

我国碳排放交易试点政策对试点省市减排效果及影响路径分析*

■ 赵新泽^{1,2**} 刘昌新^{1**} 王建良³ 郭剑锋¹ 张雪美^{1,2}

1. 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

2. 中国科学院大学公共政策与管理学院 北京 100049

3. 中国石油大学(北京)经济管理学院 北京 102249

摘要:碳排放交易作为促减排的成熟手段之一,量化其对城市生产中碳排放及影响路径对我国未来促发展保生态有重要意义。本研究旨在从碳排放和碳排放强度两个角度,采用双重差分模型探究碳排放交易试点政策对减排效果的影响并利用中介效应方法厘清其中间机制。结果表明试点政策显著降低碳排放量以及碳排放强度,并且碳排放交易试点政策可通过提高试点城市的技术创新能力,调整能源结构和产业结构,降低碳排放量和降低碳排放强度以提高减排效率。本研究认为未来可以通过根据不同城市的发展情况鼓励建设高新技术产业和引进和国外先进的“绿色”生产链以及根据其发展需求不同调整第二产业占比以降低碳排放量和降低碳排放强度。

关键词:碳排放交易 双重差分方法 倾向性得分匹配 中介效应

DOI:10.11842/chips.20231031003

0 引言

在2015年12月在巴黎气候变化大会上通过的《巴黎协定》中,我国向世界承诺,10年后中国碳排放强度,要比16年前最少下降到60%。在2020年9月联合国大会上习近平总书记提到,“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。”因此,为实现“双碳”目标,我国必须要精准找出有效的减排路径,从而能够保证在多产业融合下的经济快速平稳发展。

在各种减排技术攻关期间,我国颁布多项政策以促

减排,其中包括强制性的政策,关停大部分的低效高污染的工厂,敦促大型的化工厂等使其保证“绿色生产”。但强制执行类政策会产生很多副作用,过多的工厂关闭必然会导致很多的工人面临下岗失业的问题,“绿色生产”导致成本激增的问题。碳排放权交易市场的建立是要解决部分经济增长和减排构成的矛盾,其发挥的作用在两个方面,一是通过交易市场将碳排放的环境成本内部化,从而促使企业减排,二是视碳排放权交易市场为新市场成为新的经济增长点,可弥补在减排过程中造成的无谓损失。因此建立一个碳排放市场,将碳额度赋予产品内涵,以市场调节方法促进企业交易,充分实现企业互利共赢,保障国家可持续发展稳步推进。2011年国

* 2023年北京工商大学一般项目(KYPT202305):企业数字化与绿色发展研究,负责人:刘昌新。

** 赵新泽,硕士在读研究生,研究方向:产业政策量化;刘昌新(通讯作者),博士,副研究员,研究方向:气候变化经济学。

家发展改革委员会向7个城市,北京、天津、上海、重庆、广东、深圳以及湖北发布将其设为碳排放权交易试点的通知,开设碳排放权交易中心,给不同的企业分配相应的配额,并使其在市场上进行相对自由的交易活动(见表1)。

在十四五报告中提到,“我国发展不平衡不充分问题仍然突出,生态环保任重道远,要加快推动绿色低碳发展。”建设低碳城市并加快我国减排的步伐是一件刻不容缓的事情。因此我们需要对碳交易政策进行评估,为将来能够高效完成减排任务保驾护航,且需要厘清不同城市的减排过程中的发展需求和影响减排的作用机制,切中减排过程的要害。本研究的贡献如下,一是不仅仅可明确碳交易试点政策对碳排放变化作用的方向,同时可量化碳排放量几何,二是明确碳交易试点政策对减排影响的作用机制,为未来碳排放权交易市场建议提供切实有效的建议。

1 文献综述

全球变暖成为紧迫需要解决的环境问题。其中欧洲的碳交易体系制度(EU Emissions Trading System, EU ETS)^[1]已经在巴黎协定的计划中游刃有余地实施中,诸多国家开始建立碳交易制度。我国也在使用多样政策路径来达成减排目标,其中包括碳税政策和补贴政策^[2],污染监管信息公开^[3]以及类似于EU ETS的碳交易政策^[2],有研究通过企业调查发现大部分企业都愿意响应政府的号召参与到碳排放权交易市场中并且彼此保持了一个良好的互动关系^[4]。自生态文明建设成为我国重点发展板块后,关于碳交易试点的研究^{[5][6][7]}如雨后春笋般涌现,评估其阶段性减排效果为指引可持续发展方向,至关重要,主要包含3个方面,一是碳交易政策促进我国碳排放量减少^{[8][9][10]}和碳强度降低^{[11][9]},二是碳交易政策可促进企业整体技术创新^{[12][13]}或碳交易政策或排污权交易产生波特效应^{[14][15]},三是碳交易试点政策执行原理研究,包括环境外部性内部化理论^[16],即碳排放负外部性造成环境污染,所以碳排放权交易市场将这种负外部性造成环境污染成本具体到企业个体上。

关于政策影响量化方法大致分为如下两类。第1类是可计算一般均衡模型(Computable General Equilibrium, CGE)^{[17][18]},根据碳排放数量的设定预测未来碳交易市场的减排成果或者经济产出变化,第2类是双重差分模型(Difference-in-Difference, DID)^{[19][21][22]},比较有无碳交易市场的碳排放情况来估计碳交易市场在促减排中

表1 碳交易试点市场交易基本概况

试点城市	开市时间	初始企业数量	初始碳价(元/吨)
北京市	2013年11月28日	415	50~80
天津市	2013年12月26日	114	28
上海市	2013年11月26日	191	25~27
重庆市	2014年6月19日	252	约30
湖北省	2014年4月2日	153	24
广东省	2013年12月19日	约184	60~61

表2 折标煤系数以及排放因子

能源种类	折标煤系数 (千克标煤/千克或立方米)	排放因子 (千克/千克标准煤)
煤炭	0.7143	0.7559
焦炭	0.9714	0.855
原油	1.4286	0.5857
汽油	1.4714	0.5538
煤油	1.4714	0.5714
柴油	1.4571	0.5914
燃料油	1.4286	0.6185
天然气	1.2143	0.4483

注:数据来源为中国能源统计年鉴和《2006年IPCC国家温室气体清单指南》

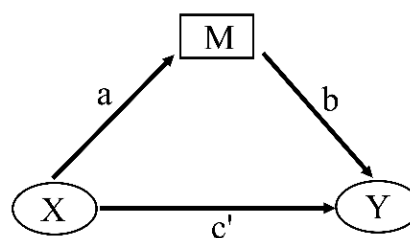


图1 中介效应作用机制图

的效果。本研究选择双重差分分析^[23]作为主要分析方法,主要原因在于两个方面:一是该方法依托于社会政策量化评估^[19]广泛应用的因果推断理论;二是可通过稳健性检验剔除选择性偏误造成的内生性问题^[11],国家并非应用“拍脑袋”决策方式选择试点城市,需考虑诸多方面影响,例如边际减排成本具有明显的地理特征^[24]和结合城市未来的经济效益发展和社会效益发展等情况^[25],此类将会导致选择性偏误,致使估计结果非稳健,

表3 变量描述统计情况

变量		样本	平均值	标准差	最小值	最大值	样本	平均值	标准差	最小值	最大值
		试点城市					非试点城市				
ce	碳排放量	114	6702.0	4226.2	1867.9	19243.5	456	9459.0	7518.1	110.4	41383.8
cei	碳排放强度	114	1.4	0.5	0.5	2.7	456	2.9	2.2	0.3	13.5
policy	是否实施试点政策	114	1	0	1	1	456	0	0	0	0
time	在该时间内是否实施政策	114	0.4	0.5	0	1	456	0.4	0.5	0	1
policytime	交乘项	114	0.4	0.5	0	1	456	0	0	0	0
pgdp_2000	人均GDP	114	5.1	3.4	0.6	15.4	456	2.6	1.9	0.3	11.6
people	人口数量	114	3976.4	3095.1	1001.0	11346.0	456	4513.3	2527.0	517.0	10047.0
is_2	第二产业占比	114	0.5	0.1	0.2	0.7	456	0.5	0.1	0.2	0.7
fdi_gdp	外商直接投资占比	114	4.1	2.5	0.8	14.6	456	2.0	1.8	0.0	10.5
tech_gdp	技术市场成交额占比	114	3.0	3.6	0.3	15.0	456	0.5	0.6	0.0	4.7
es	煤炭占比	114	0.5	0.2	0.0	0.8	456	0.7	0.2	0.0	1.0

因本研究采用双重差分倾向性得分匹配(Propensity Score Model and Difference-in-Difference, PSM-DID)模型^[26]作为辅助方法以提升研究结果稳健性。

关于碳排放权交易市场阶段性成果。大部分研究证明碳交易政策促进减少二氧化碳排放量^{[26][27]}并降低碳排放强度^[28],也有研究也表明碳交易政策支持波特假说^[23],即基于环境规制政策的碳交易市场可以促进技术创新。一些研究应用中介效应方法^[29],多重中介效应方法^[30]对碳交易市场对碳排放量的作用机制进行分析,认为能源强度^[31]、外商直接投资^[32]、技术进步是降低碳排放量的重要因素^[33],但也有学者认为碳交易试点政策并不会引起当期技术创新^[4],从而不会满足中介效应^[34]。综合已有研究,本研究提出3个方面的碳排放权交易市场影响减排机制路径假设。一是促调整能源结构^[35]。当企业在调整减排的运营成本时,往往会关注不同种类能源消费的成本,例如,煤炭虽然价格低廉,但是企业需要以较高的碳排放量作为代价,因此企业会因为碳交易市场的倒逼下逐渐转向更为清洁的能源;二是促提升技术创新能力。碳交易市场可以使减排成本较高的企业与

减排成本较低的企业进行配额交易,促使高碳排放企业运营成本升高,使企业关注碳资产问题,为降低减排成本进行技术革新^[36];三是促产业结构调整^[37]。高耗能产业大部分属于第二产业,当该地区实行碳交易政策后,部分企业可能会因为资金和技术问题无法实现低碳生产进而推出高耗能产业转向其他产业,呈现出地区的产业结构变化和碳排放量降低的情况。

2 研究方法

2.1 碳排放计算

本研究采用国际公认的排放因子法^{[38][39]}核算各省的碳排放量,排放因子参考《2006年IPCC国家温室气体清单指南》(详见表2)^{[40][41]}。计算方法为

$$CE = \sum_{n=1}^N E_n \times e_n \times \delta_n \quad (1)$$

其中,CE为各地区的碳排放量; E_n 为第n种能源的消费量(煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油以及天然气); e_n 为第n种能源的折标煤系数; δ_n 为第n种能源的排放因子。

表4 双重差分检验结果

变量	模型1	模型2	模型3	模型4
	lnce		lncei	
policy	-0.0554 (0.0682)	-0.0132 (0.165)	-0.699*** (0.0500)	-0.415** (0.167)
time	1.236*** (0.0660)	-0.130 (0.271)	0.757*** (0.0638)	0.431 (0.272)
policytime	-0.334*** (0.0376)	-0.293*** (0.0436)	-0.300*** (0.0393)	-0.243*** (0.0423)
lnpgdp_2000		0.617*** (0.117)		0.162 (0.118)
lnpeople		1.113*** (0.351)		0.501 (0.342)
lnis_2		0.237*** (0.0840)		0.218** (0.0910)
lnfdi_gdp		-0.0279** (0.0122)		-0.0272** (0.0127)
Intech_gdp		-0.0580*** (0.0117)		-0.0661*** (0.0124)
lnes		0.253** (0.102)		0.254** (0.103)
Constant	8.217*** (0.0668)	-0.217 (2.808)	0.457*** (0.0508)	-3.242 (2.737)
R-squared	0.939	0.957	0.889	0.918
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES
控制变量	NO	YES	NO	YES
样本数量	570	568	570	568
个体数量	30	30	30	30

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

2.2 碳交易试点政策影响模型

2.2.1 DID模型

本研究将应用双重差分方法估计碳排放交易市场对不同地区碳排放以及碳排放强度的因果效应,具体计算方法见式(2)和(3):

$$\ln CE_{it} = \beta_0 + \beta_1 Treatment_i + \beta_2 Treatment_i \times Time_t + \beta_3 Time_{it} + \sum \alpha_j Control_{jit} + \lambda_i + v_t + \mu_{it} \quad (2)$$

$$\ln CEI_{it} = \beta_0' + \beta_1' Treatment_i + \beta_2' Treatment_i \times Time_t + \beta_3' Time_{it} + \sum \alpha_j' Control_{jit} + \lambda_i' + v_t' + \mu_{it}' \quad (3)$$

其中,Y为结果变量, $Treatment_i$ 表示为i个体是否是发

生了准自然实验, $Time_t$ 则表示为在t时间内是否是准自然实验发生的时间, $Control_j$ 表示是第j个控制变量, β_1 表示是否发生准自然实验的个体对结果变量的影响, β_2 是交叉项的系数表示为该准自然实验对结果变量的影响, β_3 是准自然实验发生的时间对结果变量的影响, α_j 表示为第j个控制变量对结果变量的影响, λ_i 是个体固定效应, v_t 是时间固定效应, μ_{it} 是随机误差项。

本研究选择各省的碳排放量以及碳排放强度作为表示减排效果的变量。碳排放量可以作为减排效果的绝对量观测值,碳排放强度是碳排放量和地区生产总值

表5 匹配后双重差分检验

变量	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	lnce		lncei	
policy	-0.372*** (0.0502)	-0.202 (0.184)	-0.960*** (0.0422)	-0.555*** (0.184)
time	1.125*** (0.0894)	-0.264 (0.187)	0.705*** (0.0707)	0.314* (0.180)
policytime	-0.114*** (0.0276)	-0.184*** (0.0324)	-0.126*** (0.0302)	-0.146*** (0.0336)
Constant	8.270*** (0.0896)	0.425 (2.099)	0.459*** (0.0629)	-4.681** (2.101)
R-squared	0.977	0.984	0.964	0.967
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES
控制变量	NO	YES	NO	YES
样本数量	287	287	287	287

注:括号内为稳健标准误,*** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$

的比值,体现碳排放效率变化的相对量观测值。准自然实验的虚拟变量为是否是碳交易试点城市,即北京、天津、上海、重庆、湖北、广东为1,其他省份为0。碳交易政策实行的时间选为2011年,即2000~2010年为0,2011~2018年为1。本研究选择各省的经济发展情况、人口规模情况、产业结构情况、对外开放程度、技术发展情况以及能源结构情况作为控制变量。

2.2.2 PSM-DID模型

为保证研究结果的稳健性,本研究采用PSM-DID模型,如式(4)对样本进行倾向性得分估计,然后使用核密度函数(Kernel)估计方法对样本进行匹配。

$$P(x_i) = P_r(\text{Treatment} = 1|x_i) = f(y(x_i)) \quad (4)$$

其中, $P(x_i)$ 是进行准自然实验的概率, Treatment 为虚拟变量(处理组=1,对照组=0), f 为 Logistic 分布函数, $y(x_i)$ 表示第 i 个体控制变量 x 的线性函数。本研究认为各个省市经济发展情况、人口规模情况、产业结构变化、科技创新发展、能源结构情况和对外开放程度等因素均会导致选择性偏误,因此选取人均地区生产总值、年末常住人口、第二产业占总产业比重、外商直接投资与生产总值比重、技术市场成交额与生产总值比重、煤炭(焦炭)占总能源消费比重作为计算倾向得分的初始协

变量。

2.3 中介效应模型

本研究搭建中介效应模型(见图1),探究碳排放交易市场引起碳排放和碳排放强度变化的作用机制。

其中 X 为解释变量, Y 是被解释变量, M 为中介变量, ab 是中介效应,也为间接效应, c' 为直接效应。

本研究主要采用逐步回归方法检验中介效应,如式(5)~(8)。

$$Y = cX + \varepsilon_1 \quad (5)$$

$$M = aX + \varepsilon_2 \quad (6)$$

$$Y = c'X + bM + \varepsilon_3 \quad (7)$$

$$c = c' + ab \quad (8)$$

其中,系数 c 是 X 对 Y 的总效应,系数 a 是解释变量对 M 的效应,系数 b 是在控制 X 后对 Y 的效应,系数 c' 是 X 对 Y 的直接效应^[42]。 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 分别是残差。

3 实证分析

3.1 数据分析

本研究的数据全部来自中国统计局以及各省的统计年鉴(2001~2019年)以及中国能源统计年鉴(2001~2019年)。考虑到通货膨胀的影响,本研究使用以2000年为基期实际生产总值(表3)。

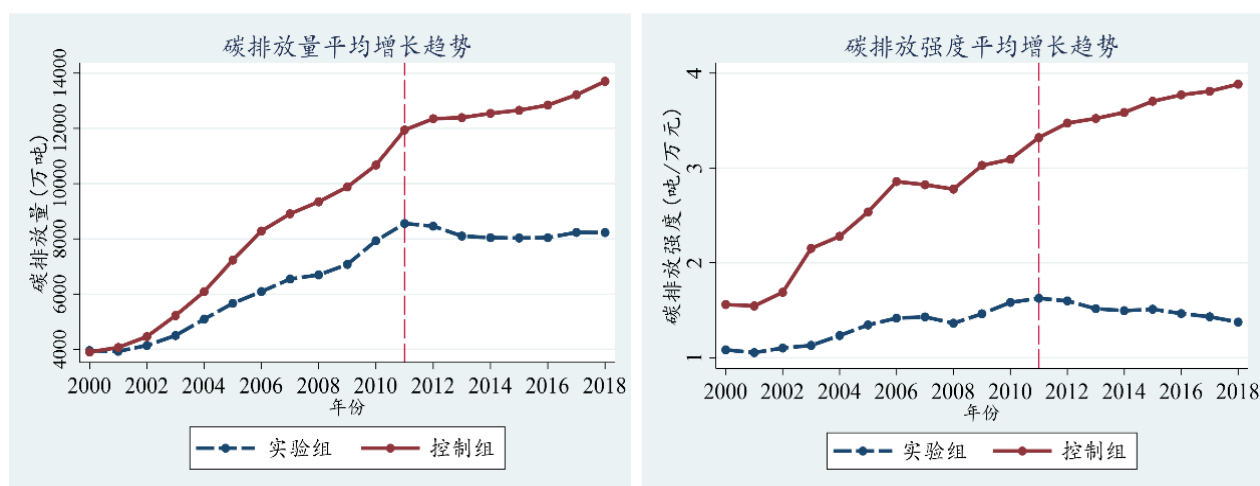


图2 碳排放量及碳排放强度平行趋势(Stata输出图)

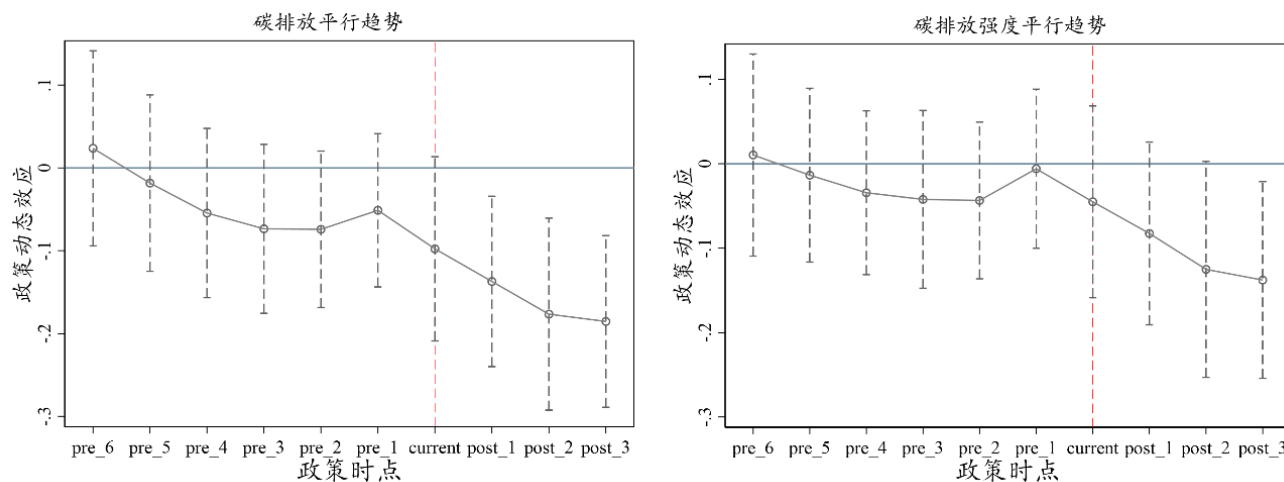


图3 平行趋势检验(Stata输出图)

3.2 DID模型结果

基于模型1和2的结果,可知不论在有无控制变量模型中碳交易试点政策将会在1%的显著水平下促进试点城市碳排放减少。针对于碳交易试点政策对减排效率的影响,根据模型3和4,碳交易试点政策可以在1%的显著水平下促进降低城市碳排放强度,提高碳利用效率。综上,本研究认为碳排放权交易试点政策促进碳排放量和单位生产总值碳排放量下降(见表4)。

同时可观察到城市人均生产总值、二产占比、煤炭占比都将显著提高碳排放量,其中二产占比、煤炭占比显著提高碳排放强度,降低碳利用效率。外商直接投资和技术创新水平不仅显著降低碳排放量且对降低碳排放强度具有显著促进作用。

3.3 PSM-DID模型结果

通过计算匹配后碳交易试点政策对碳排放和碳排放强度的影响结果,可以明确在实施试点政策后,碳交易试点政策对城市减少碳排放和降低碳排放强度作用稳健(见表5)。

4 稳健性检验

4.1 平行趋势图

本研究使用平行趋势图对双重差分模型进行检验。不论是碳排放量还是碳排放强度,在2011年之前的增长趋势一致,而从2011年碳交易试点政策颁布后实验组的碳排放量和碳排放强度都较控制组减少和降低,因此本研究认为可以通过平行趋势检验(见图2)。



表6 能源结构中介效应模型逐步回归结果

变量	lnes	lnce	lncei
policytime	-0.218***	-0.293***	-0.243***
	(0.0567)	(0.0436)	(0.0423)
lnes		0.253**	0.254**
		(0.102)	(0.103)
Constant	6.391**	-0.231	-3.657
	(2.774)	(2.695)	(2.627)
时间效应	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
控制变量	YES	YES	YES
样本量	568	568	568
R-squared	0.581	0.957	0.918

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

表7 技术创新中介效应模型逐步回归结果

变量	lntech_gdp_l2	lnce	lncei
policytime	0.295*	-0.199***	-0.153***
	(0.152)	(0.0328)	(0.0327)
lntech_gdp_l2		-0.0500***	-0.0541***
		(0.0117)	(0.0126)
Constant	16.90**	-0.954	-4.561
	(6.842)	(3.314)	(3.120)
时间效应	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
控制变量	YES	YES	YES
样本量	508	508	508
R-squared	0.791	0.967	0.941

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

表8 产业结构中介效应模型的逐步回归结果

变量	lnis_2_l2	lnce	lncei
policytime	-0.0265*	-0.203***	-0.159***
	(0.0151)	(0.0333)	(0.0329)
lnis_2_l2		0.331***	0.349***
		(0.0932)	(0.101)
Constant	-2.020*	-0.722	-4.255
	(1.192)	(3.338)	(3.141)
时间效应	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES
控制变量	YES	YES	YES
样本量	510	510	510
R-squared	0.911	0.967	0.939

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4.2 平行趋势检验

本研究参考已有研究关于平行趋势检验结论^[43],结果显示前期估计值在95%置信区间内包含0,本研究中碳排放量和碳排放强度均通过平行趋势检验(见图3)。

5 机制分析

5.1 能源结构

碳交易试点政策在1%显著水平下促进改变能源结构,降低煤炭在能源消费中占比,进而影响碳排放量和碳排放强度的变化。因此可以证明能源结构在试点政策和碳排放及碳排放强度之间具有部分中介作用,且对碳排放的中介效应为18.82%,对碳排放强度的中介效应为22.79%(见表6)。

5.2 技术创新

因为通过逐步回归发现技术创新应用变量在当期没有中介作用与已有研究^[4]结果相同,认为可能是因为技术创新应用有滞后性,因此本研究再次将技术创新滞后两期作为中介变量。

碳交易试点政策可以通过滞后两期的技术创新应用来影响碳排放和碳排放强度,且在10%显著水平下会试点政策会正向促进的技术创新。且技术创新会在1%显著水平下降低碳排放和碳排放强度。试点政策通过技术创新对碳排放量中介效应影响为7.41%,对碳排放强度中介效应为10.43%(见表7)。

5.3 产业结构

本研究对当期产业结构作为中介变量模型进行检验时,发现试点政策并不能在当期显著影响产业结构,因此本研究采用与技术创新相同的方法,将滞后两期的

产业结构作为中介变量进行检验。试点政策可以在10%显著水平下促进降低该地区两年后的第二产业占总产业比值。试点政策作用于产业结构,然后再作用碳排放的中介效应为4.32%,作用于碳排放强度的中介效应为5.82%(见表8)。

6 结论

第一,本研究采用双重差分模型,结果表明试点政策实施会显著促进降低碳排放量和碳排放强度,提升碳利用效率,且该结果通过PSM-DID和平行趋势稳健性检验。因此,本研究认为可将该试点政策推广应用到与试点城市类似的其他城市,例如,山东省等碳排放大省,扩大碳排放权交易范围。且据本研究结果可知提升技术创新能力和对外开放程度水平可促进减排和提高减排效率,因此国家可以根据不同省市碳排放情况和经济发展情况鼓励建设高新技术产业^[4]以及引进和学习国外先进的“绿色”生产链等。

第二,本研究厘清试点政策对碳排放和碳排放强度的作用机制。认为能源结构是试点政策于减排成果之间的影响因素之一,不同地区可针对需要改变能源消费结构的企业实行针对性补贴政策,从消费高碳排放能源品种快速转变为低碳排放能源品种。其次认为技术创新能力是试点政策与减排效果之间的中介变量,可以进一步推动绿色经济循环的研究,推动生产节能减排的产品对高耗能产品进行替代,推广生产排放量较小的生产链和生产设备。最后试点政策会通过第二产业占比情况影响碳排放量和碳排放强度,根据此结果,各个地区可以通过自身情况调整产业结构或者提高发展第二产业中低碳能源使用比例,进而达到减排的目标。

参考文献:

- [1] ZHANG Y J, WEI Y M. An Overview of Current Research on EU ETS: Evidence from its Operating Mechanism and Economic Effect[J]. Applied Energy,2010,87(6):1804-1814.
- [2] ZHANG C, WANG Q, SHI D, et al. Scenario-Based Potential Effects of Carbon Trading in China: An Integrated Approach[J]. Applied Energy,2016,182:177-190.
- [3] 张华,冯烽.非正式环境规制能否降低碳排放?——来自环境信息公开的准自然实验[J].经济与管理研究,2020,41(8):62-80.
- [4] YANG L, LI F, ZHANG X. Chinese Companies' Awareness and Perceptions of the Emissions Trading Scheme (ETS): Evidence from a National Survey in China[J]. Energy Policy,2016,98:254-265.
- [5] 李梦明,汪明月.过渡时期我国碳排放权交易市场的形势分析与对策建议[J].科技促进发展,2017,13(12):974-978.
- [6] LIU Z, ZHANG Y X. Assessing the Maturity of China's Seven Carbon Trading Pilots[J]. Advances In Climate Change Research,2019,10(3):150-157.



- [7] 王文军,谢鹏程,李崇梅,等.中国碳排放权交易试点机制的减排有效性评估及影响要素分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(4):26-34.
- [8] ZHANG W, LI J, LI G, et al. Emission reduction effect and Carbon Market Efficiency of Carbon Emissions Trading Policy in China[J]. Energy,2020,196:117117.
- [9] 李艳芹,李宗尧,张骞.碳交易政策与碳排放——多时点双重差分模型的实证检验[J].科学与管理,2020,40(6):67-74.
- [10] 王钊,王良虎,胡江峰.碳排放交易制度下城市减排的机会成本研究——基于中国碳排放试点城市的实证检验[J].中国环境管理,2019,11(6):57-63.
- [11] 李胜兰,林沛娜.我国碳排放权交易政策完善与促进地区污染减排效应研究——基于省级面板数据的双重差分分析[J].中山大学学报(社会科学版),2020,60(5):182-194.
- [12] 陆贤伟.低碳试点政策实施效果研究——基于合成控制法的证据[J].软科学,2017,31(11):98-101+109.
- [13] 谢裕慧,林伟明,李加林,等.碳排放管制政策会影响企业创新产出吗?[J].发展研究,2019(10):71-78.
- [14] 周朝波,覃云.碳排放交易试点政策促进了中国低碳经济转型吗?——基于双重差分模型的实证研究[J].软科学,2020,34(10):36-42+55.
- [15] 涂正革,湛仁俊.排污权交易机制在中国能否实现波特效应?[J].经济研究,2015,50(7):160-173.
- [16] 孙悦.欧盟碳排放权交易体系及其价格机制研究[D].吉林大学,2018.
- [17] LIU Y, TAN X J, YU Y, et al. Assessment of impacts of Hubei Pilot Emission Trading Schemes in China - A CGE-Analysis Using TermCO₂ Model[J]. Applied Energy,2017,189:762-769.
- [18] WANG P, DAI H C, REN S Y, et al. Achieving Copenhagen Target through Carbon Emission Trading: Economic Impacts Assessment in Guangdong Province of China[J]. Energy,2015,79:212-227.
- [19] ZHANG W, ZHANG N, YU Y. Carbon Mitigation Effects and Potential Cost Savings from Carbon Emissions Trading in China's Regional Industry[J]. Technological Forecasting and Social Change,2019,141:1-11.
- [20] 路正南,罗雨森.中国碳交易政策的减排有效性分析——双重差分法的应用与检验[J].干旱区资源与环境,2020,34(4):1-7.
- [21] 赵爽,陈儒,姜志德.低碳试点政策对农业碳排放影响的实证研究——基于双重差分模型的检验[J].生态经济,2018,34(12):22-28.
- [22] 周黎安,陈烨.中国农村税费改革的政策效果:基于双重差分模型的估计[J].经济研究,2005(8):44-53.
- [23] 范丹,王维国,梁佩凤.中国碳排放交易权机制的政策效果分析——基于双重差分模型的估计[J].中国环境科学,2017,37(6):2383-2392.
- [24] 刘晔,张训常.碳排放交易制度与企业研发创新——基于三重差分模型的实证研究[J].经济科学,2017(3):102-114.
- [25] 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.
- [26] 孙振清,李欢欢,刘保留.碳交易政策下区域减排潜力研究——产业结构调整与技术创新双重视角[J].科技进步与对策,2020,37(15):28-35.
- [27] DONG F, DAI Y, ZHANG S, et al. Can a Carbon Emission Trading Scheme Generate the Porter Effect? Evidence from Pilot Areas in China[J]. Science of the Total Environment,2019,653:565-577.
- [28] ZHOU B, ZHANG C, SONG H, et al. How Does Emission Trading Reduce China's Carbon Intensity? An Exploration Using a Decomposition and Difference-In-Differences Approach[J]. Science of the Total Environment,2019,676:514-523.
- [29] BARON R M, KENNY D A. The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations[J]. Personality and Social Psychology,1986,51(6):1173-1182.
- [30] PREACHER K J, HAYES A F. Asymptotic and Resampling Strategies for Assessing and Comparing Indirect Effects in Multiple Mediator Models[J]. Behavior Research Methods,2008,40(3):879-891.
- [31] 周迪,刘奕淳.中国碳交易试点政策对城市碳排放绩效的影响及机制[J].中国环境科学,2020,40(1):453-464.
- [32] 谭静,张建华.碳交易机制倒逼产业结构升级了吗?——基于合成控制法的分析[J].经济与管理研究,2018,39(12):104-119.

- [33] LUTZ C, MEYER B, NATHANI C, et al. Endogenous Technological Change and Emissions: the Case of the German Steel Industry[J]. Energy Policy, 2005, 33(9): 1143-1154.
- [34] XUAN D, MA X, SHANG Y. Can China's Policy of Carbon Emission Trading Promote Carbon Emission Reduction?[J]. Cleaner Production, 2020, 270.
- [35] 马兆良, 徐晓庆. 碳交易如何影响绿色低碳发展? ——基于多期DID与连续DID的经验研究[J]. 科学与管理: 1-15.
- [36] 宋清华, 胡甜. 碳排放权交易促进了制造业企业绿色技术创新吗?[J]. 金融发展评论, 2023(7): 17-34.
- [37] 张静, 申俊, 徐梦. 碳排放交易是否促进了产业结构转型升级? ——来自中国碳排放交易试点政策的经验证据[J]. 经济问题, 2023(8): 84-91.
- [38] 程豪. 碳排放怎么算——《2006年IPCC国家温室气体清单指南》[J]. 中国统计, 2014(11): 28-30.
- [39] SHAN Y L, HUANG Q, GUAN D B, et al. China CO₂ Emission Accounts 2016-2017[J]. Scientific Data, 2020, 7(1): 1-9.
- [40] 臧宏宽, 杨威杉, 张静, 等. 京津冀城市群二氧化碳排放达峰研究[J]. 环境工程, 2020, 38(11): 19-24+77.
- [41] 赵敏, 张卫国, 俞立中. 上海市能源消费碳排放分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(8): 984-989.
- [42] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [43] 史丹, 李少林. 排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证[J]. 中国工业经济, 2020(9): 5-23.

Analysis of the Emission Reduction Effect and Impact Path of China's Carbon Emission Trading Pilot Policy on Pilot Provinces and Cities

ZHAO Xinze^{1,2}, LIU Changxin¹, WANG Jianliang³, GUO Jianfeng¹, ZHANG Xuemei^{1,2}

1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3. School of Economics and Management, China University of Petroleum Beijing, 102249

Abstract: Carbon emissions trading has gradually become one of the mature means to promote emission reduction. Therefore, quantifying its impact on carbon emissions and its impact path is of great significance for China's future development and ecological protection. This study aims to explore the impact of carbon emission trading pilot policies on emission reduction effects from the perspectives of carbon emissions and carbon emission intensity, using Difference in Difference model in causal inference methods, and to clarify the intermediate mechanism from carbon emission trading policies to carbon emission changes using the Mediation Effect method. The results indicated that the pilot policy significantly reduces carbon emissions and carbon emission intensity, and the carbon emission trading pilot policy can improve emission reduction efficiency by improving the technological innovation ability of the pilot cities, reducing carbon emissions and carbon emission intensity. Therefore, this study believes that it can reduce carbon emissions and intensity by encouraging the construction of high-tech industries and introducing advanced "green" production chains from abroad based on the development situation of different cities, as well as adjusting the proportion of the secondary industry according to their development needs.

Keywords: carbon emissions trading; difference in difference; propensity score model; mediation effect

(责任编辑: 何岸波 侯琚; 责任译审: 毛子英 周阿剑)