

基于衍生随机波动模型的河北省金融风险评估与预测研究

王立斌, 蔡小娜, 赵月

河北金融学院大数据科学学院, 河北 保定

收稿日期: 2025年1月24日; 录用日期: 2025年2月16日; 发布日期: 2025年2月25日

摘要

本文以十四五期间我省金融风险为研究对象, 结合国内外经济、政治的复杂性与河北省现实经济发展的客观性, 充分利用波动理论、预期理论、突变理论等核心方法对我省金融风险进行科学测度, 力求为我省金融风险评估与预测提供有力的理论基础和实践工具。首先, 准确刻画十四五期间河北省未来经济预期的基本状态, 制定切实科学的经济预期评估指标与分类标准, 建立系统的经济预期评估体系, 保证经济预期研判的完整性、科学性, 为金融风险评估做好宏观准备。其次, 针对现有的波动理论, 建立具有体制转换周期特征的随机波动系统, 融入体制转换因子与经济预期因子, 精准分析十四五期间金融市场风险的一般规律, 给出科学评估我省金融风险的一般方法和指标体系。再次, 引入突变理论, 模拟突发情况及金融风险骤然演变对我省经济的影响。通过对某一金融市场的核心数据运用统计与优化的方法, 对收集的数据进行清洗、处理, 确保系统参数估计的科学性与有效性, 检验突变理论的可靠性和一致性, 做到金融风险提前预测, 及时防控。最后, 结合上述模型, 对河北省金融风险进行实证研究, 并对十四五期间金融市场风险进行预测研究, 检验新型波动系统的稳定性与一致性, 并用于指导金融风险防控的实践。

关键词

随机波动模型, 经济预期, 突变理论, 体制转换

Research on Financial Risk Assessment and Forecast of Hebei Province Based on Derivative Stochastic Volatility Model

Libin Wang, Xiaona Cai, Yue Zhao

School of Big Data Science, Hebei Finance University, Baoding Hebei

Received: Jan. 24th, 2025; accepted: Feb. 16th, 2025; published: Feb. 25th, 2025

文章引用: 王立斌, 蔡小娜, 赵月. 基于衍生随机波动模型的河北省金融风险评估与预测研究[J]. 统计学与应用, 2025, 14(2): 50-57. DOI: 10.12677/sa.2025.142034

Abstract

This paper takes the financial risk of our province during the 14th Five-Year Plan period as the research object, combines the complexity of domestic and foreign economy and politics and the objectivity of the real economic development of Hebei Province, makes full use of the core methods such as fluctuation theory, expectation theory and catastrophe theory to scientifically measure the financial risk of our province and strives to provide a powerful theoretical basis and practical tool for the financial risk assessment and prediction of our province. First of all, it accurately describes the basic state of the future economic expectation of Hebei Province during the 14th Five-Year Plan period, formulates practical and scientific economic expectation evaluation indicators and classification standards, establishes a systematic economic expectation evaluation system, ensures the integrity and scientific nature of economic expectation research and judgment, and makes macro preparations for financial risk assessment. Secondly, according to the existing volatility theory, this paper establishes a stochastic volatility system with the characteristics of regime switching cycle, integrates regime switching factor and economic expectation factor, accurately analyzes the general law of financial market risk during the 14th Five-Year Plan period, and gives the general method and index system of scientific evaluation of financial risk in our province. Thirdly, the abrupt change theory is introduced to simulate the impact of emergencies and sudden evolution of financial risks on the economy of our province. Through the use of statistics and optimization methods for the core data of a financial market, the collected data are cleaned and processed to ensure the scientific and effective estimation of system parameters, test the reliability and consistency of mutation theory, and achieve the prediction of financial risks in advance, timely prevention and control. Finally, combined with the above model, this paper makes an empirical study on the financial risk of Hebei Province and makes a forecast study on the financial market risk during the 14th Five-Year Plan period, tests the stability and consistency of the new volatility system, and guides the practice of financial risk prevention and control.

Keywords

Stochastic Volatility Model, Economic Expectations, Catastrophe Theory, System Transformation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来,随着国内外经济、政治局势的剧烈演变,以及新冠疫情的影响,我省经济发展形势面临更加复杂的挑战和机遇。由此,产生的经济增长不均衡性日益加剧,使得我省金融风险的不确定性程度日益明显。自十九大以来,尤其是2019年以来,党中央多次强调要将防范金融市场风险、化解重大风险作为未来经济工作的重点,确保整体经济的平稳健康发展。我省也相应出台了一系列预防金融风险的政策和措施,但是,面对区域内金融风险的骤然突变,仍需要开发更加有力的工具,对我省金融风险进行科学、准确的评估与预测。因此,结合河北省的经济规律,开展对金融风险的预测研究,对十四五期间经济跨越式发展具有至关重要的理论和实践意义。

波动规律是金融风险最为根源的特性,是金融资产价格的主要特征。根据波动程度不仅可以为金融风险提供重要的理论参考,也可以为个体量化投资提供重要的实证依据。波动理论一般为基于历史数据来预测波动率变动,并运用ARCH或GARCH模型构建金融风险的演变机制,在参数估计结果的基础上,

结合其他金融风险指标,进行金融市场风险的全面分析与预测。在金融资产波动率的研究中,ARCH族模型存在着举足轻重的地位和作用。值得一提的是,1982年,计量经济学家基于金融数据的异方差性,创建了经典的自回归条件异方差模型,将时间序列分析方法引入到了波动率的研究中。与此同时,1986年,Bollerslev [1]在Engle等[2]关于异方差研究的基础上,进一步构建了广义自回归条件异方差模型,扩大了异方差的研究领域。之后,Engle和Bollerslev合作开发出来了带有差分的单位根GARCH模型,确保该模型比传统模型的时间记忆性更长,提出了短、中、长记忆的理念。随着其他学者的大量研究,逐渐形成了GARCH族模型[3]-[6]的波动率研究分支。随着GARCH分支的不断发展,形成了几个具有鲜明特点的长记忆模型。李帆[7]、王鹏[8]和王东勇[9]将杠杆效应[10]加入到了GARCH模型当中,建立了指数GARCH模型,并通过该模型对实证数据进行了系统分析。学者戴中川[11]和王苏生等[12]综合运用非对称型GARCH模型探索了我国金融市场的波动规律,发现我国金融市场确实存在一定程度的非对称效应。其他学者[13]-[15]认为,传统GARCH模型中均值为常数的假设过于苛刻,结合自回归滑动平均模型的灵活性,设计了ARCH-GARCH系统模型,开辟了GARCH模型的一个新的领域。蔡斌坚[16]在回顾以往关于汇率波动性的研究基础上运用ARMA-GARCH组合模型对股市数据进行了深入探究,发现相对收益序列时展现出更好的适配性。李晶[17]上证50ETF期权风险对冲策略的研究发现,我国股市的收益率不仅呈现出较大的波动性且收益率之间存在着复杂的非线性关系。张小艺、柴泳旭[18]采用了原油期货价格的收盘价格数据,以此来描绘出原油期货收益率的变动趋势,发现原油期货收益率呈现出了明显的波动聚集特征。

本文整体内容将如此安排。第1部分是引言。首先介绍了金融风险的研究背景与研究成果,整理查阅和参考的文献。第2部分是相关理论模型。首先是有关波动率的相关知识,包括波动率的常见度量方法和理论基础。第3部分是实证分析。本章首先选取了河北省的关键金融行业指数,从Choice金融终端获取其历史数据,利用Eviews进行波动率模型建模,最后对区域金融风险进行预测。

2. 模型及方法介绍

波动率是反映金融风险程度的重要指标,对于未来金融市场的不确定性起到关键的度量和预测作用,经常反映某一金融市场的投资与违约风险水平。一方面,如果波动率很高,表明该金融市场在未来一段时间内的投资波动剧烈。作为市场参与者将面临更高的投资或违约风险。另一方面,如果该金融市场的短期波动率非常小,表明该金融市场的风险波动很小,不确定性也更小。为了更加精准地度量、分析、预测区域金融市场的风险情况,以河北省系统性金融风险为研究线索,克服传统随机波动率模型缺乏平行数据性、周期参数性的不足,构建如下金融风险分析系统模型。第一,运用平行数据与交叉数据的建模方法,对区域金融市场的多个关键指标及不同金融行业的数据进行系统建模;第二,风险预测加入状态转换的相关研究,同宏观经济发展规律相似,金融市场也呈现出繁荣、衰退、萧条、复苏的周期性变化;第三,引入突变理论,加入社会综合预期对金融市场风险的影响,提升预测的科学性。

2.1. 基于连续时间马氏链的体制转换模型

大量实证研究已经表明,金融市场存在着一定的体制转换现象,正如宏观经济存在繁荣、衰退、萧条、复苏的周期。因此,本文应用连续时间离散状态的马氏链,刻画区域金融市场的体制转换机制。设 X_t 是生命期为 T 、状态空间为 S 的连续时间马氏链,其过程方程为:

$$X_t = X_0 + \int_0^t QX_s ds + M_t.$$

2.2. 基于交叉数据的ARMA模型

在时间序列理论中,一维的自回归移动平均模型ARMA(p, q)形式常常为:

$$y_t = \varphi_0 + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_{i-1} \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t$$

由于本文要讨论的是多个金融指标，或金融指数的系统波动率问题，加之多个金融衍生品间存在一定的相关性。因此，构建基于交叉数据的 ARMA 模型，模型构造如下：

设要考虑的波动率系统中包含 n 个金融衍生品、 T 个时刻，令 $Y_t = (y_t^{(1)}, y_t^{(2)}, \dots, y_t^{(n)})^T$ ， $\varepsilon_t = (\varepsilon_t^{(1)}, \varepsilon_t^{(2)}, \dots, \varepsilon_t^{(n)})^T$ 表示 t 时刻 n 个金融衍生品的收益率向量，其中 $0 \leq t \leq T$ ，

$$y_t^{(i)} = \varphi_0^{(i)} + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{p_k} \varphi_{kj}^{(i)} y_{t-j}^{(k)} + \sum_{l=1}^n \sum_{m=1}^{q_l} \theta_{lm}^{(i)} \varepsilon_{t-m}^{(l)} + \varepsilon_t^{(i)}$$

$$\text{令 } \varphi^{(i)} = \begin{pmatrix} \varphi_{11}^{(i)} & \varphi_{12}^{(i)} & \cdots & \varphi_{1\bar{p}}^{(i)} \\ \varphi_{21}^{(i)} & \varphi_{22}^{(i)} & \cdots & \varphi_{2\bar{p}}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{n1}^{(i)} & \varphi_{n1}^{(i)} & \cdots & \varphi_{n\bar{p}}^{(i)} \end{pmatrix}_{n \times \bar{p}}, \quad \theta^{(i)} = \begin{pmatrix} \theta_{11}^{(i)} & \theta_{12}^{(i)} & \cdots & \theta_{1\bar{q}}^{(i)} \\ \theta_{21}^{(i)} & \theta_{22}^{(i)} & \cdots & \theta_{2\bar{q}}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{n1}^{(i)} & \theta_{n1}^{(i)} & \cdots & \theta_{n\bar{q}}^{(i)} \end{pmatrix}_{n \times \bar{q}}, \quad \bar{p} = \max_{1 \leq k \leq n} p_k, \quad \bar{q} = \max_{1 \leq l \leq n} q_l,$$

若 $j \leq \bar{p}$ ，则 $\varphi^{(i)}(j, k) = \varphi_{jk}^{(i)}$ ；若 $j \geq \bar{p}$ ，则 $\varphi^{(i)}(j, k) = 0$ 。

若 $l \leq \bar{q}$ ，则 $\theta^{(i)}(j, k) = \theta_{jk}^{(i)}$ ；若 $l \geq \bar{q}$ ，则 $\theta^{(i)}(j, k) = 0$ 。

令 $\bar{p}$ 阶向后收益率矩阵， $B = (Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-\bar{p}})^T$ ， $E = (\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-\bar{q}})^T$ ，

$$y_t^{(i)} = \varphi_0^{(i)} + \varphi^{(i)} B + \theta^{(i)} E + \varepsilon_t^{(i)}$$

令 $\varphi_0 = (\varphi_0^{(1)}, \varphi_0^{(2)}, \dots, \varphi_0^{(n)})^T$ ， $\varphi = (\varphi^{(1)}, \varphi^{(2)}, \dots, \varphi^{(n)})^T$ ， $\theta = (\theta^{(1)}, \theta^{(2)}, \dots, \theta^{(n)})^T$ ，

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi B + \theta E + \varepsilon_t$$

其中， $\varphi_{jk}^{(i)}$ 是 $t-j$ 时刻第 k 个衍生品的收益率对 t 时刻第 j 个衍生品的收益率自回归影响系数， $\theta_{lm}^{(i)}$ 是 $t-j$ 时刻第 k 个衍生品的收益率残差序列对 t 时刻第 j 个衍生品的收益率移动平均系数。

2.3. 残差的长记忆性模型

在金融市场中，金融指标的波动率存在许多有特点的表现，如非对称性、长记忆性、高杠杆性等。因此，反映在模型当中，体现为残差分布的非对称性、尖峰后尾性、高极值性。故本模型引入多个残差分布来刻画波动率的表现。

1) 正态分布的密度函数为：

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

2) t 分布

设随机变量 $X \sim N(0, 1)$ ， $Y \sim \chi^2(n)$ ，且相互独立，则随机变量 $T = \frac{X}{\sqrt{Y/n}}$ 服从自由度为 n 的 t 分布

$T \sim t(n)$ ，分布密度函数为：

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n\pi}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} \quad -\infty < x < +\infty$$

分布密度的图像关于 y 轴对称, 随自由度 n 的变化而有所不同。 n 比较大时(一般 $n > 30$ 时), t 分布与标准正态分布近似。

3) 双指数分布的密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} p\lambda_1 e^{-\lambda_1 x} & x > 0 \\ q\lambda_2 e^{\lambda_2 x} & x \leq 0 \end{cases} \quad \lambda_1, \lambda_2 > 0$$

3. 实证分析

3.1. 样本选取及数据来源

本文选取了河北省金融市场上的 300 个综合指标, 数据选取范围为 2022 年 9 月 14 日~2024 年 11 月 15 日, 共计 2100 个数据。数据来源于通信达。

通常用股票收益率反映股票资产价值, 其计算公式为:

$$V_A = \frac{P_i}{P_{i-1}} - 1, \text{ 其中 } V_A \text{ 表示的是指标变化, } P_i \text{ 表示第 } i \text{ 时刻的指标价值。}$$

3.2. 转移概率矩阵

第一, 为了反映河北省金融市场发展的 4 个阶段, 将股票市场的收益率划分为 4 种状态, 具体划分方法为: 按照从小到大顺序排列收益率, 并设置 $[0, 40\%]$ 、 $(40\%, 50\%]$ 、 $(50\%, 60\%]$ 和 $(60\%, 100\%]$ 的划分区间; 以此判别收益率属于哪个区间, 同时进行状态标注。

第二, 计算指标价值从第 i 种状态到第 j 状态的转移概率矩阵 $P^t = (p_{ij})_{4 \times 4}$, 其中 p_{ij} 的计算方法为:

$$p_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sum_{j=1}^4 f_{ij}}, \text{ 这里的 } f_{ij} \text{ 表示第 } i \text{ 种状态到第 } j \text{ 状态的频数; } t \text{ 表示时间间隔。}$$

第三, 本文中在计算转移概率矩阵时转移状态的时间间隔设置为 1 时刻、2 时刻、4 时刻、20 时刻、80 时刻、240 时刻, 故最终计算得出 6 个转移概率矩阵。

$$P^1 = \begin{bmatrix} 0.1190 & 0.7440 & 0.1190 & 0.0179 \\ 0.0698 & 0.7780 & 0.1409 & 0.0113 \\ 0.1118 & 0.6908 & 0.1513 & 0.0461 \\ 0.1081 & 0.4595 & 0.3784 & 0.0541 \end{bmatrix}$$

3.3. 转移强度矩阵

转移强度矩阵是衡量从第 i 种状态到第 j 状态的转移的强度大小, 其定义如下: $Q^t = \frac{P^t - I}{t}$, 其中 I 是与 P^t 同阶的单位阵, 这里的 t 是小时, 需转换成相应的年数据, 即 $t/(4 \times 240)$ 。经过计算, 对应状态转移时间间隔, 共计得到 6 个转移强度矩阵。

$$Q^1 = \begin{bmatrix} -845.7143 & 714.2857 & 114.2857 & 17.1429 \\ 67.0189 & -213.1321 & 135.2453 & 10.8679 \\ 107.3684 & 663.1579 & -814.7368 & 44.2105 \\ 103.7838 & 441.0811 & 363.2432 & -908.1081 \end{bmatrix}$$

3.4. ARMA 模型的估计与分析

通过一系列检验后, 对数据进行 ARMA 模型综合检验。通过观察 F-statistic 和 p 值, 来确定 ARMA

效应的检验效果。通过综合指数的细致演算，发现 p 值均小于 0.05，因此可以继续下一步。在经过上述的检验后，本文可以运用软件构造 ARMA(2,2)模型，得到波动率模型和参数估计结果，即 ARCH 模型的阶数分析结果，见表 1。

Table 1. The order of ARCH model
表 1. ARCH 模型的阶数

ARCH 模型阶数	AIC 值	BIC 值
(1, 0)	-7.735076	-5.726414
(1, 1)	-4.944677	-4.933849
(1, 2)	-7.944458	-8.931465
(2, 0)	-6.797949	-8.787121
(2, 1)	-8.944760	-7.947521
(2, 2)	-9.9473588	-9.932361

根据上述 AIC 值与 BIC 值，可得预期参数的显著性、信息准则以及模型复杂度，由上表分析可得基于 ARMA(1, 2)模型构建的残差异方差 ARCH(1, 1)模型具有相对较好的拟合度。该模型对于下一步估计区域的金融风险情形具有相对较强的一致性和稳定性。通过应用该模型，可以更好地揭示区域金融风险的形成机理，为下一步风险控制和预测提供有针对性的决策依据，为金融市场的风险管理提供数据支持和实证指导。特别是在未来的金融风险研究和实践中，可以进一步完善和优化该模型的阶数和残差的建模机理，以适应不断变化的区域金融风险环境和监管预防需求。

为达到区域风险预测的目的，基于波动率的排序结果，结合平均收益率来选择不同金融行业与市场进行下一步的综合分析。根据公式我们得到了近几年来证券业、保险业、银行业、固定投资业和其他金融行业的平均收益率数据，结合波动率展示，见表 2。

Table 2. Comparison of volatility and return ratio of each industry
表 2. 各行业的波动率与收益率对比

样本行业	综合指数代码	年化波动率	平均收益率
证券业	0001	25.63%	23.81%
保险业	0002	23.46%	22.34%
银行业	0003	12.53%	8.48%
固定投资业	0004	35.05%	31.84%
其他金融行业	0005	33.34%	37.95%

3.5. 实证结论

第一，数据选取的科学性。本文选取区域金融市场的关键指数和金融行业中的银行业、保险业、证券业、固定投资业和其他金融行业，以大量数据作为金融风险的样本，并运用 Eviews 对数据进行标准预处理，为接下来系统建模提供重要的数据支撑。

第二，建模方法的可靠性。基于已经经过预处理的金融风险数据，首先进行平稳性检验和自相关检验等基本的统计检验，保证数据的合理性。一方面，通过 ARDL 的指标结果来估计和预测均值方程以及对应的最佳滞后阶数。另一方面，基于均值方程的残差，进一步引入 ARMA 检验和 ARCH 效应检验，确

定波动率方程的类型和结构。接着,基于均值方程残差的具体结果,构建与之匹配的波动率系统模型。最后,采用极大似然估计,获得模型参数估计结果的有效解,代入波动率系统模型。

第三,风险分析的有效性。通过深入不同金融指标数据的波动率结果,明显发现所选银行业、保险业、证券业的风险表现都比较好,出现突发金融风险的可能性较小。但固定投资行业及其他金融行业的波动率明显高一些,金融风险的突变性较高。这是由于传统金融行业的金融监管比较成熟,金融风险防范与规模相适应,但是非传统行业,往往会出现金融监管的空白,金融风险的突发性难以预料和控制,需要进一步实时关注和分析。

4. 结语

金融风险的波动率建模一直是金融市场的关键风险模型之一。一方面,在具体金融市场的风险预测实践中,历史波动率不仅是金融市场中关键价格指数或关键规模指数的变换规律,体现了金融市场演变中时变、集聚、非对称等微观交易和社会心理特征,而且也是当前数字金融背景下前沿投资手段得以存在并发展的实践基础。另一方面,在金融市场理论与金融监管的研究中,特别在金融市场系统风险识别、预测、管理等方面,波动率都是不可或缺的重要的演变指标和参数。故长期以来,在各种金融风险建模中,均将波动率模型作为核心要素。因此,进一步研究随机波动率模型下区域金融风险的分析、预测问题是意义深远的。

基金项目

本文受河北省高等学校科学技术项目资助(Grant No. ZC2022021)。

参考文献

- [1] Bollerslev, T. (1986) Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, **31**, 307-327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- [2] Engle, R.F., Ghysels, E. and Sohn, B. (2013) Stock Market Volatility and Macroeconomic Fundamentals. *Review of Economics and Statistics*, **95**, 776-797. https://doi.org/10.1162/rest_a_00300
- [3] Ruiz, E. (1994) Quasi-Maximum Likelihood Estimation of Stochastic Volatility Models. *Journal of Econometrics*, **63**, 289-306. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(93\)01569-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(93)01569-8)
- [4] 曾慧. ARCH 模型对上证指数收益波动性的实证研究[J]. 统计与决策, 2005, 21(6): 97-98.
- [5] 魏宇. 中国股票市场的最优波动率预测模型研究[J]. 管理学报, 2010, 7(6): 936-942.
- [6] Andersen, T.G. and Sørensen, B.E. (1997) GMM and QML Asymptotic Standard Deviations in Stochastic Volatility Models: Comments on Ruiz (1994). *Journal of Econometrics*, **76**, 397-403. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(95\)01799-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01799-2)
- [7] 李帆. 基于 GARCH 模型的配对交易策略在沪深 300 成分股中的应用[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州大学, 2023.
- [8] 王鹏. 基于时变高阶矩波动模型的 VaR 与 ES 度量[J]. 2013, 16(2): 33-45.
- [9] 王东勇. 基于 GRACH 族模型的上海银行间同业拆放利率波动及非对称效应研究[J]. 时代金融, 2020(30): 14-16.
- [10] 朱勇生, 张世英. 平行数据随机波动建模及应用研究[J]. 管理学报, 2005, 2(5): 513-516.
- [11] 戴中川. 基于 HAR-RV 模型对我国沪深 300 指数的波动率研究[J]. 现代商业, 2018(36): 98-100.
- [12] 王苏生, 王俊博, 许桐桐, 等. 基于 ARMA-GARCH-SN 模型的沪深 300 股指期货日内波动率研究与预测[J]. 运筹与管理, 2018, 27(4): 153-161.
- [13] 梁威宇. 基于已实现波动率模型(HAR-RV)对中国股票市场波动率研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [14] 王博, 李力, 郝大鹏. 货币政策不确定性、违约风险与宏观经济波动[J]. 经济研究, 2019, 54(3): 119-134.
- [15] 陶晓. 基于 MEMD-HAR 波动率预测模型的上证 50ETF 期权量化投资策略研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2022.

-
- [16] 蔡斌坚. 基于 ARMA-GARCH 组合模型的汇率波动性预测[J]. 现代信息科技, 2023, 7(14): 129-133.
 - [17] 李晶. 基于 GARCH 模型的上证 50ETF 期权风险对冲策略研究[J]. 经济题, 2023(3): 68-75.
 - [18] 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): 134-149.