

## 【论文基本信息】

# 碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的影响 ——基于空间溢出和效率损失的视角

**摘要：**重污染企业因人力低效、投资压力以及治污效果不佳导致绿色投资效率低下，碳排放交易政策将如何化解这一难题？本文以碳排放交易政策为准自然实验，采用数据分析方法测度了 2008-2021 年上市公司中 447 家重污染企业的绿色投资效率，建立空间双重差分模型从企业和地级市层面考察了碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应，并从效率损失的角度，分析了绿色投资效率的优化路径。结果表明，碳排放交易政策在企业层面会提高该重污染企业的绿色投资效率，并抑制周边重污染企业的绿色投资效率，在国有企业、大规模企业和中西部地区企业这种影响表现明显。在城市层面碳排放交易政策会降低该城市重污染企业的平均绿色投资效率，而对周边地区绿色投资效率无明显影响。从效率损失角度，碳排放交易政策能够改善该企业的绿色投资冗余和污染排放冗余，同时加剧该企业的劳动力投入冗余和周边企业的绿色投资冗余和污染排放冗余。因此，在碳排放交易政策实施过程中，重污染企业需不断提高技术创新水平，增加人力效率，合理规划绿色投资，进行清洁生产减少污染排放，从而提高企业竞争力，全面实现绿色转型。

**关键词：**企业绿色投资效率；碳排放交易政策；空间双重差分模型；投入冗余和产出不足；数据包络分析

## 【作者基本信息】

**第一作者：**李悦欣，中南财经政法大学统计与数学学院硕士研究生，曾在 *Environmental Science and Pollution Research* 发表论文，主要研究方向：绿色创新。联系方式：hbxtlyx406@163.com。

**第二作者：**刘德华，中南财经政法大学统计与数学学院硕士研究生，主要研究方向：数理统计。联系方式：andylau\_dh@163.com。

**通讯作者：**杨皓，中南财经政法大学统计与数学学院副教授，研究方向为绩效评价。联系方式：yanghaozuel@163.com。通信地址：湖北省武汉市东湖高新技术开发区南湖大道 182 号，430073。

# 碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的影响

## ——基于空间溢出和效率损失的视角

**摘要：**重污染企业因人力低效、投资压力以及治污效果不佳导致绿色投资效率低下，碳排放交易政策将如何化解这一难题？本文以碳排放交易政策为准自然实验，采用数据分析方法测度了2008-2021年上市公司中447家重污染企业的绿色投资效率，建立空间双重差分模型从企业和地级市层面考察了碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应，并从效率损失的角度，分析了绿色投资效率的优化路径。结果表明，碳排放交易政策在企业层面会提高该重污染企业的绿色投资效率，并抑制周边重污染企业的绿色投资效率，在国有企业、大规模企业和中西部地区企业这种影响表现明显。在城市层面碳排放交易政策会降低该城市重污染企业的平均绿色投资效率，而对周边地区绿色投资效率无明显影响。从效率损失角度，碳排放交易政策能够改善该企业的绿色投资冗余和污染排放冗余，同时加剧该企业的劳动力投入冗余和周边企业的绿色投资冗余和污染排放冗余。因此，在碳排放交易政策实施过程中，重污染企业需不断提高技术创新水平，增加人力效率，合理规划绿色投资，进行清洁生产减少污染排放，从而提高企业竞争力，全面实现绿色转型。

**关键词：**企业绿色投资效率；碳排放交易政策；空间双重差分模型；投入冗余和产出不足；数据包络分析

## 一、引言

经济增长创造的奇迹伴随着环境问题的层出不穷，以破坏环境为代价获得经济增长的“旧常态”模式难以为继(Liu et al., 2015)。中国的实体经济在国民经济中发挥着重要作用(赵儒煜, 2023)，而实体经济在微观层面的表现主要是实体企业，企业的生产方式绿色化是经济可持续发展的微观基础(Ren et al., 2022)，绿色化成为重污染企业转型升级的必由之路。由于重污染企业在融资能力、技术基础、政府扶持等方面存在差异，其绿色转型效果参差不齐(Yu et al., 2020)。一方面，由于重污染企业生产工艺复杂和生产任务繁重(Cao et al., 2021)，难以在源头开展污染防治工作，而仅依靠增加末端排放处理装置等方式减排(刘金科和肖翊阳, 2022)，在长期来看并没有改变重污染企业“高污染、高能耗”的生产方式(Wang et al., 2019)；另一方面，由于绿色转型方向模糊、污染治理效果不明显，导致重污染企业的绿色投资效率低下。重污染企业自主进行绿色转型的难度较大(Drempetic et al., 2019; Wen et al., 2019)，需要依靠环境规制政策推动其绿色转型进程。碳排放交易政策作为市场型环境规制手段(Zhu et al., 2019)，其可通过企业环境污染外部性成本内部化的方式，对企业排放的二氧化碳进行总量约束(Wang et al., 2021)。碳市场管理部门会根据企业的历史排放数据赋予一部分免费的碳排放配额，若企业的污染排放超过配额，则需要市场上购买碳排放权(Xiao et al., 2022)。碳排放交易政策的出现约束了重污染企业的碳排放总量，能够在一定程度上为企业绿色投资指明方向并增加了治理效果的可视化(Moore et al., 2018; Zhang et al., 2019)，有利于重污染企业提高绿色投资效率。但由于人才流动、知识溢出、污染转移等跨企业的溢出现象，可能对周边企业的绿色投资效率产生影响(Zhou et al., 2021)。所以，深入刻画碳排放交易政策在企业 and 地级市层面产生的直接效应和溢出效应以及个体差异性，厘清碳排放交易冲击下重污染企业绿色投资效率损失的原因和优化路径，对实现经济与环境的双赢，推动经济高质量发展具有深远意义。

现有文献关于环境规制相关政策与绿色投资效率的关系已进行了广泛的研究, 所得结论迥异。一部分学者认为环境规制会通过创新补偿效应激励企业的绿色技术创新与扩散, 提高企业竞争力 (Porter and Van, 1995; Jaffe and Palmer, 1997; Brunnermer and Cohen, 2003; Hamamoto, 2006; Yang et al., 2012)。一部分学者认为环境规制会挤占企业绿色投资的资金, 同时, 企业为平衡资金, 会倾向选择环境规制较为宽松的地区进行转移, 周边地区成为污染的承接地 (Wayne and Ronald, 2003; Pandej, 2008; James and Amil, 2010)。此外, 还有一部分学者认为环境规制与绿色投资之间具有不确定关系, 认为环境规制对绿色创新的促进作用存在门槛效应 (沈能, 2012; 周海华和王双龙, 2016; Yuan et al., 2017)。具体来看, 陈羽桃和冯建 (2020) 认为地方政府环境规制对企业绿色投资效率具有“倒 U 型”影响, 而对绿色投资冗余量具有“U 型”关系。肖黎明和李秀清 (2020) 运用系统广义矩估计模型, 验证了绿色证券对高耗能企业绿色投资效率为促进作用。现有文献关于环境规制对绿色投资效率空间影响的主要研究以城市层面为主 (黄森和吕小明, 2018), 鲜有文献研究重污染企业绿色投资效率之间的溢出效应。一个地区的绿色投资效率不仅包括重污染企业, 还包括清洁企业, 以城市绿色投资效率为研究对象无法准确识别碳排放交易对重污染企业绿色投资效率的空间影响。综上, 现有文献关于环境规制和企业绿色投资效率的关系进行了丰富的探究, 但并未从企业层面考虑环境规制带来的溢出效应, 且并未深入探讨重污染企业绿色投资效率低下的原因。针对上述局限性, 本文从企业和城市层面考察了碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的直接影响和空间溢出效应, 并从效率损失的角度, 讨论了重污染企业绿色投资效率低下的主要原因

本文以碳排放交易政策实施为准自然实验, 运用方向性距离函数下 Global Malmquist-Luenberger 指数对重污染企业绿色投资效率进行测度, 通过建立空间双重差分模型, 从企业和地级市层面研究了 2008-2021 年碳排放交易对 447 个重污染企业的直接影响和空间溢出效应, 结果表明, 碳排放交易政策提高了重污染企业本身的绿色投资效率, 抑制周边重污染企业的绿色投资效率, 且从整体来看, 碳交易政策降低了地区重污染企业的平均绿色投资效率。异质性分析发现, 碳排放交易政策实施对国有企业、大规模企业和中西部地区企业的绿色投资效率具有正向的直接效应, 而具有负向的空间溢出效应。进一步从效率损失角度分析, 碳排放交易政策能够改善该企业的绿色投资冗余和污染排放冗余, 同时加剧该企业的劳动力投入冗余和周边企业的绿色投资冗余和污染排放冗余。

本文可能的边际贡献为: 第一, 区别于现有对环境规制这一总体的政策影响, 本文精准考察碳排放交易政策这一环境规制对重污染企业绿色投资效率的影响, 是对现有文献的重要丰富; 第二, 区别于现有仅考虑地区绿色投资效率溢出效应的文献, 本文以重污染企业为研究对象, 根据企业所在注册地址的经纬度构建企业地理权重矩阵, 从企业层面探究了碳交易的溢出效应, 同时本文从地级市层面出发, 深入刻画了省域内部的区域不平衡现象, 再次验证了碳交易政策与企业绿色投资效率的关系, 是对现有研究的重要补充。第三, 区别于现有仅考察环境规制与绿色投资效率关系的文献, 本文从效率损失的角度深刻剖析了重污染企业绿色投资效率低下的原因, 并解释了碳排放交易优化绿色投资效率的路径, 是对以后相关研究的重要借鉴。另外, 本文考察了碳排放交易政策在不同产权性质、企业规模以及地理位置重污染企业影响效应的异质性, 为地方政府针对性实施环境规制政策从而全面提高企业绿色投资效率, 顺利推进重污染企业绿色转型提供了重要的经验证据。

本文其余的结构安排如下: 第二部分为本文的理论机制; 第三部分介绍数据来源、模型构建和变量选取; 第四部分为实证结果, 报告了重污染企业绿色投资效率的现状、基准回归结果和稳健性检验, 并进行了异质性分析和考察了投资效率的优化路径; 第五部分是本文的结论和政策建议。

## 二、理论机制

### （一）碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的直接效应

碳排放交易政策能够在一定程度上促进重污染企业自身绿色投资效率的提升，碳排放交易政策在改善技术水平、员工能力、绿色资金运用、预期收益和减少排污方面为重污染企业提供有力途径。

从技术水平来看，根据波特假说（Porter, 1991; Porter and Van, 1995）可知，环境规制的目的是达到减少污染物排放，而减排提高了重污染企业在生产和经营过程中资源的使用效率，增强企业竞争力（Zhang et al., 2023）。而从根本上实现减排的方法是提高自身技术创新水平（Liboni et al., 2022），其主要依靠成本效益和补偿效应实现。在成本效应方面，碳排放交易政策为企业分配了定额的碳排放额度，若企业仍按照以往的生产模式，可能会超出这一配额标准，这就需要企业提升自身技术水平推进绿色生产活动（Dong et al., 2020）。在补偿效应方面，碳排放交易通过倒逼效应提高了企业自身的技术水平，改进了重污染企业的生产流程和管理模式（Xie et al., 2017），提高能源的使用效率，降低了资源成本，同时实现了清洁生产，提高企业绿色竞争力。

从员工能力来看，碳排放交易政策需要重污染企业进一步完善人才引进、技能培训和调整人员配比，提高人才使用效率和整体专业素养（Garrett et al., 2020; Zhao and Fang, 2022），从而保证绿色转型的顺利进行。在人才引进方面，重污染企业需要高质量人才推动和保证绿色转型工作的顺利进行（Chen et al., 2021），同时也需要管理人员加强绿色生产活动的监管，从数量上保证绿色生产活动劳动力的充足（Francesco, 2018）。在技能培训方面，碳排放交易政策对现有人员的认知和预期带来了转变，完善绿色生产工艺流程、提高污染处理系统过程需要大量专业技术人才（Yao et al., 2023），重污染企业需及时对现有员工加强专业和技能的培训，以提高企业整体劳动力的专业技术水平。在人员配比方面，碳交易政策的实施促使重污染企业调整生产车间、绿色加工、污染治理等部门人员的配比（Wang et al., 2022），保证重污染企业绿色转型持续高效地进行。

从绿色资金运用来看，一方面，新古典经济学理论认为碳排放交易制度增大了单位污染物排放的成本（Shadbegian and Gray, 2005），这就要求企业将原本进行绿色投资的资金转移到污染治理领域，从而对绿色资金造成了挤出效应（Kemp and Pontoglio, 2011）。对于资金实力、融资能力较弱的企业，当用于绿色生产活动的减排成本大于购买碳排放交易的生产成本时，这些企业的挤出效应将会大于补偿效应，从而使他们倾向于购买碳排放配额而不是扩大绿色投资改进生产模式（Zheng et al., 2021）。另一方面，若企业的边际减排成本小于购买碳排放额度的成本时，他们可以通过碳排放交易机制使外部污染成本内部化（Zhu et al., 2021），扩大绿色投资。

从预期收益来看，一方面，碳交易制度可使企业将剩余的碳排放配额出售获得额外收益（Peuckert and Jan, 2014），增加企业现金流，从而缓解企业进行绿色投资的现金约束，这种超额收益为企业绿色转型带来动力。另一方面，企业通过绿色投资提高绿色创新能力，能够在未来降低企业的减排成本，从而进一步增加了多余的碳排放配额，获得更多的超额收益（Calel and Antoine, 2012）。所以，碳排放交易能够使企业通过出售多余碳排放配额直接影响绿色投资活动中的现金流，还能通过促进企业研发创新获得更大的预期收益。

从减少排污来看，碳排放交易为企业规定有限的碳排放配额，从总体上来看，有利于整个城市污染物排放的减少（Zhang et al., 2023）。对于单个企业而言，部分企业通过绿色投资提高研发创新从而在源头管控或末端治理减少污染物排放（刘金科和肖翊阳, 2022），使该企业碳排放量不超过限定的配额，有利于减少污染物的产生，提高企业的资源利用效率（Zhao et al., 2015）。而另一部分企业由于自身技术创新能力不足、融资能力较弱，导致进

行绿色投资的成本较大且效果较差，就会依赖在市场上购买碳排放配额，在长期来看不仅增大了自身企业的融资约束，还加剧了污染物排放。

综上，碳排放交易政策能够通过影响重污染企业本身的技术水平、劳动力效率、绿色投资强度、预期收益和污染排放情况，从而影响该企业的绿色投资效率。

### （二）碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的间接效应

经济主体往往不能独立存在，企业作为实体经济中微观层面的表现，不同城市之间的企业，同一城市中的企业之间，因经济活动和贸易往来形成密不可分的产业链关系，因地地理位置和市场环境而形成产业集聚，从而使不同企业之间具有溢出效应。

不同重污染企业之间的绿色投资效率表现为正向的空间溢出效应，主要表现为人才流动的空间溢出、产业结构的调整效应和对外贸易的制约效应。人力资本是企业创新的核心竞争力，通过不同企业之间人才的交流合作（Wang et al.,2021），促进了知识的传播和运用，从而形成了知识溢出和技术创新。周边企业通过人才流动获得了前沿的绿色战略管理经验、先进的绿色生产技术和污染防治方法（Alsamawi, 2014），对企业的环境治理具有推动作用，从而提高了绿色投资效率。出于对环境规制和社会责任的考虑，企业需要在保证正常经营的情况下，以最小的成本完成最优途径的清洁化转型。不同企业之间通过发挥不同产业的比较优势（Dietzenbacher, 2002; Meng and Inomata, 2009），形成资源互补机制，淘汰高耗能生产方式，改造旧生产技术，加大企业的研发投入，从而完成企业内部生产结构的转变（Meng, and Ye, 2022）。在开发的市场环境中，同行业的不同企业交流更加密切，在贸易往来中互相学习和借鉴（Xing, 2020; Meng et al.,2022），这种示范效应有助于企业引进同行业的先进技术，从而提高自身的绿色生产能力和污染防治，提高绿色投资效率。

碳排放交易政策的冲击可能因污染转移和信息不对称在不同重污染企业之间形成竞争效应。碳排放交易政策虽能相对减少一个地区的碳排放量，但在重污染企业的经营活动中，不可避免地会产生污染，这些污染通过大气流传播到地理位置较近的周边企业（Zhang, 2017; Ning et al.,2019），从而使周边企业的环境治理效果低下（Xu et al., 2023）。同时，由于碳交易政策对不同地区不同企业限定的碳排放额度具有一定差异，一些企业由于规模较小且资金获取渠道单一，无法加大研发投入而进行绿色转型，当企业地址转移成本小于碳排放配额价格时，他们就会选择碳价格较低的周边位置进行转移，从而使转移地点成为了“污染天堂”，对周边企业绿色投资效率产生负面影响（Sun et al.,2019）。由于企业在环境信息披露方面由于核算不准确或无法量化等原因导致企业之间的信息不对称问题较为严重（Li et al.,2022），该企业无法准确得知其他企业污染排放的具体情况，只能通过碳价格预测整体市场动态，这就加剧了该企业的绿色投资方向的不确定性。加之企业之间具有较强的竞争机制（Wu et al., 2023a），企业自身对于知识产权的保护非常重视，其他企业基本上无法获得核心绿色转型技术（Wu et al., 2023b）。虽然在人才流动或经济往来中存在一定的知识溢出，但由于不同企业的核心生产业务、工艺流程、资金情况等不尽相同，这些技术或理念并不能使其他企业“坐享其成”（Lin, 2023），从而抑制绿色投资效率的提高。

## 三、研究设计

### （一）数据来源

在企业层面，本文构建了 2008-2021 年 447 个重污染企业的面板数据。本文按照 2010 年《上市公司环境信息披露指南》对重污染行业的划分，将上市公司中属于采矿业、冶金业、火电业、化工业、石化业、钢铁业、建材业等 16 个重污染行业的企业作为研究对象，同时对数据缺失较为严重的企业进行剔除，最终得到 447 家重污染企业。企业层面的数据均来源于 CSMAR 数据库和上市公司的财务报表，部分缺失数据运用均值插值法补充。

在城市层面，本文构建了 2008-2021 年 159 个地级市的面板数据。根据所选取 447 个重污染企业的注册地址，本文归总为 159 个地级市，城市层面的企业绿色投资效率为该城市内所有重污染企业的平均绿色投资效率。城市层面的数据均来源于《中国城市统计年鉴》和《中国统计年鉴》，部分缺失数据运用均值插值法补全。

## (二) 模型建立

### 1. 空间双重差分模型

现有模型大多基于准自然实验的双重差分模型 (DID) 来估计某项政策的实施效果 (Ashenfelter, 1978)。该方法通过两次差分，能够很好的排除政策以外其他因素的干扰。在理论机制的分析中可知，碳排放交易政策可能会为企业绿色投资效率带来空间效应。而传统双重差分模型并未将空间效应考虑进去。若将空间效应加入模型，需要考虑企业间的相互关系，这样可能产生实验组和控制组的空间传递，违反了 SUTVA 假设，会使传统 DID 结果存在偏误。基于此，本文将广义套嵌的空间计量模型与经典双重差分模型结合，建立空间双重差分模型 (SDID) 考察碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的空间效应。空间杜宾模型同时考虑了被解释变量和解释变量的空间滞后项，相较于空间误差模型和空间滞后模型更加全面。故本文选择空间杜宾模型与经典双重差分模型相结合 (SDM-DID) 的方法研究碳排放交易政策对重污染企业绿色投资的直接激励效应和空间溢出效应。根据 Bai et al. (2012)、Chagas et al. (2016) 和向仙虹和孙慧 (2021)，本文所建立的具体模型如下：

$$GIE_{it} = \alpha + \rho \sum_{j=1, i \neq j}^N W_{ij} GIE_{jt} + \theta CTR_{it} + \xi \sum_{j=1}^N W_{ij} CTR_{jt} + \beta X_{it} + \gamma \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} + u_t + v_i + \delta_{it} \quad (1)$$

$$GIE_{it} = treat_{it} \times time_{it}$$

式中， $t$  代表年份，企业层面中  $i$  代表重污染企业，城市层面中  $i$  代表地级市； $GIE$  代表企业绿色投资效率。 $treat$  代表企业分组变量， $treat=1$  代表实验组，即位于碳交易试点城市的重污染企业 (或碳交易试点城市)， $treat=0$  代表控制组。 $time$  代表时间分组变量，2013 年，中国在北京、天津等 7 个地区开展碳排放交易试点， $time=1$  代表政策冲击时点 2013 年及之后， $time=0$  代表 2013 年之前。 $GIE_{it}$  代表  $treat$  与  $time$  的交互项，代表碳排放交易政策的实施。 $W_{ij}$  代表空间权重矩阵， $\xi \sum_{j=1}^N W_{ij} CTR_{jt}$  表示“创卫”活动的空间溢出效应，即周边重污染企业 (或城市) 的绿色投资效率也会受到碳排放交易政策的影响。 $\rho$  表示空间自回归系数， $\lambda$  表示空间自相关系数。 $\xi$  表示空间溢出效应的大小。

### 2. 空间权重矩阵

本文将在企业层面和城市层面探究碳排放交易政策对重污染企业绿色投资的直接效应和空间溢出效应。

企业层面的空间权重矩阵参考胡春阳等 (2023) 的构建方法，建立企业层面的地理距离矩阵：

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (2)$$

$i$  企业与  $j$  企业的地理距离为  $d_{ij}$ ，通过企业注册地址的经度和纬度计算得到。

城市层面的空间权重矩阵参考 You and Lv (2018) 的方法构建 0-1 邻接矩阵，参考 Wang et al. (2019) 的方法构建地理距离矩阵，参考 Tian and Sun (2018) 的方法构建经济距离矩阵。

## (三) 变量选取

### 1. 被解释变量：重污染企业绿色投资效率 (GIE)

目前企业绿色投资的主要测度方法为：（1）直接将涉及环境保护的投入资金加总；（2）计算企业绿色投资总额占平均总资产的比例；（3）基于企业披露的社会责任报告或可持续发展报告构建定量评分表，以量化环境得分。直接将企业绿色投资总额衡量绿色投资强度会因企业规模的差异而出现误差，通过比例的方法在一定程度上减弱了这种误差，但绿色投资效率还需考虑绿色投资效果以及企业自身资源。而采用社会责任报告量化绿色投资评分的主观性较强，无法客观评价绿色投资效率。基于上述局限性，本文采用数据包络分析方法（DEA）对重污染企业绿色投资效率进行测度，通过科学建立投入产出体系，客观测算绿色投资效率。为充分体现绿色投资效率的内涵，本文参考肖黎明和李秀清（2020）、Pekovic et al.（2018）Kai et al.（2018）的处理方法，将投入指标分为技术投入、劳动力投入和绿色投资，期望产出分为企业净利润，同时加入污染物排放综合指标的非期望产出。具体投入产出体系如表 1 所示：

表 1 投入产出指标体系

指标类型	指标名称	衡量方法
投入	技术投入 ( <i>intan</i> )	企业无形资产占总资产的比例
	劳动力投入 ( <i>labour</i> )	企业员工总人数 (人)
	绿色投资额 ( <i>green</i> )	参考张琦等（2019）和赵领娣和王小飞（2022）的处理方法，将重污染上市公司年报附注中管理费用和在建工程中关于环境治理、绿色生产等相关的投资支出额（如污水处理、废气废渣处理等）加总处理得到绿色投资数据
期望产出	企业净利润 ( <i>profit</i> )	企业净利润 (元)
非期望产出	污染物排放综合指标 ( <i>pollute</i> )	参考李鹏升和陈艳莹（2019）和毛捷等（2022）的处理方法，将企业工业废水中的化学需氧量和氨氮排放量、工业废气中的二氧化硫和氮氧化物的排放量这四种污染物进行标准化处理折算为综合指标

在建立投入产出指标体系后，本文通过建立方向性距离（DDF）函数下 Global Malmquist-Luenberger 指数对重污染企业绿色投资效率进行测度。

首先构建生产可能性集合。根据 Fare et al.（2007），将 447 个重污染企业作为决策单元 DMU，使用 3 种投入要素  $x$ ，得到 1 种期望产出  $y$ ，和 1 种非期望产出  $b$ 。生产可能性集合可定义为：

$$P = \{(y, b) | x \text{ 可以生产 } (y, b)\} \quad (3)$$

投入变量包括企业的技术投入 (*intan*)、劳动力投入 (*labour*) 和绿色投资 (*green*)，期望产出是企业净利润 (*profit*)，而非期望产出是污染物排放综合指标 (*pollute*)。方向性距离函数假设生产可能性集合是一个闭有界凸集，满足  $P(0) = \{(0, 0)\}$ 。同时假设投入要素和期望产出可以自由设定，即  $\phi$  如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $(y', b) \leq (y, b)$ ，则  $(y', b) \in P(x)$ ； $\circ$  如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $x' \geq x$ ，则  $P(x') \subseteq P(x)$ 。

此外，方向性距离函数也需要满足输出的弱联合处理。这意味着期望产出比如伴随着非期望产出，减少非期望产出必然导致期望产出的减少。即  $\phi$  如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $b = 0$ ，则  $y = 0$ ； $\circ$  如果  $(y, b) \in P(x)$  且  $0 \leq \theta \leq 1$ ，则  $(\theta y, \theta b) \in P(x)$ 。

根据生产可能性集合  $P$ ，方向性距离函数可设定为如下形式：

$$\overline{D}_0(x, y, b; g_y, -g_b) = \max\{\beta : (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x)\} \quad (4)$$

$g = (g_y, -g_b)$  代表方向向量。该函数的极大值为  $\beta^* = D_0(x, y, b; g)$ ，其表示当一个决策单

元的输出向量  $(y, b) \in P(x)$  按照方向向量  $g = (g_y, -g_b)$  移动到产出的可能性边界时, 期望产出增加而非期望产出减少的最大程度, 它体现了每个决策单元的生产效率。企业生产效率越低,  $\beta^*$  值越大。

为了更加形象地说明方向性距离函数下的径向改进和松弛改进, 我们绘制出图 1 的最优生产前沿面。如图所示, 在最优生产前沿面上的点 (ABCDFG) 是有效的, 而位于最优生产前沿面里面的点 (E) 是无效的。在径向函数下, E 点的效率值为  $EG/EO$ 。其中 G 为 F 在生产前沿面上过原点的径向投影。EG 为 E 点的径向改进。但在方向性距离函数的作用下, E 点可向指定方向投影, 其于投影位置的连线可以不需要经过原点。如 F 为 E 在方向性距离函数下的投影位置, E 点在方向性距离函数下的改进为 EF。需要考虑松弛变量的改进。在通过方向性距离函数改进下, E 改进为 F, 但在 F 位置下, 可通过减少投入、增大期望产出和减少非期望产出使 F 改进为 B, 此为松弛变量的改进。综上, 在方向性距离函数的作用下, E 点的改进不仅需要考虑径向改进 (EF), 还需要考虑松弛改进 (FB), 径向改进和松弛改进之和为总改进量。

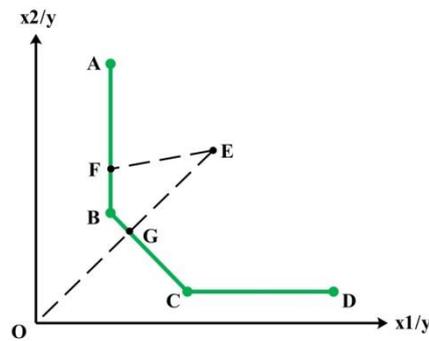


图 1 最优生产前沿面示意图

Global Malmquist-Luenberger (GML) 生产率指数是 Oh (2010) 将全局生产率概念与 Chung et al. (1997) 提出的考虑非期望产出 Malmquist-Luenberger 指数相结合的一种测度方法。其弥补了 Malmquist 指数法无法处理非期望产出的局限性, 以及 Malmquist-Luenberger 指数不具备传递性而导致的规划无解问题 (齐亚伟和陶长琪, 2012)。此外, GML 指数的连续全局生产前沿面能够避免“技术倒退”和生产效率“被动”提高现象的出现 (Kumar, 2006)。

此前已建立好全局生产性可能集以及方向性距离函数。故本文构建如下  $t$  到  $t+1$  时期的重污染企业绿色投资效率变化指数:

$$GML_t^{t+1} = \sqrt{\frac{1 + \overline{D}_G^t(x^t, y^t, b^t, g^t)}{1 + \overline{D}_G^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, g^{t+1})} \times \frac{1 + \overline{D}_G^{t+1}(x^t, y^t, b^t, g^t)}{1 + \overline{D}_G^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, g^{t+1})}} \quad (5)$$

当 GML 指数大于 1 时, 表明重污染企业绿色投资效率提高; 当 GML 指数等于 1 时, 表明重污染企业绿色投资效率不变, 当 GML 指数小于 1 时, 表明重污染企业绿色投资效率降低。

本文将使用 MaxDEA 软件测度基于方向性距离函数下 Global Malmquist-Luenberger 指数。将计算所得生产率指数逐年累乘, 以此作为计量模型中的重污染企业绿色投资效率 (GIE)。

## 2. 核心解释变量: 碳排放交易政策 (CTR)

本文以中国碳交易试点政策的实施作为一项准自然实验, 2013 年, 中国在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东和深圳开展了碳排放交易地方试点。碳交易试点虚拟变量是 treat 和 time 的交互项, 以 2013 年作为政策冲击时点, 在企业层面, 将位于碳交易试点城市的重污染企业作为实验组 (共 96 个), 其余企业作为控制组。在城市层面, 将碳排放交易试点的

地级市作为实验组（共 21 个），其余城市作为控制组。

### 3. 控制变量

本文欲从企业层面和城市层面探究碳排放交易对重污染企业绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应，需在企业和城市两个层面设置控制变量。

在企业层面，本文引入如下控制变量：（1）企业规模（*size*）：采用上市公司期末总资产的对数值来衡量；（2）成长能力（*growth*）：采用（本期期末总资产-上一期期末总资产）/上一期期末总资产来衡量；（3）财务杠杆（*lev*）：采用期末总负债/期末总资产来衡量；（4）盈利能力（*roe*）：采用净利润/股东权益余额来衡量（5）机会成本（*opp*）：采用托宾 Q 值来衡量。

在城市层面，本文引入如下控制变量：（1）经济增长（*pgdp*）：采用地区人均国内生产总值（元）的对数值衡量；（2）产业结构（*stru*）：采用地区第三产业产值与第二产业产值之比衡量；（3）对外开放（*fdi*）：采用外商实际投资额（万美元）的对数值来衡量；（4）环境治理（*envir*）：采用生活垃圾无害化处理率来衡量；（5）技术创新（*innov*）：采用地方财政科学支出（万元）的对数值来衡量。

各变量描述性统计特征如表 2 所示。

表 2 各变量描述性统计

	变量名	观察值	均值	标准差	最小值	最大值
企 业 层 面	GIE	6,258	0.8616	0.1457	0.4202	1.6650
	CTR	6,258	0.1381	0.3450	0.0000	1.0000
	size	6,258	20.5884	8.2475	-24.4845	28.6243
	growth	6,258	0.1990	3.7621	-38.0000	249.0000
	lev	6,258	0.4722	1.2964	-7.1500	58.8235
	roe	6,258	0.0444	0.8923	-45.7368	7.8052
	opp	6,258	1.8937	1.5977	-15.7556	26.6345
城 市 层 面	GIE	2,226	0.8487	0.1200	0.4202	1.2549
	CTR	2,226	0.0849	0.2788	0.0000	1.0000
	pgdp	2,226	10.8524	1.2130	5.3960	21.1933
	stru	2,226	1.0898	0.6169	0.1111	5.2632
	fdi	2,226	10.4472	2.1412	0.0000	15.8034
	envir	2,226	92.1700	15.7722	9.4000	100.0000
	innov	2,226	10.7409	1.4768	6.6477	15.5203

## 四、实证结果分析

### （一）重污染企业绿色投资效率的时间趋势和空间特征分析

#### 1. 时间趋势分析

前文通过方向性距离函数的 Global Malmquist-Luenberger 指数测算了重污染企业绿色投资效率，该指数测算的结果是  $t$  到  $t+1$  时期的变化率，在研究期间内具有累积性特征。考虑到时空分析的准确性和整体变化的平稳性，在该部分讨论时采用的是该指数直接计算得到的 GML 指数，而在后续计量过程中采用的是该 GML 累积后数值。

从时间趋势来看，如图 2 所示，箱型图描述了 2008-2021 年重污染企业绿色投资效率的变化情况。由图像可知，企业平均绿色投资效率随时间围绕 1 左右上下波动，全国整体重污染企业平均绿色投资效率为 0.9859，总体呈现下降趋势，重污染企业绿色投资效率水平普遍较低。随着时间的推移，各重污染企业绿色投资效率的差距不断扩大，总体呈现逐渐分散的

特征。

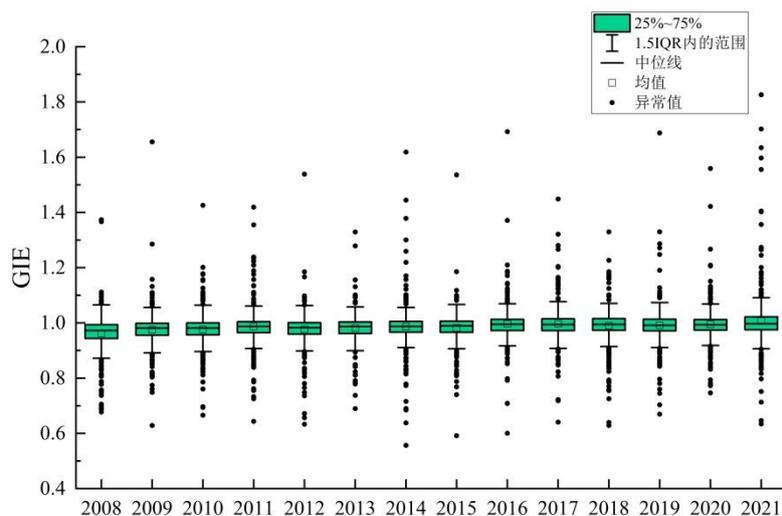


图 2 绿色投资效率的时间趋势

## 2. 空间特征分析

城市层面 2008-2021 年平均绿色投资效率的空间分布如图 3 所示。由图可知，重污染企业主要分布在东部和中部，且整体上平均绿色投资效率仍然处于较低水平。各地级市的平均绿色投资效率在空间上呈现“自沿海向内陆”逐渐下降的趋势，东部沿海地区绿色投资效率在全国处于较高水平。

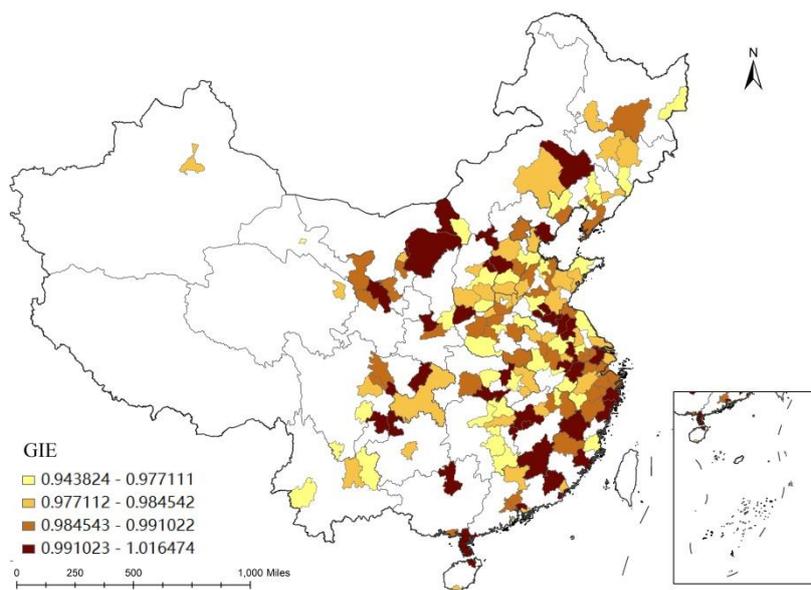


图 3 绿色投资效率的空间特征

为进一步分析各重污染企业之间是否存在空间聚集特征，本文计算了重污染企业在地理权重矩阵下的全局莫兰指数 (Moran's I)，该指数为 0.11，在 1% 的水平下显著为正。这说明，重污染企业之间存在正向的空间自相关性。此外，根据莫兰散点图 (图 4) 可知，重污染企业存在显著的“高-高”和“低-低”聚集特征，即在具有较高绿色投资效率的重污染企业，其距离较近的其他重污染企业的绿色投资效率也呈现较高水平。所以，碳排放交易政策的实施对重污染企业绿色投资效率的空间效应不可忽视，需建立空间双重差分模型进一步研究。

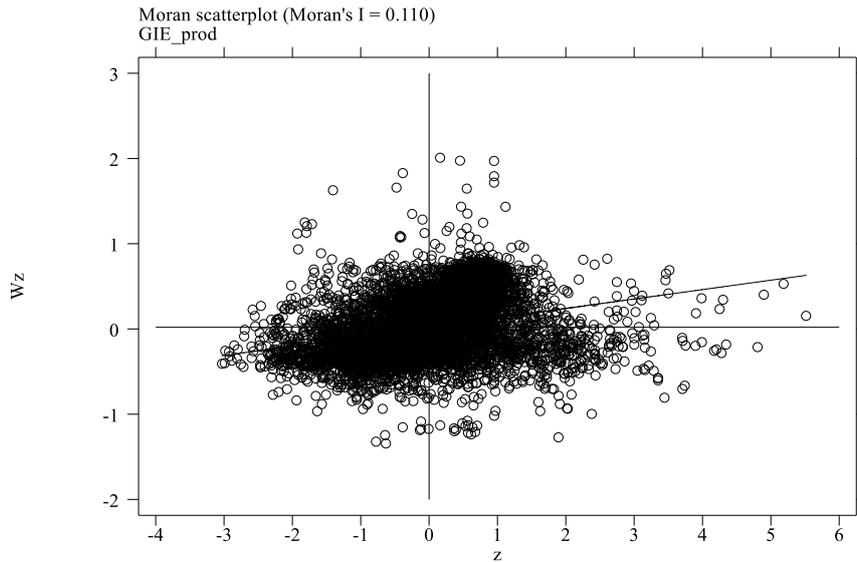


图 4 绿色投资效率莫兰散点图

## (二) 碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的影响

### 1. 企业层面的基准回归结果

表 3 第 (1) 列为碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率影响的企业层面的基准回归结果。结果表明，碳排放交易政策的系数为 0.02，在 5% 的水平下显著为正，而碳交易的空间滞后项系数为 -0.079，在 1% 的水平下显著为负，即在碳排放交易试点政策实施后，重污染企业的绿色投资效率有所提高，但周边重污染企业的绿色投资效率出现下降。

碳排放交易政策实施后，重污染企业本身的绿色投资效率会呈现正增长。碳排放交易制度作为一种市场型环境规制手段，促进企业本身绿色投资效率主要通过成本效应和补偿效应实现。从成本效应方面，企业为达到限定的碳排放量，一方面可以选择扩大绿色投资，改善生产技术，从而减排；另一方面也可以选择在市场上购买排放指标，但若碳价格高于减排成本，这就会增加企业的生产成本；此外，一些企业企图通过减少产量而规避污染控制的成本，但在长期来看会带来净利润、市场份额、竞争力下降等负面影响。所以企业大多采用前两种方法应对碳交易政策。从补偿效应方面，一方面，企业通过扩大绿色投资，积极创新绿色生产模式，减少了碳排放量，当自身碳排放量低于配发额度时，企业就可将这些额度出售，为企业创造超额收益；另一方面，绿色生产技术的使用也提高了企业的生产效率，为推动绿色转型和清洁生产贡献力量。故在碳交易政策实施后，重污染企业通过扩大绿色投资总额，增大经济收益，减少污染排放，从而提高了该企业本身的绿色投资效率。

碳排放交易政策的实施会导致该企业周边重污染企业的绿色投资效率出现负增长。一方面，“污染天堂”的碳排放转移现象为碳排放权交易带来了挑战，当重污染企业很大程度上依赖购买碳交易权而忽视自身绿色转型，或是绿色投资方向偏误导致减排效果不明显时，其排放的污染物会影响周边重污染企业的减排治理效果，从而使周边企业的绿色投资效率出现下降。另一方面，由于企业之间存在严重的信息不对称，知识成果的外溢可能导致一些周边企业“坐享其成”，在长期并不利于这些企业投资效率和减排效果，同时信息披露的不完全透明也无法为周边企业提供明确的绿色投资方向，从而导致周边重污染企业的绿色投资效率停滞不前。

表 3 企业层面的基准回归结果和稳健性检验

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
GIE	替换 被解释变量	替换 核心解释变量	替换 控制变量	替换 控制变量

CTR	0.020** (2.238)	0.019*** (2.703)		0.020** (2.224)	0.022** (2.430)
size	0.001*** (5.847)	0.000** (2.150)	-0.000** (-2.025)	0.001*** (6.282)	0.001*** (4.614)
growth	0.000 (0.363)	0.000 (0.139)	0.000 (0.547)	0.000 (0.246)	0.000 (0.287)
lev	-0.002*** (-2.729)	-0.002** (-2.463)	0.000 (0.084)	-0.002*** (-2.686)	-0.002*** (-2.889)
roe	0.002** (2.205)	0.002** (2.280)	0.003*** (2.762)	0.011*** (4.960)	0.010*** (4.481)
opp	-0.001 (-0.999)	-0.000 (-0.417)	-0.000 (-0.060)	-0.002*** (-2.960)	-0.002*** (-5.657)
No-waste			0.005** (2.198)		
W*CTR	-0.079*** (-4.929)	-0.069*** (-5.440)		-0.079*** (-4.938)	-0.089*** (-5.558)
W*size	-0.007*** (-11.985)	-0.005*** (-10.885)	0.003*** (6.424)	-0.007*** (-12.126)	-0.004*** (-5.778)
W*growth	-0.004** (-2.570)	-0.002** (-2.181)	-0.002 (-1.330)	-0.003** (-2.404)	-0.003** (-2.123)
W*lev	-0.007*** (-2.827)	-0.005*** (-2.693)	-0.005** (-2.094)	-0.007*** (-2.694)	-0.007*** (-2.946)
W*roe	0.032*** (3.519)	0.025*** (3.471)	-0.007 (-0.882)	0.004 (0.471)	0.011 (1.471)
W*opp	-0.004 (-1.606)	-0.003 (-1.613)	0.003 (1.245)	-0.003 (-1.084)	0.012*** (7.807)
W*No-waste			-0.001** (-2.043)		
rho	0.432*** (15.298)	0.461*** (17.067)	0.111*** (3.034)	0.444*** (15.916)	0.381*** (12.828)
sigma2_e	0.005*** (55.777)	0.003*** (55.765)	0.004*** (55.924)	0.005*** (55.769)	0.005*** (55.806)
N	6258	6258	6258	6258	6258

## 2. 城市层面的基准回归结果

表4第(1)列为碳排放交易政策对城市平均企业绿色投资效率影响的基准回归结果。该结果中的被解释变量为一个地级市内所有重污染企业的平均绿色投资效率。结果表明,在地级市层面,碳排放交易政策的系数为-0.012,在5%的水平下显著为负,而碳交易的空间滞后项系数不显著,即在碳排放交易试点政策实施后,本地重污染企业的平均绿色投资效率会出现下降,而周边地区重污染企业平均绿色投资效率不会受到显著影响。

碳排放交易政策实施后,会提高重污染企业本身的绿色投资效率,同时会降低周边重污染企业的绿色投资效率,总体上会降低该地区重污染企业平均的绿色投资效率。一个城市里不仅包括重污染企业,还包括清洁企业。相较于清洁企业,这些重污染企业在转型升级的减排成本和购买碳排放额度的生产成本更高,在绿色转型的过程中更加困难,故在不考虑清洁企业的作用下,重污染企业“闭门造车”的运作体制变得“孤立无援”。一方面,在绿色改造过

程中，由于这些企业对于绿色转型方向不清晰，尽管加大绿色投资总额，仍有可能导致减排效果不明显，加之周边企业污染物排放“以邻为壑”，从而导致整体绿色投资效率低下。另一方面，由于重污染企业特殊的行业性质和产业结构，导致绿色转型具有长期性。一些企业着眼于短期效益，倾向于直接购买碳排放额度，这不仅不能减少污染排放总量，还进一步加大了污染治理的难度，这种“恶性循环”会使绿色投资效率持续降低。

而碳排放交易政策的实施在周边地区平均绿色投资效率的空间溢出效应并不明显，主要是因为，每个城市的重点产业存在差异，重污染企业的数量以及行业性质不尽相同。而且碳排放交易仅在试点城市实施，周边城市的企业无法进行碳排放交易，故在不同城市间的空间溢出效应不具有碳排放交易的直接路径，导致碳排放交易政策在城市层面的空间溢出效应不明显。

表 4 企业层面的基准回归结果和稳健性检验

	(1)	(2)	(3)
	GIE	GIE_W01	GIE_WECO
CTR	-0.012** (-2.335)	-0.015*** (-2.784)	-0.014*** (-2.732)
pgdp	0.002 (1.231)	-0.005* (-1.905)	0.001 (0.548)
stru	0.003 (0.578)	-0.018*** (-3.538)	0.003 (0.731)
fdi	-0.001 (-0.345)	-0.002 (-0.919)	-0.002 (-1.022)
envir	0.000*** (3.930)	0.000 (1.223)	0.000*** (3.711)
innov	-0.005 (-1.528)	-0.028*** (-9.067)	-0.010*** (-3.845)
W*CTR	0.092 (1.232)	-0.007 (-0.815)	0.022* (1.650)
W*pgdp	-0.008 (-1.331)	0.003 (1.079)	-0.006** (-2.574)
W*stru	0.031 (1.563)	-0.015** (-2.091)	-0.009 (-1.016)
W*fdi	0.002 (0.175)	0.002 (0.627)	-0.002 (-0.569)
W*envir	-0.004*** (-4.516)	-0.001*** (-7.058)	-0.002*** (-7.571)
W*innov	-0.021* (-1.693)	-0.015*** (-3.943)	-0.050*** (-10.056)
rho	0.332*** (3.251)	0.178*** (7.479)	0.045 (1.202)
sigma2_e	0.003*** (33.341)	0.003*** (33.227)	0.003*** (33.356)
N	2226	2226	2226

### 3. 有效性分析

#### (1) 平行趋势检验

图 5 为平行性检验动态图, 图像的横轴表示政策时点, 纵轴表示政策的影响系数的大小。点所在的线代表置信区间。如果政策实施前置信区间包含 0, 实施后置信区间不包含 0, 则通过平行趋势检验, 政策实施后有明显效果。从图像可知, 在碳排放交易政策实施之前, 实验组和控制组的差异均不显著, 即实验组和控制组地区的企业绿色投资效率并不存在系统性的差异, 而在政策实施的时点 2013 年及之后的时期, 实验组企业绿色投资效率为显著的正增长, 即实验组即碳排放交易权试点城市促进重污染企业绿色投资效率的占比显著增加。模型通过了平行趋势检验, 保证了基准回归结果的稳健性。

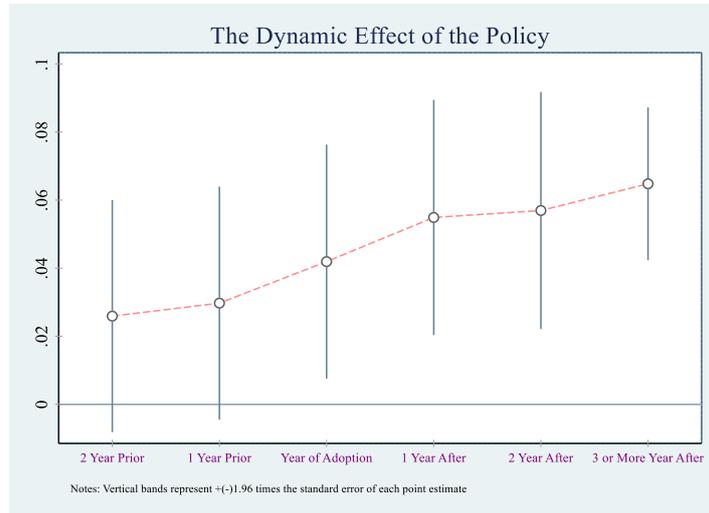


图 5 平行性检验动态图

## (2) 安慰剂检验

为进一步验证碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的影响效应是否遗漏城市和时间层面上的不可观测因素, 导致估计结果存在偏误。本文按照 Cai et al. (2016) 的方法进行安慰剂检验, 通过在 447 个重污染企业中随机抽取 96 个企业为“伪”实验组 (处于碳排放交易试点城市的重污染企业), 其余为控制组, 构建“伪”实验组和控制组, 并在空间杜宾 DID 模型的基础上做 1000 次回归, 进一步绘制了 1000 次估计系数和 t 值的核密度分布 (如图 6 所示)。

在图 6 中, 垂直实线是基准回归估计出来的真实系数, 而垂直虚线是 1000 个“虚拟”系数的均值。由此可知, 实际估计系数在安慰剂检验的估计结果中明显属于异常值, 随机样本得到真实基准回归系数的概率较低。而且在 t 值散点图中, 绝大多数系数均集中分布在 0 附近, 均值与真实值相距较远, 且大多数系数不显著。综上, 足以说明碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的影响不太可能受到遗漏不可观测因素的干扰。

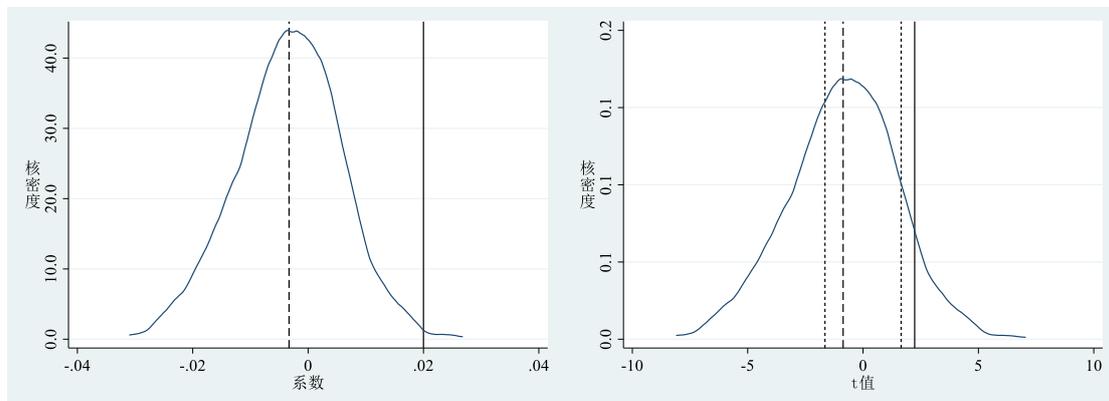


图 6 安慰剂检验结果

#### 4. 稳健性检验

为进一步验证结果的稳健性,本文将通过更换核心变量指标和更换空间权重矩阵方式检验基准回归模型和结果的稳健性。

表3的第(2)-(5)列为企业层面的稳健性检验结果。第(2)列报告了更换被解释变量后的回归结果,本文将企业绿色投资效率的累积增长率更换为了效率值。结果显示,回归系数的绝对值较基准回归轻微下降,但显著性水平略高于基准回归。第(3)列报告了更换核心解释变量后的回归结果,本文将碳排放交易试点政策更换为了2019年“无废城市”建设试点政策。国务院于2019年1月印发了《“无废城市”建设试点工作方案》<sup>①</sup>并确定广东深圳、内蒙古包头等11个试点城市。结果表明,在实施不同的市场型环境规制制度时,对重污染企业绿色投资效率的影响方向和大小未发生较大变化。表4的第(4)列和第(5)列为更换控制变量后的回归结果。第(4)列和第(5)列将净资产收益率A<sup>②</sup>分别更换为净资产收益率B和净资产收益率C,<sup>③</sup>将托宾Q值A分别更换为托宾Q值B和托宾Q值C,所得结果与前文一致。

表2的第(2)列和第(3)列为城市层面的稳健性检验结果。第(2)列和第(3)列分别将地理距离矩阵更换为0-1邻接矩阵和经济距离矩阵。两个结果的碳排放交易的直接影响系数大小与基准回归结果具有细微差异,在显著性水平上有了一定提高,而空间溢出效应上,在0-1邻接矩阵作用下碳排放交易的影响为负但不显著,而经济距离矩阵的作用下,碳排放交易发挥这显著为正的溢出效应,其主要是因为,经济距离较近的城市可能地理距离较远,其受到碳排放“污染天堂”的影响可忽略不计,从而使碳排放交易发挥着细微的正向空间溢出效应。

#### (三) 异质性分析

##### 1. 产权性质

碳排放交易政策实施对重污染企业绿色投资效率的影响与企业的产权性质有关。在国有企业,一方面,由于其具有特殊的资源优势(张成思和刘贯春,2016),资金来源相比于非国有企业更为稳定,融资约束更为宽松,保证了绿色投资的顺利进行。另一方面,国有企业与政府关联较为密切(Roll,1986),承担着更多的环境、社会、治理等多元化的政治目标,在进行绿色投资时具有更强的主动性。加之国有企业受到的监管更为严格(刘金科和肖翊阳,2022),对重污染企业污染排放问题的关注度更高,从而使国有企业在受到碳排放交易政策冲击后,企业自身绿色投资效率的提升更加明显。但国有企业自身绿色投资效率的提高并不意味着其不受到周边国有企业的影响,由于信息不对称、污染转移现象的存在,导致负向的空间溢出效应不可避免。

本文根据企业的产权性质将样本划分为国企和非国企两组进行分析。表5的第(1)、(2)列报告了回归结果。结果表明,在国有企业中,碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应系数为0.049,在5%的水平下显著为正,而空间溢出效应系数为-0.113,在1%的水平下显著为负;在非国有企业中,碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应均不显著。这说明,碳排放交易政策带来了国有企业绿色投资效率的提升,同时周边企业的绿色投资效率有所下降,而碳排放交易政策对非国有企业绿色投资效率的影响不明显。

##### 2. 企业规模

<sup>①</sup> 2019年《“无废城市”建设试点工作方案》明确“无废城市”是通过形成绿色发展方式和生活方式,持续推进固体废物源头减量和资源化利用,最大限度减少填埋量,将固体废物环境影响降至最低的城市发展模式。11个无废城市试点城市分别是广东深圳、内蒙古包头、安徽铜陵、山东威海、重庆主城区、浙江绍兴、海南三亚、河南许昌、江苏徐州、辽宁盘锦、青海西宁。故在稳健性检验中以2019年为政策时点,以11个无废城市作为实验组,其余城市为对照组。

<sup>②</sup> 净资产收益率A=净利润/股东权益余额;净资产收益率B=净利润/股东权益平均余额,股东权益平均余额=(股东权益期末余额+股东权益期初余额)/2;净资产收益率C=净利润/股东权益平均余额,股东权益平均余额=(股东权益期末余额+股东权益上年期末余额)/2。

<sup>③</sup> 托宾Q值A=市值A/总资产;托宾Q值B=市值A/(总资产-无形资产净额-商誉净额);托宾Q值C=市值B/总资产。

碳排放交易政策实施对重污染企业绿色投资效率的影响与企业规模的大小密切相关。不同规模企业在发展模式、竞争优势和创新能力等方面存在差异（刘金科和肖翊阳，2022），导致大规模企业和小规模企业受到碳排放交易政策冲击的影响不同。大规模企业的融资渠道更加丰富，能够获得良好的绿色转型资金支持，同时由于大规模企业经营业务广泛，面临着“产出大污染大”的情况，长期来看，大规模企业会选择改善生产技术从源头或末端减少污染排放，而不会选择大量购买碳排放交易额度。但小规模企业受到自身的财务约束和技术限制，扩大绿色投资进行创新生产活动的可能性和预期效果较小，绿色投资效率的提高更加困难。

本文根据企业 2017 年员工人数的中位数将样本划分为大规模和小规模企业进行分析<sup>④</sup>。表 5 的第（3）、（4）列报告了回归结果。结果表明，在大规模企业中，碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应系数为 0.043，而空间溢出效应系数为-0.098，两者均在 1%的水平下显著；在小规模企业中，碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应均不显著。这说明，碳排放交易政策带来了大规模企业绿色投资效率的提升，同时周边企业的绿色投资效率有所下降，而碳排放交易政策对小规模企业绿色投资效率的影响不明显。

### 3. 地理位置

不同地理位置的城市在经济发展、金融实力、创新能力等方面存在资源禀赋的差异，位于不同区域的企业在受到碳排放交易政策冲击的影响也存在异质性。东部地区相较于中西部地区具有更广泛的融资途径，更容易获得绿色投资。但由于东部地区在全国整体中主要发挥着带动国民经济的领头作用，对于环境效益的关注并不居于首位。加之东部地区各省份之间存在较大差距，对于环境治理的效果也参差不齐，如河北省在全国人均 GDP 排名中处于倒数，其不仅要承担经济压力，还要承担京津地区污染转移的环境压力，导致该省份绿色投资效率停滞不前。而对于中西部地区，虽然在整体经济上落后于东部地区，但受到地方政府的关键性扶持，在重污染企业绿色转型中发挥着方向指引的作用，使中西部地区企业绿色投资更具有积极性和创新性。

本文根据国家统计局公布的东、中、西地区划分标准，将样本按照省份划分为东部和中西部企业进行分析。表 5 的第（5）、（6）列报告了回归结果。结果表明，位于中西部的企业，碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应系数为 0.065，而空间溢出效应系数为-0.143，两者均在 1%的水平下显著；位于东部地区的企业，碳排放交易政策对绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应均不显著。这说明，碳排放交易政策带来了中西部企业绿色投资效率的提升，同时周边企业的绿色投资效率有所下降，而碳排放交易政策对东部企业绿色投资效率的影响不明显。

表 5 异质性分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国企	非国企	大规模	小规模	东部	中西部
CTR	0.049*** (4.378)	-0.019 (-1.586)	0.043*** (3.919)	-0.019 (-1.410)	-0.011 (-0.852)	0.065*** (3.593)
size	-0.001*** (-2.662)	0.001*** (6.246)	0.000 (1.477)	0.001*** (4.719)	0.001*** (6.987)	-0.003*** (-5.517)
growth	-0.000 (-0.471)	0.001* (1.681)	-0.000 (-0.644)	0.001* (1.923)	0.001 (1.425)	0.000 (0.290)
lev	0.008 (1.336)	-0.003*** (-3.601)	0.004 (1.382)	-0.003*** (-2.927)	-0.001 (-1.364)	-0.003*** (-2.652)
roe	0.002	0.003**	0.002	0.004*	0.003	0.002*

<sup>④</sup> 选取 2017 年的企业从业人数作为划分标准，是因为政策冲击时点为 2013 年，而文章研究期间最晚到 2021 年，2017 是 2013 和 2021 的中位数。

	(1.071)	(2.083)	(1.386)	(1.941)	(1.389)	(1.847)
opp	0.005***	-0.003***	0.004***	-0.003***	-0.003***	0.003***
	(3.703)	(-2.788)	(2.911)	(-3.259)	(-3.138)	(2.591)
W*CTR	-0.113***	-0.022	-0.098***	-0.055*	-0.029	-0.143***
	(-6.293)	(-0.960)	(-5.599)	(-1.895)	(-1.524)	(-3.772)
W*size	-0.009***	-0.006***	-0.007***	-0.008***	-0.007***	-0.011***
	(-6.050)	(-10.579)	(-7.743)	(-9.735)	(-11.336)	(-6.639)
W*growth	-0.003	-0.003	-0.001	-0.003**	-0.003	-0.003**
	(-0.954)	(-0.751)	(-0.218)	(-2.244)	(-0.558)	(-2.198)
W*lev	0.008	-0.001	-0.049***	-0.005***	-0.003	-0.007***
	(0.349)	(-0.111)	(-3.021)	(-2.675)	(-0.360)	(-3.338)
W*roe	0.024***	0.025***	0.028***	0.028*	0.016	0.030***
	(2.674)	(2.641)	(3.239)	(1.699)	(1.219)	(3.679)
W*opp	-0.011***	-0.004	-0.009**	0.001	-0.002	-0.006*
	(-2.991)	(-1.244)	(-2.312)	(0.271)	(-0.438)	(-1.944)
rho	0.421***	0.422***	0.541***	0.215***	0.393***	0.413***
	(13.737)	(10.633)	(17.586)	(5.084)	(10.487)	(13.604)
sigma2_e	0.005***	0.005***	0.004***	0.006***	0.005***	0.006***
	(37.884)	(40.844)	(39.398)	(39.459)	(42.947)	(35.493)
N	2898	3360	3136	3122	3710	2548

#### (四) 重污染企业绿色投资效率的投入冗余与产出不足分析

2007-2021 年绿色投资的效率值均值为 0.6489，且仅有 34 家的样本企业的绿色投资效率值达到了 1，即绿色投资效率最优。此外，企业绿色投资效率值的中位数小于其所对应的平均值，说明大部分样本企业的绿色投资效率未达到行业平均水平，重污染企业的绿色投资效率偏低，存在较大的投入冗余和产出不足。在计算重污染企业投资效率时，径向改进和松弛改进之和为总改进量。在投入变量中，总改进量为负，说明需要减少投入，此为投入冗余。在期望产出中，总改进量为正，说明需要增加产出，此为期望产出不足。在非期望产出中，总改进量为负，说明需要减少非期望产出，此为期望产出冗余。下面，本文将从投入冗余、期望产出不足和非期望产出冗余三个方面，探究碳排放交易政策是否能够通过改进投入冗余和产出不足，从而使企业绿色投资效率最优。

##### 1. 投入冗余

表 6 的第 (1) - (3) 列为碳排放交易政策对技术、劳动和绿色投资额投入冗余的影响。结果表明：(1) 碳排放交易政策的实施对该企业和周边企业的技术投入冗余的影响不明显；(2) 碳排放交易政策的实施加剧了该企业的劳动投入冗余，但对周边企业的劳动投入冗余影响不明显；(3) 碳排放交易政策的实施缓解了该企业的绿色投资冗余，但加剧了周边企业的绿色投资冗余。

碳排放交易政策虽然能够在一定程度上通过出售多余配额为企业创造超额利润，但这些超额利润并不能作为主营业务收入，其对于企业的无形资产投入影响较小。而碳排放交易政策的实施需要更多的劳动力投入到绿色生产，但由于员工整体的专业知识和技能水平无法达到绿色转型的人才标准，“以数量换取质量”的局面使得劳动力投入效率不足，加剧了劳动力投入冗余程度。碳排放交易政策能够在一定程度上缓解该企业的绿色投资冗余，这说明，严格的市场型环境规制的实施使企业更加充分的利用并合理配置绿色投资资源，从而有利于提升绿色投资效率，碳排放交易政策是重污染企业进行绿色转型和地方政府进行环境监管的有效途径（陈羽桃和冯建，2020）。

## 2. 期望产出不足

表 6 的第 (4) 列为碳排放交易政策对期望产出不足的影响。结果表明，碳排放交易政策的实施对该企业和周边企业的净利润产出不足的影响不明显。这说明，碳排放交易通过出售多余配额以获得超额利润的效果并不明显。虽然企业可以通过出售多余配额获取利润，但形成多余配额的代价是企业付出更多的边际成本减少污染排放。由于重污染企业的行业特点使其达到碳排放标准已实属不易，出售多余配额可谓难上加难。故对于重污染企业，碳排放交易政策改善产出不足的效果并不明显。

## 3. 非期望产出冗余

表 6 的第 (5) 列为碳排放交易政策对非期望产出冗余的影响。结果表明，碳排放交易政策有利于减少该企业的污染冗余，但会加剧周边企业的污染冗余。这说明，重污染企业通过扩大绿色投资，改进生产模式和管理技术，在源头管控和末端治理方面有效减少了污染物排放，从而减少了污染冗余。但由于污染转移和信息不对称的存在，周边企业的污染排放会在一定程度上影响本企业环境治理的效果，从而抑制本企业的污染冗余。为了缓解污染转移的负向影响，当务之急是全面实现重污染企业的绿色转型，仔细审查企业绿色管理的全过程，改善低效率配置情况，减少整体污染冗余。

表 6 投入冗余与产出不足分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	技术投入冗余	人力投入冗余	绿色投资冗余	期望产出不足	非期望产出冗余
CTR	0.002 (0.811)	0.265*** (3.482)	-0.050* (-1.679)	0.102 (1.246)	-0.002*** (-2.712)
size	-0.001*** (-14.285)	0.012*** (9.093)	0.001*** (2.631)	0.005*** (3.721)	-0.000*** (-5.142)
growth	0.000 (0.127)	0.003 (1.343)	-0.000 (-0.116)	-0.000 (-0.154)	-0.000 (-0.423)
lev	-0.000 (-0.507)	0.017** (2.494)	0.002 (0.678)	0.010 (1.417)	0.000** (2.177)
roe	0.000 (0.389)	-0.029*** (-3.065)	-0.002 (-0.448)	-0.096*** (-9.408)	-0.000** (-2.314)
opp	0.002*** (6.548)	-0.046*** (-6.992)	-0.005** (-2.082)	-0.009 (-1.315)	0.000 (0.843)
W*CTR	0.005 (0.928)	0.050 (0.373)	0.124** (2.389)	0.107 (0.746)	0.007*** (5.187)
W*size	-0.000 (-0.912)	0.032*** (6.967)	0.000 (0.157)	0.016*** (3.455)	0.001*** (11.414)
W*growth	0.001 (1.556)	0.018 (1.514)	-0.002 (-0.470)	0.009 (0.713)	0.000** (2.169)
W*lev	0.001 (1.627)	0.053** (2.513)	-0.007 (-0.798)	0.068*** (2.965)	0.000** (2.396)
W*roe	-0.003 (-0.942)	-0.065 (-0.839)	-0.020 (-0.660)	-0.216** (-2.566)	-0.003*** (-3.407)
W*opp	-0.002* (-1.830)	0.062*** (2.692)	-0.007 (-0.821)	0.007 (0.280)	0.000 (0.997)
rho	0.058	0.217***	-0.034	0.198***	0.574***

	(1.405)	(6.647)	(-0.951)	(5.594)	(24.083)
sigma2_e	0.001***	0.396***	0.061***	0.461***	0.000***
	(55.933)	(55.893)	(55.936)	(55.894)	(55.695)
N	6258	6258	6258	6258	6258

## 五、结论和政策建议

本文以碳排放交易政策实施作为准自然实验，运用方向性距离函数 Global Malmquist-Luenberger 指数测算重污染企业绿色投资效率，建立空间 DID 模型在企业 and 城市层面探究了碳排放交易政策对重污染企业绿色投资效率的直接效应和空间溢出效应，并进一步分析了异质性特征以及投入冗余和产出不足的效率损失，得到以下结论：（1）在企业层面，碳排放交易政策提高了重污染企业本身的绿色投资效率，但抑制了周边重污染企业的绿色投资效率，在城市层面，碳排放交易政策的实施降低了地区重污染企业的平均绿色投资效率，而对周边地区平均企业绿色投资效率影响不明显。（2）通过异质性分析发现，碳排放交易政策实施对国有企业、大规模企业和中西部地区企业的绿色投资效率具有正向的直接效应，而具有负向的空间溢出效应。（3）进一步对效率损失分析发现，碳排放交易政策能够改善该企业的绿色投资冗余和污染排放冗余，同时加剧该企业的劳动力投入冗余和周边企业的绿色投资冗余和污染排放冗余。

基于上述结论，本文提出如下政策建议：

从政府角度，一方面要综合使用环境保护税、排污权交易等市场型环境规制手段，激励企业高管主动承担环境责任，而不是被动迎合政策。在碳排放交易权政策中实施奖励机制，为从源头管控减少污染的生产活动基于一定的财政支持，积极奖励参与环境治理和节能减排的企业，提高企业绿色投资的积极性。另一方面政府需加强重污染企业污染排放的监管力度。由于重污染企业本身绿色投资效率低下，其在绿色投资管理和生产过程中暴露的问题应被及时发现并纠正，同时在重污染企业绿色转型方向上加以指引，从而提高重污染企业的绿色投资效率。

从企业角度，在重污染企业和清洁企业之间要建立良好的优势互补关系，重污染企业不能在购买碳排放配额方面依赖清洁企业，更要抓住资源共享和成果溢出的机遇，提升重污染企业自身的绿色研发和污染防治能力，加快绿色转型步伐。在重污染企业内部，一方面要吸收高技能人才，同时对现有员工加强专业知识和技能的培训，顺应数字化绿色转型的发展。另一方面，重污染企业需明确绿色投资方向，减少不必要的绿色资金支出，提高绿色资金的使用效率，同时选择适于企业自身生产系统和运作模式的绿色转型方式，如新能源开发、提高化石能源使用效率等源头管控措施，或者在末端增加减排装置、增加能源可回收利用装置等末端治理措施，全面提高重污染企业绿色投资效率。

### 参考文献

- 2003, Wayne B Gray and Ronald J Shadbegian. Plant Vintage, Technology, and Environmental Regulation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 46(3), pp. 384-402.
- Alsamawi, A., Murray, J., Lenzen, M., 2014, "The Employment Footprints of Nations: Uncovering Master-Servant Relationships", *J. Ind. Ecol.* 18 (1), 59–70.
- Ashenfelter, O., "Estimating the Effect of Training Programs on Earnings", *The Review of Economics and Statistics*, 1978: 47-57.
- Bai, C. E., Hong, M., & Pan, W., 2012, "Spatial Spillover and Regional Economic Growth in China", *China*

Economic Review, 23( 4), 982-990.

Brunnermer, S., Cohen, M., 2003, “Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2):278-293.

Cai, X., Lu, Y., Wu, M., et al, 2016, “Does Environmental Regulation Drive Away Inbound Foreign Direct Investment? Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China”, *Journal of Development Economics*, 123: 73-85.

Calel, R., & Antoine Dechezleprêtre, 2012, “Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market”, *Review of Economics & Statistics*, 98(1), 551-574.

Cao, J., Ho, M., S., Ma, R., & Teng, F., 2021, “When Carbon Emission Trading Meets a Regulated Industry: Evidence from the Electricity Sector of China”, *Journal of Public Economics*, 200(490), 104470.

Chagas, A. L. S., Azzoni, C.R., 2016, “Almeida A N. A spatial difference-in-differences Analysis of the Impact of Sugarcane Production on Respiratory Diseases”, *Regional Science and Urban Economics*, 59: 24-36.

Chen, S., Song, H., & Wu, C., 2021, “Human Capital Investment and Firms’ Industrial Emissions: Evidence and Mechanism”, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 182, 162–184.

Chung, Y.H., Färe, R., Grosskopf, S., 1997, “Productivity and Undesirable Outputs: a Directional Distance Function Approach”, *Journal of Environmental Management*, 51(3): 229-240.

Dietzenbacher, E., 2002, “Interregional Multipliers: Looking Backward, Looking Forward”, *Reg. Stud.* 36 (2), 125–136.

Dong, Z.Q., He, Y.D., Wang, H., Wang, L.H., 2020, “Is there a Ripple Effect in Environmental Regulation in China? Evidence from the Local-Neighborhood Green Technology Innovation Perspective”, *J. Ecol. Indic.* 118, 106773

Drempetic, S., Klein, C., & Zwergel, B.. 2019, “The Influence of Firm size on the esg Score: Corporate Sustainability Ratings under Review”, *Journal of Business Ethics*.

Färe, R., Grosskopf, S., Pasurka, Jr.C.A., 2007, “Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions”, *Energy*, 32(7): 1055-1066.

Francesco, V., 2018, “Environmental Regulation and Green Skills: An Empirical Exploration”, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 713–753.

Garrett, D. G., Ohrn, E., & Serrato, J. C. S., 2020, “Tax Policy and Local Labor Market Behavior”, *American Economic Review: Insights*, 2(1), 83–100.

Hamamoto, M., 2006, “Environmental Regulation and the Productivity of Japanese Manufacturing Industries”, *Resource and Energy Economics*, 28(4):230-311.

Jaffe, A. B., Palmer, K., 1997, “Environment Regulation and Innovation: A Panel Data Study”, *Review of Economics and Statistics*, 79:610 -618.

James, L., & Amil, P., 2010, “Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables”, *Review of Economic Studies*(2), 317-341.

Kai, W., Hao-Min, Z., Sang-Bing, T., Li-Dong, W., Kun-Kun, X., & He-Jun, F., et al, 2018, “Does a Board Chairman's Political Connection Affect Green Investment?—from a Sustainable Perspective”, *Sustainability*, 10(3), 582-.

Kemp, R., & Pontoglio, S., 2011, “The Innovation Effects of Environmental Policy Instruments — A Typical Case of the Blind Men and the Elephant?”, *Ecological Economics*, 72(Dec.), 28-36.

Kumar S., 2006, “Environmentally Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis Using Malmquist–Luenberger Index”, *Ecological Economics*, 56(2): 280-293.

Li, G., Xue, Q., Qin, J., 2022, “Environmental Information Disclosure and Green Technology Innovation: Empirical Evidence from China”, *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 176, 121453.

- Liboni, L. B., Cezarino, L. O., Alves, M. F. R., Charbel Jos éChiappetta Jabbour, & Venkatesh, V. G., 2022, "Translating the Environmental Orientation of Firms into Sustainable Outcomes: the Role of Sustainable Dynamic Capability" *Review of Managerial Science*, 17(4), 1125-1146.
- Lin, K., 2023, "The impact of Intellectual Property Protection on Business Performance of High-Tech Enterprises: The Mediating Effect of Political-Business Relations", *Finance Research Letters*, 54, 103718.
- Liu, Y., Wang, A., & Wu, Y., 2021, "Environmental Regulation and Green Innovation: Evidence From China's New Environmental Protection Law", *Journal of Cleaner Production*, 297(1), 126698.
- Liu, Y., Zhou, Y., Wu, W., 2015, "Assessing the Impact of Population, Income and Technology on Energy Consumption and Industrial Pollutant Emissions in China", *Applied Energy*, 155(OCT.1):904-917.
- Meng, B., Gao, Y., Ye, J., Zhang, M., Xing, Y., 2022, "Trade in Factor Income and the US-China Trade Balance", *China Econ. Rev.* 73, 101792.
- Meng, B., Inomata, S., 2009, "Production Networks and Spatial Economic Interdependence: an International Input-Output Analysis of the Asia-Pacific Region", *Inst. of Developing Economies, Japan External Trade Organization*.
- Meng, B., Ye, M., 2022, "Smile Curves in Global Value Chains: Foreign-vs. Domestic-Owned Firms; the US vs. China", *Struct. Change Econ. Dynam.* 60, 15–29.
- Moore, N. A. D., Grosskurth, P., & Themann, M., 2018, "Multinational Corporations and the EU Emissions Trading System: the Specter of Asset Erosion and Creeping Deindustrialization", *Journal of Environmental Economics and Management*, 94(MAR.), 1-26.
- Ning, Y., Miao, L., Ding, T., Zhang, B., 2019, "Carbon Emission Spillover and Feedback Effects in China Based on A Multiregional Input-Output Model", *Resour. Conserv. Recycl.* 141, 211–218.
- Oh D. 2010, "A global Malmquist-Luenberger Productivity Index", *Journal of productivity analysis*, 34: 183-197.
- Pandey, Chintrakarn, 2008, "Environmental Regulation and U.S. States' Technical Inefficiency", *Economics Letters*, 100(3), pp.
- Pekovic, S., Grolleau, G., & Mzoughi, N., 2018, "Environmental Investments: Too Much of A Good Thing?", *International Journal of Production Economics*, 197.
- Peuckert, & Jan., 2014, "What Shapes the Impact of Environmental Regulation on Competitiveness? Evidence from Executive Opinion Surveys", *Environmental Innovation & Societal Transitions*, 10, 77-94.
- Porte, M. E., and C. Van der Linde., 1995, "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship" *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Porter, M. E., 1991, *America's Green Strategy*. *Scientific American*, 264(4), 168.
- Ren, S., Hao, Y., & Wu, H., 2022, "How does Green Investment Affect Environmental Pollution? Evidence from China", *Environmental and Resource Economics*, 81, 25–51.
- Roll, R., 1986, "The hubris hypothesis of corporate takeovers", *The Journal of Business*, 59(2), 437-467.
- Shadbegian, R.J., Gray, W.B., 2005, "Pollution Abatement Expenditures and Plant-Level Productivity: A Production Function Approach", *J. Ecological Economics*. 54, 196–208.
- Sun, D., Zeng, S., Lin, H., Meng, X., Yu, B., 2019, "Can Transportation Infrastructure Pave a Green Way? A City-Level Examination in China", *J. Clean. Prod.* 226, 669–678.
- Tian, Y., & Sun, C., 2018, "Comprehensive Carrying Capacity, Economic Growth and the Sustainable Development of Urban Areas: A Case Study of the Yangtze River Economic Belt", *Journal of Cleaner Production*, 195(SEP.10), 486-496.
- Wang, F., Xu, L., Guo, F., & Zhang, J., 2019, "Loan Guarantees, Corporate Social Responsibility Disclosure and Audit Fees: Evidence from China", *Journal of Business Ethics*.

Wang, L., Zeng, T., & Li, C., 2022, "Behavior Decision of Top Management Team and Enterprise Green Technology Innovation", *Journal of cleaner production*.

Wang, L., Zhang, B., Ye, J., 2021, "Multiplier, Spillover and Feedback Effects of Employment in China and the United States: A skills and Sector-Based Perspective", *Singapore Econ. Rev.* 1–34.

Wang, Y., Xin, X. U., & Zhu, Q., 2021, "Carbon Emission Reduction Decisions of Supply Chain Members under Cap-and-Trade Regulations: A Differential Game Analysis", *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107711-.

Wang, Z., Sun, Y., Yuan, Z., & Wang, B., 2019, "Does Energy Efficiency have a Spatial Spill-Over Effect in China? Evidence from Provincial-Level Data", *Journal of Cleaner Production*, 241, 118258.

Wen, F., Wu, N., & Gong, X., 2019, "China's Carbon Emissions Trading and Stock Returns", *Energy Economics*, 86, 104627.

Wu, D., Xie, Y., Lyu, S., 2023a, "Disentangling the Complex Impacts of Urban Digital Transformation and Environmental Pollution: Evidence from Smart City Pilots in China", *Sustain. Cities Soc.* 88, 104266.

Wu, D., Jia, W., Xie, Y., 2023b, "The Impact of Environmental Information Disclosure on Green Innovation in Extractive Enterprises: Promote or Crowd Out?", *The Extractive Industries and Society*, 14, 101247.

Xiao, B., Fan, Y., Guo, X., Voigt, S., & Cui, L., 2022, "Effects of Linking National Carbon Markets on International Macroeconomics: An Open-Economy e-dsge Model", *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108166-.

Xie, R. H., Yuan, Y. J., & Huang, J. J., 2017, "Different Types of Environmental Regulations and Heterogeneous Influence on "Green" Productivity: Evidence from China", *Ecological Economics*, 132(FEB.), 104-112.

Xing, Y., 2020, "Global Value Chains and the "Missing Exports" of the United States", *China Econ. Rev.* 61, 101429.

Xu, L., Yang, L., Li, D., Shao, S., 2023, "Asymmetric Effects of Heterogeneous Environmental Standards on Green Technology Innovation: Evidence from China", *Energy Economics*. 117, 106479

Yang, C H, Tseng, Y H., Chen, C P. 2012, "Environmental Regulations, Induced R&D, and Productivity: Evidence from Taiwan's Manufacturing Industries", *Resource & Energy Economics*, 34(4).

Yao, W., Zhang, Y., Ma, J., & Cui, G. 2023, "Does Environmental Regulation Affect Capital-Labor Ratio of Manufacturing Enterprises: Evidence from China", *International Review of Financial Analysis*, 86, Article102485.

You, W., & Lv, Z., 2018, "Spillover Effects of Economic Globalization on CO2 Emissions: A Spatial Panel Approach", *Energy Economics*, S014098831830183X.

Yu, X., Wu, Z., Wang, Q., Sang, X., & Zhou, D., 2020, "Exploring the Investment Strategy of Power Enterprises under the Nationwide Carbon Emissions Trading Mechanism: A Scenario-Based System Dynamics Approach", *Energy Policy*, 140, 111409.

Yuan, B., Ren, S., Chen X., 2017, "Can Environmental Regulation Promote the Coordinated Development of Economy and Environment in China's Manufacturing Industry?—A Panel Data Analysis of 28 Sub-Sectors", *Journal of Cleaner Production*, 149(APR.15):11-24.

Zhang, M., Yan, T., Gao, W., Xie, W., Yu, Z., 2023, "How does Environmental Regulation Affect Real Green Technology Innovation and Strategic Green Technology Innovation?" *J. Science of The Total Environment*. 872, 162221

Zhang, W., Zhang, N., & Yu, Y., 2019, "Carbon Mitigation Effects and Potential Cost Savings from Carbon Emissions Trading in China's Regional Industry", *Technological Forecasting and Social Change*, 141(APR.), 1-11.

Zhang, Y., 2017, "Interregional Carbon Emission Spillover–Feedback Effects in China", *Energy Pol.* 100, 138–148, 2017.

- Zhao, L., & Fang, H., 2022, "Investment Incentives and the Relative Demand for Skilled Labor: Evidence from Accelerated Depreciation Policies in China", *China Economic Review*, 73, Article 101786.
- Zhao, X., Zhao, Y., Zeng, S., & Zhang, S., 2015, "Corporate Behavior and Competitiveness: Impact of Environmental Regulation on Chinese Firms", *Journal of Cleaner Production*, 86(jan.1), 311-322.
- Zheng, Y., Li, C., Liu, Y., 2021, "Impact of Environmental Regulations on the Innovation of SMEs: Evidence from China", *J. Environmental Technology & Innovation* 22, 101515.
- Zhou, B., Zhang, C., Wang, Q., & Zhou, D., 2020, "Does Emission Trading Lead to Carbon Leakage in China? Direction and Channel Identifications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, Article 110090.
- Zhu, J. M., Fan, Y. C., Deng, X. H., & Xue, L., 2019, "Low-Carbon Innovation Induced by Emissions Trading in China", *Nature Communications*, 10, 4088.
- Zhu, X., He, M., & Li, H., 2021, "Environmental Regulation, Governance Transformation and the Green Development of Chinese Iron and Steel Enterprises", *Journal of cleaner production*(Dec.15), 328.
- 陈羽桃, 冯建, 2020: 《企业绿色投资提升了企业环境绩效吗——基于效率视角的经验证据》, *会计研究*, (01):179-192.
- 胡春阳, 张进铭, 余泳泽, 2023: 《财政补贴能否对企业全要素生产率形成溢出效应?》, 《经济评论》第一期。
- 黄森, 芮小明, 2018: 《我国对“中欧班列”沿线国家绿色投资效率评价及影响因素研究——基于 SBM-undesirable 模型与空间计量模型的结合》, 《国际商务研究》第 6 期。
- 李鹏升, 陈艳莹, 2019: 《环境规制、企业议价能力和绿色全要素生产率》, 《财贸经济》第 11 期。
- 刘金科, 肖翊阳, 2022: 《中国环境保护税与绿色创新: 杠杆效应还是挤出效应?》, 《经济研究》第 1 期。
- 毛捷, 郭玉清, 曹婧等, 2022: 《融资平台债务与环境污染治理》, 《管理世界》第 10 期。
- 齐亚伟, 陶长琪, 2012: 《我国区域环境全要素生产率增长的测度与分解——基于 Global Malmquist-Luenberger 指数》, 《上海经济研究》第 10 期。
- 沈能, 2012: 《环境规制对区域技术创新影响的门槛效应》, 《中国人口 资源与环境》第 6 期。
- 向仙虹, 孙慧, 2021: 《双循环背景下“一带一路”倡议对中国城市包容性绿色增长的促进效应分析》, 《科技管理研究》第 21 期。
- 肖黎明, 李秀清, 2020: 《绿色证券对企业绿色投资效率的影响——基于六大高耗能行业上市企业的检验》, 《金融监管研究》第 12 期。
- 张成思, 刘贯春, 2016: 《最优金融结构的存在性、动态特征及经济增长效应》, 《管理世界》第 1 期。
- 张琦, 郑瑶, 孔东民, 2019: 《地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于<环境空气质量标准(2012)>的准自然实验》, 《经济研究》第 6 期。
- 赵领娣, 王小飞, 2022: 《企业绿色投资及绿色费用能否提升经营绩效? ——基于 EBM 和面板 Tobit 模型的经验分析》, 《北京理工大学学报(社会科学版)》第 3 期。
- 赵儒煜, 2023: 《中国式现代化产业发展的特殊性与新产业革命的双重效应》, 《社会科学辑刊》第 3 期。
- 周海华, 王双龙, 2016: 《正式与非正式的环境规制对企业绿色创新的影响机制研究》, 《软科学》第 8 期。