

# 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 (Shenzhen Polytechnic University)  
邮箱: ltl@szpu.edu.cn  
研究兴趣: 数量经济、高职数学教育  
quantitative 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 (Zhaode 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3期 2025年5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 伟、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:

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

# 目录CONTENTS

## 经济与金融统计 | ECONOMIC AND FINANCIAL STATISTICS

- 001 人工智能发展水平的测度及对省域碳排放强度的影响研究  
朱蕴杰, 李函聪, 李童姚, 李少亭  
Measurement of Artificial Intelligence Development Level and Its Impact  
on Provincial Carbon Emission Intensity  
Zhu Yunjie, Li Hancong, Li Tongyao, Li Shaoting
- 008 高质量发展背景下运城市人口与经济协调度研究 景伊  
Study on the Coordinated Development of Population and Economy in  
Yuncheng City Under the Context of High-Quality Development  
Jing Yi
- 012 我国船舶行业上市公司财务分析与综合评价 刘梦丽, 彭爱, 熊婕, 龙映池  
Financial Analysis and Comprehensive Evaluation of Listed Companies in the  
Shipbuilding Industry  
Liu Mengli, Peng Ai, Xiong Jie, Long Yingchi
- 016 环福州都市圈海洋经济高质量发展的空间溢出效应及影响机制研究  
吴佳滢, 应鑫琳, 巫妍卉  
Research on the Spatial Spillover Effects and Impact Mechanisms of High-Quality  
Development in Fuzhou Metropolitan Area  
Wu Jiaying, Ying Xinlin, Wu Yanhui
- 023 汽车制造业数字化转型的影响因素研究  
——以广汽集团与比亚迪公司为例 欧阳勤, 黄晶涛  
Study On Influencing Factors Of Digital Transformation In Automobile  
Manufacturing Industry——Take GAC Group and BYD Company as  
an Example  
Ouyang Qin, Huang Jingtao

## 抽样统计与问卷调查 | SAMPLING STATISTICS AND QUESTIONNAIRE SURVEYS

- 027 广东青年药食同源产品消费意愿及影响因素实证研究  
——基于2748份问卷调查 唐晨, 谷卓桐, 杨津锋, 钟美庆  
An Empirical Study on the Consumption Willingness and Influencing  
Factors of Guangdong Youth towards Food-Drug Dual-Use Products  
——Based on 2748 Questionnaire Surveys  
Tang Chen, Gu Zhuotong, Yang Jinfeng, Zhong Meiqing
- 033 基于模糊评价的智能手机品牌竞争力调研分析 洪巧, 李好奇  
Survey and Analysis of Market Competitiveness of Smart Phone Brands  
Hong Qiao, Li Haoqi

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

- 038 近三十年国内数学史与数学教育研究发展与启示  
——基于 CiteSpace 的知识图谱分析 于涛, 陈维彪  
Developments and Implications of Research on the History and Education  
of Mathematics in China Over the Past Three Decades  
——Knowledge Graph Analysis Based on CiteSpace  
Yu Tao, Chen Weibiao
- 043 新工科背景下大数据实验教学的改革探索  
——爪哇部落大数据实验室建设 刘宇熹, 黄承慧, 钟雪灵  
Exploration on the Reform of Big Data Experimental Teaching under  
the Background of New Engineering——Construction of Java Tribal  
Big Data Lab  
Liu Yuxi, Huang Chenghui, Zhong Xueling
- 047 产教融合视角下《企业经营统计学》实践教学改革路径研究 赵岩斌  
Research on Practical Teaching Reform Pathways in "Enterprise Management  
Statistics" from the Perspective of Industry-Education Integration  
Zhao Yanbin

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 050 | 《电路分析基础》课程思政内容设计研究<br>Research on the Ideological and Political Content Design in the "Fundamentals of Circuit Analysis" Course   | 李凤莲, 史健芳, 张博, 李彦民, 李芸<br>Li Fenglian, Shi Jianfang, Zhang Bo, Li Yanmin, Li Yun         |
| 054 | 基于“五育并举”的大学生综合素质评价改革探究<br>Exploring the Reform of College Students' Comprehensive Quality Evaluation Based on the "Five-Education Integration"  | 刘惠, 赵海清<br>Liu Hui, Zhao Haiqing  |
| 060 | 围绕专业人才培养目标的数据挖掘与机器学习课程教学改革与实践<br>Reform and Practice of Data Mining and Machine Learning Course Teaching around Professional Talent Training Objectives   | 范彩云, 董平<br>Fan Caiyun, Dong Ping  |
| 064 | AI赋能信息与计算科学专业大数据方向产教融合创新模式的研究<br>Research on the Innovative Model of Industry-Education Integration in the Big Data Direction of the Information and Computing Science Major Empowered by AI                  | 张俊丽, 张永富, 贾明辉, 华志强<br>Zhang Junli, Zhang Yongfu, Jia Minghui, Hua Zhiqiang              |
| 068 | 新质生产力引领下的高等数学教学设计研究<br>Research on the Teaching Design of Advanced Mathematics under the Guidance of New Quality Productivity   | 龙彩燕, 马虹, 谢小军, 魏玉华, 武文娟<br>Long Caiyan, Ma Hong, Xie Xiaojun, Wei Yuhua, Wu Wenjuan      |
| 072 | 智能体在虚拟教研中的应用实践及成效探索——以“历史教研助手”为例<br>Application Practice and Effectiveness Exploration of Intelligent Agents in Virtual Teaching and Research: Taking "History Teaching and Research Assistant" as an Example | 廖俊龙, 卓晓莉, 黄子彪, 朱映辉, 万辉<br>Liao Junlong, Zhuo Xiaoli, Huang Zibiao, Zhu Yinghui, Wan Hui |

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

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 077 | 流数据下的在线可更新稳健期望分位数回归<br>Online Updatable Robust Expectile Regression with Streaming Data   | 胡冠浩, 姜荣<br>Hu Guanhao, Jiang Rong  |
| 081 | 基于 GA-GWO 混合优化算法的 ANN-KNN 融合模型的股票价格区间预测<br>Stock Price Interval Prediction Using a GA-GWO Hybrid Optimization Algorithm-Based ANN-KNN Fusion Model  | 孙怡瞳, 宫雨竹, 徐祥博, 李甘露, 莫慧杰, 杨凯<br>Sun Yitong, Gong Yuzhu, Xu Xiangbo, Li Ganlu, Mo Huijie, Yang Kai |
| 086 | 基于循环神经网络的奥运奖牌榜预测<br>Olympic Medal List Prediction Based on Recurrent Neural Network   | 赵芯禾, 赵娜娜, 陈齐兴, 韩怡<br>Zhao Xinhe, Zhao Nana, Chen Qixing, Han Yi                                  |
| 090 | 共形预测框架下的预测区间估计方法及乳腺癌应用研究<br>Prediction Interval Estimation under the Conformal Prediction Framework, with the Application to Breast Cancer Risk Assessment  | 夏露竹, 曾文君, 曹雅琦<br>Xia Luzhu, Zeng Wenjun, Cao Yaqi  |
| 096 | AI大模型在新能源汽车境外销售检修中的信息检索与 NLP 应用自动化驾驶标准化的研究<br>Research on Information Retrieval and NLP Application of AI Large Model in Overseas Sales and Maintenance of New Energy Vehicles and Standardization of Automated Driving | 徐小雅, 杜善琪<br>Xu Xiaoya, Du Shanqi   |
| 102 | 基于 CiteSpace 知识图谱的数据要素研究: 热点、趋势与展望<br>Research on Data Elements Based on CiteSpace Knowledge Graph: Hot Spots, Trends and Prospects   | 王孟欣, 李静, 刘璐<br>Wang Mengxin, Li Jing, Liu Lu   |
| 112 | 基于 DPSIR 和非线性规划的可持续旅游模型——以美国阿拉斯加州朱诺市为例<br>Sustainable Tourism Model Based on DPSIR and Non-linear Programming——A Case Study of Juneau, Alaska, USA  | 王嘉蔚, 赵淑媛, 顾子林<br>Wang Jiawei, Zhao Shuyuan, Gu Zilin   |

## 统计方法及应用 | STATISTICAL METHODS AND APPLICATIONS

|     |  |  |
|-----|--|--|
| 117 | 基于变系数模型的原油价格实证研究<br>Empirical Study of Crude Oil Prices based on Variable Coefficient Modeling                                 | 漆艳霞, 刘艳萍<br>Qi Yanxia, Liu Yanping                                       |
| 122 | 基于 Copula 函数方法的保费定价研究<br>A Study on Premium Pricing Based on the Copula Function Approach                                      | 王复高, 王红霞, 王岩, 王莹<br>Wang Fugao, Wang Hongni, Wang Yan, Wang Ying         |
| 127 | 文化产业数字化转型路径研究<br>Research on the Digital Transformation Path of Cultural Industry  | 程枫, 李琳琳, 缪孟阁<br>Cheng Feng, Li Linlin, Miao Mengge                       |
| 130 | 特定地域单元生态产品价值核算的实践与研究<br>Practice and Research on the Accounting of the Value of Ecosystem Product in Specific Geographic Units | 周克元, 费绍金, 虞冰, 尹兆楠<br>Zhou Keyuan, Fei Shaojin, Yu Bing, Yin Zhaonan      |
| 134 | 统计分析视域下我国医疗卫生事业发展分析<br>Analysis of The Development of China's Medical And Health from The Perspective of Statistical Analysis  | 杨金梅, 黄雅仕, 曾绮茵, 王枝宁<br>Yang Jinmei, Huang Yashi, Zeng Qiyin, Wang Zhining |



# 人工智能发展水平的测度及对省域碳排放强度的影响研究

朱蕴杰, 李函聪, 李童姚, 李少亭\*

东北财经大学, 辽宁 大连 116025

DOI:10.61369/ASDS.12165

**摘要：**党的二十大报告强调，“双碳”目标是关乎中华民族永续发展的重要战略，而人工智能作为创新驱动发展的核心力量，正通过资源优化、产业升级等路径推动绿色转型。本文以2022年全国27个省为样本进行实证研究，基于多元线性回归以及高斯混合回归模型构建涵盖产业基础、科技成果、创新实践的人工智能发展多维评价体系，并利用熵权法对省域人工智能发展水平进行评价，探索我国各省市人工智能发展水平对碳排放强度的影响，从而有效发掘人工智能发展情况与实现碳达峰碳中和目标之间的内在联系，为政府进行高新技术产业转型升级，推动低碳发展战略提供一种全新的量化分析视角。

**关键词：**人工智能发展水平；碳排放强度；多元线性回归；高斯混合回归

## Measurement of Artificial Intelligence Development Level and Its Impact on Provincial Carbon Emission Intensity

Zhu Yunjie, Li Hancong, Li Tongyao, Li Shaoting\*

Dongbei University of Finance and Economics, Dalian, Liaoning 116025

**Abstract:** The report of the 20th National Congress of the Communist Party of China emphasizes that the "dual-carbon" goals are crucial for the sustainable development of the Chinese nation. As a core driver of innovation-driven development, artificial intelligence (AI) is promoting the green transformation through resource optimization, industrial upgrading, and other pathways. This paper conducts an empirical study using data from 27 provinces across China in 2022. Based on multiple linear regression and Gaussian mixture regression models, we establish a multidimensional evaluation system for AI development, covering industrial foundations, technological achievements, and innovation practices. Using the entropy weight method, we evaluate the AI development levels of provincial regions and explore the impact of AI development on carbon emission intensity in different provinces. The study aims to uncover the inherent relationship between AI development and the achievement of carbon peak and carbon neutrality goals, providing a new quantitative analytical perspective for the government to facilitate the transformation and upgrading of high-tech industries and promote low-carbon development strategies.

**Keywords:** AI development level; carbon emission intensity; multiple linear regression; Gaussian mixture regression

## 引言

党的二十大报告指出，“双碳”目标是关乎中华民族永续发展的重要战略，而人工智能技术为节能减排提供了新的技术路径，如何有机推动二者协同发展成为重要研究课题。本研究从理论与实践层面探讨人工智能与碳排放的关系：构建人工智能技术与碳排放测度的研究框架，基于产业基础、科技成果、创新实践三维度构建指标体系，分析27个省份碳排放影响因素及人工智能的作用机制；实践上为区域差异化制定数字转型与低碳发展策略提供依据，推动产业低碳转型和能源效率提升。研究创新体现在三方面：一是构建宏观视角的

项目来源：辽宁省教育厅基本科研面上项目“适应于等级评分数据的大范围多重假设检验方法研究”（编号：JYTMS20230650），主持人：李少亭；

辽宁省兴辽英才计划青年拔尖人才项目“有限混合模型的统计推断及应用”（编号：XLYC2203099），主持人：李少亭。

作者简介：

朱蕴杰（2004-），男，广东广州人，东北财经大学统计学院，学士，研究方向：机器学习、数据分析；

李函聪（2004-），女，辽宁沈阳人，东北财经大学会计学院，学士，研究方向：会计、金融；

李童姚（2003-），女，辽宁辽阳人，东北财经大学国际商学院，学士，研究方向：会计、财经；

李少亭（1982-），男，山西太原人，东北财经大学统计学院副教授，博士，研究方向：数理统计、机器学习，通讯邮箱：shaoting.li@dufe.edu.cn。

注：作者朱蕴杰、李函聪、李童姚和李少亭对本文贡献相同，视为共同第一作者。

人工智能发展水平评价体系，为统一综合评价提供新方法；二是揭示数字经济时代代表性技术——人工智能对碳减排的影响，为区域可持续发展提供数据支撑与政策建议；三是采用高斯混合回归模型开展异质性分析，聚类解析不同省份人工智能发展对碳排放强度的影响差异。研究发现，人工智能发展对降低碳排放有积极作用但存在区域差异，这为精准化区域政策制定提供参考，助力技术创新与绿色发展协同推进，对完善绿色技术创新体系、实现“双碳”目标具有重要启示。

## 一、文献综述

目前，关于人工智能技术对碳排放的影响的研究文献较少，大部分文献以技术进步、工业智能化和工业机器人三个方面代表人工智能发展水平，并探讨其与碳排放之间的关系。

在技术进步方面，李凯杰等（2012）利用 STIRPAT 模型分析发现，不同地区的技术进步对碳排放的影响有所不同，并且都存在时滞性，东部地区技术进步有明显的减排作用，技术扩散的速度及其迅速，然而中部地区的技术进步却导致了碳排放的增加，对于西部地区，虽然技术进步有助于减排，但这一过程需要经历一定的时间延迟<sup>[1]</sup>；张兵兵等（2017）运用 DEA-Malmquist 方法对中国 37 个行业的技术进步指数进行分析，发现技术进步在全行业层面上可以降低碳排放强度，而在分行业层面对其影响具有异质性<sup>[2]</sup>；马艳艳等（2018）利用动态面板广义，通过矩估计方法的研究，探索了不同来源的技术进步对碳排放效应的影响差异，结果显示，R&D、FDI（外商直接投资）、进口以及 R&D 与国外技术引进的交互作用均显示出显著的碳减排效果，然而，直接引进技术、出口贸易以及 R&D 与 FDI 的交互作用则导致了碳排放强度的上升<sup>[3]</sup>；杨莉莎等（2019）采用 IDA 模型和 PDA 模型研究发现，技术进步对碳排放的影响有反弹效应，结合中国各区域的经济和技术发展具有阶段性特征，国家应当因地制宜逐步推动技术发展<sup>[4]</sup>。

在工业智能化方面，黄海燕等（2021）利用 18 个工业细分行业的面板数据进行分析，发现工业智能化能够显著降低碳排放强度，但是存在行业异质性，即低碳排放行业和高工业智能化水平行业对碳排放强度的抑制作用更为明显<sup>[5]</sup>；曹泽等（2023）深入分析了我国 30 个省、自治区、直辖市的面板数据，以进一步探讨相关趋势和规律，并采用空间杜宾模型进行空间计量分析发现，工业智能化在空间上可以显著抑制本地区及周边地区的碳排放强度，但是存在区域异质性，相较于西部地区，中部、东部地区的抑制效果更明显<sup>[6]</sup>；王艳秋等（2023）运用固定效应模型、中介效应模型和空间杜宾模型多维度实证分析工业智能化对中国工业碳排放效率的影响及空间效应，研究发现工业智能化能够依靠技术进步和抑制能源强度提升工业碳排放率<sup>[7]</sup>；杨春蕾等（2024）采用双重固定效应模型、中介效应模型和门槛效应模型对 51 个国家的平衡面板数据进行分析，研究工业智能化对全球碳减排的影响和内在机理，发现工业智能化能够显著推动全球碳减排，缓解全球碳减排的不平等<sup>[8]</sup>。

在工业机器人方面，黄贇琳等（2023）通过研究发现工业机器人有效降低了数字化水平较高城市的工业碳排放强度，其中绿色技术创新和人机匹配度是重要的机制，并提出完善宽带基础设施

建设、提高人力资本水平、加大财政科技投入是促进工业机器人减排效应的实现路径<sup>[9]</sup>；王海等（2023）采用固定效应模型发现，机器人应用通过绿色创新能力、财政科技支出和市场竞争程度能够减少城市碳排放<sup>[10]</sup>；余心滢等（2023）通过分析工业机器人的应用与碳排放之间的关系，研究发现工业机器人应用通过能源效率效应、人工替代效应和产出规模效应 3 种传导机制影响碳排放强度，其中能源使用效率、人工替代具有碳减排效应，产出规模具有碳增排效应，并且工业机器人应用对碳排放强度的抑制作用存在空间溢出效应<sup>[11]</sup>。

综上所述，现有研究对技术进步、工业智能化和机器人与碳排放之间的关系进行了较为深入的研究。但仍存在一定的局限：（1）对于人工智能综合发展水平没有明确统一的测度指标与方法。（2）鲜有研究分析人工智能产业发展水平与碳排放之间的关系。基于此，本研究从产业基础、科技成果、创新实践三个维度构建人工智能产业发展水平指标体系，并利用 2022 年全国 27 个省份（不含西藏自治区和港澳台地区）的截面数据，探究人工智能发展水平对我国各省域碳排放的影响，以期研究人工智能产业水平与碳排放之间的关系，并对我国利用人工智能技术有效减少碳排放提供相应的建议与思路。

## 二、人工智能产业发展水平测度体系简介

本文首先探讨了省域人工智能产业发展水平的测度体系，再基于该体系利用多元线性回归模型分析人工智能产业发展水平以及一系列经济社会发展指标与碳排放的关联，之后利用高斯混合回归模型对线性回归做改进，一方面提高对数据的拟合程度，另一方面据此研究数据的异质性。以下为本文用到的主要模型的介绍：

### （一）多元线性回归模型

社会经济现象的变化往往受到多个因素的影响，因此，一般要进行多元回归分析。一般把包括两个或两个以上自变量的回归称为多元线性回归。

考虑有数据  $(y_i, x_i)$ ， $i=1, 2, \dots, n$ ，其中  $y_i$  为被解释变量的第  $i$  个观测， $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})^T$  为  $p$  个解释变量的第  $i$  个观测。多元线性回归模型如下：

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_{ij} + \varepsilon_i$$

其中  $b_0$  为截距项， $b_1, b_2, \dots, b_k$  为回归系数，误差项通常假设服从正态分布  $N(0, \sigma^2)$ 。

## （二）高斯混合回归模型

有限混合回归模型结合了混合模型和回归模型的特性，假设数据是由多个子群体组成，每个子群体中被解释变量与解释变量之间有自己的关系，通过构建有限混合回归模型可以提高对数据的拟合程度，并能够利用不同群体中不同的关系对数据中的异质性进行分析。

高斯混合回归模型（Gaussian Mixture Regression, GMR）是有限混合回归模型下的一种。它假设数据服从由多个高斯分布组成，模型中参数的极大似然估计通常可以利用 EM 算法来估计。下面给出有限混合回归模型和高斯混合回归模型的定义。

对于  $K$  个成分的混合回归模型，令  $Z$  是一个指示类别的潜在变量。假设  $\pi_k = P(Z = k)$  为第  $k$  个成分的概率，显然有  $\pi_k \geq 0$ ，且  $\sum \pi_k = 1$ 。在  $Z = k$  的条件下，假设被解释变量  $Y$  与  $p$  维解释变量  $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)^T$  有如下的线性关系：

$$Y = \alpha_k + X^T \beta_k + u_k$$

其中， $\alpha_k$  表示第  $k$  个成分的回归截距项； $\beta_k$  表示第  $k$  个成分的回归系数； $u_k$  表示第  $k$  个成分的误差项。

若假设误差项  $u_k$  与解释变量  $X$  不相关，且具有均值为 0，方差为  $\sigma_k^2$  的密度函数  $f_k(u; 0, \sigma_k^2)$ ，则在给定  $Z = k$  以及  $X$  的条件下，被解释变量  $Y$  的条件密度为  $f_k(y; \alpha_k + X^T \beta_k, \sigma_k^2)$ 。进而，在给定  $X$  而未知类别  $Z$  的条件下， $Y$  的条件密度为

$$f(y|X, \theta) = \sum_{k=1}^K \pi_k f_k(y; \alpha_k + X^T \beta_k, \sigma_k^2) \quad (1)$$

上式即为有限混合回归模型的定义，其中  $\pi_k$ ， $k = 1, 2, \dots, K$  为混合比例参数， $f_k(y; \alpha_k + X^T \beta_k, \sigma_k^2)$  为第  $k$  个成分的密度，记  $\theta = (\pi_1, \alpha_1, \beta_1, \sigma_1^2, \dots, \pi_K, \alpha_K, \beta_K, \sigma_K^2)$  为模型中所有的参数。

特别的，若上述概率密度函数  $f_k(u; 0, \sigma_k^2)$  为高斯分布的概率密度函数  $\phi_k(u; 0, \sigma_k^2)$ ，则上述模型（1）的密度函数为：

$$f(y|X, \theta) = \sum_{k=1}^K \pi_k \phi_k(y; \alpha_k + X^T \beta_k, \sigma_k^2) \quad (2)$$

称模型（2）为高斯混合回归模型。

本文对所研究的变量构建了高斯混合回归模型，并利用 EM 算法得到了参数  $\theta = (\pi_1, \alpha_1, \beta_1, \sigma_1^2, \dots, \pi_K, \alpha_K, \beta_K, \sigma_K^2)$  的极大似然估计值  $\hat{\theta}$ ，并利用 AIC 与 BIC 准则选取了合适的成分个数  $K$ ，再通过计算各样本属于每一类的后验概率

$$\hat{P}(Y = k) = \frac{\hat{\pi}_k \phi_k(y; \hat{\alpha}_k + X^T \hat{\beta}_k, \hat{\sigma}_k^2)}{\sum_{k=1}^K \hat{\pi}_k \phi_k(y; \hat{\alpha}_k + X^T \hat{\beta}_k, \hat{\sigma}_k^2)}, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

来对数据进行了聚类，并根据各类中的回归系数进行分析。

## 三、基于熵权法的省域人工智能发展水平测度

### （一）数据来源

本文以全国 27 个省级行政单位（除新疆、云南、内蒙古、西藏和港澳台地区）的 2022 年截面数据为分析基础进行实证分析。为保证分析数据的真实性、准确性，本文选取的数据均来自国家统计局等权威统计机构发布的官方数据。各省域人工智能发展水平相关指标数据主要来自《中国统计年鉴 2022》《中国科技统计年鉴 2022》《中国高技术产业统计年鉴 2022》《中国火炬统计年鉴 2022》等。西藏自治区由于缺乏大量指标数据，在数据清理时予以剔除。

研究发现，新疆自治区、云南省、内蒙古自治区三个省份由于人工智能发展水平极低，同时缺乏支柱产业，经济规模小、碳排放强度差，导致本次研究出现离群值，故在本次实证研究中予以剔除。

### （二）指标体系构建

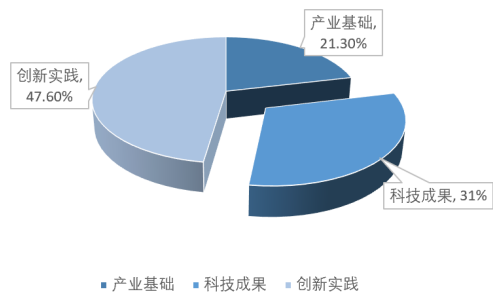
为了全面准确测度省域人工智能产业发展水平，本文广泛参考已有研究文献，并在马光威、李旭辉等的研究基础上进行改进，立足于数据的可得性和指标数据的时效性，分别从产业基础、科技成果、创新实践三个维度构建人工智能产业发展水平指标体系<sup>[5][2]</sup>。具体的指标体系如下表 1 所示。

表 1 人工智能产业发展水平指标

| 一级指标       | 二级指标     | 解释指标               | 定义或计算方法   | 单位 |
|------------|----------|--------------------|-----------|----|
| 产业基础       | 经济总量     | 地区生产总值             |           | 亿元 |
|            |          | 科技孵化能力             | 在统科技孵化器数量 | 家  |
|            | 二、三产业比重  | 第二、三产业占当年 GDP 的总比重 |           | %  |
|            |          | 科技成果               | 技术合同成交量   | 项  |
|            | 技术合同成交规模 | 技术合同成交数            |           | 项  |
|            |          | 技术合同成交金额           |           | 亿元 |
| 人工智能产业发展水平 | 科研水平     | 高校发表论文数量           |           | 篇  |
|            | 国际科技交流水平 | 国外技术引进合同           |           | 项  |
|            | 转让合同     | 转让发明专利数            |           | 项  |
| 创新实践       | 创新主体     | 高新技术企业数            |           | 家  |
|            | 创新劳动力    | 高新技术企业用工人数         |           | 人  |
|            | 创新转化水平   | 高新技术企业营业收入         |           | 万元 |
|            | 创新盈利能力   | 高新技术企业利润总额         |           | 万元 |

### （三）权重计算

基于前文构建的测度体系，本文利用熵权法对分别对各省的人工智能产业基础、科技成果、创新维度三个二级指标进行综合评价。下图 2 为二级指标的权重比例图：



> 图2 二级指标的权重比例图

由图2可知，再人工智能综合发展水平的评价指标中，创新实践权重最大，达到47.6%，说明各省将人工智能创新转化为经济社会效益的行为对人工智能产业发展有最大的正向作用；科技产出是人工智能创新之源，各省份的科技成果在产业评价中具有31.1%的权重；而产业基础在测度中占据重要地位，也需引起注意。

完成权重计算后，本文计算了27个省份的二级指标得分，并利用SPSS软件对其人工智能发展水平进行综合测度，其中部分结果如表2所示。由表2可知，2022年我国各省份人工智能发展水平梯度差异明显，其中广东省的人工智能发展水平位居全国第一；江苏省和浙江省分别位列第二、第三。相比之下，海南省的综合得分仅为0.007，位居第二十七位，与广东省差距大。

根据对各省的人工智能发展水平分维度计算结果，可以发现综合发展水平最强的广东省在产业基础、科技成果、创新实践三个子指标上均获得高分，其中产业基础与创新实践位居第一；而位于第二十七名的海南省则三个子指标均位于末尾。这说明衡量人工智能水平的子指标测度情况与总体测度情况保持高度一致。

表2 27个省份人工智能发展水平测度

| 地 区 | 产业基础  | 科技成果  | 创新实践  | 综合得分  |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 广 东 | 0.941 | 0.445 | 1.000 | 0.861 |
| 江 苏 | 0.967 | 0.751 | 0.566 | 0.798 |
| 浙 江 | 0.570 | 0.425 | 0.292 | 0.441 |
| 北 京 | 0.334 | 0.594 | 0.233 | 0.435 |
| 上 海 | 0.308 | 0.587 | 0.124 | 0.375 |
| 山 东 | 0.459 | 0.350 | 0.156 | 0.321 |
| 湖 北 | 0.359 | 0.357 | 0.114 | 0.282 |
| 四 川 | 0.285 | 0.199 | 0.164 | 0.220 |
| 安 徽 | 0.301 | 0.229 | 0.118 | 0.215 |
| 陕 西 | 0.216 | 0.303 | 0.075 | 0.209 |
| 湖 南 | 0.242 | 0.228 | 0.114 | 0.200 |
| 河 南 | 0.322 | 0.133 | 0.136 | 0.187 |
| 福 建 | 0.275 | 0.097 | 0.152 | 0.168 |
| 江 西 | 0.207 | 0.084 | 0.148 | 0.146 |
| 河 北 | 0.319 | 0.118 | 0.055 | 0.142 |
| 重 庆 | 0.230 | 0.095 | 0.106 | 0.136 |
| 辽 宁 | 0.177 | 0.137 | 0.053 | 0.118 |
| 天 津 | 0.180 | 0.124 | 0.053 | 0.113 |
| 广 西 | 0.147 | 0.053 | 0.032 | 0.065 |
| 山 西 | 0.171 | 0.042 | 0.029 | 0.064 |
| 黑龙江 | 0.125 | 0.063 | 0.013 | 0.056 |
| 吉 林 | 0.116 | 0.044 | 0.026 | 0.051 |
| 贵 州 | 0.105 | 0.041 | 0.022 | 0.046 |
| 甘 肃 | 0.100 | 0.048 | 0.011 | 0.043 |
| 宁 夏 | 0.081 | 0.012 | 0.006 | 0.021 |
| 青 海 | 0.062 | 0.004 | 0.003 | 0.012 |
| 海 南 | 0.021 | 0.011 | 0.005 | 0.007 |

## 四、人工智能发展水平对碳排放的强度影响的实证分析

### （一）变量选取

#### 1. 被解释变量

碳排放强度（CE）。本文参考孙振清、侯晓娜等的研究，取碳排放强度为2022年各省二氧化碳排放量与GDP的比值。

首先对被解释变量CE的数据进行描述性统计分析，其中图3是数据的直方图，表3是描述性统计结果。

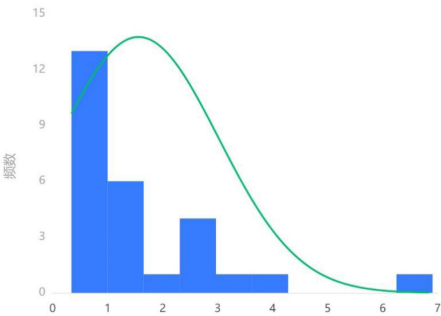
根据表3的结果，可以看到碳排放强度数据的偏度大于0，峰度大于3，与正态分布的偏度与峰度都有明显的差异。同时采用S-W检验，显著性P值为0.000\*\*\*，水平呈现显著性，拒绝原假设，因此说明数据不满足正态分布。

此外，根据图4更直观的体现CE值w的分布存在偏态，因此本文在实证中采取CE取自然对数后的值进行分析<sup>[12]</sup>。

表3 变量CE进行描述性统计

| 变量名   | 样本量 | 中位数  | 平均值   | 标准差  | 偏度   | 峰度   | S-W 检验          |
|-------|-----|------|-------|------|------|------|-----------------|
| 碳排放强度 | 27  | 1.07 | 1.564 | 1.45 | 2.25 | 6.32 | 0.757(0.000***) |

注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平



> 图3 碳排放强度的直方图

#### 2. 解释变量

人工智能产业发展水平（LDAI）。本文从产业基础、科技成果、创新实践三个维度构建人工智能产业发展水平指标体系，这里将第四章测算得到的人工智能发展水平的综合得分作为核心解释变量。

#### 3. 控制变量

综合研读碳排放影响因素的相关研究与对碳排放的统计测度的基础上，本次研究选取以下控制变量：第一，经济发达程度（LE），用省域人均GDP表征；第二，环境治理水平（EG），该指标衡量相关产业发生增长时对碳排放的控制能力，此处用各省工业污染治理投资额与其工业增加值的比值表征；第三，能源消费水平（LEC），采用各省GDP与其能源消费量的比值表征；第四，国际贸易水平（LIT），使用各省的货物进出口总额表征。

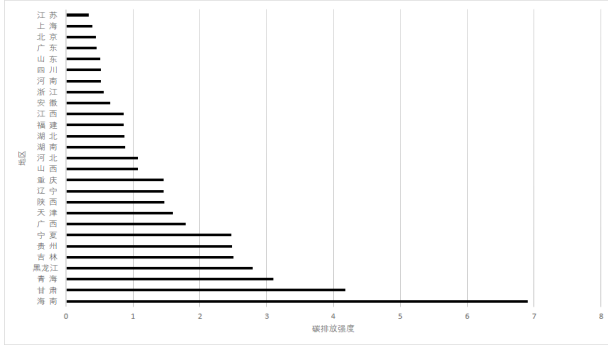
### （二）数据来源

省域碳排放数据来自中国碳排放数据库（CEADS）。与碳排放水平相关的控制变量数据主要来自《中国统计年鉴2022》、《中国工业统计年鉴2022》等。



### （三）特征分析

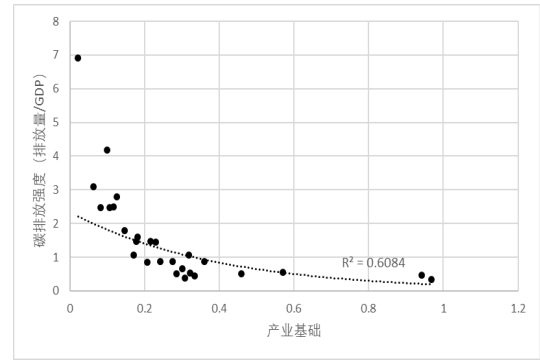
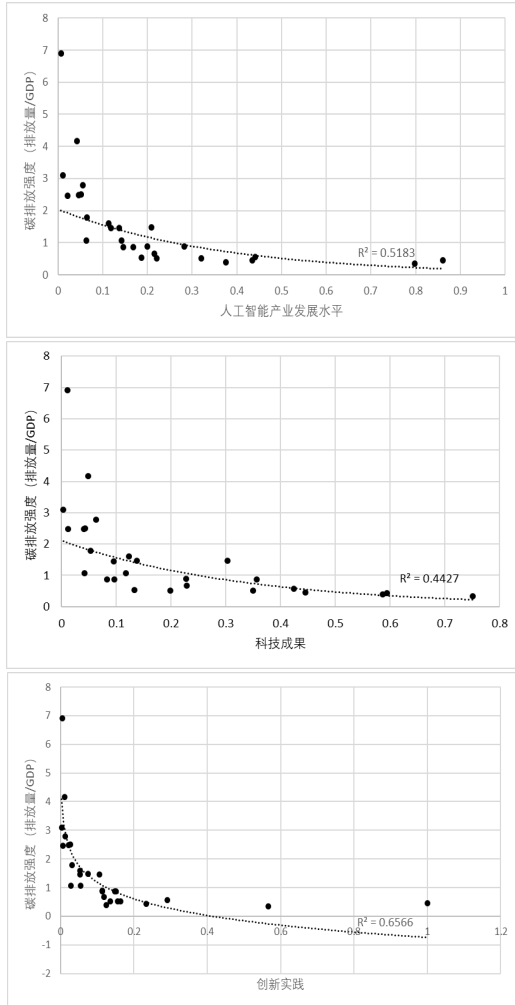
首先对碳排放强度数据进行逐步可视化分析。图4呈现了2022年各省份碳排放强度的整体情况：



> 图4 2022年各省份碳排放强度

总体来看，2022年全国各省份的碳排放强度中，海南、甘肃、青海等较不发达省份排放强度大，其他大部分省份排放强度居中，而较为发达的江苏、北京、上海等省市则排放强度相对较低。

为了初步探究人工智能产业发展水平与碳排放情况的关联性，本文首先将各省综合得分以及其三个二级指标得分与碳排放强度进行非线性指数拟合。图5是两两指标之间的拟合关系：



> 图5 各二级指标得分与碳排放强度进行非线性指数拟合

可以发现，人工智能产业总指标及三个子指标均与各省份碳排放强度呈现负相关，并且拟合优度  $R^2$  均较好。为了严谨论证上述结论、并综合探究其他控制变量对碳排放强度的影响程度，本文利用计量模型进行进一步分析。

### （四）基于多元线性回归的省域人工智能发展水平对碳排放的影响实证分析

分析前，本文对所有解释变量和控制变量进行了 min-max 标准化处理，以消除量纲对模型的影响。Min-max 标准化的计算公式如下：

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

为了保证模型准确性，首先对解释变量和各控制变量进行 VIF 检验。检验发现，所有自变量方差膨胀指数均小于10，说明模型不存在多重共线性。然后基于多元线性回归模型对数据进行回归分析。分析结果见下表4：

表4 对数线性回归分析结果

| 变量             | 回归系数      |          |
|----------------|-----------|----------|
|                | 未加入控制变量   | 加入控制变量   |
| LDAI           | -2.368*** | -2.831** |
| LEC            | -         | -1.171   |
| EG             | -         | 0.525    |
| LE             | -         | -0.184   |
| LIT            | -         | 1.302    |
| 常数项            | 0.697     | 0.796    |
| N/个            | 27        | 27       |
| R <sup>2</sup> | 0.571     | 0.674    |

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别代表1%、5%、10%的显著性水平

通过对数线性拟合，可以得到模型公式如下：

$$\ln(CE) = -2.831LDAI - 1.171LEC + 0.525EG - 0.184LE + 1.302LIT + 0.796$$

可以看出，加入控制变量前后，核心解释变量都5%显著性水平下保持显著，且回归系数值均为负数，说明模型检验的碳排放抑制效应具有较强的稳定性。加入控制变量前后拟合优度均大于0.5，说明模型解释能力较好。这说明人工智能发展水平对各省碳排放强度具有明确的抑制作用。越发达的人工智能产业水平，意味着越低的平均碳排放强度。

考虑其他控制变量，可以发现能源消费水平（LEC）的回归系数值为负数，说明能源利用效率越高，越能抑制碳排放强度；

环境治理水平（EG）的回归系数值为正数，可能是因为即使该省份对新增污染的治理能力较好，但发展污染工业不可避免会产生碳排放，导致碳排放强度的上升；经济发达程度（LE）的系数则呈负数，说明省份经济越发达，越有能力和意识对碳排放强度进行控制以促进环境保护；国际贸易水平（LIT）与碳排放强度呈正相关，可能是因为发展高水平对外贸易需要更高水平的工业产业和实业进行支撑，易导致生产产品产生的碳排放量。

（五）基于高斯混合回归模型的省域碳排放与人工智能产业发展水平聚类分析

高斯混合模型（Gaussian Mixture Model, GMM）是一种软聚类方法，它通过多个高斯分布的加权组合来逼近数据的概率密度函数。与传统线性回归相比，使用 GMM 数据探索可以帮助识别数据中的潜在结构和子群体，以进一步分析省域碳排放与人工智能发展水平之间的关系。因此，本文在线性回归的基础上进一步进行高斯混合回归分析。

1. 单成分回归分析

在上一小节中，已经建立了单一成分的回归模型，在表 4 中列出了回归系数等结果，该模型拟合数据的对数似然函数及 AIC、BIC 值如下表 5。

| 表 5 单成分回归模型的拟合结果 |        |         |
|------------------|--------|---------|
| 对数似然函数           | AIC    | BIC     |
| -16.79           | 79.579 | 109.384 |

对数似然函数是衡量统计模型拟合数据好坏的一种方法。在高斯混合模型中，对数似然函数表示为模型对观测数据的概率的对数。对数似然函数越大，表示模型对数据的拟合越好。

赤池信息准则（AIC）是一种用于比较不同统计模型拟合优劣的方法。它在模型的复杂度和拟合优度之间寻求平衡。贝叶斯信息准则（BIC）与 AIC 类似，也是用于模型选择的准则，但它在惩罚项中使用了对数样本大小的项。AIC 与 BIC 越小，说明模型拟合效果越好。

2. 两成分的混合回归

为进一步优化回归效果，提升拟合水平，本文进一步对各指标进行了多成分的混合回归。其中两成分的高斯混合回归结果如下表 6 和表 7。

| 表 6 两成分回归分析结果 |         |        |
|---------------|---------|--------|
| 变量            | 回归系数    |        |
|               | 成分一     | 成分二    |
| LDAI          | -11.102 | -1.927 |
| LEC           | 2.636   | -1.485 |
| EG            | 0.995   | 0.388  |
| LE            | -0.273  | -0.274 |
| LIT           | 5.501   | 0.834  |
| 常数项           | 0.782   | 0.864  |
| N/个           | 27      | 27     |
| 混合比例          | 0.463   | 0.537  |
| 方差            | 0.062   | 0.065  |

| 表 7 两成分高斯混合回归模型的拟合结果 |        |        |
|----------------------|--------|--------|
| 对数似然函数               | AIC    | BIC    |
| -5.751               | 41.502 | 60.940 |

由表中结果可得，对两成分的高斯混合回归模型，对数似然函数增大，同时 AIC 与 BIC 显著降低，说明两成分的混合回归效果优于单成分回归。其中，成分一与成分二的混合比例分别为 0.463 与 0.537，说明在每个数据给定自变量的条件下，都有 46.3% 的概率来自第一个成分，适用第一个成分的回归系数；53.7% 的概率来自第二个成分，适用第二个成分的回归系数。

接下来，本文进一步探究更多成分数对回归的改进效果。分析发现，三成分模型的对数似然函数与两成分相等，且第三成分的混合比例趋于 0，因此认为两成分模型。是本次分析中的最佳混合模型。

3. 混合回归聚类

通过上节的混合回归，本文按照两成分模型对 27 个省级行政单位进行聚类。聚类结果如下表 8：

| 表 8 27 个省份聚类结果 |  |          |
|----------------|--|----------|
| 类别             | 省份   | 核心解释变量系数 |
| 第一类            | 海南，甘肃，黑龙江，吉林，北京，山西，河北，安徽，浙江，河南，四川，山东         | -11.102  |
| 第二类            | 青海，贵州，宁夏，广西，天津，陕西，辽宁，重庆，上海，湖南，湖北，福建，江西，广东，江苏 | -1.927   |

由表 8 可知，高斯混合聚类模型以人工智能产业发展水平对碳排放强度的影响为标准聚出两类：

其中，第一类的核心解释变量（CI）系数为 -11.102，系数绝对值远大于第二类，说明在此类中的省份发展人工智能产业对碳排放有更强的抑制作用。这可能是由于这一类省份中包括海南、甘肃等人工智能产业极不发达的省份，一定程度的发展不会对抑制碳排放产生边际效益递减作用。因此，此类别省份应进一步推动人工智能产业的发展，通过引入海内外先进技术或与行业类龙头企业达成产业合作等形式，缓解本地科研能力和技术积累不足的优势，推动人工智能产业的落地应用，为切实落实“双碳”政策贡献力量。

第二类的核心解释变量（CI）系数为 -1.927，系数绝对值小于第一类，说明在此类省份中人工智能产业水平增加一单位，对碳排放的影响相对较小。这可能是由于此类省份中既包含青海、贵州等工业水平较低、支柱产业相对不发达，碳排放强度已经极低的省份，也包括广东、上海这类产业高度发达，且在低碳发展上有一定规划部署的省份。对这一类别的省份来说，人工智能产业与碳排放的平衡关系已经达到相对瓶颈，可能无法对抑制碳排放进一步产生显著作用。

五、结论与建议

（一）结论

本文基于 2022 年 27 个省份（不含西藏自治区和港澳台地区）



的面板数据，采用对数线性回归模型和高斯混合回归模型，建立了人工智能发展水平的综合评价体系，实证分析了人工智能技术的应用对各省域碳排放的影响及其因素。主要结论如下：

1. 各省份的人工智能发展水平失衡，其中东部地区省份的人工智能发展水平较为先进，而中西部地区省份则相对滞后，说明人工智能产业具有一定集聚效应；
2. 创新实践、科技产出、产业基础3个方面对人工智能产业的发展具有正向作用，其中创新实践是推动人工智能发展的最主要因素；
3. 人工智能发展水平对各省碳排放强度具有明确的抑制作用，且在其他控制变量的影响下仍保持稳健性，越发达的人工智能产业水平，意味着越低的平均碳排放强度；
4. 以人工智能产业发展水平对碳排放强度的影响为标准，27个省级行政单位可聚类为两类，第一类包括海南、甘肃等人工智能产业极不发达的省份，发展人工智能产业对碳排放有更强的抑制作用，一定程度的发展不会对抑制碳排放产生边际效益递减作用，第二类包括青海、贵州、广东、上海等省份，人工智能发展水平对碳排放的抑制作用不显著，影响较小。

（二）建议

鉴于上述结论，本文提出以下建议：

第一，从政府角度出发。首先，政府要结合当地实际情况，统筹不同区域人工智能产业政策，因地制宜制定支持人工智能技

术创新的法律法规，出台相关政策，包括政策补贴、减税降费、技术支持等，营造适宜人工智能发展的环境，刺激科研机构和企业研发积极性，推动在人工智能技术领域进行的创新研发；其次，要建立健全人工智能生态系统体系，促进人工智能进一步创新孵化，扩大其应用范围，使人工智能与交通、金融、生物等方面创新融合，赋能各行各业；然后，要推动建立较为完善的碳税制度，提高对煤炭、石油、天然气等高污染能源的征税力度，激励企业实现“减碳减税”，提高企业节能减排的积极性，也推动减少高耗能消费；此外，我们有必要持续优化和完善碳排放交易市场，以确保碳排放交易制度的规范性和有效性，以市场化激发碳排放市场活力；此外也要建立法律和伦理框架方面的约束，对人工智能绿色应用进一步监管和管理，减轻对经济社会的负面影响。

第二，从企业和高校角度出发。坚持科技创新，促进人工智能发展。首先，要加强碳排放控制研发，催生技术变革。高校和科研机构要加强人工智能领域的研发，实现碳排放领域的技术突破，提升碳排放效率。同时，优化产业结构，降低高耗能行业占比，促进产业创新融合，推动建立绿色行业体系。其次，企业要加强与高校、学术机构的合作，实施碳排放激励制度，实现校企联动，激励企业员工进一步创新。最后，在人才培养方面，要加强资金支持与关注，高校和企业积极培养人工智能方面的人才，推动人工智能创新队伍的发展壮大。

参考文献

[1] 李凯杰，曲如晓. 技术进步对碳排放的影响——基于省际动态面板的经验研究 [J]. 北京师范大学学报（社会科学版），2012，(05):129-139.

[2] 张兵兵，朱晶，全晓云. 技术进步与二氧化碳排放强度：理论与实证分析 [J]. 科研管理，2017，38(12):41-48.

[3] 马艳艳，李丹，逯雅雯. 不同来源技术进步对碳排放效应的差异性研究 [J]. 大连理工大学学报（社会科学版），2018，39(06):17-24.

[4] 杨莉莎，朱俊鹏，贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角 [J]. 经济研究，2019，54(11):118-132.

[5] 黄海燕，刘叶，彭刚. 工业智能化对碳排放的影响——基于我国细分行业的实证 [J]. 统计与决策，2021，37(17):80-84.

[6] 曹泽，张浩，程毅. “双碳”背景下中国工业智能化对碳排放强度的影响 [J]. 重庆理工大学学报（社会科学），2023，37(07):40-55.

[7] 王艳秋，陶思佳. 工业智能化对中国工业碳排放效率的影响及空间效应研究 [J]. 技术经济，2023，42(01):130-140.

[8] 杨春蕾，佟继英. 工业智能化与全球碳减排 [J]. 经济经纬，2024，41(01):110-119.

[9] 黄晓琳，蒋鹏程. 数字低碳之路：工业机器人与城市工业碳排放 [J]. 财经研究，2023，49(10):34-48.

[10] 王海，郭冠宇，闫卓毓. 机器人应用对城市碳排放影响的机理与效应研究 [J]. 财经问题研究，2023，(05):52-63.

[11] 余心滢，蔡道成，袁炜伟等. 工业机器人对碳排放强度的影响及其传导机制——基于中国制造业的理论与实证分析 [J]. 科技管理研究，2023，43(24):196-204.

[12] 孙振清，杨锐. 人工智能技术创新对区域碳排放的影响——机制识别与回弹效应 [J]. 科技管理研究，2024，44(05):168-177.

# 高质量发展背景下运城市人口与经济协调度研究

景伊

运城学院数学与信息技术学院，山西 运城 044000

DOI:10.61369/ASDS.12166

**摘 要：**近年来，人口与经济协调发展研究逐渐成为一个重要且复杂的课题，而人口因素也成为影响地区经济发展的关键性因素。因此，正确分析及处理人口与经济发展之间的关系，对促进地区两者协调发展具有十分重要的现实意义。本文基于2013年—2022年山西省运城市人口与经济发展两方面的数据，构建人口与经济发展相关指标体系，运用熵值法确定各项指标权重，确定人口和经济发展系统的整体发展水平，采用耦合模型测度运城市人口与经济的协调度和协调发展度，并在此基础上，提出对运城市人口与经济协调发展的建议。

**关 键 词：**人口与经济；耦合模型；熵值法；协调发展

## Study on the Coordinated Development of Population and Economy in Yuncheng City Under the Context of High-Quality Development

Jing Yi

Yuncheng University, Yuncheng, Shanxi 044000

**Abstract:** In recent years, the study of coordinated development between population and economy has gradually become an important and complex subject, with population factors emerging as a key determinant of regional economic growth. Therefore, correctly analyzing and addressing the relationship between population and economic development holds significant practical value for promoting their harmonious progress. Based on data from 2013 to 2022 covering both population and economic development in Yuncheng City, Shanxi Province, this paper constructs an indicator system to assess the relationship between population and economic growth. The entropy method is employed to determine the weights of each indicator, evaluating the overall development levels of both the population and economic systems. A coupling model is then used to measure the coordination degree and coordinated development degree between population and economy in Yuncheng City. On this basis, recommendations are proposed to enhance the coordinated development of population and economy in the region.

**Keywords:** population and economy; coupling model; entropy method; coordinated development

## 引言

人口与经济发展之间的关系一直是区域协调发展研究的重要课题，二者相辅相成，联系密切。党的二十大指出，中国式现代化是“人口规模巨大”的现代化<sup>[1]</sup>。现有研究从多个角度综合分析了人口与经济两大系统之间的关系，表明人口与经济发展关系是否协调，对一个国家或地区经济发展水平的高低，综合实力的大小，人民生活质量的好坏，在一定程度上有着很大的影响[2-5]。

本文以运城市为研究对象，收集整理了运城市2013年—2022年人口与经济各方面的统计数据，采用比较分析法、定性与定量结合法等构建人口与经济两系统相关指标体系，运用熵值法计算运城市人口与经济综合发展水平，再构建耦合协调度模型测度其协调发展状态，最后根据研究结果为运城市人口与经济协调发展提供可行性建议。

## 一、运城市人口与经济发展水平测度分析

### （一）人口与经济协调发展评价指标体系的构建

本文以运城市为研究对象，从《山西省统计年鉴》《中国县域

统计年鉴》《运城市统计年鉴（2013—2022）》《中国区域经济发展统计年鉴》以及统计公报等途径获取关于运城市2013—2022年人口发展与经济发展方面的数据，分别构建人口子系统与经济子系统的评价指标体系，其构建框架如表1.1所示。

项目信息：运城学院科研项目(XJ2023000601)；山西省留学人员科技活动项目择优资助(20240035)。

作者简介：景伊，女，汉族，山西省运城市人，运城学院数学与信息技术学院助教，研究方向：统计预测与决策，生物统计，生物数学。

表1.1 人口与经济子系统指标体系框架

| 系统     | 一级指标 | 二级指标                     | 指标属性 | 符号  |
|--------|------|--------------------------|------|-----|
| 人口发展系统 | 人口规模 | 年末常住人口（人）                | 正向   | X1  |
|        |      | 人口自然增长率（%）               | 正向   | X2  |
|        |      | 人口密度（人/km <sup>2</sup> ） | 负向   | X3  |
|        |      | 人口死亡率（%）                 | 负向   | X4  |
|        | 人口质量 | 高中在校学生人数（人）              | 正向   | X5  |
|        |      | 教育占财政支出比例（%）             | 正向   | X6  |
|        | 人口结构 | 性别比（%）                   | 负向   | X7  |
|        |      | 城镇人口比重（%）                | 正向   | X8  |
|        |      | 就业人员数（人）                 | 正向   | X9  |
|        | 人口服务 | 人均一般公共财政支出水平（元/人）        | 正向   | X10 |
| 经济发展系统 | 经济总量 | 地区生产总值（万元）               | 正向   | Y1  |
|        |      | 第二产业产值（万元）               | 正向   | Y2  |
|        |      | 第三产业产值（万元）               | 正向   | Y3  |
|        |      | 人均地区生产总值（元）              | 正向   | Y4  |
|        | 经济水平 | 人均可支配收入（元/年）             | 正向   | Y5  |
|        |      | 社会消费品零售总额（万元）            | 正向   | Y6  |
|        | 经济结构 | 第二产业占GDP比重（%）            | 正向   | Y7  |
|        |      | 第三产业占GDP比重（%）            | 正向   | Y8  |
|        | 经济活力 | 地区生产总值增长率（%）             | 正向   | Y9  |
|        |      | 人均可支配收入增长率（%）            | 正向   | Y10 |

## （二）人口与经济协调发展的评价方法

### 1. 标准化处理

由于各指标具有量纲差异，需要对各项指标进行标准化处理，本文采用极值处理法，对指标数据进行线性变换。计算公式如下：

$$\text{正向指标标准化: } Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m) \quad (1.1)$$

$$\text{负向指标标准化: } Y_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m) \quad (1.2)$$

表示第*i*年第*j*项指标的原始数据，*Y<sub>ij</sub>*表示第*i*年第*j*项指标进行标准化处理后的数值，*n*表示年份数，*m*表示评价指标的个数。

### 2. 熵值法确定指标权重

对原始数据进行标准化处理后，采用精确度较高的熵值法判断其离散程度，通过计算得到各个指标在综合评价中的权重。

（1）第*i*年第*j*项指标的样本值所占比重：

$$P_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n Y_{ij}}, \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m) \quad (1.3)$$

其中，*n*表示年份数，*m*表示评价指标的个数。

（2）第*j*项指标的信息熵：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (1.4)$$

（3）第*j*项指标的权重：

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (1.5)$$

由式可知， $0 \leq w_j \leq 1$ 、 $\sum w_j = 1$ ，符合权重的要求。

### 3. 综合发展水平分析

本文利用综合指数计算人口和经济发展系统的综合发展水平，计算公式如下：

$$F_m = \sum_{i=1}^n W_i X_i, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1.6)$$

其中，*F<sub>m</sub>*代表人口和经济综合发展水平，*W<sub>i</sub>*为各项指标的权重，*X<sub>i</sub>*为人口和经济发展指标的标准化值；*n*为各系统指标数量，*n*=10。

## （三）运城市人口与经济综合发展水平分析

### 1. 熵值法确定指标权重

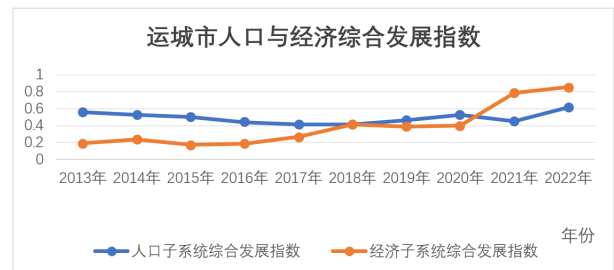
首先用熵值法明确各指标权重，运用公式（1.3–1.5），借助Stata 软件，对运城市人口与经济子系统中的各项指标权重做出测算，结果如表1.2所示。

表1.2 运城市人口与经济子系统二级指标权重值

| 子系统    | 二级指标                     | 权重     |
|--------|--------------------------|--------|
| 人口发展系统 | 年末常住人口（人）                | 0.1172 |
|        | 人口自然增长率（%）               | 0.0472 |
|        | 人口密度（人/km <sup>2</sup> ） | 0.0976 |
|        | 人口死亡率（%）                 | 0.0457 |
|        | 高中在校学生人数（人）              | 0.1784 |
|        | 教育占财政支出比例（%）             | 0.0941 |
|        | 性别比（%）                   | 0.0856 |
|        | 城镇人口比重（%）                | 0.0880 |
|        | 就业人员数（人）                 | 0.0993 |
|        | 人均一般公共财政支出水平（元/人）        | 0.1469 |
| 经济发展系统 | 地区生产总值（万元）               | 0.1493 |
|        | 第二产业产值（万元）               | 0.1730 |
|        | 第三产业产值（万元）               | 0.0798 |
|        | 人均地区生产总值（元）              | 0.1782 |
|        | 人均可支配收入（元/年）             | 0.0841 |
|        | 社会消费品零售总额（万元）            | 0.0515 |
|        | 第二产业占GDP比重（%）            | 0.0949 |
|        | 第三产业占GDP比重（%）            | 0.0502 |
|        | 地区生产总值增长率（%）             | 0.0700 |
|        | 人均可支配收入增长率（%）            | 0.0690 |

### 2. 综合发展水平分析

将以上结果代入综合发展水平测度公式（1.6），可以计算得到人口与经济子系统综合发展水平指数，其变化趋势轨迹图如图1.1所示。



> 图1.1 运城市人口与经济子系统综合发展指数

由图1.1可以看出，人口与经济两个子系统的综合发展水平大

致分为三个阶段：

第一阶段为2013年—2018年，在该阶段综合发展水平呈现出人口子系统大于经济子系统的特点。这一时期全市人口发展正处于乏力阶段，经济发展势头持续向好转变，但在2015年有小幅度的下滑，可能是由于2015年山西省重点监测特色产业集群规模不足、优势不足、行业影响力有限的突出问题较为严重，运城市作为特色产业集群之一，其经济发展受到了一定的影响。

第二阶段为2018年—2020年，在该阶段人口子系统发展水平仍然大于经济子系统，但这一时期人口综合发展指数呈上升趋势，而经济综合发展指数呈下降趋势。

第三阶段2020年—2022年，在该阶段综合发展水平呈现出经济子系统大于人口子系统的特点。在此时期，面对国内新冠疫情反复和经济发展需求收缩等多重挑战和压力下，运城市人民政府持续强化推进“五抓一优一促”经济工作主抓手，始终保持昂扬的奋斗姿态与坚定的战略目标，使得运城市经济发展水平整体呈现出“稳中向好”的态势，并超过人口综合发展水平，实现历史性突破。

## 二、运城市人口与经济协调发展分析

### （一）耦合协调度模型介绍

#### 1. 耦合协调度模型

耦合度用于评估系统成分之间的相互依赖程度，依赖程度越大，则耦合性越强，但独立性越差。耦合度模型如下：

$$C = \frac{F_1 F_2}{(F_1 + F_2)^2} \quad (2.1)$$

其中， $F_1$ 为人口综合发展指数， $F_2$ 为经济综合发展指数， $C$ 表示人口与经济发展系统的耦合度（ $0 \leq C \leq 1$ ）。

为了更加准确客观反映人口与经济系统间的协调发展水平，本文在此基础上借鉴耦合协调度模型进行测度，其数值越大，表示两系统越协调。公式如下：

$$T = \alpha F_1 + \beta F_2, \quad (\alpha + \beta = 1) \quad (2.2)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (2.3)$$

其中， $D$ 表示人口与经济系统间耦合协调程度值（ $0 \leq D \leq 1$ ）， $\alpha$ 和 $\beta$ 分别为人口与经济体系的待定系数，本文认为人口和经济发展系统地位就运城市耦合协调发展而言同等重要，故 $\alpha$ 和 $\beta$ 均取值0.5。

#### 2. 耦合协调度模型的评价标准

耦合协调度是对系统及要素之间良性耦合程度进行测算，是耦合与协调性的综合反映<sup>[3]</sup>。本文将耦合协调度评价等级划分为“低度协调耦合”“一般协调耦合”“良好协调耦合”“高度协调耦合”四种类型，如下表2.1。

表2.1 耦合协调度评价等级划分

| 耦合度值 | 耦合协调类型 | 发展阶段    |
|------|--------|---------|
|      | 低度协调耦合 | 低水平耦合阶段 |
|      | 一般协调耦合 | 拮抗阶段    |
|      | 良好协调耦合 | 磨合阶段    |
|      | 高度协调耦合 | 高水平耦合阶段 |

### （二）人口与经济协调发展度分析

表2.2 运城市2013年—2022年人口与经济协调发展状况

| 年份   | 发展阶段 | 协调发展度  | 协调发展度类型 |
|------|------|--------|---------|
| 2013 |      | 0.4052 |         |
| 2014 |      | 0.4190 |         |
| 2015 |      | 0.3837 |         |
| 2016 | 拮抗阶段 | 0.3780 | 一般协调耦合  |
| 2017 |      | 0.4078 |         |
| 2018 |      | 0.4554 |         |
| 2019 |      | 0.4606 |         |
| 2020 |      | 0.4792 |         |
| 2021 | 磨合阶段 | 0.5456 | 良好协调耦合  |
| 2022 |      | 0.6014 |         |

由表2.2可知，2013年—2022年运城市人口与经济发展系统耦合度值介于0.3780–0.6014之间，大致可以分为两个发展阶段：

第一阶段是2013年—2020年，此时运城市耦合协调发展度数值均处于0.3–0.5之间，大体上处于持续上升趋势，处于拮抗阶段，属于一般协调耦合类型。该阶段虽然运城市经济子系统发展落后于人口子系统发展，但是经济子系统整体呈现出上升趋势，尤其在2020年经济子系统得以迅速发展，表明这一时期运城市的经济状况在多方面表现良好，但是尚未重视对人口发展的资金投入，致使人口发展的动力不足。

第二阶段是2021年—2022年期间，该时期运城市人口与经济耦合协调发展度均处于0.5以上，处于磨合阶段，其协调耦合类型也转为良好协调耦合状态。该阶段运城市对人口与经济的发展力度逐步加大，人口与经济实现了共同发展，但是人口子系统较2013年发展并没有得到实质性的提高，甚至在2021年发展水平还有所落后，所以导致这一阶段还处于低水平的良好协调耦合状态。

## 三、结论与建议

### （一）结论

1. 从运城市人口与经济综合发展指数来看，近十年经济子系统综合发展水平从整体上看呈现出增长的态势，而人口子系统综合发展指数呈现“先减后增”的趋势。一方面，运城市新生儿数量减少，且人口流失严重；另一方面，运城市人口老龄化加剧。

2. 从运城市人口与经济耦合协调发展度来看，近十年运城市人口与经济耦合协调发展水平持续向好转变，经历了缓慢增长期和快速增长期两个阶段。由于社会福利、户籍制度等政策约束导致人口集聚水平受到限制，形成人口发展水平落后于经济发展水平的特征。因此运城市在未来高质量发展经济的同时，优化人口结构、提高人口素质等也至关重要。

### （二）建议

1. 推进人口结构与产业结构的平衡发展。一方面，政府应积极稳妥实施三孩生育政策，提高优生优育服务水平，同时，加大

对教育事业的支持力度,提高人口素质,从而优化人口结构,促进运城市人口子系统的稳步发展。另一方面,相关部门和企业应优化产业布局,充分挖掘黄河流域的地域特征,因地制宜地培育地方新兴产业,促进运城市经济快速稳定发展。

2.全面促进城乡融合发展,实施乡村振兴战略<sup>[6]</sup>。运城市作为农业大市,应充分挖掘乡村多元价值,大力推进乡村产业的发展,加快建设农业强市,全面提升乡村产业发展水平,实现农业

农村经济高质量发展,为农业增效、农村繁荣、农民增收注入新动能<sup>[7]</sup>。

综上所述,为了促进运城市人口与经济的协调发展,需要从政策、社会和经济等多方面入手采取针对性措施,进而不断提高人口与经济耦合协调度,以实现人口与经济子系统高质量发展度下的协调状态。

参考文献

[1] 习近平.携手同行现代化之路 [N].《人民日报》,2023-03-16(002).

[2] Smith Adam.The wealth of nations[M].New York:Bantam Clas-sics,2003:35-40.

[3] 宋洁.黄河流域人口-经济-环境系统耦合协调度的评价 [J].统计与决策,2021,37(04):185-188.

[4] 陈淑清,李吉英.区域人口质量与经济发展协调度研究——以山东省滨州市为例 [J].商展经济,2024(02):42-45.

[5] 曹亚兰.山西省人口-经济-资源环境系统协调发展时空演化研究 [D].太原师范学院,2023.

[6] 姜景峰.全力实施乡村振兴战略加快推动城乡融合发展 [N].中国经济时报,2018-07-05(004).

[7] 赵之阳.以产业融合引领乡村振兴 [J].中国农业资源与区划,2018,39(08):65-69.

[8]Stratton Samuel J. Population Sampling: Probability and Non-Probability Techniques[J]. Prehospital and Disaster Medicine,2023,38(2):147-148.

[9] 葛文渊.山东省县域人口与高质量发展时空格局与耦合关系研究 [D].山东建筑大学,2023.

[10]原云霄,渠美.山东省人口与区域经济耦合协调发展研究 [J].华东经济管理,2023,37(10):57-67.

[11] 李海艳.江苏省人口与经济社会协调发展研究 [D].南京邮电大学,2023.

[12] 韩学阵.云南省人口与经济发展时空演变及耦合关系研究 [D].云南师范大学,2020.

[13]高长春.黔南州人口与经济的空间协调关系及重心演变研究 [J].湖南工业大学学报,2023,37(06):22-32.



# 我国船舶行业上市公司财务分析与综合评价

刘梦丽<sup>1</sup>, 彭爱<sup>2</sup>, 熊婕<sup>3</sup>, 龙映池<sup>1</sup>

1. 广州大学经济与统计学院, 广东 广州 510000

2. 广东实验中学, 广东 广州 510000

3. 广州大学管理学院, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.12167

**摘要：** 船舶行业作为国家基础性和战略性产业，对我国经济发展、对外贸易、国防安全等方面意义重大。基于中国船舶的发展趋势，开展企业财务数据分析，对把握行业发展和为市场提供科学的决策依据具有积极意义。本文以船舶行业上市公司为研究对象，从财务大数据分析视角出发，运用财务比率法从营运能力、偿债能力、盈利能力和成长能力四个维度对其展开评估。

**关键词：** 船舶行业；趋势分析；工业分析；亚星锚链

## Financial Analysis and Comprehensive Evaluation of Listed Companies in the Shipbuilding Industry

Liu Mengli<sup>1</sup>, Peng Ai<sup>2</sup>, Xiong Jie<sup>3</sup>, Long Yingchi<sup>1</sup>

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

2. Guangdong Experimental High School, Guangzhou, Guangdong 510000

3. School of Management, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract:** The shipbuilding industry, as a fundamental and strategic sector, plays a significant role in China's economic growth, foreign trade, and national defense security. By analyzing the financial data of ship-related enterprises in the context of China's shipbuilding industry trends, we can better understand the industry's development and provide a scientific basis for market decision-making. This paper focuses on listed shipbuilding companies, adopting a financial big-data analysis perspective to evaluate these companies through financial ratios across four dimensions: operational capacity, solvency, profitability, and growth potential.

**Keywords:** shipbuilding industry; trend analysis; industry analysis; Asia Star Anchor Chain

## 引言

船舶行业作为全球经济的关键支柱，其发展受到经济、贸易、技术等多方面因素的深刻影响。在全球经济一体化的背景下，船舶行业的财务状况和综合实力分析对于投资者决策以及企业运营方向的确定具有重要意义。因此，深入分析船舶行业的财务状况和市场表现，不仅能够为企业提供决策依据，还能为企业的战略规划和运营方向提供重要参考。本文以船舶行业上市公司为研究对象，通过运用科学的分析方法，从多个维度对其经济表现和竞争力进行评估，揭示船舶行业在当前经济环境下的发展现状与趋势。同时，选取综合评分最高的亚星锚链作为典型案例，深入剖析其财务状况和市场表现，为船舶行业相关人员提供数据支持和决策参考。

## 一、船舶行业上市公司财务分析

### （一）船舶行业情况

船舶行业作为国家的基础与战略支柱产业，对经济的发展、对外贸易的拓展以及国防安全的保障发挥着至关重要的作用。船舶行业的发展与全球经济形势紧密相连，呈现明显的周期性特

征。在经济繁荣时期，国际贸易活跃，对各类船舶的需求旺盛，船舶订单数量显著增加；而在经济衰退阶段，贸易规模萎缩，船舶订单数量随之减少。近年来，全球经济增长的不确定性显著增强，这给船舶行业带来了诸多挑战。

船舶行业是一个资金总需求量大、投资回报周期长的行业，它的核心业务聚焦于船舶制造，然而这往往消耗较多，使得成本

作者简介：

刘梦丽，广州大学经济与统计学院研究生，广东广州，邮编：510000；

彭爱，广东实验中学，广东广州，邮编：510000；

熊婕，广州大学管理学院研究生，广东广州，邮编：510000；

龙映池，广州大学经济与统计学院本科生，广东广州，邮编：510000。



控制难度比较大。企业的订单获取能力对其资金充裕程度具有显著影响，这直接关系到其持续经营能力，并可能诱发潜在的财务危机。因此，从多角度综合评估船舶制造企业的财务状况显得尤为重要。<sup>[1]</sup>

(二) 财务指标体系

本研究基于船舶行业特性，构建了包含盈利能力、运营能力、偿债能力、成长能力和现金流指标的财务评估体系，具体指标定义及分析维度如下：

| 分类   | 指标名称         | 计算公式   | 分析维度                                      | 备注  |
|------|--------------|--|---|---|
| 盈利能力 | 毛利率          | $(\text{营业收入} - \text{营业成本}) / \text{营业收入}$  | 在船舶行业，需考量原材料价格、订单价格等对毛利率的影响。              | 高毛利率反映船舶企业在成本控制、产品定价或技术优势方面表现较好。  |
|      | 营业利润率        | $\text{营业利润} / \text{营业收入}$  | 营业利润率体现企业成本管控与定价策略的有效性。                   | 该指标越高，表明企业在运营过程中盈利能力越强，对成本和定价的把控能力越好。   |
|      | 净利润率         | $\text{净利润} - \text{不含少数股东损益} / \text{营业收入}$   | 综合考虑企业成本控制、产品附加值及市场份额等因素评估净利润率。           | 反映每单位营业收入所带来的净利润，体现企业最终盈利水平。  |
|      | 净资产收益率 (ROE) | $\text{净利润} (\text{不含少数股东损益}) / ((\text{股东权益合计} (\text{不含少数股东权益}) + \text{股东权益合计} (\text{不含少数股东权益})) / 2)$ | 与行业均值对比，反映股东权益的收益能力。                      | 净资产收益率是企业实际运营中最具代表性的综合型指标，不仅能够实现对上市公司各个股东所获得权益的水平分析，还能在此基础上对企业的自有资本指标进行明确，以此来获取上市保险公司已得报酬水平。 <sup>[2]</sup> |
| 营运能力 | 存货周转率        | $\text{营业成本} / ((\text{期初存货} + \text{期末存货}) / 2)$  | 船舶行业存货包括原材料、在制品和成品船舶等，关注其周转速度可衡量企业库存管理水平。 | 该指标衡量了在一个期间内用于商品采购的现金支出占存货的比例，该比率提升说明上市公司营运效率越高。 <sup>[3]</sup>   |
|      | 总资产周转率       | $\text{营业收入} / ((\text{总资产} + \text{期末总资产}) / 2)$  | 评估企业全部资产的经营质量和利用效率。                       | 该指标越高，表明企业资产运营效率越高，资产创造收入的能力越强。   |
|      | 应收账款周转率      | $\text{营业收入} / \text{平均应收账款}$  | 船舶行业客户结算周期可能较长，通过纵向比较分析汇款效率。              | 应收账款周转率的下降可能表明客户付款能力不足或企业信用政策需要调整。 <sup>[4]</sup>   |
| 偿债能力 | 流动比率         | $\text{流动资产总额} / \text{流动负债总额}$  | 评估船舶企业短期偿债风险，考虑到行业资金回笼特点，合理流动比率水平需综合判断。   | 一般认为流动比率 $\geq 2$ 时，企业短期偿债能力较强，但船舶行业需结合实际情况分析。  |
|      | 速动比率         | $(\text{流动资产总额} - \text{存货} - \text{预付款项}) / \text{流动负债总额}$  | 更精准评估企业短期偿债能力，剔除存货等变现相对较慢资产的影响。           | 通常认为，企业的速动比率等于或大于1时比较合适，此时企业的短期偿债能力较好。 <sup>[5]</sup>   |
|      | 利息保障倍数       | $\text{息税前利润 EBIT} / \text{利息费用}$  | 衡量企业长期偿债能力，船舶行业资本投入大，需重点关注利息支付能力。         | 利息保障倍数大于1，说明企业息税前利润能覆盖利息费用；大于3倍时，偿债能力和财务稳定性较强。  |
| 成长能力 | 营业收入增长率      | $(\text{本年营业收入} - \text{上年营业收入}) / \text{上年营业收入}$  | 结合行业市场变化、新订单获取情况评估企业市场前景。                 | 高增长率可能得益于行业需求增长、企业市场拓展能力强，但也需关注增长可持续性。  |
|      | 营业利润增长率      | $(\text{本年营业利润总额} - \text{上年营业利润总额}) / \text{上年营业利润总额}$  | 对比企业与同行业营业利润增长速率，评估企业市场竞争地位和发展潜力。         | 营业利润增长率高，表明企业盈利能力提升快，在市场中竞争力增强。   |
|      | 净利润增长率       | $(\text{期末净利润} - \text{期初净利润}) / \text{期初净利润}$   | 衡量企业利润总量规模变动和成长状况。                        | 船舶行业受市场波动、政策影响较大，净利润增长率波动可能较明显。   |
|      | 现金流量表        | $\text{经营活动产生的现金流量净额} / \text{净利润} (\text{含少数股东损益})$   | 衡量企业盈利质量，反映经营活动现金流量净额与净利润的关系。             | 该指标 $> 1$ 时，表明企业利润质量较高，净利润有足够现金支撑。  |
|      | 现金流指标 1      | $\text{销售商品、提供劳务收到的现金} / \text{营业收入}$  | 船舶行业资金需求大，重视该指标可评估企业收款能力和经营现金流健康状况。       | 指标较高说明企业收款能力强，应收账款管理良好，经营现金流稳定。   |
|      | 现金流指标 2      | $\text{期末现金及现金等价物余额} / (\text{短期借款} + \text{长期借款} + \text{应付债券})$  | 反映企业期末现金及等价物对债务的覆盖能力，评估企业债务偿还的安全性。        | 该指标大于1时，且投资现金流出集中于船型研发（非盲目扩产），则表明现金流质量高，符合技术升级战略。 <sup>[6]</sup>  |
|      | 现金流指标 3      | $\text{经营活动产生的现金流量净额} - \text{投资活动现金流出小计}$   | 分析该指标可评估企业经营活动现金流能否支持投资活动，判断企业可持续发展能力。    | 指标为正，说明经营活动现金流能为投资活动提供资金支持，利于企业长期发展。  |
|      | 现金流指标 4      |  |   |   |

(三) 趋势评分、同业评分和综合评分分析

本研究基于 Tushare 平台数据（<https://www.tushare.pro/>），对2018–2023年间船舶制造行业上市公司的财务表现进行了系统分析。在 Python 中，导入 pandas、numpy 等多个库，分别用于数据处理、运算、获取、可视化等操作，还从其他库导入特定函数辅助数据处理。定义获取财务数据函数 access\_data 并生成财务比率表函数 ratio\_sheet，经拼接、预处理后计算各类财务比率。即采用比率分析法，最常用且重要的财务分析方法去评价各年间的收益变化或对某时刻同行业不同企业收益进行比较分析。<sup>[7][8]</sup>

对于企业财务表现评估，构建了趋势评分与同业评分两大标准体系。基于船舶行业特性，分别设计了包含盈利能力、运营能力、偿债能力、成长能力和现金流指标的财务评价系统<sup>[9]</sup>。趋势评分基于时间序列分析，以2014 – 2023年为时间跨度，考察船舶企业财务指标年度变化。评分遵循“数值越大越好”原则，若某年度指标值较上一年增长，该年度得1分，否则为0分。如计算2022年某船舶企业毛利率趋势评分，需梳理2014 – 2022年间数据，统计增长年份，得出原始得分，再经标准化处理得到最终趋势评分。综合各财务指标趋势评分，通过加权平均，确定企业年度趋势评分，直观展现企业财务指标随时间的增减变化，反映企

业成长能力。

同业评分侧重企业间横向对比，洞察企业在行业中的竞争力。同样以2014 – 2023年为区间，对船舶行业上市公司进行全面评估。采用分位数赋分法，以“数值越大越优”为准则，将样本企业按财务指标值排序。以2022年毛利率为例，排名前25%的企业赋100分，处于50% – 75%区间的企业赋75分，25% – 50%区间的赋50分，后25%的赋25分。将各企业不同指标得分进行算术

平均，得到年度同业评分，清晰呈现企业在行业中的相对位置，助于评估企业在行业竞争中的综合实力。

综合评分则通过公式“综合评分 = 0.4 × 趋势评分 + 0.6 × 同业评分”来计算。基于2018 – 2023年各年的综合评分，算出这五年综合评分的平均值。结果如下图所示，亚星锚链的综合评分平均值在众多企业中是最高的。

表1 2018–2023年综合评分表

|       | 2018综合评分 | 2019综合评分 | 2020综合评分 | 2021综合评分 | 2022综合评分 | 2023综合评分 | 平均值   |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 中国海防  | 54.41    | 63.23    | 66.47    | 68.23    | 66.17    | 62.35    | 64.36 |
| 亚星锚链  | 56.76    | 61.47    | 60.00    | 66.17    | 70.59    | 71.17    | 64.11 |
| 江龙船艇  | 60.59    | 63.23    | 60.29    | 67.94    | 66.76    | 65.88    | 63.47 |
| 中船科技  | 50.88    | 52.35    | 54.99    | 55.58    | 63.23    | 59.41    | 60.93 |
| 中国动力  | 66.76    | 61.76    | 57.94    | 58.53    | 56.18    | 60.59    | 60.29 |
| 中国船舶  | 50.58    | 51.17    | 53.52    | 55.88    | 51.17    | 56.17    | 56.07 |
| 中船防务  | 48.82    | 50.29    | 53.23    | 55.88    | 58.52    | 59.12    | 54.08 |
| 天海防务  | 48.23    | 44.70    | 40.58    | 37.64    | 57.05    | 55.88    | 53.33 |
| ST 瑞科 | 64.11    | 55.58    | 55.29    | 45.29    | 45.58    | 51.76    | 53.08 |
| 中科海训  | 66.17    | 66.76    | 62.94    | 62.35    | 59.70    | 47.64    | 52.94 |
| 海兰信   | 61.17    | 60.29    | 56.17    | 55.88    | 42.94    | 43.52    | 47.35 |
| 中国重工  | 45.00    | 48.53    | 45.29    | 48.23    | 45.88    | 43.53    | 46.08 |

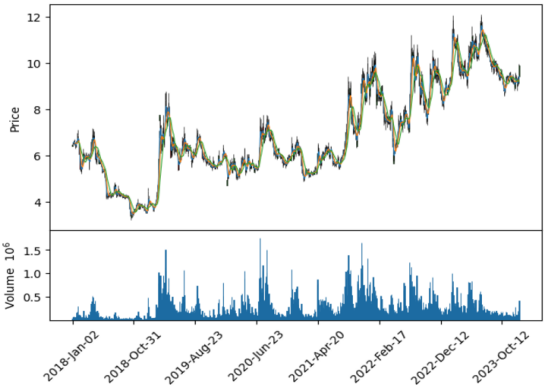
二、亚星锚链公司分析

（一）公司基本情况

江苏亚星锚链股份有限公司成立于2000年，总部位于江苏靖江，并在镇江、马鞍山等地设有分公司，员工总数接近2000人。公司注册资本为9.59亿元人民币，法定代表人为陶兴。其业务主要集中在船用锚链、海洋系泊链、矿用链及相关附件的生产制造，产品广泛应用于船舶、海洋工程、煤矿等多个领域是我国船用锚链和海洋系泊链的重要生产和出口基地。在生产、销售和出口方面，公司连续多年在国内同行中位居第一<sup>[10]</sup>，是全球行业内规模最大、综合实力最强的现代化企业之一。

（二）股价走势分析

绘制出亚星锚链2018年1月1日到2023年12月31日的K线图：



> 图1 亚星锚链2018年1月1日到2023年12月31日K线图

图1展示了亚星锚链从2018年1月1日至2023年12月31日的股价走势。从图中可以观察到，2018年初，股价大约在6元左右。在这段时间内，股价经历了显著的波动，但整体趋势向上。例如，2018年股价出现明显下跌，最低跌至4元左右，但随后股价显著回升，并一度达到接近12元的高位。2019 – 2020年期间，股价波动较为剧烈，显示出一定的市场活跃度。2021年，股价出现一定程度的下滑但并未改变其长期上升的态势。2022年之后，股价再次上涨且上涨趋势较为明显。2023年，股价继续维持在较高水平但波动幅度有所减小。

股价波动主要是由于市场的短期供需关系、宏观经济形势、行业竞争态势等多种因素共同作用的结果，此外投资者情绪和市场波动对股价走势也有显著影响<sup>[11]</sup>。2018 – 2019年期间，股价上涨可能受到行业利好消息或者公司自身经营改善等因素的影响。2021年，宏观经济波动等因素可能导致股价下滑。然而，这些阶段性的波动并未改变股价总体上升的态势，这表明公司在长期的经营过程中，可能存在某些支撑股价上涨的基本面因素，例如公司业绩逐步增长、市场份额扩大等，对于资本市场的投资者，盈利能力优异企业往往会更有吸引力<sup>[12]</sup>。

综上所述，尽管亚星锚链的股价存在波动，但从2018年初到2023年10月的较长时间跨度来看，股价总体呈现出上升趋势。结合亚星锚链六年的综合评分来看，2018 – 2021年综合评分在船舶行业内一直处于中等水平，2022年之后跃居行业第一，且遥遥领先于其他公司，这与股价在2022年之后上涨的趋势变化是一致的。从2018 – 2023年期间，亚星锚链的综合评分虽然在2020年有所下降，但总体呈现上升趋势，这也与K线图的走势相对

吻合。

（三）亚星锚链评分分析

1.趋势评分

从趋势评分来看，亚星锚链在2018 – 2023年期间呈现出先稳中有升，2020年小幅下降后又大幅上升的态势。在盈利能力方面，毛利率、净利润率等指标前期有波动，后期随着公司成本控制与产品结构的优化有所提升；ROE趋势评分在2023年显著提高，反映出公司利用股东权益获取利润的能力不断增强。营运

能力上，存货周转率前期下降，2022 – 2023年有所回升，趋势评分逐步提高；总资产周转率和应收账款周转率趋势评分波动，表明资产运营效率有待进一步提升。偿债能力方面，流动比率和速动比率趋势评分前期下降后趋于稳定，说明短期偿债能力先减弱后平稳；利息保障倍数趋势评分先降后升，2023年回升至较好水平，显示长期偿债能力逐渐改善。成长能力上，营业收入增长率、营业利润增长率和净利润增长率趋势评分前期波动较大，2023年显著提升，体现出公司成长能力不断增强。

表2 亚星锚链同业评分评分表

|      | 毛利率 | 营业利润率 | 净利润率 | ROE | 存货周转率 | 总资产周转率 | 应收账款周转率 | 流动比率 | 速动比率 | 利息保障倍数 | 营业收入增长率 | 营业利润增长率 | 净利润增长率 | 同业评分  |
|------|-----|-------|------|-----|-------|--------|---------|------|------|--------|---------|---------|--------|-------|
| 中国海防 | 100 | 100   | 100  | 100 | 50    | 100    | 50      | 75   | 75   | 100    | 100     | 100     | 75     | 86.64 |
| 亚星锚链 | 75  | 100   | 100  | 75  | 50    | 50     | 75      | 100  | 100  | 75     | 75      | 50      | 50     | 75    |
| 江龙船艇 | 75  | 75    | 75   | 75  | 100   | 100    | 75      | 25   | 25   | 75     | 75      | 75      | 75     | 71.15 |
| 中船科技 | 50  | 75    | 75   | 75  | 75    | 75     | 50      | 50   | 50   | 50     | 100     | 75      | 75     | 67.31 |
| 中国动力 | 50  | 75    | 75   | 50  | 75    | 75     | 50      | 75   | 75   | 75     | 50      | 75      | 50     | 65.38 |
| 中国船舶 | 50  | 50    | 50   | 50  | 75    | 75     | 100     | 50   | 25   | 50     | 75      | 100     | 100    | 63.46 |
| 中船防务 | 25  | 100   | 100  | 100 | 50    | 50     | 100     | 25   | 25   | 25     | 50      | 50      | 100    | 63.46 |
| 天海防务 | 25  | 25    | 25   | 100 | 100   | 100    | 100     | 25   | 50   | 25     | 100     | 50      | 50     | 59.62 |
| ST瑞科 | 100 | 25    | 25   | 25  | 25    | 25     | 25      | 75   | 75   | 100    | 25      | 100     | 100    | 55.77 |
| 中科海训 | 100 | 50    | 50   | 25  | 25    | 25     | 25      | 100  | 100  | 100    | 25      | 25      | 25     | 51.92 |
| 海兰信  | 75  | 25    | 25   | 25  | 50    | 50     | 25      | 100  | 100  | 50     | 25      | 25      | 25     | 50    |
| 中国重工 | 25  | 50    | 50   | 50  | 25    | 25     | 75      | 50   | 50   | 25     | 50      | 25      | 25     | 40.38 |

2.同业评分

在同业评分方面，亚星锚链在行业内表现优异。盈利能力上，毛利率同业评分较高，凸显产品竞争力；营业利润率、净利润率和ROE同业评分出色，表明成本控制和获利能力突出。营运能力方面，存货周转率和总资产周转率同业评分高，反映库存管理和资产运营效率高；应收账款周转率同业评分相对一般，需优化账款回收。偿债能力上，流动比率和速动比率同业评分较高，短期偿债能力强；利息保障倍数同业评分良好，长期偿债能力有保障。成长能力方面，营业收入增长率、营业利润增长率和净利润增长率同业评分高，说明市场拓展和盈利能力强，在行业竞争

中优势明显。

三、总结

本研究聚焦船舶行业上市公司，构建财务评估体系剖析其财务状况与市场表现，为评估船舶企业提供了有效途径。后续可融入更多影响因素进一步完善该体系，提高评估准确性。未来，船舶行业的发展将继续收到全球经济和市场需求等多种因素的影响，企业应依据自身财务状况合理规划发展战略。

参考文献

[1] 李闽,戴军.从融资结构看企业财务风险——以中国船舶为例[J].中国经贸导刊,2021,000(008):133-135.

[2] 张莹.上市保险公司财务绩效与评价分析[J].财讯,2024,(24):81-83.

[3] 程诗怡.基于现金流的上市公司财务分析指标体系构建[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2021,(10):88-90.

[4] 王雷.万达集团营运能力的现状及其改进对策分析[J].价值工程,2020,39(01):8-10.

[5] 游安,李艺萍.上市公司财务报表分析——以珠海格力电器股份有限公司为例[J].商场现代化,2020,(10):152-154.

[6] 张新民,钱爱民,陈德球.上市公司财务状况质量:理论框架与评价体系[J].管理世界,2019,35(07):152-166+204.

[7] 杜晓茜.企业财务报表分析存在的问题与对策探析[J].商讯,2021,(24):39-41.

[8] 张敏.大数据财务分析:基于Python[M].中国人民大学出版社,2022.

[9] 黄会娟.论传统财务分析方法的改进和创新[J].会计师,2020,(12):8-9.

[10] 孙元峰.浅析江苏亚星锚链股份有限公司转型升级的成功经验[J].企业技术开发,2016,35(09):36-37.

[11] 方文龙,丘雨田,杨佳乐,等.我国企业发行绿色债券引起企业股价波动的因素分析[J].时代金融,2021,(22):39-41.

[12] 赵汝为,熊熊,沈德华.投资者情绪与股价崩盘风险:来自中国市场的经验证据[J].管理评论,2019,31(03):50-60.

# 环福州都市圈海洋经济高质量发展的空间溢出效应及影响机制研究

吴佳滢, 应鑫琳, 巫妍卉  
福建江夏学院 金融学院, 福建 福州 350108  
DOI:10.61369/ASDS.12168

**摘要：** 论文探讨了福州都市圈科技创新与产业结构升级对海洋经济高质量发展的空间效应及影响机制。通过超效率 SBM 模型，测算 2012—2022 年的科技创新效率，基于五大发展理念，运用粗糙集理论构建高质量发展指标体系，采用 AHP—熵值法测算同期高质量发展指数。同时建立以科技创新效率为核心解释变量、产业结构升级为中介变量的空间面板计量模型，检验其对海洋经济高质量发展的影响路径及机制，从而提出具体的发展策略和政策建议。

**关键词：** 科技创新效率；空间面板计量模型；高质量发展；海洋经济

## Research on the Spatial Spillover Effects and Impact Mechanisms of High-Quality Development in Fuzhou Metropolitan Area

Wu Jiaying, Ying Xinlin, Wu Yanhui  
College of Finance, Fujian Jiang Xia University, Fuzhou, Fujian 350108

**Abstract:** This paper explores the spatial effects and influencing mechanisms of scientific and technological innovation (STI) and industrial structure upgrading on the high-quality development of marine economy in the Fuzhou Metropolitan Circle. The super-efficiency SBM model is used to measure the STI efficiency from 2012 to 2022. Based on the “Five Development Concepts,” a high-quality development index system for the marine economy is constructed using rough set theory, and the AHP—entropy method is employed to calculate the high-quality development index for the same period. A spatial panel econometric model is established, with STI efficiency as the core explanatory variable and industrial structure upgrading as the mediating variable, to examine the impact pathways and mechanisms on the high-quality development of marine economy. Specific development strategies and policy recommendations are then proposed based on the findings.

**Keywords:** scientific and technological innovation efficiency; spatial panel econometric model; high-quality development; marine economy

## 引言

自 2019 年国家发改委发布《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》以来，都市圈建设呈现快速发展态势。福州都市圈是继南京都市圈之后设立的第二个国家级都市圈，是闽东北协同发展区的核心引擎。在全球经济格局深度调整、国内经济发展进入新阶段的当下，高质量发展已成为时代发展的核心诉求与必然趋势。从国际来看，随着资源与环境约束日益趋紧，各国纷纷探索可持续的经济发展路径，力求在生态环境保护与经济增长之间达成平衡，在此过程中，经济高质量发展的内涵不断丰富与深化，涵盖了创新驱动、绿色发展、协调共进等多元维度。环福州都市圈拥有丰富的海洋资源，深入研究其海洋经济高质量发展，不仅能助力该区域充分挖掘海洋经济潜力，优化海洋产业结构，推动传统海洋产业转型升级，培育新兴海洋产业，提高海洋经济的创新能力和竞争力，还能为实现区域经济可持续发展提供有力支撑，促进生态环境保护与海洋经济发展的良性互动。在此宏观背景下，环福州都市圈海洋经济高质量发展的研究具有重要意义。

在经济高质量发展研究领域，学者们展开了多维度的深入探索。王利军和陈梦冬运用 CRITIC—TOPSIS 法，选取 34 个指标构建评价体系，对 2008—2019 年中国 31 省份经济高质量发展水平进行测算<sup>[1]</sup>；陈明华等构建指标体系测度 2006—2019 年中部地区高质量发展水

基金信息：2024 年省级大学生创新创业训练计划项目《科技创新对都市圈海洋经济高质量的空间溢出效应及影响机制研究——基于产业结构升级中介效应模型》(S202413763053)

作者简介：

吴佳滢（2004—），女，本科生，研究方向：应用统计；

应鑫琳（2003—），女，本科生，研究方向：应用统计。



平<sup>[2]</sup>；蔡超岳和唐健雄基于复合生态系统理论构建评价体系，结合多种模型考察2004–2019年全国284个地级及以上城市高质量发展水平<sup>[3]</sup>；Tian构建27个指标评价京津冀地区城市高质量发展水平<sup>[4]</sup>。随着可持续发展目标的推进，生态与经济耦合关系成为重要研究方。伍博炜等构建指标体系，运用耦合协调度模型等探讨2005–2020年福建省生态环境与高质量发展耦合关系<sup>[5]</sup>；师博和范丹娜构建耦合协调模型，探索2004–2018年黄河西北地区城市经济与环境系统耦合协调度<sup>[6]</sup>；Cheng以贵州为案例，利用耦合协调度模型评估生态保护和高质量发展空间分布<sup>[7]</sup>；Li采用信息熵法等探讨中国30省份2005–2020年资源环境承载力与高质量发展耦合协调关系<sup>[8]</sup>。张茜和俞颖利用熵值法构建城市经济高质量发展指数，基于空间计量模型探究绿色金融对城市高质量发展的影响<sup>[9]</sup>，叶亚飞测度经济高质量发展并分析金融与科技赋能机制<sup>[10]</sup>，林木西和肖宇博构建理论框架检验绿色金融对经济高质量发展的影响效应<sup>[11]</sup>，管红波和李盼盼测度沿海省市数字经济与海洋经济高质量发展水平并分析其关系<sup>[12]</sup>，Yin探讨异质性环境法规及数字金融对高质量经济发展的影响<sup>[13]</sup>。这些丰富且多元的研究成果，为环福州都市圈海洋经济高质量发展研究筑牢了坚实的理论根基，提供了极具价值的方法借鉴。

综上所述，学术界对区域高质量发展进行了相关研究，但现有研究不足之处主要表现在以下三方面：一是在研究视角上，现有研究主要聚焦于科技创新与经济高质量发展耦合协调机理方面，关于科技创新、产业结构升级对高质量发展影响机制研究较少；二是在研究范畴上，现有文献主要集中在流域、城市群、省域高质量发展研究，而关于都市圈高质量发展研究较少；三是在研究内容上，对都市圈高质量发展的区域差距及其来源研究较少。本文运用非期望超效率SBM模型测算福州都市圈海洋经济科技创新效率，并考虑海洋产业结构升级中介效应，运用空间计量模型揭示区域科技创新和高质量发展交互效应，以期为加快提升区域科技创新效率，实现福州都市圈海洋经济高质量发展提供差异化的战略支撑。为此，本文贡献主要体现在以下三个方面：一是超效率SBM模型测度了科技创新效率，二是用熵值法测度海洋经济高质量发展得分，三是基于空间面板杜宾模型，探讨科技创新与产业结构升级对海洋经济高质量发展的影响。

## 一、研究区域概况

以“环福州都市圈科技创新效率和高质量发展水平”为研究对象，揭示科技创新、产业结构升级对海洋经济高质量发展的空间效应及影响机制。福州都市圈覆盖福州、莆田两市全域，宁德蕉城区、福安市、霞浦县、古田县、南平市延平区和建阳区、建瓯市部分地区，以及平潭综合实验区，是国家发展改革委员会批复的5大都市圈之一。为此，我们选择福州、莆田、宁德和南平四个城市为研究区域。

## 二、数据来源与研究方法

### （一）数据来源

本文数据来源于2013—2023年的《中国城市统计年鉴》《中国海洋经济统计公报》和福建省各地市统计年鉴等。

### （二）研究方法

#### 1. 超效率SBM模型

在DEA理论框架下，选取R&D人员全时当量，R&D经费内部支出和研究与试验发展(RD)经费为投入指标，科技论文发表篇数、有效发明专利数为产出指标，并考虑非期望产出（碳排放等），构建超效率SBM模型，测度福州都市圈2012年—2021年科技创新效率。

超效率SBM模型见式1<sup>[14]</sup>：

$$\theta^* = \min_{\lambda, s^-, s^+} \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}^t}}{1 - \frac{1}{q+h} \left( \sum_{r=1}^q \frac{s_r^+}{y_{ro}^t} + \sum_{k=1}^h \frac{s_k^-}{b_{ko}^t} \right)}$$

$$\text{s.t. } x_{io}^t \geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t x_{ij}^t - s_i^- \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$y_{ro}^t \leq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t x_{rj}^t + s_r^+ \quad r=1, 2, \dots, q;$$

$$b_{ko}^t \geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, j \neq o}^n \lambda_j^t x_{kj}^t - s_k^- \quad k=1, 2, \dots, h;$$

$$\lambda_j^t \geq 0 (\forall j), s_i^- \geq 0 (\forall i), s_r^+ \geq 0 (\forall r), s_k^- \geq 0 (\forall k)$$

(1)

#### 2. 熵值法模型

采用熵值法测度海洋经济高质量发展，利用SPSS线性插值法补全缺失数据，整理计算得到福州市、莆田市、宁德市和南平市等四个地市7项海洋经济指标的数值，计算四个城市的海洋经济指标综合权重得分包括以下七个步骤<sup>[15], p.5]</sup>。

第一步：无量纲处理

$$X_{ij}'' = \frac{X_{ij} - \min\{X\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$X_{ij}'' = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

第二步：指标平移

$$X'_{ij} = X''_{ij} + 1 \quad (4)$$

第三步：数据归一化处理

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (5)$$

第四步：计算相对信息熵

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}), \text{ 令 } k = \frac{1}{\ln m}, 0 \leq e_j \leq 1 \quad (6)$$

第五步：计算相对信息熵的冗余度

$$d_j = 1 - e_j \quad (7)$$

第六步：计算权重

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (8)$$

第七步：计算综合评价得分

$$S_i = \sum w_j \times Y'_{ij} \quad (9)$$

### 3. 空间面板计量模型

首先进行数据处理，利用地区位置相关数据构造了地区之间的空间地理权重矩阵，使用经纬度数据生成0-1邻接矩阵，该矩阵体现了不同城市间的空间关系。福州市与莆田市、宁德市和南平市之间存在直接的空间联系，赋其值为1，而莆田市仅与福州市和南平市有直接联系。将空间权重矩阵经过行标准化处理后，后续利用与空间面板杜宾模型分析。0-1邻接矩阵结果见表1。

表1 空间权重矩阵

|     | 福州市 | 莆田市 | 宁德市 | 南平市 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 福州市 | 0   | 1   | 1   | 1   |
| 莆田市 | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 宁德市 | 1   | 0   | 0   | 1   |
| 南平市 | 1   | 0   | 1   | 0   |

空间权重矩阵中由邻近关系决定的要素通常按以下方式定义<sup>[16]</sup>：

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i, j \text{ 是相邻} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

空间杜宾模型的一般表达式为<sup>[17]</sup>：

$$Y_{ij} = \rho W y_{it} + X_{it} \beta + W X_{it} \theta + \mu_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (11)$$

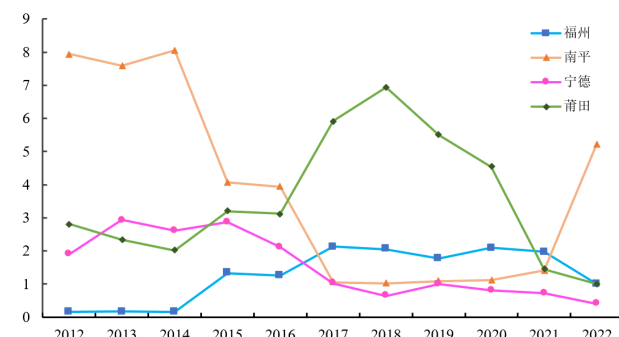
$Y$ 为第*i*个城市在*t*年的海洋经济高质量发展指数； $x_{it}$ 包含科技创新效率、产业结构升级等解释变量； $W$ 是基于经纬度数据生成的权重矩阵； $\mu_i$ 是个体固定效应； $\lambda_t$ 是时间固定效应。

## 三、超效率SBM模型测度科技创新效率

### (一) 科技创新效率测度得分分析

根据图1可得：在大部分年份里，南平市的得分数值相对较高且较为稳定，处于领先地位。这表明南平市在科技创新效率方面一直有着较好的表现，可能是由于其在R&D投入、科研管理或者产业结构等方面存在优势，使得投入转化为有效产出的效率较高。莆田市从2017年开始有明显的提升，并且在2018年达到一个较高值。这可能暗示莆田市在2017年左右采取了一系列促进科技创新的政策或者加大了科研投入，从而使得科技创新效率得到显著提高。福州市在2012—2016年较低，之后有所上升。前期较低

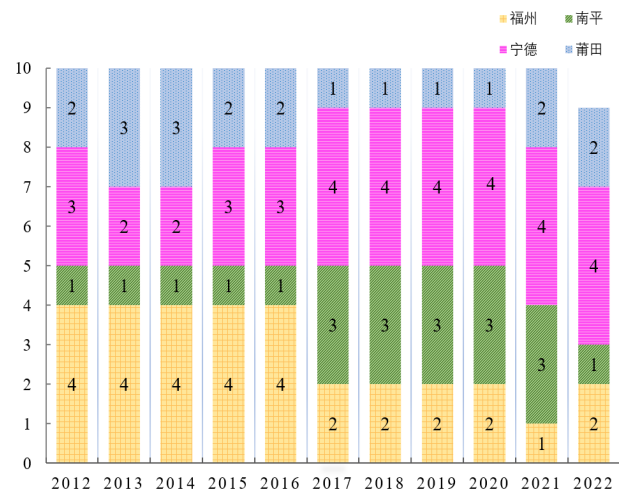
可能意味着福州市在科技创新的某些环节存在问题，如科研资源配置不合理、产学研合作不紧密等。后期的上升说明其可能采取了改进措施并取得了一定成效。宁德市波动较大，说明其科技创新效率不稳定。可能是受到外部市场环境、政策变化或者自身科研项目进展的影响。



> 图1 四地不同年份得分

### (二) 科技创新效率测度排名分析

从稳定性来看，南平市在2012—2021年大部分时间排名第1，说明其在科技创新效率排名上具有很强的稳定性，保持领先优势。福州市在2012—2016年基本排名第4，之后排名有所提升，反映出其科技创新能力逐渐增强，在地区竞争中的地位有所改善。每年各地区的排名变化直观地展示了地区间科技创新效率的动态竞争关系。例如，莆田市在2017—2020年排名靠前，显示出其在这几年间科技创新效率提升迅速，超越了其他部分地区。结果见图2。



> 图2 四地不同年份排名

综上，基于科技创新效率得分和排名，围绕投入与产出指标，得出南平市在多数年份排名为第1，得分值也相对较高，表明在选取的投入指标（R&D人员全时当量、R&D经费内部支出和研究与试验发展经费）下，其在科技论文发表篇数、有效发明专利数等产出指标方面，可能有着较好的转化效率，并且在应对非期望产出（如碳排放等）方面可能也有一定优势。这或许得益于南平市在科技创新资源配置上较为合理，或者有着独特的产业结构，利于科技创新产出。莆田市在2017—2020年期间排名多处于前列，得分也较高，说明这段时间其科技创新效率提升显著。可能是在此期间加大了投入力度，并且在投入转化为产出的过程



中表现出色。福州市在2012—2016年排名多为4，得分较低，而2017年后有所提升。前期较低的效率可能是投入产出转化机制不够完善，或者在非期望产出的处理上存在问题。后期的提升可能是调整了科技创新策略，优化了资源配置。宁德市波动相对较大，说明其科技创新效率不太稳定。可能是受产业发展波动、科研项目成果不确定性等因素影响。

四、熵值法测度海洋经济高质量发展

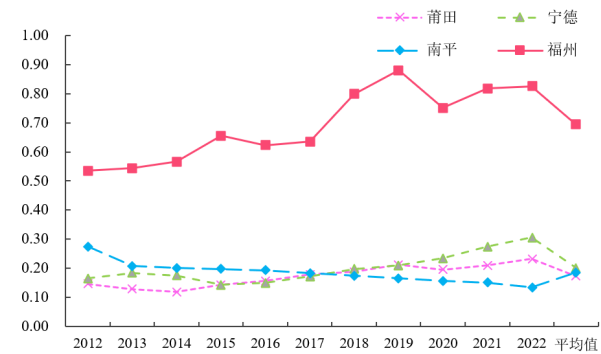
为了更好反映熵值法测算海洋经济高质量发展测度，设置了经济增长与效益、生产能力与资源应用、综合发展动力和规模以上三个系统层指标。其中选取渔业总产值、渔业增加值等两个指标衡量经济增长与效益；选取海水产品产量、海水养殖产量和海水养殖面积等三个指标衡量生产能力与资源应用，反映了海洋渔业在产品供给方面的能力和水平和海洋空间资源在渔业养殖方面的利用规模，通过与其他生产指标结合，可以分析资源利用效率与经济产出的关系，体现海洋经济发展的可持续性；最后，选取海洋生产总值、海洋经济项目建设数等两个指标衡量综合发展动力和规模，反映了海洋经济领域的创新和投资活力，涵盖了海洋产业的各个方面，是衡量海洋经济整体发展规模和实力的核心指标，能从宏观层面反映海洋经济高质量发展的总体水平。（见表2）

表 2 海洋经济高质量发展指标体系

| 系统层       | 指标层       | 指标解释         | 二级权重系数 w | 属性 |
|-----------|-----------|--------------|----------|----|
| 经济增长与效益   | 渔业增加值     | 渔业生产活动新增价值   | 24.47%   | 正向 |
|           | 渔业总产值     | 衡量渔业经济发展基础   | 15.59%   | 正向 |
|           | 海水产品产量    | 海洋捕捞的水产总量    | 12.13%   | 正向 |
| 生产能力与资源应用 | 海水养殖面积    | 海洋空间资源的利用规模  | 6.18%    | 正向 |
|           | 海水养殖产量    | 衡量渔业生产能力水平   | 10.53%   | 正向 |
| 综合发展动力和规模 | 海洋生产总值    | 海洋产业各方面总值    | 13.17%   | 正向 |
|           | 海洋经济项目建设数 | 海洋经济发展项目驱动力量 | 17.93%   | 正向 |

从图3地区来看，福州得分远高于其他地区，2012—2022年期间得分从0.54增长到0.83，在各年份均居首位，表明福州在海洋经济高质量发展方面优势明显，发展态势良好。莆田：得分处于中间水平，2012—2022年期间在0.12—0.27间波动，整体发展相对平稳。宁德：得分较低，2012—2022年期间在0.15—0.21间波动，且增长幅度较小，海洋经济高质量发展程度相对较弱。南平：得分在各年份也较低，2012—2022年期间在0.27—0.37间波动，虽有一定增长但幅度不大，综合表现欠佳。从整体上看各地区得分总体呈上升趋势，反映出这些地区在海洋经济高质量发展方面均有一定程度的进步。福州在2019年达到得分峰值0.88，宁德在2015年得分最低为0.14，南平在2012年得分最低为0.28，莆田在2012年得分最低为0.12。这些极值反映了各地区

在特定年份的发展状况。与平均值对比，图中明显呈现出福州多数年份得分高于平均值，宁德、南平、莆田多数年份得分低于平均值，说明福州的发展水平在平均之上，其他三地区在平均水平之下。



> 图 3 四地各年份熵值法得分

五、空间面板计量模型

（一）变量选择

本研究基于空间面板杜宾模型，探讨科技创新与产业结构升级对海洋经济高质量发展的影响。选取科技创新效率为核心解释变量，产业结构整体升级为中介变量，地区生产总值、科技财政支出为控制变量。

表 3 主要变量说明

| 类型   | 变量        | 缩写    |
|------|-----------|-------|
| 因变量  | 经济高质量发展指数 | QDI   |
| 中介变量 | 产业结构整体升级  | ISA   |
|      | 地区生产总值    | GRP   |
|      | 科学财政支出    | SFE   |
| 控制变量 | 教育支出财政支出  | FSE   |
|      | 科技创新效率    | Score |
|      | 人口密度      | pd    |

（二）模型选择

利用 Hausman 检验判断模型建立应使用固定效应（FE）模型还是随机效应（RE）模型。Hausman 检验的原假设是适合建立随机效应模型，即个体效应与解释变量不相关；备择假设是适合建立固定效应模型，即个体效应与解释变量相关。

Hausman 检验的统计量  $\chi^2$  值为 -7.44，P 值为 1。由于 P 值为 1，远大于显著性水平为常用的数值（0.05），没有足够的理由拒绝原假设，因此，根据 Hausman 检验的结果，应选择随机效应模型作为后续建模的基础。结果见表 4。

表 4 Hausman 检验结果

| 检验统计量 $\chi^2$ 值 | 自由度 | P 值 | 检验结论  |
|------------------|-----|-----|-------|
| -7.44            | 9   | 1   | RE 模型 |

（三）随机效应模型建立

在随机效应模型中，核心解释变量——科技创新效率的回归系数为 0.013，Z 值为 3.582，P 值 < 0.01。这表明科技创新效率对

经济高质量发展指数有着极为显著的正向影响。

地区生产总值的回归系数为0.273，其Z值为6.377，P值<0.01，强有力地显示出对经济高质量发展指数具有显著的正向促进作用。产业结构整体升级和科学财政支出的回归系数分别为0.147和2.306，这清晰地说明两者对经济高质量发展具备积极的推动作用，在实际经济运行中这些因素均扮演着关键角色。

关于空间溢出效应，科技创新效率的空间滞后变量 W(Score) 的Z值为2.24，P值为0.025，显示出科技创新的空间溢出效应对邻近地区的经济发展有着较为明显的积极促进作用。

模型拟合度方面，伪  $R^2$  为0.782，空间伪  $R^2$  也为0.782，这一高数值显示该模型具备卓越的解释力。信息准则指标如 AIC 值为 -143.522 和 Schwarz 准则值为 -125.68，进一步充分证明了随机效应模型具有出色的拟合性和明显的优越性。

同时，在空间面板杜宾模型的空间效应分析中，对于科技创新效率，其直接效应为0.013，间接效应为0.011，总效应为0.024。这明确表明科技创新效率不仅直接且有力地影响本地区的经济高质量发展指数，还通过显著的空间溢出效应对周边地区产生积极正面的影响。见表5。

表 5 原模型空间面板杜宾模型分析结果

| RE 模型时      | 回归系数<br>Coef | 标准误 Std.<br>Err | Z 值    | P 值     | 95%CI         | 直接效应 ADI | 间接效应 AII | 总效应 ATI |
|-------------|--------------|-----------------|--------|---------|---------------|----------|----------|---------|
| 常数          | -1.592       | 0.452           | -3.522 | 0.000** | -2.478--0.706 |          |          |         |
| Score       | 0.013        | 0.004           | 3.582  | 0.000** | 0.006-0.020   | 0.013    | 0.011    | 0.024   |
| ISA         | 0.147        | 0.074           | 1.986  | 0.047*  | 0.002-0.292   | 0.147    | 0.063    | 0.209   |
| GRP         | 0.273        | 0.043           | 6.377  | 0.000** | 0.189-0.357   | 0.274    | -0.103   | 0.171   |
| SFE         | 2.306        | 0.935           | 2.467  | 0.014*  | 0.474-4.137   | 2.314    | -1.704   | 0.61    |
| W(Score)    | 0.011        | 0.005           | 2.24   | 0.025*  | 0.001-0.021   |          |          |         |
| W(ISA)      | 0.064        | 0.078           | 0.825  | 0.41    | -0.088-0.216  |          |          |         |
| W(GRP)      | -0.101       | 0.057           | -1.771 | 0.077   | -0.213-0.011  |          |          |         |
| W(SFE)      | -1.691       | 1.584           | -1.068 | 0.286   | -4.795-1.413  |          |          |         |
| Wy(QDI)     | -0.008       | 0.146           | -0.052 | 0.959   | -0.293-0.278  |          |          |         |
| 样本量 n       |              | 44              |        |         |               |          |          |         |
| 伪 $R^2$     |              | 0.782           |        |         |               |          |          |         |
| 空间伪 $R^2$   |              | 0.782           |        |         |               |          |          |         |
| llf 值       |              | 81.761          |        |         |               |          |          |         |
| AIC 值       |              | -143.522        |        |         |               |          |          |         |
| Schwarz 准则值 |              | -125.68         |        |         |               |          |          |         |

综合来看，科技创新效率是提升经济高质量发展的关键因素，且其空间溢出效应有助于邻近地区的经济发展。因此，在制定促进海洋经济高质量发展的政策时，应重点关注提高科技创新能力和优化资源配置，以充分发挥科技创新的直接与间接效应。

（四）稳健性检验

为了验证模型结果的稳健性，采用将控制变量“科学财政支出”替换为“教育支出财政支出”，“地区生产总值”替换为“人口密度”的方法，并观察主要变量的显著性和方向是否保持一致。在替换控制变量后的模型中，科技创新效率对经济高质量发

展的影响依然显著且稳健。

具体来看，在随机效应模型中，科技创新效率的回归系数为0.006，Z值为1.568，P值为0.117，表明其对经济高质量发展有着正向的影响。此外，科技创新效率的空间滞后变量 W(score) 的回归系数为0.001，Z值为0.405，也体现出一定的间接效应趋势，进一步为科技创新对经济高质量发展的积极促进作用提供了支撑。伪  $R^2$  为0.814，空间伪  $R^2$  为0.812，说明模型具备很高的解释力，能够很好地反映各因素与经济高质量发展之间的内在联系。（见表6）

表 6 修改控制变量后空间面板杜宾模型分析结果

| RE 模型时 | 回归系数<br>Coef | 标准误 Std.<br>Err | Z 值    | P 值   | 95%CI        | 直接效应<br>ADI | 间接效应<br>AII | 总效应<br>ATI |
|--------|--------------|-----------------|--------|-------|--------------|-------------|-------------|------------|
| 常数     | -0.644       | 0.477           | -1.351 | 0.177 | -1.578-0.290 |             |             |            |
| ISA    | 0.069        | 0.077           | 0.896  | 0.37  | -0.082-0.221 | 0.081       | -0.136      | 0.055      |
| Score  | 0.006        | 0.004           | 1.568  | 0.117 | -0.001-0.013 | 0.006       | 0.001       | 0.007      |

|                    |        |       |          |         |              |       |       |       |
|--------------------|--------|-------|----------|---------|--------------|-------|-------|-------|
| FSE                | 1.027  | 0.412 | 2.494    | 0.013*  | 0.220–1.835  | 1.074 | –0.52 | 0.554 |
| pd                 | 0.002  | 0     | 5.363    | 0.000** | 0.001–0.003  | 0.002 | 0     | 0.002 |
| W(ISA)             | –0.131 | 0.06  | –2.186   | 0.029*  | –0.249–0.014 |       |       |       |
| W(Score)           | 0.001  | 0.004 | 0.405    | 0.685   | –0.006–0.009 |       |       |       |
| W(FSE)             | –0.403 | 0.458 | –0.879   | 0.379   | –1.301–0.495 |       |       |       |
| W(pd)              | 0      | 0.001 | 0.305    | 0.76    | 0.001–0.002  |       |       |       |
| Wy(QDI)            | –0.128 | 0.143 | –0.898   | 0.369   | 0.408–0.151  |       |       |       |
| 样本量 n              |        |       | 44       |         |              |       |       |       |
| 伪 R <sup>2</sup>   |        |       | 0.814    |         |              |       |       |       |
| 空间伪 R <sup>2</sup> |        |       | 0.812    |         |              |       |       |       |
| llf 值              |        |       | 92.028   |         |              |       |       |       |
| AIC 值              |        |       | –164.056 |         |              |       |       |       |
| Schwarz 准则值        |        |       | –146.214 |         |              |       |       |       |

总体而言，即使在控制变量发生变化的情况下，科技创新效率依然是推动经济高质量发展的关键因素。其直接影响和空间溢出效应均对经济高质量发展有显著的积极贡献，这进一步强化了提高科技创新能力在促进海洋经济高质量发展中的重要性。

通过对原模型和新模型的对比分析，可以得出结论：原模型具有良好的稳健性。无论是产业结构整体升级还是科技创新效率等主要变量，在两种不同的模型设定下，其显著性和影响方向基本保持一致。特别是科技创新效率，其回归系数和显著性水平在两种模型中均表现稳定，表明该变量对经济高质量发展的显著正向影响是可靠的。此外，伪 R<sup>2</sup> 和空间伪 R<sup>2</sup> 的高值进一步证实了模型的解释力和稳定性。这些结果表明，原模型不仅能够有效捕捉各变量之间的关系，而且在不同控制变量设置下依然表现出较强的稳健性，为政策制定提供了有力的支持。

六、结论与建议

（一）结论

1. 科技创新效率：南平市在科技创新效率方面表现最为突出，其得分较高且稳定。这表明南平市在科研资源配置和管理上具有显著优势。莆田市自 2017 年起科技创新效率显著提升，福州市的科技创新效率在 2016 年后有所改善，而宁德市的科技创新效率波动较大。通过采用 DEA 模型评估各城市的科技创新效率，结果显示南平市的综合技术效率最高，而宁德市由于资源利用不充分导致效率波动。此外，莆田市通过政策调整和技术投入提升了其科技创新能力，具体表现为 R&D 人员全时当量、R&D 经费内部支出等投入指标的有效转化。

2. 海洋经济高质量发展：福州市在海洋经济高质量发展方面的得分远高于其他地区，显示出明显的优势和良好发展态势。福州的成功在于其在渔业总产值、海洋生产总值等关键指标上的优异表现。相比之下，莆田、宁德和南平的表现较为一般，特别是宁德市得分最低，反映出这些地区在资源利用效率和创新活力方面有待提升。使用 Malmquist 指数模型对各城市海洋经济发展效率进行动态分析，结果表明福州市的技术进步和规模效率均有显

著提升，而宁德市在这两方面表现较弱。

3. 影响机制：研究表明，科技创新不仅影响海洋经济高质量发展，还通过产业结构升级作为中介变量间接促进海洋经济的发展。此外，科技创新的空间溢出效应也对邻近地区的经济发展产生积极影响。构建了结构方程模型验证科技创新对海洋经济高质量发展的影响路径，结果显示科技创新不仅促进了海洋经济的发展，还通过产业结构升级这一中介变量进一步增强了这种促进作用。具体而言，科技创新效率的核心解释变量在空间面板杜宾模型中显示出显著正向影响，同时其空间滞后变量也表现出一定的间接效应，表明科技创新的空间溢出效应对邻近地区的经济发展同样具有积极促进作用。

4. 模型稳健性：无论是采用科学财政支出还是教育支出财政支出作为控制变量，科技创新效率对海洋经济高质量发展的显著正向影响保持不变，表明该变量的重要性及其作用的稳定性。在回归分析中引入了多种控制变量，包括科学财政支出、教育支出财政支出等，结果表明无论控制变量如何变化，科技创新效率对海洋经济高质量发展的正向影响始终显著，强调了科技创新在推动区域经济高质量发展中的核心地位。伪 R<sup>2</sup> 和空间伪 R<sup>2</sup> 的高值进一步证实了模型的解释力和稳定性。

（二）建议

1. 提升科技创新效率：南平市应继续发挥科研资源配置和管理优势，总结经验并与其他城市分享，促进区域整体科技创新效率提升。莆田市持续优化政策，加大技术投入，巩固科技创新效率提升成果，并探索新的提升路径。福州市进一步巩固和提升科技创新效率改善成果，建立长效机制保持稳定增长。宁德市深入分析资源利用不充分原因，制定针对性资源优化方案，稳定科技创新效率。

2. 推动海洋经济高质量发展：福州市总结在渔业总产值、海洋生产总值等关键指标上的成功经验，形成可复制模式向其他城市推广。莆田、宁德和南平深入分析自身在资源利用效率和创新活力方面的不足，学习福州市成功经验，制定提升计划。

3. 优化影响机制：各城市强化科技创新投入，重视科技创新对海洋经济高质量发展的直接促进作用。推动产业结构升级，制

定产业结构调整政策，引导科技创新成果转化为产业升级动力，发挥中介变量作用。加强区域合作，建立区域科技创新协同发展机制，促进科技创新空间溢出效应在邻近地区更好发挥作用。

4. 强化模型稳健性应用：各地政府在制定经济发展政策时，充分重视科技创新效率对海洋经济高质量发展的显著正向影响，将科技创新作为核心推动力量。持续优化科学财政支出、教育支出财政支出等控制变量投入，确保科技创新对海洋经济高质量发展的积极作用稳定发挥。

参考文献

[1]王利军,陈梦冬.中国经济高质量发展水平测度[J].统计与决策,2023(6):87-91.

[2]陈明华,王哲,谢琳霄,等.中国中部地区高质量发展的时空演变及形成机理[J].地理学报,2023,78(04):859-876.

[3]蔡超岳,唐健雄.中国城市高质量发展的空间差异、动态演进及影响因素——基于复合生态系统理论视角[J].湖南师范大学自然科学学报,2023,46(02):51-61.

[4]Tian W, Li W, Song H et al. Analysis on the difference of regional high-quality development in Beijing-Tianjin-Hebei city cluster[J]. Procedia Computer Science, 2022, 199: 1184-1191.

[5]伍博炜,王远,王强,等.福建省生态环境与高质量发展耦合关系及驱动机制[J].生态学报,2022,42(20):8238-8253.

[6]师博,范丹娜.黄河中上游西北地区生态环境保护与城市经济高质量发展耦合协调研究[J].宁夏社会科学,2022,(04):126-135.

[7]Cheng Z, Zhao T, Zhu Y et al. Evaluating the Coupling Coordinated Development between Regional Ecological Protection and High-Quality Development: A Case Study of Guizhou, China[J]. Land, 2022, 11(10):1775.

[8]Li Z, Chen Y, Zhang L et al. Coupling coordination and spatial-temporal characteristics of resource and environmental carrying capacity and high-quality development[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10.

[9]张茜,俞颖.绿色金融对城市高质量发展的作用研究——来自277个地级市数据的证据[J].金融发展研究,2023:1-7.

[10]叶亚飞.金融与科技赋能经济高质量发展的机制分析与对策研究——基于联动发展视角[J].金融理论与实践,2023(02):24-34.

[11]林木西,肖宇博.绿色金融促进经济高质量发展的测度及其作用机制研究[J].当代经济科学,2023:1-18.

[12]管红波,李盼盼.数字经济促进海洋经济高质量发展空间效应研究——来自中国11个沿海省市的证据[J].价格理论与实践,2023:1-5.

[13]Yin X, Qi L, Zhou J. The impact of heterogeneous environmental regulation on high-quality economic development in China: based on the moderating effect of digital finance[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(9):24013-24026.

[14]旷开金,郑开焰,洪宇,等.闽江流域生态效率时空动态演变及驱动因素研究[J].生态经济,2024,40(06):148-155.

[15]刘华军,孙亚男等.经济数据量化分析方法、工具与应用[M].北京:高等教育出版社,2023:5-6.

[16]王慧.安徽省区域旅游经济发展影响因素[D].安徽工业大学,2022.

[17]韩科振.绿色金融发展与绿色技术创新效率关系研究——基于空间溢出视角的实证分析[J].价格理论与实践,2020,(04):144-147+178.

# 汽车制造业数字化转型的影响因素研究

## ——以广汽集团与比亚迪公司为例

欧阳勤, 黄晶涛\*

广东白云学院 应用经济学院, 广东 广州 510450

DOI:10.61369/ASDS.12169

**摘要：** 新兴技术正驱动汽车产业经历数字化与智能化的转型进程。本文构建了针对汽车制造业数字化转型评价指标体系并进行测度评估, 研究发现, 人才创新与数字化技术为核心驱动, 资本管理、管理能力及产业结构为主要影响因素。企业可基于自身条件选择商业模式创新、组织革新或技术创新路径。建议政府完善产业扶持、人才培养及生态治理政策; 企业应加强创新协同, 加速智能化、资源化和组织优化转型。

**关键词：** 汽车工业; 数字化转型; 影响因素

## Study On Influencing Factors Of Digital Transformation In Automobile Manufacturing Industry

### —— Take GAC Group and BYD Company as an Example

Ouyang Qin, Huang Jingtao\*

School of Applied Economics, Baiyun College, Guangzhou, Guangdong 510450

**Abstract:** Emerging technologies are driving the automotive industry through a transformation process characterized by digitalization and intelligence. This paper constructs an evaluation index system for the digital transformation of the automotive manufacturing sector and conducts measurement assessments. The study finds that talent innovation capabilities and digital technology are the core drivers, while capital management, management capabilities, and industrial structure are the primary influencing factors. Companies can choose business model innovation, organizational renewal, or technological innovation based on their own conditions. It is recommended that the government improve policies for industry support, talent cultivation, and ecosystem governance; companies should enhance innovation collaboration to accelerate intelligent, resource-efficient, and organizational optimization transformations.

**Keywords:** automobile industry; digital transformation; influencing factors

## 引言

随着全球信息技术飞速发展推动各行业变革, 汽车制造业面临市场竞争加剧与消费需求多样化挑战, 亟需通过数字化转型提升效率与竞争力。现有研究聚焦数字化转型的定义、影响因素、路径及效果(尹西明等<sup>[1]</sup>), 但在理论框架的系统性、微观层面的转型驱动因素等方面仍存在研究缺口。本文选取粤港澳大湾区的广汽集团和比亚迪为典型案例, 构建制造业综合绩效与数字化转型评价指标体系, 通过实证分析揭示二者作用机制, 量化评估转型指标并识别关键驱动因素, 从微观视角系统解析企业转型路径, 为行业提供实践参考。

## 一、构建评价指标体系

### (一) 构建企业综合绩效评价指标体系

邢春政<sup>[2]</sup>构建了企业应收规模与成本指标, 李亚婷<sup>[3]</sup>聚焦数

字化转型对财务绩效的影响, 李臻<sup>[4]</sup>从产业、财务、市场、股东权益四维度建立评价体系。本文结合前人研究, 构建了汽车企业综合绩效评价指标体系, 见表1。

基金项目: 广东省2025年度社科规划项目“国家数字化战略赋能传统制造业数字化转型和高端化发展的协同机制研究”(编号GD25CYJ02)。广东白云学院2024年度校级本科教学质量项目《数字经济特色专业》(编号BYZY202404)。广东白云学院“应用经济学”重点学科建设的阶段性研究成果。广东白云学院2024年度校级人文社科一般项目《工业互联网平台赋能企业全生产链融合的协同机制及实现路径研究》(编号:2024BYKY19)。

作者简介: 欧阳勤, 女(1977-), 广东白云学院应用经济学院副教授, 研究方向: 数字经济、产业经济;

通讯作者: 黄晶涛, 广东白云学院应用经济学院学生。



表1 企业综合绩效评价指标体系

| 一级指标   | 二级指标                 |
|--------|----------------------|
| 企业综合绩效 | 工业总产值                |
|        | 固定资产投资完成额            |
|        | 总资产                  |
|        | 总负债                  |
|        | 营业收入                 |
|        | 净利润                  |
|        | 资产负债比率               |
|        | 速动比率 or 流动比率         |
|        | 市场占有率                |
|        | 销售成本率（=销售成本与销售收入之比）  |
|        | 经营利润率（=经营利润与营业收入的比率） |
|        | 股东权益比率（=股东权益/总资产）    |
|        | 每股净资产（=股东权益/普通股总数）   |

（二）构建数字化转型水平评价指标体系

常嵘<sup>[6]</sup>提出人才创新水平与知识技术正相关，后者通过资本/劳动嵌入发挥作用。张培<sup>[9]</sup>强调制造业数字化转型需数字资源获取与管理能力。王科唯<sup>[7]</sup>指出资本管理体现于资产总额，组织灵活性与适应性影响转型成效。王雨璇<sup>[9]</sup>构建投入产出维度转型指标体系，纳入产业结构与对外开放水平为驱动因素。本文综合前人研究，选取人才创新、生产技术、资本管理、管理能力为核心变量（X），设置产业规模、产业结构、产业对外开放为控制变量，构建汽车企业数字化转型水平评价指标体系，见表2。

表2 汽车企业数字化转型水平评价指标体系

| 一级指标         | 二级指标   | 指标释义    |
|--------------|--------|---------|
| 数字化转型核心变量（X） | 人才创新   | 研发人员占比  |
|              |        | 研发人员人数  |
|              |        | 高学历人才占比 |
|              | 生产技术   | 投入产出比   |
|              |        | 劳动生产率   |
|              |        | 汽车总产量   |
|              |        | 固定资产投入  |
|              | 资本管理   | 资本支出    |
|              |        | 折旧摊销    |
|              |        | 产能利用率   |
|              | 管理能力   | 管理费用    |
|              |        | 员工福利支出  |
| 控制变量         | 产业规模   | 新能源车产量  |
|              | 产业结构   | 新能源车占比  |
|              | 产业对外开放 | 出口额     |

（三）数据来源

本文选取2015—2023年沪深股市中国汽车制造企业为样本，基于申万行业分类筛选商用车、乘用车企业，排除数据不全者。通过分析21家企业168份年报，提取609项企业综合绩效与数字化转型水平指标。按典型案例研究惯例，选取广汽集团和比亚迪作为研究案例。

（四）模型构建

为探究数字化转型水平指标与企业商业模式及组织结构指标之间的因果联系，本文在考虑样本数据特异性的前提下，采用TOPSIS综合评价法以获取企业综合绩效得分指数和企业数字化转型核心变量得分指数。运用长期均衡模型对TOPSIS综合评价法所得分数的有效性进行验证，探讨企业数字化转型核心变量与企

业综合绩效之间的长期均衡关系。如公式（1）所示：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot I + \beta_4 \cdot N + \beta_5 \cdot E + \epsilon \quad (1)$$

上述公式（1）中， $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  分别为数字化转型核心变量和控制变量系数， $\epsilon$  为随机扰动项。见表3所示。

表3 长期均衡模型的变量说明

| 变量类型  | 一级变量      | 二级变量                    | 变量描述                          |
|-------|-----------|-------------------------|-------------------------------|
| 被解释变量 | 企业综合绩效    | 企业综合绩效得分（Y）             | 基于 TOPSIS 的企业综合绩效得分指数 *100    |
| 解释变量  | 数字化转型核心变量 | 企业数字化转型水平指标得分（D）        | 基于 TOPSIS 的企业数字化转型水平得分指数 *100 |
|       |           | 产业规模（S）                 | 工业产值                          |
|       |           | 产业结构（I）                 | 新能源车占比                        |
| 控制变量  | 企业转型辅助变量  | 产业对外开放（N）               | 出口额                           |
|       |           | 新能源汽车发展水平与产业转型指标的交互项（E） | ——                            |

二、实证结果及分析

（一）企业数字化转型测度分析

陈庆江<sup>[9]</sup>提出企业数字化转型通过数据流优化生产要素配置。本文采用 TOPSIS 综合评价法，将汽车制造业综合绩效指标与数字化转型水平指标相结合进行测算。鉴于数字化转型效果的实现存在时间滞后性，本文选取了各汽车厂商2015年至2023年的财务数据，计算结果如表4和表5所示。

表4显示，2015—2019年广汽与比亚迪绩效持续上升，比亚迪新能源汽车2015年净利润增长率超50%。2018年后全球汽车市场增速放缓，2022年全球轻型车销量同比降0.6%，但中、墨等八国逆势增长。国内受需求下降及疫情影响，2019—2022年车企盈利普遍下跌。2023年国内汽车业展现韧性，市场稳中有升。

表4 企业综合绩效得分表

| 年份   | 广汽集团    | 比亚迪公司    |
|------|---------|----------|
| 2015 | -0.6547 | 0.4014   |
| 2016 | -0.6059 | 0.4634   |
| 2017 | 0.2259  | 0.3198   |
| 2018 | 0.4902  | 0.0591   |
| 2019 | -0.4985 | -0.1900  |
| 2020 | 0.0880  | 0.3147   |
| 2021 | 0.6404  | -0.2903  |
| 2022 | -0.3192 | -0.4335  |
| 2023 | 0.6338  | -0.2243t |

表5 企业数字化转型水平指标得分表

|      | 广汽集团   | 比亚迪公司  |
|------|--------|--------|
| 2015 | 0.1734 | 0.0625 |
| 2016 | 0.2253 | 0.1015 |
| 2017 | 0.4785 | 0.0687 |
| 2018 | 0.4628 | 0.1297 |
| 2019 | 0.4120 | 0.1295 |
| 2020 | 0.3987 | 0.1348 |
| 2021 | 0.4309 | 0.1996 |
| 2022 | 0.6475 | 0.4739 |
| 2023 | 0.8469 | 0.9922 |



表5显示，2015–2023年广汽与比亚迪的数字化转型评分逐年提升，体现两家企业在产业数字化转型中的突出成效。广汽在新能源车领域及海外市场拓展显著，体现了对市场机遇的把握；比亚迪通过技术创新和高端品牌转型增强了竞争力，其变化率与广汽并列最高。

广汽数字化转型评分2015–2018年持续增长，2019–2021年微降，2022–2023年因市场环境改善及新能源车销量激增显著回升。比亚迪2015–2021年数字化转型评分缓增，2022–2023年迅速上升。其高额研发投入支撑技术创新，新能源车型获市场广泛认可，技术研发与产品迭代持续巩固行业领先地位。

综上所述，两家企业通过新兴产业投资展现积极转型态势，成为未来发展的核心优势。

（二）数字化转型与企业综合绩效关联性检验

针对数据量纲与偏态分布问题，本文采用自然对数转换进行标准化处理，通过引入新能源汽车发展水平的交互项，捕捉变量间非线性关系及协同效应。

长期均衡模型评估显示（见表6），整体回归F统计量7.7347具有统计学显著性。核心变量分析表明：数字化转型核心变量D、产业规模S、产业结构I均呈现显著正向驱动，产业对外开放与新能源交互项亦具积极影响。模型R<sup>2</sup>达0.7074，解释70.74%因变量变异。

表6 长期均衡模型的回归结果

| 变量名称      | 变量符号 | 模型结果                   |
|-----------|------|------------------------|
| 数字化转型核心变量 | D    | 1.0857**<br>(2.1130)   |
| 产业规模      | S    | 0.7595 ***<br>(3.0611) |
| 产业结构      | I    | 2.519***<br>(2.885)    |

表7 广汽集团数字化转型核心变量分析表

| lval   | rval   | Estimate | Std. Err | z-value | p-value   |
|--------|--------|----------|----------|---------|-----------|
| 转型核心变量 | 人才创新   | 0.0577   | 0.0141   | 4086826 | 0.05***   |
| 转型核心变量 | 生产技术   | -0.0068  | 3.4991   | -0.0019 | 0.9985    |
| 转型核心变量 | 资本管理   | -0.0137  | 7.0194   | -0.0019 | 0.9985    |
| 转型核心变量 | 管理能力   | 0.0634   | 3.6100   | 1.7508  | 0.003***  |
| 转型核心变量 | 产业规模   | 0.0005   | 3.3317   | 4.5508  | 0.05**    |
| 转型核心变量 | 产业结构   | 0.0004   | 0.0003   | 1.8002  | 0.0718**  |
| 转型核心变量 | 产业对外开放 | 74.0387  | 50.9931  | 1.4519  | 0.0451*** |

表8 广汽集团生产技术与资本管理关系表

| lval          | rval   | Estimate | Std.Err | z-value  | p-value   |
|---------------|--------|----------|---------|----------|-----------|
| 生产技术水平_劳动生产率  | 生产技术水平 | 4.5727   | 0.4433  | 10.3161  | 0.035***  |
| 生产技术水平_生产总辆数  | 生产技术水平 | 6.6807   | 0.6929  | 9.6414   | 0.025***  |
| 生产技术水平_投入产出比  | 生产技术水平 | 0.0627   | 32.2542 | 0.0019   | 0.9985    |
| 生产技术水平_劳动生产率  | 生产技术水平 | 4.5727   | 0.4433  | 10.3161  | 0.034***  |
| 资本管理水平_固定资产投资 | 资本管理水平 | 10.0432  | 0.1542  | 65.1354  | 0.045***  |
| 资本管理水平_资本支出   | 资本管理水平 | 0.3965   | 0.0001  | 396455.7 | 0.0543*** |
| 资本管理水平_折旧摊销   | 资本管理水平 | 0.01059  | 0.0001  | 10596.88 | 0.0567**  |
| 资本管理水平_产能利用率  | 资本管理水平 | 0.0849   | 43.6598 | 0.0019   | 0.9985    |

|                      |   |                       |
|----------------------|---|-----------------------|
| 产业对外开放               | N | 0.0733 **<br>(0.7207) |
| 新能源汽车发展水平与产业转型指标的交互项 | E | 0.8612**<br>(0.9356)  |
| _cons                |   | 6.485***<br>(2.8593)  |
| R2                   |   | 0.7074                |
| F                    |   | 7.7347                |

注：括号内为t值；\*，\*\*，\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平下显著。

本文构建了以企业综合绩效为因变量，数字化转型核心变量、产出规模、产业结构、产业对外开放及新能源交互项的自变量模型，如公式2所示，为分析汽车制造业转型提供理论支撑。

$$y=6.485+1.0857D+0.7595S+2.519I+0.0733N+0.8612E \quad (2)$$

（三）数字化转型的影响因素：广汽与比亚迪的实证研究

针对企业数字化转型路径的差异性特征，本文选取粤港澳大湾区汽车制造商广汽集团和比亚迪作为样本，以减少地理位置和经济发展水平对结果的偏差。根据上述公式（2），通过前述相关数据细化处理，广汽集团和比亚迪公司两家公司的转型指标计算结果详见表7至表10。

表7和表8显示，加大研发投入、强化管理能力及拓展经济活动是转型关键，其中技术能力提升与管理技能指导尤为重要。政策开放性与产业合作也显著推动了汽车业转型。广汽集团通过干部竞聘机制与人才生态系统建设，优化了组织结构并提升管理效率，印证人才创新、管理能力及产业规模对企业数字化转型的积极影响。

产业结构调整的影响系数虽未达到统计显著水平，但仍维持在较高区间。生产技术和资本管理两大要素的作用未显现统计显著性。尽管如此，在推进数字化转型进程中，广汽集团仍需重点加强生产技术创新与资本运营能力建设。

表9和表10显示，人才创新对企业数字化转型呈显著正向影响，但生产技术水平与资本管理效能的作用效果不显著，仍需持续优化。管理能力在转型中发挥重要作用。产业结构调整特别是

新能源产业比重提升显著推动转型，而产业对外开放程度与产业规模未表现出显著影响，表明比亚迪转型受宏观经济波动较小。

表9 比亚迪公司转型核心变量分析表

| Lval   | Rval   | Estimate | Std. Err | z-value | p-value   |
|--------|--------|----------|----------|---------|-----------|
| 转型核心变量 | 人才创新   | 0.3780   | 0.1217   | 3.1068  | 0.0019**  |
| 转型核心变量 | 生产技术   | 0.0787   | 0.6873   | 0.1145  | 0.9089    |
| 转型核心变量 | 资本管理   | 0.4247   | 1.3686   | 0.3103  | 0.7563    |
| 转型核心变量 | 管理能力   | -1.9339  | 1.5617   | -1.9107 | 0.03445** |
| 转型核心变量 | 产业规模   | -1.4386  | 0.0001   | -0.1439 | 0.8856    |
| 转型核心变量 | 产业结构   | 0.0136   | 0.0069   | 1.9403  | 0.0493*** |
| 转型核心变量 | 产业对外开放 | -0.0612  | 212.4507 | -0.0003 | 0.9998    |

表10 比亚迪生产技术与资本管理关系表

| lval          | rval   | Estimate | Std. Err | z-value  | p-value  |
|---------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| 生产技术水平_劳动生产率  | 生产技术水平 | 3.5726   | 0.3333   | 6.4560   | 0.045*** |
| 生产技术水平_生产总辆数  | 生产技术水平 | 8.5543   | 1.3734   | 85.5431  | 0.005*** |
| 生产技术水平_投入产出比  | 生产技术水平 | 0.0448   | 0.3216   | 0.1392   | 0.8893   |
| 生产技术水平_劳动生产率  | 生产技术水平 | 0.1359   | 0.0005   | 301.1519 | 0.025*** |
| 资本管理水平_固定资产投入 | 资本管理水平 | 2.2686   | 0.0002   | 13715.2  | 0.034*** |
| 资本管理水平_资本支出   | 资本管理水平 | -0.0803  | 0.0001   | -80336.5 | 0.027*** |
| 资本管理水平_折旧摊销   | 资本管理水平 | 0.0063   | 1.4281   | 44171.97 | 0.0689** |
| 资本管理水平_产能利用率  | 资本管理水平 | 0.0282   | 0.0898   | 0.3144   | 0.7532   |

综上所述，广汽集团与比亚迪在数字化转型中均成果显著，但各自的战略重点与转型路径存在显著差异。

提升则成为转型的关键驱动力。同时，数字化商业模式、组织架构以及技术水平之间的协同效应亦显得至关重要。

三、研究结论与建议

本文以广汽集团与比亚迪为研究对象，运用 TOPSIS 综合评价法和熵值法，利用长期均衡模型，探究汽车企业数字化转型的影响因素及其关键指标。研究发现，在汽车制造业数字化转型的演进过程中，人才创新能力构成了其核心要素，而数字化技术的

基于此，建议政府完善财税投资政策与数字生态建设，企业需强化研发投入与数字孪生技术应用，优化智能制造设备、云计算及物联网系统，构建跨部门数据共享机制；在组织层面应打破部门壁垒建立柔性协作体系，资本运作需聚焦数字基建与专项基金设置，通过校企联合培养机制与创新激励政策持续强化人才根基，最终实现组织架构平台化改革与资本配置优化的协同推进，为数字化转型提供系统性支撑。

参考文献

[1]尹西明, 陈劲, 王华峰等. 强化科技创新引领加快发展新质生产力 [J]. 科学学与科学技术管理, 2024 (2): 1-10.

[2]邢春政, 金子琪. 制造业数字化转型与企业现代化发展——来自中国 A 股制造业上市公司的证据 [J]. 经济纵横, 2025, (03): 44-53.

[3]李亚婷. 数字化转型对农业装备企业财务绩效的影响——以一拖股份为例 [J]. 特区经济, 2025, (03): 153-156.

[4]李璨, 陈博, 张艾嘉, 等. 我国制造业企业数字化转型路径分类及绩效研究 [J]. 科学学研究, 1-25.

[5]常嵘. 并购战略性新兴产业对传统企业转型升级的影响因素分析 [J]. 经济理论与经济管理, 2017, (12): 88-101.

[6]张培, 杨丹丹, 刘鑫. 制造业企业数字化转型: 整合分析框架与研究展望 [J]. 管理学刊, 2025, 38(01): 114-129.

[7]王科唯, 胡延琦, 陈玉宏. 我国汽车制造业数字化转型路径研究 [J]. 价格理论与实践, 2024, (08): 187-192.

[8]王雨璇, 田泽, 任阳军. 中国制造业数字化转型效率空间关联及驱动因素研究 [J]. 经济体制改革, 2025, (02): 47-56.

[9]陈庆江, 王彦萌, 万茂丰. 企业数字化转型的同群效应及其影响因素研究 [J]. 管理学报, 2021, 18(5): 653-663.

# 广东青年药食同源产品消费意愿及影响因素实证研究

## ——基于2748份问卷调查

唐晨<sup>1</sup>, 谷卓桐<sup>2\*</sup>, 杨津锋<sup>1</sup>, 钟美庆<sup>1</sup>

1. 广东白云学院, 广东 广州 510550

2. 广州理工学院经济管理学院; 广东特色金融与高质量发展研究中心, 广东 广州 510540

DOI:10.61369/ASDS.12170

**摘要：** 药食同源理念对改善当代人亚健康及老病年轻化问题意义重大, 广东青年因“饮凉茶, 煲靓汤”的饮食传统, 对药食同源产品有独特消费倾向。研究结合消费者行为理论, 回收3050位19–35岁广东青年问卷调查结果, 建立关联规则模型、路径分析探消费者对药食同源产品消费意愿及影响因素。分析发现, 女性、高学历、对健康关注高的消费者更愿尝试药食同源产品, 购买频率、产品兴趣、文化程度会对愿意对高品质的药食同源产品支付更高的价格产生显著的正向影响关系。最后, 利用贝叶斯模型决策对消费意愿及市场前景进行分析预测, 提出强化市场教育、创新产品、细分市场、优化渠道等建议, 助力消费者获得更健康饮食选择, 推动传统食疗行业创新发展, 缓解“亚健康”与“老病年轻化”问题。

**关键词：** 药食同源; 消费意愿; 影响因素

## An Empirical Study on the Consumption Willingness and Influencing Factors of Guangdong Youth towards Food-Drug Dual-Use Products

### ——Based on 2748 Questionnaire Surveys

Tang Chen<sup>1</sup>, Gu Zhuotong<sup>2\*</sup>, Yang Jinfeng<sup>1</sup>, Zhong Meiqing<sup>1</sup>

1. Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong 510550

2. School of Economics and Management, Guangzhou Institute of Science and Technology, Guangdong Research Center for Characteristic Finance and High-quality Development, Guangzhou, Guangdong 510540

**Abstract:** The food-drug dual-use concept is significant for improving modern sub-health and age-related diseases in the young. Guangdong youth, with their tradition of "drinking cooling tea and simmering soups," show unique consumption tendencies towards food-drug dual-use products. This study, combining consumer behavior theory, collected 3050 questionnaires from Guangdong youth aged 19–35 and used association rule models and path analysis to explore their consumption willingness and influencing factors towards food-drug dual-use products. The analysis revealed that female, highly-educated consumers with high health awareness are more willing to try such products. Purchase frequency, product interest, and education level have a significantly positive impact on the willingness to pay a higher price for high-quality food-drug dual-use products. Finally, using Bayesian model decision-making to analyze consumption willingness and market prospects, the study proposes suggestions to strengthen market education, innovate products, segment the market, and optimize channels. These suggestions aim to help consumers make healthier dietary choices, promote the innovative development of traditional dietary therapy, and alleviate sub-health and age-related disease issues in the young.

**Keywords:** medicinal and edible homologous products; consumption willingness; influencing factors

项目/基金信息: 广州理工2025年国家级培育项目“中国民办高校数字经济新质人才融创教育体系构建研究(课题编号: 2025gjjp001)” ; 2024年广州理工质量工程项目“工智能+数字经济专项人才培养计划(课题编号: 2024XZLGC13)” ; 2024年广州理工教改项目“OBE理念下基于知识图谱的商科类课程数智化改革探索与实践(2024XJG011)” ; 2024年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目“OBE理念下基于知识图谱的《数字经济概论》课程数智化改革探索与实践” ; 2023年广州理工课程思政教改项目“文化自信视域下“讲好中国故事”的《统计学》课程思政设计与实践探索(课题编号: 2023KCJG15)” ; 2024年度广东省教育厅普通高校青年创新人才项目“平台经济金融化系统性风险与宏观审慎监管对策研究(课题编号: 2024WQNCX060)”。

作者简介:

唐晨(2003—), 女, 汉族, 广东韶关人, 本科在读, 广东白云学院应用经济学院学生, 研究方向: 数字经济, 广东白云学院 应用经济学院, 邮箱: 2667520781@qq.com;

杨津锋(2004—), 男, 汉族, 广东江门人, 本科在读, 广东白云学院应用经济学院学生, 研究方向: 产业发展, 广东白云学院 应用经济学院, 邮箱: 2069917861@qq.com;

钟美庆(2003—), 女, 汉族, 广东梅州人, 本科在读, 广东白云学院应用经济学院学生, 研究方向: 市场调查与预测, 广东白云学院 应用经济学院, 邮箱: 1226892560@qq.com。

通讯作者: 谷卓桐(1990—), 女, 汉族, 吉林长春人, 博士, 广州理工学院特聘副教授, 广东特色金融与高质量发展研究中心博士, 研究方向: 数字经济、知识创新, 广州理工学院 经济管理学院, 邮箱: 414755819@qq.com。

## 引言

在当今社会，年轻人的养生观念正经历着显著转变。从早期流行的“朋克养生”，以“边耗边补”的方式应对健康问题，而近年来，新式食疗方式——“药食同源”逐渐兴起并走入大众视野。“药食同源”产品与传统食疗养生产品不同，它更关注“未病”状态下消费者的体质。本文聚焦于广东青年这一群体，深入探究他们对药食同源产品的消费意愿。通过实证研究，利用 SPSS、Python 等技术对 2748 份问卷数据进行分析，旨在为相关企业提供精准的市场策略参考，助力消费者获取更适宜的健康饮食选择。本文的创新之处在于，首次针对广东青年的饮食基因，进行药食同源产品消费意愿的深度剖析，弥补了现有研究在特定地域青年群体研究上的不足，对推动传统食疗行业创新发展的同时缓解当代“亚健康”及“老病年轻化”问题具有重要意义。

## 一、文献综述

### （一）“药食同源”发展的背景

“药食同源”指中药与食物同时起源，又解“药”“食”之间并无绝对的分界线。近年来，人民亚健康健康问题日趋凸显，老年病、慢性病年轻化逐渐加深。陈丽华、吴柳瑾提出的由于现代生活方式和饮食环境的变化，越来越多的人患上功能性消化不良、慢性胃炎、幽门螺旋杆菌感染等胃部疾病，而药食同源中药大部分药性平和、安全性好<sup>[1]</sup>。体现出当前药食同源物质可作为一些慢性病治疗手段。而雷龙鸣、张敏、张湘黔更是将中医辨证理论与亚健康状态干预结合起来<sup>[2]</sup>，“治未病”又不仅局限于亚健康，反映出药食同源理念丰富人类健康需求研究参考。

2024 年，程蒙、唐晓晶等人根据 SWOT 分析对药食同源产业发展现状进行研究，发现药食同源产业发展具有管理制度不断完善、制造工艺精良、群众基础广泛等优势<sup>[3]</sup>。同时孔烨、钱爱兵以新式中药饮品为例，对 B 站评论进行情感分析发现药食同源产品公众尝试意愿较强<sup>[4]</sup>。随着“健康中国 2030”规划纲要的深入实施，国民健康意识显著提升，对药食同源产品的需求日益增长。由此可见，“药食同源”发展态势良好<sup>[11]</sup>。

### （二）“药食同源”产品疗效

康瑶<sup>[5]</sup>、向琴<sup>[6]</sup>、彭健飞<sup>[7]</sup>发现“药食同源”产品对于治疗某些慢性病、老年病起到尤为关键的作用，就如药食同源物质能从多方面对阿尔茨海默病起治疗作用、缓解酒精性肝损伤，产品中的黄精多糖能有效改善糖尿病心肌病的症状。《基于补益效应的玉竹药食同源功效研究进展》中提出：玉竹滋阴益虚，治养皆宜，成分丰富，营养价值高，然其实验验证和临床研究主要集中在降血糖、抗衰老、调节免疫及防治肥胖等方面<sup>[8]</sup>。综上所述，不难看出药食同源产品在治疗某些疾病具有一定的功效，恰恰证明了食疗的可行性。因此，但凡鼓励对药食同源物质的研究、探索药食同源产品的更多可能，相信“药食同源”能够焕发新的活力。

### （三）药食同源现代科学理论探讨

单峰了解到植物在适应环境、长期进化的过程中与生物和非生物因素相互作用形成次生代谢产物，作为人们调节人体机能的

天然药物，因其含量不高，长期服用无毒无害，被人们当作预防疾病及保健的食药<sup>[9]</sup>。探讨了药食同源物质在主动健康和人口老龄化科技应对方面的应用前景，强调其独特价值和重要性<sup>[10]</sup>。所以，食药联系紧密，体现在中医药学就是“药食同源”。药食同源理念引导人们合理利用食物及药物资源，对保障人们生理健康具有重要意义。

### （四）药食同源顺应时代潮流

发挥药食同源在补益中的独特优势是顺应时代潮流的。《药食同源健康管理行动指南（2021-2030）》中提及药食同源悠久历史，阐明药食同源产品是继承发展中医药产业的重要组成部分，发挥着独特优势<sup>[11]</sup>。随着现代生活节奏的加快以及环境问题的不断加剧，亚健康状态和慢性病人数量增多，药食同源产品需求越来越旺盛。中国中医药信息学会在以习近平同志为核心的党中央领导下对推进健康中国的战略部署提出鼓励社会力量建成全国药食同源健康管理中心、药食同源社区健康驿站和药食同源乡村健康驿站，打造适合中国国情的健康生活方式。由此，药食同源的推行势在必行，药食同源广度的拓宽和深度加深同样迫在眉睫。

## 二、数据来源与探索性分析

开展本研究时，为保证数据可靠有效，在问卷设计与抽样方法上做了充分考量。问卷设计经多轮研讨修订，涵盖受访者基本信息及对药食同源产品的认知、消费意愿等问题，问题设置科学、客观、易懂，便于受访者作答。抽样采用分层抽样结合方便抽样，由于据南方日报发表的《广东 21 地市 2023 年经济“成绩单”明细》中显示：广东省有 21 个地级市，广东省广州市和深圳市与广东省其他城市 2023 年 GDP 总值比例为 9: 10，接近 50% 比例。

为了解广东省广深与其他城市不同地域的人群在该类产品的消费特点，依据广东青年地域分布、年龄、职业等特征分层，各层随机抽取样本，最终获取 2748 份有效问卷。数据录入时多次核对校验，防止录入错误。问卷通过信效度检验，结果显示数据可靠性、有效性高，能为后续分析提供有力支撑。



（一）受访者基本信息

表1 受访者基本信息统计

| 维度    |          | 占比    |          | 占比    |        | 占比    |
|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------|
| 年龄    | 12-25岁   | 64.6% | 26-35岁   | 35.4% |        |       |
| 性别    | 男        | 35.5% | 女        | 64.5% |        |       |
| 文化程度  | 高中/职高及以下 | 14.8% | 本科/专科    | 73.2% | 研究生及以上 | 12.0% |
| 职业类别  | 学生       | 36.7% | 就业       | 63.3% |        |       |
| 月收入   | 5000元及以下 | 62.3% | 5001元及以上 | 37.7% |        |       |
| 是否亚健康 | 是        | 59.1% | 否        | 19.7% | 不确定    | 21.2% |

本次调研显示，女性对药食同源产品兴趣浓厚，占比达63.9%，远超男性的36.1%。这种差异可能与女性对健康和家庭的关注度高有关。中低收入人群比重较大，且大多数都认为自身处于亚健康状态。

（二）基于关联规则算法的药食同源需求细分

1. 方法简介

关联分析旨在从特定数据集中发掘频繁共现的项目集合，即所谓的关联规则。

衡量简单关联规则精确性的关键指标为置信度（Confidence），它刻画了在包含项目 X 的交易中同时包含项目 Y 的概率。

即在 X 出现的条件下 Y 出现的可能性，其数学表达为：

$$Cx \rightarrow y = \frac{|T(X \cap Y)|}{|T(X)|}$$
 公式（1）

此处，代表包含项目 X 的交易数量，代表同时包含项目 X 和项目 Y 的交易数量。

另一个重要指标为支持度（Support），用于评估关联规则的普适性。

即项目 X 和 Y 共同出现的概率，其数学公式为：

$$Sx \rightarrow y = \frac{|T(X \cap Y)|}{|T|}$$
 公式（2）

第三个指标为提升度（Lift），它是置信度与后项支持度的比率，其计算方式为：

$$Lx \rightarrow y = \frac{Cx \rightarrow y}{Sy} = \frac{|T(X \cap Y)|}{|T(X)|} / \frac{|T(Y)|}{|T|}$$
 公式（3）

2. 方法挖掘过程

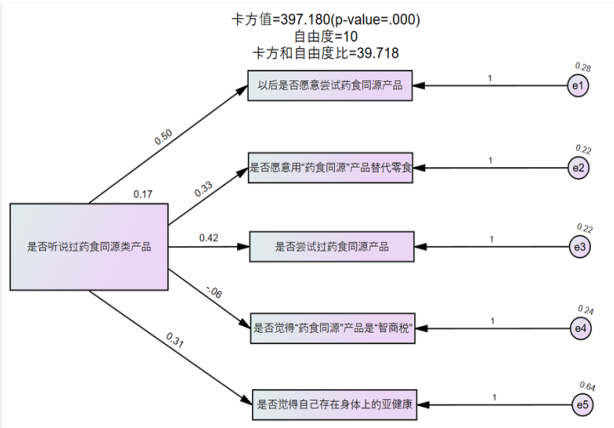
本文对广东省青年人对“药食同源”产品的各项具体需求的关联分析的最小规则支持度和规则置信度分别设置为10%和80%。基于相关问卷题设，一共挖掘出29条规则。

本项目为保证规则的推广度，选择支持度最高的规则作为结论。模型具体结果如表2所示：

表2 关联规则算法结果

| 后项             | 前项               | 支持度百分比  | 置信度百分比  |
|----------------|------------------|---------|---------|
| 是否听说过          | 以后是否愿意尝试         | 81.141% | 81.561% |
| 以后是否愿意尝试       | 是否听说过            | 77.911% | 81.914% |
| 是否听说过药食同源类保健食品 | 是否愿意用药食同源的零食产品代替 | 68.304% | 90.623% |

绘制网络图见图1：



> 图1 是否了解药食同源类保健产品的关键网络图

3. 分析结论

（1）药食同源引领健康新风尚

积极消费者显现市场潜力：在药食同源产品的消费过程中，听说过药食同源产品的消费者普遍表现出对其他方面的关注，并最终形成稳定的购买意愿，愿意在以后继续购买药食同源产品。

（2）药食同源零食

消费者健康选择的新宠：我们发现听说过药食同源产品的消费者在选择零食时，更倾向于选择药食同源的零食产品来替代传统零食。健康需求有可能是驱动消费者偏好药食同源零食的重要因素之一。

（3）药食同源产品受青睐

亚健康状态下消费者的健康选择：关心药食同源产品的消费者中，大部分存在身体上的亚健康状态。身体上的亚健康问题是消费者产生对药食同源产品需求的重要因素之一。

（4）药食同源产品成新宠

听说过的消费者纷纷尝试：关心药食同源产品的消费者中，大部分都已经尝试过药食同源的产品。药食同源产品对消费者产生较大的吸引力。

三、实证预测性与决策分析

（一）基于路径分析的药食同源产品意愿度分析

1. 方法简介

为研究被调查者对高品质药食同源产品付出更高价格的原因

以及影响因素，最初利用相关系数矩阵探索样本数据发现对高品质药食同源产品付出更高价格的影响因素为线性强相关，所以选择路径分析模型将主变量意愿程度和影响因素加以拟合。

路径分析包括三个部分：路径图、依据路径图写出协方差或相关系数与参数模型（如路径系数）的方程、效应分解。从而分析自变量对于因变量作用的方向、作用的大小以及解释能力亦可用于预测。模型的一般表达式为：

式中， $\beta$ 、 $\gamma$  为待估系数矩阵； $\varepsilon$  是残差项。

$$Y = \beta Y + \gamma X + \varepsilon \quad \text{公式 (4)}$$

2. 变量选取

据问卷题设的实际意义，共分两步完成了变量的选取。首先在问卷题设上，拟选择了多个影响消费者意愿的自变量，再利用相关系数一一判别。

最终，在模型中自变量为购买“药食同源”产品时是否会看配料表，购买药食同源产品的频率，以后是否愿意尝试药食同源产品，是否尝试过药食同源产品，对以食养生的相关产品兴趣有多大，月收入。文化程度，性别。

3. 路径设计与假设

(1) 路径设计与假设

在自变量与因变量选取完成后，我们考虑其接受程度和支付意愿与消费者的年收入、兴趣程度、文化程度、性别、购买频率之间可能会存在一定的相互影响。

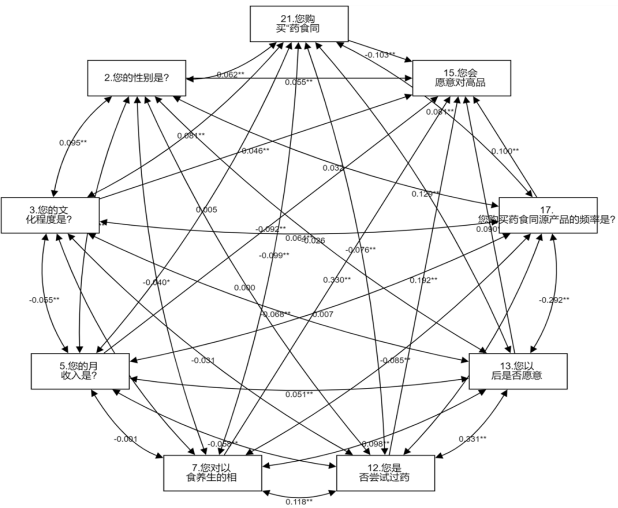


图2 药食同源市场意愿程度路径图

(2) 路径假设

H1: Y 为随机变量服从多元正态分布，且每一个 Y 变量的残差项之间相互独立；H2: X 为非随机变量，无测量误差；H3: Y 为随机变量，服从均值为 0，方差为常数的多元正态分布，且与 X 不相关。路径分析结果如图2所示：

4. 分析结论

结果显示：购买药食同源产品的频率、以后是否愿意尝试药食同源产品、是否尝试过药食同源产品、对以食养生的相关产品兴趣有多大、月收入、文化程度、性别、配料表等因素对于愿意对高品质的药食同源产品支付更高的价格影响时，标准化路径系数值分别为0.100>0、0.090>0、0.192>0、0.330>0、-

0.092<0、0.046>0，0.091>0,且路径均呈现0.01水平的显著性。

由此结果可知，较低的月收入的消费者和不看配料表的消费者并不愿意为药食同源产品付出更高的价格，月收入限制了较低收入的消费者的消费能力，不看配料表的消费者对药食同源产品的兴趣并不高，可能导致他们不愿意消费更高价格的药食同源产品。具有性别为女，高学历，对以食养生相关产品兴趣高，尝试过药食同源产品，以后还愿意尝试药食同源产品，购买药食同源产品频率高特征的消费者愿意为药食同源产品付出更高的价格。

(二) 基于贝叶斯决策的药食同源产品市场预测

1. 贝叶斯决策模型

朴素贝叶斯 (Naïve Bayes classifier) 是一种基于概率统计的有监督式机器学习分类方法。由于广东青年消费者对药食同源产品的了解和信任程度以及对药食同源产品的接受度不尽相同，若要更好的为各个类型的目标消费者服务，需要建立与消费者的对话，分析目标消费者的原型，描述并勾勒消费者行为、价值观及需求，我们选择建立贝叶斯决策模型，以便对广东省青年人的“药食同源”产品市场进行市场预测。

2. 分析过程

本部分将7.您对以食养生的相关产品兴趣有多大？9. 您对药食同源产品的了解程度？27.您的对相关店铺整体服务满意度如何？一服务，疗效，质量，口感，18.您实际每个月在药食同源产品上消费的金额是多少？（此为实际购买情况）29.请问您对药食同源产品的有什么改进建议？等项作为自变量；

而将13.您以后是否愿意尝试药食同源产品？作为因变量，采用留出法即训练集比例设置为0.6，初始数据进行正态标准化处理，采用特征分布为高斯分布的朴素贝叶斯模型，进行贝叶斯建模，总共有1382个样本参与分析。同时，对训练集进一步划分为多个子集，用于交叉验证。训练集模型评估结果如下表3所示：

| 表3 训练集模型评估结果 |      |      |          |     |
|--------------|------|------|----------|-----|
| 项            | 精确率  | 召回率  | f1-score | 样本数 |
| -3           | 0.47 | 0.84 | 0.6      | 75  |
| 1            | 0.95 | 0.98 | 0.97     | 619 |
| 2            | 0.58 | 0.23 | 0.33     | 135 |
| 准确率          |      |      | 0.85     | 829 |
| 平均值          | 0.67 | 0.68 | 0.63     | 829 |
| 综合平均值        | 0.85 | 0.85 | 0.83     | 829 |

2. 模型交叉验证结果

由表3中的训练结果可得，模型训练的精确率、召回率、F1得分均较好。训练好的模型用于测试集。测试集模型评估结果如下表4所示：

| 表4 测试集模型评估结果 |      |      |          |     |
|--------------|------|------|----------|-----|
| 项            | 精确率  | 召回率  | f1-score | 样本数 |
| -3           | 0.47 | 0.70 | 0.56     | 56  |
| 1            | 0.94 | 0.99 | 0.97     | 413 |
| 2            | 0.44 | 0.18 | 0.25     | 84  |
| 准确率          |      |      | 0.84     | 553 |
| 平均值          | 0.62 | 0.62 | 0.59     | 553 |
| 平均值 (综合)     | 0.82 | 0.84 | 0.82     | 553 |

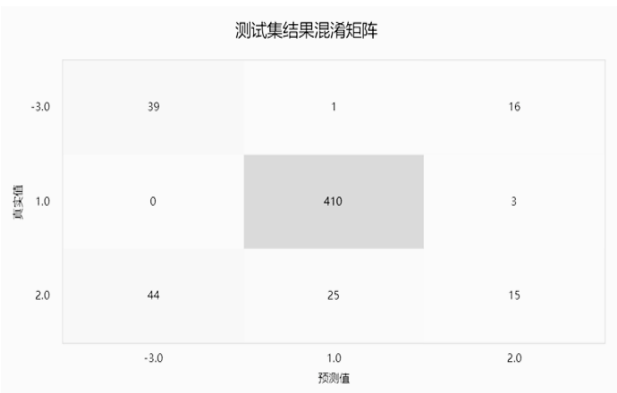
贝叶斯模型经过训练、测试与交叉验证后如下表5模型汇总表所示：

| 表5 模型汇总表 |               |         |
|----------|---------------|---------|
| 名称       | 参数名           | 数值      |
| 模型参数设置   | 数据预处理         | norm    |
|          | 训练集比例         | 0.6     |
|          | 平滑处理（alpha 值） | 1.0     |
|          | 特征分布类型        | 高斯分布    |
| 模型评估效果   | 准确率           | 83.906% |
|          | 精确率（综合）       | 81.690% |
|          | 召回率（综合）       | 83.906% |
|          | f1-score      | 0.817   |

最终模型在测试集上准确率为 83.91%，表明模型在预测消费者是否愿意尝试药食同源产品方面具有较高的可靠性，能够很好的分类愿意尝试的消费者。同时，模型的精确率为 81.69%，显示出模型在预测结果中的准确性较高。此外，召回率也为 83.91%，这意味着模型能够有效地捕捉到愿意尝试药食同源产品的消费者。综合这些指标，f1-score 达到 0.82，验证了模型整体性能良好。

3.测试集结果分析

模型经过各项指标评估，运用模型得到测试集结果混淆矩阵如下图所示：



> 图3 测试集结果混淆矩阵

从测试集混淆矩阵的分析结果来看，数据分布呈现出不同的特征，模型识别潜在消费者性能优秀。

真正例（TP）占比高达 74.1%，410 名受访者被准确预测为愿意尝试药食同源产品。这一高比例表明，模型对目标客群的识别能力较强。

真反例（TN）占比 0.27%（15 人），这反映出测试样本中愿意尝试的消费者占绝大多数（超过 99%），导致不愿意尝试的样本基数本身较小。

假反例（FN）占比 0.05%（3 人）显示出模型存在极低概率的漏判现象，可能遗漏个别潜在消费者。

假正例（FP）占比 0.45%（25 人）则表明模型偶尔会误判消费者意愿，这或与数据中某些特征维度存在噪声，或样本分布不均导致模型对少数类特征学习不足有关。

整体而言，测试结果表明消费者群体对药食同源产品的接受度较高，超过 99% 的样本表现出尝试意愿，其中 74.1% 已被模型有效识别。

四、对策建议

（一）针对亚健康人群认知与产品创新的策略建议

- 1. 市场教育与认知强化  
利用 81.1% 听说过药食同源产品的消费者高复购意愿（置信度 81.6%），通过短视频、直播等新媒体形式普及“治未病”理念，重点宣传产品在慢性病预防（如胃部疾病、糖尿病）中的作用，吸引潜在用户。
- 2. 健康零食产品创新  
针对 68.3% 消费者愿用药食同源零食替代传统零食的需求（置信度 90.6%），开发功能性零食（如含玉竹提取物的抗衰老软糖、黄精多糖护心巧克力），明确标注活性成分及科学依据，满足“养生+便捷”双重需求。
- 3. 针对亚健康人群开发个性化定制服务  
结合 59.1% 受访者自评亚健康的数据，设计针对睡眠障碍、代谢综合征等年轻群体高发问题的产品（如安神代茶饮、低脂代餐），联动线上健康监测 APP 提供个性化食疗方案。

（二）针对产品市场细分的策略建议

- 1. 高频消费者深度运营  
购买频率（路径系数 0.100）和未来尝试意愿（0.090）显著影响高价支付，建议建立会员积分体系，对月消费 3 次以上用户赠送中医体质诊断服务，增强粘性。
- 2. 高学历人群高端化策略  
面向本科及以上学历者（占比 73.2%），推出科研背书的精品线（如与中医药大学联合研发的靶向护肝片），通过学术论文摘要、实验室视频等内容营销提升信任度。
- 3. 女性市场精细化开发  
针对女性占比 64.5% 且支付意愿显著（系数 0.091），设计生理期调理套餐、家庭健康礼盒，通过母婴社群、女性健康 KOL 进行场景化推广。
- 4. 价格分层覆盖多元需求  
基于 62.3% 消费者月收入 ≤ 5000 元（路径系数 -0.092），推出 30 元以下基础款与 300 元以上较高端款，同时，开展“以旧换新”促销激活存量用户。

（三）针对市场渠道的策略建议

- 1. 线上线下渠道融合  
依托模型 83.9% 的消费意愿预测准确率，在广深区域核心商圈开设“药食同源体验店”（提供试饮与 AI 体质检测），同步上线小程序商城，利用地理位置数据推送附近门店优惠。
- 2. 产品体验优化重点  
针对 25% 因服务 / 口感放弃购买的假正例用户，改良产品适口性（如罗汉果代糖调味），建立透明溯源系统（扫码查看原料产地检测报告），培训店员提供专业食疗咨询。
- 3. 用户参与式创新  
结合 29.5% 受访者提出的改进建议，搭建用户共创平台（如每月举办“药食同源产品设计大赛”），将获奖方案、快速商业化并给予创作者销售分成。

五、结束语

广东青年作为药食同源产品的重要消费群体，有着独特的消费特征与需求。19 – 25 岁群体存在差异化需求，26 – 35 岁群体理性消费，年龄分层特征显著。市场区域表现分化，广深地区产品接触率高于非广州、深圳区域。养生需求与购买概率强正相关，女性购买概率高于男性，复购群体更愿意支付溢价。面对这些情况，要高度重视产品质量这一突出问题，着力改进，同时优化服务，提升消费者体验。利用社交裂变与推广，借助朋友或家

人推荐的影响力，扩大产品传播范围。针对不同年龄层、不同区域以及不同性别消费者的特点，精准定位产品，强调产品对亚健康状况的积极影响。制作有趣的食膳养生科普视频，向大众科普推荐药食同源产品的功效与优点，让大众充分了解药食同源产品并信任产品；利用药食同源产品制作有趣的个性卡通 IP，并衍生出有趣的表情包，以此来推广药食同源产品的传播，更好地满足广东青年对药食同源产品的需求的同时缓解当代“亚健康”及“老病年轻化”等社会问题。

参考文献

[1]陈丽华,吴柳瑾,董欢欢,赵益,单雅慧,朱卫丰,管咏梅,陈晓凡,饶毅.基于“性-效-物-证”药食同源中药及其组方养胃功效的研究进展[J].中成药,2025,(01): 175-181.

[2]雷龙鸣,张敏,张湘黔.基于中医辨证论治理论探讨推拿疗法干预亚健康状态的思路与方法[J].现代养生,2024,(22) 1753-1755.

[3]程蒙,唐晓晶,周修腾,李颖,陈敏,高峰.基于SWOT分析的药食同源产业发展策略研究[J].中国现代中药,2024,(11) 1823-1832.

[4]孔烨,钱爱兵.药食同源创新产品的公众态度及发展条件探究——以新式中药饮品为例[J].南京中医药大学学报(社会科学版),2024,(04) 275-282.

[5]康瑶,唐瑗,张东星,王磊,王鑫,苏子孟,於洪建.药食同源物质防治阿尔茨海默病作用机制的研究进展[J].食品工业科技,2024,(12) 18-27.

[6]向琴,张国泰,芦润青,等.基于文献计量分析药食同源物质缓解酒精性肝损伤研究进展[J].食品工业科技,2024,45(02):1-11.

[7]彭剑飞.“药食同源”黄精防治糖尿病心肌病的古今文献挖掘及实验研究[D].安徽中医药大学,2023.

[8]李芳,唐海峰,梁永林,等.基于补益效应的玉竹药食同源功效研究进展[J].中草药,2025,56(02):680-695.

[9]单峰,黄璐琦,郭娟,等.药食同源的历史和发展概况[J].生命科学,2015,27(08):1061-1069.

[10]秦翠英,郭祖昌,张杰,等.药食同源物质在主动健康和人口老龄化科技应对方面的应用展望[J/OL].中国实验方剂学杂志,1-14[2025-03-20].

[11]李涛,姜洪良,张华清,等.推进药食同源产业健康发展[N].中国食品安全报,2025-03-09(B03).



# 基于模糊评价的智能手机品牌竞争力调研分析

洪巧<sup>1</sup>, 李好奇<sup>2</sup>

1. 重庆交通大学 数学与统计学院, 重庆 400000

2. 长江师范学院 数学与统计学院, 重庆 408100

DOI: 10.61369/ASDS.12171

**摘 要 :** 近年来我国智能手机品牌发展迅速, 市场竞争日趋激烈。首先, 国产品牌如华为、小米、OPPO、vivo等通过不断创新, 在性能、外观等方面满足了消费者多样化的需求。其次, 在价格方面, 国产品牌提供了丰富的产品线, 能够满足不同收入群体的消费需求。为了识别消费者对不同品牌手机的具体评价和诉求, 从而提升整体用户体验, 增强用基于模糊评价的智能手机品牌竞争力调研分析括3个一级指标和15个二级指标, 并运用主成分分析法计算了各指标的权重, 最后应用模糊综合评价方法计算了主要手机品牌的综合竞争力, 计算结果与上一年度国内智能手机市场份额排名大致吻合。

**关 键 词 :** 手机品牌; 因子分析; 主成分分析; 模糊综合评价

## Survey and Analysis of Market Competitiveness of Smart Phone Brands

Hong Qiao<sup>1</sup>, Li Haoqi<sup>2</sup>

1. School of Mathematics and Statistics, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400000

2. School of Mathematics and Statistics, Yangtze Normal University, Chongqing 408100

**Abstract:** In recent years, China's smart phone brands are rapidly developing, and the market competition is becoming increasingly fierce. First of all, domestic brands such as Huawei, Xiaomi, OPPO, vivo, etc. account for the main share of the domestic mobile phone market. Through continuous innovation, these brands have met the diverse needs of consumers in terms of performance and appearance. Secondly, in terms of price, domestic brands provide a rich product line, which can meet the consumption needs of different income groups. In order to identify consumers' specific evaluations and demands for different brand mobile phones, thereby enhancing the overall user experience and increasing user satisfaction, this paper constructs an evaluation system model for smartphone brand competitiveness from the perspective of consumers, including 3 first-level indicators and 15 second-level indicators, and uses the principal component method to calculate the weight of each indicator, and finally uses fuzzy comprehensive evaluation to calculate the comprehensive evaluation value of major mobile phone brand. The calculation results are roughly in line with the ranking of domestic smartphone market shares in the previous year.

**Keywords:** mobile phone brand; factor analysis; principal component analysis; fuzzy comprehensive evaluation

## 引言

随着智能手机的迅猛发展, 手机已成为现代人们日常工作中不可或缺的工具, 尤其是在大学生这一消费群体中。从社交网络、在线学习到信息获取, 手机不仅是沟通工具, 更是生活方式和态度的象征。大学生群体作为一个具有独特消费需求和偏好的年轻消费群体, 他们的手机选择不仅受到品牌影响, 还受到产品性能、设计、生态系统等多维因素的综合作用。通过研究大学生消费者使用手机的满意度, 可以更好地认识他们的需求和心理, 从而帮助手机品牌进行市场细分和目标定位。因此, 探索大学生消费者对手机品牌的满意度, 显得尤为重要。为了深入了解大学生对各大手机品牌的满意度, 本次研究通过线上问卷调查的方式, 向大学生消费者收集关于手机品牌的满意度指标数据, 并采用因子分析法、主成分分析法以及模糊综合评价法等多种统计分析方法, 系统地评估各品牌的竞争力。不仅能够帮助手机品牌了解目标消费者的真实需求和偏好, 还能为相关企业在产品设计、市场定位等等提供依据。从大学生消费者角度出发研究手机品牌竞争力, 具有其独特的优点和价值, 这一研究视角与其他学者研究手机品牌竞争力的角度相比, 具有以下几个优势:

基金项目: 重庆市博士后基金资助项目(010830035)。

作者简介: 洪巧(1999—), 女, 重庆永川人, 硕士, 研究方向: 系统科学;

通讯作者: 李好奇(1980—), 男, 河南漯河人, 博士, 副教授, 研究方向: 纵向数据分析。

（1）针对特定目标群体的深入分析

大学生作为一个特殊的消费群体，具有明确的年龄、消费能力和消费偏好等。往往对时尚、科技、性价比等方面要求较高，且更愿意接受新型的品牌。因此，研究手机品牌在大学生群体中的竞争力，可以为手机厂商提供针对该群体的有针对性的市场营销策略和产品改进建议。相较之下，其他研究缺乏对特定人群的细致分析。

（2）反映真实市场需求

大学生群体往往是手机消费的先行者和引领者。他们对于新科技的接受度比较高，愿意尝试新品牌和新设备。因此，他们的购买决策和使用体验反映了市场的真实需求和趋势。这为手机品牌的产品创新和市场策略调整提供了重要依据。其他学者研究可能更偏向于整体市场数据，而未必能够捕捉到这一细分市场的最新动态。

（3）快速响应变化的市场环境

大学生群体的消费习惯和品牌偏好变化迅速。因此，集中研究该群体手机品牌竞争力，有助于手机制造商快速响应市场需求和趋势变化。而其他研究可能侧重于长期的宏观趋势分析，未必能及时反映市场的动态变化。

一、文献回顾及数据描述

国内外学者对品牌竞争力评价指标进行了广泛的研究，但由于研究视角不同，不同学者的观点各有不同。白玉（2005）认为品牌竞争力评价指标由品牌市场能力、品牌管理能力、品牌关系能力和品牌基础能力构成<sup>[1]</sup>。张放等（2009）认为品牌竞争力评价指标由企业管理创新能力、品牌市场控制力、品牌影响力、品牌获利能力、品牌环境度、品牌认知度构成<sup>[2]</sup>。李文华等（2010）从品牌符号价值、品牌性能价值、品牌形象价值、品牌情感价值来构建品牌竞争力的评价指标<sup>[3]</sup>。马铁男（2013）认为应从品牌显著度、品牌功效、品牌形象、品牌感受、品牌忠诚度、品牌共鸣度六个方面构建品牌竞争力评价指标<sup>[4]</sup>。汪贵林（2016）认为品牌竞争力评价指标应从品牌知名度、品牌联想、品牌美誉及品牌忠诚度四个方面组成<sup>[5]</sup>。舒孝珍（2020）以成都市郫都区中信未来城小区手机用户为调查对象，通过对不同年龄阶段、不同职业以及不同经济收入的手机用户采取分层抽样调查的方法获得统计数据，利用模糊综合评价法对获得的统计数据进行分析整理并得出相关结论<sup>[6]</sup>。Rezaee（2017）基于382样本结构方程分析，研究结果表明品牌个性与自我一致性显著提升顾客忠诚度，中品牌个性效应更强，伊品牌自我一致性更优<sup>[7]</sup>。Lim等人（2020）研究了基于波特的五力框架分析创新对中国智能手机品牌（如华为、小米等）竞争力的影响，评估买方议价、供应商议价、替代品威胁及竞争情况<sup>[8]</sup>。Liu等人（2021）提出了一种整合多源在线信息来分析产品竞争力的方法，可以纠正单一来源的在线评论对产品竞争力的偏差<sup>[9]</sup>。Shrestha等人（2023）以Keller和Aakar的基于客户的品牌资产（CBBE）模型的理论框架为基础，引入了由九个结构组成，分为三个层次：营销计划、品牌资产维度和品牌资产的概念框架<sup>[10]</sup>。

综上所述，尽管国内外学者研究的视角很多，但是从大学生视角研究手机品牌满意度的较少。本文将从大学生消费者角度构建手机品牌竞争力的评价指标体系。

（一）研究对象

本文以重庆某大学本科生、研究生及以上为研究对象（见表1）。发放问卷226份，回收有效问卷226份，问卷有效率为

100%。问卷调查包括两个部分，第一个部分是了解受访者的基本信息，包括性别、年级、使用的手机品牌、手机购买价格；第二部分是从消费者角度了解其对手机品牌的评价，共有15个指标，均采用1-5的五级评分制，被选选项是受访者根据自身情况对相关指标的得分。

表1 研究对象分布情况表（单位：人）

|    | 本科  | 研究生及以上 | 合计  |
|----|-----|--------|-----|
| 男  | 60  | 55     | 115 |
| 女  | 72  | 39     | 111 |
| 合计 | 132 | 94     | 226 |

（二）量表信度分析

信度分析的核心是考察量表的内部一致性，提高研究可靠性。一般而言，Cronbach's Alpha系数大于0.9，认为量表的内部一致性非常高，Cronbach's Alpha系数在0.7和0.9之间，认为量表的内部一致性较好，Cronbach's Alpha系数在0.7以下，认为量表中各题项不一致性程度较高。

表2 信度检验表

| 维度        | 克隆巴赫 Alpha | 项数 |
|-----------|------------|----|
| 用户体验（因子一） | 0.918      | 7  |
| 产品质量（因子二） | 0.877      | 5  |
| 品牌形象（因子三） | 0.842      | 3  |
| 量表整体      | 0.945      | 15 |

在许多情况下，量表由多个子维度构成，每个维度反映了不同的特征，对每个维度进行信度分析可以揭示哪些维度具有良好的测量能力，哪些维度可能存在问题。本文量表由三个维度构成，分别是“用户体验、品牌质量、品牌形象”，分析结果显示（见表2），用户体验维度的Cronbach's Alpha值为0.918，产品质量维度的Cronbach's Alpha值为0.877，产品形象维度的Cronbach's Alpha值为0.842，且量表整体的Cronbach's Alpha值为0.945，表明问卷的内在一致性较好，适合用于后续分析。

二、理论模型构建

（一）因子分析法建立综合评价模型

运用SPSS软件中的因子分析功能，根据问卷调查中受访者对

问卷中15个指标进行满意度打分，其后进行因子分析。以下是因子分析的相关结果。

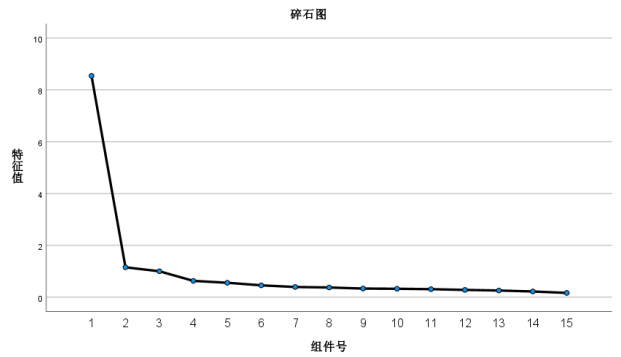
表3 KMO和巴特利特检验

| KMO 和巴特利特检验  |      |          |
|--------------|------|----------|
| KMO 取样适切性量数。 |      | .939     |
| 巴特利特球形度检验    | 近似卡方 | 2364.863 |
|              | 自由度  | 105      |
|              | 显著性  | .000     |

表4 总方差解释

| 成分 | 初始特征值 | 提取载荷平方和 | 旋转载荷平方和 | 总计    | 方差百分比  | 累积 %   | 总计    | 方差百分比  | 累积 %   |
|----|-------|---------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
|    | 总计    | 方差百分比   | 累积 %    |       |        |        |       |        |        |
| 1  | 8.541 | 56.943  | 56.943  | 8.541 | 56.943 | 56.943 | 4.517 | 30.116 | 30.116 |
| 2  | 1.154 | 7.693   | 64.637  | 1.154 | 7.693  | 64.637 | 3.205 | 21.369 | 51.485 |
| 3  | 1.000 | 6.669   | 71.305  | 1.000 | 6.669  | 71.305 | 2.973 | 19.821 | 71.305 |
| 4  | .629  | 4.195   | 75.501  |       |        |        |       |        |        |
| 5  | .557  | 3.712   | 79.212  |       |        |        |       |        |        |
| 6  | .458  | 3.052   | 82.265  |       |        |        |       |        |        |
| 7  | .394  | 2.624   | 84.888  |       |        |        |       |        |        |
| 8  | .375  | 2.499   | 87.387  |       |        |        |       |        |        |
| 9  | .333  | 2.222   | 89.609  |       |        |        |       |        |        |
| 10 | .325  | 2.166   | 91.775  |       |        |        |       |        |        |
| 11 | .309  | 2.062   | 93.837  |       |        |        |       |        |        |
| 12 | .281  | 1.876   | 95.713  |       |        |        |       |        |        |
| 13 | .258  | 1.718   | 97.431  |       |        |        |       |        |        |
| 14 | .220  | 1.469   | 98.901  |       |        |        |       |        |        |
| 15 | .165  | 1.099   | 100.00  |       |        |        |       |        |        |

在因子分析中，总方差的解释是一个重要概念，反映了模型对数据的拟合程度以及提取的因子所代表的信息量，因子分析通过线性组合的方式将原始变量映射到公因子上，使得公因子的数量大大减少，在减少维度的同时保留数据的大部分信息。根据表4所示，在本次因子分析中，提取3个公因子，并且这3个公因子共同解释了累积71.305%。累积的解释程度是评估因子分析结果有效性的重要指标，71.305%的累积方差解释度显示出提取三个因子可以为后续分析提供相当可靠的信息。通常来说，方差解释率越高，说明因子模型的拟合效果越好。因此，71.305%的解释率意味着大部分重要的变量因素已经被囊括进了这3个公因子中。



> 图1 碎石图

从图1可以观察到，横轴代表指标数量，纵轴表示特征根值。当我们提取前3个因子时，特征根值较大（均大于等于1）且有变化明显，表明这些因子对解释原有变量的贡献较大。而随着因子提取数量超过3个，特征根值逐渐减小，变化也逐渐减弱，表明这

从表3可以看出，KMO值等于0.939，说明本文的15个指标适合进行因子分析；巴特利特球形检验的p值等于0.000，小于0.05，说明在95%的置信水平下拒绝原假设，相关系数不可能是单位阵，原始变量之间有较强的相关性，即本问卷调查的相关数据适合进行因子分析，且可采用主成分分析法算其因子的权重。

些因子对原有变量的贡献相对较小。因此，可以得出结论：提取前三个因子可以代表所有原始变量绝大部分信息。

表5 旋转前后的因子载荷阵

| 旋转后的成分矩阵 <sup>a</sup>            |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 二级指标                             | 成分    |       |       |
|                                  | 1     | 2     | 3     |
| 系统流畅度                            | .699* | .410  | .159  |
| 处理器性能                            | .518  | .627* | .117  |
| 用户界面友好性                          | .781* | .380  | .109  |
| 客户服务（如售后服务的相应速度和质量）              | .664* | .294  | .343  |
| 应用生态（如常用应用的兼容性）                  | .715* | .297  | .281  |
| 与其他设备（如平板、电脑、手表等）的连接             | .747* | .044  | .446  |
| 性价比（产品价格与功能、性能的比较）               | .743* | .321  | .206  |
| 特定功能与价格的匹配度                      | .654* | .157  | .483  |
| 品牌知名度（如对品牌的认知程度）                 | .487  | .245  | .684* |
| 摄像头质量（如像素和拍摄效果）                  | .305  | .640* | .403  |
| 电池续航能力                           | .318  | .787* | .207  |
| 存储容量及扩展性                         | .076  | .618* | .569  |
| 显示屏（如分辨率和色彩）                     | .301  | .758* | .271  |
| 品牌信任度（如在市场中的声誉和口碑）               | .261  | .236  | .803* |
| 广告与宣传的有效性                        | .255  | .307  | .732* |
| *表示相关程度                          |       |       |       |
| 提取方法：主成分分析法。                     |       |       |       |
| 旋转方法：凯撒-梅宁-穆尔最大方差法。 <sup>a</sup> |       |       |       |
| a. 旋转在 13 次迭代后已收敛。               |       |       |       |

由表5可知，因子1与X<sub>1</sub>系统流畅度、X<sub>3</sub>用户界面友好性、X<sub>4</sub>客户服务、X<sub>5</sub>应用生态、X<sub>6</sub>与其他设备的连接、X<sub>7</sub>性价比、X<sub>8</sub>特定功能与价格的匹配度的相关程度最高；因子2与X<sub>2</sub>处理器性能、X<sub>10</sub>摄像头质量、X<sub>11</sub>电池续航能力、X<sub>12</sub>存储容量及扩展性、

$X_{13}$ 显示屏的相关程度最高；因子3与 $X_9$ 品牌知名度、 $X_{14}$ 品牌信任度、 $X_{15}$ 广告与宣传的有效性的相关程度最高。因子1、因子2与因子3命名如下表：

表6 因子命名

|         | 因子命名 | 变量                                | 因子权重    |
|---------|------|-----------------------------------|---------|
| 手机品牌竞争力 | 用户体验 | $X_1、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8、X_9$ | 30.116% |
|         | 产量质量 | $X_2、X_{10}、X_{11}、X_{12}、X_{13}$ | 21.369% |
|         | 品牌形象 | $X_9、X_{14}、X_{15}$               | 19.821% |

(二) 计算指标权重

使用主成分分析来降维，提出三个主成分，并计算样本在主成分上的得分（见表7），利用主成分得分进行回归分析，从中得到模型系数（见表8），这些系数反映了每个主成分在预测目标变量中的贡献，将得到的系数（权重）进行归一化处理，使得所有

权重之和为1（见表9），从而便于比较不同指标之间的重要性。

步骤如下：

1. 计算主成分得分（ $z_{ij}$ ）

$a_{ij}$ ：成分矩阵， $\lambda_j$ ：公因子对应的特征值

$$z_{ij} = \frac{a_{ij}}{\lambda_j} \quad (i=1, 2, \dots, 15; j=1, 2, 3)$$

2. 计算模型系数

$f_i$ ：第*i*个主成分的方差贡献率

$F_k$ ：前*k*个主成分的累积贡献率

$$l_i = \frac{\sum z_{ij} * f_j}{F_3}$$

3. 权重归一化（ $w_i$ ）

$$w_i = \frac{l_i}{\sum l_i}$$

表7 计算主成分得分

| $X_1$   | $X_2$    | $X_3$    | $X_4$    | $X_5$    | $X_6$    | $X_7$    | $X_8$   |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 0.2644  | 0.2547   | 0.2688   | 0.2667   | 0.2683   | 0.2579   | 0.2663   | 0.2636  |
| -0.2215 | -0.0129  | -0.3124  | -0.1745  | -0.2339  | -0.3058  | -0.2739  | -0.1740 |
| -0.1712 | -0.3467  | -0.1888  | 0.0434   | -0.0051  | 0.2867   | -0.0768  | 0.2393  |
| $X_9$   | $X_{10}$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{15}$ |         |
| 0.2764  | 0.2577   | 0.2537   | 0.2298   | 0.2556   | 0.2429   | 0.2422   |         |
| 0.0666  | 0.2587   | 0.2368   | 0.4757   | 0.2619   | 0.2671   | 0.2748   |         |
| 0.3296  | -0.1415  | -0.3860  | -0.0016  | -0.3186  | 0.4265   | 0.3262   |         |

表8 计算模型系数

| $X_1$  | $X_2$    | $X_3$    | $X_4$    | $X_5$    | $X_6$    | $X_7$    | $X_8$  |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 0.1712 | 0.1696   | 0.1633   | 0.1982   | 0.1886   | 0.1997   | 0.1759   | 0.2141 |
| $X_9$  | $X_{10}$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{15}$ |        |
| 0.2587 | 0.2205   | 0.1921   | 0.2347   | 0.2026   | 0.2627   | 0.2536   |        |

表9 权重归一化

| $X_1$  | $X_2$    | $X_3$    | $X_4$    | $X_5$    | $X_6$    | $X_7$    | $X_8$  |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 0.0551 | 0.0546   | 0.0526   | 0.0638   | 0.0607   | 0.0643   | 0.0566   | 0.0689 |
| $X_9$  | $X_{10}$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{15}$ |        |
| 0.0833 | 0.0710   | 0.0618   | 0.0756   | 0.0652   | 0.0846   | 0.0817   |        |

(三) 模糊综合评价法

第一步：确定因素集I和评语集E

因素集I是指标的集合。本文中因素集 $I=\{X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8、X_9、X_{10}、X_{11}、X_{12}、X_{13}、X_{14}、X_{15}\}$

评语集E是评价等级的集合。本文中评语集 $E=\{\text{非常满意、比较满意、一般、不太满意、不满意}\}$

第二步：构造隶属度矩阵R

隶属度是模糊综合评价中最基本和最重要的概念。隶属度是指多个评价主体对某个评价对象在某个评价指标做出某种评定的

可能性大小。

第三步：确定因素集的权重向量 $W_i$ ，评语集的权重向量 $W_E$

$W_i=(0.0551, 0.0546, 0.0526, 0.06383, 0.0607, 0.0643, 0.0566, 0.0689, 0.0833, 0.0710, 0.0618, 0.0756, 0.0652, 0.0846, 0.0817)$

$W'_E=(100, 80, 60, 40, 20)$

$W_E=(0.3333, 0.2667, 0.2, 0.1333, 0.0667)$

第四步：计算综合评定向量（综合隶属的向量） $S=W_iR$

表10 各品牌手机综合隶属向量

| 手机品牌 | 综合隶属度向量S  |           |           |           |           |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 荣耀   | 0.08582   | 0.070162  | 0.26756   | 0.3688    | 0.207658  |
| 小米   | 0.017935  | 0.093935  | 0.300413  | 0.388171  | 0.199546  |
| 苹果   | 0.0656336 | 0.0746111 | 0.2582345 | 0.3595183 | 0.1603344 |
| 华为   | 0.0437768 | 0.135114  | 0.196201  | 0.391912  | 0.231911  |
| OPPO | 0.032048  | 0.110469  | 0.313877  | 0.415458  | 0.128148  |
| vivo | 0         | 0.04633   | 0.24498   | 0.490695  | 0.217996  |

第五步：计算综合评定值（综合得分） $\mu$

双权法： $\mu=W_E S^T$  总分法： $\mu'=W_E S^T$



表11 各手机品牌综合得分

|                | 荣耀       | 小米       | 苹果       | 华为       | OPPO     | vivo     |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 双权法综合得分 $\mu$  | 0.236154 | 0.243831 | 0.215287 | 0.241987 | 0.233146 | 0.258691 |
| 总分法综合得分 $\mu'$ | 70.85    | 73.15    | 64.59    | 72.60    | 69.94    | 77.61    |
| 排名             | 4        | 2        | 6        | 3        | 5        | 1        |

本研究旨在从大学生消费者的角度，评估在使用荣耀、小米、苹果、华为、OPPO、vivo等手机品牌时的满意度，用模糊综合评价法算出该六大手机品牌的综合得分，从表11不难看出，荣耀综合得分为70.85，小米综合得分为73.15，苹果综合得分为64.59，华为综合得分为72.60，OPPO综合得分为69.94，vivo综合得分为77.61，其最终综合得分排名为vivo、小米、华为、荣耀、OPPO、苹果，并与2024年第三季度的实际排名大致吻合，这些数据反映了不同品牌在大学生消费者中的认可度和竞争力，并说明了从大学生消费者角度建立衡量手机品牌竞争力大小是非常可行的。

从得分结果来看（表11），vivo以77.61分毫无悬念位居第一，显示出其在大学生消费群体中获得了良好的认可。这主要归因于vivo在摄像头性能、用户体验和相对合理的价格定位上有所突出，其年轻化的市场策略与大学生的消费心理相得益彰。用户普遍喜欢它在拍照效果、时尚设计与性价比上的优势。紧随其后的是小米（73.15分）和华为（72.60分），这两者同样在技术创新和性价比上得到了大学生群体的认同。小米尤其因其较高的性价比和丰富的生态系统而受到喜爱，使用者较为注重价格和功能的平衡。华为作为技术驱动的品牌，吸引了许多追求高性能与耐用性的消费者，并其品牌忠诚度较强。OPPO和荣耀的得分相对较接近，其中OPPO得分为69.94分，荣耀得分则为70.85分。这显示出OPPO虽然在综合评分上存在一定劣势，但相较于华为和小米，OPPO在大学生消费者中仍旧拥有一定的市场份额，可能是由于特定用户群体的忠实支持。最后，苹果品牌得到的64.59分显示出它在大学生市场上的相对不足。尽管苹果在品牌形象与用户体验上有着无可挑剔的优势，但高昂的价格和对性价比的追求，使得其在大学生群体中的竞争力相对较低。

根据国际数据公司（IDC）发布的2024年第三季度手机销量数据，vivo、苹果、华为、小米、荣耀和OPPO的排名依次为：vivo第一、苹果第二、华为第三、小米第四、荣耀第五、OPPO第六。vivo在大学生群体中评分居高，且在整体销量上仍然能稳居第一，说明其在广泛消费者中的影响力较强。与此同时，此数据与本研究的满意度评分之间存在一定的不一致性。例如，尽管苹果的满意度评分在大学生群体中较低，但由于品牌溢价与强大的市场营销，仍成功跻身销量的前列。这一现象反映出品牌在大学生群体中的认知与实际销量之间存在差异，表明大学生的消费决策不仅受到产品本身的影响，还与品牌的市场定位、授权渠道及市场宣传策略有密切关系。

三、结语

通过本次研究，可以明确以大学生消费者为切入点进行手机

品牌的竞争力分析是有一定实际意义的，大学生群体由于其特殊的经济背景、消费意愿以及科技接受度，使得他们的满意度研究能够反映出市场上许多潜在的趋势和变化。此外，大学生作为未来潜力巨大的消费主力，其偏好和需求的变化对手机厂商的产品设计与市场开发有着直接的影响。然而，研究的局限性在于样本的选择与地域的限制，未来可考虑增加调查样本的多样性，确保覆盖更多地区的大学生群体，以更加全面地理解其消费行为和满意度。此外，也可通过深度访谈等方法获取更为细致的消费者信心和期望，进一步完善研究。最后，随着技术的发展与市场的演变，手机品牌的竞争格局将不断变化。厂商们需要在产品质量、创新设计和消费者体验之间寻找平衡，以适应不同消费者群体的需求。与此同时，要密切关注市场反馈，并根据大学生消费者的满意度数据即时调整营销策略。

综上所述，本研究通过模糊综合评价法对手机品牌竞争力进行了系统分析，发现大学生群体的满意度与品牌表现之间存在着复杂而多变的关系。尽管销量仍然受到品牌效应等因素的影响，大学生的满意度数据可以为品牌的市场策略提供有价值的建议。在快速变化的市场环境中，手机厂商需不断适应消费者需求，以提升在大学生消费者群体中的认可度和市场份额。

参考文献

[1]白玉, 乔鹏涛. 基于层次分析法的品牌竞争力综合评价研究 [J]. 科技进步与对策, 2005, (12): 140-142.

[2]张放, 陈实, 赵春艳. 基于因子分析法的品牌竞争力评价指标体系研究 [J]. 湖北社会科学, 2009, (09): 87-90.

[3]李文华, 杨全良, 贺立龙, 等. 品牌竞争力评价指标体系的构建 [J]. 统计与决策, 2010, (19): 77-78.

[4]马轶男. 品牌竞争力的评价指标体系的构建 [J]. 经济问题探索, 2013, (03): 153-157.

[5]汪贵林. 基于顾客品牌权益的智能手机品牌竞争力评价研究 [D]. 新疆财经大学, 2016.

[6]舒孝珍. 基于模糊综合评价法的智能手机竞争力分析 [J]. 太原学院学报 (自然科学版), 2020, 38 (03): 14-18.

[7]Rezaee Kelidbari H R, Taleghani M T, Alavi Foumani S F. A Comparative Study of Self-congruity and Brand Personality on Customer Loyalty (Case study: Comparing Iranian Mobile Phone Brands and Chinese Mobile Phone Brands) [J]. Journal of Business Management, 2017, 9(2): 317-336.

[8]Lim K G J, Teo P C, Yang L Z. The Impact of Innovation on Competitiveness in Smartphone Industry in China[C]. //8th International Conference of Entrepreneurship and Business Management Untar (ICEBM 2019). Atlantis Press, 2020: 174-176.

[9]Liu Z, Qin C X, Zhang Y J. Mining product competitiveness by fusing multisource online information [J]. Decision Support Systems, 2021, 143: 113477.

[10]Shrestha R, Kadel R, Mishra B K. A two-phase confirmatory factor analysis and structural equation modelling for customer-based brand equity framework in the smartphone industry [J]. Decision Analytics Journal, 2023, 8: 100306.

# 近三十年国内数学史与数学教育研究发展与启示 ——基于 CiteSpace 的知识图谱分析

于涛<sup>1</sup>, 陈维彪<sup>2</sup>

1. 东莞市东莞中学, 广东 东莞 523005

2. 东莞市大岭山中学, 广东 东莞 523820

DOI:10.61369/ASDS.12172

**摘 要 :** 文章选取近三十年有关数学史与数学教育的学术期刊文献 401 篇, 应用 CiteSpace 软件绘制知识图谱, 分析国内数学史与数学教育的研究发展与启示。研究表明国内数学史与数学教育的研究主要包括教育功能、教学应用、教材编写、素养提升。在此基础上, 从构建研究合作体、形成案例资源库、培养教师队伍、开展融合研究四个方面提出建议。

**关 键 词 :** 数学史; 数学教育; 知识图谱; 研究综述

## Developments and Implications of Research on the History and Education of Mathematics in China Over the Past Three Decades ——Knowledge Graph Analysis Based on CiteSpace

Yu Tao<sup>1</sup>, Chen Weibiao<sup>2</sup>

1. Dongguan High School, DongGuan, GuangDong 523005

2. Dalingshan High School, DongGuan, GuangDong 523820

**Abstract:** The article selects 401 academic journal articles related to the history and education of mathematics from the past thirty years, applies CiteSpace software to draw a knowledge graph, and analyzes the research development and inspiration of the history and education of mathematics in China. The research shows that the study of the history and education of mathematics in China mainly includes educational functions, teaching applications, textbook compilation, and quality improvement. On this basis, suggestions are proposed from four aspects: constructing a research collaboration, forming a case resource library, cultivating a team of teachers, and conducting integrated research.

**Keywords:** mathematics history; mathematics education; knowledge graph; research review

## 引言

进入 21 世纪以来, 运用数学史进行数学教育的理论与实践蓬勃发展, 其过程正如李文林先生所说: 从“为数学而历史”, “为历史而历史”, 进一步“为教育而历史”<sup>[1]</sup>。随着 2005 年第一次全国数学史与数学教育会议的举办, 有关数学史教育价值的研究以及运用数学史的案例开发在国内逐渐开展起来。为整体把握有关数学史与数学教育的研究发展, 本研究应用知识图谱分析方法, 对中国知网数据库中近三十年来国内数学史与数学教育文献进行研究, 以期今后的研究提供思路和借鉴。

## 一、数据来源与研究方法

### (一) 数据来源

研究以中国知网数据库为数据来源, 在高级检索文献中以“数学史与数学教育或 HPM”为主题进行检索, 将发表时间设定为 1994 年—2023 年, 共检索到 5034 条中文文献, 其中学术期刊

2004 篇、学位论文 1573 篇、会议 250 场、报纸 3 份、图书 1 本、成果 4 项。为使研究数据更为精确, 将学科设定为数学、中等教育, 得到 823 篇学术期刊文献, 再手动剔除数学史研究、高等教育、职业教育、会议等, 最终得到 401 篇样本文献为研究对象。

### (二) 研究方法

研究方法采用文献计量分析方法, 定量的文献数据分析能够

项目/基金信息: 广东省基础教育学科教研基地项目, 广东省于涛名教师工作室, 东莞市教育科研规划课题“数学史融入高中数学概念教学的研究”(编号: 2017GH188)研究成果。

作者简介:

于涛(1982—), 男, 天津东丽人, 高中数学高级教师, 广东省名教师工作室主持人, 研究方向: 数学教育;

陈维彪(1986—), 男, 安徽阜阳人, 高中数学一级教师, 研究方向: 数学教育。

较为客观地反映某一研究领域的基本情况和 trends。研究采用 CiteSpace 6.2.R2 版本，将 401 条文献信息以 Refworks 格式导出后，运用 CiteSpace 软件进行数据转换，从发文作者、研究机构、研究关键词、研究热点等角度绘制知识图谱，总结研究特点，提出研究建议。

二、研究结果与分析

(一) 发文量分析

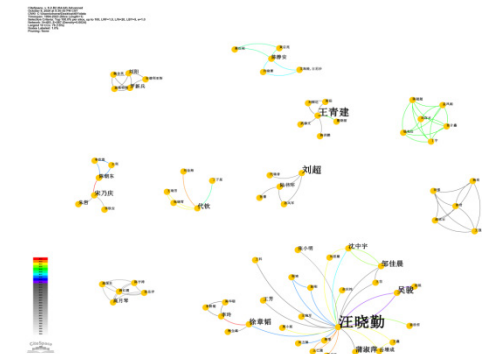
某一领域文献的发表量在年度上的增减变化可以在一定程度上反映研究者对该领域的关注度，由图1统计图可以看出，从1994年到2023年，年平均发文13.8篇；发文量最少的是1998年，该年度没有相关主题文章发表；发文量最多的是2013年，该年度共发文27篇。从1994年到2000年，发文量的变化较为平缓；从2002年到2013年发文量持续增长，直到2013年，学者对数学史与数学教育的研究热度达到顶峰，此后研究热度整体呈下降趋势，但总体而言学者对数学史的研究话题热度仍在继续。从2005年到2021年，发文量维持高位震荡，是学者对数学史与数学教育的研究热度的高原期。



> 图1 发文量分布图

(二) 作者合作网络及研究机构分析

通过对研究文献的核心作者以及作者之间的合作关系进行分析，可以得到该研究领域的代表性研究力量和研究团队。在 CiteSpace 软件中，将 Top N% 参数设置为 100%，得到节点数为 493，连线数为 287，网络密度 Density=0.0024 较稀疏的作者共现知识图谱（如图2）。汪晓勤、蒲淑萍、吴骏等 28 位学者形成了一个最大的三级合作关系网，但主要都指向汪晓勤，内部合作网络较稀疏。汪晓勤与 22 位作者有直接的合作关系，沈中宇、邹佳晨、徐章韬、李玲分别与 3 位作者有合作关系，其他学者之间的合作关系不明显，多层次、多联系的研究共同体有待进一步发展。



> 图2 作者共现知识图谱

根据 CiteSpace 后台数据显示，研究机构大致分为三类：第一类是高等院校，第二类是出版社（集团），第三类是教研部门和中小学；统计分析得到 58 个研究机构及其对应的发文量，其中发文量不低于 3 篇的只有 18 个研究机构，发文量前 9 名的研究机构如表 1 所示。由表 1 可知数学史与数学教育发文量最多的是华东师范大学的 35 篇，其次是西南大学的 9 篇，再次是吉林师范大学的 7 篇。显然，数学史与数学教育的研究机构以高等院校为主，他们将中小学数学教师研究力量聚集起来，形成一定的凝聚力，推动了研究的进一步发展和突破。

表1 研究机构发文量前9名

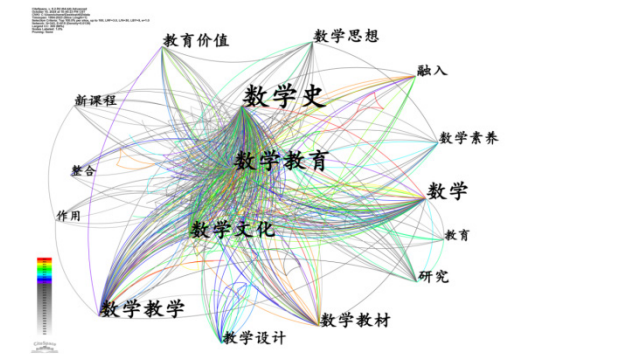
| 序号 | 研究机构    | 发文量 |
|----|---------|-----|
| 1  | 华东师范大学  | 35  |
| 2  | 西南大学    | 9   |
| 3  | 吉林师范大学  | 7   |
| 4  | 华中师范大学  | 6   |
| 5  | 浙江师范大学  | 6   |
| 6  | 内蒙古师范大学 | 4   |
| 7  | 辽宁师范大学  | 4   |
| 8  | 西北大学    | 4   |
| 9  | 石河子大学   | 4   |

(三) 研究热点与前沿分析

关键词、高频关键词，以及关键词共现、突现和聚类分析的可视化分析，对探寻研究热点和研究发展变化具有重要意义。

1. 关键词共现分析

关键词是文章的核心内容和作者的学术思想与研究问题的高度概括与提炼，能够反映研究的关键问题和核心主题。在 CiteSpace 软件中，将 Top N% 参数设置为 100%，将相似的关键词进行合并，例如中学数学、初中数学合并到数学，教学合并到数学教学，教科书合并到数学教材等，得到节点数为 343，连线数为 815，网络密度为 Density=0.0139 的关键词共现知识图谱（如图3）。



> 图3 关键词共现知识图谱

由图3中文字大小可以看出数学史、数学教育等关键词的词频最高。为了更准确地对关键词进行分析，导出 CiteSpace 关键词共现数据，包括关键词的频数、中心性、首次出现的年份、统计频数前 10 名的关键词如表 2 所示。



表2 关键词频数、中心性、首次出现年份统计

| 序号 | 关键词  | 频数  | 中心性  | 年份   |
|----|------|-----|------|------|
| 1  | 数学史  | 237 | 1.08 | 1994 |
| 2  | 数学教育 | 106 | 0.32 | 1994 |
| 3  | 数学教学 | 62  | 0.08 | 1999 |
| 4  | 数学   | 47  | 0.13 | 2000 |
| 5  | 数学文化 | 43  | 0.21 | 1999 |
| 6  | 数学教材 | 18  | 0.02 | 2002 |
| 7  | 数学思想 | 14  | 0.02 | 2000 |
| 8  | 教育价值 | 13  | 0.01 | 2005 |
| 9  | 教学设计 | 10  | 0.1  | 2010 |
| 10 | 数学素养 | 10  | 0.02 | 2007 |

高频关键词可以体现研究者重点关注的对象，即研究领域的热点问题，中心性代表影响其他关键词共现的能力。由表2可知频数最高前5个关键词是数学史、数学教育、数学教学、数学、数学文化，中心性最大前5个关键词是数学史、数学教育、数学文化、数学、教学设计。由此可知，学者对数学史与数学教育的研究，以数学史的教育价值为主要内容，以数学史的文化传承为主要目标，以数学史的教学应用为主要路径。

## 2. 突现词分析

突现词是指在较短时间内使用或出现频次较高的词。与研究热点不同，研究前沿通常表现为一组突现的动态概念和潜在的研究问题，突现词的时间分布和动态变化性的特点，能较好地反映知识域内的研究前沿和发展趋势。结合数学史与数学教育研究实际需要，经过不断调整并按突现词开始时间排序，得到突现频次前15的突现词图谱（如图4）。

Top 15 Keywords with the Strongest Citation Bursts



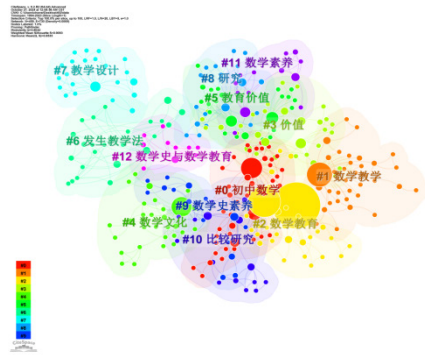
> 图4 突现词知识图谱

从突现词突现时间排序来看，数学史与数学教育成为了2003年和2017年两轮课程改革的研究热点，“作用”“新课程”“数学观”“素质教育”等突现词成为上一轮课程改革的研究热点，持续到约2009年；“数学教材”“教学设计”“数学素养”“渗透”“数学文化”“数学课堂”“融入”等突现词成为新一轮课程改革的研究热点，其中“融入”一词一直持续到2023年。从突现词强度来看，“数学教材”“作用”“教学设计”“数学文化”“新课程”是强度最大的5个突现词，与两轮课改出现的时间具有一致性。这说明课程改革对推动数学史融入数学教学发挥了极大的作用，使得融入数学史的教学观念逐步深入人心，形成了丰富的成果。

## 3. 关键词聚类分析

关键词共现知识图谱反映了网络中节点的相似性，有助于识别和探测研究领域内的热点。在关键词共现知识图谱的基础上，

在CiteSpace快捷菜单中选择对数似然率算法LLR，后再选择“K”，对关键词进行自动聚类得到节点数为459，连线数为730，网络密度为Density=0.0069，Q=0.8042，S=0.9093的关键词聚类知识图谱（如图5）。



> 图5 关键词聚类知识图谱

由图5可知，对关键词聚类后得到13个聚类标签：#0初中数学、#1数学教学、#2数学教育、#3价值、#4数学文化、#5教育价值、#6发生教学法、#7教学设计、#8研究、#9数学史素养、#10比较研究、#11数学素养、#12数学史与数学教育。聚类模块值 (Modularity, 简称 Q 值) 和平均轮廓值 (Silhouette, 简称 S 值) 两个指标，可以作为评判图谱绘制效果的依据。一般而言，Q 值一般在区间 [0,1] 内，Q>0.3 就意味着划分出来的社团结构是显著的，结果显著；当 S 值在 0.7 以上时，聚类是高效率令人信服的。聚类模块值 Q=0.8042 远大于 0.3，平均轮廓值 S=0.9093 远大于 0.7，说明聚类结果的社团结构是显著的且是高效率令人信服的。

## 三、研究热点领域分析

结合前述关键词聚类分析，对检索文献进行深入研究，得到四个热点领域。一是结合 #2 数学教育、#3 价值、#4 数学文化、#5 教育价值、#8 研究、#12 数学史与数学教育归纳得到的“教育功能”的研究；二是结合 #0 初中数学、#1 数学教学、#6 发生教学法、#7 教学设计归纳得到的“教学应用”的研究；三是结合 #10 比较研究归纳得到的“教材编写”的研究；四是结合 #9 数学史素养、#11 数学素养归纳得到的“素养提升”的研究。

### （一）教育功能的研究

数学史教育功能的研究分为两个方面的研究。第一个方面的研究集中在数学内部。朱立明、马云鹏认为数学史有助于学生经历数学知识的形成过程，感悟数学思想的本质意蕴，提升数学技能的操作水平，发展数学思维的多元形式<sup>[2]</sup>。这一方面的研究强调通过对数学史料进行挖掘剖析，将知识发生发展过程中所蕴涵的数学思想、语言、方法、观点等融入数学教育，发挥数学史学科属性育人功能。第二个方面的研究强调数学的外部联系。汪晓勤提出数学史具有知识之谱、探究之乐、方法之美、能力之助、文化之魅、德育之效等教育价值<sup>[3]</sup>。这一方面的研究聚焦数学知识发生发展的过程与人类观念、自然、社会等方面的相互关联，超越数学学科的单一属性，将数学与人类文明的不断发展融为一



体, 突显数学史文化属性的育人功能。随着新时代“立德树人”教育目标的提出, 数学史的育人价值被赋予了新的内涵, 在利用数学史发展学生数学观、方法观和文化观的同时, 更要注重通过这一过程塑造学生的高尚品格, 发展德育观念, 实现文化浸润的育人效果。

## （二）教学应用的研究

教学应用的研究包括宏观、中观、微观三个层面的研究。宏观层面指向教学模式研究。朱凤琴, 徐伯华概述了双循环的诠释学模式、资源联络融入模式、历史—心理的认识论模式、逻辑—历史—认知三面向的融入模式、“为何—如何”组合模式<sup>[4]</sup>等五种融入数学史的教学模式。教学模式的研究给应用数学史提供了理论支撑。中观层面指向教学策略研究。张楠、罗增儒提出融入数学史的四个原则: 科学性、实用性、趣味性、广泛性<sup>[5]</sup>。汪晓勤提出融入数学史的四种方式: 复制式、附加式、重构式、顺应式<sup>[6]</sup>。朱立明、马云鹏构建了“以从数学史料到数学课程资源的形态转化为前提, 以数学知识与数学史内容的主辅适切原则, 以依据内容与目标选择合理的融入模式为关键”的教学策略<sup>[2]</sup>。教学策略的研究给应用数学史提供了实践指导。微观层面指向教学案例研究。汪晓勤组建团队开发数十个 HPM 课例, 出版多本 HPM 相关著作, 推动了国内数学史与数学教育的发展, 为一线教师提供了教学参考。随着“教学评一体化”的提出与实践, 与应用数学史的课堂教学有关的评价工具有待探讨, 以更好地推动数学史融入数学教学。

## （三）教材编写的研究

教材编写的研究主要涉及两个主题。一是数学史融入教材的方式。蒲淑萍、汪晓勤提出教材中呈现数学史料的方式: 点缀式、附加式、复制式、顺应式、重构式。其中前三者是显性融合, 后两者是隐性融合<sup>[7]</sup>。王嵘将数学史显性融入教科书的方法概括为四种方式: 片段式、旁注式、问题式、短文式<sup>[8]</sup>。章飞、胡晋宾、顾继玲在此基础上提出六种深度融合数学史的方式: 古题今解、古法今释、古法今探、古法今用、古史今编、古史重构<sup>[9]</sup>。数学史融入教材的方式显性融合多, 隐性融合少, 在数学史专栏多以阅读材料的方式呈现。二是数学史融入教材的比较研究。教材比较的研究内容包括数学史总体数量、栏目分布、内容类别、知识领域、运用方式、信息载体、多元文化等方面<sup>[10]</sup>。教材比较的研究对象包括同一出版社多版教材、不同出版社教材、不同区域教材等。教材比较研究为教材编写提出了增加数学史数量、提高数学史质量、提升史料运用水平、发扬民族特色、展现多元文化等建议。除此以外, 数学史课外读物的研究值得关注。

## （四）素养提升的研究

素养提升的研究包括学生和教师两类主体。对学生而言, 数学素养包含知识概念、基本技能、数学思想、数学方法、思维、数学态度等方面内容<sup>[11]</sup>, 李玥认为数学史融入教学对培养学生理性的、批判的、求真求实的和追求自由的科学精神大有用处。刘俊先认为在教学中渗透数学史知识, 符合弗赖登塔尔的再创造的理论, 有利于发展学生的创造能力<sup>[12]</sup>。对教师而言, 数学素养包含了学科素养和教学素养, 潘丽云认为可以以数学史的学习为抓手,

在理论和实践两个层面提升教师的数学素养<sup>[13]</sup>。李国强、徐丽华根据 SOLO 理论把数学教师的数学史素养划分为 5 个水平, 为数学教师数学史素养的提升提供了一个发展规划或努力方向<sup>[14]</sup>。数学史作为连接学生与数学、教师与教学的桥梁, 对二者数学素养的提升具有不可替代的作用。融入数学史的教学突出知识生成的过程, 是学生批判性思维能力、创新能力等数学素养发展的重要路径。提高教师应用数学史的水平, 才能更好地促进学生数学思维的发展, 有关教师数学史与数学教育的培训有待进一步加强。

# 四、研究结论与启示

## （一）研究结论

通过对发文量、作者合作网络及研究机构、关键词共现网络、突变词和关键词聚类进行分析, 全面回顾和审视近 30 年国内数学史与教学教育研究成果, 得到以下结论:

第一, 2003 年和 2017 年两轮课程改革对推动数学史与数学教育的发展发挥了积极作用, 受新一轮课程改革更强调单元整体教学的影响, 有关数学史与数学教育的研究热度呈下降趋势, 融入数学史的单元教学值得深入探讨。

第二, 国内研究以高等院校为主要研究基地, 以华东师范大学汪晓勤为主要研究代表, 各研究基地、代表性研究学者之间的合作不多。虽然在高校教师、研究生等作者的引领下, 研究成果不断增多, 但是区域发展不均衡, 需要进一步加强跨区域的联合研究与推广。

第三, 国内数学史与教学教育的研究经历了从数学史教育价值的探讨, 到 HPM 理论的发展与完善, 再到理论指导实践的融合发展等阶段。研究的主要问题包括数学史的教育功能、数学史的教学应用、融入数学史的教材编写、学生与教师素养提升等。

## （二）研究启示

### 1. 协同推进, 构建跨区域的 HPM 研究合作体

数学史与数学教育研究机构和作者具有多点集中分布的特点。一是要发挥华东师范大学、西南大学、吉林师范大学、华中师范大学等东部、西部、北部、中部等区域高校的带头作用, 加强跨区域合作, 构建跨区域研究合作体, 由点到面推动国内数学史与数学教育的全域发展。二是要加强高校、教研机构与中小学之间的合作, 形成三位一体、优势互补的教研共同体, 发挥高校教师的理论优势, 以及中小学教师的实践优势, 加强理论与实践研究的互补, 形成“理论+实践+推广”的发展新局面。

### 2. 系统研发, 形成全覆盖的 HPM 案例资源库

数学史与数学教育的教学模式、教学策略等理论层面的研究已日趋完善, 可借鉴的 HPM 教学案例逐渐丰富, 但仍然存在系统性不足的问题。因此, 配套数学教材的数学史素材有待系统开发, 建议研究合作体能开展联合研发, 不断拓宽数学史料的覆盖面。在此基础上, 建议教研共同体通过线上、线下等多种教研方式, 不断完善 HPM 案例的开发, 在实践中进行修改与完善, 逐步形成系统的、全覆盖的 HPM 案例资源库, 为跨区域的资源引进到

区域改进奠定基础,形成“外引内生”的发展新态势。

### 3. 研训并举,培养高水平的 HPM 教师队伍

数学史素养和应用数学史的教学能力是数学史融入数学课堂教学的前提,也是发挥数学史教育功能的关键。建议高等院校师范专业将数学史与数学教育课程纳入师范生培养的必修课,纳入数学相关专业的选修课,为准备从事数学教育的师范生打好教育教学基础。建议教研机构与高校紧密合作,开展数学史与数学教育的理论与实践的系统培训,更新教师育人观念,提高教师育人能力;开展融入数学史的教研活动,营造数学史融入数学教学的区域教研氛围,切实激发教师发展的新动力。

### 4. 紧跟时代,开展多因素的 HPM 融合研究

随着新一轮课程改革单元整体教学理念的走深走实,数学史与数学教育的发展也需要与时俱进。HPM 与单元教学的融合发展不失为一个新的研究方向。文<sup>[15]</sup>探讨了“以数学文化为主题的单元教学组织策略”,呈现了基于数学史的圆锥曲线单元整体教学设计框架,为探索 HPM 与单元教学提供了可参考的案例。将 HPM 与单元教学的理念进行融合,需要综合考虑“数学史”“教材逻辑”“学生认知”等多因素,使得教学能兼顾知识的生成性与统整性,更好地促进学生发展。

## 参考文献

- [1] 冯振举,杨宝珊.发掘数学史教育功能,促进数学教育发展——第一届全国数学史与数学教育会议综述[J].自然辩证法通讯,2005(4):108-109.
- [2] 朱立明,马云鹏.核心素养视角下数学史教育的价值与策略[J].中小学教材教学,2016(11):55-58.
- [3] 岳增成,汪晓勤.国际数学史与数学教育(HPM)发展历程及启示[J].上海教育科研,2022(4):84-92.
- [4] 朱凤琴,徐伯华.数学史融入数学教学模式的国际研究与启示[J].数学教育学报,2010,19(3):22-25.
- [5] 张楠,罗增儒.对数学史与数学教育的思考[J].数学教育学报,2006,15(3):73-75.
- [6] 汪晓勤.HPM的若干研究与展望[J].中学数学月刊,2012(2):1-5.
- [7] 蒲淑萍,汪晓勤.数学史怎样融入数学教材:以中、法初中数学教材为例[J].课程·教材·教法,2012,32(8):63-68.
- [8] 王嵘.数学文化融入中学教科书的内容与方法[J].数学教育学报,2022(1):19-23.
- [9] 章飞,胡晋宾,顾继玲.数学史融入数学教材的方式探析[J].数学通报,2023,62(10):19-23,46.
- [10] 李立斌,王洁,朱家生.澳大利亚 Haese 版 IBDP 和中国人教 A 版高中数学教材中数学史的比较研究[J].数学教育学报,2025,34(1):13-19.
- [11] 李玥.关于数学素养教学的几点思考[J].科技视界,2014,(35):153.
- [12] 刘俊先.论数学史对提高数学素养的重要作用[J].教育与职业,2009,(24):175-176.
- [13] 潘丽云.数学史视野下小学教师数学素养提升的实践研究[J].课程·教材·教法,2020,40(06):96-101.
- [14] 李国强,徐丽华.基于 SOLO 分类理论的数学教师数学史素养水平划分[J].数学教育学报,2012,21(1):34-37.
- [15] 于涛.以大观念为中心的数学单元教学策略[J].中学教研(数学),2024(1):1-5.

# 新工科背景下大数据实验教学的改革探索 ——爪哇部落大数据实验室建设

刘宇熹, 黄承慧, 钟雪灵

广东金融学院, 广东 广州 510521

DOI:10.61369/ASDS.12173

**摘 要 :** 针对高校培养出的学生与金融业界的需求往往存在较大的脱节, 提出建设爪哇部落大数据实验室, 具体介绍该实验室围绕大学生软件开发和创新能力培养的理念和方法, 结合计算机、大数据和金融学多门学科的特点, 阐述如何基于能力、实验内容、实验项目构建实验教学体系激发大学生兴趣与潜能, 锻炼创新能力和动手能力, 提高计算机应用能力、解决问题能力。

**关 键 词 :** 数字金融; 大数据技术; 数据挖掘; 实验教学体系

## Exploration on the Reform of Big Data Experimental Teaching under the Background of New Engineering

### —Construction of Java Tribal Big Data Lab

Liu Yuxi, Huang Chenghui, Zhong Xueling

Guangdong University of Finance, Guangzhou, Guangdong 510521

**Abstract:** In view of the large disconnect between the students cultivated by colleges and universities and the needs of the financial industry, this paper proposes the construction of Zhaawan Tribe Big Data Laboratory, introduces in detail the concepts and methods of the laboratory centering on the software development and innovation ability training of college students, and combines the characteristics of computer, big data and finance disciplines. This paper expounds how to build an experimental teaching system based on ability, experiment content and experiment project to stimulate the interest and potential of college students, exercise innovation ability and practical ability, improve computer application ability and problem solving ability.

**Keywords:** digital finance; big data technology; data mining; experimental teaching system

## 引言

广东金融学院互联网金融与信息工程学院前身为银行管理系, 成立于1985年。学院目前拥有计算机科学与技术、信息管理与信息系统、互联网金融、软件工程、数据科学与大数据技术、电子商务六个本科专业, 学院各专业的培养理念一直以计算机软件理论与实践为根基, 在此基础上培养具有金融特色的金融IT应用型本科人才。计算机软件教学的中心任务是在实践中加强学生的软件理论素养, 并在实践中提升软件的开发技能。爪哇部落是由互联网金融与信息工程学院各专业教师组织, 由学生自发参与的一个软件开发与创新团体, 该团体强调软件开发实践, 从实践中学习。经过多年的发展, 爪哇部落已成为我校大学生创新实践活动的成功典范, 在互联网金融与信息工程学院的实验教学、创新实践以及全国各级软件设计大赛中成果显著, 培养并锻炼出一大批优秀的软件开发人才。

## 一、爪哇部落简介及机构设置

2011年6月, 爪哇部落由广东金融学院2009级计科系的几位充满热血的师兄师姐创立诞生, 组建以Java学习和应用开发为核

心的课外团队“Java部落”, 从大一新生开始就引导同学们学习Java技术, 培养良好的学习氛围。经过多年的发展爪哇部落立志于向广金学子提供一个立足信息技术、深耕数字金融的学习交流平台, 不论专业, 不论年级, 只要是对信息技术、数字金融有兴

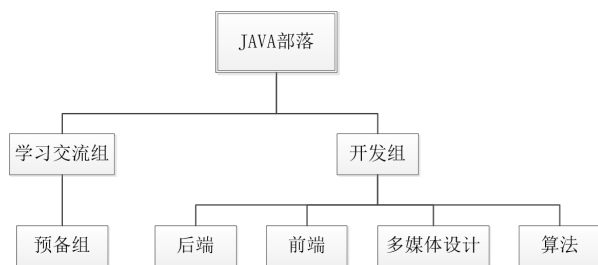
基金项目: 2022年广东省科技厅海外名师项目-新兴交叉学科的信息技术研究学术交流(粤科智字[2022]232号)。

作者简介: 刘宇熹(1971.10-), 男, 海南临高人, 博士, 副教授, 电子商务系主任, 研究方向: 金融科技、人工智能创新管理、企业数字化转型、商业模式创新。

E-mail: wnzliuyx@gduf.edu.cn。

趣的同学都可以加入团队学习。

爪哇部落现今设有两个兴趣学习小组：学习交流组、开发组。学习交流组是一个不设门槛的平台，凡是对信息技术、大数据技术、数字金融感兴趣的同学都可以加入这个兴趣小组与师兄师姐进行学习交流。开发组负责对外承接项目，分为前端设计、后端开发、多媒体设计、算法设计与编程四个小组。其中前端设计组专注于利用计算机进行前端设计，如利用 PS，AI 等媒体设计软件进行图片、动画和视频等媒体的设计，是对有一定美工基础及对美工方面感兴趣的同学开放的平台；后端开发组则对热衷于计算机编程并具有一定的编程基础的同学开放，是一个可以有效提高专业水平的平台；多媒体设计组负责多媒体广告设计、剪辑，完成动态效果设计和动画元素制作；算法设计与编程组负责自然语言处理，分析挖掘用户行为数据，模型的开发、评估和部署，通过海量数据挖掘、机器学习等方法构建用户画像、个性化推荐、预测、风险控制。加入开发组的同学可以参与团队的核心项目开发。开发组内各小组之间相辅相成，协力合作，致力为爪哇部落创造更辉煌的明天，爪哇部落机构设置见图 1。



> 图 1 爪哇部落机构设置图

## 二、目的和意义

爪哇部落大数据实验室建设的主要目的是改造现有计算机硬件实验室的设备环境和条件，在确保计算机硬件实验教学可以正常开设的前提下，把行业数据与大数据技术结合在一起，进行大数据技能培养和项目开发，这是对高校实验教学的创新，也是挑战。该项目的实施不仅能够充分利用学校现有的实验教学资源，同时也为营造一个更好的学习与实践氛围，吸引大批致力于软件开发事业的本科生从事或参与软件开发或创新实践具有重要的意义。

## 三、存在问题和解决思路

大数据技术涉及数学、计算机、统计、网络等技术，大数据技术具有综合性、有较强实践和跨领域的特点。缺乏实验的手段，行业数据与大数据各项技术整合度不够，实际应用不够紧密，缺少有关大数据案例数据，是制约大数据专业领域实验教学和实训水平提高的重要原因<sup>[1-2]</sup>。

### （一）存在问题

#### 1. 实训资源稀缺的问题

大数据是新兴学科，行业知识和实践性很强，传统的教学资

料，教材、课件、习题是远远不够的。大数据的项目数据、项目案例和实训，是满足大数据教学和实训的必要手段。

#### 2. 项目开发平台搭建困难

专业学习和项目开发应该满足和匹配大数据业界的基础要求，例如企业界多用 spark 平台和 scala 语言进行大数据分析，实验室现有与大数据技术课程相关的软件工具，需教师或学生自行去找免费版或破解版使用，功能不够齐全，很难满足实验教学需求<sup>[3-4]</sup>。

#### 3. 学生难以适应社会需要

只学习理论知识，缺少大数据实战训练的学生，知其然不知其所以然，很难达到社会对大数据人才技能的要求。影响学生的就业率和学校的声誉。

#### 4. 科研成果转化困难

科研应是教学的深入，目前高校科研成果，理论性丰富，缺乏实用性，真正的企业项目案例少之又少，难以转化为行业应用。

### （二）解决思路

为了解决高校大数据知识和技能培养痛点问题，学校可以依托社会的力量通过社会化运营在爪哇部落大数据实验室实验设备、实验手段、行业案例和应用等方面进行合作。

1. 将爪哇部落大数据实验室建成一体化大数据实验、实训和项目开发实验室，夯实大数据知识和技能提升的硬件基础。

2. 快速培养数字金融技术人才，提高学生计算机应用能力、解决问题能力以及创新创业能力。

3. 设置科学的、适合学校的数字金融课程实验和实训体系，以及配套相应的课程教材、实验教学资源和实训案例资源，学习和掌握数字金融的知识和技能。

4. 通过实验室的实验和实训，掌握项目实战的手段和方法，建立学校的数字金融项目实战体系和科研体系，培养实战型的数字金融人才。

## 四、建设方案

利用实验室的资源，搭建教学、实验和项目实战系统平台，数字金融分析实战与实训和教学融为一体，从易到难，循序渐进，融入商贸、金融、通讯、制造等行业大数据需求项目，提升数字金融教学和实训的创新能力，逐步提升科研的技战术水平。

大数据技术是数字金融的关键技术基础，大数据技术是从数据采集、抽取、清洗、预处理、存储，到数据分析/挖掘和可视化的过程，各个过程串起来是一个整体链条，通过整个链条节点技能整体培训，掌握大数据各个环节的知识和技能，学生通过实验和实训学到的知识都会达到新的高度<sup>[5-6]</sup>。

（一）建设一个先进的、满足实验教学与实训的数字金融实验平台，创造一流的实验教学和实训的环境；

（二）通过实验室平台的先进技术和真实的大数据项目的训练，夯实学生大数据技能。加强拔尖人才的选拔培养，基于能力、实验内容、实验项目构建实验教学体系；



(三) 与有关企业合作, 通过对社会大数据的收集和科研项目开发, 充实学校的大数据和案例资源库, 为大数据技能教学奠定基础;

(四) 建立完整的大数据技能培养设施和体系。从设备和设施, 人才的培养, 以及技能项目的整体解决方案等, 建立起完整的体系。精心挑选大数据课程与教学资源、实战案例、实验和实战平台, 满足实际项目的实验教学、实训和开发;

(五) 利用实际大数据项目案例, 把案例融入教学中, 培养和实训出符合社会需要的实用大数据技能人才;

(六) 培养和实训出符合社会需要的大数据技能人才:

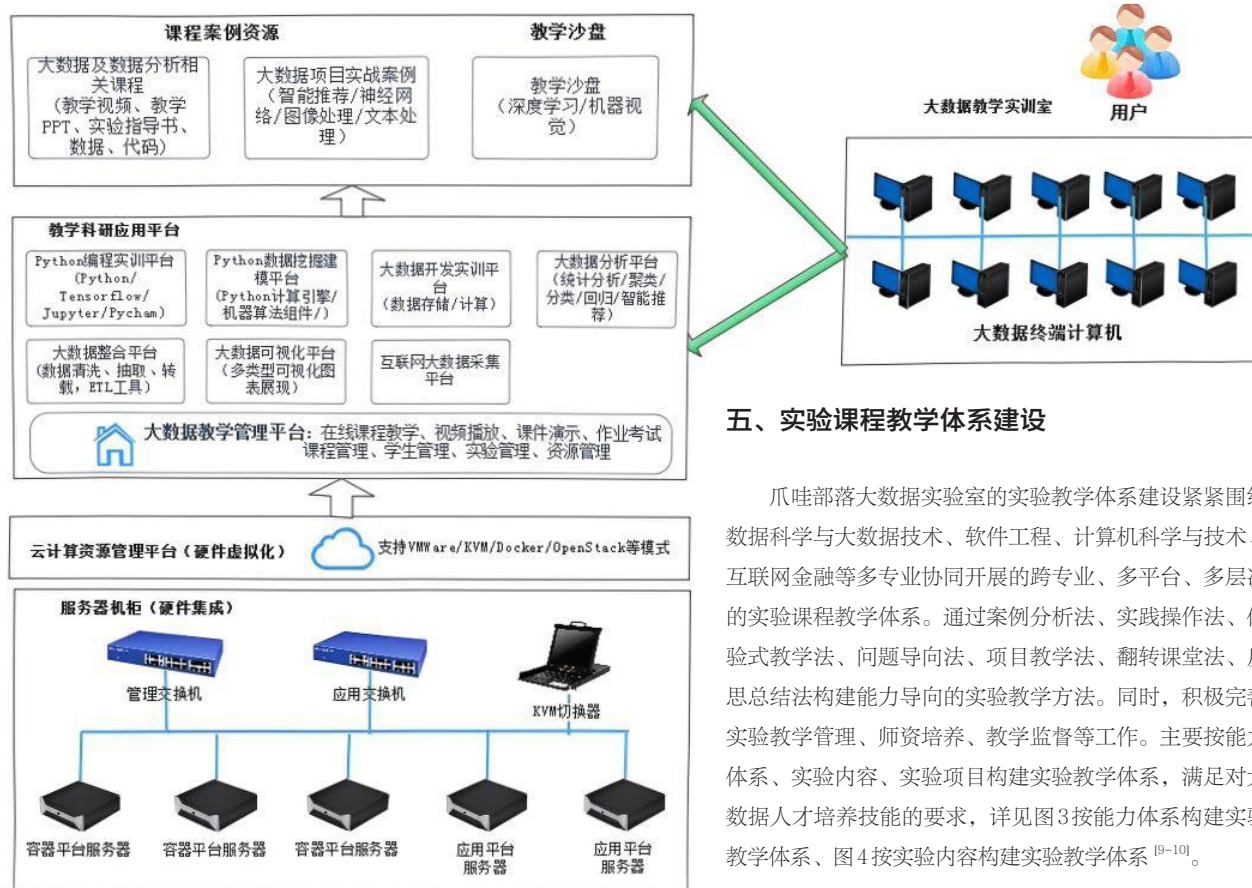
1. 掌握爬虫和编程技术, 改进和提升爬虫效率与策略优化, 对网页采集、分析, 以及能够做采集设计方案的大数据采集爬虫工程师;

2. 掌握分析大数据, 挖掘企业数据特征及潜在的关联, 为企业运营提供参考依据的、具有行业大数据的整理、统计、建模与分析能力的大数据分析工程师;

3. 掌握大数据基础架构平台运维、能够保障大数据平台服务的稳定性和可用性的大数据分析运维工程师;

4. 熟悉企业运营流程的大数据分析, 如企业商务数据等方面分析, 根据大数据分析结果, 能反馈跟踪动态, 帮助企业、单位调整和优化战略发展计划的, 熟悉业务流程, 通过项目执行, 找出核心问题, 并提出关键举措, 推动运营指标及业务能力的提升<sup>[7-8]</sup>。

爪哇部落大数据实验室解决方案包含设备硬件、软件平台、课程案例资源三个部分, 整体构架图如图2。



> 图2. 爪哇部落大数据实验室拓补结构图

## 五、实验课程教学体系建设

爪哇部落大数据实验室的实验教学体系建设紧紧围绕数据科学与大数据技术、软件工程、计算机科学与技术、互联网金融等多专业协同开展的跨专业、多平台、多层次的实验课程教学体系。通过案例分析法、实践操作法、体验式教学法、问题导向法、项目教学法、翻转课堂法、反思总结法构建能力导向的实验教学方法。同时, 积极完善实验教学管理、师资培养、教学监督等工作。主要按能力体系、实验内容、实验项目构建实验教学体系, 满足对大数据人才培养技能的要求, 详见图3按能力体系构建实验教学体系、图4按实验内容构建实验教学体系<sup>[9-10]</sup>。

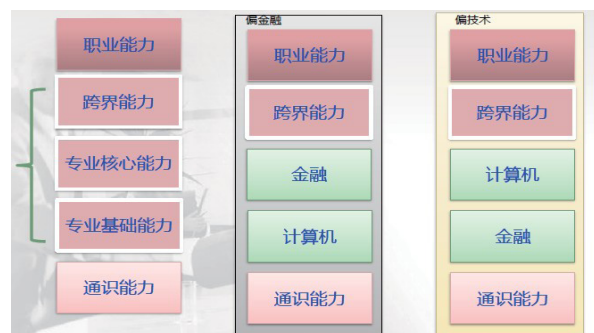


图3 按能力体系构建实验教学体系



> 图4 按实验内容构建实验教学体系

爪哇部落大数据实验室已初步构建功能相互融合、逐层递进的三个实验课程教学体系,即验证性实验、设计性实验及综合性实验等,同时实验室也为师生提供其他类型的实验项目,主要包括项目类实验、研究性实验和服务类实验。

### (一) 验证性实验

主要包括课程内实验。此类实验目标主要是让学生验证相关理论与方法,学习一些实际操作技能,同时通过联系各种具体的实际问题进行实用或实战性训练,达到巩固所学基础理论,掌握基本操作技能和方法,培养观察、分析、解决个性问题能力的目的。验证性实验是其他类实验的基础,课程实验与独立实验均包含了基本的验证性实验<sup>[11-12]</sup>。

### (二) 设计性实验

设计性实验一般是由任课教师给出题目,由学生运用已掌握的基本知识、基本原理和实验技能,提出实验的具体方案、拟定实验步骤、选定实验设备及环境、独立完成操作、编程、记录实验数据、绘制图表、分析实验结果等。设计性实验有利于培养学生根据既定的目标,独立分析问题并解决问题的能力。要求每一门课程的实验或独立实验,均要包含一定规模的设计性实验。

### (三) 综合性实验

综合性实验是实验内容涉及本课程的综合知识或与本课程相关课程知识的实验,是学生在具有一定知识和技能的基础上,运用某一门课程或多门课程的知识、技能和方法进行综合训练的一种复合型实验。综合性实验主要包括课程综合实验、专业综合实验、跨专业综合实验和跨学科综合实验。主要结合数据科学与大数据技术、软件工程、IT项目研发及电子商务平台等业务中出现的某些现实问题进行,目的是培养学生理论联系实际、准确选择研究方法及工具分析、解决系列问题的综合能力和求真务实的工作作风,以提高学生综合知识应用能力和进行科学研究的专业素质。综合性实验有利于培养学生在实践中利用所学的专业知识,独立分析问题并解决问题的能力。主要包括以下几方面实验。

#### 1. 项目类实验

主要面向师生团体合作研发一个完整项目时,提供实验实践的工作平台,具体可包括大学生创业项目、教师承接的软件研发项目等。

#### 2. 研究性实验

为师生的教研及科研活动提供实验资源支持;协助搭建各种类型的软件研发及数据分析环境,并提供相应的技术支持。

#### 3. 服务类实验

本实验室将收集、整理和管理各类行业数据,搭建各类软件研发和运行环境;为全校学生毕业论文、老师教研,提供数据查询、提取、计算及分析服务。具体包括提供金融数据分析、数据采集与预处理、机器学习、智能投顾、商务智能与大数据金融、电商数据化运营等方面课程教学的实验和实训环境;为相关专业的专业实习和毕业论文等提供金融数据及分析支持服务,并装配和提供各种层次的数据挖掘和数据分析环境,如各类分析工具、仿真软件及开发平台等。

## 六、思考和建议

依托爪哇部落大数据实验室建设已实现理论、实验、课外三大课堂整合;实现校内实验教学平台与校外实践基地无缝对接;实现多种教学方法相融合;实现基于能力、实验内容、实验项目构建实验教学体系;培养了大学生软件开发和创新能力、锻炼了动手能力,提高了计算机应用能力、解决问题能力。

未来爪哇部落大数据实验室将立足第一课堂和第二课堂构建实验课程体系。

第一课堂:(1)设置“专业工具类实验课”。强化对专业数据工具软件的应用,培养学生数据思维能力,低代码编写能力、数据分析能力。(2)设置“虚拟仿真类实验课程”。通过虚拟仿真软件学习,使得学生熟悉金融企业业务场景,培养学生发现问题的能力,应用专业知识解决复杂问题的实践能力和创新能力。

第二课堂:面向“学科竞赛类”。通过参加学科竞赛,使得学生尽早了解学科前沿,产业发展,培养学生创新能力和探索精神。

## 参考文献

- [1] 惠蓉.实践教学在应用型本科人才培养中的重要意义——评《Python数据分析与挖掘实战(第2版)》[J].中国教育学刊,2023(11).
- [2] 王志军;宋令阳;段晓辉;周小计;杨延军;毛新宇.新工科理念驱动下电子系统类实验课程群改革建设[J].实验室研究与探索,2023(08).
- [3] 唐林轩;魏克湘;徐运保;胡慧.地方工科院校实践教学改革的方法与路径[J].中国高等教育,2023(22).
- [4] 刘振海;祖强;张长森;董云芝.地方本科高校实践教学体系改革的研究[J].实验室研究与探索,2023(06).
- [5] 高守锋;尚妍;金鑫;李占龙;李缘地;仇天阳.阶梯式项目驱动的工程实践教学改革与探讨[J].实验室研究与探索,2023(05).
- [6] 孙开伟;邓欣;王进.新工科背景下数据科学与大数据技术专业实践教学体系研究[J].高教学刊,2023(14).
- [7] 刘志刚;田枫;王梅;孙浩.工程认证与产教融合双驱动的新工科人才培养探索[J].实验室研究与探索,2022(10).
- [8] 高波;霍凯;陈羽;陈亚琼;陈宇飞;张少康.新工科背景下提升学生创新实践能力的探究[J].实验室研究与探索,2022(06).
- [9] 陈劲新;张德成.新工科背景下计算机实践教学模型的构建与应用[J].实验室研究与探索,2022(01).
- [10] 肖红艳;周建飞;颜俊;肖凯.高校院级实验平台建设探索与实践[J].实验室科学,2022(05).
- [11] 刘洁怡;周佳社;王新怀;徐茵;许辉;吴洁.人工智能开放式实验室建设与管理探索[J].实验室研究与探索,2022(03).
- [12] 胡国强;杨彦荣.智慧教育背景下高校智慧实验室的构建与研究[J].实验技术与管理,2021(03).

# 产教融合视角下《企业经营统计学》 实践教学改革路径研究

赵岩斌

上海第二工业大学, 上海 201209

DOI:10.61369/ASDS.12174

**摘要：** 在人工智能与大数据技术深度融入企业管理实践的时代背景下，企业对统计分析人才提出了更高的能力要求。《企业经营统计学》作为连接统计理论与企业实际应用的核心课程，亟需在课程内容、教学方法与实践体系等方面进行系统化改革。本文立足人工智能赋能下的企业经营新需求，分析当前课程中存在的实践教学薄弱、内容脱节、案例陈旧与产教协同不足等问题，提出以“数据驱动、智能导向、校企共育”为核心理念的教学改革路径。通过引入 AI 工具与真实企业案例，构建项目式教学与多维度评价体系，重塑课程知识结构与能力导向，力求提升学生在实际情境中运用统计方法进行分析与决策的综合能力。本研究对统计类课程的内容现代化、教学实践化和协同育人机制的构建具有积极推动作用，可为同类课程改革提供参考。

**关键词：** 企业经营统计学；人工智能；课程改革；产教融合；实践教学；数据驱动

## Research on Practical Teaching Reform Pathways in "Enterprise Management Statistics" from the Perspective of Industry-Education Integration

Zhao Yanbin

Shanghai Polytechnic School, Shanghai 201209

**Abstract:** In the era of artificial intelligence (AI) and big data, enterprises are increasingly reliant on data-driven analysis and intelligent decision-making in their business operations. As a core interdisciplinary course that bridges statistical theory and business application, Business Statistics for Enterprise Management faces new challenges and opportunities in content development, teaching methods, and practical training. This study examines key issues in the current curriculum, including weak practical components, outdated content, obsolete case studies, and insufficient industry-academic collaboration. In response, a reform framework is proposed based on the principles of data-driven learning, AI integration, and industry-academia co-education. By incorporating intelligent tools and real-world enterprise cases, and by building project-based teaching models and multi-dimensional evaluation systems, the course aims to reshape its knowledge structure and enhance students' ability to apply statistical thinking in real business scenarios. This research contributes to the modernization of statistical education and provides practical insights for similar course reforms in the context of emerging technologies.

**Keywords:** business statistics; artificial intelligence; curriculum reform; industry-academia integration; practical teaching; data-driven learning

## 引言

随着人工智能、大数据分析和智能决策系统的快速发展，企业经营活动呈现出“数据密集化、智能化、实时化”的新特征，对高校人才培养提出更高要求<sup>[1-6]</sup>。学生不仅需具备扎实的统计理论基础，还应掌握结合智能技术解决实际问题的能力。《企业经营统计学》作为统计与企业实践交叉课程<sup>[7]</sup>，面临内容设置、教学模式和实践环节的全面改革需求，以适应企业数字化、智能化管理的新趋势<sup>[8]</sup>。同时，国家倡导的“产教融合、协同育人”为课程改革提供了支持<sup>[9-11]</sup>。

尽管《企业经营统计学》已有多年历史，但受限于传统教学模式和资源环境，其在人工智能时代的适应性仍显不足。首先，实践教学薄弱，缺乏真实业务场景训练；其次，教学内容更新滞后，未引入 Python 建模、机器学习等智能工具；再次，教学案例陈旧，缺乏行业代表性；最后，产教融合机制不健全，校企协同资源匮乏。这些问题成为课程改革的瓶颈。

作者简介：赵岩斌，博士研究生，研究方向：大数据建模。



本研究从产教融合视角出发，探索《企业经营统计学》课程在内容与实践教学层面的更新路径，构建“真实数据驱动、能力导向推进、校企协同共育”的教学改革方案，重点解决智能化课程更新、企业数据引入、实践教学转型和完善产教融合机制四大核心问题，推动课程从“知识传授”向“能力培养”的转型，为 AI 时代统计类课程教学提供新范式。

## 一、重构实践教学体系，开辟“真实数据驱动 + 项目任务引领”培养路径

传统《企业经营统计学》课程的实践环节多依赖陈旧教材和习题，常用固定数据和情境作为样例，存在数据环境静态、问题设置抽象、操作流程机械等问题，未能有效锻炼学生解决真实企业问题的能力。同时，人工智能时代的到来促使企业更注重复合型人才，除了单一领域的深度要求，企业更期望具备建模能力和数据敏感度的综合能力。在此背景下，课程改革应针对企业需求调整，重构实践教学体系，推出“真实数据驱动 + 项目任务引领”的学生能力培养路径。

首先，建设基于真实企业数据的案例化实践平台。通过与多家企业达成合作，引入包括销售记录、客户反馈、运营指标等在内的真实业务数据，在脱敏与合规基础上设计具备现实复杂性的分析任务，鼓励、引导学生在不确定性或多变量干扰条件下进行探索性分析与模型构建。例如，结合某电商企业的季度销售数据，设计“区域销售预测与库存优化”项目，从数据清洗、变量分析、建模选择到结果可视化与业务解释，每个环节都要求学生亲自完成，这不仅能使对他们已有的理论知识储备做进一步巩固，更帮助他们在实践层面对整套企业数据分析流程积累经验、深化理解。

其次，实施阶段式分层渐进实践教学。为不同学习阶段设置针对性任务项目：初级阶段，聚焦于对学生基础技能的训练，如 Python 语法、数据可视化、描述性统计等；中级阶段，在教学内容及课堂讨论中引入具体企业业务问题，培养学生在回归分析、聚类分析、因果推断等方面的建模水平；高级阶段，分配学生参与到不同综合实践项目中，如搭建企业经营监控仪表盘、构建预测模型、撰写数据分析报告等，锻炼学生的数据驱动思维与跨学科整合能力，同时也是通过项目的最终完成情况来考察学生对本课程的全局掌握水平。

再次，强化实践教学中的兴趣激发、过程激励与成果反馈机制。通过设置“任务看板”“项目路演”“里程碑记录”“模型评比”等环节，将分析任务趣味化、时事化，提升学生参与热情，寓教于乐，增强责任感与风险意识。将任务分解为具体阶段，设立多维奖项体系，对优秀小组进行公开表彰，增强成就感与持续投入动力。同时，鼓励各小组对实践过程中的阶段性成果如选题报告、建模代码、讨论记录、成果展示等进行系统存档，既凝聚团队情感，也形成项目实践的良性循环，助力后续教学任务顺利推进。

此外，依托互联网建设开放共享的实训资源库，分别为师生提供查询接口，涵盖典型行业数据集、建模模板、代码框架及任务指南等高频使用资源，显著降低备课与实践门槛，提升教学

与学习效率，增强课程的可复制性与可持续性。资源库建设坚持“真实数据驱动 + 项目任务引领”路径，按企业级标准筛选入库内容，突出数据的时效性、真实性与复杂性，并以项目为组织单元，所有资源均关联具体项目，支持超链接跳转至项目详情页面，实现资源与项目的有效联通与动态管理。

## 二、推动产教融合机制创新，构建校企协同育人新模式

在 AI 与大数据等前沿技术不断融合企业生产管理的新形势下，高校课程需打破传统封闭式育人模式，强化与企业的合作联动，借助实践数据与真实环境支撑，构建“高校—企业”协同共育的产教融合新机制。《企业经营统计学》作为一门理论与实践并重、聚焦高新技术应用的课程，应率先探索育人模式变革，围绕“校企协同育人”核心目标，通过内容重构、制度优化、资源整合及新型合作机制，推进覆盖教师、学生与企业三方的全流程深化改革。

首先，推动合作企业深度参与课程全过程，实施“企业导师 + 高校教师”双导师制度，邀请企业中资深从业者（如数据分析师、AI 工程师等）参与三方面工作：一是担任课程顾问，参与教学设计、案例开发、项目指导与反馈，确保课程贴合行业、兼顾理论与实践；二是定期开设专题讲座，分享职业经验，帮助学生拓展视野、明确方向；三是共建课程，企业提供真实案例与数据，高校负责教学设计，联合开发多层次项目单元，增强学生实践能力与课程现实适配性。该合作机制将有效推动理论与实践融合，助力高校构建高质量应用型课程体系。

其次，构建“课程 + 项目 + 实训”的协同育人链条。在教学过程中设置贯穿全学期的企业实践项目，鼓励学生按需组队，通过分工合作形式共同解决企业实际问题。企业将派出专员作为项目导师，深入课堂与各小组进行绑定，提供阶段性指导，针对项目中的问题给予批评与建议。同时，导师参与每次阶段性成果的评价，项目实践得分综合参考校企双方的意见，确保课程评价体系的公平性与全面性。通过这种方式，学生在项目实践中将理论知识转化为实际操作能力，显著提升学以致用水平。此外，依托企业扶持的实训基地与产业孵化器等平台，开展长短期校外实训。项目主题包括企业调研、风险评估、数据建模、智能分析训练等多个模块，进一步培养学生的实践能力与职业认知。这些实训为学生提供了与实际企业环境接轨的机会，帮助他们为未来进入企业并参与实际项目做好充分准备。

再次，推动教学资源打包整合与成果共享转化机制建设。在产教合作基础上，校企联合开发高质量课程资源包整合平台，该平台以数据资源包形式向师生企业三方提供课程相关知识数据。



在开发过程中，校企双方应确保数据资源包涵盖完整教学周期所需的所有知识单元，如 AI 应用微课、企业案例集、数据工具库、项目任务书等，并保证各单元模块之间有清晰的顺序与关联，同时内容描述准确、条目划分合理。整合后的资源包具有灵活的粒度，既能向上组合，也可向下拆分，便于获取与分享，适合作为知识传输与汇总的首选数据形式。此外，若对数据包内容格式指定标准，后续可允许个人上传符合标准的数据包，形成“官方 + 民间”双渠道更新机制，为平台持续发展注入活力。同时，鼓励学生积极参与学术竞赛、创业孵化、企业实践等综合项目，产出分析报告、算法模型、商业建议书、学术论文等成果，这些都能汇总至教学资源整合平台，成为学生由课上学习向实际应用转化的体现，同时也为平台建设贡献深度和广度。这一系列成果不仅促进学生能力的提升，也为平台的持续优化提供支持。

此外，应积极探索政产学研一体化平台建设。通过依托区域统计学会、行业协会、数据实验室等第三方平台，打破高校、企业与科研机构的合作壁垒，形成多元协同育人网络，提升课程建设的政策支持、资源集聚与社会影响力。

通过构建系统化的产教融合机制，《企业经营统计学》课程将实现从“单向教学”向“双元共育”的转型，为培养兼具统计思维、AI 技能与管理素养的复合型人才提供有力支撑。

### 三、改革课程考核机制，突出能力导向与过程评价

传统的《企业经营统计学》课程考核往往以期末闭卷考试为

主，侧重学生对知识点的记忆与理论理解，忽视了对综合应用能力、实践操作能力及团队协作能力的评价，难以全面反映学生在人工智能时代背景下应具备的多维能力。为适应 AI 时代需求，本课程改革构建“过程导向 + 能力导向”的多元立体考核体系，推动“教—学—评”一致性。考核结构调整为期末考试 30%、项目实践 40%、过程性评价 30%，突出数据分析与商业解读能力。过程性评价涵盖课堂表现、在线任务、工具练习等，并引入“技能闯关”模块。采用 Rubric 量规实现标准化、可量化评价，鼓励自评与互评。设立“企业数据分析展示周”，引入专家反馈机制，推动学生参与竞赛与项目申报。此考核体系有助于真实反映学生综合素养，促进课程教学改革协同发展。

### 四、结束语

在人工智能加速渗透社会经济各领域的今天，企业对统计分析与智能决策能力的需求正日益凸显。《企业经营统计学》课程作为统计理论与企业实践深度融合的重要桥梁，亟需在课程内容、教学方式、资源建设与评价体系等方面进行系统改革，以回应新时代人才培养的新要求。本研究立足于人工智能时代背景，深入分析了当前课程存在的主要问题，围绕“统计 + AI + 管理”融合发展的目标，提出了课程内容优化、教学方式创新、案例资源重构、实践环节重构与考核机制改革等一体化改革路径。

### 参考文献

[1] 陈美香. 数字化背景下应用型本科高校统计学课程教学改革探讨 [J]. 科教导刊, 2024, (16): 81-83.

[2] 张娟娟, 朱芳芳. 人工智能背景下统计学课程教学改革探讨 [J]. 对外经贸, 2022, (10): 150-153.

[3] 朱继绪, 陈晓诗. 人工智能背景下经管类专业统计学课程教学改革 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2020, (12): 169-171.

[4] 张燕. 统计学课程教学改革研究 [J]. 教育现代化, 2020, 7(54): 39-42.

[5] 李正, 马宏伟, 戴青云, 等. 新工科如何赋能现代化产业体系建设 [J]. 高教探索, 2025, (02): 5-16.

[6] 林贵敏, 刘志群, 薛小铃, 等. 高校电子信息类“人工智能 +”应用型人才培养模式探索 [J]. 成才之路, 2025, (08): 5-8.

[7] 南英子. 企业统计学课程教学改革方向探讨 [J]. 教育教学论坛, 2011, (05): 201-202.

[8] 伍超标, 杨维权. 数理统计学及其应用领域——兼谈数理统计方法在企业经营管理中的应用 [J]. 统计与预测, 2000, (S1): 43-49.

[9] 杨蒙, 许小红. 构建基于产业需求的校企合作人才培养新模式 [J]. 教育教学论坛, 2025, (11): 173-176.

[10] 丁建勋, 姜禹, 沈羽. 产学研用协同培养经管类人才模式研究 [J]. 经济研究导刊, 2023, (19): 118-120.

[11] 李青, 牛彦飞, 吴洁. 完善“校企合作、产教融合”经管类人才培养模式之浅见 [J]. 西部学刊, 2022, (21): 95-98.

# 《电路分析基础》课程思政内容设计研究

李凤莲<sup>1</sup>, 史健芳<sup>1</sup>, 张博<sup>1</sup>, 李彦民<sup>1</sup>, 李芸<sup>2</sup>

1. 太原理工大学电子信息工程学院, 山西 太原 030024

2. 太原工业学院电子工程系, 山西 太原 030008

**摘 要：** 作为电子信息类专业的核心必修课程,《电路分析基础》课程知识体系是学生从基础课程向专业课程过渡的重要支撑,如何提高课程教学质量是保障教学效果重中之重。然而,面对新的培养体系及人才需求形式,修订后的教学大纲极大缩减了课程学时,但课程思政内容建设必不可少,如何兼顾理论教学内容及课程思政建设内容,以保障教学质量,是课程急需解决的问题。为此,本文在统计分析近年来有关《电路分析基础》课程思政建设及教学改革相关研究动态基础上,说明了课程思政建设的迫切性,并主要从课程思政内容设计必要性以及课程思政建设实施手段等方面开展研究,着重强调如何采用以“点”到“面”的方式对课程授课内容根据重要度进行不同程度详略处理。

**关 键 词：** 电路分析基础; 课程思政切入点设计; “点”到“面”教学设计理念

## Research on the Ideological and Political Content Design in the "Fundamentals of Circuit Analysis" Course

Li Fenglian<sup>1</sup>, Shi Jianfang<sup>1</sup>, Zhang Bo<sup>1</sup>, Li Yanmin<sup>1</sup>, Li Yun<sup>2</sup>

1. College of Electronic Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024

2. Department of Electronic Engineering, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan, Shanxi 030008

**Abstract:** As a core compulsory course in the field of electronic information, Fundamentals of Circuit Analysis serves as a crucial bridge for students transitioning from foundational to specialized courses. Enhancing teaching quality is paramount to ensuring effective education. However, under the revised syllabus—which significantly reduces class hours to meet new training systems and talent demands—integrating ideological and political education into the curriculum remains essential. Balancing theoretical instruction with ideological and political content to maintain teaching quality has become an urgent challenge. This paper, based on a statistical analysis of recent research trends in ideological-political education and teaching reforms for Fundamentals of Circuit Analysis, highlights the necessity of ideological-political content design and explores implementation methods. It emphasizes a "point-to-surface" approach to prioritize and adjust teaching content based on importance.

**Keywords:** Fundamentals of Circuit Analysis; design of ideological-political entry points; "point-to-surface" teaching design concept

## 引言

《电路分析基础》课程为电子信息类专业必修的一门专业核心基础课程,以培养具有创新精神、实践能力和家国情怀人才为目标,在学生培养环节起着举足轻重的重要作用。通过本课程的学习,对培养学生的科学思维能力,树立理论联系实际的工程观点,获得解决电子信息工程相关领域实际问题思维模式,提高其分析解决问题能力起着重要作用。

教育部于2020年5月印发《高等学校课程思政建设指导纲要》<sup>[1]</sup>,对新时代高校思想政治教育提出了系统性要求。纲要强调要将思想政治教育深度融入人才培养全过程,构建全员全程全方位育人格局,充分发挥各门课程的育人功能,全面提升人才培养质量。在此背景下,《电路分析基础》课程开展思政建设,是贯彻落实纲要精神的重要实践。通过将价值塑造、知识传授和能力培养有机融合,该课程思政建设不仅能够提升电子信息类专业人才的政治素养,更能培养兼具专业技能与家国情怀的社会主义建设者和接班人,为实施

项目/基金信息: 电子信息类专业《电路分析基础》课程思政建设探索与实践(J20230193)。

作者简介:

李凤莲,女,教授,主讲《电路分析基础》课程,研究方向为智能信息处理理论、医疗信号处理、工业数据分析及其应用研究, E-mail: lifenglian@tyut.edu.cn;

史健芳,女,教授,主讲《电路分析基础》课程,研究方向为智能仪器及检测技术、智能信息处理、目标跟踪方向, E-mail: sxtysjshjianfang@163.com;

张博,男,副教授,主要从事FPGA应用设计和嵌入式系统设计的研究, E-mail: zhangbo@tyut.edu.cn;

李彦民,男,高级实验师,主要从事高频电路信号分析、通信嵌入式系统的研究, E-mail: lym\_999@163.com;

李芸,女,讲师,主讲《电路分析基础》课程,研究方向为嵌入式系统、智能配电等的研究, E-mail: l627051839@qq.com

近年来，也有文献针对《电路分析基础》课程教学改革及思政建设方面开展相关研究<sup>[2]</sup>，但数量并不多。本研究基于万方、知网和 Web of Science 三大数据库，对《电路分析基础》及其教学方法在2010–2025年的相关文献进行了统计分析，表1给出了《电路分析基础》及其教学改革方法在2010–2025年的相关文献统计分析结果。根据表1统计数据显示，万方数据库收录的教学改革相关文献总量达68952篇，其中《电路分析基础》研究文献132篇，占比0.191%；该主题下的教学方法研究文献36篇，占教学改革文献总量的0.052%。中国知网收录的教学改革文献319121篇中，《电路分析基础》的研究包括77篇（占比0.024%），其中教学方法研究为73篇（占比0.023%）。Web of Science的数据显示，在5095篇教学改革相关文献中，《电路分析基础》研究仅5篇（占比0.098%），其中教学方法研究2篇，占比仅为0.039%。

当前《电路分析基础》课程的教学改革研究呈现出多元化、信息化与成果导向相结合的发展趋势。在课程改革方面，祝秋香等<sup>[3]</sup>针对传统教学思政元素薄弱的问题，构建了系统化的课程思政案例库和考评体系，将创“芯”人才培养目标与专业特点深度融合，体现了“价值塑造–能力培养–知识传授”三位一体的教学理念。刘钢等<sup>[4]</sup>提出的“闭环开放”特色教学模式，通过线上线下混合式教学、过程性考核等创新设计，有效提升了课程挑战度和学生成绩，为打造“金课”提供了实践范式。与此同时，冯涛等<sup>[5]</sup>开发的智慧化实验教学系统，利用信息化手段重构了实验教学流程，实现了从“教师中心”向“学生中心”的转变，其“三改变、三实现、三加强”特点显著提升了实验教学效率和质量。这些研究共同反映出当前电路分析课程改革正朝着思政育人系统化、教学模式智慧化、实践教学项目化、评价方式过程化的方向发展，但如何实现不同改革路径与电路教学实践的有机整合，仍是未来需要深入探索的方向。

表1 《电路分析基础》及其教学改革方法在2010–2025年占比统计分析结果

|              | 中文文献   |       | 英文文献           |
|--------------|--------|-------|----------------|
|              | 知网     | 万方    | Web of Science |
| 教学改革         | 319121 | 68952 | 5095           |
| 《电路分析基础》     | 77     | 132   | 5              |
| 《电路分析基础》教学方法 | 73     | 36    | 2              |

思政教学方面，本研究基于万方、知网和 Web of Science 三大数据库，对《电路分析基础》思政教学方面在2010–2025年的相关文献进行了统计分析。统计数据显示，万方数据库收录的思政教学相关文献总量达8038篇，其中《电路分析基础》研究文献178篇，占比2.214%。中国知网收录的思政教学文献55204篇中，《电路分析基础》的研究包括92篇（占比0.167%）。Web of Science的数据显示，在6909篇思政教学相关文献中，《电路分析基础》研究仅2篇（占比0.029%）。表2给出了《电路分析基础》思政教学文献在2010–2025年统计分析结果。对比表1及表2结果可知，关于《电路分析基础》思政教学相关文献在近十五年万

方数据库总的思政教学文献中占比相比教学改革方面占比有大幅提升，从0.191%提升至2.214%，在中国知网占比从0.024%提升至0.167%。表明了针对电路思政教学的探讨在各高校已经引起高度重视，并取得了一定的研究效果，随着各部门及一线教师的高度重视，有望进一步提高思政教育文献占比，达到更好的思政教学效果。本文是课程团队多年教学经验凝练形成，希望对电路思政课程建设达到抛砖引玉效果。

表2 《电路分析基础》及其思政教学方法在2010–2025年占比统计分析结果

|          | 中文文献  |      | 英文文献           |
|----------|-------|------|----------------|
|          | 知网    | 万方   | Web of Science |
| 思政教学     | 55204 | 8038 | 6909           |
| 《电路分析基础》 | 92    | 178  | 2              |

近年来，《电路分析基础》课程的思政教学改革成为高等教育研究的热点之一，众多学者围绕思政元素的挖掘、融入路径、教学设计和评价体系等方面展开了深入探索<sup>[6]</sup>。在思政元素挖掘方面，黄瑾瑜等<sup>[7]</sup>强调需结合专业特点，将价值观引领融入知识与技能培养，系统性地提炼思政元素并探索其实施路径。李鹏等<sup>[8]</sup>则针对电子信息等专业，提出需精准提取课程思政元素，并通过合理的教学安排实现“润物细无声”的育人效果。在教学设计与实践方面，李春晓等<sup>[9]</sup>以《电路分析基础》为例，探讨了思政教学的实施路径，分析了实际执行中的问题，为后续改革提供了借鉴。杜丽等<sup>[10]</sup>聚焦实验教学，在实验环节融入责任感、科研严谨性、团队协作等思政内容，验证了思政教育与专业教育“同向同行”的可行性。在教学模式创新上，何志莪等<sup>[11]</sup>提出“三阶+三层+三主线”的混合式教学范式，结合线上线下教学，通过案例式、讨论式、项目式教学增强思政育人效果。

基于2019版培养方案，2022版培养方案中课程学时数被缩减，由56学时降为48学时，其中实验环节学时数为8个学时，理论讲授为40个学时，学分为3。但课程思政内容建设是提高该专业学生思想政治高度、使其具备责任担当能力的重要环节，是教学中必须体现的环节，如何兼顾课程的理论教学及思政建设两方面内容，并努力提高教学质量以获得好的教学效果，是该课程教学中当前面临的主要问题。本文主要从课程思政内容引入的必要性及课程思政建设实施手段等方面进行讨论。

## 一、《电路分析基础》课程思政内容引入必要性

### （一）课程思政内容的巧妙切入可显著提高课程教学效果

通过教学内容与思政教育巧妙融合，有助于提高课程成绩，降低不及格率及低分段人数分布。能成为一名大学生，都具备较好的学习能力，但是不及格率却不能杜绝。主要原因在于不及格的这部分学生多数沉迷于网络或者游戏不能自拔，如果没有合理的思想引导机制激发其学习兴趣，这些学生就会逐渐发展成为专



业的落后分子,甚至最终导致肄业等不良后果。为此,除正常课程思政环节外,课程执行过程中,通过上交作业数量汇总及质量评价,教师可对学生进行大概分类,并在课堂上着重对上交作业数量少且质量较差学生进行随堂提问,课后采用不定期随机谈话等方式随时关注这部分学生动态,使这部分学生意识到自己已经被老师重点关注,因此课程中不再敢随便走神,有助于极大提高教学效果。

## (二) 课程思政内容建设及更新为持续进行课程大纲修订工作提供切入口

课程大纲修订是课程实施中一个必要环节,但如何修订大纲以与时俱进,达到良好人才培养效果,值得思考。本教学团队主要从课程理论教学内容及课程思政内容进行深入讨论。其中课程理论教学内容的设计采用以“点”到“面”的方式进行。对不重要的知识点,主张采用“点到为止”方式设计教学内容;对需要重点掌握的知识点,则采用“面面俱到”方式设计,以理论讲授—典型案例分析—归纳总结几个环节逐步递进方式,环环紧扣,由浅至深方式设计教学过程。

对课程思政内容设计,则巧妙融合课程内容于其中,这是教学中的一个重要的创新性成果,也为后续课程大纲修改进一步提供了突破口。鉴于《电路分析基础》课程极强的工程知识背景,且专业教师也多数出身理工科相关专业,思想政治教育相关理论知识专业功底较薄弱,导致不易找到课程思政教育引入时机,使得教学实践效果并不理想。本文教学团队摸索出一套既能找到课程思政教育切入口的巧妙结合方法,且使得思政教育有助于学生快速掌握课程相关理论知识。

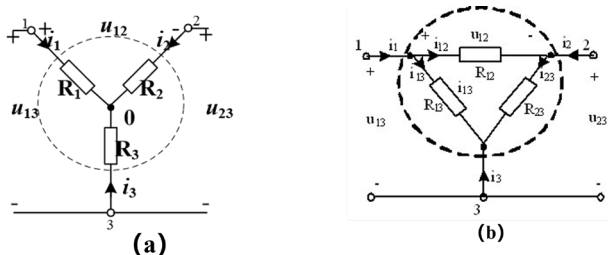


图1 Y形电阻网络和Δ电阻网络等效变换

如星型电阻网络与三角形电阻网络等效变换知识点,两者等效电阻的转换主要依靠三端网络等效变换推导计算得到,但转换公式复杂,学生不易掌握,导致这部分题丢分率较高。教学团队巧妙提出如下思政内容“Δ形电阻网络通过三个电阻元件自身形成一个回路,说明三者齐心协力,将使彼此力量更加壮大,体现了团结就是力量的思想高度;Y形电阻网络则使三个电阻元件彼此分离,仅通过一个公共节点将三者其中一个端钮连接在一起,说明分裂导致力量分散,从而互相削弱”。图1所示为Y形电阻网络和Δ形电阻网络等效变换示意图,其中图(a)为Y形电阻网络,图(b)为Δ形电阻网络。当Δ形电阻网络中三个电阻元件阻值 $R_{12} = R_{13} = R_{23} = 3R$ 时,可得Y形中三个电阻元件阻值 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ 。显然,对阻值相同的三个Δ形电阻网络电阻元件,等效变换为Y形电阻网络后,阻值降为原Δ形电阻网络电阻阻值的三分之一;类似的,阻值相同的Y形电阻网络,等效变换为Δ形电阻网

络后,阻值将扩大至3倍。观察多个电路发现,即使三个电阻元件值不同,但Δ形电阻网络中电阻阻值皆大于转换为Y形电阻网络后对应的电阻阻值。由此鼓励同学们,课后可组成三人学习帮扶小组,通过疑难问题讨论等形式可使大家学习成绩都得到提高。

## 二、课程思政建设实施手段

### (一) 将课程思政建设渗透到课程教学大纲修订工作

课程教学大纲修订是进行课程教学内容设计及课程思政内容建设的重要依据。作为该课程主讲人,课程团队近年来一直积极参与课程大纲修订工作,参与了《电路分析基础》课程2016版、2019版以及2022版的课程大纲修订工作,积累了较丰富的教学大纲修改经验。其中电子信息工程专业2019版培养方案总学分为170,2022版培养方案总学分降为147.5。随着学时减少,如何进行教学大纲修订需要深入思考,课程团队经过多次深入讨论最终形成了较满意的修订稿。尤其对其中思政内容占用的学时数及思政内容设计,着重进行了讨论,对各章节引入哪些思政内容更合理进行了系统的讨论及调研。

### (二) 针对不同教学难度,采用不同教学模式,多维度提升课程教学质量

随着课程学时减少,有些教学内容仅需要“点”到为止,有些重要内容则依然需要“面面俱到”深入讲解。如何把握好“点”和“面”二者关系,使得学生能较轻松接受该课程内容至关重要<sup>[12]</sup>。为此,针对课程难度不同,采用多种不同教学模式,因地制宜授课。对比较简单内容,采用课堂点名提问或者邀请学生到讲台做题等形式让学生自主解答,对较难知识点,则首先安排学生课前预习,课堂上再进行难点讲解,并让学生参与解答等多种方式结合进行。

例如,运算放大器电路分析,教学大纲依然保留了该部分内容,但学时数占比很少。为此,授课时仅点到为止,只需说明节点分析常被用于分析运算放大器电路即可;并以LM324芯片为例说明运算放大器在实际中应用非常广泛,进而以此为切入口,引入芯片制造业为中国目前卡脖子技术的思政课程内容,以激发大家学习电路课程的兴趣。尤其是喜欢打游戏男同学,对所用游戏环境手机配置及电脑配置要求较高,此处可说明芯片在其中的重要用途,以及电路在支撑芯片正常工作中的重要作用。由此启发学生,学习好该课程,不仅有助于将来投身于中国卡脖子技术——芯片制造业的研发工作,也会提高自己的业余生活品味。

### (三) 巧妙进行课程思政内容设计,以提升课程学习效果

该课程内容较多,在学时压缩状况下,如何巧妙融入思政内容一直是较难解决的问题。通过深入思考课程内容,发现很多电路分析方法与正向激励机制密切相关<sup>[13]</sup>。受此启发,课程团队设计了一系列思政内容切入点。既帮助学生理解和掌握了电路分析方法,尤其是较难掌握的知识点,也提高了学生的政治站位高度。

以网孔分析法为例,该部分内容为课程中一个重要的分析方法,是本课程的教学重点和教学难点<sup>[14]</sup>。但是在进行网孔电流方



程列写时,其中相邻两个网孔间互电阻取“+”号或者取“-”号,学生不易掌握。为此,教学团队巧妙引入“二人齐心,其利断金”的思政内容。因为相邻两个网孔电流流过互电阻的方向相同时,则互电阻取“+”号,否则取“-”号。说明只有网孔电流二者齐心协力,才会互相增强该支路电流。由此启发学生,在任何时候应该与同学互相帮助,才能较容易解决遇到的各种困难,否则,互相拆台,只能两败俱伤。如图2所示,网孔电流 $i_{m1}$ 、 $i_{m2}$ 二者流入互电阻 $R_1$ 方向不一致,互相削弱对方力量,故互电阻 $R_1$ 取“-”号。采用这种方式引入思政内容,既形象生动进行了思政教育,也帮助学生掌握了该知识点。

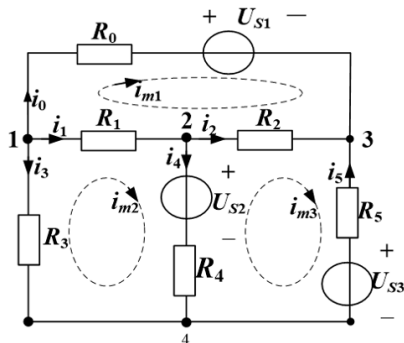


图2 网孔分析示例图

#### (四) 积极参与教材编写工作, 促进教学质量提升

教育部2019年9月发布的《关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见》教高〔2019〕6号文件中提出了四方面意见,其中严格教育教学管理中就涉及了“推动高水平教材编写使用”,并明确了“鼓励支持高水平专家学者编写既符合国家需要又体现个人学术专长的高水平教材,充分发挥教材育人功能”。

该课程所用教材为授课团队编写并出版的教材。2023年课程团队进一步更新了教材,由清华大学出版社出版了第三版《电路分析基础》,为教育部新形态教材,在教材中融入了课程思政建设内容。通过参与教材编著工作,教学团队对课程内容理解进一步得到凝练和提升,促推教学质量提升,并为课程教学中思政内容引入积累了较好的借鉴素材。

#### (五) 积极申请教改项目, 促产多种形式的教学成果

积极参与课程相关教改项目申报工作,以项目为支撑,推动课程思政建设及其他形式成果的产生。我校及省教育厅近年来对教改项目支持力度逐渐加大,进一步激发了大家的参与热情。课程团队积极申请相关项目,获得了从校级思政项目到省级教改项目等不同形式的支持。另外,产学研合作也是近年国家重点推广及提倡的形式,以促进高校科研成果转化及落地应用。课程团队近年来通过与北京某科技有限公司的深入合作,以申报高教司产教融合协同育人项目形式获批两项产学研合作项目,依托该项目,合作公司为我校搭建了学生实验环境。以第一作者为第一主编,双方还合作出版相关教材一部<sup>[15]</sup>。依托搭建的实验环境,指导2名本科毕业设计学生取得校级优秀的成绩。

#### (六) 多途径积极提高教师自身课堂授课经验及思政政治境界

近几年,教育部等各级部门曾以网课形式组织高校教师进行

各种思政培训,课程团队多次积极参加这些培训,受益匪浅。同时,不定期参加由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会、中国电子学会、计算机学会等部门组织的教学研讨会,增加与国内同行专家面对面交流机会,认证听取国家级教学名师关于不同课程的教学经验分享,极大开阔了眼界。另外,学院及系部也经常组织不同形式教学研究、思政教育等讨论会,通过参加这些活动,积极听取不同教师授课经验及体会。多途径汲取各种教学经验分享,受益颇多,并将其用于课程教学中,以进一步提高自身教学水平,促进教学成果产生。

### 三、结束语

《电路分析基础》作为电子信息类专业的核心基础课程,具有理论性强、知识点密集而学时有限的特点,这为课程思政的有机融入带来了挑战。本文基于课程团队多年教学实践,从教学大纲修订、课程内容重构、教材编写创新及产教融合深化等多个维度,系统探讨了提升该课程思政建设实效的实施路径。实践表明,这些措施对增强课程思政教学效果具有显著促进作用。然而,在人工智能技术迅猛发展并深度赋能教育领域的背景下,如何借助智能多媒体技术进一步优化课程思政教学模式,仍是值得深入研究的课题。这一探索不仅关乎专业课程的思政建设质量,更对电子信息类人才培养具有重要的现实意义。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知 [EB/OL]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603\\_462437.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html).
- [2] 汪玲,陈容松,钟洪声.“电路”基础课程思政教学内容改革[J].电气电子教学学报,2022,44(3):84-87.
- [3] 祝秋香,胡赛纯,叶勇,等.“多元”融合,创“芯”未来:电路分析课程思政育人探索[J].电脑知识与技术,2025,21(03):177-180.
- [4] 刘钢,郭新媛,陈松,等.面向“金课”的电路分析课程“闭环开放”特色教学改革探索与实践[J].大学教育,2024,(11):59-63.
- [5] 冯涛,李擎,杨旭,等.“电路实验技术”课程智慧化教学系统开发[J].实验室研究与探索,2023,42(12):154-160.
- [6] 刘剑飞,马杰,杨文荣.“电路基础”双语教学中课程思政的探讨与实践[J].电气电子教学学报,2024,46(3):99-102.
- [7] 黄瑾瑜,赵书红.电路分析课程思政元素挖掘与实施路径探究[J].科学咨询,2025,(03):147-150.
- [8] 李鹏,齐晓红.基于课程思政的《电路分析》课程教学的探索与实践[J].时代汽车,2024,(17):58-60.
- [9] 李春晓,胡学龙,吴桂峰.“电路分析基础”课程思政教学设计与实践[J].工业和信息化教育,2024,(10):10-13.
- [10] 杜丽,李志军,张文祥.“电路分析实验”课程教学与课程思政融合的探索与实践[J].黑龙江教育(理论与实践),2025,(01):98-100.
- [11] 何志蕊,章伟,汪敬华.电工与电子技术课程思政教育设计[J].现代商贸工业,2024,45(09):257-259.
- [12] 金壁,钟兆根,孙雪丽,等.以实践求实为引领的整流电路思政探索[J].中国教育技术装备,2023,(8):82-85.
- [13] 贾雪松,李晶晶,马丽娜,等.电路分析基础课程思政建设的探索与实践[J].时代人物,2025(1):0243-0246.
- [14] 史健芳,李凤莲,陈慧英等.电路分析基础(第三版)[M].清华大学出版社,2023.
- [15] 李凤莲,郑洪滨等.Hadoop大数据技术应用实践[M].北京师范大学出版社,2019.

# 基于“五育并举”的大学生综合素质评价改革探究

刘惠, 赵海清

岭南师范学院数学与统计学院, 广东 湛江 524048

DOI:10.61369/ASDS.12176

**摘 要 :** 《深化新时代教育评价改革总体方案》指出: 改革学生评价, 促进德智体美劳全面发展。但体现“五育”的很多指标难以获取到有效的结构化数据, 全面、科学、合理地量化评价大学生综合素质难以实现, 不利于“五育并举”教育改革发展目标的实现。本文以作者所在单位2023届某专业学生的综合测评数据为例, 首先利用雷达图和聚类分析方法指出现行综合素质评价方法存在的问题; 然后结合“五育并举”教育评价改革时代背景, 提出 TOPSIS 综合评价法改善原有评价方法, 结果表明: TOPSIS 法排名与学生就业质量的一致性好于现行的综合素质排名与就业质量的一致性。在此基础上, 本文基于“五育并举”构建了学生综合素质评价体系, 并利用 AHP 层次分析法计算指标权重, 最终建立大学生综合素质量化评价指标, 为全面、科学、合理地量化评价大学生综合素质提供实践借鉴。

**关 键 词 :** 五育并举; 大学生综合素质; 聚类分析; TOPSIS综合评价法; AHP 层次分析法

## Exploring the Reform of College Students' Comprehensive Quality Evaluation Based on the "Five-Education Integration"

Liu Hui, Zhao Haiqing

Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048

**Abstract:** The Overall Plan for Deepening the Reform of Education Evaluation in the New Era emphasizes the need to reform student evaluation and promote all-round development in morality, intelligence, physical education, aesthetics, and labor (the "Five Educations"). However, many indicators reflecting the "Five Educations" are difficult to obtain as effective structured data, making it challenging to comprehensively, scientifically, and reasonably assess college students' overall quality, which hinders the achievement of the goals of the "Five-Education" reform. Taking the comprehensive evaluation data of students from a specific major in the class of 2023 at the author's institution as an example, this paper first uses radar charts and cluster analysis to identify problems in the current evaluation system. Then, in light of the background of the "Five-Education" evaluation reform, the paper proposes the use of the TOPSIS method to improve the original evaluation method. Results show that the rankings generated by the TOPSIS method align more closely with students' employment outcomes compared to those of the current comprehensive evaluation. Based on this, the paper constructs a student comprehensive quality evaluation system under the "Five-Education" framework and applies the Analytic Hierarchy Process (AHP) to calculate the weight of each indicator, ultimately establishing a quantitative evaluation index system for college students' comprehensive quality. This study provides practical guidance for comprehensive, scientific, and reasonable evaluation of students' overall development.

**Keywords:** five-education integration; college students' comprehensive quality; cluster analysis; TOPSIS comprehensive evaluation method; AHP

项目信息: 广东省高等教育教学改革项目“网络画板助力数学类师范生提升信息技术素养的研究与实践”, 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目“数据科学与智能计算产教融合实践教学基地”, 湛江市科技局社会治理体系现代化与治理能力提升专题: 科学研究与技术服务业的核算统计 (2022A01059), 岭南师范学院基础教育改革项目: 基于数据分析素养的中学统计与概率教学研究 (教务 [2023]93)。

作者简介:

刘惠 (1991-), 女, 岭南师范学院数学与统计学院统计系讲师, 研究方向: 自然语言处理;

赵海清 (1979-), 男, 岭南师范学院数学与统计学院统计系副教授, 研究方向: 数据分析。

## 引言

“五育并举”是指在现代化的教育中通过重视并实施德育、智育、体育、美育、劳动教育，从而促进人的全面发展。习近平总书记在2018年全国教育大会上指出，以全面落实立德树人人为目标，培养思想正、品德高、能力强、身体好、心灵美的新时代大学生已成为各高校的一致追求和共同愿望。2020年，《深化新时代教育评价改革总体方案》指出：教育评价事关教育发展方向，有什么样的评价指挥棒，就有什么样的办学导向；改革学生评价，促进德智体美劳全面发展。《总体方案》进一步明确了高校要改革对学生的评价体系，将“五育并举”这一发展方向融入大学生的评价体系设计中。

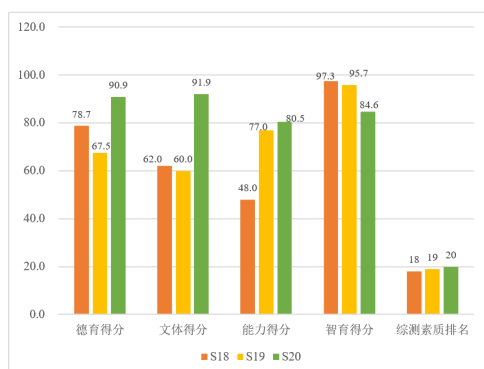
大学生综合素质评价体系是对大学生的自我发展情况进行评价的一种方法，是学生综合素质与个性发展的体现，能更好地体现素质教育的成果，同时可以引导学生正确看待问题、学会独立思考，实现自我管理。目前，已有很多文献<sup>[1-3]</sup>对大学生综合素质评价进行了研究，但融合“五育并举”的评价体系和分析方法还有待探索；主要原因在于：评价体系上体现“五育”的很多指标难以获取到有效的结构化数据，评价方法上大多基于已有数据的简单加权。全面、科学、合理地量化评价大学生综合素质难以实现，不利于“五育并举”教育改革发展目标的实现。本文从评价体系和评价方法两个层面对现有大学生综合素质评价进行改进，以实现“五育并举”的量化评价。

石中英<sup>[3]</sup>(2024)指出“五育并举”是指“五育”都重要，不可偏废；要克服以往工作中只抓智育，虚化德育，忽视体育、美育，缺失劳动教育的问题。舒文琼等<sup>[4]</sup>(2019)利用可持续竞争力、核心道德素养、家国情怀、身心素质、组织实践五个主成分，构建了“新工科”背景下本科生综合素质评价体系。王大灵<sup>[5]</sup>(2022)构建了思想道德素养、文化技能素养、身心健康素养、劳动能力素养及实践创新素养五个维度的评价体系。任丽娜<sup>[6]</sup>(2024)建立了以思想道德素质、身心素质、职业素质和文化素质为指标的评价体系。但评价方法的合理性和评价体系的全面性研究相对较少。

本文借助作者所在单位2023届某专业学生的综合测评数据和后期跟踪表现，分析现有评价体系的不足，提出新的评价方案，并结合学生的后期表现证实起评价的有效性。

## 一、现行大学生综合素质评价的现状

目前，作者所在单位对学生的综合评价主要从德育、智育、文体和能力四个维度展开。学生的综合素质测评得分=德育得分\*15%+智育得分\*65%+文体得分\*10%+能力得分\*10%，其中德育、文体和能力得分由基础分和加减分合成，而智育得分主要用学生的平均学分进行衡量。利用该标准对2023届某专业的328个学生的综合素质进行测评和排序，其中学生S18、S19和S20的综合素质得分如图1所示。综合测评排名越低，说明综合测评得分越高；图1表明S18、S19的综合测评得分高于S20的综合测评得分。但从四个维度的单项得分来看，S18的“能力得分”不足50分，与S19、S20有明显的差距；S18、S19的“文体得分”明显不及S20的表现，“德育得分”方面S19、S18、S20之间顺次有约10分的差距；而S20的“智育得分”相比S18、S19来说，有所差距，但差距并不大。



> 图1 三名学生的各维度得分与综合测评排名

图2为学生S15—S20在四个评价指标上的得分雷达图。可以看出S20与S15在四个维度上的重合度很高，但与生S19的重合度不高；且S20与S15在四个维度上的得分均较高；而S19有三个维度的得分都较低，只有“智育得分”相对较高。进一步对学生四个维度上的得分进行聚类分析，得出系统聚类图如图3所示。可以看出：学生S20与S15的距离较近，被划分到同一类中，但与S18和S19相距较远。

追踪学生S20的实习情况可知其实习成绩为91，S15的实习成绩为90，两者相近，但S19的实习成绩只有85分；追踪学生的就业情况，学生S20和S15均在公办小学任教，专业与就业相关度“很匹配”，而S18就职于私立单位，专业和就业相关度“一般匹配”，S19虽也就职于公办学校，但其工资比S20少近一半。

上述分析表明，学生S20的综合素质应当与S15相近，而比学生S18和S19的表现要更全面；而现行的综合素质评价结果却是学生S18和S19的综合测评得分高于S20的综合测评得分。根据调研，这种状况在高校学生评价中比较普遍。这种重智育，轻德育、文体的评价方法显然有悖于“五育并举”的理念，况且“能力”的指标内涵部分地与“智育”重叠，又不能对“劳育、美育”进行充分体现。本文拟从评价方法和评价体系上进行改革探究，以期全面、科学、合理地实现“德智体美劳全面发展”的量化评价。

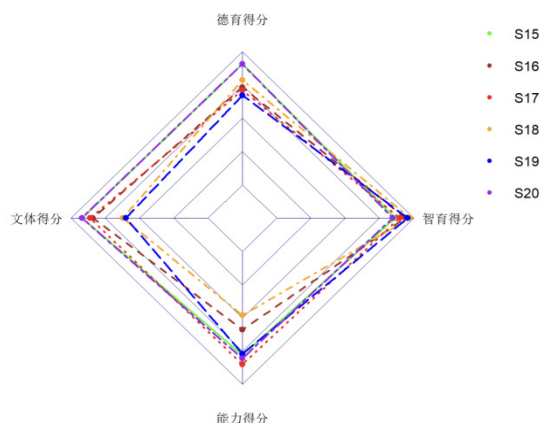


图2 学生 S15—S20 的四个维度得分雷达图

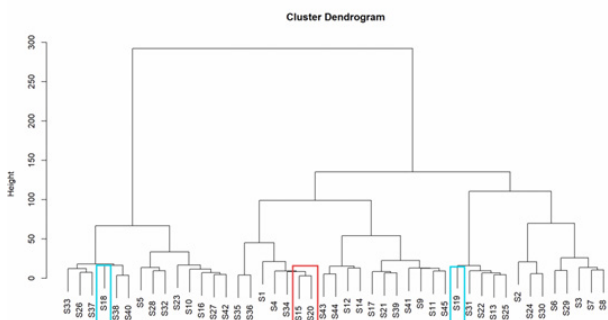


图3 系统聚类图

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^l x_{ij}^2}} \quad (1)$$

(2) 确定正负理想解。选取各指标中的最大值作为正理想解，即学生综合素质的理想化目标，记为  $b^+ = [y_1^+, y_2^+, \dots, y_j^+]$ 。取各指标中的最小值作为负理想解，记为  $b^- = [y_1^-, y_2^-, \dots, y_j^-]$ ，其中  $y_j^+ = \max(y_{ij})$ ， $y_j^- = \min(y_{ij})$ 。

(3) 计算各学生与正负理想解的距离。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^l (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (2)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^l (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (3)$$

其中  $D_i^+$  为到正理想解的距离， $D_i^-$  为到负理想解的距离。

(4) 计算各学生与正理想解的贴近程度。

$$TOPE_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (4)$$

其中  $TOPE_i$  为贴近程度，值越大，表明学生与理想化培养目标越接近，综合素质能力越好。

## 2. TOPSIS 法综合素质评价结果及分析

仍以作者所在单位 2023 届某专业学生综合素质评价中四个维度的数据为原始数据，利用 TOPSIS 法计算每个学生的 TOPE 值，其中原评价方法排位前 20 的学生，其 TOPSIS 法得分及排位结果如表 1 所示。可以看出：S15 与 S20 的 TOPSIS 得分分别为 0.85 和 0.84，排名分别为第 9 和第 10；而 S18、S19 的 TOPSIS 排名去到了第 44 和第 33。进一步分析可以发现，四个维度得分较为均衡的同学，其 TOPSIS 排名就相对靠前；如果某学生在其中一个维度得分较高而其他维度得分相对较低，则其 TOPSIS 得分就越低，排名也就相对靠后。排名的改善，充分说明 TOPSIS 法的合理性。

## 二、“五育并举”背景下改革方案探究

### (一) 基于 TOPSIS 法的大学生综合素质评价方法

#### 1. TOPSIS 法综合素质评价原理及步骤

TOPSIS 法是一种常用的综合评价方法，其能充分利用原始数据的信息，其结果能精确地反映各评价方案之间的差距。因此可以利用 TOPSIS 法综合分析学生离“综合素质最好”情况的距离，从而对学生的综合素质进行排名，一般步骤如下：

(1) 利用公式 (1) 对原始指标数据进行标准化。

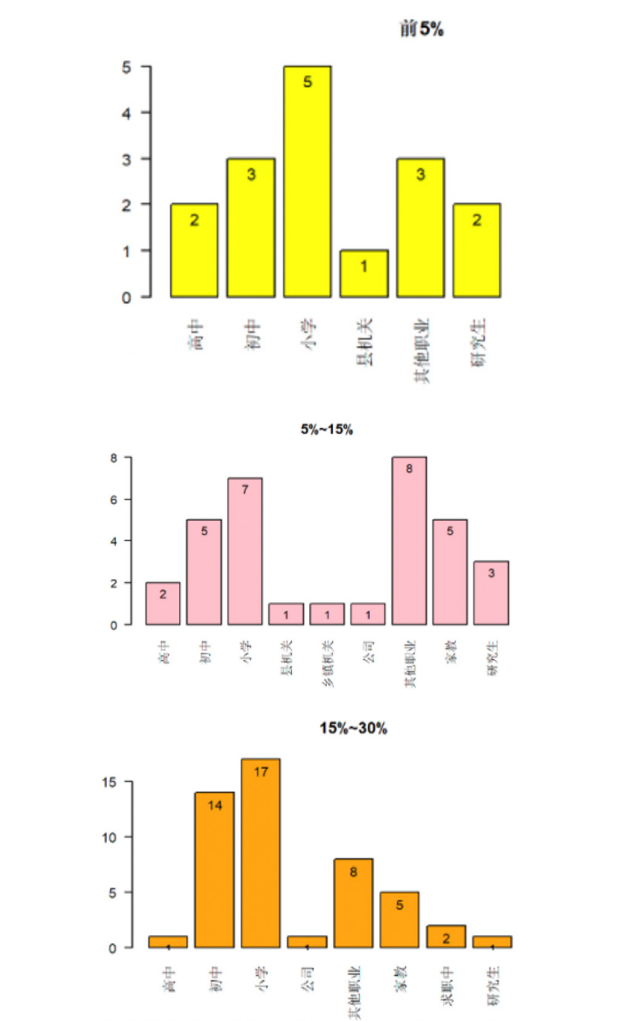
表1 TOPSIS 得分及排名

| 序号  | 德育得分   | 智育得分   | 文体得分  | 能力得分   | 综合素质得分 | 综合素质得分排名 | TOPSIS 得分 | TOPSIS 得分排名 |
|-----|--------|--------|-------|--------|--------|----------|-----------|-------------|
| S1  | 92.31  | 100.00 | 87.00 | 80.00  | 95.55  | 1        | 0.92      | 2           |
| S2  | 75.15  | 97.29  | 86.00 | 100.00 | 93.11  | 2        | 0.89      | 3           |
| S3  | 92.31  | 93.01  | 87.00 | 96.00  | 92.61  | 3        | 0.92      | 1           |
| S4  | 95.45  | 89.24  | 89.26 | 81.71  | 89.42  | 4        | 0.88      | 4           |
| S5  | 86.39  | 96.53  | 70.50 | 66.00  | 89.35  | 5        | 0.84      | 11          |
| S6  | 100.00 | 85.93  | 89.00 | 95.00  | 89.26  | 6        | 0.87      | 5           |
| S7  | 91.12  | 89.54  | 75.50 | 90.00  | 88.42  | 7        | 0.87      | 6           |
| S8  | 84.02  | 88.89  | 79.25 | 97.00  | 88.01  | 8        | 0.86      | 8           |
| S9  | 81.66  | 89.88  | 93.00 | 80.00  | 87.97  | 9        | 0.86      | 7           |
| S10 | 81.66  | 93.30  | 81.00 | 62.50  | 87.24  | 10       | 0.83      | 15          |
| S11 | 75.76  | 92.00  | 89.93 | 70.73  | 87.23  | 11       | 0.84      | 12          |
| S12 | 65.09  | 94.13  | 84.00 | 75.00  | 86.85  | 12       | 0.82      | 19          |
| S13 | 78.11  | 93.31  | 62.50 | 82.00  | 86.82  | 13       | 0.83      | 17          |

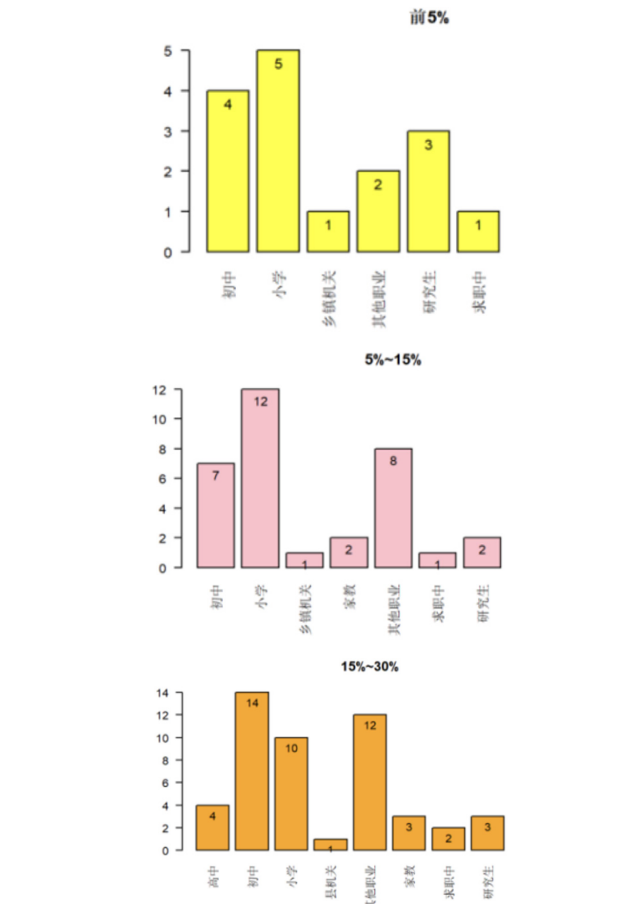


|     |       |       |       |       |       |    |      |    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|----|------|----|
| S14 | 73.37 | 94.13 | 75.00 | 71.00 | 86.79 | 14 | 0.83 | 18 |
| S15 | 90.91 | 86.31 | 91.95 | 78.05 | 86.74 | 15 | 0.85 | 9  |
| S16 | 73.37 | 93.93 | 84.00 | 59.00 | 86.36 | 16 | 0.81 | 23 |
| S17 | 71.01 | 89.81 | 86.00 | 85.00 | 86.13 | 17 | 0.84 | 14 |
| S18 | 78.70 | 97.35 | 62.00 | 48.00 | 86.08 | 18 | 0.78 | 44 |
| S19 | 67.46 | 95.71 | 60.00 | 77.00 | 86.03 | 19 | 0.80 | 33 |
| S20 | 90.91 | 84.64 | 91.95 | 80.49 | 85.90 | 20 | 0.84 | 10 |

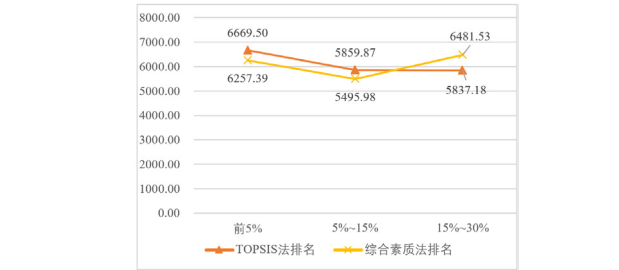
对 TOPSIS 排名和现综合测评排名前 5%，5%~15%，15%~30%学生的就业情况进行对比分析，结果分别见图 4 和图 5。从图 4 可以看出，TOPSIS 排名前 5%的学生，其毕业后 的就业单位类型整体好于排名 5%~15%和排名 15%~30%的学生；从图 5 可以看出，前三个排名层次中均出现还未就职的学生，且排名前 5%和 5%~15%的学生中均没有 在高中就职的学生。对两种排名方法不同排名层次中学生就业后的平均工资进行分析，结果如图 6 所示。可以看出，TOPSIS 法排名中前 5%学生的平均工资高于排名 5%~15%学生的平均工资，而后者又高于排名 15%~30%学生的平均工资。但现综合测评排名的前三个排名层次却没有体现出这种趋势。这说明 TOPSIS 排名与学生就业质量的一致性优于现综合素质排名与就业质量的一致性，TOPSIS 法能够改善现行评价方法且结果与学生的后续就业表现更吻合。



> 图4 TOPSIS排名单位类型分布



> 图5综合素质评价排名单位类型分布



> 图6 两种方法不同排名层次学生就业的平均工资对比

**（二）基于 AHP 层次分析法的大学生综合素质评价体系构建**

1. 构建大学生综合素质评价体系

现行评价方法有悖于“五育并举”，且存在指标内涵不清晰的情况。本文从德智体美劳五个方面设计指标对学生进行综合评价，并利用 AHP 层次分析法计算每个指标的权重，利用一致性检验证明指标权重的可信性和有效性。

本文构建的指标体系如表 2 所示，其中一级指标包括德智体美劳五个维度和学生的奖惩记录；通过文献研究<sup>[4-6]</sup>、师生访谈确

定出对应的二级指标构成大学生综合素质评价指标体系，结果如 表 2 所示。

表2 大学生综合素质评价指标体系

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标        | 评价途径          |
|------|------|-------------|---------------|
| 德育 A | 思政素质 | 思政理论素养      | 思政类课程成绩       |
|      |      | 思政表现        | 基层团组织给予评价     |
|      | 法纪素质 | 法律观念        | 法治类课程成绩       |
|      |      | 纪律表现        | 班干给予评价        |
| 智育 B | 知识能力 | 学分加权平均分     | 根据学分平均分计算公式核定 |
|      |      | 外语水平及计算机    | 根据相关的计分政策核定   |
|      | 创新能力 | 撰写发表科研论文    | 根据相关的计分政策核定   |
|      |      | 发明创造、获得成果专利 | 根据相关的计分政策核定   |
|      |      | 学科或科技竞赛获奖   | 根据相关的计分政策核定   |
| 体育 C | 体育活动 | 体育课成绩       | 体育课成绩         |
|      |      | 体育竞赛获奖      | 根据相关的计分政策核定   |
| 美育 D | 艺术活动 | 艺术类比赛获奖     | 根据相关的计分政策核定   |
|      |      | 艺术类课程学习情况   | 艺术类课程成绩       |
|      |      | 艺术类活动参与情况   | 根据相关的计分政策核定   |
| 劳育 E | 社会实践 | 校外实训或实习     | 实训或实习成绩       |
|      |      | 志愿服务        | 根据相关的计分政策核定   |
|      |      | 勤工助学        | 根据相关的计分政策核定   |
|      | 学生工作 | 学生干部工作      | 根据相关的计分政策核定   |
| 奖惩 F | 奖励   | 其他加分情况      | 根据相关的加分政策核定   |
|      | 惩罚   | 违纪违规行为      | 根据相关的扣分政策核定   |

（三）确定综合素质评价体系中各级指标权重

1. 确定判断矩阵

邀请学院相关领导、教务办、就业工作负责人和辅导员组成专家咨询组，采用 1-9 标度法，制作指标权重配置咨询表并发给专家征询意见，构建两两比较判断矩阵，综合专家组根据实践经验和专业知识做出判断矩阵，得出一级指标的判断矩阵 A，如表 3 所示。

表3 一级指标判断矩阵

|   | A   | B   | C | D | E | F   |
|---|-----|-----|---|---|---|-----|
| A | 1   | 1/4 | 2 | 2 | 2 | 1   |
| B | 4   | 1   | 6 | 6 | 6 | 4   |
| C | 1/2 | 1/6 | 1 | 1 | 1 | 1/2 |
| D | 1/2 | 1/6 | 1 | 1 | 1 | 1/2 |
| E | 1/2 | 1/6 | 1 | 1 | 1 | 1/2 |
| F | 1   | 1/4 | 2 | 2 | 2 | 1   |

2. 确定权重

对判断矩阵每一列进行归一化处理： $\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj}$ ，然后对矩阵按行相加： $M_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}$ ，再将向量  $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)^T$  归一化： $W_i = M_i / \sum_{j=1}^n M_j$ ，所求的  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$  即为相应的特征向量<sup>[7]</sup>。根据表3，本文中一级指标权重系数为

$$W = (0.14, 0.49, 0.07, 0.07, 0.07, 0.14)^T$$

计算判断矩阵最大特征根  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$ ，式中  $(AW)_i$  表示

向量  $AW$  的第  $i$  个元素。此处， $\lambda_{\max} = 6.01$ 。

3. 一致性检验

专家打分法难免会有主观因素影响，为了验证最终权重系数的可信性和有效性，需要对模型进行一致性检验。检验统计量为： $CR = \frac{CI}{RI}$  其中  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$  称为一致性指标<sup>[8]</sup>， $RI$  是平均一致性指标， $n$  是阶数， $n > 2$  时，一致性检准则为： $CR < 0.1$  时，认为判断矩阵具有满意的一致性；否则，需要重新调整判断矩阵<sup>[9-10]</sup>。

利用 R 语言对一级指标判断矩阵进行一致性检验，结果表明  $CR = 0.0022 < 0.1$ ，说明一级指标判断矩阵与一致性检验符合要求，即专家打分数据是可信且有效的。

4. 综合得分

按照上述步骤，计算出各级指标的相应权重及综合权重，结果如表 4 所示。大学生综合素质评价模型为：

$$z\_new = W_{\text{总}}^T X \tag{5}$$

其中  $W^T$  为综合权重得行向量， $X$  为三级指标值组成的列向量。 $z\_new$  为大学生综合素质得分分。利用公式（5）即可对大学生的综合素质进行评价。

三、结论

本文利用雷达图和聚类分析等统计方法指出现行综合素质评价方法有悖于“五育并举”的理念，且存在指标内涵不清晰的情况。评价方法上，本文基于 TOPSIS 法提出新的综合素质评价方

法，结果表明 TOPSIS 排名更符合学生毕业后的就业表现。评价体系方面，本文结合“五育并举”教育评价改革的时代背景，利用 AHP 层次分析法建立了大学生综合素质量化评价指标体系。评价方法和体系能够全面、科学、合理地实现对“德智体美劳全面发展”的量化评价，有利于“五育并举”教育改革发展目标

实现。

不同高校的学生管理与要求会有所不同，但只需对评价体系中的各级指标选取和判断矩阵进行相应调整，本文所提评价体系和评价方法就能够方便地应用于不同高校的学生综合素质测评。

表4 综合评级指标权重

| 一级指标   | 权重    | 二级指标      | 权重    | 三级指标             | 权重     | 综合权重  |
|--------|-------|-----------|-------|------------------|--------|-------|
| 德育 (A) | 0.142 | 思政素质 (A1) | 0.500 | 思政理论素养 (A11)     | 0.333  | 0.024 |
|        |       |           |       | 思政表现 (A12)       | 0.667  | 0.047 |
|        |       | 法纪素质 (A2) | 0.500 | 法律观念 (A21)       | 0.333  | 0.024 |
|        |       |           |       | 纪律表现 (A22)       | 0.667  | 0.047 |
| 智育 (B) | 0.492 | 知识能力 (B1) | 0.667 | 学分加权平均分 (B11)    | 0.750  | 0.246 |
|        |       |           |       | 外语水平及计算 (B12)    | 0.250  | 0.082 |
|        |       | 创新能力 (B2) | 0.333 | 撰写发表科研论 (B22)    | 0.400  | 0.066 |
|        |       |           |       | 发明创造、获成果专利 (B23) | 0.400  | 0.066 |
|        |       |           |       | 学科或科技竞赛获奖 (B24)  | 0.200  | 0.033 |
| 体育 (C) | 0.075 | 体育活动 (C1) | 1.000 | 体育课成绩 (C11)      | 0.333  | 0.025 |
|        |       |           |       | 体育竞赛获奖 (C12)     | 0.667  | 0.050 |
| 美育 (D) | 0.075 | 艺术活动 (D1) | 1.000 | 艺术类比赛获奖 (D11)    | 0.540  | 0.040 |
|        |       |           |       | 艺术类课程学习情况 (D12)  | 0.297  | 0.022 |
|        |       |           |       | 艺术类活动参与情况 (D13)  | 0.1634 | 0.012 |
| 劳育 (E) | 0.075 | 社会实践 (E1) | 0.500 | 校外实训或实习 (E11)    | 0.5396 | 0.020 |
|        |       |           |       | 志愿服务 (E12)       | 0.1634 | 0.006 |
|        |       |           |       | 勤工助学 (E13)       | 0.297  | 0.011 |
|        |       | 学生工作 (E2) | 0.500 | 学生干部工作 (E21)     | 1.000  | 0.037 |
| 奖惩 (F) | 0.142 | 奖励 (F1)   | 0.500 | 其他加分情况 (F12)     | 1.000  | 0.071 |
|        |       | 惩罚 (F2)   | 0.500 | 违纪违规行为 (F21)     | 1.000  | 0.071 |

参考文献

[1]刘庆昌. “五育并举”才能促成完整的学校教育 [J]. 教育发展研究, 2021, 41 (22): 3.

[2]杜静媛, 马云鹏, 田雪. “五育” 并举进教材: 价值意蕴、基本遵循及现实进路 [J]. 现代教育管理, 2021, (10): 84-90.

[3]石中英, 董玉雪, 仇梦真. 从“五育并举”到“五育融合”: 内涵、合理性与实现路径 [J]. 中国教育学报, 2024, (02): 65-69.

[4]舒文琼, 陈士燕, 刘晓平. “新工科” 视域下本科生综合素质评价体系建设路径探究 [J]. 高教论坛, 2019, (07): 17-23.

[5]王大灵. 基于“五维”融合的大学生综合素质评价体系建设路径探析 [J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2022, 21 (06): 91-94.

[6]任丽娜, 陈巧巧, 孙玉洁. 大学生综合素质与能力评价指标体系的构建与实践——以安徽信息工程学院为例 [J]. 佳木斯大学社会科学学报, 2024, 42 (02): 126-131.

[7]徐国祥. 统计预测与决策 (第五版) [M], 上海财经大学出版社, 2016.

[8]孙妮妮, 孙怀波, 李俊林. 基于 AHP-TOPSIS 模型的“数学建模” 课程思政的成效分析 [J]. 湖北理工学院学报, 2025, 41 (02): 73-77.

[9]顾镒杰, 王正蓝, 何建波, 等. 基于雷达图和 TOPSIS 法的排爆机器人系统效能评估 [J/OL]. 探测与控制学报, 1-7.

[10]张延昕, 屈璐. 高职院校产业学院绩效评价: 评价模型、指标体系及应用检验 [J]. 职教论坛, 2025, 41 (03): 103-111.

# 围绕专业人才培养目标的数据挖掘 与机器学习课程教学改革与实践

范彩云, 董平\*

上海对外经贸大学统计与信息学院, 上海 201620

DOI:10.61369/ASDS.12177

**摘要：** 本文围绕应用统计学专业的人才培养目标，结合时代背景和上海地方经济发展需求，深入探讨数据挖掘与机器学习重点课程的建设。为适应快速变化的市场环境，教学团队不断改进教学手段与方法，以培养学生的实际动手能力和创新能力为主线，实施了一系列教学改革，将专业人才培养目标转换为具体的课程教学要求，课程内容和教学方法上融入了人工智能技术，强调学生的主动参与与自主学习。通过开展多样化的实践教学及科研反哺式教学，结合真实案例和项目驱动的学习方式，引入多种教学手段，增强了课程的互动性和趣味性，有效提升了教学质量。

**关键词：** 人才培养目标；数据挖掘与机器学习；课程建设；AI+教育；实践教学

## Reform and Practice of Data Mining and Machine Learning Course Teaching around Professional Talent Training Objectives

Fan Caiyun, Dong Ping\*

School of Statistics and Information Science, Shanghai University of International Business and Economics, Shanghai  
201620

**Abstract:** This article focuses on the talent cultivation goals of the applied statistics major, combined with the background of the times and the needs of Shanghai's local economic development, and deeply explores the construction of key courses in data mining and machine learning. In order to adapt to the rapidly changing market environment, the teaching team continuously improves teaching methods and techniques, with the main focus on cultivating students' practical hands-on and innovative abilities. A series of teaching reforms have been implemented, transforming the goals of professional talent cultivation into specific course teaching requirements. Artificial intelligence technology has been integrated into course content and teaching methods, emphasizing students' active participation and self-directed learning. By carrying out diversified practical teaching and research feedback teaching, combined with real cases and project-based learning methods, introducing various teaching methods, the interactivity and fun of the course have been enhanced, effectively improving the quality of teaching.

**Keywords:** talent cultivation objectives; data mining and machine learning; curriculum development; AI+education; practice teaching

上海对外经贸大学应用统计学专业主动对接新科技革命与产业变革需求，通过系统性教学改革构建复合型人才培养体系。该专业以人才链与创新链、产业链融合为导向<sup>[1]</sup>，重构课程体系设计逻辑，重点强化四个维度的创新实践：（1）课程建设方面，对标国家“双万计划”建设标准<sup>[2]</sup>，打造线上线下融合的“金课”集群，引入混合式学习、翻转课堂等模式，实现信息技术与教学过程的深度耦合<sup>[3-5]</sup>。（2）教学模式创新上，构建“AI+教育”新生态<sup>[6]</sup>，通过虚拟仿真实验、大数据教学平台等数字化工具，推动教学场景从单向传授向多维互动的范式转换。（3）学科交叉培养方面，建立统计学与人工智能、数字经济等领域的知识融通机制，设计跨学科项目化学习模块，强化学生解决复杂问题的综合能力。（4）产教协同方面，联合企业构建动态课程更新机制，将产业真实场景转化为教学案例库，确保人才培养规格与新兴产业需求精准对接。这种“技术赋能+交叉融合+产教协同”的三维育人模式，有效提升了学生的数智化应用能力和产业适应能力，培养数字经济时代兼具专业深度和学科宽度的复合型统计人才<sup>[7-10]</sup>。

基金项目：上海高校市级重点课程；上海对外经贸大学“数智”课程建设。

作者简介：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；

通讯作者：董平（1989—），女，河北人，博士，讲师，硕士研究生导师，研究方向为机器学习、高维统计分析等。



## 一、课程建设概况

随着大数据时代的到来，我校应用统计学专业于2015年正式开设了数据挖掘与机器学习课程。这门课程作为专业必修课，已连续为10届学生提供教学，累计涉及学生人数超过800人。本课程立足学校“高水平国际化特色鲜明”的办学定位和“厚基础、重应用、强能力、善创新”的复合型经贸人才培养要求，注重价值塑造、知识传授与能力培养相统一。课程已具备了高水平的建设团队，完备的教学基础资料，前沿的课程知识体系，丰富的教育教学手段，多元有效的考核评价方式，取得了良好的教学效果，赢得了学生和领导、同事的高度评价。学生在各种学术竞赛及毕业论文的写作中都会灵活利用本课程中的方法来建模，且取得了优异的成绩和良好的效果。本课程2024年获批上海高校市级重点课程。

## 二、专业人才培养目标向课程教学要求的转换

### （一）应用统计学专业人才培养目标

我校应用统计学专业成立于2007年，入选首批国家级一流本科专业建设点（2019年）。本专业旨在培养适应新时代经济社会发展需要，德智体美劳全面发展，具有良好的数学、外语、计算机科学素养，掌握统计学的基本思想、理论与方法，拥有良好的商务、经济与管理知识，具备较强的运用统计学方法、数据科学和大数据技术分析数据和解决实际问题能力，胜任金融、经济、商务等领域统计相关工作的国际化复合型应用统计类人才。具体培养目标为：

目标1：具有健康的体魄，良好的政治、思想、文化、道德及心理素质；爱岗敬业、恪守职业道德。

目标2：具备应用统计学类的思想、理论与方法，以及计算机、统计软件、大数据技术等完成对实际数据采集、存储、加工、分析和解释工作的能力，在经贸等领域相关统计工作中具有比较优势。

目标3：具备终身学习、自主提升的意识和能力，具备持续适应社会环境变化的能力。

目标4：具有较强的语言和书面沟通能力、团队意识与合作精神，能够在工作团队或项目活动中发挥骨干或团队领导的作用。

目标5：具有开放性思维和国际化视野；具有实事求是、独立思考、勇于创新的科学精神。

### （二）课程教学要求

本课程是应用统计专业人才培养方案中的一门重要的必修课。数据挖掘与机器学习方法已经成为当今大数据时代广泛使用的一门关键分析技术，在数据分析相关领域中有其独特的优势和特点，已在各个行业中大量使用。通过本课程的学习，使得学生能系统掌握数据挖掘与机器学习的理论知识及其统计软件代码的实现，并能够在实际中熟练运用这些理论和方法。围绕专业人才培养目标的课程教学目标，本课程的具体教学要求如下：1）知识要求：理解机器学习方法的底层逻辑，掌握近邻分析、决策树、

组合预测、人工神经网络、支持向量机、聚类分析和关联分析等数据挖掘与机器学习技术的建模过程及算法实现。2）能力要求：培养学生严谨的逻辑思维和推断能力；指导学生熟练使用统计软件进行实际数据的分析和解读，在经贸、金融管理等实际领域的数据处理和分析工作中具有竞争优势。3）素质要求：培养学生终身学习的意识、主动探索以及勇于创新的精神，以积极参与人工智能时代的发展。4）育人要求：富有爱国主义情怀、国际视野和全局观；培养实事求是、独立思考的科学精神。

## 三、课程教学改革与实践

本课程知识交叉性强，理论难度大，实践背景丰富。所以如何把课程内容讲清楚、讲生动，如何做好理论和实践的对接，始终是我们整个教学过程中的核心。同时还需兼顾立德树人、强化课程育人功能。因此，在整个教学过程中，我们不仅精心设计教学内容，还不断优化教育教学方法、持续探索有效的课程考试考核评价方式，最大可能地提升课程教学效果。

### （一）课程教学内容安排

本课程在教学内容的选择上注重数据挖掘与机器学习方法的理论基础与实际应用相结合，并讲解其与传统的统计学方法简的区别和联系，利用统计软件R语言及Python，辅之以丰富、典型的案例，对原来抽象的内容和概念给予生动的解释，以实现利用数据挖掘方法合理地分析社会经济运行状况，达到有效预测的目的。同时探索机器学习在人工智能中的前沿应用和新兴趋势。

教学内容主要包括近邻分析、决策树、人工神经网络、支持向量机、聚类分析和关联分析等，此外，在讲解经典机器学习方法的理论和应用之余，还将融进和本课程相关的前沿知识，讲述机器学习方法在时间序列数据中的应用以及在因果推断方面的应用。围绕这七大块内容，应用统计学专业安排了54学时。

### （二）课程教学方法与组织形式

数据挖掘与机器学习作为一门统计学相关专业的核心课程，教学过程中采用了理论与实践应用相结合的形式进行。利用现代化的教学技术和手段，融合了课堂教学、优质网络资源学习、线下办公室讨论、学习通平台或微信群研讨等不同教学空间和维度，将教学从课堂内延伸至课堂外。课程教学既注重学生课程理论知识的学习又注重学生的实践能力的培养。主要采取的教学方法和组织形式如下：

1. 注重课程思政元素融入。数据挖掘与机器学习致力于从海量的有噪声的各类数据中，提取潜在的、可理解的、有价值的信息过程。课程的这些特点有利于我们将思政元素更好地融入课程教学内容，培养学生独立思考和批判思维的能力，培养学生的科学兴趣，科技人文情怀，形成科学的发展观，培养学生勇于发现问题、探究问题及追求真理的创新探索能力；提升学生利用数据挖掘与机器学习方法和软件工具解决问题的实验实践能力；帮助学生树立大局观，增强不畏艰难、脚踏实地为国家发展和社会进步贡献力量的意识和能力。

2. 注重理论知识的学习。课程从数据挖掘的定义出发，讲透

机器学习方法建模的一般步骤和底层逻辑。详细介绍 K-近邻,神经网络、决策树、袋装技术、提升技术、随机森林及支持向量机等机器学习方法的原理。课程内容做到由浅入深,环环相扣,让学生在掌握课程知识的同时,不断夯实理论基础。此外,不定期的举行研讨班,欢迎并鼓励本科生加入讨论班,让学生从学术科研中吸取知识,推进教学科研协同育人。

3.注重学生实践能力的培养。课程针对每一个机器学习方法,在讲解其原理和方法之后,利用统计软件 R 或 Python 软件,基于 Kaggle、狗熊会等网站上公开的实际数据进行分析,帮助学生加深理解。因此通过统计软件编程实现各类方法的灵活应用,既是学生掌握相关分析技术的重要路径,同时也能够培养学生利用统计软件解决实际问题的动手能力,增强自主学习能力。

4.注重学生探索、研究和创新能力的培养。课程考核环节设置课程实验项目,在实验教学中培养学生的创新能力。鼓励学生利用所学知识,结合统计软件进行科研探索。通过案例引导,引导学生深入思考,应用所学申请大创项目;积极动员和鼓励学生参与各类建模大赛,在比赛中灵活运用机器学习和数据挖掘的相关方法。同时,本课程所学方法也是本科生用于完成毕业论文的重要模型之一。

5.注重科研“反哺”教学。“以研促教,教学相长”,团队教师近年在机器学习、因果推断、稳健统计分析、高维统计等方面取得了丰硕的科研成果,主持或参与多项国家级或省部级科研项目,发表 CSCI、SCI 论文多篇。课程依托良好的科研氛围和科研实力,不断探索科研成果教学化。将教学团队成员所从事的科研成果和掌握的文献资料融入课堂教学,补充教学内容,培养学生实验实践能力,提升大学生参加创新活动的能与水平。课程负责人和团队成员指导学生利用机器学习相关的方法发表了多篇科研论文,这些研究成果都是学生利用科研实践对所学知识的再一次理解和升华。

6.注重活学活用,提供丰富的竞赛实践机会。充分利用学院的“访万企,读中国”调查项目和“两节八赛”十大学科竞赛平台,鼓励学生生活学活用,利用本课程所学的方法运用于各类学科竞赛中,不仅解决实际问题更进一步加深知识的理解,还能获取成就感,激发学习热情。如,在过去几年中,团队教师指导学生在全国大学生市场调查与分析大赛、全国大学生统计建模大赛等比赛中多次取得全国一等奖的成绩;带领学生深入走访调研企业,用实际行动丈量祖国大地,形成调查报告,为地方经济高质量发展贡献智慧和力量,进一步促进产学研协同发展。这些竞赛和实地调查为本课程的实验实践教学奠定了良好基础,提供了相关支撑素材,为课程的进一步建设也提供宝贵经验。

7.注重借助人工智能技术。充分利用学校提供的学习通智能平台,利用人工智能技术在课堂上主动发起提问或进行知识点的小测验,以提升学生的学习参与度,这一过程也使学生深刻体会到人工智能的发展为教和学带来的便利。

### (三) 课程成绩评定

在课程考核方式改革上,以“目标引领+过程管理”为改革方向。“过程管理”的考核主要侧重学生平时对课程的参与程度和

参与质量,期末考核侧重于学生对数据挖掘与机器学习理论和实践应用的理解和掌握,课程成绩比例如下:

平时成绩 = 课堂表现 \* 20% + 平时作业 (课程实验实践项目) \* 80%

总评成绩 = 平时成绩 \* 50% + 期末闭卷考试 \* 50%

## 四、课程评价及成效

### (一) 课程评价

课程改革使教师丰富了专业知识和教育教法,教学能力和课堂活跃度得到明显提高。学生们对课程整体评价优秀,都维持在 4.9 左右,评教分数如下表所示。

表 1: 近 6 年学生评教分数表

| 数据挖掘与机器学习课程评教 |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|
| 2019          | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| 4.88          | 4.88 | 4.87 | 4.95 | 4.9  | 4.93 |

### (二) 改革成效

经过近 10 年的教学探索与思考、教学内容上的精进及科研反哺式教学方法、实验实践式教学方法的尝试,课程建设取得良好的成效。

1.学生通过本课程学习,对机器学习理论知识的理解得到深化;解决数据分析相关问题的能力以及撰写实验报告的水平得到明显提高;教学激发了学习兴趣、提高了学习效果,学生的获得感和主动探究的意愿大大增强,并利用所学方法应用到各类数据分析比赛(统计建模大赛、市调大赛、互联网+比赛等)、大创项目和毕业设计,并取得了多个全国一等奖的成绩。

2.教师在授课过程中不断得到学生反馈,通过不断学习来优化教学模式,调整教学进度,充实教学内容,提高了自己的教学能力,发表了课程相关的教学研究论文;团队教师也因为近几年指导学生在这些大赛中多次取得全国一等奖的优异成绩,从而荣获了相关大赛的优秀指导教师;获得多项市级及以上的教学相关的荣誉或奖项。另外,科研与教学相长,课程负责人和团队成员近些年在机器学习、因果推断、稳健统计分析等方面取得了丰硕的科研成果,主持国家级课题 6 项,带领学生发表(含接收)10 余篇机器学习和人工智能领域的 CSCI、SCI 论文。

## 五、总结与展望

上海对外经贸大学在数据挖掘与机器学习课程的建设中,紧密围绕应用统计学专业的人才培养目标,持续推动教学手段与方法的创新与改进。近年来,教学团队专注于提升学生的实际动手能力和创新能力,通过一系列教学改革,使理论与实践紧密结合。课程讲授与团队承担的科研项目相结合,使学生能够深入理解数据挖掘与机器学习的核心概念和应用,增强了学习的实际意义。同时,教学团队根据学科发展的最新动态,引入前沿知识,拓宽了学生的视野,激发了他们的学习兴趣。我校培养的应用统计学专业学生具备扎实的理论基础、强大的实践能力和良好的外语水平,因而在就业市场上备受青睐。麦可思数据有限公司多年

来对毕业生的中期职业发展评价显示，应用统计学专业的毕业生在就业率、薪酬水平、用人单位满意度以及对学校的满意度等多项指标中均表现突出，位居我校前列。

## 参考文献

[1] 赵晨, 林晨, 高中华. 人才链支撑创新链产业链的融合发展路径: [J]. 中国软科学, 2023(11): 23-37.

[2] 教育部办公厅. 关于实施一流本科专业建设“双万计划”的通知: 教高厅函〔2019〕18号 [A/OL]. (2019-04-04). [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201904/620190409\\_377216.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201904/620190409_377216.html).

[3] 何克抗, 林君芬, 张文兰. 教学系统设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[4] 钟晓流, 宋述强, 焦丽珍. 信息化环境中基于翻转课堂理念的教学设计研究 [J]. 开放教育研究, 2013(1): 58-64.

[5] GERSTEIN J. The flipped classroom [EB/OL]. [2023-09-05]. <http://www.scoop.it/t/the-flipped-classroom>.

[6] 喻国明, 李钊, 滕文强. AI+教育: 人工智能时代的教学模式升维与转型 [J]. 宁夏社会科学, 2024(2): 191-198.

[7] 戴瑞婷, 李乐民. 面向产教融合的高校人工智能人才培养模式探索 [J]. 高等工程教育研究, 2024(03): 19-25.

[8] 于冰楠. 产教融合背景下高校人才培养模式的创新路径研究. 产业创新研究, 2025 (04): 184-186.

[9] 郭婷婷, 曾翔昊. 数字经济背景下基于“三个融合”的新商科实训基地建设研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 教育科学, 2024(12): 177-180.

[10] 霍鑫, 孟姣, 鲁佳, 等. 基于数据挖掘的交叉学科教学模式探索与实践 [J]. 现代信息科技, 2024, 8(14): 190-193+198.

# AI 赋能信息与计算科学专业 大数据方向产教融合创新模式的研究

张俊丽, 张永富, 贾明辉, 华志强  
内蒙古民族大学数学科学学院, 内蒙古 通辽 028000  
DOI:10.61369/ASDS.12178

**摘要 :** 人工智能、大数据分析、云计算等前沿技术的迅猛发展正深刻重构教育生态, 推动高等教育从“知识传授”向“能力建构”转变。信息与计算科学专业大数据方向作为数字经济的核心领域, 亟需通过产教融合实现人才培养与产业需求的精准对接。本文结合政策导向、技术赋能与教学实践, 探讨 AI 教育技术如何驱动大数据专业产教融合创新模式的构建, 并提出基于多主体协同与场景化教学的实施路径。

**关键词 :** AI 教育技术; 产教融合; 创新模式; 教学生态系统

## Research on the Innovative Model of Industry-Education Integration in the Big Data Direction of the Information and Computing Science Major Empowered by AI

Zhang Junli, Zhang Yongfu, Jia Minghui, Hua Zhiqiang  
College of Mathematics Science, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, Inner Mongolia 028000

**Abstract:** The rapid development of cutting-edge technologies such as artificial intelligence, big data analysis, and cloud computing is profoundly reconstructing the educational ecosystem and promoting the transformation of higher education from "knowledge imparting" to "capacity building". As a core area of the digital economy, the big data direction of the information and computing science urgently needs to achieve precise matching between talent cultivation and industrial demands through the integration of industry and education. In this paper, in combination with policy guidance, technological empowerment and teaching practice, we study how AI educational technology drives the construction of an innovative model of industry-education integration in the big data major, and propose an implementation path based on multi-subject collaboration and scenario-based teaching.

**Keywords:** AI educational technology; integration of industry and education; innovative model; teaching ecosystem

## 引言

随着三部曲复旦共识、天大行动和北京指南的奏响, 国家“新工科”建设步入智能驱动的深化阶段<sup>[1-3]</sup>。近期 DeepSeek 等大数据模型成为大众关注的热点, 人工智能、数字化等科技手段正重构着我们的工作与生活。人工智能、大数据分析、云计算等技术的迅猛发展对教师的课堂教学、学生的学习方式等提供无限发展空间。如何作出改变应来才能时代发展的洪流, 是当今教育工作者必须面对的重要课题。中共中央、国务院印发的《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》明确提出, 要建立基于大数据和人工智能支持的教育评价和科学决策制度, 这一举措为我国教育事业的高质量发展注入了全新动力, 也为教育强国建设指明了新方向。生成式 AI 大模型颠覆了我们对此前教育的认知<sup>[4]</sup>。在 AI 技术重塑产业生态的背景下, “新工科”战略的深化亟需构建“产-教-AI”三元协同的创新生态教学

项目/基金信息: 国家民委教学研究项目(No:23143);  
内蒙古自治区十四五规划项目(No:NGJGH2023224, NGJGH2022280, NGJGH2021134);  
内蒙古民族大学博士启动基金项目(No:BS650);  
内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目(No:GXKY23Z028);  
内蒙古自治区教育厅研究生教育项目(No:JGSZ2023040)。

作者简介:

张俊丽, 女, 副教授, 研究方向为数值计算, j\_l\_zhang7706@163.com;  
张永富, 男, 副教授, 研究方向为数值逼近, zhyf88888@163.com;  
贾明辉, 女, 副教授, 研究方向为教学论, jiaminghui1977@163.com;  
华志强, 男, 副教授, 研究方向为概率极限理论, zqhua\_imun@163.com。



系统，通过智能算法形成数据驱动的产教融合新范式。

AI赋能的“新工科”文化，将激活大学与产业双主体的创新势能，使人才培养精准对接区域产业转型升级的智能需求。校企合作是推动高校教育与产业发展紧密结合的重要途径<sup>[9]</sup>。内蒙古民族大学数学科学学院（以下简称“我院”）信息与计算科学专业大数据方向于2016年开始与中关村软件园在人才培养方面开展合作。双方共同培养信息与计算科学专业人才，包括联合培养、提供实习机会和参与产教融合实训项目等。校-地-企三方协同育人的教育模式，逐步构建全面深入贯彻以学生培养为中心，以不断提升学生工程实践能力为目标，以校地企协同育人为手段，以产出为导向的人才培养体系——“中关村模式”：打造校地企协同育人共同体，打通教育链，产业链，人才链。双方共建培养方案、共建教学资源、共建实训基地、共建双师队伍、共建协同机制。推进“引企入教”，推进教学方法和培养模式综合改革。协调推进多主体之间开放合作，整合多主体创新要素和资源，凝练产教深度融合、多方协同育人的应用型人才培养模式。

## 一、主要解决的问题

### （一）学生的实践能力薄弱和就业竞争力不足

传统实践教学理论与实践教学脱节较为严重，不能使学生做到学以致用，主要表现为学生具有较为扎实的专业基础知识，但是缺乏运用专业知识解决实际问题的意识和能力，导致实践能力薄弱，造成就业竞争力不足。

### （二）教师案例实践经验不足和行业技术前沿知识缺乏

一方面，学院教师长期在学校工作，缺乏与外界交流的平台，缺乏相关行业企业的实践经历，导致解决实际案例的实践经验不足。另一方面，信息技术更新迅猛，学院教师掌握新技术相对滞后，导致行业技术前沿知识缺乏。

### （三）实践基地数量不足的问题

学院与相关企业业务接洽较少，和企业方工作人员的沟通不够，获取企业相关需求信息欠缺，所以无法得到企业方的直接支持，可能挖掘到的实践基地数量有限，导致专业学生实践训练的空间不够，无法与企业需求相对接。

### （四）学院与企业方项目合作数量不足

学院专业教师长期重视理论教学，缺乏开发创新技术和解决实际问题的经验，与企业方项目合作的意识淡薄，校企双方深度交流不够紧密，缺少项目合作的契合点，导致学院与企业方项目合作数量不足。

通过解决上述问题，最终实现教育链支撑产业链、产业链反哺创新链、创新链赋能教育链的闭环生态。

## 二、AI赋能的大数据专业产教融合改革方案

以人工智能技术为核心驱动力，重构大数据专业人才培养体系，打破传统教育与企业需求的鸿沟，实现“教育-产业-创新”三链协同。通过产教深度融合，培养具备AI思维、大数据技术应用能力、行业场景解决能力的复合型人才，支撑数字经济高质量发展。

### （一）以成果为导向，利用AI辅助构建课程体系

大数据方向的人才培养目标以教学内容和课程体系改革为突破，以“强基础、重能力、高素质、求创新”为原则，构建以大数据方向为特色的人才培养方案，实现数学、计算机学、人工智能等学科的深度融合，培养适合“人工智能+”“互联网+”等新

兴领域的创新人才。

#### 1. 整合教学内容，优化课程体系

优化专业课程的教学内容，强调教学内容的前沿性、有效性，将学科的前沿知识、原理和方法融入专业课程教学体系，建立以学生为主体，以学生的兴趣爱好和发展目标为需求导向的开放式、多元化的课程体系<sup>[10]</sup>。利用AI教育技术分析学生数据，优化课程内容，实现个性化教学，帮助分析学生的学习情况，动态调整教学重点，整合教学内容，优化课程体系。

#### 2. 强化教师能力培养，加强教学团队建设

作为大数据方向的专业教师，必须了解大数据方向的发展前沿与动态，更新知识体系，到企业和实习平台考察调研。组建多学科背景的师资队伍，促进数学专业教师、计算机专业教师和来自企业教师的交流与合作。利用AI教育教学技术进行教学效果评估，或者参加AI教育的相关培训，通过AI教育技术辅助教学，提升教学质量。通过产教融合，学院引进更多的企业工程师作为兼职教师，从而丰富学校的师资力量。这些工程师将自己的实践经验引入到教学中，提高整体教学质量。

#### 3. 建立AI赋能的学科竞赛激励机制

搭建多元实践平台，通过实践驱动、项目驱动、以赛促学，为学生提供多层次化实践项目；建立健全学生参加学科竞赛的激励机制，鼓励学生积极参加各类数学建模竞赛和中国“互联网+”大学生创新创业大赛，培养学生的探索精神和团队协作能力<sup>[11]</sup>。引入机器人AI助教智能答疑和超星知识图谱等学习平台，为学生提供个性化学习路径，实现自主学习；在竞赛支持方面，使用AI教育技术进行数据分析或项目优化；通过AI教育技术整体提升教学水平，提高人才培养质量。

### （二）以校企良性互动的合作平台为载体，推进产教深度融合

产教融合是教育与产业的相互融合、互相支持形成的一体化互动关系，实现校企合作协同育人模式，也体现了新工科本科院校“因地制宜、受地支持、为地服务”的地方性属性，助力当地经济社会的发展。

我院大数据方向实行校企合作，合作单位为北京中关村软件园，实行2.5+1.5的学制。学生在2.5学制内，如Java核心编程、Hadoop等课程由企业方老师授课，多以讨论小组的形式开展课堂教学，激发学生的团队协作能力和沟通交流能力。在后面的1.5学制内，学生到企业，企业方根据市场需求设置专业课程及安排实

践教学内容。由企业方建立校外工程实践教育中心，开设符合企业实践的综合性、创新性的专业实践课程，由企业中的高层次管理人员授课；由具有丰富实践经验的企业技术人员指导学生的课程实践和毕业实践。在产教融合过程中，使用 AI 工具进行数据分析，或者校企合作开发 AI 驱动的教学平台，让学生接触真实的 AI 项目。以校企平台为创新载体，将 AI 技术应用到专业学科竞赛、企业委托项目和创新创业项目等，提高学生实践能力和创新能力。下图是产教协同创新与区域产业生态发展全景。

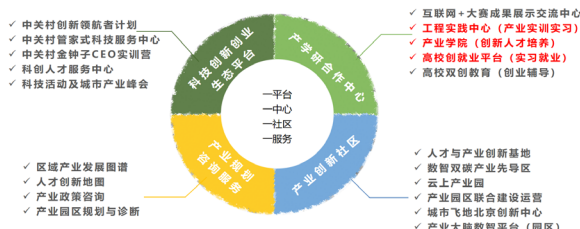


图1 产教协同创新与区域产业生态发展全景

### 1. 增强学生的综合实践能力，提升整体就业竞争力

学院与中关村科技企业建立产教融合协同育人机制,通过开展深度调研与需求分析,系统掌握新一代信息技术产业的人才能力矩阵与岗位技能图谱。基于区域经济发展战略与行业技术变革趋势,构建“需求导向、动态调整”的“专业建设机制,实施“三维度”人才培养模式改革:首先,以 OBE 教育理念为引领,遵循反向设计、正向实施原则,重构“能力产出-课程模块-教学实施”三位一体的课程体系;其次,严格保障实验实践课程占比不低于 20%,打造“基础实验-综合实训-企业实战”递进式实践教学链;同时构建“专业核心课+跨学科选修课+双创融合课”的课程群组,通过打通专业大类选修课程、增设技术创新与创业管理模块课程,着力培养学生解决复杂工程问题的实践能力、跨学科创新思维和创业素养。该培养体系通过定期开展培养目标达成度评估与课程质量诊断,持续完善“产业需求-培养目标-毕业要求-课程体系”的闭环反馈机制,实现人才培养与产业需求的有效对接。

中关村作为中国软件和信息服务业的重要集聚区，拥有丰富的创新资源和行业经验，通过合作，学院得以借助中关村的优势资源，解决教学中的实践问题，提升学生总体就业竞争力。此外，学院与企业还共同开展了实习和就业指导活动。学院和软件院积极帮助学生与企业联系，提供实习机会，并为学生提供职业规划和就业指导服务。中关村软件园将工程认证12条要求融入项目式教学过程，遵循学生可持续发展安排课程。中关村企业也参与到招聘活动中，为学生提供就业机会。学院与中关村还在教育资源共享和创新创业方面开展了一系列合作。中关村积极参与学院、学校的创新创业项目，举办“中关村智酷杯”创新创业大赛，为学生提供创业指导和资源支持。

### 2. 丰富教师案例实践经验, 拓展行业技术前沿知识

基于人才培养方案调研的结果，学院与企业共同制定了课程建设计划。双方的教师团队积极参与，共同研发和制定了一系列的课程，涵盖了行业前沿技术、实践案例分析等内容。课程设置既注重理论教学，又强调实践应用，力求使学生能够掌握实际操

作和解决问题的能力。中关村定期为学院教师举办培训和交流活动，为学院教师创造了解最新的行业动态和技术趋势的机会。同时，中关村的专业人员也来校进行专题讲座，为教师们传授实践经验和前沿技术知识。下面给出产教融合双主体协同育人模式图。

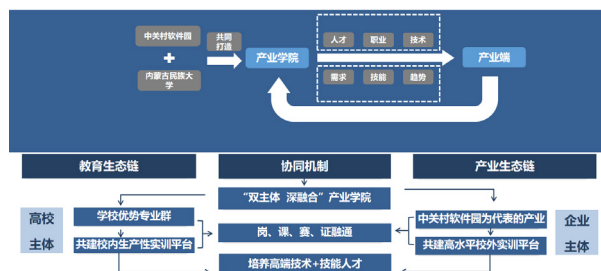


图2 产教融合双主体协同育人模式图

### 3. 共建实习实训基地, 提升工程实践能力

学校与中关村合作，共同建设学生工程实践基地，包括校内实习实训基地以及校外实习实训基地。将工程实践教育融入专业教育、课程设计、项目实训、毕业实习中。校企共建1个校内实习实训基地，7个校外实习实训基地，学生大四一年在博彦科技、神州数码、亚信、普元等多家企业顶岗实习，提前融入真实工作场景，通过实践操作和项目实战，有效提升学生的工程实践能力。

### （三）依托互联网搭建教学生态系统

互联网是现代化教学的重要工具与手段。互联网是加强校际交流、校企交流的重要途径。依托互联网开展教学可以极大丰富教学内容和教学手段、增强课程的时效性。我们依托互联网搭建教学生态系统。

## 1.AI辅助智慧教学

AI辅助教学的教学手段和内容比线下教学更加丰富。通过智能学习分析系统实时追踪学生知识掌握情况,利用自适应学习引擎为每位学生生成个性化学习路径。在算法类课程中部署 AI代码审查系统,实时分析学生编程作业中的逻辑缺陷与优化空间,提供智能化的改进建议。借助 AI助教和超星学习通知识图谱等平台,智能推荐学习路径、个性化学习分析、虚拟实验室、自动评估系统,提高学生学习的积极性和主动性。

## 2. 混合教学平台

利用互联网和 AI 技术构建智能教学中枢，通过学情大数据分析自动优化教学内容组合。平台集成虚拟仿真实验环境，支持学生在云端完成大数据集群搭建、分布式计算等复杂实验。引入增强现实（AR）技术构建三维可视化课堂，将抽象的大数据算法转化为可交互的立体模型，提升知识理解深度。不同学校的教学和学生可以实现教学资源共享，AI 驱动的资源匹配系统可根据院校特色智能推荐优质课程组合。

### 3.AI课程资源平台

构建智能化的课程资源生态系统，采用机器学习算法持续优化资源推荐机制。平台集成 AI 课程生成工具，支持教师快速将行业最新技术动态转化为结构化教学案例。通过知识蒸馏技术提取企业真实项目中的教学要素，自动生成包含数据清洗、特征工程、模型训练等完整流程的实训项目库。慕课平台引入智能学习

伴侣功能，可基于学生观看视频时的表情识别与操作轨迹，动态生成重点知识思维导图与巩固练习。

4.培养工匠精神，强化课程思政

钟登华院士解读新工科内涵为：以立德树人为引领，以继承与创新、交叉与融合、协调与共享为主要途径，培养未来多元化、创新型卓越工程人才<sup>[7]</sup>。对于大数据方向的学生来说，每一个算法的设计、每一段程序的实现、每一个小小项目的收工都是一个小小目标的实现，我们都需要具有独立思考、勇于探索，这要求着力培养“精益求精、追求卓越”的工匠精神。同时，我们可以在项目实践中引入 AI 结对编程系统，实时分析学生的算法设计思路，既提供技术优化建议，也通过成就激励系统强化追求卓越的职业态度。

三、结束语

AI时代为地方本科院校提出了培养学生的新要求，即要培养学生成为在“人工智能+”“互联网+”“云计算”等新兴领域的创新人才。通过 AI 技术赋能，产教融合需从“简单合作”转向“生态共建”，以产业需求定义人才培养标准，以技术创新驱动教育变革，最终实现教育供给与产业需求的无缝对接。我院全面践行“学生中心、产出导向、持续改进”的教育理念，融合人工智能、大数据分析、云计算等前沿技术，利用 AI 赋能大数据专业教学模式创新，通过系统化、实践化的教学，深化产教融合协同育人模式，打通企业文化进入高校的最后一百米，探索寻找适合民族地区高等学校工科教育发展的新模式，实现培养具有前瞻视野和实战能力的创新型人才的培养目标。

参考文献

[1] “新工科”建设复旦共识 [J]. 复旦教育论坛, 2017(01): 10–11.  
[2] “新工科”建设行动路线（“天大行动”）[J]. 高等工程教育研究, 2017(02): 24–25.  
[3] 新工科建设指南（“北京指南”）[J]. 高等工程教育研究, 2017(01): 10–11.  
[4] 别敦荣. AI 技术应用于大学教育教学的理论阐释 [J]. 中国学, 2025(05): 4–9.  
[5] 董敏, 毛爱华等. AI 赋能 + 通专融合 + 产教融合的 C++ 编程基础课程教学探索 [J]. 计算机教育, 2025(02): 60–65.  
[6] 杨文斌. 产学研深度融合新工科人才培养的探索与实践 [J]. 高等工程教育研究, 2020 (2): 54–60.  
[7] 钟登华新工科建设的内涵与行动 [J]. 高等工程教育研究, 2017(03): 1–6.  
[8] 教育部高等教育司. 人工智能引领高等教育数字化创新发展 [J]. 中国高等教育, 2024(3/4): 9–12.  
[9] 王璇, 刘若歆, 侯新宇. 基于 AI 的图书馆数据分析与服务优化: 自然语言转 SQL 的创新实践 [J]. 应用统计与数据科学, 2025, 1(2): 64–67.  
[10] 张智丰, 安银凤, 姜静清. 计算机类专业一流应用型人才培养“中软模式”探索与实践 [J]. 赤峰学院学报 (自然科学版), 2023, 39(12): 68–70.  
[11] 杨凯, 孙明昱, 王纯杰. 新工科背景下数据科学与大数据技术专业人才培养体系构建 [J]. 应用统计与数据科学, 2025, 1(2): 120–123.  
[12] 袁野. 新工科背景下机械类专业人才培养问题与策略研究 [D]. 东北石油大学, 2022.

# 新质生产力引领下的高等数学教学设计研究

龙彩燕<sup>1</sup>, 马虹<sup>2</sup>, 谢小军<sup>1</sup>, 魏玉华<sup>1</sup>, 武文娟<sup>1</sup>

1. 广州工商学院通识教育学院, 广东 广州 510850

2. 广东金融学院数学学院, 广东 广州 510521

DOI:10.61369/ASDS.12179

**摘 要：** 新质生产力作为社会发展的核心驱动力，正逐步渗透到教育领域，尤其是高等教育中。在高等数学这一基础而关键的学科里，新质生产力的融入为教学设计带来了新的视角和方法。本文以人工智能专业为例，探讨如何在新质生产力的引领下，进行高等数学的教学设计原则与实践，旨在提升教学质量，培养适应未来社会需求的高素质人才。新质生产力强调创新、高效与个性化，这些理念在高等数学教学中的运用，将极大地丰富教学手段，激发学生的学习兴趣，促进知识的深度理解和灵活应用。

**关 键 词：** 新质生产力；OBE；教学重构；教学设计原则；人机协同

## Research on the Teaching Design of Advanced Mathematics under the Guidance of New Quality Productivity

Long Caiyan<sup>1</sup>, Ma Hong<sup>2</sup>, Xie Xiaojun<sup>1</sup>, Wei Yuhua<sup>1</sup>, Wu Wenjuan<sup>1</sup>

1. School of General Education, Guangzhou Technology and Business College, Guangzhou, Guangdong 510850

2. School of Mathematics, Guangdong University of Finance, Guangzhou, Guangdong 510521

**Abstract:** As the core driving force of social development, new quality productivity is gradually penetrating into the field of education, especially higher education. In the basic and key discipline of higher mathematics, the integration of new quality productivity has brought new perspectives and methods to teaching design. Taking the artificial intelligence major as an example, this paper explores how to carry out the teaching design principles and practices of higher mathematics under the guidance of new quality productivity, aiming to improve the teaching quality and cultivate high-quality talents that meet the needs of future society. New quality productivity emphasizes innovation, efficiency and personalization. The application of these concepts in higher mathematics teaching will greatly enrich teaching methods, stimulate students' interest in learning, and promote the deep understanding and flexible application of knowledge.

**Keywords:** new quality productivity; OBE; teaching reconstruction; teaching design principles; human-computer collaboration

## 一、研究背景与意义

### （一）新质生产力对高等教育改革的时代要求

新质生产力作为创新主导、具有高科技和高质量特征的先进生产力质态，自习近平总书记提出后，已成为经济社会高质量发展的关键驱动力。这一概念对高等教育改革提出了全方位、多层次的时代要求，深刻影响着高等教育的发展方向。新质生产力的提出体现了目前我国高等教育面临着科技创新能力提升需求、人

才培养质量提高需求、学科专业布局优化需求、产教融合水平提升需求、数智化转型需求亟待解决。

新质生产力以科技创新为核心动力，要求高等教育成为科技创新的前沿阵地。南钢在《面向新质生产力的中国高等教育：挑战与应对》中指出，高等教育是国家科技创新体系的重要支柱，汇聚了许多科技成果和高端人才<sup>[1]</sup>。新质生产力的发展依赖于高素质的劳动者，即“新质人才”。这类人才需具备人机协同、跨文化合作等能力。邢占军和王晶心在《高等教育数智化转型赋能

基金项目：2024 年广州工商学院校级科研课题“高校数学课为新质生产力服务路径研究”（KYYB202424）；

2024-2025 学年广州工商学院质量工程项目（项目编号：JXGG202451）成果；

2024 年度广东省本科高校高等教育教学改革项目“基于 OBE 理念的微积分教学改革与实践”阶段性研究成果（项目编号：867）；

2023 年度广东金融学院校级质量工程项目“基于 OBE 理念的微积分教学改革与探索”阶段性研究成果（项目编号：19）。

作者简介：

龙彩燕（1982-），女，广东广州人，副教授，研究方向：数学教育，统计与预测；马虹（1989-），女，安徽宿州人，讲师，研究方向：决策分析与预测；

谢小军（1990-），男，湖南耒阳人，副教授，研究方向：决策分析与预测；

魏玉华（1983-），女，福建三明市人，副教授，硕士，研究方向：统计分析；

武文娟（1982-），女，山西大同人，讲师，硕士，研究方向：数学教育。



新质生产力的内在机理与实现路径》中提到，高等教育应适应新质生产力需求，优化人才培养体系，培养具有创新精神和实践能力的复合型人才<sup>[2]</sup>。但目前高等教育人才培养模式存在学科边界束缚、对市场需求响应滞后等问题<sup>[4]</sup>。所以，高校需打破学科壁垒，更新课程内容，引入新技术，培养学生的创新思维和实践能力，以满足新质生产力对人才的需求。因此，高等教育需聚焦在人工智能、量子信息等前沿领域关键技术攻关，加强基础研究和跨界研究，提升研究的原创性与系统性，为新质生产力发展提供核心技术支持。

高等数学在现代科技人才培养中具有不可替代的基础性地位，其重要性主要体现在以下几方面：（1）逻辑思维与抽象能力的基石。高等数学中的微积分、线性代数、微分方程等内容通过严密的逻辑推导和抽象概念例如极限、向量空间、张量等，可培养科技人才的结构化思维和问题建模能力，这种能力是人工智能、算法设计、理论物理等新质生产力前沿领域的核心需求。

（2）现代科学技术的通用语言。高等数学是解决复杂工程问题的工具，例如机械设计的动力学建模，芯片设计的傅立叶变换，机器学习的梯度下降、梯度爆炸，贝叶斯统计、密码学、生物模型的微分方程、经济学的优化理论、量子力学的希尔伯特空间等等都以高等数学为表述框架。（3）创新研究的催化剂。现代科技突破常源于数学方法的创新。例如：深度学习依赖矩阵运算和优化理论，航天工程需用偏微分方程模拟流体力学，金融科技中随机过程和蒙特卡洛模拟。（4）跨学科融合的桥梁。高等数学为学科交叉提供了共同范式：生物信息学将基因序列转化为拓扑结构分析，材料科学通过偏微分方程预测材料性能，环境科学利用统计模型处理气候数据。（5）应对技术变革的底层能力。在技术快速迭代的背景下，扎实的数学基础使人才具备快速学习新领域的能力，例如人工智能专业人才从传统编程转向量子计算，批判性验证技术方案的严谨性，例如评估 AI 模型的收敛性，发明新工具的潜力，例如张量计算推动深度学习框架发展。

## （二）高等数学的教学现状与转型需求

高等数学作为理工科专业的核心基础课程，其教学质量直接影响科技人才的培养水平。然而，当前高等数学教学仍面临诸多挑战，亟需适应现代科技发展趋势进行系统性改革<sup>[7-10]</sup>。

1. 当前高等数学教学的主要现状。首先，教学内容滞后于科技发展，教材和课程体系仍以传统微积分、线性代数为主，离前沿科技（如机器学习、量子计算、大数据分析）所需的数学工具（如张量分析、随机过程）在教学中较少涉及。然后，教学模式以“填鸭式”为主，缺乏实践性。课堂仍以“定义—定理—例题”的单向灌输模式为主，学生被动接受知识，缺乏主动探索。计算软件（如 MATLAB、Python）的应用不足，导致学生只会手算，却无法用数学工具解决实际问题。最后，学生数学基础差异大，学习动力不足，部分学生因高中与大学数学的断层（如极限、 $\epsilon-\delta$  语言）产生畏难情绪。部分专业（如计算机、经管）学生认为高等数学“无用”，学习目标不明确。

2. 高等数学教学的转型需求。首先，教学内容：加强现代数学与前沿科技的结合。在传统微积分、线性代数基础上，增加数

据科学、机器学习、优化算法等相关内容（如梯度下降、奇异值分解）。其次，教学方法：从“理论灌输”转向“问题驱动”。采用案例教学（如用微分方程建模传染病传播、用矩阵分解做图像压缩）。推广翻转课堂，让学生课前学习理论，课堂时间用于讨论和解决问题。结合编程实践（如用 Python 实现梯度下降算法），增强数学的可视化和应用性。再次，分层教学：因材施教，提升学习效果。对数学基础较弱的学生，开设预备课程（如“大学数学先修课”），弥补知识断层。对学有余力的学生，提供高阶数学选修课（如拓扑学、泛函分析），满足科研需求。最后，跨学科融合：让数学回归“工具”本质。与计算机、物理、经济等专业合作，设计交叉学科案例（如“区块链中的密码学数学”“生物信息学的统计方法”）。邀请企业或科研机构专家授课，展示数学在工业界（如自动驾驶、芯片设计）的应用。

## 二、新质生产力与高等数学教育的理论建构

### （一）根据新质生产力的核心内涵构建高等数学教育理念

新质生产力是以科技创新为核心驱动力、数字技术为支撑、人机协同为特征的新型生产力形态，其内涵对高等数学教育的重构具有指导意义。

1. 创新驱动发展理念。新质生产力的核心在于通过技术创新推动社会发展。在高等数学教育中，需打破传统“知识灌输”模式，转向“问题导向型”教学。例如：以人工智能专业为例，在讲授全微分知识前可以设计例题：神经网络训练依赖损失函数对权重的偏导数（梯度）进行参数优化，计算损失函数对权重和偏置的偏导数，解释梯度方向如何指导参数更新以最小化损失。在讲授多元函数复合函数求导时，可以设计一个风力涡轮机功率输出与风速、叶片角度等多变量相关的例题，给出功率模型，求解功率对风速和叶片角度的偏导数，并分析当风速等于某个常数时，如何调整角度使得功率最大。以专业的问题引入驱动学生的求知欲，可以提高学生的学习兴趣以及增强学生对高等数学作用的重视。

2. 人机协同教育生态。随着 AI 技术的大变革，新质生产力的人机协同特征要求高等数学教育打破“教师主导”的单向模式，构建“教师—AI—学生”三元协同的生态体系，实现资源智能配置与能力分层培养。教师在教学中的角色要从主导者转化为引导者与协作者，从知识传授者转变为学习路径设计者。例如，在讲解梯度下降法时，教师不再是推导公式，而是聚焦于算法原理思路的讲解和工程应用的讨论，在定理方面的推导可以讲讲思路和引导学生如何利用 AI 来讲解定理的推导。另外，教师要联合工科学科教师利用 AI 设计综合性项目，例如智能车路径规划中的最优控制问题，这样体现了数学工具在多领域协同发展的枢纽作用。利用 AI 辅助生成与专业结合的例题，例如人工智能专业那就多设计神经网络优化的数学问题。

### （二）教学重构的理论框架

基于新质生产力的核心内涵与高等数学教育的转型需求，教学重构需融合教育学、认知科学及工程认证标准，形成多维度理

论支撑体系。以下是具体补充内容：

1. 建构主义学习理论的延伸。建构主义认为学习是学生主动建构知识的过程，而非被动接受信息。在高等数学教学中，需通过情境化学习和协作探究实现知识内化。以 OBE 为导向<sup>[4]</sup>，明确学习成果，设计与学生专业紧密结合的学习任务，如利用微积分知识解决机器学习中的优化问题，或应用线性代数进行图像处理，使学生在解决实际问题的过程中深化对高等数学原理的理解和应用能力。

2. 认知负荷理论的应用。认知负荷理论强调在信息加工过程中要合理控制工作记忆的负荷，避免认知过载。因此，在高等数学课程设计中，应简化复杂概念的表述，利用图形、动画等多媒体手段辅助理解，同时，合理安排教学进度，确保学生在适度的认知负荷下高效学习。

3. 工程教育认证标准的融入。结合工程教育认证标准，高等数学的教学设计需强调实践能力和创新能力的培养，通过项目式学习、实习实训等方式，使学生在解决实际工程问题的过程中，将数学知识与工程实践紧密结合，提升综合素养。

4. 终身学习理念的贯穿。新质生产力的快速发展要求个体具备持续学习和自我提升的能力。在高等数学教学中，应培养学生的自主学习意识和能力，通过在线学习资源、学术论坛等途径，鼓励学生不断探索新知，形成终身学习的习惯<sup>[4]</sup>。

综上所述，教学重构的理论框架旨在通过建构主义学习理论的延伸、认知负荷理论的应用、工程教育认证标准的融入以及终身学习理念的贯穿，构建一个以学生为中心、注重实践能力和创新能力培养的高等数学教学体系，以适应新质生产力对高素质人才的需求。

### 三、基于新质生产力的教学设计原则

在新质生产力的引领下，高等数学的教学设计应遵循以下原则：

#### （一）注重创新性与实用性相结合

教学内容应包含传统高等数学知识，并融入与现代科技紧密相关的数学工具和方法，例如数据分析、机器学习算法等。通过案例分析、项目实践等教学手段，使学生在掌握理论知识的同时，能够将所学应用于解决实际问题，培养创新思维和实践能力。

#### （二）强调个性化与差异化教学

针对学生的数学基础和学习能力差异，采取分层教学、个性化辅导等策略，确保每位学生均能在适宜的节奏下学习。同时，鼓励学生根据个人兴趣和职业规划，选择相关的高等数学课程和学习内容，以满足个性化发展的需求。

#### （三）构建协同与合作的学习环境

充分利用人工智能技术，搭建“教师—AI—学生”三元协同的教学平台，实现资源共享、智能辅导和个性化学习路径规划。通过数学建模项目讨论、协作学习等方式，促进学生之间的交流与合作，共同解决问题，提升团队协作能力。

#### （四）坚持理论与实践相结合的教学理念

在传授高等数学理论知识的同时，注重培养学生的实践应用能力。通过实验室实践、企业实习、科研项目等途径，让学生将所学知识应用于实际情境中，加深对高等数学原理的理解和应用能力。同时，鼓励学生参与学术竞赛、科技创新等活动，激发其创新潜能和创业精神。

### 四、教学思维培养

#### （一）发展成长型心态

在高等数学教学中，培养学生的成长型心态至关重要。成长型心态鼓励学生面对数学难题时，不畏挑战，勇于探索，视困难为成长的机会。教师应通过正面激励和榜样示范，引导学生树立积极的学习态度，相信通过持续努力，可以克服任何数学难关。例如，可以分享数学家们克服难题、取得突破的励志故事，激发学生的斗志和信心。同时，教师应关注学生的学习过程，及时给予反馈和鼓励，让学生感受到进步的喜悦，从而更加坚定成长型心态。激励学生勇敢面对挑战，不仅是高等数学，整个教育体系都应着重培养学生的韧性，即在面对困难和挫折时坚持不懈的能力。在高等数学课堂上，教师可以通过设置具有挑战性的任务，如复杂的数学证明或实际问题建模，来锻炼学生的韧性。鼓励学生不畏失败，从错误中学习，将挑战视为成长的阶梯。此外，教师还应传授有效的学习策略，如分块学习、间隔重复等，帮助学生更有效地应对学习中的困难，从而进一步增强学生的自信心和应对挑战的能力。

#### （二）知识的综合应用与扩展

在高等数学教学中，知识的综合应用与扩展是培养学生高阶思维能力和创新能力的关键环节。在这一过程中，不仅要求学生掌握孤立的知识点，更需要通过跨领域联结、真实问题驱动和创造性转移，建立数学知识的立体化认知体系。具体可以从以下纬度展开：跨章节整合训练。设计综合问题，如将微积分与线性代数结合，用矩阵分析多元函数极值，用线性代数克拉默法则解决多元隐函数方程组的解。另外通过思维导图工具引导学生梳理知识脉络，例如用图论可视化微积分与概率论的逻辑关联。实际问题情景化教学。通过引入工程、经济、生物等领域的数学模型案例，如微分方程模拟传染病传播，用全微分解析机器学习算法。定期开展“数学建模挑战”活动，给定开放性问题，例如城市交通流量优化，要求学生综合运用数学工具建模数学建模并撰写分析报告。

### 五、结语

新质生产力驱动下的高等数学教学改革，是教育领域回应科技革命与产业变革的关键实践。本研究立足于人工智能等前沿学科的人才需求，通过重构教育理念、创新教学设计、优化教学策略，探索出一条以数学思维培养为核心、以跨学科融合为路径、以创新能力塑造为目标的教学改革路径。研究证实，将新质生产

力的创新驱动、人机协同、数字赋能等特征嵌入高等数学教学体系，不仅能显著提升数学知识的应用效能，更能为科技人才培养注入可持续的成长动力。

### 参考文献

[1] 南钢. 面向新质生产力的中国高等教育：挑战与应对 [J]. 山东高等教育, 2024, (03): 1-8+89.

[2] 邢占军, 王晶心. 高等教育数智化转型赋能新质生产力的内在机理与实现路径 [J]. 南京社会科学, 2024, (12): 155-162. DOI: 10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2024.12.015.

[3] 詹晶, 贺威姿. 高校跨学科创新人才培养的现实困境与数智赋能 [J]. 高教论坛, 2025, (04): 90-94.

[4] 谢小军, 马虹, 魏玉华, 龙彩燕. 基于 OBE 理念的线性代数课程与工科类专业的融合路径研究. 应用统计与数据科学, 2025, 1(2), 107 - 110.

[5] 孙宗仁. 基于深度学习的优质在线课程影响因素分析及方法研究. 应用统计与数据科学, 2025, 1(2), 124 - 128.

[6] 王伟. 数字化赋能在职业教育数学教学中的应用与挑战. 应用统计与数据科学 2025, 1(2), 111 - 113.

[7] 袁媛, 范彦勤, 郑芳. 应用型高校提高高等数学教学质量的研究 [J]. 教育教学论坛, 2023, (09): 80-83.

[8] 李继猛. 高等数学课程教学策略 [J]. 学园, 2021, 14(29): 40-42.

[9] 黄华, 毛绪平, 张瑜, 等. 高等数学教育教学的“第一公里”问题研究——基于问卷调查的统计分析 [J]. 高教学刊, 2021, 7(36): 69-72+79. DOI: 10.19980/j.CN23-1593/G4.2021.36.018.

[10] 王玉海, 于卓. 探索有效教学模式, 提高高等数学教学质量 [J]. 长春大学学报, 2022, 32(04): 96-99+108.

# 智能体在虚拟教研中的应用实践及成效探索

## ——以“历史教研助手”为例

廖俊龙<sup>1</sup>, 卓晓莉<sup>1</sup>, 黄子彪<sup>1</sup>, 朱映辉<sup>1\*</sup>, 万辉<sup>2</sup>

1. 韩山师范学院 计算机与信息工程学院, 广东 潮州 521041

2. 广州东软睿道教育信息技术有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ASDS.12180

**摘 要 :** 虚拟教研室建设面临资源不足、创新模式尚不健全及管理机制不完善等问题, 传统教研也存在行政干预过多、教师间合作不够深入的局限。为此, 本研究设计“历史教研助手”智能体, 其涵盖精准答疑、资料推荐、试卷生成、制作教学 PPT、模拟对话以及自动批改试卷等, 为虚拟教研难题提供新方案。实践表明, 该智能体促进教师专业发展, 优化教学设计, 激发学生学习兴趣, 推动教育技术与历史教学深度融合, 有效提升虚拟教研效率。

**关 键 词 :** 智能体; 虚拟教研; 智能问答; 教学创新; 协同育人

### Application Practice and Effectiveness Exploration of Intelligent Agents in Virtual Teaching and Research: Taking "History Teaching and Research Assistant" as an Example

Liao Junlong<sup>1</sup>, Zhuo Xiaoli<sup>1</sup>, Huang Zibiao<sup>1</sup>, Zhu Yinghui<sup>1\*</sup>, Wan Hui<sup>2</sup>

1. School of Computer and Information Engineering, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041

2. Guangzhou Neusoft Ruidao Education Information Technology Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract:** The construction of the virtual teaching and research office is faced with issues such as insufficient resources, an unsound innovation model, and an imperfect management mechanism. Traditional teaching and research also has limitations like excessive administrative intervention and insufficient in-depth cooperation among teachers. To address these, this study designs a "History Teaching and Research Assistant" intelligent agent. It covers functions such as accurate question answering, teaching material recommendation, test paper generation, teaching PPT production, simulated dialogue, and automatic test paper marking, offering a new solution to problems in virtual teaching and research. Practice shows that this intelligent agent can promote teachers' professional development, optimize teaching design, stimulate students' interest in learning, facilitate the deep integration of educational technology and history teaching, and effectively enhance the efficiency of virtual teaching and research.

**Keywords:** agent; virtual teaching and research; intelligent question answering; teaching innovation; collaborative education

## 引言

教育部在2021年7月发布了《关于开展虚拟教研室建设试点工作的通知》, 着重提到要运用“智能+”技术, 来提升教师的教学水平, 这已然成为基层教学组织在信息时代达成变革的关键途径。不过, 就资源整合、教研方式革新以及管理体制完善等方面来看<sup>[1]</sup>, 虚拟教研室遇到了不少难题。在这样的情形之下, 把智能体充分融合到教学实践中去, 进而为虚拟教研室增添新的活力, 毫无疑问是一种

基金项目: 广东省本科高校在线开放课程指导委员会重点研究课题(2022ZXKC310);

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】4-282“软件与智能物联产业学院”);

广东省教育厅科研项目“重点领域专项”(2023ZDZX1014)。

广东省普通高校重点实验室(数据科学与智慧教育重点实验室, 编号2022KYS003)。

作者简介:

廖俊龙(2003-), 男, 韩山师范学院计算机与信息工程学院2023级软件工程卓师班学生;

卓晓莉(2003-), 女, 韩山师范学院2023级软件工程卓师班学生;

黄子彪(2004-), 男, 韩山师范学院2023级软件工程卓师班学生;

万辉, 信息系统项目管理师(高级), 本科。

通信作者: 朱映辉, 教授, 硕士。



## 一、虚拟教研室的研究现状、案例与意义

### （一）研究现状

虚拟教研室是教育领域基层教学组织方面的创新实践举措。截至 2023 年，教育部已核准 787 个试点项目<sup>[2]</sup>。其由院校、教研单位、企业等多元主体组建，覆盖领域广、类型丰富，在课程教学、学科建设和教学改革等方面发挥重要作用。

### （二）案例

#### 1. 浙江大学：“浙大先生”

“浙大先生”整合算力、数据、模型、平台及应用五大要素，在开发复杂且依托大型模型的智能体应用方面彰显出非凡能力。在校友服务等场景助力师生开发适配学校需求的智能体。

#### 2. 上海海事大学：“海事超级智能体”

“海事超级智能体”，针对海务学科知识难点，在船舶操作、航海法规等学习场景中，快速解答学生疑问，保障学习效率。

#### 3. 北京师范大学：“EduPX”

“EduPX”，依托强大的数据处理分析能力，精准检索政策信息、预测发展趋势，为教育治理体系的现代化转型提供有力的支持。

### （三）意义

当前，虚拟教研室建设的热潮正在兴起。浙江大学、上海海事大学以及北京师范大学等高校已开展相关研究，且已经充分证明了智能体在备课、解答问题、辅助决策等多个教学环节具有显著的优势。因此，将“历史教研助手”整合到虚拟教研室中，对于提升学科教学质量效益有着深远的实际价值。

## 二、历史教研助手对现代历史教学的契合

### （一）历史教学特点与需求

历史教学核心在于激发学生历史好奇心，培养其主动学习意识，以及解读、分析、搜集、整理和运用历史资料的能力，借此激发创造性、想象力和分析能力。同时，历史教育着力增强学生国家意识与爱国情感，培养创新思维和团队协作能力，传承世界各民族优秀传统文化，助力学生全面发展。

### （二）对历史教学的契合

“历史教研助手”能够满足这些需求，主要体现在以下几个方面：

（1）激发求知欲：借助智能体来充分营造历史氛围，使学生沉浸在真实时期的情景以及各类事件中，进而点燃学生对于历史学科的强烈兴趣。

（2）促进知识掌握：智能体能够精准捕捉学习过程里的关键信息，分析这些信息并运用简洁的方式去描述，使得学生能够更进一步地去了解相关知识。

（3）分析能力强化：智能体通过交互式对话，引导学生深入探

究历史事件，锻炼批判性思维，提升分析能力，助力形成独特见解。

（4）个性化学习支援：智能体能够给出量身定制的学习建议，还能进行资源推荐<sup>[3]</sup>，以此来满足不同学生各自的学习需求。

（5）教学资源生成：试卷与 PPT 生成模块，能够为教师给予多元化的教学辅助<sup>[4]</sup>，在很大程度上减轻了教师备课方面的压力，提升整体的教学效能。

### （三）智能体应用框架

#### 1. 智能体应用结构

“历史教研助手”智能体采用智能体层、服务层、用户层三层架构设计，极大地提升了智能体的功能效果以及服务能力，保证其可以满足多样化的虚拟教研实际需求。

#### （1）智能体层

智能体层在整个系统当中处于核心地位，其主要任务是直接对用户所提出的请求予以处理，进而为用户提供智能化的相关服务。该层包含多个功能模块：

①知识管理：对历史信息要点予以存储并加以整理，是构成能够支撑智能体去回答各类问题以及推荐相关资源的极为关键的核心基础所在。

②试卷生成：依据教学目标来自动创建历史试卷。在这一流程中，既涉及到对题目进行编排，也包含着对难度等级予以精准的调控。

③ PPT 生成：辅助教师制作教学用的 PPT，提高备课工作效率。

④对话系统：能够实现与用户用自然语言沟通，其可以解答用户所提出的各类疑问，还能够给予相应的学习方面的指导。

⑤图像处理：解读并剖析图片，为教学以及学习给予强有力的支撑。

#### （2）服务层

服务层为智能体层提供核心支持，赋予其下层智能体层数据访问、处理能力，使其得以完成复杂任务，驱动智能交互。具体涵盖以下几个方面：

①数据管理：保存用户行为记录、个人信息等关键数据。

②自然语言处理：解析用户所输入的文本，提炼关键信息助力智能分析。

③图像识别：识别图片信息并加以分析，解析图像特征赋能智能决策。

#### （3）用户层

用户层主要由教师和学生群体构成，通过网络接口与服务层交互，将需求传送给智能体层处理，处理结果再经服务层反馈给用户。

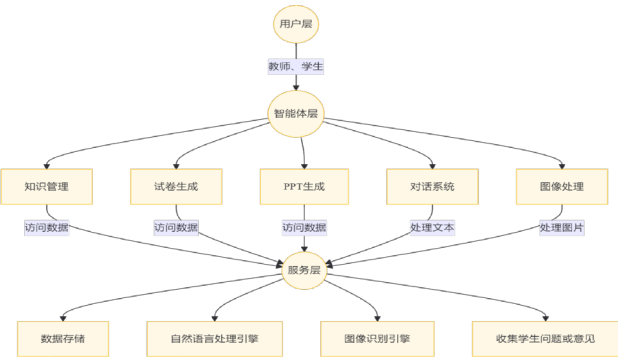
①教师：教师借助智能体获取各类教学资源，辅助备课工作，优化教学设计。

②学生：学生借助智能体处理学习问题，快速获取知识解答实现高效学习。

各层级彼此相互协作，层级之间的数据相互流转。正是依靠

这种分层架构,“历史教研助手”智能体能够在虚拟教研中提供既高效又智能化的服务,有力地推动着教学以及学习模式不断地进行创新,促进其进一步发展。

智能体应用框架如图1所示:



> 图1 智能体应用框架

2. 智能体功能模块设计

“历史教研助手”的设计核心在于采用多模块结构,每个模块皆针对特定的教学需求进行精心优化,为历史教学提供全面智能服务。

(1) 知识管理模块

该模块负责收集、整理并保存历史知识,在史料文献、专业学术库等资源中广泛收集素材。针对用户的问题,模块利用自然语言处理技术<sup>[6]</sup>,深入分析问题,精准匹配知识,快速输出优质解答。

(2) 学习资料推荐模块

该模块基于大模型,依据用户学习目标,筛选适配的模拟试题、书籍等自研资源。智能体结合用户教育背景与学习现状,灵活调整推荐,精准匹配个性化学习需求。

(3) 试卷生成模块

该模块在创建试卷过程中,会根据预设的试题比例或用户个性化需求,灵活组合题型与知识点内容,生成涵盖不同难度及题型的试卷。

(4) 交互对话模块

该模块赋予系统以自然语言<sup>[6]</sup>与用户沟通的能力,擅长模拟“与古人对话”。模块利用自然语言处理领域的对话管理生成技术,模拟古代人物的说话风格和思维,让用户实现和“古人”的生动互动。

(5) PPT生成模块

该模块根据教师设定的教学主题与目标学员,从知识管理模块调取适配历史资料,运用内容排布算法,自动生成课件PPT。

(6) 图像处理模块

该模块内含图像识别和图像检索。前者结合图像识别技术、用户问题及历史知识,精准识别图像。后者运用图像特征提取和相似度量技术,提取输入查询图像特征,与数据库图像特征比对并计算相似度分数,从海量图像数据中快速、准确筛选出相似或相关的图像集合。

(7) 评分试卷模块

该模块根据用户提交的试卷、标准答案及用户答题答案,利用先进的算法和模型,对用户答题情况进行精准判断,能清晰地标注出错误的答案,从而帮助用户深刻认识掌握历史知识的程度。

通过对这些功能模块的精心构建,“历史教研助手”得以在虚拟教研中提供高效智能服务,推动教学与学习方式的革新与发展。

智能体功能模块实践案例如表1所示:

表1 智能体功能模块实践案例

| 模块     | 用户提问  | 智能体回复   |
|--------|---|---|
| 知识管理   | 秦始皇统一六国的意义                                      | 主要体现在以下五个方面(政治、经济、文化、军事、交通):<br>.....(略)  |
| 学习资料推荐 | 想学习中国近代史,有什么推荐                                  | 学习资源推荐:.....(略)<br>学习建议:.....(略)  |
| 试卷生成   | 请根据我的情况,生成一份大学中等难度历史试卷(单项选择题10道,多项选择10道,材料简析4道) | 大学中等难度历史试卷.pdf  |
| 交互对话   | 请你扮演祖冲之的角色,跟我谈论圆周率                              | 后生,老夫经无数日夜,以算筹推演,得圆周率在3.1415926至3.1415927间。此数值于天文、测量等皆关键。虽计算艰辛,但意义重大,不知你在这方面,可有新见解? |
| PPT生成  | 生成PPT:主题为“秦始皇的历史功绩”,受众是初中历史学生                   | 秦始皇的历史功绩.pptx   |
| 图像处理   | “五四运动”的相关图片                                     |   |

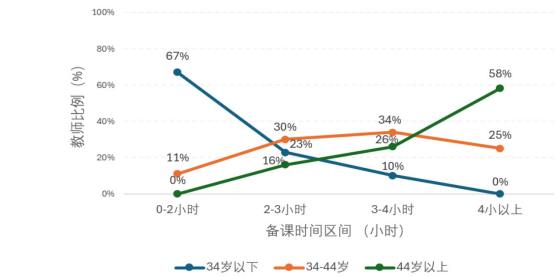
|      |   |  |
|------|---|--|
| 图像处理 |  | 图中的历史事件是红军长征过草地。<br>事件简介：.....（略）<br>意义：.....（略） |
| 评分试卷 | 上传 ..... 试卷，..... 试卷答案，..... 用户答案，请对试卷进行评分  | 试卷总得分是 .....<br>得分情况：.....（略）<br>答题情况分析：.....（略） |

三、历史教研助手智能体问卷评估

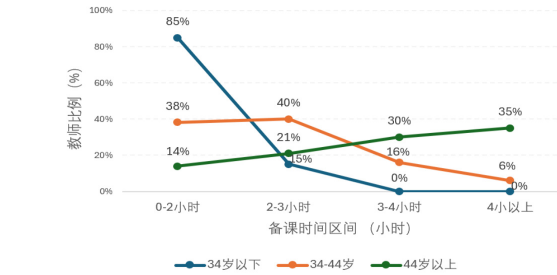
此次关于“历史教研助手在历史教学中的应用效果”开展调查，涉及到学生、教师群体，最终回收得到的有效问卷数量共261份。通过对备课时长方面的变化、各类功能使用的频次情况、教学效果评估等不同维度，针对智能体所带来的历史教学效率方面的提升、学习等相关情况进行相应探讨。对兴趣激发、批判性思维培养等核心指标所产生的影响展开较为全面且系统的考察。经调研发现，在缩减教师备课时长、给出准确的历史知识点以及生成实用的教学资源等方面，智能体都收获了较为显著的成效。

（一）智能体能够有效缩短教师备课时长

各年龄段的教师使用智能体前后在备课时间上的分布情况如图2图3所示：



> 图2 使用前的备课时间情况



> 图3 使用后的备课时间情况

图2和图3数据表明，智能体应用于教学备课，大幅缩短各年龄段教师备课时间，提升备课质量与教学效果。

（二）智能体能够有效提高历史学习兴趣

学生对智能体在提高历史学习兴趣情况如图4所示。

图4数据显示，学生对提高历史学习兴趣的评价相当积极，具体认为“有效”学员占42.86%，28.57%的出评“非常有效”，28.57%的学生认为效果“一般”。

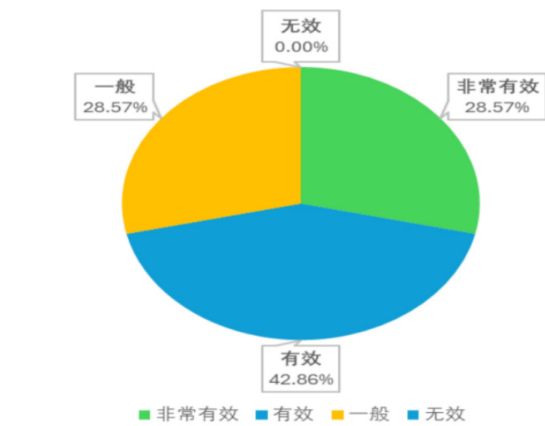
数据表明，在激发学生学习历史的积极性上，智能体表现出相当积极的效果。

（三）智能体能提供精准历史知识点

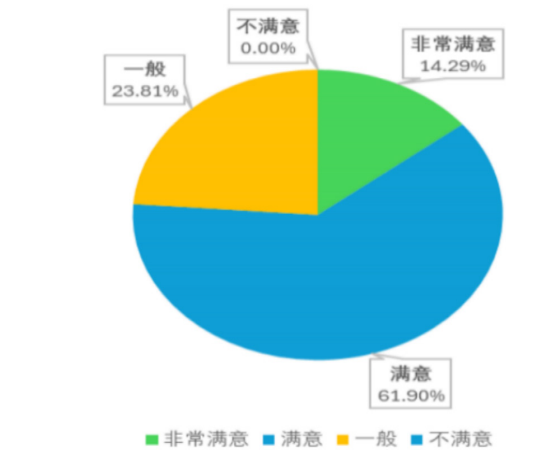
师生对智能体历史知识点准确性与详细度的满意度如图5所示。

图5数据显示，61.9%的师生对智能体提供的历史知识点准确性和详细度满意，14.29%非常满意，23.81%认为一般。

据此，在历史知识呈现上，智能体的精准度达到了较高水平，完全满足学生学习需求。通过整合呈现权威史料，为学生奠定扎实的知识基础，助力学生更好地理解 and 掌握历史知识。



> 图4 学生对智能体在提高历史学习兴趣情况



> 图5 师生对智能体历史知识点准确性与详细度的满意度

四、虚拟教研中智能体应用的挑战与对策

（一）挑战

（1）数据隐私方面存在忧虑<sup>[7]</sup>：在智能系统运行的过程中，必然会采集教师学的个人资料及学习行为数据，存在隐私泄露

风险。

(2) 性能方面面临瓶颈挑战<sup>[8]</sup>：随着用户规模扩大，应用场景日趋多元复杂，智能体信息处理效能与答案准确性均受制约。

(3) 教师角色转换<sup>[9]</sup>：教师需从知识传递者转为学习活动组织者与支持者，这对其信息技术应用和教学创新能力提出更高要求。

(4) 学生学习模式转变<sup>[10]</sup>：过度依赖智能工具，削弱其独立思考与自主探索能力。

## (二) 综合策略与建议

技术强化：建立数据访问权限控制体系，记录操作日志便于追溯；采用加密技术，保障数据存储与传输安全。

教育提升：聚焦师资培养，加强教师智能体应用培训，提升教学辅助能力；同时指导教师掌握引导学生合理使用智能体的方法，激发学生自主学习与批判性思维。

多方协同：政府需因地制宜出台政策并提供经费支持；学校可联合搭建虚拟教研室或实验中心<sup>[11]</sup>，共享区域教育资源，促进协同发展；此外，综合技术性能、教学效果与用户体验等多维度评估智能体应用，针对性优化完善。

## 五、结束语

“历史教研助手”是一款智能历史教学辅助工具，功能丰富实用。尽管目前存在改进空间，但发展前景广阔。通过持续优化，它将助力培养更多兼具历史素养与综合能力的人才，为历史教育创新提供有力支持。同时，也能为师生带来更好的教学与学习体验，推动历史教学模式变革，成为教育技术与历史教学深度融合的关键力量。

## 参考文献

- [1] 李雪, 张家琼. 高校虚拟教研室建设的内涵、挑战与推进路径 [J]. 重庆第二师范学院学前教育学院学报, 2024, (11): 9-13.
- [2] 别敦荣. 虚拟教研室的功能与建设路径 [J]. 中国高教研究, 2024, (04): 7-14.
- [3] 刘晓宇, 张衍伟, 李高建, 尹娇. 基于虚拟教研室开展智慧教研的价值、困境及路径 [J]. 教学与管理, 2025, (01): 29-33.
- [4] 戴园园. 生成式人工智能在教学中的应用——以微课制作为例 [J]. 现代教育技术, 2025, (03): 129-131.
- [5] 孙宗仁. 基于深度学习的优质在线课程影响因素分析及方法研究. 应用统计与数据科学, 2025, 1(2), 124-128.
- [6] 黄凡. 基于自然语言处理的智能对话系统研究 [J]. 广西金融职业技术学院学报, 2025, (03): 38-40.
- [7] 卓晓莉, 廖俊龙, 黄子彪, 朱映辉, 黄穗. 智能体在虚拟教研中的应用设计与分析. ASDS 2025, 1(2), 93-95.
- [8] 刘晓宇, 张衍伟, 李高建, 尹娇. 基于虚拟教研室开展智慧教研的价值、困境及路径 [J]. 教学与管理, 2025, (01): 29-33.
- [9] 张玮凌, 傅敏. 数智时代教师的角色危机及行动转向 [J]. 西北师范大学教育科学学院学报, 2025, (04): 79-85.
- [10] 许珊珊. 人工智能时代教师角色的重构：机遇、挑战与新定位 [J]. 黑龙江大学学报, 2025, (05): 36-39.
- [11] 郭萍倩, 张亚锋. 高校教研教改的现状与工作质量提升 [J]. 安徽宿州学院学报, 2025, (03): 61-64.



# 流数据下的在线可更新稳健期望分位数回归

胡冠浩<sup>1</sup>, 姜荣<sup>2\*</sup>

1. 东华大学, 数学与统计学院, 上海 201600

2. 上海对外经贸大学, 统计与信息学院, 上海 201620

DOI:10.61369/ASDS.12181

**摘 要 :** 随着实际数据分析中动态流式数据集的比例不断上升, 流数据的应用场景正在不断拓宽。在海量数据下, 尖峰厚尾数据分布占据重要比例, 如何进行对应的稳健估计是非常有必要的。本研究提出基于 Huber 损失函数的稳健期望分位数回归方法, 仅使用历史汇总统计量实现在重尾噪声下给出实时高效的稳健估计, 并且在特定假设条件下建立估计量的渐近性质。模拟研究进一步验证, 该方法在流式计算环境中处理大规模数据集时, 具有稳健性和实时性。

**关 键 词 :** 流数据; 稳健期望回归; 在线可更新估计; 非对称损失函数; 厚尾分布

## Online Updatable Robust Expectile Regression with Streaming Data

Hu Guan hao<sup>1</sup>, Jiang Rong<sup>2\*</sup>

1. School of Mathematics and Statistics, Donghua University, Shanghai 201600

2. School of Statistics and Information, Shanghai University of International Business and Economics, Shanghai 201620

**Abstract:** With the continuous increase in the proportion of dynamic streaming datasets in practical data analysis, the application scenarios of streaming data are expanding. Under massive data environments, peaked and heavy-tailed data distributions occupy a significant proportion, making it necessary to develop corresponding robust estimation methods. This study proposes a robust expectile regression method based on the Huber loss function, which achieves real-time and efficient robust estimation under heavy-tailed noise through incremental parameter updates using only historical summary statistics, and establishes the asymptotic properties of the estimator under specific assumptions. Numerical experiments further verify that the proposed method exhibits robustness and real-time performance when processing large-scale datasets in streaming computation environments.

**Keywords:** streaming data; robust expectile regression; online renewable estimation; asymmetric loss function; heavy-tailed distribution

## 引言

随着数字基础设施的不断完善以及数据与各行业的深度融合, 全球数据生成速率正以高速复合增长率突破物理存储边界, 其中超过70%的新增数据以流式形态动态抵达。这种数据洪流在金融高频交易、工业物联网监测等场景中呈现出显著的重尾分布特征——据纽约证券交易所实测数据显示, 约5%的极端值承载着超过80%的风险信息。同时, 移动支付的吞吐量达到2Tbps, 实时处理流数据成为关键问题。流数据(Streaming data)处理主要以在线更新算法为主。流数据作为动态时序数据序列, 其本质为数据观测点按序到达且具有单次遍历性。此类数据可形式化表示为 $\{D_t\}_{t=1}^{\infty}$ , 其中 $D_t$ 表示第 $t$ 个时刻到达的数据切片。在线更新算法的核心机制在于增量计算框架的构建——通过设计递推公式实现统计量的动态更新, 例如均值估计量 $\bar{D}_t = \frac{t-1}{t}\bar{D}_{t-1} + \frac{1}{t}D_t$ , 该公式仅需存储前序统计量而非完整历史数据<sup>[1]</sup>, 有效满足流处理的有限存储约束。处理流数据的最严格的约束条件是, 一旦处理了流数据中的元素, 就必须将其丢弃或只有少量特定的数据元素才会被存储。同时流数据分析有时效性要求。针对流数据处理的上述特性, 学界已发展出多类流式估计方法: Schifano等<sup>[2]</sup>基于线性模型提出滑动窗口参数更新策略, Wang等<sup>[3]</sup>则拓展至分位数回归框架, 但二者均存在流的数量上限有所局限。Luo和Song<sup>[4]</sup>构建的广义线性模型迭代估计器, 突破传统方法的流数量约束, 其渐近相合性证明为实际工程应用提供了理论保障。因此, 流数据的特性就是规模宏大、实时连续到达、极值不可预测, 尤其是仅可处理一次的特性, 在不访问历史数据的情况下, 利用在线可更新框架进行统计推断。

作者简介: 胡冠浩, 东华大学数学与统计学院, 硕士研究生, 研究方向为大数据分析;

通讯作者: 姜荣, 上海对外经贸大学统计与信息学院, 教授, 硕士生导师, 研究方向为大数据统计、在线数据统计分析、分布式计算、分位数回归、非参数/半参数模型。

在稳健回归方面, Huber 回归方法具有对异常值非常稳健的特性<sup>[4]</sup>。这种方法最初由 Huber 在 1964 年提出, 旨在解决传统最小二乘法对异常值敏感的问题。为了减少噪声的影响, Gupta 等<sup>[5]</sup>通过使用非对称 Huber 损失函数分析了稳健的正则化极限学习机框架。针对高维非光滑优化问题, Yi 等<sup>[6]</sup>提出一种融合半光滑牛顿法与坐标下降策略的混合算法, 适用于特定情况下的 Huber 回归及分位数回归场景。在稳健回归方法研究中, 为抵抗异常值或包含具有重尾分布的变量, Sun 等<sup>[7]</sup>研究了自适应 Huber 回归, 揭示稳健性调节参数与样本规模、数据维度及高阶矩的关联, 推导出具有维度自适应特性的误差上下界, 实现高维数据的稳健估计与推理。俞搏<sup>[8]</sup>在 Huber 损失函数的基础上, 通过引入可调节的尾部衰减机制, 实现对 Huber 函数抗离群值能力的定向优化。Akkaya 等<sup>[9]</sup>研究 Huber 损失函数极小化问题, 研究控制全局最小值集稀疏性的正则化参数的选择巧妙应对高维数据噪声。潘莹丽等<sup>[10]</sup>结合分布式优化的思想, 采用 Huber 回归方法去消除异常值和厚尾变量的影响。具有无限方差的重尾噪声在实践中普遍存在。与分位数回归相比, 期望回归涉及到最小化二次损失, 并且可以对重尾响应敏感。为了解决这一限制, Man 等<sup>[11]</sup>提出了一种稳健回归方法, 通过重构非对称最小二乘框架的权重分配机制, 保留期望回归计算效率优势, 引入基于残差分布自适应的调节参数, 使模型对极端值的敏感度降低。其理论分析表明, 该方法在响应变量仅需有限二阶矩存在的弱假设下, 仍能保持估计量的 Oracle 性质。该方法继承了期望回归的计算便捷性和统计效率, 并且在重尾响应分布下几乎与分位数回归一样稳健。针对流数据处理, 研究提出一种基于 Huber 损失的在线可更新期望分位数估计方法, 实现对分布尾部的非对称的探索。基于在线可更新机制, 仅需历史数据的的历史统计量即可实现参数动态更新, 满足流处理系统的实时性处理需求。

## 一、基于 Huber 损失的稳健期望分位数回归

首先定义  $y \in \mathbb{R}$  是响应变量,  $x = (x_1, \dots, x_p)^T \in \mathbb{R}^p$  是一个  $p$  维协变量,  $\{D_1, D_2, \dots, D_b\}$  为流数据集, 其中  $D_t = \{(y_i, x_i), i = 1, \dots, n_t, t = 1, \dots, b\}$ ,  $n_t = |D_t|$ , 其中  $N_b = \sum_{t=1}^b n_t$ ;  $t = 1, \dots, b$ 。观测值  $\{(y_i, x_i), i = 1, \dots, n\}$  独立同分布于总样本  $(y, x)$ 。对于给定的参数  $\tau \in (0, 1)$ , 假定观测值来自以下线性回归模型:

$$y = x^T \beta_0 + \varepsilon. \quad (1-1)$$

其中,  $T$  表示转置,  $\varepsilon$  是随机误差,  $\beta_0 = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$  是  $p$  维回归变量, 随  $\tau$  的不同值而变化, 从而提供了对给定  $x$  的  $y$  的整个条件分布的信息。

期望分位数回归的定义非对称平方损失函数  $L_\tau(u)$  如下:

$$L_\tau(u) = |\tau - I(u \leq 0)|u^2 = \begin{cases} \tau u^2, & u > 0 \\ (\tau - 1)u^2, & u \leq 0, \end{cases} \quad (1-2)$$

其中  $\tau$  为取值介于 0 到 1 之间的非对称参数, 依靠  $\tau$  控制损失函数的非对称程度。与分位数回归相比, 期望回归涉及到最小化二次损失, 因此对重尾响应敏感。为了解决这一限制, Man 等人提出了一种稳健期望分位数回归方法, 该方法继承了期望分位数回归的计算便捷性和统计效率, 并且在重尾响应分布下几乎与分位数回归一样稳健。

理论上, 对于模型 (1-1) 中的真参数  $\beta_0$ , 采用稳健期望分位数回归方法求解真参数, 对于观测值  $\{(y_i, x_i), i = 1, \dots, n\}$ , 即求解如下方程最小化的根:

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \sum_{i=1}^n L_{\tau, y}(y_i - x_i^T \beta) \quad (1-3)$$

其中  $L_{\tau, y}(u) = |\tau - I(u < 0)| \cdot \ell_\tau(u)$  是损失函数,  $I(v)$  为示性函数, 而  $\ell_\tau(\cdot)$  服从下文第 2 小节中的条件 C1。Huber 损失

$$\ell(u) = u^2/2 \cdot I(|u| \leq 1) + (|u| - 1/2) \cdot I(|u| > 1) \text{ 也符合条件 C1。}$$

## 二、在线可更新方程

### (一) 全数据集 Oracle 估计

首先给出 Oracle 估计量的表达式。根据式 (1-3), Oracle 回归估计量  $\hat{\beta}_{N_b}$  的表达式, 模型中针对求解真参数向量  $\beta_0$  的估计, 即求解如下方程最小化的根:

$$\hat{\beta}_{N_b} = \arg \min_{\beta} \frac{1}{N_b} \sum_{t=1}^b \sum_{i=1}^{n_t} L_{\tau, y}(y_i - x_i^T \beta) \quad (2-1)$$

其中  $L_{\tau, y}(u) = |\tau - I(u < 0)| \cdot \ell_\tau(u)$  是损失函数,  $I(v)$  表示示性函数, 而  $\ell_\tau(\cdot)$  服从 C1。根据 Man 等<sup>[11]</sup>, 给出以下假设条件。

C1: 损失函数  $\ell_\tau(u) = \gamma^2 \ell(u/\gamma)$  和  $\ell(\cdot)$  满足: (i)  $\nabla \ell(0) = 0$ , 对于任意的  $u \in \mathbb{R}$  有  $|\nabla \ell(u)| \leq \min(a_1, |u|)$ ; (ii)  $\nabla^2 \ell(0) = 1$ , 对于任意的  $|u| \leq a_3$  有  $\nabla^2 \ell(u) \geq a_2$ ; (iii) 对于任意  $u \in \mathbb{R}$ , 有  $|\nabla \ell(u) - u| \leq u^2$ , 其中  $a_1, a_2, a_3$  都是正的常数。

C2:  $\Sigma_t = E(x_t x_t^T)$  是一个正定矩阵, 有  $\lambda_u \geq \lambda_{\max}(\Sigma_t) \geq \lambda_{\min}(\Sigma_t) \geq \lambda_t \geq 0$  并存在  $c \geq 1$ , 对所有的  $\delta \in \mathbb{R}$  和  $t \geq 0$ , 有  $P\left(\left|x^T \Sigma_t^{-\frac{1}{2}} \delta\right| \geq c \|\delta\|_2 t\right) \geq 2e^{-\frac{t^2}{2}}$ 。

C3: 回归误差是独立的,  $E(\varepsilon^2|x) \leq \sigma_\varepsilon^2 < \infty$ , 其中  $\sigma_\varepsilon^2 = \max_{1 \leq j \leq d} \sigma_{jj}$ , 并且  $E(w_\tau(\varepsilon) \cdot \varepsilon|x) = 0$ , 其中  $w_\tau(u) = |\tau - I(u < 0)|$ 。

假设条件 C1、C2、C3 成立可得:

$$\sqrt{N}(\hat{\beta}_n - \beta_0) \xrightarrow{d} N(0, J^{-1} E\{\varepsilon^2(\varepsilon) x x^T\} J^{-1}) \quad (2-2)$$

其中  $J = E\{w_\tau(\varepsilon) x x^T\}$ 。

### (二) 在线可更新稳健期望分位数回归估计

在给出了流数据集的 Oracle 估计的情况下, 在流式数据集  $\{D_1, D_2, \dots, D_b\}$ 。根据 (1-3) 设定  $\hat{\beta}_t = \arg \min_{\beta} Q_{n_t}(\beta)$ , 其中

$$Q_{n_t}(\beta) = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} L_{\tau, y}(y_i - x_i^T \beta) \quad (2-3)$$

其中, 子集大小  $n_t$  远小于全集大小  $N_b$ 。因此, 计算速度更加

快捷,内存占用更少。在C1、C2、C3下,局部估计 $\hat{\beta}_t, t=1, \dots, b$ 也服从渐近正态分布

$$\sqrt{n_t}(\hat{\beta}_t - \beta_0) \xrightarrow{d} N(0, J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\} J_t^{-1}), n_t \rightarrow \infty. \quad (2-4)$$

其中 $J_t = E\{w_t(\varepsilon) x_t x_t^T\}$ 。由(2-4)式 $\{\hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_b\}$ 服从复合正态

分布 $\left\{N\left(\beta_0, \frac{1}{n_t} J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\} J_t^{-1}\right), \dots, N\left(\beta_0, \frac{1}{n_b} J_b^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_b x_b^T\} J_b^{-1}\right)\right\}$ 。

则极大似然函数如下 $L(\beta) = \prod_{t=1}^b \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right)^p \left(\frac{1}{n_t} J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\} J_t^{-1}\right)^{-\frac{1}{2}} \exp$

$$\left\{-\frac{n_t}{2} J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\} J_t^{-1} (\hat{\beta} - \beta)^T \left\{J_t E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\}^{-1} J_t\right\} (\hat{\beta} - \beta)\right\}$$

由上式取对数可得

$$\log(L(\beta)) = C - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^b n_t (\hat{\beta}_t - \beta)^T \left\{J_t E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\}^{-1} J_t\right\} (\hat{\beta}_t - \beta) \quad \text{其中 } C \text{ 为常数。}$$

令上式最大化,可得到所需估计量,等价最小化下式损失

$$Q(\beta) = \sum_{t=1}^b n_t (\hat{\beta}_t - \beta)^T \left\{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t\right\} (\hat{\beta}_t - \beta) \quad (2-5)$$

令

$$\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} = \left(\sum_{t=1}^b \hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t\right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^b J_t \Sigma_t^{-1} J_t \beta_{t-1}\right), \quad b=2, 3, \dots \quad (2-6)$$

根据上式,只需要在每一个 $D_b$ 中针对求解 $J_t \Sigma_t^{-1} J_t$ 和 $\hat{\beta}$ 。其中,

$$\hat{J}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} w_i(\varepsilon_i) x_{it} x_{it}^T, \quad \hat{\Sigma}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} \hat{\xi}^2(\varepsilon_i) x_{it} x_{it}^T, \quad \hat{\xi}(\varepsilon) = w_t(\varepsilon) \nabla \ell_\gamma(\varepsilon),$$

$\ell_\gamma(u) = \gamma^2 \ell(u/\gamma)$ ,  $w_t(u) = |\tau - I(u < 0)|$ 。取Huber损失函数,

$\ell(u) = u^2/2 \cdot I(|u| \leq 1) + (|u| - 1/2) \cdot I(|u| > 1)$ 。则 $L_{\gamma, \gamma}(u) = |\tau - I(u < 0)| \cdot \ell_\gamma(u)$ , 则

$$L_{\gamma, \gamma}(u) = |\tau - I(u < 0)| L(u) = |\tau - I(u < 0)| \left\{\frac{u^2}{2} I(|u| \leq \gamma) + \left(\gamma |u| - \frac{\gamma^2}{2}\right) I(|u| > \gamma)\right\}.$$

具体算法流程可见表1。

表1 在线更新算法

算法: 在线更新算法

|   |  |
|---|--|
| 1 | 输入: 子集 $D_t = \{(y_{it}, x_{it}), i=1, \dots, n_t, t=1, \dots, b\}, N, b, \tau, \gamma$ .                          |
| 2 | 初始: 初始值 $U_t = 0_{p \times p}, V_t = 0$  |
| 3 | for $t=1, 2, \dots, b$ do  |
| 4 | 读取数据集 $D_t$ 取数据, 并由(2-6)式计算 $\hat{\beta}_t$ , 和  |
| 5 | $U_t = U_t + \hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t, \quad V_t = V_t + \hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t \hat{\beta}_t$ |
| 6 | end  |
| 7 | 输出: $\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} = U_b^{-1} V_b$  |

### 三、大样本性质

为了证明可更新在线稳健回归估计的理论性质,在C1、C2、C3的基础上,根据Wang等人<sup>[12]</sup>增加一些条件:

C4: 设 $n = \frac{N_b}{b}$ 为每个子集的平均大小。要求 $\frac{n}{\sqrt{N_b}} \rightarrow \infty$ , 并且所有的子集大小 $n_t$ 都以 $o(n)$ 阶发散,即存在正的常数 $c_1$ 、 $c_2$ ,

有 $c_1 \leq \min_i \frac{n_i}{n} \leq \max_i \frac{n_i}{n} \leq c_2$ 。

C5: 存在正定矩阵 $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_b$ 满足 $\frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_{it} x_{it}^T \xrightarrow{p} J_t^{-1} \Sigma_t J_t^{-1}$ 。

定理1在C1-C5的条件下,在线可更新稳健期望分位数估计量的渐近分布如下:

$$[\Phi(f)]^{\frac{1}{2}} \sqrt{N_b} (\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} - \beta_0) \xrightarrow{d} N(0, I_p)$$

且 $\Phi(f) = J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\} J_t^{-1}$ 。

证明: 对于局部稳健的估计量 $\hat{\beta}$ ,其服从渐近条件如下:

$$\hat{\beta}_t - \beta_0 = J_t^{-1} \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} \xi(\varepsilon_i) x_{it} + O_p\left(\frac{1}{n_t}\right)$$

根据方程(2-6),我们可以得到 $\hat{\beta}_{N_b}^{OHER}$ 和 $\hat{\beta}$ 的关系是如下所示:

$$\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} = \left(\sum_{t=1}^b J_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t\right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^b J_t \Sigma_t^{-1} J_t \beta_t\right) = \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t}\right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{J_t \Sigma_t^{-1} J_t}{n_t} \beta_t\right), \quad \text{其中 } w_t = \frac{n_t}{N_b},$$

则直接计算可得:

$$\sqrt{N_b} (\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} - \beta_0) = \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t}\right)^{-1} \left(\sqrt{N_b} \sum_{t=1}^b w_t \frac{J_t \Sigma_t^{-1} J_t}{n_t} (\beta_t - \beta_0)\right)$$

且 $\sqrt{N_b} \left(\sum_{t=1}^b w_t \left(\frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t} - J_t \Sigma_t^{-1} J_t\right) (\hat{\beta}_t - \beta_0)\right) = O_p\left(\frac{b}{\sqrt{N_b}}\right)$ 和由正则性条件

C1-C5,可以获得

$$\begin{aligned} & \sqrt{N_b} \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t} (\hat{\beta}_t - \beta_0)\right) \\ &= \sqrt{N_b} \left(\sum_{t=1}^b w_t \Sigma_t (\hat{\beta}_t - \beta_0)\right) + \sqrt{N_b} \left(\sum_{t=1}^b w_t \left(\frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t} - \Sigma_t\right) (\hat{\beta}_t - \beta_0)\right) \\ &= \sqrt{N_b} \left(\sum_{t=1}^b w_t \hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t \left(\frac{1}{E[w_t(\varepsilon)]} \sum_{i=1}^{n_t} \xi(\varepsilon_i) x_{it} + O_p\left(\frac{1}{n_t}\right)\right)\right) + O_p\left(\frac{b}{\sqrt{N_b}}\right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{N_b}} \sum_{t=1}^b \frac{1}{E[w_t(\varepsilon)]} \sum_{i=1}^{n_t} x_{it} \xi(\varepsilon_i) + O_p\left(\frac{b}{\sqrt{N_b}}\right) \end{aligned}$$

当 $\sum_{t=1}^b w_t = 1$ , 则 $\sum_{t=1}^b w_t \frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t} - \sum_{t=1}^b w_t J_t \Sigma_t^{-1} J_t = \sum_{t=1}^b w_t \left(\frac{J_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t} - J_t \Sigma_t^{-1} J_t\right) = O_p(1)$

由此可得

$$\begin{aligned} & [\Phi(f)]^{\frac{1}{2}} \sqrt{N_b} (\hat{\beta}_{N_b}^{OHER} - \beta_0) \\ &= [\Phi(f)]^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{\hat{J}_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t}\right)^{-1} \left(\sqrt{N_b} \sum_{t=1}^b w_t \frac{J_t \Sigma_t^{-1} J_t}{n_t} (\hat{\beta}_t - \beta_0)\right) \\ &= [\Phi(f)]^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{t=1}^b w_t \frac{J_t \hat{\Sigma}_t^{-1} J_t}{n_t}\right)^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{N_b}} \sum_{t=1}^b \frac{1}{E[w_t(\varepsilon)]} \sum_{i=1}^{n_t} x_{it} \xi(\varepsilon_i) + O_p\left(\frac{b}{\sqrt{N_b}}\right)\right) \\ &\xrightarrow{d} N(0, I_p) \end{aligned}$$

如果每次数据流中的协变量是齐次的,即 $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_b = \Sigma$ ,

$\Phi(f) = J_t^{-1} E\{\xi^2(\varepsilon) x_t x_t^T\}$ ,这与方程(2-1)中Oracle估计量的渐近方差一致。可更新估计量 $\hat{\beta}_{N_b}^{OHER}$ 与Oracle估计量 $\hat{\beta}_{N_b}$ 渐近等价。

### 四、数值实验

在本节中,使用蒙特卡罗模拟研究来评估所提出方法的有效性。所有程序都是用R代码编写的。实验围绕流数据处理展开,针对每一批到达数据,通过在线可更新稳健期望分位数回归估计与全数据集估计进行比较。从以下线性模型生成数据:

$$Y_i = X_i^T \beta_0 + \{\varepsilon_i - e(\tau)\}, i=1, \dots, N_b,$$

其中 $e(\tau) = \min_{i=1}^n L_{\tau, Y_i}(Y_i - e)$ 是为了消除估计器对 $\tau$ 的影响,使得在不同的 $\tau$ 值下真值为 $\beta_0$ 。参数的真值为 $\beta_0 = (1, 1, 0, 2)$

$X_i = [1, X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}]^T$ ,  $X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}$ 服从多重正态分布 $N[0, \Sigma]$ ,其中协方差矩阵 $\Sigma$ 是由 $\Sigma_{ij} = 0.5^{i-j}, 1 \leq i, j \leq 4$ 构成的。根据Man等人<sup>[11]</sup>的参数研究,取总样本参数 $\gamma = \sqrt{N_b / (p + \log(N_b))}$ 和子集样本

参数 $\gamma_t = \sqrt{n_t / (p + \log(n_t))}$ 。固定样本子集大小 $n_t = 500$ ,并改变机器数量 $K$ ,然后得到总样本大小 $n = 500K$ 。误差 $\varepsilon_i$ 独立于以下三个分布之一产生: (i)  $\varepsilon_i \sim N(0, 1)$ , (ii)  $\varepsilon_i \sim 0.85N(0, 1) + 0.15N(0, 4)$ ,

(iii)  $\varepsilon_i \sim 0.85N(0,1)+0.15N(4,8)$ 。

为了评估提出方法的性能，通过计算了均方差（MSE）和计算时间（以秒为单位）。表2和表3给出了基于100次仿真模拟的分位数水平 $\tau$ 为0.2，0.5和0.8的结果。

表2 不同  $K$  和  $\tau$  下对应 MSE 均值

| Error | $\tau$ | $D=10$ | $D=20$ | $D=50$ | $D=100$ | $D=200$ |
|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| (i)   | 0.2    | 0.110  | 0.108  | 0.110  | 0.113   | 0.116   |
|       | 0.5    | 0.107  | 0.102  | 0.098  | 0.102   | 0.101   |
|       | 0.8    | 0.113  | 0.116  | 0.107  | 0.109   | 0.109   |
| (ii)  | 0.2    | 0.117  | 0.115  | 0.110  | 0.114   | 0.121   |
|       | 0.5    | 0.110  | 0.114  | 0.109  | 0.100   | 0.106   |
|       | 0.8    | 0.112  | 0.108  | 0.115  | 0.115   | 0.105   |
| (iii) | 0.2    | 0.156  | 0.162  | 0.164  | 0.152   | 0.163   |
|       | 0.5    | 0.148  | 0.158  | 0.150  | 0.141   | 0.149   |
|       | 0.8    | 0.153  | 0.159  | 0.146  | 0.152   | 0.158   |

表3 不同  $K$  和  $\tau$  下对应计算累计的时间（ $10^{-2}$ 秒）

| Error | $\tau$ | Method | $D=10$ | $D=20$ | $D=50$ | $D=100$ | $D=200$ |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| (i)   | 0.2    | All    | 3.158  | 5.83   | 17.468 | 41.65   | 80.968  |
|       |        | OHR    | 0.517  | 0.494  | 0.621  | 0.904   | 0.905   |
|       | 0.5    | All    | 4.519  | 7.775  | 18.267 | 33.121  | 63.018  |
|       |        | OHR    | 0.737  | 0.875  | 0.762  | 0.76    | 0.765   |
|       | 0.8    | All    | 4.749  | 9.496  | 22.363 | 41.797  | 80.626  |
|       |        | OHR    | 0.840  | 0.713  | 0.840  | 0.765   | 0.813   |
| (ii)  | 0.2    | All    | 5.240  | 8.645  | 22.612 | 39.706  | 76.955  |
|       |        | OHR    | 0.793  | 0.743  | 0.869  | 0.842   | 0.865   |
|       | 0.5    | All    | 4.506  | 7.495  | 17.795 | 32.365  | 62.381  |
|       |        | OHR    | 0.698  | 0.820  | 0.890  | 0.709   | 0.818   |
|       | 0.8    | ALL    | 5.269  | 9.400  | 21.728 | 40.563  | 78.291  |
|       |        | OHR    | 0.794  | 0.778  | 0.750  | 0.769   | 0.794   |
| (iii) | 0.2    | All    | 3.035  | 5.842  | 15.422 | 36.817  | 72.718  |
|       |        | OHR    | 0.520  | 0.489  | 0.620  | 0.784   | 0.763   |
|       | 0.5    | All    | 4.204  | 8.072  | 17.581 | 32.545  | 62.067  |
|       |        | OHR    | 0.831  | 0.735  | 0.718  | 0.898   | 0.743   |
|       | 0.8    | All    | 4.933  | 8.534  | 9.592  | 37.112  | 72.652  |
|       |        | OHR    | 0.703  | 0.757  | 0.882  | 0.735   | 0.898   |

从表2和表3可以得出以下结论：

1.关于表2中的 MSE，所有估计量 MSE的结果都相对非常小，即是在重尾噪声下，所对应的均方误差依然相对较小，估计值都接近真值，因此提出的在线估计量具有稳健性。

2.关于表3中的计算时间，注意到，对于任意给定数量的机器和分位数 $\tau$ ，提出的估计量（OHER）比全数据集更快，当全数据集所花时间不断上升时，可更新处理的时间变化极低并维持在极短时间内，在单位 $10^{-2}$ 秒下，流数据所耗费时间全部达到毫秒级满足实时处理要求，并且随着流的数目从 $D=10$ 到 $D=200$ ，处理时间差异远小于流的增加量，验证随着流数的增加，流数据实时处理

的仍具有可行性。

## 五、结束语

本研究提出基于 Huber 损失函数的稳健期望分位数回归的在线可更新估计方法，仅使用历史汇总统计量实现参数增量更新，在重尾噪声下给出实时高效的稳健估计。在满足特定假设条件下，建立估计量的渐近性质。通过数值实验进一步验证，该方法在流式计算环境中处理大规模数据集时，该方法在保证统计效率的同时，显著提升了计算时效性。

## 参考文献

[1]Luo L, Song P. Renewable estimation and incremental inference in generalized linearmodels with streaming data sets[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 2020, 82(1), 69 - 97.

[2]Schifano E D, Wu J, Wang C, Yan J, Chen M H. Online updating of statistical inference in the big data setting[J].Technometrics, 2016, 58(3):393-403.

[3]Wang K, Wang H, Li S. (2022). Renewable quantile regression for streaming datasets. Knowledge-Based Systems, 235:107675.

[4]Huber P J. Robust estimation of a location parameter[J]. Annals of Mathematical Statistics, 1964,35 (1): 73-101.

[5]Gupta D, Hazarika B B, Berlin M. Robust regularized extreme learning machine with asymmetric Huber loss function[J]. Neural Computing and Applications. 2020,32 (16): 12971 - 12998.

[6]Yi C, Huang J. Semismooth Newton coordinate descent algorithm for elastic-net penalized Huber loss regression and quantile regression[J]. Journal of Computational and Graphical Statistics, 2017, 26(3): 547-557.

[7]Sun Q, Zhou W X, Fan J. Adaptive Huber regression[J]. Journal of the American Statistical Association, 2020, 115(529): 254-265.

[8]俞搏天. p-Huber 损失函数及其鲁棒性研究 [D]; 浙江师范大学, 2021.

[9]Akkaya D, Pınar M Ç. Minimizers of sparsity regularized huber loss function[J]. Journal of Optimization Theory and Applications. 2020,187(1): 205-233.

[10]潘莹丽, 刘展, 朱千慧子. 大数据背景下基于 Huber 回归模型的分布式优化方法研究 [J]. 数理统计与管理, 2022, 41(04): 633-646.

[11]Man R, Tan K, Wang Z, Zhou W. Retire: Robust expectile regression in high dimensions[J]. Journal of Econometrics, 2023,239 (2).

[12]Wang K, Wang H, Li S. Online renewable quantile regression and penalized learning for streaming datasets[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems,2021,34(5),2341 - 2352.



# 基于 GA-GWO 混合优化算法的 ANN-KNN 融合模型的股票价格区间预测

孙怡瞳, 宫雨竹, 徐祥博, 李甘露, 莫慧杰, 杨凯\*

长春工业大学数学与统计学院, 吉林 长春 130012

DOI:10.61369/ASDS.12182

**摘要：** 本文提出一种基于混合优化算法的多模型融合预测框架, 即为一种基于人工神经网络 (ANN) 和 K 近邻 (KNN) 融合的预测方法。该方法在训练期间, 先运用遗传算法 (GA) 进行若干代的优化, 初步定位潜在的最优区域, 再运用灰狼优化算法 (GWO) 仔细搜索最优结果, 进而得到最优的模型参数。同时构建两个双序列模型, 通过仿真实验对比融合模型与单一模型的预测效果。结果显示, 与单模型的预测效果相比, 融合模型在捕捉股票价格趋势和波动性方面表现更为卓越。

**关键词：** 区间值时间序列; 神经网络; KNN; 融合模型; 混合优化算法

## Stock Price Interval Prediction Using a GA-GWO Hybrid Optimization Algorithm-Based ANN-KNN Fusion Model

Sun Yitong, Gong Yuzhu, Xu Xiangbo, Li Ganlu, Mo Huijie, Yang Kai\*

School of Mathematics and Statistics, Changchun University of Technology, Changchun, Jilin 130012

**Abstract:** This paper proposes a hybrid optimization algorithm-based multi-model fusion prediction framework, which integrates an Artificial Neural Network (ANN) and K-Nearest Neighbors (KNN). During the training phase, the Genetic Algorithm (GA) is first employed to optimize potential solution spaces over multiple generations, followed by the Grey Wolf Optimizer (GWO) to refine the search for optimal parameters. Additionally, dual-sequence models are constructed to compare the prediction performance between the fusion model and individual models through simulation experiments. The results demonstrate that the fusion model outperforms single models in capturing stock price trends and volatility.

**Keywords:** interval-valued time series; neural networks; KNN; fusion model; hybrid optimization algorithm

## 引言

在众多领域中, 区间值数据广泛存在, 它能够表示数据的不确定性、可变性等特征。在金融市场, 股票收益<sup>[1]</sup>等时间序列随着时间推移呈现出复杂的波动性变化。吴玉霞等人利用 ARIMA 模型对创业板市场股票价格变动的规律和趋势进行了预测<sup>[2]</sup>, 未能充分考虑区间值时间序列的非线性特征和波动性, 难以准确捕捉市场波动。杨星等人利用非对称非线性平滑转换的广义自回归条件异方差算法的碳价格均值自回归检验<sup>[3]</sup>, 虽能刻画波动聚集性, 但其依赖方差假设

为结合不同算法的优势, 融合模型逐渐成为研究热点<sup>[4]</sup>。田瑞杰等 (2019) 尝试将 BP 与 ANN 形成融合模型<sup>[5]</sup>, 丰富了融合模型的领域。温泉等人提出 TSO-XGBoost 并行融合模型<sup>[7]</sup>, 但未针对区间值数据的双序列特性进行适配。本文将以改进上述模型的问题为目的, 针对现有研究的数据表示单一化、模型协同不足和动态适应性弱等的局限性, 提出一种基于双序列分解的 ANN-KNN 的融合模型, 通过分阶段协同预测与残差优化, 为提升区间值时间序列预测的准确性和效率提供坚实的理论基础与技术支持。

项目信息: 国家自然科学基金项目 (12471249) 长春工业大学大学生创新创业训练计划项目 (202410190088)。

作者简介: 孙怡瞳 (2004-), 女, 吉林省长春市人, 长春工业大学学生, 研究方向: 时间序列分析;

通讯作者: 杨凯 (1984-), 男, 辽宁省沈阳市, 副教授, 博士生导师, 研究方向: 时间序列分析. Email: yangkai@ccut.edu.cn

## 一、模型构建

在传统数据分析中,现实存在的一些信息无法表示,这促使了区间数据分析方法(SDA)的发展。区间数据指的是变量取值范围在某个区间内。为了解析这类数据,我们通过区间的中点和半径来进行研究。即当区间值数据按照时间顺序进行收集时,我们得到了区间值时间序列数据<sup>[8]</sup>在相同的时间里。(t=1,2,...,n 其中n为实际序列观察到的区间个数)。因此我们得到  $X_{U_t}$  和  $X_{L_t}$  并  $X_{L_t} \leq X_{U_t}$  且,此时  $X_{U_t}$  和  $X_{L_t}$  分别为时刻的区间上界和下界,则原时间序列数据即可表示为:

$$[X_{L_1}, X_{U_1}], [X_{L_2}, X_{U_2}], \dots, [X_{L_n}, X_{U_n}] \quad (1)$$

### (一) 中值-对数半径序列 (M-LR)

为进行后续模型预测,本段将聚焦构建两个时间序列:区间中值序列  $X_t^M$  与对数半径序列  $X_t^{LR}$ 。结合文中(1)所给出的区间序列形式,我们能够分别运用以下方式来构建这两个序列:

$$X_t^M = \frac{X_{U_t} + X_{L_t}}{2} \text{ 和 } X_t^{LR} = \log_2\left(\frac{X_{U_t} - X_{L_t}}{2}\right) \quad (2)$$

通过模型得到这两个序列拟合的值并将其用于预测区间的上界和下界的值,因此对区间的上界和下界的预测分别为:  $\hat{U}_t = \hat{X}_t^M + 2^{\hat{X}_t^{LR}}$  和  $\hat{L}_t = \hat{X}_t^M - 2^{\hat{X}_t^{LR}}$ 。其中  $\hat{X}_t^M$  和  $\hat{X}_t^{LR}$  分别表示中值和对数半径序列的模型预测结果。

我们定义预测半径为  $\hat{R} = 2^{\hat{X}_t^{LR}}$ ,将区间中值序列的残差和区间半径序列的残差分别表示为:  $\varepsilon_{X_t^M} = X_t^M - \hat{X}_t^M$  和  $\varepsilon_{X_t^{LR}} = X_t^{LR} - \hat{X}_t^{LR}$ 。其中,  $\hat{X}_t^M$  是区间中值序列通过模型的预测结果,  $\hat{X}_t^{LR}$  是将模型得到的结果去对数化后得到的预测结果。

基于上述内容,区间时间序列的最终预测表示如下:

$$\hat{X}_t^M = \hat{U}_t + \hat{N}_{U_t} \text{ 和 } \hat{X}_t^{LR} = \hat{L}_t + \hat{N}_{L_t} \quad (3)$$

其中,  $\hat{N}_{U_t}$  是其他模型对区间上界的预测误差,  $\hat{N}_{L_t}$  是其他模型对区间下界的预测误差。这些误差由以下式子得出:

$\hat{N}_{U_t} = \varepsilon_{X_t^M} + \varepsilon_{X_t^{LR}}$  和  $\hat{N}_{L_t} = \varepsilon_{X_t^M} - \varepsilon_{X_t^{LR}}$ , 这里的  $\varepsilon_{X_t^M}$  是其他模型对时间时区间中值序列误差的预测结果,  $\varepsilon_{X_t^{LR}}$  是其他模型对时间时区间半径序列误差的预测结果。

综上,利用区间中值序列  $\hat{X}_t^M$  和区间对数半径序列  $\hat{X}_t^{LR}$  构建的双序列模型,通过对区间上界和下界进行预测,最终得到的预测区间为  $[\hat{X}_t^L, \hat{X}_t^U]$ 。

### (二) 中值-半径序列 (M-R)

在本部分中,考虑两个时间序列:区间中值序列  $X_t^M$  和区间半径序列  $X_t^R$ 。考虑到给出的(1)的区间序列形式,我们可以分别用:

$$X_t^M = \frac{X_{U_t} + X_{L_t}}{2} \text{ 和 } X_t^R = \frac{X_{U_t} - X_{L_t}}{2} \quad (4)$$

在进行模型训练和数据预测中,我们运用区间中值序列  $X_t^M$  和区间半径序列  $X_t^R$ 。因此对区间的上界和下界的预测值分别为:  $\hat{U}_t = \hat{X}_t^M + \hat{X}_t^R$  和  $\hat{L}_t = \hat{X}_t^M - \hat{X}_t^R$  其中  $\hat{X}_t^M$  和  $\hat{X}_t^R$  分别表示中值和区间半径序列的模型预测结果。

根据上述预测结果,我们定义中值残差序列即为  $\varepsilon_{X_t^M} = X_t^M - \hat{X}_t^M$ , 半径残差序列为:  $\varepsilon_{X_t^R} = X_t^R - \hat{X}_t^R$ 。其中  $\hat{X}_t^M$  和  $\hat{X}_t^R$  分别表示中值和区间半径序列的模型预测结果。因此,区间时间序列的最终预测为:

$$\hat{X}_t^M = \hat{U}_t + \hat{N}_{U_t} \text{ 和 } \hat{X}_t^R = \hat{L}_t + \hat{N}_{L_t} \quad (5)$$

其中  $\hat{N}_{U_t}$  和  $\hat{N}_{L_t}$  分别为对区间上界和下界的预测误差。通过  $\hat{N}_{U_t} = \varepsilon_{X_t^M} + \varepsilon_{X_t^R}$  和  $\hat{N}_{L_t} = \varepsilon_{X_t^M} - \varepsilon_{X_t^R}$  即可得到区间上界误差  $\hat{N}_{U_t}$  和区间下界误差  $\hat{N}_{L_t}$ 。其中  $\varepsilon_{X_t^M}$  和  $\varepsilon_{X_t^R}$  分别为用模型对 t 时间时的区间中值序列的误差和区间半径序列的误差预测结果。

综上运用区间中值序列  $\hat{X}_t^M$  和区间半径序列  $\hat{X}_t^R$  的双序列模型得到对于区间上界和下界的预测,即可得到最终的预测区间为  $[\hat{X}_t^L, \hat{X}_t^U]$ 。

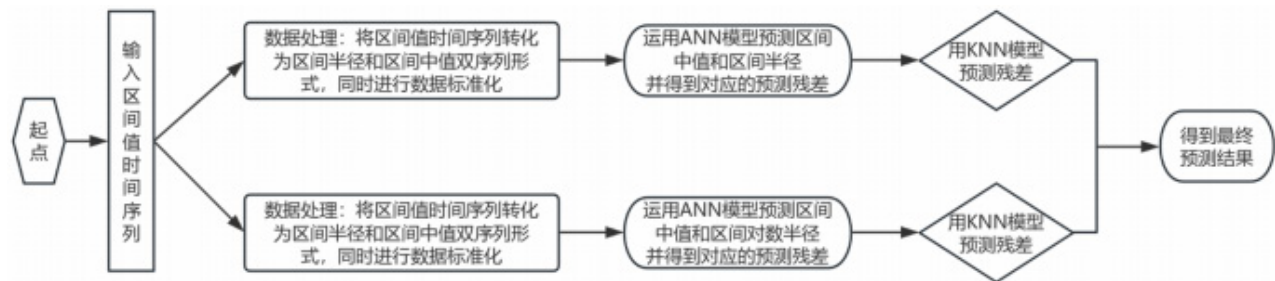
### (三) ANN-KNN融合模型

单一模型通常难以充分提取时间序列数据中的信息,为实现更高精度的预测,提出了融合模型<sup>[9]</sup>的预测方法。图1.1展示了融合模型结构,其核心思想是通过 ANN 模型进行区间中值、区间半径和区间对数半径的预测,再运用 KNN 模型<sup>[10]</sup>对上述区间的残差进行预测。将预测结果结合得到最终的预测结果。

为实现更高效地提取有用信息,可针对时间序列的不同特征开展建模工作。我们可以合理的认为区间值时间序列  $X_t = [X_t^L, X_t^U]^T$  (t=1,2,...,n) 是由两部分组成。即

$$X_t = L_t + N_t \quad (6)$$

其中  $X_t$  表示原始时间序列数据,  $L_t$  表示线性分量,  $N_t$  表示非线性分量。首先,假设残差仅包含非线性关系,利用 ANN 对线性分量进行建模并预测残差;再通过 KNN 模型对非线性分量进行建模和预测。最终将线性和非线性的结果模型进行组合,得到整体预测结果。

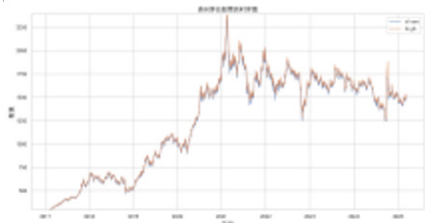


> 图 1.1: 融合模型流程图

二、实证分析

(一) 数据获取

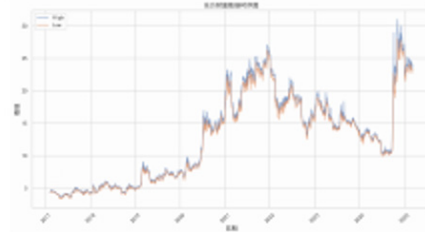
本次研究选用了贵州茅台股票数据为分析对象，时间为2017年2月7日至2025年3月7日共1964观测值。而后又选择从2007年1月3日到2016年12月30日的雅虎经济指数和2017年2月17到2025年3月7日的东方财富数据等的波动性数据。其中雅虎经济指数数据共包含2518条数据，东方财富数据共包含1964条数据。



(a) 贵州茅台股票的时序图



(b) 雅虎经济指数的时序图



(c) 东方财富数据的时序图

> 图 2.1: 三种不同数据的时序图

图 2.1(a)、图 2.1(b)、图 2.1(c) 分别展示了三个不同数据情况的波动性数据集的走势情况。图 2.1(a) 为贵州茅台股票数据，从 2017 年 - 2021 年，数据总体呈上升趋势，且 2022 年 - 2025 年间整体在一定区间内上下震荡。图 2.1(b) 为雅虎经济指数的时序图，自 2007 年开始雅虎经济指数随着时间一路上涨，在 2009 年达到峰值。图 2.1(c) 为东方财富指数的数据，从 2017 年 - 2021 年数据呈现上升趋势，随后在 2022 年 - 2024 年经历了较大幅度的波动下

降随后达到又一高峰。

(二) 单模型拟合

为了衡量不同模型的预测效果，本研究通过区间平均相对方差 (ARV)、区间覆盖率 (PICP) 和区间平均宽度 (PINAW) 这三种经典的精度评估指标。具体来说，这些精度的定义如下：

$$ARV = \frac{\sum_{t=1}^n \left( X_{t+1}^H - \hat{X}_{t+1}^H \right)^2 + \sum_{t=1}^n \left( X_{t+1}^L - \hat{X}_{t+1}^L \right)^2}{\sum_{t=1}^n \left( X_{t+1}^H - \overline{X}^H \right)^2 + \sum_{t=1}^n \left( X_{t+1}^L - \overline{X}^L \right)^2} \quad (7)$$

$$PICP = \frac{\min \left\{ X_t^H, \hat{X}_t^H \right\} - \max \left\{ X_t^L, \hat{X}_t^L \right\}}{X_t^H - X_t^L} \quad (8)$$

$$PINAW = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left( \hat{X}_t^H - \hat{X}_t^L \right) \quad (9)$$

其中  $n$  为样本数量， $X_{t+1}^H, X_{t+1}^L, X_t^H, X_t^L$  为第  $t+1$  个和第  $t$  个真实区间， $\hat{X}_{t+1}^H, \hat{X}_{t+1}^L, \hat{X}_t^H, \hat{X}_t^L$  为第  $t+1$  个和第  $t$  个拟合区间， $\overline{X}^H$  和  $\overline{X}^L$  分别为真实区间的最高值和最低值的平均值。

ARV 值表示数据点相对于区间平均值的离散程度。ARV 值越小，说明模型精度较高。PICP 值指的是真实值落在预测区间内部的比例，当 PICP 处于合理范围时，PINAW 越窄，代表预测区间越精确。当多个模型的 PINAW 相近时，PICP 越高，说明模型精度更高。

1. 模型预测

为了评估模型的泛化能力，我们以 80% 划为数据集的训练集，20% 划为数据集的测试集。想要得到最优模型，我们在所有单模型中引入遗传算法<sup>[11]</sup>和灰狼优化算法<sup>[12]</sup>形成混合优化模型 GA-GWO 进行每一个单模型的最优模型参数的选择。其基本思想是：利用遗传算法全局搜索能力强和灰狼优化算法局部效率高的特点形成优于两种单一优化模型的优化算法。即先用 GA 进行全局搜索，生成多样化的初始种群，再将 GA 的结果作为 GWO 的初始种群，利用 GWO 的包围机制进行精细搜索，进而得到更优的模型参数。

2. 单模型拟合结果

表 1 展示了单模型的预测情况分析，分别采用单一模型拟合三种不同数据的中值 - 半径序列和中值 - 对数半径序列的双序列预测效果。我们可以看到 ANN 模型表现最佳，在 PINAW 值相差不大的情况下具有最高的 PICP 值和最低的 ARV 值，表明该模型在拟合和预测区间值时间序列上非常有效。

表 1 单模型预测结果

| 模型      | 雅虎经济指数 |        |        | 贵州茅台股票 |         |        | 东方财富经济指数 |        |        |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|----------|--------|--------|
|         | PICP   | PINAW  | ARV    | PICP   | PINAW   | ARV    | PICP     | PINAW  | ARV    |
| SVRM-R  | 0.8811 | 1.7993 | 0.0329 | 0.8468 | 32.9006 | 0.0075 | 0.5468   | 0.5551 | 0.0272 |
| KNNM-R  | 0.917  | 1.6558 | 0.0096 | 0.8966 | 36.108  | 0.0095 | 0.4465   | 0.5851 | 0.0106 |
| ANNM-R  | 0.9999 | 1.8171 | 0.0000 | 0.9304 | 33.3034 | 0.0071 | 0.9973   | 0.5888 | 0.0000 |
| SVRM-LR | 0.9932 | 1.9185 | 0.0400 | 0.9805 | 30.6800 | 0.0002 | 0.7683   | 0.6028 | 0.0056 |
| KNNM-LR | 0.4177 | 1.7400 | 0.0480 | 0.9027 | 36.4862 | 0.0096 | 0.4126   | 0.5748 | 0.0105 |
| ANNM-LR | 0.7923 | 1.8000 | 0.027  | 0.4054 | 22.2836 | 0.413  | 0.8034   | 0.6333 | 0.0029 |

图 2.2(a)、图 2.2(b)、图 2.2(c) 展示了单模型分别对三种不同数据的双序列模型的预测曲线。从图中可以观察到，在三个不同类型的数据集中，ANN 模型拟合效果最好，说明 ANN 模型可以有效捕捉时间序列的趋势和波动。KNN 在中值 - 半径序列上表现较好，但整体波动较大，未能充分学习到区间值时间序列的特征。SVR 的预测值整体上和实际值较为接近，但预测精度不如 ANN 模型。



(a) 贵州茅台股票单模型预测曲线



(b) 雅虎经济指数单模型预测曲线



(c) 东方财富数据单模型预测曲线

> 图 2.2: 单模型预测曲线

(三) 融合模型拟合

通过分析以上单模型的拟合效果，发现 ANN 模型在区间值时间序列的预测上表现最佳。针对模型在某些预测点上存在较大相对误差的问题，在此考虑运用两个模型<sup>[6]</sup>分别对线性分量  $L_t$  和非线性分量  $N_t$  进行预测，并将两部分的预测结果以加法的形式组合，得到交易价格的最终预测结果。

表 2 分别是采用融合模型<sup>[4]</sup>拟合三种不同数据的中值 - 半径序列和中值 - 对数半径序列的双序列预测效果。将融合模型的预测效果与单模型的预测效果进行对比，发现融合模型在区间值时间序列预测中表现更好。其中提升效果比较明显的是东方财富指数中的 ANN-KNN 和 KNN-SVR 融合模型，这说明融合模型能从不同模型的优点中获益，并减少了单一模型的缺点。

表 2 融合模型预测结果

| 模型          | 雅虎经济指数 |        |        | 贵州茅台股票 |         |        | 东方财富经济指数 |        |        |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|----------|--------|--------|
|             | PICP   | PINAW  | ARV    | PICP   | PINAW   | ARV    | PICP     | PINAW  | ARV    |
| KNN-SVRM-R  | 0.8394 | 1.7539 | 0.0125 | 0.7245 | 32.7467 | 0.0073 | 0.8046   | 0.5478 | 0.0048 |
| ANN-KNNM-R  | 1.0000 | 1.8171 | 0.0000 | 0.9918 | 29.9399 | 0.0001 | 0.9919   | 0.5894 | 0.0003 |
| ANN-SVRM-R  | 0.9999 | 1.8174 | 0.0000 | 0.9727 | 30.5175 | 0.0039 | 0.9991   | 0.587  | 0.0000 |
| KNN-SVRM-LR | 0.8964 | 1.7395 | 0.0122 | 0.9064 | 34.3805 | 0.0056 | 0.6913   | 0.6214 | 0.0056 |
| ANN-KNNM-LR | 0.9787 | 1.8613 | 0.0436 | 0.9856 | 40.0000 | 0.4106 | 0.6781   | 0.5788 | 0.0046 |
| ANN-SVRM-LR | 0.9724 | 1.8885 | 0.0186 | 0.9608 | 38.4330 | 0.4150 | 0.7012   | 0.5275 | 0.0033 |

在雅虎经济指数中，ANN-KNN 模型的预测区间相对实际值的比例较为一致，模型精度较高。在贵州茅台股票上，ANN-KNN 模型在三个融合模型中表现最佳，PICP 值达到最高。虽然 PINAW 也相对较高但处于合理范围，同时 ARV 最低。在东方财富经济指数，PICP 值达到了 0.99 以上，PINAW 也相对较高但处于，且 ARV 最低近乎为 0。综合四个指标来看，发现 ANN-KNN 效果最好。

图 2.3(a)、图 2.3(b)、图 2.3(c) 分别绘制了融合模型在三种不同数据的双序列模型的预测曲线。综合来看各融合模型预测结果与实际值高度吻合。其中 ANN-KNN 在中值 - 半径序列上表现优异，能够更准确地捕捉到数据的非线性特征和时序关系。



(a) 贵州茅台股票融合模型预测曲线



(b) 雅虎经济指数融合模型预测曲线



(c) 东方财富数据融合模型预测曲线

> 图 2.3: 融合模型预测曲线



### 三、研究结论

本文利用 ANN、KNN、SVR 单一模型，同时在单一模型的基础上选取两个模型形成融合模型，同时分别建立中值 - 半径序列和中值 - 对数半径序列的双序列结构，运用单模型和融合模型分别对上述两个双序列进行数据预测。为了衡量模型的预测效果，选择 PICP、PINAW、ARV 作为评估指标，主要有以下发现：

（一）从单一模型的预测效果来看，ANN 模型在三种不同数据情况中表现最佳，其中 ANN 模型能够有效捕捉价格变化的趋势和波动，可能在个别点上存在较大的相对误差。

（二）相较于单一模型，融合模型显著提高了预测效果，表现出更高的 PICP 和更好的 PINAW、ARV 值，其中 ANN 模型和 KNN 模型在区间值时间序列的预测中整体表现最佳。

（三）针对中值 - 半径序列和中值 - 对数半径序列的双序列预测结果，我们可以看到对于不同的数据情况和不同的模型方法，中值 - 半径序列更适合进行本次预测分析，模型效果更优。

本研究提出的多模型融合预测框架，为区间时间序列<sup>[13]</sup>预测提供了创新思路，期望能为金融市场参与者在风险管理<sup>[14]</sup>、投资决策等方面提供有力的支持，并为后续相关研究提供有益的参考与借鉴，推动金融时间序列分析领域的持续进步。

### 参考文献

[1] 王浩. 中国证券市场股票价格预测模型综述 [J]. 四川教育学院学报, 2009, 25(07): 58-60.

[2] 吴玉霞, 温欣. 基于 ARIMA 模型的短期股票价格预测 [J]. 统计与决策, 2016, (23): 83-86.

[3] 杨星, 李斌, 曾悦, 等. 非对称非线性平滑转换的广义自回归条件异方差算法的碳价格均值回归检验 [J]. 控制理论与应用, 2019, 36(04): 622-628.

[4] 李昭毅, 孙虎元, 蔡振宇, 等. 基于 Sine-SSA-BP 人工神经网络的腐蚀速率预测研究 [J]. 海洋科学, 2024, 48(08): 17-28.

[5] 赵山, 全新朵, 王晓波, 等. 多指标定量、化学模式识别结合加权 TOPSIS 与灰色关联度融合模型的木芙蓉叶质量评价 [J]. 中国中医药信息杂志, 2025, 32(03): 129-135.

[6] 田瑞杰, 张维石, 翟华伟. 基于时间序列与 BP-ANN 的短时交通流速度预测模型研究 [J]. 计算机应用研究, 2019, 36(11): 3262-3265.

[7] 温泉, 余玉欢, 庄尚德, 等. 融合 SHAP 和 TSO-XGBoost 模型的水路货运量预测 [J]. 水利水运工程学报, 2024, (06): 86-96.

[8] 陶志富, 刘金培, 朱家明, 等. 区间值时间序列预测效果测度研究 [J]. 模糊系统与数学, 2018, 32(04): 135-144.

[9] 韩自奋, 陈宁, 范义, 等. 基于多种机器学习算法的风电功率预测融合模型 [J]. 干旱气象, 2024, 42(05): 710-718.

[10] 吴胜义, 王义贵, 王飞, 等. 基于多距离度量 kNN 模型的森林蓄积量反演 [J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(02): 10-18.

[11] 刘哲, 李风军. 遗传算法与蚂蚁算法的融合在神经网络中的研究 [J]. 科技广场, 2012, (10): 6-9.

[12] 杨红光, 刘建生. 一种结合灰狼优化和 K-均值的混合聚类算法 [J]. 江西理工大学学报, 2015, 36(05): 85-89.

[13] 万昆, 柳瑞禹. 区间时间序列向量自回归模型在短期电力负荷预测中的应用 [J]. 电网技术, 2012, 36(11): 77-81.

[14] 章凡. 论股票投资风险控制及应对策略 [J]. 商展经济, 2023, (13): 84-87.

# 基于循环神经网络的奥运奖牌榜预测

赵芯禾, 赵娜娜\*, 陈齐兴, 韩怡

北京石油化工学院, 北京 102617

DOI:10.61369/ASDS.12183

**摘要：** 在全球体育经济中，奥运奖牌榜备受瞩目。本文以2024年巴黎奥运会为研究对象，综合历史奖牌数据、奥运项目数量和类型等因素，用XGBoost填补缺失值，整理出奖牌数、主办国标识符等特征。随后采用Seq2Seq模型，并用模拟退火算法优化，使判定系数从0.763提升至0.896。最后，通过配对样本t检验发现，执教后球队奖牌数显著变化，证实了“伟大教练效应”，为各国奥委会的资源分配和战略规划提供支持。

**关键词：** 奥运奖牌预测; XGBoost; Seq2Seq; 优秀教练; 资源优化

## Olympic Medal List Prediction Based on Recurrent Neural Network

Zhao Xinhe, Zhao Nana\*, Chen Qixing, Han Yi

Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617

**Abstract:** In the global sports economy, the Olympic medal table attracts significant attention. This paper takes the 2024 Paris Olympics as the research object, comprehensively considering historical medal data, the number and types of Olympic events, and other factors. Missing values are filled using the XGBoost method, and features such as the number of medals and host country identifiers are organized. Subsequently, the Seq2Seq model is adopted, and the simulated annealing algorithm is used for optimization, increasing the coefficient of determination from 0.763 to 0.896. Finally, through paired sample t-tests, it is found that the number of medals won by teams significantly changes after coaching, confirming the "great coach effect", and providing support for the resource allocation and strategic planning of national Olympic committees.

**Keywords:** Olympic medal prediction; XGBoost; Seq2Seq; outstanding coach; resource optimization

## 引言

作为世界上最大的体育赛事之一，奥运会不仅吸引了全球数十亿观众，也是各国体育实力的象征。奖牌榜，尤其是金牌榜，往往被视为衡量一个国家整体体育实力和运动员表现的直接标准。随着2028年洛杉矶奥运会的临近，预测各国在奥运会上的表现已成为当前的热门话题。完美的预测不仅能改善运动员的备战策略，还能促进体育运动的发展，提升国家的整体表现。因此，本文的核心是建立一个合理的模型来预测2028年奥运会奖牌榜的结果，并通过现有的奥运奖牌等数据来评估不同因素对各国成绩的影响。

## 一、奖牌榜预测相关模型简介

### （一）XGBoost方法填补缺失值

XGBoost<sup>[1]</sup>是一种高效的机器学习算法，能够自动处理数据中的缺失值。其核心在于稀疏感知分裂发现算法（Sparsity-aware Split Finding），该算法通过为每个树节点设置默认方向来处理缺失值，从而避免了对缺失值进行手动填充。此外，XGBoost还支持通过missing参数指定缺失值的处理方式，例如将缺失值设置为数据集中不存在的值（如-999）<sup>[2]</sup>。这种处理方式在实验中被证明能够有效提升模型的性能。

XGBoost能捕捉变量间的非线性关系，高效合理地填补缺失

的数值，为后续分析奠定了基础。

### （二）Seq2Seq<sup>[3]</sup>预测模型

Seq2Seq模型的核心在于其端到端的学习方式，能够处理输入和输出序列长度不一致的问题，同时通过引入注意力机制，进一步提升了模型对长序列的处理能力。经过模拟退火算法<sup>[4]</sup>优化的Seq2Seq模型，能够有效捕捉奥运会奖牌数的时序变化以及国家间的复杂关系。优化超参数<sup>[5]</sup>后，该模型在测试集上表现出色，预测精度较高。我们还采用蒙特卡洛 dropout方法<sup>[6]</sup>对预测结果的不确定性进行量化分析。该方法通过在模型中随机丢弃部分神经元，生成多个预测结果，从而评估预测的不确定性。

项目/基金信息：国家级大学生创新创业训练计划（2025J00124），北京市教委科研计划一般项目（KM202410017004），北京石油化工学院致远基金（2024212）。

通讯作者简介：赵娜娜，北京石油化工学院讲师，博士，专业：概率论与数理统计。

(三) SHAP模型

我们构建了一个基于 SHAP 模型<sup>[7]</sup>的奥运会奖牌预测系统。该系统通过分析历史奖牌数据，并结合机器学习算法，对各国在未来奥运会中可能获得的奖牌数量进行预测。利用 SHAP 值分析，揭示不同特征对奖牌预测结果的贡献度，为奥运会奖牌预测提供了新的视角和方法。

二、模型求解

(一) 优化模型参数<sup>[8]</sup>

在训练 Seq2Seq 模型时，训练集的 R<sup>2</sup> 值为 0.976，但测试集的 R<sup>2</sup> 值仅为 0.805，存在过拟合问题。我们通过 TPE 优化调整模型参数，最终使训练集的 R<sup>2</sup> 值降至 0.772，测试集的 R<sup>2</sup> 值升至 0.990，有效缓解了过拟合，提升了模型的泛化能力。

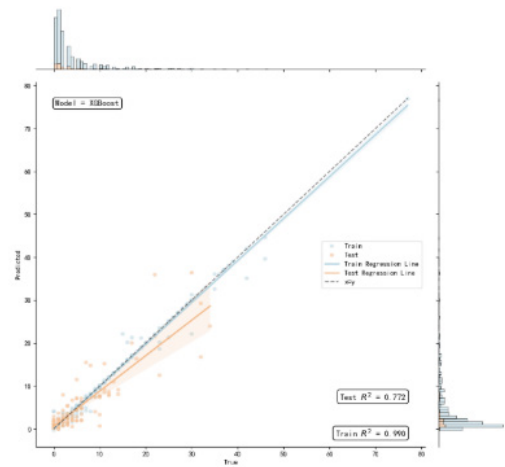


图1 模型训练

(二) 数据清洗

为准确预测2028年洛杉矶奥运会奖牌榜情况，我们需要构建新的数据集，基于2024年巴黎奥运会奖牌榜以及其他数据，对于2028年新增5项项目，我们做出以下分析：

- ✓ 查找相关资料，并剔除无关数据（如：2028年俄罗斯被禁赛）
- ✓ 假设新增加的5各项目，各国新增项目奖牌榜基数全部以2枚打底：

```
newX[ 'Baseball' ]=newX[ 'Baseball' ]+2
newX[ 'Softball' ]=newX[ 'Softball' ]+2
newX[ 'Cricket' ]=newX[ 'Cricket' ]+2
newX[ 'Sixes' ]=newX[ 'Sixes' ]+2
newX[ 'Squash' ]=newX[ 'Squash' ]+2
newX[ 'Flag football' ]=newX[ 'Flag football' ]+2
而后，为每个奖牌计算置信区间：
```

|     | gold      | Silver    | Bronze    | gold_mean | gold_CI_lower | gold_CI_upper | Silver_mean |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|-------------|
| 0   | 39.752754 | 44.465527 | 42.390995 | 38.785717 | 37.497152     | 40.074282     | 38.727448   |
| 1   | 39.431030 | 26.888872 | 23.508928 | 37.948128 | 35.978237     | 39.918018     | 26.872393   |
| 2   | 19.534157 | 13.425087 | 12.662200 | 15.884511 | 12.938937     | 18.830085     | 12.217851   |
| 3   | 17.879230 | 19.071848 | 16.958645 | 14.894158 | 12.259883     | 17.528434     | 13.842833   |
| 4   | 15.174778 | 25.482542 | 20.379179 | 13.859722 | 11.555674     | 16.163770     | 21.669180   |
| ... | ...       | ...       | ...       | ...       | ...           | ...           | ...         |
| 101 | 0.130617  | 0.000000  | 0.496482  | 0.000000  | 0.000000      | 0.484139      | 0.000000    |
| 102 | 0.081197  | 0.225503  | 1.456575  | 4.851646  | 0.000000      | 15.511469     | 4.441838    |
| 103 | 0.107504  | 0.103913  | 1.245036  | 0.000000  | 0.000000      | 0.701567      | 0.233750    |

> 图2 置信区间

三、预测分析

(一) 预测结果

2028年预测结果显示，这些国家的成绩将显著增长，ROC和Mixed team的奖牌数量呈上升趋势，反映出这些国家在体育运动中展现出新活力。

|    | NOC        | 2024Total | 2028Total | Improvement |
|----|------------|-----------|-----------|-------------|
| 78 | ROC        | 0.0       | 17.0      | 17.0        |
| 74 | Poland     | 7.0       | 13.0      | 6.0         |
| 54 | Jordan     | 1.0       | 4.0       | 3.0         |
| 62 | Mixed team | 0.0       | 3.0       | 3.0         |
| 39 | Greece     | 3.0       | 6.0       | 3.0         |
| 95 | Thailand   | 4.0       | 7.0       | 3.0         |
| 61 | Mexico     | 4.0       | 7.0       | 3.0         |
| 65 | Morocco    | 1.0       | 3.0       | 2.0         |
| 57 | Kosovo     | 1.0       | 3.0       | 2.0         |

> 图3 结果预测

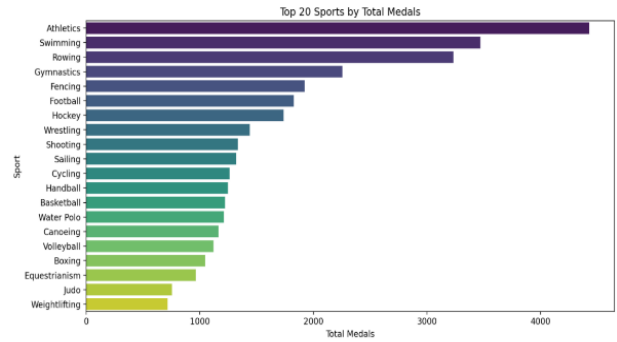
(二) 未来奖牌的分布情况

模型的预测值在第 t 次迭代时可以近似为：

$$\hat{y}_i^{(t)} = \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)$$

SHAP模型用于解释 XGBoost模型的预测结果，SHAP 值的计算公式为：

$$\phi_i = \sum_{S \subseteq F \setminus \{i\}} \frac{\|S\|!(\|F\| - \|S\| - 1)!}{\|F\|!} [f_{S \cup \{i\}}(x_{S \cup \{i\}}) - f_S(x_S)]$$



> 图4 奖牌榜前20运动

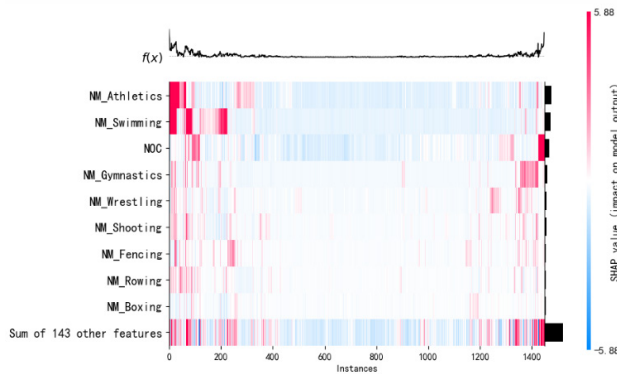
根据 SHAP 模型的输出，我们可以有效预测未来奖牌分布情况。比如，对一些体育强国（美国、英国、俄罗斯等），可以推断出在游泳等项目上分布人数居多，而对于一些相对来说较小的国家，一些新兴项目（比如2028年洛杉矶奥运会新增的5项项

目) 对其来说更具有影响力。

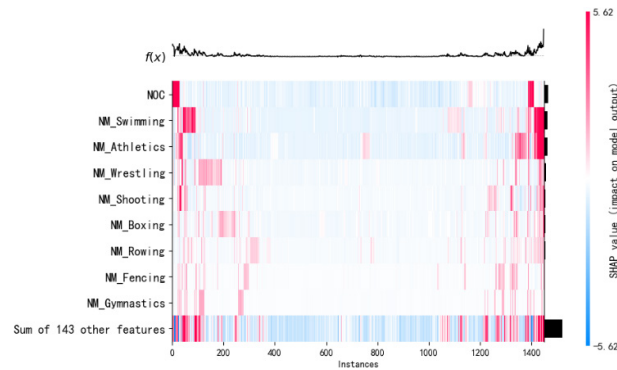
### (三) 数据分析

表1 模型评估结果

|    | MSE   | RMSE  | MAE   | MAPE   | R <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|-------|--------|----------------|
| 训练 | 0     | 0.001 | 0.001 | 32.674 | 1              |
| 测试 | 0.014 | 0.119 | 0.074 | 64.485 | 0.704          |

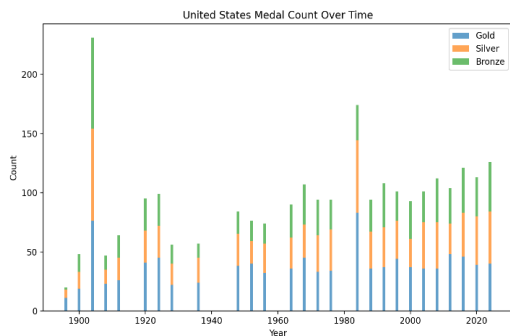


> 图5.1 预测结果



> 图5.2 预测结果

这两张图是特征重要性可视化图表，纵轴展示了如田径、滑雪等运动项目相关特征及其他143个特征的集合，横轴为特征重要性数值。颜色编码表示重要性正负，红正蓝负，颜色深浅对应重要性程度。顶部曲线与模型预测值相关。两图特征类别相同，但颜色分布和深浅有别，体现不同情境下各特征对模型结果影响的变化。



> 图6 美国不同年份奖牌分析

在最近的年份，美国的奖牌数量保持在较高水平，显示出美国在国际体育赛事中的持续竞争力。经过不断的深入分析，有助于理解美国在国际体育赛事中的地位和影响力，以及体育发展的历史脉络。

## 四、“伟大教练”效应模型建立与求解

### (一) 量化分析<sup>[9]</sup>

根据中国女子乒乓球队在李隼教练指导下的比赛成绩数据，筛选出所需信息。为了确定李隼的执教效应，需要构建一个是否执教的变量，1997年之前，未执教。

分析的步骤：

1. 根据定类变量(X)对定量字段(Y)进行分组，进行方差齐性检验，查看P值是否小于0.05，倘若P值大于0.05，使用方差分析<sup>[10]</sup>，查看P值是否呈显著性(P<0.05)。

2. 独立样本T检验<sup>[11]</sup>呈现显著性，可借助效应量化分析对差异性进行量化分析。

执教前均值( $\bar{x}_1$ ):

$$\bar{x}_1 = \frac{5 + 4 + 5}{3} = \frac{14}{3} \approx 4.67$$

执教后均值( $\bar{x}_2$ ):

$$\bar{x}_2 = \frac{3 + 15 + 14 + 14 + 16 + 17}{6} = \frac{79}{6} \approx 13.17$$

执教前方差( $S_1^2$ ):

$$s_1^2 = \frac{(5 - 4.67)^2 + (4 - 4.67)^2 + (5 - 4.67)^2}{3 - 1} = \frac{0.11 + 0.44 + 0.11}{2} = 0.33$$

执教后方差( $S_2^2$ ):

$$s_2^2 = 25.063$$

执教前标准差( $S_1$ ):

$$s_1 = \sqrt{0.33} \approx 0.57$$

执教后标准差( $S_2$ ):

$$s_2 = \sqrt{25.06} \approx 5.01$$

使用公式:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

其中  $n_1=3$ ,  $n_2=6$ ,

$$t = \frac{4.67 - 13.17}{\sqrt{\frac{0.33}{3} + \frac{25.06}{6}}} = \frac{-8.50}{\sqrt{0.11 + 4.18}} = \frac{-8.50}{\sqrt{4.29}} \approx \frac{-8.50}{2.07} \approx -4.11$$

$$df = \frac{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} = \frac{(0.11 + 4.18)^2}{\frac{0.11^2}{2} + \frac{4.18^2}{5}} = \frac{18.07}{0.0061 + 3.45} = \frac{18.07}{3.4561} \approx 5.23$$

通常，自由度取整数，因此取  $df=5$ 。

使用t分布表或统计软件，查找自由度为5，t统计量为-4.11的p值。给定的p值为0.0118，表明在5%的显著性水平下，执教前后的奖牌得分有显著差异。因此可以拒绝原假设，李隼执教中国女子乒乓球后对奖牌数量产生了影响，从而支持“伟大教练”效应的存在。



## （二）对奖牌数的影响

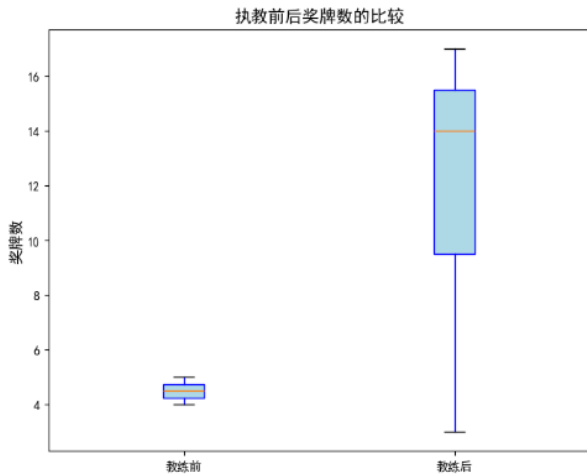


图7 执教前后奖牌数影响

回归分析显示，李隼执教后，中国女子乒乓球队的奖牌得分显著增加，具体提升了7.5分。这表明教练的变动对奖牌数量有重要影响，验证了“伟大教练”效应在中国女子乒乓球队中的显著作用。基于此预测和分析，各国在选聘顶级教练时，可以提前进行战略布局，提升自身在体育赛事中的竞争力。

## （三）教练投资建议

根据此问题，我们构建一个量化模型，评估各国在教练投资上的效率和效果，以确定哪些国家在教练投资方面具有更高的优先级。结合了经济学、管理学和体育科学的理论，提出了一个综合评估模型。

教练投资与体育绩效之间的关系可以通过以下公式表示：

$$P = f(I, R, E)$$

下面我们构建一个综合评估模型：

$$CP = w_1 \cdot EI + w_2$$

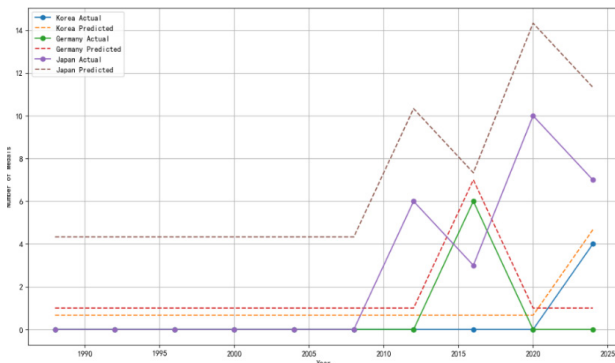


图8 教练投资与奖牌数对比

综上所述，通过对教练回报投资的预测，可以为各国运动事业添砖加瓦，帮助其在乒乓球事业上作出更大的贡献。

## 五、结束语

本研究通过整合 XGBoost 缺失值填补、模拟退火算法优化的 Seq2Seq 模型以及 SHAP 可解释性分析，构建了一套高效的奥运奖牌榜预测框架，为 2028 年洛杉矶奥运会的奖牌分布提供了科学

依据。模型在测试集上  $R^2$  值提升至 0.990，验证了其捕捉时序动态与复杂国家关系的能力。研究首次将 SHAP 值引入奥运预测领域，揭示了项目参与度、东道国效应等核心驱动因素，并量化了“伟大教练效应”的显著性（如李隼执教使中国乒乓球队奖牌得分提升 7.5 分），为各国优化教练资源配置提供了数据支持。此外，针对小国提出“专项突破”策略，指出新增项目可成为其奖牌增长的关键契机。

本研究的创新在于融合时序建模<sup>[12]</sup>、可解释性分析与多学科方法，构建了兼具预测精度与策略指导价值的综合模型。然而，模型的静态数据假设及对国际政治、运动员个体差异等动态因素的忽略，可能限制其实际应用的普适性。未来研究可引入实时数据流与社会网络分析，增强模型动态响应能力；同时探索模型在冬奥会、亚运会等赛事的迁移应用，并进一步结合运动员训练质量、伤病风险等微观变量，提升预测的全面性与精细化水平，为全球体育事业均衡发展提供更强大的理论工具。

## 参考文献

- [1] 蒋晋豫, 王海燕, 张馨之, 等. 基于 XGBoost 算法的森林生物量多源遥感反演 [J]. 西北林学院学报, 2025, 40(2): 198–206, 219.
- [2] Chen, T., Guestrin, C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System [C]. Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2016.785–794.
- [3] 常圣南. 基于 Seq2Seq 模型的多标签文本分类研究 [D]. 辽宁: 大连海事大学, 2022.
- [4] 许洁林, 张灏龙, 李静, 等. 基于模拟退火算法的装备组合优化算法与仿真 [J]. 计算机仿真, 2025, 42(1): 13–18.
- [5] 冯纬枢. 优化超参数的 LSTM 网络频谱预测 [J]. 福建质量管理, 2020(9): 295–297.
- [6] 门超杰, 赵静, 张楠. 基于图增强和注意力机制的时间序列不确定性预测 [J]. 华东师范大学学报 (自然科学版), 2025(1): 82–96.
- [7] 陈明良, 马志远, 张东辉, 等. 基于 SHAP 可解释性的焊缝缺陷类型超声识别 XGBoost 模型 [J]. 无损检测, 2024, 46(6): 36–42.
- [8] 姜瑶, 颜泽文, 黎良辉, 等. 灌区用水优化模型参数全局敏感性分析与不确定性优化 [J]. 农业机械学报, 2023, 54(7): 372–380.
- [9] 王海军, 王涛, 俞慈君. 基于递归量化分析的 CFRP 超声检测缺陷识别方法 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2024, 58(8): 1604–1617.
- [10] 李润, 钟林, 郭蓓蓓, 等. 方差分析和灰色关联分析在玉米品种评价中的应用 [J]. 现代农业科技, 2025(5): 38–41.
- [11] 高艺祥, 杨民红, 李兰会. 独立样本 t 检验的 Excel 和 SPSS 分析 [J]. 畜牧与饲料科学, 2018, 39(10): 79–82.
- [12] 栗志磊, 李俊, 施智平, 等. 用于视频行为识别的高效二维时序建模网络 [J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(3): 127–134.

# 共形预测框架下的预测区间估计方法及乳腺癌应用研究

夏露竹, 曾文君, 曹雅琦 \*

中央民族大学 理学院, 北京 100081

DOI:10.61369/ASDS.12184

**摘 要 :** 共形预测是一类具有有限样本保证的统计方法, 能够在无需依赖模型分布假设的前提下实现有效的不确定性量化。本文系统研究了完全共形预测的基本原理与算法框架, 并重点分析了几种典型变体, 包括分裂共形预测、交叉共形预测和 Jackknife 方法, 探讨其在提升预测效率和覆盖精度方面的优势。通过对回归问题的数值模拟与波士顿房价数据的实证分析, 比较各方法在预测区间宽度、覆盖率和计算效率上的表现。进一步将共形预测方法应用于乳腺癌风险预测中, 结合主成分分析与核密度估计分类器, 实现了预测区域的动态更新。结果表明, 共形预测能够有效表征分类模型的不确定性, 尤其在处理复杂数据时展现出良好的稳定性与适应性。

**关 键 词 :** 共形预测; 不确定性量化; 风险预测; 核密度估计分类器; 预测区间

## Prediction Interval Estimation under the Conformal Prediction Framework, with the Application to Breast Cancer Risk Assessment

Xia Luzhu, Zeng Wenjun, Cao Yaqi\*

College of Science, Minzu University of China, Beijing 100081

**Abstract:** Conformal prediction is a class of statistical methods that provide uncertainty quantification with finite-sample guarantees without relying on distributional assumptions. This paper introduces the theoretical foundation and algorithmic framework of full conformal prediction and further explores several representative variants, including split conformal prediction, cross-conformal prediction, and the Jackknife method, highlighting their advantages in improving prediction efficiency and coverage accuracy. Through numerical simulations and empirical analysis using the Boston Housing dataset, we compare the performance of these methods in terms of interval width, coverage probability, and computational cost. In addition, we apply conformal prediction to breast cancer risk assessment using the Wisconsin Breast Cancer dataset. By integrating principal component analysis (PCA) for dimensionality reduction and a kernel density estimation classifier, we implement dynamic updates of prediction regions. The results demonstrate that conformal prediction effectively captures the uncertainty of classification models and provides reliable predictions, especially when handling complex datasets.

**Keywords:** conformal prediction; uncertainty quantification; risk prediction; kernel density estimation classifier; prediction interval

## 引言

共形预测 (Conformal Prediction) 方法由 Vovk 等人<sup>[1]</sup>提出, 是一种无需依赖模型结构或分布假设即可构建预测区间的方法, 近年来在统计学与机器学习领域获得广泛关注。该方法在有限样本条件下提供具有边际覆盖率保证的预测区间, 尤其适用于非线性、高维或异质性数据情境, 能够有效应对传统方法在模型依赖性与分布假设方面的局限。共形预测框架下的代表性方法包括完全共形预测<sup>[2]</sup>、分裂共形预测<sup>[3]</sup>、交叉共形预测<sup>[4]</sup>与 Jackknife 方法<sup>[5]</sup>, 均在提升计算效率、缩短区间长度与增强适用性方面提出了不同策略。尽管这些方法在回归与分类任务中取得了良好表现, 但在覆盖性质 (如条件覆盖率)、模型稳定性及计算复杂性等方面仍存在进一步研究空间。

在理论层面, Vovk 等<sup>[6]</sup>提出了归纳共形预测的条件有效性准则, Lei 等<sup>[7]</sup>通过引入交叉验证与双重稳健估计提升了方法在非独立同分布数据下的覆盖可靠性。Tibshirani 等<sup>[8]</sup>则针对协变量偏移提出了重加权机制, Barber 等<sup>[9]</sup>提出的 Jackknife+ 方法进一步扩展了适用

基金信息: 国家自然科学基金青年项目 (No.12301369)。

作者简介:

夏露竹 (2004-), 女, 汉族, 辽宁沈阳人, 学士, 专业方向为应用统计;

曾文君 (2003-), 男, 汉族, 陕西安康人, 学士, 专业方向为应用统计;

通讯作者: 曹雅琦 (1995-), 女, 汉族, 河南新乡人, 中央民族大学理学院讲师, 博士, 研究方向为缺失数据分析及风险预测, 邮箱 yaqicao@muc.edu.cn。

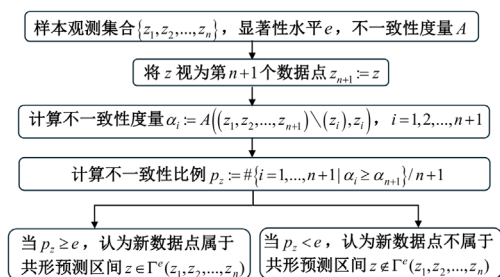
范围。Guan<sup>[10]</sup>、Linusson<sup>[11]</sup>等人亦在局部适应性与聚合预测器校准方面进行了深入探索。

在应用层面，共形预测已被广泛用于生物医学、图像识别、因果推断及司法风险评估等领域。Nicora等<sup>[12]</sup>验证了其在医疗决策中的可靠性，Yin等<sup>[13]</sup>将其与敏感性分析结合用于个体化治疗推断，Angelopoulos等<sup>[14]</sup>则提出分层校准策略以增强神经网络的不确定性刻画。Candès等<sup>[15]</sup>在生存分析中提出了处理删失数据的动态区间方法，Kuchibhotla等<sup>[16]</sup>则通过嵌套共形集提升了结构化数据预测的可信度。

## 一、共形预测方法理论基础

共形预测（Conformal Prediction）通过量化新样本与已观测样本之间的不一致性程度，构建在给定显著性水平下的预测区间或预测集合，以判定新样本是否落入具有预设置信度的风险区域。作为一种无需依赖具体分布形式的非参数方法，该方法的核心理论依据是随机变量的可交换性假设，相较于独立同分布的假设相比更弱。设样本集合为  $B = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ ，定义实值映射函数  $A(B, z)$  为不一致度量，用于量化待测样本  $z$  与样本组成的集合  $B$  中数据分布的统计偏离程度。实际应用中可以使用两样本之间的距离度量  $A(B, z) := d(\hat{z}(B), z)$ ，比如可以选取  $B$  中元素的平均值或中位数作为  $\hat{z}(B)$ 。进一步生成共形平复，构造一定预测准确度保证下的预测集合。

基于以上定义与假设框架，图1以单变量预测（仅依据已知数据取值预测新数据）与回归预测（依据已知数据取值和新数据特征预测新数据）为典型场景，系统阐述共形预测方法的实施流程。



> 图1 单变量预测的完全共形预测过程示意图

### （一）完全共形预测

单变量完全共形预测仅依据已知数据取值预测新数据，已知样本空间  $\mathcal{Z}$  内包含  $n$  个既有样本数据点  $z_1, z_2, \dots, z_n$  以及一个新观测值  $z$ ，在显著性水平  $e$  的约束条件下，选择特定不一致度量  $A$  作为评估准则，假设所有数据满足可交换性，将新数据点  $z$  临时添加到样本集中，设置  $z_{n+1} := z$ ，视为第  $n+1$  个数据点；对于每个数据点  $i \in \{1, 2, \dots, n+1\}$ ，计算将其从扩展样本集  $(z_1, z_2, \dots, z_{n+1})$  中移除后剩余数据集与该数据点之间的不一致性，评估每个数据点相对于其他数据点的异常程度；计算在原有数据点的不一致性值  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  中， $\alpha_{n+1}$  的相对位置，计算非一致性比例  $p_z$ ；如果非一致性比例  $p_z$  大于或等于显著性水平  $e$ ，则认为新数据点  $z$  属于预测区域  $\Gamma^e(z_1, z_2, \dots, z_n)$ 。

多变量完全共形预测依据已知数据取值和新数据特征预测新数据，样本空间  $\mathcal{Z}$  可表示为  $\mathcal{Z} = X \times Y$ ，其中  $X$  为特征空间， $Y$  为标签空间，样本  $z_i = (x_i, y_i)$ 。已知  $z_1, z_2, \dots, z_n, x_{n+1}$ ，与单变量模型的解

释类似，最终得到预测区域为  $\Gamma^e = \{y : p_y > e, y \in Y\}$ 。

前文详细讨论了共形预测的最初形式——完全共形预测方法，其核心原理与算法实现。经过二十多年的发展，完全共形预测已衍生出多个重要变体，极大地扩展了其应用领域与实用性。特别是分裂共形预测，由于其计算效率高、实现简单，成为最为广泛应用的变体之一。此外，交叉共形预测和 Jackknife 方法等也在特定场景下展示了显著优势。

### （二）分裂共形预测

给定数据  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，令  $z_i = (x_i, y_i)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，将其划分为训练集  $\mathcal{Z}_1, \dots, \mathcal{Z}_m$  和验证集  $\mathcal{Z}_{m+1}, \dots, \mathcal{Z}_n$ ，其中  $m < n$ ；使用训练集  $\mathcal{Z}_1, \dots, \mathcal{Z}_m$  和选定的机器学习方法（如决策树、SVM、神经网络等）训练模型，生成预测规则作为预测器；将验证集中样本  $\mathcal{Z}_{m+1}, \dots, \mathcal{Z}_n$  逐个代入训练好的模型，计算其不一致分数  $R_j$ ：

$$R_j := A_{m+1}(((x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)), (x_j, y_j)), j = m+1, \dots, n-1.$$

对新数据  $x_{n+1}$  及其所有可能的预测值  $y$  构成的  $(x_{n+1}, y)$ ，计算不一致分数  $R_{n+1}$ ：

$$R_{n+1} := A_{m+1}(((x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)), (x_{n+1}, y)).$$

比较新数据的不一致分数  $R_{n+1}$  与验证集中所有样本的不一致分数  $R_j$ ，计算  $p_z$  值：

$$p_z := \frac{|\{j = m+1, \dots, n+1 : R_j \geq R_{n+1}\}|}{n-m+1},$$

$p_z$  表示新数据  $z_{n+1} = (x_{n+1}, y)$  与原数据集一致的概率；根据给定的显著性水平  $e$ ，如果  $p_z > e$ ，则接受  $z_{n+1}$  为原数据集中同一分布的样本，预测区域  $\Gamma^e = \{z : p_z > e, z \in \mathcal{Z}\}$ 。

由此可见，分裂共形预测器在运算速度上具有显著优势，能够处理大规模数据集，并在保证预测精度的前提下，减少计算复杂度。然而，分裂共形预测并未充分利用所有样本进行训练、在计算  $p_z$  时舍弃了部分训练集数据，其在统计意义上的效率并不高。为此，Vovk<sup>[17]</sup>在2015年进一步提出了交叉共形预测器。

### （三）交叉共形预测

对数据集采用  $K$  折交叉验证法均分为  $K$  个子集，在每次验证中选择第  $k$  个子集作为验证集，其余  $K-1$  个子集合并为训练集，重复分裂共形预测中的步骤，分别计算得到  $K$  组  $R_k$ 、 $p_k$ ；取  $p_k$  平均值或加权平均值作为最终的  $p_{z0}$ ，若  $p_{z0}$  大于已给定的显著性水平  $e$ ，则说明  $z_{n+1}$  可以被接纳为原样本包中同一分布的数据，预测区域  $\Gamma^e = \{z : p_{z0} > e, z \in \mathcal{Z}\}$ 。

交叉共形预测的主要优点在于它结合了交叉验证的思想，充分利用数据集中的所有样本，提高了模型的稳定性和预测准确性。此外，交叉共形预测在处理不同数据分布和复杂模型时，能够提供更稳健的预测性能，使得预测区域更加精确和可靠。



#### (四) Jackknife共形预测

Jackknife预测算法在提高样本数据利用效率的同时避免使用完全共形预测,采用留一法对分裂共形预测器或交叉共形预测器进行拓展。在包含  $n$  个样本的数据集  $D$  中,每次将第  $i$  个样本作为校准,剩余  $n-1$  个样本作为训练集用于训练预测模型,并计算每次迭代中模型输出的不一致分数  $R_i$  即对应的  $p_i$ 。与交叉共形预测器类似,采用  $p_i$  的算术平均或加权平均值作为全局  $\bar{p}$ ,若  $\bar{p}$  超越给定显著性水平  $e$  时,可推断新观测数据  $z_{n+1}$  与原始数据集  $D$  服从同一概率分布,进而生成满足  $1-e$  置信水平的预测区域  $\Gamma^e = \{z: \bar{p} > e, z \in Z\}$ 。由于其独特的数据集分割方式,Jackknife共形预测的计算复杂度介于完全共形预测和分裂共形预测之间。

此外,研究者们还结合双向重采样机制和对称误差约束准则,创造了 Jackknife+ 共形预测算法。与 Jackknife 预测类似,该方法通过依次剔除每个样本训练得到  $n$  个留一模型,生成新样本对应的预测值集合,并基于留一模型在训练集上的残差分布,将预测结果的上下界分别扩展一个调整量,从而生成自适应的预测区间,实现了对预测区域的动态调整。这一改进使得预测区间能够更灵活地适应数据的局部特征,同时通过双重校准机制强化了覆盖率的理论保证。然而,该方法需存储所有留一模型的预测结果并执行额外的计算步骤,因此在计算和存储资源的成本方面显著高于其他方法。

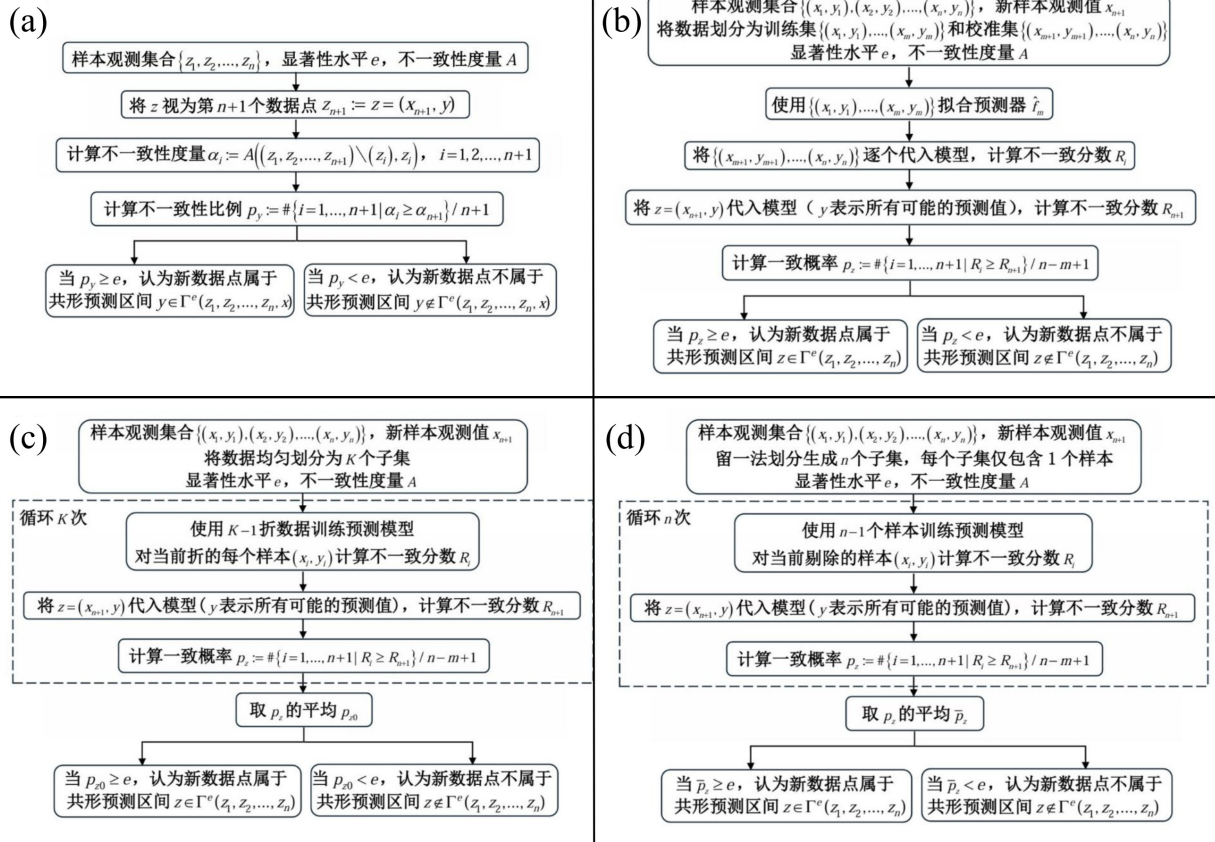


图2 共形预测方法流程图 (a)多变量完全共形预测、(b)分裂共形预测、(c)交叉共形预测、(d)Jackknife共形预测过程示意图

图2展示了上述四类共形预测变体的核心流程,其中(a)多变量完全共形预测通过临时添加新观测  $x_{n+1}$  到样本集,全局计算所有数据点的不一致性度量;(b)分裂共形预测将数据划分为训练集和验证集,利用训练模型计算新数据与验证集不一致分数的分位数;(c)交叉共形预测基于  $K$  折交叉验证,聚合多轮子集验证结果;(d) Jackknife 共形预测采用留一法循环训练模型并校准不一致分数。各方法均通过不一致性度量和统计阈值构建预测区域,差异主要体现在数据划分策略及计算与效率的权衡上。

## 二、数值模拟与对比分析

首先利用回归模型探究完全共形预测和分裂共形预测的预测

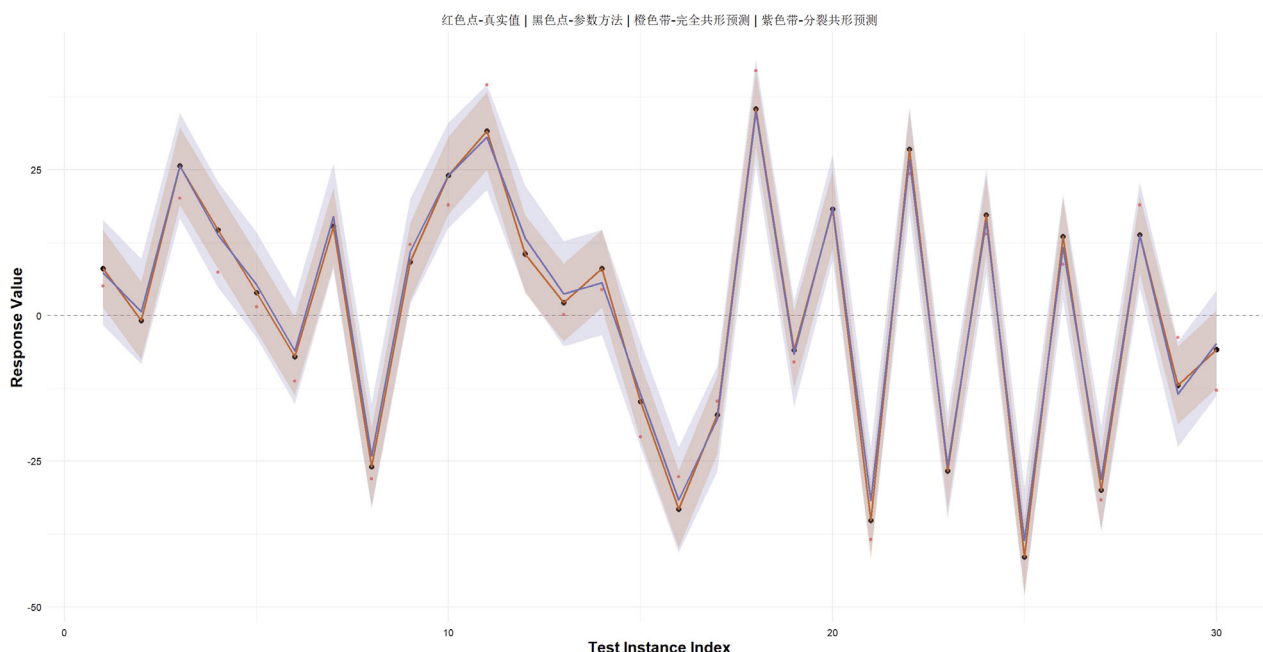
差异。为了能更真实的反应复杂系统中的变量关系,本文引入非线性关系和异方差性,随机生成一个包含100个样本的训练集和一个包含30个样本的测试集。

其中,响应变量  $Y$  由线性组合、非线性项和异方差性误差项组成:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + 0.5 X_1^2 + \varepsilon,$$

特征  $X_1$  和  $X_2$  从区间  $[-5, 5]$  上的均匀分布生成。参数  $\beta$  从均值为0、标准差为2的正态分布中随机产生,  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ,  $\sigma = \exp(0.1 X_2)$ 。用训练集拟合线性回归模型,并计算测试集样本在95%置信度下的预测区间作为参考基准。同时,使用完全共形预测和分裂共形预测算法计算95%置信度下的预测区间。

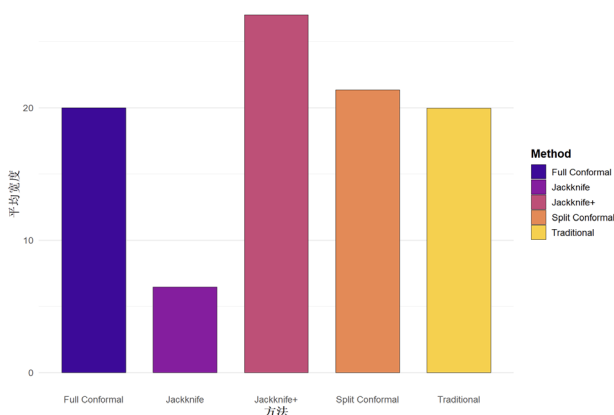




> 图3 参数回归中完全共形和分裂共形预测的95%预测区间

由图3可见，参数回归预测区间（黑点）在相同置信度下波动性最小，完全共形预测（橙带）在部分点上接近参数回归，表现出较高准确性。分裂共形预测（紫带）区间更宽，符合其通过牺牲部分训练数据换取计算效率的特性。具体而言，参数回归依赖数据分布信息，提供最精确区间；完全共形不依赖分布假设，使用全数据生成区间，部分情况下接近回归模型；分裂共形虽区间较宽，但仍能保持可靠性。

接下来，利用波士顿房价数据集探讨五种方法的预测差异。数据集依据60%、20%、20%的比例分为训练集、校准集和测试集，并使用线性回归模型进行训练，比较传统回归、完全共形预测、分裂共形预测、Jackknife和Jackknife+的预测区间宽度、覆盖率和计算时间。波士顿房价数据集是机器学习领域中一个经典的回归问题数据集，它包含了波士顿地区房屋的相关信息，旨在通过一系列特征来预测房屋的平均价格。



> 图4 五种算法的预测区间平均宽度对比

图4展示了五种算法的预测区间宽度对比。Jackknife+生成最宽的预测区间，Jackknife最窄，完全共形预测和分裂共形预测居中，传统回归方法虽然宽度相当，但依赖于模型假设。在覆盖率方面，所有方法接近1.0，说明它们能有效覆盖真实

值。计算效率方面，传统回归和分裂共形预测的计算成本最低，完全共形预测、Jackknife和Jackknife+计算复杂度较高，尤其是Jackknife+，由于多次重训练和校准，计算时间显著增加。综合来看，对于小规模数据集，建议使用完全共形预测或Jackknife+；对于中等规模数据集，分裂共形预测和Jackknife是较好的选择；对于大规模数据集，则推荐使用分裂共形预测或传统回归方法。

### 三、实证分析：在乳腺癌风险预测中的应用

威斯康星州乳腺癌数据集包含699例样本，其中458例为良性，241例为恶性。针对数据中16个缺失样本，采用删除策略，最终保留683个完整数据进行模型训练。数据集包含9个标准化的病理特征：肿块厚度、细胞大小均匀性、细胞形态均匀性、边缘粘连、单上皮细胞大小、裸核、乏味染色体、正常核和有丝分裂。诊断结果二元分类，B表示良性，M表示恶性。本研究基于683个有效样本构建分类模型，并进行主成分分析 (PCA) 降维，减少数据维度以便可视化及提取关键特征。PCA的KMO检验结果为0.935，表明数据满足共线性假设。通过PCA将原9个特征降至2维空间，保留了大部分信息。

#### （一）完全共形预测

使用核密度估计分类器构建完全共形预测动态分类器。在训练过程中，通过更新核密度估计及计算样本不一致性得分，动态调整分类模型的预测区间。构建基于核密度估计的分类模型，定义类别标签集  $k \in \{0, 1\}$ ，其中0表示良性类别，1表示恶性类别，类别k的核密度估计函数表达式为  $\hat{f}_k(X) = \frac{1}{n_k \times h^d} \sum_{i: y_i=k} K\left(\frac{X - X_i}{h}\right)$ ，其中  $n_k$  为类别k的样本数。对于新样本X，通过贝叶斯定理计算其属于类别k的后验概率  $\hat{P}^{(s)}(Y=k|X) = \frac{\hat{f}_k(X)}{\sum \hat{f}_k(X)}$ 。

在核密度估计分类器的基础上构建完全共形预测动态分类器。对于新样本及其候选标签  $y \in \{0, 1\}$ ，通过注入假设标签生成扩展数据集  $D^{(y)} = \{(X_1, y_1), \dots, (X_n, y_n), (X_{n+1}, y)\}$  并动态更新核密度估计，若新样本标签为  $y=0$  时，更新良性类的核密度估计：

$$\hat{f}_0^{(y=0)}(X) = \frac{1}{(n_0+1) \cdot h} \left[ \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X-X_i}{h}\right) + K\left(\frac{X-X_{n+1}}{h}\right) \right]$$

此时，恶性类的核密度估计  $\hat{f}_1^{(y=0)}(X)$  保持不变。

若新样本特征与假设标签的类别一致，不一致得分  $R_{n+1}^{(y)} = 1 - \hat{P}^{(y)}(Y = y_{n+1} | X = X_{n+1})$  趋近于0，对应共形预测的 p 值  $\pi_{n+1}(y) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} \mathbf{1}(R_i^{(y)} \leq R_{n+1}^{(y)})$  显著高于  $\alpha = 0.1$ ；当假设标签与样本特

征存在分布冲突时，不一致得分趋近于1，此时 p 值低于 0.1 而被认为不在预测集  $C(X_{n+1}) = \left\{ y \in D : \pi_{n+1}(y) \leq \frac{[(n+1)(1-\alpha)]}{n+1} \right\}$  中，计算可得完全共形预测的经验覆盖率为 94%。

散点图展示了良性（红点）与恶性（蓝三角）样本在 PCA 特征空间的分布，填色区域对应 90% 置信水平下的预测结果：单一分类区域可明确归类，多分类区域反映决策模糊，灰色空区表示无法以 90% 置信度作出可靠预测。

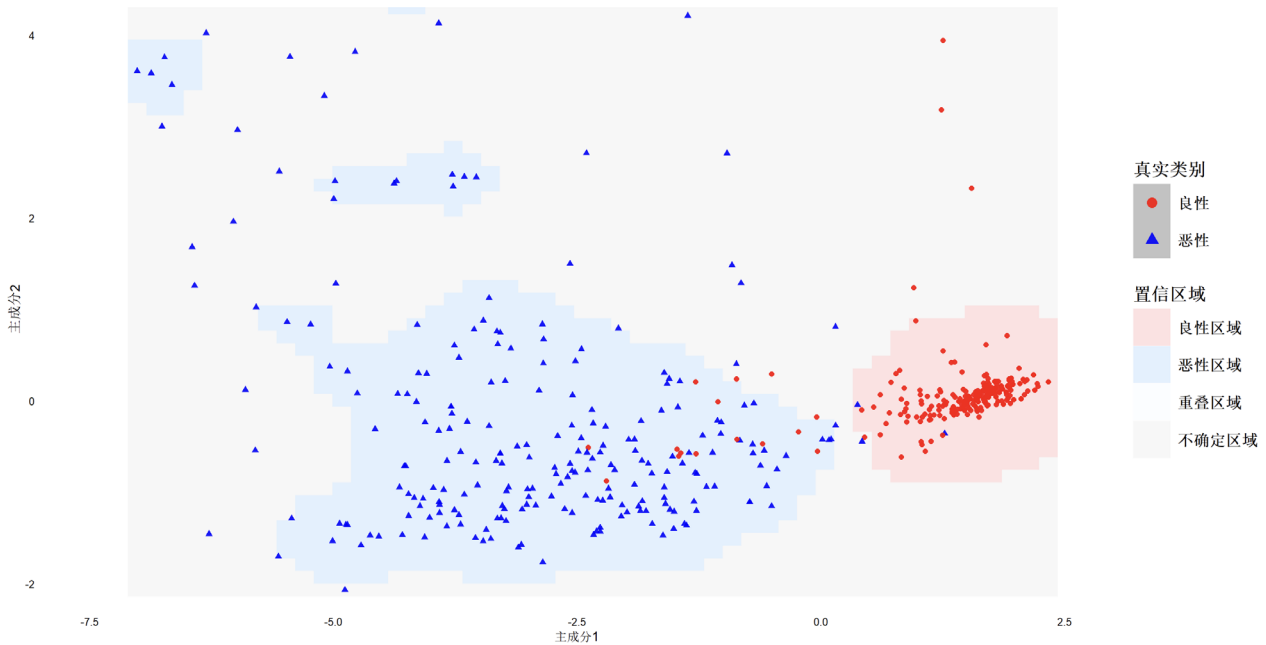


图5 完全共形预测分类及结果

## （二）分裂共形预测

随机抽取 100 个良性样本作为独立测试集  $D_3$ ，剩余 344 个良性样本与全部恶性样本按 6:4 比例划分训练集  $D_1$  与校准集  $D_2$ ，该划分满足  $P\{Y_{n+1} \in \hat{C}(X_{n+1})\} \geq 1 - \alpha$ 。其中， $D_1$  对应样本数  $n_1$ ， $D_2$  对应样本数  $n_2$ ， $D_3$  对应样本数  $n_3$ 。

设类别标签  $k \in \{0, 1\}$ ，其中 0 为良性，1 为恶性。类别  $k$  的核密度估计函数为  $\hat{f}_k^*(X; h) = \frac{1}{n_k \times h^2} \sum_{j: y_j = k} K\left(\frac{X - X_j}{h}\right)$ 。定义样本  $X_i$  基于校准集  $D_2$  的不一致分数  $R_i = \frac{1}{\hat{f}_{n_i}(X_i; h)}$ ， $i \in n_2$ ，其中  $\hat{f}_{n_i}(X_i; h)$  为通过交叉验证确定的最优带宽  $\hat{h}$  估计的类别条件密度。在校准集上计算经验分位数  $\hat{q}_{n_2} = \inf\left\{q: \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} \mathbf{1}(R_i \leq q) \geq 1 - \alpha\right\}$ ，在显著性水平  $\alpha = 0.1$  下，满足边际覆盖保证：

$$P\{Y_{n+1} \in \hat{C}(X_{n+1}) | (X_i, y_i), i \in D_1\} \in \left[1 - \alpha, 1 - \alpha + \frac{1}{n_2 + 1}\right].$$

对任意新样本  $X_{n+1}$ ，显著性水平  $\alpha = 0.1$  下的预测集合定义为  $\hat{C}(X_{n+1}) = [\hat{f}_{n_1}(X_{n+1}) - \hat{q}_{n_2}, \hat{f}_{n_1}(X_{n+1}) + \hat{q}_{n_2}]$ ，其  $\hat{q}_{n_2}$  完全由校准集计算得到，独立于测试集。分裂共形预测与完全共形预测方法结果一致，实验覆盖率为 94%。

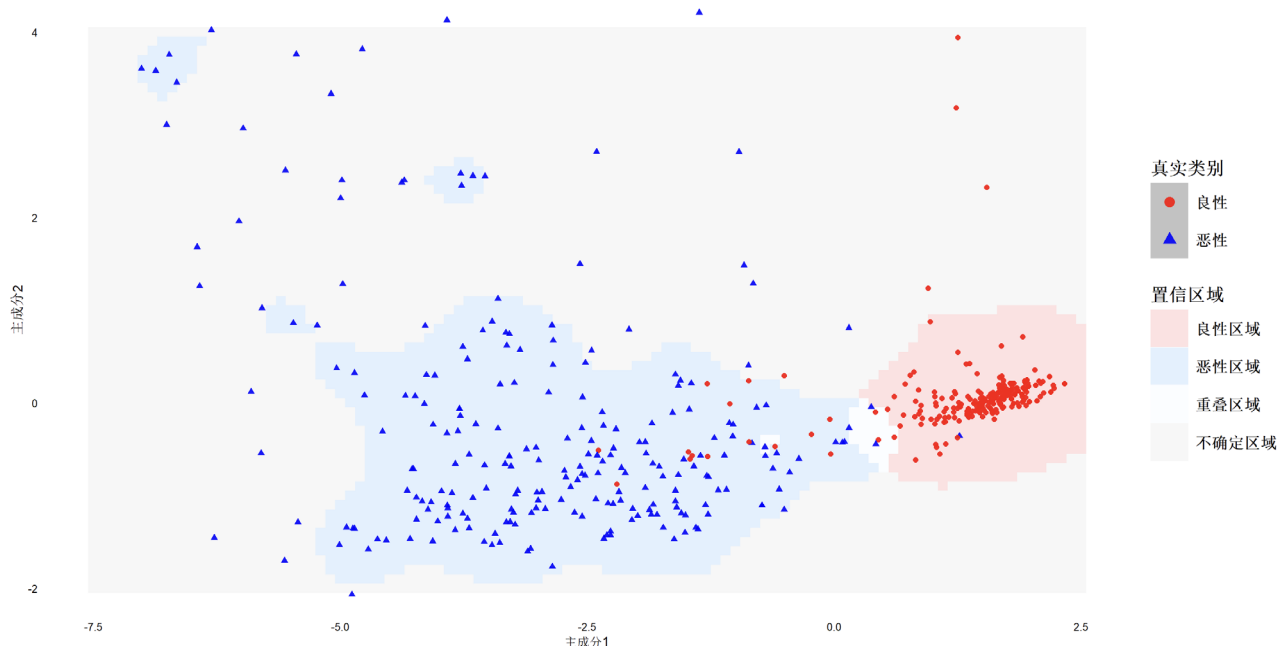
本研究结合共形预测与核密度估计分类器，构建了乳腺癌风险预测的动态不确定性量化模型。实验验证了共形预测方法在给定显著性水平下的统计有效性，且核密度分类器通过动态调整边界，提高了对复杂数据分布的适应能力。完全共形预测能自适应反映新样本影响，但计算量较大；分裂共形预测利用独立校准集降低了计算成本，更适合临床实时应用。

## 四、总结与讨论

本文系统研究了共形预测方法在回归与分类任务中的理论框架与应用效能。通过数值模拟实验发现，分裂共形预测在计算效率与覆盖率控制方面表现突出，在异方差与非对称误差场景下展现出更强的稳健性；完全共形预测虽能实现理论覆盖率的严格保证，但计算复杂度随样本量呈指数级增长，限制了其在大规模数据集中的应用。基于实验发现，本文提出了数据集规模导向的方法选择策略：小规模数据优先使用完全共形预测或 Jackknife+ 共形预测，中等规模数据推荐分裂共形预测和 Jackknife 共形预测，大规模数据适用分裂共形预测或传统回归方法。在乳腺癌风险预

测的实证分析中，本文构建了融合主成分分析与核密度估计分类器的共形预测框架，成功实现了置信区域的动态更新，经验覆盖

率稳定维持在94%以上，验证了共形预测方法在复杂医学数据中的实用性。



> 图6 分裂共形预测分类及结果

然而，当前研究仍存在一定的局限性。共形预测的理论有效性高度依赖数据可交换性假设，但在实际医学数据中该假设可能因协变量偏移或选择偏倚而失效。此外，共形预测基模型如预测模型、回归模型的性能直接影响不一致性评分，若基模型存在系统性误判，可能导致预测区间产生乐观偏差。

基于现有成果与局限，未来研究可从以下方面展开。为应对医学数据的非可交换性挑战，可融合因果结构方程与分层条件独立检验，构建协变量偏移场景下的稳健共形预测算法。针对基模

型误判效应，可通过双重稳健估计量与影响函数校正机制进行量化分析，建立覆盖概率对误判敏感度的显式泛函表达式。在动态校准机制方面，可引入鞅差序列作为随机过程可交换性的替代评估指标<sup>[18]</sup>，结合渐进鞅变换重构动态校准框架，拓展动态共形预测理论边界。此外，还可以探索基于贝叶斯非参核校准的半监督共形方法，将临床先验知识编码为区间约束，实现频率学派覆盖率与医学决策可解释性的统一。

## 参考文献

- [1]Vovk V, Gammerman A, Shafer G. Algorithmic learning in a random world[M]. New York: Springer, 2005.
- [2]Shafer G, Vovk V. A tutorial on conformal prediction[J]. Journal of Machine Learning Research, 2008, 9(3).
- [3]Vovk V. On-line confidence machines are well-calibrated[C]//The 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2002. Proceedings. IEEE, 2002: 187-196.
- [4]Linusson H, Johansson U, Boström H, et al. Efficiency comparison of unstable transductive and inductive conformal classifiers[C]//Artificial Intelligence Applications and Innovations: AIAI 2014 Workshops: CoPA, MHDW, IIVC, and MT4BD, Rhodes, Greece, September 19-21, 2014. Proceedings 10. Springer Berlin Heidelberg, 2014: 261-270.
- [5]Barber R F. Is distribution-free inference possible for binary regression? [J]. 2020.
- [6]Vovk, V. Conditional validity of inductive conformal predictors [C]//Asian Conference on Machine Learning. Proceedings of Machine Learning Research, 2012: 475-490.
- [7]Lei J. Cross-validation with confidence[J]. Journal of the American Statistical Association, 2020, 115(532): 1978-1997.
- [8]Tibshirani R. Conformal prediction: Advanced topics in statistical learning(lecture note)[J]. 2023.
- [9]Barber R F, Candes E J, Ramdas A, et al. Predictive inference with the jackknife+[J]. The Annals of Statistics, 2021, 49(1): 486-507.
- [10]Guan L. Localized conformal prediction: A generalized inference framework for conformal prediction[J]. Biometrika, 2023, 110(1): 33-50.
- [11]Linusson H, Norinder U, Boström H, et al. On the calibration of aggregated conformal predictors[C]//Proceedings of the Sixth Workshop on Conformal and Probabilistic Prediction and Applications. Proceedings of Machine Learning Research, 2017: 154-173.
- [12]Nicora G, Rios M, Abu-Hanna A, et al. Evaluating pointwise reliability of machine learning prediction[J]. Journal of Biomedical Informatics, 2022, 127: 103996.
- [13]Yin M, Shi C, Wang Y, et al. Conformal sensitivity analysis for individual treatment effects[J]. Journal of the American Statistical Association, 2024, 119(545): 122-135.
- [14]Angelopoulos A, Bates S, Malik J, et al. Uncertainty sets for image classifiers using conformal prediction[J]. arXiv preprint arXiv:2009.14193, 2020.
- [15]Candès E, Lei L, Ren Z. Conformalized survival analysis[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, 2023, 85(1): 24-45.
- [16]Kuchibhotla A K, Berk R A. Nested conformal prediction sets for classification with applications to probation data[J]. The Annals of Applied Statistics, 2023, 17(1): 761-785.
- [17]Vovk V. Cross-conformal predictors[J]. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2015, 74: 9-28.
- [18]Gibbs I, Candes E. Adaptive conformal inference under distribution shift[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2021, 34: 1660-1672.

# AI大模型在新能源汽车境外销售检修中的信息检索与NLP应用自动化驾驶标准化的研究

徐小雅, 杜善琪

广东财经大学, 广东 广州 510320

DOI: 10.61369/ASDS.12185

**摘要 :** 本论文聚焦于 AI大模型在新能源汽车境外销售检修及自动化驾驶标准化方面的应用。阐述了当前新能源汽车境外业务拓展面临的挑战, 分析 AI大模型如何助力解决销售检修环节的文本信息处理难题, 以及在推动自动化驾驶标准化进程中的作用。通过研究, 旨在为提升新能源汽车的全球竞争力、保障自动化驾驶安全规范发展提供理论与实践参考。

**关键词 :** AI大模型; 新能源汽车; 境外销售检修; 自动化驾驶; 标准化

## Research on Information Retrieval and NLP Application of AI Large Model in Overseas Sales and Maintenance of New Energy Vehicles and Standardization of Automated Driving

Xu Xiaoya, Du Shanqi

Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou, Guangdong 510320

**Abstract:** This paper focuses on the application of AI large models in the overseas sales, maintenance and the standardization of automated driving of new energy vehicles. It elaborates on the challenges faced by the overseas business expansion of new energy vehicles at present, analyzes how AI large models can help solve the problems in text information processing in the sales and maintenance links, and expounds their roles in promoting the standardization process of automated driving. Through this research, it aims to provide theoretical and practical references for enhancing the global competitiveness of new energy vehicles and ensuring the safe and standardized development of automated driving.

**Keywords:** AI large model; new energy vehicle; overseas sales, maintenance and inspection; automated driving; standardization

## 引言

习近平总书记指出, 新工业革命深刻重塑人类社会, 是世界经济数字化转型的大趋势; 强调要以信息化培育新动能, 以新动力促进新发展, 推动实体经济与数字经济融合发展。20大报告提出, 要加快数字经济发展, 推动数字经济与实体经济深度融合, 建设具有国际竞争力的数字产业集群。这对新时代数字经济发展提出了新要求, 而在当前, 人工智能预训练大模型已经成为人工智能领域的技术新高地, 很大可能推动人工智能发展的代际变革, 引发下一轮人工智能发展浪潮, 推动新能源汽车朝着更高质量方向发展。下一步, 我们要继续布局新能源汽车在 AI 大模型下的新赛道, 实施促进新能源汽车企业技术创新、应用创新、模式创新、产业创新的“双千倍增”行动, 助推数字经济的优质发展。

2019–2023年间, 我国新能源汽车出口从25.4万辆增长到120.3万辆, 年均增速达到47.52%, 出口金额从9.84亿美元增长到400.78亿美元, 年均增速达到153%。同时, 随着时代的变化, 中国汽车的出口贸易模式也在发生改变, 除了传统的出口批发、零售模式之外, 越来越多的企业开始采取“订阅”模式, 以及进行海外建厂, 加速推进经销网络建设, 进一步推动中国新能源汽车扩大全球覆盖范围和深化企业服务能力。国内人工智能产业在政策红利下井喷式成长。天眼查最新数据显示, 目前国内人工智能相关企业数量已达344.4万

基金项目: 国家自然科学基金项目72101059: 考虑概率销售的出行平台收益管理研究;

广东省社科规划2025项目 GD25CSG32: 数字经济驱动制造业转型机制及对策研究; 项目类别: 一般项目。

作者简介:

徐小雅, 女, 汉族, 湖南人, 广东财经大学, 专任教师, 副教授, 博士, 智能优化, 粤港澳大湾区创新竞争力研究院(第二单位) Research Institute of Innovation Competitiveness of Guangdong, Hong Kong and Macao Bay Area;

杜善琪, 女, 汉, 广东人, 广东财经大学工商管理学院/商学院/创新创业学院, 本科, 研究方向: 跨境电商境外销售。



家，2023年新增98.2万家注册相关企业，同比增长24.1%。其中，人工智能相关企业数量最多的是广东、江苏和北京，分别有49.8万家、27.7万家和27.4万家。长远来看，AI大模型发展对新能源汽车跨境销售有着重要作用。

20届三中全会强调，加快培育外贸新动能，要因地制宜、因地制宜地发展新质生产力。汽车跨国销售在全球的市场规模随着AI大车型的不断应用而不断扩大。近年来，中国新能源品牌汽车在全球各地日益受到欢迎，新能源汽车技术强势崛起并在国际市场占据一席之地。然而，在数字化转型的大背景下，传统汽车企业的数字化转型还没有太多的研究，数字化转型建设的研究还很少，性能瓶颈、产品兼容性、数据隐私安全等技术难题以及各国各地区法律不相通、缺乏统一标准等诸多挑战和机遇，中国的AI大模型目前正处于上升期。以及运营费用较大，受众面受限等困难。为此，本研究立足AI大模型，通过调查研究，展现AI大模型在不同方面对新能源汽车境外贸易的促进作用，探讨AI大模型下新能源汽车销售的机遇挑战及应对方式，助力我国新能源汽车扩大全球市场，推动数字化转型。

## 一、主要研究内容与数据分析

### （一）探究AI大模型的特点以及NLP的运行机制

1.AI大模型的概念：AI大模型(LLMs, Large Language Models)是指通常用于处理自然语言处理(NLP)任务，具有大量参数和复杂架构的人工智能模型。此类模型在大量文本数据上进行训练，能够执行多种自然语言理解和生成的任务，如文本生成、翻译、问答、摘要等。

2.特点：通过增加网络深度和网络宽度来提高性能，实现对复杂问题的高效解决，参量大，数据量大，结构复杂，预训练和微调，多模态，深度学习技术，泛化能力强，扩展性强。

#### 3.运行机制：

##### （1）模型架构

AI大模型通常采用深度学习架构，如Transformer模型(见图1)。Transformer由编码器和解码器两部分组成，能够对序列数据进行有效处理，并在自然语言处理(NLP)任务中得到广泛应用。

##### （2）NLP训练过程(见图2)

大模型学习模型和知识的方法是通过大量数据的训练。训练的过程一般有以下几个步骤：

##### ①数据处理：

资料搜集：从各种资料(如文字、图像、音频等)中搜集大量训练资料。

资料清理：清除杂音及无关资料，提高资料质量。

数据标记(DataMark)：标记数据，特别是在监督学习中，用

于指导模型学习。

##### ②模型训练：

构建模型：选择合适的神经网络架构(如Transformer、CNN等)，并设置初始参数。

前传：通过网络计算输入数据，产生输出。

损耗计算：比较实际输出，算出误差(损耗)。

反向传播：根据误差调整模型参数(权重)以降低损失，通常使用梯度下降等优化算法。

迭代训练：在模型收敛之前，重复进行前传后传的过程。

##### ③推理(见图3)

模型部署：将经过训练的模型部署到服务器或边缘装置上。

输入处理：接收新的输入资料，并进行必要的预处理(如规范、提取特征等)。

生成输出：通过已训练的模型进行推理，输出结果(如分类、生成文本等)。

##### ④应用

在语言翻译、图像识别、客服聊天等实际场景中应用推理结果。(见图4)

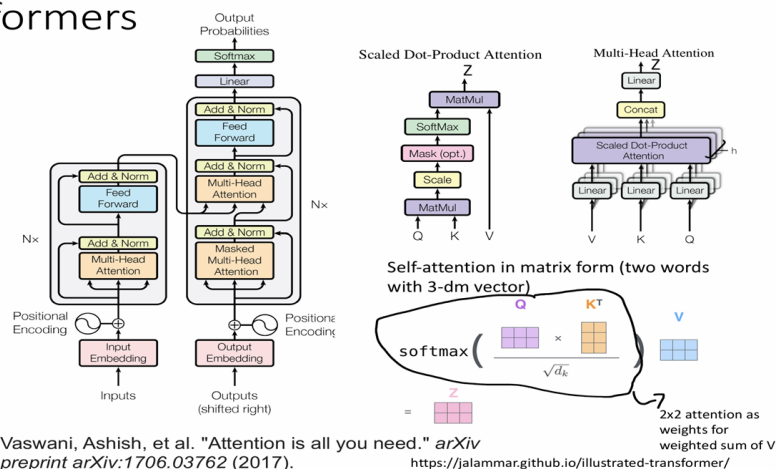
##### ⑤模型优化

模型压缩(modelcression)：通过剪枝、量化等技术缩小模型的体积。

精馏：在较小的模型上转移大模型的知识。

分布式训练：把训练任务分配到多台机器上进行并行处理。

## Transformers



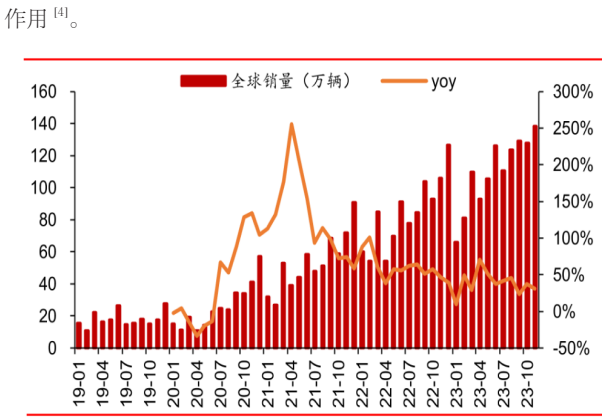
> 图1：变换器 (Transformer) 模型



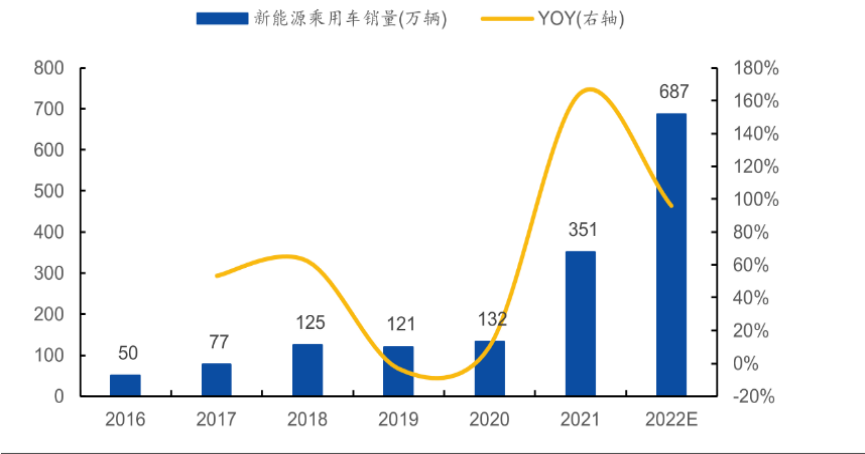
节的应用，旨在揭示其应用价值与潜力，并对可能面临的问题提出应对策略。

首先要清楚新能源车的优势、性能以及估计适销区的市场发展趋势。AI大模型通过对全球宏观经济数据平台、行业权威报告、学术研究成果等多源数据的检索与分析，能够深度提取市场趋势相关信息<sup>[2]</sup>。

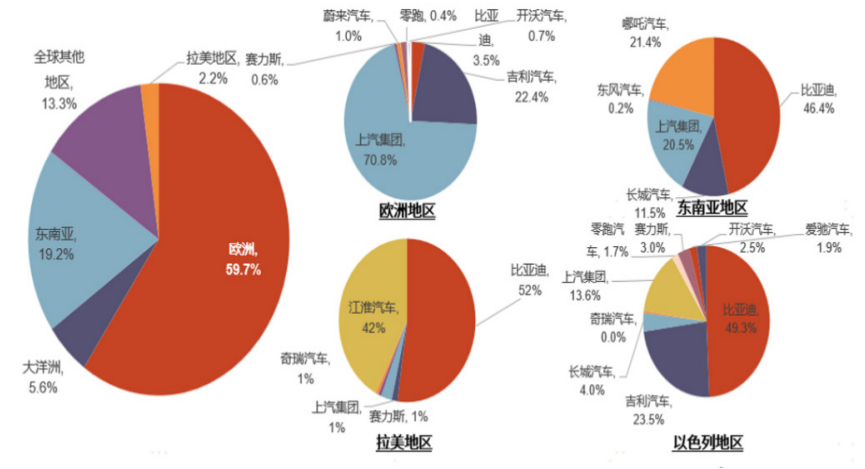
其次，通过对销售地优惠政策和补贴政策的分析和了解，快速扫描国外政府官方网站、政策法规库等信息源，并借助其强大的检索能力，对新能源汽车相关政策法规内容进行精准提取<sup>[3]</sup>。探究企业如何利用 AI 大模型进行数据处理，因地制宜地分析不同地区的区位优势，建立不同的销售模型，在分析新能源汽车销量(图 5)和增长率(图 6)的同时，找到销售的主攻方向，提高新能源汽车的吸引力，更直观、更清晰地看到 AI 大模型所发挥的



> 图 5: 2019-2023.11 新能源汽车全球销量排行榜



> 图 6: 新能源汽车销量及增速



> 图 7: 自主品牌新能源车在海外市场的占有率

### （三）研究 AI 大模型在信息提取检索方面如何赋能新能源汽车检修<sup>[3]</sup>

AI 大模型 (AIGrandModel) 是一种机器学习模型，利用大规模参数，具有强大的计算能力。能够保证检修新能源汽车的故障诊断和预测，智能维修和保养等，确保检修的速度和质量<sup>[6]</sup>。本部分研究对 AI 大模型在检修新能源汽车路径进行了概括分析，以图表方式展现（见图 8），并分析了具体案例，展示了 AI 大模型是

如何让新能源汽车跨境检修更加便利智能化，帮助企业提高效率、降低成本、增强信任度，推动新能源汽车行业的发展<sup>[6]</sup>。

本部分以赛克供应链有限公司作为 AI 大模型在检修新能源汽车中的具体案例之一，能更直观地认识故障诊断与维修 - AI 修车大模型<sup>[7]</sup>。

上汽集团旗下的赛克供应链科技有限公司为解决汽车维修行业痛点，运用开源大车型 GPT2.0，打破汽车数据壁垒，打造出

“车安心数字科技”人工智能车型(见图9)。在检修时,塞克供应链科技有限公司首先将新能源汽车多方面的数据,借助车内智能设备和外部检测仪器进行采集,内容涵盖运行参数、温度、电压电流等电池、电机等核心部件的信息<sup>[8]</sup>。这些数据会实时传输至AI大模型系统。AI大模型快速地对数据进行分类整合和对比分析,识别异常数据特征,随后通过模拟运算预测故障点及原因,并生成可视化的检修方案指导技术人员操作,技术人员参考方案精准维修,大大缩短检修时间并提升维修质量<sup>[9]</sup>。该模型已在解决汽车维修行业痛点方面取得了初步成果,对行业的改进和发展具有深远意义。



图8: AI大模车检修新能源车路线



图9: “车安心数字科技”AI模型

#### (四) 探究 AI大模型如何助力自动化驾驶

##### 1. 高效数据处理与自动标注:

Autopilot 系统需要处理多个传感器带来的海量数据。AI大模型通过预训练的方式,能够自动标注这些数据,显著提高数据处理速度和标注精度。如小鹏汽车推出的全自动标识系统,原来需

要2万人年的标注量,如今只需16.7天就能完成近4.5万倍的效率提升<sup>[10]</sup>。

##### 2. 环境感知:

AI大模型可以通过对传感器数据的处理来实现对周围环境的感知,对各种物体进行识别和分类,并帮助自动驾驶车辆进行相应的决策。小米SU7新能源车搭载大AI模型,带来全新的智能驾驶体验,它能够为用户深度控车,比如控制车窗、后视镜、HUD等,还能在用户经过收费站、停车场时,为用户提前打开支付码。用户还可以询问车辆相关的各种信息,如隧道长度、前方车辆信息等,极大地提升了用户的驾驶体验和便利性<sup>[11]</sup>。

##### 3. 仿真与测试:

AI大型模型可用于创建测试和验证自动驾驶系统的逼真模拟环境。在虚拟环境下做大量的测试,能够减少实际路试所需的时间和费用。比亚迪汽车璇玑智能架构是一款人工智能大车型,该架构拥有覆盖全车300多个场景的业内最庞大数据底座、领先业界的样本量和高算力,赋予全车智能不断进化的能力,让全车系统对用户需求更加了解,大幅提升汽车智能化程度<sup>[12]</sup>。

##### 4. 多模态信息融合:

AI大模型能够将来自不同传感器的数据进行整合,实现对环境的更全面的认识。比如,将视觉信息与雷达数据结合起来,就能有效地提高知觉的精确性与坚固性。2023年12月由理想汽车发布的OTA5.0,透过覆盖全车多音区的数位硅麦、3D TOF摄影机、IR感应器,以及基于空间多模态感知的3M技术,让“理想同学”充分感知舱内空间的多模态资讯<sup>[13]</sup>。

#### (五) 探究 AI大模型在新能源汽车跨境电商交易中的挑战<sup>[9]</sup>

1. 技术标准的多样性: 新能源汽车检修的技术标准和规范,不同的国家和地区存在差异。了解并比较这些标准,评估AI大模型在适应不同标准方面的能力,需要专业的技术知识和对国际标准的深入研究。

2. 安全评估的复杂性: 自动驾驶的安全性是关键问题,评估AI大模型对自动驾驶安全性的影响需要复杂的测试和验证方法。自动驾驶安全的要求和标准在不同的国家和地区也可能有所差异,这就为安全测评增加了难度。

3. 国际协同难度: 自动驾驶标准化需要协调,需要国际协同。不同国家在政策法规、技术标准、产业发展等方面存在差异,达成国际共识面临很大的困难。协调各国的利益和关注点,推动统一的自动驾驶标准制定,需要大量的外交努力和跨领域的合作。

## 二、AI大模型在新能源汽车境外销售中的实践意义

#### (一) 现实指导意义

1. 本研究可为新能源汽车交易市场的创新提供新的理念和方法,鼓励各大企业探索以AI大模型为基础的融资模式,为企业提供更便捷、低成本的融资服务,也可吸引不同行业、科技公司、保险公司、能源企业等企业参与新能源汽车交易市场。共同促进新能源汽车产业的发展,通过AI大模型实现数据共享和业务



协同。

2.政府部门可以利用本研究成果，了解到 AI大模型运行机制，加强对新能源汽车交易市场的监管。调研中的实际应用案例和数据分析，有助于政府了解 AI大模型技术对新能源汽车产业的影响，为推动新能源汽车产业可持续发展制定相应的促进行业标准建立的政策措施。

3.人工智能大模型通过对不同国家和地区市场需求、消费习惯、政策法规等因素的分析，帮助企业在海外市场制定更加精准的市场策略，提高产品竞争力，为企业提供拓展国际市场的决策依据。人工智能大车型的应用，能够促进新能源汽车企业加强国际合作，在全球范围内进行资源整合，提升行业的国际化水平和竞争力，推动新能源汽车行业的国际化发展。

参考文献

[1]王媛 .技术融合对企业利用式与探索式创新绩效的影响 [J].科技管理研究 ,2024,44(06):11-20.

[2]郑爱琳,蓝海林 .多重制度逻辑、地方政府响应行为与产业升级 —— 以新能源汽车推广应用政策为例 [J].科学学研究 ,2024,42(10):2081-2091.

[3]郭晓丹,蒲光宇,王帆 .新能源汽车补贴政策设计、需求变动与产业升级 [J].中国软科学 ,2023,(10):109-118.

[4]饶奕邦,舒彤 .基于中国双积分政策的新能源汽车企业技术创新行为分析 [J].管理评论 ,2023,35(07):74-85+111.

[5]李东升 .探索 AI大模型时代云计算与智能化融合路径 [J].中国信息界 ,2024,(05):154-156.

[6]吉清凯,张凤麟,方刚,胡祥培 .零售供应链中的区块链参与决策与产品定价博弈模型 [J].中国管理科学 ,2023,31(03):102-112.

[7]张新,徐瑶玉,马良 .中小企业数字化转型影响因素的组态效应研究 [J].经济与管理评论 ,2022,38(01):92-102.

[8]Cui Y, Hu M, Liu J. Value and design of traceability-driven blockchains[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2023, 25(3): 1099-1116.

[9]Isa ja M, Nguyen P, Goknil A, et al. A blockchain-based framework for trusted quality data sharing towards zero-defect manufacturing[J]. Computers in Industry, 2023, 146: 103853.

[10]Shen, Yongliang, Kaitao Song, Xu Tan, Dongsheng Li, Weiming Lu, and Yueting Zhuang. "Hugginggpt: Solving ai tasks with chatgpt and its friends in hugging face." Advances in Neural Information Processing Systems 36 (2024).

[11]Rafailov, R., Sharma, A., Mitchell, E., et al. "Direct preference optimization: Your language model is secretly a reward model." Advances in Neural Information Processing Systems 36 (2024).

[12]Zheng, R., Dou, S., Gao, S., et al. "Secrets of rlhf in large language models part i: Ppo." arXiv preprint arXiv:2307.04964 (2023).

[13]A Generalist Dynamics Model for Control, Arxiv 2023.05.

# 基于 CiteSpace 知识图谱的数据要素研究： 热点、趋势与展望

王孟欣<sup>1</sup>，李静<sup>2\*</sup>，刘璐<sup>2</sup>

1. 广州大学 金融研究院，广东 广州 510405

2. 广州大学 经济与统计学院，广东 广州 510006

DOI:10.61369/ASDS.12186

**摘 要：** 本文运用 CiteSpace 分析了 2016–2024 年数据要素研究的关键词共现、时序聚类以及突现情况。结果显示，国内外相关研究均呈增长态势但侧重点存在显著差异。国内研究聚焦理论体系与政策导向，以“数据要素”和“数字经济”为主线，丰富数字经济理论与实践；国外研究则强调跨领域应用，基于个人兴趣和市场需求进行多元化研究，促进了数据科学、医疗健康、环境科学等学科交叉发展，为数据流通与开放奠定理论基础。最后文章展望了数据要素未来的研究方向。

**关 键 词：** 数据要素；数字经济；文献计量；CiteSpace

## Research on Data Elements Based on CiteSpace Knowledge Graph: Hot Spots, Trends and Prospects

Wang Mengxin<sup>1</sup>, Li Jing<sup>2\*</sup>, Liu Lu<sup>2</sup>

1. Institute of Finance, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510405

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

**Abstract:** This paper uses the CiteSpace to analyze the keyword co-occurrence, time-series clustering, and emergence of data element research from 2016–2024. The results show that both domestic and international studies show a growth trend, yet there exist significant differences in their focuses. Domestic researches focus on the theoretical system and policy orientation, and enrich the theory and practice of digital economy by focusing on "data elements" and "digital economy"; foreign researches emphasis cross-disciplinary application, conducting diversified research based on personal interests and market demands, which has promoted the development of multiple disciplines such as data science, healthcare, environmental science and other disciplines, laying a theoretical foundation for the circulation and opening of data. Finally, the article outlines the future research directions for data elements.

**Keywords:** data elements; digital economy; bibliometrics; CiteSpace

## 引言

数据作为新型生产要素，是数字化、网络化、智能化的基础，已快速融入生产、分配、流通、消费和社会服务管理等各环节，深刻改变着生产方式、生活方式和社会治理方式。2019 年美国发布《联邦数据战略与 2020 年行动计划》，明确将数据作为一种战略性资源进行开发。2020 年欧盟委员会公布了一系列围绕数据资源的发展规划，包括《欧洲数据战略白皮书》《人工智能白皮书》等多份文件，详细阐述了欧盟未来五年实现数字经济所需的政策措施和投资策略，以及构建一个真正的欧洲数据统一市场的发展目标。2021 年国务院发布的《“十四五”数字经济发展规划》指出“数据要素是数字经济深化发展的核心引擎”。这些国内外政策的颁布和实施，显示了数据要素作为推动经济增长新动能的重要地位，也预示着全球范围内数据要素市场的竞争和合作将更加激烈，凸显数据要素在全球经济竞争中的核心地位。据《全球数字经济白皮书（2023 年）》显示，数字经济已成为全球经济增长的重要驱动力，数据要素作为其核心组

基金项目：2023 年度国家社科基金重大项目“数字贸易核算与全球产业链重构统计研究”（23&ZD127）；  
2023 年度全国统计科学研究重点项目“数据生产要素价值测度的理论与方法研究”（2023LZ030）。

作者简介：

王孟欣，广州大学金融研究院，教授，博士生导师，研究方向为数字经济与数字贸易；

刘璐，广州大学经济与统计学院，博士研究生，研究方向为宏观经济统计分析；

通讯作者：李静，广州大学经济与统计学院，硕士研究生，研究方向为宏观经济统计分析。

成部分，其价值和重要性无可估量。

为了全面、多维度地分析有关数据要素的研究状况，梳理数据要素的研究热点并分析其演变趋势，成为一项具有重要意义的研究工作。本研究基于 CiteSpace 可视化文献分析软件，以 CNKI 及 WOS 数据库中的相关中外核心文献为研究对象，从关键词的共现、时序聚类、突现等方面就有关数据要素的研究状况进行分析；并通过绘制研究知识图谱，结合国内数据要素相关政策和会议文件、国外数据要素相关立法和应用实践，把握数据要素的研究热点，并分析其发展趋势，为进一步推进相关研究提供重要的文献参考。

## 一、数据来源

### （一）文献来源

“生产要素”的概念在国外有着悠久的历史，其根源可追溯至 1662 年 William Petty 的税收理论，在 1848 年由 John Stuart Mill 提出为“生产的必要条件”（requisites of production），其后经 Alfred Marshall 的发展被正式表述为“生产要素”（factors of production）。然而，这一经典理论框架在数字时代的演变中逐渐迎来了新的诠释。1991 年 Tim Berners Lee 定义了超文本规范，标志着万维网的诞生。随后，数据的激增和复杂性催生了大数据的概念和技术。在这一背景下，数据不再仅仅是信息的载体，而是逐渐转变成为一种生产要素。1996 年 Don Tapscott 首次提出“数字经济”的特征即以数字方式呈现信息流的经济模式，在这一经济模式中数据成为连接生产和消费的桥梁。随着信息技术的飞速发展和互联网的广泛普及，数据的价值得到了深层次的挖掘与开发利用。人们开始意识到，通过收集、分析和利用数据，可以更加精准地把握市场需求，优化生产流程，提高产品质量和效率。这一趋势在 21 世纪初逐渐显现，并随着云计算、物联网、人工智能等技术的不断成熟而加速发展。2016 年 G20 杭州峰会正式提出了“数字经济”的概念，由此揭开了数据要素作为数字经济发展的核心生产要素的序幕。随着数字经济的蓬勃发展以及一系列数字经济政策的密集出台，经济社会中的数据要素积累日益丰富，从而引发数据要素与资本、劳动力、技术等传统生产要素的深层次交互，共同推进经济社会的全面转型升级<sup>[1]</sup>。这一年，欧盟不仅通过了《通用数据保护条例》（GDPR），还与美国签署了“隐私盾”协议，共同致力于保护跨大西洋数据流动中的个人隐私。与此同时，英国对“数字经济法”进行了全面修订，并颁布了《数字经济法（2017）》；加拿大政府也提出了数字宪章实施法案，旨在升级数字基础设施、保障消费者数据安全，以及推动数字经济的发展。在此背景下，国内外关于“数据要素”的文献研究呈现出显著的增长趋势。鉴于此，本研究聚焦于数据要素及其相关领域的演进，以 2016 年为研究起点，于 2024 年 12 月 31 日进行了系统性的文献检索。

本研究对于中文文献检索依托于 CNKI 数据库，采用高级检索策略，以“数据要素”为主题，并辅以“数据要素+数据生产要素+数据要素市场+数据要素资源+数据要素配置+数据要素产权”等关键词，进一步筛选出 CSSCI 来源的高质量学术期刊文献，最终选出了 2179 篇文献作为分析样本。英文文献来源于 WOS 核心合集，鉴于国内外学术用词表达差异，围绕“data factor(s)”与“data element(s)”这两大主题，以“data

factor(s)”与“data element(s)”为关键词并聚焦于“Article”，严格筛选“SCI”或“SSCI”索引文献，以确保学术研究的权威性和深度。经检索查找共得到 4871 篇文献，与中文文献相匹配共同构成本次研究的文献基础，并实施深入的文献分析。

### （二）研究文献的发文量分析

基于 2016–2024 年数据要素领域文献发文量的分析，本文绘制了国内与国外文献发文量的对比图（图 1）。图 1 显示国内外发文量及趋势存在明显差异。国内相关文献发文量在 2016 至 2019 年间经历了小幅波动，年发文量较少仅在 50 篇左右；随后 2020 年增长到了 94 篇，此后便呈现出显著的爆发式增长态势，到 2024 年增长到了 904 篇，并且在当年国内的发文量超过了国外发文量。国内发文量的急剧增加，可能归因于国家政策与资金对数据要素研究的重点扶持，以及学术界对该领域日益增长的兴趣与投入。在 2016 年“数字经济”提出之后，虽然社会对数字技术、数据、数据资产等的研究日益重视，但并没有将数据上升到生产要素层面。2019 年 10 月中共十九届四中全会首次明确将“数据”作为生产要素参与社会分配，这是中国首次在国家层面将数据作为一种新型生产要素，标志着数据要素市场化配置改革的正式启动，由此引发了学术界对数据及数据要素、数据生产要素等研究的热潮。2019 年学术界和教育界举办了如国际数据委员会学术大会、第四届大数据分析国际会议、第六届数据科学大会等研讨会，会议内容包括数据要素与数字经济的关系、数据要素流通、数据要素价值化等，由此进一步推动了关于数据及数据要素的研究，次年相关研究的发文量就达到了 94 篇。此后随着研究的深入，人们对数据要素日益重视，推动相关研究井喷式增长，直到 2024 年发文量达到了 904 篇。

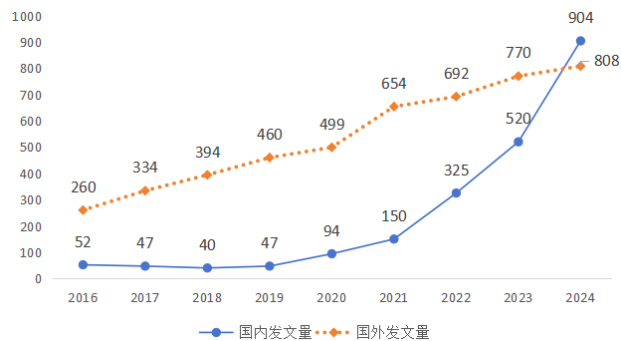


图 1 2016–2024 年有关数据要素的国内外研究发文量（篇）

对比同期，国外发文量则保持了较为平稳的增长轨迹，显示出研究活动的连续性和稳定性。国外在数据要素领域的研究最早可追溯到 20 世纪 90 年代公共部门信息市场化研究，并且伴随着大数据的步伐，国外研究更加聚焦于数据的使用价值、市场交易机



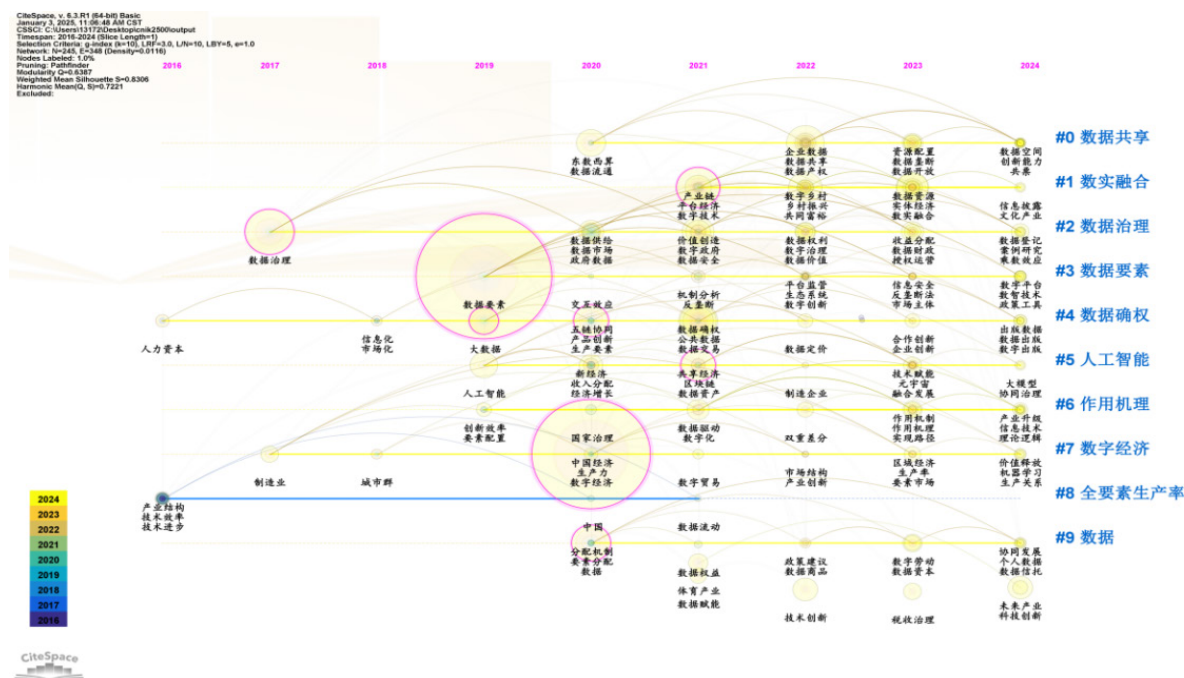




据”。表3则显示了文献热点主题与聚类表,包含了研究主题、聚类号、聚类名、聚类出现的时间以及主要节点。其中,研究主题的界定基于各聚类关键词进行归类,旨在精准提炼当前研究的核心热点。值得注意的是,图4与表3在呈现节点内容时存在差异,表3侧重于凸显每个聚类中的前5个最具影响力的关键词,而图4则根据关键词的频次来展现节点。因此,当一个聚类包含大量高频关键词时,图4会显示更多的节点,可能会导致部分节点未能在表3中体现;相反,若聚类中的关键词频次相对较低时,表3列出的关键词在图4反而会因为频次较低而不显示。

表3所示的归类结果表明,当前学者的研究主题可以分成三类:(1)数据要素的基础构建,包含聚类标签“#3、#5、

“9”，是数字经济大厦的基石，涵盖了数据要素的识别与整合、数字技术的融合与创新以及政策体系的规范与保障，为数字经济的繁荣奠定了坚实的基础<sup>[6-7]</sup>。（2）数据要素的流通交易，包含聚类标签“#0、#2、#4”，是数字经济活力的源泉，通过构建高效、透明的数据交易平台与生态系统，促进了数据资源的优化配置与价值释放，加速了数据要素向现实生产力的转化<sup>[8-9]</sup>。（3）数据要素的广泛应用，包含聚类标签“#1、#6、#7、#8”，是数字经济创新发展的动力所在，它渗透到实体经济的每一个角落，推动了数实融合与产业升级，催生新业态、新模式，为经济社会的高质量发展注入了强大的数字动能<sup>[10-11]</sup>。



> 图4 有关数据要素的国内文献关键词时序聚类图谱

表3 国内文献热点主题与聚类表

| 研究主题      | 聚类号 | 聚类名    | 时间   | 主要节点（LLR）                  |
|-----------|-----|--------|------|----------------------------|
| 数据要素的基础构建 | #3  | 数据要素   | 2022 | 数据要素；出版业；反垄断；数字创新；政策工具     |
|           | #5  | 人工智能   | 2021 | 人工智能；数据资产；经济增长；技术赋能；大模型    |
|           | #9  | 数据     | 2022 | 数据；数字劳动；数据信托；数据资本；马克思      |
| 数据要素的流通交易 | #0  | 数据共享   | 2022 | 数据共享；数据流通；数据产权；企业数据；数字金融   |
|           | #2  | 数据治理   | 2021 | 数据治理；政府数据；数据安全；数字政府；数字经济   |
|           | #4  | 数据确权   | 2021 | 数据确权；数据交易；生产要素；数据定价；公共数据   |
| 数据要素的广泛应用 | #1  | 数实融合   | 2022 | 数实融合；数字技术；实体经济；平台经济；数字鸿沟   |
|           | #6  | 作用机理   | 2022 | 作用机理；数字化；实现路径；实践路径；农业强国    |
|           | #7  | 数字经济   | 2021 | 数字经济；制造业；生产关系；要素市场；数字贸易    |
|           | #8  | 全要素生产率 | 2016 | 全要素生产率；技术效率；环境规制；技术进步；产业集聚 |

由图4并结合表3所示,自2016年起以“产业结构”“技术效率”“技术进步”等为关键词的研究开始出现,并在此基础上同年形成了“#8全要素生产率”聚类,该聚类的主要节点涵盖了“全要素生产率、技术效率、环境规制、技术进步、产业集聚”等,共同构成了推动全要素生产率增长的关键因素。特别地,数据要素作为新兴的生产要素,其在提升全要素生产率中的作用逐

渐受到重视。通过数据的挖掘、分析、应用等,能更有效第配置资源,优化产业结构、提升技术效率和加速技术进步,并促进产业集聚效应的发挥,从而实现对全要素生产率的全面提升。同期以“人力资本”为关键词的研究也开始出现,但直到2021年才形成“#4数据确权”聚类,主要节点包括“数据确权、数据交易、生产要素、数据定价、公共数据”等,显然此方面的研究初期比



[illegible]

表4 国外文献

## （二）国外文献关键词时序聚类图谱分析

对国外文献数据要素领域的关键词进行时序聚类分析,文

The diagram illustrates the evolution of research topics from 2021 to 2024. The topics are organized into seven horizontal sections, each representing a different research area:

- #0 risk factors**: stroke, pneumonia, older adults, inflammation, neural networks, health policy, sub-saharan africa.
- #1 data mining**: actor machine, life, official intelligence, education, future, data elements, renewable energy, strategy, sensitivity analysis, data model.
- #2 outcm**: childhood, socioeconomic factors, technology, complications, scale, attitudes, digital economy, progress, innovation.
- #3 finite element method**: big data, analytics, flow, barriers, data quality, symptoms, data analytics, water, severity.
- #4 influencing factors**: stress, efficiency, heavy metals, energy, consumption, pollution, total factor productivity, urbanization.
- #5 factor analysis**: injury, severity, geochemistry, factor model, maximum likelihood.
- #6 deep learning**: implementation, access, missing data, neural network, dementia, multiple imputation, bayesian network, deep learning, alzheimers disease.

| 研究<br>领域 | 聚类号 | 聚类名 | 时间 | 主要节点（LLR） | 中文释义 |
|----------|-----|-----|----|-----------|------|
|----------|-----|-----|----|-----------|------|

国外数据要素领域的相关研究起步比较早,伴随着数字技术发展的步伐,国外更加注重数据要素与数字技术融合,探索数据要素的创新应用。如图5所示,国外研究自2016年起便展现出显著的“集聚”特征,研究热词几乎同步涌现,如“management”“impact”“performance”“classification”“expression”等,数字经济的发展带来海量数据爆发式增长,对数据分析、数据安全以及数据治理等提出了新的要求和挑战。在2017-2019年间,聚类标签的集中出现,如表4所示,“#0 risk factors”“#1 data mining”“#2 outcome”等表明该领域的在这一阶段的研究具有广泛的探索性和交叉性。此时,如何使用数字技术、构建合

理的数学模型去挖掘数据要素的潜在价值，并将其研究成果应用于环境科学、医学、统计学、管理学等领域成为了学者们的研究重点。到了2020年之后，数据要素与数字技术的融合趋势更为明显，进一步地拓宽了数据要素的应用领域。“#6 deep learning”作为最晚形成的聚类标签，不仅反映了数字技术发展的阶段性特征，也预示着数据要素与人工智能、大数据、机器学习等先进技术深度融合的未来趋势。整体而言，这些研究的发展轨迹逐步从“抽象概念”向“具象应用”过渡，突破了单一经济领域的界限，深入渗透到多个学科之中。

为了进一步厘清这些研究的多元化与跨学科特性，根据图5主要节点可将其重新归类（表4），表明国外研究的主要领域可以分为三类：（1）医疗健康领域，包含聚类标签“#0、#2、#3”，在该领域中数据要素是提升医疗服务质量、优化医疗资源配置、推动医疗创新的重要驱动力<sup>[13-14]</sup>。（2）数据科学领域，包含聚类标签“#1、#5、#6”，在该领域中数据要素是构建数据模型、进行统计推断、发现数据规律的核心研究对象<sup>[15]</sup>。（3）环境科学领域，包含聚类标签“#4”，在该领域中数据要素是理解地球系统、预测自然灾害、评估资源潜力等工作的重要基础<sup>[16-17]</sup>。随着计算机技术的飞速发展，特别是大数据处理、高性能计算、云计算、人工智能等技术的广泛应用，数据要素在数据科学的实践边界被极大地扩展，如医生通过病例数据把握疾病的发病机制、病变过程为及患者个体差异，从而制定精准、个性化治疗方案；企业家利用微观市场数据分析消费者行为、市场趋势以及监控竞争对手

动态，从而调整投资策略、抢占市场先机；政府部门分析交通流量、环境检测等公共数据，提升城市管理的智能化水平。

四、“数据要素”研究领域关键词突现图谱分析

关键词突现分析是揭示关键词出现频次激增的起始时间与强度的方法，反映了研究热点的兴起与衰落，直观地展示了该关键词在研究领域内的重要程度和受关注度的时间变化趋势。关键词从初现至结束的整个突现轨迹以红色横线标记（见图4和图5，若为黑白图，则以加粗为标记），突现轨迹的长度越长，说明该关键词在较长时间内保持高热度，其前沿性就越强。关键词的突现强度是通过计算该关键词在特定时间段内的出现频次与整个样本时间内该关键词的平均频次之差，再除以该关键词出现频次的标准差来衡量<sup>[12]</sup>。突现强度越高，意味着该关键词在该时间段内的影响力越大。

（一）国内文献关键词突现图谱分析

对国内文献数据要素领域的关键词进行突现分析，表5显示了国内文献前25个突现关键词的突现轨迹和强度。其中，国内关键词强度最高的是“生产要素（6.94）”，突现轨迹最长的是“产业结构（2016-2022）”，反映了国内对数据作为生产要素的重视程度不断提升，并且数据要素在产业结构调整和优化中发挥了重要作用。

表5 国内研究文献突现关键词 TOP25

| 关键词  | 强度   | 开始时间 | 结束时间 | 突现轨迹（2016 - 2024） |
|------|------|------|------|-------------------|
| 技术进步 | 5.86 | 2016 | 2019 |                   |
| 技术效率 | 5.33 | 2016 | 2018 |                   |
| 环境规制 | 3.67 | 2016 | 2020 |                   |
| 要素禀赋 | 3.33 | 2016 | 2018 |                   |
| 要素流动 | 3.31 | 2016 | 2021 |                   |
| 影响因素 | 2.76 | 2016 | 2021 |                   |
| 人力资本 | 2.55 | 2016 | 2018 |                   |
| 产业集聚 | 2.45 | 2016 | 2020 |                   |
| 产业结构 | 2.33 | 2016 | 2022 |                   |
| 市场化  | 1.64 | 2018 | 2022 |                   |
| 大数据  | 5.05 | 2019 | 2020 |                   |
| 生产要素 | 6.94 | 2020 | 2021 |                   |
| 数据   | 5.89 | 2020 | 2021 |                   |
| 中介效应 | 3.41 | 2020 | 2022 |                   |
| 国家治理 | 2.35 | 2020 | 2021 |                   |
| 收入分配 | 2.18 | 2020 | 2022 |                   |
| 异质性  | 1.7  | 2020 | 2022 |                   |
| 数据市场 | 1.29 | 2020 | 2021 |                   |
| 产权界定 | 1.28 | 2020 | 2022 |                   |
| 经济增长 | 1.2  | 2020 | 2022 |                   |
| 反垄断  | 3.3  | 2021 | 2022 |                   |
| 数据交易 | 2.38 | 2021 | 2022 |                   |
| 数据共享 | 1.9  | 2022 | 2024 |                   |
| 扎根理论 | 1.59 | 2022 | 2024 |                   |

为了进一步分析国内数据要素研究的变化趋势，本文搜集了自2016年以来国内有关“数据要素”的政策文件（见表6），结合表5对国内数据要素研究进行关键词突现分析，揭示了数字要素发展对数字经济的推动作用。2016年9月 G20 杭州峰会首次明确提出“数字经济”的概念，即以信息和知识的数字化为关键生产要素，以现代信息网络为重要载体、以有效利用信息通信技术为

提升效率和优化经济结构重要动力的广泛经济活动。此时“技术效率”“要素流动”“产业集聚”等关键词突现，说明国内研究聚焦于实体经济，探讨如何通过技术进步、要素优化以及产业集聚效应等来提升经济效率。这一时期，虽然数据的重要性已初露端倪，但研究重点尚未全面转向数据本身，而是更多地将其视为推动实体经济转型升级的辅助工具。2017年12月中央政治局就“实



施国家大数据战略”进行了集体学习，明确提出“要构建以数据为关键要素的数字经济”。数据在经济活动中变得越来越重要，逐渐走向市场化，形成以数据产品和数据服务为商品的交易市场。2019年，十九届四中全会首次明确将“数据”作为生产要素参与

社会分配，此时“大数据”的突现，代表着国内数字经济发展进入了白热化阶段，数据要素的研究由此出现爆发式增长，相关研究密度也不断增长。

表6 国内有关“数据要素”的政策文件及要点

| 时间   | 会议 / 政策文件                   | 要点内容   |
|------|-----------------------------|--|
| 2016 | G20 杭州峰会                    | 首次明确提出“数字经济”的概念。                                   |
| 2017 | 中央政治局第二次集体学习                | 明确提出“要构建以数据为关键要素的数字经济”。                            |
| 2019 | 十九届四中全会                     | 首次明确将“数据”作为生产要素参与社会分配。                             |
| 2020 | 关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见     | 进一步明确中国经济的五大要素：土地、劳动力、资本、技术、数据。                    |
| 2021 | “十四五”数字经济发展规划               | 充分发挥数据要素作用，强化高质量数据要素供给。                            |
| 2022 | 要素市场化配置综合改革试点总体方案           | 探索建立数据要素流通规则。                                      |
| 2022 | 数据二十条                       | 首次确立了数据基础制度体系的“四梁八柱”。                              |
| 2023 | 党和国家机构改革方案                  | 组建国家数据局。   |
| 2024 | “数据要素 ×”三年行动计划（2024—2026 年） | 该计划对多个行业和领域给予更为清晰明确的行动指引，并强调推动发挥数据要素乘数效应，释放数据要素价值。 |
| 2024 | 数字经济促进共同富裕方案                | 实施“东数西算”工程，引导数据要素跨区域流通融合                           |

进一步地，2020年数据要素被明确为中国经济的第五要素，其与土地、劳动力、资本和技术等传统要素的深度融合，驱动国家经济的增长。在这一进程中，数据不仅作为生产要素直接参与生产活动，还作为中介变量影响其他资源的配置效率。国家治理体系在这一进程中，愈发重视数据在宏观调控、市场监管、公共服务等方面的作用，通过探索数据要素流通规则、明确数据基础制度体系的“四梁八柱”等措施，力图通过优化数据市场、明确产权界定来促进数据的合理流动和高效利用。为充分发挥数据要素的乘数效应，国家数据局会同多个相关部门于2024年发布了《“数据要素 ×”三年行动计划（2024—2026 年）》，该行动计划通过推动数据要素的多场景应用、多主体复用，以及加快多元数据融合，促进数据在不同行业和领域的共享和流通。同时，通

过数据在实际生产活动中的“扎根”落地，推动中国经济迈向高质量发展。

（二）国外文献关键词突现图谱分析

对国外文献数据要素领域的关键词进行突现分析，表7展示了国外文献前25个突现关键词的突现轨迹和强度。其中，国外关键词强度最高的是“socioeconomic status（6.35）”，突现轨迹最长的有“data mining、systems、challenges、energy consumption”，这四个关键词的突现轨迹覆盖了整个研究样本期，说明了国外在数据要素的研究中，对数据技术的发展、数据要素市场的系统架构以及经济社会发展过程的能源消耗等面临的挑战给予了持续的关注。

表7 国外研究文献突现关键词 TOP25

| 关键词                       | 中文释义      | 强度   | 开始时间 | 结束时间 | 突现轨迹（2016–2024）   |
|---------------------------|-----------|------|------|------|---|
| rheumatoid arthritis      | 类风湿性关节炎   | 5.58 | 2016 | 2018 |  |
| predictors                | 预测因子 / 指标 | 5.49 | 2016 | 2018 |  |
| gene expression           | 基因表达      | 5.07 | 2016 | 2018 |  |
| electronic health records | 电子健康记录    | 4.71 | 2016 | 2017 |  |
| data mining               | 数据挖掘      | 4.63 | 2016 | 2019 |  |
| traumatic brain injury    | 创伤性脑损伤    | 4.53 | 2017 | 2019 |  |
| systems                   | 系统        | 4.06 | 2017 | 2020 |  |
| evolution                 | 进化 / 演变   | 6.24 | 2018 | 2020 |  |
| risk assessment           | 风险评估      | 5.15 | 2018 | 2019 |  |
| socioeconomic status      | 社会经济地位    | 6.35 | 2019 | 2020 |  |
| gender                    | 性别        | 4.71 | 2019 | 2021 |  |
| smoking                   | 吸烟        | 4.63 | 2019 | 2020 |  |
| air pollution             | 空气污染      | 4.6  | 2019 | 2021 |  |
| logistic regression       | 逻辑回归      | 6.47 | 2020 | 2021 |  |
| inference                 | 推断 / 推论   | 5.56 | 2020 | 2021 |  |
| heart failure             | 心力衰竭      | 4.96 | 2020 | 2021 |  |
| public health             | 公共卫生      | 6.03 | 2021 | 2022 |  |
| hypertension              | 高血压       | 5.85 | 2021 | 2022 |  |
| stroke                    | 中风        | 5.43 | 2021 | 2022 |  |
| artificial intelligence   | 人工智能      | 5.01 | 2021 | 2022 |  |
| efficiency                | 效率        | 5.01 | 2021 | 2022 |  |
| challenges                | 挑战        | 4.94 | 2021 | 2024 |  |
| consumption               | 消耗        | 4.59 | 2021 | 2022 |  |
| energy consumption        | 能源消耗      | 4.15 | 2021 | 2024 |  |
| region                    | 区域        | 4.42 | 2022 | 2024 |  |

为了更全面地反映国外数据要素研究的变化趋势，综合国家经济体量、市场机制成熟度以及全球影响力等方面的考量，选择

美国、欧盟和英国作为国外数据要素研究的代表案例，并结合表7对国外数据要素研究进行关键词进行突现分析，揭示了数据

要素在不同领域的应用场景。在数据科学领域，关键词如“data mining”“logistic regression”与“inference”揭示了数据要素从海量数据中挖掘、逻辑分析至价值推断的完整流程。为促进数据流通与共享，这些国家推出一系列法案（详见表8），旨在完善数据要素市场机制，推动数据的开放利用。美国通过《开放政府数据法案》和《联邦数据战略2020年行动计划》等，确立了政府数据公开的基本原则和未来方向。欧盟通过《通用数据保护

条例》和《非个人数据自由流动条例》等，全面规范了个人数据和非个人数据的保护和管理；其余五个法律体系从不同领域对数据的发展和应用进行了具体的规定，构成了欧盟数字战略的法律基础体系。英国通过《数据保护法案》和《数据保护与数字化信息法案》等，更新和简化了数据保护框架，促进公共数据的开放和利用。这些立法和文件不仅为数据的流通与共享提供了法律保障，也为数字经济的发展奠定了坚实基础。

表8 国外有关“数据要素”的法律体系与概述

| 国家 / 组织 | 时间     | 法律体系                                  | 概述  |
|---------|--------|---------------------------------------|---|
| 美国      | 2018 年 | 开放政府数据法案                              | 确立了政府数据公开的基本原则，还详细规范了数据来源审查、数据清单更新、数据目录公开等方面的制度，形成了全面的信息立法体系。 |
|         | 2018 年 | 澄清域外合法使用数据法                           | 由美国公司所拥有、监管或控制的数据无论是否存储在美国本土，美国均有权对其进行检查。。                    |
|         | 2019 年 | 联邦数据战略 2020 年行动计划                     | 确立了未来 10 年联邦政府在数据开放和共享方面的方向。                                  |
|         | 2024 年 | 关于防止受关注国家访问美国人的大量敏感个人数据和美国政府相关数据的行政命令 | 限制特定国家对美国敏感数据的访问。   |
| 欧盟      | 2016 年 | 通用数据保护条例                              | 保护个人隐私数据。   |
|         | 2019 年 | 非个人数据自由流动条例                           | 促进欧盟境内非个人数据自由流动，消除数据本地化限制。                                    |
|         | 2020 年 | 欧洲数据战略                                | 为欧盟数据治理提供了战略指导。   |
|         | 2020 年 | 数字服务法案                                | 明确数字服务提供者的责任，遏制大型科技的恶性竞争行为。                                   |
|         | 2022 年 | 数据治理法案                                | 规范数据治理的基础设施   |
|         | 2022 年 | 数据市场法案                                | 规范数字市场秩序  |
|         | 2023 年 | 数据法案                                  | 完善数据治理的法律基础   |
| 英国      | 2018 年 | 数据保护法案                                | 为个人数据保护奠定了基础性原则。  |
|         | 2022 年 | 数据保护与数字化信息法案                          | 为公共数据开放奠定了坚实的法律基础。  |
|         | 2023 年 | 数据保护与数字信息（第 2 号）                      | 更新和简化英国的数据保护框架，减轻数据跨境义务、消除国际贸易壁垒、鼓励自动化决策等。                    |

2021 年之后“artificial intelligence”的出现，标志着数据科学研究迈入智能化新纪元，利用 AI 技术挖掘数据价值，推动技术与社会各领域的深度融合。在医疗健康领域数据，关键词如“gene expression”“electronic health records”“evolution”等突现时间跨度基本覆盖了整个样本期，彰显了国外在医疗数据应用上的积极探索。美国国立卫生研究院推出“我们所有人”（“All of Us”）研究计划、欧盟委员会的“欧洲健康数据空间”（EHDS）以及英国生物库样本的基因组序列提供，均为医学研究提供了宝贵资源。随着 AI 技术的发展，美国、欧盟、英国均批准了基于 AI 的医疗设备和软件，如糖尿病管理 AI、心脏病诊断 AI 算法等，推动了个性化医疗和精准治疗的进步。在环境科学领域，面对社会经济快速发展带来的空气污染与能源消耗等挑战，美国国家航空航天局 NASA 的地球数据搜索系统、欧洲环境署（EEA）的数据集以及英国自然环境研究理事会（NECR）的传感系统，均提供了大量环境数据支持相关研究。这些机构的研究方向聚焦于气候变化评估、空气质量改善及可持续发展路径等。特别是 2024 年 1 月英国通过“自然环境孪生能力”计划（TWINE）资助创新项目，旨在利用数字孪生技术推动环境科学变革。

五、研究结论与展望

本研究聚焦于“数据要素”这一前沿主题领域，通过系统搜集并深入分析国内外高质量核心期刊的相关文献，采用 CiteSpace

知识图谱分析，包括发文量统计、关键词共现分析、关键词时序聚类分析以及关键词突现分析等，展示了 2016 年 -2014 年间数据要素相关研究的发文量变化趋势、关键词的频次和中心性、关键词的出现时间和聚类关系以及关键词的突现轨迹和强度，并结合国内外数据要素领域内的相关政策体系及应用实践进行系统性阐述，旨在全面揭示并对比国内外在该领域的研究热点与趋势演进。

（一）研究结论

研究结果显示，国内外在数据要素领域的研究均取得了显著进展，但各自的研究侧重点与特色有所差异。国内研究侧重于数据要素在推动数字经济实践方面的模式探索与应用创新；而国外研究则更加注重于数据要素跨领域应用的深度挖掘与理论拓展。其中，国内研究深入探讨了数据要素在数字经济中的核心地位，以及如何通过技术创新、政策引导和市场机制等手段，促进数据资源的有效整合与高效利用，进而驱动经济增长模式的转型与升级。国内研究则关注于数据要素在促进产业升级、优化资源配置、提升社会治理能力等方面的应用实践，为数字经济的可持续发展提供有力支撑。此外，从国内文献发文量趋势以及关键词频次激增等现象可以看出，国内研究受政策影响比较大。国内学者倾向于遵循国家政策的宏观导向，紧密围绕国家发展的实际需求，深入探究数据要素发展的潜在轨迹及其赋能数字经济的有效机制，旨在系统性地探讨与解析如何高效发挥数据要素的功能与效能，从而提升国家的综合竞争力。

相较之下,国外研究则展现出更为宽泛与深入的探索视角。国外学者倾向于采用跨学科的研究范式,将数据要素与数据科学、环境科学医疗健康等多个学科领域深度融合,揭示数据要素在不同应用场景下的独特功能机制与影响路径,形成了丰富多元的研究成果体系。这些研究不仅深化了对数据要素本质属性的理解,也为全球数字经济的理论构建与实践探索提供了宝贵的学术贡献与经验借鉴。此外,由国外文献高频关键词的低中心性可以看出,国外关于数据要素的研究主题相较广泛且分散,国外学者在探索数据要素的应用层面时,更多地是基于个人的研究兴趣以及市场需求的驱动,而非某一统一的政策导向或集中的研究议题。

## （二）研究展望

国内外研究成果不仅极大地丰富了数据要素领域的学术内涵与外延,也为未来数字经济的全球发展指明了方向,提供了坚实的理论与实践指导。基于此,进一步地展望该领域的未来发展趋势与研究方向,具体内容如下:

1.数据要素的基础理论研究。包括数据要素的标准化、价值评估、要素流通与交易机制等基础理论问题需要进一步研究。在标准化方面,需构建完善的数据标准体系,涵盖数据基础设施、资源、技术、流通共享和隐私保护等多个维度,以促进数据要素的激活和应用。在价值评估上,需建立科学的评估体系,量化分析数据商品与服务经济效益,确保数据资产的合理定价,推动数据资源向数据资产转变。此外,要素流通与交易机制也是研究重点,需构建安全、可信、高效的数据流通交易市场,促进数据要素的市场化配置和价值释放。这些基础理论的深入研究将为数据要素的高效利用和数字经济的高质量发展提供坚实支撑。

2.数据要素跨学科融合与综合研究。随着数据要素在各行各业的广泛应用,未来研究将更加倾向于跨学科、跨领域的深度融合。经济学、计算机科学、生物信息学、管理学、统计学等多个学科的交叉研究将成为常态,共同探索数据要素在复杂系统中的潜在价值。特别是随着人工智能技术的不断进步,借助大数据分析 with 机器学习的强大能力,从浩瀚的数据海洋中精准萃取核心信息,预判未来趋势,并据此优化决策流程,为各行各业带来一场前所未有的智能化转型与升级浪潮。数据要素与人工智能领域的融合,能够促进技术创新和产业发展,推动数字经济与实体经济的深度融合。

3.数据要素的生态体系建设。研究如何构建和维护健康的、可持续发展的数据要素生态体系,要从数据确权、数据安全和隐私保护入手。首先要明确数据的产权归属和交易规则,为数据的合法流通和价值释放奠定坚实基础。通过法律法规和政策引导,清晰界定数据的所有权、使用权等,并建立数据资产登记制度,并建立数据资产登记制度,是数据成为可量化、可管理的资产。其次在数据安全性与隐私保护方面,要注重数据全生命周期的安全管理,包括数据采集、存储、处理、传输、共享、销毁等各个环节的安全保障技术与方法。同时,数据伦理、隐私权利保护等法律与政策研究也将得到加强,以构建健康、可持续的数据生态系统。

4.聚焦有关中国数据要素实际问题的研究。作为世界第二大经济体和数字经济大国,中国在数据要素的研究与应用方面拥有独特的优势和需求。一方面,需要深入剖析中国数字经济发展的现状、问题和趋势,探索数据要素在推动产业升级、促进经济高质量发展中的具体作用机制和路径。另一方面,也要推动数据要素在社会治理、公共服务、医疗健康等领域的创新应用,为不断提高人民生活幸福水平提供有力支撑。

## 参考文献

- [1]张可云和庄宗武.2024,《数字经济政策强度对制造业稳就业的影响研究》.吉林大学社会科学学报第4期:155-171+239.
- [2]邱均平和吕红.2013,《基于知识图谱的国内知识管理发展研究》.情报学报第5期:548-560.
- [3]盛亚和鲁晓玮.2021,《利益相关者管理理论研究的主导逻辑与议题框架:基于Web of Science核心数据库的研究》.商业经济与管理第4期:38-51.
- [4]董彦斌,潘海珠,王磊等.2024,《土壤盐渍化遥感研究的文献计量与可视化分析》.中国农业资源与区划第9期:236-248.
- [5]陈悦,陈超美,刘则渊等.2015,《CiteSpace知识图谱的方法论功能》.科学学研究第2期:242-253.
- [6]叶雅珍,刘国华,朱扬勇.2019,《数据资产相关概念综述》.计算机科学第11期:20-24.
- [7]占智勇,徐政,宁尚通.2024,《数据要素视角下新质生产力创新驱动的理论逻辑与实践路径》.新疆社会科学第3期:43-52.
- [8]任保平和贺海峰.2024,《按照高标准市场体系要求培育数据要素市场》.福建论坛(人文社会科学版)第3期:42-58.
- [9]张明,路先锋,吴雨桐.2024,《数据要素经济学:特征、确权、定价与交易》.经济学家第4期:35-44.
- [10]王德祥.2022,《数字经济背景下数据要素对制造业高质量发展的影响研究》.宏观经济研究第9期:51-63+105.
- [11]范德成和肖文雪.2024,《环境规制、数据要素配置水平与产业结构调整》.统计与决策第2期:105-110.
- [12]张恩祥,乔琴,郑玉萍等.2023,《生态产品价值实现研究进展——基于CiteSpace的文献计量分析》.中国国土资源经济第11期:26-35+74.
- [13]Bruland, P., McGilchrist, M., Zapletal, E. et al. 2016, "Common Data Elements for Secondary Use of Electronic Health Record Data for Clinical Trial Execution and Serious Adverse Event Reporting". BMC Med Res Methodol 16, 159.
- [14]Vest JR, Adler-Milstein J, Gottlieb LM, Bian J, et al. 2022, "Assessment of Structured Data Elements for Social Risk Factors". Am J Manag Care.28(1), pp.14-23.
- [15]Sengottaian S, Natesan S, Mathivanan S. 2017, "Weighted Delta Factor Cluster Ensemble Algorithm for Categorical Data Clustering in Data Mining". International Arab Journal of Information Technology 14, pp.275-284.
- [16]Emeline Lequy, Nicolas P.A. Saby, Ilia Ilyin, Aude Bourin, St é phane Sauvage, et al.. 2017, "Spatial Analysis of Trace Elements in a Moss Bio-monitoring Data over France by Accounting for Source, Protocol and Environmental Parameters". Science of the Total Environment 590-591, pp.602-610.
- [17]Tessari-Zampieri, M.C., Sarkis, J.E.S. Barbieri, C.B. 2022, "Metrological Aspects of Platinum Group Elements Atmospheric Deposition in Roadside Tree Leaves: Uncertainties and Environmental Data Interpretation". Water Air and Soil Pollut 233, 91.



# 基于 DPSIR 和非线性规划的可持续旅游模型 ——以美国阿拉斯加州朱诺市为例

王嘉蔚<sup>1\*</sup>, 赵淑媛<sup>1</sup>, 顾子林<sup>2</sup>

1. 广州大学 经济与统计学院, 广东 广州 510006

2. 广州大学 数学与信息科学学院, 广东 广州 510006

DOI:10.61369/ASDS.12187

**摘要：** 随着世界范围内旅游业的蓬勃发展，可持续旅游正被越来越多的国家和个人所推崇。本文以美国阿拉斯加州朱诺市为例，首先指出影响其可持续旅游的三大指标分别为住房供应率、交通流和当地人收入，并使用熵权 TOPSIS 法得出三者的重要性分别为 19.29%、45.69% 和 35.02%；然后基于 DPSIR 构建非线性规划模型，并使用遗传算法求解得出在满足朱诺市旅游可持续发展的前提下，当游客数量为 1873921、居住方式为短期客房租赁（入住时间少于 30 天）时，年收入达到最大值 167930393.12 美元。由此，本文建议朱诺市采取建立资源-游客动态调控机制、推进基础设施智慧化与低碳化升级、创新文旅产品与生态服务体系、深化区域协作与人才培育四条措施，以促进其旅游的可持续发展。

**关键词：** DPSIR；遗传算法；熵权 TOPSIS；非线性规划；可持续旅游

## Sustainable Tourism Model Based on DPSIR and Non-linear Programming ——A Case Study of Juneau, Alaska, USA

Wang Jiawei<sup>1\*</sup>, Zhao Shuyuan<sup>1</sup>, Gu Zilin<sup>2</sup>

1. School of Economics and Statistics, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006

2. School of Mathematics and Information Sciences, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006

**Abstract:** With the robust growth of the global tourism industry, sustainable tourism is increasingly being advocated by numerous countries and individuals. Taking Juneau, Alaska, in the United States as a case study, this paper first identifies three key indicators influencing its sustainable tourism: housing supply rate, traffic flow, and local residents' income. Using the Entropy Weight TOPSIS method, the respective importance of these factors is determined to be 19.29%, 45.69%, and 35.02%. Subsequently, a nonlinear programming model is constructed based on the DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response) framework. By employing a genetic algorithm to solve the model, it is found that under the premise of ensuring sustainable tourism development in Juneau, when the number of tourists reaches 1,873,921 and the accommodation mode is short-term vacation rental (stay duration of less than 30 days), the maximum annual revenue of \$167,930,393.12 can be achieved. Consequently, this paper proposes four measures for Juneau to promote the sustainable development of its tourism sector: establishing a dynamic resource-tourist regulation mechanism, advancing the intelligent and low-carbon upgrading of infrastructure, innovating cultural tourism products and ecological service systems, and deepening regional collaboration and talent cultivation.

**Keywords:** DPSIR; genetic algorithm; Entropy-Weighted TOPSIS; nonlinear programming; sustainable tourism

## 引言

朱诺（Juneau）是美国阿拉斯加州的首府，位于朱诺山脚下，拥有约3万居民（2022年），是一个闻名国际的旅游城市，深受大众喜爱，其著名景点有门登霍尔冰川（Mendenhall Glacier）、特雷西手臂峡湾（Tracy Arm Fjord）和阿拉斯加州博物馆（Alaska State

作者简介：

赵淑媛，广州大学经济与统计学院统计学专业本科生，研究方向为数学建模；

顾子林，广州大学数学与信息科学学院信息与计算科学专业本科生，研究方向为数学建模；

通讯作者：王嘉蔚，广州大学经济与统计学院统计学专业本科生，研究方向为经济统计、数学建模。



Museum)等。然而旅游业迅速发展带来了过度旅游的问题,使得政府不得不思考相应的对策以保证经济和环境效益两不误<sup>[1]</sup>。朱诺市只有约3万居民,但在2023年接待了创纪录的160万游轮乘客,在最繁忙的日子里甚至有7艘大型游轮同时停靠,游客数量高达2万左右。虽然大量游客为朱诺市带来了可观的经济收益,但同时也引发了一系列环境和社会问题,如基础设施压力增大、自然资源受损、当地居民生活质量下降等,这些问题已经产生了有目共睹的影响,亟需采取措施进行改善。

可持续旅游是一个涵盖完整旅游体验的概念,涉及经济、社会和环境问题<sup>[2]</sup>,旨在改善游客体验并满足社区的需求,同时关注环境保护、社会福祉和文化保存。作为一个旅游资源丰富但承载能力有限的城市,朱诺市需要在促进经济发展和保护环境之间找到平衡,以实现可持续旅游。

## 一、文献综述

早在1987年,世界环境与发展委员会在关于人类未来的报告《我们共同的未来》中便提出“可持续发展”理念,随后,该理念逐渐应用于旅游业,形成现在常说的“可持续旅游”。2015年12月4日,联合国大会通过决议,将2017年定为国际可持续旅游发展年,这表明人类对可持续旅游的重视程度日渐提高。李燕琴<sup>[3]</sup>等站在多元文化视野的角度,强调地方性知识是可持续旅游得以发展的吸引物与驱动力;孙业红<sup>[4]</sup>等使用韧性作为刻画旅游业不确定性的属性,强调生物和文化多样性在可持续旅游良性发展的重要作用;宋雨新<sup>[5]</sup>等则将旅游和农业文化遗产结合,构建农业文化遗产地旅游承载力指标体系,为其旅游开发和可持续发展提供建议。

在可持续发展理念的基础上,诸多学者利用跨学科理论方法和模型,从定量的角度对生态可持续、旅游可持续等领域展开研究。薛景文<sup>[6]</sup>等根据DPSIR模型构建指标体系,采用TOPSIS法对我国山西省水资源脆弱性的时空变化展开分析;类似地,王毅勇<sup>[7]</sup>等同样基于DPSIR构建评价指标体系,使用综合指数法、TOPSIS法和VIKOR等方法对我国陕西省各地级市的水生态安全进行评价,并进行障碍度分析及障碍因子识别;杨友宝<sup>[8]</sup>等以长江中游城市群为例,基于DPSIR构建旅游生态安全评价指标体系,然后采用熵值法、地理空间分析方法和面板回归模型等,刻画分析环境规制对旅游生态安全的影响,进而对可持续旅游提出建议。

基于此,本文聚焦美国阿拉斯加州朱诺市的可持续旅游管理问题,结合其他学者针对类似问题的研究方法,旨在根据现有数据构建一套科学合理的评价指标体系,并运用熵权TOPSIS法得出影响朱诺市可持续旅游的三大指标住房供应率、交通流和当地人收入的重要性差异,然后基于DPSIR构建非线性规划模型,计算得出在满足朱诺市旅游可持续发展要求的前提下,使得其旅游总收入达到最大的条件,结合当地旅游业发展现状,为促进旅游业可持续稳定发展提出参考。

## 二、模型假设

考虑到实际问题往往较为复杂,包含诸多因素,本文首先做出一些合理的假设以简化模型,以下是假设内容及其解释:

假设1:本文中使用的数据均准确。

解释1:数据来源于各大政府官网,政府作为公共权力的代表,其官方网站发布的数据通常具有高度的权威性。这些数据

往往经过政府相关部门的严格审核和把关,确保其真实性和准确性。

假设2:使用游客平均支出乘不同商品税率及对应的是否购买该商品的0-1变量的线性组合来表示来自每位游客的税收收入。

解释2:这一假设简化了税收收入的计算过程,同时考虑到了游客支出、税率以及商品购买情况等多个因素,使得税收收入的估算更加贴近实际情况。

## 三、部分变量符号解释

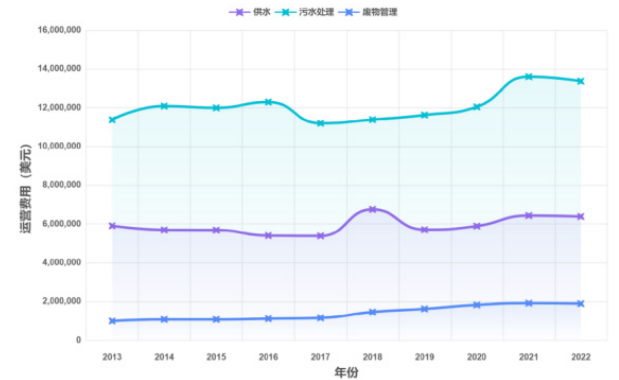
表1 部分变量符号含义及其单位

| 变量符号  | 含义     | 单位  |
|-------|--------|-----|
| $x_1$ | 游客数量   | 人   |
| $x_2$ | 基础设施   | /   |
| $x_3$ | 承载能力   | /   |
| $x_4$ | 隐性成本   | 元/日 |
| $x_5$ | 当地人满意度 | /   |
| $x_6$ | 游客人均支出 | 元/人 |

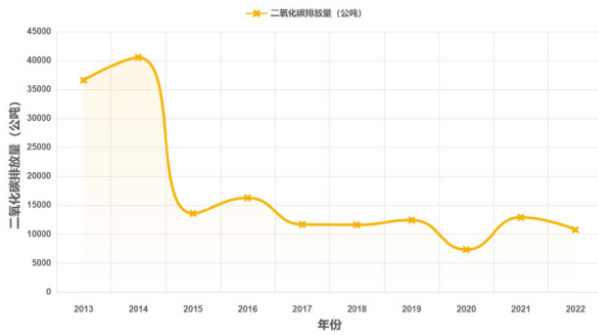
## 四、数据可视化描述

为使得所建模型更加合理,本文的数据来源均为政府和数据公司等官方网站,包括但不限于朱诺市政府、DATA US平台、Rain Coast数据公司等。例如,本文在专门针对朱诺市旅行预算的官方网站中找到了预算成本,以此作为游客的人均支出数据;在国会大厦垃圾填埋场提供的温室气体排放详情网站中找到了和其他温室气体的排放数据,以此作为碳足迹的衡量标准等。

为更好地呈现所用数据,本文使用图表对部分重要数据进行可视化处理。



(a) 2013—2022年朱诺市旅游业隐性成本数据折线图



(b) 2013—2022年朱诺市温室气体每单位比较的吨排放量（以当量计）

&gt; 图1 部分重要数据折线图

## 五、模型1：基于熵权 TOPSIS的评分模型

在构建可持续的旅游业模型之前，为深入了解变量下面各二级指标的重要性，本文使用熵权 TOPSIS法，对模型中的重要变量当地人对于大力发展旅游业的看法的3个二级指标进行打分，它们分别是住房供应率、交通流（包括主要道路日均流量和日均乘客量）、当地人收入。当地人的看法可大致分为4类：积极、中立、消极和无影响，并进行如下量化赋值，针对朱诺市对应指标2015—2021年的数据进行求解。

$$attitude = \begin{cases} 1, & \text{积极态度} \\ 0, & \text{中立或无影响态度} \\ -1, & \text{消极态度} \end{cases}$$

熵权 TOPSIS是一种综合评价方法，它结合了熵权法和 TOPSIS（Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution）模型的优势<sup>[9]</sup>。其实现步骤为：

### （一）数据标准化

在本问题中，住房供应率和交通流（包括主要道路日均流量和日均乘客量）均为负向指标，当地人收入为正向指标。设原始数据矩阵，为消除各指标的量纲和取值范围的不同对最终结果可能造成的影响，本文采用以下标准化方法进行处理并得到标准化矩阵  $Z=(z_{ij})_{n \times m}$ ：

- 对于正向指标，标准化后的数据

$$z_{+}^{*} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

- 对于负向指标，标准化后的数据

$$z_{-}^{*} = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}$$

这里和分别表示数据的最大值和最小值。

### （二）计算熵值和熵权

第项指标的信息熵为

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \cdot \ln p_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

这里

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

根据信息熵计算各指标的权重为

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j}$$

### （三）构建加权标准化决策矩阵

将标准化矩阵按照熵权加权得到加权标准化矩阵  $V=(v_{ij})_{n \times m}$ ，

这里

$$v_{ij} = w_j \cdot z_{ij}$$

### （四）计算到正理想解和负理想解的距离。

$$1. \text{到正理想解的距离 } D_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^{+})^2}$$

$$2. \text{到负理想解的距离 } D_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^{-})^2}$$

### （五）计算相对邻近度 $C_i$ 并排序

$$\text{这里 } C_i = \frac{D_i^{-}}{D_i^{-} + D_i^{+}}$$

根据  $C_i$  的大小对方案进行排序， $C_i$  的值越大表示方案越优。

针对2015—2021年的数据，求解该模型并得出三大指标的权重如表2所示：

表2 三大指标权重

| 指标名称  | 权重     |
|-------|--------|
| 住房供应率 | 19.29% |
| 交通流   | 45.69% |
| 当地人收入 | 35.02% |

由此可见，交通流的重要性最高，占45.69%，表明当地居民非常看重交通的便利性和效率；当地人收入的权重较高，占35.02%，仅次于交通流，表明经济收入对当地居民的生活满意度有着显著影响，这可能是因为该市的经济活动水平较高，或者居民对生活质量有较高的期望；住房供应率的重要性最低，仅占19.29%，可能表明该市的住房供应相对稳定或不是居民最关心的首要问题。

TOPSIS评分与排名如表3所示：

表3 TOPSIS评分与排名

| 年份   | TOPSIS评分 | 排名 |
|------|----------|----|
| 2015 | 0.2510   | 6  |
| 2016 | 0.3653   | 4  |
| 2017 | 0.2858   | 5  |
| 2018 | 0.4027   | 3  |
| 2019 | 0.2432   | 7  |
| 2020 | 0.5417   | 2  |
| 2021 | 0.7819   | 1  |

由此看出，从2015年到2021年，朱诺市当地人的满意度评分整体呈现上升趋势。特别是从2019年开始，评分显著增长，到2021年达到最高值0.7819。随着评分的增加，各年份的排名也相应发生变化。2015年和2019年排名较低，分别为第6和第7；而2020年和2021年则分别位居第2和第1，显示出显著的改善。

## 六、模型2：基于DPSIR的可持续旅游非线性规划模型

DPSIR模型，全称为“驱动力-压力-状态-影响-响应”（Driving forces-Pressure-State-Impact-Response）模

型，是一种系统性分析框架<sup>[10]</sup>。它最早由经济合作与发展组织（OECD）在1993年提出，并随着全球环境问题的日益严峻而得到广泛应用。针对此问题，驱动力包括提升当地人满意度等方面；压力包括环境、资金和隐性成本等方面；状态主要是指在驱动力和压力的作用下，可持续旅游的发展状况，本文用承载能力来衡量。对于影响和响应，本文将针对模型的结果进行分析，深入挖掘可持续旅游对人类社会经济活动和生态系统产生的影响以及人类的应对措施，以此应对朱诺市正面临的挑战。

非线性规划（Nonlinear Programming，简称NLP）是运筹学的一个重要分支，它研究一个n元实函数在一组等式或不等式的约束条件下的极值问题，且目标函数和约束条件中至少有一个是未知量的非线性函数。

本研究希望在对自然和当地人的负面影响最小的约束下，年收入达到最大，而年收入包括旅游收入、税收收入并减去隐性成本和来自税收的额外收入用于某些方面的支出。由于本文找到的游客数量和人均支出均为日数据，需要乘365以转化为年数据。由此，针对朱诺市可持续旅游问题，本文将结合DPSIR的思想，构建如下非线性规划模型：

$$\max z = 365y_1 + 365y_2 - y_3 - x_4$$

该模型满足以下约束条件：

约束一：日均旅游收入等于日均游客数量和游客人均日支出的乘积，即

$$y_1 = x_1 \cdot x_6$$

约束二：日均税收收入等于每日总收入和税率的乘积，即

$$y_2 = x_1 \cdot x_6 \cdot x_7$$

约束三：来自税收的额外收入被用于支持保护、改善基础设施和发展社区项目，具体地，由朱诺市财报，本文分成社会服务、公共安全、公共工程、公共交通、社区发展、可负担住房、旅游与会议7个指标，并分别设为 $c_1$ 、 $c_2$ 、……、 $c_7$ 。即

$$y_3 = \sum_{i=1}^7 c_i$$

约束四：状态方面，承载能力包括自然资源承载力和当地政府资金的承载力，具体地，本文选取较为重要的4个指标纳入模型，分别是游客人数上限、生活用水（自来水）供应预算、废物管理预算、目的地碳足迹。游客数量不大于已经对可持续旅游造成威胁的游客数量2060000，即

$$x_3 = t_0 + x_{31} + x_{32} + f_0$$

$$x_1 \leq t_0 = 2060000$$

约束五：为保证可持续性，生活用水（自来水）供应预算不大于当前预算4695526，这里将当前预算看作该方面的当地政府资金的承载能力（下文废物管理和目的地碳足迹同理），即

$$x_{21} \leq x_{31} = 4695526$$

约束六：废物管理预算不大于当前预算1465072，即

$$x_{22} \leq x_{32} = 1465072$$

约束七：目的地碳足迹不大于当前数据341，即

$$x_{23} \leq f_0 = 341$$

约束八：压力方面，隐性成本主要包括温室气体（包括但不限于 $CO_2$ ）、垃圾处理、供水、污水处理4个方面的成本，分别设为 $x_{41}$ 、 $x_{42}$ 、 $x_{43}$ 、 $x_{44}$ 。即

$$x_4 = x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44}$$

约束九：驱动力方面，当地人看法主要包括三个方面，分别是住房供应率、交通流（包括主要道路日均流量和日均乘客量）、当地人收入。为保证当地人满意度，其看法的打分不小于当前数值，即

$$x_5 \geq x_{50}$$

约束十：根据朱诺市政府官网，所有商户均须在购买时征收销售税，所有商品、所有服务和所有非住宅租赁的销售税率均为5%（租金包括商业不动产和有形动产）；所有酒精饮料销售均需加收3%的税，这意味着这些饮料，无论何种形式，均按8%的税率征税；所有居住方式为短期客房租赁（入住时间少于30天）的游客均须征收9%的附加税，这意味着酒店、汽车旅馆和其他短期住宅租赁的总税率为14%。为描述这种不同商品或服务税率不同的现象，本文采用 $x_{71}$ 和 $x_{72}$ 这两个0-1变量进行处理。即

$$x_7 = 0.08x_{71} + 0.14x_{72} + 0.05(1 - x_{71} - x_{72})$$

$$x_{71} = \begin{cases} 1, & \text{酒精饮料} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{72} = \begin{cases} 1, & \text{居住方式为短期客房租赁（入住时间少于30天）} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

约束十一：为保护门登霍尔冰川，其消融速度不应大于当前消融速度5，即

$$v \leq v_0 = 5$$

本文以前述数据为例，使用遗传算法求解该模型。遗传算法（Genetic Algorithm，GA）是一种模拟达尔文生物进化过程的优化算法，通常用于解决复杂的优化问题<sup>[11]</sup>。它通过对问题的解空间进行搜索，以找到最优解或近似最优解。

由此求得 $x_1=1873921$ ， $x_{71}=0$ ， $x_{72}=1$ ， $x_7=0.14$ ， $\max z=167930393.12$ 。即当游客数量为1873921，居住方式为短期客房租赁（入住时间少于30天）时， $z$ 有最大值167930393.12，这便是基于DPSIR的可持续旅游总收入最大值。

## 七、结束语

本文基于DPSIR模型和非线性规划方法，构建了可持续旅游模型，以朱诺市为例进行了深入研究，并通过遗传算法进行编程求解。由此我们得到了以下主要结论，并针对这些结论提出相关建议。

### （一）朱诺市可持续旅游模型结论

1. 当游客数量为1873921时，朱诺市的年收入达到最大值167930393。这表明在当前的旅游结构和资源承载能力下，存在一个最优的游客数量使得年收入最大化。

2. 通过熵权TOPSIS综合评价方法，本文发现交通流在影响朱诺市旅游业发展的三大指标中权重最高，说明交通设施的便利

性和效率对提升旅游业竞争力至关重要。

3. 居民满意度评分从2015年到2021年整体呈现上升趋势，特别是在2019年后显著增长，这可能与朱诺市在旅游管理和服务方面的改进有关。

**（二）朱诺市可持续旅游发展建议**

1. 建立资源－游客动态调控机制。结合生态敏感性分区，在核心保护区采用预约制限制客流，降低生态环境压力；设立碳足迹监控系统，测算在景区就餐、行车、住宿等的碳排放，以便确定合理的游客量。

2. 推进基础设施智慧化与低碳化升级。综合运用“互联网

＋”公交动态调度、共享电动车电子围栏管理、无人接驳车路径规划等，将各种智慧交通功能聚合，统一调度管理。

3. 创新文旅产品与生态服务体系。在景区粘贴醒目的绿色旅游标识，并积极向社会宣传绿色旅游思想，增强旅客绿色旅游意识；设立智能垃圾分类回收点，通过积分换取纪念品等方式鼓励更多游客积极参与。

4. 深化区域协作与人才培育。与邻近城市联合发行区域旅游通票，延长游客在本地民宿的住宿时间；建立社区旅游创新中心，培训社区志愿者，提供多语种服务等。

**参考文献**

[1] Yin, W., & Weng, G. (2023). Research on the evaluation and improvement path of sustainable carrying potential of tourism environment in Beijing Tianjin Hebei under the background of dual carbon. *Journal of Tourism Management*, 45(2), 123–145.

[2] Faucheux, S., O’ Connor, M., & van der Straaten, J. (Eds.). (2013). *Sustainable development: Concepts, rationalities and strategies* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.

[3] 李燕琴, 徐晓. 多元文化视野中的地方性知识与可持续旅游 [J]. *旅游学刊*, 2021, 36(05):4–5.

[4] 孙业红, 宋雨新. 从韧性看可持续旅游发展 [J]. *旅游学刊*, 2021, 36(05):8–10.

[5] 宋雨新, 孙业红, 姚灿灿, 等. 农业文化遗产地旅游承载力研究——以浙江青田稻鱼共生系统为例 [J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(05):894–902.

[6] 薛景文, 陈攀, 张洪斌, 等. 基于 DPSIR–TOPSIS 的山西省水资源脆弱性时空变化分析 [J]. *水电能源科学*, 2025, (05):48–52.

[7] 王毅勇, 周超凡, 黄榕, 等. 基于 DPSIR–熵权的陕西省水生态安全评价及障碍诊断分析 [J]. *环境科学*, 1–16.

[8] 杨友宝, 王梦瑶. 长江中游城市群环境规制对旅游生态安全的影响效应研究 [J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2024, 47(05):11–20.

[9] Mateusz, P., Danuta, M., Małgorzata, Ł., Mariusz, B., & Kesra, N. (2018). TOPSIS and VIKOR methods in study of sustainable development in the EU countries. *Procedia Computer Science*, 126, 1683–1692.

[10] Carr, E. R., Wingard, P. M., Yorty, S. C., Thompson, M. C., Jensen, N. K., & Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *International journal of sustainable development & world ecology*, 14(6), 543–555.

[11] 吉根林. 遗传算法研究综述 [J]. *计算机应用与软件*, 2004, (02):69–73.



# 基于变系数模型的原油价格实证研究

漆艳霞, 刘艳萍 \*

南宁师范大学数学与统计学院, 广西 南宁 531000

DOI:10.61369/ASDS.12188

**摘 要 :** 基于2023年1月3日至2025年3月18日 WTI原油期货收盘价格数据, 选取原油价格滞后3期作为解释变量建立变系数模型。本文采用B样条方法估计模型的未知系数函数, 运用Rolling方法进行多步向前预测。另外, 通过和传统的ARMA模型以及Holt-Winters – Additive模型比较, 本文构建的变系数模型具有较好的拟合和预测效果, 明显优于对比模型。

**关 键 词 :** 原油价格; 变系数模型; B样条

## Empirical Study of Crude Oil Prices based on Variable Coefficient Modeling

Qi Yanxia, Liu Yanping\*

School of Mathematics and Statistics, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 531000

**Abstract:** Based on the WTI crude oil futures closing price data from January 3, 2023 to March 18, 2025, a variable coefficient model is established by selecting crude oil price lagged by 3 periods as the explanatory variable. The unknown coefficient functions of the varying coefficient model are estimated by B-spline and the multi-step-forecasts are given through a rolling procedure. The empirical results show that the effect of crude oil price on itself is nonlinear. In addition, by comparing with the traditional ARMA model and Holt-Winters – Additive model, the variable coefficient model constructed in this paper has a better fitting and forecasting effect, which is obviously better than the comparison model.

**Keywords:** crude oil price ; varying coefficient models; B-spline

## 引言

作为全球金融市场重要的一种衍生品,原油期货在金融投资和风险控制中起着重要的作用<sup>[1]</sup>。1983年,纽约商业交易所首次推出了轻质低硫的西得克萨斯州中间基原油(West Texas Intermediate, WTI)期货合约拉开了原油期货交易的序幕<sup>[2]</sup>。原油兼具金融与能源双重属性,其价格往往具备着剧烈的波动性,严重影响全球军事环境与国际经济形势。我国作为全球最大的原油进口国,对海外原油依赖程度不断加深,提高国际原油价格预测精度、研究油价波动的潜在影响因素,对保障我国经济稳健运行、优化宏观战略调整以及有效规避交易风险等具有极为重要的理论价值和现实意义<sup>[3]</sup>。实际上,在市场供需博弈、美元汇率波动、投机交易活跃、地缘政治冲突以及自然灾害等多重因素的综合作用下,国际原油价格呈现出高噪声、非线性和非平稳的复杂特征,导致对国际原油价格精确预测变得十分艰难。

当前的原油价格预测模型主要依赖于传统的时间序列模型或者多元统计模型<sup>[4]</sup>。这些模型因其在处理时间序列中短期波动和趋势的能力而被广泛应用。这些模型大多基于线性假设,而原油期货价格通常表现出复杂非线性波动<sup>[5]</sup>。因此,这些模型存在显著的局限性,往往在进行预测原油期货价格时常不够准确,也难以全面解释价格的波动。为解决上述局限,Huang和Shen提出的变系数模型提供了一种更为灵活的解决方案<sup>[6]</sup>。变系数模型能够有效地处理数据中的非线性特征,从而提升了对复杂系统的预测能力。变系数模型已经广泛应用于社会、经济和科技等领域,研究表明它能够有效地捕捉数据的内在结构,以及提高预测的准确性和解释力<sup>[7,8]</sup>。本文基于2023年1月3日至2025年3月18日 WTI原油收盘价格,建立变系数模型,深入探究原油期货价格的未来走势。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(12361049), 广西自然科学基金项目(2025GXNSFBA069559), 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2023KY0389)。

作者简介: 漆艳霞(1991—),女,湖北荆州人,硕士生,主要研究非参数估计。Email: 1127450166@qq.com;

通信作者: 刘艳萍(1990—),女,广西钦州人,博士,讲师,主要研究非参数估计。Email: liuyanping\_nnnu@163.com。

## 一、模型构建与估计

变系数模型的一般形式为：

$$Y_t = X_t^T \alpha(U_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

其中  $X_t = (X_{t1}, \dots, X_{td})^T$ ,  $\alpha(U_t) = (\alpha_1(U_t), \dots, \alpha_d(U_t))^T$ 。假设  $\alpha_j(\cdot)$ ,  $j=1, \dots, d$  是未知的光滑函数, 随着  $U_t$  的变化而变化, 称为系数函数。 $X_t$  和解释变量  $U_t$  既可以是  $Y_t$  的滞后变量也可以是外生变量。 $\varepsilon_t$  是模型的误差, 满足  $E(\varepsilon_t | X_t, U_t) = 0$ 。

### (一) 变系数函数的 B 样条估计

系数模型的未知函数主要的非参数估计方法有核估计 [9, 10] 和样条估计 [11-13] 等。由于样条估计方法是基于全局的逼近, 具有灵活性和计算快捷的优点, 本文采用 B 样条法来估计模型中的系数函数。

假设  $U = (u_1, \dots, u_k)$ ,  $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ , 其中  $u_0 = a < u_1 < \dots < u_k < b = u_{k+1}$ ,  $u_0 = a < u_1 < u_2 < \dots < u_k < b = u_{k+1}$ ,  $U$  为  $[a, b]$  上的  $k$  个内部节点序列, 在空间  $S(p, U)$  上, B 样条基函数的一个递归形式如下:

其中, 0 次 B 样条函数基为:

$$B_{i,0}(x) = \begin{cases} 1, & x \in [u_i, u_{i+1}) \\ 0, & x \notin [u_i, u_{i+1}) \end{cases},$$

P 次 B 样条函数基的递推公式为:

$$B_{i,p}(x) = \frac{x - u_i}{u_{i+p} - u_i} B_{i,p-1}(x) + \frac{u_{i+p+1} - x}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} B_{i+1,p-1}(x),$$

$[u_i, u_{i+1})$  是 B 样条函数的第  $i$  个节点区间,  $i=1, 2, \dots, k+1$ 。为了方便, 上式中上标  $P$  忽略, 记  $B$  样条基向量为  $B(t) = (B_1(t), B_2(t), \dots, B_N(t))^T$ ,  $N = p + k + 1$ 。

对于任意的  $s(t) \in S(p, U)$ , 存在  $\beta \in R^{p+k+1}$ , 使得  $s(t) = B^T(t)\beta$  称为 P 次的 B 样条函数。本文中系数函数的 B 样条估计均使用相同的基函数阶数和相同的节点个数 [14]。

假设式 (1) 的系数函数  $\alpha_j(u) (j=1, 2, \dots, d)$  是  $\beta_j(u) (j=1, \dots, p)$  光滑的, 它可以通过 B 样条函数  $\alpha_j^*(u) \beta_j^*(u)$  近似。因此, 存在基函数  $B_s(\cdot) B_{js}(\cdot)$  和常数  $\beta_{js}^*, \beta_{js}^*$ ,  $s=1, 2, \dots, K$ ,  $K = 1, 2, \dots, K_j$  使得

$$\alpha_j(u) \approx \alpha_j^*(u) = \sum_{s=1}^K \beta_{js}^* B_s(u).$$

下面给出推导  $\alpha_j$  估计量的具体计算过程。

设  $i_1, i_2, \dots, i_d$  为滞后阶数, 可以不连续, 则变系数模型 (1) 可变形为如下形式:

$$\begin{aligned} Y_t &= \alpha_1(U_t) Y_{t-i_1} + \alpha_2(U_t) Y_{t-i_2} + \dots + \alpha_d(U_t) Y_{t-i_d} + \varepsilon_t \\ &= \sum_{j=1}^d \alpha_j(U_t) Y_{t-i_j} + \varepsilon_t \\ &\approx \sum_{j=1}^d \left( \sum_{s=1}^{K_j} \beta_{js}^* B_s(U_t) \right) Y_{t-i_j} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $t = i_d + 1, i_d + 2, \dots, n$ 。

记  $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{jK_j})^T$ ,  $W_j = (B_1(U_j), B_2(U_j), \dots, B_{K_j}(U_j))^T$ ,

$\beta = (\beta_{11}, \dots, \beta_{1K_1}, \dots, \beta_{d1}, \dots, \beta_{dK_d})^T$ ,

$$X = \begin{pmatrix} Y_{i_d+1-i_1} W_{i_d+1-i_1} & Y_{i_d+1-i_2} W_{i_d+1-i_2} & \dots & Y_{i_d+1-i_d} W_{i_d+1-i_d} \\ Y_{i_d+2-i_1} W_{i_d+2-i_1} & Y_{i_d+2-i_2} W_{i_d+2-i_2} & \dots & Y_{i_d+2-i_d} W_{i_d+2-i_d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n-i_1} W_{n-i_1} & Y_{n-i_2} W_{n-i_2} & \dots & Y_{n-i_d} W_{n-i_d} \end{pmatrix},$$

$Y = (Y_{i_d+1}, Y_{i_d+2}, \dots, Y_n)^T$ ,  $\hat{\alpha} = (\varepsilon_{i_d+1}, \varepsilon_{i_d+2}, \dots, \varepsilon_n)^T$ , 则模型 (2) 的矩

阵形式为

$$Y = X\beta + \varepsilon.$$

通过最小二乘法来估计  $\beta$ , 即最小化 (3) 式

$$l(\beta) = (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \quad (3)$$

由此可得到  $\beta$  的最小二乘估计  $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y = (\hat{\beta}_{11}, \dots, \hat{\beta}_{1K_1}, \dots, \hat{\beta}_{d1}, \dots, \hat{\beta}_{dK_d})^T$ , 则  $\alpha_j(u)$  的估计量为  $\hat{\alpha}_j(u) = \sum_{s=1}^{K_j} \hat{\beta}_{js} B_s(u)$ ,  $\hat{\alpha} = (\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_d)^T$ 。

## 二、数据来源及参数确定方法

### (一) 数据来源

本文研究选取 WTI 原油期货价格的日收盘价 (单位为美元 / 桶) 作为原油价格, 时间跨度均为 2023 年 1 月 3 日至 2025 年 3 月 18 日, 原油期货会因为各种节假日和周末等进行休市和停牌, 本文将这些缺失的日期予以删除, 共剩余 575 个数据。其中, 2023 年 1 月 3 日至 2025 年 2 月 25 日的 560 个数据作为模型建立的样本, 2025 年 2 月 26 日至 2025 年 3 月 18 日的 15 个样本作为预测样本。数据分别来源于英为财经网站 (<https://cn.investing.com>)。

### (二) 节点数的确定和变量选择

为了提高计算效率高和数值稳定性, 本文系数函数的 B 样条估计均采用三次样条和等间距放置节点方式, 并采用  $AIC$ 、 $BIC$  和  $AIC_c$  信息准则确定最优的节点个数。定义为:

$$\begin{aligned} AIC &= \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2 \times \frac{p}{n}, \quad BIC = \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + \log(n) \times \frac{p}{n}, \\ AIC_c &= AIC + \frac{2(p+1)(p+2)}{n(n-p-2)}, \end{aligned}$$

其中  $n$  为样本容量,  $p$  是待估计参数个数,  $RSS$  为模型残差平方和。

在本例中, 将原油价格滞后数据作为解释变量, 假定模型显著变量个数  $p_{\max} = 12$ ,  $\max(1, 2, \dots, j) \leq p_{\max}$ ,  $1 \leq d \leq p_{\max}$  分别采用前进法和后退法来确定变量集合。考虑如下候选模型:

$$Y_t = \sum_{j \in S_d} \alpha_j(Y_{t-d_j}) Y_{t-j} + \varepsilon_t,$$

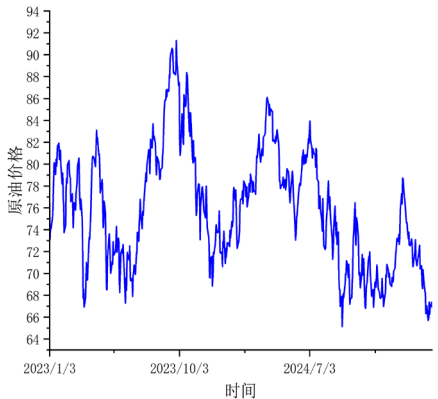
其中, 变量集合为  $\{(Y_{t-d_1}, S_{d_1}^*), (Y_{t-d_2}, S_{d_2}^*), \dots, (Y_{t-d_{p_{\max}}}, S_{d_{p_{\max}}}^*)\}$ 。

对于给定的  $d$ , 前进法在添加阶段, 每次添加一个滞后变量, 该滞后变量使得模型的  $AIC$ 、 $BIC$  或  $AIC_c$  准则函数值达到最小, 这里要添加的滞后变量来自未被选入模型中的滞后变量所组成的集合, 当模型中的滞后变量不再增加时, 添加过程结束, 从而得到滞后变量的一个添加顺序; 后退法在删减阶段, 每次删减一个滞后变量, 即去掉该显著滞后变量后, 模型的  $AIC$ 、 $BIC$  或  $AIC_c$  准则函数值达到最小, 这里所删减的滞后变量来自模型中滞后变量所组成的集合, 当模型中不再删减滞后变量时, 删减过程结束, 从而得到显著滞后变量的一个删减顺序 [15]。选择  $AIC$ 、 $BIC$  或  $AIC_c$  最小的为  $\{Y_{t-d}, S_d^*\}$ 。本文用 R 语言运行程序, 前进法和后退法得到变量集合为  $\{Y_{t-3}, Y_{t-5}\}$ 。

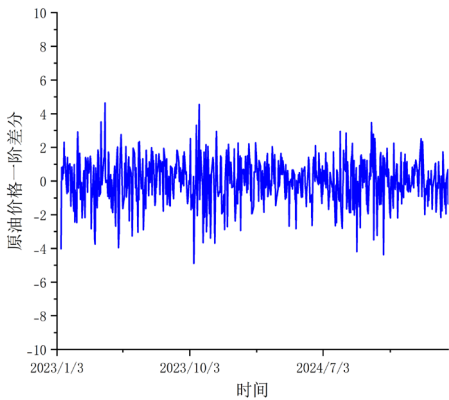
三、结果分析

(一) 数据平稳性分析

根据数据自身特点及建模的需要，文中采用一阶差分运算，差分后的原油价格记为 $Y_t$ 。



> 图1 原油价格时序图



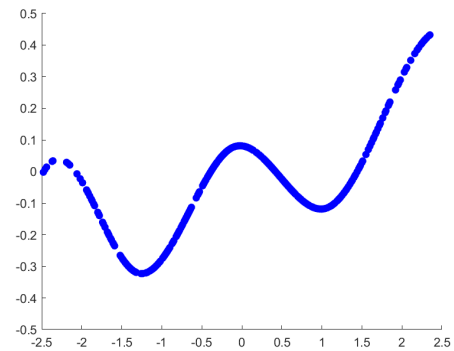
> 图2 一阶差分原油价格时序图

图1和图2分别绘制了原油价格和一阶差分变换的原油价格时序图，从图1可以看出原油价格波动性较大，数据呈现明显的非平稳性，对原油价格数据进行单位根检验，结果显示其检验值均大于0.05。图2中显示的一阶差分原油时序图呈现平稳趋势，在R语言中对差分后的数据进行单位根检验，结果显示其检验值均小于0.05，这表明经过差分变换后的数据是一个平稳序列。

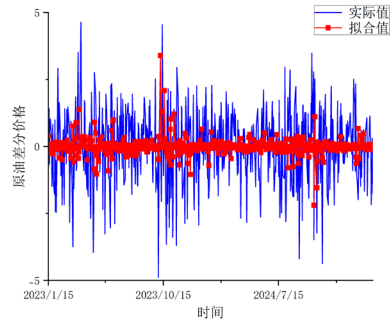
(二) 模型的建立

根据上述分析，本文所建立的变系数回归模型的具体形式为：

$$Y_t = \alpha(Y_{t-3})Y_{t-5} + \varepsilon_t \quad (4)$$

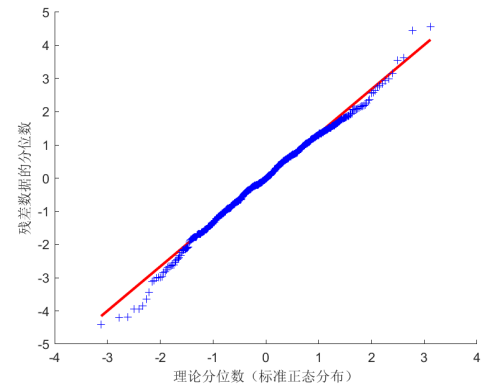


> 图3  $\beta(\cdot)$  的估计效果图

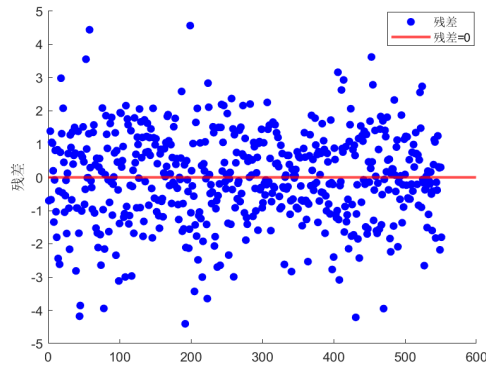


> 图4 原油价格数据的实际值和拟合值

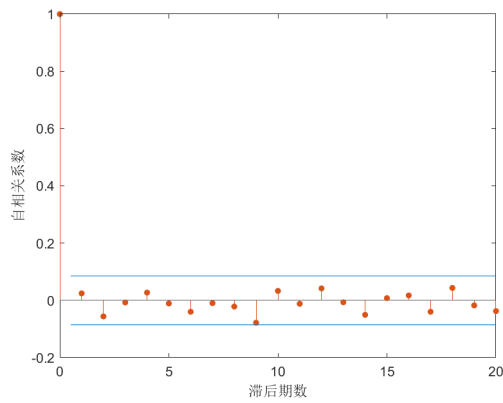
图3为变系数函数的系数估计效果图，可以看出系数呈现强烈的非线性结构，建模的结果显示第 $t$ 期原油价格受上五期原油价格的影响，并且这种影响呈非线性关系。图4描绘了原油价格的实际值和模型(4)的拟合值，可以看出，模型(4)的拟合效果很好。



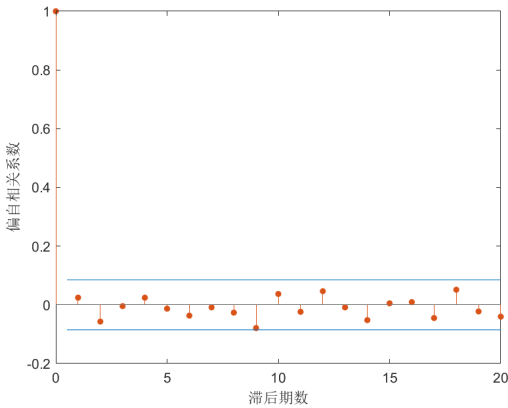
> 图5 残差 QQ图



> 图6 模型(4)残差散点图



> 图7 模型 (4)残差自相关图



> 图8 模型 (4)残差偏自相关图

对模型 (4)的残差进行分析,图5和图6分别给出了模型 (4)的残差 QQ 图和残差散点图,图7和图8分别给出了残差序列自相关系数图和偏自关系数图。图5中,残差分位点基本分布在45度对角线上,并且近似地在一条直线附近,表明残差序列服从正态分布。图6中,残差在0附近随机分布,大部分残差值集中在-2到2之间,表明模型的预测误差相对较小。图7和图8中,自相关和偏自相关条形都落在蓝色虚线内,说明残差序列没有显著的自相关性和偏自相关性,模型拟合较好。

表1 Ljung-Box 检验结果

| 自由度 | 检验统计量<br>X-squared | Ljung-Box 检验<br>P值 |
|-----|--------------------|--------------------|
| 3   | 2.0933             | 0.5533             |
| 6   | 3.4387             | 0.7521             |
| 9   | 7.1052             | 0.6262             |

表2 3种模型对原油价格预测结果对比

| 日期        | 实际值   | 变系数模型 |          | ARMA 模型 |          | Holt-Winters - additive 模型 |          |
|-----------|-------|-------|----------|---------|----------|----------------------------|----------|
|           |       | 预测值   | 相对误差 (%) | 预测值     | 相对误差 (%) | 预测值                        | 相对误差 (%) |
| 2025/2/26 | 68.62 | 68.91 | 0.42     | 69.13   | 0.74     | 69.03                      | 0.60     |
| 2025/2/27 | 70.35 | 68.83 | -2.16    | 68.79   | -2.22    | 69.04                      | -1.86    |
| 2025/2/28 | 69.76 | 68.87 | -1.28    | 69.04   | -1.03    | 69.05                      | -1.02    |
| 2025/3/3  | 68.37 | 68.84 | 0.68     | 69.19   | 1.20     | 68.88                      | 0.75     |
| 2025/3/4  | 68.26 | 68.82 | 0.82     | 69.25   | 1.45     | 68.90                      | 0.93     |
| 2025/3/5  | 66.31 | 68.79 | 3.73     | 68.98   | 4.03     | 69.00                      | 4.06     |
| 2025/3/6  | 66.36 | 68.77 | 3.63     | 69.32   | 4.46     | 69.01                      | 3.99     |
| 2025/3/7  | 67.04 | 68.75 | 2.54     | 69.36   | 3.46     | 69.02                      | 2.95     |
| 2025/3/10 | 65.68 | 68.72 | 4.62     | 69.28   | 5.49     | 68.85                      | 4.82     |
| 2025/3/11 | 65.93 | 68.70 | 4.20     | 69.13   | 4.85     | 68.86                      | 4.45     |
| 2025/3/12 | 67.38 | 68.68 | 1.93     | 69.48   | 3.12     | 68.97                      | 2.36     |

| 自由度 | 检验统计量<br>X-squared | Ljung-Box 检验<br>P值 |
|-----|--------------------|--------------------|
| 12  | 8.7436             | 0.7247             |
| 15  | 10.212             | 0.8062             |
| 18  | 12.293             | 0.8317             |

对残差进行白噪声检验, Ljung-box 检验结果为  $p$  值都大于 0.05, 说明残差序列是白噪声序列, 表明建立的模型是有效的。

(三) 模型的预测

对于变系数模型进行多步向前预测是很困难的<sup>[6]</sup>。但由于样条估计提供了显式模型, 我们采用 Rolling 方法<sup>[6]</sup>进行多步向前预测, 其思想是考虑30个子序列  $\{Y_1, \dots, Y_T\}, T = 531, \dots, 560$ , 对第  $k(k = 1, \dots, 30)$  个子序列拟合变系数模型 (2) 并计算残差  $\hat{\varepsilon}_t$ 。利用拟合的模型, 在  $\{Y_1, \dots, Y_T\}$  之后, 我们可以递归地生成 1000 个序列  $\{\hat{Y}_{T+1,j}, \dots, \hat{Y}_{T+10,j}\}, 1 \leq j \leq 1000$ , 其中  $\varepsilon_t$  通过对残差进行随机抽样得到。对这 1000 个序列样本取平均值, 可以得到第  $h$  步平均预测值  $\hat{Y}_{T+h}$ 。

为了进一步对比模型预测效果, 我们采用文献 [16,17] 的 ARMA 模型和 Holt-Winters - Additive 模型来拟合一阶差分变换后的原油收盘价格, 模型形式为:

● ARMA(5,5)—GARCH(1,1) 模型:

$$Y_t = -0.02 + 0.24Y_{t-3} + 0.77Y_{t-4} - 0.33Y_{t-5} + \varepsilon_t - 0.30\varepsilon_{t-3} - 0.78\varepsilon_{t-4} + 0.31\varepsilon_{t-5},$$

● Holt-Winters - additive 模型:

$$y_{t+m} = (S_t + mB_t) + C_{t-l+m},$$

其中:  $y_{t+m}$  为第  $t+m$  期的黄金价格预测值;  $S_t$  为第  $t$  期的水平因子;  $B_t$  为第  $t$  期的趋势因子;  $C_t$  为第  $t$  期的季节因子。

表1给出了2025年2月26日至2025年3月18日的原油交易日不同模型的预测值。本文中, 我们采用平均绝对误差 (MAE)、均方根误差 (RMSE)、平均相对误差 (MRE)、和均方误差 (MSE) 来说明模型预测效果的优劣:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|, \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2},$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right|, \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2,$$

其中,  $Y_i$  表示第  $i$  个观测值的实际值,  $\hat{Y}_i$  表示第  $i$  个观测值的预测值,  $n$  是观测值的个数。



| 日期        | 实际值   | 变系数模型 |          | ARMA 模型 |          | Holt-Winters - additive 模型 |          |
|-----------|-------|-------|----------|---------|----------|----------------------------|----------|
|           |       | 预测值   | 相对误差 (%) | 预测值     | 相对误差 (%) | 预测值                        | 相对误差 (%) |
| 2025/3/13 | 66.27 | 68.65 | 3.59     | 69.38   | 4.69     | 68.98                      | 4.09     |
| 2025/3/14 | 66.91 | 68.63 | 2.57     | 69.26   | 3.51     | 68.98                      | 3.10     |
| 2025/3/17 | 67.37 | 68.61 | 1.84     | 69.25   | 2.78     | 68.81                      | 2.14     |
| 2025/3/18 | 66.90 | 68.58 | 2.51     | 69.53   | 3.93     | 68.83                      | 2.89     |

其中，相对误差 =  $(\hat{Y}_t - Y_t)/Y_t$ 。

表3 3种模型对原油价格预测效果优劣对比

| 模型名称 | 变系数模型    | ARMA 模型  | Holt-Winters - additive 模型 |
|------|----------|----------|----------------------------|
| MAE  | 1.629552 | 2.094434 | 1.782557                   |
| RMSE | 1.827843 | 2.300441 | 1.996895                   |
| MRE  | 0.024358 | 0.031309 | 0.026665                   |
| MSE  | 3.341012 | 5.292028 | 3.987590                   |

表1为3种模型对原油价格预测值及相对误差，从表1中可以看出变系数模型预测相对误差整体上要小于 ARMA 模型和 Holt-Winters - additive 模型。表2给出了3种模型对原油价格预测效果优劣对比，可以得到变系数模型的平均绝对误差（MAE）、均方根误差（RMSE）、平均相对误差（MRE）、和均方误差（MSE）分别为1.629552、1.827843、0.024358、3.341012，都

分别小于另外两种模型。模型对应的评价指标的值越小，表明模型的预测效果越好，表1和表2的结果充分说明了变系数模型在预测原油价格时的优越性。

四、结束语

本文基于时间序列分析方法，在对原油期货价格数据建立变系数模型时，将原油价格滞后3期作为函数解释变量。综上分析，第  $t$  期原油价格受上五期原油价格的影响，并且影响呈非线性关系，系数函数是原油价格滞后3期的非线性函数。此外，建立的变系数模型比 ARMA 模型和 Holt-Winters —Additive 模型预测的误差小，精度更高，为原油价格预测提供了一种新方法。

参考文献

[1] 蒋锋, 胡成雨, 王辉. 基于多源多任务自动编码器的原油期货价格预测 [J]. 系统工程理论与实践, 2025, 45(02): 702-716.

[2] 张金良, 谭忠富. 基于混合模型的原油价格混沌预测方法 [J]. 运筹与管理, 2013, 22(05): 166-72.

[3] 徐进, 王雪莲. 国际原油现货价格预测指标构建及应用研究——以 WTI 原油价格为例 [J]. 价格理论与实践, 2022, (05): 118-121+206.

[4] 张小艺, 柴泳旭. 基于 ARIMA-GARCH 的原油期货价格预测研究 [J]. 北方经贸, 2024, (12): 88-92.

[5] 张晓, 成晟, 董睿, 等. 基于尺度分析和动态误差修正的油价选择性集成预测方法 [J]. 系统科学与数学, 2023, 43(10): 2451-66.

[6] Huang J Z, Shen H. Functional Coefficient Regression Models for Non-linear Time Series: A Polynomial Spline Approach [J]. Scandinavian Journal of Statistics, 2004, 31(4): 515-34.

[7] 邓金兰, 王彬寰, 樊仕利. 变系数模型的变量选择在股票数据中的应用 [J]. 四川大学学报 (自然科学版), 2009, 46(06): 1585-91.

[8] Xia X. Model averaging prediction for nonparametric varying-coefficient models with B-spline smoothing [J]. Statistical Papers, 2021, 62(6): 1-21.

[9] Cai Z, Fan J, Yao Q. Functional-Coefficient Regression Models for Nonlinear Time Series [J]. Journal of the American Statistical Association, 2000, 95(451): 941-56.

[10] 张巍巍, 萨如拉, 冯三营. 缺失数据下异方差半变系数模型的约束统计推断 [J]. 应用数学, 2022, 35(03): 617-27.

[11] Du J, Cui X. Semiparametric estimation in generalized additive partial linear models with nonignorable nonresponse data [J]. Statistical Papers, 2024, 65, 3235 - 3259 .

[12] 赵静. 空间计量单指标变系数模型的估计及其应用 [D]. 2021.

[13] 刘艳霞, 王芝皓, 芮荣祥, 等. 广义函数型部分变系数混合模型的估计 [J]. 系统科学与数学, 2021, 41(06): 1742-60.

[14] 卢一强, 曾林蕊. 变系数模型 B 样条 M 估计的收敛性 [J]. 应用概率统计, 2003, 19(04): 415-23.

[15] 姜爱平. 我国人口时间序列的变系数预测模型 [J]. 数理统计与管理, 2008, (05): 755-9.

[16] 李丽. 基于 ARMA-GARCH 模型的股市量价动态关系研究 [J]. 统计与决策, 2011, (04): 144-6.

[17] 伊力扎提·艾提提. 中国消费者价格指数预测模型的选择 [J]. 统计与决策, 2022, 38(04): 68-73.

# 基于 Copula 函数方法的保费定价研究

王复高<sup>1</sup>, 王红霓<sup>2\*</sup>, 王岩<sup>3</sup>, 王莹<sup>4</sup>

1. 沂水县园林环卫保障服务中心, 山东 沂水 276400

2. 山东财经大学, 山东 济南 250014

3. 亚太科技大学, 马来西亚 吉隆坡 57000

4. 临沂市人民医院, 山东 临沂 276000

DOI:10.61369/ASDS.12189

**摘 要：** 农业生产面临产量波动和价格波动双重风险，农作物收入保险作为综合性风险管理工具日益受到重视。本研究通过模拟分析和山东省大豆实证数据，发现产量与价格的负相关性能显著降低收入保险费率。引入 Copula 函数代替传统线性相关方法，更精确地捕捉非线性关系。发现产量与价格间的负相关能显著降低保险费率，而正相关则大幅提高费率，且保障水平越高，费率上升越快。建议完善小区域数据采集，利用风险对冲特性降低保费，建立多层次农业保险体系，提高农户风险管理意识。

**关 键 词：** 农作物收入保险；产量价格相关性；Copula 函数

## A Study on Premium Pricing Based on the Copula Function Approach

Wang Fugao<sup>1</sup>, Wang Hongni<sup>2\*</sup>, Wang Yan<sup>3</sup>, Wang Ying<sup>4</sup>

1. Landscaping and Sanitation Service Center of Yishui, Yishui, Shandong 276400

2. Shandong University of Finance and Economics, Jinan, Shandong 250014

3. Asia Pacific University of Technology & Innovation, Kuala Lumpur, Malaysia 57000

4. Linyi People's Hospital, Linyi, Shandong 276000

**Abstract:** Agricultural production faces dual risks from yield fluctuations and price volatility. Crop income insurance has emerged as a key tool for comprehensive risk management. Using simulation analysis and empirical soybean data from Shandong Province, this study shows that the negative correlation between yield and price significantly reduces insurance rates. By applying the Copula function instead of traditional linear methods, non-linear relationships are captured more accurately. Results indicate that negative yield-price correlation lowers rates, while positive correlation increases them, especially at higher coverage levels. Policy recommendations include improving small-area data collection, leveraging risk-hedging to lower premiums, building a multi-level insurance system, and strengthening farmers' risk management awareness.

**Keywords:** crop income insurance; yield-price correlation; Copula function

## 引言

农作物收入保险的保险标的是农户从事农业生产活动时预期取得的收入。其基本结构是“价格保险 + 产量保险”，既保护农户面临的市场价格下跌风险，又保护农民在农业生产中面临的减产风险。中央一号文件自 2016 年起已连续六年对建立农业收入保险制度做出重要指示和部署，目前已成为我国农业支持保护政策的聚焦点<sup>[1]</sup>。2018 年我国全面启动主要粮食作物的农作物收入保险试点工作，2019 年提出计划在 2022 年基本建立契合农民风险保障需求且适应农业现代化发展的多层次农业保险体系。农作物收入保险相比传统农业保险、区域产量保险、农作物价格保险等，在全面保障农民面临的农作物市场价格和产量不确定性方面具有现实意义。

作者简介：

王复高（1981—），男，沂水县园林环卫保障服务中心中级经济师（沂水 276400）；

王莹（1981—），女，临沂市人民医院副研究员（临沂 276000）；

王岩（2000—），男，马来西亚亚太科技大学硕士研究生。

通讯作者：王红霓（1996—），女，山东财经大学统计与数学学院博士研究生（济南 250014）。

注：作者按姓氏排序，同等贡献。

## 一、文献综述

农作物保险是农业风险管理的重要手段，对稳定农户收入、推动农业可持续发展具有积极作用。然而，农户普遍对农作物保险的认知不足，且受到教育程度、年龄等因素的显著影响。研究发现，农户对收入保险的支付意愿明显高于现行保费水平，说明收入保险仍存在较大推广和优化空间<sup>[2]</sup>。保险产品的设计需充分考虑农作物产量、市场价格的波动性及二者之间的相关性，传统风险度量方法（如基于矩和分位点的风险度量）为费率厘定提供了重要依据<sup>[3]</sup>。部分学者构建了基于分位点的精细化风险测度模型，指出将产量与价格的相关性纳入风险评估，有助于提高保险费率的精准度<sup>[4-5]</sup>。

同时，农业保险不仅能帮助农户转移风险，也可推动生产要素的优化配置，促进农业现代化。农户的风险认知水平与自身抗险能力同样是影响保险需求和费率设计的重要因素。相关实证研究表明，风险认知、经济压力与土地退出决策密切相关，这从侧面验证了风险管理在农作物收入保险中的核心地位<sup>[6]</sup>。此外，已有研究从更宏观的经济视角提供了重要支撑，例如基于时间序列和截面数据分析发现，外部经济环境会显著影响农村家庭经济行为及农业投入决策<sup>[7]</sup>；而耕地保护与整治政策研究强调了政策环境变化对农业收益稳定性的调控作用<sup>[8]</sup>。自然资源核算框架的相关探讨则进一步提供了农业风险评估的宏观视角<sup>[9]</sup>。

此外，国内外学者也围绕农业保险运行机制与风险分摊问题进行了深入研究。国外研究以印度为例，揭示出保险索赔处理延误与保费设定不合理的问题，这对我国农作物收入保险的发展有一定借鉴价值<sup>[10]</sup>。国内研究则着重探讨了农业保险对生产要素配置和绿色农业发展的影响，提出了以保费收入为指标的农业保险发展水平衡量体系，为平衡风险与收益提供了新的视角<sup>[11,3]</sup>。

## 二、研究方法

### （一）产价关系

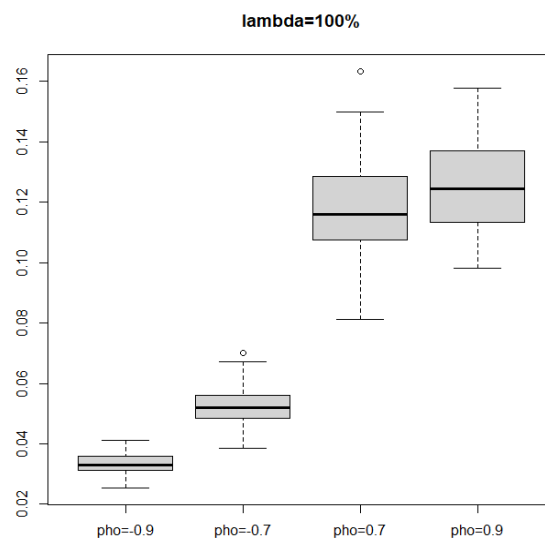
通过 R 软件产生二元高斯分布的 30 组随机数来模拟农作物的产量和价格，进行费率的厘定。通过设置不同的相关系数  $\rho$ ，得到相关性不同的产量和价格序列，比较不同相关系数下的农作物收入险费率厘定结果，发现在不同保障水平下，价格和产量之间的负相关性都能够显著降低收入保险的费率。由于价格和产量是在高斯多元分布下产生的随机数，选用正态分布分别拟合二者的边际分布，接着使用 normal copula 拟合二者的联合分布，最后使用 Bootstrap 的方法计算费率。费率计算公式如下：

$$\frac{E(\max\{\lambda E(YP) - YP, 0\})}{\lambda E(YP)} \quad (\lambda \text{ 表示保障水平})$$

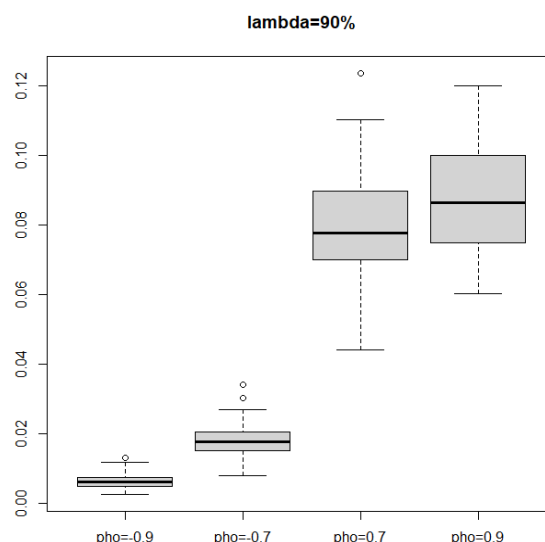
分别设置相关系数为 -0.9，-0.7，0.7 和 0.9，每个相关系数下分别随机抽样 30 次并相应地计算费率，得到结果如下图所示。图 1, 2, 3 分别展示了在 100%，90% 和 80% 的保障水平下，设置不同相关系数得到的收入保险费率厘定结果。在 100% 保障水平下，当价格和产量的模拟相关系数设为 -0.9 时，平均费率最低为

3.27%，将相关系数设置为 -0.7，0.7 和 0.9，相应的平均费率升高至 5.26%，11.69% 和 12.50%，将相关系数设为正数之后，厘定的费率几乎是原来的二倍。由此可见，相较于负相关性，价格和产量之间的正相关性会引起收入保险所需费率的显著上升，一种可能的原因是负相关性相当于价格和产量能够相互对冲，产量降低时价格会上升，使得实际收入低于预期收入的可能性有所降低。

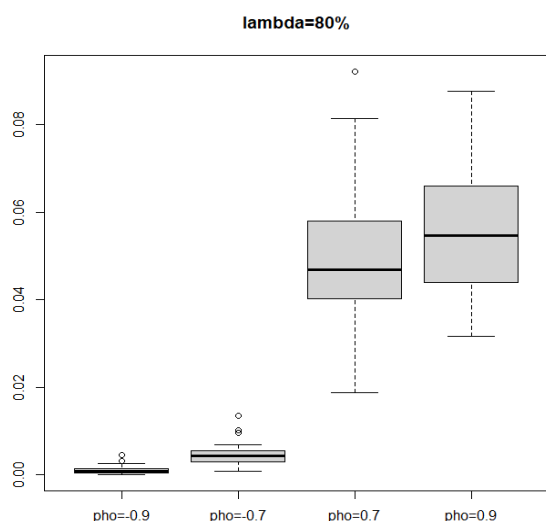
根据随机模拟的结果，价格和产量之间的相关性会对农产品收入保险费率厘定结果产生显著影响，因此在收入保险厘定的研究中应将二者的相关系数纳入费率的计算，从而更精确地厘定费率。



> 图1 100%保障水平下收入保险费率厘定结果



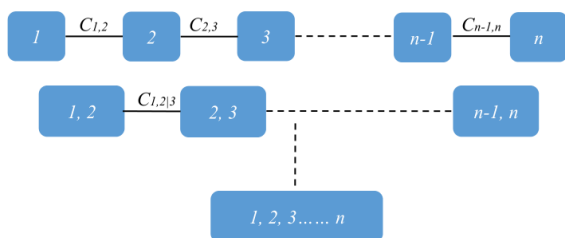
> 图2 90%保障水平下收入保险费率厘定结果



> 图3 80%保障水平下收入保险费率厘定结果

## (二) Copula函数的引入

线性相关方法存在局限性，而 Copula 方法能够描述不同元素之间的非线性相关性，是一种更好的度量变量间相关性的方法。对于更高维的情况，Vine Copula 结构为研究变量之间的关系提供了新思路。利用 Copula 方法来度量影响保险定价的要素间的相关性，可以保证费率厘定更加精确。



> 图4 n维 Vine Copula 结构

## 三、产量与价格的联合分布

由于目前国内统计网站或各省市统计年鉴缺乏完整的县、乡、村等更小区域的大豆历史单产统计数据，因此本节在不考虑任何因素的条件上建立产量与价格的联合分布时选取的大豆单产数据以市为单位。针对市级数据中存在的大豆单产数据样本较少的问题，在本节中采用针对小区域农作物单产估计的密度比方法进行大豆单产分布的估计。

### (一) 数据来源

鉴于数据的可得性，研究采用山东省济南、青岛等16市2006年以来的大豆单产数据。数据跨度为2006年至2017年，所有的单产数据来自 Wind 数据库。本章价格数据选自大连商品交易所2006-2017的黄大豆1号期货合约交易数据。根据我国农产品期货交易，黄大豆1号在每年的1月、5月、9月的期货合约为主力期货合约。由于山东地区的大豆种植期多在4月和5月份，因此预期价格取次年1月份到期期货合约在4月份的日结算价格算术平均值。同时由于收获期多为9月和10月份，实际价格取次年1月份

到期期货合约在10月份的日结算价格算术平均值。

由于各地市产量数据和价格数据在时间跨度上较短，时间趋势项不明显且对时间趋势项的二次多项式回归结果不显著。因此，本节只对数据进行简单的预处理操作。

### (二) 数据预处理

用表示第*i*地市的单产数据， $P_t$ 表示*t*时刻的价格数据。这里时间趋势项是常数，所以单产数据还可以写为：

$$Y_t^i = \bar{Y}_t^i (1 + \epsilon_t / \bar{Y}_t^i), P_t = \bar{P}_t (P_t / \bar{P}_t) \quad (1)$$

式(1)  $\bar{Y}_t^i$  中表示第*i*地市单产数据的平均值， $\bar{P}_t$ 表示价格的平均值。 $\bar{Y}_t^i$ 由式(2)给出：

$$\bar{Y}_t^i = \epsilon_t / \bar{Y}_t^i, \bar{P}_t = P_t / \bar{P}_t \quad (2)$$

接下来将讨论  $\bar{Y}_t^i$  和  $\bar{P}_t$  的边际分布和联合分布，并用于计算费率。

### (三) 边际分布测定

#### 1. 产量分布测定

由于研究中采用的大豆单产数据以市为单位，无法借鉴国外的经验直接按照一个确定的分布估计产量数据。因此本节在估计大豆单产分布过程中，采用密度比方法。根据 Yvette (2017) 的研究，密度比方法可以有效解决在数据较少的情况下带来的估计偏差<sup>[12]</sup>。本节在该研究的基础上，采用小区域估计的密度比方法来解释产量数据。

密度比方法假定各地市的产量概率密度函数  $f_i(x)$  可以表示成式(3)：

$$f_i(x) = f_0(x)h_i(x) \quad (3)$$

关于  $f_0(x)$  的估计，使用较为弹性的非参数估计方法。本节参考 Yvette (2017)<sup>[12]</sup>，使用 Logspline 方法来拟合  $f_0(x)$ 。但由于各市的产量数据很少， $h_i(x)$  的估计较为困难。针对过少的数据量，本节的  $h_i(x)$  选用简单的正态分布密度函数。最后将两个函数相乘并积分归一化，得到第*i*地市的密度函数。

#### 2. 价格分布测定

根据 Goodwin (2000)，价格数据选用 Log-Normal 分布进行拟合<sup>[13]</sup>。由于1999年才开展黄大豆1号期货交易，其期货价格数据最早只能追溯至这一年。相比美国等发达国家，期货价格数据较缺少。鉴于此，本节不再深入研究模型。

### (四) 大豆收入保险费率的计算——基于 Copula 方法

本节采用 Copula 函数来构造产量和价格的联合分布函数。估计得到的第*i*地市的产量分布函数和价格分布函数，则第*i*地市产量和价格的联合分布函数就可以写成。其中，是二元 Copula 分布函数。本节的待选 Copula 模型有：Normal Copula, Archimedean Copula 中的 Frank Copula 和 Clayton Copula。Copula 的选择可以基于多种拟合优度统计量。本节根据 Pakyari (2012) 选择 Cramer-von Mises 统计量<sup>[14]</sup>，即衡量经验 Copula 函数到估计 Copula 函数的差距。

本节假定所有地市的 Copula 函数类都是一致的，原因如下。

1. 各地市数据量过少导致模型准则选定的不一定是最适合的，需要全面地结合所有地市的拟合结果。

2. 在同样的 Copula 模型下，各地市最终得到的结果具有可



比性。但由于所有地市的参数可能不同，因此本节没有假设它们的 Copula 完全一致。在某种拟合优度检验（如 Cramer-von Mises）下，第  $i$  种 Copula 模型对应的检验统计量记为  $S_{ij}$ 。一般  $S_{ij}$  越小，拟合优度越高。记  $S_{ij}$  在  $S_{i1}, S_{i2}, \dots$  中的秩为  $r_{ij}$ ，本节选择  $\sum_i r_{ij}$  最小的 Copula 模型。

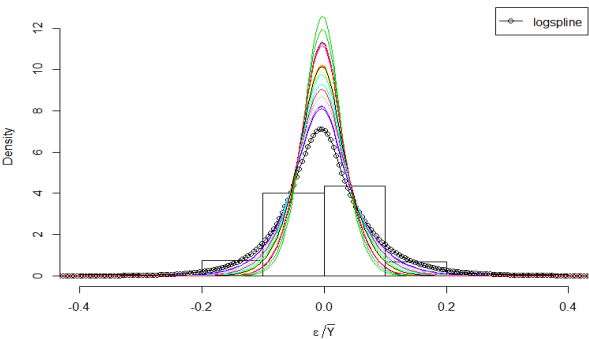
得到概率密度函数后可以通过数值积分或者 bootstrap 的方法来计算费率，本节使用 bootstrap 的方法生成随机数来计算费率。费率的公式如式 (4) 所示：

$$\frac{E(\max\{\alpha E(YP) - YP, 0\})}{\alpha E(YP)} = \frac{E\left(\max\left\{\alpha E\left(\left(1 + \frac{\epsilon}{Y}\right)\left(\frac{P}{\bar{P}}\right)\right) - \left(1 + \frac{\epsilon}{Y}\right)\left(\frac{P}{\bar{P}}\right), 0\right\}\right)}{\alpha E\left(\left(1 + \frac{\epsilon}{Y}\right)\left(\frac{P}{\bar{P}}\right)\right)} \quad (4)$$

式 (4) 中  $\alpha$  表示保障水平且  $0 < \alpha \leq 1$ ， $(\epsilon/Y, \bar{P}/\bar{P})$  表示通过 copula 方法得到的单产与价格的联合分布。

（五）不同保障条件下大豆收入保险费率测算结果分析

图 5 给出了所有产量数据整体的直方图，以及基于这些数据使用 Log spline 方法估计出的  $f_0(x)$ ，它是图中峰度最低尾部最宽的分布。通过使各市的概率密度  $f_0(x)$  与一个期望为 0、方差为各市数据方差的正态分布相乘，可以使产量波动不大的地市的概率密度更加集中在 0 附近并且产量波动较大的地市会更接近 Log spline 方法得到的函数。图 6 给出了价格的概率密度直方图和相应的对数正态分布估计。



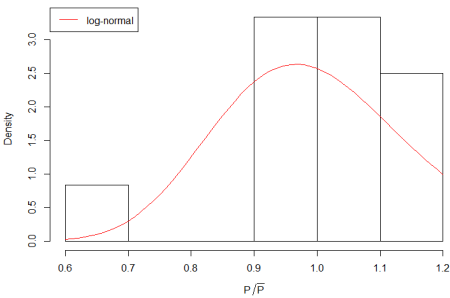
> 图5 基于所有产量数据的估计（黑线）和各市的概率密度的估计

表1 Copula 的 Cramer-von Mises 统计量计算结果

| 城市\模型 | Normal Copula | Frank Copula | Clayton Copula |
|-------|---------------|--------------|----------------|
| 济南    | 0.0663        | 0.0655       | 0.0755         |
| 青岛    | 0.0897        | 0.0886       | 0.0878         |
| 淄博    | 0.2167        | 0.2163       | 0.2090         |
| 枣庄    | 0.1430        | 0.1327       | 0.1304         |
| 东营    | 0.1036        | 0.1105       | 0.1051         |
| 烟台    | 0.1064        | 0.1066       | 0.1093         |
| 潍坊    | 0.1030        | 0.0965       | 0.0692         |
| 济宁    | 0.1259        | 0.1295       | 0.1258         |
| 泰安    | 0.5944        | 0.4940       | 0.2880         |
| 威海    | 0.0874        | 0.0844       | 0.0847         |
| 日照    | 0.2535        | 0.2349       | 0.2224         |
| 临沂    | 0.1022        | 0.1080       | 0.1116         |
| 德州    | 0.0470        | 0.0471       | 0.0558         |
| 聊城    | 0.1693        | 0.1793       | 0.1892         |

| 城市\模型 | Normal Copula | Frank Copula | Clayton Copula |
|-------|---------------|--------------|----------------|
| 滨州    | 0.0419        | 0.0442       | 0.0427         |
| 菏泽    | 0.1184        | 0.1186       | 0.0971         |
| 秩和    | 35            | 37           | 30             |

表 1 列出了三种 Copula 用不同地市的数据估计出的模型相应的拟合优度统计量。统计量越大，估计的模型就和经验 Copula 分布相差越大。拟合优度就越低。由于不同的地市数值没有一定的可比性。本节先把每个城市对应的三个 Copula 的统计量转化为有序变量（如济南市 Clayton Copula 的秩为 3，Frank Copula 的秩为 1，Normal Copula 的秩为 2），然后再把这些秩按每个 Copula 分别相加得到表 1 中的秩和。可以看出 Clayton Copula 的秩和最小，所以本节在进行农作物收入保险费率计算时使用的联合分布的 Copula 函数全部选用 Clayton Copula。表 2 列出了大豆收入保险费率的厘定结果。



> 图6 价格直方图和对数正态估计

从表 2 可以看出，当介于 70%–100% 的保障水平下时，测算得到的各个地市大豆收入保险费率水平介于 0.01%–7.12% 之间。东营在保障水平为 100% 条件下测算出的大豆收入保险费率水平大概为 7.09%，威海在保障水平为 100% 条件下测算出的大豆收入保险费率水平在 7.07% 左右，而济南、日照在保障水平为 70% 条件时大豆收入保险费率的测算值仅为 0.01%。并且随着保障水平的降低，保险的费率也进一步降低。例如，济南在保障水平为 100% 条件下计算出的保险费率水平为 5.65%，但在保障水平为 85% 的条件下大豆收入保险费率测算值却仅为 0.86%。

此外，随着保障水平的提高，费率上升幅度增加。同样以济南为例，当保障水平从 90% 上升到 95% 需支付的保费高于从 85% 上升到 90% 所需要支付的保费。一个可能的原因是农业保险本身是一种具有高风险特征的保险。在多种不确定性的叠加作用下，农户收入维持在较低水平更“容易”。从另一个角度反映出了保险公司承保农作物收入保险面临赔付风险大的情况。

表2 保险净费率厘定结果

| 城市\保障水平 | 100%  | 95%   | 90%   | 85%   | 80%   | 75%   | 70%   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 济南      | 5.65% | 3.51% | 1.87% | 0.86% | 0.27% | 0.08% | 0.01% |
| 青岛      | 6.42% | 4.20% | 2.67% | 1.42% | 0.71% | 0.31% | 0.12% |
| 淄博      | 7.02% | 4.87% | 3.19% | 1.82% | 1.09% | 0.49% | 0.27% |
| 枣庄      | 6.51% | 4.55% | 2.67% | 1.54% | 0.74% | 0.31% | 0.12% |
| 东营      | 7.09% | 5.05% | 3.37% | 2.09% | 1.19% | 0.60% | 0.33% |

| 城市\保障水平 | 100%  | 95%   | 90%   | 85%   | 80%   | 75%   | 70%   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 烟台      | 5.93% | 3.74% | 2.14% | 1.05% | 0.39% | 0.12% | 0.03% |
| 潍坊      | 6.79% | 4.63% | 2.98% | 1.76% | 0.93% | 0.47% | 0.19% |
| 济宁      | 6.55% | 4.46% | 2.95% | 1.62% | 0.82% | 0.40% | 0.15% |
| 泰安      | 6.74% | 4.59% | 3.04% | 1.75% | 0.95% | 0.42% | 0.17% |
| 威海      | 7.07% | 4.99% | 3.38% | 2.10% | 1.10% | 0.57% | 0.27% |
| 日照      | 5.99% | 3.66% | 1.99% | 0.87% | 0.32% | 0.08% | 0.01% |
| 临沂      | 6.81% | 4.59% | 3.00% | 1.78% | 0.94% | 0.47% | 0.19% |
| 德州      | 5.92% | 3.81% | 2.16% | 1.05% | 0.40% | 0.12% | 0.02% |
| 聊城      | 6.39% | 4.22% | 2.49% | 1.33% | 0.61% | 0.22% | 0.05% |
| 滨州      | 6.85% | 4.76% | 3.10% | 1.84% | 0.95% | 0.49% | 0.20% |
| 菏泽      | 6.87% | 4.93% | 3.20% | 1.90% | 1.10% | 0.58% | 0.28% |

从山东省16个地市的收入保险费率的差异可以说明，如果测定收入保险费率时选择较小地块的产量数据作为费率测算的基础，可能能够更好反映收入保险所保障的产量风险的真实情况。因为测算费率中使用的数据为市级的年单产数据，忽略了较小地区的单产波动情况。丰富的农作物单产数据是制约我国农作物收入保险设计的重要因素。

四、结论及建议

本研究通过分析产量与价格之间的关系，结合山东省各地市

大豆的数据，探索了农作物收入保险费率厘定的关键影响因素，并提出了相应的政策建议。研究结论和具体建议如下：

第一，农作物收入保险同时覆盖价格波动和产量下降的双重风险，更贴合农民对稳定收入的现实需求，较传统单一风险保险更具优势，应当进一步推广完善。

第二，产量与价格的相关性显著影响收入保险的费率。研究发现负相关性可明显降低费率，而正相关性则导致费率大幅提高。这提示我们在设计保险产品时，应合理利用产量与价格的风险对冲特性，降低保费成本，增强保险的吸引力。

第三，Copula方法在捕捉产量与价格的非线性关系上明显优于传统线性方法，有助于更准确地厘定保险费率，建议推广该方法的应用。

第四，实证研究表明，山东省不同地区的费率差异较大，保险保障水平越高，费率升高越快。因此，需要加强县乡村级的小区域数据采集，更好地反映区域差异与真实风险，提升费率测算的精确性。

第五，应加快建立与农业现代化发展相适应的多层次农业保险体系，政府应加大政策引导力度，尤其针对教育程度较低和年龄较大的农户开展有针对性的保险知识培训，提高农户参保意识与风险管理能力。

参考文献

[1] 丁梦洁. 我国农作物收入保险费率测算及检验 [D]. 厦门大学, 2019.

[2] FU L, PAN H, QIN T. Analysis of willingness to pay for forest insurance and its influencing factors: From the perspective of heterogeneous forestry operators[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(3): 769–783.

[3] Lisha F U, Tao Q I N, Sangui W. Effect of agricultural insurance on production factor allocation and its mechanism: From the perspective of facilitating modern agriculture development[J]. Resources Science, 2022, 44(10): 1980–1993.

[4] 王子剑, 周勇, 曾凡平. 相依样本下半参数变系数期望分位数风险度量模型统计推断 [J]. 中国科学: 数学, 2021.

[5] 李东萍, 李国龙, 邱世善. 农业气象灾害成因及其风险探究 [J]. 农业科学, 2018, 1(3).

[6] 朱新华, 陆思璇. 风险认知, 抗险能力与农户宅基地退出 [J]. 资源科学, 2018, 40(4): 698–706.

[7] 中文刘, 治通宋. 延迟退休视角下居民储蓄率的影响因素研究 [J]. 财经与管理, 2021, 5(4): 20–25.

[8] 吴宇哲, 许智钊. 休养生息制度背景下的耕地保护转型研究 [J]. 资源科学, 2019, 41(1): 9–22.

[9] 沈镭, 钟帅, 何利, 等. 复式记账下的自然资源核算与资产负债表编制框架研究 [J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1675–1685.

[10] Nayanatara S N, Billava N, Ashalata K V. Agriculture Insurance’s Outreach Constrained by Procedural Delays and Norms: Reflections from North Karnataka, India[J]. Research on World Agricultural Economy, 2020, 1(1): 39–49.

[11] Jun Z, Weina Z. Impact of agricultural insurance on green agricultural production in China: Based on the mediation effect of agricultural technology progress[J]. Resources Science, 2023, 45(12): 2414–2432.

[12] Yvette Zhang Y. A density - ratio model of crop yield distributions[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2017, 99(5): 1327–1343.

[13] Goodwin B K, Roberts M C, Coble K H. Measurement of price risk in revenue insurance: implications of distributional assumptions[J]. Journal of Agricultural and Resource Economics, 2000: 195–214.

[14] Pakyari R, Balakrishnan N. A general purpose approximate goodness-of-fit test for progressively type-II censored data[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2012, 61(1): 238–244.

# 文化产业数字化转型路径研究

程枫, 李琳琳, 缪孟阁

广东白云学院, 广东 广州 510450

DOI:10.61369/ASDS.12190

**摘要：** 在当今数字化时代，文化产业正经历着深刻的变革，数字经济的发展为文化产业创新发展提供了机遇，将实现文化产业的高质量发展，并催生新的文化业态。本文依据国内外文化产业发展的异同点，梳理了文化产业数字化转型过程中存在的技术挑战、消费者需求变化、市场竞争压力、管理模式挑战、人才培养需求等五方面的挑战，并从技术路径探索、商业模式与管理策略创新、可持续发展三方面展开文化产业数字化转型路径探究，推动我国文化产业现代化发展。

**关键词：** 文化产业；数字经济；数字化转型

## Research on the Digital Transformation Path of Cultural Industry

Cheng Feng, Li Linlin, Miao Mengge

Guangdong Baiyun University, Guangdong, Guangzhou 510450

**Abstract:** In today's digital age, the cultural industry is undergoing profound changes, and the development of the digital economy provides opportunities for innovative development of the cultural industry. It will achieve high-quality development of the cultural industry and give birth to new cultural formats. Based on the similarities and differences in the development of cultural industries at home and abroad, this article summarizes the five challenges in the process of digital transformation of cultural industries, including technological challenges, changes in consumer demand, market competition pressure, management model challenges, and talent cultivation needs. It explores the digital transformation path of cultural industries from three aspects: technological path exploration, business model and management strategy innovation, and sustainable development, in order to promote the modernization of China's cultural industry.

**Keywords:** culture industry; digital economy; digital transformation

## 引言

文化产业作为国家软实力的重要组成部分，是建设现代文明、推动现代化的关键抓手<sup>[1]</sup>。2018年，习近平总书记在全国思想宣传工作会议上首次强调：“要推动文化产业高质量发展，健全现代文化产业体系和市场体系，推动各类文化市场主题发展壮大，培育新型文化业态和文化消费模式，以高质量文化供给增强人们的文化获得感、幸福感。”<sup>[2]</sup>2020年，习近平总书记在长沙马栏山调研时指出：“文化和科技融合，既催生了新的文化业态、衍生了文化产业链，又聚集了大量创新人才，朝阳产业，大有前途。”<sup>[3]</sup>2024年，总书记在湖南考察时提出“探索文化和科技融合的有效机制，加快发展新型文化业态，形成更多文化产业增长点”的文化和科技融合命题<sup>[4]</sup>，党的二十届三中全会同样提出了文化和科技的融合机制<sup>[5]</sup>。另外，党的二十大指出，文化产业的发展应合理平衡文化产品的精神属性和物资属性，正确处理文化产业的社会效益和经济效益的关系，是扩大优质文化产品供给、构建高标准文化市场体系、推动文化产业繁荣发展的前提条件和重要支撑<sup>[6]</sup>。近年来，我国文化产业政策从强调“支柱性产业”转变为“高质量发展”<sup>[7]</sup>，当前，面对百年未有之大变局，深入探究我国文化产业发展路径，对推进我国现代化发展具有重要的现实意义。

随着数字经济的兴起，数字技术通过整合、配置、升级资源要素，已经成为推动产业变革和提升产业竞争力的重要工具，进而催生新产业、新模式、新动能<sup>[8]</sup>。在当今数字化时代，文化产业正经历着深刻的变革，数字经济的发展为文化产业创新发展提供了机遇，将实现文化产业的高质量发展，并催生新的文化业态，如数字艺术、文化旅游、文化科技等，为文化产业发展创造了更大的发展空间，为消费者提供多层次的文化体验，为社会文化进步提供充足动力。本研究从文化产业的国内外发展现状展开探究，认为数字化转型已成为文化产业发展发展的必然趋势，并分析文化产业数字化转型的机遇和挑战，提出文化产业数字化转型实施路径，为文化产业数字化转型提供参考。

项目/基金信息：2023年度广东省教育评估协会课题科研立项“应用型本科高校的数字经济专业实践教学体系建设研究”（BDPG23105）；广东白云学院2022年度校级质量工程项目“数字经济教学团队”（BYTD202203）。

作者简介：程枫（1997-），广东白云学院，助教，邮箱：1771939965@qq.com，研究方向：数字经济与数据挖掘。

## 一、国内外研究概述

在当前的全球化与信息化背景下，文化产业的数字化转型已成为推动文化产业高质量发展的重要途径。国内外对此议题的研究不断增多，涉及理论探索、政策制定、技术应用、产业转型等多个方面。

国内的研究主要集中在文化产业数字化的路径、策略与实践案例分析上。研究者们关注文化产业数字化转型的内涵与内涵式发展路径，探讨如何通过技术创新促进文化产业的升级和转型。例如，对“数字赋能文化产业的高质量发展路径”进行的深入分析，指出数字技术如人工智能、增强现实、5G等在提升文化体验、创新消费模式方面的重要作用<sup>[9]</sup>。此外，研究还涉及到“双循环”新格局下文化产业数字化的发展研究，以及文化产业数字化转型的战略研究<sup>[10]</sup>。这些研究为理解文化产业在数字化浪潮中的发展趋势提供了重要视角。

国际上的研究则更多地关注于公共文化数字化转型的实践与经验<sup>[11]</sup>。如美国、英国等国家的数字文化项目，为全球视野下的文化产业数字化转型提供了借鉴<sup>[12]</sup>，通常强调用户需求、技术驱动与机构合作的重要性，并指出这些因素在推动公共文化数字化转型中的核心作用。

国内外的研究虽然存在差异，但都指出了一个共同的趋势，即数字化转型是提升文化产业创新能力、竞争力和可持续发展能力的关键途径。无论是通过技术革新促进产业升级，还是通过数字化公共文化项目提升公共文化服务的质量和效率，都反映了数字化转型在文化产业发展中的核心地位。

## 二、文化产业数字化转型过程中的挑战

### （一）技术挑战

技术的发展和运用是推动文化产业数字化转型的核心动力，同时也相应成为转型过程中的关键制约因素。首先，技术的不成熟是文化产业数字化转型过程中的一个重要障碍<sup>[13]</sup>。当前，虽然数字技术如人工智能、大数据、云计算等在不断发展，但在实际应用于文化产业时，仍然存在技术成熟度不足的问题。例如，在音频、视频处理、图像渲染、内容创作等方面，技术的局限性可能导致内容的呈现效果不佳，影响用户体验。此外，技术的不成熟还可能导致文化产品的创新能力受限，难以产生具有广泛吸引力和深远影响力的新产品、新服务。

技术的应用还面临着安全性的挑战。随着文化产业对大数据、云计算等技术的依赖程度加深，数据安全、网络安全等问题也日益凸显<sup>[14]</sup>。如何保障用户数据的安全、如何防范网络攻击等安全风险，是技术发展必须解决的问题。

技术挑战在文化产业的数字化转型过程中扮演着关键角色。要想实现文化产业的高质量发展，就必须充分克服这些技术挑战，推动技术的持续创新和应用，同时加强技术普及，缩小“数字鸿沟”，确保文化产业的数字化转型既高效又安全。

### （二）消费者需求变化

随着数字技术的发展，如流媒体服务的兴起，传统的文化产

品如电影、电视节目、音乐和书籍等的消费方式正在发生变化。数字技术的应用使得文化产品能够以更加灵活和便捷的方式被创作者和消费者所接触，在线流媒体服务的兴起不仅改变了人们的观影习惯，还为独立制作人提供了新的创作和发行渠道。

另一方面，数字化转型影响了文化产品的分发和营销方式。社交媒体、搜索引擎、电子邮件营销等数字营销工具的使用，使得文化产品的推广和销售渠道更加多样化和精准化，不仅提高了文化产品的市场覆盖率，还有助于建立与消费者之间的直接联系，从而提升了文化产品的市场竞争力。

### （三）市场竞争压力

随着互联网技术的普及和数字内容消费需求的增长，越来越多的传统文化企业和新兴科技公司进入了文化产业市场领域，而对于那些在数字化转型上投资不足的企业来说，无疑加剧了市场竞争，使得它们在竞争中处于不利地位。文化产业的数字化转型需要巨大的前期投资，包含技术研发、内容创新、平台搭建和人才培养等方面。对于许多小型和中型企业而言，这样的投资无疑是一个沉重的财务负担，此外，技术的更新迭代速度很快，这要求企业必须不断投资以保持其数字化进程的先进性和竞争力。

收益模式的转变也是一个重要的挑战。文化产业的数字化产品和服务往往需要新的收益模式来支撑，新模式的探索和建立需要时间，且存在着不确定性。同时，由于数字化产品的边际成本较低，传统的高利润率模式可能会受到挑战，企业需要在控制成本和提高效益之间找到平衡点。

### （四）管理模式挑战

在数字化转型的背景下，文化产业面临着多方面的管理挑战，这些挑战不仅涉及到企业内部的组织文化与变革管理，还包括对外部环境的适应与创新能力的提升。组织文化的适应与变革管理是文化产业数字化转型过程中的核心问题，传统的组织文化往往与数字化转型的新业务需求和技术要求存在冲突，这种文化冲突可能导致变革的阻力和执行难度的增加。企业需要在尊重传统文化的基础上，引导组织文化的逐步转型，这包括更新价值观、信念、行为规范和工作方式等。

### （五）人才培养需求

文化产业的数字化转型需要一大批具有数字技术背景的创新型人才。企业需要重视对这些人才的培养和引进，涉及跨学科、跨领域的知识与技术融合，同时建立起行业专家、科技团队之间的交流平台，促进知识的交流与创新思想的碰撞，这要求企业内部建立更加开放和协同的工作机制，以及跨部门之间的有效沟通和合作。

## 三、文化产业数字化转型实践路径

### （一）技术路径探索

文化产业在数字化转型的过程中，技术路径的探索至关重要。技术进步是推动文化产业数字化转型的核心动力，它不仅影响着产业的生产方式、生产关系，还重塑着产业的价值链和生态系统。

技术路径的探索涉及数字基础设施的建设。数字基础设施是



指支持文化产业数字化转型的物理和逻辑基础，包括数据中心、云计算平台、内容分发网络等。这些基础设施为文化产品的数字化生产、存储、处理和传输提供了基础平台。政府和相关部门应发挥引导作用，完善这些基础设施的建设，为文化产业的数字化转型提供坚实的基础。

技术路径的探索还包括数字技术的应用。当前，5G、云计算、大数据、人工智能等数字技术正在改变着文化产业的生产和消费模式。例如，5G的高速度和低延迟特性使得远程制作和实时互动成为可能；大数据的应用则有助于对文化消费数据的分析和挖掘，为精准营销和内容定制提供支持；人工智能的应用则可以实现内容的智能化生产和个性化推荐。文化企业需要不断追踪和掌握这些技术的发展，以确保其在文化产业数字化转型中的竞争力。

技术路径的探索需要考虑文化产业的特性。文化产品与普通产品不同，其价值在于其创意性和表现形式。因此，在进行数字化转型时，文化企业需要结合自身的内容特性和市场需求，采用适宜的技术手段，如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、4D体验等，来增强文化产品的表现力和体验感。

## （二）商业模式与管理策略创新

随着数字技术的深入应用，文化产业的商业模式正在经历从传统模式向数字化、智能化模式的根本转变如企业的经营理念、组织结构、管理策略等多个层面。

数字化转型推进文化产业商业模式创新。在数字化的推动下，文化产品和服务的生产、流通与消费方式都发生了翻天覆地的变化。一方面，数字化技术的应用使得文化产品的创作和制作更加多元化和个性化，例如通过数字工具创作数字艺术作品、数字影视制作、虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等新型文化产品的开发。另一方面，数字化技术也改变了文化产品的流通方式，网络平台的兴起使得文化产品可以更快速、更广泛地传播，同时也使得消费者的消费方式更加便捷和个性化。

文化产业的管理策略也在数字化转型的过程中不断创新和优化。企业必须调整其组织结构和管理模式，以适应数字化时代的需求。企业可以通过建立数字化的项目管理平台，提高项目管理的效率和透明度；通过大数据分析，更好地理解消费者需求，优化产品设计和市场定位；通过云计算和物联网技术，实现设备的远程监控和管理，降低运维成本。

文化产业的数字化转型还需要企业建立起新的商业模式。在这一过程中，创新的商业模式不仅能够为企业带来新的收入来源，还能够提高企业的核心竞争力。通过结合线上线下(O2O)的模式，企业可以提供更加丰富和便捷的文化消费体验；通过建立用户参与度高的社区化平台，企业可以更好地维护和增强用户忠诚度；通过跨界合作，企业可以整合不同领域的资源和技术，共同开发新的文化产品和服务。

## （三）可持续发展

在当前的数字化时代，文化产业的转型升级不仅是技术的革新过程，更是一个涉及创新、持续发展的多维度过程。企业是文化产业数字化转型的主体，需要树立高质量发展的理念，并在此

基础上不断推动技术研发和创新，提升产品质量和服务水平，同时加强对员工的培训，提高团队的数字化素养，确保其能够适应数字化转型带来的新要求。企业还需要通过市场调研和用户反馈，不断优化产品和服务，以满足消费者的多元化需求，坚持以质量为核心，不断提升创新能力。

## 四、结论与建议

文化产业的数字化转型是一场深刻的变革，虽然面临诸多挑战，但也带来了前所未有的机遇。文化产业的数字化转型不仅涉及技术的应用和信息技术的创新，还包括业务模式的创新、管理模式的优化以及服务模式的改进。数字化转型能够为文化产业带来新的增长点，提升其竞争力，并为文化产品的创作、生产、传播和消费提供新的可能性。文化产业的数字化转型是一个全方位、深层次的过程，涉及到商业模式的创新和管理策略的优化。企业需要积极拥抱数字化转型，不断探索和实践新的商业模式和管理策略，以实现在激烈的市场竞争中的可持续发展，在此过程中，企业应不断探索新的发展模式和创新路径，为社会文化的繁荣和国家经济的发展做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1]郭汶博,姜靖,张旭.新质生产力引领下文化产业数字化转型的挑战与机遇[J].税务与经济,2024,(06):83-88.
- [2]习近平:《自觉承担起新形势下宣传思想工作的使命任务》[M].北京:外文出版社,2020,3:314.
- [3]中华人民共和国中央人民政府.习近平谈文创产业:守正创新,坚持正确导向[EB/OL].(2020.9.18)[2024.11.23].[https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/18/content\\_5544382.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/18/content_5544382.htm).
- [4]中华人民共和国中央人民政府.站到更高起点 挺起中部“脊梁”——习近平总书记考察湖南并主持召开新时代推动中部地区崛起座谈会纪实[EB/OL].(2024.3.23)[2024.11.23].[https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content\\_6941008.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content_6941008.htm).
- [5]谷业凯.推进文化与科技深度融合[N].人民日报,2024-04-22(019).
- [6]习近平.高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N].人民日报,2022-10-26(01).
- [7]黄永林.党的十八大以来我国文化产业政策引导成效及未来方向[J].人民论坛·学术前沿,2022,10(上).
- [8]史梦昱,裴育.数字化转型促进新质生产力发展的内在机理与实现路径[J].江苏社会科学,2024,(06):85-93.
- [9]张泽滴,李思源,杨欣喆,.数字赋能文化产业的高质量发展路径[J].中国战略新兴产业,2024(26):154-156.
- [10]隋天飞.文化产业拥抱数字化转型[J].文化产业,2023(21):118-120.
- [11]李苗,李泽华.数字化助力文化产业转型升级[J].文化产业,2023(27):52-54.
- [12]惠国夫.碎片化时代文化创意人才的数字素养培养研究[J].文化创新比较研究,2023,7(23):174-178.
- [13]冯浩洋.后疫情时代文化产业的新发展分析[J].文化月刊,2021(11):154-155.
- [14]宋姝媛,乔亲旺,夏磊,等.数据要素化背景下文化数字化的创新发展研究[J].网络安全与数据治理,2024,43(09):62-65.

# 特定地域单元生态产品价值核算的实践与研究

周克元<sup>1</sup>, 费绍金<sup>1</sup>, 虞冰<sup>2</sup>, 尹兆楠<sup>3</sup>

1. 宿迁学院 数理学院, 江苏 宿迁 223800

2. 宿迁学院 图书馆, 江苏 宿迁 223800

3. 泗洪县自然资源与规划局, 江苏 泗洪 223900

DOI:10.61369/ASDS.12191

**摘要 :** 为落实“绿水青山就是金山银山”理念, 打通“两山”转换通道, 实现生态产品价值的转化, 有效解决“抵押难、交易难、变现难”问题, 对特定地域单元生态产品价值 (VEP) 概念进行了分析, 对 VEP 收益还原法计算方法进行了介绍。使用收益还原法对牛角村欢乐田园度假区项目地块 VEP 值进行了核算。

**关键词 :** 生态产品价值; 特定地域单元生态产品价值; 核算; 生态贷款; 绿票

## Practice and Research on the Accounting of the Value of Ecosystem Product in Specific Geographic Units

Zhou Keyuan<sup>1</sup>, Fei Shaojin<sup>1</sup>, Yu Bing<sup>2</sup>, Yin Zhaonan<sup>3</sup>

1. School of Mathematics and Physics, Suqian University, Suqian, Jiangsu 223800

2. Library, Suqian University, Suqian, Jiangsu 223800

3. Natural Resources and Planning Bureau of Si Hong County, Sihong, Jiangsu 223900

**Abstract:** In order to implement the concept of "green mountains and clear waters are as valuable as mountains of gold and silver", open up the "two mountains" conversion channel, realize the transformation of ecological product value, and effectively solve the problems of "difficult mortgage, difficult transaction and difficult realization", the value of ecosystem product in specific geographic units (VEP) was analyzed, and four calculation methods were proposed: income restoration method, surplus method, market comparison method and cost method. The income restoration method was used to calculate the VEP of the project site in Niujiao Village Happy Countryside Resort.

**Keywords:** gross ecosystem product; the value of ecosystem product in specific geographic units; accounting; ecological loans; green ticket

## 引言

建立健全生态产品价值实现机制, 是贯彻落实习近平生态文明思想的重要举措, 是践行“绿水青山就是金山银山”理念的关键路径, 对全面推进美丽中国建设、加快建设人与自然和谐共生的现代化具有重大而深远的意义。<sup>[1]</sup>2022年中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》中, 明确指出针对生态产品价值实现的不同路径, 要求探索构建行政区域单元生态产品总值 (gross ecosystem product, 简称 GEP) 和特定地域单元生态产品价值 (the value of ecosystem product in specific geographic units, 简称 VEP) 两套评价体系。其中, 针对行政区域单元的生态产品总值核算, 主要用于绩效考核和生态产品保护补偿等政府发挥作用的生态产品价值实现领域; 针对特定地域单元的生态产品价值核算, 主要用于经营开发、担保信贷、权益交易等市场发挥作用的生态产品价值实现领域。<sup>[2]</sup>

## 一、特定地域单元生态产品价值 (VEP) 概念辨析

在进行完善生态产品价值核算的同时, 更多的是要建立健全生态产品价值实现机制。各个地方对生态产品价值实现机制中的金融贷款、金融担保等支持机制进行了各种探索, 如广西壮族自

治区的“桂惠贷”<sup>[3]</sup>、重庆市的生态贷<sup>[4]</sup>、浙江省的“两山贷”<sup>[5]</sup>、宿迁市的“满仓贷”“花木贷”<sup>[6]</sup>等。在各类生态贷中, 需要对贷款项目所在地块的生态资产价值进行核算, 作为贷款的依据之一。

GEP 包括生物质供给、调节服务和文化服务价值量, GEP 中

项目/基金信息: 宿迁市 2023 年社科研究项目“宿迁市生态产品总值 (GEP) 核算体系研究” (23SYC-136)

作者简介: 周克元 (1978—), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为数学建模与应用, E-mail: zhoukeyuan2001@163.com。

除了生物质供给价值量归项目地块所有人取得,其余调节服务和文化服务价值量中的大部分都为社会公益性价值量,为全社会所共有。在银行及非银行金融机构对外贷款中,对于抵押物要求为有形的价值,例如不动产、有价证券机器设备及专利等,同时要求具有一定的偿还能力,例如将未来收益作为偿还能力的指标。<sup>[7]</sup> GEP中的公益性价值量不属于项目地块的私有收益,根据作者所在地区宿迁市实践来看,银行不认可其作为抵押物,出现了“抵押难、交易难、变现难”的问题。

根据银行对于贷款抵押物的一般要求,对贷款所在地块生态价值量进行分析,将其项目期限内的生态收益生态资产作为抵押物,进行相关贷款活动,该生态收益生态资产称为特定地域单元生态产品价值(VEP)。该方法首先由中国科学院生态环境研究中心专家提出,并进行了一系列的实践,与北京市联合制定了VEP地方标准“特定地域单元生态产品价值核算及应用指南”。<sup>[8]</sup>浙江省舟山市和陕西省商洛市也制定了类似的VEP地方标准(目前在征求意见阶段)。笔者所在地区江苏省宿迁市也进行了实践活动,使用该方法制定了VEP标准,目前宿迁市的VEP地方标准也正在申报中。

## 二、特定地域单元生态产品价值(VEP)核算方法

### (一) VEP核算公式

将项目期限内产生的生态收益生态资产称为特定地域单元生态产品价值(VEP)。特定地域单元生态产品实现项目的未来可预期市场的整体收益设为 $P$ ,特定地域单元不含生态产品价值的项目收益设为 $P'$ ,其差值称为特定地域单元生态产品价值,设为 $V$ 。

$$V = P - P' \quad (1)$$

对于 $P'$ 值,按照产生的项目收益进行分析计算,其中土地价格按照国家土地相关估价标准进行估算,固定资产等按照成本法计算。对于 $P$ 值,结合市场定价方法,使用收益还原法进行核算值。

### (二) VEP核算类型

收益还原法是指在估算特定地域单元内所有生态产品或生态产品价值实现项目未来每年预期纯收益的基础上,以适当的还原率,将每年预期纯收益折算为核算期日收益总和的核算方法。<sup>[9]</sup>收益还原法强调的是理性投资者在投资于某一资产时,他所愿意支付的货币不会高于其所购置或投资的资产在未来能给他带来的回报。<sup>[10]</sup>

不同类型生态产品的价值实现路径不同,需要针对不同实现路径选择不同的核算方法计算。

#### 1. 物质供给类产品 VEP核算

在物质供给产品中,对于诸如农林牧渔等生物质产品,全部收获后进行销售,该类生物质产品生产过程中投入的固定资产价值将包含在销售的生物质产品中,使用收益还原法核算 $P$ 值公式如(2):

$$P = \sum_{i=1}^n A_i (1+r)^{-i} \quad (2)$$

式中, $A_i$ 表示第 $i$ 年生态产品或生态产品价值实现项目年纯收益; $r$ 表示收益还原率; $n$ 表示收益期。

特别地,当项目周期内物质产品纯收益和还原利率每年都不变时,公式(2)可简化为(3):

$$P = \frac{A}{r} \left( 1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right) \quad (3)$$

#### 2. 调节服务类产品 VEP核算

在调节服务类产品中,以碳汇为代表的权益类产品,通过市场交易获得的生态价值,为调节服务类产品VEP值。核算方法与公式为(4)。

$$P = \sum_{i=1}^n A_i (1+r)^{-i} \quad (4)$$

式中, $P$ 表示碳汇等项目的未来市场预期收益; $A_i$ 表示第 $i$ 年碳汇等项目年纯收益; $r$ 表示碳汇等项目的收益还原率; $n$ 表示收益期。

特别注意,按照(1)计算碳汇等项目的VEP值时,实际中可能不存在包含生态产品价值的项目收益 $P'$ ,需要根据实际情况具体问题具体分析。

#### 3. 文化服务类产品 VEP核算

文化服务分为景观增值、旅游康养和休闲游憩,对应的产品为景观增值类产品、旅游康养和休闲游憩类产品。

##### (1) 景观增值类产品 VEP核算

因宜人气候、清洁空气、自然景观等生态环境,使得地产价值或租金价值增值,该增值部分称为景观增值类产品VEP。VEP核算公式仍然按照公式(1)进行核算。

$$V = P - P' \quad (5)$$

其中, $V$ 表示特定地域单元景观增值类生态产品价值; $P$ 表示特定地域单元土地或地产项目价值; $P'$ 表示特定地域单元中不受自然环境惠益,但含土地贡献的生态产品或项目价值。

$P$ 值可使用剩余法进行计算得到,将项目土地和地产建设完成后价值减去项目成本与客观利润,差额即为 $P$ 值;或使用比较法进行计算,将含生态价值的土地或地产价值减去类似其他地区不含生态价值的土地或地产的价值,差额即为 $P$ 值。

##### (2) 旅游康养和休闲游憩类产品 VEP核算

在文化服务产品中,对于项目地块中自然景点进行了相应的景点设施建设投资、酒店宾馆等建设,游客消费,获取了相应的纯收益,使得地产价值获得了增值,可使用马克思地价公式<sup>[11]</sup>计算 $P$ :

$$P = a / r \quad (6)$$

式中不动产价格为 $P$ ,纯收益为 $a$ ,受益还原利率为 $r$ 。

对于没有进行投资的自然景点,其产生的旅游康养和休闲游憩收益,可使用收益还原法计算VEP值,过程与前述类似,此处不再赘述。



### 三、VEP 核算实践案例

#### （一）牛角村欢乐田园度假区地块介绍

江苏省宿迁市宿城区牛角村欢乐田园度假区位于江苏省宿迁市宿城区蔡集镇牛角村，片区总面积2800亩，建设有游客中心、民宿、SU酒店、稻田书屋、商业街、游乐园亩、园林绿化树木基地、农副产品种植园和休闲娱乐水面。景区充分利用优越的自然风貌及浓厚的乡土文化特色，定位高品质、多功能、生态美、文化浓的新型乡村旅游景区，总规划布局为“一湖两核六版块”，通过“吃住行游购娱”的全业态配套，打造以高端度假为主，游乐、观光并重的一站式复合型农文旅景区。土地承包期到2028年截止。<sup>[12]</sup>

牛角村欢乐田园度假区2024年接待游客70万人次，其中34%为宿迁本地游客，其余66%为外地游客，2024年全年纯收入为1990.09万元。根据调查分析，预计牛角村度假区2028年游客将增加到145.15万人次，旅游经济纯收入将达到8557.02万元。

#### （二）核算流程

##### 1. 物质供给类产品 VEP

对于物质类供给产品，使用收益还原法核算 VEP 值。牛角村度假区项目物质供给类产品为园林绿化树木和农副产品，经调查，每年净利润为186万元，即  $A = A' - C = 186$ （万元）。对于收益还原率问题，通过调查宿迁市相似旅游产业，以及结合国家社会投资平均还原率等数据，取收益还原率值  $r = 6.81\%$ 。牛角村度假区地块承包到期时间为2028年，从2024年开始计算，项目运营期  $n = 5$  年。由公式（3），牛角村度假区物质产品未来可预期市场整体收益  $P = 522.00$ （万元）。

对于不包括生态产品价值的项目收益  $P'$ ，经调查，牛角村度假区不含生态产品价值的项目收益  $P' = 0$ 。另外，经过调查，牛角村度假区地块也没有精深加工物质产品。

##### 2. 调节服务类产品 VEP

调节服务类产品中，我国主要为碳汇产品，目前宿迁市碳汇没有销售，牛角村度假区碳汇没有销售收入，碳汇价值量没有变现，即碳汇 VEP=0。同时，其他调节服务也没有变现的情况。另外根据调查，牛角村度假区也没有依托产业载体间接实现的调节服务价值量。即调节服务类产品 VEP=0。

##### 3. 文化服务类产品 VEP

##### （1）景观增值类产品 VEP

牛角村度假区内部没有居住房屋地产，北侧蔡集镇居民点和东侧田园别墅、镇北新区、西城水岸小区靠近牛角村度假区，除了小区内部自身的环境带来的景观价值量，同时还由于靠近牛角村度假区，对居民点和三个小区的景观环境也带来了提升，由于牛角村度假区的影响，产生的景观增值为牛角村度假区景观增值类生态产品价值量。

使用比较法核算 VEP 值，蔡集镇居民点紧邻牛角村度假区北侧，与离度假区较远地区类似居住房屋比较，房屋价格平均高500元/平方米，该价格即为牛角村度假区带来的景观增值。经计算，蔡集镇居民点景观增值价值量为750万元。

靠近牛角村度假区东侧有田园别墅、镇北新区、西城水岸三个小区，牛角村度假区给三个小区带来景观增值，与距离度假区较远地区类似小区比较，扣除房屋性质、造价和交通位置的不同，以及小区内景色带来的景观增值不同。经综合分析，牛角村度假区给田园别墅、镇北新区、西城水岸带来的景观增值均值为1300元/平方米。经计算，牛角村度假区给田园别墅、镇北新区、西城水岸景观增值价值量为6032万元、8398万元和17680万元。

由上分析，牛角村度假区景观增值类产品 VEP 为32860万元。

##### （2）旅游康养类产品

牛角村欢乐田园度假区2023年建成，2024年接待游客70万人次，其中34%为宿迁本地游客，其余66%为外地游客。2024年全年预计纯收入为1990.09万元。根据调查分析，预计牛角村度假区2028年游客将增加到145.15万人次，旅游经济纯收入将达到8557.02万元。旅游收益使得地产价值增值，增值部分为旅游康养类产品 VEP，使用剩余法计算该 VEP 值。旅游康养类产品未来可预期市场整体收益  $P$  即为对应地产价格。使用马克思地价公式<sup>[12]</sup>计算  $P$ ，公式为：

$$P = a / r$$

式中  $P$  表示不动产价格， $a$  表示纯收益， $r$  表示受益还原利率。即  $a = 8557.02$  万元。取收益还原率  $r = 6.81\%$ ，得牛角村度假区地产价值  $P = 125653.74$ （万元）。经过调查，牛角村度假区项目建设总投资额为74292.28万元，即  $P' = 74292.28$  万元。

由上分析，得牛角村度假区地产文化服务类 VEP 值  $V = P - P' = 51361.46$ （万元）。

#### （三）VEP 核算结果

由上述分析，牛角村度假区 VEP 由物质供给类、调节服务类和文化服务类 VEP 组成，牛角村度假区项目未来5年特定地域单元生态产品价值 VEP 为84743.46万元（8.47亿元）。

表1 牛角村度假区 VEP 值

| VEP 类型      |             | 值（万元）    |
|-------------|-------------|----------|
| 物质供给类产品 VEP |             | 522.00   |
| 调节服务类产品 VEP |             | 0        |
| 文化服务类产品 VEP | 景观增值类产品 VEP | 32860.00 |
|             | 旅游康养 VEP    | 51361.46 |
| VEP 总和      |             | 84743.46 |

#### （四）核算说明

牛角村度假区 VEP 以2024年数据为基础，对未来情况进行合理分析计算得到。牛角村度假区后续还会继续投入资金开发相关景点，游客人数及来源也会有所变化。碳汇项目目前宿迁市没有变现，未来碳汇价值量可能有变现情况，未来动态情况和碳汇变化目前无法预测，此次 VEP 核算均没有考虑。牛角村度假区目前没有权益类收益，本次 VEP 核算亦不考虑核算期限内权益类收益情况。

注：牛角村度假区二期项目工程建设2024年申请宿迁市 VEP 生态项目贷款，银行根据宿迁市“VEP 生态项目贷款”规定，结



合笔者对牛角村度假区 VEP 值的核算结果，经综合考虑，给予牛角村度假区 1 亿元的贷款额度。

#### 四、结束语

为全面贯彻习近平生态文明思想和“绿水青山就是金山银山”生态理念，深入落实《中共中央关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》《江苏省建立健全生态产品价值实现机制实施方案》《宿迁市建立健全生态产品价值实现机制试点工作实施方案》等文件要求，推动宿迁市建立健全生态产品价值实现机制，有效解决生态产品“度量难、抵押难、交易难、变现难”问题，作为江苏省唯一全域生态产品价值实现机制试点市，宿迁市针对生态产品价值实现的不同路径，探索出“自然资源创新配置、碳汇项目开发交易、自然资源生态补偿、特色生态产品产业化、绿色金融支撑保障”多类别价值实现模式。

宿迁市推出的相关“VEP+”生态贷款有“满仓贷”“桃果贷”“林木贷”“花木贷”“生态项目贷”等，截止到2024年累计发放各类贷款3.83亿元，有力的支持了宿迁市生态产品价值实现工作。宿迁市泗洪县结合“绿票”制度<sup>[13]</sup>，将GEP/VEP结合，给予企业“绿色积分”制度，根据积分给予相应的政策优惠，支持企业发展和项目生态开发。VEP核算工作有力的支持了宿迁市探索特定地域单元生态产品价值实现路径工作，促进“两山”转化落地应用，形成具有宿迁特色的生态文明建设新模式。2023年，宿迁市泗洪县“创新开展‘绿票’交易，探索生态产品价值实现机制”做法，荣登江苏省“十佳生态环境治理改革创新案例”之首。2024年6月，宿迁市“泗洪县构建生态产品交易体系促进生态产品价值实现”获批江苏省第二批典型案例。2024年12月，宿迁市生态产品价值实现工作“江苏省生态大公园”成功入选自然资源部第五批生态产品价值实现典型案例，为生态产品价值实现工作做出了有益的探索。

#### 参考文献

[1] 徐健. 以特定地域单元为载体 加快探索生态产品价值项目化实现路径 [J]. 浙江经济, 2024 年第 9 期: 75-76.

[2] 生态产品总值核算规范（试行）（发改基础〔2022〕481 号）.

[3] 敖前卫. 桂惠贷”与“桂惠担”协同发展研究 [J]. 广西经济, 2023, 41 (2): 101-104.

[4] 雷俐, 刘洋, 陈容. 金融赋能乡村生态产品价值实现：国际模式与中国实践 [J]. 重庆工商大学学报 (社会科学版), 2023, 40(4): 35-46.

[5] 李永盛, 金桂英, 詹美婷. 绿色金融助力生态产品价值实现的理论逻辑与实践探索——以浙江“千村示范、万村整治”经验为例 [J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2024, 37 (6): 75-82, 140.

[6] 蔡颖, 降慧慧, 沈楠等. 建设人与自然和谐共生现代化路径探索——以宿迁市为例 [J]. 统计科学与实践, 2024 年第 1 期: 42-45.

[7] 秦红松. 农户贷款担保困境及破解机制研究——以重庆市为例 [C]. 重庆: 西南大学博士论文, 2014 年.

[8] 特定地域单元生态产品价值核算及应用指南（DB 11/T 2105-2023, 北京市地方标准）.

[9] 李锋. “一带一路”国家战略对云南经济发展的影响 [J]. 财经界, 2015(21): 23.

[10] 杨向飞. 农地承包经营权流转价格基本评估方法探析 [J]. 安徽农业科学, 50(24): 266-269.

[11] 李晨晨, 武健伟, 石田. 基于林地类型的基准地价评估方法与应用研究 [J]. 林草资源研究 2023(6): 61-66.

[12] 牛角村欢乐田园度假区介绍 [www.njcsort.com](http://www.njcsort.com)

[13] 佚名. “绿票”简介：泗洪县首例“绿票”交易 [J]. 腐植酸, 2022(5): 100.

# 统计分析视域下我国医疗卫生事业发展分析

杨金梅, 黄雅仕, 曾绮茵, 王枝宁\*

韩山师范学院 数学与统计学院, 广东 潮州 521041

DOI:10.61369/ASDS.12192

**摘 要 :** 基于全国31个地区 1990~2023年医疗卫生机构数量及相关数据, 从时间、空间两个维度对医疗卫生机构数量进行研究并分析其影响因素。剔除与医疗卫生机构数的 Pearson 相关系数值小于0.6的指标, 运用逐步回归方法构建多元线性回归模型, 并基于该模型进而构建 ARIMA 模型, 对 2024至2028 年全国及各地区医疗卫生机构数进行预测。基于预测结果, 给出了对医疗卫生政策制定、资源分配和体系建设的启示, 及可能面临的挑战和应对策略。

**关 键 词 :** Pearson相关系数; 逐步回归分析; LM-ARIMA 模型; 医疗卫生发展

## Analysis of The Development of China's Medical And Health from The Perspective of Statistical Analysis

Yang Jinmei, Huang Yashi, Zeng Qiyin, Wang Zhining\*

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

**Abstract:** Based on the data of the number of medical and health institutions and related data in 31 regions across the country from 1990 to 2023, we first conducts research on the number of medical and health institutions from both temporal and spatial dimensions and analyzes its influencing factors. Then the indicators with a Pearson correlation coefficient value less than 0.6 with the number of medical and health institutions are excluded. Finally, the stepwise regression method is used to construct a multiple linear regression model, and based on this model, an ARIMA model is further constructed to predict the number of medical and health institutions nationwide and in each region from 2024 to 2028. Based on the prediction results, insights into the formulation of medical and health policies, resource allocation, and system construction are provided, as well as the possible challenges and corresponding strategies.

**Keywords:** Pearson correlation coefficient; stepwise regression analysis; LM-ARIMA model; development of medical and health services

## 引言

医疗, 始终是社会各界广泛关注的热点话题。它深度融入人民生活的各个角落, 从日常的健康体检, 到患病时的诊断与治疗, 桩桩件件都紧密关乎百姓的生活质量与幸福指数, 同时也是衡量国家发展水平和综合实力的关键维度之一。近些年来, 随着我国经济水平稳步提升、综合国力日益增强, 医疗卫生事业取得了长足进步, 先进的医疗技术层出不穷, 使得更多患者得以重获健康。然而, 当前我国医疗资源紧张的状况依然不容小觑。城乡之间以及不同地区之间, 医疗发展呈现出极为显著的不均衡态势<sup>[1]</sup>。在发达地区的大城市里, 汇聚了大批顶尖的医学专家, 配备了众多前沿的医疗设备; 而偏远地区的医院, 却深陷设备陈旧、人才匮乏的困境。如此一来, 偏远地区群众看病时常常面临路途遥远、挂号困难等难题, “看病难”问题依旧十分突出。因此, 全面、深入地了解我国各地区医疗卫生发展水平, 是合理配置医疗资源、完善医疗制度、健全医疗体系的关键所在, 唯有如此, 才能让医疗服务更加公平、高效地惠及全体人民。

## 一、数据来源及数据预处理

通过国家统计局官网 (<https://www.stats.gov.cn/>) 收集了 1990~2023年全国31个地区共1088个医疗卫生机构个数信息和

1993~2023年影响全国医疗机构卫生发展的17个重要因素共558个信息 (鉴于2024年全国及各地区医疗卫生机构数量数据目前暂未公布, 本文仅采集截止到2023年的数据)。原始数据的示例见表1和表2。

基金项目: 2024年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目-校企联合实验室: 数据科学创新创业实验室 (粤教高函〔2024〕30号), 韩山师范学院教学质量与教学改革工程项目 (项目编号: E24112、E24025), 韩山师范学院科研项目 (项目编号: XYN202303), 广东省教育厅普通高校青年创新人才项目 (项目编号: 2023KQNCX041)。

作者简介: 杨金梅、黄雅仕、曾绮茵均系韩山师范学院统计学专业2022级在读本科生;

通讯作者: 王枝宁, 系韩山师范学院数学与统计学院讲师。

表1 1990 ~ 2023年各地区医疗卫生机构个数

| 年份   | 中国      | 北京市  | 天津市  | 河北省   | 山西省  | 内蒙古  | 辽宁省   | 吉林省  |
|------|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1990 | 1012690 | 4953 | 3392 | 10586 | 6108 | 5161 | 7863  | 4407 |
| 1991 | 1003769 | 4970 | 3397 | 10647 | 6121 | 5172 | 7736  | 4369 |
| 1992 | 1001310 | 4868 | 3287 | 10715 | 5935 | 5253 | 7921  | 4189 |
| 1993 | 1000531 | 4962 | 3182 | 10958 | 6085 | 4932 | 7132  | 4006 |
| 1994 | 1005271 | 4958 | 3182 | 10274 | 5996 | 4918 | 6849  | 3920 |
| 1995 | 994409  | 4955 | 3182 | 10266 | 5922 | 4915 | 6239  | 3891 |
| 1996 | 1078131 | 6470 | 4171 | 5402  | 3289 | 5037 | 6333  | 3720 |
| 1997 | 1042885 | 6577 | 3571 | 5392  | 3286 | 4863 | 6749  | 3663 |
| 1998 | 1042885 | 5722 | 3190 | 20071 | 8592 | 7517 | 11710 | 6321 |

表2 1990 ~ 2023年影响全国医疗卫生发展的重要因素

| 年份   | 卫生技术人员数 | 卫生人员数  | 医药制造业企业数 | 医院床位数  | 医院数  |
|------|---------|--------|----------|--------|------|
| 1993 | 167748  | 237879 | 95       | 114222 | 1344 |
| 1994 | 133049  | 168560 | 63       | 79606  | 1153 |
| 1995 | 250161  | 321587 | 209      | 192455 | 1400 |
| 1996 | 148569  | 192218 | 262      | 97405  | 846  |
| 1997 | 191248  | 247849 | 109      | 141016 | 1325 |
| 1998 | 143670  | 181016 | 202      | 91464  | 411  |
| 1999 | 255458  | 471662 | 491      | 227556 | 1721 |
| 2000 | 267128  | 352530 | 395      | 155477 | 1410 |
| 2001 | 227490  | 288595 | 262      | 153425 | 1467 |

对于31个地区医疗卫生机构个数信息，通过观察发现存在缺失值，运用 SPSSPRO采用 K近邻插补法对缺失数据进行填充，其计算公式见公式(4)。根据填充处理后的数据进行标准化处理，其计算公式见公式(5)，运用 Python从时间上分析2014–2023年全国医疗卫生机构数和从空间上分析各地区医疗卫生机构年均增长率，其计算公式见公式(6)。对于影响全国医疗机构卫生发展的17个重要因素信息，通过观察发现65岁及以上人口数和镇数出现缺失值，同理采取 K近邻插补法对缺失数据进行填充，因此可通过预测这些相关影响因素未来五年的数据，进而预测全国未来五年（即2024–2028年）的医疗卫生机构个数。

## 二、研究方法

### （一）预备知识

#### 1. 线性回归模型

线性回归是一种用于建立自变量和因变量之间线性关系的统计模型<sup>[2]</sup>。其基本形式为：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

其中， $y$ 是因变量， $x_i$ 是自变量， $\beta_i$ 是回归系数， $\varepsilon$ 是误差项。它通过最小化残差平方和（即观察值与预测值之间差值的平方和）来确定回归系数，从而找到最佳的线性拟合关系。

#### 2. ARIMA 模型

ARIMA（p,d,q）模型<sup>[3]</sup>由自回归（AR）、差分（I）和移动平均（MA）三部分组成。

(1)自回归部分（AR）：p自回归阶数，它考虑时间序列的过去值对当前值的影响，其形式为：

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

(2)差分部分（I）：由于AR和MA模型通常要求时间序列是平稳的，而实际的时间序列往往不平稳，差分操作通过计算相邻数据点之间的差异，消除序列中的趋势或周期性成分，使其平稳，d为差分阶数。

(3)移动平均部分（MA）：q表示移动平均阶数，它考虑误差项的过去值对当前值的影响，其形式为：

$$y_t = \mu + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3)$$

### （二）具体步骤

本文通过 SPSSPRO和 Python软件，基于全国31个地区1990至2023年医疗机构卫生数量及其相关影响因素，实现医疗卫生发展现状的分析及预测，具体步骤如下。

Step1：通过国家统计局平台收集数据；

Step2：处理收集的数据；通过 SPSSPRO软件采用 K近邻算法<sup>[4]</sup>填充缺失值，该公式用于计算两个样本点之间的欧氏距离。在 K近邻算法中，通过计算未知样本与已知样本之间的距离，找出距离最近的 K个邻居样本，根据这些邻居样本的特征来预测未知样本的属性。计算公式如下：

$$d_{1,2} = \text{dist}(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2} \quad (4)$$

并进行数据标准化处理，运用 Z-score标准化方法，其中是  $x$  原始数据点，是数据的均值，是数据的标准差。其目的是将数据转换为均值是0，标准差是1的标准正态分布，消除不同特征之间量纲的影响。计算公式如下：

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Step3: 通过 KNeighborsClassifier 函数绘制全国医疗机构卫生生数柱形图, 分析变化趋势;

Step4: 计算各地区医疗卫生机构数年增长率<sup>[6]</sup>, 通过 Map 函数绘制地图热力图, 分析区域差异。该公式原理是假设指标在统计期内以相同增长率逐年增长, 将总体增长转化为平均年度增长水平, 其各部分分别对应增长后的数量、起始数量和时间跨度等。其计算公式如下:

$$CAGR = \left[ \left( \frac{\text{末年医疗卫生机构数}}{\text{初年医疗卫生机构数}} \right)^{\frac{1}{\text{年份差}}} - 1 \right] \times 100\% \quad (6)$$

Step5: 通过 Pearson 相关系数分析影响医疗机构卫生发展的重要因素<sup>[6]</sup>, 该公式用于衡量两个变量之间的线性相关程度, 其取值范围范围是 [-1,1]。当  $r = 1$  时, 表示两个变量完全正相关; 当  $r = -1$  时, 表示两个变量完全负相关; 当  $r = 0$  时, 表示两个变量之间不存在线性相关关系。值越接近 1 或 -1, 线性相关越强; 越接近 0, 线性相关性越弱。其计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

其中,  $x_i$  表示影响因素的值,  $y_i$  表示医疗卫生资源的值。

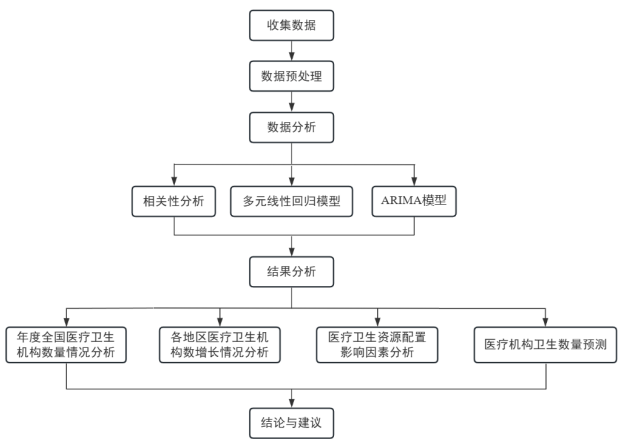
Step6: 通过 sm.OLS 函数拟合多元线性回归模型, 并通过 VIF 检验剔除值大于 10 的变量后重新拟合模型;

Step7: 对重新拟合的模型去除回归系数不显著的变量, 保留显著变量;

Step8: 通过 ARIMA 函数分别对显著变量预测其 2024 年至 2028 年的数值;

Step9: 将预测结果带入回归模型中, 求得目标变量的预测结果。

本文的整体算法框架如图 1 所示。



> 图1 整体算法框架

### 三、结果与分析

#### (一) 年度全国医疗卫生机构数量情况分析

将 2014 年至 2023 年的全国医疗卫生机构数量进行统计, 如图

2 所示。



> 图2 2014 年至 2023 年全国医疗卫生机构数柱状图 (单位: 个)

由图 2 可以看出, 从 2014 年到 2023 年, 全国医疗卫生机构的数量总体上呈现增长趋势, 展现出我国医疗卫生事业持续发展、医疗资源不断扩充的良好局面。2016 年机构数量出现短暂小幅度下降, 这可能是局部资源整合等原因导致。2019 年机构数量实现重要跨越, 突破原有规模。此后数量稳定增长, 2023 年达到新高, 这主要得益于国家政策的有力支持、社会对医疗卫生服务需求的增长以及医疗卫生体系的持续完善等。整体上, 这些变化反映出我国在医疗卫生领域持续加大投入和优化资源配置, 以更好地满足民众健康需求。

#### (二) 各地区医疗卫生机构数增长情况分析

各地区 1990~2023 年医疗卫生机构数的年均增长率数据, 见表 3。

表3 各地区 1990 ~ 2023 年医疗卫生机构数量年均增长率 (单位: %)

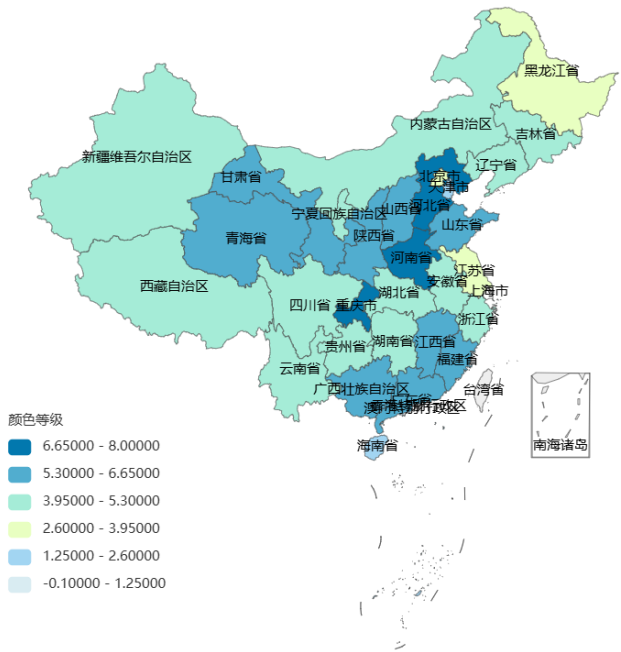
| 地区 | 年均增长率  | 地区  | 年均增长率  | 地区  | 年均增长率  |
|----|--------|-----|--------|-----|--------|
| 广东 | 6.0728 | 安徽  | 4.5007 | 贵州  | 4.6072 |
| 江苏 | 3.2428 | 湖北  | 4.0233 | 天津  | 1.6496 |
| 浙江 | 4.1088 | 河北  | 6.8006 | 海南  | 1.7779 |
| 上海 | -0.931 | 湖南  | 5.2309 | 内蒙古 | 4.9831 |
| 山东 | 6.4924 | 陕西  | 5.3031 | 甘肃  | 5.6503 |
| 重庆 | 6.6733 | 广西  | 5.5942 | 宁夏  | 4.4307 |
| 北京 | 2.8495 | 江西  | 6.1303 | 青海  | 5.4186 |
| 福建 | 5.6542 | 吉林  | 5.1806 | 新疆  | 4.4174 |
| 四川 | 4.9907 | 云南  | 4.528  | 西藏  | 5.1533 |
| 辽宁 | 4.5962 | 黑龙江 | 2.6822 |     |        |
| 河南 | 7.1616 | 山西  | 5.6956 |     |        |

由表 3 可以看出, 全国各地区的医疗卫生机构数量在增长方面呈现出显著的差异。尽管大部分地区的医疗卫生机构数量都呈现增长趋势, 但不同地区的增长速度存在明显差距。其中, 河南表现尤为突出, 年均增长率位居全国首位, 显示出该地区在医疗卫生基础设施建设方面的强劲发展势头。相比之下, 上海市的年均增长率不仅最低, 而且为负值, 可能与上海市的医疗卫生资源相对饱和、机构优化调整等因素有关。

图 3 直观地展示了不同省份医疗卫生机构数的年均增长率情况。东部沿海地区的增长速度普遍较快, 这与该地区经济发展水平较高、人口密集以及政府对医疗卫生事业的大力支持密切相关。其中河北、河南和重庆的增长速度尤为突出, 河南更是遥遥领先, 彰显当地医疗卫生快速发展和政策成效。然而, 海南和上



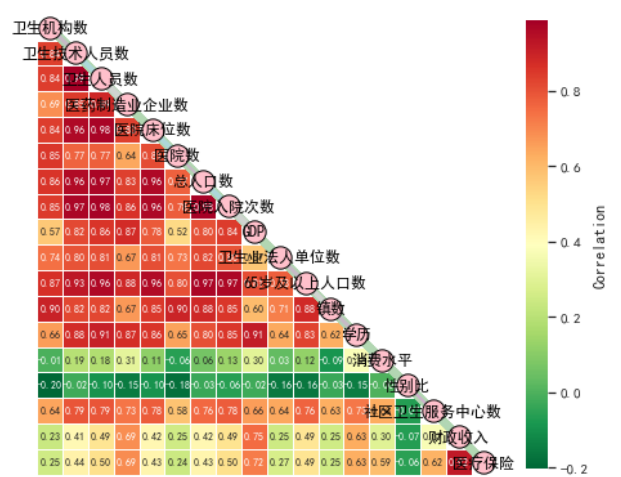
海的增长速度明显较慢，上海更是处于全国范围内最低水平。这可能与上海的医疗卫生资源已经相对完善、机构数量趋于稳定，也可能受到城市发展空间有限、政策调整等因素的影响。总体而言，图3的数据印证了表3中各地区在医疗卫生机构增长方面存在显著差异，且东部沿海地区的增长势头普遍较强，而部分地区的增长速度则相对缓慢的结论。



> 图3 1990年至2023年医疗卫生机构数年均增长率中国热力图

（三）医疗卫生资源配置影响因素分析

从医疗卫生事业中的人力资源、物力资源、财力资源出发，结合社会、人口、财政等宏观指标，共收集17个可能影响医疗卫生机构数量的指标<sup>[7]</sup>。根据 Pearson 相关系数来绘制热力图，如图4所示。



> 图4 Pearson相关系数热力图

根据图4，筛选出与医疗卫生机构数的相关系数值大于0.6的12个指标，分别为卫生技术人员数、卫生人员数、医疗制造业企业数、医院床位数、医院数、总人口数、医院入院次数、卫生业法人单位数、65岁及以上人口、镇数、学历、社区卫生服务中心数。

（四）医疗卫生机构数量预测

根据上文筛选出来的影响医疗卫生机构数量的显著指标，建立医疗卫生机构数量与其影响指标之间的多元线性回归模型，并剔除 VIF 值大于10及回归系数不显著的指标。结果如表4所示。

表4 多元线性回归模型分析结果

|          | coef      | P> t  |
|----------|-----------|-------|
| const.   | -3314.599 | 0.000 |
| 卫生人员数    | 0.9178    | 0.000 |
| 65岁及以上人口 | -6.626    | 0.002 |
| 镇数       | 42.564    | 0.014 |
| 拟合优度     | 0.980     |       |
| 调整后拟合优度  | 0.978     |       |

数据标准化后得到的最终模型如式（8）：

$$y = -3314.599 + 09178x_1 - 6.626x_2 + 42.564x_3 \quad (8)$$

其中，是医疗卫生机构数量，是卫生人员数，是65岁及以上人口，是镇数，拟合优度为0.978，说明模型拟合效果比较好。

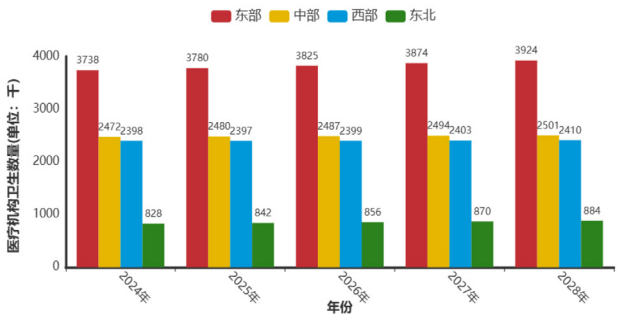
通过 ARIMA 模型分别预测全国和31个地区2024年至2028年的卫生技术人员数量以及镇数，并由多元线性回归模型可以得到2024年至2028年的医疗卫生机构数量的预测结果<sup>[8]</sup>，见表5。

表5 2024年至2028年医疗卫生机构数量的预测结果（单位：个）

| 地区  | 2024年  | 2025年  | 2026年  | 2027年  | 2028年   |
|-----|--------|--------|--------|--------|---------|
| 中国  | 826340 | 875975 | 927650 | 981353 | 1037077 |
| 北京  | 151123 | 151121 | 151115 | 151111 | 151106  |
| 天津  | 104612 | 107901 | 111191 | 114480 | 117770  |
| 河北  | 527810 | 544439 | 561050 | 577661 | 594258  |
| 山西  | 228664 | 228643 | 228595 | 228564 | 228523  |
| 内蒙古 | 159294 | 159328 | 159422 | 159470 | 159494  |
| 辽宁  | 387199 | 387214 | 387227 | 387238 | 387247  |
| 吉林  | 190400 | 196504 | 202608 | 208713 | 214817  |
| 黑龙江 | 250649 | 258535 | 266408 | 274287 | 282163  |
| 上海  | 206597 | 206599 | 206594 | 206593 | 206589  |
| 江苏  | 697301 | 697273 | 697215 | 697208 | 697184  |
| 浙江  | 450587 | 450694 | 450801 | 450909 | 451016  |
| 安徽  | 425487 | 425631 | 425767 | 425863 | 425909  |
| 福建  | 210398 | 195529 | 183703 | 174298 | 166819  |
| 江西  | 265219 | 272634 | 280052 | 287469 | 294887  |
| 山东  | 783984 | 808061 | 832138 | 856215 | 880292  |
| 河南  | 643790 | 643679 | 643567 | 643456 | 643345  |
| 湖北  | 435131 | 435132 | 435134 | 435135 | 435137  |
| 湖南  | 473831 | 473795 | 473758 | 473723 | 473686  |
| 广东  | 559688 | 575805 | 591919 | 608031 | 624142  |
| 广西  | 280850 | 263193 | 248815 | 237109 | 227577  |
| 海南  | 45803  | 42259  | 39395  | 37080  | 35210   |
| 重庆  | 265566 | 273328 | 281093 | 288855 | 296618  |
| 四川  | 675845 | 675849 | 675852 | 675855 | 675858  |
| 贵州  | 213198 | 213163 | 213129 | 213094 | 213060  |
| 云南  | 242529 | 242462 | 242396 | 242329 | 242263  |
| 西藏  | 5035   | 4532   | 4158   | 3878   | 3671    |
| 陕西  | 260061 | 260069 | 260075 | 260080 | 260084  |
| 甘肃  | 145006 | 149381 | 153684 | 157900 | 162023  |
| 青海  | 23963  | 24744  | 25526  | 26307  | 27089   |
| 宁夏  | 30865  | 32039  | 33215  | 34395  | 35576   |
| 新疆  | 95731  | 98996  | 101359 | 104092 | 106673  |

从表5可以看出,2024年全国医疗机构数量为826,340家,预计到2028年将增长至1,037,077家,年均增长率为5.7%,整体增长趋势平稳,表明中国医疗机构卫生资源的供给能力正在稳步提升。然而,不同地区的增长情况存在显著差异。其中,宁夏回族自治区年均增长率3.6%,增长最快,主要得益于政府大力投入、基建与人才推进及经济支撑;天津市年均增长率3.1%,增速居第二,凭借雄厚经济实力,加大医疗投入,完善设施,引入先进技术与经验。相比之下,福建省年均增长率-5.6%,呈负增长,因产业结构调整致医疗投入减少,人口流动改变需求结构,小型机构整合或关停。此外,东部人均医疗机构卫生资源数量显著高于西部地区。以2024年为例,北京市人均医疗机构卫生资源数量处于较高水平,而西藏自治区仅为较低水平,进一步揭示了资源分配的区域不平衡问题。

图5展示了中国不同地区(东部、中部、西部、东北)在2024年至2028年期间的医疗卫生机构数量预测值。各区域呈现不同特点,其中东部地区机构数量最多,且逐年稳步增长,显示其强大的经济实力和对医疗卫生的高度重视;中部和西部地区数量相对东部较少,但也都有缓慢增长趋势,反映出在政策支持下,医疗卫生事业在不断发展;东北地区机构数量最少,虽有增长,但幅度较小,可能受经济转型等因素制约。整体上,各区域医疗卫生机构数量都在上升,体现全国医疗卫生资源在持续扩充。



> 图5 2024年至2028年医疗卫生机构数预测值（单位：个）

## 四、结论与建议

以全国31个地区1990~2023年医疗卫生机构数及其可能的影响因素为研究对象,使用Python软件和SPSSPRO,利用Pearson相关系数、多元线性回归模型、ARIMA等模型,从全国及各地区医疗卫生机构数量变化趋势、区域差异、影响因素等方面进行分析,预测2024年至2028年全国及各地区医疗卫生机构数量。研究结果表明,我国医疗卫生机构数量整体呈稳步增长趋势,但区域差异显著,东部地区增长较快,西部地区增长较慢。

根据分析结果,结合医疗卫生机构发展特点,提出以下建议:(1)均衡区域资源:政府加大对西部政策扶持与资金投入,通过财政转移、人才引进、基建加强等,推动优质医疗资源向中西部倾斜,缩小区域差距。(2)强化人才培养:加大中西部医疗卫生人才培养,以定向培养、人才引进、提高待遇等吸引人才,提升当地医疗水平<sup>[9]</sup>。(3)促进城乡均衡:加强农村医疗卫生体

系建设,建乡镇卫生院、村卫生室,推动城乡医疗资源均衡,保障农村居民医疗服务。(4)推动体系改革:政府持续投入,优化资源配置,制定政策鼓励社会资本进入,促进公私医院协同,提升整体服务水平。(5)应对健康新需求:针对老龄化和慢性病,提前布局,加大老年医疗和慢性病管理投入,发展医养结合。

同时,在发展过程中可能面临以下挑战及应对策略:(1)区域发展不均:加大对西部和东北财政支持,鼓励东部资源向中西部流动,借助远程医疗等提升服务。(2)人才短缺:医学院校扩大招生,提高待遇、改善环境吸引人才到中西部和基层。(3)费用上涨:推动医疗费用控制机制,加强价格监管,推广医保支付改革降低费用<sup>[10]</sup>。(4)体制改革难题:优化资源配置,加强医疗质量管理,促进机构协同,提升服务质量和效率。

## 参考文献

- [1]欧阳红兵,张支南.我国省域医疗卫生资源配置的均等化水平分析[J].中国卫生经济,2016,35(11):36-38.
- [2]陈素梅,刘梦,张雨夏,等.运用线性回归模型预测不同月龄肉用褐牛体重[J].中国牛业科学,2024,50(06):14-27.
- [3]吴喜之,刘苗.应用时间序列分析:R语言陪同(第二版)[M].机械工业出版社,2018.1(2023.6重印)
- [4]吴雅琴,轩兴栋,张玉婷,等.基于KNN算法的室内定位系统的设计与实现[J].物联网技术,2022,12(12):35-37+42.
- [5]邓丽珠,钟健文.某眼科医院2018年~2020年降眼压药物的使用分析[J].中国处方药,2022,20(03):60-62.
- [6]王金炜,单雨涵,单保海.基于皮尔逊相关系数的短道速滑竞赛数据分析[J].冰雪运动,2023,45(04):9-12+17.
- [7]李彤,宋跃晋,周仪,等.基于多元线性回归模型的广东省卫生总费用的影响因素分析[J].医学与社会,2020,33(04):66-69+83.
- [8]《我国橡胶产业发展技术经济评价》课题组,雷仲敏,邵晓燕.基于回归分析的国内天然橡胶需求预测分析[J].青岛科技大学学报(社会科学版),2012,28(03):44-49.
- [9]陆银峰.医疗人才队伍建设与可持续发展路径[J].四川劳动保障,2025,(02):113-114.
- [10]张世冉,张雯雯,程方安,等.基于CiteSpace的国内医疗卫生费用研究现状及热点分析[J].大众科技,2023,25(04):155-159.