

中图分类号: F23

学校代码: 10207

学 号: 5171020014

密 级: 公开



# 吉林财经大学

## 硕士学位论文

### 基于 Delta 中性的上证 50ETF 期权波动率 套利策略的研究

姓 名: 李权洲

指导教师: 李晓冬 副教授

申请学位: 金融学 硕士

学科专业: 金融学

研究方向: 资本市场与金融工程

培养单位: 金融学院

2020 年 06 月

## 学位论文独创性声明

本人提交学校研究生教育教学管理平台的存档学位论文稿和上交的硕士学位论文纸质版完全一致，系我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或其它机构已经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中作了明确的声明并表示了谢意。

作者签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 学位论文使用授权声明

1、本人完全了解学校有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间所完成的论文及相关成果的知识产权属学校所有，学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

2、本人同意将本人提交的存档学位论文稿版权授权给中国学术期刊（光盘版）电子杂志社等进行电子出版、多媒体出版、网络出版以及其他形式出版（涉密学位论文解密后应遵守此协议）。

作者签名：\_\_\_\_\_ 导师签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

吉林财经大学  
硕士学位论文

基于 Delta 中性的上证 50ETF 期权波动率套利策略的研究

姓 名： 李权洲

指导教师： 李晓冬 副教授

吉林财经大学金融学院  
2020 年 06 月

RESEARCH ON THE VOLATILITY ARBITRAGE  
STRATEGY OF SHANGHAI 50ETF OPTIONS BASED ON  
DELTA NEUTRAL

Candidate: Li Quanzhou

Supervisor: Li Xiaodong

School of Finance

June, 2020

## 摘 要

最早的金融衍生工具出现在 20 世纪 70 年代，在金融产品的推陈出新以及投资者对投机、套利、套期保值的需求不断加深下，金融衍生工具得到迅速发展。尤其金融衍生工具所具有的跨期性、杠杆性、联动性和不确定性特点，在投资套利、风险管理方面起到了重要作用。其中期权产品得益于独特的损益结构、风险管理功能，可为投资者提供潜在盈利空间。2015 年上证 50ETF 期权的上市标志着中国金融期权市场进入了指数期权时代，上证 50ETF 期权的存在不光为期权投资者引入投资工具，更重要的作用在于稳定中国股市，为股票投资者提供了基础资产的风险管理工具。2015 年以来中国股市经历了上扬、下挫与震荡阶段，相伴而生的 50ETF 期权市场则存在了大量的投机与套利机会。由于国内对当前的金融衍生产品市场了解不足，更多的是利用金融期权进行风险管理，套利策略的研究仍然较少。

本文通过查阅国内外相关文献，分析波动率模型预测与计算效果，对来源于 Wind 金融数据库的期权样本数据，构建上证 50ETF 期权的对冲套利策略。波动率套利交易能否获得稳定盈利主要取决于两个因素，第一是 Delta 对冲的对冲效果，标的资产在持有过程中，对冲的精确程度越高，面临的方向性风险越小，越能获得贴近标的资产的理论价值；第二是波动率模型预测的准确程度，对波动率的预测越贴近未来已实现波动率，越能获得未来已实现波动率与隐含波动率偏差的收益，从而获利。本文对 Delta 对冲的实证研究是通过在固定时间间隔或在一定 Delta 区间内，进行 Delta 中性条件下的动态对冲，分析 Delta 对冲的精确程度。对波动率模型的研究是利用 2019 年上证 50ETF 数据，在每月期权到期前五天进行建仓，并预测接下来五个交易日的上证 50ETF 波动率，同时计算基于 B-S-M 模型得到的隐含波动率。并根据已实现波动率与隐含波动率不同比例建立合适的跨式、蝶式期权套利策略。本文对波动率套利策略研究的侧重点，在于对 Delta 动态对冲以及波动率模型在上证 50ETF 期权市场中的适用性，实证结果可得，二者的运用能够帮助投资者在对冲与套利过程中获得贴近无风险收益的理论收益。

**关键词：**上证 50ETF 期权；动态对冲；波动率模型；套利策略

## Abstract

The earliest financial derivatives appeared in the 1970s. With the innovation of financial products and the deepening demand of investors for speculation, arbitrage and hedging, financial derivatives have developed rapidly. In particular, financial derivatives have the characteristics of inter period, leverage, linkage and uncertainty, which play an important role in investment arbitrage and risk management. The option products benefit from the unique profit and loss structure and risk management function, which can provide potential profit space for investors. The listing of 50ETF options in 2015 marks that China's financial options market has entered the era of stock index options. The existence of 50ETF options not only introduces investment tools for option investors, but also plays a more important role in stabilizing China's stock market and providing basic asset risk management tools for stock investors. Since 2015, China's stock market has experienced ups, downs and shocks, accompanied by the 50ETF option market, there are a lot of speculation and arbitrage opportunities. Due to the lack of understanding of the current financial derivatives market in China, more use of stock index options for risk management, arbitrage strategy research is still less.

This paper analyzes the prediction and calculation effect of volatility model by consulting the relevant literature at home and abroad, and constructs the hedging and arbitrage strategy of Shanghai Stock Exchange 50ETF options based on the option sample data from wind financial database. Whether the volatility arbitrage transaction can obtain stable profits mainly depends on two factors. The first is the hedging effect of delta hedging. In the holding process, the higher the accuracy of hedging, the smaller the directional risk faced, the more the theoretical value of the underlying asset can be obtained. The second is the accuracy of the volatility model prediction, and the closer the volatility prediction is to the future has been realized The present volatility, the more can obtain the future realized volatility and implied volatility deviation of income, so as to profit. In this paper, the empirical study of delta hedging is to analyze the accuracy of delta hedging through dynamic hedging under delta neutral conditions at a fixed time interval or within a certain delta interval. The research on the volatility model is to use the data of Shanghai Stock Exchange 50ETF in 2019 to build positions five days before the expiration of each month's options, and predict the volatility of Shanghai Stock Exchange 50ETF in the next five trading days, and calculate the implied volatility based on b-s-m model. And according to the different proportion of realized volatility and implied volatility, the appropriate straddle, wide straddle and butterfly option arbitrage

strategies are established. This paper focuses on the research of volatility arbitrage strategy, which is the applicability of delta dynamic hedging and volatility model in Shanghai Stock Exchange 50ETF option market. The empirical results can be obtained. The application of the two can help investors to obtain theoretical returns close to risk-free returns in the process of hedging and arbitrage.

**Keywords:** Shanghai 50ETF option; dynamic hedging; volatility model; arbitrage strategy

# 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT .....	II
第 1 章 引 言 .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 选题意义 .....	2
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 未来已实现波动率研究综述 .....	2
1.2.2 隐含波动率研究综述 .....	3
1.2.3 历史已实现波动率研究综述 .....	5
1.2.4 波动率套利策略研究综述 .....	5
1.3 研究内容与研究方法 .....	7
1.3.1 研究内容 .....	7
1.3.2 研究方法 .....	7
1.4 创新点与研究难点 .....	8
1.4.1 创新点 .....	8
1.4.2 研究难点 .....	8
第 2 章 波动率套利策略相关理论 .....	9
2.1 波动率相关理论 .....	9
2.1.1 历史已实现波动率 .....	9
2.1.2 未来已实现波动率 .....	10
2.1.3 隐含波动率 .....	11
2.2 风险度量理论 .....	11
2.2.1 Delta 风险 .....	11
2.2.2 Gamma 风险 .....	12
2.2.3 Vega 风险 .....	12
2.2.4 Theta 风险 .....	13
2.2.5 Rho 风险 .....	13
2.3 波动率模型理论 .....	13
2.3.1 GARCH 模型 .....	13
2.3.2 E-GARCH 模型 .....	14
2.3.3 GJR-GARCH 模型 .....	14
2.3.4 Black-Scholes-Merton 模型 .....	14
第 3 章 Delta 中性条件下的动态对冲 .....	15
3.1 Delta 对冲的原理与基本方法 .....	16
3.2 动态对冲的调整与基本方法 .....	17



3.2.1 以固定时间间隔进行对冲 .....	18
3.2.2 对冲至一个 Delta 区间 .....	18
3.3 影响 Delta 区间的因素 .....	19
3.3.1 与 Gamma 值有关 .....	19
3.3.2 与交易成本有关 .....	19
3.3.3 与风险厌恶系数有关 .....	20
3.4 动态对冲模拟及效果分析 .....	20
3.4.1 以固定时间对冲 .....	22
3.4.2 以 Delta 区间对冲 .....	23
3.5 Vega 风险的风险管理 .....	23
<b>第 4 章 基于上证 50ETF 期权波动率模型的研究 .....</b>	<b>26</b>
4.1 波动率模型的实证思路与策略说明 .....	26
4.1.1 波动率模型的实证思路 .....	26
4.1.2 策略说明 .....	26
4.2 已实现波动率的研究 .....	26
4.2.1 正态性检验 .....	27
4.2.2 平稳性检验 .....	28
4.2.3 自相关性检验 .....	28
4.2.4 ARCH 效应检验 .....	31
4.2.5 建立 GARCH 族模型 .....	32
4.2.6 波动率预测 .....	33
4.3 隐含波动率的研究 .....	34
<b>第 5 章 上证 50ETF 期权套利策略的构建与回测 .....</b>	<b>35</b>
5.1 套利策略的方案设计与数据选取 .....	35
5.2 套利策略的构建与回测 .....	37
5.2.1 跨式期权策略 .....	38
5.2.2 蝶式期权策略 .....	39
5.2.3 垂直价差策略 .....	41
5.3 波动率套利策略回测结果分析 .....	42
<b>参考文献 .....</b>	<b>44</b>
<b>作者简介 .....</b>	<b>47</b>
<b>后    记 .....</b>	<b>48</b>

# 第 1 章 引 言

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

期权最早出现在 17 世纪初荷兰的郁金香市场中，形式为郁金香商人与花农进行购买郁金香权利的交易。郁金香商人在花农一方购入鲜花的看跌或看涨期权，当到期时市场价格达到执行价格时，则执行期权，得到赔付。这也就是最早形式上的商品期权。18 世纪末，美国出现了小规模场外股票期权交易，市场依靠做市商进行价格撮合，并配对买卖双方进行交易，做市商从中收取高额的手续费，此时股票期权的行权日往往拖到到期日，类似于传统意义上的欧式期权。由于缺乏规范的制度以及完备的风险控制制度，期权市场的发展极为缓慢，甚至有观点指出，基础资产价格的波动是由于衍生产品的引入。反驳这一观点的有利论证来自于 20 世纪 70 年代布雷顿森林体系的倒塌，使浮动汇率制度成为市场首选。此时，利率风险与汇率风险程度的加大使利率与汇率类衍生品的发展需求大大加深，金融期权逐渐成为优质的风险管理工具。1973 年芝加哥交易所的成立标志着场内的标准化期权合约的问世，标准化合约极大减少了投资者的风险与交易成本。

2015 年 2 月 9 日，中国第一支指数基金期权上证 50ETF 期权问世。场内期权交易品种的进一步丰富，更加有利于投资者对自身情况进行合理的择机投资，以应对风险与获取收益。投资者可以利用股指期货进行备兑开仓，锁定标的资产价格；也可以通过期权的杠杆性进行投机，来实现高额收益。

由于期货交易中存在保证金制度、强行平仓等交易制度，衍生品产品的波动更会加深股票市场的波动，从而使投资者的收益与风险成倍扩大。2015 年的中国股票市场中，A 股先是在上半年经历了罕见的疯狂牛市，并在下半年爆发了大幅度的下跌，使得大多数投资者损失惨重。在一片怨声载道中，股指期货成为了股市动荡的替罪羊，之后的一段时间内，股指期货的市场功能近乎消失，大多数投资者放弃了这一产品，A 股市场再次成为仅能通过单方面多头来获取收益的市场。产生这一现象的原因是由于投资者对市场风险认识不足，投机属性过高。未利用期权自身的波动率特性，以及 Delta 对冲等风险管理方式进行合理的套利策略。中国股市近两年经历了 18 年的一路下跌与 19 年的平稳上涨，波动率数值的上涨十分有利于投资者利用股指期货通过波动率模型，进行波动率套利。本文主要通过波动率模型开发出针对期权的合理套利策略，并在风险可控的情况下获得相对可观收益。

### 1.1.2 选题意义

#### 1.理论意义

将 GARCH 类模型、B-S-M 模型与波动率套利策略相结合，对结果进行回测与风险水平分析，并能较好判断策略的可行性。从而为不同波动率水平以及市场行情下提供较好套利策略。

#### 2.现实意义

本文的选取数据为上证 50ETF 期权的交易数据，并对实际数据进行 Delta 对冲与套利策略构建的回测。此方法能够为理论观点进行实盘环境中的研究与验证。同时对衍生产品定价与资产风险管理方面的研究具有重要意义。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 未来已实现波动率研究综述

未来已实现波动率是对标的资产价格走势的预测，在这方面的研究主要通过 GARCH 类模型进行预测。Engle（1982），提出的 ARCH 模型全称“自回归条件异方差模型”，它针对金融资产未来收益波动变化进行研究，尤其应用在风险价值理论中，使人们能更加准确地把握风险。Bollershev（1986），提出了 GARCH 模型，GARCH 模型在分析金融时间序列波动方面具有更高优势。Nelson（1991）进而提出了 E-GARCH 模型，解决了 GARCH 模型不能够对条件方差非对称现象进行较好描述的问题，该模型广泛用于解决由于杠杆效应导致的波动率分布不均匀问题，为分析变量的影响因素提供了方便。为衡量资产收益波动的非对称现象，Glosten、Jagannathan 和 Runkel（1989）提出了 GJR-GARCH 模型，该模型能较好解决杠杆效应的负冲击现象。Corsi（2004）建构了基于波动率的 HAR-RV 模型，按照高、中、低三个层次，将频率数据的波动率相加，由此得出了如下结论：OLS 线性回归能够相对客观、准确地表述金融时间序列的长记忆性。Hansen 等学者（2011）则在其研究报告中深入阐述了高频数据波动率的预测方法，比如，基于已实现测量的时间序列模型来实现对高频数据的波动性预测，或者根据相关变量，建构回归方程模型，以此来实现预测。Zakoian（2004）在前人研究的基础上提出了 T-GARCH 模型，试图科学、客观地阐述与分析市场利空或利多的消息对市场影响的非对称性。另外，在股价波动恒定的情况下，由于收益率残差对收益率存在不同程度的影响，因此当公司提升财务杠杆，增加负债时，可能会加剧股票持有的风险，出现明显的杠杆效应。Engle（2002）则将“已实现”变量加入到 GARCH 模型，发现这样能够有效解决原模型拟合波动率跳跃性的问题，同时增强数据拟合效果，为后人探讨高频数据波动率预测问题提供了有效工具。后来，有学者根据已有的研究资料，提出了“ARMA-GARCH”模型，为投资者和企业

预测收益率创造了条件。Tian 等（2015）、Laurent 等（2016）在研究与分析风险管理时，同样采用了 GARCH 类模型，探讨研究资本市场波动率特征。Hou 等（2016）则以中美期货市场作为研究对象，引进与建构了 DCC-GARCH 模型，深入分析与探究波动率传导机制。Srinivasan（2017）也使用了类似方法，以印度股指期货市场为研究对象，通过建构 GARCH 类模型解决波动率问题，并提出了高频数据预测方法。

GARCH 模型在国内也应用广泛，是学术界重点关注的研究课题。如徐正国等（2004）则以高频数据作为研究样本，发现相较于传统的 GARCH 模型而言，Realized GARCH 模型对波动率的拟合效果更好。

文凤华（2012）则以沪深 300 收益率数据为分析对象，以 AHAR-RV-V 模型为工具，对数据进行了拟合，研究发现该模型能够客观准确地表述与呈现股票价格波动的长记忆性，同时也能够解释杠杆现象。王天一（2012）通过实证分析得出了如下研究结果：一是 Realized GARCH 模型无法清晰地呈现收益率序列厚尾性的特征；二是 Realized GARCH 模型的残差分布不遵循正态分布，未能明确地表现出偏峰特征。吕志鸿（2015）则以上证 50ETF 收盘价数据作为分析样本，以 MATLAB 计量软件为工具，建构了 GARCH（1，1）模型，探讨与剖析了波动率的特征，研究发现：一是收益率序列的自相关性不显著，且存在明显的“尖峰厚尾”特征；二是 GARCH（1，1）模型对数据的拟合效果好，且对收益波动率的预测相对可靠。刘祥（2017）同样以上证 50ETF 收益率序列为分析对象，认为 Realized GARCH 模型的拟合效果更优，能够较为合理地预测收益波动率。张波等（2017）则以沪深 300 股指期货为研究对象，借助 E-GARCH 模型试图揭示与解决其跨期套利问题。曹栋等（2017）则以鲜花市场为分析对象，以 GARCH-M 模型为工具，对股指期货数据进行拟合，希冀通过这种方式有效阐述与揭示股指期货与市场波动率之间的关系。

### 1.2.2 隐含波动率研究综述

隐含波动率主要是以供需关系为核心，在初步明确期权市场价格后推断出来的结果，有利于为利益相关者预测未来价格波动率提供依据。从一定程度上而言，波动率蕴含的信息十分丰富，能够帮助投资者判断与分析市场未来发展趋势，能够有效客观地预测未来波动率。然而值得说明的是，随着研究的不断深入，不少学者否定了隐含波动率的未来价格预测能力，认为两者并不存在联系。Canina 等（1993）通过回归分析模型，研究了 S&P100 指数期权，指出隐含波动率与历史波动率不存在直接联系。Christen 等（1998）通过一系列的实证分析发现：隐含波动率虽然对未来市场价格的预测存在一定的偏差，但是相较于历史波动率，其预测效果更好。Blair 等（2010）以高频数据为分析对象，对比分析了隐含波动率

等不同波动率的预测效果。Britten-Jones 等(2000)归纳分析了已有的研究资料,提出了“无模型隐含波动率”的推导公式。该学者指出,在风险中性的前提条件下,认为期权价格能够相对准确地表示资产未来价格的波动率,此时则可以以此为依据,反推无模型隐含波动率的公式。Jiang 等(2005)基于前人的研究成果,适当地改进与优化了无模型隐含波动率公式,并对比分析了这类波动率与 B-S-M 隐含波动率对未来价格预测的有效性,通过实证分析发现:无模型隐含波动率的预测能力更强,能够较好地描述与资产未来价格变化趋势。也有一些学者探讨了隐含波动率与未来收益的关系。如 Dreze 等(1979)则认为期权价格实质上囊括了诸多未来资产价格的相关信息,证明隐含波动率能够较好地预测出资产未来收益情况。Bates(1991)则表示指数认沽、认购期权价格包含了许多市场参与者对发展趋势和标的物价格预测等信息,这也间接表明了隐含波动率与未来收益之间的相关性。

Ofek 等(2004)以不同单只股票的期权为分析对象,实证分析了期权看涨一看跌平价公式与个股收益率之间的相关性,试图判断个股期权隐含波动率是否能够合理地预测未来收益。Pan、Potesman(2006)则以新发行的认沽期权与认购期权隐含波动率比值作为衡量指标,认为隐含波动率与股票收益率存在密切相关性,发现市场信息会影响金融交易行为。Xing 等(2010)基于认沽期权和认购期权,建立了期权偏斜指标,并以此作为衡量标准,分析了市场信息对合约收益的影响机理,通过实证检验,该学者发现偏斜指标能够提前预测市场个股截面收益率,且效果良好。还有学者则探讨了 VIX 期限结构,并根据研究视角的不同提出了各自的观点。如 Zhou(2014)基于 Kalman 滤波,分析与研究 VIX 期限结构,研究发现:对比短期因子而言,长期因子对期限结构形状的解释能力更强。Johnson(2011)在探究 VIX 期限结构时得出如下结论:VIX 指数无法准确预测未来多期超额收益率,偏差程度较大,但是 VIX 期限结构则能够有效解决这一问题,能够提前预测至少 4 个月后的市场超额收益率。Dew-Becker(2014)则以方差互换数据为研究样本,证明了投资者对预期未来方差的低敏感性,同时该学者还进一步地发现:对于暂时性的已实现方差,投资者的敏感程度较高,愿意耗费高昂的代价对冲;其次,对于未预期的方差,投资者也相对敏感。也有学者分析了隐含波动率的微笑特征。Dennis(2002)在其学术研究中从交易量信息的视角,分析了隐含波动率的特征,否定了其与波动率偏斜的相关性。Whaley(2004)则以净买压力指标为分析对象,分别剖析了看跌与看涨期权隐含波动率微笑成因,同时通过研究发现:看跌期权波动率微笑特征与净买压力的相关性更为显著。Chan、Cheng(2004)则基于前人的研究方法,以香港恒生指数期权为研究样本研究了期权波动率的微笑特征对净买压力的反应情况,得出了与

Whaley 同样的研究结论。我国学者赵亚奇等（2009）则根据隐含波动率的微笑特征，揭示与探究了东航套期保值巨亏问题，深入探讨了造成这一问题的成因，即波动率微笑现象在其中发挥的作用。吴鑫育等（2019）则建构了 BSM 模型，基于隐含波动率微笑特征，研究分析了上证 50ETF 期权定价问题。

### 1.2.3 历史已实现波动率研究综述

历史波动率则是以历史股票收益率的方差为衡量依据，以此来预测与分析未来资产价格波动率。该指标存在一个假设前提，即历史波动率会反复出现。也就是说，未来市场的波动率可能在过去某一时间节点同样出现过，正是如此，人们可能根据历史波动率的出现频率或规律，以此对未来价格走向进行预判。通常情况下，人们倾向于以条件异方差模型计算历史波动率。Engle（1982）通过分析研究提出了自回归条件异方差模型，认为其能够较好地描述金融时间序列的自相关性，同时还强调该模型对金融资产波动率的拟合效果好。但是，也必须要客观地认识到，自回归条件异方差模型作为线性模型，无法客观有效地描述金融时间序列的其他特征，适用性相对较窄。为了克服上述模型的局限性，Bollerslev 在原有的基础上，引进了一种变量，实现了条件方差的合理转换，并提出了广义自回归条件异方差模型，即 GARCH 模型，这对于研究与判断历史波动率的预测能力提供了有用工具。

### 1.2.4 波动率套利策略研究综述

关于期权交易策略，国外在长时间的发展中建立了相对成熟的研究体系，提出了许多经典的研究观点，而且不少学者还结合前人的研究理论，不断地拓展研究范围，使得期权交易策略更为完善、科学，并广泛应用于金融及其他衍生品领域。Mihir Bhatta charya（1979）以特定时间内的股票期权真实交易价格为研究样本，研究了看涨期权下限套利问题，这也是国外最早一批以实际交易数据实证检验套利模型的学者，对后续学者的相关研究提供了可行思路。根据该学者的研究，期权市场存在无风险套利机会，这为相关者实施套利手段提供了理论参考。Resnick（1980）则围绕广义平价套利策略，深入分析了套利收益成功率。为了确保研究结论的有效性与客观性，该学者以期权看涨一看跌平价公式的背离情况作为前提条件，以某一时间段的期权交易价格作为研究样本，实证分析了期权平价套利策略的有效性，研究结果指出：在充分考虑交易成本后，期权市场仍然存在许多套利机会。同时 Resnick 进一步地发现，如果套利机会点与交易完成时点存在 5 或 15 分钟的错位延迟时，即便考虑了交易成本，套利机会依然可创造出一定的经济利益，且做市商更有利于创造与获得套利机会。上述学者的研究结论引发了学术界的广泛讨论，同时掀起了“套利风险”和“期权风险”研究浪潮，极大地拓宽了期权研究范围。Levy 等（1985）结合前人的分析结果，以借贷无风险

作为前提条件,发现期权边界套利上界和下界有着较强的适用性,能够描述与分析股票现货价格分布情况。同时该学者通过实证研究发现,在考虑交易成本和税收的情况下,期权边界套利策略有利于帮助投资者获得更多的套利机会,而且存在较大的利润空间。Peter Rithcken (1999)在其学术论文中揭示与分析了看跌与看涨期权的基本定价关系,表示无风险套利机会只会在金融市场中短暂性出现,并分析道:当市场出现无风险套利机会时,敏感性高且专业性强的投资者会第一时间抓住契机,并立刻采取行动,此时市场供需间的报价价格失衡关系也将重新达到新的稳态,由此一来,无风险套利机会则会消失。Ofek 等(2003)以实际交易数据为研究样本,分析了期权套利问题,同时表示投资者在套利时,必须要权衡期权交易成本,要正视与解决卖空限制问题。John Hull (2014)则在其研究在著作中,表达了其对期权套利行为的看法,并详细而深入地概述了牛市差价、熊市差价等不同类型套利策略模型,全面而细致地罗列出不同模型的推导公式,为人们科学认识与深入了解期权套利机会存在问题提供了充分的理论支持。从实践意义来看,该学者对期权交易策略作出的一系列研究,为资本市场的投资活动提供了科学方法和工具,在一定程度上推动了资本市场的快速发展,同时也为金融经济学研究奠定了夯实的理论基础。谢尔登等(2014)则着重于探究与分析价差套利等具有代表性的期权套利策略,并详细阐述了不同策略的注意事项、实施步骤以及可能存在的套利风险。该学者所提出的理论具有一定的先进性,代表了期权套利研究的最新研究成果,同时也为人们理解与认识定价模型、期权交易策略等核心理念提供了支持。

朱博(2008)则通过实际交易数据推导与探究了评价套利模型的公式。但是,受到我国资本市场监管机制和运行规则的影响,加之中国权证市场尚未建立做空机制,因此很可能出现即便存在套利机会,但是相关投资者也无法抓住机会,实施套利行动的现象。另外,根据朱博的研究结论,从原则上而言,在无做空机制等情况下,权证类产品不存在可获得无风险套利机会的条件。沈腾飞(2015)则以上证 50ETF 期权为研究对象,选取了某一时间段的实际交易数据作为分析样本,推导与探究了平价套利模型,指出:在中国期权市场初步发展阶段,资本市场中实际上已经存在了可覆盖交易成本的套利机会。山磊等(2016)采取了一系列实证分析手段,引进了期权价格波动等变量,建构了凸性套利模型,研究与剖析了期权市场中的无风险套利机会。这些学者表示:无风险套利是以交易不等式失衡为基础,也就是说,当期权合约价格与期权实际价值偏差过大,且超过交易成本时,此时期权市场则会出现无风险套利机会。山磊等学者的这一研究发现,为人们研究与探讨期权市场无风险套利机会产生的成因,揭示其本质特征等提供了理论依据。张润禾(2016)则侧重于研究期权无风险套利的风险和成本问题,

通过大量的实证研究分析，该学者表示经过缜密、科学的计算后，投资者可以从期权市场中找到可行的套利机会，以此获得巨大的套利收益。王壁（2015）则立足于 50ETF 期权市场，选取了其在某一时点 3 个月的真实交易数据，分析研究了无风险套利的本质特征，及其与套利收益之间的关系，根据研究结果：50ETF 期权有着较高的定价效率，因此当市场中一旦出现无风险套利机会时，会立刻被投资者察觉并采取套利行动。同时，该学者进一步地发现，期权交易市场越成熟，期权合约价格与期权实际价值的偏差会不断被纠正，此时交易日离到期日越近，那么投资者可获得的套利机会则会越多，可创造的套利利益则越大。基于此，本次建仓则选择了与到期日极为接近的时间点，希望通过这种方式增加套利机会和扩大利益空间。

## 1.3 研究内容与研究方法

### 1.3.1 研究内容

第一部分是本文的绪论。主要介绍本文的研究背景与研究意义，梳理国内外的文献综述，明确研究内容与研究方法，并提出本文力图实现的创新点。

第二部分阐述理论基础。包括相关概念的概述以及每个理论的研究方法和研究情况，为后文研究如何利用波动率模型应用到波动率套利策略中提供理论依据。

第三部分主要分析 Delta 中性条件下的动态对冲策略。期权理论定价模型中除了波动率以外的其他变量都是可以直观得到的，波动率的变动会给头寸带来 Delta、Gamma 等风险，针对交易者不同的成本结构以及风险容忍度，不断调整期权与标的资产的结构。在固定时间间隔或一定的 Delta 区间内进行 Delta 对冲，分析两种方法的对冲效果，以及影响 Delta 区间的因素。并对 Gamma、Vega 风险进行研究。

第四部分对已实现波动率模型进行可行性检验，建立模型并进行波动率预测，同时通过隐含波动率模型对投资者预期进行计算。通过 GARCH 类模型以及 B-S-M 模型预测上证 50ETF 期权未来已实现波动率走向，并通过反推隐含波动率得出投资者对市场波动率的走势预期，为波动率套利策略做准备。

第五部分根据不同的已实现波动率与隐含波动率比例，判断期权市场价格的高估或低估，对存在的波动率价差采取跨式、蝶式、垂直价差等套利策略。对策略收益进行回测，并对策略可行性与结果进行分析。

### 1.3.2 研究方法

1.系统研究法：本文研究自始至终遵循系统分析的思路，强调用系统科学的方法指导本文的布局，以保证文章内容体系结构的严谨性。

2.实证分析法：通过对上证 50ETF 期权的数据选取进行套利投资策略，对策



略的可行性进行分析，并对收益与风险进行回测与结果分析。

3.模型分析法：本文通过 GARCH 类模型与 B-S-M 模型对已实现波动率进行预测以及对隐含波动率反推，进行套利交易。

## **1.4 创新点与研究难点**

### **1.4.1 创新点**

1. 本文创造性的将 Delta 动态对冲与 GARCH 类模型和 B-S-M 模型融入到期权的波动率价差套利策略中，分别讲述两者在波动率价差获取过程中的重要性，对该领域当前的学术研究具有推动作用。

2. 对期权风险度量水平的计算与对冲一直是个人投资者进行套利交易或机构与产业投资者进行对冲与量化交易的重要指标。本文重点强调期权与标的资产风险管理的操作方式与调整方法，为风险度量研究以及套利交易做出贡献。

### **1.4.2 研究难点**

1.消除或减少套利过程中方向性风险的影响，能够使投资策略获得最大程度上的无风险收益。针对不同的动态对冲方式以及投资者能够接受最大的风险容忍度，确保头寸的复制成本能够等于或接近动态对冲过程中产生的现金流总和。

2. 对未来已实现波动率的预测，以及不同套利策略的适用性是能否获得稳定盈利的重中之重。选择通过 GARCH 类模型以及 B-S-M 模型的应用，合理使用波动率价差套利策略，获取相对风险程度下的较高收益。

## 第2章 波动率套利策略相关理论

### 2.1 波动率相关理论

为什么说波动率在期权市场以及期权产品定价中的作用如此重要？投资者对期权交易与基础资产交易相近的认识点在于，都对资产的变动方向感兴趣。但不同点在于，期权交易者对资产的变动速度更为敏感。为了便于理解，我们可以将波动率当成正态分布或对数正态分布里的标准差，但当交易者对于波动率给出一些不同定义时，我们就需要对波动率做出一些更好的解释。这里，我们将它分成了两大类。一是和资产变动有关的已实现类波动率，二是和期权价格有关的隐含波动率。

#### 2.1.1 历史已实现波动率

历史已实现波动率是对标的资产过去波动率情况的计算，当计算已实现波动率时，需要明确的就是价格变化的时间间隔与间隔次数。例如当我们讨论上证50ETF期权的60天波动率或52周的波动率时，实际谈到的就是以每日价格变化来计算的60天内的标准差，以及每周价格变化计算的52周的标准差。

在期权存续期限不断较少时，已实现波动率会逐渐影响隐含波动率的变化，因此对已实现波动率的预测是预测期权价格未来走向的关键。此时，首先要计算历史已实现波动率，并对其加以分析，然后才能对未来已实现波动率进行预测。这就是计算历史已实现波动率的关键所在。对它的度量一般为计算标的资产价格的标准差，有两种方法：

$$\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}} \text{ 或 } \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

在公式中， $x$ 表示样本点， $\bar{x}$ 表示所有数据的均值， $n$ 表示数据的总数。第一种方法表示的是总体的标准差。在第二种方法计算样本标准差时，由于在数据较多的总体中可能会遗漏极端数据，我们估算的标准差可能会较小，通常就会把分母的 $n$ 缩小为 $n-1$ 来精确估计值。在标准差的计算中，有一点需要注明，由于标准差是对均值偏离程度的考量，若在5天内，一项资产的价格每天都上涨5%，那么它的标准差应为0，它的价格变化并没有偏离均值。但在实际交易中，当价格上涨5%时，波动率总会发生一些变化，这就是我们常说的零均值假定。假设：无论实际均值为多少，都假设其为0。在期权市场中，最常见的波动率数据为年化的交易日波动率，需要将一年中的周末与节假日予以排除，一般假定其为252天。

使用每日价格收益率来计算历史波动率是最简单的方法，将收益率数据点相连接，就可以得到历史波动率的走势，更多的收益率数据就会得到更平滑与精确

的结果，这也是交易者最常使用的方式。但此方法的问题是当资产在一个交易日内大幅波动时，最终价格却没有发生变化，这时只通过结算价就不能够反应历史波动率的完整情况了。Michael Parkinson 提出了极值法，将交易日内的极值加入其中，便可以得到一个更加完整的波动率。若使用这种方法，则年化收益率为：

$$\frac{1}{2\sqrt{n\ln 2}} \sqrt{\sum \left(\ln \frac{h_i}{l_i}\right)^2} \sqrt{t}$$

其中， $n$  为收益率的数量， $h_i$  为选取时间内最高价， $l_i$  为选取时间内最低价， $t$  的时间间隔长度为一年。Mark Garman 与 Michael Klass 将标的合约的开盘与收盘价加入模型，从而进一步扩展了帕金森法：

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{2n}} \sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{h_i}{l_i}\right)^2 - \frac{1}{n} [2\ln(2) - 1] \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{c_i}{o_i}\right)^2}{\sqrt{t}}$$

其中， $o_i$  为标的资产的开盘价， $c_i$  为标的资产的收盘价。

历史波动率计算方法的选取对于期权交易策略能否成功并不起决定性作用，它只是帮助策略构建提供一个简单的指导方针，对未来已实现波动率进行预测才是投资策略的关键。在实践中，需要更多关注的是如何解释并理解历史波动率数据，而不是在取舍哪种计算方法。

### 2.1.2 未来已实现波动率

未来已实现波动率是对标的资产变化情况的最佳解释。若将未来已实现波动率输入到 Black-Scholes-Merton（后文中简写成 B-S-M 模型）模型中，便相当于已经获知了期权的正确价格，提前获取了期权的理论收益。然而，没有人会预知未来。那些试图通过定价模型来进行价差套利的投资者便会尝试对未来已实现波动率做出预测。此时，同其他原则一样，历史数据便成为了期权估值过程中的起点。

未来已实现波动率通常具有三点特性：1. 序列相关性，指在没有其他可利用信息的条件下，未来波动率的走势会遵循过去的情况。所以，当我们开展预测时，过去发生的事情往往就是对未来的最好预测。2. 均值回归，指波动率在偏离之后，通常会回到均值或均值附近。这也就意味着当标的资产期限结构不同时，长期波动率比短期波动率更加容易预测。投资者可能会因此，倾向于投资长期期权。实际上，随着期限的增加，期权的 Vega 值也在增加。与存续期较短的期权相比，长期期权的任何波动率的预测误差都会给被更加放大化，操作也要更加谨慎。3. 趋势效应，有时波动率与价格走势也会呈现相似的特征，有连续上升或下降的趋势。这与标的资产关于技术分析的观点相类似。但它们并不是一回事，将技术分

析的方法完全运用到波动率分析中是错误的，必须对规则进行修改并把波动率的独特特征考虑进来。较好预测未来已实现波动率是套利策略获得收益的关键，第四章中会通过时间序列分析模型进行波动率估计。

### 2.1.3 隐含波动率

与已实现类波动率不同，隐含波动率反映的是期权的市场价格，也可以被认为是投资者对未来已实现波动率的估计数值。通过买卖双方的报价，期权价格便会在供求关系中得到平衡，这种平衡就可以用  $\sigma$  来表示。当我们使用 B-S-M 模型时，期权的行权价格 (K)、期权价格 (c)、标的资产价格 (S)、利率 (r) 与到期时间 (T) 都是可以得出的， $\sigma$  是上述输入变量反推之后的结果。通常把权利金称为期权的价格，而隐含波动率是由期权价格衍生出来的，因此有时投资者会把权利金与隐含波动率互换使用。

对于波动率在这里有四点需要表明：1.波动率对平值期权的影响远大于实值与虚值期权。当标的资产价格在行权价格附近时，未来标的资产走势尚不明朗，会给平值期权价值带来更多的影响。2.与具有相同行权价格的短期期权相比，波动率的变化将对长期期权带来更大的影响。3.相同执行价格和到期时间的看涨与看跌期权具有非常相似的隐含波动率。4.当波动率出现变化时，具有相同执行价格和到期时间的看涨与看跌期权的价值变化量近乎相等。3、4 两点主要可由看涨-看跌平价关系式： $c + K \times e^{-rT} = p + S_0$  加以解释。

由于波动率在期权交易中的重要性，投资者花费大量时间对已实现类波动率以及隐含波动率进行计算与估计。由于期权产品的高杠杆性以及波动率预测较为困难，盲目投机者往往会遭受巨大损失。此时，需要确定最大的风险厌恶程度，在一定的风险管理水平下采取适当的交易策略。适当的波动率套利策略对于套利交易者以及需要面对较高风险水平的机构投资者来说具有十分重要的意义。

## 2.2 风险度量理论

### 2.2.1 Delta 风险

Delta ( $\Delta$ ) 是期权价格变动与标的资产价格变动的比值。一般来讲：

$$\Delta = \frac{\partial f}{\partial S}$$

其中  $f$  是期权头寸的价格， $S$  是标的资产的价格。Delta 风险是衡量与标的资产方向性相关的风险。具有正 Delta 值的头寸希望头寸与标的资产变动方向相同，负 Delta 值的头寸则希望持有与标的资产方向相反的头寸。投资者通常会把期权组合的 Delta 数值等同与相对应的标的资产的数量。需要意识到的是，只有在非常严格条件下，Delta 值才等效于标的资产的数量。

Delta 风险通常指头寸变动方向与标的资产变动方向相反的风险，是一种方向性风险。当构建 Delta 中性头寸时，要确保头寸对要发生的方向性变动没有偏好。有时并不需要消除所有的方向性风险，但要确保在一定范围内，头寸能够免受方向性风险的影响。

### 2.2.2 Gamma 风险

Gamma ( $\Gamma$ ) 是期权的曲率，是期权 Delta 值的变动与标的资产价格变动的比值。具体公式为：

$$\Gamma = \frac{\partial \Delta}{\partial S}$$

当标的资产价格发生一定变动时，Delta 值的变动量就是期权的 Gamma 值。所以 Gamma 与  $\Delta$  的关系式也可表示为：

$$\Delta = \Delta_0 + (S_2 - S_1)\Gamma$$

因此 Gamma 值越大，期权面临的 Delta 风险也越高。Gamma 值可以衡量投资组合对标的资产价格发生大幅变动时的敏感程度，Gamma 风险就被称为标的资产发生大幅变动的风险。当头寸具有正 Gamma 值时，标的资产的大幅变动会带来更多的头寸收益，反之会带来更多的损失。因此，在面对 Gamma 风险时，是否希望标的资产发生大幅变动是一个值得考虑的因素。

### 2.2.3 Vega 风险

Vega ( $v$ ) 是指期权价格变动与标的资产波动率变动的比例：

$$v = \frac{\partial f}{\partial \sigma}$$

其中  $\sigma$  为标的资产的波动率。Gamma 值度量的是投资者是否希望获得一个波动剧烈或平稳的标的资产，它针对投资者想要一个什么水平条件下的已实现波动率。Vega 值则表明投资者想拥有的隐含波动率的水平，因此 Vega 风险是投资者输入到理论定价模型中波动率不正确的风险。当头寸拥有正 Vega 值时，波动率的上升就会使投资者获益，反之则相反。Vega 值较好的解释为头寸对隐含波动率变动的敏感程度。需要解决的问题是在一定风险管理水平下，持仓头寸是否能够抵抗住隐含波动率变动带来的冲击。

### 2.2.4 Theta 风险

Theta ( $\theta$ ) 是指随着头寸存续期间的缩短，头寸价值的缩减速度。定义为期权价格变动与时间变动的比例：

$$\theta = \frac{\partial f}{\partial T}$$

其中 T 为期权头寸行权的到期时间。几乎所有期权都会随时间流逝而减少，因此 Theta 值通常为负值。因为平值期权相对实值或虚值期权来讲，价值变动可

能性更大，所以平值期权的 Theta 值（指绝对值，下同）会更大且随时间流逝不断增加。由于具有正 Gamma 值的头寸发生标的资产大幅变动时头寸收益会增加，因此时间流逝便会对头寸不利。一般认为 Theta 风险是与 Gamma 风险相反的。投资者对 Theta 风险最基本的考虑是头寸价值可以随时间流逝多久。

### 2.2.5 Rho 风险

Rho（ $\rho$ ）是期权价格对利率变动敏感程度的衡量，是期权价格变动与利率变动的比率：

$$\rho = \frac{\partial f}{\partial r}$$

其中  $r$  为无风险利率。Rho 风险主要指头寸在存续期内，利率发生变动对头寸价值带来的风险。当 Rho 值为正时，利率增加会使头寸价值变大，反之则相反。由于 Rho 不随持仓头寸方向等因素而改变，同时也是理论定价模型中最不重要的变量。因此 Rho 风险一般情况可忽略。

## 2.3 波动率模型理论

### 2.3.1 GARCH 模型

GARCH 模型又称为“广义自回归条件异方差模型”。1986 年, T.Bollerslev 在 ARCH（ $p$ ）模型的基础上增加了  $q$  个自回归项，创造了 GARCH（ $p, q$ ）模型。GARCH 模型使用的是过去历史数据进行预测，因此在预测将来时间的方差时，比起 ARCH 模型会更加精确。GARCH（ $p, q$ ）模型的设定如下所示：

$$\begin{aligned} \alpha_t &= \sigma_t u_t, & u_t &\sim i.i.d.N(0,1) \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \alpha_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 \end{aligned}$$

其中， $p$  和  $q$  作为模型的阶数， $\alpha_0$ 、 $\alpha_i$ 、 $\beta_j$  都是参数且大于等于 0。  $\forall j=1, 2, \dots, p, \forall i=1, 2, \dots, q, \mu_t$  都服从独立标准正态分布。若  $p=q=1$ , 则公式就会是：

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \alpha_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

这就是常用的 GARCH（1，1）模型。其中， $\alpha_0 > 0$ ， $\alpha_1 > 0$ ， $\beta_1 > 0$ 。

### 2.3.2 E-GARCH 模型

由于收益率分布具有尖峰厚尾的特性，残差的存在使收益率存在了不对称的现象，因此 GARCH 模型不能够较好描述条件异方差的不对称效应。E-GARCH 模型广泛用于解决由于杠杆效应导致的波动率分布不平均问题。模型的形式如下：

$$\ln h_t^2 = \theta_0 + \sum_{j=1}^q \theta_j \times \left| \frac{\varepsilon_{t-j}}{\sqrt{h_{t-j}}} \right| + \sum_{i=1}^q \lambda_i \times \left( \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sqrt{h_{t-i}}} \right) + \sum_{i=1}^p \beta \ln h_{t-i}^2$$

该模型具有以下特点：

(1) 它的条件方差是线性的，不需要考虑  $\ln h_t$  的值，由于  $h_t$  不是负值，因此能够允许回归系数出现负值。

(2) E-GARCH 模型选择标准化的  $\varepsilon_{t-j}$ ，能够更好的解释冲击。

(3) E-GARCH 模型刻画了条件方差的不对称性特点。

E-GARCH 模型是能够在更多条件下运用，以及对条件异方差进行较好描述的模型。因此模型在参数使用时的灵活性要更高。即使用了不对称分布函数，模型依然合理。

### 2.3.3 GJR—GARCH 模型

传统的 GARCH 模型并没有考虑杠杆效应，因此在 1993 年，GJR—GARCH 模型应运而生。GJR—GARCH 模型是在 ARCH 模型和 GARCH 模型基础上建立起来的，该模型能够更好的衡量时间序列的不对称性。其中，设置  $\varepsilon_{t-1} = 0$  门槛，大于或者小于这个值都会造成不同影响结果。这一模型的形式如下：

$$\begin{aligned} x_t &= \varphi_0 + \sum_{i=1} \varphi_i x_{t-i} + \varepsilon_t \\ h_t &= \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} + \gamma D_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 \\ \varepsilon_t^2 &= h_t z_t \end{aligned}$$

在实际应用中， $D_{t-1}$  是非对称效应项， $\varepsilon_{t-1}$  作为门槛值，不管是大于还是小于门槛值的冲击都会对条件方差估计产生影响。其实  $\alpha$  是旧消息对波动率的冲击， $\beta$  指新消息对波动率的冲击。GJR-GARCH 模型能较好地描述金融资产的有偏分布序列，以及序列的杠杆效应。

### 2.3.4 Black-Scholes-Merton 模型

Black-Scholes-Merton 模型（以下简称 B-S-M 模型）是期权定价理论中最重要的定价模型。起初它并没有计算期权的理论价值，而是去解决当股价在随机游走的过程中，期权价格必须为多少才能让正确对冲中的头寸盈亏相抵。无套利定价理论是 B-S-M 模型的理论基础，它强调当两组资产持有至到期时能够获得相同的收益，则任何一个时刻两者的价格都应相同。若不相同，便可买入低价资产，同时卖出高价资产，使两个资产的价格又趋于平衡。

1951 年数学家 K. Itô 据此提出了伊藤引理，它是关于期权价格与资产价格和时间的函数：

$$rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} + \frac{\partial f}{\partial t} = rf$$

其中  $r$  为无风险利率,  $S$  为资产价格,  $f$  为期权价格,  $\sigma$  为波动率,  $t$  为资产的存续期限。分析该函数可以把方程分为几个部分, 首先期权的 Delta、Gamma 和 Theta 分别对应表达式中的  $\frac{\partial f}{\partial S}$ 、 $\frac{\partial^2 f}{\partial S^2}$  与  $\frac{\partial f}{\partial t}$ 。  $rS$  和  $rf$  对应于标的资产的远期价格与期权的现值。

对于该方程求解, 可以得出 B-S-M 模型:

$$c = SN(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2) \quad (1)$$

$$p = Ke^{-rT}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (2)$$

其中  $d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$ ,  $d_2 = \frac{\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$ ,  $N(x)$  是标准正态分布的累计概率分布函数。  $S$  为标的资产价格,  $K$  为执行价格,  $r$  为无风险利率,  $T$  为期权的存续期,  $\sigma$  为标的资产的波动率,  $c$  为看涨期权价格,  $p$  为看跌期权价格。

分析 (1) 式可知  $N(d_2)$  与执行价格的现值有关, 即  $N(d_2)$  等于头寸能够被执行的概率。将 (1) 式调整可得  $Ke^{-rT}N(d_2) = -c + N(d_1)S$ , 与维纳过程  $\Pi = -f + \frac{\partial f}{\partial S}S$  一式相类似。可推出  $N(d_1) = \frac{\partial f}{\partial S}$ ,  $N(d_1)$  是头寸变为实值期权的概率。

### 第 3 章 Delta 中性条件下的动态对冲

在构造期权的套利交易策略时, 波动率套利是一种常用方式。它的构造原理



来自于对标的资产波动情况的预测，并寻求构建隐含波动率与实际波动率价差的策略。当预测未来已实现波动率与隐含波动率出现明显不同时，便可通过相应的交易策略进行套利交易。

其中，最常见的交易方式为：估计头寸的未来波动率高于隐含波动率时，可以得出投资者对期权定价过低，便可买入期权，并通过标的资产进行方向相反的交易使持仓头寸保持  $\Delta$  中性；当估计波动率小于隐含波动率时，则可以卖出期权，同时可以通过现货市场消除方向性风险。此策略的收益取决与两者的波动率之差。需要指出的是，上述交易方式是通过产品的不合理定价来获取收益。它的收益规模取决估计的未来已实现波动率与实际波动率的差值。如果偏差较大，很可能面临亏损。

波动率套利交易能否获得稳定盈利主要取决于两个因素，第一是  $\Delta$  对冲的对冲效果，标的资产在持有过程中，对冲的精确程度越高，面临的方向性风险越小，越能获得贴近标的资产的理论价值；第二是波动率模型预测的准确程度，对波动率的预测越贴近未来已实现波动率，越能获得未来已实现波动率与隐含波动率偏差的收益，从而获利。第三章主要介绍  $\Delta$  对冲的原理、基本方法与风险因素以及  $\Gamma$  与  $V$  风险的风险管理。

### 3.1 $\Delta$ 对冲的原理与基本方法

在建立  $\Delta$  对冲时，要根据 B-S-M 模型利用标的资产对头寸进行方向相反的复制。在对冲过程中，要试图使头寸始终保持  $\Delta$  中性的状态。

假设如下情况：上证 50ETF 的价格为 2.9 元，隐含波动率为 20%，无风险利率为 3%，到期时间为 0.077（四周，数值为 4/52），看涨期权执行价格为 2.91 元。根据 Deriva Gem 软件可得：

Underlying Type:

Index

Index Level:

2.90

Volatility (% per year):

20.00%

Risk-Free Rate (% per year):

3.00%

Dividend Yield (% per yer):

0.00%

Option Type:

Black-Scholes - European

☐ Imply Volatility

Life (Years):

0.0770

Strike Price:

2.91

☐ Put

☒ Call

Calculate

Results:

Price:

0.0626061

Delta (per \$):

0.5029304

Gamma (per \$ per \$):

2.4787059

Vega (per %):

0.0032103

Theta (per day):

-0.001257

Rho (per %):

0.0010748

图 3.1 期权数据图

其中 Delta 值为 0.5，为建立适当的无风险对冲，我们需要在每购买一份头寸的同时卖出一份标的资产。假设买入 100 份行权价格为 2.91 的看涨期权，便需要在标的资产市场卖出 50 份资产合约。此时，则建立了一个与标的资产价格变动方向无关的初始 Delta 中性状况。

表 3.1 头寸 Delta 分布表

头寸	合约 Delta	Delta 头寸
100 份行权价格为 2.91 的看涨期权	50	+5000
50 份标的资产空头合约	100	-5000

### 3.2 动态对冲的调整与基本方法

由于标的资产价格时刻发生变动，在动态对冲过程中，则需要对期权头寸价值时刻进行估值，并确定新的 Delta 值。以通过在标的资产市场进行买卖合约来保持 Delta 中性，在期权存续期内一直都要遵循这一流程。在调整过程中，要时刻保持组合的价值之和与头寸价值之和相同。当投资者不进行调整时，就可能面对任一未对冲头寸的方向性风险。调整本身不会改变套利操作的期望收益，只是

减少了额外盈利和亏损的可能性。之前的讨论都是在无摩擦的市场中进行的：

1. 投资者买入和卖出标的资产无限制。
2. 借入和卖出资产都在同一利率水平上。
3. 无交易成本与税收。

然而在现实的期权市场中并不是无摩擦的，每一个假设都或多或少的有所违背。交易成本是一个必须要考虑的因素，为了时刻保持头寸的 Delta 中性，投资者就会更加频繁的调整持仓，而这样调整就意味着更多的费用。

在实际投资过程中，完全实现 Delta 中性是不可能的。投资者无法对持仓在每一时刻进行复制期权的操作，并进行套期保值。适当的方式是在一定的时间间隔或者触发某一条件时进行对冲。由于面临期望收益或最大的风险容忍度不同，动态对冲的方法便因人而异。主要有以下两种方法：

### 3.2.1 以固定时间间隔进行对冲

以固定时间间隔进行动态对冲是最简单的对冲方式。操作方法为在每一固定时间点分析持仓的 Delta 值情况，并进行对冲。通俗易懂的方式被更多的投资者接纳并采用，但它会使动态对冲时刻保持较高的复制频率与较低的风险。这种方式会使交易成本过高，且面临许多无效用的对冲。例如，当面对存续期为两周或三个月的期权时显然要采取不同的对冲频率。

### 3.2.2 对冲至一个 Delta 区间

这种对冲方式意味着投资者首先规定了持仓头寸一个最大或最小的 Delta 值，确定了一个能够接受的最大风险容忍度。当持仓头寸的 Delta 值超过这一 Delta 区间时，便需要对头寸进行对冲调整。这一区间的确立与组合持仓的 Gamma 值有关，当 Gamma 值为正时，会对有利的变动方向起到推动作用；对不利的标的资产价格变动起到保护作用。此时便可建立一个相对较宽松的 Delta 区间。

Delta 区间的确立方式是基于 Wilmott 的效用函数法建立起来的。它是在以效用最大化为目标的前提下，并假设只有较小的交易成本，可得出的 Delta 区间的范围为：

$$\left[ \frac{\partial W}{\partial S} - \beta_t, \frac{\partial W}{\partial S} + \beta_t \right]$$

其中  $\beta_t = \left( \frac{3\varepsilon S_t e^{-r(T-t)} \Gamma_t^2}{2\gamma} \right)^{\frac{1}{3}}$ ，相应的避险策略为：

$$y_t = \Delta_t \quad \text{若 } y_{t-1} < \Delta_t - \beta_t \text{ 或 } y_{t-1} > \Delta_t + \beta_t$$

$$y_t = y_{t-1} \quad \text{若 } \Delta_t - \beta_t < y_{t-1} < \Delta_t + \beta_t$$

$y_t$  为相应的避险头寸， $\gamma$  为投资者的风险厌恶系数， $\varepsilon$  为交易成本比率。

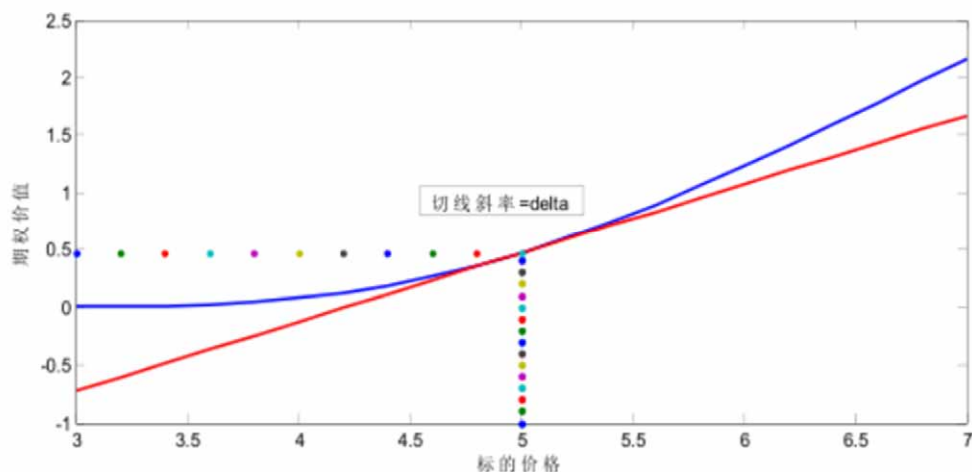


图 3.2 期权 Delta 分布图

### 3.3 影响 Delta 区间的因素

#### 3.3.1 与 Gamma 值有关

假设头寸的存续期为半年，投资者的风险厌恶系数是 1，头寸的执行价格为 0.5 元，头寸的隐含波动率为 30%。根据图 3-3 可以得出，Delta 值为 0.5 的平值期权具有较大的风险容忍程度。这是因为平值期权具有较大的 Gamma 值。

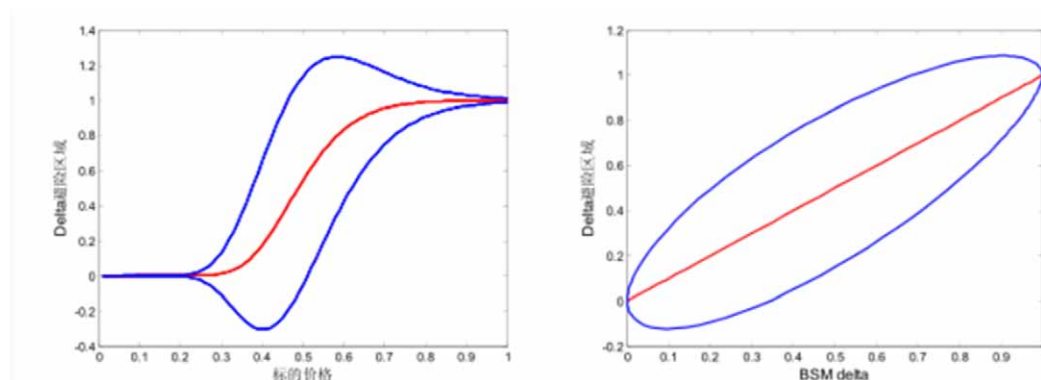


图 3.3 Delta 区间分布图

#### 3.3.2 与交易成本有关

根据图 3.4 可以得出，随着交易成本的不断减少，Delta 区间也在减少。当 Delta 区间的曲线与 B-S-M 曲线完全重合时，交易成本为 0。这与我们的直观相符：当交易费用过高时，投资者由于成本问题不得不减少对冲频率，只能被动接受一个较高的风险容忍度，这会使 Delta 区间扩大。

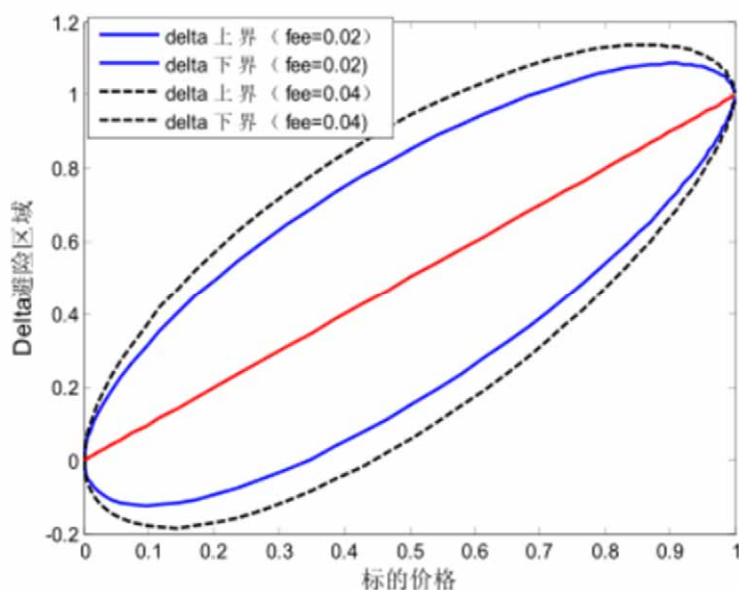


图 3.4 不同交易成本下的 Delta 区间

### 3.3.3 与风险厌恶系数有关

当投资者的风险厌恶系数不断升高时，Delta 区间便会减小。因为一个较高的风险厌恶系数的投资方式只能承担较低的风险，Delta 区间的缩小也会使对冲频率得到增加。相反，较低的风险厌恶系数会让投资者承担更多的风险来减少 Delta 对冲的成本，也会使 Delta 对冲的频率有所降低。不同的方式是投资者根据自身情况得出的，并无对错之分。

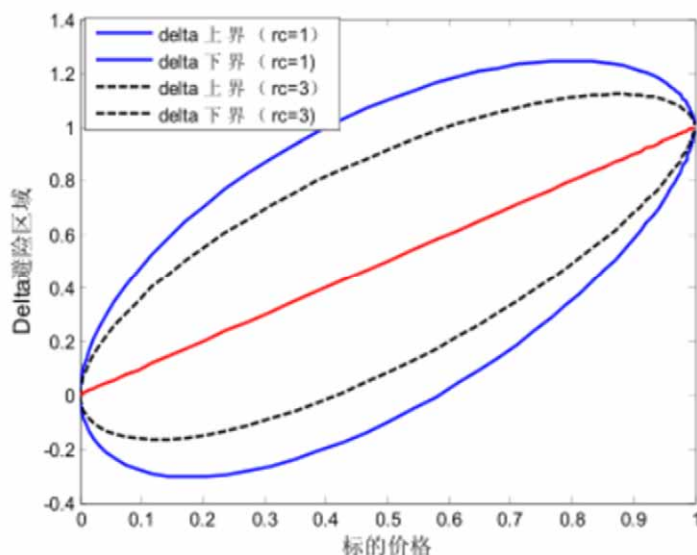


图 3.5 不同风险厌恶系数下的 Delta 区间

## 3.4 动态对冲模拟及效果分析

动态对冲模拟过程中，选取的样本数据为 4 月到期，执行价格为 2.55 的上

证 50ETF 看涨期权。截至 2015 年 3 月 18 日收盘,标的资产 50ETF 价格为 2.596,距离到期日还 25 个交易日,合约乘数位 10000.我们用近 22 个交易日银行间同业拆借加权利率均值 4.79%作为无风险利率。同时假设波动率与此前同时时间段的波动率相同,为 25.35%。根据 B-S-M 公式可以计算出当前每张合约的的理论价格为 1140.5 元。

根据表 3.2 可得,以每日对冲一次的固定时间间隔对冲方式的第 25 日,持仓头寸的 Delta 值为 1,投资者此时持有 10000 份上证 50ETF 合约。此时行权则可以 25500 ( $2.55 \times 10000$ ) 元的价格卖出,对冲的总成本为 1040.9( $26540.9 - 25500$ ) 元。

### 3.4.1 以固定时间对冲

表 3.2 固定时间间隔的 Delta 对冲

天数	ETF 价格	Delta	累计现金流	ETF 持有数 量	利息费
0	2.596	0.63	16271.4	6268	15.0
1	2.604	0.64	16679.1	6419	2.2
2	2.562	0.56	14635.5	5620	1.9
3	2.588	0.61	15997.3	6145	2.1
4	2.595	0.63	16376.5	5620	2.1
5	2.562	0.56	14661.7	3699	1.9
6	2.477	0.37	9909.6	4638	1.3
7	2.520	0.46	12276.8	5475	1.6
8	2.556	0.55	14420.5	7107	1.9
9	2.629	0.71	18712.7	7037	2.5
10	2.623	0.70	18532.2	7327	2.4
11	2.635	0.73	19299.8	6608	2.5
12	2.601	0.66	17434.1	6209	2.3
13	2.584	0.62	16405.5	5289	2.2
14	2.551	0.53	14062.7	6450	1.8
14	2.590	0.64	17071.8	6874	2.2
16	2.603	0.69	18177.4	7687	2.4
17	2.620	0.74	19655.2	7449	2.6
18	2.616	0.74	19690.4	8326	2.6
19	2.643	0.83	22001.5	9264	2.9
20	2.681	0.93	24530.4	9137	3.2
21	2.692	0.96	25398.5	9585	3.3
22	2.700	0.98	26041.5	9822	3.4
23	2.677	0.99	26134.4	9855	3.4
24	2.755	1.00	2.537.4	10000	3.5
25	2.747	1.00	26540.9	10000	0

### 3.4.2 以 Delta 区间对冲

以 Delta 区间对冲的模型中,除了之前所用到的参数之外,还需引入风险厌恶系数,假设投资者的风险厌恶系数是 20。运用 Mont-Carlo 模拟法 10000 次可以得出复制期权的总成本为 1167.9 元,由于 Delta 区间的存在,对冲次数由 25 次减少到 23 次,降低了对冲次数。

表 3.3 W-W 模型对冲(风险厌恶系数 20,手续费千分之五)

项目	数值	项目	数值
最小值	750.538	均值	1167.9
25 分位数	1113.246	标准差	88.7
中位数	1163.935	95%置信下限	1166.2
75 分位数	1217.797	95%置信上限	1169.7
最大值	1688.509	与 BS 偏差	2.41%

由于交易成本的存在,无论对于固定时间间隔对冲还是 Delta 区间对冲来讲,交易费用的升高都会带来动态对冲效用的降低。但两种方法对比来讲,Delta 区间对冲相对具有更高的对冲效用。

以固定时间间隔对冲的优势在于操作简单,只需要投资者在确定的时间点分析持仓头寸的 Delta 值即可,对系统的自动化要求不高。而在 Delta 区间内对冲更多考虑到了 Gamma 值对期权复制的影响,以求在降低手续费对对冲的影响时,追求在操作中获利。希望在 Gamma 值较有利的条件及手续费成本较高的条件下,减少对冲成本,以获求较高的对冲效用。

通常期权在临近到期时,接近或等于平直期权的可能性较大,Gamma 值也有可能较大。为规避 Gamma 风险,在持仓已包含上证 50ETF 期权时可引入其他期权进行 Gamma 对冲。当资产组合的 Gamma 值为 0 时,Delta 对冲的稳健性便会增加。可以得出,Delta 对冲要综合考虑交易成本以及 Gamma 值的综合影响,来确定 Delta 区间范围或对冲频率。这一方法对于提高对冲效用,优化 Delta 区间的作用十分明显。

### 3.5 Vega 风险的风险管理

当持有头寸至到期日时,决定头寸价值的唯一因素便是标的资产的已实现波动率。但由于头寸在到期日之前可能已经实现预期收益,或者头寸在未实现预期收益的情况下风险非常大,投资者就会选择提前平仓。此时,隐含波动率的变化情况则成为投资者能够盈利的关键所在。

当市场条件发生改变时,Vega 会发生显著变化,因此不同月份和行权价格



期权的 Vega 值并不能完全反应此时的隐含波动率风险。要知道 Vega 风险并不是将 Vega 值的简单加和。

假设市场上此时有同一年三个不同到期月份的期权合约，并假设市场的平均波动率为 25%，三个不同月份的隐含波动率也为 25%。

表 3.4 期初隐含波动率分布表

	3 月	6 月	9 月
隐含波动率	25%	25%	25%

假设此时标的资产的实际波动率提高，则隐含波动率也会有一定程度的提高。但三个合约的波动率上升速率并不相同。若 3 月的隐含波动率提高到 30%，因为波动率长期内具有均值回归的特性，到期时间更长的月份便会更加靠近平均波动率的水平。新的隐含波动率分布情况可能为：

表 3.5 隐含波动率变化表

	3 月	6 月	9 月
隐含波动率	30%	28%	26%

此时便得出一条关于风险分析十分重要的观点：存续期间不同的期权组合，隐含波动率的变化速度也不同。假设此时有四个不同到期月份的期权头寸，Vega 值情况如下表：

表 3.6 Vega 值分布表

	4 月	6 月	8 月	10 月
到期时间	2 个月	4 个月	6 个月	8 个月
Vega 值	+15	-36	-21	+42

将 Vega 值简单相加： $+15-36-21+42=0$ ，从数值来看并没有隐含波动率风险，但这是隐含波动率在所有合约中会以相同速度变化的假设前提下。同样假设均值波动率为 25%，若 4 月合约隐含波动率上升到 28%，6 月合约可能为 27%，8 月合约可能上升到 26.5%，10 月合约可能为 26.1%。此时头寸价值变化：

$$3*15-2*36-1.5*21+1.1*42=-12.3$$

若 4 月隐含波动率下降到 22%，头寸将会盈利 12.3。很明显，头寸并不是 Vega 中性，而是希望隐含波动率下降的。

为了准确地评估 Vega 风险，投资者需要通过建立隐含波动率期限结构模型来确定多个到期时间不同的隐含波动率变动情况。无论何种模型至少需要包括三个主要参数：1.主要月份，提供基准月份为其他月份进行对比。2.均值波动率，提供各个不同月份倾向于回归的波动率水平。3.不同月份的 Vega 变化速度比率，

通过 Vega 不同的变化比例，使动态对冲过程中的各月份合约建立 Vega 中性。

详细的头寸分析会帮助我们在市场条件发生变化时做好准备。当遭遇未知状况时，隐含波动率可能会以完全不同的方式变化。在面临无法预料到的情况时，投资者只能接受分析错误下的现实并尽可能降低损失以及使收益最大化。

动态对冲过程是在捕捉期权理论价值与其价格之间的差异，在理论上，应通过动态对冲过程复制一个期权头寸。其复制头寸的成本应为动态对冲过程中一系列现金流的总和，该复制成本的现值也就是期权头寸的理论价值。现阶段，我国金融期权市场发展并不完善，产品匮乏，不能满足企业充分避险需要。金融机构应当丰富场外期权的产品种类，针对某些避险需求大的资产，围绕其开发一系列的场外期权产品。不仅仅是方便企业，也有利于金融机构使用 Delta 对冲策略进行风险管理时，降低单一期权的交易成本。

## 第4章 基于上证50ETF期权波动率模型的研究

### 4.1 波动率模型的实证思路与策略说明

#### 4.1.1 波动率模型的实证思路

上证50ETF期权作为中国资本市场重要的衍生金融工具，从2015年2月9日推出以来，就在金融实证中被广泛应用研究。波动率作为代表金融资产价格波动程度的指标，估测波动率的准确程度高低，决定着能否帮助我国金融投资者规避投资风险，提供资产收益率。当目的是构建合适的期权组合策略，使得收益最大化时，就需要提前知道认购认沽期权的价格和上证50ETF标的价格。均值可通过对过去500个交易日的收益率平均而得，重点在于方差。本文预测并计算方差的理论模型为GARCH族模型、隐含波动率模型。GARCH模型又称为“广义自回归条件异方差模型”，通过建立GARCH族模型可以挖掘出方差特点，进而估测出波动率值。其中隐含波动率模型，是基于B-S-M期权定价公式，B-S-M模型可以根据给定的标的资产价格、执行价格、存续期等条件，反推出期权的隐含波动率。再根据已实现波动率与隐含波动率不同的比例选择合适的套利策略进行交易，并回测各套利策略的收益，这就是本文实证内容的整体思路。

#### 4.1.2 策略说明

对于波动率套利策略的实施与构建可以分为以下四部分：

1.样本的选取与说明。波动率预测模型采用的数据为2015年1月16日至2019年12月12日的上证50ETF指数的每日收盘价数据。隐含波动率反推以及波动率套利策略实施并回测的数据为2019年1月至11月上证50ETF期权的相关数据，包括期权价格、执行价格、存续期等。（数据来源：Wind金融数据库）

2.运用波动率模型进行预测。采用GARCH类模型，对上证50ETF的平值或接近平值的期权，在2019年每月第四个星期三之前的前四个交易日进行当日波动率残差的预测。因此，建模日的选取为T-5日（大部分为每月第三个星期三）。基于上述计算得到 $\sigma$ 之后，将结果进行年化处理，得到预测结果。

3.运用B-S-M模型进行隐含波动率计算。

4.根据已实现波动率与隐含波动率的比率分别对适合的波动率套利策略进行回测，并回测收益。根据收益情况分析不同比率下，波动率套利策略的适用性。

### 4.2 已实现波动率的研究

上证50ETF期权的行权日为每月第四星期的星期三，为减少股市存在的冲击效应，并确定在临到期的这段时间是否存在套利可能，将建模日的选取定在每

月第四个星期三的前五个交易日，为每月第三个星期的星期三（T-5 日），再根据波动率模型预测之前五个交易日的波动率。

本文在前人研究基础上，选择以 500 天标的资产收盘价为样本。本文预测的第一个交易日为 2019 年 1 月 16 日，建模日期的选取为之前 500 个交易日的上证 50ETF 指数的收盘价，进行建模与波动率预测。

#### 4.2.1 正态性检验

计算 2015 年 1 月 16 日至 2019 年 12 月 12 日共 1184 个上证 50ETF 指数的收盘价，并通过计算公式（ $r = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ ）得出对数收益率。并通过 EVIEWS 软件对对数收益率进行统计学分析，可以得出：

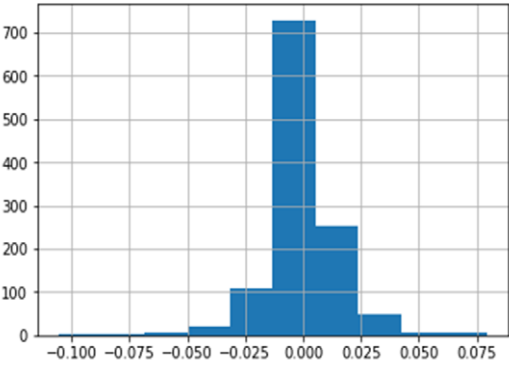


图 4.1 对数收益率描述统计图

表 4.1 日收益率描述统计表

count	1184
mean	0.000097
std	0.01616
min	-0.105361
25%分位数	-0.005308
50%分位数	0
75%分位数	0.006826
max	0.079215
skew	-0.626028647
kurt	7.854727603
jarque-bera	3091.318816
probability	0

对图 4-1 与表 4-1 分析可得出：

(1) 由于标准正态分布的 K 值为 3，上证 50ETF 指数收盘价对数收益率序列的峰度 (Kurtosis) 为 7.854727603，远大于 3，证明序列存在尖峰厚尾的现象。

(2) 偏度 skewness = -0.626028647，同时序列分布有明显的左尾，jarque-bera 统计量为 3091.318816，且 J-B 概率值为 0，远小于 5%，证明收益率序列不服从标准正态分布。

#### 4.2.2 平稳性检验

为保证实证预测的准确性，在模型建立之前，需对样本收益率序列进行 ADF 平稳性检验。ADF 检验是假设检验，原假设：收益率序列存在单位根。本文通过 EVIEWS 软件进行平稳性检验，据下表可得，得出不同分位值情况下的 t 统计量。由于上证 50ETF 指数的收益率序列的 ADF 统计值为 -26.689，远小于各分位值的 t 统计量数值，且 t 统计量的概率为 0。因此原假设说法错误，收益率序列并不存在单位根，上证 50ETF 指数的对数收益率序列为平稳性序列。

表 4.2 ADF 校验表

ADF 统计值	-26.688909587915948
1%	-3.4358944654892474
5%	-2.86398831702468
10%	-2.56807353340147
T 统计量概率	0

#### 4.2.3 自相关性检验

为计算 GARCH 族模型的均值方差方程，模型建立之前，需初步识别自相关函数与偏自相关函数的 p 和 q 值。使用 EVIEWS 进行 ACF 和 PACF 检验，结果如下图所示。自相关系数模型与偏自相关函数同时出现了拖尾且震荡的形态。此时根据时间序列模型的基本判断方法，首先采用的均值方程为 ARMA 模型，并采用赤池信息准则 (AIC 准则) 来确定均值方程的阶数。

由图 4.2、图 4.3 可以得出自相关、偏自相关的系数都符合拖尾且震荡的形态，表明对数收益率具有自相关性；此时可利用 ARMA 模型来刻画自相关 (AR) 效果，以及收益率本身蕴含的经济趋势 (MA) 效果。

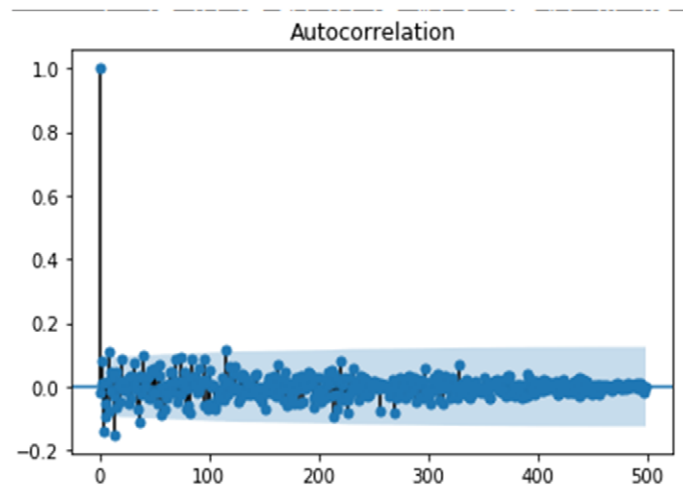


图 4.2 自相关性检验图

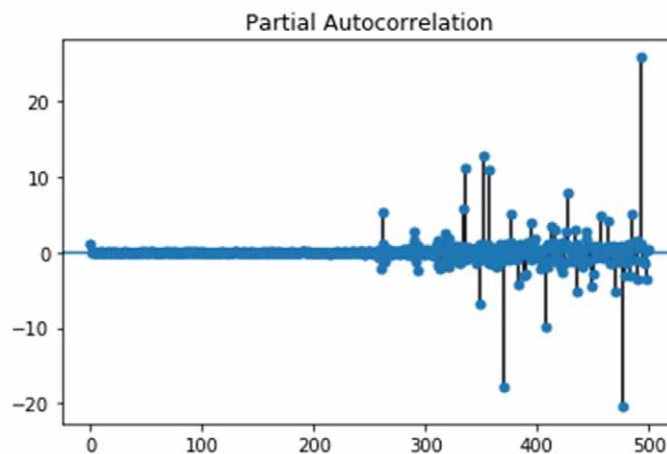


图 4.3 偏自相关性检验图

AIC 准则是 1974 年由日本统计学家赤池弘次首次提出，用来描述统计模型拟合情况的一种衡量方法。它最通俗的说法就是在可供选择的模型中，选取 AIC 值最小的模型。

在提高模型拟合优度，选取 AIC 值最小模型的同时，还要引入惩罚项，防止过度拟合结果的出现。为确立 ARMA 模型的阶数，需构建  $ARMA(p, q)$  模型。 $p$  和  $q$  在  $[0, 3]$  之中取值，且  $p, q$  不同时为 0。排列组合后建立个  $ARMA(p, q)$  模型，通过比较各个模型的 AIC 和 BIC 的值，如下图所示。根据 AIC 准则的要求，AIC 值越小，模型可靠性越高。此时，当 ARMA 模型为  $ARMA(2, 0)$  模型时，AIC 值最小。

表 4.3 ARMA (p, q) 模型的 AIC 与 BIC 值

(0.0)	AIC	-6405.474	BIC	-6395.3207
(0.1)	AIC	-6403.5439	BIC	-6388.314
(1.0)	AIC	-6403.5302	BIC	-6388.3003
(1.1)	AIC	-6405.4871	BIC	-6389.1644
(2.0)	AIC	-6412.9255	BIC	-6392.6189
(2.1)	AIC	-6411.1881	BIC	-6385.8048
(3.0)	AIC	-6411.4144	BIC	-6386.0312
(3.1)	AIC	-6409.7518	BIC	-6379.2919

表 4.4 500 日 ARMA (p, q) 模型的 AIC 与 BIC 值

500 天数据				
(0.0)	AIC	-3040.0089	BIC	-3031.5797
(0.1)	AIC	-3038.1350	BIC	-3025.4912
(0.2)	AIC	-3036.2347	BIC	-3019.3762
(1.0)	AIC	-3038.1376	BIC	-3025.4937
(1.1)	AIC	-3036.1409	BIC	-3019.2824
(2.0)	AIC	-3036.1775	BIC	-3019.3191
(2.1)	AIC	-3034.3105	BIC	-3013.2375

这里我们把 500 日的数据当作参考。500 日的 ARMA 模型为 ARMA (2,0) 模型，也就是这 500 天的指数日收益率的均值，服从 AR(2) 的自回归过程，MA 的参数为 0。

AC	Q	Prob(>Q)	PAC
-0.000666	0.000223	0.988087	-0.000667
0.002517	0.003416	0.998293	0.002527
0.078983	3.153924	0.368497	0.079463
-0.137618	12.737796	0.012631	-0.139494
-0.095202	17.333552	0.003909	-0.097782
-0.054599	18.84821	0.004428	-0.062329
0.016826	18.99236	0.008211	0.041228
-0.074056	21.790246	0.00532	-0.08102
0.110606	28.044115	0.000938	0.098953
0.046159	29.135545	0.001185	0.018059
-0.011977	29.209181	0.002106	-0.002276
0.030827	29.697974	0.0031	-0.00708
-0.028539	30.117752	0.004529	-0.016137
-0.150361	41.794149	0.000133	-0.144522
0.044695	42.828003	0.000167	0.070114
-0.06513	45.027832	0.000137	-0.076141
-0.003195	45.033136	0.000241	0.036461
0.013972	45.134787	0.000396	-0.04945
-0.047303	46.302415	0.000449	-0.056465
0.086854	50.247092	0.000204	0.066219
-0.004481	50.257613	0.000336	0.001066
0.01903	50.447765	0.00051	-0.006727
-0.008961	50.490019	0.000794	0.009114
0.019751	50.695722	0.001154	0.016188
-0.007531	50.725695	0.001733	0.008477
-0.052435	52.181643	0.00171	-0.042987
0.028653	52.617303	0.002238	0.008657
0.033391	53.21023	0.002774	0.053619
-0.036511	53.920629	0.003304	-0.034742
0.029406	54.382411	0.004167	-0.00183
0.077462	57.593732	0.002566	0.08977
0.011845	57.668978	0.003565	0.015382
-0.005958	57.68806	0.004951	-0.021614
-0.00374	57.695594	0.006797	0.004774
-0.072143	60.50499	0.004728	-0.076058
-0.109161	66.951047	0.001309	-0.080407
0.034197	67.585007	0.001573	0.030031
0.028416	68.023691	0.001971	0.057347
-0.02112	68.266548	0.002572	-0.01409
0.095513	73.244392	0.001041	0.036592

图 4.4 ARCH 检验值

#### 4.2.4 ARCH 效应检验

在建立上证 50ETF 指数的对数收益率序列残差模型之前，要检验出模型是否存在异方差，此时就要通过 ARCH 效应检验来实现。此时，我们采取的 ARCH 效应检验方法为拉格朗日乘数检验法。回归引入滞后项。根据上表与下图的自相关性与偏相关性的检验可得上下边界值分别为：

$$[-0.08944271909999159, 0.08944271909999159]$$



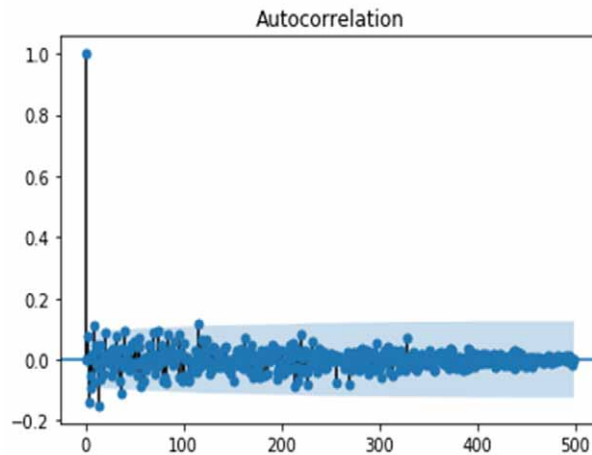


图 4.5 ARCH 模型自相关性检验图

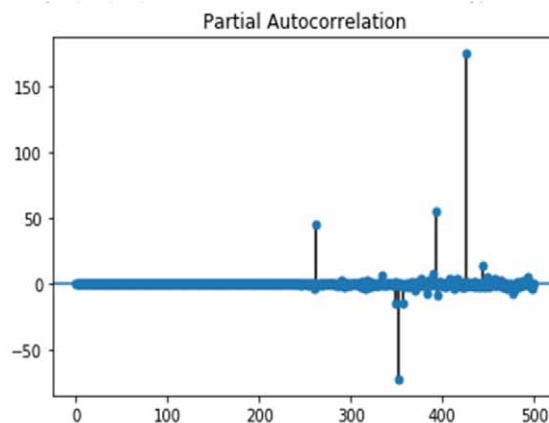


图 4.6 ARCH 模型偏自相关性检验图

由图 4-5、图 4-6 可得，残差的自相关系数与偏自相关系数均存在拖尾且震荡的形态，表明残差具有自相关性；通过 Ljung-BoxQ 统计量检验 ARCH 效应时，可得出  $p$  值为  $1.2509352652112765e^{-95}$ ，接近于 0，远小于 0.05。此时可以拒绝残差序列的白噪声现象，表明残差序列具有 ARCH 效应。因此上证 50ETF 指数的对数收益率序列可以用 GARCH 类模型来建立，也可得出，上证 50ETF 指数的对数收益率的残差序列也具有此特性，可以建立 GARCH 模型。

#### 4.2.5 建立 GARCH 族模型

在建立 GARCH 族模型时，需要通过参数显著原则计算模型参数的数量，并通过赤池准则来选取 AIC 值最小的 GARCH 模型，进而对波动率进行预测。此时对 2016 年 12 月 13 日至 2019 年 1 月 2 日共 500 个交易日的上证 50ETF 指数收盘价的对数收益率进行建模，模型的 AIC 和 BIC 值如下表所示。根据 AIC 最小原则，选取 GARCH 模型的  $p$  和  $q$  是 (1,2)。

表 4.5 GARCH 模型的 AIC、BIC 值统计表

P-Q	AIC	BIC
(1.1)	-3131.7013	-3106.4377
(1.2)	-3131.8492	-3102.3750
(2.1)	-3129.9769	-3100.5027
(2.2)	-3127.5662	-3093.8814

得到均值模型:

$$r_t = 0.0006042 - 0.0175r_{t-1} + 0.000294403r_{t-2} + 0.00000138\varepsilon$$

$$\varepsilon_t = \sigma_t \mu_t$$

$$\ln(\sigma_t^2) = 3.30889e - 6 + 0.8917911\ln(\sigma_{t-1}^2) + 0.0655461 + 0.0187414 \frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}}$$

#### 4.2.6 波动率预测

2019 年 1 月至 11 月,按照每月建模一次的频率在每月第三个星期三收盘后建立波动率模型,一共需要预测 11 次。根据预测的行权日前五日波动率来进行未来已实现波动率的计算。具体公式为:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2}$$

已实现波动率 RV 的计算公式为:

$$RV = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$$

表 4.6 预期波动率与 RV 统计表

前五日	行权日	预期波动	RV	预期波动(非年化)
2019/1/16	2019/1/23	0.25843779	0.011691257	0.081725205
2019/2/20	2019/2/27	0.22442698	0.039176429	0.070970042
2019/3/20	2019/3/27	0.267306409	0.001477434	0.084529709
2019/4/17	2019/4/24	0.254536188	0.010925761	0.08049141
2019/5/15	2019/5/22	0.303639709	0.010006672	0.096019307
2019/6/19	2019/6/26	0.255675632	0.012875619	0.080851734
2019/7/17	2019/7/24	0.269924806	0.009553438	0.085357719
2019/8/21	2019/8/28	0.261074562	0.011903977	0.082559026
2019/9/18	2019/9/25	0.172680261	0.005588105	0.054606293
2019/10/16	2019/10/23	0.107834719	0.008405982	0.034100332
2019/11/20	2019/11/27	0.109365386	0.006087648	0.034584372

### 4.3 隐含波动率的研究

根据 B-S-M 波动率公式，已知上证 50ETF 期权为欧式期权，通过 Wind 金融数据库搜集到以下期权相关数据：期权的价格  $C$ ，期权的执行价格  $K$ ，到期日  $T$ ，存续期内的无风险利率  $r$ 。根据上述样本数据进行隐含波动率的反推。本文统计每个月第四个星期三（ $T$  日）的前五个交易日（ $T-5$  日）的数据，计算当月行权的期权隐含波动率。通过 MATLAB 软件计算隐含波动率有两种方法，①利用 f-solve 函数进行求解。②基于 B-S-M 模型的 Newton-Raphson 方法进行计算。每月的隐含波动率计算结果如表所示：

表 4.7 隐含波动率统计表

月份	隐含波动率
1	0.1805
2	0.206
3	0.2887
4	0.2749
5	0.2426
6	0.2413
7	0.2141
8	0.1615
9	0.1607
10	0.0983
11	0.1181

## 第5章 上证50ETF期权套利策略的构建与回测

### 5.1 套利策略的方案设计与数据选取

在对 Delta 动态对冲理论研究过后，即要通过波动率差值构建相应的套利策略。隐含波动率与实现波动率是期权研究过程中的一个非常重要的指标，展示的是市场对于期权价格的预期和标的资产的真实走向。当隐含波动率增大时，意味着市场对于期权价格的预期会上升，此时期权价格一般会伴随着上升；当隐含波动率减少时，投资者对于期权价格的走势预期为减少，此时期权价格一般会降低。波动率套利策略是根据标的资产的已实现类波动率与隐含波动率的差值进行套利交易的，其中，隐含波动率代表投资者对于市场价格走势的预期；已实现波动率代表标的资产的理论价值。

通过两者进行对比，确认买卖机会点，当期权波动率高于标的资产历史波动率时，说明期权价格存在高于其内在价值的情况，此时投资者一般会认为标的资产价格存在下降的可能性，因此投资者会进行期权空头交易。相反，投资者会选择期权多头交易。在期权波动率套利过程中，当投资者卖出期权合约时，需要注意期权隐含波动率是否会升高，如果升高，就是遭受损失；同理，当投资买入期权合约时，需要注意期权隐含波动率是否会下降，一旦下降，也会遭受不小的损失。由于期权多头一方的损失有限，即无法行权时，会损失期权的权利金；同时期权空头一方可能会面临巨大损失。可以得出，期权空头面临的风险要远大于多头一方。

选取的数据为：1.标的资产数据，为2019华夏50ETF基金（510050）一月至11月，每月第三周周三和每月第四周周三的收盘价（6月份除外）。

收盘价：股/元

表 5.1 标的资产收盘价统计表

日期	1 月 16 日	1 月 23 日	7 月 17 日	7 月 24 日
收盘价	2.374	2.392	2.916	2.952
日期	2 月 20 日	2 月 27 日	8 月 21 日	8 月 28 日
收盘价	2.577	2.736	2.919	2.912
日期	3 月 20 日	3 月 27 日	9 月 18 日	9 月 25 日
收盘价	2.794	2.723	3.003	2.977
日期	4 月 17 日	4 月 24 日	10 月 16 日	10 月 23 日
收盘价	2.997	2.958	3.051	3.000
日期	5 月 15 日	5 月 22 日	11 月 20 日	11 月 27 日
收盘价	2.765	2.709	3.013	2.988
日期	6 月 6 日	6 月 26 日		
收盘价	2.704	2.916		

表 5.2 期权头寸价格表

日期	c 平值	c 虚值	c 实值	p 平值	p 虚值	p 实值
1 月 16 日	0.0145	0.0048	0.0361	0.0478	0.0212	0.0875
2 月 20 日	0.0281	0.0116	0.0531	0.0475	0.0230	0.0849
3 月 20 日	0.0468	0.0291	0.0720	0.1583	0.1302	0.1881
4 月 17 日	0.0566	0.0197	0.1250	0.0413	0.0120	0.1051
5 月 15 日	0.0949	0.0722	0.1194	0.1001	0.0753	0.1305
6 月 6 日	0.1694	0.0480	0.1931	0.1222	0.0962	0.1445
7 月 17 日	0.0460	0.0242	0.0820	0.0303	0.0135	0.0597
8 月 21 日	0.0380	0.0180	0.0735	0.0248	0.0097	0.0540
9 月 18 日	0.0278	0.0053	0.0587	0.0284	0.0110	0.1056
10 月 16 日	0.0694	0.0116	0.1165	0.0049	0.0008	0.0468
11 月 20 日	0.0500	0.0057	0.0968	0.0065	0.0018	0.0629

## 5.2 套利策略的构建与回测

通过波动率模型对行权日及行权日前四日的上证 50ETF 指数波动率进行预测，建仓时间为 T-5 日（每月第三星期的星期三）。临近行权日建仓的好处在于减少外部因素的影响，对波动率模型的可行性提供较好验证。之后根据不同比例分别采用跨式、蝶式价差的套利策略，并对收益进行回测。从而达到对不同的波动率比率区间，提供较好策略建议的目的。

表 5-2 为每月建仓日期时，与华夏 50ETF 基金（510050）收盘价接近的平值、微虚值或微实值期权的看涨或看跌期权头寸的开盘价格。这也是要采用套利策略的期权标的。（若无需平值期权，即只通过微虚值或微实值建仓）当预测已实现类波动率与计算隐含波动率完成之后，我们根据二者不同的数值比值对波动率进行分类可得：

表 5.3 波动率比值表

月份	已实现波动率/隐含波动率
1 月	1.4315
2 月	1.0893
3 月	0.9259
4 月	0.9258
5 月	0.9514
6 月	1.0597
7 月	0.9602
8 月	0.8167
9 月	1.0741
10 月	1.0261
11 月	0.9271

当波动率比例大于 1 时，我们看好期权定价过低，会在各套利策略中进行波动率多头套利；反之相反。实盘回测中，假设每次交易的建仓金额相同，保证金充足，并忽略手续费。

### 5.2.1 跨式期权策略

跨式期权组合由相同数量的看涨期权与看跌期权构成，两者具有相同的执行价格与存续期。当同时买入看涨期权与看跌期权时，则为跨式期权多头；反之则为跨式期权空头。

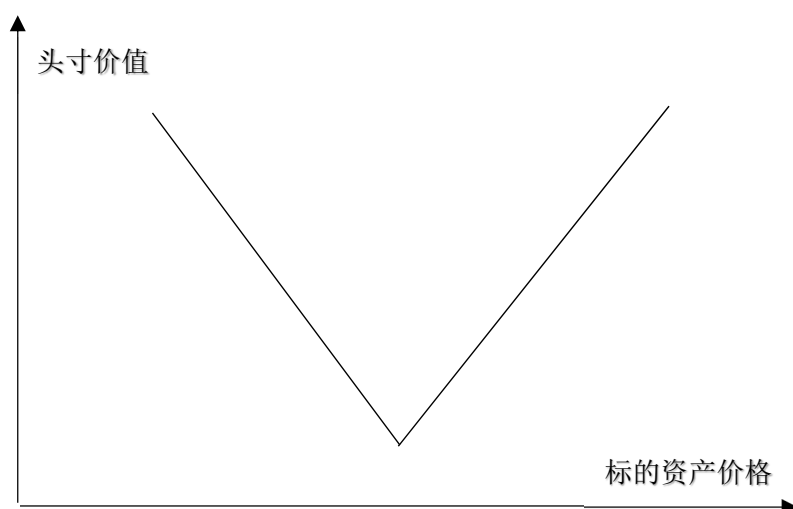


图 5.1 跨式期权多头

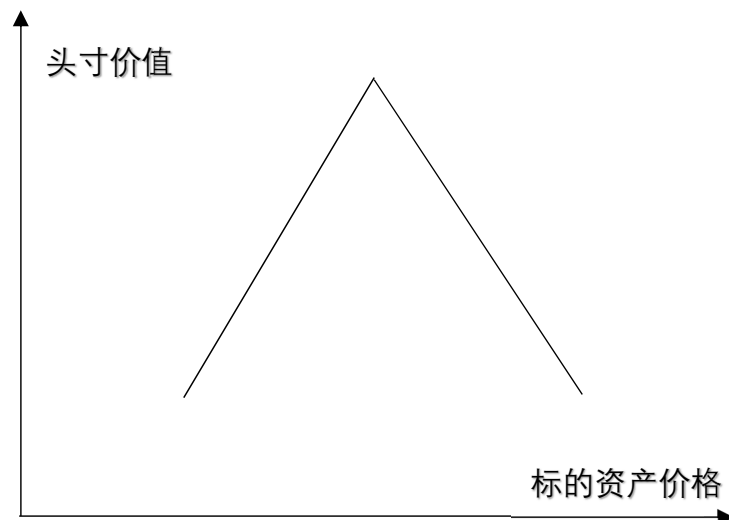


图 5.2 跨式期权空头

头寸价值随标的资产价格走势如图所示。当标的资产的变动方向远离执行价格时，跨式期权组合的价值便会增加。而随着到期时间的临近，价格没有发生变化，头寸价值就为减少。因此，当其他条件不变时，波动率的增加会使跨式期权组合投资者收益，反之增相反。各月份的操作方式及收益率为：

表 5.4 跨式期权策略

月份	操作方式	收益率
1 月份	买入 c2.401, 买入 p2.401	-0.0432
2 月份	买入 c2.600, 买入 p2.600	+0.0561
3 月份	卖出 c2.800, 卖出 p2.800	-0.0854
4 月份	卖出 c3.000, 卖出 p3.000	+0.0616
5 月份	卖出 c2.750, 卖出 p2.750	+0.0493
6 月份	买入 c2.700, 买入 p2.700	+0.0393
7 月份	卖出 c2.900, 卖出 p2.900	+0.0403
8 月份	卖出 c2.900, 卖出 p2.900	+0.0309
9 月份	买入 c3.000, 买入 p3.000	-0.0333
10 月份	买入 c3.000, 买入 p3.000	-0.0540
11 月份	卖出 c3.000, 卖出 p3.000	+0.0381
累计收益率		+0.0947

如 2 月中，已实现波动率与隐含波动率的比例为 1.0893，此时应构建波动率多头策略。已知建仓时看涨期权（c2.600）价格为 0.0281；看跌期权（p2.600）价格为 0.0475，因此建仓总成本为 0.0756。交割日当日，由于标的资产收盘价有所上涨，因此带动看涨期权的价格上涨为 0.1308；看跌期权价格下跌为 0.0009。平仓时头寸总价为 0.1317，总体收益为 0.0561。

### 5.2.2 蝶式期权策略

蝶式期权是由具有相同类型（都为看涨期权或看跌期权）并具有相同存续期，且三腿头寸合约间的执行价格均相等的价差组合构成。当买入外部执行价格的期



权组合，卖出内部执行价格的期权组合时，相当于购买了一份蝶式期权多头；蝶式期权空头中，操作正好相反。且蝶式期权的构成比例为固定的 1: 2: 1，即内部执行价格的期权与外部执行价格的两腿比例均为二比一。

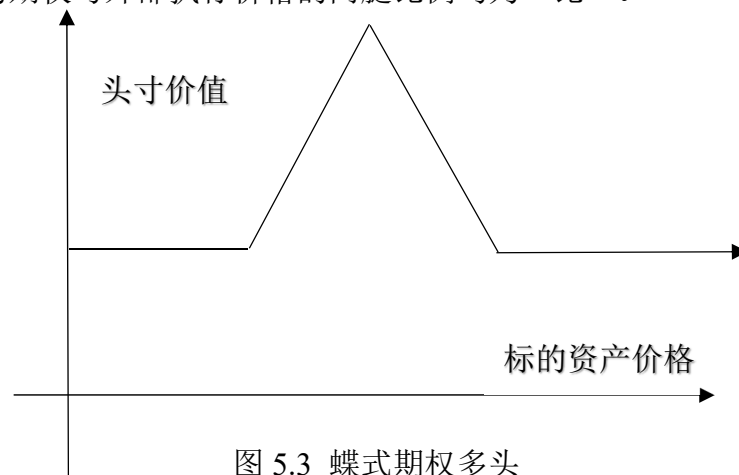


图 5.3 蝶式期权多头

相比跨式期权的收益与风险可能性较大的情况，蝶式期权的潜在收益与风险均被限制在一定程度之上。蝶式期权组合的价值不会小于 0，同时也不会大于任意两腿之间执行价格的差值。投资者可能会发现卖出入 10 手蝶式期权会比卖出 5 手跨式期权的风险小的多。在期权交易中，规模与风险并不总是相关的。

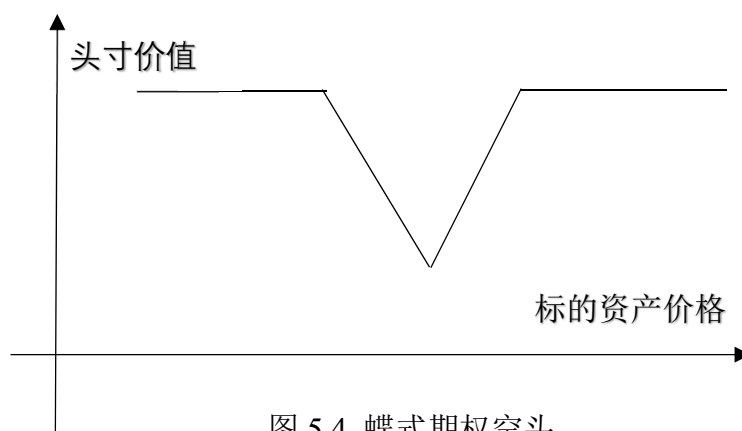


图 5.4 蝶式期权空头

表 5.5 蝶式期权策略

月份	操作方式	收益率
1 月份	卖出一份 c2.45, 买入两份 c2.401, 卖出一份 c2.352	-0.0204
2 月份	卖出一份 c2.65, 买入两份 c2.6, 卖出一份 c2.55	+0.0074
3 月份	买入一份 c2.85, 卖出两份 c2.8, 买入一份 c2.75	-0.0068
4 月份	买入一份 c3.1, 卖出两份 c3, 买入一份 c2.9	+0.0342
5 月份	买入一份 c2.8, 卖出两份 c2.75, 买入一份 c2.7	+0.0030
6 月份	卖出一份 c2.75, 买入两份 c2.7, 卖出一份 c2.65	+0.0165
7 月份	买入一份 c2.95, 卖出两份 c2.9, 买入一份 c2.85	+0.0093
8 月份	买入一份 c2.95, 卖出两份 c2.9, 买入一份 c2.85	+0.0062
9 月份	卖出一份 c3.1, 买入两份 c3, 卖出一份 c2.95	-0.0177
10 月份	卖出一份 c3.1, 买入两份 c3, 卖出一份 c2.95	-0.0399
11 月份	买入一份 c3.1, 卖出两份 c3, 买入一份 c2.95	+0.0288
累计收益率		+0.0206

### 5.2.3 比例价差策略

波动率价差套利策略中, 投资者有时也会持有一定的方向性判断。当投资者主要关注的是标的资产的价格变动方向, 在选择价差时首要的考虑因素就是方向性特征, 然后才会考虑波动率特征。这时的投资者不会一味的追求  $\Delta$  中性, 而是会对头寸的方向性变化给予一定的观点, 因此前两种套利策略便不能满足投资者的需要。为实现这一目标, 投资者可以构建比例价差策略—通过买入或卖出不同数量的期权得以实现。若当投资者认为最初是牛市( $\Delta$  值为正)价差的市场, 在之后仍为牛市, 则投资者可以选择看涨价差策略, 反之则相反。

投资者买入看涨期权多于卖出的看涨期权时, 我们便称比例价差策略为看涨比例价差; 用看跌期权构建的头寸组合则称为看跌比例价差。

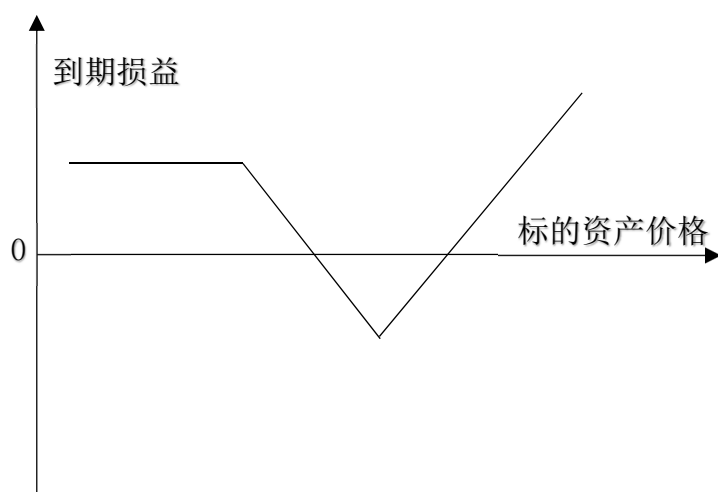


图 5.5 看涨比例价差策略

当构建比例价差时, 投资者必须要确定后市为牛市或熊市判断的坚定程度。若对判断非常自信, 投资者即可构建价差较大的  $\Delta$  值以及建仓规模较大的价

差。另外，据图 5.5、图 5.6 可得，构建好的比例价差策略通常能够确定一个方向的风险程度。因此当投资者试图限定风险程度并博取高额收益时，比例价差策略是极其实用的。

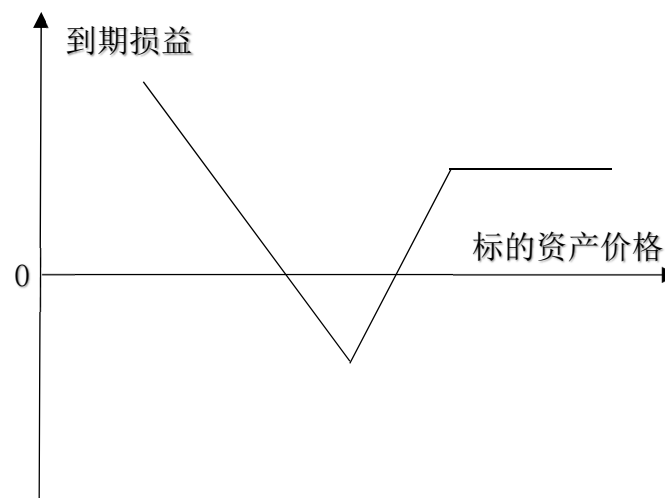


图 5.6 看跌比例价差策略

### 5.3 波动率套利策略回测结果分析

本文研究的主要方向是基于 Delta 中性条件下波动率模型与套利策略在实盘操作中的收益性与稳定性。由于跨式期权与蝶式期权策略的构建更加依赖于波动率模型的预测与反推。因此通过实证能够表现出模型的可靠性与稳定性。相对来讲，比例价差策略更加适用于，当投资者持有一定方向性判断时加以运用。例如多头的比例价差策略具有+Vega 值，此时投资者的预测是标的资产的波动率会上升。因此，单独利用波动率模型进行比例价差的套利交易，很难获得稳定的收益。投资者应采取基本面与技术面分析相结合的方式，辅以合适的套利策略，此时获取收益的可能性才会更高。

针对跨式期权策略实证结果可得，跨式期权在考虑手续费情况下（50ETF 期权每手手续费为 5-30 元）仍能获得相对丰厚的收益，但由于头寸仍面临较大的 Delta、Gamma、Vega 等风险，当已实现波动率出现预测偏差时，头寸会出现较大情况的损失，资产收益的最大回撤值较高。投资者在实际交易中可加入其他技术分析手段辅助 GARCH 类模型进行已实现波动率的预测，此时能够获得更大规模的理论收益。

蝶式期权投资策略中由于相对锁定收益与亏损，每笔交易的收益率波动程度并不高。值得注意的是，投资策略中出现较大规模亏损的交易均出现在蝶式期权空头策略中，也就是在预测已实现波动率大于隐含波动率的情况。实际交易中，当头寸价值未出现向投资者预测方向偏移，且期权存续期临近时。投资者可在此

时引入跨式或宽跨式期权空头策略,获取抵补损失的保证金。实际的期权市场中,波动率预测偏差能够被投资者其他的股票头寸以及不同的套利模型对冲掉。

实际上针对期权的波动率价差策略种类非常多,投资者进行期权交易最理想的操作是买入被低估的期权,并卖出被高估的期权。换句话说,我们要寻求买入隐含波动率过低;卖出隐含波动率过高的头寸。此时无论采用何种价差策略,投资者都能够获得正的理论收益。因此,本文中的 GARCH 类模型预测效果便是实证能否获得稳定收益的关键。跨式期权与蝶式期权的实证操作得出,二者相结合的方式能够在上证 50ETF 期权市场中获取套利收益。

由于数据、技术性操作等原因,本文并未将 Delta 动态对冲与波动率套利策略结合开来,只是分别通过理论与实证对二者在波动率套利交易中的重要性加以研究和证明。同时,针对波动率预测方面,未将 GARCH 类波动率模型、历史波动率模型、隐含波动率模型三者赋予相应的权重结合分析。这些方面仍有待于数据更加充分、理论研究更加成熟时的学者加以研究。

现今我国金融衍生品市场仍处于起步阶段,国内的场内期权只有上市五年的上证 50ETF 期权,以及上市不久的 300ETF 期权。这对样本数据的采集与回测均带来了一些麻烦。虽然,根据套利策略的收益率与最大风险来看,两种策略都能够获得一定的累计正收益和风险保障。这表明利用 GARCH 模型的波动率套利策略在实盘仍能获得一定的收益,但策略的有效性仍然需要更多的回测与实操得以验证。

## 参考文献

- [1]吕志鸿.基于时间序列 GARCH(1,1)模型的上证 50ETF 波动率预测[J].中国市场,2015(49):118-121.
- [2]朱雅宁.基于中国黄金期货市场数据的 GARCH 族模型拟合评价[J].时代金融,2015(02):12-13.
- [3]洪晶晶, 吴鹏跃.基于 GARCH 模型的金融市场波动性分析与预测[J].价值工程, 2016,35(01):46-47.
- [4]祝福云,金秋佳,张斌.上证 50ETF 期权对股票市场的波动性影响[J].经济研究导刊,2019(01):66-68.
- [5]黄轩,张青龙.基于 ARMA-GARCH 模型的沪深 300 指数波动率分析与预测[J].中国物价,2018(06):44-46.
- [6]王天一,刘浩,黄卓.基于混频数据抽样的已实现波动率长记忆模型[J].系统工程学报,2018, 33(06):812-822.
- [7]吴奔, 张波, 赵丽丽.不规则时间序列波动率建模:高频与低频的统一[J].系统工程理论与实践, 2019, 39(01):36-48.
- [8]郑振龙,黄薏舟.波动率预测:GARCH 模型与隐含波动率[J].数量经济技术经济研究,2010, 27(01):140-150.
- [9]骆桦,王爽.用 GARCH 模型与隐含波动率预测金融波动率[J].浙江理工大学学报(自然科学版), 2016, 35(02):322-326.
- [10]成华丽,成鸿飞.上证 50ETF 期权隐含波动率曲面建模和实证分析方法[J].时代金融,2018(27):149-150+154.
- [11]吕张劼.50ETF 隐含波动率曲面实证研究和统计套利[J].金融经济, 2018(22):102-106.
- [12]丛明舒.中国场内期权市场研究——基于中美关于期权隐含方差的差异[J].金融研究,2018(12):189-206.
- [13]文风华,刘晓群,唐海如, 杨晓光.基于 LHAR-RV-V 模型的中国股市波动性研究[J].管理科学学报, 2012, 15(06):59-67.
- [14]陈浪南,杨科.中国股市高频波动率的特征、预测模型以及预测精度比较[J].系统工程理论与实践, 2013, 33(02):296-307.
- [15]闫会强,夏霄松,金浩. HAR 族模型对波动率的预测精度比较及其 SPA 检验——基于沪深 300 指数高频数据[J].经济论坛, 2017(11):75-84.
- [16]朱学红,邹佳纹,韩飞燕,谌金字.引入外部冲击的中国铜期货市场高频波动率建模与预测[J].中国管理科学, 2018,26(09):52-61.

- [17]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.
- [18]蒋远营,张波.基于非参数贝叶斯方法的随机波动建模与应用[J].数理统计与管理,2019, 38(01):49-61.
- [19]吴鑫育,李心丹,马超群.基于随机波动率模型的上证 50ETF 期权定价研究[J].数理统计与管理,2019,38(01):115-131.
- [20]鲜京宸,刘庆.中国上证 A 股 50ETF 期权套利路径及风险对策研究[J].重庆师范大学学报(哲学社会科学版), 2016(05):76-85.
- [21]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 模型和蒙特卡洛模拟[J].运筹与管理,2017, 26(08):157-166.
- [22]山磊,郑柏茹.我国股票期权无风险套利策略研究[J].价格理论与实践, 2016(01):140-142.
- [23]傅强,林昱先.基于敞口对冲策略的上证 50ETF 期权卷筒式套利实证研究[J].中国经贸导刊(理论版), 2017(20):25-26.
- [24]雷书达,吴文锋.关于上证 50ETF 期权价格有效性研究——基于期权平价理论分析[J].价格理论与实践, 2017(04):116-119.
- [25]邓力.上证 50ETF 期权隐含波动率曲面:建模及实证研究[J].投资研究, 2017,36(02):124-146.
- [26]夏泽宇,高峰,杨之曙.上证 50ETF 期权市场上的平价关系偏离[J].经济学报, 2018,5(04):79-102.
- [27]魏小朵,王艺,蔡基伟,杜赫,张秋兰.基于上证 50ETF 期权风险敏感指标实证分析[J].现代经济信息, 2018(15):302.
- [28]许桐桐,王苏生,彭珂.上证 50ETF 期权风险管理与套利策略研究[J].华北电力大学学报(社会科学版),2018(01):47-54.
- [29]李庆,杨青龙.模型指导的单指标非参数期权定价[J].数理统计与管理, 2018,37(06):1086-1094.
- [30]马天平,吴卫星.基于机器学习算法的金融期权波动率预测[J].学海, 2018(05):201-209.
- [31]孙有发,郭婷,刘彩燕,曾莹莹,杨博民.股灾期间上证 50ETF 期权定价研究[J].系统工程理论与实践,2018,38(11):2721-2737.
- [32]刘德红,黄振环,陈宗志.上证 50ETF 个股期权的市场效率研究[J].北京交通大学学报(社会科学版),2019,18(01):48-56.
- [33]吴国维. 股票指数 ETF 期权推出对中国股票市场波动性的影响——基于上证 50 ETF 期权高频数据的实证分析[J]. 中国经贸导刊, 2015(14).

- [34] 罗坚. 50ETF 期权套利机会分析[J]. 金融经济, 2019(04):118-119.
- [35] Black F, Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities[J]. Journal of Political Economy, 1973, 81(3):637-654.
- [36] Britten-Jones M, Neuberger A. Option prices, implied price processes, and stochastic volatility[J]. Journal of Finance, 2000, 55(2):839-866.
- [37] Jiang G J, Tian Y S. The Model-Free Implied Volatility and Its Information Content[J].
- [38] Mixon S. Option markets and implied volatility: Past versus present[J]. Journal of Financial Economics, 2009, 94(2):171-191.
- [39] Hansen P R, Lunde A. Forecasting Volatility Using High Frequency Data[J]. Social Science Electronic Publishing. 2011.
- [40] Hajipour M, Malek A. Efficient High-Order Numerical Methods for Pricing of Options[J]. Computational Economics, 2013, 45(1):31-47.
- [41] Bladt M, Rydberg T H. An actuarial approach to option pricing under the physical measure and without market assumptions[J]. Insurance Mathematics & Economics, 1998, 22(1):65-73.
- [42] Daglish T, Hull J, Suo W. Volatility surfaces: theory, rules of thumb, and empirical evidence[J]. Quantitative Finance. 2007, 7(5).
- [43] Durrleman V. From implied to spot volatilities[J]. Available at SSRN 1162425. 2008.
- [44] Goncalves S, Guidolin M. Predictable dynamics in the S&P 500 index options implied volatility surface\*[J]. The Journal of Business. 2006, 79(3).
- [45] Hyndman R J, Koehler A B. Another look at measures of forecast accuracy[J]. International Journal of Forecasting, 2006, 22(4):679-688.
- [46] Tsay R S. Analysis of Financial Time Series[M]. John Wiley & Sons, 2005.
- [47] Andersen T, Bollerslev T, Diebold F X, et al. Modeling and forecasting realized volatility[J]. 2003.
- [48] Ledoit O, Wolf M. Some hypothesis tests for the covariance matrix when the dimension is large compared to the sample size[J]. Annals of Statistics. 2002.
- [49] Durrleman V. From implied to spot volatilities[J]. Available at SSRN 1162425. 2008.

## 作者简介

教育经历：2013 年 9 月-2017 年 6 月 吉林工商学院 投资学

2017 年 9 月至今 吉林财经大学 金融学

攻读学位期间发表论文情况：《对隐含波动率套利的研究》



## 后 记

此时，我首先要感谢我敬爱的导师李晓冬老师。在就读研究生期间，每当在学术研究或生活中遇到困难时，李老师总会耐心倾听，分析问题原因并给出解决意见；在毕业论文的书写过程中，李老师时刻关注我最新的想法与写作动态，李老师对学术的严谨程度也不断鞭策我取得更加优异的研究成果。研究生三年的学习是我人生中自我提升最多、感悟最丰富的人生阶段，能与李老师相识，并能在他身边学习交流是我的荣幸。在此，向李老师致以最诚挚的敬意。

同时，我要感谢各位评审老师在百忙之中对本人论文内容的意见与指导，你们的教导是我在未来的学术研究道路中取得进步的重中之重。

其次，我要感谢我的父母，你们在生活与精神上提供的支持是我能够更好投入学习的动力与基石。

最后，我要感谢我的母校吉林财经大学提供的三年学习时光。衷心祝愿吉林财经大学能够培养出更多的人才，也祝愿吉林财经大学的明天更加美好！