

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

史丹, 李少林

[摘要] 能源利用效率提升是实现节能减排和绿色发展目标的关键抓手,始终受到学术界高度关注。排污权交易制度在环境规制逐步走向市场化进程中被推出,其对能源利用效率的影响具有重要意义。本文将能源利用效率划分为单要素能源效率和绿色全要素能源效率,以2003—2017年281个地级及以上城市为样本,运用双重差分法考察了排污权交易制度对能源利用效率的影响与作用路径。研究发现,在运用工具变量克服内生性问题并进行一系列稳健性检验后,排污权交易制度能够显著降低单位地区生产总值能耗和提高绿色全要素能源效率。影响机制检验表明,排污权交易制度通过提高市场化水平、完善政府与市场关系和提升要素市场发育度降低单位地区生产总值能耗,通过绿色创新提高绿色全要素能源效率。异质性分析表明,排污权交易制度对衰退型资源型城市单位地区生产总值能耗的降低效果大于成熟型资源型城市,对成长型资源型城市和再生型资源型城市影响不显著;排污权交易制度对降低非老工业基地城市单位地区生产总值能耗和提升非老工业基地城市绿色全要素能源效率的效应更大。本文为中国因地制宜释放排污权交易在推动绿色发展和生态文明建设方面的制度性红利提供了经验证据和政策启示。

[关键词] 排污权交易制度; 能源利用效率; 绿色全要素能源效率; 双重差分法
[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2020)09-0005-19

一、引言

党的十九大报告强调“推进能源生产和消费革命,构建清洁低碳、安全高效的能源体系”“构建政府为主导、企业为主体、社会组织和公众共同参与的环境治理体系”。能源利用效率提升成为中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段实现降能耗和绿色发展亟待攻克的重大问题之一。近年来,旨在提升能源利用效率、推动节能降耗和绿色发展的能源供给侧结构性改革深入推进并取得明显成效,中国煤炭消费占比持续下降,清洁能源消费占比稳步提升;然而,中国煤炭消费总量仍处于增长阶段,二氧化碳排放总量尚未达到峰值,能源利用效率提升仍面临着较大的能源供给结构约束

[收稿日期] 2020-05-03

[基金项目] 中国社会科学院京津冀协同发展智库课题“京津冀绿色协调发展研究”;中国博士后科学基金特别资助项目“‘煤改气、电’、绿色发展与能源安全:一个准自然实验”(批准号2018T110177);中国博士后科学基金面上项目“能源供给侧改革对绿色发展的驱动机制与风险管控研究”(批准号2018M630247)。

[作者简介] 史丹,中国社会科学院工业经济研究所研究员,博士生导师,管理学博士;李少林,中国社会科学院工业经济研究所博士后,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心副研究员,经济学博士。通讯作者:李少林,电子邮箱:lishaolin0506@126.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

和生态环境压力。针对如此严峻的节能减排形势,中国早期主要是以命令型环境规制工具为主,随后在顺应市场化改革的新趋势下逐步探索排污权交易制度等重大基础性创新实践,陆续发展出碳排放权、用能权等交易形式,排污权交易制度在 11 个省份的试点工作已启动十年有余。与此同时,根据《中国能源统计年鉴》(2018),2016 年中国国内生产总值电耗(2010 年美元价格)为 0.621 千瓦时/美元,远高于世界 0.299 千瓦时/美元的平均水平,中国在很长一段时期内仍将维持以煤电为主的能源结构,导致中国能源利用效率非常低,在生态环保压力日益加大的背景下,提高能源利用效率是必然的选择(史丹和王俊杰,2016)。能源利用是推动经济发展与环境治理问题的关键载体,环境规制对能源利用效率的研究成为能源经济与绿色发展领域研究的热点话题,环境规制对能源效率的影响呈现出“抑制论”“促进论”和“非线性论”三种理论纷争。排污权交易制度作为市场化环境规制工具,其能否改善能源利用效率,对于实现节能减排和绿色发展具有重要的研究价值。

环境规制与能源利用效率的关系一直存在着广泛争论,传统分析认为环境规制通过施加污染治理成本在短期可能降低能源效率,而“波特假说”则认为环境规制以促进创新的渠道改善了能源效率(Porter and Linde,1995)。国内外文献分别支持了“抑制论”(尤济红和高志刚,2013)、“促进论”(Hancevic,2016)和“非线性论”(陶长琪等,2018;周四军等,2020),并发现在中国呈现出“本地—邻地”绿色技术进步效应(董直庆和王辉,2019)。排污交易权的原理来自于“科斯定理”,在产权明确的前提下,市场交易下的资源可以实现最优配置。Schleich et al.(2009)针对欧盟的研究发现排污权交易机制对于能源效率的提升虽然当期效果有限,但未来仍具有巨大的空间。Hudgins and Yoskowitz(2010)通过建立模型试图解决在成本、价格等不确定性条件下的各国有效排放量,认为应基于市场进行排污权交易,设置监管体系与惩罚机制,资助促进减排的新技术。Betsill and Hoffmann(2011)认为排污交易机制在工业中实现温室气体排放的减少是有效的,但是关于谁应该负责制定总量管制和贸易规则以及这些规则应该是什么的问题仍存在不确定性。在设计总量管制和交易制度时,最有争议的问题之一是如何分配许可证,以及如何进行自由分配或拍卖。Stein(2010)认为排污权交易机制有效性需要长期目标的稳定性与基于税收、交易或者某些监管等短期政策相结合来实现。Lambie(2010)认为,排污权交易方案的可信度与政策的确定性会影响企业的投资行为与低排放技术的实现。总之,国外关于排污权交易制度的研究主要集中于对相关机制设计的理论研究。

目前中国的排污权交易还在发展阶段,关于利用排污权交易产生的减排效果见解不同。张宁和张维洁(2019)认为排污权交易在试点地区并没有显著的减排效果,但不可否认在长期存在经济红利与环境红利。李永友和文云飞(2016)研究认为排污权交易在试点地区减排效果显著,这与良好的排污交易权制度环境密不可分,市场机制作用的发挥使得排污权交易在试点地区的减排效果变得显著。另外,有文献从能源角度分析排污权交易的政策效果,邵帅等(2013)、冯烽和叶阿忠(2015)认为当前的排污权交易的效果之所以不是很明显,是因为存在能源回弹效应,能源回弹效应在政策中不应忽略,但是这种现象并非所有地区所有年份都存在,技术滞后与市场环境影响了某些地区排污权交易的减排效果。任胜钢等(2019)认为排污权交易能够通过技术创新与资源配置来提高全要素生产率,而环境法治力度高的地区实行排污权交易更能有效促进全要素生产率的提高。齐邵洲等(2018)利用上市公司绿色专利数据证实了排污权交易能够促进污染企业绿色创新。

已有文献研究存在的不足主要体现在:①忽略了能源在排污权交易制度推动节能减排中的关键桥梁作用,且尚未涉及排污权交易制度对节能和绿色生产效率的影响,仅采用省级或上市公司不包含非期望产出的全要素生产率,或仅以绿色专利数进行验证,缺乏对排污权交易对能源利用效率影响的理论分析;②并未体现排污权交易制度最重要的属性——市场化水平的调节效应,且缺乏对

地级市能源消费量的量化测度。基于上述考虑,本文试图以排污权交易制度试点省份下辖的所有可获得数据的地级及以上城市为研究样本,就排污权交易制度对单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率的影响机制与作用路径进行深入分析和一系列稳健性检验,并进一步考察城市资源禀赋与工业基地类型的异质性效应,为深化排污权交易制度试点效果提供稳健的实证依据与针对性政策参考。

本文的边际贡献主要体现在以下四个方面:①从梳理关于排污权交易的已有文献看,本文首次基于能源利用效率的具体视角拓展了排污权交易发挥制度红利的关键着力点,深入剖析了排污权交易制度在中国能源结构与污染排放约束下提升能源利用效率的内在机制,在一定程度上弥补了现有文献对排污权交易制度分析未能准确切入中国情境的不足;②从梳理关于能源利用效率研究的已有文献看,本文运用卫星夜间灯光数据首次全面模拟测度了地级及以上城市能源消费量,并将单要素能源效率和绿色全要素能源效率置于排污权交易制度影响的统一分析范畴,弥补了现有文献对地级及以上城市单要素能源效率和绿色全要素能源效率缺乏全面测度分析的不足;③扎根于剖析中国排污权交易制度实施存在的市场发育不健全等现实问题,首次将排污权交易制度市场化约束的本质属性、引发“波特效应”的研发创新和绿色创新变量纳入调节效应模型,通过厘清排污权交易发挥制度红利的主要抓手,丰富了排污权交易发挥制度红利渠道的研究,弥补了现有排污权交易文献缺乏对能源利用效率影响机制的分析和实证检验的不足;④从已有的排污权交易文献看,少数文献仅以省级层面或上市公司全要素生产率为指标对波特假说进行验证,本文首次同时考虑将样本聚焦到地级及以上城市,全面检验纳入能源和非期望产出的排污权交易制度影响效应,并将城市类型划分为资源型城市 and 老工业基地城市,以检验资源禀赋与城市特征差异性是否影响制度试点效果,在一定程度上拓展了排污权交易制度在不同类型城市的异质性影响研究。

余文结构安排为:第二部分为理论分析与研究假说;第三部分为研究设计;第四部分为实证结果与稳健性检验;第五部分为影响机制验证;第六部分为异质性分析;第七部分为研究结论与政策启示。

二、理论分析与研究假说

1. 排污权交易制度对能源利用效率的影响机制

排污权交易制度的核心思想是理论上通过设定一个地区的最高污染排放量,并将排污的权利分配给每个企业。治污技术较高的那些企业可将多余的排污权分配额在排污权交易市场上出售给治污成本相对比较高的企业,同时获得相应的收益作为进一步激励减排的动力,通过部分企业治污技术的提高助推总体能源利用效率提升,亦即实质上意味着治污技术较高的企业主要承担了污染治理的职责。然而,实践中的排污权交易市场普遍存在不完全竞争市场的情形,少数企业可能通过购买并储存远超出自身排污配额的排污权以谋取垄断收益或供未来使用,从而引起产品市场产量下降等后果(Goeree et al., 2010)。打造政府合理管制下的接近完全竞争的排污权交易市场,成为排污权交易制度提升能源利用效率的重要前提,因此,排污权能否顺利在交易市场进行公开、公平和合理交易取决于市场化总水平、政府与市场关系和要素市场发育度等因素。其中,市场化总水平体现了要素从低效率部门流向高效率部门的便利化程度,且市场化水平与企业生产率呈现正相关关系(张杰等, 2011)。排污权交易实践中,由于部分地方政府存在顾全经济发展的考虑,对域内企业进行“过度干预”,直接影响企业间配额买卖的积极性,表明政府与市场关系的有效协调仍是排污权交易市场机制建立和完善的重点。有研究认为,依托市场和政府的适度干预是提升能源效率的必选路

径(师博和沈坤荣,2013),以政府税收、补贴的合理介入并与排污权交易匹配,才能够更好推动排污权交易实施(张宁和张维洁,2019),对要素市场扭曲的消除能够显著提升能源效率(林伯强和杜克锐,2013)。鉴于此,本文提出:

假说 1:排污权交易制度通过市场化激发企业减排动力并推动能源利用效率提升。

作为市场型环境规制工具,排污权交易制度将影响企业的资源配置、投资与研发行为(Albrizio et al., 2017),已有文献对排污权交易制度能否产生波特效应进行了大量研究和验证,认为排污权交易能够基于技术创新和优化资源配置实现全要素生产率的增长(任胜钢等,2019),且将波特效应聚焦于能否激发绿色创新方面(Calel and Dechezleprêtre,2016;齐绍洲等,2018),并发现了排污权交易制度能够诱发绿色发明专利增长为标志的绿色创新活动。排污权交易制度通过创新驱动和绿色创新影响能源利用效率的内在机制主要体现在:①排污权交易将污染外部性内部化,由于企业间能源利用效率存在巨大的异质性(陈钊和陈乔伊,2019),导致能源效率高的企业能够以多余的排污权配额换取收益,进而强化以创新为基础的效率提升或以绿色创新为抓手的污染减排投入动力,最终推动自身能源利用效率进一步提升;②排污权交易制度提高了企业对创新风险收益的预期,意味着弱化了对创新风险的担忧,使得多数企业更加专心于创新投入,进而提升能源利用效率;③排污权交易制度对于治污成本相对较高或能源利用效率较低的企业施加了更为严峻的生存压力,迫使企业注重生产过程的节能减排,进而倒逼企业能源利用效率提升。鉴于此,本文提出:

假说 2:排污权交易制度通过创新驱动与提高绿色创新强度对能源利用效率产生正向影响。

2. 排污权交易制度对能源利用效率影响的异质性:资源禀赋与工业特征

资源作为城市发展的重要支撑,有研究对自然资源丰裕度与城市可持续发展的“资源诅咒”假说进行验证(周倩玲和方时姣,2019),纳入环境要素后,资源丰裕度与生态效率之间则存在着非线性关系(杜克锐和张宁,2019)。资源禀赋视角下排污权交易制度对能源利用效率的影响异质性主要体现在:①丰富的资源标志着工业发展具有显著优势,能够对技术进步和能源利用效率产生正向影响;②丰富的资源也可能导致城市过度依赖低端的资源密集型产业,会在一定程度上阻碍技术进步和能源利用效率提升。

根据国务院发布的《关于印发全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)的通知》,资源型城市可划分为成长型、成熟型、衰退型和再生型四类,不同类型资源型城市资源禀赋、产业结构特征和环境约束存在较大差异,企业排污权交易配额与污染治理需求的关系,直接决定了排污权交易制度下污染排放权交易量的多少,进而影响了企业清洁生产技术和能源利用效率提升幅度。成长型资源型城市资源丰裕度最高,提高环境规制强度能够推动产业向高级化发展,资源禀赋越高的城市其高级化效果越将受到抑制(李虹和邹庆,2018),对于高、中和低资源禀赋城市而言,资源开发所带来的利润与污染治理成本之间的关系,是环境规制对企业清洁生产技术研发和发展战略影响的关键考量(卢硕等,2020):当资源禀赋较高时(成长型资源型城市),资源开发所带来的利润远远高于环境治理成本,此时资源开发类企业具有大量涌入的动机与环保部门严格监管并存,使得清洁生产技术高的企业率先进入资源型产业,在污染总量控制的排污权交易制度下,进入企业的排污权交易将非常活跃,在位企业排污权交易配额较高,新进入企业要么具有较高清洁生产技术,要么能够轻松获得排污权,表明排污权交易制度对成长型资源型城市能源利用效率的影响程度最大;当资源禀赋较低时(再生型资源型城市),城市经历了资源枯竭型阶段之后为寻求可持续发展的长效机制而发展出替代产业且通常市场化程度相对较高,使得企业排污权交易配额普遍高于污染治理需求,导致排污权交易量相比成长型资源型城市更少;当资源禀赋中等时(成熟型资源型城市),企业的排污

权交易配额逼近污染治理需求,绝大多数企业实现排污权自给;衰退型资源型城市生态环境压力最大,导致排污权配额普遍低于污染治理需求,绝大多数企业将购买排污权,而很少有企业能够出售排污权,表明排污权交易制度无明显影响。鉴于此,本文提出:

假说3:排污权交易制度对资源型城市能源利用效率的提升效果由大到小依次为成长型、再生型、成熟型和衰退型。

工业结构特征对城市生态压力和全要素生产率具有重要影响(殷红等,2020),工业结构对排污权交易制度影响能源利用效率的异质性主要体现在:①老工业基地城市产业重型化特征和政府主导程度较高,节能减排形势严峻,能源利用效率相对较低;②非老工业基地城市的市场化水平较高、现代产业体系更为完备,能源利用效率相对较高。正如《关于印发全国老工业基地调整改造规划(2013—2022年)的通知》所指出的,从能耗强度看,老工业基地城市比全国平均水平高出30%;从单位地区生产总值二氧化硫排放看,老工业基地城市比全国平均水平高出50%。因此,老工业基地城市相比非老工业基地城市,高能耗高污染的特征更为明显,亦即总体清洁生产技术较低。排污权交易制度的引入,使得具有创新和减排优势的少数企业可以出售排污权,清洁生产技术得到进一步提升,能源利用效率也随之提高;对于清洁生产技术水平较低的多数企业,在污染物总量控制的前提下,排污权交易制度使得企业倾向于购买排污权,由于多数企业清洁生产技术未得到提升或提升幅度小,总体能源利用效率仍然偏低。此外,老工业基地城市大多数分布在东北、西北和西南等地区,市场化程度普遍低于位于中东部地区的非老工业基地城市,且经济发展水平也相对中东部地区较低。因此,老工业基地城市排污权交易市场活跃度低于非老工业基地城市。对于非老工业基地城市而言,平均能耗、污染水平低于老工业基地城市,清洁生产技术相对较高,在较活跃的排污权交易市场支持下,多数企业均有动力去提升清洁生产技术和提升能源利用效率。鉴于此,本文提出:

假说4:排污权交易制度对非老工业基地城市能源利用效率的提升幅度高于老工业基地城市。

三、研究设计

1. 数据样本

财政部、原环境保护部和中华人民共和国国家发展和改革委员会(以下简称国家发展改革委)于2007年批复了天津、河北、山西、内蒙古、江苏、浙江、河南、湖北、湖南、重庆和陕西11个省份开展排污权交易制度试点。2007年11月10日,国内第一家排污权交易中心在浙江省嘉兴市正式挂牌成立,标志着中国排污权交易制度正式走向制度化、规范化和国际化。本文以2003—2017年覆盖全国的281个地级市的面板数据为研究样本,将2008—2017年设置为排污权交易制度的执行年份,2003—2007年作为制度出台前的时期。在实验组与对照组的划分上,以实施排污权交易的11个省份所辖的地级市为实验组,其余20个省份所辖的地级市为对照组。

数据处理方面:①各省份能源消费量数据来自国家统计局发布的历年《中国能源统计年鉴》,为方便计算将单位统一为吨标准煤,夜间灯光数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA),该数据包含了去除背景噪声和干扰之后的各地级市的稳定夜间灯光值,通过拟合灯光数据与省际能源消费量数据发现二者之间存在着显著的正向线性相关性;②对地区生产总值、人均地区生产总值数据以2003年为基期进行价格平减,计算城市绿色全要素能源效率的投入产出数据以及一系列控制变量的数据来自历年《中国城市统计年鉴》《同花顺iFinD数据库》,专利授权总量、绿色发明专利数、发明专利授权量数据来自国家知识产权局官网,市场化总指数、政府与市场关系指数以及要素市场发展度指数使用中国各省份市场化相对进程测度(樊纲等,2007,2010;王小鲁等,2017,2019)。

2. 变量定义和数据描述

本文主要被解释变量为城市单位地区生产总值能耗($\ln(ec/gdp)$)和绿色全要素能源效率($gtfpe$),前者借鉴吴健生等(2014)的研究并考虑到降尺度模型反演的精度问题,采取不含截距的线性模型将省级能源消费量数据按灯光数据值分解到各地级市,再除以地区生产总值后获得这一变量。需要说明的是,采用夜间灯光数据进行变量的模拟测度近年来在经济学研究领域应用非常广泛(范子英和彭飞,2016;秦蒙等,2019),基本逻辑是夜间灯光亮度越高,表明夜间经济活动越多,意味着经济发展水平越高,相应的能源消费量也越多。后者则参考刘常青等(2017)、李小胜和安庆贤(2012)的研究,选取劳动($labor$)、资本($capital$)和能源($energy$)作为投入,地区生产总值(gdp)作为合意产出,工业二氧化硫(SO_2)、工业烟粉尘($smoke$)和工业废水($effluents$)排放量作为非合意产出,以SBM-Malmquist-Luenberger指数法测算各地级市的绿色全要素能源效率。

控制变量方面,主要包括人口密度($density$),以地级市人口数除以行政区域面积获得,表征城市人类活动规模的差异影响;产业结构($structure$),以第二产业增加值占地区生产总值比重衡量,代表总体产业结构特征;工业结构($indgdp$),以限额以上工业总产值占地区生产总值比重表示,衡量工业结构特征;人均地区生产总值($pgdp$),以全市地区生产总值除以城市年末总人口得到,代表经济发展水平;能源消费总量($energy$),运用夜间灯光数据模拟测度得到,代表能源消费规模;二氧化硫排放量(SO_2),代表污染物排放水平;研发创新能力($innova$),以发明专利数代表城市的研发创新能力。主要变量的描述性统计显示^①,单位地区生产总值能耗($\ln(ec/gdp)$)均值为0.1743,标准差为0.8393,最小值为-1.8068,中位数为0.1283,最大值为4.1374,表明在研究的样本期间内单位地区生产总值能耗存在较大差异,并且被解释变量绿色全要素能源效率($gtfpe$)也有类似特征,表明各城市的能源利用效率在研究时间区间内存在显著差异,为后续研究排污权交易制度的影响提供了客观基础与切入点。

3. 识别策略和模型设定

本文运用双重差分法(DID)估计排污权交易制度对城市能源利用效率的影响效果。双重差分法是常用的政策效果评估方法,参考王桂军和卢潇潇(2019)的研究,设计模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (treat_{it} \times post_{it}) + \beta Control_{it} + \gamma_t + \theta_i + Province_j \times Year_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 、 t 和 j 分别代替地级市、年份和省份; Y 为被解释变量,包括单位地区生产总值能耗($\ln(ec/gdp)$)和绿色全要素能源效率($gtfpe$); $treat$ 为城市分组变量,排污权交易制度试点城市为1,非试点城市为0; $post$ 为时间分组变量,2008—2017年为1,2003—2007年为0; $Control$ 为控制变量组; γ 为时间固定效应; θ 为不随时间变化的城市固定效应; $Province_j \times Year_t$ 为省份个体时间效应,意在控制各城市随时间变化的不可观测因素对估计结果的影响; ε_{it} 表示随机误差项。因此,通过包含城市个体效应、时间效应和省份效应的三重固定效应模型,并主要观察 $treat$ 和 $post$ 的交互项系数来估计排污权交易制度对城市能源利用效率的因果效应。

四、实证结果与稳健性检验

1. 能源利用效率变动的时趋势图分析

本文绘制了排污权交易制度试点城市和非试点城市单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率变化趋势图^②,通过比较实验组城市和对照组城市两项指标的变化趋势以直观反映排污权政策

① 主要变量的描述性统计详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

② 变化趋势图详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

对地区能源利用效率的作用效果。2003—2017年试点城市和非试点城市的单位生产总值能耗均呈现下降趋势,但在2012年之前,试点城市要高于非试点城市。自2008年开始,二者之间的差距逐渐缩小,试点城市的单位产值能耗开始加速下降直至2012年开始低于非试点城市。2010年之前,非试点城市的绿色全要素能源效率明显高于试点城市,同样自2008年开始,试点城市的绿色全要素能源效率快速增长,最终在2010年超过非试点城市,虽然在2011—2014年二者都遭受了短期内的下降,这可能是由于国际金融危机引发的要素利用不足所致,但总的来说,试点城市的效率基本稳定在非试点城市之上。本文初步认为,在2008年左右试点城市相对于非试点城市的单位地区生产总值能耗下降和绿色全要素能源效率提升很可能是由排污权交易制度诱发的。

2. DID模型回归结果:排污权交易制度与能源利用效率

为了验证由时间趋势图得出的推测,本文使用双重差分法对其进行实证检验。以政策执行年份划分样本期间,通过比较政策执行前和执行后的平均处理效应静态分析制度效果,难以有效确定制度执行对试点城市能源利用效率的历年冲击效应,因此本文还引入了制度执行年份后的动态效应,更加严谨地分析排污权交易制度对单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率的动态影响,结果如表1所示。

从表1可以看出,控制了城市个体效应(*City*)、时间效应(*Year*)和省份效应(*Province*×*Year*),并引入了人口密度(*Indensity*)、限额以上工业企业总产值占地区生产总值比重(*lnindgdp*)和产业结构(*structure*)等控制变量,在执行排污权交易制度之后,相比非试点城市而言,从平均处理效应的DID回归结果可以看出,试点城市单位地区生产总值能耗在10%的显著性水平上呈现下降效果,绿色全要素能源效率在5%的显著性水平上得到有效提升。

在动态效应分析中,单位地区生产总值能耗下降和绿色全要素能源效率上升在排污权交易制度实施期间总体表现出明显效果:单位地区生产总值能耗方面,2008—2014年大体表现为制度效果逐年增强态势,2015—2017年基本保持比较稳定的状态;绿色全要素能源效率方面,2008—2012年大体表现为制度效果逐年增强态势,2013—2017年经历了略微减弱与显著增强的过程,并且绝大多数年份的系数显著,印证了排污权交易制度对提升能源利用效率具有持续的积极作用。

3. DID模型适用的前提条件:平行趋势检验

使用双重差分法的重要前提是实验组和对照组满足平行趋势假定,即排污权交易制度试点实施之前,单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率均保持相对稳定的变动趋势,虽然从前文中可以看出两个主要被解释变量在政策执行前的变化趋势基本平行,但为了更为严谨地确保本文的研究满足这一基本假设,需采用更为具体的实证检验方法。具体而言,以排污权交易制度试点年份2008年为基准年,对这一基准年的前3年和后3年及以上年份的被解释变量单独进行同主回归一致的OLS-DID回归,回归结果显示,单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率在排污权交易制度试点前的三年 $treat \times post$ 系数均不显著,且回归系数均在0值附近,表明2008年之前试点城市和非试点城市不存在显著差异,满足平行趋势假定。进一步地,从平行趋势检验的动态效应看^①,单位地区生产总值能耗在基准年之后迅速下降且由制度试点前的正系数转为负系数,说明排污权交易制度对单位地区生产总值能耗的影响显著为负,但绿色全要素能源效率在第3年以后(2011年以后)才呈现显著的提升态势,表明排污权交易制度对绿色全要素能源效率的影响存在约3年的时滞。

① 平行趋势检验的动态效应图详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

表 1 排污权交易制度与能源利用效率: DID 模型回归结果

	平均处理效应		动态效应	
	$\ln(ec/gdp)$	$gtfpe$	$\ln(ec/gdp)$	$gtfpe$
<i>treat</i> × <i>post</i>	-0.1701* (0.0925)	0.9340** (0.4599)		
<i>treat</i> × <i>year</i> 2008			-0.1414** (0.0638)	0.1001** (0.0435)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2009			-0.1480* (0.0780)	0.1122* (0.0586)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2010			-0.1144** (0.0561)	0.0900 (0.0965)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2011			-0.1506*** (0.0521)	0.1944** (0.0791)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2012			-0.1690*** (0.0583)	0.2908*** (0.0970)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2013			-0.2071*** (0.0639)	0.2283** (0.1070)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2014			-0.2153*** (0.0731)	0.2109* (0.1110)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2015			-0.1775** (0.0869)	0.1981* (0.1191)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2016			-0.1342 (0.1024)	0.1185 (0.1903)
<i>treat</i> × <i>year</i> 2017			-0.1701* (0.0925)	0.9340** (0.4599)
<i>cons</i>	2.5679*** (0.5830)	-1.9582* (1.1736)	2.5679*** (0.5830)	-1.9582* (1.1736)
<i>Control</i>	是	是	是	是
<i>Year</i>	是	是	是	是
<i>City</i>	是	是	是	是
<i>Province</i> × <i>Year</i>	是	是	是	是
N	4215	3934	4215	3934
Adj-R ²	0.8219	0.4385	0.8219	0.4385

注:括号内的数值为标准误,***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平。以下各表同。

4. 剔除能源政策的影响

从中国的实践看,基本上是在同步推进“节能”与“减排”,亦即在排污权交易制度作为一种环境政策被试点推动过程中,还实施了许多其他以提升能源效率为目的的能源政策,且这些能源政策很可能具有地区上的异质性,这一点可从节能减排综合工作方案的发布中看出,“节能”与“减排”二者通常纳入同一个文件发布,促使能源结构调整政策、节能政策和减排政策同时实施。因此,在考察排污权交易制度对能源利用效率的影响时,需优先剔除包括能源结构调整政策和节能政策在内的能源政策的影响。能源结构调整方面,主要包括传统能源转型和新能源发展两个方面,由于中国能源生产消费结构长期以煤炭为主,传统能源结构调整政策主要集中在煤炭消费大省。西部地区一些省

份在发展太阳能、风能等新能源方面具有显著的优势,意味着新能源发展的扶持政策主要集中在西部地区一些省份。节能政策方面,自2009年1月财政部和科学技术部发布《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》以来,全国分三批次共有26个城市入选节能与新能源汽车试点城市(2009年第一批13个城市、2010年第二批7个城市和2013年第三批6个城市),主要涉及节能与新能源汽车购置的财政补贴政策;自2011年6月财政部和国家发展改革委决定在部分城市开展第一批节能减排财政政策综合示范以来,全国分三批次共有30个城市入选试点城市(2011年第一批8个城市、2013年第二批10个城市和2014年第三批12个城市),主要涉及财政资金支持政策。基于以上两方面考虑,本文尝试将煤炭消费大省(河北、山西、内蒙古、江苏、山东、河南和陕西)、西部地区一些省份(云南、宁夏、甘肃、青海和新疆)下辖的地级市、节能与新能源汽车试点城市和节能减排财政政策综合示范城市(海东市数据缺失)的样本一并剔除,以尽可能剥离能源结构调整政策和节能政策在内的能源政策对能源利用效率的影响,具体估计结果显示^①,在控制了能源结构调整政策和节能政策影响后,排污权交易制度在1%的显著性水平上显著降低了单位地区生产总值能耗和提高了绿色全要素能源效率,意味着排污权交易制度对能源利用效率具有正向推动作用的结论具有稳健性。

5. 克服内生性问题:工具变量法

双重差分法通过实验组和对照组的对比能够巧妙地克服内生性问题,但这一前提是选择排污权交易制度试点城市时应当在所有地级市中随机进行,显然现实情况可能并非如此,排污权政策试点城市的选择可能受到其他潜在因素影响而对双重差分法的估计结果产生干扰,影响结果的准确性。因此,本文借鉴Cai et al.(2016)的研究进一步使用工具变量法以尽可能克服内生性的影响。工具变量的选择需要满足与内生变量相关而与随机扰动项不相关的两个条件,具体而言,参照Hering and Poncet(2014)的做法,选择空气流通系数作为是否纳入排污权交易制度试点城市的工具变量,原因有:①在污染物排放总量一定时,空气流通系数越小的城市,污染物监测浓度越大,倾向于采取更为严格的环境规制,入选排污权交易制度试点城市概率越大,符合工具变量的相关性假设。由于地方政府存在追求绿色GDP的政绩考核诉求,命令型环境规制工具在较大程度上会损害经济增长,充分发挥企业治污的内生动力是地方政府普遍追求的目标,而排污权交易恰好是不增加政府环保投入且不损害经济增长情形下,能够发挥企业治污主观能动性的唯一最优激励方式,即在污染物排放总量一定时,空气流通系数只能通过影响环境规制强度进而在污染物排放总量控制的前提下以排污权交易制度去激发清洁生产技术高的企业出售富余排污权,并同时产生进一步提高清洁生产技术的内在动力。而清洁生产技术低的企业暂时购买排污权并倒逼其在长期注重清洁生产技术提升,进而提高总体企业的清洁生产技术,最终带动总体能源利用效率提升,亦即污染物排放总量相同的城市将产生“空气流通系数小→污染物浓度高→更为严格的环境规制→地方政府绿色GDP政绩考核→企业治污内生动力→污染物总量控制→排污权交易→总体清洁生产技术水平提高→能源利用效率提升”的唯一影响路径。因此,空气流通系数作为工具变量,同时满足排他性约束。②空气流通系数由气象和地理条件所决定,同时能够符合工具变量的外生性假设。空气流通系数是基于中国城市纬度与经度匹配欧洲中级天气预报中心ERA数据集的十米高度和边界层高度的风速信息,每个单元风速和边界层高度的乘积即为空气流通系数值,本文使用的空气流通系数是2003—2017年281个样本城市年均系数的自然对数。

工具变量估计结果如表2所示, iv 为工具变量,代表样本城市空气流通系数年均值的自然对

① 剔除能源政策影响的估计结果详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

数。第一阶段回归中,工具变量与时间变量的交互项 $iv \times post$ 系数均显著,且 F 值均大于 10,表明工具变量满足相关性条件;第二阶段回归中,处理变量和时间变量的交互项 $treat \times post$ 依旧显著,且对被解释变量单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率的作用方向同基准回归一致,说明消除实验组城市选择中的内生性问题之后排污权交易制度仍然可以显著降低单位地区生产总值能耗和提高绿色全要素能源效率,表明 DID 模型的回归结果不是由样本选择的偏差所导致的。

表 2 排污权交易制度与能源利用效率:工具变量估计

	第一阶段回归		第二阶段回归	
	$treat \times post$	$treat \times post$	$\ln(ec/gdp)$	$gtfpe$
	(1)	(2)	(1)	(2)
$iv \times post$	-0.0479* (0.0268)	0.0520*** (0.0017)		
$treat \times post$			-1.1035* (0.6672)	0.1496*** (0.0370)
$cons$	0.9231*** (0.3148)	0.5752 (0.3548)	3.1751*** (0.7036)	-1.7408*** (0.3866)
Control	是	是	是	是
Year	是	否	是	否
City	是	是	是	是
N	4215	3934	4215	3934
Adj-R ²	0.3883	0.3910	0.0025	0.1725
第一阶段 F 值	27.60	30.51		

6. 稳健性检验^①

(1)安慰剂检验。为进一步排除其他未知因素对试点城市选择的影响,确保本文所得研究结论是由排污权交易制度所引致的,需要进行安慰剂检验。安慰剂检验通过在所有样本中随机挑选若干次虚拟实验组进行同基准回归一致的回归为原始研究结论提供稳健性保证。具体而言,本文在所有 281 个地级市中进行了 1000 次抽样,每次抽样随机选出 108 个城市作为虚拟实验组,其余 173 个城市作为对照组按模型(1)进行回归,两个被解释变量的核密度分布图显示,绝大多数抽样估计系数的 t 值的绝对值都在 2 以内,且 p 值都在 0.1 以上,说明排污权交易制度在这些 1000 次的随机抽样中均没有显著效果。因此,本文所得结论可以通过安慰剂检验,排污权交易制度对试点城市能源利用效率的影响与其他未知因素的因果关系不大。

(2)动态时间窗与反事实检验。①动态时间窗检验。前文已经分析了排污权交易制度对能源利用效率的动态效应,但只是重点关注了政策出台之后的冲击效应,未与政策出台前做充分对比。因此,借鉴董艳梅和朱英明(2016)的研究方法,通过改变排污权交易制度出台前后时间窗宽的方法检验不同时间段内能源利用效率的差异。具体而言,以 2008 年为制度出台的时间节点,分别选取 1 年、2 年、3 年和 4 年为窗宽进行动态时间窗检验。检验结果显示,改变时间窗宽度并没有改变排污权交易制度对两个主要被解释变量的影响方向,随着时间窗宽度的增加,单位地区生产总值能耗基本呈现下降趋势,绿色全要素能源效率呈现上升趋势,而且显著性水平不断提升,说明前文所得结

① 稳健性检验结果详见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

论是稳健的。②反事实检验。使用双重差分法的前提是实验组和控制组具备可比性,即如果没有排污权交易制度,实验组与控制组城市能源利用效率不会随时间变化产生显著差异。为了验证这一前提,借鉴 Hung et al.(2013)的研究,将其中的 2005 年和 2006 年作为假设的制度开始实施时间,进行同基准回归一致的检验。反事实检验结果显示,将制度试点时间提前至 2005 年或 2006 年,制度试点效果的关键交互项 $treat \times post$ 的系数均不显著,表明在基准年份 2008 年以前,排污权交易制度对实验组和对照组的能源利用效率没有显著影响,意味着实际制度试点年份确实能够显著提升能源利用效率,前文结论具有较强的稳健性。

(3)PSM-DID 估计。DID 方法容易存在“选择性偏差”,即无法确保实验组 and 对照组在政策执行前具有相同的个体特征,这在大样本含量情形下较为常见。本文的样本涵盖了全国范围内的 281 个地级市,样本间地域、经济差异极大,显然存在较大的个体差异,因此,利用倾向得分匹配法(PSM)以控制变量为样本点的识别特征,对实验组和控制组的城市进行匹配。随后对匹配后的结果进一步使用差分法进行回归,PSM-DID 模型回归结果显示,排污权交易制度仍然显著降低了单位地区生产总值能耗并提升了试点城市绿色全要素能源效率,表明本文所得结论仍具有稳健性。

(4)剔除其他政策的干扰。2013 年国务院出台了《资源型城市可持续发展规划》,同时,还批复了《全国老工业基地调整改造规划(2013—2020)》。已有研究表明,与非资源型城市相比,过去数年内资源型城市面临剧烈的产业结构转型升级,诸多环境规制手段都,从不同角度激励了资源利用效率的提升(李虹和邹庆,2018)。老工业基地城市也类似,这些政策共同推动了地区单位产值能耗的降低和绿色全要素能源效率的提升。而排污权交易制度是中国环境规制手段由行政命令型向市场化转型的重要标志,为了准确识别这一制度的效果,需要排除其他类似政策的干扰。因此,本文剔除了 2013—2017 年的数据。回归结果显示,两个主要被解释变量的交互项 $treat \times post$ 系数都在 1% 的水平上显著,且排污权交易制度对两个变量的影响方向未发生改变,表明在排除了其他政策干扰后本文的结论依然稳健。

(5)三重差分法。在排除上述两个重点干扰政策之后,对于其他若干未考虑到的政策是否对实证结果有影响仍有疑虑。例如,2011 年开始在北京、天津、上海、重庆等重点城市试点的碳排放权交易政策可能对当地的能耗和效率产生同排污权交易类似的影响。为了进一步排除这些可能的干扰,本文参考范子英和彭飞(2017)的做法,选取三重差分法来克服这一问题。具体而言,将一些重点排污权交易制度的试点城市如老工业基地城市、资源型城市、省会城市和本省的第二大城市设置为新的处理变量 ddd ,并将 2008 年及以后赋值为 1,其余全部为 0。利用三重差分法控制这些重点城市能将其他一些未能纳入考虑的政策进一步排除,从而得到排污权交易制度的净影响。三重差分模型估计结果显示,在排除这些因素之后,排污权交易制度仍能显著降低试点城市单位地区生产总值能耗和提升绿色全要素能源效率,再次表明前文的研究结论是高度稳健的。基于上述 DID 模型估计与一系列的稳健性检验结果,均有效支持了排污权交易制度能够提升能源利用效率的结论(研究假说 1 和研究假说 2)。

五、影响机制验证:市场化与绿色创新视角

前文双重差分模型估计结果与一系列稳健性检验证实了排污权交易制度能够显著降低单位地区生产总值能耗和提高绿色全要素能源效率,那么这种效应是如何实现的呢?这就需要对其内在的影响机制进行深入挖掘。第二部分的理论分析与研究假说已经得出排污权交易制度能够通过市场化、创新驱动和绿色创新等途径提升能源利用效率的理论假说。作为伴随着市场化改革而进行试点

的排污权交易制度最显著的特征是受到市场化水平影响,中国各地区市场化进程表现出了明显的区域差异,这就引发了对以下问题的思考:排污权交易制度对能源利用效率的影响效应是否随着市场化水平约束和创新强度而具有差异性?那么市场化水平和创新强度是否确实影响排污权交易制度对能源利用效率的提升作用?本文将对此进行分类考察。

由于本文将能源利用效率分为以单位地区生产总值能耗衡量的单要素能源效率和以包含非期望产出的绿色全要素能源效率,且市场化指数的唯一权威数据来源是省份层面。因此,本文以中国各省份市场化相对进程系列测算报告为依据,分别选取市场化总指数、政府与市场关系指数和要素市场发育指数的自然对数作为衡量市场化水平的代理变量,在模型构建方面,主要参考了范子英和彭飞(2017)、王桂军和卢潇潇(2019)的做法,将影响能源利用效率的市场化水平变量嵌入到式(1)基准模型进行影响机制的显著性考察,模型设定为:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (treat_{it} \times post_{it} \times Moderator_{it}) + \alpha_2 (treat_{it} \times post_{it}) + \alpha_3 Moderator_{it} + \beta Control_{it} + \gamma_i + \theta_i + Province_j \times Year_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, Y 是代表能源利用效率的单位地区生产总值能耗或绿色全要素能源效率, $Moderator$ 是代表调节变量,此处指的是市场化总水平、政府与市场关系水平、要素市场发育水平或专利授权总量、绿色创新强度,主要关注的是交互项 $treat \times post \times Moderator$ 的系数显著性,其他变量定义与式(1)一致。

表3列出了影响机制验证的结果,可以发现,单位地区生产总值能耗方面,排污权交易制度对单位地区生产总值能耗的降低效果受到市场化程度的显著影响,市场化总水平、政府与市场关系水平和要素市场发育水平的提高均可以显著降低单位地区生产总值能耗,且政府与市场关系的改善更有利于排污权交易制度降低单位地区生产总值的效果提升。该结论反驳了国外部分学者关于中国市场化改革成效的质疑(Allen et al., 2005),同时印证了要素市场扭曲降低能源利用效率的观点(林伯强和杜克锐, 2013)和市场化进程提高有利于改善能源效率的观点(盛鹏飞, 2015),因此,研究假说1得到验证。绿色全要素能源效率方面,代表地级市总体创新水平的专利授权总量的系数在10%的水平上显著为正,表明排污权交易制度可通过地级市总体创新能力提高而推动绿色全要素能源效率提升。由于部分地级市部分年份无绿色发明专利,本文采用绿色创新强度指标验证排污权交易制度是否诱发“波特效应”,计算公式为“绿色创新强度=绿色发明专利数/发明专利授权量”。基于绿色创新强度的调节效应模型回归可以看出,绿色创新强度的系数在1%的水平上显著为正,意味着排污权交易制度的实施产生了明显的“波特效应”,通过绿色创新强度的提高显著提升了绿色全要素能源效率。因此,总体看,排污权交易制度对绿色全要素能源效率的提升主要是通过绿色创新强度提升得以实现,假说2得到验证。

六、异质性分析:资源禀赋与工业特征

1. 不同类型资源型城市的异质性影响

能源作为一种重要的战略性资源,其利用效率受到资源禀赋动态变化的影响,大多数资源型城市全要素能源效率处于非效率状态,且不同类型资源型城市差异显著。《关于印发全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》的通知确立了262个资源型城市、县级市或市辖区,根据资源丰裕度划分为成长型、成熟型、衰退型和再生型四类资源型城市。表4和表5分别从单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率视角报告了排污权交易制度对不同类型资源型城市的异质性影响效应。需要说明的是,单位地区生产总值能耗属于单要素能源利用效率,而绿色全要素能源效率属于

表 3 影响机制验证:市场化与绿色创新视角

	ln(ec/gdp)			gtfpe	
	市场化总水平 (取对数)	政府与市场关系 水平(取对数)	要素市场发育 水平(取对数)	专利授权总量 (取对数)	绿色创新强度(绿 色发明专利占比)
<i>treat</i> × <i>post</i> × <i>Moderator_i</i>	-0.0430*** (0.0136)	-0.0792*** (0.0139)	-0.0282* (0.0168)	0.0058* (0.0033)	0.3845*** (0.1185)
<i>Moderator_i</i>	-2.0097*** (0.0535)	-2.0558*** (0.0697)	-0.7146*** (0.0397)		
<i>cons</i>	1.4426*** (0.1537)	2.1735*** (0.1801)	-0.6859*** (0.1470)	0.2223 (0.1635)	0.2410 (0.1626)
<i>Control</i>	是	是	是	是	是
<i>Year</i>	是	是	是	是	是
<i>City</i>	是	是	是	是	是
<i>Province</i> × <i>Year</i>	否	否	否	否	否
N	4215	4215	4215	3934	3934
Adj-R ²	0.3152	0.2667	0.1847	0.1597	0.1615

涵盖了劳动力、资本、能源、合意产出和非合意产出的多要素能源利用效率,因此,排污权交易制度对二者的影响程度具有一定差异性。

单位地区生产总值能耗方面,排污权交易制度对衰退型资源型城市降低单位地区生产总值能耗的效果最大,对成熟型资源型城市的影响效果较小,而对成长型和再生型资源型城市降低能耗的影响不显著,可能的原因在于衰退型资源型城市资源日益减少,企业使用能源成本逐渐提高,由于利润最大化的目标约束,多数企业将注重对能源消费的节约或强化对能源利用技术的研发投入。鉴于企业之间客观存在技术差异性,在能源资源成本约束下,多数企业具有较强的动力去提升能源利用技术,伴随着能源利用技术的普遍提升,企业污染排放水平得以下降,若能源利用技术存在企业间差异,衰退型资源型城市中能源利用技术高的企业通过出售排污权获取收益,因而具有更多的利益激励去加强能源利用技术的研发投入,且由于行业总体能源利用技术的提升,能源利用技术低的企业也将由于技术溢出效应实现能源利用效率改善。因此,排污权交易制度对于降低单位地区生产总值能耗的效果最为明显。成熟型资源型城市能源资源丰富裕度较高,使用能源成本较低,能源利用效率高和低的企业参与排污权交易的动力比衰退型资源型城市弱。因此,排污权交易制度对成熟型资源型城市降低单位地区生产总值能耗的效果要略低于衰退型城市。成长型资源型城市由于资源储量最高,使用能源成本最低,能源利用效率高和低的企业均有能力去开采使用较多的能源,且由于环保压力相对较小,企业参与排污权交易的积极性较弱。因此,排污权交易对成长型资源型城市单位地区生产总值能耗的影响不显著。再生型资源型城市则将主要精力放在依靠能源利用技术提升或发展新能源来应对资源枯竭后的生态压力挑战,使得排污权交易制度本身的效应不显著。

绿色全要素能源效率方面,排污权交易制度对成长型资源型城市绿色全要素能源效率的提升效应最为明显,随后是再生型和成熟型,对衰退型影响不显著,可能的原因在于成长型资源型城市能源开采程度较低,环保压力较小,同时劳动力和资本呈现净流入状态,使得能源开采和全要素能源效率大都呈现提升趋势。而成长型资源型城市作为国家重要的能源储备基地,环保准入门槛更

表 4 排污权交易制度对城市能源利用效率影响的异质性:单位 GDP 能耗视角

	ln(ec/gdp)				
	所有 资源型城市	成长型 资源型城市	成熟型 资源型城市	衰退型 资源型城市	再生型 资源型城市
<i>treat</i> × <i>post</i>	-0.0821** (0.0385)	-0.0072 (0.1537)	-0.1032** (0.0450)	-0.3989* (0.2305)	-0.0510 (0.0681)
<i>cons</i>	2.5789*** (0.8017)	-2.1613 (3.7627)	2.0831 (2.1467)	3.1361*** (0.6114)	1.6456** (0.6429)
<i>Control</i>	是	是	是	是	是
<i>Year</i>	是	是	是	是	是
<i>City</i>	是	是	是	是	是
<i>Province</i> × <i>Year</i>	否	否	否	是	否
N	1329	195	930	345	225
Adj-R ₂	0.6491	0.6806	0.6487	0.9493	0.7497

表 5 排污权交易制度对城市能源利用效率影响的异质性:绿色全要素能源效率视角

	gtfpe				
	所有 资源型城市	成长型 资源型城市	成熟型 资源型城市	衰退型 资源型城市	再生型 资源型城市
<i>treat</i> × <i>post</i>	0.0977*** (0.0348)	0.5974*** (0.1829)	0.0786* (0.0438)	0.0162 (0.0776)	0.1452*** (0.0542)
<i>cons</i>	-1.4208*** (0.2828)	-0.2362 (0.9051)	-0.9305*** (0.2760)	-2.7399*** (0.5321)	-1.3256*** (0.3296)
<i>Control</i>	是	是	是	是	是
<i>Year</i>	是	是	是	是	是
<i>City</i>	是	是	是	是	是
<i>Province</i> × <i>Year</i>	否	否	否	否	否
N	1582	182	868	322	210
Adj-R ²	0.2472	0.4825	0.1537	0.4624	0.5554

高,一旦新进入企业清洁生产技术存在差异,那么能源利用效率高和低的企业就会迅速进行排污权交易,使得总体能源利用效率明显上升,即排污权交易制度对成长型资源型城市绿色全要素能源效率的提升效果最大。再生型资源型城市在经历了高污染和高能耗的发展阶段之后,更加认识到清洁生产技术和能源利用效率提升的重要性,主要依托能源利用技术进步或发展新能源,由于新能源属于新兴产业,企业间技术存在着较大的个体差异,很可能在技术高的企业与技术低的企业之间进行排污权交易,从而显著提升总体能源利用效率,由于再生型资源型城市劳动和资本积累相对成长型较慢,所以再生型资源型城市排污权交易市场活跃度略低于成长型,使得提升绿色全要素能源效率的效果要低于成长型。成熟型资源型城市的能源利用与污染排放相对比较稳定,劳动力、资本等要素可能更多地配置在资源型行业,企业间技术差异相对较小,导致排污权交易制度对提升绿色全要素能源效率的影响较小。衰退型资源型城市随着能源资源逐渐呈现出枯竭的趋势,各类企业生产成本提高,且劳动力和资本呈现外流趋势,导致清洁生产技术投入普遍较低,排污权交易市场很可能

处于停滞状态,因此,排污权交易制度对衰退型资源型城市绿色全要素能源效率无显著影响。综上,假说3得到验证。

2. 老工业基地城市与非老工业基地城市的异质性影响

《全国老工业基地调整改造规划(2013—2022年)》确定了120个老工业基地城市或省会城市市辖区,其中,部分老工业基地是国家重要的能源基地,且通常承担了重大技术装备或者关乎国计民生的产品供给,老工业基地总体上存在着高能耗高污染的显著特征,对于老工业基地城市能源利用效率提升形成严重制约。市场化的排污权交易制度对老工业基地城市能源利用效率能否起到显著提升效果,事关老工业基地能否实现高质量发展。基于数据可得性考虑,将老工业基地地级市位于排污权交易制度试点的城市作为实验组,其余老工业基地城市作为对照组,就排污权交易制度对老工业基地城市能源利用效率的影响进行准自然实验。为探讨工业基地城市能源利用效率的差异,还将位于排污权交易制度试点省份的非老工业基地城市作为实验组,其余省份的非老工业基地城市作为对照组,研究排污权交易制度对非老工业基地城市能源利用效率的影响。

从表6关于工业基地类型视角的检验结果可以看出,排污权交易制度对老工业基地城市单位地区生产总值能耗的影响在1%的显著性水平上显著为负,对非老工业基地单位地区生产总值能耗的负向影响在5%的显著性水平上显著,且前者系数绝对值低于后者,表明排污权交易制度在单要素能源效率提升方面对非老工业基地城市的影响效应更大。可能的原因在于老工业基地能耗强度较高,短期内的下降空间有限,排污权交易制度使得生产重大技术装备的企业拥有资金投向节能技术研发的激励,但由于生产技术的路径依赖,使得单位地区生产总值能耗下降幅度较小。从绿色全要素能源效率的视角看,排污权交易制度对老工业基地城市和非老工业基地城市的影响分别在10%和5%的显著水平上显著为正,且对非老工业基地城市影响的系数更大,可能的原因在于非老工业基地大多为经济较为发达的市场化程度较高的城市,对环境质量诉求更多,参与排污权交易的积极性更高,最终形成了较高的绿色全要素能源效率的提升效果。综上,假说4得到验证。

表6 排污权交易制度对城市能源利用效率影响的异质性:工业基地类型视角

	ln(ec/gdp)		gtfpe	
	老工业基地城市	非老工业基地城市	老工业基地城市	非老工业基地城市
<i>treatxpost</i>	-0.2476*** (0.0602)	-0.4775** (0.1912)	0.3848* (0.2311)	1.3869** (0.6379)
<i>cons</i>	2.5593*** (0.8204)	2.2405*** (0.7074)	-1.9548*** (0.6376)	-0.5592 (1.0717)
<i>Control</i>	是	是	是	是
<i>Year</i>	是	是	是	是
<i>City</i>	是	是	是	是
<i>Province×Year</i>	是	是	是	是
N	982	2395	1330	2604
Adj-R ²	0.9051	0.8047	0.5913	0.4722

七、研究结论与政策启示

1. 研究结论

本文将能源利用效率划分为单位地区生产总值能耗和绿色全要素能源效率,以2003—2017年

281个地级及以上城市为研究样本,运用双重差分模型就排污权制度对两类能源利用效率的影响进行了全面细致的研究,主要结论如下:①在经过平行趋势检验、工具变量法、动态时间窗检验和反事实检验、实验组随机抽样模拟检验、剔除其他政策影响、三重差分法和倾向得分匹配法等一系列稳健性检验后,研究发现排污权交易制度显著降低了单位地区生产总值能耗和提高了绿色全要素能源效率。②对市场化总水平、政府与市场关系水平和要素市场发育水平等调节变量对单位地区生产总值能耗的影响进行了计量验证,并从创新驱动视角就排污权交易制度对绿色全要素能源效率的调节效应进行考察,研究发现排污权交易制度通过激励研发创新尤其是通过绿色创新强度显著提高了绿色全要素能源效率。③异质性分析发现,排污权交易制度总体上有利于资源型城市能源利用效率的提升,且对衰退型资源型城市单位地区生产总值能耗的降低效果最为明显,成熟型次之,对成长型和再生型的影响不显著;绿色全要素能源效率方面,排污权交易制度的能源提升效果由大到小依次为成长型、再生型和成熟型,对衰退型的影响不显著。④排污权交易制度均有助于降低单位地区生产总值能耗和提升绿色全要素能源效率,且降低非老工业基地城市单位地区生产总值能耗的效果和提升非老工业基地绿色全要素能源效率的效果更明显。

2. 政策启示

本文从能源利用效率的新视角对排污权交易制度的影响进行了细致深入分析,并对市场化水平与创新驱动等内在作用机制、资源型城市和老工业基地城市的异质性进行了挖掘和讨论,为进一步提升排污权交易制度的节能降耗和绿色发展效应提供了针对性的实证依据和政策启示:

(1)排污权交易制度实施的市场化条件打造方面,排污权交易制度应紧跟市场化改革潮流,充分发挥排污权交易制度的市场化属性,为排污权交易主体提供良好的市场交易平台、中介组织和法律支持,尤其是处理好政府与市场在排污权交易制度实施过程中的协同效应,政府不得干预排污权交易制度的实施,强化参与排污权交易企业的市场主体地位,政府可提供必要的排污权交易市场监管,特别是注重跨区域的排污权交易制度设计,同时营造良好的营商环境,为排污权交易制度提升能源利用效率提供充分的要素市场流动性,鼓励社会资本参与排污权交易,并发挥行业协会对企业参与排污权交易意愿的支持作用。

(2)排污权交易制度对研发创新的内在驱动机制设计方面,能源利用效率提升的关键环节是构建以企业为主导的研发创新体系,对于以煤炭为能源主体消费结构的城市而言,应突出创新基金对于清洁煤利用技术的研发投入或技术引进,加快能源行业供给侧改革,逐步降低煤炭消费占能源消费的比重;对于可再生能源发展较有优势的城市,可综合运用支持新兴产业发展的财税、金融政策,为可再生能源发电行业提供必要的政策扶持,从而充分利用研发创新渠道促进排污权交易制度对能源利用效率提升的根源性助推效应。

(3)排污权交易制度对绿色创新强度的激励模式方面,各地区在排污权配额分配时可重点考虑企业之间绿色创新强度的差异,具备较高绿色创新强度的企业可适当增加排污权分配额度,以此激发企业投入更多的绿色创新资源去提升清洁生产技术,实现自身能源利用效率的快速提升;需结合城市自身产业特征和要素禀赋,重点发展高新技术产业,着力摆脱经济发展对高耗能高污染行业的依赖,进而实现降低能耗和绿色全要素能源效率提升的目标。

(4)排污权交易制度对不同类型资源型城市影响方面,针对资源型城市可持续发展的目标要求,在动态评估资源型城市类型变迁的基础上,分别对成长型、成熟型、衰退型和再生型资源型城市的能源利用效率进行政策调整优化,加大排污权交易制度在衰退型和成熟型资源型城市的实施力度以大幅降低单位地区生产总值能耗。绿色全要素能源效率方面,加强排污权交易制度对成长型和

再生资源型城市的创新激励效应,强化对成熟型和衰退型资源型城市转型升级支持力度,最终实现排污权交易在提升绿色全要素能源效率方面的最大化制度红利。

(5)老工业基地城市调整改造方面,着重将排污权交易制度渗透到重化工业和国有企业比重较高、高污染高能耗的老工业基地城市调整改造进程中,深入推进国有企业混合所有制改革,积极发展民营经济,大力发展低能耗和低污染的高科技产业和现代服务业,不仅有利于降低老工业基地城市单位地区生产总值能耗和提升非老工业基地城市的绿色全要素能源效率,而且可为老工业基地城市调整改造提供技术溢出,从而促进各类企业积极投入到节能减排工作,进而达到能源利用效率提升的目标,最终形成以能源利用效率提升为导向的市场化节能减排新路径。

能源利用效率的提升始终是节能减排与工业绿色转型发展的关键领域,虽然目前排污权交易制度在环境规制工具市场化过程中产生了积极影响,但更深层次须关注的是如何更大程度地提升排污权交易市场主体参与的积极性,包括如何根据各城市资源环境承载力特点确保排污权初始分配的公平与效率、如何构建跨区域的排污权交易市场、在提高能源利用效率的同时排污权交易制度如何克服能源回弹效应等,都是未来值得探讨的重要理论与实践问题。

[参考文献]

- [1]陈钊,陈乔伊. 中国企业能源利用效率:异质性、影响因素及政策含义[J]. 中国工业经济, 2019,(12):78-95.
- [2]董直庆,王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019,(1):100-118.
- [3]董艳梅,朱英明. 高铁建设的就业效应研究——基于中国 285 个城市倾向匹配倍差法的证据[J]. 经济管理, 2016,(11):26-44.
- [4]杜克锐,张宁. 资源丰裕度与中国城市生态效率:基于条件 SBM 模型的实证分析[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2019,(1):65-72.
- [5]樊纲,王小鲁,朱恒鹏. 中国市场化指数:各地区市场化相对进程 2006 年报告[M]. 北京:经济科学出版社, 2007.
- [6]樊纲,王小鲁,朱恒鹏. 中国市场化指数:各地区市场化相对进程 2009 年报告[M]. 北京:经济科学出版社, 2010.
- [7]范子英,彭飞,刘冲. 政治关联与经济增长——基于卫星灯光数据的研究[J]. 经济研究, 2016,(1):114-126.
- [8]范子英,彭飞. “营改增”的减税效应和分工效应:基于产业互联的视角[J]. 经济研究, 2017,(2):82-95.
- [9]冯烽,叶阿忠. 回弹效应加剧了中国能源消耗总量的攀升吗[J]. 数量经济技术经济研究, 2015,(8):104-119.
- [10]李虹,邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. 经济研究, 2018,(11):184-200.
- [11]李小胜,安庆贤. 环境管制成本与环境全要素生产率研究[J]. 世界经济, 2012,(12):23-40.
- [12]李永友,文云飞. 中国排污权交易政策有效性研究——基于自然实验的实证分析[J]. 经济学家, 2016,(5):19-28.
- [13]林伯强,杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013,(9):125-136.
- [14]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):69-74.
- [15]卢硕,张文忠,李佳洺. 资源禀赋视角下环境规制对黄河流域资源型城市产业转型的影响[J]. 中国科学院院刊, 2020,(1):73-85.
- [16]齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新?——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究, 2018,(12):129-143.
- [17]秦蒙,刘修岩,李松林. 城市蔓延如何影响地区经济增长?——基于夜间灯光数据的研究[J]. 经济学(季刊), 2019,(2):527-550.
- [18]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.
- [19]邵帅,杨莉莉,黄涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验[J]. 经济研究, 2013,(2):96-109.

- [20]盛鹏飞. 中国能源效率偏低的解释:技术无效抑或配置无效[J]. 产业经济研究, 2015,(1):9-20.
- [21]史丹,王俊杰. 基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价[J]. 中国工业经济, 2016,(5):5-21.
- [22]师傅,沈坤荣. 政府干预、经济集聚与能源效率[J]. 管理世界, 2013,(10):6-18.
- [23]陶长琪,李翠,王夏欢. 环境规制对全要素能源效率的作用效应与能源消费结构演变的适配关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018,(4):98-108.
- [24]王桂军,卢潇潇. “一带一路”倡议与中国企业升级[J]. 中国工业经济, 2019,(3):43-61.
- [25]王小鲁,樊纲,胡李鹏. 中国分省份市场化指数报告(2018)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2019.
- [26]王小鲁,樊纲,余静文. 中国分省份市场化指数报告(2016)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2017.
- [27]吴健生,牛妍,彭建,王政,黄秀兰. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的 1995—2009 年中国地级市能源消费动态[J]. 地理研究, 2014,(4):625-634.
- [28]殷红,张龙,叶祥松. 中国产业结构调整对全要素生产率的时变效应[J]. 世界经济, 2020,(1):122-142.
- [29]尤济红,高志刚. 政府环境规制对能源效率影响的实证研究——以新疆为例[J]. 资源科学, 2013,(6):99-107.
- [30]张杰,李克,刘志彪. 市场化转型与企业生产效率——中国的经验研究[J]. 经济学(季刊), 2011,(2):571-602.
- [31]张宁,张维洁. 中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗[J]. 经济研究, 2019,(1):165-181.
- [32]周倩玲,方时姣. 地区能源禀赋、企业异质性和能源效率——基于微观全行业企业样本数据的实证分析[J]. 经济科学, 2019,(2):66-78.
- [33]周四军,罗欣,刘影,范迪. 环境规制强度影响能源效率的门槛效应研究——基于 PSTR 模型[J]. 经济数学, 2020,(1):9-19.
- [34]Albrizio, S., T. Kozluk, and V. Zipperer. Environmental Policies and Productivity Growth: Evidence Across Industries and Firms[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017,81(3):209-226.
- [35]Allen, F., J. Qian, and M. Qian. Law, Finance, and Economic Growth in China [J]. Journal of Financial Economics, 2005,77(1):57-116.
- [36]Betsill, M., and M. J. Hoffmann. The Contours of “Cap and Trade”: The Evolution of Emissions Trading Systems for Greenhouse Gases[J]. Review of Policy Research, 2011,28(1):83-106.
- [37]Calel, R., and A. Dechezleprêtre. Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market[J]. Review of Economics and Statistics, 2016,98(1):173-191.
- [38]Cai, X., Y. Lu, M. Wu, and L. Yu. Does Environmental Regulation Drive Away Inbound Foreign Direct Investment? Evidence From A Quasi-Natural Experiment in China[J]. Journal of Development Economics, 2016, 123(1):73-85.
- [39]Goeree, J. K., P. Karen, C. A. Holt, S. William, and B. Dallas. An Experimental Study of Auctions versus Grandfathering to Assign Pollution Permits[J]. Journal of the European Economic Association, 2010,8(2-3): 514-525.
- [40]Hancevic, P. Ignacio. Environmental Regulation and Productivity: The Case of Electricity Generation under the CAAA-1990[J]. Energy Economics, 2016,(60):131-143.
- [41]Hering, L., and S. Poncet. Environmental Policy and Trade Performance:Evidence from China [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2014,68(4):296-318.
- [42]Hudgins, D., and D. W. Yoskowitz. International Trading of Emissions Rights: Pricing under Accountability and Uncertainty[J]. International Trade Journal, 2010,24(4):389-410.
- [43]Hung, M., J. Shi, and Y. Wang. The Effect of Mandatory CSR Disclosure on Information Asymmetry: Evidence from A Quasi-Natural Experiment in China[J]. Social Science Electronic Publishing, 2013,33(5):1-17.
- [44]Lambie, N. R. Understanding the Effect of An Emissions Trading Scheme on Electricity Generator Investment and Retirement Behaviour: The Proposed Carbon Pollution Reduction Scheme [J]. Australian Journal of

- Agricultural & Resource Economics, 2010,54(2):203-217.
- [45]Porter, M. E., and C. V. D. Linde. Towards A New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995,4(4):97-118.
- [46]Schleich, J. K. Rogge, and R. Betz. Incentives for Energy Efficiency in the EU Emissions Trading Scheme[J]. Energy Efficiency, 2009,2(1):37-67.
- [47]Stein, L. A. The Legal and Economic Bases for an Emissions Trading Scheme [J]. Monash University Law Review, 2010,36(1):192-214.

Emissions Trading System and Energy Use Efficiency—Measurements and Empirical Evidence for Cities at and above the Prefecture Level

SHI Dan¹, LI Shao-lin^{1,2}

- (1. Institute of Industrial Economics CASS, Beijing 100836, China;
2. Center for Industrial and Business Organization DUFE, Dalian 116025, China)

Abstract: Energy efficiency improvements is the key gripper to achieve the goal of energy saving, emission reduction and green development, which has always been highly concerned by the academic community. Emissions Trading System is introduced in the process of environmental regulation gradually moving towards marketization, and its impacts on energy efficiency is of great significance. In this paper, energy efficiency is divided into single factor energy efficiency and green total factor energy efficiency, and select a sample of 281 prefecture-level cities and above from 2003 to 2017, the difference in difference model is used to investigate the impact of Emissions Trading System on energy efficiency. The results show that the Emissions Trading System can significantly reduce the energy consumption per unit GDP and improve the green total factor energy efficiency after using instrumental variable to overcome the endogenous problem and a series of robustness tests. The test of the impact mechanism shows that the Emissions Trading System reduces the energy consumption per unit GDP by increasing the level of marketization, relationship between government and market, and development degree of factor market, and improves the green total factor energy efficiency by green innovation. The heterogeneity analysis shows that the Emissions Trading System is more effective in reducing energy consumption per unit GDP in decline-type than mature-type, and has no significant effect on growth-type and regeneration-type, the effect on green total factor energy efficiency from big to small is growth-type, regeneration-type and maturity-type, while the recession-type is not significant; the Emissions Trading System has a greater effect on reducing the energy consumption per unit GDP of the non-old industrial base cities and improving the green total factor energy efficiency of the non-old industrial base cities. This paper provides empirical evidence and differentiated policy implications for releasing institutional dividends of Emissions Trading System in accordance with local conditions in promoting green development and ecological civilization construction.

Key Words: emissions trading system; energy use efficiency; green total factor energy efficiency; difference-in-difference

JEL Classification: Q34 Q57 O13

[责任编辑:李鹏]