

基于GJR-GARCH模型的沪深300指数期权定价研究

李鑫亚

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年11月21日; 录用日期: 2023年12月11日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

本研究旨在深入了解中国股票指数期权市场的运行状况, 基于GJR-GARCH模型, 以沪深300指数期权为研究对象, 探讨其定价特征及对市场波动的敏感性。通过对2022年3月至2023年12月的期权价格数据的实证分析, 研究期权价格数据的统计特征发现其尖峰厚尾的非正态特征恰好说明沪深300期权市场波动的复杂性和异方差性; 并利用GJR-GARCH模型探究沪深300指数期权波动率, 进一步验证了该模型对市场波动特征的良好解释能力, 为中国期权市场定价提供新的波动率测算指标。文章期望能够为未来的金融市场发展提供有益的见解, 并为相关决策者提供科学的政策建议, 推动中国股指期权市场的健康发展。

关键词

沪深300指数期权, 期权定价, GJR-GARCH模型, 期权定价模型

The Pricing of CSI 300 ETF Options with GJR-GARCH Model

Xinya Li

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 21st, 2023; accepted: Dec. 11th, 2023; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

Utilizing the GJR-GARCH model, this research focuses on CSI 300 index options to investigate their pricing dynamics and responsiveness to market shifts. Analyzing option price data from March 2022 to December 2023, the study delves into the statistical features of these prices. The observed non-normal traits, such as peakedness and thick tails, distinctly signal the intricate and heteros-

cedastic nature of volatility in the CSI 300 option market. Employing a GJR-GARCH model, the research delves into the volatility of CSI 300 index options, affirming the model's effectiveness in explaining market volatility characteristics. The study introduces a novel volatility metric, offering valuable insight for China's option market pricing. Anticipated outcomes include significant contributions to financial market development and informed policy recommendations for decision-makers, fostering the robust growth of China's stock index options market.

Keywords

CSI 300 Index Options, Option Pricing, GJR-GARCH Model, Option Pricing Model

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

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

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



Open Access

1. 引言

在金融衍生品市场中，股指期权正是其中关键的组成部分，期权市场在全球范围内蓬勃发展，为广大投资人与分析师提供不可或缺的投资风险管理帮助，并且在期货期权市场的促进和规范过程中充当总推手的作用[1]。以股票指数为标的的期权产品已在美德法韩国等国家逐步推出[2]，而中国股指期货市场在过去的 20 年中不断进步，对金融市场的影响逐渐显著[2]。特别是在中国金融期货交易所推出沪深 ETF300 指数期权仿真交易上线后，期权交易机制得到大幅完善，国内指数期权市场开始走向大众视野[3]。

从期权定价研究的历史发展视角来看，其早期阶段主要采用期权定价模型来检验期权市场价格的有效性[4] [5]，尽管使用期权定价模型可以做到直观明了地知晓期权市场价格和理论价格间数额差，但是其并不具备高度的精准性[6]；从无风险套利的角度，一般学术假设认定为：在一个有效的期权市场中不会存在无风险套利，换言之，在有效市场中投资者无需得到具体的期权定价模型与具体的市场波动率，就可以得到期权定价结果[7]。

鉴于此，文章以沪深 300 指数期权为研究对象，针对 2022 年 3 月至 2023 年 12 月的沪深 300 指数期权价格数据进行了深入的实证分析，旨在揭示其定价特征以及对市场波动的敏感性。并通过运用 GJR-GARCH、布莱克 - 斯科尔斯定价模型等先进工具以进行开创性的研究，这不仅有助于深入了解中国以股票指数为标的的金融衍生品市场的运行状况，同时为股指期权市场提供了相应的技术支持。

2. 文献综述

2.1. 国内外期权定价方式的演进历程

股指期权作为金融衍生品市场的关键工具，在定价研究中经历了从最初的假设条件到后来的不断推导和完善的过程[2]。布莱克 - 斯科尔斯模型最初为欧式期权提供了完美的定价公式[8]，但由于多项假设的限制，学者们开始逐步放松这些条件，提出了多种有价值的期权定价方法[9]。波动率一直是期权定价中的关键问题，一般的做法是针对从历史期权价格中得到的隐含波动率，并进一步预测未来的隐含波动率，为期权定价提供关键变量[10]；其次使用两因素模型，使将波动率服从为某种随机过程，从而得到不同的期权定价公式[11]；目前的前沿研究中将波动率假设为确定的前后相依的函数关系，即采用 GARCH 类模型为期权定价提供新的测算方式[12]。

2.2. GARCH 类模型的研究进展

大量研究深入探讨了期权定价模型的准确性，尤其是针对布莱克 - 斯科尔斯期权定价模型在 S&P 指数期权定价方面所存在的严重偏差的，并进一步研究如何得到更精准的模型[13]。GARCH 类模型在减少期权定价偏差方面表现出相对的有效性[14] [15] [16]。尽管现有的期权定价模型已经能够更好地捕捉资产的波动性、杠杆效应和负的偏态效益，但它们仍然存在定价偏差[17]。因此在期权定价研究中，加入滞后因素得到 GJR-GARCH 模型，更灵活、能够更准确刻画资产偏态特征和随机波动特征的期权定价模型，以弥补定价模型给出的价格与实际期权价格之间的偏差[18]。

2.3. 股指期权定价的研究

以往的大量文献深入研究并采用了多种方法和模型，以期待能对于股指期权定价这一命题提高精度。BrunettiM 和 TorricelliC (2007) [19]通过对意大利股指期权采用盒式价差条件等经典期权价差条件，证实了期权市场的整体有效性与股指定价的可能性；Draper 和 Fung (2001) [20]在研究伦敦金融时报 100 指数期权时，通过股指期权期货平价关系式，同样建立了股指期货交易策略的可能模型；Fung JK 和 Mok HM (2003) [21]的研究涵盖了香港恒生指数期权，他们利用期权期货平价关系式以及模拟策略模型，加深构建模拟股指期权交易模型的研究。

现有文献表明，期权定价一直是金融活动和衍生品研究中的前沿问题，股指期权定价又是现代金融研究的核心议题[22]。上述文献构成了本文研究的基础，对于理解研究期权定价有指导性见解。这一问题深远地影响中国衍生品金融市场的健康长远发展[22]，但是以往文献并未考虑将 GJR-GARCH 模型涉入沪深 300 指数期权仿真交易市场的定价问题中。此外，与本文最相关的文献是郑惠民(2016) [23]的研究，其系统地考察了，蒙特卡罗方法与上证 50ETF 定价间的联系，但其关注重点并非衍生品市场中的沪深 300 指数期权，也并未使用波动率模型对股价定量预测，因此也未能深入探讨如何对股指期权做深层次定价。本文的潜在贡献主要有两个方面：首先，本文以沪深 300 指数期权为研究对象，探讨其定价特征及对市场波动的敏感性；其次，相较于以往的固定效应模型，本文采用的双变量 GJR-GARCH 模型在金融研究中明显优于 Heston-Nandi 模型[24]，以丰富指数期权定价问题的研究。

3. 模型假设

3.1. 期权定价和波动率估计模型

3.1.1. 布莱克 - 斯科尔斯期权定价模型

布莱克 - 斯科尔斯(B-S)欧式期权定价模型是由 Fisher Black、Myron Scholes 和 Robert Merton 于 1973 年提出的一种金融模型[8]，用于估算欧式期权的公允市场价格。该模型以其简单性和实用性而闻名，并成为金融衍生品领域的重要基石。根据该期权定价模型的主要假设——对数正态分布、恒定的无风险利率和资产收益率、市场无摩擦、无红利、无限制的借贷和股票价格随机游走等[22]，可以判断得到布莱克 - 斯科尔斯模型的核心方程是一个偏微分方程，用以计算欧式期权的理论价格。该模型的成功推广了期权定价理论，并为金融衍生品的发展和使用提供了理论基础[9]，鉴于此文章得到如下期权价格的具体表示：

$$C_t = a_t N(d_1) - \bar{K} e^{-r(T-t)} N(d_2) \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{\ln(a_t) - \ln(\bar{K}) + (r + 0.5\sigma^2)\sqrt{T-t}}{\sigma\sqrt{T-t}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t} \quad (2)$$

a_t 是标的资产当前市场价格； \bar{K} 为期权的敲定价格； T 为期权执行期限； C_t 是期权的敲定价格；标的资

产的波动率为 σ ； $N(d)$ 为标准正态分布变量的累积概率分布函数；年无风险复利利率为 r 。由于波动率 σ 可以通过历史数据估计，本文可以计算出欧式看涨期权的理论价格。

3.1.2. 波动率估计模型

波动性是指在一定时间内金融资产价格平均波动的幅度，而 GARCH 类模型的条件方程不仅与滞后残差平方呈线性关系，还与滞后条件方差呈线性关系，鉴于此金融资产波动率的集群现象能得到更为准确地描述。考虑到数据的尖峰厚尾等非正态特性，本文对传统 GARCH 模型进行了扩展，运用 GARCH 类模型测量 ETF 指数收益率的方差。在此基础上，引入虚拟变量 $h_{u,t-1}$ 以研究了指数波动的非对称性。同时，采用 GJR-GARCH 模型进一步探讨了指数 ETF 价格波动[18]：

$$h_{xt} = \omega_x + (\alpha_x + \beta_x d_{x-1}) \varepsilon_{x,t-1}^2 + \gamma_x h_{x,t-1} \quad (3)$$

价格波动用价格滞后一期的数据($R_{x,t-1}$)考察，模型(3)中 α_{x-1} 衡量 t 期沪深 300 指数期权 ETF 价格对 $t-1$ 期沪深 300 指数期权 ETF 价格的敏感程度。 $h_{u,t}$ 是以过去信息为基础的滞后一期的预测方差，称为条件方差。 α_u 为 ARCH 项系数，表示用均值方程中扰动项平方的滞后($\varepsilon_{u,t-1}^2$)度量从前期获得的波动性信息； γ_u 为 GARCH 项系数，反映上一期的预测方差($h_{u,t-1}$)对本期方差的影响，GARCH (1, 1)表明大的过去的扰动($\varepsilon_{u,t-1}^2$)和波动($h_{u,t-1}$)都可能引起大的波动($h_{u,t}$)。 $h_{u,t-1}$ 为虚拟变量，当 $\varepsilon_{u,t-1} < 0$ 时， $d_{u,t-1} = 1$ ，其价格波动系数为 $\alpha_u + \beta_u$ ；当 $\varepsilon_{u,t-1} > 0$ 时， $d_{u,t-1} = 0$ ，则用 α_u 来表示沪深 300 指数期权 ETF 价格波动系数。

4. 期权定价实证分析

4.1. 数据来源

本研究选用沪深 300 指数期权中的“300ETF 购 12 月 3.900”合约，对前文所提出 GJR-GARCH 模型的定价能力进行了实证分析。期权数据的抽样阶段涵盖了 2022 年 3 月 8 日至 2023 年 12 月 1 日。数据来源为国泰安(CSMAR)数据库。在所有期权样本中，本文剔除了明显违反无套利条件的样本。另外，为了确保分析的可靠性，并排除了剩余期限少于 7 天的期权数据，因为这些期权可能受到流动性不足和投机等因素的影响，导致价格波动较大。最终，得到了包含 454 个样本的期权数据。

为进一步可视化文章中的数据，表 1 展示主要研究变量的描述性统计。初步观察显示，沪深 300 指数期权的日收盘价和日结算价均值以及标准差在相似的区间范围内。然而，日收盘价表现出相对较大的变化幅度，这使其更适合用于波动率变动幅度的研究[25]，并将日收盘价作为沪深 300 指数期权交易价格 PRICE。对上述变量的偏度进行进一步分析显示，它们的偏度均为负值，表明其分布呈现负偏的特点，曲线的左侧尾部相对较长。然而，需要注意的是，价格波动差 DPRICE 的性质尚未明确，因此，为了全面理解这一情况，后续部分将对其进行详细的论述和验证。

Table 1. Descriptive statistics of variables

表 1. 变量描述性统计

变量名	样本量	均值	标准差	最小值	最大值	偏度	峰度
日收盘价	454.00	227.28	147.24	0.80	596	0.19	2.01
日结算价	454.00	227.46	147.20	0.80	595	0.19	2.01
涨跌幅度	454.00	-1.80	21.43	-85.80	109	0.24	6.19
成交量	454.00	-1.67	21.88	-85.80	109	0.35	6.04
持仓量	454.00	574.43	1993.56	0.00	13526	4.62	24.44
成交金额	454	3780000	14000000	0	110400000	5.58	35.99

4.2. 波动率的估计

图 1 展示了沪深 300 指数期权交易价格(PRICE)以及其一阶差分(DPRICE)的时间序列变动。DPRICE 反映了价格波动的程度，可以观察到沪深 300 指数期权交易价格波动具有显著的集聚性。这种集聚性可能揭示了市场中某些特定时期的波动率异常波动，为后续的 GJR-GARCH 模型分析提供了数据基础。

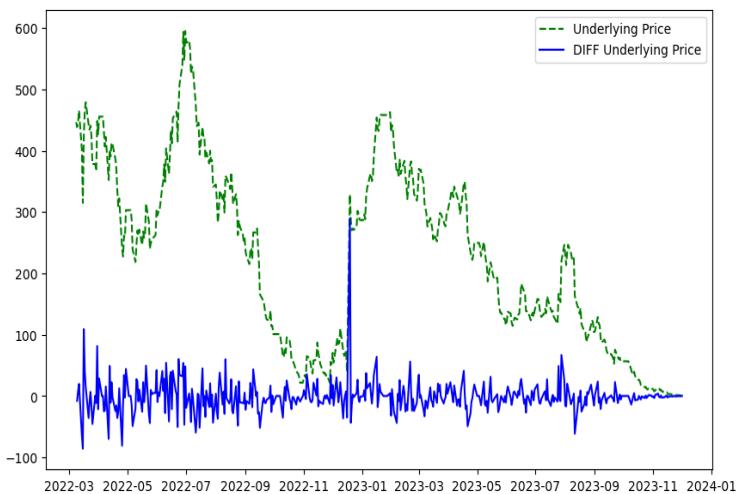


Figure 1. Trends in the price (PRICE) and price changes (DPRICE) of Shanghai and Shenzhen 300 Index
图 1. 沪深 300 期权价格 PRICE 与 DPRICE 变动趋势

为检验序列中是否存在单位根以确保时间序列的平稳，避免回归分析存在伪回归现象，文章针对期权价格 PRICE 以及价格差 DPRICE 进行单位根检验(ADF) (见表 2)，其结果如下：对于 PRICE 而言其系数在 10% 的显著性水平下并不显著，因此 PRICE 可能是一个非平稳时间序列；但一阶差分序列 DPRICE 在 1% 的显著性水平下通过了平稳的显著性检验平稳，因此，PRICE 为 I(1)，尽管许多经济时间序列显示了其持续性，但是下文将进一步针对 DPRICE 的时间序列考虑，并系统性地考虑 DPRICE 在动态模型上的平稳性发展。

Table 2. ADF Test results for variables

表 2. 变量 ADF 检验结果

变量	ADF 统计量	伴随概率 P 值	结论
Price	-1.61	0.48	不平稳
dprice	-24.11	0.00	平稳

为观察价格差(DPRICE)的一般描述性统计，图 2 展示了详细的数据分布和序列 DPRICE 的偏度、峰度。首先，DPRICE 序列的偏度为 3.32，这意味着序列的分布在右侧有较长的拖尾；其次，DPRICE 的峰度达到了 36.04 大于 3，通常当序列的峰度高于正态分布的标准峰度值时，可以进一步解读为该序列呈现出“尖峰厚尾”的特征，结合这两方面的信息得到，DPRICE 序列呈现了一种尖峰厚尾的非正态分布。而 GARCH 模型的条件方差与滞后残差平方之间呈线性关系，并且还与滞后条件方差存在线性关系，因此 GARCH 类模型被广泛应用于捕捉金融资产波动率中的波动集群现象。本文将 GARCH 类模型的特性与前文所观察到的 DPRICE 的数据趋势相吻合，为进一步探索股指期权定价提供启示。

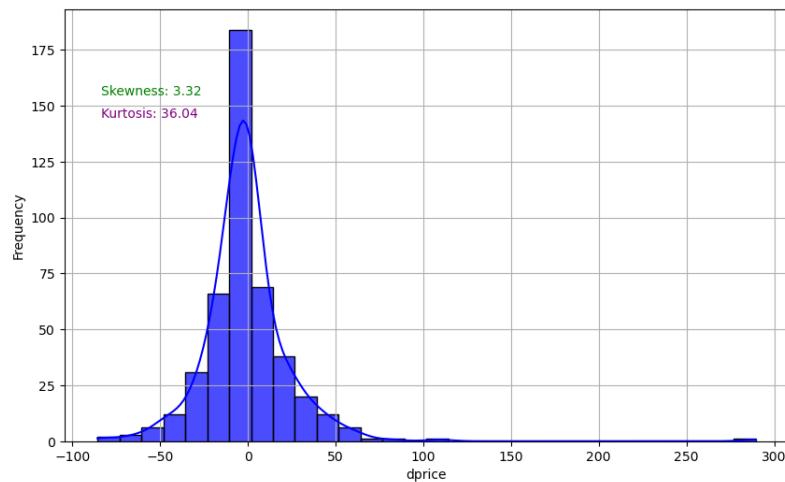


Figure 2. General descriptive statistics of DPRICE
图 2. DPRICE 的一般描述性统计

学术界针对海量数据进行建模工作时，不同的变量组合的选择依据是重中之重。因此，本文在对 PRICE 的波动率应用 GARCH 类模型进行估计时，必须慎重选择不同的 GARCH 模型。最终模型的选择是基于系数显著水平、AIC 和 BIC 准则的综合考量，以确定其在波动率测算方面的效果(详见表 3)。在对价格 PRICE 序列进行第一步 ARCH 检验后，发现在滞后 25 阶时 ARCH 检验的伴随概率小于显著性水平 0.01。由此可证明 PRICE 序列的残差存在条件异方差。正如前文所述，鉴于滞后项较多的情况，本文设计选择 GARCH 模型进行变量拟合，并最终决定建立 GJR-GARCH (2, 2) 模型。这一过程为波动率的准确估计提供了科学合理的基础。

Table 3. AIC (Akaike Information Criterion) and BIC (Bayesian Information Criterion) criteria
表 3. AIC、BIC 准则

variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Prob.	AIC	BIC
ARCH	267.42	9.29	28.80	0.00	5508.53	5525.01
GARCH (1, 1)	267.42	9.29	28.80	0.00	5508.53	5525.01
GJR-GARCH (2, 2)	268.17	7.92	33.84	0.00	5512.27	5536.98

表 4 给出了该 GARCH 模型估计结果。通过表 3 估计结果看出，模型中 GARCH 项系数都在 5% 水平下显著，意味着 GARCH 项系数在 5% 的显著性水平下都是显著的；拟合优度为 0.32，说明模型能够解释观测数据方差的 32%。而调整拟合优度为 0.41，考虑到了模型中变量的数量，相对于简单的拟合优度，这个值更具参考性；对数似然值为 -2750.14。对数似然值越大，说明模型对观测数据的拟合越好。在这里，负的对数似然值表明模型对数据的拟合是合理的。

Table 4. Modeling and estimation results of GJR-GARCH
表 4. GJR-GARCH 的建模估计结果

variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Prob.	AIC	BIC
ARCH	267.42	9.29	28.80	0.00	5508.53	5525.01
GARCH (1, 1)	267.42	9.29	28.80	0.00	5508.53	5525.01
GJR-GARCH (2, 2)	268.17	7.92	33.84	0.00	5512.27	5536.98

在 GARCH 中, ARCH 项系数(α_1)和 GARCH 项系数(β_1)均分别代表当前信息对波动的影响作用大小和过去信息对现在波动的影响冲击的程度。由表 4 可知, $\alpha_1 = 0.89$, $\beta_1 = 0.52$, 且 β_2 显著为正, 说明对于该期权价格而言, 过去的历史信息对价格波动程度冲击程度要远大于当前信息对波动率造成的波动。由于 $\alpha_1 + \beta_1 = 1.41$, 表明 PRICE 受到一个条件方差冲击是比较持久的, 能对下一期时间序列同样产生影响; 此外, ARCH 项系数(α_1)和 GARCH 项系数(β_1)均显著, 进一步证明当前波动与滞后一期的残差存在相关的波动。由此本文对交易价格序列 PRICE 建立 GARCH (1, 1)模型, 所得到估计波动率 σ_t 如图 3:

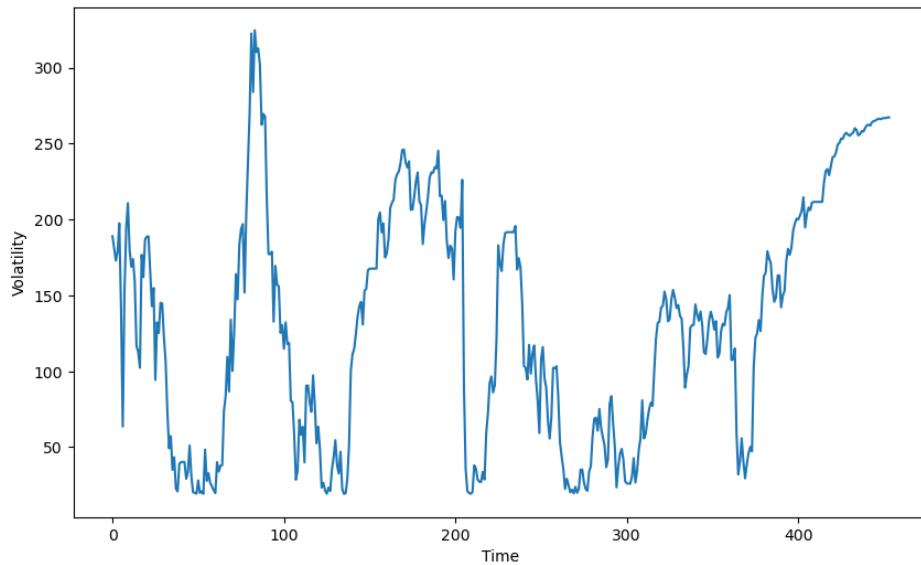


Figure 3. Estimated volatility changes of GARCH (2, 2) model
图 3. GARCH (2, 2)模型估计波动率变动

4.3. 期权定价实证

考虑一个欧式的沪深 300 指数期权, 基于以下假设: (1) 300ETF 期权将到期日定为到期月份的第四个星期三, 遇法定节假日顺延。该期权“沪深 300 指数购 12 月 2800”在 2023 年 12 月到期, 即在 12 月 25 日合约到期。(2) 协定期权执行价格为 $K = 2800$ 元。(3) 日波动率 σ_t 根据 GARCH 模型计算得到的日频数据。(4) 沪深 300 指数期权实时价格 a_t 可以从交易市场直接获得。(5) 上海银行间同业拆放利率 (SHIBOR) 多被用于反映中国市场上年化无风险利率, 本文使用半年化上海银行间同业拆放利率数据作为期权定价中的无风险利率, 据中国人民银行披露数据, 2023 年的半年化 SHIBOR 为 2.54%。

将以上设定参数代入布莱克 - 斯科尔斯(B-S)期权定价公式, 得到 $t(0 \leq t \leq 1)$ 时刻沪深 300 指数欧式看涨期权理论价格。图 4 给出了沪深 300 指数期权理论价格 C_t 在 2022 年 3 月 8 日到 2023 年 12 月 1 日价格走势比较。从图 4 可以看出, 当时间 t 较小时, 期权价格 C_t 同标的资产 300ETF 的走势基本是一致的。随着时间的增大, 期权价格 C_t 震荡下降, 且当实际时间临近到期时间一个月时期权定价的结果出现严重偏差, 一般认为在期权定价模型中, 特别是在布莱克 - 斯科尔斯模型中, 由于时间是离散的, 导致每个交易日的价格变动可能导致模型与实际市场的偏差[16]; 现实中, 投资者可能更活跃地进行对冲操作。这种流动性变化可能导致期权的买卖价格与理论价格之间存在差异。图 4 还展示了当 300ETF 价格波动较大时, 期权价格的波动程度 C_t 也随之加剧, 突显出标的资产 300ETF 价格向期权价格 C_t 的传导机制。

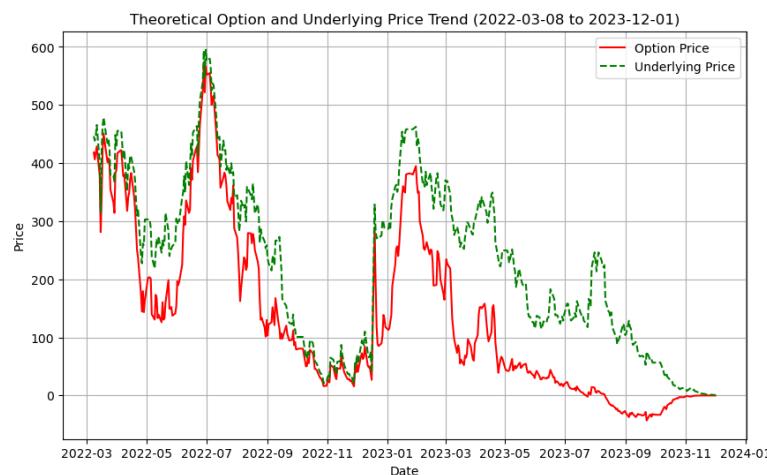


Figure 4. Trends in Shanghai and Shenzhen 300 Index options prices and option theoretical prices (C_t)
图 4. 沪深 300 指数期权价格同期权理论价格 C_t 趋势

进一步对该期权定价进行历史回测，使用布莱克 - 斯科尔斯期权定价模型来计算期权价格的同时，实施两种简单的假设策略(看涨和看跌)。文章根据给定的标的资产价格、执行价格、到期时间、无风险利率、波动率以及期权类型(看涨或看跌)，计算期权价格。在将初始资本设定为 100,000，并假定每天都持有一个期权头寸，头寸可以是看涨或看跌期权后，通过更新资本来考察策略在历史数据上的表现。在图 5 中进一步展示看涨和看跌策略在历史数据上的资本变化情况。由于市场波动性的增加、特定事件的影响或者期权价格的波动等原因，从图 5 中观察得到，两种策略(看涨和看跌)都呈逐步上升的趋势，但看跌的资本曲线高于看涨，并且看涨的曲线在距离到期一个月时存在一段回落。可以认为，在历史数据中，看跌策略相对于看涨策略表现更好。

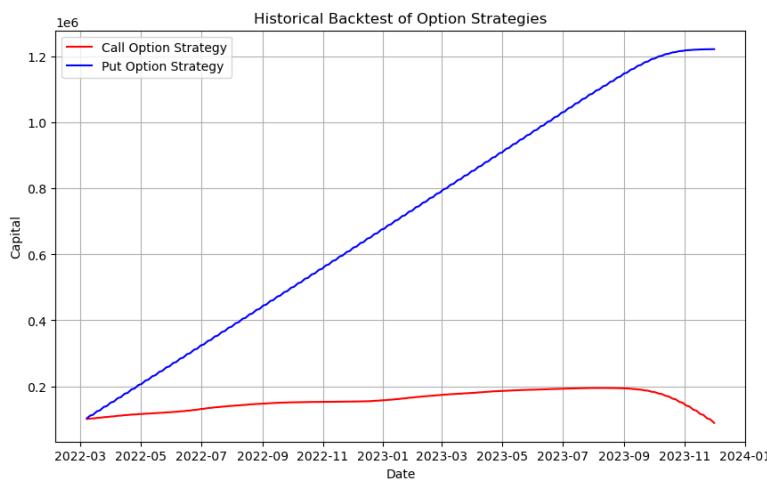


Figure 5. Historical backtesting of trading strategy
图 5. 历史回测的交易策略

5. 结论

数据来源

沪深 300 指数期权定价是当前研究的焦点之一，然而，采用 GJR-GARCH、布莱克 - 斯科尔斯定价

模型等工具进行创新性研究将有助于全面了解中国股票指数金融衍生品市场的运行情况，为股指期权市场提供技术支持。通过本文的实证研究，可以得出以下结论：(1) 期权可以分散价格波动的风险，为企业提供风险规避的手段；(2) 选取 2022 年 3 月至 2023 年 12 月的沪深 300 指数期权价格数据并进行统计特征研究后，文章发现价格差序列具备尖峰厚尾的非正态特征，并且所采用的 GJR-GARCH (2, 2) 模型对该波动特征有吻合的解释；(3) 沿着沪深 300 指数交易配额的基础，本文构建了欧式看涨期权，运用 GJR-GARCH 模型计算出的波动率来评估沪深 300 指数期权的理论价格。观察发现，短时间内，期权价格与标的资产价格的趋势基本一致，然而随着时间的推移，期权价格的波动逐渐减小，呈现出标的资产价格向期权价格传导的趋势。因此，基于这些结果，文章提出以下政策建议：

(1) 促进金融衍生品市场的技术研究：在鼓励采用先进的定价模型的同时，应该设立专项资金支持相关研究项目。建立产学研合作平台，促使研究成果更快地转化为市场实践，同时引导行业协会主导行业标准的制定，提高市场运行的整体水平。

(2) 引导企业风险管理：政府可以考虑制定税收或财政激励政策，对积极采用期权工具进行风险规避的企业给予一定的奖励或减免。鼓励企业与金融机构合作，建立起可行的风险管理机制，特别是在新兴行业和高度波动的市场环境中。

(3) 市场监管和投资者教育：在完善市场监管体系的基础上，建议建立更加严格的信息披露制度，确保市场信息的真实性和及时性。在投资者教育方面，政府可以与金融机构合作，通过举办研讨会、发布宣传资料等方式，向广大投资者传递更加深入浅出的衍生品知识，增强他们的风险防范意识。

(4) 支持金融衍生品创新：制定更为灵活的审批制度，为金融机构提供更加宽松的创新环境。政府可以设立专门的金融创新基金，支持创新性金融衍生品的研发和推广。鼓励金融机构与科技企业合作，推动金融科技在衍生品市场的应用。

参考文献

- [1] 李腊生, 周猛, 赵未夏. 基于尾部风险管理的期权动态套保策略研究[J]. 证券市场导报, 2023(6): 54-66.
- [2] 孙桂平. 沪深 300 指数期权仿真交易跨市场套利有效性研究[J]. 商业研究, 2015(10): 54-63.
- [3] 方艳, 张元玺, 乔明哲. 上证 50ETF 期权定价有效性的研究：基于 B-S-M 模型和蒙特卡罗模拟[J]. 运筹与管理, 2017, 26(8): 157-166.
- [4] 许荣, 刘成立. 股指期货限制交易对定价效率影响研究——基于跨市场信息传递视角的实证[J]. 经济理论与经济管理, 2018(1): 61-74.
- [5] 李庆峰, 陈超. 再论封闭式基金折价动力——被忽略的套利替代效应和隐性交易费用研究[J]. 宏观经济研究, 2015(2): 109-118.
- [6] 成思聪, 王天一. 引入隔夜信息的期权定价模型研究[J]. 中国管理科学, 2022, 10(9): 1-12.
- [7] 李坤昊, 秦学志, 王麟. 基于 Hull-White 扩展模型的欧式期权动态定价方法[J]. 系统管理学报, 2021, 30(4): 685-696.
- [8] Macbeth, J.D. and Merville, L.J. (1979) An Empirical Examination of the Black-Scholes Call Option Pricing Model. *The Journal of Finance*, 34, 1173-1186. <https://doi.org/10.2307/2327242>
- [9] 尚天成, 刘培红. 基于 B-S 模型的合同能源管理项目评价[J]. 华东经济管理, 2008, 22(6): 68-71.
- [10] 朱顺泉. 基于期权定价理论的上市公司信用分类建模及应用研究[J]. 统计与信息论坛, 2009, 24(7): 23-28.
- [11] 于瑾. 论现代利率期限结构模型研究的新发展及其在我国的应用[J]. 国际金融研究, 2004(10): 61-67.
- [12] 马锋, 何晓凤, 鲁心洁. 中国金融市场波动率建模及其预测研究：基于新的分解方法[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(10): 2827-2845.
- [13] 杨昌辉, 邵臻, 刘辰, 等. 一种混合建模方法及其在 ETF 期权定价中的应用[J]. 中国管理科学, 2020, 28(12): 44-53.
- [14] 张贵生, 张信东. 基于梯度因子的 ARMA-GARCH 股票价格预测模型研究[J]. 山西大学学报(哲学社会科学版),

- 2016, 39(1): 115-122.
- [15] 吴恒煜, 陈金贤, 陈鹏. GARCH 模型下的美式期权模拟定价——来自中国权证市场的经验[J]. 当代经济科学, 2009, 31(3): 70-77, 126.
- [16] 吴鑫育, 姜晓晴, 李心丹, 等. 基于已实现 EGARCH-FHS 模型的上证 50ETF 期权定价研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-12. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.0615>, 2023-11-10.
- [17] 吴恒煜, 胡根华. 国际碳排放权市场动态相依性分析及风险测度: 基于 Copula-GARCH 模型[J]. 数理统计与管理, 2014, 33(5): 892-909.
- [18] 唐韬, 谢赤. 基于双变量 GJR-GARCH 模型的汇率风险暴露研究——关于对外投资企业的实证分析[J]. 社会科学家, 2015(2): 79-84.
- [19] Brunetti, M. and Torricelli, C. (2007) The Internal and Cross Market Efficiency in Index Option Markets: An Investigation of the Italian Market. *Applied Financial Economics*, **17**, 25-33. <https://doi.org/10.1080/09603100500461710>
- [20] Draper, P. and Fung, J.K.W. (2001) A Study of Arbitrage Efficiency between the FTSE-100 Index Futures and Options Contracts. *Journal of Futures Markets*, **22**, 31-58. <https://doi.org/10.1002/fut.2206>
- [21] Fung, J.K.W. and Mok, H.M.K. (2003) Early Unwinding of Options-Futures Arbitrage with Bid/Ask Quotations and Transaction Prices. *Global Finance Journal*, **14**, 121-133. [https://doi.org/10.1016/S1044-0283\(03\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S1044-0283(03)00008-5)
- [22] 张启文, 王春棣, 高延雷. 股票期权定价模型的修正及实证检验——基于 Black-Scholes 和 GARCH 模型[J]. 财会月刊, 2016(23): 114-117.
- [23] 郑惠民. 基于 Realized GARCH 模型的期权定价研究——以上证 50ETF 期权为例[J]. 现代商业, 2016(9): 114-115.
- [24] Xie, H.B., Zhou, M. and Ruan, T.H. (2020) Pricing VIX Futures under the GJR-GARCH Process: An Analytical Approximation Method. *The Journal of Derivatives*, **27**, 77-88. <https://doi.org/10.3905/jod.2020.1.096>
- [25] 徐静, 储盼, 任庆忠. 碳排放权期权定价及实证研究[J]. 统计与决策, 2015(6): 162-165.