

2023-2024 年度  
山西省统计科学研究课题  
优秀成果

项目编号 2023LZ001

项目类别 重点课题

项目名称 “双碳”目标下中国碳排放交易机制的减污  
降碳效应研究

项目负责人 白强

承担单位 山西财经大学

课题组成员 荆文君 李佩 娄中敏 张维哲 任佳欣  
弓凯伟 余昆昆

项目编号

2023LZ001

## 山西省统计科学研究项目结项评审活页

(活页文字表述中不得直接或间接透露个人相关背景材料)

课题名称：“双碳”目标下中国碳排放权交易机制的减污降碳效应及其影响路径研究

### 1. 本课题解决的主要问题

#### 1.1 环境污染指数的测算

首先利用熵权-TOPSIS模型计算出282个地级市在2012-2020年每年的环境污染指数，借助计算结果以及趋势图分析城市的环境污染程度以及生态环境质量。结果表明，城市环境污染指数值整体看来在逐年增大，但存在部分城市在一些年份出现下降的情况，例如天津市、上海市、广东省在2014年环境污染指数值均有所下降，重庆市的环境污染指数在2013、2014年持续下降。从全国范围来看，三亚的环境污染指数整体偏高，说明该地级市的环境污染程度较重、生态环境质量水平较差，但是在2015年指数有所下降，说明环境质量有所改善；重庆的环境污染指数较小，说明重庆的环境污染程度较轻、生态环境质量水平较高。之后还说明了碳排放量的测算方法，并且对城市碳排放量进行了分析。研究发现，全国各地区碳排放量差异较大，其中富裕程度高的城市碳排放量较高，比如上海、重庆、北京和天津等城市。另外大多数地区碳排放量在逐年增加，但是由于目前我国正处在实现“双碳”目标的关键时期，一些地区得益于地理位置的优越性以及政策扶持，出现了增幅较小的情况，比如北京、天津以及上海等地区。

## 1.2 碳排放权交易机制的减污降碳效应

利用倾向得分匹配—双重差分法构建模型，借助环境污染指数以及碳排放量的数据，基于 2012—2020 年我国 282 个地级市的面板数据，实证检验碳排放权交易机制是否存在减污降碳效应。首先进行倾向得分匹配，采用 logit 模型，1:3 进行匹配，对处理组变量和控制组变量的概率系数进行估计，匹配完成后，为了验证倾向得分匹配方法的结果可靠，又对处理组和控制组的变量间的差别进行检验，即平衡性检验，检验结果显示匹配良好。接着根据双向固定效应模型进行双重差分，对被解释变量、核心解释变量以及控制变量等进行基准回归分析，并且通过平行趋势检验、增加控制变量以及安慰剂检验，保证研究结论的可靠性。得到结论：第一，在没有控制其他影响碳排放量以及污染物的排放量的因素时，碳排放权交易机制的实施可以显著降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，加入户籍人口、科学支出占 GDP 比重、人均 GDP、第三产业占比、能源强度、第二产业占比以及专利授权数这些控制变量之后，碳排放权交易机制的实施仍然使得试点城市的碳排放量以及污染物的排放量显著降低，不论是否加入控制变量，碳排放权交易机制都存在减污降碳效应。第二，控制变量中，人均 GDP、专利授权数的系数为负，这就说明经济水平越高、技术创新水平以及技术实力越强，越有助于碳排放权交易机制抑制碳排放量以及污染物的排放量的增多。第三，通过添加资本劳动比这一控制变量以及安慰剂检验，回归结果仍显示碳排放权交易机制能够显著降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，即存在减污降碳效应。因此，研究结论是稳健的。

## 1.3 碳排放权交易机制减污降碳效应的影响路径

利用中介效应模型检验碳排放权交易机制是通过技术进步、产业结构升级以及能源消耗结构调整这三个中介变量影响试点城市减污降碳的水平。首先基于被解释变量、

核心解释变量、中介变量和控制变量构建中介效应模型，进行回归，之后按照中介效应检验流程进行中介效应分析。研究结论：第一，碳排放权交易机制可以显著降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，存在减污降碳效应；碳排放权交易机制的实施会显著影响技术进步，碳排放权交易机制通过技术进步对减污降碳水平的间接效应显著，但是该间接效应是遮掩效应。第二，碳排放权交易机制的实施会显著影响产业结构升级，碳排放权交易机制通过产业结构升级对减污降碳水平的间接效应显著，并且该间接效应是中介效应。第三，碳排放权交易机制通过能源消耗结构调整对减污降碳水平的间接效应显著，但是该间接效应是遮掩效应。

## 2. 重点和难点

### 2.1 本课题的重点

(1) 将碳排放权交易机制的实施看作是一次“准自然实验”，将7个省市的地级市作为处理组，其余地级市作为控制组，运用倾向得分匹配——双重差分法(PSM-DID)研究减污降碳水平，把282个地级市划分为处理组与控制组，使用PSM-DID方法，构建双向固定效应模型检验碳排放权交易机制对减污降碳效应，其中该模型的被解释变量是由环境污染指数与碳排放量的交乘项表示。二者的交乘项可以反映一个地区的整体减排程度，这与“碳污同源”说相契合，满足减污降碳治理的整体性和系统性。在没有控制其他影响碳排放量以及污染物的排放量的因素时，碳排放权交易机制的实施可以显著降低该城市的碳排放量以及污染物的排放量，即提高试点城市的减污降碳水平。为了使分析结果更可靠，加入户籍人口、科学支出占GDP比重、人均GDP、第三产业占比、能源强度、第二产业占比以及专利授权数这些控制变量之后的回归结果，此时的双重差分的回归系数仍显著为负，说明在加入控制变量之后，碳排放权交易机制的实施使得试点城市的碳排放量以及污染物的排放量显著降低，也就是说减污降碳

水平得以提高。不论是否加入控制变量，双重差分的系数均显著为负，即表明实施碳排放权交易机制可以有效降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，也就是说该机制具有减污降碳效应。

(2) 选取了科学支出占 GDP 的比重、第三产业占比以及能源强度作为中介变量具体指标，利用中介效应模型以及 Bootstrap 法检验碳排放权交易机制是通过技术进步、产业结构升级以及能源消耗结构调整的路径影响减污降碳。检验碳排放权交易机制通过技术进步、产业结构升级以及能源消耗结构调整路径影响减污降碳水平。碳排放权交易机制可以显著降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，也就是存在减污降碳效应；碳排放权交易机制的实施会显著影响技术进步，碳排放权交易机制通过技术进步对减污降碳水平的间接效应显著，但是该间接效应是遮掩效应。

## 2.2 本课题的难点

(1) 碳排放权交易机制就是一种将碳排放权当作在碳市场中流通的“商品”，以减少温室气体的排放量，从而实现环境保护、推动绿色发展的政策工具。碳排放权交易机制直接增加企业的生产成本，即成本推动效应，企业在实现利润最大化的同时必须考虑环境因素。在做构建 PSM-DID 模型检验减污降碳效应检验的时候，需要加入控制变量，观察双重差分项的系数的变化，研究发现均显著为负，这就表明实施碳排放权交易机制可以有效降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，也就是说该机制具有减污降碳效应。

(2) 在利用中介效应模型检验减污降碳效应的影响路径时，需要研究碳排放权交易机制可以显著降低试点城市的碳排放量以及污染物的排放量，也就是存在减污降碳效应。研究自变量对因变量影响的具体路径时通常会借助中介效应模型。对于自变量 X 以及因变量 Y，倘若自变量 X 不仅会对因变量 Y 造成直接影响，还会通过变量 M 对因变

量Y造成影响，那么这个变量M就是中介变量，此变量所引起的自变量对因变量的影响是中介效应。另外遮掩效应，是指第三变量对自变量以及因变量二者之间关系的遮掩作用。在遮掩效应中，自变量与因变量的关系往往由两部分组成，一部分是相关部分，另一部分是无关部分，加入遮掩变量就会将自变量与因变量的关系中无关部分删除，强调相关部分，因此就会使直接效应增强。

(3)碳排放权交易机制通过影响技术进步间接对碳排放以及污染物的排放产生作用。“波特假说”认为，适当的环境规制可以促进技术革新，提高企业竞争力以及生产效率。环保政策一经提出，企业为了生存就需进行技术创新，短期来看这样可能会增加企业成本，但从长期来看，企业通过研究新的技术提升生产效率，与其他企业相比更具竞争力，如此抵消由环境保护带来的成本，还能提升企业在市场上的盈利能力，即产生创新补偿效应。据此，若国家实行碳排放权交易机制，则对企业的管制费用会增加，因此政府为降低成本就会评估企业生产经营状况，以此决定该机制的实施状况。企业为了追求利润最大化，会主动追求环保技术，进行技术革新，提高生产效率以及竞争力的同时减少污染物的排放。因此，碳排放权交易机制的创新补偿效应推动技术进步，有效减少污染物的排放。技术进步这一变量的加入，使碳排放权交易机制对减污降碳水平的直接效应与间接效应符号相反，二者产生抵消，增强了直接效应，因此碳排放权交易机制通过技术进步对减污降碳水平产生的间接效应是遮掩效应。

(4)碳排放权交易机制的实施有助于能源消耗结构的调整。对于碳排放量高的企业来说，要想保持原来的生产方式，尽可能少的增加生产成本，维持原有的生产收益，最简便的方法就是减少高碳能源的消耗，但是倘若企业仅仅依靠减少高碳能源的消耗，就难以达到之前的产量、获得预期的收益。这就需要这些企业寻找合适的清洁能源来代替之前的煤炭、石油等高碳能源，也就是说企业需要进行能源消耗结构的调整，从

而实现碳减排。能源消耗结构调整这一变量的加入，使碳排放权交易机制对减污降碳水平的直接效应与间接效应符号相反，二者产生抵消，增强了直接效应，因此碳排放权交易机制通过能源消耗结构调整对减污降碳水平产生的间接效应是遮掩效应。

### 3. 学术价值

本研究使用倾向得分匹配——双重差分法对碳排放权交易机制的减污降碳效应展开研究，这丰富了碳排放权交易机制的政策效应方面的研究，同时为政策效果的研究领域提供了思路，具有一定的学术理论意义。另外本研究基于中介效应模型对碳排放权交易机制的政策效应的影响路径进行分析，探究碳排放权交易机制是否通过技术进步、产业结构升级以及能源消耗结构调整来降低碳排放量以及污染物的排放量。中介效应模型可以帮助厘清自变量与因变量之间的关系，本研究运用这一模型充实了碳排放权交易机制政策效应的影响路径领域的研究，为相关领域的发展作出了理论上的贡献。

本研究基于双碳视角研究碳排放权交易机制的减污降碳效应，通过对检验结果的分析，厘清碳排放权交易机制实施前后各地区的碳排放量以及污染物的排放量的变化趋势，从而掌握试点政策的实施效果，有利于相关部门进一步完善政策，推动碳排放权交易市场的进一步发展，并且可将类似经验运用到其他相关领域，从而推动减污降碳工作的进一步开展。本课题还对政策效应的影响路径进行探索，检验碳排放权交易机制是否通过技术进步、能源消耗结构调整以及产业结构升级这三条路径来影响减污降碳效应的发挥，根据研究结论，相关单位和部门采取措施激励技术创新，进行能源结构以及产业结构的调整与优化，从而促进城市减污降碳水平的提高，改善我国生态环境质量，实现“双碳”目标。

“碳达峰、碳中和”的目标已经成为我们这一代人的责任和历史使命，更是作为一个

负责任的大国对世界的一个承诺。本课题基于“双碳”目标，分析了碳排放权交易机制对减污降碳效应的影响。自“双碳”目标提出以来，各个国家地区都十分重视，该目标关系着中华民族的未来发展，关系着人类命运共同体的构建以及人与自然和谐共生。碳排放权交易机制作为“双碳”目标实现的重要抓手备受关注。有一些问题可以深入研究，例如由于碳排放权交易制度于2021年正式全面启动，研究碳排放权交易制度的减排效应的异质性。进一步，讨论碳减排交易制度对能源效率的影响，是否促进了企业绿色技术的创新。最后，可以研究碳税和碳排放权交易制度的协同减污降碳效应。

#### 4. 创新之处

(1) 关于碳排放权交易机制的政策效应的现有文献大部分集中于只研究碳减排效应或污染物减排效应，而本课题基于“双碳”背景，探究的是二者协同效应，即减污降碳效应。碳排放量以及污染物的排放量是衡量地区环境污染程度以及生态环境质量的重要指标，对环境污染指数的测度以及碳排放量的分析，发现减污降碳工作迫在眉睫。不同地区的环境污染程度以及生态环境质量存在不同程度的差别，因此各地区应该因地制宜，根据当地实际情况，借鉴污染防治工作开展良好的地区的经验，制定相应政策，采取措施，积极推进减污降碳工作的开展。因此将减污、降碳效应二者协同起来进行分析对相关领域的研究具有重要意义。

(2) 本课题选择政策效应和中介效应的视角来分析碳排放权交易机制的减污降碳效应及其影响路径，通过分析PSM-DID以及中介效应模型的回归结果，可以发现控制变量的回归系数有正有负，例如，人口数量、产业结构优化升级和科技创新等，对减污降碳水平的提高既存在促进作用，也存在抑制作用。推动产业结构高级化发展，全面发展服务业，提高第三产业比重，逐步降低第二产业比重，对于高污染、高碳排放的行业进行转型，将其向低污染、低碳排放模式转型。提高技术水平，加强科技创



新，推动能源消耗结构调整优化。大力推广清洁能源的使用，持续加大非化石能源的供给，采用节能环保技术，促进传统能源与可再生能源的融合发展，尽可能减少煤炭消费，推动能源消耗结构向绿色低碳转型。因此，研究碳排放权交易机制显著影响城市碳排放量和污染物的排放量，丰富了我国减污降碳方面的研究内容。