

# 排污权交易制度对绿色发展效率的影响

刘传明\*

**摘要:**排污权交易制度是通过市场交易手段将企业的生产成本内生到企业生产过程中,倒逼企业加强研发投入和生产技术革新,那么,排污权交易制度是否能够实现“环境污染治理”和“绿色发展效率提升”的双赢呢?本文将排污权交易制度作为一项准自然实验,采用双重差分法考察排污权交易制度对绿色发展效率的影响效应。研究发现:排污权交易制度能够显著促进绿色发展效率的提升,中介效应的检验结果显示排污权交易制度通过创新驱动效应和外商直接投资效应提高绿色发展效率,研究结论支持“波特假说”和“污染光环假说”;异质性分析结果显示,命令型环境规制水平较高的地区排污权交易制度的政策效果较差。本文提出以下政策建议:积极推动排污权交易制度建设,逐步实现排污权交易试点的扩容,引导企业在技术创新激励下构建绿色发展效率提升的长效机制,企业可以根据自身发展需要选择技术革新路径,增加企业的绿色产出,不断提高绿色发展效率。

**关键词:**排污权交易制度;绿色发展效率;环境规制;技术创新;PSM-DID

## 一、引言

习近平总书记指出:“实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局。”排污权交易制度是利用市场机制推动碳减排的重要政策工具,是实现碳达峰、碳中和的关键路径。“十四五”规划明确指出,改善环境质量必须要全面实行排污许可制度,不断推进排污权、用能权、用水权、碳排放权等交易机制,采用市场化手段促进环境污染有效治理和绿色发展效率提升。2014年国务院办公厅公布的《关于进一步推进排污权有偿使用和交易试点工作的指导意见》提出建立排污权交易制度的时间

\*刘传明,中央财经大学经济学院,邮政编码:102206,电子信箱:lcm341920@126.com。

本文系国家自然科学基金青年项目“韧性视域下生态优先和绿色发展的协同路径研究”(20CJY013)和国家自然科学基金项目“供给侧结构性改革下农业绿色全要素生产率的空间格局及提升路径研究”(18BJY140)的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

表,到2017年试点地区排污权有偿使用和交易制度基本建立。那么,排污权交易制度是否可以在“降低环境污染”和“提升绿色发展效率”之间实现双赢?本文的核心问题在于研究排污权交易制度对绿色发展效率的影响效应。目前解决环境污染问题的途径主要有政府型环境规制、市场型环境规制和社会公众型环境规制。福利经济学家Pigou(1933)认为可以通过征收庇古税的手段来解决外部性问题,然而征收庇古税需要满足边际社会成本等于边际私人收益的条件,遗憾的是,这一条件在现实中很难满足,不能有效解决“公地悲剧”问题。新制度经济学的产权理论认为当交易费用不为零时,可以通过产权界定的方式,将产权作为一种特殊的商品在自由市场上交换和买卖,由于产权是明晰的,市场上的行为个体为了降低交易费用,将资源通过市场手段配置到产出最大、成本最低的地方(Coase, 1960),正是由于市场机制和竞争机制的引入,内化了公共产品产生的负外部效应,从而避免了“公地悲剧”的发生(武普照、王倩, 2010)。Dales(1968)提出的排污权交易是在排污总量不超过许可排污量的前提下,省际间采用市场交易的手段对排污权进行交易以实现减排的目的。排污权交易制度成为解决环境污染问题的重要途径,排污权交易是将污染排放权作为一种特殊的商品在市场上交易的行为,旨在通过市场机制的作用达到降低环境污染的目的。由于排污权交易将污染排放所产生的成本内生到企业的生产过程,倒逼企业进行技术研发、推动企业进行生产工艺革新,从而达到提高绿色发展效率的目的。为了实现降低环境污染和推动绿色发展效率的双赢发展,2007年财政部、环保部和发改委联合批复了湖北、浙江、湖南、天津、河南、江苏、重庆、山西、陕西、河北、内蒙古这11个省份作为排污权交易试点。那么排污权交易试点的实施是否促进了绿色发展效率?排污权交易试点对绿色发展效率的影响机制是什么?这些问题的回答对于降低环境污染、提高绿色发展效率,进而实现中国经济高质量发展具有重要意义。

近年来,学者们逐渐意识到市场型环境规制的优势,围绕着排污权交易制度的政策效果展开研究。通过对现有文献的梳理,发现现有文献往往将排污权交易制度视为一项“准自然实验”,评估环境规制政策是否对环境质量的改善起到立竿见影的效果(范丹等,2017;Zhang et al., 2017;李斌等,2019)。2007年排污权交易试点实施以来,围绕着排污权交易试点实施效果的研究逐渐增多,从排污权交易试点的实施效果来看,学者们竟得出了两种截然相反的结论,部分学者认为排污权交易并未达到预期效果(Wang et al., 2004;李永友、沈坤荣,2008;涂正革、谌仁俊,2015),另一部分学者则认为排污权交易试点通过市场交易机制将企业成本内生化,能够降低环境污染水平(李永友、文云飞,2016;吴朝霞、葛冰馨,2018;梅林海、朱韵琴,2019)。学者们之所以得出完全相反的结论,其原因可能有两点:第一,两类研究所采用的时间跨度不同,前者所采用的时间跨度较短,仅反映了排污权交易试点实施之后一年的效果,后者所采用的时间跨度较长;第二,两类研究所采用的政策评估方法和选择的指标不同,政策评估方法选择是否科学将严重影响政策评估效果。目前有关排污权交易试点效果评估

的研究主要包括以下三类:第一,采用单差法通过对比排污权交易制度实施前后污染排放量的变化来说明排污权交易试点的实施效果(李永友、沈坤荣,2008;刘承智等,2016)。虽然单差法可以直观地对比排污权交易试点实施前后污染物的变化,但如果仅在排污权交易制度实施后对不同省份的污染物进行比较,容易将政策实施前可能存在的不可观测的组间差异误认为试点政策的影响,因此,单差法陷入理论困境。第二,为了弥补单差法的局限,学者们将研究重点转移到政策评估方法上,目前对排污权交易试点的政策评估往往采用双重差分法。一部分学者采用双重差分法对二氧化硫排放权交易试点的减排效果进行评估(涂正革、谌仁俊,2015;闫文娟、郭树龙,2017),另一部分学者采用双重差分法对碳排放权交易试点的政策效果进行了评估(Cheng et al., 2015; Liu et al., 2015; Tang et al., 2015; 王文军等, 2018; 任亚运等, 2020)。双重差分法适用的前提是对照组和控制组需要满足平行趋势假定,然而,由于区域间经济发展水平、减排技术水平、能源消费强度等因素存在较大差异,不仅各地区环境污染水平存在显著的差异(刘华军、赵浩,2012;杨骞等,2017),而且污染的收敛速度也存在明显差异(刘亦文等,2018),因此,双重差分法所要求的平行趋势假设很难得到满足。第三,为了提高双重差分法的适用性,Heckman等(1997)将DID发展为PSM-DID,因此学术界采用PSM-DID对排污权交易试点的实施效果进行研究(李永友、文云飞,2016;傅京燕等,2018;王树强、庞晶,2019),研究发现在大样本情况下PSM-DID能够保证匹配效果最优,使研究结论更具可信性。本文采用城市大样本数据可以使PSM-DID的优势更加凸显。

与已有研究相比,本文的创新之处主要体现在以下三个方面:首先,本文首次关注到排污权交易制度对绿色发展效率的影响,并基于2004—2017年城市面板数据采用双重差分法和倾向得分匹配双重差分法考察排污权交易制度对绿色发展效率的影响;其次,本文首次对排污权交易制度影响绿色发展效率的理论机制进行了分析,构建中介效应模型对影响渠道进行实证检验,并对区域异质性和环境规制异质性进行检验;第三,本文采用PSM-DID以及安慰剂检验方法分析排污权交易制度对绿色发展效率的影响,进行了稳健性检验。

## 二、政策背景与理论机制

### (一)制度背景

排污权交易制度将环境污染物的排放权赋予商品属性,在污染物排放总量控制前提下,利用市场机制建立排污权交易市场,允许排污权在交易市场上进行买卖,从而达到减少排放量、保护环境的目的。排污权交易制度的内涵主要体现在两个方面:一方面,排污权交易制度的实施依靠政府环保法律将污染物排放权利合法化,以排污单位的污染物排放数量、企业生产能力等因素,发放排污许可证,以此对污染物的排放进行控制。另一方面,排污权交易制度是市场型环境规制手段,为激励企业环境保护意识,排污权交易双方通过交易来降低环境污

染的治理成本。在环境污染的治理成本存在较大差距的情况下,环境污染治理成本较低的企业,可以利用自身优势降低环境污染物排放,将富余的排污权出售给排污权缺乏的企业,这就会迫使污染者为追求盈利而降低治理成本,进而减少环境污染物排放。2007年财政部、环保部和发改委批复在江苏、浙江、天津、湖北、湖南、内蒙古、山西、重庆、陕西、河北和河南11个地区开展排污权交易试点,在不同试点形成了特色各异的排污权交易体系。目前,排污权交易制度试点地区允许交易的主要污染物有四种,分别为化学需氧量、氨氮、二氧化硫和氮氧化物。与强制性环境制度相比,排污权交易制度是实现环境污染治理与绿色发展效率双赢的重要经济手段,排污权交易制度具有以下三方面优势:其一,排污权交易制度使企业不必花费大额投资去实现法律或政府规定的减排指标,可以集中优势资源进行生产经营,因此能够实现污染控制与企业盈利双赢发展;其二,排污权交易制度所产生的成本收益机制能够促进企业进行生产技术的创新,不仅可以降低污染而且能够促进绿色发展效率;其三,排污权交易制度是以市场手段解决环境问题,减少了政府对市场的干预,提高市场经济效率。那么,排污权交易制度是如何促进绿色发展效率的呢?为了回答这一问题,本文绘制了图1。

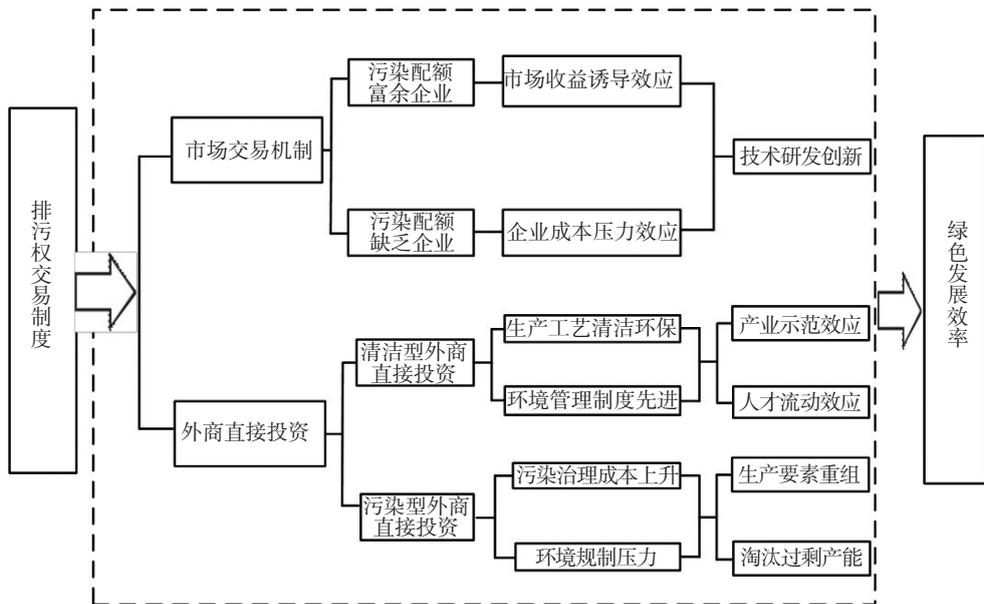


图1 排污权交易制度对绿色发展效率的影响机制分析

(二)理论机制分析

排污权交易制度作为一种市场激励型环境规制会对市场主体产生影响,对于国内企业来讲,排污权交易制度会通过市场收益诱导效应、企业成本压力效应促进企业技术创新,从而促进绿色发展效率提升;对于国外企业来讲,排污权交易制度通过影响外商直接投资的产业示范效应、人才流动效应提升绿色发展效率。

### 1. 排污权交易制度的技术创新驱动效应

排污权交易制度允许企业在合乎法律规范的前提下自由转让排污权,一方面,对于污染配额缺乏企业来讲,通过“企业成本压力效应”倒逼企业进行技术创新(Porter, 1991; Berman & Bui, 2001)。污染配额缺乏企业在消耗掉自身的污染配额外,其超出部分需要在排污权交易市场上进行购买,由于购买污染排放权所带来的生产成本增加,迫使企业进行生产工艺的创新(Porter & van der Linde, 1995)。另一方面,对于污染配额富余企业,主要通过“市场收益诱导效应”促进企业技术创新。由于低污染企业在生产工艺、技术研发等方面具有优势,因此可以利用清洁的生产工艺和先进的生产技术进行清洁生产。可以将企业所节约的污染排放权在排污权交易市场上向高污染企业出售,进而获取利润,企业将利用出售排污权获得的利润进行生产技术研发,进而促进技术创新水平的提高。

由排污权交易制度推动的技术创新水平的提高是绿色发展效率的内在动力,技术创新对绿色发展效率的影响主要通过以下三个方面实现:第一,技术创新水平的提高可以实现对原有产业部门的改造并建立新兴产业部门(毛蕴诗等, 2012),促进产业结构由劳动密集型向技术密集型转变,由初级产品制造向中高端产品制造转变。第二,技术进步可以促进资本、劳动等生产要素由生产率较低的部门向生产率较高的部门转移(Aghion & Howitt, 1994),进而促进绿色发展效率。第三,技术创新水平的提高能够促进新技术、新产品、新材料广泛应用于生产过程,改变了环境污染型企业的供给结构和需求结构,从而促进了绿色发展效率(王元地等, 2007)。综上所述,排污权交易制度无论是对高污染企业还是低污染企业,均能够促进企业技术创新,而技术创新水平的提高通过影响产业结构升级进而促进绿色发展效率。因此,本文支持“波特假说”,认为排污权交易制度通过促进企业技术创新对绿色发展效率产生影响。

### 2. 排污权交易的外商直接投资效应

外商直接投资在推动绿色发展效率等方面具有较大优势(王丽、张岩, 2016)。在过去较长的时期内,各地政府通过降低环境准入和放松环境监管(Wu et al., 2015)等方式吸引外资以促进地区经济增长,引发了环境规制逐底竞争问题(邓玉萍、许和连, 2013)。然而,随着环境因素在官员政绩考核中占比越来越高,地方政府为了实现经济发展与环境保护的双赢,必须以严格的环境规制引进高质量外资(魏玮等, 2017)。同时,由于各地区环境规制存在明显的空间差异性,外商直接投资的入驻决策会受到地区治污成本和企业污染排放强度的双重影响(薄文广等, 2018)。Lin和Sun(2016)的研究也表明外商投资企业多分布在环境规制较为宽松的地区。因此,在排污权交易制度下,地方政府对高质量外资的需求以及外商直接投资企业的生产经营和进入退出行为都会影响绿色发展效率。

排污权交易制度通过外商直接投资影响绿色发展效率的机制主要体现在以下两个方面。一方面,对于清洁型外商投资来讲,拥有清洁的生产技术和先进环境管理制度,具有强有

力的示范效应和竞争效应(Wang & Jin, 2007),会促进试点省份生产技术和环境管理制度等方面的革新,被称为“污染光环假说”,此外,企业间技术人员流动带来的技术溢出以及外商直接投资的前后向产业关联引发的垂直技术溢出(Markusen & Venables, 1999)均可以促进排污权交易制度绿色发展效率。另一方面,对污染型外商直接投资来讲,排污权交易制度实施带来的环境治理成本上升、市场竞争压力增大等困境会导致部分外商直接投资的外流(Keller & Levinso, 2002)或者生产要素重组,甚至淘汰落后产能,这直接影响试点省份城市的绿色发展效率。综上所述,排污权交易制度通过外商直接投资影响绿色发展效率,外商直接投资在排污权交易制度与绿色发展效率之间起到中介作用。

### 三、研究设计与数据说明

#### (一)绿色发展效率测度

绿色发展效率是以效率、和谐、持续为目标,在充分考虑到资源与环境双重约束的前提下,经济社会的投入产出效率。本文将从“绿色”“发展”和“效率”三个层面对绿色发展效率的内涵进行说明。从绿色层面来讲,新时代的绿色发展理论来自于“习近平生态文明思想”。党的十八大以来,习近平总书记高度重视经济的绿色发展,提出了建设美丽中国的发展目标。并且围绕这一目标,2013年习近平总书记在纳扎尔巴耶夫大学发表演讲时阐释了“既要绿水青山,也要金山银山;宁要绿水青山,不要金山银山,而且绿水青山就是金山银山”的“两山论”,旗帜鲜明地反对以牺牲生态环境为代价换取经济的一时发展。2015年10月29日,习近平总书记在党的十八届五中全会第二次全体会议上提出了创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,强调绿色发展方式是生态文明建设的发展路径。从发展层面来讲,党的十九大提出中国已经由过去的高速增长阶段逐渐向高质量发展阶段转化,发展思路已经由过去强调“量的积累”,向注重“质的提升”转化。因此,中国经济发展需要转变过去的经济发展方式、逐渐优化产业结构、转换经济发展的动力,实现经济高质量发展与环境治理“共赢”局面的绿色经济增长(卞元超等, 2020)。在党的十九大上,习近平总书记指出要推动经济发展质量变革、效率变革和动力变革,因此,经济发展效率要贯穿经济发展的全过程。从效率层面来讲,提升经济效率是宏观经济运行的目标之一。由于市场在资源配置中起决定作用,因此,市场竞争是提高经济效率的重要途径,市场竞争归根结底是投入产出比较的竞争、效率高低的竞争。因此,经济效率的提升要逐渐破除制约经济效率提升的体制机制障碍,以既定的投入获取最大的产出。综上所述,绿色发展效率是在资源承载力和环境保护的约束条件下,将提升经济系统的投入产出效率作为实现经济高质量发展的途径。本文从以下三个方面对绿色发展效率进行理论阐释:第一,绿色发展效率将资源环境作为经济社会高质量发展的内在要素;第二,绿色发展效率是将经济(Economics)、社会(Social)和环境(Environment)作为一个投入产

出系统;第三,实现经济社会的可持续发展是绿色发展效率提升的目标。

本文借鉴Pastor和Lovell(2005)的方法,在全局参比的DEA框架下,综合考虑非期望产出的超效率SBM模型对城市绿色发展效率进行测度。全局参比的方法是利用整个考察期间所有决策单元的投入产出数据构建最佳生产前沿,将不同时期的决策单元均在全局最佳生产前沿下进行测度,有效解决测度存在不可行解以及跨期不可比等问题。采用超效率模型可以对有效决策单元进一步比较,避免多个决策单元同时有效时无法做出进一步比较的局限性。本文借鉴刘传明和马青山(2020)的研究,当两种技术假设下得到不同的结果时,选择规模报酬可变假设下得到的结果,因此,本文采用规模报酬可变假设下测算的绿色发展效率作为本文的被解释变量,采用规模报酬不变假设下测算的绿色发展效率作为稳健性检验。

## (二)双重差分模型构建

本文采用双重差分法对排污权交易试点的绿色发展效率效应进行了评估,为了保证研究结论的稳健性,本部分继续采用双重差分倾向得分匹配方法(PSM-DID)研究排污权交易试点对绿色发展效率的影响。

### 1.模型构建

本部分采用PSM-DID方法研究排污权交易制度对绿色发展效率的影响。本文将以2007年排污权交易制度的实施为时间分界点,将2004—2017年分为2组,2004—2006年为政策实施之前,2007—2017年为政策实施之后。将中国278个城市分为2组,实施排污权交易试点的城市为实验组、未实施排污权交易试点的城市为控制组。基于此,本文设置了 $Time$ 和 $Group$ 两组虚拟变量, $Time$ 表示时间虚拟变量,排污权交易制度实施之前为0,实施之后为1, $Group$ 表示组间虚拟变量,排污权交易试点地区为1,非排污权交易试点为0。我们构建具体计量模型如下式所示:

$$effect_{it} = \beta_0 + \beta_1 Time + \beta_2 Group + \beta_3 (Time \times Group) + \alpha \sum_{i=1}^N X_{ij} + \varepsilon_{it}$$

上式中 $i$ 表示城市, $t$ 表示年份, $effect$ 为被解释变量,表示各城市绿色发展效率指数, $X$ 表示控制变量,包括金融发展水平( $finace$ )、教育发展水平( $edu$ )、产业结构( $indu$ )、技术创新水平( $sci$ )、人口规模( $popu$ )等。 $Time$ 为时间虚拟变量,2007年实施排污权交易制度之前为0,实施排污权交易制度以后为1, $Group$ 为组间虚拟变量,实施排污权交易试点的省份为1,其他省份为0。 $Time \times Group$ 为双重差分项,回归系数 $\beta_3$ 表示排污权交易试点的绿色发展效率效应。

### 2.研究样本与数据来源

本文被解释变量为:绿色发展效率( $effect$ ),指在非期望产出约束下中国经济的投入产出效率,本文采用全局可参比的超效率SBM模型进行测度(刘传明、马青山,2020)。核心解释变量为:排污权交易制度( $did$ ),采用组间虚拟变量与时间虚拟变量的交互项来反映排污权交易的政策变量,组间虚拟变量是指实施排污权交易制度的11个省市定义为1,其他省市定义为

0,时间虚拟变量是指实施排污权交易制度之前定义为1,之后定义为0。控制变量主要包括:(1)经济发展水平(*rgdp*),经济发展水平是影响绿色发展效率的重要因素,经济发展水平是提升绿色发展效率的前提和基础,采用市辖区人均地区生产总值来衡量;(2)外商直接投资(*fdi*),外商直接投资因其具有清洁的生产技术以及先进的环境管理经验,对入驻地区的企业产生示范效应和扩散效应,从而促进入驻地区绿色发展效率的提升,采用城市实际利用外资总额来衡量;(3)金融发展水平(*finace*),金融发展能够为经济发展提供较多的资本,缓解企业融资约束,进而促进绿色发展效率提升,本文采用存款余额与贷款余额的总额与国内生产总值的比值来衡量;(4)教育发展水平(*edu*),教育的发展能够提升劳动人口素质,从而促进人力资本的累积,促进绿色发展效率的提升,本文采用城市教育支出总额来衡量教育发展水平;(5)技术创新水平(*sci*),科学技术支出是技术创新的重要保障,技术创新对于促进全要素生产率增长具有重要的意义,因此,本文采用城市科学技术支出总额来衡量技术创新水平;(6)人口规模(*popu*),能够反映劳动力的禀赋情况,劳动力丰富的地区能够为经济发展提供源源不断的劳动力,进而促进绿色发展效率的提升,本文采用城市人口规模来衡量;(7)产业结构(*indu*),能够反映产业结构状况,产业结构直接影响绿色发展效应的提升,本文采用第二产业占比作为产业结构的代理指标。

本部分选取2004—2017年中国278个城市作为研究样本<sup>①</sup>,将11个排污权交易试点所包含的城市作为实验组,将其他19个省市(不含西藏和港澳台地区)所包含的城市作为对照组。本文采用的所有预测变量的原始数据均来自于国家统计局。人均产出数据采用实际地区生产总值除以各省年末总人口,实际地区生产总值是以2004年为基期进行消胀处理。金融发展水平是采用城市存款余额与贷款余额之和除以实际地区生产总值得到,其中教育发展水平和技术创新水平数据来自于2004—2017年《中国城市统计年鉴》。

#### 四、排污权交易制度对绿色发展效率影响的实证分析

##### (一)平行趋势检验

为了精准识别排污权交易试点对绿色发展效率的影响效应,在对上述模型进行估计之前需要对平行趋势假设进行检验。处理组和控制组之间的平行趋势检验意味着:在排污权交易制度实施之前,处理组和对照组的绿色发展效率的演变趋势一致,绿色发展效率不存在显著的差异,本文通过图示法检验处理组和控制组绿色发展效率的演变趋势。图2中虚线的左侧

<sup>①</sup> 本文采用2004—2017年中国278个城市为研究样本,时间跨度为2004—2017年,主要是基于在测算绿色发展效率的过程中,采用城市PM<sub>2.5</sub>浓度作为非期望产出,该数据来自美国国家航空航天局公布的卫星遥感数据,利用国家基础地理信息中心提供的1:4000000中国基础地理信息数据裁剪得到各城市历年PM<sub>2.5</sub>浓度均值,因而这一数据仅更新到了2017年。

表示排污权交易制度实施之前的时期,虚线的右侧表示排污权交易制度实施之后的时期。从图2可以发现,在虚线的左侧,即在排污权交易制度实施之前的时期内处理组和对照组的绿色发展效率的演变趋势基本一致,在虚线的右侧,即在排污权交易制度实施之后的时期内处理组和对照组绿色发展效率的差异逐渐开始显现,处理组的绿色发展效率的上升速度要大于对照组。综上所述,本文的处理组和控制组满足双重差分法的平行趋势假设,排污权交易试点的实施可能促进了绿色发展效率的提升。

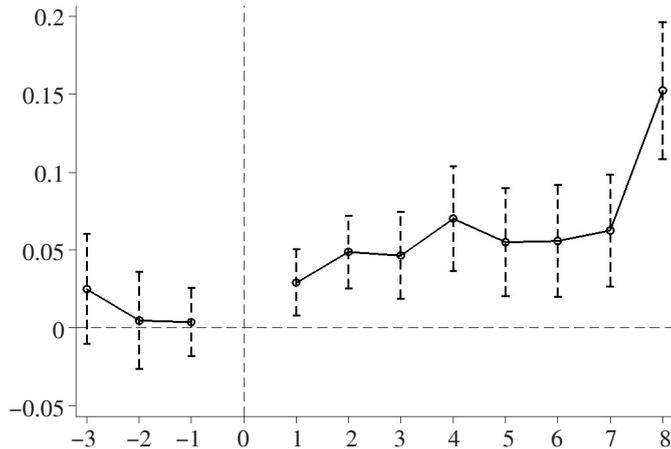


图2 排污权交易制度的平行趋势检验

## (二)基准回归

表1报告了排污权交易试点实施的DID回归结果,模型(1)和模型(3)是没有控制其他控制变量所得到的估计结果,模型(2)和模型(4)为加入其他控制变量的回归结果。为了避免区域异质性和时间趋势对绿色发展效率的影响,模型(4)将同时采用时间固定效应和个体固定效应模型进行估计。

根据表1我们发现无论是否加入控制变量,双重差分项的估计系数均为正值且通过了显著性检验,这说明排污权交易制度的实施促进了绿色发展效率的提升,排污权交易制度是导致绿色发展效率提升的原因,二者具有因果关系。其原因是:排污权交易制度在实施过程中,污染排放权富余的企业不仅可以将污染排放权出售给污染排放额度不足的企业,而且污染排放权富余的企业可以获得减少环境污染带来的转让收益。在市场收益的诱导下企业会改良生产技术,从而达到环境保护和市场收益双赢的效果。对于污染排放权不足的企业,因为购买污染排放权所增加的企业成本直接计入企业的成本函数,因此企业会考虑到成本变化给企业产出和利润所带来的影响,迫使高污染的企业革新设备,促进技术进步、减少成本进而增加企业收益。表1中加入控制变量的调整 $R^2$ 与未加入控制变量的调整 $R^2$ 相比,拟合效果明显改善,这说明控制变量中的影响因素是影响绿色发展效率的重要变量。

表1 双重差分法的基准回归模型

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
时间虚拟变量	-0.014 (0.008)	-0.069*** (0.013)	0.029** (0.013)	0.090** (0.039)
组间虚拟变量	-0.106*** (0.025)	-0.114*** (0.025)	-0.064 (0.056)	-0.157* (0.089)
排污权交易制度	0.037*** (0.014)	0.036*** (0.014)	0.037*** (0.013)	0.037*** (0.013)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制
常数项	0.414***	0.269***	0.543***	1.243***
时间固定效应	未控制	未控制	控制	控制
个体固定效应	未控制	未控制	控制	控制
调整的R <sup>2</sup>	0.002	0.017	0.045	0.059
观测值	3614	3614	3614	3614

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%的显著性水平检验,括号内为标准误。下表同。

### (三)PSM-DID 检验

在进行准自然实验的研究设计过程中,如果政策冲击是严格外生的,可以根据政策冲击直接通过设置实验组和控制组的形式采用双重差分法进行因果关系识别,但是由于排污权交易制度在设计的过程中,划定为排污权交易试点的省份即实验组的选择并非由随机的外生冲击产生,而是受到这些省份污染排放情况、排污权交易市场发展情况等因素的影响,因此,需要采用PSM-DID方法对政策可能存在的外生性进行剔除。

本文将进一步采用PSM-DID方法检验排污权交易制度对绿色发展效率的影响。其核心思想是通过核匹配、半径匹配、近邻匹配的方法匹配一个对照组,使排污权交易试点省份与非排污权交易试点省份在试点前满足共同趋势的假定。首先,采用核匹配、半径匹配、近邻匹配的方法对变量进行匹配;其次,采用T检验方法对匹配前后的变量进行平衡性检验;最后,采用Logit模型对排污权交易试点的政策进行评估。本文采用PSM-DID对排污权交易试点的绿色发展效率效应进行进一步的探讨。PSM-DID能够解决传统DID中各经济变量不满足共同趋势假定所带来的估计结果存在偏误的问题。PSM-DID检验结果是否科学,完全取决于样本的观测值是否满足“条件独立性”假定,换言之,匹配后的实验组省份和对照组省份在排污权交易制度实施之前不存在显著的差异。若匹配之后实验组省份和对照组省份在排污权交易制度实施之前存在显著的差异,这会导致由匹配方法不合适造成的匹配错误问题。因此在进行PSM-DID回归之前对变量进行平衡性检验是相当必要的。

表2报告了倾向得分匹配平衡性检验的结果,结果显示,匹配之后协变量金融发展水平

表2 倾向得分匹配平衡性检验

变量	匹配情况	均值		T检验	
		实验组	控制组	T统计量	P值
金融发展水平	未匹配	6.315	5.148	8.250	0.000
	匹配	6.162	5.931	1.500	0.134
产业结构	未匹配	0.496	0.519	-0.700	0.484
	匹配	0.496	0.492	0.150	0.879
教育发展水平	未匹配	12.705	12.380	9.690	0.000
	匹配	12.704	12.716	-0.330	0.74
人口规模	未匹配	4.660	4.566	3.540	0.000
	匹配	4.663	4.694	-1.020	0.309
技术创新水平	未匹配	9.729	9.292	7.490	0.000
	匹配	9.729	9.7389	-0.160	0.873
经济发展水平	未匹配	10.364	10.224	5.280	0.000
	匹配	10.364	10.366	-0.070	0.947

(*finace*)、产业结构(*indu*)、教育发展水平(*edu*)、人口规模(*popu*)、技术创新水平(*sci*)、经济发展水平(*rgdp*)的均值在实验组与对照组之间的差异并不显著,这说明可以选择PSM-DID方法对排污权交易试点的绿色发展效率效应进行评价。本文采用核匹配、近邻匹配和半径匹配的方法来确定权重,并采用PSM-DID方法对排污权交易试点的绿色发展效率效应进行评估,表3报告了评估结果。根据表3我们发现以绿色发展效率作为被解释变量时,政策变量的回归结果为0.038,且通过了10%的显著性水平检验,这意味着当实施排污权交易制度之后绿色发展效率呈上升趋势,这说明排污权交易试点促进了绿色发展效率的提升,二者具有因果关系。

表3 排污权交易试点的实施效果:PSM-DID检验

变量	核匹配	半径匹配	近邻匹配
	<i>effect</i>	<i>effect</i>	<i>effect</i>
排污权交易制度	0.038* (0.021)	0.039* (0.021)	0.037* (0.021)
控制变量	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制
常数项	1.3219*** (0.365)	1.4517*** (0.376)	1.0526*** (0.357)
观测值	3611	3604	3614
F值	6.835	6.881	6.847
调整的R <sup>2</sup>	0.635	0.636	0.632

#### (四)安慰剂检验

为了确保排污权交易制度对绿色发展效率的影响具有较强的稳健性,检验排污权交易制度是否受到地区特征及随机因素的影响,本文通过随机筛选排污权交易制度并随机产生实施排污权交易政策的实验组,据此构造了安慰剂检验。本文通过随机抽取39个城市,并按照基准回归模型进行随机回归500次,进而得到随机处理后的 $did$ 项系数的均值为0,且不显著,与基准回归结果相差较远。根据基准回归估计系数的概率来判断结论的可靠性。为了确保安慰剂检验的稳健性,本文采用Bootstrap的方式将上述随机过程迭代500次,最后绘出排污权交易制度估计系数Kernel核密度图。据此说明绿色发展效率是否显著受到除排污权交易制度外的其他因素的影响。如果安慰剂检验显示排污权交易制度的估计系数分布在0附近,说明计量模型并未遗漏重要变量,换言之,基准回归的影响系数是排污权交易制度的实施带来。图3展示了估计系数Kernel核密度分布图,虚拟双重差分项的估计系数集中分布于0附近,表明回归结果具有较强的稳健性。

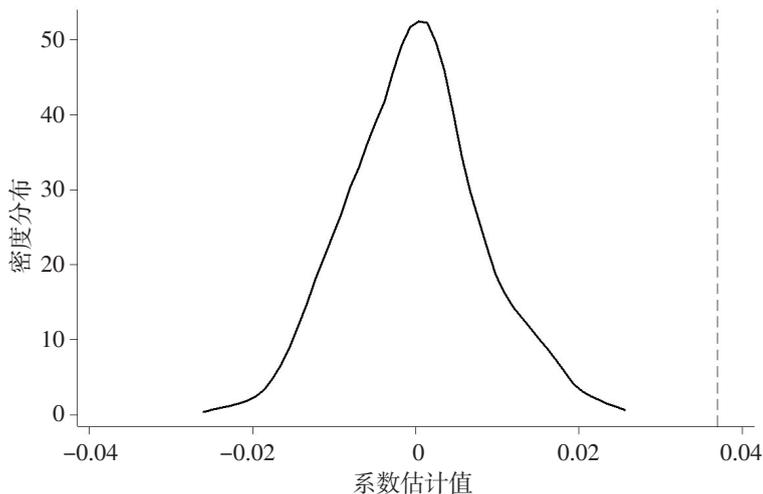


图3 排污权交易制度对绿色发展效率的安慰剂检验

### 五、排污权交易制度对绿色发展效率的影响机制分析

通过上文的分析我们发现排污权交易制度对绿色发展效率具有显著的促进作用,那么排污权交易制度通过何种机制促进绿色发展效率?本文将技术创新作为中介变量对排污权交易制度影响绿色发展效率的中介效应进行检验。

#### (一)中介效应检验

根据第三部分的理论机制分析,我们发现排污权交易制度通过技术创新和外商直接投资对绿色发展效率产生影响,因此,本文将技术创新作为中介变量。由于实用新型专利具有研

制周期短、实用性强等优点,排污权交易制度实施后,企业将首先考虑提高企业的实用新型技术来实现创新水平的提高,因此,技术创新变量采用国内实用新型专利申请授权量来衡量,数据来自于国家统计局新版数据库。

根据 Baron 和 Kenny (1986)对中介效应模型的介绍,本文构建中介效应模型的步骤如下:第一,将绿色发展效率作为被解释变量,将排污权交易制度作为核心解释变量进行回归,如果排污权交易制度的回归系数显著为正,则表示排污权交易试点能够促进绿色发展效率。第二,将技术创新和外商直接投资作为中介变量,考察排污权交易制度对技术创新和外商直接投资的影响,如果回归系数显著为正,说明排污权交易制度的实施促进了技术创新和外商直接投资。第三,用技术创新和外商直接投资对绿色发展效率进行回归,如果回归结果为正且通过显著性检验,说明技术创新和外商直接投资能够促进绿色发展效率。第四,将排污权交易制度变量和中介变量同时纳入到回归模型中,观察二者对绿色发展效率的影响。接下来将按照中介效应的步骤构建模型:

$$effect_{it} = \beta_0 + \beta_1 Time + \beta_2 Group + \beta_3 Time \times Group + \phi \sum_{N=1}^N X_{it} + v_{it} \quad (1)$$

$$\ln med_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Time + \alpha_2 Group + \alpha_3 Time \times Group + \theta \sum_{N=1}^N X_{it} + \zeta_{it} \quad (2)$$

$$effect_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln med + \eta \sum_{N=1}^N H_{it} + \mu_{it} \quad (3)$$

$$effect_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Time + \gamma_2 Group + \gamma_3 Time \times Group + \gamma_4 \ln med + \psi \sum_{N=1}^N X_{it} + \tau_{it} \quad (4)$$

其中,  $effect$  表示的是绿色发展效率;  $Time$  表示排污权交易试点的时间虚拟变量,2007年之前为0,2007年之后为1;  $Group$  表示排污权交易试点的组间虚拟变量,属于排污权交易试点的省份为1,非排污权交易试点的省份为0;  $Time \times Group$  表示排污权交易试点的政策变量;  $X$  和  $H$  是一组控制变量,  $med$  为中介变量,分别表示技术创新( $sci$ )和外商直接投资( $fdi$ )。

## (二)技术创新驱动效应

为了分析排污权交易制度的创新驱动效应,本文将技术创新作为中介变量进行中介效应检验。表4报告了中介效应的估计结果,模型(1)的结果显示排污权交易制度的实施对绿色发展效率的回归系数为0.0395,通过了1%的显著性水平检验,这与前文双重差分法和PSM-DID得到的结果一致,换言之,排污权交易试点促进了绿色发展效率。模型(2)的结果表明,排污权交易制度对创新水平的回归系数为0.14,且通过1%的显著性水平检验,这意味着排污权交易制度显著提高了技术创新水平。模型(3)的回归结果显示,创新水平对绿色发展效率的回归系数为0.017,且通过了1%的显著性水平检验,这说明创新水平促进了绿色发展效率。模型(4)将排污权交易制度与创新变量同时纳入到回归模型中,发现技术创新变量对

绿色发展效率的回归系数为0.016,通过了1%的显著性水平检验,排污权交易制度的回归结果为0.037,通过了1%的显著性水平检验,与基准回归的0.0395相比排污权交易制度的系数有所下降,这说明排污权交易制度的实施通过技术创新促进了绿色发展效率,该结果支持了“波特假说”。排污权交易制度通过技术创新对绿色发展效率产生正向促进作用。

表4 技术创新的中介效应检验

变量	绿色发展效率 (1)	技术创新 (2)	绿色发展效率 (3)	绿色发展效率 (4)
时间虚拟变量	0.108*** (0.038)	1.135*** (0.115)	—	0.090** (0.039)
组间虚拟变量	-0.195** (0.088)	-2.401*** (0.262)	—	-0.157* (0.089)
排污权交易制度	0.0395*** (0.013)	0.140*** (0.039)	—	0.037*** (0.013)
技术创新	—	—	0.017*** (0.006)	0.016*** (0.006)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	1.160***	-5.203***	1.210***	1.243***
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
调整的R <sup>2</sup>	0.893	0.946	0.844	0.849

### (三)外商直接投资效应

为了分析排污权交易制度的外商直接投资效应,本文将各城市实际利用外商直接投资总额作为中介变量进行中介效应检验。表5报告了中介效应的估计结果,模型(1)的结果显示排污权交易制度对绿色发展效率的回归系数为0.039,通过了1%的显著性水平检验,这说明

表5 外商直接投资的中介效应检验

变量	绿色发展效率 (1)	外商直接投资 (2)	绿色发展效率 (3)	绿色发展效率 (4)
时间虚拟变量	0.108*** (0.038)	-2.662 (2.397)	—	0.118*** (0.038)
组间虚拟变量	-0.196** (0.088)	-74.332*** (5.473)	—	-0.028 (0.089)
排污权交易制度	0.039*** (0.013)	1.9612** (0.824)	—	0.033** (0.013)
外商直接投资	—	—	0.0024*** (0.0003)	0.002*** (0.0003)
控制变量	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
常数项	1.159	20.914	1.078	1.115

排污权交易制度促进了绿色发展效率。模型(2)的结果表明,排污权交易制度对外商直接投资的回归系数为1.9612,且通过5%的显著性水平检验,这意味着排污权交易制度显著促进了外商直接投资的提升。模型(3)的回归结果显示,外商直接投资对绿色发展效率的回归系数为0.0024,且通过了1%的显著性水平检验,这说明外商直接投资显著促进了绿色发展效率的提升。模型(4)将排污权交易制度与外商直接投资同时纳入到回归模型中,发现外商直接投资对绿色发展效率的回归系数为0.002,通过了1%的显著性水平检验。排污权交易制度的回归系数与基准回归的0.039相比有所下降且显著性水平下降。综上所述,外商直接投资在排污权交易制度与绿色发展效率之间起中介作用。

## 六、排污权交易制度对绿色发展效率影响的异质性分析

### (一)区域异质性分析

一般而言,在经济发达、技术水平成熟的地区排污权交易制度能够促进城市绿色经济效率的提高,而经济发展水平较差的地区,排污权交易制度对绿色发展效率的影响较弱。那么,各地区排污权交易制度对绿色经济效率的影响是否存在明显的差异呢? 本文将对排污权交易制度影响城市绿色发展效率的区域异质性进行考察,将278个城市按照区位不同划分到东部地区、中部地区、西部地区,考察三大经济区排污权交易制度对绿色经济效率的影响。

根据表6报告的区域异质性回归结果可知,东部地区排污权交易制度对绿色发展效率的回归系数为0.043,通过了10%的显著性水平检验,这意味着排污权交易制度能够显著促进东部地区绿色发展效率(傅京燕、程芳芳,2020)。西部欠发达地区的排污权交易制度对绿色发展效率的回归系数为0.064,通过了10%的显著性水平检验。从系数的大小来看,东部地区的

表6 排污权交易制度对绿色发展效率影响的异质性分析

	东部	中部	西部	规模报酬不变		规模报酬可变	
				低环境规制	高环境规制	低环境规制	高环境规制
时间虚拟变量	0.408*** (0.0705)	-0.151*** (0.0558)	-0.143 (0.0897)	0.091* (0.051)	0.145*** (0.0503)	0.019 (0.059)	0.150*** (0.053)
组间虚拟变量	-0.436*** (0.1071)	-0.041 (0.0734)	-0.501*** (0.0723)	-0.085 (0.081)	-0.081 (0.126)	-0.057 (0.094)	-0.309*** (0.061)
排污权交易制度	0.043* (0.025)	0.028* (0.0160)	0.064** (0.033)	0.025* (0.015)	-0.024 (0.021)	0.049*** (0.017)	-0.012 (0.022)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	3.150	-0.134	0.615	0.617**	1.075***	1.179***	1.156***
观测值	1300	1287	1027	2213	1387	2213	1387

回归系数小于西部地区的回归系数,可能的原因:西部地区经济发展过程中面临着经济赶超任务,地方政府更希望在短时间内促进经济增长,环境保护相应地被忽视,第二产业仍然是西部地区经济发展的驱动力,服务业和知识密集型产业的占比相对较低,内生技术进步路径有限,更多地依赖于外界的政策刺激。因此,西部地区排污权交易制度对城市绿色发展效率的影响相对较大。

## (二)环境规制异质性分析

前文的研究结果表明,排污权交易制度显著提升了绿色发展效率,那么,排污权交易制度对绿色发展效率的影响是否会因城市环境规制强度的不同而存在差异呢?这个问题的回答能够深入地了解排污权交易制度对绿色发展效率的影响在不同规制强度下存在的异质性问题(任胜钢等,2019)。本文采用未受到政策影响的2005年全市环境污染治理投资总额与全市生产总值之比作为环境规制强度的代理指标,如果城市环境规制水平高于均值则认为高环境规制强度,如果城市环境规制水平低于均值则认为低环境规制强度。本文进一步分析排污权交易制度对城市绿色发展效率的异质性作用。表6中绿色发展效率无论是采用规模报酬不变还是规模报酬可变,在环境规制强度更高的城市,排污权交易制度对绿色发展效率的影响系数均未通过显著性水平检验,这意味着在命令型环境规制较为严格的地区,排污权交易制度对绿色发展效率没有显著影响,这是由于命令型环境规制较为严格的地区,市场交易型环境规制对绿色发展效应的影响效应被命令型环境规制所挤出,导致该地区的绿色发展效率降低。而在命令型环境规制较低的地区,排污权交易制度对绿色发展效率的影响显著为正,这说明命令型环境规制较低的地区,市场型环境规制的优势更容易发挥,促进了绿色发展效率的提升。

## 七、研究结论与政策建议

### (一)研究结论

本文在对排污权交易制度与绿色发展效率的理论机制进行分析的基础上,将2007年开始实施的排污权交易制度视为一项准自然实验,并采用双重差分法研究排污权交易试点对绿色发展效率的影响,采用PSM-DID对排污权交易制度影响绿色发展效率的稳健性进行分析;在此基础上,构建了中介效应模型,对“波特假说”和“污染光环假说”进行验证。研究发现:

(1)双重差分模型的估计结果表明,无论是否对时间固定效应和个体固定效应进行控制,采用绿色发展效率作为被解释变量,政策变量的估计系数均为正值,这表明排污权交易试点能够显著地促进绿色发展效率。技术进步是排污权交易试点影响绿色发展效率的重要渠道。

(2)将技术进步和外商直接投资作为中介变量,对排污权交易制度影响绿色发展效率的理论机制进行实证检验。研究结果显示技术进步在排污权交易影响绿色发展效率的机制中

起到了中介效应,支持了“波特假说”。外商直接投资在排污权交易与绿色发展效率之间起到中介作用,支持“污染光环假说”。

(3)异质性分析结果表明,传统环境规制水平较低的地区,排污权交易制度对绿色发展效率的影响较大,传统经济发展水平较高的地区,排污权交易制度对绿色发展效率的影响较小,这说明排污权交易制度效果的发挥,受到传统环境规制水平的影响。

## (二)政策建议

(1)环境污染治理以及绿色发展效率的提升要始终坚持“市场决定”与“政府调节”相结合的发展策略:一方面,要继续坚持市场在治污资源配置中的决定性作用,运用“供求机制”“竞争机制”“价格机制”等市场手段保障排污权交易市场有效运行。不断通过市场来调节污染许可证富余企业与污染许可证缺乏企业的利益机制,将治污成本内部化到企业的成本收益分析中,成为企业利润最大化的重要决策变量,从而提升绿色发展效率。另一方面,充分发挥政府调节和辅助作用,政府应制定适合市场健康有效运行的法律法规政策,弥补由于市场自身局限所带来的垄断、信息不对称、外部性等市场失灵状况,不断地完善市场环境。

(2)促进排污权交易试点对绿色发展效率的提升效应发挥作用,关键是促进企业科技创新和技术创新,政府、企业和社会应关注到科技创新是排污权交易制度促进绿色发展效率提升的内在作用机制。应不断增加所有企业的研发资金投入,鼓励企业进行技术革新,不断更新生产工艺,促进企业实现绿色发展。要转变经济发展方式,实现绿色发展效率的提升,坚持“两山理论”对污染治理和提升绿色发展效率的指导作用。转变以往“高投入、高排放、高产出”的发展模式,实现经济结构和能源结构的优化升级,推进“新能源技术革命”,推广清洁能源和清洁技术的使用和研发,降低能耗,全面提升绿色发展效率。

(3)排污权交易制度对绿色发展效率的影响具有异质性,不同试点由于自身经济发展、创新水平、能源结构等因素存在显著差异,排污权交易制度的实施效果显著不同,因此,各交易试点在制定政策时不能采取“一刀切”,应在认识自身特殊性的前提下“因地制宜”地进行排污权交易试点建设,从而提高绿色发展效率。要充分发挥技术进步对绿色发展效率的作用,充分发挥技术进步的中介效应,鼓励企业进行技术研发。

## 参考文献:

- [1] 卞元超,吴利华,白俊红. 市场分割与经济高质量发展:基于绿色增长的视角[J]. 环境经济研究, 2019, 4(4): 96-114.
- [2] 薄文广,徐玮,王军锋. 地方政府竞争与环境规制异质性:逐底竞争还是逐顶竞争[J]. 中国软科学, 2018, (11): 76-93.
- [3] 邓玉萍,许和连. 外商直接投资、地方政府竞争与环境污染——基于财政分权视角的经验研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 155-163.

- [4] 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.
- [5] 傅京燕,程芳芳. 二氧化硫排污权交易对经济增长“量”和“质”的影响研究[J]. 暨南学报, 2020, 42(6): 94-107.
- [6] 傅京燕,司秀梅,曹翔. 排污权交易机制对绿色发展的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(8): 15-24.
- [7] 李斌,詹凯云,胡志高. 环境规制与就业真的能实现“双重红利”吗?——基于我国“两控区”政策的实证研究[J]. 产业经济研究, 2019, (1): 113-126.
- [8] 李永友,沈坤荣. 我国污染控制政策的减排效果 [J]. 管理世界, 2008, (7): 7-17.
- [9] 李永友,文云飞. 中国排污权交易制度有效性研究 [J]. 经济学家, 2016, (5): 19-28.
- [10] 刘承智,杨籽昂,潘爱玲. 排污权交易提升经济绩效了吗?——基于2003—2012年中国省际环境全要素生产率的比较[J]. 财经问题研究, 2016, (6): 47-52.
- [11] 刘传明,马青山. 网络基础设施建设对全要素生产率增长的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 中国人口科学, 2020, (3): 75-88.
- [12] 刘华军,赵浩. 中国二氧化碳排放强度的地区差异分析[J]. 统计研究, 2012, 29(6): 46-50.
- [13] 刘亦文,胡宗义,文晓茜. 中国污染物排放强度的动态演进及空间收敛性研究[J]. 经济数学, 2018, 35(2): 41-47.
- [14] 毛蕴诗,金雨晨,李杰. 加工贸易相关产业转型升级研究——以广东省纺织服装业为例[J]. 当代经济管理, 2012, 34(8): 58-63.
- [15] 梅林海,朱韵琴. 排污权交易制度能否改善环境质量?[J]. 生态经济, 2019, (2): 180-186.
- [16] 任胜钢,郑晶晶,刘东华,陈晓红. 排污权交易机制是否提高了企业全要素生产率——来自中国上市公司的证据[J]. 中国工业经济, 2019, (5): 5-23.
- [17] 任亚运,程芳芳,傅京燕. 中国低碳试点政策实施效果评估[J]. 环境经济研究, 2020, 5(01): 21-35.
- [18] 涂正革,谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波特效应?[J]. 经济研究, 2015, (7): 160-173.
- [19] 王丽,张岩. 对外直接投资与母国产业结构升级之间的关系研究——基于1990-2014年OECD国家的样本数据考察[J]. 世界经济研究, 2016, (11): 60-69.
- [20] 王树强,庞晶. 排污权跨区域交易对绿色经济的影响研究[J]. 生态经济, 2019, 35(2): 174-179.
- [21] 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, (4): 26-34.
- [22] 王元地,朱兆琛,于晴. 试论自主创新对产业结构升级的作用机理[J]. 科技管理研究, 2007, 27(12): 13-15.
- [23] 魏玮,周晓博,薛智恒. 环境规制对不同进入动机FDI的影响 [J]. 国际商务, 2017, (1): 112-121.
- [24] 吴朝霞,葛冰馨. 排污权交易试点的波特效应研究[J]. 湘潭大学学报, 2018, (6): 37-40.
- [25] 武普照,王倩. 排污权交易的经济学分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 15(2): 55-58.
- [26] 闫文娟,郭树龙. 中国排污权交易制度与企业就业效应 [J]. 产经评论, 2017, (6): 45-53.
- [27] 杨骞,秦文晋,王弘儒. 中国农业用水生态足迹的地区差异及影响因素[J]. 经济与管理评论, 2017, (4): 135-145.
- [28] Aghion, P. and P. Howitt. Growth and Unemployment[J]. Review of Economic Studies, 1994, (61): 477-494.
- [29] Baron, R. M. and D. A. Kenny. The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, (51): 1173-1182.
- [30] Berman, E. and L. T. M. Bui. Environmental Regulation and Productivity: Evidence from Oil Refineries[J].

Review of Economics and Statistics, 2001, 83(3): 498–510.

[31] Cheng, B., H. Dai, P. Wang, D. Zhao and T. Masui. Impacts of Carbon Trading Scheme on Air Pollutant Emissions in Guangdong Province of China[J]. Energy for Sustainable Development, 2015, (27): 174–185.

[32] Coase, R. H. The Problem of Social Cost[J]. Journal of Law and Economics, 1960, (10): 1–44.

[33] Dales, J. H. Land, Water and Ownership[J]. Canadian Journal of Economics, 1968, (1): 791–804.

[34] Heckman, J. J., H. Ichimura, and P. Todd. Matching as an Econometric Evaluation Estimator[J]. Review of Economic Studies, 1998, 65(2): 261–294.

[35] Keller, W. and A. Levinson. Environmental Compliance Costs and Foreign Direct Investment Inflows to U.S. States[J]. Review of Economics & Statistics, 2002, 84(4): 691–703.

[36] Lin, L. and W. Sun. Location Choice of FDI Firms and Environmental Regulation Reforms in China[J]. Journal of Regulatory Economics, 2016, 50(2): 207–232.

[37] Liu, L., C. Chen, Y. Zhao, et al. China's Carbon-Emissions Trading: Overview, Challenges and Future[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, (49): 254–266.

[38] Markusen, J. R. and A. J. Venables. Foreign Direct Investment as a Catalyst for Industrial Development[J]. European Economic Review, 1999, (43): 335–338.

[39] Pigou, A. C. The Theory of Unemployment[M]. UK: Macmillan, 1933.

[40] Pastor, J. T. and C. Lovell. A Global Malmquist Productivity Index[J]. Economics Letters, 2005, 88(2): 266–271.

[41] Porter, M. E. and C. van der Linde. Toward a New Conception of the Environment–Competitiveness Relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 97–118.

[42] Porter, M. E. America's Green Strategy[J]. Scientific American, 1991, 264(4): 193–246.

[43] Tang, L., J. Wu, L. Yu, and O. Bao. Carbon Emissions Trading Scheme Exploration in China: A Multi-Agent-Based Model [J]. Energy Policy, 2015, (81): 152–169.

[44] Wang, H. and Y. Jin. Industrial Ownership and Environmental Performance: Evidence from China[J]. Environmental & Resource Economics, 2007, 36(3): 255–273.

[45] Wang, J., J. Yang, C. Ge, et al. Controlling Sulfurdioxide in China: Will Emission Trading Work?[J]. Environment Science & Policy for Sustainable Development, 2004, 46(5): 28–39.

[46] Wu, D., Y. Xu and S. Zhang. Will Joint Regional Air Pollution Control be More Cost-Effective? An Empirical Study of China's Beijing–Tianjin–Hebei Region[J]. Journal of Environmental Management, 2015, (149): 27–36.

[47] Zhang, Y. J., Y. L. Peng, C. Q. Ma, et al. Can Environmental Innovation Facilitate Carbon Emissions Reduction? Evidence from China[J]. Energy Policy, 2017, (100): 18–28.

# The Effect of Emission Trading System on the Efficiency of Green Development

Liu Chuanming

(School of Economics, Central University of Finance and Economics)

**Abstract:** Emission trading system makes the production costs of enterprises into the enterprise production process through the market trading means, forcing enterprises to strengthen research investment and production technology innovation. Whether the emission trading system can achieve "environmental pollution control" and "green development efficiency improvement" for win-win? This paper takes the emission trading system as a quasi-natural experiment and studies the effect of the emission trading system on the efficiency of green development by using PSM-DID method. The results show that the emission trading system can significantly improve the efficiency of green development. The mediating effect test results show that the emission trading system can improve the efficiency of green development through the innovation-driven effect and the effect of foreign direct investment. The research conclusions support the porter hypothesis and the pollution halo hypothesis. The results of heterogeneity analysis show that the policy effect of emission trading system is lower in the regions with higher level of environmental regulation than in the regions with lower level of environmental regulation. This paper puts forward the following suggestions such as actively promoting emissions trading system construction, gradually realizing the emission trading pilot scale, building a long-term mechanism for the development of productivity under the guidance to the enterprises in technological innovation incentive. Enterprises can choose innovation pathes according to their own development needs to increase their green production and continuously improve the efficiency of green development.

**Keywords:** Emission Trading System; Green Development Efficiency; Environmental Regulation; Technique Innovation; PSM-DID

**JEL Classification:** P28, O38

(责任编辑:卢玲)