

# 应用统计 与数据科学

Applied Statistics and Data Science



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## 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1卷 第6期 2025年8月刊

主办单位: ART AND DESIGN 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 纬、严晓东、  
杨 凯、朱 柯、周 彦

地 址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey  
Park, CA 91754

网 址: <https://www.artdesignp.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:

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



## 市场调研 | MARKET RESEARCH

- 001 “银发经济”背景下老年群体乳制品消费影响因素及其机制研究  
——以重庆市的实地调查为例 王贺, 吴翌琳  
A Study of the Influence Factors and Mechanisms of Dairy Product Consumption  
Among the Pre-elderly Group Under the “Silver Economy”  
—Based on the Field Research in Chongqing Wang He, Wu Yilin
- 007 “搭子社交 APP”的需求分析与发展战略研究 李佳奇, 肖灿, 魏嘉仪, 靳晴, 吴翌琳, 蒋妍  
Demand Analysis and Strategic Development Research of  
“Dazi Socializing APP” Li Jiaqi, Xiao Can, Wei Jiayi, Jin Qing, Wu Yilin, Jiang Yan
- 013 新形势下高校毕业生“慢就业”现象探析——以广东南华工商职业学院  
2025届毕业生为例 段孝强, 陈亿权, 吴晓晴, 蔡灵钰, 陈冻怡  
Analysis of the Phenomenon of “Slow Employment” Among College Graduates under  
the New Situation—Taking the 2025 Graduates of Guangdong Nanhua  
University of Commerce as  
an Example Duan Xiaoqiang, Chen Yiquan, Wu Xiaoqing, Cai Lingyu, Chen Luoyi

## 管理统计 | MANAGEMENT STATISTICS

- 016 贷款人角度下企业成长期银行授信风险预警体系探析 廖东平  
Analysis of the Risk Early Warning System for Bank Credit in the Growth Stage of  
Enterprises from the Perspective of Lenders Liao Dongping

## 统计与教育教学 | STATISTICS AND EDUCATION TEACHING

- 019 数智时代应用统计学专业人才培养模式探索 杨雯婉, 张兴发  
Exploration of Talent Cultivation Models for Applied  
Statistics in the Digital-Intelligence Era Yang Wenwan, Zhang Xingfa
- 023 统计学与 R 语言融合的教学改革探析 杨快, 蒋青嫱  
An Exploration of Teaching Reform Integrating  
Statistics and R Language Yang Kuai, Jiang Qingshan
- 026 “大思政课”理念下《应用时间序列分析》  
课程融合式教学改革研究 李晗, 李小丹, 张晓颖  
Research on the Integrated Teaching Reform of the Course  
“Applied Time Series Analysis” under the Concept of “  
the Big Ideological and Political Course” Li Han, Li Xiaodan, Zhang Xiaoying
- 029 医学高等院校《卫生统计学》课程思政元素  
的融入与探索 黄文龙, 黄艳芳, 林奕勃, 钟海梅, 阮沁桐, 马传伟, 于海兵  
The Integration and Exploration of the Ideological and Political Elements of  
the Course of “Health Statistics” in Medical Colleges and  
Universities Huang Wenlong, Huang Yanfang, Lin Yibo, Zhong Haimei,  
Ruan Qintong, Ma Chuanwei, Yu Haibing
- 033 指向核心素养的小学语文教学大概念提取与转化 苏海晴  
Extraction and Transformation of Big Concepts of Primary School  
Chinese Teaching Pointing to Core Literacy Su Haiqing
- 036 STEAM 理念下 EPEAT 教学模式在“数据可视化技术”  
课程中构建与探索 夏英  
Construction and Exploration of the EPEAT Teaching Model in the  
“Data Visualization Technology” Course under the STEAM Concept Xia Ying

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

041	基于用户 – 图书双知识图谱的高校图书馆图书服务研究 Research on University Library Book Services Based on User-Book Dual Knowledge Graphs	刘红华，徐熙涵，李淑婷，李建波 Liu Honghua, Xu Xihan, Li Shuting, Li Jianbo
045	基于几何分析与多目标规划的多波束测线优化研究 Optimization of Multi-Beam Survey Lines Based on Geometric Analysis and Multi-Objective Programming	林嘉淇，黎梓晴，林锦春 Lin Jiaqi, Li Ziqing, Lin Jinchun
049	基于大数据文本分析的网络舆情对农业中小企业融资约束的影响研究 Research on the Impact of Online Public Opinion Based on Big Data Text Analysis on Financing Constraints of Small and Medium-sized Agricultural Enterprises	庄丽凤，陈立宇，陈永亨，陈晓彤，黄洁洁，裴棋阳，周燕 Zhuang Lifeng, Chen Liyu, Chen Yongning, Chen Xiaotong, Huang Jiejie, Pei Qiyang, Zhou Yan
055	生成式 AI 赋能下高校学生学术行为意愿与内在机制研究 Research on College Students' Academic Behavior Intention and Underlying Mechanisms Empowered by Generative AI	何思佳，卜胤丹，周燕 He Sijia, Bu Yindan, Zhou Yan
061	基于深度卷积神经网络的苹果叶片病害分类识别 Classification and Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional Neural Network	鹿志超，陈茵 Lu Zhichao, Chen Yin
067	基于 Prophet 模型与机器学习算法结合的全 国碳排放量预测研究 Research on National Carbon Emission Prediction Based on the Combination of Prophet Model and machine Learning Algorithms	萧梓锋，杨津锋，赵馨悦，刘颖恩 Xiao Zifeng, Yang Jinfeng, Zhao Xinyue, Liu Ying'en
072	秘密共享中若干信息等式的证明 Proof of Certain Information Equalities in Secret Sharing	林群 Lin Qun

统计方法及应用 | STATISTICAL METHODS AND APPLICATIONS

076	江苏省基础研究投入现状与对策分析——基于重点企业和高校、科研院所的问卷调查 An Analysis of Basic Research Investment in Jiangsu Province and Policy Implications: Evidence from a Questionnaire Survey of Key Enterprises, Universities, and Research Institutes	程瑶，杨宏，林金官 Cheng Yao, Yang Hong, Lin Jinguan
081	FDI 对 GDP 影响案例分析：基于部分线性单指标面板无交叉分位数回归模型 A Case Study on the Impact of FDI on GDP: Based on Partially Linear Single-Index Panel Non-Crossing Quantile Regression Model	方艳，陈高昂，范彩云 Fang Yan, Chen Gaoang, Fan Caiyun
087	城市竞争力与基础设施建设的典型相关分析和 SBM 模型分析——对比广东省与山东省 Typical Correlation Analysis and SBM Model Analysis of Urban Competitiveness and Infrastructure Construction — A Comparative Study between Guangdong and Shandong Provinces	孔荫莹，戴方润 Kong Yinying, Dai Fangrun
093	CAS 视角下创新生态系统韧性测度和预警研究 A Study on the Measurement and Early Warning of Innovation Ecosystem Resilience from the Perspective of Complex Adaptive Systems	张姝逸，胡伟鸿，罗季 Zhang Shuyi, Hu Weihong, Luo Ji
102	基于小域估计的大同农村老年人乡镇层级关节病患 病率的统计分析 A Statistical Analysis of Township Level Prevalence of Arthropathy Among Rural Elders in Datong Based on Small Area Estimation	韩昊栋，李华鹏，王珂琛 Han HaoDong, Li Huapeng, Wang Kechen

# “银发经济”背景下准老年群体乳制品消费影响因素及其机制研究——以重庆市的实地调查为例

王贺<sup>1</sup>, 吴翌琳<sup>2\*</sup>

1. 中国人民大学 商学院, 北京 100872

2. 中国人民大学 应用统计科学研究中心, 统计学院, 北京 100872

DOI:10.61369/ASDS.2025060001

**摘 要 :** 近年来, 在健康中国战略和人口结构老龄化加速的双重背景推动下, 准老年群体乳制品市场迎来新的机遇。首先, 本研究获取了4个知名品牌——伊利、蒙牛、光明、天友在京东店铺的商品评论共59922条。在此基础上, 本研究构建了LDA主题模型, 进行了评论情感分类。研究结果显示, 伊利和蒙牛作为成熟品牌, 其网络评论情感正向居多, 光明由于先前的产品质量问题, 其网络评价情感呈现两极分化状态, 而天友囿于地域知名度限制, 其网络评论情感趋于中性。其次, 本研究基于PPS和随机方法两阶段抽样, 最终获取了574份有效问卷, 通过聚类分析, 进行消费者画像, 将消费者分为4类, 进而挖掘消费者基本特征、消费偏好等行为特征。然后, 本研究建立了消费者忠诚度的影响机制模型, 提炼消费者在选择乳制品品牌时的重点考虑因素。结果显示, 消费者的良好购买体验在品牌忠诚度的形成过程中起到了决定性作用。此外, 品牌形象对产品价格和感知价值也有较大影响, 进而影响忠诚度, 同时, 不同类别消费者在价格敏感度、品牌转化成本等方面呈现较大差异。最后, 本研究针对不同类型的消费者在企业端、品牌端和产品端提出了乳制品品牌发展的营销策略和建议。

**关 键 词 :** 乳制品行业; 准老年群体; 文本分析; 结构方程模型; 忠诚度机制分析

## A Study of the Influence Factors and Mechanisms of Dairy Product Consumption Among the Pre-elderly Group Under the “Silver Economy” —Based on the Field Research in Chongqing

Wang He<sup>1</sup>, Wu Yilin<sup>2\*</sup>

1. School of Business, Renmin University of China, Beijing 100872

2. Center for Applied Statistics, School of Statics, Renmin University of China, Beijing 100872

**Abstract :** In recent years, driven by the dual context of the Healthy China strategy and accelerating aging of the population, the dairy market for the pre-elderly group has ushered in new opportunities. First, this study collected 59,922 product reviews from JD.com stores of four well-known brands—Yili, Mengniu, Bright Dairy, and Tianyou. Based on this data, an LDA topic model was constructed, and sentiment classification of the reviews was conducted. The results indicate that Yili and Mengniu, as established brands, predominantly receive positive sentiment in online reviews. Bright Dairy, due to previous product quality issues, exhibits polarized sentiment in online evaluations, while Tianyou, constrained by regional brand awareness, tends to elicit neutral sentiment in online reviews. Second, this study employed PPS and random two-stage sampling to obtain 574 valid questionnaires. Through cluster analysis, consumer profiles were developed, categorizing consumers into four distinct groups, thereby uncovering various behavioral characteristics such as basic demographics and consumption preferences. Subsequently, a mechanism model for consumer loyalty was established to identify key factors influencing brand choice in dairy products. The results demonstrate that positive purchasing experiences play a decisive role in fostering brand loyalty. Additionally, brand image significantly impacts product pricing and perceived value, thereby influencing loyalty. Moreover, different consumer

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“数字经济驱动高质量发展的统计测度与分析研究”(22JJD910002)。

作者简介: 王贺, 中国人民大学商学院, 本科生, 研究方向为大数据营销、营销模型。

通讯作者: 吴翌琳, 中国人民大学应用统计科学研究中心, 研究员, 中国人民大学统计学院, 教授, 博士生导师, 北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特约研究员、研究方向为经济统计分析、统计调查与实证, 通讯邮箱: wuyilin@ruc.edu.cn

groups exhibit notable differences in price sensitivity, brand-switching costs, and other dimensions. Finally, this study proposes marketing strategies and recommendations for the development of dairy brands, covering corporate, brand, and product dimensions.

**Keywords :** dairy industry; pre-elderly group; text analysis; structural equation modeling; loyalty mechanism analysis

## 引言

我国人口老龄化具有人口规模大、发展速度快等特点<sup>[1]</sup>。在健康中国战略和人口结构变化加速的双重背景下，准老年群体乳制品市场迎来新的结构性机遇。政策、人口和经济的协同变化，为乳制品行业开辟了全新的增长赛道。准老年人指的是处于中年向老年过渡阶段的人群，年龄界定为45-59岁。本研究主要关注该部分群体的消费行为。这一部分人群，通常具有较高的退休金和储蓄基础，并且注重管理自身健康和提高生活品质。根据相关数据，目前中国银发经济规模在7万亿元左右，约占GDP的6%<sup>[2]</sup>。预计进入“长寿时代”后，银发经济和准老年经济的占比还将进一步增加。

银发经济（Silver Economy）指的是围绕中老年群体需求形成的经济形态。李磊等人<sup>[3]</sup>从供需两端分析老年群体的消费升级趋势，其跨国研究表明，发达国家老年群体在旅游、健身等体验式消费的支出占比已超过了30%，而发展中国家这一需求正以年均15%的速度增长。同时，智能科技正重塑银发经济形态，2020-2025年中国养老机器人的市场规模由38亿元增至预计183亿元，5年增长382%，CAGR约为30%<sup>[4]</sup>。徐莺和刘含笑<sup>[5]</sup>基于中国老龄化背景，系统分析了银发经济的发展现状，指出老年群体在医疗健康、智能科技领域的需求增加，同时AI和大数据技术推动的精准养老模式需求提升，留存率超75%。黄维和赵杨归一<sup>[6]</sup>指出：新质生产力为银发经济开拓了创新空间，对推动转型升级及破除体制障碍提供了关键支撑。这些均体现出智能科技带来的银发市场的变革。

从营养价值来看，乳制品中的优质蛋白质和钙可有效预防骨质疏松，而张冬梅等人<sup>[7]</sup>指出，乳酸菌通过维持肠道微生态平衡提升免疫力，对准老年人群的健康管理有重要作用。同时，关于市场上的乳制品，王静和张伟<sup>[8]</sup>发现，当下的产品主要呈现出功能化与个性化需求凸显的特点。同时，朱小朋和刘永峰<sup>[9]</sup>的研究表明功能性老年奶粉，以及无乳糖和减糖乳制品逐渐兴起，这反映出消费者对健康饮食的主动适应。乳制品健康化与环保化趋势也尤为明显，含有清洁标签的乳制品正成为市场主流，且消费场景逐渐多元化。渠道方面，熊偲皓<sup>[10]</sup>等人发现，O2O模式与社区团购逐渐兴起，团购和冷链配送因便捷性成为重要渠道。这些披露出当下准老年群体乳制品市场产品的发展趋势，体现了市场的可进入性和价值。

然而，现有研究多聚焦全年龄段或泛化老年群体，缺乏对准老年人群的针对性分析。但何纪周<sup>[11]</sup>的研究显示，该群体处于健康管理意识觉醒期与消费能力高峰期，这说明其乳制品选择偏好、品牌信任机制等尚未被充分挖掘。

品牌信任是消费者决策的核心驱动力。罗磊<sup>[12]</sup>基于社群电商的研究发现，消费者对品牌的信任源于产品质量、历史口碑和服务体验。品牌信任通过降低消费风险感知，促进重复购买和口碑传播，最终形成情感依赖。同时，王菲<sup>[13]</sup>通过结构方程模型验证了满意度在品牌信任与忠诚度间的完全中介效应，表明消费者体验是维系长期忠诚的关键。此外，社群互动对品牌信任的构建具有放大效应。罗磊发现消费者在参与产品筛选、服务评价等过程中，通过社交媒体的信息共享和关键意见领袖（KOL）推荐，形成对品牌的集体认同。这与熊偲皓等提出的“同群效应”理论相呼应，即群体消费行为通过学习机制影响个体决策，尤其在信息不对称时，消费者倾向于模仿周围群体选择以降低风险。由此可见，忠诚度取决于消费者的品牌信任和社群互动功效。

综上所述，现有文献在银发经济与乳制品行业的关联研究中存在空白，尤其是在功能性乳制品对准老年群体健康管理的作用、品牌忠诚度构建机制等方面，亟待进一步深入探讨。

基于此，本文在第一部分进行了品牌网络评价的文本分析，通过电商评论提取出消费者对品牌持有的态度。在第二部分建立了消费者画像，并对消费者进行分类和特征提取。在第三部分建立关于忠诚度影响机制的结构方程模型，探究消费者乳制品消费的影响因素。通过上述的分析，在企业端、品牌端、产品端三方面针对性给出营销策略建议，助力其营销改进和品牌建设。本文创新之处在于，采用市场细分后的不同群体消费者分别进行探究，同时采用了文本分析和实证分析结合的方式，弥补了现有研究在地方区域上准老年群体消费行为分析上的不足，对推动银发经济发展具有重要意义。

## 一、知名品牌网络评价的文本分析

为了探究品牌在消费者心目中的评价,本研究选择对伊利、蒙牛、光明乳业和天友4个知名品牌,通过京东电商平台上商品的评论进行网络评价挖掘和情感分析。基于爬取的商品评论,本研究通过“词频-逆文档频率”(Term Frequency-Inverse Document Frequency, 下简称 TF-IDF<sup>[14]</sup>)进行特征词频分析,在得到词频统计后借助“潜在狄利克雷分布”模型(Latent Dirichlet Allocation, 下简称 LDA<sup>[15]</sup>)提取出若干主题,分析其评论的整体特征,在此基础上,最后通过基于 Transformer 的双向编码器表征(下简称 BERT<sup>[16]</sup>)模型来探究消费者对该4个知名品牌的普遍评价。

### (一) TF-IDF 词频提取

在本次研究中,爬取了伊利评论31057条,蒙牛评论17302条,光明评论11178条,天友评论385条,共59922条。经过数据预处理后进行词频统计,在此以伊利为例,统计排名前10的高频特征词如表1所示。

表 1 TF-IDF 特征词汇总

序号	关键词	次数	TF-IDF	序号	关键词	次数	TF-IDF
1	非常	13099	0.0785	6	不错	8029	0.0551
2	牛奶	12722	0.0811	7	伊利	6828	0.0415
3	喜欢	8715	0.0624	8	购买	6010	0.0390
4	京东	8494	0.0533	9	物流	6006	0.0397
5	包装	8141	0.0541	10	口感	5578	0.0362

通过表可以看出,特征词频最高的是“牛奶”“京东”“包装”“伊利”“物流”“口感”等词汇。其中,“伊利”“牛奶”等表现了品牌和其代表产品的特色,而“质量”“口感”等则是消费者所关注的消费体验特征。

## （二）LDA 主题模型

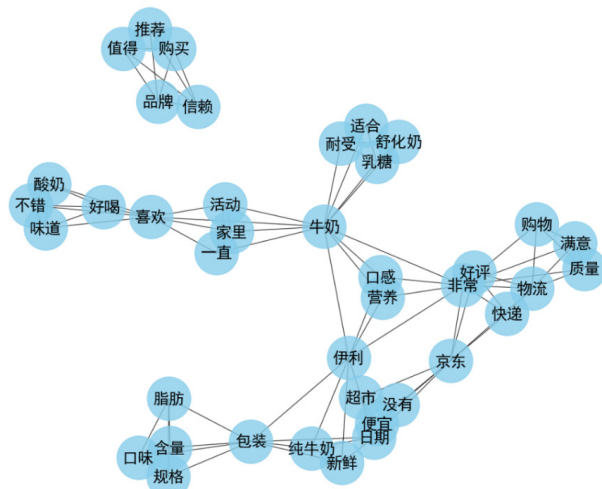


图 1 特征词相关性分析示意图

本研究采用 LDA 主题模型分析法进一步挖掘品牌评论间的潜在关系,从而进一步提炼消费者对品牌的评价。本研究从评论中选取了10个主题,并披露其前5的主题词。为了更好地呈现主题内容以及主题词之间的关系,本研究进行网络分析可视化,单个节点代表主题中的特征词,节点间的距离和方位表示主题内容和

主题词之间的相关性。距离相隔越近,主题和主题词间的关联性越强。结果如图1所示。

### (三) BERT 情感分析

本研究使用基于中文优化版 RoBERTa 模型<sup>[17]</sup>的情感分析方法,对评论内容的情感倾向进行了分析。在完成情感分析后,本研究对得分进行了标准化处理,并根据既定的情感分类规则,将评论分为“正向”“中性”和“负向”三个类别。结果显示,4个品牌在评论的情感分类得分上具有显著差异,如图2所示。

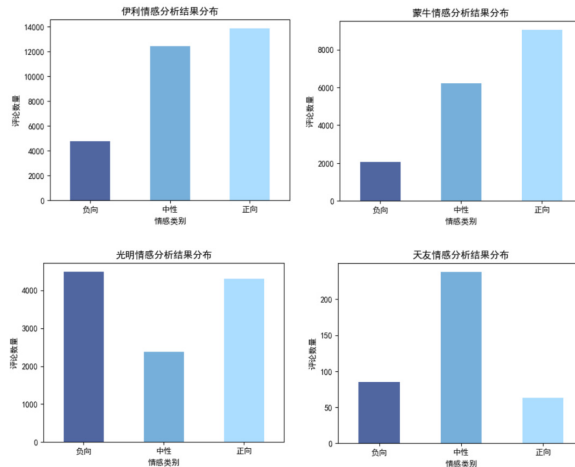


图 2 商品评论情感分布直方图

根据分析结果可以观察到,伊利和蒙牛这两个“双寡头”品牌与光明、天友品牌的评论在情感分布上存在显著差异。具体来看,在伊利和蒙牛的商品评论中,正向情感评论均占据了大部分,同时负向情感评论较少,这表明,对于这样的成熟型品牌,消费者对其认可度普遍较高。此类品牌的策略核心应放在如何稳固当下地位,提高消费者的转换成本。

而对于光明品牌，其负向情感比例显著多于伊利和蒙牛。这可能是由于先前光明乳业的较多产品质量问题曝光降低了消费者对该品牌的认可。对于此类品牌，最重要的是确保公关危机不再发生，保证产品的质量和售后，提高营销效率。在天友品牌的分析中，可以看到中性情感占据了大部分的比例。这说明消费者对天友并无显著的偏好或厌恶，此类品牌应在确保基本声誉稳定的前提下尽量提高品牌知名度，同时打造良好的消费体验，把关产品质量。

## 二、用户画像分析

在这一部分,本研究对问卷中消费者体现出的不同特征进行了描述性分析和进一步挖掘,包含消费者特征的总体分析和聚类分析。通过基于K-means的聚类分析,本研究提取出了各类消费者的生活方式,消费特征等,将乳制品市场的消费者进行了进一步细分,为乳制品企业提供了更为精确的策略制定参考。

### （一）数据来源

本研究在问卷设计和抽样方法上做了充分考量, 问卷涵盖消费者的基本信息、消费行为与触媒习惯、产品品类与消费偏好, 以及消费者的品牌认知等方面的调查。对于线上问卷, 则有意注意力测试<sup>[18]</sup>来筛选有效样本。本研究抽样选用二阶段抽样, 其中第

一阶段为基于人口为比例的 PPS 抽样来抽取区域。第二阶段为简单随机抽样，在区内抽取样本。最终回收问卷共 603 份，得到有效问卷 574 份。

（二）信效度检验

信度反映了问卷的一致性和可靠性，本研究使用克隆巴赫系数进行信度检验。一般而言，当系数大于 0.7 时，可认为问卷信度较高。经过检验得出，本研究问卷的 7 个构念克隆巴赫系数均大于 0.81，说明问卷可靠性较高。

问卷的有效性通常使用聚合效度和区分效度进行检验。在聚

合效度方面，本研究采用平均变异数萃取量（AVE）来进行分析。由表 2 可知，7 个构念的 AVE 值均高于 0.5，且部分构念大于 0.8，说明模型中构念对于观察变量的解释性较高。在区分效度方面，本文使用 Fornell-Larcker 标准对构念之间的区分效度进行分析。斜对角线数字为该因子 AVE 的根号值，对角线以下为各构念的皮尔逊相关系数。结果显示，构念的相关系数均小于其对应 AVE 值的平方根。这说明各构念之间具有一定程度的相关性，但彼此又有良好区分度。故本研究量表数据理想，信效度检验通过。

表 2 构念相关系数和区分效度

	AVE 值	感知价值	品牌形象	产品价格	品牌宣传	包装设计	满意度	忠诚度
感知价值	0.825	0.908						
品牌形象	0.883	0.827**	0.940					
产品价格	0.835	0.773**	0.882**	0.914				
品牌宣传	0.822	0.515**	0.664**	0.678**	0.907			
包装设计	0.873	0.534**	0.631**	0.636**	0.758**	0.934		
满意度	0.809	0.708**	0.796**	0.777**	0.650**	0.790**	0.899	
忠诚度	0.746	0.684**	0.736**	0.715**	0.621**	0.653**	0.827**	0.864

（三）消费者总体分析

1. 消费者基本情况

根据问卷调查结果，其画像分析如表 3，可以发现，性别方面，主要消费群体为女性，占比 67%。这和乳制品市场整体的消费者性别比例基本相符；收入方面，多数消费者的月收入在 2000 元到 10000 元之间；学历方面，本科学历的消费者占比最高，达 47%，反映出该群体对产品品质与营养价值的关注度较高；家庭结构方面，夫妻二人和三代同堂的家庭结构较为常见；职业方面，普通职员与企业管理者占比突出，消费与快节奏生活及便利性需求密切相关。

表 3 消费者画像分析

维度	年龄	性别	收入	学历	家庭结构
	50-55 岁	男	2000 以下	初中及以下	独居
占比	36.2%	33%	12%	2%	7%
	56-60 岁	女	2001-5000	高中 / 中专	与子女同住
占比	29.8%	67%	30%	15%	20%
	61-65 岁		5001-10000	专科	夫妻二人
占比	21.4%		39%	19%	33%
	65 岁以上		10001-20000	本科	与父母同住
占比			12%	47%	16%
	12.6%		20000+	硕士及以上	三代同堂
占比			7%	17%	24%

2. 消费者行为分析

消费行为统计汇总如表 4，在消费场景方面，日常需求为主，多元场景并存。乳制品已深度融入日常生活场景，其中以早餐牛奶、佐餐酸奶为代表的直接饮食需求占比最高。在品类偏好方面，鲜奶和发酵乳制品领跑市场。从产品选择来看，鲜牛奶与酸奶因新鲜度与营养价值优势，成为消费者购买的首选品类，两者合计占比超七成。

在消费场所方面，则线下渠道为主，新型模式崛起。实体零售仍是乳制品消费的主要场景，超市与便利店凭借直观产品展示

与即时购买优势，占据超六成市场份额。线上渠道则依托品类丰富性与配送便捷性，吸引年轻消费者转向电商平台。在品牌倾向方面，则头部乳企居多，伊利夺魁。调研数据显示，消费者更加倾向于选择头部品牌，这得益于品牌的宣传力度、售卖渠道等一系列要素。

表 4 消费特征分析

维度	消费场景	品类偏好	消费场所	品牌倾向
	日常饮食需要	鲜牛奶	超市 / 便利店	伊利
占比	72.7%	52.8%	71.1%	60.9%
	探访送礼	发酵乳制品	线上平台	蒙牛
占比	24.9%	39.6%	37.5%	52.4%
	速食需求	高钙奶	官方旗舰店	天友
占比	24.1%	35.2%	21.2%	46.1%
	聚会 / 下午茶	低脂 / 脱脂奶	社区团购	光明
占比	18.6%	23.5%	9.6%	29.3%
	其他	其他	其他	其他
占比	9.3%	13.2%	5.2%	7.1%

注：多选题比例之和大于 1

（四）基于 K-means 方法的聚类分析

根据问卷中的内容，本研究选取了平均每月购买乳制品的频次、平均每次购买乳制品的花费、性别、年龄段、学历和每个月可支配的收入这六个维度对消费者进行 K-means 聚类。确定指标后，通过使用肘部法则，确定 K 取值 4，最后将所有调研的消费者聚为 4 类进行分析，得到了每类消费者的整体水平如表 5 所示。

表 5 聚类后的消费者基本特征

类别	平均每月购买乳制品频次	平均每次购买乳制品花费	性别	年龄段	学历	每个月可支配的收入
1	19.22	40.00	0.56	48.44	3.33	15111.11
2	3.25	52.81	0.12	53.63	2.84	7234.38
3	3.56	67.35	0.89	56.00	1.79	5720.59
4	3.71	82.86	0.38	50.71	3.14	40000.00

其中性别越接近 1，这一类别的消费者中女性的占比就越高；学历数值越大，消费者类别的整体知识水平就越高。本研究对 4 类消费

者特征汇总如表6所示。

表 6 聚类后的消费者特点汇总

消费者类别	身份特征	消费特征
类别1	中年 高知 收入较高	高频 中等价格 营养补给
类别2	中老年 男性居多 收入较高 思维活跃	偶购大额 健康导向 高品质
类别3	中老年 女性居多 收入较低 思维朴素	偶购大额 价格敏感 折扣驱动 囤货 功能调理
类别4	中年 男性居多 高知 高收入	低频 高溢价 品质至上 高端品牌

### 三、结构方程实证研究

使用结构方程模型<sup>[19]</sup>来探究忠诚度影响机制具有诸多优势，尤其适用于消费者行为、市场营销领域的研究。先前研究中该模型也多次被应用，如张蓓<sup>[20]</sup>进行的旅客忠诚度分析，以及管红波<sup>[21]</sup>等人进行的生鲜领域顾客忠诚度分析等。模型能够同时分析忠诚度的前因变量、中介变量和结果变量，同时能够比较不同群体路径系数差异，进而验证机制的普适性或特异性。本研究建立的结构方程模型包含7个潜变量和30个观察解释变量，用于探究消费者忠诚度的影响因素及机制。

#### （一）模型建立

根据上文分析和检验结果建立了乳制品消费者忠诚度影响因素模型，如图3所示。

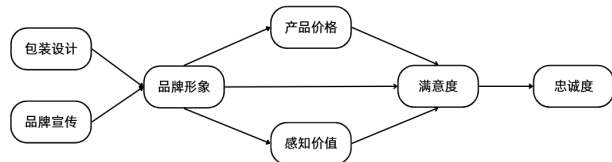


图 3 结构方程路径示意图

为进一步研究结构变量间的作用机制，提出如下假设：

- H1：包装设计显著正向影响品牌形象。
- H2：品牌宣传显著正向影响品牌形象。
- H3：品牌形象显著正向影响产品价格。
- H4：品牌形象显著正向影响感知价值。
- H5：品牌形象显著正向影响满意度。
- H6：产品价格显著正向影响满意度。
- H7：感知价值显著正向影响满意度。
- H8：满意度显著正向影响忠诚度。

在问卷调查中，本研究采用了五级李克特量表<sup>[22]</sup>来采集数据，要求受访者对各题项陈述的认同程度进行评分。根据样本数据，采用最大似然法进行参数估计。与结构方程模型的拟合度评价指标对比分析，模型拟合指标结果如表7所示。

表 7 模型检验结果

指标	判断标准	值
CMIN/DF	1-3	2.176
CFI	>0.9	0.924
TLI	>0.9	0.932
RMSEA	<0.08	0.071
SRMR	<0.08	0.074

综合来看，RMSEA、卡方自由度比、CFI、TLI 和 SRMR 均达到良好拟合的标准，表明整体模型拟合度较好，可用于进一步

分析。

#### （二）标准化路径分析

对结构方程模型进行标准化路径检验，分析结果如表8所示。

表 8 标准化路径结果

假设路径关系	标准化路径系数	S.E.	t 值	结论
包装设计→品牌形象	0.300*	0.120	2.314	支持
品牌宣传→品牌形象	0.465**	0.145	3.418	支持
品牌形象→产品价格	0.938***	0.097	8.229	支持
品牌形象→感知价值	0.889***	0.085	9.532	支持
产品价格→满意度	0.311*	0.185	2.216	支持
感知价值→满意度	0.273*	0.148	1.845	支持
品牌形象→满意度	0.334*	0.175	2.080	支持
满意度→忠诚度	0.946***	0.099	11.154	支持

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别代表 0.1%、1%、5% 的显著性水平。

标准化路径分析结果表明，所有假设路径均达到了显著水平，表明各变量之间存在稳定的正向影响关系，验证了模型的合理性。绘制路径示意图如图4所示

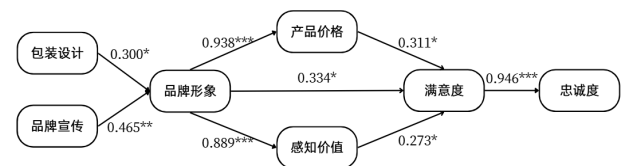


图 4 结构方程路径结果

其中，满意度对忠诚度的影响最为显著，且标准化系数较高，表明消费者的良好购买体验在品牌忠诚度的形成过程中起到了决定性作用。此外，品牌形象对产品价格和感知价值的路径系数较高，说明品牌形象对产品价格和感知价值也有较大影响，进而影响忠诚度。

#### （三）四类群体结构方程模型结果探讨

接下来应用上一部分的研究结果，将四类消费者的调查数据分别带入结构方程模型中，分析各自的路径机制。结果概览如表9所示。

表 9 四类消费者的路径结果

假设路径关系	类别1	类别2	类别3	类别4
包装设计→品牌形象	0.804***	0.632***	-0.099 <sup>np</sup>	0.764***
品牌宣传→品牌形象	-0.302 <sup>np</sup>	0.414***	0.875***	0.178***
品牌形象→产品价格	0.849***	0.900*	0.938***	-0.860 <sup>np</sup>
品牌形象→感知价值	0.880***	0.870***	0.598***	0.856***
产品价格→满意度	0.925***	-0.250 <sup>np</sup>	0.159 <sup>np</sup>	-0.468*
感知价值→满意度	-0.141**	0.192*	0.931***	0.078 <sup>np</sup>
品牌形象→满意度	0.203**	1.585***	-0.144 <sup>np</sup>	0.182*
满意度→忠诚度	0.886***	0.980***	0.941***	0.916***

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别代表 0.1%、1%、5% 的显著性水平，np 代表不显著。

可以看到，类别1消费者对品牌宣传持负面态度，产品价格和品牌自身的形象是影响品牌忠诚度的最重要因素。而类别2消费者对价格敏感性进一步降低，优质的品牌形象和良好的购买体验能够有效提高此类人群的忠诚度。类别3消费者消费价格敏感度较高，但易受品牌宣传因素影响，深入人心的广告口号是提高其忠诚度的关键。最后，类别4消费者会综合考量品牌宣传和包装设计层次，对价格敏感度不高。

四、结论与建议

（一）研究结论

在消费者需求方面，可以看出新时代的健康消费需求提升，重庆市准老年乳制品消费者总体呈现出高健康意识、高教育水平和稳定收入的特点。利用 K-means 聚类分析，本研究将准老年乳制品消费者划分为四类，具有显著的购买差异特征。

在忠诚度影响机制方面，品牌形象在忠诚度影响机制起决定性作用，其对感知价值和产品价格具有显著正向影响，这些因素的改善直接转化为更高的消费者满意度和忠诚度。同时，品牌宣传在塑造品牌形象上也发挥了重要作用，本研究认为品牌通过宣传取得的良好形象和消费者满意的购买体验是忠诚度转化的核心驱动因素。

（二）策略建议

基于上述分析结果，本研究在企业、品牌、产品三个层面分别提出建议。

1. 企业层面

针对不同的消费群体制定差异化营销策略。基于上文对消费者群体的划分，可以依据不同群体特点制定差异化营销策略。例如，对于类别1具有稳定的购买周期和较高的品牌忠诚度，企业可以建立多层次的会员体系，包括积分奖励、专属折扣和生日特权等。

为了加强建议的时效性，企业可以建立动态监测机制。通过购买后回访、线上评价分析和会员数据追踪等多渠道收集消费者反馈。在购买过程中，消费者可能会转换品牌或改变购买习惯，从而改变消费者画像特征。企业可以运用大数据分析技术，定期更新消费者聚类 and 结构方程模型，实现营销策略的迭代优化。动态检测示意图如图5所示。

2. 品牌方面

打造陪伴式品牌体验，构建情感联结。在先前的分析中，本

研究发现天友在重庆占据最高的市场份额，最受消费者青睐。而通过对消费者的访谈，本研究发现，准老年人群对该品牌具有较强的情感联结。同时，考虑到该部分群体日常社交中多为同龄社交，在这一过程中，情感联结占据了重要的位置。为了迎合该部分群体的情感需求，企业可以通过社区互动、公益活动等方式，增强品牌温度，让消费者在购买产品的同时收获情绪价值，关注中年群体的身心健康，传递品牌关怀。

3. 产品方面

推出符合准老年需求的新品类，如高钙酸奶。在上述消费者画像的品类偏好分析中，本研究发现该群体消费者除了对鲜牛奶有显著偏好外，排在第二的是发酵乳制品，第三的是高钙奶。考虑到准老年人群身体机能需要，高钙奶有助于其更好调理健康。而该部分群体对发酵乳制品的偏好是一个较为反直觉的特点，本研究推测这可能是因为酸奶含有的益生菌等物质可以促进消化吸收。企业可以结合消费者对这两类产品的偏好，在地方市场推出高钙酸奶。

本研究聚焦重庆市准老年消费人群的乳制品消费市场，在政策支持、人口结构变化和银发经济崛起的背景下，深入剖析了该群体的消费特征、品牌选择因素，并为乳制品企业提出了全面的发展策略。研究发现，该部分消费者呈现出高健康意识、高教育水平等特征，且能够细分为四类不同消费群体，各自都具有独特的消费行为和需求。

这一研究成果不仅为乳制品企业提供了精准的市场导向，能够助力企业提升品牌竞争力、扩大市场份额，还对推动整个乳制品行业的创新发展具有重要意义。在人口老龄化加速的当下，深入挖掘准老年群体的消费市场，满足其多元化需求，有助于企业实现可持续发展。与此同时，更能推动银发经济的健康繁荣，为社会经济发展注入新的活力，让乳制品更好地服务于该部分群体的健康生活，促进社会和谐发展。

参考文献

[1] 国家统计局. 人口老龄化及其衡量标准是什么 [EB/OL]. 2025-04-09[2025-07-14].[https://www.stats.gov.cn/zs/tjws/tjbz/202301/t20230101\\_1903949.html](https://www.stats.gov.cn/zs/tjws/tjbz/202301/t20230101_1903949.html)

[2] 中华人民共和国商务部. 2023年中国银发经济规模统计数据 [EB/OL]. 2024-12-20[2025-07-14].[http://114.255.111.180/ltxgbj/zyjs/202412/t20241220\\_532876.html](http://114.255.111.180/ltxgbj/zyjs/202412/t20241220_532876.html)

[3] 李磊, 杜孟飞, 曾之遥. 银发经济、养老产业、银龄消费概念及其关系辨析——基于“主体-内容-政策”的分析框架 [J]. 财经理论与实践, 2025, 46(03): 57-66.

[4] 观研天下. 2025年中国养老机器人行业发展趋势研究与未来投资分析报告 [R]. 2025-06-09.

[5] 徐莺, 刘含笑. 中国“银发经济”的现状、问题与前景 [J]. 北京航空航天大学学报社会科学版, 2023, 36(1): 140-147.

[6] 黄维, 赵杨归一. 新质生产力赋能银发经济的内在逻辑、关键问题与有效路径 [J]. 亚太经济, 2025, (1): 1-11.

[7] 张冬梅, 许斌斌, 余砾. 布拉酵母菌预防住院老年患者抗生素相关性腹泻的前瞻性随机对照研究 [J]. 中华内科杂志, 2017, 56(6): 398-401.

[8] 王静, 张伟. 功能性乳制品的消费趋势与技术创新：基于中国市场的实证研究 [J]. 中国食品学报, 2024, 24(3): 112-125.

[9] 朱小朋, 刘永峰. 功能性乳制品研究现状及发展前景 [J]. 乳业科学与技术, 2022, 45(2): 65-68.

[10] 熊偲崎, 程广燕, 王子. 我国居民乳制品消费行为的同群效应研究 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2023, (6): 26-35.

[11] 何纪周. 我国老年人消费需求和老年消费品市场研究 [J]. 人口学刊, 2004(3): 49-52.

[12] 罗磊. 社群电商认同、品牌信任与消费者忠诚 [J]. 商业经济研究, 2023, (2): 70-73.

[13] 王菲. 我国城市老年人消费行为的实证研究 [J]. 人口与发展, 2015(3): 101-112.

[14] Jiang Z, Gao B, He Y, et al. Text Classification Using Novel Term Weighting Scheme-Based Improved TF-IDF for Internet Media Reports[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021(6): 1-30.

[15] Chen X, Xue Y, Zhao H, et al. A novel feature extraction methodology for sentiment analysis of product reviews[J]. Neural Computing and Applications, 2018.

[16] 姜富伟, 刘雨雯, 孟令超. 大语言模型、文本情绪与金融市场 [J]. 管理世界, 2024, 40(8): 42-64.

[17] 王曙燕, 原柯. 基于 RoBERTa-WWM 的大学生论坛情感分析模型 [J]. 计算机工程, 2022, 48(8): 292-298+305.

[18] Oppenheimer D M, Meyvis T, Davidenko N. Instructional manipulation checks: Detecting satisficing to increase statistical power[J]. Journal of Experimental Social Psychology, 2009, 45(4): 867-872.

[19] 王孟成, 邓倩文, 毕向阳. 潜变量建模的贝叶斯方法 [J]. 心理科学进展, 2017, 25(10): 1682-1695.

[20] 张蓓. 都市农业旅游游客满意度与忠诚度实证分析——基于广州农业旅游景点的调查 [J]. 中国农村经济, 2012, (12): 80-92.

[21] 管红波, 孙璐, 何静. 高校社区 O2O 生鲜电商顾客忠诚影响因素及性别调节机理 [J]. 上海管理科学, 2017, 39(02): 48-53.

[22] Likert R.A technique for the measurement of attitudes[J]. Archives of Psychology, 1932, 22(140): 55.

# “搭子社交 APP” 的需求分析与发展战略研究

李佳奇<sup>1</sup>, 肖灿<sup>1</sup>, 魏嘉仪<sup>1</sup>, 靳晴<sup>1</sup>, 吴翌琳<sup>1,2\*</sup>, 蒋妍<sup>1,2</sup>

1. 中国人民大学 统计学院, 北京 100872

2. 中国人民大学 应用统计科学研究中心, 北京 100872

DOI:10.61369/ASDS.2025060002

**摘 要 :** 随着时代的发展,“搭子社交”在 Z 世代青年群体中日益流行,“搭子社交 APP”产品开始涌现,正在抢占市场蓝海。本研究从用户和产品两角度,探究搭子社交 APP 的忠诚及潜在用户画像、使用意愿的心理学形成机制、理想功能特点。基于问卷调查,研究认为搭子社交 APP 的忠诚用户为男性群体及初入职场的青年群体,保障 APP 使用的安全性是拓展女性群体、在校学生这两类潜在用户的关键;通过建立结构方程模型,研究得出 APP 的产品理念设计方法:一是帮助依恋回避群体降低生活压力,二是帮助依恋焦虑群体多结识新的伙伴;通过访谈,研究认为搭子社交 APP 功能设计上要做到保障安全性和合理利用信息之间的平衡、注重以活动为导向、增值机制合理、重点发展聚餐等核心业务。研究还对 APP 未来发展提出建议。

**关 键 词 :** 搭子社交 APP; 用户画像; 机制分析; 产品设计

## Demand Analysis and Strategic Development Research of "Dazi Socializing APP"

Li Jiaqi<sup>1</sup>, Xiao Can<sup>1</sup>, Wei Jiayi<sup>1</sup>, Jin Qing<sup>1</sup>, Wu Yilin<sup>1,2</sup>, Jiang Yan<sup>1,2</sup>

1.School of Statistics, Renmin University of China, Beijing 100872

2.Center for Applied Statistics, Renmin University of China, Beijing 100872

**Abstract :** With the development of society, "Dazi socializing" has become increasingly popular among the Z-generation youth. "Dazi socializing APP" products have emerged and are seizing the market opportunity. This study explores the loyalty and potential user profiles of Dazi socializing APPs, as well as the psychological formation mechanism of users' willingness to use them, and the ideal functional characteristics. Based on the questionnaire survey, the study concludes that the loyal users of Dazi socializing apps are mainly male groups and young people who are new to the workplace. Ensuring the security of app usage is the key to expanding the potential user groups of women and students. By establishing a structural equation model, the study concludes the design method of the APP's product concept: one is to help individuals with avoidance of attachment reduce life stress, and the other is to help individuals with anxiety about attachment make more new friends. Through interviews, the study believes that the function design of Dazi socializing APPs should achieve a balance between ensuring safety and reasonably utilizing information, focus on activity orientation, have a reasonable value-added mechanism, and focus on developing core functions such as dining together. The research also provided suggestions for the future development of the APP.

**Keywords :** Dazi socializing APP; user profiling; mechanism analysis; product design

## 引言

“搭子社交”可以定义为青年人出于情感需要而寻求的,与自身具有共同爱好、兴趣或需求,同时保持明确边界感的社交关系。青

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“数字经济驱动高质量发展的统计测度与分析研究”(22JJD910002)。

作者简介:

李佳奇,中国人民大学统计学院,硕士研究生,研究方向为经济统计;

肖灿,中国人民大学统计学院,硕士研究生,研究方向为经济统计;

魏嘉仪,中国人民大学统计学院,硕士研究生,研究方向为经济统计;

靳晴,中国人民大学统计学院,硕士研究生,研究方向为经济统计;

蒋妍,中国人民大学统计学院,中国人民大学应用统计科学研究中心,教授,研究方向为抽样设计,非抽样误差,计量经济学。

通讯作者:吴翌琳,中国人民大学统计学院教授,博士生导师,北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特约研究员、中国人民大学应用统计科学研究中心研究员。研究方向为经济统计分析,统计调查与实证。通讯邮箱:wuyilin@ruc.edu.cn

年群体的社交需求随着时代发展而变化，搭子社交不断兴起，相关商业产品也开始涌现。“搭子社交 APP”是指以寻找、结交搭子为主要概念的社交类 APP，目前已有众多产品问世，但尚未形成富有竞争力的头部产品。基于这样的市场背景，本研究将从用户和产品两角度，探究搭子社交 APP 的忠诚及潜在用户画像、使用意愿的心理形成机制、APP 的理想功能特点。并将以此为基础，为搭子社交 APP 拓宽用户量、优化产品设计提供建议。

## 一、搭子社交 APP 的发展背景

“搭子”起源于上海话，意为“一起打牌的人，引申为合伙者”。在新时代的语境下，搭子被赋予了新的内涵，可以总结为三点：“功能导向”，遵循特定需求而结成；“边界感明确”，在特定社交场景以外的联系强度和交流密度不高；“临时性”，多带有临时结交的特点。搭子社交覆盖群体范围广泛，而青年群体中的搭子社交尤为突出。本研究将聚焦青年群体，尝试对搭子社交予以如下定义：青年人出于情感需要而寻求的，与自身具有共同爱好、兴趣或需求，同时保持明确边界感的社交关系。搭子社交愈发兴起，据《中国青年报》2023年的一项社会调查显示，将近 72.6% 的受访者在日常生活中有搭子。<sup>[1]</sup>

青年群体的强烈需求催生着搭子社交向商业领域的变现，在互联网发展浪潮的加持下，自 2020 年起，一批以寻找、结交搭子为主要概念的社交 APP 涌现，可定义为“搭子社交 APP”。随着移动互联网的普及和发展，增量社交 APP 愈发趋向专业化和功能化。搭子社交 APP 迎合当前青年群体的社交需求，具有广阔的发展前景。

表 1：市面部分搭子社交 APP 案例分析

产品名称	发展优势	存在问题
搭子社交	对搭子有明确分类，如“饭搭子、运动搭子”，有明确的活动发布流程，以活动为导向。	对搭子的分类栏太小，页面设计不美观，活动发布时需要填写的内容多且较为固化，如与既定活动信息绑定可大幅提高找搭子的效率。
附近搭子	依托微信小程序，省略下载步骤，带来流量支持，用户较为活跃。	用户类型过多，较多以婚恋为目的。如聚焦在年轻人群体将更符合搭子社交实质。
Soul	是当下较为活跃的交友类 APP，对搭子社交也比较关注，成功经验值得新型搭子社交 APP 借鉴。	对交友形式的界定以聊天为主，可能因为用户群体较为广泛，同城线下联系可能性低，对具体活动的搭子关注度不够。

对市面几款搭子社交 APP 进行案例分析，可以发现该行业目前仍未形成富有竞争力的头部产品，众多公司正在这一领域抢占蓝海。各 APP 若要提高市场占有率，一是要有科学的用户研究，根据用户特征及 APP 使用心理准确进行产品推广，二是以用户需求为导向，科学设计产品功能。在这样的背景下，围绕搭子社交 APP 的需求分析与发展战略研究有着重要价值。

## 二、研究设计

### （一）研究架构

本研究将通过“问卷 + 访谈”的形式开展。基于问卷调查，首先利用描述统计方法勾勒搭子社交 APP 的用户画像，并通过结

构方程模型探究出用户使用搭子社交 APP 行为的心理学机制。基于问卷调查所得结论，研究将进一步开展访谈，对所得结论予以验证，并进一步探究搭子社交 APP 的产品设计方法，最后在结论环节提出发展建议。

### （二）问卷设计

#### 1. 用户研究部分

问卷用户研究板块将关注搭子社交在年轻群体中流行的基本情况，这将作为 APP 市场的大盘信息；随后，问卷聚焦搭子社交 APP 的使用意愿，这将帮助研究了解喜好使用本产品的“忠诚用户”、搭子社交需求旺盛但平台使用意愿较弱的“潜在用户”画像；问卷还选取产品调研常用的人口学特征用于交叉分析，以得出更为丰实、更多侧面的结论。

表 2：问卷设计结构

问卷板块	问题设计
搭子社交行为	是否存在搭子社交
	身边搭子个数
	搭子活动类型
搭子社交 APP 的使用意愿	使用意愿
	信任程度
	推广意愿
人口学特征	不愿使用的原因
	性别
	在读学生 / 已工作

#### 2. 机制分析部分

根据社会认知理论，个体性格、环境认知、个体行为彼此联系，互相决定。聚焦到“APP 使用意愿”这一行为的决定路径，在机制分析板块，研究将底层解释变量聚焦于社交性格，通过与搭子社交行为关系密切的生活压力刻画出中介解释变量，即受访者对社交环境的认知，并设定被解释变量为搭子社交 APP 的使用意愿。通过整理相关文献，研究最终选取依恋焦虑、依恋回避、压力感知作为三个深层次的机制变量，形成结构方程模型如下图所示：

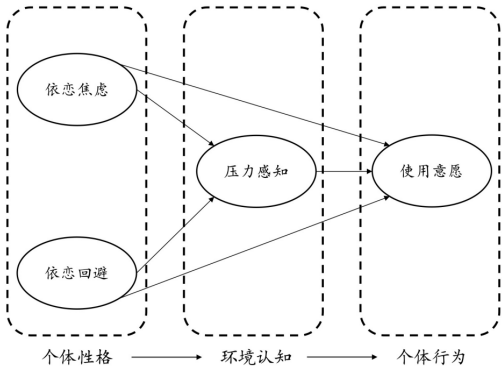


图 1：机制分析假设

在这一板块，研究作出如下三种假设：

H1: 依恋回避正向促进搭子社交 APP 的使用意愿；

H2: 依恋回避可以通过正向促进压力感知从而负向抑制搭子社交 APP 的使用意愿；

H3: 依恋焦虑对搭子社交 APP 使用意愿的影响存在异质性。

假设制定的依据综述如下表所示：

表3：研究假设制定依据

研究假设	支撑观点	文献来源
依恋回避正向促进搭子社交 APP 的使用意愿	依恋回避个体持有的消极他人态度，使他们不愿或无法相信他人。	Gosnell, 2013 <sup>[2]</sup>
	当个体处于依恋回避中时，来自外部的主观支持、客观支持和利用度明显偏低。	王雁飞, 2004 <sup>[3]</sup>
依恋回避可以通过正向促进压力感知从而负向抑制搭子社交 APP 的使用意愿	依恋回避与压力知觉呈正相关，个体的依恋质量低，在面对外界压力时更容易产生脆弱性。	陈琳, 2023 <sup>[4]</sup>
	压力性生活事件会影响个体产生内化性行为问题。	侯欣宇, 2022 <sup>[5]</sup>
依恋焦虑对搭子社交 APP 使用意愿的影响存在异质性	依恋焦虑与孤独感显著相关，依恋焦虑的个体往往对人际交往不满意，在现实交往中受挫导致其更容易体验到孤独。	WEI 等, 2005 <sup>[6]</sup>
	依恋焦虑个体可能并不缺乏社会支持。	汤芙蓉等, 2009 <sup>[7]</sup>

机制变量的测量量表总结在下表，将采用 5 份量表测度：

表4：因子测度题设

因子	具体题目	支撑文献
依恋焦虑	我有些担心会失去朋友 / 恋人	李同归, 加藤和生, 2006 <sup>[8]</sup> Brennan 等, 1998 <sup>[9]</sup>
	我常常希望他人对我的感情和我对他人的感情一样强烈	
	我需要我的朋友 / 恋人一再地保证他 / 她是爱我的	
	如果我无法得到朋友 / 恋人的注意和关心，我会心烦意乱或者生气	
依恋回避	我不喜欢让朋友 / 恋人知道自己内心深处的感觉	Cohen S 等, 1984 <sup>[10]</sup>
	当朋友 / 恋人开始要跟我亲近时，我感到不自在，想要退缩	
	我觉得对朋友 / 恋人开诚布公不是一件很舒服的事情	
	我试图避免与朋友 / 恋人变得太亲近	
压力感知	感觉自己能有信心处理私人问题（反向题）	王琳等, 2025 <sup>[11]</sup>
	感觉自己事情顺心如意（反向题）	
	感觉自己能驾驭生活中重要的事情（反向题）	
	感觉自己能控制时间安排的方式（反向题）	
使用意愿	我愿意使用搭子社交 APP	王琳等, 2025 <sup>[11]</sup>
	我对搭子社交 APP 保持信任	
	我会推荐亲朋好友使用搭子社交 APP	

### （三）访谈设计

访谈环节将基于两项目的设计：首先，对前文的创新性、建设性结论作出验证，以提高结论的说服力；随后，邀请受访者体验市面上已有的搭子社交 APP，并询问使用过程中的问题，改进方向的建议，从而总结出具体 APP 功能设计方案。访谈提纲结构如下：

表5：访谈设计

问题模块	具体问题	
搭子社交的相关经历	您找过什么样的搭子？是怎样找到的呢？	
特定群体结论验证	作为经常找搭子的女性 / 学生群体，为什么对搭子社交 APP 有着顾虑？	
	您在人际交往中更主动还是更回避？您觉得这样的性格会影响到您使用这类 APP 吗？	
	您的生活压力大吗？您觉得生活压力会不会影响到您使用这类 APP ？	
现有 APP 体验感受	搭子社交	您觉得这些 APP 使用起来有哪些问题？
	附近搭子	
	Soul	
APP 设计建议总结	搭子匹配机制	您觉得一款理想的搭子社交 APP，它的这些方面都应当如何表现？
	收集用户信息类别	
	具备特质	

研究选取 12 位来自北京市的 Z 世代人群作为访谈对象，身份覆盖男女性、学生及已工作群体。

### （四）问卷发放

研究限制抽样总体为北京市 18 至 30 岁人群，抽样方法为区级配额抽样。共发放问卷 462 份，收集有效问卷 432 份。样本中男性 215 份，女性 217 份，分布接近 1:1；样本在 Z 世代各年龄人群中均有分布，不存在极端断档情况，较好地代表了总体特征。

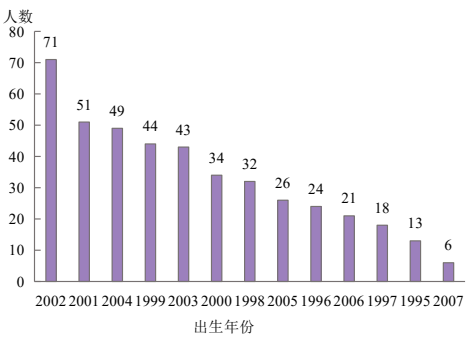


图2：受访者出生年份分布

## 三、搭子社交 APP 的用户研究

针对受访者在生活中“是否有搭子”及受访者“是否愿意使用搭子社交 APP”分别进行统计分析，将这两项问题同性别及在校情况进行交叉，得到如下结果：

表6：APP 用户画像分析

是否有搭子 - 类别	人数	在所在属性中占比	是否愿意使用 APP - 类别	人数	在所在属性中占比
有 - 整体	325	75.23%	愿意 - 整体	301	69.68%

无 - 整体	107	24.77%	中立 / 不愿意 - 整体	131	30.32%
有 - 男性	152	70.70%	愿意 - 男性	162	75.35%
无 - 男性	63	29.30%	中立 / 不愿意 - 男性	53	24.65%
有 - 女性	173	79.72%	愿意 - 女性	139	64.06%
无 - 女性	44	20.28%	中立 / 不愿意 - 女性	78	35.94%
有 - 在校学生	195	75.88%	愿意 - 在校学生	172	66.93%
无 - 在校学生	62	24.12%	中立 / 不愿意 - 在校学生	85	33.07%
有 - 工作群体	130	74.29%	愿意 - 工作群体	129	73.71%
无 - 工作群体	45	25.71%	中立 / 不愿意 - 工作群体	46	26.29%

超过七成受访者有过搭子社交经历，而愿意使用搭子社交 APP 的人群比例有所降低，占 69.68%。女性群体中有搭子的占比为 79.72%，高于男性，学生中有搭子的占比为 75.88%，略高于工作群体。女性、学生是找搭子行为更为普遍的群体；而在是否愿意使用搭子社交 APP 上，性别及在读状况出现了与找搭子行为倒挂的现象：男性愿意使用 APP 的人数比例更高，工作群体愿意比例高于在读学生。

进一步探究女性及在读学生不愿使用搭子社交 APP 的原因，可以发现女性及学生群体更多表示出对安全问题、隐私泄露问题的担忧，也有一部分群体对通过 APP 寻找搭子这一新兴社交方式表示观望，更喜欢传统社交方式。

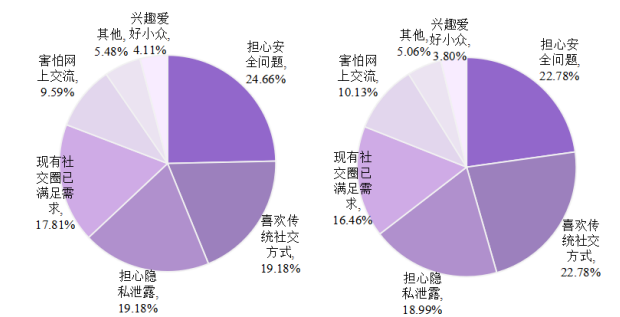


图3：女性不愿使用 APP 的原因占比 图4：学生不愿使用 APP 的原因占比

由此可见，搭子社交 APP 的忠诚用户为男性群体及初入职场的青年群体，而女性群体、在校学生找搭子的行为更加普遍，却对搭子社交 APP 缺乏使用热情，是 APP 的潜在用户。而对这部分群体的挖掘，很大程度上依赖于保障 APP 的安全性。

搭子社交类型方面，总结各类搭子社交活动人群愿意使用搭子社交 APP 的比例，将其与不同活动类型在总体中的比例进行对比，结果如下：

表7：搭子社交种类及 APP 使用意愿交叉分析

社交种类	总计人数	占总体比例	愿意使用 APP 人数	占该活动人群比例
电子游戏	99	22.92%	71	71.72%
文艺演出	141	32.64%	100	70.92%
聚餐	185	42.82%	131	70.81%

短途外出	152	35.19%	107	70.39%
运动	123	28.47%	86	69.92%
娱乐活动	142	32.87%	99	69.72%
学习	141	32.64%	98	69.50%
逛街	123	28.47%	84	68.29%
文化活动	76	17.59%	50	65.79%
长途旅行	70	16.20%	45	64.29%

结果显示，聚餐活动在总体中比例最高，愿意使用 APP 人群在全部聚餐活动人群中占比也较高。同样情况的还有短途外出及文艺演出。电子游戏在总体比例中不占优势，但其愿意使用 APP 的比例排在首位，对这类业务的发展也需要得到重视。据此，搭子社交 APP 可以将聚餐、短途外出、文艺演出、电子游戏设定为重点发展的四项业务。

#### 四、搭子社交 APP 使用意愿的机制分析

机制分析环节，研究首先针对量表设计进行信效度检验，以保障问卷结果在各潜在因子内部表现的一致性与可靠性，以及验证问卷设计结构、不同因子间区分程度是否达成相关要求。各检验表明，问卷中对应的量表题信效度检验通过，结构方程的结构效度、区分效度也通过，结论具备说服力。

表8：信度分析

因子名称	依恋焦虑	依恋回避	压力感知	使用意愿	总体信度
显变量个数	4	4	4	3	15
Cronbach $\alpha$ 系数	0.741	0.763	0.763	0.847	0.714

表9：效度分析

变量名称	因子载荷系数				共因子方差
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	
压力感知 1	0.721	0.274	0.158	0.063	0.623
压力感知 2	0.812	-0.028	-0.123	0.079	0.681
压力感知 3	0.874	0.076	-0.049	0.012	0.773
压力感知 4	0.614	0.018	-0.224	-0.029	0.428
依恋回避 1	0.023	0.749	0.257	-0.113	0.64
依恋回避 2	0.318	0.581	0.042	0.311	0.537
依恋回避 3	-0.004	0.817	0.055	-0.002	0.67
依恋回避 4	0.111	0.832	-0.08	0.125	0.726
使用意愿 1	-0.082	0.002	0.841	0.176	0.744
使用意愿 2	-0.131	0.074	0.876	-0.005	0.79
使用意愿 3	-0.035	0.135	0.864	-0.026	0.767
依恋焦虑 1	0.009	0.103	0.017	0.795	0.642
依恋焦虑 2	-0.017	-0.208	0.156	0.779	0.675
依恋焦虑 3	0.049	0.131	-0.084	0.761	0.606
依恋焦虑 4	0.058	0.075	0.056	0.644	0.427
KMO	0.719		巴特球形值	650.582	
df	105		p-value	0	

表10：结构效度分析

指标名称	卡方自由度比 $\chi^2/df$	RMSEA	PGFI	PCFI
判断标准	<3	<0.1	>0.5	>0.5
实际结果	1.703	0.076	0.61	0.719

表 11: 区分效度分析

	依恋焦虑	依恋回避	压力感知	使用意愿
依恋焦虑	0.654			
依恋回避	0.139	0.682		
压力感知	0.078	0.244	0.697	
使用意愿	0.096	0.156	-0.155	0.809

全体数据结果显示, 依恋回避对使用意愿影响显著, 而依恋焦虑不会对使用意愿产生明显的效应。依恋回避对使用意愿有着正向的直接影响, 而在间接影响上, 依恋回避首先会正向影响压力感知, 压力感知又会反过来负向抑制 APP 的使用意愿。由此验证了假设一和假设二。

表 12: 全体数据结果

自变量	路径	因变量	路径系数	标准化路径系数	标准误差	P
依恋回避	→	使用意愿	0.233	0.196	0.139	0.093
依恋回避	→	压力感知	0.213	0.251	0.099	0.032
压力感知	→	使用意愿	-0.32	-0.229	0.157	0.042
依恋焦虑	→	压力感知	0.035	0.044	0.088	0.692
依恋焦虑	→	使用意愿	0.088	0.079	0.124	0.478

对于上述结果, 研究认为, 搭子社交 APP 的使用意愿受以下两项机制作用: 首先, 个人的依恋回避感会促进搭子社交 APP 的使用意愿。这是因为依恋回避型人格对于社交有着更轻量化的需求, 他们往往不愿投入更多精力参与朋友的构建, 享受寻找搭子带来的高效和精准性; 第二, 压力感知对寻找搭子有抑制作用。这是因为回避型人格在处理日常社交关系时往往陷入内耗, 这会增加这一群体的生活压力。而面对较高的生活压力, 这一类型的群体会更可能选择自我封闭, 冲淡寻找搭子的欲望。通过外界手段减少年轻群体的压力感知, 可能会达到减轻抑制作用, 增强 APP 使用意愿的效果。

下面, 聚焦不同个体日常拥有的搭子数量, 以 6 个为界限, 将搭子个数分为“少”和“多”两类进行异质性分析。结果显示, 搭子数量少的群体, 依恋焦虑正向影响使用意愿, 搭子数量多的群体, 依恋焦虑负向抑制使用意愿, 由此验证了假设三。

表 13: “身边搭子少”人群结果

自变量	路径	因变量	路径系数	标准化路径系数	标准误差	P
依恋焦虑	→	使用意愿	0.403	0.363	0.157	0.01
依恋焦虑	→	压力感知	-0.102	-0.135	0.098	0.295
依恋回避	→	压力感知	0.315	0.389	0.118	0.008
依恋回避	→	使用意愿	0.178	0.15	0.169	0.29
压力感知	→	使用意愿	-0.199	-0.136	0.193	0.304

表 14: “身边搭子多”人群结果

自变量	路径	因变量	路径系数	标准化路径系数	标准误差	P
依恋焦虑	→	使用意愿	-0.966	-0.591	0.542	0.075
依恋焦虑	→	压力感知	0.601	0.743	0.332	0.07
依恋回避	→	压力感知	-0.093	-0.166	0.095	0.327
依恋回避	→	使用意愿	0.29	0.256	0.223	0.194
压力感知	→	使用意愿	0.07	0.034	0.579	0.904

研究认为, 依恋焦虑对使用意愿的影响会因搭子数量的变化

而呈现不同方向。在搭子数量较少时, 依恋焦虑群体更渴望多拥有一些搭子, 因而更愿意使用 APP 来拓宽自己的交际圈; 而当搭子达到一定数量时, 依恋焦虑群体将致力于保持和这些搭子的关系维护, 他们的社交基本需求也都能够满足, 于是对 APP 的使用意愿就会降低。两类群体依恋焦虑对使用意愿的效应方向不同, 导致整体上依恋焦虑和使用意愿间没有明显的关联。

梳理上述研究结果, 搭子社交 APP 的产品理念可锚定两条设计线路: 第一, 帮助依恋回避群体降低生活压力, 减少生活压力对人际交往带来的负担; 第二, 帮助渴望扩展社交圈子的依恋焦虑群体多结识新的伙伴, 让身边共事的搭子变多。

## 五、访谈与搭子社交 APP 的功能设计

用户研究中谈到, 女性、在校群体更不愿意使用搭子社交 APP。访谈环节, 女性、在校学生受访者普遍表示十分重视隐私安全问题, 在搭子社交平台的使用过程中, 会担忧个人信息被平台过度收集或泄露, 从而造成不必要的风险。当其与搭子线下见面时, 也面临骚扰或抢劫等风险。这些问题是这类群体在使用搭子社交 APP 时的主要顾虑。

机制分析中, 依恋回避对搭子社交 APP 的使用意愿具有促进作用, 而压力感知则对其具有抑制作用。在访谈中, 回避型人格的受访者认为通过线上平台寻找搭子, 无需真人面对面, 避免了直接的社交压力。然而当受访者感受到生活压力时, 会将社交视为一种额外的负担, 寻找搭子的需求会显著下降。同时, 也有主动型人格的受访者提到自己目前的朋友数量已经足够, 因此不太有动力去使用额外的社交平台, 因为已有固定的社交圈。但回忆自身刚进入某一社会环境时, 确实具有开拓社交圈的强烈需求, 此时会尝试通过找搭子来与人建立联系。由此验证了依恋焦虑随着拥有搭子数量的增加, 对使用意愿的影响“先正后负”的规律。

功能设计方面, 总结受访者在搭子社交 APP “匹配机制、信息收集、具备特质”三方面建议的回答, 分类制作词云图如下:



图 5: “匹配机制”访谈反馈词云图



图 6: “信息收集”访谈反馈词云图



图 7: “具备特质”访谈反馈词云图

在匹配机制方面, “用户、需求、功能、活动”频率较高。多数用户反映现有搭子社交 APP 往往只能根据帖子内容和性别、位

置等基本条件进行匹配，对针对具体某一项活动来进行精准匹配呼声强烈；在信息收集上面，除“性别、学历”等基础信息外，许多受访者还反映了“兴趣爱好”等个性化特征。以期找到更为志同道合的搭子；具备特质上，“广告、隐私、虚假、信息”词频显著。很多用户一方面担忧自己填写真实信息后会存在泄露风险，另一方面又被 APP 中的大量虚假信息干扰。此外，部分用户反馈某些平台功能布局比较混乱，广告过多且无法跳过，非常影响使用体验。

据此，研究认为理想的搭子社交 APP 功能设计要抓住以下锚点：第一，做到保障安全性和合理利用信息之间的平衡；第二，注重以活动为导向的搭子匹配机制；第三，要注意增值机制合理，避免过多广告。

## 六、搭子社交 APP 的发展建议

本研究通过“问卷 + 访谈”的形式，对搭子社交 APP 的用户画像、使用意愿机制、产品功能设计三角度问题予以解答。下

面，研究基于所得结论，对搭子社交 APP 产品进一步发展提出如下建议：

注重忠诚用户群体的存量保留及潜在用户群体的深度挖掘。通过开展职场线下社交活动等宣传形式，引导忠诚用户群体产生对 APP 的认知了解。开展反社交诈骗校园宣讲，女性安全意识保护主题剧本杀等新兴活动，提高安全保障方面的产品形象。同时，在产品设计中把好安全关，以实名认证形式维护用户的个人安全；

在宣传产品理念中融入 APP 两种心理学使用动机的映射。可通过拍摄宣传微电影，以“距离产生美”和“社交不怕冷场”等不同主题营造与依恋回避、依恋焦虑群体的情感共鸣，加深用户对 APP 的认同感；

在产品开发中做好保障安全性和合理利用信息的平衡，注意增值机制合理，避免过多广告。在具体功能设计上，按照活动类别重要性，依次发展聚餐、短途外出、文艺演出、电子游戏四大核心业务。在 APP 起量完成后，适当拓展其他业务板块。

## 参考文献

- [1] 廉思. “搭子社交”：青年社交模式的新表征 [J]. 人民论坛, 2024, (09):96-100.
- [2] Gosnell C L, Gable S L. Attachment and capitalizing on positive events[J]. Attach Hum Dev, 2013, 15(3):281-302.
- [3] 王雁飞. 社会支持与身心健康关系研究述评 [J]. 心理科学, 2004, 27(5):1175-1177.
- [4] 陈琳. 大学生成人依恋与压力知觉的关系—希望感的中介作用及干预研究 [D]. 华东师范大学, 2023.DOI:10.27149/d.cnki.ghdsu.2023.002036.
- [5] 侯欣宇. 青少年生活压力、社交焦虑与内化性行为问题的关联研究 [D]. 济宁医学院, 2022.DOI:10.27856/d.cnki.gjnyx.2022.000102.
- [6] WEI M F, SHAFFER P A, YOUNG S K, et al. Adult attachment, shame, depression, and loneliness: The mediation role of basic psychological needs satisfaction[J]. J Couns Psychol, 2005, 52(4):591-601.
- [7] 汤芙蓉, 张大均, 刘衍玲. 大学生成人依恋、社会支持与抑郁的关系 [J]. 心理发展与教育, 2009, 25(03):95-100.
- [8] 李同归, 加藤和生. 成人依恋的测量：亲密关系经历量表 (ECR) 中文版 [J]. 心理学报, 2006, 38(3):399-406.
- [9] Brennan KA, Clark CL, Shaver PR. Self-report measurement of adult attachment: An integrative overview [M]. New York: Guilford Press, 1998.
- [10] Cohen S, Kamarck T, Mermelstein R. A Global Measure of Perceived Stress[J]. Journal of Health and Social Behavior, 1984, 24(4):385-396.DOI:10.2307/2136404.
- [11] 王琳, 屠雨清, 曹勤. 移动阅读 APP 持续使用行为影响因素研究——以掌阅 APP 为例 [J]. 视听, 2025, (02):89-94.DOI:10.19395/j.cnki.1674-246x.2025.02.020.

# 新形势下高校毕业生“慢就业”现象探析

## ——以广东南华工商职业学院2025届毕业生为例

段孝强, 陈亿权, 吴晓晴, 蔡灵钰, 陈泳怡

广东南华工商职业学院, 广东 广州 510507

DOI:10.61369/ASDS.2025060003

**摘 要 :** 高校毕业生就业是社会焦点, 受学历竞争加剧、大学生职业规划清晰度低及产业能级不足影响, 高校毕业生“慢就业”现象凸显。本研究以广东南华工商职业学院学生为研究对象, 深入剖析“慢就业”成因。基于高校毕业生人才供需困境, 提出“产教政”三维联动策略, 通过加强职业规划教育、创新就业服务, 为清远等生态发展区缓解人才外流、实现“稳就业”与“促发展”提供路径参考。

**关 键 词 :** “慢就业”; 职业规划; 高校毕业生; 职业教育

### Analysis of the Phenomenon of "Slow Employment" Among College Graduates under the New Situation—Taking the 2025 Graduates of Guangdong Nanhua University of Commerce as an Example

Duan Xiaoqiang, Chen Yiquan, Wu Xiaoping, Cai Lingyu, Chen Luoyi

Guangdong Nanhua Industrial and Commercial Vocational College, Guangzhou, Guangdong 510507

**Abstract :** Graduate employment remains a societal priority. Influenced by intensified academic credential competition, unclear career planning among college students, and insufficient industrial capacity, the phenomenon of "delayed employment" among graduates has become prominent. This study investigates the root causes of delayed employment among students at Guangdong Nanhua Vocational College of Commerce through an in-depth analysis. Addressing the talent supply-demand imbalance in higher education, we propose a three-dimensional collaborative strategy integrating industry, education, and government. By enhancing career planning education and innovating employment services, this approach provides actionable solutions for ecological development zones like Qingyuan to mitigate brain drain while achieving both stable employment and sustainable growth.

**Keywords :** "slow employment"; career planning; college graduates; vocational education

## 引言

随着高等教育的普及, 高校毕业生数量逐年增长, 就业压力也越来越大<sup>[1]</sup>。2024年高校毕业生数量高达1171万, 与之相对的招聘岗位却日益稀缺, 大学生就业愈发困难。其中, “慢就业”现象已成为就业难题中的焦点<sup>[2]</sup>, 部分高校毕业生在毕业后不急于立即投身职场, 而是选择暂时性不就业或推迟就业时间, 通过游学、兼职、创业考察、自我提升等方式, 慢慢探索适合自己的职业道路和人生方向的现象, 这种现象在高校毕业生群体中蔓延<sup>[3]</sup>。为了解决高校毕业生“慢就业”的现状, 深入挖掘背后的根源, 寻找化解良策, 本研究以广东南华工商职业学院2025届毕业生作为研究样本, 运用问卷调查法展开实证研究, 力求为高校毕业生就业问题提供新的解决思路。

基金项目: 广东南华工商职业学院大学生创新训练计划2024年重点项目。

作者简介:

段孝强, 男, 硕士, 助教, 广东南华工商职业学院, 研究方向: 思想政治教育、职业生涯规划与就业指导;

陈亿权, 男, 广东南华工商职业学院2022级商务日语专业学生;

吴晓晴, 女, 广东南华工商职业学院2024级商务英语专业学生;

蔡灵钰, 女, 广东南华工商职业学院2024级软件技术专业学生;

陈泳怡, 女, 广东南华工商职业学院2023级学前教育专业学生。

一、问卷调查

（一）问卷设计与发放

问卷针对高校毕业生“慢就业”现象，以广东南华工商职业学院2025届毕业生为目标群体，发放735份问卷，剔除无效和错误问卷后，最终确定有效样本量为700例，有效问卷占比达95.23%。

（二）调查对象基本情况

1. 性别分布：男生占比20%（140人），女生占比80%（560人），女生占据绝对多数。

2. 影响就业选择的因素：75.71%（530人）的学生认为就业机会多，79.43%（556人）的学生认为是薪资水平高——这是影响就业选择的首要因素，58.57%（410人）的学生认为是生活成本适中，50.14%（351人）的学生认为是离家距离近，57.14%（400人）的学生认为是城市发展潜力大，44.71%（313人）的学生认为是政策支持，50.86%（356人）的学生认为是个人偏好，38.57%（270人）的学生认为是发展空间，22.14%（155人）的学生认为是家庭期望，另有0.57%（4人）选择了其他因素；薪资水平高和就业机会多是最受毕业生关注的就业选择因素，其次是城市发展潜力、生活成本及个人偏好等；家庭期望的影响相对较小<sup>[4]</sup>。

3. 行业偏好：信息技术、金融服务和教育行业成为了毕业生们的热门选择。具体而言，34.29%（240人）倾向于进入信息技术行业，追求技术创新与快速发展的机遇；29.71%（208人）则希望投身于金融服务领域，看重其高薪与稳定的职业发展；另外，21.43%（150人）对教育行业抱有浓厚兴趣，渴望在教育岗位上实现个人价值与社会贡献的双重目标。其余学生则分散于制造业、文化传媒、医疗健康等多个行业，展现了多元化的职业兴趣。

4. 企业类型偏好：在寻求就业机会时，毕业生们对企业类型也表现出不同的偏好。45.71%（320人）倾向于加入大型国有企业，看重其完善的福利体系和稳定的职业前景；37.14%（260人）则更愿意选择初创型或成长型企业，追求快速成长的机会与较大的发展空间；14.29%（100人）则倾向于外资企业或合资企业，期待国际化的工作环境与更广阔的职业视野。此外，还有2.86%（20人）选择自主创业，展现了强烈的创新精神与自我实现愿望。

5. 地域偏好：尽管清远作为家乡对部分学生具有吸引力，但更多毕业生表现出对一线城市及东部沿海地区的强烈向往。48.57%（340人）表示愿意前往北上广深等一线城市发展，追求更高的生活质量与职业机会；34.29%（240人）则倾向于东部沿海地区，看重其开放的经济环境与丰富的文化资源；仅有12.86%（90人）愿意留在清远或中西部其他地区，他们往往更加注重家庭因素或地域文化的认同感。

表1 就业意向统计表

题项	类型	频数	百分比
性别	男	140	20.0%
	女	560	80.0%
影响就业选择的主要因素	就业机会多	530	75.71%
	薪资水平	556	79.43%
	生活成本适中	410	58.57%
	离家距离近	351	50.14%
	城市发展潜力大	400	57.14%
	政策支持	313	44.71%
	个人偏好	356	50.86%
	发展空间	270	38.57%
	家庭期望	155	22.14%
	其他因素	4	0.57%
行业偏好	信息技术行业	240	34.29%
	金融服务领域	208	29.71%
	教育行业	150	21.43%
企业偏好	大型国有企业	320	45.71%
	初创型或成长型企业	260	37.14%
	外资企业或合资企业	100	14.29%
	自主创业	20	2.86%
地域偏好	一线城市	340	48.57%
	东部沿海地区	240	34.29%
	留在清远就业	90	12.86%

二、2025届毕业生“慢就业”现状与分析

（一）个人就业规划清晰度现状

当前毕业生的毕业去向状态不容乐观，仅有 47.71%（334人）的学生具备明确的未来规划，而高达 52.29%（366人）的学生对未来规划较为模糊，超四成毕业生对立刻就业感到迷茫，不确定和暂不就业者合计占比近六成。在暂不就业群体中，24.43%（171人）的学生选择毕业后暂不就业，40.29%（282人）立刻就业迷茫，35.29%（247人）状态不确定；进一步分析暂不就业原因，62.2%（260人）的学生为准备考研、专升本，18.18%（76人）备考公务员、事业单位，20.81%（87人）因创业筹备，14.35%（60人）出于身体健康或家庭原因，47.37%（196人）源于对就业市场的迷茫，13.4%（56人）因对已有 offer 不满意，另有2.39%（10人）选择其他。由此可见，升学深造与就业迷茫是导致毕业生暂缓就业的关键因素。

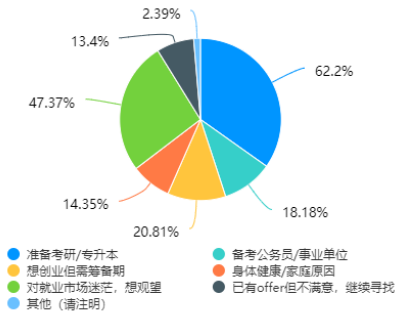


图1 毕业生暂不就业原因统计图

（二）毕业生眼中的大学职业规划课程

关于大学职业规划课程的调查显示，学生对相关课程的认可

度存在显著差异。具体而言,在职业规划及创业等相关课程的意义认知方面,仅有34.71%(243人)的学生认为这些课程能够有效引导他们未来的职业规划方向,帮助他们明确职业目标和路径;而高达57%(399人)的学生则觉得这些课程过于偏重理论,缺乏实际操作和实践经验的指导,难以在实际职场中应用;更有8.29%(58人)的学生甚至认为这些课程纯属浪费时间,既无法提供实质性的帮助,又占据了他们宝贵的学时。这一结果不仅揭示了当前职业规划课程在内容设置和教学方法上的不足,更凸显了课程实用性亟待提升的紧迫性。为了更好地满足学生的实际需求,职业规划课程亟需进行改革,强化实践导向增加案例分析、模拟演练和实地考察等环节,使课程内容更加贴近现实,更具实用性和指导意义<sup>[5]</sup>。

### （三）家庭因素对“慢就业”的影响

家庭观念方面,73.29%(513人)的学生父母不存在“毕业不立即工作即为失败”的潜在认知,显示大部分家庭观念较为开放;但仍有26.71%(187人)的学生父母持有该观念,对子女职业选择形成压力。针对此类情况,当学生与父母意见分歧时,67.91%(127人)选择通过谈心沟通,49.73%(93人)会用实际案例说服父母,不过也有37.97%(71人)坚持“我的人生我做主”,拒绝与父母协商。由此可见,家长态度影响毕业生就业决策,部分学生家庭在职业选择观念上仍需进一步沟通调和改变。

## 三、2025届毕业生“慢就业”类型与成因

通过数据分析,我们发现广东南华工商职业学院2025届毕业生“慢就业”现象主要分为主动型和被动型两大类。主动型慢就业群体中,一部分南华毕业生有明确目标,如考编考公族、创业逐梦人以及择业挑剔者。他们或因追求体制内稳定工作、或因创业筹备耗时长、或因技能短板与就业标准不匹配而延迟就业。另一部分消极的主动慢就业毕业生则秉持“佛系”心态,依赖家庭经济支持,缺乏就业紧迫感,甚至逃避社会<sup>[6]</sup>。从成因来看,传统就业观念、家庭经济条件的改善以及清远本地产业发展滞后等因素共同影响了主动慢就业南华毕业生。他们倾向于将广深等核心城市视为高发展的象征,忽视清远作为粤港澳大湾区北部生态发

展核心区潜力,且因新兴产业岗位开发滞后,更倾向于外流。同时,家庭经济条件的改善使南华毕业生求职压力减小,转而更关注工作喜好度、适配性等因素。被动型慢就业的南华毕业生则因清远本地产业能级不足、专业设置与市场需求脱节、疫情后企业用工需求缩减以及高校就业服务体系不足而难以找到合适工作。他们渴望就业却无奈受阻,被迫陷入“慢就业”困境。

## 四、“慢就业”的危害

“慢就业”现象对南华毕业生及清远市的影响因持续时间长短而异,呈现显著的时变特征。短期而言,其作为职业规划调适期可缓解求职压力,具有阶段性缓冲价值;但长期化将触发多重负向效应。社会层面,持续加剧劳动力市场的结构性供需矛盾,造成清远本地人力资本储备空洞化,延缓产业转型升级进程,并诱发企业人才筛选中的“学历通胀”现象,进一步扩大教育资源与岗位技能需求的错配度<sup>[7]</sup>。个体层面,长期职业停滞易导致人力资本折旧,包括专业技能退化与社会网络萎缩,叠加经济压力递增形成生存困境;更值得注意的是,对家庭代际转移支付的过度依赖将抑制独立生存能力发展,弱化社会责任感生成机制,最终形成能力退化与经济依附的恶性循环。

## 五、建议

针对南华毕业生“慢就业”现象,应从产业、教育和政策三个维度出发,探索三维联动的破局路径。在产业方面,清远应加快产业结构调整 and 升级,大力发展数字经济、生态旅游等新兴产业,提高产业能级和吸引力。同时,加强与南华的合作,推动产教融合和校企合作,促进人才培养与产业需求的精准对接。在教育方面,南华应优化专业设置和课程体系,加强实践教学和就业指导服务。同时,加强与企业的合作,搭建高效的线上求职平台,为毕业生提供更多实习和就业机会<sup>[8]</sup>。在政策方面,政府应出台更多支持毕业生就业和创业的政策措施,如提供创业贷款、税收减免等优惠政策。同时,加强就业市场监管和调控,防止企业盲目追求高学历人才而忽视实际技能评估的现象发生。

## 参考文献

- [1] 李红见.当前高校毕业生就业形势分析及建议[J].山东人力资源和社会保障,2025,(04):35-37.
- [2] 王以梁.大学生“慢就业”的现状、成因与应对策略[J].思想理论教育,2023,(11):106-111.
- [3] 马力,邓阳.高校毕业生“慢就业”探析及其对策[J].中国青年社会科学,2019,38(05):93-99.
- [4] 王姣.基于OBE理念的高职学生返乡就业能力提升路径探究[J].黑龙江粮食,2025,(04):99-101.
- [5] 楼仁功,赵启泉.大学生职业生涯规划指导的探索与实践[J].中国高教研究,2002,(06):89-90.
- [6] 杨书超.新时代下大学生“慢就业”的辩证分析[J].中国大学生就业,2017,(24):50-54.
- [7] 郑浩天,靳卫东.数字经济发展、劳动者工作流动与人力资本匹配[J].财经科学,2025,(04):75-89.
- [8] 周纯江,朱蕾,毋琦.对高职职业生涯规划教育的思考[J].教育与职业,2020,(23):74-77.

# 贷款人角度下企业成长期银行授信风险预警体系探析

廖东平

四开花园网络科技（广州）有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2025060004

**摘 要：** 企业成长期的业务快速扩张引起资金需求急增和经营杠杆陡然攀升，导致授信风险明显提高。企业面临行业周期波动、财务杠杆失控及企业治理结构不完善等多重复杂风险因素，传统静态风险评估难以满足动态变化需求。本文基于贷款人角度，系统辨析企业成长期授信风险特性与影响因素，建立覆盖行业、财务及企业治理多视觉、多维度的风险预警指标体系，利用动态监控与智能分析技术实现风险的精准预测与预警。提出优化授信结构与强化治理评估的风险管理策略，为贷款人提升风险管控能力、促进信贷资源合理配置提供理论支持和实践指导。

**关 键 词：** 企业成长期；授信风险；风险预警体系；贷款人角度

## Analysis of the Risk Early Warning System for Bank Credit in the Growth Stage of Enterprises from the Perspective of Lenders

Liao Dongping

Sikai Garden Network Technology (Guangzhou) Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract：** The rapid business expansion during the growth stage of enterprises leads to a sharp increase in capital demand and a sudden rise in operating leverage, significantly raising credit risks. Enterprises are confronted with multiple complex risk factors such as industry cycle fluctuations, uncontrolled financial leverage, and imperfect corporate governance structures. Traditional static risk assessment methods are inadequate for the dynamic changes. This paper, from the perspective of lenders, systematically analyzes the characteristics and influencing factors of credit risks during the growth stage of enterprises, establishes a multi-perspective and multi-dimensional risk early warning indicator system covering industry, finance, and corporate governance, and utilizes dynamic monitoring and intelligent analysis technologies to achieve precise risk prediction and early warning. It proposes risk management strategies of optimizing credit structure and strengthening governance assessment, providing theoretical support and practical guidance for lenders to enhance risk control capabilities and promote the rational allocation of credit resources.

**Keywords：** growth stage of enterprises; credit risk; risk early warning system; lender's perspective

## 引言

企业成长期作为企业生命周期中的关键阶段，由于业务快速扩张引起资金需求急增和经营杠杆陡然攀升，导致授信风险明显提高。贷款人作为资金需求的主体，面临着经营不稳定、融资方式复杂多样等因素对信贷风险的挑战。传统的信贷风险评价方法以静态财务指标为主，难以全面反映企业迅猛发展过程中风险特征的动态变化，导致风险预警时效性差、精准性差<sup>[1]</sup>。基于贷款人角度，构建企业成长期授信风险预警体系，可以对宏观经济环境、行业发展趋势、企业内部治理和财务经营状况等多维信息进行系统集成，从而动态识别和精确预测风险。此研究不仅可以帮助贷款人优化信贷决策过程，提高风险管理水平，而且可以有效防控企业扩张过程中的信贷风险，促进金融资源合理分配，促进经济健康稳定发展。

## 一、企业成长期授信风险特征分析

企业成长期授信风险具有高度的复杂性与动态性，其特点是风险源多且相互交错、阶段动态变化。随着企业规模的不断扩

大，企业的资本结构也在不断地调整，债务规模也在不断地增加，这就使得企业的财务杠杆水平大大提高，从而导致了偿债压力和流动性风险的增加。企业扩张策略的不确定导致企业经营风险与市场风险显著增加，特别是在产业链延伸和地域扩张过程

中，面临着外部环境变化与市场需求波动的双重挑战<sup>[2]</sup>。企业的内部管理制度与治理结构往往不能与扩张速度相适应，在经营效率和风险管控能力上遇到瓶颈，导致操作风险与合规风险暴露程度不断上升。授信风险也表现为信用质量波动，企业的短期偿债能力与盈利能力都有很大的不确定性，信用评级是动态变化的，信贷信息的非对称性增加了信贷决策的难度<sup>[3]</sup>。同时，宏观经济波动、政策调控和行业周期波动等因素也会在信贷扩张阶段产生叠加效应，使风险的传导和扩散进一步加剧。在此背景下，信贷风险具有高波动性、高不确定性、多因素交互作用等特点，需要对其进行动态自适应与多维风险辨识，从而实现科学、高效的风险管理。

## 二、企业概况

某企业原为国内知名玩具制造商，2021年实控人变更后启动激进转型，斥资9.8亿元收购了豪安能源，进入了光伏硅片行业，随后又宣布了梧州10GW TOPCon 电池（52亿元）、鄂成10GW 电池（48亿元）、内蒙古硅净化（3.5亿元）三个项目，总投资超过96亿元，而此时的企业资产只有27.58亿元，净资产不到10亿元，呈现出一种典型的“蛇吞象”式扩张特征。从2023年开始，光伏行业产能过剩，硅料价格暴跌80%，2024年营收同比下滑83%至2.77亿元，净亏损11.62亿元，光伏业务毛利率下降至65.98%。企业的资金链危机在2025年集中爆发，由于民间借贷纠纷，企业的募集资金账户被司法划扣了9747万元，年内累计划扣了2.28亿元，占了去年营业收入的82%。流动负债为20.65亿元，流动资产仅7.4亿元，短期偿债缺口超13亿元。其风险主要表现在：跨领域经营转型对行业认知不足；高杠杆融资依赖非标渠道（质押股权比例高达78%）；募集资金违规使用等。

## 三、企业扩张期授信风险影响因素识别

### （一）行业周期错配与跨领域经营

从传统的玩具制造业进入光伏产业，其信贷风险主要来自产业周期错配和跨领域经营所带来的系统性风险。光伏行业是典型的强周期产业，2021年收购豪安能源时，行业处于上行周期，硅片价格创下历史新高，然而2023年之后，光伏行业迅速进入下行期，产能过剩，硅料价格暴跌80%，导致光伏业务毛利率骤降至-65.98%。这一现象反映出企业在扩张过程中未能充分评估产业实际供需市场状况，缺乏对技术迭代（如PERC）和政策调整（如海外贸易壁垒等）的敏感度<sup>[4]</sup>。此外，由于跨领域经营运作，且相关专业人才储备不足，缺乏行业经验，导致在技术路线（TOPConvs. HJT）、产能布局（梧州、鄂城、内蒙古同步扩张）和供应链管理（硅料锁定价格风险）等方面存在严重的误判。信贷机构在授信评估过程中，需要重点关注企业的行业周期研判能力、核心技术护城河深度以及供应链掌控能力，特别是要警惕在行业巅峰时期产能高速扩张的激进行为。

### （二）财务杠杆失控与融资结构脆弱性

2021年企业资产总额虽然只有27.58亿元，但同时已开始了超过96亿元的大额投资，远超自身资产规模，资本支出强度达到了3.48倍，远远超过行业平均水平（通常不到3倍），这使得它的资产负债率从2021年的63.4%飙升到2025年一季度的76.6%。

更为严重的是，企业的融资结构严重依赖短期非标渠道：股权质押融资比例高达78%，远超行业安全线（通常<50%）；在2025年因股价跌破平仓线而触发追加质押避免爆仓；企业因涉嫌违规使用募集资金偿还高息民间借贷而被司法强制执行划扣2.28亿元募集资金账户，企业信用进一步恶化，表外负债风险暴露<sup>[5]</sup>。到2025年，该企业的流动比率约0.36，短期偿债缺口超过13亿元，引发企业严重的流动性危机。在研究体系的模型中引入“融资结构健康度”指标，包括长期负债占比、非标融资占比、股权质押率、表外融资规模等；同时，将企业现金流量与债务覆盖能力（EBITDA/利息支出等）建立动态预警熔断点。

### （三）企业治理结构不完善与资金挪用风险

该企业的授信风险进一步放大源于企业治理机制的失效，突出表现为实控人激进决策与内控缺失的叠加效应。2021年变更了实际控制人以后，企业的战略方向发生了根本性的变化，但是董事会对于跨界光伏发电项目的可行性并没有充分地论证，独立董事对于巨额投资议案都投了赞成票，这反映了高层管理监管的缺失<sup>[6]</sup>。在资金管理上，企业多次违规使用募集资金，在2025年，由于一起未披露的民间借贷纠纷，导致专户资金被划走，暴露出资金挪用和信息披露违规的问题。这种治理结构上的缺陷，使得信贷机构很难形成有效的风险制衡机制，加大了授信资金回收的风险。信贷机构需要在风险模型中引入企业治理质量，重点关注控股股东的股权集中度（如持股比例和质押比例）、关联交易占比（有无利益输送）、审计意见类型（有无非标意见）。同时，还需要建立资金动态监控机制，对募集资金的用途和支出进行逐一比对，以防止资金被挪用而引发的信贷违约。

## 四、贷款人视角下授信风险预警指标体系构建

### （一）行业与经营风险预警指标

在授信风险预警模型中，行业与经营风险是首要监控因素，需构建多维度的定性指标和定量指标体系以识别潜在系统性风险。针对该企业，应重点关注行业动态指数（如光伏硅料价格变动、全球新增装机增速）、产能利用率（当行业平均产能利用率低于70%时触发预警）和各国政府政策敏感性（如各国光伏补贴退税节奏、贸易壁垒变化等）。在经营风险层面，需要设定跨领域经营适配度指标，包括新业务营收占比增速（若超过50%且毛利率低于行业均值20%则预警）、技术壁垒竞争力评估（对比TOP-Con、HJT、BC等电池专利储备和研发投入强度）和供应链稳定性及应急响应水平（如硅料长单覆盖率/库存周转天数）<sup>[7]</sup>。对于激进扩张的企业，需要额外监控产能扩张强度系数（当Capex/EBITDA高于5倍时发出警告）和项目内部实际收益率达标（当实际收益率低于可研预测值30%时触发复核）。该模块数据应实时接入行业协会数据库和第三方咨询机构的报告，实现指标的动态更新和权威性。

### （二）财务与流动性风险预警指标

构建财务杠杆结构健康度模型，包括分级债务结构预警指标（短期有息负债/总负债超过60%预警）、股权质押风险临界预警值（实控人质押比例超过50%且股价较质押日跌幅超30%时触发）及表外负债穿透标准（通过关联方借贷/担保金额占净资产比例超过20%即需核查）。对于流动性风险，需要使用现金流量

压力测试矩阵，重点关注经营活动现金流量波动率预警值（连续两个季度同比下降超过40% 预警）、刚性债务覆盖倍数指标（低于0.5倍时报警）及非标结构融资成本阈值（信托 / 民间借贷成本超过 LPR 2倍以上视为高危）。对于光伏等重资产行业，需要增加资产的流动性折损系数（按评估值降低30% 的固定资产抵押率），并建立行业授信敞口压力测试动态调整体系（当单个行业的授信额度超过15% 时，进行压力测试）。

### （三）企业治理与合规风险预警指标

治理风险预警需构建基于穿透股权结构与管理行为，建立实控人风险特征模型。关键指标包括控制权集中度预警值（实控人持股比例低于30% 但董事会席位占比超过70% 时预警）、关联交易风险值（关联方采购 / 销售占比超过营收30% 且毛利率偏离市场均值10% 以上）及决策程序合规评分指数（重大投资议案独立董事反对票比例低于10% 视为治理缺陷）。资金监管维度需部署募集资金异动监测模型，通过比对披露用途与实际支付清单（偏差金额超过募集总额10% 时冻结授信额度），并引入司法风险扫描引擎（实时抓取企业及实控人被强制执行信息，涉案金额超过净资产5% 即触发降级）<sup>[8]</sup>。此外，信息披露质量评分（如年报问询函数量、重大会计差错年度发生率）应作为调整授信评级的硬性参数，并与 ESG 风险雷达（如环保处罚金额、劳工纠纷涉案金额）形成交叉验证。该模块需整合工商、司法、舆情等多维实时数据，实现治理风险的动态可视化预警。

## 五、贷款人视角下企业成长期授信风险管理方案

### （一）构建智能化风险监控与预警体系

针对企业成长期授信风险具有复杂多变的特点，充分利用大数据和人工智能技术，贷款人需要构建智能化风险监控体系。通过实时整合企业的财务数据、产业发展情报、宏观经济波动指标和企业治理结构异动等信息，不断追踪和更新风险因素。基于机器学习系统应用，开发具有自适应产业周期性波动及企业跨界扩张特点的风险评估模型，提高预警精确度和时效性。尤其是在行业快速变化和企业资本结构频繁调整时期，构建现金流量智能监控模型，加强对现金流量波动、融资结构健康度和资本运用合规性的自动识别，及时发现潜在的风险。结合区块链技术，构建资金智能监管系统，对募集资金流向自动追溯，防止资金挪用和信息披露违法行为。同时将司法风险、舆情监测等非财务指标纳入风险模型中，构建企业全面风险融合可视化视图，实现风险管理由静态财务指标向动态全景式风险洞察转变，提升贷款人实时监

控与科学决策能力。

### （二）优化授信结构设计及融资约束机制

在面对成长期企业高杠杆和融资结构脆弱的特点时，金融机构需要对信贷产品与结构进行管理创新，合理分配信贷资源，分散并减少集中风险。通过设定分阶段发放的条件，根据企业发展节点及项目进度，实行动态授信管理，提高资金精准发放<sup>[9]</sup>。在授信管理中匹配关键财务指标（如杠杆率、现金流量指数、股权质押率动态调整等）风险触发条款，并自动触发风险临界值时启动风险应急管理方案，实现全流程闭环管理。优化对非标融资渠道的穿透审查监管，严控表外负债隐性风险，促使企业合理配置金融工具，鼓励引入战略投资、股权融资等方式，降低短期债务压力。以供应链金融、项目资产证券化为基础，以企业核心资产及现金流为信用支持，构建风险分担机制。将多样化的信贷产品与灵活的融资约束机制相结合，保证贷款资金的安全性，同时还能提升信贷的效率和风险弹性，以满足企业不同发展阶段相匹配融资方案。

### （三）强化企业治理评估与合作社式风险管理机制

有效防范快速成长期企业因治理不完善导致的信用风险暴露，贷款人需加强对企业治理结构和内部控制有效性的多维度评估体系，将治理风险作为授信决策的关键维度。通过第三方审计、法律尽职调查和社会责任评价等方法，对实际控制人背调、董事会独立性、关联交易披露及时性及完整性、资金使用合规性进行综合评价。构建银企双方长期合作机制，加强经营数据信息共享与风险共担，建立专项风险缓释基金及授信联合监测平台，实现多方参与动态风险管理<sup>[10]</sup>。建立风险预警响应体系，定期召开联席会议，分析风险指标变化情况，共同制定整改方案。通过引入独立董事、行业外部专家等方式，加强企业治理的公开化，提高决策的精准性。通过智能合约技术预警机制，实现资金的自动拨付和风险控制，自动识别资金异常往来交易，保证资金使用的规范性和合规性。

## 六、结语

企业高速成长期授信风险表现出高度动态性和复杂性，贷款人需构建从行业周期、财务结构与企业治理等多维度动态联动风险识别风险智能化预警体系，有助于及时捕捉风险信号并进行精准预警，提高授信管理的科学性和有效性。未来应加强大数据、人工智能技术与金融工具的深度融合，推进风险监控的智能化、自动化，优化授信结构设计、加强融资约束和治理评价，建立多方协同风险联防联控管理机制。

## 参考文献

- [1] 康晓玉. 周期性企业财务风险预警及防范研究 [D]. 华东政法大学, 2022.
- [2] 李亮. S 企业扩张期的财务风险管控研究 [D]. 三峡大学, 2020.
- [3] 钟文赫. 企业扩张期的融资策略探究——基于辉山乳业企业 [J]. 会计师, 2017, (07): 24-25.
- [4] 李玉纳, 张友棠, 罗政. 金融景气视角下房地产企业扩张风险预警研究 [J]. 财会通讯, 2015, (31): 42-45.
- [5] 张友棠, 李玉纳, 刘翰林. 基于金融景气监测的企业扩张风险预警研究 [J]. 财会月刊, 2015, (08): 3-9+12-16.
- [6] 王高平. 汽车经销商授信风险及商业银行服务对策探析 [J]. 现代金融导刊, 2024(01): 63-65.
- [7] 闫晓博. 论银行中小企业融资授信风险控制措施 [J]. 中国战略新兴产业, 2022(09): 17-19.
- [8] 孙小舒. 供应链时代商业银行授信风险的内部控制及管控措施研究 [J]. 中国储运, 2022(02): 173-174.
- [9] 沈虹. 商业银行授信风险的内部控制及管控措施探讨 [J]. 时代金融, 2020(19): 24-25.
- [10] 朱子超, 刘金龙. 银行授信风险视角的我国林业产业资产证券化融资模式探析 [J]. 世界林业研究, 2021, 34(03): 96-101.

# 数智时代应用统计学专业人才培养模式探索

杨雯婉<sup>1</sup>, 张兴发<sup>2\*</sup>

1. 广东工业大学 数学与统计学院, 广东 广州 510520

2. 广州大学 经济与统计学院, 广东 广州 510006

DOI:10.61369/ASDS.2025060005

**摘 要 :** 在数智时代背景下, 统计学作为支撑大数据与人工智能发展的核心基础学科正经历深刻变革。本研究以广东工业大学应用统计学专业改革为实践样本, 系统构建了“需求导向、交叉融合、实践驱动”的新型培养模式。研究聚焦传统培养模式在目标定位、课程体系、教学模式、实践平台、师资配置及评价机制六大维度的结构性矛盾, 提出通过五大核心转型实现教育范式重构: 人才培养逻辑从知识传递转向价值创造, 课程重心从数理推导转向数据工程, 教学场景从课堂演示转向真实业务, 师资结构从单一学科转向多元协同, 评价标准从卷面分数转向能力产出。

**关 键 词 :** 数字智能时代; 应用统计学; 人才培养模式

## Exploration of Talent Cultivation Models for Applied Statistics in the Digital-Intelligence Era

Yang Wenwan<sup>1</sup>, Zhang Xingfa<sup>2\*</sup>

1.School of Mathematics and Statistics, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510520

2.Scholol of Economics and Statistics, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006

**Abstract :** In the context of the digital-intelligent era, statistics, as a core foundational discipline supporting the development of big data and artificial intelligence, is undergoing profound transformation. This study takes the reform of the Applied Statistics program at Guangdong University of Technology as a practical case, systematically constructing a new training model characterized by “demand-driven, interdisciplinary integration, and practice-driven”. The research addresses structural contradictions in six dimensions of traditional training models—goal orientation, curriculum system, teaching approach, practical platforms, faculty allocation, and evaluation mechanisms—and proposes five core transitions to achieve educational paradigm reconstruction: shifting the logic of talent cultivation from knowledge transmission to value creation, moving the focus of curricula from mathematical derivation to data engineering, transforming teaching scenarios from classroom demonstrations to real-world business operations, diversifying faculty structures from single-discipline to multidisciplinary collaboration, and reorienting evaluation criteria from exam scores to competency outputs.

**Keywords :** digital-intelligence era; applied statistics; talent cultivation mode

## 引言

在数字经济浪潮中, 大数据、云计算和人工智能等前沿技术正驱动产业深刻变革, 数据成为推动全球数字化转型的核心要素<sup>[1]</sup>。随着数据采集、存储、挖掘、分析等技术的快速发展, 医疗、电商、物流、餐饮等行业的数据量呈爆发式增长, 对具备数据处理、分析和价值挖掘能力的专业人才需求激增。应用统计学专业于2013年从原本本科统计学专业中独立拆分设立、应运而生<sup>[2]</sup>, 致力于培养具备扎实数学与经济学基础、精通现代统计理论与方法, 并能熟练运用计算机技术进行数据收集、处理、分析和深度挖掘, 以解决社会经济与企业实际问题的高素质复合型人才<sup>[3]</sup>。该专业毕业生凭借其专业优势, 可在各类数据分析相关领域施展才华, 为企业的经营决策、商品服务创新和社会治理提供有力支撑。

现今以数字技术、人工智能、万物互联、人机协同为特征的数智时代正在加速解构传统的教育模式, 高等教育发展面临前所未有的挑战和机遇<sup>[4]</sup>。面对数智时代带来的挑战, 高等教育改革领域涌现出诸多创新人才培养模式研究: 刘秀清团队<sup>[5]</sup>提出“三阶四维”目标

基金项目: 2023年度广东工业大学校级“本科教学工程”项目“数字经济时代应用统计学创新人才培养研究”(广工大教字〔2023〕51号)。

作者简介: 杨雯婉, 广东工业大学数学与统计学院, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为统计质量控制。

通讯作者: 张兴发, 广州大学经济与统计学院, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为统计学。

达成的基于能力本位培养的新工科人才培养模式，王淑莹<sup>[6]</sup>等构建了产教融合与数智赋能的计算机人才培养模式，夏红梅等<sup>[7]</sup>则在新文科框架下设计了公共管理人才“学赛研创”培养模式，这些研究共同指向数字技术和人工智能与传统学科发展的深度融合。

在数智时代背景下，统计学作为支撑大数据与人工智能发展的核心基础学科正在经历深刻变革，其人才培养模式也亟需与时俱进。国内学者对统计学类专业人才培养展开了多层次探索：理论研究方面，孟生旺和袁卫率先剖析了大数据环境下我国统计类本科专业教育存在的问题并提出了改进建议<sup>[8]</sup>，罗良清和郭露通过历史性研究提出“交叉学科+个性定制”的“全域统计”培养新模式<sup>[9]</sup>；实践创新层面，云南大学构建了“五化一体型”统计人才培养模式<sup>[9]</sup>，安徽工程大学创新了数据驱动的课程体系<sup>[10]</sup>，西南林业大学打造了产学研用协同的应用统计学人才培养方案<sup>[11]</sup>，曲阜师范大学则构建了“思政引领、专创融合”的复合型人才培养模式<sup>[12]</sup>。本文立足产业数字化转型需求，结合广东工业大学应用统计学人才培养改革与实践，系统构建“需求导向、交叉融合、实践驱动”的应用统计学人才培养模式，旨在有效提升学生解决复杂数据问题的实践创新能力，为培养适应智能经济需求的高素质复合型统计人才提供可借鉴的解决方案。

## 一、数智时代统计学类人才培养面临的挑战

数字技术、智能技术的快速发展导致“懂数据、会分析”的统计类专业人才供需失衡，预计未来几年行业缺口将达百万级<sup>[10]</sup>。这既带来机遇也对统计人才培养提出了诸多挑战，例如：首先，培养目标需转向具备数学、统计学、计算机科学等多学科交叉背景的复合型人才，注重数据挖掘、非结构化数据处理及统计软件编程等能力的培养以适应海量异构数据的分析需求；其次，课程体系亟需重构，应强化数据爬取、清洗、降维等实践性内容，并融合经济、金融、工业等应用领域知识，形成“数学统计基础+计算机技术+领域应用”的模块课程结构；最后，教学方式必须突破传统的理论灌输而加强实践教学，例如通过校企合作引入Hadoop等实战平台，采用案例教学和业界项目实训，提升学生解决实际数据分析问题的能力。这些变革要求高校建立动态调整机制，使统计人才培养始终与快速迭代的产业需求保持同步。

## 二、统计学类人才培养的现状存在问题

广东工业大学应用统计学专业（原统计学专业）自2006年创办以来，经过十余年的发展，人才培养体系总体上呈现持续优化。然而，随着数智时代的快速发展，用人单位反馈显示，当前毕业生在数量规模、技能结构、实践能力等方面仍存在提升空间，难以完全满足产业转型升级对数据人才的新需求。

### （一）人才培养目标没有及时跟上社会需求

传统的统计学本科培养模式普遍存在“重理论轻实践、重方法轻应用、重传统轻前沿”的倾向，导致毕业生在知识结构、技能储备和综合素质上与社会需求，尤其是快速发展的数据驱动型行业的要求存在显著脱节。这种人才培养目标与社会实际需求间的鸿沟，突出体现在毕业生对现代工具链（尤其是编程与大数据）的熟练度不足、对机器学习等前沿方法的掌握深度不够、处理真实复杂数据的能力欠缺、缺乏特定领域的业务理解，以及至关重要的数据沟通表达和项目实践经验匮乏等方面，其根源主要在于课程体系更新滞后、师资实践经验不足、实践教学资源匮乏以及评价机制导向偏差等多重因素。

### （二）课程设置侧重理论化，编程和实践类需加强

当前应用统计学课程设置中理论化倾向明显，而编程与实践环节薄弱，这一现象是多重因素共同作用的结果。例如，多数院校的数学分析、高等代数等课程占据总学分30%以上，而实践课程常低于15%。这种结构源于统计学早期作为数学分支的定位，导致课程改革存在惯性阻力。统计学长期依附于数学学科框架，课程体系构建以概率论、数理统计、抽样理论等数理基础为核心，强调公式推导与理论证明，形成“重理论推导、轻实践应用”的思维定式。现有教材多侧重经典统计方法（如假设检验、回归分析），缺乏真实场景案例与非结构化数据处理技术。教学内容更新缓慢，例如大数据技术（如Spark、Hadoop）、机器学习算法（如随机森林、神经网络）直至近年才被纳入课程。

### （三）教学方法较为单一，教学资源智能化水平有限

当前应用统计学专业教学面临教学方法单一与教学资源智能化不足的双重困境。教学方法上，传统“理论灌输+软件操作演示”模式仍居主导，依赖“教师讲解—学生听讲”的被动教学，案例多采用教科书预置的理想化数据，严重脱离企业实际场景；教学资源方面，虽部分高校引入在线平台，但功能多限于基础资料共享或习题提交，缺乏基于真实行业场景的智能交互系统与动态分析环境。教学软件仍以SPSS、Excel为主，而工业界主流的Python分析库（如Pandas、Scikit-learn）、分布式计算框架（如Spark）及大数据平台（如Hadoop）应用不足，造成学生工具链技能与企业需求错位。同时，考核过度依赖期末闭卷考试，未能建立对数据思维与实际问题解决能力的评价机制。教学资源智能化升级更面临资源开发、平台建设与产业协同的系统性挑战，其制约既包括资金投入不足，亦涉及产教融合机制的深层缺失。

### （四）实践性教学和创新能力的培养不足

当前应用统计专业的实践教学存在结构性缺陷，集中表现为资源投入不足、课程设置失衡及教学方法滞后。单向灌输式教学使学生局限于模仿教师演示，虽能按步骤操作软件却无法自主设计分析框架。实习环节严重形式化，传统“集中实地实习”多降级为数据录入等低价值劳动。更深层的创新能力的培养困境则源于课程体系僵化、评价机制片面与学术生态封闭。学科壁垒导致统计课程与计算机、商业分析领域割裂（如Python编程课仅讲授基础语法而脱离统计建模场景），阻碍跨学科知识整合能力发展。

考核过度依赖侧重公式记忆的闭卷考试，忽视问题解决能力评价。学术封闭性体现为70%以上学生缺乏跨专业竞赛组队机会，且前沿研究与行业实践资源匮乏，最终抑制了批判性思维与科研能力的培育。

#### （五）师资队伍缺乏多元化领域背景

当前应用统计专业师资存在严重的学术化倾向与结构性失衡：80%以上教师集中于数学/理论统计背景，缺乏企业实战经验，虽精于分布推导却疏于解决金融风控、供应链优化等实际问题。其根源在于招聘机制僵化（过度强调博士学位、985/211院校出身及理论统计类顶刊论文），将具备行业经验但学术产出非传统型人才排除在外。而职称晋升体系更深度捆绑国家级项目、SCI/SSCI论文分区等学术指标，投入行业实践、开发应用课程等行为因无法转化为晋升资本甚至被贬为“不务正业”，彻底扼杀教师向应用型转型的动力。更深层症结在于专业定位模糊，部分高校仍视其为“理论统计简化版+基础软件课”，未能认知其强烈的行业导向与跨学科需求，最终导致师资队伍深陷“同质化强、行业经验匮乏、跨学科能力弱”的恶性循环。

#### （六）考核评价机制作用未充分发挥

当前应用统计专业的考核评价机制未能充分发挥其教学引导和质量监控作用，根源在于多重制度性障碍与结构性矛盾的叠加效应。尽管冠以“应用”之名，其考核体系本质上仍沿袭了理论统计学科的学术化内核。例如，广东工业大学《多元统计分析》课程的期末考核中，聚焦分布证明与假设检验统计量推导的笔试占比高达70%，而考查实际数据分析能力的报告仅占30%。这种导向与学生亟需培养的商业洞察力和工程化能力存在显著偏差。应用统计专业考核评价的失效，实质上是工业化教育管理模式与数字经济能力需求之间深刻的结构性冲突。破局之道在于将考核从单纯的成绩量尺升级为驱动应用型人才培养的核心引擎。只有当考试不再追问“是否记住公式”，而是检验“能否用数据创造价值”，应用统计教育才能真正实现从学术殿堂向产业创新的跨越。

### 三、需求导向、交叉融合、实践驱动的应用统计学人才培养模式的构建

下面将结合当前产业需求与教育痛点，系统探讨革新人才培养目标、重构课程体系、创新教学方法、搭建实践平台、优化师资队伍及完善考核机制等应用统计学人才培养模式构建的关键环节。

#### （一）以需求为导向革新人才培养目标

需立足产业需求，将人才培养目标从传统的理论传授转向产业价值创造升级。传统应用统计人才目标侧重培养学生掌握统计理论方法（如假设检验、回归分析），新目标应定位为培养能驱动业务增长的数据价值工程师，核心能力体现在解决企业实际数据问题并产生经济效益，将抽象知识目标转化为可量化的产业价值目标。针对当前应用统计学的人才培养目标与社会实际需求之间存在的差距，需要高校进行系统性、深层次的改革，核心在于

以市场需求为导向，大幅提升实践性、应用性和前沿性，将编程、现代数据分析技术、工程实践、业务理解和沟通协作能力置于与传统数理基础同等甚至更重要的地位。这是一个需要教育主管部门、高校管理层、教师、学生以及企业共同参与和努力的长期过程。对于学生个体而言，认识到这些差异，主动利用校内外资源弥补自身短板，积极参与实践项目和实习，是提升就业竞争力的关键。

#### （二）重构应用统计学课程体系

重构课程体系需显著提升编程与实践课程比重，植入实践基因：适度压缩数学分析、高等代数等纯理论课程学分（建议≤总学分20%），增设《Python数据工程基础》强化Pandas数据清洗与可视化实战，开设《统计计算实践》以编写EM算法代码替代数学证明。同步推动教学范式转型——教材编写应突破完美数学证明依赖，教师需确立“代码即教案”新定位，使统计学教育回归解决现实不确定性的本质。为实现“懂数据、会分析、能落地”的交叉复合型人才培养目标，须构建融合数理统计、计算机科学及应用领域的跨学科课程体系，采用层次化模块化设计（学科基础课/专业核心课/实验实训课等），动态调适基础与专业、理论与实践、本学科与跨学科课程配比。最终以培养目标达成度作为课程体系优化的核心检验标准。

#### （三）创新教学方法和提升教学资源智能化水平

针对应用统计学专业教学方法单一、教学资源智能化程度不足的现状，顺应教育数字化转型趋势与产业对数据分析人才的实际需求，我们提出以下系统性改进方案：一方面，构建集成课程资源库、云端实践环境和智能评估系统的一体化教学平台。该平台通过接入企业脱敏数据（如医保记录、电商日志），使学生能够实时调用Spark集群处理TB级真实数据，大幅提升实践能力。另一方面，推行多阶段递进式教学法：课前利用智能测试精准定位学生知识薄弱点（如概率分布基础），实现个性化预习；课中则聚焦核心算法难点（如师生协作手写推导EM算法代码），深化理解与应用。这套组合方案旨在显著提升学生的数据处理技能、算法应用能力和解决复杂实际问题的综合素质。

#### （四）加强实践性教学和创新能力的培养

为切实提升应用统计专业学生的实践能力与创新素养，需系统性融合理论教学与实践训练。将统计算法、数据分析与建模等核心技能贯穿教学全程，通过强化实验实践课程深化理论理解，并使学生熟练掌握编程语言与数据挖掘技术，最终实现多元场景的综合应用创新。同时拓展多维实践平台，例如：组织学生参与课外科研、学科竞赛（如数学建模/统计建模/市场调查大赛）及创新创业项目，优选头部企事业单位共建实训基地，并聘请企业及政府专家担任校外导师，深化校企协同育人，让学生在真实项目中锤炼问题解决能力。

#### （五）优化师资队伍

针对当前普通高校应用统计专业教师队伍存在的学术化倾向突出、行业经验匮乏、跨学科融合能力薄弱等问题，建议采取以下系统性改革措施：一是重构教师评价与激励机制，将行业实践成效（如企业横向课题成果、技术转化应用、真实项目开发等）

和教学创新（如产教融合课程设计、实践型教材编写等）纳入职称晋升与绩效考核核心指标，弱化单一论文导向；二是建立“行业—学术双导师制”，大规模引进企业数据科学家、首席分析师担任产业教授，组建校企联合教研室，共同开发基于真实业务场景的案例库和实训项目，并要求专业教师全程参与协作；三是打造跨学科教学共同体，联合计算机、金融、生物医学等院系开设“数据科学+”微专业，强制应用统计专业教师参与跨学科课程团队，通过跨院系合作课题反哺教学能力升级；四是设立“行业知识更新基金”，资助教师参加前沿技术峰会，并定期举办“行业洞察工作坊”，邀请行业领袖解读最新技术趋势，从根本上扭转师资与产业需求脱节的现状。以此建设思想政治素质过硬、学科知识多元化、具有长效学习机制、富于创新、团结协作的高素质应用统计专业教师团队。

（六）完善考核机制

针对应用统计专业卷面高分、实战低能的考评脱节顽疾，需构建“双轨驱动、闭环校正”考核新机制。核心轨实施应用能力达标制，例如在《统计计算实践》等课程中，要求学生一个月内基于真实数据独立完成数据爬取至模型部署的全链路项目，由校企双导师按代码复用性、模型泛化力、商业洞察深度联合评审，

未达标者重修。置换轨开通多元成果学分通道，将统计建模大赛获奖证书、企业项目验收书、高影响力开源贡献（如 GitHub STAR>500）等按标准兑换学分或抵顶毕业论文。闭环机制依托年度产业反哺数据（岗位胜任力/薪资涨幅等），以30%权重注入专业评估驱动动态迭代。

四、结束语

数智时代的数据洪流正在重塑产业生态与统计学学科边界，推动教育使命的深刻变革。本文以广东工业大学应用统计学专业改革为实践样本，深度剖析传统培养模式在目标定位、课程体系、教学模式、实践平台、师资配置及评价机制六大维度的结构性矛盾，并提出可落地的系统性解决方案。研究表明统计学教育必须完成五大核心转型，包括人才培养从知识灌输转向价值创造、课程体系从数理推导转向数据工程、教学场景从课堂模拟转向真实业务、师资结构从单一学科转向跨领域协同、评价标准从分数导向转向能力输出，才能有效弥合百万级产业人才缺口。需要明确的是这种模式创新并非一蹴而就的工程，而是需要政府、高校、企业、师生等多元主体共同构建的持续演进生态。

参考文献

[1] 王理. 数据要素驱动经济发展研究 [D]. 四川大学, 2023, DOI:10.27342/d.cnki.gscdu.2023.000038.  
[2] 孟生旺, 袁卫. 大数据时代的统计教育 [J]. 统计研究, 2015, 32(04): 3-7.  
[3] 陈振龙, 王伟刚. 应用统计学一流专业建设的探索与实践 [J]. 人才培养与教学改革—浙江工商大学教学改革论文集, 2023, (00):260-266.  
[4] 王泉. 数智时代高等教育发展面临的四重挑战及应对探析 [J]. 中国高等教育, 2024, Z1: 29-33.  
[5] 刘秀清, 葛文庆, 李波. 基于能力本位培养的新工科人才培养模式改革与实践 [J]. 中国大学教学, 2023, (11):30-37.  
[6] 王淑营, 邢焕来, 杨燕. 产教融合与数智赋能的计算机类人才培养模式研究与实践 [J]. 中国大学教学, 2025, (05):9-15.  
[7] 夏红梅, 邢梓桐. 新文科背景下公共管理创新人才“学赛研创”培养模式研究 [J]. 高教学刊, 2025, 11(19):59-63.  
[8] 罗良清, 郭露. 改革开放40年统计学人才培养模式的演进与展望 [J]. 中国大学教学, 2018, 12: 46-51.  
[9] 唐年胜, 张理, 赵慧编著. 数字经济时代统计学创新人才培养研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2022.10.  
[10] 何帮强. 大数据背景下统计人才培养模式与课程体系优化研究 [J]. 牡丹江大学学报, 2022, 31(9): 66-71.  
[11] 张健, 刘琳, 吴明山. 产学研用一体化导向下林业院校应用统计学专业人才培养研究 [J]. 大学教育, 2023, 11: 82-86.  
[12] 温玉珍, 赵翔华, 赵胜利, 朱丹. “思政引领、专创融合”的统计学复合型人才培养模式的探究——以曲阜师范大学统计与数据科学学院为例 [J]. 曲阜师范大学学报 (自然科学版), 2025, 51(3): 117-122.

# 统计学与 R 语言融合的教学改革探析

杨快, 蒋青嬿

广东外语外贸大学, 广东 广州 510006

DOI:10.61369/ASDS.2025060006

**摘 要 :** 当前统计学教学存在理论脱离实际、学生实践能力不足等问题。R 语言作为开源、功能强大的统计分析工具, 能够成为实践平台。将 R 语言融入统计学教学, 能够提升学生数据分析、实践操作能力, 培养统计思维与科研素养。本文探讨了 R 语言融入统计学教学的改革路径及可行性, 为高校统计学课程改革提供参考。

**关 键 词 :** 统计学教学; R 语言; 教学改革

## An Exploration of Teaching Reform Integrating Statistics and R Language

Yang Kuai, Jiang Qingshan

Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou, Guangdong 510006

**Abstract :** Current statistics education faces challenges such as a disconnect between theory and practice and insufficient practical skills among students. As an open-source and powerful statistical analysis tool, R language can serve as an effective platform for hands-on learning. Integrating R into statistics teaching can enhance students' data analysis and practical skills, foster statistical thinking, and develop research competence. This paper explores the reform path and feasibility of incorporating R language into statistics education, providing a reference for curriculum reform in universities.

**Keywords :** statistics education; R language; teaching reform

## 引言

在大数据与人工智能时代, 统计学重要性日益凸显, 高校统计学课程作为培养学生数据分析能力的核心课程, 教学质量对学生影响深远。然而, 当前统计学教学多以传统讲授为主, 存在“重理论、轻实践”问题, 案例陈旧、缺乏实际数据联系, 且教学工具停留在手工计算或 Excel 阶段, 难以满足复杂数据分析需求, 也难以激发学生兴趣与创新意识。R 语言凭借强大统计分析功能、出色可视化能力和良好扩展性, 为统计学教学提供新契机<sup>[1-3]</sup>。将 R 语言引入课程, 可增强实践性和趣味性, 提升学生数据分析与编程能力, 为未来发展奠定基础。因此, 深入探讨 R 语言与统计学教学深度融合及其可行性, 对推动高校统计学教学改革具有重要现实意义<sup>[4-5]</sup>。

## 一、统计学与 R 语言融合教学的必要性

在大数据时代, 统计学作为一门基础学科, 其重要性日益凸显, 但传统统计学课程教学以理论为主, 缺乏实践性和应用性, 导致学生难以将所学知识转化为解决实际问题的能力。而 R 语言作为强大统计工具, 为统计学教学提供实践平台, 其融合必要性主要体现在以下几个方面。

### (一) 弥补传统教学的实践性不足

传统统计学教学面临理论与实践脱节的状况, 统计学中抽象的统计概念和方法, 如果仅停留在公式推导和理论讲解层面, 学生往往难以真正把握其实际意义和应用价值。而 R 语言的出现,

恰好为这一教学现状提供了实践平台。通过 R 语言丰富的统计函数库和强大的可视化功能, 学生能够自主完成统计方法的完整实现过程。在线性回归章节中, 学生可通过 `lm()` 函数建立模型, 使用 `summary()` 查看回归系数等指标, 并利用 `ggplot2` 绘制残差图, 完成从建模到诊断的全过程分析。相比传统教学中使用 Excel 的局限性, R 语言提供专业的数据处理工具, 其中 `dplyr` 包可以高效完成数据筛选、排序、聚合等操作, `tidyr` 包能够处理缺失值和数据变形问题。学生通过 R 语言的学习, 能够完成从数据导入到分析建模的完整流程。在数据可视化方面, `ggplot2` 包突破了简单图形的限制, 提供从直方图到热力图等多种可视化方式, 丰富的可视化选择不仅帮助学生更直观地理解数据特征, 更培养了他们用

基金项目: 2025 年度基础与应用基础研究专题青年博士“启航”项目“内生性随机前沿模型的估计理论及应用”(2025A04J3387)。

作者简介:

杨快, 广东外语外贸大学本科生;

蒋青嬿, 广东外语外贸大学副教授。

数据讲故事的表达能力。这种全面的实践训练，让统计学习不再是纸上谈兵，而是真正转化为解决实际问题的能力<sup>[6-7]</sup>。

### （二）解决传统教学模式的计算效率问题

传统教学模式中，学生多依赖纸笔计算。纸笔计算虽然有助于学生理解计算公式，但难以锻炼学生从数据得出结论的能力。过多的纸笔计算容易让学生感到枯燥，甚至产生畏难情绪。R 语言的交互式编程环境能够让学生即时看到分析结果，可以通过调整代码参数观察不同条件下的统计输出。这种“探索式学习”模式能够显著提升学生的参与度和学习兴趣。在抽样分布章节中，学生可以通过 R 语言模拟不同样本量的抽样过程，并观察样本均值的分布变化，从而更深刻地理解中心极限定理。另一方面，传统教学中的手工计算通常局限于简单的统计方法，而对于多元回归、主成分分析、机器学习等复杂方法，学生往往只能停留在理论层面。R 语言提供了丰富的函数（`xgboost`、`randomForest` 等），支持从传统统计到现代机器学习的多种分析方法。学生通过 R 语言的学习，能够掌握多样化的统计方法。

### （三）促进跨学科应用能力的培养

统计学作为一门基础性学科，其应用已渗透至经济学、医学、心理学等多个领域，但传统教学模式往往将其作为独立课程，缺乏与其他学科的交叉融合。R 语言中丰富的扩展包包含许多针对特定学科开发的工具包。在经济学领域中，`quantmod` 包可用于金融市场数据分析；在医学领域中，`survival` 包适用于临床试验数据处理；在社会科学领域中，`lme4` 包则支持多层次模型拟合。学生可以通过这些工具包将统计方法直接应用于本专业问题的解决，建立起统计学与实际应用的桥梁。同时，R 语言支持导入和处理真实世界数据，比如，可以利用 `gapminder` 包分析全球经济指标，或通过 `nycflights13` 包研究航班延误数据，这种基于真实数据的教学案例更能帮助学生理解统计方法在实际问题中的适用性和局限性。这种跨学科能力的培养符合新文科与新工科建设的要求，能够提升学生在未来职业发展中的竞争力。

### （四）适应大数据时代的技能需求

在大数据时代背景下，R 语言融合教学能帮助学生掌握数据处理、自动化编程等核心技能。`tidyverse` 生态系统提供了高效的数据处理工具，R Markdown 功能确保了研究的透明性和可验证性，而编程思维的培养则有助于解决更广泛领域的问题。因此，统计学与 R 语言的融合教学是应对传统教学模式不足、满足时代需求的必然选择，高校应积极推进这种以实践为导向的新型教学模式，为学生未来的发展奠定坚实基础。

## 二、教学改革的实践路径

为提升统计学课程的教学质量与学生实践能力，本文提出教学目标调整、内容重构、方式转变与资源开发四个层面的教学改革实践路径。

### （一）教学目标调整层面

传统统计学课程多侧重于学生对公式推导与基本概念

的掌握，还增加了以下几个方面：

在工具应用方面，新教学目标强调培养学生熟练运用 R 语言进行数据分析的能力。R 语言作为开源的统计分析工具，具有强大的数据处理能力和丰富的程序包资源。通过系统化的 R 语言教学，学生能够掌握从数据导入、清洗、分析到可视化的完整流程。这种“理论 + 编程”的双重学习模式，能够有效提升学生的实际动手能力，使其具备独立完成数据分析任务的技术基础。

在思维培养方面，新目标着重增强学生的批判性思维和数据素养。批判性思维是学生在分析和解决问题时不可或缺的能力。课程将通过真实案例教学，引导学生评估数据质量的高低、识别潜在的偏差和局限性。培养学生批判性思维，将帮助学生形成严谨的数据分析态度，使其在面对复杂数据问题时能够做出科学合理的判断。

在实践应用方面，新目标强调培养学生运用统计知识解决实际问题的能力。课程采用多样化学习方式，引入多领域的真实数据分析任务，要求学生完成从问题定义、数据获取、方法选择到结果解释的全过程实践。这种实战训练能显著提升学生解决复杂问题的能力，使其具备将统计理论转化为实际应用的专业素养。

### （二）教学内容重构层面

教学内容在原有教学基础上，针对性的增加 R 语言实践模块，实现理论与实践的融合学习。教学内容可以设计为基础、核心、拓展三个层次：

基础层次的教学内容聚焦于统计学的基本概念和数学推导，包括概率论基础、随机变量及其分布、统计量及其抽样分布等核心理论知识。在这一阶段，教学以课堂讲授为主，辅以教材阅读和课后习题训练，帮助学生建立完整的统计学知识框架。同时，为了增强学生对抽象概念的理解，课程会适当引入 R 语言的简单应用。

核心层次的教学重点在于将统计学理论与 R 语言编程深度融合，涵盖描述性统计、参数估计、假设检验、回归分析等核心统计方法。在这一阶段，课程采用“理论讲解 + 代码演示 + 实操训练”的教学模式。

拓展层次的教学内容面向更高阶的统计方法与实际应用场景，包括多元统计分析、时间序列分析、非参数统计等。这一阶段采用项目驱动的教学模式，学生以小组形式完成综合性数据分析项目。课程会提供来自不同领域的真实案例，要求学生运用所学方法完成数据建模与分析，并撰写分析报告。

### （三）教学方式层面

改变传统教学中单一的讲授模式，采用“理论 + 实践”的混合式教学模式。保留课堂讲授环节，进行基本概念与理论知识的讲解，为学生奠定坚实的理论基础。在学生实践中，教师可以采用多样化方式进行，通过实践加深学生对理论知识的理解

和应用。项目驱动学习模式。教师可以设计真实的项目案例，鼓励学生围绕实际问题展开小组合作，完成从数据收集、清洗、建模到分析的完整流程。教师可以根据课程要求设计不同的研究项目。

学生需要收集原始数据或利用已有的实际数据，使用 R 语言进行数据清洗和分析，最终提出策略建议。通过这种模式，学生能够将所学的统计知识应用于实际问题，提升解决复杂问题的能力。

反转课堂模式。通过提前布置预习任务，让学生课前预习 R 语言相关视频与文档，教师在课堂上集中进行案例讨论与操作实践。这种模式能够充分调动学生的学习积极性与主动性，提高课堂效率。教师可以通过学习通等教学平台提前发布 R 语言的视频教程，学生在课前观看并完成预习任务，课堂上教师通过案例讨论和操作实践，帮助学生巩固所学知识。

实验室教学。建立专门的统计学实验室，配备高性能计算机和 R 语言开发环境。学生可以在实验室中进行实际操作，教师可以随时指导和解答问题。实验室可以配备 RStudio 开发环境，学生可以在实验室中完成各种统计分析任务，教师可以通过屏幕共享等方式进行实时指导。

（四）资源开发方面

传统教学资源多以教材和讲义为主，缺乏多样性和实践性。且传统教材中的案例多为简单的数据集，缺乏实际数据的联系，难以帮助学生理解统计方法在实际问题中的应用，也不能激发学生的学习兴趣。为使得教学资源更切合学生学习需求，可以建立涵盖多领域的教学案例库，每个案例包括背景介绍、数据集、分析目标和详细的操作步骤。经济学方面可以收集全球经济数据（如 GDP、通货膨胀率等），设计关于经济增长趋势分析的案例。医学方面可以收集医学临床试验数据，设计关于药物疗效评估的案例。

三、可行性分析

从师资角度，当前统计学教师普遍具备统计软件使用经验，这为开展 R 语言教学奠定了良好基础。教师可通过系统培训逐步掌握 R 语言教学能力，从基础语法到高级应用形成完整的知识体系。建立教学资源共享平台能够有效降低教师转型成本，实现优质教学资源的充分利用。

从学生能力角度，R 语言语法简洁、逻辑清晰，适合初学者学习。当前学生对编程的接受度普遍较高，尤其在理工、经管等专业中表现突出。配合 RStudio 等可视化开发环境的使用，能为学生提供友好的学习体验。采用渐进式教学设计，从基础函数调用到完整脚本编写逐步推进，符合学生的认知发展规律，有助于

培养系统的编程思维和数据处理能力。

从课程结构角度，R 语言可以采取学分置换的方式融入现有统计学课程体系，保持总体教学框架的稳定性。针对不同专业特点，可设计差异化的教学内容，突出专业相关功能模块的教学重点。构建基础、核心、拓展三级课程模块，形成循序渐进的能力培养体系，既保证了教学的系统性，又能满足不同层次学生的学习需求。

从硬件与软件条件角度，R 语言的跨平台特性为教学实施提供了便利条件，能够适应不同的硬件环境。统计实验室可以利用服务器部署实现集中式的教学管理，提高教学组织效率。其次，利用自动化评估工具能够显著提升教学反馈的及时性。建立动态更新机制可以确保教学内容与时俱进，保持教学的前沿性。

四、结语

将统计学与 R 语言相结合，是统计学教学顺应时代发展、回应学生需求的有效路径。这种融合既保留了传统教学中对统计理论的系统讲解，又通过 R 语言的实践应用，使抽象概念得以具象化呈现。学生在编写代码、分析数据的过程中，能够更深入地理解统计方法的原理和应用场景，从而建立起完整的知识体系。通过理论与实践的有机结合，不仅提升了学生的编程能力和数据分析技能，也培养了他们的统计思维和问题解决能力。

在深化教学改革的过程中，需要构建系统化的课程资源体系。这包括开发分层次的教学案例库，建立跨学科的真实数据集，设计渐进式的实践项目，以及完善配套的在线学习资源。同时，要注重教学方法的创新，将案例教学、项目驱动式学习和协作探究有机结合，激发学生的学习主动性和创新意识。教师角色的转变也至关重要，要从知识的传授者转变为学习的引导者和协作者。

这种教学改革的意义不仅体现在课堂教学效果的提升上，更在于为培养新时代所需的复合型统计人才奠定了基础。具备扎实统计理论基础和熟练数据分析能力的学生，将能够更好地适应大数据时代的职业需求，在各行各业发挥统计学的价值。未来，随着人工智能和数据分析技术的不断发展，统计学教育还需要持续创新，保持教学内容的前沿性和实用性，为培养具备数据素养和创新能力的统计人才做出更大贡献<sup>[8]</sup>。

参考文献

[1] 金欣雪. R 语言在统计学教学中的应用研究 [J]. 湖北第二师范学院学报, 2018(02): 43-47.  
[2] 朱波, 刘晓艳. R 语言融入统计专业课程教学的探索与实践——以山西财经大学为例 [J]. 教育教学论坛, 2020(12): 210-211.  
[3] 祝丹, 陈立双. 大数据驱动下统计学人才培养模式研究 [J]. 统计与信息论坛, 2016(12): 102-107.  
[4] 李雄英. 基于 R 语言的统计教学应用初探 [J]. 高教学刊, 2017(01): 50-51+53.  
[5] 高书丽, 王宝花. 大数据背景下经管类专业统计学课程教学改革研究 [J]. 教育教学论坛, 2020(11): 144-146.  
[6] 黎中彦, 陈建超. R 语言在《应用多元统计分析》教学中的应用 [J]. 大众科技, 2020(09): 120-123.  
[7] 汪国海. 大数据背景下 R 语言在生物统计学图形可视化中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2023(01): 10-12.  
[8] 朱建平, 张悦涵. 大数据时代对传统统计学变革的思考 [J]. 统计研究, 2016(02): 3-9.

# “大思政课”理念下《应用时间序列分析》课程融合式教学改革研究

李晗, 李小丹, 张晓颖

长春大学 数学与统计学院, 吉林 长春 130022

DOI:10.61369/ASDS.2025060007

**摘 要 :** 本文以“大思政课”为主线,紧扣《应用时间序列分析》的课程特点以及教学实际需求,从案例设计、背景融合、教学方法与实施路径等方面开展教学改革的思考与探讨。经实践表明,在专业教学过程中融入思政元素,有助于学生树立正确的人生观与价值观,培养学生的社会责任感与家国情怀,在学生专业学习的同时实现“知识传授”与“价值引领”的有机统一。

**关 键 词 :** 大思政课; 时间序列分析; 教学改革; 价值引领

## Research on the Integrated Teaching Reform of the Course "Applied Time Series Analysis" under the Concept of "the Big Ideological and Political Course"

Li Han, Li Xiaodan, Zhang Xiaoying

School of Mathematics and Statistics, Changchun University, Changchun, Jilin 130022

**Abstract :** This article focuses on the "the big ideological and political course" and closely follows the course characteristics and practical teaching needs of "Applied Time Series Analysis." It explores and reflects on teaching reforms from the perspectives of case design, context integration, teaching methods, and implementation paths. Practice has shown that incorporating ideological and political elements into professional teaching helps students establish a correct outlook on life and values, cultivates a sense of social responsibility and patriotism, and achieves an organic unity of "knowledge transfer" and "value guidance" while students learn professional knowledge.

**Keywords :** ideological and political course; time series analysis; teaching reform; value guidance

## 引言

随着新时代思想政治教育理念的不断深化,构建“大思政课”育人体系已成为我国高校教学改革的重点方向。2022年教育部等十部门联合印发《全面推进“大思政课”建设的工作方案》,强调创新高校思政教育工作机制,把立德树人的根本任务落到实处,培养担当民族复兴大任的时代新人。

近年来,国内外学者都在研究“大思政课”建设的相关问题<sup>[1][2][3]</sup>。国内主要研究的是大思政课课程体系建设<sup>[4][5]</sup>、教学方法改革<sup>[6]</sup>、实践教学探索<sup>[7]</sup>以及思政课教师队伍建设<sup>[8][9]</sup>等问题,学者们致力于在课程体系基础上进行改革<sup>[10]</sup>,在实践教学中突破传统教学<sup>[11]</sup>,进一步提升思政教育的实效性。国外学者则更多地关注公民教育和道德教育,主要包括道德教育理论、公民教育实践、多元文化教育、批判性思维培养以及教育技术的应用。西方国家构建道德教育系统的经验也值得我们借鉴,特别是多元文化教育与批评性思维方面的理念对我国“大思政课”实践的推进有所启示。

值得注意的是,当下有关“大思政课”的研究多集中于宏观层面教育体系的构建上,对于如何将“大思政课”融入专业课程,尤其是融入《应用时间序列分析》这种强调方法论的课程中,尚缺乏一定的研究成果。因此,本文选取某省属高校研究生阶段的《应用时间序列分析》课程作为载体,综合国内外相关理论,探索思政教育元素嵌入专业课程的具体路径,包括教学体系重构、特色案例设计及评价体系完善等方面,进而推动“课程思政全覆盖”。

作者简介:

李晗(1988—),女,讲师,博士,研究方向:时间序列分析,(E-mail)lihanccu@163.com;

李小丹(1998—),女,硕士研究生,研究方向:时间序列分析,(E-mail)leexdan\_122020@163.com。

通讯作者:张晓颖(1973—),女,教授,博士,研究方向:大数据统计分析,(E-mail)zhangxy@ccu.edu.cn。

## 一、课程思政建设的目标与意义

### （一）目标

1. 融合专业与思政：将思政因素融入时间序列分析的教学，在传授专业知识的基础上使学生认识到该门课程对于国家战略规划、企业运营管理以及社会治理中的实践意义，培养学生的家国情怀和责任担当意识。

2. 培养复合型人才：将时间序列分析知识广泛用于经济趋势、公共卫生评估和资源配置等多个方面。使专业知识与思政教育能紧密结合，促使学生将统计学专业知识转化为服务国家战略需求的能力，在教学过程中培育出“专业扎实、思想过硬、胸怀家国”的新型复合型人才。

3. 强化实践导向：基于具体的实际案例开展时间序列分析课程的思政教学，并通过具体操作让学生能体会时间序列分析的实际应用价值，真正践行“课程思政全覆盖”的教育理念，在统计学专业课程改革中提供可借鉴的实践方案。

### （二）意义

将《应用时间序列分析》课程与“大思政课”理念深度融合，有助于打破专业课程与思想政治教育之间的界限，实现知识传授与价值塑造的双重目标，是落实“立德树人”根本任务的重要途径，具有重要的理论和现实意义。

## 二、教学改革的内容与关键问题

### （一）研究内容

1. 构建“大思政课”教学新体系：按照课程培养目标、毕业要求将思政要素融入课程教学中，重构教学内容结构，围绕课程大纲修订、教学资源整合和评价体系完善等环节，形成《应用时间序列分析》的“大思政课”教学新体系，实现专业知识与价值观教育的有机统一。

2. 探究“大思政课”教学新模式：在《应用时间序列分析》教学中结合思想政治教育，采用项目驱动、案例教学、小组讨论、翻转课堂等方式，提高学生的课堂投入度与思辨能力。引导学生理解数据与民生之间的关系，提升其社会责任感。

3. 建设“大思政课”思政新案例：结合我校学生实际以及《应用时间序列分析》课程特点，编写课程思政案例。针对模型讲授环节，选用我国农业水灾受灾面积数据设计教学案例，既能引导学生构建模型，掌握核心分析步骤，也能让学生认识到防灾减灾与农业安全的意义；用城市二氧化碳排放的季节变化数据做教学案例，使学生在掌握季节性建模知识的同时又增强了环保意识；使用人民币汇率、股市指数案例进行教学，引导学生理解金融风险背后的国家主权与国际环境；将工业产值、居民消费指数等数据融入教学中，帮助学生把握经济周期规律，培养学生对国家发展战略的认知。这些案例具有实效性，提升了学生的实践能力、责任意识和家国情怀。

4. 制定“大思政课”评价新标准：改进以考为本的传统模式，建立过程性与综合性评价相结合的多元化评价方案。不仅考

察学生对模型与技术的掌握程度，还需对学生在项目实践中的价值认知、团队协作、创新思维等方面的综合素质进行评价。

### （二）关键问题

1. 实现专业教育与思政教育的有机融合：切忌简单相加，停留于表层；要在案例设计、数据选取等方面做到“润物细无声”，让学生在无形中自然地将专业知识与社会实际结合起来。

2. 提升学生的学习兴趣和课程参与度：《应用时间序列分析》是一门操作性较强的课程。应通过项目实践、小组竞赛、角色扮演等方式提高学生参与热情和学习主动性，增强学生自主学习和独立解决问题的能力。

3. 培养学生的实践能力和创新精神：重点加强课程设计和实践环节的设计，培养学生运用时间序列分析解决实际问题的能力，提高学生的编程能力和动手能力，在实践中锻炼学生创新思维。

4. 应对国际化和信息化背景下的挑战：《应用时间序列分析》的课程教学应服务于大数据时代的挑战。围绕国家战略与全球化议题开展国际视野下核心素养课程教学，使学生在课程学习过程中树立和增强民族自豪感和时代使命感。

## 三、教学改革中的实施方案及应对策略

### （一）修订教学计划与教学资源体系

根据研究生培养目标，课程组经过反复讨论，完成了《应用时间序列分析》新一轮课程大纲修订工作，确定了各章的知识点、能力点与思政点；汇总现有教材、国家政策文本、时事案例与各类数据平台的资源，构建符合“大思政”的资源库。教学设计由传统“模型—理论—推导”转向“问题—分析—建模—价值”的结构，确保教学目标落地。

### （二）加强教师培训与教学研讨机制

为确保课程思政落地见效，组建由多学科教师构成的教学团队，开展3轮次专题教研、教学研讨等活动，研究指定课程思政实施指南，凝练总结课程思政教学资源。形成统一的思政融入模板。通过定期开展教学复盘会、案例优化研讨会等形式，持续提升教师的思政教学设计水平，确保教学质量稳步提升。

### （三）强化案例开发与实践教学机制

教学团队定期开展集体备课和案例研讨会，并将行业信息转化为思政案例资源包。在教学过程中，设置实践教学周，组织学生分小组围绕就业预测、产业发展情况、宏观经济数据等相关主题进行模型构建，完成调研报告及成果展示。采集学生反思日记与课后匿名反馈问卷，进行全过程跟踪测评。

### （四）建立多元激励与评价机制

以打造《应用时间序列分析》精品课程为目的，构建“知识+能力+价值”三维评价体系，综合评价学生的模型构建能力、团队协作的过程、社会责任、表达能力。建立“优秀案例奖”、“课程思政之星”等表彰制度，展示优秀学生项目，形成崇尚先进、学习先进的学习氛围，引导学生自主参与课程建设。

## 四、结语

“大思政课”的建设既是思想政治教育的升华，又是对高校课程体系的再改造。“大思政课”是以“以专业为基、以价值为魂”的形式展开。《应用时间序列分析》中课程思政的融合，是本

文的一种探索性教学实践。以《应用时间序列分析》为基础进行的课程思政教学改革取得了初步成效，学生的专业素养与思想素养得到了提升。未来，会将内容建设与教学改进作为今后努力的重点方向，更好的培养时代新人、建设具有自己特色的高校育人模式。

## 参考文献

- [1] 张秀芹,王储.“大思政课”研究进展与发展路向探析[J].北京教育(德育),2024,(06):28-35.
- [2] 于露远.善用“大思政课”:一个研究述评[J].无锡职业技术学院学报,2024,23(03):76-81.
- [3] 冯秀军,邹玉.关于新时代思政课建设高质量发展的若干思考[J].思想理论教育,2024,(07):22-28.
- [4] 张衍丽.高校构建“大思政课”育人支持体系探析[J].湖北开放职业学院学报,2024,37(12):89-91.
- [5] 郑小萍.高质量构建“大思政课”工作体系[J].江西教育,2024,(21):25-26.
- [6] 刘冰,徐华伟,刘申忠.大数据赋能高校思政课教学创新研究[J].吉林教育,2024,(14):53-55.
- [7] 姜土生.善用红岩精神推进“大思政课”建设[J].大学,2024,(18):1-2.
- [8] 储白珊.上好“大思政课”培育时代新人[N].福建日报,2024-05-16(001).
- [9] 廖洋,冯文波.办好“大思政课”培根铸魂育新人[N].中国科学报,2024-06-04(003).
- [10] Huang Y. Construction of Innovative Talent Cultivation Mode of “Three-Full Education” in Colleges and Universities from the “Grand Ideological and Political Course”: Taking Universities in Shaanxi Province as an Example[J].Journal of Educational Research and Policies,2024,6(8):39-42.
- [11] Yi W. The Big Ideological and Political Course: A Novel Concept and Approach to the Ideological and Political Work of College Counselors[J].Adult and Higher Education,2024,6(1):153-158.

# 医学高等院校《卫生统计学》课程思政元素的融入与探索

黄文龙, 黄艳芳, 林奕勃, 钟海梅, 阮沁桐, 马传伟\*, 于海兵\*

广东医科大学 公共卫生学院, 附属东莞第一医院, 东莞市慢性病防治重点实验室, 广东 东莞 523808

DOI:10.61369/ASDS.2025060008

**摘 要 :** 《卫生统计学》是应用数理统计学的原理与方法, 系统研究居民健康状况及卫生服务领域数据收集、整理和分析的科学。“课程思政”通过将思政育人的要求有机渗透到专业知识传授中, 可显著增强学生的社会责任感和健康使命意识, 深化其对学科人文属性的理解, 进而培养其人文素养, 潜移默化地对学生们的思想意识、行为举止产生影响, 帮助学生树立正确的人生观和价值观。本研究聚焦《卫生统计学》课程思政元素的挖掘与融入路径, 为医学高等院校推进专业教育与思政育人深度融合提供理论支撑与实践参照。

**关 键 词 :** 课程思政; 卫生统计学; 医学院校

## The Integration and Exploration of the Ideological and Political Elements of the Course of "Health Statistics" in Medical Colleges and Universities

Huang Wenlong, Huang Yanfang, Lin Yibo, Zhong Haimei, Ruan Qintong, Ma Chuanwei\*, Yu Haibing\*

School of Public Health, Guangdong Medical University, Dongguan First Hospital affiliated, Dongguan Key Laboratory of Chronic Disease Prevention and Treatment, Dongguan, Guangdong 523808

**Abstract :** Health Statistics is a scientific discipline that applies the principles and methods of mathematical statistics to systematically study the collection, organization, and analysis of data related to population health status and healthcare services. "Curriculum-based ideological and political education" integrates the requirements of ideological and moral education organically into professional knowledge instruction. This approach significantly enhances students' sense of social responsibility and health mission, deepens their understanding of the discipline's humanistic dimensions, and cultivates their humanistic literacy. It subtly yet profoundly influences students' ideologies and behaviors, guiding them to establish correct outlooks on life and values. This study focuses on identifying and integrating ideological and political elements within the Health Statistics curriculum, providing theoretical support and practical references for medical universities to advance the deep integration of professional education with ideological and political cultivation.

**Keywords :** curriculum ideology and politics; health statistics; medical schools

### 基金项目:

2022年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(粤教高函〔2023〕4号), 基于OBE与PDCA相结合的课程思政教学效果评价探索与实践——以卫生统计学为例;  
2024年度广东省本科高校课程思政改革示范项目, 《卫生统计学》(非参数检验)课程思政示范课(粤教高函2024-27号);  
2024年度广东省教育科学规划项目(高等教育专项), 基于“岗位匹配·理实一体·深度实践”的《卫生统计学》课程教学模式改革(2024GXJK528);  
2022年度广东医科大学本科教学质量和教学改革工程项目(高等教育教学改革项目)(粤教高函〔2023〕4号), 基于OBE与PDCA相结合的课程思政教学效果评价探索与实践——以卫生统计学为例(1JG22134);  
广东省本科高校在线开放课程指导委员会(重点)研究课题, 基于PBL与ADDIE相结合的卫生统计学在线开放课程思政教学模式研究(2022ZXKC182);  
广东省高等教育学会“十四五”规划2022年度高等教育研究课题, 基于PBL与ADDIE相结合的流行病学与卫生统计学课程思政教学模式的研究(22GYB10);  
广东省“新医科”教指委2023年教学改革项目, 新医科背景下基于熵权TOPSIS法的课程思政教学效果评价探索与实践——以卫生统计学为例;  
广东省研究生教育创新计划项目(研究生示范课程建设项目)【广东省研究生示范课程建设项目】, 医学统计学(2024SFKC\_047)。

### 作者简介:

黄文龙, 广东医科大学公共卫生学院, 硕士研究生, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用;  
黄艳芳, 广东医科大学公共卫生学院, 硕士研究生, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用;  
林奕勃, 广东医科大学公共卫生学院, 硕士研究生, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用;  
钟海梅, 广东医科大学公共卫生学院, 硕士研究生, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用;  
阮沁桐, 广东医科大学公共卫生学院, 硕士研究生, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用。

### 通讯作者:

于海兵, 广东医科大学公共卫生学院, 医学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为现代统计方法在疾病模型构建中的应用;  
马传伟(第二通讯作者), 广东医科大学公共卫生学院, 医学博士, 硕士研究生导师, 研究方向为儿童心血管病危险因素流行病学。

引言

《卫生统计学》是各大医学院校公共卫生与预防医学专业的主干课程之一，其目的在于培养具有高素质、高本领的公共卫生领域人才，是医学生了解和掌握卫生状况、卫生问题及其变化趋势的基础学科。课程思政是在高校教学中将马克思主义基本原理与具体学科相结合，通过课程教学引导学生树立正确的世界观、人生观和价值观，培养学生思想道德素质和社会责任感的一种教学理念。医学生具有特殊的使命，需要承担救死扶伤的责任。因此，其思想政治与价值观塑造尤为重要。《卫生统计学》凭借其广泛的应用范围与受众基础，成为对医学生开展社会主义核心价值观教育的理想平台<sup>[1]</sup>。在《卫生统计学》课程思政元素探索过程中，教师可通过系统管理课程信息与内容，有效组织思政教育实践，创新教学方法，精准把握实施路径，从而显著提升课堂育人效果<sup>[2]</sup>。本课题聚焦《卫生统计学》与课程思政的深度融合，积极探索“思政进课堂、育人于无形”的有效途径，对推动《卫生统计学》教学改革创新具有重要现实意义。

一、《卫生统计学》课程中思政元素的理论挖掘

（一）教学内容中思政元素的挖掘与整合

《卫生统计学》课程可分为理论课和实习课。理论课主要授课形式是教师在课堂上讲授专业知识，学生以小组讨论、案例分析等形式强化课程内容；实习课则侧重于运用 SPSS、R 等统计分析软件进行案例综合实操，旨在深化理论知识的应用能力并熟练掌握软件操作。课程思政元素的融入主要采取以下路径：课前根据教学内容、前期的本专业课程思政实践以及相关文献探索新的切入点<sup>[3]</sup>，《卫生统计学》部分思政内容及融入形式见表1。在教学过程中，引导学生关注疫情防控、环境污染等现实公共卫生问题，剖析《卫生统计学》在其中的关键作用，以培育其社会责任感与专业使命感。强调数据的真实性与客观性。通过剖析数据来源、采集方法、处理流程，教导学生正确对待数据，杜绝造假与误导，切实培养其数据安全意识与实践能力。最终，达到提高学生的综合素质和实践能力的目的。

表1 《卫生统计学》部分思政内容

授课内容	思政设计
绪论	1. 通过统计学对慢性病的流行状况和变化趋势的作用，引出统计学在卫生领域中的目的和作用，启发学生学以致用，服务社会。2. 介绍统计学的演变过程、历代统计学家对社会做出的巨大贡献，启发学生培养爱国精神、专研精神、严谨精神、敬业精神3. 在设计、数据收集时，引用英国著名统计学家 F.Yates 和 M.J.R. Healy 的话：“非常痛心地看着，因为数据分析的缺陷和错误，那么多好的生物研究工作面临着被葬送的危险”，启发学生要有科学精神、探索精神、追求真理的精神。
调查研究设计	通过案例一在卫生部、科技部和国家统计局的共同领导下，由卫生部具体组织各省、自治区、直辖市相关部门在全国范围内开展了“中国居民营养与健康状况调查”，讲述了调查研究设计的全过程，启发学生要有团队合作精神、实践精神、服务精神。
实验设计	在观察“肝炎灵”联合“丹参注射液”治疗慢性肝炎的效果的案例中，该实验设计违反实验设计中对照原则、均衡性原则，实验结果没有可比性，案例分析表明：医学科研结果的好坏取决于医学科研实验设计的好坏，良好的实验设计才能得到较好的科研成果，培养学生普遍联系思维和因果联系思维。
定量资料统计描述	1. 在解释频率表的制作时，需要计算每一组的频率，由于样本量通常较大，在手工编制频率表的过程中，学生在进行统计时容易遗漏或重复数据。因此，引导学生转换思想，创新思维，把生活中用画“正”字的思想运用到频数记录，能确保快速正确的统计，培养学生变通思维、创新思维、效率意识。2. 集中趋势与离散程度的描述，培养学生辩证思维。

假设检验	1. 运用小概率事件原理和数学上“反证法”的思维，引导学生具体问题具体分析，培养学生的辩证思维能力。2. 假设检验的前提，应有严密的研究设计，培养学生严谨科学的精神。
卡方检验	1. 进行多个样本率（或构成比）比较的检验，拒绝检验假设时，只能认为各总体率（或构成比）有差别，而不能认为每两组之间都有差别。如果需要知道哪两组间有差别，需进一步做的两两比较，培养学生严谨科学的精神。2. 在 Fisher 确切概率法中，案例某医师为观察中西药结合治疗慢性荨麻疹的疗效，发现中西药结合疗效高。培养学生的创新意识和探索精神。
非参数检验	1. 无论是完全随机设计多个样本比较的 Kruskal-Wallis 秩和检验，还是随机区组设计多样本比较的 Friedman 秩和检验，当统计推断结论为拒绝假设时，只能得到各总体分布不同或不全相同的结论，任意两个总体分布均不同，若要对每两个总体分布做出有无不同的推断，应进行组间的两两比较，培养学生严谨科学的精神和批判思维。2. 单一样本资料的 Wilcoxon 符号秩和检验中，在脱发患者发铜含量与健康人群铜含量比较的案例中，可以认为脱发患者发铜含量低于健康人群，说明微量元素也重要。

（二）教学方法中思政元素的融入与运用

在课程思政背景下，老师需积极转变教学方法，通过探索、实践、创新与借鉴，构建多元化课堂，激发学生主动思考，融入红色叙事，引导学生树立正确的理想信念与道德情操。专业课是课程思政建设的主要载体，在课堂教学中，教学方法的改进极为重要，合适的教学方法能够调动学生学习兴趣和积极性，例如：

1. 案例教学法：通过讲述真实的案例（如分析女大学生体重、胸围及胸围呼吸差对肺活量的影响，揭示体重贡献最大、胸围次之、呼吸差最小的规律），引导学生深入剖析和思考，培养学生透过现象抓住主要矛盾的辩证思维能力，进而提升其科学、高效解决复杂问题的能力。

2. 讨论式教学法：教师和学生之间进行积极的互动，围绕当下公共卫生事件，教师设问，学生查阅资料后进行分组讨论与交流，探讨解决方案。通过互相交流，促进观点碰撞与深度思考，在交流互动中提升学生的思想政治素养与社会责任意识。

3. 角色扮演教学法：学生扮演不同的角色，通过模拟真实公共卫生情境，增强体验和感受，深化对公共卫生事件复杂性的理解与共情，强化实践认知，培养职业使命感与人文关怀精神。

上述教学方法的革新，不仅优化了课程结构与教学内容，提升课堂教学效率与参与度，更能以新颖、与时俱进的教学方式，以教促学，充分激发学生的学习兴趣。

### （三）教学评价中思政元素的量化与考核

思政课程的目标是培养学生的思想品德和社会责任感。教学评价作为衡量教学效果、获取反馈的关键环节，可以帮助教师了解学生的学习情况，调整教学方法，提高教学效果。思政课程的内容涵盖政治理论、道德规范、社会责任感等核心要素，是培养学生思想品德的重要载体。其教学评价应聚焦于学生对思政元素的掌握与应用。具体来说，教师可以通过观察课堂反应、针对性提问（如阐释政治理论内涵、剖析社会事件蕴含的价值冲突）等方式，了解学生对思政元素的理解和接受程度。此外，设计包含情境分析、理论运用等题型的测试题目，量化评估其认知水平，来系统检验学生对核心思政知识的理解深度与掌握程度。同时，教师可分析学生作业、报告等任务中体现的价值判断及社会责任担当，了解学生对思政元素的内化吸收及应用能力。思政元素的量化与考核是教学评价体系的重要组成部分，对于提高思政课程的教学效果具有重要作用。

## 二、《卫生统计学》课程中思政元素的实践探索

### （一）推进内容建设，剖析教材思政切入点

根据医学院校对医学类专业人才培养和专业素质提升要求，充分挖掘思想政治教育与教学资源，推进《卫生统计学》内容建设，分析教材中思政切入点，实现思政内容与专业知识的有机融合。《卫生统计学》兼具医科实践性与数理逻辑性，涵盖描述性统计和概率论与数理统计基础，并论述了假设检验、置信区间估计、回归分析预测等核心内容，蕴含丰富的生物统计学思想。课程思政效果受教育者、受教育者、中介因素、教育环境四个因素直接影响<sup>[4]</sup>。基于此，需系统分析教材知识体系，精准识别可融入思政元素的关键节点。推进内容建设，充分挖掘教育资源，首先需整合多方资源（学校、教师、学生、课程、教材等），建立教育资源库与数据服务，为教育行业提供数据支持，例如学生信息管理、课程评估、教学质量监控等。进一步通过对资源库中的数据进行挖掘分析，揭示其中的规律和价值，为思政教育决策提供支持。随着互联网和信息技术的不断发展，以翻转课堂为代表的新兴教学模式逐渐进入人们视野，推动了课堂教学模式的改革与发展，进一步拓展教学时空，提升互动性与参与度<sup>[6]</sup>。同时，教师要充分总结和归纳教材知识点、梳理教学大纲，以精准、精炼和系统的方式融入课堂思政，引导医学生以“治病救人”为首要任务并将其全面塑造成德智体美劳全面发展的社会主义卫生事业的接班人和领跑者。

### （二）革新课程设计，创新教学方法

面对新时代教育发展要求，革新课程教案与创新思政教学方法成为提升育人质量的关键。本课程着力推进以下改革：

#### 1. 革新课程设计

（1）强化实践教学：实践教学是思政课程的重要组成部分。教师应将理论教学与实践相结合，引导学生参与社会实践活动，如问卷设计比拼、数据分析对战以及软件编程和建模大赛等形式的实践活动志愿服务、社会调查等，使学生在实践中感受社会主

义核心价值观的内涵和意义。

（2）优化教学设计：教学设计是课程教案的核心环节。教师应基于学生的认知水平和兴趣点，设计富有挑战性和吸引力的教学活动，着重培养学生的创新能力、团队协作能力和跨学科综合素质，以提高教育质量。

（3）创新教学方法：传统的教学方法往往以教师为中心，学生的主动性和创造性得不到充分发挥。因此，教师应尝试采用多元化的教学方法，如项目式学习、翻转课堂、在线学习等，以激发学生的学习兴趣 and 积极性。

#### 2. 创新思政教学方法

（1）拓展多元化课程资源：充分整合优质网络资源，为学生提供丰富的思政课程学习材料。教师可以组织学生观看优秀的影视作品、参加主题讲座等，以拓宽学生的视野，提高思政教育的实效性。

（2）注重个性化教学：每个学生的兴趣和需求都不尽相同。教师应关注学生的个性化发展，因材施教，使每个学生都能在思政学习中定位价值、获得成长。

持续革新课程教案和创新思政教学方法，是培养兼具优秀专业技能与高尚思想品德、能担当新时代健康中国建设重任的优秀医学人才的核心路径。

### （三）培养教学团队，提高思政教学质量

教师是课程思政建设的实践者、推动者，其队伍构成思政育人的“主力军”<sup>[6]</sup>。团队合作和教师专业素养是提高教育教学水平的重要因素，可以通过建立教师团队、提供培训和继续教育机会、鼓励教师参加教学研讨会和会议、使用现代化教学手段、注重课程设计和评估等方面帮助加强团队合作，深化教师对思政理念与方法的理解，提高教师的专业素养和教育教学水平。此外，教师需要在备课过程中，根据课程内容思考如何巧妙地将思政元素融入课程内容中，按“章—节”梳理课程知识体系，构建“知识点—思政元素—教学资源”三位一体的系统框架<sup>[7]</sup>，实现精准融入。教师的德育思想和德育能力的提升对于课程思政的顺利实施至关重要，教师是课程思政的主要实施者，他们的德育思想和德育能力的高低直接影响到课程思政的实施效果，只有教师具备深厚的育人情怀与正确的价值导向以及思政元素挖掘与转化能力，才能够更好地引导学生树立正确的人生观、价值观和世界观，达成课程思政目标。

## 三、结语

近年来，高校课程思政建设虽获广泛关注，但在课程思政践行的过程中仍面临挑战。如教学计划及课堂实施普遍缺乏明确的思政目标导向，过度注重知识传授而忽视价值引领的重要性，缺乏对学生思想政治教育的引导和关注<sup>[8]</sup>。此外，大部分教学体系仍然只注重专业教育，教学设计和内容安排主要围绕专业相关的知识目标和技能目标，致使思政目标在医学课程中系统性缺失。即使在融入思政时，也常忽略了与医学专业知识的结合，难以契合医学生认知特点实现有效的思政教育<sup>[9]</sup>。在医学院校，如何结合

医学生的特点,将思政元素以一种活泼、有温度、受学生喜爱的方式融入医学课程中,目前仍是多数教师面临的一个挑战。针对此现状,本文主要从《卫生统计学》课程中思政元素的理论挖掘和实践探索两个方面剖析医学高等院校课程思政元素的融入与探索,从而达到把思想政治教育体系贯通学科体系、教学体系、教材体系、管理体系的目的,努力实现“五个体系”的融合贯通,全面提升医学人才培养的质量效益。

面对现存的诸多问题,各大高校应当加强“课程思政”教学理念的宣传教育,立足学校的教学特色,以马克思主义理论为思想根基,跨学科整合专家资源、开发专业思政素材库,使价值观培养在各个专业学科领域中“发声”<sup>[10]</sup>。高校应重点强化教师队伍思政育人能力的培养,通过系统培训提升其融合专业知识与价值元素的课程设计水平,注重课程的整体设计和思政元素的渗透,

使课程更加有机地融合思政教育;加强教师的教学方法和手段的培训,掌握多种教学方法和手段,使教学更加生动、形象,更好地引导学生思考和探究;重视教师的教学评估和反思,及时总结教学经验和不足,不断完善教学内容和方法,提高教学质量和效果。在推进“课程思政”的过程中不能机械地将思政元素融入各类课程,应充分挖掘医学专业课程中的思政元素,尤其是“科学素养”教育的内容<sup>[11]</sup>。在今后的教学实践过程中,需要挖掘更多与《卫生统计学》课程相关思政内容,将《“健康中国2030”规划纲要》的战略诉求转化为统计学教学中的公共卫生责任意识,继续深入研究社会主义核心价值观及其他思政理论体系与专业课程协同育人的方式方法,并不断探索和实践,在实践中总结经验,从而达到“立德树人”的最终目的。

# 参考文献

- [1] 张玉海,苏海霞,尚磊,等.案例教学方法在干预医学硕士研究生统计学态度中的应用效果[J].中华医学教育杂志,2019,39(4):276-279.
- [2] 秦嬰逸,赵艳芳,郭晓晶等.医学统计学课程思政教学设计与实践[J].中国卫生统计,2022,39(06):947-948+951.
- [3] 刘宇丹,高晓凤,朱陶等.《卫生统计学》课程思政教育探索及效果分析[J].经济师,2022,(07):198-199.
- [4] 韩春蕾,孙淑文,孙红卫等.医学统计学课程思政案例设计[J].中国卫生统计,2022,39(06):949-951.
- [5] 周跃进.“多元统计分析”课程“翻转课堂+课程思政”教学模式探索[J].安徽理工大学学报(社会科学版),2021,23(05):96-101.
- [6] 姚烨,李梁.医学类专业课程思政建设的思路与构想——以复旦大学上海医学院“卫生统计学”课程为例[J].甘肃高师学报,2021,26(02):112-116.
- [7] 缪珂,高文静,秦雪英等.课程思政资源库建设相关研究现状[J].医学教育管理,2023,9(02):173-178+190.
- [8] 许茜,刘志臻,俞向梅等.健康大数据时代下的医学生统计素养培养——“医学统计学”课程思政实践初探[J].教育教学论坛,2021,(12):57-60.
- [9] 王瑾瑾,闫国立,赵倩倩,等.融入课程思政理念的医学统计学教学模式探索[J].中国中医药现代远程教育2021,19(15):177-179.
- [10] 刘芃炜.国内高校“课程思政”研究现状及对策分析[J].产业与科技论坛,2022,21(04):95-96.
- [11] 夏娟,王肖南,吴立娟等.卫生统计学课程思政建设的探索[J].医学教育管理,2023,9(S1):17-20.

# 指向核心素养的小学语文教学大概念提取与转化

苏海晴

广州大学 教育学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.2025060009

**摘 要：** 大概念教学是当前小学语文教学中培育学生核心素养的关键路径。提取大概念需从教材内容与学生学情两方面入手：在教材层面，通过分析单元主题与语文要素、挖掘课文叙事情节的价值、结合想象习作改造概念等路径提炼；在学情层面，需依据学生的年龄特点与认知水平、学习习惯与方法、学习经验与兴趣最终确定大概念。实现大概念在教学中的落地转化，需将其与三维目标、核心素养相嫁接，并以大概念为主导统整跨学科内容，从而推动学生核心素养的有效发展。

**关 键 词：** 核心素养；小学语文；大概念教学

## Extraction and Transformation of Big Concepts of Primary School Chinese Teaching Pointing to Core Literacy

Su Haiqing

School of Education, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract：** Big Concept teaching serves as a pivotal approach to cultivating students' core competencies in primary school Chinese education. To extract big concepts, educators should consider both textbook content and student learning contexts: At the textbook level, this involves analyzing unit themes and language elements, exploring narrative values in texts, and transforming concepts through imaginative writing exercises. Regarding student context, it requires determining big concepts based on age-specific characteristics, cognitive levels, learning habits, methods, experiences, and interests. For effective implementation, integrating big concepts with three-dimensional objectives and core competencies is essential. By using big concepts as a guiding framework to consolidate interdisciplinary content, we can effectively promote the development of students' core competencies.

**Keywords：** core literacy; primary school Chinese; big concept teaching

### 引言

在当前教育改革聚焦核心素养培育的背景下<sup>[1]</sup>，大概念教学凭借其对知识的深层联结与迁移价值<sup>[2]</sup>，成为小学语文教学中落实素养目标的关键路径。大概念能够统摄零散的语文知识与技能，引导学生在语言实践中构建结构化认知<sup>[3]</sup>，实现从“知识习得”向“素养生成”的跨越。然而，在实际教学中，一线教师常面临诸多挑战：如何从单元课文中精准提炼具有迁移性的大概念，如何将抽象的大概念转化为具体可操作的教学活动<sup>[4]</sup>，以及如何确保大概念教学真正服务于学生语言能力、思维品质、文化自信等核心素养的发展<sup>[5]</sup>。因此，探索科学的大概念提取路径与转化策略，对于破解教学实践中的困境、提升小学语文教学质量具有重要的现实意义。本文基于统编版小学语文教材，结合教学实例，系统阐述指向核心素养的大概念提取方法与转化路径，为教师开展大概念教学提供实践参考。

### 一、大概念的提取路径

科学提取大概念是实施大概念教学的基础。一方面，要从教材中提取大概念，以契合课程标准所设定的课程目标；另一方面，提取大概念需兼顾学生的年龄特征与认知水准，保障其能切实助力学生的素养提升。

#### （一）从教材内容中提取大概念

##### 1. 分析教材单元主题、语文要素

首先，教师需深入研读单元导语，明确单元的核心目标和语文技能要求。通过解读单元导语着重厘清该单元课文的内容主题、核心价值以及明确读写训练目标。在此基础上，教师可以开展课文间横向比较，梳理课文间知识教学与价值教育的衔接关

系。以统编版小学语文三年级下册第五单元为例<sup>[6]</sup>，从单元导语中提取“想象”这一核心主题词，明确“感受想象的神奇”与“发挥想象创作故事”两个主题任务，带入单元课文，将《宇宙的另一边》《我变成了一棵树》等课文用相似的主题任务连接起来。通过对比课文内容，可清晰看出教材按“感知想象→分析方法→模仿创作”的设计思路，构建从输入到输出的完整学习链条。《宇宙的另一边》通过科学幻想展现想象的创新性，《我变成了一棵树》通过生活化想象传递情感，二者共同指向“想象是突破常规的思维实践”的价值内核，形成“感知—创作”的育人链条。

其次，挖掘课文语文要素与单元主题意义相协调。在明确单元主题的基础上，深入挖掘每篇课文背后独特的思想情感与教育意义，进行“表层内容—深层寓意—哲学内核”递进式追问。从而将单元主题演绎与课文内涵归纳相结合，在各篇课文具体知识与技能的训练中不断回溯单元主题蕴含的教育价值，丰富主题价值的应用情境，推动学生深化对主题价值的体悟。如解读三年级下册第二单元课文《陶罐和铁罐》，深入课程具体描写，先从“陶罐与铁罐的对话、态度及结局”等表层内容入手，通过语言描写的朗读对比梳理情节，结合单元“感受对比写法”的要求，归纳出“看待事物应关注内在价值”的深层寓意，最后通过小组讨论升华至“尊重个体差异、辩证看待优缺点”的哲学层面，将课文“对比手法”的语文要素与单元“故事含道理”的主题深度融合，确证了课文内涵与单元主题的协调关系。

## 2. 在课文叙事情节中提炼大概念价值

小学语文课文以叙事文体为主，知识认知寓于事中，价值情感藏于情里。教师需要剖析课文叙事要素，挖掘具有价值一致性的概念。首先梳理情节结构，按起因、经过、结果拆解课文叙述的事件，标注关键事件节点，接着分析角色特征，通过角色的语言、行为及结局，判断其象征意义，最后定位矛盾冲突，提炼故事的核心对立点，这些要素为后续育人价值提炼提供文本依据。以统编版小学语文三年级下册第二单元为例<sup>[7]</sup>，该单元编排了《守株待兔》《陶罐和铁罐》《鹿角和鹿腿》《池子与河流》四则寓言故事。按照上述方法梳理出四则寓言故事的情节结构、角色象征及矛盾本质，分析可提炼出“寓言通过故事讲述道理，常常运用对比、夸张、讽刺的写法，读、讲、写寓言可以自省和劝诫他人”的大概念。在实际教学中可引导学生通过阅读、分析故事情节，体会寓言所蕴含的道理，并尝试运用寓言的写作手法进行创作，达到育人目的。

## 3. 运用想象习作改造大概念

想象习作是学生根据课文所学所想，结合自身经验开展的写作活动。利用想象习作可以将大概念对接学生经验，实现大概念的经验化改造，最终完成大概念的提取。首先，分析单元语文要素，生成单元习作训练的要点和节点。其次，在课文中找寻与想象思维相匹配的内容，绑定习作训练任务，引导学生结合自身经验，展开想象习作，赋予课文新内容、新思想。最后，梯度设计习作任务，引导学生参与大概念的提取与建构。以统编版小学语文三年级下册第五单元为例，教师先分析单元语文要素，明确“感受想象的神奇—发挥想象创作故事”的习作训练要点和节点。

继而在《宇宙的另一边》中找寻“石头有生命”等与想象思维匹配的内容，绑定“改写课文片段：假如宇宙另一边有个‘我’”的习作任务，引导学生结合自身经验展开想象，为课文增添“书本能对话”等新内容。最后梯度设计“用拟人手法写玩具对话—用夸张手法构思‘我变成云朵’的情节—独立创作《铅笔的太空奇遇》故事”的任务，让学生在仿写、改编、原创的阶梯式实践中，逐步参与“大胆想象是突破常规，通过拟人、夸张等手法创造新事物、表达情感的思维实践”这一大概念的提取与建构，实现从课文学习到经验转化的大概念生成过程。

## （二）结合学情确定大概念

### 1. 分析学生年龄特点和认知水平

不同学段学生在思维、情感和认知方面存在显著差异，经过经验改造的大概念需进一步契合学生的发展特点。低学段学生以形象思维为主，依赖具体事物感知世界，大概念应是具象化、情境化的“感知型大概念”，表述上多用比喻、拟人等手法，贴近生活情境。如将“观察”表述为“眼睛是发现宝藏的小钥匙，仔细看看能找到事物的秘密”，核心功能是建立基础认知图式，培养观察、表达等基本习惯。中学段学生初步具备逻辑思维，能发现知识间简单联系，大概念可以是结构化、关联化的“联结型大概念”，表述突出概念间逻辑关系，如大概念“寓言是用有趣的故事讲明白做人的道理，对比和夸张能让道理更清楚”。核心功能是构建知识网络，培养归纳、类比等思维能力。高学段学生抽象思维与批判性思维萌芽，追求知识本质，大概念应为抽象化、迁移化的“思辨型大概念”，表述聚焦学科本质规律。如大概念“小说通过人物、情节、环境的融合反映社会现实，人物选择隐含时代烙印”。核心功能是深化学科本质理解，培养辩证思维与知识迁移能力。在注意学段差异的同时，也要做好学段衔接，伴随进阶任务提升大概念的抽象程度，使大概念成为连接学生认知与学科本质的桥梁。

### 2. 依据学生学习习惯与方法

学生的学习习惯和方法会影响其对大概念的理解和掌握，在教学活动中，教师要采取一定的手段洞悉学生的学习习惯和方法。一是设置结构化预习，运用思维导图等工具将学习内容结构化，增强学生学习过程条理化水平，便于教师有效识别学生习惯。以小学语文统编版三年级下册第二单元为例，教师在布置预习《陶罐和铁罐》时，引导学生分对象记录课文情节发展，从而获取学生对“谦逊与傲慢的不同结局”的感知，为学生理解“对比手法揭示道理”的大概念做铺垫。二是以疑问驱动深度探究，把握学生提出问题与分析解决问题的习惯方法。通过预设“假如—如果”等提问清单，引导学生自主提问将抽象概念转化为具体问题，通过学生问题质量评估其思维习惯与方法。如在学习《我变成了一棵树》时，将“树干如何表达心情”“果实说话内容”等内容设置提问清单引导学生提问，评估学生能否做到“突破常规想象”，是否掌握“拟人”的想象和修辞方法，从而判断将“拟人手法赋予物体生命”作为大概念。

### 3. 融合学生学习经验与兴趣

学生的学习经验与兴趣是确定大概念的重要锚点，教师可以

通过考察学生的知识储备和心理倾向评估其经验与兴趣的类型特点。具体方法：一是经验迁移法，即梳理学生已有经验并与单元主题建立关联的方法。如当学生具备“童话形象再创造”的经验和能力时，可在“想象”单元中将“突破现实逻辑的角色重构”应用于《我变成了一棵树》中“树的情感体验”对比，提炼“跨物种视角的沉浸式创造是创意表达核心”的大概念。二是兴趣锚定法，指捕捉学生兴趣领域的方法。如学生对“宇宙奥秘”兴趣浓厚时，整合其科普阅读中积累的知识，在赏析《宇宙的另一边》时将“科学原理的逻辑性”与“幻想场景的创造性”融合，提炼“科学理性与艺术想象的双轨思维能构建新认知场景”的大概念，通过“宇宙超市”等驱动型任务，推动大概念从“普适性想象认知”升级为“兴趣赋能的专业化创造”。

## 二、大概念的转化

将大概念进行转化是大概念教学落到实处的关键所在<sup>[9]</sup>。把大概念科学转化为教学目标与教学内容，既能为教学活动明确方向、提供素材，又能将抽象的概念转化为具体可操作的教学要素，让学生在理解知识的过程中学会实际运用，进而促进核心素养的发展。

### （一）大概念嫁接三维目标与核心素养

素养取向的教学目标设计并不意味着对三维目标体系的抛弃，而是为三维目标注入更适于时代需要的培育内容。将大概念转化为教学目标时，可以三维目标体系为纲，核心素养内涵为本，锚定教学目标。具体而言，知识维度上，需将大概念拆解为可理解的具体知识点，明确核心概念的内涵、特征及逻辑关系，形成系统化的认知内容。技能维度上，围绕大概念设计可操作的能力训练路径，构建从学习模仿到独立运用的阶梯式技能体系，让学生

在实践中掌握概念应用方法。情感维度上，引导学生感知大概念的价值，将概念与生活经验、情感体验结合，激发学生对概念的积极态度与认同感。三者有机结合，推动大概念从抽象理念转化为可落实的表现性任务。以统编版小学语文三年级下册“想象”大概念为例，教师先在知识维度将其拆解为联想、夸张、拟人手法的定义、表现形式及作用，设定“准确识别课文中反常识联想、拟人化表达与夸张修辞，理解想象是突破常规赋予事物新属性”的目标，继而在技能维度设计“模仿经典句式—自主构思情节—独立完成创作”的进阶任务，如用夸张手法改写句子、以“假如我是自然元素”构思故事框架、完成《文具的奇妙冒险》创意片段，逐步掌握运用想象手法表达情感的技能。最后在情感维度通过“想象故事会”活动，鼓励学生分享创作思路并互评作品，引导其结合生活体验感知想象带来的思维乐趣，建立“勇于突破常规、大胆运用想象”的积极创作态度，实现知识习得、技能提升与情感内化的有机统一。

### （二）大概念主导跨学科内容统整

基于大概念筛选教材中的相关内容。一方面，筛选出的内容从大概念的逻辑起点出发，深化和拓展大概念的内涵与外延，从而将本学科的知识与其他学科属相同或相近原理的知识关联起来。如语文教学中的古代诗词吟唱与音乐音韵音律学习相结合，两者有着相似的声韵原理，将音乐学习纳入语文教学既有助于学生理解古诗词韵律美的大概念，又帮助其开展对诗文内容的想象。另一方面，筛选出的内容从大概念的价值影响出发，关联与其价值观念相一致的内容，从而将本学科与思想价值相关互通的学科联系起来。在传统文化单元，教师可以引入美术学科中的传统绘画作品、手工艺品等，让学生从视觉艺术的角度感受传统文化的魅力。或者结合音乐学科中的传统音乐作品，通过听觉体验增强学生对传统文化的情感认同，丰富对传统文化的认知体验。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育课程方案（2022年版）[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022：2.
- [2] 郭晓雯，代建军. 大概念统摄下小学语文大单元教学的实践路径[J]. 教学与管理，2023，(33)：100-104.
- [3] 李松林. 以大概念为核心的整合性教学[J]. 课程·教材·教法，2020，40(10)：56-61.DOI：10.19877/j.cnki.kcjcf.2020.10.009.
- [4] 梅培军. 语文学科大概念的价值澄清、实施困境及其纾解策略[J]. 课程·教材·教法，2024，44(02)：104-111.DOI：10.19877/j.cnki.kcjcf.2024.02.024.
- [5] 韦桂珍，胡嘉康. 大概念融入教学的实践困境与突破路径[J]. 现代教育科学，2025，(03)：1-8.DOI：10.13980/j.cnki.xdjyxx.2025.03.001.
- [6] 邱志凯. 大概念视域下小学语文习作单元整体教学设计策略——以统编教材三年级下册第五单元为例[J]. 语文教学通讯，2022，(27)：66-68.
- [7] 姜屹兰. 大概念统领下寓言单元教学的四次进阶——以小学语文统编教材三年级下册第二单元为例[J]. 小学语文教师，2024，(03)：12-15.
- [8] 徐鹏. 基于语文学科大概念的教学转化[J]. 中学语文教学，2020，(03)：4-10.

# STEAM 理念下 EVEAT 教学模式在“数据可视化技术”课程中构建与探索

夏英

海口经济学院, 海南 海口 570203

DOI:10.61369/ASDS.2025060010

**摘 要 :** 本研究以“数据可视化技术”课程为载体, 基于 STEAM 教育理念构建 EVEAT 教学模式(启蒙-探究-深化-拓展-评估)。通过重构教学内容、实施“双导师制”及引入 AI 技术, 实现科学、技术、工程、艺术和数学的跨学科融合。研究建立了配套教学资源库, 实践表明该模式有效提升学生的数据可视化能力和创新思维, 培养复合型专业人才, 为新工科教育改革提供有益借鉴。

**关 键 词 :** STEAM 理念; EVEAT 教学模式; “数据可视化技术”课程

## Construction and Exploration of the EVEAT Teaching Model in the “Data Visualization Technology” Course under the STEAM Concept

Xia Ying

Haikou University of Economics, Haikou, Hainan 570203

**Abstract :** This study takes the “Data Visualization Technology” course as a platform and constructs the EVEAT teaching model (Enlightenment-Inquiry-Deepening-Expansion-Assessment) based on the STEAM education concept. By restructuring the teaching content, implementing a “dual-mentor system,” and incorporating AI technology, the study achieves interdisciplinary integration of science, technology, engineering, arts, and mathematics. A supporting teaching resource library was established, and practice has demonstrated that this model effectively enhances students' data visualization skills and innovative thinking, cultivating interdisciplinary professionals and providing valuable insights for the reform of emerging engineering education.

**Keywords :** STEAM concept; EVEAT teaching model; “Data Visualization Technology” course

## 引言

2023年2月, 教育部联合其他四个相关部门共同发布了《普通高等教育学科专业设置调整优化改革方案》, 该方案指导高校遵循“探索新兴工科专业、更新工科专业标准、促进学科交叉融合创新”的发展路径, 深入推进新工科建设。在这一过程中, 专业结构的优化升级、课程质量的提升以及教学模式的创新被视为推动新工科建设的三大核心策略<sup>[1-4]</sup>。其中, 课程质量的提升尤为关键, 它聚焦于课堂教学模式的革新与课程设计的优化, 强调将跨学科的知识融合纳入教学内容, 激发学生的主动思考与探索精神, 力求实现从传统的“教学为中心”向“学习为主导”的教学模式的根本转变<sup>[5-6]</sup>。

数据科学与大数据技术专业, 作为信息技术领域的新兴工科专业, 以新工科建设的推进为动力, 加速工程教育与大数据技术的深度融合与创新, 这是响应新时代对大数据专业人才培养的迫切需求, 同时也是落实国家大数据发展战略的必然路径。在大数据领域新技术层出不穷、新业态蓬勃发展、新模式不断涌现的背景下, 数据科学与大数据技术专业更加迫切需要大力推进课程体系的优化升级, 不仅要在理论深度上挖掘大数据技术的精髓, 还要在实践广度上拓展其应用场景与创新能力。

基金项目: 海南自贸区(港)背景下的数据科学与大数据技术专业人才培养模式探索与实践(项目编号: Hjjj2022003ZD)

作者简介: 夏英(1975-), 女, 湖南岳阳人, 海口经济学院聚星数字经济学院副教授, 硕士, 主要研究方向: 运筹与优化。

# 一、STEAM 理念创新与 EVEAT 教学模式改革实践

## （一）细化 STEAM 理念，赋能学科交叉融合

### 1. 重构教学模块

原课程内容章节为：Python 程序基础、数据处理基础、数据可视化基础、类别比较型图表、数据关系型图表、数据分布型图表、时间序列型图表、局部整体型图表、高维数据型图表、地理空间型图表、数据可视化案例，共 11 章内容。

根据 STEAM 理念，将重构后的课程模块设计如下：数据预处理基础；数据可视化工具与软件；可视化色彩运用基本理论；六类图表的数据可视化绘制；数据可视化图表的数据分析与特征挖掘；数据可视化分析报告的撰写。通过对不同模块内容的解构，充分提炼数据可视化技术知识体系蕴含的 STEAM 元素，重构基于 STEAM 理念的《数据可视化技术》课程知识体系。

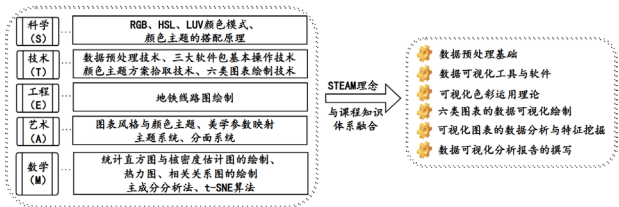


图1 基于 STEAM 理念的《数据可视化技术》课程知识体系重构图

### 2. 重构教学知识点

依据 STEAM 理念，重新梳理并构建“数据可视化技术”的教学内容体系。设计教学方案时，紧密结合具体的数据可视化图点实例，将理论知识与实践操作深度融合，确保每个教学环节都能体现 STEAM 理念。具体融入“数据可视化技术”教学内容设计，如表 1 所示：

表1 融入 STEAM 理念的《数据可视化技术》教学内容设计

学科	实验项目内容	STEAM 理念切入点
科学 (S)	S <sub>1</sub> : 在线调色板实验	如何实现绘图颜色自由? (RGB、HSL、LUV 颜色模式的自由切换)
	S <sub>2</sub> : 颜色主题搭配原理的认知实验	如何用排列组合方式实现单色、双色渐变和多色系颜色主题方案搭配?
	S <sub>3</sub> : 图的认知	图的对象与图的组成元素
技术 (T)	T <sub>1</sub> : 数据预处理	数字运算 (数组的创建、索引与变换、组合、统计函数) 表格处理 (表格的变换、排序、拼接、融合、分组, 缺失值的处理)
	T <sub>2</sub> : 三大软件包基本绘图操作	Matplotlib、Seaborn、Plotnine
	T <sub>3</sub> : 颜色主题方案抽取	离散型与连续型变量在选择颜色主题方案的区别
	T <sub>4</sub> : 颜色拾取方式	颜色拾取的常见方式有哪些?
	T <sub>5</sub> : 六大类图表绘制	54 款不同图形的绘制代码
工程 (E)	E <sub>1</sub> : 地铁线路绘制	示意地铁线路图如何绘制?
艺术 (A)	A <sub>1</sub> : 图表风格与颜色主题设计	Seaborn 可供选择的图表风格与主题颜色设计
	A <sub>2</sub> : 美学参数映射测试	Plotnine 中美学参数的调试与运用
	A <sub>3</sub> : 主题系统设计	Plotnine 中不同主题风格的设计与运用
数学 (M)	M <sub>1</sub> : 直方图与核密度估计图的绘制	频数分布、高斯分布、核密度估计

数学 (M)	M <sub>2</sub> : 热力图的绘制	聚类分析
	M <sub>3</sub> : 相关关系图的绘制	相关系数矩阵
	M <sub>4</sub> : 主成分分析图的绘制	主成分分析法
	M <sub>5</sub> : t-SNE 图的绘制	t-SNE 算法 (机器学习)

## （二）“双导师制”引领教学路径革新

### 1. 引入可视化行业优秀师资，构建“双导师”教师队伍

2022 年，聚星数字经济学院引入《Python 数据可视化之美——专业图表绘制指南》作者张杰作为可视化专家，并邀请数据运营总监吴迪（其拥有从零到一组建 40 人团队、管理超 40 位主播数据运营、打造数据生态体系的丰富经验），加入大数据教研室，共同构建特色“双导师”教学团队。

### 2. “双导师制”驱动推进 EVEAT 教学模式改革

#### （1）EVEAT 教学模式改革

STEAM 理念下的 EVEAT 教学模式分为启蒙引导 (Enlighten)、变量探究 (Vary)、深化理解 (Elucidate)、应用拓展 (Apply)、技术评估 (Tech-Assess) 五个环节。EVEAT 教学模式（详见图 2）自激发兴趣始，引导学生探索变量，结合自我消化与教师解析深化理解，进而鼓励在新实战情境中拓展应用，拓宽技能视野。最终，通过师生共同的技术评估，实现能力提升。

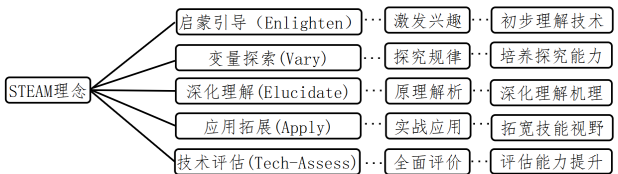


图2 基于 STEAM 理念的 EVEAT 教学模式图

#### ① 启蒙引导

以 STEAM 理念为基础，通过多学科交叉融合的方式，结合实际生活案例或问题，激发学生对数据可视化技术的兴趣，提升其学习动力，并注重培养其创新实践能力。

设计意图：通过联系生活实际，展示数据可视化技术在生活中的应用案例，以及引导学生思考和分析这些案例，旨在激发学生的学习兴趣 and 好奇心。同时，通过提出问题和鼓励学生尝试设计自己的数据可视化作品，进一步提升学生的学习动力和创新实践能力。

#### ② 变量探索

秉承 STEAM 理念下，推行独立进行代码中的参数调试与分组变量探索的双重学习方式。独立调试代码锻炼学生独立思考与问题解决能力；分组探索促进学生交流，激发创新思维。小组合作模式助力学生互助学习，提升团队协作与沟通能力。

#### 探究 1：参数调试与视觉效果

教学内容：在数据可视化技术中，参数调试是优化视觉效果的关键步骤。不同图形的绘制代码中包含不同参数，包括颜色、字体、线条粗细、透明度、背景效果等参数的调整，这些参数的设置直接影响可视化图表的外观、信息的传达以及用户的理解。

设计意图：通过学生独立进行实际操作，加深对参数调试重

要性的认识，掌握不同参数对视觉效果的影响及其调试方法。这将为创建高质量的可视化作品提供有力支持，并提升他们在数据可视化领域的专业素养。

探索2：变量类型与特性

教学内容：在数据可视化技术中，变量是数据表达的核心。变量根据性质可以分为数值型变量、分类变量和文本型变量等。了解这些变量的类型和特性，对于后续的数据处理和可视化至关重要。

设计意图：通过学生小组讨论交流，加深对变量类型和特性的理解，为后续的数据处理和可视化奠定坚实基础。

探究3：变量探索与可视化代码适配

教学内容：在数据可视化实践中，现有代码适配是将现有可视化代码应用于新数据集的关键过程。这一过程不仅涉及变量的替换，还涵盖对数据特性、自变量与因变量关系的重新理解，以及代码中关键参数的相应调整。掌握代码适配技巧，能够显著提升数据可视化的灵活性和适应性。

设计意图：通过学生小组讨论、实际操作与反思总结，深入理解代码适配的核心要素，掌握数据适应性调整的方法，增强学生不同数据场景下灵活应用可视化代码的能力，为高效、准确地完成多样化数据可视化任务奠定坚实基础。

③深化理解

在STEAM理念下，教师主导串讲原理解析成为深化代码适配理解的核心环节。该环节不仅总结学生实践所得，更引导学生洞察代码适配的逻辑精髓与多样应用。随后的小组讨论与总结，强化学生间的交流与创新，促使学生将所学知识转化为解决复杂问题的能力，实现技能与团队协作的双重提升。

设计意图：教师串讲点睛，构建代码适配知识体系，开启技术视野。此环节培养深度思考、问题解决与创新能力，强化团队协作与沟通，为学生未来技术挑战，如数据可视化适配，奠定坚实基础，促进综合素质提升与职业发展。

④应用拓展

在深化理解的基础上，教师进一步构建迁移应用场景，引领学生踏入数据可视化代码适配的实践之旅。这一环节，教师精心设计一系列基于新数据场景的挑战任务，让学生在模拟的真实环境中，将所学的代码适配知识灵活应用于数据可视化的实践中。

设计意图：应用拓展与实践环节融合理论与实操，让学生在复杂环境中亲历代码适配与数据可视化。此环节旨在让学生掌握核心技能，提升技术应用与创新能力，为未来职业生涯奠基。同时，强化团队协作与沟通，助力学生成长为全面发展的技术人才。

⑤技术评估

在技术探索与实践的基础上，技术评估环节成为衡量学生可视化能力的重要标尺。此环节，学生小组将进行可视化作品展示，呈现他们在数据可视化中的创意、技术与图片效果。

设计意图：技术评估环节通过展示、点评、互评与反思，形成多维度评估。此环节助学生明优劣，促技术提升，为未来挑战奠基，推动个人与团队成长。

(2) EVEAT 教学模式流程解析

鉴于“数据可视化技术”课程的跨学科特性及其对实践应用的高度要求，结合STEAM理念，构建“数据可视化技术”课程在EVEAT教学模式下的教学流程。此教学模式下的教学流程如图3所示，详尽阐述STEAM跨学科教学设计、案例教学流程以及教师与学生在各个环节中的具体任务与角色分配。

在该模式下，STEAM理论被深度融入“数据可视化技术”的案例教学中，意味着科学、技术、工程、艺术、数学等多领域知识被巧妙地整合至案例采编、案例视频启蒙、变量探索与讨论、深入分析案例、应用拓展及技术评估等教学流程的每一个阶段。

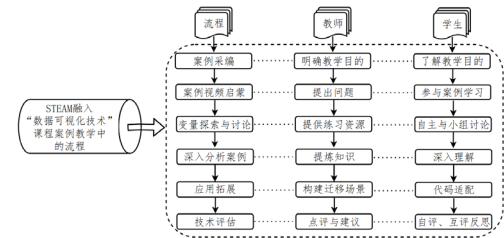


图3 基于STEAM理念的“数据可视化技术”课程教学设计思路图

(3) 素材库与“数据可视化技术”课程系统的匹配

数据可视技术跨越多学科，交融性强，其与素质培养要求的对应关系较复杂。通过对融入跨学科整合（如融合Python编程技术、美学原理、数据分析技能与撰写分析报告技能）理念的数据可视化技术知识体系进行重构，针对各模块所需的综合能力，遵循“核心突出、多元交融”的理念，构建素材库架构。

素材库架建的重点内容涵盖：

①视频素材

在六大类图表Python绘制方面，围绕类别比较、数据关系、数据分布、时间序列、局部整体、地理空间等重点内容，结合绘图基本绘制技能和毕业论文对图表规格要求的相关规定，共编辑视频素材73个，统计信息如表2所示，具体信息见附录2。

表2 融入STEAM理念的《数据可视化技术》视频素材表

学科	视频数	时长	项目内容
科学 (S)	2	0:35:28	图的知识、颜色主题搭配原理与认知
技术 (T)	55	33:01:38	三大软件包基本使用操作、颜色主题方案拾取、六大类图表绘制
工程 (E)	1	1:24:00	地铁线路绘制（讲座）
艺术 (A)	5	1:24:33	图表风格与颜色主题设计、美学参数映射测试、主题系统设计
数学 (M)	10	5:00:06	直方图与核密度估计图的绘制、相关关系图的绘制、主成分分析、图的绘制、热力图的绘制、t-SNE图的绘制

②拓展文本素材

拓展文本素材围绕代码适配过程中容易出现的问题，进行针对性的设计与拓展，以方便学生新的应用数据场景下，有效解决代码适配问题。共编辑拓展文本素材32个，具体信息如表3

所示。

表3 《数据可视化技术》文本拓展素材表

序号	素材拓展点	所在章节
1	圆环散点图	2.3 Matplotlib 绘图基础
2	带标记折线图	2.3.1 带标记的折线图
3	带颜色的散点图	2.3.2 散点图、统计直方图、箱形图
4	三维图的绘制	2.3.4 三维曲面图
5	三维曲面拟合图的绘制	2.3.4 三维曲面图
6	四线共轴折线图绘制	2.4 Seaborn 绘图基础
7	Seaborn 中如何实现整个图像的右侧居中?	2.4 Seaborn 绘图基础
8	Seaborn 绘制金字塔图	2.4 Seaborn 绘图基础
9	Plotnine 中如何实现气泡图绘制的迁移变化	2.5.1 度量调整
10	四象限气泡图的绘制 1	2.5.1 度量调整
11	用 Matplotlib 语言实现火花树图中的多线共轴的折线图绘制	2.5.1 度量调整
12	如何解决多轴共线中的日期显示问题?	2.5.1 度量调整
13	股票折线图的绘制	2.5.2 坐标系及其度量
14	基础折线图 --- 平滑折线图 --- 点线图 --- 误差折线图的绘制	2.5.2 坐标系及其度量
15	三个城市 9 月份温度对比分析箱形图绘制	2.5.5 位置调整
16	四象限气泡图的绘制 2	3.1 可视化色彩的运用原理
17	Plotnine 中如何实现气泡图自由	3.2 不同美学参数效果展示
18	单柱形图绘制代码	4.1.1 柱形图系列
19	共轴柱线图的绘制代码	4.1.1 柱形图系列
20	并列柱形图绘制代码	4.1.1 柱形图系列
21	堆叠柱形图绘制代码	4.1.1 柱形图系列
22	百分比堆叠柱形图绘制代码	4.1.1 柱形图系列
23	并列条形图绘制代码	4.1.2 条形图系列
24	堆叠条形图与百分比堆积条形图代码	4.1.2 条形图系列
25	棒棒糖图、克兰点夫图、哑铃图绘制代码	4.1.4 克利夫兰点图
26	坡度图的绘制代码	4.1.5 坡度图
27	南丁格尔玫瑰图的绘制代码	4.1.6 南丁格尔玫瑰图
28	径向图的绘制代码	4.1.7 径向图
29	雷达图的绘制代码	4.1.8 雷达图
30	等高线图	4.2.3 等高线图
31	箱形图绘制商务数据统计订单金额、预估佣金收入情况	4.3.2 数据分布图表系列
32	小提琴图绘制商务数据统计商品佣金比例情况	4.3.2 数据分布图表系列

③阅读素材与优秀学生数据可视化分析报告

为辅助学生写出合格的数据可视化分析报告，在超星课程中开辟“一周佳作欣赏”，累计分享一周佳作美文 16 篇，涉及生活的方方面面，美文中含不同图款 100 多款。具体数据如表 4 所示。

表 4 一周佳作美文内容与所在章节信息表

序号	一周佳作美文题目	美文来源	插入超星章节
1	中国的人口负增长，可能比想象中来得更迅猛	白杨新数据观察	2.3 Matplotlib 绘图基础
2	7000 字，利用 Python 分析泰坦尼克号数据！	尤而小屋	2.3.2 统计直方图

3	有意思！用 Python 爬取了 2900 多款防脱洗发水数据并进行可视化分析，助你缓解脱发困扰	AI 有道	2.3.3 子图
4	厦门景点数据可视化	数据智农	2.5 plotnine 绘图基础
5	2022 年江苏 GDP 首次突破 12 万亿元，广东直逼 13 万亿元	迪赛智慧数	4.1.1 柱形图系列
6	食品偏好数据可视化分析	数据酷客	4.1.2 条形图系列
7	手把手教你利用 Python 爬取豆瓣电影评论并可视化分析	Yuan 的数据分析	4.1.6 南丁格尔玫瑰图
8	网易云音乐歌单	Python 开发者	4.1.9 词语图
9	分位数回归、最小二乘回归 OLS 北京市 GDP 影响因素可视化分析	拓端数据部落	4.2.2 曲面拟合
10	我们对共享单车的需求有多大?	爱数据 LoveData	4.2.6 相关关系图
11	地表水环境质量的统计学表征，方法与框架	水务 ICT	4.3.3 二维统计直方图和核密度估计图
12	双十一美妆销售数据分析可视化	Python 当打之年	4.4.1 折线图、面积图系列
13	堆积图表界的翘楚！河流图如何搞定“巨量”数据	数有范	4.4.3 量化波图
14	数说 70 年   跨越：从 679 亿到 90 万亿	中国证券报	4.5.1 饼图
15	一图胜千言！Python 数据可视化多维讲解	大数据分析与人智能	4.6.1 高维数据的变化展示
16	Python 玩转股市数据可视化分析	Python 开发者	4.6.6 RadVid 图

3. AI 赋能代码适配与报告创作

(1) AI 提升学生代码适配能力

在编程学习中，学生们时常面临将现成的图点可视化代码迁移到新数据场景的挑战。这一过程不仅考验着他们的编程基础，更要求他们具备灵活应对复杂问题的能力。学生们在 AI 的引导下，逐步掌握代码迁移的核心技巧。这不仅提高编程效率，更在反复实践中深化对编程逻辑的理解。学生们开始学会独立思考，利用 AI 工具进行自我诊断，从错误中汲取经验，不断精进自己的编程技能。

(2) AI 赋能学生报告撰写

在当今数据驱动的时代，数据可视化报告已成为展示研究成果、传递信息的重要载体。然而，如何高效地撰写一份既具深度又具吸引力的数据可视化报告，一直是学生们面临的难题。为此，在超星上开设课程《ChatGPT 实践与 AI 论文应用实战》，旨在通过 AI 技术的深度应用，全面提升学生的数据可视化报告撰写能力。

① AI 技术深度融入，重塑写作流程

在超星上开设课程《ChatGPT 实践与 AI 论文应用实战》，其核心在于将 AI 技术深度融入学生的写作流程中，全面覆盖研究背景、目的与意义的挖掘、中英文文献综述的整合、论文框架搭建、可视化图表的看图说话，开题报告的撰写、思路导图的绘制、概念界定与算法搭建等关键环节。AI 技术成为学生的智慧伴侣，助力快速分析数据、提炼核心见解，构建清晰深邃报告架构。

## ② AI 助力数据分析竞赛，实战撰写数据分析报告

数据科学与大数据专业大二、大三学生每年暑假小假期任务是参加全国大学生 Spsspro 数据分析实践赛。在数据分析竞赛的洗礼下，通过实战演练，显著提升撰写高质量数据分析报告的能力。这些竞赛不仅是对他们数据处理与分析技巧的严苛考验，更要求他们将纷繁复杂的数据洞察转化为条理清晰、论证有力的报告。在这个过程中，AI 技术犹如一位智慧超群的隐形导师，助力学生们迅速捕捉数据背后的模式、优化分析路径，并精准无误地呈现分析结果。在 AI 的鼎力相助下，学生们得以更加高效地完成竞赛任务，提交出兼具深度与广度的报告，从而在竞赛舞台上屡

创佳绩，实现个人能力的显著飞跃。数据分析竞赛过程中有很多有创意的绘图点。

## 二、结语

在“新工科”建设背景下，数据科学与大数据技术专业课程“数据可视化技术”

既要夯实学生的理论基础，又要适应数字经济时代对跨领域人才的需求，通过多学科融合激发创新思维，因而呈现出理论深度、实践导向与学科交叉并重的特点。基于 STEAM 理念的 EPEAT 教学模式（启蒙－探究－深化－拓展－评估）重构了数据科学课程体系，实现科学分析、工程技术、艺术设计、数学建模的深度融合。该模式以真实案例为引导，通过参数调试、变量适配等实践训练，培养学生数据思维与跨学科能力；借助 AI 辅助代码优化与报告生成，提升学习效率；结合竞赛项目和技术评估，强化复杂问题解决能力。教学改革成效显著，学生不仅能熟练运用 Python、Seaborn 等工具进行高质量可视化，更形成了“数据洞察＋技术实现＋创新表达”的复合能力，为应对金融分析、智慧医疗等场景挑战奠定基础。实践表明该模式有效提升学生的数据可视化能力和创新思维，培养复合型专业人才，为新工科教育改革提供有益借鉴。

## 参考文献

- [1] 陆海坤，肖文君，许可．“STEAM+ 模块化”教学实践研究——以 Windows Server 2008 课程为例 [J]. 信息与电脑（理论版），2022，34(23):247-249.
- [2] 唐晓宁，李建强，柯贵珍，等．“新工科”背景下 STEAM 理念融入“纺织材料实验技术”教学改革探索 [J]. 纺织服装教育，2023，38(05):1-5.D0I:10.13915/j.2095-3860.2022.0321.
- [3] 王磊，轩慧慧，李亦涵，等．STEAM 理念下“交通运输安全”课程案例教学模式构建 [J]. 航海教育研究，2024，41(03):51-56.
- [4] 殷小芳．基于 STEAM 的《信号与线性系统》课程教学改革探索 [J]. 办公自动化，2024，29(17):49-52.
- [5] 姚恬甜．混合式教学模式下的 STEAM 课程开发研究 [D]. 华东师范大学，2022.D0I:10.27149/d.cnki.ghdsu.2022.004958.
- [6] 李婧，王恩军，秦承敏．专业群视角下基于 STEAM 理念的模块化教学模式初探 [J]. 职业教育研究，2022，(11):32-38.
- [7] 李淑梅．新文科背景下基于 STEAM 教学理念的课程改革——以冷链技术与应用为例 [J]. 物流科技，2022，45(06):168-170.D0I:10.13714/j.cnki.1002-3100.2022.06.044.
- [8] 方淋，罗柳，程瑜．“新医科”背景下 STEAM 教学模式在护理早临床教学中的探索 [J]. 现代医药卫生，2023，39(24):4286-4289.
- [9] 田诗楠．基于项目的 STEAM 教育理念在电商“视觉营销设计”课程中的应用研究 [J]. 老字号品牌营销，2024，(01):207-209.
- [10] 牛巍，赵国艳．基于 STEAM 理念高校“成本管理”课程创新课堂实践应用与反思 [J]. 林区教学，2022，(10):68-71.

# 基于用户－图书双知识图谱的高校图书馆图书服务研究

刘红华<sup>1</sup>, 徐熙涵<sup>2</sup>, 李淑婷<sup>2</sup>, 李建波<sup>2\*</sup>

1. 江苏师范大学 图书馆, 江苏 徐州 221116

2. 江苏师范大学 数学与统计学院, 江苏 徐州 221116

DOI:10.61369/ASDS.2025060012

**摘 要 :** 在大数据环境下, 开展图书馆图书服务优化研究, 对于提升读者阅读体验具有重要意义。知识图谱作为一种新型的知识组织方式, 是知识管理和知识服务的重要方式, 基于知识图谱构建的图书推荐系统可为师生提供更加智能、精准、便捷的图书服务。考虑到高校读者的稳定性和图书需求的专业性, 本文协同用户知识图谱和图书知识图谱, 研究高校图书馆图书个性化推荐策略和图书服务提升路径, 为高校图书馆建设提供新思路。

**关 键 词 :** 知识图谱; 高校图书馆; 图书服务

## Research on University Library Book Services Based on User-Book Dual Knowledge Graphs

Liu Honghua<sup>1</sup>, Xu Xihan<sup>2</sup>, Li Shuting<sup>2</sup>, Li Jianbo<sup>2\*</sup>

1. Library, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116

2. School of Mathematics and Statistics, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116

**Abstract :** In the big data environment, studying the optimization of library book services is greatly significant for enhancing readers' reading experience. As a new type of knowledge organization method, the knowledge graph is an important means of knowledge management and knowledge services. The book recommendation system based on the knowledge graph can provide teachers and students with more intelligent, accurate, and convenient book services. Considering the stability of university readers and the professionalism of their book demands, in this paper we integrate the user knowledge graph and the book knowledge graph to study the personalized book recommendation strategies and the paths to improve book services in university libraries, providing new ideas for the construction of university libraries.

**Keywords :** knowledge graph; university libraries; book services

## 引言

高校图书馆作为高校知识资源的汇聚地, 是师生开展学习、教学、科研活动的重要支撑, 对高校的专业发展和学科建设具有不可替代的作用。《教育部关于加强新时代教育管理信息化工作的通知》(教科函〔2021〕13号)强调了利用信息技术提升教育服务质量的重要性。当前, 随着大数据技术的发展, 图书馆管理系统积累了包含师生信息、借阅记录、图书信息等大量数据, 蕴含着巨大知识。传统的高校图书服务依赖师生主动借阅。在大数据背景下, 充分挖掘图书馆管理大数据实现个性化的精准推荐, 对于提高图书馆图书服务质量与效率具有重要意义。知识图谱作为最新的关系挖掘前沿技术, 其在图书服务的研究还处于起步阶段。目前国内外关于高校图书馆知识图谱研究大多集中于图书馆信息服务、信息检索等领域, 对于基于知识图谱的图书服务研究较少。因此, 本文结合高校图书馆大数据, 探索基于用户和图书双知识图谱的图书个性化推荐策略, 进而研究基于知识图谱的图书服务提升路径。

基金项目: 高校哲学社会科学基金项目(2024SJYB0787); 江苏省高校图工委教改研究课题(2024JTYB18); 江苏师范大学教育教学研究课题(JYKTZ202307); 2025年江苏省学位与研究生教育教学改革课题(JGKT25\_C075); 大学生创新训练计划项目。

作者简介:

刘红华, 江苏师范大学图书馆, 馆员, 研究方向为图书情报分析;

徐熙涵, 江苏师范大学数学与统计学院, 本科生, 研究方向为大数据技术;

李淑婷, 江苏师范大学数学与统计学院, 本科生, 研究方向为大数据技术。

通讯作者: 李建波, 江苏师范大学数学与统计学院, 博士, 教授, 研究方向为大数据分析、应用统计。

## 一、高校图书馆借阅服务研究现状

高校图书馆丰富的藏书资源为师生提供了广泛的知识来源。无论学生课程学习，还是教师教学实践和科研创新，都离不开图书馆的文献支持。图书馆的藏书结构与质量直接影响高校的专业和学科建设。合理的藏书体系能够满足不同专业和学科发展的需求，为学科的教学与科研提供有力保障。随着新兴学科不断涌现，图书馆及时补充相关领域的前沿图书，较强地支持学科的快速发展和人才培养。

然而，尽管高校图书馆在藏书资源方面具备显著优势，但藏书服务仍面临诸多挑战，服务高效性有待提升。简单的检索功能、有限的借阅时段以及不充分的图书信息，都在一定程度上消耗了师生获取知识的时间与精力。精准性方面，基于传统关键词检索的方式，难以精准匹配师生多样化的知识需求，导致检索结果存在偏差，大量相关度低的信息干扰了师生对有效检索资源的获取，个性化服务更是捉襟见肘。图书馆尚未充分利用大数据与人工智能技术深入剖析师生的阅读习惯、学科偏好、图书属性信息等，无法为师生提供个性化、定制化的藏书推荐与借阅引导服务，制约着高校图书馆藏书服务效能的充分发挥，亟待通过创新理念与技术手段加以解决。

众多学者针对图书馆藏书服务提升展开了丰富的研究，赵衍和杨喆涵（2021）系统梳理了我国针对高校图书馆个性化推荐研究现状<sup>[1]</sup>；赵一洁和王丽君（2024）提出了基于大数据框架的高校图书馆资源调度与管理智能化服务系统，并借助机器学习算法提升图书个性化推荐<sup>[2]</sup>；俞奕（2025）从制定战略布局、优化馆藏结构、调整服务规则、拓展增值服务4个方面研究了图书馆馆藏借阅服务质量提升问题<sup>[3]</sup>；沈海霞（2025）从数据处理优化、算法改进等方面研究了图书个性化推荐问题，提升读者借阅体验<sup>[4]</sup>；以上研究主要围绕高校图书馆借阅数据提出了基于机器学习的图书个性化推荐算法设计理念，没能充分利用藏书的元数据进行更为灵活的个性化推荐，于是有些学者将知识图谱引入到高校图书馆图书借阅服务效能提升研究中来。郭斯檀（2019）基于图书本体构建了图书知识图谱，提出了基于模糊本体和遗传算法的推荐系统框架，有效提升了传统图书推荐的效率<sup>[5]</sup>；吴荣和段宏涛（2020）将知识图谱融入到 MKR 推荐算法，相比基于 ALS 的协同过滤推荐算法，推荐效率有了较大提升<sup>[6]</sup>；侯志浩（2024）通过构建读者偏好—图书属性的知识图谱，开发了三重多层感知机知识图谱嵌入的图书推荐系统，较好地解决了图书推荐中的稀疏性问题<sup>[7]</sup>；朱茜茜等（2025）通过借阅数据构建资源利用事件知识图谱实现图书馆服务增值；当用户规模和图书数量达到较大规模时，以上推荐算法所依赖的单个知识图谱将面临计算速度慢的问题，大大降低推荐效率<sup>[8]</sup>；陈玲洪和潘晓华（2023）将用户画像和图书知识图谱相融合，研究了数据驱动的图书推荐框架，有效克服了图书推荐系统冷启动和稀疏性问题，大大提升了计算效率<sup>[9]</sup>；毛晨晰（2023）研究了融合用户画像和知识图谱的智慧图书馆信息推荐系统搭建问题<sup>[10]</sup>。从以上研究发现，目前基于知识图谱的图书推荐主要在知识图谱中嵌入辅助信息提升图书推荐效

能，而基于用户—图书双知识图谱的图书推荐研究还未见报道。鉴于高校图书馆师生学缘关系和图书信息的规范性，本文将从用户和图书双知识图谱的角度研究高校图书馆图书服务及其路径优化问题。

## 二、高校图书馆知识图谱构建

构建高校图书馆知识图谱有两种模式：（1）用户—图书单知识图谱，针对高校图书馆的师生服务模式，把图书作为师生服务的核心，抽取用户和图书两个方面的知识进行构建知识图谱。由于图谱的规模较大，复杂度较高，基于该模式的图书推荐效能不佳。（2）用户—图书双知识图谱，以用户和图书作为研究对象，以师生为中心构建知识图谱，研究高校图书馆的图书服务模式，该模式能够充分协同师生和图书信息进行高效、精准图书推荐。

### （一）用户知识图谱构建

在校师生是高校图书馆图书使用的主体，是图书服务的重要对象。用户知识图谱构建基于高校师生的基本信息、借阅历史、检索行为、课程学习与科研信息等数据提取实体及其关系知识，进而通过知识融合确保实体在用户知识图谱中的唯一性和一致性。

基本信息主要包括师生的姓名、学号/工号、所在学院、专业、年级等，用来初步确定师生的身份和学科背景；借阅历史数据包含借阅图书的书名、作者、出版社、借阅时间、归还时间，用于分析师生阅读偏好和兴趣；检索行为数据记录师生在图书馆检索系统中的操作（检索关键词、检索时间、结果浏览和点击情况等），用于反映师生实时的知识需求、当前关注主题和师生对图书馆资源的兴趣程度；课程与科研信息包括学生课程选修信息、师生科研状态（科研项目、论文发表等），用于精准挖掘师生相关专业图书的需求。

实体知识抽取包括用户实体、行为实体、兴趣实体等。针对用户实体抽取，可运用命名实体识别技术，从以上数据中提取用户相关的实体（姓名、学号/工号、学院、专业等）；针对行为实体，通过识别师生的借阅、检索、参与科研项目、选修课程等实体，其中“借阅”行为实体可从借阅记录中确定，并提取与之相关的时间、借阅图书等信息，“参与科研项目”行为实体可融合科研管理系统数据抽取项目名称、起止时间等详细信息；针对兴趣实体，可通过分析师生的借阅历史、检索关键词以及反馈信息，对师生的学科领域、研究方向、图书类别等兴趣进行识别。

关系知识抽取主要包括所属关系、借阅关系、兴趣关联、课程借阅等关系。所属关系体现师生与学院、专业之间的所属关系，可实现师生分类，为后续针对性推荐提供基础；借阅关系体现师生与借阅图书的关系，用于分析师生的阅读习惯和不同类型图书的阅读周期；兴趣关联体现兴趣实体与师生的关联关系，直接反映师生的兴趣偏好，为个性化推荐提供关键依据；课程借阅关系体现了课程与借阅图书之间的关系，用于挖掘课程学习与图书借阅的内在联系，可根据课程进度为学生推荐合适的学习参考书。

用户知识图谱构建还需要通过实体对齐和冲突消解以确保实

体的唯一性和一致性。对于用户实体，可通过建立唯一标识符（如学号/工号），并结合字符串匹配、语义相似度计算等方法，将不同数据源指向同一用户进行对齐；对于图书实体，可利用 ISBN 号（国际标准书号）等唯一标识符以及知识图谱中已有实体信息进行对齐。当不同数据源的信息发生冲突时，可根据数据的可靠性和权威性进行判断，以图书馆自动化管理系统的正式记录为准消除冲突，保证知识图谱信息的准确性。

## （二）图书知识图谱构建

图书是高校图书馆的核心基础，是提供师生图书服务的主要载体。图书馆图书知识图谱的构建质量直接决定了图书服务的水平。高校图书馆图书具有类别稳定、集中的优势，有利于与用户知识图谱协同进行高效图书推荐。高校图书馆图书知识图谱一般基于书目信息、内容摘要与关键词、学科分类信息、师生评价信息等方面进行实体知识及其关系抽取，并通过知识融合方法确保实体的一致性和唯一性。

书目信息是对图书的基本描述，能够帮助识别和分类图书，主要包括书名、作者、出版社、出版年份、ISBN 号、页数、中图分类号等信息，对师生选择图书具有参考价值；内容摘要与关键词高度概括图书的核心内容和主题，反映图书的内容范围、重点、关键概念和领域，为知识抽取提供重要依据；学科分类信息明确了图书所属的学科类别，有助于将图书纳入学科知识体系和图书学科关联分析；师生评价信息包括师生评价、评分以及图书评论等信息，反映图书的可读性、实用性，为图书的质量评估和特色挖掘提供参考。

图书知识抽取包括实体及其关系抽取。实体包括图书实体、学科实体、关键词实体等，关系包括创作、出版、学科归属等关系。针对图书实体，可利用命名实体识别技术从图书数据中提取相关的实体，包括书名、作者、出版社、ISBN 号等；学科实体主要包括具体学科名称、学科分支等；关键词实体：将图书的关键词作为实体提取出来，这些关键词能够突出图书的核心内容和重点概念，如“大数据”“深度学习”等关键词实体，有助于对图书内容进行精准定位和知识关联。创作关系描述作者与图书之间的创作关系，明确了图书的创作主体，对于追踪作者的学术成果和创作风格具有重要意义；出版关系刻画出版社与图书之间的出版关系，包括出版时间、版次等属性，展示了图书的出版信息，不同出版社的出版特色和质量也会影响师生对图书的选择；学科归属关系可用来构建学科-图书知识网络，方便师生按学科搜索相关图书。

与用户知识图谱类似，需要通过实体对齐和冲突消解保持图书知识图谱实体的一致性和唯一性。可利用 ISBN 号作为图书的唯一标识符，结合字符串匹配和语义相似度计算等方法，对图书实体进行对齐；可通过建立作者的唯一标识（如 ORCID，开放研究者与贡献者身份识别码），并匹配其姓名、所属机构等信息，确保不同数据源中的同一作者实体能够准确对齐。当出现知识冲突时，优先参考权威数据源，而对于存在争议的信息，通过进一步查阅相关资料或与专业人员沟通确认，以消除冲突，保证图书知识图谱的准确性。

## （三）基于双知识图谱的图书高效精准推荐

### 1. 推荐思路

首先，从用户知识图谱中提取多维度读者特征，包括师生的基本属性（学院、专业、年级）、兴趣偏好（通过兴趣实体和借阅历史分析得出）、行为习惯（借阅频率、借阅时长等）以及学术背景（参与的科研项目、发表的论文等），全面刻画师生的知识需求特点。然后，从图书知识图谱中提取图书的特征，包括学科类别、关键词、作者影响力（通过引用次数、作者声誉等评估）、出版年份（反映时效性）、师生评价（评分、评论内容分析得出的可读性、实用性等），为图书的精准推荐提供了依据。最后，基于提取的师生特征，进一步完善用户画像，将师生的兴趣偏好与图书的学科、关键词等特征进行关联，形成更详细的用户兴趣图谱，并结合师生学术背景和行为习惯，预测师生在不同场景下的图书需求。对于即将面临课程考试的学生，根据其课程信息和平时的借阅偏好，预测其可能需要的复习参考图书；对于从事科研工作的教师，根据其科研项目进展和研究方向，预测其对前沿研究资料和相关经典著作的需求。

### 2. 推荐算法选择

推荐算法主要有基于内容的推荐算法、协同过滤算法和混合推荐算法，三种算法均可以协同用户和图书知识图谱进行高效推荐。基于内容的推荐算法通过向量空间模型（VSM）或深度学习模型（如基于 Transformer 的模型），将师生兴趣偏好和图书的学科、关键词等特征表示为向量，然后计算向量之间的相似度（如余弦相似度）来度量师生与图书之间的相关性，向师生推荐相似度较高的图书。该方法充分利用了师生兴趣和图书特征，容易实现图书的精准推荐，但可能会忽略师生潜在兴趣。

协同过滤推荐算法主要利用用户知识图谱中的借阅关系和师生之间的相似性，找到与目标师生特征相似的其他师生；然后通过综合分析相似师生的借阅历史，在图书知识图谱中找到他们借阅过但目标师生未借阅的图书进行推荐，该算法能够发现师生潜在的兴趣，但可能会受到数据稀疏性和冷启动问题的影响。

混合推荐算法融合基于内容的推荐和协同过滤推荐两种算法优势，根据不同场景和师生需求，动态调整两种推荐算法的权重。对于新读者或对某领域了解较少的读者，适当增加基于内容的推荐权重，帮助师生快速发现符合其初始兴趣的图书；对于已有较多借阅历史的老读者，增加协同过滤推荐的权重，挖掘其潜在的兴趣拓展方向，该算法充分发挥了两种算法的优势，能够显著提高推荐的准确性和多样性。

## 三、图书借阅服务提升路径分析

### （一）精准满足师生用户需求

通过基于用户-图书双知识图谱的协同推荐算法，融合图书特征与师生需求特征，精准匹配师生与馆藏图书资源，深入洞察师生兴趣偏好，精准定位师生阅读和研究兴趣，实现图书阅读“主动推荐”，避免推荐的盲目性，满足师生个性化需求，大大提

高推荐图书与师生兴趣的契合度，满足师生对特定知识领域的深入探索需求。

（二）优化馆藏资源布局与建设

综合分析用户知识图谱反映的师生群体需求趋势和图书知识图谱反应的图书内容与质量信息，科学规划馆藏资源采购，使图书采购更贴合师生实际需求，避免资源浪费，优化藏书结构，提高馆藏资源的利用率。根据师生借阅行为和兴趣的动态变化，借助知识图谱持续分析图书的使用频率和需求热点，动态调整馆藏布局，合理增加热门图书区域书架空间和复本量，方便师生借阅；适当整合存放需求较少的图书，释放空间用于展示热门或新兴领域图书。

（三）提升服务师生智能化水平

基于用户知识图谱与图书知识图谱，并结合多种推荐算法，根据不同场景（学习、科研、个性化阅读等）为师生提供智能化的图书推荐，打造在线专业阅读顾问。通过推荐结果可视化和师生交互功能设计，增强师生与图书服务的互动，提升智能交互服务体验。同时，师生对推荐图书的评分、评论和收藏等反馈实时更新用户知识图谱，实现推荐系统智能优化。

（四）强化知识服务与学术支持

结合科研与学习阶段进行知识推送，在科研场景中依据科研项目所处阶段，利用知识图谱关联的丰富学术资源，为科研人员精准推送相应的图书及其他学术资料；学习场景下，根据学习进

度为学生提供循序渐进的知识支持，从基础理论到拓展阅读，再到前沿探索，帮助学生构建完整的知识体系，提升学习效果和科研能力。融合跨库与多源数据拓展知识边界，整合校内多个资源库并融合外部开放数据，打破数据壁垒，为师生提供更广泛、深入的知识服务。

（五）持续改进服务质量

定期评估推荐系统性能，深入分析推荐算法、用户画像和图书特征提取等方面存在的问题，针对性地调整推荐算法参数，优化特征提取方法，不断提高推荐系统的准确性和有效性。鼓励师生对推荐图书和借阅服务进行评分、评论等反馈，优化用户知识图谱，发现服务中存在的不足，构建师生反馈驱动的服务改进机制，不断满足师生日益增长的多样化需求，实现服务质量的持续改进。

四、结束语

借助知识图谱技术，构建高校图书馆图书服务系统，能精准对接师生需求，优化馆藏建设，实现图书服务更智能高效。通过深度挖掘师生与图书关联，实现个性化推荐，助力学习科研。持续完善优化知识图谱及相关服务，能更好满足师生知识需求，为高校营造优质知识环境，助推学术进步与人才培养。

参考文献

[1] 赵衍, 杨喆涵. 基于知识图谱的我国高校图书馆个性化推荐研究综述 [J]. 上海管理科学, 2021, 43(05): 116-124.  
[2] 赵一洁, 王丽君. 基于大数据的高校图书馆个性化推荐研究 [J]. 长江信息通信, 2024, 37(08): 166-168.  
[3] 俞奕. 供给侧视域下高校图书馆馆藏借阅现状与服务优化——以武汉科技大学图书馆为例 [J]. 图书馆学刊, 2025, 47(03): 36-38+48.  
[4] 沈海霞. 图书馆纸质图书借阅数据中个性化推荐服务应用研究 [J]. 华东纸业, 2025, 55(01): 82-84.  
[5] 郭斯植. 基于图书本体构建的图书推荐算法研究 [D]. 中北大学, 2019.  
[6] 吴荣, 段宏涛. 知识图谱在图书馆推荐系统中的应用研究 [J]. 自动化应用, 2020, (08): 71-73+76.  
[7] 侯志浩. 基于三重多层感知机知识图谱嵌入的图书推荐算法研究 [D]. 云南师范大学, 2024.  
[8] 朱茜茜, 熊拥军, 李哲. 高校图书馆资源利用数据事件知识图谱构建 [J]. 资源信息与工程, 2025, 40(01): 110-117.  
[9] 陈玲洪, 潘晓华. 基于知识图谱和读者画像的图书推荐研究 [J]. 数据分析和知识发现, 2023, 7(12): 164-171.  
[10] 毛晨晰. 融合用户画像和知识图谱的智慧图书馆信息推荐体系研究 [J]. 河南图书馆学刊, 2023, 43(08): 115-119.

# 基于几何分析与多目标规划的多波束测线优化研究

林嘉淇, 黎梓晴, 林锦春

广州大学 数学与信息科学学院, 广东 广州 510006

DOI:10.61369/ASDS.2025060013

**摘 要 :** 多波束测深技术在海洋勘探及海底地形测绘等领域具有举足轻重的地位, 而测线优化对于提升测量效率与数据准确性至关重要。本研究旨在通过几何分析与多目标规划相结合的方法, 解决当前多波束测线布设中存在的漏测、数据冗余等问题, 进而提高测量质量与效率。在研究方法上, 利用空间解析几何建立二维及三维海域测线覆盖宽度与重叠率的计算模型, 并构建考虑覆盖宽度、重叠率、测量成本等多重目标的规划模型。通过一维遍历搜索算法对模型进行求解。研究发现, 在不同海域条件下, 基于该方法能够得到最优的测线布设方案, 为多波束测线优化提供了新的思路与方法。

**关 键 词 :** 多波束测深; 几何分析; 多目标规划; 测线优化; 模型求解

## Optimization of Multi-Beam Survey Lines Based on Geometric Analysis and Multi-Objective Programming

Lin Jiaqi, Li Ziqing, Lin Jinchun

School of Mathematics and Information Science, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006

**Abstract :** Multi-beam bathymetry technology holds a pivotal position in fields such as ocean exploration and submarine topographic mapping, and survey line optimization is crucial for improving measurement efficiency and data accuracy. This study aims to address issues such as missed measurements and data redundancy in the current multi-beam survey line layout through a combination of geometric analysis and multi-objective planning, thereby improving measurement quality and efficiency. In terms of research methods, a calculation model for the coverage width and overlap rate of survey lines in two – dimensional and three – dimensional sea areas is established using spatial analytic geometry, and a planning model considering multiple objectives such as coverage width, overlap rate, and measurement cost is constructed. The model is solved through a one – dimensional traversal search algorithm. The study finds that under different sea area conditions, based on this method, an optimal survey line layout plan can be obtained, providing new ideas and methods for multi – beam survey line optimization.

**Keywords :** multi-beam bathymetry; geometric analysis; multi-objective programming; survey line optimization; model solving

## 引言

多波束测深技术作为现代海洋勘探与海底地形测绘的核心工具, 以其高效、高精度的特点在水体测量领域占据重要地位。该技术通过一次性发射多个独立波束, 能够同时获取与航行方向垂直平面内成百上千个水深值 (图1), 从而实现海底地形的条带式覆盖测量 (图2)<sup>[1]</sup>。相较于传统的单波束测深系统, 多波束测深系统不仅显著提升了测量效率, 还大幅增强了数据的分辨率与准确性, 为海洋科学研究、资源开发以及环境监测提供了可靠的技术支持<sup>[2]</sup>。然而, 由于海底地形的复杂性和多变性, 测线布置的合理性直接影响测量结果的质量。优化测线方向与实际待测海域特点, 能够在一定程度上减少漏测区域和数据冗余现象, 进而提高测量效率与数据精度。因此, 针对多波束测线优化的研究具有重要的理论价值和实际意义。

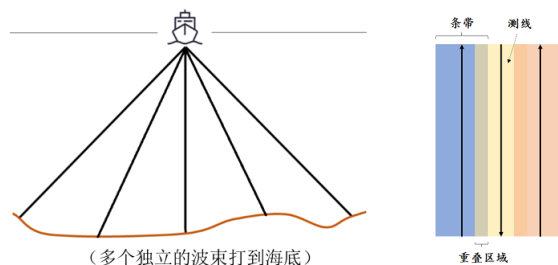


图1: 多波束测深的工作原理

图2: 条带、测线及重叠区域

基金项目: 2024年大学生创新创业训练计划项目“基于几何分析的多波束测线问题研究”(XJ202411078147)。

作者简介:

林嘉淇, 广州大学数学与信息科学学院, 本科, 研究方向为数学教育;

黎梓晴, 广州大学数学与信息科学学院, 本科, 研究方向为数学教育;

林锦春, 广州大学数学与信息科学学院, 本科, 研究方向为计算数学。

## 一、文献综述

近年来,针对多波束测线优化的研究取得了显著进展,学者们提出了多种模型与方法以提升测量效率与数据质量。王凝等人基于几何关系建立了覆盖宽度、测线重叠率与测线位置之间的数学模型,并进行求解验证了模型的有效性,实验结果表明选择与水底坡面法方向在水平面投影垂直的方向作为测线方向时可达最优解<sup>[3]</sup>。葛平茹等人则结合计算几何与三角函数定理,推导了表征覆盖宽度与相邻条带重叠率关系的数学模型,并提出了一种基于向量法的测线设计优化方法,其研究成果通过模拟仿真得到了充分验证<sup>[4]</sup>。刘银峰等人进一步研究了不同地形条件下的测线布设方案,通过建立海底坡面参数方程与多波束探测面所在平面参数方程,得到了不定测线方向覆盖宽度模型,并最终构建了针对矩形海域的测线总长度优化模型<sup>[5]</sup>。这些研究为多波束测线优化提供了重要的理论基础与实践指导,但仍存在一定的局限性,尤其是在复杂海域环境下的适用性方面尚需进一步探索。

尽管已有研究在多波束测线优化领域取得了一定成果,但在几何分析与多目标规划的结合方面仍存在明显不足。现有文献大多侧重于单一目标的优化,如最小化测线总长度或最大化覆盖宽度,而忽略了实际测量中多重因素之间的权衡问题<sup>[6]</sup>。例如,在复杂海底地形条件下,如何同时考虑覆盖宽度、重叠率、测量成本以及设备限制等多个目标尚未得到充分研究。此外,现有模型在处理不规则海域时往往依赖于简化假设,导致其普适性与实用性受到限制。本文旨在填补这一研究空白,通过引入多目标规划方法,将几何分析与实际测量需求有机结合,提出一种适用于不同海域条件的通用测线优化模型。这一创新点不仅有助于提高测线设计的科学性与合理性,还为多波束测深系统的实际应用提供了新的思路与方法<sup>[7]</sup>。

## 二、基于几何分析的测线模型

### (一) 二维海域测线模型

在二维海域中,关于多波束测深系统的测线布设优化问题,本文通过空间解析几何方法进行建模与分析。如图3所示,海水深度即为多波束测深器到此交点的距离大小,其中A、B为两条相邻测线,从A、B两测线位置分别发射开角相同的多波束,形成波束平面。

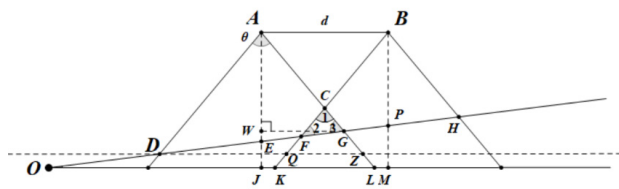


图3: 相邻测线下的波束面的示意图

多波束测深系统的覆盖效率受水深 $D_k$ 、波束开角 $\theta$ 及海底坡度 $\alpha$ 共同影响。基于几何分析,相邻测线的水深递推关系为:

$$D_{k \pm n} = D_k \pm d_n \cdot \tan \alpha \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

其中 $d_n$ 为第 $k$ 条测线距离右侧第 $n$ 条测线的距离大小。

首先,考虑声波发射与接收机制形成的条带式测量方式,在二维平面内,测线的覆盖宽度主要由声波束的传播角度、水深以及测船航行方向决定,从而建立相邻条带间重叠率与覆盖宽度的数学模型,则在第 $k$ 条测线发射的波束面在坡面上的覆盖宽度 $W_k$ 的表达式为:

$$W_k = \frac{D_k \sin \frac{\theta}{2}}{\cos \left( \frac{\theta}{2} + \alpha \right)} + \frac{D_k \sin \frac{\theta}{2}}{\cos \left( \frac{\theta}{2} - \alpha \right)}$$

第 $k$ 条测线与第 $k+1$ 条测线条带在坡面上的重叠长度 $X_k$ ,其中 $k$ 可取任意整数:

$$X_k = \frac{D_{k+1} \sin \theta \cos \alpha}{\cos \left( \frac{\theta}{2} + \alpha \right) \cos \left( \frac{\theta}{2} - \alpha \right)} - \frac{d \cos \frac{\theta}{2}}{\cos \left( \frac{\theta}{2} - \alpha \right)}$$

波束面在新基准水平面的重叠长度 $X_{0k}$ ,由图3通过几何分析可得出关系:

$$\frac{W_{0k}}{\sin \left( \pi - \frac{\pi - \theta}{2} - \alpha \right)} = \frac{W_k}{\sin \frac{\pi - \theta}{2}}$$

在此基础上,通过引入测线间距 $d$ 和重叠率 $\eta$ ,可以进一步推导出满足一定覆盖率条件下的测线布设公式:

$$\eta = 1 - \frac{d}{W}$$

上述模型揭示了二维海域中测线覆盖宽度与重叠率之间的几何关系,为后续优化奠定了基础。此外,还需分析直线与直线之间的位置关系,以确保测线布设的合理性与有效性。例如,当两条测线平行时,其间距需严格控制在覆盖宽度范围内以避免漏测;而当两条测线相交时,则需考虑交叉区域的重叠测量问题,从而减少数据冗余<sup>[8]</sup>。

### (二) 三维海域测线模型

在三维海域中,多波束测深系统的测线布设优化问题变得更加复杂,需要综合考虑声波束在不同深度层面的传播特性以及海底地形的影响。为此,本文采取建立空间直角坐标系,如图4所示,将测线覆盖宽度与重叠率的计算扩展到三维空间中。

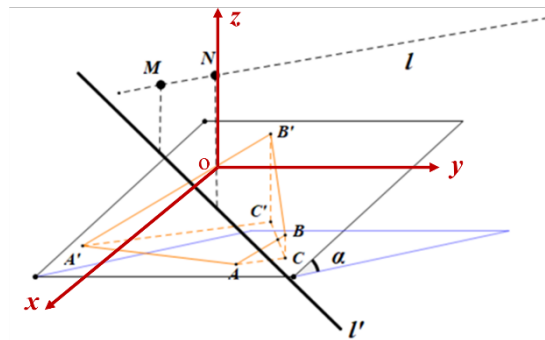


图4: 三维矩形海域坐标示意图

现假设声波束在三维空间中的传播路径为一个圆锥面,其轴

线与垂直方向夹角为  $\alpha$ ，则可得测线发射的波束面在坡面上的覆盖宽度  $W_k$  的表达式为：

$$W_k = \frac{D_k \sin \frac{\theta}{2}}{\cos \left( \frac{\theta}{2} + \alpha \right)} + \frac{D_k \sin \frac{\theta}{2}}{\cos \left( \frac{\theta}{2} - \alpha \right)}$$

该式反映了声波束因倾斜传播而导致的覆盖宽度变化<sup>[9]</sup>。在此基础上，还需探讨直线与平面、平面与平面之间的位置关系，以应对三维海域中不规则地形对测线布设的影响。当测线穿越斜坡地形时，需根据海底坡面参数方程与多波束探测面所在平面参数方程，计算实际覆盖宽度与理论覆盖宽度之间的偏差。

### 三、矩形坡面海域多目标规划模型

针对矩形坡面海域，测线布设方案的优化需要综合考虑覆盖宽度、重叠率以及测量成本等多重因素。在多波束测深技术中，覆盖宽度决定了单次测量能够有效获取的地形数据范围，而重叠率则直接影响测量数据的冗余程度和精度<sup>[7]</sup>。为了平衡这些因素，本研究将测线布设问题转化为一个多目标规划模型，通过数学方法求解最优解。考虑在给定待测区域、海水深度、坡度及换能器张角的情况下，寻求最优测线方向，以重叠率为约束条件，以最小化测量长度并且能够覆盖整个待测区域为目标，建立相应多目标规划模型<sup>[10]</sup>。

平行测线有助于确保海底地形的连续性和完整性，更好地规划测量路径，同时平行航线也有助于测量船开展作业，减小测量成本，因此，本研究考虑测线为相互平行的直线族<sup>[11]</sup>。设  $x_i$  为第  $i$  条测线的布设长度，则测量长度可表示为  $x_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^n x_i$ 。其中每条测线长度取决于沿选定方向布设的平行测线族与矩形海域边界的交点位置。考虑三维矩形海域所建立的空间直角坐标系，当  $\beta$  待定时，测线方向向量可表示为  $l = (\cos \beta, \sin \beta, 0)$ 。

进一步，假设某测线起始于区域边界点  $(x_i, y_i, 110)$ ，则可得到直线的参数方程为：

$$l = \begin{cases} x = x_i + \cos \beta t \\ y = y_i + \sin \beta t \\ z = 110 \end{cases}$$

通过求解此类直线与矩形海域边界直线的交点，联立初始点即可求得此测线的测量长度  $x_i$ 。设  $S$  代表目标矩形海域坡面区域， $S_d$  为沿所有布设测线扫描后形成的实际覆盖区域。

故目标函数为：

$$\begin{cases} \min x_{\text{sum}} \\ S \subset S_d \end{cases}$$

对于平行测线，相邻两条测线间的重叠率  $\eta$  定义为二者重叠区域面积与后续测线覆盖区域面积之比，该面积可通过积分方法计算得到。

相应约束条件为：

$$10\% \leq \eta \leq 20\%$$

结合目标函数与约束条件即可得到最终的多目标规划模型。通过动态规划算法，该模型能够在满足重叠率约束的同时，最小化测量成本并最大化覆盖效率<sup>[7]</sup>。上述模型的构建过程充分考虑了矩形坡面海域的地形特点。

### 四、一维遍历搜索算法求解模型

一维遍历搜索算法是一种通过逐一检查所有可能解来寻找最优解的经典算法，其核心思想在于对解空间进行系统化探索以避免遗漏任何潜在的最优解。因此，在多波束测线优化问题中，本文采取一维遍历搜索算法求解模型，该算法可被用于求解基于几何分析与多目标规划构建的复杂模型。

采用一维遍历搜索来求解问题，主要分为以下几个步骤：

1. 确定搜索方向：首先确定一个初始点，然后沿着使目标函数值减小的方向开始搜索。
2. 寻找最小值：继续遍历搜索过程，直至找到目标函数的最小值。
3. 确定搜索区间：明确测线方向夹角  $\beta$  的取值范围，并对区间内的所有可能值进行全面检查。
4. 缩小搜索区间：通过不断缩小搜索范围，最终确定满足问题要求的最优解。

通过角度  $\beta$  的遍历搜索，可以得到在不同重叠率（10%、12%、15%、20%）下的测量船行驶轨迹。

在对不同重叠率进行综合分析后，得出不同角度下测线总长的最短值，具体数据如表 1 所示：

表 1：不同角度下最短测线总长

重叠率/%	10	12	15	20
测线总长/m	124285.8819	126380.0168	132277.6473	140276.2559

从表中可以看出，当重叠率  $\eta$  为 10% 时，测线总长达到最短。此时的最优航线轨迹如图 5 所示

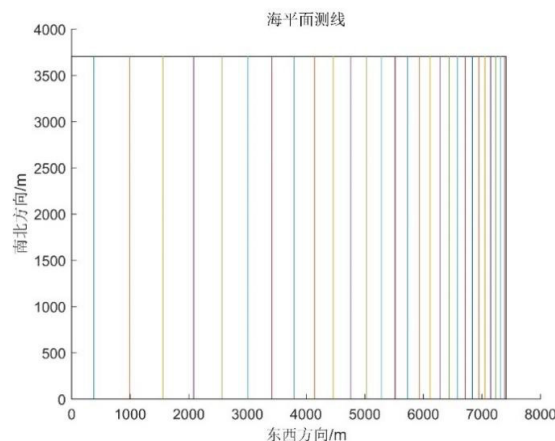


图 5：设计所得测线位置示意图

由于待测海域海水深度西深东浅，因此在西侧的覆盖宽度更大，因此测线较稀疏；在东侧的覆盖宽度更小，因此测线较密集。最西侧的测线距离边界较近的原因该测线为起始测线，边

界位置只通过该测线下的左侧波束面覆盖，因此距离西侧边界位置间隔较小。西侧第1条与第2条测线间隔最大，越往东侧测线间隔越小。

表 2：设计所得测线具体位置

序号	距最西侧距离	序号	距最西侧距离
1	375.5552	15	5733.152
2	989.8083	16	5931.082
3	1556.33	17	6113.632
4	2078.828	18	6281.996
5	2560.725	19	6437.277
6	3005.175	20	6580.492
7	3415.088	21	6712.578
8	3793.148	22	6834.4
9	4141.83	23	6946.755
10	4463.417	24	7050.38
11	4760.015	25	7145.952
12	5033.565	26	7234.098
13	5285.858	27	7315.394
14	5518.546	28	7390.373

表2即为测线的具体位置结果。这种方法的优势在于其简单性和通用性，尤其适用于目标函数较为复杂且难以通过解析方法求解的情况。

五、结论

本研究基于几何分析与多目标规划方法，对多波束测线优化问题展开了系统性研究，旨在提升海洋测量的效率与数据精度。通过结合空间解析几何理论与现代优化技术，本文建立了适用于二维和三维海域的测线覆盖宽度与重叠率计算模型，并进一步提出了针对矩形坡面的多目标规划模型<sup>[5][6]</sup>。这些模型不仅考虑了测线布设的技术要求，还综合了测量成本、数据冗余度等多重因素，为实现全局最优解提供了理论支持。实验结果表明，在不同海域条件下，所提出的方法能够有效生成最优测线布设方案，从而显著减少漏测区域并降低数据冗余现象<sup>[7]</sup>。此外，通过一维遍历搜索算法的应用，本文成功实现了模型的快速求解，验证了该方法在实际操作中的可行性与稳定性。总体而言，本研究为多波束测线优化领域提供了新的思路与方法，具有重要的理论价值与实践意义。

参考文献

[1] 夏昊;邱诗雨;单欣悦;闫雪茹. 多波束测线的仿真优化[J]. 科技风, 2024,(5):61-63.  
[2] 余启义. 基于多波束测深技术的海底地形测量[J]. 测绘与空间地理信息, 2022,45(09):262-264.  
[3] 王凝;黄婧;饶甜甜. 多波束测深系统下的测线优化模型[J]. 电声技术, 2023,47(6):61-64.  
[4] 葛平茹;张书畅;申文莹;徐伟. 基于计算几何的多波束测线模型[J]. 自动化应用, 2024,65(8):4-8.  
[5] 刘银峰;王幸欣;黄铭杰;刘正超. 基于非线性规划的多波束测线优化设计[J]. 计算机应用文摘, 2024,40(7):61-64.  
[6] 高梓馨;侯雨彤;黄蔚然;姬战怀. 基于主要目标法的测线设计[J]. 数学建模及其应用, 2024,13(1):96-101.  
[7] 王楠;俞治丞;王景贤. 基于动态规划的多波束测线布设模型[J]. 南通职业大学学报, 2023,37(4):64-69.  
[8] 孙士勇;王薇;顾晨伟;赵柏;林敏. 基于公平效用函数的多波束卫星通信下行链路波束成形算法[J]. 电子与信息学报, 2022,44(9):3024-3032.  
[9] 刘兴隆;杜彪;周建寨;解磊. 多频段环焦型椭圆波束天线优化设计[J]. 电波科学学报, 2022,37(3):497-504.  
[10] 何大鹏. 基于优化理论的网络部署与分配模型[J]. 信息通信, 2020,(5):31-33.  
[11] 中国地质调查局. 中国地质调查局地质调查技术标准：海洋多波束测量规程[M]. 北京：地质出版社, 2016.

# 基于大数据文本分析的网络舆情对农业中小企业融资约束的影响研究

庄丽凤<sup>1</sup>, 陈立宇<sup>2</sup>, 陈永宁<sup>1</sup>, 陈晓彤<sup>1</sup>, 黄洁洁<sup>3</sup>, 裴祺阳<sup>2</sup>, 周燕<sup>1\*</sup>

1. 华南农业大学 数学与信息学院, 广东 广州 510642

2. 华南农业大学 软件学院, 广东 广州 510642

3. 华南农业大学 经济管理学院, 广东 广州 510642

DOI:10.61369/ASDS.2025060014

**摘 要 :** 在数字经济背景下, 网络舆情对企业声誉和融资环境的影响日益显著, 特别是对信息透明度低、抗风险能力弱的农业中小企业。基于信息不对称理论与声誉机制理论, 本文构建“舆情—声誉—融资”分析框架, 系统揭示网络舆情通过损害企业声誉加剧融资约束的作用路径, 并创新性地引入政府补助作为调节变量以探索其缓解机制。研究选取2014—2023年52家农业中小企业为样本, 整合CSMAR和CNRDS数据库的财务数据与东方财富网股吧的舆情评论数据, 通过朴素贝叶斯情感分析方法构建综合投资者情绪指标COTX, 进而采用K-means聚类与XGBoost算法识别融资约束的关键影响因素。实证研究发现负面舆情会显著加剧企业融资约束, 企业声誉在其中起部分中介作用, 而政府补助能有效缓冲负面舆情的融资冲击。本研究不仅拓展了舆情经济后果的研究视角, 更为农业中小企业优化融资环境、提升舆情应对能力提供了兼具理论价值与实践意义的解决方案。

**关 键 词 :** 农业中小企业融资约束; 网络舆情; XGBoost 算法; 实证分析

## Research on the Impact of Online Public Opinion Based on Big Data Text Analysis on Financing Constraints of Small and Medium-sized Agricultural Enterprises

Zhuang Lifeng<sup>1</sup>, Chen Liyu<sup>2</sup>, Chen Yongning<sup>1</sup>, Chen Xiaotong<sup>1</sup>, Huang Jiejie<sup>3</sup>, Pei Qiyang<sup>2</sup>, Zhou Yan<sup>1\*</sup>

1. College of Mathematics and Information, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

2. College of Software, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

3. College of Economics and Management, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

**Abstract :** Under the background of the digital economy, the impact of online public opinion on the reputation and financing environment of enterprises is becoming increasingly significant, especially for small and medium-sized agricultural enterprises with low information transparency and weak risk resistance capabilities. Based on the theory of information asymmetry and the theory of reputation mechanism, this paper constructs an analytical framework of "public opinion – reputation – financing", systematically reveals the path by which online public opinion intensifies financing constraints by damaging the reputation of enterprises, and innovatively introduces government subsidies as moderating variables to explore its mitigation mechanism. The study selected 52 small and medium-sized agricultural enterprises from 2014 to 2023 as samples, integrated the financial data from the CSMAR and CNRDS databases with the public opinion comment data from the stock forum of Eastmoney.com, and constructed the comprehensive investor sentiment indicator COTX through the Naive Bayes sentiment analysis method. Furthermore, K-means clustering and the XGBoost algorithm are adopted to identify the key influencing factors of financing constraints. Empirical research has found that negative public opinion can significantly intensify the financing constraints of enterprises. Enterprise reputation plays a partial mediating role in this, while government subsidies can effectively

基金项目: 华南农业大学数学与信息学院、软件学院2024年国家级大学生创新创业训练项目; 2025年全国统计建模大赛省级一等奖; 广东省高等教育教学改革项目“基于创新能力培养的统计学专业数据分析类实验课程改革探索与实践”(粤教高函[2024]9号516)。

作者简介:

庄丽凤(2004—), 女, 学士, 研究方向为应用统计;

陈立宇(2005—), 男, 学士, 研究方向为软件工程;

陈永宁(2004—), 女, 学士, 研究方向为应用统计;

陈晓彤(2004—), 女, 学士, 研究方向为应用统计;

黄洁洁(2003—), 女, 学士, 研究方向为金融;

裴祺阳(2005—), 男, 学士, 研究方向为软件工程。

通讯作者: 周燕, 华南农业大学数学与信息学院, 讲师, 研究方向为数据挖掘与智能决策。

buffer the financing impact of negative public opinion. This research not only broadens the perspective on the economic consequences of public opinion, but also provides a solution that is both theoretically valuable and practically significant for small and medium-sized agricultural enterprises to optimize their financing environment and enhance their ability to respond to public opinion.

**Keywords :** agricultural small and medium-sized enterprise financing constraints; network public opinion; XGBoost algorithm; empirical analysis

## 引言

随着乡村振兴战略持续推进和普惠金融政策不断落地,农业中小企业在推动农业现代化中发挥着关键作用。然而,融资渠道狭窄、成本高、信息不对称等问题仍制约其发展。尤其在大数据背景下,网络舆情对企业声誉与投资者信心的影响日益显著,正面舆情有助于缓解融资约束,负面舆情则可能加剧融资难度。因此,探讨网络舆情对农业中小企业融资约束的影响路径,具有重要意义。本文构建“舆情—声誉—融资”分析框架,引入政府支持作为调节变量,结合情感分析与 XGBoost 算法,从技术、组织、环境三个维度系统揭示网络舆情影响融资的作用机制。研究不仅拓展了信息不对称理论在数字经济下的应用,也为优化农业中小企业融资环境提供了实践路径与决策参考。

## 一、文献综述

### (一) 网络舆情的相关研究

网络舆情是互联网时代公众意见的集中表达,其研究重点从信息传播转向情感属性。史伟等(2022)指出情感分类与演化是重要维度,常用机器学习等方法进行情感分析<sup>[1]</sup>。网络舆情的形成受宏观因素如社会文化、经济政策,及微观因素如个体心理、群体行为的影响<sup>[2,3]</sup>。蒋国银等(2021)发现企业事件中网民评论动机涉及利益诉求、社会认同等心理机制<sup>[4]</sup>。复杂交互行为理论揭示了政府、媒体、网民三方博弈对舆情演化的动态影响<sup>[5]</sup>。

### (二) 农业中小企业融资约束的相关研究

农业中小企业的融资困境具有显著的行业异质性。传统研究认为农业生产的自然风险与市场波动性导致金融机构风险偏好降低<sup>[6]</sup>;企业规模小、抵押物不足加剧了信息不对称问题<sup>[7]</sup>。田霖与郭梦琪(2024)指出即便上市涉农企业,其融资成本仍高于非农企业,凸显农业弱质性的深远影响<sup>[8]</sup>。

### (三) 网络舆情对融资约束影响的相关研究

已有研究表明,网络舆情通过改变信息环境和投资者预期直接影响企业融资能力。Nguyen(2020)特别强调了社会网络和融资策略会影响企业融资约束<sup>[9]</sup>。Tsai 和 Lu(2016)进一步指出负面舆情会提高信用风险溢价<sup>[10]</sup>。部分研究揭示了舆情的积极治理作用,苏昱等(2021)提出舆情能减少信息不对称,帮助建立动态信用风险预测模型<sup>[11]</sup>。此外政府补助和“银税互动”等政策工具可以调节舆情冲击,降低负面影响<sup>[12]</sup>。

综上现有研究对网络舆情与农业中小企业融资约束的探讨存在以下局限:一是行业特殊性考量不足,二是影响机制分析不系统,三是舆情指标缺乏针对性。本文聚焦农业中小企业,构建舆情指标体系,实证检验网络舆情对融资约束的影响机制,并引入企业声誉中介效应和政府补助调节效应,以填补理论空白并提供

实践指导。

## 二、研究设计

### (一) 样本选择

综合考虑企业规模对评论数量与质量的影响,研究选取2021版申万行业分类中农林牧渔类113家企业作为初始样本。根据中小企业划分标准,以营业收入不超过15亿元为筛选条件,最终确定52家农业中小微企业作为研究样本。

### (二) 变量的操作化定义

#### 1. 被解释变量:融资约束变量构建

#### (1) 农业中小企业的基本特征与融资约束现状

农业中小企业在推动农业现代化进程和促进农村经济发展方面具有不可替代的作用。然而融资约束问题已成为制约其可持续发展的关键瓶颈。通过对样本数据的考察,揭示了农业中小企业经营特征及其融资约束机制。

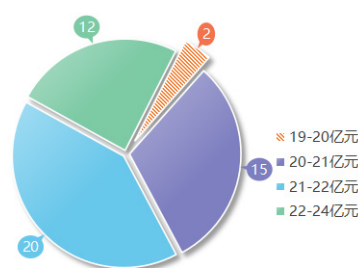


图1 农业中小企业总资产规模

农业中小企业的总资产规模集中在20至22亿元区间,其中21至22亿元的企业占比41%,20至21亿元的企业占比31%。这表明企业规模分布较为均匀,但整体处于中等水平,限制了其通过规

模效应获取融资的能力。

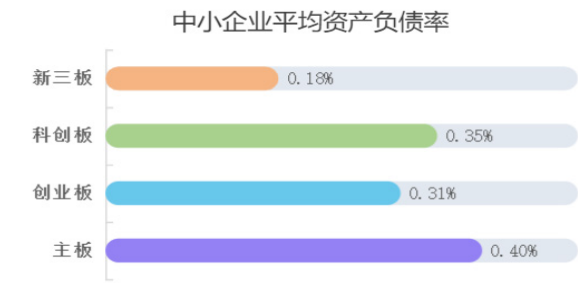


图2 不同板块农业中小企业平均资产负债率

农业中小企业资本结构差异反映了融资约束的板块分化。三个板块企业都具有严峻的融资约束，融资渠道严重受限。

综上农业中小企业资产积累有限，信用基础薄弱、融资渠道受限、财务结构呈现“高负债、低流动性”的特性，凸显了农业中小企业面临融资约束困境。

（2）刻画企业融资约束特征画像：基于 K-means 聚类分析

本文使用流动比率、速动比率、现金比率、资产负债率、权益乘数等财务指标反映企业的偿债能力和融资状况并进行 K-means 聚类，将49家上市公司聚为4类，即财务稳健型、财务健康型、财务困境型和财务极度困境型。

（3）确定企业融资约束变量

选用 Ww 指数度量企业融资约束程度。邓可斌和曾海舰（2014）指出 Ww 指数能同时测度企业股权融资约束和信贷融资约束<sup>[13]</sup>。余静文（2012）指出 Ww 指标取值越大反映企业融资约束情况越严重<sup>[14]</sup>。具体计算公式如下：

$$Ww_{it} = -0.091 * Cf_{it} - 0.062 * Divpos_{it} + 0.021 * Tltd_{it} - 0.044 * Lnta_{it} + 0.102 * Igrowth_{it} - 0.035 * Growth_{it} \quad (1)$$

式（1）中，Cf 是现金流与总资产的比值；Divpos 为股利分红哑变量；Lnta 是总资产对数；Tltd 是长期负债比；Igrowth 则是行业销售收入增长率；而 Growth 是企业销售收入增长率。

2. 解释变量：网络舆情变量构建

基于 TOE 理论和 XGBoost 机器学习算法识别企业融资约束的影响因素，TOE 理论框架在企业管理研究中已形成完善体系，林家杨等（2025）运用该框架分析装备制造企业智能化转型<sup>[15]</sup>，但其在农业中小企业融资约束领域的应用仍有不足。鉴于农业中小企业融资约束同样受技术、组织和环境多维因素影响，本研究基于 TOE 理论选取了三个层面的关键变量。

表1 TOE 理论变量表

层面	变量名	描述
技术层面	当年独立申请专利总和	当年独立申请发明专利、实用新型和外观设计专利的总申请量
	当年联合申请专利总和	当年联合申请发明专利、实用新型和外观设计专利的总申请量
	研发支出占营业收入比	研发支出 / 营业收入
	研发支出占总资产比例	研发支出 / 总资产
组织层面	成长性	营业收入增长率
	独立董事占比	独立董事 / 董事会总数
	股权集中指标3	公司前五大股东持股比例和
	总资产净利润率	净利润 / 总资产
环境层面	托宾 Q 值	企业市值 / 总资产
	公司规模	销售收入取对数

层面	变量名	描述
环境层面	投资者关注度	股吧评论量取对数
	分析师关注度	分析师对公司进行分析数量
	研报关注度	机构对公司进行分析的研报数量

以 TOE 模型选择的变量为特征，K-Means 聚类结果为标签，借鉴谭本艳等（2024）基于 BO-XGBoost 分析中小企业债务融资能力影响因素的方法<sup>[16]</sup>，利用 XGBOOST 机器学习算法识别中小企业融资约束的影响因素，结果如下：

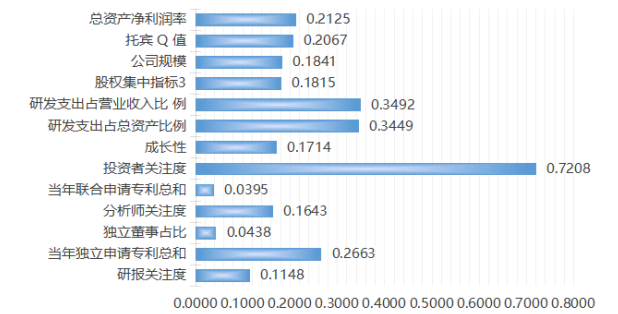


图3 特征重要度在其层面占比分布图

图3显示在组织层面，总资产净利润率对企业融资约束影响程度最大，揭示了负面网络舆情冲击企业销售额，引发利润下滑，银行和投资者收紧融资，加剧企业资金压力；在环境层面，投资者关注度影响最大，占比高达 72.08%，说明网络舆情对农业中小企业融资约束具有重要影响。

刻画网络舆情情感指标：基于朴素贝叶斯分类

郑登元（2024）基于朴素贝叶斯分类法筛选出负面情绪的弹幕语料进行生态话语分析<sup>[17]</sup>，借鉴此方法，本研究采用贝叶斯分类器对东方财富网股吧评论进行正负情绪分类，以刻画网络舆情对中小企业融资的情感倾向和态度，并基于构建综合投资者情绪指标 COTX，以刻画网络舆情变量。通过概率计算给定文本情感的公式：

$$P(\text{情感}|\text{文本}) = \frac{P(\text{文本}|\text{情感}) \cdot P(\text{情感})}{P(\text{文本})} \quad (2)$$

接着调用 SnowNLP 进行情感分析，计算正面情感和负面情感的概率分数，若大于等于0.5，则该评论为正面情感，反之为负面情感。采用综合投资者指标度量网络舆情变量，即综合投资者情绪 (TX) 主体指标、阅读数权重 (Yt)、评论数权重 (Pt) 三者的乘积，具体情感分析过程如下：

依据情感词典识别文本情感词汇；

通过训练朴素贝叶斯分类器学习文本与情感间的概率关系；

通过概率计算给定文本情感的公式：

综合投资者情绪指标：CoTX<sub>t</sub> = TX<sub>t</sub> × Y<sub>t</sub> × P<sub>t</sub>

计算文本在不同情感下的条件概率，并选择概率最高的情感作为结果。

其中，TX<sub>t</sub> =  $\frac{S_t^+}{S_t^+ + S_t^-} \times 100\%$ ，S<sub>t</sub><sup>+</sup> 为正面情感概率，为负面情感概率；Y<sub>t</sub> =  $\frac{Y_t^+}{Y_t^+ + Y_t^-} \times 100\%$ ，P<sub>t</sub> =  $\frac{P_t^+}{P_t^+ + P_t^-} \times 100\%$ ，阅读和评论表达的情绪以帖子题目情绪为主，不考虑网民评论表达的情绪。

3. 中介变量

良好的企业声誉能助力企业融资。Gangi 等（2020）提出高企业声誉可以帮助企业降低融资风险水平以及减少财务压力<sup>[18]</sup>。

故选取企业声誉在网络舆情影响企业融资的中介变量，参考管磊等的度量方法，对12个评价指标进行因子分析算出得分，再从低到高分分为10组，分别赋值1~10<sup>[19]</sup>。

4. 调节变量

政府补助对农业中小企业的经营具有重要影响，政府补助能改善企业的融资环境，通过提升信用评级或降低融资门槛，缓解融资约束问题。负面网络舆情可能使企业声誉受损和融资困难加剧挑战，此时政府通过提供应急资金稳定，增加市场信心且稳定投资者情绪，减轻负面舆情对企业融资的冲击，使其度过危机，重获投资者的关注。因此选取政府补助为调节变量，借鉴宁哲（2024）定义政府补助的方式，以企业当年所获政府补助金额的自然对数表示<sup>[20]</sup>。

5. 控制变量

综合考虑样本农业中小企业的经营和融资状况，选定7个变量为探究网络舆情对农业中小企业融资约束实证分析的控制变量。

表2 变量解释

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	融资约束变量 (Ww)	Cf	现金流 / 总资产
		Divpos	有股利分红 =1；无股利分红 =0
		Lnta	总资产取对数
		Tltd	长期负债比
		Igrowth	行业销售收入增长率
		Growth	企业销售收入增长率
解释变量	综合投资者情绪 指标 (COTX)	TX	正面评论数 / 总评论数
		Read	正面阅读量 / 总阅读量
		Reply	正面回复数 / 总回复数
中介变量	企业声誉	Rep	因子分析得分排序赋1~10
调节变量	政府补助	Gs	政府补助金额取对数
控制变量	总资产净利润率	Roa	净利润 / 总资产
	销售利润率	Ros	净利润 / 销售收入
	托宾 Q 值	Tobinq	企业市值 / 总资产
	账面市值比	Bm	账面值 / 总市值
	公司规模	Size	销售收入取对数
	未来成长性	Growth	销售收入增长率
	股权集中指标3	Shrcr3	前5位大股东持股比例和

6. 理论模型

综上对变量的研究，提出以下理论模型：

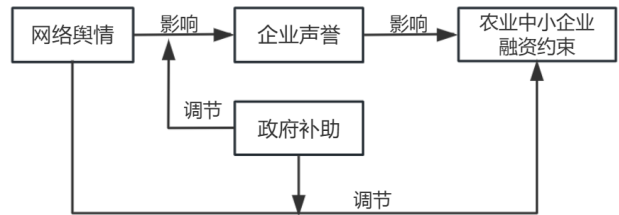


图4 理论模型图

（三）研究假设

针对以上变量和路径的研究分析，提出如下研究假说：

H1：网络舆情与农业中小企业融资约束呈负相关关系。

H2：企业声誉在网络舆情与农业中小企业融资约束之间起中介作用。

H21：网络舆情对企业声誉有显著影响。

H22：网络舆情和企业声誉对农业中小企业融资约束有显著影响。

H3：政府补助在负面舆情恶化企业融资约束中起正向调节作用。

（四）数据来源及处理

1. 企业财务数据采集与处理

财务数据采集：从CSMAR和CNRDS数据库获取52家农业中小企业2014-2023年的财务数据，包括净利润、总资产、营业收入、托宾Q值等22个财务变量，共计354条面板数据。

财务数据预处理：（1）剔除ST、\*ST及PT类上市公司；（2）剔除核心变量存在大量缺失的样本；（3）对连续变量进行上下1%的Winsorize处理。最终得到49个企业的346条有效面板数据。

2. 网络舆情数据获取与处理

网络舆情数据获取：基于Python网络爬虫技术，从东方财富网股吧获取49家农业中小企业2014-2023年的舆情评论数据，共计2393785条。同时，通过八爪鱼采集器获取了新闻联播86条、知乎202条、B站400条、微博23条以及同花顺问财23条媒体报道标题数据，合计743条有效媒体报道。

网络舆情数据预处理：运用正则表达式去除仅包含标点符号、数字或字母等无意义评论内容；并借助Excel筛选功能删除重复文本、广告帖及新闻公告类帖子，最终保留有效评论2141904条。

（五）模型设计

1. 网络舆情对企业融资约束的影响模型

$$Ww_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 COTX_{i,t} + \Sigma \alpha_2 Controls + \Sigma Year + \epsilon_1 \quad (3)$$

2. 公司声誉在网络舆情影响融资约束中作为中介变量的模型

$$REP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 COTX_{i,t} + \Sigma \beta_2 Controls + \Sigma Year + \epsilon_2 \quad (4)$$

$$Ww_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 COTX_{i,t} + \gamma_2 REP_{i,t} + \Sigma \gamma_3 Controls + \Sigma Year + \epsilon_3 \quad (5)$$

3. 政府补助在网络舆情影响融资约束中作为调节变量的模型

$$Ww_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 COTX_{i,t} + \phi_2 GS_{i,t} + \Sigma \phi_3 Controls + \Sigma Year + \epsilon_4 \quad (6)$$

$$Ww_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 COTX_{i,t} + \theta_2 GS_{i,t} + \theta_3 M1_{i,t} + \Sigma \theta_4 Controls + \Sigma Year + \epsilon_5 \quad (7)$$

$$Ww_{i,t} = \lambda_0 + \lambda_1 COTX_{i,t} + \lambda_2 REP_{i,t} + \lambda_3 GS_{i,t} + \lambda_4 M1_{i,t} + \Sigma \lambda_4 Controls + \Sigma Year + \epsilon_6 \quad (8)$$

三、实证分析

（一）描述性统计与变量相关性分析

表3 描述统计

Variable	Num	Mean	Std. Dev.	Min	Max
ww	346	1.072	0.288	0.879	2.208
cotx	346	-0.035	0.116	-0.228	0.337
rep	346	5.465	2.872	1	10
roa	346	0.014	0.087	-0.48	0.238

根据Hausman检验结果P<0.05，选择固定效应模型。部分变量描述性统计见表3，其中Ww指数均值为1.072，最大值2.208，最小值为0.879，说明研究样本中农业中小企业普遍存在融资约束，且不同类型企业的融资约束差异也较大。综合投资者情绪指标COTX均值为-0.035，最大值为0.337，最小值

为 -0.228, 说明投资者整体情绪偏弱, 对当前农业中小企业市场信心不足, 企业融资易受其影响。多重共线性检验显示 VIF 小于 5, 说明数据合理。

计算变量间的相关系数, 结果显示变量 Ww 与 COTX 呈较强的负相关关系, 相关系数为 -0.09, 显著性水平为 \*\*, 这表明两个变量之间可能存在关联, 进一步的实证分析可以验证相关性。

(二) 基准回归分析

表 4 基准回归分析结果

Variable	Ww(模型 1)
Cotx	-0.092**
	(0.030)
Controls	控制
N	346
Year	YES
R <sup>2</sup>	0.934

\*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.1, 括号内为标准误

基于模型 1 对网络舆情综合投资者情绪 COTX 与农业中小企业融资约束 Ww 的相关关系进行回归分析, 结果见表 4。限于篇幅, 回归分析仅报告主要变量的结果, COTX 与 Ww 呈现显著负相关性 ( $\alpha_1 = -0.092$ ,  $P < 0.01$ ), 说明舆论的负向语调会加重农业中小企业的融资约束, 即假设 1 成立。

(三) 中介效应

表 5 中介效应检验结果

Variable	Ww(模型 1)	Rep(模型 2)	Ww(模型 3)
Cotx	-0.092**	0.540**	-0.086***
	(0.030)	(-0.126)	(0.029)
Rep			-0.030**
			(-1.545)
Controls	控制	控制	控制
N	346	346	346
Year	YES	YES	YES
R <sup>2</sup>	0.934	0.688	0.942

\*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.10, 括号内为标准误

以企业声誉作为中介变量, 检验 Rep 在网络舆情对农业中小企业融资约束影响中的作用。在基准回归基础上, 模型 2 中 COTX 对企业荣誉 Rep 具有正向 ( $\beta_2 = 0.54$ ,  $P < 0.01$ ) 影响, 说明积极网络舆论促进企业声誉的提升。而模型 3 中 COTX 和 Rep 对 Ww 作用都显著为负 ( $\gamma_1 = -0.086$ ,  $P < 0.001$ ;  $\gamma_2 = -0.03$ ,  $P < 0.01$ ), 说明负向投资者情绪会通过损坏企业声誉的方式加剧农业中小企业融资约束困难, 假设 H2 成立。 $\gamma_1$  相较于模型 1 中的  $\alpha_1$  有所下降, 说明企业声誉起到了部分中介效应作用。同时, 采用 Sobel 检验中介效应的稳健性, 结果显示 Z 统计量为 2.189, 在 1% 水平下显著, 综上验证了中介效应的存在。

(四) 调节效应检验

表 6 调节效应检验结果

Variable	Ww(模型 1)	Ww(模型 2)	Ww(模型 3)	Ww(模型 4)
Cotx	-0.092**	-0.087**	-0.085**	-0.083**
	(0.030)	(-0.365)	(-0.336)	(-0.297)
Gs		-0.007*	-0.007*	-0.008*
		(-1.056)	(-0.719)	(-0.208)
M1			0.045*	0.042*
			(0.305)	(0.223)

Variable	Ww(模型 1)	Ww(模型 2)	Ww(模型 3)	Ww(模型 4)
Rep				-0.030*
				(-1.515)
Controls	控制	控制	控制	控制
N	346	346	346	346
Year	YES	YES	YES	YES
R <sup>2</sup>	0.934	0.738	0.920	0.946

\*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.10

检验政府补助在投资者情绪、企业声誉与农业中小企业融资约束之间的作用。模型 3 中投资者情绪 COTX 与政府补助的交互项 M1 系数估计值为 0.045 显著, 政府补助削弱了负面舆论对农业中小企业融资约束的加剧作用, 假设 3 得证。从模型 4 知在企业声誉和政府补助的作用下, 负向投资者情绪对农业中小企业融资约束的影响程度远小于模型 1, 说明企业声誉在网络舆情和企业融资起着桥梁作用, 政府补助在负面舆情下能够缓解信息不对称, 弱化融资约束的边际效应, 以稳定投资者与企业间的信任关系。

(五) 内生性和稳健性检验

由于研究可能存在内生性问题, 采用工具变量法检验, 选取滞后一期投资者情绪 COTX 作为工具变量 (Lcotx), 检验结果均显著, 表明考虑内生性问题后, 正向网络舆论能够缓解农业中小企业融资约束。

表 7 稳健性检验结果

Variable	原模型	替换被解释变量	增加控制变量
Cotx	-0.083**	-0.090**	-0.086**
	(-0.297)	(-0.049)	(-0.539)
Rep	-0.030*	-0.029*	-0.020**
	(-1.515)	(-1.670)	(-1.967)
Gs	-0.008*	-0.007*	-0.007*
	(-0.208)	(-0.503)	(-0.806)
FAR			0.065*
			(1.081)
Big4			0.001*
			(2.097)
Controls	控制	控制	控制
Year	YES	YES	YES
N	346	297	297
R <sup>2</sup>	0.946	0.798	0.829

\*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.10

为检验回归结果的稳健性, 选取替换被解释变量衡量方式, 采用高太光等 (2025) 衡量融资约束的方法构建融资约束指数 (SA)<sup>[21]</sup>, 结果见表 7 列 1; 采取增加控制变量的方法, 即总资产收益率 (FAR)、是否四大审计 (Big4), 回归结果见表 7 列 3, 以上结果均在 5% 水平下显著, 表明本文回归结果稳健。

(六) 异质性检验

表 8 异质性检验结果

Variable	主板	创业板	科创板	新三板
cotx	-0.078**	-0.082**	-0.093**	-0.095**
	(-0.145)	(-0.282)	(-0.559)	(-0.356)
Rep	-0.029*	-0.011*	-0.007*	-0.020*
	(-0.716)	(-0.337)	(-1.513)	(-0.612)
Gs	-0.0012*	-0.003*	-0.006*	-0.005*
	(-0.203)	(-0.164)	(-0.750)	(-0.446)

Variable	主板	创业板	科创板	新三板
M1	0.032*	0.029*	0.033*	0.051*
	(-0.366)	(-0.289)	(-0.583)	(-0.478)
Controls	控制	控制	控制	控制
N	184	62	35	23
Year	YES	YES	YES	YES
R <sup>2</sup>	0.775	0.559	0.786	0.835

\*\*\*p<0.01”， “\*\*p<0.05”， “\*p<0.10

异质性分析显示网络舆情对各板块企业融资约束的影响程度存在差异如表8。新三板企业因市场地位不稳、抗风险能力弱，受舆情影响最显著；而主板企业凭借成熟的市场体系，对负面舆情的抵御能力较强，融资约束波动相对较小。

（七）实证结果

实证研究表明，网络舆情显著影响农业中小企业融资约束。由于农产品涉及食品安全问题，负面舆情会引发广泛关注，导致企业声誉受损、投资者信心下降，进而加剧融资困境甚至引发经营危机。反之，良好企业信誉能获得政府补助和舆论支持，帮助恢复投资者信心，有效缓解融资约束。

四、结论与建议

（一）结论

本文基于2014–2023年申万行业类别为农林牧渔且营业收入小于15亿元的52家企业的样本，根据信息不对称理论、信号传递理论及机制声誉理论，实证分析了网络舆情对农业中小企业融资约束的影响机制，并进一步分析企业声誉的中介作用和政府补助的调节作用，得出以下结论：

第一，我国农业中小企业普遍成立时间短、资产规模有限、现金流不稳定，且多处于发展初期阶段，财务呈现“高负债、低流动性”结构特征。同时这些企业因信息不对称、农业特殊性、

抵押资产缺乏、融资渠道受限，更易面临严重的融资约束困境。

第二，网络舆情对农业中小企业融资约束具有重要影响，负面网络舆情冲击农产品的生产链和销售额，引发利润下滑，会加剧企业的融资约束程度。

第三，公众对农业中小企业的关注集中在农业政策、金融机构支持、农业科技创新及农产品质量安全等领域。公众在股吧的积极评论会促进农业中小企业融资，但负面舆情会加剧企业的融资约束程度，使投资者持更加谨慎的态度。此时政府补助则能够有效缓解负面舆情对融资约束的边际影响，增强投资者与企业的信任关系，稳定市场信心。

第四，快速响应及证据透明度对于保持与投资者的良好关系至关重要，其不仅能够增强企业的融资实力，还能提升市场信誉。

（二）建议

从农业中小企业角度出发。建立精准化舆情监测机制，安排人员实时跟踪网络动态。构建透明化沟通体系，对于突发的负面舆情，发布种植或养殖的全流程与质检报告。完善负面舆论响应处置流程，成立舆情处置应急小组，出现负面舆情后，确保2小时内启动调查机制，24小时内发布核查结果与整改方案，多渠道同步发声，速请权威部门复查背书，及时化解危机。

从政府角度出发。强化政府资金引导作用，设立专项扶持基金；优化贷款贴息政策与风险补偿，降低融资成本。完善法律法规，优化融资环境，加强网络舆情立法，打击恶意造谣、虚假信息传播。

从银行角度出发。将企业网络声誉、媒体报道、社交舆论等纳入授信决策参考，开发多维信用评估体系。加强银企互动与投资者教育，鼓励企业通过银行合作平台定期进行透明化信息披露，增强市场信心，降低融资成本。

参考文献

[1] 史伟,薛广聪,何绍义.情感视角下的网络舆情研究综述[J].图书情报知识,2022,39(01):105–118.

[2] 郑越,秦阳阳,施永辉,等.网络舆情研究现状分析[J].工业控制计算机,2023,36(07):100–102.

[3] 李晓晨.我国网络舆情研究现状与研究热点分析[D].辽宁大学,2023.

[4] 蒋国银,蔡兴顺,陈玉凤,等.企业热点事件网络舆情生成影响因素研究[J].信息资源管理学报,2021,11(01):80–89.

[5] 林燕霞,谢湘生,张德鹏.复杂交互行为影响下的网络舆情演化分析[J].中国管理科学,2020,28(01):212–221.

[6] 杨应杰.我国农业经营风险的特点和现状及管理对策[J].农业现代化研究,2011,32(02):170–174.

[7] 付玮琼,白世贞.供应链金融对中小农业企业的融资约束缓解效应[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2021,21(02):140–151.

[8] 田霖,郭梦琪.数字普惠金融发展缓解融资约束研究——基于涉农企业的实证分析[J].重庆大学学报(社会科学版),2024,30(03):70–85.

[9] Nguyen, B. Small business investment: The importance of financing strategies and social networks. International Journal of Finance & Economics, 2020, 27(3), 2849–2872.

[10] Tsai, S.-B., & Lu, T.-L. The impact of news articles and corporate disclosure on credit risk valuation. Journal of Banking & Finance, 2016, 68, 1–15.

[11] 苏翌,余尚兵,李凡.基于舆情的信用风险预警模型[J].保险研究,2021,(10):90–105.

[12] 冯晨,孙迎雪,陶云清,等.以税增信、融资信息摩擦与企业投资结构[J].世界经济,2025,48(02):138–165.

[13] 邓可斌,曾海舰.中国企业的融资约束：特征现象与成因检验[J].经济研究,2014,49(02):47–60+140.

[14] 余静文.信贷约束、股利分红与企业预防性储蓄动机——来自中国A股上市公司的证据[J].金融研究,2012,(10):97–110.

[15] 林家扬,方金城.基于TOE框架的装备制造企业智能化转型关键因素识别研究[J].福建冶金,2025,54(02):62–67.DOI:10.19574/j.cnki.issn1672-7665.2025.02.012.

[16] 谭本艳,熊荣波.基于BO-XGBoost的中小企业债务融资能力影响因素分析[J].会计之友,2024,(01):39–46.

[17] 郑登元.基于朴素贝叶斯的网络舆情话语生态分析[J].电脑与信息技术,2024,32(04):46–50.DOI:10.19414/j.cnki.1005-1228.2024.04.032.

[18] Gangi, F., Daniele, L.M., Varrone, N. How do corporate environmental policy and corporate reputation affect risk-adjusted financial performance? [J]. Business Strategy and the Environment, 2020, 29(05): 1975–199.

[19] 管考磊,张蕊.企业声誉与盈余管理：有效契约观还是寻租观[J].会计研究,2019,(01):59–64.

[20] 宁哲,张胜杰.环境管理体系认证与企业债务融资成本研究——基于政府补助与负面网络报道调节作用[J].商业经济,2024,(04):74–77+99.DOI:10.19905/j.cnki.syjj1982.2024.04.050.

[21] 高太光,王晴晴,王雨琨.数字化转型对能源企业融资约束影响研究[J].煤炭经济研究,2025,45(03):164–172.DOI:10.13202/j.cnki.cer.2025.03.017.

# 生成式 AI 赋能下高校学生学术行为意愿与内在机制研究

何思佳<sup>1</sup>, 卜胤丹<sup>1</sup>, 周燕<sup>2\*</sup>

1. 华南农业大学 国际教育学院, 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.2025060015

**摘 要 :** 随着生成式 AI 技术在教育中的广泛应用, 大学生在学术任务中使用 AI 工具的行为及其内在机制成为研究热点。本文构建三阶段研究框架, 首先通过聚类分析识别使用行为差异, 其次基于“多维前因—动机中介—行为结果”路径构建结构方程模型, 揭示功能认知、社会影响、伦理意识等因素通过动机中介影响使用意愿。最后, 借助 LDA 主题建模对开放式反馈进行补充分析, 提取学生关注的风险与期望。结果表明大学生使用行为具有显著异质性, 使用动机起关键中介作用。建议高校开展分层引导, 加强伦理教育, 促进 AI 工具合理使用。

**关 键 词 :** 生成式 AI; 学术行为; 聚类分析; 结构方程模型; 文本挖掘; 动机机制

## Research on College Students' Academic Behavior Intention and Underlying Mechanisms Empowered by Generative AI

He Sijia<sup>1</sup>, Bu Yindan<sup>1</sup>, Zhou Yan<sup>2\*</sup>

1.College of International Education, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

2.College of International Education, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642

**Abstract :** With the growing integration of generative AI in educational contexts, there is an urgent need to systematically examine college students' usage behavior and its underlying mechanisms in academic tasks. This study adopts a three-stage research framework. First, cluster analysis is employed to identify heterogeneous patterns of AI tool usage. Second, a structural equation model is constructed based on a "multidimensional antecedents-motivational mediation-behavioral outcomes" pathway, revealing how factors such as functional perception, social influence, and ethical awareness affect usage intention through motivational mediation. Finally, LDA topic modeling is applied to open-ended responses as a supplementary analysis to extract students' primary concerns and expectations. Results demonstrate significant heterogeneity in usage patterns, with motivation playing a key mediating role. The findings suggest that universities should adopt differentiated guidance strategies, strengthen AI ethics education, and promote the rational use of generative AI tools.

**Keywords :** generative AI; academic behavior; cluster analysis; structural equation modeling; topic modeling; motivational mechanism

## 引言

自 2022 年 ChatGPT 发布以来, 生成式 AI 在全球教育领域快速普及, 深刻改变了知识获取、学习支持及科研方式 (王思遥等, 2024)<sup>[1]</sup>。截至 2024 年, 我国生成式 AI 用户达 2.3 亿, 高校应用增长突出, 美国 58% 高校教师已将其融入教学 (CNNIC, 李艳等, 2024)<sup>[2]</sup>。同时, 技术应用多元化, 在知识获取、学习支持、科研辅助等方面都展现出显著赋能作用 (刘凯, 2025)<sup>[3]</sup>, 但也带来“数据偏见”“学术幻觉”等伦理风险 (UNESCO, 2023)。

然而, 生成式 AI 重塑大学生学习生态, 也引发对技术依赖与认知异化的担忧。一是学术任务中 AI 依赖明显, 20%–30% 的毕业论文中含 AI 生成内容 (张仟煜等, 2024)<sup>[4]</sup>; 二是批判性思维下降, 主动验证 AI 生成内容准确性者不足三成 (李艳等, 2024)<sup>[2]</sup>; 三是

### 基金项目:

广东省高等教育教学改革项目“基于创新能力培养的统计学专业数据分析实验课程改革探索与实践”(粤教高函[2024]9号516); 2023年大学生创新创业训练计划项目“生成式 AI 赋能下高校学生学术行为意愿与内在机制研究”。

### 作者简介:

何思佳, 华南农业大学国际教育学院, 本科生, 研究方向为数据挖掘与智能决策;

卜胤丹, 华南农业大学国际教育学院, 本科生, 研究方向为数据挖掘与智能决策。

通讯作者: 周燕, 华南农业大学数学与信息学院, 讲师, 研究方向为数据挖掘与智能决策。

学术伦理边界模糊, AI 检测规避行为频现(孙旭等, 2024)<sup>[5]</sup>。面对 AI 技术带来的学习变革和伦理挑战, 亟需系统研究大学生使用行为、动机及心理机制。

当前关于生成式 AI 在高等教育领域中的应用研究, 已初步形成以技术接受、认知发展与伦理治理为核心的多维分析框架。技术接受模型(TAM)强调感知有用性与风险影响行为意愿(张池, 2023)<sup>[6]</sup>。认知路径模型(SEM)揭示 AI 对创造力的双重作用(王思遥等, 2024)<sup>[1]</sup>。伦理治理则提出“人机协同”框架, 聚焦使用规范、透明度及风险认知(UNESCO, 2023)。同时, 学者们关注学生群体差异与反馈: 李艳等(2024)<sup>[2]</sup>通过混合方法揭示学科差异与使用习惯关联; 周子琦等(2025)<sup>[7]</sup>指出 AI 依赖抑制高阶思维; Darvishi 等(2023)<sup>[8]</sup>指出社会规范、同伴行为等外部因素显著影响使用动机。

尽管研究不断深化, 但仍存在样本片面、周期短与跨学科融合不足等问题。本研究在此基础上, 结合结构方程模型构建“多维前因—动机中介—行为表现”路径模型, 融合聚类与文本挖掘, 探讨大学生在 AI 使用的行为特征与心理机制。现有研究表明, 感知有用性、易用性及内容可信度与规范感知等因素显著影响学生的使用态度与动机(段锦云, 2025<sup>[9]</sup>; Darvishi, 2023<sup>[8]</sup>)。因此结合生态系统视角, 从个体、组织与社会三层引入安全信任、社会影响等外部驱动因素, 并纳入学术伦理意识作为前因变量(Abbas, 2023)<sup>[10]</sup>。同时, AI 焦虑理论认为, 对技术替代的担忧会抑制学生自主探索 AI 的内在动机(Wang et al., 2022)<sup>[11]</sup>; 但工具性外在动机和自我效能感可缓解其影响, 为此模型引入内外动机作为中介路径, 用于承接前因与行为。基于自我调节学习理论, 具备较强目标管理与反思能力的学生更能合理使用 AI, 减少依赖并促进深度思维(王思远等, 2024)<sup>[12]</sup>, 故将实际使用行为表现作为结果变量。

## 一、研究设计

### (一) 分析框架

本研究以大学生为研究对象, 聚焦其在学术任务中使用生成式 AI 工具的行为特征, 综合引入技术接受模型、计划行为理论与信息系统使用行为研究成果, 构建三阶段分析框架。首先, 基于功能认知、适应性、安全与信任度等关键变量设计量表, 采集问卷并通过 K-means 聚类构建用户画像。其次, 结合“多维前因—动机中介—行为结果”路径模型, 运用结构方程模型(SEM)检验前因变量通过使用动机的中介路径对使用行为倾向的直接与间接影响关系。最后, 结合文本挖掘分析开放问答数据, 补充个体态度与心理特征, 增强模型解释力与研究深度。研究旨在构建系统可解释的行为路径模型, 并提出教育引导策略。

### (二) 研究对象

本研究的研究对象为全国范围内具有生成式 AI 工具使用经验或认知的高校大学生, 涵盖不同年级、地区与学科, 确保样本多样性与代表性。研究重点聚焦大学生在学术任务中使用生成式 AI 的行为特征, 通过行为倾向、情感态度与心理认知等维度挖掘其使用动因与群体差异。

### (三) 数据来源

数据来源于基于技术接受模型(TAM)、计划行为理论(TPB)等理论设计的调查问卷, 结合大学生使用生成式 AI 工具的行为特征与心理机制设定变量。问卷分四部分: 背景信息、使用现状、变量量化测量(功能认知、适应性、安全与信任度、社会影响、伦理意识、使用动机与行为表现等)及开放式反馈, 样本采用分层三阶段抽样。第一阶段按东中西部及东北地区高校省份分布抽样; 第二阶段在选定省份内按高校类型(985、211、普通本科)分层抽样; 第三阶段在高校内根据年级与专业进行个体抽样, 部分采用整群抽样。

### (四) 研究工具

问卷通过“问卷星”平台在线发放, 设有逻辑检测题筛除无效样本, 前期完成信效度检验, 确保量表内部一致性与测量合理性。数据分析主要采用 Stata、AMOS 与 Python 工具。首先使用 Stata 进行 K-means 聚类分析, 基于大学生学术任务中使用生成式 AI 工具的行为特征, 划分典型用户类型并构建差异化画像。随后, 利用 AMOS 构建结构方程模型(SEM), 检验“多维前因—动机中介—行为结果”路径中各变量的直接与间接效应。最后, 运用 Python 中的 jieba 与 gensim 对开放式反馈进行文本预处理、词频统计与 LDA 主题建模, 并结合 SnowNLP 开展情感分析, 提取学生态度特征与心理反应。

## 二、影响大学生使用生成式 AI 工具的行为动机

### (一) 聚类目的与思路

为识别大学生在学术活动中生成式 AI 工具使用中的典型行为模式与态度差异, 本文选取对 AI 工具的了解程度、使用意愿、使用频率、依赖程度、效率认知等变量量化, 运用 K-means 算法进行聚类, 最终划分出四类用户群体。

### (二) 聚类结果与用户画像

使用 Stata 进行 K-Means 聚类, 依据轮廓系数法确定最优簇数为 4 类, 按使用频率与依赖程度划分为深度依赖探索型、中度使用成长型、谨慎尝试观望型与基本不使用者。基于聚类结果, 绘制散点图进一步可视化分析。

图 1 显示, 不同群体在使用频率与依赖程度上区隔明显, 进一步验证了聚类的合理性。四类群体由右上到左下依次沿斜线分布, “深度依赖探索型”表现出高度活跃与深度依赖的使用特征, “中度使用成长型”具备稳定的使用习惯和中等依赖倾向; “谨慎观望型”使用水平较低但具备一定关注与尝试意愿, “基本不使用者”的使用意愿与行为均处于最低水平, 反映大学生在 AI 工具使

用行为上存在显著异质性，可据此开展更具针对性的行为机制分析与教育引导。为揭示各群体使用特征与偏好差异，进行可视化处理（图2），辅助理解行为分层与态度差异。

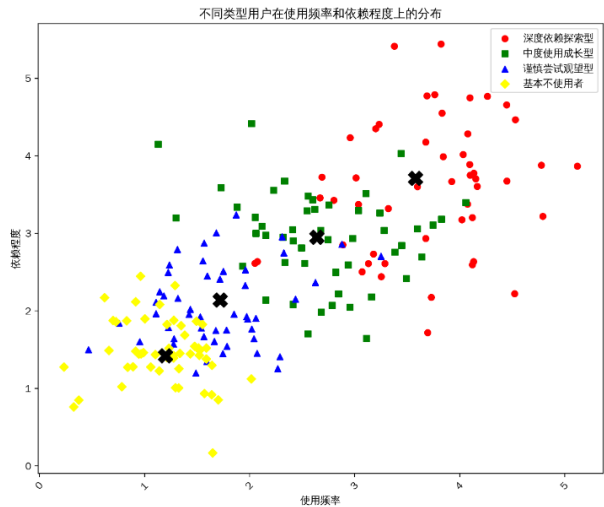


图1：不同类型用户在使用频率和依赖程度上的分布



图2：用户画像模型

用户画像显示，大学生在生成式 AI 的学术使用行为上呈现出明显的异质性。深度依赖探索型群体积极拥抱新技术，使用频率高；中度使用成长型使用稳定；谨慎观望型使用意愿有限，信任不足；基本不使用者接受度较低，普遍坚持传统学习方式。结果验证了聚类合理性，并为 AI 素养教育提供参考。

### 三、多维动因驱动下的大学生生成式 AI 使用行为机制建模与实证检验

#### （一）模型建立

##### 1. 理论假设与模型构建

基于理论与前期调研，构建模型假设功能认知、适应性、安全与信任度、社会因素以及学术伦理意识均正向直接影响使用动机，且假设这五类因素通过使用动机中介对行为表现有间接正向

影响，使用动机显著正向影响行为表现。

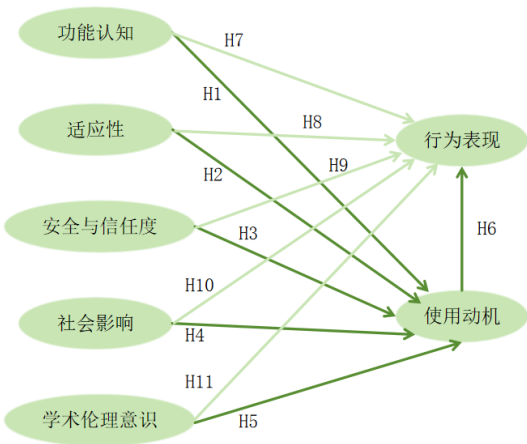


图3：结构方程模型假设

#### （二）数据处理

##### 1. 测量维度设计

所有测量变量均采用 Likert 五级量表评估，具体见下表：

表1：Likert 五级量表

潜变量	测量变量
功能认知	学习效率感 PU1
	任务效率感 PU2
	成绩提升预期 PU3
适应性	使用便捷性 EA1
	理解难易度 EA2
	适应意愿 EA3
安全与信任度	内容信任度 TA1
	思维焦虑感 TA2
	能力退化担忧 TA3
社会影响	同伴影响力 SI1
	信息获取 SI2
	模仿倾向 SI3
学术伦理意识	违规规避意愿 AE1
	内容加工意愿 AE2
	诚信告知行为 AE3
使用动机	内在动机 IM1
	外在动机 IM2
行为表现	使用频率 BO1
	依赖程度 BO2
	持续使用意愿 BO3

##### 2. 验证性因子分析

表2结果表明，问卷数据 KMO 值为 0.901，远高于 0.8，表明样本间共性强；Bartlett 球形度检验显著 ( $p < 0.001$ )，说明相关矩阵非单位矩阵。因此，样本适合进行因子分析。

表2：KMO 和巴特利特球形度检验

KMO		0.901
巴特利特球形度检验	近似卡方	1324.214
	自由度	136
	显著性	

为检验测量模型结构效度，进行验证性因子分析（CFA）。结果（表3）显示，CMIN/DF=2.486<5的可接受标准；RMSEA=0.059<0.08的判断标准，表明模型残差较小，拟合较好；GFI、IFI、TLI、CFI接近或达到0.90以上，分别为0.892、0.926、0.915和0.925，接近或达到理想标准，模型整体拟合较好。PNFI与PCFI分别为0.712和0.734，超过0.5的最低要求，说明模型简约且适配性强。

表3：验证性因子分析模型拟合指标

适配度指标	理想标准值	可接受标准值	研究结果	判别
CMIN/DF	≤0.05	≤5	2.486	合格
RMSEA	≤0.05	≤0.08	0.059	合格
GFI	≥0.90	≥0.70	0.892	合格
IFI	≥0.90	≥0.70	0.926	合格
TLI	≥0.90	≥0.70	0.915	合格
CFI	≥0.90	≥0.70	0.925	合格
PNFI	≥0.50	/	0.712	合格
PCFI	≥0.50	/	0.734	合格

3. 问卷信度与聚合效度分析

表4：各变量信度及聚合效度检验

变量名称	题项数	Cronbach's Alpha	AVE	CR
功能认知	3	0.821	0.515	0.852
适应性	3	0.713	0.563	0.811
安全与信任度	3	0.762	0.562	0.806
社会影响	3	0.770	0.531	0.788
学术伦理意识	3	0.810	0.551	0.801
使用动机	2	0.851	0.546	0.797
行为表现	3	0.834	0.522	0.788

为检验问卷信度与聚合效度，计算了Cronbach's  $\alpha$ 、CR和AVE(见表4)。各变量的Cronbach's  $\alpha$ 系数介于0.713至0.851，高于0.7的常规信度标准，表明各维度内部一致性良好，问卷整体信度较高。聚合效度方面，所有潜变量CR值在0.788至0.852之间(>0.7)，AVE值在0.515至0.563之间(>0.5)，均符合判断标准。上述结果表明各潜变量聚合效度良好，能有效反映各维度潜在结构特征。

4. 区分效度检验

表5：区分效度检验结果

	功能认知	适应性	安全与信任度	社会影响	学术伦理意识	使用动机	行为表现
功能认知	0.726						
适应性	0.492	0.744					
安全与信任度	0.524	0.516	0.761				
社会影响	0.411	0.418	0.432	0.739			
学术伦理意识	0.479	0.463	0.471	0.471	0.751		
使用动机	0.588	0.547	0.546	0.537	0.506	0.817	
行为表现	0.475	0.451	0.482	0.463	0.431	0.503	0.741

表5区分效度检验结果表明，四个潜变量的平方根AVE值（对角线）均大于其与其他潜变量之间的相关系数，符合For-

nell-Larcker 判别标准。说明各潜变量间区分度良好，量表在测量不同构念时具有良好辨别力。

（三）结构方程模型结果与路径分析

表6：结构方程模型路径系数分析

假设	路径关系	标准化系数	S.E.	P	结果
H1	使用动机 <--- 功能认知	0.483	0.079	0.001	接受
H2	使用动机 <--- 适应性	0.427	0.091	0.001	接受
H3	使用动机 <--- 安全与信任度	-0.253	0.081	0.001	接受
H4	使用动机 <--- 社会影响	0.301	0.065	0.001	接受
H5	使用动机 <--- 学术伦理意识	-0.201	0.053	0.001	接受
H6	行为表现 <--- 使用动机	0.774	0.105	0.001	接受
H7	行为表现 <--- 功能认知	0.201	0.072	0.061	拒绝
H8	行为表现 <--- 适应性	0.153	0.080	0.081	拒绝
H9	行为表现 <--- 安全与信任度	-0.115	0.052	0.093	拒绝
H10	行为表现 <--- 社会影响	0.098	0.073	0.155	拒绝
H11	行为表现 <--- 学术伦理意识	-0.059	0.042	0.232	拒绝

表6路径分析结果显示，H1至H6均达到统计显著水平。其中，“功能认知”（ $\beta=0.483$ ,  $p<0.001$ ）、“适应性”（ $\beta=0.427$ ,  $p<0.001$ ）、“社会影响”（ $\beta=0.301$ ,  $p<0.001$ ）对“使用动机”均有显著正向影响，而“安全与信任度”（ $\beta=-0.253$ ,  $p<0.001$ ）与“学术伦理意识”（ $\beta=-0.201$ ,  $p<0.001$ ）则呈显著负向影响，表明功能优势与技术亲和力可增强动机，而安全顾虑与伦理意识则可能抑制其形成。此外，“使用动机”对“行为表现”具有显著正向作用（ $\beta=0.774$ ,  $p<0.001$ ），验证其核心中介地位。相比之下，H7至H11中，前因变量对“行为表现”的直接路径均不显著（ $p>0.05$ ），其中，“功能认知”（ $p=0.061$ ）与“适应性”（ $p=0.081$ ）虽接近显著，但作用可能主要通过“使用动机”间接发挥。

表7：中介效应检验

中介路径	效应值	标准误	显著性	Bootstrapping	
				Bia-Corrected 95%CI	
				下限	上限
使用动机 <--- 功能认知	0.374	0.062	0.001	0.255	0.498
使用动机 <--- 适应性	0.330	0.068	0.001	0.210	0.463
使用动机 <--- 安全与信任度	-0.196	0.057	0.001	-0.310	-0.095
使用动机 <--- 社会影响	0.234	0.054	0.001	0.138	0.348
使用动机 <--- 学术伦理意识	-0.156	0.049	0.002	-0.258	-0.069

Bootstrapping 结果显示，功能认知、适应性与社会影响通过“使用动机”对行为表现产生显著正向中介效应（效应值分别为0.374、0.330和0.234，95%置信区间均不含0）；而安全与信任度、学术伦理意识的中介效应虽显著但为负（分别为-0.196和-0.156）。说明“使用动机”在各前因变量与行为表现之间起关键中介作用，既能强化正向影响，也可能传导负面认知对行为的抑制效应。

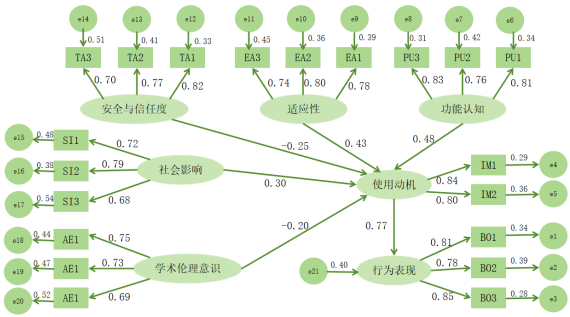


图4：结构方程模型结果

图4结构方程模型结果表明，整体模型较好验证了研究初设路径，虽部分路径未达预期，但拟合良好，各路径关系解释力强，能有效反映大学生学术任务中使用 AI 工具的动机结构与行为特征。

四、基于 LDA 模型的大学生学术活动中生成式 AI 使用主题挖掘

（一）数据的获取与处理

为深入探讨大学生在学术活动中使用生成式 AI 工具的行为特征、主观感受与潜在风险认知，本研究采用问卷与社交平台评论相结合的方式收集数据。一方面，收集531份结构化问卷，调查大学生在学术活动中生成式 AI 工具的使用情况；另一方面，通过 Python 爬虫从知乎、小红书、哔哩哔哩等平台获取相关评论，共收集有效评论11203条，去重清洗后保留10225条，用作 LDA 主题分析语料。数据经分句与分词处理，剔除冗余信息，转换为标准文本格式并进行分析。

（二）词频统计和词云图

表8：评论文本词频统计表

词语	频数	词语	频数
AI	3381	提高	1197
学术	2954	思路	1140
写作	2736	依赖	900
效率	1920	抄袭	855

高频词汇显示学生普遍关注 AI 在“写作”“效率”“提高”等方面的作用，认为是提升学术任务完成效率与质量的重要工具。同时，出现频率较高的“依赖”“抄袭”“独立思考”等有批判性的词反映出对 AI 可能带来的学术规范问题和思维惰性的担忧，揭示其对 AI 工具的双重态度。基于词频结果生成词云图，进一步可视化学生的关注重点。



图5：词云图

（三）评论文本的情感分析

本研究使用 Python 的 SnowNLP 工具对文本情感进行打分，得分区间为 [0,1]，高于0.5视为正向情绪，低于0.5为负向。情感倾向可反映用户的使用意愿，以直方图呈现结果。情感分析结果显示，大部分评论得分集中在0.8至1.0，反映出大学生普遍持积极态度，使用体验良好。由于情感分析难以揭示具体内容维度，后续引入 LDA 模型进一步挖掘主题与关注点。

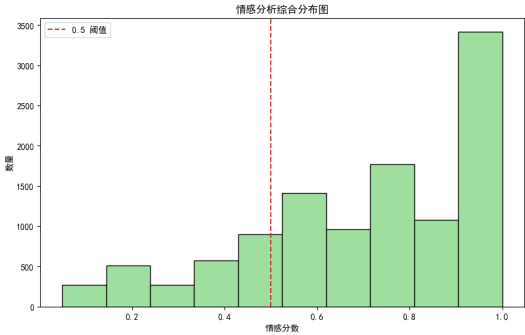


图6：情感分析综合分布图

（四）文本评论的 LDA 主题分析

本研究采用 LDA 主题模型对评论文本进行主题挖掘。LDA 基于“词袋”假设，将文本建模为多个潜在主题的组合，每个主题由若干高频词构成。在训练不同主题数的模型后，结合困惑度指标，最终确定最优主题数为4类，四个主题内容如下：

表9：大学生使用生成式 AI 主题词表

主题一	主题二	主题三	主题四
效率	抄袭	思考	提高效率
提高	造假	能力	思维
没有	容易	独立思考	论文
方便	侵权	思路	节省时间
更高	存在	高效	缺少
学习	重复	提升	依赖

由表9可知，主题一主要反映学生对生成式 AI 工具在学习过程持肯定态度，普遍认可其在提升学习效率与便利性的工具性价值，在任务完成与知识掌握方面展现积极作用。主题二反映了学生对于 AI 在学术活动中可能引发学术不端问题的关注，体现其对生成式 AI 使用边界和规范性的敏感与警觉。主题三关注生成式 AI 对学生思维能力的影 响，与学生对 AI 与自主学习关系的批判性理解相关，反映其在获得启发的同时，也反思依赖是否削弱学习的主动性与深度思考的能力。主题四体现生成式 AI 与学术任务完成的关联。体现 AI 在提升写作效率中的应用，同时揭示学生对其依赖与能力弱化之间的双重风险。

LDA 分析表明，大学生在重视 AI 效率的同时，也关注其对学术规范与思维能力的影 响，需加强伦理引导与能力培养，实现技术与成长的平衡，提升其在高校群体中的正向价值。

五、结束语

本研究结合聚类分析、结构方程模型与 LDA 主题建模，系统探讨了高校学生在学术活动中使用生成式 AI 工具的行为特征与

动因，得出以下结论：一是大学生在生成式 AI 使用上存在显著分层，专业背景与学习阶段是关键影响因素，其中理工科及高年级学生更倾向于高频使用。二是学生普遍持积极态度，认可 AI 工具的高效性与创新性，但对技术依赖、隐私泄露和学术伦理问题亦存明显担忧。三是使用动机在行为路径中起核心桥梁作用，功能认知显著提升动机水平，而信任度低、伦理风险感知等负向因素会抑制使用意愿。

基于此，提出三点建议：第一，高校应识别学生群体差异，精准推广 AI 工具。鼓励“高频用户”发挥示范作用，对“低接触群体”加强启蒙教育与实践引导。第二，强化 AI 伦理与风险教育，纳入通识课程，通过案例教学、规范制定等方式提升学生判断力与责任意识。第三，提升功能认知、减轻风险顾虑，借助课程培训和平台优化提升动机水平，并提供差异化支持，推动 AI 工具在学术场景中的可持续应用。

参考文献

[1] 王思遥, 黄亚婷. 促进或抑制: 生成式人工智能对大学生创造力的影响 [J]. 中国高教研究, 2024, (11): 29-36.DOI:10.16298/j.cnki.1004-3667.2024.11.05.

[2] 李艳, 许洁, 贾程媛, 等. 大学生生成式人工智能应用现状与思考——基于浙江大学的调查 [J]. 开放教育研究, 2024, 30(01): 89-98.DOI:10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.01.010.

[3] 刘凯. 生成式 AI 工具在大学生学习模式创新中的应用研究 [J]. 大学教育, 2025, (03): 70-74+101.

[4] 张仟煜, 刘恺骁, 杨洁. AI 辅助或代写论文拷问大学的容忍边界 [N]. 中国青年报, 2024-07-08(005).DOI:10.38302/n.cnki.nzsqn.2024.002560.

[5] 孙旭, 钟秋菊, 张文涛. 生成式 AI 时代大学生智能学习助手: 框架、挑战与应对 [J]. 终身教育研究, 2024, 35(04): 29-36+45.DOI:10.13425/j.cnki.jjou.2024.04.004.

[6] 张池. 大学生对于生成式人工智能工具的使用意愿研究——基于技术接受模型 [J]. 科技传播, 2023, 15(23): 131-135.DOI:10.16607/j.cnki.1674-6708.2023.23.034.

[7] 周子琦, 高飞, 方春晖, 等. 基于布鲁姆认知分类的大学生 AI 依赖风险分析与对策研究 [J/OL]. 云南民族大学学报 (自然科学版), 1-7[2025-04-10].http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1192.N.20250106.1122.002.html.

[8] Darvishi S. M., Hosseini S. H., & Mohammadi M. The Paradox of Student Agency in AI-Assisted Learning: An Experimental Analysis[J]. Journal of Educational Computing Research, 2023, 61(5): 1234 - 1256.

[9] 段锦云, 陈晓文, 李一飞. 基于 TAM 的高校教师生成式 AI 技术使用意愿研究 [J]. 现代教育技术, 2025(01): 102 - 108.

[10] Abbas J., Zhang W., & Mahmood S. Exploring the Academic Consequences of Generative AI Usage among College Students: A Mixed-Method Study[J]. Education and Information Technologies, 2023, 28(6): 7385 - 7404.

[11] Wang Y., Li H., & Xu Z. Understanding College Students' AI Learning Anxiety and Motivation: A Structural Equation Modeling Approach[J]. Computers & Education, 2022, 190: 104609.

[12] 王思远, 黄亚婷. 自我调节学习能力在生成式 AI 学习中的作用机制研究 [J]. 电化教育研究, 2024, 45(03): 81 - 89.

# 基于深度卷积神经网络的苹果叶片病害分类识别

鹿志超, 陈茵

山东工商学院 管理科学与工程学院, 山东 烟台 264005

DOI:10.61369/ASDS.2025060016

**摘 要 :** 本研究目的是解决苹果叶片病害识别中的难题, 提出了一种基于集成深度卷积神经网络的创新解决方案。研究用的数据是 Kaggle 平台上 Plant Pathology – 2020 数据集, 里面共有 1821 张图像, 涵盖了黑星病、锈病、复合病害、健康叶片这四类。为了让数据更丰富, 采用数据增强技术, 像几何变换、色彩空间调整等, 把数据集扩大到原来的 1.8 倍, 后续进行标准化预处理, 让分析能更准确。在研究方法上, 采用集成学习框架, 把 VGG16、ResNet50 和 InceptionV3 三种 CNN 模型各自优势相结合。在此之后, 采用加权投票机制把这些模型的结果加在一起。针对数据不平衡的问题引入了 SMOTE 技术。这个技术能根据已有的样本生成合成样本, 让四类样本的数量变得均衡, 这就促使模型在训练的时候能多方面地学习各类特征, 避免只关注样本多的类别而忽略样本少的类别。

**关 键 词 :** 苹果叶片病害; 集成学习; 深度卷积神经网络; 数据不平衡; SMOTE

## Classification and Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional Neural Network

Lu Zhichao, Chen Yin

School of Technology and Business, Shandong University, Yantai, Shandong 264005

**Abstract :** The purpose of this study is to address the challenges in recognizing apple leaf diseases and to propose an innovative solution based on an integrated deep convolutional neural network. The data used in the study comes from the Plant Pathology – 2020 dataset on the Kaggle platform, which contains a total of 1,821 images covering four categories: black spot disease, rust disease, composite diseases, and healthy leaves. To enrich the data, data augmentation techniques such as geometric transformations and color space adjustments were used, expanding the dataset to 1.8 times its original size. Subsequently, the data was standardized to ensure more accurate analysis. In terms of methodology, an ensemble learning framework was adopted that combines the strengths of three CNN models: VGG16, ResNet50, and InceptionV3. After that, a weighted voting mechanism was used to combine the results of these models. To address the issue of data imbalance, the SMOTE technique was introduced. This technique can generate synthetic samples based on existing samples, balancing the number of samples in the four categories. This encourages the model to learn various features during training, preventing it from focusing solely on the categories with more samples while neglecting those with fewer samples.

**Keywords :** apple leaf disease; ensemble learning; deep convolutional neural network; class imbalance; SMOTE

## 引言

学者们已经在植物表型数据处理方面发现了深度学习的成功应用, 如翁杨等的基于深度学习的农业植物表型研究综述<sup>[1]</sup>, 同时, 基于卷积神经网络的植物分类和品种识别也取得了一些研究成果, 袁培森等基于卷积神经网络的菊花花型和品种识别<sup>[2]</sup>, 吴剑涛等基于深度学习的遥感图像苹果树冠信息提取, 避免了实地测量, 而且允许种植者动态监测果园树木的生长情况<sup>[3]</sup>。帖军等<sup>[4]</sup>应用轻量化模块提

基金项目: 2024 年山东省大学生创新训练项目课题, 编号: S202411688042。

作者简介:

鹿志超, 山东工商学院管理科学与工程学院, 本科生, 研究方向为深度学习;

陈茵, 山东工商学院管理科学与工程学院, 本科生, 研究方向为自然语言处理。

出 SK-Efficient 模型,模型在 Plant Village 数据集上平均准确率达到 99.64%,模型参数量与 ResNet 模型相比减少 84%。他们通过深度学习、图像处理技术,开发出具有较高准确性和效率的果树病害识别模型。乔岳<sup>[5]</sup>将深度卷积神经网络应用在玉米叶片病害的识别研究中,首先探究了 GoogLeNet 和 Cifar10 两个神经网络模型的性质并对其进行加以改进,提出了玉米叶片的识别方法。通过不同的池化方法组合得出本研究中的最佳组合模式,识别准确率达到 98.7%。张建华等<sup>[6]</sup>在基于改进 VGG16 网络模型中实现了对棉花叶片病害的识别,通过减少全连接层的个数提高网络的训练效率,在自然光条件下也取得了 89.51% 的准确率,并且高于 BP 算法和 AlexNet 等神经网络模型的识别结果。

国外在病害识别方面,自 Krizhevsky 等<sup>[7]</sup>提出 AlexNet 模型后,卷积神经网络在计算机图像识别领域迅速发展,Mohanty 等<sup>[8]</sup>通过实验结果展示,AlexNet 模型在 Plant Village 公开数据集上识别植物病虫害能够达到 99.28% 的准确率,表明 CNN 模型识别植物病虫害的有效性。随着轻量级模型的发展,Chen 等<sup>[9]</sup>将 SE 模块嵌入 MobileNet 后,同样在 PlantVillage 数据集上进行训练,得到的准确率达到 99.78%,超过许多传统的 CNN 模型在该数据上训练得到的植物病害类型识别的准确率。Asif Iqbal Khan 等人利用 Res-Net-34 网络结构对 5 种苹果树叶片进行病虫害特征识别,在准备的自建数据集中取得了 97.18% 的准确率<sup>[10]</sup>。Sharada 等人<sup>[11]</sup>在公开的 PlantVillage 数据集中对 14 农作物叶片和 26 种病虫害进行了识别和分类。在图像处理中使用了灰度图像和背景清除等技术对图像数据集进行扩增,并尝试了多种神经网络模型和调整训练集和测试集的比例,在 GoogLeNet 模型中获得了 99.25% 的训练准确率。

### 一、数据收集与模型选择

本次实验选取了公开的 Kaggle 平台的 Plant Pathology-2020 公开数据集。该数据集中的图片均在实验室中拍摄,常作为基础数据集用于农作物病害及植物病害的相关研究。收集到苹果黑星病 (Apple Scab)、苹果锈病 (Apple Rust)、复合病害 (Multiple Diseases) 及健康叶片 (Healthy) 共四种类型的苹果叶片共 1821 张图像进行训练。数据集示例由图 1 所示。



图 1: 数据集示例

#### (一) 数据预处理方法

##### 1. 图像缩放

图像缩放,即改变图像的长宽,本研究将所有的病害图像尺寸调整为 128\*128 大小,已解决收集的相关图片大小不一致的问题,便于后续网络训练的需要。

##### 2. 图像数据集的扩展

卷积神经网络训练模型需要海量的数据,实际操作中并不容易取得足量的图像数据集。因此需要采取图像处理技术对原有图

像数据集进行增广处理。采用旋转、缩放、平移、镜像变换等几何变换方法,增加数据的多样性。通过调整图像的亮度、对比度、饱和度等参数,模拟不同光照条件下的叶片图像。数据增强标注操作效果如图 2 所示。

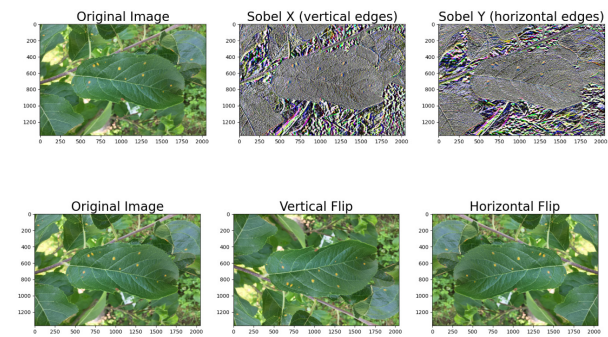


图 2: 操作效果图

#### (二) 模型选择

本文设计的网络基于 VGG16 卷积神经网络的结构,在保留整体框架的基础之上,在每一组卷积层操作之后加入一个批量归一化层 (BN),并将网络中原有的激活函数替换为 P-ReLU 激活函数,以解决神经元死亡的问题。同时,原有的全连接层用于 1000 类图像的分类和识别,因此原有网络模型的最后一个全连接层的分类标签为 1000 个,并不适用于本研究模型。结构图如图 3 所示。

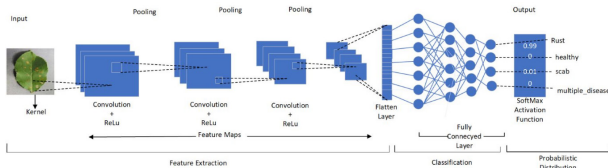


图 3: 模型结构

#### (三) 数据不平衡及处理方法

##### 1. 合成少数类过采样技术

本研究采用 SMOTE 技术来解决处理类别不平衡问题。

SMOTE 的核心思想是通过合成新的少数类样本来平衡数据集，并且 SMOTE 通过生成少数类样本的合成实例来扩展特征空间，可以避免过拟合与重要信息可能丢失等问题。

## 2. 算法步骤与数学原理

### (1) 样本选择

从少数类中随机选择一个样本  $X_i$ ，计算其与其余少数类样本的特征向量欧氏距离，选取  $K$  个最近邻样本：

$$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik} \quad (1-1)$$

### (2) 合成新样本

从  $K$  个最近邻中随机选择一个样本  $X_j$ ，通过以下公式生成合成样本  $X_{new}$ ：

$$X_{new} = X_i + \delta \cdot (X_j - X_i) \quad (1-2)$$

其中  $\delta \sim (0-1)$  为随机数，控制插值比例。

### (3) 重复与平衡

对所有少数类样本重复上述步骤，直至少数类样本数量与多数类匹配，实现数据集平衡。

## 二、实验与对比分析

### (一) 深度学习模型设计

本研究使用的是 VGG16 和 MobileNetV2 模型的深度学习技术和对图像数据进行分类的打击方法。

#### 1. VGG16 model

在第一个场景中，所提出的模型使用 VGG16 架构，其中 VGG 16 算法直接应用于建模，而不考虑不平衡的类。在 VGG16 架构中，块卷积 1 到块卷积 3 层的训练状态是假的，这是因为研究者从硬件中获取它，使得层已经被训练，所以块卷积 4 到块卷积 5 被打开以进行迁移学习，并且可以改变或处理，从而使训练状态成为真。

本实验中使用的参数为 epoch=200+ 早停、学习率=0.001、批大小=128、损失函数=分类交叉熵等。此外根据已确定的所需的值，重复进行数据训练测试过程。

#### 2. MobileNetV2 model

相比传统 CNN，MobileNetV2 的参数量和计算量显著减少，适合移动端和边缘设备部署。它将标准卷积分解为深度卷积和逐点卷积，大幅降低计算复杂度约 8 到 9 倍，这也是选择这个模型的主要原因。传统残差块先降维再升维，MobileNetV2 先升维再降维，减少信息丢失，这是与传统深度学习模型的区别。

本实验中使用的参数为 epoch=200+ 早停、学习率=0.001、批大小=128、损失函数=分类交叉熵等。

#### 3. SMOTE 方法

在第二个场景中，本研究尝试使用 SMOTE 方法做对比实验。数据训练过程从使用过采样技术克服不平衡数据开始，这样数据就变得平衡，数量很少的类将使用经过 SMOTE 处理的合成数据相乘。如此这个类别数量均衡如图 4 所示。

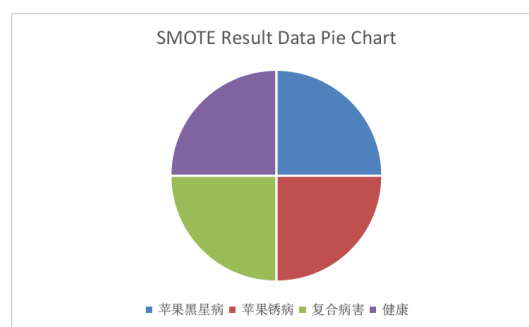


图4: SMOTE 结果数据饼状图

### (二) VGG16模型方法评估

#### 1. 评估 VGG 16 Model

VGG16 网络模型的实验结果如图 5 和图 6 所示。图 5 反映了模型在 30 轮训练里的准确率变化，前 5 轮训练和验证准确率都是从大概 0.3 快速升到 0.7 左右，说明模型很快就抓住了数据里的特征。到了 30 轮，训练准确率接近 0.9，验证准确率稳定在 0.8 附近，说明模型的泛化能力良好。

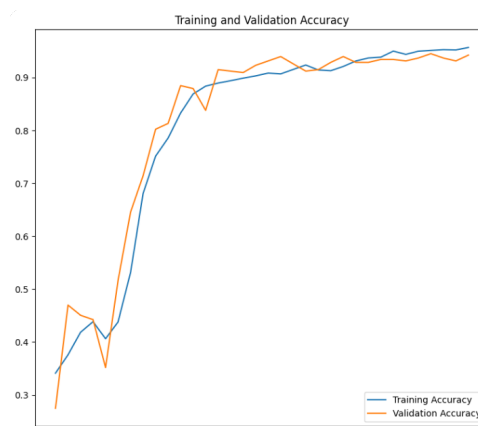


图5: VGG16模型准确值

这张折线图展示了模型在 30 轮训练中的训练损失和验证损失变化情况。在刚开始的前 0 到 5 轮，训练损失从 1.6，验证损失从 1.2 快速下降。到了 10 轮以后，两条线下降的速度减缓波动也随之缩小，向纵轴 0.2 这个水平线靠近。到第 20 轮后，训练损失和验证损失基本稳定在 0.2 附近，只是有一点小幅震荡。具体情况可以看图 6。

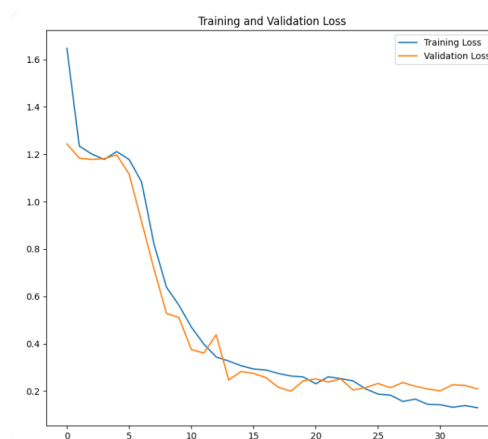


图6: VGG16模型损失率

## 2.VGG16和 SMOTE

第二次实验结果表明，训练加了 SMOTE 处理的 VGG16 模型在苹果叶病分类上有更好的表现，具体情况可以看图 7 和图 8。

从训练和验证准确率的折线图来看，模型在前 10 轮学习得特别快，训练和验证准确率一起迅速上升。10 轮之后训练准确率继续往上升接近了 1.0，而验证准确率大概在第 15 轮达到 0.9 左右的峰值之后有点小波动，但整体保持得比较稳。相关变化可以在图 7 里看到。

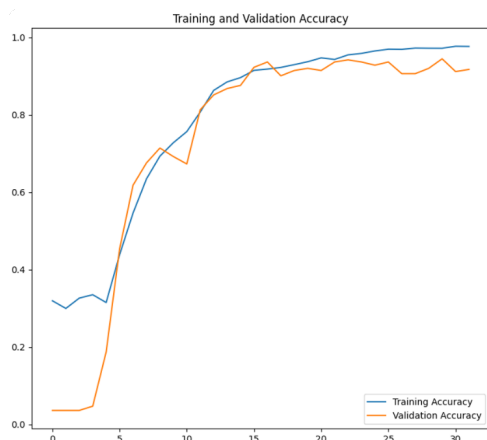


图7: VGG16模型准确值（使用 SMOTE 方法）

图8训练和验证损失的折线图所示。刚开始，训练损失和验证损失一起快速往下下降，说明模型在认真学习数据里的特征。10 轮之后训练损失还在稳步下降，最后接近 0.1，但验证损失在第 15 轮左右开始回升，之后虽然有些波动，但整体降到并稳定在 0.3 附近。



图8: VGG16模型损失率（使用 SMOTE 方法）

### （三）MobileNetV2 模型方法

#### 1. 评估 MobileNetV2 Model

图9和图10展示的是关于 MobileNetV2 这个网络模型的实验结果。如图9数据所示。在训练初期验证准确率为 0.75 高于训练准确率 0.55。此后训练准确率持续上升，在 Epoch 达到 25 和 35 时稳定在 0.97。验证准确率在 Epoch 为 15 后基本稳定在 0.87 到 0.88 之间，两者差距逐渐稳定，在图中可以看出模型出现了一定程度的过拟合。

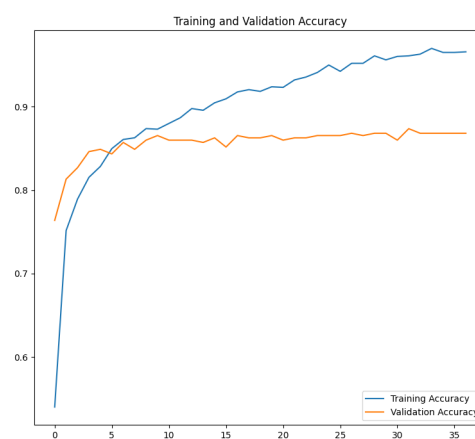


图9: MobileNetV2模型准确值

如图10所示训练损失和验证损失随训练进程的变化情况。一开始训练损失和验证损失的数值都较高，在第0轮时训练损失为 1.1，验证损失为 0.7，随后两者迅速下降。

接下来训练损失的下降速度相对更快，到第10轮时训练损失为 0.35，验证损失为 0.4。此后训练损失持续平稳下降，35 轮时已低至 0.14，其验证损失一直保持在 0.4 左右，由此发现验证损失下降速度较为平缓。这说明模型的泛化能力较好，没有出现明显的过拟合现象。

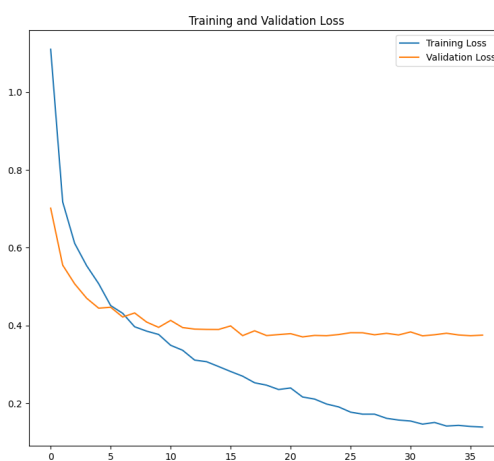


图10: MobileNetV2模型损失率

#### 2.MobileNetV2和 SMOTE

实验结果表明训练加了 SMOTE 处理的 MobileNetV2 模型在苹果叶病分类上有更好的表现，具体情况可以看图 11 和图 12。

图11呈现了训练和验证准确率在模型训练过程中的变化趋势。从初始的 0.55 稳步上升至 0.97。验证准确率增长幅度有限，它的起始值较高达到 0.75，验证准确率达到 0.86 后始终维持窄幅波动。两者在 20 轮后形成稳定差距，这种现象说明模型可能出现轻微过拟合现象。

图12展示了模型在训练过程中的表现情况。随着训练 Epoch 的增加，这两条曲线都在下降。大约到第10轮训练时，训练损失和验证损失也降到了 0.4。训练损失在第30轮时进一步下降到 0.1，验证损失依旧维持在 0.38 左右。到了第40轮训练，训练损失降到了 0.09，验证损失还是 0.38。总体来看训练损失一直呈下降趋势，而且下降得比验证损失更明显，这说明模型在训练数据

上的表现越来越好，但是在验证数据上的表现提升相对较慢并且后来基本稳定了。

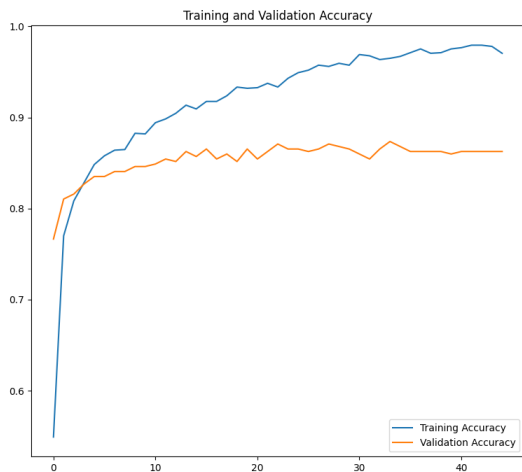


图 11: MobileNetV2 模型准确率 (使用 SMOTE 方法)

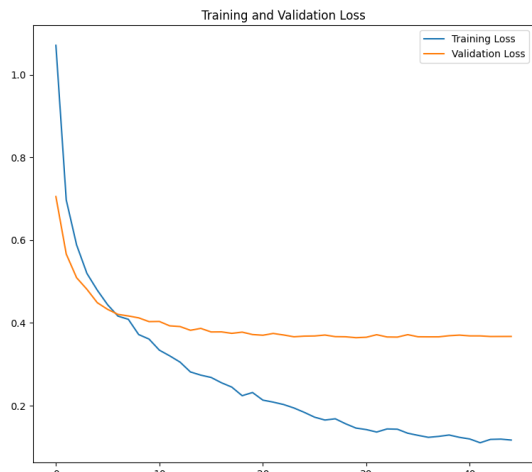


图 12: MobileNetV2 模型损失率 (使用 SMOTE 方法)

(四) 对比分析

1. VGG 16 Model 对比分析

VGG16+SMOTE 在训练速度和模型拟合效果上明显比原版 VGG16 更好。VGG16+SMOTE 与基础版比起来，加了 SMOTE 的模型训练得更快。其中前期验证准确率提升得很明显。最终训练准确率也更高。VGG16+SMOTE 在第 22 轮训练时就提前开始调整学习率了，说明收敛得也更快。虽然两个模型最后的验证准确率是一样的，但用了 SMOTE 后不仅训练效率更高还能更快达到理想效果，特别适合那种需要快速迭代更新的实际应用场景。这些数据在表 1 里有详细展示。

表 1: 指标对比

指标	VGG16	VGG16+SMOTE
最佳验证准确率	0.9451	0.9451
最佳训练准确率	0.9568	0.9775
训练速度	较慢（早期验证准确率低）	较快（早期验证提升明显）
过拟合	轻微（后期验证波动小）	较明显（训练准确率更高）
学习率调整	稍晚（Epoch24 开始）	更早（Epoch22 开始）

2. MobileNetV2 Model 对比分析

如图 13 所示混淆矩阵直观展示了分类模型在识别四种植物健康状况时的表现。模型对疮痂病（scab）的识别最为精准，121 个样本全部正确分类仅有 8 例被误判为健康。健康（healthy）样本的 86 例正确预测中，混杂了少量误判为锈病或疮痂病的情况。锈病（rust）的识别存在明显缺陷，除了 107 例正确结果之外，10 例被错误归为健康另有 5 例与疮痂病混淆。最难识别的出现在多种疾病（multiple\_diseases）类别。所有真实样本均被错误分配，其中 7 例误标为锈病，6 例归入疮痂病，暴露了模型对复杂病症的完全失效。从实验数据中可以发现多种疾病是很难归纳出具体的每一类病害的，即使在果园中也难以实现。整体来看颜色最深的方块集中在矩阵对角线，说明模型对单一病症的区分能力尚可，但多病症混合场景亟需数据增强或特征优化。

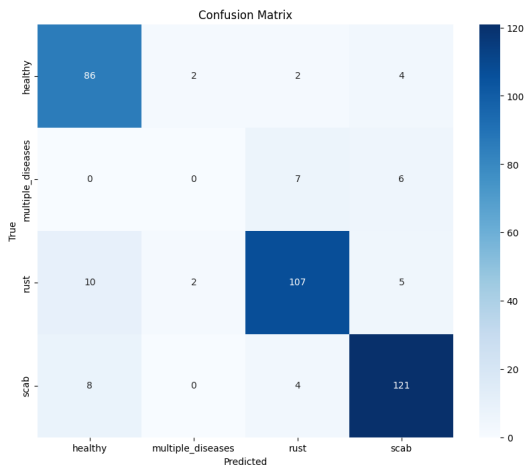


图 13: 未使用 SMOTE 方法混淆矩阵

混淆矩阵图展现了模型对健康植株的判断效果，87 个样本中仅有少量被误判为其他类别，稳定性更高。由图可知健康叶片情况是最容易检测的，118 例预测几乎全部命中仅有零星样本出现偏差。即便是较为复杂的锈病类别，正确预测样本数量为 107 例，其准确率整体保持在较高水准。右侧渐变色条将数值差异转化为直观的视觉呈现，深蓝色区块沿着对角线整齐分布，表现出模型稳健的识别能力。如图 14 所示。

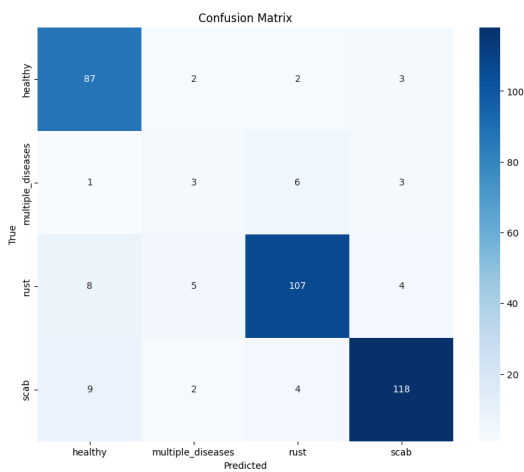


图 14: 使用 SMOTE 方法混淆矩阵

### 三、结束语

本研究以解决苹果叶片病害识别难题为核心,针对这个难题提出了一套有效的技术方案。本研究融合了 VGG16、ResNet50 和 InceptionV3 三种经典 CNN 模型的优势,利用这些优势致力于构建一个高效的集成学习的框架并且本研究在 Kaggle 的 Plant Pathology-2020 数据集上验证了它的有效性。

在现实果园中存在多种病害并存的现象,在收集过程中面对田间病害图像分布不均衡的问题,针对以上问题本研究引入 SMOTE 技术,简单来说就是利用特征空间插值生成合成样本的方

法巧妙解决了数据不平衡问题。实验数据显示 SMOTE 方法将少数类病害的识别准确率提升了近 10%,这个结果是令人震惊的,它能让模型不再偏向于某一类别的病害。本研究在模型设计中加入了 SE 注意力模块和加权交叉熵损失函数,SE 注意力模块和加权交叉熵损失函数的作用就是使模型能精准捕捉病斑的关键特征。最终集成模型的整体准确率达到 95.7%,比单一模型提高了约 10%。

当然研究也留下些许遗憾。虽然实验室环境下的识别准确率令人欣喜但那些因叶片重叠、光照变化导致的误判案例,提醒着智能农业落地依然挑战十足。

### 参考文献

- [1] 翁杨, 曾睿, 吴陈铭. 基于深度学习的农业植物表型研究综述 [J]. 中国科学: 生命科学, 2019, 49(6): 698-716.
- [2] 袁培森, 黎薇, 任守纲. 基于卷积神经网络的菊花花型和品种识别 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 152-158.
- [3] WU J T, YANG G, YANG H, et al. Extracting apple tree crown information from remote imagery using deep learning[J]. Computers and electronics in agriculture, 2020, 174: 1-14.
- [4] 帖军, 隆娟娟, 郑禄, 牛悦, 宋衍霖. 基于 SK-EfficientNet 的番茄叶片病害识别模型 8/15 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学版), 2022, 40(04): 104-114.
- [5] 乔岳. 深度卷积神经网络在玉米叶片病害识别中的应用研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学博士学位论文, 2019.
- [6] 张建华, 孔繁涛, 吴建寨. 基于改进 VGG 卷积神经网络的棉花病害识别模型 [J]. 中国农业大学学报, 2018, (11): 161-171.
- [7] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks[J]. Communications of the ACM, 2017, 60(6): 84-90.
- [8] Mohanty S P, Hughes D P, Salathé M. Using deep learning for image-based plant disease detection[J]. Frontiers in plant science, 2016, 7: 1419.
- [9] Chen J, Zhang D, Suzaiddola M, et al. Identification of plant disease images via a squeeze - and - excitation MobileNet model and twice transfer learning[J]. IET Image Processing, 2021, 15(5): 1115-1127.
- [10] Khan A I, Quadri S, Bandy S. Deep Learning for Apple Diseases: Classification and Identification[J]. International Journal of Computational Intelligence Studies, 2021, 10(1): 1-15.
- [11] Mohanty S P, Hughes D P, Salathé M. Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(1419), 1-10.

# 基于 Prophet 模型与机器学习算法结合的全 国碳排放量预测研究

萧梓锋\*, 杨津锋, 赵馨悦, 刘颖恩  
广东白云学院 应用经济学院, 广东 广州 510450  
DOI:10.61369/ASDS.2025060017

**摘 要 :** 为贯彻落实新发展理念, 准确预测全国碳排放对于实现碳中和的进程有着重要作用。本文提出 Prophet+ML 混合模型对碳排放的长期趋势进行预测。研究基于 2019–2024 年中国每日二氧化碳排放监测数据, 首先, 运用 Prophet 模型对碳排放数据进行趋势、季节性与节假日的预测并提取该残差信息, 然后, 分别用三种机器学习算法 RandomForest、XGBoost、LightGBM 对残差进行拟合, 用于提升该模型的预测效果。实验结果表明: 1. 相比于 ARIMA, Prophet 模型对具有季节性和长期趋势的数据有较好的拟合效果, MAE、MSE、RMSE、MAPE 四个偏差指标分别减少了 0.427107、1.054397、0.22992、1.472025。2. Prophet 与机器学习算法相结合的混合模型能明显的提高预测准确性, 其中 LightGBM 优化效果最好, 四个偏差指标分别减少了 0.759228、3.599075、1.107846、2.38763, 决定系数 R<sup>2</sup> 提高了 0.3918。

**关 键 词 :** 时间序列分析; 碳排放预测; Prophet; 机器学习; 混合模型

## Research on National Carbon Emission Prediction Based on the Combination of Prophet Model and machine Learning Algorithms

Xiao Zifeng\*, Yang Jinfeng, Zhao Xinyue, Liu Ying'en  
School of Applied Economics, Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong 510450

**Abstract :** To implement the new development concepts, accurately predicting the national carbon emissions plays a significant role in the process of achieving carbon neutrality. This paper proposes a Prophet+ML hybrid model to predict the long-term trend of carbon emissions. The research is based on the daily carbon dioxide emission monitoring data of China from 2019 to 2024. Firstly, the Prophet model is used to predict the trends, seasonality and holidays of the carbon emission data and extract the residual information. Then, Three machine learning algorithms, RandomForest, XGBoost, and LightGBM, were respectively used to fit the residuals to improve the prediction effect of the model. The experimental results show that :1. Compared with ARIMA, the Prophet model has a better fitting effect on data with seasonal and long-term trends. The four deviation indicators of MAE, MSE, RMSE, and MAPE have decreased by 0.427107, 1.054397, 0.22992, and 1.472025 respectively. The hybrid model combining Prophet with machine learning algorithms can significantly enhance prediction accuracy. Among them, LightGBM has the best optimization effect, with the four bias indicators reduced by 0.759228, 3.599075, 1.107846, and 2.38763 respectively, and the coefficient of determination R<sup>2</sup> increased by 0.3918.

**Keywords :** time series analysis; carbon emission prediction; Prophet; machine learning; hybrid model

### 引言

碳排放是工业文明的副产品也是人类可持续发展的关键约束条件, 为了维持经济发展与生态文明安全建设间的平衡关系。目前, 作为全球最大的碳排放国, 我国争取在 2030 年前二氧化碳排放达到峰值并争取在 2060 年前实现碳中和。

习近平总书记强调: “实现碳达峰, 碳中和, 是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求, 是党中央统筹国

作者简介:  
杨津锋, 广东白云学院, 本科在读, 研究方向为机器学习;  
赵馨悦, 广东白云学院, 本科在读, 研究方向为市场调查与预测;  
刘颖恩, 广东白云学院, 本科在读, 研究方向为市场调查与预测。  
通讯作者: 萧梓锋, 广东白云学院, 本科在读, 研究方向为应用统计、机器学习。

内国际两个大局作出的重大战略决策。”“双碳”政策是中国应对全球气候变化、推动绿色低碳转型的核心型国家级战略部署，对于构建清洁低碳安全高效的能源体系、推进产业结构调整和升级、提升生态环境质量等具有重要意义。

在传统的预测模型中，余航<sup>[1]</sup>（2018）、周树涛<sup>[2]</sup>等（2023）用 ARIMA 预测我国碳排放总量及减排潜力，钟进<sup>[3]</sup>等利用 SARI-MA 等模型综合考虑时间序列的趋势性，对比分析了不同模型对于碳排放数据的预测效果；而 Prophet 模型作为近几年流行的时间序列预测工具，也被广泛应用于各种时间序列分析。在环境方面，用 Prophet 对空气质量和 PM2.5 浓度进行预测。在能源方面，Prophet 进行电力负荷、天然气需求以及电网调度预测<sup>[4]</sup>等。在市场方面，利用 Prophet 进行产品销量的趋势预测和需求预测<sup>[5]</sup>等。SuS<sup>[6]</sup>等（2023）也把模型用到航空飞行风险预测和电离层扰动分析等非环境类时序中。

然而，传统的预测模型存在一定的局限性，无法考虑突变情况以及政策波动等非线性问题，因而学者们逐渐由传统模型转向用人工智能模型来预测的研究。从现有研究成果来看，张学清<sup>[7]</sup>等（2022）构建 CNN-LSTM 混合模型，通过发挥 LSTM 在时间序列依赖关系挖掘上的局部与长期特征优势，实现了对中国碳排放的实时动态预测；王琦<sup>[8]</sup>等（2021）则运用 LSTM 网络，成功解析了 SO<sub>2</sub> 浓度变化的复杂非线性污染过程，为空气质量预测提供了新路径；赵成柏<sup>[9]</sup>等（2012）创新性地 ARIMA 模型与 BP 神经网络相结合，在碳排放强度预测中有效融合了传统统计方法与神经网络的技术优势，显著提升了预测效能。

在复杂数据预测任务中，由于单一模型的稳定性和精度等缺点，近年来学者们利用许多模型的融合、集成来弥补不足，提高预测能力。Prophet 具有良好的趋势分解能力，常常被学者用来和 XGBoost、LightGBM、随机森林等综合算法构建模型。常恬君<sup>[10]</sup>等（2019）利用 Prophet-随机森林提升空气质量指数的预测效果；高洁如<sup>[11]</sup>等（2024）构建的 Prophet-LightGBM 可以实现对 PM2.5 的精准预测；彭湃和刘敏<sup>[12]</sup>（2021）将 Prophet 和 LSTM 进行融合构建组合模型进行电力负荷短期预测；郑陈达和兰雁宁（2024）<sup>[13]</sup>提出的 Prophet-XGBoost 组合模型在天然气需求预测中取得很好的结果。

综上，通过对现有文献的系统梳理与分析可知，ARIMA、神经网络及集成模型等方法已在碳排放预测领域得到广泛应用，尽管 Prophet 在空气质量、电力负荷等领域取得良好效果，但目前专门针对碳排放长期趋势预测的相关研究仍较为匮乏。这一研究空白为本研究的开展提供了明确的切入点。

## 一、模型构建

### （一）Prophet 模型构建

Prophet 是由 Facebook 开发的一种基于加性模型的开源工具，用于时间序列预测的模型。这个基于加性模型工具特别适合于具有强季节性影响和多个历史数据季节的业务时间序列数据。Prophet 模型公式表示为：

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$t$  为时间； $y(t)$  是时间序列，表示时间  $t$  时刻的观测值； $g(t)$  是趋势项，表示时间  $t$  时刻的趋势函数，描述数据的长期趋势； $s(t)$  是季节项，表示时间  $t$  时刻的季节性函数，捕捉周期性的波动，可以以周、月、季度、年为单位。 $h(t)$  是节假日效应，表示时间  $t$  时刻的假期效应，用于构建特殊事件或假期对数据的影响。

$\varepsilon_t$  是噪声项或误差项，通常假设误差服从正态分布。

#### 1. 趋势函数

趋势项是 Prophet 模型的核心，常见的趋势项有两种趋势：线性趋势和逻辑增长趋势。

（1）线性趋势用于随时间呈现线性变化的情况。线性趋势的公式为：

$$g(t) = (k + \delta(t))t + (m + \gamma(t)) \quad (2)$$

$k$  是线性增长速率， $\delta(t)$  是变化点在特定时间点发生速率变化的调整项， $m$  是截距， $\gamma(t)$  是截距变化的调整项。

（2）Logistic 增长趋势用于增长有上限的情况。logistic 增长趋势的公式为：

$$g(t) = \frac{C}{1 + \exp(-k(t-m))} \quad (3)$$

其中， $C$  表示函数的最大渐进值， $k$  表示增长率， $m$  表示曲线的中点。

#### 2. 季节性函数

季节性函数负责捕捉周期性波动。基于傅里叶级数来近似表达季节性变化。傅里叶级数的优势在于可以有效表达任何周期性波动，不管波动是简单的正弦曲线还是更复杂的周期性变化。其公式为：

$$s(t) = \sum_{n=1}^N \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{P}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{P}\right) \right) \quad (4)$$

$P$  是季节性的周期长度。 $a_n$  和  $b_n$  是傅里叶系数， $N$  是傅里叶级数的阶数。

#### 3. 节假日效应

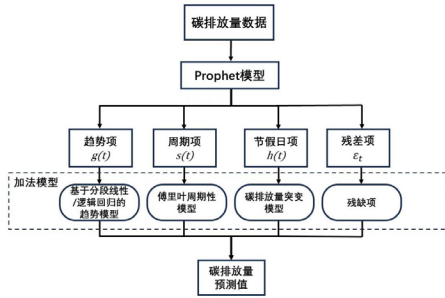
$$h(t) = Z(t) \kappa = \sum_{i=1}^L \kappa_i \cdot I_{\{t \in D_i\}} \quad (5)$$

其中  $L$  表示节假日的个数， $\kappa_i$  表示对应节假日的影响范围， $I_{\{t \in D_i\}}$  这是一个示性函数，用于判断在时间  $t$  时，是否受到第  $i$  个节假日的影响。

#### 4. 残差项

$\varepsilon_t$  是误差项，表示模型和实际数据之间的差异。通常假设误差服从正态分布，即  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$  其中  $\sigma$  是标准差。Prophet 在拟合模型时，使用最大似然估计方法来找到最优参数，最小化模型的误差。

模型的具体工作原理图 1 所示。



#### (二) Prophet-机器学习模型构建

Prophet 作为时间序列预测的常用工具，能快速把握数据的基本趋势和季节性变化，但是当数据呈现复杂的非线性特征或受到突发异常事件影响时预测结果往往捕捉不到这些信息，而机器学习模型有着强大的自适应和特征学习能力，能有效解决 Prophet 在复杂场景下的局限性问题，从而提高预测的准确性和稳定性。

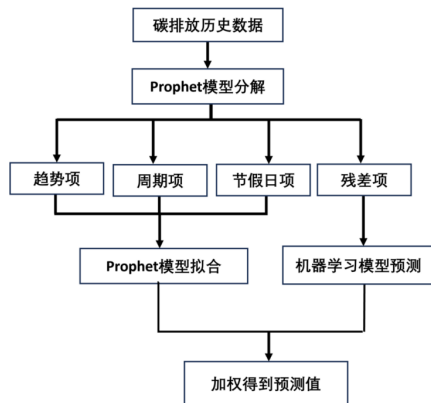
本研究利用机器学习算法具有处理非线性等复杂关系的优势，采取了三种不同的机器学习算法对 Prophet 模型进行优化，弥补了 Prophet 模型的局限性，具体的步骤如图 2 所示：

第一步：将时间序列数据进行划分，将前 5 年的数据用 Prophet 模型进行拟合，得到未来 1 年的预测值，并计算预测数据的拟合偏差；

第二步：利用 Prophet 模型分解出来的趋势项、周期项、节假日项相加得到预测值，记为  $prediction_1$ ；

第三步：将 Prophet 模型的拟合偏差分别输入 3 个机器学习模型中，将残差转化成滞后特征进行预测，记为  $prediction_2$ ；

第四步：将预测值  $prediction_1$  和  $prediction_2$  利用网格搜索法，以 MAE 为评价指标进行网格搜索，确定最佳的权重系数进行组合相加，然后得到最终的预测值。



#### (三) 评价指标

本文使用平均绝对误差 MAE、均方误差 MSE、均方根误差 RMSE、平均绝对百分比误差 MAPE 四个指标作为模型与预测精度的评价指标，其计算原理如下

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (9)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (10)$$

其中， $y_i$  和  $\hat{y}_i$  分别表示碳排放量的真实值与预测值。

## 二、数据获取与预处理

#### (一) 数据获取

本文数据来自于全球实时碳监测数据平台，选取中国 2019 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日的每日二氧化碳排放量（单位：百万吨，Mt）。数据包含 Date（日期）和碳 (Mt)（排放量），总共 2192 条记录。

#### (二) 数据预处理

##### 1. 数据检查与清洗

通过对数据的检查，发现时间序列连续完整，无日期断裂。原始数据中日期字段被标准化为 YYYY-MM-DD 格式，数据的时间间隔为连续的自然日，数据单位为“百万吨 (Mt)”。

##### 2. 格式检查

Prophet 模型对数据变量名称有规定，时间的数据列的变量必须命名为 ds，其因变量碳排放量必须为 y。

##### 3. 数据划分

将 2019-1-1 到 2024-12-31 的数据分割成训练集和测试集，将前五年的数据作为训练集去训练模型，最后一年的数据作为验证集。

## 三、实证分析

#### (一) 基于 Prophet 模型的碳排放预测

本文将 2019-2023 年的数据作为训练集，使用 Prophet 模型对训练集的数据进行拟合，使其学习数据中的趋势、季节项等，并用 2024 年的数据进行测试，以此评估模型在新数据上的预测能力。模型的拟合结果（如图 3）所示，蓝色线代表的是真实值，黄

色线代表的是模型在训练集上的拟合值，通过拟合结果可以得出该模型在训练集上的拟合效果较好，基本能够掌握碳排放的波动趋势。

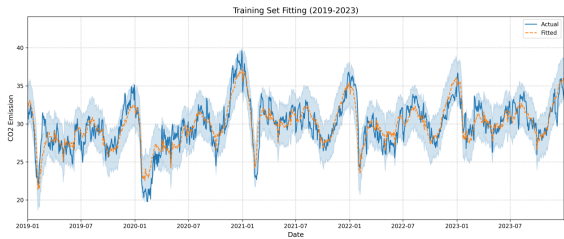


图3: Prophet 模型训练集拟合结果

接下来，将拟合好的 Prophet 模型用于预测未来一年的数据，蓝色实线代表的是真实值，黄色虚线代表的是模型预测值，预测结果与实际值的对比如图 4 所示：

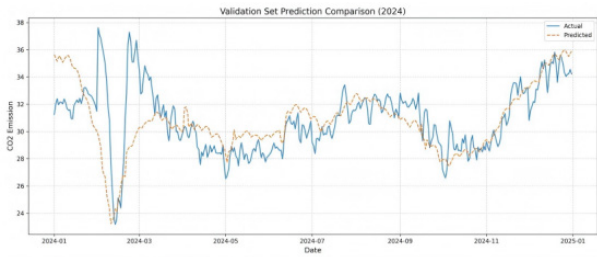


图4: Prophet 模型预测结果对比图

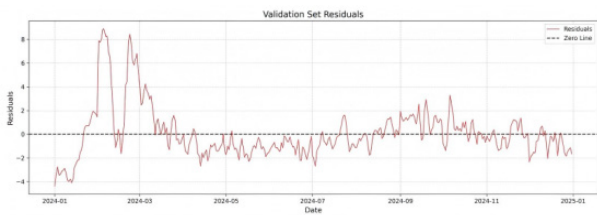


图5: Prophet 模型预测残差图

通过计算 Prophet 模型预测的残差，绘制了残差分析图（图 5），并通过计算 MSE、RMSE、MAE、MAPE 四个预测偏差的指标来评估预测效果。如表 1 所示，从预测结果来看，模型在一定程度上能够把握大致的预测情况，但预测精度还存在偏差，比如 2024 年的 2 月到 3 月期间的预测偏差最大，通过调查发现这个期间中国开始全面推进疫情防控后的经济复苏，能源的需求不断增加，这导致了 2 月份初期排放量爆发式增长，而 3 月份太阳能与风能发电的不断扩大，以及建筑业等活动下降，中国在设法向清洁能源经济转型，因此碳的排放量又跌至最低点，由此可见该模型对于复杂的外部动态因素的处理能力不足。

表 1: 预测偏差评价指标

评价指标	MSE	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
Prophet	1.461793	4.744903	2.17828	4.617975	0.3362

（二）不同模型的预测结果分析对比

现将 Prophet、ARIMA 模型与基于贝叶斯时序模型与机器学习算法组合的预测结果进行对比分析，如表 2、图 6 所示。

由 2024 年的预测结果可以看到，ARIMA 模型中各项偏差指标均为最高，这反映其预测值的误差比较大，这是因为该模型通

过对不平稳的原始数据进行差分处理来实现平稳这个假设，其在短期预测中的效果会比较好，而对长期趋势的预测来看，各种外界因素的动态变化会打破这个平稳性，因此效果并不好；相比于 ARIMA，不难发现 Prophet 模型考虑趋势项、周期性、季节项的因素，可以得出 MAE、MSE、RMSE、MAPE 四个偏差指标分别减少了 0.427107、1.054397、0.22992、1.472025，整体上来看该模型的预测效果优于 ARIMA 模型，但是 Prophet 模型同样无法处理复杂的非线性因素；鉴于机器学习算法能够处理复杂的非线性关系，本文通过引入机器学习算法拟合那些不可解释的残差，捕捉其 Prophet 模型未能预测的那部分误差，我们发现使用机器学习算法与 Prophet 模型相结合的组合优化算法能明显的提高预测准确性，其中 LightGBM 优化效果最好，MAE、MSE、RMSE、MAPE 四个偏差指标分别减少了 0.759228、3.599075、1.107846、2.38763，除此之外，其决定系数  $R^2$  也提高了 0.3918。

表 2: 偏差评价指标

评价指标	MSE	RMSE	MAE	MAPE	$R^2$
ARIMA	1.8889	5.7993	2.4082	6.09	0.0372
Prophet	1.461793	4.744903	2.17828	4.617975	0.3362
Prophet+LGB	0.702565	1.145828	1.070434	2.230345	0.7280
Prophet+RF	0.957549	2.062008	1.435969	3.029652	0.7110
Prophet+XGB	0.752603	1.568132	1.252251	2.372883	0.7381

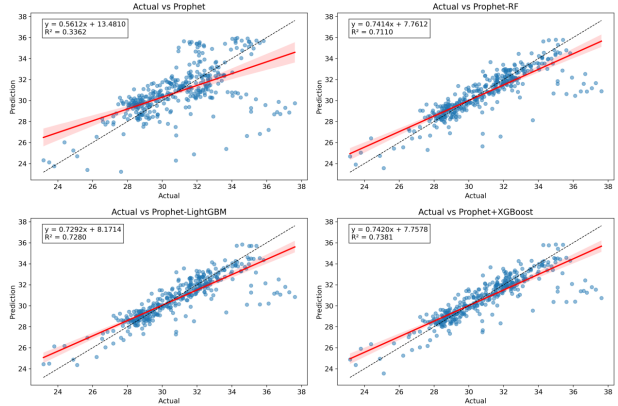


图6: 各模型散点图与回归直线图

四、结论与展望

（一）结论

本研究基于 2019–2024 年的碳排放量数据建立了 Prophet 和机器学习混合模型，并加入 ARIMA 等模型进行对比，最终得出以下结论：

1. 相比于 ARIMA，Prophet 模型在预测二氧化碳排放时能有效捕捉变化趋势和季节性规律，对于预测长期的趋势具有一定的拟合效果，其 MAE、MSE、RMSE、MAPE 四个偏差指标分别减少了 0.427107、1.054397、0.22992、1.472025。但是该模型对数据的假设非常理想化，因而面对实际的复杂的非线性特征或突发事件时存在局限性。

2. 将 RandomForest、XGBoost 和 LightGBM 等机器学习算

法与 Prophet 模型结合，通过网格搜索法确定超参数和加权系数来优化 Prophet 模型，通过对比 MAE、MSE 等偏差指标，不难发现 Prophet+ 机器学习的组合预测模型明显比单一 Prophet 模型要好，其中 Prophet+LightGBM 在优化残差、提高预测准确性方面表现突出，四个偏差指标分别减少了 0.759228、3.599075、1.107846、2.38763，决定系数  $R^2$  提高了 0.3918。

（二）展望

本文所构建的 Prophet 和机器学习混合模型在预测任务中取

得了一定的效果，具有显著的潜力，但需要注意的是，该模型更擅长捕捉时间序列长期的趋势，对于短期的动态波动以及外部复杂的考量存在不足，为进一步提升模型的预测准确性与普遍适用性，未来可将极端天气、疫情等突发状况作为外部特征加入到机器学习中作为特征项，通过将这些特征与 Prophet 模型分解的成分相结合进行混合建模，继续优化该模型的预测能力。

参考文献

[1] 余航. 基于 ARIMA 模型的我国碳排放量的预测 [J]. 经济师, 2018, (06): 59-60.

[2] 周树涛, 邱畅, 姚均棠等. 基于 ARIMA 模型的碳排放预测及减排潜力 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (02): 130-132.

[3] 钟进, 李宗航. 基于趋势性时间序列的全国碳排放量预测研究 [J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(4): 3870-3881.

[4] Power Demand Forecasting Using ANN and Prophet Models for the Load Despatch Center in Andhra Pradesh, India[J]. International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 2024, 14(1/).

[5] Jia C. Prediction method of product market demand based on Prophet random forest[J]. International Journal of Product Development, 2024, 28(1-2): 60-72.

[6] Su S, Sun Y, Zeng Y, et al. Aviation risk prediction based on Prophet - LSTM hybrid algorithm. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2023, 95(7): 1054-1061.

[7] 张学清, 李芳, 张绚, 等. 基于 CNN-LSTM 模型的中国碳排放量实时预测研究 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2022, (10): 71-75.

[8] 王琦, 赵静, 胡磊, 等. 基于机器学习 LSTM 网络的  $SO_2$  排放浓度预测 [J]. 自动化与仪表, 2021, 36(07): 77-80+85.

[9] 赵成柏, 毛春梅. 基于 ARIMA 和 BP 神经网络组合模型的我国碳排放强度预测 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(06): 665-671.

[10] 常恬君, 过仲阳, 徐丽丽. 基于 Prophet- 随机森林优化模型的空气质量指数规模预测 [J]. 环境污染与防治, 2019, 41(07): 758-761+766.

[11] 高洁如, 魏霖静, 李玥, 等. 基于 Prophet-LightGBM 的  $PM_{2.5}$  浓度预测模型 [J]. 软件导刊, 2024, 23(07): 144-152.

[12] 彭湃, 刘敏. 基于 Prophet-LSTM 组合模型的短期负荷预测方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(11): 15-20.

[13] 郑陈达, 兰雁宁. 基于 XGboost 和 Prophet 组合模型的天然气需求预测 [J]. 城市燃气, 2024, (12): 32-36.

# 秘密共享中若干信息等式的证明

林群

韩山师范学院数学与统计学院, 广东 潮州 521041

DOI:10.61369/ASDS.2025060011

**摘 要 :** 在秘密共享方案中, 复杂度是指参与者某个份额的最大长度与秘密长度的比值, 而最优复杂度是指所有能实现某访问结构的方案复杂度的下确界。计算通用访问结构的最优复杂度问题一直悬而未决。现有研究多聚焦于确定最优复杂度的上界与下界。计算下界问题可转化为线性规划求解问题, 而随机变量的公共信息属性与该求解问题密切相关, 且该属性可拓展衍生出若干信息等式。在本文中, 利用信息论及多拟阵的相关知识, 证明了这一系列信息等式。这些等式将有助于确定最优复杂度的下界。

**关 键 词 :** 秘密共享; 复杂度; 公共信息; 多拟阵

## Proof of Certain Information Equalities in Secret Sharing

Lin Qun

Institute of Mathematics and Statistics, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041

**Abstract :** In secret sharing schemes, complexity is defined as the ratio between the maximum size of the shares and the size of the secret, while optimal complexity refers to the infimum of the complexities of all schemes that can realize a given access structure. The problem of computing the optimal complexity for general access structures has remained open in the field. Current research has primarily focused on determining both upper and lower bounds for this optimal complexity. The computation of lower bounds can be formulated as a linear programming problem, where the common information property of random variables plays a crucial role in the solution process. This property can be further extended to derive multiple information equalities. In this paper, leveraging knowledge from information theory and polymatroid theory, we have successfully proved this series of information equalities. These equalities will significantly contribute to determining lower bounds for the optimal complexity.

**Keywords :** secret sharing; complexity; common information; polymatroid

## 引言

在一个秘密共享方案中, 某个秘密值被分散成多份份额并分配给一组参与者, 其分配方式是: 只有符合特定条件的参与者集合才能恢复该秘密值。目前, 大多数文献仅考虑完美保密的秘密共享方案<sup>[1-5]</sup>。在此类方案中, 未授权子集的参与者持有的份额不会泄露任何关于秘密值的信息。方案的访问结构 $\Gamma$ 是其所有授权子集构成的集合, 且必须满足单调性: 即若存在子集 $A \subseteq B \subseteq P$ 且 $A \in \Gamma$ , 则 $B \in \Gamma$ 。所有极小授权子集构成的集合称为 $\Gamma$ 的基, 记作 $[\Gamma]$ 。每个访问结构 $\Gamma$ 由基 $[\Gamma]$ 唯一确定。若每个参与者至少属于一个极小授权子集, 则称该结构是连通的。

方案中参与者某个份额的最大长度与秘密长度的比值称为方案的复杂度, 通常被用作衡量秘密共享方案效率的指标<sup>[6]</sup>。若所有份额长度与秘密长度相同, 则该方案及其访问结构均被称为理想的。Ito、Saito 和 Nishizeki 证明了每个访问结构都存在对应的秘密共享方案<sup>[7]</sup>, 因此需要考虑访问结构 $\Gamma$ 的最优复杂度 $\sigma(\Gamma)$ , 即所有能实现 $\Gamma$ 的方案复杂度的下确界。然而, 至今为止, 确定通用访问结构的最优复杂度仍然是一个极其困难的开放性问题。

由于确定最优复杂度的普遍困难性, 现有研究多聚焦于确定 $\sigma(\Gamma)$ 的上界与下界。与其相关的重要参数为 $\lambda(\Gamma)$ 和 $\kappa(\Gamma)$ 。其中,  $\lambda(\Gamma)$ 为线性秘密共享方案的复杂度下确界<sup>[8]</sup>。在该类方案中, 秘密值与份额是有限域上的向量, 每个份额是某个随机向量经线性映射后的值。由于线性映射具有同态性, 秘密值可被高效计算, 因此在云计算、大数据分析等应用广泛。显然, 有 $\sigma(\Gamma) \leq \lambda(\Gamma)$ 。另一方面,  $\kappa(\Gamma)$ 来源于多拟阵<sup>[9]</sup>。具体而言, 任何秘密共享方案都蕴含于一个多拟阵结构, 由此可通过组合方法导出其对应多拟阵结构的复杂度的下确界, 该下确界即为参数 $\kappa(\Gamma)$ 。显而易见,  $\kappa(\Gamma) \leq \sigma(\Gamma)$ 。

基金项目: 韩山师范学院理科重点项目 (XN202028)。

作者简介: 林群, 韩山师范学院数学与统计学院, 讲师, 研究方向为密码学与信息安全。

对于每个访问结构  $\Gamma$ ,  $\kappa(\Gamma)$  即为某一个线性规划求解问题的解<sup>[8]</sup>。而线性规划求解涉及到线性秩与信息不等式<sup>[10]</sup>。迄今为止, 所有的线性秩不等式都来源于随机变量的公共信息属性。2022年, Oriol Farras 等人将公共信息属性推广, 提出了限制性公共信息概念<sup>[11]</sup>, 并衍生出若干个信息等式, 但作者没有给出这些信息等式相应的证明过程。

本文将结合信息论的内涵, 并利用多拟阵的知识, 证明 Oriol Farras 等人提出的信息等式。这些信息等式将有助于确定最优复杂度  $\sigma(\Gamma)$  的下界。

## 一、预备知识

首先介绍符号约定。 $\emptyset$  表示空集, 对于有限集  $Q$ , 用  $P(Q)$  表示其幂集 (即  $Q$  所有子集的集合), 并采用紧凑的并集记号: 用  $XY$  表示  $X \cup Y$ ,  $X \setminus Y$  表示  $X \setminus \{Y\}$ 。另外,  $X \setminus Y$  表示集合差,  $X \setminus Y$  表示  $X \setminus \{Y\}$ 。

### (一) 熵型与线性多拟阵

设  $Q$  为有限集,  $(S_x)_{x \in Q}$  为随机向量。对于  $X \subseteq Q$ ,  $S_X$  表示子向量, 而  $H(S_X)$  表示其信息熵。给定随机变量  $(S_i)_{i \in \{1,2,3\}}$ , 定义已知  $S_2$  条件下事件  $S_1$  的条件熵

$$H(S_1 | S_2) = H(S_{12}) - H(S_2)$$

而  $S_1$  与  $S_2$  之间的互信息为

$$I(S_1 : S_2) = H(S_1) - H(S_1 | S_2) = H(S_1) + H(S_2) - H(S_{12})$$

另外, 已知  $S_3$  条件下  $S_1$  与  $S_2$  之间的互信息为

$$I(S_1 : S_2 | S_3) = H(S_1 | S_3) - H(S_1 | S_3, S_2) = H(S_{13}) + H(S_{23}) - H(S_{123}) - H(S_3)$$

信息熵的核心性质之一是条件互信息必非负, 由此可导出信息熵与多拟阵相关联, 这一点由 Fujishige 首次提出<sup>[12]</sup>。

定义1 多拟阵是指  $(Q, f)$ , 其中  $Q$  为一有限集,  $f : P(Q) \rightarrow R$  称为秩函数且满足以下性质:

- ①非负性:  $f(\emptyset) = 0$ ;
- ②单调性: If  $A \subseteq B \subseteq Q$ , then  $f(B) \geq f(A)$ ;
- ③次模性:  $f(A) + f(B) \geq f(A \cup B) + f(A \cap B)$ . 其中  $A, B \subseteq Q$ .

特别地, 若秩函数  $f$  取整数值, 则称该多拟阵为整数多拟阵。

定理1 (Fujishige<sup>[12]</sup>) 设  $(S_x)_{x \in Q}$  为随机向量, 定义映射  $h : P(Q) \rightarrow R$  满足  $h(\emptyset) = 0$ , 且对任意非空子集  $X \subseteq Q$ , 有  $h(X) = H(S_X)$ , 则  $h$  构成有限集  $Q$  上的多拟阵秩函数。

基于信息熵与多拟阵相关联, 对多拟阵秩函数  $f$ , 集合  $X, Y, Z \subseteq Q$ , 可定义记号:

$$f(Y : Z | X) = f(XY) + f(XZ) - f(XYZ) - f(X)$$

特别地,  $f(Y : Z) = f(Y : Z | \emptyset) = f(Y) + f(Z) - f(YZ)$ ,

$$f(Y | X) = f(Y : Y | X) = f(XY) - f(X)$$

定义2 给定域  $K$  上的有限维向量空间  $V$  及其子空间集  $(V_x)_{x \in Q}$ , 定义  $f(X) = \dim \sum_{x \in X} V_x$ , 其中  $X \subseteq Q$ , 则显然  $f$  为多拟阵秩函数, 并称  $(Q, f)$  称为  $K$  一线性多拟阵。另外, 通过定理1中随机向量来定义的多拟阵称为熵型多拟阵。

### (二) 秘密共享

定义3 设  $P$  为参与者集合。 $P$  上的访问结构  $\Gamma$  是一个单调递增的  $P$  的子集族, 即若  $A \subseteq B$  且  $A \in \Gamma$ , 则必有  $B \in \Gamma$ 。 $\Gamma$  中的元素称为该结构  $\Gamma$  的授权集。一个访问结构由其极小授权集族  $[\Gamma]$  决定。若某参与者不在任何极小授权集中, 则称该参与者在访问结构中是冗余的。另外, 访问结构  $\Gamma$  的对偶结构  $\Gamma^*$  定义为  $\Gamma^* = \{A \subseteq P : P - A \notin \Gamma\}$ 。

定义4 设  $\Gamma$  为参与者集合  $P$  上的访问结构。 $A \subseteq P$ , 且  $H(S_A)$  表示其对应份额的信息熵。考虑一个分发者  $p_0 \notin P$  以及集合  $Q = P \cup p_0$ , 具有访问结构  $\Gamma$  的  $P$  上的完美秘密共享方案是一个随机向量  $\Sigma = (S_x)_{x \in Q}$ , 满足以下性质:

- ①  $H(S_{p_0}) > 0$
- ②  $A \in \Gamma$ , 则  $H(S_{p_0} | S_A) = 0$
- ③  $A \in \Gamma$ , 则  $H(S_{p_0} | S_A) = H(S_{p_0})$

其中, 随机变量  $S_{p_0}$  对应秘密值, 而参与者获得的份额由  $S_x (x \in P)$  给出。以上条件2表明授权集的份额可确定秘密值, 而条件3表明非授权集的份额与秘密值相互独立。

定义5 设  $K$  为有限域。若随机向量  $\Sigma = (S_x)_{x \in Q}$  是  $K$  一线性的, 则称  $\Sigma$  是  $K$  一线性方案。

定义6 秘密分享方案  $\Sigma$  的复杂度  $\sigma(\Sigma)$  定义为:

$$\sigma(\Sigma) = \max_{x \in P} \frac{H(S_x)}{H(S_{p_0})}$$

而访问结构  $\Gamma$  的复杂度  $\sigma(\Gamma)$  定义为

$$\sigma(\Gamma) = \inf_{\Sigma} \sigma(\Sigma)$$

即  $\sigma(\Gamma)$  是所有能实现访问结构  $\Gamma$  的秘密共享方案的复杂度的下确界。

### (三) 公共信息

目前已知的非香农秩不等式都源自公共信息属性<sup>[11]</sup>。当随机变量  $S_3$  满足:

$$H(S_3 | S_2) = H(S_3 | S_1) = 0 \text{ 且 } H(S_3) = I(S_1 : S_2),$$

称  $S_3$  承载了随机变量  $S_1$  与  $S_2$  的公共信息。对于一般随机变量对, 未必存在满足该条件的第三个变量<sup>[11]</sup>。然而, 对于所有  $K$  一线性随机变量对, 符合条件的第三个变量总是存在的。

把公共信息的概念拓展到多拟阵, 有如下定义。

定义7 考虑一个多拟阵  $(Q, f)$  以及两个子集  $A, B \subseteq Q$ 。若子集  $X_0 \subseteq Q$

满足以下条件:

$$f(X_0|A) = f(X_0|B) = 0 \text{ 且 } f(X_0) = f(A:B) = f(A) + f(B) - f(AB),$$

则称  $X_0$  为  $(A, B)$  对的公共信息。特别地, 若  $X_0 = \{x_0\}$ , 则元素  $x_0$  也称为  $(A, B)$  对的公共信息。

定义8 多拟阵  $(Q, f)$  的扩展是指任一多拟阵  $(Q', f')$  满足  $Q \subseteq Q'$ , 且  $\forall X \subseteq Q$  有  $f'(X) = f(X)$ 。通常采用相同的函数符号表示多拟阵及其扩展的秩函数。

定义9 若多拟阵  $(Q, f)$  对  $Q$  的任意子集对  $(A_0, A_1)$ , 都存在一个扩展  $(Q_0, f)$ , 使得  $x_0$  是该  $(A_0, A_1)$  对的公共信息, 则称  $(Q, f)$  满足公共信息属性。特别地, 每个线性多拟阵均满足公共信息属性。

## 二、信息等式的证明

秘密共享中的对偶性与多拟阵的对偶性相关<sup>[13-15]</sup>。多拟阵  $(Q, f)$  的对偶定义为多拟阵  $(Q, f^*)$ , 其秩函数满足:

$$f^*(X) = \sum_{x \in X} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus X), \quad X \subseteq Q.$$

$K$  一线性多拟阵的对偶仍是  $K$  一线性多拟阵。然而, 该结果能否推广至熵多拟阵尚未可知。另外, 对于多拟阵  $(Q, f)$  及元素  $x \in Q$ , 可分别定义多拟阵  $(Q_x, f_x)$  和  $(Q_{\setminus x}, f_{\setminus x})$ , 其中  $f_x(X) = f(X)$ ,  $f_{\setminus x}(X) = f(X \setminus x)$ ,  $X \subseteq Q \setminus x$ 。通过重复此类操作, 从  $(Q, f)$  导出的多拟阵称为  $(Q, f)$  的删减。公共信息属性在对偶性下的性质尚不明确。下面将公共信息属性进行拓展, 有如下定义<sup>[11]</sup>。

定义10 给定多拟阵  $(Q, f)$  与3个两两不相交的子集  $A, B, C \subseteq Q$ 。若存在多拟阵  $(Q_{x_0}, g)$  满足以下条件:

- ①  $f = g_{x_0}$
- ②  $g(x_0) = f(A:B|C)$
- ③  $g(x_0|AC) = g(x_0|BC) = 0$  且  $g(x_0|C) = g(x_0)$ 。

则称  $(Q, f)$  承载子集对  $(AC, BC)$  的限制性公共信息。

注: 所有线性多拟阵  $(Q, f)$  均承载子集对  $(AC, BC)$  的限制性公共信息, 其中  $A, B, C \subseteq Q$  且  $A, B, C$  两两不相交。

令  $D = Q \setminus ABC$ 。关于对偶多拟阵  $(Q, f^*)$  与  $(Q_{x_0}, g^*)$ , 有以下等式<sup>[11]</sup>:

- ①  $g(x_0) = g^*(x_0) = f^*(A:B|D)$ 。
- ②  $g^*(x_0|AD) = g^*(x_0)$ ,  $g^*(x_0|BD) = g^*(x_0)$ 。
- ③  $g^*(x_0|ABD) = 0$ 。
- ④  $g^*(A:B|D) = 0$ 。

下面, 将给出每个等式的证明。

$$\textcircled{1} g(x_0) = g^*(x_0) = f^*(A:B|D)。$$

证: 利用对偶式  $f^*(X) = \sum_{x \in X} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus X)$

$$\text{有 } g^*(x_0) = g(x_0) - g(Q_{x_0}) + g(Q)$$

$$\text{又 } g(x_0|AC) = g(x_0|BC) = 0 \Rightarrow g(x_0|Q) = 0$$

$$\text{所以 } g(Q_{x_0}) = g(Q) + g(x_0|Q) = g(Q)$$

$$\text{则 } g^*(x_0) = g(x_0)$$

$$\text{又 } f^*(A:B|D) = f^*(AD) + f^*(BD) - f^*(ABD) - f^*(D)$$

$$f^*(AD) = \sum_{x \in AD} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus AD)$$

$$f^*(BD) = \sum_{x \in BD} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus BD)$$

$$f^*(ABD) = \sum_{x \in ABD} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus ABD)$$

$$f^*(D) = \sum_{x \in D} f(x) - f(Q) + f(Q \setminus D)$$

$$\text{可推出 } f^*(A:B|D) = f(BC) + f(AC) - f(C) - f(ABC) = f(A:B|C) = g(x_0), \text{ 证毕。}$$

$$\textcircled{2} g^*(x_0|AD) = g^*(x_0), \quad g^*(x_0|BD) = g^*(x_0)。$$

$$\text{证: } g^*(AD) = \sum_{x \in AD} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus AD)$$

$$g^*(AD_{x_0}) = \sum_{x \in AD} g(x) + g(x_0) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus AD_{x_0})$$

$$\text{推出 } g^*(x_0|AD) = g^*(AD_{x_0}) - g^*(AD)$$

$$= g(x_0) + g(Q \setminus AD) - g(Q_{x_0} \setminus AD)$$

$$= g(x_0) + g(BC) - g(BC_{x_0})$$

$$\text{又 } g(x_0|BC) = 0 \Rightarrow g(BC) = g(BC_{x_0})$$

$$\text{所以 } g^*(x_0|AD) = g(x_0) = g^*(x_0)$$

$$\text{同理可证 } g^*(x_0|BD) = g^*(x_0)。$$

$$\textcircled{3} g^*(x_0|ABD) = 0。$$

证:

$$g^*(ABD) = \sum_{x \in ABD} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus ABD)$$

$$g^*(ABD_{x_0}) = \sum_{x \in ABD} g(x) + g(x_0) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus ABD_{x_0})$$

$$\text{推出 } g^*(x_0|ABD) = g^*(ABD_{x_0}) - g^*(ABD)$$

$$= g(x_0) + g(Q \setminus ABD) - g(Q_{x_0} \setminus ABD)$$

$$= g(x_0) + g(C) - g(C_{x_0})$$

$$\text{又因为 } g(x_0|C) = g(x_0) \Rightarrow g(C_{x_0}) = g(C) + g(x_0)$$

$$\text{所以 } g^*(x_0|ABD) = 0。$$

$$\textcircled{4} g^*(A:B|D) = 0。$$

$$\text{证: 因为 } g^*(AD) = \sum_{x \in AD} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus AD)$$

$$g^*(BD) = \sum_{x \in BD} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus BD)$$

$$g^*(ABD) = \sum_{x \in ABD} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus ABD)$$

$$g^*(D) = \sum_{x \in D} g(x) - g(Q_{x_0}) + g(Q_{x_0} \setminus D)$$

$$\text{推出 } g^*(A:B|D) = g^*(AD) + g^*(BD) - g^*(ABD) - g^*(D)$$

$$= g(BC_{x_0}) + g(AC_{x_0}) - g(C_{x_0}) - g(ABC_{x_0})$$

$$\text{又 } g(x_0|AC) = g(x_0|BC) = 0, \quad g(x_0|C) = g(x_0),$$

$$\text{推出 } g(BC_{x_0}) = g(BC), \quad g(AC_{x_0}) = g(AC),$$

$$g(C_{x_0}) = g(x_0) + g(C), \quad g(ABC_{x_0}) = g(ABC)$$

$$\text{所以 } g^*(A:B|D) = g(BC) + g(AC) - g(C) - g(ABC) - g(x_0)$$

$$\begin{aligned}
&= f(BC) + f(AC) - f(C) - f(ABC) - g(x_0) \\
&= f(A:B|C) - g(x_0) = 0. \text{ 证明完毕。}
\end{aligned}$$

### 三、结束语

在秘密共享方案中，尽管通用访问结构的最优复杂度计算问题仍未完全解决，但现有研究已在其上界与下界分析方面取得进

展。其中，计算最优复杂度的下界可转化为线性规划问题，而随机变量的公共信息属性在该问题的求解中起着关键作用，并可进一步拓展出一系列信息等式。本文基于信息论与多拟阵理论，严格证明了这些信息等式，为最优复杂度下界的确定提供了新的理论工具。未来研究可在此基础上进一步探索，并设计出通用访问结构的高效构造方法。

### 参考文献

- [1] Gharahi, M., Khazaei, S.: Optimal Linear Secret Sharing Schemes for Graph Access Structures on Six Participants. Theoret. Comput. Sci. 771, 1–8 (2019).
- [2] Gharahi, M., Khazaei, S.: Reduced access structures with four minimal qualified subsets on six participants. Adv. Math. Commun. 12, 199–214 (2018).
- [3] Gharahi, M., Dehkordi, M.H.: The complexity of the graph access structures on six participants. Des. Codes Cryptogr. 67, 169–173 (2013).
- [4] Reza Khaboli, Shahram Khazaei, and Maghsoud Parviz: On ideal and weakly ideal access structures. Cryptology ePrint Archive, <https://eprint.iacr.org/2020/483>, (2020).
- [5] Gyarmati M., Ligeti P.: On the information ratio of graphs without high-degree neighbors. Discret. Appl. Math. 304(15), 55–62 (2021).
- [6] Csirmaz, L.: The size of a share must be large. J. Cryptology 10, 223–231 (1997).
- [7] M. Ito, A. Saito, and T. Nishizeki, Secret sharing scheme realizing any access structure, Proc. IEEE Globecom’ 87 (1987), 99 – 102.
- [8] Padro, C., Vazquez, L., Yang, A.: Finding Lower Bounds on the Complexity of Secret Sharing Schemes by Linear Programming. Discrete Applied Mathematics. 161, 1072–1084 (2013).
- [9] Martí-Farrel, J., Padro, C.: On secret sharing schemes, matroids and polymatroids. J. Math. Cryptol. 4, 95–120 (2010).
- [10] Beimel, A., Orlov, I.: Secret Sharing and Non-Shannon Information Inequalities. IEEE Trans. Inform. Theory 57, 5634–5649 (2011).
- [11] Oriol Farras, Tarik Kaced, Sebastia Martín, Carles Padró: Improving the Linear Programming Technique in the Search for Lower Bounds in Secret Sharing. IEEE Trans. Inf. Theory 66(11): 7088–7100 (2022).
- [12] S. Fujishige, Polymatroidal Dependence Structure of a Set of Random Variables, Information and Control 39 (1978), 55 – 72.
- [13] Csirmaz L.: Secret sharing and duality. J. Math. Cryptol. 15(1), 157–173 (2021).
- [14] Jafari, A., Khazaei, S.: On Abelian Secret Sharing: duality and separation. Cryptology ePrint Archive, <https://eprint.iacr.org/2019/575>, (2019).
- [15] Amir Jafari and Shahram Khazaei: Partial secret sharing schemes. Cryptology ePrint Archive, <https://eprint.iacr.org/2020/448>, (2020).

# 江苏省基础研究投入现状与对策分析

## ——基于重点企业和高校、科研院所的问卷调查

程瑶<sup>1</sup>, 杨宏<sup>2\*</sup>, 林金官<sup>1</sup>

1. 南京审计大学 统计与数据科学学院, 江苏 南京 211815

2. 南京财经大学 国际经贸学院, 江苏 南京 210023

DOI:10.61369/ASDS.2025060018

**摘 要 :** 本文围绕江苏省基础研究投入现状, 设计涵盖资金来源、研究动机、人力结构、经费使用、协同模式等维度的问卷, 面向省内重点制造企业、省属高校与科研院所开展调研, 回收有效问卷280份。调研发现: 一是高校、科研院所是江苏省基础研究主力, 但高端人才保障与稳定支持机制有待完善; 二是企业投入基础研究比例偏低, 参与驱动力不足; 三是研发平台能力不均, 协同机制碎片化; 四是投入结构单一, 财政资金仍为主力。总体呈现“总量领先、结构失衡、协同不足”的特征。建议从优化布局、强化人才支撑、完善平台体系、激励企业参与及健全投入机制等方面系统发力, 提升江苏基础研究的整体效能与原始创新能力。

**关 键 词 :** 基础研究投入; 问卷调查; 江苏省; 高校与科研院所; 制造业企业

## An Analysis of Basic Research Investment in Jiangsu Province and Policy Implications: Evidence from a Questionnaire Survey of Key Enterprises, Universities, and Research Institutes

Cheng Yao<sup>1</sup>, Yang Hong<sup>2\*</sup>, Lin Jinguan<sup>1</sup>

1.School of Statistics and Data Science, Nanjing Audit University, Nanjing, Jiangsu 211815

2.School of International Economics and Business, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing, Jiangsu 210023

**Abstract :** This study examines the current status of basic research investment in Jiangsu Province through a structured questionnaire survey conducted among key manufacturing enterprises, provincial universities, and research institutes. The survey, covering funding sources, research motivations, human resource composition, fund utilization, and collaboration modes, yielded 280 valid responses. The survey results indicate that: (1) universities and research institutes remain the primary contributors to basic research of Jiangsu Province, yet mechanisms for attracting high-level talent and ensuring stable institutional support require further improvement; (2) enterprises devote a relatively limited share of resources to basic research, with insufficient incentives to enhance their participation; (3) the capacity of R&D platforms is uneven, and collaboration mechanisms remain fragmented; and (4) the investment structure is overly dependent on government funding. Overall, the basic research landscape in Jiangsu is characterized by a high aggregate volume, structural imbalance, and limited coordination. Ultimately, This study recommends systematic efforts to optimize spatial allocation, strengthen talent support, improve platform systems, incentivize enterprise participation, and refine the investment mechanism, in order to enhance the overall efficiency and original innovation capacity of basic research in Jiangsu Province.

**Keywords :** basic research investment; questionnaire survey; Jiangsu Province; universities and research institutes; manufacturing enterprises

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“城市宜居性的统计测度和提升路径研究”(项目编号: 20BTJ057)。

作者简介:

程瑶, 南京审计大学统计与数据科学学院, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为社会经济统计;

林金官, 南京审计大学统计与数据科学学院, 教授, 博士生导师, 研究方向为面板数据分析和统计应用。

通讯作者: 杨宏, 南京财经大学国际经贸学院, 博士研究生, 研究方向为产业经济理论与政策。

引言

基础研究是科技创新的源头活水，更是实现高水平科技自立自强的战略支点，其先导性地位日益突出<sup>[1-4]</sup>。江苏作为全国制造业强省和科技创新重镇，全社会研发经费总投入位居全国前列<sup>[5]</sup>，但基础研究经费占比偏低<sup>[6]</sup>。2024年，江苏设立24.8亿基础研究专项资金，全省财政基础研究投入达到67.42亿元，较2021年的14.43亿翻两番，基础研究经费占研究与实验发展（R&D）经费比重仅为4.94%，低于全国平均水平（6.91%），与上海同期水平（10.56%）也存在较大差距。这一差距折射出当前创新体系的关键矛盾——企业做为研发经费投入主体（占比超87%）高度聚焦试验发展领域<sup>[7]</sup>，在基础研究领域的参与度与贡献仍然很有限<sup>[8]</sup>，高校与科研院所做为基础研究的主力，面临经费强度不足、支持体系不健全等问题<sup>[9-10]</sup>。为更深入了解和剖析江苏基础研究投入体系运行中的结构性短板与机制性障碍，本文针对省内重点制造企业、省属高校和科研院所开展的问卷调查数据，从资金配置、平台协同、人才支撑等多个维度，系统分析江苏基础研究发展现状与主要问题，并提出优化投入结构、激发多元协同、完善制度机制的政策建议。

一、调研对象基本情况

（一）调研对象及范围

本次调研围绕江苏省基础研究投入状况，采用问卷调查方式开展数据采集。样本设计在区域、行业和机构类型层面注重均衡覆盖，同时优先抽取基础研究投入强度高、科研平台丰富、高水平成果产出的单位，以提高数据的代表性与科学性。企业层面重点选取“产业强链”重点产业链企业、设有国家或省级重点实验室的科技型企业、各设区市研发经费排名前十的骨干企业。院校机构层面选取更加依赖地方资源的省属院校和科研院所，与部属院校相比，省属院校和科研机构的基础研究投入规模一般与地方发展目标高度绑定。

（二）样本构成

在江苏省科技部门的指导和财政部门的协助下，调研共回收有效问卷280份，其中：企业样本252家，覆盖全省13个设区市。按经济类型划分，工业及制造业企业230家，占比91.27%；服务型制造业企业22家，占比8.73%。其中，服务型制造业界定依据《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2017），涵盖软件和信息技术服务业19家、专业技术服务业1家、教育服务业1家、水利与公共设施管理业1家。样本企业整体呈现“制造业主导、服务制造补充”的结构特征，符合江苏实体经济主导型区域的产业实际。从行业分布看，252家企业覆盖37个行业大类，呈现多元而集中的格局。其中，电气机械和器材制造业（33家）、专用设备制造业（29家）、计算机、通信和其他电子设备制造业（23家）、汽车制造业（19家）、医药制造业（17家）、化学原料与化学制品制造业（14家）、软件和信息技术服务业（18家）等七大行业合计占比达60.7%，充分体现出调研重点聚焦于高端装备、电子信息、生物医药与战略性新兴产业等江苏重点发展的技术密集型行业。

江苏省属高校院所样本选取过程遵循分层抽样与重点单位优先的原则，兼顾学科类型、区域分布与科研基础，共回收有效问卷28家，其中本科高校10所、科研院所11家、高职高专院校7

所。高校和科研院所样本覆盖农业、林业、能源、卫生、生态环境、信息技术等多领域基础研究，如南京信息工程大学、江苏海洋大学、南京林业大学、江苏省测绘研究所、江苏省淡水水产研究所、江苏省原子医学研究所等，均为具备稳定地方财政资金支持，同时具有较强技术研发能力和公共科研职能的专业机构。此外，高职院校样本则注重代表性和科研活动活跃度，共同构成高校院所样本的研究基础，确保对不同层级高校基础研究状况的全面反映。

二、研究结果分析

（一）省属院校及科研院所调研结果分析

1. 研发主体与资金来源

从研发经费投入结构看，本科院校的研发经费占比最高，约为78.93%；科研院所次之，约占17.10%；高职院校最低，约占3.97%。类似地，本科院校也是开展基础研究的主体。本科院校基础研究经费占比89.68%，科研院所（9.55%）与高职院校（0.77%）差距显著，反映高等教育体系在基础研究投入中的主导地位。

研发经费来源主要包括政府资金和企业资金，其中政府资金可进一步细分为财政拨款和单位自筹。进一步调研发现，本科院校和科研院所的R&D经费主要来自政府资金，而职业院校的R&D经费主要来源于企业资金。28家单位中有12家填报了上一年收到的财政基础研究经费拨款中来自稳定性支持经费和竞争性经费的金额。其中，高职院校2家，本科院校5家，科研院所5家。有6家单位稳定性支持经费比重达到65%以上，科研院所尤为突出（其中：高职院校2家，科研院所4家）。

2. 研究类型与研究动机

从研究类型看，20家单位以应用基础研究为主（占71.5%），纯基础研究仅占7.1%。主要依靠内部力量开展基础研究的有19家，占67.9%；与省内其他高校、科研院所合作开展基础研究的有16家，占57.1%；与企业合作的有6家，占21.4%；与省外高校、

科研院所合作开展基础研究的有1家。

从研究目的看，有20家以承担国家任务或接受上级委托为开展基础研究的主要目的（占71.4%），将开展基础研究作为与企业合作项目的前端环节有11家（占39.3%），为探索和发现科学原理有10家（占35.7%）。

3. 人力资本配置与流动性

39.1%单位基础研究人员占比超50%，34.8%单位占比为10%–20%。从基础研究人员的年度引进率看，60.9%的单位引进率在5%以下，且引进率和流出率基本持平；26.1%的单位年度引进率在5%–15%，13.0%的单位年度引进率在16%以上，且引进率大于流出率。

4. 经费使用结构与支出环节

直接经费中设备购置费占比最高（占38.1%），超半数单位间接费用占比低于20%。28家单位中有21家单位填报了基础研究投入经费支出数据。其中，8家单位反映设备购置费是经费支出中占比最多环节，占38.1%；6家反映材料费、测试化验加工费、燃料动力费占比最多，占28.57%；3家反映劳务费、专家咨询费占比最多，占14.6%；1家反映差旅费、会议费、国际合作与交流费占比最多，占4.9%；3家反映其他支出占比最多，占14.6%。

5. 获政府资助立项项目类型

本科院校几乎垄断国家级、省级项目（包括自然科学基金立项以及获得国家重点实验室建设、科技部其他科技专项），占比超过90%。高职院校在省级层面其他的科技专项方面立项比例显著上升，与科研院所持平甚至赶超。在市县专项方面，高职院校也有明显优势，获得政府支持的比例达到59.88%，本科院校为31%，科研院所仅占9.12%。

6. 绩效产出规模与结构

本科院校基础研究各项成果全面领先，国家级项目结项、高水平论文、获奖、专利等占比超97%；科研院所科技获奖和省级项目申报上有较大优势；高职院校的产出亮点主要是发明专利。受访单位基础研究产出绩效情况如表1所示：

表 1：28家单位基础研究产出绩效情况

	本科院校		科研院所		高职院校	
	项目数 (个)	占比 (%)	项目数 (个)	占比 (%)	项目数 (个)	占比 (%)
国家级项目验收通过数	1918	97.61	47	2.39	—	—
省级项目验收通过数	1086	85.92	160	12.66	18	1.42
发表论文数	29260	97.33	712	2.37	92	0.31
发表著作	400	73.94	64	11.83	77	14.23
参加国际会议	510	97.70	12	2.30	—	—
科技获奖	31	77.50	9	22.50	—	—
获得发明专利	4987	85.92	207	3.57	610	10.51
人才培养	2719	97.14	67	2.39	13	0.46

（二）省内重点企业调研结果分析

1. 样本企业基本特征

调研覆盖江苏省13个设区市的252家企业，其中苏南112家（44.44%）、苏中73家（28.97%）、苏北67家（26.59%）。

样本企业创新资质突出，具体表现为：（1）223家设立专职科研机构（占88.49%）；（2）33家拥有国家重点实验室或承担国家科技计划（占13.10%）；82家拥有省重点实验室或承担省科技计划（占32.54%）；（3）99家为行业龙头或国内领军企业（占39.29%）；（4）57家曾牵头制定国家或国际标准（占22.62%）；（5）21家近五年获得过国家自然科学奖或者国家科技进步奖（占8.33%）；（6）209家近五年享受过研发加计扣除减免税优惠政策（占82.94%）；（7）139家企业开展过基础研究活动，且企业大多处于行业技术前沿，有希望形成原始创新能力。

2. 研究主体与经费投入

大中型企业是开展基础研究的主体，合计占比超过90%，其中大型企业65家（占46.76%）、中型企业63家（占45.32%），小微企业有11家（占7.91%）。其中，私营企业参与数量最多（占43.62%），但国有企业基础研究经费投入规模居首（占46.08%）。

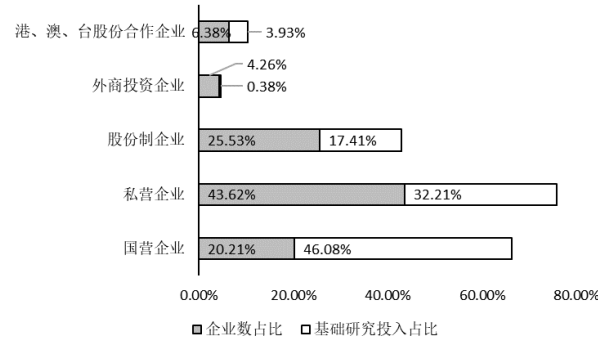


图 1：企业基础研究经费投入情况（按企业所有制类型划分）

3. 研究类型与研究动机

从研究类型看，应用基础研究为主（77.70%，108家），纯基础研究较少（8.63%，12家），13.67%（19家）认为难以区分。企业基础研究以内部研发为主（124家，占89.21%），开展过产学研合作的有97家（占69.78%），采取过上下游产业链协同合作的有16家（占11.51%），在海外设立研发中心较少（5家，占3.6%）。

从研究动机看，作为某项技术攻关项目的前端环节（77.70%）与进行前沿技术储备（66.19%）是企业开展基础研究的为核心驱动力；标准化建设（12.95%）、国家任务承接（10.07%）及原理探索（5.04%）、产品升级换代（1.44%）为次要动因。

4. 获政府支持成效与结构

政府支持覆盖率不足四成。在开展基础研究的139家企业中，近五年有基础研究项目获得政府支持的有53家，占38.13%；未获得过政府支持的有86家，占61.87%。进一步的调研结果显示，获得政府支持的53家企业共有94个基础研究项目获得政府支持，项目金额合计61351万元。从立项级别和金额分布看呈现如下特点：①国家级项目立项数较少（16个，占17.02%），但资金占比

最高（35528万元，占57.91%）；②省级项目立项数最多（42个，占44.6%），立项金额17503万元（占28.53%），其中省基础研究项目9个，省科技厅其他项目立项22个，省级其他专项11个；③市县级项目立项数较多（36个，占38.3%），但资金力度较低（8320万元，占13.56%）。

表 2：53家企业基础研究项目获政府支持数量情况

单位项目	国有		私营		股份制		外资		港澳台合作	
	项数(个)	占比(%)	项数(个)	占比(%)	项数(个)	占比(%)	项数(个)	占比(%)	项数(个)	占比(%)
国家级项目	4	25.00	6	37.5	5	31.2	1	6.25	——	——
省基础研究项目	1	11.11	3	33.33	4	44.44	1	11.1	——	——
省科技厅其他项目	8	36.36	8	36.36	5	22.7	1	4.55	——	——
省级其他专项	3	27.27	6	54.55	1	9.09	1	9.09	——	——
市县级科技项目	6	16.67	15	41.67	13	36.11	1	2.78	1	2.78

三、江苏省基础研究投入实践中的主要问题

（一）资源保障不足，人才支撑体系亟待强化

省属高校和科研机构在高层次科研人才储备方面存在明显短板，青年人才的引育留用机制尚不健全，部分单位科研队伍出现结构性断层问题。同时，基础研究所依赖的科研设施、仪器设备和技

（二）企业参与不足，原始创新内生动力不强

企业在基础研究中的投入积极性不高，相关研发活动多集中于应用开发与技术迭代，原始创新的投入意愿和能力普遍不足。调研显示，近五年来，多数受访企业尚未获得政府专项支持，研发投入仍主要依赖自有资金。企业普遍面临高端研发人才缺乏、基础研究资源薄弱以及

（三）平台体系滞后，协同支撑能力有待增强

尽管江苏省在传统优势学科领域已形成一定基础研究能力，但在战略性前沿交叉领域的系统性投入仍显薄弱。高水平科研平台建设发展不均衡，部分基础研究平台承载力有限、开放性不强，难以发挥集聚资源与引领创新的功能。跨机构、跨学科的协同攻关机制尚不健全，科研资源整合与共享机制存在瓶颈，整体协同支撑能力亟需提升。

（四）投入结构单一，政产学研协同机制不健全

当前江苏基础研究投入仍高度依赖财政资金，社会资本、产业部门和第三方基金的参与度偏低，投入结构尚未形成多元支撑格局。政产学研之间缺乏常态化、制度化的协同机制，资源整合效率不高，任务分工与利益共享机制尚未有效建立。同时，现有政策在执行过程中存在碎片化、政策衔接不畅等问题，影响了政策效能的持续释放与科研主体的预期稳定性。

四、对策建议

为破解江苏省基础研究发展中面临的突出问题，需系统构建

与高质量发展相适应的支持体系。建议从顶层设计、资源保障、平台建设、主体协同与政策环境等五个维度发力，着力完善基础研究的整体生态。

（一）统筹布局，优化基础研究发展格局

加强省级战略引领，围绕国家重大科技任务与江苏区域经济社会发展需求，系统梳理全省基础研究资源禀赋与学科优势。坚持前沿导向、交叉融合与区域特色并重，应避免在同一领域重复设立科研平台，推动区域内高校与科研院所的资源共享。制定关键领域的基础研究专项规划，科学明确学科突破方向、平台建设路径与人才梯队目标，提升全省基础研究布局的系统性、协同性和前瞻性。

（二）引育并重，夯实高层次人才支撑基础

人才是基础研究的核心资源。应加快构建涵盖“引、育、用、留”全链条的高端人才支持体系，重点支持省属高校和科研院所加大青年人才、基础学科人才和战略科学家引进力度。推动落实“人以群分”“长期评价”等支持机制，构建注重科研过程管理与成果导向并重的人才评价体系，增强科研人员的学术稳定性与探索自由度。

（三）扩容提质，健全基础研究平台体系

加快建设面向国家战略需求、具有原创潜力的高水平基础研究平台。推动重点实验室、省级技术创新中心及重大科研基础设施向基础研究开放共享。鼓励高校与科研院所组建跨学科“交叉研究共同体”，探索“揭榜挂帅”“长期委托”等多样化项目组织模式，强化平台支撑基础研究与技术创新的双重功能。

（四）多元协同，激发企业参与内生动力

优化企业参与基础研究的政策激励机制。支持企业牵头承担省级基础研究项目，设立前瞻性联合研究专项，推动龙头企业与高校、科研院所联合建设重大科研平台。完善企业研发投入税前加计扣除等支持政策，构建财政引导、企业投入、社会基金多元参与的投入机制，提升企业基础研究的积极性与持续性。

（五）放权增效，优化科研投入与管理机制

针对科研经费使用不灵活、科研评价同质化、绩效考核短期化等问题，建议分类推进财政科研经费“包干制”“负面清单制”等改革试点，赋予项目单位更大的经费统筹与调剂权限。推动科

研项目管理模式由“事前审批”向“过程指导”转型，减少行政干预，增强项目执行的灵活性和持续性。

**（六）健全机制，营造良性创新生态环境**

通过构建长期稳定的政策支持体系，为基础研究提供更加系统和持续的保障。深化科技评价体系改革，推动成果评价从“数

量导向”向“贡献导向”转变。鼓励各地探索建立财政稳定支持机制或基础研究基金池，聚焦自由探索、原始创新与非共识性研究，营造鼓励探索、宽容失败、价值导向清晰的科研文化氛围。

参考文献

[1] 习近平. 在科学家座谈会上的讲话 [N]. 人民日报, 2020-09-12(002).  
[2] 黄瑾, 唐柳. 推动新质生产力加快发展 [N]. 光明日报, 2024-2-20(11).  
[3] 刁海璨. 企业基础研究与新质生产力培育 [J]. 数量经济技术经济研究, 2025, 42(03): 91-110.  
[4] 柳卸林, 常馨之, 杨培培. 加强企业基础研究能力, 弥补国家创新体系短板 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(06): 853-862.  
[5] 新华日报. 江苏以更实举措不断提升原始创新策源力 基础研究强底座, “从0到1” 耀新光 [EB/OL]. [2025-07-28]. [https://www.jiangsu.gov.cn/art/2025/1/5/art\\_91704\\_11464016.html](https://www.jiangsu.gov.cn/art/2025/1/5/art_91704_11464016.html).  
[6] 朱婷. 江苏省基础研究经费投入现状及比较分析 [J]. 科技和产业, 2021, 21(11): 128-133.  
[7] 李香菊, 王洋. 完善我国激励企业科技创新的税收政策研究 [J]. 税务研究, 2021, (07): 39-43.  
[8] 卫平, 杨宏呈, 蔡宇飞. 基础研究与企业技术绩效——来自我国大中型工业企业的经验证据 [J]. 中国软科学, 2013, (02): 123-133.  
[9] 陆延青. 教育、科技、人才一体推进背景下高等教育对基础研究资助的新需求 [J]. 中国科学基金, 2024, 38(02): 248-253.  
[10] 颜军梅. 高校产学研协同创新模式分类及实现路径研究 [J]. 科技进步与对策, 2014, 31(18): 27-31.

# FDI 对 GDP 影响案例分析：基于部分线性单指标面板无交叉分位数回归模型

方艳, 陈高昂, 范彩云\*

上海对外经贸大学 统计与数据科学学院, 上海 201620

DOI:10.61369/ASDS.2025060019

**摘 要 :** 本文基于 64 个国家 2010–2020 年间的面板数据, 构建部分线性单指标面板无交叉分位数回归模型, 系统分析外商直接投资及其他宏观经济变量对经济增长的分布异质性影响机制。实证结果显示 FDI 在各分位点均对人均 GDP 具有显著正向影响, 且该作用在中高分位区间更为显著; 贸易、汇率等变量对经济增长的影响具有分位异质性, 呈现出在不同经济发展阶段下的非对称结构效应; 商品与服务出口的边际效应最为显著, 其估计系数的绝对值最大。本文研究不仅为揭示 FDI 作用机制提供了新的计量工具, 也为发展中国家制定更具分层性的 FDI 引导与宏观调控政策提供了量化依据。

**关 键 词 :** 外商直接投资; 经济增长; 面板无交叉分位数回归; 部分线性单指标; 高维数据

## A Case Study on the Impact of FDI on GDP: Based on Partially Linear Single-Index Panel Non-Crossing Quantile Regression Model

Fang Yan, Chen Gaoang, Fan Caiyun\*

School of Statistics and Data Science, Shanghai University of International Business and Economics, Shanghai 201620

**Abstract :** This paper investigates the heterogeneous impact of foreign direct investment (FDI) and other macroeconomic variables on economic growth across different quantiles of the GDP distribution. Using panel data from 64 countries spanning 2010 to 2020, we develop a partially linear single-index panel quantile regression model with non-crossing constraints. The empirical results indicate that FDI has a significantly positive effect on per capita GDP across all quantiles, with a more pronounced impact observed in the upper-middle quantiles. Other variables such as trade and exchange rate exhibit quantile-specific effects, revealing asymmetric structural impacts across different stages of economic development. Among all covariates, exports of goods and services display the most prominent marginal effects, as reflected by the largest absolute values of the estimated coefficients. This study not only introduces a novel econometric framework for exploring the mechanisms through which FDI affects economic growth, but also provides quantitative insights for developing countries to design more targeted FDI strategies and macroeconomic policies.

**Keywords :** foreign direct investment; economic growth; panel non-crossing quantile regression; partially linear single-index model; high-dimensional data

## 引言

近年来, 外商直接投资 (FDI) 在推动发展中国家经济增长与结构转型中的战略作用日益凸显, 国际社会对此给予了高度关注。世界银行、国际货币基金组织 (IMF) 和联合国贸易和发展会议 (UNCTAD) 等国际组织在多份政策文件与年度报告中均强调, FDI 在提升东道国生产效率、促进技术扩散、优化资源配置等方面具有不可替代的作用。例如, UNCTAD 每年发布的《世界投资报告》不仅持续追踪全球 FDI 流动趋势, 还系统评估其对发展中国家产业升级与可持续增长的影响路径。此外, G20 峰会与亚太经合组织 (APEC) 等多边合作平台也频繁将 FDI 列为激发全球投资合作、重振经济活力的重要议题。

在全球经济高度融合的背景下, FDI 已不再仅仅是跨境资本流动的载体, 更承担着推动技术转移、管理经验扩散和知识溢出的多重

基金项目: 国家社会科学基金一般项目 “大尺度面板数据分位数回归模型及其在金融贸易大数据分析中的应用研究” (21BTJ047)。

作者简介:

方艳 (1975—), 女, 安徽人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为金融统计、统计机器学习、金融大数据等;

陈高昂 (2001—), 男, 河南人, 硕士在读, 研究方向为高维统计推断、分位数回归等。

通讯作者: 范彩云 (1983—), 女, 湖南人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为机器学习、复杂数据统计分析、数据挖掘等。

功能。其对东道国经济增长、技术进步与产业结构优化的影响，正成为各国政府和学术界关注的焦点。事实上，近年来全球 FDI 与经济增长的走势（见图1与图2）亦显示出二者之间具有一定的正相关关系。因此，系统研究 FDI 对东道国经济增长的影响机制，不仅有助于丰富相关理论，也为优化引资政策、增强经济韧性提供了重要的实证支撑与政策启示。

**GDP per capita (current US\$)**  
Most recent values (2011 - 2023)

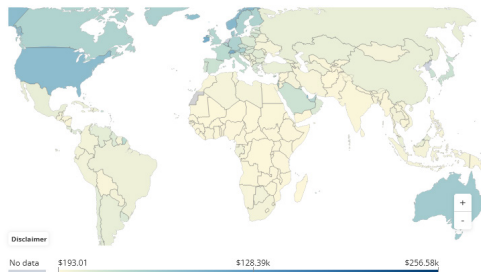


图1 GDP 增长率图. 数据下载网站为 <https://data360.worldbank.org>.

**Foreign direct investment, net inflows (BoP, current US\$)**  
Most recent values (1989 - 2023)

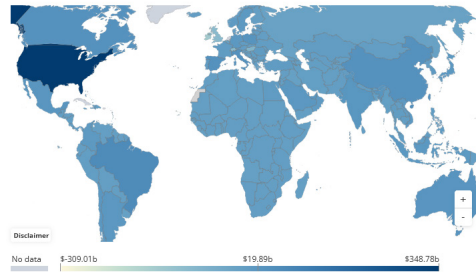


图2 FDI 图. 数据下载网站为 <https://data360.worldbank.org>.

近年来，关于 FDI 与经济增长之间关系的研究日益丰富，众多学者从不同视角展开了实证分析。吴湧超（2004）基于因果关系检验发现，在短期内 FDI 并非中国 GDP 增长的决定性因素<sup>[1]</sup>。白俊红和吕晓红（2017）指出 FDI 质量的提升对推动我国经济发展方式的转型具有积极意义<sup>[2]</sup>。李磊等（2018）发现外商投资不仅直接促进了本土企业“走出去”，还通过提升其生产率间接带动了对外直接投资<sup>[3]</sup>。Zaman（2018）指出“贸易开放度”在外向型经济体中对经济增长具有深远影响<sup>[4]</sup>。Daliri（2021）发现 FDI 对经济增长的异质性影响<sup>[5]</sup>。罗雨森和路正南（2022）强调，双向 FDI 的增长能够显著促进高质量经济发展，且其正向作用在不同环境规制条件下均表现稳定<sup>[6]</sup>。陈晓林等（2024）从投资主导权的角度出发，指出本土企业以及水平型、垂直型跨国企业的主导地位构成投资国市场结构演化的充分条件<sup>[7]</sup>。此外，陈峰等（2025）的研究显示，外商直接投资在我国低碳转型中既具有直接推动作用，也存在显著的区域溢出效应<sup>[8]</sup>。

尽管已有研究从多个维度揭示了 FDI 对经济增长的潜在积极效应，但实证结论仍存在明显分歧。一方面，一些研究表明 FDI 能够显著提升经济活力，促进资本积累与技术进步；另一方面，也有文献指出，在制度环境不健全或东道国吸收能力不足的情境下，FDI 未必能有效转化为经济增长动能，甚至可能引发“挤出效应”或资源配置扭曲等负面后果。这种不一致性反映出 FDI 作用机制可能具有非线性特征，且受限于不同国家或地区在制度安排、市场结构、技术承接能力等方面的深层异质性。因此，开发更具针对性的建模方法，进一步探讨 FDI 对经济增长的多维影响路径，不仅有助于厘清现有研究中的争议，也为宏观政策制定提供更为可靠的量化依据与理论支撑。

在实证方法上，传统横截面或时间序列回归模型往往难以充分控制个体之间的不可观测异质性，从而导致估计结果偏误。相较而言，面板数据模型由于融合了时间序列与截面信息，具备更强的个体效应控制能力，因而逐渐成为研究 FDI 经济效应的主流工具之一。Tiwari（2011）利用面板研究了亚洲国家的 FDI 和经济增长间的关系<sup>[9]</sup>；Zhu et al.（2016）利用面板分位数研究了 ASEAN-5 间 FDI、经济增长和能源消费间的关系<sup>[10]</sup>；Cai et al.（2018）采用半参数分位数面板模型研究 FDI 对经济增长的影响，考虑了国家层面的异质性与 FDI 作用的非线性特征<sup>[11]</sup>。Hou et al.（2023）借鉴计量经济学文献中“通过估计进行控制”（Controlling through estimating）的理念，提出使用具有异质性冲击的面板数据模型，研究了中国吸收外商直接投资（FDI）的区位决定因素分析<sup>[12]</sup>。Sasaki et al.（2023）构建了动态离散选择模型研究在无法观测中国经济放缓后相关未来状态的条件下，日本企业在华开展对外直接投资的行为<sup>[13]</sup>。

基于上述理论背景与现实问题，本文采用部分线性单指标面板无交叉分位数回归模型（Partially Linear Single-Index Panel Non-Crossing Quantile Regression Model）<sup>[14]</sup>，系统分析 FDI 对经济增长的异质性影响机制。该模型不仅能确保分位数函数的单调性，从而避免分位曲线交叉所带来的推断无效问题，还能灵活刻画 FDI 作用在不同经济发展阶段下的非线性结构，提升估计的稳健性与解释力。本文的研究成果不仅为制定更具针对性的 FDI 引导政策提供了理论依据，也为投资者和研究者深入理解 FDI 影响路径提供了数据支持与方法工具。

全文结构安排如下：第二部分介绍数据来源与变量设定，第三部分阐述模型构建与估计方法，第四部分为实证分析，第五部分给出结论及政策建议。

## 一、数据及指标选取

参考 Cai 等（2018）<sup>[11]</sup>和 Kottaridi and Stengos（2010）<sup>[15]</sup>，本文选取了 2001 年至 2022 年间宏观经济面板数据，涵盖长达 22 年的时间跨度。所使用的变量包括国内生产总值（GDP）、外国

直接投资（FDI）、贸易总额（TD）、人口增长率（PG）、汇率（ER）、通货膨胀率（INF）以及商品和服务出口等一系列关键经济指标。Cai et al.（2018）在考虑 FDI 对经济影响时，考虑了变量中央政府债务总额的影响，由于引入中央政府债务总额变量将导致大量数据缺失，故本文未考虑该变量的影响作用<sup>[11]</sup>。所有数

据均可从《世界发展指标》（WDI）下载。经清洗，数据包含了来自 64 个国家和地区 2010 年至 2022 年间 13 年的经济数据，样本总观测值个数为 832 个。变量的具体定义方式及参考文献见表 1。

表 1 变量的指标解释表

变量名称	变量符号	解释说明	单位	参考文献
人均 GDP	GDP	反映一个国家或地区平均每个人的经济产出，是衡量国家或地区经济水平的重要指标。	千美元 / 人	Cai et al. (2018) <sup>[11]</sup>
外商直接投资	FDI	指外国投资者在东道国进行的投资，包括绿地投资、并购等形式，是国际资本流动的重要组成部分。	亿美元	Cai et al. (2018) <sup>[11]</sup>
贸易额增长率	Trade (TD)	指一个国家或地区在一定时期内的进出口总额增长率，反映其国际贸易的活跃程度。	%	Zaman (2017) <sup>[4]</sup> 、Zhu et al. (2016) <sup>[10]</sup>
人口增长率	Population growth (PG)	表示人口数量在一定时期内的增长速度，对经济增长有重要影响。	%	Cai et al. (2018) <sup>[11]</sup>
汇率	Exchange rate (ER)	指两国货币之间的兑换比率，反映货币的对外价值。汇率波动可能影响国际贸易和投资。	本币 / 美元	Fisher and Huh (2016) <sup>[16]</sup>
通货膨胀	Inflation (INF)	按消费者价格指数衡量的通货膨胀反映出普通消费者在指定时间间隔（如年度）内购买固定或变动的一篮子货物和服务的成本的年百分比变化。	%	Fisher and Huh (2016) <sup>[16]</sup>
商品和服务出口	Exports of goods and services (EXP)	一个国家在一定时期内（通常为一年）向其他国家出售的商品和服务的总价值。	% of GDP	Tiwari (2011) <sup>[9]</sup>

注释：数据下载网站为 <https://data360.worldbank.org>。

表 2 给出变量的描述性统计量。所有经济指标均存在右偏性质。这不仅反映了样本国家在经济发展阶段上的不均衡性，也提示这些变量之间可能存在结构性差异，这对后续模型构建提供重要的参考依据。

表 2 描述性统计分析表

变量名称	最小值	最大值	均值	标准差	中位数
人均 GDP	0.3306	93.4464	15.7248	19.7047	7.0893
外商直接投资	-241.501	511.434	15.4098	49.8259	1.8399
贸易额	-53.7342	69.9066	3.4066	10.0426	2.6540
人口增长率	-7.6193	9.5392	1.0293	1.3568	1.0040
汇率	0.2979	14849.85	399.3185	1658.835	10.8285
通货膨胀率	-3.2330	72.3090	4.5795	5.7296	3.3220
商品和服务出口	5.1192	203.3277	42.3267	27.0121	35.9076

## 二、模型设定

为了系统探究 FDI、贸易总额、人口增长率、汇率、通货膨胀率以及商品和服务出口等宏观经济因素对经济增长的影响机制，本文区别于传统计量方法（如 Cai et al., 2018<sup>[11]</sup>），引入部分线

性单指标面板无交叉分位数回归模型<sup>[14]</sup>。该模型不仅可以捕捉不同分位水平下变量影响的异质性，还能通过非线性结构刻画复杂经济机制，同时保证分位函数在各个分位点上的单调性。

在模型设定上，本文将 FDI 纳入线性参数部分。这一设定基于已有文献中对 FDI 与经济增长关系的共识，即 FDI 对经济增长的作用路径相对明确且稳定。而贸易总额、人口增长率、汇率、通胀率和商品与服务出口则被整合入单指标结构中，以更灵活地捕捉其潜在的非线性与交互效应。模型的形式如下：

$$GDP_{it} = \beta FDI_{it} + g(\theta_1 TD_{it} + \theta_2 PG_{it} + \theta_3 ER_{it} + \theta_4 INF_{it} + \theta_5 Export_{it}) + \alpha_i + e_{it}, \quad (1)$$

其中， $GDP_{it}$  表示国家  $i$  在年份  $t$  的人均 GDP， $\alpha_i$  为国家固定效应， $e_{it}$  则表示服从正态分布的随机误差项， $i=1, \dots, 64$  表示国家或地区， $t=1, \dots, 13$  表示年份。被解释为，其表示国家  $i$  在时  $t$  的人均 GDP。函数  $g(\cdot)$  为未知的链接函数，用以刻画非线性结构。

简便起见，在  $K$  个分位数水平  $\tau_k \in \{\tau_1, \dots, \tau_K\}$  下，假设线性部分的参数  $\beta$  随着分位点  $\tau_k$  不同而变化，单指标系数  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5)$  和国家或地区固定效应  $\alpha_i$  在所有分位点下保持不变。此时，模型（1）的分位数回归表达式为：

$$Q_{GDP_{it}}(\tau_k | \mathbf{X}_{it}, \mathbf{Z}_{it}) = \mathbf{X}_{it}^T \beta_{\tau_k} + g(\mathbf{Z}_{it}^T \theta, \tau_k) + \alpha_i, \quad (2)$$

其中， $\tau_k \in \{\tau_1, \dots, \tau_K\}$ ， $\mathbf{X}_{it} = FDI_{it}$ ， $\mathbf{Z}_{it} = (TD_{it}, PG_{it}, ER_{it}, INF_{it}, Export_{it})^T$ 。

为防止不同分位点之间的预测分位数曲线发生交叉，本文在估计过程中引入了 Fang et al. (2025)<sup>[14]</sup> 提出的无交叉约束（non-crossing constraint）。具体而言，对于任意一对满足  $\tau_{j_1} < \tau_{j_2}$  且  $\tau_{j_1}, \tau_{j_2} \in \{\tau_1, \dots, \tau_K\}$  的分位数水平，模型参数需满足以下条件：

$$\beta_{\tau_{j_1}} \leq \beta_{\tau_{j_2}}, g(\mathbf{Z}_{it}^T \theta, \tau_{j_1}) \leq g(\mathbf{Z}_{it}^T \theta, \tau_{j_2}), \forall i, t, \text{ 且 } \mathbf{X}_{it} \geq 0.$$

在该约束下，分位数函数满足如下单调性条件：

$$Q_{GDP_{it}}(\tau_{j_1} | \mathbf{X}_{it}, \mathbf{Z}_{it}) \leq Q_{GDP_{it}}(\tau_{j_2} | \mathbf{X}_{it}, \mathbf{Z}_{it}), \forall i, t, \text{ 且 } \mathbf{X}_{it} \geq 0.$$

即估计值应满足：

$$G\hat{D}P_{it, \tau_{j_1}} \leq GDP_{it, \tau_{j_2}}, \forall i, t.$$

该约束能够有效防止预测结果在样本空间中出現违反经济逻辑的交叉现象，确保分位数函数在不同分布下具有一致的递增结构，从而显著提升模型的稳健性与解释力。

通过上述分位数视角的建模策略，本文能够识别不同收入水平国家中人均 GDP 变动的异质性驱动因素，从而在低收入、中等收入与高收入国家之间提供更具分辨力的政策参考。这种分层异质性分析不仅增强了实证识别的精度，也为制定因地制宜、因类施策的宏观政策提供了更加科学且具有针对性的量化支撑。

## 三、实证分析结果

本文在九个典型分位数水平（即  $\tau = 0.025, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 0.95, 0.975$ ）下对模型进行估计。在此之前，本文对所有变量均进行了归一化处理。表 3 展示了 FDI 在上述分位点下对人均 GDP 的回归估计结果。

表3 参数估计结果表

系 数	估计值	95% 置信区间
$\beta$	$\tau_1 = 0.005$	0.0018 [0.0000, 0.0080]
	$\tau_2 = 0.05$	0.0142 [0.0000, 0.0518]
	$\tau_3 = 0.10$	0.0144 [0.0000, 0.0871]
	$\tau_4 = 0.25$	0.0940 [0.0001, 0.0985]
	$\tau_5 = 0.50$	0.5033 [0.0022, 0.7877]
	$\tau_6 = 0.75$	1.3358 [0.1505, 1.7073]
	$\tau_7 = 0.90$	2.1074 [2.006, 2.5758]
	$\tau_8 = 0.95$	2.4186 [2.2167, 2.9450]
	$\tau_9 = 0.975$	2.4369 [2.2858, 3.9644]
$\theta_1$	0.4908	[0.05557, 0.5698]
$\theta_2$	-0.3294	[-0.2589, 0.7571]
$\theta_3$	-0.1059	[-0.1135, 0.3206]
$\theta_4$	-0.0848	[-0.0053, 0.3801]
$\theta_5$	-0.7951	[-0.8816, 0.6741]

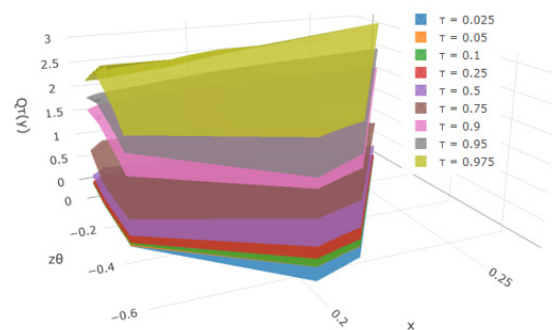
从表3中可以看出：（1）在全部分位点上，FDI对人均GDP均表现出显著的正向影响，且其影响系数在不同分布位置上存在差异，这不仅验证了FDI在推动经济增长方面的重要性，也表明采用分位数回归方法具有显著的必要性。进一步地，比较不同发展水平国家的估计结果可发现，FDI对发达国家的经济促进作用更为明显，且在高分位点的边际效应尤为突出。（2）在其他宏观变量方面，贸易总额、人口增长率、汇率、通货膨胀率与商品和服务出口对经济增长的影响方向呈现出一定的对立性：当贸易额对经济增长呈现正向效应时，其余变量常表现为负向影响；反之亦然。（3）单指标里面包含五个宏观变量中，商品与服务出口的边际效应最为显著，其估计系数的绝对值最大，表明其在经济增长机制中具有关键地位。此外，贸易额的系数在统计上也显著，这进一步说明提升贸易开放水平在激发东道国经济活力方面发挥着重要作用。一方面，贸易扩张有助于实现资源配置与规模经济，另一方面，外部竞争的引入也促进了本国产业结构调整与技术进步。因此，适度推进贸易自由化不仅增强了经济活力，也为经济增长提供了更坚实的外部支撑。综合上述结果可以看出，各类宏观经济变量在不同发展水平国家中的作用并不一致。国家层面可从优化贸易结构、控制人口增速、稳定汇率水平、抑制通货膨胀及提高出口效率等方面入手，实施有针对性的政策调整，以更有效地推动经济增长。

本文采用去一法（leave-one-out）（Yu and Ruppert, 2002）<sup>[17]</sup>构建 $(1-\alpha)$  100%的预测区间。具体说来，基于所有观测样本，分别在 $\tau = \alpha/2$ 和 $\tau = 1-\alpha/2$ 下构建条件分位数，并据此构造预测区间。模型性能评价指标包括平均覆盖概率、预测区间的平均长度及其标准差。表4列示了在 $\alpha = 0.05$ 下的结果。可以看出，构建的预测区间不仅接近设定的名义覆盖率，同时具备适中的平均区间长度，反映出模型在确保预测置信度的同时兼顾了区间收敛效率。该结果表明，引入无交叉约束显著提升了预测性能，保障了预测结果的稳定性与可靠性。

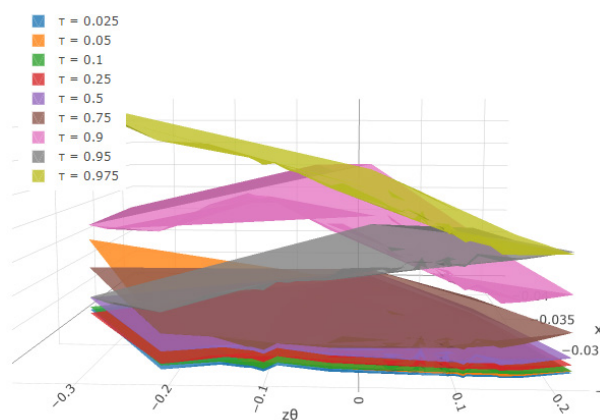
表4 90%和95%的平均覆盖概率与平均预测区间长度

比较指标	90%	95%
平均覆盖概率	0.8533	0.9028
平均预测区间长度	1.6481 (0.3335)	3.2057 (0.5943)

图3展示了在 $\tau = 0.025, 0.050, 0.100, 0.250, 0.500, 0.750, 0.900, 0.950, 0.975$ 九个分位点上，人均GDP的三维预测结果，其中，z轴代表经济增长，x轴和y轴分别对应FDI和单指标输入 $z^T \hat{\theta}$ 。图3（a）为引入无交叉约束的部分线性单指标面板分位数模型估计结果，图3（b）为未引入交叉约束情形。



(a) 考虑交叉约束部分线性单指标面板分位数模型



(b) 未考虑交叉约束部分线性单指标面板分位数模型

图3 不同分位数下部分线性单指标面板无交叉分位数模型拟合的回归曲面图

从图3（a）可以明显看出，所有分位点下的估计曲面均严格遵循分位数函数的单调性要求，各曲面间未出现交叉现象。相比之下，图3（b）中的无约束模型在极端分位数区间（譬如， $\tau = 0.950$ 和 $\tau = 0.975$ ）明显存在曲线交叠，违反了分位函数的单调性。这种“交叉现象”可能导致尾部预测结果不稳定，进而干扰经济解释，尤其在分析经济韧性或风险分层时易引发误判。

为进一步揭示模型的解释力与变量间的交互效应，图4展示了不同分位点下经济增长估计值 $\hat{y}_\tau$ 与FDI和单指标输入 $z^T \hat{\theta}$ 的二维关系图。图中每一条曲线均对应一个特定分位点的估计结果。

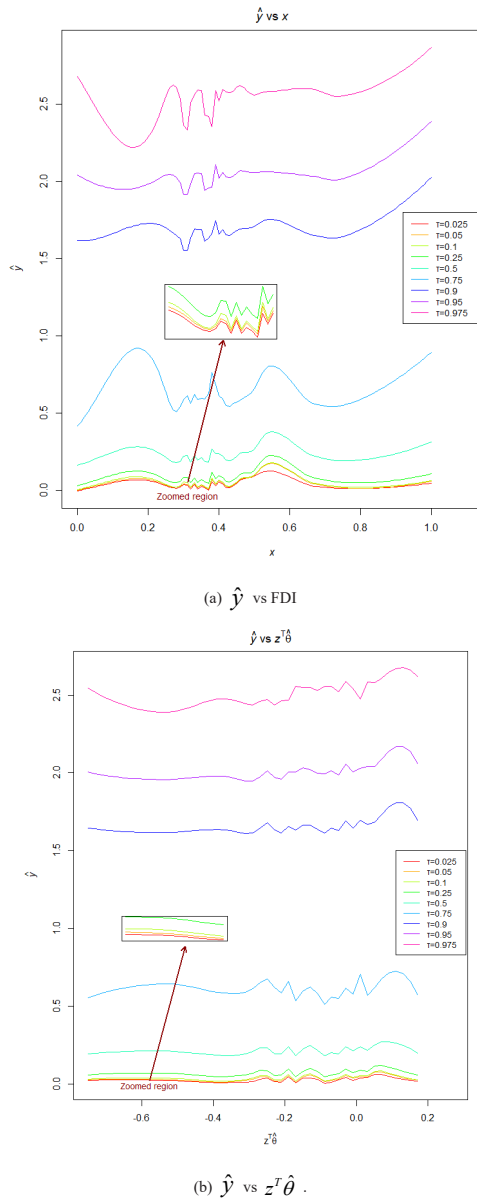


图4 不同分位数下  $\hat{y}$  分别跟 FDI 和  $z^T \hat{\theta}$  的二维图。(a)  $\hat{y}$  vs FDI; (b)  $\hat{y}$  vs  $z^T \hat{\theta}$ 。

从图4(a)可以观察到,当 FDI 处于中高区间时,其增加显著提升了经济增长,且在高分位区域(如整体 GDP 分布前75%的样本)这一正向作用更加突出。FDI 作为国际资本流入的重要形式,既直接扩充了本国资本存量,缓解融资瓶颈,推动基础设施建设;又通过外资企业带动就业和技术溢出,增强了城市或地区的内生增长潜力。因此,FDI 在促进城市层级经济发展的同时,也为分层施策和政策分配提供了明确的量化支撑。图4(b)指出当  $z^T \hat{\theta}$  取值大到一定程度时,其对经济增长的边际影响呈现一定的下降趋势,尤其在高收入或高增长经济体中表现更为显著。这说明相较于 FDI,其他宏观经济变量在某些发展阶段可能对经济增长起到一定抑制或边际递减效应,显示出其作用路径的非线性与复杂性。

此外,图4中每条估计曲线均对应一个特定的分位数水平,整体呈现出随  $\tau$  值增加而上移的趋势,反映了模型估计在不同分位数下的有序性。这一现象直观地验证了无交叉约束所赋予模型的

理论一致性与结构稳健性。在面对异质性强、层级分布复杂的经济或金融面板数据时,引入无交叉分位结构不仅可避免估计间逻辑冲突,还可提升模型对变量影响机制的解释力。因而,该建模策略为政策制定者提供了更具层次性、针对性和稳定性的实证分析依据。

图5给出了模型单指标部分的二维估计结果,即  $\hat{g}(\cdot)$  对单指标输入  $z^T \hat{\theta}$  的二维关系图。其中,横轴为  $z^T \hat{\theta}$ ,纵轴为其对应的估计值  $\hat{g}(\cdot)$ 。

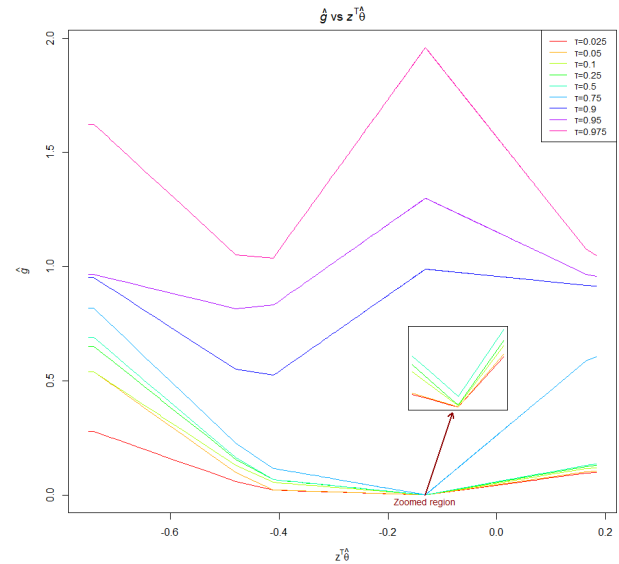


图5 不同分位数下单指标部分  $\hat{g}(\cdot)$  跟单指标输入  $z^T \hat{\theta}$  的二维分布图

可以观察到,在  $z^T \hat{\theta}$  取值处于中等范围时,低经济增长的国家或地区的估计曲线较为接近;而在尾部区域(不管是上尾还是下尾),不同分位数下经济增长曲线间的区分逐渐显著。局部放大图进一步揭示了随着分位数水平上升,  $\hat{g}(\cdot)$  呈现严格的非递减趋势,验证了模型在结构设定上对分位函数单调性的有效约束。该特性不仅提升了模型在样本稀疏区域的估计稳健性,也增强了对经济增长机制中非线性特征的刻画能力。

## 四、结论

基于2001年至2022年64个国家和地区的宏观经济面板数据,本文系统考察了外国直接投资(FDI)、贸易额、人口增长率、汇率、通货膨胀率与商品和服务出口等因素对东道国经济增长(以人均GDP衡量)的影响。主要结论如下:

首先,FDI 对经济增长具有显著的正向影响,在高收入及中等偏上收入国家中尤为显著。这一发现与已有的“吸收能力假说”相一致,即经济基础较好的国家更有能力将外资转化为实际生产力。进一步分析表明,FDI 的经济效应呈现非线性特征,其边际作用在不同经济发展水平国家中存在差异。这意味着,在外部冲击频发的背景下,各国应结合本国发展阶段,有针对性地引导外资流向、优化外资结构,以增强经济增长的可持续性韧性。

其次,贸易额对经济增长的影响效应亦得到验证。结果显示,

贸易开放有助于提升资源配置效率，激发经济活力，尤其在中高收入国家中作用更为显著。这与贸易开放度（TOP）与经济增长相关这一研究相契合。然而，需警惕短期内过度依赖贸易保护政策所引发的国际摩擦与增长风险。长期来看，推动内需扩张、加强外部平衡与贸易多元化，将更有助于构建稳健的增长机制。

第三，人口增长率、汇率、通货膨胀率和商品和服务出口对经济增长尽管与贸易对经济增长的影响相反，但是在经济的不同分布下，其影响是不一样的。譬如，在低收入国家，人口增长通过扩大劳动力供给促进经济发展；但在高收入及中等偏上收入国家，其正向效应不显著，可能受到人口老龄化、结构性失业等因素的抑制。这表明人口红利的有效释放需结合结构性条件进行差异化政策设计。

基于上述研究发现，本文提出如下政策建议：

第一，当前全球经济正处于后疫情恢复阶段，同时面临俄乌冲突、伊以冲突等多重地缘风险冲击，导致国际能源与大宗商品价格波动加剧，进而推高输入型通胀，并加大汇率的波动性。在此背景下，汇率的不确定性不仅削弱外资流入的预期，还可能扰乱出口导向型经济体的增长动能。建议加强对汇率与价格水平之间联动关系的动态监测，完善跨部门的宏观政策协调机制，提升货币政策与财政政策的协同调控能力，增强政策响应的前瞻性与灵活性。

第二，根据国际货币基金组织（IMF）最新报告，全球通胀

在2022年第三季度达到9.4%的峰值后，全球总体通胀率到2025年底预计将从2024年的年均5.8%降至3.5%，略低于新冠疫情前二十年的平均水平。大多数国家的通胀率已回归至各自中央银行的目标区间，为适度调整货币政策立场提供了窗口。然而，发展中经济体和低收入国家仍面临增长前景下调的压力，主要受地缘政治不确定性、债务负担上升和财政空间受限等因素影响。因此，应在保持价格稳定的基础上，加大对关键基础设施和人力资本的投资，以稳住中长期增长潜力。

第三，在全球性供给侧冲击日益突出的背景下（如气候变化、公共卫生危机、地缘紧张局势等），传统货币政策面临“通胀上行与产出下行”的双重困境，政策空间受限。因此，更需发挥逆周期财政政策的调节作用，尤其在外部不确定性加剧时，应通过财政支出的灵活配置，稳住内需与就业。同时，财政政策的实施强度与节奏需因国制宜、权衡利弊：过度紧缩可能扼杀经济恢复动能，而过度宽松或调整滞后又可能引发债务可持续性与金融稳定风险。

综上所述，本文基于部分线性单指标无交叉分位数面板模型的实证分析，不仅揭示了FDI、贸易、人口、汇率、通胀以及商品与服务出口等关键变量对经济增长的异质性影响机制，也为不同收入水平国家制定更具针对性和可操作性的宏观调控政策提供了理论支撑与数据依据。

## 参考文献

- [1] 吴湧超. 外商直接投资与中国经济增长的实证分析 [J]. 财经理论与实践, 2004, (03):119-122.
- [2] 白俊红, 吕晓红. FDI 质量与中国经济发展方式转变 [J]. 金融研究, 2017, (05):47-62.
- [3] 李磊, 冼国明, 包群. “引进来”是否促进了“走出去”?——外商投资对中国企业对外直接投资的影响 [J]. 经济研究, 2018, 53(03):142-156.
- [4] Zaman, K., 2018. The impact of hydro-biofuel-wind energy consumption on environmental cost of doing business in a panel of BRICS countries: evidence from three-stage least squares estimator. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, pp.4479-4490.
- [5] Daliri, H., 2021. Does Foreign Direct Investment always Generate Economic Growth?: Evidence from the Panel Quantile Regression Model. *Iranian Journal of Economic Studies*, 10(1), pp.81-102.
- [6] 罗雨森, 路正南. 环境规制视角下双向 FDI 对中国经济增长质量的影响 [J]. 统计与决策, 2022, 38(04):169-173.
- [7] 陈晓林, 薛军, 陈培如. 市场规模、劳动力禀赋与外商直接投资模式——来自我国双向投资的证据 [J]. 统计研究, 2024, 41(09):86-100.
- [8] 陈峰, 杨艳艳, 张萍. 基于空间杜宾模型 (SDM) 的中国低碳发展溢出和调节效应实证研究 [J]. 中国管理科学, 2025, 33(05):45-53.
- [9] Tiwari, A.K., 2011. Foreign aid, FDI, economic freedom and economic growth in Asian countries. *Global Economy Journal*, 11(3).
- [10] Zhu, H., Duan, L., Guo, Y., and Yu, K., 2016. The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: evidence from panel quantile regression. *Economic Modelling*, 58, pp.237-248.
- [11] Cai, Z., Chen, L., and Fang, Y., 2018. A semiparametric quantile panel data model with an application to estimating the growth effect of FDI. *Journal of Econometrics*, 206(2), 531-553.
- [12] Hou, L., Li, K., Li, Q., and Ouyang, M., 2021. Revisiting the location of FDI in China: A panel data approach with heterogeneous shocks. *Journal of Econometrics*, 221(2), pp.483-509.
- [13] Sasaki, Y., Takahashi, Y., Xin, Y., and Hu, Y., 2023. Dynamic discrete choice models with incomplete data: Sharp identification. *Journal of Econometrics*, 236(1), p.105461.
- [14] Fang, Y. Estimation and Inference in Partially Linear Single-Index Panel Non-Crossing Quantile Regression Model. Working paper.
- [15] Kottaridi, C., and Stengos, T., 2010. Foreign direct investment, human capital and non-linearities in economic growth. *Journal of Macroeconomics*, 32(3), pp.858-871.
- [16] Fisher, L.A., and Huh, H.S., 2016. Monetary policy and exchange rates: Further evidence using a new method for implementing sign restrictions. *Journal of Macroeconomics*, 49, pp.177-191.
- [17] Yu, Y., and Ruppert, D., 2002. Penalized spline estimation for partially linear single-index models. *Journal of the American Statistical Association*, 97(460), pp.1042-1054.

# 城市竞争力与基础设施建设的典型相关分析和 SBM 模型分析——对比广东省与山东省

孔荫莹，戴方润

广东财经大学 统计与数学学院，广东 广州 510320

DOI:10.61369/ASDS.2025060020

**摘 要：** 本文采用典型相关分析方法，探讨了广东省与山东省两经济大省在城市竞争力与基础设施建设方面的差异及相互作用。通过对两省各城市数据的分析，得到了各自城市竞争力与基础设施建设的典型结构。进一步，利用 SBM 模型，本文量化了基础设施建设对城市竞争力提升的贡献效率，以及城市竞争力对基础设施建设的推动作用效率，并进行了对比研究。研究发现，广东省展现出较高的城市竞争力推动基础设施建设效率，而山东省则在基础设施促进城市竞争力提升方面表现更为突出；山东省内城市间地域差异相对较小；广东省与山东省在经济发展速度与电信业务发展的成熟度上则存在显著差异。本研究为理解区域发展不平衡提供了新的视角，也为两省未来制定差异化发展战略、优化资源配置提供了科学依据。

**关 键 词：** 城市竞争力；城市基础设施；典型相关分析；数据包络分析；SBM 模型

## Typical Correlation Analysis and SBM Model Analysis of Urban Competitiveness and Infrastructure Construction — A Comparative Study between Guangdong and Shandong Provinces

Kong Yinying, Dai Fangrun

School of Statistics and Mathematics, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou, Guangdong 510320

**Abstract：** This paper employs the canonical correlation analysis method to explore the differences and interactions between urban competitiveness and infrastructure construction in Guangdong and Shandong, two major economic provinces in China. Through the analysis of data from various cities in the two provinces, typical structures of urban competitiveness and infrastructure construction in each province are identified. Furthermore, utilizing the SBM model, this paper quantifies the efficiency of infrastructure construction in contributing to the enhancement of urban competitiveness, as well as the efficiency of urban competitiveness in driving infrastructure construction, and conducts a horizontal comparison. The study finds that Guangdong Province exhibits a higher efficiency in driving infrastructure construction through urban competitiveness, while Shandong Province performs more prominently in promoting urban competitiveness through infrastructure. Additionally, Shandong Province exhibits relatively smaller geographical differences among its cities. In contrast, Guangdong and Shandong differ significantly in terms of economic development speed and the maturity of telecommunications business. This research provides a new perspective for understanding regional development imbalances and offers a scientific basis for the two provinces to formulate differentiated development strategies and optimize resource allocation in the future.

**Keywords：** urban competitiveness; urban infrastructure; canonical correlation analysis; DEA; SBM model

### 引言

我国政府高度重视新质生产力的发展，多次强调要加快发展新质生产力。而城市竞争力是衡量一个城市在吸引、配置和利用资源方面的能力。研究城市竞争力，可以识别出哪些城市在科技创新、制度创新等方面具有优势，进而推动这些城市成为创新驱动发展的高地。城市竞争力面临着持续发展的挑战，其中城市竞争力及基础设施建设之间的关系是一个重要的议题。同时，城市基础设施建设对高

作者简介：

孔荫莹，广东财经大学统计与数学学院，教授，研究生导师，研究方向为大数据统计和大数据会计；

戴方润，广东财经大学统计与数学学院，硕士研究生，研究方向为数理统计。

质量发展具有重要影响。基础设施建设直接关系到居民的生活质量，保障了居民的基本生活需求和精神文化生活需求。

通过探究城市竞争力和基础设施建设的关系，优化资源配置，促进高质量发展，加速发展新质生产力。本文首先使用典型相关分析的方法，分析了广东省和山东省城市基础设施与城市竞争力的关系，在此基础上使用 SBM 模型比较了两省数据的差异，分析了可能的原因。

## 一、文献综述

目前，国内外学术界许多学者对城市竞争力进行了深入研究和探讨。钱实，陈振光（2014）将竞合概念应用到城市层面，结合城市竞争力讨论了区域内城市竞合的内涵，结合全球化背景，提出了一个理论的分析框架<sup>[1]</sup>。潘峰华等（2018）从全国尺度考察了8个中心城市的竞争力和职能的演变<sup>[2]</sup>。杨亮洁等（2021）测度了成渝城市群城市内生、外生竞争力的耦合协调类型及其演化路径<sup>[3]</sup>。徐海东，倪鹏飞（2023）探讨了旅游与休闲在城市竞争力提升中的重要作用<sup>[4]</sup>。

Renata（2022）使用多标准 SAW 和 TOPSIS 评估方法，研究了疫情背景下的可持续城市竞争力<sup>[5]</sup>。Meng（2023）选取了15个城市作为研究对象，使用双向固定效应模型，深入探讨了数字城市竞争力对商业流通业全要素生产率的影响<sup>[6]</sup>。Abdrabo（2024）使用模糊层次分析法（AHP）与多准则优化与折衷解排序法（VIKOR）的混合方法研究埃及42座城市的竞争力，并使用地理信息系统将埃及城市划分为四个类别<sup>[7]</sup>。

许多学者对中国城市基础设施建设展开研究。吕拉昌等（2021）使用主成分分析和 GIS 技术分析中国城市创新基础设施的空间格局，并研究了创新基础设施对创新的影响<sup>[8]</sup>。吴志强等（2021）梳理城市基础设施网络体系的迭代历程及其对城市发展的影响<sup>[9]</sup>。周记顺，宋颜希（2022）使用双重差分法检验了新型城市建设对城市出口的影响，认为智慧城市建设能够显著提升城市出口规模<sup>[10]</sup>。薛桂芝等（2023）研究了传统基础设施对全要素生产率的影响<sup>[11]</sup>。房景等（2023）建立双重差分模型讨论了高铁建设对消费的影响作用<sup>[12]</sup>。

数据包络分析（DEA）这一术语及其系统的理论框架，是由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 在论文中首次提出<sup>[13]</sup>。该方法可以评估具有多个输入和多个输出的决策单元（DMU）之间的相对效率。数据包络分析方法已经得到广泛的关注、发展和应用。

张国基等（2020）构建了基于水资源系统混合网络结构的 DEA 模型测算水资源利用效率，研究了全国水资源利用效率和空间交互影响<sup>[14]</sup>。任腾等（2022）使用双层数据包络分析模型研究了中国省际可持续发展系统的效率评价与满意度的问题，讨论区域可持续发展的效率<sup>[15]</sup>。魏宇琪（2023）等研究了大数据背景下 DEA 模型求解困难的问题，提出了一种优化求解工作和求解速度的方法<sup>[16]</sup>。马占新等（2024）对数据包络分析方法进行深入研究，提出了一种基于全局视角的并行网络 DEA 模型，并讨论了相关性<sup>[17]</sup>。

Tone（2001）构想并提出了 SBM 模型，该模型在目标函数中设定了松弛变量，以此有效弥补因松弛变量产生误差的不

足<sup>[18]</sup>。Zhai（2022）等使用 SBM 模型和 ML 指数计算了中国30个省份的绿色生产率，并讨论了其相关性<sup>[19]</sup>。孔芳霞等（2022）构建超效率 SBM 模型测算了基础设施建设与绿色发展的协调度<sup>[20]</sup>。陈美景等（2024）构建了超效率 SBM 模型，对国土空间利用效率进行研究<sup>[21]</sup>。

## 二、研究方法和数据选取

### （一）典型相关分析

为了简洁地研究研究两组变量

$$[x_1, x_2, \dots, x_p], [y_1, y_2, \dots, y_q]$$

之间的相关关系，1936年 Hotelling 将线性相关性推广到两组相关变量中，提出了典型相关分析方法<sup>[22]</sup>。首先分别在每一组变量中找出一个线性组合，使这一对线性组合具有最大相关性

$$\begin{cases} u_1 = \alpha_{11}x_1 + \alpha_{21}x_2 + \dots + \alpha_{p1}x_p, \\ v_1 = \beta_{11}y_1 + \beta_{21}y_2 + \dots + \beta_{q1}y_q. \end{cases}$$

以此类推，可以在每组变量中找出第二对线性组合，第三对线性组合等等，使其分别与已有的线性组合不相关，且自身具有最大的相关性。该过程可以进行  $\min\{p, q\}$  步。提取出的成对变量被称为典型相关变量。

某对典型变量之间的相关系数被称为典型相关系数，通过典型相关系数可以了解典型变量之间的关系。通过显著性检验确定典型变量的显著性，并据此进行进一步的分析。典型相关变量与原始变量之间的相关系数反映了典型变量和原始变量之间的相关性。

### （二）SBM 模型

数据包络分析（DEA）由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 于1978年首次提出<sup>[13]</sup>，它基于相对效率的概念，通过比较一组类似单位的绩效来评价各个单位的相对效率。在 DEA 中，每个被评估的单位或组织被称为决策单元（DMU）。通常假设每个决策单元具有可比性，并假设有  $m$  个投入， $q$  个产出。

SBM 模型是数据包络分析中的一个模型，由 Tone 于2001年提出<sup>[18]</sup>。相比于传统 DEA 模型，SBM 将松弛变量纳入目标函数。有  $m$  个投入， $q$  个产出的非导向性 SBM 模型可由如下模型表达。

$$\min \rho_k = \left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{a_{ik}}\right) / \left(1 + \frac{1}{q} \sum_{r=1}^q \frac{s_r^+}{b_{rk}}\right),$$

$$s.t. \begin{cases} A\lambda + s^- = a_k \\ B\lambda - s^+ = b_k \\ \lambda, s^-, s^+ \geq 0 \end{cases}.$$

其中 $\rho_k$ 表示第 $k$ 个决策单元的效率,该模型的效率同时蕴含了投入和产出的效率。若 $\rho_k=1$ ,则表示该决策单元是有效的。

$A, B$ 分别表示投入和产出,  $a_{ik}$ 表示第 $k$ 个决策单元的第 $i$ 种投入,  $b_{rk}$ 表示第 $k$ 个决策单元的第 $r$ 种产出,  $s^-$ 和 $s^+$ 分别表示投入和产出的松弛变量,  $\lambda$ 为权重向量。

通过求解该模型,可以计算得到决策单元的效率 and 松弛变量,从而可以比较决策单元效率的高低,并参考松弛变量寻求改进措施。松弛变量通常直接给出允许改进的数值,本文以变量的原始数值为基准计算得到松弛变量的比例。

(三) 指标选取

国内外已经有很多学者对城市竞争力的影响因素进行了深入研究。本文在这些研究成果的基础上,综合不同文章中对指标的选取<sup>[3][23]</sup>,同时综合参考统计年鉴中给出的数据和统计方法,选择较有代表性的指标。借鉴这些指标作为本文反映城市竞争力和基础设施建设的指标。

表 2-1 城市竞争力变量

符号	变量
$x_1$	人均生产总值
$x_2$	公共财政支出
$x_3$	公共财政收入
$x_4$	第三产业增加值占地区生产总值比重
$x_5$	规模以上工业利润总额
$x_6$	固定资产投资增速
$x_7$	科技支出占公共财政支出比重
$x_8$	客运总量
$x_9$	城镇居民人均可支配收入
$x_{10}$	移动电话拥有数
$x_{11}$	人均绿地面积
$x_{12}$	金融机构贷款总额

反映城市竞争力和城市基础设施建设的各个变量对应的数据可以从《广东统计年鉴2024》、《山东统计年鉴2024》、《中国城市统计年鉴2024》和《2023年中国城市建设统计年鉴》中直接获得或经过简单计算得到。均为2023年数据。具体个变量如表2-1和表2-2所示。

表 2-2 城市基础设施变量

	变量
$y_1$	医院数
$y_2$	人均生活用水
$y_3$	人均道路里程
$y_4$	图书馆藏书数
$y_5$	人均电力消费
$y_6$	人均生活用天然气

三、广东省数据的典型相关分析

(一) 典型相关系数及假设检验

表 3-1 典型相关系数 (广东省)

序号	典型相关系数
1	0.9985
2	0.9820

3	0.9363
4	0.8714
5	0.6746
6	0.6018

使用前文中选取的变量,从统计年鉴中收集数据并处理,根据典型相关分析的一般步骤进行建模分析。典型相关系数数值如表3-1所示。

由表可知,典型相关系数比较高,表明典型相关变量之间较为相关。但是要确定典型相关变量的显著性,还需要进行 $\chi^2$ 检验,结果如表3-2所示。

表 3-2 显著性检验 (广东省)

序号	1	2	3	4	5	6
$P$ 值	$1.0067\times10^{-6}$	0.0861	0.1749	0.4910	0.7697	0.6013

如果取定了显著性水平 $\alpha=0.05$ ,那么根据表3-2中的计算结果可以看到,只有第一组典型相关变量通过了显著性检验。因此在0.05的显著性水平下,可以认为第一组典型相关变量关系显著,可以使用第一组典型相关变量进行数据分析。

(二) 典型相关模型和典型结构

经计算,得到标准化的典型系数,具体的典型相关模型如表3-3所示。

表 3-3 典型相关模型 (广东省)

第一组	$u_1 = -0.1581x_1 - 0.7845x_2 + 1.4172x_3 - 0.1065x_4 + 0.0573x_5 - 0.0087x_6$
	$-0.0171x_7 - 0.0779x_8 - 0.2348x_9 + 0.6127x_{10} - 0.0169x_{11} + 0.2183x_{12}$
	$v_1 = 0.3799y_1 - 0.0282y_2 + 0.0023y_3 + 0.7131y_4 - 0.0784y_5 + 0.0602y_6$

由相关方程可知,代表基础设施方面的 $v_1$ 中的 $y_4$ (图书馆藏书数)系数明显大于同方程其他变量,说明城市图书馆的建设从一定程度上反应了城市基础设施建设的情况;城市竞争力的第一典型变量 $u_1$ 与 $x_3$ (公共财政预算收入)相比同组其他变量呈现了较高的相关关系,说明在城市竞争力中,人均生产总值是非常重要的指标。

典型结构是指这些相关系数得到的矩阵。根据原始变量与典型变量之间的相关系数,可以给出结构分析,本文以表格的形式给出计算结果,结果如表3-4所示。

表 3-4 广东省结构分析 (广东省)

指标	$v_1$	指标	$v_1$	指标	$u_1$
$x_1$	0.7133	$x_7$	0.5904	$y_1$	0.8729
$x_2$	0.9023	$x_8$	0.4749	$y_2$	-0.0547
$x_3$	0.9362	$x_9$	0.4212	$y_3$	-0.2909
$x_4$	0.6767	$x_{10}$	0.9662	$y_4$	0.9522
$x_5$	0.8384	$x_{11}$	0.5590	$y_5$	0.2373
$x_6$	-0.0351	$x_{12}$	0.3638	$y_6$	0.0937

由表3-4知,  $x_2, x_3, x_{10}$ 与基础设施建设的典型相关变量呈高度相关,说明公共财政预算收支和移动电话数在反应城市基础设施建设方面占有主导地位。公共财政收支能一定程度上代表城市的财政状况,而移动电话数是反应地区电信业务的重要指标。广东省表现出的财政状况与电信业务和基础设施建设的高度相关性反映了基础设施建设中和财政、电信业务之间密切的联系。

城市竞争力的典型相关变量  $u_1$  与  $y_1, y_2$  的相关系数较高, 体现了医院数和图书馆藏书数在反应城市竞争力方面的作用。医院与图书馆分别代表了医疗、文化相关的建设。医疗文化与城市竞争力密切的关系揭示了广东省城市竞争力密切关系城市医疗文化建设发展。

## 四、山东省数据的典型相关分析

### (一) 典型相关系数及假设检验

与广东省做法类似, 根据前文的变量选取, 从对应统计年鉴中获取了山东省数据并进行分析。首先对数据进行相关系数的  $\chi^2$  统计量检验, 结果如表 4-1 所示。

表 4-1 显著性 (山东省)

序号	1	2	3	4	5	6
P 值	$1.6782 \times 10^{-26}$	$1.0067 \times 10^{-26}$	0.0086	0.4850	0.8149	0.9626

根据表 4-1 中的计算结果, 在 0.05 的显著性水平下, 可以选用前 3 组典型相关变量进行数据分析。

### (二) 典型相关模型和典型结构

经计算, 得到标准化的典型系数, 结果如表 4-2。

表 4-2 典型相关模型 (山东省)

第一组	$u_1 = 0.4663x_1 - 2.8828x_2 - 1.6892x_3 - 0.6083x_4 + 0.9901x_5 + 0.2116x_6 + 0.1909x_7 - 0.2302x_8 - 0.2445x_9 + 0.3505x_{10} + 0.2425x_{11} + 4.4748x_{12}$ $v_1 = -0.4850y_1 + 0.6522y_2 + 0.3823y_3 + 0.9325y_4 - 0.2696y_5 + 0.0332y_6$
第二组	$u_2 = -0.2231x_1 + 0.6495x_2 + 1.1090x_3 + 1.1651x_4 + 0.0021x_5 - 0.0651x_6 - 0.0784x_7 + 0.1348x_8 + 0.6287x_9 - 1.5924x_{10} - 0.0873x_{11} - 1.3528x_{12}$ $v_2 = 0.2428y_1 - 0.7019y_2 + 0.8380y_3 - 0.1833y_4 - 0.7019y_5 + 1.1161y_6$

表 4-3 山东省结构分析 (山东省)

指标	$v_1$	$v_2$	$v_3$	指标	$v_1$	$v_2$	$v_3$	指标	$u_1$	$u_2$	$u_3$
$x_1$	0.6793	0.4096	0.1627	$x_7$	0.1988	0.4107	-0.1605	$y_1$	0.0000	0.0000	0.9755
$x_2$	0.2792	0.3429	0.8582	$x_8$	0.2053	0.4878	0.6245	$y_2$	0.7735	0.0087	-0.0369
$x_3$	0.1264	0.2524	0.8997	$x_9$	0.5166	0.4932	0.3673	$y_3$	0.0631	-0.5104	-0.6866
$x_4$	0.0311	0.5372	0.6766	$x_{10}$	-0.0220	-0.0561	0.9631	$y_4$	0.5374	0.2157	0.6998
$x_5$	-0.0229	0.1872	0.6188	$x_{11}$	0.5452	0.3840	0.0761	$y_5$	0.1898	-0.0158	-0.3781
$x_6$	-0.0169	-0.3749	-0.0791	$x_{12}$	0.3929	0.3410	0.8138	$y_6$	0.6467	-0.4819	0.1572

而反映城市竞争力的三个典型相关变量  $u_1, u_2, u_3$  分别与  $y_2$  人均生活用水,  $y_3$  人均道路里程,  $y_1$  医院数关系密切。人均生活用水, 人均道路里程分别反映了城市供水系统和道路建设对城市竞争力的影响。医院数也反应了城市的医疗卫生情况, 山东省医疗卫生建设对竞争力影响不突出。

## 五、数据包络分析

### (一) 广东省山东省数据对比

根据前面分别对广东省和山东省的数据进行分析, 可以发现广东省数据与山东省既有相似之处, 也有不同之处, 一定程度上体现了两省经济发展中的不同特点。为了进一步探究这一不同结果体现出的差异, 本文选取了前面结果中关系密切的变量进行研究。分别选取了公共预算收支、移动电话数、人均生产总值、第

第三组	$u_3 = -0.0179x_1 + 0.6262x_2 - 0.2835x_3 + 0.2953x_4 + 0.0751x_5 + 0.0550x_6 - 0.1437x_7 - 0.2680x_8 + 0.0440x_9 + 0.9896x_{10} + 0.2289x_{11} - 0.4469x_{12}$ $v_3 = 0.8024y_1 - 0.2004y_2 - 0.2824y_3 - 0.0271y_4 + 0.0249y_5 + 0.2825y_6$
-----	--

在首先提取出的第一组相关方程可知, 代表基础设施方面的  $v_1$  的主要因素是系数明显大于同方程其他变量的  $y_4$  (图书馆藏书数), 说明城市图书馆的建设从一定程度上反应了城市基础设施建设的情况; 城市竞争力的第一典型变量  $u_1$  中  $x_2, x_3$  (公共预算收支) 对应的系数绝对值明显大于同组其他变量, 说明在城市竞争力中, 预算收支是非常重要的指标。

根据第二组典型相关方程, 可以发现  $y_3$  (人均道路里程) 在  $v_2$  中起主导作用, 而  $x_{10}$  (移动电话数) 在  $u_2$  中系数较大, 是反映城市竞争力的重要指标。

根据原始变量与典型变量之间的相关系数, 可以进行典型结构分析。根据表 4-3 中的计算结果, 可以发现, 反应基础设施建设的三个典型相关变量  $v_1, v_2, v_3$  分别与城市竞争力中的  $x_1$  人均生产总值,  $x_4$  第三产业增加值占地区生产总值的比重,  $x_{10}$  移动电话数关系密切。人均生产总值表现了经济发展的平均状况, 与基础设施建设密切的关系表明了基础设施建设与经济发展同步发展的状况。第三产业比重表现了城市产业优化对城市基础设施建设的促进作用。而移动电话数的情况表明电信业务发展对城市基础设施建设起到的作用不突出。

三产业比重、医院数、图书馆藏书数、人均生活用水和人均道路里程。

不同城市对地区的发展、规划具有一定的独立性, 因此可以将不同的城市视为不同的决策单元, 使用数据包络分析比较不同城市之间的效率, 进而探究广东山东两省的不同特点。为分析城市竞争力和基础设施建设的互相关系, 本文先探究基础设施建设对城市竞争力的影响; 再研究分析城市竞争力对基础设施建设的影响。

### (二) 城市竞争力效率分析

根据前面的分析, 首先将基础设施建设作为投入, 竞争力作为产出。具体来说, 将前文分析的  $y_1, y_2, y_3$  作为投入,  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_{10}$  作为产出, 进行数据包络分析。本文使用非导向 SBM 模型进行分析, 假设规模报酬可变, 得到相应的效率和松弛变量。本文使用百分数的形式给出松弛变量相对于原始变量的比例。

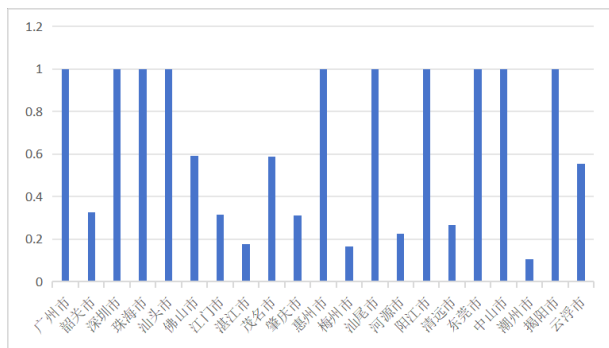


图 5-1 基础设施建设促进城市竞争力效率（广东省）

可以直观看出，山东省效率的平均水平高于广东省，实际上山东省平均效率为0.9480，而广东省平均为0.6491，这表明山东省基础设施投入转化为城市竞争力的效率平均高于广东。山东省的方差为0.0111，广东省方差为0.1262，这表明广东省城市之间的差异较大。广东山东均有多个城市的效率达到了1，这表示这些城市在两省中基础设施转化为城市竞争力的水平较高，达到了相对的效率前沿，说明两省基础设施转化为城市竞争力的最高水平相当。考察最低的效率值，广东有三个城市的效率低于0.2，意味着城市的基础设施建设对城市竞争力的推动作用仍有非常大的进步空间。

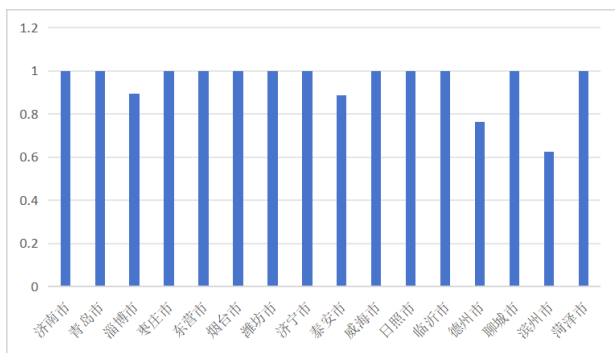


图 5-2 基础设施建设促进城市竞争力效率（山东省）

地区	图书馆藏书数	人均生活用水	人均道路里程	人均生产总值	公共预算支出	公共预算收入	第三产业比重	移动电话数
佛山市	0.00%	52.36%	19.75%	5.32%	50.93%	42.93%	43.12%	0.00%
江门市	0.00%	16.66%	72.42%	96.05%	183.57%	243.00%	27.61%	62.33%
湛江市	0.00%	58.35%	69.97%	137.42%	173.91%	684.24%	39.30%	72.52%
茂名市	0.00%	14.92%	34.20%	44.55%	25.64%	129.78%	11.77%	0.00%
肇庆市	0.00%	66.42%	52.54%	2.83%	97.96%	199.96%	24.21%	145.46%
梅州市	0.00%	29.14%	85.36%	361.35%	139.19%	778.50%	14.30%	61.86%
清远市	18.41%	23.64%	91.16%	220.27%	81.65%	220.08%	17.38%	0.00%
潮州市	0.00%	21.01%	43.58%	152.61%	588.28%	2055.90%	40.22%	300.00%

图 5-3 部分地区基础设施建设促进城市竞争力松弛变量数据条

图5-3给出了广东省部分城市的松弛变量百分比。在人均生活用水这一变量中，有多个地区用水较多，而在人均道路里程中也有多个地区里程较多。

对比不同决策单元可以发现，潮州市公共预算收支，移动电话数对应的松弛变量数值均最高，第三产业比重的松弛变量数值也位于较高的位置，这表明潮州市在基础设施建设转化为城市竞争力的效率上，有较大的进步空间。

### （三）基础设施建设效率分析

完成基础设施对城市竞争力的效率的分析，本文将城市竞争力视为投入，分析建设城市基础设施的效率，研究不同城市即不同决策单元之间的效率。

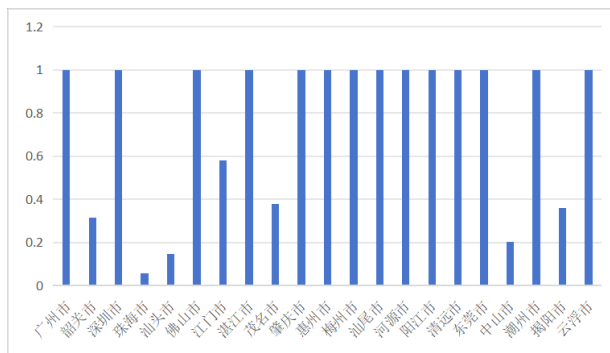


图 5-4 城市竞争力促进基础设施建设效率（广东省）

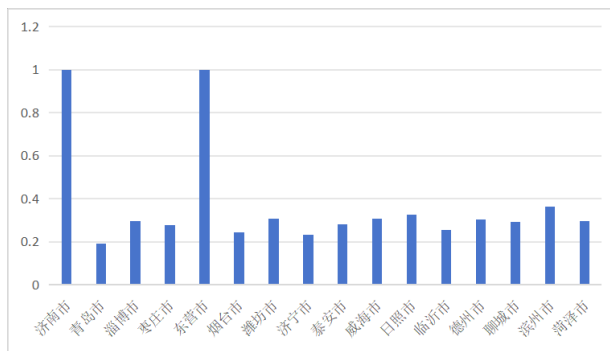


图 5-5 城市竞争力促进基础设施建设效率（山东省）

与前面类似，整体上广东省的效率高于山东省，广东省城市竞争力对基础设施建设推动作用的平均水平高于山东省。广东省不同地区之间的差异较大。广东省多个地区的效率达到了1。山东省大多数地区的效率相对较低，只有两个地区效率达到了1，在两省城市中处于相对有效的位置。广东省整体相比于山东省，在城市竞争力推动基础设施建设的效率上有较大优势。

地区	人均生产总值	公共预算支出	公共预算收入	第三产业比重	移动电话数	图书馆藏书数	人均生活用水	人均道路里程
青岛市	61.0%	60.9%	80.5%	30.7%	41.0%	0.0%	121.27%	280.68%
淄博市	42.59%	50.81%	84.95%	0.00%	49.97%	76.60%	110.53%	54.81%
枣庄市	4.65%	31.42%	70.14%	14.92%	31.38%	296.36%	148.96%	0.00%
烟台市	63.4%	72.36%	91.20%	10.11%	68.08%	0.00%	144.37%	29.90%
潍坊市	31.32%	34.21%	74.80%	13.73%	32.14%	0.00%	227.15%	85.86%
济宁市	27.13%	58.13%	85.37%	0.00%	72.63%	11.12%	223.96%	124.41%
泰安市	15.64%	45.33%	75.92%	8.47%	50.89%	188.17%	158.93%	0.00%
威海市	59.3%	29.67%	72.35%	5.43%	32.09%	0.00%	183.03%	104.37%
日照市	36.44%	13.12%	70.22%	9.81%	16.07%	248.50%	101.04%	0.00%
临沂市	28.65%	52.43%	81.34%	2.80%	65.90%	0.00%	251.95%	80.76%
德州市	24.90%	54.11%	75.68%	4.32%	51.14%	113.58%	153.61%	0.00%
聊城市	0.00%	45.10%	74.29%	4.40%	50.79%	168.08%	204.26%	0.00%
滨州市	36.49%	42.18%	78.32%	0.47%	35.26%	74.51%	132.37%	0.00%
珠海市	72.10%	55.76%	84.24%	5.13%	28.29%	0.00%	13.40%	2312.60%
汕头市	5.05%	3.53%	21.94%	0.00%	47.04%	0.00%	65.06%	1363.76%
茂名市	20.62%	52.50%	61.78%	2.10%	54.12%	172.80%	15.79%	0.00%

图 5-6 部分地区城市竞争力促进基础设施建设松弛变量数据条

如图5-6给出了松弛变量的百分比。山东省多个地区公共预算收支和移动电话数的松弛变量数值都相对较大，表明公共预算和电信业务的发展对城市基础设施建设作用有待提高。城市基础设施建设方面，有多个地区人均生活用水的松弛变量较大，表明城市竞争力的发展没有很好的促进城市供水系统的发展。珠海茂名地区城市竞争力推动道路建设发展空间较大。枣庄日照两地图书馆藏书数松弛变量比例最大，城市竞争力的发展对文化建设起到的促进作用相对落后。

## 六、结束语

### （一）广东省

从广东省自身数据进行典型相关分析，可以发现公共预算收

支和移动电话数与城市基础设施建设联系紧密。公共预算从一定程度上反映了城市的财政情况，而移动电话数一定意义上代表了电信业务的发展状况。另外，医院数和图书馆藏书数与城市竞争力关系紧密，体现了广东省医疗、文化建设对城市竞争力的提升有重要影响。

广东省相比于山东省，城市竞争力推动基础设施建设效率整体高于山东省，而基础设施建设推动城市竞争力效率有较大发展空间。具体分析松弛变量可以发现，道路建设对发展城市竞争力作用不明显。具体城市中，潮州市基础设施建设对财政、电信方面作用有较大上升空间。珠海市城市竞争力对道路建设的促进作用略显不足。

广东应进一步优化公共预算分配，推动电信业务与基础设施建设融合发展，提升医疗、文化等城市软实力。此外，应加强区域协调发展，缩小城市发展差距。

## （二）山东省

山东省城市竞争力和基础设施建设的典型相关分析结果表明，在代表城市竞争力的变量中，人均生产总值与基础设施建设的关系最为密切，第三产业的比重也从一定程度上解释了基础设施建设的情况，电信发展情况也与基础设施建设有一定的联系；在基础设施建设中，城市整体供水情况与城市竞争力关系最为紧密，道路建设与城市竞争力的关系也不能忽视，同时医疗卫生状况也与城市竞争力有较大关联。

山东省整体与广东省比较，山东省城市基础设施建设推动城市竞争力发展取得了较好成果，整体效率较高。而在城市竞争力促进基础设施建设中相对薄弱，效率提升空间较大，较多地区表现出了财政对基础设施建设支持不足的情况，同时城市供水系统的建设受城市竞争力的推动作用有限。在城市竞争力对基础设施

## 参考文献

- [1] 钱实, 陈振光. 城市竞争力与区域城市竞争: 一个理论的分析框架 [J]. 经济地理, 2014, 34(03): 1-5.
- [2] 潘峰华, 杨博飞. 国家中心城市竞争力及其职能演变——基于上市企业总部的研究 [J]. 地理研究, 2018, 37(07): 1364-1376.
- [3] 杨亮洁, 杨晓蓉, 杨永春. 城市内生竞争力与外生竞争力耦合协调研究——以成渝城市群为例 [J]. 人文地理, 2021, 36(06): 76-86.
- [4] 徐海东, 倪鹏飞. 城市在旅游与休闲中提升竞争力 [J]. 旅游学刊, 2023, 38(07): 1-4.
- [5] Činčikaitė Renata, Meidutė Kavaliauskienė Ieva. An Integrated Assessment of the Competitiveness of a Sustainable City within the Context of the COVID-19 Impact. Sustainability, 2022, 14(13): 7575-7575.
- [6] Tiantian M., Danni Y., Ludi Y., et al. Impact of digital city competitiveness on total factor productivity in the commercial circulation industry: evidence from China's emerging first-tier cities. Humanities and Social Sciences Communications, 2023, 10(1):
- [7] Il. K. A., Mahmoud M., Ahmed M. Urban Competitiveness Assessment Using the Integration of the Global Power City Index and Multicriteria Decision-Making Methods. Journal of Urban Planning and Development, 2024, 150(3):
- [8] 吕拉昌, 辛晓华, 陈东霞. 城市创新基础设施空间格局与创新产出——基于中国290个地级及以上城市的实证分析 [J]. 人文地理, 2021, 36(04): 104-113+125.
- [9] 吴志强, 何睿, 徐浩文, 等. 论新型基础设施建设的迭代规律 [J]. 城市规划, 2021, 45(03): 9-14.
- [10] 周记顺, 宋颜希. 新型基础设施建设对地区出口的影响——来自国家智慧城市试点的证据 [J]. 产业经济研究, 2022, (05): 115-128.
- [11] 薛桂芝, 李建军, 董旭. 传统基础设施建设还能提升城市全要素生产率吗——基于223个城市市政基础设施的研究 [J]. 南开经济研究, 2023, (08): 199-220.
- [12] 房景, 姚树洁, 冯根福, 等. 交通基础设施能否促进消费市场发展——来自中国高铁的经验证据 [J]. 南开经济研究, 2023, (09): 55-74.
- [13] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [14] 张国基, 吴华清, 刘业政, 等. 中国水资源综合利用效率测度及其空间交互分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(08): 123-139.
- [15] 任腾, 李姝萱, 周忠宝, 等. 基于满意度 BLP-DEA 的区域可持续发展系统效率评价研究 [J]. 中国管理科学, 2022, 30(07): 99-109.
- [16] 魏宇琪, 杨敏, 梁樑, 等. 大数据环境下加性网络 DEA 模型求解方法——基于两阶段模型视角 [J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(11): 3294-3308.
- [17] 马占新, 张传哲. 一种基于全局视角的并行网络 DEA 模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(06): 2059-2074.
- [18] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [19] Zhai X. Q., Xue R., He B., et al. Dynamic changes and convergence of China's regional green productivity: a dynamic spatial econometric analysis. Advances in Climate Change Research, 2022, 13 (2): 266-278
- [20] 孔芳霞, 刘新智, 周梓梅, 等. 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的时空演变特征与影响因素 [J]. 经济地理, 2022, 42(09): 22-32.
- [21] 陈美景, 王庆日, 白中科, 等. 基于双碳目标的黄河流域资源型城市国土空间利用效率时空特征及影响因素 [J]. 中国土地科学, 2024, 38(04): 101-112.
- [22] 高惠璇. 应用多元统计分析. 北京: 北京大学出版社, 2005: 343-365.
- [23] 田美玲, 刘嗣明, 寇圆圆. 国家中心城市职能评价及竞争力的时空演变 [J]. 城市规划, 2013, (11): 89-95.

建设的作用上，济南东营两个地区表现出较高水平而其他地区效率均较低。

山东应稳步发展经济，保持人均生产总值平稳合理增长，进一步优化产业布局，稳步发展道路交通建设和医疗卫生建设。应合理建设城市供水系统、发挥财政对城市基础设施建设的支持作用。同时对省内效率较高的济南东营应进行推广，推动城市竞争力和基础设施建设的全面提升。

## （三）差异

经过前文的分析，本文发现广东省与山东省的差异主要集中在以下方面。

第一，广东省整体城市竞争力推动基础设施建设效率较高，而山东省城市基础设施建设推动城市竞争力发展取得了较好成果。广东省高速、多元化进行城市发展，提高城市竞争力，相对山东表现出了通过城市发展带动基础设施建设发展的特点。山东省基础设施建设推动城市竞争力发展效率有明显优势，表现出了大力发展基础设施建设从而带动城市全方位发展的特点。

第二，广东省地域差异相对明显，山东大部分地区数据相对集中。广东省城市间差异整体高于山东省。山东整体城市数据波动性较小，但省内发达地区领先幅度相对较低。

第三，经济发展状况与电信业务发展状况有差异。广东省公共预算对基础设施建设促进作用明显，区域经济发展与基础设施建设联系紧密。山东省人均生产总值与基础设施建设关系密切，基础设施建设促进作用源于全社会共同发展。广东省移动电话数与基础设施建设关系紧密，电信业务发展成效显著，对城市建设作用突出；山东省电信业务与基础设施建设关系不突出，推动作用不明显。

# CAS 视角下创新生态系统韧性测度和预警研究

张姝逸<sup>1</sup>, 胡伟鸿<sup>2</sup>, 罗季<sup>1\*</sup>

1. 浙江财经大学数据科学学院, 浙江 杭州 310018

2. 浙江财经大学研究生联合培养学院, 浙江 杭州 310018

DOI:10.61369/ASDS.2025060021

**摘 要 :** 创新生态系统是孕育、支持和推动科技创新发展的新摇篮, 构建较高韧性的创新生态系统有利于科技创新适应外部变化、实现高质量发展。本文基于复杂适应系统 (CAS) 视角, 对创新生态系统理论内涵和层级机构进行剖析, 将创新生态系统的韧性定义为其对外界各类变化进行“适应”的具体能力, 构建了包含聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性的五维韧性特征, 基于韧性强度和韧性协同度双指标, 设计了创新生态系统韧性监测体系与动态预警模型。应用上述方法, 对2010—2022年中国省域的创新生态系统韧性水平进行测算, 得出如下结论: (1) 从时间维度来看, 中国各地区创新生态系统韧性水平呈现出波动型增长态势, 广东省、江苏省、浙江省、山东省始终保持领先地位, 各地韧性警情大体处于安全状态, 警戒度在2019年疫情后有一定程度上升; (2) 从空间分布来看, 韧性强度呈现“两高两低”分布态势, 不同地区间韧性发展水平存在显著差异, 但近年来不平衡状况有所改善; (3) 从全国范围来看, 中国四大经济区域在韧性各维度上体现出多层次、非均衡的区域发展现状, 东部、中部地区始终处于领先地位, 而东北地区和西部地区在五个维度上均表现不佳。综上所述, 中国创新生态系统韧性总体水平较高且发展态势良好, 具有一定的抵御外部冲击的能力, 但仍存在区域发展不平衡现象, 需因地制宜、因材施教。

**关 键 词 :** 复杂适应系统; 创新生态系统; 韧性; 协同度; 聚集性; 适应性

## A Study on the Measurement and Early Warning of Innovation Ecosystem Resilience from the Perspective of Complex Adaptive Systems

Zhang Shuyi<sup>1</sup>, Hu Weihong<sup>2</sup>, Luo Ji<sup>1\*</sup>

1.School of Data Science, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou, Zhejiang 310018

2.School of Joint Postgraduate Training, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou, Zhejiang 310018

**Abstract :** Innovation ecosystems are the new cradles for nurturing, supporting, and promoting the development of technological innovation. Building innovation ecosystems with higher resilience is conducive to adapting to external changes and achieving high-quality development in China's technological innovation. Based on the perspective of complex adaptive systems (CAS), this paper deeply analyzes the theoretical connotations and hierarchical structure of innovation ecosystems. It defines the resilience of innovation ecosystems as their specific ability to "adapt" to various external changes as CAS, thereby constructing a five-dimensional resilience characteristic that includes aggregation, diversity, mobility, evolution, and adaptability. Further, based on the dual indicators of resilience intensity and resilience synergy, a monitoring system and dynamic early warning model for the resilience of innovation ecosystems are designed. After calculating the resilience levels of innovation ecosystems of 31 provinces, cities and autonomous zones from 2010 to 2022, the following conclusions are drawn: (1) From a temporal perspective, the resilience levels of innovation ecosystems in various regions of China show a fluctuating growth trend. Guangdong Province, Jiangsu Province, Zhejiang Province, and Shandong Province have always maintained a leading position, and the overall resilience alert level is in a safe state, with a slight increase in the alert level only after the 2019 pandemic; (2) In terms of spatial distribution, the resilience intensity shows a "two highs and two lows" pattern, with significant differences in resilience development levels between regions, but the imbalance has improved in recent years; (3) From a national perspective, four economical regions of China reflect

基金项目: 全国统计科学研究计划项目 (2018380); 浙江省教育厅科研项目 (ZT099324033)。

作者简介:

张姝逸 (2002—), 女, 安徽宿州人, 浙江财经大学数据科学学院硕士研究生;

胡伟鸿 (2001—), 男, 浙江嘉兴人, 浙江财经大学研究生联合培养学院硕士研究生。

通讯作者: 罗季 (1975—), 女, 辽宁抚顺人, 浙江财经大学数据科学学院教授。

a multi-level and unbalanced regional development status in each dimension of resilience. The eastern and central regions have always been in a leading position, while the northeastern and western regions perform poorly in all five dimensions, with obvious shortcomings. In summary, the overall level of resilience of China's innovation ecosystems is relatively high and the development trend is good, with certain capabilities to resist external shocks, but there are still imbalances in regional development, which requires targeted and tailored policies.

**Keywords :** complex adaptive systems; innovation ecosystems; resilience; synergy; aggregation; adaptability

引言

在高质量发展背景下，科技创新已成为现代经济发展的主要驱动力，也是全球经济发展不均衡的重要原因之一。创新生态系统是孕育、支持和推动科技创新的新摇篮，通过整合政策、资本、人才、技术等资源，为科技创新提供了必要的条件和环境。因此，完善创新生态系统理论，构建具有较高韧性的创新生态系统，对促进科技创新、实现资源优化配置、提升国家竞争力具有重大意义。

目前学术界关于创新生态系统的研究分别从内涵、特点和水平测度等方面切入，整体理论框架尚缺乏统一认识，导致研究视角和结论多样化但缺乏系统性。目前对创新生态系统的定义视角主要包含：网络视角<sup>[1,2]</sup>、生态系统视角<sup>[3-5]</sup>、复杂系统视角<sup>[6-8]</sup>，对特征的阐述主要包含：多样性<sup>[9-11]</sup>、复杂性<sup>[12,13]</sup>、动态性<sup>[9-11]</sup>、开放性<sup>[14,15]</sup>。创新生态系统韧性则是韧性的概念在科技创新领域的自然引申，指一个创新生态系统在面对各种内外部挑战和压力时，能够保持其结构和功能的稳定性，迅速适应、恢复并持续发展的能力。现有对创新韧性的研究普遍遵循“识别特征－设计体系－提出策略”的路线，已有众多学者构建了创新生态系统韧性的评价指标体系<sup>[16]</sup>。

现有研究为创新生态系统的研究奠定了坚实的基础，但是仍存在以下问题：（1）对创新生态系统理论框架尚缺乏统一认识，导致研究视角和结论多样化但缺乏系统性；（2）创新生态系统韧性的指标体系多基于经验分析，缺乏系统的理论支撑；（3）对韧性的测度侧重于韧性强度指标，忽视了韧性的均衡性指标，这在一定程度上限制了研究成果的普适性和解释力。

本文旨在基于复杂适应系统（简称CAS）理论<sup>[17]</sup>，对创新生态系统概念和特点进行深入剖析，把创新生态系统视为一个复杂适应系统，把“韧性”看作系统“适应”外界变化的具体能力，构造创新生态系统韧性的评价指标体系，进一步基于韧性强度和协同度双指标，实现对中国省域创新韧性水平的监测预警。

一、基于CAS理论的创新生态系统的概念及属性

创新生态系统具备CAS相同的复杂适应模式<sup>[18]</sup>：大量创新主体通过相互选择确定集群模式（合作、竞争、价值共创等），通过内部作用机制不断交互，促使相互关联的创新主体在不同的创新环境下，共同向更优的新状态努力。

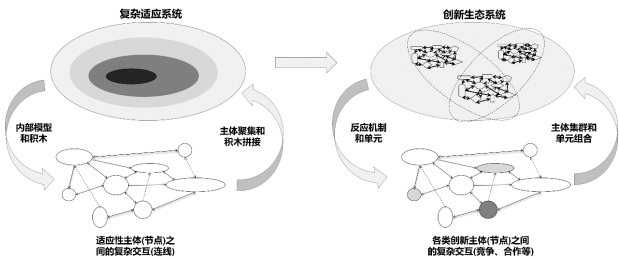


图1 CAS和创新生态系统对比图<sup>[19]</sup>

从系统定义来看，创新生态系统是由涵盖创新过程的所有异质性创新主体（以企业、高校、科研机构等为主）、创新资源（人力、资金、信息、技术等）和创新环境（政策环境、市场环境、基础设施等）共同组成的，具有动态演进特征的复杂适应系统，

和CAS具有相似的复杂多层次结构和特征。因此创新生态系统本质上是CAS的概念在创新领域的延伸，可以从CAS的视角研究创新生态系统的运行机制和发展规律。本文给出创新生态系统的基本属性如下表1：

表1 创新生态系统要素与CAS要素对照表

序号	CAS 要素 <sup>[17]</sup>		创新生态系统要素	
	要素	要素的概念	要素	要素的概念
1	聚集	主体通过聚集形成更高级的介主体，并产生新的特性	集群	创新主体的集群和涌现，从而产生新的集群特性
2	多样性	一种动态模式，是主体不断适应的结果	多样化	指创新要素的多样化，使系统呈现不同特征
3	流	资源在各节点间通过连接者进行流动	资源流	流动性资源在各创新主体间的流动
4	非线性	系统整体效能>各部分效能和	整体性	整个系统具有其单个组成部分所不具备的性质
5	标识	促进选择性的相互作用	标签	创新主体集群行为的选择依据

6	内部模型	主体的内部结构，决定着主体对外界变化的反应	反应机制	创新主体的反应机制，应对创新环境变化
7	积木	复杂事物的若干基本组成元素	单元	复杂机制的基本组成要素

创新生态系统的七个属性，按照创新过程的特点可分为四大特性和三大机制：

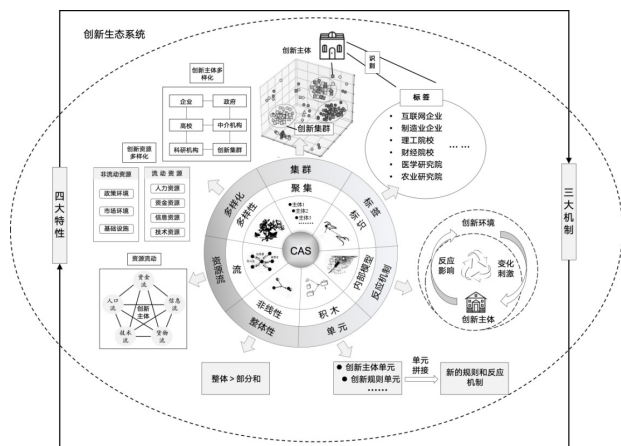


图2 CAS 视角下的创新生态系统运行机制

如图2，在创新生态系统中，各异质性创新主体通过识别标签确定竞争与合作对象，形成创新集群；创新主体和创新集群拥有各自反应机制应对创新环境（政策环境、市场环境、基础设施等）变化；在整个系统中存在人才、资金、技术和产品等创新资源的流动，创新主体的适应性促使系统整体以非线性方式不断动态演进；“积木特性”使得主体和规则单元可以通过拼接产生新的集群和机制，从而形成各类创新要素的多样化，这就是创新生态系统的基本要素和运行机制。

## 二、创新生态系统的韧性监测体系

在CAS理论下，通过识别的创新生态系统的基本要素和运行机制，构建韧性强度的五维特征体系，确定韧性强度评价体系的41个具体指标，之后构建韧性强度和韧性协同度的双指标监测体系，最后完成韧性的动态预警模型构建。

### （一）韧性强度五维特征体系构建

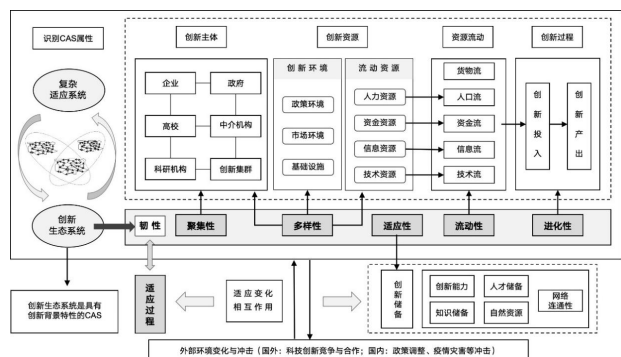


图3 CAS 视角下创新生态系统的五维韧性特征

目前学术界总结的创新生态系统核心特征有：多样性、流动性、进化性、复杂性，这些特性为研究创新生态系统韧性提供了

坚实基础。本文进一步结合CAS的基本属性，构建创新生态系统的五维韧性特征分别是：聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性。其中，聚集性的构建来源于创新主体的聚集行为；多样性的构建来源于创新主体、资源和环境的多样化；流动性是各类资源在创新主体间的流动；进化性和适应性是系统三大运行机制和非线性的体现。具体见下图3：

基于CAS理论和创新生态系统韧性的特征分析，遵循客观性、系统性、可行性和数据可获得性，最终构建创新生态系统韧性强度评价体系，如表2：

表2 创新生态系统韧性五维评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
聚集性 (创新主体集聚)	创新主体密度	地区创新主体数（企业 + 高校 + 科研机构）	正向指标
		每平方公里创新主体数	正向指标
	创新集群数	众创空间数	正向指标
		火炬计划特色产业 基地数	正向指标
		创新产业集群内企 业个数	正向指标
多样性 (创新要素多元 化)	创新主体 多元化	有 R&D 活动工业 企业数	正向指标
		高等院校数量	正向指标
		县级以上研究与开发机 构数量	正向指标
	创新资源 多元化	就业人数（万人）	正向指标
		R&D 人员数量 （万人年）	正向指标
		R&D 经费支出（亿元）	正向指标
		每百人使用计算机台数	正向指标
		每百家企业拥有网站数	正向指标
		技术合同登记数（项）	正向指标
		创新环境 多元化	科技孵化器数量
	地区生产总值		正向指标
	地区固定资产投资额 （亿元）		正向指标
	流动性 (创新资源调动)	人口流	地区客运总量（万人）
货物流		地区货运总量（万吨）	正向指标
		货物进出口额 （亿美元）	正向指标
资金流		外资合同金额 （亿美元）	正向指标
		实际利用外资金额 （亿美元）	正向指标
信息流		邮电业务总量（亿元）	正向指标
		互联网宽带接入端口数 （万个）	正向指标
技术流		技术市场成交额 （万元）	正向指标
进化性 (创新资源配置)	创新投入量	R&D 人员全时当量	正向指标
	创新产出量	科研论文综合指标	正向指标
		发明专利授权量（项）	正向指标
		有效发明专利数	正向指标
		新产品开发项目数	正向指标

适应性 (创新要素储备)	地区创新能力	创新能力综合指标得分	正向指标
	人才储备量	在校本专科生数(万人)	正向指标
		在校研究生数(万人)	正向指标
		每万人口中在校大学生数	正向指标
	知识储备量	公共图书馆藏书量(万册件)	正向指标
		高校教职职工数(万人)	正向指标
	自然资源	公园绿地面积(公顷)	正向指标
		人均公园绿地面积(平方米)	正向指标
	网络连通性	铁路营业里程(公里)	正向指标
		公路通车里程(公里)	正向指标
		内河通航里程(公里)	正向指标

## (二) 创新生态系统韧性的双指标监测体系

创新生态系统韧性是指系统在面对外部冲击和内部变化时,能够维持其基本功能、结构和秩序,并最终实现恢复和发展的能力。现有研究对其韧性的衡量主要集中在“韧性强度”测算上,忽略了系统内部各创新要素之间的协同效应。根据均衡发展理论,系统内各要素发展均均衡,所产生的总效应就越好。基于此,本文在“韧性强度”指标的基础上,引入“韧性协同度”指标,从而构建双指标监测体系,更全面、深入地反映创新生态系统的整体韧性水平。

基于上述分析,首先基于五维指标体系得到韧性强度指标,进一步借鉴系统耦合协调度模型,测算韧性协同度指标。最终根据韧性强度和协同度双指标得到韧性综合测度值,具体计算公式如下:

$$C = \left( \frac{R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \right)^{\frac{1}{5}}, T = \beta_1 R_1 + \beta_2 R_2 + \beta_3 R_3 + \beta_4 R_4 + \beta_5 R_5, \quad (1)$$

$$D = \sqrt{C \times T},$$

其中,  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 分别表示聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性得分;  $C$ 是韧性协同度,取值范围为  $0 < C < 1$ ,当  $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5$ 时,  $C$ 取最大值1,表示韧性四个维度处于最佳的相互协调状态;当  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 不相等时,五个维度差异越大,  $C$ 值越小。  $T$ 表示五个维度下韧性强度得分,即韧性强度,  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 、 $\beta_5$ 为待定系数,视各因素为同等重要,取  $\beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=\beta_5=0.2$ ;  $D$ 表示创新生态系统韧性值,其值越大表示韧性越强。

## (三) 创新生态系统韧性的动态预警模型构建

根据均衡发展理论,创新生态系统韧性的预警研究既要考虑各地区韧性五维度的发展水平,也要兼顾各维度的差异,更要反映韧性的动态变化趋势。本研究借鉴其他社会系统预警模型<sup>[20]</sup>,以每年全国范围内韧性五维指标中各维度的最大值作为理想状态,构成理想值五维列向量,之后计算真实值与理想值之间向量夹角余弦值,之后结合韧性综合测度值构建动态预警模型,计算过程如下所示。

1. 计算两个五维向量之间夹角的余弦值(真实值向量与理想

值向量)

$$M_t = \frac{\bar{R}(0) \cdot \bar{R}(t)}{|\bar{R}(0)| \cdot |\bar{R}(t)|} = \frac{\sum_{i=1}^5 R_i(0) R_i(t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 R_i^2(0)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 R_i^2(t)}}, \quad (2)$$

其中,  $\bar{R}(0)=(R_1(0), R_2(0), R_3(0), R_4(0), R_5(0))'$ 表示  $t$  年度的理想值向量;  $\bar{R}(t)=(R_1(t), R_2(t), R_3(t), R_4(t), R_5(t))'$ 表示  $t$  年度的真实值向量。  $M_t$ 表示两向量夹角的余弦值,其值越大,表明该地区创新生态系统韧性就越接近理想情况。

## 2. 定义警戒度

结合夹角余弦值和韧性综合测度值,构建创新生态系统韧性警戒度模型:

$$J_t = (1 - D) \times (1 - M_t), \quad (3)$$

其中,  $J_t$ 表示  $t$  年度创新生态系统韧性的警戒度;  $D$ 表示创新生态系统韧性综合测度值,  $1-D$ 表示创新生态系统韧性五维度失衡水平;  $1-M_t$ 表示韧性实际值与理想值偏离程度。

## 3. 预警区间划分

结合中国创新生态系统韧性的实际情况,参考相关预警研究的划分方法<sup>[21]</sup>,最终划分韧性警戒区间如下:当  $0 \leq J_t \leq 4\%$  时,处于安全状态;当  $4\% < J_t \leq 10\%$  时,处于关注状态;当  $J_t > 10\%$  时,处于警告状态。

# 三、创新生态系统韧性的实证研究

本文对2010—2022年中国创新生态系统的韧性进行了全面评估,选取了创新主体数、众创空间数等41个指标。数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国火炬统计年鉴》、各省市统计年鉴以及中华人民共和国教育部官方网站等。对于部分年份的少量缺失数据,采用了线性插补法进行补充。需要注意的是,由于资料获取的限制,数据未包含中国的台湾地区、香港特别行政区和澳门特别行政区。

## (一) 创新生态系统的韧性强度水平

图4是2010—2022年全国韧性强度变化情况。整体来看,江苏、广东、浙江等地创新能力突出,韧性强度始终位居前列;从全国平均水平线可见,韧性强度整体呈现波动型增长态势,但黑龙江、河南等地区出现了局部下降的情况。

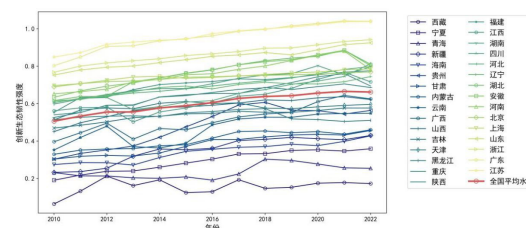


图4 2010—2022年全国韧性强度变化

图5为分地区的韧性强度水平及年平均增速,面积大小表示各地区的韧性强度均值,颜色表示增速。可见中国创新生态系统韧性强度呈现“两高两低”分布态势,“两高”指东、中部地区韧性强度相对较高,“两低”指西部和东北地区韧性强度相对较低。具体而言,西藏、宁夏、贵州的年平均增速最快,分别达到8.61%、

5.40%、5.43%，仅黑龙江地区相较于2010年下降了0.06%。这一成绩反映了西部大开发战略在促进区域创新能力方面的巨大成效，而黑龙江省作为东北老工业基地的重要组成部分，需要进一步优化产业结构，加大科技创新投入。

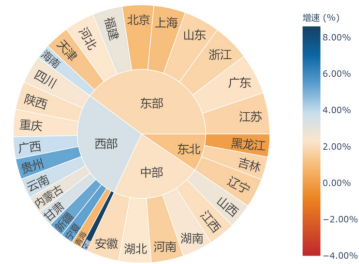


图5 全国韧性强度及增速

图6为2022年全国31个省市的韧性强度水平，颜色越深代表该省市韧性强度越高。由图可知，韧性强度较高的是广东、江苏、浙江等地（其中广东和江苏达1.04和1.03），强度较低的是西藏、青海、宁夏等地（西藏最低为0.17），可见创新生态系统存在明显区域差异，发展不平衡问题仍然较为突出。

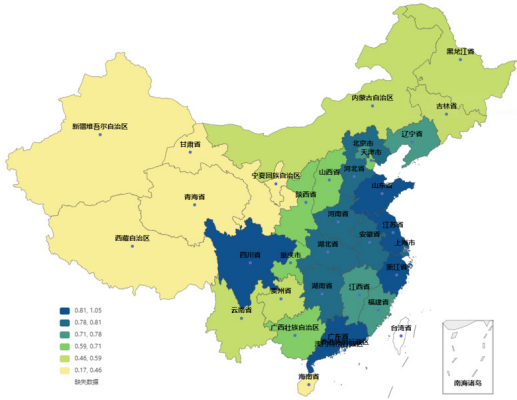


图6 2022年全国韧性强度

### （二）创新生态系统的韧性协同度水平

根据2010—2022年全国31个省市的面板数据，通过熵权法计算各指标权重，最终得到各省市地区的五维韧性得分，进一步计算中国四大经济区域的各维度得分。图7和表3分别是全国四大经济区域的五维特征平均得分和年平均增长率。

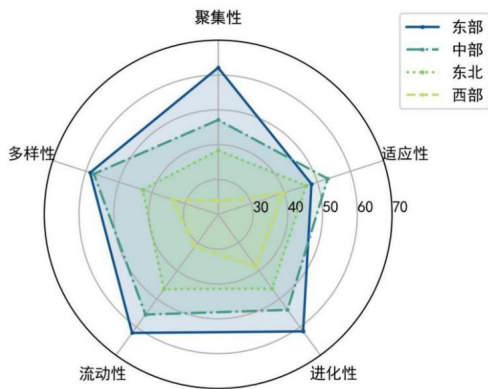


图7 四大经济区域韧性的五维特征对比

表3 四大经济区域五维韧性特征年平均增长率

地区	聚集性	多样性	流动性	进化性	适应性
东北	3.15%	0.49%	-1.34%	2.27%	1.44%
东部	3.85%	2.69%	1.47%	2.67%	1.67%
中部	5.81%	2.78%	0.33%	3.22%	2.22%
西部	6.24%	3.10%	1.74%	8.01%	2.71%

分区域来看，东部地区各项特征得分均位居前列且保持较高的增长率，其中聚集性指标显著高于其他地区，说明东部地区在人才集聚、产业集群等方面优势显著；中部和东北地区位于中游，其中中部地区在多样性与适应性维度表现优秀且聚集性增长率较高，说明其丰富的人力资源和较低的成本优势，加之国家战略支持，为创新活动提供了良好的土壤和动力；西部地区各项特征得分目前均处于较低水平，但其各项指标的增长率超越其他地区，可见尽管西部地区当前的创新生态系统发展相对滞后，但存在巨大发展潜力。

图8为2018—2022年各地区韧性协同度得分，31个地区分布在扇形的31条半径上，越靠近圆心，数值越小，越远离，数值越大。不同的颜色代表不同的年份，以2022年韧性协同度得分为依据排名从上到下排列。2018—2022年间，广东省、江苏省等地区在此期间持续展现出较高的韧性协同度，反映出这些区域在科技创新方面的均衡发展，而青海、宁夏和新疆等地的协同度较低，说明这些地区在创新驱动发展、资源配置等方面存在一定短板。图中阴影区域表示相邻年份创新生态系统韧性协同度的下降程度，面积越大表示下降程度越多。特别地，2022年安徽、河南、湖北等地区韧性协同度都出现了显著下降，这可能是由于武汉疫情的滞后辐射影响，导致创新生态系统韧性各维度发展出现不均衡。

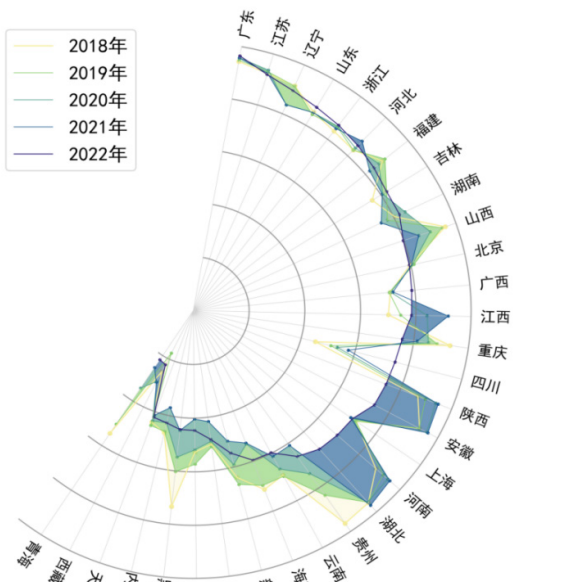


图8 2018—2022年韧性协同度

### （三）韧性综合测度值

本节通过绘制三维动态核密度曲线图，展示各地创新生态系统韧性的动态演进过程。从表4可以看出，广东省、江苏省、山东

省和浙江省始终处于领先地位，西藏、青海等地创新生态系统系统韧性整体较差。

表4 韧性综合测度值

省份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
北京	0.73	0.74	0.75	0.78	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78
天津	0.52	0.57	0.56	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.50	0.51	0.50	0.49	0.50
河北	0.75	0.75	0.75	0.77	0.77	0.78	0.77	0.76	0.77	0.78	0.80	0.83	0.83
山西	0.54	0.62	0.68	0.73	0.75	0.76	0.76	0.76	0.77	0.76	0.75	0.74	0.70
内蒙古	0.24	0.26	0.23	0.22	0.26	0.28	0.38	0.46	0.46	0.45	0.44	0.40	0.44
辽宁	0.61	0.61	0.64	0.66	0.69	0.80	0.78	0.79	0.81	0.80	0.77	0.77	0.82
吉林	0.54	0.56	0.57	0.60	0.62	0.63	0.63	0.67	0.65	0.68	0.67	0.68	0.69
黑龙江	0.59	0.59	0.59	0.59	0.58	0.62	0.62	0.65	0.65	0.56	0.53	0.48	0.48
上海	0.76	0.76	0.77	0.78	0.77	0.74	0.74	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.74
江苏	0.87	0.88	0.91	0.91	0.92	0.92	0.96	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
浙江	0.82	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90
安徽	0.75	0.77	0.76	0.75	0.78	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.91	0.92	0.77
福建	0.63	0.75	0.75	0.79	0.81	0.82	0.81	0.81	0.80	0.81	0.81	0.79	0.81
江西	0.70	0.70	0.68	0.49	0.59	0.61	0.65	0.69	0.68	0.71	0.78	0.84	0.75
山东	0.82	0.84	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89	0.87	0.87	0.85	0.87	0.88	0.90
河南	0.76	0.72	0.71	0.78	0.78	0.81	0.81	0.83	0.84	0.87	0.90	0.91	0.74
湖北	0.64	0.66	0.63	0.78	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.93	0.75
湖南	0.64	0.67	0.70	0.74	0.73	0.71	0.75	0.78	0.78	0.77	0.82	0.75	0.81
广东	0.77	0.83	0.91	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00
广西	0.40	0.47	0.57	0.39	0.50	0.47	0.55	0.61	0.62	0.63	0.66	0.68	0.70
海南	0.36	0.37	0.34	0.30	0.38	0.44	0.47	0.50	0.51	0.52	0.45	0.46	0.50
重庆	0.63	0.62	0.70	0.69	0.76	0.77	0.77	0.76	0.80	0.77	0.77	0.76	0.72
四川	0.61	0.62	0.60	0.40	0.42	0.47	0.49	0.56	0.55	0.60	0.62	0.65	0.78
贵州	0.29	0.34	0.36	0.38	0.46	0.57	0.67	0.76	0.76	0.69	0.64	0.58	0.61
云南	0.35	0.47	0.58	0.29	0.25	0.29	0.55	0.60	0.60	0.61	0.60	0.58	0.57
西藏	0.00	0.21	0.38	0.27	0.32	0.16	0.16	0.29	0.19	0.16	0.23	0.23	0.20
陕西	0.62	0.63	0.69	0.66	0.73	0.74	0.75	0.77	0.77	0.80	0.84	0.85	0.72
甘肃	0.31	0.32	0.31	0.28	0.31	0.37	0.44	0.43	0.46	0.47	0.46	0.42	0.47
青海	0.33	0.27	0.25	0.23	0.21	0.22	0.17	0.23	0.41	0.39	0.31	0.26	0.24
宁夏	0.13	0.19	0.22	0.21	0.25	0.31	0.37	0.42	0.42	0.45	0.43	0.37	0.40
新疆	0.16	0.15	0.18	0.34	0.43	0.40	0.41	0.51	0.51	0.53	0.49	0.45	0.48

图9为全国及东、中、西部地区韧性综合测度值的分布情况。从图9(a)中可见，全国创新韧性分布重心不断右移，揭示了各地韧性水平的稳步提升；全国创新韧性在2010—2016年期间存在双峰情况，说明此期间各省份韧性水平差异较大，但在16年之后低峰值逐渐平缓，反映了中国区域发展不平衡状况有所改善，但全国韧性分布的左拖尾的现象说明仍有一些地区的韧性水平相对较低。

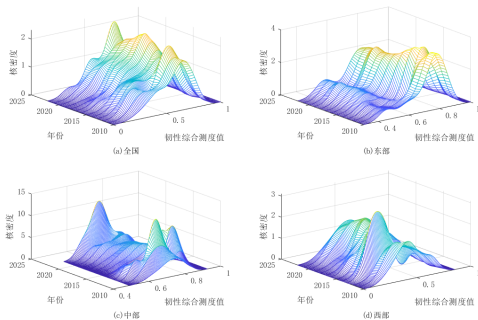


图9 全国韧性综合测度值动态演进

图9(b)—(d)是东、中、西部地区创新韧性动态演进图，对比发现，东部地区韧性水平整体较高，西部地区则普遍偏低。但值得注意的是，西部地区韧性水平重心分布呈现显著的右移趋势，表明其正保持着持续改善的良好发展态势；中部地区的韧性水平变化幅度更大，但集中趋势明显，大致集中在0.75左右，且未出现明显的拖尾现象，说明中部地区在韧性建设方面相对均衡。

（四）创新生态系统韧性空间特征

在探讨创新生态系统韧性的空间特性时，本研究聚焦于对各省份韧性强度、协调性以及综合测度值的分类分析。最终如图10所示可将韧性情况分为4类。

表5 各省市自治区创新生态系统韧性分类情况

类别	名称	包含省份
1	稳健增长区	山西、重庆、陕西、吉林、上海、北京、江西、河北、湖南、福建、辽宁
2	发展瓶颈区	云南、贵州、广西、四川、天津、新疆、海南、黑龙江
3	优势突出区	安徽、山东、广东、江苏、河南、浙江、湖北
4	劣势明显区	内蒙古、宁夏、甘肃、西藏、青海

1. 稳健增长区：该类区域的韧性保持较好的水平，发展势头

强劲，如上海、北京等。针对此类地区，应继续发挥长板优势，寻求进一步向优势突出区的转化。

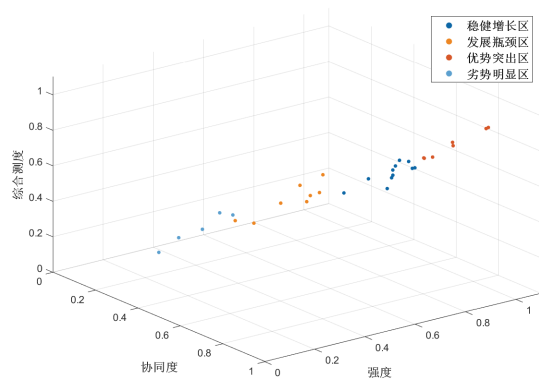


图10 各省市自治区历年均值的聚类结果

2. 发展瓶颈区：该类区域的韧性发展过程中经历不同程度的波动，尤其在某些维度上存在显著不足，如新疆、黑龙江等在某些年份的特定指标上表现不佳。针对此类地区，应精准识别问题所在，采取针对性措施。

3. 优势突出区：该类区域的韧性始终保持高水平，且不存在明显的短板，多为经济发达、创新生态体系完善的东南沿海地区，如广东、浙江等。针对此类地区，应持续探索创新模式，加强区域间的合作与交流，带动周边地区协同发展。

4. 劣势明显区：该类区域的韧性总体较低，主要集中在西部地区，如内蒙古、西藏等。针对此类地区，应根据地区特色，因地制宜发掘各地区的潜在优势，优先取得某些维度的单点突破，以点带面促使整个地区的持续发展。

（五）创新生态系统韧性动态预警

基于创新生态系统韧性预警模型，本研究对各地区的韧性警

戒度及警情状态进行了评估。图11为韧性警戒度的变化趋势，图中的面积大小对应于各年份的警戒度水平，颜色则对应年平均警戒度，越接近红色表示其平均警戒度越高。

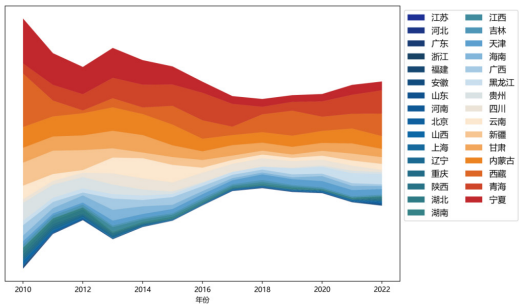


图11 韧性警戒度变化态势

从整体上看，中国创新生态系统的韧性警戒度在2010至2018年间呈现下降趋势，反映出该时期内系统韧性的整体提升，这得益于国家在科技创新上的持续投入和扶持，以及市场机制和知识产权保护机制的逐步成熟。然而，2019年起警戒度的上升揭示了潜在的风险和挑战。为维持创新生态系统的健康和高韧性，建议持续深化科技创新体制改革，并提升创新主体的核心竞争力。

在对中国各省份创新生态系统韧性警戒度的分析中，发现内蒙古、宁夏、新疆等边疆省份始终维持在较高水平，其创新生态系统的稳定性可能面临更多挑战，需要着重关注，并采取加大科技创新财政支持力度、优化区域创新资源配置、加强人才培养与引进、改善科技创新环境等措施提升其韧性。

结合创新系统韧性警情状态的变化态势，可以划分为三类处理措施，选择代表年份展示各地区创新韧性警戒度及处理措施，具体见表6：

表6 代表年份创新系统韧性警戒度及处理措施

地区	2010	2013	2016	2019	2022	
内蒙古	4.53%	5.11%	2.74%	2.44%	2.78%	亮牌警告！
西藏	11.65%	1.98%	4.02%	5.45%	4.90%	亮牌警告！
青海	2.20%	4.45%	6.00%	1.92%	5.09%	亮牌警告！
天津	0.72%	1.06%	0.85%	1.24%	1.20%	密切关注 **
甘肃	3.24%	3.82%	1.89%	1.67%	1.82%	密切关注 **
宁夏	9.80%	6.52%	2.41%	1.46%	1.91%	密切关注 **
云南	2.98%	3.46%	1.09%	0.75%	1.30%	密切关注 **
黑龙江	0.95%	0.96%	0.68%	1.29%	2.26%	密切关注 **
江西	0.08%	1.02%	0.39%	0.32%	0.13%	密切关注 **
广西	2.25%	2.46%	1.07%	0.64%	0.35%	密切关注 **
海南	1.23%	2.34%	0.68%	0.41%	0.68%	密切关注 **
四川	0.79%	2.43%	2.06%	1.39%	0.49%	密切关注 **
贵州	3.90%	2.09%	0.18%	0.17%	0.39%	密切关注 **
新疆	5.00%	2.00%	1.67%	0.72%	1.46%	密切关注 **
北京	0.26%	0.05%	0.03%	0.06%	0.12%	常规监测 ---
上海	0.10%	0.06%	0.11%	0.16%	0.20%	常规监测 ---
江苏	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	常规监测 ---

浙江	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	常规监测 ---
安徽	0.07%	0.09%	0.02%	0.01%	0.19%	常规监测 ---
福建	0.25%	0.01%	0.01%	0.03%	0.03%	常规监测 ---
山东	0.06%	0.04%	0.02%	0.12%	0.05%	常规监测 ---
河南	0.05%	0.02%	0.05%	0.02%	0.27%	常规监测 ---
湖北	0.78%	0.15%	0.04%	0.02%	0.34%	常规监测 ---
湖南	0.62%	0.19%	0.22%	0.31%	0.15%	常规监测 ---
广东	0.17%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	常规监测 ---
重庆	0.42%	0.26%	0.07%	0.10%	0.23%	常规监测 ---
辽宁	0.36%	0.36%	0.04%	0.01%	0.01%	常规监测 ---
河北	0.01%	0.00%	0.01%	0.04%	0.03%	常规监测 ---
陕西	0.64%	0.35%	0.12%	0.07%	0.26%	常规监测 ---
山西	0.71%	0.02%	0.01%	0.01%	0.10%	常规监测 ---
吉林	0.64%	0.35%	0.44%	0.28%	0.29%	常规监测 ---

1. 亮牌警告：内蒙古、西藏、青海。以上省份创新生态系统韧性经历过且仍处于警示状态。对于这些省份，建议立即采取行动，进行全面的评估和干预，采取包括加大政策支持、加强人才培养和引进等紧急措施，以迅速降低警戒度。

2. 密切关注：天津、黑龙江、江西、广西、海南、四川、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆。以上省份均经历过警示状态，但近几年保持安全状态。建议提高监测频率，了解导致警戒度上升的具体原因，并制定相应的策略。

3. 常规监测：北京、上海、江苏、浙江、安徽、福建、山东、河南、湖北、湖南、广东、重庆、辽宁、河北、陕西、山西、吉林。以上省份韧性一直处于安全状态。建议定期检查创新生态系统的健康状况，以应对潜在的风险。

#### 四、研究结论与政策意见

本文基于 CAS 视角，以创新生态系统的理论内涵和层次结构为切入点，识别了创新生态系统在 CAS 框架下的七个基本属性，构建出包含聚集性、多样性、流动性、进化性、适应性的五维韧性特征，进一步基于韧性强度和协同度双指标，设计了创新韧性监测体系与动态预警模型。通过对 2010—2022 年中国 31 个省市自治区的韧性水平进行测算可知，现阶段中国创新生态系统的韧性呈现以下特点：

**（一）各地区韧性强度均呈现出波动型增长态势，建设水平不断提高。**

从韧性强度的排名情况来看，2010—2018 年江苏省始终保持领先地位，而 2018 年以后广东省则位居第一，江苏省、浙江省、山东省分别位列第二位、第三位、第四位且近四年来排名保持一致，排名下降最多的地区分别是北京市、黑龙江省、上海市，需重点关注。

**（二）韧性强度呈现“两高两低”分布态势，不同地区间存在显著差异。**

从全国范围来看，四大经济区域在韧性各维度上体现出多层次、非均衡的发展现状，东、中部地区始终处于领先地位，而东北和西部地区存在明显短板；从地区层面来看，2022 年中国各地区韧性强度得分存在较大差异，空间分布的不平衡性可能会对中国创新生态系统的发展产生一定影响；从韧性协同度得分来看，韧性强度较高的地区通常也表现出较高的韧性协同度，可见二者相辅相成，均衡发展才能充分发挥稳健的竞争优势。

**（三）近年来各地区创新韧性综合水平稳步增长，区域发展不平衡状况有所改善，但弱势地区建设仍需加强。**

韧性动态演进历程显示，“双峰”情况不断减弱，但“左拖尾”现象仍然存在，对此“稳健增长区”和“优势突出区”要保持稳步均衡发展，而“发展瓶颈区”和“劣势突出区”需着力探究破局之道，补足短板，发掘潜在优势。

**（四）中国创新生态系统大体上处于安全状态，“劣势明显区”各地警戒度始终维持在较高水平。**

从警情变化来看，中国创新生态系统的韧性警戒度呈现先下降后上升趋势，分割点在 19 年附近，可能受疫情冲击，但大体上处于安全状态。处于警示状态的地区（内蒙古、西藏、青海）需加强监测，采取分类响应措施。

基于以上结论，本文提出以下政策建议：

**（一）各省市自治区应该坚持创新驱动发展，加快创新生态系统建设。**

各级政府应积极引导和推动创新生态系统的构建与完善，通过宏观调控能力加强创新主体间的合作与交流，实现资源的优化配置以及产学研的协同创新，从而保障创新活动的持续性和稳定性，为经济社会持续健康发展提供强大动力。

**（二）强化区域协调发展政策，优化创新生态体系建设。**

针对韧性强度“两高两低”分布态势，制定和实施区域协调

发展战略，加大对东北和西部地区的支持力度，促进资源合理分配，缩小地区间发展差距，鼓励各地区构建多元化的产业结构，以增强创新生态系统的整体韧性。

（三）实施差异化政策支持，推动跨区域合作与交流。

对于韧性水平较低的地区，提供针对性的政策支持，如税收优惠、财政补贴、人才引进等，同时加大基础设施投入，鼓励

东、中部地区与东北、西部地区开展跨区域合作，通过资源共享、技术转移、人才交流等方式，提升创新能力和韧性。

（四）建立韧性监测与预警机制，定期评估，及时调整。

建立全国性的创新生态系统韧性监测体系，定期评估各地区创新韧性水平，并根据监测结果，及时发现问题并调整和完善相关政策，优化政策执行。

参考文献

[1]Iansiti, M., & Levien, R. (2004). Strategy as ecology. Harvard Business Review, 82(3), 68-81.

[2]Zahra, S. A., & Nambisan, S. (2011). Entrepreneurship in global innovation ecosystems. Academy of Marketing Science Review, (1), 4-17.

[3] 任雪萍, 黄志斌. 国家创新体系建设的生态化审视 [J]. 自然辩证法研究, 2008(11): 106-110.

[4] 史庭怡. 创新生态视角下的产业创新问题研究 [D]. 复旦大学, 2009.

[5] 李万, 常静, 王敏杰等. 创新3.0与创新生态系统 [J]. 科学学研究, 2014, 32(12): 1761-1770.

[6] 惠兴杰, 李晓慧, 罗国锋等. 创新型生态系统及其关键要素——基于企业生态理论 [J]. 华东经济管理, 2014, 28(12): 100-103.

[7] 冉奥博, 刘云. 创新生态系统结构、特征与模式研究 [J]. 科技管理研究, 2014, 34(23): 53-58.

[8] 杨荣. 创新生态系统的界定、特征及其构建 [J]. 科学与管理, 2014, 34(03): 12-17.

[9] 陈畴镛, 胡泉峰, 周青. 区域技术创新生态系统的小世界特征分析 [J]. 科学管理研究, 2010, 28(05): 17-20+30.

[10] 农添珍. 广西北部湾经济区技术创新生态系统适宜度评价研究 [D]. 广西大学, 2013.

[11] 苏屹, 姜雪松, 雷家骝等. 区域创新系统协同演进研究 [J]. 中国软科学, 2016(03): 44-61.

[12] 唐开翼, 欧阳娟, 甄杰等. 区域创新生态系统如何驱动创新绩效? ——基于31个省市的模糊集定性比较分析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(07): 53-72.

[13] 张立岩. 区域科技创新平台生态系统发展模式与机制研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2017.

[14] 朱晓霞. 区域创新系统中的“区域边界”问题研究 [J]. 科技进步与对策, 2008(09): 24-27.

[15]Li, J.-B., & Zhang, R. (2020). Summary of regional innovation ecosystem research. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 565(1), 012113.

[16] 梁林, 赵玉帛, 刘兵. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究 [J]. 中国软科学, 2020, (07): 92-111.

[17] [美] 约翰·H. 霍兰著. 隐秩序：适应性造就复杂性 [M]. 上海科技教育出版社, 2000.

[18]Ritala, P. (2017). In defense of ‘eco’ in innovation ecosystem. Technovation, 60-61, 39-42.

[19] 孙静林, 穆荣平, 张超. 创新生态系统价值共创：概念内涵、行为模式与动力机制 [J]. 科技进步与对策, 2023, 40(02): 1-10.

[20] 查成伟, 陈万明, 唐朝永, 等. 区域人才聚集预警模型研究——以江苏省为例 [J]. 科技进步与对策, 2014, 31(16): 152-156.

[21] 梁林, 赵玉帛, 刘兵. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究 [J]. 中国软科学, 2020, (07): 92-111.

# 基于小域估计的大同农村老年人乡镇层级关节 病患率率的统计分析

韩昊栋, 李华鹏, 王珂琛

山西大同大学 数学与统计学院, 山西 大同 037009

DOI:10.61369/ASDS.2025060022

**摘 要 :** 慢性病是严重威胁我国农村基层老年人健康的一类疾病, 已成为影响国家经济社会发展的重大公共卫生问题。本文基于大同农村地区 60 岁以上老年人慢性病调查数据, 结合第七次人口普查数据, 对基层乡镇关节病的平均患病率进行了分析研究, 分别使用合成估计与 Logistic 混合效应模型, 得到了广灵县、天镇县各乡镇关节病平均患病率的估计, 通过结果比较, 绘制了广灵、天镇两县关节病疾病地图, 为大同市基层慢性病防控提供一定的实证参考。

**关 键 词 :** 农村老年人; 关节病; 小域估计; Logistic 混合效应模型

## A Statistical Analysis of Township Level Prevalence of Arthropathy Among Rural Elders in Datong Based on Small Area Estimation

Han HaoDong, Li Huapeng, Wang Kechen

School of Mathematics and Statistics, Shanxi Datong University, Datong, Shanxi 037009

**Abstract :** Chronic diseases have become a major public health problem that affects the economic and social development of the country, which threaten the health of the elders at the grassroots level in China. This paper analyzes and researches the average prevalence of joint diseases in grassroots townships based on the survey data of chronic diseases of the elders over 60 years old in the rural areas of Datong, combined with the data of the seventh population census, and obtains the estimation of the average prevalence of joint diseases in the townships of Guangling and Tianzhen counties by using the synthetic estimation and the Logistic mixed effects model, respectively, and draws the joint disease maps of the counties of Guangling and Tianzhen through the comparison of the results. The results of this paper provide some empirical references for the prevention and control of chronic diseases at the grassroots level in Datong City.

**Keywords :** the rural elders; arthropathy; small area estimation; Logistic mixed effects model

## 引言

关节病在老年人群中是常见的多发慢性病之一, 国家卫生健康委发布的数据显示, 我国骨关节炎的总患病率达 15%, 山西居民慢性病与营养状况报告指出山西省居民尤其是老年人重点慢性病患病率较高<sup>[1]</sup>。研究老年人群关节病患病现状的文献有很多, 如曹裴娅等基于中国老年健康影响因素调查数据, 研究了中国老年人群关节炎患病现状及其影响因素<sup>[2]</sup>, 胡鲲等基于黔东南地区农村老年人群的抽样调查, 研究了贵州黔东南地区老年人群类风湿关节炎的患病现状<sup>[3]</sup>, 黄河等依据地域差异, 将内陆和海岛老年人分类, 对比这两类人群骨关节病患病现状的差异<sup>[4]</sup>。上述文献均是研究老年人群关节病患病现状, 除此之外, 也有一些研究社会因素对老年人群关节病影响的文献, 如薛新东, 葛凯啸基于中国老年健康影响因素调查数据, 研究社会经济地位对老年人关节病的影响<sup>[5]</sup>, 孙永胜等对天镇县 60 岁以上农村老年人的基本健康情况作了探索性分析<sup>[6]</sup>。不过这些文献的研究区域多聚焦于全国范围或省、市层级, 针对乡镇层级的研究还很少见。

研究乡镇层级等较小区域的患病率常会碰到的困难是数据匮乏。例如, 在一个典型的抽样调查之中, 样本量通常只能确保对总体(大域)进行可靠的统计推断, 但会出现某些小域的样本量很少甚至没有的情况。小域估计是解决该类问题的有效方法, 小域估计源于抽

基金项目: 山西大同大学博士启动基金资助项目 [2018-B-25]。

作者简介:

韩昊栋, 山西大同大学数学与统计学院在读硕士研究生, 研究方向为政府统计;

李华鹏, 山西大同大学数学与统计学院, 博士, 副教授, 研究方向为半参数统计;

王珂琛, 山西大同大学数学与统计学院在读硕士研究生, 研究方向为政府统计。

样调查，可用于政府部门新政策（如资金分配、医疗资源区域规划）的制定等方面，小域估计方法可分为两类<sup>[7]</sup>：一类是基于设计的方法，如直接估计法、合成估计法（synthetic estimation method）等；另一类是基于模型的方法，常见的有基于区域水平的模型和基于单元水平的模型<sup>[8]</sup>。小域估计技术应用广泛，例如周巍等借助遥感数据信息对河北省蔚县小品种农作物种植面积进行建模估计<sup>[9]</sup>，于力超用小域估计计算中国小区域贫困指标<sup>[10]</sup>。本文的主要目的是研究大同农村老年人乡镇层级的关节病平均患病率，为基层卫生健康工作提供一定的理论依据。

本文的结构如下。第一节是数据集介绍与探索性分析，第二节实证研究分别使用合成估计法与 Logistic 混合效应模型给出了各乡镇关节病患病率的估计，绘制了广灵、天镇两县关节病患病情况的疾病地图，第三节为讨论。

## 一、数据介绍与探索性分析

本文数据来自大同市民政局批准开展的一项对大同农村地区 60 岁以上老年人慢性病调查，调查方式是对广灵、天镇两县 60 岁以上老人进行入户调查，一共 10385 条记录，涉及性别、年龄、主要疾病诊断、家庭住址等变量，总计 10385 名调查对象。以天镇县为例，得到的统计数字如表 1 所示。

表 1 天镇县关节病患病人数 1

乡镇	患病人数	乡镇	患病人数
赵家沟	14	南高崖	13
谷前堡镇	7	南河堡	24
贾家屯	4	三十里铺	1
遼家湾	17	新平堡	50
马家皂	8	玉泉镇	1
米薪关	64	张西河乡	23

从表 1 中可以看到，各个乡镇之间患病人数差异较大，其中米薪关患病人数最多，有 64 人，而一些乡镇如贾家屯、玉泉镇、三十里铺患病人数均不足 5 人。广灵、天镇两县老年人群中不同性别、年龄组关节病的患病情况如表 2 所示。

表 2 广灵、天镇两县关节病患病情况、性别、年龄组的列联表

年龄组	性别	是否患有关节病		合计
		是	否	
60 至 69 岁	男	72	1007	1079
	女	220	1703	1923
70 至 79 岁	男	180	2043	2223
	女	352	2377	2729
80 岁以上	男	87	1137	1224
	女	128	1079	1207
合计	男	339	4187	4526
	女	700	5159	5859

从表 2 中可以发现，70-79 岁年龄段关节病患病人数最多，在三个年龄段中，女性关节病患者数量均高于男性。为进一步探究性别、年龄与关节病患病情况之间的关系，采用列联表检验进行统计分析，经列联表独立性检验，表 2 中年龄段与关节病发病的 Pearson 统计量为 6.893，p 值为 0.032，说明不同年龄段关节病发病率差异显著。性别与关节病发病的 Pearson 统计量为 55.852，P 值为  $7.814 \times 10^{-14}$ ，说明二者存在显著相关。

## 二、实证分析

在以上描述性分析的基础上，本节进一步分析各乡镇平均患病率以及患病率的影响因素之间的关系。分别使用合成估计法与单元水平 Logistic 混合效应模型得到各乡镇关节病患病率的估计，绘制广灵、天镇两县的关节病疾病地图。各乡镇的关节病平均患病率估计的基本思想如下，

$$\hat{p}_i = \left( \sum_{j \in s_i} y_{ij} + \sum_{k \notin s_i} \hat{y}_{ik} \right) / N_i \quad (1)$$

其中  $\hat{p}_i$  是第 i 个乡镇关节病的患病率估计， $y_{ij}$  是第 i 个乡镇入样样本  $s_i$  中第 j 个调查对象是否患关节病， $\hat{y}_{ik}$  是第 i 个乡镇未入样样本中第 k 个调查对象是否患关节病的估计  $N_i$  是第 i 个乡镇 60 岁以上老年人数量。

首先是合成估计法，以广灵县为例，其计算步骤如下，首先分别计算入样样本中男女的患病比例  $q_1, q_2$ ，然后根据第七次人口普查数据计算得到广灵县的 60 岁以上老年人中男性占比  $\lambda$ ，最后利用上述数据得到广灵县未入样样本中第 i 个乡镇患关节病总人数的估计  $\hat{Y}_i = (N_i - n_i) \times \lambda \times q_1 + (N_i - n_i) \times (1 - \lambda) \times q_2$ ，广灵县第 i 个乡镇关节病患病率估计  $\hat{p}_i = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{Y}_i + \sum_{i=1}^m n_i \hat{p}_i}{N_i}$ ，其中  $n_i$  是第 i 个乡镇入样样本数。

基于单元水平的 Logistic 混合效应模型的表达式为

$$\text{logit}(p_{ij}) = \log \left( \frac{p_{ij}}{1 - p_{ij}} \right) = \mathbf{x}_{ij}^T \boldsymbol{\beta} + v_i, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n_i, \quad (2)$$

其中  $p_{ij}$  是第 i 个乡镇第 j 个调查对象患关节病的概率， $\mathbf{x}_{ij} = (1, x_{i1}, x_{i2}, x_{i3})^T$  为相应调查对象的协变量，其中  $x_{i1}$  代表性别， $x_{i2}$  代表年龄， $x_{i3}$  代表血脂是否异常， $\boldsymbol{a} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3)^T$  为待估系数， $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$  为第 i 个乡镇的随机效应项， $m$  为 21 个乡镇数量， $n_i$  代表第 i 个乡镇的调查样本数。使用模型 (2) 拟合该数据集，得到的估计结果见表 3。

表 3 Logistic 混合效应模型的拟合结果

变量名称	系数估计值	标准误	p 值
截距项	-3.885	0.631	<0.001
性别	0.651	0.079	<0.001
年龄	-0.003	0.006	0.865
血脂异常	0.257	0.119	0.030

从表 3 中可以看到，在显著性水平 0.05 下，性别、血脂是否异常是统计显著的，这表明在控制其他变量不变的条件下，老年

女性患关节病概率是老年男性的1.917 ( $e^{0.651}$ ) 倍,老年女性更易患有关节病,在控制其他变量不变的情况下,血脂异常的老年人患有关节病的概率是血脂正常的老年人的1.293 ( $e^{0.257}$ ) 倍,血脂异常的老年人更易患有关节病。根据表3中的估计系数,结合协变量的总体均值进行修正,得到各乡镇关节病平均患病率的估计值。两种估计方法得到的各乡镇关节病患病率估计如表4所示。

表 4 两种估计方法得到的各乡镇关节病平均患病率的结果

区域	合成估计	模型估计	区域	合成估计	模型估计
斗泉乡	0.222	0.253	南高崖	0.029	0.037
谷前堡	0.026	0.018	南河堡	0.041	0.066
壶泉镇	0.214	0.185	三十里	0.035	0.005
加斗乡	0.229	0.312	望狐乡	0.197	0.152
贾家屯	0.034	0.026	新平堡	0.037	0.075
蕉山乡	0.219	0.230	宜兴乡	0.229	0.301
梁庄乡	0.206	0.189	玉泉镇	0.037	0.004
逐家湾	0.029	0.017	张西河	0.038	0.072
马家皂	0.038	0.037	赵家沟	0.034	0.053
米薪关	0.029	0.048	作疃乡	0.218	0.229
南村镇	0.215	0.213	均值	0.113	0.120

从表4中发现,约有40%乡镇合成估计结果与模型估计结果比较相近,如蕉山乡、南村镇。但其余乡镇合成估计结果与模型估计结果相差较大,如新平堡镇合成估计结果与模型估计结果相差近一倍。合成估计法虽然能够解决部分乡镇中存在的患病个体过少的问题,但是同一个县内的各乡镇患病率较为接近,如广灵县各乡镇利用合成估计法得到的患病率估计均接近20%,天镇县各乡镇利用合成估计法得到的患病率估计均接近4%。

最后对估计结果进行可视化展示,图1是广灵县、天镇县关节病疾病地图,图中关节病患病率数据来源于表4。从图1中可以发现广灵县关节病患病率要高于天镇县,同时也可以发现两县中各乡镇的关节病患病率也有着较大的区别,加斗乡与宜兴乡关节病患病率超过25%,而在天镇县内关节病患病率超过5%的乡镇只有新平堡镇、南河堡乡和张西河乡。

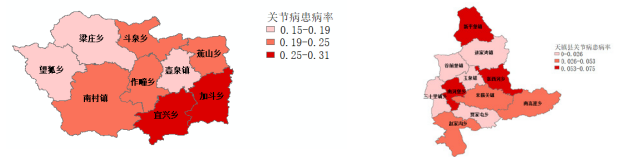


图 1 广灵县关节病患病率疾病地图(左)和天镇县关节病患病率疾病地图(右)

三、讨论

本文基于小域估计技术,分别使用合成估计法与 Logistic 混合效应模型对广灵天镇两县乡镇老年人调查数据进行了统计分析,得到了各个乡镇老年人关节病患病率估计。与合成估计法相比,Logistic 混合效应模型充分利用辅助信息,模型解释性较强,解决了部分乡镇关节病患病率直接估计不可靠的问题,并给出了可靠的各乡镇关节病患病率估计。本文受数据限制,没有考虑老年人文化程度、收入水平、既往史等影响因素,我们将这留作进一步研究。

参考文献

[1]《山西居民慢性病与营养状况报告(2020年)》首次发布 [EB/OL].[2025-7-15]. [https://www.shanxi.gov.cn/ywdt/sxyw/202009/t20200902\\_6061315.shtml](https://www.shanxi.gov.cn/ywdt/sxyw/202009/t20200902_6061315.shtml).  
[2] 曹裴娅, 吴佩, 钱佳慧, 等. 中国中老年人关节炎患病现状及其影响因素分析 [J]. 四川大学学报(医学版), 2017, 48(02): 268-271.  
[3] 胡鲲, 苏军, 陈新春, 等. 贵州黔南地区20-79岁农村居民类风湿关节炎患病现状及危险因素 [J]. 中国公共卫生, 2019, 35(07): 813-817.  
[4] 黄河, 田慧敏, 李波, 等. 内陆与海岛地区老年人慢性疾病状况及影响因素分析 [J]. 吉林大学学报(医学版), 2016, 42(01): 168-176.  
[5] 薛新东, 葛凯啸. 社会经济地位对我国老年人健康状况的影响——基于中国老年健康影响因素调查的实证分析 [J]. 人口与发展, 2017, 23(02): 61-69.  
[6] 孙永胜, 杨德兵, 马俊, 等. 农村老年人中医体质辨识及体质影响因素分析 [J]. 健康研究, 2021, 41(03): 241-245.  
[7] Pfeffermann D. New important developments in small area estimation[J]. Statistical Science, 2013, 28: 40-68.  
[8] Rao JNK, Molina I. Small area estimation, 2nd Ed.[M]. Hoboken, Wiley, 2015.  
[9] 周巍, 朱荣, 张锦水. 遥感辅助的农作物种植面积小域估计方法研究 [J]. 统计研究, 2015, 32(07): 81-86.  
[10] 于力超. 小区域贫困指标估计方法的比较与模拟 [J]. 统计与决策, 2020, 36(11): 32-36.