

碳排放权交易试点的区域减排效应

——基于 PSM-DID 模型

毛 莹, 屈梦杰, 曾利珍

(武汉纺织大学 经济学院, 武汉 430200)

摘要:选取 2007—2019 年中国 30 个省区市的数据,以碳排放权交易政策构造准自然实验,采用倾向得分匹配-双重差分模型分析碳排放权交易试点对区域的碳减排效应。研究发现,碳排放权交易降低了试点区域的碳排放量。经过中介效应检验发现,碳排放权交易通过引起试点区域的产业结构升级和能源消费结构优化来促进碳减排,加快了试点区域的产业结构调整升级,提高了清洁低碳能源的消费比例,减少了煤炭等化石能源的消费。通过协同减排效应分析发现,碳排放权交易发挥了协同减排作用,减少了二氧化硫等其他污染物排放量。

关键词:碳排放权交易;碳减排;产业结构升级;能源消费结构优化;协同减排

中图分类号:F061.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)05-0235-06

随着全球气候变暖,气候变化问题引起越来越多的关注。中国政府在“十四五”规划和“2035 年远景目标”中提出“碳达峰、碳中和”的目标,是中国应对全球气候变化做出的重要举措,也是中国加快经济绿色低碳发展的必由之路。2011 年,国家发改委宣布在北京、天津、上海、重庆、广东、湖北和深圳等 7 省市设立碳排放权交易试点,到 2013 年,试点省市的碳交易市场逐渐建立,2017 年,全国碳交易市场开始启动。截至 2021 年 6 月,试点省市碳市场累计成交量 4.8 亿吨二氧化碳当量,碳排放权交易试点的区域碳减排作用明显。加快推动经济社会高质量发展和全面绿色转型已形成高度共识。长期以来,中国传统企业比重依然较高,高新技术产业尚未成为经济增长的主要动力,产业结构调整升级的任务难度大,能源消费结构偏煤、能源利用效率偏低的状态依旧存在,实现“双碳”的目标任务十分艰巨。碳排放权交易对区域减排降碳具有重要意义,有助于加快实现“双碳”目标。

关于碳排放权交易试点的研究主要围绕碳减排效应、经济效应以及创新激励展开。在碳减排效应方面,碳排放权交易将二氧化碳的排放量赋予商品的属性,碳交易的市场化机制成为碳减排的重要

途经^[1]。碳排放权交易不仅能够促进试点地区的碳减排,而且还对周边地区存在溢出效应,可以促进碳减排^[2]。碳排放权交易能够减少试点地区碳排放的减排作用逐年强化,减排效应明显^[3]。由于不同地区经济发展水平、政府环境规制存在差异,碳排放权交易对试点地区的减排效应也会存在差异,相较于欠发达地区,发达地区的碳减排效应更大^[4]。在经济效应方面,碳交易政策促进了西部地区的低碳技术创新,推动了西部地区的低碳经济发展^[5],还提高了试点区域的生态效率,推动经济高质量发展^[6]。在创新激励方面,碳排放权交易提高了试点地区控排企业的减排成本,为了降低碳排放的成本,企业会加大绿色低碳技术的研发投入,进行减排降碳^[7]。碳排放权交易通过增加企业现金流和提高资产收益率来激励企业加大低碳技术研发投入^[8]。

碳排放权交易对实现中国经济绿色低碳发展具有重要意义。相关研究认为碳交易政策可以降低试点区域的碳排放量,但较少有研究对碳交易政策的减排效应的分析,以及碳交易政策通过什么渠道实现区域的碳减排。把握碳交易政策的碳减排机制,有助于畅通减排渠道,更好地发挥碳交易政

收稿日期:2022-01-27

作者简介:毛莹(1977—),男,湖北蕲春人,武汉纺织大学经济学院,副教授,硕士研究生导师,研究方向为金融机构与金融市场;屈梦杰(1997—),男,湖北荆门人,武汉纺织大学经济学院,硕士研究生,研究方向为绿色金融;曾利珍(1999—),女,湖北麻城人,武汉纺织大学经济学院,硕士研究生,研究方向为绿色金融。

策的减排作用。为了分析碳排放权交易对试点区域减排效应的影响机制,选取中国 30 个省区市 2007—2019 年的数据,引入产业结构升级和能源消费结构优化等减排途径,有助于丰富碳交易政策的减排效应研究。

1 理论分析与研究假设

碳排放具有外部性,企业在生产过程中排放的二氧化碳对气候变化产生消极影响,并不因此承担相应的成本,企业的减排动力不足。碳排放权交易作为市场化的减排手段,通过将碳排放量化、资产化,赋予碳排放量商品的属性,在碳市场上交易碳排放量,影响控排企业的碳减排成本。纳入碳排放权交易试点的主要有电力、水泥及钢铁等控排行业。在碳排放配额条件下,企业的碳排放量高于碳配额,就需要在碳市场购买配额,提高了控排企业的成本;企业的碳排放量低于碳配额,就可以将剩下的配额在碳市场上出售来获利。为了降低碳减排的成本,试点区域的控排企业会加快低碳技术研发,促进减排降碳。基于此,提出以下假设。

假设 1:碳排放权交易会减少试点地区的碳排放量。

碳排放权交易提高了试点区域控排企业的碳减排成本,为了减少碳减排的成本,控排企业加大低碳技术研发投入,加快企业绿色低碳转型,会促进试点区域的产业结构调整升级。区域加快产业结构升级,传统产业加快转型升级,第二产业的比重降低,第三产业的比重不断提高,低碳技术企业加快发展,区域经济加快绿色发展,绿色低碳产业逐渐发展,减少区域碳排放量,助力实现“双碳”目标。碳排放权交易主要是为了控制二氧化碳的排放,控排企业降低二氧化碳的排放量就可以降低减排成本。控排企业为了控制碳排放量,在生产经营中会倾向于减少煤炭等碳排放量大的化石能源,选择清洁低碳能源进行替代,努力提高清洁能源在能源消费结构中的比例,不断促进能源消费结构优化调整,进而实现减排降碳,实现经济绿色低碳发展,控排企业还可能通过增加研发投入,进行节能低碳技术创新,提高能源的利用效率,加快节能低碳技术设备的运用,减少对煤炭等化石能源的依赖程度,进而促进能源消费结构优化,清洁能源的运用降低了试点区域的碳排放量。基于此,提出以下假设。

假设 2:碳排放权交易通过促进产业结构升级减少试点地区的碳排放量。

假设 3:碳排放权交易通过优化能源消费结构减少试点地区的碳排放量。

在碳排放权交易下,提高了试点区域控排企业的碳排放量成本。控排企业为了降低减排成本,加大低碳技术投入进行绿色低碳转型。碳交易政策在减少试点区域碳排放量的同时,促进了企业生产过程绿色化,减少了二氧化硫、氨氮排放及化学需氧等其他污染物排放量。基于此,提出以下假设。

假设 4:碳排放权交易会产协同减排效应,减少其他污染物的排放量。

2 研究设计

2.1 样本与数据说明

考虑到数据的可得性,本文选取 2007—2019 年中国 30 个省区市面板数据,不包括西藏、港澳台的数据。2011 年,北京、天津、上海、重庆、广东、湖北、深圳 7 个省市被选为碳排放权交易试点区域,到 2013 年,7 个试点区域的碳市场上线交易才陆续开始,因此将 2013 年作为碳排放权交易试点的开始。深圳市属于广东省,不再将深圳列为处理组,故将北京、天津、上海、重庆、广东、湖北作为处理组,非试点省市作为控制组。删除样本缺失值,得到 390 个有效观测值。数据来自国泰安数据库(CSMAR)、国家统计局官网和中国碳核算数据库(CEADs)。数据分析通过 stata15.1 完成。

2.2 模型建立

考虑到处理组和控制组之间选择的偏差问题,采用倾向得分匹配法(PSM)进行近邻 1:1 匹配,尽可能消除处理组和控制组的选择偏差,再采用双重差分模型(DID)进行分析,构建以下的双重差分模型:

$$C_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 After_t \times Treated_i + \alpha_2 X_{i,t} + \tau_i + \sigma_t + \epsilon_{i,t} \tag{1}$$

式中: $C_{i,t}$ 表示第 i 个省区市,第 t 年的碳排放量; $After_t$ 为政策虚拟变量,在 2013 年及以后 t 值为 1,在 2013 年之前 t 值为 0; $Treated_i$ 为组别虚拟变量,处理组 i 值为 1,控制组 i 值为 0; $X_{i,t}$ 表示一系列的控制变量; τ_i 表示个体固定效应; σ_t 表示时间固定效应; $\epsilon_{i,t}$ 表示随机误差项;交乘项系数 α_1 是用来衡量政策效果的。

前文的理论分析认为碳排放权交易通过推动产业结构升级、能源消费结构优化促进试点区域的碳排量下降。为验证假设,对产业结构升级、能源消费结构优化的中介作用进行分析。

在式(1)的基础上建立中介效应模型:

$$\text{industry(consume)}_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{After}_t \times \text{Treated}_i + \beta_2 X_{i,t} + \tau_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$
$$C_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 \text{After}_t \times \text{Treated}_i + \gamma_2 \text{industry(consume)}_{i,t} + \gamma_3 X_{i,t} + \tau_i + \sigma_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

中介效应的检验步骤:①如果式(1)中 α_1 不显著,停止中介效应检验,显著才进行下一步;②式(2)和式(3)中,在 β_1 和 γ_2 同时显著下,若 γ_1 显著,则表明产业结构升级和能源消费结构优化对碳交易政策的减排效应存在部分中介作用,若 γ_1 不显著,则表明产业结构升级和能源消费结构优化对碳交易政策的减排效应存在完全中介作用。

2.3 变量定义

1)被解释变量。为了方便衡量各地区的碳排放量水平,采用二氧化碳排放量与年末地区总人口的比例表示。

2)解释变量。2013 年,试点省市的碳排放权交易市场逐渐开始上线交易,因此采用政策虚拟变量(After)与处理组(Treated)的交乘项来检验政策效应。

3)中介变量。产业结构升级(industry),用第三产业增加值占第二产业增加值的比例来表示,能源消费结构优化(consume),用天然气消费量占煤炭消费量的比例表示。

4)控制变量。参考相关的研究,选择以下的控制变量:经济发展水平(ln gdp),用人均 GDP 的对数来表示;金融发展程度(ln finance),用金融增加值的对数表示;交通便利程度(transport),用交通运输、仓储和邮政业增加值取对数表示;经济开放程度(ln invest),用外商投资企业投资总额来表示;研发投入(ln innovation),用科学技术支出取对数表示;城镇化水平(level),用城镇人口占年末地区总人口的比例表示。

3 实证结果分析

3.1 基准回归结果

在表 1 中,列(1)交乘项在 1%的水平上显著为负,表明碳排放权交易政策对试点省市的碳排放产生负向影响。考虑变量的遗漏问题,列(2)是加入控制变量的结果,交乘项在 1%的水平上显著为负,表明碳排放权交易对试点省市的碳排放量具有抑制作用。试点省市在碳交易政策的影响下,碳排放量显著降低。可能的解释是,纳入碳排放权交易的主要有电力、钢铁等行业,这些行业的碳排放量大,碳排放权交易的实施,试点地区控排企业减排压力增大,控排企业必须购买碳配额,提高了试点地区

控排企业的减排成本,企业出于碳减排的成本压力,主动采用低碳技术减排,碳交易政策促进了试点地区的碳排放量减少。

表 1 基准回归结果

变量	(1)	(2)
After×Treated	-0.034 2*** (-7.958)	-0.041 3*** (-6.341)
ln gdp		-0.082 0*** (-2.768)
ln finance		-0.008 1 (-0.762)
ln transport		0.004 7 (0.299)
ln invest		0.011 5** (2.294)
ln innovation		0.002 2 (0.269)
Constant	0.023 2** (2.487)	0.778 7*** (3.043)
个体固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
N	390	390
R ²	0.876	0.883

注:括号里为 t 值;***表示 $P<0.01$; **表示 $P<0.05$; *表示 $P<0.1$ 。下同。

3.2 稳健性检验

3.2.1 平行趋势检验

采用双重差分模型来评估政策需要通过平行趋势检验,要求处理组和控制组在政策实施之前有相同的变动趋势。为了避免多重共线性,删除碳排放权交易试点前 2012 年数据,采用事件研究法,结果如图 1 所示。发现在 2013 年之前,碳交易政策效应不显著,表明处理组和控制组满足平行趋势假定,在 2013 年及以后,碳交易政策效应在 5%的水平上显著为负,减排效应呈显出增强的特征。因此,认为采用双重差分模型是合理的。

3.2.2 更换被解释变量及加入变量

用各省市碳排放量万吨取对数作为被解释变量,回归结果见表 2 列(1),交乘项系数在 1%的水平上显著为负,表明碳交易政策降低了试点地区的省市碳排放量,与基准结果一致。有学者分析碳交易政策的减排效应时^[9],认为城镇化水平也是影响碳排放的因素,因此,在式(1)的控制变量中加入城镇化水平,结果见表 2 列(2),交乘项系数在 1%的水平上显著为负,碳交易政策降低了试点省市的碳排放量,证明了结论的稳健性。

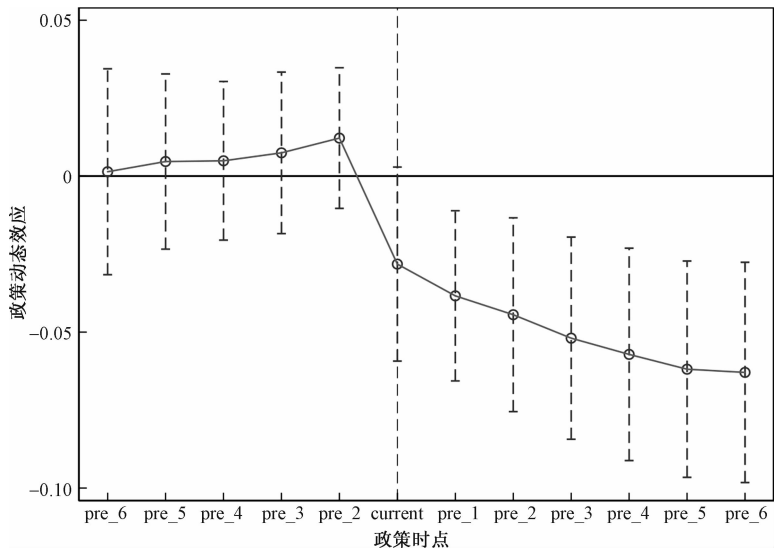


图 1 政策动态效应

表 2 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)
After×Treated	−0.242 5*** (−7.542)	−0.028 0*** (−5.219)
ln gdp	−0.161 5 (−1.172)	−0.082 2*** (−2.878)
ln finance	0.051 9 (0.924)	−0.031 0** (−2.371)
ln transport	0.111 5 (1.171)	0.007 3 (0.450)
ln invest	0.027 3 (0.957)	0.006 2 (1.097)
ln innovation	0.038 8 (1.161)	−0.000 1 (−0.018)
level		0.380 8*** (3.399)
Constant	4.022 9*** (3.528)	0.712 6*** (3.096)
个体固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
N	390	390
R ²	0.972	0.889

3.3 影响机制分析

通过上文的分析,碳排放权交易降低了试点地区的碳排放量。碳排放权交易会通过产业结构升级和能源消费结构优化促进试点地区的碳减排。回归结果见表 3,列(1)的交乘项系数在 1%的水平上显著为负,表明碳交易政策会降低试点地区的碳排放量。列(2)的交乘项系数在 1%的水平上是显著为正的,表明碳排放权交易会引引起试点区域的产业结构升级,试点区域面对减排降碳的压力,加快发展高新技术企业、低碳技术企业,推动了区域的产业结构升级调整。列(3)的交乘项系数在 1%的

水平上显著为负,产业结构升级的系数也在 1%的水平上显著为负,表明产业结构升级在区域碳减排效应里发挥了部分中介作用,碳排放权交易提高了控排企业的碳排放成本,引起区域产业结构升级来降低试点区域的碳排放量。列(4)的交乘项系数在 5%的水平上显著为正,表明碳交易政策促进了区域能源消费结构优化,清洁能源在能源消费结构中的比例扩大。列(5)的交乘项系数在 1%的水平上显著为负,能源消费结构优化的系数在 5%的水平上也显著为负,表明能源消费结构优化在区域的碳减排方面发挥部分中介作用,碳排放权交易对试点地区控排企业产生了减排压力,控排企业为了降低减排成本,控排企业一方面通过减产能降低碳排放,另一方面,增加清洁能源在企业生产过程中能源消费的比重,从源头上减排降碳,碳排放权交易通过促进区域能源消费结构优化来降低试点区域的碳排放量。

3.4 协同减排效应分析

在二氧化碳的排放过程中往往会伴随着其他污染物的排放,碳排放和其他污染物排放的同根同源性,碳排放权交易会产协同减排效应,在减少碳排放量的同时,也会减少其他污染物的排放。以二氧化硫排放量、氨氮排放量与化学需氧量作为被解释变量,利用式(1)进行回归,结果见表 4。

以二氧化硫排放量、氨氮排放量与化学需氧量作为被解释变量时,交乘项系数均在 5%的水平上显著为负,表明碳排放权交易对试点地区其他污染物发挥了协同减排的作用。可能的解释是,碳排放权交易促进了试点地区的能源消费结构优化,能源

消费更加偏向清洁低碳能源,煤炭等化石能源在能源消费结构中的比例下降,煤炭含硫量大,燃烧后会产生大量的二氧化硫,碳交易政策减少了煤炭等化石能源的使用,也减少了二氧化硫的排放量。氨氮排放量和化学需氧量来自废水排放,纳入碳排放

权交易的主要是电力、钢铁及水泥等行业,这些行业在生产过程中会排放大量的废水,碳交易政策提高了发电厂、钢铁厂、水泥厂的减排成本,这些行业会通过减产或者采用绿色低碳技术进行生产,会减少废水的排放量,降低了氨氮排放量和化学需氧量。

表 3 影响机制检验结果

变量	(1) C	(2) industry	(3) C	(4) consume	(5) C
After×Treated	-0.041 3*** (-6.341)	0.186 5*** (4.566)	-0.034 2*** (-5.563)	0.056 6** (2.162)	-0.039 1*** (-6.158)
industry			-0.037 7*** (-3.454)		
consume					-0.039 0** (-2.546)
ln gdp	-0.082 0*** (-2.768)	-1.059 5*** (-8.460)	-0.121 9*** (-3.880)	0.010 7 (0.285)	-0.081 6*** (-2.765)
ln finance	0.008 1 (-0.762)	0.273 0*** (5.139)	0.002 2 (0.216)	-0.024 9* (-1.858)	-0.009 1 (-0.850)
ln transport	0.004 7 (0.299)	0.337 8*** (5.545)	0.017 4 (1.127)	-0.012 5 (-0.629)	0.004 2 (0.270)
ln invest	0.011 5** (2.294)	0.002 9 (0.060)	0.011 6** (2.193)	0.016 8** (2.152)	0.012 1** (2.440)
ln innovation	0.002 2 (0.269)	-0.082 3** (-2.343)	-0.000 9 (-0.112)	-0.013 8 (-1.219)	0.001 6 (0.202)
Constant	0.778 7*** (3.043)	12.557 6*** (13.329)	1.251 6*** (3.918)	0.294 6 (1.203)	0.790 2*** (3.080)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	390	390	390	390	390
R ²	0.883	0.971	0.886	0.377	0.884

表 4 协同减排效应回归结果

变量	(1) 二氧化硫	(2) 氨氮排放	(3) 化学需氧
After×Treated	-0.596 4*** (-6.095)	-0.172 3*** (-3.350)	-0.122 0** (-2.140)
ln gdp	0.079 2 (0.386)	0.657 0*** (3.383)	0.050 8 (0.279)
ln finance	0.386 6*** (4.376)	0.061 2 (0.700)	0.290 5*** (3.046)
ln transport	0.046 0 (0.269)	0.440 8*** (3.150)	-0.005 0 (-0.041)
ln invest	-0.053 4 (-0.959)	-0.051 4 (-1.200)	0.038 5 (0.901)
ln innovation	0.051 7 (0.735)	0.203 7*** (3.120)	0.225 1*** (3.815)
Constant	-1.653 0 (-1.105)	-12.312 3*** (-10.064)	-3.683 8*** (-2.778)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
N	390	390	390
R ²	0.950	0.961	0.948

4 结论与建议

本文以碳排放权交易试点来构建一个准自然实验,运用倾向得分匹配-双重差分模型分析碳排放权交易试点的区域碳减排效应,得出以下结论:碳排放权交易试点降低了区域的碳排放量;碳交易政策通过引起试点区域的产业结构升级和能源消费结构优化,促进控排企业进行采用低碳技术转型和提高清洁能源在能源消费中的比重来减少碳排放;碳交易政策能够发挥协同减排效应,在促进碳减排的同时,也促进了二氧化硫排放量、氨氮排放量及化学需氧量等其他污染物的降低。基于以上结论,提出以下建议。

1)要继续加快推进全国碳交易市场,坚持碳交易政策试点和全国统一碳市场建设,使试点地区的碳市场逐步融入全国统一的碳市场。将更多的控排企业纳入碳交易市场,完善碳市场交易机制,促进区域的碳减排。

2)畅通碳减排的渠道,碳排放权对区域的碳减

排效应通过提高控排企业的碳排放成本倒逼企业主动采用低碳技术减排,同时碳交易政策引起的产业结构升级和能源消费结构优化,促进区域的碳减排。区域要加快推进产业结构调整升级,工业企业绿色转型,促进能源消费结构优化,提高清洁低碳能源的消费比例。

3)完善碳市场配套机制,发挥协同减排效应。碳交易政策也促进了二氧化硫等污染物排放量降低,在碳市场的发展过程中要建立完善相关污染物减排的激励机制,发挥好协同减排的作用。

参考文献

[1] 刘传明,孙喆,张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(11):49-58.

[2] 李若男,杨力俊,赵晓丽. 基于空间模型的中国碳交易减排效果分析[J]. 全球能源互联网,2021,4(5):486-496.

[3] 蒋和胜,孙明茜. 碳排放权交易、产业结构与地区减排[J]. 现代经济探讨,2021(11):65-73.

[4] 曾诗鸿,李璠,翁智雄,等. 碳市场的减排效应研究:来自中国碳交易试点地区的经验证据[J]. 中国环境科学,2021(12):1-15.

[5] 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.

[6] 吴文洁,王瑜,张燕飞. 碳交易试点政策能否提高区域生态效率[J]. 商业经济,2021(12):137-141.

[7] 宋德勇,朱文博,王班班. 中国碳交易试点覆盖企业的微观实证:碳排放权交易、配额分配方法与企业绿色创新[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(1):37-47.

[8] 乔国平. 碳排放交易制度对企业创新激励研究:基于企业现金流和资产收益率视角的分析[J]. 价格理论与实践,2020(10):167-170.

[9] 李治国,王杰. 中国碳排放权交易的空间减排效应:准自然实验与政策溢出[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(1):26-36.

Regional Emission Reduction Effect of Carbon Emissions Trading Pilot:

Based on PSM-DID model

MAO Ying, QU Mengjie, ZENG Lizhen

(School of Economics,Wuhan Textile University,Wuhan 430200,China)

Abstract: The data of 30 provinces,region and cities in China from 2007 to 2019 are selected, byconstructing a quasi-natural experiment with carbon emission trading policy, and using the propensity score matching-double difference model to analyze the carbon emission reduction effect of the carbon emission trading pilot on the region. The study found that carbon emissions trading reduced carbon emissions in the pilot area. After the intermediary effect test, it is found that carbon emission rights trading promotes carbon emission reduction by causing the industrial structure upgrade and energy consumption structure optimization in the pilot area, accelerating the adjustment and upgrading of the industrial structure in the pilot area, increasing the proportion of clean and low-carbon energy consumption, reducing consumption of fossil energy such as coal. Through the analysis of synergistic emission reduction effect, it is found that carbon emission rights trading has played a role in synergistic emission reduction, reducing the emissions of other pollutants such as sulfur dioxide.

Keywords:carbon emission rights trading;carbon emission reduction;industrial structure upgrade;energy consumption structure optimization;coordinated emission reduction