

分类号 C8/403
U D C

密级 公开
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

(专业学位)

论文题目 多维度视角下数字金融对碳排放影响的实证研究

研究生姓名: 施悦
指导教师姓名、职称: 肖强、教授
学科、专业名称: 统计学、应用统计
研究方向: 经济统计应用

提交日期: 2024 年 6 月 3 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： 施悦 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 肖强 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： 杨永新 签字日期： 2024.6.3

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： 施悦 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 肖强 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： 杨永新 签字日期： 2024.6.3

Empirical Study on the Impact of Digital Finance on Carbon Emissions from a Multidimensional Perspective

Candidate : Shi Yue

Supervisor: Xiao Qiang

摘要

在全球气候和生态问题日益突出的背景下，各国都面临着前所未有的环境挑战。其中，绿色低碳发展备受关注，全球致力于推进可持续发展和环境保护。低碳经济已成为全球经济发展的主流趋势，越来越多的国家和企业意识到了减少碳排放的重要性。随着信息技术的快速发展，金融业正逐渐向数字化、智能化转型。数字金融作为一种新兴的金融服务模式，具有促进资源配置优化、降低碳排放、推动经济绿色转型的潜力，对“双碳”目标的实现起到了至关重要的支持作用。研究数字金融与碳排放之间的关系为实现经济、科技、环境的共同发展提供了新的契机，同时，也有助于探索低碳经济发展的新路径和新动力。

本研究首先对相关理论进行梳理，并基于现有研究成果，探讨了数字金融对碳排放的影响途径，并尝试探索了数字金融碳减排的非线性效应。其次，对我国 2011-2021 年数字金融与碳排放总量和碳排放强度（以下简称碳排放）的基本数据进行了可视化展示与分析。随后，运用 2011-2021 年我国 30 个省市（除西藏、港澳台）的面板数据，建立了双向固定效应模型，初步研究了数字金融对碳排放的直接影响，并进行了内生性处理和一系列稳健性检验。然后从数字金融维度、地理位置维度，碳排放维度进行维度异质性研究。接下来，建立了中介效应模型，以验证经济增长、城镇化水平和能源消耗的中介作用，深入探究数字金融对碳排放的间接影响机制。进一步，利用面板平滑转换模型（PSTR）和面板门槛模型（PTR）检验数字金融、经济增长、城镇化水平以及能源消耗在数字金融影响碳排放过程中的非线性效应。

实证结果表明：第一，数字金融的发展能够显著降低各地区的碳排放，在进行内生性处理和一系列稳健性检验后，该结果仍然成立；第二，从数字金融维度来看，数字金融覆盖广度的碳减排作用最大，其次是使用深度，而数字化程度对碳排放的影响并不显著；从不同地理位置维度来看，西部地区数字金融的碳排放抑制效果明显优于中部和东部地区；随着碳排放的增加，数字金融的碳减排效果呈现出倒“U”型变化趋势。第三，中介机制分析结果显示，数字金融可以通过推动经济增长和提高城镇化水平来间接减少碳排放，降低能源消耗是数字金融抑制碳排放的有效路径；第四，随着数字金融发展水平、经济发展水平、城镇化水平的提高，数字金融对碳排放的抑制效果增强，表现出非线性变化特征；基于能源消耗量的不同，数字金融对碳排放的抑制作用存在门槛效应，随着能源消耗量的增加，数字金融的碳减排作用降低。最后，基于研究结论，论文提出了相应的对策建议。

关键词：数字金融 碳排放 中介效应模型 面板平滑转换模型

Abstract

Against the backdrop of increasingly prominent global climate and ecological issues, countries are facing unprecedented environmental challenges. Among them, green and low-carbon development has attracted much attention, and the world is committed to promoting sustainable development and environmental protection. The low-carbon economy has become the mainstream trend of global economic development, and more and more countries and enterprises are aware of the importance of reducing carbon emissions. With the rapid development of information technology, the financial industry is gradually transforming to digital and intelligent. As an emerging financial service model, digital finance has the potential to promote the optimization of resource allocation, reduce carbon emissions, and promote the green transformation of the economy, and plays a vital role in supporting the realization of the "dual carbon" goal. Studying the relationship between digital finance and carbon emissions provides a new opportunity for the common development of economy, science and technology, and environment, and at the same time, it is also helpful to explore new paths and new driving forces for the development of low-carbon economy.

Based on the existing research results, this study first reviews the relevant theories and explores the impact of digital finance on carbon emissions, and attempts to explore the nonlinear effects of digital finance on carbon emission reduction. Secondly, the basic data of China's digital finance and total carbon emissions and carbon emission intensity (hereinafter referred to as carbon emissions) from 2011 to

2021 are visualized and analyzed. Subsequently, using the panel data of 30 provinces and cities in China (except Tibet, Hong Kong, Macao and Taiwan) from 2011 to 2021, a two-way fixed effect model was established, and the direct impact of digital finance on carbon emissions was preliminarily studied, and endogenous treatment and a series of robustness tests were carried out. Then, the dimensional heterogeneity is studied from the dimensions of digital finance, geographical location, and carbon emissions. Next, an intermediary effect model is established to verify the mediating role of economic growth, urbanization level and energy consumption, and to explore the indirect impact mechanism of digital finance on carbon emissions. Furthermore, the Panel Smoothing Conversion Model (PSTR) and the Panel Threshold Model (PTR) are used to test the nonlinear effects of digital finance, economic growth, urbanization level and energy consumption on the impact of digital finance on carbon emissions.

The empirical results show that: first, the development of digital finance can significantly reduce carbon emissions in various regions, and the results are still valid after endogeneous treatment and a series of robustness tests; Second, from the perspective of digital finance, the breadth of digital finance coverage has the greatest effect on carbon emission reduction, followed by the depth of use, and the impact of digitalization on carbon emissions is not significant. From the perspective of different geographical locations, the carbon emission suppression effect of digital finance in the western region is significantly better than that in the central and eastern regions. With the increase of carbon emissions, the carbon emission reduction effect of digital finance shows an inverted "U" shaped change trend. Thirdly, the analysis results of the

intermediary mechanism show that digital finance can indirectly reduce carbon emissions by promoting economic growth and improving the level of urbanization, and reducing energy consumption is an effective way for digital finance to curb carbon emissions. Fourth, with the improvement of the level of development, economic development and urbanization of digital finance, the inhibition effect of digital finance on carbon emissions has been enhanced, showing nonlinear change characteristics. Based on the difference of energy consumption, there is a threshold effect on the inhibitory effect of digital finance on carbon emissions, and with the increase of energy consumption, the carbon emission reduction effect of digital finance decreases. Finally, based on the research conclusions, the corresponding countermeasures and suggestions are put forward.

Keywords: Digital finance ; Carbon emission ; Intermediate effects model ; Panel smooth transition regression model

目 录

1 引言	1
1.1 选题背景与研究意义	1
1.1.1 选题背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 文献综述	3
1.2.1 碳排放影响因素的研究	3
1.2.2 数字金融与碳排放的影响关系研究	4
1.2.3 文献述评	6
1.3 研究内容与研究方法	6
1.3.1 研究内容	6
1.3.2 研究方法	9
1.4 创新点	10
2 理论分析与研究假设	12
2.1 概念界定	12
2.1.1 数字金融	12
2.1.2 碳排放	13
2.2 数字金融对碳排放的影响分析及研究假设	13
2.2.1 数字金融对碳排放的直接影响	13
2.2.2 数字金融对碳排放的间接影响	15
2.2.3 数字金融对碳排放的非线性影响	18
3 数字金融与碳排放的测度与现状分析	20
3.1 数字金融的现状分析	20
3.2 碳排放的测度与现状分析	21
3.2.1 碳排放的测度	21
3.2.2 碳排放的现状分析	22
4 数字金融影响碳排放的实证分析	26

4.1 模型构建	26
4.2 变量选取与描述性统计	28
4.2.1 变量选取	28
4.2.2 数据来源与描述性统计	30
4.3 数字金融对碳排放的直接效应分析	31
4.3.1 基准回归分析	31
4.3.2 稳健性检验	34
4.3.3 异质性分析	35
4.4 数字金融对碳排放的间接效应分析	38
4.4.1 经济增长的间接作用分析	39
4.4.2 城镇化水平的间接作用分析	39
4.4.3 能源消耗的间接作用分析	41
4.5 数字金融对碳排放的非线性分析	42
4.5.1 非线性检验和剩余非线性检验	42
4.5.2 不同数字金融发展水平下碳减排效果	43
4.5.3 不同经济发展水平下数字金融的碳减排效果	44
4.5.4 不同城镇化水平下数字金融的碳减排效果	45
4.5.5 不同能源消耗水平下数字金融的碳减排效果	47
5 研究结论与政策建议	49
5.1 研究结论	49
5.2 政策建议	50
参考文献	52
攻读硕士学位期间承担的科研任务及主要成果	57
致 谢	58

1 引言

1.1 选题背景与研究意义

1.1.1 选题背景

近几年来，中国经济取得了举世瞩目的成就，同时环境问题也在不断增加，减少碳排放已经成为我们共同的责任。长期采取粗放型的增长方式，且目前能源结构主要以煤炭为主，致使我国碳排放一直居高不下。大量的二氧化碳排放是全球气候变暖的主要原因之一，对整个生态系统造成了巨大的危害，对人类社会和自然环境产生了深远影响。如何有效应对这些问题是当前亟需解决的关键，在保持经济稳定增长的同时，控制二氧化碳排放，推动绿色低碳发展已成为我国经济发展的战略抉择，也是实现经济、社会、生态三方面协调发展的必由之路。2020年，习近平总书记在联合国大会上提出“双碳”目标，助力全球绿色低碳发展。这一目标的提出为全球提供了一个积极的范本。2021年，国务院针对“双碳”目标，提出要推进工业领域数字化、智能化、绿色化融合发展。2022年，习近平总书记在党的二十大报告中指出，要立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。中国推出一系列的减排政策充分体现了我国作为负责任大国，积极履行环境保护和气候变化应对的国际承诺。但是，我国正处于能源低碳转型的关键时期，尽管在过去几年取得了一定的进展，但依然存在一些结构性矛盾，如能源偏煤、结构偏重和效率偏低等。与发达国家相比，中国的经济规模庞大，且经济结构仍处在转型过程中，因此中国实现“双碳”目标的任务更加艰巨、减排难度较大。因此，通过对碳排放及其影响因素的系统分析，可以更好地认识和把握我国碳排放的特点和趋势，有助于找准减排的重点和路径，推动我国的低碳转型和绿色发展。帮助制定更加科学和有效的环境治理策略，推动我国经济迈向绿色低碳的未来。

在数字经济快速发展的时代，以数据为核心的金融领域，以数字技术为驱动力的新的生产方式，在能源领域的具体应用将助力碳达峰、碳中和愿景目标的实现。数字金融作为一种创新的金融模式，正在引起全社会广泛的关注和研究。数字金融的核心理念是通过数字技术和金融服务的普及，为全球各地的人们提供平等的金融机会，从而促进包容性增长和可持续发展。数字金融所带来的影响不仅仅局限于金融领域，它还具有潜在的环境效益，尤其在减少碳排放方面。传统金融体系通常存在着资源浪费、碳排放高和不可持续的特点，而数字普惠金融可以通过创新的方式改变这一现状。首先，数字金融通过数字技术的应用，降低了金融服务的运营成

本和资源消耗，减少了传统金融机构所需的能源消耗和碳排放总量。其次，数字金融的普及可以促进金融包容性，使更多的人能够参与经济活动，并通过可持续的方式获得融资和投资支持，进而推动低碳经济的发展。通过数字金融的推广和应用，可以改变传统金融体系对碳排放的负面影响，并为实现可持续发展目标提供积极的解决方案。对我国推进美丽中国建设，实现经济社会的可持续发展及有计划分步骤实施碳达峰行动，引领全球绿色转型具有重要意义。

1.1.2 研究意义

（一）理论意义

随着“双碳”目标的提出，碳排放等相关环境问题的研究引起学者们的广泛关注。现有文献大部分研究的是传统金融对环境改善的影响，特别是有关数字金融对环境效应的研究较为匮乏。作为新兴金融科技，数字金融对环境问题特别是碳排放的影响有待深入研究。本文从相关理论出发，阐述经济发展、城镇化水平和能源消耗作为传导机制的理论基础，应用中介效应模型探究数字金融对碳排放强度的影响路径；并利用面板平滑转换模型（PSTR）和面板门槛模型（PTR）深入研究数字金融发展水平、经济发展水平、城镇化水平和能源消耗量的不同对数字金融与碳排放强度之间的关系所产生的非线性影响。通过深入了解数字金融与碳排放之间的关系，可以更好地指导我国在推动经济增长的同时，实现碳减排和环境保护的双重目标，促进经济的绿色、可持续发展。

（二）现实意义

低碳可持续是我国社会发展的主要方向，数字金融发展是我国经济可持续发展和能源低碳转型的重要支撑和推动力。深入研究数字金融与碳排放的关系有如下现实意义：第一，有助于增进对数字技术与环境关系的理解：数字金融对碳排放影响的研究可以帮助我们更深入地理解数字技术与环境之间的相互作用。这有助于拓展数字技术领域的理论框架，并为研究其他领域的数字化转型和可持续发展的关系提供参考。第二，推动跨学科研究的发展：数字金融对碳排放影响的研究需要综合运用金融、能源、环境科学等多个学科的知识和方法。这有助于促进跨学科研究的发展，加强不同学科领域的交流与合作，提高对复杂环境问题的解决能力。第三，为可持续发展和能源低碳转型提供支持：数字金融的发展促使金融机构更加关注绿色金融和可持续投资。理论上，通过数字化手段，金融机构能够更全面地评估企业的环保和社会责任表现，有助于引导资金流向碳减排效果显著的行业，推动可持续发展。数字金融在能源行业的应用可以促进能源智能化，提高能源利用效率，降低碳排放。

1.2 文献综述

在新产业，新业态，新模式下，关注数字金融对碳排放影响的理论分析是后续研究展开的关键，通过梳理相关文献后，本文把文献综述主要分为碳排放的影响因素研究和数字金融对碳排放的影响关系研究进行阐述。

1.2.1 碳排放影响因素的研究

全球气候变化问题日益突出，绿色低碳转型已经成为社会关注的重点问题。相关领域学者围绕碳排放影响因素展开了广泛的研究。Kaya（1990）所提出的 Kaya 公式揭示了低碳发展的影响因素包括经济、人口、技术和能源消耗。本文主要分析经济增长、城镇化水平以及能源消耗对碳排放的影响。

在经济增长方面，主要依据 Panayotou（1993）提出的环境库兹涅茨曲线（EKC）。王运豪等（2023）使用中国 1997-2019 年的面板数据，证实人均碳排放量与经济增长之间呈现出倒“U”型关系，环境库兹涅茨曲线在中国适用。杜立民（2010）通过研究人均碳排放与人均 GDP 之间的关系，进一步证实了在我国存在着环境库兹涅茨曲线（EKC）的情况。王峰等（2010）研究表明 1995-2007 年间中国二氧化碳排放量年均增长 12.4%，其中最主要原因是人均 GDP 的正向驱动作用。李国志和李宗植（2011）认为不同发展水平国家的人口、经济、技术对碳排放的影响呈现不同的弹性关系，同时人均 GDP 上升是二氧化碳增长的主要因素。张志新等（2021）在对沿线国家的面板数据深入分析后发现，经济增长的加速会导致人均碳排放的增加，但随着经济发展到一定阶段，人均碳排放量开始下降。

在城镇化水平方面，卢祖丹（2011）运用三阶段最小二乘法研究我国城镇化水平与碳排放的关系，发现城镇化发展对我国碳减排具有积极作用，尤其在中西部地区表现更为显著。朱勤和魏涛远（2013）研究发现 1980-2010 年间居民消费视角下的人口城镇化和人口规模都会对碳排放增长产生驱动力，且人口城镇化对碳排放增长的影响超过人口规模。张腾飞等（2016）基于 2000-2012 年省际面板数据展开研究，发现城镇化水平的推进对碳排放存在推动效应。王鑫静和程钰（2020）基于 2009-2016 年全球近百个国家的面板数据，利用 STIRPAT 模型研究发现城镇化水平对碳排放效率的提升有显著的抑制作用。黄玉卓（2021）利用指数分解法证实了城镇化中的居民消费是增加所有省份碳排放的主要驱动因素，且城镇化率与城市碳排放之间表现为倒“U”型的非线性关系。李汉东等（2023）基于组合神经网络模型，研究发现中国城镇

化水平的提高会显著降低碳排放强度，但中国未来城镇化进程放缓会给碳减排带来压力。

在能源消耗方面，国外学者 Zhang（2015）指出温室气体排放量的大幅攀升，是经济快速发展中产生的能源消耗导致的。Haseeb 等（2019）证实数字通信的发展增加了电力消费，从而造成碳排放增加。Nawaz（2021）采用 QARDL 模型证实经济增长与碳排放呈负相关关系，而能源消耗与碳排放呈正相关关系，同时能源消耗是除经济增长外第二大增碳因素。国内学者邵帅等（2019）用单位非农产出的能源消耗量来表示能源强度大小，研究发现其与碳排放强度之间具有倒“U”型非线性关系。孙耀华和李忠民（2011）在对脱钩指标进行因果链分解后发现，工业领域能源利用效率的提高会减缓碳排放的增长。黄俊鑫和焦方太（2021）将能源消耗结构中煤炭、石油、天然气和电力分别与碳排放进行耦合，研究发现能源消耗与碳排放产生高耦合度。史丹和史可寒（2023）指出能源消耗是引起碳排放的直接原因，也是经济活动中产生二氧化碳的基础。

1.2.2 数字金融与碳排放的影响关系研究

（一）数字金融对碳排放的直接影响研究

学者们关于数字金融对碳排放的直接影响主要从数字金融总体，以及分维度异质性视角上来介绍。从数字金融总体对碳排放的直接影响来看，常皓亮等（2023）指出国家大数据试验区的建设主要通过促进数字金融发展来降低电力消耗碳排放水平。王军等（2022）研究发现数字金融对制造业碳排放的影响分为两个阶段，在发展初期数字金融发挥规模效应，进而提升碳排放，在发展后期数字金融促进企业绿色创新，进而降低碳排放。范庆倩和封思贤（2022）认为数字金融主要是通过家庭消费的线上化、金融服务的便捷化及融资的便利化三方面减少碳排放。郭桂霞和张尧（2022）指出数字普惠金融发展有利于数字的产业化和产业的数字化，从而对地区和企业碳减排具有显著正面作用。王元彬（2022）基于微观数据，发现数字金融通过助力数字产业化和产业数字化来显著降低碳排放。李博（2023）认为数字金融为绿色转型活动提供多种产品，同时数字技术可以有效解决碳排放的溢出效应，以此来降低碳排放。范庆倩和封思贤（2022）利用罗默内生经济增长模型，在生产函数中引入数字金融和能源消耗，研究发现数字金融主要通过增产效应和节能效应影响碳排放规模。从数字金融分维度视角上来看，康曼和杜运伟（2023）利用空间计量模型实证分析了数字金融对碳排放的影响，验证了数字金融对碳排放的影响具有地区异质性。冯素玲等（2023）发现数字金融的覆盖广度和使用深度对碳排放的抑制作用更显著，且西部地区数字金融发展对减排的影响效率最大。王守坤和范文诚（2022）

研究发现数字金融的碳减排效应在我国东部、物质资本投入较高、人口规模较大以及受教育程度较高的地区更加明显。廖珍珍和茹少峰（2022）研究表明数字金融与二氧化碳排放之间存在的倒 U 型关系，在东部地区显著，而在中部和西部地区不显著；在数字金融覆盖广度和使用深度维度显著，而在数字支持服务程度维度不显著。黄永春等（2022）指出，数字金融在不同地区对绿色低碳发展的影响存在差异，东部地区受益更为显著。肖仁桥（2023）通过构建动态 GMM 模型，发现数字金融的覆盖广度与碳排放强度之间呈现 U 形变化关系；使用深度与碳排放强度之间呈现倒 U 形变化关系；数字化程度提升则对碳排放强度具有线性抑制作用。

（二）数字金融对碳排放影响机制研究

通过梳理文献发现，数字金融对碳排放的影响机制较为多样，其中学者们主要介绍技术创新和产业结构升级这两种作用机制，其中经济发展，能源消耗和城镇化水平的作用机制介绍较少。冯素玲等（2023）机制分析表明，数字金融发展能够有效促进绿色金融发展、技术创新和产业结构升级，进而减少二氧化碳排放。刘倩玉和张丽华（2022）基于省份面板数据，研究表明数字金融依托技术创新对工业碳排放强度产生先增强后减弱的影响趋势，最终形成工业碳减排效应。王法涛和刘雅彤（2023）研究表明数字金融通过优化产业结构升级对碳排放产生间接效应。李博和全颖（2023）基于 2011—2018 年面板数据，研究发现数字金融能够通过促进技术进步来降低碳排放强度。Wang 等（2022）指出数字普惠金融的发展提高了当地的经济水平，吸引了周边企业的迁入，增加了能源的需求从而增加了当地的碳排放。Salahuddin 等（2015）强调互联网技术在环境保护方面的关键作用，研究发现互联网技术的进步将通过提升生产效率和能源效率来减少环境污染。Ouyang 等（2018）借助多项金融机构指标构造了金融发展指数，研究结果显示金融发展可以通过减少各地区能源消耗，从而有效地缓解碳排放。丁凡琳（2022）指出数字金融的发展可以使新能源产业的生产和补贴力度加大，逐渐成为传统能源的替代品，从而降低了碳排放。邓荣荣和张翱翔（2021）基于城市面板数据，发现数字金融发展可以通过影响经济增长、产业结构和技术创新来改善碳排放。程秋旺等（2022）研究数字金融和农业碳减排的关系，发现数字金融发展降低了农业碳排放强度，城镇化发展水平对数字金融的农业碳减排效应具有正向调节作用。

（三）数字金融对碳排放的非线性研究

邓荣荣和张翱翔（2021）研究发现数字金融在低经济和低金融发展水平城市有助于降低碳排放强度；对于高经济和高金融发展城市则有助于提升碳排放效率。袁嫚（2023）基于 2011-2020 年长江经济带 108 个城市面板数据展开研究，发现数字金融能够显著抑制碳排放的增加，同时

数字金融发展水平达到门槛值后碳减排的促进效应更强。Zhao (2021) 通过分析省级层面数字金融的碳减排效果, 指出数字金融的区域碳减排能力具有边际递增的非线性特征。孙慧等(2022) 研究发现数字金融的碳减排能力在数字金融发达地区和碳减排能力较强的地区促进作用更明显。王巧和尹晓波(2022) 基于省际面板数据, 研究发现在数字金融碳减排的过程中, 当以数字金融和城镇化水平为门槛变量时, 数字金融的碳减排效果呈现先抑制后促进最后又抑制的趋势。

1.2.3 文献述评

通过对现有文献进行归纳整理, 能够发现国内外学者已经对二氧化碳的影响因素进行深入的研究。经济发展、城镇化水平以及能源消耗均会对我国碳排放产生影响, 但在不同时间、不同视角下表现出不一致的研究结果。数字金融的发展不仅会直接影响到碳排放, 而且也会通过影响经济发展, 城镇化水平和能源消耗来间接影响碳排放, 但研究文献较少, 有待深入研究。无论是国内还是国外的实证研究, 大部分都是采用线性模型来探讨数字金融发展与碳排放的相互关系, 而对于这两者之间可能存在的非线性关系的研究则相对较少。关于数字金融对碳排放的影响, 本文基于前人的研究基础以及现有的理论成果, 完善数字金融与碳排放的研究关系。首先, 本文从不同数字金融维度, 不同地理位置维度以及不同碳排放维度出发, 探究数字金融对碳排放的影响; 其次, 关于数字金融影响碳排放的间接机制的相关研究有待深入, 经济增长, 城镇化水平以及能源消耗是否为数字金融影响碳排放的中间因素? 最后, 鉴于我国不同地区在经济增长和资源配置上的显著差异, 且碳排放的降低是一项长期的, 曲折的变化过程。利用面板平滑转换模型, 在不同数字金融发展水平、不同经济发展水平、不同城镇化水平以及不同能源消耗等不同省际特征下, 对数字金融对碳排放非线性影响进行深入研究, 这有助于更好地发挥数字金融在区域节能减排中的作用, 从而促进区域绿色金融的发展。

1.3 研究内容与研究方法

1.3.1 研究内容

本文深入探讨了数字金融发展对碳排放的影响效应及其作用机理, 既从理论层面进行分析, 也从实证数据出发进行了详尽探讨。根据理论分析构建基准回归模型、面板分位数回归模型、中介效应模型、面板平滑转换模型和面板门槛模型。运用 2011 年至 2021 年的全国各省市面板

数据，对前述模型进行回归分析，并深入剖析实证结果，从中得出研究结论，根据研究结论提出相应的政策建议。

第一章引言。首先介绍了选题背景与研究意义。并综述了国内外关于碳排放影响因素的研究以及数字金融对碳排放影响关系的研究的相关文献。最后介绍了文章的研究内容、方法及论文的框架图，同时对本文可能的创新之处进行了说明。

第二章理论分析与研究假设。首先进行了数字金融和碳排放相关概念的介绍，然后就数字金融对碳排放的直接影响、间接影响以及非线性影响进行理论分析并提出研究假设。

第三章数字金融与碳排放的现状分析。首先对数字金融的发展趋势和发展现状进行可视化展示并分析。其次对碳排放的测量方法进行介绍，根据测量数据绘制可视化图表，从时间变化趋势对碳排放量和碳排放强度发展现状进行描述分析。

第四章数字金融影响碳排放的实证分析。首先，构建本文用到的面板固定效应模型、面板分位数回归模型、中介效应模型、面板门槛模型和面板平滑转换模型。再进一步介绍本文选取的各变量的指标含义及具体测算方法，进行描述性统计及介绍数据来源。其次，对数字金融和碳排放进行直接效应分析，分析前，对面板数据进行单位根检验确保数据的平稳性；接下来，基于本文测算的碳排放数据采用固定效应模型全面分析了我国数字金融对碳排放的影响，并通过内生性处理和采用多种方法对结果进行稳健性检验；接着展开异质性分析，探究数字金融的三个子维度对碳排放的影响，将样本根据地域划分为东、中、西三个区域，探究数字金融对碳排放的作用是否在不同地区存在差异性，将碳排放分成5个分位点，探究在不同碳排放水平下数字金融对碳排放的影响效果；然后，对数字金融和碳排放之间的间接效应进行深入分析，运用中介效应模型来探究经济发展、城镇化水平以及能源消耗所起到的中介作用。最后，对数字金融和碳排放进行非线性分析，利用面板平滑转换模型和面板门槛模型验证数字金融发展对碳排放影响的非线性效应。

第五章结论与建议。本章节对文章的研究进行归纳总结出四点结论，并据此提出四点针对性的政策建议。

本文的研究框架图如下：

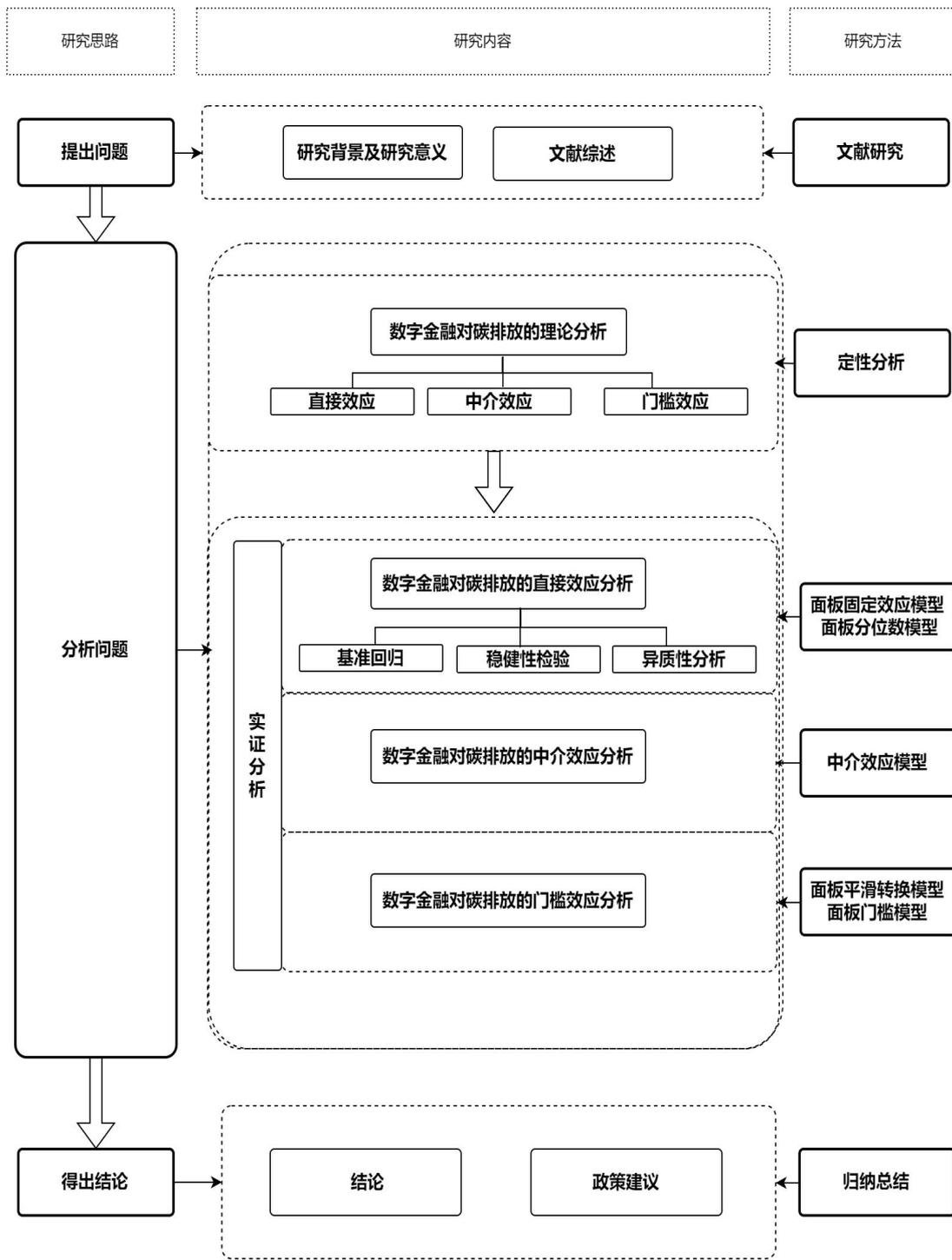


图 1.1 研究框架示意图

1.3.2 研究方法

（一）面板分位数回归模型概述

面板分位数回归模型(Panel Quantile Regression Model)的概念和方法由经济学家 Jeffrey M. Wooldridge 在 2002 年首次提出。Wooldridge 介绍了一种基于面板数据的分位数回归方法,即面板分位数模型。分位数回归的独特之处在于,它能够清晰地展示被解释变量条件分布的整体情况,而不仅仅是均值回归中的条件期望。这使得分位数回归在研究多因素问题时具有独特的优势。在不同的分位点中,系数的估算值往往存在差异,这意味着解释变量对被解释变量的影响程度各不相同。因此,分位数回归不仅可以提供对均值效应的估计,还可以揭示在不同条件下解释变量对被解释变量的影响模式。除了可以用于探究变量之间的关系外,面板分位数回归还可以用于对数据的稳健性进行检验。由于其在估计分位数时不依赖于数据的分布形式,因此对于存在异方差、非正态分布或异常值的数据,分位数回归通常表现出更好的鲁棒性。这使得分位数回归成为金融学研究中一个重要的工具,特别是在处理复杂数据结构和非线性关系时。

（二）中介效应模型概述

中介效应模型(Mediation Effect Model)最早由美国心理学家 David MacKinnon 在 1986 年提出。温忠麟教授及其合作者在中介分析方法方面的研究,对于国内学术界和研究领域产生了深远的影响。中介效应模型为研究者提供了一种有力的因果推断框架,有助于确定变量之间的因果关系。通过分析中介效应的存在和大小,可以深入了解中介变量在自变量和因变量之间传递影响的机制。具体而言,中介效应模型可以帮助研究者确定一个因变量与自变量之间的关系是否是通过一个中介变量的影响而产生的。这种方法不仅可以提供对变量之间关系的更深入理解,还可以揭示出影响变量之间关系的具体机制。

（三）面板门槛模型概述

Hansen (1999)首次提出了具有个体效应的面板门限模型(Panel Threshold Model)。该模型描述了变量间关系的跳跃性和结构突变性,通过采用客观的方法,消除人为设定可能导致结果偏差,从而确保分析结果更加准确和可靠。其核心思想是根据残差平方和最小化的方法,指定一个或多个门限变量,使得样本数据根据门限值被分类到不同的区间内,每个区间具有相同的回归方程,从而可以比较不同区间内回归系数的变化情况。该模型在经济学及相关领域得到了广泛应用。

（四）面板平滑转换模型概述

Gonzalez 等(2005)提出的面板平滑转换模型(Panel Smooth Transition Model)是对面

板门槛模型的一种进一步发展和改进。面板门槛模型假设机制之间的转换是突变的和跳跃性的，门限值的跳跃性变化会导致估计结果的不稳定性，限制了模型的适用性。而面板平滑转换模型通过引入连续的转换函数，从而实现了机制之间的缓慢完成、具有过渡状态的转换。是一种解决 Hansen 模型中门限值跳跃性变化问题的方法，它可以被视为 PTR 模型的一般形式。与 PTR 模型相比，PSTR 模型更加灵活和适用于更广泛的情形，它能够更准确地捕捉数据的非线性特征，并且提供了更为连续和渐进的模型转换机制。通过这种方式，PSTR 模型能够更好地解释现实世界中的复杂现象，为研究者提供了更为强大和准确的分析工具。该模型在宏观经济学得到了广泛的应用，在处理多截面数据研究方面具有很强的优势，尤其适用于分析多国面板数据或我国省际面板数据。

1.4 创新点

本文从研究视角上可能存在的创新点如下：

(1) 已有文献研究从不同数字金融维度，不同地理位置维度探究数字金融对碳排放的影响，但较少文献从不同碳排放维度深入数字金融对碳排放的影响。本文不同于以往的均值回归模型，通过引入面板分位数回归模型探究不同碳排放水平下数字金融对碳排放的影响效果。通过该模型能够在各个分位点上更清晰、准确地揭示数字金融对碳排放的影响。相比之下，传统的均值回归方法存在着无法准确呈现总体分布特征的缺点。通过采用面板分位数回归，我们可以更全面地了解数字金融在不同碳排放水平下的作用机制，而不受总体平均效应的局限。这种方法能够帮助研究者更好地理解数字金融与碳排放之间的复杂关系，并为相关政策制定提供更科学的依据。

(2) 已有研究探讨数字金融对碳排放的影响机制主要聚焦在技术创新和产业结构升级这两个方面。这往往会忽视数字金融对碳排放的中介机制，本文提出新的研究思路，数字金融作为一种新兴的金融模式，其影响因素不仅仅局限于技术创新和产业结构升级，还包括经济发展水平、城镇化水平以及能源消耗等因素。因此，本文将经济发展、城镇化水平和能源消耗三种中介指标引入模型中，分析数字金融对碳排放的影响路径。

(3) 在研究数字金融对碳排放影响的这一主题下，迄今为止尚未见到学者采用面板平滑转换（PSTR）模型来研究二者之间的非线性联系。不同于已有研究采用的线性回归技术，本文采用面板平滑转换模型和面板门槛模型探究数字金融与碳排放之间的非线性关系。首先，本文尝试采用面板平滑转化模型，加入数字金融、经济发展、城镇化水平作为转换变量，进一步

探索在数字金融、经济发展、城镇化水平连续变化的情况下数字金融与碳排放的影响关系。接着，在面板平滑转换模型不适用的情况下，本文尝试采用面板门槛模型，加入能源消耗为门槛变量，探究在不同能源消耗水平下数字金融与碳排放的影响关系。

2 理论分析与研究假设

2.1 概念界定

2.1.1 数字金融

中国数字金融发展起源于支付宝的崛起和余额宝的推出，打破传统金融机构的垄断格局，提供更为创新和便捷的金融服务。蚂蚁金服等中国金融科技公司成为全球关注的焦点，推动了数字金融创新的风潮。

数字金融这一概念似曾相识，又略显陌生。熟悉的是，不少与数字金融相关的概念已经被大家所熟知，例如数字经济，金融科技，金融机构数字化转型等。陌生的是，目前尚未有针对数字金融的官方定义，更多的定义和要求集中于金融科技和互联网金融等方面。数字金融涵盖了金融科技和互联网金融等领域，他们都强调技术革新对金融的赋能作用，金融科技和互联网金融的发展为数字金融的创新注入新的动力。金融科技作为技术驱动的金融创新，是数字金融的重要组成部分；相较于互联网金融，数字金融更加强调金融机构自身的数字化能力，体现了我国传统金融机构在近十年间已取得了优秀的数字化转型成果。从构成要素上总结各方对数字金融的理解大概是：数字金融是利用数字技术和平台，通过数字渠道和基础设施提供金融产品与服务，推动金融业的数字化创新。数据资源是数字金融的基础，金融科技运用是数字金融能够实现的重要支撑，金融业务模式的创新是数字金融呈现在个人和企业等主体面前的最终表现。

随着数字经济时代来临，金融行业发生了深刻变革，金融领域数字化程度不断加深，金融业向数字化转型升级成为大势所趋。数字金融代表了金融与科技融合的更高层次的发展，它代表了金融创新与金融科技的未来趋势。在此背景下，数字金融也成为学术界关注的热点之一。北京大学数字金融研究中心主任黄益平在 2018 年明确表示，数字金融主要涵盖了传统金融机构和互联网公司，它们利用数字技术来实现融资、支付、投资以及其他创新性的金融业务模式（黄益平，黄卓，2018）。在 2021 年 6 月，《数字金融蓝皮书：中国数字金融创新发展报告（2021）》将数字金融定义为，持牌金融机构利用先进的数字技术，通过数据合作和整合来构建智能金融生态系统，从而为客户提供高度个性化、定制化和智能化的金融服务。郭峰等（2020）在编制数字普惠金融指数时强调创新型数字金融是数字普惠金融的重要源动力和增长点。他们进一步指出数字金融有广义和狭义之分，狭义上的数字金融通常特指商业银行及非银行金融机构利用数字化手段进行的金融活动，包括支付结算业务、理财服务、投资管理等方面的业务。

从狭义角度看，数字金融主要是指互联网公司所采纳的创新金融策略。由于数字金融概念具有很强的包容性和广泛性，所以，目前学界对其内涵及外延还没有统一界定。因此，本文依据（郭峰，2020）的研究，采用的数字金融更接近于其狭义的定义。

2.1.2 碳排放

碳排放是指在人类活动中产生的温室气体，其中最主要的成分是二氧化碳。这些温室气体在大气中形成温室效应，类似于温室的作用，阻止地球表面的热量逸散，导致地球温度上升，会造成雾霾、台风、高温、干旱和虫灾等自然灾害。温室气体中二氧化碳的排放量主要来源于化石能源的燃烧，包括煤炭、石油和天然气。这些能源是人类社会发展和经济增长的主要动力，但其燃烧释放的二氧化碳却是主要的温室气体之一。且随着全球工业化和城市化进程的加速，化石能源的使用量不断增加，导致碳排放量不断攀升。因此，对化石能源燃烧产生的二氧化碳排放进行准确测算至关重要。

学者们主要用碳排放总量、人均碳排放和碳排放强度来描述该地区的碳排放水平。碳排放强度是一项关键的评估指标，指每单位 GDP 所产生的二氧化碳排放总量，综合考虑经济和环境之间的关系。仅仅关注碳排放量的多少可能会忽略了经济活动所带来的经济效益。相对于单一指标，碳排放强度这一指标能更好地平衡经济发展与碳排放之间的关系。碳排放强度的降低意味着在实现一定的经济增长的同时，会产生相对较少的碳排放，减少对环境的不良影响，同时保障经济的稳健增长。这对于国家或地区在应对气候变化、推动可持续发展模式转型方面具有重要意义。因此本文选用二氧化碳排放强度（以下简称碳排放）描述该地区的二氧化碳排放水平。

2.2 数字金融对碳排放的影响分析及研究假设

2.2.1 数字金融对碳排放的直接影响

数字金融运用数字技术和信息通信技术改进金融服务、产品、运营和交易。数字金融不仅扩展了金融服务的边界，为用户提供了更便捷的金融体验。通过数字金融，金融产品和服务得以创新，例如智能投资工具、在线贷款、数字支付等，使得用户能够更灵活地管理自己的财务。与此同时，数字金融也通过提高效率和降低成本，有助于优化金融资源的配置，使得金融活动更加高效、可持续。因此，数字金融可以通过增加绿色化金融产品和推动数字化服务流程这两

种渠道直接影响到碳排放，推动金融活动更加朝向环保和可持续发展的方向发展。

数字金融平台推动绿色金融和可持续投资，引导资金流向环保和低碳项目，从而降低高碳产业的融资规模。一方面，我国的碳排放可以通过数字金融促进企业发展，提高能源使用效率相关的低碳技术创新而得以降低（舒龙龙，2022）。另一方面，数字金融平台推动了绿色债券和基金的发行与投资，使投资者可以直接参与可再生能源项目、环保技术公司等绿色领域。通过数字化投资平台，投资者可以轻松购买绿色债券，资金直接用于支持清洁能源和可持续发展项目，促使更多资源投向对环境友好的行业，从而减少碳排放。

数字金融的普及推动了金融业务的数字化和自动化，减少了线下活动产生的能源消耗，进而减少相应的碳排放。一方面，在线银行、数字支付、电子合同等数字金融服务的推广减少了对传统金融业务的实体需求，从而降低了与这些实体需求相关的碳排放。例如，数字支付工具取代了传统的纸质货币和支票，减少了对纸张和能源的需求，进而降低了碳足迹。另一方面，数字金融为企业各项金融服务的同时，也减少了企业不必要的通勤以及材料准备，降低企业在金融借贷活动过程中由于往返金融机构等产生的碳排放。通过数字金融发展提供的网络渠道可以有效节省时间成本，提高交易效率，降低交易成本和资源消耗，有助于减少碳排放量（许钊等，2021）。

数字金融对碳排放的直接影响路径如图 2.1:

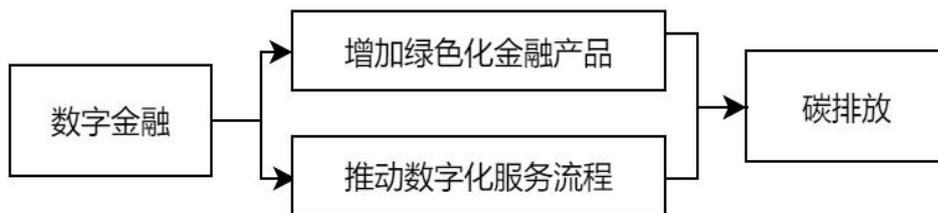


图 2.1 数字金融对碳排放的直接影响

根据上述分析，本文提出备择假设 H1：发展数字金融有利于降低碳排放。

2.2.2 数字金融对碳排放的间接影响

（一）经济增长的中介作用

数字金融技术和工具的普及正在改变传统金融体系，从多方面对经济发展产生影响。一方面，金融包容性是数字金融促进经济增长的重要途径之一。首先，数字金融工具扩大了金融服务的受众范围，使更多的人能够融入正规金融体系。例如，通过移动支付、电子钱包和其他数字支付解决方案，人们可以更便捷地进行日常交易，而无需依赖传统银行账户。数字化的应用降低了金融服务的门槛与成本，使得金融服务覆盖更全面，打破了时间和地域限制，社会各个阶层和领域都享受到了金融服务。无论是小微企业主还是低收入人群，都可以通过数字金融获得贷款、支付和储蓄等金融服务，这种金融包容性有助于减少贫困和不平等现象，推动经济的包容性增长（叶文辉，2023）。其次，数字金融还提供了无需传统信用记录的融资机会，通过大数据和新型信用评估模型，使得缺乏传统信用历史的个体和企业能够获得贷款。这种金融包容性有助于解决传统金融体系中存在的信用缺失问题，为更广泛的人群提供了融资渠道，从而推动了个人和企业的经济活动。另一方面，创新融资模式是数字金融推动经济增长的另一主要渠道。首先，数字金融为企业提供了新的融资途径，促使创新和初创企业得以蓬勃发展。众筹、P2P 贷款、数字货币融资等新型融资工具为企业提供了多样化的融资选择，降低了中小企业获取资金的难度。这有助于激发更多创业者的创新热情，推动新业务模式和科技的发展。其次，数字金融的发展也促使传统金融机构更加注重创新，引入金融科技，提升服务效率。金融科技的进步为企业提供了更高效、更便捷的金融服务，从而加速了商业活动的进行。区块链技术的应用使得交易更加安全和透明，进一步提高了金融系统的可信度。

根据库兹涅（Kuznets）曲线理论，经济发展与环境之间存在一种倒“U”型曲线关系。首先，伴随着经济增长，工业化和城市化进程加速，能源需求增加，大规模的生产和消费会导致环境资源过度开发和污染加剧。因此，经济发展初期会增加碳排放。其次，随着经济的不断发展，人们开始关注环境问题，政府和企业逐渐采取措施减轻环境压力，在技术创新和环境规制的推动下，环境质量得以改善。因此，经济发展到一定阶段后会降低碳排放。

数字金融通过经济发展影响碳排放的路径如图 2.2 所示：

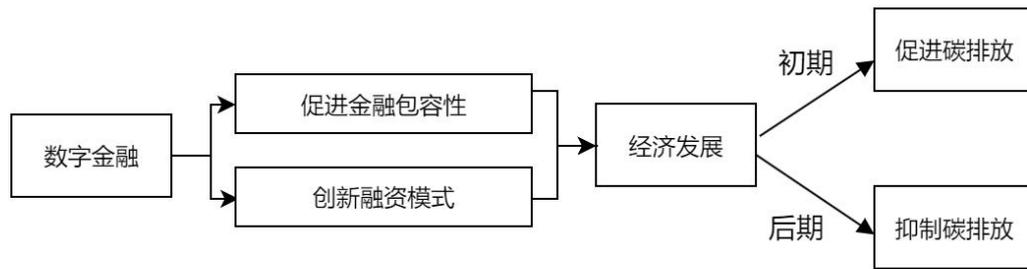


图 2.2 数字金融通过经济发展影响碳排放

（二）城镇化水平的中介作用

数字金融的发展为居民提供更便捷的金融服务，推动了新型产业和就业机会的涌现，促进了城市化的发展。一方面，数字金融通过增加就业机会影响城镇化水平。首先，随着数字金融的发展，数字支付，金融科技企业，数据分析等数字服务企业的崛起创造了大量的就业机会。这些行业对于各类专业人才的需求日益增长，尤其是对于信息技术、数据科学等领域的专业人才。数字金融服务的发展使得城市居民有更多选择，并促使就业水平提升。其次，数字金融为小微企业和初创企业提供了更便捷的融资途径，促进了这些企业的发展。小微企业的兴起通常伴随着大量的就业机会，因为它们往往需要更多的劳动力。另一方面，数字金融通过提高城市服务质量影响城镇化水平。数字金融提高城市医疗服务及教育水平，使得城市更具吸引力，促使更多人选择在城市居住和工作。数字金融的发展不仅促进了城市经济的活力，也提升了城市居民的生活水平和城市服务的水平，从而吸引更多人流入城市，推动了城镇化的进程。

城镇化的发展对碳排放也会产生影响，人口城镇化率与碳排放之间存在着倒 U 型的关系，即在城镇化率较低的早期阶段，碳排放随城镇化率的增加而增加，但随着城镇化程度的进一步提高，碳排放量呈现下降趋势（王芳，2012）。一方面，城镇化的推进缩短了学习、工作和娱乐生活之间的空间距离，从而减少了交通出行所需能源，进而降低了碳排放量。另一方面，城镇化的过程中，城市的人口密度增加，交通需求显著增加。传统的交通模式以燃油驱动为主，这在一定程度上贡献了城市碳排放的增加。然而，城市化过程中也促使城市对于可持续交通方式的关注，包括发展公共交通、鼓励步行和骑行，以及推广共享清洁出行方式。这些举措有望降低城市交通系统的碳排放。

数字金融通过城镇化水平影响碳排放的路径如图 2.3 所示：

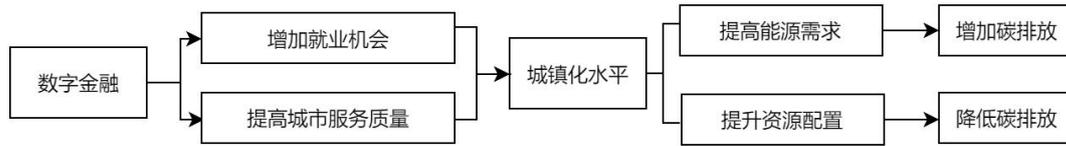


图 2.3 数字金融通过城镇化水平影响碳排放

（三）能源消耗的中介作用

数字金融依赖于大规模的数据处理，复杂的算法应用和数字基础设施运营。使其在发展的过程中对能源有极大的需求，进而会对碳排放产生影响。一方面，数字金融的发展需要建立高度互联和实时的系统，以确保交易、信息传递等操作的及时性和可靠性，导致了对电力需求也相应地增加。传统电力的供应主要以燃烧化石燃料为主，数字金融的高耗能特性，可能导致碳排放的增加。另一方面，数字金融的便捷性可以提高电能利用效率，促进产业结构升级，从而减少碳排放。数字金融利用数字工具，提高金融服务的水平和效率，使得金融服务的流程更加高效便捷，企业能够更灵活地获取融资支持，从而更好地实施技术创新。有助于提升企业的竞争力和创新能力，也为提高能源利用效率创造了良好的条件（张云辉，2022 年），降低生产环节的电能消耗。数字金融的发展为经济的可持续发展提供了重要支持，有助于推动整个社会向着更加绿色、环保的方向发展。

数字金融通过影响能源消耗影响碳排放的路径如图 2.4 所示：



图 2.4 数字金融通过能源消耗影响碳排放

根据上述分析，本文提出备择假设 H2：数字金融可以通过影响经济发展、城镇化水平和能源消耗三种中介机制从而影响碳排放。

2.2.3 数字金融对碳排放的非线性影响

（一）数字金融的门槛作用

数字金融在不同阶段对碳排放的影响呈现出多样化的变化。首先，在初期阶段，传统金融往往存在着资金配置的偏差，企业发展需要大量资金，但传统金融渠道的效率有限，导致了融资成本较高，资源配置效率低下，从而可能对环境产生负面影响。而数字金融的兴起提高了金融服务的质量和效率，降低了融资成本，增加了资金供给，从而推动了企业创新和产业转型升级，有利于节能减排。然而，随着数字金融的进一步发展，其对碳排放的影响也会发生变化：一方面，随着数字金融技术的不断创新和普及，金融资源的配置效率不断提高，企业可获得的金融资源增加，但创新的边际效应可能会减弱，从而影响到碳排放的程度；另一方面，如果数字金融监管不到位，有可能引发金融规模的过度膨胀，增加能源和原材料的使用量，推动低端生产模式的发展，由此带来环境破坏效应，对碳减排不利。然而，随着数字金融的发展，环境治理和监管制度的健全，企业自身技术创新能力的增强，以及公众消费观念的转变，最终将有助于减少碳排放。

（二）经济增长的门槛作用

在经济发展初期，为了实现工业化和现代化目标，国家需要将资源投入到高能耗、高排放、高污染的重工业和其他制造业领域。这些产业的发展对化石能源的大量需求导致了碳排放的显著增加。数字金融作为一种新型的金融工具，为经济活动提供了更高效的平台，推动了生产、交易和管理的数字化转型，降低了很多传统业务中的纸质文件和实体交易，从而减少了大量的印刷、邮寄和物流所产生的碳排放，此时数字金融的减排效果比较明显。当经济发展到一定水平时，为了实现可持续高质量发展，人们必须关注环境污染和碳排放问题。在这种情况下，国家加强了对污染控制的投资，并积极推动向绿色发展转型，数字金融与绿色发展相结合，伴随着数字金融的发展，绿色金融等低碳产业得以推广，有助于推动经济转型和碳减排。

（三）城镇化水平的门槛作用

城镇化为数字金融的发展提供了重要的用户基础和硬件设施，推动了网络用户的增长。随着城镇化的不断推进，数字金融需要与城市经济相匹配的发展水平，这意味着在不同城镇化阶段，数字金融对碳排放的影响可能存在某种门槛效应。在城镇化水平较低背景下，数字金融在提供资金支持方面发挥了重要作用，弥补了传统金融体系的缺陷，促进了产业发展和经济增长，同时推动了地区科技创新和产业升级，数字金融进而对减少碳排放产生了积极影响。与此同时，居民对物质和能源需求不断增加，导致生产规模持续扩大，数字金融所注入的资金可能

会加速能源消耗，导致碳排放的进一步增加。因此，在城镇化水平较低阶段，数字金融对碳排放的影响是不确定的。然而，随着城镇化水平的进一步提升，基础设施共享的规模效应日益显现，城市正在通过企业和家庭之间的碳密集型商品共享来有效减少碳排放。此外，共享平台的兴起也促进了低碳技术的不断创新和应用，为绿色经济的发展提供了有力推动。城市化进程不仅使得资源更加集中，也为碳减排提供了更多可能。这种发展趋势有助于减少碳排放，改善环境质量，并在数字金融发展中发挥着重要作用。

（四）能源消耗的门槛作用

随着社会的发展和经济的增长，人们对能源的需求不断增加。在能源消耗较低阶段，数字金融平台可以为可再生能源项目提供融资支持。通过数字化融资手段，投资者可以更容易地参与到太阳能、风能等清洁能源项目中，从而减少对高碳排放能源的依赖，显著地降低整体碳排放量。但随着能源消耗的不断增长，在能源结构尚未转型的前提下，数字金融的碳减排能力难以完全抵消能源消耗所带来的碳排放，从而会导致数字金融的碳减排效果下降。这就需要我们加快能源结构转型，采用绿色能源、优化硬件设备、改进数据中心设计等方式，减少数字金融行业对传统电力的依赖，并降低碳排放水平。

根据上述分析，本文提出备择假设 H3：数字金融对碳排放影响会随数字金融、经济发展、城镇化水平和能源消耗的变化存在非线性的门槛效应。

3 数字金融与碳排放的测度与现状分析

3.1 数字金融的现状分析

（一）数字金融的发展趋势

本研究以 2011 年至 2021 年的北京大学数字普惠金融指数为依据，涵盖了中国 30 个省市（除了数据缺失较为严重的西藏及港、澳、台地区）。选取了这些地区的数字金融总指标和三个一级指标的平均值来代表全国范围内的数字金融发展水平。图 3.1 展示了我国在过去 11 年间数字金融及其三个子维度的发展趋势。

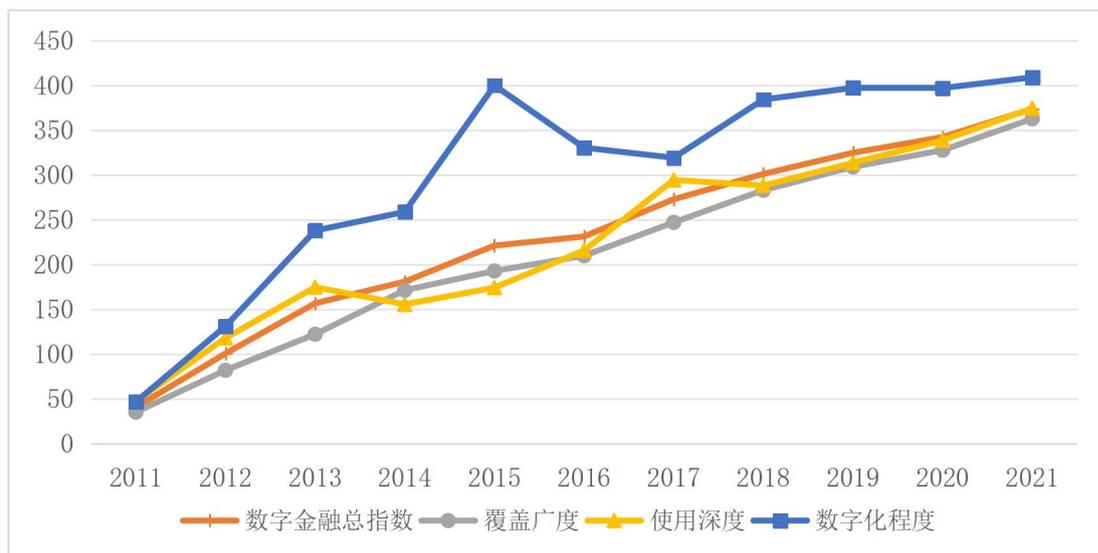


图 3.1 2011-2021 年数字金融指数及其一级分指数

从图 3.1 可以看出，2011-2021 年间，数字金融总指数及覆盖广度，使用深度和数字化程度三个一级分指数都呈上升趋势。首先，总指数从 2011 年的 40.80 上涨到 2021 年的 373.74，11 年间增长了 9.16 倍。近年来，数字金融领域的扩张速度已呈现缓慢趋势，表明数字金融市场逐渐成熟，行业正由高速增长逐步过渡至稳定增长。其次，从分指数来看，数字化程度指数增长最快，从 2011 年的 46.75 上涨到 2021 年的 408.99，上涨了 8.75 倍。该指数在 2015 年达到峰值，并在 2015 年至 2017 年呈下降趋势，至 2017 年之后又稳定上涨，连续 11 年处于较高水平。覆盖广度从 2011 年的 35.31 上涨到 2021 年的 362.69，上涨了 10.27 倍。从 2011-2021 年，覆盖广度保持稳定增长，说明我国数字金融用户规模持续稳定地扩大，数字金融的普惠效

果较好。使用深度从 2011 年的 47.49 上涨至 2021 年的 374.43，上涨了 7.88 倍。使用深度在 2013 年和 2017 年产生了微波波动，在 2014 年出现下降后又快速回升，其原因可能是 2013 年的余额宝出现，使得资金涌入货币基金业务，从而降低了投资业务、保险业务等业务的资金。

（二）2021 年各地区数字金融发展现状

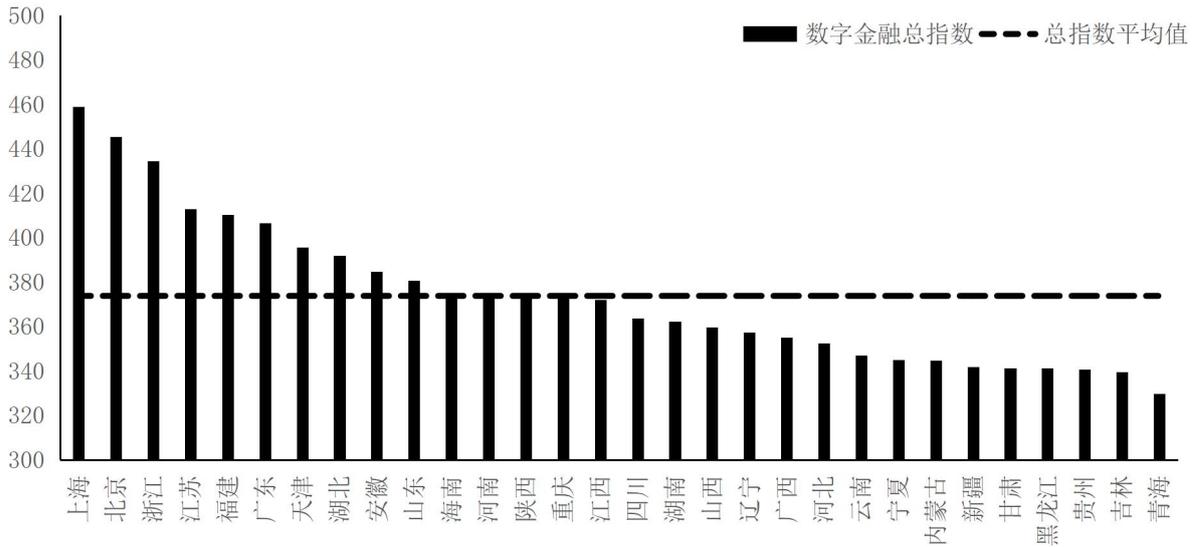


图 3.2 2021 年各省数字金融总指数分布

图 3.2 反映的是 2021 年各地区数字金融总指数的差异和 2021 年总指数平均值的分布，从图中可以看出，各地区的数字金融指数主要分为三个梯度。首先上海、北京、浙江、江苏、福建、广东、天津、湖北、安徽和山东 2021 年数字金融总指数高于平均值，处于第一梯度；海南、河南、陕西和江西 2021 年数字金融总指数接近平均值位于第二梯度；四川、海南、山西、辽宁、广西、河南、云南、宁夏、内蒙古、新疆、甘肃、黑龙江、贵州、吉林和青海 2021 年数字金融总指数低于平均值位于第三梯度。综合而言，虽然我国数字金融发展水平总体处于上升趋势，但数字金融发展水平在不同地区仍存在较大差异。

3.2 碳排放的测度与现状分析

3.2.1 碳排放的测度

目前暂无权威机构发布中国省级二氧化碳排放量的数据，学者们研究的二氧化碳排放量的

数据主要来源于以下三种渠道：（1）采用卫星探测数据对二氧化碳排放量进行估算。由于地面的建筑物、树木等可能会遮挡排放源，使得卫星观测到的二氧化碳浓度受到影响，造成估算偏差。（2）碳排放数据取至中国碳核算数据库（CEADs）中的省级清单列表，该部分碳排放数据更新较慢。（3）采用联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）提供的温室气体测算方法，即碳排放系数法。其主要原理是将不同能源的消耗量与 IPCC 提供的相应碳排放系数相乘，然后将结果相加，从而得出二氧化碳排放总量。IPCC 清单法是一种自上而下的碳排放核算体系，通常用于对国家或地区的碳排放进行核算。该方法是联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）所推荐的方法之一，得到了国际社会的广泛认可和采用。相关的碳排放系数数据相对容易获取，而且由于其基于标准化的计算方法，数据的可信度和可靠性较高。

2007 年联合国政府间气候变化委员会（IPCC）第四次评估报告，温室气体增加的主要来源是化石燃料燃烧，因此本文借鉴杜立民（2010）的研究采用碳排放系数法，根据 IPCC 提供的碳排放计算公式，对各省份历年的终端能源消费数据进行 CO₂ 排放量的估算。《中国能源统计年鉴》将终端能源消费分为九种类型，包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力。鉴于电力是由其他能源转化而来，为了避免重复计算和潜在的误差，本文在计算中不将其纳入考虑范围。最后选取 8 种化石燃料综合计算各地区碳排放量。计算碳排放量的方法如式 3.1：

$$ce_{ij} = \sum_{i=1}^8 E_{itj} \times c_j \times \eta_j \quad (3.1)$$

其中， ce_{ij} 为 i 省份第 t 年的碳排放总量； E_{itj} 为 i 省第 t 年第 j 种能源的消耗量；参考《中国能源统计年鉴》 c_j 为第 j 种能源转化为标准煤的参考系数，转化系数的计量单位天然气为标准煤/万立方米，其余能源的单位为 kg 标煤/kg； η_j 是第 j 种能源的碳排放系数，借鉴已有研究（任志娟，2014），取 8 种化石燃料对应的碳排放系数依次为 1.9003，2.8604，3.0202，2.9251，3.0179，3.0959，3.1705，2.1622，单位均为碳/标煤。

根据前文所述计算的 2011 年至 2021 年期间中国 30 个省市的二氧化碳排放量。接下来，计算各地区的碳排放强度（碳排放量/GDP），有助于揭示出哪些地区在碳排放管理方面取得了进展，哪些地区面临着更大的挑战。

3.2.2 碳排放的现状分析

（一）碳排放量的核密度估计

采用核密度估计方法对 2011 年、2016 年、2021 年碳排放量（万吨）数据进行拟合，拟合

结果如图 3.3 所示：

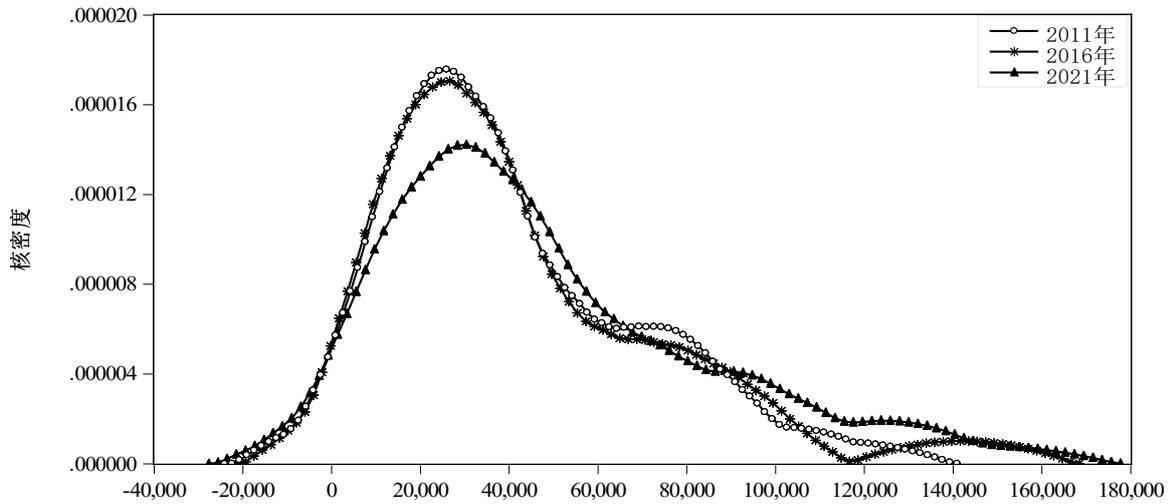


图 3.3 中国碳排放核密度曲线

从图 3.3 的延展性分析，碳排放量的核密度曲线整体右偏，且随时间变化有持续右移的趋势，说明我国碳排放量有向更高水平提升的趋势，这一趋势强调了我们必须采取迅速而有力的减排措施。从图 3.3 极化状态来看，曲线的主峰逐年下降，且曲线的宽度逐年扩大，这意味着不同地区碳排放量两极分化逐年加剧。说明中国部分地区可能正在积极地采取减排措施，但有些地区可能仍然面临着碳排放量增加的挑战。整体上，分析结果强调中国在碳排放量控制方面的紧迫性，需要采取更加全面和协调的措施，以确保碳排放总量的降低，并减少不同地区之间的碳排放量差距。

（二）碳排放量的变化趋势

本文根据 2011-2021 年碳排放量的测算结果，选择中国 30 个省市（除数据缺失较为严重的西藏及港、澳、台）的碳排放量的平均值来代表全国范围的碳排放量水平，图 3.4 描绘了 11 年间我国碳排放量的变化趋势。

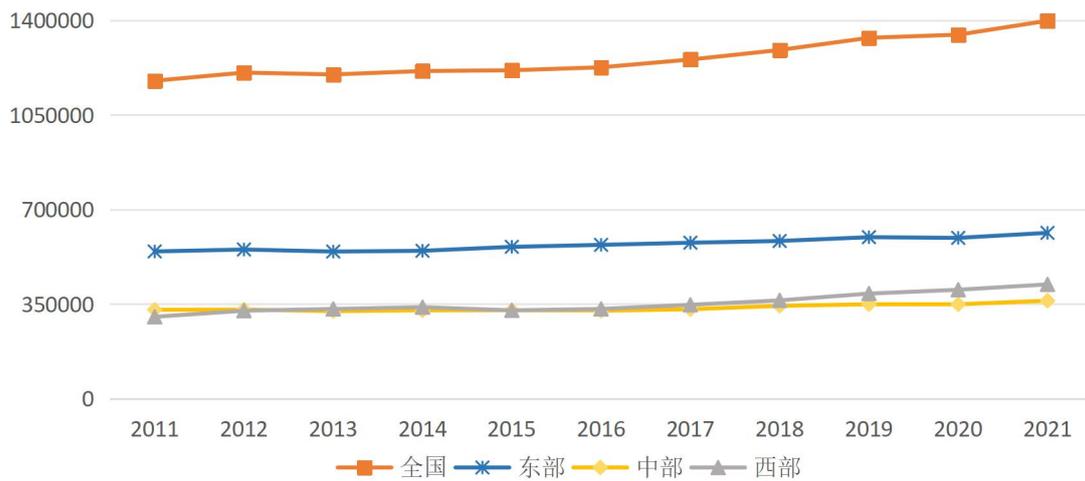


图 3.4 2011-2021 年碳排放量变化趋势图

从图 3.4 中可以看出，全国碳排放总量（万吨）在 2011 年至 2021 年整体处于上涨趋势。分区域来看，东部地区碳排放量与中西部地区差距较大，中西部地区的碳排放量差距较小，东部地区的碳排放量在 600000 万吨左右，而中西部地区的碳排放量在 400000 万吨左右。

（三）碳排放强度的变化趋势

本文根据 2011-2021 年碳排放强度的测算结果，选择中国 30 个省市（除数据缺失较为严重的西藏及港、澳、台）的碳排放强度的平均值来代表全国范围的碳排放水平。碳排放强度的下降可能表明该地区已经实现了经济增长与碳排放削减的“脱钩”，走上了低碳发展之路。相反，如果碳排放强度呈上升趋势，则可能需要进一步加强该地区的碳减排政策，提高能源利用效率，推动产业结构转型升级，以实现经济增长和碳排放的双赢局面。

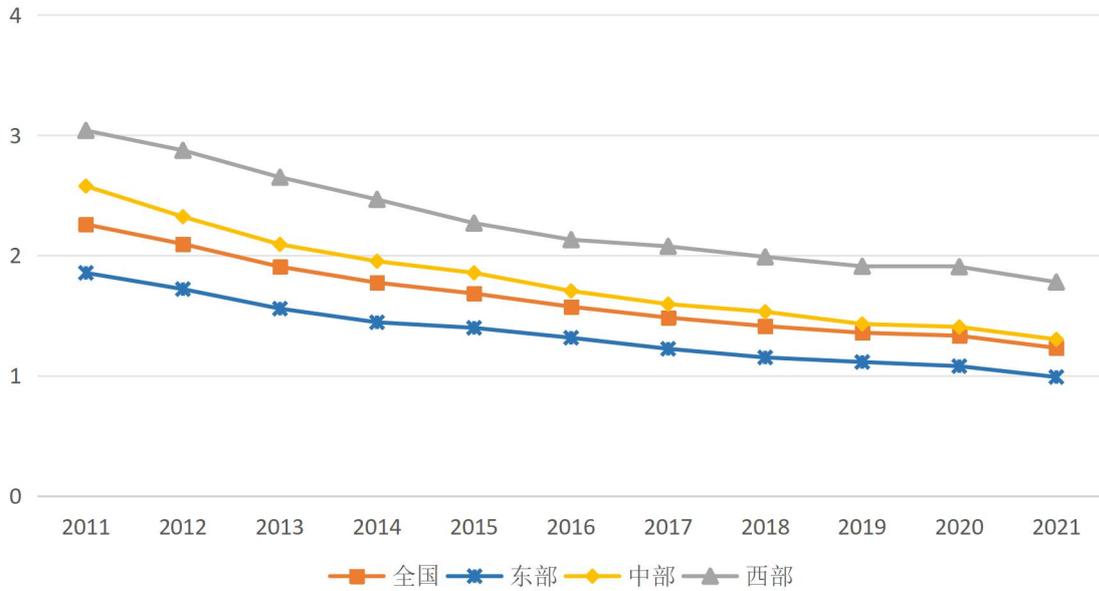


图 3.5 2011-2021 年碳排放强度变化趋势图

从图 3.5 中可以看出，2011 年至 2021 年我国碳排放强度（吨/万元）整体处于下降趋势，我国单位 GDP（万元）的碳排放量从 2011 年的 2.26 吨左右到 2021 年 1.23 吨左右。分区域来看，2011 年至 2021 年，西部地区的碳排放强度持续最高，东部地区的持续最低。虽然东部地区的碳排放总量最高，但是单位 GDP 所产生的碳排放量最少，说明东部地区在生产和消耗过程中，更注重环境保护和更看重资源的利用效率。

4 数字金融影响碳排放的实证分析

4.1 模型构建

(一) 基准回归模型

本文首先建立双固定效应模型进行基准回归，用来初步分析数字金融发展与碳排放关系，基准回归模型设置如下：

$$cei_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln index_{it} + \alpha_2 control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it1} \quad (4.1)$$

其中， cei_{it} 表示省份*i*在*t*年的碳排放， $\ln index_{it}$ 表示省份*i*在*t*年的数字金融发展指数的对数值，用回归系数 α_1 来反映数字金融发展对碳排放的影响。 α_2 为一组控制变量的回归系数向量， $control_{it}$ 表示一组影响碳排放的控制变量，包括人口规模（ $\ln pop$ ），政府支出（ gov ），产业结构高级化（ is ），环境规制（ er ）及工业化水平（ ind ）。 α_0 为常数项， μ_i 代表省份固定效应， δ_t 代表时间固定效应，随机扰动项用 ϵ_{it} 表示。

(二) 面板分位数模型

接下来构建面板分位数回归模型，分析数字金融在各个碳排放维度对区域碳排放的影响，设定面板分位数回归模型一般形式如下：

$$Q_{\tau}(cei_{it}) = \alpha_{0\tau} + \alpha_{1\tau} \ln index_{it} + \alpha_{2\tau} control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it2} \quad (4.2)$$

$Q_{\tau}(cei_{it})$ 代表在各影响因素确定的情况下被解释变量碳排放强度在 τ 分位点上的数值， $\alpha_{1\tau}$ 为数字金融发展对碳排放强度在 τ 分位点的影响系数， $\alpha_{2\tau}$ 为控制变量对碳排放强度在 τ 分位点的影响系数， $\alpha_{0\tau}$ 为 τ 分位点的常数项。

(三) 中介效应模型

根据前文的理论分析和研究假设，采用逐步回归法在模型（4.1）基础上构建中介效应模型，实证分析经济增长、城镇化水平以及能源消耗三种中介机制下在数字金融对碳排放的影响作用。如模型（4.3）至模型（4.5），中介效应模型如下：

$$cei_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln index_{it} + \beta_2 control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it3} \quad (4.3)$$

$$M_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln index_{it} + \gamma_2 control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it4} \quad (4.4)$$

$$cei_{it} = \eta_0 + \eta_1 index_{it} + \eta_2 M_{it} + \eta_3 control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it5} \quad (4.5)$$

模型 (4.4) 中, M_{it} 为中介变量, 包括经济增长 ($\ln gdp$)、城镇化水平 (urb) 和能源消耗 ($\ln pener$)。首先通过模型 (4.3) 检验数字金融 $\ln index_{it}$ 对碳排放 cei_{it} 的影响系数 β_1 的显著性, 在系数 β_1 显著的前提下, 检验模型 (4.4) 中解释变量 $\ln index_{it}$ 对中介变量 M_{it} 的影响系数 γ_1 的显著性和模型 (4.5) 中中介变量 M_{it} 对被解释变量 cei_{it} 的影响系数 η_2 的显著性, 如果两者都显著表明变量 M_{it} 为中介变量, 中介效应在总效应中所占比重为 $\gamma_1 * \eta_2 / \beta_1$ 。最后检验模型 (4.5) 中影响系数 η_1 的显著性, η_1 显著证明了存在部分中介效应, η_1 不显著则证明了存在完全中介效应。

(四) 面板门槛模型

以上模型为数字金融对碳排放影响的线性模型, 为了进一步厘清数字金融对碳排放的影响, 本文采用面板平滑转换模型 (PTR) 检验数字金融对碳排放的非线性影响。构建了如下模型 (4.6):

$$cei_{it} = \rho_0 + \rho_1 \ln index_{it} I(T_{it} \leq \lambda_1) + \rho_2 \ln index_{it} I(\lambda_1 < T_{it} \leq \lambda_2) + \rho_3 \ln index_{it} I(T_{it} > \lambda_2) + \rho_4 control_{it} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (4.6)$$

其中, 式 (4.6) 考虑的是双门槛模型, T 为门槛变量, λ 为门槛值, $I(\cdot)$ 为指示函数, 当括号里的条件满足时则 $I(\cdot) = 1$, 否则 $I(\cdot) = 0$ 。

(五) 面板平滑转换模型

在面板门槛模型 (PTR) 的基础上, Gonzalez 等 (2005) 提出面板平滑转换模型。

$$cei_{it} = \mu_i + \pi_0 \ln index_{it} + \pi_1 \ln index_{it} G(q_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (4.7)$$

其中, π_0 为线性部分的系数, π_1 为非线性部分的系数。 q_{it} 为转换变量, 这里的 γ 代表转换斜率 (即平滑参数), c 代表转换函数的位置参数 (即门槛值); $G(q_{it}; \gamma, c)$ 是关于转换变量 q_{it} 的连续函数, 通常 $G(\cdot)$ 取值介于 0 和 1 之间。

采用 logistic 函数形式设定转换函数:

$$G(q_{it}; \gamma, c) = \left\{ 1 + \exp \left[-\gamma \prod_{j=1}^m (q_{it} - c_j) \right] \right\}^{-1}, \quad \gamma > 0, c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_m \quad (4.8)$$

其中, $c = (c_1, c_2, \dots, c_m)'$ 为 m 维的位置参数向量, Gonzalez 等 (2005) 研究表明一般 m 取 1 或者 2。当 $m=1$ 时, 此时转换函数为 $G(q_{it}; \gamma, c) = [1 + \exp(-\gamma(q_{it} - c))]^{-1}$; $q_{it}=c$ 或者 $\gamma \rightarrow 0$ 时, $G(\cdot) = 0.5$, PSTR 模型简化为一般的固定效应模型; 当 $\gamma \rightarrow \infty$ 时, 面板平滑转换模型 (PSTR) 简化为 Hansen (1999) 提出的面板门槛模型 (PTR) 模型。

4.2 变量选取与描述性统计

4.2.1 变量选取

（一）被解释变量

碳排放（cei），用各省市历年的二氧化碳排放总量与 GDP 的比值表示。本文基于第三章采用碳排放系数法测度的二氧化碳排放总量并结合各省市的 GDP 数据计算出碳排放。这一方法不仅考虑了地区能源消费的实际情况，也充分考虑了经济活动对二氧化碳排放的影响。

（二）解释变量

数字金融（lnindex），研究采用了北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服共同编制的普惠金融综合指数中的省级指数作为衡量指标，并对其进行了对数化处理，旨在更全面地评估各省市的数字金融发展特征。该指数包含了数字金融覆盖广度（lnbreadth）、使用深度（lndepth）以及数字化程度（lndigit）。

（三）中介变量

经济增长（lnpgdp），用人均实际 GDP 的对数形式衡量各省市的经济增长情况。数字金融的发展对经济增长具有推动作用。随着经济的发展，产业生产规模的扩大可能会导致碳排放增加，但同时数字金融也在支持能源转型，提高了能源利用效率，从而减少了碳排放。因此，数字金融对碳排放的影响取决于经济增长的方式和能源利用的效率，其对碳排放的影响方向不确定。

城镇化水平（urb），用城镇人口占年末总人口的比重代表各省市的城镇化水平。数字金融通过提高金融服务的效率、促进消费升级、支持智能城市建设等方面，对城镇化水平起到了积极推动作用。城镇化的进程一方面伴随着工业化和经济发展，这可能导致碳排放的增加；另一方面城镇化通过合理的城市规划，提供更清洁的公共交通系统从而降低碳排放。因此数字金融能够通过影响到城镇化水平影响到碳排放，但影响方向不确定。

能源消耗（lnpener），用人均耗电量的对数形式代表各省市的能源消耗情况。城市用电量作为能源消耗的主要来源，因此本文借鉴缪陆军等（2022）的方法，选取各省份的人均用电消耗量来衡量能源消耗。一方面数字金融的普及通常会增加对数据中心的需求，数据中心的运行需要大量的电力，会导致能源消耗的增加，从而导致碳排放的增加；另一方面，通过采用高效的数据压缩算法、存储优化策略，减少数据传输和存储的需求，从而降低相关设备的能耗，从而降低碳排放。因此数字金融可以通过增加或减少能源消耗来影响到碳排放，能源消耗是数字

金融驱动节能减排的重要路径。

（四）转换变量

数字金融（ $\ln index$ ），随着数字金融的发展，数字金融的不断创新和生产方式的改变会对碳排放产生影响。因此，数字金融与碳排放之间存在非线性关系。

经济增长（ $\ln gdp$ ），随着经济的快速发展，金融需求通常会增加，包括更广泛的金融服务、更复杂的交易和更庞大的金融体系。数字金融作为金融业的数字化推动者，其应用和规模会随着经济的扩张而增加，从而对碳排放产生影响。因此，随着经济的发展水平的不同，经济发展会影响数字金融对碳排放的关系。

城镇化水平（ urb ），随着城镇化水平的提升，数字金融服务更广泛，使用更为频繁。这可能导致更高的数字金融服务需求和相关碳排放，从而影响到数字金融对碳排放的具体影响程度。

能源消耗（ $\ln pener$ ），能源消耗是数字金融对碳排放产生影响过程中不可忽视的问题，数字金融的发展和运行会产生能源消耗，能源消耗量过高会抑制数字金融的碳减排效应。

（五）控制变量

人口规模（ $\ln pop$ ），用各省份年末总人口的自然对数表示。人口规模相对较大的城市能源消耗和能源需求会变多，进而会提升各地区的碳排放。

政府支出（ gov ），用地方一般公共预算支出与 GDP 的比值表示。政府支出能够影响到资金配置，偏向性的资金配置会对地区碳排放产生影响。

产业结构高级化（ is ），用第三产业增加值与第二产业增加值的比值表示。产业结构升级有助于提升地区能源的使用效率，有助于降低碳排放。

环境规制（ er ），参考任晓松等（2020）和叶琴等（2018）的做法，通过单位产值工业废水排放量、单位产值工业 SO₂ 排放量以及单位产值工业烟尘排放量计算环境规制强度综合指数 er 。首先将这三种污染物的排放量进行标准化处理，并求取每种污染物的权重，然后将各污染物的权重与标准化的结果相乘，计算出所得乘积的算术平均数，从而得到环境污染综合指数，以此作为衡量环境规制的逆向指标。 er 越大表示污染排放越多，环境规制强度越弱。

工业化水平（ ind ），用第二产业增加值占 GDP 的比重表示，工业在三大产业中所占比重越大，在生产中消耗能源越多，就会产生越多的二氧化碳。

将上述变量做如下总结：

表 4.1 变量解释

变量分类	变量名称	单位	变量符号	指标解释
被解释变量	碳排放	吨/万元	cei	CO2 排放量/GDP
核心解释变量	数字金融	-	lnindex	省级数字金融指数的对数
	覆盖广度	-	lnbreadth	省级数字金融覆盖广度指数的对数
	使用深度	-	lndepth	省级数字金融使用深度指数的对数
	数字化程度	-	lndig	省级数字金融数字化程度指数的对数
中介变量	经济发展水平	-	lngdp	人均 GDP 的自然对数
	城镇化水平	%	urb	年末城镇人口比重
	能源消耗	-	lnpener	人均用电量消耗的自然对数
转换变量	数字金融	-	lnindex	来自北京大学数字金融研究中心
	经济发展水平	-	lngdp	人均 GDP 的自然对数
	城镇化水平	%	urb	年末城镇人口比重
	能源消耗	-	lnpener	人均用电量消耗的自然对数
控制变量	人口规模	-	lnpop	各省份年末总人口的自然对数
	环境规制	-	er	利用工业废水排放量、工业 SO2 排放量、工业烟尘排放量计算得到
	政府支持	%	gov	地方一般公共预算支出/GDP
	产业结构高级化	%	is	第三产业增加值/第二产业增加值
	工业化水平	%	ind	第二产业增加值/GDP

4.2.2 数据来源与描述性统计

根据数据的可获得性和实用性，本文针对 2011-2021 年中国 30 个省份、市、自治区（剔除数据缺失较为严重的西藏和港澳台地区）作为初始研究样本，形成了 330 个均衡面板数据。研究使用的数据来自国家统计局，《中国统计年鉴》，《中国能源统计年鉴》，《中国环境统计年鉴》，《中国城市统计年鉴》，《北京大学数字普惠金融指数(2011-2021)》，《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》。个别数据的缺失采用线性插值法进行处理，考虑到数据的平稳性及估计结果的准确性，对部分数据进行取自然对数。

表 4.2 是对主要变量的描述性统计。结果显示，被解释变量碳排放 (cei) 的最小值为 0.157，最大值为 8.192，极差范围较大，表明不同地区间碳排放差异较大，存在碳减排效果不均衡问题。

表 4.2 变量描述性统计

变量名称	变量符号	N	mean	sd	min	max
碳排放	cei	330	2.161	1.714	0.157	8.192
数字金融	lnindex	330	5.283	0.669	2.909	6.129
覆盖广度	lnbreadth	330	5.149	0.817	0.673	6.072
使用深度	lndepth	330	5.266	0.652	1.911	6.236
数字化程度	ln dig	330	5.556	0.681	2.026	6.136
经济发展水平	lngdp	330	10.88	0.444	9.706	12.12
城镇化水平	urb	330	59.59	12.14	35.03	89.60
能源消耗	lnpener	330	8.427	0.493	7.532	9.755
人口规模	lnpop	330	8.207	0.741	6.342	9.448
环境规制	er	330	0.454	0.514	0.000	2.585
政府支持	gov	330	0.249	0.103	0.107	0.643
产业结构高级化	is	330	1.246	0.705	0.518	5.297
工业化水平	ind	330	0.427	0.0877	0.158	0.590

4.3 数字金融对碳排放的直接效应分析

4.3.1 基准回归分析

(一) 面板单位根检验

为了避免数据的不平稳产生伪回归导致估计结果有偏，在进行实证分析之前，对指标进行面板单位根检验。检验结果如表 4.3 所示，

表 4.3 变量平稳性检验

变量	LLC 检验	Fisher-ADF 检验	Fisher-PP 检验	是否平稳
cei	-9.982***	196.604***	434.417***	平稳
lnindex	6.177	188.695***	547.100***	平稳
lnbreadth	17.246	108.562***	553.124***	平稳
lndepth	-7.601***	137.942***	532.943***	平稳
ln dig	-11.395***	139.283***	439.273***	平稳
lngdp	-2.634***	49.907	105.167***	平稳
urb	-11.631***	76.549**	150.454***	平稳

续表 4.3 变量平稳性检验

变量	LLC 检验	Fisher-ADF 检验	Fisher-PP 检验	是否平稳
lnpener	-8.382***	61.687	59.140	平稳
lnpop	-0.590	65.437	114.513***	平稳
er	-5.751***	84.608**	85.551**	平稳
gov	-2.429***	48.276	50.068	平稳
is	-5.737***	84.169**	48.214	平稳
ind	-7.999***	120.814***	339.102***	平稳

注：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

为保证检验结果的可靠性，本文采用多种方法进行单位根检验，包括 LLC、Fisher-ADF、Fisher-PP。如果这些方法中的任何一种拒绝了原假设，意味着数据不存在单位根，进而可以得出数据是平稳的结论。表 4.3 的检验结果显示，没有出现有单位根情况的数据，说明各变量为平稳序列，因此可以进行下一步的回归分析。

（二）基准回归

从 F 检验和 LM 检验的结果来看，P 值均小于 1% 的显著性水平，拒绝混合回归模型。从 Hausman 检验结果显示，P 值为 0.000，导致拒绝了随机效应模型，故最终采用了固定效应模型。表 4.4 中（1）和（2）为未控制时间和省份的固定效应模型，列（3）和（4）为控制时间和省份的双固定效应模型。从表中可以看出，双固定效应模型的拟合优度最高，因此，本文首先使用双固定的普通最小二乘法（OLS）对模型进行回归，模型回归结果如表 4.4 所示。

表 4.4 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	cei	cei	cei	cei
Lnindex	-4.123*** (0.508)	-2.529*** (0.561)	-0.813*** (0.164)	-0.837*** (0.151)
lnpop		-1.488*** (0.159)		0.664 (0.682)
Ind		-1.135 (2.170)		-3.564*** (0.879)
er		1.527*** (0.179)		0.195** (0.0691)

续表 4.4 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	cei	cei	cei	cei
gov		-0.181 (1.284)		5.343*** (0.771)
is		-0.640** (0.255)		-0.224* (0.118)
_cons	23.94*** (2.685)	28.37*** (4.001)	4.909*** (0.920)	0.402 (5.547)
时间/省份	否	否	是	是
N	330	330	330	330
R ²	0.172	0.451	0.972	0.979

注：括号中为对应的标准误 * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, 下同

表 4.4 列（3）报告了未加入控制变量且控制了地区固定效应和时间固定效应数字金融（lnindex）对碳排放（cei）的估计结果，列（2）报告了在列（1）的基础上加入了控制变量的估计结果。根据结果显示，主要解释变量数字金融对碳排放的回归系数均呈现显著负相关。说明在全样本区间中，数字金融的发展会显著降低各地区碳排放。以列（2）在加入控制变量和双固定效应后的回归结果为例，加入控制变量后，数字金融对碳排放的抑制效果有明显地增加，我国数字金融指数每提高 1%，地区碳排放平均减少 0.837%，表明数字金融的发展有助于降低区域碳排放，推动我国走向低碳经济道路，促进经济的可持续发展。

在控制变量中，总人口的系数为正但并不显著，说明总人口的增加对我国碳排放并无影响。工业化水平能够在 1% 的显著性水平上降低碳排放，可能是随着工业化水平的提高，生产过程往往更加精细化和自动化，这有助于提高生产效率，减少资源浪费，从而降低单位产值下的碳排放。环境规制在 5% 的显著性水平上增加碳排放，可能是工业废水、工业 SO₂ 和工业烟尘的排放通常会伴随着碳排放的增加。政府支出在 1% 的显著性水平上促进了碳排放，可能是政府资金配置不当，将大量资金主要投资传统高碳基础设施建设，如高速公路、机场、港口等，这些项目会增加对化石燃料的需求，从而导致碳排放的增加。产业结构高级化在 10% 的显著性水平上降低了碳排放，可能是高级化的产业结构通常伴随着技术的创新和高效的生产过程，先进的技术通过提高生产效率从而降低了碳排放。其次，高级化的产业结构通常更容易采用绿色技术和清洁能源，从而减少对化石燃料的依赖，有助于降低碳排放。

4.3.2 稳健性检验

为了保证研究结果的可靠性，本文做了如下的稳健性检验。

（一）内生性

在前文的估计中可能存在由双向因果及遗漏变量而产生的内生性偏误。首先，本文讨论的是数字金融的发展会影响该地区的碳排放，但是碳排放较低的地区会更容易推动数字金融的发展，二者之间可能有反向的因果关系。其次，影响碳排放的因素有很多，本论文选取的变量有限，就会导致存在遗漏变量的问题。

为了避免这些问题，本文借鉴邵帅等（2019）的研究选取数字金融的滞后一期（L.lnindex）作为工具变量，运用两阶段最小二乘法(2SLS)进行回归。一方面，上一期数字金融的发展会对当期的数字金融发展产生影响，符合相关性。另一方面，滞后一期的数字金融只能通过当期的数字金融影响到碳排放，满足外生性的要求。表 4.5 中列（1）和（2）为用数字金融滞后一期估计的结果，其中列（1）为第一阶段估计的结果，L.lnindex 的系数在 1%的水平下显著，说明当期的数字金融和滞后一期的数字金融有较强的相关性。第一阶段的 F 值为 155.66，远大于 Stock-Yogo 弱识别检验 10%水平上的临界值，因此不存在工具变量弱识别问题；Kleibergen-Paap rk LM 统计量对应的 P 值为 0，在 1%的水平上显著拒绝工具变量不可识别的原假设。列（2）为第二阶段估计结果，数字金融的回归系数在 1%的水平上显著为负，说明基准回归的结果是稳健的。

（二）更换样本

考虑到北京，上海，广东 3 个省级行政区的经济水平相对比较发达，与其他省份经济差异明显。为证实数字金融碳减排效果的普适性，剔除北京、上海、广东三个省级示范行政区的数据后，分析其他省份数字金融对碳排放的影响。回归结果见表 4.5 的列（3）。结果表明，数字金融的系数显著为负，说明基准回归所得结果是稳健可靠的。

（三）替换被解释变量

为了避免被解释变量的选取导致数字金融对碳排放的影响产生偏误，本文选取 CEADs 中国碳核算数据库的二氧化碳排放量与国内生产总值的比值（ce）作为碳排放的代理变量来进行稳健性检验。回归结果见表 4.5 中的列（4）。结果显示，估计系数依然显著为负，说明基准回归的估计结果可靠。

（四）替换核心解释变量

对于数字金融指数的构建中，不同的统计机构对数字金融的统计计算存在差异，因此本文

还另外参考刘倩（2022）使用了由赵涛等（2020）编制的中国城市数字经济指数（dig）进行实证研究。回归结果见表 4.5 中的列（5）。回归结果表明，数字经济指数的回归系数仍为显著为负，进一步验证了实证结果的稳健性。

（五）剔除极端值的影响

为了排除所选样本极端值的影响，本文进一步将被解释变量最高和最低的 1% 样本进行缩尾和截尾处理，具体分别见表 4.5 中的（6）、（7）两列。由回归结果可知，数字金融对碳排放量的估计系数依然显著为负，说明基准回归的估计结果可靠。

表 4.5 稳健性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	lnindex	cei	cei	ce	cei	cei	cei
L.lnindex	0.337*** (0.0267)						
lnindex		-2.344*** (0.555)	-0.922*** (0.174)	-1.290*** (0.266)		-0.827*** (0.148)	-0.846*** (0.144)
dig					-0.167* (0.0986)		
_cons	3.645*** (0.716)	12.91* (6.856)	-3.174 (6.199)	28.49** (10.01)	-9.427* (5.641)	1.306 (5.593)	0.988 (5.487)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是	是	是	是	是
N	300	300	297	330	330	330	324
R ²	0.9807	0.284	0.659	0.369	0.612	0.654	0.681

4.3.3 异质性分析

为了进一步探究数字金融发展对我国各省碳排放的影响，本文将按照不同数字金融维度、不同地理位置维度、不同碳排放量维度进行区分来探讨数字金融碳减排效果的异质性。

（一）不同数字金融维度

金融覆盖广度、使用深度和数字支持服务程度涵盖了数字金融三个维度的不同方面。数字金融覆盖广度指数（lnbreadth）衡量了数字金融服务在各省市的普及程度和覆盖范围。使用深度指数（lndepth）则评估了数字金融服务的深度和质量，包括服务的便利性、可靠性和专业性等方面。而数字化程度（lndigit）则关注了数字金融所采用的技术水平和创新能力，从而反映了数字金融发展的前沿程度和竞争力。为了进一步检验不同维度数字金融的碳减排效应，本文

将数字金融的三个分指数作为解释变量,通过异质性分析全面和深入地研究数字金融对碳排放的影响。回归结果见表 4.6 中的列 (1) - (3)。

表 4.6 数字金融异质性分析结果

	(1) cei	(2) cei	(3) cei
lnbreadth	-0.309*** (0.0601)		
lndepth		-0.308** (0.115)	
lnDIG			0.106 (0.0994)
_cons	-3.611 (5.538)	-6.360 (5.711)	-9.672* (5.665)
控制变量	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是
<i>N</i>	330	330	330
<i>R</i> ²	0.642	0.618	0.610

表 4.6 的结果显示,列 (1) 中数字金融的覆盖广度对碳排放影响的回归系数在 1%的水平下显著为负,说明覆盖广度能够促进碳减排,且这种碳减排效果在数字金融维度中作用最强。数字金融的广泛覆盖使得更多的企业和个人可以获得低碳和高效能源技术的信息和服务。这些技术包括节能灯具、智能家居设备、可再生能源系统等,可以降低能源消耗,减少碳排放。列 (2) 中数字金融的使用深度的系数在 5%水平下显著为负,说明使用深度的扩大能够促进区域碳减排。数字金融的深度使用有助于推动共享经济的发展,减少资源浪费和碳排放。列 (3) 数字金融的数字化程度的系数为正但是不显著。数字化程度所采用的技术水平和创新能力,当这些技术并不直接涉及到碳排放的减少或增加时,数字化程度提升就不会直接导致碳排放的变化。因此,提高数字金融的覆盖广度和使用深度是碳减排的有效途径。

(二) 不同地理位置维度

基准回归结果已表明数字金融的发展总体上有利于降低碳排放,考虑到数字金融和碳排放会因为城市地理位置的不同而存在差异,为探究不同地理位置数字金融对碳排放的影响,将样本分为东部、中部和西部地区进行分样本回归,回归结果如表 4.7。

表 4.7 区域异质性分析

	东部 cei	中部 cei	西部 cei
Lnindex	-0.883*** (0.224)	-0.947* (0.551)	-1.336*** (0.366)
_cons	28.00*** (6.684)	-6.197 (13.57)	1.353 (14.19)
控制变量	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是
N	121	88	121
R ²	0.975	0.991	0.979

表 4.7 显示，数字金融在东、中、西部地区的对碳排放的影响效果均呈现显著的负向影响，表现出明显的差异。其中，西部地区数字金融的减碳力度最强，东部地区的碳减排力度最弱，其原因可能是，西部地区相对于东部和中部地区拥有更为丰富的清洁能源，如风能、太阳能等，数字金融作为依赖信息技术和大数据处理的行业，其运行过程需要大量的电力支持。由于西部地区清洁能源资源较为充足，数字金融在该地区更容易实现对清洁能源的依赖，从而减少对高碳能源的需求，有效降低碳排放。其次，西部地区的经济发展水平相对较低，处于产业结构升级和转型的初期阶段。数字金融通常伴随着新兴产业的发展而兴起，而新兴产业往往更注重环保和低碳。在西部地区，数字金融更容易融入和推动这一产业结构的升级，促进低碳产业的崛起，从而实现更为显著的碳减排效果。相比之下，东部和中部地区可能更多依赖传统高碳产业，数字金融在这些地区推动碳减排的难度相对较大。总的来说，数字金融在不同地区的减排潜力和影响模式会因地区特点而异，但都有望为减少碳排放和应对气候变化提供有力支持。

（三）不同碳排放维度

进一步采用面板分位数回归模型考察了不同碳排放水平下数字金融对碳排放的影响，本文选择 5 个分位点（10%，25%，50%，75%，90%）进行回归，结果见表 4.8。

表 4.8 面板分位数模型估计结果

变量	QR_10	QR_25	QR_50	QR_75	QR_90
Lnindex	-1.171** (0.487)	-1.770*** (0.462)	-1.214** (0.417)	-1.231** (0.525)	-1.057* (0.629)
_cons	9.625*** (1.936)	12.49*** (1.905)	9.437** (3.569)	19.11*** (4.208)	21.16*** (4.476)

续表 4.8 面板分位数模型估计结果

变量	QR_10	QR_25	QR_50	QR_75	QR_90
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是	是	是
N	330	330	330	330	330
R^2	0.3028	0.2965	0.3084	0.4239	0.5435

由表 4.8 中的分位数回归结果可知：从数字金融对碳排放的估计系数来看，在不同碳排放维度下，数字金融指数对碳排放的回归系数都呈负向关系，且都通过了 10% 的显著性检验。随着分位点的增加，数字金融对碳排放的边际影响呈先上升后下降的倒“U”型变化，该结果意味着在低碳排放水平下，数字金融对碳排放产生显著的抑制效果；且随着碳排放水平的升高，数字金融对碳排放的抑制效果逐渐增强，在 25% 分位点抑制效果最强，25% 分位点后抑制效果逐渐减弱。这种非线性关系强调了在制定环境政策和推动数字金融发展时，需要考虑碳排放水平的差异。究其原因，对于碳排放量较低的地区，通常已经采取了一系列环保措施，包括使用可再生能源、提高能源效率、减少工业排放等。因此，相对于碳排放量较高的地区，这些低碳排放地区的改善空间有限，数字金融碳减排的激励作用变弱。随着碳排放的提高数字金融的碳减排效果增强，社会对气候变化和环境问题的关注也在增加，企业和政府有了强烈的环保意识更加重视碳减排，更积极的将数字金融纳入碳减排领域，从而增加了对碳排放的抑制作用。对于高碳排放地区可能以传统的高碳排放行业为主导，如石油、煤炭、重工业等，这些行业碳排放水平较高，同时数字化发展不完善，这就导致数字化难以在短期内改变整体的碳排放趋势。其次，高碳排放地区的碳减排政策相对宽松，对碳排放的监管相对较小，缺乏能强有力的碳排放控制政策，从而减弱数字金融在碳减排方面的动力。随着时间的推移，技术的进步、能源的转型和政策的调整，数字金融在高碳排放地区对碳排放的抑制作用也可能会逐渐增强。总之，数字金融在不同碳排放水平的影响作用凸显了其在不同地区的碳排放控制和可持续发展中的关键地位，有望为碳减排事业带来更显著的效益。

4.4 数字金融对碳排放的间接效应分析

前文分析了数字金融对碳排放的直接影响，本部分将运用中介效应模型研究数字金融对碳排放影响的传导机制。

4.4.1 经济增长的间接作用分析

为了探究经济增长在数字金融发展对碳排放影响过程中发挥的中介作用，进一步对模型（4.4）和（4.5）进行估计，得到表 4.9 列（2）和列（3）展示了以经济增长作为中介变量的回归结果。

表 4.9 经济增长的机制检验

	(1) cei	(2) Lnpgdp	(3) cei
Lnindex	-0.837*** (0.151)	0.139*** (0.0344)	-0.574*** (0.141)
Lnpgdp			-1.889*** (0.236)
_cons	0.989 (5.702)	7.383*** (1.298)	14.93** (5.443)
控制变量	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是
<i>N</i>	330	330	330
<i>R</i> ²	0.647	0.943	0.712

表 4.9 中列（2）和列（3）展示了以经济增长作为中介变量的回归结果，列（2）为数字金融对经济增长的影响，影响系数为 0.139，且通过了 1% 的显著性水平，说明发展数字金融会促进地区经济发展。列（3）中经济增长的系数在 1% 的水平上显著为负，说明经济增长有利于降低碳排放，其原因可能是经济的发展通常伴随着技术的不断创新和生产效率的提高。随着技术的进步，企业能够更加高效地利用资源，减少能源浪费，从而降低碳排放。其次，经济发展为政府和企业提供了更多的财政资源，可以用于投资研发和推广清洁能源技术。列（3）数字金融的影响系数为-0.574，说明数字金融的直接效应显著，且人均 GDP 的增长起到了部分中介作用，中介效应占总效应的比例为 31.4%。由此，经济增长的中介作用成立，数字金融通过提高金融服务的效率、降低交易成本、促进可持续投资等方式，有助于在经济增长的同时减少对资源的过度消耗，从而对降低碳排放产生积极作用。

4.4.2 城镇化水平的间接作用分析

为了探究城镇化水平在数字金融发展对碳排放影响过程中发挥的中介作用，本文以年末城

镇人口比重为中介变量 M ，对模型（4.4）和（4.5）进行估计。表 4.10 列（2）和列（3）展示了以城镇人口比重作为中介变量的回归结果。

表 4.10 城镇化水平的机制检验

	(1) cei	(2) urb	(3) cei
lnindex	-0.837*** (0.151)	6.144*** (0.654)	-0.483** (0.168)
urb			-0.0576*** (0.0133)
_cons	0.989 (5.702)	-40.14 (24.66)	-1.324 (5.558)
控制变量	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是
N	330	330	330
R^2	0.647	0.940	0.669

表 4.10 中列（2）为数字金融对城镇化水平的影响，影响系数为 6.144，且通过了 1% 的显著性水平，说明发展数字金融有利于城镇人口比重的增加。列（3）中城镇化水平的系数在 1% 的水平上显著为负，说明推进地区城镇化有利于降低碳排放，其原因可能是在城市地区，人口密集的环境更容易支持高效的公共交通系统和步行，相较于个人汽车，共享自行车和共享公共交通更为环保，能够减少交通运输中的碳排放。其次，相较于农村地区，在城市更容易实施和推广清洁能源技术，用清洁能源代替传统的高碳能源，这有助于减少能源产生阶段的碳排放。在控制城镇人口比重的情况下，数字金融对碳排放的影响依然呈现显著的抑制作用，影响系数为 -0.483，说明数字金融的直接效应显著，且城镇人口比重的增加起到了部分中介作用，中介效应占总效应的比例为 42.3%。由此，城镇化水平的中介作用成立，即数字金融通过促进城镇人口比重的增加，从而降低碳排放。数字金融的发展带动新兴产业的增长，包括金融科技公司、电子支付平台、数据分析等。这些新兴产业会吸引更多人移居城市以寻找就业机会，从而增加城市人口比重。随着城镇人口比重的增加，城市规模的扩大，使得能源利用和资源共享更为集中和高效，从而有利于降低碳排放。

4.4.3 能源消耗的间接作用分析

为了探究能源消耗在数字金融发展对碳排放影响过程中发挥的中介作用，以能源消耗量（*lnpener*）为中介变量 *M*，对模型（4.4）和（4.5）进行估计，表 4.11 列（2）和列（3）展示了以能源消耗作为中介变量的回归结果。

表 4.11 能源消耗的机制检验

	(1)	(2)	(3)
	<i>cei</i>	<i>lnpener</i>	<i>cei</i>
<i>lnindex</i>	-0.837*** (0.151)	0.211*** (0.0447)	-1.073*** (0.149)
<i>lnpener</i>			1.119*** (0.190)
<i>_cons</i>	0.989 (5.702)	1.961 (1.685)	-1.205 (5.404)
控制变量	控制	控制	控制
时间/省份	是	是	是
<i>N</i>	330	330	330
<i>R</i> ²	0.647	0.833	0.685

表 4.11 中列（2）为数字金融对能源消耗的影响，影响系数为 0.211，且通过了 1% 的显著性水平，说明发展数字金融会显著增加地区能源消耗。列（3）将数字金融和能源消耗同时纳入回归中，在控制能源消耗的情况下，数字金融对碳排放的影响依然呈现显著的抑制作用，影响系数的绝对值从 0.837 上升到 1.073，中介效应占总效应的比例为 28.2%。说明数字金融在推动更为高效、清洁的能源消耗中发挥了积极作用。能源消耗的系数在 1% 的水平上显著为正，说明存在以能效消耗作为碳排放的传导机制，过度的消耗能源会提高碳排放，且数字金融的发展会通过增加能源消耗进而导致碳排放的增加。其原因可能是数字金融的发展是一个巨大的耗能产业，数字金融行业快速发展，技术更新迭代较快，但有时旧的技术设备仍在使用。如果企业没有及时升级到更为能效高的硬件和软件，就可能导致能源效率较低，随之而来的是更高的能源消耗和碳排放。这就需要数字金融行业在能源消耗方面采取更为积极的可持续发展措施，以更有效地抵消能源消耗带来的碳排放的增加。通过更有效地使用能源，可以减少对电力的需求和对高碳能源的依赖，从而降低碳排放。综上所述，假设 H2 成立，数字金融可以通过影响经济发展、城镇化水平和能源消耗三种中介机制从而影响碳排放。

4.5 数字金融对碳排放的非线性分析

4.5.1 非线性检验和剩余非线性检验

为了进一步考察数字金融发展对碳排放的影响是否随着数字金融、经济发展、城镇化水平和能源消耗这些转换变量的变化而变化，本文选取面板平滑转换（PSTR）模型进行估计，相关 PSTR 模型的相关检验和估计结果均通过 Matlab2023a 软件实现。在对面板平滑转换模型估计之前，需要首先使用 LM、LMF 和 LTR 统计量对模型进行非线性检验和剩余非线性检验。表 4.12 展示了以数字金融发展、经济增长水平、城市化水平和能源消耗水平为转换变量时，在不同位置参数维度下的 PSTR 模型非线性检验结果。

表 4.12 非线性检验和剩余非线性检验

转换变量	$H_0:r=0;H_1:r=1$					
	M=1			M=2		
	LM	LMF	LRT	LM	LMF	LRT
Lnindex	36.072*** (0.000)	36.695*** (0.000)	38.201*** (0.000)	37.400*** (0.000)	19.045*** (0.000)	39.694*** (0.000)
Lnpgdp	18.222*** (0.000)	17.475*** (0.000)	18.744*** (0.000)	30.047*** (0.000)	14.926*** (0.000)	31.504*** (0.000)
Urb	10.497*** (0.001)	9.823*** (0.002)	10.668*** (0.001)	29.544*** (0.000)	14.651*** (0.000)	30.951*** (0.000)
Lnpenner	90.659*** (0.000)	113.258*** (0.000)	105.998*** (0.000)	104.474*** (0.000)	69.024*** (0.000)	125.617*** (0.000)
	$H_0:r=1; H_1:r=2$					
Lnindex	0.185 (0.668)	0.166 (0.684)	0.185 (0.667)	0.195 (0.907)	0.088 (0.916)	0.195 (0.907)
Lnpgdp	0.143 (0.706)	0.128 (0.720)	0.143 (0.706)	0.427 (0.808)	0.192 (0.826)	0.427 (0.808)
Urb	4.726 (0.030)	4.315 (0.039)	4.760 (0.029)	1.252 (0.535)	0.564 (0.570)	1.255 (0.570)
Lnpenner	-32.600 (1.000)	-26.702 (1.000)	-31.089 (1.000)	-13.160 (1.000)	-5.676 (1.000)	-12.904 (1.000)

从表 4.12 的结果可以看出，在 $m=1$ ， $m=2$ 的情况下，LM、LMF 和 LRT 检验值都在 1% 的显著性水平下拒绝模型为线性模型的原假设（ $r=0$ ），符合使用面板平滑转换（PSTR）模型的要求。由此可以判断，数字金融在不同转换变量维度下对碳排放的影响具有明显的异质性，

数字金融、经济发展、人口结构和能源消耗在数字金融影响碳排放的过程中存在非线性的调节作用。进一步，对模型进行剩余非线性检验，结果显示，在 $m=1$ ， $m=2$ 的情况下，LM、LMF 和 LRT 检验值都在 1% 的显著性水平下不能拒绝 ($r=1$) 原假设。总的来说，面板平滑转换模型 (PSTR) 只含有一个非线性的转换函数，即 $r=1$ 。

4.5.2 不同数字金融发展水平下碳减排效果

在确定数字金融发展对碳排放的影响存在一个非线性的转换函数后，接下来采用 AIC 和 BIC 来确定门限参数的个数 m 的值，得到模型最优的参数组合。

表 4.13 确定门限参数 m

	$m=1$	$m=2$
AIC	0.562	0.567
BIC	0.609	0.624
C 是否溢出	否	是
结论	$m=1$	

从表 4.13 的结果可以看出，当 $m=1$ 时，AIC 和 BIC 的值分别为 0.562 和 0.609，小于 $m=2$ 时 AIC 和 BIC 的值；且 $m=1$ 时的门限参数没有溢出， $m=2$ 时门限参数有溢出。综合表 4.12 和表 4.13 的结果，可以得出在只有 1 个转换函数 ($r=1$) 的前提下，模型最优的位置参数的个数为 1 ($m=1$)。

在确定转换函数和位置参数的个数均为 1 后 ($r=m=1$)，本文给出数字金融对碳排放非线性影响的参数估计结果。

表 4.14 数字金融对碳排放的非线性影响结果

	线性 β_0	非线性 β_1
Lnindex	-1.013*** (0.359)	-2.121*** (0.282)
γ		2.106
c		5.826
(r,m)		(1,1)
RSS		556.729

由表 4.14 可知，模型的回归系数均在 1%的水平下显著，说明随着数字金融的发展，数字金融对碳排放的影响总是显著的。其中，非线性部分的系数 β_1 和线性部分系数 β_0 同样呈现负值，暗示着随着数字金融的不断推进，其数字金融的减排效果也随之增强。具体来说：在以数字金融发展为转换变量的 PSTR 模型中，转换斜率的系数 γ 为 2.106，说明伴随着数字金融发展水平的提高，数字金融的减排效应由低区制向高区制平滑转换。线性部分 β_0 和非线性部分 β_1 的系数分别为 -1.013 和-2.121，位置参数 c 为 5.826。说明当数字金融的对数值低于 5.826 时，数字金融的减排效应为-1.013，数字金融每提高 1%，碳排放将平均减少 1.013%；当数字金融高于 5.826，数字金融减排效应增加至-3.134（-1.013-2.121），说明数字金融每提高 1%，碳排放将平均减少 3.134%；意味着数字金融发展水平的提高增加了数字金融的减排效应。其原因可能是，较高水平的数字金融拥有更创新的金融产品和服务，如区块链技术的应用、可再生能源金融产品等。其次，高水平的数字金融发展使得金融活动更加数字化、智能化、绿色化，有助于推动可持续发展和低碳经济，减少对高碳产业的依赖。

4.5.3 不同经济发展水平下数字金融的碳减排效果

在确定了经济发展在数字金融减排中存在非线性作用后，接下来采用 AIC 和 BIC 来确定门限参数的个数 m 的值，得到模型最优的参数组合。

表 4.15 确定门限参数 m

	$m=1$	$m=2$
AIC	0.573	0.582
BIC	0.619	0.634
C 是否溢出	否	是
结论	$m=1$	

从表 4.15 的结果可以看出，当 $m=1$ 时，AIC 和 BIC 的值分别为 0.573 和 0.619，小于 $m=2$ 时 AIC 和 BIC 的值；且 $m=1$ 时的门限参数没有溢出， $m=2$ 时门限参数有溢出。综合表 4.12 和表 4.15 的结果，可以得出在只有 1 个转换函数（ $r=1$ ）的前提下，模型最优的位置参数的个数为 1（ $m=1$ ）。

在确定转换函数和位置参数的个数均为 1 后（ $r=m=1$ ），本文给出在不同经济发展水平下数字金融对碳排放非线性影响的参数估计结果。

表 4.16 不同经济发展水平下数字金融对碳排放的影响结果

	线性 β_0	非线性 β_1
Lnindex	-1.912*** (0.356)	-0.316*** (0.040)
γ		13.929
c		11.433
(r,m)		(1,1)
RSS		562.735

由表 4.16 可知，模型的回归系数均在 1%的水平下显著，说明随着经济发展水平的提高，数字金融对碳排放的影响总是显著的。其中，非线性部分的系数 β_1 和线性部分系数 β_0 同样呈现负值，说明随着经济发展的不断推进，数字金融的减排效果增加。具体来说：在以经济发展为转换变量的 PSTR 模型中，转换斜率的系数 γ 为 13.929，说明伴随着经济发展水平的提高，数字金融的减排效应由低区制向高区制转换速度较快。线性部分 β_0 和非线性部分 β_1 的系数分别为 -1.912 和-0.316，位置参数 c 为 11.433。说明当人均 GDP 对数值低于 11.433 时，数字金融的减排效应为-1.912，数字金融每提高 1%，碳排放将平均减少 1.912%；当人均 GDP 对数值高于 11.433，数字金融减排效应增加至-2.228 (-1.912-0.316)，说明数字金融每提高 1%，碳排放将平均减少 2.228%；意味着经济发展水平的提高增加了数字金融减排效应。其原因可能是，随着经济水平的提高，国家和企业会增加对科技和创新的投入，政府和地区更加注重环境保护，社会对环保问题的关注度逐渐提升。经济发展水平的提高为数字金融的可持续发展提供了更多的机遇和动力，数字金融行业更有可能在减排方面取得更显著的成效。

4.5.4 不同城镇化水平下数字金融的碳减排效果

在确定了城镇化在数字金融减排中存在非线性作用后，接下来采用 AIC 和 BIC 来确定门限参数的个数 m 的值，得到模型最优的参数组合。

表 4.17 确定门限参数 m

	m=1	m=2
AIC	0.588	0.584
BIC	0.634	0.641
C 是否溢出	否	否
结论	m=1	

从表 4.17 的结果可以看出, $m=1$ 时的 AIC 的值大于 $m=2$ 时的 AIC 的值, $m=1$ 时 BIC 的值小于 $m=2$ 时的 BIC 的值; 但 BIC 相比较 AIC 在数据量较大时对模型惩罚的更多, 因此选择门槛参数 $m=1$ 。综合表 4.12 和表 4.17 的结果, 可以得出在只有 1 个转换函数 ($r=1$) 的前提下, 模型最优的位置参数的个数为 1 ($m=1$)。

在确定转换函数和位置参数的个数均为 1 后 ($r=m=1$), 本文给出在不同城镇化水平下数字金融对碳排放非线性影响的参数估计结果。

表 4.18 不同城镇化水平下数字金融对碳排放的影响结果

	线性 β_0	非线性 β_1
Lnindex	-1.632*** (0.386)	-0.311*** (0.045)
γ		0.429
c		73.799
(r,m)		(1,1)
RSS		571.328

由表 4.18 可知, 模型的回归系数均在 1% 的水平下显著, 说明随着地区城镇化的推进, 数字金融对碳排放的影响总是显著的。其中, 非线性部分的系数 β_1 和线性部分系数 β_0 同样呈现负值, 说明随着地区城镇化的推进, 数字金融的碳减排效果增加。不同地区人口结构的异质性, 使得数字金融对碳排放的影响系数被分为高低不同区制。具体来说: 在以城镇化水平为转换变量的 PSTR 模型中, 转换斜率的系数 γ 为 0.429, 说明伴随着城市人口的增加, 数字金融的减排效应由低区制向高区制平滑的转换。线性部分 β_0 和非线性部分 β_1 的系数分别为 -1.632 和 -0.311, 位置参数 c 为 73.799。说明当城镇人口比重低于 73.799 时, 数字金融的减排效应为 -1.632, 数字金融每提高 1%, 碳排放将平均减少 1.632%; 当城镇人口比重高于 73.799, 数字金融减排效应增加至 -1.943 (-1.632-0.311), 说明数字金融每提高 1%, 碳排放将平均减少 1.943%; 意味着城镇人口比重的增加提高了数字金融减排效应。其原因可能是, 随着城镇化率的提高, 通常伴随着共享经济和数字化服务的兴起。数字金融平台可以促进共享交通、共享资源等, 减少资源浪费, 降低碳排放。例如, 共享单车、拼车服务等能够减少城市交通拥堵, 从而减少汽车的碳排放。数字金融能够提供大量实时数据, 帮助政府规划城市管理, 优化交通流、能源利用等方面, 从而降低碳排放。

4.5.5 不同能源消耗水平下数字金融的碳减排效果

接下来采用 AIC 和 BIC 来确定门限参数的个数 m 的值，得到模型最优的参数组合。

表 4.19 确定门限参数 m

	$m=1$	$m=2$
AIC	0.269	0.274
BIC	0.315	0.331
C 是否溢出	是	是

从表 4.19 的结果可以看出， $m=1$ 和 $m=2$ 时门限参数都有溢出且 $\gamma \rightarrow \infty$ 。说明面板平滑转换模型 (PSTR) 在不同能源消耗水平下数字金融减排效应并不适用。接下来使用面板门槛模型 (PTR) 估计不同能源消耗水平下数字金融减排效应。

首先进行面板门槛效应检验。检验结果如表 4.20 所示，根据 Hansen 门槛理论，能源消耗 ($\ln pener$) 通过单门槛效应的显著性检验，说明数字金融在不同能源消耗量区间下的碳减排效果会呈现出非线性的动态变化特征。

表 4.20 门槛效应检验结果

阈值变量	阈值	F 统计量	P 值	10%	5%	1%
$\ln pener$	9.585	117.640	0.000	30.156	38.167	50.291

表 4.21 门槛效应回归结果

门槛变量	$Lnce$
$\ln index (\ln pener < 9.585)$	-3.212*** (0.550)
$\ln index (\ln pener \geq 9.585)$	-3.106*** (0.541)
C	27.63*** (3.721)
控制变量	控制
时间/省份	是
N	330
R^2	0.558

从表 4.21 的门槛效应回归结果可以看出，当阈值变量 $\ln pener < 9.585$ 时，数字金融每提高

1%，碳排放将平均减少 3.212%；当阈值变量 $\ln pener \geq 9.585$ 时，数字金融每提高 1%，碳排放将平均减少 3.106%；说明随着能源消耗的增加，数字金融的碳减排效果会显著降低。其原因可能是，传统电力供应仍然主要依赖于化石燃料，如煤炭和天然气，这些燃料的燃烧会释放大量二氧化碳和其他温室气体，导致碳排放增加。数字金融虽然在一定程度上支持能源效率项目，但在某些地区可再生能源的渗透率仍然相对较低，因此难以完全抵消能源消耗量的增加所带来的碳排放。

综上所述，假设 H3 成立，数字金融对碳排放影响会随数字金融、经济发展、城镇化水平和能源消耗的变化存在非线性的门槛效应。

5 研究结论与政策建议

5.1 研究结论

本文运用 2011-2021 年中国省际面板数据，旨在探讨数字金融与碳排放之间的影响关系。首先，选取指标测算数据，并对数字金融和碳排放进行现状分析。其次，实证分析数字金融对碳排放的影响，主要通过建立双固定效应模型，从不同数字金融维度，不同地理位置维度，不同碳排放维度进行了异质性分析。然后，通过构建以经济发展，城镇化水平，能源消耗为中介变量的中介效应模型分析数字金融影响碳排放的中介机制，最后构建以数字金融，经济发展，城镇化水平为转换变量的面板平滑转换模型和以能源消耗为门槛变量的面板门槛模型对数字金融影响碳排放的非线性关系进行研究。根据实证分析结果，本文的主要结论为：

第一，数字金融具有显著的碳减排效应。在固定效应模型中，数字金融的系数为-0.837，且在 1%的水平上显著，说明数字金融的发展能显著降低碳排放，在加入数字金融的滞后一期作为工具变量，以及通过替换被解释变量、替换核心解释变量、更换样本等方法进行稳健性检验，均表明这一结果稳健成立。

第二，数字金融对碳排放的影响具有异质性。在不同数字金融维度下，数字金融的覆盖广度能在 1%的显著性水平上降低碳排放，数字金融的使用深度在 10%的显著性水平上负向影响碳排放，而数字金融的数字化程度会促进碳排放，但促进作用并不显著。在不同地理位置维度下，东部、中部和西部地区的数字金融发展都会抑制碳排放，西部地区的抑制作用高于中部和东部地区。在不同碳排放维度下，随着碳排放水平的增加，数字金融的碳减排效应呈先上升后下降的倒“U”型变化。

第三，从数字金融影响碳排放的具体路径来看，数字金融可以通过经济增长，城镇化水平以及能源消耗这三个中介变量来影响碳排放。其中，经济增长的中介效应占总效应的 31.4%，城镇化水平的中介效应占总效应的 42.3%，能源消耗的中介效应占总效应的 28.20%。即数字金融可以通过促进经济增长，提高城镇化水平来间接降低碳排放，同时数字金融也可以通过增加对能源的消耗来增加碳排放。

第四，数字金融与碳排放之间具有非线性的影响关系。数字金融的碳减排效应显著存在基于数字金融、经济发展和城镇化水平平滑转换的非线性效应，随着数字金融、经济发展和城镇化水平的提升，数字金融的碳减排效应不断增强。数字金融的碳减排效果存在以能源消耗为门槛变量的非线性效应，随着能源消耗的增加，数字金融对碳排放的抑制作用减弱。

5.2 政策建议

根据以上四点结论，本文提出以下四点的政策建议：

第一，加强数字普惠金融建设，推动数字赋能减排。加强数字化基础设施建设，确保数字金融广泛覆盖人群，通过投资智能手机普及、高速互联网覆盖等手段提高数字化金融的普及率。推进传统金融机构数字化升级以及金融服务平台建设。制定政策和法规，以鼓励数字普惠金融的创新和发展，包括数字支付、在线银行、借贷平台等等。扩大数字金融服务的覆盖范围，确保更多地区和人群都能够获得这些服务，包括偏远地区和低收入人群。提供数字金融培训，提高用户的数字素养，使他们能够更好地使用这些工具。

第二，因地制宜制定区域差异化减排政策。首先，结合不同地区碳排放水平，评估各个地区的主要碳排放来源，如工业、交通、住宅和农业等，有效制定差异化碳减排策略。其次，对于高碳排放地区，政府可以制定更严格的减排目标和法规，鼓励企业和个人采取减排措施。对于低碳排放地区，政府可以提供激励措施，鼓励更多的可再生能源和能源效率项目；高碳排放地区可以专注于能源效率提高，政府提供融资支持，帮助企业和个人购买高效电器设备、进行建筑节能改造和实施能源效率项目。数字普惠金融机构提供低利率贷款，支持这些项目。低碳排放地区重点关注可再生能源项目。政府提供资金支持，鼓励太阳能、风能和其他可再生能源项目的发展。数字金融机构提供融资支持，吸引投资者参与这些项目。最后，根据各地区的数字金融发展水平、经济发展水平和城镇化水平，设定不同的碳减排目标。发达地区可以设定更为严格的目标，鼓励其在数字金融领域采用更为清洁、高效的技术和流程，而相对欠发达地区可以逐步过渡，平衡碳减排和经济发展之间的关系。地区之间可以共享能源消耗数据和碳排放数据，以更好地了解各自的情况。这有助于制定更有效的减排策略，并监测进展。不同地区可以分享最佳实践，包括成功的减排项目和技术创新。有助于加速减排措施的实施，避免重复努力，提高效率。地区之间可以开展跨界交流活动，包括研讨会、会议和培训，以增进了解和合作。这有助于建立更紧密的合作关系，推动减排项目的共同实施。地区合作还可以鼓励公众参与减排项目，通过教育和宣传活动，可以提高公众对减排的认识，促使更多人采取节能和环保措施。

第三，积极推动数字金融的可持续发展，驱动能源结构转型。传统的粗放式能源使用导致我国碳排放水平居高不下，因此我们要改变能源消费结构。在新发展的数字背景下，以数字技术为依托，鼓励数字金融机构在其他业务中整合环保和减排因素，例如提供绿色信贷和绿色储蓄产品。提供金融支持和激励，以鼓励数字金融服务提供商在碳减排领域开展创新项目，如绿

色金融产品和服务。以城镇化发展为基础完善数字普惠金融基础设施建设，充分发挥数字普惠金融在鼓励绿色生产生活、助力碳达峰、碳中和愿景目标的实现。

第四，提高能源利用效率，减少能源消耗。支持消费者购买智能家居设备和能源管理系统，如智能恒温器、智能照明和智能插座。这些系统可以通过数字金融支付和管理，让用户轻松地控制和优化能源使用，减少不必要的用电。通过节能投资太阳能电池板和 LED 照明项目，推动可持续能源发展，减少高碳能源使用。制定政策，以鼓励数字金融机构支持可再生能源项目。这包括提供融资支持、提供优惠贷款利率和鼓励投资者参与太阳能、风能等可再生能源项目，促进可再生能源的发展，减少对传统高碳能源的依赖。

参考文献

- [1] Gonzalez A, Teräsvirta T, Van Dijk D, et al. Panel smooth transition regression models[M].2017.
- [2] Haseeb A, Xia E J, Saud S, et al. Does information and communication technologies improve environmental quality in the era of globalization? An empirical analysis [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(9): 8594-8608.
- [3] Huang Y, Matsumoto K. Drivers of the change in carbon dioxide emissions under the progress of urbanization in 30 provinces in China: A decomposition analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 322: 129000.
- [4] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[J]. Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, May, 1989.
- [5] Nawaz M A, Hussain M S, Kamran H W, et al. Trilemma association of energy consumption, carbon emission, and economic growth of BRICS and OECD regions: quantile regression estimation[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, (28): 16014-16028.
- [6] Ouyang Y F, Li P. On the nexus of financial development, economic growth, and energy consumption in China: New perspective from a GMM panel VAR approach [J]. Energy Economics, 2018, (71):238-252.
- [7] Panayotou T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development[J]. 1993.
- [8] Ripberger J T. Capturing curiosity: Using internet search trends to measure public attentiveness[J]. Policy studies journal, 2011, 39(2): 239-259.
- [9] Salahuddin M, Gow J, Ozturk I. Is the Long- run Relationship Between Economic Growth, Electricity Consumption, Carbon Dioxide Emissions and Financial Development in Gulf Cooperation Council Countries Robust? [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, (51).317-326.
- [10] Wang X, Wang X, Ren X, et al. Can digital financial inclusion affect CO₂ emissions of China at the prefecture level? Evidence from a spatial econometric approach[J]. Energy Economics,

2022, 109: 105966.

[11] Zhang W, Jin Y G, Wang J P. Greenization of venture capital and green innovation of Chinese entity industry [J]. *Ecological indicators*, 2015, (51): 31-41.

[12] Zhao H, Yang Y, Li N, et al. How does digital finance affect carbon emissions? Evidence from an emerging market[J]. *Sustainability*, 2021, 13(21): 12303.

[13] 常皓亮, 金碚, 薛飞. 大数据战略对电力消费碳排放的影响——基于国家级大数据综合试验区的准自然实验[J]. *经济与管理研究*, 2023, 44(5): 93-109.

[14] 程秋旺, 许安心, 陈钦. “双碳”目标背景下农业碳减排的实现路径——基于数字普惠金融之验证[J]. *西南民族大学学报(人文社会科学版)*, 2022, 43(2): 115-126.

[15] 邓荣荣, 张翱翔. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. *资源科学*, 2021, 43(11): 2316-2330.

[16] 丁凡琳. 中国数字普惠金融对碳强度的影响[J]. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2022, 75(6): 110-120.

[17] 杜立民. 我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究[J]. *南方经济*, 2010(11): 20-33.

[18] 范庆倩, 封思贤. 数字金融影响碳排放的作用机理及效果[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(11): 70-82.

[19] 冯素玲, 许德慧, 张榕. 数字金融发展如何赋能二氧化碳减排?——来自地级市的经验证据[J]. *当代经济科学*, 2023, 45(4): 15-28.

[20] 郭峰, 王靖一, 王芳等. 测度中国数字普惠金融发展: 指数编制与空间特征[J]. *经济学(季刊)*, 2020, 19(4): 1401-1418.

[21] 郭桂霞, 张尧. 数字普惠金融与碳减排关系研究[J]. *价格理论与实践*, 2022, (1): 135-138.

[22] 黄俊鑫, 焦方太. 高质量发展下能源消耗与碳排放耦合性研究[J]. *生态经济*, 2021, 37(7): 22-27+34.

[23] 黄益平, 黄卓. 中国的数字金融发展: 现在与未来[J]. *经济学(季刊)*, 2018, 17(4): 1489-1502.

[24] 黄永春, 黄瑜珊, 胡世亮等. 数字金融能否助推绿色低碳发展?[J]. *南京财经大学学报*, 2022(4): 88-97.

- [25] 康曼, 杜运伟. 数字金融与碳排放效率提升的关系研究——基于中国省际面板数据分析[J]. 生产力研究, 2023, (3): 16-22+58+161.
- [26] 李博, 全颖. 数字金融对碳排放强度的影响机制研究[J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(5): 58-60.
- [27] 李春涛, 闫续文, 宋敏等. 金融科技与企业创新——新三板上市公司的证据[J]. 中国工业经济, 2020(1): 81-98.
- [28] 李国志, 李宗植. 二氧化碳排放决定因素的实证分析——基于 70 个国家(地区)面板数据[J]. 数理统计与管理, 2011, 30(04): 585-593.
- [29] 李汉东, 向梓航, 崔雪峰. 人口因素驱动下的中国碳排放强度预测[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2023, 59(5): 822-829.
- [30] 廖珍珍, 茹少峰. 数字金融发展对二氧化碳排放增减叠加效应的理论分析与实证检验[J]. 经济问题探索, 2022(9): 117-132.
- [31] 刘倩, 陈瑞颂. 数字普惠金融对家庭碳排放的影响研究——基于 2018 年 CGSS 数据[J]. 环境经济研究, 2022, 7 (4): 41-60.
- [32] 刘倩玉, 张丽华. 数字金融、技术创新与工业碳排放[J]. 煤炭经济研究, 2022, 42(10): 15-23.
- [33] 卢祖丹. 我国城镇化对碳排放的影响研究[J]. 中国科技论坛, 2011(7): 134-140.
- [34] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95-106.
- [35] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(1): 36-60+226.
- [36] 史丹, 史可寒. 中国绿色低碳发展的目标研判、特征事实与影响因素分析[J]. 世界社会科学, 2023(04): 95-120+243-244.
- [37] 舒龙龙, 施若. 数字金融发展与碳排放关系探究——基于低碳技术创新视角[J]. 商业经济, 2022(8): 172-174.
- [38] 孙慧, 王凤逸, 丁志勇. 数字金融如何影响了区域碳减排能力?[J]. 首都经济贸易大学学报, 2022, 24(2): 42-56.
- [39] 孙耀华, 李忠民. 中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 87-92.

- [40] 王法涛, 刘雅彤. 数字金融对碳排放的直接与间接效用——基于省级面板数据的实证分析[J]. 科技和产业, 2023, 23(13): 16-21.
- [41] 王芳, 周兴. 人口结构、城镇化与碳排放——基于跨国面板数据的实证研究[J]. 中国人口科学, 2012(2): 47-56+111.
- [42] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究, 2010, 45(2): 123-136.
- [43] 王军, 王杰, 王叶薇. 数字金融发展如何影响制造业碳强度?[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(7): 1-11.
- [44] 王巧, 尹晓波. 数字普惠金融能否有效促进碳减排? ——基于阶段性效应与区域异质性视角[J]. 首都经济贸易大学学报, 2022, 24(6): 3-13.
- [45] 王守坤, 范文诚. 数字普惠金融与碳减排——基于中国县级数据的实证分析[J]. 当代财经, 2022(11): 53-64.
- [46] 王鑫静, 程钰. 城镇化对碳排放效率的影响机制研究——基于全球 118 个国家面板数据的实证分析[J]. 世界地理研究, 2020, 29(3): 503-511.
- [47] 王元彬, 张尧, 李计广. 数字金融与碳排放: 基于微观数据和机器学习模型的研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(6): 1-11.
- [48] 王运豪, 杨皓翔, 官国宇. 碳排放、能源消费与经济增长——基于中国省级面板数据的中介效应模型[J]. 数理统计与管理: 1-15.
- [49] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [50] 肖仁桥, 肖阳, 钱丽. 数字金融对碳排放强度的影响机制研究——基于绿色技术创新中介和传统金融调节视角[J]. 创新科技, 2023, 23(8): 1-18.
- [51] 谢家智, 吴静茹. 数字金融、信贷约束与家庭消费[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2020, 26(2): 9-20.
- [52] 许钊, 高煜, 霍治方. 数字金融的污染减排效应[J]. 财经科学, 2021(4): 28-39.
- [53] 叶琴, 曾刚, 戴劭劭等. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于 285 个地级市面板数据[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 115-122.
- [54] 叶文辉, 龚灵枝. 数字普惠金融与包容性增长: 理论分析与展望[J]. 经济问题, 2023, (12): 49-57.

- [55] 袁嫚. 长江经济带数字金融的碳减排效应研究——空间视角下的实证分析[J]. 区域金融研究, 2023(3): 52-59.
- [56] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 47-57.
- [57] 张云辉, 李少芳. 数字金融发展能提升能源效率吗[J]. 财经论丛, 2022(3): 47-55.
- [58] 张志新, 黄海蓉, 林立. 贸易开放、经济增长与碳排放关系分析——基于“一带一路”沿线国家的实证研究[J]. 软科学, 2021, 35(10): 44-48.
- [59] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36 (10): 65-76.
- [60] 朱勤, 魏涛远. 居民消费视角下人口城镇化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 21-29.

攻读硕士学位期间承担的科研任务及主要成果

- [1] 施悦.多维度视角下数字金融对碳排放影响的实证研究[J].甘肃金融,2024(04):20-29.

致 谢

光阴似箭，日月如梭。转眼间三年的求学生活就要结束了，感谢老师的谆谆教诲，同学、朋友的热心帮助，家人的默默支持。

首先，本文是在导师肖强教授精心指导下完成的，在论文的选题、数据处理、模型选择、论文的撰写和定稿，肖老师老师给予我悉心的指导和无私的帮助。

其次，在求学的三年里遇到过很多困难，感谢师门同学对我学业上的热心帮助。特别难忘的是和杨晨昱同学一起学习的日子，感谢她能够在我遇到学术瓶颈的时候倾囊相授。

然后，感谢我的小姐妹陈荟荟和王蕾，因为有了你们，我的生活充满了快乐和喜悦。感谢我的好朋友曹梦翔同学，不论是在学习上还是生活上一直帮助我。

最后，感谢我的家人，感谢你们把我带到这个世界，让我在爱和快乐中长大；感谢你们一直相信我，鼓励我，支持我，让我能够没有后顾之忧的学习。