

分类号：F062.1
密 级：公开

单位代码：10363
学 号：2221010117

题 目 我国碳排放权交易政策对能源效率的溢出效应及机制分析

英文并列

题 目 Analysis of Spillover Effects and Mechanisms of China's
Carbon Emission Trading Policy on Energy Efficiency

学生姓名： 吕泽华
指导老师： 王斌 副教授
专 业： 金融
研究方向： 绿色金融

论文答辩日期： 2025 年 5 月 14 日

二、安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

学位论文作者签名：吕泽华

日期： 2025 年 5 月 14 日

三、安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☐。

学位论文作者签名：吕泽华

指导教师签名：王斌

日期：2025 年 5 月 14 日

日期：2025 年 5 月 14 日

我国碳排放权交易政策对能源效率的溢出效应及机制分析

摘 要

长期以来国际社会过度依赖传统化石能源,形成了低效率高污染的粗放型生产模式,已成为制约可持续发展的关键瓶颈。作为主要的碳排放大国之一,我国在应对气候变化和推动能源结构转型方面肩负着重要责任和使命,其碳排放水平直接关系到全球气候变化的趋势。究其根源,对不可再生能源的掠夺式开发与低效利用是导致环境危机加剧的本质症结,因此提高能源效率成为我国亟待解决的首要问题。我国高度重视对能源的高效利用,将其作为实现经济转型和可持续发展的重要手段,此举既能应对能源紧缺和环境污染的严峻情况,也是在新发展格局下实现高质量经济增长和效益提升的重要途径。

为更好应对气候变化和能源危机,改善能源利用效率,保障经济绿色健康发展,我国积极参与全球气候治理机制,加入了巴黎气候协定,提出了碳达峰和碳中和目标,采取政策手段解决碳排放和能源问题。自 2013 年以来,我国实施了碳排放权交易政策(Carbon Emission Trading Policy, CETP),力图如期实现“双碳”目标。现有研究大多集中在 CETP 对减排效果的直接影响上,从空间区位因素考虑 CETP 对能源效率的空间溢出效应研究较少。能源效率的提升可能存在空间联动特征,邻近省份间技术溢出、产业转移等交互作用可能放大政策效果。为了补充这项研究,本文基于 2008-2020 年我国 30 个省市的平衡面板数据,引入经济距离矩阵构建空间双重差分模型(SDID)分析 CETP 对能源效率的影响及其空间溢出效应,并构建空间中介效应模型对影响机制进行分析,揭示金融效率和产业结构如何影响 CETP 的

实施效果。

结果表明 CETP 显著提高了试点地区的能源效率, 并且对周边地区存在正向空间溢出效应。这说明政策的影响超越了地理边界, CETP 不仅提高了直接参与碳交易地区的能源效率, 更通过空间溢出效应带动相邻地区能效平均提升了 1.49%。能源效率的空间相关性为正, 但自 2013 年以来总体呈逐年减弱趋势。机制分析表明 CETP 通过促进产业结构优化和控制金融效率的传导机制显著提高了能源效率。异质性分析发现 CETP 对能源效率的提振呈现“西强东弱”特征, 西部省份政策效应达 21.4%, 分别超出东部和中部 2.8%和 0.8%。在高污染地区以及强环境执法力度地区 CETP 对促进能源效率的效果更明显, 相比执法力度较弱地区和低污染地区分别高出 7.4%和 6.2%。本研究拓展了 SDID 在环境政策评估中的应用, 为应对气候变化挑战和分析能源效率提高机制提供了参考, 为扩大政策在全国实行提供了科学依据。

关键词: 碳排放权交易政策, 能源效率, 产业结构, 金融效率, 空间双重差分模型

ANALYSIS OF SPILLOVER EFFECTS AND MECHANISMS OF CHINA'S CARBON EMISSION TRADING POLICY ON ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

For a long time, the international community has been overly dependent on traditional fossil energy sources, resulting in an inefficient and highly polluting crude production model, which has become a key bottleneck constraining sustainable economic development. As one of the major carbon-emitting countries, China shoulders important responsibilities and missions in addressing climate change and promoting the transformation of its energy structure, and its carbon emission level is directly related to the trend of global climate change. At its root, the predatory development and inefficient utilization of non-renewable energy sources is the essential crux of the aggravating environmental crisis, so improving energy efficiency has become the primary issue that needs to be resolved urgently in China. China attaches great importance to the efficient use of energy as an important means of realizing economic transformation and sustainable development, which is not only a response to the severe situation of energy scarcity and environmental pollution, but also an important way to achieve high-quality economic growth and efficiency enhancement under the new development pattern.

In order to better respond to climate change and the energy crisis, improve the efficiency of energy utilization and ensure the green and healthy development of the economy, China has actively participated in the global climate governance mechanism, acceded to the Paris Climate

Agreement, put forward carbon peaking and carbon neutrality targets, and adopted policy instruments to address carbon emissions and energy issues. Since 2013, China has implemented the Carbon Emission Trading Policy (CETP) in an attempt to realize the “double carbon” goal on schedule. Most of the existing studies focus on the direct impact of CETP on emission reduction, and there are fewer studies on the spatial spillover effect of CETP on energy efficiency from spatial location factors. Energy efficiency improvement may be characterized by spatial linkages, and interactions such as technology spillovers and industrial transfers between neighboring provinces may amplify the policy effects. In order to supplement this study, this paper analyzes the impact of CETP on energy efficiency and its spatial spillover effect based on the balanced panel data of 30 provinces and cities in China from 2008 to 2020, introduces the economic distance matrix to construct a spatial double-difference model (SDID), and constructs a spatial mediation model to analyze the impact mechanism, revealing how the financial efficiency and industrial structure affect the implementation effect of CETP.

The results show that CETP significantly improves energy efficiency in the pilot region and has positive spatial spillover effects on neighboring regions. This indicates that the impact of the policy transcends geographical boundaries, and the CETP not only improves the energy efficiency of the regions directly participating in carbon trading, but also leads to an average increase of 1.49% in the energy efficiency of the neighboring regions through the spatial spillover effect. The spatial correlation of energy efficiency is positive, but the overall trend has been weakening year by year since 2013. Mechanism analysis shows that CETP significantly improves energy efficiency through the transmission mechanism of promoting industrial structure optimization and controlling

financial efficiency. Heterogeneity analysis reveals that CETP's promotion of energy efficiency is characterized by “strong in the west and weak in the east”, with the effect of the policy in western provinces reaching 21.4%, exceeding that in the east and central regions by 2.8% and 0.8%, respectively. The effect of CETP on promoting energy efficiency is more obvious in high-pollution areas and areas with strong environmental enforcement, which are 7.4% and 6.2% higher than those in areas with weak enforcement and low-pollution areas, respectively. This study expands the application of SDID in environmental policy evaluation, provides a reference for addressing the challenge of climate change and analyzing the mechanism of energy efficiency improvement, and provides a scientific basis for expanding the policy to be implemented nationwide.

Lyu Zehua (Finance)

Supervised by Wang Bin

KEY WORDS: Energy efficiency, Carbon emission trading policy, Industrial structure, Financial efficiency, Spatial difference-in-differences model

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	3
1.1.3 发展现状与分析.....	5
1.2 研究内容与方法.....	7
1.2.1 研究内容.....	7
1.2.2 研究方法.....	8
1.3 主要创新点.....	9
第 2 章 文献综述.....	11
2.1 国内外文献综述.....	11
2.1.1 CETP 及其影响研究.....	11
2.1.2 CETP 对能源效率的影响研究.....	11
2.1.3 CETP 的空间溢出效应研究.....	13
2.1.4 CETP 对能源效率的影响机制研究.....	13
2.2 文献评述.....	14
第 3 章 理论基础与研究假设.....	17
3.1 CETP 能够提升试点地区能源效率.....	17
3.2 CETP 具有空间溢出效应.....	17
3.3 CETP 对能源效率的中介效应假设.....	18
第 4 章 方法与模型设定.....	21
4.1 变量说明和数据来源.....	21
4.1.1 变量说明.....	21
4.1.2 描述性统计.....	22
4.2 DID 和 SDID 模型.....	22
4.3 空间中介效应模型.....	23
4.4 空间相关性检验.....	24

4.5 空间计量模型的选择.....	24
第 5 章 实证结果与分析.....	26
5.1 能源效率的空间分布.....	26
5.2 莫兰指数.....	26
5.3 方差膨胀因子 (VIF) 检验	28
5.4 基准回归分析.....	28
5.5 稳健性检验.....	32
5.5.1 平行趋势检验.....	32
5.5.2 安慰剂检验.....	32
5.5.3 PSM-DID 检验	33
5.5.4 使用地理距离权重矩阵和 0-1 邻接矩阵进行 SDID 回归.....	33
5.6 异质性分析.....	34
5.6.1 地理位置异质性.....	34
5.6.2 环境执法力度异质性.....	35
5.6.3 污染程度异质性.....	36
5.7 机制分析.....	37
5.7.1 检验金融效率的中介效应.....	37
5.7.2 检验产业结构的中介效应.....	37
第 6 章 结论与政策建议.....	39
6.1 主要结论.....	39
6.2 政策建议.....	40
6.3 研究不足与展望.....	40
攻读学位期间的科研成果.....	42
参考文献.....	43
致谢.....	50

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

目前全球遭受着由大量碳排放造成的温室效应所带来的严峻气候问题，其中有 75%来自于对不可再生能源的消耗^[1]，引起了全球性的能源危机。随着我国经济尤其是其第二产业的蓬勃发展，对能源消费的需求也急剧升高。最新数据显示，我国在 2022 年消耗了相当于 54.1 亿吨标准煤的能源，已成为最大的能源消费国之一^[2]，产生的碳排放量仍处上升趋势。党的二十大报告提出，我国经济社会发展必须全面绿色转型，因此如何提高能源效率成为必须解决的问题。在国际社会的关注下，我国积极参与气候治理势在必行，已在《巴黎协定》中承诺在 2030 年前实现碳排放峰值。

CETP 是《巴黎协定》框架下的核心政策工具，通过创建碳定价信号引导资金流向减排效率最高的领域。作为巴黎气候协议签约国，我国积极借鉴有关经验来发展碳排放交易市场，在全国范围内确定了北京，天津，上海，重庆，湖北，广东，深圳 7 个省市进行 CETP 试点，并于 2013 年正式实施，体现出我国应对气候变化问题的积极态度和大国担当。CETP 是一项采用市场机制解决气候变化问题的创新节能减排政策，为实现碳峰值和碳中和目标提供了有力保障^[3]，政策的理念是促进碳排放单位在减排和碳交易中找到一种平衡^[4]。CETP 由于具有灵活性、节省成本和有效性等优点，被认为是减少全球温室气体排放、应对气候变化的有效手段，企业得以选择合适的投资方式来调整能源消费结构，对碳排放进行更合理的配置，从而提高能源配置效率，引导企业减少碳排放，推动经济向低碳方向转型^[5]。CETP 的政策效能源于其双重作用机制：微观层面，碳配额约束重构企业成本函数，驱动生产函数向清洁技术前沿面移动；在宏观层面，碳价信号引导要素跨部门流动，加速产业结构向知识密集型和服务主导型演进。CETP 这种市场激励型环境规制工具相较于传统命令控制型政策，更能激发企业通过能源效率提升实现“创新补偿效应”，促进有效市场与有为政府的协同发展。

CETP 的实施也对我国的能源效率、产业布局以及经济增长方式带来深远影

响。企业能够通过减排方面的努力获得经济利益，鼓励其采用更为清洁和高效的生产技术，有助于提高企业的能源利用效率，促进新技术的研发和应用，从而推动我国经济实现可持续增长，减轻对传统高碳产业的依赖，提升我国在全球产业链中的竞争力。目前，CETP 已在全球许多发达国家广泛实施，激励企业减少碳排放^[6]。通过对工业企业设置碳排放的最高限额，企业可以在碳交易市场中与其他企业进行碳配额交易，碳排放企业需要购买足够的排放权以弥补其超标排放，而那些能够更有效减少排放的单位则可以出售多余的排放权给需要的企业从而获利，这是他们节能增效的动力。此外，巴黎气候协定要求各签约国通过国家自主贡献来降低温室气体排放，提高各国碳减排的透明度，而 CETP 能够体现出准确的排放数据，可以更加全面地监测和核查各国的减排情况，增强各国履行减排承诺的可信度。

碳排放的主要来源是化石能源的消耗，这类不可再生能源将会在未来成为短缺品。我国正处于经济新常态，面临着能源消费总量上升和碳减排的双重压力，提高能源效率无疑是实现经济发展与节能双赢的重要途径之一。能源效率是对能源利用有效性的衡量，即利用能源时的经济产出与能源消费量的比值。能源资源的高效利用，对环境和经济都有深远影响：可以减少对自然资源的开采和能源的消耗，从而降低环境污染、温室气体排放和对气候变化的负面影响，同时能降低国家能源紧缺的压力。作为衡量绿色发展的重要指标，更高的能源效率代表了企业能够在提供相同服务或产品的情况下减少能源消费量。因此，对能源的需求必须迅速变化，我们必须通过提高能源效率来发展绿色能源^[7]。提高能效可以满足企业不断增长的能源消费需求，在向低碳生产转型的同时降低能源成本，提高企业竞争力，促进经济可持续增长^[8]。制定和执行相关的能源政策是提高整体能源效率的关键。现有研究发现，与 CETP 目标相似的“低碳城市”试点政策可以显著提高能源效率^[9]。企业在碳交易市场上购买和出售碳排放权的过程中能否获得更多利益，直接与其能源效率和碳排放水平挂钩，因此企业可能会更加积极地采取各项举措提升能源效率，采用清洁生产技术，减少不必要的碳排放，所以 CETP 也可能对能源效率产生影响。借鉴欧洲的做法，碳排放交易市场可以帮助推动能源改革和促进创新^[10]。

CETP 对能源效率的影响受到越来越多的关注，但很少有研究关注 CETP 对

试点地区周边省份能源效率的空间溢出效应,即 CETP 不仅在试点省份提高了能源效率,也对周边省份产生影响。如果试点地区的 CETP 对其他地区的能源效率具有显著的正溢出效应,那么扩大政策实施区域的范围则切实可行,这对政策制定者至关重要。CETP 可能提高了试点地区企业的生产成本,导致工业企业将生产活动转移至周边省份导致其能源效率下降;也可能通过低碳生产和节能技术的传播和模仿效应带动周边地区能源效率的提升。本研究使用 SDID 模型对空间溢出效应进行分析,原因如下:第一,试点省份可能会改变能源消费结构、产业布局和技术进步的空间布局,进而影响周边省份的能源效率。第二,过去的很多研究使用传统 DID 模型分析政策效应对试点省份的影响,没有考虑对非试点省份的影响,忽略了空间溢出效应,严重削弱了结论的稳健性和可信度^[11]。为了测度不同省份能源效率的空间相关性,将 DID 模型与空间杜宾模型相结合,从空间角度评估 CETP 对周边区域能源效率的影响。

鉴于我国的 CETP 还不够完善,探索政策的深层次影响渠道对于改进和调整 CETP 以更有效地提高能效是非常重要的。分析 CETP 对能源效率的影响机制,可以为解决能源效率问题提供更全面的视角。本文通过建立空间中介效应模型,引入金融效率(FE)和产业结构(IS)分析 CETP 对能源效率的影响机制,以期为解决能源效率问题提供更全面的视角。

1.1.2 研究意义

(1)理论意义

CETP 作为应对气候变化的重要市场化手段,近年来备受关注。我国实施 CETP 具有重要的意义,不仅对国内的可持续发展和环境治理产生深远影响,而且在应对全球气候变化中也具有积极作用。通过建立碳市场,激励企业采取更为清洁、低碳的生产方式,促进产业结构的调整和升级,有助于推动我国经济由传统的高耗能、高排放向绿色低碳方向转型,培育新兴产业,提升产业竞争力。CETP 还能催生绿色金融市场,通过碳交易带动低碳项目的融资,推动绿色债券和绿色信贷的发展,这有助于培育绿色金融体系,为可持续发展提供资金支持。

传统研究大多基于时间序列或截面数据分析政策效果,较少关注 CETP 在区域之间的空间溢出效应。本研究基于空间计量经济学方法,探讨该政策在区域间的空间溢出效应,特别是在能源效率提升方面的作用机制,为该领域的理论研究

提供了新的视角，拓展了 CETP 与能源效率之间的讨论，进一步验证了空间计量模型广泛的适用性和解释力，为空间计量经济学与环境经济研究的交叉融合提供了理论支持。

金融效率和产业结构是影响能源效率的重要因素，但在 CETP 背景下，这两个因素的具体机制尚未得到充分研究。本研究通过构建中介效应模型，探讨金融效率和产业结构在 CETP 影响能源效率过程中的作用机制，为政策效果的传导路径提供了更为详尽的理论依据。

(2)现实意义

CETP 的实施符合我国在全球气候治理中履行的国际责任，为实现全球温室气体减排目标作出积极贡献，将在推动经济绿色升级、减缓气候变化、改善环境质量等方面发挥积极作用。这体现了我国在可持续发展和全球气候治理中的责任担当，也为全球碳市场的发展和气候变化问题的解决提供了有益经验。通过创新、合作和可持续的发展，我国有望成为全球碳市场的引领者，为建设更为清洁、绿色的经济体系贡献力量。

本研究通过探讨 CETP 如何通过提升能源效率实现区域间的协同效应，为政府制定更具针对性的碳减排政策提供了理论依据和实证支持，有助于推动“双碳”目标的实现。通过揭示 CETP 在区域间的空间效应，明确了不同区域在政策响应和实施上的异质性，为优化碳市场的运行机制提供了实践指导。例如，因地制宜合理配置碳排放配额、加强市场监管力度，可以更好实现政策效果。此外，合理控制金融效率、鼓励产业结构升级对能源效率的提升至关重要。本研究揭示了这两个因素在影响过程中发挥的间接作用，为优化金融资源配置、加速传统产业转型升级提供了政策建议。这不仅有助于降低能源消耗、提高经济效率，还有助于实现高质量发展的目标。

CETP 带来更高的能源效率可以成为提高国家经济竞争力的关键因素。能源的高效利用可以减少燃烧化石燃料所产生的污染物排放，减少环境生态系统的负担，有助于构建更加清洁、健康的环境，增加能源供应的可持续性，社会能够实现在经济增长的同时减少对能源的过度需求。高能效提高了生产效率，不仅可以促进企业的经济效益，还可以加快产品的生产速度，提高交付效率，增加市场反应速度；降低产品成本，因此更受国际消费者的青睐，有利于扩大出口，促进贸

易平衡。提高能源效率通常伴随着产业升级和技术创新，创造大量的就业机会。同时更高效的生产方式将推动更多的投资和消费活动，为经济注入新的增长动力。提高能源效率还可以减少对进口能源的需求，意味着减少了对国际能源市场波动的敏感性，降低了外部能源供应中断的风险，有利于维护国家的经济安全和稳定。在 CETP 的引导下更有效的管理和利用能源，社会能够实现经济 and 环境的协同发展，确保资源的可持续利用，提升整体社会的可持续性。将提高能效作为一项指导原则，并将其纳入 CETP 决策、改进和完善过程，可以开启变革性机遇，建设具有复原力的、与自然和谐共处的低碳社会。

1.1.3 发展现状与分析

(1) CETP 的发展历程及政策演变。

我国不断优化相关碳排放权交易政策，开拓壮大碳交易市场，是履行国际减排承诺的重要举措。CETP 自启动试点以来，经历了从地方性试验到全国性市场的重大转型，在 2021 年全国碳排放交易市场全面启动后，我国在碳定价、配额管理和数据监管等方面实现了制度统一和市场化运行，对能源效率改善发挥了显著作用，表 1-1 对相关政策进行了梳理。全国市场在统一标准、严格监管和行业扩容等方面的改革，为企业提供了更强的碳成本压力，从而促进了技术革新和能耗降低。统一的碳市场显著刺激了能源效率相关技术的投资，2021-2023 年间，超临界和超超临界燃煤电厂的投资增长了 15%，这些电厂相较于亚临界电厂具有更高的能源效率。此外，国家能源局报告显示，可再生能源的年均装机容量增长率达到 12%，进一步提升了行业整体的能源效率。

表 1-1 我国碳排放交易政策发展历程

时间	事件
2011 年 10 月	国家发改委发布《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》，批准七个省市开展碳排放权交易试点。
2013 年	北京、上海等共七个试点地区陆续启动碳市场。
2014 年 12 月	国家发改委发布《碳排放权交易管理暂行办法》，为全国碳市场建设提供政策框架。
2020 年 12 月	生态环境部发布《碳排放权交易管理办法（试行）》，进一步规范碳市场运行。

2021 年 7 月	全国碳排放权交易市场正式上线交易，首批纳入 2162 家发电企业。
2024 年 9 月	生态环境部发布《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案》，计划将更多碳排放行业纳入碳市场。

(2)碳交易产品及交易情况

中国碳市场的主要交易产品为碳排放配额（CEA），即允许企业在特定时期内排放一定量二氧化碳的许可证。此外，碳市场还有其他交易产品，例如核证自愿减排量（CCER），CCER 通过可再生能源、林业碳汇等项目产生，激励非控排企业参与减排。项目实施单位可申请对其产生的温室气体削减排放量进行核证，经核证登记的温室气体削减排放量可作为交易产品，用于重点排放单位抵销一定比例的碳排放配额清缴。2024 年 1 月全国自愿减排交易市场重启后，制度框架初步完善，但 CCER 的交易规模和流动性仍较小，可抵消不超过 5%的 CEA 履约缺口。

近年来我国碳市场凭借覆盖规模实现了交易量的快速增长，市场愈发成熟。2023 年全国碳市场碳价维持在 40-80 元/吨之间，2024 年 4 月首次突破 100 元/吨，显示市场对碳排放权的价值认可度提升，反映了减排压力增加和市场供需趋紧。截至 2024 年，全国碳市场年覆盖二氧化碳排放量约 51 亿吨，占全球碳排放总量的 12.39%，规模远超欧盟碳市场的 15 亿吨覆盖量；全国碳市场 CEA 累计成交量超过 6.3 亿吨，成交额累计达 430.33 亿元。图 1-1 显示了 2008 年至 2020 年我国能源效率和碳市场交易的发展情况。数据源于碳排放交易网。

(3)存在的问题

1.市场机制不完善。交易机制存在一定缺陷，如交易方式单一，主要以协议转让为主，缺乏集中竞价等高效交易方式；交易时间限制较多，不利于市场参与者及时进行交易操作。此外，市场缺乏有效的价格发现机制，价格波动较大，影响了市场的稳定性与投资者信心。现阶段，我国的配额分配采取历史排放法为主、基准线法为辅的配额分配方式。在历史排放法下，历史碳排放总量越大的控排企业拥有的排放配额越多，其显然有明显的不公平之处，先前自主进行减排的企业相较上述企业获得的免费配额明显减少。

2.数据质量与监管漏洞。准确的碳排放数据是碳市场有效运行的基础。然而部分企业存在碳排放数据虚报、瞒报现象。一方面，部分企业缺乏专业的技术人员与核算方法；另一方面，第三方核查机构的核算标准不统一，核查能力与水平

参差不齐，核查机构为了利益迎合企业需求，可能导致数据核查结果不准确，监管体系需进一步标准化。

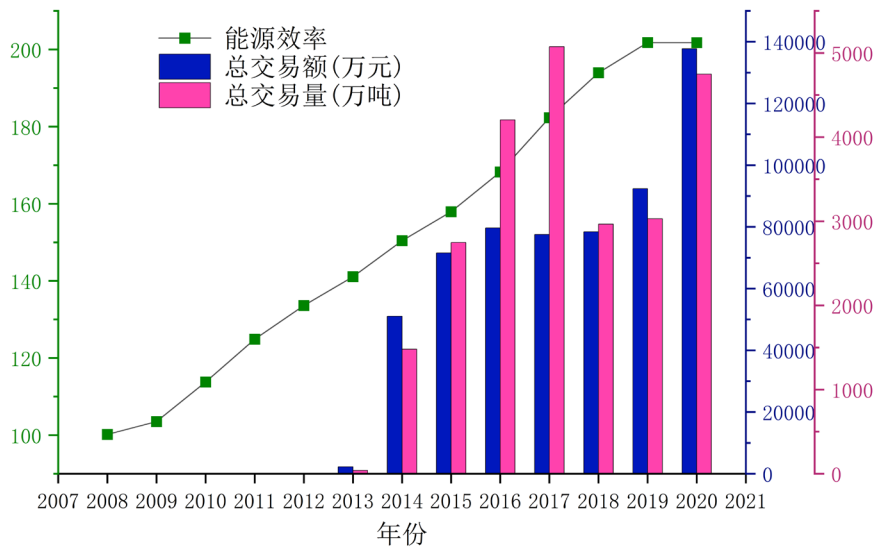


图 1-1 我国能源效率、碳交易成交额和成交量趋势图

1.2 研究内容与方法

1.2.1 研究内容

本文结构分为六章，图 1-2 展示了具体研究框架。

第一章 绪论。分析了我国目前面临的气候问题以及 CETP 的作用原理，介绍了我国近年来碳排放权交易市场的发展趋势，讨论了能源效率至关重要的作用和提升能效的紧迫性，提出了关于此政策对周边地区存在空间溢出效应的设想。

第二章 文献综述。本章分析了 CETP 的来源和发展历程，以及它在其他国家地区的应用现状和实施效果；还分析了能源效率的重要性，讨论了不同能源政策对能源效率的效果。对空间溢出效应的有关研究进行了梳理，引出 CETP 对能源效率的空间溢出效应；最后介绍了可能起中介作用的变量，金融效率和产业结构。

第三章 理论分析。分析了 CETP 对能源效率的影响和空间溢出效应，以及中介效应并提出假设，本文认为 CETP 能有效提高能源效率并产生空间溢出效应，政策通过优化产业结构和控制金融效率达到政策效果。

第四章 方法与模型设定。使用莫兰指数确定了不同省市的能源效率存在空

间相关性，其次选取合适的空间计量模型构建 SDID 模型，为检验影响机制建立了空间中中介效应模型。

第五章 实证结果与分析。首先对 DID 和 SDID 回归模型结果进行了对比分析，对结果进行了解释，此外进行了一系列稳健性检验；根据地理位置、环境执法力度和污染程度的不同划分样本地区，进行异质性分析；最后选取金融效率和产业结构作为中介变量，验证 CETP 的政策传导途径。

第六章 结论与政策建议。归纳实证部分得出的结果，对 CETP 与能源效率的关系做出结论，提出一些优化产业结构和金融改革的政策建议，为碳减排和提高能源效率做出贡献。

1.2.2 研究方法

本研究旨在揭示 CETP 对区域能源效率提升的直接与空间影响，并分析其不同区域间的空间扩散效应，为进一步完善碳交易政策设计提供理论支持。

(1)文献分析法。通过阅读国内外有关 CETP、能源效率、空间溢出效应、金融效率、产业结构的文献，了解相关方法和经验，为本研究提供理论支持和方法参考。

(2)空间相关性分析法。莫兰指数(Moran's I)是一种经典的空间统计学工具，用于定量分析数据的空间相关性。它通过衡量某个变量在地理空间上的聚集或分散程度，帮助识别区域间的空间依赖性，为空间分析提供基础支持。

(3)DID 方法。DID 方法是一种常用的计量经济学分析工具，广泛应用于政策评估中，用于衡量政策干预或事件对某个变量的因果影响，其核心思想是通过比较政策实施前后处理组和对照组之间的差异，剔除其他外部因素的共同影响，从而得到政策的净效应。

(4)SDID 方法。SDID 是在传统 DID 方法的基础上扩展的一种计量方法，用于研究政策的空间溢出效应。通过结合空间经济学与政策评估工具，能够同时识别直接政策效应和通过空间相互作用机制产生的间接效应。

(5)空间中中介效应模型。是一种结合空间计量模型和中介效应分析的方法，用于研究自变量通过中介变量影响因变量的过程，同时考虑这种影响可能存在的空间相关性或空间溢出效应。

1.3 主要创新点

本文从以下几个方面对现有文献进行了补充:

(1)以往研究多用传统 DID 模型分析政策效应对试点省份的影响,少有考虑对非试点省份的影响,忽略了空间溢出效应,可能削弱了结论的可靠性^[11]。因此,本文建立 SDID 模型,试图全面考察 CETP 对能源效率的影响。

(2)金融机构和投资者对高风险、高回报项目的偏好,可能导致金融资源流向能源密集型的传统行业,而忽视了低碳、高能效的技术创新项目。因此本文探究了金融资源的配置效率和产业结构优化在 CETP 对能源效率影响机制中的中介作用。

(3)从环境执法力度和污染程度异质性角度探讨环境法规的监督执行以及污染程度差异对 CETP 有效性的影响。这对我国如何提高能源效率,达到“双碳”目标具有一定的参考价值。

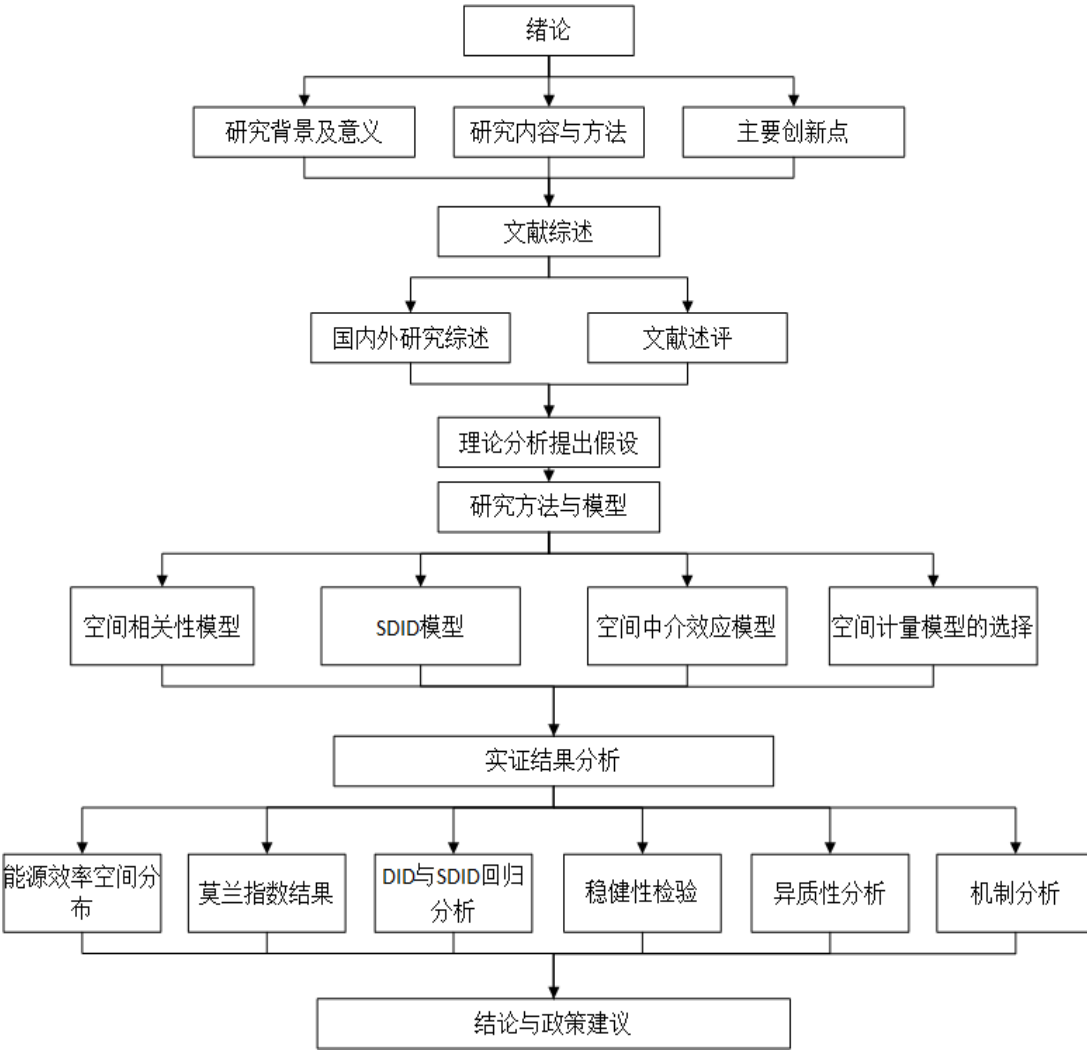


图 1-2 研究框架

第 2 章 文献综述

2.1 国内外文献综述

2.1.1 CERP 及其影响研究

为应对全球气候变化，减缓温室气体排放，《京都议定书》首次引入了碳排放交易机制，确立了“总量控制与交易”机制，为全球碳定价体系构建奠定了法理基础^[12]。欧盟在 2005 年启动了欧盟碳排放交易体系（EU ETS），成为世界上第一个全面的跨国碳交易市场，该市场涵盖了欧盟境内多个行业的碳排放，企业可以通过买卖碳排放配额来实现减排义务。EU ETS 增加了企业的碳排放成本，鼓励它们采取更清洁的生产技术进而显著降低了碳排放^[13]。美国区域性碳市场呈现差异化发展路径：区域温室气体减排行动（RGGI）和加州碳市场是美国地区碳市场的代表。研究表明，RGGI 通过拍卖机制积累资金，用于支持清洁能源项目，改善了区域空气质量^[14]。加州碳市场则以覆盖范围广、灵活机制多样著称，其配额拍卖收益直接用于支持能源效率提升和低碳技术创新。韩国、墨西哥等发展中国家和新兴经济体也陆续建立了碳市场。韩国碳市场有效促进了企业碳减排，但政策的区域适应性仍需优化^[15]。近年来，我国碳交易市场迅速扩张，已成为全球第二大市场^[16]。有关我国 CERP 产生的影响研究越来越受到关注，主要集中在碳排放和碳强度方面。既有研究发现 CERP 可以持续稳定的显著降低碳排放的强度，改善试点地区高耗能产业的碳效率^[17,18]，对于助力实现碳中和目标能起到显著的正向作用^[19]，并且 CERP 对试点城市碳排放强度的降低具有显著而持续的推动作用，随着年份的推进，政策效果越发明显^[20]。在改变能源结构方面，CERP 还能够显著的促进非化石能源的利用来减少碳排放，例如水电和光伏发电等清洁能源的使用^[21,22]。因此，本文认为 CERP 可能在降低碳排放量的同时提升了企业的低碳生产技术和能源利用效率。

2.1.2 CERP 对能源效率的影响研究

作为主要的能源消费经济体，中国在全球能源和环境治理中发挥着至关重要的作用，但其能源效率仍低于世界平均水平^[23]。这一现实不仅暴露出调整能源利

用现状的迫切需求，也凸显了制度创新在推动能源高效利用中的关键性。因此，如何在保持经济高速发展的同时显著提高能源效率，已成为我国实现可持续发展战略目标的重要课题。提高能源效率是世界普遍认可的实现经济可持续发展的最有效的一项措施，将有助于应对我国日益增长的能源需求与低碳经济发展的矛盾，推动我国能源体系从高碳化石能源向清洁、低碳、安全、高效方向发展^[24]，减少对能源资源的依赖，提高国家的能源安全性，还可以降低国家的能源进口成本，维护经济利益^[25]，达到改善环境治理和促进低碳经济发展双重目标，因此 CETP 是否影响试点地区能源效率的研究应该受到更大的重视^[26]。

现有的研究分析了各种不同的能源政策对提高能源效率的影响。通过比较三个发达国家的能效政策，研究发现节能法律和各種数字技术可以提高能源部门的能效^[27]。能源配额交易政策可以通过促进绿色技术创新和促进产业升级来提高绿色全要素能源效率^[28]。强制性能效标准和能效标签是常见的政策工具，要求增加家用电器的能源标签和更严格的建筑规范促进了消费模式和生产方式的绿色转型，对提高能源效率都有重要作用^[29]。通过考察不同类型的环境法规对能源效率的影响，发现指令型法规和市场化法规对能源效率都有积极影响，尤其是市场化的环境法规更有效^[30]。

尽管关于 CETP 和能源效率的文献越来越多，但关于 CETP 对能源效率影响的研究仍然缺乏，这表明了本研究的潜在意义。在我国追求“双碳”目标和制造业进步的关键时刻，对 CETP 和能源效率之间的相关性进行分析至关重要。有研究认为碳交易制度的实施，一方面显著减少了工业领域的 CO₂ 排放量，另一方面也给工业企业带来了更大的经济效益^[31, 32]，一些学者对我国的 CETP 存在“弱波特”效应进行了精确的论证，即 CETP 可以很好的达到“环境保护”与“经济发展”两个目的^[33]。从长期来看，CETP 显著推动了低碳技术创新，且当碳市场的流动性程度越高，该市场激励型环境规制对企业技术创新的推动作用更加明显^[34]，从而获得更大的经济收益乃至声望收益，从而提升我国在全球气候法律秩序构建方面的“话语权”^[35]。以上研究证明了 CETP 与能源效率之间的联系是明显的。尽管 CETP 可以促进政策试点地区的能源效率提高，但它是否也对试点地区周边地区的能源效率产生积极影响仍然值得怀疑。CETP 是否会对周边地区的能源效率产生负面影响是一个关键问题，因此从空间角度分析 CETP 的溢出效应至关重要。

2.1.3 CETP 的空间溢出效应研究

空间溢出效应是指一个地区的某种政策或事件通过不同的传播机制,影响到相邻或较远地区的现象。相关研究通常基于地理邻近性,但也包括了其他形式的空间依赖,如区域间的科技、政策等联系。由于不同地区之间往往存在空间溢出效应,因此政府在制定区域政策时,需要考虑邻近地区的影响,避免地方主义政策带来的负面溢出效应,区域协调政策、跨地区的合作机制能够有效缓解溢出效应带来的冲突。CETP 初期只在几个省份进行实验,但由于低碳生产和节能技术的模仿和传播,政策的效果很可能影响到周边区域,产生空间溢出效应。以下的几项研究发现诸多国家政策产生了广泛的空间溢出效应。例如,高新工业园区的建立能够显著促进经济发展,而且在国家层面上对周边城市产生显著的溢出效应^[36]。数字经济对周边地区的碳排放强度具有显著的空间溢出效应^[37]。绿色信贷对能源效率的提升有显著的正面影响,并对周边区域的能源效率具有正向空间溢出效应^[38]。利用 SDID 方法研究表明,开展低碳城市试验不仅可以减少本地 PM2.5 的含量,而且对周围的城市空气质量也有明显的改善作用^[39]。运用空间杜宾模型发现,新型城市化政策具有明显的正向空间外溢效果,这说明它不但对政策实施地区具有正效应,也给周围区域带来了好处^[40]。已有研究从几种不同角度分析了 CETP 的空间溢出效应。针对我国的交通碳排放问题,有研究发现 CETP 能够明显减少我国的交通碳排放,而且还会产生显著的空间溢出效应^[41]。有研究证实 CETP 可以通过推动企业技术创新,从而显著减少试点区域内产业碳排放强度,并对周边区域产生空间溢出效应,进而带动区域整体创新发展,降低了周边区域的碳排放强度^[35, 42]。自 2013 年起 CETP 明显减少了试点区域的碳排放量,邻近区域的碳排放量亦呈下降趋势,表明 CETP 具有空间溢出效应^[3]。一系列有力的实证研究表明,从空间角度分析, CETP 能够有效地对周边区域产生影响。

2.1.4 CETP 对能源效率的影响机制研究

为进一步解释 CETP 政策效果通过何种渠道实现对能源效率的影响,本文从两方面探讨了 CETP 对能源效率的影响机制。

首先,我国在 2015 年推出政策取消了对贷款与存款比率的限制,意味着银行等金融机构能够更自由地配置贷款资金,使企业更容易获得融资。金融效率的

提高意味着金融资源能够更好地配置到那些有助于实现经济增长的领域,有助于增加对新能源和环保技术的财政支持^[43]。我国的金融发展对碳排放量的增长起到了很大的推动作用,因此应该将其纳入到对碳排放量的预测中来^[44]。发展金融市场可以减少交易费用,促使资本更好地分配给中小企业^[45]。但是 CETP 可能导致银行更加谨慎地审查高污染企业的贷款,增加了它们融资的难度,因此我们推测 CETP 可以通过改变 FE 来影响能源效率。有学者认为,发展中国家可以利用金融发展来获取环境保护的新技术^[46],这种技术进步可以减少污染排放。另一方面,研究表明,金融发展增加了新兴经济体对能源的需求,一些重工业企业可以增加投资,安装新设备,扩大生产能力,从而增加了浪费和污染^[47]。因此,本文将 FE 视为中介变量来研究其对能源效率的潜在影响。

其次,产业结构优化是我国高端制造业发展的必然要求,推动产业由生产型向服务型转变是我国的战略部署。为了实现碳减排的目标,我国需要优化国民经济的 IS。低碳政策引导对企业的激励会对 IS 的优化产生正向影响,激励企业将其生产力要素投入新兴产业^[48]。CETP 通过碳配额的定价给高能耗、高排放的传统产业带来经济压力。企业为了减少碳成本,必须采取技术创新、优化生产工艺等措施。随着碳排放配额价格的上涨,高污染行业(如钢铁、电力等)会受到较大成本压力。随着碳排放限制的逐步严格,清洁能源产业的竞争力随之增强。企业和投资者更愿意将资金投入新能源领域,以减少碳排放并降低成本,推动了产业结构向低碳、高效的方向调整。有研究认为低碳城市政策对优化 IS 具有积极作用^[49]。因此,我们假设 CETP 也会对 IS 的调整产生影响。有学者证实了发展数字经济可以优化产业结构,提高低能耗、低排放产业占宏观经济的比例,实现显著的碳减排^[50],低碳政策在促进当地 IS 合理化的同时,对周边地区 IS 也有重要影响^[51]。在实体经济发展中,产业结构的优化可以显著降低碳强度^[52],并且与带动能源效率密切相关^[53]。从理论上讲,我们认为 IS 可能是影响机制中的一个中介因素。

2.2 文献评述

现有研究围绕全球碳交易体系的发展路径及其政策效果形成了较为系统的理论框架,尤其是对 CETP 的减排效应和经济影响进行了深入探讨。国际经验表

明,以 EU ETS 为代表的跨国碳市场通过“总量控制与交易”机制显著降低了区域碳排放强度,美国碳市场的差异化设计则为发展中国家提供了灵活的政策工具参考。中国作为全球碳市场的后发实践者,其 CETP 试点已被证实能够有效降低碳强度、推动低碳技术创新并促进能源结构转型。此外,尽管学界对 CETP 的直接影响(如减排效果、经济收益)已有较多共识,但对其间接效应(如能源效率提升)的关注相对不足,尤其缺乏对政策空间溢出效应的系统性分析。

在能源效率研究领域,既有文献揭示了环境规制政策与能源效率提升之间的关联。现有研究多聚焦于指令型政策(如能效标准)或综合性环境法规的作用,而对 CETP 如何通过市场激励改变企业能源消费行为的研究尚未形成完整链条。此外,关于 CETP 对能源效率的作用机制存在理论分歧:一方面,碳配额成本压力可能倒逼企业技术创新和能源结构优化;另一方面,金融约束效应可能抑制高耗能企业的转型升级能力。这种政策效果的多维性和复杂性,亟需通过实证研究揭示其作用边界。

在空间维度上,既有研究已证实低碳政策可能通过技术扩散、产业联动等渠道产生溢出效应,但关于 CETP 的空间影响仍缺乏深入研究;现有文献多关注碳排放量或碳强度的空间关联,而对能源效率这一综合绩效指标的空间溢出效应缺乏深入探讨。特别是我国区域发展不均衡的情况可能导致 CETP 产生异质性空间效应:发达地区可能通过技术溢出带动周边区域,而欠发达地区可能因产业转移引发“污染避难所”效应。因此,构建包含空间关联的分析框架,是深化该领域研究的重要方向。

综上所述,上述研究存在需要完善的地方:1.对 CETP 的影响研究较多,主要集中在碳减排、工业碳强度和企业绩效方面,但较少有研究分析 CETP 对改善能源效率的有效性。2.很少有研究使用 SDID 模型分析 CETP 对提高能源效率的空间溢出效应,即 CETP 不仅可以在试点地区提高能源效率,还可以影响其周边地区。3.很少有研究分析金融效率和产业结构在影响机制中起到的关键中介作用。为了弥补已有研究的不足,本文构建了 SDID 模型研究 CETP 对试点地区能源效率的影响以及对周边地区能源效率的空间溢出效应。首先,采用 Moran's I 指数对我国 30 个省(市)在 2008-2020 年期间的能源效率进行了空间相关性分析(数据时间选取截至 2020 年的原因是我国在 2021 年开始在全国普遍实施 CETP)。

其次，选取合适的空间计量模型，实证检验 CETP 对能源效率是否存在空间溢出效应。最后，构建空间中介效应模型，检验金融效率和产业结构是否在 CETP 对试点地区能源效率的影响过程中起中介作用。

第3章 理论基础与研究假设

3.1 CETP 能够提升试点地区能源效率

波特假说认为,设计良好的环境法规可以促进企业内部的技术创新以提高竞争力,它不认为法规是纯粹的负担。法规可以激励企业开发既有利可图又环保的新技术、新工艺和新产品,而技术创新带来的利益能够抵消掉环境法规所造成的成本,推动企业提高资源利用效率,减少污染排放^[54]。因此本文认为 CETP 可能在降低碳排放量的同时提升了企业的低碳生产技术和能源利用效率。CETP 的核心思想是基于其历史排放水平或行业标准设定企业每年的碳排放配额,企业和投资者可以在市场上买卖配额,实际二氧化碳排放低于配额的企业可以出售配额,实际排放超过配额的企业必须购买超排部分的配额以完成履约^[55,56]。因此 CETP 可以通过两方面影响促进能源效率的提高。第一,碳排放成本压力推动企业减少碳排放。高污染企业虽然可以购买碳排放权满足其需求,但会造成成本增加,降低企业竞争力,无法实现利益最大化^[57],促使其更谨慎地使用能源并采取碳减排措施,例如淘汰落后的生产技术和设备,在控制碳排放量的情况下提高产值。第二是利益驱动效应,企业采取节能措施降低碳排放量,从而可以出售多余的碳排放配额获取经济利益^[58],进一步用于投资低碳生产技术和能源效率改进项目,最终减少对化石能源的消耗,塑造出低碳生产和促进能源效率的良性循环。总体来看 CETP 试点省份的企业需要在不增加碳排放的情况下维持或提高其产值,政策给企业施加了明显压力促使其提升能源效率。基于以上理论本文提出假设 1。

H1: CETP 能够显著提高试点省份的能源效率。

3.2 CETP 具有空间溢出效应

此外, CETP 试点地区的企业受到政策约束,但此政策是否会对周边省份产生空间溢出效应是值得关注的问题。高碳排放企业在碳排放成本提高的压力下是否会将高污染生产活动转移至周边非试点省份,造成对周边省份能源效率的负向空间溢出效应;另一方面来看, CETP 在试点省份鼓励企业采取更节能和清洁的

技术以减少碳排放并获得了更多的经济利益^[31]，周边地区的企业可能会感知到这些技术的效益。更环保的技术和工艺通过人才引进、行业交流等途径传播，产生技术扩散和模仿效应，使其改进更高能源效率的技术以保持竞争力；也可能影响其周边地区的供应链，为满足试点省份企业对更环保和绿色产品的需求，供应商和企业可能会采取更高能源效率的生产方式，有助于提高整个供应链的能源效率，产生空间溢出效应。已有学者使用面板空间杜宾模型，在省级层面上实证检验环境规制对我国工业全要素生产率的影响^[59]。考虑到空间上的相关性，更好地理解空间布局对能源效率变化的影响，本文将空间计量模型与 DID 模型结合起来分析 CETP 对周边省份的空间溢出效应。由此提出假设 2：

H2：CETP 不仅能显著提高试点省份的能源效率，还能显著提高周边非试点省份的能源效率。

3.3 CETP 对能源效率的中介效应假设

在 CETP 框架下，政策实施通过价格信号引导资金向低碳技术研发、节能改造等能源效率提升领域流动。金融机构为响应政策导向并防范环境风险，会优化信贷结构，增加对高能效项目的贷款投放。将金融效率纳入分析框架，有助于揭示碳排放权交易政策影响能源效率的金融传导机制，为政策优化提供更精准的理论依据。

从中介变量研究视角出发，金融效率在我国 CETP 影响能源效率的过程中扮演关键角色。本文将金融效率界定为银行业金融机构各项贷款与存款的比值，该指标直观反映金融机构资金配置效率，即存款转化为贷款支持实体经济的能力。银行等金融机构作为储蓄投资转化的核心枢纽，其存贷比的高低直接体现金融体系将社会闲置资金导向生产性用途的效能。金融市场重要的资金支持满足了企业的资金需求，确保了碳交易市场的流动性和有效运作，从而帮助政策实施者达到减排目标。经济金融发展程度越高，环境恶化程度越低，金融自由化和开放是二氧化碳减排的关键因素^[60]。金融发展通常被视为新兴经济体经济成长的主要推动力，所以金融发展也有可能对能源需求产生影响^[47]。我国金融业的发展可以带动科技进步，特别是环保科技的发展，在整个过程中能够减少对环境的污染^[61]。污染强度被金融发展所遏制，我国的金融发展对提高环境绩效起到了很大的作用

[62]。在金融发达的国家，发展较快的产业表现出更大的研发强度，这表明运行良好的金融市场将资源引向了研发驱动型产[63]。

相反，一些学者研究发现了金融效率的负面影响，金融效率在推动经济增长的同时，也可能造成工业污染与环境恶化。从长远来看，金融效率对碳排放有负向作用；金融发展一方面降低了地区的碳排放量，另一方面又通过溢出效应使邻近地区的碳排放量增大[64]。有些研究者总结说，金融效率或许会吸引新的投资者进入重工业行业[65]。尽管金融发展对国家经济发展有推动作用，但也会造成产业污染及环境恶化[60]。由于国家对于绿色低碳发展的重视，CETP 可能会影响银行等金融机构对高碳排放企业的贷款，因为 CETP 增加了它们的环境和法律风险，银行对这些企业放贷前需要更严格的风险评估，使其融资贷款变得更加困难从而限制其扩大高碳排放生产，以此实现提高能源效率的目标。基于这些理论提出假设 3：

H3：CETP 通过控制金融效率来提高能源效率。

CETP 通过促进低碳清洁产业和服务业的发展，淘汰高碳排放产业，提高能源综合利用率，可以对产业结构的优化产生积极影响。在实体经济发展中，产业结构的优化与带动能源效率密切相关。要从源头治理上达到节能减排的目的，就必须减少高污染和高能源消耗行业的比重[66, 67]。通过产业结构和能源结构的优化，能够提升碳减排技术，有利于减少碳排放量，对我国实现低碳城市具有重要的支撑作用[68, 69]。产业结构的优化调整意味着服务业的快速发展和对高污染行业的控制，对我国经济高质量发展和绿色低碳经济目标具有重要意义。服务业包含的行业大多是低碳清洁生产的生产活动，能源效率通常相比工业更高，依赖于高度发达的信息技术、电子设备和创新，在消耗更少化石能源的同时能带来更高的经济效益，因此优化国家产业结构能促进能源效率的提高。CETP 通过鼓励低碳生产，提高企业碳排放成本，可能促使企业转型发展，不再过度依赖工业生产，而是投资扩大服务业生产。因此 CETP 可能通过控制高碳排放的生产活动，在优化产业结构的进程中达到提高能源效率的目的。基于这些理论提出假设 4：

H4：CETP 通过优化产业结构从而提高能源效率。

本文设定 CETP 对能源效率影响的理论机制如图 3-1 所示。

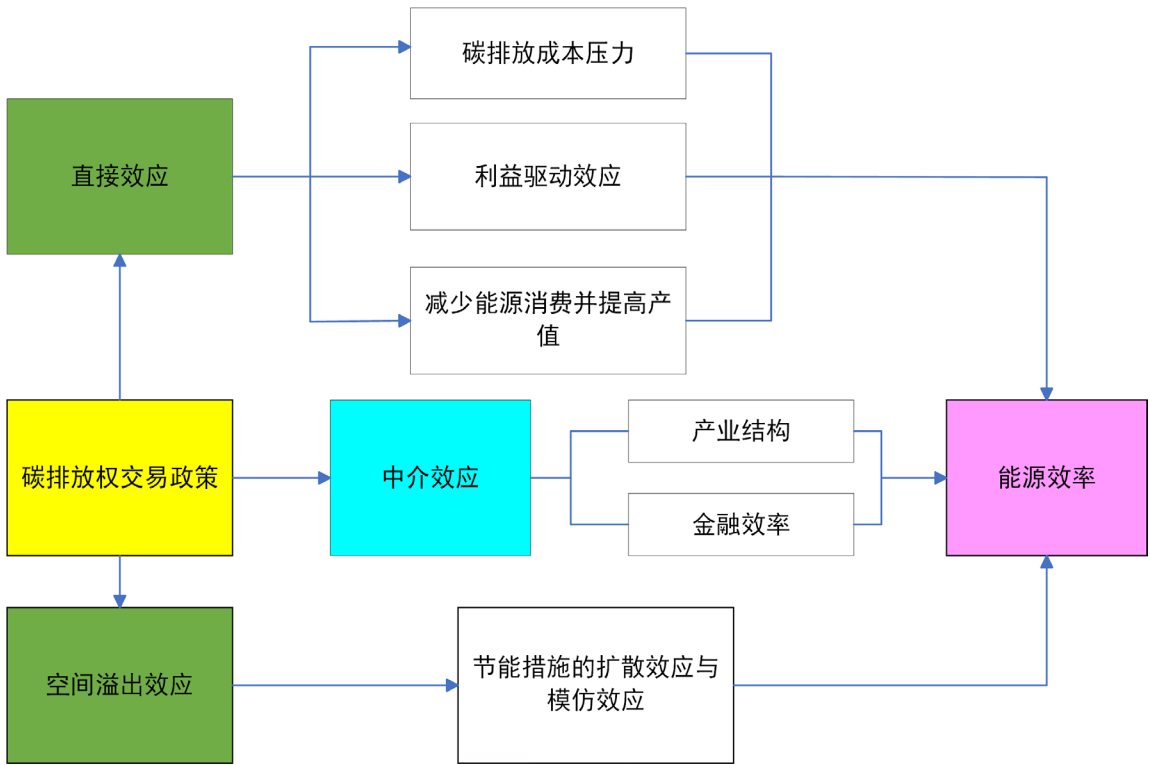


图 3-1 CETP 对能源效率的影响机制

第 4 章 方法与模型设定

4.1 变量说明和数据来源

4.1.1 变量说明

我国政府发布通知要求在部分省市实施 CET 试点政策，并于 2013 年正式启动，本文收集了 2008-2020 年期间我国 30 个省市（由于数据缺失排除西藏）的平衡面板数据，并将 2008-2012 年设定为 CETP 出台前的时间，2013-2020 年为政策试点实施的时间。实验组样本包括北京、上海、重庆、天津、湖北、广东（深圳包含在内）6 个省市，其余省份为对照组。

被解释变量：能源效率(EE_{it})表示*i*省在*t*年的 GDP 与能源消费量(万吨标煤)的比值^[70]。

解释变量： Did 是政策虚拟变量和时间虚拟变量的交互项， $Did = treat_i \times post_t$ 。 $treat_i$ 是政策虚拟变量，若*i*省份是 CETP 试点省市则 $treat_i = 1$ ，否则 $treat_i = 0$ ； $post_t$ 是时间虚拟变量，本研究将 2013 年定为 CETP 的启动时间，若年份 $t \geq 2013$ 则 $post_t = 1$ ，反之则 $post_t = 0$ 。

控制变量：参考既有文献的做法^[7,61]，本文选取了可能影响能效的指标，具体包括：1.技术水平($Tech$)。2.政府调控能力(GOV)。3.人口规模($lnPOP$)。4.外商投资($lnInv$)。5.人均国内生产总值($Pgdp$)。中介变量：金融效率(FE)；产业结构(IS)。上述变量具体定义见表 4-1。

表 4-1 变量定义

变量名	缩写	定义	单位
Energy efficiency	EE	GDP 与能源消费量（万吨标煤）的比值	亿元/万吨
Technical level	Tech	发明专利申请授权数	万件
Government regulatory capacity	GOV	地方财政一般预算支出占 GDP 的比例	—
Population	lnPOP	城镇人口数量的自然对数值	—
Foreign investment	lnInv	外商投资企业注册登记总额的自	—

		然对数值	
Per capita GDP	Pgdp	人均国内生产总值	万元
Financial efficiency	FE	银行业金融机构各项贷款与存款	—
		的比值	
Industrial structure	IS	第三产业增加值与第二产业增加	—
		值的比值	

4.1.2 描述性统计

表 4-2 展示了以上变量的描述性统计,由表可知样本省份的 EE 均值为 1.536,标准差为 0.771,说明各省的能效差距较大;各省 FE 的标准差为 0.142 说明各省金融效率总体差异较小,但 IS 最小值 0.527,最大值 5.244 且标准差较大,表明不同省市之间的产业结构差异明显。数据来源于国家统计局官网、EPS 数据库、我国能源统计年鉴和各省统计年鉴。实证分析使用软件为 Stata17。

表 4-2 描述性统计

Variable	Obs	Mean	SD	Min	Median	Max
EE	390	1.536	0.771	0.373	1.449	5.339
Tech	390	0.695	1.098	0.002	0.253	7.069
GOV	390	0.240	0.101	0.087	0.218	0.643
lnPOP	390	7.600	0.747	5.421	7.668	9.144
lnInv	390	6.485	1.436	3.157	6.378	10.220
Pgdp	390	5.024	2.762	0.882	4.345	16.489
FE	390	0.767	0.142	0.448	0.761	1.164
IS	390	1.253	0.703	0.527	1.106	5.244

4.2 DID 和 SDID 模型

本文的目的是研究 CETP 对能源效率的影响,DID 模型适用于检验政策对实施对象的效果。首先使用 DID 方法评估政策对能源效率影响的效果。模型设定如下:

$$EE_{it} = \alpha + \beta Did_{it} + \eta_i \sum_i^k X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中 X 表示由所有控制变量组成的向量, μ_i 表示省份固定效应, λ_t 表示时

间固定效应, ε_{it} 表示随机误差项。本研究重点关注系数 β , 若 $\beta > 0$ 则表示 CETP 促进了试点地区能源效率的提高。

大部分研究使用 DID 模型评估政策的效果, 但是 DID 模型仅能评价 CETP 对少数试点省份的作用, 无法测度政策的空间溢出效应, 从而降低了研究结果的稳健性。当能源效率在空间上相关时, 只使用 DID 模型会造成结果偏差。为了更全面地分析 CETP 效果, 提高结果的准确性, 本文进一步使用 SDID 方法测度 CETP 对非试点地区能源效率的空间溢出效应。模型设定如下:

$$EE_{it} = \alpha + \beta_1 Did_{it} + \beta_2 WDid_{it} + \rho WEE_{it} + \eta_i \sum_{i=1}^k X_{it} + \gamma_i W \sum_{i=1}^k X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

模型(2)重点关注系数 β_2 , 若 $\beta_2 > 0$ 则表示 CETP 促进了周边地区能源效率的提高, 具有正向空间溢出效应。交互项 $WDid$ 表示试点省份 CETP 对周边省份能源效率的影响程度, WEE 表示能源效率的空间滞后项, ρ 是空间回归系数, 表示周边省份的能源效率对本省的影响。

4.3 空间中中介效应模型

以往的研究大部分从技术进步或绿色技术创新的角度分析 CETP 对能源效率的作用机制, 而忽略了金融效率和产业结构在其中所起的中介作用, 本文在 SDID 模型的基础上, 结合中介效应三步法建立空间中中介效应模型分别检验 CETP 对能源效率的总效应、直接效应和间接效应^[71]。模型设定如下:

$$EE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Did_{it} + \alpha_2 WDid_{it} + \rho WEE_{it} + \beta_i \sum X_{it} + \gamma_i W \sum X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$EE_{it} = \alpha'_0 + \alpha'_1 Did_{it} + \alpha'_2 WDid_{it} + \rho' WEE_{it} + \beta'_i \sum X_{it} + \beta'_6 Med_{it} + \gamma'_i W \sum X_{it} + \gamma'_6 WMed_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$Med_{it} = \alpha''_0 + \alpha''_1 Did_{it} + \alpha''_2 WDid_{it} + \rho'' WMed_{it} + \beta''_i \sum X_{it} + \gamma''_i W \sum X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

模型(3-5)分别代表了总效应模型、直接效应模型和间接效应模型, 其中模型(4)的 Med 表示中介变量, 代表金融效率 FE 和产业结构 IS , 第一步先对模型(3)进行回归分析, 观察系数 α_2 是否显著, 若显著则进一步运行模型(5), 观察 α''_2 是否显著, 若 α''_2 显著则说明 CETP 对 Med 具有显著影响, 最后运行模型(4)观察系数 α'_2 是否显著, 若 α'_2 显著则说明 Med 具有不完全的中介效应。

4.4 空间相关性检验

为了判断不同省份的能源效率之间是否存在空间相关性,本文使用莫兰指数进行空间相关性检验,观察能源效率是否有显著的空间相关性和空间溢出效应。

Moran's I 指数的计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (EE_i - \overline{EE})(EE_j - \overline{EE})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (6)$$

其中 $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EE_i - \overline{EE})^2$, $\overline{EE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EE_i$, $w_{ij} = \frac{1}{|y_i - y_j|}$ 。 EE_i 表示 i 省的能源效率,

y_i 表示 i 省 2008-2020 年期间的平均 GDP。 $W_{ij} = (w_{ij})_{n \times n}$ 表示空间权重矩阵, n 表示省份的数量,本文使用经济距离权重矩阵来分析能源效率的空间相关性,矩阵的元素 w_{ij} 代表两个地区之间 GDP 差值的绝对值的倒数,能够精确的计量不同省市之间的空间相关性。Moran's I 指数取值范围在 $[-1,1]$ 内,指数大于 0 说明能源效率具有空间正相关性,指数小于 0 则说明具有空间负相关性。

4.5 空间计量模型的选择

本文使用 SDID 模型进行分析,需要正确选取合适的空间计量模型进行实证分析,可以利用空间误差模型(SEM),空间自回归模型(SAR),空间杜宾模型(SDM),对误差项、自变量和因变量导致的空间相关性进行检验。是否选择 SDM 模型需要进行 LM、LR 和 Wald 检验,是否选取固定效应模型则需要进行 Hausman 检验。

表 4-3 结果显示在 LM-error 检验和 robust LM-error 检验下 p 值通过了 1%水平下的显著性检验,说明存在空间误差效应,因此可以选择 SDM 或 SEM 进行回归,需要进一步进行 LR 检验和 Wald 检验观察 SDM 是否会退化为 SEM。LR 检验和 Wald 检验的 p 值均小于 0.01,在 1%水平下的显著,说明 SDM 不能退化为 SEM 和 SAR,检验结果表明本文模型应采用 SDM。Hausman 检验可以判断 SDM 适用于随机效应还是固定效应。Hausman 检验结果在 5%水平下的显著为正,说明 SDM 应该选择固定效应。根据上述检验的结果,应采用固定效应的 SDM

作为空间相互作用分析的基准模型。

表 4-3 LM,LR,Wald 和 Hausman 检验结果

Test method	Statistic	p-value
LM test no spatial error	255.536***	0.000
Robust LM test no spatial error	114.456***	0.000
LM test no spatial lag	141.189***	0.000
Robust LM test no spatial lag	0.109	0.741
LR Lag	108.37***	0.000
LR Err	113.83***	0.000
Wald Lag	70.30***	0.000
Wald Err	60.67***	0.000
Hausman	18.13***	0.011

注：***、**、*分别表示通过 1%、5%、10%水平下的显著性检验。括号内数值为标准误差。以下各表同。

第 5 章 实证结果与分析

5.1 能源效率的空间分布

利用 Arcgis10.8 软件, 本文对 2008-2020 年 30 个省的能源效率变化进行分析。采用自然断裂法将能源效率数值划分为 5 类, 探讨我国各省能源效率的空间分布特征和演化过程。由图 5-1 可以看出, 在 2008 年能源效率高的区域较少且集中分布于东部沿海。到 2020 年后能源效率的总体地理特征更加明显, 高效率区扩展至我国南方大部分地区, CETP 的七个试点省份通过空间溢出效应带动提升周边省份的能源效率。

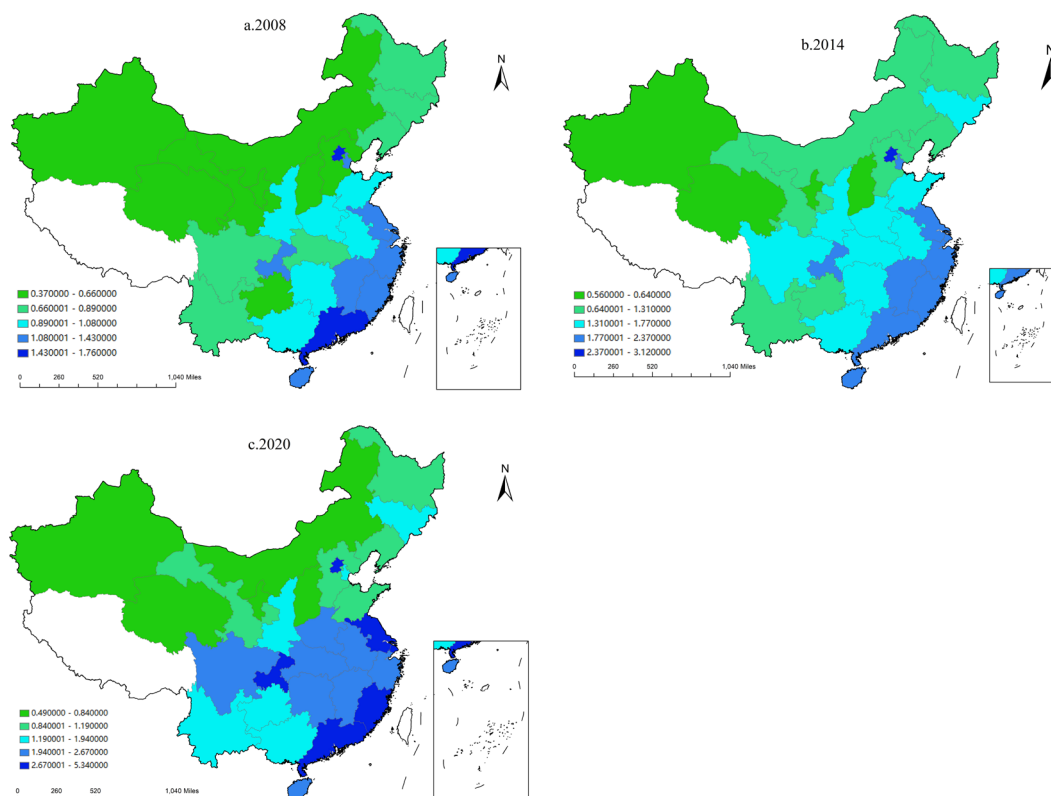


图 5-1 2008-2020 年我国省级能源效率空间分布

5.2 莫兰指数

表5-1给出了Moran's I指数的结果, 我国30个省市能源效率的莫兰指数均大于0.3且显著, 2019年以前均在1%水平下显著, 2020年在5%水平下显著, 表明各地能源效率之间存在着显著的空间正相关性, 即能源效率之间存在着显著的

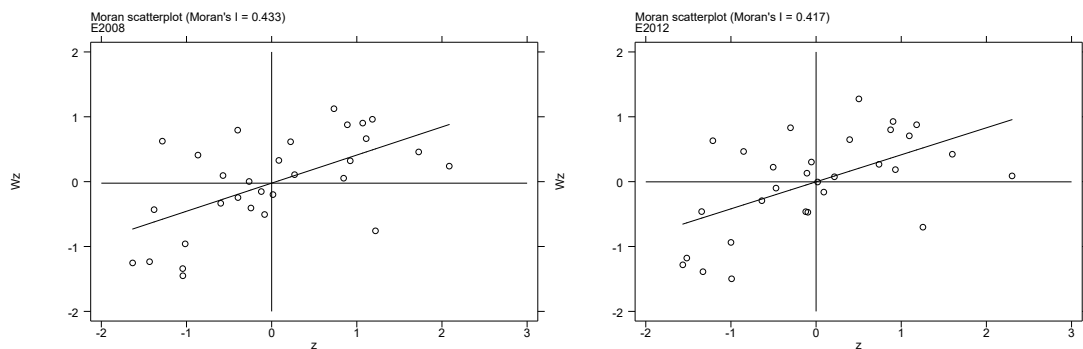
正空间溢出效应，一个省份的能源效率在影响其他周边省份能源效率的同时也受到其他省份的影响。在2020年能源效率的莫兰指数明显低于之前，说明能源效率的空间相关性降低了，原因可能是各省的能源效率在过去数年得到了显著提高，各省之间能源效率的差距被拉近。

表5-1 2008-2020年省级能源效率的全局莫兰指数

Variables	I	E(I)	Sd(I)	Z	P-value*
EE2008	0.433	-0.034	0.159	2.936	0.002
EE2009	0.435	-0.034	0.159	2.950	0.002
EE2010	0.421	-0.034	0.159	2.862	0.002
EE2011	0.419	-0.034	0.159	2.855	0.002
EE2012	0.417	-0.034	0.159	2.843	0.002
EE2013	0.454	-0.034	0.157	3.115	0.001
EE2014	0.465	-0.034	0.157	3.184	0.001
EE2015	0.453	-0.034	0.157	3.114	0.001
EE2016	0.421	-0.034	0.157	2.909	0.002
EE2017	0.439	-0.034	0.157	3.015	0.001
EE2018	0.451	-0.034	0.157	3.092	0.001
EE2019	0.385	-0.034	0.156	2.681	0.004
EE2020	0.318	-0.034	0.154	2.292	0.011

*1-tail test

图 5-2 绘制了 4 个不同年份能源效率的局部莫兰散点图，各省主要分布在第一和第三象限，我国目前能源效率多以低-低集聚和高-高集聚为主，说明我国各省能源效率在空间上具有显著的局部空间聚集特征。



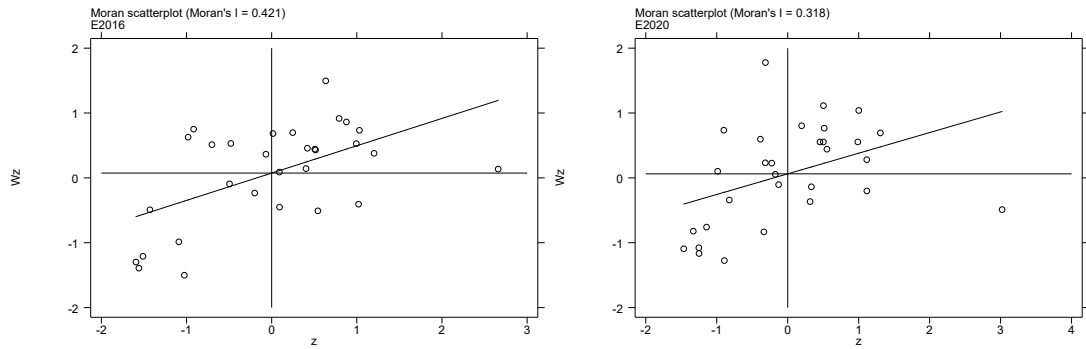


图 5-2 过去数年我国 30 个省能源效率的局部 Moran's I 指数散点图

5.3 方差膨胀因子(VIF)检验

由表 5-2 可知 VIF 平均值为 3.310, 且所有变量的 VIF 都未超过 10, 因此变量之间不存在多重共线性。

表 5-2 主要变量 VIF 检验

Variable	VIF	1/VIF
lnInv	5.320	0.188
Pgdp	4.130	0.242
lnPOP	3.720	0.269
Tech	2.670	0.374
GOV	2.510	0.398
Did	1.510	0.663
Mean VIF	3.310	

5.4 基准回归分析

表 5-3 展示了 CETP 对试点地区能源效率影响的 DID 回归结果。其中(1)、(3)列均控制了省份固定效应和时间固定效应, (2)、(4)列均未考虑固定效应; (1)、(2)列未加入控制变量。从回归结果可以看出 Did 的回归系数均在 1%水平下显著, 总体来看不论是否加入控制变量, 核心解释变量 Did 的回归系数都显著为正。以第(3)列为例, 其 Did 系数为 0.159, 说明 CETP 实施后显著提升了试点地区 15.9% 的能效。结果表明在 CETP 实施之后, 试点地区的能源效率相比其他非试点地区有显著的提高^[7], 证明了假设 H1 是正确的。

表 5-3 DID 回归结果

	(1) DID	(2) DID	(3) DID	(4) DID
Variable	EE	EE	EE	EE
Did	0.526*** (0.064)	1.303*** (0.099)	0.159*** (0.042)	0.416*** (0.080)
Tech			0.070*** (0.018)	0.204*** (0.032)
GOV			-2.767*** (0.386)	-0.221 (0.335)
lnPOP			-0.208 (0.181)	-0.020 (0.055)
lnInv			0.018 (0.028)	0.174*** (0.034)
Pgdp			0.182*** (0.014)	0.056*** (0.016)
_cons	1.472*** (0.015)	1.376*** (0.035)	2.682* (1.373)	0.137 (0.434)
Year fixed	Yes	No	Yes	No
Province fixed	Yes	No	Yes	No
N	390	390	390	390
R ²	0.910	0.309	0.969	0.706

表 5-4 为 SDID 模型回归结果, 其中(1)、(2)列未加入控制变量。Did 和 WDid 的系数均在 1%水平下显著, 这表明无论是否加入控制变量, 均不影响 CETP 对能源效率的显著促进作用和空间溢出效应, 说明 CETP 具有显著的正空间溢出效应, 带动提高了周边省份的能源效率, 这证明了假设 H2 是正确的。由表 5-4 结果可知 CETP 显著提高了试点省份的能源效率, 这与表 5-3DID 模型的结论相同, 但表 5-4(3)列的 Did 的回归系数为 0.181, 大于表 5-3 模型(3)的 0.159, 说明 DID 模型中 CETP 的效果被低估了。关于控制变量, *Tech* 和 *Pgdp* 的系数均在 1%显著性水平下显著, 说明技术水平的提高以及人民富裕程度的提升对能源效率的提升有显著正面影响。地区科技水平的提升有助于企业减少对化石能源的浪费, 并更多的采用清洁能源技术加大对清洁能源的利用逐步替代化石能源。经济水平的提升意味着企业有更强的经济能力进行技术研发和设备更新, 达到提升能效的目的。GOV 和 lnPOP 的系数均显著为负, 说明政府调控能力的增强和城市人口规

模的扩大无助于能源效率的提高。政府对市场的行政干预影响了能源配置的效率，而人口的增长增加了电力、供暖、交通燃料等能源的消耗，导致能源需求在时间和空间上更加集中，在缺乏有效的能源管理措施的情况下，能源的浪费更大。 $\ln INV$ 系数不显著，说明外商投资的变动对能源效率不存在明显影响，这可能是因为我国的工业企业大多为国有企业，外国投资较少或没有控股权。政府可以加大工业领域的开放力度，逐步放开外资限制，允许更多符合条件的外国投资者参与企业管理，引进先进的清洁生产技术和能源管理模式，提高能源效率。此外空间滞后项 ρ 的系数为 0.171 且在 1% 水平下显著，说明能源效率有空间溢出效应，周边省份能源效率的提升也对本省的能源效率有空间溢出效应。

表 5-4 SDID 回归结果

	(1) SDID	(2) SDID	(3) SDID	(4) SDID
Variable	EE	EE	EE	EE
Did	0.536*** (0.057)	0.560*** (0.062)	0.181*** (0.038)	0.124*** (0.037)
Tech			0.067*** (0.015)	0.082*** (0.016)
GOV			-1.826*** (0.364)	-1.291*** (0.350)
lnPOP			-0.370* (0.212)	-0.108 (0.115)
lnInv			-0.010 (0.024)	0.007 (0.023)
Pgdp			0.198*** (0.013)	0.210*** (0.012)
WDid	0.528*** (0.086)	0.507*** (0.083)	0.361*** (0.055)	0.259*** (0.048)
WTech			-0.140*** (0.032)	-0.126*** (0.030)
WGOV			-1.298*** (0.430)	-0.174 (0.354)
WlnPOP			-0.190 (0.253)	0.037 (0.141)
WlnInv			0.019 (0.039)	0.071** (0.033)

WPgdp			-0.061***	-0.054***
			(0.021)	(0.019)
ρ	0.124***	0.486***	0.171***	0.272***
	(0.050)	(0.035)	(0.054)	(0.049)
Sigma2_e	0.046***	0.062***	0.015***	0.017***
	(0.003)	(0.005)	(0.001)	(0.001)
Year fixed	Yes	No	Yes	No
Province fixed	Yes	No	Yes	No
N	390	390	390	390
R ²	0.461	0.457	0.425	0.667

基于表 5-4 模型(3)的结果,将 CETP 对能源效率的影响分解为直接、间接和总效应(表 5-5)。直接效应代表了 CETP 对试点省份能源效率的影响;间接效应也就是空间溢出效应,代表了 CETP 对周边省份能源效率的影响;总效应代表了 CETP 对全部省份能源效率总体的影响。可以看出在直接效应模型中 Did 的系数在 1%显著性水平下为 0.208,说明 CETP 在实施后使试点省份的能源效率提高了 20.8%,在间接效应模型中 Did 的系数为 0.448,这说明试点省份实施 CETP 促进周边省份的能源效率提高了 44.8%,政策溢出效应十分明显,使周边地区平均能效提升 1.49%,这与假设 H2 相符。总效应模型中 Did 系数为 0.656,说明 CETP 使得所有省份的能源效率总体显著提高了 65.6%,即样本中 30 个省的能源效率平均提高了 2.19%。

表 5-5 空间效应估计结果

	(1)Direct effect	(2)Indirect effect	(3)Total effect
Did	0.208***	0.448***	0.656***
	(0.040)	(0.069)	(0.091)
Tech	0.057***	-0.149***	-0.092**
	(0.015)	(0.036)	(0.043)
GOV	-1.891***	-1.798***	-3.689***
	(0.344)	(0.435)	(0.520)
lnPOP	-0.384*	-0.278	-0.662***
	(0.198)	(0.271)	(0.239)
lnInv	-0.009	0.018	0.009
	(0.024)	(0.044)	(0.053)
Pgdp	0.198***	-0.029	0.168***

(0.013)

(0.023)

(0.029)

5.5 稳健性检验

5.5.1 平行趋势检验

平行趋势检验在验证 DID 模型的估计结果无偏方面意义重大，旨在验证 CETP 实施之前两组能源效率的发展趋势是否相似。如果存在平行趋势，那么 DID 模型的估计结果更可靠。将试点政策实施的 2013 年作为分界点，将 *Did* 替换为新的交叉项，before3、before2、before1 分别表示 CETP 实施前 3 至 1 年的时间虚拟变量与 *treat* 的交互项，after1、after2、after3 表示政策实施后 1 至 3 年的时间虚拟变量与 *treat* 的交互项。检验的结果显示在政策实施之前交互项的系数均不显著，表示平行趋势假设得到支持。

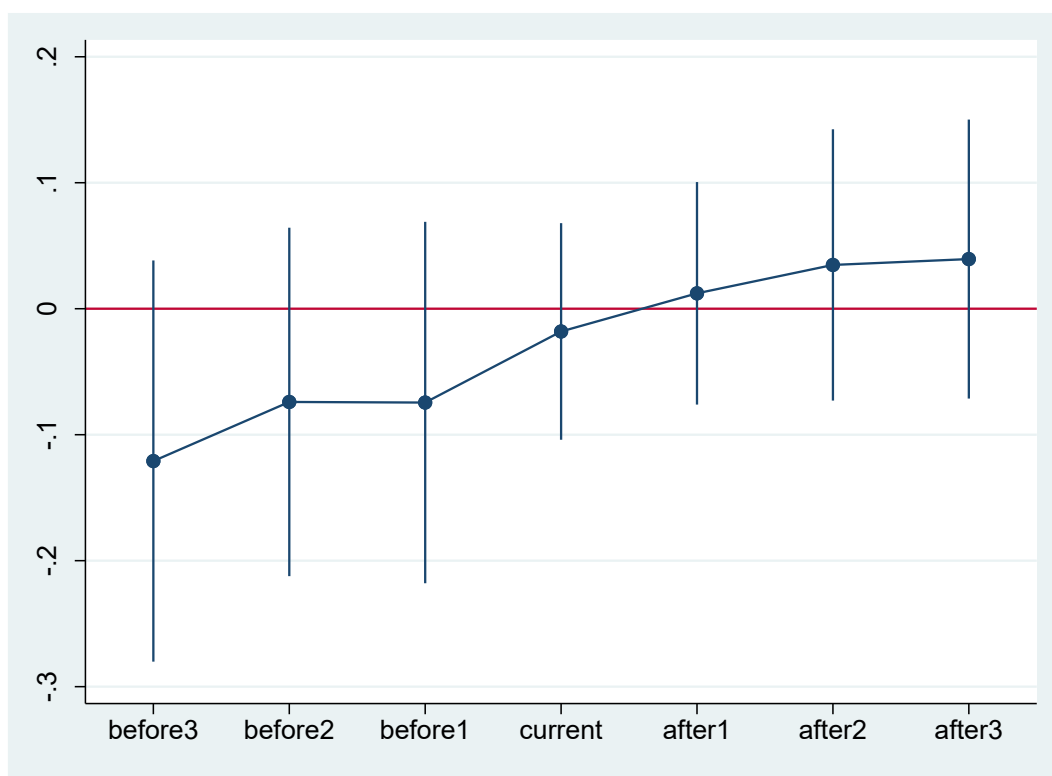


图 5-3 平行趋势检验

5.5.2 安慰剂检验

为了排除其他未知因素对能源效率的影响，确保实证结论是 CETP 的实施导致的结果，本文进行安慰剂检验。具体操作是安慰剂检验在 30 个省份样本中随

机抽取省份作为虚拟实验组，依据表 5-3 模型（3）进行回归。取样本 500 个，能源效率的核密度估计结果如图 5-4 所示。从图 5-4 中可发现，大部分样本的 P 值都超过了 0.1，说明在这 500 个随机样本中 CETP 对能源效率并没有显著影响，这表明在本文研究中 CETP 对能源效率的提升并非由其他未知因素引起。回归结果通过了安慰剂检验。

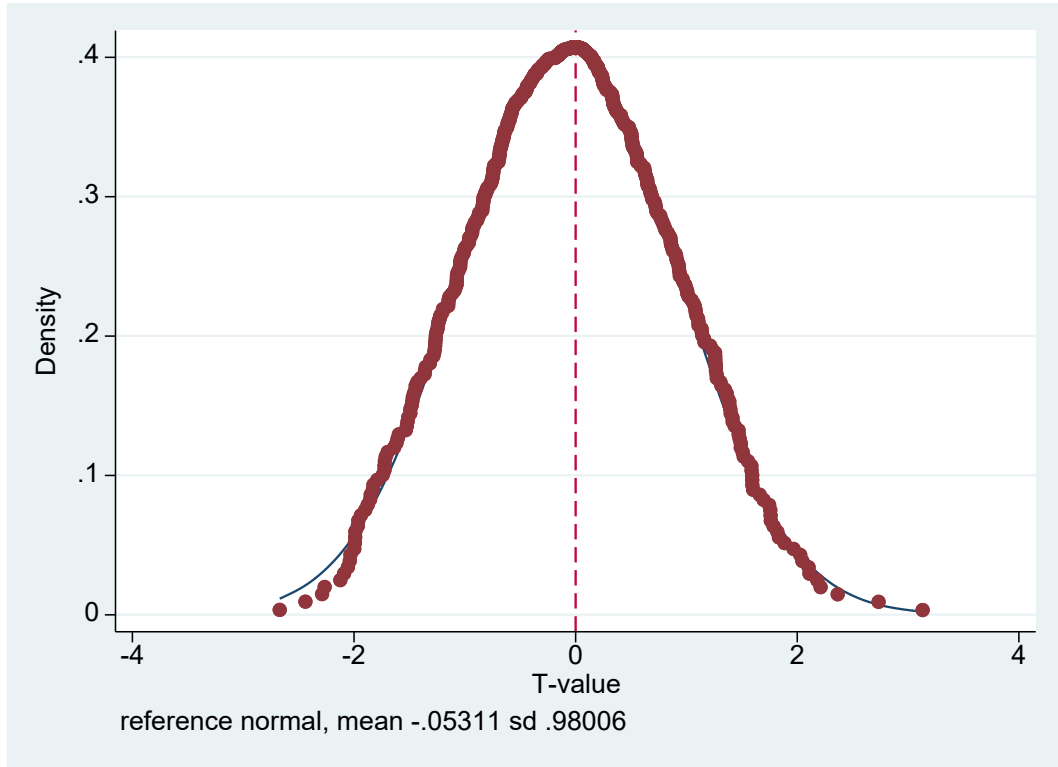


图 5-4 安慰剂检验

5.5.3 PSM-DID 检验

我国 30 个省市在经济、地理位置和科技水平等方面均存在较大差异，这些差异可能造成实证结果出现选择偏差。为解决上述问题，本文采用倾向得分匹配 (PSM) 方法，根据样本特征对变量进行匹配，并对匹配结果进行 DID 分析。如表 5-6(1) 列的回归结果显示，CETP 对能源效率有显著的改善。

5.5.4 使用地理距离权重矩阵和 0-1 邻接矩阵进行 SDID 回归

通过将表 5-4 的模型(2)中的经济距离权重矩阵替换为地理距离权重矩阵和 0-1 邻接矩阵再进行 SDID 回归，以实现稳健性检验，得到结果如表 5-6 第(2-3) 列所示， W_1 表示地理距离权重矩阵， W_2 表示 0-1 邻接矩阵。大部分关键变量的系数均显著为正，与表 5-4 结果接近，说明 CETP 的确对能源效率有空间溢出效

应，证明了回归结果的准确性。

表 5-6 PSM-DID 和替换空间权重矩阵的稳健性检验

	(1)PSM-DID	(2)W ₁	(3)W ₂
	EE	EE	EE
Did	0.416*** (0.085)	0.249*** (0.040)	0.136*** (0.038)
Wx:			
Did		1.781*** (0.336)	0.497*** (0.070)
ρ		-0.435** (0.209)	0.016 (0.072)
Sigma2_e		0.016*** (0.001)	0.015*** (0.001)
Control	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes
Province	Yes	Yes	Yes
N	390	390	390
R ²	0.706	0.029	0.215

5.6 异质性分析

5.6.1 地理位置异质性

我国是一个幅员辽阔的国家，30 个省份的地理分布位置差异大，东部沿海与中西部内陆地区的经济发展水平和碳排放水平差距较大，因此有必要研究不同区域的 CETP 实施效果的差异，本研究将样本按地理位置划分为东部、中部和西部省份，经济距离权重矩阵按照东、中、西部地区的划分，重新生成 3 个权重矩阵。表 5-7 的(1-3)列分别展示了东中西部的 SDID 回归结果，东部、中部和西部的 Did 系数在 1%水平下显著为正，对西部的影响最大。这说明 CETP 在全国的效果均明显。原因可能是中西部地区经济水平和低碳生产技术相对落后，主要以煤炭、钢铁等高耗能产业为主，对能源成本更敏感，CETP 通过配额约束直接倒逼企业技术改造，能效提升立竿见影。东部产业轻型化，政策通过供应链间接传导，时滞长、效果较弱。且东部地区经济较为发达，企业技术创新能力强，能源效率提升更多依赖自主研发，CETP 对这类技术创新的直接激励作用较弱，因为

研发投入与碳配额收益的关联性较低。因此在 CETP 的落实下中部和西部地区能源效率的提升更为明显。

表 5-7 地理位置异质性分析

	(1) 东部	(2) 中部	(3) 西部
Variable	EE	EE	EE
Did	0.186*** (0.048)	0.206*** (0.049)	0.214*** (0.061)
WDid	0.276*** (0.060)	0.291*** (0.066)	0.214*** (0.075)
ρ	-0.221*** (0.069)	-0.397*** (0.097)	-0.096 (0.110)
Sigma2_e	0.011*** (0.001)	0.001*** (0.000)	0.005*** (0.001)
Control	Yes	Yes	Yes
Year fixed	Yes	Yes	Yes
Province fixed	Yes	Yes	Yes
N	169	78	143
R ²	0.350	0.700	0.593

5.6.2 环境执法力度异质性

在环保法规较严的情况下,企业往往会加大对节能技术的投入,以大幅度降低能源强度^[72]。环境法规的执行力度会很大程度影响工业企业是否严格遵照环境法规,执法力度越强的省份可能更有能力确保企业遵守 CETP 的监管条例,这有助于防止排放作弊和确保碳交易市场的有效运作^[73]。执法力度足够强的省份可以对违规行为进行处罚,对数据造假行为实施高额罚款和配额核减,促使企业遵守 CETP,采取减排措施。因此本文以环境处罚案件数量区分不同省份环境执法力度的强弱,以环境处罚案件的平均数为分界线,分为强执法省份和弱执法省份,数据源于我国环境年鉴。

表 5-8 的(1)(2)列可以看出在不同执法力度的省份,Did 的系数均为正且在 1% 水平下显著,但高执法力度省份的 Did 系数为 0.320,大于低执法力度省份的 0.246,说明 CETP 对高执法力度省份能源效率的提升比低执法力度省份更高。

这可能是因为高强度的环境执法使得碳排放企业更加谨慎,限制了它们的非法碳排放行为,采用更加绿色低碳的生产方式,提高了能源效率。

5.6.3 污染程度异质性

各省的不同污染程度可能会影响 CETP 的效果。在污染程度较高的地区,企业初始排放强度大,通过技术改造降低单位产出排放的边际成本较低,政策激励效果可能会更显著,并且高污染地区通常以重化工业为主,行业能源密集度较高,碳配额的价格信号对其生产决策影响更直接。鉴于高污染地区提高能源效率的压力更大,因此有必要研究在不同污染程度省份 CETP 对能源效率影响的差异。本文根据所有省份在 CETP 试点期的平均二氧化硫排放量为分界线区分高污染省份和低污染省份,高于平均二氧化硫排放量的为高污染省份,其余为低污染省份。表 5-8 的(3)(4)列给出了 SDID 回归结果,高、低污染省份样本的 Did 系数均在 1%水平下显著为正,但高污染省份 Did 的系数大于低污染省份,说明 CETP 在高污染省份中起到了更好的政策效果,对高污染省份能源效率的提升更加明显;WDid 的系数也都显著为正,说明无论在高或低污染地区,CETP 对周边省份都有显著的空间溢出效应,对周边地区能源效率的提升有显著带动作用。

表 5-8 异质性分析

	(1) 强执法	(2) 弱执法	(3) 高污染	(4) 低污染
Variable	EE	EE	EE	EE
Did	0.320*** (0.049)	0.246*** (0.037)	0.271*** (0.081)	0.209*** (0.044)
WDid	0.021 (0.103)	0.347*** (0.046)	2.075*** (0.268)	0.223*** (0.057)
ρ	-0.133 (0.096)	0.305*** (0.060)	-0.170 (0.111)	0.011 (0.064)
Sigma2_e	0.006*** (0.001)	0.007*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.012*** (0.001)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes
Year fixed	Yes	Yes	Yes	Yes
Province fixed	Yes	Yes	Yes	Yes
N	117	273	169	221
R ²	0.786	0.676	0.687	0.085

5.7 机制分析

5.7.1 检验金融效率的中介效应

为了验证假设 H3, 本文以金融效率为中介变量, 建立了空间中介效应模型, 研究 CETP 对能源效率的传导机制, 表 5-9 的(1-3)列分别展示了总效应、直接效应和间接效应模型的回归结果, 在直接效应模型中金融效率的系数在 1%显著水平下为-0.345, 说明金融效率的进步对能源效率具有显著的负向影响; 在间接效应模型中, Did 的系数为-0.029 在 1%水平下显著, 说明 CETP 的实施对金融效率有抑制作用, 而金融效率的提高会显著降低能源效率, 换句话说, CETP 通过降低金融效率 *FE* 从而提高能源效率, 这说明假设 H3 是正确的。

5.7.2 检验产业结构的中介效应

为了验证假设 H4, 本文以产业结构为中介变量, 检验 CETP 是否通过优化产业结构改善了能源效率。表 5-9 的(4)列是直接效应模型, IS 的系数为 0.251 且在 1%水平下显著, 说明产业结构优化能显著提高能源效率; (5)列的间接效应模型中 Did 系数也在 1%水平下显著为正, 说明 CETP 对产业结构优化起到了显著的促进作用。总的来说 CETP 通过促进试点省份产业结构优化, 使其第二产业的占比相对收缩, 从而提高其能源效率, 这说明假设 H4 是正确的。

表 5-9 机制分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variable	EE	EE	FE	EE	IS
Did	0.181*** (0.038)	0.172*** (0.039)	-0.029** (0.012)	0.150*** (0.038)	0.112*** (0.037)
FE		-0.345** (0.164)			
IS				0.251*** (0.051)	
WDid	0.361*** (0.055)	0.337*** (0.058)	-0.093*** (0.017)	0.338*** (0.054)	0.073 (0.053)
WFE		0.231 (0.208)			
WIS				0.121	

				(0.075)	
ρ	0.171*** (0.054)	0.190*** (0.055)	0.235*** (0.048)	0.177*** (0.053)	-0.315*** (0.054)
Sigma2_e	0.015*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.001*** (0.000)	0.014*** (0.001)	0.014*** (0.001)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year fixed	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province fixed	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	390	390	390	390	390
R ²	0.425	0.462	0.048	0.609	0.096

第 6 章 结论与政策建议

6.1 主要结论

本文分析了我国 2008-2020 年期间 CETP 对省级能源效率的影响和空间溢出效应，以及金融效率和产业结构起到的中介作用，并对 2021 年 CETP 全面实施后的政策效应和现状进行了讨论。本文首先计算了各省能源效率的莫兰指数，确定了能源效率具有正向空间相关性，其次收集了我国 30 个省份的面板数据，经过 LM、LR 和 Wald 检验选取 SDM 建立 SDID 模型分析了 CETP 对能源效率的影响，包括空间总效用分解，地理区域、环境执法力度和污染程度异质性分析，最后建立空间中介模型检验了 FE 和 IS 在 CETP 对能源效率影响传导机制中的作用。经过一系列稳健性检验，主要结论是稳健的。主要结论如下：

(1)样本中各省的能源效率具有显著的空间集聚性，一省能源效率的提高对周边省份的能源效率有正向带动作用。(2)CETP 取得了明显成效，显著提高了试点省份的能源效率；同时此政策对能源效率有正的空间溢出效应，对周边省份的能效提高产生了正面影响，显著提高了周边省份 44.8%的能源效率，这表明此政策是推动绿色发展、减少碳排放和提高能源效率的有效工具。(3)FE 对能源效率具有显著的负面影响，但 CETP 对 FE 的影响显著为负，即 CETP 通过减缓 FE 的发展来提高能源效率。(4)从产业层面看，CETP 推动了我国企业转型发展，促进了产业结构的升级。产业结构优化对能源效率提升有显著促进作用，CETP 通过促进产业结构的优化调整，促进企业转型发展，加大对低碳排放产业和服务业的投入，降低第二产业占经济的比重，实现降低碳排放、提高生产产值从而提高能源效率。(5)地理位置异质性分析发现，政策对东、中、西部省份的能源效率均有显著提升，其中对西部省份的提升最大，分别比东部和中部地区高出 2.8%和 0.8%。环境执法力度异质性分析发现，CETP 在高执法力度地区的政策效果更好，对周边省份能源效率的带动作用更强。污染程度异质性分析发现 CETP 在高污染地区的政策效果比低污染地区更强，对其能源效率的提升作用比低污染地区高出 6.2%。总体而言，该政策在推动我国能源效率提升、减缓气候变化、促进可持续发展等方面发挥了积极作用。

6.2 政策建议

(1)CETP 对试点省份和周边省份的能源效率提高极为有益,说明我国在绿色低碳发展和“双碳”目标的压力之下,采取的 CETP 是在保证经济发展的同时提高能源效率,尽量减少碳排放的重要政策,此政策适宜广泛推广,改善国家的能源利用效率,同时政府应继续改进 CETP,以适应不断变化的环境,应更加强调能源效率。此外,政策和法律的执行和监督也是关键问题,严格执行环境法规,确保企业遵守排放限额至关重要,否则政策的有效性将受到威胁。

(2)政府应注重控制金融资本的无序扩张。从空间中介效应模型可知,金融效率提升虽然使企业更容易融资进行扩大生产,但不利于其能源效率的提高。政府可以建立碳金融定向调控机制,对能效改进达标企业提供绿色再贴现利率优惠,促使企业采用低碳和节能技术,避免高排放产业无序扩张,这将有助于促进 CETP 的实施。政府还可以建立一个绿色金融框架,通过发行绿色债券或与可持续发展相关的贷款,将资金引导到节能行业,金融市场将激励那些追求可持续发展的公司,从而使金融效率与能源效率保持一致。

(3)产业结构优化在 CETP 对能源效率的影响中扮演着至关重要的中介作用,对能源效率提升具有显著的影响。通过减少能源密集型产业的比重,加大对服务业的投资,促进服务业发展壮大,能够提高能源利用效率,助力国家实现绿色可持续的经济增长。因此,政府应鼓励工业企业转型发展,开拓服务业业务,推动产业结构的优化。政府提供财政补贴也可以激励企业升级产业结构,可以向投资节能技术或从事旨在产业升级的研发的企业提供补贴、税收抵免和低息贷款。这些奖励措施将减轻污染治理的财政负担,并鼓励中小型企业,否则这些企业可能缺乏投资绿色生产技术的资源。

(4)加强完善 CETP 制度设计,建立动态碳配额调节机制,将能源效率改进率纳入配额分配模型,对完成能效提升指标的企业奖励额外碳配额。

(5)我国还可以加强与其他国家的碳排放权交易合作,建立国际间碳交易市场,推动全球碳定价体系的发展,促进国际碳减排伙伴关系,我国可以在推动减少碳排放和提高全球能源效率的努力中发挥关键作用。

6.3 研究不足与展望

(1)不同行业对 CETP 的响应可能存在差异，本研究主要从省级层面进行分析，对行业层面的分析相对有限。未来研究可深入探讨不同行业对 CETP 的响应机制，为制定差异化政策提供依据。

(2)CETP 与其他环境政策（如可再生能源补贴、能源效率标准等）的协同效应尚未得到充分研究，未来研究可以关注碳市场与其他政策工具的互动关系，评估其综合效果，以实现更高效的减排和能源效率提升。

(3)可考虑引入更多潜在的中介变量，如数字技术水平、企业管理水平等，以全面评估 CETP 的影响路径。

攻读学位期间的科研成果

以第一作者身份在核心期刊 Wuhan University Journal of Natural Sciences 发表了题目为 Spatial effects of carbon emission trading policy on energy efficiency in China: Mediating role of financial efficiency and industrial structure 的论文，已被录用。

参考文献

- [1] Hammoudeh S, Nguyen D K, Sousa R M. What explain the short-term dynamics of the prices of CO₂ emissions? [J]. *Energy Economics*, 2014, 46: 122-35.
- [2] Li K, Fang L, He L. How urbanization affects China's energy efficiency: A spatial econometric analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 200: 1130-41.
- [3] Li Z, Wang J. Spatial spillover effect of carbon emission trading on carbon emission reduction: Empirical data from pilot regions in China [J]. *Energy*, 2022, 251.
- [4] 傅京燕, 代玉婷. 碳交易市场链接的成本与福利分析——基于 MAC 曲线的实证研究 [J]. *中国工业经济*, 2015, (09): 84-98.
- [5] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究——基于市场机制与行政干预的协同作用视角 [J]. *中国工业经济*, 2021: 114-32.
- [6] Peng J, Xie R, Ma C, et al. Market-based environmental regulation and total factor productivity: Evidence from Chinese enterprises [J]. *Economic Modelling*, 2021, 95: 394-407.
- [7] Song M, Zheng H, Shen Z. Whether the carbon emissions trading system improves energy efficiency – Empirical testing based on China's provincial panel data [J]. *Energy*, 2023, 275: 127465.
- [8] Cagno E, Accordini D, Trianni A, et al. Understanding the impacts of energy efficiency measures on a Company's operational performance: A new framework [J]. *Applied Energy*, 2022, 328: 120118.
- [9] Wang L, Shao J, Ma Y. Does China's low-carbon city pilot policy improve energy efficiency? [J]. *Energy*, 2023, 283: 129048.
- [10] Karellas S, Giannakopoulos D, Hatzilau C-S, et al. The potential of WHR/batch and cullet preheating for energy efficiency in the EU ETS glass industry and the related energy incentives [J]. *Energy Efficiency*, 2017, 11(5): 1161-75.
- [11] Feng Y, Wang X, Du W, et al. Effects of environmental regulation and FDI on urban innovation in China: A spatial Durbin econometric analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 235: 210-24.

-
- [12] Szabó L, Hidalgo I, Ciscar J C, et al. CO2 emission trading within the European Union and Annex B countries: the cement industry case [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(1): 72-87.
- [13] Ortas E, Álvarez I. The efficacy of the European Union Emissions Trading Scheme: depicting the co-movement of carbon assets and energy commodities through wavelet decomposition [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 116: 40-9.
- [14] Yan J. The impact of climate policy on fossil fuel consumption: Evidence from the Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) [J]. *Energy Economics*, 2021, 100: 105333.
- [15] Tan X, Wang R, Choi Y, et al. Does Korea's carbon emissions trading scheme enhance efficiency for sustainable energy and utilities? [J]. *Utilities Policy*, 2024, 88: 101752.
- [16] Chen Z, Zhang X, Chen F. Do carbon emission trading schemes stimulate green innovation in enterprises? Evidence from China [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 168: 120744.
- [17] Zhou B, Zhang C, Song H, et al. How does emission trading reduce China's carbon intensity? An exploration using a decomposition and difference-in-differences approach [J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 676: 514-23.
- [18] Tan R, Lin B. The long term effects of carbon trading markets in China: Evidence from energy intensive industries [J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 806: 150311.
- [19] 王勇, 赵晗. 中国碳交易市场启动对地区碳排放效率的影响 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(01): 50-8.
- [20] 周迪, 刘奕淳. 中国碳交易试点政策对城市碳排放绩效的影响及机制 [J]. *中国环境科学*, 2020, 40(01): 453-64.
- [21] Liu J, Zhang Y. Has carbon emissions trading system promoted non-fossil energy development in China? [J]. *Applied Energy*, 2021, 302: 117613.
- [22] 徐政, 左晟吉, 丁守海. 碳达峰、碳中和赋能高质量发展:内在逻辑与实现路径 [J]. *经济学家*, 2021, (11): 62-71.
- [23] Lu J, Li H, Guo F. Low-carbon mergers and acquisitions as a driver for higher energy efficiency: Evidence from China's high energy-consuming companies

- [J]. *Energy*, 2024, 290: 130116.
- [24] Hong Q, Cui L, Hong P. The impact of carbon emissions trading on energy efficiency: Evidence from quasi-experiment in China's carbon emissions trading pilot [J]. *Energy Economics*, 2022, 110: 106025.
- [25] Mukherjee K. Energy use efficiency in U.S. manufacturing: A nonparametric analysis [J]. *Energy Economics*, 2008, 30(1): 76-96.
- [26] Chen Z, Song P, Wang B. Carbon emissions trading scheme, energy efficiency and rebound effect – Evidence from China's provincial data [J]. *Energy Policy*, 2021, 157: 112507.
- [27] Verma P, Patel N, Nair N-K C, et al. Improving the energy efficiency of the New Zealand economy: A policy comparison with other renewable-rich countries [J]. *Energy Policy*, 2018, 122: 506-17.
- [28] Li G, Wang X. Energy quota trading policy and energy efficiency: The role of government supervision and public participation [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 206: 123565.
- [29] Aydin E, Brounen D. The impact of policy on residential energy consumption [J]. *Energy*, 2019, 169: 115-29.
- [30] Guo R, Yuan Y. Different types of environmental regulations and heterogeneous influence on energy efficiency in the industrial sector: Evidence from Chinese provincial data [J]. *Energy Policy*, 2020, 145: 111747.
- [31] Zhang W, Li J, Li G, et al. Emission reduction effect and carbon market efficiency of carbon emissions trading policy in China [J]. *Energy*, 2020, 196: 117117.
- [32] 陈芳, 吴春玮. 碳排放权交易政策是否促进工业企业的技术创新? [J]. *商业研究*, 2023, (02): 90-7.
- [33] Zhou D, Lu Z, Qiu Y. Do carbon emission trading schemes enhance enterprise green innovation efficiency? Evidence from China's listed firms [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 414: 137668.
- [34] 胡珺, 黄楠, 沈洪涛. 市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗?——基于中国碳排放权交易机制的自然实验 [J]. *金融研究*, 2020, (01): 171-89.
- [35] Dai S, Qian Y, He W, et al. The spatial spillover effect of China's carbon emissions trading policy on industrial carbon intensity: Evidence from a spatial

- p difference-in-difference method [J].
- Structural Change and Economic Dynamics*
- , 2022, 63: 139-49.
- [36] Wang X, Feng Y. The effects of National High-tech Industrial Development Zones on economic development and environmental pollution in China during 2003–2018 [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 28(1): 1097-107.
- [37] Cheng Y, Zhang Y, Wang J, et al. The impact of the urban digital economy on China's carbon intensity: Spatial spillover and mediating effect [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2023, 189: 106762.
- [38] Zhao X, Zeng S, Ke X, et al. The impact of green credit on energy efficiency from a green innovation perspective: Empirical evidence from China based on a spatial Durbin model [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2023, 50: 101211.
- [39] Chen J, Luo W, Ren X, et al. The local-neighborhood effects of low-carbon city pilots program on PM2.5 in China: A spatial difference-in-differences analysis [J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 857: 159511.
- [40] Li X, Zheng Z, Shi D, et al. New urbanization and carbon emissions intensity reduction: Mechanisms and spatial spillover effects [J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 905.
- [41] Li S, Liu J, Wu J, et al. Spatial spillover effect of carbon emission trading policy on carbon emission reduction: Empirical data from transport industry in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 371: 133529.
- [42] Lai J, Chen Y. Innovation spillover effect of the pilot carbon emission trading policy in China [J]. *Heliyon*, 2023, 9(9): e20062.
- [43] Yang J, Zhang Y, Meng Y. Study on the Impact of Economic Growth and Financial Development on the Environment in China [J]. *Journal of Systems Science and Information*, 2015, 3(4): 334-47.
- [44] Zhang Y. The impact of financial development on carbon emissions: An empirical analysis in China [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(4): 2197-203.
- [45] Wang H, Xiang X, Han L. Financial development, legal systems and SME finance: Cross-country evidence [J]. *International Review of Economics & Finance*, 2023, 88: 981-1002.
- [46] Jalil A, Feridun M. The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis [J]. *Energy Economics*, 2011,

- 33(2): 284-91.
- [47] Sadorsky P. The impact of financial development on energy consumption in emerging economies [J]. *Energy Policy*, 2010, 38(5): 2528-35.
- [48] Li C, Liang F, Liang Y, et al. Low-carbon strategy, entrepreneurial activity, and industrial structure change: Evidence from a quasi-natural experiment [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 427: 139183.
- [49] Zheng J, Shao X, Liu W, et al. The impact of the pilot program on industrial structure upgrading in low-carbon cities [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 290: 125868.
- [50] Chang H, Ding Q, Zhao W, et al. The digital economy, industrial structure upgrading, and carbon emission intensity —— empirical evidence from China's provinces [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2023, 50.
- [51] Pan X, Wang M, Li M. Low-carbon policy and industrial structure upgrading: Based on the perspective of strategic interaction among local governments [J]. *Energy Policy*, 2023, 183: 113794.
- [52] Lin Z, Liao X. Synergistic effect of energy and industrial structures on carbon emissions in China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 345: 118831.
- [53] 滕玉华, 陈小霞. 开放条件下中国工业能源强度的影响因素分析——基于 31 个行业面板数据的实证分析 [J]. *新疆财经大学学报*, 2009, (01): 15-20.
- [54] Porter M E, van der Linde C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [55] Chen J, Geng Y, Liu R. Carbon emissions trading and corporate green investment: The perspective of external pressure and internal incentive [J]. *Business Strategy and the Environment*, 2022, 32(6): 3014-26.
- [56] 沈洪涛, 黄楠. 碳排放权交易机制能提高企业价值吗 [J]. *财贸经济*, 2019, 40(01): 144-61.
- [57] Pan X, Pu C, Yuan S, et al. Effect of Chinese pilots carbon emission trading scheme on enterprises' total factor productivity: The moderating role of government participation and carbon trading market efficiency [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 316: 115228.
- [58] Yang L, Li F, Zhang X. Chinese companies' awareness and perceptions of the

- Emissions Trading Scheme (ETS): Evidence from a national survey in China [J]. *Energy Policy*, 2016, 98: 254-65.
- [59] Dong X, Yang Y, Zhao X, et al. Environmental Regulation, Resource Misallocation and Industrial Total Factor Productivity: A Spatial Empirical Study Based on China's Provincial Panel Data [J]. *Sustainability*, 2021, 13(4): 2390.
- [60] Tamazian A, Chousa J P, Vadlamannati K C. Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: Evidence from BRIC countries [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(1): 246-53.
- [61] Zhao J, Zhao Z, Zhang H. The impact of growth, energy and financial development on environmental pollution in China: New evidence from a spatial econometric analysis [J]. *Energy Economics*, 2021, 93: 104506.
- [62] Yuxiang K, Chen Z. Financial development and environmental performance: evidence from China [J]. *Environment and Development Economics*, 2010, 16(1): 93-111.
- [63] Ilyina A, Samaniego R. Technology and Financial Development [J]. *Journal of Money, Credit and Banking*, 2011, 43(5): 899-921.
- [64] Ren X, Zhao M, Yuan R, et al. Influence mechanism of financial development on carbon emissions from multiple perspectives [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2023, 39: 357-72.
- [65] Cole M A, Elliott R J R, Shimamoto K. Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2005, 50(1): 121-43.
- [66] Yu S, Zheng S, Zhang X, et al. Realizing China's goals on energy saving and pollution reduction: Industrial structure multi-objective optimization approach [J]. *Energy Policy*, 2018, 122: 300-12.
- [67] 许红莲, 蒋伟进, 郭晓东. 生态优先与绿色发展:长江经济带低碳城市绩效评价研究 [J]. *新疆财经大学学报*, 2018, (03): 36-43.
- [68] Lu S, Wang J, Shang Y, et al. Potential assessment of optimizing energy structure in the city of carbon intensity target [J]. *Applied Energy*, 2017, 194: 765-73.
- [69] Xiao Y, Huang H, Qian X-M, et al. Can carbon emission trading pilot facilitate green development performance? Evidence from a quasi-natural experiment in

- China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 400: 136755.
- [70] Chang C, Lee C, Berdiev A N. The impact of government ideology on energy efficiency: evidence from panel data [J]. *Energy Efficiency*, 2015, 8(6): 1181-99.
- [71] Liu Y, Dong F. How technological innovation impacts urban green economy efficiency in emerging economies: A case study of 278 Chinese cities [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 169: 105534.
- [72] Xue X, Wang Z. Impact of finance pressure on energy intensity: Evidence from China's manufacturing sectors [J]. *Energy*, 2021, 226: 120220.
- [73] Hu Y, Ren S, Wang Y, et al. Can carbon emission trading scheme achieve energy conservation and emission reduction? Evidence from the industrial sector in China [J]. *Energy Economics*, 2020, 85: 104590.

致谢

当毕业论文画上句号，我的研究生时光也即将圆满落幕。首先要向我的导师王斌致以崇高的敬意和真挚的感谢。从论文选题开始，王老师就凭借其深厚的学术造诣帮我确定了具有研究价值和实践意义的方向。在论文写作过程中，他帮我逐字逐句地审阅，提出了许多宝贵的意见和建议。导师严谨的治学态度、渊博的专业知识和谦逊的人格魅力，让我在学术和人生道路上都受益匪浅，这些都将成为我未来前行的动力和宝贵的财富。

同时，我还要感谢我的室友和同学，我们朝夕相处、相互帮助，一起度过了许多充实而难忘的时光。特别要感谢我的父母，他们的支持和鼓励是我不断前进的坚强后盾，让我能够全身心地投入到学习和研究中。在今后的日子里，我将始终保持对金融领域的热爱和探索，不断提升自己的能力。