reduction commitment can be achieved smoothly. Therefore, this paper selects the provincial panel data from 2008 to 2015, and uses the double difference model to evaluate the policy effects, the results show that low carbon pilot policy significantly reduces carbon dioxide emissions and emission intensity. Further, in order to rule out the interference of other policies on the effectiveness of low-carbon pilot policies, this paper also made a series of robustness tests, all of which verified the reliability of the research results. According to the research results, this paper gives specific policy recommendations from the three aspects of promoting the low-carbon pilot policy nationwide, actively exploring new low-carbon control technologies, and establishing a target system for controlling greenhouse gas emissions.

Keywords: Carbon Emissions; Low Carbon Pilot Policy; Double Difference

JEL Classification: Q51, Q58

(责任编辑:朱静静)