

分 类 号 _____

学号 M201774215

学校代码 10487

密级 _____

华中科技大学

硕士学位论文

基于 ETF 和期权的股指期货 期现套利策略研究

学位申请人：袁艺

学科专业：金融硕士

指导教师：欧阳红兵 教授

答辩日期：2019 年 5 月

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Finance**

**Research on Future-Spot Arbitrage Strategy of
Stock Index Futures Based on ETF and Options**

Candidate : Yi Yuan

Major : Master of Finance

Supervisor : Prof. Hongbing Ouyang

Huazhong University of Science & Technology

Wuhan 430074, P. R. China

May, 2019

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已标明引用的内容外，本论文不包含任何其他人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密□，在_____年解密后适用本授权书。

本论文属于

不保密□。

（请在以上方框内打“√”）

学位论文作者签名：

指导教师签名：

日期： 年 月 日

日期： 年 月 日

摘要

2015 年 4 月 16 日中证 500 股指期货的正式推出,为各类型的投资者提供了大量的投资和管控风险的工具,提高了资本市场效率,促使市场健康发展和稳健运行。而期现套利交易对股指期货市场的发展十分重要,它能够纠正期货与现货价格之间的偏差,提高市场的流动性。

首先,本文阐述了国内外就股指期货期现套利的研究进展,从而确定后面需要改进和创新的地方。接着对与期现套利相关的理论进行了总结和描述,为无套利区间的推导奠定了基础。前人在中证 500 股指期货期现套利方面的研究中,对于相关参数的设定存在不完整和不精确的问题。因此本文对相关参数进行了全面系统的考虑,尤其是就 ETF 对股指的跟踪误差以及交易中的冲击成本等因素做了详细的分析。确定无套利区间后,就可以利用计算机程序来判断具体的进仓和平仓信号。

其次,分析中证 500 股指期货的基差波动情况,发现它达到一定水平时具有反向回归的趋势。并且基差水平与合约到期日成正比,即合约的到期日越久,基差相应的也就越大。

经过综合对比,本文选择南方中证 500ETF 作为现货参与套利,而期货有当月、下月及随后两个季月四种合约。通过统计学检验,发现当月和当季合约的收益率序列与现货序列相关性更强,故选取这两种期货合约进行实证分析。

然后,以期货保证金变动的时间为分界点将样本分为两个时间段,以 MATLAB 编写期现套利的程序,并将套利的方向、次数和收益等进行统计。分析统计出的结果,发现期现套利策略更适用于市场活跃、成交量大和投机力量强的情况。最后,对比了 ETF 和期权组合分别作为现货来进行反向套利的结果,发现构造能够卖空的现货组合对充分实现期现套利的收益空间很重要。当未来推出中证 500ETF 的期权时,套利机会可以得到更进一步的深入挖掘。

关键词: 期现套利 中证 500ETF 高频交易 基差

Abstract

On April 16, 2015, the official launch of China securities 500 stock index futures provided various types of investors with a large number of investment and risk control tools, improved the efficiency of the capital market, and promoted the healthy development and steady operation of the market. The forward carry trade is very important for the development of stock index futures market. It can correct the deviation between futures and spot prices and improve the market liquidity.

First of all, this paper describes the domestic and foreign stock index futures arbitrage research progress, so as to determine the need for improvement and innovation. Then it summarizes and describes the theories related to futures arbitrage, which lays a foundation for the derivation of no-arbitrage interval. In previous studies on futures arbitrage of the CSI 500 stock index, the setting of relevant parameters is incomplete and inaccurate. Therefore, this paper makes a comprehensive and systematic consideration of relevant parameters. After determining the no arbitrage interval, the computer program can be used to determine the specific entry and entry signals.

Secondly, the paper analyzes the basis fluctuation of CSI 500 stock index futures, and finds that it has a trend of reverse regression when it reaches a certain level. Moreover, the level of basis is proportional to the contract maturity date, that is, the longer the contract maturity date is, the larger the basis is.

After comprehensive comparison, this paper chooses the southern China securities 500ETF as the spot to participate in arbitrage, while futures have four types of contracts for the current month, the next month and the following two quarters. Through statistical test, it is found that the return rate series of the current month and the current quarter contract have a stronger correlation with the spot sequence, so the two futures contracts are selected for empirical analysis.

Finally, the sample was divided into two time periods with the time of futures margin change as the cut-off point. The program of futures arbitrage was written with MATLAB, and the direction, times and income of arbitrage were counted. The results show that the forward arbitrage strategy is more suitable for the situation of active market, large trading volume and strong speculative power.

Key words: future-spot arbitrage , CSI 500ETF , high-frequency trading , basis

目录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究的背景.....	1
1.2 研究意义.....	2
1.3 国内外文献综述.....	3
1.4 论文结构和研究方法.....	9
1.5 论文的创新.....	10
第 2 章 股指期货期现套利相关理论.....	11
2.1 期现套利的基本原理.....	11
2.2 ETF 与期权组合分别作为期现套利的现货.....	13
2.3 期现套利的策略.....	14
2.4 本章小结.....	18
第 3 章 中证 500 股指期货的基差分析.....	19
3.1 中证 500 股指期货简介.....	19
3.2 基于日数据的基差波动特点.....	20
3.3 基于高频数据的基差及其波动特点分析.....	21
3.4 基差波动的影响因素分析.....	22
第 4 章 中证 500 股指期货期现套利的实证分析.....	24
4.1 跟踪误差和冲击成本的测算.....	24
4.2 影响无套利区间的参数分析.....	26
4.3 数据选取与统计学检验.....	27
4.4 期现套利过程的算法描述.....	30
4.5 ETF 期现套利结果及分析.....	33
4.6 期权反向套利的实证分析.....	35
第 5 章 结论与展望.....	37
5.1 主要结论.....	37
5.2 展望.....	37
致谢.....	39
参考文献.....	40

第 1 章 绪论

1.1 研究的背景

沪深 300 股指期货是以沪深 300 指数作为标的物的期货合约，于 2010 年 4 月 16 日正式在中国金融期货交易所上市交易。沪深 300 股指期货的推出，对于广大投资者来说意义重大。因为它让投资者可以选择更为广阔的投资品种，有着更加便利的避险工具，也为投机者提供了一个可选择的套利工具，同时也有效地降低了资本市场的波动，使市场的功能得到更好的发挥。

自股指期货推出以来，我国 A 股市场多年来只能做多的现状得以结束，投资者可以选择做空，这一代表性事件是 2010 年 3 月 31 日沪深交易所正式开启了融资融券交易的试点工作。投资者如果发现存在系统性下跌机会的时候，可以迅速进行做空，这大大丰富了投资者的资产配置，也为投资模式注入了新鲜血液。

而在几年之后，通过一年多的计算机仿真交易，在 2015 年 4 月 16 日，股指期货市场又进一步推出了两种新的投资产品，分别是中证 500 股指期货和上证 50 股指期货。这两种股指期货的推出，在沪深 300 股指期货的基础之上，为资本市场的各种类型的参与者创造了大量的投资手段以及控制和管理风险的工具。除此之外，它们的推出对于全球资本市场效率的提高、全球资本市场的健康发展、全球资本市场的稳健运行等都有着及其重大的意义。

众所周知，股指期货的标的物是股票指数，而股票价格指数是由许多支股票根据一定的规则计算出来的反映股票市场总体价格水平以及趋势变动的一个数字。它的标的物是一篮子股票，而不是说跟期货一样其标的物只是某一种具体的商品，因此直接买卖股票指数无法实现。所以我们一般采取复制股票指数的方法，也就是构造一个股票组合。但是大量买卖各种股票太过于复杂，而且很难抓住股票波动所创造的套利机会，此外，大量买卖股票会对市场造成很大的冲击成本。所以由于这种无法直接跟踪股票指数买卖的交易促使了一种新的金融产品的诞生，也就是 ETF，即交易型开放式指数基金。

1990 年前后，美国、加拿大前后推出了 ETF，它具有便捷性、透明度高、交易成本低廉、当天套利、避险性等等一系列优点，因此自推出以来得以迅速在全球内快速发展。ETF 它即可由发行方的基金公司在市场上申购或者赎回，也可以在交易所上自由交易，基金份额可变，它兼具股票和指数基金的特色。历经了几十年的发展，ETF 在全球各地，不管是其管理的资产规模还是数量和品种，都有了迅猛的发

展进步，它在国际金融市场上已经成为一个不可或缺的金融产品。我国第一支 ETF 基金产品是在 2004 年推出的上海华夏上证 50ETF，到现在已经有了 15 年的历史。在此期间，各家基金公司已陆续推出了各种极具创新和具备投资价值的 ETF 产品。

由于 ETF 本身的交易方式决定了它只能够被动地去复制或者跟踪股票指数，而不是进行一个主动的操作，所以从其自身来看是没有办法去规避资本市场上普遍存在的系统性风险的。所以从这个角度来看，股指期货的推出给 ETF 的交易者创造了一个完美的对冲风险的工具。根据持有成本理论，股指期货与其相对应的 ETF 现货产品之间应当有一个稳定的关系，如果二者的价格偏离了这个范围，投资者就可以进行期现套利，从而获得无风险收益。因为现实的交易市场并不满足完美的条件，所以一定会存在期限套利的机会。只要股指期货与其现货之间的偏差满足对其进行套利交易所创造的套利成本可以覆盖掉交易成本，那么交易策略就是可行的。

利用 ETF 和股指期货进行期现套利对股指期货市场来说有着重大意义，套利可以引导未来股票的定价，因此也可以促进股票现货的定价趋于合理。期现套利也可以有效防止股指期货的暴涨暴跌，此外还可以合理配置资源，使市场上的资金流向更合理的地方。

多年来国内外各项研究表明，在股指期货刚推出之际，也就是股指期货市场还未成熟的时候，因为定价不合理，市场存在较多的套利机会。自我国的股指期货推出已将近有 10 年时间，那么市场上是否还存在着套利机会，如果存在，和刚推出之际相比又有什么变化，这值得我们仔细研究。

在期现套利这一交易策略中，由于存在公司分红的现象、股指期货的套利交易会给市场带来冲击成本、无风险利率也不是一成不变的等等风险因素，所以期现套利这样一种交易策略存在着一定程度的风险。在前人在这一领域的研究成果的基础上，本文充分考虑了公司分红以及冲击成本等因素，利用持有成本定价模型的核心思想，对期限套利的模型进行了补充和完善。针对中证 500 股指期货的特点设计了一个完整的期现套利策略模型，采取实证分析的方法，确定一个合理的无套利区间，并且给期现套利的投资者提供与套利策略相关的建议。

1.2 研究意义

投资者投资股指期货，可以实现资产管理以及风险对冲的目的，而且大量投资者投资股指期货可以维持资本市场的健康有效运转。对于股指期货的投资主要可以

划分成三种投资类型，分别是套期保值、投机以及套利交易。套利交易在这几种类型中可以说是最为重要的，因为它能够最大程度地发挥股指期货的功能。此外，股指期货市场能够长期稳定发展，套利交易的限制对其功不可没。

显而易见，中证 500 股指期货的推出加速了资产业务的更新和产品的创新。沪深 300、上证 50 以及中证 500 这三个股票指数之间有着密不可分的联系，即使如此，也不能说三个指数没有太大的差别。自上证 50 和中证 500 股指期货推出以来，它们可以和原先的沪深 300 相互作用于市场，把各种超大盘、大盘以及中小盘股票囊括在内，建立起一个完整的风险管控体系，这在一方面既可以有效缓解股市的波动，也可以促进股市向着更好的方向发展。

从现实的角度来看，对中证 500 股指期货进行交易，是对风险管理进行的一个优化。因为交易可以避免一些投资品供不应求的状况发生，创造品种多样的金融市场，使得股指期货市场向着健康的状态发展。对于股票市场中的权重股来说，中证 500 股指期货的推出也大大的为其创造了流动性，同时还增强了市场上投资者的投资信心，因为股票价格的合理定价得到了保证。对于机构投资者来说，它们可以更好地在金融市场上发挥它们本应有的作用，有力地加强了对冲风险的机制。ETF 和股指期货期现套利的机制的完善将大大提高机构投资者进入市场的兴趣，进而降低股票市场的整体系统性风险。

由于我国股指期货市场发展还不及欧美市场，成熟度还有所欠缺，市场上还存在着一定的套利机会，投资者也可以利用期现套利赚取收益。此外，期现套利还可使股指期货和现货得到合理的定价，增加市场的流动性。因此本文旨在加深对于股指期货期现套利机制的探讨和研究意义重大。

我国的股指期货自推出以来大部分时间是升水状态，而自 15 年的股灾之后的近两年时间里则一直处于贴水状态。以往的文献主要集中研究正向套利，针对近两年的贴水现象，重点研究反向套利，并对现货组合的构造提出可以改进的方法。

1.3 国内外文献综述

自股指期货诞生以来，在很长的一段时间内，国外就已经开始了对于股指期货期现套利的研究。在我国，由于中证 500 股指期货上市时间距今并不是太长，所以这方面的研究还比较落后，构造的套利模型的精确度并不是太高，还存在一定的改善空间。

1.3.1 期现套利的可行性及作用

(1) 套利的可行性

对于期现套利的可行性或者机会的研究,通常认为产品刚推出时,期货价格与现货存在一定的偏差,套利机会比较可观。而当市场逐渐成熟时,产品定价合理,套利空间大大缩小。

国外针对套利机会的研究中,Fabozzi 和 Focardi (2013) 的文章认为由于计算机技术的发展大大推动了高频交易的发展,进而使市场变得更加有效,因此市场上的套利机会也就渐渐变少了。Lin (2012) 采用日间数据对台湾市场上股指期货与现货间的关系进行了无套利研究,同时对期现套利的交易成本进行了一个系统的考虑,最后的结论是台湾市场上股指期货和现货不存在无风险套利的机会,市场的整体运行效率和有效性都非常高。而 Board (2011) 采用了协整方法,对日经 225 股指期货和全球各个国家的股指期货市场上的价格进行了对比分析,证明了套利交易的有效性。总之,国外市场相对来说很成熟,套利机会已经很难挖掘了。

国内针对套利机会的研究中,王良、刘潇等(2018)发现股指期货市场上反向套利机会比正向套利机会要多,市场上错误定价较高,较高的融资融券费率创造了一定的套利空间,但是由于做空机制的限制使得市场上的过度投机行为得到了抑制。李兴然(2018)认为中证 500 指数估值已处于过去十年来 1% 的历史分位上,与其他的主流指数相比具备较高的投资性价比。李成武和陈蕾(2015)采用的是高频数据,模型建立在持有成本定价模型基础之上,充分考虑了冲击成本、交易成本以及跟踪误差等因素,使用误差修正模型,研究发现,正向套利与反向套利的机会均是越来越少,每次套利所带来的平均收益也逐渐降低,持续的时间也越来越短。永安期货的左璐(2015)研究分析了华泰博瑞沪深 300ETF 与几只不同的股指期货间的关系,得出 IF1506 合约价格显著偏离了无套利区间的上限,市场上存在着正向套利的空间。魏卓、陈冲与魏先华(2013)选取上证 50ETF 和深证 100ETF 作为跟踪沪深 300 指数的现货,IF1005、IF1006 和 IF1007 三个股指期货合约进行无套利区间分析,研究发现这三个期货合约均有套利机会,而且套利机会越多时利润越少。张连华(2012)把绝对收益的统计套利策略结合到期现套利中,认为期现套利的价差逐渐收窄,套利机会慢慢变少。总之,国内的市场相对国外来说还存在一定的套利空间,不过随着市场的逐渐成熟,套利的空间和机会也在逐渐缩小。

(2) 期现套利的作用

国内外的研究普遍认为股指期货期现套利能够提高市场效率，降低股市波动，有助股市的健康发展。Switzer（2009）选取纳斯达克股指期货和标普 500 进行了研究，认为 ETF 在模拟标的现货指数上具有很好的效果。ETF 一经推出，经过大量的股指期货期现套利，市场上的期货合约定价错误的现象也大大减少了。在国内，钱俊、季浪和胡小琴（2018）从动态与静态这两个角度分析 ETF 与股指期货定价偏差间的联系。他们认为 ETF 的套利交易能够削弱股指期货的定价偏差，而且股指期货的定价偏差的改变有一部分是由 ETF 上市之后现货指数波动率的变化造成的。刘光彦、纪伟和郑慧（2017）研究了沪深 300 指数的收益率状况，关于我国的股指期货在推出前后周内效应进行了研究，实证分析模型建立在 GARCH 模型基础之上，发现股指期货上市后对股市的周内效应有一定的弱化作用。

1.3.2 股指期货与现货的关系

国外针对股指期货与现货间的关系的研究中，Maosen Zhong（2014）对标普 500 的股指期货与现货的日间数据进行了分析，采用的是改进后的 E-GARCH 模型，对期货与现货间的波动性研究后的结论是，股指期货市场对于现货市场具备着波动溢出效应。Todorv（2010）在对股票波动溢出效应进行研究时，把股票价格的整体波动分解为两个部分：价格跳跃与连续波动。这两个部分各自反映了不同的信息，特殊的信息反映在价格跳跃这一部分上，具体表现形式就是价格的巨大变化；而普通的信息体现在连续波动这部分上，具体表现为连续的价格变化。另外，文章还对于价格跳跃和连续波动这两个部分使用格兰杰因果检验来验证股指期货市场与现货市场两者间的波动溢出效应。Seung Oh Nam（2010）对韩国的股指期货与股指期货期权市场进行了仔细的研究，他使用的分别是 10 分钟、5 分钟和 1 分钟的高频交易数据，对股指现货、股指期货与股指期货期权这三者间的价格先后变动关系进行了分析研究。结论是包括股指期货与股指期货期权市场在内，衍生品市场的产品价格都对其标的产品市场价格具有领先引导功能，也就是价格发现作用，这可能是由衍生品市场较低的交易费用和保证金交易导致的杠杆作用所引发的。

国内针对股指期货与现货间的关系的研究中，余臻、许桐桐和彭珂（2019）运用四维 IS 模型测度了上证 50 指数、上证 50 股指期货、上证 50ETF、上证 50ETF 期权这四个市场的价格发现信息份额。他们的结论是，这四个市场间存在价格互相引导的功能，并且长期是均衡的。吴奕霖和肖莉（2018）考虑了市场的交易制度，

研究对象是恒生股指期货日内 5 分钟高频数据以及相应的恒生 ETF，分析它们间进行日内高频期现套利的盈利性。协整分析证明股指期货与期货间存在着长期均衡关系，利用误差修正模型对短期波动进行拟合分析，最后文章实现了预期的股指期货期现套利收益率。高爽和王联欣（2018）采用 5 分钟高频数据来计算沪深 300 股指期货和股票价格指数它们的波动率，证明这二者密切相关。刘文文和沈骏（2016）使用 GJR-GRACH-M 模型，采用 1 分钟高频数据并对数据进行分段分析了中证 500、上证 50 股指期货与现货市场间的信息传递效应以及这两大股指期货上市之后对其标的股指的影响。结果表明影响不明显，中证 500 股指期货反映信息的速度较为迅速。刘增学（2016）研究了股指期货交易对于现货市场产生的影响，认为影响既有积极的一面也有消极的一面，为了防范并控制负面影响，可以建立一系列完善的风险管理措施。

国内外的研究说明，股指期货与现货价格联系比较紧密，二者存在长期均衡关系，大致上呈协同变动，且股指期货引导着现货价格的变动。

1.3.3 股指期货套利交易模型和策略

由于国外的股指期货市场比国内起步更早也更为成熟，所以在套利交易的模型和策略上，国内也多数是在国外的基础上借鉴并发展，下面对目前国内外在股指期货套利模型和策略的研究成果进行归纳总结。

国外的研究中，Thomaidis（2015）把神经网络技术有效地运用到了统计套利中，在神经网络的基础之上利用 GARCH 模型对价差交易的机会进行了论证分析。

Simonov 与 Agarwal（2011）利用各种股票的标准差对股票价格进行标准化，研究对象是从 2009 年 11 月 11 日到 2011 年 01 月 04 日这一时间段的股票，获得的年均收益是 7.17%。由于在标准价格之下，股票与股票之间的关联系数并不一致，所以他们挑选的是两支关联系数最高的股票作为配对研究对象，最后确定的交易时机由所观察的对象的历史平均值误差来决定。Hemler（2009）对市场波动性和时变利率等因素进行了详细考虑，并把它们纳入对模型的建造中，作者创造性地提出了针对于股指期货的封闭式均衡定价模型。通过计算，作者得出股票现货市场价格领先于股指期货市场价格的波动，也就是具有价格指导作用，套利空间因此也会受到影响。

国内的研究中，林焰和杨建辉（2017）提出一种混合神经网络区间预测模型，它是在 RBF（基于三角模糊信息粒化的改进径向基）与 SVR（支持向量回归机）这

两种模型基础上做的改进，用于预测股指期货价格的变化区间。发现这种改进的预测模型可以比较准确地预测股指期货的价格区间变化与走势，并且能够提高单一非参数模型对于点预测和区间预测的效率与精度。申婷婷和田耘（2017）的文章具体研究了股指期货市场的套期保值交易方法以及交易效率的衡量指标，并针对我国市场真实的交易特点提供了一套具备现实操作价值的套期保值交易策略，同时对于风险方面的控制也提出了合理的建议。沈银芳、郑学东和徐信喆（2016）在阿基米德 Copula 函数的基础之上，定量刻画了资产与资产间的相关性，提供了一个创新型的配对交易策略，采用高频交易数据。结果表明这一配对交易策略可以获取更多的交易信息，拥有较多的套利机会。付珍燕（2016）根据跟踪误差最小化原则，采用模拟退火算法构造出最优的 ETF 组合来跟踪沪深 300 股指现货。随后考虑融资融券成本、交易佣金等因素的影响，对期现套利交易进行了一次再现。研究表明，在我国股指期货市场上存在套利机会。陈艳与褚光磊（2014）采用 Copula 理论和 VAR 方法作为实证分析的理论基础，对我国股指期货的跨期套利以及期现套利等交易策略进行了对比研究，并对交易风险进行了精细衡量。王飞和孙维尧（2013）在 Black-Scholes 方程的基础之上构建了套利模型与算法交易系统。结果表明算法取得了 1.52% 的日均收益率以及 5% 的止损发生率，而且波动性与止损发生率是正相关的。结果论证了该算法在市场比较稳定的时候可以很容易地捕捉到市场交易信号及控制交易行为。梁斌与陈敏等（2011）采用了基于多元线性回归选取变量的 Lasso 法，将其用于指数复制与股指期货套利的策略研究中，文章创造性地应用 LARS 算法来解决在非负限制情况下的 Lasso 现货组合的选取问题，给投资者提供了一种选取现货组合的新思路。结果证明，在只有较少的股票来构造组合的情况下，此法比其他方法的跟踪误差都要小。

目前国内针对股指期货套利交易的模型和策略的研究虽然是借鉴的国外对于无套利区间理论的研究成果，不过在我国市场的具体实践应用中，大量的模型和策略也有了实质性的创新发展。

1.3.4 股指期货套利的影响因素

国内外对于影响股指期货套利的因素的研究主要认为，套利成本、资金量的限制、投资者的情绪、卖空机制、现金分红等等因素都会影响到股指期货的套利利润。

国外的研究中，Delong 和 Shleifer（2013）对金融市场套利交易进行了详细的研

究，他们认为由于套利成本的存在、可以使用的资金量并不是一成不变等等因素都会对现实的套利行为产生影响，所以股指期货的套利交易存在一定程度的风险。

国内的研究中，聂思玥和李梦花（2019）运用 DAG 因果分析法来研究隔夜信息、午间信息与日内收益率之间的因果关系。文章发现中证 500 和沪深 300 的因果关系中，以股指期货的影响为主。李凤羽（2014）深入研究投资者的情绪，从这个角度来解释 A 股市场 ETF 的折溢价情况。结果表明 ETF 的折溢价情况与投资者的情绪是正相关关系，进一步研究表明市场普遍呈负面情绪时，二者负相关，当市场普遍是正面或者中性情绪时，二者正相关。黄顺武和昌望（2014）针对 ETF 作为融资融券的标的产品前后时期折溢价变化情况以及影响因素进行了分析，认为减免交易费用以及推出融资融券都能够提高 ETF 的定价效率。林晓明（2013）考虑了指数的现金分红因素，研究了指数成分股它们的分红集中时间，这比传统的只考虑期现价差的套利方法更加有现实意义。

1.3.5 现货组合的构建

目前国内外进行期现套利的研究中，所构造的现货组合主要有两种方法，一种是采用全部复制法和抽样复制的方法来复制股票指数；另一种方法是利用 ETF 组合来构建现货。

Richie 与 Gleason（2017）选取标普股指期货与标普 ETF 的日内数据作为研究对象，进行套期保值交易，文章得到的结论是，不管用 ETF 还是股票指数来表示现货，定价都会存在偏差。其中使用股票指数会产生正向偏差，而使用 ETF 作为现货则产生反向偏差。12 个月中波动率越大的月份，与之对应偏差也越大；如果交易成本变高，用 ETF 作为现货可以让偏差小一些。Gatev 与 Goetzmann（2016）采用单独价格法来选取股票样本研究对象，最开始先对原有的价格数据进行标准的统计学处理分析，股票成功配对的标准是：当股票价格的差的平方和达到最小时，若股价之差大于一开始标准差的两倍数值的话，就可以开始进行配对交易。文章得到的结论是，取得的年均收益率约为 11%。

彭程（2011）选取了三种现货构造方法，分别是传统的指数基金、挑选几十只成分股用于复制沪深 300 以及 ETF 指数基金，并对它们进行比较。实证结果表明，采取行业间分层配置的办法来对现货进行构造最好，它的成本最低、流动性最好。

综合上述国内外相关文献，在推导股指期货无套利区间时，要考虑许多因素。

本文在前人研究的基础上全面考虑相关的因素，具体包括冲击成本、交易费用、跟踪误差、融资融券利率及保证金、相关税费等，从而推导出与我国实际情况相符的无套利区间模型。

国内的学者针对我国股指期货期现套利的研究主要是采用 ETF 作为现货，且由于我国卖空机制受到一定的限制，研究重点更倾向于正向套利。因此，本文针对股指期货的反向套利的现货组合的构造加入了上证 50ETF 期权组合这一种形式，并将两种策略的实证分析结果进行对比证明其可行性。

1.4 论文结构和研究方法

第一章“绪论”，主要介绍了文章的研究背景和研究意义、国内外研究的基本情况、论文的基本结构和方法以及相关的创新。这一章为后续的研究奠定了基础。

第二章“股指期货期现套利理论及步骤”，首先对与期现套利相关的理论进行了简要介绍，包括期现套利的类别和交易过程以及持有成本定价理论。然后分析了影响股指期货定价的成本因素并进行无套利区间的推导，再利用计算机程序确定建仓信号。

第三章“中证 500 股指期货的基差分析”，采用高频数据对各个中证 500 股指期货合约与中证 500 价格指数之间的基差波动情况做详细分析，以及分析基差波动的影响因素，为后面的期现套利实证分析奠定基础。

第四章“中证 500 股指期货期现套利的实证分析”，先对 ETF 的跟踪误差以及期现套利的冲击成本进行测算，并确定其他的参数取值情况，然后选取样本并做统计学检验，得出的结果是选取当月和当季合约更为合适。再利用 MATLAB 程序执行算法交易，得出套利交易的结果，对套利交易的次数和具体的收益情况进行比较和分析。最后，对比 ETF 和期权组合分别作为现货来进行反向套利的结果，分析构造能够卖空的现货组合对套利收益最大化的意义，提出未来交易策略可以改进的空间

第五章“结论与展望”，对本文的研究成果进行了总结归纳，并就文章的不足之处和可以改进的地方作了说明。

本文采用了规范研究以及实证研究相结合的方法，使研究更加合理。首先介绍了与期现套利相关的理论知识以及无套利区间的确定方法，然后针对基差水平及其波动作统计学描述并确定影响它的因素，最后选择南方中证 500ETF 和中证 500 股指期货当月、当季合约进行实证分析。

1.5 论文的创新

(1) 考虑了现实交易中卖空机制的限制, 利用期权平价理论来构造期权组合作为股指期货期现套利的现货组合进行交易, 并与之前用 ETF 做现货来进行的期现套利作对比得出可以改进的空间。

(2) 在持有成本定价模型基础上, 加入对跟踪误差、冲击成本、股息分红、融资融券的保证金和利率等参数的考虑。为更准确衡量跟踪误差, 同时使用三种算法进行比较分析, 选择测算效果最优的回归残差法。计算冲击成本时没有一概而论, 而是分别确定在 t 时刻买入或者卖出金额为 Q 的现货和股指期货的冲击成本, 针对不同情况, 冲击成本有不同的确定公式。

第2章 股指期货期现套利相关理论

2.1 期现套利的基本原理

2.1.1 股指期货期现套利

套利交易可以将其通俗地理解成为“低买高卖”的行为。从交易模式的角度来区分,可将其分为跨市场套利、跨品种套利、跨期套利以及期现套利。从标的资产的角度来区分,可将其分为股指期货套利、期权套利以及商品期货套利。套利交易实际上就是把握住市场上的价格偏差,并进行反向交易。不过任何价格偏差将来都有向正常的价格水平回归的趋势,这就需要我们进行平仓交易,这样一来就可以获得无风险收益。所以,绝对价格对套利交易不重要,重要的是相对价格。同理,到期日即将来临时,股指期货的价格和现货的价格应该是相等的。人们将现货价格与期货价格之差定义为基差,我们知道现货期货的价格都不是一成不变的,所以基差也一直在波动。由此,我们可将期现套利理解成根据基差的异常来建立反向头寸,当基差回归到正常水平时再来反向平仓以获取收益。在理想的状态中,期货应该和现货价格保持一定的平价,但是现实的市场中往往存在着很多不可控因素使得这种状态得不到满足,也就是说偏离了合理的价格水平。套利空间与基差是正相关关系,基差越大套利空间也就越大。对于期现套利是否可以通常有两种办法:第一、不用数学模型的方法,而是通过统计计量手段来判断资产与资产间是否存在内在关联。首先根据现货资产与期货资产的历史数据来确定一个合理的基差区间,那么样本数据的基差若是落在这个区间内,就说明定价是合理的不存在套利空间,反之若基差并未落在此区间内,说明定价有误,市场上存在套利机会。第二、采用数学模型的方法,期货价格是建立在现货价格基础之上的并且可用模型进行表达。不过现实市场中存在着交易成本,所以实际价格并不等于理论价格,当它们间的偏差超过一定范围时就可以进行期现套利。

因为期现套利是根据基差来判定的,所以期现套利本质上就是基差套利,而期货的另外几种套利方式就是价差套利,本文主要研究期货的基差套利即股指期货期现套利。当股指期货价格高估时就可以进行正向套利,反之期货价格低谷就进行反向套利。

正向套利建立在正向基差的基础上。在市场情绪高涨,现货指数一路上涨时,

投资者不断入市交易加剧了指数的上涨，大部分投资者对未来预期上升，也就是说对股指期货也同样看多。这样投资者不停做多股指期货，期货价格逐渐上涨并超过合理范围，导致正向基差大大提高。当正向基差扩大到合理范围之外时，就可以进行正向套利了，也就是做空期货做多现货。当期货价格在到期日之前下降到合理范围内，就可以进行反向平仓获得无风险收益，否则一直持有到期货到期强行平仓。

反向套利则是建立在反向基差的基础上。在市场情绪不高，现货指数下跌时，投资者持谨慎或者悲观态度，预期未来价格继续下降，对未来的市场也是看空态度。这样的话投资者就会不断看空股指期货，导致期货价格下降并跌破合理范围，这样就可以做多期货做空现货了。当期货价格在到期日之前上升到合理区间内时，就可以进行平仓从而获得无风险收益，否则一直持有到期货到期强行现金平仓。

我们知道套利交易可以降低风险，波动率也较低，可以使市场有效性增强，定价更为合理。套利交易还可以大大提高市场的流动性，将市场盘活，使市场活跃度提高。另外，套利行为还可以规避风险，实现套期保值的目的。同样，本文探讨的期现套利对于股指期货市场的健康发展的意义也十分重大。期现套利可以促使期货发挥引导现货价格的作用，使现货、期货的定价都更加合理，即使存在偏差也能够及时纠正。另外，由于期现套利一般会涉及大量的投资者，他们的套利行为可以盘活市场，提高市场的活跃度，使市场的有效性得以保证。

2.1.2 持有成本理论

Cornell 和 French 在 1983 年提出了著名的持有成本定价理论，这一模型也是后来研究股指期货期现套利最广泛使用的理论基础。股指期货的价格一般由两部分决定，一是投资者情绪，即对未来的预期；二是现货成本以及合约到期前消耗的总成本。一个成熟的市场投资者情绪普遍比较稳定，而且这一项也无法进行量化，所以期货价格主要取决于第二项。在完美市场的假设条件下，股指期货定价模型是：

$$F_t = S_t (1+r)^{(T-t)} - D_{T,t} \quad (2.1)$$

但是在实际的市场中，是有摩擦的，而且交易成本、制度因素以及冲击成本等等这些都会对价格构成影响。

2.2 ETF 与期权组合分别作为期现套利的现货

自 2015 年发生股灾以后,市场频现股指期货贴水,因此创造了许多反向套利机会。可是与国外相比,我国对融资融券有一定的限制,股指期货套利也不十分成熟,反向套利策略也无法实现收益最大化。所以,构造一个可以卖空的现货组合对于反向套利十分重要。目前国内构建期现套利的现货主要有两种方式,一种是利用中证 500 的成分股来构建现货,可是同时交易所有的成分股花费的资金和造成的冲击成本都很大,本文暂不选取这种方法。

另一种方法就是利用 ETF 来构造现货。中证 500ETF 的标的资产是中证 500 指数,当它通过股票买卖的形式进行申购时,是不存在现金申购赎回的冲击的,这样也不存在停牌个股,实时买卖比较容易。这种方法具有跟踪精度高、流动性高的优点,也是目前期现套利最广泛使用的方法。

而自 2015 年爆发股灾以来的这几年,股指期货市场频繁出现贴水现象,存在着反向套利的机会。但是,实际上由于融资融券业务有一定的限制,反向套利无法赚取最大的收益。在此背景下,构建可供卖空的现货组合尤为重要。

根据期权的平价公式,买入看跌期权的同时卖出看涨期权可以合成标的现货的空头,在同一当期月份和行权价格情况下,从而运用期权合成现货空头可参与股指期货的反向期现套利。然后根据合成的现货空头与股指期货价差进行建仓或者平仓,可以获得套利收益。

以下是期权平价公式,从公式中可以看出,看涨期权、看跌期权和标的资产三者之间可以互相推导和转换:

$$C + Ke^{-rT} = P + S, \text{ 即 } P - C = -S + Ke^{-rT} \quad (2.2)$$

期权平价公式中 C 是看涨期权的价格, K 是行权价格, P 是看跌期权的价格, S 是标的证券的价格, r 是利率, T 是时间。期权平价公式的含义是,看涨期权价格和行权价格的现值相加是等于看跌期权的价格和标的资产价格之和。其中 Ke^{-rT} 即 K 乘以 e 的 $-rT$ 次方,也就是 K 的现值。

从期权平价公式之中可以看出,当我们买入看跌期权的同时,卖出看涨期权,则可以合成现货空头,买入卖出的期权合约应当是同一到期月份、同一行权价格的合约。

2.3 期现套利的策略

对中证 500 股指期货和现货进行期现套利交易或者对套利的收益率进行验证时,需要在期货和现货之间的价格序列变动有着相同趋势的前提下才可以进行。所以在进行研究之前,需要对二者的长期关系作统计学分析。投资者不可以只根据简单的对于基差波动的预期去创建交易仓位,因为这样的主观随意性比较大。本文准备用统计检验方法事先分析期货与现货价格间是否存在长期均衡关系,然后验证基差的稳定性。把之前通过统计检验的股指期货合约作为研究对象,确定相关的交易成本,计算出无套利区间的上下限。将股指期货的实际价格与之前计算出的无套利区间上下限进行比较,看是否存在套利机会以及套利空间的大小,构造这样一个期现套利的交易策略。

2.3.1 无套利区间的推导

Cornell 和 French 他们两提出的持有成本定价模型的假设条件太过理想和苛刻,现实条件几乎无法满足,不过我们可以在这一模型的基础上进行改进,可以将现实市场中存在的各种影响期货定价的交易成本和摩擦加入到模型中,推导出一个具有现实意义的无套利区间。

(1) 影响股指期货价格的成本因素

在确定无套利区间的上下限之前,首先对相关的交易成本做一个简要分析,为计算现金流量表的各个环节的资金量打下基础。

1) 股息

我国的上市公司主要以现金分红的方式来发放股息,在这一点上与持有成本定价模型的理念是不谋而合的。不过 Cornell 和 French 假定股利以一个稳定、不间断的方式发放,而现实中上市公司在分红派息时,金额和时间并不是固定不变的。

2) 利率

在正向套利时,投资者需要以无风险利率借入资金买入现货并做空期货,同时支付相关的各种交易费用。在反向套利时,投资者卖出现货获得资金,扣除掉相关的各种交易费用后若有剩余,投资者就会以无风险利率将其借出或者投资其他的金融产品以获取额外稳定的收益。

3) 交易费用

在进行期货现货的买卖时都要支付相关费用，一般包括：向交易所或者期货经纪公司缴纳的手续费或佣金，各项管理费用以及各种税费如印花税。

4) 交易保证金

投资者进行股指期货交易和融券业务时都需缴纳一定比例的保证金，即投资者可以通过一定的保证金来实现杠杆交易。由于投资者本可以将保证金用于其他投资，所以这一项成本就是丧失的机会成本，故交易保证金需要纳入交易成本的考虑中，而持有成本模型并没有考虑投入的初始保证金。

5) 跟踪误差

股指期货的标的物是股票指数，由于股指并不能买卖，所以期现套利过程中得要构造一个现货组合来复制股票指数。可是任何复制的组合都无法做到与股票价格指数一模一样，也就是说存在着跟踪误差，这种偏差在现货买卖时都会给投资者带来额外的成本，所以也应当作为交易成本纳入到模型中。

6) 冲击成本

也称作流动性成本，指的是市场上进行大量交易时不能以约定的价格成交，只能高买低卖撮合成交导致的额外成本。除了成交量以外，冲击成本还和市场的流动性成反比，即流动性越大，冲击成本越小。

(2) 无套利区间的推导

$S_{t:T}$ 时现货的价格；

$S_{T:T}$ 时现货的价格；

$F_{t:T}$ 时股指期货的价格；

$F_{T:T}$ 时股指期货的价格；

r_b : 借贷利率；

$D_{(t,T)}$: 股息；

M_f : 期货保证金率；

M_s : 融券保证金率；

λ : 融券利率；

slip: 冲击成本

C_{bs} : 买入现货的总交易成本率； C_{ss} : 卖出现货的总交易成本率。包括了交易费用、跟踪误差以及冲击成本，而交易费用又具体包括了佣金、过户费和印花税等。

C_{bf} : 买入股指期货的总交易成本率； C_{sf} : 卖出股指期货的总交易成本率。包括了交易费用与冲击成本。

表 2.1 正向套利现金流量表

t 时（现在）	现金流
买入现货	$-S_t (1+C_{bs})$
卖出股指期货	$F_t (1-C_{sf})$
支付股指期货保证金	$-F_t * M_f$
借款	$S_t (1+C_{bs}) + F_t * (C_{sf} + M_f)$
T 时（将来）	现金流
卖出现货	$S_T (1-C_{ss})$
股息	$D_{(t,T)}$
买入股指期货平仓	$F_T - F_t (1+C_{bf})$
回收保证金	$F_t * M_f$
还款	$-[S_t (1+C_{bs}) + F_t * (C_{sf} + M_f)] (1+r_b)^{(T-t)}$
投资收益	$F_T (1+M_f) - F_T * C_{bf} - S_T * C_{ss} + D_{(t,T)} - [S_t (1+C_{bs}) + F_t * (C_{sf} + M_f)] (1+r_b)^{(T-t)}$

由表 2.2 可知，现在时刻净现金流等于 0，根据无套利原理，未来反向平仓时投资收益应该与现在相同也应等于 0，经过计算后得出无套利区间上限为：

$$F_{up} = \frac{S_t [(1+C_{bs})(1+r_b)^{T-t} + C_{ss} + C_{bf}] - D_{(t,T)}}{1+M_f - (M_f + C_{sf})(1+r_b)^{T-t}} \quad (2.3)$$

同理，在反向套利中考虑到融券成本，相关的现金流量如下表：

表 2.2 反向套利现金流量表

t 时（现在）	现金流
融券卖空	S_t
现货卖空成本	$-S_t * C_{ss}$
支付融券保证金	$-S_t * M_s$
融券成本	$-S_t * \lambda$
买入股指期货	$-F_t (1+C_{bf})$
支付期货保证金	$-F_t * M_f$
借出余额	$-[S_t (1-\lambda - M_s * C_{ss}) - F_t (M_f + C_{bf})]$
T 时（将来）	现金流
收回融券保证金	$S_t * M_s$
买入现货	$-S_T (1+C_{bs})$

支付股息	$-D_{(t,T)}$
卖出股指期货	$F_T (1-C_{sf}) - F_t$
收回期货保证金	$F_t * M_f$
回收借出余额	$[S_t (1-\lambda -M_s-C_{ss}) - F_t (M_f+C_{bf})] (1+r_b)^{(T-t)}$

由表 2.3 分析可知，当将来的投资收益与现在一样都等于 0 时，求得的在现在 t 时刻的股指期货的价格即为无套利区间的下限，计算可得：

$$F_{down} = \frac{S_t [(1-\lambda -M_s-C_{ss})(1+r_b)^{T-t} + M_s - C_{bs} - C_{sf}] - D_{(t,T)}}{1 + (M_f + C_{bf})(1+r_b)^{T-t} - M_f} \quad (2.4)$$

以上就是股指期货期现套利的无套利区间的上下限，用区间表示为 $[F_{down}, F_{up}]$ 。若现实交易的股指期货价格落在此区间之外，就可以触发期现套利。

2.3.2 交易信号判断

综合之前的分析，股指期货合约的现实交易价格与套利机会的关系可表示为：

$F_t \in (-\infty, F_{down})$ ，可以反向套利；

$F_t \in [F_{down}, F_{up}]$ ；不存在套利机会；

$F_t \in (F_{up}, +\infty)$ ，可以正向套利。

现将期现套利的详细步骤用下图来表示：

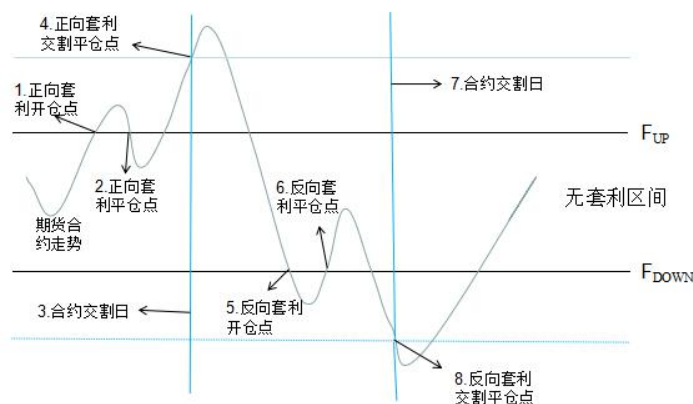


图 2.1 期现套利策略演示图

采用高频数据进行期现套利交易，并对交易策略做定期的优化改进。

长期来看，越接近合约到期日，期货价格就会向现货价格靠拢。所以期货价格突破无套利区间的上下限时，在未来不久价格会有向区间回归的趋势，因此这段时间就可以进行期现套利。

如图 2.1 所示, 当股指期货价格上涨突破无套利上限, 达到点 1 时, 就可以进行正向套利建仓, 即买入现货卖出期货。一段时间后, 若期货价格回落到无套利上限, 即达到点 2 时, 就要进行正向套利平仓的操作, 即买入期货卖出现货。若在正向套利建仓之后达到了合约交割日, 可是期货市场价格还在无套利上限以外时, 就要进行强制平仓交割, 即买入期货卖出现货。

若股指期货价格下降跌破无套利下限, 达到点 5 时, 就可以进行反向套利建仓, 即买入期货, 融券卖出现货。一段时间后, 若期货价格上涨达到点 6 时, 就要进行反向套利平仓的操作, 即买入现货卖出期货。若在反向套利建仓之后达到了合约交割日, 可是期货市场价格还在无套利下限以外时, 就要进行强制平仓交割, 即买入现货卖出期货。

2.4 本章小结

本章将策略分为正向套利和反向套利两个方面来进行介绍, 并阐述了期现套利的现实意义。现阶段的期现套利策略都建立在 Cornell 和 French 提出的持有成本定价模型的基础上, 并对其进行改进和完善, 因此在本章也简要提到了这一模型的大概理念。接下来介绍了 ETF 和期权组合分别作为股指期货期现套利的现货的相关理论, 为后文的研究奠定基础。然后对股指期货期现套利的具体步骤进行介绍。首先对影响期货定价的众多因素进行了一一分析, 然后计算出与交易过程相关的各项现金流, 得到无套利区间的上下限。最后判断何时建仓何时平仓, 画出了交易策略的详细步骤图。

第 3 章 中证 500 股指期货的基差分析

我们知道，股指期货期现套利的结果与基差密切相关。所以本章采用高频数据对各个中证 500 股指期货合约与中证 500 价格指数之间的基差波动情况做详细分析，以及分析基差波动的影响因素，为后面的期现套利实证分析打好基础。

3.1 中证 500 股指期货简介

中证 500 指数样本空间内的股票指的是剔除掉 A 股中沪深 300 指数所包括的所有成分股以及最近一年日均总市值在市场上排名前 300 位的股票后，所剩下的总市值排名前 500 位的股票。它囊括了大盘、大中盘、中盘、中小盘、小盘指数等在内的指数，给投资者提供了丰富的投资工具，综合反映了 A 股市场上的中小型公司的股价情况。与普通的商品期货一样，中证 500 股指期货也是标准化合约，标的产品是中证 500 指数。交易双方按照先前的约定，先支付一定的保证金，在规定的时间内以确定的金额和数量来进行交割。中国 500 股指期货的交易要点如下表所示：

表 3.1 中证 500 股指期货合约表

合约标的	中证 500 指数
合约乘数	每点 200 元
报价单位	指数点
最小变动价位	0.2 指数点
合约月份	当月、下月及随后两个季月
交易时间	上午：9:30-11:30，下午：13:00-15：00
涨跌停板幅度	上一个交易日结算价的±10%
最低交易保证金	合约价值的 15%
最后交易日	合约到期月份的第三个周五，遇国家法定节假日顺延
交割日期	同最后交易日
交割方式	现金交割
交易代码	IC
上市交易所	中国金融期货交易所

而中证 500ETF 是种交易型开放式指数基金，它对应的标的物是中证 500 指数，其股票的投资空间包括中证 500 指数所囊括的所有或者部分成分股，目的是复制中证 500 指数的表现。和上证 50ETF、沪深 300ETF 等等指数基金的交易制度一样，它的交易特点表现为：1、ETF 当天买入，但当天不能卖出；2、ETF 当天申购，当天不能赎回。股票组合若是当天赎回，则不能用于申购；3、将 ETF 赎回股票组合，则股票组合能够当天卖出。而且将股票组合用于申购 ETF，则 ETF 也可以当天卖出。

3.2 基于日数据的基差波动特点

股指期货合约包括当月、下月、当季以及下季四种连续性合约，表明有 4 个合约同时每个交易日进行交易，下面将对中证 500 股指期货的这四种合约的价格变动情况进行分析。现取中证 500 股指期货和中证 500 价格指数从 2018 年 5 月 22 日到 2019 年 02 月 25 日的每天的开盘价作为分析对象，研究其价格走势，并弄清现货和期货之间关系的变化趋势。

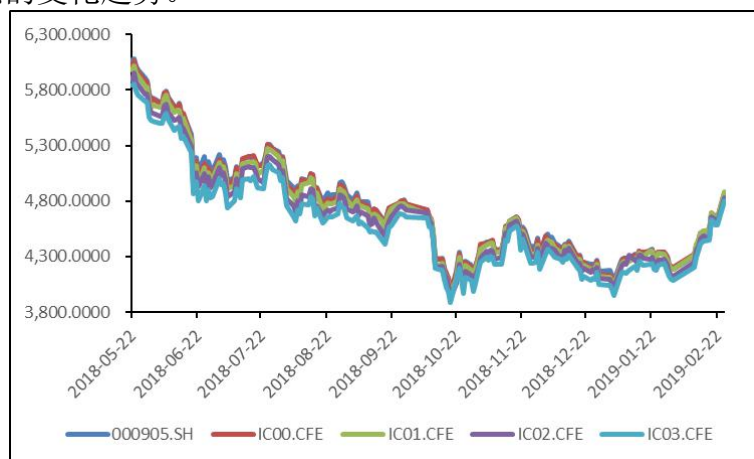


图 3.1 中证 500 指数与股指期货价格走势图

观察图 3.1 可知，中证 500 指数的四种期货合约的价格走势变动与中证 500 价格指数走势变动十分相似。当现货价格与期货价格间的基差扩大时，套利机会应运而生。由于期货价格是在指数现货的基础上发生变动的，所以当基差扩大时会吸引大量投资者进行套利交易，直至基差缩小达到稳定状态。

从图 3.1 可以看出，去年从 5 月底到 10 月底几乎半年的时间里，尤其是 6 月份，股票指数一直处于下跌的熊市阶段，同时股指期货也随之迅速下跌。下跌速度甚至超过了股指的下跌，这是因为期货配资的杠杆效应。而在 10 月底到次年 2 月底这段时间，当股票指数缓慢上升时，股指期货也有着同样的变换趋势。总体上来说，不

管在上涨阶段还是下跌阶段，股指期货的价格变动都与股票指数保持着高度一致性。

由于每种期货合约它们的内在期限结构都不一样，所以它们与现货间的基差也不同，现将每种期货合约的基差表示如下：

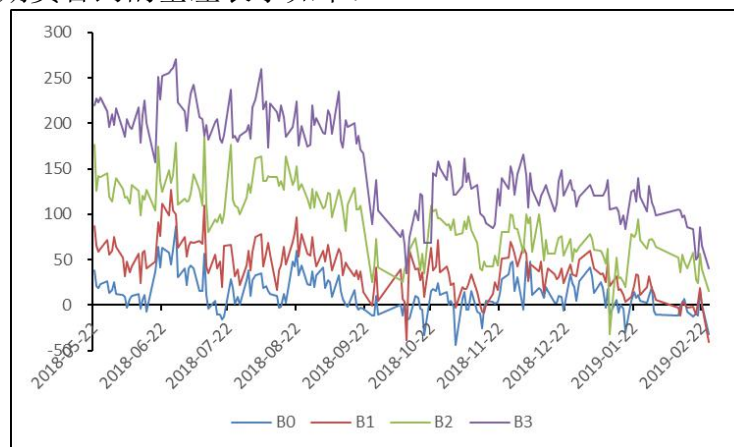


图 3.2 四种中证 500 股指期货合约日数据基差波动

其中，B0 表示当月合约的基差，B1 表示下月合约的基差，B2 表示当季合约的基差，B3 表示下季合约的基差。

从图 3.2 中仔细观察可以发现，四种股指期货基差的走势与股票价格指数或者股指期货的价格走势很相似。当市场价格上涨时，基差也会随之上涨，如 10 月 22 日之后的一段时间内，股票价格指数和各个期货合约的基差都出现了上升趋势。当市场呈下跌趋势时，基差也会随之缩小，如 5 月 22 日到 6 月 22 日这段时间内以及 10 月上旬，股指与各个期货合约的基差都出现了下降趋势。而在 10 月 22 日之后，股指出现了横盘，而这段时间各个期货合约的基差也都相对比较平稳。

四种期货合约都有着各自不同的到期日，从图 3.2 可以很明显地看出，基差水平与合约到期日成正比，即股指期货合约的到期日越久，它的基差相应的也就越大。

此外，从图中还可以看出，在整个基差波动周期内，不管基差是正的还是负的，都无法永远朝着一个方向上涨或下跌。当基差达到一定水平时，都会向着相反的方向回归。而这也正是期现套利的一个重要的理论基础。

3.3 基于高频数据的基差及其波动特点分析

上一节基于日间数据对四种股指期货合约的基差波动情况进行了分析，由于日间数据并不具备太好的连续性，而且现代计算机技术的高速发展使得金融市场上的套利交易十分便捷，高频交易已成为投资者的第一选择，套利机会也往往稍纵即逝，

所以日间数据的缺陷就显得很大了。在进行中证 500 期现套利时，日间数据的数量是难以满足实际的统计计量和套利需求的。针对这一问题，采取高频数据作为研究对象，现选用 2018 年 5 月 22 日到 2019 年 2 月 25 日的 5 分钟高频数据作为研究对象。现将每种期货合约的高频基差表示如下：

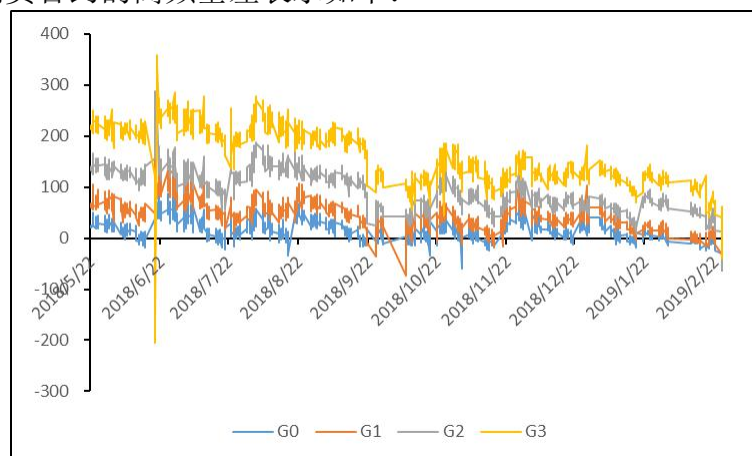


图 3.3 四种中证 500 股指期货合约高频数据基差波动

其中 G0 指当月合约的高频基差，G1 指下月合约的高频基差，G2 指当季合约的高频基差，G3 指下季合约的高频基差。

仔细分析图 3.3，并将其与图 3.2 作对比可知，5 分钟的高频数据与低频日间数据的基差波动情况具有一致性。比如不管是低频还是高频数据，12 月底到次年 1 月上旬四种期货合约的基差都呈下降趋势，而且基差水平都与合约到期日成正比，到期日越久的期货合约其基差水平也越大变动也越明显。

不过高频数据与低频数据也还是有明显的区别。在短期时间内，高频数据的基差序列可以有很强的回复性即波动迅速波动剧烈且可以在极短时间内回复到正常水平。长期来看，基差不具有回复性而是表现出向一个方向平稳地变动的特点。同时高频数据还说明基差在 6 月 22 日前的某个时间出现了极值，不过随后又迅速回落到了正常的水平上。这种现象并未出现在低频数据中，大概是因为一些因素导致股指期货价格偶然出现异常波动，使得基差迅速上涨，随即快速下降，而低频的日间数据是无法反映这种波动情况的。通常来说，高频数据可以克服低频数据的缺陷，反映更多的交易信息，因此本文的后续实证研究都基于 5 分钟的高频数据。

3.4 基差波动的影响因素分析

一般来说，影响基差波动的因素主要有以下四种：一、股票价格指数的走势；

二、期货市场的发展情况；三、成交量；四、到期日。这四种因素都以各自的力量影响着基差的波动，现针对这四种因素的作用机制进行阐述。

（1）中证 500 指数的走势

观察中证 500 指数和基差的走势可知，当现货指数上涨时，基差会与之一起上涨。当现货指数下跌时，同样的，基差会向着反向扩大。总而言之，基差会随着现货指数的波动而波动。所以若指数处于一个稳定的阶段，例如在 10 月 22 日之后的这段时间，基差也会变得平稳。

（2）期货市场的发展情况

通常来说，股指期货合约刚推出之际，市场还不成熟，期货定价会有偏差，基差波动也比较大，导致投机套利盛行。随着市场的慢慢发展，投资者的不同方向的套利交易也使得市场趋于稳定，期货定价更为合理，基差水平也渐渐稳定。中证 500 股指期货于 2015 年推出，所以 2018 年发展的已经相对较为成熟了，基差波动也相对比较平缓，套利机会可能没有刚推出时多。

（3）成交量

成交量的大小说明了市场的活跃度和流动性。当市场出现不合理的基差水平时，如果市场上存在众多投资者或者交易量比较大市场活跃度比较高，那么就存在着充足的资金用于套利交易，从而基差可以回归到正常的范围内。反之，如果市场上交易量不够市场不够活跃的话，即使基差水平不合理，期现套利交易也难以使基差回归到正常水平。

（4）到期日

我们知道随着股指期货合约到期日的临近，市场对于未来的价格预期也变得更加明确，期货价格会与现货价格趋同，基差水平也变小，套利机会和套利空间都随之变小了。反之，合约到期日越长的期货，其基差水平会相对高一些。因为到期日长的合约，其持有成本高于到期日短的合约，故而基差相对也要大一些。

第 4 章 中证 500 股指期货期现套利的实证分析

4.1 跟踪误差和冲击成本的测算

4.1.1 南方中证 500ETF 的跟踪误差

中证 500 股指只是一个价格指标，并非可交易的证券品种，所以进行期现套利就必须构建一个现货组合来复制股价指数。而构建现货组合一般有两种办法，一个是利用成分股来复制股价指数，还有一个就是选用 ETF 充当现货。选用第一种方法缺点比较多：需要耗用大量资金；对市场造成很大的冲击成本；完全复制操作难度大；股票“T+1”的交易方式难以把握稍纵即逝的套利机会。ETF 虽然单独在一级市场或二级市场不能进行“T+0”交易，但投资者可以在这两个上同时进行交易，让它们相互配合以实现“T+0”的交易，故期现套利交易一般选用 ETF 充当现货组合。

中证 500 股指期货自 2015 年 4 月 16 日上市至今已有将近 4 个年头了，市场上的中证 500ETF 主要有以下几种：华夏中证 500ETF、广发中证 500ETF、南方中证 500ETF、嘉实中证 500ETF、景顺长城中证 500ETF、华泰博瑞中证 500ETF 和易方达中证 500ETF 等。从基金上市日期、管理规模及流动性以及与中证 500 指数的相关性等方面综合考虑，选取南方中证 500ETF 作为研究期现套利策略的现货。

跟踪误差是用于衡量现货与其跟踪的指数收益率间的偏差，而通常它的计算方法有三种，下面对这三种方法依次进行介绍。

(1) 绝对值法

$$TE1 = \frac{\sum_{t=1}^n |R_{CSI500,t} - R_{ETF,t}|}{n} \quad (4.1)$$

上式中跟踪误差为股指收益率与 ETF 现货收益率差的绝对值的均值， n 表示样本数。绝对值法只能度量现货收益率与指数收益率的绝对偏离，这种方法过于简单，无法反映流动性和交易成本等因素导致的跟踪误差的差异。

(2) 标准差法

$$TE2 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \left[(R_{CSI500,t} - R_{ETF,t}) - \frac{\sum_{t=1}^n (R_{CSI500,t} - R_{ETF,t})}{n} \right]^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

跟踪误差表示为股指收益率与现货收益率的标准差，是一种相对指标，当 ETF 持续正向或反向偏离中证 500 股指时，此法会低估跟踪误差。

(3) 回归残差法

$$TE3 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \left[(R_{CSI500,t} - \hat{R}_{ETF,t}) - \frac{\sum_{t=1}^n (R_{CSI500,t} - \hat{R}_{ETF,t})}{n} \right]^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

这种方法首先对股指收益率与现货收益率进行线性回归，再将残差的标准差当做跟踪误差，现实中基金的管理者多采用回归残差法来测算跟踪误差。

现分别使用这三种方法来计算南方中证 500ETF 与股指的跟踪误差，结果如下：

表 4.1 南方中证 500ETF 的跟踪误差

	TE1	TE2	TE3
跟踪误差	0.01556%	0.02015%	0.02028%

由表 4.1 的结果可知，南方中证 500ETF 的跟踪误差大概在 0.02% 左右，而同类基金的平均跟踪误差大概在 0.18% 左右。

4.1.2 冲击成本

(1) 现货的冲击成本

要使得期现套利获得预期的收益，就需要对现货和期货进行大量交易，而这会给金融产品的价格造成一定的冲击，并且交易有一定的时间延迟无法立即成交。以上这一系列因素都会使交易双方无法按预期的价位交易，只能低卖或者高买放弃一定的收益，从而造成损失，这种由大量交易造成的成本都需要考虑。现如今，冲击成本通常用价格冲击指数来衡量。

令 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 表示股票 i 在 t 时在限价订单上的多个卖价，并且 $A_1 < A_2 < A_3 < \dots < A_n$ ； $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ 表示股票 i 在 t 时在限价订单上的多个买价，且 $B_1 > B_2 > B_3 > \dots > B_n$ ；而 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ 分别表示 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 所对应的数量； $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ 分别表示 B_1, B_2, B_3 所对应的数量。

那么股票 i 于 t 时刻购买的金额为 Q 时，其冲击成本或价格冲击指数可以表示为：

$$\frac{Q / \left(\sum_{j=1}^{n-1} S_j + \frac{Q - \sum_{j=1}^{n-1} S_j * A_j}{A_n} \right) - (A_1 + B_1) / 2}{(A_1 + B_1) / 2} \quad (4.4)$$

其中 $\sum_{j=1}^{n-1} S_j * A_j < Q < \sum_{j=1}^n S_j * A_j$

而股票 i 于 t 时刻卖出的金额为 Q 时，其冲击成本或价格冲击指数可以表示为以下公式的绝对值：

$$\frac{Q / \left(\sum_{j=1}^{n-1} D_j + \frac{Q - \sum_{j=1}^{n-1} D_j * B_j}{A_n} \right) - (A_1 + B_1) / 2}{(A_1 + B_1) / 2} \quad (4.5)$$

其中 $\sum_{j=1}^{n-1} D_j * B_j \leq Q < \sum_{j=1}^n D_j * B_j$

而股票 i 于 t 时刻买卖的金额为 Q 时，其冲击成本等于买入时的冲击成本与卖出时的冲击成本这两者的平均值。

经过上式的计算，南方中证 500ETF 在选取的样本期间内的冲击成本等于 0.16%。

(2) 期货的冲击成本

期货的冲击成本通常使用下面的公式进行计算：

$$\frac{0.5 \sum \frac{|F_{t+1,T} - F_{t,T}|}{F_{t,T}}}{n} \quad (4.6)$$

其中， $F_{t+1,T} - F_{t,T}$ 指的是股指期货的后一分钟的成交价与前一分钟的成交价之差。而买卖股指期货的总冲击成本以建仓时刻的单向成本的 2 倍进行计算。

经过计算，股指期货的冲击成本等于 0.144‰。

4.2 影响无套利区间的参数分析

(1) ETF 的总交易成本

现货 ETF 的总交易成本囊括了交易费用、跟踪误差成本以及冲击成本。其中，ETF 一般收取占交易额 0.05% 比率的佣金，印花税和过户费都不会收取，而且 ETF 的申购和赎回费用也无需考虑。而南方中证 500ETF 的跟踪误差和冲击成本已由上节算出分别为 0.02% 和 0.16%。

(2) 股指期货的总交易成本

股指期货的总交易成本囊括了交易费用以及冲击成本。其中，中证 500 股指期货的交易成本为 0.023‰，而冲击成本上节已算出等于 0.144‰。

(3) 其他相关参数

无风险利率可以参考选取九个月的 Shibor（上海银行间同业拆借利率）2.95%。而进行期现套利操作的中证 500 股指期货在 2018 年 5 月 22 日到 2018 年 12 月 02 日的最低保证金水平为 20%，而在 12 月 03 日以后的最低保证金比率降到了 15%。根据券商在网上公布的数据知，融资融券的保证金不得低于 50%，而融券的年化利率大概在 8% 左右。股息分红发放的周期通常很长，而本文选取的样本属于短期持有，在此期间内并未发放股利，所以股息可看做 0。

交易规模一般由自有的资金、保证金比率和投资者的风险偏好等确定。股指期货期现套利所占用的资金主要包括以下两项：现货市场中交易的资金占用，影响因素包括 ETF 现货的价格 S_t 、合约份数 L 和合约乘数 M ；期货市场中交易的资金占用，影响因素包括保证金率 M_f 、合约乘数 N 、股指期货的基准价格 F_x 以及持仓比例 β 。整个期现套利交易的占用资金的规模为：

$$A = F_x * M_f * N * \frac{1}{\beta} + S_x * M * L \quad (4.7)$$

若股指期货在只交易一手的情况下，由上面的公式计算出 A 为 1651500。

4.3 数据选取与统计学检验

4.3.1 数据的选取

本文将选取南方中证 500ETF 和中证 500 股指期货当月、次月、当季以及下季合约作为实证分析的研究对象。选取从 2018 年 05 月 22 日到 2018 年 12 月 02 日的 5 分钟高频交易数据作为样本内的实证数据，从 2018 年 12 月 03 日到 2019 年 02 月 25 日的 5 分钟高频交易数据作为样本外的检验数据。

4.3.2 统计学检验

在第三章已经分析过，中证 500 指数在样本研究期间与四种股指期货合约价格的变动趋势十分吻合，在实证分析之前，需要验证南方中证 500ETF 与四种股指期

货合约的价格间是否具有长期稳定的趋势关系。

(1) 单位根检验

由于短期内价格会出现一些异常波动，使用高频数据可能会对研究造成干扰，故在进行统计学检验时采用收益率指标来替代价格指标。

使用 EViews 软件检验数据的平稳性，对南方中证 500ETF 和四种股指期货从 2018 年 05 月 22 日到 2019 年 02 月 25 日的收益率高频数据进行单位根检验。

检验结果统计如下表：

表 4.2 单位根检验结果

变量	检验类型 (c, t, p)	DW 值	DF 值	5%临界值	平稳性
R_0	(c, 0, 0)	2.05	-0.58	-1.94	非平稳
ΔR_0	(c, 0, 0)	2.00	-85.05	-1.94	平稳
R_1	(c, 0, 1)	2.00	-0.52	-1.94	非平稳
ΔR_1	(c, 0, 0)	2.01	-82.62	-1.94	平稳
R_2	(c, 0, 1)	2.06	-0.88	-1.94	非平稳
ΔR_2	(c, 0, 1)	2.06	-90.26	-1.94	平稳
R_3	(c, 0, 1)	2.00	-0.21	-1.94	非平稳
ΔR_3	(c, 0, 0)	2.00	-77.46	-1.94	平稳
R_4	(c, 0, 1)	2.00	-0.86	-1.94	非平稳
ΔR_4	(c, 0, 0)	2.00	-97.22	-1.94	平稳

对 ETF 和四种期货进行 DF 检验可知，临界值为 5% 时一阶 DF 值均比较可靠，且 DW 值变化几乎不大。四种股指期货的 5 分钟高频数据的收益率序列都是非平稳的，并且四种都是一阶单整，ETF 也是一阶单整。

(2) 协整检验

下面对 ETF 和四种期货合约的时间序列数据做协整检验，以确定 ETF 和期货价格间的关系是否是长期稳定的关系。由于上面得出数据间具有相同的单整阶数，所以先对 ETF 的收益率与四种期货的收益率分别做线性回归模型中的 OLS 参数估计，

得到各自的回归残差，再来判断数据是否具有平稳性。

检验结果统计如下表：

表 4.3 协整检验结果

变量	检验类型 (c,t,p)	EG 值	临界值	DW 值	结论
R_0 和 R_1	(c,0,2)	-4.54	-3.445	2.01	协整
R_0 和 R_2	(c,0,3)	-7.32	-3.445	2.03	协整
R_0 和 R_3	(c,0,2)	-3.51	-3.445	2.01	协整
R_0 和 R_4	(c,0,2)	-5.21	-3.445	2.01	协整

在显著性水平为 5%的情况下，以上的 EG 统计值均超过了临界值，ETF 与四种股指期货的收益率间均存在长期稳定关系。以上的统计学检验说明 ETF 和四种股指期货的收益率即使短期出现波动偏离，不过最终价格会趋向一致，而这种协整关系是投资者进行期现套利的良好基础。

(3) 误差修正

对 R_0 和 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别进行线性回归分析，得到回归残差项，再建立误差修正模型。

线性回归的结果统计如下表：

表 4.4 线性回归结果

被解释变量	解释变量	回归系数	P 值	DW 值	R^2
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{1,t}$	0.62	0.0000	2.49	0.51
	$\hat{u}_{1,t-1}$	-0.03	0.0000		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{2,t}$	0.09	0.0000	2.08	0.09
	$\hat{u}_{2,t-1}$	-0.04	0.0000		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{3,t}$	0.54	0.0002	2.49	0.46
	$\hat{u}_{3,t-1}$	-0.03	0.0002		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{4,t}$	0.56	0.0003	2.08	0.14
	$\hat{u}_{4,t-1}$	-0.02	0.0000		

由表 4.4 可知，当月期货合约和当季期货合约模型的 DW 统计值显示为自相关，所以加入滞后性用以消除这种自相关，修改后的误差修正模型各参数结果如下：

表 4.5 误差修正模型各参数

被解释变量	解释变量	回归系数	P 值	DW 值	R ²
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{0,t}$	0.63	0.0000	2.08	0.75
	$\Delta R_{0,t-1}$	0.07	0.0000		
	$\hat{u}_{1,t-1}$	-0.28	0.0000		
	$\hat{u}_{1,t-2}$	0.24	0.0000		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{2,t}$	0.09	0.0000	2.08	0.12
	$\hat{u}_{2,t-1}$	-0.03	0.0000		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{3,t}$	0.57	0.0000	2.08	0.69
	$\Delta R_{3,t-1}$	0.06	0.0000		
	$\hat{u}_{3,t-1}$	-0.26	0.0000		
	$\hat{u}_{3,t-2}$	0.23	0.0000		
$\Delta R_{0,t}$	$\Delta R_{4,t}$	0.09	0.0000	2.08	0.17
	$\hat{u}_{4,t-1}$	-0.04	0.0000		

经过误差修正之后，选择 R² 较大相关性更强的股指期货的当月合约和当季合约作为实证分析的研究对象。

4.4 期现套利过程的算法描述

4.4.1 变量的说明

F_{DOWN}: 无风险套利区间下限；F_{UP}: 无风险套利区间上限；
 S_{OU}: 现货的正向套利开仓价；S_{OD}: 现货的反向套利开仓价；
 F_{OU}: 期货的正向套利开仓价；F_{OD}: 期货的反向套利开仓价；
 S_{CU}: 正向平仓时的现货开仓价；S_{CD}: 反向平仓时的现货开仓价；
 F_{CU}: 正向平仓时的期货开仓价；F_{CD}: 反向平仓时的期货开仓价；
 N_{OU}: 上线开仓次数；N_{OD}: 下线开仓次数；N_{CU}: 上线平仓次数；N_{CD}: 下线平仓次数；
 D_{OU}: 上线开仓时间；D_{OD}: 下线开仓时间；D_{CU}: 上线平仓时间；D_{CD}: 下线平仓时间；
 R_{BULL}: 正向套利的累计收益；R_{BEAR}: 反向套利的累计收益；
 Position: 当前持仓情况，1 为反向套利持仓；-1 为正向套利持仓，0 为空仓。

4.4.2 期现套利策略的交易规则和算法的执行

期现套利策略包括正向套利和反向套利。当股指期货价格达到并超过无风险套利上限时，将启动正向套利，买入 ETF 现货卖出股指期货。若以后股指期货价格下降落入无套利区间内，就进行平仓，卖出 ETF 现货买入股指期货。可是如果股指期货合约到期时价格还在正向开仓以上的话，就要进行强制平仓止损。

当股指期货价格跌破无风险套利区间下限时，将启动反向套利，买入股指期货卖出 ETF 现货。若以后股指期货价格上涨回升到无套利区间内，就进行平仓交易，卖出股指期货买入 ETF 现货，可是若期货到期时价格还在反向开仓线以下时，就要强制平仓止损。

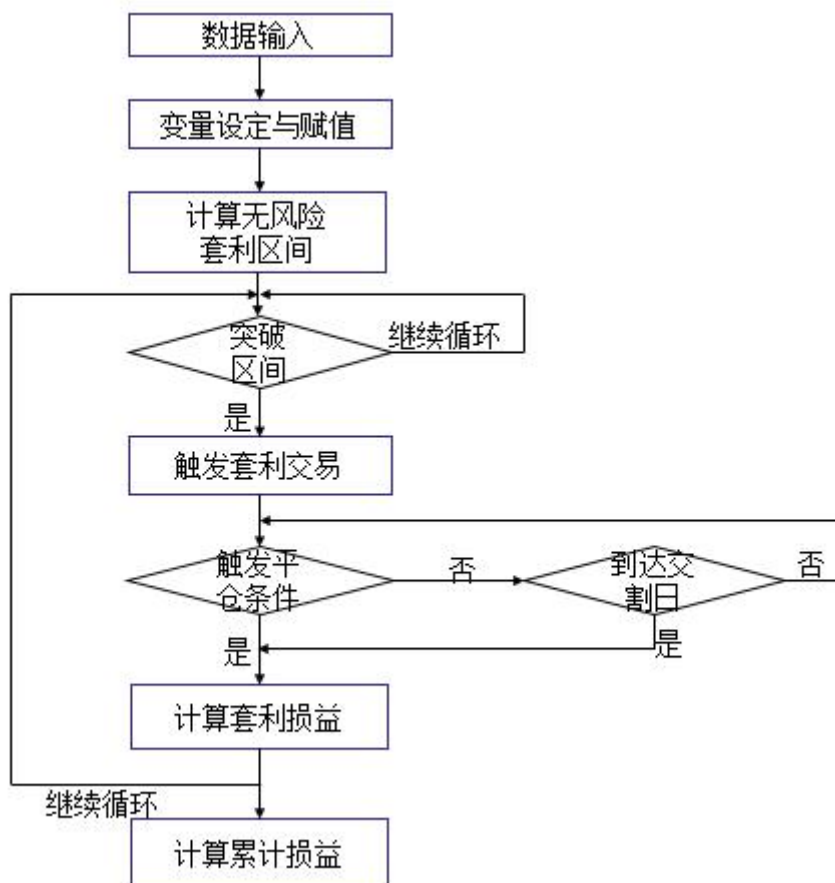


图 4.1 算法流程图

从样本区间内的第一个数据开始，直到所有的价格数据都遍历一遍算法流程。

情况一：当股指期货价格超过无套利区间上限且 $Position=0$ 时，执行正向套利，买入南方中证 500ETF 卖出期货，开仓价分别为 S_{OU} 和 F_{OU} ，同时还需要考虑冲击成

本 slip 对套利的影响。交易后，当前的持仓 Position 应设为-1，并记录此次的开仓成本 C_{OU} 。

$$\begin{aligned} F_{OU} &= F_t - slip \\ S_{OU} &= S_t + slip \\ C_{OU} &= C_{bs} \times S_{OU} + C_{sf} \times F_{OU} \end{aligned} \quad (4.8)$$

由于是卖出股指期货，受市场冲击成本的影响，开仓价要在股指期货价格基础上减去一个冲击成本。而 ETF 是现货买入，故开仓价要在现货价格基础上加上一个冲击成本。此次交易的开仓成本等于买入现货的交易成本率乘以现货开仓价加上卖出股指期货的交易成本率乘以期货的开仓价。

情况二：当股指期货价格跌破无套利区间下限且 Position=0 时，执行反向套利，买入股指期货卖出 500ETF 现货，开仓价分别为 F_{OD} 和 S_{OD} 。交易后，当前的持仓 Position 应设为 1，并记录此次的开仓成本 C_{OD} 。

$$\begin{aligned} F_{OD} &= F_t + slip \\ S_{OD} &= S_t - slip \\ C_{OD} &= C_{ss} \times S_{OD} + C_{bf} \times F_{OD} \end{aligned} \quad (4.9)$$

由于是执行反向套利买入股指期货，开仓价要在股指期货价格基础上加上一个冲击成本，而 ETF 是现货卖出，故开仓价要在现货价格基础上减去冲击成本。此次交易的开仓成本等于卖出现货的交易成本率乘以现货开仓价加上买入股指期货的交易成本率乘以期货开仓价。

情况三：当股指期货价格小于正向开仓线且 Position 等于-1 时，执行平仓操作，卖出南方中证 500ETF 买入期货，平仓价分别为 S_{CU} 和 F_{CU} 。交易后，当前的持仓 Position 应重置为 0，并记录此次的平仓成本 C_{CU} 。然后计算出此次套利交易的收益 R_{CU} ，它等于现货收益加上期货收益再减去建仓成本和平仓成本。

$$\begin{aligned} F_{CU} &= F_t + slip \\ S_{CU} &= S_t - slip \\ C_{CU} &= C_{ss} \times S_{CU} + C_{bf} \times F_{CU} \\ R_{CU} &= (F_{OU} - F_{CU}) + (S_{CU} - S_{OU}) - C_{OU} - C_{CU} \end{aligned} \quad (4.10)$$

关于平仓价和平仓成本的计算原理与前类似，在此不赘述。现货收益等于正向套利现货平仓价减去现货开仓价，股指期货收益等于正向套利期货开仓价减去期货平仓价。此次套利交易的收益等于现货收益加上期货收益再减去开仓成本和平仓成本。

情况四：当股指期货价格大于反向开仓线且 Position 等于 1 时，执行平仓操作，

买入南方中证 500ETF 卖出期货，平仓价分别为 S_{CD} 和 F_{CD} 。交易后，当前的持仓 **Position** 应重置为 0，并记录此次的平仓成本 C_{CD} 。

$$\begin{aligned} F_{CD} &= F_t - slip \\ S_{CD} &= S_t + slip \\ C_{CD} &= C_{bs} \times S_{CD} + C_{sf} \times F_{CD} \\ R_{CD} &= (F_{CD} - F_{OD}) + (S_{OD} - S_{CD}) - C_{OD} - C_{CD} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Position 等于 1 说明此前已进行过反向套利，执行平仓操作 **Position** 应重置为 0。现货收益等于反向套利现货开仓价减去现货平仓价，股指期货收益等于反向套利期货平仓价减去期货开仓价。

情况五：当期货合约到达交割日，且 **Position** 等于 -1 时，以结算价格执行强制交割平仓，买入期货卖出南方中证 500ETF，平仓价分别为 F_{CU} 和 S_{CU} 。然后，将 **Position** 重置为 0，并记录此次的平仓成本 C_{CU} 。

$$\begin{aligned} F_{CU} &= F_t \\ S_{CU} &= S_t \\ C_{CU} &= C_{ss} \times S_{CU} + C_{bf} \times F_{CU} \\ R_{CU} &= (F_{OU} - F_{CU}) + (S_{CU} - S_{OU}) - C_{OU} - C_{CU} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Position 等于 -1 说明当期是正向套利持仓，且当前日期为持有合约交割日，那么进行交割操作，对持有头寸根据结算价进行头寸了结，并进行现金交割。由于是按结算价进行平仓，因此平仓价格无需考虑滑点情况，并记录当期持仓情况 **Position** 为 0。

情况六：当期货合约到达交割日，且 **Position** 等于 1 时，以结算价格执行强制交割平仓，卖出期货买入南方中证 500ETF，平仓价分别为 F_{CD} 和 S_{CD} 。然后，将 **Position** 重置为 0，并记录此次的平仓成本 C_{CD} 。

$$\begin{aligned} F_{CD} &= F_t \\ S_{CD} &= S_t \\ C_{CD} &= C_{bs} \times S_{CD} + C_{sf} \times F_{CD} \\ R_{CD} &= (F_{CD} - F_{OD}) + (S_{OD} - S_{CD}) - C_{OD} - C_{CD} \end{aligned} \quad (4.13)$$

4.5 ETF 期现套利结果及分析

将之前确定的各项参数代入算法交易的程序中，进行套利交易，得到相关的交易结果数据，并将其整理汇总。

表 4.6 中证 500 期现套利交易结果

数据	套利组合	套利方式	交易次数	盈利次数	止损次数	累计收益	合计收益	年化收益率
样本内测试	ETF 与当月合约	正向套利	4	3	1	8170	114030	13.81%
		反向套利	18	16	2	105860		
	ETF 月当季合约	正向套利	5	5	0	17562	146322	17.72%
		反向套利	22	19	3	128760		
样本外检验	ETF 与当月合约	正向套利	3	3	0	10224	39564	14.37%
		反向套利	8	8	0	29340		
	ETF 月当季合约	正向套利	4	4	0	13669	47409	18.55%
		反向套利	10	9	1	33740		

4.5.1 套利次数分析

在保证金比率最低为 20% 时，样本内当月合约一共进行套利交易 22 次，19 次是盈利状态，3 次是止损状态；当季合约一共套利 27 次，24 次盈利，3 次止损。不管是当月合约还是当季合约，都是以反向套利为主。这是因为 2018 年 5 月 22 日到 2018 年 12 月 2 日这段时间股指期货一直处于贴水状态，基差也大于 0，进行期现套利时反向套利的机会更多一些。2018 年 12 月 3 日及以后，中金所将中证 500 股指期货保证金比率调低到 15%，市场上的交易也有了一定的上升，无风险套利的机会相对来说也有所上升。在样本外检测期内，当月合约一共有 11 次套利机会，其中 3 次是正向套利，8 次是反向套利；而当季合约一共有 14 次套利机会，其中 4 次正向套利，10 次反向套利。总之，当季合约套利机会略多于当月合约，而在整个样本研究期间内，套利交易都以反向套利为主。

4.5.2 套利收益分析

样本内套利交易从 2018 年 5 月 22 日到 2018 年 12 月 2 日, 当月合约正向套利获利 8170 元, 反向套利获利 105860 元, 年化收益率是 13.81%; 当季合约总计获利 146322 元, 年化收益率是 17.72%。2018 年 12 月 3 日以后, 保证金比率降低, 市场上的投机行为放大, 套利机会增加。在样本外这段期间内, 套利交易的成功率也提高了, 只有当季合约的反向套利存在一次强制平仓止损。另外, 样本外的年化收益率相比样本内也均有所提升, 当月合约由 13.81% 提升到了 14.37%, 当季合约由 17.72% 提升到了 18.55%。从表 4.6 可以很直观的看到当月合约的盈利表现均比当季合约的要差一点, 反向套利比正向套利的机会和空间都要好。

综合以上的分析, 股指期货期现套利策略更适用于市场活跃度高、成交量大和投机力量强的市场情况。因为这样能在很短的时间内使不合理的基差回归到合理的区间, 而且通常基差回归的幅度还比较大, 套利交易的获利情况也会很可观。

4.6 期权反向套利的实证分析

自 2015 年股灾开始, 市场上的股指期货一直处于贴水状态, 存在着大量的反向套利机会。同时, 上述 ETF 期现套利的实证分析结果也显示, 股指期货反向套利存在着较大的空间。而在现实的市场交易中, 融资融券业务有一定的限制, 反向套利实现的收益无法最大化。故在此基础上, 可以构建能够卖空的现货组合进行反向套利, 从而对策略实现改进。之前的研究是选用 ETF 作为现货, 而在此基础上可以通过期权来构建现货组合实现股指期货期现套利。由于目前市场上只有上证 50ETF 期权, 中证 500ETF 期权可能在未来不久就会推出, 所以下面利用上证 50ETF 期权构造现货空头进行股指期货的反向套利。

依据期权平价公式 $C + Ke^{-rT} = P + S$ 可知, 可以通过卖出看涨期权并买入看跌期权来构造现货的空头, 再对现货空头与股指期货多头进行期现套利, 从而获得反向套利的收益, 买入和卖出的期权合约应当是相同行权价格和到期月份的合约。其中, C 是看涨期权的价格, K 是其行权价格, r 是利率, T 是时间, P 是看跌期权的价格, S 是标的资产的价格。下面举一个例子来模拟该套利过程, 算出套利收益, 选择 2019 年 3 月 7 日 14 点 25 分的数据作为研究对象。

期权作为现货空头的反向套利策略交易步骤如下:

Step1:买进“50ETF 沽 4 月 2500”，买入的成本为 0.1635。卖出“50ETF 购 4 月 2500”，卖出的收入是 0.0025。期权组合的持有成本是 $2.5+0.0025-0.1635=2.339$ 。

Step2:买进“IH1903”，股指期货的持有成本是 2337.8。

Step3:上证 50 指数除以 1000 等于基金单位净值，上证 50ETF 期权合约单位是 10000 份，最小报价单位为 0.0001 元，上证 50 股指期货合约的乘数是 300 元每点，价值为股指期货指数点乘以合约乘数。

Step4:根据第三步可知，套利收益等于 $(2.339*1000-2337.8)*300=360$ 元。

对于期权的交易选择 2018 年 12 月到 2019 年 3 月的数据作为研究对象，当期权组合构成的现货与上证 50 股指期货间的价差超过相应的成本时，就可以进行期现套利获得收益。此处将价差百分比设为 0.5%，当价差超过它就可启动反向套利。

此处选择历史数据对套利进行回测，初始资金假设是 100 万，分别买入和卖出 30 份行权价格为 2.5 的当月看涨和看跌期权，并买入一份当月的上证 50 股指期货，一共花费 20 万左右。当期权组合构成的现货与上证 50 股指期货间的价差超过 0.5% 时，启动反向套利，当价差百分比回到 0 时进行平仓。若到了股指期货交割日，价差依然未回归于 0，则对股指期货合约进行交割，期权合约也进行平仓。此外，在期权到期的前一天，将持有的期权合约移仓换月，就是同时平仓一个月份的期权合约和建仓相同行权价格的下个月份的期权合约。期权反向套利的交易结果如下表：

表 4.7 期权反向套利交易结果

数据	交易次数	盈利次数	止损次数	累计收益	年化收益率
期权反向套利	12	11	1	57350	17.21%

对比表 4.6 与表 4.7 的结果可知，选用期权组合作为期现反向套利的现货空头，年化收益率为 17.21%。而与之相类似的时段，ETF 作为现货进行股指期货反向套利的年化收益率是 14.37%。虽然二者一个是上证 50 股指期货，一个是中证 500 股指期货，但影响收益率的主要还是现货的构成。由此说明在现实的交易市场中，构造能够卖空的现货组合对充分实现期现套利的收益空间很重要。而目前市场上还没有中证 500ETF 期权，套利空间也受到了一定的限制，因此当未来推出这一品种的期权时，套利机会可以得到更进一步的深入挖掘。

第 5 章 结论与展望

5.1 主要结论

本文最先针对研究中证 500 股指期货期现套利的背景和意义进行了说明,然后阐述了国内外研究现状、期现套利的相关理论和步骤,并对影响无套利区间的相关因素进行了分析,确定无套利上下限。此外,还研究了基差的具体表现情况以及影响它的因素。最后进行了实证分析,确定策略的具体实施情况。

(1) 之前的许多研究证明对于期现套利而言,选取适当的现货产品非常重要,故本文在实证研究之前确定了合适的现货产品南方中证 500ETF 用来跟踪股价指数。为了使套利交易策略实践性更强,文章采取了三种方法来精确计算 ETF 对股指的跟踪误差,并对现货买卖和期货买卖的冲击成本进行了仔细的研究,使得无套利区间更为准确。

(2) 通过对股价指数与期货的价格进行分析发现,股指期货的价格波动与现货指数的波动情况高度一致,并且它们的基差与价格一样也具有这种一致性。当市场价格上涨时,基差也会随之上涨。基差水平与合约到期日成正比,即股指期货合约的到期日越久,它的基差相应的也就越大。在整个基差波动周期内,不管基差是正的还是负的,都无法永远朝着一个方向上涨或下跌。当基差达到一定水平时,都会向着相反的方向回归,而这也正是期现套利的一个重要的理论基础。

(3) 中证 500 股指期货期现套利策略具有现实可行性,选择当月合约和当季合约进行套利交易,发现当季比当月表现相对要好一点。在整个样本研究期间内,股指期货几乎都处于贴水状态,基差也大于 0,进行期现套利时反向套利的机会更多一些。当保证金比率下降时,市场活跃度变高、成交量增加、投机力量加强,套利交易的收益也更好。

(4) 通过对比 ETF 作为现货和期权组合作为现货进行股指期货的反向套利,发现构造能够卖空的现货组合对充分实现期现套利的收益空间很重要,当未来推出中证 500ETF 的期权时,套利机会可以得到更进一步的深入挖掘。

5.2 展望

文章虽然就期现套利策略进行了全面的研究,并对实证分析结果中的交易次数、

套利收益率做了详细分析，但是在一些方面还是有继续改进的空间：

（1）文章并未考虑到融券卖出存在困难时的成本，在市场波动剧烈的情况下，这种成本会影响到期现套利的执行和获利情况。

（2）针对影响无套利区间的因素分析有限，关于市场的成熟度、套利机制等只是简单地进行了定性分析，后续可以对这些指标作具体的量化研究。

致谢

时光如白驹过隙，转眼间两年的研究生求学生涯即将结束。非常幸运能在华科度过两年的青春，在毛像的见证下体会青春的酸甜苦辣。在本文完成之际，谨向所有帮助支持和指导过我的师长、同学和家人们表示最衷心的感谢！

首先，最要感谢的人是我的恩师欧阳红兵老师。欧阳老师是位学识渊博、治学严谨的导师，他在我懈怠时会督促我前行，在我迷茫时会指点迷津。正是导师的谆谆教诲，让我两年的硕士学习没有留下遗憾，让我论文的撰写得以顺利完成。

其次，要感谢的人是我的室友们。在论文写作期间，她们给了我精神上有力的支持和帮助，让我能够自由愉快地在学习中翱翔。

最后，要感谢我的父母，他们对我无条件的支持和关怀也正是我能享受学习的动力，感谢他们对我的呵护和关爱，他们永远是我坚实的后盾。

参考文献

- [1]Richie and Gleason.Index Arbitrage between futures and ETFs:Evidence on the limits to arbitrage from S&P500 Futures and SPDRS[J].Energy Policy,2017,122.
- [2]Gatev and Goetzmann.Pairs trading:Performance of a relative value arbitrage rule[J].Review of Financial Studies,2016,45-76.
- [3]Thomaidis.Forecasting Stock Index Futures Price Volatility[J].The Financial Review,2015,93-104.
- [4]Maosen Zhong.On the role of futures trading in spot market fluctuations[J].The journal of Financial Research,2014,189-201.
- [5]Fabozzi and Focardi.On the challenge in quantitative equity management[J].Quantitative Finance,2013,8 (7) :649-665.
- [6]DeLong and Shleifer.Noise Trader Risk in Financial Markets[J].Journal of Political Economy,2013,98:703-738.
- [7]Sharon Xiaowen Lin.Effects of NYMEX trading on IPE B rent Crude futures markets:a duration analysis[J].Journal of Finance,2012,321-325.
- [8]Yinggang Zhou,Zihui Yang and Jian Yang.Intraday price discovery and volatility transmission in stock index and stock index futures markets:Evidence from China[J].Journal of Futures Markets,2012,3(2):99-121.
- [9]Simonov and Agarwal.Simulated Tradign,An Analysis of Pairs Trading[J].Econ WPA,2011,107-128.
- [10]Board.Index Participation Units and Performance of Index Futures Markets[J].Journal of Futures Markets,2011 (15) :187-200.
- [11]Todorv.The pricing and performance of Stock Index Futures Spreads[J].Journal of Futures Markets,2010,23-34.
- [12]Seung Oh Nam.An empirical analysis of the price discovery and the pricing bias in the KOSPI200 stock index derivatives markets[J].International Review of Financial Analysis,2010,398-414.
- [13]Hemler.General Equilibrium Stock Index Futures Prices:Theory and Empirical Evidence[J].Journal of Financial and Quantitative Analysis,2009,26 (3) : 287-308.
- [14]Switzer.Depositary Receipt Stand the Performance of the S&P5500 Index Futures

Markets[J].Journal of Futures Markets,2009,705-716.

[15]聂思玥、李梦花,我国股指期货和现货市场隔夜信息、午间信息的因果效应分析[J],数理统计与管理.2019.02:003

[16]余臻、许桐桐、彭珂,上证 50 指数与衍生品市场价格的发现能力[J],2019.01:108-116

[17]王良、刘潇等,高频数据下基于 ETF 基金的股指期货套利研究[J],中国管理科学.2018.05:9-20

[18]钱俊、季浪、胡小琴,股指期货定价偏差与其标的指数 ETF 的相互关系研究——基于中国证券市场[J],上海金融.2018.08:48-59

[19]吴奕霖、肖莉,高频数据下基于恒生指数的期现套利实证分析[J],财政与金融.2018.5:39-53

[20]李兴然,中证 500 反弹显著:华夏中证 500ETF 成配置首选[J],宏观策略.2018.46:17

[21]高爽、王联欣,我国股指期货与现货市场的已实现波动关系研究——基于非参数 T_n 非线性 Granger 因果关系检验[J],重庆理工大学学报.2017.12:192-198

[22]林焰、杨建辉,基于模糊粒化的改进混合神经网络股指期货价格区间预测[J],南方金融.2017.10:9-22

[23]申婷婷、田耘,我国股指期货套期保值交易策略研究[J],财政与金融.2017.11:102-103

[24]刘光彦、纪伟、郑慧,股指期货对我国股市周内效应的影响研究[J],财经理论研究.2017.01:105-112

[25]沈银芳、郑学东、徐信喆,基于混合 Copula 的 ETF 配对交易策略[J],浙江大学学报.2016.05:271-278

[26]刘文文、沈骏,指数期货信息传递机制研究——基于沪深 300、上证 50 和中证 500 指数期货[J],上海金融.2016.07:59-64

[27]付珍燕,我国股指期货与 ETF 组合期现套利研究[J],中国证券期货.2016.5:23-25

[28]刘增学,股指期货交易对股票现货市场的影响研究[J],南方金融.2016.6:52-54

[29]李成武、陈蕾,沪深 300 股指期货期现套利研究[J],财经问题研究.2015.5

[30]左璐,股指期货与沪深 300ETF 期现套利实战研究[J],期货日报.2015.3

[31]陈艳、褚光磊,股指期货套利交易的风险度量——基于沪深 300 股指期货交易数据的实证分析[J],管理现代化.2014.08:86-88

- [32]李凤羽, 投资者情绪能够解释 ETF 的折溢价吗? ——来自 A 股市场的经验证据[J], 金融研究.2014.02:180-192
- [33]黄顺武、昌望, 融资融券能促进标的证券的定价效率吗? ——基于上证 50ETF 的实证研究[J], 合肥工业大学学报.2014.02:1-8
- [34]林晓明, 指数现金分红套利策略[J], 资本市场.2013.07:116-118
- [35]欧阳敏科, 沪深 300ETF 与沪深 300 股指期货期现套利研究[J], 金融经济.2013.02:95-96
- [36]王飞、孙维尧, 基于 Black-Scholes 方程的股指期货期现套利模型及交易算法[J], 计算机应用.2013.06:326-328
- [37]魏卓、陈冲、魏先华, 基于高频数据的中国市场股指期货套利[J], 系统工程理论与实践.2013.03:476-482
- [38]张连华, 基于高频数据的股指期货统计套利程序交易[J], 计算机应用于软件.2012.09:93-95
- [39]梁斌、陈敏等, 基于 LARS-Lasso 的指数跟踪及其在股指期货套利策略中的应用[J], 数理统计与管理.2011.06:1104-1113
- [40]彭程, 股指期货期现套利中现货模拟技术比较[J], 时代金融.2011.01:44-46