

分类号：F832
密 级：公开

单位代码：10363
学 号：2221010107

题 目 纳入绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排
责任分配研究

英文并列
题 目 Research on the allocation of carbon emission
reduction responsibilities in China's
high-energy-consumption industries incorporating
green finance principles

学生姓名： 吴冉
指导教师： 何朝林教授
专 业： 金融
研究方向： 金融风险管理

论文答辩日期： 2025 年 5 月 14 日

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：吴丹

日期：2025 年 5 月 14 日

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：

吴丹

指导教师签名：

何如林

日期：2025 年 5 月 14 日

日期：2025 年 5 月 14 日

纳入绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排责任分配研究

摘 要

平稳有序推进高耗能行业低碳转型，既是实现“双碳”目标的内在要求，也是防范低碳转型风险的必然要求。中国高耗能行业具有资本密集度高、技术迭代周期长等特征，低碳转型不仅涉及能源结构系统性调整，更面临技术革新、市场重构等多重挑战，盲目降碳易引发转型风险，需科学分解高耗能行业碳减排责任目标。然而，绿色金融具有引导资源配置及风险管理功能，在高耗能行业低碳转型过程中承担着重要角色，不但能够有效弥补传统基于公平性原则和有效性原则的高耗能行业碳减排责任分配的不足，而且能更加科学地测度高耗能行业碳减排责任分配目标，为科学制定碳减排政策和有效推进高耗能行业低碳转型提供决策参考。因此，在公平性原则和有效性原则的基础上，纳入绿色金融原则核算中国高耗能行业碳减排责任分配具有较强的理论与现实意义。

本文从绿色信贷、绿色证券、碳金融、绿色投资四个维度构建绿色金融发展水平指标体系，运用熵权法测度中国高耗能行业近年来绿色金融发展水平，运用核密度分析法展示近年来绿色金融发展水平的动态演变过程。依据中国高耗能行业绿色金融发展水平及行业间发展

差异，分析绿色金融在中国高耗能行业碳减排过程中的重要作用，从而在传统公平性原则和有效性原则基础上，纳入绿色金融原则，构建中国高耗能行业碳减排责任分配指标体系，基于熵权-TOPSIS法和碳减排量核算模型，依据2030年碳强度比2005年下降65%以上的目标，量化中国高耗能行业碳减排责任目标，依据绿色金融与碳减排核心任务的关联度分析，提出中国高耗能行业碳减排差异化策略。结果表明：

（1）中国高耗能行业绿色金融发展水平近年来整体呈上升趋势，行业内部绿色金融发展水平存在两极分化现象，并且行业之间绿色金融发展差异存在扩大趋势；（2）高耗能行业承担中国50.03%碳减排责任，且行业内部碳减排责任差异大；（3）绿色金融显著影响碳减排责任分配，影响权重超过40%；（4）绿色信贷与碳减排核心任务关联度高，聚焦碳减排核心任务的碳减排差异化策略，能有效引导资源配置、缓解中国高耗能行业低碳转型风险。

本文的特色与创新：（1）聚焦中国高耗能行业，构建绿色金融发展水平指标体系，测度行业绿色金融发展水平，探讨其动态演变过程，分析行业间发展差异、绿色金融指标贡献度，指出中国高耗能行业绿色金融发展薄弱环节；（2）在公平性原则和有效性原则基础上，纳入绿色金融原则构建新的碳减排责任分配指标体系，测度中国高耗能行业所承担的碳减排责任，为高耗能行业低碳转型问题研究提供新视角；（3）指出绿色金融在中国高耗能行业碳减排责任分配中占据重要地位，且与核心碳减排任务关联度高，提出基于绿色金融的碳减排差异化策略，引导资源配置、缓解中国高耗能行业低碳转型风险。

关键词：绿色金融，高耗能行业，碳减排责任分配，差异化策略，核密度分析

RESEARCH ON THE ALLOCATION OF CARBON
EMISSION REDUCTION RESPONSIBILITIES IN CHINA'S
HIGH-ENERGY-CONSUMPTION INDUSTRIES
INCORPORATING GREEN FINANCE PRINCIPLES

ABSTRACT

The smooth and orderly promotion of the low-carbon transformation of high energy-consuming industries is not only an inherent requirement for achieving the "dual carbon" goals but also an inevitable requirement for preventing the risks of low-carbon transformation. China's high energy-consuming industries have characteristics such as high capital intensity and long technological iteration cycles. The low-carbon transformation not only involves systematic adjustments to the energy structure but also faces multiple challenges such as technological innovation and market restructuring. Blindly reducing carbon emissions can easily trigger transformation risks, and it is necessary to scientifically decompose the carbon emission reduction responsibility targets of high energy-consuming industries. However, green finance has the functions of guiding resource allocation and risk management and plays an important role in the low-carbon transformation of high

energy-consuming industries. It can not only effectively make up for the deficiencies of traditional carbon emission reduction responsibility allocation based on the principles of fairness and effectiveness but also more scientifically measure the carbon emission reduction responsibility allocation targets of high energy-consuming industries, providing decision-making references for the scientific formulation of carbon emission reduction policies and the effective promotion of the low-carbon transformation of high energy-consuming industries. Therefore, on the basis of the principles of fairness and effectiveness, incorporating the principle of green finance to calculate the carbon emission reduction responsibility allocation of China's high energy-consuming industries has strong theoretical and practical significance.

This paper constructs an index system for the development level of green finance from four dimensions: green credit, green securities, carbon finance, and green investment. It uses the entropy weight method to measure the development level of green finance in China's high energy-consuming industries in recent years and uses the kernel density analysis method to display the dynamic evolution process of the development level of green finance in recent years. Based on the development level of green finance in China's high energy-consuming industries and the development differences among industries, it analyzes the important role of green finance in the carbon emission reduction

process of high energy-consuming industries. Thus, on the basis of the traditional principles of fairness and effectiveness, it incorporates the principle of green finance to construct an index system for the carbon emission reduction responsibility allocation of China's high energy-consuming industries. Based on the entropy weight-TOPSIS method and the carbon emission reduction quantity calculation model, it quantifies the carbon emission reduction responsibility targets of China's high energy-consuming industries according to the goal of reducing carbon intensity by more than 65% by 2030 compared to 2005. Based on the analysis of the correlation between green finance and the core tasks of carbon emission reduction, it proposes differentiated carbon emission reduction strategies for China's high energy-consuming industries. The results show that: (1) The development level of green finance in China's high energy-consuming industries has generally been on the rise in recent years, with a polarization phenomenon within the industry and an expanding trend of development differences among industries; (2) High energy-consuming industries bear 50.03% of China's carbon emission reduction responsibility, and there are significant differences in carbon emission reduction responsibility within the industry; (3) Green finance significantly affects the allocation of carbon emission reduction responsibility, with an influence weight exceeding 40%; (4) Green credit has a high correlation with the core tasks of carbon emission reduction.

Focusing on the core tasks of carbon emission reduction, differentiated carbon emission reduction strategies based on green finance can effectively guide resource allocation and alleviate the risks of low-carbon transformation in China's high energy-consuming industries.

The characteristics and innovations of this paper are: (1) Focusing on China's high energy-consuming industries, it constructs an index system for the development level of green finance, measures the development level of green finance in the industry, explores its dynamic evolution process, analyzes the development differences among industries and the contribution of green finance indicators, and points out the weak links in the development of green finance in China's high energy-consuming industries; (2) On the basis of the principles of fairness and effectiveness, it incorporates the principle of green finance to construct a new index system for carbon emission reduction responsibility allocation, measures the carbon emission reduction responsibility borne by China's high energy-consuming industries, and provides a new perspective for the research on the low-carbon transformation of high energy-consuming industries; (3) It points out that green finance plays an important role in the carbon emission reduction responsibility allocation of China's high energy-consuming industries and has a high correlation with the core tasks of carbon emission reduction, and proposes differentiated carbon emission reduction strategies based on

green finance to guide resource allocation and alleviate the risks of low-carbon transformation in China's high energy-consuming industries.

Wu Ran (Finance)

Supervised by He Chaolin

KEY WORDS: Green finance, High-energy-consumption industries, Carbon emission reduction responsibility allocation, Differentiation strategy, Kernel density estimation

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	IV
目 录	IX
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 国内外研究现状综述	4
1.2.1 绿色金融发展及其测度	4
1.2.2 绿色金融与碳减排	5
1.2.3 碳减排责任分配	6
1.2.4 研究现状评述	8
1.3 研究内容	9
1.4 研究方法与技术路线	10
1.4.1 研究方法	10
1.4.2 技术路线	11
1.5 特色与创新	12
第 2 章 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度与动态演变	14
2.1 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度与动态演变模型	14
2.1.1 指标体系	14
2.1.2 绿色金融发展水平测度模型	15
2.1.3 动态演变模型	17
2.2 结果与分析	18
2.2.1 模型指标核算	18
2.2.2 绿色金融发展水平及其演变过程	19
2.2.3 指标贡献度差异	22

第 3 章 纳入绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排责任分配模型	24
3.1 行业碳减排责任分配指标体系	24
3.2 行业碳减排责任分配比例	26
3.3 行业碳减排责任核算模型	29
第 4 章 实证结果与分析	30
4.1 行业碳减排责任	30
4.2 行业碳减排差异化策略	32
4.2.1 指标权重	32
4.2.2 指标灰色关联度分析	33
4.2.3 行业碳减排差异化策略	34
第 5 章 研究结论与展望	37
5.1 研究结论	37
5.2 研究展望	38
参考文献	39
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文与参与的科研项目经历	44
致谢	45

第 1 章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

在全球气候变化的严峻背景下，各国政府纷纷采取措施应对温室气体排放问题，以减少对环境的负面影响。作为世界上最大的发展中国家，中国在全球气候变化治理进程中占据关键地位。2020 年 9 月，在联合国成立 75 周年纪念活动上，习近平总书记郑重宣告，中国将力争 2030 年前实现碳排放达到峰值，2060 年前实现碳中和^[1]。这一承诺不仅体现了中国的大国担当，也为全球应对气候变化注入了新的动力。同年 12 月，在气候雄心峰会中习近平总书记宣布：中国 2030 年的碳强度将比 2005 年下降 65% 以上。高耗能行业，如电力、化工、石油等，在中国的国民经济中占据重要地位，这些行业不仅为国家的工业化进程提供了坚实的物质基础，也支撑了经济的快速增长，然而，其发展模式却高度依赖能源，且二氧化碳排放量大，对环境造成了巨大的压力，是名副其实的碳排放“大户”。因此，高耗能行业的碳排放管控成功与否，直接决定中国能否实现“双碳”目标。

然而，在推进高耗能行业低碳转型的过程中，一些地方政府和企业出现了“一刀切”的盲目减碳行为，可能会导致碳密集型行业面临转型风险^[2]。他们忽视了低碳转型和可持续发展之间的协同性，盲目降低经济发展的高能耗行业路径依赖，试图通过简单的关闭或淘汰落后产能来实现减排目标。这种做法虽然短期内可能带来碳排放量的减少，但长期来看，却可能引发一系列社会经济问题。例如，河北省武安市作为钢铁重镇，面对产能过剩和政策压力，大量钢铁企业被迫关停或整合，导致当地经济支柱受损，工人失业，对区域经济发展造成了不小的冲击。这种“一刀切”的减碳方式不仅损害了企业的利益，也影响了社会的稳定和经济的可持续发展。因此，如何平稳有序推进中国高耗能行业的低碳转型，成为了一

个重要且迫在眉睫的现实问题。这不仅需要政府、企业和社会各界的共同努力，还需要科学的方法和策略来指导实践。

面对高耗能行业低碳转型的挑战，绿色金融作为一种创新的金融工具和策略，具有引导资源配置和风险管理的功能^[3,4]，能够有效推动高耗能行业稳步实现低碳转型。绿色金融是为应对气候变化、促进资源节约利用提供的金融服务，它旨在通过金融手段引导社会资本流向绿色低碳领域，限制高污染、高能耗行业的发展，从而实现经济与环境的双赢。它可以通过差异化的信贷政策、绿色债券等金融工具，为低碳技术研发、清洁能源项目、节能减排改造等提供资金支持，激励企业积极履行环境责任^[5]，这种正向激励，有助于推动产业向更加绿色、低碳、循环的方向发展，并且产生降碳溢出效应^[6]，加速高耗能行业的绿色转型，从而推动高耗能行业实现高质量发展^[7]。同时，绿色金融还可以通过对投资项目进行环境风险评估，帮助投资者识别潜在的环境风险，避免资金投入到可能引发环境问题的项目中。这种风险预警机制，对于预防高耗能行业因盲目扩张或转型不当而引发的系统性风险具有重要意义。

近年来，中国政府高度重视绿色金融的发展，出台一系列政策明确了绿色金融的发展方向、重点任务和保障措施^[8]，构建了绿色金融的政策框架和市场环境。因此，要稳步实现高耗能行业的低碳转型，就必须重点关注意绿色金融发展情况，本文基于前人的研究成果，把绿色金融发展情况纳入到高耗能行业碳减排责任目标分解过程中，分析绿色金融对行业碳减排责任分配的影响程度和其与高耗能行业各行业碳减排核心任务的关联关系，从而提出行业碳减排差异化策略，这对推进高耗能行业实现有序低碳转型，助力我国“双碳”目标具有重要意义，这也为其他行业稳步实现低碳转型提供了重要参考价值。

1.1.2 研究意义

1.1.2.1 理论意义

以往与碳减排责任分配相关的研究倾向于在区域层面进行碳减排责任分配，主要分为两个视角，一个是在各个国家之间进行碳减排责任分配，一个是在一国的各个省份之间进行碳减排责任分配。这些研究对于推动全球及国内区域性的碳减排工作起到了积极作用，但在行业层面的深入探讨却相对匮乏，鲜有学者从行

业的角度研究二氧化碳减排责任问题。事实上，各个行业的二氧化碳排放是各个国家二氧化碳排放的源头，它们是构成国家整体碳排放量的基石，不同行业的碳排放特性与减排潜力各异，直接决定了国家层面的二氧化碳排放总量与减排成效。因此，从行业角度出发，特别是针对高耗能行业，开展二氧化碳减排责任的研究，对于精准施策、有效推进碳减排工作具有不可替代的理论价值。而对于中国来说，高耗能行业是二氧化碳排放的主要源头，这些行业包括但不限于电力、化工等，在生产过程中消耗大量化石能源，排放出大量二氧化碳。它们的低碳转型对于中国实现经济与环境的双赢具有重要价值，其碳减排行动的成效直接关系到国家碳中和目标的实现。因此，深入探讨中国高耗能行业的碳减排责任，不仅有助于丰富碳减排责任分配问题的研究，还能为政府制定更加科学合理的高耗能行业碳减排政策提供理论支撑。通过细化到行业的责任分配，可以促使各行业根据自身特点采取针对性的减排措施，加速产业结构优化升级，推动绿色低碳发展。

传统的碳减排责任分配问题通常是以公平性、有效性为原则来选取指标展开研究的，但是随着国家的高度重视，绿色金融已经形成政策体系和市场环境，其发展不断深化，绿色金融通过提供资金支持、创新金融工具等方式，引导资本流向低碳环保领域，为中国高耗能行业碳减排提供了强有力的经济激励与保障，在推动其低碳转型过程中发挥的作用越来越大。因此，在研究中国高耗能行业碳减排责任分配时既要考虑公平性原则、有效性原则，又要纳入绿色金融原则。这不仅要求考虑高耗能行业的历史二氧化碳排放量、能源消耗总量、能源消费碳强度和工业增加值占比指标，还需评估其在绿色金融发展方面的表现与潜力，如绿色信贷获取能力，碳金融、绿色投资等方面相关情况，从而全面评估高耗能行业在碳减排过程中的实际能力与责任，揭示高耗能行业内部碳排放的内在规律，加深对高耗能行业碳排放规律的理解，为制定中国高耗能行业碳减排责任分配方案提供更加科学的依据。同时，这种综合性的评估方法也为全球其他国家研究行业碳减排责任分配问题提供了新的视角和思路，有助于推动全球碳减排合作走向更深层次、更宽领域。

1.1.2.2 现实意义

本文首先通过构建中国高耗能行业绿色金融发展水平指标体系，建立模型测度行业整体绿色金融发展水平，并分析近年来行业绿色金融发展水平动态演变趋

势, 基于高耗能行业绿色金融发展水平越来越高且行业间存在较大发展差异的现状, 分析当前绿色金融对高耗能行业碳减排责任分配的重要性, 进而将绿色金融原则纳入到高耗能行业的碳减排责任分配指标体系中去, 再结合高耗能行业内部的历史二氧化碳排放情况、能源消费情况、能源消费碳强度情况等, 以 2030 年碳强度下降目标为基准, 构建中国高耗能行业碳减排责任分配模型, 得出绿色金融参与责任分配后获得的结果, 根据指标权重指出绿色金融指标在分配过程中的重要影响, 进而在找出各行业核心碳减排任务的基础上, 分析绿色金融与核心碳减排任务的关系, 从而重点从绿色金融发展角度出发来提出助推高耗能行业实现低碳转型的具体政策建议, 为未来中国高耗能行业的碳减排工作明确了目标和方向。如对于电力行业未来应侧重通过引导更多绿色信贷资金流向绿色低碳技术开发领域; 鼓励通过绿色信贷资金提高石油行业经济效益, 从而提高石油行业的碳减排潜力; 黑色金属行业应加大对能耗智能管理、能源使用效率提高技术开发和绿色低碳技术开发上的资金投入; 化学行业应侧重引导更多资金流向能耗智能管理与能源使用效率提高等技术开发上; 非金属行业应侧重提高行业的经济效益和促进能耗智能管理等技术开发; 有色金属行业应促进绿色信贷投资从而提高行业的经济效益、增强碳减排潜力。

1.2 国内外研究现状综述

1.2.1 绿色金融发展及其测度

当前, 关于绿色金融发展水平测度的研究主要基于微观和宏观两个视角。基于微观视角的研究主要是通过评价金融机构的绿色金融业务, 促进其进一步加强绿色金融服务。邓翔等^[9]基于绿色信贷政策构建评价指标体系, 系统评价商业银行绿色金融发展水平, 并通过实证分析影响商业银行绿色金融发展的相关因素。张莉莉等^[10]基于企业的角度, 通过熵值法与 DEA-Malmquist 指数测算出中国绿色金融的发展水平和效率, 并进一步从全国、省际与区域层面静态比较和动态分析二者。基于宏观视角的研究更多的是以区域为研究对象, 通过研究区域整体的绿色金融发展情况, 或者通过分区域讨论来探究绿色金融的发展水平, 这类研究方式能够比较跨区域的差异, 也能研究跨时空的发展进程。Wang 等^[11]基于对中

国绿色金融发展的概况总结,试图创建通过绿色金融发展对环境影响绩效评级的方法。曾学文等^[12]基于对国内外绿色金融评价体系的总结,构建中国的绿色金融评价体系,采用 2010-2012 年数据量化中国绿色金融发展水平,结果显示,我国总体绿色金融发展呈现出向好的趋势。岳永生等^[13]基于定性、定量两个维度构建评价体系,测度并对比 2013-2016 年五个绿色金融实验区绿色金融发展水平。刘金石^[14]和李若愚^[15]从定性维度研究全国及省际层面的绿色金融发展状况和存在问题。杨阳等^[16]测度了上海绿色金融 2011 年以来的发展状况。张正平等^[17]基于动态熵权法测算中国各城市的绿色金融发展水平。孔凡斌等^[18]通过构建评价指标体系,获得了浙江省县域 2007-2022 年绿色金融发展水平变化特征,基于空间计量模型研究影响县域的绿色金融发展水平关键因素,进一步由系统动力学模型仿真预测县域的绿色金融发展水平。韩叙等^[19]选取了绿色信贷、绿色基金、绿色投资、绿色保险和碳金融等维度的 6 项指标构建了绿色金融发展评价指标体系。吴泓翰等^[20]基于中国 30 个省区 2000-2019 年的面板数据,测度绿色金融的发展水平及碳排放效率,探讨了绿色金融对碳排放效率影响。李云燕等^[21]在测度中国 31 个省份 2008-2020 年的绿色金融指数后,建立模型刻画了绿色金融发展的动态演变,并量化省域间的绿色金融的关联发展强度,最后通过社会网络分析法研究了绿色金融发展的空间关联网络与演化特征。乔琴等^[22]通过熵值法综合评价我国的“一带一路”沿线的绿色金融发展水平。王悦等^[23]通过环境、深度、规模及效率构建指标体系,结合主体能力和客体赋予权力,度量一带一路沿线国家金融发展水平。

可见,通过大量学者不断探索,宏观、微观方面对于中国绿色金融发展的理论研究已经足够丰富,绿色金融测度指标越来越细化,指标体系越来越统一。但测度结果常是笼统地表示国家、地区绿色金融发展水平,鲜有文章探讨高耗能行业这样的碳密集行业的绿色金融发展情况及动态演变过程。

1.2.2 绿色金融与碳减排

事实上,绿色金融不但是一项重要的经济原则,而且在高耗能行业碳减排过程中承担着重要角色。目前研究主要基于计量模型分析绿色金融对碳减排的促进作用,也有少量研究基于一般均衡模型研究绿色金融政策等引起的碳减排效应,

鲜有研究涉及绿色金融的碳减排责任分配。Hu 等^[24]基于理论分析框架实证研究绿色信贷与碳排放的关系；Zhang 等^[25]研究指出绿色信贷政策有效降低了重污染行业的碳排放强度；刘峰等^[26]基于环境库兹涅茨曲线指出绿色金融显著促进碳减排，建议完善绿色金融融资体系；程郁泰等^[27]基于 E-DSGE 模型研究绿色金融的环境效应和经济效应，提出绿色金融碳减排效应测度方法；毛彦军等^[28]通过研究绿色信贷与碳排放的影响传导机制，证明了绿色金融在碳减排方面发挥的重要作用；文书洋等^[29]基于一般均衡模型分析，指出绿色金融通过技术进步助推碳减排；郭希宇等^[30]基于联立方程模型检验绿色金融促进低碳经济发展的内在机制，提出完善绿色金融发展的相关政策建议；尤志婷等^[31]指出发展绿色信贷、绿色产业投资和绿色债券等绿色金融产品能有效抑制区域碳排放。王遥等^[32]的研究揭示，在中国推进生态文明建设的进程中，绿色信贷扮演了关键角色，它不仅助力节能环保型企业克服融资障碍，还促进了金融产业的蓬勃发展，有效回应了投资者多元化的投资需求。徐胜等^[33]研究探讨了我国绿色信贷和产业结构间的关系，发现信号传递、资本形成及反馈与信用催生三个调节机制，并通过实证进行回归分析。此外，该研究还采用灰色关联法，分析了东、中、西部地区绿色信贷在调整产业结构上的差异性，强调了在优化信贷结构时应遵循市场导向，实施差异化策略，以促进产业结构的升级转型。刘昱彤等^[34]运用倾向得分匹配双重差分法研究发现，绿色信贷政策的推行促使重污染企业环保投资方向发生转变。具体来看，这些企业在政策影响下，更加倾向于增加环保投资，尤其是在绿色政策执行力度大的地区，这一趋势尤为显著。

1.2.3 碳减排责任分配

当前，国际上关于二氧化碳排放控制目标的分解研究，主要聚焦于各国或各个国家的省份间二氧化碳排放权分配及减排责任的划分上。各国学者围绕二氧化碳减排责任的公正合理分配等问题，依据不同原则及分配指标，提出了多样化的分配方案。Grubb 等^[35]于 1989 年提出了基于人均碳排放量分配方案，主张人人享有平等的排放权，体现了公平性，但因触及高排放发达国家利益而遭到反对。随后，Grubler 等^[36]在 1994 年提出了统一各国减排率的方案，虽一度成为主流，却未充分考虑国家间的经济承受能力、发展需求及历史累积排放差异，公平性缺

失，故遭到新兴工业化的发展中国家及仍处于经济发展国家反对。Meng 等^[37]认为地区的能源利用率、生产技术与全球供应链地位及参与程度决定地区碳排放量。Phylipsen 等^[38]针对欧盟成员国，提出了三部门法分摊减排责任，涉及电力、工业及其他行业，依据各自情况计算三部门减排量总和从而获得该国减排量。Rose 等^[39]深入探讨了碳排放权分配过程中的公平性原则，对现有原则进行细致分类。Groenenberg 等^[40]将三部门分配方案扩展至 48 个国家，综合考虑人口、人均排放、经济结构、能源消耗等因素。Winkler 等^[41]选取责任、能力和潜力指标，分析了非附件 I 中国家未来减排责任。Kantha 等^[42]的温室气体排放发展权（GDRs）方案，以人均排放量和 GDP 为基础，构建出责任-能力综合指数，建立碳排放分配模型，兼顾发展中国家经济发展权与高排放国家减排责任，获得世界自然基金会（WWF）等的认可。刘世锦等^[43]基于公平性原则从温室气体作为公共产品的负外部性出发，提出人均累积排放各国相等体现公平性原则，据此确定历史排放责任和未来排放权分配，并构建了碳排放权交易市场。林坦等^[44]基于零和 DEA 模型，分析欧盟国家在碳排放权问题上的分配效率，根据参数讨论碳排放权分配方式。上述研究主要是在国家、地区之间进行碳排放权、碳减排责任分配，重点考虑公平性与可行性原则。

此外，不少学者聚焦于探讨国内各地区间碳减排责任的划分，针对中国 2020 年碳强度控制目标的达成路径及其内部责任分配，也有学者进行了深入分析。Rose 等^[45]依据人口、经济承受力等多个指标，运用六种分配策略，对美国各区域碳排放量进行了划分，结果揭示了不同分配方法与指标会使初始碳排放权的分配产生显著差异。王金南等^[46]基于公平、可行与效率三大原则研究中国二氧化碳排放总量的控制区域分解问题，构建二氧化碳分解模型 CRBDM，提出我国 2020 年控制 CO₂ 排放的省级方案；也有研究在上述原则的基础上纳入可行性原则和可持续性原则。王文举等^[47]基于责任与目标和公平与效率视角探讨中国省级初始碳配额的分配方案；宋敏等^[48]基于公平性原则、有效性原则、可行性原则和可持续性原则，评估黄河流域各省区的碳排放权分配及碳减排潜力。Yi 等^[49]选取人均 GDP、单位工业增加值能耗和碳排放量为指标，基于四种不同偏好情景，将国家碳减排强度目标细化分解至各省区，量化了 2020 年的各省区碳强度减少率。杨姝影等^[50]遵循公平性原则、可行性原则和效率性原则，利用 Kaya 模型，将生

活水平、人口规模、能源结构和经济结构作为分解指标,采用对数平均迪氏指数法分析对于碳排放量各驱动因素的贡献度,并据此确定因子权重,再分配 2005 年至 2020 年的绝对增排总量至各省区,从而得到 2020 年各省区碳排放量分配结果。部分学者还着重基于有效性原则,分解研究中国 2020 年碳强度的控制目标。Wang 等^[51]基于有效性原则,运用零和收益数据包络模型,对 2020 年的中国碳排放总量进行省际分解。汪艳等^[52]主张共同承担,构建模型设计分配因子,由此对重点减排省域实施合作模式进行碳减排。钟章奇等^[53]认为应通过区域合作促进省域间碳减排,提出区域合作比单个省区应对碳减排更有利,且考虑到通过区域合作各个省区获益度可能不同,提出通过资金补助等方式助推区域减排的政策建议。王宪恩等^[54]提出消费者承担的原则,先将中国的省份划分为四种类型,从而分区域制定差异化碳中和政策。

总体来说,尽管从区域角度探讨碳减排责任分配的研究成果已经相当丰富、成熟,但在行业视角下的责任分配研究也具有其较高的参考价值,当前相关研究也开始聚焦于行业视角的碳减排议题。Wang 和 Liang^[55]采用混合投入产出模型(HIO),找出中国 12 个关键的碳减排经济行业,预测出它们对 2020 年国家减排目标的贡献程度。Xia 和 Chen 等^[56]的研究则进一步从区域和行业两个视角对中国能源强度的减少目标进行责任分配,并分别依据减排责任均等、能耗强度贡献和能耗总量贡献进行了责任划分。他们发现,基于行业角度的责任分配方法相较于基于区域角度的方法,在减排成本上更具优势。朱莉红等^[57]基于公平与效率原则,建立碳排放强度降低的指标体系,测度各行业碳减排责任;张继宏等^[58]基于公平与效率原则使用熵权-TOPSIS 模型核算 2020 年到 2030 年中国制造业碳减排责任,并且将制造业碳减排责任进一步分配到每个省份、每个制造业细分行业和每个省份细分行业。

1.2.4 研究现状评述

纵观现有研究,对于绿色金融发展水平的测度和二氧化碳减排责任分配问题,二者当前文献都主要聚焦于国家和区域之间,也有部分文献从行业、企业角度出发测度绿色金融发展水平和研究碳减排责任分配问题,鲜有人研究中国高耗能行业这个碳排放“大户”的行业绿色金融发展水平与行业碳减排责任分配问题,在

绿色金融对高耗能行业发挥着重要的碳减排助推作用背景下,也鲜有人将绿色金融原则纳入到高耗能行业碳减排责任分配过程中去。因此本文首先希望去测度中国高耗能行业的绿色金融发展水平,讨论绿色金融发展水平行业间差异与变化趋势,分析绿色金融在高耗能行业碳减排过程中的重要性,继而在传统的公平性原则与有效性原则的基础上,纳入绿色金融原则,构建中国高耗能行业碳减排责任分配指标体系及分配模型,探讨纳入绿色金融原则后的中国高耗能行业的碳减排责任,以期根据结果基于绿色金融提出行业碳减排差异化策略。

1.3 研究内容

绿色金融能够引导资金从高能耗行业流向绿色低碳相关行业,制约高耗能行业高排放发展模式,且目前国家高度重视高耗能行业的绿色金融发展,相关扶持政策不断加强,绿色金融发展对碳减排的影响越来越大。因此本文依据国家统计局的归类对中国高耗能行业进行划分后,构建指标体系测度中国高耗能行业绿色金融发展水平,并分析其近年来的动态演变情况,讨论绿色金融对高耗能行业碳减排的助推作用,继而在探讨中国高耗能行业二氧化碳减排责任问题时纳入绿色金融原则,并梳理统计中国高耗能行业的历史二氧化碳排放量、能源消费总量、能源消费碳强度和工业增加值占比情况,从而兼顾公平性原则、有效性原则以及绿色金融原则,以碳排放量、能源消费总量代表公平性原则,以能源消费碳强度和工业增加值占比代表有效性原则,以绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资代表绿色金融原则,依据 2030 碳强度下降目标,构建中国高耗能行业碳减排责任分配模型,由此来测算六大高耗能行业各自碳减排责任比例,并量化各行业具体的碳减排责任分配量。继而进一步分析各指标的权重,分析绿色金融在中国高耗能行业碳减排责任分配过程中承担的角色,从而在找出各行业核心碳减排任务的基础上,基于灰色关联度分析,讨论绿色金融与核心碳减排任务之间的关联关系,并据此提出中国高耗能行业碳减排的差异化策略。

本文主要内容分为五个章节。

第一章 绪论。本章介绍了本文的研究意义,国内外研究现状综述,包括绿色金融发展及其测度研究综述、绿色金融与碳减排研究综述及碳减排责任分配研究综述。接下来介绍本文研究内容、研究方法和技术路线、特色与创新等。

第二章 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度。由于本文在探究高耗能行业碳减排责任的过程中纳入绿色金融原则，所以首先需要分析明确中国高耗能行业绿色金融发展情况。基于绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资构建绿色金融指标体系，分析各行业近年来的绿色金融发展情况与发展趋势。

第三章 中国高耗能行业碳减排责任分配指标体系及其核算模型构建。本章明确了中国高耗能行业碳减排责任分配的原则：公平性原则、有效性原则和绿色金融原则，并且明确了各原则的代表指标。继而基于 2030 年碳强度下降目标构建中国高耗能行业碳减排责任分配模型。

第四章 结果与分析。对比分析纳入绿色金融原则前后的中国高耗能行业碳减排责任分配结果，并比较各指标的权重，提出绿色金融在碳减排责任分配过程中的重要地位。基于灰色关联度分析高耗能行业内部各行业核心碳减排任务与绿色金融之间的关系，并基于此提出高耗能行业各行业的碳减排差异化策略。

第五章 结论与展望。总结本文通过模型计算获得的结果，提出高耗能行业绿色金融发展政策方面相关建议，以期未来通过绿色金融资金引导资源配置，进一步助推高耗能行业实现低碳转型。

1.4 研究方法与技术路线

1.4.1 研究方法

（1）理论研究法。本文首先借助文献综述方法，广泛搜集、深入研读并系统整理近年来国内外关于绿色金融发展水平测度、绿色金融的碳减排效应及二氧化碳减排责任分配的相关研究资料。这一过程旨在全面把握研究领域的最新动态和发展趋势，同时，将最前沿的研究成果融入本课题的研究之中。在综合前人研究的基础上，提炼个人见解，深化对相关理论与方法的理解，并将这些最新成果有效应用于本课题的研究实践。

（2）实证分析法。实证分析作为本研究的核心方法，始终贯穿于全文。通过对前人研究成果和实践经验的综合分析，对本课题提出的模型进行了初步的理论探讨和定性分析。进一步地，结合丰富的历史数据，实施了具体的定量分析。

这一方法不仅研究了碳减排责任测度的影响因素变化趋势，还测算出每个高耗能行业的碳减排责任和碳减排量，从而增强了研究结果的科学性和实践指导意义。

（3）比较分析法。本研究结合真实的指标数据，设计并实施熵权-TOPSIS模型的实证研究。在此过程中，特别强调对纳入绿色金融原则前后研究结果的比较分析，在不纳入绿色金融原则和纳入绿色金融原则的碳减排责任分配模型下，分析了绿色金融参与前后高耗能行业内部碳减排责任的差异性，通过分析碳减排责任分配指标权重，探讨碳减排责任发生变化的原因，这一做法旨在提升课题研究的科学性和实际应用价值。

1.4.2 技术路线

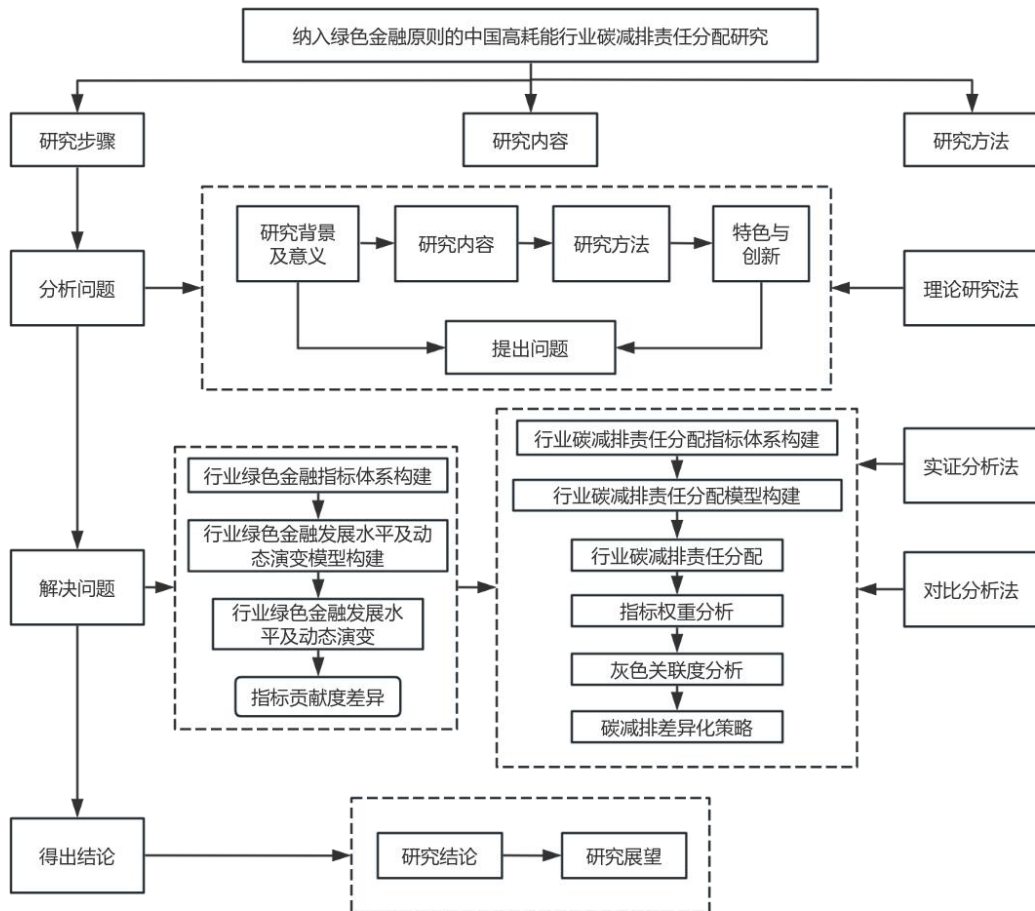


图 1-1 技术路线图

1.5 特色与创新

(1) 测度中国高耗能行业的绿色金融发展水平，并分析其动态演变过程。现有研究对绿色金融发展水平的行业维度评估尚显不足，尤其针对高耗能行业的系统性研究更为匮乏。本研究构建了中国高耗能行业绿色金融发展水平指标体系，通过熵权法量化高耗能行业绿色金融发展水平，在此基础上通过核密度分析法分析行业绿色金融发展的时序动态演变，讨论其整体发展情况和行业间发展差异。并进一步通过指标贡献度差异分析，指出中国高耗能行业的绿色金融发展短板，对比短板的差异性，从而基于各行业短板提出相关绿色金融发展建议，以期促进各行业绿色金融进一步全面发展。

(2) 构建包含公平性原则、有效性原则和绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排责任分配指标体系。在传统公平性原则和有效性原则的基础上，创新性地纳入绿色金融原则，构建了一个更加全面的碳减排责任分配指标体系，测度中国高耗能行业的碳减排责任分配。这一指标体系不仅考虑了传统的碳排放量和减排潜力等因素，更将绿色金融因素纳入考量，在确保行业碳减排责任分配的公平性和有效性的同时，也强调了经济活动的绿色导向。从而有效弥补了传统基于公平性原则和有效性原则的高耗能行业碳减排责任分配的不足，能更加科学地测度高耗能行业碳减排责任分配目标，分析各行业在碳减排任务中的差异性与紧迫性，为科学制定碳减排政策和有效推进高耗能行业低碳转型提供决策参考，也为高耗能行业自身的低碳转型提供了明确的方向和目标。

(3) 指出绿色金融在中国高耗能行业碳减排责任分配中占据重要地位，从绿色金融视角出发提出行业碳减排差异化策略。绿色金融通过创新金融产品和服务，为低碳项目提供资金支持，推动经济结构的绿色转型。本文研究发现绿色金融与高耗能行业的碳减排核心任务高度关联，绿色金融工具是实现碳减排目标的关键手段，因此基于各行业碳减排核心任务与绿色金融的关联关系提出了差异化的减排策略，引导资源配置、缓解中国高耗能行业低碳转型风险。具体而言，对于历史碳排放量大和能源消费碳强度高的行业，如电力行业，应将重点放在加大绿色低碳技术开发领域资金投入上；石油行业应重点通过绿色金融工具提高行业经济效益，同时促进行业绿色低碳技术开发；黑色金属行业和化学行业应将重点

放在能耗智能管理等绿色低碳技术开发上；非金属行业和有色金属行业应注重提高行业的经济效益以提高行业碳减排潜力等。这种差异化的碳减排策略不仅有助于中国高耗能行业碳减排目标的最大化实现，还能有效平衡高耗能行业内部之间的利益关系，促进经济社会的可持续发展。

第2章 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度与动态演变

2022年党的二十大报告指出必须加快发展方式促进绿色转型^[59]，绿色金融作为推动经济发展绿色化、低碳化的重要手段^[60]，近年来为我国高耗能行业低碳转型贡献巨大力量，中国政府高度重视高耗能行业的绿色金融发展，出台了一系列支持政策，旨在推动绿色产业和项目的建设，促进高耗能行业的绿色化发展。目前我国已形成相应的绿色金融政策体系和市场环境^[61]，但还缺乏对高耗能行业绿色金融发展状况的研究与评价，也缺乏对高耗能行业内部绿色金融发展动态演变的研究。因此测度高耗能行业绿色金融近年来发展水平并分析发展趋势，比较行业内部绿色金融发展差异，找出各行业绿色金融发展短板，有利于全面提升高耗能行业绿色金融发展，助推其有序实现低碳转型。

鉴于此，本章从绿色金融发展各个方面出发，通过绿色信贷、绿色证券、碳金融、绿色投资四个维度构建绿色金融发展水平测度指标体系，对中国高耗能行业绿色金融发展水平进行测度与评价，通过核密度分析法分析高耗能行业绿色金融发展的动态演变，并基于指标贡献度分析揭示其发展现状和存在的问题，从而有的放矢为中国高耗能行业绿色金融发展相关政策的制定和实施提供科学依据。

2.1 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度与动态演变模型

国家统计局关于高耗能行业范围的界定包括了六大行业，分别为：石油、煤炭及其他燃料加工业，化学原料和化学制品制造业，非金属矿物制品业，黑色金属冶炼和压延加工业，有色金属冶炼和压延加工业，电力、热力生产和供应业，下文分别简称为石油，化学，非金属，黑色金属，有色金属，电热。

2.1.1 指标体系

根据中国人民银行发布的指导性文件《关于构建绿色金融体系的指导意见》，参照已有研究，并遵循数据可获得性原则，本文通过绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资来构建中国高耗能行业绿色金融发展水平测度指标体系。指标体系

中的所有指标的指标值越大，行业绿色金融发展水平越低，因此所有的指标均为负向指标。具体见表 2-1。

(1) 绿色信贷。绿色信贷通过向侧重于绿色生产方式、新能源开发、循环经济模式等可持续发展领域的项目或企业提供贷款支持，从而推动经济活动绿色转型。参考刘婷婷等^[62]研究，绿色信贷指标采用行业利息支出与工业产业利息总支出的占比来测度。

(2) 绿色证券。绿色证券目的是为促进绿色循环、低碳发展的项目或产业募集资金，提供资金支持，包括企业发行的绿色债券等。通过引导资本流向绿色领域，来支持绿色经济活动，促进环境友好型的项目实施与发展。参考肖仁桥等^[63]研究，绿色证券采用行业市值占 A 股总市值比率来测度。

(3) 碳金融。碳金融在助推经济低碳转型中发挥着重要作用^[64]，助力实现减排目标，本文用单位 GDP 二氧化碳排放占比也就是碳强度测度碳金融。

(4) 绿色投资。绿色投资伴随着全球环境压力的日益加剧应运而生，其目的是为了实现资源节约型与循环型的社会建设，通过支持清洁能源、环保产业、节能减排助推环境保护，通过投资行为推动经济活动绿色化发展和可持续发展。本文用投资收益比率测度绿色投资。

表 2-1 碳减排责任分配指标体系

绿色金融发展水平测度指标体系	指标属性
绿色信贷（工业利息占比）	负向
绿色证券（行业总市值/A 股市值）	负向
碳金融（单位 GDP 二氧化碳排放占比）	负向
绿色投资（投资收益占比）	负向

2.1.2 绿色金融发展水平测度模型

本文采用熵权法测度我国高耗能行业绿色金融发展水平，计算步骤如下：

(1) 构建初始矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ 。这里， n 表示高耗能行业的行业数量， m 表示绿色金融发展评价指标数量，因此 $n = 6$ ， $m = 4$ 。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

x_{ij} 表示 i 行业第 j 个指标的值。

(2) 标准化指标值。由于选取的绿色金融指标都是从不同角度来度量高耗能行业的绿色金融发展, 指标值的量纲不同, 不能直接用于分析, 这里选取的指标都是负向指标, 故按式 (2.2) 进行标准化处理, 可获得标准化矩阵式 (2.3)。

$$y_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2.2)$$

其中, $\max x_{ij}$ 与 $\min x_{ij}$ 分别为矩阵式 (2.1) 中的第 j 列指标最大值与最小值。

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

(3) 构建加权矩阵。由于每个指标的作用效果、重要性不同, 这里通过赋予不同权重加以区分。本文运用熵权法进行赋权。由式 (2.4) 可获得第 i 个行业的第 j 个指标在高耗能行业中的比重 p_{ij} ; 由式 (2.5) 可获得第 j 个指标的熵值 H_j , 并由式 (2.6) 获得第 j 个指标的熵权 w_j , 从而进一步获得加权矩阵式 (2.7)。这里, 熵值 H_j 取值介于 0~1, H_j 测度了指标差异性, 熵值越小指标在行业中差异性越大, 从而对评价结果的影响越大; 熵权 w_j 取值也介于 0~1, w_j 越大说明, 则该指标提供信息量越大, 当熵权值趋于零, 表明该指标不能够提供有用的信息, 应予以剔除。

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2.4)$$

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2.5)$$

$$w_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2.6)$$

$$Z = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2.1.3 动态演变模型

在分析中国高耗能行业绿色金融发展水平的动态演变时,本文运用了核密度估计法。核密度估计法属于非参数估计方法,其优势在于,无需预先对数据分布做出任何假设,而是基于一定的核函数和带宽,依据样本数据刻画分布的形态特征。与传统的参数估计方法相比,核密度估计法对变量分布的限定更少。本文选用核密度估计法,关键在于它所生成的连续概率密度曲线,能够直观呈现数据的分布形态,这使得我们可以更方便、更清晰地阐释我国高耗能行业绿色金融发展水平的动态演化机制。具体计算过程如下:

$X_1, X_2, X_3, X_4 \dots X_n$ 为独立同分布的随机变量,在不知道密度函数 $f(x)$ 的情况下,由累积概率分布函数 $F_n(y)$,测算获得的密度函数核估计。函数 $F_n(y)$ 的测算过程如下:

$$F_n(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(X_i \leq y) \quad (2.8)$$

其中, N 为样本容量, I 为示性函数,则核密度估计表达式如下:

$$\begin{aligned} f(x) &= [F_n(x+h) - F_n(x-h)] / 2h \\ &= \frac{1}{2h} \times \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N I(x-h \leq x_i \leq x+h) \\ &= \frac{1}{hN} \sum_{i=1}^n \left(\frac{I\left(-1 \leq \frac{x-X_i}{h} \leq 1\right)}{2} \right) \\ &= \frac{1}{hN} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X_i - h}{h}\right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

其中, $K(g)$ 为 Kernal 核函数, h 表示带宽,高斯核带宽为 $K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$ 。

2.2 结果与分析

2.2.1 模型指标核算

由于中国碳排放数据库（CEADs）未更新 2022 年及以后的行业碳排放数据，结合相关指标数据的可得性，本章选取 2012-2021 年高能耗行业的绿色金融相关面板数据作为研究样本，数据来源于《中国统计年鉴》、国家统计局、中国碳排放数据库（CEADs）、中经网、《中国工业统计年鉴》、国泰安等，少数缺失数据运用插值法估计，结果见表 2-2。

表 2-2 中国高耗能行业绿色金融发展水平核算指标数据表

年份	绿色信贷	绿色证券	碳金融	绿色投资	年份	绿色信贷	绿色证券	碳金融	绿色投资
石油					黑色金属				
2012	0.029	0.003	0.398	-0.032	2012	0.096	0.017	0.326	-0.35
2013	0.03	0.004	0.392	-0.032	2013	0.091	0.013	0.303	-0.354
2014	0.032	0.002	0.375	0.005	2014	0.086	0.009	0.286	-0.138
2015	0.03	0.003	0.366	0.021	2015	0.079	0.013	0.251	-0.044
2016	0.028	0.004	0.342	0.023	2016	0.074	0.011	0.229	-0.065
2017	0.031	0.003	0.317	0.023	2017	0.072	0.014	0.201	-0.034
2018	0.033	0.003	0.308	0.022	2018	0.071	0.017	0.179	-0.003
2019	0.032	0.003	0.308	0.022	2019	0.061	0.011	0.171	0.028
2020	0.033	0.002	0.309	0.017	2020	0.057	0.008	0.17	-0.01
2021	0.033	0.002	0.279	0.02	2021	0.055	0.01	0.149	0.029
化学					有色金属				
2012	0.076	0.028	0.14	0.06	2012	0.049	0.022	0.031	-0.112
2013	0.08	0.031	0.129	0.06	2013	0.048	0.019	0.035	-0.114
2014	0.084	0.024	0.127	0.042	2014	0.049	0.013	0.047	0.01
2015	0.086	0.031	0.127	0.046	2015	0.052	0.015	0.045	0.02
2016	0.084	0.033	0.112	0.057	2016	0.051	0.014	0.044	-0.003
2017	0.081	0.034	0.092	0.061	2017	0.054	0.017	0.042	0.003
2018	0.077	0.04	0.079	0.066	2018	0.057	0.019	0.048	0.009
2019	0.071	0.028	0.075	0.07	2019	0.05	0.012	0.043	0.015
2020	0.069	0.027	0.08	0.061	2020	0.049	0.01	0.035	0.013
2021	0.068	0.039	0.071	0.077	2021	0.05	0.017	0.03	0.016

续表 2-2 中国高耗能行业绿色金融发展水平核算指标数据表

年份	绿色信贷	绿色证券	碳金融	绿色投资	年份	绿色信贷	绿色证券	碳金融	绿色投资
非金属					电热				
2012	0.047	0.016	0.125	0.034	2012	0.182	0.026	0.65	0.517
2013	0.05	0.016	0.112	-0.001	2013	0.174	0.028	0.619	0.551
2014	0.052	0.012	0.108	0.012	2014	0.174	0.02	0.533	0.271
2015	0.05	0.015	0.096	0.021	2015	0.171	0.029	0.468	0.226
2016	0.048	0.014	0.086	0.03	2016	0.165	0.027	0.444	0.194
2017	0.046	0.016	0.069	0.028	2017	0.174	0.026	0.431	0.173
2018	0.044	0.02	0.058	0.027	2018	0.183	0.032	0.41	0.152
2019	0.042	0.015	0.053	0.025	2019	0.209	0.025	0.4	0.131
2020	0.04	0.016	0.056	0.032	2020	0.231	0.019	0.41	0.102
2021	0.04	0.018	0.049	0.028	2021	0.237	0.022	0.409	0.111

2.2.2 绿色金融发展水平及其演变过程

2.2.2.1 绿色金融发展水平

基于中国高耗能行业绿色金融发展水平测度模型，获得六大高耗能行业 2012-2021 年绿色金融发展水平，结果见表 2-3。

(1) 从行业来看，各行业绿色金融发展情况差异较大。石油行业绿色金融发展水平遥遥领先，2021 年其绿色金融发展指数达到 0.826，而其他行业均低于 0.8。有色金属行业、黑色金属行业和非金属行业绿色金融发展指数在 2021 年均超出 0.7，绿色金融发展程度也较高，化学行业和电热行业到 2021 年绿色金融发展指数均低于 0.6，尤其是电热行业，其绿色金融发展水平远远落后于其他高耗能行业。由此可见，高耗能行业内部绿色金融发展不平衡。

(2) 从时间上来看，行业之间绿色金融发展趋势差异也大。近年来，尽管电热行业绿色金融发展水平远远落后于其他行业，但发展速度却远远高于其他高耗能行业，其绿色金融发展指数从 2012 年的 0.195 上升到 2021 年的 0.333，甚至在 2020 年达到 0.365。其次石油行业、黑色金属行业绿色金融水平上升趋势显著，这两个行业的绿色金融发展指数分别从 2012 年的 0.776 和 0.652 上升至 2021 年的 0.826 和 0.777。有色金属行业和非金属行业绿色金融发展相对缓慢，二者绿色金融发展指数分别从 2012 年的 0.752 和 0.741 上升至 2021 年的 0.779 和 0.767。化学行业绿色金融发展指数近年来上下起伏、波动较大，其绿色金融发展指数从

2012 年的 0.595 上升到 2014 年的 0.631，其后逐年下降，到 2018 年，仅为 0.511，然后到 2020 年又上升至最高峰 0.638，下一年却又大幅下降为 0.529。可见，近年来绿色金融资源在各行业中的投入存在不平衡问题。

表 2-3 中国高耗能行业绿色金融发展水平测度表

年份	石油	化学	非金属	黑色金属	有色金属	电热
2012	0.776	0.595	0.741	0.652	0.752	0.195
2013	0.772	0.563	0.754	0.702	0.781	0.192
2014	0.784	0.631	0.790	0.720	0.810	0.348
2015	0.782	0.563	0.770	0.692	0.787	0.306
2016	0.789	0.545	0.777	0.730	0.799	0.345
2017	0.798	0.553	0.772	0.714	0.769	0.348
2018	0.799	0.511	0.746	0.687	0.747	0.301
2019	0.808	0.622	0.794	0.759	0.818	0.341
2020	0.817	0.638	0.780	0.794	0.839	0.365
2021	0.826	0.529	0.767	0.777	0.779	0.333

2.2.2.2 演变过程

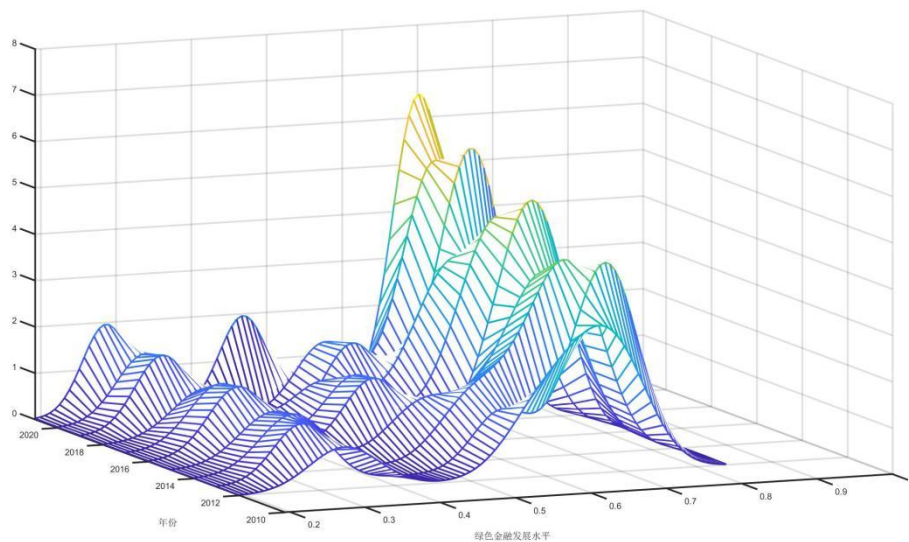


图 2-1 2012-2021 年我国高耗能行业绿色金融发展水平核密度图

我国高耗能行业绿色金融发展水平随着时间的推进存在一定差异性，为了更直观、清晰地观察这种差异的演变趋势，我们进一步采用动态演变分析模型——核密度估计法，对 2012-2021 年间全国高耗能行业的绿色金融发展水平展开分析，

并借助 Matlab 软件绘制出高耗能行业绿色金融发展水平的核密度三维曲线图。见图 2-1。图中展示了 2012-2021 年中国高耗能行业绿色金融发展水平及其动态演变，可以看出：

(1) 2013-2021 年，高耗能行业绿色金融发展水平总体曲线分布中心及其变化的区间明显向右移动。主峰高度分别于 2012-2013 年、2014-2015 年、2018-2019 年及 2020-2021 年出现四次迅速上升、其宽度基本保持不变，2013-2015 年缓慢下降、宽度扩大，2016-2018 年迅速下降、宽度扩大，2019-2020 年缓慢下降、宽度变小。由此可见，中国高耗能行业绿色金融发展水平随着年份的增加整体呈上升趋势。

(2) 基于我国高耗能产业绿色金融发展的时序波动特征分析，其波峰分布格局经历了由双峰向三峰的演变过程。具体而言，2012-2015 年间呈现主峰与侧峰并存的双峰结构，至 2016-2021 年则发展为包含主峰及两个侧峰的三峰形态。值得注意的是，侧峰呈现上升趋势，且波形陡峭程度不断增强。这种波峰结构演变表明，我国高耗能行业绿色金融发展水平的两极分化现象持续存在，未来更要注重提高发展水平相对偏低的行业绿色金融水平。

(3) 曲线分布的延展性有拓宽趋势。可以看出，随着时间推移，侧峰呈现向左延展的趋势，主峰右偏有向右延展的趋势。因此，整体曲线分布延展性拓宽，表明我国高耗能行业的绿色金融发展水平的行业差异有扩大趋势，并且发展水平高的行业与平均水平的差距在拉大。

上述内容先是基于熵值法量化我国高耗能产业 2012-2021 年绿色金融发展水平，同时引入核密度估计法，动态追踪了十年间行业绿色金融发展水平的演变轨迹。发现这十年我国高耗能行业整体绿色金融发展呈现稳步提升态势，细分行业中除化学行业发展水平变化起伏较大外，其余五大行业均呈现不同程度的提高。这一发展态势与我国持续推进绿色金融体系建设、完善绿色金融政策框架的政策导向密切相关。进一步通过核密度估计法分析发展水平分布特征发现：在 2012-2021 年间虽然高耗能行业绿色金融发展水平有波动，但整体未改变上升态势，部分年间波峰存在下降但并不明显，且两极分化的现象一直存在。

2.2.3 指标贡献度差异

表 2-3 是中国高耗能行业各行业绿色金融发展各指标 2012-2021 年数据正向化后的均值，括号内是各指标的贡献度。可以发现各行业绿色金融发展均存在一定程度的短板：石油行业绿色金融发展水平虽然最高，但其碳金融和绿色投资发展水平与绿色信贷和绿色证券发展水平不匹配，阻碍了其绿色金融的进一步发展。化学行业绿色证券发展落后，贡献度远低于其他三个指标。非金属行业的绿色信贷和绿色投资发展水平落后于该行业绿色证券和碳金融的发展水平，因而阻碍了行业的绿色金融发展。黑色金属绿色金融的四个方面发展水平都较高，实现了全面发展。有色金属行业的绿色证券和绿色投资发展相对薄弱，与该行业绿色信贷和碳金融发展水平不相匹配，导致其绿色金融发展水平不能进一步提升。电热行业的绿色金融发展水平最低，其绿色金融发展各个指标水平都较低，整体需要进一步提高。

表 2-3 各行业绿色金融发展各指标均值表

行业	绿色信贷	绿色证券	碳金融	绿色投资
石油	0.985 (32.180%)	0.976 (31.891%)	0.501 (16.364%)	0.599 (19.566%)
化学	0.763 (31.635%)	0.224 (9.279%)	0.882 (36.582%)	0.543 (22.504%)
非金属	0.914 (29.965%)	0.637 (20.871%)	0.917 (30.066%)	0.583 (19.098%)
黑色金属	0.779 (26.825%)	0.729 (25.103%)	0.683 (23.523%)	0.713 (24.548%)
有色金属	0.890 (28.396%)	0.637 (20.309%)	0.984 (31.376%)	0.625 (19.920%)
电热	0.225 (18.313%)	0.384 (31.286%)	0.278 (22.670%)	0.341 (27.732%)

对此，提出相关政策建议，电热行业绿色金融的发展水平较低，因而未来上升的空间也更大，政府未来相关政策应向电热行业倾斜。石油行业碳金融和绿色投资发展水平落后于绿色信贷和绿色证券，未来应重视石油行业的碳金融发展和绿色投资发展。化学行业绿色证券发展水平低，未来化学行业的绿色金融发展政策应重视提高其绿色证券发展水平。非金属行业的绿色信贷和绿色投资是该行业绿色金融发展的薄弱点，今后相关政策应重点放在提高绿色信贷和绿色投资水平

上。黑色金属绿色金融四个方面均衡发展，且发展水平较高，未来应在原有发展水平的基础上，进一步促进该行业绿色金融发展。有色金属行业的绿色证券和绿色投资发展相对薄弱，与该行业绿色信贷和碳金融发展水平不相匹配，未来相关政策应注重解决这方面的问题，从而使该行业绿色金融发展水平进一步提高。综上所述，高耗能行业的各个行业都应针对本行业绿色金融发展的薄弱点补短板，同时进一步加强各自优势，从而进一步全面提升行业绿色金融发展水平。

第3章 纳入绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排责任分配模型

绿色金融是推动我国高耗能行业低碳发展的重要着力点,助推高耗能行业节能减排、开发绿色低碳技术是绿色金融发展的主要方向。前文分析了中国高耗能行业的绿色金融发展水平及其动态演变,结果表明,近年来随着年份的增加高耗能行业的绿色金融发展水平整体呈上升趋势,行业间绿色金融发展水平存在两极分化现象,且这种差异有扩大趋势。因此理论上绿色金融对高耗能行业的碳减排影响越来越大,对高耗能行业碳减排责任分配的影响也越来越大。那么今后为了制定更加科学合理的高耗能行业碳减排目标,在构建中国高耗能行业碳减排责任分配指标体系中,有必要纳入绿色金融原则。因此本章将在前人的研究考虑公平性原则和有效性原则的基础上,纳入绿色金融原则,构建适用于中国高耗能行业的碳减排责任分配指标体系,运用熵权-TOPSIS 方法及碳减排量核算模型,针对2030年相较于2005年碳强度需降低65%以上的既定目标,对中国高耗能行业的碳减排责任目标进行具体量化,并通过分析绿色金融与碳减排核心任务之间的相关性,从绿色金融的角度出发为中国高耗能行业制定碳减排差异化策略。

3.1 行业碳减排责任分配指标体系

借鉴已有研究,通过二氧化碳排放量和能源消费总量衡量公平性原则,工业增加值占比和能源消费碳强度衡量有效性原则,根据第二章的分析,选取绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资4个指标衡量绿色金融原则。绿色金融原则子指标的指标值越大,行业承担碳减排责任越大,为正向指标,反之,为负向指标。本文选取的指标值越大的行业其绿色金融水平越低,承担的碳减排责任越大,因此,本文的绿色金融原则子指标均为正向指标。同理,公平性原则和有效性原则的子指标也均为正向指标。具体见表3-1。

表 3-1 碳减排责任分配指标体系

主指标	子指标	指标属性
公平性原则	二氧化碳排放量	正向
	能源消费总量	正向
有效性原则	能源消费碳强度	正向
	工业增加值占比	正向
	绿色信贷（工业利息占比）	正向
绿色金融原则	绿色证券（行业总市值/A 股市值）	正向
	碳金融（单位 GDP 二氧化碳排放占比）	正向
	绿色投资（投资收益占比）	正向

公平性原则代表着在六大高能耗行业里，每个行业都应被赋予平等的碳排放权。历史 CO₂ 排放越高的行业，在应对地球变暖问题上，所应肩负的碳减排责任也就越大。高耗能行业产生碳排放的主要源头是能源消费，一般情况下，能源消费的量越大，碳排放的量往往也就越多。因此，在本研究中，选用碳排放量以及能源消费总量这两个指标，来代表公平性原则。

有效性原则，又被称作资源配置最优化原则，重点在于关注经济发展与自然环境之间的关系，强调减碳和经济发展需协同共进。在国民经济核算中，行业增加值是一项既基础又关键的指标，通常来讲，行业增加值较高的行业，其碳减排的潜在能力也相对较大。能源消费碳强度指的是单位能源消耗所产生的二氧化碳排放量，由于燃料燃烧效率在短时间内通常不会出现显著改变，所以可以假定在特定时间段内，各燃料的碳排放系数保持稳定，这也意味着，一旦能源消费碳强度有所变动，实际上就是能源消费结构发生了调整。当一个行业能源消费碳强度越大时，表明该行业使用高碳能源的占比越高，相应的，其减排潜力也就越大。因此，工业增加值占比和能源消费碳强度能够体现有效性原则。

绿色金融原则，强调高耗能行业发挥绿色金融资源配置引导、风险管理功能，推进生态环境与经济发展有机统一，促进中国高耗能行业稳步实现低碳转型。根据第二章，采用绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资四个指标来构建绿色金融原则，指标值越大，表明行业绿色金融水平低，应承担更大的碳减排责任。

由于中国碳排放数据库（CEADs）未更新 2022 年及以后的行业碳排放数据，结合公平性原则、有效性原则和绿色金融原则其他相关指标数据的可得性，本文选取 2012-2021 年间中国六大高能耗行业的相关数据为研究样本，由 10 年间相关数据平均值获得行业指标数据。相关数据来自国家统计局、《中国统计年鉴》、

中国碳排放数据库（CEADs）、《中国工业统计年鉴》、中经网、国泰安等，少数缺失数据运用插值法估计，六大高耗能工业增加值采用年度工业增加值速率，基于不变价格计算。结果见表 3-2。

表 3-2 碳减排责任分配指标核算

行业	公平性原则		有效性原则			绿色金融原则		
	二氧化碳 排放量/万 tCO ₂	能源消费 总量/万 tce	能源消费 碳强度 /(tCO ₂ /tce)	工业增加 值占比/%	工业利 息占比 /%	行业总 市值/A 股市值 /%	碳金融 /(万 tCO ₂ /亿 元)	投资收 益占比 /%
石油	268187.572	26628.050	10.327	0.7	3.1	0.3	0.339	0.9
化学	79109.402	50433.640	1.583	2.5	7.8	3.2	0.103	6.0
非金属	61068.929	35282.700	1.728	1.8	4.6	1.6	0.081	2.4
黑色金属	172667.659	65641.640	2.631	2.3	7.4	1.2	0.227	-9.4
有色金属	32253.681	21961.820	1.449	1.6	5.1	1.6	0.040	-1.4
电热	372988.277	28805.600	12.973	2.0	19.0	2.5	0.477	24.3

3.2 行业碳减排责任分配比例

首先，采用熵权法对六大高耗能行业碳减排责任指标赋权，熵权法能够克服主观赋权法在计算数据时产生的主观不准确性问题。具体分三步：

第一步：构建初始矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ 。这里， n 表示高耗能行业的行业数量， m 表示高耗能行业碳减排责任分配的评价指标数量，评价指标为公平性原则、有效性原则和绿色金融原则下的八项子指标，因此 $n = 6$ ， $m = 8$ 。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

x_{ij} 表示 i 行业的第 j 个指标值。

第二步：标准化指标值。由于选取的 j 个指标是从不同方面度量各行业碳减排潜力，指标值量纲不同，不可以直接用于分析，故按式（3.2）标准化处理所有指标值获得标准化矩阵式（3.3）。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (3.2)$$

其中, $\max x_{ij}$ 和 $\min x_{ij}$ 分别表示矩阵式 (3.1) 中第 j 列指标的最大值和最小值。

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

第三步: 构建加权矩阵。每个指标作用效果和重要性不同, 这里以赋予不同权重予以区分。为避免主观赋权法产生的主观偏差, 本文运用熵权法赋权。由式 (3.4) 获得第 i 个行业第 j 个指标在六大高耗能行业该指标下的比重 p_{ij} ; 由式 (3.5) 获得第 j 个指标熵值 H_j , 并通过式 (3.6) 获得第 j 个指标的熵权 w_j ; 最后, 获得加权矩阵式 (3.7)。其中, 第 j 个指标熵值 H_j 的取值介于 0~1, 测度了指标的差异性, 熵值越小, 该指标在行业中的差异性越大, 对评价结果影响越大; 第 j 个指标的熵权 w_j 的值也介于 0~1, 熵权值越大说明该指标提供的信息量越大, 若熵权值趋于零, 则说明该指标不能提供有用信息, 在评价指标体系中应予以剔除。

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}}, i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m \quad (3.4)$$

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m \quad (3.5)$$

$$w_j = \frac{1-H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j}, j=1,2,\dots,m \quad (3.6)$$

$$Z = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

其次, 基于加权矩阵式 (3.7), 运用 TOPSIS 法获得六大高耗能行业碳减排责任权重。具体分两步:

第一步: 通过式 (3.8) 和式 (3.9) 获得六大行业分配方案与正负理想方案

的距离 d_i^+ 和 d_i^- 。

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^+)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (3.8)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^-)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (3.9)$$

其中: $z_j^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \{z_{ij}\}, z_j^- = \min_{1 \leq i \leq n} \{z_{ij}\}, (i=1,2,\dots,n)$ 。

第二步: 基于六大行业分配方案与正负理想方案的距离 d_i^+ 和 d_i^- , 由式 (3.10)

获得行业得分 D_i , 再由式 (3.11) 获得行业碳减排责任分配比例 P_i 。

$$D_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i=1,2,\dots,n \quad (3.10)$$

$$P_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}, i=1,2,\dots,n \quad (3.11)$$

进一步, 为测度评价指标对行业碳减排责任的影响程度, 给出评价指标灰色关联度。具体分两步:

第一步: 获得评价指标的关联系数。选择确定参考序列与比较序列, 并对变量进行标准化处理, $\bar{T}_0$ 为参考序列平均值, $\bar{T}_j$ 为比较序列平均值, S_0 、 S_j 为二者标准差, T_{i0} 、 T_{ij} 为二者标准化值, Δ_{ij} 为参考序列和比较序列的绝对差值, $\Delta_{\min}$ 和 $\Delta_{\max}$ 分别为 Δ_{ij} 的最小值和最大值, ρ 为分辨系数, 则评价指标的灰色关联系数 r_{ij} 为:

$$r_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \rho \Delta_{\max}} \quad (3.12)$$

其中, $T_{i0} = \frac{T_{i0} - \bar{T}_0}{S_0}, T_{ij} = \frac{T_{ij} - \bar{T}_j}{S_j}, \Delta_{ij} = |T_{i0} - T_{ij}|$ 。

第二步: 由灰色关联系数, 基于式 (3.13) 获得评价指标的灰色关联度。

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}, j=0,1,2,\dots,m \quad (3.13)$$

3.3 行业碳减排责任核算模型

由行业碳减排责任分配比例式（3.11），通过碳减排责任核算模型获得六大高耗能行业的碳减排责任分配。具体分三步：

第一步：以中国 2021 年碳强度为基准，假定未来 9 年的碳强度线性下降，由式（3.14）获得 2022 年至 2030 年碳强度年均下降率 q 。其中， I_{2005} 、 I_{2021} 及 I_{2030} 分别为中国 2005 年、2021 年及 2030 年碳强度， a 为相对 2005 年，中国 2030 年碳强度下降目标。

$$q = 1 - \sqrt[9]{\frac{I_{2030}}{I_{2021}}} = 1 - \sqrt[9]{\frac{I_{2005} * (1-a)}{I_{2021}}} \quad (3.14)$$

第二步：由式（3.15）获得中国第 t 年碳减排量 CER_t ，继而由式（3.16）获得未来 9 年的中国碳减排总量 CER ， GDP_{2021} 为中国 2021 年的 GDP 总量， p 为未来年均 GDP 增长率。

$$CER_t = GDP_{2021} * (1+p)^{t-2021} * I_{2021} * q^{t-2021} \quad (3.15)$$

$$CER = \sum_{t=2021}^{2030} CER_t \quad (3.16)$$

第三步：由式（3.17）获得未来 9 年中国高耗能行业碳减排总量 $CER_{\text{高耗能}}$ ，由式（3.18）获得未来 9 年六大高耗能行业各自的碳减排量 CER_i 。

$$CER_{\text{高耗能}} = CER * b \quad (3.17)$$

$$CER_i = P_i * CER_{\text{高耗能}}, i=1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

其中， b 为高耗能行业在总的碳减排责任中所占权重。

第 4 章 实证结果与分析

参照刘哲希等^[65]，设定 2022-2030 年我国 GDP 平均增速为 5%，即 $p = 5\%$ 。根据《中国落实国家自主贡献目标进展报告（2022）》，2021 年中国碳排放强度比 2005 年降低 50.8%，则 $I_{2005}/I_{2021} = 1/(1-0.508)$ ，依据 2030 年碳强度比 2005 年下降 65% 以上的目标，取其下限，则 $a = 0.65$ ，由式（3.14）获得 $q = 0.037$ ，再式（3.15）和式（3.16）获得 CER 为 51719.278 万吨。根据国家统计局、《中国统计年鉴》、《中国碳排放数据库（CEADs）》、《中国工业统计年鉴》、中经网、国泰安等数据，获得 2012-2021 年高耗能行业与其他行业相关指标数据的十年均值：二氧化碳排放量均值分别为 986275.29 万 tCO₂ 和 970506.61 万 tCO₂，能源消费总量均值分别为 228753.45 万 tce 和 429615.98 万 tce，能源消费碳强度均值分别为 4.31 和 2.26，工业增加值占比均值分别为 11% 和 89%，继而基于碳减排责任分配模型获得高耗能行业在总的碳减排责任中所占权重，即 $b = 50.03\%$ ，由式（3.17）获得高耗能行业的碳减排量 $CER_{\text{高耗能}}$ 为 25873.217 万吨。

4.1 行业碳减排责任

基于高耗能行业碳减排责任分配模型，获得六大高耗能行业碳减排责任分配比例，并由碳减排量核算模型获得六大高耗能行业碳减排责任分配，结果见表 4-1。为便于对比，突出绿色金融原则的重要性，这里也给出基于公平性原则和有效性原则（上述模型中 $n = 6$ ， $m = 4$ ）下六大高耗能行业碳减排责任分配比例与责任，结果也见表 4-1。

表 4-1 高耗能行业碳减排责任

行业	石油	化学	非金属	黑色金属	有色金属	电热
纳入绿色金融原则前						
碳减排责任权重分配/%	25.91	12.76	7.53	18.08	3.93	31.80
碳减排量分配/万 tCO ₂	6703.751	3301.423	1948.253	4677.878	1016.817	8227.683
纳入绿色金融原则后						
碳减排责任权重分配/%	21.60	14.12	8.09	16.71	5.65	33.82
碳减排量分配/万 tCO ₂	5588.615	3653.298	2093.143	4323.415	1461.837	8750.322

无论是否纳入绿色金融原则，电热行业、石油行业碳减排责任皆远高于其余四大高耗能行业。电热行业、石油行业的碳减排责任比例分别为 33.82%和 21.6%，二者之和超过了高耗能行业碳减排责任的二分之一，碳减排量分别为 8750.322 万吨、5588.615 万吨；黑色金属行业和化学行业碳减排责任比例分别为 16.71%和 14.12%，二者之和约为高耗能行业碳减排责任的三分之一，碳减排量分别为 4323.415 万吨、3653.298 万吨；非金属行业、有色金属行业在高耗能行业中碳减排责任比例较低，分别为 8.09%和 5.65%，二者碳减排责任之和超过高耗能行业的十分之一，碳减排量分别为 2093.143 万吨、1461.837 万吨。由此可见，电热行业和石油行业在高耗能行业低碳转型过程中碳减排任务最重。

绿色金融原则显著影响高耗能行业碳减排责任分配。纳入绿色金融原则后六大高耗能行业碳减排责任大小顺序关系没有变化，但各行业碳减排责任大小变化显著，碳减排责任比例排序从高到低为电热行业（33.82%），石油行业（21.60%），黑色金属行业（16.71%），化学行业（14.12%），非金属行业（8.09%），有色金属行业（5.65%）。由此可见，高耗能行业碳减排责任分配必须纳入绿色金融原则，发展绿色金融能更有效推进高耗能行业低碳转型。

纳入绿色金融原则后，化学行业、非金属行业、有色金属行业与电热行业等四个行业的碳减排责任分配比例及其碳减排责任均出现不同程度地增大。纳入绿色金融原则后，高耗能行业内部碳减排责任对绿色金融分别表现出不同的敏感度，绿色金融水平低的行业所承担碳减排责任比例增大。其中，有色金属行业与电热行业碳减排责任比例增加尤为显著，分别增加 1.72%和 2.02%，碳减排量分别增加 445.019 万吨和 522.639 万吨；电热行业四项绿色金融指标值都相对较高，表明该行业绿色金融水平低，导致其承担的碳减排责任增加；碳减排责任增加较多的为化学行业，比例增加 1.36%，碳减排量增加 351.876 万吨，对比数据可知其

绿色信贷和绿色证券指标值都相对较高，表明其绿色金融水平低，导致其承担的碳减排责任增加；非金属行业碳减排责任增加最不明显，比例增加 0.56%，碳减排量增加 144.890 万吨，该行业每项绿色金融指标值皆处于中等水平，故其碳减排责任变化不大。

绿色金融显著降低了石油行业与黑色金属行业碳减排责任。纳入绿色金融原则冲抵了二者一部分碳减排责任，其中石油行业碳减排责任降低最显著，碳减排责任比例从 25.91%降低至 21.6%，碳减排量由原来 6703.751 万吨降低至 5588.615 万吨，降低了 1115.136 万吨。结合表 2 数据发现其绿色证券指标值较低，即绿色金融水平高，因而大幅降低其碳减排责任。黑色金属行业碳减排责任降幅次之，碳减排责任比例从 18.08%降低至 16.71%，碳减排量由原来 4677.878 万吨降低至 4323.415 万吨，降低了 354.463 万吨，从表 2 数据可知其绿色投资指标值低，行业综合绿色金融水平高，降低了该行业的碳减排责任。由此，高耗能行业绿色金融水平差异引起各行业资源配置差异，显著影响高耗能行业之间碳减排责任分配，纳入绿色金融原则的碳减排责任分配更加科学合理，科学合理的高耗能行业碳减排责任目标有利于缓解降碳过程中的碳减排风险。

4.2 行业碳减排差异化策略

实证结果表明，绿色金融原则改变了公平性和有效性原则下的高耗能行业内部碳减排责任分配，且改变的大小和方向等具有不一致性。接下来，分析评价指标权重及其灰色关联度，提出行业碳减排差异化策略。

4.2.1 指标权重

基于表 3-2 数据，由式（3.1）-式（3.6）获得高耗能行业碳减排责任指标权重，结果见表 4-2。

二氧化碳排放量、能源消费总量、能源消费碳强度和工业增加值占比对高耗能行业碳减排责任分配具有重要影响。其中，对碳减排责任分配影响最大的是能源消费碳强度，其权重为 23.47%。二氧化碳排放量和能源消费总量对碳减排责任分配影响也较大，权重分别为 13.18%和 12.99%，二者对碳减排责任分配具有同等重要的影响。工业增加值占比权重为 5.93%，在四个指标中其影响权重最小，

但其对碳减排责任分配的影响不可忽略。因此，在推进高耗能行业低碳转型过程中，应将二氧化碳排放量、能源消费总量、能源消费碳强度和工业增加值占比等列为行业碳减排核心任务。

绿色金融是影响碳减排责任分配的最重要因素。绿色金融原则指标合并权重远高于公平性原则和有效性原则权重，绿色金融原则、公平性原则和有效性原则指标合并权重分别为 44.44%、26.17%和 29.40%，绿色金融体系的完善对于高耗能行业实现有序低碳转型具有关键性作用。

绿色信贷是绿色金融的核心指标。在绿色金融原则中，绿色信贷、绿色证券、碳金融和绿色投资指标权重分别为 15.13%、7.38%、12.76%和 9.16%，可见绿色信贷在行业中的差异性最大，对碳减排责任分配影响最大。其次对碳减排责任分配影响较大的是碳金融，绿色投资指标和绿色证券指标权重最小，说明二者目前对碳减排责任分配的影响还不够大。当前，金融相关部门主要通过向高耗能行业投放信贷上设置绿色金融政策目标促进碳减排，绿色证券和绿色投资对高耗能行业的碳减排作用还未被充分利用起来，是绿色金融发挥碳减排作用的薄弱环节。绿色金融四个维度发展不平衡，不利于绿色金融发挥风险管理功能优势，难以有效抑制碳减排风险。

表 4-2 中国高耗能行业碳减排责任指标权重及关联度

原则	指标	指标权重	合并权重	灰色关联度
公平性原则	二氧化碳排放量	13.18%	26.17%	0.858
	能源消费总量	12.99%		0.922
有效性原则	能源消费碳强度	23.47%	29.40%	0.851
	工业增加值占比	5.93%		0.907
绿色金融原则	绿色信贷（工业利息占比）	15.13%	44.44%	1.000
	绿色证券（行业总市值/A 股市值）	7.38%		0.779
	碳金融(单位 GDP 二氧化碳排放占比)	12.76%		0.859
	绿色投资（投资收益占比）	9.16%		0.694

4.2.2 指标灰色关联度分析

指标权重分析表明，绿色金融是影响碳减排责任分配的最重要因素，且绿色信贷是绿色金融的核心指标，故绿色信贷作为参考序列。分辨系数 ρ ($\rho \in (0,1)$)，这里取 $\rho = 0.5$ ，结合表 3-2 数据由式（3.12）和式（3.13）获得评价指标的灰色

关联度，结果见表 4-2。表 4-2 显示，能源消费总量和工业增加值占比与绿色信贷之间的灰色关联度分别为 0.922 和 0.907，说明这两个指标与绿色信贷之间具有很高的关联关系；单位 GDP 二氧化碳排放占比、二氧化碳排放量、能源消费碳强度和行业总市值与 A 股市值占比与绿色信贷之间的灰色关联度分别为 0.859、0.858、0.851 和 0.779，说明这四个指标是与绿色信贷之间较高的关联关系。因此，结合指标权重分析，绿色信贷与能源消费总量、工业增加值占比、二氧化碳排放量和能源消费碳强度等行业碳减排核心任务关联度大。

4.2.3 行业碳减排差异化策略

基于评价指标权重及其灰色关联度分析，从绿色金融原则中绿色信贷视角，聚焦能源消费总量、碳排放量、工业增加值占比和能源消费碳强度等碳减排核心任务，提出六大高耗能行业碳减排差异化策略。

（1）未来电热行业应重点通过引导更多绿色信贷资金流向绿色低碳技术开发领域。基于各评价指标值分析，电热行业历史二氧化碳排放量和能源消费碳强度相较其他指标最为突出，2012 年至 2021 年这十年年均二氧化碳排放量为 372988.277 万吨，年均能源消费碳强度为 12.973，因此降低二氧化碳排放量和能源消费碳强度应成为电热行业的碳减排核心任务。二氧化碳排放量与绿色信贷的灰色关联度为 0.858，能源消费碳强度与绿色信贷的灰色关联度为 0.851，说明二氧化碳排放量和能源消费碳强度均与绿色信贷之间具有较高的关联关系，未来应重点通过引导更多绿色信贷资金流向电热行业绿色低碳技术开发领域，降低电热行业碳排放量和能源消费碳强度，使其成为技术减排的先锋行业，高度重视碳捕集、利用和封存技术（CCUS）的研发，鼓励电热行业调整能源消费结构，积极促进光伏发电、风电等清洁能源的使用，促进电热行业低碳发展。

（2）未来石油行业应重点通过引导绿色信贷资金提高行业经济效益，同时促进行业绿色低碳技术开发。石油行业工业增加值占比相对其他行业最低，十年年均工业增加值占比为 0.7，同时石油行业历史二氧化碳排放量水平相较其他指标水平突出，十年年均二氧化碳排放量为 268187.572 万吨，因此提高行业工业增加值占比和降低二氧化碳排放量成为石油行业的两大碳减排核心任务。工业增加值占比与绿色信贷的灰色关联度为 0.907，说明工业增加值占比与绿色信贷之

间具有很高的关联关系，应通过绿色信贷投资提高行业工业增加值占比，提高石油行业的经济效益增强石油行业碳减排潜力，从而降低行业碳排放量。同时，未来石油行业也应引导更多绿色信贷资金流向绿色低碳技术开发领域，降低石油行业碳排放量，促进其低碳发展。

（3）未来黑色金属行业的降碳工作，应重点放在通过绿色信贷引导更多资金流向能耗智能管理、能源使用效率提高技术开发和绿色低碳技术开发上。黑色金属行业能源消费总量水平在高耗能行业中相较其他行业最为显著，十年年均能源消费总量为 65641.640 万吨，同时其二氧化碳排放量较高，十年年均二氧化碳排放量为 172667.659 万吨，因此黑色金属行业碳减排核心任务是降低能源消费总量和二氧化碳排放量。能源消费总量与绿色信贷的灰色关联度为 0.922，说明能源消费总量与绿色信贷之间具有很高的关联关系，未来黑色金属行业的降碳工作应重点放在通过绿色信贷引导更多资金流向能耗智能管理、能源使用效率提高等技术开发上，为行业降低能耗、减少二氧化碳排放提供技术支持，推进能源替代和能源转型，促进节能减排。同时，针对黑色金属行业二氧化碳排放量比较高的问题，也可通过绿色信贷引导资金流向绿色低碳技术开发领域，促进碳减排。

（4）未来化学行业的降碳工作，应重点放在通过绿色信贷引导更多资金流向能耗智能管理与能源使用效率提高等技术开发上。化学行业相较其他高耗能行业能源消费总量水平显著，十年年均能源消费总量为 50433.640 万吨，因此化学行业碳减排核心任务是降低能源消费总量，根据能源消费总量与绿色信贷之间具有很高的关联关系，未来化学行业的降碳工作应重点放在通过绿色信贷引导更多资金流向能耗智能管理、能源使用效率提高等技术开发上，为降低行业二氧化碳排放提供技术支持，同时也要促进化学行业能源替代和能源转型，实现节能减排。

（5）未来非金属行业应将重点放在通过绿色信贷投资提高行业的经济效益和促进能耗智能管理等技术开发上。非金属行业工业增加值占比在高耗能行业中相对其他指标不高，十年年均工业增加值占比为 1.8，表明当前非金属行业经济效益不高导致其碳减排潜力不大，同时非金属行业还存在着能源消费总量较高的问题，十年年均能源消费总量为 35282.700 万吨，因此非金属行业的碳减排核心任务是提高行业工业增加值占比和降低行业能源消费总量。根据工业增加值占比和能源消费总量与绿色信贷之间很高的关联关系，未来通过绿色信贷投资提高非

金属行业工业增加值占比以提高行业的碳减排潜力,通过绿色信贷引导更多资金流向能耗智能管理等技术开发上以降低行业能源消费总量,促使非金属行业实现低碳转型。

(6) 未来有色金属行业通过绿色信贷投资提高行业的经济效益、增强碳减排潜力。有色金属行业工业增加值占比在高耗能行业中相对其他指标不高,十年年均工业增加值占比为 1.6,表明当前行业经济效益不高,使其碳减排潜力不够大,因此有色金属行业的碳减排核心任务是提高行业工业增加值占比,由于工业增加值占比与绿色信贷之间具有很高的关联关系,未来通过绿色信贷投资提高有色金属行业工业增加值占比,提高行业经济效益和行业碳减排潜力,促使有色金属行业实现低碳转型。

第 5 章 研究结论与展望

5.1 研究结论

中国高耗能行业碳减排责任分配结果显示,相较于高耗能行业以外的众多行业,六大高耗能行业的碳减排责任比例达到 50.03%,因此研究高耗能行业碳减排责任分配促进高耗能行业有序低碳转型,对于“双碳”目标的实现具有重要意义。在中国高耗能行业碳减排责任分配的三大原则中,绿色金融原则对碳减排责任分配的影响作用最为显著,影响权重超过 40%,是我国高耗能行业碳减排责任分配的关键影响因素,因此纳入绿色金融原则后,能够更加全面地涵盖碳减排责任影响因素,使得中国高耗能行业碳减排责任分配方案更加科学合理,依据这样的方案制定碳减排政策也有利于降低高耗能行业低碳转型过程中的碳减排风险。在比较六大高耗能行业碳减排责任时,不同行业之间差距明显,电热行业、石油行业的碳减排责任比例最高,分别承担高耗能行业碳减排总量的 33.8%、21.6%,黑色金属行业、化学行业的碳减排责任比例次之,分别为 16.71%和 14.12%,非金属行业 and 有色金属行业在六大高耗能行业中碳减排责任比例最小,分别为 8.09%和 5.65%,因此电热行业和石油行业在高耗能行业低碳转型过程中碳减排任务最重。

本文基于中国高耗能行业各行业碳减排核心任务与绿色信贷之间较高的关联关系,提出要充分利用绿色信贷引导资源配置,制定各行业碳减排差异化策略,促进各行业平稳有序实现低碳转型。本文认为未来电热行业应将重点放在绿色低碳技术开发领域,降低电热行业碳排放量和能源消费碳强度,使其成为技术减排的先锋行业,高度重视碳捕集、利用和封存技术(CCUS)的研发,鼓励电热行业调整能源消费结构,积极促进光伏发电、风电等清洁能源的使用,促进电热行业低碳发展;未来石油行业应将重点放在提高行业经济效益,同时促进行业绿色低碳技术开发。未来应通过提高石油行业的经济效益增强石油行业碳减排潜力,从而降低行业碳排放量。同时,未来石油行业也应注重绿色低碳技术开发,降低石

油行业碳排放量，促进其低碳发展；未来黑色金属行业应将重点放在能耗智能管理、能源使用效率提高技术开发和绿色低碳技术开发上，为降低能耗、减少二氧化碳排放加大绿色金融资金支持，推进能源替代和能源转型，重视其绿色低碳技术开发领域，促进碳减排；未来化学行业应将重点放在能耗智能管理与能源使用效率提高等技术开发上，为降低行业二氧化碳排放提供技术支持，同时也要促进化学行业能源替代和能源转型，实现节能减排；未来非金属行业应将重点放在提高行业的经济效益和促进能耗智能管理等技术开发上，从而提高行业工业增加值占比和降低能源消费总量。未来通过绿色信贷投资提高非金属行业工业增加值占比以提高行业的碳减排潜力，同时加大能耗智能管理等技术开发绿色金融资金投入以降低行业能源消费总量，促使非金属行业实现低碳转型；未来有色金属行业的碳减排工作应重点放在提高行业的经济效益、增强碳减排潜力上。通过绿色信贷投资提高行业工业增加值占比，进而提高行业经济效益和行业碳减排潜力，促使有色金属行业实现低碳转型。

5.2 研究展望

本文将绿色金融原则纳入中国高耗能行业的碳减排责任分配中，并分析绿色金融在高耗能各行业碳减排过程中的作用，进而提出行业碳减排差异化策略，为其实现平稳有序低碳转型提供了决策参考。在取得上述成果的同时，也存在局限性：

本文在对高耗能行业进行碳减排责任分配过程中，考虑了公平性原则、有效性原则和绿色金融原则，没有考虑行业其他的特征。且本文以中国高耗能行业为研究对象进行研究，没有更进一步将行业碳减排量目标进一步分解到各个区域。不利于各行业碳减排责任的落实。

将来在研究中考虑进一步分析各行业的数字经济发展情况，将其纳入碳减排责任分配中去，数字经济发展情况可以结合数字基础、数字应用和数字创新这三个方面考量。这样有利于获得更加合理的高耗能行业碳减排责任分配方案。同时，在以后的研究里，可以根据区域特征进一步研究各个区域高耗能行业的碳减排责任分配，进而有利于将碳减排责任落实到各个区域的各个行业，这对于监管部门来说也更加容易开展监督工作。

参考文献

- [1] 李慧明, 李思齐. 全球碳中和潮流下中国“双碳”行动的战略意涵与双重价值[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2025, 24(1): 27-39+125.
- [2] Rozenberg J, Vogt-Schilb A, Hallegatte S. Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2020, 100: 102183.
- [3] 刘金科, 刘霁萱, 晁颖. 绿色信贷与低碳转型:资本整合还是技术创新?——来自准自然实验的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(6): 151-171.
- [4] 何振华. 绿色金融、碳排放规制与企业绿色全要素生产率[J]. 统计与决策, 2024, 40(5): 155-159.
- [5] 范德成, 张修凡. 绿色金融改革创新对低碳企业可持续发展能力的影响研究[J]. 科学管理研究, 2021, 39(3): 85-90.
- [6] 厉启晗. 绿色金融改革的碳减排效应及其影响机制[J]. 现代经济探讨, 2025, (3): 62-72+87.
- [7] 陈俊金, 邢欣茹, 王海峰, 等. 绿色金融对经济高质量发展的驱动机制及政策干预研究[J]. 商展经济, 2024, (23): 95-98.
- [8] 李依颖. 新冠肺炎疫情冲击下的绿色债券发展研究[J]. 金融经济, 2020, (9): 65-70+77.
- [9] 邓翔, 吴雨伦, 王杰, 等. 商业银行绿色金融发展指标体系构建及测度[J]. 统计与决策, 2022, 38(9): 138-142.
- [10] 张莉莉, 肖黎明, 高军峰. 中国绿色金融发展水平与效率的测度及比较——基于 1040 家公众公司的微观数据[J]. 中国科技论坛, 2018, (9): 100-112+120.
- [11] Wang L, Qiu X M, Zhang X X, et al. Development status and environmental impact evaluation of China's green finance[J]. Applied Ecology & Environmental Research, 2019, 17(5): 12245-12258.
- [12] 曾学文. 中国绿色金融发展程度的测度分析[J]. 中国延安干部学院报, 2014(6): 112-121.

- [13]岳永生. 绿色金融发展水平测度及比较分析——基于绿色金融改革创新试验五省区的实践经验[J]. 区域金融研究, 2019(4): 34-38.
- [14]刘金石. 我国区域绿色金融发展政策的省际分析[J]. 改革与战略, 2016(7): 29-34.
- [15]李若愚. 我国绿色金融发展现状及政策建议[J]. 宏观经济管理, 2016(1): 58-60.
- [16]杨阳, 王国松. 绿色金融发展水平测度——以上海为例[J]. 海南金融, 2017(4): 20-26.
- [17]张正平, 宋鹏飞. 中国城市绿色金融发展水平的地区差异及时空演变[J]. 统计与决策, 2024, 40(24): 127-132.
- [18]孔凡斌, 罗锐峰, 徐彩瑶. 浙江省县域绿色金融发展水平变化特征、影响因素与情景预测[J]. 经济地理, 2024, 44(11): 132-140+150.
- [19]韩叙, 柳潇明, 刘文婷, 等. 黄河流域绿色金融与经济高质量发展耦合协调时空特征及驱动因素[J]. 经济地理, 2023, 43(9): 121-130.
- [20]吴泓翰, 徐玖平. 绿色金融对中国地区碳排放效率的影响效应分析——基于动态空间面板模型的实证研究[J]. 社会科学研究, 2023, (6): 84-92.
- [21]李云燕, 张硕. 中国绿色金融发展的时空格局变迁与关联网络演化[J]. 当代经济管理, 2023, 45(11): 76-87.
- [22]乔琴, 樊杰, 孙勇, 等. “一带一路”沿线省域绿色金融测度及影响因素研究[J]. 工业技术经济, 2021, 40(7): 120-126.
- [23]王悦, 孙凯. “一带一路”沿线国家的金融发展水平测度研究[J]. 金融发展评论, 2021(3): 29-42.
- [24]Hu Y, Zheng J. How does green credit affect carbon emissions in China? A theoretical analysis framework and empirical study[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(39): 59712-59726.
- [25]Zhang A, Deng R, Wu Y. Does the green credit policy reduce the carbon emission intensity of heavily polluting industries?-Evidence from China's industrial sectors[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 311: 114815.
- [26]刘锋, 黄苹, 唐丹. 绿色金融的碳减排效应及影响渠道研究[J]. 金融经济学

- 研究, 2022, 37(6): 144-158.
- [27]程郁泰, 肖红叶. 绿色金融政策的经济效应与碳减排效应测度[J]. 统计与决策, 2022, 38(22): 136-141.
- [28]毛彦军, 曲迎波, 郑天恩. 绿色信贷的碳排放效应及其能源效率机制研究——基于空间计量模型的分析[J]. 金融理论与实践, 2022, (9): 57-68.
- [29]文书洋, 史皓铭, 郭健. 一般均衡理论视角下绿色金融的减排效应研究:从模型构建到实证检验[J]. 中国管理科学, 2022, 30(12): 173-184.
- [30]郭希宇. 绿色金融助推低碳经济转型的影响机制与实证检验[J]. 南方金融, 2022, (1): 52-67.
- [31]尤志婷, 彭志浩, 黎鹏. 绿色金融发展对区域碳排放影响研究——以绿色信贷、绿色产业投资、绿色债券为例[J]. 金融理论与实践, 2022, (2): 69-77.
- [32]王遥, 潘冬阳, 彭俞超, 等. 基于 DSGE 模型的绿色信贷激励政策研究[J]. 金融研究, 2019, (11): 1-18.
- [33]徐胜, 张双, 唐佳婕. 绿色信贷对海洋经济转型的驱动效应研究[J]. 中国渔业经济, 2021, 39(2): 44-54.
- [34]刘昱彤, 李瑞前. 绿色信贷政策对重污染企业环保投资的影响研究——来自 PSM-DID 的证据[J]. 对外经贸, 2023, (9): 81-84.
- [35]Grubb M. The greenhouse effect: negotiating targets[J]. Royal Institution of international Affairs, 1989.
- [36]Grubler A, Nakicenovic N. International burden sharing in greenhouse gas reduction[J]. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1994.
- [37]Meng B, Xue J J, Feng K S, et al. China's inter-regional spillover of carbon emissions and domestic supply chains[J]. Energy Policy, 2013, 61: 1305-1321.
- [38]Phylipsen G J M, Bode J W, Blok K, et al. A Triptych sectoral approach to burden differentiation; GHG emissions in the European bubble[J]. Energy policy, 1998, 26(12): 929-943.
- [39]Rose A, Stevens B, Edmonds J, et al. International equity and differentiation in global warming policy[J]. Environmental and Resource Economics, 1998, 12: 25-51.

- [40] Groenenberg H, Phylipsen D, Blok K. Differentiating commitments world wide: global differentiation of GHG emissions reductions based on the Triptych approach—a preliminary assessment[J]. *Energy Policy*, 2001, 29(12): 1007-1030.
- [41] Winkler H, Brouns B, Kartha S. Future mitigation commitments: Differentiating among non-Annex I countries[J]. *Climate Policy*, 2006, 5(5): 469-486.
- [42] Kartha S, Baer P, Athanasiou T, et al. The greenhouse development rights framework[J]. *Climate and Development*, 2009, 1(2): 147-165.
- [43] 国务院发展研究中心课题组, 刘世锦, 张永生. 全球温室气体减排:理论框架和解决方案[J]. *经济研究*, 2009, 44(3): 4-13.
- [44] 林坦, 宁俊飞. 基于零和 DEA 模型的欧盟国家碳排放权分配效率研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2011, 28(3): 36-50.
- [45] Rose A, Zhang Z X. Interregional burden-sharing of greenhouse gas mitigation in the United States[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2004, 9(4): 477-500.
- [46] 王金南, 蔡博峰, 曹东, 等. 中国 CO₂ 排放总量控制区域分解方案研究[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(4): 680-685.
- [47] 王文举, 陈真玲. 中国省级区域初始碳配额分配方案研究——基于责任与目标、公平与效率的视角[J]. *管理世界*, 2019, 35(3): 81-98.
- [48] 宋敏, 邹素娟. 黄河流域碳排放权省域分配及碳减排潜力评估——基于 2030 年碳强度目标[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(15): 230-239.
- [49] Yi W J, Zou L L, Guo J, et al. How can China reach its CO₂ intensity reduction targets by 2020? A regional allocation based on equity and development[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2407-2415.
- [50] 杨姝影, 蔡博峰, 曹淑艳, 等. 二氧化碳总量控制区域分配方法研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [51] Wang K, Zhang X, Wei Y M, et al. Regional allocation of CO₂ emissions allowance over provinces in China by 2020[J]. *Energy policy*, 2013, 54: 214-229.
- [52] 汪燕, 王文治, 马淑琴. 中国省域间碳排放责任共担与碳减排合作[J]. *浙江社会科学*, 2020, (1): 40-51+156.

- [53]钟章奇, 张旭, 何凌云, 等. 区域间碳排放转移、贸易隐含碳结构与合作减排——来自中国 30 个省区的实证分析[J]. 国际贸易问题, 2018, (6): 94-104.
- [54]王宪恩, 赵思涵, 刘晓宇, 等. 碳中和目标导向的省域消费端碳排放减排模式研究——基于多区域投入产出模型[J]. 生态经济, 2021, 37(5): 43-50.
- [55]Wang Y, Liang S. Carbon dioxide mitigation target of China in 2020 and key economic sectors[J]. Energy Policy, 2013, 58: 90-96.
- [56]Xia X H, Chen G Q. Energy abatement in Chinese industry: cost evaluation of regulation strategies and allocation alternatives[J]. Energy Policy, 2012, 45: 449-458.
- [57]朱莉红, 袁艳红. 基于公平和效率的行业碳减排责任分担研究[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(24): 256-266.
- [58]张继宏, 程芳萍. “双碳”目标下中国制造业的碳减排责任分配[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 64-72.
- [59]李光辉, 程仕杰. 金融创新赋能沿边自贸试验区高质量发展:现状、问题与策略[J]. 当代经济管理, 2025, (1): 82-88.
- [60]周泽炯, 徐金雪. 绿色金融发展水平对区域经济低碳化影响的实证研究[J]. 大连大学学报, 2024, 45(4): 56-65.
- [61]董艳玲, 苏仕喆. 绿色金融助推新质生产力发展研究[J]. 理论探索, 2024, (6): 20-28.
- [62]谢婷婷, 刘锦华. 绿色信贷如何影响中国绿色经济增长?[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 83-90.
- [63]肖仁桥, 肖阳, 钱丽. 绿色金融、绿色技术创新与经济高质量发展[J]. 技术经济, 2023, 42(3): 1-13.
- [64]赵玉帛, 张馨, 姜湘君, 等. 绿色金融对地区环境绩效的影响研究——基于 fsQCA 的组态分析[J]. 生态经济, 2025, 41(2): 162-170.
- [65]刘哲希, 陈彦斌. “十四五”时期中国经济潜在增速测算——兼论跨越“中等收入陷阱”[J]. 改革, 2020, (10): 33-49.

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文与参与的科研项目经历

攻读学位期间发表的学术论文目录

- [1] 吴冉, 何朝林. 纳入绿色金融原则的中国高耗能行业碳减排责任分配[J]. 安徽工业大学学报, 2024. (已录用)

参与的项目情况

- [1] 国家自然科学基金面上项目《资产均衡价格区间对投资者交易行为的影响及其监管研究》（项目编号：71873002，参与）
- [2] 国家自然科学基金面上项目《金融资产泡沫的形成、识别及其价格有效性测度研究》（项目编号：72271003，参与）
- [3] 股票价格泡沫成因、识别及其预警[M], 北京: 人民邮电出版社, 2024.

致谢

随着这篇硕士论文的完成，我深切地感受到这段学术旅程的艰辛与收获。在此，我要向所有在这一路上给予我支持、鼓励与帮助的人们表达我最诚挚的谢意。

首先，我要衷心感谢我的导师何朝林教授。从论文的选题、研究设计到具体的计算过程，再到论文的撰写与修改，每一步都凝聚着导师的智慧与心血。导师严谨的治学态度、深厚的学术造诣以及对科研工作的无限热爱，都深深地感染并激励着我。在遇到困难与挑战时，是导师的耐心指导与鼓励，让我能够坚持下来，克服重重难关。在此，我向导师致以最崇高的敬意与最衷心的感谢。

同时，我要感谢我的同门。在这个充满学术氛围的环境中，我们共同探讨问题、分享研究成果，彼此之间的支持与帮助让我受益匪浅。特别要感谢汪家臻、陈朝晖、徐超同学在我的论文研究设计过程中提供的宝贵建议，极大地丰富了我的研究内容，使我的研究能够更加顺利地完成。

在论文撰写的这一漫长而充满挑战的过程中，我深切地体会到了与他人相互支持的重要性。在这个过程中，我并非孤军奋战，有幸得到了来自室友们的无私帮助与鼓励，他们分别是贾银平、张明月以及魏晨晨。这三位室友不仅在日常生活中给予我温馨的陪伴与关怀，更在学术探索的道路上成为了我不可或缺的伙伴。

此外，我还要感谢我的家人与朋友。在我全身心投入研究的那段日子里，他们给予了我最大的理解与支持。家人的关爱与朋友的陪伴，让我能够无后顾之忧地专注于学业。每当我遇到挫折与困惑时，是他们的鼓励与开导，让我重新找回信心与动力。这份深厚的亲情与友情，是我人生中最宝贵的财富。

最后，我要向所有参与本论文评审与答辩的专家们表示衷心的感谢。他们的宝贵意见与建议，不仅对我的研究进行了全面的审视与检验，更为我今后的学术道路指明了方向。我将虚心接受并认真改进，以期在未来的研究中取得更大进步。

回首这段学术旅程，我深感自己收获了知识、成长与友谊。这些宝贵的经历将成为我人生旅途中不可或缺的财富。再次向所有给予我支持与帮助的人们表示最诚挚的谢意！愿我们在未来的道路上都能够勇往直前、不断追求卓越！