

应用统计 与数据科学

Applied Statistics and Data Science



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(517 666 0904)

263 S KENWOOD ST 560

CASPER, WY 82601

Copyright © 2026 by ART AND TECHNOLOGY PRESS INC. (United States)

Complimentary Copy



ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.
(United States)

编委会名单

主 编



王国长 (Guochang Wang), 暨南大学 (Jinan University),
邮箱: wanggc023@amss.ac.cn
研究兴趣: 函数型数据分析、时间序列、充分性降维、统计与机器学习
functional data analysis, time series, sufficiency dimension reduction, statistics and machine learning

执行副主编



张兴发 (Xingfa Zhang), 广州大学 (Guangzhou University),
邮箱: xingfazhang@gzhu.edu.cn
研究兴趣: 金融统计、环境统计、机器学习
financial statistics, environmental statistics, machine learning

编 委



胡志勇 (Zhiyong Hu), 广州大学 (Guangzhou University)
邮箱: zhyhu65@163.com
研究兴趣: 大数据, 人工智能, 财务与会计
big data, artificial intelligence, finance and accounting



雷田礼 (Tianli Lei), 深圳职业技术大学 (Shen Zhen Polytechnic University)
邮箱: ltl@szpu.edu.cn
研究兴趣: 数量经济、高职数学教育
auantitative economics, higher vocational mathematics education



舒连杰 (Lianjie Shu), 澳门大学 (University of Macau),
邮箱: ljshu@um.edu.mo
研究兴趣: 量化金融, 统计学习, 质量控制及管理
quantitative finance, statistical learning, quality control and management



王纬 (Wei Wang), 山东财经大学 (Shandong University of Finance and Economics)
邮箱: wangwei_0115@sdufe.edu.cn
研究兴趣: 统计机器学习、应用统计、计量经济
statistical machine learning, applied statistics, econometrics



杨凯 (Kai Yang), 长春工业大学 (Changchun University of Technology)
邮箱: yangkai@ccut.edu.cn
研究兴趣: 时间序列分析、高维数据分析、贝叶斯分析
time series analysis, high-dimensional data analysis, bayesian analysis



周彦 (Yan Zhou), 深圳大学 (Shenzhen University)
邮箱: zhouy1016@163.com
研究兴趣: 生物统计, 数据科学
Biostatistics, data science



李永明 (Yongming Li), 上饶师范学院 (Shangrao Normal University)
邮箱: lym1019@163.com
研究兴趣: 非参数统计, 金融统计, 极限理论与统计大样本性质, 小波方法
nonparametric statistics, financial statistics, limit theory and statistical large sample theory, wavelet method



刘照德 (Zhao de Liu), 广东财经大学 (Guangdong University of Finance & Economics)
邮箱: lzhaode@163.com
研究兴趣: 经济统计、多元统计、计量分析
economic statistics, multivariate statistics, econometric analysis



王小刚 (Xiaogang Wang), 北方民族大学 (North Minzu University)
邮箱: wongone@163.com
研究兴趣: 经济与社会统计
economic and social statistics



严晓东 (Xiaodong Yan), 西安交通大学 (Xi'an Jiaotong University)
邮箱: yanxiaodong@xjtu.edu.cn
研究兴趣: 统计机器学习、智能体统计学
statistical machine learning, agent statistics



朱柯 (Ke Zhu), 香港大学 (The University of Hong Kong)
邮箱: mazhuke@hku.hk
研究兴趣: 统计建模、金融时间序列分析、计量经济、金融大数据
statistical modeling, financial time series analysis, econometrics, financial big data

应用统计与数据科学

Applied Statistics and Data Science

第2卷 第8期 2026年8月刊

主办单位: ART AND TECHNOLOGY PRESS INC.

(United States)

承办单位: 广州统计师事务所

指导单位: 广东省现场统计学会、广州市统计学会

主 编: 王国长

执行副主编: 张兴发

编 委: 胡志勇、李永明、雷田礼、刘照德、
舒连杰、王小刚、王 伟、严晓东、
杨 凯、朱 柯、周 彦

地 址: 263 S KENWOOD ST 560

CASPER,WY 82601

网 址: <https://arttechpress.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、翻
译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著作
权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



管理统计 | MANAGEMENT STATISTICS

- 001 高质量发展背景下国有建投集团内部审计转型的实践路径 梁卫关
Practical Pathways for the Transformation of Internal Auditing in State-Owned
Construction Investment Groups under the Context of
High-Quality Development Liang Weiguan
- 005 “业审融合”视角下芯片设计公司委外流片存货审计探析 陈思霓
Bridging Business and Audit: An Inventory Audit Study of Outsourced Wafer Fabrication
for Chip Design Companies Chen Sini
- 009 数字化背景下应收应付账款与发票管理的效率提升策略 唐智琴
Efficiency Enhancement Strategies for Accounts Receivable, Accounts Payable and
Invoice Management in the Digital Context Tang Zhiqin
- 013 轻罪案件附条件不起诉的制度设计与实践路径研究 随新穎
Research on the Institutional Design and Practical Pathways of Conditional
Non-Prosecution in Minor Offense Cases Sui Xinying

统计与教育教学 | STATISTICS AND EDUCATION TEACHING

- 019 数智时代统计人才思政素质培养的生成逻辑与实践路径 肖敏, 沈绍伟, 陈浩
Cultivating Ideological and Political Literacy among Statistics Professionals
in the Era of Digital Intelligence: Formation Logic
and Practical Pathways Xiao Min, Shen Shaowei, Chen Hao
- 024 基于 AI 的《应用多元统计分析》课程混合式
教学改革研究 刘晨, 陈文兵, 余戡
AI-Based Blended Teaching Reform of the Course “Applied Multivariate
Statistical Analysis” Liu Chen, Chen Wenbing, Yu Kan
- 028 层级化问题链驱动的概率论智慧教学改革与实践 张春月
Reform and Practice of Wisdom Teaching for Probability Theory Driven by
Hierarchical Problem Chains Zhang Chunyue

数据科学技术、方法与应用 | DATA SCIENCE TECHNOLOGY, METHODS AND APPLICATIONS

- 033 融合多源运行特征与深度集成学习
的短期电价预测 张瑞, 张臣磊, 闫强强, 魏裕邦, 胡涛, 张学功
Short-Term Electricity Price Forecasting via Multi-Source Operational
Features and Deep Ensemble Learning Zhang Rui, Zhang Chenlei, Yan Qiangqiang,
Wei Yubang, Hu Tao, Zhang Xuegong
- 038 从数据资产到数据要素: 价值评估的知识图谱
与可视化分析 苏诺亚, 张治国, 万宇雷, 王国强
From Data Asset to Data Element: Knowledge Graph and Visual Analysis
of Value Assessment Su Nuoya, Zhang Zhiguo, Wan Yulei, Wang Guoqiang
- 047 考虑分时拥堵与返回时限的多车辆同时取送路径优化研究 李美娇
Multi-Vehicle Simultaneous Pickup and Delivery Routing with Time-Dependent
Congestion and Return Deadline Li Meijiao
- 054 中国绿色金融市场风险溢出的时频特征——基于多矩连通性网络 何欣
Time-Frequency Characteristics of Risk Spillovers in China's Green Financial Market —
Evidence from a Multi-Moment Connectedness Network He Xin

统计方法及应用 | STATISTICAL METHODS AND APPLICATIONS

061	乡村居住环境质量评价与经济发展耦合协调度研究 Research on the Coupling Coordination Degree Between Rural Living Environment Quality Assessment and Economic Development	吴涵 Wu Han
066	中国股市波动特征的时变性及 VaR 风险度量 Time-Varying Volatility Characteristics and VaR Risk Measurement in Chinese Stock Market	徐思睿 Xu Sirui
072	人工智能政策对企业绩效的影响研究 The Impact of Artificial Intelligence Policy on Firm Performance:Evidence from Chinese Listed Companies	吴嘉润, 赵娜娜, 苑孟理想, 赵芯禾, 孟嘉豪, 刘新红 Wu Jiarun, Zhao Nana, Yuan Menglixiang, Zhao Xinhe, Meng Jiahao, Liu Xinhong
077	数字经济缓解中小企业融资约束的机制与路径研究 Research on the Mechanism and Path of Digital Economy Alleviating Financing Constraints of Small and Medium-sized Enterprises	姚煜柔 Yao Yurou
083	信贷服务对农户林业经营性收入的影响效应及机制 The Impact and Mechanism of Credit Services on Farmers' Forestry Operating Income	罗慧仪, 翁佳昕 Luo Huiyi, Weng Jiaxin

高质量发展背景下国有建投集团内部审计转型的实践路径

梁卫关

广东省广晟建设投资集团有限公司，广东 广州 510650

DOI:10.61369/ASDS.2026080001

摘要：高质量发展要求国有建设投资集团内部审计从传统合规审查向价值创造型治理转型。本文以某省属大型建投集团为研究对象，分析高质量发展对多子企业集聚型建投集团内部审计在战略、业务、技术层面的新要求，揭示业审融合壁垒、整改闭环断点、风险防控滞后、数智化基础薄弱及复合型人才短缺五重困境及其成因，提出闭环式整改、业审融合、穿透式防控、数智化赋能以及复合型人才队伍建设五条转型路径，构建“四维+人才保障”的转型实践框架，为同类型国有建投集团内部审计实现战略增值提供实践参照。

关键词：高质量发展；国有建投集团；内部审计转型；业审融合；审计整改闭环

Practical Pathways for the Transformation of Internal Auditing in State-Owned Construction Investment Groups under the Context of High-Quality Development

Liang Weiguan

Guangdong Rising Construction Investment Group Co.Ltd., Guangzhou, Guangdong 510650

Abstract： High-quality development demands that internal auditing within state-owned construction investment groups transition from traditional compliance reviews to value-creating governance. Taking a large provincial-level construction investment group as the case study, this paper analyzes the new requirements imposed by high-quality development on internal auditing in multi-entity, aggregated construction investment groups across strategic, operational, and technological dimensions. It identifies five key challenges—barriers to integration between operations and auditing, gaps in corrective action follow-up, lagging risk prevention, weak digital and intelligent foundations, and shortages of multidisciplinary talent—and their underlying causes. The paper proposes five transformation pathways: closed-loop rectification, integrated operation-audit collaboration, penetrative risk control, digital and intelligent empowerment, and building a team of multidisciplinary professionals. It constructs a practical transformation framework combining "four dimensions plus talent assurance," offering a reference for internal auditing in similar state-owned construction investment groups to achieve strategic value creation.

Keywords： high-quality development; state-owned construction investment group; internal audit transformation; integration of business and audit; closed-loop audit rectification

引言

党的二十大报告强调，高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，国有企业在其中承担着核心使命。审计作为国有企业治理体系的重要组成部分，需要在审计目标、审计模式及审计过程等多个维度进行系统性调整和变革^[1]。2023年启动的新一轮国企改革深化提升行动，对国有资本布局优化、公司治理提质提出了更高要求，内部审计正被推向从“合规检查者”到“价值创造者”转型的关口。

本文所依托的某省属建设投资集团（简称“某建投集团”），是省属国有独资重点企业，前身为军办企业，历经三十余年发展，已成长为以建筑工程施工为核心、涵盖基础设施投资建设与运营的大型企业集团。业务上的复杂和合规上的严格给内部审计工作带来了很大挑战。从行业整体来看，建筑类央企的数字化审计转型正在持续推进^[2]，这为建投集团的内部审计变革提供了参照背景。为深入回

作者简介：梁卫关（1982.02-），男，汉族，广东茂名，本科，会计师，研究方向：国有建投集团业审融合研究。

答该集团内部审计如何通过转型适应高质量发展，下文将剖析高质量发展对建投集团内部审计提出的新要求及由此暴露的现实困境与成因，进而构建系统性转型路径。

在数字化转型浪潮下，建筑类央企内部审计正经历深刻变革，数字化技术重塑了审计环境与对象，审计职能从“事后纠偏”向“价值共创”转变。已有研究指出，国有企业内部审计需从监督导向转向价值增值导向，数智化转型与业审融合是核心趋势^[3]。但针对拥有多家子企业的国有建筑施工集团内部审计转型的研究尚不充分，本文立足该集团实践，提出系统性转型路径，旨在为同类企业提供参考。

一、高质量发展下建投集团内部审计的要求、现实困境与成因分析

高质量发展对国有建投集团内部审计的要求通过战略、业务、技术三个层面传导为审计监督的刚性约束。这些新的更高要求，使得当前内部审计工作中隐藏的短板充分暴露。本章逐层剖析这些要求、对应的困境及其深层成因，为后续转型路径设计提供逻辑起点。

（一）战略层面要求服务国企改革深化，暴露出业审融合的组织壁垒

高质量发展要求国有资本向关系国家安全、国民经济命脉的重要行业和关键领域集中。某建投集团深入践行特色经营理念，实施“提质增效”与“新质生产力跃升”计划。内部审计需要跳出传统的财务监督框架，紧扣增强核心竞争力、强化核心功能的双重目标，将审计视角贯穿战略规划落地、重大决策执行、经营效能评估的全链条，为企业高质量发展提供全周期支撑保障^[4]。

然而，当前审计与业务之间存在明显的“信息孤岛”。集团下属多家子企业，各企业信息系统独立建设，数据标准不统一，审计人员跨系统采集合同、成本、资金等数据时面临取数周期长、口径不一致、业财数据难以勾稽等问题。深层原因在于审计部门与业务部门之间缺少制度化的协同机制，技术层面各系统数据没有真正打通，“业审融合”理念被组织壁垒和系统割裂双重束缚。在高质量发展要求审计主动评价战略执行效果的当下，如果信息壁垒打不破，审计就无法获取战略层面的完整数据，业审融合已从“锦上添花”变为“生存前提”。

（二）业务层面要求差异化风险导向审计，暴露出审计整改的闭环断点

集团以工程建设为主业，旗下拥有多家施工企业和项目公司，业务涉及房屋建筑、公路工程、通信工程、爆破拆除、工业与民用建筑等多个细分领域，各企业历史沿革、资质等级、人员结构和管理水平差异显著。工程板块资金密集、周期长，招投标和分包管理事项繁杂；基础设施投资板块涉及 BT、PPP 等模式，项目回款周期长，政府信用风险突出。面对这种“多企业、同主业但发展不均衡”的业务格局，内部审计需要建立分企业、差异化的风险导向审计模式，并通过高质量的审计整改推动管理提升。

但在实际工作中，审计整改常常“屡审屡犯”，走的是“审计发现—报告反馈—书面整改—问题反弹”的循环。成因有三：整改责任没有被业务部门真正当成自己的事情；有些问题没有从制度流程的根子上深挖，同样的问题在不同子公司反复出现；缺

少量化的整改效果评价标准，难以区分实质性改进与形式性应付^[5]。在高质量发展要求多子企业集聚型建投集团实现精准治理的背景下，整改闭环一旦断裂，差异化审计的成果就无法转化为管理改进，审计价值在“最后一公里”被严重消耗。

（三）技术层面要求审计方式数智化转型，暴露出数据基础与人才能力的双重短板

集团正在加速推进业财一体化和数字化管理平台建设，海量业务数据实时生成。审计手段若停留在抽样查账和手工比对层面，就无法有效穿透信息屏障，内部审计的数智化转型已从“可选项”变为“必选项”。

这一要求暴露出两个互相关联的短板。其一，审计数智化基础薄弱。各子企业信息系统建设水平参差不齐，审计数据标准尚未统一，历史审计经验未能有效沉淀为可量化的风险规则，风险预警高度依赖人工经验判断，防控偏重事后而缺乏事前预警。敏捷审计所强调的迭代交付和快速响应机制，正是破解这一矛盾的重要思路^[6]。新质生产力的发展对建筑行业内控审计的数字化水平提出了更高要求，数据标准不统一、预警规则缺失等问题若不解决，数智化转型就难以真正落地^[7]。其二，复合型审计人才结构性短缺。现有审计人员知识背景以财会为主，对工程技术和 IT 系统的理解普遍不够。高质量发展带来了新质生产力、数智化运营等新课题，要求审计人员理解智能建造、数字化管理等全新的业务逻辑，这进一步拉大了现有人才能力与审计需求之间的缺口。

综上，高质量发展从战略、业务、技术三个层面对内部审计提出了更高要求，正是这些要求让业审融合壁垒、整改闭环断点、风险防控滞后、数智化基础薄弱以及人才短缺五个困境从“隐性”走向“显性”，从“可以容忍”变为“不能再容忍”。这些困境相互交织、互为因果：业审融合的壁垒让整改更加表面化，数智化基础的薄弱又制约了风险预警能力，而人才短缺是所有问题的深层症结，一个系统性的转型方案已经非常迫切。

二、突破路径：“四维 + 人才保障”转型实践框架

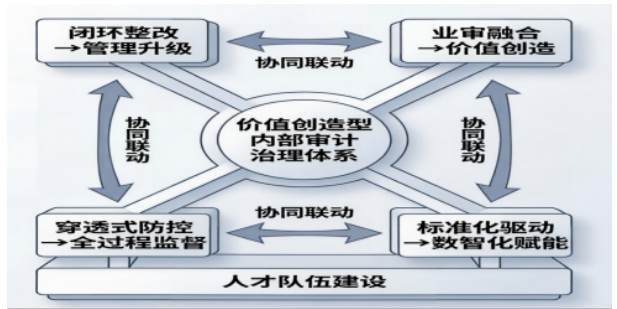
基于第二章识别的五重困境，本章构建一一对应的转型路径。下表明确了这种对应关系：困境一“整改闭环断点”对应路径一“构建审计整改闭环体系”，困境二“业审融合组织壁垒”对应路径二“深化业审融合”，困境三“风险防控滞后”对应路径三“构建穿透式风险防控体系”，困境四“数智化基础薄弱”对应路径四“以标准化驱动审计数智化”，困境五“复合型人才短缺”对应路径五“打造复合型审计人才队伍”。五条路径遵循

“基础—核心—深化—提升”的递进逻辑，并由人才保障贯穿始终。

表：“困境—路径”映射关系

现实困境	对应路径	路径核心目标
整改闭环断点	路径一：构建审计整改闭环体系	从“发现问题”到“管理升级”
业审融合组织壁垒	路径二：深化业审融合	审计与业务的协同共生
风险防控滞后	路径三：构建穿透式风险防控体系	全过程、全链条监督
数智化基础薄弱	路径四：以标准化驱动审计数智化	数据驱动的智能审计
复合型人才短缺	路径五：打造复合型审计人才队伍	为全部转型提供智力支撑

四条核心路径遵循“基础—核心—深化—提升”的递进逻辑：先以业审融合为数据和组织基础，打破信息壁垒；在此基础上构建整改闭环，将审计发现转化为管理升级；进而将监督关口前移，实现穿透式全过程防控；最后以数智化手段为上述路径提供技术支撑，使转型从“可能”走向“高效”。人才队伍建设则贯穿所有路径，为每个环节提供能力支撑。该框架力求实现从“合规型监督”向“价值创造型治理”的全面转型，框架结构如图所示。



图：高质量发展背景下建投集团内部审计“四维+人才保障”转型实践框架

（一）构建审计整改闭环体系，推动管理升级

审计整改是整个转型框架的“核心”环节。如果整改闭环建不起来，业审融合获取的业务洞察就无法转化为管理改进，穿透式防控发现的风险信号也难以推动制度优化，数智化赋能生成的分析成果同样会停在报告层面。集团应建立“建议—交办—整改—验证—考核—制度固化”六步闭环机制。第一步实行整改销号管理，按问题风险高低和整改难度分级督办，高风险问题由集团分管领导挂牌督办。第二步强化刚性约束，将审计整改完成率、问题复发率等指标纳入子公司经营业绩考核和负责人任期经营业绩评价，对整改不力者严肃问责。第三步深化成果运用，定期编制审计典型案例汇编，揭示系统性风险，推动相关管理制度修订完善。审计整改工作需构建系统化的闭环体系，才能有效解决责任传导不畅、标准模糊、成果转化不足等机制短板，国有企业内部审计整改闭环管理的相关探索为这一思路提供了有益参照^[8]。从四维协同角度看，整改闭环的建立离不开业审融合提供的数据支撑——没有业务端的真实信息，整改方案就只能停留在纸面上，这正是路径一必须与路径二协同推进的原因。

（二）深化业审融合，使审计深度嵌入业务场景

“业审融合”在递进逻辑中处于“基础”位置。没有业审融

合打通数据通道和组织桥梁，整改闭环就会因缺乏业务数据支撑而流于表面，穿透式防控也会因信息壁垒的存在而无法实现全过程覆盖。集团层面可采取以下措施：第一，建立多部门协同监督联席会议机制，审计部与战略、运营、财务、纪检监察等部门定期沟通，共享风险信息。第二，推行“审计派驻+交叉审计”模式，向重要子企业派驻审计总监或审计专员参与重大经营决策会议，同时组建跨企业审计项目组开展交叉审计，打破企业间壁垒。第三，针对不同子企业分别设计差异化审计方案，通过让审计嵌入真实业务场景，真正从“单一财务审计”走向“业审融合的战略审计”。业审融合不仅为整改闭环输送了数据支撑，也为穿透式防控铺好了信息管道——只有审计能够实时接入业务系统数据，前移监督关口才具有技术可行性，这构成了路径二对路径三的基础支撑。

（三）构建穿透式风险防控体系，实现全过程监督

在业审融合提供数据和组织基础、整改闭环保证成果转化之后，这条路径进入“深化”阶段，要将监督关口从事后向全过程移动。集团应面向“投资—建设—运营”全链条，建立资金、职责、流程三维穿透式防控体系。资金维度，将财务系统、资金管理平台与业务系统对接，设置大额资金异动等预警规则，实现实时监控。职责维度，聚焦关键岗位权责清单及不相容职务分离执行情况，常态化开展经济责任审计，做到“离任必审、任中轮审”。在经济责任审计实践中，风险识别与防范是核心环节，需要加强对关键岗位权力运行的监督，将风险导向理念贯穿审计全过程^[9]。流程维度，将审计监督节点前移至重大物资采购、工程招标、大额投资决策等业务前端，通过在合同中嵌入审计条款、事前参与评审等方式，变“秋后算账”为“源头管控”。穿透式防控中积累的风险数据和预警规则，经标准化处理后可以沉淀为数智化审计模型的知识库，这既是路径三对路径四的“反哺”，也是全过程监督走向智能化的关键一步。

（四）以标准化建设驱动审计数智化，赋能数据驱动决策

这条路径在递进逻辑中属于“提升”环节，为前三条路径提供技术支撑。数据是数智化审计的基石，标准化则是前提。首先，集团需统一审计数据标准，编制覆盖各子企业的《审计数据需求说明书》，推动境内子企业数据自动化采集。其次，在标准化数据仓库基础上构建审计模型库，将历史审计经验提炼为“风险特征—数据指标—预警阈值”的规则组合，实现异常交易自动筛查。再次，搭建统一数字化审计作业平台，将审计计划、现场作业、底稿复核、问题整改跟踪等全流程线上化，减少人为干预，提升标准化水平。从协同效应看，数智化平台建成之后，业审融合有了统一的数据底座，整改闭环有了全程留痕的线上工具，穿透式防控有了自动预警的模型引擎——四个维度在一个平台上相互交织、协同放大，共同驱动内部审计从“人工经验”走向“数据智能”。

（五）打造复合型审计人才队伍，为转型提供坚实保障

人才队伍在框架中承担着“贯穿性保障”功能，具体体现为四条路径各自对审计人才能力提出了不同要求：路径一要求从个案问题中提炼制度性缺陷的分析能力及跨部门整改协同的沟通能

力；路径二要求跨业务领域的知识储备和与业务部门深度对话的专业能力；路径三要求风险识别与预判的前瞻性思维和对全链条业务的系统性理解；路径四要求数据思维和一定的技术应用能力，能将审计经验转化为可量化的风险规则。归纳起来是三类核心能力：业务理解力对应业审融合和穿透式防控，分析洞察力对应闭环整改和数智化赋能，协同沟通力贯穿所有路径。针对“复合型人才短缺”困境，集团应从“引、育、用、留”四个环节综合施策。引才环节，在招聘中增设工程技术、数据分析、信息技术等专业方向，优化审计队伍专业结构。育才环节，建立分层分类培训体系，对财会背景人员强化工程技术和数据分析训练，对工程技术背景人员强化财务知识和审计准则学习，同时定期组织跨企业业务轮训和重点项目跟岗学习。用才环节，推行“项目制+导师制”实战培养模式，以老带新、以审代训，同时建立跨企业交流机制，打破“懂财务不懂业务”的知识壁垒。留才环节，建立与专业能力和项目贡献挂钩的职级晋升和薪酬激励办法，对取得复合型资质的审计人员给予专项奖励。四个环节环环相扣，共同构成集团复合型审计人才队伍建设的系统方案。

三、结语

本文的研究贡献主要体现在三个方面。第一，构建了“要

求—困境—路径”的完整分析链条，从战略、业务、技术三个层面梳理了高质量发展对建投集团内部审计的核心要求，揭示了五个困境在高质量发展背景下的激化态及其相互交织的深层成因，为同类企业的审计问题诊断提供了分析框架。第二，设计了“四维+人才保障”的递进式实践路径，以业审融合为基础、整改闭环为核心、穿透式防控为深化、数智化赋能为提升，人才队伍建设为贯穿性保障，各路径之间形成“基础—核心—深化—提升”的递进关系，为建投集团内部审计从“合规型监督”向“价值创造型治理”转型提供了可操作的实施路线图。第三，提供了可迁移的案例分析，本文以某省属建投集团“多企业集聚、同主业发展不均衡”特征为背景，其经验对业务覆盖多赛道、拥有多家子公司的综合性国有资本投资公司具有一定借鉴意义。

本研究也存在一定局限。文中所提转型路径主要基于单一集团的实践观察，普适性有待进一步检验；数智化转型的具体技术实现方案也超出了本文的讨论范围。展望未来，建投集团内部审计还需在人工智能辅助审计、ESG 审计等方面持续探索，这些新兴领域的审计方法论构建，将是后续研究的重要方向。

参考文献

[1] 吴丹. 以“如影随形”审计之道护航企业高质量发展[J]. 中国科技投资, 2025(30):35-37.
[2] 李文杰. 数字化背景下建筑央企内部审计转型路径探索[J]. 中国科技投资, 2025(27):19-21.
[3] 谭秀阁. 业审融合视角下企业内部审计数智化转型路径研究[J]. 西部财会, 2025(1):67-70.
[4] 赵晓琴, 李广彬. 内部审计赋能央企高质量发展新使命新路径[J]. 中国内部审计, 2026(2):78-81.
[5] 刘朝阳, 等. 审计整改全过程闭环管控体系构建与实践——以国网山西省电力公司为例[J]. 中国内部审计, 2025(3):17-21.
[6] 周昆铖. 敏捷审计驱动国有企业内部审计转型的实践路径[J]. 中国内部审计, 2025(11):59-62.
[7] 杨炳福. 新质生产力推动建筑行业内控审计数字化建设的路径探析[J]. 知识经济, 2025(15):124-126.
[8] 李宇真, 张世敏. 国有企业内部审计整改闭环管理探索[J]. 上海企业, 2026(3):83.
[9] 陈波. 国有企业内部经济责任审计风险及其防范措施[J]. 中国科技投资, 2025(11):32-34.

“业审融合”视角下芯片设计公司委外流片 存货审计探析

陈思霓

广东省广晟矿业集团有限公司，广东 广州 510610

DOI:10.61369/ASDS.2026080002

摘要： 委外流片模式下，芯片设计公司存货呈现物理存放地与法律所有权空间分离的特征，传统以实地盘点为核心的审计程序面临严峻挑战。本文以“业审融合”为分析视角，从委外流片业务流程入手，系统分析存货审计的三大核心难点：所有权认定的博弈性、价值计量的复杂性、存在性确认的受限性。基于“业审融合”理念，提出构建穿透式权属验证、技术驱动的计价审计及远程盘点技术的实务应对体系。通过 A 公司存货减值案例深度剖析，验证该视角下审计策略的有效性。研究认为，破解委外流片存货审计困境的关键在于审计人员从财务核查者转型为“业审融合”的专业判断者，将良率分析、技术迭代判断、市场数据验证内化为存货审计的标准动作。

关键词： 委外流片；芯片设计公司；存货真实性；审计难点；远程监盘

Bridging Business and Audit: An Inventory Audit Study of Outsourced Wafer Fabrication for Chip Design Companies

Chen Sini

Guangdong Rising Mining Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510610

Abstract： Under the outsourced wafer fabrication model, chip design companies face a spatial disconnect between inventory location and legal ownership, challenging traditional audit procedures centered on physical counts. From a business-audit integration perspective, this study identifies three core audit difficulties: ownership verification, valuation complexity, and existence confirmation. It proposes a practical framework including penetrating ownership tests, technology-driven valuation, and remote counting techniques. A case study on inventory impairment at Company A validates the approach. The findings suggest that effective auditing requires shifting from routine financial verification to professional judgment that embeds yield analysis, technology iteration assessment, and market data validation into standard inventory audit procedures.

Keywords： outsourced wafer fabrication; chip design company; inventory authenticity; audit challenges; remote count monitoring

引言

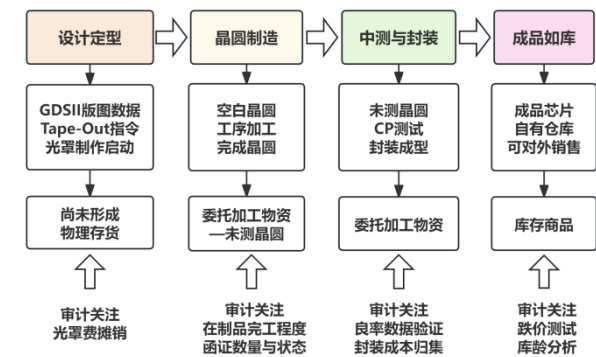
随着集成电路产业分工精细化，Fabless（无晶圆厂）模式已成为芯片设计企业的主流选择。委外流片指设计公司完成版图设计后，将数据交由第三方晶圆代工厂完成掩膜制作、晶圆制造及封测的全过程。该模式下，技术知识产权与物理实体分离，导致存货存放地（代工厂仓库）与所有权（设计公司）发生空间错位。存货通常占总资产30%–50%，其真实性直接影响财务报表公允性。然而，委外流片“看不见、摸不着”的特性使传统实地盘点审计程序失效。近年来，富满微因存货减值计提不准确被监管警示、东尼电子将不良晶体确认为存货虚增利润等案例频发，凸显该领域审计风险的高发性。本文以“业审融合”为分析视角，即审计与业务深度融合，以业务实质验证财务数据的审计理念^[1]，深入剖析委外流片模式下存货真实性审计难点并构建实务性应对策略，对提升审计质量、防范财务造假具有重要意义。

作者简介：陈思霓（1994.05–），广东省广晟矿业集团有限公司，审计师，研究方向为基于业财融合的国企内部控制与风险管理机制研究、大宗商品流通领域的货权管控与审计证据链研究。

一、委外流片模式下的存货特性与审计风险识别

（一）存货价值构成与审计风险溯源

委外流片模式下存货随工艺流程在三阶段动态流转。设计定型阶段，设计公司发出 Tape-Out 指令并支付光罩费，存货尚未形成物理实体，但光罩成本需在量产周期摊销。晶圆制造阶段，空白晶圆经数百道工序形成完成晶圆，存货表现为“委托加工物资—未测晶圆”，价值随工序推进累积，审计需关注在制品完工程度及加工费归集。中测与封装阶段，晶圆经测试、切割、封装形成成品芯片，存货从“委托加工物资—已测晶圆”转入“库存商品”，位置从代工厂转至设计公司仓库，审计需验证良率数据真实性及封装成本归集。



图：委外流片模式下存货形态流转图

存货成本由直接材料（晶圆采购）、加工成本（代工费、测试费、封装费）及制造费用分摊（光罩摊销、工程批费用、良率损失）构成。其中光罩费一套可达数千万元，摊销合理性直接影响存货计价；良率则决定单位成本，良率不达标将导致账面成本虚低。上述成本要素的专业性决定了存货价值计量的复杂性，进而衍生出以下审计风险。

（二）审计风险的源头分析

委外流片模式天然蕴含三重审计风险。首先是信息不对称风险，设计公司存货账面记录完全依赖于代工厂提供的生产报告，审计人员无法像传统制造业那样通过实地盘点直接验证，代工厂 ERP 系统的真实性与完整性成为审计证据可靠性的核心变量。其次是技术迭代风险，芯片行业遵循摩尔定律，产品更新换代极快，一旦流片失败或下游市场生变，存放在代工厂的晶圆可能瞬间一文不值，审计人员需要判断工程批流片失败的成本应计入存货成本还是研发费用、良率不达标的量产批是否应计提跌价。此外，成本核算风险源于间接费用的复杂分摊，光罩费如何在各批次间摊销、工程批费用是否应计入研发费用、不同工艺节点的加工费差异如何影响单位成本，这些问题在实务中常引发争议，成为财务错报的高发区。上述风险的根源在于财务数据与业务活动之间的信息断层，这正是“业审融合”视角需要解决的核心问题。

二、委外流片模式下存货真实性审计的核心难点

（一）所有权认定的模糊性：基于函证与合同的博弈

代工厂通常将不同客户的晶圆集中存放，仅凭系统标签区分所有权归属。审计人员通过常规函证难以验证：代工厂系统记录

是否真实反映被审计单位存货数量？是否存在不同客户存货混同后无法准确识别的情况？存放于代工厂的晶圆是否被质押或存在其他权利限制？

贸易条款直接影响风险报酬转移时点。FOB 条款下存货风险在交付承运人时转移，DAP 条款下直至货物运抵才转移。审计人员需查阅加工协议，重点关注毁损灭失责任方及存货控制权实际转移时点。实务中不同代工厂合同条款存在差异，审计人员难以逐一验证执行情况。

表1：不同贸易条款下存货确认时点及审计关注点

贸易条款	风险报酬转移时点	存货确认时点	审计关注重点
FOB 工厂交货	晶圆交付承运人	装运时确认	承运单据、装运记录、运输保险
DAP 设计公司仓库	货物运抵指定仓库	收货时确认	签收单、入库单、运输在途物资
委托加工模式	始终归属委托方	持续确认	毁损赔偿责任、定期对账记录

（二）价值计量的专业性：成本核算与跌价计提的难点

流片失败成本的资本化与费用化边界模糊。工程批用于验证设计方案可行性，若流片失败，晶圆无法形成可销售产品，其成本应计入研发费用还是存货成本？实务中部分公司为平滑利润，将失败的工程批流片成本计入存货，待后续统一计提跌价。

光罩费的摊销逻辑存在专业判断空间。预计量产数量是否合理？产品生命周期变化时摊销进度是否需调整？若设计变更导致原光罩无法使用，未摊销余额应如何处理？若实际量产远低于预期，需重新评估摊销进度并考虑减值可能。

存货跌价准备测算需考虑芯片行业特性。晶圆专用性强，不同批次对应不同设计，通用性差。可变现净值测算需考虑后续加工成本准确性、预计销售价格合理性及与在手订单匹配度。库龄导向政策虽可提供验证依据，但无法应对技术迭代快于库龄周期的情况。

（三）存在性确认的局限性：远程盘点与实地监盘的困境

晶圆代工厂对洁净度要求极高，通常不允许外部人员进入生产区和仓库。审计人员难以通过实地盘点直接验证存货存在性，往往只能隔着玻璃观察，无法核实系统记录与实物标签的匹配性。

在制品在生产线上高速流转，数量随时变化。审计人员难以通过传统截止测试锁定资产负债表日的时点数量，代工厂提供的 WIP 报告真实性缺乏有效验证手段。函证依赖代工厂诚信和内部控制有效性，若代工厂配合被审计单位舞弊提供虚假存货证明，审计人员难以察觉。近年来部分芯片企业因委外库存虚增引发的审计失败案例，根源均在于此^[2]。

三、应对策略：构建“业审融合”的存货真实性审计体系

针对上述三大难点，本文提出三项对应策略：穿透式权属验证应对所有权认定的博弈性，技术驱动的计价审计应对价值计量

的复杂性，远程与替代性盘点应对存在性确认的受限性^[3]。

（一）穿透式权属验证：从合同流到物理流的闭环核查

精细化三方函证是穿透权属的第一道关口。传统存货函证仅关注数量确认，难以应对委外流片模式特殊风险。审计人员应当设计精细化函证程序：不仅函证存货数量，还要函证存货状态——区分正常晶圆、呆滞晶圆、工程批晶圆；函证良率数据——获取代工厂记录的各批次晶圆测试良率；函证权利限制情况——确认存货是否存在质押、留置或其他权利负担。同时可要求代工厂提供 ERP 系统截图作为函证附件，以验证系统记录与实物标签的匹配性^[4]。

关键原始单据穿行测试构成权属验证的第二道防线^[5]。审计人员应当获取并核对从流片启动到成品入库的全流程单据：流片启动单验证生产指令真实性；光罩订单与付款凭证核对光罩费资本化时点；晶圆进出库单据追踪实物流转轨迹；代工厂生产日报或周报验证账面记录连续性。对于委托加工物资，应查阅定期对账记录，关注盘点差异处理是否恰当。

贸易条款与风险报酬转移核查是权属确认的法律基础。审计人员需查阅与代工厂签订的加工框架协议，重点关注毁损灭失风

险承担方及存货控制权实际转移时点。对于条款约定不明确或存在歧义的情况，应通过补充协议或邮件确认等方式获取进一步证据。

（二）技术驱动的成本审计：破解成本与减值的专业壁垒

1. 引入良率分析复核成本核算合理性。

审计人员应当获取代工厂提供的每批次晶圆测试良率报告，重新测算实际入库数量与单位成本匹配性。以一批投入100片晶圆、每片可产出1000颗芯片为例，若良率报告显示测试良率为80%，则实际入库芯片数量应为80,000颗。如果账面按100,000颗分摊成本，单位成本被低估20%。良率突然大幅下降往往预示存货存在技术性贬值，应作为减值测试重要触发信号^{[6]、[7]}。

2. 构建动态跌价测试模型应对行业特性。

跌价测试模型应包含以下要素：预计售价的确定——获取在手订单价格、近期同类芯片销售价格、行业咨询机构发布的芯片价格趋势报告；后续加工成本的测算——根据封装测试厂报价单估算从当前状态加工至可销售状态所需成本；预计可销售数量的评估——结合在手订单覆盖率、历史销售周期、晶圆消耗预测表判断存货预期消化周期。

表2：委外流片存货跌价准备测算表示例

批次号	存货状态	账面成本	预计售价	后续加工成本	预计销售费用	可变现净值	应计提跌价
W2024-001	未测晶圆	1,200,000	1,800,000	400,000	90,000	1,310,000	-
W2024-008	已测晶圆	850,000	900,000	120,000	45,000	735,000	115,000
W2024-012	成品芯片	2,500,000	2,200,000	-	110,000	2,090,000	410,000
合计		4,550,000				4,135,000	525,000

3. 穿透光罩费摊销逻辑需结合技术状态判断。

审计人员应当核查光罩预计使用量产周期是否合理，是否与产品生命周期、在手订单覆盖期限相匹配；如果产品设计变更导致原光罩无法继续使用，未摊销完毕的光罩费应一次性计入当期损益；如果实际量产数量远低于预期，需重新评估摊销进度并考虑减值可能。

（三）远程与替代性盘点：利用技术手段实现“云监盘”

1. 远程视频监控是应对晶圆厂准入限制的替代方案

实施远程监盘前，应与代工厂充分沟通，要求其提前规划盘点路线，确保摄像头覆盖所有存货存放区域。盘点过程中通过视频随机抽选箱号或批次号，要求代工厂人员现场核对标签、展示实物状态、读取系统记录。对于生产线上高速流转的在制品，可要求代工厂提供特定时点生产线截屏或 WIP 报告。全程录像并保留完整视频证据链，是应对后续监管检查的重要手段^[8]。

2.IT 审计手段可增强外部证据可靠性

委托 IT 审计专家测试设计公司 与代工厂系统接口，验证数据从代工厂生产系统到设计公司财务系统的传输是否完整、准确、及时。获取代工厂 WMS 系统库存截图，与被审计单位账面记录进行全量比对，是验证存货存在性的有效补充程序。

3. 函证与访谈协同运用形成证据闭环

向主要外协加工厂商函证存货数量和状况是审计准则规定的基本程序，但函证不应孤立实施，应与实地走访相结合。走访过程中观察代工厂对存货的管控情况——存货有无明显分区及标

识、是否存在不同客户存货混同情形，同时询问仓管人员存货权属、库龄、状况等信息。对于回函差异或未回函情况，执行替代测试包括检查采购合同、入库单据、保管协议等文件记录。

四、案例分析：A 公司存货减值计提不准确案的审计启示

某芯片设计公司（以下简称 A 公司）因存货减值计提不准确等问题收到地方证监局警示函。监管查明，A 公司期末存货跌价准备占净利润绝对值的比例超过30%，但未合理评估可变现净值，导致减值计提偏离实际价值。其审计机构在年报审计中存货跌价准备实质性程序执行不到位：复核原材料减值测试时主要基于管理层说明材料即认可相关假设，未评估滞销产品、研发失败产品对应原材料能否再利用或出售；对剩余非共材跌价比例的合理性也未获取充分证据^[9]。

上述缺陷暴露出核心问题——审计时过度依赖管理层提供的信息，缺乏独立验证。芯片设计公司原材料主要是晶圆，其价值高度依赖对应芯片的市场前景和技术可行性。审计时本应获取在手订单、下游市场趋势、同类芯片价格走势、晶圆可转用性评估等数据，却因形式化复核程序导致判断失准。

改进方向在于建立包含技术指标的测试框架：获取各批次晶圆良率报告评估技术性贬值，分析产品生命周期判断迭代淘汰风险，跟踪下游客户验证进度评估研发批商业化前景。同时引入独

立外部数据源，如行业研究机构发布的芯片价格指数、市场供需报告，与公司预计售价、预计销售数量进行比对。对长期呆滞晶圆，应通过远程视频观察实物状态，询问代工工厂仓管人员库龄及出库计划。

本案例表明，从“业审融合”视角出发，采用穿透式权属验证、技术驱动计价审计、远程盘点等策略，能够有效破解业务数据与财务数据脱节的难题。审计人员不应止步于复核管理层提供的材料，而应主动深入业务前端获取独立验证证据。

案例揭示两大核心难点：一是技术判断与财务判断的融合问题，审计人员需具备理解芯片设计、制造、应用的基本能力；二是独立验证与依赖管理的平衡问题，不能简单认可管理层说明，而应通过独立证据链条支撑审计结论。复核存货减值测试时，必须深入评估计算逻辑合理性、关键假设可靠性及输入数据准确性，而非止步于计算过程检查。

五、结论与建议

委外流片模式下存货真实性审计，本质是审计人员与产业分工衍生信息不对称的深度博弈。存货所有权认定模糊、价值计量

专业性强、存在性确认受限这三重困境，根源在于传统审计方法未能适配芯片产业“技术实体与财务记录分离”的特殊生态。“业审融合”视角的提出，正是为解决这一适配性问题：破解之道不在于程序叠加，而在于思维重构——审计人员必须从财务核查者转型为“业审融合”的专业判断者，将良率分析、技术迭代判断、市场数据验证内化为存货审计的标准动作。

更深层看，这一困境折射出传统审计准则在应对尖端制造业时的适应性短板。晶圆制造的高度专业化与物理隔离特性，决定了通用审计程序难以穿透信息壁垒。此外，需培养兼具财务素养与半导体产业认知的复合型人才，监管部门则应出台更具行业针对性的审计指引，明确技术指标验证、远程监盘操作等特殊程序要求。

具体而言，建议行业协会出台《芯片设计公司存货审计指引》，明确良率分析、光罩摊销测试、远程监盘等特殊程序的操作标准；建议会计师事务所建立半导体行业审计专家库，培养“业审融合”复合型人才；建议监管机构将良率分析、光罩摊销测试纳入审计准则的强制程序，从制度层面提升行业审计质量^[10]。唯有在人才结构、准则框架、技术手段三个层面同步革新，才能从根本上破解委外流片模式下的存货审计难题。

参考文献

[1] 花凯源. 基于“业审融合”的数智化审计实现路径探究 [J]. 财经界, 2025(28): 153-155.
[2] 赵春燕. 存货监盘审计程序存在的风险及对策 [J]. 国际商务财会. 2021 (16) : 79-81.
[3] 方美珍. 业审融合下专项审计流程构建与应用 [J]. 商讯, 2024(19): 111-114.
[4] 沈萍. 存货审计风险及应对 [J]. 财会学习, 2017, (09): 139.
[5] 周陈秀. 大宗商品贸易集团存货流转真实性内部控制监督框架探析 [J]. 知识经济, 2026(3): 110-113.
[6] 张秀文. 存货审计的重要性及风险分析方法的运用 [J]. 现代营销, 2022, (25): 133-135.
[7] 徐平. 第三方仓库存货的审计——以集成电路设计企业为例 [J]. 中国注册会计师, 2023, (10): 81-85.
[8] 孙丽. 风险导向审计模式下存货审计探讨 [J]. 农村经济与科技. 2019, 30 (06) : 90+92.
[9] 黄宁. 存货审计风险与防范 [J]. 市场周刊, 2023, 36(09): 133-136.
[10] 吴佳琦. 存货会计核算及内控管理研究 [J]. 财会学习, 2023, (34): 164-166.

数字化背景下应收应付账款与发票管理的效率提升策略

唐智琴

中外建工程设计与顾问有限公司广东分公司, 广东 广州 510399

DOI:10.61369/ASDS.2026080003

摘 要 : 数字经济正在改变企业财务管理的运作方式。应收应付账款与发票管理是其中链条较长、问题较突出的环节,其效率直接影响企业的现金流和资金周转。本文以工程设计企业实务场景,讨论数字化背景下这类企业在发票管理和往来账款处理中遇到的实际困难,并围绕全电发票、RPA 自动化、业财数据融合、智能风控、组织人才等方面提出应对思路。从实践看,数字化转型能否真正见效,取决于技术、制度和人员三者是否同步跟上,而不是单点工具的堆砌。

关 键 词 : 数字化转型; 应收账款; 应付账款; 发票管理; 效率提升; RPA; 全电发票

Efficiency Enhancement Strategies for Accounts Receivable, Accounts Payable and Invoice Management in the Digital Context

Tang Zhiqin

Guangdong Branch, China Construction Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510399

Abstract : The digital economy is changing the way corporate financial management operates. Accounts payable and invoice management is one of the links with a long chain and prominent problems. Its efficiency directly affects the cash flow and capital turnover of enterprises. Based on the practical scene of engineering design enterprises, this paper discusses the practical difficulties encountered by such enterprises in invoice management and current account processing under the digital background, and puts forward countermeasures around all-electric invoices, RPA automation, business data fusion, intelligent risk control, organizational talents and other aspects. From a practical point of view, whether the digital transformation can really work depends on whether the technology, system and personnel are synchronized with each other, rather than the stacking of single-point tools.

Keywords : digital transformation; accounts receivable; accounts payable; invoice management; efficiency enhancement; RPA; full electronic invoice

引言

随着大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术的快速发展,数字经济已成为推动我国经济高质量发展的重要引擎。2021年3月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于进一步深化税收征管改革的意见》,明确提出全面推进税收征管数字化升级和智能化改造,建成具有高集成功能、高安全性能、高应用效能的智慧税务。自2021年12月起,国家税务总局依托全国统一的电子发票服务平台,试点开展全面数字化的电子发票(简称“数电票”),标志着我国发票管理正式进入全面数字化时代。对于工程设计企业而言,其业务具有项目周期长、合同金额大、往来单位多、发票数量繁等特点,应收应付账款与发票管理的复杂性和重要性尤为突出。传统的纸质发票管理模式和手工台账核算方式,已难以适应数字化时代对企业财务管理效率与精度的双重要求,如何在数字化背景下借助新技术手段提升应收应付账款与发票管理效率,成为企业财务管理转型升级的重要课题。

从理论层面看,将数字化技术与传统财务管理理论相结合,不仅能够丰富应收应付账款与发票管理的研究视角,拓展数字化财务管理的理论边界,还可为相关领域的学术研究提供新的分析框架与方法论参考;从实践层面看,结合工程设计企业的实际业务特点提出具有可操作性的效率提升策略,可为同类企业的财务管理数字化转型提供参考借鉴。基于此,本文采用文献研究法与系统分析法,结合工程设计企业会计实务经验,从挑战分析、机理梳理、策略构建、保障措施四个层面展开研究。

一、数字化背景下应收应付账款与发票管理面临的挑战

（一）传统管理模式的效率瓶颈

工程设计企业的业务特性让这些瓶颈表现得尤为突出。月底结算高峰，单月票据量常突破千张。会计人员手工摘录发票核心信息，平均每张耗时两三分钟，累计工作量巨大，3%到5%的差错率也很难根除。各类单据的交叉校验则更消耗时间：销售合同、采购订单、入库单、发票、银行回单等，全靠人工逐项比对。每到期末结账，财务部加班到深夜几乎成了常态。账龄分析明显滞后，通常只在月末或季末汇总一次。逾期款项从发生到被识别，常有5到15天的空档，催收也因此慢了一拍。税务合规的压力同样不小，纸质发票的真伪查验、重复报销筛查、篡改识别，都消耗大量人力；进项税抵扣认证和销项税申报依赖手工录入，出错的概率并不低。

（二）数字化转型带来的新挑战

数字化转型在提速，但也随之带来了新的难题，最棘手的就是数据口径不统一。企业内部系统本就繁多，合同、项目、采购、财务等模块在建设初期相对独立，编码规则和数据格式各异，想要实现数据贯通与跨系统流转，难度较大。数据孤岛由此产生，直接削弱了跨部门协同的效率。

系统对接的复杂程度同样不容低估。设计企业原有的 ERP、OA、项目管理平台，要与新引入的数字化工具实现深度衔接，技术门槛不低，投入成本也高，同时还面临数据外泄与兼容性风险。人员能力层面的短板也较为明显，财务团队的传统核算功底虽扎实，但在数据分析、系统操控、流程设计等数字化技能方面，储备明显不足。更为棘手的是，转型会重塑业务流程并调整岗位职责边界，部分员工需要改变长期形成的工作习惯，难免产生抵触心理，这在客观上延缓了整体推进的进度。

二、数字化技术对管理效率的提升机理

（一）全电发票：重塑发票管理基础

数电票的全面应用，使发票管理从纸质流程转向数字化轨道。前期实践表明，电子发票在减少重复劳动和降低存储成本方面确有成效，这为更深层的数字化变革积累了经验基础^[1]。数电票在此基础上更进一步：纳税人无需申领专用税控设备，通过电子税务局即可在线开票，业务系统与税务系统对接后还可实现自动开票。发票信息的载体从图片或扫描件转为结构化数据，受票方可通过税务数字账户、邮件、二维码等渠道接收。此外，发票的开具、归集、查验、勾选等操作原先分散于多个平台，现在可在单一账户内集中完成。对于来自非正常户或走逃户的异常票据，系统能够自动识别并推送风险提示，从而帮助企业规避税务风险。

（二）RPA 技术：实现流程自动化

RPA（机器人流程自动化）在财务领域的应用已从试点走向常态化。财务共享服务中心应付账款流程优化研究表明，RPA 在发票匹配、数据核对等核心模块具有显著的效率提升价值^[2]，这一

应用范围正在持续扩展。以发票处理为例，RPA 结合 OCR 技术可自动识别多种格式的发票，提取发票代码、号码、开票日期、金额等关键信息并录入财务系统。整个过程处理效率可提升95%以上，准确率接近100%，且可7×24小时不间断运行。除发票处理外，对账工作也可交给 RPA 自动处理。RPA 从财务系统获取应收数据，同时从银行回单中提取实收数据，按账号、打款备注等信息自动核对并标注差异，缩短对账周期。账龄分析同样适用。RPA 定期抓取应收账款数据，自动计算账龄并生成分析表，再根据预设规则进行逾期预警。付款流程中，RPA 可实现采购订单、收货单与供应商发票的自动匹配校验，按审批规则自动流转，并在审批通过后生成付款指令。

（三）大数据与人工智能：赋能智能决策

大数据和人工智能技术的应用，正在改变应收应付账款管理的模式。财务管理正从传统的“事后核算”逐步转向全周期智能管理，延伸至交易前的预判、交易中的监控和交易后的优化。从已有研究来看，大数据与 AI 技术对财务管理决策模式的重构作用已经受到关注^[3]，系统化的智能决策工具也被认为能够提升财务管理的科学性与精准性^[4]。上述技术落到应收应付账款管理的实务中，已经能够看到几个方向的应用。在信用评估上，机器学习模型整合客户历史交易数据、行业信用评级和市场动态，自动评估信用状况并调整授信额度，防止信用过度扩张。在催收策略上，系统根据客户的付款行为模式自动匹配差异化的应对方式，对高风险客户提前发出账期提醒，对长期稳定客户给予更灵活的付款安排。在现金流预测上，通过对历史付款数据的分析，预判未来的付款需求和资金缺口，辅助企业优化资金安排。在异常检测上，依靠数据分析识别重复付款、异常发票、关联交易不公允等问题，并及时发出预警。

（四）业财融合：打通数据壁垒

业财融合在数字化财务管理中处于关键位置。财务系统与业务系统打通后，数据不再各自孤立，开始实时联动。销售订单创建后，系统同步触发应收预警；采购订单生成后，应付预算提示也会同步触发。合同、发票、资金三流被打通，业务流、票据流和资金流在同一口径下运转。统一数据平台让报表实时刷新、异常动态追踪成为可能，业务与财务之间的信息壁垒不再存在，管理层决策时能看到的数据更贴近业务实际，时效性也更强。

三、效率提升的系统化策略

（一）构建全电发票管理体系

全电发票管理体系的落地，先要把“开、收、存、查”四个环节搬到线上。开票系统升级是第一步，对接国家税务总局电子发票服务平台后，发票可以在线开具、自动赋码、即时交付。工程设计企业还可以把项目管理系统与开票系统打通，根据项目进度和合同约定自动触发开票申请，省去人工填单的环节。发票的接收与查验的流程也要重新设计。全电发票通过税务数字账户自动归集，系统同步验真、查重、校验抬头，不必逐张人工核对。纸质发票扫描后 OCR 识别，统一纳入数字化管理。归档方面，要

建立电子会计档案管理制度，电子和纸质并行保管，按《关于规范电子会计凭证报销入账归档的通知》要求，确保两种凭证效力一致。这些环节贯通之后，才能有效堵住重复报销的漏洞。系统给每张发票一个唯一标识，实时跟踪报销状态，同时建立发票使用台账，定期与税务数字账户比对，确保账实相符。

（二）实施 RPA 流程自动化

将 RPA 的自动化能力落地到具体业务场景，是效率提升的关键环节。RPA 在财务数字化转型中的实践表明，替代重复性人工操作能够显著实现效率跃升^[6]。应收账款的处理可以率先启动。先梳理销售订单匹配、发票开具、回款跟踪、账龄分析等环节，再用 RPA 工具连接 ERP 系统和银行平台，由 RPA 自动完成订单与发票匹配、到期提醒、回款核销。同时将账龄自动计算和逾期预警也同步加上，定期生成应收账款分析表。应付账款的处理思路相近。先梳理采购订单、发票审核、付款申请、资金支付这几个环节，接着再用 RPA 完成三方自动匹配。匹配异常的发票标记后推送人工复核，系统根据合同约定的付款条件和资金状况自动生成付款计划并推送审批。除应收应付的循环管理外，发票处理本身也可单独交给 RPA，自动从邮箱或扫描仪获取发票图片，通过 OCR 提取数据，匹配供应商主数据后填入对应凭证字段，完成校验与过账。月末结账同样可由 RPA 承担，税金计提、应收应付核对、报表生成均自动完成。财务人员从重复劳动中解放出来，转向预算分析和战略支持。

（三）推进业财数据深度融合

业财数据融合，前提是业务端和财务端的数据口径统一。先搭建主数据管理系统，把客户、供应商、项目、合同这些核心对象统一管起来，明确业务数据与财务数据的对应关系，消除系统间的语义歧义。然后把项目管理、合同管理、采购管理等业务系统，跟财务核算、资金管理模块实时对接，中间通过企业服务总线或数据中台技术来打通，让数据能够双向流动。数据打通以后，把这些多源数据汇聚到一起，应收应付账款、发票、合同、项目都纳入统一视图，查询、筛选和监控都更加顺畅。对账环节也可以交给系统自动处理，银行流水与应收应付账款自动匹配，未达账项自动标识并生成调节表，对账周期缩短，准确性也得到提升。

（四）构建智能驱动的高效风控闭环

人工审核加事后检查的风控模式，在工程设计企业里显得吃力。合同金额大、项目周期长，等问题暴露时，资金占用往往已经形成。数字化工具的介入改变了这一局面，数字化工具的做法，是将风控点分散嵌入业务流程。基于大数据与 AI 的财务共享中心研究表明，这种嵌入式的风控方式能够显著提升风险识别的准确性和及时性^[6]。

信用评估改造后的变化，最先体现在审批速度上。过去授信审批靠人工调查和经验判断，动辄三五天，订单流转因此停滞；现在信用模型可以实时抓取客户工商信息、司法诉讼记录和历史交易数据，几分钟内给出评分和额度建议，订单流转不再因审批而停滞。账龄分析的变化也能看出来，以前只在月末汇总，逾期发现往往滞后；预警系统现在每日自动抓取数据，对即将逾期的账款提前三五天推送提醒，催收从“月末等报表”变成“实时盯

数据”，回款周期平均能缩短半个月到二十天。税务方面省的人力最多，人工逐票查验、真伪核验、重复报销排查耗费大量人力；系统与税务数字账户实时对接后，异常发票在入账前就被拦截，财务人员不用再逐张比对。资金预测则是另一种改法，以前靠人工汇总各部门付款申请，数据滞后且不准；现在模型基于历史回款规律和合同条款，自动生成未来一周到三个月的现金流预测，财务部门可以提前安排资金，避免临时调度。

风控改造之后，组织层面的配套不是单点的事。财务共享服务中心把分散在各处的业务收拢起来，标准化、流程化之后批量处理，各分支机构不用再做重复劳动，分散的“单点操作”被整合成高效的“批量处理”。张迪的研究也提到，数字化升级让共享中心的效率还有释放空间^[7]。全电发票的结构化数据可以直接被 RPA 读取，不用再走 OCR 识别这一道，准确率更高，速度比纸质发票扫描快三到五倍。发票管理从“实物管理”切到“数据管理”，这一步就能走得通。

（五）强化组织与人才保障

技术层面的改动，离不开组织与人才的协同。周德良等的研究指出，财务数字化转型的成败不仅取决于技术，还受到组织准备度、人员能力和变革管理的影响^[8]。组织架构上，可以先考虑设立数字化财务管理岗位或团队，负责系统的运维、优化和推广，把各岗位的职责边界理清楚，让流程运转更顺畅。培训也要同步跟上，制定覆盖财务软件操作、数据分析工具、RPA 流程设计等内容的计划，鼓励财务人员参加数字化会计师或 RPA 工程师认证，用“以考促学”的方式把整体素养带起来。考核上，要把转型成效纳入绩效体系，设置流程处理效率、数据准确率、风险预警及时率等硬指标。文化层面的推进同样不可忽视，通过内部培训、案例分享和经验交流，慢慢培育全员参与的氛围，让数字化从一项任务变成一种工作习惯。

四、实施保障与风险防范

（一）技术保障

技术保障主要围绕三个方面展开。工具选型上，优先选择成熟稳定的平台，重点关注与现有 ERP 系统的兼容性，降低后续对接的技术成本。数据安全方面，需落实访问控制、数据加密与备份恢复等机制，防范数据泄露和丢失风险。与此同时，应提前制定应急预案，针对系统故障或网络中断等突发情况，设计手工处理的备用方案，保障业务连续性。

（二）制度保障

制度层面要与技术建设同步，不能仅关注系统本身。财务管理制度需要将数字化流程纳入其中，明确各环节的操作规范与审批权限。数据质量管理制度应清晰界定数据采集、录入、审核、使用的标准，并明确责任归属。内部控制制度也需相应调整，在数字化流程中设置控制节点，确保不相容职责有效分离，从而防范操作风险与舞弊风险。

（三）实施步骤

落地不必急于一步到位。先挑业务量适中、流程相对标准化

的板块做试点，看方案是否跑得通、效果如何，攒些经验。试点跑通了，再逐模块往外推，由易到难、由核心到外围。智能财务建设的研究也表明，系统性思路加上渐进式推进，是转型成功的重要保障^[9]。推广之后也不能就此放下，要持续跟进，根据实际情况和业务变化不断优化流程，提升管理效率。

五、结语

本文结合工程设计企业的实务场景，从全电发票、RPA 自动化、业财融合、智能风控和组织人才几个方面，梳理了应收应付账款与发票管理的效率提升路径。财务转型视角下的管理实践也表明，数字化技术的综合应用能显著提升项目型组织的财务运营效率^[10]。从同类企业的实践来看，上述策略已经看到了初步效

果，对工程设计企业来说，是一条可参照的路子。回过头来看，全电发票、RPA、大数据和人工智能这些技术，确实给效率提升提供了抓手。但效率提升并非单靠上几套系统就能解决的，发票管理、流程自动化、数据融合、风控闭环、组织保障这几个维度需要协同推进，“技术 + 制度 + 人才”三者缺一不可。

展望未来，随着区块链、物联网、生成式人工智能等新技术的发展，应收应付账款与发票管理将进一步向智能化、自动化方向演进。区块链技术能够确保发票信息不可篡改且全程可追溯，为供应链金融提供可信的贸易背景证明，从而降低融资过程中的信息不对称与信用风险。生成式人工智能则在财务报告的自动生成与智能解读方面开始落地应用，有望进一步拓展财务管理的智能化空间。

参考文献

- [1] 陈健. 电子发票：助力财务管理创新实践 [J]. 财务与会计, 2022(10): 45-48.
- [2] 程平, 王健俊. 基于 RPA 的财务共享服务中心应付账款流程优化研究 [J]. 会计之友, 2018(19): 154-160.
- [3] 秦荣生. 应用生成式人工智能建构智能财务体系研究 [J]. 会计之友, 2024(24): 26-30.
- [4] 赵磊. 智能财务决策支持系统：理论，框架，实践 [J]. 财会月刊, 2022(15): 30-37.
- [5] 王厚明. RPA 助力企业财务数字化转型 [J]. 中国注册会计师, 2021(6): 106-109.
- [6] 崔红梅, 张华, 张洁丽, 郭策, 朱蓉. 基于大数据与 AI 的财务共享中心智能化风险管控体系研究 [J]. 铁路计算机应用, 2025, 34(4): 45-52.
- [7] 张迪. 数智化时代下财务共享服务中心转型的思考 [J]. 煤炭经济研究, 2024, 44(1): 41-45.
- [8] 周德良, 杨雪. 企业财务数字化转型的影响因素及实现路径——基于扎根理论的探索性研究 [J]. 管理案例研究与评论, 2023, 16(05): 613-626.
- [9] 刘梅玲, 黄虎, 佟成生, 等. 智能财务的基本框架与建设思路研究 [J]. 会计研究, 2020(3): 179-192.
- [10] 张庆龙, 张延彪. 财务转型视角下的企业司库管理研究 [J]. 财会月刊, 2022(1): 34-38.

轻罪案件附条件不起诉的制度设计与实践路径研究

随新颖

广州大学 法学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2026080004

摘 要：近年来我国刑事诉领域占比相对较重的多为轻罪诉讼案件，但目前针对轻罪诉讼的案件并没有存在很好的制度运行。附条件不起诉这一制度适用范围有限，仅适用于未成年人特定罪名案件，成年人案件因刑期限制（一年以下）难以适用，如盗窃、危险驾驶等高发轻罪被排除。附条件不起诉作为审前分流机制，可减少犯罪附随后果，因此建议也适用于轻罪案件中。

关 键 词：轻罪治理；轻罪案件；附条件不起诉；审前分流机制

Research on the Institutional Design and Practical Pathways of Conditional Non-Prosecution in Minor Offense Cases

Sui Xinying

School of Law, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： In recent years, the majority of criminal litigation cases in China have involved relatively minor offenses. However, there is currently no well-established system for handling such cases. The conditional non-prosecution mechanism has a limited scope of application, being applicable only to specific crimes involving minors. Adult cases, due to sentencing restrictions (less than one year), are difficult to apply, excluding high-incidence minor offenses such as theft and dangerous driving. As a pretrial diversion mechanism, conditional non-prosecution can mitigate the collateral consequences of criminal records. Therefore, it is recommended to extend its application to minor offense cases.

Keywords： light crime governance; light crime cases; conditional non-prosecution; pre trial diversion mechanism

引言

目前，轻微犯罪治理是我国犯罪治理领域中关注的热点之一。附条件不起诉与认罪认罚从宽制度存在价值功能的内在契合。后者为前者向成年人案件的延伸适用提供了制度基础，前者则为认罪认罚案件开辟了非刑罚化的出罪路径。成年人和未成年人的附条件不起诉制度存在显著差异。这种二元化的立法设计在域外立法例中亦有所体现。当前，轻微犯罪在所有犯罪类型中的占比持续显著上升，因此犯罪治理的重心不可避免地要转向于轻微犯罪领域。基于此，有必要就附条件不起诉制度进行相应的扩张适用，更好发挥该制度的价值，实现轻罪治理的现代化。

一、制度概述与现状

近年来，中国的刑事法律制度、犯罪状况及其实践运行中出现的犯罪类型似乎都呈现出不断迈向轻罪化发展的趋势。及至今日，我们甚至可以在某些层面上断言，中国社会已进入轻罪化时代，而这一背景构成了健全轻罪诉讼制度体系的现实语境^[1]。中国刑事司法实践中对轻罪与重罪的划分主要依据法定最高刑期。学界普遍认同，以“三年以下有期徒刑（含拘役、管制、罚金等）”

为界限的案件视为轻罪，超过三年的则归为重罪，这一标准已在最高人民检察院工作报告、司法解释以及大量学术研究中得到体现，成为司法实践的“分水岭”。

最高人民检察院2024年2月26日新闻发布会数据显示，我国犯罪结构持续调整：案件判处三年以下有期徒刑的比重从1999年不足55%升至近年来的85%以上；轻罪案件（包括轻微不起诉及三年以下刑罚）占同期审结案件超过85%，较2004年提升30余个百分点；严重暴力犯罪起诉人数同期下降62.5%，占比从20.3%降

至3.7%。因此可以说,轻罪案件已成为犯罪治理的主要对象。

附条件不起诉制度在未成年犯罪治理中虽曾起到积极作用,但随着实践的深入推进,其固有不足逐渐显露,已难以应对现实生活中出现的新的问题。在轻罪治理的时代背景下,学术界围绕附条件不起诉制度的扩展适用提出了不同思路。有观点主张,可将当前针对未成年人设立的附条件不起诉机制推广至轻微犯罪案件,以此在一定程度上缓解我国刑罚种类相对单一所带来的制度局限^[2]。另有学者从轻罪案件的程序性出罪路径出发,指出“附条件”机制的核心价值在于兼顾犯罪治理与人权保障,并妥善协调司法效率与公正之间的张力,因而有必要对该制度进行积极探索^[3]。还有论者聚焦于附条件不起诉制度本身,认为应推动其结构性改革,逐步将部分成年人实施的犯罪行为也纳入制度适用范围^[4]。破解轻罪案件适用附条件不起诉所面临的实际障碍,并在此基础上构建系统、科学的制度框架,将有助于充分释放其在程序分流与审前出罪方面的制度潜能,进而推动轻罪治理体系向更加系统化和科学化的方向演进。

二、制度运行中存在的主要问题

(一) 适用范围过于狭窄

根据我国刑事诉讼法的规定,附条件不起诉的主体仅适用于未成年人实施的,涉嫌刑法分则第四五章犯罪,可能判处一年有期徒刑以下刑罚的情况,适用范围较窄。从适用主体上来看,仅仅适用于未成年人,即14到18周岁未成年人犯罪是过于狭窄的,实际中成年人犯罪在某些情况下也会出现情节轻微,有悔罪表现等情况,对社会危险性较低;从适用范围上来看,该制度在存在一定的局限。根据《刑事诉讼法》第二百八十二条规定,该制度仅适用于涉嫌刑法分则第四、五、六章规定的犯罪,即侵犯公民人身权利罪、侵犯财产罪和妨害社会管理秩序罪。这一立法限定导致实践中部分轻微刑事案件无法纳入适用范围,如交通肇事罪、危险驾驶罪、信用卡诈骗罪等,因不属于上述三类犯罪而被排除在外。

在刑罚限度方面,制度设计亦存在适用空间压缩的问题。法条要求“可能判处一年有期徒刑以下刑罚”,根据最高人民法院的解释,此处所指为宣告刑而非法定刑。然而,从《中华人民共和国刑法》分则本身来看,法定刑在一年以下的第四、五、六章犯罪仅有两类,法定刑在两年以下的仅有十类,且其中部分罪名在未成年人犯罪实践中较为罕见。因此,“一年有期徒刑以下”的刑罚限定实际上将附条件不起诉的适用空间过度压缩,限制了该制度功能的充分发挥。

(二) 被害人的权益保障不足

现行《刑事诉讼法》仅概括性要求检察机关在作出附条件不起诉决定前“听取公安机关、被害人意见”,却未就意见的效力、审查标准及异议处理予以细化:一方面,公安机关、被害人提出

反对意见时,检察机关是否仍得依职权适用附条件不起诉,规范供给缺位;另一方面,被害人正当诉求若未在程序框架内获得充分评价与回应,则易衍生对终局决定的质疑,削弱司法裁判的可接受度,进而侵蚀司法权威与公共信任。

(三) 监督机制十分薄弱

依据我国现行法律规定,检察机关独占附条件不起诉决定的作出权,是该制度中唯一合法的权力主体。检察机关既是程序的启动者,也是最终的决定者,这种双重角色使其裁量行为不仅直接触及当事人的实质利益,更对诉讼进程的顺畅与司法公正的保障具有举足轻重的作用。在罪行轻重的判断、考验期限的确定、帮教内容的设定以及考验期内的综合评估等关键环节,检察机关均拥有裁量决定权。《人民检察院刑事诉讼规则》第二百七十六条虽赋权检察机关对“异议明显或争议重大”之附条件不起诉案件依职权举行不公开听证,但条文仍以“可以”而非“应当”表述,裁量空间过大。在“案件比”绩效考核与“捕诉一体”时限压力的双重作用下,检察人员往往以“无重大争议”为由裁量排除听证,导致程序供给异化为“选择性适用”,既压缩了当事人、公安机关及被害人的意见表达通道,也弱化了听证本应具备的“程序吸收不满”功能。

在监督考察阶段,规范层面虽允准企业、社区、公益组织等多元主体参与,但其法律地位仅止于“协助配合”,既不享有《刑事诉讼法》第八条所定之“法律监督”权能,亦不具备《人民检察院办案活动接受人民监督员监督的规定》意义上的刚性监督手段。实践中,当协助主体对检察机关设定的附加义务、考察频次或惩戒幅度持有异议时,除内部“沟通-反馈”这一非正式渠道外,并无提起行政复议、检察复核或司法审查的法定路径;被附条件不起诉人更因程序地位不明,难以通过申请检察救济、提起自诉或国家赔偿等方式质疑考察措施之合法性。由此,多元参与异化为“单向度协助”,既抑制了社会力量的监督动能,也使“权力-权利”结构失衡,最终消解附条件不起诉制度的正当性与治理效能。

三、比较法视角的启示

通过比较法考察,可以为轻罪案件附条件不起诉制度的完善提供有益借鉴。在大陆法系国家,部分国家已确立了与我国相似的附条件不起诉制度。德国基于便宜主义原则建立了附条件不起诉制度,其司法实践为我国刑事审前分流机制提供了范本。日本刑事诉讼法以起诉便宜主义为基本原则,授权检察官综合评估犯罪嫌疑人的年龄、性格、境遇、犯罪情节及悔罪表现等因素。凡认为无追究刑事责任之必要时,检察官可不提起公诉,借此机制实现对轻罪案件的有效分流处理。

在英美法系国家,尽管并未建立起典型意义上的附条件不起诉制度,但实践中存在着功能与之相近的“审前转处”机制。以

美国为例，其全国范围内尚未形成统一的附条件不起诉制度框架，然而在联邦及各州的司法体系中，却普遍运行着一种与附条件不起诉功能相似的制度安排，即所谓的“审前转处”（pretrial diversion）程序。其中，在起诉前阶段确立的转处制度，其功能与我国附条件不起诉制度具有相当的可比性。审前转处制度能够将特定犯罪者从传统的刑事司法处理程序中分流出来，转入替代性的监督和服务体系，这与我国附条件不起诉制度功能大体一致^[5]。

（一）德国轻罪司法制度的启示

德国针对轻罪案件设置了一套重要的快速审理机制，即“处刑令”程序（亦称“刑罚命令”或“处罚令”程序），其本质相当于一种以书面形式进行的刑事判决。该程序的适用需满足若干前提条件：第一，案件范围限于轻罪；第二，在法律后果方面，处刑令仅限于判处罚金或特定的非监禁性处分措施，例如吊销驾驶许可且期限不超过两年、禁止驾驶，或者在一年至三年期间内禁止饲养动物等。若案件中的被告人已委托辩护律师，则还可判处最长一年的自由刑，但必须同时宣告缓刑。关于具体的程序运作流程，首先，检察官在侦查工作终结后，负责草拟处刑令文书，其中应载明具体的量刑建议，并据此向管辖法院提出申请。在这一阶段，检察官既无须征询犯罪嫌疑人的意见，也无需以被告人认罪作为启动程序的前提条件，但必须确保案件事实清楚、证据充分。该程序的制度设计并非意在剥夺犯罪嫌疑人的程序性权利——后者依法享有为期两周的异议期限，用于对处刑令提出反对意见。其次，法院收到申请后不经开庭审理，仅作短暂审查即可签署并送达被告人。在实践中，检察官撰写的处刑令申请文书与法院作出的判决书内容极为相似，一旦法官签发，即产生正式判决的法律效力。如果法官认为案件证据不足，有权拒绝签发，此时检察官通常会终止程序，除非后续出现新证据。若法官不同意检察官的量刑建议，则将启动主审程序，不过实践中法官基本倾向于采纳检察官的意见。最后，被告人在收到处刑令后的两周内有异议权。一旦被告人提出异议，法院必须启动主审程序，原有的处刑令则转而作为公诉意见发挥作用。在德国的司法实践中，处刑令程序应用极为广泛，约有60%的提起公诉案件最终通过该途径得以处理^[6]。

德国的处刑令程序依托书面审理方式运行，显著降低了司法资源的消耗。从我国现实出发，完全移植此类书面审查模式恐面临较大障碍，针对那些案件数量庞大的危险驾驶罪尤其是现场查获的醉酒驾驶情形，可适当借鉴书面审查模式，从而有效缓解当前司法实践中“案多人少”的突出矛盾。同时，现行操作流程中存在的各类繁琐文书、重复性听取意见环节，以及认罪认罚具结书签署过程的全程录像等做法，亦可在系统评估之后予以适当合并或简化处理。

（二）美国审前转处制度的借鉴

美国审前转处机制以“程序节点”为轴，形成“起诉前一审

判前一答辩后”之三阶分流体系，其功能定位与我国附条件不起诉制度同属“起诉替代”与“恢复性司法”范畴，尤以起诉前转处最具参照价值。在司法运行层面，该模式占据绝对比例：检察官于提审后、公诉前，即可与被告人订立书面转处协议，设定六个月至二年之考验期，并嵌入强制性项目清单；考验期满且义务履行完毕者，检察机关以“no paper”或“nolle prosequi”终结追诉，实现“非刑罚性”出罪。其制度精髓在于“项目化矫治”与“个别化处方”之耦合：联邦及州司法系统依托《审前转处项目法》、司法部分类评估工具，构建“风险—需求—反应性”三维量表，将行为人类型、罪因结构与干预强度精准匹配，形成心理治疗、物质滥用戒治、认知行为训练、职业技能认证等多元模块，以循证矫正降低再犯基线。与此同时，通过“被害人影响陈述+社区修复会议+赔偿保证金”之复合机制，将被害人损害修复与社区关系重建纳入转处要件，既提升程序正当性，亦强化治理实效。

对我国而言，美国经验在以下维度提供规范启示：其一，以“法定要件+量化评估”双轨制限定转处范围，防止裁量滥用；其二，引入“项目菜单”与“个别化方案”，丰富附加义务之实质内涵；其三，以“最短必要期限”与“动态调整”相结合，精细设定考验周期；其四，建构“被害人权利保障+司法审查+违约惩戒”之立体化制衡，确保程序公开与结果可接受。上述要素可为我国附条件不起诉制度之适用标准、义务设定与期限裁量提供比较法参照，进而助推轻罪治理迈向科学化、规范化与多元化。

四、完善路径和政策建议

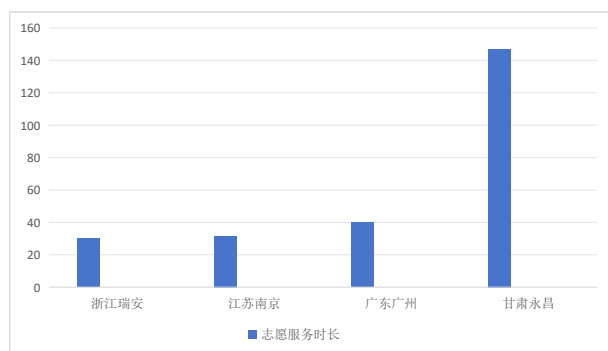
轻罪附条件不起诉制度欲在“犯罪结构轻罪化”与“治理模式精细化”双重张力下释放其谦抑、恢复与分流之规范功能，必先破解“实体要件模糊—程序裁量恣意—救济机制阙如”之结构性困境。

（一）附条件不起诉的适用进行一定的扩张

1. 适用主体的扩张。

现行制度将适用主体严格限制为未成年人（根据《刑事诉讼法》第271条），即犯罪时已满12周岁不满18周岁的犯罪嫌疑人。这种限制在实践中显露出明显局限性，适用范围过窄已成为制约该制度功能发挥的主要障碍。然而，在司法实践中已有部分地区对成年人轻罪案件探索适用“类附条件不起诉”机制，尤其是在醉驾、轻微财产犯罪等领域，形成了一些具有代表性的试点案例。比如浙江瑞安“醉驾附条件不起诉”试点，张某醉驾与人力三轮车发生碰撞，负事故全责，但未造成人员伤亡。检察机关认为其犯罪情节轻微且认罪悔罪态度好，在其自愿完成30小时社会服务后，决定作出不起诉。该模式被称为“瑞安模式”，虽未明确使用“附条件不起诉”表述，但实质上采用了附加条件+不起诉决定的结构，适用于成年人轻罪案件。

“瑞安模式”诞生后,很多地方检察院都意识到了成年人醉驾案件“附条件不起诉”的实践意义,于是纷纷跟进。例如,在醉驾案件的附条件不起诉实践中,多地检察机关探索了“认罪认罚+社会公益服务”的考察机制。截至目前,共有38名拟作不起诉处理的醉驾案件人员参与交通社会公益服务活动累计152次,服务时长超过1200小时。甘肃省金昌市永昌县人民检察院则通过与公安机关签订规范性文件的方式,为“公益服务考察模式”确立了制度框架。该院与公安机关共同出台了《关于办理“醉驾类危险驾驶”案件正确适用相对不起诉的规定(试行)》和《关于“醉驾”刑事案件犯罪嫌疑人实行道路交通安全公益服务活动的考察办法(试行)》,明确界定了公益服务考察的基本条件、服务时长、服务次数及具体方式,并将考察机构的考核结果作为认定犯罪嫌疑人是否认罪认罚的重要依据。自公益服务工作机制实施以来,该院已对68名醉驾案件嫌疑人作出不起诉处理,累计服务时长达万余小时。广州市越秀区检察院与当地社会发展中心合作,轻罪醉驾犯罪嫌疑人可以通过1个月的考察期内完成40个小时的志愿活动,获得该发展中心出具的考察评估结论,检察机关可以据此作出不起诉决定。



图：各地醉驾附条件不起诉人均服务时长对比

2. 适用案件类型的扩张。

根据现行《中华人民共和国刑事诉讼法》第282条的规定,附条件不起诉的适用案件类型有明确限定,仅适用于刑法分则第四、五、六章规定的犯罪案件,即:故意伤害(轻伤)、非法拘禁、侮辱、诽谤等;盗窃、诈骗、抢夺、敲诈勒索等;寻衅滋事、妨害公务、聚众斗殴、传播淫秽物品等。换言之,刑法其他章节的罪名(如危害公共安全罪、破坏市场经济秩序罪、贪污贿赂罪等)原则上不适用附条件不起诉,即便情节轻微也不行,将危险驾驶罪等轻罪“大户”排除在外,导致制度效能受限。

3. 拓展刑罚适用幅度。

在当前法律框架与轻罪治理的时代背景之下,学术界存在一种观点,主张将附条件不起诉制度适度扩展至成年人所涉案件,并建议将法定刑条件设定为三年有期徒刑以下。依据该思路,人民检察院应在综合考量犯罪嫌疑人性格、年龄、犯罪后果、犯罪目的、悔罪表现、生活状况、犯罪性质及情节等多方面因素后,裁量决定是否适用附条件不起诉。值得注意的,可能判处三年以下有期徒刑的案件,恰好属于我国刑事速裁程序的适用对象范

围,而该速裁程序与附条件不起诉程序之间存在着内在的制度关联。原则上,对于符合上述轻罪要求的案件,检察机关既可依法作出相对不起诉决定,也可对满足法定条件的案件适用附条件不起诉。若犯罪嫌疑人未选择附条件不起诉路径,其仍可选择适用认罪认罚从宽制度,签署认罪认罚具结书,由检察机关提出从宽量刑建议,最终由人民法院按照速裁程序快速审理并作出有罪判决。由此,附条件不起诉程序与刑事速裁程序便构成了法律为被追诉人提供的两种前后衔接、宽严相济的处理机制。

(二)对轻罪案件附条件不起诉程序进行规制

借鉴未成年人附条件不起诉制度的实践经验与教训,未来轻罪案件附条件不起诉的程序设计可作出相应调整。

1. 建立检察机关和犯罪嫌疑人协商机制。

附条件不起诉机制能否顺畅运转,在很大程度上取决于犯罪嫌疑人是否能够主动投入并积极配合。适用该项程序,不仅要求嫌疑人自愿认罪且同意接受相应安排,还需构建检察机关与其之间就监督考察事宜开展协商的机制。就此而言,一个基本思路是首先保障嫌疑人的知情权,随后由检察机关围绕以下三项内容与其进行充分沟通并达成合意:第一,确定考察期限。未来可设置最低六个月、最高两年的考察期范围,检察机关在此区间内酌情确定具体时长。第二,选定考察项目。在确保嫌疑人履行基础性义务的前提下,可赋予其从多个专门性义务或考察项目中自主选择一项或若干项的机会;一旦作出选择,嫌疑人即负有按约完成所选项目的义务。第三,签订书面协议。检察机关应与嫌疑人共同签署书面的“监督考察协议书”,其中应载明嫌疑人必须遵守的基础性义务,以及经其自主选择所确立的专门性义务。当然,若嫌疑人拒绝接受监督考察、拒绝签署上述协议,或在协议履行过程中未能完成所确定的考察义务,检察机关应当及时终止监督考察活动,并依法恢复正常的刑事诉讼程序。

2. 引入社会力量的支持和社会组织的参与。

刑事执行权所包含的内容,并不限于将法院已发生法律效力刑事裁判、决定或禁止令等法律文书所确定的事项付诸实施过程中所应履行的职责与权限,其范围还进一步扩展至执行变更、执行指挥及执行监督等多项权能。在社区矫正制度中,合理设置监督机制,有助于保障执行过程的公正性,并切实提高执行的实质效果。无论是附条件不起诉制度所要求的参与社区公益劳动、交通执勤等活动,还是对免于刑事处罚罪犯的实际表现进行跟踪考察,均需依托相应的监督机制,以确保执行效果能够真正落地,进而推动轻微犯罪治理工作取得实效。鉴于社区矫正直接牵涉犯罪人的人身自由等重大权益,为防止刑事执行权被不当使用,有必要建立一套系统化的监督机制。在具体实施路径上,应由依法承担法律监督职责的检察机关发挥主导作用,协同公安机关、人民法院、司法行政机关、居民委员会、村民委员会等多元主体,并积极调动社区群众的参与热情,形成监督合力。

此外,还应进一步明确社区矫正的监督方式、监督程序、善

后处置机制以及相关配套制度等内容，以形成完整的监督运行体系^[6]。

3. 发挥附条件不起诉的教育功能。

《刑事诉讼法》第283条第3款为被附条件不起诉的未成年人犯罪嫌疑人设定了考验期内须遵守的四项具体要求。但其中前三项仅属于基础性行为规范，难以充分彰显附条件不起诉制度所承载的教育矫治功能。2019年施行的《人民检察院刑事诉讼规则》第476条虽然进一步细化了未成年人接受矫治与教育的主要内容，但其规定仍较为原则化，存在内容笼统、操作性不足等问题。为此，未来《刑事诉讼法》应在既有规范基础上，进一步明确轻罪案件中适用附条件不起诉的行为人应当接受何种矫治与教育措施。在立法技术上，可考虑参照2018年《刑事诉讼法》第283条的体例，将原第三款第一至第三项合并为一项，作为成年人在轻罪案件附条件不起诉考验期内的基本遵守义务。同时，也可借鉴《人民检察院刑事诉讼规则》中的相关规定，对轻罪案件附条件不起诉制度的适用条件作出更为细致的规范安排^[7]。

（三）完善轻罪案件附条件不起诉监督机制

1. 完善观护基地设施与资源整合。

在司法实践中，地方检察机关积极探索“社会观护基地”模式，构建“检察机关主导、社会力量协同”的未成年人监督考察机制。其一，建立专业化观护基地。检察机关依托有社会责任感的爱心企业、社会组织、职业学校等，挂牌成立社会观护基地。观护基地类型包括学校型、企业型、社区型、乡村型及公益组织型等，形成“四型一体”的观护矩阵。观护基地与检察机关签订协议后，接收被附条件不起诉的未成年人，通过法治教育、心理干预、行为矫治、劳动技能培训等方式，开展监督、管束和帮教工作，为未成年人顺利回归社会提供帮助。其二，引入专业社工力量。检察机关委托专业社工机构开展个性化帮教活动，社工机构按照协议做好模块服务，实现“一人一策”精准帮扶，定期汇报帮扶进展情况，建立帮扶档案。例如，广州市番禺区人民法院探索“检察官+社工+心理疏导师”联动机制，由司法社工提供专业心理咨询和家庭教育指导服务。其三，强化检察机关主导责任。为确保监督考察工作顺利推进，检察机关发挥主导作用，负责制定考察帮扶计划，全程监督考核工作，对社会帮教机构出具的考察报告进行审核。考察帮教基地或考察小组按照帮教方案，安排人员对被附条件不起诉未成年人进行日常管理和动态监督，督促其遵守法律法规，履行考察义务。其四，动员多元主体参与。在未成年人监督考察工作中，检察机关既可单独委托监护人实施监督，也可委托监护人、所在学校、居住地村委会、居委会以及未成年人保护组织等相关人员或机构，协同开展考察与教育辅助工作。在未成年人无固定住所、无经济来源、无有效监护条件的情况下，还可重点依托观护基地进行集中观护。

目前，观护基地多为“功能单一”或“资源碎片化”，缺乏统一的设施标准和管理平台。观护人员（司法社工、心理咨询师、

教育专家等）配置不足，专业化程度不高。基地与检察机关、公安、教育、民政等部门的信息共享机制不完善，导致资源调度效率低下。对观护效果的评估缺乏统一指标，难以形成闭环管理。针对现存的问题，建议制定《观护基地建设规范》，明确场地面积、活动室、心理辅导室、技能培训间、网络安全教室等必备功能区。引入智能考勤、行为监测、信息化管理系统，实现对观护对象的实时定位与行为记录。建立“教育矫治基地”“公益实践基地”“军训观护基地”“农业劳动基地”等多类型观护点，满足不同嫌疑人背景与矫治需求。配置司法社工、心理咨询师、法律教育师、职业技能教练等专职或兼职人员，形成“一站式”矫治团队。搭建“观护资源共享平台”，实现检察机关、观护基地、社区、学校、企业等多方信息互通（包括考核进度、培训记录、风险评估等）。

2. 数字化监督平台建设。

根据现有研究和司法实践，轻罪案件中附条件不起诉的数字化监督平台建设可从以下五个维度系统完善：（1）确立“四位一体”建设原则。具体包括：以检察官办案监督需求为核心，避免技术堆砌。实现从案件受理、考察监督到最终处理的全流程数字化。打破公安、检察、司法行政、社区等部门数据壁垒，建立分级权限管理和数据加密机制。（2）强化核心功能模块。智能评估与决策支持系统，构建“附条件不起诉适用性评估模型”，整合犯罪情节、个人情况、社会调查结果等数据，辅助检察官精准决策。动态监管与电子围栏，借鉴江苏省扬州市邗江区检察院经验，精准设置多重电子围栏，实现被监督人越界、违规行为的“实时预警”。集成定位打卡、在线学习、公益服务打卡等功能，形成“行为数据画像”。建立统一数据平台，实现案件信息、监管信息、社会信息的互联互通。（3）创新智能监督机制。对附条件不起诉的考验期限、义务履行节点设置自动提醒功能，部署大数据法律监督模型，自动筛查异常案件，如同时段同类案件处理差异过大、监督考察流于形式等问题。利用“区块链技术”保障监督过程数据不可篡改，确保考察报告、谈话记录等证据材料的“真实性”和“可追溯性”。

3. 检察官能力提升计划。

附条件不起诉要求检察官不仅判断行为合法性，更要诊断犯罪根源。这要求培训体系增设犯罪学、社会学、心理学等基础理论模块。英美法系国家普遍采用结构化风险评估工具（如YLS/CMI、LSI-R），检察官需接受专门认证才能使用这些工具。培训内容涵盖量表解读、动态风险因素识别、干预方案匹配等。这种模式将检察官从法律适用者转变为“风险工程师”，要求其具备量化分析能力。专业能力不再局限于个人法律素养，而是体现在整合资源、协调多方、设计个性化帮教方案的综合能力上。强调检察官作为“社会修复催化剂”的角色定位。培训重点包括被害人-加害人和解技巧、社区资源链接能力、心理疏导基础等。要求检察官从“办案者”转变为“帮教方案设计者”。需根据个体

差异设计包含法治教育、心理疏导、技能培训、社区服务等模块的个性化方案，并在考察期内持续跟踪、动态调整。数据显示，2024年检察机关在考察期内撤销附条件不起诉并提起公诉的共1104人，占比约5.3%，这反映了检察官在监督环节的严格把关。最终目标是培养一支既精通法律又懂社会治理、既能运用科技又坚守法治初心的复合型检察官队伍，真正实现“办理一案、治理一片、教育一方”的司法效果。

五、结束语

古语云：“法者，治之端也。”现代国家的建构必然以法治为其基本底色，国家迈向现代化的进程，本质上也是走向法治化的进程。法治化与现代化之间存在着深刻的内在逻辑观念，从价值逻辑层面审视，国家治理现代化的核心意涵正在于实现一种以

良法善治为根本价值追求的法治化治理模式^[8]。

伴随社会结构的持续演变与转型，我国刑事司法正逐步迈入所谓的“轻罪时代”^[10]。然而现行刑事政策尚未作出相应调整，相关法律制度亦明显落后于时代发展需求。在刑事案件中占据相当比例的轻罪案件，如何实现从“治罪”向“治理”的模式转变，以及如何有效发挥包括附条件不起诉在内的各项制度功能，已成为当前司法改革中亟待解决的重要课题^[9]。在此背景下，我国检察机关能否在构建附条件不起诉的过程中适度的扩展其适用范围，对更多轻罪案件引入监督考察机制；能否针对不同类型的犯罪人设立个性化、差异化的教育矫正项目，并引入适当的社会支持资源，从而真正实现消除特定犯罪原因来达到犯罪预防的目标，这将构成一项会有挑战性的研究命题。

参考文献

- [1] 段陆平. 健全我国轻罪诉讼制度体系：实践背景与理论路径[J]. 中国刑事法杂志, 2021, (2): 161-176.
- [2] 陈光中, 李作. 轻微犯罪无罪化处理问题探讨[J]. 法律适用, 2024, (1): 53-64.
- [3] 樊崇义. 具有中国特色的现代化轻罪治理的理论与实践[J]. 警学研究, 2024, (1): 5-11.
- [4] 王迎龙. 轻罪治理背景下出罪模式研究——实体与程序路径的双重反思[J]. 比较法研究, 2023, (4): 18-32.
- [5] 陈瑞华. 轻罪案件附条件不起诉制度研究[J]. 现代法学, 2023, 45(1): 145-163.
- [6] 郭立新, 李勇, 许慧君. 德国轻罪司法制度考察及启示[J]. 人民检察, 2025, (1): 61-66.
- [7] 彭文华. 轻微犯罪治理的规范困境与路径优化[J]. 中国法学, 2025, (3): 24-44.
- [8] 樊崇义, 徐歌旋. 轻罪案件附条件不起诉制度研究[J]. 内蒙古社会科学, 2024, 45(1): 137-147+221.
- [9] 周佑勇. 推进国家治理现代化的法治逻辑[J]. 法商研究, 2020, 37(4): 3-17.
- [10] 卢建平. 轻罪时代的犯罪治理方略[J]. 政治与法律, 2022, (1): 51-66.

数智时代统计人才思政素质培养的生成逻辑与实践路径

肖敏, 沈绍伟*, 陈浩

浙江工商大学 统计与数据科学学院, 浙江 杭州 310018

DOI:10.61369/ASDS.2026080005

摘 要 : 数智时代, 统计学与数据科学深度参与国家治理、产业发展和人工智能应用, 统计人才培养亟须从方法训练转向专业能力、价值判断、数据伦理和社会责任的综合塑造。统计人才思政素质并非专业教育之外的附加要求, 而是内在体现于数据真实、推断边界、模型责任、数据伦理和实践担当之中。当前培养实践仍存在课程思政融入表层化、专业教学工具化、数据伦理教育薄弱、实践场景不足和评价机制单一等问题。破解上述问题, 应依托统计与数据科学课程群, 将价值引领嵌入“数据—模型—解释—应用”的专业活动链条, 推动统计人才培养实现价值引领与专业能力的深度融合。

关 键 词 : 数智时代; 统计人才; 思政素质; 课程思政; 数据伦理

Cultivating Ideological and Political Literacy among Statistics Professionals in the Era of Digital Intelligence: Formation Logic and Practical Pathways

Xiao Min, Shen Shaowei*, Chen Hao

School of Statistics and Data Science, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, Zhejiang 310018

Abstract : In the era of digital intelligence, statistics and data science are increasingly embedded in national governance, industrial development, and artificial intelligence applications. The training of statistical professionals therefore needs to move beyond technical skill acquisition toward the integrated development of professional competence, value judgment, data ethics, and social responsibility. This paper argues that ideological and political literacy in statistics is not an external addition to professional education, but is reflected in commitments to data authenticity, awareness of inferential boundaries, model accountability, data ethics, and practical responsibility. It further identifies several problems in current training, including superficial integration of curriculum-based ideological and political education, instrumentalized professional teaching, weak data ethics education, insufficient practice-oriented scenarios, and narrow evaluation mechanisms. To address these issues, value guidance should be embedded in the professional activity chain of “data–model–interpretation–application” through curriculum restructuring, real-world cases, ethics education, project-based learning, and evaluation reform. This approach can promote the integration of value guidance and professional competence in statistics education.

Keywords : digital intelligence era; statistical professionals; ideological and political literacy; curriculum-based ideological and political education; data ethics

引言

数智技术的快速发展正在深刻改变统计学的知识形态、应用场景和人才培养要求。数据不再只是统计分析的对象, 也日益成为国家治理、产业创新和社会运行的重要资源; 统计方法也不再只是专业内部的技术工具, 而越来越多地参与现实问题识别、公共决策支持和智能系统运行。在这一背景下, 统计人才培养面临的核心问题, 不只是如何提升学生的数据处理能力和模型应用能力, 更在于如何引导学生在数据实践中形成科学求真的态度、规范使用数据的意识、审慎解释结论的能力以及面向社会负责的职业素养。

课程思政建设为统计人才培养提供了重要方向, 但统计学专业的课程思政不能停留于外在嵌入一般价值话语。统计知识本身就包含丰富的育人内容: 数据采集关系到真实性与合规性, 统计推断关系到证据意识与边界意识, 模型建构关系到科学精神与方法责任, 结果

基金项目: 浙江省高等教育教学改革项目“数智时代统计人才思政素质提升研究”(项目编号: JGCG2025117)。

作者简介:

肖敏, 浙江工商大学统计与数据科学学院, 博士, 讲师, 研究方向为应用统计;

陈浩, 浙江工商大学统计与数据科学学院, 硕士研究生, 研究方向为概率论与数理统计。

通讯作者: 沈绍伟, 浙江工商大学统计与数据科学学院, 博士, 副教授, 研究方向为课程思政教育。

应用则关系到伦理判断与社会影响。因此，数智时代统计人才思政素质的培养，应当从统计专业活动内部展开，使价值引领真正进入“数据—模型—解释—应用”的全过程。

基于此，本文围绕数智时代统计人才思政素质培养问题展开讨论：首先分析其现实意蕴，进而界定其主要构成维度；随后梳理当前培养实践中存在的突出困境，并在此基础上提出相应的实践路径，以期推动统计人才培养由单纯知识技能训练转向专业能力、价值判断、伦理意识和社会责任的协同提升。

一、数智时代统计人才思政素质提升的现实意蕴

进一步看，数智时代统计人才思政素质提升首先具有服务国家治理和公共决策的现实意义。统计学是认识社会、解释现象和服务决策的重要方法体系，在数智时代具有突出的基础性作用。大数据、人工智能和数字经济的发展，使数据从信息载体转化为生产要素和治理资源。统计方法也从传统的数据整理、描述分析和推断分析，扩展到经济监测、公共卫生、金融风险、社会治理、智能推荐和平台监管等领域。统计人才能否规范获取数据、科学使用模型并审慎解释结论，直接影响数据资源利用质量和公共决策科学性^[1-3]。

这种现实意义并不只是宏观层面的价值要求，也具体体现于统计专业活动的全过程之中。统计人才思政素质需要结合学科特点重新理解。它不是在专业课程中增加一般性价值表述，也不是简单嵌入宏观叙事，而是要求学生在统计学习和数据实践中形成价值取向、职业规范和责任意识^[4]。具体而言，思政素质体现为对数据真实性的坚守、对统计推断边界的理解，以及对数据伦理和模型责任的认识。统计分析以数据为基础，数据来源、采集过程和样本代表性影响结论可靠性；统计结论具有条件性和不确定性，学生需要辨析其解释范围与推断限度；数智时代的建模还涉及个人信息、群体画像和自动化决策，缺少伦理意识可能放大偏差、误导决策并损害公共利益^[5-7]。

数智时代统计人才培养不宜停留于软件操作、模型指标和竞赛成绩等技术性目标^[8]，而应引导学生理解统计工作的社会意义。统计学以数据为对象，但数据生成、解释与应用均嵌入社会关系、组织情境和决策过程。合格统计人才既要具备方法能力，也要形成真实问题意识、数据规范意识、模型局限意识和社会责任意识。由此可见，统计人才思政素质已从一般价值要求转化为与统计专业活动紧密相关的综合素养。

二、数智时代统计人才思政素质的构成维度

统计人才思政素质的提升，首先需要明确其专业内涵。与一般意义上的思想政治素质相比，统计人才思政素质并非脱离统计知识体系的抽象价值要求，而是嵌入数据生产、统计推断、模型建构和结果应用全过程的价值规范与职业素养^[9-12]。数智时代，统计人才面对的不只是数据处理问题，也包括数据采集、解释、传播和使用中的规范问题。

据此，本文将数智时代统计人才思政素质概括为五个维度：

政治认同与国家需求意识、数据真实与科学求真精神、统计推断边界意识、数据伦理与算法责任意识、实践担当与创新服务意识。五个维度分别指向价值方向、专业底线、科学态度、技术责任和现实服务能力，共同构成统计人才价值素养的基本结构。

（一）政治认同与国家需求意识

统计工作具有鲜明的公共属性。人口普查、经济普查、居民收入调查、数字经济测度、就业监测和社会发展评价等统计活动，都与国家治理、公共决策和社会运行密切相关。统计人才的政治认同与国家需求意识，集中体现为理解统计学服务国家治理现代化的重要意义，并自觉将专业学习、能力形成与国家发展需求相结合。统计专业学生学习统计学，不应停留于完成课程考试或掌握就业技能，还应理解统计方法在认识国情、服务政策和推动中国式现代化建设中的基础作用。

（二）数据真实与科学求真精神

统计学以数据为基础，数据真实是统计工作的生命线。统计人才的科学求真精神，集中表现为尊重事实、尊重数据和尊重统计规律。无论技术如何发展，统计分析都不能脱离真实可靠的数据基础。数智时代的数据规模更大、类型更多、获取方式更便捷，但数据质量问题也更加复杂。网络数据可能存在选择偏差，平台数据可能受到算法机制影响，调查数据可能存在非响应误差，公开数据也可能因统计口径差异而产生解释偏差。这要求统计人才具备追溯数据来源、理解数据生成过程和识别数据质量问题的能力。

（三）统计推断边界意识

统计学研究的重要任务，是在不确定性条件下进行推断。置信区间、显著性水平、抽样误差、预测误差和模型假设等内容，都表明统计结论具有条件性和边界性。统计人才的思政素质，不仅体现在获得分析结果的能力上，也体现在审慎解释结果的能力上。现实数据分析中，统计结论被误读和误用的情况并不少见，如将相关关系解释为因果关系，将局部样本结论推广到总体，将统计显著性等同于实际重要性。具有良好思政素质的统计人才，应当准确把握统计模型的解释边界，明确模型结论的适用范围与局限性。

（四）数据伦理与算法责任意识

数智时代，统计人才越来越多地参与数据采集、用户画像、风险评估、智能推荐和自动化决策等工作。这些工作不仅涉及技术效率，也涉及隐私保护、算法公平、数据安全和社会责任。数据伦理意识要求统计人才关注数据获取是否合法、个人信息是否得到保护、数据处理是否符合规范；算法责任意识则要求其关注

模型是否可能放大偏见、是否对不同群体产生不公平影响,以及是否具有必要的可解释性。较好的模型表现并不意味着模型一定具有合理的应用基础。如果模型建立在违规数据之上,或者对特定群体造成系统性不利影响,就不能被视为合格的统计应用方案。

（五）实践担当与创新服务意识

统计学是一门应用导向鲜明的学科。统计人才的价值不仅体现在掌握理论和方法,也体现在能够面向真实问题提出分析方案、解释数据结果并服务科学决策。现实统计问题往往不以教材习题的形式出现,真实数据可能存在缺失、噪声和偏差,现实问题也常常涉及经济、社会、管理和技术等多个层面。统计人才需要在复杂条件下理解问题、选择方法、沟通结论,并对分析结果的使用后果保持负责态度。同时,数智时代不断拓展统计学的应用边界,统计人才还应将专业创新与国家需求、社会发展和公共利益结合起来,实现价值引领与能力提升的统一。

三、当前统计人才思政素质培养面临的现实困境

对照“数据—模型—解释—应用”的专业活动链条,当前统计人才思政素质培养仍存在若干不足。这些不足不仅表现为课程思政内容融入不深,也表现为专业教学、伦理教育、实践训练和评价机制之间尚未形成有效协同。

（一）课程思政融入方式表层化,专业知识与价值引领衔接不足

近年来,统计学相关课程逐步重视课程思政建设,但在实际教学中仍存在融入方式表层化的问题。部分课程将课程思政停留在课堂导入中的政策阐释,或章节结束时的价值概括,专业知识与思政内容之间尚未形成稳定的内在关联。学生虽然能够感知思政内容的存在,却未必能够理解其与统计专业学习之间的关系。从学科属性看,统计学自身蕴含丰富的育人资源。抽样调查体现实事求是和尊重事实的精神,假设检验体现证据意识和理性判断,回归分析涉及因果边界的审慎把握,机器学习则涉及算法公平与技术向善等伦理要求。若教师未能从统计知识本身提炼价值内涵,课程思政就容易停留于外在附加层面,难以进入学生的专业认知结构。

（二）专业教学存在工具化倾向,问题意识培养相对不足

数智时代,统计教育更加重视软件工具、计算能力和数据分析实践,R、Python、机器学习平台以及各类数据分析竞赛在教学中的比重不断提高。这一变化有助于增强学生实践能力,但也可能带来专业学习的工具化倾向。部分学生容易将统计学习简化为“导入数据—调用模型—比较指标—生成图表”的技术流程,而对研究问题、数据背景、样本质量和结论解释关注不足。例如,在回归分析作业中,学生往往关注变量是否显著,却较少讨论变量选择是否合理;在机器学习项目中,学生关注准确率和AUC等指标,却较少分析模型可能对不同群体产生的差异性影响。专业教学若过度强调模型技术,容易造成学生计算操作能力较强而问题判断能力不足。

（三）数据伦理教育相对薄弱,难以回应数智时代的新风险

随着数据资源广泛流动和人工智能深度应用,统计人才面对的数据伦理问题日益复杂。个人信息保护、数据授权、算法歧视、模型可解释性、自动化决策责任等,已经成为统计与数据科学实践中不可回避的重要议题。然而,在现有课程体系中,数据伦理内容往往只是零散出现在个别章节或案例讨论中,尚未形成系统化教学安排。在缺乏伦理训练的情况下,学生容易将数据可得性等同于使用正当性,将模型表现等同于应用合理性,将统计显著性等同于结论充分性,从而忽视数据采集和模型应用背后的权利关系、群体差异与社会影响。

（四）实践育人场景不足,统计工作的社会价值呈现不充分

统计学是一门面向现实问题的应用性学科。学生往往需要在真实或接近真实的场景中,才能理解统计方法的应用价值以及统计结论对决策过程的影响。然而,当前部分课程仍主要依赖教材案例和标准数据集,数据背景较为单一,问题情境也相对理想化。人口普查、经济普查、居民收入调查、就业监测、公共卫生预警、生态环境评价、数字经济测度等,都是统计学服务国家治理的重要应用场景。若这些内容难以有效进入课堂,学生就容易将统计学理解为单纯的技术工具,而难以理解其观察社会、服务决策和推动治理现代化的方法价值。

（五）评价机制偏重知识技能,思政素质评价不足

统计人才思政素质培养能否落地,关键取决于评价机制是否能够发挥有效导向作用。当前部分统计课程评价仍主要围绕公式掌握、软件操作、模型结果和实验报告展开,对学生在数据规范、结果解释、伦理反思和社会责任等方面的表现关注不足。在这种评价导向下,学生即便完成建模过程、得到较好的预测指标或写出形式完整的分析报告,也可能获得较高评价;而数据来源是否清楚、结论解释是否审慎、模型局限是否充分说明,则未被置于同等重要的位置。总体来看,当前问题的深层原因在于思政素质尚未充分转化为统计专业教学中可教学、可训练、可评价的具体要求。

四、统计人才思政素质融入专业教育的生成逻辑

前文已从目标层面对统计人才思政素质的构成维度进行了界定,本节进一步讨论这些素质如何转化为统计专业教学中的具体育人机制。统计学教学并非在专业内容之外另行添加思政内容,而是可以依托“数据—模型—解释—应用”的专业活动链条,将价值引领嵌入统计学习全过程。五个构成维度主要回答“培养什么素质”的问题,统计活动链条则进一步回答“这些素质如何在专业教育中生成”的问题。

在数据环节,应着重培育真实意识和规范意识。统计分析始于数据,数据来源、采集方式、样本结构和质量状况直接影响后续分析的可靠性。对统计教学而言,学生数据真实意识的培养不能停留于一般性强调数据真实,而应依托抽样调查、数据清洗、缺失值处理、异常值识别等具体教学内容,引导学生理解数据生成过程对统计结论的影响。例如,在讲授抽样调查和数据预处理

时,可要求学生分析样本代表性不足、异常值处理和缺失值处理对结论可靠性的影响。通过上述专业训练,数据真实意识才能从一般价值要求转化为具体方法意识。

在模型环节,应突出科学精神和审慎判断。统计模型并非简单的计算工具,而是在一定假设条件下对现实问题进行抽象、刻画和解释的方法。学生在学习回归分析、时间序列、机器学习等内容时,不仅需要掌握模型形式和计算方法,也需要理解模型假设、适用条件和潜在偏差。特别是在数智时代,复杂模型和自动化算法容易形成“客观化”“精确化”的表象,但模型输出并不必然等同于事实判断。将思政素质融入模型教学,重在引导学生形成尊重证据、理解假设、审慎推断的科学态度,避免将模型输出简单等同于真实结论。

在结果解释环节,应强化边界意识和表达责任。统计分析结果通常需要通过文字、图表和报告加以呈现,而呈现方式会影响读者对数据结果的理解。统计人才不仅要具备计算与建模能力,也要具备结果解释和责任表达能力。在教学中,教师应引导学生区分统计显著性与实际重要性、相关关系与因果关系、样本结论与总体推断,避免夸大结论或选择性呈现结果。数据可视化、统计报告写作和案例分析等课程内容,是培养学生表达责任的重要载体。

在应用环节,应凸显伦理意识和公共责任。统计方法的社会意义集中体现于具体应用场景。无论是公共政策评估、金融风险控制、医疗诊断辅助,还是平台推荐和智能决策,统计模型都可能影响资源配置、机会分配和社会认知。课程教学应通过真实案例和项目任务,引导学生讨论模型应用是否合规、是否公平、是否具有必要解释性,以及是否可能对特定群体造成不利影响。通过这种方式,数据伦理和算法责任不再只是抽象规范,而能够转化为统计应用能力的重要组成部分。

综上,统计人才思政素质提升的生成逻辑,在于将价值目标嵌入统计专业活动链条之中。只有将真实与合规、科学与审慎、准确与规范、伦理与责任等要求转化为课程内容、教学案例、实践任务和评价标准,才能推动课程思政与专业教育由外在结合走向内在融合。基于这一逻辑,统计人才思政素质提升应从课程体系、案例资源、伦理教育、项目实践和评价机制等方面协同推进。

五、数智时代统计人才思政素质提升的实践路径

（一）重构统计课程思政内容体系，形成专业知识与价值目标的内在对应

统计人才思政素质的培养,首先需要落实到课程体系之中。统计学专业课程具有较强的方法性和应用性,不同课程所承载的育人功能也有所差异。高校可以围绕统计学专业核心课程,系统梳理不同课程中的育人元素,形成由基础课程、方法课程和应用课程共同支撑的培养体系。课程思政建设的重点,不在于简单增加外在话语,而在于从统计知识内部提炼价值内涵,使学生在专业方法的同时形成相应的价值判断和职业规范^[4,9-12]。基础

课程可突出数据意识、证据意识和不确定性思维,调查类课程可强化数据真实、样本代表性和调查规范,模型方法课程可引导学生理解模型假设、因果边界和预测风险,应用课程则可突出数据伦理、算法公平和模型责任。通过课程群建设,统计人才思政素质培养能够由单门课程的零散融入,逐步走向系统化和递进式培养。

（二）引入真实数据案例，增强课程思政的问题解释力

真实数据案例是连接统计方法与社会现实的重要媒介。统计学教学如果长期依赖教材例题和标准数据集,学生容易将统计学习理解为软件操作和指标比较,而难以理解方法背后的现实问题。将国家治理、社会民生和数字经济相关案例引入课堂,有助于呈现统计方法的生成逻辑、应用场景和社会后果。例如,在讲授描述统计和统计指标时,可结合居民收入、人口结构、就业变化等数据,引导学生理解不同指标反映社会现实的方式;在讲授机器学习时,可结合信贷评分、招聘筛选和推荐系统案例,讨论算法公平和模型可解释性。真实案例的价值不只是帮助学生理解方法,更在于使学生认识到统计结论与公共政策、社会公平、个体权益和资源配置之间的联系。

（三）强化数据伦理教育，提升学生的职业规范意识

数据伦理不宜被处理为统计课程中的附带话题,而应成为统计与数据科学人才培养的重要内容。高校可以采取独立课程与课程嵌入相结合的方式,系统开展数据伦理教育。一方面,可开设“数据伦理与统计职业规范”“人工智能治理与算法公平”等课程,讲授个人信息保护、数据安全、算法偏见、模型透明和自动化决策责任等内容;另一方面,也应在各类统计课程中嵌入伦理讨论,使学生在具体方法学习中理解伦理问题。在数据预处理环节,可讨论异常值处理和缺失值处理的合理性;在建模环节,可讨论变量选择是否可能引入歧视;在结果解释和应用环节,可讨论过度推断与模型部署的社会影响。通过这种方式,数据伦理能够从抽象规范转化为统计分析全过程中的基本要求。

（四）推进项目式教学，培养学生面向真实问题的责任担当

统计学习需要从例题训练走向真实任务。与传统习题训练相比,项目式教学能够使学生较为完整地经历问题提出、数据获取、模型分析、结果解释和建议形成的过程。在这一过程中,学生不仅需要运用统计方法,也需要处理数据质量、现实约束和社会影响等问题。课程项目可以围绕社区养老需求、大学生就业质量、城市交通运行、居民消费结构、企业风险预警等主题展开。学生在完成项目时,不仅要给出统计分析结果,还应说明数据来源、变量含义、方法选择依据、模型局限和结论适用范围。项目式教学还可通过校地、校企和科研合作拓展真实场景,使学生在真实问题中理解数据分析的复杂性、规范性和责任性。

（五）完善评价机制，将思政素质纳入专业学习全过程

评价方式决定学生如何理解课程要求。若课程评价主要关注公式掌握、软件操作和模型效果,学生自然会更加重视结果指标,而较少关注数据规范、伦理反思和结论解释。统计人才思政素质培养需要将相关要求转化为可评价、可反馈、可改进的教学指标。教师可在课程作业、项目报告、课堂讨论和综合实践中,

增加对学生价值判断和职业规范的评价。例如，要求学生说明数据来源、样本范围、数据质量、模型假设、结论局限和潜在伦理风险。教师评价时，不仅应关注模型是否正确，也应关注学生能否审慎解释结果、识别数据偏差，并意识到模型应用可能带来的社会影响。评价机制改革能够反向牵引教学过程调整，使统计人才思政素质培养从课堂倡导转化为学生持续形成的专业习惯。

六、结语

数智时代的统计人才培养不宜停留于方法掌握和技术训练层

面，而应把专业能力、价值判断、伦理规范和社会责任统一起来。本文从统计学科特点和数据科学实践出发，界定了统计人才思政素质的主要维度，分析了当前培养实践中存在的课程融入表层化、教学工具化、伦理教育薄弱、实践场景不足和评价机制单一等问题，并提出将价值引领嵌入“数据—模型—解释—应用”的专业活动链条。未来统计教育应依托课程群建设，通过真实案例、伦理讨论、项目训练和评价改革，推动思政素质转化为学生稳定的数据分析习惯和职业行为规范，从而培养兼具统计方法能力、科学精神、职业伦理和家国情怀的高素质统计人才。

参考文献

[1] 中共中央，国务院. 教育强国建设规划纲要（2024—2035年）[EB/OL]. (2025-01-19)[2026-06-23].

[2] 中共中央，国务院. 数字中国建设整体布局规划[EB/OL]. (2023-02-27)[2026-06-23].

[3] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国统计法（2024修正）[Z]. 2024.

[4] 教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知：教高〔2020〕3号[EB/OL]. (2020-05-28)[2026-06-23].

[5] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国个人信息保护法[Z]. 2021.

[6] 国家互联网信息办公室，国家发展和改革委员会，教育部，等. 生成式人工智能服务管理暂行办法[Z]. 2023.

[7] AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION. Ethical Guidelines for Statistical Practice[EB/OL]. (2022)[2026-06-23].

[8] HARDIN J, HOERL R, HORTON N J, et al. Data Science in Statistics Curricula: Preparing Students to “Think with Data” [J]. The American Statistician, 2015, 69(4): 343–353.

[9] 杨红梅，孔荣. 大数据背景下统计学专业教学与思政教育的深度融合探索[J]. 教育进展，2024，14(10): 862–869.

[10] 李静，朱继民，武松，等. 医学统计学课程思政教学改革的实践研究[J]. 中国卫生统计，2024，41(2): 302–305.

[11] 王飞，王星宇. 应用统计学课程中的思政教学创新：融合方法与实施路径[J]. 国际教育论坛，2024，6(10): 155–160.

[12] 李颖，徐冬梅. 新文科建设背景下《统计学》课程思政教学改革探索与实践[J]. 创新教育研究，2024，12(4): 247–253.

基于 AI 的《应用多元统计分析》课程混合式教学改革研究

刘晨^{*}, 陈文兵, 余戡

安庆师范大学 数学与统计学院, 安徽 安庆 246133

DOI:10.61369/ASDS.2026080006

摘要 : 针对《应用多元统计分析》课程存在的理论与应用脱节、编程基础差异大、个性化指导不足等问题, 本文结合国家教育数字化的战略背景, 探索了生成式人工智能 (AIGC) 技术赋能混合式教学。基于 AI 软件设计了包含“课前预习—课中互动—课后探究—个性辅导”四个环节的教学流程。采用文献研究、设计研究、行动研究、对比实验、问卷调查与访谈等方法, 旨在评估新模式对学生理论知识掌握度、软件操作能力及综合问题解决能力的提升效果。预期形成一套 AI 赋能教学模式及配套资源包, 为缓解统计课程的教学难点、推动高校智能化教学改革提供参考。

关键词 : 应用多元统计分析; 混合式教学; 生成式人工智能; 教学改革

AI-Based Blended Teaching Reform of the Course “Applied Multivariate Statistical Analysis”

Liu Chen^{*}, Chen Wenbing, Yu Kan

School of Mathematics and Statistics, Anqing Normal University, Anqing, Anhui 246133

Abstract : Addressing the issues of disconnection between theory and application, large disparities in programming foundations, and insufficient personalized guidance in the course “Applied Multivariate Statistical Analysis”, this paper explores the empowerment of blended teaching with generative artificial intelligence (AIGC) against the backdrop of the national digital education strategy. A teaching workflow consisting of four stages, namely pre class preview, in class interaction, post class exploration, and personalized tutoring, is designed using AI software. Methods such as literature review, design research, action research, comparative experiments, questionnaires, and interviews are adopted to evaluate the improvement effects of the new model on students' mastery of theoretical knowledge, software operation skills, and comprehensive problem solving abilities. The expected outcome is a set of AI empowered teaching models and supporting resource packages, providing a reference for alleviating the teaching difficulties in statistics courses and promoting intelligent teaching reform in universities.

Keywords : applied multivariate statistical analysis; blended teaching; generative artificial intelligence; teaching reform

引言

随着国家教育数字化战略的深入推进, 用人工智能赋能教学已经成为高等教育改革的重点方向。2025年起, 教育部启动了教育数字化战略行动2.0, 联合多个部门先后发布了《关于加快推进教育数字化的意见》《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》以及《“人工智能+教育”行动计划》, 明确提出要建设智慧课程, 实现大规模因材施教, 把人工智能融入教学的全流程^[1, 2]。《应用多元统计分析》是应用统计学专业的核心课程, 不过在传统的教学模式中, 确实存在一些比较突出的问题, 比如理论太抽象、不容易应用到实际, 学生的编程基础参差不齐, 个性化指导也跟不上^[3]。如何将 AI 技术融入该课程教学全流程, 是当前教改需要探索的课题。

基金项目: 安庆师范大学校级教改项目“AI 赋能的《应用多元统计分析》课程混合式教学模式的探索与实践”(2025aqnujyxm035); 2025年度高等学校省级质量工程项目“数学与应用数学专业质量提升与改造项目”(2025zytsai038); 2025年度高等学校省级质量工程“代数学”课程思政示范课程项目(2025zytsai038); 安徽省教学研究项目基于课程思政和 OBE 理念的融合式教学模式研究——以统计学类课程为例(2022jyxm909)。

作者简介:

陈文兵, 安庆师范大学数学与统计学院, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为代数编码、环模理论;

余戡, 安庆师范大学数学与统计学院, 讲师, 研究方向为管理统计。

通讯作者: 刘晨, 安庆师范大学数学与统计学院, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为系统分析与控制和强化学习。

具体而言,《应用多元统计分析》课程在实际教学中主要存在三大突出矛盾。一是理论抽象性与应用直观性的矛盾。课程涉及大量矩阵运算及多元正态分布、Wishart 分布等抽象理论,学生普遍反映“听得懂推导,看不懂应用”;传统的“先理论后实验”模式容易造成知识割裂,学生难以将判别分析、主成分分析等方法的数学原理与解决社会经济、生物医学等领域的实际问题有效关联。二是学生编程基础差异与统一教学进度的矛盾。实验环节高度依赖 R、Python 等编程工具,学生编程水平参差不齐,部分学生在环境安装、报错处理等基础环节即遭遇巨大障碍,消耗大量时间在前期入门阶段,严重打击学习积极性,甚至产生“代码恐惧症”。三是有限教学资源与个性化学习需求的矛盾。教师难以在有限的课堂和答疑时间内为数全班学生提供及时、针对性的辅导;学生在课后自学或完成作业时,无法获得即时反馈,难以根据自身基础和兴趣进行深度探索。

安庆师范大学应用统计学专业基础较好,2020 年获批“多元统计分析线上线下混合课程”,为本研究提供数字化资源。统计学专业教师在一线教学,指导学生参加全国大学生市场调查大赛、统计建模大赛、数学建模大赛等竞赛并获奖,积累了大量案例与教学经验,对课程难点和学情理解清楚。本文设计并实践一套 AI 赋能的混合式教学模式,以顺应国家教育数字化战略,推动信息技术与教学融合,对强化本校统计学专业特色、提升人才培养质量有现实意义。

一、《应用多元统计分析》课程混合式教学现状分析

(一) 国内研究现状

近年来,国内学者围绕智慧教学与混合式教学改革开展了大量研究,取得了不少成果。朱辉^[4]针对大数据时代下《应用多元统计分析》课程教学面临的挑战与问题,提出了一套“理论教学+大数据案例+线上研讨+实践拓展”的教学模式。说实话,传统的教学方式确实存在一些局限,所以郇付敏^[5]在反思传统“多元统计分析”教学的基础上指出,课堂上应该更加注重多元统计分析方法思想的讲解,多结合实例来教学,同时想办法调动学生的学习积极性。随后,潘玉荣^[6]从地方应用型高校的人才培养目标出发,设计了“理论教学+案例教学+SPSS 软件+实践教学”的课程教学模式。黎中彦^[7]则借助“雨课堂”这一信息化工具,探讨了《应用多元统计分析》课程的线上线下混合式教学改革。近期,王曼菱^[8]等人进一步研究了混合式教学模式在该课程中的实际应用效果。不过话说回来,目前关于如何利用生成式人工智能(AIGC)来重塑教学互动、生成个性化学习内容、降低技术门槛等方面的创新实践研究,还处在起步阶段。在国内,多数尝试还只是教师个人自发的、零散的探索,缺少系统性的课程整合设计,也缺乏扎实的实证研究支撑。

(二) 国外研究现状

国际上,AI 在教育领域的应用已经发生了转变,说白了就是从早期的智能教学系统,慢慢转向了由 AIGC 驱动的个性化学习。统计课程改革这块,研究脉络也比较清楚:总体上是从教学模式的探索,一步步走向数据驱动的个性化干预。Malonisio^[9]采用混合研究方法证实,混合式学习确实能够提升研究生统计课程的学习效果和满意度。Althubaiti^[10]等人则通过准实验设计,进一步验证了翻转课堂在统计软件教学中的有效性。最近这几年,研究的重点逐渐转向学习分析与智能技术的融合。比如 Guevara^[11]用主成分分析和 K-means 聚类方法,识别出了四类学生画像,判别分析的结果显示分类准确率达到 87%,这为个性化教学干预提供了很好的数据支撑。可以说,上述研究从教学模式比较一路深入到学生画像的精准分析,为 AI 赋能统计课程改革打下了基础。

虽然说混合式教学已经成为共识,但 AI 怎么深度赋能,目前还有待进一步探索。本研究构建了一种以学生为中心、以能力产出为导向的 AI 赋能混合式教学模式,这个模式包括课前预习、课中互动、课后探究和个性辅导四个环节,同时还配套开发了 AI 生成习题、智能代码助手、实验手册以及虚拟仿真项目等资源。我们打算通过对比研究,来评估学生在知识掌握、软件操作、问题解决能力和学习兴趣这几个方面的提升效果,最终形成一套可推广的改革方案。

二、研究内容与混合式教学流程

(一) 研究内容

主要研究内容包含如下三点,研究内容框架如图 1 所示:

1. 理论框架与操作流程设计:依托已获批的省级“多元统计分析线上线下混合课程”的建设经验以及“概率统计省级教学团队”的集体智慧,结合 AIGC 技术特性,构建以“辅助课前预习—增强课中互动—支持课后探究—实现个性辅导”为核心的闭环教学流程。借助前期在“系统分析与控制”领域的跨学科背景,重点设计 AI 工具在各环节中的智能辅助策略。

2. 教学策略与资源开发:针对聚类分析、主成分分析、判别分析等核心知识点,设计由任务驱动的 AI 赋能方案。利用团队在“正大杯”市场调查大赛、统计建模大赛等学科竞赛中积累的丰富经验和数据集,转化为 AI 互动教学素材。例如在聚类分析中,引导学生向 AI 描述竞赛中的真实场景,由 AI 生成模拟数据,引导学生选择 K-means 或层次聚类并用 R/Python 实现;针对编程实验,开发“AI 编程助手使用指南”,教会学生如何向 AI 清晰描述统计任务、解释报错信息并修正代码,将指导竞赛的成功经验转化为标准化教学资源。

3. AI 工具的应用:评价指标包括期末考试成绩、实验报告、AI 平台记录的学习数据,以及学生满意度问卷。同时,将学科竞赛中积累的经验融入评价设计中,设置与竞赛要求相匹配的学习任务作为考核环节。采用对比实验法,选取平行班级分别实施 AI 赋能模式和传统混合模式的教学。通过前测与后测数据的统计分

析,评估新模式在理论知识掌握、软件操作熟练度及综合问题解决能力方面的提升效果。



图1: 研究内容框架

Figure 1: Research content framework

(二) “AI 赋能”四环节混合式教学流程

安庆师范大学应用统计学专业已有省级的多元统计分析线上线下混合课程和概率统计教学团队作为基础。另外,在带着学生参加“正大杯”市场调查与分析大赛、全国大学生统计建模大赛这类学科竞赛的过程中,也积累了大量高质量的数据集和案例分析经验。我们正是借助 AIGC 在自然语言理解、代码生成以及个性化内容生成方面的能力,设计出的一套 AI 辅助的混合式教学流程。这套流程包含了课前预习、课中互动、课后探究和个性辅导四个环节,并且四个环节之间形成了一个闭环,如图2所示。



图2: 混合式教学闭环流程图

Figure 2: Closed-loop flowchart of blended teaching

1. 在课前预习环节,老师在平台上发布预习任务单,任务单上有核心概念和需要提前了解的预备知识。AI 会根据学生过去的学习数据,自动推送适合每位学生的预习资料,给不同基础的学生规划出不一样的学习内容。预习阶段,学生能随时通过智能问答助手查询课程的背景知识,也能把抽象的统计概念解释清楚。AI 还会记录学生提问的行为,实时生成学情分析报告,帮老师精准掌握共同的难点。该环节能把课堂时间从知识灌输里释放出来,为后续学习做好铺垫。

2. 在课中互动环节,老师会依据预习学情分析报告,把讲解的重点放在聚类分析中距离度量的选择、主成分分析中方差贡献率的含义这类难点上。然后组织学生利用 AI 工具,以小组形式开展学习。例如,在聚类分析的教学里,学生可以参考“正大杯”市场调查大赛中积累的真实案例,向 AI 描述真实的商业场景,AI 会生成模拟数据集。小组讨论后选择 K-means 或层次聚类,用 R 或 Python 实现代码,再解释结果的含义。这一过程让课堂在原有的“老师讲授—学生记录”之外,增加了“问题驱动—人机协作—思辨讨论”的互动成分。

3. 在课后探究环节,学生会用到老师根据竞赛指导经验编写的“AI 编程助手使用指南”,学习怎样向 AI 清晰描述统计任务、解释报错信息并修正代码。这样学习重心就能从繁琐的语法调试转到统计逻辑与模型解释上,逐渐克服了代码恐惧症。此外, AI 系统还能根据学生提交的实验报告或提问记录,自动生成个性化的拓展案例与进阶练习题。一方面, AI 系统会对基础薄弱的学生推送带有详细注释的案例;另一方面,对学有余力的学生, AI 系统会推送包含缺失值处理等复杂分析任务。老师定期批阅学生提交的 AI 辅助代码,利用教学平台做集中反馈,形成了课后练习、AI 辅助与老师反馈的闭环提升路径。

4. 在全程个性辅导环节,老师能借助教学平台把 AI 交互日志、作业批改记录和学情诊断报告整合起来,绘制出每位学生的学情画像。基于该画像, AI 系统会持续推送个性化的学习资源。老师每周筛选出错误率高的环节,在课堂上集中讲解,同时针对个别有困难的学生开展一对一线上或线下的答疑。这一设计依托省级教学团队的协作力量,在规模化教学条件下做到了因材施教,确保不同起点的学生都能获得合适的支持与挑战,全面提升课程的教学质量。

三、研究方法

为确保教学模式设计的科学性,本研究综合采用以下五种教育研究方法,研究方法框架如图3所示。



图3: 研究方法框架图

Figure 3: Research method framework

(一) 文献研究法

查阅国内外关于 AI 教育应用、混合式教学模式设计、统计课程教学改革方面的核心期刊文献和高水平会议论文,从中总结适用于《应用多元统计分析》课程的理论框架,为后续的教学模式构建提供理论支撑。

(二) 设计研究法

选出两个平行班级,开展两轮试验性的教学。每一轮教学结束之后,会收集学生的作品、课堂上的观察记录以及 AI 的使用日志,然后对教学模式当中的 AI 介入时机、提示词模板、小组活动

规则等内容做持续改进，一直到这个模式稳定下来。

（三）行动研究法

定期举行教学反思研讨会，针对课堂上出现的具体问题（比如说 AI 给出的答案不准确、学生过度依赖 AI 直接抄答案等）一起商量出应对措施，然后在后续教学里检验这些措施有没有效果，这样就能让研究真正解决实际教学中遇到的问题。

（四）对比实验法

选出四个平行班级，随机安排两个班作为实验班，另外两个班作为对照班。实验班采用 AI 赋能混合式教学模式，对照班采用传统的混合式教学模式，即把已有的线上视频和练习题资源用上，但不引入 AI 工具。实验前先进行一次摸底测试，了解学生在编程基础和学习动机方面的情况。实验结束后，再采集期末成绩和能力测试的数据。用独立样本 t 检验或者协方差分析，衡量新模式在理论知识、软件操作以及问题解决能力方面有多大的提升效果。

（五）问卷调查与访谈法

在课程进行到一半和课程快要结束的时候，分别发放不记名

的问卷，调查学生对 AI 工具的使用体验、学习投入程度、满意度以及自信心。同时，从实验班里按层次抽出一部分学生，做有重点的深入访谈，目的是了解 AI 赋能教学到底给学生带来了哪些实际好处、存在哪些潜在问题，以及有什么改进建议，这样就能弥补量化数据在解释深度上的欠缺。

四、结束语

本文针对《应用多元统计分析》课程的教学问题，设计了一套基于 AI 的四环节混合式教学模式，主要包括课前预习、课中互动、课后探究和个性辅导这四个环节，同时还开发了相应的配套资源。该模式将 AIGC 当作贯穿教学全流程的“智能学伴”，用来破解理论抽象、编程基础差异、个性化指导不足等难题。依托安庆师范大学的混合课程基础与竞赛案例积累，本研究具备较好的可操作性和推广价值，可以为高校中该课程及相关课程的教学改革提供一些参考。未来将通过对比实验检验模式效果，并探索其向其他课程的迁移应用。

参考文献

- [1] 吴砥,王雪,尉小荣.全面推进智能化:时代方位、现实图景与实践路向——《教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见》智能化内容分析与思考[J].中国教育信息化,2026,32(2):32-40.
- [2] 杨伊静.多部门协同联动共促人工智能教育发展——解读《“人工智能+教育”行动计划》[J].中国科技产业,2026,(6):18-19.
- [3] 吴懿,徐东升,王巍,等.人工智能时代统计学专业核心课程迭代与创新——以多元统计分析与机器学习课程的融合为例[J].铜陵学院学报,2025,24(6):120-124.
- [4] 朱辉.大数据时代多元统计分析课程教学模式构建[J].统计与管理,2016,(12):11-15.
- [5] 郇付敏,郑葵.基于应用型人才培养理念的“多元统计分析”课程教学改革探讨[J].科教文汇,2021,(35):69-71.
- [6] 潘玉荣,沙翠翠,高丽丽.地方应用型高校多元统计分析课程教学模式探索[J].蚌埠学院学报,2022,11(05):90-93.
- [7] 黎中彦.基于首要教学原理的“应用多元统计分析”混合式教学模式改革研究[J].大众科技,2023,25(06):130-133.
- [8] 王曼菱,冶海蛟,梁佩.EST理论框架下的混合式教学模式研究——以多元统计分析课程为例[J].教育信息化论坛,2024,(08):27-29.
- [9] Maloniso, M.O. Blended Learning Modality in Teaching Statistics in a Graduate Program of a State University in the Philippines[J]. Jurnal Ilmiah Peuradeun, 2023, 11(2), 403-424.
- [10] Althubaiti, A. & M. Althubaiti, S. Flipping the Online Classroom to Teach Statistical Data Analysis Software: A Quasi-Experimental Study[J]. Sage Open, 2024, 14(1).
- [11] Guevara F., et al. Innovative methodological framework for personalizing education through learning analytics and multivariate statistics[C]. In EDULEARN25 Proceedings, 2025: 8372.

层级化问题链驱动的概率论智慧教学改革与实践

张春月

鞍山师范学院 数学学院, 辽宁 鞍山 114007

DOI:10.61369/ASDS.2026080007

摘 要 : 在概率论课程教学中,存在知识体系零散、随机思维训练薄弱、理论教学与应用脱节等问题。为破解上述困境,以超星学习通平台为基础,融合四维图谱和平台智能工具,并借助扣子平台开发的专属智能体,形成一套以层级化问题链为核心的智慧教学方案。该方案的教学流程包含“启问—探问—拓问”三个相互衔接的阶段,助教智能体的 R 语言可视化功能进一步对实践环节加以强化。从实施效果来看,这一方案对学生随机性思维与建模能力的培养产生了积极影响,同时也为统计类课程向数字化、智能化转型提供了有借鉴意义的实践样本。

关 键 词 : 问题链; 概率论; 智慧教学; 四维图谱; 专属智能体

Reform and Practice of Wisdom Teaching for Probability Theory Driven by Hierarchical Problem Chains

Zhang Chunyue

School of Mathematics, Anshan Normal University, Anshan, Liaoning 114007

Abstract : In the teaching of probability theory courses, there exist such problems as fragmented knowledge systems, insufficient training in stochastic thinking, and the disconnect between theoretical instruction and practical application. To address these challenges, this paper proposes an intelligent teaching scheme centered on a hierarchical problem chain, which is constructed based on the Chaoxing Learning Platform, integrates four-dimensional mapping and the platform's intelligent tools, and leverages the exclusive agent developed on the Kouzi platform. The teaching procedure of this scheme consists of three interconnected stages: question initiation, question exploration, and question expansion. The R-language visualization function of the teaching assistant agent further strengthens the practical session. In terms of implementation effects, this program has exerted positive impacts on cultivating students' stochastic thinking and modeling competence, and meanwhile provides a reference-worthy practical sample for the digital and intelligent transformation of statistics-related courses.

Keywords : problem chain; probability theory; smart teaching; four-dimensional map; dedicated intelligent agent

引言

“问题链”教学的思想可以追溯到问题导向学习理论,此后逐渐被引入国内数学教育体系,并在概率论课程中衍生出若干探索性的应用。葛斌(2014)较早尝试用“问题链”教学思路融入概率论课堂,依托层层递进的问题体系重构课堂教学模式^[1];后续很多学者仍深耕该领域进行教学创新:孙鸿雁和王翠香(2025)以启发式提问为核心抓手,引导学生在课堂进行积极生思考^[2];胡亚萍等(2025)结合课程教学特点,构建了适配概率论教学的“五学五思”特色教学模式^[3];王泽龙团队(2025)从创新能力培养的角度出发,探索出适配不同学情的个性化教学实施路径^[4]。

随着智慧教育技术的不断发展,学界对统计类课程的数字化赋能研究也在不断推进。崔崑和肖欢欢(2026)依托双知识图谱的技术优势,构建了适配概率论课程的智慧教学框架^[5];李玉超团队(2026)创新性的融合知识图谱与 ID4T 教学模型,落地开展课程混合式教学改革实践^[6];罗志坤(2025)另辟蹊径,突破传统教学框架提出了“三段十步”智慧课堂教学范式,为课程智能化教学提供了全新思路^[7]。除了教学模式与技术赋能研究外,课程教学评价体系优化也是当前研究的重点方向。吴红艳等(2025)建立了多维度融合的三位一体的综合评价体系,完善了课程育人评价机制^[8];许洁和王鹏(2025)聚焦数字化教育背景,深入探讨了传统概率论教学模式的转

基金信息:辽宁省普通高等教育本科教学改革研究优质教学资源建设与共享项目(编号:2021-848);辽宁省高校创新创业教育特色课程(编号:2025-242);鞍山师范学院本科教育教学改革项目(编号:2024-07)。

作者简介:张春月(1984-),女,辽宁鞍山人,讲师,研究方向:应用统计学。

型路径和优化策略^[9]；杨嵩和王能发（2025）运用 Citespace 可视化分析工具，系统梳理了该领域的研究现状，揭示了该领域在研究框架层面存在的结构性不足^[10]。

上述工作为概率论课程的教学改革提供了扎实的理论依据和实践参考，但就问题链的具体设计和实施而言，仍存在两方面的局限。一方面，现阶段多数问题链教学设计缺乏系统性层级架构，相关问题多围绕单一的知识点展开，问题之间呈现平行排布的特征，缺乏能够贯穿课堂全程的“递进式”逻辑主线，无法充分匹配学生螺旋上升的认知发展规律；另一方面，当前问题链教学与数智化工具的结合尚欠深入，多数研究仍停留在传统课堂改良或仅对线上资源简单移植的层面，未能充分挖掘知识图谱的可视化功能以及 AI 助教的个性化推送能力，数字技术的育人优势未能充分落地。

基于上述情况，本文重构贯穿于整体教学流程的层级化问题链体系，并借助超星学习通平台内置的四维知识图谱与 AI 教学工具，系统建构涵盖“启问—探问—拓问”三阶递进式的教学实施框架。接下来，将对该模式的内在要义、结构设计及其实施效果展开具体说明。

一、层级化问题链教学的核心内涵

（一）问题链的本质特征

问题链实质上是一种结构化的教学载体，它并非零散问题的简单罗列，主张以课程教学目标为导向、以学生认知发展水平为主线，以思维进阶为动力。具备规范结构的优质问题链，是开展课堂教学的重要依托，通常具备以下三大特征：

1. 目标一致性：所有问题围绕课程核心目标展开，服务于整体教学意图；
2. 逻辑递进性：问题之间遵循由具象到抽象、由表及里、由浅入深的认知规律；
3. 学情适配性：设计问题的难易程度需贴合学生的“最近发展区”，这样既避免低难度问题造成的思考表层化问题，也防止认知过载，让学生在持续、适度的思考中稳步提升认知水平，实现循序渐进的能力成长。

（二）问题链的层级递进构建逻辑

依据概率论课程的知识脉络与学生的认知进阶规律，研究将问题链被划分为基础层、深化层、应用层、拓展层四个不同层级，彼此之间并非简单的线性排列，而是呈现层层递进、螺旋式上升的态势，推动学生从浅层的概念识记，逐步过渡到深层的逻辑思辨与高阶思维探究。

1. 基础层：溯源概念内核，破除定势思维
针对学生常用普通变量的思维方式理解随机变量这一现状，通过针对性探究问题引导学生追溯知识本源，清晰界定随机变量的学科内涵，帮助学生摆脱固有数学思维束缚，逐步建立适配随机统计学科的基础认知。典型探究问题如下：在概率论中，“随机变量”这一概念由何而来？随机变量与普通变量的核心区别有哪些？

2. 深化层：深究核心定理，透析概率规律
大数定律、中心极限定理、贝叶斯公式是概率论课程的重难点内容，学生在学习时多以机械记忆为主，忽视对原理逻辑的深度理解。对应探究问题如下：“频率趋近于概率”中“趋近”到底意味着什么？是什么支撑切比雪夫不等式在总体分布未知时，仍然可以完成概率估算？

3. 应用层：迁移真实场景，实现学以致用
为打通概率论理论学习与实践应用的壁垒，结合质量管控、

疾病筛查、风险评估等行业实例设计建模类问题，有助于提升学生的知识迁移和建模优化能力。代表性探究问题如下：如何利用中心极限定理计算产品次品率？当个体接受某项医学检测结果为阳性时，如何利用贝叶斯公式修正先验概率，从而获得更为可靠的真实患病风险？

4. 拓展层：立足思辨创新，构建学科认知
以开放性、思辨性问题为载体，引导学生跳出教材范围，在开阔学生学科视野、磨砺批判性思维的同时，巧妙融入科学精神与家国情怀，达到润物无声。常见探究问题如下：贝叶斯迭代更新思想，对个人认知体系的建构有何指导意义？在满足哪些特定条件时，原本发生概率极低的小概率事件会转化为必然事件？

从整体认知逻辑架构层面来看，四大层级问题链最终形成闭环式的素养提升体系，层层递进，互为支撑：基础层为定理探究储备必要的认知前提，深化层聚焦于知识的内在逻辑与结构性拆解，应用层有效检验前期知识的掌握与运用成效，拓展层反向推动前三层级知识的回顾与再认知，层级化问题链的四阶递进逻辑如图1所示。

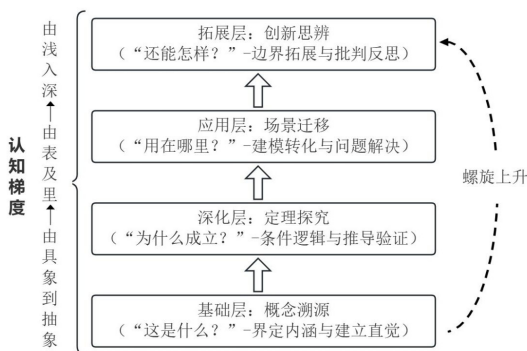


图1：问题链教学的四阶递进逻辑示意图

二、智慧教学新生态的构建框架

（一）核心理念：从问题链到智慧链的教学升级

传统的问题链教学，设计与引导工作多依赖教师的个人经验判断，在问题设计、课堂引导、学情反馈等教学环节均存在较强的主观性。在实际教学中，普遍存在知识脉络可视化弱、课堂学

情反馈滞后、学习过程数据缺失、个性化教学供给不足等现实短板。针对这些问题,本研究提出智慧链创新教学理念,以层级化问题链为核心教学主线,以四维关联图谱为可视化支撑载体,以智能化教学工具为核心引擎,搭建一套以问题驱动、图谱支撑、智能协同为路径,指向学生能力生成的闭环教学体系。

从理论层面看,该模式主要蕴含联通主义学习理论和维果茨基的“最近发展区”理论,它将学科知识视为学生在探究过程中动态形成的关联网络,而非孤立的、静止的知识点;与此同时,依托智能技术对学习过程中的各类数据进行实时采集与分析,动态调节问题的难度与教学帮扶力度,使探究活动始终落于学生认知能力可及范围之内,实现精准化、高效化的深度学习。

(二) 四维图谱的结构化支撑体系

本研究依托超星学习通平台,构建了知识、问题、能力、思政四类相互关联的图谱,为层级化问题链的落地实施,搭建起结构清晰、可视可感的支持体系。

知识图谱对概率论各知识点间的先后承接关系、类比关联关系、因果逻辑关系进行了系统梳理,形成一张完整的知识网络。知识图谱的具体功能体现在:标注每个知识点在整个课程体系中的位置,揭示知识点之间的前置与后继关系,以及提供每一个知识点的资源链接。这一网络有助于学生建立对课程体系的整体认知,有效规避碎片化学习带来的弊端。

问题图谱以核心探究问题为起点,将其逐层拆解为递进式的子问题,从而清晰呈现问题的探究路径。问题图谱的具体构成包括:根节点(核心问题)、分支节点(各层级子问题)、以及节点之间的逻辑关系。这一设计有助于降低学生认知负荷,进一步明确学习的重难点,确保学习目标扎实有序推进。

能力图谱将不同层级的问题与相应的能力目标一一对应,其中基础层对应知识理解能力,深化层对应逻辑推理能力,应用层对应建模分析能力,拓展层对应创新思辨能力。能力图谱的动态更新机制使得教师可以随时你查看班级整体能力分布以及每一位学生的能力发展轨迹,由此形成了一条可追踪的能力成长路径,便于教师精准掌握学情并实施分层教学;

思政图谱的作用,在于将辩证思维、科学精神以及理性决策意识贯穿到问题探究的全过程之中。思政图谱的构建并非简单地在知识点上叠加思政标签,而是将思政元素嵌入到问题链的具体节点。依托该设计,学生在探究问题的过程中可潜移默化的完成价值熏陶,实现专业教学与思政育人同时推进,润物无声。

(三) 平台智能工具与专属智能体协同赋能

数字技术对问题链教学的支撑作用,主要体现在即时学情反馈、探究任务落地、学习深度拓展三个维度,传统问题链教学存在的技术短板能够很好的予以解决。

1. 即时反馈层:保障学习连贯推进

学生在自主探究过程中,遇到知识难点而无法及时解惑时,极易产生挫败感,导致学习节奏中断,探究积极性下降。依托平台智能助教和专属智能体,结合预设问答库与历史学习交互数据,可为学生提供全天候自动答疑服务。该智能工具能够快速回应学生的基础性疑问,持续维持课堂学习节奏与探究动力。但

是,对于大数定律与中心极限定理的内在关联这类开放性、综合性问题,智能助教难以给出严谨的逻辑推导与完整论证,在问题解答的深度与专业性上存在一定局限。因此,智能助教与智能体定位于“基础答疑助手”,而非专业解答主体。教师需要定期梳理答疑记录,汇总学生高频易错知识点,定期进行人工讲解并完善知识库。

2. 任务执行层:数据驱动精准调控

教师可将四层递进问题链的各探究环节,转化为递进式线上学习任务,覆盖微课自习、主题研讨、闯关测验等多元学习模块。平台任务系统自动采集每位学生的任务完成进度、答题正确率、累计学习时长和反复作答次数等精细化行为数据。这些数据的教学价值在于:教师可据此识别共性难点(即多数学生反复出错或耗时过长的任务),反思问题链设计的适配性;与此同时,教师能够快速锁定学习上遇到障碍的学生,进而开展个性化辅导,提升教学的靶向性。

3. 探究拓展层:具象化解构抽象知识

大数定律、中心极限定理等核心定理是概率论课程的重难点,此类知识抽象性强,学生常规学习往往局限在公式背诵与机械套用层面,难以吃透定理的本质规律。平台内置编程模拟环境(如R语言),支持学生自主调整参数、运行仿真程序,将抽象的理论推导转化为直观动态的可视化实验。例如,学生可自主调整样本容量参数 n ,直观观测不同分布条件下,样本均值逐步向正态分布收敛的全动态过程。这种可操作、可观测、可验证的探究模式,帮助学生建立直观的学科认知,厘清定理的本质内涵,同时,依托仿真实验成果引导学生深度讨论,有助于学生养成独立思考的习惯。

综上,上述三个功能维度分别对应解决学生探究中断、教学过程难以管控、抽象知识理解困难等传统教学痛点,也是智慧链教学模式的亮点之一。

(四) 智慧链的闭环运行机制

智慧链教学体系的运行呈现四阶段闭环运行模式(见图2)。

第一,问题驱动阶段。教师结合课程教学目标与学生实际学情,统筹设计层级清晰、递进逻辑的问题链体系,并将各层级问题精准对接、嵌入四维图谱的对应节点,明确课堂核心探究主线,为学生系统化探究搭建清晰的学习框架。

第二,图谱支撑阶段。学生依托可视化四维图谱为学习导航,严格按照问题链的逻辑顺序开展自主探究学习。在探究过程中,学生可随时查阅各问题对应的知识节点位置、前置学习要求及对应的能力培养目标,清晰把握整体探究脉络。

第三,智能协同阶段。针对自主探究中出现的知识难点与学习障碍,学生可随时通过智能助教获得及时反馈与答疑帮助;教师借助任务引擎全方位采集学生学习行为数据,动态研判学情变化,灵活调整教学方案;学生可利用编程模拟实验、专属智能体交互等多重方式,实现对核心定理和抽象概念的深层次理解。

第四,能力生成阶段。学生完成全流程探究学习后,平台基于学习数据自动更新学生能力画像,直观呈现学生个人能力成长轨迹与班级整体的能力发展态势。该量化评价结果既是学生阶段

性学习成效的直观反馈，也为教师复盘、迭代、优化问题链设计提供数据支撑，由此搭建“方案设计—课堂实施—成效评价—优化迭代”的长效更新的教学闭环体系。

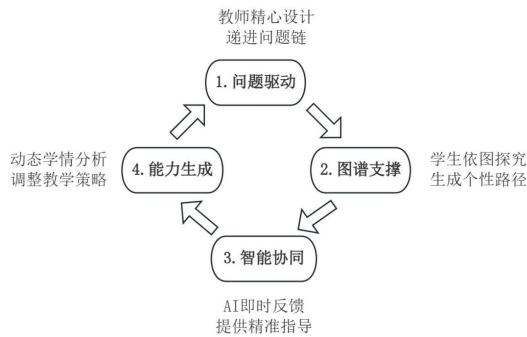


图2：智慧链闭环运行结构示意图

三、教学案例 – 以中心极限定理为例

（一）知识点选择与总问题设计

中心极限定理在概率论课程中具有核心枢纽作用——往前承接了随机变量的数字特征，往后也为统计推断埋下了理论伏笔，也是学生普遍反应抽象难懂的知识点。它揭示了独立随机变量累加后分布向正态分布收敛的内在规律，为各类统计推断方法提供核心理论支撑。

本节课设定的核心探究问题是“正态分布在自然科学和人文社会领域中为何具有如此广泛的普遍性？”该问题既源于学生的生活经验，又直指中心极限定理的实质内涵，能够有效唤起学生的探究热情。围绕这一设问，设计递进式问题链，先从正态分布基础特征展开，再逐步深入其分布收敛规律，最后回应其广泛存在的成因，完成“观察现象—直观感知—剖析本质—联系现实”的完整认知闭环，实现循序渐进的深度学习。

（二）问题链分层设计

围绕本节课的核心问题，依据四层递进认知逻辑，构建如下问题链：

表1：中心极限定理四阶递进式教学问题链设计		
层级难度	探究问题设计	认知进阶逻辑
基础层	正态分布的核心定义如何界定？其概率分布具有哪些典型特征与形态规律？	由浅入深：激活已有知识储备，筑牢课堂探究基础
	当样本量 n 充分大时，为何独立同分布随机变量的和趋近于正态分布？如何对其进行标准化变换处理？	由表及里：立足特殊情形推导，深挖定理内在机理
应用层	如何用中心极限定理近似估算小概率事件发生概率，并合理控制近似误差？请将其迁移到质量控制或保险定价场景中。	由具体到抽象：对接现实专业场景，锤炼概率建模素养
拓展层	中心极限定理与大数定律的理论关联与核心差异体现在哪里？样本容量不足时，其近似拟合是否会出现偏差？可通过仿真实验加以验证。	由抽象到思辨：厘清易混淆知识边界，培育高阶思辨能力

（三）启问：问题链呈现与课前预习感知

启问环节聚焦课前预习阶段，以四维图谱和智能教学工具为支撑，帮助学生整体把握问题链探究框架，统一全班课堂探究起点，消除前置知识差异学习带来的学习壁垒。

从知识图谱维度来看，教师预先构建“中心极限定理”的专属知识关联图谱，系统梳理“独立同分布”、“期望”、“方差”、“正态分布”、“标准化”等知识点间的内在逻辑，清晰标注各知识点的难易程度与关联属性。学生课前可通过知识图谱快速开展自主预习，点击对应节点即可调取配套的微课视频、课件与自测题资源，为课堂深度探究筑牢知识根基。

从问题图谱维度来看，以“为什么正态分布广泛存在于各领域”为核心根节点，将四层梯度化探究问题拆解为多级子节点，构建可视化树形探究框架。各问题节点均关联对应的知识点、学习资源与线上讨论板块，学生在预习阶段即可清晰定位各探究问题的学习位置，明确学习的重难点和前置学习任务，有效降低自主探究的认知负荷。

从AI实践探究维度来看，教师将基础层问题的标准解析、常见易错疑问整理后录入智能知识库，同时依托平台任务引擎发布阶梯式预习任务，要求学生完成正态分布的微课学习和章节测验内容。预习任务提前两天发布，上课前两小时截止提交，平台系统自动推送任务提醒。学生在预习过程中如有疑问，可随时通过AI智能助教获取答疑支持，保障预习过程连贯顺畅。任务结束后，教师借助学情分析模块统计学生完成情况，对未完成、完成质量差的学生进行针对性提醒，确保了全体学生具备统一的知识基础进入课堂，有效避免了因前置知识差异导致课堂探究断层与学情分化。

（四）探问：问题链的课堂解析与知识建构

探问环节为课堂核心教学阶段，主要依托分层问题链引导学生逐层探究、逐步拆解重难点，有步骤地帮助学生了解定理的核心内容，形成完整连贯的知识体系。

在能力图谱赋能方面，研究将四阶问题链与学生能力培养指标精准绑定：基础层问题对应基础知识理解能力的培育，深化层聚焦逻辑推导与原理分析能力，应用层侧重概率建模与场景应用能力，拓展层有助于学生批判性思维的养成。平台依据学生课堂作答、小组讨论、习题完成等多维度表现，自动生成班级整体能力画像与分布雷达图，便于教师实时掌握班级整体学习状况，灵活调整课堂探究节奏，确保教学进度贴合学生的实际接受能力。

在思政图谱融合方面，深挖课程蕴含的育人元素，将“量变引起质变”“偶然与必然的辩证统一”等哲学思想，以拓展阅读、微课视频的形式，嵌入到拓展层问题节点。学生在探究定理规律的过程中，逐步建立起科学思维与辩证认知，实现专业知识学习和思政育人的双向赋能。

在实践探索落地方面，借助平台智能实训模块开展参数化仿真实验探究。教师提前预设编程代码模板，模拟均匀分布、指数分布、二项分布等不同总体分布下，样本均值的动态收敛全过程。学生可登录R环境直接程序代码，通过调整样本量 n 观察直

方图的动态变化规律。课堂中教师引导学生讨论分析：小样本条件下的分布形态特征、样本量递增过程中的分布变化趋势。通过这种可视化、可操作的仿真实验，将抽象的定理结论转化为直观的动态探究过程，帮助学生建立概率直觉，深度吃透中心极限定理的核心本质。

（五）拓问：问题链的迁移应用与创新生成

拓问环节立足课后延伸阶段，旨在打破课堂学习边界，引导学生实现知识的有效迁移与创新应用。

课后鼓励学生结合课程的内容，自主提出拓展性的探究问题，围绕中心极限定理的延伸场景、易混淆概念等维度开展深度思考，例如探究中心极限定理在机器学习抽样分布中的应用场景、辨析并非所有数据都适配正太分布建模的核心原因等。教师依托平台学习行为数据，精准捕捉学生的高频困惑点与认知盲区，为后续迭代优化问题链设计、调整教学重点提供数据支撑。

在任务拓展层面，教师向学生推送实践性课后探究任务，要求学生结合中心极限定理，分析产品质量抽检、民意调查等现实场景中统计结论的可靠性，并撰写分析报告，这些素材也为后续学生参加市场调查、统计建模比赛等打下理论基础。平台自动记录学生任务提交与完成情况，教师在线完成批阅与个性化答疑反馈，形成课堂探究、课后延伸、精准评价的完整教学闭环。

四、成效、反思与展望

（一）改革成效

本研究通过为期两学期、对照班级迭代式教学试点，完整落

地层级化问题链智慧教学模式。教学数据显示，改革后学生课前预习任务完成率由76% 提升至83% 以上，学生自主学习主动性和课堂参与积极性明显提高，学生整体学习质量得到较大提升。

（二）实践反思

本次教学改革为阶段性试点实践，整体推进过程有序顺畅、教学模式取得了良好的育人成效。但是结合教学实践反馈来看，仍然存在可优化的空间。一方面，本次试点覆盖样本范围有限，教学模式的普适性、长效育人效果仍需通过持续教学实践进一步验证；另一方面，部分基础薄弱的学生对编程仿真实验存在适应困难，现有问题链的层级难度、数智技术的应用形式仍可进一步优化，兼顾不同学情学生的学习节奏。

（三）优化展望

后续研究将进一步细化问题链层级梯度设计，优化各层级问题的适配性；深化智能技术与课堂教学的融合深度，简化实践操作门槛、优化探究引导流程；多维度完善过程性评价体系，构建更加贴合学生发展的育人机制。持续探索数智化背景下统计类课程的改革路径，助力培育更多高素质应用型统计人才。

参考文献

[1] 葛斌. 问题驱动下的工科概率论与数理统计教学研究 [J]. 教育教学论坛, 2014(6): 217-218.
[2] 孙鸿雁, 王翠香. “概率论”课程教学改革探索与实践 [J]. 教育教学论坛, 2025(16): 99-103.
[3] 崔嵬, 肖欢欢. 大学数学智慧课程教学模式研究与实践——以“概率论与数理统计”课程为例 [J]. 保定学院学报, 2026, 39(2): 109-117.
[4] 李玉超, 王维琼, 张萌, 等. 基于知识图谱+ID4T模型的“概率论与数理统计”课程混合式教学改革 [J]. 西部素质教育, 2026, 12(5): 123-128.
[5] 罗志坤. 多技术融合的概率论与数理统计课程智慧教学模式构建与推广 [J]. 才智, 2026(01下): 37-40.
[6] 胡亚萍, 张立东, 谢中华, 等. 新工科背景下概率论与数理统计课程教学改革“五学五思”教学模式创新实践 [J]. 天津科技大学学报, 2025.
[7] 许洁, 王鹏. 数字技术下的概率论与数理统计课程的教学研究 [J]. 吉林化工学院学报, 2025(2): 32-35.
[8] 王泽龙, 刘吉英, 余奇. 面向创新能力培养的个性化教学模式研究——以“概率论与数理统计”为例 [J]. 教育教学论坛, 2025(9): 52-55.
[9] 吴红艳, 张志莉, 宋旭霞. 信息技术赋能概率论与数理统计混合式课程建设的实践探索 [J]. 呼伦贝尔学院学报, 2025, 33(3): 136-142.
[10] 杨嵩, 王能发. 我国概率论与数理统计课程研究多维度分析 [J]. 贵州财经大学学报, 2025(3): 36-43.

融合多源运行特征与深度集成学习的短期电价预测

张瑞¹, 张臣磊^{2*}, 闫强强³, 魏裕邦³, 胡涛³, 张学功⁴

1. 中广核新能源甘肃公司, 甘肃 兰州 730071

2. 兰州大学数学与统计学院, 甘肃 兰州 730000

3. 甘肃轩岳生态科技有限公司, 甘肃 兰州 730000

4. 中广核甘肃民勤第二风力发电有限公司, 甘肃 武威 733000

DOI:10.61369/ASDS.2026080008

摘要 : 针对高比例新能源并网情境下短期电价波动加剧、结构性扰动增多, 以及单一模型难以有效兼顾局部突变刻画与多源业务特征利用的问题, 提出了一种融合多源运行特征与深度集成学习的短期电价预测方法。以甘肃省统一短期电价及相关系统负荷、新能源出力、水电负荷、发电出力、需求值和竞价空间等 15 分钟级数据为样本, 构建了一个由因果卷积、单向 LSTM 和因果注意力机制组成的深度时序分支, 并与基于 LightGBM 的结构化回归分支进行误差校准融合。在严格避免未来信息泄露的条件下, 采用时间顺序训练、walk-forward 验证和滚动测试进行模型评估。结果显示, 融合模型在测试集上的 MAE 和 RMSE 分别为 48.37 元 /MWh 和 65.31 元 /MWh, 整体表现明显优于单独的深度模型及 LightGBM 模型。研究表明, 该方法能在新能源并网与市场运行耦合的场景下提升短期电价预测的稳定性, 并在连续两天滚动预测中保持了较好的误差控制能力, 能够为新型电力系统背景下发电侧报价、功率申报与运行优化提供有效支撑。

关键词 : 短期电价预测; 深度集成学习; 多源运行特征; 竞价空间; 新能源消纳

Short-Term Electricity Price Forecasting via Multi-Source Operational Features and Deep Ensemble Learning

Zhang Rui¹, Zhang Chenlei^{2*}, Yan Qiangqiang³, Wei Yubang³, Hu Tao³, Zhang Xuegong⁴

1.CGN New Energy Gansu Company, Lanzhou, Gansu 730071

2.School of Mathematics and Statistics, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000

3.Gansu Xuanyue Ecological Technology Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730000

4.CGN Gansu Minqin No. 2 Wind Power Generation Co., Ltd., Wuwei, Gansu 733000

Abstract : To address stronger short-term electricity price volatility, growing structural disturbances, and the limited ability of a single model to jointly capture abrupt local changes and multi-source operational signals under high renewable integration, a short-term electricity price forecasting method integrating multi-source operational features and deep ensemble learning is proposed. Using 15 min price data together with system load, renewable output, hydropower load, generation output, demand indicators, and bidding-space signals, a causal deep sequence branch composed of causal convolution, unidirectional LSTM, and causal attention is constructed and then fused with a LightGBM regression branch. Under a strict no-look-ahead setting with chronological training, walk-forward validation, and rolling evaluation, the fused model achieves an MAE of 48.37 yuan/MWh and an RMSE of 65.31 yuan/MWh on the test set, outperforming the standalone deep model and the standalone LightGBM model. The results show that the proposed method improves short-term price forecasting stability in the coupled scenario of renewable integration and market operation, and remains effective in continuous two-day rolling-prediction displays for generation-side bidding and operational optimization.

Keywords : short-term electricity price forecasting; deep ensemble learning; multi-source operational features; bidding space; renewable integration

基金项目: 中广核新能源控股有限公司科技项目 (编号: 003-CMJ-F120-2024-274)。

作者简介:

张瑞 (1993.12-), 硕士, 中广核新能源甘肃公司, 主要从事新能源电力市场运营、短期电价预测与新能源消纳研究, E-mail: 872559881@qq.com;

闫强强 (1987.02-), 本科, 甘肃轩岳生态科技有限公司, 主要从事新能源运行数据分析与电力市场预测研究, E-mail: 329693275@qq.com;

魏裕邦 (1985.05-), 本科, 甘肃轩岳生态科技有限公司, 主要从事新能源数据建模与电力市场分析研究, E-mail: 452366174@qq.com;

胡涛 (1993.06-), 本科, 甘肃轩岳生态科技有限公司, 主要从事新能源项目运行分析与数据应用研究, E-mail: 552065078@qq.com;

张学功 (1991.01-), 本科, 中广核甘肃民勤第二风力发电有限公司, 主要从事风电场运行管理与新能源功率预测研究, E-mail: 948776338@qq.com。

通讯作者: 张臣磊 (1996.03-), 硕士研究生, 兰州大学数学与统计学院, 主要从事时间序列分析、机器学习与电力市场建模研究, E-mail: 1920531598@qq.com。

引言

（一）研究背景

随着电力市场化改革的持续推进，新能源正大规模接入电网。短期电价因此受到供需波动、新能源出力间歇性以及政策调控等多重因素影响，表现出显著的非线性特征^[1]。与此同时，其非平稳性和高波动性也相当明显。由于电力交易具有区域性，负荷在不同时段差异显著，且新能源与负荷在时空上常出现错配，这些因素共同构成了复杂的时空耦合特性^[2]，进一步加大了电价预测的难度。电价预测是否准确，直接关系到发电企业的收益优化，也影响着电网调度决策和电力市场风险管理^[3、4]。正因如此，电价预测已成为电力系统运行中的关键环节。然而，传统的统计模型（如 ARIMA）以及单一的机器学习方法，往往难以有效捕捉电价序列中的复杂动态^[5]；它们在处理多尺度变化、非线性依赖以及跨时空关联模式方面，建模能力有限，导致预测精度不高，泛化能力也受到制约^[6]。因此，构建一个能够揭示电价复杂时空演化规律的预测模型显得尤为重要。该模型还需具备强鲁棒性和自适应性，这一问题已成为电力市场与智能电网领域亟需突破的关键方向。

（二）研究现状

当前主流电价预测方法可分为三类，各类方法在应用中展现出不同的优势与局限性^[7]：

1. 机器学习模型

在电价预测任务中，支持向量机（SVM）、随机森林（RF）以及梯度提升树（如 XGBoost）等机器学习方法能够较好拟合非线性关系，因而得到广泛应用。与 ARIMA 等线性模型相比，这类方法对数据分布假设的依赖较弱，在中短期预测中通常具有更高精度^[8]。但此类方法仍依赖人工特征设计，对电价序列长时间依赖关系的自动捕捉能力有限，对突发价格尖峰的刻画也相对不足。当新能源发电渗透率较高、价格波动加剧或市场规则发生变化时，模型稳定性和泛化能力容易下降。

2. 深度学习模型

长短期记忆网络（LSTM）能够借助门控机制缓解长期依赖问题，但在电价预测场景中，对日内负荷峰谷等局部细微变化的刻画仍可能不足^[9、10]。相比之下，变换器（Transformer）依托自注意力机制捕捉长程依赖关系，在电力负荷预测等任务中表现出较强建模能力。然而，其计算复杂度随序列长度增加呈平方级上升，且对短期局部模式的感知仍存在一定局限^[11、12]。

3. 混合架构模型

D. Hadjout 团队在 2022 年提出了一种用于电力消费预测的集成深度学习模型^[13]。该模型通过整合 LSTM、GRU 和 CNN 等多种深度学习模型的输出，能够有效捕捉电力负荷数据中复杂的时空特征及非线性模式。相比于单一模型，这种集成策略在预测精度和鲁棒性方面有了明显提升，为实现精准高效的能源管理提供了支持。他们采用的 CNN-LSTM 模型虽然能借助卷积层提取时空特征，但由于局部卷积操作的局限，可能削弱对跨区域电力交易等全局关联关系的建模能力，因此有必要引入其他结构进行优化。类似观点在近期研究中也得到了印证，比如华能清能院提出的 TCN-Transformer 专利就指出，混合架构可能是一条兼顾计算效率与预测精度的有效路径^[14]。综合来看，当前方法在刻画电价预测中的时空耦合特性上仍存在不足，亟需构建一种新型预测框架，既要能高效计算，又要能有效捕捉多尺度特征。

（三）研究内容与创新

本文不再把创新点简单地概括为网络结构的堆叠，而是将关注点转向电力市场业务场景中，多源运行特征与深度-结构化集成建模之间的协同机制。

首先，围绕系统负荷、新能源出力、水电负荷、常规机组出力、需求指标以及竞价空间等要素，构建多源输入框架，使模型不再局限于单一竞价空间特征，而能够从多维运行状态刻画短期电价波动。

其次，深度分支采用因果卷积、单向 LSTM 与因果注意力相结合的时序编码框架，在避免未来信息泄露的前提下，同时处理局部波动、跨时段依赖以及不同时间尺度下的信息整合问题。

最后，引入 LightGBM 结构化回归分支，并通过误差校准方式与深度分支融合，从而提升模型对尖峰时段和结构性波动的响应能力。

一、预测方法

（一）数据预处理与特征构建

在短期电价预测过程中，数据预处理环节首先得严格按时间顺序来操作：只使用当前预测时间点之前能获取到的历史价格数

据，以及同一时期能够获得的外生特征，来构建样本，同时还要对缺失值、异常值以及完整天数做统一处理。除了历史电价本身，输入特征还涵盖系统负荷、新能源发电出力、水电负荷、总发电出力、需求相关指标、竞价空间，以及从这些数据衍生出来的残余负荷、供需裕度和市场紧张程度等结构化变量。

(二) 深度集成预测模型

1. 多源特征输入与因果卷积

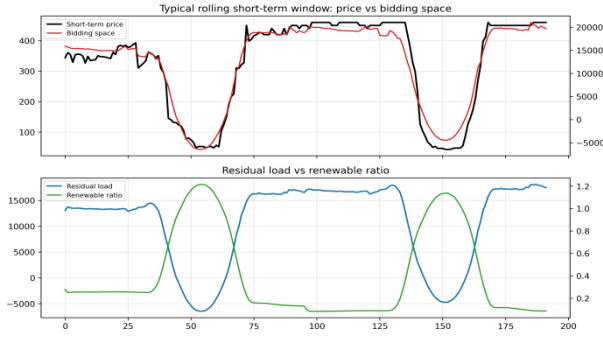


图1：短期电价与多源运行特征典型两日时序
Figure 1: Typical two-day time series of short-term price and multi-source operational features

卷积神经网络 (Convolutional Neural Network, CNN) 在深度学习范畴中被视为最具代表性的模型之一，它主要针对图像、视频这类带有网格特性的数据进行设计^[15]。

卷积神经网络的工作方式是逐层对特征进行提取与整合^[16]。首先，通过卷积层对输入数据执行局部操作，卷积核在数据上滑动，以捕捉其中的关键模式。随后，借助 ReLU 层引入非线性变换，从而增强网络的表达能力。接着，利用池化层（例如最大池化）对特征图进行降采样，保留重要信息，同时减轻计算负担。最后，由全连接层汇总高层特征，并输出最终结果。整个流程实现了从局部细节到全局结构的分层学习。

在电价预测任务中，一维卷积结构适用于处理历史电价、竞价空间等时序数据。不同尺度的卷积核可在时间维度上滑动，以捕捉小时级价格波动模式；池化操作可保留价格突变点等关键局部特征，在降低数据维度的同时增强模型对核心信号的敏感性。由于 CNN 参数共享、计算效率较高，适合用于高频、高波动电价序列的局部特征提取。

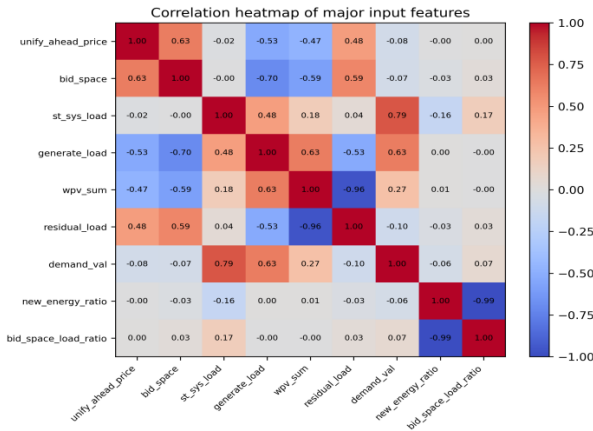


图2：主要输入特征与短期电价相关性热力图
Figure 2: Correlation heatmap of major input features and short-term price

2. 单向时序编码

长短期记忆网络 (Long Short-Term Memory, LSTM) 是 Hochreiter 与 Schmidhuber 提出的改进型循环神经网络，主要用于缓解传统 RNN 捕捉长期依赖关系时面临的梯度消失等问题^[17]。LSTM 通过遗忘门、输入门和输出门调控信息流动，决定历史信息的保留与更新；其内部记忆单元能够在较长时间跨度内存储关键状态。在电价预测中，LSTM 可利用记忆单元编码日前竞价、

负荷峰谷等跨时段特征，并通过门控机制抑制短期噪声，从而提高预测结果的稳定性。

3. 因果注意力建模

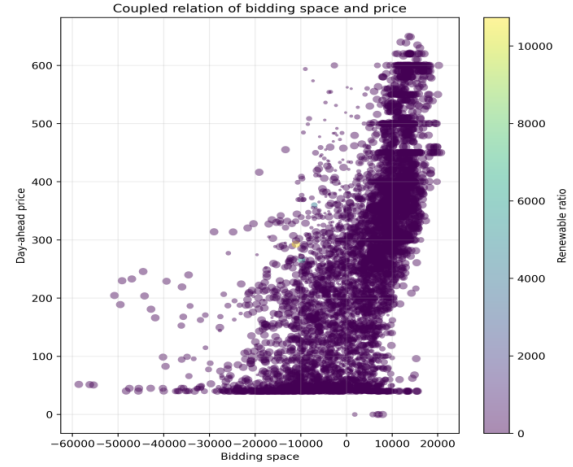


图3：竞价空间、残余负荷与新能源占比耦合关系散点图
Figure 3: Coupled scatter of bidding space, residual load and renewable ratio

因果注意力机制借鉴 Transformer 自注意力结构^[18]，将输入时序特征映射为查询、键和值三类向量，并通过时间遮掩约束仅利用当前及历史信息计算注意力权重，从而在避免未来信息泄露的前提下刻画不同时段之间的依赖关系。位置编码为各时间步提供顺序标识，残差连接与层归一化用于稳定训练过程，前馈网络则进一步增强模型对电价、负荷、新能源出力、政策和市场运行状态等多重因素非线性关系的表达能力。

在电价预测任务中，Transformer 展现出了显著的优势。它能够通过自注意力机制直接计算任意时间步之间的依赖关系，从而有效建模全局依赖，突破了传统 RNN 和 LSTM 只能按顺序逐步处理的局限，特别适合处理那些具有长周期、多尺度依赖特征的数据^[19]。在并行计算方面，自注意力机制可以同时处理序列中所有时间点的数据，因此训练效率远高于 RNN 类模型，适用于大规模电价数据的高效建模。此外，Transformer 还具备融合多种来源特征的能力，能够将历史电价、实时负荷等多维度数据整合在一起，并通过注意力权重的分配自动判断哪些特征更重要^[20]。它在风电功率预测中表现出的时空特征捕捉能力，同样可以被迁移到电价预测场景中，从而提升预测的精度和稳定性。

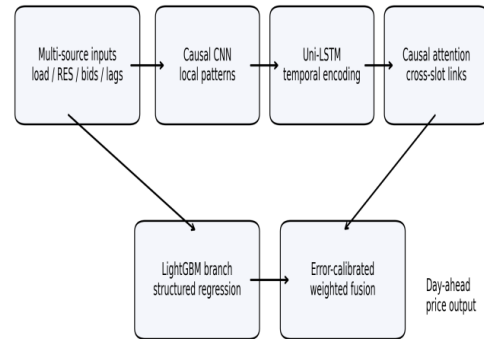


图4：因果深度分支与 LightGBM 结构化分支融合框架
Figure 4: Fusion framework of the causal deep branch and LightGBM structural branch

4. Deep-LGBM 融合框架

如图4所示，本文构建了融合深度分支与结构化分支的协同预测框架。深度分支首先利用因果卷积提取局部波动特征，再通过

单向 LSTM 编码时间顺序信息，最后引入因果注意力机制强化不同时段之间的依赖关系；结构化分支则采用 LightGBM 对多源业务特征进行回归建模。两类分支根据验证集误差最小化原则确定融合权重，以提高短期电价预测结果的稳定性。

（三）无未来信息训练与参数设置

在模型训练过程中，我们特别注意杜绝未来信息泄露的问题：深度分支只使用了严格按时间顺序划分的训练集和验证集，而 LightGBM 分支则借助 walk-forward 验证方法来选定参数；特征标准化、特征筛选和异常值裁剪这些处理步骤也全都在训练样本范围内进行。深度分支采用了 Huber 损失函数和 AdamW 优化器，而结构化分支则用了基于时间顺序的多窗口验证策略，并且在验证集上确定了深度分支与 LightGBM 分支各自的最优融合权重。

（四）评价指标与对比方案

在模型训练阶段结束后，本文将所提方法与统一数据口径下的3个最终实验分支进行系统对比，分别为 LightGBM 结构化回归分支、Causal LSTM-Attention 深度分支以及深度-结构化融合后的本文方法。同时，对本文方法在工程场景中的定位与优势进行补充讨论。图7所示误差则基于相邻两个96点预测序列拼接后的192点滚动窗口重新计算。

相关指标的计算公式如下：

$$\text{RMSE (均方根误差)}: \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

式中， y_i 为实际值， $\hat{y}_i$ 为预测值， n 为样本数量，下同。该指标通过计算预测值与实际值均方误差的平方根，作为误差度量。

$$\text{MAE (平均绝对误差)}: \text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|,$$

该指标通过计算预测值与实际值绝对差值的平均值，提供直观的误差度量。

$$\text{MAPE (平均绝对百分比误差)}: \text{MAPE} = 100\% \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i},$$

该指标以百分比形式反映预测误差的相对水平，便于跨数据集比较。

二、算例分析

（一）场景与数据特征

截至2025年1月2日，甘肃全省电源总装机容量已突破1亿千瓦，其中新能源装机达到6446万千瓦，占比达64%，跃升为省内第一大电源类型^[21]。风电与光伏装机均超过3100万千瓦，火电和水电则分别为2616万千瓦和971万千瓦，占比26.1%和9.7%。在新能源发电量及非化石能源消费比重方面，甘肃均处于全国前列。在电力市场建设方面，甘肃已构建起覆盖中长期、日前及实时交易的完整体系，统筹省内与省间协调运行：中长期合约保障基本收益，现货市场发挥价格发现功能，辅助服务市场则提升了电网运行的可靠性和灵活性^[22]。

针对新能源高比例接入带来的电网阻塞、消纳困难等挑战，甘肃电力现货市场采用“省内用电负荷+外送计划”的全电量竞价模式。在此机制下，新能源企业通过“报量报价”方式参与市场，充分发挥其低边际成本优势，优先获得发电权，从而有效促

进新能源消纳^[23]。

因此为促进电力市场健康发展和电网调度稳定，应进一步提高电力现货价格的预测准确性，尤其是短期电力现货价格的预测工作占据非常重要的地位^[24]。

（二）多源特征分析

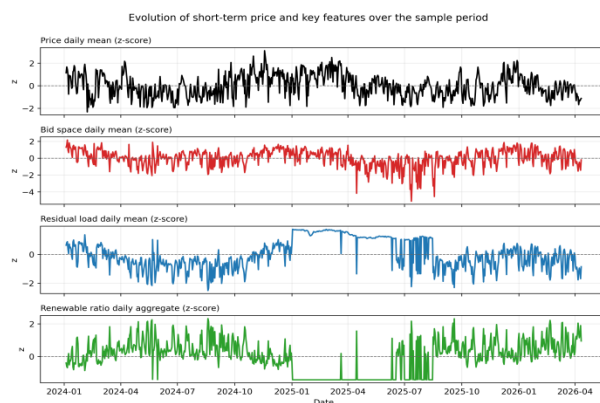


图5：样本期短期电价与关键特征标准化日均演化

Figure 5: Standardized daily-mean evolution of short-term price and key features over the sample period

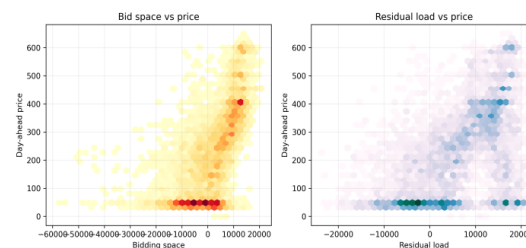


图6：关键特征与短期电价关系的局部放大

Figure 6: Localized relationship between key features and short-term price

这项研究选取了2025年1月1日至2026年4月11日期间甘肃省统一短期电价，以及同期的系统负荷、新能源出力、水电负荷、常规发电出力、非市场机组负荷、需求指标和竞价空间等数据作为分析对象，并按照15分钟的采样频率来构建短期电价预测任务。为了让结果看起来更直观，我们还将部分数据进一步整理成了连续两天的滚动窗口形式，用来进行可视化分析。

从图1到图6可以看出，竞价空间、残余负荷以及新能源占比这些因素，跟短期电价之间确实表现出比较明显的耦合关系。如果只靠某一个特征去描述价格波动，往往很难保持稳定。所以，本文选择把多种运行特征结合起来建模，并且通过深度分支和结构化分支的集成方式，来提高对高波动时段的拟合效果。

（三）预测模型训练

1. 模型构建

在本案例中，深度分支采用因果卷积、单向 LSTM 与因果注意力构成的时序预测网络，结构化分支采用 LightGBM 回归模型。两分支均以无未来信息的样本切分方式训练，并在验证集上确定融合权重。

2. 训练与测试设置

在时间段划分上，本文将2025年1月1日至2026年1月7日的样本作为训练集，将2026年1月8日至2026年4月11日的样本作为测试集。深度分支按照时间顺序将训练集进一步划分为训练段和验证段；结构化分支则采用 walk-forward 方法进行参数验证。

最后，本文对深度分支、LightGBM 分支及二者融合后的预

测结果进行统一比较，重点考察 MAE、RMSE 等误差指标，并选取若干代表性日期对预测曲线表现进行对比分析。

（四）预测效果验证

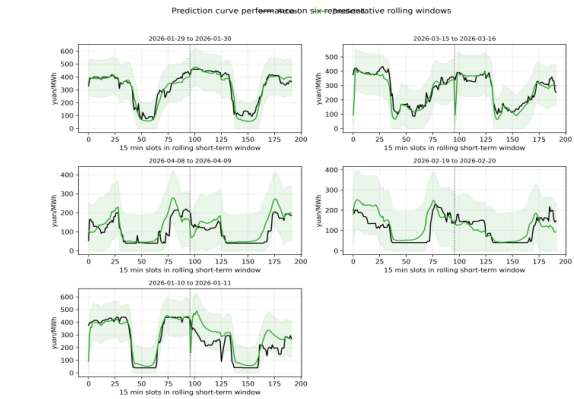


图7：预测曲线效果对比

Figure 7: Prediction curve performance comparison

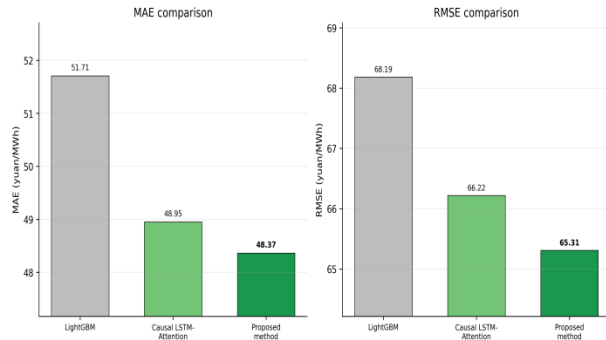


图8：不同子模型预测误差指标对比

Figure 8: Error metric comparison of different sub-models

图7给出了分散在测试期内的6个代表性连续两天滚动预测窗口曲线。可以看到，融合模型在不同月份和不同市场状态下均能较稳定地跟踪连续两天的短期电价变化。

参考文献

[1]Lago,Jesus,De,et al.Forecasting day-ahead electricity prices in Europe: The importance of considering market integration[J].Applied Energy, 2018.

[2]Joachim L S ,Emil J V ,Jensen A B , et al.Principal spatiotemporal mismatch and electricity price patterns in a highly decarbonized networked European power system.[J].iScience, 2022, 25(6): 104380–104380.

[3] 罗纯坚, 李姚旺, 许汉平, 等. 需求响应不确定性对日前优化调度的影响分析 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41(5):8.

[4] 舒印彪, 张正陵, 汤涌, 等. 新型电力系统构建的若干基本问题 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(21):8327–8340.

[5] 韩升科, 胡飞虎, 陈之腾, 张琳, 白兴忠. 基于 GCN–LSTM 的日前市场边际电价预测 [J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(9): 3276–3285.

[6] 侯庆春, 杜尔顺, 田旭, 等. 数据驱动的电力系统运行方式分析 [J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(1):12.

[7]Jesus L ,Grzegorz M ,Bart S D , et al.Forecasting day-ahead electricity prices: A review of state-of-the-art algorithms, best practices and an open-access benchmark[J]. Applied Energy, 2021, 293.

[8] 加鹤萍, 郭宇辰, 马乾鑫, 等. 基于机器学习方法的现货电价预测研究综述 [J]. 电力建设, 2025, 46(2):160–179.

[9] 薛万磊, 牟颖, 赵昕, 等. 基于 LSTM 深度学习方法的电力需求预测研究——考虑现货市场电价新兴影响因素的分析 [J]. 价格理论与实践, 2025, (04):93–98.

[10] 邵云姝, 张琳, 周乃康, 等. 基于长短期记忆网络的电力市场价格预测研究 [J]. 动力工程学报, 2025, 45(05):733–737.

[11] 刘峻, 王鹏, 胡坤, 等. 基于 CNN–Self attention 双重注意力机制的实时与日前电价差值区间预测方法 [J/OL]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 1–11[2025–10–27].

[12] 李子凯, 杨波, 周忠堂, 等. 考虑高比例风电波动的多注意力 TCN 电价预测方法 [J]. 电测与仪表, 2025, 62(03): 138–146.

[13]Hadjout D , Torres J F , Troncoso A , et al.Electricity consumption forecasting based on ensemble deep learning with application to the Algerian market[J].Energy, 2022, 243.

[14] 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 华能招采数字科技有限公司. 一种基于 TCN–Transformer 模型的电价预测方法、系统、装置及存储介质. CN120374166A[P]. 2025–07–25.

[15]Lecun Y , Boser B , Denker J , et al.Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition[J].Neural Computation, 1989, 1(4):541–551.

[16]O’ Shea K ,Nash R .An Introduction to Convolutional Neural Networks.[J].CoRR, 2015, abs/1511.08458.

[17]Hochreiter S , Schmidhuber J .Long Short–Term Memory[J].Neural Computation, 1997, 9(8): 1735–1780.

[18]Vaswani A , Shazeer N , Parmar N , et al.Attention is all you need[J]. Advances in neural information processing systems, 2017, 30.

[19]Li J , Wen X , Jia L , et al.A Transformer–based model fusing temporal dependence and variable correlation for short and medium–term electricity price forecasting[J]. Energy, 2025, 338138799–138799.

[20]Hou G , Li Q , Huang C .Spatiotemporal forecasting using multi–graph neural network assisted dual domain transformer for wind power[J].Energy Conversion and Management, 2025, 325119393–119393.

[21] 中国科学院广州能源研究所. 甘肃: 电源装机突破1亿千瓦, 新能源已成为第一大电源 [EB/OL]. (2025–01–13) [2025–12–14].

[22] 国家能源局. 电力现货市场基本规则 (试行) [R/OL]. 北京: 国家能源局, 2023. (2023–09–07) [2025–12–14].

[23] 国家发展改革委, 国家能源局. 电力现货连续运行地区市场建设指引 [EB/OL]. (2025–09–02)[2025–12–14].

[24]Saleh A M ,Vokony István, Khan M A ,et al.Power system stability in the Era of energy Transition: Importance, Opportunities, Challenges, and future directions[J]. Energy Conversion and Management: X, 2024, 24(000).

表：模型评估指标结果

Table: Quantitative comparison of model performance based on evaluation metrics

方法	MAE(元 /MWh)	RMSE(元 /MWh)
LightGBM	51.71	68.19
Causal LSTM–Attention	48.95	66.22
Proposed method	48.37	65.31

由图8和上表可知，在统一数据、统一切分和统一评估指标下，本文方法在3个最终实验分支中保持最优。相较 LightGBM 分支，本文方法的 MAE 由 51.71 元 /MWh 降至 48.37 元 /MWh，RMSE 由 68.19 元 /MWh 降至 65.31 元 /MWh；相较单独的深度分支，本文方法也表现出更稳定的误差控制能力。为更清晰地展示这类差异，图8对纵轴范围和数值标注进行了压缩与强化处理。需要说明的是，图8的量化对比仍对应单个96点预测任务，而图7的两日滚动窗口误差是基于192点拼接序列重新计算得到的展示性误差。

综上所述，面向多源运行特征的深度集成模型在控制整体 MAE 的同时，也改善了典型低误差日期上的曲线跟踪效果，能够为发电侧报价和运行安排提供更具可操作性的参考。

三、结论

本文提出的多源运行特征深度集成预测方法，将由因果卷积、单向 LSTM 和因果注意力构成的深度分支与 LightGBM 结构化分支相结合。在严格避免未来信息泄露的条件下，融合模型取得了较低的 MAE 和 RMSE。结果表明，深度时序建模与结构化业务特征具有互补作用，并且在连续两天滚动预测展示中保持了较稳定的短期预测表现。

后续可以在更长的时间范围以及更多省级市场中，进一步验证模型的泛化能力。同时，在确保不引入未来信息的前提下，继续对深度分支结构和融合策略进行优化，从而更好地服务于新能源高比例并网背景下的市场化运营与友好消纳。

从数据资产到数据要素：价值评估的知识图谱 与可视化分析

苏诺亚¹，张治国²，万宇雷³，王国强^{1*}

1. 上海工程技术大学 数理与统计学院，上海 201620

2. 达观数据有限公司，上海 201203

3. 上海金仕达软件科技股份有限公司，上海 201203

DOI:10.61369/ASDS.2026080009

摘 要： 本文围绕数据资产到数据要素的演进逻辑，借助 CiteSpace 可视化分析与文献综述法，系统梳理数据价值评估研究现状、发展趋势及实践路径。首先，辨析数据资产与数据要素的差异，指出前者侧重控制、确认和计量，后者侧重流通配置和场景应用。其次，梳理数据价值评估方法，发现现有研究主要形成传统资产评估、评价指标体系、流通应用定价和智能技术评估等路径。最后，知识图谱结果表明，相关研究由数据资产认知逐步转向数据要素价值化和场景化应用。当前研究仍存在估值与定价边界不清、方法与场景衔接不足、实证检验偏弱等问题，未来应构建更适配数据要素市场运行的价值评估框架。本研究既可为数据资产入表与数据要素市场化配置提供理论参考，又可助力数字经济高质量发展。

关 键 词： 数据资产；数据要素；价值评估；数字经济；CiteSpace；知识图谱

From Data Asset to Data Element: Knowledge Graph and Visual Analysis of Value Assessment

Su Nuoya¹, Zhang Zhiguo², Wan Yulei³, Wang Guoqiang^{1*}

1.School of Mathematics, Physics and Statistics, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620

2.Daguan Data Co., Ltd., Shanghai 201203

3.Shanghai Kingstar Software Technology Co., Ltd., Shanghai 201203

Abstract： This paper focuses on the shift from data assets to data factors. It uses CiteSpace visual analysis and literature review to examine the current research, development trends, and practical paths of data value assessment. First, it clarifies the difference between data assets and data elements. Data assets focus more on control, recognition, and measurement, while data elements focus more on circulation, allocation, and scenario-based application. Second, it reviews the main methods of data value assessment. Existing studies mainly include traditional asset valuation, evaluation index systems, circulation-oriented pricing, and intelligent technology-based assessment. Finally, the knowledge mapping results show that related research has gradually shifted from the recognition of data assets to the value realization and scenario-based application of data factors. Current studies still face several problems, such as unclear boundaries between valuation and pricing, weak links between methods and application scenarios, and insufficient empirical testing. Future research should build a value assessment framework that better fits the operation of data factor markets. This study can provide theoretical support for data asset recognition and the market-oriented allocation of data factors. It can also contribute to the high-quality development of the digital economy.

Keywords： data assets; data elements; value assessment; digital economy; CiteSpace; knowledge graph

基金项目：中国商业统计学会2025年度规划课题重点课题（2025STZD14）。

作者简介：

苏诺亚，硕士研究生，研究方向为金融统计与风险管理、机器学习与人工智能；

张治国，硕士研究生，研究方向为金融科技、金融统计与风险管理、机器学习与人工智能等；

万宇雷，博士研究生，研究方向为金融科技、机器学习与人工智能、金融统计与风险管理、大模型应用等。

通讯作者：王国强，教授，硕士生导师，研究方向为最优化理论与算法、高维数据统计推断、金融统计与风险管理、统计优化、信用评估、智能运维、机器学习与人工智能等。

引言

近年来，随着数据基础制度持续完善，数据的价值确认、价值计量与市场化流通问题受到越来越多关注。企业数据资源相关会计处理规则落地^[1]、数据资产评估制度逐步建立^[2]、“数据要素×”行动深入推进^[3]，以及公共数据资源开发利用机制加快完善^[4]，均表明数据正在由生产经营中的辅助性资源，进一步转化为可计量、可配置、可流通的重要经济对象。在这一背景下，如何准确识别数据价值、选择适宜的评估方法，并为资产确认、交易定价与要素配置提供依据，已成为数据要素市场建设中的基础性问题。

与传统资产相比，数据价值的形成具有更强的复杂性与场景依赖性。数据并非脱离使用条件即可独立形成稳定价值，其价值往往会受到数据质量、使用目的、可复用程度、权利边界以及交易环境等因素影响^[5]。Coyle 和 Manley 指出，不同数据类型与不同估值目的之间并不存在统一适用的测度方法，数据价值评估需要结合具体对象和应用情境展开^[6]。Fleckenstein 等也认为，现有数据估值研究虽已形成若干方法路径，但不同路径之间的理论基础和适用范围并不一致，尚未形成具有普遍解释力的统一框架^[7]。

围绕数据价值评估，国内学界已从多个角度展开研究。许宪春等基于国民经济核算研究范式提出数据资产的概念，探索数据资产价值的测度方法和基础统计资料来源，为数据价值进入正式计量体系提供了重要基础^[8]。朱秀梅等将数据价值化概括为资源化、资产化、商品化和资本化阶段，明确数据价值化的结果产出^[9]。在数据要素市场研究中，熊巧琴、汤珂系统梳理了数据界权、流通方式与定价问题，指出数据定价与权利配置、交易机制之间存在紧密联系^[10]。江东等进一步总结了数据定价与交易研究的主要进展，表明数据价值评估已逐步由静态价值测算延伸至交易机制设计与市场配置问题^[11]。

总体来看，现有研究已分别在数据资产核算、数据价值化过程、数据要素交易定价等方面形成较为丰富的成果^[12、13]，但不同研究线索之间仍缺乏充分衔接。尤其是在数据资产化与数据要素市场化同步推进的背景下，价值评估所面对的对象已不再局限于企业内部可确认、可计量的数据资产，而是进一步延伸至能够参与跨主体流通和市场配置的数据要素。已有研究更多围绕某一阶段或某一环节展开，对价值评估对象由数据资产向数据要素演进所引发的研究内容变化、方法拓展与热点迁移，尚缺少系统梳理。

基于此，本文以数据价值评估研究为对象，首先分析价值评估对象从数据资产到数据要素的演进逻辑，其次归纳现有数据资产价值评估方法，并借助 CiteSpace 对国内相关文献的主题分布与热点演进进行可视化分析。在此基础上，进一步总结当前研究中存在的主要不足，以期数据价值评估理论深化、方法完善及后续研究拓展提供参考。

一、研究方法数据来源

（一）研究方法

为理清数据价值评估领域的研究热点与发展脉络，本文结合文献梳理与可视化知识图谱两种方法展开分析，一方面，精读核心文献后，对数据价值评估的研究对象变化、主流方法以及相关学术争议进行归纳整理，另一方面，利用 CiteSpace 软件对筛选后文献的关键词信息做可视化分析，展示该领域的研究主题和变化趋势。CiteSpace 是陈超美教授开发的信息可视化工具，主要用来计量和分析科学文献数据，可以绘制对应领域发展的知识图谱，辨别领域内的关键文献、研究热点与前沿方向，详细内容可参考^[14、15]。

（二）数据来源

本文以数据价值评估领域的国内研究文献为分析对象，数据来源于中国知网（CNKI）数据库。为保证样本文献的学术代表性与研究质量，检索范围限定为北大核心期刊、CSSCI 来源期刊和 CSCD 来源期刊，检索时间截至 2026 年 5 月。结合本文研究主题，设置检索条件为 SU=‘数据资产’+‘数据要素’ AND SU=‘定价’+‘价格’+‘估值’+‘价值’。在初步检索结果基础上，进一步剔除会议报道、通知公告、机构宣传及与研究主题关联度较低的文献，并对重复记录进行整理，最终获得数据资产与数据要素价值评估领域的有效样本文献 333 篇，作为后续可视化

分析的基础。

二、价值评估对象的演进逻辑

（一）数据资产与数据要素的概念辨析

数据资产是在数据资源基础上形成的资产化形态。一般而言，数据只有在权属或控制关系相对明确、能够被合理计量，并且有潜力能够为企业产生经济利益或社会效益时，才具备资产属性^[6]。与传统实物资产不同，数据资产不具有实体形态，其价值更多取决于数据质量、使用场景、加工能力和未来收益预期。因此，数据资产概念强调的是数据资源能否被特定主体控制、确认和计量，其核心问题在于数据如何从一般资源转化为可管理、可评估的资产^[17]。

数据要素则是在数据资产化基础上进一步形成的生产要素形态。数据要素并不只是具有价值的数据资源，而是能够进入生产过程、参与资源配置并在不同主体之间流通和交易的数据^[18]。与数据资产相比，数据要素更强调市场流通、场景应用和价值释放。它的价值不仅取决于数据本身的质量和规模，还受到权利边界、使用规则、交易机制、合规要求和应用场景等因素影响。因此，数据要素概念关注的不只是数据是否具有价值，而是数据如何在生产经营和市场配置中实现价值。

表 1：数据资产与数据要素的比较

比较维度	数据资产	数据要素	参考文献
概念侧重	强调数据资源的资产属性，关注其能否被特定主体控制和计量	强调数据作为生产要素参与配置和流通，关注其能否在使用中释放价值	[19、20]
价值来源	主要来自数据治理、加工成本、控制能力和未来收益预期	主要来自应用场景、市场需求和协同效应	[21、22]
价值实现方式	多通过企业内部管理、经营决策、资产入表和价值核算实现	多通过授权使用、交易流通、场景应用和要素配置实现	[23、24]
评估重点	关注数据是否具备资产确认条件，以及如何进行价值计量	关注数据在流通、交易和应用中的价值贡献	[25、26]
主要约束	控制权、计量基础、收益预期和数据质量	权属边界、合规要求、交易机制和使用规则	[27-29]

由此来看，数据资产与数据要素既有联系，也存在明显差异。二者都以数据资源为基础，但数据资产更侧重企业或特定主体内部的价值确认，数据要素则更侧重跨主体流通和场景化应用中的价值实现^[30、31]。前者主要回答数据能否作为资产被确认、计量和管理，后者则进一步回答数据如何参与交易、配置和收益分配。对应到价值评估中，数据资产评估更关注可控制性、可计量性和未来收益能力，数据要素价值评估则需要进一步考虑数据流通条件、应用场景、权属安排和市场需求。

因此，数据价值评估对象从数据资产延伸至数据要素，并不是简单的概念替换，而是评估逻辑的变化。数据资产评估偏向于内部资产管理和价值确认，数据要素价值评估则更强调市场流通和价值实现。

（二）数据资产向数据要素的演进路径

数据资产向数据要素的演进，并不是简单的概念替换，而是数据价值实现层级不断提升的过程。一般而言，数据首先以资源形态存在，经过治理、加工、确认和评估后，逐步形成可管理、可计量的数据资产^[32]；当数据资产进一步进入流通交易、授权运营和场景应用环节，并能够在不同主体之间实现配置和价值转化时，便开始具备数据要素属性。由此，数据价值实现大致呈现出数据资源、数据资产、数据要素和价值实现的递进路径^[25、33]。

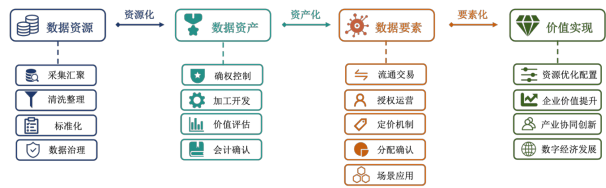


图 1：数据资产向数据要素的演进路径

在数据资源化阶段，数据主要表现为分散存在的原始信息，其价值尚未充分显现。此时的关键任务是完成数据采集汇聚、清洗整理、标准化处理和数据治理。只有经过质量提升和规范化处理，原始数据才能从杂乱无序的信息集合转化为具有使用基础的数据资源^[34]。若缺少这一阶段的治理过程，数据即使规模较大，也难以支撑后续的价值评估和开发利用。

在数据资产化阶段，数据资源开始被特定主体控制、管理和开发，并逐渐具备资产属性。该阶段的核心在于明确数据控制关系，提升数据加工开发水平，并通过价值评估和会计确认等方式，使数据能够进入企业资产管理体系^[35]。与资源化阶段相比，资产化阶段更强调数据的可识别性、可控制性和可计量性。数据是否能够带来未来经济利益或社会效益，是其能否从数据资源转化为数据资产的重要依据。

在数据要素化阶段，数据资产进一步突破企业内部管理边

界，开始进入流通交易、授权运营、定价机制、收益分配和场景应用等环节^[36]。此时，数据的价值不再只体现为企业内部使用价值，而是更多体现在跨主体流通、配置过程中。数据要素的形成，要求数据不仅具备资产价值，还需要具备可流通和可配置的条件^[33]。权属边界、合规要求、交易规则和应用场景，都会影响数据要素价值的实现程度。

最终，数据要素的价值实现体现在资源优化配置、企业价值提升、产业协同创新和数字经济发展等方面。数据通过流通和应用，与技术、资本、劳动等其他要素结合，能够提升生产效率、优化经营决策，并推动新的业务模式和产业形态形成。因此，数据资产向数据要素的演进，本质上是数据价值从内部确认走向外部配置、从静态估值走向动态应用、从单一主体收益走向多主体价值创造的过程。

从价值评估的角度来看，这条演进路径也对应着评估逻辑的改变。数据成为资产阶段，评估的重点是确认数据是否符合资产属性，以及怎样计算它的存量价值；而到数据作为生产要素阶段，评估会进一步在意数据在流通配置、具体应用场景里能带来多少价值贡献，因此，后续研究数据价值评估方法时，不能只围绕数据本身进行分析，还要把权属设置、交易机制、应用场景以及价值分配等因素都纳入考虑范围。

三、数据价值评估方法及其适用边界

数据价值评估是在传统资产评估方法基础上发展起来的，但数据本身具有非实体性、可复制性和场景依赖性，其价值形成过程不同于一般有形资产和传统无形资产^[37]。因此，数据价值评估既需要借鉴成本法、收益法和市场法等基本思路^[38]，也需要结合数据质量、应用场景、流通方式和技术条件进行方法拓展^[39]。从现有研究看，数据价值评估方法大致可以分为传统资产评估方法^[40-47]、基于数据价值构成的综合评估方法^[48-53]、面向流通应用的数据定价方法^[54-60]和智能技术驱动的数据评估方法^[61-66]。

（一）传统资产评估方法的适用性分析

传统资产评估方法主要包括成本法、收益法和市场法，这三类方法为数据资产价值评估提供了基本参照^[40]。成本法以数据形成过程中的采集、清洗、存储、治理和维护成本为基础，适用于数据形成过程较为清晰、成本记录较为完整的场景。该方法的优点在于计算逻辑相对明确，操作较为简便，但其不足也较为明显^[41]。第一，由于数据资产的非实体特征，数据资产的直接生产成本往往难以界定，在企业信息生产过程中归属为数据资产的成

本往往比较模糊。第二，由于社会环境和技术发展的变化等因素对各项贬值的影响无法直接测算，贬值的计算往往基于主观估计和假设，并不能完全反映出数据资产实际的价值变化^[42]。

收益法会估算被评估数据资产的预期收益，再把它折算成现值。与成本法相比，收益法更符合数据资产价值形成的经济逻辑，能够体现数据对企业经营决策、客户管理、风险控制和业务创新的价值，但数据收益往往是和其他生产要素一同产生的，要单独分辨出数据带来的收益难度比较大。而且数据价值的时效性和不确定性较强，未来收益期限、收益规模和折现率的确定都容易受主观判断影响^[43]。

市场法应用的关键在于找出可比资产，通过直接或间接对比，分析其中的差异，估算数据资产的价值。该方法适合交易案例较多、市场价格相对透明的场景。然而，当前数据要素市场尚处于培育阶段中，交易案例稀缺，价格形成机制不够透明^[44]。即使存在交易价格，也可能包含数据服务、技术支持和定制开发等因素，难以直接作为数据资产价值的参照。

传统三种方法在数据资产价值评估中仍具有基础意义，但其适用范围主要集中在资产确认和价值计量层面，更多详细可参考^[45-47]。面对数据要素流通交易、授权运营和场景化应用等问题，仅依赖传统方法难以充分反映数据价值的动态性、复用性和场景差异。

（二）基于数据资产价值构成的评价指标体系

由于传统方法难以全面刻画数据价值，部分研究开始从数据价值构成出发，构建评价指标体系。这类方法通常将成本要素、数据质量、数据时效性、安全性、应用价值、市场价值和战略价值等纳入评价框架，通过层次分析法、熵权法、模糊综合评价等方式确定指标权重，并形成数据资产的综合评价结果^[48、49]。更多数据资产的价值评估体系研究可参考^[50-53]，如图2-4。

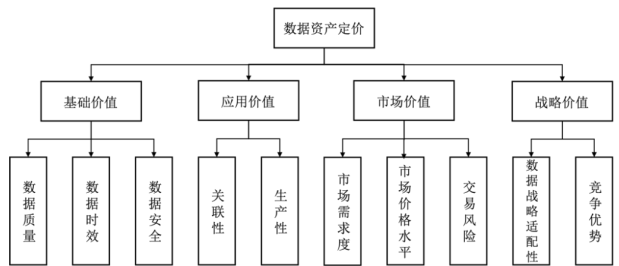


图2：基于李振楠等研究的数据资产价值评估指标体系

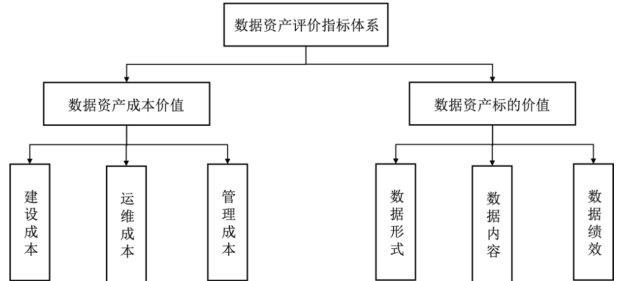


图3：基于高昂等研究的数据资产价值评估指标体系

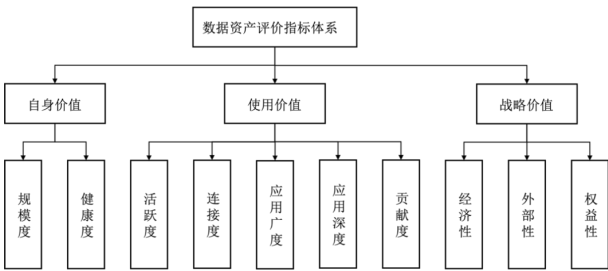


图4：基于蒋楠等研究的数据资产价值评估指标体系

数据资产价值评价指标体系的优势在于能够较全面地反映数据资产的多维价值。与单纯依靠成本或收益估算不同，这类方法更加关注数据本身的质量基础和应用条件。例如，数据质量、数据安全等基础指标评估数据资产的内在价值；数据关联性、数据效益等指标评估数据资产的应用价值，判断数据资产在经营管理中发挥的作用；数据市场需求、价格等指标对数据资产的市场交易价值进行评判，为数据资产的外部输出提供依据；运用数据战略适配性、竞争优势等指标评估数据资产的前瞻性价值。因此，基于指标体系的综合评估方法更适合用于数据资产管理、价值分级和交易前评估等场景。

不过，这类方法也存在一定局限。首先，指标体系的构建容易受到研究者主观判断影响，不同行业、不同类型数据之间的指标可比性有限。其次，权重确定虽然可以借助数学方法，但仍难以完全避免主观性。最后，该方法仅考虑数据资产特性对价值的影响，对数据资产类别和数据资产价值维度考虑较少^[48]。数据资产价值评价指标体系适合作为数据资产价值识别和分级管理工具，但在交易定价和收益分配中的应用仍需结合具体场景进一步调整。

（三）面向流通应用的数据价值评估方法

随着数据要素市场建设推进，数据价值评估逐渐从企业内部资产管理延伸至流通交易、授权运营和场景应用环节。在这一背景下，评估重点不再只是判断数据本身值多少，而是进一步关注数据在何种使用条件下、面向何类主体、进入何种场景后能够产生多少价值^[54]。

面向流通应用的数据价值评估通常需要同时考虑数据供给方、需求方和交易场景。对供给方而言，数据价值与采集成本、治理水平、可授权范围和合规风险有关；对需求方而言，数据价值则取决于数据能否提升决策效率、降低运营成本、改善产品服务或带来新的收益来源^[55]。因此，数据定价不能脱离具体用途而单独确定，同一数据在不同主体和不同场景中的价值可能存在明显差异^[56]。

在实际研究中，面向流通应用的方法主要包括交易定价模型、收益分配模型、授权运营定价和场景化估值模型等^[57-59]。这类方法更加强调数据的使用价值和配置价值，能够较好回应数据要素市场中的定价需求。但其难点在于，数据交易规则、权属边界、使用期限、收益分配机制尚未完全成熟，市场价格信号仍不充分^[12、60]。面向流通应用的数据评估方法需要在传统估值模型之

外，引入权属安排、交易结构、合规条件和应用场景等因素。

（四）智能技术驱动的数据价值评估方法

近年来,随着人工智能和机器学习方法的发展,智能技术也开始被引入数据价值评估研究。相较于传统评估方法,智能技术能够实现数据价值的精准量化、交易流程的自动化与智能化、交易过程的可信化,深刻改变数据定价与交易的方式^[61]。相关研究通常利用机器学习、深度学习、区块链等方法,对数据特征、市场需求、交易价格和应用效果进行建模,以提高价值预测的精细化水平^[62-65]。

智能评估方法的优势在于能够提高模型对复杂信息的处理能力^[66]。例如,原始数据利用爬虫获取的文本数据在 CBOW 模型的作用下转化为可供机器识别的数据,并建立数据矩阵生成三维词向量,在 LSTM 神经网络的作用下使词向量二维化。最后,利用 XGBoost 算法进行回归分析,预测数据资产的价值。该系统基于集成人工智能算法,有效解决了数据资产交易历史数据特征多、特征复杂、冗余度高的问题,相对于一般的机器学习算法具有更好的泛化能力和模型精度。系统可操作性强,可服务于数据资产评估机构及各大数据交易网站,具有强推广性和自主成长能力。

但智能技术并不能替代数据价值评估的基本逻辑。其一，数据定价模型普遍存在“黑箱”现象，决策逻辑不透明，模型的可靠性受到很大限制。其二，市场缺乏统一的计价标准和科学的评估体系，容易产生“同质数据价格差异大、异质数据价值被系统性低估”的现象。其三，目前仍缺乏国家或行业层面的统一标准，不同平台、系统之间难以实现有效对接，形成新的“技术孤岛”，影响数据的跨域流通^[61]。因此，智能技术更适合作为数据价值评估的辅助工具，而不宜被理解为独立替代传统评估框架的完整方案。

数据价值评估方法正在由传统资产评估框架，逐步扩展为多方法结合的评估体系。成本法、收益法和市场法为数据资产价值计量提供基础参照，综合评估方法有助于识别数据价值构成，流通应用导向的方法回应了数据要素市场中的定价需求，智能技术则提升了复杂场景下的价值识别和预测能力。随着数据资产入表、数据要素流通和场景化应用不断推进，未来数据价值评估需要在资产确认、交易定价和价值实现之间形成更加衔接的框架。

四、数据价值评估研究的知识图谱与热点演进

在完成数据资产与数据要素的概念辨析及数据价值评估方法梳理后,仍有必要进一步考察该领域研究热点的整体分布及其演进过程。本章借助 CiteSpace 工具对选中的文献做知识图谱分析,分析内容主要包括发文量变化趋势、作者共现关系、机构发文情况、关键词聚类 and 关键词词时区演进。

（一）发文趋势与研究阶段特征

年度发文量在很大程度上反映了学术界以及业界对该领域的

关注度^[67]。为把握该领域的整体发展节奏,本文对样本文献的年度分布进行统计,结果如图5所示。

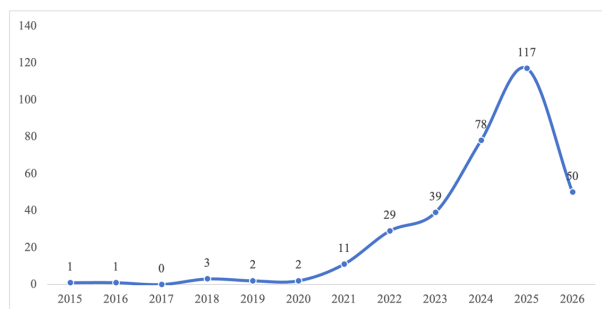


图5: 2015年以来数据价值评估领域研究的发文量

2015年至2020年,围绕数据价值评估的研究发文总量整体偏少,除2018年有3篇之外,其他年份发文量都在1-2篇的低水平,说明该领域在这一阶段还没有形成稳定的研究关注度。2021年开始,相关研究发文量明显上涨,从2021年的11篇升到2022年的29篇,又在2023年达到39篇,数据表明数据资产、数据要素、价值评估这类议题慢慢进入了学术讨论的范围。2024年到2025年,发文量进一步快速提高,分别达到78篇和117篇,说明该领域已经进入研究热度快速上升的阶段,2026年发文量为50篇,虽然比2025年低,但由于本次统计可能没有覆盖全年,不能直接认定研究热度出现回落。

2020年前后,数据作为生产要素的定位逐步清晰,相关研究也开始从数据资源管理转向数据资产属性、价值形成以及市场配置这类问题。2022年之后,围绕数据产权、流通交易、收益分配和安全治理的制度建设不断完善,促进研究方向从“数据是否具备资产价值”,进一步转向“数据价值要如何确认、计量和释放”^[31]。2023年以来,企业数据资源会计处理、数据资产评估和数据要素市场建设推进速度加快,让数据价值评估从理论讨论进入了资产确认、交易定价和场景应用共同促进的新阶段^[40],这些变化说明,数据价值评估的研究重点已经从讨论数据价值是否存在,转向入表计量、评估方法、交易定价和场景应用这类更具体的问题。

（二）研究主体分布与合作关系

作者和机构合作图谱能够反映数据价值评估研究的参与主体及其协作情况。本文分别绘制作者合作图谱和机构合作图谱,结果见图6和图7。

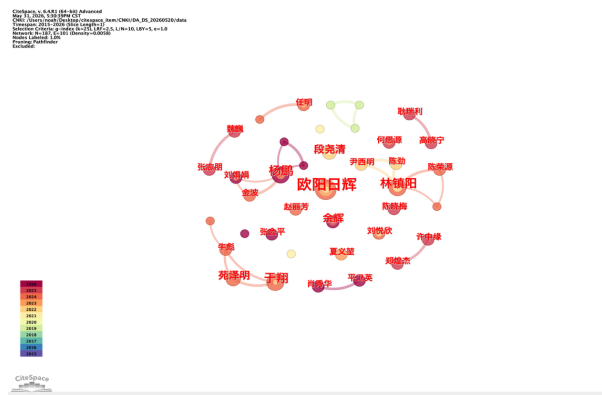


图6: 数据价值评估领域研究的作者共现图谱

从作者合作图谱看，样本文献共形成187个作者节点、101条合作连线，网络密度为0.0058，说明该领域已经聚集了一定数量的研究者，但作者之间的合作关系整体较为分散。图中欧阳日辉、林镇阳、杨鹏等作者节点相对突出，表明其在数据资产、数据要素和价值评估相关研究中较为活跃。与此同时，图谱中存在若干小规模合作群体，但不同合作群体之间的连接较少，说明当前研究仍以局部团队合作为主，尚未形成紧密的学术共同体。



图7：数据价值评估领域研究的机构共现图谱

从机构合作图谱看，样本文献共形成180个机构节点、94条合作连线，网络密度同样为0.0058，机构合作关系也呈现较为松散的特征。图中较为突出的机构包括上海大学文化遗产与信息管理学院、中国人民大学信息资源管理学院、武汉大学信息管理学院、北京大学经济学院、天津财经大学会计学院、南开大学商学院等。这些机构主要分布在信息资源管理、经济学、会计学、财政金融和数字经济等相关领域，说明数据价值评估研究具有较强的交叉学科属性。

数据价值评估研究已经形成一定的研究主体基础，但合作网络仍处于分散集聚并存的状态。现有合作多发生在局部作者群体和部分高校、科研机构之间，跨团队、跨机构的联系尚不紧密。这一特征与该领域的研究属性基本一致，数据价值评估既涉及资产评估和会计计量，也涉及数据治理、市场定价和技术应用，研究内容本身具有较强的复合性。

（三）关键词聚类与研究主题分布

关键词的聚类分析能够解释某个研究领域的热点问题和未来发展趋势，有利于综合分析研究热点^[14]。CiteSpace 依据网络结构和聚类的清晰度，提供了模块值（Q 值）和平均轮廓值（S 值）两个指标，该指标可以作为评判图谱绘制效果的依据。一般而言，Q 值 >0.3 意味着聚类结构显著，S 值 >0.5 表明聚类内部一致性较好^[15]。为了更深层地挖掘数据资产与数据要素价值评估的研究热点区域，本文在关键词共现的基础上，采用 LLR 算法对研究样本进行聚类分析，结果见图8和表2。关键词聚类图谱的模块值 Q 为 0.8241，平均轮廓值 S 为 0.9461，说明聚类内部一致性较强^[63]。

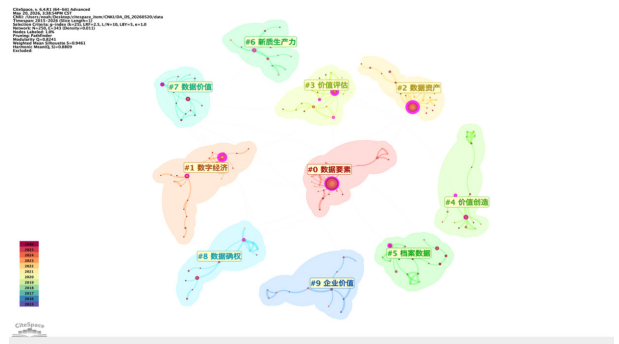


图8：数据价值评估领域研究的关键词聚类图谱

表2：热点主题与聚类表

研究主题	聚类号	聚类名	主要节点
基础概念	#0	数据要素	数据要素；数据资产；全球价值链韧性；定价机制
	#2	数据资产	数据资产；层次分析法；商业银行；数据要素
	#7	数据价值	数据价值；数据治理；人工智能
	#8	数据确权	数据确权；数据定价；价值释放；资本化
价值实现	#3	价值评估	价值评估；会计计量；优化成本－增量收益评估法；价值属性
	#4	价值创造	价值创造；资产管理；价值发现；灰色预测
	#9	企业价值	企业价值；生产要素；资源获取；供应链配置多元化
应用场景	#1	数字经济	数字经济；信息生态理论；影响因素
	#5	档案数据	档案数据；价值实现；档案价值；档案数据要素价值
	#6	新质生产力	新质生产力；数据价值链；数据产权；数据市场

从主题分布看，“#0数据要素”、“#2数据资产”、“#7数据价值”和“#8数据确权”等聚类，集中反映了数据从一般资源进入经济活动后的基础问题。2019年至2020年前后，数据作为生产要素的地位逐步明确，相关研究开始从数据资源管理转向数据资产属性、价值形成和要素配置等问题。2022年数据基础制度建设进一步推进，数据产权、流通交易、收益分配和安全治理等制度安排被系统提出，数据确权和定价机制由此成为研究中的重要议题。2023年以来，企业数据资源会计处理和数据资产评估实践推进，使数据资产确认、会计计量和价值评估问题进一步升温。因此，数据资产、数据要素、数据价值和数据确权等聚类并不是孤立出现的，而是对应了数据资源资产化、资产入表和要素市场化的连续推进过程。

“#3价值评估”、“#4价值创造”和“#9企业价值”等聚类，则体现了研究重点从对象确认转向价值实现。企业数据资源入表使数据价值评估直接关系到会计确认、信息披露和资产管理，数据交易和流通实践又进一步要求评估结果能够服务于定价和收益分配。与此同时，数据价值并不只取决于数据本身，还取决于其能否进入业务流程、管理决策和应用场景。因而，价值创造和企业价值等主题的出现，说明研究已经开始关注数据如何通过加工、分析和价值转化为实际经济收益。换言之，数据价值评估的研究重点已经从评估数据本身的价值，逐步转向评估数据在企业经营和市场配置中的价值贡献。

“#1数字经济”、“#5档案数据”和“#6新质生产力”等聚类，进一步体现了研究场景和问题意识的扩展。2024年至2026年数据要素三年行动计划强调发挥数据要素乘数效应，推动数据在工业制造、现代农业、商贸流通、交通运输、金融服务、医疗健康等场景中应用，这使数据价值评估从一般性方法讨论进入更加具体的应用场景。2024年公共数据资源开发利用制度加快推进，公共数据共享开放、授权运营和价格形成机制受到关注，也解释

了档案数据、公共数据和行业数据价值评估相关主题的增加^[69-70]。随着新质生产力成为近年高质量发展中的重要议题，数据要素如何促进创新、优化资源配置和提升产业效率，也被纳入数据价值评估研究的讨论范围^[71]。

关键词聚类结果表明，数据价值评估研究已经形成以数据资产和数据要素为核心，以价值评估、价值创造和数据确权为支撑，并向数字经济、新质生产力及具体数据场景延伸的主题结构。其中，数据资产侧重价值确认与计量，数据要素侧重流通配置与价值实现，二者共同构成当前数据价值评估研究的主要脉络。

（四）关键词时区演进与热点迁移

关键词时区路径图谱揭示数据资产和数据要素价值评估领域关键词之间的关联性以及演进趋势。关键词节点的大小反映了关键词出现的频次以及其他年份关键词的关联程度，节点越大说明关键词引用频次越高且关键词之间的联系越紧密。由图9可知，随着时间的推移，关键词的节点数量越来越多，但节点的体积有在缩小，这表明随时间的推移，数据资产和数据要素价值评估的研究热点趋于多元化。

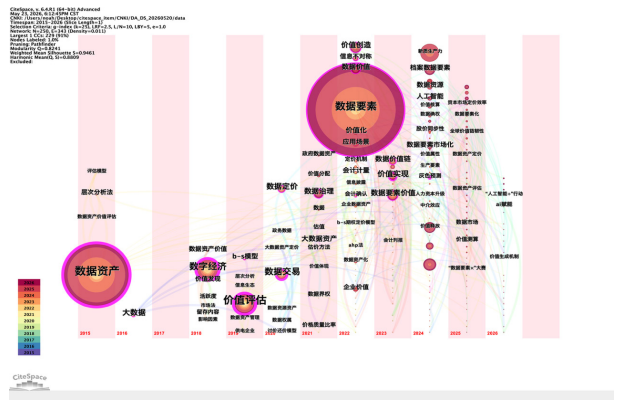


图9：数据价值评估领域研究的关键词时区图谱

2015年至2018年，图谱中较早出现的关键词主要包括数据资产、大数据、数字经济、数据资产价值和价值发现等，说明这一时期研究主要围绕数据的资产属性和潜在价值展开，重点仍在于回答数据能否形成经济价值这一基础问题。

2019年至2021年，价值评估、数据交易、数据定价、数据治理和估价方法等关键词逐渐出现，表明研究开始从价值认知转向价值测度和交易应用。特别是数据被纳入要素市场化配置框架后，数据交易、定价机制和治理条件成为更具现实指向的研究问题。与早期相比，这一阶段的关注点不再停留于说明数据具有价值，而是进一步讨论数据价值如何被评估、如何形成价格以及如何通过治理机制支撑流通。

2022年以来，数据要素成为图谱中的核心关键词，并与价值化、应用场景、数据要素价值、价值实现、会计计量、会计确认、信息披露、数据要素市场化、人工智能和新质生产力等关键词形成联系。这表明数据价值评估研究开始同时面向企业数据资源入表和数据要素价值释放两个方向：一方面关注数据价值如何进入会计计量和资产管理体系，另一方面关注数据如何在应用场景、市场流通和技术赋能中实现价值。总体来看，关键词时区图

呈现出较清晰的热点迁移路径，数据价值评估研究正从早期的数据价值认知，逐步转向价值计量、交易定价和场景化实现。

数据价值评估研究的热点并不是简单更替，而是不断向更具体的问题推进。早期关注数据价值是否存在，中期关注数据价值如何测度，近年则更多关注评估结果如何进入入表、交易、流通和应用场景。由此可以看出，该领域研究已经从价值认知问题，逐步转向价值计量和价值实现问题。

五、现有研究不足与未来拓展方向

数据价值评估研究已在数据资产确认、估值方法、数据要素定价和场景应用等方面形成一定成果。但随着数据发展持续推进，现有研究仍存在理论边界不够清晰、方法适配不足和实证支撑偏弱等问题。

（一）数据资产估值与数据要素定价的边界仍需厘清

数据资产估值与数据要素定价在既有研究中常被并置讨论，但二者所对应的对象、目的和适用场景并不完全一致。数据资产估值主要面向资产确认、会计计量和企业内部管理，强调数据能否被特定主体控制、能否形成收益预期以及能否被合理计量；数据要素定价则更多面向流通交易、授权使用和收益分配，强调数据在市场配置和场景应用中的价值形成。后续研究有必要进一步区分数据资产估值和数据要素定价的适用范围，在资产确认、授权使用、交易流通和场景应用之间建立更清晰的层次关系。

（二）评估方法与应用场景的衔接仍显不足

在数据资产定价方面，传统的市场法、成本法、收益法这类评估方法，在处理数据的独有特性时存在一定局限，目前相关讨论大多还停留在模型设计与指标构建阶段，对不同应用场景下数据价值的差别关注不够。数据价值不会脱离用途单独存在，它的价值会受到数据类型、使用主体、应用目的以及流通条件等多类因素影响。所以，数据价值评估不能只追求方法形式上的完整，还要提高对具体场景的解释能力。后续研究可围绕不同数据类型和不同使用目的，进一步分析评估指标、权重设定等之间的关系，让评估方法能更好满足场景化应用里的实际需求。

（三）真实交易数据和实证检验仍然偏少

目前不少数据价值评估的研究，大多还是依靠理论推导、专家打分或者案例分析来进行，围绕真实交易价格、企业入表案例以及公共数据授权运营案例的实证研究相对较少。因为缺少市场层面的实际验证，不少现有的评估模型就算结构完整，它得出的结果能不能被交易双方认可，还需要进一步验证，后续研究可以增加对数据交易平台、企业数据资产评估以及公共数据运营实践的跟踪，对比评估价值、实际交易价格和应用落地收益三者之间的差异。

（四）确权、合规与收益分配因素纳入不足

数据价值评估不只是技术测算问题，还会受到权属边界、合规要求和收益分配机制的影响，数据来源是否合法、使用范围是否清晰、是否包含个人信息以及敏感数据，都会改变数据的可交易属性，也会影响评估结果是否有效。今后的研究需要把数据权

利安排、合规成本、隐私保护和收益分配都纳入评估体系，尤其需要重视多主体参与时，数据价值要如何形成、分配和持续释放。

数据价值评估研究，需要从单纯对比不同估值方法，进一步转向贴合真实场景、符合现有制度条件的综合评估。只有把评估

对象、应用场景、权属安排和交易机制结合起来，才能更好满足数据资产入表、数据交易定价和数据要素市场化配置里的实际需求。

参考文献

- [1] 唐斯圆, 张语涵, 吴昊婧. 资本市场如何看待数据资产入表?——基于《企业数据资源相关会计处理暂行规定》发布的市场反应研究[J]. 财贸研究, 2025, 36(11): 81-96+110.
- [2] 刘若鸿, 李硕. 探索数据资产价值评估机制: 现实要求与推进路径[J]. 价格理论与实践, 2025, (07): 103-109.
- [3] 吴江, 陶成煦. 激活数据要素赋能千行万业——《“数据要素×”三年行动计划(2024—2026年)》政策解读[J]. 情报理论与实践, 2024, 47(03): 16-19.
- [4] 孙道, 孙君. 国有企业公共数据资源开发利用: 框架、机制与挑战[J/OL]. 电子政务, 1-11[2026-05-20]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5181.TP.20260115.1341.002>.
- [5] 朝乐门. 数据创造价值: 特征、方法与影响因素分析[J]. 中国图书馆学报, 2025, 51(03): 65-86.
- [6] Coyle D, Manley A. What is the value of data? A review of empirical methods[J]. Journal of Economic Surveys, 2024, 38(4): 1317-1337.
- [7] Fleckenstein M, Obaidi A, Tryfona N. A review of data valuation approaches and building and scoring a data valuation model[J]. Harvard Data Science Review, 2023, 5(1).
- [8] 许宪春, 张钟文, 胡亚茹. 数据资产统计与核算问题研究[J]. 管理世界, 2022, 38(02): 16-30+2.
- [9] 朱秀梅, 林晓玥, 王天东, 等. 数据价值化: 研究评述与展望[J]. 外国经济与管理, 2023, 45(12): 3-17.
- [10] 熊巧琴, 汤珂. 数据要素的界权、交易和定价研究进展[J]. 经济学动态, 2021, (2): 143-158.
- [11] 江东, 袁野, 张小伟, 等. 数据定价与交易研究综述[J]. 软件学报, 2023, 34(03): 1396-1424.
- [12] 平卫英, 肖秀华. 中国数据资产价值测算研究——基于网络招聘大数据的分析[J]. 当代经济研究, 2026, (03): 101-116.
- [13] Ding X, Li G, Tang Y, et al. A survey on data asset value change estimation and appreciation with data governance[J]. Big Data Mining and Analytics, 2025, 8(6): 1369-1387.
- [14] 侯剑华, 胡志刚. CiteSpace 软件应用研究的回顾与展望[J]. 现代情报, 2013, 33(04): 99-103.
- [15] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [16] 秦荣生. 企业数据资产的确认、计量与报告研究[J]. 会计与经济研究, 2020, 34(06): 3-10.
- [17] 谭明军. 论数据资产的概念发展与理论框架[J]. 财会月刊, 2021, (10): 87-93.
- [18] 王谦, 付晓东. 数据要素赋能经济增长机制探究[J]. 上海经济研究, 2021, (04): 55-66.
- [19] 陈晓珊, 李哈菲, 刘洪泽. 数据资产信息披露与企业合作文化[J]. 上海财经大学学报, 2025, 27(02): 78-93.
- [20] 吴曼青, 洪日昌, 王佐成, 等. 数据要素场技术体系及工程实践[J]. 中国工程科学, 2025, 27(01): 51-62.
- [21] 胡亚茹, 许宪春. 企业数据资产价值的统计测度问题研究[J]. 统计研究, 2022, 39(09): 3-18.
- [22] 郑志强, 何佳俐, 陈尧. 公共数据开放与企业数字技术创新[J]. 财经研究, 2025, 51(02): 19-33.
- [23] 马费成, 王文慧, 孙玉姣, 等. 数字产业化与产业数字化协同发展中的数据价值实现[J]. 信息资源管理学报, 2024, 14(04): 4-15.
- [24] 马费成, 吴逸姝, 卢慧质. 数据要素价值实现路径研究[J]. 信息资源管理学报, 2023, 13(02): 4-11.
- [25] 张翔, 赵晟鹭, 严若婷. 企业数据资产价值实现及金融支持模式研究[J]. 西南金融, 2024, (10): 42-52.
- [26] Jackson A B, Luu S. Accounting for digital assets[J]. Australian Accounting Review, 2023, 33(3): 302-312.
- [27] Hannila H, Silvola R, Harkonen J, et al. Data-driven begins with DATA; potential of data assets[J]. Journal of Computer Information Systems, 2022, 62(1): 29-38.
- [28] 于瑶. 企业数字化发展引发会计信息价值相关性危机了吗? [J]. 上海财经大学学报, 2024, 26(02): 108-121+152.
- [29] Purtova N, van Maanen G. Data as an economic good, data as a commons, and data governance[J]. Law, Innovation and Technology, 2024, 16(1): 1-42.
- [30] 陆岷峰, 欧阳文杰. 数据要素市场化与数据资产估值与定价的体制机制研究[J]. 新疆社会科学, 2021, (01): 43-53+168.
- [31] 冯科. 数字经济时代数据生产要素化的经济分析[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2022, 37(01): 1-12.
- [32] 何玉长, 王伟. 数据要素市场化的理论阐释[J]. 当代经济研究, 2021, (04): 33-44.
- [33] 陈刚, 颜斌斌, 汤珂. 数据的要素化与资产化: 理论辨析与实践探索[J]. 国际经济评论, 2024, (05): 153-176+8.
- [34] 倪渊, 李子峰, 张健. 基于 AGA-BP 神经网络的网络平台交易环境下数据资源价值评估研究[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(01): 135-142.
- [35] 赵丽芳, 曹新宇, 边臻漪. 企业数据资产创造价值的底层逻辑问题研究[J]. 会计之友, 2024, (06): 51-58.
- [36] 梁继, 苑春蓉. 数据生产要素的市场化配置研究[J]. 情报杂志, 2022, 41(04): 173-180.
- [37] 李海舰, 赵丽. 数据成为生产要素: 特征、机制与价值形态演进[J]. 上海经济研究, 2021, (08): 48-59.
- [38] 汪一泓. 数据资产核算实践与中国启示[J]. 调研世界, 2026, (03): 31-43.
- [39] 苑泽明, 李萌, 刘冠辰, 等. 企业数据资产确认与计量的理论问题研究[J]. 会计研究, 2026, (02): 58-70.
- [40] 吕慧, 赵冠月. 数据资产的价值评估与会计处理研究进展综述[J]. 财会通讯, 2023, (13): 24-30.
- [41] 欧阳日辉, 杜青青. 数据估值定价的方法与评估指标[J]. 数字图书馆论坛, 2022, (10): 21-27.
- [42] 林飞腾. 基于成本法的大数据资产价值评估研究[J]. 商场现代化, 2020, (10): 59-60.
- [43] 李永红, 张淑雯. 数据资产价值评估模型构建[J]. 财会月刊, 2018, (9): 30-35.
- [44] 程晓梅, 张志红, 梅修琛. 从定值到赋能: 数据资产评估逻辑转型与方法改进[J]. 中国资产评估, 2026, (3): 32-41.

- [45]Yanlin W, Haijun Z. Data asset value assessment literature review and prospect[C]//Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020, 1550(3): 032133.
- [46] 王硕, 李宝瑜. 数据资产价值核算理论与方法研究综述 [J]. 统计与决策, 2024, 40(20): 43-48.
- [47] 邹贵林, 陈雯, 吴良峰, 等. 电网数据资产定价方法研究——基于两阶段修正成本法的分析 [J]. 价格理论与实践, 2022, (3): 89-93+204.
- [48] 尹传儒, 金涛, 张鹏, 等. 数据资产价值评估与定价: 研究综述和展望 [J]. 大数据, 2021, 7(4): 14-27.
- [49]Lim S, Lee C H, Bae J H, et al. Identifying the optimal valuation model for maritime data assets with the analytic hierarchy process (AHP)[J]. Sustainability, 2024, 16(8): 3284.
- [50] 李振楠, 毛腊梅, 陈星. 数据资产估值指标体系构建研究 [J]. 财会通讯, 2025, (12): 21-26+108.
- [51] 高昂, 彭云峰, 王思睿. 数据资产价值评价标准化研究 [J]. 中国标准化, 2021, (9): 90-93.
- [52] 蒋楠, 刘陈宇, 褚娜. 基于内部衡量构建石化数据资产价值评估指标体系 [J]. 数字化转型, 2025, 2(3): 42-52.
- [53] 朱富成, 刘永, 许炜婧. 应急处置类档案数据资产化及其经济价值评估指标构建 [J]. 档案管理, 2021, (6): 63-65.
- [54] 陆岷峰, 欧阳文杰. 商业银行数据资产的价值评估与交易定价研究 [J]. 会计之友, 2022, (19): 30-37.
- [55]Wang H, Song L, Zong Q. A system model for valuing data assets in commercial banks[J]. Systems, 2026, 14(1): 115.
- [56] 马克卫, 张峰莹. 平台电商企业数据资产价值评估方法研究——以 O2O 行业平台电商企业美团为例 [J]. 技术经济与管理研究, 2026, (4): 107-117.
- [57] 樊必武, 高峰, 赵越, 等. 基于拓展 CAPM-BS 模型的企业数据资产估值定价研究 [J/OL]. 中国管理科学, 1-15[2026-05-27].<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.0059>.
- [58]Shen J, Fang Q, Zhang T, et al. Research on the valuation of internet enterprise data assets based on value chain theory[J]. Journal of Business Economics and Management, 2025, 26(5): 1175-1200.
- [59] 王重润, 王文静, 赵冬暖. 基于讨价还价模型的大数据资产定价研究 [J]. 会计之友, 2023, (6): 20-29.
- [60] 吴邦正, 昌海玲, 刘亚洲. 数据资产流通中的政府补贴与定价策略研究 [J]. 管理现代化, 2026, 46(2): 46-55.
- [61] 卢延纯, 吕指臣, 马凤娇. 充分发挥人工智能在数据定价和交易领域的赋能作用 [J]. 宏观经济管理, 2026, (4): 9-16.
- [62] 冯科, 黄雨茜. 企业数据资产的区块链交易定价机制研究 [J]. 技术经济与管理研究, 2024, (9): 30-36.
- [63] 陈承正. 数据资产智能定价与交易策略优化 [J]. 华东科技, 2024, (10): 92-94.
- [64] 任建宇. 基于集成机器学习的数据资产定价模型及系统设计 [J]. 中国管理信息化, 2022, 25(14): 80-82.
- [65] 陈笑春, 马琰. 逃离还是拥抱 AI: 生成式人工智能场景下新闻数据的实践与价值 [J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2026, 55(2): 47-56.
- [66] 洪永淼, 罗良清, 张明. 大数据、人工智能与经济统计: 机遇与挑战 [J]. 统计研究, 2026, 43(3): 3-24.
- [67] 殷聪, 谷慎圣. 国内数据资产价值评估研究综述——基于 CiteSpace 的文献计量分析 [J]. 科技管理研究, 2025, 45(17): 191-202.
- [68] 周德良, 李睿. 数据资产会计研究热点与前沿趋势——基于 CiteSpace 知识图谱分析 [J]. 会计之友, 2024, (2): 102-111.
- [69] 张宁. 企业档案数据资产化探究 [J]. 档案学通讯, 2025, (5): 75-83.
- [70] 丁海斌, 韦纪兵. 基于档案属性、价值转化、制度耦合三元分析框架的企业档案数据资产入表问题探析 [J]. 档案学通讯, 2025, (6): 56-63.
- [71] 陈荣达, 林祺, 金聘路, 等. 数据资产估值定价与新质生产力发展: 演进逻辑与主要挑战 [J]. 财贸经济, 2024, 45(8): 33-51.

考虑分时拥堵与返回时限的多车辆同时取送 路径优化研究

李美娇

济南大学 管理科学与工程学院, 山东 济南 250000

DOI:10.61369/ASDS.2026080010

摘 要 : 针对城市快递末端配送中投递与取货并行、道路通行时间随时段变化且车辆需按时回场的作业特征, 构建考虑分时拥堵与返回时限的多车辆同时取送路径优化模型。模型以车辆固定成本和分时路网距离成本之和最小为目标, 约束客户唯一服务、车辆容量、路径连续、分时时间传播和最大作业时长。为求解该问题, 设计插入式构造启发式与改进模拟退火相结合的算法, 并通过禁忌记忆和容量辅助候选搜索提升解的多样性。基于真实服务网点得到高德时间—距离矩阵, 经 Solomon 数据集仿真客户需求量, 构造 TD-SPDP-50 算例。结果显示, 动态拥堵方案总成本为 1275.99 元, 使用 7 辆车, 最晚返回 16:57:47; 静态平均速度方案动态复算后最晚返回 17:09:26, 未满足返回时限。研究表明, 分时拥堵建模能够提高路径方案的执行可靠性。

关 键 词 : 同时取送; 车辆路径问题; 分时拥堵; 返回时限; 模拟退火

Multi-Vehicle Simultaneous Pickup and Delivery Routing with Time-Dependent Congestion and Return Deadline

Li Meijiao

School of Management Science and Engineering, University of Jinan, Jinan, Shandong 250000

Abstract : To address urban express delivery operations in which delivery and pickup services are performed simultaneously, travel times vary by departure period, and vehicles must return to the depot before a prescribed deadline, this paper develops a multi-vehicle simultaneous pickup and delivery routing model with time-dependent congestion. The objective is to minimize fixed vehicle costs and time-dependent travel-distance costs subject to customer assignment, vehicle capacity, route continuity, time propagation and route-duration constraints. An insertion-based construction heuristic and an improved simulated annealing algorithm with tabu memory are designed. A semi-empirical TD-SPDP-50 instance is constructed from anonymized real road-network time-distance matrices and Solomon-inspired simulated customer demands. Computational results show that the dynamic model obtains a feasible solution with a total cost of 1275.99 yuan, 7 vehicles, and the latest return at 16:57:47, whereas the static average-speed solution violates the return deadline when re-evaluated with dynamic matrices. The results confirm the necessity of time-dependent routing evaluation in deadline-constrained urban delivery.

Keywords : simultaneous pickup and delivery; vehicle routing problem; time-dependent congestion; return deadline; simulated annealing

引言

城市快递与电商末端配送网络的特点是: 订单波动强、节点分散、道路通行状态变化快等。车辆在一次配送作业中通常既要完成投递, 又要回收退件或揽收件, 车辆载荷随访问顺序动态变化。若按传统静态距离或平均速度进行路径规划, 得到的路线虽运输成本较低, 却在真实道路拥堵条件下出现返回超时、车辆等待或局部线路过载等问题。对于具有固定回场要求的午班配送作业而言, 返回时限不仅关系到车辆周转, 也关系到分拣交接、后续班次衔接和服务可靠性。

本文围绕单配送中心、多车辆、同时取送和分时拥堵条件下的路径优化问题, 建立一种考虑返回时限的同时取送车辆路径模型。与客户时间窗为主的车辆路径模型不同, 本文聚焦于车辆整体作业周期约束, 即所有启用车辆必须在给定配送周期内返回配送中心。该

设置更贴近城市快递网点午后集中配送后，需回场作业的实际。

本文的主要工作包括三点：第一，构建以固定出车成本和分时路网距离成本为目标的多车辆同时取送路径模型；第二，设计结合插入式构造、分时时间传播、载荷可行性判定和改进模拟退火的启发式算法；第三，基于某市真实路网时间—距离矩阵和 Solomon 数据集仿真生成客户需求算例，比较静态平均速度方案与动态拥堵方案，并分析关键参数对优化结果的影响。

从管理意义看，本文不是单纯缩短行驶距离，而是在固定回场时间约束下提高路径方案的可执行性。对末端配送企业而言，车辆晚归会压缩包裹交接、异常件处理和下一波次作业准备时间；对算法设计而言，若仅以静态距离最短作为评价标准，搜索过程可能倾向于形成长尾线路，导致某些车辆在拥堵时段无法按时返回。因此，将分时通行矩阵直接嵌入路径评价过程，是提升配送计划可靠性的关键。

一、研究现状

车辆路径问题最早由 Dantzig 和 Ramser^[1] 提出，其核心目标是在访问所有客户并返回起点的条件下，实现总行驶距离的最小化。Solomon^[2] 进一步构建带时间窗车辆路径基准算例和算法框架，使客户时限、服务时间和路径评价成为车辆路径研究的重要基础。在逆向物流中，Min^[3] 较早指出客户节点可能同时存在配送与取货需求，车辆载荷随服务顺序发生双向变化，不能按单向配送的容量逻辑进行简单判定。近年来，城市电商配送更强调车辆在限定作业周期内完成服务并返回，Cokyasar 等^[4] 围绕送达时间限制的车辆路径问题建立模型，说明最大作业时长与车辆容量会共同影响车辆数量、行驶里程和配送组织方式；范厚明等^[5] 研究电动车—无人机协同配送问题，综合考虑分时段禁飞的无人机禁飞区、同时取送货等因素，建立电动车—无人机协同配送优化模型，证明真实交通状态会改变路径执行结果。

围绕同时取送货问题，近年来研究重点从基础 VRPSPD 逐步转向多约束、多场景和可精确求解的扩展模型。Praxedes 等^[6] 提出统一的分支割定价方法，处理同时取送货车车辆路径问题及其多种扩展形式，表明同时取送载荷约束可通过一般的路径集合框架表达。郭放等^[7] 将前置仓选址、服务策略和同时取送货路径优化结合，说明中间补货/卸货节点会改变车辆服务范围 and 路线结构；吴腾宇等^[8] 研究非对称网络下在线取送货路径优化问题，强调实时订单、非对称路网和任务匹配会增加路径可行性判定难度。这些研究与本文关注的同时取送载荷演化相契合，但本文进一步将取送载荷与车辆统一返回时限共同嵌入分时路径评价过程。

在服务时限和扰动恢复方面，现有文献多从客户时间窗、订单释放时间或动态异常出发。Hu 等^[9] 面向在线餐饮配送中的带时间窗取送问题构建扰动恢复模型，指出在动态订单和异常事件下，路径方案需兼顾执行稳定性。孙欣蕊等^[10] 将订单可服务时刻、服务时限等纳入取送货车车辆路径优化，体现末端配送中时间约束的多层次特征。Zhou 等^[11] 在两级配送、硬时间窗、分时速度函数和中转节点同步之间建立模型，说明交通时段变化会通过中转等待、装卸同步和车辆出发时刻影响总成本。针对客户时间窗频繁变动，丁秋雷等^[12] 剖析了干扰事件对客户、车辆及产品的影响，在此基础上，构建了时间窗变动下生鲜产品同时取送车辆路径干扰管理模型。与上述研究相比，本文不设置客户硬时间窗，而将作业周期结束前返回配送中心作为核心时限约束，更贴

合午班快递车辆需按时回场、衔接分拣与下一波次作业的场景。

在城市共同配送和新能源配送方向，研究者开始将路径优化与资源共享、交通拥堵、充电排队等因素结合。王勇^[13] 比较分析了不同配送模式下多中心共同配送优化方案各指标的差异，为多级多中心共同配送的网络优化问题研究提供方法参考和决策支持。Zhou 等^[14] 针对带时间窗的电动车取送货问题引入队列因素，说明车辆在作业点或充电站的等待会改变路径成本和到达时间，不能只依据静态行驶距离评价方案优劣。Zhao 等^[15] 面向拥堵路网构建时间依赖车辆路径模型，进一步说明同一节点对之间的通行时间会随出发时刻和道路状态变化。这些研究为本文采用分时路网时间—距离矩阵提供了依据。

综合已有成果可以发现，在车辆路径优化问题中，同时取送、时间依赖和服务时限均已形成较丰富的研究积累，但三者在城市快递午班回场场景中的结合仍有进一步细化空间：1. 部分研究以客户时间窗为主，较少突出所有车辆统一返回配送中心的作业周期约束；2. 同时取送货模型虽关注容量变化，若不进行逐节点载荷传播，难识别服务顺序导致的瞬时超载；3. 静态距离或平均速度评价难以揭示拥堵时段下的晚归风险。基于此，本文将分时拥堵矩阵、同时取送载荷演化和返回时限约束整合，并通过静态方案动态复算验证分时建模的必要性。

二、数学模型及求解

（一）问题描述与基本假设

本文研究单配送中心条件下，考虑午班配送分时通行状态的多卡车同时取送路径规划问题。车辆从配送中心出发，按确定顺序访问被分配客户，在每个客户点同时完成投递和取货服务，然后返回配送中心。所有车辆为同质车辆，容量、固定使用成本和单位距离成本相同。客户需求在计划阶段已知，且每个客户只能由一辆车服务一次，不允许拆分配送或拆分取货。

为刻画城市午后道路通行状态变化，将配送周期划分为若干连续时段。车辆从节点 i 驶向节点 j 时，其通行时间和行驶距离由车辆离开节点 i 的时刻决定。若离开时刻落入时段 p ，则调用该时段对应的路网时间—距离矩阵；车辆进入弧段后不再在弧段内部重新划分时段。

该问题需同时决定车辆是否启用、客户分配关系、每辆车的客户访问顺序、车辆在各节点的到达和离开时刻，以及车辆服务

过程中的剩余配送量和累计取货量。优化目标是在满足客户唯一服务、车辆容量、路径连续、分时时间传播和返回时限约束的前提下，使总运营成本最小。

为保证模型边界清晰，本文作如下假设：

(1) 系统仅包含1个配送中心和多辆同质卡车，均从配送中心出发，并最终返回配送中心。

(2) 客户需求在计划阶段已知，配送量和取货量不可拆分。

(3) 客户服务时间与节点需求规模相关，车辆到达客户后必须完成该节点全部服务。

(4) 为刻画午班配送过程中的分时通行状态，将14:00—17:00划分成连续时间阶段，以30分钟为间隔构建对应的通行时间和路网距离矩阵。各时间阶段的边界在模型求解前已知，边界时刻统一划入后一时间阶段。

(5) 不考虑车辆途中等待、充电、司机换班和临时订单插入。

(二) 符号说明

本文集合、参数、变量具体含义如表1所示：

表1：符号说明

集合	含义	集合	含义
N	客户点集合： $\{1, 2, \dots, n\}$	K	车辆集合
V	节点集合： $\{0\} \cup N$	P	分时阶段集合
参数	含义	参数	含义
Q	车辆容量	l_{ij}^p	时段 p 下节点 i 到节点 j 的路网距离
F	单车固定成本	t_{ij}^p	时段 p 下节点 i 到节点 j 的通行时间
c	单位距离成本	d_i	客户 i 的配送量
$T_{\max}$	最大作业时长	q_i	客户 i 的取货量
s_i	服务时间		
变量	含义	变量	含义
x_{ij}^k	车辆 k 是否从 i 直接行驶至 j	a_i^k	车辆 k 到达节点 i 的时刻
u_k	车辆 k 是否启用	b_i^k	车辆 k 离开节点 i 的时刻
y_i^k	客户 i 是否由车辆 k 服务	D_i^k	离开节点 i 后的剩余配送量
z_{ijp}^k	车辆 k 在时段 p 离开 i 经弧 (i, j)	R_i^k	离开节点 i 后的累计取货量

(三) 模型构建

1. 目标函数

模型目标为最小化总成本：

$$\min Z = c \sum_{k \in K} \sum_{ij} l_{ij}^p z_{ijp}^k + F \sum_{k \in K} u_k \quad (1)$$

第一项为分时路网距离产生的运输成本，按照高德地图 API 在不同阶段返回的实际路径距离计取第二项为车辆启用成本。

2. 路由约束

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k = u_k, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0}^k = u_k, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^k = y_i^k, \forall i \in N, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^k = y_i^k, \forall i \in N, k \in K \quad (6)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad (7)$$

上述约束分别是：客户唯一服务约束；车辆出发与返回约束；客户节点流守恒约束以及禁止自环约束。

3. 时间约束

$$\sum_{p \in P} z_{ijp}^k = x_{ij}^k, i \in V, j \in V, k \in K \quad (8)$$

$$a_j^k \geq b_i^k + t_{ij}^p - M(1 - z_{ijp}^k), i \in V, j \in V, k \in K, p \in P \quad (9)$$

$$b_i^k = a_i^k + s_i, i \in V, k \in K \quad (10)$$

$$T_{\max} \leq 180 \quad (11)$$

式为分时时段匹配约束；若车辆 k 离开节点 i 时处于时段 p，则通过大 M 约束限定 b_i^k 落入该时段边界，并由约束实现时间传播。客户服务关系由描述，配送中心出发时刻设为 0，车辆返回配送中心的到达时刻需满足约束。

4. 载荷与容量约束

$$D_i^k + R_i^k \leq Q, i \in V, k \in K \quad (12)$$

$$D_i^k \geq 0, R_i^k \geq 0, i \in V, k \in K \quad (13)$$

$$q_j^k \geq q_i^k - d_j - M(1 - x_{ij}^k), \forall i \in V, j \in V, i \neq j, k \in K \quad (14)$$

$$q_j^k \leq q_i^k - d_j + M(1 - x_{ij}^k), \forall i \in V, j \in V, i \neq j, k \in K \quad (15)$$

载荷约束体现同时取送特征，车辆出发时装载本路径全部配送货物，服务客户后剩余配送量减少 d_i ，累计取货量增加 q_i 。任一路径执行过程中需满足。约束为载重变量的非负性约束。约束和为剩余配送量的流量守恒约束，刻画车辆行驶过程中剩余配送量的动态变化。

三、算法描述与实验

(一) 算法描述

1. 两阶段启发式算法设计

本文采用两阶段启发式算法。第一阶段构造初始可行解：初始化所有车辆为空路径，将未分配客户按成本增量最小且满足容量和返回时限的位置插入。若客户无法插入现有路径，则尝试启用空闲车辆。该策略避免单纯最近邻方法忽视载荷峰值和返回时限的问题。

第二阶段采用改进模拟退火搜索。候选解以多车辆路径序列表示，邻域算子包括单点重置、两点交换、路径内逆序和块交

换。每次扰动后重新进行客户唯一性检查、分时时间传播、载荷演化和返回时限判定。若候选解可行且优于当前解，则直接接受；若成本较高，则按模拟退火概率接受，以增强跳出局部最优的能力。禁忌表记录近期弧段变动，抑制搜索在相近解之间往返。

考虑到同时取送路径中容量约束会显著影响客户组合，动态求解阶段增加一个90%容量辅助搜索。该辅助搜索只用于产生结构差异更大的候选路径，所有候选最终仍按基准容量和基准成本函数重新评价并择优。

2. 评价函数

路径评价函数是算法的关键。对给定车辆路径，首先统计该路径所有客户的配送量，作为车辆出发时的初始配送载荷；随后按访问顺序逐点减配送量、加取货量，并记录最大载荷。若最大载荷超过Q，则该路径立即判为不可行。容量可行后，再从0分钟开始进行时间传播：车辆离开当前节点时，根据已累计作业时间判断所属时段，调用该时段的通行时间和距离，计算到达下一节点的时刻，并加入客户服务时间。路径最终返回配送中心的时刻若超过 T_{max} ，则判为时间不可行。

3. 初始解构造

初始解构造是在所有未分配客户和所有可插入位置中，寻找可行且成本增量较小的插入操作。评价指标依次考虑成本增量、作业时间、最大有效载荷和当前路径客户数。该策略可以在较短时间内得到满足容量和返回时限的初始解，为后续模拟退火提供稳定起点。

4. 改进模拟退火算法

邻域设计兼顾客户分配调整和路径内部顺序优化。单点重置可将客户从一条路径移动到另一条路径，适合改善车辆间负载不均；两点交换可以在两条路径之间互换客户，适合修复局部绕行；路径内逆序主要减少同一路径内部折返；块交换一次调整连续客户片段，有助于识别空间上成组但被分散服务的客户。多种邻域交替使用能够提高搜索覆盖面。

模拟退火接受准则允许算法在高温阶段以一定概率接受成本较高但可行的候选解，从而避免过早陷入局部最优。禁忌记忆记录近期被删除和新增的弧段，短期内限制反向操作，减少无效往返。降温结束后，算法再执行确定性重定位强化，即枚举单个客户在不同路径中的可行插入位置，若发现成本下降则接受。该强化步骤用于消除随机搜索结束后仍存在的明显局部可改进结构。

算法终止后并不直接采用搜索过程中名义成本最低的方案，而是统一调用动态矩阵和基准参数进行复算。复算内容包括客户覆盖、车辆数、每条路径的最大有效载荷、各弧段所属时段、返回时刻以及总成本。这样处理可以避免辅助搜索或静态搜索口径与最终评价口径不一致的问题。对于不可行候选解，算法不采用罚函数强行保留，而是直接拒绝或通过重定位方式修复，保证输出结果便于解释。

表2：改进模拟退火算法流程

步骤	操作
1	读取客户、参数和分时时间—距离矩阵，构造问题实例

2	采用插入式构造启发式生成满足容量与返回时限的初始解
3	设置初始温度、终止温度、降温系数、迭代次数和禁忌长度
4	随机选择单点重置、两点交换、路径内逆序或块交换生成候选解
5	对候选解执行客户唯一性、容量、时间传播和返回时限检查
6	依据模拟退火准则与禁忌准则判断是否接受候选解
7	温度递减并重复搜索，最后执行确定性重定位强化
8	对候选池内所有方案按基准模型复算，输出成本最低可行方案

(二) 算例设计

考虑真实道路环境，本文构造仿真算例 TD-SPDP-50。算例包含1个配送中心和50个客户节点，节点空间位置来自某城市快递服务网络。

通过高德地图 API 获取不同出发时段下节点对之间的路径规划结果，形成各时间阶段对应的通行时间矩阵与路网距离矩阵。以14:00为起点，将配送周期划分为14:00、14:30、15:00、15:30、16:00、16:30和17:00七个出发时段，分别获取任意节点对之间的通行时间和路网距离。由此形成 $51 \times 51 \times 7$ 的分时矩阵，能够反映同一节点对在不同时段出发时通行时间变化的影响。

客户需求采用 Solomon 车辆路径基准的实验设计思想仿真生成。Solomon 实例包含固定客户规模、可控需求分布和可复现实验参数，但其原始数据主要面向欧氏距离和时间窗配送问题，不能直接表示真实城市路网分时通行和同时取送需求。因此，本文采用真实路网节点上依据 Solomon 式基准构造思想，以固定随机种子生成配送量、取货量和服务时间。

基础参数如表所示：

表3：参数设置

参数	取值	说明
客户数	50	服务节点仿真客户数量
车辆容量 Q	1500 kg	单车最大有效载重
固定成本 F	137 元 / 车次	启用一辆车产生的固定成本
距离成本 c	1.25 元 /km	单位路网距离运输成本
返回时限 T_{max}	180 min	14:00起算，要求17:00前回场

(三) 求解与结果分析

1. 算例求解

基准实验比较三类方案：构造启发式初始方案、静态平均速度优化方案和动态拥堵优化方案。静态方案在求解时使用各时段平均距离和全局平均速度，求解完成后用动态分时矩阵复算。三类方案对比见表4。

表4：三类方案求解结果对比

方案	可行	车辆	成本 / 元	距离 / km	最晚返回 /min	返回时刻	装载率
初始方案	是	7	1289.99	264.79	178.31	16:58:19	70.48%
静态方案	否	7	1292.13	266.50	189.43	17:09:26	69.35%
动态方案	是	7	1275.99	253.59	177.78	16:57:47	71.09%

由表4可知，静态平均速度优化方案在静态求解口径下具有较低作业时间，但按动态矩阵复算后最晚返回17:09:26，超过17:00返回要求，说明忽略分时拥堵会导致路径执行风险。而动态拥堵优化方案在降低成本的同时均满足客户唯一服务、容量和返回时限。

2. 优化结果

表5: 动态拥堵优化方案路线明细

车号	路径	客户数	成本 / 元	距离 / km	返回时刻	MEL/kg
1	0->7->3->1->2->5->6->4->42->43->0	9	165.43	22.74	16:45:33	1312.80
2	0->24->20->19->18->34->33->32->31->0	8	172.56	28.45	16:43:26	1260.60
3	0->41->23->40->16->48->49->21->30->0	8	175.19	30.56	16:53:34	1278.60
4	0->35->37->38->39->12->13->15->36->0	8	178.08	32.87	16:37:16	1177.50
5	0->17->46->44->45->26->47->0	6	183.12	36.89	16:50:54	946.20
6	0->29->8->27->28->25->22->0	6	183.49	37.19	16:52:44	867.50
7	0->14->10->9->11->50->0	5	218.12	64.90	16:57:47	621.50

从路线结构看，动态方案将距离较近、载荷互补且返回时刻可控的客户组合在同一车辆路径中，并避免在拥堵时段形成过长尾部路径。路线明细见表5，空间分布见图1。图中不同颜色表示不同车辆路径，节点编号表示客户服务点，配送中心位于网络中心附近。

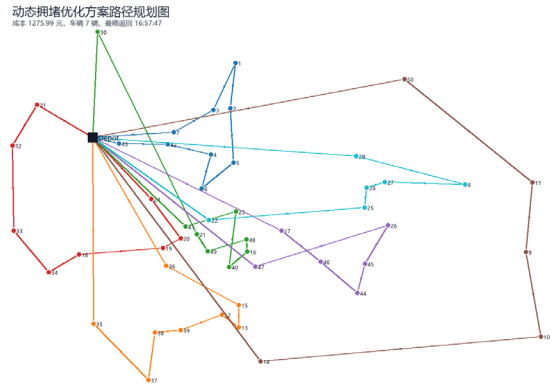


图1: 动态拥堵优化方案路径规划图

对比三类方案可以得出，启发式初始方案已经能够满足基本约束，但总距离高于动态优化方案；静态平均速度方案在规划阶段倾向于压缩车辆数和合并部分路径，表面可在179.93min内完成，但动态复算后得到部分车辆在实际分时段下返回时刻推迟，最晚达到17:09:26；动态方案虽仍使用7辆车，但通过调整客户组合与访问顺序，降低总距离至253.59km，并把最晚返回控制在规定时限。

动态方案的优势除了降低总成本，更体现在提升约束可靠性。对于有返回时限的配送场景，静态方案虽成本接近动态方案，但存在超时返回车辆。动态复算机制能在搜索过程中提前识别超时路径，并引导算法将客户重新分配给更合适的车辆组合中。

静态方案超时不是因为客户总量超过车辆能力，而是部分路径在后续时段进入交通状态较差的弧段，低估了实际通行时间。

动态方案则通过调整访问顺序，避开长距离弧段和服务时间较长的节点组合，同时重新平衡客户数量和载荷峰值。这说明，在具有统一返回时限的配送任务中，路径评价的时间一致性比单次距离优化更重要。

四、敏感性分析

为检验关键参数对模型结果的影响，分别对车辆容量（ $\pm 10\%, \pm 20\%$ ）、固定出车成本（ $\pm 25\%, \pm 50\%$ ）、单位距离成本（ $\pm 25\%, \pm 50\%$ ）、返回时限（ $\pm 5\%, \pm 10\%$ ）和拥堵强度（ $\pm 7.5\%, \pm 15\%$ ）进行敏感性分析。每次仅改变一个参数，其余参数保持基准值。拥堵强度系数用于同比例放大或缩小分时通行时间，距离矩阵保持不变。主要结果见表6。

表6: 敏感性分析结果汇总

因素	水平	成本 / 元	车辆	距离 / km	最晚返回
车辆容量	1200	1438.02	8	273.61	16:58:10
	1350	1275.99	7	253.59	16:57:47
	1500(基准)	1275.99	7	253.59	16:57:47
	1650	1275.99	7	253.59	16:57:47
	1800	1275.99	7	253.59	16:57:47
固定成本	68.5	796.49	7	253.59	16:57:47
	102.75	1036.24	7	253.59	16:57:47
	137(基准)	1275.99	7	253.59	16:57:47
	171.25	1515.74	7	253.59	16:57:47
	205.5	1755.49	7	253.59	16:57:47
距离成本	0.625	1117.50	7	253.59	16:57:47
	0.9375	1196.74	7	253.59	16:57:47
	1.25(基准)	1275.99	7	253.59	16:57:47
	1.5625	1355.24	7	253.59	16:57:47
	1.875	1434.49	7	253.59	16:57:47
返回时限	150	1601.72	9	294.98	16:28:39
	165	1450.66	8	283.73	16:43:46
	180(基准)	1275.99	7	253.59	16:57:47
	195	1275.99	7	253.59	16:57:47
	210	1106.58	6	227.66	17:25:23
拥堵强度	0.85	1108.96	6	229.57	16:59:35
	0.925	1275.32	7	253.06	16:56:58
	1.00(基准)	1275.99	7	253.59	16:57:47
	1.075	1459.24	8	290.59	16:56:01
	1.15	1453.01	8	285.60	16:59:35

从车辆容量看，容量降至1200kg时，模型需8辆车才能保持容量和返回时限可行，且总成本上升；当容量为1350kg及以上时，基准路径已能满足载荷要求，继续放宽容量对成本影响有限。返回时限对车辆数和成本影响更明显， T_{max} 为150min时需9辆车，总成本1601.73元； T_{max} 放宽至210min时可用6辆车完成任务，总成本降至1106.58元。

固定成本和单位距离成本主要改变目标函数数值。在本算例中，基准路径结构对这两类成本变化较稳定，说明返回时限与容量约束是决定车辆组合的主要因素。拥堵强度分析显示，当通行时间缩短15%时可使用6辆车；当拥堵强度增大7.5%或15%时，需8辆车或更分散的路径组合以保证按时回场。该结果进一步说明

分时拥堵对车辆数量、路径长度和返回时刻均具有实质影响。

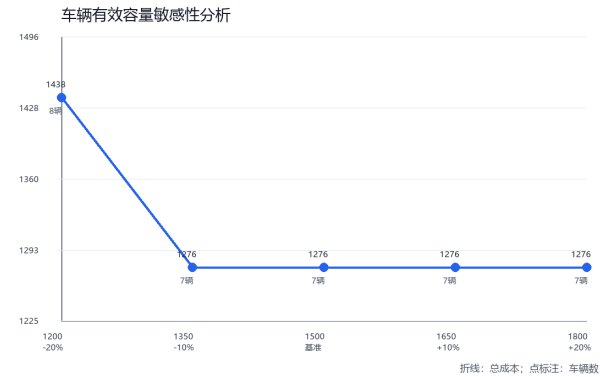


图2: 车辆容量敏感性分析

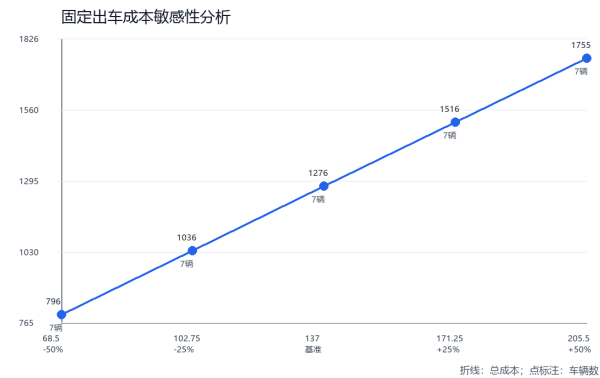


图3: 固定出车成本敏感性分析

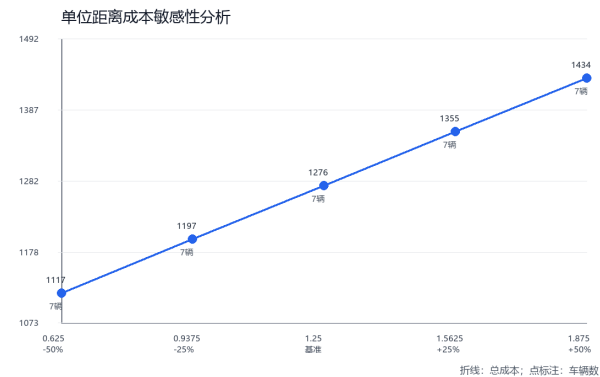


图4: 单位距离成本敏感性分析

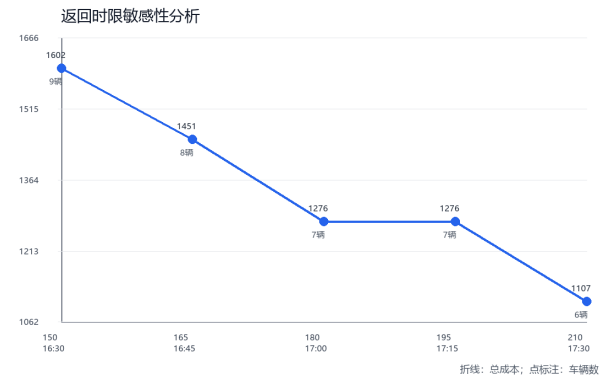


图5: 返回时限敏感性分析

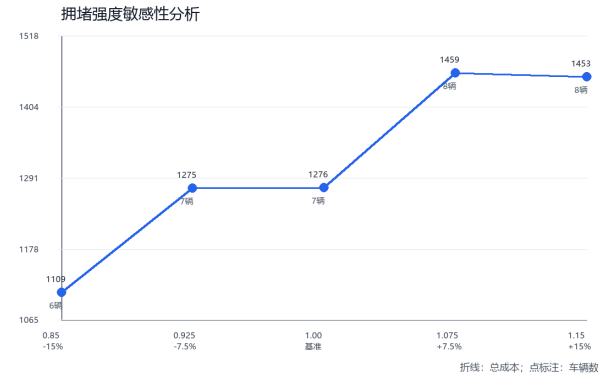


图6: 拥堵强度敏感性分析

由图2可知，容量从1200kg 提升到1350kg 后成本明显下降，因此较小容量会使算法拆分客户集合并启用更多车辆；容量放宽后，路径结构受返回时限约束限制，成本不再明显降低。图3和图4呈现近似线性变化，这是因为在对应参数水平下车辆组合未发生明显改变，成本变化主要由固定成本或距离成本系数直接放大。图5显示返回时限越宽松，车辆合并空间越大，成本随之降低。图6表明拥堵强度并非只改变作业时间，也会通过可行性筛选影响车辆数和路径距离。

在运营管理中，若降低车辆使用数量，单纯提高容量可能无效，应结合回场时限和拥堵时段进行综合调度。在实际业务中，放宽回场时限可能影响后续分拣处理，因此企业需要在运输成本与站内作业衔接之间权衡。

五、结束语

本文针对城市快递末端配送中同时投递与取货、道路分时拥堵和车辆回场时限并存的作业特点，建立了考虑分时拥堵与返回时限的多车辆同时取送路径优化模型。模型以固定出车成本和分时路网距离成本之和最小为目标，综合考虑客户唯一服务、路径连续、容量限制、分时时间传播和最大作业时长约束。

基于真实路网时间—距离矩阵和 Solomon 数据集仿真客户需求，构造了 TD-SPDP-50 算例。实验结果表明，静态平均速度方案动态复算后最晚返回 17:09:26，违反返回时限；动态拥堵优化方案以 1275.99 元总成本、7 辆车和 16:57:47 最晚返回时刻获得可执行路径。敏感性分析显示，返回时限、车辆容量和拥堵强度是影响车辆数量和总成本的关键因素。

综上，本文得出在同时取送和固定回场约束并存的场景下，真实路网分时矩阵具备研究价值。虽然客户数量不大，但静态平均速度模型仍可能得到不可执行路线。将分时时间传播纳入启发式搜索过程，可以在不显著增加模型复杂度的情况下提高路径方案的稳健性和现实可用性。

参考文献

- [1] DANTZIG G B, RAMSER J H. The truck dispatching problem[J]. Management Science, 1959, 6(1): 80–91.
- [2] SOLOMON M M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints[J]. Operations Research, 1987, 35(2): 254–265.
- [3] MIN H. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points[J]. Transportation Research Part A: General, 1989, 23(5): 377–386.
- [4] COKYASAR T, SUBRAMANYAM A, LARSON J, et al. Time-constrained capacitated vehicle routing problem in urban e-commerce delivery[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2023, 2677(2): 190–203.
- [5] 范厚明, 甘兰, 陈天磊, 等. 时变路网及区域限时禁飞下车辆-无人机同时取送货路径问题 [J]. 系统管理学报, 2025, 34(1): 50–67.
- [6] PRAXEDES A, BULHÕES T, SUBRAMANIAN A, et al. A unified exact approach for a broad class of vehicle routing problems with simultaneous pickup and delivery[J]. Computers & Operations Research, 2024, 162: 106467.
- [7] 郭放, 黄志红, 黄卫来. 考虑前置仓选址与服务策略的同时取送货车辆路径问题研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(4): 962–978.
- [8] 吴腾宇, 张景露, 余海燕. 非对称网络下的在线取送货路径优化问题 [J]. 中国管理科学, 2023, 31(9): 214–221.
- [9] HU Y, LIU J, LI Y, et al. Disruption recovery for pickup and delivery problem with time windows: A scenario-based approach for online food delivery[J]. Computers & Operations Research, 2023, 157: 106282.
- [10] 孙欣蕊, 李昆鹏, 刘腾博. 考虑订单取件时间和柔性时间窗的取送货车辆路径问题 [J]. 运筹与管理, 2022, 31(7): 9–16.
- [11] ZHOU G, LI D, BIAN J, et al. Two-echelon time-dependent vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and satellite synchronization[J]. Computers & Operations Research, 2024, 167: 106600.
- [12] 丁秋雷, 刘目康, 胡祥培, 等. 时间窗变动下生鲜品同时取送车辆路径问题的干扰管理方法 [J]. 运筹与管理, 2025, 34 (9): 61–69.
- [13] 王勇, 罗思好, 周雪, 等. 多中心共同配送开闭混合式的车辆路径优化问题 [J]. 系统管理学报, 2023, 32(2): 215–232.
- [14] ZHOU S, ZHANG D, YUAN W, et al. Pickup and delivery problem with electric vehicles and time windows considering queues[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2024, 167: 104829.
- [15] ZHAO F, SI B, WEI Z, et al. Time-dependent vehicle routing problem of perishable product delivery considering the differences among paths on the congested road[J]. Operational Research, 2023, 23(1): 1–23.

中国绿色金融市场风险溢出的时频特征 ——基于多矩连通性网络

何欣

广东外语外贸大学 数学与统计学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2026080011

摘 要 : 本文基于2017年7月3日至2026年3月18日中国绿色债券与绿色股票市场9个代表性指数的日度数据,采用ACD-NIG模型提取条件波动率、偏度和峰度,在TVP-VAR框架下构建收益率、波动率、偏度和峰度四层连通性网络,并结合多矩投影与频域分解考察风险传导的结构、动态和期限差异。结果表明:(1)收益率、波动率、偏度和峰度层的静态总连通性指数依次为70.67%、67.35%、62.38%和55.58%,综合投影层为64.61%。总体连通性随风险矩阶提高而下降,但偏度和峰度层在重大事件附近呈现更集中的跃升。(2)各风险层均表现出明显的资产类别集聚,绿色债券和绿色股票内部连通性明显高于两类市场之间的交叉连通性。(3)风险节点具有维度差异和时变性。国证ESG300指数在收益率、波动率、偏度及综合投影层中是较稳定的净风险输出方,上证绿色公司债指数总体为净风险接收方;峰度层的主要输出节点转向沪深300ESG债券指数。(4)收益率溢出以短期成分为主,波动率、偏度、峰度及综合风险主要由长期成分驱动。研究表明,中国绿色金融风险监测应同时识别风险维度、资产类别、关键节点和传导期限。

关 键 词 : 绿色金融; 高阶矩风险; 多矩连通性网络; TVP-VAR; 频域连通性

Time-Frequency Characteristics of Risk Spillovers in China's Green Financial Market — Evidence from a Multi-Moment Connectedness Network

He Xin

School of Mathematics and Statistics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Using daily observations for four green bond indices and five green equity indices in China from 3 July 2017 to 18 March 2026, this study extracts conditional volatility, skewness and kurtosis with an ACD-NIG model. It then constructs four TVP-VAR connectedness layers for returns, volatility, skewness and kurtosis, and combines a density-weighted multi-moment projection network with frequency decomposition. The results show that: (1) the static total connectedness indices of the four layers are 70.67%, 67.35%, 62.38% and 55.58%, respectively, and the projection-layer index is 64.61%. Average connectedness declines with the risk moment, whereas skewness and kurtosis connectedness exhibits more concentrated increases around major events. (2) Connectedness is substantially stronger within the green bond and green equity segments than across the two segments. (3) Node roles vary across risk dimensions and over time. The ESG300 index is a persistent net transmitter in the return, volatility, skewness and projection layers, while the SSE Green Corporate Bond Index is generally a net receiver; in the kurtosis layer, the main transmitter shifts to the CSI 300 ESG Bond Index. (4) Return spillovers are dominated by short-term components, whereas volatility, skewness, kurtosis and aggregate spillovers are mainly driven by long-term components. These findings suggest that risk monitoring in China's green financial market should jointly consider risk dimension, asset class, key nodes and investment horizon.

Keywords : green finance; higher-moment risk; multi-moment connectedness network; TVP-VAR; frequency connectedness

引言

在“双碳”目标持续推进和绿色金融工具不断扩展的背景下，中国绿色金融市场已形成由绿色债券、ESG 债券、环保、低碳和新能源股票等多类资产构成的市场体系。不同资产共同受绿色政策和转型预期影响，但在收益来源、期限结构和风险承担方式上存在明显差异。当市场预期或流动性条件变化时，风险既可能在同类资产内部扩散，也可能在债券与股票市场之间传递。因而，识别中国绿色金融市场内部风险联动的结构、方向和期限，是开展风险监测与资产配置的重要前提。

现有研究已从绿色债券与绿色股票的跨市场依赖、绿色金融资产的时频连通性以及重大事件冲击下的风险传导等方面展开分析^[1-7]。相关证据表明，绿色金融市场的关联程度具有显著的时变性、状态依赖性和期限异质性^[8]。近年来，研究进一步由收益率和波动率拓展至偏度和峰度，发现不同矩风险的传导强度、关键节点和事件敏感性并不一致^[9-13]。这意味着，仅依据收益率与波动率可能难以识别分布不对称和极端风险在市场之间的传递，也可能低估重大冲击期间风险结构的变化。

尽管高阶矩风险研究逐渐增加，收益率、波动率、偏度和峰度仍多被分别估计和解释，缺少能够比较不同风险维度并提取共同信息的综合框架，仅报告全样本或时域连通性，也难以区分短期价格冲击与中长期风险积累。多矩连通性网络能够将不同风险维度表示为相互关联的网络层，并通过投影层形成综合风险表征^[6]。结合 TVP-VAR 和频域分解，可以进一步识别总体联动何时变化、哪些市场承担风险输出或接收功能，以及风险主要集中于何种持有期限。

基于此，本文选取2017年7月3日至2026年3月18日中国绿色债券与绿色股票市场的9个代表性指数，采用 ACD-NIG 模型提取条件波动率、偏度和峰度，在 TVP-VAR 框架下分别构建收益率、波动率、偏度和峰度连通性网络，并依据网络信息密度形成综合投影层，进一步开展频域分解。本文的主要增量在于将一般价格风险、波动风险、非对称风险和尾部风险置于统一框架进行横向比较，利用投影网络识别多维风险的综合传导结构，同时从静态结构、动态演化、节点角色和期限分布揭示绿色债券与绿色股票市场的功能分化。

一、研究设计

（一）样本与变量

本文选取2017年7月3日至2026年3月18日的日度收盘指数，数据来自 Wind 数据库。剔除非共同交易日后，对九个指数进行日期匹配。样本包括四个绿色债券指数和五个绿色股票指数，既覆盖绿色、ESG 和低碳主题，也兼顾债券与权益两类资产。变量定义见表1。

表1：变量定义

资产类别	指数名称	缩写	主题属性
绿色债券	上证绿色公司债指数	SSE_GB	绿色
	沪深300ESG 债券指数	ESG_B	ESG
	中证0-5年碳中和主题债券指数	CN_B	低碳 / 碳中和
	中债-中国绿色债券净价指数	CB_GB	绿色
绿色股票	上证环保指数	EP_S	环保
	中证交银理财低碳盈利100指数	LC_S	低碳
	国证 ESG300指数	ESG_S	ESG
	中证新能源指数	NE_S	新能源
	沪深300绿色领先股票指数	GL_S	绿色

对第 i 个市场在 t 日的收盘指数 $P_{i,t}$ 取对数差分，得到日收益率：

$$r_{i,t} = 100 \times (\ln P_{i,t} - \ln P_{i,t-1}) \quad (1)$$

（二）多维风险测度方法

为同时刻画波动聚集、分布偏斜和厚尾特征，本文采用自回归条件密度模型（Autoregressive Conditional Density, ACD）及正态逆高斯分布（Normal Inverse Gaussian, NIG）提取条件波动率、偏度和峰度^[14,15]。近期绿色金融研究也表明，将时变偏

度和峰度纳入风险传导分析，有助于识别低阶矩指标无法揭示的节点转换和事件敏感性^[6,9-13]。在 ACD 框架下，收益率序列可表示为：

$$r_{i,t} = \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{i,t} = \sigma_{i,t} z_{i,t} \quad (3)$$

其中， $\mu_{i,t}$ 为条件均值， $\varepsilon_{i,t}$ 为扰动项， $\sigma_{i,t}$ 为条件标准差， $z_{i,t}$ 为标准化残差。

在均值方程方面，本文根据金融收益率序列可能存在的短期自相关特征，采用 ARMA(0,1) 形式估计均值方程：

$$\mu_{i,t} = c_i + \theta_i \varepsilon_{i,t-1} \quad (4)$$

其中， c_i 为常数项， θ_i 为移动平均项系数。

在方差方程方面，本文采用 GARCH(1,1) 形式刻画条件波动率的动态变化：

$$\sigma_{i,t}^2 = \omega_i + \alpha_i \varepsilon_{i,t-1}^2 + \beta_i \sigma_{i,t-1}^2 \quad (5)$$

其中， $\omega_i > 0$ ， $\alpha_i \geq 0$ ， $\beta_i \geq 0$ 。 α_i 反映上一期冲击对当前波动率的影响， β_i 反映波动率自身的持续性。通常情况下，若 $\alpha_i + \beta_i$ 接近1，说明该市场波动率具有较强的持续性。

在条件密度设定方面，本文选取正态逆高斯分布（Normal Inverse Gaussian, NIG）作为标准化残差的条件分布。在 ACD-NIG 模型中，标准化残差的条件分布可表示为：

$$z_{i,t} | F_{t-1} \sim NIG(\lambda_{i,t}, \nu_{i,t}) \quad (6)$$

其中 F_{t-1} 表示截至 $t-1$ 期的全部可获得信息集。 $\lambda_{i,t}$ 表示与分布偏斜程度相关的时变参数, $v_{i,t}$ 表示与分布尾部厚度相关的时变参数。由于上述参数随时间变化, 模型能够得到每一期的条件波动率、条件偏度和条件峰度。

进一步地, ACD-NIG 模型给出了收益率在给定历史信息集 F_{t-1} 下的条件分布:

$$r_{i,t} | F_{t-1} \sim f(r_{i,t}; \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}, \lambda_{i,t}, v_{i,t}) \quad (7)$$

其中, $\mu_{i,t}$ 为条件均值, $\sigma_{i,t}$ 为条件标准差, $\lambda_{i,t}$ 和 $v_{i,t}$ 分别刻画条件分布的偏斜程度和尾部厚度。基于该条件分布, 可以进一步得到条件偏度和条件峰度。其定义分别为:

$$S_{i,t} = \frac{E[(r_{i,t} - \mu_{i,t})^3 | F_{t-1}]}{\sigma_{i,t}^3} \quad (8)$$

$$K_{i,t} = \frac{E[(r_{i,t} - \mu_{i,t})^4 | F_{t-1}]}{\sigma_{i,t}^4} \quad (9)$$

其中, $S_{i,t}$ 表示第 i 个绿色金融市场在第 t 期的条件偏度, 用于刻画收益分布的不对称风险。 $K_{i,t}$ 表示第 i 个绿色金融市场在第 t 期的条件峰度, 用于刻画收益分布的尾部厚度和极端风险。

由此构造收益率 $R_{i,t} = r_{i,t}$ 、波动率 $V_{i,t} = \sigma_{i,t}$ 、偏度 $S_{i,t}$ 和峰度 $K_{i,t}$ 四类风险序列。收益率反映价格信息传递, 波动率衡量风险强度, 偏度刻画收益分布的不对称性, 峰度反映尾部厚度和极端风险。

(三) 时变参数向量自回归 (TVP-VAR) 模型

针对每一类风险序列, 本文分别建立 p 阶 TVP-VAR 模型。该模型允许系数矩阵和方差协方差矩阵随时间更新, 避免固定参数模型忽略结构变化, 也不需要人为设定滚动窗口^[16]:

$$y_t = B_{1,t}y_{t-1} + B_{2,t}y_{t-2} + \dots + B_{p,t}y_{t-p} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad (10)$$

其中, y_t 代表每一类风险序列, 是 $N \times 1$ 维内生变量向量, $B_{i,t}$ 为 $N \times N$ 维的时变系数矩阵, ε_t 是具有 $N \times N$ 维时变方差一协方差矩阵 Σ_t 的 $N \times 1$ 维扰动项。

为度量不同资产冲击对系统的动态影响, 需要利用广义预测误差方差分解方法^[17,18]。首先, 根据 Wold 定理, 平稳的 TVP-VAR 过程可以改写为其向量移动平均表达式:

$$y_t = \sum_{j=0}^{\infty} A_{h,t} \varepsilon_{t-h} \quad (11)$$

其中, $A_{h,t}$ 表示第 t 期第 h 阶冲击响应系数矩阵, 刻画某一市场冲击在未来不同预测期内对其他市场的影响。

然后设预测步长为 H , 第 j 个市场冲击对第 i 个市场预测误差方差的贡献可表示为:

$$\phi_{ij,t}^g(H) = \frac{\sigma_{jj,t}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_{h,t} \Sigma_t e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_{h,t} \Sigma_t A_{h,t}' e_i)} \quad (12)$$

其中, $\sigma_{jj,t}$ 是 Σ_t 中第 j 个变量的条件方差, e_i 和 e_j 分别为

选择向量。该指标表示第 j 个市场冲击对第 i 个市场预测误差方差的解释比例。与 Cholesky 方差分解相比, 广义方差分解不依赖变量排序, 因此更适合用于多市场风险溢出分析。

由于广义方差分解结果的行和不一定等于 1, 需要对方程 (12) 进行标准化处理, 使得 $\phi_{ij,t}^g(H)$ 具有可比性。标准化公式如下:

$$\tilde{\phi}_{ij,t}^g(H) = \frac{\phi_{ij,t}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \phi_{ij,t}^g(H)} \quad (13)$$

其中, $\tilde{\phi}_{ij,t}^g(H)$ 满足:

$$\sum_{j=1}^N \tilde{\phi}_{ij,t}^g(H) = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \tilde{\phi}_{ij,t}^g(H) = N \quad (15)$$

本文进一步从方向性溢出水平和总溢出水平等角度测量中国绿色金融市场间风险溢出效应的规模和方向。首先市场 i 对其他市场 j 的方向性溢出指 (TO) 可表示为:

$$TO_{i,t}(H) = \sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\phi}_{ji,t}^g(H) \times 100 \quad (16)$$

类似地, 其他市场 j 对市场 i 的方向性溢出指 (FROM) 可以表示为:

$$FROM_{i,t}(H) = \sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\phi}_{ij,t}^g(H) \times 100 \quad (17)$$

进一步地, 市场 i 的净溢出指数 (Net) 定义为:

$$NET_{i,t}(H) = TO_{i,t}(H) - FROM_{i,t}(H) \quad (18)$$

若 $NET_{i,t} > 0$, 说明第 i 个市场向其他市场输出的风险大于其从其他市场接收的风险, 该市场在系统中表现为净风险输出者。

若 $NET_{i,t} < 0$, 则说明该市场更多受到外部市场冲击影响, 表现为净风险接收者。最后, 市场间风险溢出效应可由总连通性指数 (TCI) 表示为:

$$TCI_t(H) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\phi}_{ij,t}^g(H)}{N} \times 100 \quad (19)$$

TCI 值越高, 说明金融市场间整体风险联动越强, 系统性风险传导程度越高; 反之, 则说明市场之间联系相对较弱。

基准模型取滞后 1 阶和 12 期预测步长, 进一步借鉴频域连通性方法^[19], 将预测误差方差分解映射到频率域。按照持有期, 本文将连通性划分为短期 (1—5 天)、中期 (5—20 天) 和长期 (20 天以上) 三个频段, 频域估计使用 100 期预测步长。

(四) 多矩连通性网络构建

分别估计四类风险连通性后, 本文按照多矩网络的思想构建收益率层、波动率层、偏度层和峰度层^[9]。在第 1 层中, 市场 i 与市场 j 的总成对连通性为:

$$d_{ij,t,l}^{Total}=d_{ij,t,l}+d_{ji,t,l} \tag{20}$$

以各层全部成对连通性的平均边权衡量该层的网络信息密度 $\rho_{t,l}$ ，并据此确定投影权重 $w_{t,l}$ ：

$$\rho_{t,l}=\frac{2}{N(N-1)}\sum_{i<j}d_{ij,t,l}^{Total} \tag{21}$$

最终，综合投影层中市场 j 向市场 i 的有向连通性定义为：

$$d_{ij,t}^p=\sum_{l=1}^Lw_{t,l}d_{ij,t,l} \tag{22}$$

相应地，投影层的连通性矩阵为：

$$D_t^p=\sum_{l=1}^Lw_{t,l}D_{t,l} \tag{23}$$

投影层保留四个风险维度的相对信息量，可用于识别中国绿色金融市场整体风险网络的结构、动态和关键节点。

二、多矩连通性网络分析

(一) 描述性统计

表2：收益率序列的描述性统计

指数	均值	标准差	偏度	峰度	JB 检验	LM-ARCH	ADF
SSE_GB	0.0172	0.0525	0.4514	20.0218	25581.02***	51.00***	-18.76***
ESG_B	0.0161	0.0462	0.4571	18.9324	22422.14***	55.78***	-11.66***
CN_B	0.0149	0.0360	1.1196	24.4363	40897.76***	35.05***	-11.36***
CB_GB	0.0040	0.0739	0.5474	19.7080	24682.95***	75.65***	-17.82***
EP_S	-0.0036	1.6326	-0.1983	7.5568	1841.94***	200.81***	-32.14***
LC_S	0.0123	1.2343	-0.1904	7.9162	2140.66***	268.88***	-20.10***
ESG_S	0.0132	1.2174	-0.4610	8.7441	2979.70***	178.28***	-31.88***
NE_S	0.0281	1.9255	0.0072	6.4358	1039.32***	202.85***	-32.69***
GL_S	0.0083	1.1367	-0.1611	8.8557	3028.01***	262.27***	-20.12***

注：*** 表示在1% 水平上显著。JB 统计量为 Jarque–Bera 统计量，用于检验序列是否服从正态分布；LM-ARCH 为滞后 20 期的 ARCH 效应检验，用于检验序列是否存在 ARCH 效应；ADF 为单位根检验，用于检验序列是否平稳。

表2报告了各指数收益率的描述性统计。绿色股票指数的标准差明显高于绿色债券指数，表明权益类绿色资产的价格波动更强。四个债券指数整体呈正偏，股票指数除 NE_S 外多呈负偏；所有序列的峰度均显著高于正态分布基准，说明收益分布普遍具有非对称和厚尾特征。JB 检验均拒绝正态性，LM-ARCH 检验表明各序列存在显著波动聚集，ADF 检验则拒绝单位根假设。上述统计特征为采用 ACD-NIG 模型提取时变波动、偏度和峰度，并进一步构建动态连通性网络提供了依据。

(二) 多矩风险溢出网络结构

图1展示了整个样本平均后的聚合静态多层次关联网络。网络涵盖了第一至第四阶矩，分别对应收益率、波动率、偏度和峰度四个风险维度。同时，本文对各网络层级的密度进行了定量评估并赋予相应权重，从而能够将各时刻的信息系统性地投射到基础投影层上。图1表明，各风险层均存在明显的板块内集聚。绿色债券指数之间以及绿色股票指数之间的连线普遍更粗，而债券与股票之间的跨板块连线相对较弱，这说明共同资产属性仍是中国绿色金融市场风险联动的重要基础。债券指数更多共享利率、久期和信用风险，股票指数则共同暴露于权益市场估值、产业景气 and 投资者风险偏好^[20]。

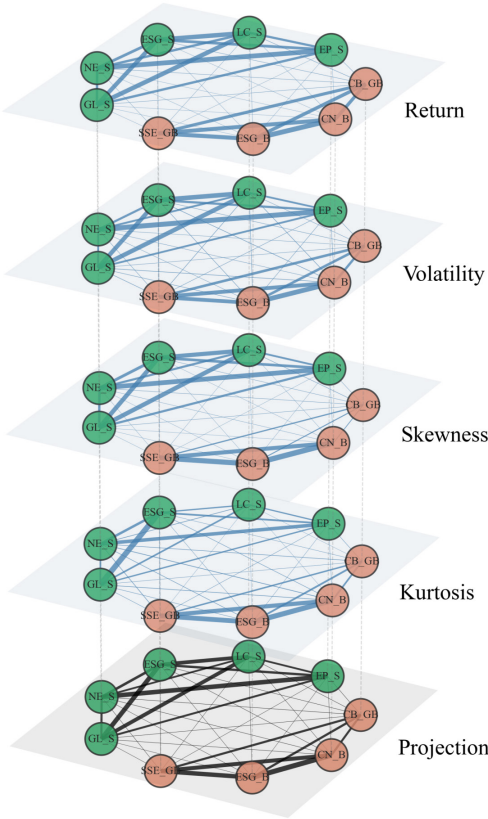


图1：静态多矩连通性网络

注：绿色节点表示绿色股票指数，橙色节点表示绿色债券指数。边越粗，两个市场之间的总成对连通性越强。

表3：不同风险层的静态连通性（%）

市场	收益层		波动层		偏度层		峰度层	
	溢出 (To)	吸收 (From)	溢出 (To)	吸收 (From)	溢出 (To)	吸收 (From)	溢出 (To)	吸收 (From)
SSE_GB	56.96	72.19	59.81	68.74	55.79	61.94	63.16	65.94
ESG_B	71.03	71.52	66.85	70.34	67.42	62.66	76.12	64.89
CN_B	67.59	70.96	69.40	68.18	59.15	60.16	72.62	65.32
CB_GB	63.31	57.36	46.36	50.45	19.88	29.40	28.99	42.21
EP_S	66.94	70.07	65.01	64.31	62.26	68.05	46.27	51.00
LC_S	79.62	74.23	76.52	73.77	71.96	69.62	24.16	35.12
ESG_S	84.15	75.19	83.56	73.66	83.35	73.15	69.29	62.13
NE_S	69.51	70.72	63.90	64.28	70.21	67.88	53.16	55.57
GL_S	76.95	73.80	74.72	72.41	75.48	72.65	66.45	
总溢出 (TCI)	70.67		67.35		62.38		55.58	

表4：综合投影层的静态方向连通性（%）

市场	溢出（To）	吸收（From）	净溢出（NET）
SSE_GB	58.77	67.42	-8.65
ESG_B	70.15	67.60	2.54
CN_B	67.09	66.36	0.73
CB_GB	40.78	45.41	-4.64
EP_S	60.81	63.92	-3.11
LC_S	64.91	64.50	0.41
ESG_S	80.58	71.45	9.13
NE_S	64.66	65.06	-0.40
GL_S	73.73	69.74	3.99
总溢出（TCI）	64.61		

注：NET=TO-FROM。NET 大于0表示净风险输出，NET 小于0表示净风险接收。

表3进一步比较了四个风险层的方向连通性。收益率、波动率、偏度和峰度层的总连通性指数分别为70.67%、67.35%、62.38%和55.58%，总体上随风险矩阶提高而下降。这一结果说明，一般价格变化和波动风险更容易形成广泛的市场共振，而非对称风险和尾部风险的传导范围相对集中。需要指出的是，偏度层和峰度层的 TCI 仍均超过50%，较低的平均连通性并不意味着高阶风险可以忽略，而是表明其系统影响更多依赖特定市场和特定时期。

从方向连通性看，ESG_S 在收益率、波动率和偏度层的风险输出值分别为84.15%、83.56%和83.35%，对应净溢出为8.97%、9.90%和10.20%，均为三个风险层中最主要的净风险输出节点。LC_S 和 GL_S 在上述风险层中也具有较强的输出能力，说明绿色股票市场总体承担了更多低阶风险和非对称风险的传递功能。其中，上证绿色公司债指数（SSE_GB）在收益率和波动率层的净溢出分别为-15.23%和-8.93%，是较为稳定的风险接收节点。

峰度层出现了明显的节点转换。ESG_B 的风险输出值升至76.12%，净溢出为11.23%，超过 ESG_S 并成为尾部风险的主要输出节点；CN_B 和 GL_S 也分别形成7.30%和8.41%的净风险输出。相反，CB_GB 和 LC_S 的净溢出降至-13.22%和-10.97%，成为峰度层的主要风险接收方。表4显示，综合投影层的 TCI 为64.61%，ESG_S 的净溢出为9.13%，仍是综合网络中最重要风险输出节点。上证绿色公司债指数（SSE_GB）的净溢出为-8.65%，是主要风险接收节点。由此可见，不同市场的系统角色

具有显著的风险维度差异，单独观察收益率或波动率可能遗漏尾部状态下的节点角色转换。

三、多矩风险溢出的时变特征

（一）时变总连通性分析

静态结果刻画的是全样本平均关系，无法识别风险联动的阶段性变化。为此，图2报告综合投影层与四个基础风险层的时变总连通性，并标示中美贸易摩擦、重大突发公共卫生事件和俄乌冲突三个重要事件窗口。

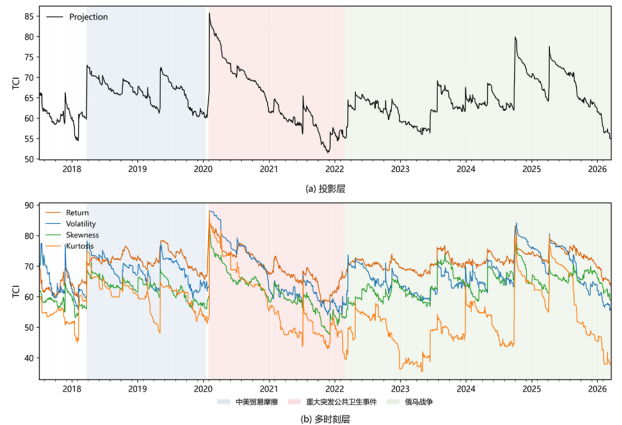


图2：时变总连通性指数

注：阴影区依次标示中美贸易摩擦（2018年3月22日至2020年1月15日）、重大突发公共卫生事件（2020年1月1日至2020年12月31日）和俄乌冲突（2022年2月24日以后）。上图为综合

投影层，下图为四个基础风险层。

图2显示，投影层总连通性在样本期内约为52%—86%，呈现明显的阶段性变化。中美贸易摩擦开始后，综合连通性逐步上升，2020年初重大突发公共卫生事件暴发时，投影层 TCI 迅速升至样本峰值，四个基础风险层也同步抬升。此后连通性快速回落，并在2021年末附近降至样本低位。2022年以后，TCI 在多次上升与回落之间波动，2024年末至2025年再次处于相对高位，样本末期则明显下降。上述变化表明，中国绿色金融市场的风险联系并非稳定常数，而会随重大事件和市场状态发生显著调整。

不同风险层的动态路径并不一致。收益率和波动率 TCI 在多数时期处于较高水平，反映一般价格风险具有更广泛的持续联动。偏度和峰度的平均连通性相对较低，但在重大事件附近的上升更为集中。尤其在突发事件初期，四个风险层同步跃升，偏度和峰度连通性也迅速扩大，说明系统性冲击不仅强化共同波动，还会提高分布不对称和尾部风险的跨市场一致性。这与近年研究关于高阶矩连通性具有事件敏感性和状态依赖性的结论相吻合^[11,12]。因此，高阶风险的识别价值主要体现在重大事件窗口和极端市场状态，而不能仅依据其全样本平均水平判断重要性。

（二）时变净连通性分析

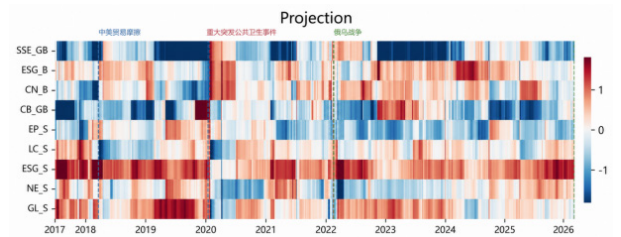


图3：投影层时变净连通性

注：红色表示净风险输出，蓝色表示净风险接收，颜色越深表示净连通性绝对值越大。

图3进一步展示了综合投影层各指数净连通性的时变特征。ESG_S 在多数时期保持净风险输出，是综合网络中最稳定的风险发送节点。GL_S 在样本前半段也表现出较强的输出能力。SSE_GB 在较长时期处于净风险接收状态，说明其更多承接来自其他绿色资产的冲击。重大突发公共卫生事件期间，ESG_B 和 CN_B 的净输出明显增强，部分股票指数则由风险输出方转为风险接收方。2022年以后，CB_GB 也在若干阶段转为净风险输出。上述结果表明，市场角色具有相对稳定性，但并非固定不变，系统性事件可能重塑债券与股票之间的风险分工。

四、多矩风险溢出的频域特征

时域结果能够识别连通性的阶段性变化，但不能区分风险传导发生的持有限期。为进一步判断短期交易冲击与中长期风险积累的相对作用，本文将各风险层和投影层的连通性分解为短期、中期和长期成分，结果见图4。

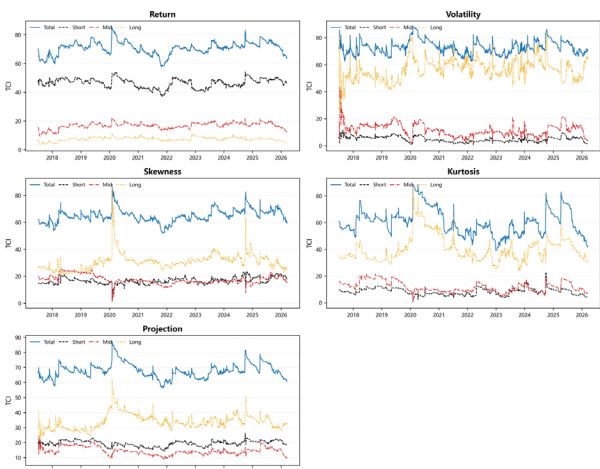


图4：多维风险溢出的频域分解

注：图中 Short（短期）为1—5天，Mid（中期）为5—20天，Long（长期）为20天以上。

图4揭示了不同风险维度的期限结构。收益率连通性主要由短期成分贡献，中期次之，长期占比较低，说明价格信息和交易冲击能够较快地在绿色资产之间传递。与此不同，波动率、偏度和峰度的长期成分普遍高于短期与中期成分，表明风险持续性、分布不对称和尾部变化更多体现为跨期累积，而非即时传导。收益率短期主导和波动率长期主导与近期绿色金融多矩研究的主要发现基本一致^[9,10]。与此不同，偏度和峰度的长期成分普遍高于短期与中期成分，特别是在重大突发公共卫生事件和后续风险重定价阶段，长期连通性的变化更为突出。

综合投影层同样以长期成分为主，说明多维风险网络并非收益率短期联动的简单叠加，而是更多吸收了波动、偏度和峰度中的持续性信息。该结果与时域分析相互补充：短期收益冲击可以迅速扩散并消退，但风险预期和尾部状态的共同变化可能在更长时间内延续。因此，风险监测和资产配置需要区分短期价格传导与中长期风险共振。

五、结语

本文基于中国绿色债券与绿色股票市场9个代表性指数，构建收益率、波动率、偏度和峰度四层时变连通性网络，并通过多矩投影和频域分解考察综合风险传导。结果表明，中国绿色金融市场具有较高的内部连通性，但不同风险维度和资产类别之间存在明显差异。收益率、波动率、偏度和峰度层的静态 TCI 依次为70.67%、67.35%、62.38%和55.58%，投影层为64.61%。总体连通性随风险矩阶提高而下降，且风险传导主要集中于绿色债券和绿色股票各自内部；偏度和峰度的平均连通性虽然相对较低，但在重大事件附近表现出更集中的上升。

风险传导具有显著的时变性、节点异质性和期限差异。重大突发公共卫生事件初期，各风险层连通性同步升至高位，随后快速回落；2022年以后，综合连通性呈现多次上升与下降。ESG_S 在收益率、波动率、偏度和投影层中是较稳定的净风险输出方，

SSE_GB 总体表现为净风险接收方；峰度层的主要输出节点则转向 ESG_B，重大事件期间债券与股票市场的净角色也会发生调整。频域结果进一步表明，收益率溢出主要由短期成分驱动，而波动率、偏度、峰度和综合风险更多体现长期传导。

上述发现具有两方面启示。监管部门不宜仅依据收益率或波动率判断绿色金融市场风险，应将偏度、峰度和综合投影层纳入

监测体系，并根据短期与长期连通性的差异建立分频预警机制。除持续关注 ESG 股票等稳定风险输出节点外，监管部门还应识别重大事件期间债券市场角色的转换。投资者在绿色资产配置中可以利用债券与股票平均交叉连通性较弱的特征进行分散化，但不能将静态低关联等同于危机时期的稳定分散收益，应同时评估中长期风险共振和尾部风险传导。

参考文献

- [1]Pham L. Frequency connectedness and cross-quantile dependence between green bond and green equity markets[J]. *Energy Economics*, 2021, 98: 105257.
- [2]Liu R, He L, Xia Y, et al. Research on the time-varying effects among green finance markets in China: A fresh evidence from multi-frequency scale perspective[J]. *The North American Journal of Economics and Finance*, 2023, 66: 101914.
- [3]Lu X, Huang N, Mo J, et al. Dynamics of the return and volatility connectedness among green finance markets during the COVID-19 pandemic[J]. *Energy Economics*, 2023, 125: 106860.
- [4]Chatziantoniou I, Abakah E J A, Gabauer D, et al. Quantile time - frequency price connectedness between green bond, green equity, sustainable investments and clean energy markets[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 361: 132088.
- [5]Wang Y, Zhao X, Shang J. Dynamic risk spillover in green financial markets: A wavelet frequency analysis from China[J]. *Energy Economics*, 2025, 143: 108301.
- [6]Zheng T, Zhang H, Ye S. Monetary policies on green financial markets: Evidence from a multi-moment connectedness network[J]. *Energy Economics*, 2024, 136: 107739.
- [7]Ringstad I E F, Tselika K. Connectedness between green bonds, clean energy markets and carbon quota prices: Time and frequency dynamics[J]. *Journal of Commodity Markets*, 2024, 36: 100442.
- [8]王喜平, 刘蔓蔓. 碳 - 能源 - 绿色金融市场间的风险溢出效应研究 [J]. *分布式能源*, 2025, 10 (4): 24-34.
- [9]Zhang W, He X, Hamori S. The impact of the COVID-19 pandemic and Russia-Ukraine war on multiscale spillovers in green finance markets: Evidence from lower and higher order moments[J]. *International Review of Financial Analysis*, 2023, 89: 102735.
- [10]Wang Y, Cheung A W K, Yan W L, et al. Connectedness of China' s green bond and green stock markets at the low-and high-order moments: The role of economic and climate policy uncertainty[J]. *The North American Journal of Economics and Finance*, 2025, 78: 102410.
- [11]Hao W, Pham L. Dynamic connectedness in the higher moments between clean energy and oil prices[J]. *Energy Economics*, 2024, 140: 107987.
- [12]Zhou Y, Wu S, Liu Z, et al. The asymmetric effects of climate risk on higher-moment connectedness among carbon, energy and metals markets[J]. *Nature Communications*, 2023, 14: 7157.
- [13]Hau L, Yang X, Zhang Y. Multiscale quantile dependence between China' s green bond and green equity: Fresh evidence from higher-order moment perspective[J]. *International Review of Financial Analysis*, 2024, 95: 103485.
- [14]Hansen B E. Autoregressive conditional density estimation[J]. *International Economic Review*, 1994, 35(3): 705-730.
- [15]Barndorff - Nielsen O E. Normal inverse Gaussian distributions and stochastic volatility modelling[J]. *Scandinavian Journal of statistics*, 1997, 24(1): 1-13.
- [16]Antonakakis N, Chatziantoniou I, Gabauer D. Refined measures of dynamic connectedness based on time-varying parameter vector autoregressions[J]. *Journal of Risk and Financial Management*, 2020, 13(4): 84.
- [17]Diebold F X, Yilmaz K. Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers[J]. *International Journal of forecasting*, 2012, 28(1): 57-66.
- [18]Diebold F X, Yilmaz K. On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms[J]. *Journal of econometrics*, 2014, 182(1): 119-134.
- [19]Barun í k J, Křehl í k T. Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk[J]. *Journal of Financial Econometrics*, 2018, 16(2): 271-296.
- [20]李玉辉, 陈永刚, 闫碧芸, 等. 我国绿色债券市场的风险特征与风险溢出效应研究 [J]. *西部金融*, 2022, (11): 31-40.

乡村居住环境质量评价与经济发展耦合协调度研究

吴涵

广东外语外贸大学 数学与统计学院, 广东 广州 511400

DOI:10.61369/ASDS.2026080012

摘 要 : 在乡村振兴战略全面推进的背景下, 探究乡村人居环境质量与经济发展之间的耦合协调关系, 对于实现二者协同共进具有重要的理论与现实意义。本文选取吉林、江西、山东、广东、云南五个省份作为研究对象, 基于2010—2022年面板数据, 从卫生环境、生态环境、基础设施、经济发展和社会服务五个维度构建了包含13个指标的乡村人居环境质量评价体系。综合运用熵权法确定指标权重, 引入耦合协调模型, 系统分析了各省农村人居环境硬环境与软环境之间的耦合协调关系及其时空演变特征, 并采用灰色GM(1,1)模型对未来趋势进行预测。研究结果表明: (1) 乡村消费品零售额占比、农田有效灌溉率和农业机械总动力是影响乡村人居环境质量的主要因素; (2) 2010—2022年间各省农村人居环境综合指数总体呈上升趋势, 但区域差异显著, 广东省综合指数增幅最大; (3) 耦合协调分析显示, 各省协调度差距逐步缩小, 广东省处于高强度耦合与良性协调阶段, 吉林、山东等省协调度改善明显; (4) 灰色预测表明未来五年各省耦合度与协调度均呈持续上升态势。本文为理解乡村人居环境与经济发展的协调机制提供了实证依据, 并为差异化治理策略的制定提供了参考。

关 键 词 : 乡村振兴; 人居环境质量评价; 熵权法; 耦合协调模型; 经济发展

Research on the Coupling Coordination Degree Between Rural Living Environment Quality Assessment and Economic Development

Wu Han

School of Mathematics and Statistics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou, Guangdong 511400

Abstract : Against the backdrop of the comprehensive advancement of the rural revitalization strategy, exploring the coupling coordination relationship between rural living environment quality and economic development holds significant theoretical and practical value. This study selects Jilin, Jiangxi, Shandong, Guangdong, and Yunnan provinces as research subjects, constructing a 13-indicator evaluation system across five dimensions—sanitation, ecological environment, infrastructure, economic development, and social services—based on panel data from 2010 to 2022. The entropy weight method is employed to determine indicator weights, and a coupling coordination model is introduced to analyze the coupling relationship between the hard and soft environments of rural human settlements. A grey GM(1,1) model is further applied to forecast future trends. The findings reveal that: (1) the proportion of rural consumer goods retail sales, effective irrigation rate, and total agricultural machinery power are the primary factors influencing rural living environment quality; (2) from 2010 to 2022, comprehensive indices of rural living environments across all provinces showed an upward trend, albeit with significant regional disparities; (3) the coupling coordination analysis indicates a narrowing gap among provinces, with Guangdong achieving high-intensity coupling and favorable coordination; (4) grey predictions suggest a continuous upward trend in coupling and coordination degrees over the next five years. This study provides empirical evidence for understanding the coordination mechanism between rural living environments and economic development, offering guidance for differentiated governance strategies.

Keywords : rural revitalization; environmental quality assessment; entropy weight method; coupling coordination model; economic development

基金项目: 2026年广东外语外贸大学研究生科研创新项目(26GWCXXM-096)。

作者简介: 吴涵, 广东外语外贸大学数学与统计学院, 硕士在读, 研究方向为金融统计决策。

引言

党的二十大报告明确提出全面推进乡村振兴，强调“统筹乡村基础设施和公共服务布局，建设宜居宜业和美乡村”。乡村振兴作为新时代“三农”工作的总抓手，不仅要求实现农村经济的高质量发展，更要求农村人居环境持续改善。乡村作为一个涵盖生产、生活、生态和文化等多重功能的综合性区域，其人居环境质量与经济发展之间存在着复杂的互动关系：一方面，经济发展为环境治理提供物质基础与技术支撑；另一方面，良好的人居环境通过提升居民生活质量、吸引人才回流等途径，为经济可持续发展注入内生动力。然而，在当前快速城镇化进程中，农村地区普遍面临经济发展与环境保护之间的张力——部分地区经济快速增长的同时，环境基础设施建设滞后、生态压力加大等问题日益凸显；部分地区则因经济基础薄弱，环境治理投入不足，陷入“低水平均衡”困境。

学术界对乡村人居环境与经济发展关系的研究日益丰富，但现有研究多聚焦于单一维度的环境质量评价或经济发展的环境影响，较少从耦合协调视角系统考察二者的互动机制。耦合协调度模型作为分析多系统交互关系的有效工具，能够揭示系统间相互作用的强度与质量，弥补了传统单一维度评价的不足。基于此，本文以吉林、江西、山东、广东、云南五省为研究对象，构建乡村人居环境质量评价指标体系，运用熵权法与耦合协调模型，探究2010—2022年各省农村人居硬环境与软环境之间的耦合协调关系及其演变特征，并利用灰色预测模型研判未来发展趋势，以期为区域差异化治理策略的制定提供实证依据。

一、文献综述

（一）乡村人居环境质量评价研究

乡村人居环境质量评价是乡村地理学与区域可持续发展研究的重要议题。在评价方法层面，徐涵秋^[1]提出的遥感生态指数（RSEI）采用主成分分析法集成植被指数、湿度分量等多维指标，实现了区域生态环境质量的客观评价与时空可视化分析。刘伟等^[2]在此基础上构建了包含绿度、湿度、干度、热度、盐度的改进型遥感生态指数（RSEIS），结合M-K趋势检验与地理探测器，揭示了干旱区生态质量的驱动因素。在乡村尺度的应用层面，孙慧波和赵霞^[3]运用TOPSIS技术与熵理论，构建了涵盖环境卫生、生态环境、基础设施等多维度的农村人居环境质量评价框架，并对中国农村社区进行了分类型评价。邵月华^[4]基于熵值法构建了吉林省农村人居环境评价体系，发现2011—2020年人居环境质量年均增长2.94%，但区域差异显著，且中西部地区改善效率高于东部地区。董冬等^[5]以新安江—千岛湖生态补偿试验区为例，运用熵权TOPSIS法揭示了生态补偿政策对乡村环境质量的正向溢出效应。梁晨等^[6]基于“三生”（生产—生活—生态）功能视角，构建了农村人居环境质量与经济发展协调度评价框架，将30个省份划分为经济超前型、趋于同步型、经济制约型与低质协调型四类，为差异化治理策略的制定提供了科学依据。

（二）经济发展与生态环境协调关系研究

经济发展与生态环境的关系一直是区域可持续发展研究的核心议题。在理论层面，Habimana等^[7]基于非洲46国面板数据，采用ARDL模型验证了环境库兹涅茨曲线（EKC）假说的适用条件，发现经济发展阶段与环境政策强度存在阈值效应，为中低收入国家的环境治理提供了参考。Sporchia等^[8]提出输入—状态—输出（ISO）分析框架，整合欧洲28国经济、社会、环境时间序列数据，揭示了传统GDP指标与生态足迹、社会公平等指标之间的脱钩现象，强调需建立多维评估体系才能全面反映可持续发展进程。在乡村与农业领域，王长燕等^[9]以陕西省为案例，构建了包含农业发展态势、农村生活水平等维度的评价体系，发现2012—2021年农业经济与生态环境的耦合协调度从0.501提升至

0.804，呈现“M型”波动上升趋势。李明^[10]针对河南省农村经济发展与环境保护的突出矛盾，提出了“政府主导—农民主体—改革驱动”的三维方案，指出财政支农投入与生态补偿机制能有效缓解环境压力。

（三）耦合协调模型在乡村研究中的应用

耦合协调模型源于物理学中的容量耦合概念，近年来被广泛应用于社会经济与生态环境的交互关系研究。陈涛等^[11]基于黄淮地区面板数据，采用时序全局主成分分析与耦合协调度模型，发现新型城镇化与农业现代化的协调度呈现“东优西劣、北强南弱”的空间格局，基础设施建设与农村教育水平是关键驱动因素。王苗^[12]以河北省为例，综合运用熵值法、层次分析法与耦合协调度模型，发现2011—2020年农村人居环境与经济发展协调度总体呈上升趋势，2020年达到优质协调等级。周为和蒋济蔚^[13]基于“同一健康”理论，从人类健康、动物健康、环境健康三维度审视农村人居环境与农业现代化的耦合协调关系，发现我国勉强协调区域仍占较大比重，区域差异显著，为多维度耦合研究提供了新视角。

综上，现有研究在乡村人居环境评价方法、经济发展与环境协调关系以及耦合协调模型应用等方面取得了丰富成果，但仍存在以下不足：一是多数研究侧重单一省份或同质化区域，缺乏对不同发展水平省份的横向比较；二是现有耦合协调研究多聚焦于农业经济与生态环境的二元关系，将乡村人居环境细分为“硬环境”与“软环境”两个子系统进行耦合分析的文献较少；三是对耦合协调关系的动态演变趋势预测关注不足。基于此，本文选取经济发展水平差异显著的吉林、江西、山东、广东、云南五省为样本，构建乡村人居硬环境与软环境耦合协调分析框架，并引入灰色预测模型研判未来走势，以期丰富该领域的研究视角与实证证据。

二、模型介绍和研究方法

（一）研究方法

1. 熵权法确定评价指标权重

熵权法是一种基于数据离散程度的客观赋权方法。其核心思

想是：信息熵越小，表明该指标数据的离散程度越大，所携带的信息量越多，在综合评价中的权重也应越高。相较于层次分析法等主观赋权方法，熵权法能有效避免人为因素的干扰，适用于多指标综合评价场景。具体计算步骤如下：

Step1：数据标准化。设给定 k 个评价对象、 m 个评价指标，原始数据矩阵为 $X=(x_{ij})_{k \times m}$ 。对于正向指标（数值越大越优），标准化公式为：

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij} - \min x_j)}{(\max x_j - \min x_j)}$$

对于负向指标（数值越小越优），标准化公式为：

$$y_{ij} = \frac{(\max x_j - x_{ij})}{(\max x_j - \min x_j)}$$

其中， y_{ij} 为标准化后的数值， x_{ij} 为原始数据， $\max x_j$ 和 $\min x_j$ 分别为第 j 个指标的最大值和最小值。

Step2：计算各指标的信息熵。首先计算第 j 项指标下第 i 个评价对象的特征比重：

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^k y_{ij}}, i=1, 2, \dots, k; j=1, 2, \dots, m$$

当 $p_{ij}=0$ 时，定义 $p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})=0$ 。第 j 项指标的信息熵为：

$$e_j = -\left(\frac{1}{\ln k}\right) \cdot \sum_{i=1}^k p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$$

其中， $0 \leq e_j \leq 1$ 。

Step3：计算各指标的熵权。第 j 项指标的权重为：

$$w_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

其中， $1 - e_j$ 为第 j 项指标的信息效用值， w_j 满足 $0 \leq w_j \leq 1$ 且 $\sum w_j = 1$ 。

Step4：熵权计算式的改进。当指标熵值趋近于1时，不同指标的信息效用值差异极小，传统熵权法可能出现权重失真。本文采用改进熵权公式进行修正：

$$w_j^* = \frac{\sum_{j=1}^m e_j + 1 - 2e_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{j=1}^m e_j + 1 - 2e_j}$$

Step5：计算综合评价值。采用加权求和法计算各子系统的综合评价指数：

$$F_q = \sum_{j=1}^{n_q} w_j^* \cdot y_{ij}$$

其中， F_q 为第 q 个子系统的综合评价指数， n_q 为该子系统包含的指标个数。

2. 耦合协调模型

耦合协调模型用于测度两个或多个系统之间相互作用、相互影响的程度与质量。本文引入该模型分析乡村人居硬环境（ U_1 ）与软环境（ U_2 ）两个子系统之间的耦合协调关系。具体计算公式如下：

（1）耦合度 C 。反映两个子系统之间相互作用的强度：

$$C = 2 \times \sqrt{\frac{(U_1 \times U_2)}{(U_1 + U_2)}}$$

其中， $C \in [0, 1]$ ， C 值越大表明两个子系统的关联程度越高。

（2）综合协调指数 T 。反映两个子系统的整体发展水平：

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2$$

其中， α 和 β 为待定系数，分别表示两个子系统的重要程度。本文认为乡村人居硬环境与软环境同等重要，故取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

（3）耦合协调度 D 。综合反映系统间的协调状况：

$$D = \sqrt{(C \times T)}$$

其中， $D \in [0, 1]$ ， D 值越大表明两个子系统的协调发展水平越高。

参考已有研究成果^[11]，本文将耦合度 C 与协调度 D 分别划分为若干等级，具体划分标准见表1。

表1：耦合度与协调度等级划分标准

耦合度 C	耦合阶段	协调度 D	协调类型
$0 \leq C < 0.2$	低水平耦合	$0 \leq D < 0.1$	极度失调（I）
$0.2 \leq C < 0.4$	拮抗耦合	$0.1 \leq D < 0.2$	严重失调（II）
$0.4 \leq C < 0.7$	磨合耦合	$0.2 \leq D < 0.3$	中度失调（III）
$0.7 \leq C \leq 1.0$	高水平耦合	$0.3 \leq D < 0.4$	轻度失调（IV）
		$0.4 \leq D < 0.5$	濒临失调（V）
		$0.5 \leq D < 0.6$	勉强协调（VI）
		$0.6 \leq D < 0.7$	初级协调（VII）
		$0.7 \leq D < 0.8$	中级协调（VIII）
		$0.8 \leq D < 0.9$	良性协调（IX）
		$0.9 \leq D \leq 1$	优质协调（X）

3. 灰色 GM(1,1) 预测模型

灰色预测模型适用于小样本、贫信息的不确定系统预测。本文采用 GM(1,1) 模型对各省耦合度与协调度的未来趋势进行预测。设原始时间序列 $X^{(0)} = x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)$ ，对其作一次累加生成（1-AGO），得到序列 $X^{(1)} = x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)$ ，其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ 。则 GM(1,1) 模型的白化微分方程为：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + a \cdot x^{(1)} = b$$

其中， a 为发展系数，反映序列的发展态势； b 为灰色作用量。

求解微分方程得到时间响应函数：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] \cdot e^{(-a \cdot k)} + \frac{b}{a}$$

通过累减还原得到原始序列的预测值:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=x^{(1)}(k+1)-x^{(1)}(k)$$

模型精度通过后验差比值 C 和小误差概率 P 进行检验。

（二）指标体系构建与数据来源

本文借鉴孙慧波等^[3]的农村人居环境质量评价理论框架,根据科学性、系统性、可比性与数据可得性原则,从卫生环境、生态环境、基础设施(以上构成“硬环境”子系统 U_1)、经济发展、社会服务(以上构成“软环境”子系统 U_2)五个维度选取13项评价指标,构建乡村人居环境质量评价指标体系,各指标具体信息如表2所示。

表2: 乡村人居环境质量评价指标体系				
子系统	准则层	指标层	属性	单位
U_1 硬环境	卫生环境	生活垃圾无害化处理率 X_1	+	%
		化肥施用强度 X_2	-	kg/hm ²
	生态环境	农药使用强度 X_3	-	kg/hm ²
		农用塑料薄膜使用强度 X_4	-	kg/hm ²
		农田有效灌溉率 X_5	+	%
	基础设施	行政村宽带普及率 X_6	+	%
		行政村饮水安全达标率 X_7	+	%
U_2 软环境	经济发展	农林牧渔业总产值 X_8	+	亿元
		乡村消费品零售额占全社会比重 X_9	+	%
		农业机械总动力 X_{10}	+	万 kW
	社会服务	第一产业增加值占 GDP 比重 X_{11}	-	%
		设有卫生室的村占行政村比例 X_{12}	+	%
		普通中学农村专任教师与学生比 X_{13}	+	人 / 万人

卫生环境选取生活垃圾无害化处理率和污水处理率,反映环境治理水平。生态环境选取化肥施用强度、农药使用强度、农膜使用强度和有效灌溉率,前三者为负向指标。基础设施选取宽带普及率和饮水安全达标率。经济发展选取农林牧渔业总产值、消费品零售额占比、农业机械总动力和第一产业增加值占 GDP 比重。社会服务选取设有卫生室的村占比和农村师生比。

本文选取吉林、江西、山东、广东、云南五省2010—2022年的面板数据,数据来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及 EPS 数据平台。对于少量缺失数据,采用均值插补与线性插值法进行补全。为保证数据的可比性,所有原始数据均经极差标准化处理。在进行正式分析前,对面板数据进行 KMO 与 Bartlett 球形检验,KMO 值为0.674(>0.5),Bartlett 检验显著性为0.000,表明数据适合进行因子分析与综合评价。

三、乡村居住环境质量与经济发展耦合协调度实证分析

（一）指标权重的确定

运用改进熵权法计算五省各评价指标权重。以吉林省为例(见表3),影响程度最大的三个指标为:农业机械总动力 x_{10} (0.1672)、农田有效灌溉率 x_5 (0.1371)、农林牧渔业总产值

x_8 (0.1063),三者均属于软环境子系统,表明经济发展因素对乡村人居环境质量影响最为显著。影响最小的三个指标为:化肥施用强度 x_2 (0.0441)、乡村消费品零售额占全社会比重 x_9 (0.0352)、普通中学农村专任教师与学生比 x_{13} (0.0281)。

表3: 吉林省农村人居环境评价指标权重			
符号	指标名称	权重 w_j	排序
x_1	生活垃圾无害化处理率	0.0640	7
x_2	化肥施用强度	0.0441	11
x_3	农药使用强度	0.1059	4
x_4	农用塑料薄膜使用强度	0.0735	6
x_5	农田有效灌溉率	0.1371	2
x_6	行政村宽带普及率	0.0513	9
x_7	行政村饮水安全达标率	0.0638	8
x_8	农林牧渔业总产值	0.1063	3
x_9	乡村消费品零售额占全社会比重	0.0352	12
x_{10}	农业机械总动力	0.1672	1
x_{11}	第一产业增加值占 GDP 比重	0.0466	10
x_{12}	设有卫生室的村占行政村比例	0.0769	5
x_{13}	普通中学农村专任教师与学生比	0.0281	13

广东省权重分布与吉林省存在差异。其权重最大的三个指标为:农业机械总动力(0.1767)、农林牧渔业总产值(0.0863)、设有卫生室的村占比(0.0847),社会服务类指标重要性显著提高,反映经济发达地区在满足基本经济需求后,对公共服务质量的关注度提升。

（二）耦合协调度分析

基于综合评价指数,运用耦合协调模型分别计算五省2010—2022年各年度农村人居环境(U_1)与软环境(U_2)的耦合度 C 与协调度 D。选取2010年、2016年和2022年三个特征年份的结果汇总如表4所示。

表4: 五省农村人居环境与软环境耦合协调度(特征年份)							
省份	年份	U_1 (硬)	U_2 (软)	耦合度 C	耦合阶段	协调度 D	协调类型
吉林	2010	0.048	0.069	0.428	拮抗	0.521	勉强协调
	2016	0.112	0.158	0.471	拮抗	0.634	初级协调
	2022	0.278	0.446	0.495	拮抗	0.746	中级协调
江西	2010	0.082	0.055	0.487	拮抗	0.538	勉强协调
	2016	0.145	0.098	0.493	拮抗	0.557	勉强协调
	2022	0.302	0.198	0.482	拮抗	0.518	勉强协调
山东	2010	0.125	0.096	0.449	拮抗	0.642	初级协调
	2016	0.198	0.167	0.485	拮抗	0.705	中级协调
	2022	0.364	0.301	0.438	拮抗	0.672	中级协调
广东	2010	0.055	0.092	0.991	高水平	0.578	勉强协调
	2016	0.138	0.192	0.995	高水平	0.615	初级协调
	2022	0.423	0.587	0.998	高水平	0.730	良好协调
云南	2010	0.062	0.053	0.452	拮抗	0.485	濒临失调
	2016	0.115	0.096	0.479	拮抗	0.524	勉强协调
	2022	0.256	0.222	0.491	拮抗	0.561	勉强协调

由表4可知,在耦合度方面,广东省始终高于0.99,处于高水平耦合阶段,其余四省集中在0.43—0.50区间,处于拮抗耦合阶段。各省耦合度均值排序为:广东(0.995)>云南(0.484)>江西(0.479)>吉林(0.467)>山东(0.442)。

在协调度方面,各省协调发展水平整体向好。吉林省由2010

年的勉强协调（0.521）提升至中级协调（0.746），广东省由勉强协调（0.578）提升至良好协调（0.730），云南省从濒临失调（0.485）改善至勉强协调（0.561）。各省协调度均值排序为：吉林（0.770）>山东（0.690）>广东（0.605）>云南（0.597）>江西（0.527）。

值得注意的是，各省耦合度与协调度的排序呈显著不一致——耦合度最高的广东省协调度仅居第三，而协调度最高的吉林省耦合度仅居第四。这一“高耦合—低协调”与“低耦合—高协调”并存的格局表明：广东省经济发达，环境与经济关联强度极高，但经济增速持续快于环境改善速度，两者发展节奏尚不完全同步；吉林、山东省虽然环境与经济互动强度较弱，但在政策引导下两者发展更为均衡，协调度表现更优。从整体趋势看，各省之间的耦合协调差距呈缩小态势，表明乡村振兴政策的区域普惠效应正在显现。

（三）灰色预测分析

基于2010—2022年各省耦合度与协调度数据，运用GM(1,1)模型预测2023—2027年趋势。模型后验差比值C均小于0.35，预测精度合格。以江西省和广东省为例（见图2、图3），两省耦合度与协调度均呈稳定上升态势：广东省协调度上升较快，预计2027年将突破0.78；江西省略缓但保持正增长。总体而言，未来五年五省耦合度与协调度将持续改善，乡村人居环境与经济发展有望逐步走向协同共进。

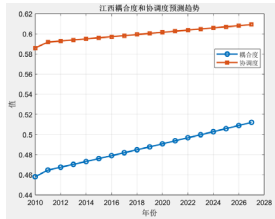


图2：江西省耦合度和协调度趋势预测

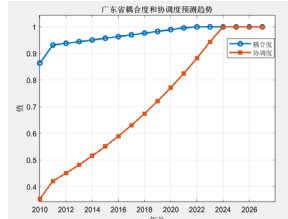


图3：广东省耦合度和协调度趋势预测

四、结束语

本文以吉林、江西、山东、广东、云南五省为研究对象，基于2010—2022年面板数据，综合运用改进熵权法、耦合协调模型与灰色GM(1,1)预测模型，系统分析了农村人居硬环境与软环境两个子系统的耦合协调关系及其时空演变趋势。主要结论如下：

第一，乡村消费品零售额占比、农田有效灌溉率和农业机械总动力是影响乡村人居环境质量的核心因素，三者均属于软环境子系统，表明经济发展是驱动人居环境改善的关键力量。第二，2010—2022年五省农村人居环境综合指数总体呈上升趋势，广东省增幅最大（年均3.37%），2016年后各省增速明显加快，与乡村振兴战略推进时序高度吻合。第三，广东省处于高水平耦合—良好协调阶段；吉林、山东呈“低耦合—高协调”特征，环境与经济均衡发展表现更优；江西、云南呈“高耦合—低协调”特征，环境质量提升滞后于经济增长，各省耦合协调差距呈缩小趋势。第四，灰色预测表明2023—2027年五省耦合度与协调度均将保持上升态势。

上述结论的政策启示在于：应坚持差异化治理策略——对广东等经济发达省份，重点构建环境与经济的深度融合发展机制；对吉林、山东等“低耦合—高协调”型省份，着力增强环境与经济互动强度；对江西、云南等起步较慢省份，应在加快经济发展的同时严守生态红线，优先补齐基础设施短板。本研究受数据可得性限制，仅选取五省样本。未来可扩展至全国层面，引入空间计量模型与地理探测器等方法，深入揭示耦合协调度空间分异的驱动机制，并将数字化基础设施、绿色能源利用等新兴维度纳入评价框架。

参考文献

- [1] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897.
- [2] 刘伟, 凌红波, 公延明, 等. 基于改进型遥感生态指数的塔里木河干流生态环境质量评价[J]. 干旱区地理, 2025, 48(2): 271-282.
- [3] 孙慧波, 赵霞. 中国农村人居环境质量评价及差异化治理策略[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2019, 39(5): 105-113.
- [4] 邵月华. 吉林省农村人居环境质量评价及影响因素研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.
- [5] 董冬, 罗毅, 王丽宸, 等. 新安江—千岛湖生态补偿试验区乡村人居环境质量时空分异及影响机制[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(1): 29-40.
- [6] 梁晨, 李建平, 李俊杰. 基于“三生”功能的我国农村人居环境质量与经济发展协调度评价与优化[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(10): 84-94.
- [7] Habimana Simbi C, Yao F M, Zhang J H, et al. Balancing growth and preservation: Unravelling Africa's carbon-economic nexus through the environmental Kuznets curve[J]. Heliyon, 2024, 10(20): e39269.
- [8] Sporchia F, Paneni A, Pulselli F M, et al. Investigating environment-society-economy relations in time series in Europe using a synthetic input-state-output framework[J]. Environmental Science and Policy, 2021, 125: 54-65.
- [9] 王长燕, 牛博, 任媛媛, 等. 乡村振兴视角下陕西省农业经济与生态环境耦合关系研究[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2024, 44(1): 57-62+69.
- [10] 李明. 乡村振兴视域下经济发展与环境保护关系研究[J]. 当代经济, 2019(6): 118-120.
- [11] 陈涛, 杨佳怡, 陈池波. 新型城镇化与农业现代化耦合协调度评价[J]. 统计与决策, 2022, 38(12): 70-74.
- [12] 王苗. 河北省农村人居环境与经济发展耦合关系分析与评价[J]. 乡村科技, 2023, 14(6): 28-32.
- [13] 周为, 蒋济蔚. 乡村人居环境与农业现代化的耦合协调发展——基于“同一健康”理论的分析[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版), 2024, 27(6): 41-50.

中国股市波动特征的时变性及 VaR 风险度量

徐思睿

广州大学 经济与统计学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2026080013

摘 要： 中国股市的波动特征和风险水平对投资者资产配置以及监管政策制定有着关键影响。为了揭示中国股市的波动特征并评估其风险水平，本文基于 EGARCH(1,1)-t 模型分时段描述中国股市波动的时变性，通过滚动预测方法计算 VaR 并利用 Kupiec 检验评估模型的有效性。研究结果表明，中国股市具有正杠杆效应且波动性极强，不同市场背景下的股市波动具有显著差异。据此，投资者应减少杠杆，拉长持仓周期。同时，监管者应建立滚动 VaR 的波动预警系统以增强市场的调控能力。

关 键 词： 上证指数; EGARCH(1,1)-t 模型; 分时段分析; VaR; Kupiec 检验

Time-Varying Volatility Characteristics and VaR Risk Measurement in Chinese Stock Market

Xu Sirui

School of Economics and Statistics, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The volatility characteristics and risk level of the Chinese stock market have significant implications for investors' asset allocation decisions and the formulation of regulatory policies. To investigate the volatility dynamics and assess the risk level of the Chinese stock market, this study employs the EGARCH(1,1)-t model to characterize the time-varying volatility across different market periods. A rolling forecasting approach is then used to estimate Value at Risk (VaR), and the validity of the model is evaluated using the Kupiec test. The empirical results indicate that the Chinese stock market exhibits a positive leverage effect and extremely high volatility, with substantial differences in volatility dynamics under varying market conditions. Based on these findings, investors are advised to reduce leverage, adopt a longer investment horizon. Meanwhile, regulators should establish a rolling VaR-based volatility early warning system to enhance market monitoring and regulatory effectiveness.

Keywords： Shanghai Composite Index; EGARCH(1,1)-t Model; Subperiod analysis; VaR; Kupiec test

引言

自1990年上海证券交易所成立以来，中国股市在经历了三十余载的发展与沉淀，已跃升为全球市值第二大的股票市场。由于中国股市成立时间较短，与国际上其他成熟市场相比，中国股票市场的收益率表现出更高的波动性和更强的非对称性。波动率作为衡量金融资产风险的核心指标，一直以来都是金融学等领域研究的重点和热点问题。Engle^[1]（1982）提出的 ARCH 模型首次揭示了金融时间序列中波动聚集 (Volatility Clustering) 的特征，随后 Bollerslev^[2]（1986）在 ARCH 模型的基础上引入波动率的滞后项，将其推广为 ARCH(GARCH) 模型。鉴于传统的 GARCH 模型假设利好与利空消息对波动率的影响具有对称性，难以有效捕捉市场普遍存在的杠杆效应，Nelson^[3]（1991）提出指数 GARCH(EGARCH) 模型。该模型允许波动率对正负收益呈现非对称反应，因而成为研究波动非对称性的重要工具。中国股市的波动特征具有特殊性，不宜简单套用已有的建模结论，而应基于本土市场的真实数据加以检验，并在此基础上构建适用于中国股票市场的风险管理工具。

不同市场背景下，股市波动率呈现出差异化的特征。对此，国内多位学者基于 GARCH/EGARCH 模型，对中国股市的波动特征进行了广泛研究。例如，曾伟^[4]（2009）将1990年至2005年分成三个阶段，通过分析上证综指和深圳成指来研究 A 股的波动特征。程小亮^[5]（2013）收集2000年至2013年的上证综指，将时间区间分为横盘震动期、上升通道和下降通道，来研究中国股市收益率波动性。苏文涛^[6]（2016）基于2015年 A 股暴跌的数据对个股停复牌对股价稳定性作用进行实证研究。王沼锡^[7]（2022）运用 GARCH 模型族

模拟沪深300指数收益率波动情况，得出结论：从精确度出发，即考虑股市非对称性时应选择 GED 分布假设下的 EGARCH (1,1) 模型。余康兴^[8] (2023) 选取 2006–2018 年上证指数日收盘价数据，利用 GARCH 模型族的综合性对我国股票市场进行波动性分析。众所周知，股市担负着资源配置、资产定价和风险分散的重要任务。股市过度的波动会对投资决策产生影响，扰乱资金流动，同时扭曲资产定价，降低股市分配资源和分散风险的效率^[9]。本文在已有研究的基础上，将研究区间延伸至 2025 年，系统涵盖 2008 年金融危机、2015 年股市异常波动以及 2020 年公共卫生突发事件等重大事件，并将 2000 年 1 月至 2025 年 12 月划分为 8 个市场阶段，采用 EGARCH (1,1) -t 模型对比分析在不同市场背景下中国股票市场波动率的特征。在此基础上，本文进一步利用模型的滚动窗口方法预测风险价值 (VaR)，并通过 Kupiec 检验评估其预测精度，同时计算各时段的 VaR 均值。本研究结果不仅丰富了对中国股票市场波动规律的认识，也为投资者和监管者提供了量化风险管理的参考依据。

一、数据来源与模型设定

(一) 数据来源

本文选取上证指数 (000001.SH) 2000 年 1 月 4 日至 2025 年 12 月 31 日的日收盘价作为研究样本，数据来源于英为财经 (<https://cn.investing.com/>)，样本涵盖 6302 个交易日。通过对上证指数收益率条件方差的建模，深入分析中国股票市场的波动率特征。

(二) 收益率序列

股票指数的收益率可以被定义为资本利得 (capital appreciation) 与股息收入 (dividend income) 之和^[10]。若忽略股息收益，令收益率序列为 $\{R_t\}$ ，其计算公式可表示为：

$$R_t = \frac{(P_t - P_{t-1})}{P_{t-1}}$$
 (1)

由于股票收益率序列等金融序列通常具有尖峰厚尾性，为消除价格序列的非平稳性，本文使用收益率的对数形式，其计算公式为：

$$R_t = 100 \times \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$
 (2)

其中， R_t 表示第 t 日的收益率， P_t 表示第 t 日的收盘价。公式中乘以 100，是将计算结果转化为百分比形式，以便后文与 S&P500 参数比较时数据形式一致。

1. 收益率序列的基本特征

由图 1 可见，收益率序列表现为大波动后紧跟着大波动，而小波动后也跟随着小波动，说明上证指数日收益率序列呈现出显著的波动聚集特征，初步表明收益率序列可能存在 ARCH 效应，即上证指数收益率序列的条件方差具有自相关性。

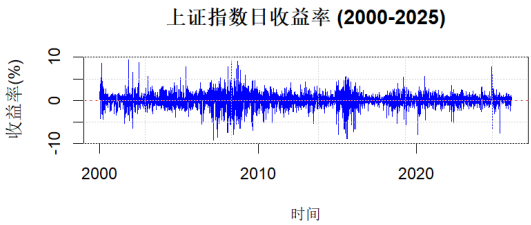


图 1：上证指数日收益率序列图 (%)

计算上证指数日收益率的各描述性统计量，包括均值、中位数、最值、分位数以及峰度、偏度。所得计算结果如表所示。

表 1：上证指数日收益率的各描述性统计量 (%)

统计量	数值 (%)
Min.	-9.25615
1st Qu.	-0.61319
Median	0.0505
Mean	0.01646
3rd Qu.	0.69227
Max.	9.40079
Std.Dev.	1.457636
Skewness	-0.38031
Kurtosis	8.739623

由表 1 可知：

(1) 收益率均值为 0.016%，中位数为 0.050%，两者均接近零，说明长期来看收益率无明显方向性趋势。同时，均值小于中位数，结合偏度为 -0.38%，说明数据呈现左偏分布。

(2) 峰度为 8.74%，显著高于正态分布的峰度值 3%，说明数据分布具有尖峰厚尾特征，即数据中心部分更集中，尾部更厚，极端值发生的概率高于正态分布假设。

(3) 最小值为 -9.26%，最大值为 9.40%，极差较大，反映出中国股市存在极端波动事件。

(4) 上证指数日收益率的标准差为 1.46%，高于 S&P500 的 1.10% (见表 5)。标准差反映股市的日波动程度，说明中国股市的日波动风险更大。

总体来看，上证指数的日均收益率较低的同时波动性却更高，这也是新兴市场的典型特征之一。

2. 收益率序列的分布特征

由图 2(a) 可见，收益率分布呈现明显的“尖峰厚尾”的特征，各交易日的收益率主要集中在 -2% 到 2% 之间，多数交易日波动较小，符合金融时间序列的典型特征。进一步分析图 2(b)，收益率分布的中心部分明显高于正态分布曲线，呈现“尖峰”形态，说明大部分交易日收益率集中在均值附近；两侧尾部明显厚于正态分布，说明中国股市暴涨暴跌等极端波动事件发生的概率高于正态分布预期。此外，左侧尾部略长于右侧，表明负收益的极端值多于正收益。

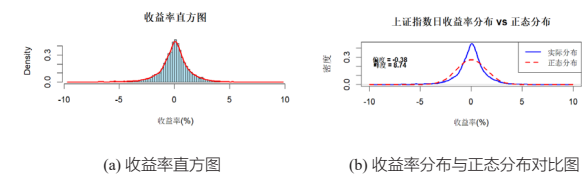


图2: 收益率直方图和收益率分布与正态分布对比图

此外, 结合收益率序列的 Q-Q 图 (图3) 左右两端的散点明显偏离直线, 进一步证明了收益率序列的非正态性。

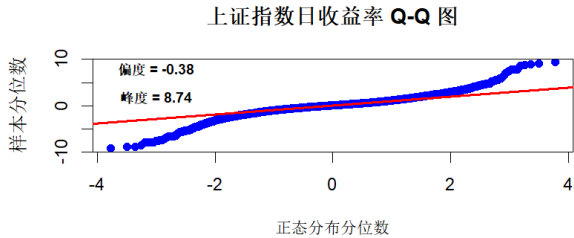


图3: 上证指数收益率 Q-Q 图

3. 收益率序列的自相关特征

图4为上证指数日收益率的自相关函数图, 其中, 横轴 Lag 表示滞后阶数, 纵轴 ACF 表示自相关系数, 蓝色虚线表示95% 置信区间。

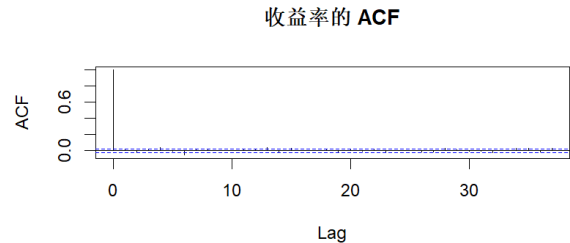


图4: 收益率的 ACF 图

由图4可见, 几乎所有的自相关系数均落入95% 置信区间内, 且自相关系数没有明显衰减的趋势, 绝大多数都在零附近随机波动。这说明上证指数日收益率序列本身不存在明显的线性自相关性, 不适合直接使用 ARMA 等线性时间序列模型建模, 而应选用 EGARCH 模型等非线性时间序列模型进行建模分析。

(三) 数据分段

为了研究不同市场状态下股市波动特征的差异, 本文结合中国股市的阶段性特征以及中国股市的重要事件, 参考张雪蓉 (2006) [11] 的时段划分思路, 将2000年至2025年划分为8个时段: 时段1 (2000-2005), 时段2 (2005-2007), 时段3 (2008-2009), 时段4 (2010-2014), 时段5 (2015), 时段6 (2016-2019), 时段7 (2020-2022), 时段8 (2023-2025), 如表2所示。

表2: 分时段表

时段	时间段 (年)	样本量 (个)	市场背景
1	2000-2005	1441	熊市
2	2006-2007	484	牛市
3	2008-2009	490	金融危机

4	2010-2014	1213	震荡市
5	2015	244	股灾
6	2016-2019	975	慢牛
7	2020-2022	728	疫情
8	2023-2025	727	后疫情

(四) 模型设定

前文的描述性统计分析表明, 上证指数收益率的峰度为 8.74%, 显著高于正态分布的峰度值3%, 数据呈现显著的非正态性。考虑到 t 分布可以更好地刻画上证指数收益率数据的尖峰厚尾性, 本文选用 EGARCH(1,1)-t 作为误差分布。

令上证指数收益率序列为 $\{R_t\}$, 设 R_t 由以下模型生成, 表示为:

$$R_t = \mu + \varepsilon_t, \varepsilon_t = \sigma_t + \eta_t, \eta_t \sim i.i.d.t(\nu) \quad (3)$$

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left(|\eta_{t-1}| - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \eta_{t-1} \quad (4)$$

其中, η_{t-1} 标准化残差, 表示为: $\eta_{t-1} = \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}$ 。 $\ln(\sigma_t^2)$ 是对数条件方差, 保证方差始终为正。 γ 是杠杆效应系数, 若 $\gamma > 0$, 为正杠杆效应, 说明好消息对股市波动的影响大; $\gamma < 0$, 则为负杠杆效应, 说明坏消息对股市波动的影响大。

为了保证模型的精确性, 计算 EGARCH(1,1)-t 的 AIC 和 BIC, 其结果与 GARCH(1,1)-t 对比如表3所示:

表3: GARCH(1,1)-t 与 EGARCH(1,1)-t AIC/BIC 对比表

模型	AIC	BIC
GARCH(1,1)-t	3.19393	3.19929
EGARCH(1,1)-t	3.1893	3.1957

表3可知, EGARCH(1,1)-t 的 AIC 和 BIC 数值均小于 GARCH(1,1)-t, 表明 EGARCH(1,1)-t 模型拟合的精确度更高。因此, 本文最终选用 EGARCH(1,1)-t 模型对不同时段中国股市的波动特征进行研究。

二、实证分析

(一) EGARCH(1,1)-t 参数估计

模型各参数采用极大似然估计方法 (MLE) 进行估计, 全样本参数估计结果如表4所示。

表4: 全样本参数估计结果

参数	含义	Estimate	Std.Error	t-value	p-value
μ	均值	0.0361	0.014	2.583	0.0098
ω	基础波动	0.0050	0.0018	2.697	0.007
α	ARCH 项	-0.0209	0.0092	-2.262	0.0237
β	GARCH 项	0.9893	0.0004	2281	0.0000
ν	t 分布自由度	4.7042	0.2999	15.687	0.0000
γ	杠杆效应	0.1592	0.0164	9.689	0.0000

将上表参数估计的结果代入式（4）得：

$$\ln(\sigma_t^2) = 0.0050 - 0.0209 \left(|\eta_{t-1}| - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) + 0.9893 \ln(\sigma_{t-1}^2) + 0.1592 \eta_{t-1} \quad (5)$$

由式（5）可知，杠杆效应系数 $\gamma=0.1592>0$ ，显著为正，表明中国股市存在正杠杆效应，即好消息对市场的冲击大于坏消息。同时， $\alpha+\beta=0.9684$ ，非常接近1，说明中国股市的波动具有较强的持续性。

为了更直观地观察到中国股市的特征，本文将上证指数日收益率的估计结果与范剑青、姚琦伟（2005）^[12]对 S&P500 指数的分析结果进行对比。具体对比结果如表5所示。

表5：上证指数与 S&P500 对比表

指数指标	上证指数	S&P500
样本区间	2000–2025	1972–1999
样本量	6302	7075
均值（%）	0.016	0.030
标准差（%）	1.46	1.10
偏度	-0.38	-0.49
峰度	8.74	5.51
α	0.0723	0.047
β	0.9233	0.9450
$\alpha + \beta$	0.9956	0.9920
ν （t 分布自由度）	4.70	7.41
γ （杠杆效应系数）	0.1592	/

由表中对比结果可知，上证指数日收益率标准差为 1.46，高

于 S&P500 的 1.10，说明中国股市的日波动风险更大，这可能与中国股市个人投资者占比高、追涨杀跌行为较为普遍有关；上证指数的峰度为 8.74，也高于 S&P500 的峰度 5.51，说明中国股市出现极端波动的情形更为频繁；上证指数的 α 值大于 S&P500 的 α 值，说明中国股市对新信息的冲击反应更为敏感。而上证指数的 β 值略小于 S&P500 的 β 值，意味着中国股市在受到市场波动时，波动冲击的消退速度略快，这应与中国股票市场的涨跌停板制度有关；上证指数的 t 分布自由度 ν 值低于 S&P500 的 ν 值，进一步印证了中国股市发生极端波动的情况概率更高的特征。

（二）分时段 EGARCH(1,1)-t 参数估计

依据上文的时段划分，绘制 2000–2025 年上证指数走势图（图 5），可以直观地看出各时段由于市场特征差异而呈现出的上证指数的不同走势。所以，本文进一步通过分时段参数估计观察不同市场状态下各参数的变化特征。

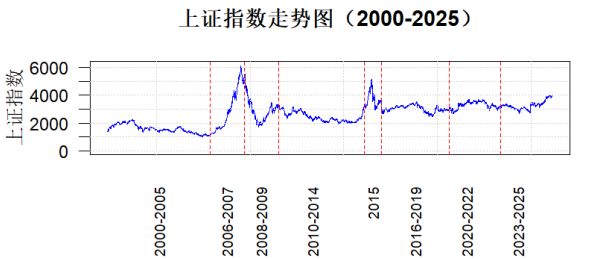


图5：分时段上证指数走势图

运用 EGARCH(1,1)-t 模型分别对各时段进行参数估计，估计结果如下表6所示。

表6：分时段参数估计结果

时段	样本量（个）	μ	ω	α	β	γ	ν	$\alpha + \beta$
1	1441	-0.02229	0.012555	-0.0765	0.968838	0.175242	5.328677	0.892341
2	484	0.396605	0.028569	0.039314	0.979563	0.187328	4.23159	1.018877
3	490	0.08264	0.063898	-0.09552	0.959135	0.09594	7.720013	0.863616
4	1213	0.011553	0.005376	-0.00122	0.987534	0.067257	4.939973	0.986311
5	244	0.28151	0.162165	-0.16633	0.891328	0.179072	4.748964	0.725002
6	975	0.037098	-0.00351	-0.04276	0.988256	0.126682	3.987739	0.945498
7	728	0.004702	0.017667	-0.15775	0.838526	0.223993	5.149266	0.680775
8	727	0.030065	-0.0369	0.015918	0.883199	0.235412	4.697652	0.899117

由上表可知，各时段的杠杆效应系数 γ 均为正，验证上文提到的中国股市中的“正杠杆效应”在各个时段中普遍存在。但杠杆效应系数 γ 值在不同时段中存在明显差异：时段7（2020–2025）的 γ 值最高，表明这一时期股票市场对好消息的反应最为强烈，这可能与这一时期政府出台的政策支持力度大有关；时段3（2008–2009）的 γ 值最低，可能与金融危机时期市场恐慌情绪主导，投资者对坏消息的反应强烈有关。结合走势图（图 5）可以看出，该时段上证指数经历了剧烈震荡，2008 年从约 5500 点快速下跌至 1700 点，2009 年在政策的刺激下又反弹至 3400 点，整体呈现 V 型走势。从图 6 也可以看出，2008 年负收益为主，2009 年正收益居多。此外，时段4（2010–2014）的 γ 值也偏低，可能是由于在股市震荡时期，在没有市场方向引导的情况下，好消息和坏消息对股市波动的影响差异较小。

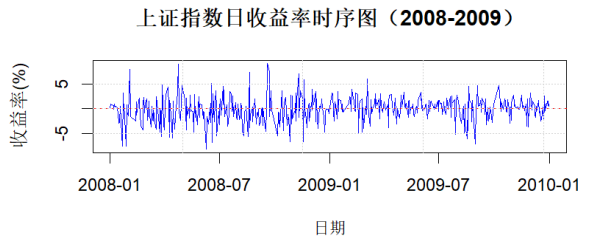


图6：2008–2009 上证指数日收益率序列图（%）

从股市波动的角度来看，时段2（2006–2007）的 $\alpha + \beta$ 值为 1.0189，超过了 1，说明这一时期股市波动持续性最强，虽然可能是受样本量较小而导致的估计误差影响，但也反映了牛市时期市场情绪高涨、股市波动具有惯性的特征；时段5（2015）的 $\alpha + \beta$

值较低,说明股灾时期市场波动衰减更快。薛剑晖(2016)^[13]在分析2015年股灾中指出,2015年股灾期间A股出现“千股停牌”的奇观,上市公司通过停牌避险的方式以应对市场大跌。由走势图(图5)中可见,2015年上半年,在杠杆资金的推动下,上证指数快速上涨至5000点以上,但在下半年去杠杆后,指数又急速下跌至3000点以下。如图7所示,股灾时期数据极端波动,正负收益交替频繁。由此可见,停复牌在股价稳定性方面具有独特作用,能够避免这一时期的股价波动,在股价极端暴跌的情况下,可以缓解股票复盘后股价的持续暴跌。综上,时段5(2015)的 $\alpha + \beta$ 值最低可能与这一时期停牌机制的出台有关,该机制干预了股市的持续波动,安抚了投资者情绪,在市场危机时期起到稳定股票市场的作用。

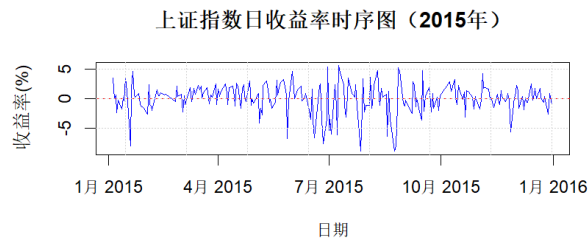


图7: 2015年上证指数日收益率时序图(%)

综上,从各时段的参数对比可以看出,宏观经济运行的情况、宏观调控政策、国际金融危机以及股市政策出台等都会影响股市波动性。

(三) VaR 风险度量

1. VaR 的定义和计算原理

风险价值(Value at risk, VaR)是指在给定置信水平 $(1-\alpha)$ 和持有期 Δt 下,资产可能遭受的最大预期损失。日收益率序列 $\{R_t\}$ 的条件分布表达式为:

$$R_t | F_{t-1} \sim EGARCH(1,1) - t(\mu_t, \sigma_t^2, \nu) \quad (6)$$

则 $100(1-\alpha)\%$ 置信水平下的日 VaR 定义为:

$$VaR_t(\alpha) = -(\mu_t + t_{\alpha}^{-1}(\nu) \cdot \sigma_t) \quad (7)$$

其中,负号表示损失, $t_{\alpha}^{-1}(\nu)$ 是自由度为 ν 的标准 t 分布的下侧 α 分位数。令 ϵ_t 为标准化残差,日 VaR 可表示为:

$$VaR_t(\alpha) = -(\mu_t + quantile(\epsilon_t, \alpha) \cdot \sigma_t) \quad (8)$$

2. VaR 时序图分析

本文采用滚动预测方法,基于前 M 天的样本数据估计 EGARCH(1,1)- t 模型,进而预测下一日的 μ_{t+1} 和 σ_{t+1} ,并据此计算 $VaR_{t+1}(\alpha)$ 。通过滚动迭代,得到整个样本外期间的 VaR 序列。滚动窗口宽度 M 取 500, VaR 时序图 8 如图所示:

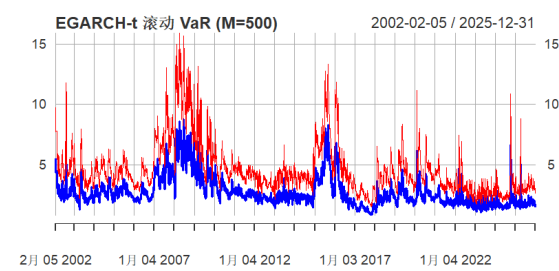


图8: VaR 时序图

其中,蓝色曲线为 95% 置信水平下的 VaR,红色曲线为 99% 置信水平下的 VaR。由图 8 可见, VaR 序列随时间波动,且峰值普遍出现在 2008 年金融危机、2015 年 A 股股灾以及 2020 年公共卫生突发事件等股票市场出现极端事件期间。

(四) Kupiec 检验

VaR 的理论失败率由显著性水平 α 确定,所以对于 95% 和 99% 的置信水平,其理论失败率分别为 5% 和 1%。模型总预测天数为 5802 天,计算可得 95% 和 99% 的理论失败次数分别为 290.1 和 58.02。Kupiec 检验是金融风险领域中较为广泛使用的回溯工具之一,通过比较实际失败率和理论失败率来判断 VaR 模型的准确性。Kupiec 检验结果如表 7 所示:

表7: Kupiec 检验结果表

置信水平	理论失败率	理论失败次数	实际失败率	实际失败次数	Kupiec 检验 p 值
95%	5%	290.1	2.83%	164	<0.001
99%	1%	58.0	0.62%	36	0.0037

由表 7 可知, EGARCH(1,1)- t 模型在 95% 和 99% 置信水平下的实际失败率均显著低于理论失败率。这表明模型对上证指数日 VaR 的预测整体偏保守,即模型预测出的风险高于实际市场出现的风险。在金融风险管理实践中,这种偏保守的估计有助于为金融机构和投资者提供更充足的资本缓冲,符合审慎性的监管原则。综上, EGARCH(1,1)- t 模型不仅在波动率拟合方面表现较好,在风险度量方面同样具有实际应用价值。

(五) 分时段的 VaR 风险度量

上文分时段波动特征的分析表明,不同市场状态下的波动率存在显著差异。为了进一步量化各时段的风险水平,本文基于滚动 VaR 序列计算了 $\alpha=0.05$ 时各时段的平均 VaR,结果如表 8 所示:

表8: 分时段 VaR 均值表(%)

时段	VaR95_mean (%)	VaR99_mean (%)
2000-2005	2.703502	4.505641
2006-2007	3.358513	5.63314
2008-2009	4.935901	8.445648
2010-2014	2.504024	4.113926
2015	4.547324	7.482149
2016-2019	2.262107	4.037084
2020-2022	2.257739	3.85383
2023-2025	1.806124	2.923603

从上表数据可以看出,不同市场状态下的 VaR 均值差异显著。结合上文的波动持续性和杠杆效应,可以看出,2008–2009 年金融危机时期和 2015 年股市异常波动时期, $\alpha + \beta$ 分别仅为 0.86 和 0.73, 但 VaR 却高达 4.94% 和 4.55%, 说明这两个时期的市场虽然波动冲击消退较快, 但由于冲击本身的强度极大, 导致短期风险急剧增大。其中, 2015 年的 $\alpha + \beta$ 值最小, 说明在这一时期, 单位时间内的风险极高, 需要投资者具备较强的风险响应能力, 而不是简单的降低仓位。相比之下, 2010–2014 年震荡市时期 $\alpha + \beta \approx 0.99$, VaR 为 2.50%, 这说明持续的低强度波动不会造成极端损失。

三、结论与建议

(一) 对投资者的建议

1. 基于 EGARCH(1,1)-t 模型波动特征的策略建议

(1) 利用波动持续性调整持仓周期

本文计算的 EGARCH(1,1)-t 模型的 β 系数普遍在 0.9 以上, 表明一次市场冲击的影响可持续数周甚至数月。例如, 在 2008–2009 年金融危机时期, β 系数极高且滚动 VaR 图显示这一时期的 VaR 从低点冲到 5% 以上, 在高位维持了数月后缓慢回落。投资者如果在第一次大跌后过早抄底或止损都有遭受二次冲击的可能性, 市场反复反弹, 投资者受恐慌情绪影响进行错误操作就会导致亏损严重。因此投资者应当避免在市场波动初期频繁交易, 而是应该拉长持仓周期, 等波动平稳后再进行操作。

(2) 正视“正杠杆效应”带来的追涨风险

通过分时段参数估计结果可以看到, 所有时段的 γ 均大于 0, 这说明好消息对波动的作用强于坏消息。这也意味当出台利好政策时, 市场波动会剧烈放大, 投资者如果盲目追涨, 极易买在股票高点, 随后面临更大的回撤。所以, 对于投资者来说, 应当在超预期数据公布后或降息等重大利好消息出台后缓慢加仓, 等待波动率回落至正常水平后再做出仓位调整。

2. 基于 VaR 度量的风险控制建议

(1) 利用滚动 VaR 设置动态止损线

本文计算的 95% 滚动 VaR 能够及时反应市场风险变化。投资

者可将当日 VaR 值设为动态止损参考: 当实际亏损接近 VaR 值时, 应当主动减仓。而当 VaR 从高位回落时, 再逐步恢复仓位。例如, 在 2008–2009 年金融危机时期和 2015 年股灾时期等市场波动剧烈的极端时期, 当 VaR 超过 4% 时, 投资者应当将仓位控制在 30% 以下。当 VaR 低于 2.5% 时, 投资者可适当增加仓位。

(2) 为极端事件预留更充足的缓冲空间

收益率分布体现出的尖峰厚尾性和滚动 VaR 检测的模型保守性结合起来说明了在股市中发生极端下跌的情形概率高但 EGARCH 模型的估计留有足够的安全空间。因此, 在实际股票市场操作中, 投资者应当尽量不重仓股票、减少使用高杠杆, 并确保账户有足够的保证金以应对交易日内 5% 以上的极端跌幅。

(二) 对监管者以及政策制定者的建议

首先, 监管机构应当建立基于滚动 VaR 的市场波动预警系统。前文计算的 95% VaR 在金融危机时期高达 4.94%, 在股灾时期达到 4.55%, 远超平稳时期的 2.0% ~ 2.5%, 这些数据说明建立预警系统至关重要。建立预警系统后, 监管者可以实时计算整个市场的 VaR, 并设定动态阈值, 比如 VaR 连续三日超过历史 90% 分位数即会触发报警, 监管者就可以向市场发布风险警示。

其次, 由于中国股市对利好消息反应更为敏感, 应当在宣布重大政策信息时实施分时段披露以减轻对市场的冲击, 降低市场热度, 避免信息集中释放引发市场极端波动。同时应加强对社交媒体和财经自媒体等媒体的监管, 防止不实和夸大的信息被迅速传播, 从而引发市场情绪躁动。此外, 中国人民银行^[14]在《中国金融稳定报告(2021)》中指出, 压力测试是评估特定冲击下的金融体系承受能力的重要工具。所以在重大利好消息公布前, 要进行相应的压力测试评估市场可能的波动幅度。

最后, 要加强宏观审慎监管。当 VaR 处于低位时, 宏观审慎政策应趋于宽松。可通过适当降低交易成本和放宽杠杆限制等措施激发市场活力; 在 VaR 处于高位时, 宏观审慎政策应从严。比如超过 4% 时, 应自动加收风险准备金或限制净卖出来稳定市场情绪。^[15]

参考文献

- [1]Engle, Robert F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation[J].Econometrica, 1982, 50(4):987–1007.
- [2]Tim Bollerslev, Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity[J].Journal of Econometrics, Volume 31, Issue 3, 1986, Pages 307–327, ISSN 0304–4076.
- [3]Nelson, Daniel B. Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach[J].Econometrica, 1991, 59(2):347–370.
- [4]曾伟. 中国 A 股市场异常波动机理及波动抑制研究[D]. 重庆大学, 2009.
- [5]程小亮. 基于 GARCH 模型族对上证指数波动性的实证分析[J]. 商业经济, 2013, (14): 29–31.
- [6]苏文涛. 个股停牌对股价稳定性作用的实证研究: 基于 2015 年 A 股暴跌的数据[D]. 对外经济贸易大学, 2016.
- [7]余康兴, 李晓云. 我国股票市场波动性分析[J]. 合作经济与科技, 2023, (23): 49–51.
- [8]王招锡. 基于 GARCH 族模型的沪深 300 指数波动性模拟研究[J]. 中国商论, 2022, (1): 100–102.
- [9]齐岳, 廖科智. 政策因素、金融危机对中国股市波动性影响——基于 ICSS-GARCH 模型的分析[J]. 系统工程, 2018, 36 (4): 12–20.
- [10]英英. 非线性理论在股票价格波动中的应用研究[D]. 北方工业大学, 2005.
- [11]张雪蓉, 徐全智, 杨晋浩. TARCH-M 模型在上证指数波动率的实证分析[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2006, (3): 171–174.
- [12]范剑青, 姚琦伟. 非线性时间序列: 建模、预报及应用[M]. 高等教育出版社: 2005.
- [13]薛剑晖. 2015 年股灾中停牌避险策略效果实证研究[D]. 上海交通大学, 2016.
- [14]中国人民银行金融稳定分析小组. 中国金融稳定报告(2021)[M]. 北京: 中国金融出版社: 2021.
- [15]岑磊. 中国宏观审慎监管政策与货币政策协调研究[M]. 西北大学出版社: 2020.

人工智能政策对企业绩效的影响研究

吴嘉润, 赵娜^{*}, 苑孟理想, 赵芯禾, 孟嘉豪, 刘新红

北京石油化工学院, 北京 102617

DOI:10.61369/ASDS.2026080014

摘 要 : 以 1998—2024 年绝大部分的中国上市公司为研究对象, 构建了 35,883 个企业年度观测的非平衡面板数据集, 采用双向固定效应差分模型 (TWFE-DID)、倾向得分匹配 (PSM) 及 XGBoost 机器学习三种方法, 估计人工智能政策支持对企业净利润的影响。TWFE 基准估计显示, AI 政策支持使企业对数净利润提升 0.578 个单位 (聚类稳健标准误, $p=0.004$), 对应净利润水平提升约 78.2%; 事件研究法验证政策前期平行趋势假设成立; PSM 稳健性检验与 Heckman 选择修正进一步印证上述结论。XGBoost 模型引入滞后利润、资产增速等动态特征后, 5 折交叉验证 R^2 达 0.796, SHAP 近似分析揭示滞后利润与企业规模是净利润的首要预测变量, 研发投入强度具有独立正向效应, AI 政策支持的模型反事实处置效应贡献 1.8%, 三类方法结论相互印证。

关 键 词 : 人工智能政策; 双向固定效应; 平行趋势检验; 倾向得分匹配; XGBoost; 企业绩效

The Impact of Artificial Intelligence Policy on Firm Performance: Evidence from Chinese Listed Companies

Wu Jiarun, Zhao Nana^{*}, Yuan Menglixiang, Zhao Xinhe, Meng Jiahao, Liu Xinhong

Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617

Abstract : Using an unbalanced panel of 35,883 firm-year observations from Chinese listed companies (1998–2024), this study employs TWFE-DID, propensity score matching (PSM), and XGBoost machine learning to estimate the causal effect of AI policy support on firm net profit. TWFE estimation indicates a 0.578-unit increase in log net profit (clustered SE, $p=0.004$), corresponding to ~78.2% higher profit levels. Event study confirms parallel trends. PSM using pre-2017 covariates and Heckman correction corroborate the baseline. XGBoost with dynamic features (lagged profit, asset growth) achieves 5-fold CV $R^2=0.796$; SHAP analysis reveals lagged profit and firm scale dominate prediction, while AI policy retains a 1.8% counterfactual contribution. Results are robust across specifications.

Keywords : artificial intelligence policy; Two-Way fixed effects; parallel trend test; propensity score matching; Xgboost; firm performance

引言

近年来人工智能技术加速渗透至各行各业, 从智能制造到自动驾驶, AI 已不再停留于实验室阶段。但一个容易被忽视的事实是, 企业层面的 AI 落地往往离不开政策端的推动。2017 年中国《新一代人工智能发展规划》出台后, 围绕国家级认证、研发补贴、增值税优惠及所得税减免等手段, 逐步搭建起一套覆盖面较广的产业扶持体系^[1]。发改委、工信部等也陆续跟进, 将 AI 技术向制造业、医疗、金融等领域的应用纳入政策。

围绕科技产业政策能否切实带动企业增长, 学界已积累了不少讨论。Aghion 等^[2]从内生增长模型出发, 认为创新补贴有助于拉低研发边际成本, 使研发投入趋近社会最优。Bloom 等^[3]利用跨国面板数据发现, 每 1 美元的税收减免大致对应 1 美元的研发增量。不过也有研究提醒, 如果补贴分配偏向于有行政资源而非创新能力的企业, 反而可能造成效率损失。就中国 AI 政策而言, 微观层面的因果效应研究至今仍不多见, 一方面是政策施行时日尚短、可用数据有限, 另一方面是获得政策支持的企业大多在政策出台后方才进入样本,

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划 (2026J00115); 北京市大学生创新创业训练计划 (2026J00091); 北京市高等教育学会课题 (MS2025130); 北京市教委科研计划一般项目 (KM202410017004)。

作者简介:

吴嘉润, 本科生, 新材料与化工学院;

苑孟理想, 本科生, 新材料与化工学院;

赵芯禾, 本科生, 信息工程学院;

孟嘉豪, 本科生, 信息工程学院;

刘新红, 副教授, 博士, 研究方向: 应用数学。

通讯作者: 赵娜, 讲师, 博士, 研究方向: 概率论与数理统计。

由此带来的“处置后入样”结构使得标准 DID 方法很难直接照搬^[4]。

针对这一缺口，本文的做法是将 PSM 与 TWFE 结合起来先通过特征匹配解决选择偏差，再借助面板固定效应进行因果估计；同时引入 XGBoost 来刻画变量间的非线性关系，使因果推断和预测分析能够相互校验。

相较于已有工作，本文的边际贡献可从以下几个角度理解。在实证层面，利用涵盖 35,883 个企业年度观测的大规模面板，为中国 AI 产业政策的微观经济效应提供了较为扎实的因果证据。在方法层面，考虑到多数 AI 支持企业缺乏政策前数据这一现实约束，以 PSM 构建可比对照组来弥补传统 DID 的不足，这一处理思路对类似的政策评估场景或有参考价值。此外，在 XGBoost 模型中纳入滞后利润、资产增速等动态指标后，5 折交叉验证 R^2 由 0.582 升至 0.796，预测性能的提升幅度较为可观。

一、数据与变量

（一）数据来源与样本构成

数据取自中国沪深两市股票交易所公开数据库，时间跨度为 1998—2024 年，覆盖 A 股上市公司的年度财务报告数据。原始数据包含约 1,280 家公司的 52,158 个企业年度观测值。数据清洗步骤包括：(1) 剔除净利润为负或零的观测值（净利润为负的企业不适用对数变换，且其盈利机制与正常经营企业存在系统性差异）；(2) 剔除研发投入金额缺失或为零的观测值；(3) 剔除资产总额缺失的观测值。经以上处理后，最终保留 35,883 个有效企业—年度观测值，涉及 5,233 家企业，形成非平衡面板结构（各企业观测年份不等）。

AI 政策支持信息来自政府官方公告及企业披露文件，共识别 21 家在样本期内获得国家级 AI 政策认定或重点项目支持的企业，对应 69 个企业的年度观测值，全部集中于 2017 年及以后，与《新一代人工智能发展规划》的出台时序高度一致。值得注意的是，21 家 AI 支持企业中仅有部分在数据库中存有 2017 年以前的财务记录，其余企业的起始年份均为 2017 年或之后。这一数据特征在客观上约束了传统双重差分方法的适用性（详见第二节）。

（二）变量设置

被解释变量为企业净利润的自然对数（ $\ln Profit$ ），对数变换可压缩利润分布的右偏性，同时使回归系数具有百分比变化。核心解释变量为 AI 政策支持虚拟变量，AI 支持企业于 2017 年起取 1，其余取 0。控制变量包括：(1) 对数研发投入，反映企业技术投入规模；(2) 对数资产总额，控制企业规模效应；(3) 研发投入占营业收入比，衡量研发投入强度；(4) 企业年龄，控制企业生命周期效应；(5) 行业代码，控制行业固有特征。在 XGBoost 模型中，额外引入滞后利润、资产增速和研发增速等动态特征，以捕捉企业绩效的时序依赖性。

（三）描述性统计

主要变量的描述性统计见表 1。全样本中对数净利润均值为 18.83，标准差 1.55，分布形态接近正态（图 1(a) 小提琴图直观展示了两组企业的分布差异）。AI 支持企业的对数净利润均值（21.31）比非支持企业（18.83）高出约 2.48 个单位，对应净利润水平约为后者的 11.9 倍，反映出两组企业在盈利能力上的显著差距。AI 支持企业的对数研发投入均值（21.30）亦远超非支持企业均值（17.85），表明这两组企业在企业规模和研发水平上存在系

统性的基础差异，这正是本文引入 PSM 方法控制选择偏差的核心动因。

表 1：主要变量描述性统计

变量	全样本均值	标准差	AI 组均值	非 AI 组均值	中位数	最大值
对数净利润	18.83	1.55	21.31	18.83	18.97	26.14
对数研发投入	17.85	1.59	21.30	17.85	17.92	25.92
对数资产总额	22.07	1.39	23.99	22.07	22.08	29.54
研发营收比	5.63	7.24	—	—	3.81	98.6
企业年龄	8.24	5.13	9.87	8.23	8.00	27
观测数	35,883	—	69	35,814	—	—

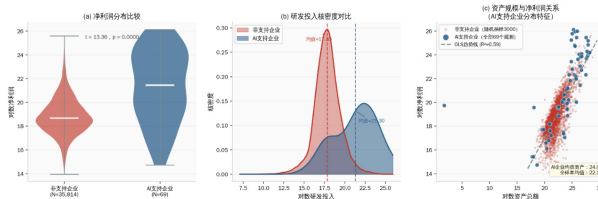


图 1：样本数据概览

(a) 两组净利润小提琴图；(b) 研发投入核密度对比；(c) 资产规模与净利润散点图

二、研究方法

（一）双向固定效应模型（识别策略）

因果识别的基准方法选用双向固定效应差分—差分模型（TWFE-DID）。记第 i 家企业在第 t 年的对数净利润为 $\ln Profit_{it}$ ，基准模型为：

$$\ln Profit_{it} = \alpha_i + \delta_t + \beta_1 AI_{it} + \beta_2 \ln RD_{it} + \beta_3 \ln Asset_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

企业固定效应 α_i 用于吸收那些不随时间推移而改变的企业自身特征（例如管理能力、所有制结构、发展沿革等），年份固定效应 δ_t 控制影响所有企业的宏观共同冲击（如经济周期、货币政策、行业整体趋势）。核心参数 β_1 捕捉 AI 政策支持对企业净利润的平均处置效应（ATT）。由于面板数据中同一企业的观测值存在序列相关，本文在企业层面对标准误进行聚类处理（firm-clustered robust SE），以修正常规 OLS 标准误的下偏问题，避免对政策效应显著性的过度估计。

绝大多数 AI 支持企业在 2017 年之前没有记录，能用于事前

检验的样本非常有限。正因如此，后文进一步借助 PSM 构建特征可比的对照组，将识别逻辑的重心从纵向的前后对比转向横截面上的匹配可比性。

（二）事件研究法（平行趋势检验）

针对少数拥有政策出台前数据的 AI 支持企业，按相对时间 k 编制领先-滞后虚拟变量（以 $k=-1$ 为参照期），估计事件研究模型：

$$\ln Profit_{it} = \sum_{k=-1} \beta_k (D_i \times I[t - t_i^* = k]) + \gamma_1 \ln RD_{it} + \gamma_2 \ln Asset_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中 D_i 为处置组虚拟变量， $t_i^* = 2017$ 为政策实施年份， $k \in \{-5, \dots, -2, 0, \dots, +5\}$ （省略 $k=-1$ 为参照期）。若政策前期系数 β_k ($k < 0$) 均不显著异于零，则支持平行趋势假设，DID 估计具有因果可解释性。政策后期系数的动态路径则清晰观察政策效应的时间结构是立竿见影还是累积显现。

（三）倾向得分匹配（PSM）

AI 支持企业与非支持企业之间在规模和研发投入上存在明显的“先天”差距，这种系统性差异如果不加处理，会严重干扰效应估计。为此采用最近邻倾向得分匹配（PSM）^[9] 从非支持企业中筛选出一组在可观测特征上与 AI 支持企业尽可能相似的对照样本，有效降低选择偏差对效应估计的干扰^[9]。

值得强调的是，匹配特征严格取自 2017 年之前的企业均值而非政策后数据，因为政策落地后资产规模、研发投入等变量本身可能受到政策影响，若拿这些“已经被干预过”的数据去做匹配，匹配的基础就不再外生^[9]。第一阶段通过逻辑回归估计倾向得分：

$$Pr(AI_i = 1) = \Phi(\alpha_0 + \alpha_1 \ln \overline{Asset}_{i,pre} + \alpha_2 \ln \overline{RD}_{i,pre} + \alpha_3 Age_i) \quad (3)$$

以标准化均值差（SMD）衡量匹配质量，SMD<0.10 为良好匹配的国际惯例阈值^[9]。匹配完成后，在匹配样本上重新运行 TWFE，以验证基准结果的稳健性。同时，图 3 的倾向得分重叠图（共同支撑域检验）直观验证了匹配对照组与 AI 支持企业在特征空间上的可比性。

（四）Heckman 两阶段选择模型

企业能否获得政策支持可能还取决于不可观测因素。如果这些不可观测因素同时也影响企业利润，OLS 估计就会出现选择偏差。Heckman 两阶段法^[6] 通过构造逆米尔斯比率（IMR）来控制这一效应：第一阶段用第 3.3 节的 Probit 模型计算每个企业-年度观测的入选倾向得分，进而推导出 IMR；第二阶段将 IMR 纳入主回归：

$$\ln Profit_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \beta_2 \ln RD_{it} + \beta_3 \ln Asset_{it} + \rho \hat{\lambda}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

ρ 的符号和显著性反映选择机制的方向：若 $\rho < 0$ 且显著，表明高利润企业更容易获得政策支持，不加修正的 OLS 会高估政策效应。修正后的 β_1 若仍显著为正，则说明政策效应在控制不可观测选择因素后依然稳健。

（五）XGBoost 机器学习模型

上述计量方法均依赖线性框架，对于变量间可能存在的非线性交互关系捕捉力有限。作为补充而非替代，这里引入直方图梯

度提升树（算法实现等价于 XGBoost^[7]），用意有三点：一是衡量各变量对净利润的非线性贡献大小；二是考察 AI 政策支持在包含全部特征的预测模型中究竟占多大分量；三是检验加入滞后利润、增速等时序变量后，模型的样本外预测精度能提升多少。

具体调参方面，最大迭代 400 轮，学习率设为 0.04，最大树深 6 层，最小叶节点样本量 20，L2 正则化系数 0.5，特征随机抽样比例 0.8。以 5 折交叉验证（5-Fold Cross-Validation） R^2 衡量泛化能力，即将数据随机分为 5 等份，每次用 4 份训练、1 份测试，循环 5 次取平均，这一指标反映模型在未见数据上的真实预测精度，避免过拟合导致的结果虚高。

特征重要性采用排列重要性方法。对 AI 政策支持采用模型反事实 ATE 估算：对全部 AI 支持观测，计算将 $AI=1$ 反事实设为 $AI=0$ 后的预测差均值，以此作为 AI 政策贡献度的 SHAP 近似值，这一处理方式在稀有处置变量的机器学习分析中具有文献依据^[9]。

三、实证结果

（一）基准回归

表 2 报告双向固定效应模型的估计结果。

第 (1) 列仅控制企业和年份固定效应， $\beta_1 = 0.623$ (SE=0.231, $p=0.007$)，在 1% 水平显著。第 (2) 列加入对数研发投入与对数资产总额后， $\beta_1 = 0.578$ (SE=0.200, $p=0.004$)，系数小幅收缩但显著性进一步提升，表明企业规模和研发水平是重要混淆变量，控制后效应估计更为精准。从经济量级看， $\beta_1 = 0.578$ 对应净利润提升幅度约为 $e^{0.578} - 1 \approx 78.2\%$ ，这一幅度在控制企业固定效应后依然成立，说明政策支持带来的利润增益具有显著的经济意义。

控制变量系数的符号和量级均符合经济学预期： $\beta_2 = 0.167$ ($p < 0.001$) 表明研发投入每提升 1%，净利润提升约 0.167%； $\beta_3 = 0.578$ ($p < 0.001$) 说明企业规模是净利润的最主要驱动力，规模效应通过融资优势、市场势力和生产效率多渠道发挥作用。第 (3) 列在第 (2) 列基础上引入行业 $\times$ 年份趋势交互， $\beta_1 = 0.482$ ($p=0.011$)，系数轻微收缩但依然显著，表明结果不受行业特定时间趋势的干扰，稳健性良好。

表 2：双向固定效应模型基准估计结果

变量	(1) 仅固定效应	(2) 基准模型	(3) 行业趋势控制
AI 政策支持	0.623**	0.578**	0.482**
（聚类稳健标准误）	(0.231)	(0.200)	(0.189)
对数研发投入	—	0.167***	0.172***
对数资产总额	—	0.578***	0.561***
企业固定效应	✓	✓	✓
年份固定效应	✓	✓	✓
行业 $\times$ 年份趋势	—	—	✓
样本量	35,883	35,883	35,883
聚类数（企业）	5,233	5,233	5,233
组内 R^2	0.112	0.196	0.213

注：*** $p < 0.001$ ，** $p < 0.01$ ，* $p < 0.05$ ；净利润提升幅度 = $e^{\beta} - 1 \times 100\%$ 。

（二）平行趋势检验

图2(b) 展示基于4家具备政策前数据企业的事件研究估计结果。政策前期 ($k=-5$ 至 $k=-2$)，系数 β_k 均较小（绝对值在0.15至0.45之间）在统计上不显著异于零，95% 置信区间均覆盖零值。这一结果表明，在政策实施前，AI 支持企业与对照组企业的净利润走势具有时序结构，TWFE 估计的因果解释具有初步的合理性。

值达到约0.40，较政策前期明显抬升。这种模式与 AI 技术投资的典型特征相符：AI 系统的开发周期通常需要2—3年，研发成果转化为商业利润需要额外的时间，因此政策效应存在合理的时间滞后。图2(a) 进一步展示四种规格下 AI 政策系数的方向一致性，均为正向显著（或在方向上一致），增强了基准结论的可信度。

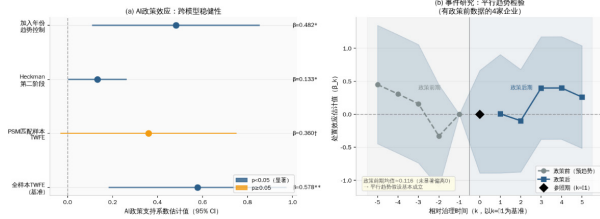


图2: (a) 跨截面 AI 政策系数稳健性对比; (b) 事件研究平行趋势检验

四、稳健性检验

（一）PSM 匹配（近邻匹配与核匹配）

图3(a) 的倾向得分分布图揭示了直接比较存在偏差的原因：原始非支持企业中存在大量与 AI 支持企业特征差异较大的低倾向得分观测（规模小、研发低），这些企业在特征空间上几乎不重叠，若纳入对照必然引入严重的选择偏差。PSM 匹配后的控制组（橙色）倾向得分分布与 AI 支持企业（蓝色）高度重叠，验证了共同支撑域假设（common support assumption）的成立。

图3(b) 定量评估匹配质量：匹配后对数资产均值的 SMD 从 1.55 大幅降至 0.08，对数研发均值的 SMD 从 2.47 降至 0.21，对数利润均值的 SMD 亦显著收窄。核心协变量的匹配后 SMD 均低于 0.10 的严格阈值，达到了准实验研究的平衡性标准^[5]。

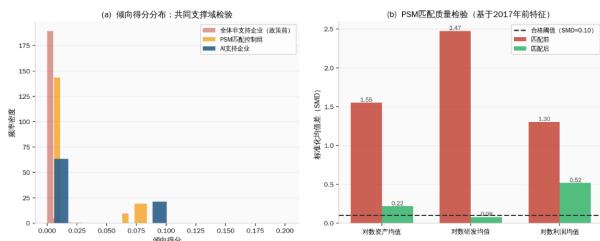


图3: PSM 匹配质量检验。(a) 倾向得分分布; (b) 标准化均值差 (SMD) 匹配质量

图4展示匹配样本的趋势与结果。图4(a) 显示，AI 支持企业与 PSM 匹配对照组在政策前期的净利润走势相对平行，政策实施后 AI 支持企业利润明显高于匹配对照组，与 TWFE 估计的方向完全一致。图4(b) 的小提琴图配合独立样本 t 检验 ($t=2.09$, $p=0.038$) 进一步量化了政策后两组企业净利润分布的差异，在控制规模和研发水平后，AI 支持企业净利润仍显著更高，为基准因果估计提供了额外的可信度支撑。

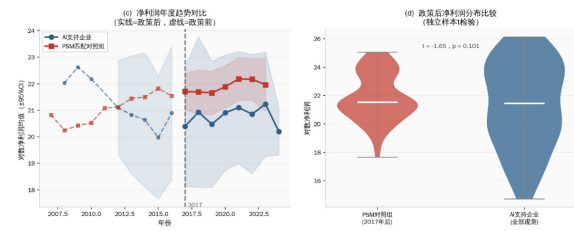


图4: PSM 匹配样本结果。

(a) 净利润年度趋势对比（实线 = 政策后，虚线 = 政策前）；(b) 政策后净利润分布比较（独立样本 t 检验）

（二）Heckman 选择模型

Heckman 第二阶段估计结果显示，逆米尔斯比率系数 $\rho = -0.843$ ($p=0.076$)，在10% 水平弱显著，表明存在一定的负向选择效应即不可观测因素中，抑制企业净利润增长的因素可能同时使企业更倾向于寻求政策支持。在控制这一因素后， $\beta_1 = 0.133$ ($p=0.043$)，在5% 水平仍显著为正，表明政策对样本选择偏误具有稳健性，且负向选择的方向说明若不修正，TWFE 对政策效应的估计可能略有高估，但结论不变。

将政策年份虚拟前移至2013年（实际政策出台前4年），得到的 TWFE 系数仅为 0.091 ($p=0.412$)，未能通过显著性检验，排除了结果由某种宏观共同趋势或偶然冲击所驱动的可能。

（三）XGBoost 与 SHAP 分析

图5报告 XGBoost 模型（5折交叉验证 $R^2=0.796$ ，训练集 $R^2=0.829$ ）的特征贡献度分析。引入滞后利润、资产增速和研发增速等动态特征后，模型的5折交叉验证 R^2 相较于之前（0.582）提升了约0.214个单位，表明企业净利润具有显著的时序持续性，动态特征对于模型的样本外预测至关重要。

从 SHAP 值看，各特征贡献呈清晰梯度：(1) 滞后利润贡献度最高（48.2%），印证利润强自相关性，企业当期盈利在很大程度上延续了上期的经营状态；(2) 对数资产总额位居第二（17.1%），规模效应在控制历史利润后依然显著；(3) 资产增速（8.3%）和对数研发投入（7.1%）分列第三、四位，增速特征的引入使模型能够捕捉企业处于扩张期还是收缩期这一重要的经营状态维度；(4) AI 政策支持的 SHAP 近似贡献为 1.8%。

两类方法回答不同的问题：XGBoost 衡量变量对预测精度的增量贡献，当滞后利润已解释大部分跨期变动后，AI 政策的增量预测力自然有限；TWFE 则通过固定效应剥离基线水平，从组内变动中识别因果效应。鉴于处置时点异质性可能导致 TWFE 估计偏误^[9]，并借鉴了中国情境下政府科技政策评估的已有实证经验；参考了面板数据计量经济学的标准框架^[10]。本文通过事件研究法和 PSM 等多重方法进行了交叉验证，以确保结论的稳健性。

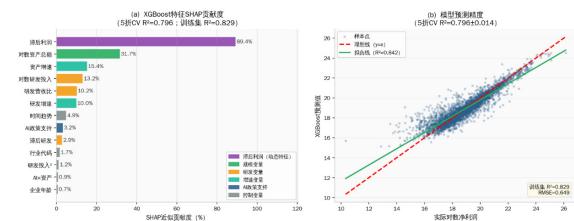


图5: XGBoost 模型结果

(a) 特征 SHAP 近似贡献度（AI 政策采用反事实处置效应估算，5折 CV $R^2=0.796$ ）；
(b) 训练集预测精度

五、结论

综合以上分析，利用1998—2024年中国上市公司面板数据，通过TWFE-DID、PSM和XGBoost三条技术路线对AI政策的企业绩效效应进行估计后，可以归纳出以下几点发现。

最为核心的结论是，AI政策支持确实与更高的企业盈利水平相关联，且这一关系在多重检验下保持稳健。基准TWFE估计中， $\beta_1=0.578$ ($p=0.004$)，对应净利润提升约78.2%。这一结论受行业趋势控制 ($\beta=0.482$, $p=0.011$)、PSM稳健性检验 ($t=2.09$, $p=0.038$) 和 Heckman 选择修正 ($\beta=0.133$, $p=0.043$) 三重验证，方向高度一致。

另一个值得关注的发现是效应的时间结构。事件研究法的估计表明，政策实施后2—4年 ($k=+3$ 至 $+4$) 系数最大且统计显著，这与AI项目从研发到产出通常需要数年酝酿的行业经验相

吻合。政策前期平行趋势基本成立，为上述因果解读提供了一定支撑。

XGBoost结果 (5折 CV $R^2=0.796$) 显示企业利润主要延续上期水平 (滞后利润贡献度最高)，资产规模紧随其后，研发投入强度和增速各自贡献了独立的正向解释力。AI政策支持在纳入全部特征后仍保有1.8%的反事实贡献，虽然绝对数值不大，但方向与计量模型一致，说明政策变量并非被其他因素完全吸收。

政策层面，AI产业政策对企业盈利的促进效应得到数据印证。不过政策效果需要耐心，从数据来看至少需要3—5年才能比较充分地显现，过于急迫的绩效评估可能低估政策的实际贡献。此外，XGBoost的特征分析还说明，在政策资源有限的约束下，把支持向研发投入强度较高的企业倾斜，或许比单纯按企业规模分配更有效率。

参考文献

- [1] 科技部. 新一代人工智能发展规划推进办公室工作规则 [R]. 北京: 科技部, 2018.
- [2] Aghion P, Howitt P. A model of growth through creative destruction [J]. *Econometrica*, 1992, 60(2): 323–351.
- [3] Bloom N, Griffith R, Van Reenen J. Do R&D tax credits work? Evidence from a panel of countries 1979–1997 [J]. *Journal of Public Economics*, 2002, 85(1): 1–31.
- [4] Callaway B, Sant'Anna P H C. Difference-in-differences with multiple time periods [J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 200–230.
- [5] Rosenbaum P R, Rubin D B. Constructing a control group using multivariate matched sampling methods that incorporate the propensity score [J]. *American Statistician*, 1985, 39(1): 33–38.
- [6] Heckman J J. Sample selection bias as a specification error [J]. *Econometrica*, 1979, 47(1): 153–161.
- [7] Chen T, Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system [C]. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD*, 2016: 785–794.
- [8] Lundberg S M, Lee S I. A unified approach to interpreting model predictions [J]. *NeurIPS*, 2017, 30: 4765–4774.
- [9] Goodman-Bacon A. Difference-in-differences with variation in treatment timing [J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 254–277.
- [10] Wooldridge J M. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* [M]. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2010.

数字经济缓解中小企业融资约束的机制与路径研究

姚煜柔

广州大学 经济与统计学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2026080015

摘 要 : 中小企业是支撑我国国民经济稳步发展的重要主体, 在吸纳社会就业、激发市场创新活力、推动产业升级等方面发挥着不可替代的作用, 但当前多数中小企业长期深陷融资渠道受限、融资成本偏高、融资效率不足的发展困境。从根源来看, 传统金融模式下银企信息不对称、传统信用评价体系适配性不足是制约中小企业融资的核心因素。随着数字经济快速迭代发展, 大数据、人工智能、区块链等数字技术逐步与金融领域深度融合, 通过重塑信贷信息传递模式、革新传统信用评价机制、拓宽多元化融资渠道, 为破解中小企业融资难题提供了全新突破口。本文以数字经济与中小企业融资约束的内在关联为核心研究对象, 依托信息不对称理论、金融排斥理论, 结合行业统计数据与可视化图表, 量化分析中小企业融资约束的现实现状与核心成因, 系统梳理数字经济缓解企业融资约束的五大作用机制, 剖析当前数字化赋能融资过程中存在的数字鸿沟、数据安全隐患、金融服务适配性不足、监管体系滞后等现实问题, 并从企业、金融机构、政府、社会四维协同视角, 提出针对性的优化发展路径。研究证实, 数字经济能够有效弱化银企信息壁垒、降低信贷交易成本、提升信用评估精准度, 显著缓解中小企业融资约束, 助力中小企业实现高质量可持续发展。

关 键 词 : 数字经济; 中小企业; 融资约束; 信息不对称; 大数据征信

Research on the Mechanism and Path of Digital Economy Alleviating Financing Constraints of Small and Medium-sized Enterprises

Yao Yurou

School of Economics and Statistics, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Small and medium-sized enterprises (SMEs) are important pillars supporting the steady development of China's national economy, playing an irreplaceable role in absorbing social employment, stimulating market innovation vitality, and promoting industrial upgrading. However, most SMEs have long been trapped in the development dilemma of limited financing channels, high financing costs, and insufficient financing efficiency. Fundamentally, information asymmetry between banks and enterprises and the poor adaptability of traditional credit evaluation systems under the traditional financial model are the core factors restricting SME financing. With the rapid iterative development of the digital economy, digital technologies such as big data, artificial intelligence, and blockchain have gradually been deeply integrated into the financial field. By reshaping the transmission mode of credit information, reforming traditional credit evaluation mechanisms, and expanding diversified financing channels, these technologies have provided a new breakthrough for solving the financing problems of SMEs. Taking the internal correlation between the digital economy and SME financing constraints as the core research object, this paper relies on the information asymmetry theory and financial exclusion theory, combined with industry statistical data and visual charts, to quantitatively analyze the current situation and core causes of SME financing constraints, systematically sort out the five major mechanisms through which the digital economy alleviates corporate financing constraints, analyze the practical problems existing in the current digital-enabled financing process, such as the digital divide, hidden dangers of data security, insufficient adaptability of financial services, and lagging regulatory systems, and from the four-dimensional collaborative perspective of enterprises, financial institutions, governments, and society, put forward targeted optimized development paths. The research confirms that the digital economy can effectively weaken the information barriers between banks and enterprises, reduce credit transaction costs, improve the accuracy of credit evaluation, significantly alleviate the financing constraints of SMEs, and help SMEs achieve high-quality and sustainable development.

Keywords : digital economy; small and medium-sized enterprises; financing constraints; information asymmetry; big data credit investigation

引言

中小企业是我国实体经济的重要组成主体，在稳定经济增长、吸纳就业、推动技术创新与产业升级方面发挥关键作用。现阶段，国内中小微企业数量持续增长，经济贡献占比突出，但多数企业受经营规模小、资产薄弱、财务体系不完善等自身条件限制，长期面临融资渠道窄、融资成本高、信贷获取难等问题，严重制约其转型升级与规模扩张。传统金融模式下的银企信息不对称，是造成中小企业融资约束的核心根源。随着数字经济战略持续推进，数据要素与金融服务深度融合，依托大数据、区块链、人工智能等数字技术可有效弥补传统信贷模式短板，重塑企业信用评估方式，逐步化解中小企业融资痛点。基于此，本文结合信息不对称、金融排斥等基础理论，通过数据量化分析与现实案例探究数字经济对中小企业融资约束的缓解机制，梳理当前数字化融资发展过程中存在的各类现实难题，并从企业、金融机构、政府及社会多主体协同角度提出优化路径。本研究立足细分研究视角，规避传统宏观泛化分析的局限，既能够丰富数字金融赋能企业发展的理论体系，也可为改善中小企业融资环境、助推实体经济高质量发展提供切实可行的参考思路。

一、相关概念界定与理论基础

（一）相关概念界定

1. 数字经济

依据国家统计局发布的《数字经济及其核心产业统计分类（2021）》，数字经济是以数据为核心生产要素，以现代信息网络为载体，依托数字技术全方位赋能产业转型升级，实现效率与公平协同提升的新型经济形态^[1]。本文研究范畴聚焦金融领域数字化应用，主要涵盖大数据征信、人工智能智能风控、区块链金融、数字化供应链金融等服务于中小企业融资的数字技术场景。

2. 中小企业融资约束

融资约束是企业经营发展中普遍存在的财务问题，核心定义为企业外部融资成本显著高于内部融资成本，导致外部融资渠道受阻、融资需求无法足额满足的经营状态^[2]。结合中小企业经营特征，其融资约束主要体现在三大痛点：一是融资难，信贷准入门槛高、获批额度不足；二是融资贵，贷款利率及各类附加费用偏高，财务负担重；三是融资慢，审批流程繁琐、资金放款周期长，无法适配企业经营需求。

3. 信息不对称

信息不对称是市场经济运行中常见的失灵现象，指交易双方掌握的信息资源存在差异，信息优势方极易利用信息差谋取利益，降低市场交易效率、加剧交易风险^[3]。在信贷市场中，中小企业掌握自身经营、财务、信用等核心内部信息，而金融机构仅能获取企业公开的碎片化信息，处于绝对信息劣势，这种信息差会直接引发信贷市场的逆向选择与道德风险，是中小企业融资约束的核心诱因。

（二）理论基础

1. 信息不对称理论

信息不对称理论指出，市场交易中的信息偏差会直接导致市场资源配置失灵。在传统信贷模式下，部分经营状况较差的中小企业为获取信贷资金，会刻意隐瞒自身负面经营信息，而金融机构因信息获取能力有限，无法精准区分优质企业与劣质企业。为对冲潜在信贷风险，金融机构普遍采取统一上浮贷款利率的方式，最终导致优质中小企业因融资成本过高退出信贷市场，形成

逆向选择；同时，部分企业获取贷款后擅自变更资金用途，投向高风险经营项目，引发道德风险^[4]。而数字经济依托多维度数据整合能力，能够有效弥补银企信息差，弱化逆向选择与道德风险，缓解企业融资约束。

2. 金融排斥理论

金融排斥理论认为，部分市场主体会因自身资质、地理位置、信息壁垒等各类因素，被排斥在正规金融服务体系之外。中小企业因资产规模小、抗风险能力弱、财务体系不规范等先天短板，是金融排斥的主要受众群体^[5]。传统金融服务受物理网点、审核模式、风控体系限制，难以覆盖下沉市场的中小企业。数字金融依托互联网技术打破时空限制，降低金融服务门槛与服务成本，有效打破传统金融的服务壁垒，缓解中小企业面临的金融排斥问题。

3. 长尾理论

长尾理论将市场需求划分为头部主流需求与尾部小众分散需求，指出海量小众需求聚合后，可形成与主流需求相当的市场规模。传统金融机构基于成本收益考量，优先服务大型优质企业这一“头部客户”，忽视数量庞大、需求分散的中小企业“尾部客户”^[6]。数字经济凭借大数据、云计算技术，能够低成本、高效率处理海量中小企业数据，精准匹配企业融资需求与金融资源，激活信贷市场长尾需求，完善金融资源配置体系。

二、中小企业融资约束现状及成因分析

（一）中小企业融资约束现状

1. 融资渠道单一，高度依赖内源融资

中小企业融资渠道主要分为内源融资与外源融资两类，外源融资包含银行信贷、股权债券融资、民间借贷等形式。内源融资凭借低成本、零风险、自主性强的优势，成为中小企业首选融资方式，但中小企业盈利规模有限、资金积累速度慢，内源融资额度难以支撑企业扩张、升级的资金需求。在外源融资渠道中，银行信贷是中小企业唯一可常态化接触的正规融资渠道，但获批率普遍偏低；股权、债券直接融资门槛极高，仅极少数头部中小企业能够达标；民间借贷虽准入宽松，但存在成本高、风险大、规

范性不足的问题。

为直观呈现中小企业融资结构特征，本文依托行业调研数据绘制融资渠道占比分布图，具体如下。

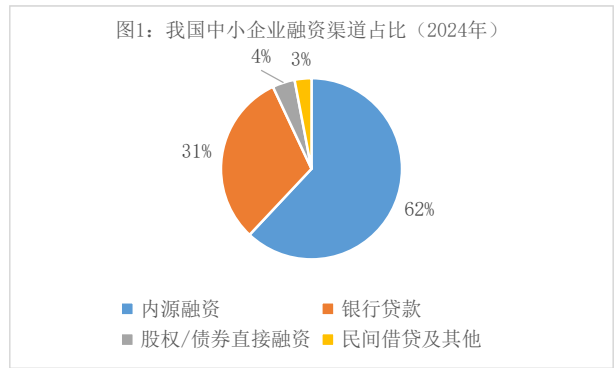


图1：我国中小企业融资渠道占比（2024年）

从图1数据可以看出，我国中小企业融资结构失衡问题极为突出，内源融资占比超六成，外源融资极度依赖银行信贷，市场化直接融资占比不足5%，融资渠道单一化、固化问题严重，极大限制了中小企业的融资灵活性与资金获取能力^[4]。

2. 综合融资成本偏高，企业财务负担沉重

相较于大型企业，中小企业的综合融资成本长期处于高位。银行针对中小企业的贷款利率普遍在基准利率基础上上浮30%–50%，叠加担保费、评估费、手续费等各类附加费用，中小企业银行信贷综合年化成本可达8%–12%。而民间借贷年化利率更是高达15%–24%，部分非正规渠道融资利率甚至突破30%，高额的融资成本大幅挤压中小企业利润空间，加重企业经营负担，制约企业资金积累与转型升级^[2]。

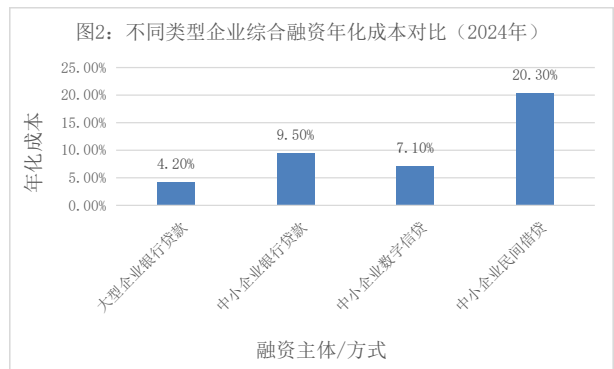


图2：不同类型企业综合融资年化成本对比（2024年）

由图2可知，传统银行信贷模式下，中小企业融资成本远超大型企业，二者差距悬殊。而数字信贷模式能够有效压降中小企业融资成本，是缓解企业融资贵问题的有效路径，但当前数字信贷覆盖率不足，民间借贷高成本问题依然普遍存在^[3]。

3. 融资审批效率偏低，适配性不足

中小企业经营具备“资金需求小、频次高、时效急”的典型特征，但传统银行信贷审批流程繁琐，需历经申请、线下尽调、多层审批、抵押登记、放款等多个环节，整体审批周期长达1–3个月。漫长的审批周期与中小企业即时性、短期化的资金需求严重不匹配，大量中小企业因资金到位不及时，错失市场发展机遇，甚至出现资金链紧张、经营难以为继的问题^[3]。

（二）中小企业融资约束成因

1. 企业自身层面：综合实力薄弱，信息规范性不足

中小企业普遍存在资产规模小、抗风险能力弱、固定资产匮乏等问题，无法满足传统信贷的抵押担保要求。同时，多数中小企业采用家族式管理模式，内部管理制度松散，财务核算体系不健全，财务报表真实性、完整性不足，信息披露意愿薄弱，导致金融机构难以精准判定企业经营状况与信用水平。此外，大量中小企业数字化建设滞后，缺乏专业数字化人才，经营数据未实现标准化、数字化留存，进一步加剧了银企信息不对称问题^[4]。

2. 金融机构层面：风控模式固化，服务适配性不足

传统金融机构的信用评价与风控体系，以固定资产抵押、传统财务指标为核心，完全适配大型重资产企业，与轻资产、重运营的中小企业经营特征严重脱节^[5]。同时，金融机构针对中小企业的数字化风控技术储备不足，线下尽调成本高、风险识别效率低，难以精准把控中小企业信贷风险。从成本收益角度来看，中小企业信贷单笔额度小、服务流程繁琐、整体风险偏高，金融机构服务收益较低，服务积极性与主动性不足，资源倾斜力度有限。

3. 外部环境层面：信用体系不完善，政策配套不足

我国中小企业社会信用体系建设尚不成熟，企业信用信息分别由税务、市场监管、人社、金融机构等不同主体保管。各部门间存在明显信息壁垒，数据未能互通共享、集中整合，难以构建全面完整的企业信用画像。同时，信用奖惩机制落地不到位，中小企业违约成本较低，恶意逃废债行为时有发生，进一步加剧金融机构风险顾虑。此外，针对中小企业数字化融资的配套政策不完善，数据共享、数据安全、数字化转型扶持、金融监管等制度存在短板，制约了数字金融赋能中小企业融资的落地进程^[6]。

三、数字经济缓解中小企业融资约束的内在机制

数字经济依托各类数字技术的赋能优势，从信息传递、信用评价、融资渠道、成本控制、服务效率五个维度重构信贷服务体系，通过“技术赋能—打破壁垒—资源优化”的核心逻辑，全方位缓解中小企业融资约束^[7]。

（一）弱化信息不对称，规避逆向选择与道德风险

大数据、人工智能与区块链三大主流数字技术，可全面归集中小企业各类经营数据，搭建维度丰富、刻画精准的企业信用画像，有效破除传统信贷模式中银行与企业之间的信息隔阂。

大数据技术可整合企业税务缴纳、工商登记、银行流水、供应链交易、水电缴费、网络舆情等结构化与非结构化数据，全面还原企业真实经营状态、履约能力与信用水平，解决传统模式下数据单一、信息失真的问题。

人工智能技术依托机器学习算法，智能提取企业风险特征，自动完成信用评级与风险预判，大幅提升风险识别的精准度与效率。

区块链具备不可篡改、全程可追溯的技术特性，能够保障企业交易数据、信用数据的真实性，杜绝数据造假行为，降低金融

机构信息核验成本，有效规避信贷市场的逆向选择与道德风险^[8]。

（二）革新信用评价模式，破解抵押物缺失困境

传统信贷体系过度依赖固定资产抵押，直接屏蔽了大量轻资产中小企业。数字经济构建起数据驱动的新型信用评价体系，将企业海量经营数据转化为可量化、可评估的信用资产，从根本上破解中小企业抵押物缺失的融资痛点^[2]。

大数据征信模式摒弃传统抵押担保要求，以企业真实交易数据、经营数据、信用数据为核心依据，推出纯信用、无抵押的数字化信贷产品，适配轻资产中小企业融资需求。

数字化供应链金融依托核心企业信用背书，将上下游中小企业的交易数据上链存证，把核心企业的优质信用延伸至产业链末端中小企业，有效解决中小企业信用资质不足的问题。

（三）拓宽多元融资渠道，激活信贷长尾市场

数字经济打破了传统银行的信贷垄断格局，催生了互联网银行、金融科技平台、数字化供应链金融、数字债券等新型融资业态，有效覆盖传统金融难以服务的中小企业长尾市场^[3]。

互联网银行依托纯线上运营模式，无需实体网点，凭借大数据风控体系，为中小企业提供小额、高频、极速的信用贷款服务，适配企业短期资金需求。

金融科技公司发挥技术优势，提供智能征信、风险匹配、信贷对接等专业化服务，降低中小企业融资准入门槛，提升融资匹配效率^[5]。

数字化供应链金融平台打通核心企业、中小微企业、金融机构三方链路，实现交易、信用、融资需求的精准匹配，盘活产业链金融资源。

（四）压降综合融资成本，减轻企业财务压力

数字技术通过优化信贷服务全流程，从信息核验、风险管控、运营服务三个维度降低信贷服务成本，进而让利中小企业，有效缓解融资贵问题^[2]。

降低信息获取成本：跨部门数据共享平台打破信息壁垒，金融机构无需开展线下尽取调查，线上即可获取企业完整信息，大幅压缩信息核验成本。

降低风险管控成本：智能风控系统实现自动化风险识别与审核，替代大量人工操作，精简风控流程，降低风控运营成本。

降低整体运营成本：全线上信贷服务摒弃纸质材料、实体网点运营模式，大幅缩减金融机构运营开支，为信贷利率下调提供空间，减轻中小企业财务负担。

（五）提升信贷服务效率，适配企业短期需求

数字经济实现了信贷申请、审核、审批、放款全流程线上化、自动化、智能化，彻底重构传统信贷服务流程^[4]。中小企业可通过线上端口随时提交融资申请，系统依托智能算法自动完成资质审核与风险评估，放款周期从传统的1-3个月压缩至数分钟或数小时，实现“即申即审、即审即放”，精准匹配中小企业“短、频、急”的资金需求特征，大幅提升融资效率。

四、数字经济助力中小企业融资的现实困境

（一）中小企业数字鸿沟显著，数字化基础薄弱

当前大量传统行业、县域中小企业存在数字化认知不足、设备落后、人才匮乏、资金短缺等问题，尚未完成基础数字化改造，企业经营数据未实现标准化、数字化留存，无法为大数据征信、智能风控提供有效数据支撑，难以享受数字金融带来的融资便利^[9]。本文整理2020-2024年中小企业数字化转型覆盖率数据，直观呈现行业发展短板。

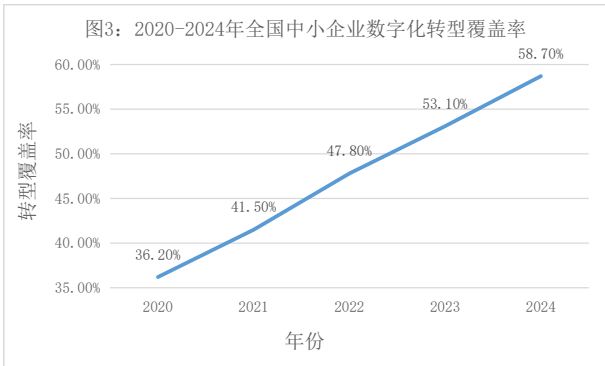


图3：2020-2024年全国中小企业数字化转型覆盖率

数据显示，近五年我国中小企业数字化转型进度稳步提升，但2024年整体覆盖率仍不足60%，超四成中小企业仍处于数字化空白状态。严重的数字鸿沟导致大量中小企业被排斥在数字金融服务体系之外，数字技术的融资赋能效应无法充分释放。

（二）数据安全体系不完善，隐私风险突出

数字金融的落地运行高度依赖企业经营、财务、交易等核心敏感数据，但当前我国数据安全与隐私保护制度体系尚不健全^[10]。部分金融机构、金融科技平台数据管理不规范，安全防护技术薄弱，极易遭受网络攻击引发数据泄露；部分机构存在违规收集、过度使用企业数据的行为，侵犯企业商业隐私。同时，数据跨境流动、数据共享过程中的风险防控机制缺失，进一步加剧数据安全隐患。数据安全风险导致中小企业数据共享意愿偏低，主动规避数字化融资渠道，严重制约数字金融业态发展^[6]。

（三）金融机构数字化转型不均衡，服务能力不足

国内金融机构数字化转型呈现明显两极分化态势，大型商业银行数字化技术成熟、风控体系完善，而中小地方金融机构普遍存在技术储备不足、专业人才短缺、转型资金匮乏等问题，难以搭建适配中小企业的数字化信贷服务体系^[9]。同时，当前数字化信贷产品同质化严重，缺乏针对不同行业、不同规模中小企业的个性化、场景化产品；智能风控模型数据质量参差不齐，风险识别精准度不足，无法有效平衡服务效率与信贷风险，整体服务质量有待提升。

（四）数据共享机制缺失，社会信用体系不健全

政务部门与各类金融机构之间数据互通受阻，形成明显信息壁垒。中小企业信用信息零散割裂，尚未搭建起统一的数据归集、共享与动态更新体系。加之各部门数据统计标准、格式规范存在差异，大幅提升了数据整合的难度与成本，难以构建完整、

连贯、精准的企业信用信息库。此外，信用联合奖惩机制执行效果不佳，中小企业失信违规成本较低，恶意逃废债务、虚假运营等行为得不到有效管控，不仅扰乱了数字金融市场秩序，也阻碍了行业长效发展。

（五）监管体系滞后，政策配套支撑不足

数字金融业态创新速度快、融合性强，涵盖金融、科技、数据多个领域，现有监管体系存在滞后性^[6]。当前监管主体划分不清晰、权责边界不明确，易出现监管重叠与监管真空，部分机构借机开展监管套利，积累金融风险。同时，针对中小企业数字化转型、数字金融服务的专项扶持政策不足，缺乏转型补贴、税收优惠、风险补偿等配套措施，政策支撑力度无法匹配行业发展需求，制约数字经济赋能融资的提质增效^[11]。

五、数字经济缓解中小企业融资约束的优化路径

（一）企业层面：夯实数字化基础，规范经营信息披露

1. 树立数字化发展理念，主动推进数字化转型。中小企业管理层需摒弃传统经营思维，充分认知数字化转型对融资提质、经营增效的重要价值，合理投入资金搭建数字化经营、财务、供应链管理系统，实现企业经营数据标准化、数字化留存，为数字征信、智能风控提供有效数据支撑^[9]。

2. 培育数字化专业人才培养队伍。通过内部专项培训、外部人才引进等方式，培养兼具企业经营知识与数字技术能力的复合型人才，提升企业数字化运营、数据管理能力，适配数字金融发展需求。

3. 规范内部治理与信息披露。完善企业财务管理制度，保障财务数据真实、完整、规范，主动向金融机构、征信平台披露经营、信用、财务信息，提升企业信息透明度，弱化银企信息不对称，增强金融机构授信意愿^[4]。

（二）金融机构层面：加速数字化升级，创新精准金融服务

1. 加大数字化技术投入，完善智能风控体系。中小金融机构需主动加大技术研发与引入力度，整合大数据、人工智能、区块链技术，搭建适配中小企业的智能化风控平台，整合多维度企业数据，精准识别信贷风险，提升风险管控能力^[9]。

2. 创新场景化信贷产品，满足差异化需求。结合不同行业、不同发展阶段中小企业的经营特征与融资需求，开发大数据信用贷、供应链贷、订单贷、知识产权质押贷等个性化数字化产品，拓宽信贷服务覆盖面，提升服务适配性^[2]。

3. 优化线上服务流程，提升融资服务效率。搭建一体化线上信贷服务平台，实现融资申请、资质审核、合同签约、资金放款、贷后管理全流程线上化，精简审批环节、压缩放款周期，精准适配中小企业短期、高频的资金需求。

（三）政府层面：完善制度体系，优化行业发展生态

1. 搭建一体化数据共享平台，破除各部门间的信息壁垒。由政府主导，统筹整合税务、工商、人社、市场监管及金融机构等多方数据，统一统计口径与共享准则，建成覆盖全域的中小企业信用信息库，推动数据互通流转，以此形成完整的企业信用

画像。

2. 健全数据安全保护机制，防范数据风险。完善数据安全、隐私保护相关法律法规，明确数据收集、存储、使用、传输的合规标准，严厉打击数据泄露、数据滥用、数据篡改等违法行为，强化平台数据安全监管，保障企业数据隐私安全^[10]。

3. 强化政策扶持力度，助力双向发展。出台中小企业数字化转型专项补贴政策，降低企业转型成本；对开展数字化信贷服务的金融机构给予税收减免、风险补偿支持，降低金融机构服务成本与风险压力，提升服务积极性^[11]。

4. 构建现代化监管体系，防范金融风险。建立多部门协同监管机制，明确数字金融监管权责，运用大数据、人工智能技术开展动态监管、穿透式监管，及时排查化解信贷风险，严厉打击非法金融活动，维护数字金融市场秩序^[6]。

（四）社会层面：培育多元生态，强化多方协同赋能

1. 推进第三方征信服务机构规范化建设。培育市场化专业大数据征信机构，鼓励其整合各类社会数据资源，输出精准信用评价、风险预判及信用报告等服务，为金融机构信贷风控与决策筑牢专业基础。

2. 推动产业链协同数字化升级。引导行业核心企业发挥引领作用，搭建数字化供应链金融平台，开放产业链交易数据，联动金融机构为上下游中小微企业提供精准融资服务，实现产业链、资金链、数据链深度融合^[8]。

3. 普及数字金融知识，弱化认知壁垒。通过行业协会、媒体平台、专业培训机构等渠道，常态化开展数字金融、数字化转型相关知识普及，提升中小企业数字化认知与数字融资运用能力，充分释放数字经济融资赋能价值^[9]。

六、结论与展望

（一）研究结论

本文以数字经济赋能中小企业融资为研究主题，依托基础理论与行业统计数据，结合可视化图表量化分析行业现状，系统拆解数字经济缓解中小企业融资约束的作用机制、现实困境及优化路径，主要研究结论如下：

1. 当前我国中小企业普遍存在融资渠道单一、融资成本偏高、融资效率不足的融资约束问题，融资结构失衡特征显著。企业自身数字化与规范化水平不足、金融机构传统服务模式滞后、社会信用体系不完善是造成融资困境的三大核心诱因^[4]。

2. 数字经济可通过弱化信息不对称、革新信用评价模式、拓宽多元融资渠道、压降综合融资成本、提升信贷服务效率五大核心机制，全方位破解中小企业融资痛点，是缓解企业融资约束、推动中小企业发展的核心驱动力^[7]。

3. 当前，依托数字经济助力中小企业融资的过程中仍存在不少短板。中小企业面临显著的数字鸿沟，叠加数据安全隐患频发、金融机构服务水平有限、数据共享体系不完善、监管规则更新滞后等问题，大幅阻碍了数字金融赋能作用的有效发挥。

4. 破解中小企业数字化融资困境，需要企业、金融机构、政

府、社会四方协同发力，全方位完善数字金融服务生态，才能充分发挥数字技术优势，持续缓解中小企业融资约束，助力实体经济高质量发展^[11]。

（二）研究展望

本文从理论与统计层面分析了数字经济与中小企业融资约束的关联机制，受研究条件限制，仍存在一定拓展空间，未来可从三方面深化研究：

1. 进一步深化实证分析。后续可采用全国各省市面板数据构建计量模型，实证探究数字经济对中小企业融资约束的缓解作

用，并分析其不同区域、行业中的异质性特征，以此增强研究结论的科学性与可信度。

2. 细化案例研究，选取不同行业、不同规模的中小企业及金融机构典型案例，深入剖析数字化融资的落地模式、实践成效与现存问题，提炼可复制、可推广的行业经验^[8]。

3. 拓展风险研究维度，深入探究数字金融模式下数据风险、信贷风险、技术风险的形成机制与传导路径，构建全方位风险防控体系，为数字金融生态可持续发展提供支撑^[10]。

参考文献

- [1] 黄阳华, 张津硕, 张钟文. 基于数据要素的数字经济增长与核算理论 [J]. 中国人民大学学报, 2026, 40(1): 37-47.
- [2] 李建军, 李俊成. “一带一路”倡议、企业信贷融资增进效应与异质性 [J]. 世界经济, 2020, 43(2): 3-24.
- [3] 张红伟, 王莉莉, 陈小辉. 数字经济与中小企业生存: 促进或抑制? [J]. 证券市场导报, 2024(1): 3-15.
- [4] 李凡, 魏全, 舒长江. 数字红利还是数字鸿沟? ——论数字经济与中小企业融资约束 [J]. 井冈山大学学报 (社会科学版), 2024, 25(4): 121-132.
- [5] 王智新, 郭家琛, 朱文卿, 等. 金融科技创新促进数字经济发展研究综述与展望 [J]. 科学管理研究, 2021, 39(6): 132-138.
- [6] 孙晋, 张松. 反垄断监管数字化转型的意涵及其法律实现 [J]. 科技与法律 (中英文), 2024(6): 44-53+126.
- [7] 郭克莎, 杨阔龙. 促进实体经济和数字经济深度融合的机制与路径 [J]. 广东社会科学, 2025(1): 42-53.
- [8] 陈映, 肖治涵. 数字经济赋能制造业高质量发展的理论机制与实证检验 [J]. 软科学, 2025, 39(5): 42-50.
- [9] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展研究报告白皮书 (2023年) [R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2023.
- [10] 陈洪磊. 数据治理的公司法回应 [J]. 法学评论, 2025, 43(1): 140-151.
- [11] 任保平, 豆渊博. 中国数字经济自主知识体系的三大体系构建研究 [J]. 经济学家, 2026(2): 34-44.

信贷服务对农户林业经营性收入的影响效应及机制

罗慧仪^{1*}, 翁佳昕²

1. 华南农业大学 经济管理学院, 广东 广州 510642

2. 华南农业大学 数学与信息学院, 广东 广州 510642

DOI:10.61369/ASDS.2026080016

摘 要 : 信贷服务是破解农户林业经营资金约束, 促进林业经营增收的重要工具。本文利用了贵州省 1048 户农户调查数据, 实证检验信贷服务对农户林业经营性收入的影响效应及其机制。研究结果表明, 正规信贷服务显著提升农户林业经营性收入, 而非正规信贷的经营增收效应不显著。作用路径表明, 正规信贷服务通过增加林业生产性资本投入和扩大林地经营规模两条路径间接提升农户林业经营性收入。异质性分析结果表明, 正规信贷服务的增收效应在林地坡度较陡、高人力资本及高收入水平的农户中更为显著。基于以上结果, 本文提出建议: 完善林业信贷服务体系, 引导信贷资金切实投入林业生产, 加强对林业规模经营的支持, 推行差异化信贷政策, 正确引导非正规信贷的发展。

关 键 词 : 信贷服务; 正规信贷; 非正规信贷; 经营性收入; 林业经营

The Impact and Mechanism of Credit Services on Farmers' Forestry Operating Income

Luo Huiyi^{1*}, Weng Jiaxin²

1.College of Economics and Management, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

2.College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

Abstract : Credit services are an important tool to alleviate the financial constraints encountered by farmers in forestry operations, and they can help promote the growth of their forestry income. This study uses the survey data of 1,048 households in Guizhou Province to analyze the impact of credit services on the income from forestry operations and explores the underlying mechanism of action. The results show that formal credit services can indeed significantly increase the forestry operating income of farmers, but the effect of income increase brought by informal credit is not so significant statistically. From a mechanism perspective, the reason why formal credit can play a role mainly lies in two channels: one is that it enables farmers to increase their productive capital investment in forestry, and the other is that it helps them expand the scale of forestry operations. Heterogeneity analysis finds that for farmers with steeper forest slopes, higher levels of human capital, and inherently higher income levels, the positive income-increasing effect brought by formal credit would be more pronounced. Based on the conclusions, this article gives several policy suggestions: it is necessary to improve the service system of forestry credit and guide more credit funds to flow into the actual production of forestry. We should also increase support for large-scale forestry operations. Differentiated credit policies should also be implemented. In addition, it is also necessary to guide the development of informal credit reasonably to avoid some negative impacts it brings.

Keywords : credit services; formal credit; informal credit; operating income; forestry operations

引言

促进农户收入持续增长是全面推进乡村振兴的关键, 也是解决“三农”问题的核心落脚点。林业作为一项重要的基础产业, 它是生态文明建设的关键力量, 更是乡村振兴的重要经济驱动力。贵州省位于我国西南地区, 其山地和丘陵占土地面积 92.5%, 森林面积 1.67 亿亩, 森林覆盖率高达 63.3%, 优越的资源禀赋使得林业产业成为该省农村经济发展的支柱产业之一。

林业信贷作为一项社会化服务措施, 在促进农户增收中发挥了重要作用。为给林业信贷服务发展提供明确的政策导向, 2025 年《关

基金项目: 2025 年省级大学生创新创业训练计划项目“林业社会化服务对农户增收效果影响路径分析——基于贵州省 1047 户农户调查分析”(202510564226)。

作者简介: 翁佳昕, 华南农业大学数学与信息学院, 在读本科生, 研究方向为应用统计。

通讯作者: 罗慧仪, 华南农业大学经济管理学院, 在读本科生, 研究方向为农林经济管理。

于金融支持林业高质量发展的通知》明确提出要深化集体林权制度改革金融服务，强化林业重要战略实施金融保障，加大林业产业高质量发展金融投入，完善政策配套体系及保障机制等。贵州省林业局紧跟中央决策部署，在2025年《金融支持林业产业高质量发展实施意见》中提出要进一步深化金融服务，持续加大林业信贷投放力度，加快构建现代林业产业体系。一系列相关的政策文件为本研究提供了现实和政策支撑，故探索信贷服务对林业经营性收入的影响机制，具有重要的现实意义。

当前我国已进入全面推进乡村振兴的关键阶段，如何通过提升信贷服务效率来促进农户增收，这一议题已经成为学术界关注的重点。现有研究表明，信贷服务是影响农户收入的关键因素。有学者认为农村信贷的获取能够增加人均资本，进而促进产出增长^[1]。涉农贷款奖励政策能够通过积极引导金融机构资金配置，提升农户家庭经营性收入^[2]，而面向低收入农户的小额信贷，则可通过提高农业劳动力供给和推进土地规模化经营实现增收^[3]。然而，正规与非正规信贷服务的影响效应存在一定差异。非正规信贷虽具有信息和成本优势，但更适用于小规模短期周转，其对收入的提升效应往往不显著，难以支撑大规模生产性投资^{[4]、[5]}。金融市场典型的“二元结构”特征及信贷服务增收效果的差异性，为本文聚焦于正规信贷的研究提供了理论与现实依据。林业领域的信贷服务的重要性特别突出。林业生产具有投资大、周期长和风险高等特点，农户在进行林业生产经营时普遍面临资金约束^[6]。部分研究表明，信贷服务能通过缓解这一约束实现农户增收，其中林权抵押贷款作为正规信贷重要形式，被证实可以显著提高农户家庭总收入和林业收入^[6]。

总的来说，学界对于信贷服务与农户林业收入之间关系的研究已有丰富的成果，但仍有深化空间。现有文献聚焦于信贷服务对农户总收入或林业总收入的整体影响，对林业生产经营活动的核心增收来源的关注则相对较少。除此之外，现有研究也未能系统地检验其作用机制，信贷服务具体是如何通过影响生产性投入、林地经营规模等微观渠道，来最终促进农户林业经营性收入尚不明晰。鉴于此，本文利用贵州省1048户农户的调查数据，实证检验信贷服务对农户林业经营性收入的影响效应及机制。本文先是采用 OLS 进行基准回归；再运用 PSM 和 2SLS 处理内生性问题；通过更换解释变量与重设模型进行稳健性检验，并借助中介效应模型识别作用机制；最终，剖析信贷服务影响的异质性，为优化林业金融政策提供经验参考。本文围绕以下核心问题展开分析：一是信贷服务能否提升农户林业经营性收入？二是若信贷服务能够提升农户林业经营性收入，那么其内在作用机制是什么？本文的边际贡献在于：一是从林业生产性资本投入和林地经营规模两个视角揭示信贷服务的影响路径，为理解信贷促进农户增收的内在逻辑提供经验证据；二是从林地坡度、人力资本及农户收入等维度开展异质性分析，为制定差异化林业金融支持政策、精准提升农户林业经营效益提供微观层面的经验参考。

一、理论分析与研究假设

（一）信贷服务与农户林业经营性收入

中国金融政策引导与信息不对称等因素导致农村金融形成了典型的“二元结构”，即正规金融与非正规金融并存^[7]。林业信贷服务由金融与林业产业融合发展而成，旨在为农户提供融资渠道、打破资金约束^[8]，在二元结构下分为正规信贷与非正规信贷，都是林业生产性服务的重要组成部分。两种信贷方式在信息成本、风险成本、交易成本等机制上存在差异，导致其对农户收入的影响显著不同^[8]。农户以从事林业生产为主，并通过生产和再生产获得经营性收入，因此工资性收入、财产性收入等其他收入不作为研究重点。

正规信贷服务以银行等正规金融机构为中介，农户通过转让资金使用权获取收益。林业社会化服务更注重资金渠道的流通性，即农户是否获得信贷借款，故本文以正规信贷可得性为主要测度。正规信贷能为农户提供资金支持，扩大资源要素配置空间，提高农户自主决策能力，进而促进增收^[9]。非正规信贷主要是指向亲朋好友借款，或者在民间进行借贷。农村社会关系以圈层为主，借贷基于感情、信任与乡规民俗^[10]，保障性较弱。此外，非正规信贷主要用于生活消费^[11]，而非林业生产，对提高林业经营性收入作用有限。基于此，本文提出第一个研究假设：

H1：正规信贷服务能够促进农户林业经营性收入增加，非正规信贷影响不显著。

（二）正规信贷服务、林业生产性资本投入与农户林业经营性收入

基于西方经济学中的生产函数理论，由于资本不存在过度投资，所以在其他条件不变的情况下，资本的会增加使得产出增加。正规信贷服务直接影响林业经济产业资金投入^[12]，因正规信贷的门槛和风险较高，农户一般出于林业生产目的才会实施该决策，所以债务人主要将资产投放到带来资本增值的生产或经营活动中，以期得到回报以实现还款。

农户将贷款用于林业生产经营，由此促进林业要素重组优化，进而提高林业生产的效率，最终增加林业收入^[13]。正规信贷资金的使用是一种货币资本循环过程，即信贷资金要经过二次货币支付、二次货币回流的运动过程^[14]，结合正规信贷货币运行规律可知，正规信贷服务可以促进货币资本、生产资本和商品资本三者之间的转化，为农户林业生产经营带来利润，进而增加经营性收入。基于此，本文提出第二个研究假设：

H2：正规信贷服务可增加生产性资本投入，进而促进林业经营性收入提升。

（三）正规信贷服务、林地经营规模与农户林业经营性收入

农户普遍面临各类生产问题，比如林地细碎化、自有资金不足及长期投资能力弱等，使得经营面积扩大有较强的资金约束^[5]。正规信贷服务能够为农户提供中长期且稳定的资金支持，这能助力农户扩大林地经营面积。一方面，正规信贷可直接用于支付林地流转租金、承包费用以及林地基础设施投入，降低农户转入林

地的资金门槛，提升农户扩大经营面积的能力^[15]。另一方面，正规信贷通过增强产权可抵押性与资金可得性，稳定农户长期经营预期，并激励农户从零散经营转向适度规模经营，进而实现经营面积扩张^[16]。随着林地经营规模扩大，农户能实现规模经营，降低单位经营成本，优化劳动力、资本等生产要素配置，通过提升生产效率与经营收益实现经营增收。基于此，本文提出第三个研究假说：

H3：正规信贷服务可扩大林地经营规模，进而促进林业经营性收入提升。

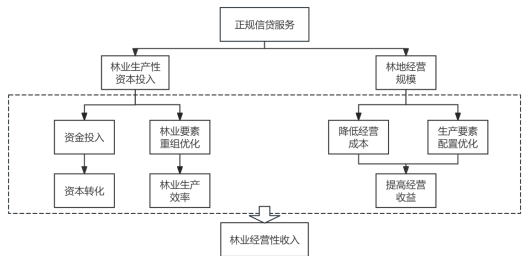


图 1：正规信贷服务对农户林业经营性收入影响的概念逻辑

二、研究设计

（一）样本选择与数据来源

作为我国南方重点集体林区，贵州省具备优越的森林资源，林业在产业发展中占比重大，且贵州的地形、经济水平具有内部差异性，是研究山地林业与农户生计的典型区域。为针对性研究我国林业发展，本文选取位于我国西南的贵州省农户作为样本。综合考虑森林资源禀赋、经济发展水平与地理位置，课题组于2023年7月到9月对贵州省内赤水、水城、黔西、江口、玉屏、剑河、平塘、册亨、碧江、紫云等10个典型县（市）进行实地调研。本次调研的内容涵盖农户家庭基本信息、家庭林业资源情况、林业生产经营情况及林业收入等613项指标，以尽可能全面地反映农户林业生产经营情况。所有调研员经过统一培训后，采用一对一的半结构化访谈方式和问卷调查法完成数据调查，确保

信息获取的准确性和一致性。最终剔除关键信息缺失和逻辑矛盾的无效问卷35份，有效率达96.82%，剔除信任水平测度结果不合理的农户17人，合计剔除样本数量52份，最终得到有效样本1048份。

（二）变量说明

1. 被解释变量

本文的被解释变量为农户林业经营性收入。林业经营性收入是农户主要林业收入来源^[2、17]，故本文主要研究农户林业经营性收入。同时为了在计量上准确检验和估计信贷服务的收入效应，本文对收入（单位：元）进行1% 缩尾处理，加1后取对数，从而更好地呈现变量关系。

2. 核心解释变量

本文核心解释变量为林业信贷服务获取。其中，林业信贷服务获取分为是否获得正规信贷和是否获得非正规信贷。另外，在稳健性检验中，为检验信贷服务的强度，本文使用正规信贷金额和非正规信贷金额（单位：元）作为解释变量来检验其收入效应，处理方法和过程同收入。

3. 机制变量

如前文所述，本文的机制变量为生产性资本投入和林地经营规模。具体地，若农户贷款全部或部分用于林业生产，则定义生产性资本投入为1，反之为0。林地经营规模由林地经营面积表征，处理方法和过程同收入。

4. 控制变量

本文从户主、家庭、林地经营和地理区位四方面特征选取控制变量^[9]。其中，户主方面包括户主年龄、受教育年限以及村干部；家庭方面主要包括家庭规模和劳动力数量占比；林地经营方面包括林地经营面积和林地地块数；地理区位方面包括林地距公路距离和平均坡度。考虑到贵州省内部地区差异较大，潜在的县（市）异质性如政策实施等差异较大，本文设置了县（市）虚拟变量，以控制地区固定效应。

以上主要变量定义和描述性统计结果如表1所示。

表 1：变量说明及统计性描述

变量类型	变量名称	变量含义和赋值	均值	标准差
被解释变量	林业经营性收入	过去一年家庭林业经营性收入（元），加1并取对数	3.665	4.372
核心解释变量	信贷服务	正规信贷：是否向银行贷过款，是=1，否=0	0.366	0.482
		非正规信贷：是否向私人借过钱，是=1，否=0	0.527	0.500
机制变量	生产性资本投入	贷款是否全部或部分用于林业生产：是=1，否=0	0.089	0.285
	林地经营规模	林地经营面积（亩），加1并取对数	1.819	1.413
控制变量	户主年龄	户主实际年龄（周岁）	52.361	10.334
	受教育年限	户主受教育年限（年）	7.234	3.833
	村干部	是=1，否=0	0.169	0.375
	家庭规模	家庭人口数（个）	4.644	1.694
	劳动数量占比	劳动力占家庭总人口数比值	0.626	0.243
	林地经营面积	林地经营面积（亩）	20.075	60.205
	林地地块数	林地地块数（块）	2.598	3.090
	林地距公路距离	林地距公路距离（千米）	0.950	2.868
	平均坡度	平缓=1，较陡=2，陡峭=3	2.137	0.710

（三）模型设定

1. 基准回归模型

为考察林业信贷服务对农户林业经营性收入的影响，本文首先构建如下基准回归模型：

$$\ln(\text{operate_inc}_i + 1) = \alpha_0 + \alpha_1 \text{bank}_i + \alpha_2 \text{private}_i + \gamma \text{Control}_i + \mu_c + \varepsilon_i \quad (1)$$

式（1）中，*operate_inc_i*为被解释变量，表示农户*i*过去一年的林业经营性收入；*bank_i*、*private_i*为核心解释变量，分别表示正规信贷、非正规信贷；*Control_i*表示可能影响农户林业经营性收入的控制变量； α_0 为常数项， α_1 、 α_2 是本文关注的核心解释变量的估计系数， γ 表示控制变量的待估计系数； μ_c 表示个体固定效应， ε_i 为随机误差项。

2. 作用机制模型

进一步地，为探讨林业生产性资本投入和林地经营规模在信贷服务对农户林业经营性收入的机制效应，本文借鉴江艇^[18]的研究思路，因果推断经验研究中的中介效应分析时主要检验核心解释变量对机制变量的影响，模型如下：

$$\text{Mechanism}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{bank}_i + \beta_2 \text{private}_i + \lambda \text{Control}_i + \mu_c + \vartheta_i \quad (2)$$

式（2）中，*Mechanism_i*表示机制变量林业生产性资本投入和

林地经营规模， β_1 、 β_2 为核心解释变量的回归系数， ϑ_i 为随机误差项。

三、实证分析

（一）信贷服务对农户林业经营性收入影响的基准回归结果

信贷服务对农户林业经营性收入影响的基准回归结果如表2所示。列（1）为不考虑其他影响因素时，正规信贷和非正规信贷对农户林业经营性收入的影响，数据表明：不考虑内生性时，正规信贷可得性有显著的经营性收入提升效应，而非正规信贷可得性的收入效应不显著。考虑到其他因素也会影响林业经营性收入，纳入更多控制变量的结果如列（2）所示，结果表明正规信贷在5%显著性水平下正向影响林业经营性收入，即正规信贷使得农户经营性收入增加，而非正规信贷的收入效应还是不显著。考虑到贵州省各县之间的差异，进一步控制地方固定效应，结果如列（3）所示，与前者一致。因此，本研究认为正规信贷服务提升农户林业经营性收入，非正规信贷不影响农户林业经营性收入，假说H1初步得证。

表2：基准回归结果

变量	（1）		（2）		（3）	
	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误
正规信贷	0.947***	0.277	0.538**	0.269	0.560**	0.264
非正规信贷	0.285	0.291	0.361	0.275	0.137	0.267
户主年龄			-0.004	0.012	-0.003	0.012
受教育年限			0.086**	0.035	0.082**	0.034
村干部			-0.165	0.365	-0.172	0.365
家庭规模			0.199***	0.077	0.248***	0.075
劳动数量占比			2.302***	0.544	2.577***	0.528
林地经营面积			0.014***	0.003	0.013***	0.003
林地地块数			0.291***	0.053	0.224***	0.050
林地距公路距离			0.032	0.033	0.036	0.030
平均坡度			-0.142	0.185	-0.254	0.180
常数项	3.062***	0.194	-0.278	1.012	-0.180	1.004
地区固定效应	未控制		未控制		控制	
观测值	1048		1048		1048	
调整 R ²	0.015		0.128		0.183	

注：*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平。

（二）信贷服务对农户林业经营性收入影响的内生性检验

1. 联立偏误问题处理

本研究选取了排除农户自身的村庄平均正规信贷金额作为工具变量，并采用两阶段最小二乘法（2SLS）估计，以处理可能的联立偏误导致的内生性。不难知道同一村庄的农户面临着相似的信贷服务体系，村庄整体的信贷氛围会直接影响到其中个别农户的正规信贷获取，故满足相关性要求。对于排他性而言，这一工具变量在计算时已排除了农户自身的信贷数据，因此它主要反映的是村庄层面的、外生的信贷环境。这种环境难以直接对农户的林业经营性收入起作用，其影响主要是通过改变农户自身的正规信贷可得性这一渠道来实现的。

结果表明，DWH检验在1%水平上拒绝正规信贷是外生变量的原假设，表明有内生性问题。第一阶段回归中，村级平均信贷金额的系数为负且在1%水平上显著，即村庄层面信贷规模越大，农户个体获得正规信贷的可能性越低。第一阶段F统计量大于10，拒绝存在弱工具变量的原假设，即工具变量选取得合理。第二阶段回归中，正规信贷对农户林业经营性收入影响显著为正，验证了基准回归结果的稳健性。

2. 样本自选择偏误问题处理

为避免农户自我选择问题导致的内生性偏差，采用倾向得分匹配法（PSM）进行处理。回归结果如表3所示，近邻匹配、卡尺匹配和核匹配的ATT分别为0.709、0.687和0.633，均在5%水平上显著。表明正规信贷服务在5%显著性水平下对农户林业经

营性收入具有显著影响，三种匹配方法的结果相似，表明匹配结果稳健。此外，根据平衡性检验结果可知：匹配前处理组与控制组在控制变量上有显著差异，且匹配后各变量的标准化偏差均小于10%，处理组与控制组之间无显著差异，满足平衡性要求。

表3：PSM 回归结果

匹配方式	ATT	稳健标准误	观测值
近邻匹配	0.709**	0.312	1048
卡尺匹配	0.687**	0.312	1048
核匹配	0.633**	0.286	1048

注：*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平。

（三）信贷服务对农户林业经营性收入影响的稳健性检验

1. 更换解释变量

考虑到是否获得信贷存在一定偏差，本文在稳健性检验中更换核心解释变量为正规信贷强度和非正规信贷强度，代表农户获得的信贷金额。结果如表4列（1）所示，控制其他因素不变后，正规信贷强度在1%显著性水平下对农户林业经营性收入有提升影响，非正规信贷对农户林业经营性收入几乎不存在影响，结果符合基准回归结果。

2. 重设模型

前文基于农户林业经营的行为决策考察了信贷可得性对林业经营性收入的影响。然而，数据中存在大量农户未从事林业经营或经营收益为零的情况即显著的左删失特征，传统 OLS 回归易导致估计偏误。Tobit 模型能够有效处理这一类删失问题，通过极大似然估计兼顾零值与正值样本信息精准地识别政策效果。结果如表4列（2）所示，正规信贷显著促进经营性收入提升，非正规信贷影响不显著。

为避免 Tobit 模型的样本选择性偏差^[19]，本文进一步采用 Double-Hurdle 模型估计^[20]，结果如表4列（3）所示。在参与决策阶段，正规信贷与非正规信贷的影响均不显著；在收入决策阶段，正规信贷规模在1%水平上显著正向影响林业经营性收入，而非正规信贷规模影响不显著。这表明，正规信贷主要通过提升已参与农户的经营收入发挥作用，而非正规信贷的增收效应有限。

表4：稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	
	信贷强度	Tobit 模型	是否获得经营性收入	经营性收入金额
正规信贷强度	0.074*** (0.024)			
非正规信贷强度	0.015 (0.030)			
正规信贷		1.000* (0.582)	0.098 (0.088)	0.697*** (0.192)
非正规信贷		0.476 (0.577)	0.084 (0.089)	-0.230 (0.196)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.297 (0.998)	-10.519*** (2.568)	-1.519*** (0.378)	5.518*** (0.901)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	1048	1048	1048	465
调整 R ² 或伪 R ²	0.187	0.046	0.109	0.064

注：括号内为稳健标准误，*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平。

（四）信贷服务对农户林业经营性收入影响的作用机制检验

为进一步探究正规信贷与非正规信贷对林业经营性收入的作用路径，本文借鉴江艇对中介效应分析的建议^[18]，分别以林业生产性资本投入和林地经营规模作为机制变量，检验结果如表5所示。

1. 生产性资本投入视角

表5列（1）汇报了信贷服务对农户林业生产性资本投入的影响，正规信贷服务在1%水平上显著增加农户林业生产性资本投入，即获得正规信贷的农户其生产性资本投入水平显著更高，假说 H2得证。可能是因为正规信贷具有明确的用途审核与还款要求，能引导资金投向生产性活动；而非正规信贷显著为负是因为其资金使用约束较少，易于消费性支出。而且其金额较小且占生产总成本比重有限，最终未能对林业经营性收入产生显著的净效应。

2. 林地经营规模视角

如表5列（2）所示，正规信贷对林地经营规模的影响在10%的水平上显著为正，表明获得正规信贷的农户的林地经营规模平均比未获得的农户要大，假说 H3得证。这理解为正规信贷通常具有金额大和期限稳定的特征，能缓解农户在支付林地租金、开发自有林地或进行土地整合时面临的资金约束，从而显著支持其扩大经营面积。非正规信贷不显著，表明其对林地经营规模的扩大作用有限。

表5：作用机制检验结果

变量	(1)		(2)	
	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误
正规信贷	0.141***	0.016	0.212*	0.079
非正规信贷	-0.030*	0.018	0.101	0.081
控制变量	控制		控制	
常数项	0.040	0.063	0.166	0.335
地区固定效应	控制		控制	
观测值	1048		1048	
调整 R ²	0.226		0.272	

注：*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平。

（五）正规信贷服务对农户林业经营性收入影响的异质性分析

为进一步研究正规信贷影响的差异，本文对不同农户结构的正规信贷的经营性收入效应进行分析。如表6所示，正规信贷服务仅对平均坡度较陡、高人力资本、高收入农户的林业经营性收入的影响显著。非正规信贷无论在什么组别中均不显著，这进一步支撑了前述结论。对于正规信贷的收入效应异质性具体分析如下：

1. 平均坡度异质性分析

正规信贷仅在坡度较陡组别中表现出显著经营增收效应，对平缓 and 陡峭组的影响不显著。可能是因为坡度较陡的林地上，农户对资金投入需求更迫切，正规信贷在此条件下缓解了资金约束，并促进了收入提升。而平缓的地形则造就了优越的经营条件，正规信贷由此失去收入提升作用，陡峭的地形条件意味着较差的基础设施和经济环境，带来更高的经营风险和更长的投资回

报周期^[21]，正规信贷的影响难以显现。

2. 人力资本异质性分析

本文采用主成分分析法（PCA）将健康状况与受教育年限合成农户人力资本指数，并按中位数将农户分为高人力资本、低人力资本两组进行分组回归。回归结果表明，正规信贷仅对高人力资本组农户具有显著的增收效应，对低人力资本组农户的影响不显著。该结果表明，正规信贷的增收效应存在人力资本门槛，高人力资本农户具备更强的信息获取能力和生产决策能力，能更理性配置林业生产的资源^[22]，从而将信贷资源转化为经营性收入，

而低人力资本农户因认知能力和金融素养限制，难以克服信贷利用的能力障碍，信贷增收效应不显著。

3. 家庭收入异质性分析

正规信贷仅对高收入组农户具有显著的增收效应，对低收入和中等收入农户的影响不显著。可能的原因是，高收入农户在信用资质和抵押担保能力等方面更具优势，即更易获得信贷资金，进一步利用资金转化为经营性收入，而低收入农户可能因较强的信贷约束，难以通过信贷服务实现增收^[6]。

表6：异质性分析结果

变量	平均坡度			人力资本		家庭收入		
	平缓	较陡	陡峭	低人力资本	高人力资本	低收入	中等收入	高收入
正规信贷	0.165	0.721*	0.623	0.363	0.796**	0.001	0.465	1.225**
	(0.640)	(0.368)	(0.480)	(0.368)	(0.387)	(0.425)	(0.468)	(0.538)
非正规信贷	0.673	-0.210	0.336	0.151	0.255	0.519	-0.036	-0.182
	(0.633)	(0.397)	(0.477)	(0.369)	(0.399)	(0.429)	(0.469)	(0.524)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-3.745*	0.276	-0.898	1.061	0.326	1.477	1.071	-0.639
	(2.101)	(1.319)	(1.657)	(1.297)	(1.380)	(1.523)	(2.066)	(2.083)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	202	500	346	553	495	330	329	329
调整 R ²	0.278	0.148	0.165	0.163	0.188	0.165	0.132	0.236

注：括号内为稳健标准误，*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平。

四、结论与建议

本文发现正规信贷服务和非正规信贷服务对农户林业经营性收入的影响存在显著差异，前者是促进农户增收的关键因素，而后的增收效应不显著。作用机制结果表明，正规信贷通过增加农户生产性资本投入和扩大林地经营规模这两条路径实现经营增收。异质性分析结果表明，正规信贷服务仅对坡度较陡、高人力资本和高收入三类农户具有显著的林业经营增收效应。基于以上结论，本文提出如下建议：

（一）完善林业信贷服务体系，发挥正规主导作用

政府应进一步深化林业金融改革，监督金融机构合理设置其贷款期限、额度和利率水平，并鼓励其开发与林业生产特征相匹配的信贷产品。针对小规模农户常面临的规模歧视，政府可在制度安排上积极推广信用贷款，从而降低信贷对传统抵押物的过度依赖。

（二）建立有效激励与约束机制，引导资金真实投入

金融机构在加大资金投入的同时，也要加强贷后管理，可协同相关部门追踪信贷资金的具体流向，确保资金被用于实际的生

产经营活动，从而明确信贷服务与林业生产的直接联系。

（三）强化信贷的规模经营支持，破解土地要素约束

开发与林地流转、土地整治、长期承包等生产经营行为相适应的信贷产品，为农户支付租金、整合地块、开发林地提供中长期资金支持，促进农户生产经营的规模经济。

（四）基于农户之间结构性差异，实施精准信贷策略

针对林地坡度较陡的农户，相关部门应结合生态修复等项目提供稳定且利率低的信贷产品；对于低人力资本的农户，相关部门应开展金融素养培训，发展简便易得的小额信用贷款；对高经营能力及中高收入水平农户，相关部门要支持其通过信贷扩大再生产或延伸产业链，提升信贷资金投入的增收效果。

（五）规范引导非正规信贷服务，逐渐强化风险防控

政府部门应加强民间借贷利率监管与风险提示，防止高利贷侵害。同时，金融机构应积极探索与非正规信贷的联动机制，引导非正规信贷在应急周转中发挥补充作用，将农户生产性融资需求有序引流至正规金融体系。

值得注意的是，本文仅聚焦于信贷服务对林业经营性收入的提升作用这一微观农户视角，并未从林业社会化服务的其他维度入手，也缺乏对农户林业收入或家庭总收入进行研究，后续将结合宏观数据库将宏观和微观结合起来进行分析，以及研究其他社会化服务如技术服务等的影响，并关注农户总体收入水平的提升。

参考文献

[1] 许崇正, 高希武. 农村金融对增加农民收入支持状况的实证分析 [J]. 金融研究, 2005, (9):173-185.
[2] 郝祥如, 张继武, 乔元波. 涉农贷款增量奖励政策是否促进了农民增收? [J]. 济南大学学报 (社会科学版), 2024, 34 (1):84-96.
[3] 于赟, 秦冠宇, 李韬. 金融帮扶政策与低收入农户的收入效应 [J]. 华南农业大学学报 (社会科学版), 2025, 24 (3):56-72.

- [4] 沈红丽. 农户借贷行为的 Heckman 两阶段模型分析——基于天津市农村二元金融结构视角 [J]. 统计与信息论坛, 2016, 31 (1): 80-86.
- [5] 李立朋, 李桦, 丁秀玲. 林业生产性服务能促进农户林地规模经营吗?——基于林地流入视角的实证分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30 (3): 143-152.
- [6] 马橙, 高建中, 姚畅燕. 农户林权抵押贷款的收入效应及其差异性研究 [J]. 农业现代化研究, 2020, 41 (6): 969-977.
- [7] 林毅夫, 孙希芳. 信息、非正规金融与中小企业融资 [J]. 经济研究, 2005, (7): 35-44.
- [8] 陈思, 聂凤英, 罗尔呷, 等. 正规借贷、非正规借贷对农户收入的影响——来自中国西部贫困地区的经验证据 [J]. 农业技术经济, 2021, (5): 35-47.
- [9] 廖文梅, 张广来, 孔凡斌. 农户林业社会化服务需求特征及其影响因素分析——基于我国8省(区)1413户农户的调查 [J]. 林业科学, 2016, 52(11): 148-156.
- [10] 张兵, 张宁. 农村非正规金融是否提高了农户的信贷可获性?——基于江苏1202户农户的调查 [J]. 中国农村经济, 2012, (10): 58-68+90.
- [11] 马晓青, 刘莉亚, 胡乃红, 等. 信贷需求与融资渠道偏好影响因素的实证分析 [J]. 中国农村经济, 2012, (5): 65-76+84.
- [12] 彭雨涵, 郭霖萱, 王子依, 等. 林业对农户增收的影响研究——以陕西省为例 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48 (17): 232-235.
- [13] 孔凡斌, 阮华, 廖文梅. 不同贫困程度农户林权抵押贷款收入效应与贷款行为及其影响因素分析——基于702户农户调查数据的实证 [J]. 林业科学, 2019, 55 (10): 111-123.
- [14] 罗中华. 家庭农场正规信贷的可获得性及收入效应: 以湖南省为例 [D]. 湖南农业大学, 2022.
- [15] 李立朋, 丁秀玲, 李桦. 农户规模经营中林地确权、关系资源与正规信贷获得研究——基于林地转入规模视角的实证分析 [J]. 林业经济, 2021, 43 (1): 21-36.
- [16] 何文剑, 赵秋雅, 张红霄. 林权改革的增收效应: 机制讨论与经验证据 [J]. 中国农村经济, 2021, (3): 46-67.
- [17] CRÉPON B, DEVOTO F, DUFLO E, et al. Estimating the impact of microcredit on those who take it up: Evidence from a randomized experiment in Morocco[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2015, 7(1): 123-150.
- [18] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济, 2022, (5): 100-120.
- [19] GREENE W H. Econometric analysis[M]. Boston: Boston Prentice Hall, 2012.
- [20] CRAGG J G. Some statistical models for limited dependent variables with application to the demand for durable goods[J]. Econometrica, 1971, 39(5): 829-844.
- [21] ZHANG Y, ZANG W, SUN C. Riding the terrain: Geographic influence on household adoption of digital finance[J]. International Review of Economics and Finance, 2026, 105: 104816-104816.
- [22] 魏建, 刘璨, 张大红. 林权改革与农户家庭收入: 理论线索和经验证据 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2023, (1): 106-119.

