

分类号

U D C

密级

编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 绿色金融对低碳经济发展的非线性影响研究  
——基于半参数空间面板模型

研究生姓名: 熊林波

指导教师姓名、职称: 刘志军 教授

学科、专业名称: 应用经济学 金融工程

研究方向: 资产定价

提交日期: 2023年6月9日

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 熊林波 签字日期： 2023.6.9

导师签名： 刘彦军 签字日期： 2023.6.9

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 熊林波 签字日期： 2023.6.9

导师签名： 刘彦军 签字日期： 2023.6.9

**Research on the nonlinear impact of green  
finance on the development of low-carbon  
economy—Based on a semi-parametric  
spatial panel model**

**Candidate: Xiong Linbo**

**Supervisor: Liu Zhijun**

## 摘要

党的二十大报告提出，推动低碳产业发展，需要优化支持低碳发展的财政、税收、投资和标准体系，完善以市场为导向的资源环境要素供求体系，加快污染减排和碳减排技术的创新和应用，提倡低碳消费，倡导绿色低碳生产和生活方式，推动形成绿色低碳经济。绿色金融作为促进低碳经济发展的重要手段之一，已经引起政府和社会的广泛关注。因此，积极推动绿色金融的发展，既是推动生态文明建设的内在要求，也是促进我国低碳经济发展、实现金融供给侧结构性改革向生态化转型的必然要求。

首先，在回顾了现有文献和相关理论后，对绿色金融与低碳经济等概念进行了明确定义，并利用扩展的 Kaya 模型进行了绿色金融与低碳经济发展之间的非线性关系的数值模拟和分析。其次，本研究以 2008 至 2020 年中国 30 个省级行政单位的面板数据为基础，构建了绿色金融发展评价指标体系。采用遗传算法组合赋权法逐层计算指标权重，得到绿色金融发展综合指数。从经济增长和碳排放的角度计算碳生产力，衡量低碳经济的发展水平，并根据计算结果分析了绿色金融与低碳经济发展的现状。最后，运用半参数空间面板模型，探究绿色金融在低碳经济中的非线性作用及其在不同地区的异质性。

研究结果表明以下几点。第一，在研究期内，中国绿色金融和低碳经济发展的整体水平呈现出上升趋势，区域和省际之间的差异也呈现出不断扩大的发展态势。莫兰指数和空间异质性分布图显示，中国区域绿色金融发展与低碳经济发展之间存在着明显的空间依赖关系。此外，随着年份的增加，更多的省份呈现出高-高集聚和低-低集聚的特点。第二，绿色金融对低碳经济发展的影响呈现出明显的“U”型非线性关系，这一规律也适用于绿色金融对相邻地区低碳经济发展的影响。第三，二者之间的非线性关系具有区域异质性：东部地区绿色金融和低碳经济发展呈正向线性关系，中部地区呈“U”型非线性特征。然而，在西部地区，它显示出一种近似倒置的“N”型非线性关系。最后，基于理论和实证模型结果，提出了促进绿色金融发展、更好地服务于低碳经济发展的可行政策建议。

**关键词：**绿色金融 低碳经济 半参数空间面板模型 非线性 遗传算法组合赋权

## Abstract

The report of the Twentieth National Congress of the Communist Party of China pointed out that to promote the development of low-carbon industries, it is necessary to optimize the financial, tax, investment and standard systems to support low-carbon development, improve the supply and demand system of market-oriented resources and environmental elements, accelerate the innovation and application of pollution emissions reduction and carbon reduction technologies, promote low carbon consumption, advocate green low carbon production and lifestyle, and promote a green and low carbon economy. As one of the important means to promote the development of a low-carbon economy, green finance has attracted widespread attention from governments and society. Therefore, actively promoting green finance development is both an inherent requirement for promoting the construction of ecological civilization, but also an inevitable requirement to facilitate China's development of the low carbon economy and realize the financial supply-side structural reform to the transformation of ecology.

First, after reviewing existing literature and related theories, concepts such as green finance and a low-carbon economy have been clearly defined, and a numerical simulation and analysis of the non-linear relationship between green financing and the development of a low-carbon economy have been carried out using the expanded Kaya model. Second, this study

based on panel data from 30 provincial administrative units in China from 2008 to 2020, built a green financial development evaluation indicator system. The use of the genetic algorithm portfolio empowerment method layer by layer calculated the indicator weight, and obtained the comprehensive index of green financial development. Calculate carbon productivity from the perspective of economic growth and carbon emissions, measure the level of development of a low-carbon economy, and analyze the status quo of green finance and low-carbon economy development based on the results of the calculation. Finally, the semi-parameter spatial panel model explores the nonlinear role of green finance in a low-carbon economy and its heterogeneity in different regions.

The study results show the following points. First, during the study period, China's overall level of green finance and low-carbon economy development showed an upward trend, and regional and inter-provincial differences also showed a growing trend of development. The Molland Index and the spatial heterogeneous distribution chart showed that there was a clear spatially dependent relationship between China's regional green finance development and the development of a low-carbon economy. In addition, as the years increased, more provinces showed characteristics of high-high concentration and lower-low concentration. Secondly, the impact of green finance on the development of a low-carbon economy shows a clear "U" type of non-linear relationship, which also applies to the

effect of green financing on the growth of low-carbon economies in neighbouring regions. Third, the nonlinear relationship between the two has a regional heterogeneity: the development of green finance and low-carbon economies in the eastern region has a positive linear relationship, and the central region has a "U" type of non-linear characteristics. However, in the western region, it shows an approximately reversed "N" type of nonlinear relationship. Finally, based on the results of theoretical and empirical models, feasible policy suggestions are proposed to promote green finance development and better serve the development of a low-carbon economy.

**Keywords:** Green finance; Low-carbon economy; Semi-parameter spatial panel model; Nonlinear; Genetic algorithm combined weighting

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	4
1.2 文献综述 .....	5
1.2.1 绿色金融相关研究 .....	5
1.2.2 低碳经济相关研究 .....	7
1.2.3 绿色金融对低碳经济发展的非线性影响相关研究 .....	9
1.2.4 文献评述 .....	11
1.3 研究方法与内容 .....	11
1.3.1 研究方法 .....	11
1.3.2 研究内容 .....	12
1.3.3 技术路线图 .....	14
1.4 创新与不足 .....	15
<b>2 绿色金融对低碳经济发展非线性影响的理论分析</b> .....	16
2.1 概念界定 .....	16
2.1.1 绿色金融 .....	16
2.1.2 低碳经济 .....	16
2.2 理论基础 .....	17
2.2.1 外部性理论 .....	17
2.2.2 金融功能理论 .....	18
2.2.3 “两个半球发展”理论 .....	19
2.2.4 空间相关性理论 .....	20
2.2.5 环境库兹涅茨曲线 .....	20
2.3 绿色金融对低碳经济发展非线性影响机制分析 .....	21
2.3.1 拓展的 Solow 模型 .....	21
2.3.2 修正的 Kaya 模型 .....	23

2.3.3 数值模拟.....	25
2.4 非线性影响的空间关联效应分析.....	26
2.5 非线性影响关系的地区异质性分析.....	27
<b>3 绿色金融及低碳经济发展的测度与现状分析.....</b>	<b>30</b>
3.1 绿色金融的测度与分析.....	30
3.1.1 测算方法及比较.....	30
3.1.2 评价指标体系构建.....	31
3.1.3 测度结果及分析.....	32
3.2 低碳经济发展的测度与分析.....	35
3.2.1 测算方法.....	35
3.2.2 测度结果及分析.....	36
3.3 绿色金融与低碳经济的变动关系分析.....	39
<b>4 绿色金融对低碳经济发展非线性影响的实证分析.....</b>	<b>41</b>
4.1 变量选取与数据来源.....	41
4.1.1 变量选取.....	41
4.1.2 数据来源与描述性统计.....	42
4.2 模型设定及相关检验.....	43
4.2.1 相关性分析.....	43
4.2.2 单位根检验.....	44
4.2.3 空间相关性检验.....	45
4.2.4 最优空间估计模型的选择.....	50
4.3 基准实证结果分析.....	51
4.4 稳健性检验.....	53
4.4.1 替换核心解释变量.....	54
4.4.2 替换空间矩阵.....	54
4.4.3 更换样本区间.....	54
4.5 内生性检验.....	55
4.6 空间关联效应分析.....	56
4.7 异质性分析.....	58

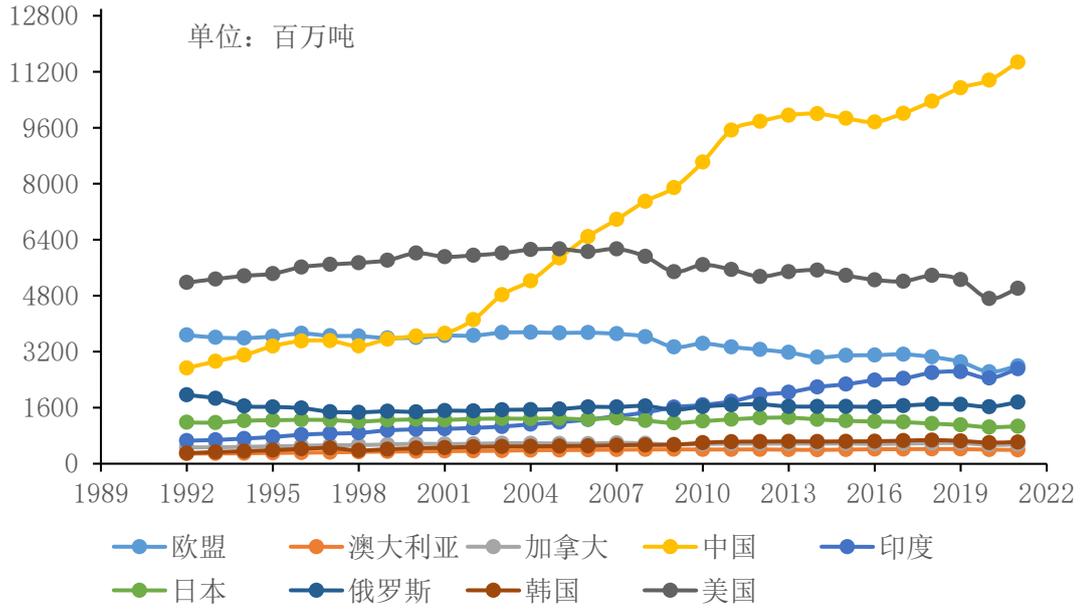
<b>5 结论与建议</b> .....	62
5.1 结论.....	62
5.2 建议.....	63
5.2.1 构建多层次绿色资本市场实现绿色金融功能有效发挥.....	63
5.2.2 改善绿色金融发展的外部环境促进低碳经济的有效发展.....	64
5.2.3 基于区域实际孕育独特的绿色金融体系模式.....	64
5.2.4 借助绿色金融的空间溢出效应推进低碳经济的协同发展.....	65
<b>参考文献</b> .....	66
<b>致 谢</b> .....	72

# 1 绪论

## 1.1 研究背景及意义

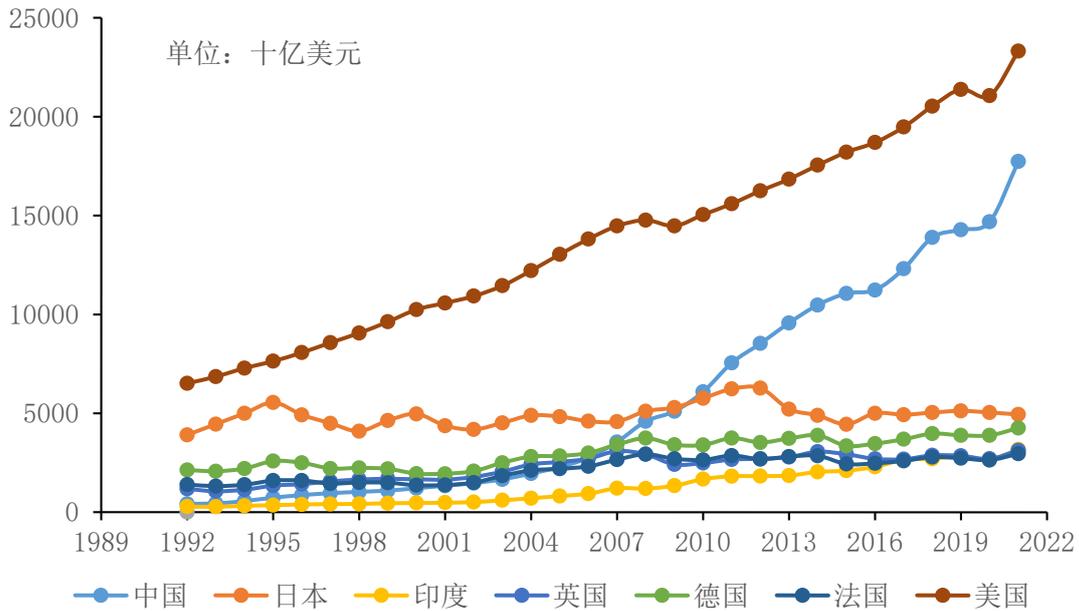
### 1.1.1 研究背景

气候变化已经成为世界面临的一个共同的生存挑战。造成这一问题的主要原因之一是人们在生产和日常生活中产生的二氧化碳的过度排放。1992年，联合国发布了第一份法律文件—《联合国气候变化框架公约》，而在1997年，联合国制定了另一份名为《京都议定书》的文件，两者均适用于全球。该条约规定，发达国家因历史排放问题，需要比发展中国家先承担减排任务。2015年，《巴黎协定》通过，获得世界上大多数国家的赞同，其减排目标更加严格，比《京都议定书》更有约束力。因此，绿色低碳发展已成为全球重要共识。为减少地球上的温室气体排放，保护自然环境和生物多样性，人类必须大幅减少经济活动的碳排放，保护地球环境。这是世界各国的共同责任和义务。然而，中国的减排压力相对于其他国家更大，如图 1.1 所示。中国的二氧化碳排放总量迅速增加，远远超过世界主要经济体的排放量。依据《BP 世界能源统计年鉴》数据显示，2020年中国的能源消费增长率达 2.1%，导致其在全球碳排放总量中的比重上升至 31%。因此，中国在国际上的减排形势不容乐观，处于被动地位。这对中国的国际贸易环境和低碳竞争力产生了影响，也不利于中国在国际社会中获得更高的声誉和地位。在这背后，改革开放以来，中国在经济、产业、城市化等方面取得了快速发展，如图 1.2 所示。中国的经济总量已经超过了日本，与美国的差距也在逐步缩小，位居世界第二。因此，中国在世界经济发展和碳排放中的主导地位，意味着中国能否采取有效的环境和气候治理措施，对全球绿色低碳发展的进程和效果起着至关重要的作用。



数据来源：<http://www.globalcarbonatlas.org>

图 1.1 世界主要经济体二氧化碳排放趋势

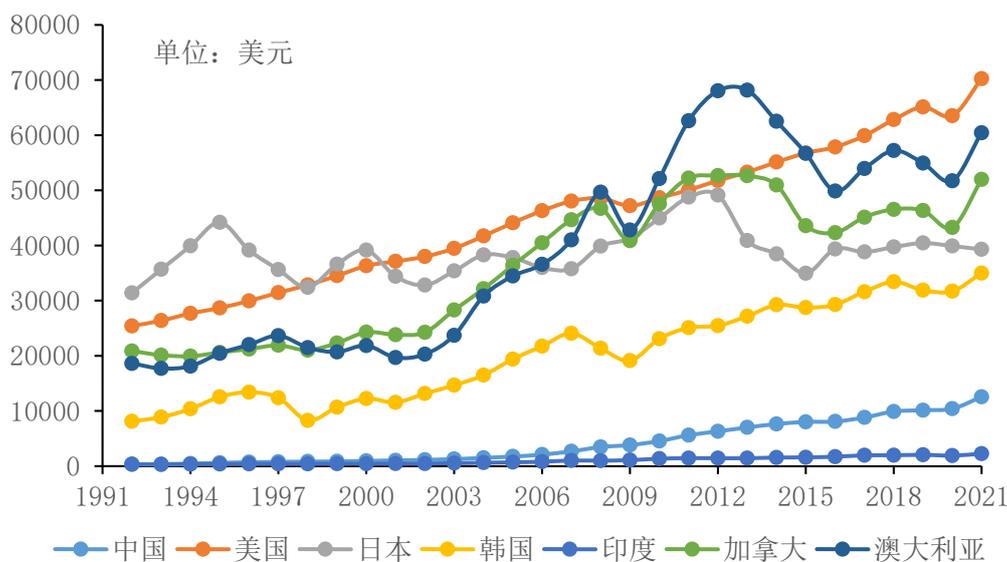


数据来源：<https://www.gtarsc.com>

图 1.2 世界主要经济体 GDP

为了应对改革开放以来 40 多年的经济增长带来的资源和环境挑战，中国立足于国内形势，协调经济、社会、能源和资源管理，并制定了雄心勃勃的自主贡献目标。由于中国仍然是世界上最大的发展中国家，如图 1.3 所示的人均 GDP 仍

然远低于主要发达国家，经济发展仍然占据着最重要的位置。因此，找到一个平衡经济和气候的低碳发展计划，已经成为中国需要解决的一个紧迫问题。作为构建以市场为导向的绿色技术创新体系的基本要素和现代经济运行的核心，绿色金融是政府促进经济发展和气候治理的重要工具。因此，近年来，中国逐渐加强了对绿色金融和低碳经济的关注。“十二五”规划建议将加快推动经济发展转型放在政府工作的首位。国家战略规划中于 2015 年 4 月首次提出“推进绿色发展”。接着在 2016 年 3 月，“十三五”规划中又一次把优化绿色金融体系、丰富绿色金融产品结构等放在重要位置。这一规划与联合国可持续发展目标的实施有机地结合起来。中国共产党第十九次全国代表大会强调了建立健全低碳发展经济体系的重要性，并提到可以从金融和能源体系的角度来推动。2021 年政府工作报告和“十四五规划”明确：为推动绿色低碳发展，要把人与自然作为命运共同体的现代化目标，并为今后的发展方向作出了规划。此外，政府还规定了在 2060 年前实现碳中和的目标，并制定了实现这一目标的具体行动计划。2021 年 1 月，中央银行工作会议对金融业如何支持实现碳中和目标做出了具体安排。2022 年 10 月召开的中国共产党第二十次全国代表大会再次强调协调推进减碳、增长和绿色扩张。



数据来源：<https://www.gtarsc.com>

图 1.3 世界主要经济体人均 GDP

自文之始，观之可知，深入研究绿色金融在低碳经济发展中所具备的具体路径，已成为当前经济转型中最为紧迫的任务。鉴于我国各省市之间的经济基础、自然资源、社会发展水平、产业结构以及金融发展的市场与制度等均具有显著的不同，所以，目前我国绿色金融的发展呈现出东西部之间发展不协调的特征，各地低碳经济转型的进程也各有不同。低碳经济作为绿色金融的基石，绿色金融对其发展的支持也是必不可少的关键环节。因此，基于各区域不同的经济、金融以及政策背景，本文的目的是建立非线性理论基础，研究绿色金融对低碳经济发展的非线性影响机制。同时，采用最新的半参数空间面板数据模型，对两者之间的非线性影响进行分析。将理论与现实相结合，探究绿色金融与低碳经济发展之间的非线性关系，为制定健康可持续的绿色金融发展战略及有效支持低碳经济发展的途径提供依据。

### 1.1.2 研究意义

我国的经济发展已经由原本的高速增长进入到“新常态”阶段，如何找到经济发展的新增长点以及转变为低碳经济发展方式，已成为当前经济增长研究的重中之重。目前来看，无论是低碳经济方式的转变还是低碳社会的整体促进，绿色金融都发挥了不可替代的关键作用。

#### (1) 理论意义

首先，目前关于金融、经济与环境的研究更多是集中在金融对生态环境的具体影响、绿色金融与经济增长的关系等方面，且研究主题一般都为某变量的线性影响，存在模型设定偏误导致的估计结果偏差，而从空间溢出角度探索绿色金融与低碳经济非线性关系的研究还比较缺乏。其次，目前的文献基本都用单一的主客观赋权法或简单组合赋权法对绿色金融测度，存在一定的主观意志和测度偏差问题。本文在三种客观赋权法基础上用遗传算法组合赋权法以期更精确衡量绿色金融发展综合指数。最后，从拓展的 Solow 与修正的 Kaya 模型出发，经过模型的推导与数值模拟，得出绿色金融与低碳经济关系的非线性假说，为分析绿色金融与低碳经济发展的关系提供了可供选择的新视角，厘清了绿色金融作用于低碳经济的路径。

## （2）现实意义

为了推动中国的低碳转型，政府已将绿色金融和低碳经济发展提升至国家战略层面。其旨在实现经济增长与可持续发展的平衡，因此提出了“双碳”目标，即实现碳达峰和碳中和。为实现这一目标，需要充分调动绿色金融的效能。本文的研究结论回答了绿色金融在空间相关性显著存在的情况下对区域低碳经济发展的影响。基于半参数空间面板模型，探索了绿色金融对区域低碳经济的非线性影响及区域异质性。这对于各区域形成高效的绿色金融体系、有力推动低碳经济建设具有重要现实意义。

## 1.2 文献综述

### 1.2.1 绿色金融相关研究

随着一系列气候问题的出现，人们逐渐认识到，经济发展不能再以高污染、外延式的方式继续下去。相反，应该实现经济与环境的双赢，由此产生了绿色金融。现有的研究主要涉及绿色金融的内涵、发展的必要性、评价测度等。因此，接下来将以这三个方面为基础，对现有研究进行全面综合分析。

#### 1.2.1.1. 绿色金融内涵的相关研究

绿色金融这一概念是源自于环境金融、可持续金融等领域的不断演化，因此其内涵也在不断地变化。无论是学术界还是实践界，都尚未形成相同的定义标准。

早期环境污染问题严重，为了遏制环境恶化的趋势，人们开始关注环境保护，从而催生了“环境金融”的诞生与发展。这为低碳环保企业的发展注入了新的动力（Salazar, 1998）。Labatt S（2002）通过比较分析法，分析了绿色金融和传统金融在服务对象、理念、机制和目的等方面的区别，从而得出了绿色金融的定义。随着社会对低碳环保认识的不断深入，绿色金融所能服务的对象也将不断被发掘。因此，绿色金融的内涵也在自然扩展中不断增加。只要金融服务于与低碳环保相关的领域，就可被称为绿色金融（Scholtens, 2006）。在国内的学术研究方面，高建良（1988）得出，绿色金融是一种专门为环保和清洁型企业提供更多金融资

源、相关优惠及便利服务的金融工具。绿色金融是一种专业金融，旨在促进环境和经济效益的双赢，既是金融业在环境保护领域创新的成果，也是金融业不断细分的体现（何建奎等，2006）。2016年后，国内对绿色金融的内涵探究如雨后春笋般涌现，并且其定义也变得更加丰富多彩。据殷剑峰和王增武（2016）的研究，低碳产业的投融资、低碳技术的创新、以及产业结构向低碳化的转变，都离不开绿色金融业务与产品的支持。然而，何茜（2021）则从绿色金融系统层面认为，要发挥绿色金融的最大效能，必须从绿色金融的生态系统入手，而不仅仅局限于绿色金融工具这个单一层面。与此同时，绿色金融评估也正在发生变革，从对特定的绿色金融产品进行评估，向对整个绿色金融领域的评估转变。然而，与以往的研究视角不同，魏丽莉和杨颖（2022）从历史的角度出发，认为绿色金融包含了环境金融、生态金融等早期概念，并在支持方向的基础上包含了更广泛的金融活动。

#### 1.2.1.2. 关于绿色金融发展必要性的研究

发展绿色金融是一项造福国民的美好事业，不仅可以改善人居环境和气候质量，实现碧水蓝天的美景，还能够对经济发展提供有力支撑。对于企业、个人、金融机构以及整个社会而言，发展绿色金融都具备积极的作用。就金融机构而言，将更多的绿色信贷资源有针对性地投向低碳环保领域，不仅能够显著降低贷款违约的风险，更能保障贷款顺利回收（Bert Scholtens 等，2006）。如果企业要实现自身的低碳转型升级，仅凭其自身努力是不够的，它必须依赖于外部金融体系的绿色转型是否也在进行（Emtairah 等，2006）。在宏观经济层面，陈经纬等（2019）得出，生态文明建设的资本“双缺口”是中国在现代金融体系中构建绿色金融体系的基本逻辑和出发点。据马骏（2015）指出，建立多层次、立体化的绿色金融体系在多个方面具有积极的作用。例如拉动经济增长，促进产业、交通等结构的低碳化发展，提高经济科技含量，减轻环境问题对金融的影响，并维护中国作为负责任大国的形象。然而，俞岚（2016）认为，建立与优化多层次、立体化的绿色金融系统对活跃绿色融资的创新具有很大支撑作用。严金强和杨小勇（2018）基于绿色创新的视角认为，在绿色技术创新的全环节中，绿色金融对绿色技术创新体系的四大主体和三大机制都具有提供源头活水的作用。

### 1.2.1.3. 关于绿色金融评价及测度的研究

由于绿色金融乃宏观概念，其指标多元复合，故采用单一指标测度易导致结果与实际偏差甚远，匮乏准确性。因此，大多数学者均依据指标选择之科学有效原则，运用综合评价法结合绿色金融各项指标，构建综合评估指数。Marcel Jeuchen（2001）基于银行对绿色产业的态度，从五个方面建立了绿色金融指标评价体系，并通过调查测量了全球 34 家银行的绿色金融水平。Clark 等（2018）参照银行业常用的赤道原则，从银行机构总数、比例、绿色贷款规模等几个因素计算出一国的绿色金融发展水平。国内的研究大多基于绿色金融供给端的指标和数据，对绿色金融水平进行综合评估（李晓西等，2014）。然后，张莉莉等（2018）采用较为客观的效率模型，基于 1000 多家企业的数据，对绿色金融综合指数进行估算。于波和范从来（2022）采用主观和客观相结合的方法，确定了绿色贷款、绿色证券、绿色保险、绿色投资四个因子的权重，然后线性合成了绿色金融综合指数。贾晓薇（2020）充分考虑了数据的可得性，将环境污染治理的总投资作为绿色金融发展的代表，同时将其占 GDP 的比例作为衡量指标。

## 1.2.2 低碳经济相关研究

近些年来，世界范围内越来越多的国家正加快推进低碳经济的发展，以实现可持续的经济和社会发展目标。这一趋势的背后是人们对于减少温室气体的排放和减少环境污染的日益关注。通过对相关文献的整理和分析，发现现有研究大多涉及低碳经济发展的三个方面，即内涵、影响因素和评价测度。本文将通过这三个方面对现有研究进行梳理。

### 1.2.2.1. 低碳经济内涵

低碳经济一词首次出现在公众视野中是在 2003 年英国的《新能源白皮书》中。该白皮书是英国政府发表的一份旨在促进新能源和可再生能源发展的政策文件。该文件指出在寻求经济发展的同时要减少污染和排放。随后，国内学者对低碳经济进行了大量的研究，得出了大同小异的定义。邬彩霞（2021）指出，低碳经济的实现可以通过优化能源和资源的流动方式，实现由碳基能源的高占比向低

碳清洁能源的普及化转变。这种消耗能源现状的根本性变化，不仅是为了应对气候变化，更要在实现经济发展与环境保护的双重目标上取得协调和谐的发展。之前，庄贵阳等（2010）曾指出，低碳经济理应具备四大核心元素：经济水平、资源要素、技术水平、消费方式。由此可见，全球学术界对于低碳经济内涵的理解具有一个共同的观点，那就是在提高经济效益的同时减少排放。

#### 1.2.2.2. 低碳经济发展的影响因素研究

低碳经济的发展受到各种因素的影响，也正是这些因素的差异导致了绿色金融对低碳经济发展的非线性影响。根据对现有研究成果的总结，影响低碳经济发展的因素包括：黄永春等人（2022）发现，低碳经济的发展取决于金融监管的力度。宋文飞（2021）证明，外国直接投资既能促进也能抑制碳生产力。王巧然（2021）表明，低碳城市化和科学合理的城市规划可以成为中国经济绿色低碳发展的必由之路。高锦杰（2021）发现，绿色金融产品促进了产业结构的转型升级，为低碳经济的发展提供了保障。Zhu 等人（2023）发现，技术进步是促进低碳经济发展的路径。同时，Zhang 等人（2022）也认为，绿色金融通过技术进步和产业结构升级促进了碳排放效率的提高。苏冬蔚和连莉莉（2018）也发现，绿色信贷可以促进产业结构的生态化，有利于低碳经济的发展。张修凡（2021）在对碳排放交易市场的研究中发现，突破性和渐进性的技术创新可以促进区域经济的低碳发展。

#### 1.2.2.3. 低碳经济发展水平测度

目前，衡量低碳经济发展水平的方法和指标体系尚未达成共识，研究者一般会根据自己的研究对象选择合适的指标和衡量方法。例如，潘苏楠等（2019）选用一些代表可持续概念的指标组成低碳经济的指标体系，然后使用多边形图法评估低碳经济的发展水平。而蔡宏宇和黄陈武（2015）则另辟蹊径，使用直接加权等方法，多角度评价低碳经济指数的测量问题。基于 PSR 概念模型角度，刘蓓华等（2013）设计了全新的多层次的低碳经济指标系统，并运用主成分分析法测算其综合指数。然而，一些学者用单因素生产率和全要素生产率来表征低碳经济的发展。Wang 等（2016）用碳排放强度来衡量区域层面的低碳经济发展水平，Yu 等（2022）也用碳强度作为低碳经济发展的指标。然而，张宁（2022）采用共

同边界法和两期定向距离函数同时使用 Bootstrap 方法来衡量低碳的全要素生产率，从而表征低碳经济的发展水平。

### 1.2.3 绿色金融对低碳经济发展的非线性影响相关研究

经过对相关非线性文献的整理得出，绿色金融在低碳经济发展中的作用主要取决于技术创新和产业结构等各种因素。这种影响还取决于绿色金融综合指数、绿色金融的各个分项指数和绿色金融实施主体。因此，将从这些方面进行文献综述，探讨其非线性关系。

(1) 技术创新路径。当环境污染程度达到一定程度时，通过技术进步促进经济可持续增长的效果在绿色金融发展中会更强（傅亚平和彭政钦，2020）。而王殿武（2020）则证明了中国各省的绿色信贷与绿色低碳技术进步之间存在明显的“U型”关系并且与 Huang D(2022)的研究结论一致。随后，王馨和王营（2021）对绿色低碳技术创新进行了分类研究，指出绿色信贷有利于策略性创新，但策略性绿色创新对技术进步等的影响很小（黎文靖和郑曼妮，2016）。刘锋和黄萃等（2022）也认为，策略性绿色技术创新对碳减排没有起到作用。

(2) 产业结构路径。根据李毓等（2020）的研究，绿色信贷政策中的“倒逼机制”在某种程度上会对第三产业的发展产生负面影响。而杨子荣和张鹏杨（2018）基于产业结构适配角度得出，当金融结构与所服务的产业结构相融洽并且跟决定产业结构的经济发展阶段相适应的时候，才可以更好地支持低碳经济的发展。这也适用于绿色金融市场结构。根据陈向阳（2020）的研究结果，银行主导的金融结构明显增加了各地区的碳排放，而同时，绿色金融的供给不足也成为了制约低碳发展的一个因素。

(3) 绿色金融发展综合指数。文书洋等（2021）分析了一个理论模型，认为绿色金融适合在经济发达阶段引入，而且存在一个绿色金融的最优方案。此外，文书洋等（2022）通过理论分析证明，更多的绿色金融不一定更好，而是存在一个最佳的实施规模。张宇和钱水土（2022）也通过理论分析认为，绿色金融对清洁的技术与产业结构的积极影响依赖于清洁研发部门能享受到多大规模的贷款优惠。但是，朱兰和郭熙保（2022）从绿色金融存在的问题出发，指出缺乏统一

的绿色金融标准、技术和人才支持不足、环境信息披露水平低、激励约束机制不强等，都导致绿色金融对低碳经济发展的促进作用减弱甚至抑制。梁琳和林善浪（2018）通过研究得出，当前，我国金融体系还没有达到绿色发展状态，还没有对经济低碳、绿色转型起到积极推动作用。从本质上讲，绿色金融就是环境监管，杨志江等人（2019）认为，薄弱的环境监管不能对低碳经济增长发挥积极作用，负面效应占上风。

（4）绿色金融的各个分项指数。关于绿色信贷，王瑶等（2019）发现，一定程度的绿色信贷政策可以带来经济和环境的“双赢”，但如果力度不够或过大，结果会适得其反。郭俊杰和方颖（2022）随后发现，绿色信贷的引入可能对非清洁型企业的融资产生制约作用，从而使这些非绿企业转向非信贷融资。然而，这种方式可能会减少企业对环境投资的积极性。在绿色投资方面，中国的绿色投资，特别是绿色风险投资，由于规避风险，一般进入市场比较晚。这是一种看到希望后的“锦上添花”的行为，这一点在苟燕楠和董静（2013）的研究中得到了证实，曾胜和张明龙（2021）发现绿色投资对碳强度的影响是非线性的，呈“倒 U 型”或“倒 N 型”曲线。对于绿色证券，朱俊明等（2020）从理论上分析，绿色债券在吸引社会投资方面还缺乏足够的吸引力，这势必会导致前期不利于经济发展而后期会逐渐呈现促进效果。

（5）绿色金融实施主体。于东菊（2017）基于内容分析法证实，中国绿色金融的有效性受到环境法规、碳审计、金融竞争等因素的阻碍，导致金融机构发展绿色金融的意愿不强。李雪林（2022）的理论模型分析表明，绿色金融发展机制不能有效引导非绿色企业承担社会责任，金融机构仍然提供大量的非绿色资金，导致企业投融资中“飘绿”和“洗绿”问题严重。正如 Wang（2018）所指，绿色债券具有投资和环保双重属性，但“飘绿”与“洗绿”现象却使得其无法有效支持环保项目的发展。从“飘绿”与“洗绿”现象来看，李哲和王文翰（2021）的研究发现，“多说少做”的环境责任表现有助于企业获得更多的银行贷款，而绿色信贷政策面临执行风险，导致绿色信贷资金没有真正用于环保产业，黄溶冰等（2019）也观察到这一点。韩丰霞等（2017）用博弈论分析表明，企业不可能自愿改变生产方式，商业银行也不可能积极参与绿色信贷，这些都阻碍了绿色信

贷的经济和环境效果。

#### 1.2.4 文献评述

大量文献表明,绿色金融在低碳经济的发展中扮演着关键角色。但是,国内对绿色金融与低碳经济发展关系的研究主要基于线性假设,这种假设过于"完美",无法全面分析二者之间的影响关系,导致模型可能出现偏差,影响实证结果的有效性。目前,绿色金融的参数化假设不能准确描述两者之间的实际影响关系。因此,在研究绿色金融对低碳经济发展的影响时,不应忽视非线性因素。随着实证方法的不断更新和变量之间的空间相互作用日益凸显的现象,将空间因素纳入计量模型的构建中,既显得必要,又有可行性支持。大量文献结论表明,空间因素是发展低碳经济的重要来源。为了实现这一目标,必须认识到区域之间的相互影响。使用空间效应是控制和消除由影响变量引起的内生性的一种手段。空间计量经济学模型可以纠正因缺乏空间因素而导致的低碳经济增长逻辑上的偏差。现有的研究没有充分考虑空间相关性的作用,在空间尺度上考察区域间的低碳经济发展,为描述区域低碳经济发展提供了一个重要的视角。

综上所述,之前的研究要么没有探讨绿色金融对低碳经济发展的非线性影响,要么忽视了对空间相关性问题的考察。为了准确全面地刻画绿色金融对低碳经济发展的影响,有必要将这两个因素纳入同一框架,研究空间相关性下绿色金融的参数化和非参数化结构要素对低碳经济发展的影响。

### 1.3 研究方法 with 内容

#### 1.3.1 研究方法

(1) 理论分析和数值模拟方法。通过结合扩展的索洛模型和修正的卡亚模型,我们得出了绿色金融对低碳经济发展的非线性影响的假说。然后,进行了数值模拟分析,以更生动直观的方式展示这种非线性关系。

(2) 统计测量和描述方法。在全面了解中国绿色金融和低碳经济发展水平相关原始数据的基础上,对中国绿色金融和低碳经济的发展现状进行了统计描述。

例如，采用遗传算法组合赋权法对绿色金融进行了测算，并利用统计表对测算指标进行了汇总和分析。此外，还对中国 30 个省（不包括港澳台和西藏）的面板数据绘制了散点图，以观察绿色金融和低碳经济发展的现状和趋势。

（3）比较分析方法。具体来说，比较分析法包括以下四个方面：第一，比较分析国内外绿色金融和低碳经济发展的研究现状，找出研究中的不足，为本研究提供思路和创新点。第二，比较分析变异系数法、熵值法、纵横拉开档次法、遗传算法组合赋权法的相对有效性，并选择最优方法。第三，比较和分析绿色金融和低碳经济发展水平的时空变化和空间异质性分布。第四，为了提高政策建议的针对性，需要对绿色金融对低碳经济发展在东、中、西部地区的非线性影响进行比较分析，以得出具体结论。

（4）实证分析方法。首先，本研究通过实证检验，考察空间模型形式对研究问题的适用性，并利用 Moran 指数考察绿色金融与低碳经济的空间相关性。其次，采用半参数空间模型对绿色金融与低碳经济发展之间的非线性因果关系进行实证检验，并对加入绿色金融平方根项的 SDM 模型进行参数化检验。

### 1.3.2 研究内容

考虑到中国低碳经济存在半参数结构的广泛性和空间相关性的明显性，本研究采用了空间计量经济模型和非线性结构相结合的方法，将其纳入一个统一框架中，以提高现有低碳经济实证研究的丰富性和多样性。通过这项研究，我们更加深刻地认识到绿色金融在推动中国低碳经济发展中的作用，并提出了相关的政策建议。

本文研究内容为六个部分：

第一章是引言和文献回顾部分，其中概述了本研究的背景、目标、意义、研究内容、方法和框架路线，以及创新之处。文献综述主要介绍了绿色金融和低碳经济的相关研究，以及当前绿色金融在低碳经济中作用的研究状况。此外，还抓住了影响绿色金融对低碳经济发展影响的非线性因素，并总结了这些因素的相关文献。最后，对目前国内外的文献进行了总结和评价。

第二章对绿色金融对低碳经济发展的影响进行了非线性的理论分析。首先，

概述了绿色金融对低碳经济发展的非线性影响的理论基础，包括外部性、环境库兹涅茨曲线、金融功能理论、“两个半球发展”理论、空间关联理论等。随后，通过基于扩展的索洛模型和修正的卡亚模型的理论数值模拟分析，得到假设 1。此外，结合相关文献得到的结论和第二章的基本理论基础，本研究对空间相关效应和区域异质性进行了分析，得出假设 2-3。

第三章对绿色金融和低碳经济发展的现状进行了评估和分析。首先，采用基于遗传算法的组合赋权法，得到了一个综合性的绿色金融指数。接下来，使用碳生产力测算低碳经济发展。其次，分析了 2008-2020 年中国 30 个省市的绿色金融和低碳经济发展现状，并通过三维核密度图研究了两者的时空演化趋势。最后，通过绘制散点图分析了绿色金融和低碳经济发展两者之间的非线性变动关系。

第四章是全文的实证部分。首先，选取 2008 年至 2020 年中国 30 个省份的数据，以低碳经济发展为因变量，以绿色金融为自变量。控制变量包括城市化水平、产业结构、金融监管、低碳技术水平、FDI、人均 GDP 等。经过变量选择，将低碳经济发展的空间效应和非参数结构纳入统一框架，分析低碳经济发展的空间效应以及绿色金融与低碳经济发展的非线性关系，并对实证结果进行合理解释。其次，考虑到实证结果的可靠性与精确性，并对实证结果的稳健性与内生性作出考察。最后，分析了两者非线性关系在不同区域的差异性表现及其对成因的分析。

第五章是关于研究结论和建议。基于理论、经验和现状，从空间相关性、区域异质性、非线性因果关系等角度，提出了如何更好地利用绿色金融为低碳经济发展服务的建议。

### 1.3.3 技术路线图

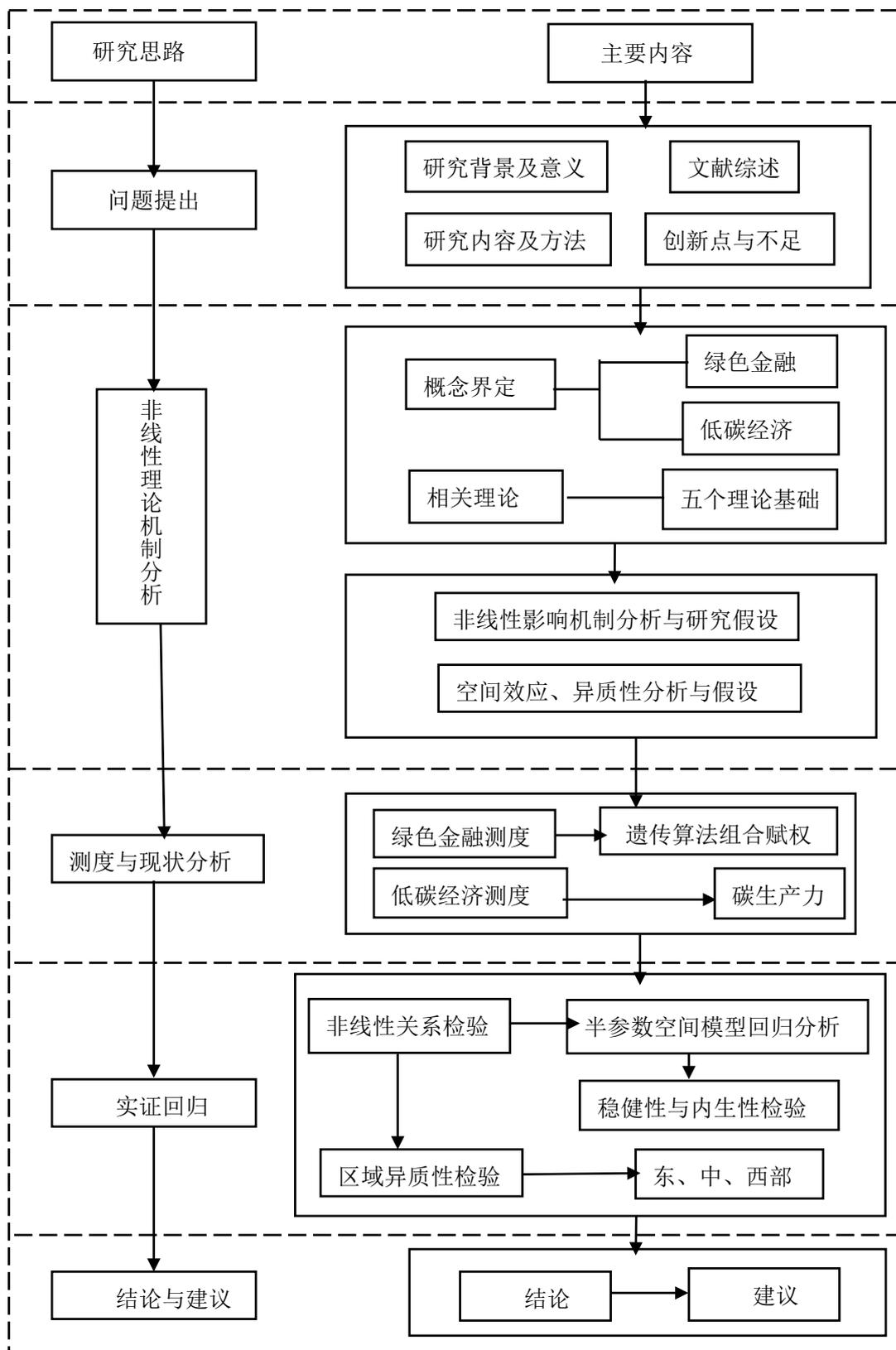


图 1.4 技术路线图

## 1.4 创新与不足

本文之所以具有创新之处，原因在于：（1）绿色金融方法的测度方面具备新意。文中使用了3种常用的客观赋权法：变异系数法、熵值法以及纵横拉开档次法，作为基础方法，用于权重计算。并采用遗传算法进行权重组合以综合评估绿色金融发展的综合指数，从而有效减少了测量误差。（2）研究内容的创新。大部分现有文献关注于绿色金融与低碳经济发展之间的线性关系，而绿色金融在空间视角下对低碳经济发展的非线性影响关系研究较少。（3）研究方法的创新。为了更精确分析区域低碳经济的发展，本文将变量的空间作用和非线性纳入分析框架，建立了一个半参数化的空间计量经济模型。以探究绿色金融对区域低碳经济发展的非线性影响。

本文的短处在于：考虑到评估标准尚未确立，以及数据获取的限制，故在绿色金融与低碳经济发展指标体系构建中，参考了前人的指标设置，囊括的指标以及样本区间的设定可能存在某些局限性。

## 2 绿色金融对低碳经济发展非线性影响的理论分析

### 2.1 概念界定

#### 2.1.1 绿色金融

由于高碳能源的大量使用、高碳型的产业结构与资源使用效率的偏低等原因,造成环境与气候不断恶化,引起了人类的警觉,开始逐渐思考如何改变这种不可持续的经济发展路径,于是绿色金融呼之欲出。绿色金融就是要把稀缺的金融资源投放到经济与环境效益大的产业与项目中并在整个投融资过程中把环境与气候因素考虑在内,以支持绿色技术创新、产业结构生态化升级等方式促进整个社会的绿色低碳发展。2016年9月,G20峰会发布的《G20绿色金融综合报告》在对绿色金融进行权威内涵界定时指出,其是一种能更好实现社会可持续发展的投融资活动,并兼顾环境与气候因素。就我国自身发展而言,金融机构在发展绿色金融时,应首要考虑平衡经济发展与生态环境保护,重视环境问题。这是目前最完整的绿色金融定义,它是根据绿色金融发展的规律和实际情况,因地制宜提出的。其目的是明确绿色金融的服务对象,指明未来绿色金融发展的路径,表达绿色金融发展的初衷。

#### 2.1.2 低碳经济

2003年,“低碳经济”一词开始进入公众视野,英国能源白皮书《我们的能源未来》在这个过程中起到了举足轻重的作用。白皮书强调,低碳经济需要提高投入产出比,在不损害经济增长的前提下实现碳和污染的减少,从而创造一种经济和环境都能蓬勃发展的新经济发展模式。至此之后,欧盟、英国、美国等国家开始通过各种渠道实施低碳经济建设。近二十年来,学者们不断拓展和深化对低碳经济概念的理解。目前,根据低碳经济的内涵所涉及的不同方面,可以将其分为广义和狭义。广义的低碳经济注重长期目标,指的是一种有别于当前粗放式发展模式的新型经济发展模式。鲍健强等人(2008)认为,低碳经济是以“四低”

为特征的将来经济发展模式的新选择。从狭义上讲，低碳经济更强调短期目标。它指的是通过制度创新和市场开发，促进能源效率、发展新能源、碳捕获和储存以及低碳产业发展，开发与普及非碳基能源以减轻生活与生产对含有高碳元素的化石能源的依赖性。这突出了碳减排的具体方法和手段。李建建和马晓飞(2009)认为，发展我国低碳经济，其实质就是要加持对我国非碳基能源开发技术的投资，不断提高非碳基能源使用效率与以非碳基能源的普及率及改善产业结构，降低经济发展的环境成本。广义和狭义概念的核心思想是一致的，旨在通过一定的手段与治理模式，在实现减碳与减污的同时，能保持经济与社会不断进步的动力与基础。社会努力寻求经济的低碳发展，其长远的打算就是为了解决生态环境变糟和经济社会发展具有不可持续的趋势等棘手问题，经过不断的产业和能源结构调整，提高技术效率，实现低碳经济发展。

本文从狭义的低碳经济概念出发，认为低碳经济是指在减少高碳能源使用的同时，通过制度创新促进低碳创新，优化产业结构，从而减少二氧化碳排放的经济发展模式。在此基础上，文章分析了绿色金融的功能，明确了其在低碳经济发展中的作用，并讨论了绿色金融与低碳经济发展之间的非线性效应。

## 2.2 理论基础

### 2.2.1 外部性理论

早期，“外部性”并没有一个明确定义，然而，当马歇尔进行经济现象分析时，将外部性与经济领域相结合，提出了“外部经济”这一术语。他认为企业追求生产规模的扩张和外延，是因为外部经济能够给企业带来更多的利润和生产成本的下降以及效率的提高，因此相关的企业可以从中得到好处。其实外部经济本质上是产业链上的相关企业组织的协同生产与科学分工畅通了信息交流，降低了生产成本。后来，基于福利经济学的视角，皮古对外部性的内涵进行了完善和优化。他认为，企业或团体产生外部性的原因是由于私人利益和公共利益之间的差异。当边际私人收益小于边际社会收益时，企业或个人的生产和生活行为会对其他企业或个人产生积极的影响。例如，采取对环境更加友好的态度，不仅有助于

改善我们的生态环境，也有助于提升社会的整体文明素养。反之，外部性就会造成个人最优而社会非最优的矛盾，这时候企业或个人的行为将会减少社会中其他生产者的福利水平。因此，自由放任的市场机制，也就是让事情顺其自然，不能自动实现最佳社会福利。在这种情况下，Pigou 提出了一个环境税来解决这个问题。具体征税规则如下：如果企业在生产过程中对社会造成环境污染或经济损失，则应征收，反之则应补贴企业。随后，在 1960 年的《社会成本问题》中，英国学者科斯进一步研究了解决外部性问题的方法。他分析指出，如果环境或资源的产权能够得到解决，而且双方的交易成本为零，那么这种交易就能自动实现社会的整体最优。同时，绿色金融具有正的外部性，对产生负外部性影响的非绿企业实施生产行为约束，使得企业的成本与它对社会造成的成本相等，从而减少非低碳产品的数量。如图 2.1 所示。

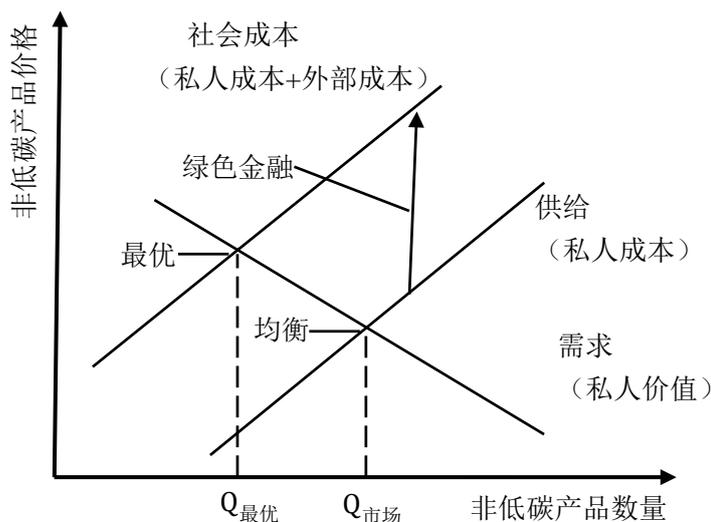


图 2.1 绿色金融的正外部性

## 2.2.2 金融功能理论

金融功能指的是金融机构和金融市场在经济和社会发展中所应担负的角色。上世纪 80 年代，与金融功能相关的研究开始涌现，主要目的是探讨金融体系如何更好地服务于经济建设。1995 年，默顿等学者首次提出“金融功能观”，将金融视为一种服务性质的工具，通过机制设计与产品开发等功能来实现时间和空间上的资源配置，从而提高投入产出效率。不同类型的金融功能应根据其特点和环

境背景来确定，其中包括资源聚集和分配、跨时空的资源转移、风险管理、信息发现和激励机制。绿色金融是在这个基础上发展而来，它拥有资源配置、风险管理和市场定价等功能。金融功能理论的核心思想是分析各类主体对金融的具体需求，研究如何以某种方式、路径、载体来满足这些金融需求，并为满足这些需求提供具体的金融服务。如果想要进一步研究绿色金融对低碳经济发展的具体路径，可以借鉴金融功能理论的思路。

### 2.2.3 “两个半球发展”理论

为了实现环境资源、社会福祉和可持续发展一体化的目标，韩传峰和何芳（2019）在可持续发展领域提出并不断完善“双半球发展”理论。该理论利用生态文明的发展半球来涵盖区域内人民的综合福祉，包括经济、社会和环境系统的产出三个维度，具体包括人均 GDP、人均医疗床位数、科教实力和区域植被覆盖率。生态投入是促进文明发展半球向右移动的关键要素，它需要各种资源、能源等元素的投入，这可以通过将输入半球向左移动来实现。这两个半球的相对位置被用来描述该地区的可持续发展状况。从投入产出分析的角度看，生态文明的发展半球向右移动越远，生态投入水平向左移动越远，该地区的可持续发展水平就越高。如图 2.2 所示，为适应本文的研究需要，此图略有改动。本质上，该图描述了低碳的全要素生产率。

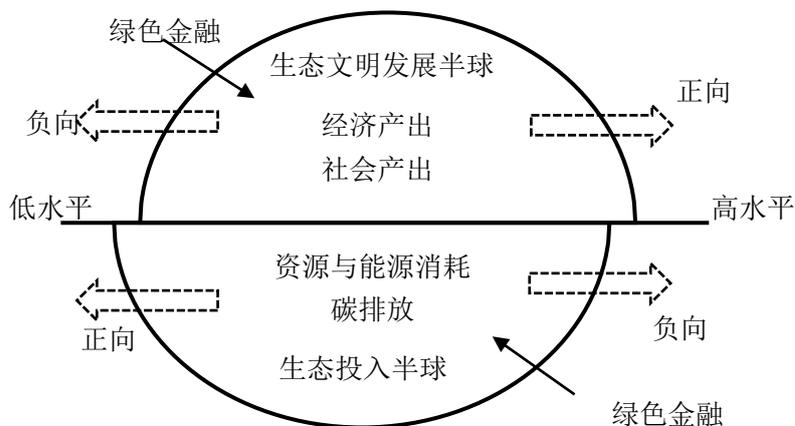


图 2.2 绿色金融对低碳经济发展影响的两半球分析框架

## 2.2.4 空间相关性理论

空间自相关指的是在地理上有联系或在经济和社会上有交集的区域。当一个地区发生某种现象时，它将通过上述方式扩散并影响其他地区。根据两个地区的现象是否持续变化，空间自相关被分为两种类型：不相关、正向与负向相关。正相关是指两个地区的某一变量朝同一方向变化，且变化的幅度随地理或经济距离的大小而变化。负相关则相反。推动区域间空间自相关的因素有很多，包括资本、人才、技术的相互吸纳，当发展到一定程度时，就会呈现出扩散效应，即形成共同利益和命运的共同体。全局莫兰指数、空间分布异质性分析、局部莫兰指数等是研究这一现象的主要方法。此外，对空间自相关的研究也扩展到计量经济学领域，以研究变量在空间的因果效应。空间计量经济学为研究变量间的空间互动机制提供了一种方法。

## 2.2.5 环境库兹涅茨曲线

经济学家 Grossman 和 Krueger 在 1991 年的库兹涅茨环境曲线研究中，发现了人均 GDP 与环境污染之间的非线性关系。这项发现在环境经济学领域有着重要的意义。这可以用三个主要因素来解释。首先是规模效应，经济增长将使资源得到更大利用，从而导致污染增加和环境质量下降。其次是技术效应，政府在研发方面的投资可以导致能源效率的提高和新污染控制技术的发展，最终减少环境影响。最后是结构效应，最初的资源密集型重工业部门，以其高经济产出，在经济中占主导地位。然而，人们的低碳意识和收入水平在不断提高，经济发展逐渐向高科技和服务行业转型，这种转型有助于减少污染并改善环境质量。EKC 曲线是一项备受关注的研究课题，许多专家和学者都对此作过深入探讨，得出了各种不同的结论。有些学者认为，简单的倒 U 型曲线无法完全解释环境与经济发展之间的复杂关系，因此提出了替代模型，例如 N 型或倒 N 型曲线。在此背景下，EKC 曲线得到了进一步的研究。这些理论研究构成了本文的基础理论，与本文的研究密切相关，因此构建如图 2.3 所示的理论基础体系，以更加深入地探究绿色金融与低碳经济发展之间的关系。

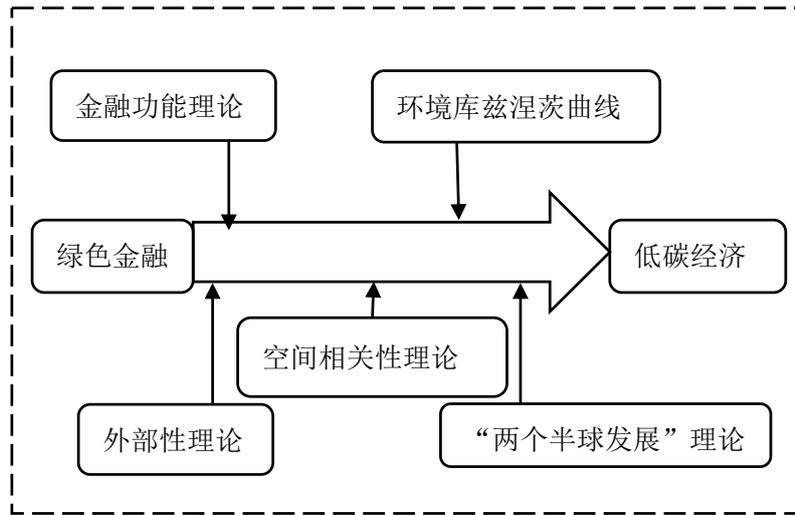


图 2.3 理论基础体系图

## 2.3 绿色金融对低碳经济发展非线性影响机制分析

### 2.3.1 拓展的 Solow 模型

基于索洛模型的经济产出（Y）与资本要素（K）和劳动力要素（L）有关，本研究旨在探究绿色金融对低碳经济发展的影响，因此将绿色金融作为投入要素加入到该模型中。同时，参考理论基础 2.2.1 将经济产出分解为低碳经济与非低碳经济产出。以此为基础，本研究构建了经济产出影响因素模型，采用了两部门 C-D 生产函数。

$$Y = f(K, L, GF) = Y_{lc} + Y_{no-lc} = f(K_{lc}, L_{lc}, GF, C) + f(K_n, L_n, GF) \quad (2-1)$$

在式（2-1）中， $K_{lc}$  和  $L_{lc}$  分别代表低碳经济产出过程中的资本投入和劳动力投入，符号  $K_n$  和  $L_n$  依次表示的是非低碳生产所需要的资本和劳动力投入要素。此外，符号 C 被定义为非低碳经济产出对低碳经济产出的影响。

由于高碳经济产出与低碳经济产出需要的投入要素相加与总要素投入相等，所以有如下等式成立。

$$K = K_n + K_{lc} \quad (2-2)$$

$$L = L_n + L_{lc} \quad (2-3)$$

作为创新体系的命脉，绿色金融贯穿于低碳技术创新的全过程，是低碳技术创新的源头活水。因此，低碳技术和非低碳技术水平与绿色金融的关系可以用如下的等式进行刻画描述。

$$A_{lc} = A'_{lc} e^{GF} \quad (2-4)$$

$$A_n = A'_n e^{GF} \quad (2-5)$$

式中， $A'$ 为常数，代表除绿色金融以外的影响低碳技术水平的因素， $A'$ 大于0，因此，得到低碳经济产出的具体函数形式。

$$Y_{lc} = A'_{lc} K_{lc}^\alpha L_{lc}^\beta e^{GF} C \quad (2-6)$$

$$Y_n = A'_n K_n^\alpha L_n^\beta e^{GF} \quad (2-7)$$

在这种情况下， $\alpha, \beta$ 都是指在0与1之间的弹性系数。进一步研究低碳经济和非低碳经济产出的劳动边际生产力和资本边际生产力，可以通过求偏导数得到劳动边际生产力和资本边际生产力的比率表达式。

$$\frac{Y_{K-lc}}{Y_{K-n}} = \frac{Y_{L-lc}}{Y_{L-n}} = \frac{\alpha A'_{lc} K_{lc}^{\alpha-1} L_{lc}^\beta e^{GF} C}{\alpha A'_n K_n^{\alpha-1} L_n^\beta e^{GF}} = \frac{\beta A'_{lc} K_{lc}^\alpha L_{lc}^{\beta-1} e^{GF} C}{\beta A'_n K_n^\alpha L_n^{\beta-1} e^{GF}} \quad (2-8)$$

这里， $Y_{K-lc}, Y_{K-n}$ 表示低碳经济和非低碳经济产出的资本边际生产力，而 $Y_{L-lc}, Y_{L-n}$ 依次代表低碳经济和高碳经济产出的劳动边际报酬。经过简化和推导，我们得出以下等式。

$$\frac{L_{lc}}{L_n} = \frac{K_{lc}}{K_n} = 1 + \theta \quad (2-9)$$

字母 $\theta$ 定义为低碳经济产出与非低碳经济产出之间由于投入要素而产生的边际产出差异。当 $\theta$ 大于0，低碳经济产出的投入要素的边际生产力高于非低碳经济产出。反之，当小于0，低碳经济产出的投入要素的边际生产力低于非低碳经济产出。如果我们把非低碳经济产出对低碳经济产出的弹性定义为 $\lambda$ ，我们可以得到式（2-10）。

$$\lambda = \frac{dY_n/Y_n}{dY_{lc}/Y_{lc}} = \frac{dY_n}{dY_{lc}} \cdot \frac{Y_{lc}}{Y_n} \quad (2-10)$$

通过取方程（2-1）两边的导数并将方程（2-2）至（2-8）代入，然后根据方程（2-9）和（2-10）重新排列，我们可以得出方程（2-11）。

$$\frac{dY}{Y} = \left(\frac{\theta}{1+\lambda} - \lambda\right) \frac{Y_{lc}}{Y} \times \frac{dY_{lc}}{Y_{lc}} + \lambda \frac{dY_{lc}}{Y_{lc}} + \frac{Y_{n-K}}{Y/K} \times \frac{dK}{K} + \frac{Y_{n-L}}{Y/L} \times \frac{dL}{L} \quad (2-11)$$

设  $\omega_1 = \frac{Y_{n-L}}{Y/L}$  代表非低碳经济产出的劳动弹性， $\omega_2 = \frac{Y_{n-K}}{Y/K}$  代表该产出的资本

弹性，而  $z_1 = \frac{Y_{lc}}{Y} \times \frac{dY_{lc}}{Y_{lc}}$  则代表低碳经济产出增长率  $\frac{dY_{lc}}{Y_{lc}}$  与规模  $\frac{Y_{lc}}{Y}$  的乘积。因此，

可以得出（2-12）等式。

$$\frac{dY}{Y} = \omega_1 \frac{dL}{L} + \omega_2 \frac{dK}{K} + z_1 \lambda + z_2 \left(\frac{\theta}{1+\lambda} - \lambda\right) \quad (2-12)$$

由此可见，低碳经济发展的走势受多因素博弈的影响，具体来看，是低碳经济增长率、高碳与低碳经济之间的互相作用及边际产出与劳动弹性等诸多因素作用的结果。通过分析可知，低碳经济发展与其他变量之间并不是简单地线性相关，而是呈现出一定的复杂关系。所以很可能会出现非线性关系。接着，本文将从卡亚模型中得出启示，从上述影响因素的角度进行深入分析。

### 2.3.2 修正的 Kaya 模型

影响二氧化碳排放变化的因素可以通过各种分解模型进行建模，如 IPAT 方程和 Kaya 公式。其中，由 Yoichi Kaya（1989）建立的 Kaya 模型已经成为研究二氧化碳排放影响因素的主流方法。为了满足本文的研究需要，本文对 Kaya 模型进行了扩展，探讨影响低碳经济发展的机制和路径。卡亚模型的表达式如（2-13）所示。

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times GDP \quad (2-13)$$

关于上述公式（2-13），无法辨别影响低碳经济发展的具体因素。因此，需要一种合理的分解方法。为满足本文的研究需要，参照卢娜和赵晶（2017）的方

法，采用 LMDI 指数分解法分析影响低碳经济发展的因素。具体分解结果如公式 (2-14) 所示。

$$\frac{1}{lce} = \frac{\mu^\lambda GDP_{lc} + \rho^\lambda GDP_n}{\pi_1 GDP_{lc} + \pi_2 GDP_n} = \sum_i \sum_j \frac{(CO_2)_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{E_i}{GDP_i} \times \frac{GDP_i}{GDP} \quad (2-14)$$

其中  $CO_2 = \mu^\lambda GDP_{lc} + \rho^\lambda GDP_n$ ， $\mu, \rho$  分别表示单位低碳经济和非低碳经济增长所排放的二氧化碳系数，而绿色金融对低碳技术具有促进作用（文书洋等，2022），进而引起单位低碳经济增长对非低碳经济增长的影响即  $\lambda$  处于变化中，所以  $\rho^\lambda, \mu^\lambda$  为随着绿色金融发展而变化的综合变系数且  $\rho^\lambda > \mu^\lambda$ ； $\pi_1, \pi_2$  分别为低碳经济与非低碳经济的权重且  $\pi_1/\pi_2 > 0$ ， $\frac{(CO_2)_{ij}}{E_{ij}}$  代表第  $i$  个行业第  $j$  种能源的

碳排放系数； $\frac{E_{ij}}{E_i}$  代表第  $i$  个行业第  $j$  种能源消费的比例，即能源结构效应； $\frac{E_i}{GDP_i}$

代表第  $i$  个行业单位产出的能源消耗，即能源强度效应； $\frac{GDP_i}{GDP}$  代表第  $i$  个行业

的比例，即产业结构效应。把  $\rho^\lambda$  与  $\pi_2$  变换成 1 得到式 (2-15)：

$$\frac{1}{lce} = \frac{(\mu/\rho)^\lambda GDP_{lc} + GDP_n}{\pi_1/\pi_2 GDP_{lc} + GDP_n} \quad (2-15)$$

当低碳经济产出投入要素与非低碳经济产出投入要素边际生产力差异  $\theta = 0$  时，非低碳经济产出对低碳经济产出的弹性  $\lambda = 1$ ，然后在技术条件不变下，随着绿色金融的发展， $\theta < 0$  并渐渐减少，从而  $\lambda$  也逐渐变小，可把  $\lambda$  分成两个阶段  $0 \leq \lambda < 1$ 、 $-1 \leq \lambda < 0$ 。低碳经济权重  $\pi_1$  开始很小甚至为 0，非低碳经济权重  $\pi_2$  开始很大甚至为 1，所以  $\pi_1/\pi_2 < 1$  甚至为 0。设经济初始状态的时间为  $t_0$  且

$\lim_{t \rightarrow t_0} \pi_1/\pi_2 = 0$ ，当  $t_0 < t < t_1$  时， $(\mu/\rho)^\lambda > \pi_1/\pi_2$ ，所以低碳经济发展水平降低即  $\frac{1}{lce}$

升高。随着绿色金融发展，公众低碳消费理念越来越盛行，这会倒逼企业进行低

碳产品创新，则  $\pi_1/\pi_2$  越来越大，当  $(\mu/\rho)^\lambda \leq \pi_1/\pi_2$  时低碳经济水平升高即  $\frac{1}{lce}$  下

降，但是在低碳经济与非低碳经济的某个平横点上  $\pi_1/\pi_2 = c > 1$  恒定下来，此时

绿色金融对低碳经济发展进入了一个平稳期。所以，在不同情形下绿色金融对低碳经济的影响先是抑制，然后促进。以上述分析为基础对公式（2-15）进行适当假设后进行数值模拟分析，以期更好、更直观的展现这种非线性关系。

### 2.3.3 数值模拟

合理的假设和对公式（2-15）的约束是数值模拟结果有效性的必要前提。根据以下理论：1）随着绿色金融的逐步发展，绿色金融  $gf$  与时间  $t$  的相关性一般为正，局部相关性有波动，这在后面的绿色金融现状分析中得到了支持；2）绿色金融对低碳的索洛残差有促进作用（张宇和钱水土，2022）；3）基于绿色金融对低碳的信号传递功能，对公众的低碳消费观念有积极影响；4）根据边际生产力递减规律，假设低碳经济产出在初始阶段增加 1% 时，非低碳经济的产出减少 2%，随着绿色金融的发展，减少的比例逐渐减少，甚至转为增加，但仍低于 1%。假设  $\mu/\rho = 0.1$ ， $GDP_{lc} = 1000$ ，且按 10% 增长。令  $GDP_n = 5000000$ ，根据产出弹性的定义  $GDP_n$  则按  $(-2 + 0.001gf) \times 0.1$  增长，产出弹性  $\lambda = -2 + 0.001gf$ ， $\pi_1/\pi_2 = 0.0005 + 0.0004gf$ ， $0 \leq gf < 2000$ 。则在这些理论基础与假设前提下的基准模拟函数可设为式（2-16）。

$$lce = \frac{(0.0005 + 0.0004gf) \times 1000(1 + 0.1)^{gf}}{+5 \times 10^6(1 + 0.1(-2 + 0.001gf))^{gf}} \bigg/ \frac{0.1^{-2+0.001gf} \times 1000(1 + 0.1)^{gf}}{5 \times 10^6(1 + 0.1(-2 + 0.001gf))^{gf}} \quad (2-16)$$

在基准函数的其它参数不变的条件下，让低碳经济对非低碳经济产出弹性  $\lambda$  的变化速度比  $\pi_1/\pi_2$  更快，例如  $\lambda = -2 + 0.001gf^2$ ；设产出弹性  $\lambda$  变化远慢于  $\pi_1/\pi_2$ ，例如  $\pi_1/\pi_2 = 0.0005 + 0.0004gf^5$ ，可分别得第二、三个模拟函数；设  $\mu/\rho$  比初始  $\pi_1/\pi_2$  小，例如等于  $\mu/\rho = 0.0001$ ，可得第四个模拟函数，再把第二、三模拟函数的假设条件相结合，可分别得到第五、六模拟函数。模拟结果如图 2.4 所示，不管参数如何变化，绿色金融对低碳经济发展的模拟效果都呈现为“U”型的非线性关系。

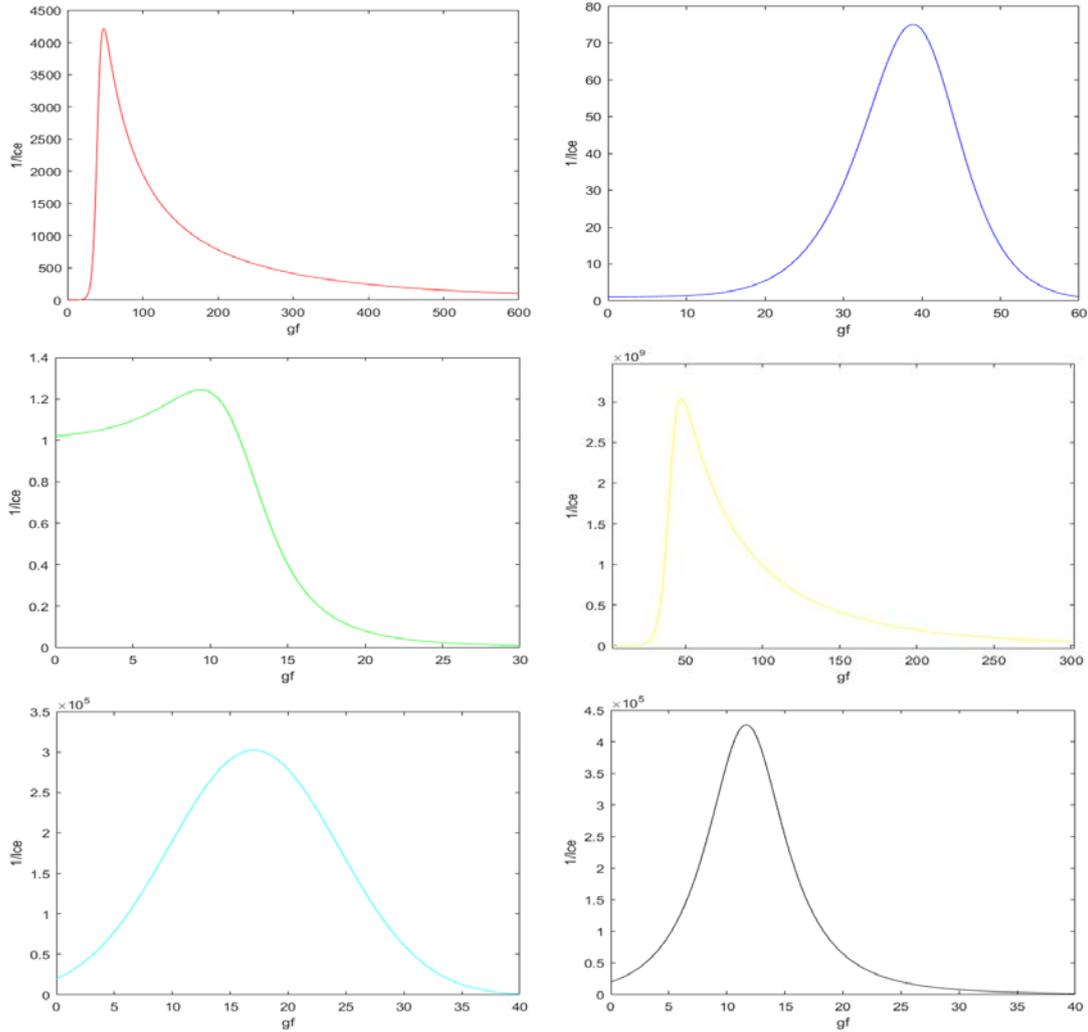


图 2.4 数值模拟图像

因此，通过上述的理论与数值模拟分析后，提出如下假设：

H1：绿色金融对低碳经济发展的影响具有“U”型的非线性特征。

## 2.4 非线性影响的空间关联效应分析

将从影响低碳经济发展的因素与绿色金融本身具有的空间关联效应出发，分析绿色金融对低碳经济发展的空间作用关系。

第一，低碳经济发展的影响因素方面。下面这些研究指出了影响低碳经济发展的因素的空间效应问题。例如，王为东等（2018）的研究表明，低碳技术的创新活动呈现空间扩散的特征。就产业结构而言，产业结构升级的空间互动效应会对碳排放起作用，这是根据叶娟惠和叶阿忠（2022）的研究结果得出的结论。同

时,孙凌宇和罗杨帆(2022)得出,产业结构的空间项是影响碳排放一个重要的研究因素,计量回归模型中需要加入与控制。除此之外,肖素萍等人(2023)的研究发现,城镇化对生态效率的影响不仅局限于城镇本身,还会产生空间扩散作用。张俊彦等人(2021)的研究指出,外商直接投资对周边地区的“碳中和”目标产生了积极的溢出效应。此外,樊士德和柏若云(2022)的研究还发现,FDI在影响新型城镇化发展方面也存在空间扩展作用。在金融监管方面,赵丹妮(2017)的研究认为省际金融监管强度存在竞争,即具有空间互动作用。最后,何雄浪等(2013)的实证分析表明,我国地区经济发展存在空间效应现象。

第二,绿色金融自身方面。在绿色金融发展的初始阶段,可能会出现极端异质性极化的现象。这意味着,通过绿色金融政策的优势,周边地区的生产要素被吸引到中心地区。与此同时高碳产业承载的传统技术一部分借鉴低碳技术转型升级,另一部分则转移到对环境要求低的地区,因此绿色金融的发展而促使中心区率先进入低碳经济发展阶段而对周边地区的低碳经济发展则存在负向影响。但是,如果很多低碳资源和人力资本生产要素聚集在中心区,就会导致内部过度混乱,竞争加剧。当低效竞争的成本超过所获得的利润时,绿色金融的发展将开始进入溢出效应阶段,各种生产要素将从中心地区流向周边地区。从此,周边地区将进入低碳经济发展的红利期。

综合上述文献与理论分析,得到如下假设:

H2: 绿色金融对低碳经济存在空间影响作用且低碳经济有空间溢出效应。

## 2.5 非线性影响关系的地区异质性分析

绿色金融对低碳经济发展的非线性影响具有地区异质性的原因很多,本文根据上述理论基础与非线性影响机制的分析,从低碳技术、外部成本与绿色金融功能等方面进行阐述。

第一,低碳技术方面。绿色金融需要配套的技术支持,东部地区在高新技术的研发和应用方面更具优势,能够推动低碳技术的创新和应用,可以更好地应用于低碳经济的发展。而中西部地区的科技创新能力相对较弱,科研机构和企业之间的合作相对较少,因此中西部地区在技术方面的短板则制约了低碳经济的发展。

第二，外部成本方面。东部地区因城市化扩张太快而导致城市生态环境质量相对较差，空气污染、水污染等环境问题比较突出。因此，为了改善环境质量，东部地区政府需要加金融监管力度，对企业实行更为严格的环保标准和排放要求，这也导致了东部地区的环保成本更高，从而对企业的生产经营产生了一定的外部成本，这在图 2.1 表现为供给曲线向左移动幅度更大即非低碳产品数量下降比中西部更大。然而，东部地区的发展更强调环境友好型产业，如高科技产业和服务行业；而中西部地区发展更为注重传统制造业和资源型产业，这会导致东部地区的低碳产品数量增长会大于中西部地区。

第三，绿色金融功能方面。东部地区或许会拥有更为完备的市场和机制来发挥其功能，例如绿色债券市场或碳交易市场，这些机制的存在能够缓解“飘绿”行为，使低碳资金渠道更加畅通，可支持更多的低碳项目，这会进一步推动绿色金融功能的有效实现。而中西部地区的金融市场还处于发展初期，尽管绿色金融已经取得了一些进展，但是其发展仍然受到一些限制。这些限制包括金融市场功能不够完备、绿色融资难等问题，对低碳经济发展的影响较大。低碳消费理念方面，由于东部地区的经济基础深厚，因此会对环保和低碳经济发展问题的关注度更高，政策支持力度也会较大，因此绿色金融在东部地区的推广和发展也相对更为顺利，低碳消费已经成为共识；而中西部地区的政策支持力度相对较弱，低碳消费理念较为滞后，需要更大的政策扶持和引导。

综上所述，提出如下假设：

**H3:**绿色金融对东、中、西部低碳经济发展的非线性影响具有一定的异质性。

本文的非线性影响机制如图 2.5 所示。

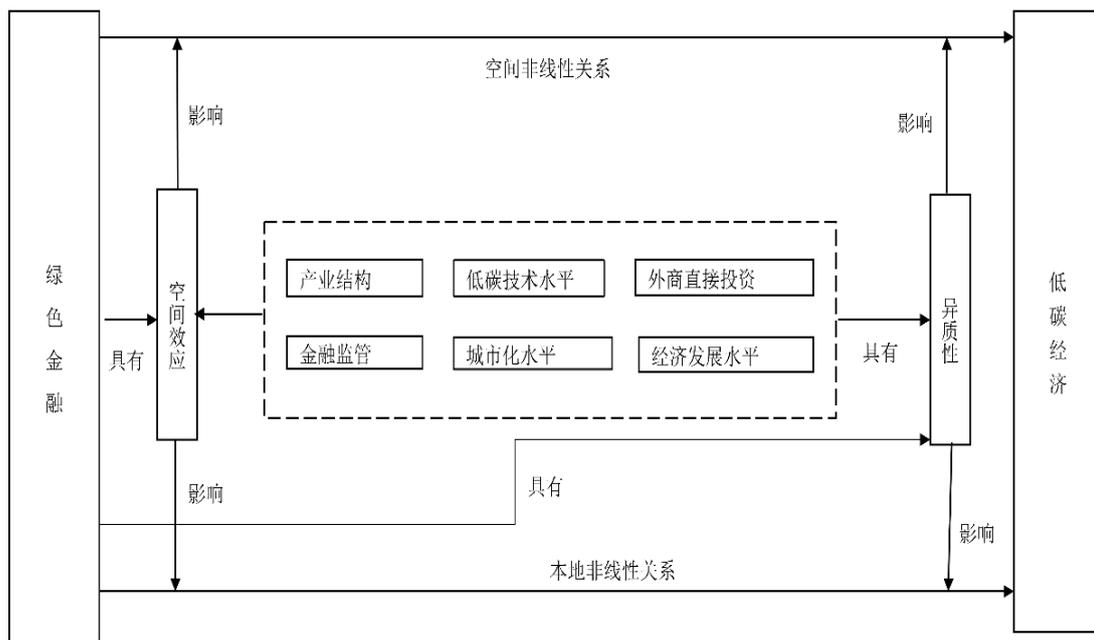


图 2.5 非线性理论机制图

### 3 绿色金融及低碳经济发展的测度与现状分析

#### 3.1 绿色金融的测度与分析

##### 3.1.1 测算方法及比较

本文的方法不同于已有研究，采用了规划方法和优化思想来求解组合权重，为更大程度的降低单一赋权法或简单组合赋权法测度的偏差。参考顾国达(2021)的方法，本文假设指标体系共有  $m$  个指标，使用  $u$  种主观赋权法解得向量权重，然后通过最优化来求解最优的组合权重。具体思想如下： $W_u = (W_{u1}, W_{u2}, \dots, W_{um}) (u = 1, 2, \dots, p)$ ，采用第  $v$  种客观赋权法得到的权重向量为  $W_v = (W_{v1}, W_{v2}, \dots, W_{vm}) (v = 1, 2, \dots, q)$ ，即  $W_u$  和  $W_v$  是

某一种主观权重和客观权重，且  $\sum_{j=1}^m W_{uj} = 1 (u = 1, 2, \dots, p)$ ， $\sum_{j=1}^m W_{vj} = 1 (v = 1, 2, \dots, q)$ 。设加

权权重是  $W^* = (W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*)$ ，且  $\sum_{j=1}^m W_j^* = 1$ 。为了最小化加权权重和单一权重之间的

差异，有必要最小化它们的偏差平方之和。在此基础上，建立了以下优化模型：

$$\begin{aligned} \min F &= \sum_{u=1}^p [\alpha_u \sum_{j=1}^m (W_j^* - W_{uj})^2] + \sum_{v=1}^q [\beta_v \sum_{j=1}^m (W_j^* - W_{vj})^2] \\ \text{s.t.} &\begin{cases} \sum_{j=1}^m W_j^* = 1 \\ 0 \leq W_j^* \leq 1, j = 1, 2, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \quad (3-1)$$

其中， $\alpha_u \geq 0 (u = 1, 2, \dots, p)$ ， $\beta_v \geq 0 (v = 1, 2, \dots, q)$  分别表示第  $u$  种主观赋权法和第  $v$  种

客观赋权法的信任程度，且  $\sum_{u=1}^p \alpha_u + \sum_{v=1}^q \beta_v = 1$ 。由于本文采用熵值法、变异系数法与纵

横拉开档次法三种客观赋权方法，故本文中  $p = 0, q = 3, \alpha_u = 0 (u = 1, 2, \dots, p)$ ， $\sum_{v=1}^3 \beta_v = 1$ 。

模型假定对于三种赋权方法的信任程度分别为  $\beta_1 = 0.3, \beta_2 = 0.35, \beta_3 = 0.35$ 。

为验证遗传算法组合赋权法在评价绿色金融发展方面比熵值法、变异系数法和纵横拉开档次法更优越，本文参考许芳(2015)的方法，采用欧氏距离来定义离散度。设

$$D_i = \frac{1}{m-1} \sum_{i \neq j} D_{ij}$$

即为方法 i 相对其他方法的离散程度。离散度越小，表明方法 i 相对于其他方法来说更有效。结果如表 3.1 所示。明显可见，遗传算法的组合赋权法相较于其他三种单一加权法，在离散度方面表现最小。因此，本文中 will 使用遗传算法组合赋权法测度的结果作为实证数据。

表 3.1 不同赋权方法的离散程度比较

	变异系数法	熵值法	拉开档次法	组合赋权法	离散度
变异系数法	0.000	0.975	0.921	0.386	0.761
熵值法	0.975	0.000	1.453	0.752	1.059
拉开档次法	0.921	1.453	0.000	0.770	1.048
组合赋权法	0.386	0.752	0.770	0.000	0.636

### 3.1.2 评价指标体系构建

为评估绿色金融的实际水平，借鉴参考中国人民银行所发布的《构建绿色金融体系指导意见》。同时，还采用了李晓西和夏光（2014）、尹子擘等（2021）所采用的构建方法。具体指标详见表 3.2。为了消除不同计量单位带来的误差，因此依据指标属性的不同采用不同的处理办法。 $v_{ij} = (x_{ij} - \min(x_{ij})) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij}))$ ，为积极指标的处理公式； $v_{ij} = (\max(x_{ij}) - x_{ij}) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij}))$ ，为消极指标处理公式。其中， $x_{ij}$  代表第 i 个地区第 j 项指标的测量值， $\max(x_{ij})$  代表第 j 项指标的最大值， $\min(x_{ij})$  代表第 j 项指标的最小值，而  $v_{ij}$  则代表标准化后第 i 个地区第 j 项指标的测量值。在进行无量纲化处理后，数据可能出现 0，为了消除后期可能出现的 0 值干扰，本文采用了整体平移的方法。具体来说，我们将无量纲化的数据整体平移，使得  $v_{ij} = v_{ij} + 0.0001$ ，以尽可能减少平移对原始数据的影响。

表 3.2 绿色金融发展水平指标体系

一级指标	二级指标	二级指标度量方法
绿色信贷	高耗能产业利息支出	六大高耗能工业产业利息支出/工业产业利息总支出
	环保企业银行贷款占比	A 股上市环保公司银行贷款/A 股上市公司贷款总额
绿色证券	环保企业市值占比	环保企业总市值/A 股总市值
	高耗能行业市值占比	六大高耗能行业总市值/A 股总市值
绿色保险	农业保险规模占比	农业保险支出/保险总支出
	农业保险赔付率	农业保险支出/农业保险收入
绿色投资	节能环保公共支出比	节能环保财政支出/财政总支出
	治理环境污染投资占比	污染治理投资/GDP

### 3.1.3 测度结果及分析

基于上文的遗传算法组合赋权法并结合无量纲化后的数据，最终得到我国 30 个地区（除西藏、港澳台）2008-2020 年的绿色金融发展综合指数并借鉴国家统计局对我国划分为东、中、西部的标准，测度结果如表 3.3（因篇幅而奇年未列，下同）所示。

表 3.3 2008-2020 我国 30 个省绿色金融发展综合指数

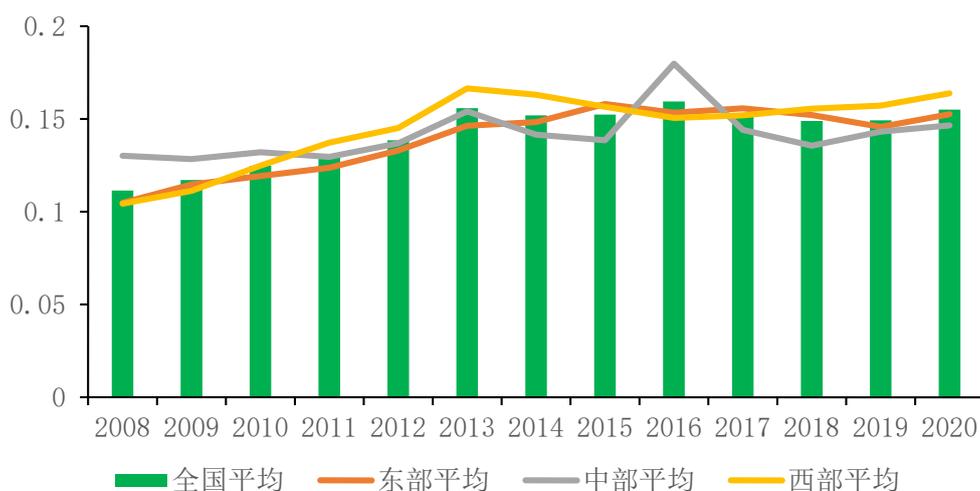
地区	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	均值
北京	0.2313	0.2512	0.3189	0.3550	0.3411	0.2955	0.5897	0.2971
天津	0.1136	0.1129	0.0960	0.1157	0.1173	0.1028	0.1112	0.1067
河北	0.1059	0.1447	0.1115	0.1305	0.1350	0.1159	0.1061	0.1202
山西	0.0871	0.0986	0.1049	0.1485	0.1765	0.1297	0.1412	0.1259
内蒙古	0.1747	0.1764	0.2115	0.2559	0.1978	0.1839	0.2499	0.2075
辽宁	0.0707	0.1013	0.1259	0.0996	0.0880	0.0988	0.1207	0.1028
吉林	0.1929	0.1485	0.1274	0.1288	0.1495	0.1579	0.1490	0.1475
黑龙江	0.2052	0.1913	0.1957	0.2107	0.4234	0.1814	0.2031	0.2163
上海	0.0637	0.0650	0.0882	0.0916	0.0777	0.1049	0.1180	0.0861

续表 3.3

地区	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	均值
江苏	0.0867	0.0710	0.0905	0.1207	0.1097	0.1147	0.1157	0.1053
浙江	0.1606	0.1413	0.1308	0.1632	0.2228	0.2038	0.1951	0.1785
安徽	0.0973	0.1337	0.1448	0.1304	0.1479	0.1323	0.1487	0.1376
福建	0.0928	0.0786	0.0895	0.1043	0.1316	0.1133	0.1267	0.1097
江西	0.0725	0.1230	0.1237	0.1118	0.1361	0.1079	0.1185	0.1143
山东	0.0940	0.0857	0.1099	0.0765	0.0890	0.0889	0.1002	0.0909
河南	0.0815	0.0852	0.0877	0.0907	0.1113	0.1040	0.1219	0.0963
湖北	0.1589	0.1750	0.1791	0.1821	0.1724	0.1388	0.1591	0.1646
湖南	0.1459	0.1012	0.1321	0.1290	0.1216	0.1324	0.1306	0.1301
广东	0.1639	0.1858	0.1950	0.2515	0.2633	0.2482	0.2040	0.2147
广西	0.0785	0.0781	0.0721	0.0843	0.1124	0.1218	0.1620	0.0995
海南	0.0682	0.0744	0.1067	0.1227	0.1116	0.1958	0.2506	0.1270
重庆	0.0912	0.2136	0.1988	0.1868	0.1432	0.1140	0.1231	0.1555
四川	0.1038	0.1178	0.1271	0.1372	0.1319	0.1252	0.1212	0.1266
贵州	0.1114	0.1088	0.1017	0.1050	0.1017	0.1173	0.1259	0.1103
云南	0.0860	0.1135	0.1229	0.1490	0.1282	0.2160	0.1824	0.1501
陕西	0.0827	0.1132	0.0824	0.1303	0.1178	0.0755	0.1098	0.1033
甘肃	0.1011	0.1238	0.1841	0.1957	0.1877	0.2963	0.1790	0.1740
青海	0.1111	0.1068	0.1978	0.2205	0.2071	0.1994	0.2886	0.1909
宁夏	0.1194	0.1431	0.1616	0.1904	0.2051	0.1656	0.1826	0.1702
新疆	0.0881	0.0774	0.1364	0.1383	0.1231	0.0962	0.0774	0.1095
东部均值	0.1048	0.1193	0.1330	0.1483	0.1534	0.1521	0.1525	0.1376
中部均值	0.1302	0.1321	0.1369	0.1415	0.1798	0.1356	0.1465	0.1432
西部均值	0.1044	0.1248	0.1451	0.1630	0.1505	0.1556	0.1638	0.1439
全国均值	0.1114	0.1247	0.1385	0.1519	0.1594	0.1490	0.1551	0.1420

数据来源：经遗传算法组合赋权法算得

根据表 3.3 和图 3.1 数据, 从全国范围来看, 2008-2020 年间, 中国 30 个省份的绿色金融发展水平指数稳步上升。我国绿色金融发展水平指数均值从 0.1114 上升至 0.1551, 年均增长率为 3.01%。但总体而言, 中国绿色金融发展水平指数仍处于较低水平, 甚至有些省份的增长率呈下降趋势。从区域来看, 2008 至 2020 年, 中国绿色金融发展水平指数呈现西部、中部、东部逐渐递减的空间格局。其中, 西部地区与中部地区的年均值均超过全国均值。从省域看, 11 个西部省份中, 有 6 个省份的绿色金融发展水平指数超过了全国均值。8 个中部省份中, 有 3 个省份的绿色金融发展水平指数超过了全国均值。而东部 11 个省份中, 仅有三个省份的绿色金融发展水平指数超过了全国均值。这表明, 西部地区的绿色金融发展情况相对较好, 而东部一些省份的绿色金融发展相对较差。从绝对值差异来看, 东部地区与中部、西部地区在绿色金融水平上存在明显差异。具体来说, 这种差异在东部地区和中部、西部地区分别体现为-0.0254、0.0004 与 0.006、-0.0113, 显示西部地区的绿色金融发展速度最快, 超过东部地区。中部地区的绿色金融水平被东部地区超越, 三大区域的绿色金融水平存在反向拉大趋势。从增长速率差异来看, 全国、东部、中部、西部地区的平均增长率分别为 3.018%、3.501%、0.963%、4.377%。西部地区的绿色金融水平增速最快, 而东部则略逊一筹。中部地区则增速最慢, 东西部地区的增速均高于全国, 中部地区则相反。总的来说, 西部地区的绿色金融发展情况相对较好, 而东部一些省份的绿色金融发展相对较差。



数据来源: 作者整理得

图 3.1 2008-2020 全国与东中西部地区绿色金融发展平均水平

从图 3.2 可以看出, 2008 年至 2017 年内核密度曲线的峰值位置向绿色金融数值递减的方向移动, 表明绿色金融水平总体呈下降趋势。峰值的形状经历了从尖锐到平缓再到尖锐的变化, 显示了大部分省市绿色金融发展水平的动态空间分布, 即区域间绿色金融的差异经历了一个先增后减的过程。在 2017 年至 2020 年期间, 峰值位置逐渐向大值移动, 峰值形状开始趋于平缓, 自 2016 年发布《构建绿色金融体系的指导意见》以及 2017 年浙江等五省区被创立为绿色金融试验区之后, 中国的绿色金融体系得到了整体发展。然而, 这种发展与设立加剧了不平衡, 不同地区的绿色金融水平存在差异。

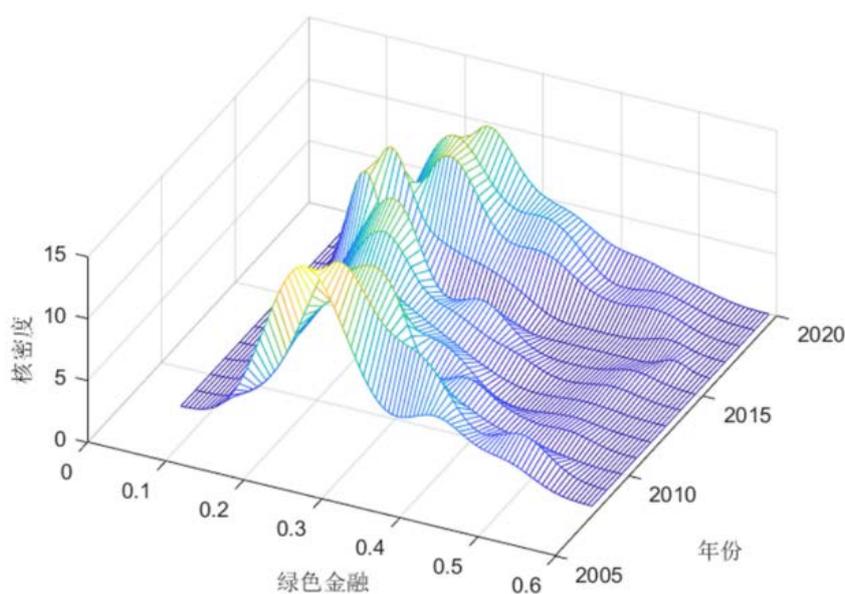


图 3.2 绿色金融三维核密度图

## 3.2 低碳经济发展的测度与分析

### 3.2.1 测算方法

低碳经济的最主要内涵在于经济增长与碳排放增量的减少相结合。因此, 在借鉴吴茵茵等人(2021)将二氧化碳排放强度作为衡量指标的做法的基础上, 本文将其改进为低碳经济发展水平越高其代表数值越大的正向指标, 更符合人们的自然感受。因此, 本文采用碳生产力, 即碳强度的倒数, 作为低碳经济发展(ICE)的代理指标。其中, 参考田云和陈池波(2019)的研究方法, 进行CO<sub>2</sub>的测量。具体而言, CO<sub>2</sub>排

放量的计算公式为： $T_{co_2} = \sum_{i=1}^n E_i \times SC_i \times CF_i$ 。其中， $T_{co_2}$  为 CO<sub>2</sub> 排放总量， $E_i$  为第  $i$  种能源的消费量， $SC_i$  为标准煤折算系数， $CF_i$  为第  $i$  种能源的碳排放系数。具体碳源构成及其对应的碳排放系数如表 3.4 所示。在计算出各地的碳排放总量之后，以 2007 为基期，计算各地实际 GDP 并计算“实际碳生产力”。

表 3.4 碳排放系数与标准煤折算系数

能源种类	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
碳排放系数	0.714	0.971	1.429	1.471	1.471	1.457	1.428	1.330
标准煤折算系数	1.900	2.860	3.020	2.925	3.018	3.096	3.171	2.162

数据来源：田云和陈池波(2019)

### 3.2.2 测度结果及分析

按照上述方法，计算出中国 30 个省域（除港澳台西藏）的低碳经济发展水平，同时借鉴国家统计局对我国进行中、东、西部的划分标准，测度结果由表 3.5 所示。

表 3.5 2008-2020 年我国 30 个省低碳经济发展水平

地区	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	均值
北京	1.8671	2.1518	2.6505	3.3562	3.9094	4.5538	4.8246	3.3501
天津	0.9662	1.0019	1.1017	1.3064	1.4208	1.6760	1.6463	1.3095
河北	0.5838	0.6539	0.7629	0.8598	0.9051	1.0096	1.0945	0.8381
山西	0.4608	0.5297	0.6042	0.6089	0.6296	0.7900	0.8288	0.6375
内蒙古	0.4427	0.4875	0.5292	0.6641	0.7141	0.6997	0.6247	0.6074
辽宁	0.6818	0.6634	0.7587	0.9185	0.9782	1.0533	0.9934	0.8716
吉林	0.6695	0.7726	0.9190	1.1643	1.5142	1.6077	1.6872	1.2030
黑龙江	0.7149	0.7396	0.8635	1.0181	1.0745	1.1233	1.1562	0.9625
上海	1.4242	1.5994	1.8751	2.2796	2.6585	3.1440	3.2638	2.3219
江苏	1.3919	1.6057	1.8614	2.1709	2.4784	2.9463	3.0765	2.2218

续表 3.5

地区	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	均值
浙江	1.4089	1.6246	1.9021	2.1260	2.3305	2.6760	2.7991	2.1249
安徽	1.1432	1.3650	1.6149	1.8749	2.0775	2.5582	2.6349	1.8972
福建	1.3244	1.5295	1.8051	2.0596	2.4601	2.9463	3.0485	2.1770
江西	1.2882	1.4765	1.7708	1.9451	2.1064	2.4463	2.5669	1.9437
山东	0.8867	0.9746	1.1043	1.3907	1.4640	1.6424	1.7251	1.3209
河南	0.9346	1.0568	1.2248	1.5105	1.8030	2.2038	2.4730	1.6041
湖北	0.8951	1.0720	1.2782	1.7305	2.0981	2.5190	2.3958	1.7427
湖南	0.9152	1.0467	1.2665	1.6897	2.0784	2.3372	2.5242	1.7115
广东	1.5635	1.7075	1.9561	2.3037	2.6325	2.9987	3.1799	2.3447
广西	0.9936	1.0800	1.2348	1.4280	1.5941	1.8135	1.8879	1.4384
海南	1.2989	1.4873	1.6525	1.8951	2.0616	2.2630	2.3606	1.8577
重庆	0.9115	1.0267	1.2497	1.7018	2.2580	2.5229	2.7157	1.7890
四川	0.8423	0.9627	1.1627	1.4534	1.7668	2.1542	2.2386	1.5198
贵州	0.4947	0.5528	0.6825	0.9448	1.2276	1.5298	1.6522	1.0146
云南	0.8011	0.8918	1.0636	1.3431	1.5261	1.8016	1.9296	1.3421
陕西	0.9677	1.1084	1.3310	1.5507	1.5681	1.8560	1.8507	1.4709
甘肃	0.5745	0.6658	0.7697	0.8667	0.9463	1.0359	1.1493	0.8569
青海	0.3935	0.4455	0.4337	0.4629	0.5506	0.6297	0.7330	0.5157
宁夏	0.3528	0.4270	0.4671	0.5002	0.4975	0.4944	0.4827	0.4607
新疆	0.5860	0.6466	0.6265	0.6207	0.5908	0.7239	0.7156	0.6398
东部均值	1.2180	1.3636	1.5846	1.8788	2.1181	2.4463	2.5466	1.8853
中部均值	0.8777	1.0074	1.1927	1.4428	1.6727	1.9482	2.0334	1.4628
西部均值	0.6691	0.7541	0.8682	1.0488	1.2036	1.3874	1.4527	1.0596
全国均值	0.9260	1.0451	1.2174	1.4582	1.6640	1.9252	2.0086	1.4699

数据来源：经碳生产力代理算得

根据表 3.5 和图 3.3 可以看出,从 2008 年到 2020 年,从整体上看,低碳经济发展表现为上升趋势。中国 30 个省份的低碳经济发展水平从 0.926 提高到 2.009,年均增长 9%。就单个省市而言,2008 年,北京、广东、上海、浙江、江苏的低碳经济发展水平位居全国前五位,分别达到 1.867、1.563、1.424、1.409、1.392。宁夏、青海、内蒙古、山西、贵州等欠发达地区位居全国倒数第 5 位,低碳经济水平分别为 0.353、0.394、0.443、0.461 和 0.495。到 2020 年,北京、上海、广东、江苏、福建五省市的低碳发展水平仍居全国前五位,分别达到 4.825、3.264、3.179、3.077 和 3.049。宁夏、内蒙古、新疆、青海、山西位列全国倒数第五,低碳发展水平分别为 0.483、0.625、0.716、0.733 和 0.829。可以看出,前 5 名和后 5 名省市的低碳发展水平提高的程度不同,即发达地区的低碳发展水平提高较快,而欠发达地区的低碳发展水平提高较慢。依据图 3.3,从区域层面看,中、西部的低碳经济水平显著滞后于东部。具体来说,东部 2008 年平均低碳经济水平等于 1.218,而中部和西部地区分别为 0.878 和 0.669。到 2020 年,三个地区的低碳经济水平分别达到 2.547、2.033 和 1.453。从 2008 年到 2020 年,东部地区与中西部地区的低碳经济水平差距分别从 0.34 和 0.549 扩大到 0.514 和 1.094,说明三大地区的低碳经济水平有所扩大。

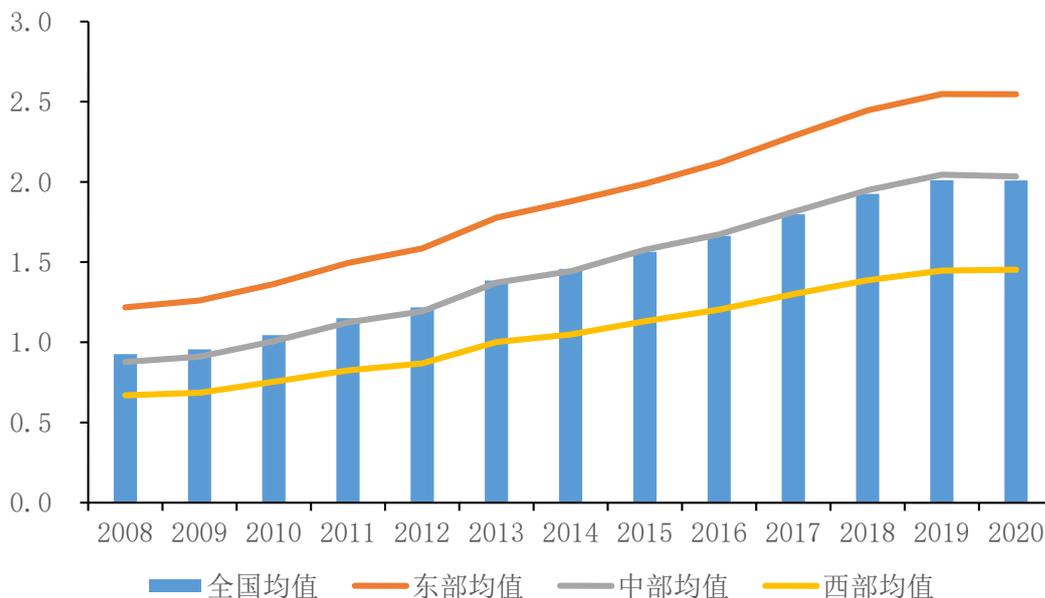


图 3.3 2008-2020 全国与东中西部地区低碳发展平均水平

全国 30 个省市的低碳经济核密度曲线从 2008 年到 2020 年呈现出峰值递减的趋

势，从尖峰到平峰，跨度逐渐扩大，峰值位置逐渐向右移动，说明大部分省市的低碳经济发展水平的空间分布由密集变为分散，不同地区的低碳经济水平的差异逐渐加大（见图 3.4）。从核密度曲线的特点来看，呈现出右偏分布，波浪向右移动，说明密度有向大值移动的趋势，这说明各省的低碳经济发展水平在不断提高，但速度不同，存在着“马太效应”。

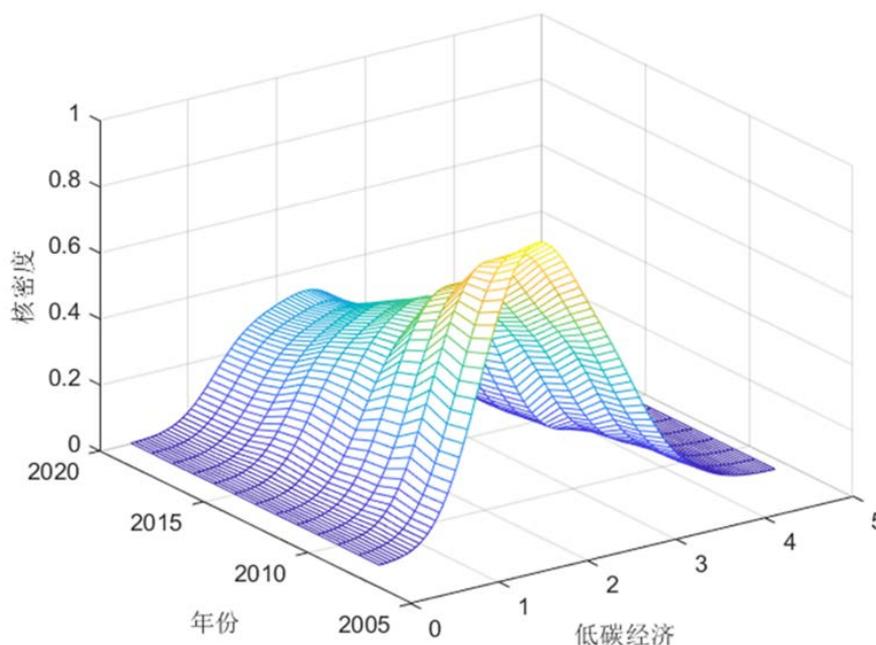


图 3.4 低碳经济发展的三维核密度

### 3.3 绿色金融与低碳经济的变动关系分析

通过拟合 2008-2020 年全国 30 个省市中绿色金融与低碳经济发展水平的关系，如图 3.5 所示，绿色金融与低碳经济发展的关系是非线性的。因此，在建立计量经济学模型时，有必要考虑二者的非线性关系。为了减轻辛普森悖论对拟合结果的影响，根据绿色金融的平均值，按年份和省份将整体样本分为高、低两组，分别分析两组的关系，如图 3.5 所示。低绿色金融水平组与低碳经济发展之间的关系为负，而高绿色金融发展水平组中两者之间的关系为正。因此，可以初步认为，绿色金融对低碳经济发展的影响具有非线性特征。由于绿色金融发展阶段、低碳经济发展水平的不同，以及其他影响二者关系的因素，如不同的低碳技术，东、中、西部地区在二者关系上会呈现不同的趋势。因此，对三个地区进行曲线拟合分析，如图 3.5 所示，表明绿色金

融与低碳经济发展的非线性关系呈现出一定的区域差异。

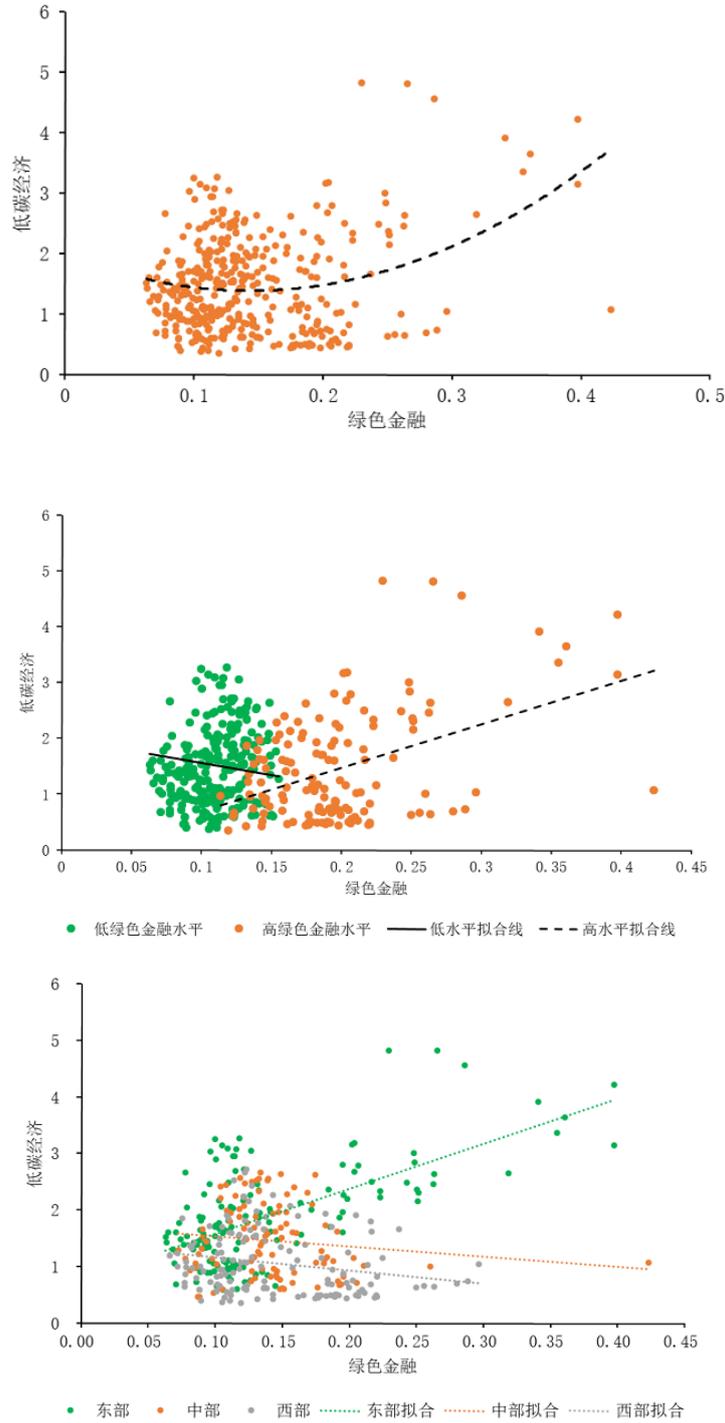


图 3.5 绿色金融与低碳经济发展的变动关系

由于辛普森悖论的存在以及其他未被控制的影响低碳经济发展的因素，因此得出的结论并不够严谨和科学，只能作为初步参考，不能作为政策建议的依据。下一步，将采用更为严谨、科学的实证方法进行检验。

## 4 绿色金融对低碳经济发展非线性影响的实证分析

### 4.1 变量选取与数据来源

#### 4.1.1 变量选取

(1) 被解释变量：低碳经济的主要内涵是在保持经济增长的同时减少碳排放的增量。为此，本文借鉴了吴茵茵等人（2021）使用二氧化碳排放强度作为衡量指标的方法。然而，由于该指标是负向指标，为了更好地反映低碳经济发展水平越高其代表数值越大的特点，本文将使用碳生产力（lce）作为代理指标来解释因变量。

(2) 解释变量：核心自变量是绿色金融发展水平（gf），通过前面介绍的指标构建和测量方法来选择和测量。最后，通过基于遗传算法的加权组合方法，得到绿色金融发展的综合指数。这个综合指数用来反映绿色金融的发展水平。

(3) 控制变量：为了尽可能减少由遗漏变量引起的偏差，本文基于现有文献，并考虑到数据的可得性和质量，仅选定以下变量进行分析。产业结构（is）用二产与三产各自的增加值之比来衡量。而经济发展水平则用人均 GDP 的对数（lnpgdp）来表示。城市化率（ul）使用城市人口占总人口的比例来计算。外国直接投资（fdi）则通过计算各省 GDP 中外资利用的比例来衡量。金融监管（fr）则以各省金融监管支出与金融业增加值的比例来表示。而低碳技术创新（lct）的测量方法借鉴自 Qin 等人（2017）的方法。接着，以 2007 年为基准年，计算相对低碳技术进步率的累计乘积，以转化为实际的低碳技术创新水平。

(4) 空间权重矩阵：空间计量经济学分析的关键和困难在于选用适当的权重矩阵。然而，目前对于空间权重矩阵的选择尚无统一标准。因此，本文根据邵帅等人（2022）等文献的选择方法，主要采用地理空间距离矩阵作为权重矩阵，并用公式（4-1）来表示。在进行稳健性检验时，用经济距离矩阵替换基准权重矩阵，具体如公式（4-2）所示。

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (4-1)$$

$d$  代表两个空间单元的省级行政中心的位置信息距离。

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{|GDP_i - GDP_j|}}, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (4-2)$$

其中,  $\overline{GDP}_i$  为省份  $i$  的人均 GDP 数据。

表 4.1 变量定义

变量类型	变量名称	符号	变量定义
被解释变量	低碳经济	$lce$	碳强度的倒数即碳生产力
核心解释变量	绿色金融	$gf$	遗传算法组合赋权法得到发展综合指数
空间权重矩阵	反距离对称矩阵	$W$	省会城市经纬度测算的地理距离倒数
	产业结构	$is$	第二产业增加值/第三产业增加值
	低碳技术水平	$lce$	用 SBM-GML 指数的分解项测度
	城镇化率	$ul$	地区城镇常住人口/常住总人口数量
控制变量	金融监管	$fr$	地区金融监管支出/金融业增加值
	外商直接投资	$fdi$	实际利用外资额/GDP
	经济发展水平	$lnpgdp$	各地区人均 GDP 取对数

#### 4.1.2 数据来源与描述性统计

2007 年, 环保部等三部门发布的《关于贯彻执行环境保护政策法规和防范信贷风险的意见》, 标志着绿色金融实践的开始。因此, 本研究始于 2008 年。考虑计量统计分析方法对数据的要求, 本研究于 2020 年结束。因此, 我们选取了 2008 年至 2020 年中国 30 个省级地区的相关数据进行统计和计量经济学分析, 并对每个变量进行了相应的数学处理。数据来源包括每年的《中国统计年鉴》、省级统计年鉴、Wind 数据库、CSMAR 数据库、《中国能源统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国保险统计年鉴》、中国人民银行官方网站、中国外汇交易中心官方网站、《中国环境统计年鉴》等。

各变量的描述性统计见表 4.2。从表中可以看出，所有变量的平均值至少是标准差的两倍，说明原始数据在一个相对合理的范围内波动，可以用于实证分析。具体来说，绿色金融发展指数的最小值为 0.0566，最大值为 0.5897，说明中国的绿色金融水平在不断提高，但各省的提高幅度不一。低碳经济发展水平的最大值和最小值相差 15 倍以上，一方面说明各省在基期内的低碳经济发展水平存在明显差异，另一方面也说明我国各省在低碳经济发展的时间演变上存在差异性。

表 4.2 变量描述性统计结果

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>gf</i>	390	0.1420	0.0566	0.0630	0.5897
<i>lce</i>	390	1.4240	0.7905	0.2852	4.8246
<i>is</i>	390	0.9503	0.3144	0.1907	1.8973
<i>lct</i>	390	1.7451	0.5744	1.1486	4.6615
<i>ul</i>	390	0.5639	0.1344	0.2825	0.8958
<i>fdi</i>	390	0.0245	0.0177	0.0003	0.1145
<i>lnpgdp</i>	390	10.6351	0.5784	8.8414	12.013
<i>fr</i>	390	0.0103	0.0137	0.0001	0.1017

## 4.2 模型设定及相关检验

### 4.2.1 相关性分析

接下来将进行相关性检验，以分析变量的多重共线性是否显著存在。具体结果见表 4.3 所示，城市化水平与产业结构以及绿色金融的相关系数分别为 0.912 和 0.740，因此，需要进行方差膨胀因子检验来计算每个变量的方差膨胀因子。

表 4.3 相关性分析结果

	<i>gf</i>	<i>lce</i>	<i>is</i>	<i>lct</i>	<i>ul</i>	<i>fdi</i>	<i>lnpgdp</i>	<i>fr</i>
<i>gf</i>	1							
<i>lce</i>	0.794***	1						
<i>is</i>	0.736***	0.536***	1					
<i>lct</i>	-0.519***	-0.374***	-0.496***	1				
<i>ul</i>	0.740***	0.627***	0.912***	-0.432***	1			
<i>fdi</i>	0.347***	0.394***	0.527***	-0.037	0.479***	1		
<i>lnpgdp</i>	0.238***	0.387***	0.305***	-0.482***	0.315***	0.098*	1	
<i>fr</i>	-0.216***	-0.329***	-0.168***	0.105*	-0.185***	-0.216***	-0.174***	1

注：\*\*\*、\*\*、\*分别在 1%、5%和 10%的水平上显著。

依表 4.4 的数据，所有的变量的 VIF 值均低于 10，这表明不存在明显的多重共线性问题，因此可以继续进行分析。

表 4.4 方差膨胀因子

	VIF	1/VIF
<i>gf</i>	2.630	0.380
<i>is</i>	1.938	0.516
<i>lct</i>	1.388	0.721
<i>ul</i>	7.388	0.135
<i>fdi</i>	1.574	0.635
<i>lnpgdp</i>	6.598	0.152
<i>fr</i>	1.102	0.907

#### 4.2.2 单位根检验

为确保回归数据的平稳以避免出现伪回归，需单位根检验。为了减少单一方法带来的误差，本文采用了三种单位根检验方法，包括 IPS、LLC 和 ADF。表 4.5 的结果

表明，所有的变量都显著地拒绝了原假设，即各变量都是平稳的，因此可以进行模型回归分析。

表 4.5 单位根检验情况

变量	LLC 检验	IPS 检验	ADF 检验
<i>lce</i>	-6.714***	-22.220***	111.721***
<i>gf</i>	-9.917***	-5.128***	272.823***
<i>is</i>	-6.785***	-19.238***	132.779***
<i>lct</i>	-1.871**	-3.938***	109.575***
<i>ul</i>	-8.578***	-3.319***	180.352***
<i>fdi</i>	-13.308***	-9.494***	91.611***
<i>lnpgdp</i>	-10.535***	-4.291***	156.327***
<i>fr</i>	-12.336***	-5.458***	201.433***

注：\*\*\*、\*\*、\*分别在 1%、5% 和 10% 的水平上显著。

## 4.2.3 空间相关性检验

### 4.2.3.1. 空间异质性分析

在进行空间依赖性检验之前，首先绘制绿色金融和低碳经济发展的空间分布图，用以直观地展示各省份的空间异质性。根据图 4.1 和图 4.2 所示的结果，绿色金融发展综合指数和低碳经济水平被划分为三个空间类别。颜色越深，说明区域发展水平越高。数据缺失的地区，如港澳台与西藏，以白色显示。在图 4.1 中，2008 年内蒙古、黑龙江、吉林、湖南、湖北等中西部省份的绿色金融发展水平较高，而东部地区的绿色金融发展优势不是很明显。首先，虽然中西部地区生态环境脆弱，但它却也是中国重要的生态区域，以及主要河流和水系的发源地。因此，在保护和改善生态环境方面投入更多的绿色资源可以集中发展绿色金融。第二，我国中西部地区承担着重要的农牧业生产角色。因此，农牧业保险提高了当地绿色金融的水平。相比之下，东部沿海省份承担着中国经济发展的主要任务。因此，金融业对地方经济效应的追求大于环境效应，政府的财政支出和投资也偏重于经济因素。此外，中国改革开放的先锋阵地位

于东部地区，因此承接了许多重污染的国外产业，导致该地区绿色金融发展的整体水平较低。到 2020 年，绿色金融积聚的现象更加明显，在粤港澳大湾区、长三角、中西部等地区形成明显的空间集聚现象。这也是跟随产业结构升级和绿色发展理念逐步被认可的结果。金融业在进行投资决策时，会逐渐将环境因素作为重要的决策参考因素。如图 4.2 所示，沿海省份的低碳经济发展水平更高。这说明绿色金融的发展水平和低碳经济的发展水平并不完全一致，可能存在非线性关系。东部沿海地区在空间上呈现集聚特征。湖南、湖北、河南、安徽、江西等中部省份的低碳经济发展也呈现一定的空间集聚特征。

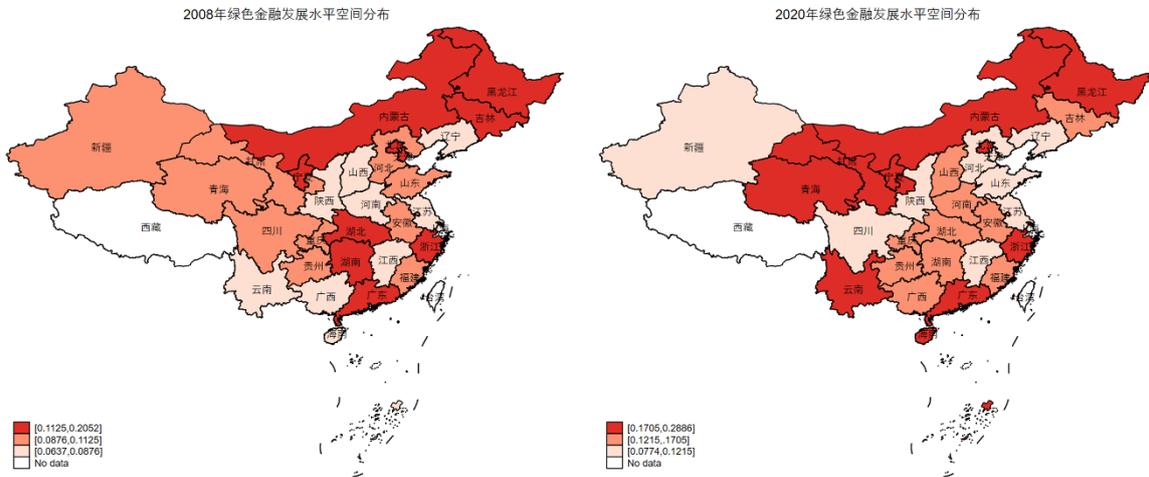


图 4.1 绿色金融发展水平空间异质性分布图（2008、2020）

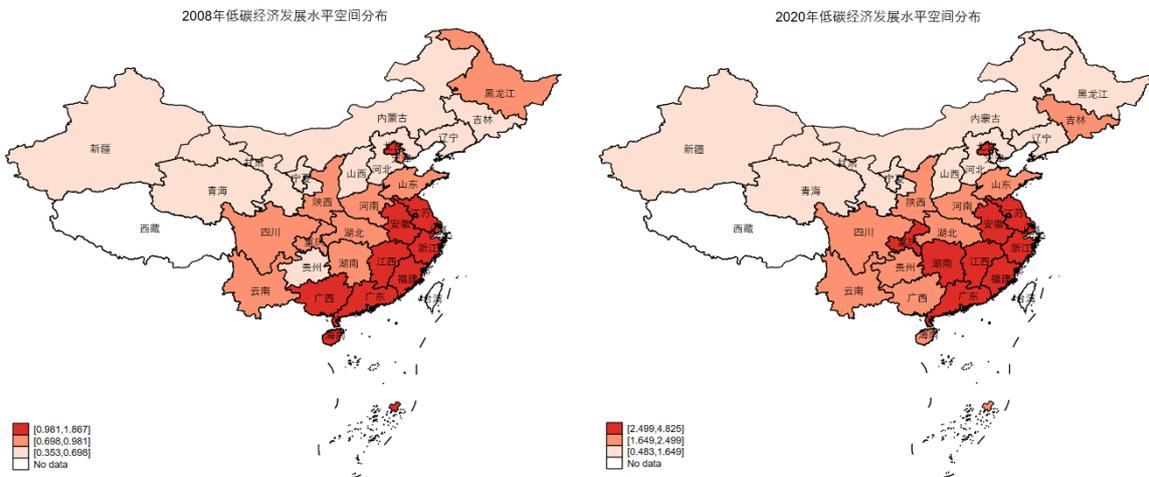


图 4.2 低碳经济发展水平空间异质性分布图（2008、2020）

### 4.2.3.2. 莫兰指数检验

在进行空间检验之前，我们需要先评估低碳经济发展水平是否具有空间关联性。为了衡量变量之间的空间关联水平，通常会使用莫兰指数（Moran's I）。该指数的公式如式（4-3）。通过对低碳经济发展水平进行莫兰指数的计算，可以更准确地分析其空间特征，进而有助于我们进行空间检验。

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4-3)$$

Moran's I 指数区间为[-1, 1]，指数的绝对值越大，空间相关性越强。从表 4.6 的空间相关性检验结果可以看出，绿色金融的发展呈现空间上的正关联性。莫兰指数从 2008 年的 0.199 增加到 2020 年的 0.237，表明先行先试、积累经验、逐渐推广的绿色金融试点政策初见成效。这些政策带动周边地区绿色金融发展的条件与制度越来越成熟，同时绿色金融发展的同频共振越来越凸显。

表 4.6 绿色金融综合指数莫兰指数

年份	Moan' I 指数	Z 值	P 值	年份	Moan' I 指数	Z 值	P 值
2008	0.199	2.274	0.023	2015	0.210	2.444	0.015
2009	0.209	2.359	0.018	2016	0.185	2.269	0.023
2010	0.236	2.600	0.009	2017	0.156	2.024	0.043
2011	0.256	2.763	0.006	2018	0.222	2.592	0.010
2012	0.238	2.616	0.009	2019	0.230	2.668	0.008
2013	0.222	2.457	0.013	2020	0.237	2.735	0.006
2014	0.221	2.523	0.012				

根据表 4.7 的空间相关性检验结果可知，低碳经济发展呈现正相关性。莫兰指数在 2008 年时为 0.526，而在 2020 年则降至 0.390，并且从 2005 年开始进入瓶颈期，莫兰指数徘徊在 0.390 左右。

表 4.7 低碳经济发展水平莫兰指数

年份	Moan' I 指数	Z 值	P 值	年份	Moan' I 指数	Z 值	P 值
2008	0.526	4.549	0.000	2015	0.390	3.503	0.000
2009	0.524	4.535	0.000	2016	0.390	3.503	0.000
2010	0.520	4.496	0.000	2017	0.398	3.560	0.000
2011	0.493	4.299	0.000	2018	0.405	3.618	0.000
2012	0.481	4.204	0.000	2019	0.397	3.554	0.000
2013	0.425	3.788	0.000	2020	0.390	-3.500	0.000
2014	0.422	3.771	0.000				

莫兰指数散点图可以更直观、更具体地反映出某一地区与邻近地区之间的聚集类型。该图由四个象限组成。一、三象限代表高-高和低-低分布特征；第二和第四象限代表低-高集聚和高-低集聚。如果大部分的点都集中在第一和第三象限，说明该地区的经济活动有明显的正空间自相关。图 4.3—4.6 分别是 2008 年和 2020 年全国 30 个省市的低碳经济和绿色金融发展的局部自相关莫兰散点图。大多数省市的低碳经济和绿色金融发展处于第一和第三象限，第二和第四象限的点有向第一和第三象限转移的趋势，说明 2020 年低碳经济和绿色金融在区域上更加集聚，这反映了我国各省市低碳经济和绿色金融发展在空间上的高度稳定性。

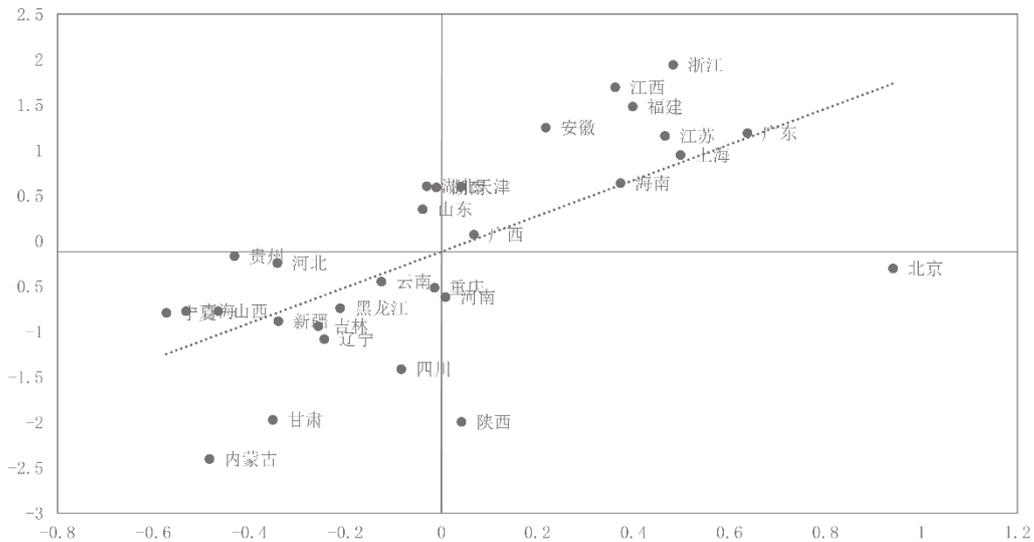


图 4.3 低碳经济发展局部莫兰散点图（2008）

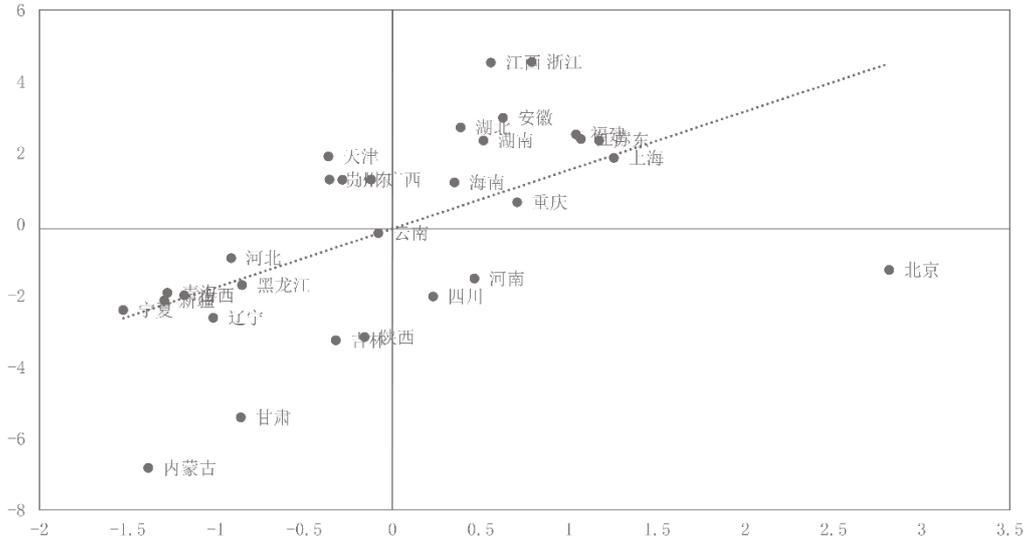


图 4.4 低碳经济发展局部莫兰散点图 (2020)

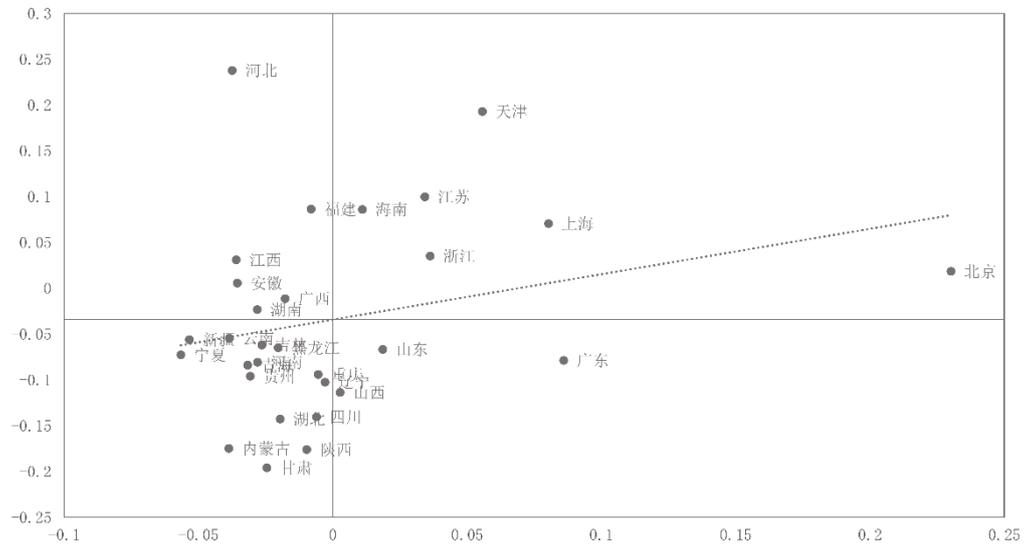


图 4.5 绿色金融局部莫兰散点图 (2008)

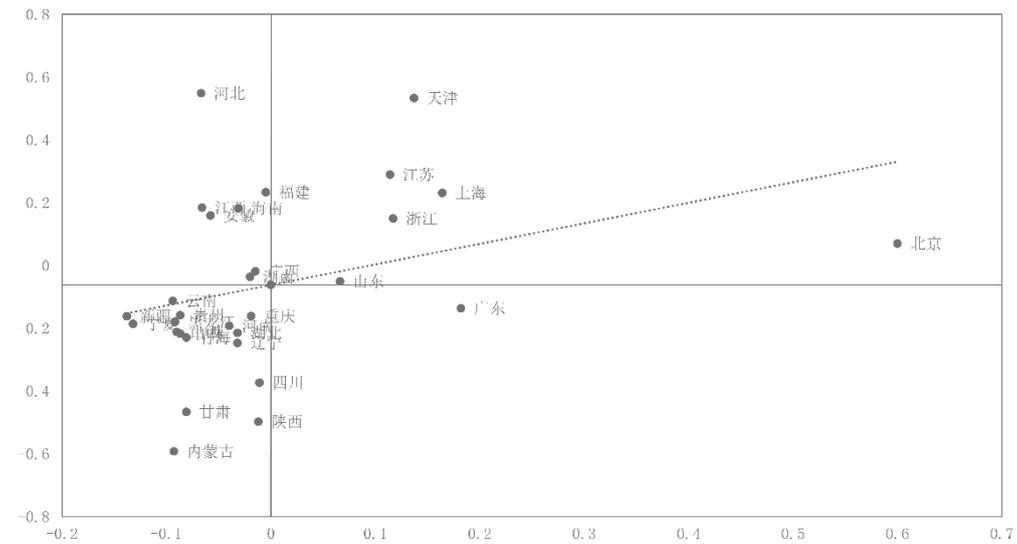


图 4.6 绿色金融局部莫兰散点图 (2020)

#### 4.2.4 最优空间估计模型的选择

根据 Moran's I 检验，有必要选择一个空间计量经济学模型来最大限度地描述实际变量之间的关系。通常，空间计量经济学模型的选择包括空间自回归模型（SAR）、空间误差模型（SEM）和空间杜宾模型（SDM）。这些模型可以进一步扩展以满足具体的研究需要。为了证明空间因素影响下的非线性空间计量经济学模型能更好地反映绿色金融与低碳经济发展的实际关系，我们在以下条件下建立了模型（4-4）、（4-5）和（4-6）：不考虑空间因素但引入平方根项（由于本文中绿色金融发展的综合指数在 0-1 之间），考虑空间效应但不包括平方根项，以及同时考虑空间因素和平方根项。

$$lce_{it} = \beta_1 gf_{it} + \beta_2 gf_{it}^{1/2} + \beta X + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4-4)$$

$$lce_{it} = \rho Wlce_{it} + \beta_1 gf_{it} + \beta X + \theta_1 Wgf_{it} + \theta W X + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4-5)$$

$$lce_{it} = \rho Wlce_{it} + \beta_1 gf_{it} + \beta_2 gf_{it}^{1/2} + \beta X + \theta_1 Wgf_{it} + \theta_2 Wgf_{it}^{1/2} + \theta W X + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4-6)$$

在这些个方程中， $lce_{it}$  为低碳经济发展水平， $gf_{it}$ 、 $gf_{it}^{1/2}$  分别为绿色金融及平方根项， $X$  为一个向量，其中包含了一系列控制变量； $W$  则是一个空间权重矩阵，与各地区相对应。此外，我们将  $\delta_i$ 、 $\mu_t$  和  $\varepsilon_{it}$  分别定义为反映区域效应、时间效应和扰动项的变量。 $\rho$  则代表反映空间溢出效应的系数。这些定义将有助于我们进一步的分析 and 解释模型中的各项因素。接着，本文将对 SDM 模型进行相对适用性验证。

根据 LM 检验的结果（如表 4.8 所示），建议空间计量经济学模型更适合于本研究。此外，根据 Wald 和 LR 检验的结果，空间 Durbin 模型不会降为空间滞后和空间误差模型。最后，Hausman 检验结果表明，固定效应模型比随机效应模型更合适。因此，本研究将采用固定效应的空间 Durbin 模型进行非线性参数化回归，这将有助于提高回归分析的准确性。

表 4.8 空间计量模型选择的检验结果

统计量	模型 1		模型 2	
	统计值	P	统计值	P
LM(error)	32.849***	0.000	33.669***	0.000
R-LM(error)	6.7029***	0.010	6.665***	0.010
LM(lag)	31.634***	0.000	32.741***	0.000
R-LM(lag)	5.487***	0.003	5.737***	0.005
Wald_lag	139.68***	0.000	115.69***	0.000
LR_lag	126.39***	0.000	106.44***	0.000
Wald_error	153.02***	0.000	127.29***	0.000
LR_error	133.76***	0.000	112.90***	0.000
Hausman	78.88***	0.000	84.16***	0.000

注：\*\*\*、\*\*、\*分别在 1%、5%和 10%的水平上显著。

为探讨基于空间溢出视角下的绿色金融在低碳经济发展中的非线性影响，本文借鉴叶阿忠等人（2020）的研究成果，进一步构建半参数面板空间模型（4-7），其中， $G(gf_{it})$ 为未知函数的非参数部分，其他变量与之前相同。

$$lce_{it} = \rho Wlce_{it} + \beta X + \theta WX + \delta_i + \mu_i + G(gf_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (4-7)$$

### 4.3 基准实证结果分析

在比较了不考虑空间项的基准模型、包含或不包含绿色金融平方根项的空间杜宾模型以及半参数空间滞后模型的回归结果后，如图 4.7 所示，我们可以得出以下结论。与基准模型（4-4）相比，空间模型（4-5）的  $R^2$  和 Log-L 都比较好，说明考虑空间效应更符合研究变量之间的实际关系。与空间模型（4-5）相比，包含绿色金融平方根项的模型（4-6）的  $R^2$  和 Log-L 都更好，说明模型（4-6）更符合实际数据。最后，半参数空间滞后模型（4-7）的  $R^2$  和 Log-L 值都明显大于模型（4-6），说明半参数空间计量经济模型能够更好地解释绿色金融对低碳经济发展的非线性影响。为此，本文选择

了半参数空间滞后模型的实证结果作为非线性分析的基础，并采用了包含绿色金融平方根项的空间杜宾模型的实证结果作为空间效应分析的基础。

通过在模型中绘制偏导图，可以直观地反映出绿色金融与低碳经济发展之间的非线性关系。如图 4.7 所示，横轴代表绿色金融，纵轴代表绿色金融对低碳经济的边际效应。从图 4.7 可以看出，绿色金融对低碳经济发展的影响呈现“U 型”的非线性特征。假设 1 得证。绿色金融的系数可以分为三个区间： $gf < 0.155$ （区间 1）， $0.155 \leq gf < 0.231$ （区间 2）， $0.231 \leq gf$ （区间 3）。在区间 1 中，绿色金融对低碳经济的边际影响为负，但负效应逐渐减小并接近 0，绿色金融在抑制低碳经济发展方面的作用逐步弱化。在区间 2 中，绿色金融对低碳经济的边际效应由负转正，并逐渐增大，说明绿色金融开始明显促进低碳经济的发展，且效果越来越明显。在区间 3 中，绿色金融对低碳经济的边际效应为正，但增速放缓，且有斜率变为 0 的趋势。此时，绿色金融的发展已经进入成熟期，要想通过绿色金融进一步提高低碳经济水平，可能需要付出相当大的代价，甚至可能适得其反，这符合绿色金融作为投入要素的边际收益递减规律。结合前文的理论分析，本文对 U 型非线性关系提出了以下可能的原因。

首先，在发展绿色金融的早期阶段，我国标准的绿色金融体系、绿色低碳产业统一认定以及绿色金融资源投向的监督与管理等方面尚未健全完善，这为企业的“飘绿与染绿”行为提供了广泛的施展空间，严重影响和制约了绿色金融实现经济和环境双赢的功能；虽然最初投入了大量资源用于低碳技术和产品的研发，但由于低碳产品市场前景不明朗、低碳技术研发周期长、投入大、见效慢等固有缺陷，企业在金融监管强度较低背景下被动响应政府的低碳经济转型号召，积极投入“寻租”活动，扭曲了绿色金融的功能，对生产资源产生了挤兑现象，进而影响了经济产出；随着绿色金融的不断发展，上述阻碍绿色金融功能正常发挥的现象和因素逐渐减少，绿色金融在低碳经济的发展中开始发挥推动作用。

其次，最初绿色金融的发展主要是跟随银行主导的绿色信贷的发展。但是，银行主导的绿色金融模式存在固有的缺陷，如不利于低碳技术进步和效率提高。大多数文献研究都得出了一个相对一致的结论：多层次的资本市场更有利于技术创新。然而，以绿色证券和绿色基金为代表的绿色资本市场发展滞后，严重阻碍了低碳技术创新的步伐，导致低碳技术产出效率低下，导致生态环境投入向左半球转移，不利于低碳经

济的发展。随着绿色资本市场的发展，尤其是在 2015 年将发展绿色债券市场列为重点任务后，我国绿色资本市场迅速发展，对低碳技术的发展起到了支撑作用，间接推动了低碳经济的发展。

最后，在绿色金融发展的初期，常常会存在低碳消费理念匮乏、产业结构高碳化的问题，导致污染企业受益，产业结构难以转型等现象。这些问题使得绿色金融的正外部性从“好事”变成了“坏事”。在金融监管强度不足，社会对企业环境责任履行情况监督失位的情况下，企业不愿意放弃既得利益，从而出现了“免费乘车者”的现象，最终导致低碳产品数量增加量小于非低碳产品增加量，即低碳经济的发展水平仍然相对较低。然而，随着绿色金融的不断发展，低碳消费理念将逐步盛行，低碳产品市场将变得更加宽广。追求利润最大化的企业也将逐渐放弃“免费搭车者”的行为，主动转向低碳产品研发的轨道上。这样一来，企业不仅可以争取低碳产品市场份额，而且可以获得更多的税收和利息优惠政策。这些行为转变的背后结果是低碳产品数量增加大于非低碳产品数量增加，甚至可能会导致非低碳产品数量减少，从而有利于低碳经济的发展。

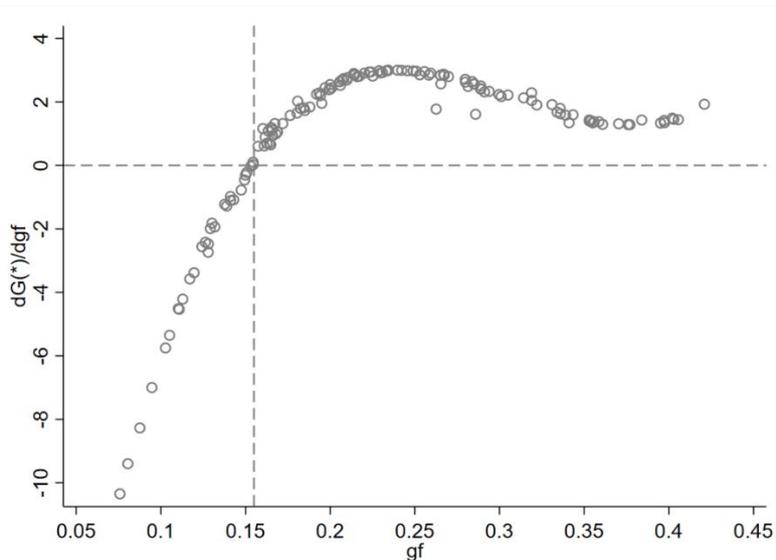


图 4.7 绿色金融对低碳经济发展的偏导数图

#### 4.4 稳健性检验

对外部因素敏感性低的实证结果才能转化为指导性的结论和政策建议。因此，有必要进行稳健性检查，以检验研究结果的可推广性。

#### 4.4.1 替换核心解释变量

使用纵横拉开档次法测算绿色金融发展综合指数，作为实证回归的核心解释变量，结果如图 4.8 的左图所示。从图中可以看出，绿色金融对低碳经济发展水平具有 U 型非线性影响。绿色金融的系数可以分为三个区间： $gf < 0.136$ （区间 1）， $0.136 \leq gf < 0.215$ （区间 2）， $0.215 \leq gf$ （区间 3），分别表现为抑制作用逐渐减弱，促进作用逐渐加强，促进作用开始下降并趋于稳定。这表明绿色金融和低碳经济影响之间的非线性关系是稳健的。

#### 4.4.2 替换空间矩阵

采用经济距离空间矩阵进行实证回归。回归结果见于图 4.8 的右图。由图可知，绿色金融对于低碳经济发展的影响呈现出 U 型非线性的特征。绿色金融的影响系数可划分为三个区间： $gf < 0.125$ 、 $0.125 \leq gf < 0.189$  与  $0.189 \leq gf$ ，分别呈现抑制逐渐减少、促进增加、正的边际效应逐渐减少的效果。比较图 4.8 的右图和基准图 4.7 的回归结果，可以发现偏导数图的形状及走势基本一致，除了拐点值的大小。这表明绿色金融对低碳经济发展的影响具有显著的 U 型曲线关系，即绿色金融对低碳经济的非线性影响关系是稳健的。

#### 4.4.3 更换样本区间

由于 2019 年底以来 COVID-19 大流行病对全球经济和社会发展的严重破坏性影响，本文尽量排除这一极端事件的影响，将研究样本限定在 2019 年之前的年份。同样，2008 年的全球金融危机的影响也被排除在外。考虑到金融危机冲击的延续性，本文将样本期的起点设定为 2010 年，以减轻金融危机的极端影响。检验结果如图 4.8 的下图所示，绿色金融对低碳经济发展水平具有 U 型非线性影响，最小点为 0.111。这在一定程度上验证了本文前面提到的研究结果的稳健性。

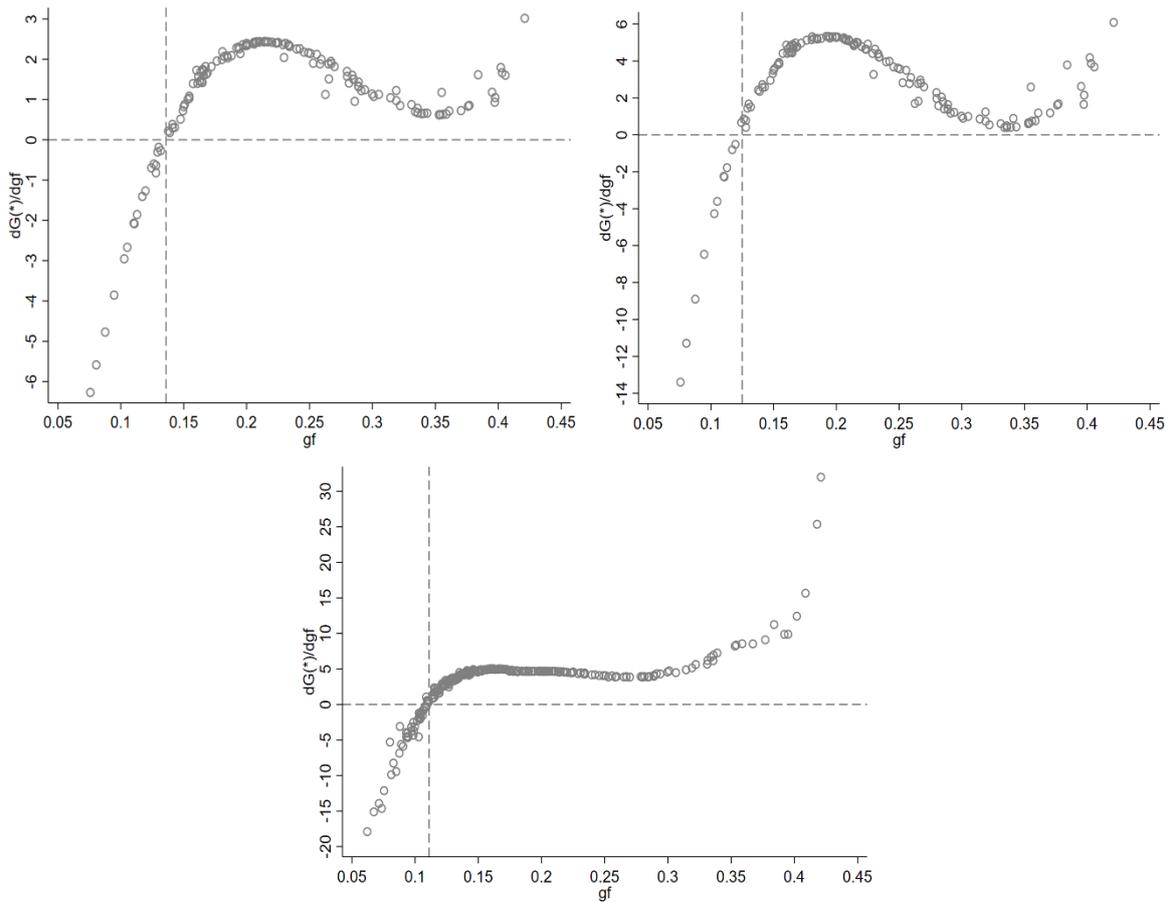


图 4.8 绿色金融对低碳经济边际效应的稳健性检验

## 4.5 内生性检验

由于实证分析可能会产生内生性问题，因此本研究使用工具变量法对实证结果是否存在内生性问题进行了检验。参考史代敏和史晓燕（2022）的观点，以滞后绿色金融发展指数作为工具变量。一方面，滞后绿色金融发展指数和现行绿色金融发展指数关联度较高，另外一方面， $t$ 时刻的低碳经济水平对于 $t-1$ 时刻的绿色金融并不产生作用，这就缓解了反向因果关系引致的内生性问题。于此同时，将各邻省平均绿色金融发展水平视为全省绿色金融水平。其他省份绿色金融发展水平均值通过空间效应对本省绿色金融发展水平产生影响，然而本省低碳经济发展对于周边各省绿色金融平均水平影响可忽略。所以，工具变量符合外生性与相关性的要求。

从图 4.9 可以看出，在解决了内生性问题后，绿色金融对低碳经济发展的非线性 U 型效应依然存在，但与基准图相比有一定差异。中国各省绿色金融对低碳经济发展

的影响大多表现为促进作用，少数省份由于绿色金融发展的滞后，表现为抑制作用。目前，通过绿色金融促进低碳经济发展是我国各省的主流模式，但促进作用存在一个最佳范围。因此，应规范绿色金融的影响因素，使其对低碳经济发展的促进作用最大化。

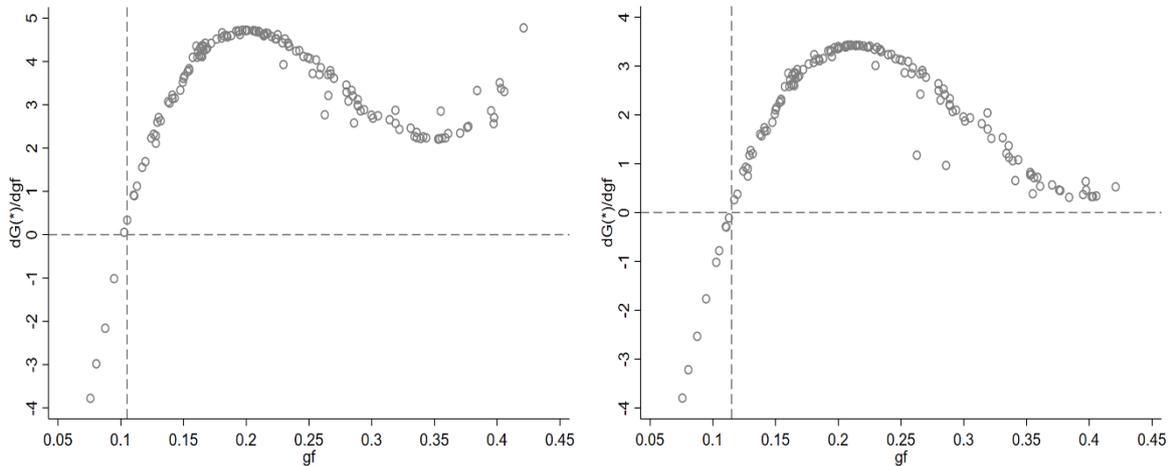


图 4.9 绿色金融对低碳经济边际效应的内生性检验

#### 4.6 空间关联效应分析

在表 4.9 中的模型(4-4)的回归结果中，绿色金融一次项系数为负但不显著，而其开平方项的系数在 10% 的显著性水平上通过检验。这说明普通面板模型没有考虑空间相关性，其系数反映的是直接效应与间接效应最终博弈的结果，掩盖了一些本质事实。因此，绿色金融与低碳经济发展之间的作用关系不能被精确估算。同时，若不考虑绿色金融的开平方项，在模型（4-5）回归结果中，绿色金融对低碳经济发展的边际效应为正，即存在促进作用，但不显著。这样就忽略了绿色金融与低碳经济发展的非线性关系，导致模型设定偏误，影响了系数表达的准确性。

考虑到空间相关性后，在模型（4-6）中，绿色金融变量的一次项的系数为负，而平方根项的系数为正，且都通过了 1% 水平的显著性检验。这说明绿色金融与低碳经济之间存在“U”型非线性关系，即绿色金融对低碳经济发展的影响在初期表现为抑制，并且当绿色金融发展达到一定水平时呈现出显著的正向边际效应。U 型曲线的最小值位于 0.23 处。当绿色金融发展水平位于最小值左边时，绿色金融对低碳经济的影响呈现抑制效果。当绿色金融发展水平超过最小值 0.23 时，绿色金融对低碳经济的影

响表现为明显的积极效果。这充分表明，为了促进低碳经济的发展，绿色金融需要向更高层次发展。

在空间变量方面，低碳经济空间滞后项的系数在模型（4-5）、（4-6）、（4-7）中均为正值，并通过了统计学意义水平检验。因此，可以推断，随着低碳经济的不断推进，当地的低碳经济对相邻地区的低碳经济产生了正向影响，说明空间溢出效应的存在。绿色金融与空间项的交乘项一次项系数为负，平方根项系数为正，且均通过了1%的显著性水平检验。由此可见，本地绿色金融和邻近区域低碳经济具有“U型”非线性关系，且曲线的拐点在0.297处。假设2得证。当本地绿色金融发展水平低于0.297时，随着绿色金融的发展，本地绿色金融对相邻地区低碳经济的影响呈现抑制作用，即存在虹吸效应。当本地绿色金融发展水平超过0.297后，本地绿色金融对相邻地区低碳经济的影响则表现出显著促进作用。绿色金融对相邻地区低碳经济的溢出效应，相较于本地低碳经济的直接效应更为滞后。

表 4.9 模型（4-4）-（4-7）的回归估计结果

变量	模型(4-4)	模型(4-5)		模型(4-6)		模型(4-7)	
	<i>OLS</i>	<i>SDM</i>		<i>SDM</i>		<i>SPSPM</i>	
		$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$
<i>gf</i>	-0.691 (-3.761)	0.817 (1.911)	-0.372*** (-4.013)	-1.578*** (-5.676)	-0.584*** (-3.191)		/
<i>gf<sup>1/2</sup></i>	0.537* (7.542)			0.363*** (7.446)	0.347*** (6.051)		/
<i>is</i>	-0.134*** (-2.749)	-0.210*** (-4.876)	-0.245*** (-3.125)	-0.191*** (-4.424)	-0.264*** (-3.358)	-0.197*** (-4.524)	-0.182** (-2.283)
<i>ul</i>	-0.048*** (-17.175)	-0.613*** (-2.852)	0.125*** (5.716)	-0.678*** (-3.181)	-0.059*** (-2.681)	-0.330*** (-3.539)	0.272*** (2.834)
<i>lnpgdp</i>	1.743*** (4.912)	1.023*** (3.912)	0.517 (0.769)	1.800*** (4.938)	0.047 (0.067)	0.638*** (11.398)	0.031* (1.783)

续表 4.9

变量	模型(4-4)	模型(4-5)		模型(4-6)		模型(4-7)	
	<i>OLS</i>	<i>SDM</i>		<i>SDM</i>		<i>SPSPM</i>	
		$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$
<i>lct</i>	0.070*** (2.721)	0.021 (0.908)	0.076 (1.608)	0.015 (0.654)	0.129*** (2.594)	0.035 (1.523)	0.056*** (3.379)
<i>fdi</i>	-0.621 (-1.540)	-0.182 (-0.551)	-0.485 (-0.473)	-0.208 (-0.638)	0.859 (0.841)	-0.039 (-0.112)	0.711*** (0.440)
<i>fr</i>	0.002* 1.327	0.005 0.452	0.013 0.879	0.008* 1.667	0.011 0.921	0.009* 1.871	0.026 1.376
$\rho$	/	0.478*** (7.043)		0.447*** (6.418)		0.704*** (11.767)	
<i>N</i>	390	390		390		390	
<i>Log-L</i>	184.921	267.769		373.706		471.164	
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.767	0.593		0.822		0.917	

注：\*\*\*、\*\*、\*分别在 1%、5%和 10%的水平上显著，括号内为 *t* 值。

## 4.7 异质性分析

由于中国各地区的绿色金融发展、经济和制度基础存在明显差异，各省、市、自治区的现有绿色金融发展阶段也不尽相同。因此，绿色金融对低碳经济发展的非线性影响在不同地区可能有所不同。为了探讨绿色金融对不同地区低碳经济发展的影响，将样本按照东、中、西部三个区域进行分组，对每个区域进行回归分析。结果如图 4.10 所示。

首先，从东部地区的情况来看，绿色金融对促进低碳经济的发展起到了积极的作用。这说明东部地区绿色金整体发展水平已经超过了阈值，进入了正向促进区。因此，可以观察到它具有明显的正向影响，绿色金融发展的最佳水平为 0.175。其次，从中部地区来看，绿色金融对低碳经济发展的影响呈现 U 型曲线。当  $gf < 0.079$  时，绿色金融对低碳经济发展的边际效应小于 0，增加绿色金融的水平会抑制低碳经济的发展。但

是，当  $gf > 0.079$  时，则促进了低碳经济的发展。最后，从西部地区的角度看，绿色金融对低碳经济发展的影响具有非线性效应，近似于倒 N 型。因此，根据上述分析，假设 3 可以被证明。

从边际效用的累积效应来看，在东部地区，绿色金融对低碳经济发展的影响在局部和整体上都是积极的。在中部地区，边际效用的正负效应不断累积，绿色金融在低碳经济发展中的整体影响也是积极的，但程度较小，在某些局部地区，如山西，存在着负面效应。西部地区绿色金融对于低碳经济发展整体效果为负，但在某些特定地区，如四川和重庆，存在着正面影响。这给我们启示，以东、中、西部地区的简单粗略划分来研究呈现的非线性关系的异质性是相对不科学且不现实的。相反，应该把区域内异质性背后的具体影响因素作为非线性调节变量来考虑，以提供更有针对性和可行性的政策建议。从以上分析可以看出，绿色金融对低碳经济的整体作用效果在东部、中部、西部三个区域呈下降趋势。这不仅因为三大区域具有明显的异质性，而且区域内的各省、自治区和直辖市在绿色金融对低碳经济发展影响的关系上也存在明显的差异。具体分析如下。

东部地区是我国沿海发达地区，企业多以资本密集型和知识密集型为主，高质量人力资源也多聚集于此。此外，低碳消费理念较为盛行，因此东部省份发展绿色金融的基础最为良好，低碳技术储备也最为丰厚，绿色金融可以对低碳经济发展产生良性效果。中部地区的金融市场完善程度仅次于东部地区，因此绿色金融在中部省份可以达成较好效果。而西部地区在我国发展水平中处于落后状态，人才流出情况严重，难以发展低碳项目。同时，西部地区接纳了发达省份把高污染工业传送到其他地区的举措，因此目前低碳经济转型程度较低，绿色金融难以在西部地区产生正向效果。结合基准图 4.7 和图 4.8，可以得知，西部地区绿色金融水平对低碳经济发展水平的显著负向影响对全国范围内绿色金融水平对低碳经济水平的影响方向产生了严重干扰。这使得在 30 个省市范围内，绿色金融对低碳经济的影响表现为先抑制后促进的形态，即 U 型曲线的形成，其中西部地区是这一趋势的很大贡献者。

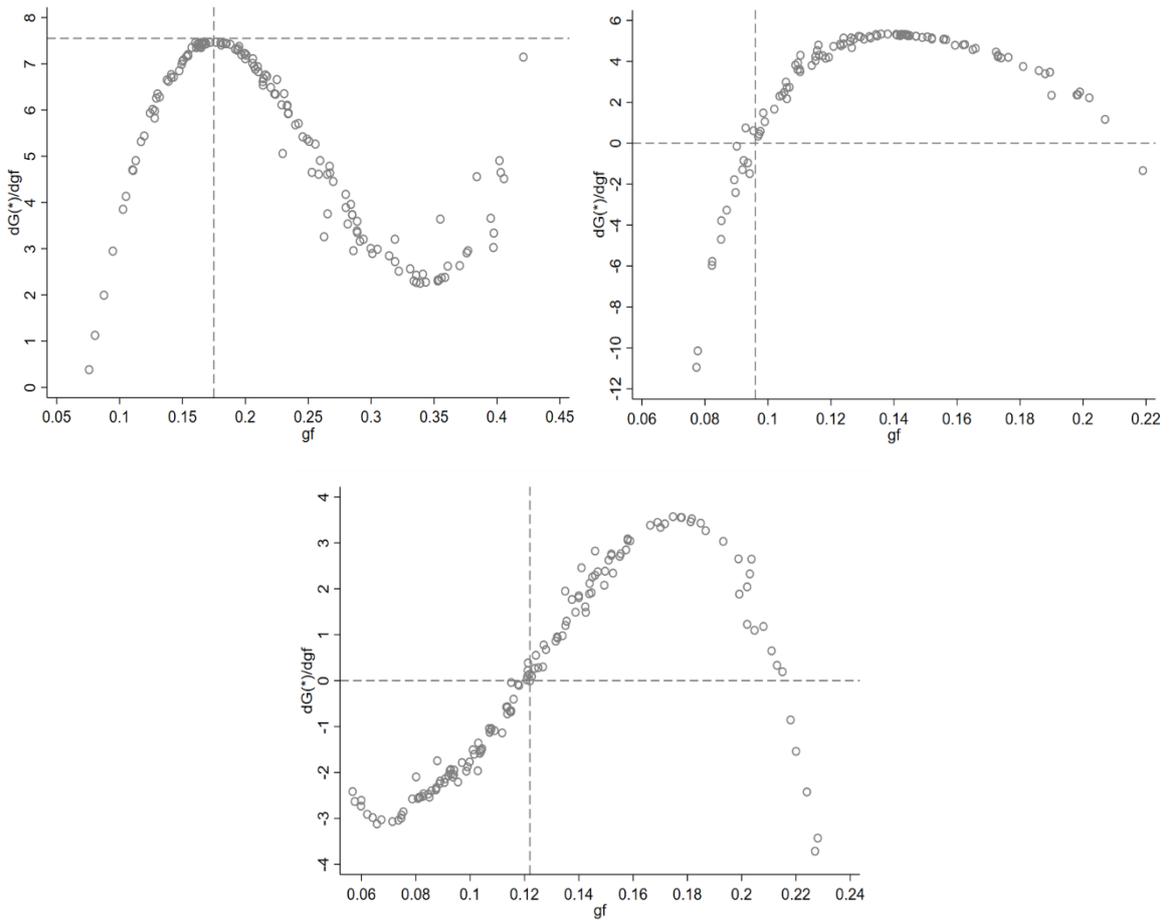


图 4.10 东中西部地区实证结果

下一步，我们将运用加入绿色金融平方根项的空间杜宾模型进行区域异质性的研究。这不仅可以用于对半参数空间面板模型回归结果的稳健性检验，还可以对绿色金融对低碳经济空间影响进行更加细致的分析，回归结果详见表 4.10。

从  $\beta$  系数的分析结果来看，东部地区的绿色金融变量回归系数不显著，而其平方根项回归系数符号显著为正。中部地区绿色金融与低碳经济发展之间呈现出显著的 U 型曲线关系。在西部地区，绿色金融变量回归系数符号为负，其平方根项回归系数符号为正，但是这些系数均未通过 10% 的显著性检验。需要指出的是，这些结论与半参数面板模型的估计结果是一致的，并且通过了稳健性检验。

根据  $\theta$  系数的分析结果来看，东部地区本地的绿色金融与相邻地区的低碳经济发展之间并未出现显著的非线性影响关系。而中部和西部地区本地绿色金融对相邻低碳经济发展均呈现出显著的非线性影响关系，即呈现出 U 型曲线关系，其中拐点分别为 0.122 和 0.103。东部地区与中部、西部地区之间存在不一致的原因在于，东部地区的

绿色金融既存在虹吸效应，也存在溢出效应，这两种效应相互抵消，从而导致对相邻地区低碳经济发展的影响作用不显著。

表 4.10 东中西部地区的 SDM 模型回归结果

变量	东部地区		中部地区		西部地区	
	$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$
$gf$	-0.683 (-0.302)	-0.142 (-0.177)	-0.475*** (-4.577)	-0.701** (-1.298)	-0.215 (-0.370)	-0.196*** (-2.652)
$gf^{1/2}$	2.961*** (5.073)	0.576 (0.701)	2.935*** (3.587)	2.863* (1.910)	2.033 (1.300)	0.951*** (3.793)
$is$	0.282*** (4.219)	-0.300*** (-2.586)	-0.345*** (-4.574)	0.297*** (3.099)	-0.347** (-2.310)	-1.099*** (-4.308)
$lnpgdp$	1.257*** (5.806)	0.393*** (2.769)	1.517*** (6.007)	0.125 (0.091)	0.448*** (2.398)	-0.028* (-0.213)
$ul$	-0.142 (-0.564)	-0.478 (-0.817)	-2.290*** (-3.282)	-0.609 (-0.507)	-9.850*** (-6.975)	-1.341 (-0.568)
$lct$	-0.106*** (-4.254)	-0.064 (-1.312)	0.092*** (3.072)	-0.189*** (-3.578)	0.006 (0.087)	0.235* (1.774)
$fdi$	0.380** (2.336)	0.183 (0.856)	24.038** (2.524)	7.522 (0.616)	48.213** (2.284)	32.037 (0.714)
$fr$	0.045* (0.061)	-0.149* (-0.202)	0.117 (0.491)	0.272 (1.142)	0.063** (2.861)	0.037 (0.155)
$\rho$	0.383*** (4.402)		0.057** (2.482)		-0.352** (-2.288)	
$N$	143		104		143	
$Log-L$	217.416		152.897		86.534	
$R^2$	0.496		0.566		0.514	

注：\*\*\*、\*\*、\*分别在 1%、5% 和 10% 的水平上显著，括号内为  $t$  值。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

首先, 本文通过纳入绿色金融和低碳经济的产出, 对 Solow 增长模型和 Kaya 模型进行了扩展, 并对其非线性关系进行了数学推导、分析和数值模拟, 得到研究假设。其次, 采用变异系数法、熵值法、纵横拉开档次法、遗传算法组合加权法等方法构建绿色金融发展综合指数。根据指数的离散度大小, 选择最优的测量结果作为后续分析的数据基础。用碳强度的倒数, 即碳生产力, 来表示低碳经济发展水平。接下来, 基于半参数空间面板模型, 本文实证探究了绿色金融在低碳经济发展中的非线性影响并对其稳健性与内生性进行了检验。最后, 探究了东部、中部和西部地区两者之间非线性关系的异质性表现和原因。主要研究结论如下。

首先, 2008 年至 2020 年间, 中国 30 个省份的绿色金融发展水平指数持续上升。我国绿色金融发展水平指数均值从 0.1114 逐渐攀升至 0.1551, 年均增长率达 3.01%。但总体而言, 其水平仍处于较低层次, 甚至有些省份出现了增长率下降的情况。从区域角度来看, 中国绿色金融发展水平指数在 2008 年至 2020 年间呈现西、中、东逐渐递减的趋势; 西部地区的绿色金融发展水平超过东部地区, 中部地区的绿色金融水平被东部地区超越, 三大区域的绿色金融水平呈反向扩大的趋势; 在这些地区中, 西部地区的绿色金融发展速度最快, 排在其次的是东部地区, 而中部地区则相对较慢。与此同时, 2008 年至 2020 年间, 我国的低碳经济发展水平也呈现出上升趋势, 低碳经济发展水平由 0.926 上升至 2.009, 每年平均增长率达到 9%。东部地区的低碳经济水平和发展速度均高于中西部地区。这显示出三大区域的低碳经济水平扩大的趋势。

其次, 在空间异质性分布图中, 绿色金融和低碳经济表现出一定程度的空间集聚性。绿色金融的 Moran's I 指数明显为正, 且逐渐增大, 说明区域绿色金融服务的空间集聚效应越来越强。从 Moran's I 散点图来看, 高-高象限和低-低象限是大多数省级单位的集聚象限。与低碳经济发展的 Moran's I 散点图相比较, 可以发现大多数省级单位也都聚集在高位和低位象限。同时, 在第一象限, 东部省份占据较多比例, 在第三象限, 西部省份占据较多比例, 进一步显示了东西部地区低碳经济发展的明显不平衡。

第三，绿色金融的发展水平与当地低碳经济呈现显著的 U 型非线性关系。最低点为 0.23，说明绿色金融对低碳经济的影响呈现出一个先下降后上升的过程。绿色金融和低碳经济的发展都具有正的空间溢出效应，呈现出“本地-邻地”的现象。当地绿色金融的发展对相邻地区的低碳经济发展具有 U 型的非线性空间影响，其 U 型曲线的拐点为 0.297。绿色金融对相邻地区低碳经济的溢出效应比其对当地低碳经济的直接效应更迟。这表现出先吸后散的空间效应规律。

第四，在东部地区，绿色金融在低碳经济的发展中扮演了积极的角色。且正向边际效应存在最大值。内部各省绿色金融影响低碳经济发展的方向均为正向，差异不大。在我国中部区域，二者呈现明显的 U 型非线性关系。平均而言，边际效应的累积值为正数，但系数较小，即平均表现为弱的正向促进作用。这种影响方式在一些地区省份有正向影响，但在另一些省份有负向影响，但前者更占优势，内部差异很小。在西部地区，两者呈现出明显的倒 N 型非线性关系。平均而言，它显示出负面的影响。西部地区大多数省份表现为负影响，少数省份表现为正影响，而且内部差异显著。

## 5.2 建议

在理论与实证分析结果基础上，结合研究结论给出了如下建议，以进一步推进区域绿色金融的发展，促进区域低碳经济的发展水平。

### 5.2.1 构建多层次绿色资本市场实现绿色金融功能有效发挥

根据本文的数值模拟和实证结果，可以得出结论：绿色金融对低碳经济的发展具有先抑后扬的作用。初期抑制的原因之一，绿色金融的碳排放和经济发展功能的实现受到阻碍。因此，本着有针对性的处理原则，提出几点建议，以有效发挥绿色金融的功能。

第一，加强对绿色信贷审批和投资的金融监管，防止出现“洗绿”和寻租等现象。这将确保绿色信贷资源流向低碳产业和项目，同时建立市场化的激励机制，鼓励更多金融机构积极投资绿色项目。第二，积极发展和完善绿色证券市场。中小企业的低碳转型需要大量的资金，可以通过提供相应的便利条件，促进中小企业在绿色证券市场上融资和发行证券，提升其低碳经济发展水平。绿色证券市场的市场监管和绿色信号

传递机制也应保持开放，以提高低碳资源的配置效率，促进低碳经济的发展。第三，通过各种优惠政策和限制性措施，鼓励有环境风险的企业投资于绿色保险。保险可以帮助化解环境风险，在市场参与者中重新配置绿色资金。因此，保险业可以通过调整保险费率、开展风险管理方面的服务、开发更加多样化的绿色保险产品和服务来引导投保人积极发展低碳环保项目，满足绿色保险的多样化需求。这有助于促进绿色保险市场的蓬勃发展。第四，促进绿色私募基金的发展，积极建立绿色基金。虽然低碳产品和技术的研发具有很高的风险，但任有很多低碳环保的创业公司出现。这些公司需要绿色私募基金的支持来实现更好的发展和上市。因此，有必要建立一个有利的私募股权退出机制，以解决绿色机构投资者的担忧。最后，要不断优化绿色低碳审核体系，建立低碳信息服务平台和低碳企业评级机构，培养投资者的低碳消费理念，引导生产者实现低碳循环生产。

### 5.2.2 改善绿色金融发展的外部环境促进低碳经济的有效发展

除绿色金融直接支持低碳经济发展外，其他区域特征因素也会调节绿色金融对低碳经济发展的影响，间接影响区域低碳经济发展。本文基于文献综述与理论分析表明，经济发展水平、产业发展、外商直接投资、城市化率、低碳技术、金融监管等都会影响区域低碳经济的发展。因此，要加快低碳产业本身的发展，发展各地区的低碳产业，提供对绿色金融发展的需求支持。要适度加强金融监管，确保绿色资源有效、准确地流向低碳产业和项目。各地要推动城镇化高质量发展，实现城市生产和生活的高效、低碳。招商引资要做到质量高、结构优，避免成为“污染天堂”。不断提高人均 GDP 水平，可以为绿色金融的发展创造良好的经济环境。要大力推进低碳技术的研究和创新，这不仅能支撑绿色金融发展，也可以间接和直接促进低碳经济的发展。

### 5.2.3 基于区域实际孕育独特的绿色金融体系模式

从整体上看，中国的绿色金融体系建设已经取得初步成效。但是，区域性绿色金融体系建设还存在很大问题。绿色金融市场的发展和绿色金融政策的支持都呈现出明显的区域不平衡特征，不同地区的低碳经济发展水平也不均衡。此外，绿色金融的发展水平与区域低碳经济的发展水平之间存在非线性关系。在一些欠发达省份，如黑龙

江、内蒙古、甘肃等地，绿色金融发展良好，但低碳经济的发展较差。而在山东、福建等沿海发达省份，绿色金融的水平相对较低，但低碳经济的发展水平较高。这些都表明，中西部地区盲目、过早地发展绿色金融市场，导致绿色金融的“单纯”发展，不能有效地为低碳经济提供绿色金融的一系列市场条件。因此，构建基于地方特色的区域绿色金融体系显得尤为重要。在东部地区，应继续以发展绿色金融市场为主，辅以绿色金融发展政策。在中西部地区，地方绿色金融的发展应以绿色金融政策为动力，在时机成熟时过渡到绿色金融市场建设。这些方法的成功取决于对区域绿色金融发展水平和阶段的全面、客观、准确评价。因此，有必要建立统一的绿色金融评价指标体系，在可比的基础上编制绿色金融指数。

#### 5.2.4 借助绿色金融的空间溢出效应推进低碳经济的协同发展

因为绿色金融发展具有空间溢出的效应，推动区域绿色金融的发展就显得尤为重要。因此，可以采取以下策略加强区域间的合作。第一，利用自身的发展优势，积极推动绿色资源和信息的共享，突破低碳产业的壁垒，以实现周边地区的低碳经济发展。二是促进绿色资本跨省、跨部门流动，建立绿色金融发展的跨区域协调机制，逐步消除各方沟通障碍，实现跨区域低碳经济的协调发展。

## 参考文献

- [1] Bert Scholtens, Lammertjan Dam. Banking on the Equator. Are Banks that Adopted the Equator Principles Different from Non-Adopters? [J]. *World Development*, 2006,35(8).
- [2] Emtairah, Tareq, Lars Hansson, and Guo Hao. "Environmental challenges and opportunities for banks in China." *Greener Management International* 50 (2006):85-95.
- [3] Huang D. Green finance, environmental regulation, and regional economic growth: from the perspective of low-carbon technological progress[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(22): 33698-33712.
- [4] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[J]. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change, Response Strategies Working Group, 1989.
- [5] Labatt S , White R R. *Environmental finance : A guide to environmental risk assessment and financial products* [M] .New York: John Wiley & Sons Inc, 2002.
- [6] Lingyun He et al. Can green financial development promote renewable energy investment efficiency? A consideration of bank credit[J]. *Renewable Energy*, 2019, 143: 974-984.
- [7] Marcel Jeucken. *Sustainable Finance and Banking: The Financial Sector and the Future of the Planet*[M]. London: Earths Can Publications Ltd, 2001.
- [8] Quande Qin, Xin Li, Li Li, et al. Air emissions perspective on energy efficiency: An empirical analysis of China's coastal areas[J]. *Applied Energy*, 2017, 185:604-614.
- [9] Robyn Clark and James Reed and Terry Sunderland. Bridging funding gaps for climate and sustainable development: Pitfalls, progress and potential of private finance[J]. *Land Use Policy*, 2018, 71: 335-346.
- [10] Salazar, J. *Environmental finance: Linking two worlds* [R]. Slovakia, 1998.
- [11] Wang E K. Financing Green: reforming Green Bond regulation in the United States [J]. *Brooklyn Journal of Corporate, Financial and Commercial Law*, 2018, 12(2):467—491.
- [12] Yu Bolin et al. Exploring the driving mechanism and the evolution of the low-carbon

- economy transition: Lessons from OECD developed countries[J]. *The World Economy*, 2022, 45(9): 2766-2795.
- [13] Zhaohua Wang and Bin Zhang and Tongfan Liu. Empirical analysis on the factors influencing national and regional carbon intensity in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 34-42.
- [14] Zhu Y, Zhang J, Duan C. How does green finance affect the low-carbon economy? Capital allocation, green technology innovation and industry structure perspectives[J]. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2023, 36(1): 3519-3541.
- [15] Zhang W, Zhu Z, Liu X, et al. Can green finance improve carbon emission efficiency?[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(45): 68976-68989.
- [16] 鲍健强, 苗阳, 陈锋. 低碳经济: 人类经济发展方式的新变革[J]. *中国工业经济*, 2008(04): 153-160.
- [17] 蔡宏宇, 黄陈武. 低碳经济发展统计理论与测度研究[J]. *求索*, 2015(11): 38-43.
- [18] 陈经纬, 姜能鹏, 李欣. “绿色金融”的基本逻辑、最优边界与取向选择[J]. *改革*, 2019(07): 119-131.
- [19] 陈向阳. 金融结构、技术创新与碳排放: 兼论绿色金融体系发展[J]. *广东社会科学*, 2020(04): 41-50.
- [20] 戴嵘, 曹建华. 碳排放规制、国际产业转移与污染避难所效应—基于 45 个发达及发展中国家面板数据的经验研究[J]. *经济问题探索*, 2015, No.400(11): 145-151.
- [21] 付加锋, 庄贵阳, 高庆先. 低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010(08): 38-43.
- [22] 樊士德, 柏若云. 外商直接投资对新型城镇化的影响[J]. *中国人口科学*, 2022(04): 60-73+127.
- [23] 傅亚平, 彭政钦. 绿色金融发展、研发投入与区域经济增长—基于省级面板门槛模型的实证[J]. *统计与决策*, 2020, 36(21): 120-124.
- [24] 高建良. “绿色金融”与金融可持续发展[J]. *金融理论与教学*, 1998(04): 20-22.
- [25] 高锦杰, 张伟伟. 绿色金融对我国产业结构生态化的影响研究—基于系统 GMM 模型的实证检验[J]. *经济纵横*, 2021(02): 105-115.

- [26] 苟燕楠,董静.风险投资进入时机对企业技术创新的影响研究[J].中国软科学,2013(03):132-140.
- [27] 郭俊杰,方颖.绿色信贷、融资结构与企业环境投资[J].世界经济,2022,45(08):57-80.
- [28] 顾国达,马文景.人工智能综合发展指数的构建及应用[J].数量经济技术经济研究,2021,38(01):117-34.
- [29] 胡初枝,黄贤金,钟太洋,谭丹.中国碳排放特征及其动态演进分析[J].中国人口·资源与环境,2008(03):38-42.
- [30] 韩丰霞,肖汉杰,彭定洪,霍姝宇.经济新常态下绿色金融发展动力问题探究—基于政府、银行和企业三方博弈关系[J].经济与管理评论,2017,33(05):88-94.
- [31] 韩传锋,何芳.中国城市可持续发展绿皮书:中国 35 个大中城市可持续发展评估(2017—2018) [M].上海:同济大学出版社,2019.
- [32] 何建奎,江通,王稳利.“绿色金融”与经济的可持续发展[J].生态经济,2006(07):78-81.
- [33] 何茜.绿色金融的起源、发展和全球实践[J].西南大学学报(社会科学版),2021,47(01):83-94+226.
- [34] 何雄浪,郑长德,杨霞.空间相关性与我国区域经济增长动态收敛的理论与实证分析—基于 1953—2010 年面板数据的经验证据[J].财经研究,2013,39(07):82-95.
- [35] 黄溶冰,陈伟,王凯慧.外部融资需求、印象管理与企业漂绿[J].经济社会体制比较,2019(03):81-93.
- [36] 黄永春,黄瑜珊,胡世亮,贾琳.数字金融能否助推绿色低碳发展?[J].南京财经大学学报,2022(04):88-97.
- [37] 贾晓薇.中国绿色金融发展与经济可持续增长关系研究[D].东北财经大学,2020.
- [38] 黎文靖,郑曼妮.实质性创新还是策略性创新?—宏观产业政策对微观企业创新的影响[J].经济研究,2016,51(04):60-73.
- [39] 李晓西等著,中国绿色金融报告(2014),[M].中国金融出版社,2014.
- [40] 李雪林.中国绿色金融发展水平、机制及其实现路径研究[D].云南财经大学,2022.
- [41] 李毓,胡海亚,李浩.绿色信贷对中国产业结构升级影响的实证分析—基于中国省级面板数据[J].经济问题,2020(01):37-43.
- [42] 李哲,王文翰.“多言寡行”的环境责任表现能否影响银行信贷获取—基于“言”和“行”

- 双维度的文本分析[J].金融研究,2021(12):116-132.
- [43] 李健建,马晓飞.中国步入低碳经济时代—探索中国特色的低碳之路[J].广东社会科学,2009(06):43-49.
- [44] 梁琳,林善浪.金融结构与经济绿色低碳发展[J].经济问题探索,2018(11):179-190.
- [45] 刘蓓华,刘爱东.我国低碳经济发展水平的测度方法研究[J].统计与决策,2013(14):28-31.
- [46] 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(06):144-158.
- [47] 卢娜,赵晶.基于 LMDI 分解法的江苏省二氧化碳排放影响因素分析[J].当代经济,2017(22):144-146.
- [48] 马骏.论构建中国绿色金融体系[J].金融论坛,2015,20(05):18-27.
- [49] 潘苏楠,李北伟,聂洪光.中国经济低碳转型可持续发展综合评价及障碍因素分析[J].经济问题探索,2019(06):165-173.
- [50] 邵帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展—基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J].管理世界,2022,38(02):46-69+4-10.
- [51] 苏冬蔚,连莉莉.绿色信贷是否影响重污染企业的投融资行为?[J].金融研究,2018(12):123-137.
- [52] 孙凌宇,罗杨帆.产业结构合理化对碳排放影响的空间效应[J].重庆社会科学,2022(10):55-68.
- [53] 宋文飞.中国外商直接投资对碳生产率的双边效应[J].大连理工大学学报(社会科学版),2021,42(05):52-63.
- [54] 田云,陈池波.中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化[J].经济管理,2019,41(06):22-37.
- [55] 王殿武.绿色信贷对绿色低碳技术进步的经济效应研究[D].吉林大学,2020.
- [56] 王丽萍,徐佳慧,李创.绿色金融政策促进企业创新的作用机制与阶段演进[J].软科学,2021,35(12):81-87.
- [57] 王馨,王营.环境信息公开的绿色创新效应研究—基于《环境空气质量标准》的准自然实验[J].金融研究,2021(10):134-152.

- [58]王遥,潘冬阳,彭俞超,梁希.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.
- [59]王为东,卢娜,张财经.空间溢出效应视角下低碳技术创新对气候变化的响应[J].中国人口·资源与环境,2018,28(08):22-30.
- [60]王巧然.城市化对碳生产率的阶段性效应及其区域分异特征研究—来自中国地级市的证据[J].技术经济,2021,40(12):61-73.
- [61]魏丽莉,杨颖.绿色金融:发展逻辑、理论阐释和未来展望[J].兰州大学学报(社会科学版),2022,50(02):60-73.
- [62]文书洋,刘浩,王慧.绿色金融、绿色创新与经济高质量发展[J].金融研究,2022(08):1-17.
- [63]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.
- [64]吴茵茵,齐杰,鲜琴,陈建东.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(08):114-132.
- [65]邬彩霞.中国低碳经济发展的协同效应研究[J].管理世界,2021(08):105-117.
- [66]许芳.中国区域 R&D 综合实力评价方法的比较[J].统计与决策,2015,(11):94-5.
- [67]肖素萍,梁琦,李建成.城镇化对城市生态效率的空间溢出效用及异质性分析[J].大连理工大学学报(社会科学版),2023,44(01):50-62.
- [68]严金强,杨小勇.以绿色金融推动构建绿色技术创新体系[J].福建论坛(人文社会科学版),2018(03):41-47.
- [69]杨志江,刘志铭,邹文.技术引进、环境规制与低碳经济增长—基于中国省际面板数据的经验研究[J].广东社会科学,2019(05):36-43.
- [70]杨子荣,张鹏杨.金融结构、产业结构与经济增长—基于新结构金融学视角的实证检验[J].经济学(季刊),2018,17(02):847-872.
- [71]殷剑峰,王增武.中国的绿色金融之路[J].经济社会体制比较,2016(06):43-50.
- [72]于波,范从来.绿色金融、技术创新与经济高质量发展[J].南京社会科学,2022(09):31-43.
- [73]于冬菊.金融机构发展绿色金融的影响因素研究—基于先行国家的实证检验[J].财

- 经问题研究,2017(12):53-60.
- [74]叶阿忠,张锡书,朱松平,梁文明,王宣惠.应用空间计量经济学:软件操作和建模实例[M].北京:清华大学出版社,2020.
- [75]叶娟惠,叶阿忠.科技创新、产业结构升级与碳排放的传导效应—基于半参数空间面板 VAR 模型[J].技术经济,2022,41(10):12-23.
- [76]俞岚.绿色金融发展与创新研究[J].经济问题,2016(01):78-81.
- [77]赵丹妮,汤子隆,李宾.中国 P2P 网络借贷省际金融监管强度竞争及其实证分析[J].会计与经济研究,2017,31(02):115-126.
- [78]曾胜,张明龙.绿色投资、碳排放强度与经济高质量发展—采用空间计量模型的非线性关系检验[J].西部论坛,2021,31(05):69-84.
- [79]张俊彦,贾玉成,张诚.外商直接投资对中国碳赤字的影响—基于空间溢出效应研究[J].经济问题探索,2021(12):160-177.
- [80]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(09):100-112+120.
- [81]张宁.碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶——来自中国火力发电企业的证据[J].经济研究,2022(02):158-174.
- [82]张修凡.碳市场流动性与区域低碳经济转型——基于低碳技术创新的双重中介效应分析[J].南京财经大学学报,2021(06):88-98.
- [83]张宇,钱水土.绿色金融、环境技术进步偏向与产业结构清洁化[J].科研管理,2022,43(04):129-138.
- [84]朱俊明,王佳丽,余中淇,杨姝影,文秋霞.绿色金融政策有效性分析:中国绿色债券发行的市场反应[J].公共管理评论,2020,2(02):21-43.
- [85]朱兰,郭熙保.党的十八大以来中国绿色金融体系的构建[J].改革,2022(06):106-115.

## 致 谢

自 2020 年至 2023 年的三年硕士之旅即将结束，我在撰写这篇文章时，内心充满了兴奋和感慨。这三年的学习之旅充满了挑战，但也是充实而快乐的。更重要的是，这三年也让我感到充满了感激之情。

首先，我要衷心感谢我的导师刘教授。硕导在我学术和个人生活的各个方面都给予了我很多的帮助和支持，引导我找到了学术和科学研究中的兴趣和乐趣，并帮助我在向更高目标迈进的过程中坚定自己的学术理想和信念。同时，我还要感谢金融学院论文答辩委员会的专家和教授们，他们提供了宝贵的意见和建议，使我的论文得以更加完善。另外，也要感谢二位匿名专家的批阅与建议，使我能较好地完成自己的论文。除此之外，我还要感谢所有帮助过我的老师，他们在我学术和个人生活中给予了我很多指导和帮助。此外，我还要向家人表示感谢，他们总是默默的支持着我的学术之旅，使我能够集中精力学习。他们给了我自由选择自己的道路，并一直是我最强大的后盾。我还要感谢和我一起学习的同窗好友、学弟学妹以及来自金融学院的良友。他们在我迷茫时给予了我鼓励和支持，也带给了我许多友谊和欢乐。最后，我要特别感谢我的女友石媛玲。她默默陪伴、鼓励和支持我在科研和学业上前行，让我的单调学术和个人生活变得多姿多彩。我们对之间有一个漫长的未来表示期待。