

数字金融、绿色技术创新与碳排放强度

——基于省级面板数据的实证研究

张 俊

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年8月18日; 录用日期: 2024年11月11日; 发布日期: 2024年11月18日

摘 要

本文基于北大数字普惠金融指数, 选取2011~2022年中国30个省的面板数据, 运用固定效应模型与中介效应模型, 实证检验了数字金融以及三个子维度对地区碳排放强度的影响效应和机制分析。研究发现: (1) 数字金融对地区碳排放强度具有显著抑制效果, 数字金融的三个子维度对碳排放抑制效果产生了不同程度的影响。(2) 数字金融通过提升地区的绿色创新水平, 从而降低碳排放强度。(3) 异质性分析表明, 在不同的地理区位, 数字金融对中部地区与资源型省份的减排效果较强, 对东部地区的减排效果减弱, 在西部和非资源型地区效果并不显著。对此, 应提升数字金融服务水平, 扩大其碳减排作用; 支持绿色创新, 推广绿色金融产品; 制定地区性数字金融政策, 优化减排效果。

关键词

数字金融, 碳排放强度, 绿色技术创新

Digital Finance, Green Technology Innovation, and Carbon Emission Intensity

—An Empirical Study Based on Provincial Panel Data

Jun Zhang

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 18th, 2024; accepted: Nov. 11th, 2024; published: Nov. 18th, 2024

Abstract

This paper, based on the Peking University Digital Inclusive Finance Index, selects panel data from 30 Chinese provinces from 2011 to 2022. Using fixed effects models and mediation effect models, it

文章引用: 张俊. 数字金融、绿色技术创新与碳排放强度[J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 3346-3360.

DOI: 10.12677/ec.2024.1341532

empirically examines the impact effects and mechanisms of digital finance and its three sub-dimensions on regional carbon emission intensity. The study finds: (1) Digital finance has a significant inhibitory effect on regional carbon emission intensity, with the three sub-dimensions of digital finance having varying degrees of impact on carbon emission reduction. (2) Digital finance reduces carbon emission intensity by enhancing regional green innovation levels. (3) Heterogeneity analysis indicates that digital finance has a stronger emission reduction effect in central regions and resource-rich provinces, while its effect weakens in eastern regions and is not significant in western and non-resource-rich areas. To address this, it is recommended to enhance digital finance service levels, expand its carbon reduction role, support green innovation, promote green financial products, and develop regional digital finance policies to optimize emission reduction effects.

Keywords

Digital Finance, Carbon Emission Intensity, Green Technology Innovation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当今全球经济转型和气候变化的背景下,绿色低碳发展已经成为各国普遍关注和共同努力的方向。为贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和重大决策部署,积极支持绿色低碳发展,2024年3月27日,中国人民银行等关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见。指出要加大金融对绿色低碳发展的支持力度,促进绿色金融产品创新,协同推进降碳、减污、扩绿、增长。其中,有学者指出“降碳”不只是未来生态环境保护工作的总抓手,也是经济发展的总导向[1]。在互联网时代背景下,数字金融作为一种金融创新与科技创新叠加融合的高级金融形态,有着数字化、智能化、普惠化和融合化的特点。通过人工智能、区块链、云计算、大数据等先进技术,能够加速资金、信息、数字等要素的自由流通与有效配置,有效缓解创新主体的融资困境,更好地服务于实体企业,推动金融科技企业不断进行绿色创新和产业升级,通过金融科技的支持,绿色能源、清洁技术和可再生资源的研发和应用得以加速,有效提升金融服务绿色低碳发展的效果,从而更好地推动经济高质量发展。中国人民银行依据“十四五”规划制定的《金融科技发展规划(2022~2025年)》指出,要坚持“数字驱动、智慧为民、绿色低碳、公平普惠”的发展原则,加快健全适应数字经济发展的现代金融体系,提供更加普惠、精准的数字金融服务[2]。一个地区能否顺利实现“双碳”目标,关键要衡量其碳减排能力,利用数字金融手段降低地区的碳排放强度,以推动地区经济向低碳和可持续发展转型。

那么,数字金融如何影响碳排放强度,能否通过提升绿色技术创新水平进一步减少不必要的碳排放量,其作用机理和影响机制值得进一步研究。金融和碳排放之间的联系纽带主要就是绿色活动,通过采取“实质性”或“策略性”的绿色创新行动,其中,实质性绿色创新主要涉及发明专利,通过研发新的技术、产品或者工艺来解决环境问题或者提升环境效益。策略性绿色创新则更多依赖于实用新型专利,主要针对已有技术的改进或者局部的技术创新,通常是对现有产品或者技术进行改良,以提升其性能或者降低环境影响。两者都是为了在环保领域取得进展而采取的不同策略,相辅相成,共同推动环保技术的发展和运用。数字金融对“实质性”或“策略性”绿色创新行为所能实现的碳减排效果具有怎样的异质性影响,是一个值得关注的问题。深入探讨数字金融通过影响绿色创新行为及其碳减排效果,不仅可

以加深对其理论机制的理解,还能为政策制定和实施提供重要的实证支持和指导。有助于推动数字经济与可持续发展的融合,也为应对气候变化和环境保护提供了新的思路和解决方案。

2. 文献综述

2.1. 数字金融与碳排放

有学者运用 23 个 OECD 国家数据研究发现普惠金融、能源消耗和碳排放呈正相关关系[3]。数字金融能够有效促进经济的可持续增长[4],经济增长进一步促进了碳排放的增加[5]。然而也有学者认为数字金融对碳排放量具有较强的抑制作用[6]。一方面,数字金融通过提供先进的数据分析和工具,能够帮助企业和组织更精确地评估和管理碳足迹。数字普惠金融支持了数字科技的产业化,有利于产业的数字化赋能,实现地区的碳减排[7]。结合机器学习的运用,运用传统计量模型,结合 R 语言地理坐标系统和爬虫等前沿技术构建相应指标,数字金融对地区总体碳排放量具有显著降低作用[8]。运用 GMDH 算法识别数字经济的不同维度中影响碳减排的关键因素,得出数字经济发展赋能碳减排的过程形成了四条路径[9]。

另一方面,数字金融还可以通过优化资源配置和能源使用效率来减少碳排放。数据驱动的决策和精确的预测模型可以帮助企业在生产和运营过程中减少能源消耗,改变个人和家庭的生活方式,从而降低碳排放水平。融资难是企业面临困境之一,资金充足的企业拥有更多的资源进行绿色活动,数字金融发展通过缓解地区和企业层面的融资约束、推动清洁能源的发展这两种渠道降低碳排放强度[10]。以罗默内生经济增长模型为基础,构建并阐释了数字金融影响碳排放的经济学原理和作用机制,得出数字金融的发展将通过影响居民消费理念和行为、企业生产活动方式与创新效率等方面影响碳排放,并在总体上呈倒“U”型关系[11]。消费模式的改变,是居民转向低碳生活的路径之一,有研究得出数字金融可以通过促进居民消费升级来降低碳排放强度,居民消费升级与产业升级产生协同作用,进一步强化了碳减排效果[12]。制造业作为中国工业经济的核心,绿色转型对于实现“双碳”目标尤为重要。也有研究得出数字金融的发展显著降低了制造业直接碳排放、间接碳排放和总体碳排放[13]。有学者发现数字经济发展显著促进了城市绿色技术创新水平的提升,通过绿色技术创新作用机制降低了城市碳排放水平[14]。

2.2. 数字金融与绿色技术创新

许多学者从不同的视角研究了数字金融对绿色技术创新水平的作用,其中有政策的实施效果,有研究试点政策“宽带中国”能够显著促进企业绿色创新[15]。通过环境规制,得出其可正向动态调节数字金融的绿色技术创新效应[16]。现有学术讨论了数字金融对提升企业绿色技术创新的主要路径,研究得出数字金融发展能够通过缓解融资约束激励企业绿色创新水平提升[17],通过媒体对企业的关注度,得到其会调节数字金融促进绿色创新作用的发挥,在推动绿色创新方面可以发挥积极作用[18]。还有研究得出数字金融能通过加速产业升级、提高居民收入和降低环境污染等方式间接对区域绿色创新产生积极影响[19]。

2.3. 绿色技术创新与碳排放

绿色技术创新作为应对气候变化的关键策略之一,不仅有助于降低碳排放水平,还推动了经济可持续发展和资源有效利用。绿色专利在持续碳减排中发挥不可或缺的作用,绿色技术创新与碳排放呈显著倒“U”型关系,绿色技术创新既能通过优化能源消费结构降低碳排放,又会通过阻碍产业结构升级增加碳排放[20]。有学者从碳绩效的角度分析,企业数字化转型显著提升了碳绩效,并通过绿色创新正向影响企业碳绩效水平[21]。同时,碳排放权交易政策与公众环境关注度均能发挥显著的正向调节效应。发明型、改进型绿色技术创新均在数字化建设、应用和发展水平与企业碳绩效之间起部分中介作用[22]。许多学者主要从碳排放权对绿色创新的视角研究,碳排放权交易试点政策对企业绿色创新有促进作用[23],能够促

进企业发明型绿色专利数量和专利整体质量提升[24]。提高碳信息披露质量能显著提升企业绿色创新水平,碳排放权交易与碳信息披露质量在促进企业绿色创新上存在替代关系[25]。交易多余的碳排放权会成为一种绿色创新机制,激励企业通过技术创新减少碳排放[26]。

2.4. 文献评述

在探讨数字金融与碳排放、绿色技术创新之间的关系时,现有研究展示了多重视角和复杂的互动。数字金融在推动经济增长的同时,对碳排放的影响呈现出矛盾的态势。一方面,数字金融的普及促进了经济的可持续增长,进而推动了碳排放的增加;另一方面,它也能通过提供先进的数据分析工具和优化资源配置,帮助企业减少碳足迹,并通过缓解融资难题促进绿色能源的发展,从而降低碳排放。此外,数字金融还通过改善企业绿色技术创新的融资条件和优化产业升级,间接促进了绿色技术的进步。绿色技术创新在降低碳排放方面发挥了关键作用,碳排放权交易和碳信息披露的提高,进一步促进了企业的绿色创新,并通过优化碳排放绩效和提升专利质量,形成了有效的碳减排机制。总体而言,数字金融通过多种途径对碳排放和绿色技术创新产生复杂而深远的影响,显示出数字化与环境政策之间的交互作用。

本文的边际贡献包括以下三点:首先,利用由北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服集团共同编制的中国数字普惠金融指数,研究数字金融发展与碳排放强度的关系。其次,基于绿色技术创新的视角,通过绿色专利发明和绿色实用新型专利的申请和获得,探究“实质性”或“策略性”绿色创新行为带来的碳减排效果的异质性。最后,通过对东部、中部和西部地区,资源型和非资源型的异质性分析,探究数字金融在不同地区的碳减排效果。

3. 理论分析与研究假设

3.1. 数字金融对碳排放的直接效应

数字技术的应用可以通过提供更精确和实时的数据分析能力来优化能源使用和资源配置。数字金融作为互联网时代背景下传统金融与新型数字化技术结合的产物,为碳市场和碳交易提供了更加透明和高效的平台。首先,通过区块链技术和智能合约,数字金融可以实现对可再生能源项目的融资追踪和资金流动的透明管理,从而吸引更多投资者参与绿色能源领域,促进绿色金融的发展。其次,数字金融通过实时数据监控和预测分析,能够优化能源使用效率,减少不必要的能源浪费,从而降低碳排放。最后,数字金融服务的普及和便利性也为个人和家庭参与碳减排提供了新的途径,通过改变生活模式,从而减少个体的碳足迹。数字金融通过提供先进的数据分析、提高能源效率、普及碳减排技术等方式,直接影响和降低碳排放水平,可以在一定程度上抑制地区的碳排放强度。

H1: 数字金融显著抑制了碳排放强度。

3.2. 数字金融对碳排放的间接效应

数字金融对地区绿色技术创新的促进作用体现在两个角度,申请和获得的绿色专利发明和实用新型对碳排放强度的效果。数字金融通过提高绿色专利发明和实用新型的数量和质量带来碳排放强度的降低,但是对两者的促进作用存在差异。一方面,资本市场和投资平台的数字化使得绿色技术创新者更容易获得资金和支持,从而增加了创新成果的产出;另一方面,技术质量和市场需求的匹配程度也影响着这些创新的实际应用效果。数字金融的发展对碳排放强度有显著的抑制作用,且能够通过促进技术进步来降低碳排放[27];技术进步改变了传统金融的运作方式,提供了更多的资金和市场支持。通过数字化的资本市场和投资平台,绿色技术创新者能够更容易地筹集资金,实现他们的创意和研发项目。数字金融的发展对地区碳排放强度的抑制作用,不仅仅是通过绿色技术创新和应用,还体现在其促进整体经济和能源

系统的转型。数字化技术可以提升能源效率、优化资源配置，以及推动低碳经济模式的实施，从而在全球碳减排的努力中发挥重要作用。

H2：数字金融通过促进绿色技术创新水平，进一步降低碳排放强度。

3.3. 数字金融对碳排放强度的异质性分析

东部地区通常是我国经济发展较为先进的地区，其经济结构更加多样化和服务化，拥有更为完善和先进的数字基础设施和技术应用环境。数字金融的应用可能更多集中在优化资源配置、提高能效等方面，从而降低碳排放强度。中部地区处于工业化转型过程中，数字金融的应用可能更多关注工业生产和能源消耗的优化，以及供应链的智能化管理。西部地区的经济结构可能以资源型产业为主，在数字经济发展上可能存在一定的滞后，政策支持和技术普及可能相对较弱，数字金融技术可能更多用于资源开发和环境管理。

H3a：数字金融对我国东部、中部和西部地区的碳排放强度抑制作用存在差异。

资源型省份主要以能源、矿产等资源开发为主导产业，其经济发展依赖于资源开采和加工，因此碳排放主要集中在能源消耗和工业生产过程中。非资源型省份则以服务业和制造业为主，其碳排放主要源自工业生产和城市化发展过程。这导致资源型省份的碳排放往往更高且更集中于特定领域，而非资源型省份则与经济结构和城市扩展有关。

H3b：数字数字金融对我国资源型和非资源型省份的碳排放强度影响效果不同。

4. 研究设计

4.1. 变量选取

4.1.1. 被解释变量

碳排放强度(Ci)：文章借鉴已有研究[28]基于八种化石能源的消耗量，结合标准煤折算系数和 IPCC 提供的碳排放系数估算各省二氧化碳排放量并计算碳排放强度，见表 1。计算碳排放量所用的 8 种能源终端消费数据来源于《中国能源统计年鉴》[29] [30]。

参考以往学者的做法[31]，碳排放量计算公式如下：

$$CO_2 = \sum_{i=1}^8 E_t \times SCC_t \times CEC_t \times \frac{44}{12}$$
 (1)

$$Ci = \frac{CO_2}{GDP}$$
 (2)

其中，CO₂ 为估算的碳排放量，E_t 代表代表第 t 类化石能源的消费量；SCC_t 和 CEC_t 分别表示第 t 类化石能源的标准煤折算系数和碳排放系数，44/12 表示 CO₂ 与碳的分子量之比。利用估算的排放量与相应 GDP 之比得出省域碳排放强度 Ci，即单位经济的碳排放量。

Table 1. The conversion coefficient of standard coal and the carbon emission coefficient required for estimating carbon emissions

表 1. 估算碳排放量所需标准煤的折算系数和碳排放系数

能源种类	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
SCC	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	1.33
CEC	0.7559	0.9714	0.5857	0.5538	0.5714	0.5921	0.6185	0.4483

单位：SCC (kg 标准煤·kg⁻¹)，CEC (kg·kg⁻¹ 标准煤)。注：天然气折标系数单位为 kg 标准煤 m⁻³。

4.1.2. 解释变量

数字金融发展水平(Df): 本文借助北京大学互联网金融研究中心编制的《数字金融普惠金融指数》，衡量我国省级和城市级数字金融发展程度，采用省层面口径的数字金融发展指数进行实证，将指标/100。并从覆盖广度(Bre)、使用深度(Dep)、数字化程度(Dig)三个细分维度探究。

4.1.3. 中介变量

绿色创新水平(Pat)，该指标包括各地区申请和获得的绿色发明专利(Ipat)和绿色实用新型专利(Umod)，分别代表“实质性”和“策略性”绿色创新，对专利数量指标分别取对数。

4.1.4. 控制变量

参考已有的研究，选择如下控制变量：(1) 经济发展水平(Pgdp)，用各省人均 GDP 衡量。(2) 产业结构升级(Is)，用第三产业占 GDP 比重来测度。(3) 人口规模(LNps)，使用各省年末人口总数取对数衡量。(4) 对外开放程度(Fdi)，采用进出口总额与 GDP 比重衡量。(5) 人力资本水平(Hc)，用高等学校在校学生数占总人口数来测度。(6) 政府支持(GOV)，采用地方财政支出占 GDP 比重表示。(7) 金融发展水平(Fi)，采用年末金融机构存贷款总额与 GDP 的比值表示。(8) 城镇化水平(UI)，城镇人口数占年末总人口总数表示。(9) 环境绿化(Fc)，使用绿色覆盖率表示。具体的变量见表 2 所示。

Table 2. Definition of variables

表 2. 变量定义

变量类型	变量名称	变量符号	度量方式
被解释变量	碳排放强度	Ci	CO ₂ 排放量与 GDP 比重
解释变量	数字金融发展水平	Df	北大数字普惠金融指数
中介变量	绿色发明专利	Ipat	申请和获得的绿色发明专利数取对数
	绿色实用新型	Umod	申请和获得的绿色实用新型专利数取对数
控制变量	经济发展水平	Pgdp	各省人均 GDP
	产业结构升级	Is	第三产业占 GDP 比重
	人口规模	LNps	年底人口数取对数
	对外开放程度	Fdi	进出口总额与 GDP 比重
	人力资本水平	Hc	高等学校在校学生数占总年末人口数
	政府支持	Gov	地方财政支出占 GDP 比重
	金融发展水平	Fi	年末金融机构存贷款总额与 GDP 的比值
	城镇化水平	UI	城镇人口数占年末人口总数
	环境绿化	Fc	绿色覆盖率

4.2. 模型设定

验证数字金融对地区碳排放的直接效应，以数字金融指数为解释变量，碳排放强度为被解释变量，构建基准回归模型：

$$Ci_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Df_{it} + \alpha_2 Control_{it} + province_i + year_t + \varepsilon_{it}$$
 (3)

式中，i 为省份，t 为年份，Ci_{it} 为碳排放强度，Df_{it} 为数字金融指数，Control_{it} 为随时间和省份变动的控制变量，province_i 为省份固定效应，year_t 为年份固定效应，α₀ 为截距项，ε_{it} 为随机扰动项。

除了直接效应，引入绿色技术创新变量，数字金融对碳排放强度的中介效应模型如下：

$$Pat_{it} = \beta_0 + \beta_1 Df_{it} + \beta_2 Control_{it} + province_i + year_t + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

$$Ci_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Df_{it} + \gamma_2 Pat_{it} + \gamma_3 Control_{it} + province_i + year_t + \varepsilon_{it} \tag{5}$$

式中 Pat_{it} 为地区绿色技术创新水平，包括绿色发明专利(Ipat)和绿色实用新型专利(Umod)， β_0 、 γ_0 为截距项， β_1 、 β_2 、 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 、均为待估系数，其他变量不变。

4.3. 数据来源

本文选取 2011~2022 年中国 30 个省市自治区(除去西藏自治区、香港和澳门特别行政区，台湾地区)面板数据作为研究对象，碳排放相关的能源消费量来源于《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》，北京大学互联网金融研究中心编制的《数字金融普惠金融指数》，绿色创新的专利数据来自 CNRDS 数据库，控制变量来自国家统计局、各省市统计年鉴以及国泰安 CSMAR。

5. 结果与讨论

5.1. 基准回归分析

以碳排放强度为被解释变量，数字金融发展水平总指数为解释变量，对模型(3)进行回归，结果如表 3 所示。

从表 3 列(1)和列(2)可以看出，无论是否加入控制变量，数字金融(Df)对碳排放强度(Ci)都呈现出显著负相关的关系，在不加任何控制变量和不加入金融发展水平(Fdl)的情况下，在 1%的水平下显著，加入所有控制变量后，显著性水平为 5%，验证了假设 H1，即数字金融的发展对碳排放强度有显著的抑制性。在加入金融发展水平后显著性有所降低，数字金融对碳排放强度的影响可能部分被金融发展水平解释掉，导致数字金融本身的显著性降低。

Table 3. Baseline regression results of digital finance on carbon emission intensity
表 3. 数字金融对碳排放强度基准回归结果

	(1) Ci	(2) Ci	(3) Ci
Df	-0.413*** (0.015)	-0.249*** (0.080)	-0.177** (0.084)
pgdp		-0.576* (0.325)	-0.791** (0.332)
ind		0.050*** (0.007)	0.055*** (0.007)
lnps		1.227*** (0.400)	1.070*** (0.401)
open		-0.255 (0.243)	-0.319 (0.242)
hc		20.724** (9.320)	27.745*** (9.602)

续表

gs		-2.013***	-1.686**
		(0.683)	(0.687)
ul		-5.992***	-5.955***
		(1.142)	(1.131)
fc		-0.025**	-0.030**
		(0.013)	(0.013)
fdl			-0.178***
			(0.067)
_cons	3.438***	1.363	5.108
	(0.040)	(4.848)	(5.004)
N	360	360	360
r2	0.698	0.802	0.807
r2_a	0.670	0.779	0.783

注：括号内为标准误，***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著，下表同。

以碳排放强度为被解释变量，数字金融三个维度：覆盖广度、使用深度和数字化程度，分别纳入解释变量，对模型(3)进行回归，结果如表 4 所示。

在加入所有控制变量之后，结果显示数字金融各细分维度对碳排放强度的抑制作用产生显著性的影响。其中，数字化程度对碳排放强度的抑制效果显著高于覆盖广度和使用深度，显著性水平为 1%。可能是因为数字化程度通常涉及更先进的技术和优化工具，这些技术能更有效地监测和管理碳排放。数字化提高了数据处理的精度和实时性，使得企业能更精准地实施环保措施，从而更显著地减少碳排放。

Table 4. Regression results of digital finance sub-dimensions on carbon emission intensity

表 4. 数字金融子维度对碳排放强度的回归结果

	(1) Ci	(2) Ci	(3) Ci
bre	-0.219** (0.100)		
dep		-0.129** (0.052)	
dig			-0.112*** (0.025)
pgdp	-0.741** (0.342)	-1.845*** (0.276)	-0.974*** (0.209)
ind	0.054*** (0.007)	0.044*** (0.007)	0.054*** (0.006)
lnps	1.061*** (0.400)	0.783* (0.399)	1.005*** (0.387)

续表

open	-0.367 (0.247)	-0.179 (0.234)	-0.369 (0.232)
hc	31.469*** (9.509)	31.274*** (9.484)	19.070** (9.647)
gs	-1.554** (0.703)	-2.261*** (0.665)	-1.745*** (0.651)
fdl	-0.192*** (0.065)	-0.270*** (0.066)	-0.174*** (0.063)
ul	-5.362*** (1.154)	-5.008*** (1.181)	-5.689*** (1.106)
fc	-0.031** (0.013)	-0.032** (0.013)	-0.039*** (0.013)
_cons	4.339 (5.154)	18.575*** (4.453)	7.909** (3.722)
N	360	360	360
r2	0.807	0.808	0.815
r2_a	0.783	0.784	0.793

5.2. 中介效应回归结果分析

理论分析假设数字金融通过促进绿色技术创新水平减少碳排放，为验证这一假设，以绿色发明专利(Ipat)和绿色实用新型专利(Umod)为中介变量进行回归，见表 5 所示。列(1)是基于模型(3)的基准回归结果，列(2)，(3)是基于模型(4)的回归结果，绿色发明专利和实用新型专利显著性均为 1%，表明数字金融显著促进了地区绿色技术创新。列(4)，(5)是基于模型(5)的回归结果，显示了数字金融和绿色技术创新对碳排放的影响效应，显著性为负，表明数字金融通过推动绿色技术创新减少了碳排放强度，存在显著的中介效应。在分别加入绿色发明专利和实用新型专利后，数字金融对碳排放的抑制效应显著性不同，分别在 5%和 10%水平下显著。

Table 5. Regression results of digital finance on green technological innovation
表 5. 数字金融对绿色技术创新的回归结果

	(1) Ci	(2) Ipat	(3) Umod	(4) Ci	(5) Ci
Df	-0.177** (0.084)	0.210*** (0.072)	0.217*** (0.076)	-0.170** (0.085)	-0.147* (0.084)
Ipat				-0.035 (0.065)	
Umod					-0.139** (0.062)

续表

pgdp	-0.791** (0.332)	1.206*** (0.284)	1.110*** (0.299)	-0.748** (0.341)	-0.636* (0.337)
ind	0.055*** (0.007)	-0.008 (0.006)	-0.014** (0.006)	0.054*** (0.007)	0.053*** (0.007)
lnps	1.070*** (0.401)	0.624* (0.343)	1.163*** (0.361)	1.092*** (0.403)	1.232*** (0.405)
open	-0.319 (0.242)	-0.252 (0.207)	-0.696*** (0.218)	-0.328 (0.243)	-0.416* (0.244)
hc	27.745*** (9.602)	-37.924*** (8.226)	10.856 (8.650)	26.414*** (9.927)	29.259*** (9.564)
gs	-1.686** (0.687)	1.440** (0.589)	4.373*** (0.619)	-1.636** (0.694)	-1.076 (0.734)
fdl	-0.178*** (0.067)	0.023 (0.057)	-0.200*** (0.060)	-0.177*** (0.067)	-0.206*** (0.068)
ul	-5.955*** (1.131)	4.268*** (0.969)	5.908*** (1.019)	-5.805*** (1.166)	-5.131*** (1.182)
fc	-0.030** (0.013)	-0.021* (0.011)	-0.037*** (0.011)	-0.031** (0.013)	-0.036*** (0.013)
_cons	5.108 (5.004)	-12.260*** (4.287)	-16.099*** (4.508)	4.678 (5.073)	2.862 (5.070)
N	360	360	360	360	360
r2	0.807	0.909	0.928	0.807	0.810
r2_a	0.783	0.898	0.919	0.783	0.786

5.3. 异质性分析

5.3.1. 地理区位异质性分析

由于我国不同地区的发展状况存在差异，本文将 30 个省市区分组为三个子样本：东部地区(11 个)、中部地区(8 个)、西部地区(11 个)，分别探究数字金融在不同的地区对碳排放强度的差异性，回归结果见表 6 所示。

第(1)至(3)列分别代表东部、中部和西部地区数字金融发展对碳排放的影响效果，从抑制效果的角度分析，中部地区的效果优于东部地区，中部地区的系数在 1%水平下显著为负，表明数字金融在中部地区高效发挥了碳减排效应，在东部地区也有显著的抑制作用。数字金融对碳排放的抑制效果不如中部地区显著，由于东部地区经济发展更为成熟，已经有较高水平的数字基础设施和技术应用，因此数字金融对碳减排的额外效益相对较少。西部地区出现了正数，可能的原因包括西部地区对外开放程度低，数字基础设施建设和应用程度较低，因此数字金融在这个地区无法有效地发挥减排效果，甚至可能存在一些阻碍因素。

Table 6. Geographic heterogeneity analysis of the impact of digital finance on carbon
表 6. 数字金融对碳排放的地理区位异质性分析

	东部地区 (1)	中部地区 (2)	西部地区 (3)
Df	−0.174** (0.074)	−0.517*** (0.128)	0.093 (0.198)
控制变量	是	是	是
省份固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
_cons	−6.697 (4.082)	12.922 (10.069)	26.452** (12.856)
N	132	96	132
r2	0.891	0.920	0.845
r2_a	0.872	0.902	0.818

5.3.2. 资源禀赋异质性分析

资源型省份通常以煤炭、石油、天然气等传统能源为主，这些能源在燃烧过程中会释放大量的碳排放。非资源型省份可能更多依赖清洁能源如水力、风能、太阳能等，碳排放量相对较低。资源型和非资源型省份在能源结构和碳排放水平上的差异会影响数字金融在减排方面的具体作用和效果。因此将资源型城市在 5 个及 5 个以上的省份(12 个：辽宁、黑龙江、吉林、河北、内蒙古、江西、山东、山西、河南、新疆、湖南、四川)划分为资源型省份，其余划为非资源型省份，分别对两类样本进行回归。

Table 7. Resource endowment heterogeneity analysis of the impact of digital finance on carbon emissions
表 7. 数字金融对碳排放的资源禀赋异质性分析

	资源型省份 (1)	非资源型省份 (2)
Df	−0.465*** (0.147)	0.035 (0.096)
控制变量	是	是
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
_cons	22.821** (10.696)	6.464 (5.848)
N	144	216
r2	0.851	0.837
r2_a	0.826	0.814

见表 7 列(1)显示了数字金融对资源型省份碳排放的效果，系数在 1%的水平下显著为负，表明数字金融在这些地区仍然发挥了碳减排效应。资源型省份通常依赖传统能源，如煤炭和石油，这些能源的燃烧过程中释放的碳排放量很高。数字金融技术可以通过优化能源使用效率、减少能源浪费和提高生产效

率，从而减少了整体的碳排放。列(5)显示了数字金融对非资源型省份碳排放的效果，数字金融系数出现了正数，表明出现了碳减排的阻碍。非资源型省份可能已经较为广泛地使用清洁能源，如风能、太阳能等，这些能源本身碳排放较低，因此数字金融的应用并未在减少碳排放方面发挥明显作用。

5.4. 内生性检验

将数字金融指数滞后一期作为工具变量，使用 2SLS 重新进行回归分析，根据表 8 的第(1)列结果，第一阶段的回归系数在 1%的显著性水平下显著，表明当前数字金融发展水平与滞后一期的数字金融发展水平之间存在显著的相关性。而第(2)列的回归结果显示，使用工具变量后，数字金融的回归系数依然显著为负，表明上述回归结果具有稳健性。

Table 8. Lagged one-period regression results of digital finance

表 8. 数字金融滞后一期回归结果

	(1) Df	(2) ci
L.df	0.559*** (0.032)	
Df		-0.289** (0.114)
_cons	-14.504*** (1.922)	6.487 (5.205)
控制变量	是	是
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
N	330	330
r2	0.991	0.785
r2_a	0.990	0.755

5.5. 稳健性检验

首先替换被解释变量，采用各地区人均碳排放量作为被解释变量替换碳排放强度，对基准模型进行回归，如表 9 列(1)所示，数字金融的系数在 1%的水平下显著为负，再一次验证了其对碳排放的显著抑制效果。其次排除政策干扰，考虑到部分省市是碳交易试点，可能会放大数字金融的抑制效应，因而剔除样本中碳交易试点的省份 6 个(北京市、天津市、上海市、重庆市、湖北省、广东省、福建省)，回归结果如表 9 第(2)列所示，数字金融系数在非试点地区的作用也显著为负。两种方式的稳健性检验都显示了数字金融对碳排放强度的影响显著为负，证明了数字金融对碳排放强度的直接抑制作用的稳健性。

6. 结论与对策建议

6.1. 研究结论

本文通过构建碳排放强度指标，使用北京大学数字普惠金融指数，对 2011~2022 年中国 30 个省市自治区为研究对象，基于面板数据进行实证研究，经过中介效应、内生性、稳健性一系列模型检验，得出如下结论：第一，数字金融对地区碳排放强度具有显著抑制效果，这一结论在经过内生性和稳健性检

Table 9. Robustness regression results
表 9. 稳健性回归结果

	替换被解释变量 (1) Eveci	排除政策干扰 (2) Ci
Df	-0.241*** (0.043)	-0.241** (0.104)
控制变量	是	是
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
N	360	288
r2	0.229	0.827
r2_a	0.135	0.804

验后依然成立；数字金融三个子维度对碳排放抑制产生了不同程度的影响，力度为数字化程度 > 覆盖广度，使用深度对于碳排放强度的影响并不显著。第二，研究揭示了数字金融对地区碳排放强度的影响机制。实证结果表明，数字金融通过提升地区的绿色创新水平，从而降低碳排放强度。此外，数字金融对策略性创新和实质性创新都具有较好的促进效果。第三，异质性分析表明，在不同的地理区位，数字金融对中部地区与资源型省份的减排效果较强，对东部地区的减排效果减弱，在西部和非资源型地区效果并不显著。表明我国金融发展水平在应用上存在一定的不平衡性和差异性，应因地制宜实施数字金融战略。

6.2. 对策建议

根据研究结论，提出如下三点建议：

第一，提升数字金融服务水平，充分发挥数字金融在碳减排中的持续作用，增强数字金融的数字化程度和覆盖广度。充分发挥“新基建”政策的优势，借助数字技术的力量，实现数字金融与大数据、人工智能和区块链等高端技术的深度融合。通过政策支持和市场机制，降低中小企业和个人用户使用数字金融服务的门槛，低手续费的数字支付平台、小额信贷和普惠金融服务，以减少数字金融的使用成本，并鼓励更多企业和个人积极参与。大力投入建设高效的数字基础设施，扩大网络覆盖和连接质量，尤其是在偏远的西部地区，确保更多企业和个人能够享受到数字金融服务。

第二，支持绿色创新，推动绿色金融产品和服务，以增强数字金融的环境效益。政府可以设立专项基金，同时提供税收优惠和补贴，支持企业和研究机构从事绿色技术和创新的研究与应用。金融机构积极推动绿色债券、绿色基金等金融产品的开发和普及，这些产品将资金导向环保和低碳项目，助力实现碳减排目标。机构和投资者更多关注环境、社会及治理(ESG)因素，将其纳入投资决策标准，促进社会和环境效益的双赢。

第三，量身定制和实施地区性数字金融政策，优化减排效果。根据当地的资源禀赋和环境特征，设计针对性的激励政策，鼓励绿色技术和可持续项目的投资。中东部地区技术水平相对成熟、人才资源丰富，金融市场比较完善，碳交易市场规模大，可以利用先进的金融科技和服务创新模式，比如金融机构开发绿色信贷产品，提供优惠利率和灵活的还款方式，特别是针对那些进行低碳技术研发和推广的企业；利用发达的数字基础设施，搭建专门的绿色融资平台，方便企业和投资者直接对接，为低碳活动开展分

担风险。合理开发和利用西部地区丰富的能源资源,推动能源结构优化,通过引入先进的数字技术,通过培训和技术支持,资源利用效率,减少环境影响。资源型省份往往依赖于高碳排放的能源和工业,数字金融的介入能更有效地支持这些领域的绿色转型。在非资源型省份,可以关注提升资源利用效率和减少生活服务领域的碳排放,而在资源型省份则侧重于大规模的清洁能源投资和污染治理。因此,建立跨区域合作机制,互通信息、资源和经验,促进金融机构和环保组织之间的合作,共同开发适合不同地区的绿色金融产品和服务,推动低碳经济的发展,实现区域间的共同进步。

参考文献

- [1] 赵宸元, 冯爱惠. 数字金融对碳排放效率的影响路径研究——基于省域面板的动态 QCA 分析[J/OL]. 重庆文理学院学报(社会科学版): 1-18. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1182.c.20240208.2127.002.html>, 2024-08-03.
- [2] 周雷, 王可欣, 宋佳佳, 等. 金融强国视域下数字金融服务实体经济高质量发展路径研究[J]. 农村金融研究, 2024(5): 45-57.
- [3] Zaidi, S.A.H., Hussain, M. and Uz Zaman, Q. (2021) Dynamic Linkages between Financial Inclusion and Carbon Emissions: Evidence from Selected OECD Countries. *Resources, Environment and Sustainability*, **4**, Article ID: 100022. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100022>
- [4] Sun, Y. and Tang, X. (2022) The Impact of Digital Inclusive Finance on Sustainable Economic Growth in China. *Finance Research Letters*, **50**, Article ID: 103234. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103234>
- [5] Liu, Y., Yan, B. and Zhou, Y. (2015) Urbanization, Economic Growth, and Carbon Dioxide Emissions in China: A Panel Cointegration and Causality Analysis. *Journal of Geographical Sciences*, **26**, 131-152. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1259-2>
- [6] Sun, B., Li, J., Zhong, S. and Liang, T. (2023) Impact of Digital Finance on Energy-Based Carbon Intensity: Evidence from Mediating Effects Perspective. *Journal of Environmental Management*, **327**, Article ID: 116832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116832>
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 张修凡, 廖中举. 数字经济发展赋能碳减排的多重路径——基于中国省域的组态分析[J]. 统计与决策, 2024, 40(8): 126-131.
- [10] 常雅丽, 张嘉琦, 周红兰. 数字金融对碳排放强度的影响——来自中国城市的经验证据[J]. 区域金融研究, 2024(3): 10-21.
- [11] 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.
- [12] 侯昱丞, 程铁军, 笪源洁. 数字金融、消费升级与碳排放强度[J]. 生产力研究, 2024(5): 128-133.
- [13] 龙池, 张红梅. 数字金融如何影响制造业碳排放——基于企业数字化转型的视角[J]. 金融理论与实践, 2023(10): 67-78.
- [14] 郭丰, 杨上广, 任毅. 数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 51(3): 45-60.
- [15] 肖仁桥, 崔琦, 钱丽. “宽带”中国试点政策对企业绿色创新的影响——数字金融、数字化转型的中介效应[J/OL]. 科技进步与对策: 1-10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20240125.1554.010.html>, 2024-08-07.
- [16] 韩先锋, 郑酌基, 宋文飞, 等. 环境规制调节下数字金融对绿色技术创新的动态影响研究[J]. 管理学报, 2023, 20(8): 1180-1188.
- [17] 翟华云, 刘易斯. 数字金融发展、融资约束与企业绿色创新关系研究[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(17): 116-124.
- [18] 王平, 张丽娟. 数字金融、媒体关注与企业绿色创新——基于门槛效应模型的实证检验[J]. 会计之友, 2024(8): 32-41.
- [19] 韩先锋, 陈龙涛, 李勃昕, 等. 数字金融何以能诱发区域绿色创新? [J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(10): 114-130.
- [20] 徐俊武, 陈钊雄. 绿色技术创新对碳排放的影响效应——非线性中介效应与调节效应分析[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(8): 22-32.

-
- [21] 马苓, 刘硕, 郑敏娜. 企业数字化转型、绿色创新与碳绩效——碳排放权交易政策与公众环境关注度的调节作用[J]. 研究与发展管理, 2024, 36(2): 63-73.
- [22] 肖仁桥, 王冉, 钱丽. 数字化水平对企业碳绩效的非线性影响——绿色技术创新的中介作用[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(5): 96-106.
- [23] 李露茜, 吴施, 田原. 碳排放权交易与企业绿色技术创新[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(6): 89-99.
- [24] 肖龙阶, 陈实, 袁潮清. 异质性视角下碳排放权交易政策对企业绿色创新影响分析——基于上市公司的绿色专利数据[J]. 科技管理研究, 2023, 43(2): 177-185.
- [25] 刘丽娜, 赵迎新. 碳信息披露质量、碳排放权交易与企业绿色创新——来自我国高碳行业上市公司的经验证据[J]. 会计之友, 2023(17): 27-34.
- [26] Zhang, M. and Liu, Y. (2022) Influence of Digital Finance and Green Technology Innovation on China's Carbon Emission Efficiency: Empirical Analysis Based on Spatial Metrology. *Science of the Total Environment*, **838**, Article ID: 156463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156463>
- [27] 周泽炯, 杨曦. 数字金融对碳排放强度的影响效应研究[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2024, 31(1): 12-18.
- [28] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 等. 中国省域碳强度空间依赖格局及其影响因素的空间异质性研究[J]. 地理科学, 2018, 38(5): 681-690.
- [29] 国家统计局能源司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [30] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [31] 高长春, 刘贤赵, 李朝奎, 等. 近 20 年来中国能源消费碳排放时空格局动态研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 747-757.