

2018 届硕士学位论文

分 类 号:

学校代码: 10269

密 级:

学 号: 51153001009



華東師範大學

East China Normal University

硕士学位论文

MASTER'S DISSERTATION

论文题目: 中高频商品期货跨期套利模型
构建及实证研究

院 系: 经济与管理学部经济学院

类 别: 金融学

领 域: 金融工程

指导教师: 潘志斌 副教授

申 请 人: 郑伟东

2018 年 5 月

2018 届硕士学位论文

学校代码: 10269

学 号: 51153001009

華東師範大學

中高频商品期货跨期套利模型 构建及实证研究

院 系: 经济与管理学部

类 别: 金融学

领 域: 金融工程

指导教师: 潘志斌 副教授

申 请 人: 郑伟东

2018 年 5 月

MASTER DISSERTATION 2018

University ID: 10269

Student ID: 51153001009

East China Normal University

Construction and Empirical Study on Medium and High-frequency Calendar Spread Arbitrage Model in Chinese Commodity Future Market

Department: Faculty of Economics and Management

Major: Finance

Specialty: Financial Engineering

Tutor: Associate Professor Zhibing Pan

Master Candidate: Weidong Zheng

May, 2018

郑伟东 硕士专业学位论文答辩委员会成员名单

姓名	职称	单位	备注
蓝发钦	教授	华东师范大学	主席
吴信如	教授	华东师范大学	
孙丽	副教授	华东师范大学	

摘要

随着我国期货市场的逐步发展,期货跨期套利成为了市场参与者最热衷的配对交易方法之一。这种通过两个不同到期日的同品种期货合约进行的价差套利交易,能够在大幅度降低策略所面临的市场风险的前提下,为套利者提供持续稳定的收益。另一方面,在目前中国金融市场上,作为仅有的几个可以进行日内交易及做空机制的金融产品之一,期货合约为中高频交易在我国金融市场上的应用与研究提供了良好的实证标的。

本文基于我国商品期货市场,研究中高频(1分钟、5分钟、15分钟及30分钟)期货跨期套利策略。不同于传统的无套利区间模型或 O-U 模型策略,本文将采用 Kalman 滤波算法优化时变系数,并获得标准化残差,设定开平仓信号触发阈值及止损策略。并将该策略应用于 20 个商品期货品种,以 2016-2017 年两年的完整数据作为样本,进行回测。且从时间频度、品种差异、市场行情三个不同角度分析影响策略表现的因素。最后,本文还讨论了交易费用、交易滑点与合约最小变动价格对策略表现的影响,并给出了为避免单脚成交现象而改进的开平仓下单流程。

本文实证结果显示,基于 Kalman 滤波的跨期套利策略在 20 个商品期货品种上均能够获得稳定的净收益,且铁矿石期货对表现最佳,热轧卷板和螺纹钢期货对表现较差。随着时间频度的增加,各品种的表现均有所提升。本策略在不同的市场环境中表现差距不大。交易费用与最小价格变动比值越小,滑点数越小,期货品种对的表现越好。

关键词: 中高频; 商品期货; 跨期套利; Kalman 滤波

Abstract

With the gradual development of China's futures market, the calendar arbitrage of futures has become one of the most popular pair trading methods for the market participants. The calendar spread arbitrage is constructed by two futures contracts with different maturities and can provide continuous and stable returns for arbitrage, while can greatly reduce the market risk faced by the portfolio. On the other hand, in the current China's financial market, as one of the few financial products that can carry out intra day trading and also provide shorting mechanism, future market provides a good platform for the application and research of medium and high-frequency trading in China's financial market.

Based on China's commodity futures market, this thesis studies the calendar spread arbitrage strategy of middle and high frequency future data (1, 5, 15 and 30 minutes). Different from the traditional interval of arbitrage-free prices strategy or O-U model strategy, this thesis adopts Kalman filtering algorithm to optimize time-varying coefficients, and obtains standardized residuals. Then set open and close threshold signal and design stop loss strategy. The arbitrage strategy is applied to 20 commodity future varieties, and the complete trading price data of year 2016-2017 are used as samples to carry out the empirical research. And then the backtesting results are detailed discussed from three aspects: different time frequencies, different future varieties and different market trends, to analyze the factors affecting the performance of the strategy.

The empirical results show that the calendar arbitrage strategy based on Kalman filtering can get a steady net profit on the 20 commodity future pairs, and the iron ore future pair is the best, the hot rolled coil and rebar future pair have the poorest performance. With the increase of time frequency, the performance of most pairs has been improved. This strategy is stable in different market environments. The smaller

the ratio of the transaction cost to the minimum price change, the smaller the number of slipping points, the better the performance of the futures pairs.

Keywords: Medium and high frequency; Commodity futures; Calendar arbitrage

Kalman filter

目录

第一章 导论	1
第一节 研究背景与意义.....	1
第二节 研究思路与方法.....	2
第三节 文章结构与主要内容.....	3
第四节 创新与不足.....	3
第二章 文献综述	5
第一节 市场中性理论与期货套利策略.....	5
一、 市场中性及均值回复过程.....	5
二、 配对交易理论及应用.....	7
三、 跨期套利理论及应用.....	10
四、 高频交易研究现状.....	13
第二节 时变模型及 Kalman 滤波	15
第三节 协整性及 O-U 过程	16
一、 协整理论.....	16
二、 O-U 过程	17
第四节 小结.....	19
第三章 品种选择及数据提取	20
第一节 商品期货合约概况.....	20
第二节 套利品种选择.....	22

第三节 数据选择及提取.....	24
------------------	----

第四章 跨期套利模型构建29

第一节 交易信号计算.....	29
-----------------	----

一、 Kalman 滤波	29
--------------------	----

二、 信号生成.....	31
--------------	----

三、 参数优化.....	32
--------------	----

四、 ADF 检验及 O-U 过程检验	34
---------------------------	----

第二节 交易策略设定.....	37
-----------------	----

一、 上下界规则设定.....	37
-----------------	----

二、 上下界优化.....	39
---------------	----

第三节 止损策略设定.....	39
-----------------	----

一、 方案一：标准残差法.....	39
-------------------	----

二、 方案二：绝对值法.....	40
------------------	----

第五章 实证及分析42

第一节 实证结果分析.....	42
-----------------	----

一、 同频度不同品种交易结果比较.....	42
-----------------------	----

二、 同品种不同频度交易结果比较.....	54
-----------------------	----

三、 不同市场环境下交易结果比较.....	58
-----------------------	----

第二节 稳健性探讨.....	63
----------------	----

一、 交易费用影响.....	63
----------------	----

二、 交易滑点影响.....	65
----------------	----

三、 单脚成交问题探讨.....	68
------------------	----

第六章 结论及研究展望72

第一节 研究结论.....	72
第二节 研究展望.....	73
参考文献	75
附录.....	82
后记.....	107

表目录

表 1 基础筛选期货品种样本.....	23
表 2 合约对与时间区间.....	26
表 3 各频度数据数据量汇总表.....	27
表 4 各商品期货合约样本内数据 β 平均值.....	36
表 5 指标及解释.....	43
表 6 1 分钟频度策略回测结果.....	45
表 7 5 分钟频度策略回测结果.....	47
表 8 15 分钟频度策略回测结果.....	50
表 9 30 分钟频度策略回测结果.....	52
表 10 同品种不同频度交易结果.....	56
表 11 震荡市、牛市、熊市时间区间段.....	59
表 12 不同市场环境下 5 分钟频度交易结果对比.....	61
表 13 三种行情下净利润排名统计.....	63
表 14 交易费用影响.....	65
表 15 最大可承受滑点数.....	67
表 16 最小价格变动引起合约价值变动.....	68
表 17 中国已上市商品期货品种.....	82
表 18 2016 年 1 分钟频度策略回测结果.....	84
表 19 2016 年 5 分钟频度策略回测结果.....	85
表 20 2016 年 15 分钟频度策略回测结果.....	86
表 21 2016 年 30 分钟频度策略回测结果.....	87
表 22 2017 年 1 分钟频度策略回测结果.....	88
表 23 2017 年 5 分钟频度策略回测结果.....	89
表 24 2017 年 15 分钟频度策略回测结果.....	90
表 25 2017 年 30 分钟频度策略回测结果.....	91
表 26 2016 年同品种不同频度交易结果.....	92

表 27 2017 年同品种不同频度交易结果.....	95
表 28 震荡市、熊市、牛市表现对比（一）	98
表 29 震荡市、熊市、牛市表现对比（二）	101
表 30 震荡市、熊市、牛市表现对比（三）	104

图目录

图 1 2016-2017 年 Wind 商品指数 CCFI 收益率走势图.....	25
图 2 各期货品种 2 年标准残差图（30 分钟频度）	32
图 3 标准残差与阈值线.....	38
图 4 真实价差走势图及价差买卖交易信号.....	38
图 5 1 分钟频度下各品种累积价差图.....	45
图 6 1 分钟频度下各品种累积总利润图.....	46
图 7 1 分钟频度下各品种累积净利润图.....	46
图 8 5 分钟频度下各品种累积价差图.....	48
图 9 5 分钟频度下各品种累积总利润图.....	48
图 10 5 分钟频度下各品种累积净利润图.....	49
图 11 15 分钟频度下各品种累积价差图.....	50
图 12 15 分钟频度下各品种累积总利润图.....	51
图 13 15 分钟频度下各品种累积净利润图.....	51
图 14 30 分钟频度下各品种累积价差图.....	53
图 15 30 分钟频度下各品种累积总利润图.....	53
图 16 30 分钟频度下各品种累积净利润图.....	54
图 17 商品指数 CCFI 走势图.....	59
图 18 建仓下单流程优化图.....	70
图 19 平仓下单流程优化图.....	71

第一章 导论

第一节 研究背景与意义

随着我国金融市场的不断完善与各种金融产品的不断推出,我国正朝着构建多层次多维度的金融市场的目标稳步前行。而在这一过程中,离不开对各种金融产品的深入研究与妥善应用。除了基础的股票、债券产品之外,金融衍生产品将在未来占据重要的市场地位。其中,作为标准化的金融衍生产品之一,期货在我国的稳步发展展现出了其对实体经济的作用,有效地帮助大宗商品企业对冲了可能的价格风险。截止 2017 年年底,我国 3 大商品期货交易所目前正式上市交易的合约品种共 48 种,基本涵盖了农产品、有机化工、金属与贵金属,为各工农业产业从业人员与企业提供宝贵的对冲风险的工具。

另一方面,一个活跃有效的金融二级市场,需要套期保值者、套利者和投机者等各种市场参与者的积极参与。而期货市场由于其可进行日内多空交易的特性,为相关的套利交易提供了良好的制度条件。在国内期权市场还未完成成型,股票市场 T+1 交易的情况下,期货是进行相关套利研究最佳的金融产品。套利者能够使得金融产品的价格更快速地趋近于其真实的价值,有利于金融市场的稳定有效发展。因此,对于商品期货的套利研究一直是学术界和业界的研究重点之一。

而随着信息技术水平的发展,投资者不再满足于传统的量化套利策略,而将目光聚焦于中高频度的套利策略之上。在我国,大量的学者与业界人士专注于金融期货的中高频交易研究。然而,对于商品期货的中高频交易研究却相当匮乏。这一方面是由于商品期货品种交易活跃度不如金融期货,另一方面是由于商品期货品种较多,每个品种合约都具有其特定的合约规则与交易时间,策略的制定较为困难。如何结合商品期货的特性,设计合适各个品种的中高频度套利策略,成为目前我国学者关注的重点。

综上,本文将基于我国现有商品期货品种,在中高频时间维度上对其跨期套利策略进行研究。

第二节 研究思路与方法

本文运用商品期货中高频度价格数据，探究跨期套利交易在我国商品期货市场的可行性。根据市场有效性假说，中国商品期货市场目前存在套利机会，因此构造有效的跨期套利策略可以获得稳定的收益。根据市场中性理论与均值回复过程，可知跨期期货对之间的价差在偏离其真实价值之后将回归其均值，这是进行跨期套利策略交易的理论基础。

本文首先对现有 48 个期货品种的合约属性及主力合约与次主力合约更迭规律进行筛选，然后采用协整理论验证期货对的协整性，再运用 O-U 过程检验其回复过程强弱程度，获得符合基本要求的 20 个期货品种对，并以 2016 年至 2017 年完整的两年时间为样本区间，以 1 分钟、5 分钟、15 分钟、30 分钟 4 个时间频度为研究对象，进行本文的实证研究。

跨期套利模型构造方面，本文采用 Kalman 滤波算法构造时变系数，获得标准化残差，以得出合适的交易信号。运用多时间频度（1 分钟、5 分钟、15 分钟、30 分钟）的交易价格数据，分别进行策略优化，测试最终收益效果。采用中高频交易，可以避免持仓时间过长、风险过大、合约转换等问题，且能够在相同的时间及资金量的情况下，进行多次交易，增加收益率。具体步骤如下所示：（1）根据交易价格序列，运用 Kalman 滤波算法，获得时变性系数，并计算标准残差；（2）制定交易规则，通过标准化后的残差，设定买入卖空价差标准及对应的平仓标准；（3）设定参数优化方法，根据样本内数据进行参数优化，并将优化后的参数应用于样本外数据集，获得回测结果；（4）设定止损策略，并优化止损策略参数；（5）比较不同品种、不同频度、不同市场环境下策略的收益情况，分析原因。

此外，本文还对交易费用、交易滑点、下单策略等进行了详尽的讨论，研究这三个因素对策略表现的影响。

第三节 文章结构与主要内容

本文共分为六章，第一章为导论，第二章文献综述将梳理市场中性理论与期货套利策略研究概况，时变模型、Kalman 滤波、协整性及 O-U 过程等概念及相关研究应用。第三章为品种选择及数据提取，阐述了本文从现有 48 个上市商品期货品种中筛选适合进行中高频套利策略的品种的规则及样本数据提取过程。第四章为文章的主体部分——跨期套利模型构建，详细说明了本文基于 Kalman 滤波进行的跨期套利策略信号的生成、交易参数的优化方法、止损策略的设定等。第五章为实证及分析，对筛选的 20 个品种进行回测，从 3 个角度、10 个指标对结果进行分析，评价策略在不同频度、不同品种及不同市场环境下的表现，并对交易费用、成交滑点等问题进行了探讨。第六章为本文的结论，总结了本文的研究结论，并对未来的研究提供了可能的方向。

第四节 创新与不足

本文对现有研究做出如下 5 点创新及贡献：

（1）现有的国内高频交易研究主要局限于金融期货，对于商品期货及股票的研究主要采用日度频度及技术指标研究，本文采用了中国商品期货市场中高频度的数据（1 分钟、5 分钟、15 分钟及 30 分钟）进行跨期套利研究。

（2）将工程学模型 Kalman 滤波算法应用于套利策略，尝试运用 Kalman 滤波方法获取时变性系数，并根据期货对的标准残差变化获取交易信号。

（3）中高频数据可以从更加微观的角度研究策略有效性。普通日度收盘数据的研究结果在实际应用时，会因为第二天开盘的跳价而难以执行。高频度的数据可以在一定程度上解决该问题。且通过快进快出的方式，在有限的资金及时间内，可以增加收益率。

（4）本文从 3 个不同的角度对回测结果进行深入分析，探究不同时间频度、不同交易品种及不同的市场涨跌环境对策略表现的影响。

（5）本文进一步探讨了交易费用与最小价格变动、滑点与盈利之间的关系，

并设计了优化的跨期套利开平仓下单策略。

由于时间及能力有限，本文在如下方面仍有所不足：

（1）未能够进行模拟盘交易，检测套利策略及下单优化流程的有效性，目前仅停留在理论阶段；

（2）未能够结合下单价格与市场实时买卖挂单量等信息综合建立成交价模型。中高频套利交易遵循“少量多次”的原则进行交易，因此对价格十分敏感。过多的交易滑点会侵吞策略盈利。除了通过对下单步骤的优化外，还可以根据盘口信息对下单价格进行优化。这种优化思路将在未来的研究中进一步完善。

第二章 文献综述

第一节 市场中性理论与期货套利策略

一、市场中性及均值回复过程

市场中性策略是一种通过对冲市场风险，利用投资组合中的证券之间的相对价格波动来降低风险，获得收益的一种投资策略。通过安排证券的多空头寸，达到投资组合中性的目标。而其盈利方式则是通过购买被市场低估的证券的同时，卖空被市场高估的证券。这种同时反向操作，可以大幅度降低市场波动对投资组合的冲击。因而投资组合的收益将很大程度上与市场牛熊无关，而仅与多空证券之间的价差变化相关联。因此称之为市场中性策略(杨晓光, 张静, 刘希民, 2004)。Joseph G. Nicholas (2000) 则认为市场中性投资指通过一系列投资策略(买卖多空相关证券)消除特定的市场风险。这种策略寻求一些在相同的市场环境下能够提供不完全相同收益的投资标的。无论市场中性策略建立在多么复杂的金融数学模型之上, 其最终的获利原理是与相关证券的价差变化相关。常见的市场中性策略有: 可转换债券套利; 固定收益套利; 抵押贷款支持证券套利; 并购套利; 股票套利; 股票市场中性及统计套利; 相对价值套利。

具体而言, 市场中性策略的与其他单边策略相比, 具有如下特点: 首先, 市场中性策略符合风险分散原则, 通过在投资组合中配置不同的证券, 以求降低组合的整体市场风险, 风险较单边组合更低。其次, 市场大环境变化并不会导致市场中性策略的失效, 只要投资策略中各种证券之间价格依旧保持一定相对关系, 则该策略同时适用于牛熊市, 收益表现更加稳定。最后, 市场中性策略构建了内部的对冲机制, 使得其与其他类型的资产相关性较小, 受到冲击也较小。

由于我国金融市场起步较迟, 对冲金融工具种类有限, 因此与美国相比, 国内的市场中性策略发展较为缓慢, 尚属于新兴的投资策略类型(卢慰庭, 2017)。国外利用市场中性构建了较多的投资策略, 例如 Christian L. Dunis and Richard Ho (2005) 根据资产的长期协整数据, 以两种方法构建了欧洲股票投资组合: 传统

的指数跟踪策略和股票市场多空中性策略。市场中性策略在不利的市场环境下，依旧能够产生稳定的收益，但是并没有减少收益的波动性。ALEXANDER C and DIMITRIU A（2002）也运用协整性构建了类似的交易策略，包括经典的指数追踪策略，多空股票市场中性策略以及指数追踪与市场中性策略相结合的策略。其市场中性策略的目的在于在任何市场环境下均能获得稳定收益且波动率较小的投资组合。将构建的交易策略应用于道琼斯工业平均指数，获得约 10% 的年化收益，且波动率仅为 2%。

与市场中性策略息息相关的另一理论便是均值回复理论。市场中性策略是在最小化投资组合波动率的情况下（较少风险暴露），获得稳定的收益。而均值回复理论则是为打破了随机游走理论下价格不可预测的论断，为金融产品价格预测提供了理论基础。

均值回复或称为均值回归（Mean Reversion），是指某种证券的价格由于市场波动及其他噪音因素的干扰经常会偏离其价值，但是最终无论向上或向下偏离其真实的价值中枢，都会有向价值中枢回归的趋势。而这一理论也对随机漫步理论提出了挑战。宋玉臣（2006）认为均值回归具有三大特征，分别为：（1）均值回归在理论上而言是肯定的，并没有一直涨或跌的金融产品；（2）均值回归可能是不对称的。即向上偏离与向下偏离后的回归趋势和速度一般不同；（3）政府行为能够促进均值回复现象的发生。

均值回复现象广泛地存在于全球各大金融二级市场。王美今和陈锐（2010）基于理性资产定价模型，指出即使是在有效市场上，依旧存在金融产品收益率的均值回复现象。他们认为这种均值回复现象的产生可能是由于理性人的风险厌恶和平滑消费意愿的结果。张群（2010）则利用我国沪深股市收益率数据进行“随机游走”和“均值回复”的实证研究。通过采用 4 种统计检验方法，张群认为沪深股市股价收益序列并不适用于随机游走模型，且存在均值回复现象。

由于均值回复现象的普遍性，为投资者预测市场提供了理论基础，均值回复理论被广泛地应用在二级市场的投资策略构建中。叶峰等（2003）发现恒生指数期货价格具有非线性均值回复现象。并认为在股票现货没有卖空机制的市场上，

套利行为被抑制。均值回复现象存在于众多金融产品中，例如人民币汇率（李梦花，聂思玥，2014）、短期利率（董乐，2006）。

有学者更是利用均值回复理论进行投资决策的设计。王蕾，顾孟迪（2013）在假定风险资产价格服从均值回复的指数 OU 过程的情况下，研究最优再保险与投资策略；陈百硕等（2014）则将均值回复理论应用于天气衍生品定价中。采用时变均值回复模型拟合城市气温数据，对天气衍生品的标的价格进行预测。李启才，顾孟迪（2016）则设定投资标的为具有指数均值回复性质的市场，对最优化投资和最优化再保险策略进行研究。

市场中性及均值回复理论作为配对交易的理论基础，证明了目前我国期货市场价格并不是随机游走，而是存在一定规律。以此理论为核心思想，可以构建多种包括跨期套利在内的配对交易策略。

二、配对交易理论及应用

配对交易是建立在市场中性和均值回复理论之上的一种交易策略。Gatev（2006）设计了基本配对交易策略，并在美国股票市场进行实证研究，结果显示策略能够达到年化 11% 的收益率且回报稳健。Gatev 利用 1962-2002 年共 40 年的数据，计算所有证券对的 SSD（the sum of Euclidean squared distance）值，并选用了最小历史距离的 20 组证券，考察其 6 个月的交易期盈利情况，这种方法后来也被称之为最小距离法。Gatev 设计了简单的交易信号规则：当价差偏离超过两倍的历史标准差时，开仓进入交易；当价差回归均值时反向操作，退出交易。Gatev 的方法具有容易应用、结果稳健、盈利性强等特点。可以发现，所谓的配对策略就是将两种甚至多种证券进行组合，同时进行多空操作，获得“价差”，然后根据价差的涨跌进行对应的操作，获得收益。因此，在配对交易中，价差就成为了交易的真实标的。由于同时存在买入和卖空操作，因此不同的证券之间对冲了一部分市场风险，即是市场中性理论的一种具体实现方式。而由于价差符合均值回复的特性，才能够通过模型对历史价差数据进行刻画，从而预测价差的变动。

当然, Gatev 的方法忽略了一项重要的因素——交易费用。Do 和 Faff (2010, 2012) 在 Gatev 方法的基础上, 考虑了交易费用的影响, 发现盈利因此而下降且盈利对交易费用显示出不稳健性。此外, 他们还改进了配对证券的选择方法, 采用行业分类进行优化, 并选择高 number of zero crossings 指标的证券对, 以提高盈利效果。这里, number of zero crossings 变量指代标准化价差回归穿过 0 的次数, 是衡量均值回归强度的代理变量。

Chen, H., Cheng, S.J 和 Li, F. (2012) 采用准多元配对交易方法 (Quasi-multivariate Pairs trading), 即一个证券与一个证券组合构成配对交易的方法进行研究。其实证研究结果显示该方法表现优于普通配对交易方法。Correlation-based formation 比 SSD 法更优秀。

Gatev (2006) 指出高达 11% 的超额年收益并不能由传统的系统性风险解释。那么到底是什么因素导致了配对交易超额利润的存在呢? Andrade (2005), Papadakis 和 Wysocki (2007), Engelberg (2009), Jacobs 和 Weber (2013), Jacobs (2015) 等均尝试从不同的方面解释配对交易能够获得超额利润的理论原因: 信息不充分下的需求冲击、会计事项调整影响、普通与特别信息影响、市场摩擦等。

随后, ELLIOTT R J 等 (2005) 首先提出了协整的概念。其为价差构建了均值回复高斯马尔科夫链模型 (mean-reverting Gaussian Markov chain model), 并通过模型计算出的价差与观测价差进行比较, 设定合适的交易信号。ELLIOTT R J 等 (2005) 为一大批以协整理论为基础的配对交易策略奠定分析框架: 首先, 配对的证券应该先进行相关性检验, 然后分别对价格时间序列进行单整检验, 接着进行同阶单整的协整检验, 通过协整检验后, 说明两个证券品种在长期具有稳定的关系 (即两者价格的线性组合能够获得平稳的时间序列)。因此, 可以根据平稳的价差时间序列, 构造合适的开仓平仓信号点。以协整为理论基础的配对交易之后便构成了整个配对交易中的主流方法, 并随之衍生出了非常多的相关模型。

HUCK N, AFAWUBO K (2015) 以标普 500 指数成分股为样本, 测试了众多配对交易的配对筛选方法, 包括距离法 (distance method), 平稳过程法 (stationarity) 以及协整法 (Cointegration)。实证结果表明协整法筛选获得的配对组合能够获得

高且稳定的回报，而距离法表现次之，平稳过程法表现最弱。RADH 等（2016）则以整个美国股票市场 1962-2014 数据为样本对比了距离法（distance）、协整法（Cointegration）以及 copula 函数法三种配对策略方法的效果。实证结果表明随着时间的增长（2009 年后），距离法和协整法的套利机会逐渐减少，copula 函数法则保持稳定。此外，三种方法都在市场波动增大的情况下表现更好，而这其中协整法的表现最为优秀。BOWEN D A, HUTCHINSON M C.（2016）将配对交易策略应用在英国证券市场。实证结果表明配对交易策略即使在金融危机中表现依旧良好。为了研究市场摩擦对策略的影响，研究采用了多种交易费用标准，并测试了策略在不同经济环境和市场状态下的表现。BOWEN D A, HUTCHINSON M C.（2016）认为配对交易构造的投资组合很少暴露在市场风险、价值风险、规模风险和动量风险。然而，买卖价差的增大将直接导致策略盈利的下降。LINTILHAC P S, TOURIN A（2017）则将配对交易应用在最新的比特币资产上。通过使用最优化动态配对交易策略，并用随机控制技巧（stochastic control techniques），计算得到最优的投资组合权重。构建跨市场套利策略，在三个交易所进行比特币资产之间的配对套利操作。

Christopher（2015）对现有的配对交易文献进行梳理归类，将配对交易方法大致分为 5 类：距离法（Distance Approach）、协整法（Cointegration Approach）、时间序列法（Time Series Approach）、随机控制法（Stochastic Control Approach）及其他方法（机器学习、copula 函数法、主成分分析法等）。

总体而言，虽然配对交易有关研究在近十几年发展迅速，但各细分领域依旧缺乏足够的实证性文章的支持。许多结论未被后继研究者所证实，或其实证检验数据集过小，不具有说服力。且大部分配对交易策略研究均未完全考虑市场真实交易可能出现的冲击效应、单腿成交等现象。更多的策略所采用的日度收盘数据作为实证样本，在实际操作过程中基本难以实现交易。使得策略的可实施性与结果的可信性大幅度降低。因此，本文希望在这些文献的基础上，采用中高频数据进行套利策略的研究，并采用两年的长历史数据进行回测，以保证策略回测结果的可靠性。并对前人研究中，未仔细讨论的冲击效应与单腿成交现象进行讨论。

三、跨期套利理论及应用

跨期套利作为配对交易中最常见，也最方便实现的策略之一，备受二级市场投资者和研究人员的青睐。随着我国金融市场交易品种的不断丰富，商品期货和金融期货的陆续推出，为国内投资者创造了进行跨期套利策略研究和实践的平台。不同于其他配对策略，跨期套利策略是建立在金融衍生产品不同交割月合约制度的基础之上。由于不同交割月合约拥有相同的标的物，因此其价差应保持一定的稳定性。一旦价差偏离正常水平，就可认为均值回复性的存在会使得价差恢复至到均值水平，即产生套利机会。凡是对相同基础资产或标的物拥有不同到期日的金融合约，均可进行跨期套利的研究与应用。自 2010 年 4 月 16 日国内推出沪深 300 股指期货后，针对股指期货的跨期套利研究层出不穷。但主要原理都是基于三类，分别是持有成本定价理论，协整理论和动态均衡价差理论。

持有成本定价模型最先由 CORNELL B 和 FRENCH K R（1983）提出，且具有较强的应用性。该模型假设在完全市场条件下，期货与现货价格之间的关系应当符合以下公式： $F_t = S_t \times e^{(r-d)(T-t)}$ 。周洲密（2012）基于持有成本定价理论构建了以沪深 300 股指期货为标的的无套利区间模型和基于均值回复理论的移动平均套利模型。然而，仇中群和程希骏（2008），李世伟（2011）等人认为基于持有成本定价理论的跨期套利模型存在以下问题：首先股息收益率 d 难以确定；其次这种策略价差的回归需要经历漫长的等待，一般只有在合约接近到期交割时才会回归。

协整理论的应用则更加广泛。周明华（2016）通过建立动态均衡价差模型，对股指期货进行跨期套利研究。通过对期货合约价差的上下限进行研究，直接从价差入手设定交易买卖条件，并架构了动态均衡价差策略，日内动态均衡价差策略，非日内动态均衡价差策略共三种动态跨期套利策略。此外，周明华（2016）还提出通过对套利收益率序列及持仓时间序列进行平稳性分析的方法来检验策略的稳定性与有效性。

何树红等（2013）采用 5 分钟频度沪深 300 股指期货数据为样本，利用 GARCH 模型来描述协整后获取的残差的条件异方差，并利用历史数据来对未来时变方差进行预测，分别采用 90%和 95%的置信水平来确定价差范围，设定交易信号。随着置信水平提高，套利机会不断减少，但是套利成功率却提高。李乐等（2014）则详细研究了基于沪深 300 股指期货日内高频跨期策略，基于 0.5s 的样本数据，并对交易成本和交易滑点进行了具体的讨论。李乐等（2014）认为为股指期货合约设定 0.6 或 0.8 的滑点幅度较为合理。在扣除严苛的交易成本及滑点成本之后，其交易算法依旧获得较高的稳定收益。

除了股指期货外，中国金融期货交易所还上线了 10 年国债期货和 5 年国债期货。梁建峰，徐小婷（2015）检验了国债期货套利机会的存在性，并基于基差套利原理，推导出国债期货的无风险套利价格区间。研究发现我国国债期货合约期现套利主要以正向套利为主，虽然存在跨期套利机会，但是由于在交割时可能面临流动性问题，其操作繁杂且收益不大。当然，这是因为其建立在日度数据的基础之上，且必须等待交割日的临近，期货价格才有回归现货价格的趋势。闫琦（2017）则提高了样本的频度，采用 1 分钟高频数据作为研究样本。一般期货跨期套利策略，近期合约与远期合约比例为 1:1。在跨品种套利时才会采用不同的合约数量比例。但是闫琦（2017）的套利策略采用了 10:7 的国债期货合约比例构造价差，并用 GARCH (1,1) 拟合价差。

国内商品期货方面起步相比金融期货更加久远。因此在发展中逐步衍生出了各种套利策略，总体而言分为基差套利和价差套利两大类。其中，基差套利又称为期现套利，即用期货与对应的现货之间的基差进行正向或反向的套利行为。该策略的主要使用者是大宗商品的实际供应商和需求方，拥有实物交割的需求，需要对整个产业链的供给具有深刻的认识及足够的信息。价差套利则又细分为跨期套利、跨市套利和跨品种套利。跨期套利是最常见也最容易实现的一种方式。传统而言，跨期套利可分为牛市套利、熊市套利以及蝶式套利三大类。李传峰（2011）认为目前国内的许多跨市套利及跨品种套利策略，均

是在现货产业链运行机制的基础的逻辑上进行的，例如大豆与豆粕的跨品种套利是豆类制品产业链上下游关系衍生而来的。

朱丽蓉（2015）以我国郑州商品交易所的棉花合约为研究对象，将上市交易的所有棉花合约进行组合，获得 15 组跨期套利组合。通过仔细测算保证金数额、仓位管理等参数，实证结果表明其跨期套利模型是有效的。但是需要注意的是，其提出的套利模型依旧是依靠期货合约随着到期日的临近价格收敛于现货合约的原理。其套利次数有限，且持仓时间较长。另外，棉花合约虽然总是有 6 个不同月份的合约在交易（1, 3, 5, 7, 9, 12 月），但是成交量较大的合约一般只是 1 月、5 月和 9 月合约。这样排列组合的 15 组跨期套利组合在实际进行交易的时候，对交易量较少的月份必定会产生较大的冲击成本。景楠，王彤（2012）则以上海期货交易所的沪铜期货为研究对象，根据持仓成本理论，设计沪铜期货跨期套利策略。文章考虑了仓储、交易及交割费用，并将资金占用利息和增值税成本等均考虑在内。从而计算出沪铜期货价差的无套利区间，并通过实证研究发现策略的主要套利机会出现在每年的 5-6 月、9-11 月及春节前后，其原因在于国内铜需求量供给在这些时点会发生变化。Yan CHEN（2012）也同样以上海期货交易所的沪铜期货合约为研究对象，进行跨期套利策略的研究。相邻的两个沪铜期货合约价格数据通过了协整检验，但是存在一定的条件异方差现象，削弱了模型的有效性。Yan CHEN（2012）通过建立 GARCH 模型，并通过 GARCH 模型的均值方程获取残差函数，以建立跨期套利策略。汤乐明等（2010）研究了上海期货交易所的另一活跃品种螺纹钢期货，发现两个期货合约的到期期限相隔越近，套利机会越少，每次套利的收益越低；相反，两个期货合约的到期期限相隔越长，套利机会越多，且每次的套利收益越高。

综上所述，基本的跨期套利策略主要由持有成本定价模型与协整模型构成，而品种选择方面，我国目前主要集中在金融期货方面的研究，商品期货方面仅个别品种有所研究。因此，本文运用尝试构建可运用于多个商品期货品种对的跨期套利策略，以填补此领域的空缺。

四、高频交易研究现状

Wang Z 和 Zheng W. (2014) 系统性地介绍了高频交易策略的建立过程并从数理上进行了推导证明。指出了随机过程中的遍历理论作为高频交易核心理论基础,使得技术分析能够持续获得超额收益。

高频交易的特点在于高速多次,每次小额盈利。因此,最终成交价格及相应的交易费用会对最终盈利产生较大影响。传统的低频交易持仓时间较长,因而每次交易所需资金成本和持仓风险均较大。高频交易则多为日内交易,基本上以分钟级别数据频度为单位的交易策略均可归类为高频交易。当然,也有学者认为真正的高频交易应当是以秒级数据频度为单位。因此,本文暂且将研究的 1 分钟、5 分钟、15 分钟、30 分钟频度的交易策略统称为中高频交易策略。

高频交易避免了长时间持有某些证券品种所带来的持仓风险。且通过快进快出多次交易,提高资金的利用率,与此时也大大增加了交易费用成本。从高频数据的角度分析交易策略,与传统量化交易策略的构建存在区别,对基本面等的依赖将减少,更关注统计数理模型方面的长期平衡关系。Wang Z 和 Zheng W. (2014) 详细全面地阐述了统计套利和技术指标在高频交易中的应用,例如 MA、EMA、布林带、MACD、相对强弱指标等。在单指标的基础上,又发展了多指标叠加等策略,能够适应多种市场环境。

由于高频交易对成交价十分敏感,而交易滑点带来的损失将极大削弱高频交易策略实盘的收益水平。如果根据市场情况,设定最有利(易成交,小滑点)的交易策略,是学术界和业界研究人员重点攻克的难题。刘畅等(2013)从成交价入手,根据买卖价、成交量等信息,提出了高频交易成交价估值模型。刘畅等(2013)认为市场成交价在买卖价格之间来回反复,这使得其高频数据产生了显著的一阶负自相关性。正是由于这一性质,导致短期对于成交价格的估计是不可行的。因此,其研究采用盘口信息(多挡报价信息),结合量价关系的混合分布(MDH)理论,推导出了成交价模型,并根据样本数据,分析最优买卖价格。并 MACD 技术指标策略为例,证明成交价模型具有良好的稳定性,能够提高收益。

配对交易方面,Nath (2003) 对美国 1994-2000 年的债券二级市场进行高频

配对交易策略研究。Nath 仅考察每天至少有 10 笔交易的债券，并设定 40 天的形成期（formation period）和 40 天的交易期（trading period）。其实证结果显示从夏普比率及增益损失率（Gain-Loss ratio）上看，该策略均优于参照基准，且其表现与市场具体行情具有低相关性。

股票市场方面，Bowen（2010）将 Gatev 的方法应用于 FTSE100 成分股中，采用 2007 年一整年的 60 分钟数据进行实证检验，虽然获得了约 20% 的年化收益率，但是结果受交易费用及交易速度的影响巨大。当交易费用占交易额的 15% 并延迟交易 60 分钟时，所有超额收益均消失。

可以看到，高频交易对交易费用十分敏感。而配对交易策略中，每次交易都面临两倍的交易费用，可见交易费用是配对交易必须考虑的重要因素。而交易速度方面，我们应着重考虑配对交易能否成功，即两种证券能否在最优的价位成交的问题。可以想象，若其中一种证券或两种证券均具有低流动性，那么配对交易时常会发生单边成交的情况。

虽然高频交易的特点在于快进快出，每次少量盈利。但是雷井生，林莎（2013）通过优化统计套利策略，设计出的新策略交易次数显著减少，且平均单次收益却能够成倍增加。这种策略的好处在于极大程度上地减少了高频交易受交易费用的影响。研究采用了上证超级大盘指数的 20 只成分股作为样本，并分别应用于 1 分钟、5 分钟、15 分钟、30 分钟、60 分钟的频度的价格数据进行统计套利研究。实证结果表明 6 个频率数据均能获得较好的收益回报，且随着触发点的适当提高，可以有效提高收益回报。

闫琦（2017）则在我国国债期货品种上进行高频交易的研究。由于我国国债期货发展时间有限，品种较为单一，因此目前仅能进行跨期套利策略的研究。闫琦（2017）对过去静态的开平仓策略进行改进，使用动态的开平仓信号及止损策略，根据时间推移及动态变化的均值和标准差数据更新阈值，从而优化交易信号，获得更稳定良好的收益。

郭哲琦（2016）系统性地检验了多种统计跨期套利模型，包括恒定波动率、GARCH 时变波动率、O-U 过程随机波动率共 3 种方法在我国进行高频交

易的有效性。并以沪深 300 股指期货的 5 分钟、15 分钟和 30 分钟频度数据为样本，进行比较测试。结果显示，固定波动率模型在三种频度下表现均优于 O-U 模型。收益率波动方面，在三种频率下，依旧是固定波动率模型表现最佳，GARCH 模型稍大，O-U 模型的波动率最大。

从国内外对高频交易的研究可知，虽然模型各不相同，但是其盈利的核心思想均是“高速多次，每次小额盈利”。影响高频交易策略有效性的因素主要是：（1）策略的胜率；（2）交易费用影响。因此，本文将在实证结果分析阶段，着重对这两个因素进行讨论。

第二节 时变模型及 Kalman 滤波

Kalman（1996）提出了著名的 Kalman 滤波，用以解决线性滤波问题及预测问题，被广泛地应用于工程学中。简单来说，Kalman 滤波器是一个最优化的自回归数据处理算法，其核心思想是对测量的状态进行调整，以更接近真实值。自 Kalman 滤波问世之后，因其简单的思想和卓越的性能而迅速在工业各领域不断被应用和发展，无论是航天、导航、无人机、导弹，亦或者是高精度传感系统领域，均可以发现 Kalman 滤波身影。

Kalman 滤波也被广泛地用于金融工程领域，进行交易数据的平滑处理和交易信号的优化。在配对交易策略中，将价格数据输入 Kalman 滤波模型以获取更精准的时变回归系数，然后可以计算得出对应的标准化残差。

早在 1999 年，曹广福和路群（1999）就利用 Kalman 滤波方法对现有的股利贴现模型进行优化，进而较为精确地预估每期股票交易的资金流量。宋福铁和陈浪南（2006）则以四因素 CIR 模型为基础，利用 Kalman 滤波对我国上海证券交易所的国债的利率期限结构进行分析。周惠来（2008）结合了 Kalman 滤波思想和 VaR 方法，构建估算投资组合整体 VaR 的状态空间模型。金瑶和蔡之华（2013）将卡尔曼滤波与 AR 模型相结合，设计出基于 AR 模型的 Kalman 滤波模型，并构建多维状态空间模型，以获得较高精度的股票价格预测结果。池丽旭和张广胜等（2012）基于扩张的卡尔曼滤波方法，优化了投资者情绪指标。其研究认为

Kalman 滤波可以在一定程度上过滤市场噪音，从而清晰地反馈真实的市场状况。

Kangwhae Kim (2011) 应用 Kalman 滤波模型结合价差套利策略，在韩国股票市场进行实证研究，采用了保守的交易费用后，其结果显示出较高的回报率，且策略在熊市中表现更为优秀，在不同行业中表现不同。Dunis (2005,2010) 通过研究发现，虽然存在其他类似的方法如 rolling OLS 回归，DESP 二次指数平滑模型，但是相比较而言，Kalman 滤波模型在高波动率的情况下效果最优。

Kalman 滤波算法在金融量化研究中应用可谓是水到渠成。其时变性优化的特性效果显著优于指数平滑等算法。在市场反应的价格存在暂时的错误时（测量结果），运用其计算真实值的思路（优化结果），便与套利思想不谋而合。因此，本文应用 Kalman 滤波算法对市场价格数据进行优化，以获得真实的系数和误差。

第三节 协整性及 O-U 过程

一、协整理论

协整理论是指两个变量之间存在长期稳定的某种特定关系，而这种关系则是建立在一定经济逻辑之上的。这种经济逻辑使得两个变量的变化总是保持一定的比例。即使受到外部的冲击，暂时偏离了这种关系比例，也能够不久之内恢复到原先均衡状态。协整检验便是建立在协整理论之上，用于检验两种变量之间的协整关系的一种数理方法。

具体而言，若两个变量的时间序列分别记为 X_t 和 Y_t ，且 X_t 为 k 阶单整， Y_t 为 j 阶单整，只有两个变量均为单整，且 $k=j$ 时，才可能存在协整关系。当两个时间序列为同阶单整时，则可继续采用 Engle-Granger 两步协整检验法进行检验（ENGLE R F, GRANGER C W J, 1987）。Engle 和 Granger (1987) 提出了检验两个变量是否是协整的方法。第一步是做两个变量之间的 OLS 回归，获得回归残差；第二步对获取的残差进行单位根检验（常用的例如 ADF 检验）。如果残差存在单位根，则说明两变量不存在协整关系。如果残差不存在单位根，则证明两变量之间存在协整关系。之后，JOHANSEN S 和 JUSELIUS K (1994) 又提出

了另一种基于回归系数的协整检验方法，也称之为 Johansen and Juselius (JJ) 极大似然法。JJ 极大似然法通过检验变量之间的回归系数从而检验变量之间是否存在协整关系，适用于多变量检验协整关系的情况。

Vidyamurthy (2004) 给出了协整在配对交易中最普遍接受的定义。协整方法在配对交易策略中最初的应用源自于 Girma and Paulson (1999)，他们研究了原油期货和汽油及取暖油期货之间的价差。通过 Augmented Dickey-Fuller(ADF) 检验及 Phillips-Perron(PP) 检验，证明价差的平稳性。在考虑了交易费用后，其实证结果依然保持 15% 的年华收益率。此外 Dunis (2006)，Cummins 和 Bucca (2012) 等人应用其他交易模型也证明了在原油期货进行价差交易的可行性。

此外，Simon (1999) 对大豆期货及相关产品期货合约，Emery 和 Liu (2002) 对天然气期货和电期货均进行了以协整为依据的配对套利策略研究，均得到了较好的结果。Caldeira 和 Moura (2013) 等人在巴西股票指数 IBovespa 中采用协整方法挑选了普通股进行配对，他们运用了 Engle-Granger 两步法及 Johansen 法对 1225 对组合进行协整性检验。

目前，协整性检验已广泛应用于配对交易的前期交易对筛选过程，是一种被普遍接受的统计检验方法。

二、O-U 过程

由上文可知，期货市场的跨期套利策略是在市场中性和均值回复特性的基础之上，运用统计模型或时间序列模型进行价差走势的描述，并设定对应的交易策略。如何描述这种具有均值回复特性的价格走势，成为了学术界和业界研究的重点。无论是 ARMA 或 GARCH 时间序列模型，亦或者是神经网络等算法，各种数理模型均可以在一定程度上描述这种均值回复过程，且各有优缺点。其中，最常见且应用范围最广的模型便是随机过程中的 Ornstein-Uhlenbeck 过程。Ornstein-Uhlenbeck 模型是由 Leonard Ornstein 和 George Eugene Uhlenbeck 提出的一种平稳的高斯马尔科夫过程，且具有均值回归 (Mean-reverting) 的特性。因此，O-U 过程被广泛地应用于配对交易策略中。

刘永辉, 张帝 (2017) 在总结过往研究成果的基础上, 将 OU 过程与协整理论结合, 设计出新的配对交易策略。其模拟交易结果表明新策略的效果更加稳健, 达到了控制风险的情况下获取较高收益的目标。刘海燕 (2011) 通过最大化期望收益函数和最大化 Sharp 值对以 OU 过程为基础的交易信号进行最优化, 并通过实证采用数值方法获取精确的结果。此外, O-U 过程还能够应用于期货与期权的套利 (鹿屹、刘杨, 2016), 期权定价 (周佰成、王建飞, 2013), 最优再保险与投资决策研究 (王蕾、顾孟迪, 2013) 等方向。此外, 由于传统 O-U 过程是建立在高斯分布的假设之上的, 实际中许多价格走势并不严格符合高斯分布。为了更精确地描述和预测价格波动, 有学者引入了非高斯分布的 O-U 过程。BARNDORFF-NIELSEN O E, SHEPHARD N. (2001) 认为非高斯分布 (Non-Gaussian) 的 O-U 过程能够更好地描述价格波动中偏离高斯分布的部分, 且在建模方面更加灵活。文章通过在统计与概率论理论上进行非高斯分布 OU 过程的推导, 并列举了多个其在金融与计量经济学方面的实际应用。BENTHFE 等 (2007) 利用均值回复模型描述电价的季节性波动, 并通过非高斯 O-U 过程对电价的跳动进行描述, 从而应用在电远期和电期货的定价上。NICOLATO E, VENARDOS E. (2003) 则从市场的不完备性入手, 将 O-U 过程应用与金融衍生产品的资产定价方向, 得出欧式期权的定价及可能范围。MEUCCIA. (2009) 则更进一步引入了多元 O-U 过程, 并讨论了如何利用多元 O-U 过程生成连续及离散的多元过程。并在此基础之上结合协整理论与统计套利理论, 设计出适用于互换合约的套利策略。

协整理论是衡量两个时间序列是否能够长期保持一定相关关系的统计模型, 目前已普遍作为跨期套利模型筛选样本对的基本方法。而 O-U 过程则是描述变量回复过程的随机模型, 其模型系数反映了变量回复过程的强弱及幅度。一般文献仅采用协整方法进行筛选, 本文将在此基础上, 叠加 O-U 过程, 衡量回复过程的强弱, 以优化筛选结果。

第四节 小结

本章引入了多个核心概念,例如市场中性、回复过程、配对交易、跨期套利、Kalman 滤波、协整理论及 O-U 过程等。通过前三节对现有文献详细地梳理与总结,为本文的研究奠定了理论基础。本章分为三部分,总结如下:

第一节阐述了市场中性理论与期货套利策略的基本理论。市场中性理论与均值回复过程构成了所有配对交易的理论基础,论证了目前市场下金融资产的价格并不符合随机游走模型。价格在偏离均值后将再次回归。只需精确捕捉这种特性,即可进行套利。跨期套利是配对套利中最基础最易实现的策略。由于期货拥有不同到期月份合约,因此是进行跨期套利最方便的金融产品。高频交易方面,盈利的核心思想依旧是“高速多次,每次小额盈利”。影响高频交易策略有效性的因素主要是:(1)策略的胜率;(2)交易费用影响。将跨期套利策略与高频交易技术相结合,一方面能够弥补套利策略的低盈利性,另一方面可以加强策略的稳健性。

第二节阐述了时变模型与 Kalman 滤波算法的基本理论及在金融领域的应用。Kalman 滤波算法广泛用于时变变量优化。其测量方程与状态方程恰巧对应市场价格与实际价格,与套利思想不谋而合。且考虑到 Kalman 滤波具有自适应性的特征,相比较于其他平滑方法(二次指数平滑),效果更精确。因此,运用 Kalman 滤波对策略的信号进行优化,可以获得较为精准的结果。

第三节阐述了协整性与 O-U 过程的基本理论与应用。协整理论是目前公认的判别两个时间序列是否能够长期保持一定相关关系的统计模型。为了构造普适性的商品期货跨期套利策略,前提是期货对必须符合基本的协整特性。在此基础上,本文还叠加了 O-U 过程检验。O-U 过程模型的系数,能够反映价差回复过程的强弱。根据其模型系数测量,可以优化筛选结果。

综上,以上三节基本涵盖了构建跨期套利策略的套利可行性、策略构建优化方法及期货对筛选方法的理论基础。

第三章 品种选择及数据提取

第一节 商品期货合约概况

目前我国主要的期货交易所共四个，分别是中国金融期货交易所、上海期货交易所、大连商品交易所和郑州商品交易所。其中中国金融期货交易所主要从事金融期货的交易，包括沪深 300、上证 50、中证 500 股指期货和十年国债、五年国债期货。而其他三个交易所则专注于商品期货的交易。

附录表 17 列示了我国三大商品期货交易所目前已正式上市交易的所有商品期货合约品种。截止 2017 年年底，三大交易所共有商品期货品种 48 种，涵盖农产品、贵金属、基本金属和能源化工，目前已经形成了较为全面的品种体系，能够切实地为实体经济提供风险对冲的功能。其中，大连商品交易所涵盖面最广，涉及的期货品种包括农产品、基本金属和能源化工；上海期货交易所主要专注于基本金属及部分化工产品；郑州商品交易所则以农产品为主，并有少量能源化工期货合约。

每种商品期货都有其对应的交易品种，交易所会根据交易品种的特性，而设定不同的合约交易单位，报价单位及最小变动价位，以利于期货使用者进行交易与对冲。虽然商品期货对应的标的的基本面很大程度上决定了该品种期货的交易活跃性，但合约的参数设置等也会极大程度上影响到商品期货交易的活跃度。首先，每份合约的交易单位，也称为合约乘数，决定了一份期货合约的账面价值。豆粕合约的交易单位为 10 吨，但是铁矿石的交易单位却为 100 吨，这一方面与产品的单位质量有关，另一方面与日常市场交易的平均合约单位有关。其次，最小变动价位会影响成交价格的波动幅度，最小变动价位较小的合约，交易可能更频繁，例如豆粕合约的最小变动价位为 1 人民币/吨，而塑料合约的最小变动价位为 5 人民币/吨。我国商品期货的最小变动价位差别较大，最大的为 10 元，最小的为 0.05 元。

为了增强与全球大宗商品市场的联系，增加我国在全球市场上的定价权，方

便外国机构参与我国大宗商品的交易，部分期货品种还推出了夜盘交易。三大交易所日盘交易时间均相同，为工作日 9:00-10:15, 10:30-11:30, 13:30-15:00。但是夜盘交易时间有所差异，例如大连商品交易所和郑州商品交易所的品种其夜盘交易时间普遍为 21:00-23:30。但上海期货交易所的品种夜盘交易时间较为复杂。螺纹钢、沥青、天然橡胶、热轧卷板期货品种的夜盘交易时间为 21:00-23:00；沪镍、沪锌、沪铜、沪铝、沪锡、沪铅、沪锡期货品种的夜盘交易时间为 21:00-次日 1:00；白银、黄金期货的夜盘交易时间为 21:00-次日 2:30。

此外，受供需关系和生产关系的影响，不同到期月份的合约之间的轮换也存在差别。所谓的主力合约便是交易量最大，最活跃的月份的合约。一般而言，存在三大类主力合约更替方式。第一类是三个月份的合约之间的循环更替，主要是 1 月、5 月、9 月三个到期月份的合约不断更替作为主力合约，其他月份合约的交易几乎没有。这种规则普遍适用于农产品期货。上海期货交易所的螺纹钢期货和热轧卷板期货是以 1 月，5 月，10 月三个到期月份的合约进行循环更替的，略有不同，也归为这一类之中。当 1 月合约为主力合约时，5 月合约即为次主力合约；当 5 月合约成为主力合约时，9 月合约将成为次主力合约，以此类推。第二类是大部分有色金属的主力合约更替方式，即将近月合约作为主力合约，远月合约作为次主力合约。假设现在为 1 月份，1 月合约到期前，主力合约为 2 月合约，次主力合约为 3 月合约；当 1 月合约到期后，主力合约为 3 月合约，次主力合约为 4 月合约，以此类推。第三种方式较为特殊，仅适用于沪金与沪银两个期货合约，即 6 月与 12 月合约进行循环互换作为主力合约。当 6 月合约为主力合约时，当年的 12 月合约为主力合约；当 12 月合约为主力合约时，次年的 6 月合约为主力合约。

因此，期货品种不同，其合约参数、交易时间、主力合约轮换等情况均有较大差异。如何选择合适的标的品种及合适的样本数据集是保证策略研究可实现性和有效性的关键。

第二节 套利品种选择

与金融期货相比,商品期货的交易由于品种更多,交易所更分散,影响因素也更广泛。最为重要的是,平均而言,商品期货的交易活跃度低于金融期货。金融期货由于其市场集中度、交易活跃度都非常高,非常适合于作为高频交易的研究标的。因此,如第二章中所示,我国目前对期货高频交易的研究,研究样本的选择基本集中在金融期货的范畴,对于商品期货的研究相对而言较少。在商品期货上进行超高频交易(以 0.5s 为单位的交易)难度较大,市场流动性不足以承载大规模的买卖需求,产生的冲击成本将使得大部分策略都失效。而本文集中研究的分钟级别中高频交易,则可在一些交易较为活跃的商品期货品种上得以实现。

如上一节所论述的,由于商品期货之间的交易交割、主力合约轮换等存在较大的差异,想要设计一种普适性的跨期套利策略,需要在现有的 48 种期货品种中尽可能找到方便参数估计、且主力合约与次主力合约更替并不是特别频繁的期货品种。

因此,本文在结合之前学者的研究成果及我国商品期货合约特点及交易情况的基础上,决定采用交易较为活跃的商品期货品种作为本文研究对象,建立如下初步筛选规则:

1. 为保证商品期货合约的能够平稳运行以及足够样本数据的获取,选择在 2014 年 6 月前上市的期货品种。由于新的期货品种上市初期,定价机制并未完善,交易运行并不稳定,价格波动率较大,价格可能大幅度偏离其真实价值。例如 2017 年 12 月刚上市的苹果期货,上市后的前 20 个交易日,距最高价下跌 587 个点,将近 10% 的幅度。在这一过程中,虽然可能出现较好的套利机会,但其作为样本数据并不具有代表性,不能为未来期货合约稳定运行后的情况提供参考。由于本文的实证数据样本区间为 2016 年-2017 年,且需要 2015 年的部分数据作为样本内数据,出于谨慎性考虑,将时间节点设定在 2014 年 6 月之前。

2. 排除 2016 年年日均成交量低于 10 万手的期货品种,以保证中高频交易策略实施的可能性。计算每个商品期货品种在 2016 年的日均成交量数据,可以发现 48 个期货品种活跃度差异较大,交易最活跃的是上海期货交易所的螺纹钢合

约,年日均交易量为 6,635,303.1 手,最不活跃的为胶合板期货,年日均交易量为 3.1 手。选取日均交易量超过 10 万手的期货合约,有利于提高套利策略实际交易时的成功率,且可降低冲击成本。

表 1 基础筛选期货品种样本

NO.	证券代码	交易品种	标准合约上市日	年日均成交量	交易单位	合约乘数
1	M.DCE	豆粕	2000-07-17	2,511,653.1	10 吨	10.00
2	I.DCE	铁矿石	2013-10-18	2,403,612.8	100 吨	100.00
3	P.DCE	棕榈油	2007-10-29	972,166.9	10 吨	10.00
4	PP.DCE	聚丙烯	2014-02-28	874,263.0	5 吨	5.00
5	C.DCE	黄玉米	2004-09-22	716,020.3	10 吨	10.00
6	L.DCE	线型低密度聚乙烯	2007-07-31	704,377.3	5 吨	5.00
7	Y.DCE	大豆原油	2006-01-09	630,634.4	10 吨	10.00
8	J.DCE	冶金焦炭	2011-04-15	377,912.8	100 吨	100.00
9	JM.DCE	焦煤	2013-03-22	308,714.6	60 吨	60.00
10	A.DCE	黄大豆 1 号	1999-01-04	224,467.1	10 吨	10.00
11	JD.DCE	鲜鸡蛋	2013-11-08	154,378.5	5 吨	10.00
12	RB.SHF	螺纹钢	2009-03-27	6,635,303.1	10 吨	10.00
13	HC.SHF	热轧卷板	2014-03-21	316,162.1	10 吨	10.00
14	RU.SHF	天然橡胶	1995-05-16	661,263.2	10 吨	10.00
15	RM.CZC	菜籽粕	2012-12-28	1,808,578.2	10 吨	10.00
16	TA.CZC	精对苯二甲酸 (PTA)	2006-12-18	1,215,952.6	5 吨	5.00
17	MA.CZC	甲醇	2014-06-17	1,033,491.9	10 吨	10.00
18	SR.CZC	白砂糖	2006-01-06	765,992.8	10 吨	10.00
19	CF.CZC	一号棉花	2004-06-01	527,397.3	5 吨	5.00
20	FG.CZC	平板玻璃	2012-12-03	508,402.7	20 吨	20.00
21	OI.CZC	菜籽油	2012-07-16	171,890.9	10 吨	10.00

数据来源: Wind 数据库

3. 符合每年主力合约在 1 月,5 月,9 月合约中轮动切换的期货品种。这种主力合约的轮换方式是三种轮换方式中主力合约变更频率居中(每四个月一次,其他两种为每个月和每 6 个月)且能够提供足够样本数据作为样本内参数估计的方式。由于每次进行主力合约与次主力合约的更换,都需要重新进行策略参数的优化,而这需要有一定的历史价格数据的支撑。频繁地更换主力合约与次主力合约

不利于策略的平稳运行。6 月与 12 月合约进行循环更迭作为主力合约的模式又会导致合约更替时，没有历史数据，需等待新合约上市后至少半个月才可进行参数的测算，这将导致每年有 1 个多月的时间不能进行交易。综上，1,5,9 月主力合约轮换的方式是最佳的选择。

根据上述规则进行筛选，获得 21 个期货品种，如表 1 所示。本文将以这 21 个期货品种作为研究对象，设计基于 Kalman 滤波的改进跨期套利策略。研究相同的策略在不同的合约品种上表现的区别，并探索引起这些差别的原因及可能的改进方案。

第三节 数据选择及提取

本文选取了我国三大商品期货交易所的 21 种期货品种，进行中高频跨期套利的研究。其中大连商品交易所为 11 个品种，上海期货交易所为 3 个品种，郑州商品交易所为 7 个品种。从行业角度看，农产品占比最多，有 10 个品种，化工能源有 8 个品种，基本金属有 3 个品种。因为基本金属的主力合约轮换大都采取每月变更的形式，因此符合条件的品种较少。

关于数据时间区间，本文选取 2016 年至 2017 年两年的时间作为研究对象。目前现有的文献大部分关于高频交易的研究，只采用某一天或者某几天的数据进行实证研究。虽然对于高频交易而言，这样的数据量已经足够，但是这样的实证结果随机性过高，且不能排除是经由作者精心挑选时间区间的可能性，结果具有迷惑性。因此本文将采用两年的数据区间进行实证研究，以保证结果的稳健性。如图 1 所示，Wind 商品指数 CCFI 收益率趋势图可知，在 2016 年-2017 年的两年时间里，存在着整体市场呈上涨或下跌趋势的时间段，也有处于震荡的区间。这样的数据样本选取有利于研究策略在不同市场环境下的表现。



图 1 2016-2017 年 Wind 商品指数 CCFI 收益率走势图

数据来源：Wind 数据库

研究期货跨期套利策略，同一品种的期货合约一般至少有 6 个同时上线的不同到期日的合约。就理论而言，任意选取两个不同到期月份的合约均可构成价差，并进行套利研究。然而，一般而言，仅主力合约和次主力合约拥有足够的交易活跃度和交易量适宜进行中高频度的套利交易。因此，本文将仅选择每种商品品种的主力合约与次主力合约构造跨期套利价差。正如上文所说，本文采用的合约品种均为 1 月，5 月，9 月到期合约循环更替作为主力合约的（个别合约 1 月，5 月，10 月合约循环更替）。当本年 1 月合约成为主力合约时，本年 5 月合约即成为次主月合约，以此类推，即 1 月与 5 月，5 月与 9 月，9 月与（次年）1 月。

1605 合约上市日期为 2015 年 5 月，到期日为 2016 年 5 月；1609 合约上市日期为 2015 年 9 月，到期日期为 2016 年 9 月。因此两者之间共同交易时间段为 2015 年 10 月至 2016 年 4 月。同理可得，1609 合约与 1701 合约的共同交易时间为 2016 年 2 月至 2016 年 8 月；1701 合约与 1705 合约的共同交易时间为 2016 年 6 月至 2016 年 12 月。

此外，01 合约在前一年 9 月左右（前一年 09 合约到期前）成为主力合约；05 合约在当年 1 月左右（当年 01 合约到期前）成为主力合约；09 合约在当年 5 月左右（当年 05 合约到期前）成为主力合约。

综合考虑合约对的共同交易时间和主力合约轮换时间，可以获得如表 2 所示

的各对跨期套利合约对与对应的研究时间区间及参数估计时间区间。每次更换合约，均需重新估计参数，因此，设定两周左右的参数估计区间，以此区间估计的参数应用于研究时间区间，实现样本内与样本外的区别，以检测套利策略的有效性。

由表 2 可知，1505&1509、1509&1601 和 1601&1605 三个合约对的研究时间区间合并即组成了 2016 年一整年的交易数据。同理，1605&1609、1609&1701 和 1701&1705 三个合约对的研究时间区间合并，即构成了 2017 年完整的一整年交易数据。

表 2 合约对与时间区间

参数估计区间	研究时间区间	跨期套利合约对
2015.12.18-2015.12.31	2016.01.05-2016.04.30	1505 & 1509
2016.04.20-2016.04.30	2016.05.01-2016.08.31	1509 & 1601
2016.08.15-2016.08.31	2016.09.01-2016.12.31	1601 & 1605
2016.12.15-2016.12.31	2017.01.01-2017.04.30	1605 & 1609
2017.04.15-2017.04.31	2017.05.01-2017.08.31	1609 & 1701
2017.08.15-2017.08.31	2017.09.01-2017.12.31	1701 & 1705

本文将采用 1 分钟、5 分钟、15 分钟和 30 分钟 4 个频度的数据进行商品期货套利策略研究。本文采用 wind 金融数据库，获取分钟数据，并用 Matlab 软件对数据进行清洗和整理，将两个合约的分钟数据按照时间进行配对。表 3 展示了 21 个期货品种的对应的数据频度的数据量。观察表 3 不难发现，每个品种 2016 年和 2017 年的数据近似相等。以 1 分钟数据的样本外数据（OUT）为例，两年约为 35-36 万个数据，若无夜盘，则约为 29 万个数据。拥有夜盘的样本的数据差距较大的原因是由于不同的期货品种夜盘交易时间不同，有 21:00-23:00，21:00-23:30，21:00-次日 01:00，21:00-次日 02:30。

表 3 各频度数据数据量汇总表

		1 分钟		5 分钟		15 分钟		30 分钟	
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
M	2016	23347	180353	4667	36068	1554	12021	776	6010
M	2017	25223	180617	5042	36121	1679	12039	838	6018
M	ALL	48570	360970	9709	72189	3233	24060	1614	12028
I	2016	23335	180305	4665	36059	1554	12018	776	6008
I	2017	25220	180781	5042	36154	1679	12050	838	6023
I	ALL	48555	361086	9707	72213	3233	24068	1614	12031
P	2016	23334	179853	4664	35969	1554	11989	776	5993
P	2017	25187	180274	5035	36053	1676	12017	837	6007
P	ALL	48521	360127	9699	72022	3230	24006	1613	12000
PP	2016	19265	144860	3851	28970	1283	9655	640	4826
PP	2017	20370	145156	4072	29029	1355	9674	677	4836
PP	ALL	39635	290016	7923	57999	2638	19329	1317	9662
C	2016	19273	144191	3852	28836	1283	9610	640	4804
C	2017	20387	145185	4075	29035	1357	9676	677	4837
C	ALL	39660	289376	7927	57871	2640	19286	1317	9641
L	2016	19270	144793	3852	28957	1283	9651	640	4825
L	2017	20390	145118	4075	29022	1357	9673	677	4835
L	ALL	39660	289911	7927	57979	2640	19324	1317	9660
Y	2016	23334	179618	4664	35922	1553	11973	775	5986
Y	2017	25212	180558	5040	36109	1678	12035	838	6016
Y	ALL	48546	360176	9704	72031	3231	24008	1613	12002
J	2016	22852	179062	4568	35810	1522	11936	760	5966
J	2017	24629	179962	4923	35990	1639	11996	818	5997
J	ALL	47481	359024	9491	71800	3161	23932	1578	11963
JM	2016	22526	178170	4503	35633	1500	11876	749	5937
JM	2017	24545	179564	4907	35911	1635	11969	816	5983
JM	ALL	47071	357734	9410	71544	3135	23845	1565	11920
A	2016	23199	178533	4637	35705	1544	11900	771	5949
A	2017	24634	179675	4924	35933	1639	11976	819	5986
A	ALL	47833	358208	9561	71638	3183	23876	1590	11935
JD	2016	19195	144656	3837	28930	1278	9641	638	4819
JD	2017	20359	145173	4070	29032	1356	9675	677	4836
JD	ALL	39554	289829	7907	57962	2634	19316	1315	9655
RB	2016	23711	181534	4740	36304	1578	12101	788	6049
RB	2017	23581	174018	4714	34802	1570	11599	784	5798
RB	ALL	47292	355552	9454	71106	3148	23700	1572	11847
HC	2016	20650	175759	4127	35150	1374	11716	687	5856
HC	2017	23483	173774	4694	34753	1562	11584	781	5791
HC	ALL	44133	349533	8821	69903	2936	23300	1468	11647

(续下页)

表 3 各频度数据数据量汇总表 (续)

		1 分钟		5 分钟		15 分钟		30 分钟	
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
RU	2016	22530	172657	4504	34529	1499	11508	748	5753
RU	2017	24266	173862	4851	34771	1616	11589	807	5793
RU	ALL	46796	346519	9355	69300	3115	23097	1555	11546
RM	2016	23291	179638	4656	35926	1550	11974	775	5986
RM	2017	25004	179846	4999	35966	1664	11987	832	5992
RM	ALL	48295	359484	9655	71892	3214	23961	1607	11978
TA	2016	23042	179702	4606	35939	1534	11978	767	5988
TA	2017	24931	179864	4984	35971	1659	11989	829	5993
TA	ALL	47973	359566	9590	71910	3193	23967	1596	11981
MA	2016	22991	179357	4595	35869	1531	11955	765	5976
MA	2017	24951	180089	4988	36016	1661	12004	830	6000
MA	ALL	47942	359446	9583	71885	3192	23959	1595	11976
SR	2016	23263	179685	4650	35935	1548	11978	774	5988
SR	2017	25000	179699	4998	35938	1665	11978	832	5987
SR	ALL	48263	359384	9648	71873	3213	23956	1606	11975
CF	2016	23233	178306	4644	35659	1546	11885	772	5941
CF	2017	24771	178602	4952	35718	1648	11905	823	5952
CF	ALL	48004	356908	9596	71377	3194	23790	1595	11893
FG	2016	23092	178249	4616	35648	1537	11881	768	5940
FG	2017	24574	178810	4912	35759	1636	11918	818	5958
FG	ALL	47666	357059	9528	71407	3173	23799	1586	11898
OI	2016	23112	179136	4620	35825	1538	11941	768	5969
OI	2017	24932	179748	4984	35948	1660	11982	830	5990
OI	ALL	48044	358884	9604	71773	3198	23923	1598	11959

第四章 跨期套利模型构建

第一节 交易信号计算

一、Kalman 滤波

在获取了整理完成的配对数据后，就可以将 Kalman 滤波算法应用于数据对上，以获得预测优化后的时变性回归系数。再运用估计获得的系数，计算对应的价差，并在标准化价差的基础之上制定交易信号生成规则。

首先，Kalman 滤波是一种最优化的自回归数据处理算法，它允许系统不断根据新获取的信息调整模型估计值（SIMOND, 2006）。Kalman 滤波分为连续和离散两种不同的形态。本文着重介绍离散状态下的 Kalman 滤波。简要而言，Kalman 滤波算法步骤共分为 4 步：

1. 对需要估计的状态的动态系统进行数学语言的描述，即用方程或公式表示这一过程；
2. 获得这一过程中状态的均值和协方差随时间变化的公式；
3. 状态的均值即为 Kalman 滤波对状态的估计值；状态的协方差即 Kalman 滤波对状态估计的协方差；
4. 每次获得新的测量数据，更新状态的均值和协方差。

具体而言，假设有如公式（1）-（2）所示的一个线性离散时变性系统。

$$x_k = F_{k-1}x_{k-1} + G_{k-1}u_{k-1} + \omega_{k-1} \quad (1)$$

$$y_k = H_k x_k + v_k \quad (2)$$

（1）为状态方程，（2）为测量方程。 x_k 是 k 时刻的系统状态， F_{k-1} 和 G_{k-1} 是时变系数， u_{k-1} 是对系统的控制变量，当不存在控制变量时， u_{k-1} 可以为 0。 y_k 是系统状态在 k 时刻的测量值， H_k 也是时变系数。 ω 和 v 分别为状态方程和测量方程的噪音。且假设两者均为独立的高斯白噪音，并记其方差为固定值 Q 与 R ，如公式（3）-公式（5）所示。

$$E(\omega_k \omega_j^T) = Q_k \delta_{k-j}, \quad \omega_k \sim (0, Q_k) \quad (3)$$

$$E(v_k v_j^T) = R_k \delta_{k-j}, \quad v_k \sim (0, R_k) \quad (4)$$

$$E(\omega_k v_j^T) = 0 \quad (5)$$

接着, 可以定义如下变量 $x_{(k|k)}$ 与 $x_{(k|k-1)}$ 。 $x_{(k|k-1)}$ 代表的是在时刻 $k-1$ 时, 根据现有信息估计的最优 x_k 的值。 $x_{(k|k)}$ 代表的是在时刻 k 时, 已完成 x_k 测量后, 对测量值进行优化得到的最优 x_k 估计值。

$$x_{(k|k)} = E[x_k | y_1, y_2, \dots, y_k] \quad (6)$$

$$x_{(k|k-1)} = E[x_k | y_1, y_2, \dots, y_{k-1}] \quad (7)$$

定义 P_k 为估计误差 (Estimation Error) 的协方差矩阵。那么对应于 $x_{(k|k-1)}$ 与 $x_{(k|k)}$, 可以设定 $P_{(k|k-1)}$ 与 $P_{(k|k)}$ 。其中, $P_{(k|k-1)}$ 为 $x_{(k|k-1)}$ 的估计误差协方差矩阵, $P_{(k|k)}$ 是 $x_{(k|k)}$ 的估计误差协方差矩阵。

$$P_{(k|k-1)} = E[(x_{(k)} - x_{(k|k-1)})(x_{(k)} - x_{(k|k-1)})^T] \quad (8)$$

$$P_{(k|k)} = E[(x_{(k)} - x_{(k|k)})(x_{(k)} - x_{(k|k)})^T] \quad (9)$$

为 Kalman 滤波设定初始值:

$$x_{(0|0)} = E(x_0) \quad (10)$$

$$P_{(0|0)} = E[(x_0 - x_{(0|0)})(x_0 - x_{(0|0)})^T] \quad (11)$$

接着以现有信息和状态方程, 估计下一步的状态:

$$x_{(k|k-1)} = F_{k-1}x_{(k-1|k-1)} + G_{k-1}u_{k-1} \quad (12)$$

然后更新对应于新的 $x_{(k|k-1)}$ 的估计误差协方差矩阵 $P_{(k|k-1)}$:

$$P_{(k|k-1)} = F_{k-1}P_{(k-1|k-1)}F_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (13)$$

接着通过现在状态的测量值和预测值, 得到 k 时刻下 x_k 的最优估计值 $x_{(k|k)}$:

$$x_{(k|k)} = x_{(k|k-1)} + K_k(y_k - H_k x_{(k|k-1)}) \quad (14)$$

其中, K_k 称为卡尔曼增益 (Kalman Gain):

$$K_k = P_{(k|k-1)}H_k^T(H_k P_{(k|k-1)}H_k^T + R_k)^{-1} = P_{(k|k)}H_k^T R_k^{-1} \quad (15)$$

最后, 需要更新对应于最优估计 $x_{(k|k)}$ 的估计误差协方差矩阵 $P_{(k|k)}$:

$$\begin{aligned} P_{(k|k)} &= (I - K_k H_k)P_{(k|k-1)}(I - K_k H_k)^T + K_k R_k K_k^T \\ &= (I - K_k H_k)P_{(k|k-1)} \end{aligned} \quad (16)$$

公式 (12) - 公式 (16) 的 5 条公式即构成了离散 Kalman 滤波优化算法的基

本步骤。其思想非常简洁，即根据现有的信息估计下一阶段的状态值，并更新对应的估计误差协方差，在实际测量状态值后，在预测值的基础上，计算卡尔曼增益，并获得最优估计值，并更新对应的估计误差协方差。如此反复，不断根据新输入的信息自动调整获得状态值的最优估计值。

二、信号生成

根据传统离散型 Kalman 滤波的性质，针对期货跨期套利策略，对 Kalman 滤波进行应用与修改。首先，定义 P_{y_t} 为远月合约，或称为次主力合约价格， P_{x_t} 为近月合约，或称为主力合约价格。修改 Kalman 滤波的状态方程和测量方程，即公式 (1) 和 (2)。

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \omega_{t-1} \quad (17)$$

$$P_{y_t} = P_{x_t} \beta_t + v_t \quad (18)$$

其中，原状态方程 (1) 中的 x_k 由时变性回归系数 β_t 替代，系数 F 设为固定值 1，控制变量 u 设为 0，进而转换为公式 (17) 的形式。原测量方程 (2) 中的 y_k 由 P_{y_t} 代替， H_k 由 P_{x_t} 替代， x_k 与状态方程一样均由 β_t 替代，由此获得新的测量方程公式 (18)。需要注意的是，在 Kalman 滤波的状态方程和测量方程中，实际两个合约的回归系数 β_t 成了测量方程中的自变量，主力合约价格 P_{x_t} 成了时变系数。

由此，可以对 Kalman 滤波的主要过程的 5 条方程进行相对应的修改，获得如下 5 条修改后的方程：

$$\beta_{(t|t-1)} = \beta_{(t-1|t-1)} \quad (19)$$

$$P_{(t|t-1)} = P_{(t-1|t-1)} + Q \quad (20)$$

$$\beta_{(t|t)} = \beta_{(t|t-1)} + K_t(P_{y_t} - P_{x_t}\beta_{(t|t-1)}) \quad (21)$$

$$K_t = P_{(t|t-1)}P_{x_t}(P_{x_t}P_{(t|t-1)}P_{x_t} + R)^{-1} = P_{(t|t)}P_{x_t}R^{-1} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} P_{(t|t)} &= (1 - K_tP_{x_t})P_{(t|t-1)}(1 - K_tP_{x_t})^T + K_tRK_t \\ &= (1 - K_tP_{x_t})P_{(t|t-1)} \end{aligned} \quad (23)$$

将每组跨期套利合约对的数据代入上述公式 (19) - (23) 进行逐步自回归即可得到最优化的回归系数 β 值。每一个最优化估计的 β 值均是综合 $t-1$ 时刻的

预测值与 t 时刻的测量值两者后给出的最优结果。同时也可获得在最优化 β 值后获得的残差 v_t :

$$v_t = P_{y_t} - \beta_{(t|t)} P_{x_t} \quad (24)$$

对 v_t 进行标准化, 获得标准化残差 Z_t 。此标准化残差即为最终指示交易的信号源数据, 可参见图 2。只需设定对应的交易策略, 即可进行跨期套利策略的执行, 具体交易策略的制定请参见本章第二节。

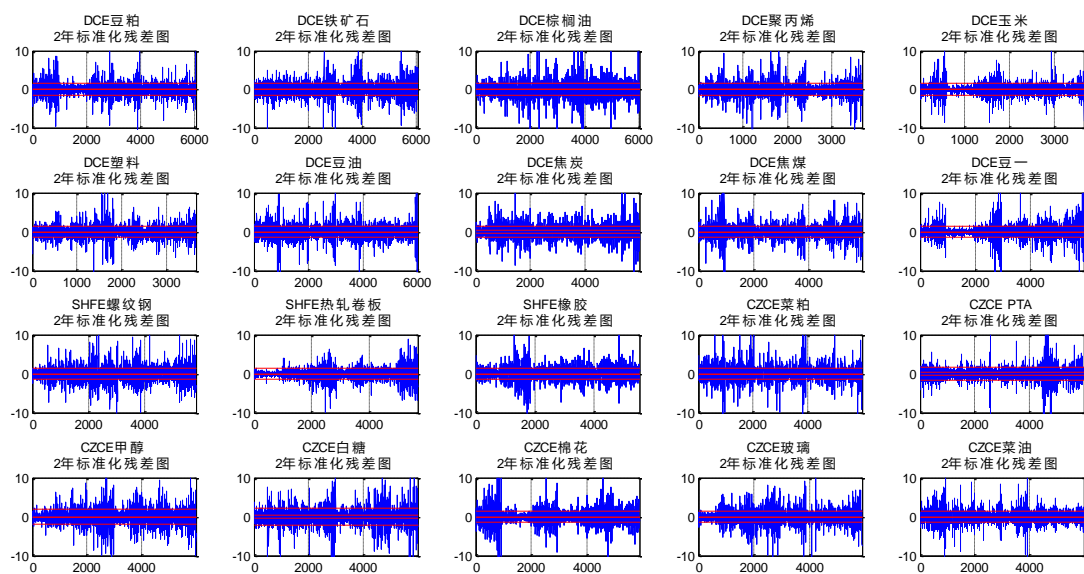


图 2 各期货品种 2 年标准残差图 (30 分钟频度)

三、参数优化

对于 Kalman 滤波而言, 最重要的两个参数便是 Q 与 R , 即状态方程与测量方程中的随机扰动项对应的方差。在 Kalman 滤波算法中, ω 和 v 分别为状态方程和测量方程的噪音。且假设两者均为独立的高斯白噪音, 并记其方差为固定值 Q 与 R , 并假设这两个参数已知。

在实际应用中, Q 与 R 值的设定成了学术界与业界遇到的最大困难。对 Q 与 R 的不同设定会影响到整个 Kalman 算法的自回归路径, 所谓的“参数最优化”是需要根据不同的应用目标而确定的。因此, 对 Q 与 R 代表的意义, 必须有深刻的认识。 Q 和 R 值最直观的定义即分别为状态方程和测量方程的噪音。相对而言, 固定 R 值, Q 值越大, 则说明系统更倾向于相信测量方程获取的值。当 Q

值不断增长至无穷大,则意味着状态方程完全不可信,只相信测量方程获得的值。同理,当 Q 值不变, R 值不断增大,则意味着测量方程变得不可信,更倾向于相信状态方程获得的预测值。当 R 值增长至无穷大时,测量方程完全不可信,此时只采用状态方程的预测值。也就是说, Q 与 R 值是相对的一组参数,两者的比值大小能够说明更应该相信系统的预测值还是更相信测量值。当然,独立而言,从绝对值角度分析, Q 与 R 越小,代表越相信此方程获取的值。

SIMON D (2006) 认为 Kalman 滤波算法最重要的步骤便是计算卡尔曼增益值 K_t , 更改卡尔曼增益将改变 Kalman 滤波的表现。由于不正确的 Q 和 R 值,可能导致 Kalman 滤波失效。SIMON D (2006) 提出了验证 Kalman 滤波算法有效性的方法。代入预测值,计算获得残差 (innovations), 即 $(P_{y_t} - P_{x_t}\beta(t|t-1))$ 。检验这个残差是否是一个零均值,协方差为 $(P_{x_t}P_{(k|k-1)}P_{x_t}^T + R_t)$ 的随机过程。

若检测结果显示残差并不是一个符合均值为 0, 协方差为 $(P_{x_t}P_{(k|k-1)}P_{x_t}^T + R_t)$ 的白噪声过程,那说明此 Kalman 滤波算法的设定存在问题,需要对参数进行修改和优化。可以通过统计方法对参数进行优化,使得最终获得的残差符合零均值白噪声且其协方差为 $(P_{x_t}P_{(k|k-1)}P_{x_t}^T + R_t)$ (MEHRAR, 1970, 1972)。Mehra (1972) 给出了 4 种估计 Q 与 R 的统计方法: 贝叶斯估计、极大似然估计、相关法以及协方差匹配法。

而另一种优化方法则更加直接,且具有普适性。其大致思想是通过设定参数值,然后经过 Kalman 算法计算残差,再对残差进行检验,若不符合条件则再次选用其他参数进行重复实验,直到获得的残差符合条件,对应的参数即为最优参数。此时获得的状态估计量也应该是最正确的。这种工程学中普遍采用的参数优化方法(枚举法)也能够实现对 Kalman 滤波参数的选取与优化。KOBAYASHI T, SIMON D L (2003) 应用了这一思想,采用了一系列不同参数的 Kalman 滤波算法对航天器发动机上的传感器系统进行优化。

本文将采用第二种方法对参数 Q 与 R 进行优化,以保证残差是一个均值为 0, 协方差为 $P_{x_t}P_{(k|k-1)}P_{x_t}^T + R_t$ 的白噪音。同时,在保证结果满足 Kalman 滤波假设的情况下,根据跨期套利对信号的要求,以及上文所述的 Q 与 R 所代表的意

义,将对 Q 与 R 的相对值进行适度的调整,并用样本内数据并结合交易策略进行参数的优化。其大致思路是,跨期套利策略是基于对两个合约价差进行优化后的标准化残差进行信号的设定。合约价格是市场信号的反映,存在较大的噪音干扰。正是由于市场价格存在干扰,才会出现套利机会。因此,测量方程的可信度将会降低,即 R 值相对 Q 值应设定较大的数值,以反映这一特征。再结合期货合约跨期套利的合约特点,两合约的回归系数 β 值一般近似为 1,特别是当标的期货的单合约价格较高时,例如橡胶的合约价格约为 13000,其回归系数将非常接近于 1,设定 Q 值时应以历史数据的残差方差的量级作为参考。

四、ADF 检验及 O-U 过程检验

在对 Q 与 R 进行参数优化,并获得标准化后的残差 Z_t 后,需要对标准化残差 Z_t 分别进行 ADF 检验和 O-U 过程检验,以测试这 21 个品种的期货配对是否符合跨期套利条件的基本要求。虽然在第三章中已经按照日均交易量、主力合约更替规则及上市日期对商品期货合约进行了初步的筛选。但是并不是所有的合约配对均能进行跨期套利交易,只有符合协整性和均值回复性的合约价格数据才能进行套利研究。因此,需要进一步进行合约的筛选。

从第二章文献综述中可知,配对交易策略的配对品种必须满足协整性,而检验协整性的方法也已经在第二章提到过,分别是 Engle-Granger 两步协整检验法和 Johansen and Juselius (JJ) 极大似然法。由于期货跨期套利交易对仅涉及两个品种,因此将选用 Engle-Granger 两步法进行协整检验。由于已经获得了标准化的残差,可直接进行第二步检验步骤:单位根检验,常用的方法是 ADF 检验。ADF 检验又称为单位根检验,是检测时间序列是否存在单位根的一种有效简便的检验方式,其原假设为时间序列存在单位根。若结果显示拒绝原假设,即不存在单位根,说明该时间序列是平稳的;若结果显示不能拒绝原假设,即存在单位根,说明该时间序列是不平稳的,可能存在伪回归现象。若残差通过了单位根检验,证明是平稳序列,则此品种期货的跨期套利配对存在协整关系,通过第一轮测试。21 中商品期货配对均通过了 ADF 检验,即均存在协整关系。

接着对跨期套利对样本内数据进行 O-U 过程拟合。O-U 过程是指随机变量 X_t 符合如下方程：

$$dX_t = -\beta(X_t - \alpha)dt + \sigma dW_t \quad (25)$$

$$\beta > 0, \sigma > 0, W_t \sim \text{Wiener process}$$

其中系数 β 值越大，意味着系统对外部扰动的反应激烈程度，也称为 decay-rate 或者 growth-rate。 σ^2 代表的噪音的方差。将标准残差代入 X_t ，并对 O-U 过程方程进行变换。由于 Z_t 已经经过标准化，因此 α 为 0。可得下式：

$$dZ_t = -\beta Z_t dt + \sigma dW_t \quad (26)$$

刘海燕（2011）给出了此方程系数的具体推导过程，本文不再赘述。系数计算公式如下：

$$\beta = -\ln(\hat{b})/\Delta t \quad (27)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\text{Var}(\hat{\varepsilon}) \cdot 2\beta}{1 - e^{-\beta}}} \quad (28)$$

其中 \hat{b} 与 $\hat{\varepsilon}$ 为 Z_{t+1} 对 Z_t 回归得到的回归系数和残差，由于仅做比较用途，为方便计算， Δt 分别取 1/30, 1/6, 1/2, 1。

$$Z_{t+1} = bZ_t + \varepsilon \quad (29)$$

计算每种期货跨期配对组合样本内数据的 O-U 过程拟合系数 β 值，如表 4 所示。由 O-U 过程的定义可知， β 值越大，说明该过程受外界扰动因素影响越小，能够快速地回归正常水平。但当 β 值过大时，说明其回归均值速度过快，难以捕捉套利机会。同品种，不同频度的数据情况下，其 β 值也有所变化。整体而言， β 值会随着频度的增大，而逐步增大。可以理解为相同时间下，数据频度越高回复效果越明显。1 分钟频度下，各商品期货的平均 β 值大约在 24-40 之间，30 分钟频度下， β 值大约在 1.2-3.6 之间。当然，出现这种情况的原因很大程度上是在计算 β 值时 Δt 取值上的差异。

通过对模型的调整和拟合，设定 β 值的合适范围。只有在范围之内的合约对，才能进行跨期套利策略的实施。这是因为 β 值过小，说明该标准残差过程回复能力较弱，不适合于进行跨期套利交易。若 β 值过大，则说明该标准残差过程对外界扰动的反应非常强烈，将快速回归原状态，这样的期货对的交易机会较

难捕捉，也不适合进行跨期套利交易。

表 4 各商品期货合约样本内数据 beta 平均值

商品期货	1 分钟	5 分钟	15 分钟	30 分钟	排名
M	26.48	8.35	3.49	1.60	10
I	25.63	6.70	2.96	2.72	17
P	25.53	7.00	3.14	2.19	18
PP	27.67	6.44	2.88	1.63	15
C	30.21	9.65	3.21	1.93	5
L	25.18	7.75	2.95	3.37	12
Y	24.05	5.59	2.25	1.22	21
J	33.52	6.67	3.08	1.69	6
JM	35.99	6.28	2.81	2.19	4
A	37.40	7.76	3.29	2.62	2
JD	35.70	9.86	4.63	3.60	1
RB	28.31	7.04	3.43	1.85	8
HC	39.80	7.08	2.35	1.64	3
RU	25.98	7.14	3.56	1.96	14
RM	25.98	7.78	3.35	2.07	13
TA	24.98	6.36	2.83	1.74	19
MA	27.37	6.57	3.72	2.08	11
SR	26.31	7.71	4.53	1.78	9
CF	31.00	8.78	2.81	1.32	7
FG	26.45	6.04	3.98	2.05	16
OI	25.48	5.39	2.57	1.63	20

由表 4 可知，对各频度 21 种商品期货的 β 值进行排序，并获得最后的综合排序，鸡蛋 JD 期货的 β 值综合排名第一，在 5 分钟、15 分钟和 30 分钟三个频度上都属于异常偏大，因此，排除鸡蛋 JD 期货品种。豆油 Y 期货和菜油 OI 期

货的 β 值综合排名在倒数两位，但是观察其各时间频率的数据，均与其他品种处于近似量级水平，没有特别小的情况，因此，保留这两种期货品种。综上所述，本文正式的样本品种为 20 种。

第二节 交易策略设定

一、上下界规则设定

本章第一节详细介绍了如何利用 Kalman 滤波算法对期货跨期套利合约价差进行优化，并获得标准化的残差数据。本节将着重说明如何设定交易规则，使得标准残差数据可以触发交易信号。

首先，跨期套利策略作为常见的配对交易策略，其典型的交易方式为（1）买远期合约，卖近期合约，即买入价差，等待价差上涨后，再做相反操作卖出价差平仓；（2）卖远期合约，买近期合约，即卖出价差，等待价差下跌后，再做相反操作买入价差平仓。因此，需要设置对应的买入价差开仓信号、卖出价差开仓信号及对应的平仓信号，共四种信号。

本文采用静态阈值设定开仓点和平仓点。当标准残差线由下至上穿越卖空价差阈值时，触发卖出价差开仓信号；当标准残差线由上至下穿越买回价差平仓阈值时，触发买回价差平仓信号。由此，便完成一次做空套利交易操作。同理，当标准残差线由上至下穿越买入价差开仓阈值时，触发买入价差开仓信号；当标准残差由下至上穿越卖出价差平仓阈值时，触发卖出价差平仓信号，完成做多套利交易。

之前的文献一般设定开仓触发阈值为+2 或-2，平仓阈值为+0.5 或-0.5。由均值回归理论可知，随机过程的上下回归强度其实是不对称的。因此，设置对称的上下触发阈值并不合理，因此本文会对上下触发阈值及平仓阈值都进行优化，具体优化方案可参见下一小节。如图 3 所示，标准残差作为一个平稳过程在 0 值附近来回震荡，每次穿越阈值线，即触发对应的交易。

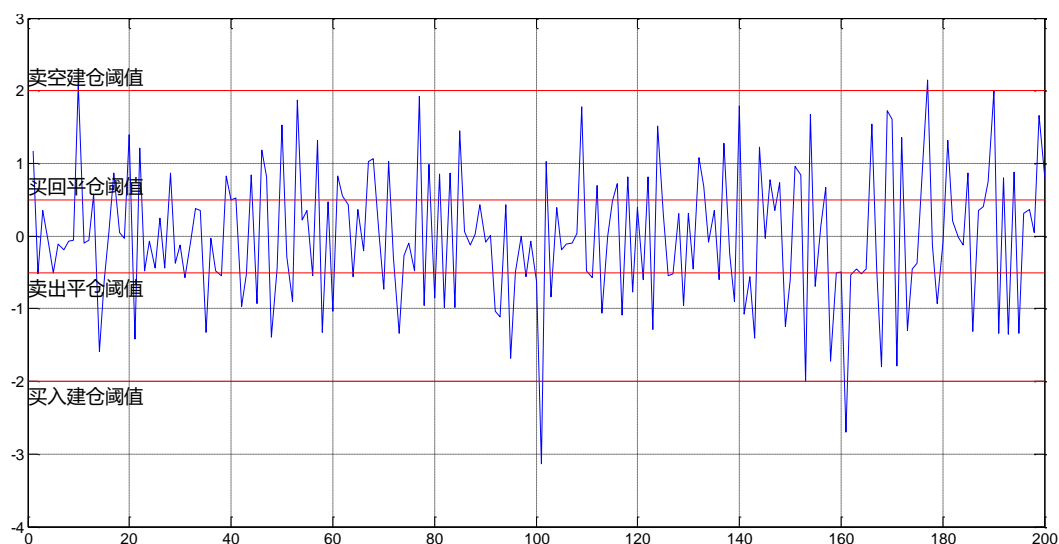


图 3 标准残差与阈值线

而图 4 展现了标准残差所触发的交易信号在真实价差上对应的具体位置。当红色*的位置高于对应的红色○时，说明此次做空价差交易获利；当绿色☆位置低于对应的绿色□时，说明此次做多较差交易获利。反之则反。

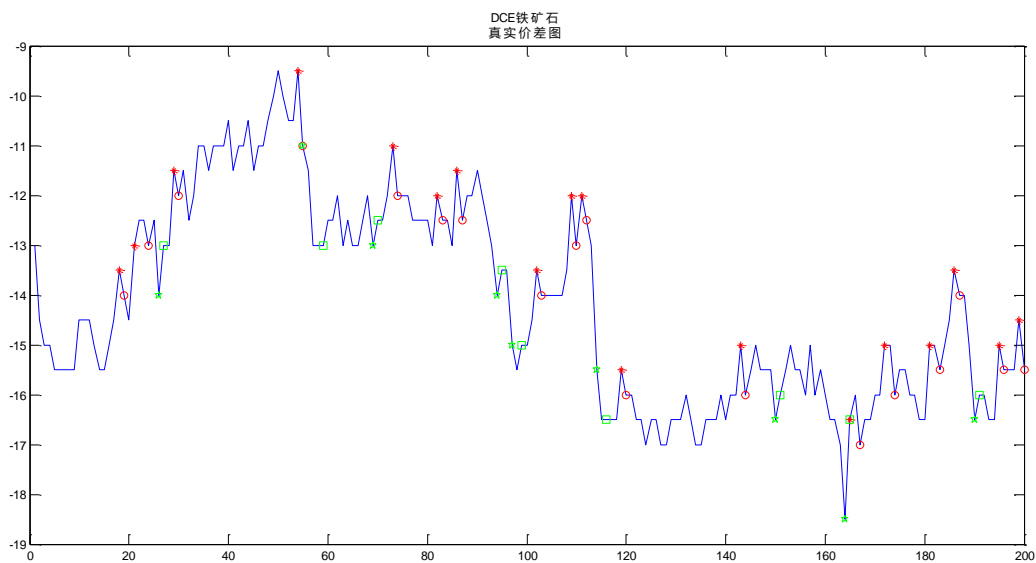


图 4 真实价差走势图及价差买卖交易信号

注：红色*代表卖空价差开仓；红色○代表买回价差平仓；绿色☆代表买入价差开仓；绿色□代表卖出价差平仓。

二、上下界优化

由于不同商品期货的合约特性、市场交易情况等各有不同，因此，有理由相信其标准残差设定的最优信号触发阈值也应有所不同。如何对信号触发阈值进行优化，本文将继续采用工程学中最常见的方法，以不同组合的参数进行试验，筛选最优参数组。

本文将设定开仓信号阈值绝对值范围为 1.5-2.5，平仓信号阈值绝对值范围为 0-1，以 0.1 为步长，以样本内数据为测试样本，对每个期货对合约的阈值进行优化。设定如下优化排序标准：1. 样本区间内净盈利大小；2. 样本区间内胜率大小；3. 样本区间内平均每次交易盈利大小。按照这三个标准对阈值组合进行排序和筛选，获得最优阈值组合，作为该品种期货跨期套利策略的最优信号阈值组合。

第三节 止损策略设定

跨期套利策略的价差时常会因为外部情况的巨大冲击，而大幅度偏离原来的均值，难以回复至原先状态。此时价差不再符合均值回归理论。或者说，期货品种之间的价差由于基本面的改变，已经发生了本质的变化，其均值也随之改变。均值回归现象将在新的均值上发挥作用。

如果策略在冲击之前已经建仓，将可能导致两个结果：一是策略将长时间不能平仓，由于设定了一次只能进行一项操作的规则，将损失大量其他交易机会；二是即使最后因为 Kalman 滤波的自动调整功能使得标准残差再次触发平仓信号，交易组合也将蒙受巨大的损失。因此，设计合理的止损策略对于提高交易策略的整体盈利能力与稳健性是非常重要的。具体而言，本文提出两种具有实际操作性的止损策略。

一、方案一：标准残差法

设定止损策略最直观最简便的方式，便是采用如设定如平仓信号阈值一样的方法，为标准残差设定止损平仓阈值点。若策略已卖空价差建仓，当标准残差线

由下向上穿越上止损信号阈值，则买入价差进行止损操作。若策略已买入价差建仓后，当标准残差由上至下穿越下止损信号阈值，则卖出价差进行止损操作。

止损信号阈值的初步设定，需要根据开仓信号进行调整，一般而言可设定为 2 倍的开仓信号阈值，也可以通过测算样本内标准残差的 99% 分位数作为止损点阈值。

对止损点阈值进行优化，同样采用工程学优化方法，设定以初步值为中心，幅度为 ± 1 的优化范围，进行实验。并按照以下条件对止损点阈值组进行排序，获得最优止损点阈值组合：

1. 样本区间内平均每次止损减少的损失；
2. 样本区间内总体利润提升；
2. 样本区间内止损信号触发次数。

综合考虑以上三条规则，筛选出最优的止损点阈值。

二、方案二：绝对值法

此外，由于标准残差不能直观地反映实际价差的变化，损失的大小难以控制。存在这样的情况：卖空价差后，实际价差震荡上行，但是反应在标准残差上时，标准残差并未扩大至止损点，而是在交易触发点和止损点之间游走。但此时的损失已经非常大，需要进行及时止损。因此，本文的止损策略在方案一：标准残差方法的基础上，叠加第二层止损规则：方案二：绝对值法。

顾名思义，绝对值法即参照普通的量化交易方法，每次交易建仓后，设定动态止损点。所谓的动态止损点是指止损点会随着价差的价格向有利方向变化而移动。例如，买入价差交易的初始建仓价差为 12，设定止损点为 10 个点，即当价差跌至 2 时进行止损操作。当实际价差不断上涨，直线升至 25，那么止损线跟随价差升至 15，当价差从高点跌至 15 时，进行止损交易操作。这种动态止损方法能够确保最大程度保留利润。对于一建仓价差就逆向变化的情况，此止损方法与普通固定止损点设置效果相同。

在设置绝对止损点的时候，需要考虑该品种期货合约的合约价值以及价差波

动率。且由于已有方案一的止损策略，方案二应当适当扩大其止损点的设置。方案二的作用应当是专门针对震荡扩大损失的情况下的止损。

第五章 实证及分析

本文的第三章阐述了基本期货数据的种类与频度，并从 48 种商品品种中筛选了符合基本条件的 21 种期货品种。第四章设计构建了中高频商品期货跨期套利策略，包括信号的获取，参数的优化以及交易规则的设定与止损策略。本章将应用第三章的数据集及第四章的策略方法进行实证，并从不同维度对回测结果进行分析，探究影响策略表现的具体因素及可能的改进方案。

第一节 实证结果分析

首先，在本节中，按照基本策略方法对 20 组跨期套利商品期货对进行回测，并计算各种衡量其具体表现指标。本节将从 3 个不同的角度对结果进行分析。第一是从交易品种角度，分析不同的交易品种类型是否会影响策略的表现。第二是从不同时间频度角度，分析频度的增大，是否有助于提升策略的表现。第三是从市场环境的角度，分析市场处于震荡行情、上涨行情及下跌行情时，本策略的表现是否有所不同，更加适合于哪种市场行情，并给出叠加市场行情指标的改进策略。

一、同频度不同品种交易结果比较

根据第四章的基本策略，运用 Matlab 软件编写回测程序，并分别对 20 个品种的 1 分钟、5 分钟、15 分钟和 30 分钟频度的样本数据进行回测，获得实证结果。为了更好地反映策略的表现，本文采用了如下 10 个指标对策略在不同品种上的表现进行衡量，分别是：绝对净收益、年化收益率、胜率、平均每次交易回报率、平均持仓时间、每月交易次数、总交易次数、获利次数、夏普比率、信息比率。这 10 个指标的具体解释可参见表 5。表 6 - 表 9 展现了基于 Kalman 滤波优化后的商品期货跨期策略在 4 个中高频频度上进行跨期套利的回测结果。表 6 - 表 9 所展现的样本区间为 2016 至 2017 年共两年时间。2016 年与 2017 年分年度回测结果详见附录 A。图 5 为 1 分钟频度下各期货对交易获得的价差累加

图，仅单纯计算每次交易价差价格盈亏。图 6 是将每次交易价差价格盈亏乘上合约乘数后的结果，为套利策略的总利润。图 7 则在图 6 的基础上，减去交易费用，得到累积净利润。

表 5 指标及解释

指标	解释
绝对净收益	每次交易 1 手，回测区间内的总收益，已扣除交易费用。
年化收益率	将收益率年化。为保证持仓比例低于 50%，平均成本设为两手该品种期货保证金的两倍。
胜率	所有交易中获得盈利交易的占比。
平均每次交易回报率	平均每次交易收益=总净利润/总交易次数；平均每次交易回报率=平均每次交易收益/平均成本。
平均持仓时间	总持仓时间/总交易次数。
每月交易次数	总交易次数/总月数。
总交易次数	回测区间内一共进行的交易次数（开仓并平仓视为一次完整的交易）。
获利次数	交易获利的次数。
夏普比率	$SR = (R_p - R_f)/\sigma_p$ ，夏普比率一般以年化收益率和年化波动率计算，指投资组合或品种相对于无风险资产的风险收益评价指标，是一种基于绝对收益和总风险的评价体系。本文选择十年国债利率作为无风险利率。
信息比率	$IR = (R_p - R_t)/\sigma_{p-t} = R_a/\sigma_a$ 信息比率一般以日度数据进行计算，是一种与标的投资组合进行对比的风险收益评价指标，衡量单位主动风险所带来的超额收益。本文选择沪深 300 指数收益率作为标的资产收益。

从表 6 中可知，本策略在 1 分钟频度上表现优异。从净收益上而言，以每次 1 手价差方法计算，两年净收益最高的品种为焦炭期货对，净收益为 1,544,863 元；最低为螺纹钢期货对，为 56,824 元。但是由于每种期货品种的合约价值不

同, 仅从净收益而言, 不足以比较其表现差异。相比较而言, 年化收益率及胜率指标更能反映策略在该商品期货品种上的表现。年化收益率方面, 按资金 50% 持仓计算, 铁矿石期货对的年化收益率最高, 为 98,465%, 最低为热轧卷板期货对, 为 256%。年化收益率分布区别较大。胜率方面, 20 个品种中有 19 个品种的胜率超过 60%, 仅热轧卷板期货对的胜率为低于 60%, 为 58%, 这也解释了其较低的年化收益率水平。同理, 铁矿石期货对的胜率最高, 为 85%, 因此其年化收益率也最高。从平均回报率而言, 大部分期货对基本上每次交易平均回报率维持在 1%-4% 左右。少数一些期货对的平均回报率可以达到 10% 以上, 例如铁矿石、焦炭、焦煤。就平均持仓而言, 基本上各个品种差异不大, 均在 1.3-1.6 个单位时间之内, 说明持仓 1 分钟-2 分钟就进行平仓操作。每月交易次数和总交易次数反映的是各个品种所能提供的套利机会的多少。由于部分期货品种存在夜市交易, 因此不同品种间, 总交易次数差距较大。当然, 另一大原因可能是不同品种的交易活跃度不同, 以及价格波动率不同所导致的。具体而言, 除了聚丙烯、玉米和塑料三个品种之外, 其他 17 个品种均有夜盘交易。而聚丙烯、玉米及塑料三种期货对的总交易次数偏少, 均在 15,000 次以下。拥有夜盘交易的品种中, 热轧卷板的总交易次数最少, 仅 8,012 次, 低于聚丙烯的 8,279 次, 是 20 个品种中套利机会最少的品种。另一方面, 豆粕、棕榈油、豆油、橡胶和菜粕期货对两年内的总交易次数均超过 26,000 次, 且相差不大, 属于套利机会较多的品种。夏普比率显示, 风险收益比最优的分别是玻璃期货对、铁矿石期货对和菜粕期货对, 其夏普比率均超过了 40。而在该指标上表现最差的依次是热轧卷板期货对和聚丙烯期货对, 均低于 20。夏普比率越高, 说明该商品期货品种价差套利组合的绝对收益相对于总风险而言的报酬率较高。就信息比率指标而言, 以沪深 300 指数为标的进行比较, 螺纹钢期货对的信息比率最大, 为 73.36, 说明其相对沪深 300 指数的超额收益风险比最大。与夏普比率不同, 铁矿石的信息比率仅为 50.04, 排名最后。

从表 6 中可以发现, 综合而言, 套利策略在铁矿石期货对上的表现最优, 而在热轧卷板期货对上的表现最差。此外, 玉米、焦炭、焦煤、菜粕、玻璃等期货

对品种的表现也较为优越。这些品种均拥有较高（大于 75%）的胜率，且总交易次数较高。

表 6 1 分钟频度策略回测结果

	年化收		胜率	平均回	平均持	每月交	总交易	获利次	SR	IR
	净收益	益率		报率	仓时间	易次数	次数	数		
豆粕	127146	47.40	0.77	0.01	1.45	1088.08	26114	20186	33.20	63.06
铁矿石	1043989	984.65	0.85	0.54	1.51	900.96	21623	18289	41.75	50.04
棕榈油	306400	78.62	0.73	0.01	1.40	1117.08	26810	19686	34.31	58.85
聚丙烯	97972	11.24	0.67	0.01	1.47	344.96	8279	5565	17.45	51.08
玉米	115498	118.91	0.78	0.04	1.46	593.21	14237	11070	33.73	54.81
塑料	256226	79.64	0.74	0.01	1.38	565.75	13578	10031	34.33	61.94
豆油	311800	61.65	0.76	0.01	1.33	1101.25	26430	20003	38.82	65.91
焦炭	1544863	110.40	0.80	0.33	1.54	705.21	16925	13495	30.44	55.45
焦煤	722475	128.84	0.80	0.23	1.56	599.00	14376	11562	38.82	61.99
豆一	72380	8.14	0.73	0.01	1.50	636.25	15270	11156	21.61	64.46
螺纹钢	56824	5.36	0.62	0.01	1.48	790.04	18961	11783	26.67	73.36
热轧卷板	61374	2.56	0.58	0.02	1.51	333.83	8012	4659	15.30	55.25
橡胶	1105627	49.22	0.76	0.01	1.37	1084.04	26017	19698	37.44	66.57
菜粕	225146	447.34	0.78	0.03	1.46	1089.50	26148	20272	40.70	55.10
PTA	114910	66.59	0.78	0.01	1.34	861.46	20675	16083	30.56	56.06
甲醇	101568	44.21	0.78	0.02	1.46	797.88	19149	14897	27.81	58.44
白糖	118192	15.31	0.72	0.01	1.47	935.54	22453	16191	28.35	65.92
棉花	413243	186.50	0.74	0.02	1.42	723.38	17361	12887	34.08	52.96
玻璃	247968	276.25	0.80	0.07	1.53	881.08	21146	16894	44.22	58.10
菜油	404504	222.61	0.75	0.03	1.36	913.92	21934	16409	39.28	56.92

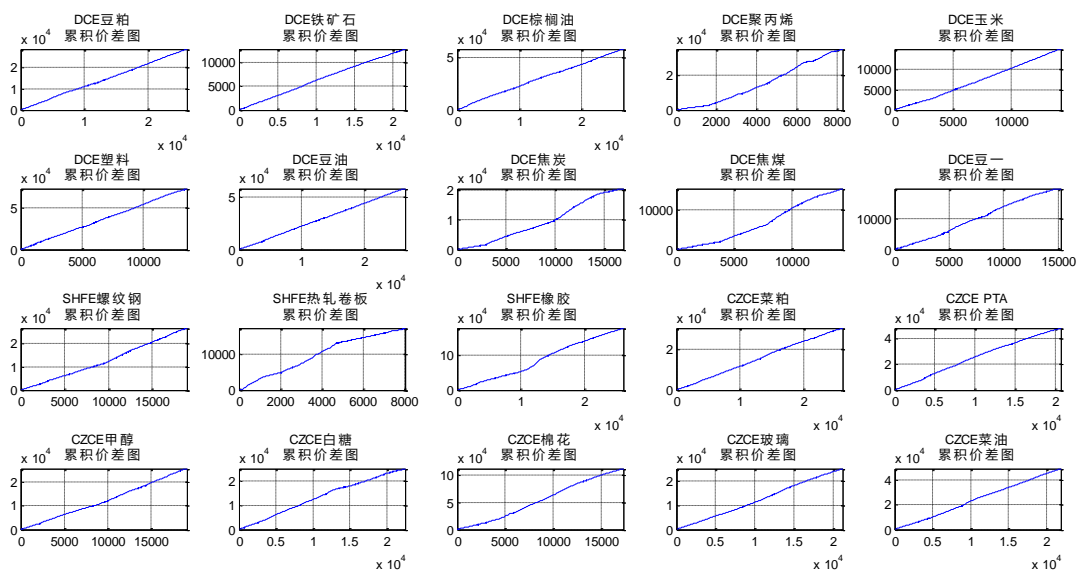


图 5 1 分钟频度下各品种累积价差图

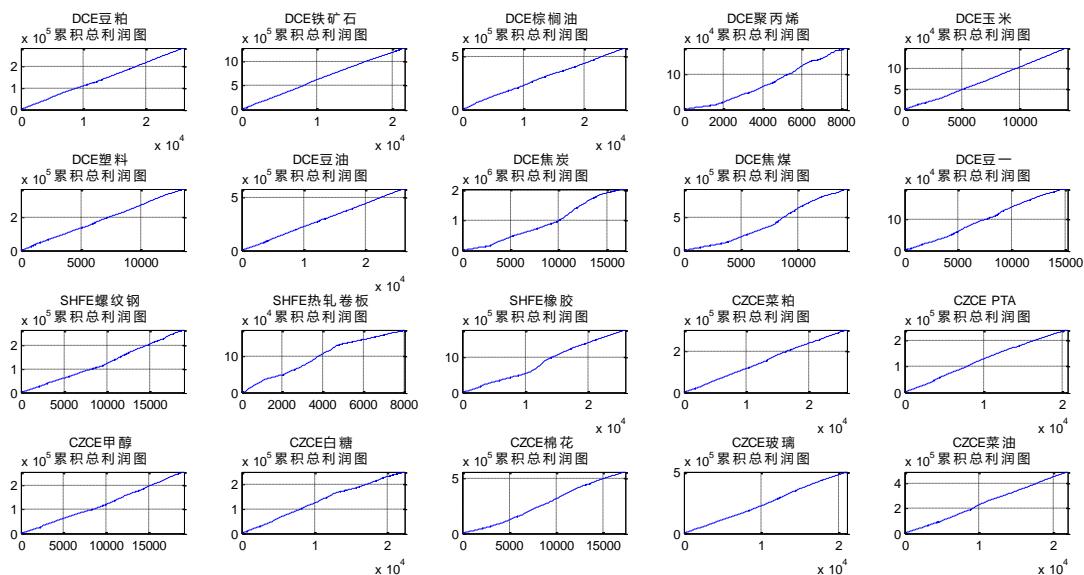


图 6-1 分钟频度下各品种累积总利润图

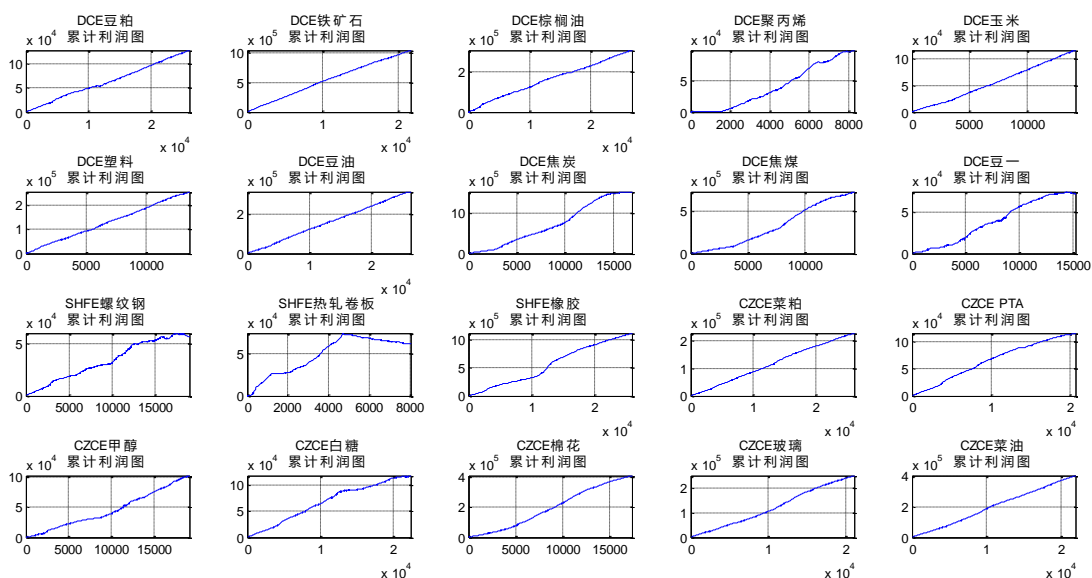


图 7-1 分钟频度下各品种累积净利润图

表 7 列式了 5 分钟频度下, 该策略在不同期货对上的具体表现。图 8 至图 10 展现了各品种期货对在 5 分钟频度下的累积价差、累积总利润和累积净利润。类似于 1 分钟频度下的情况, 年化收益率最高的依旧是铁矿石期货对, 高达 2,178%。紧随其后的是玻璃期货对和菜粕期货对, 均超过 1,000%。胜率方面, 有 13 个品种的胜率超过 70%, 其余 7 个品种也均在 60% 以上。胜率最高的为玻璃和焦炭, 为 75%, 紧随其后的便是铁矿石, 为 74%。热轧卷板依旧垫底, 胜率仅为 60%。每次交易的平均回报率最高为铁矿石的 44%、焦炭的 32% 以及焦煤

的 19%，其余品种均在 1%-3% 左右。平均持仓时间较为平均，所有的品种都在 1.4-1.7 个单位时间之间。总交易次数方面，豆粕期货对的交易总次数最高，为 6,668 次；热轧卷板交易次数最少，仅为 2,231 次。夏普比率方面，铁矿石期货对拥有最高的夏普比率，为 31，远远高于其他品种。螺纹钢、甲醇两个品种垫底，夏普比率低于 10。大部分品种的夏普比率分布在 10-25 之间。信息比率方面，各品种表现差异较小，均分布在 60-80 左右。橡胶期货对的信息比率最高，为 80.64，甲醇期货对的信息比率最低，为 50.74。

从表 7 中不难发现，策略在 5 分钟频度上，依旧在铁矿石期货对上表现最佳，在热轧卷板和螺纹钢期货对上表现较差。

表 7 5 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收益率	胜率	平均回报率	平均持仓时间	每月交易次数	总交易次数	获利次数	SR	IR
豆粕	26192	2.75	0.69	0.01	1.53	277.83	6668	4602	19.37	69.66
铁矿石	209007	21.78	0.74	0.44	1.68	221.83	5324	3951	31.00	67.43
棕榈油	56670	3.09	0.67	0.01	1.61	244.13	5859	3938	15.51	62.89
聚丙烯	35202	2.41	0.66	0.01	1.58	113.96	2735	1814	14.23	62.73
玉米	20635	3.94	0.70	0.03	1.56	125.92	3022	2127	15.72	66.48
塑料	39497	2.45	0.65	0.01	1.63	117.33	2816	1817	13.87	61.48
豆油	67820	3.46	0.71	0.02	1.45	214.25	5142	3676	20.91	70.49
焦炭	325660	5.32	0.75	0.32	1.59	155.13	3723	2804	17.06	61.61
焦煤	146380	5.05	0.73	0.19	1.61	147.54	3541	2575	15.54	57.34
豆一	22364	1.43	0.71	0.01	1.56	153.42	3682	2606	11.67	60.71
螺纹钢	8485	0.50	0.61	0.01	1.63	119.00	2856	1749	8.78	64.63
热轧卷板	14151	0.65	0.60	0.01	1.62	92.96	2231	1336	11.19	66.97
橡胶	238493	2.93	0.72	0.01	1.47	227.25	5454	3921	24.90	80.64
菜粕	41736	10.41	0.71	0.03	1.58	227.83	5468	3897	22.08	64.23
PTA	17864	2.18	0.72	0.01	1.40	156.08	3746	2682	17.58	72.34
甲醇	17248	1.89	0.70	0.01	1.60	184.96	4439	3096	9.31	50.74
白糖	21470	1.11	0.64	0.01	1.49	245.00	5880	3778	16.31	73.56
棉花	94636	7.69	0.71	0.02	1.54	169.88	4077	2886	17.72	59.56
玻璃	57060	11.56	0.75	0.07	1.57	209.17	5020	3755	22.53	60.84
菜油	86308	8.18	0.71	0.03	1.44	188.67	4528	3228	26.31	67.53

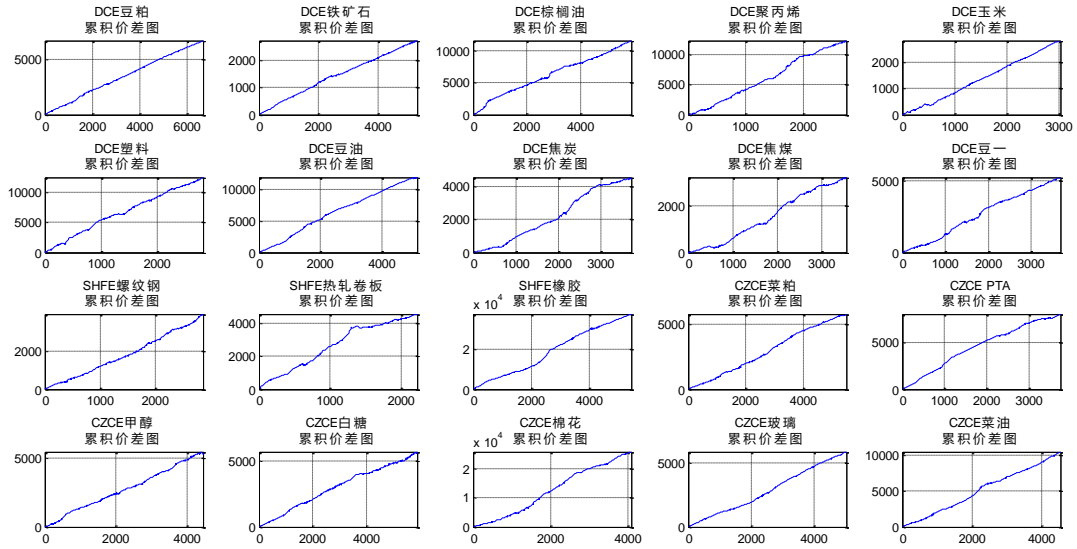


图 8 5 分钟频度下各品种累积价差图

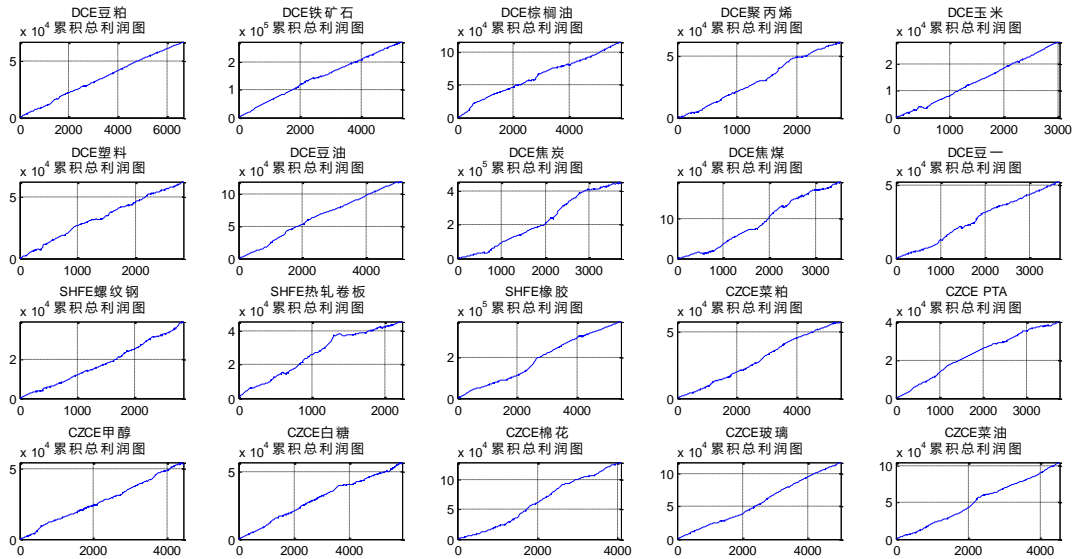


图 9 5 分钟频度下各品种累积总利润图

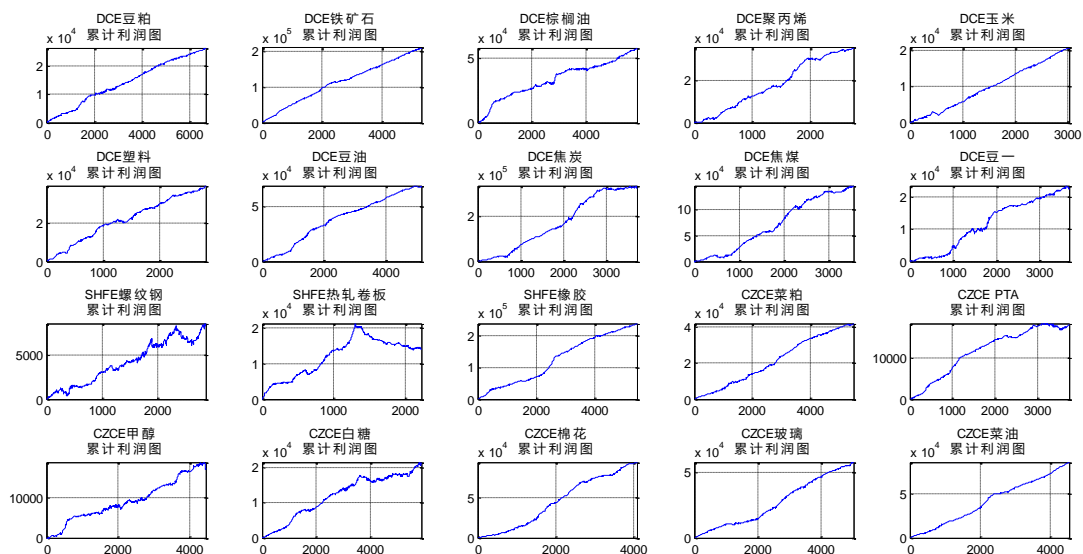


图 10 5 分钟频度下各品种累积净利润图

表 8 列式了 15 分钟频度下，该策略在不同期货对上的具体表现。图 11 至图 13 展现了各品种期货对在 15 分钟频度下的累积价差、累积总利润和累积净利润。类似于 1 分钟和 5 分钟频度下的情况，年化收益率最高的依旧是铁矿石期货对，高达 311%，远超其他品种。随后收益超过 100% 的有菜油（180%）、玻璃（167%）、棉花（131%）以及菜粕（113%）。热轧卷板以 10% 的年化收益率位列最后。胜率方面，除了热轧卷板品种外，其他品种的胜率均超过 60%。胜率最高的为铁矿石、橡胶和玻璃，均为 70%。热轧卷板依旧垫底，胜率仅为 58%。每次交易的平均回报率最高为铁矿石，为 38%。超过 10% 还有焦煤，为 11%，以及焦炭，为 10%，其余品种均在 1%-3% 左右。平均持仓时间较为平均，所有的品种都在 1.5-1.75 个单位时间之间。总交易次数方面，超过 2,000 次的有铁矿石、棕榈油、豆油以及白糖；玉米、热轧卷板和螺纹钢交易次数均低于 1,000 次。夏普比率方面，铁矿石期货对拥有最高的夏普比率，为 19.39，远远高于其他品种。夏普比率超过 10 的还有豆油（16.51）、橡胶（14.97）、菜油（14.01）及 PTA（10.39）。甲醇品种垫底，夏普比率仅为 3.92。大部分品种的夏普比率分布在 5-10 之间。信息比率方面，各品种差异较大，从 30-70 分布不等。豆油和橡胶期货对的信息比率最高，分别为 76.51 和 75.6，铁矿石等紧随其后。玻璃期货对的信息比率最低，为 29.90。

从表 8 中不难发现，策略在 15 分钟频度上，依旧在铁矿石期货对上表现最

佳，在热轧卷板上表现较差。

表 8 15 分钟频度策略回测结果

	净收	年化收		平均回	平均持	每月交	总交易	获利次		
	益	益率	胜率	报率	仓时间	易次数	次数	数	SR	IR
豆粕	6610	0.49	0.68	0.01	1.64	77.92	1870	1263	8.20	60.53
铁矿石	69256	3.11	0.70	0.38	1.76	84.96	2039	1426	19.39	68.66
棕榈油	13090	0.49	0.65	0.01	1.72	87.38	2097	1357	7.37	57.82
聚丙烯	7282	0.34	0.61	0.01	1.67	43.83	1052	645	4.81	44.19
玉米	2883	0.35	0.61	0.02	1.70	32.92	790	483	5.29	49.85
塑料	14663	0.65	0.67	0.01	1.75	43.29	1039	692	7.18	51.70
豆油	27140	0.99	0.69	0.01	1.52	86.17	2068	1430	16.51	76.51
焦炭	38768	0.39	0.69	0.10	1.74	59.63	1431	992	4.35	43.44
焦煤	43058	0.80	0.66	0.11	1.69	64.00	1536	1007	6.02	43.09
豆一	5110	0.25	0.69	0.01	1.63	54.79	1315	906	5.23	50.62
螺纹钢	5576	0.31	0.61	0.01	1.73	34.50	828	502	7.73	63.67
热轧卷板	2005	0.10	0.58	0.01	1.69	39.96	959	554	4.27	50.53
橡胶	75116	0.66	0.70	0.01	1.57	77.21	1853	1293	14.97	75.64
菜粕	9781	1.13	0.67	0.02	1.67	72.63	1743	1175	7.40	47.13
PTA	3928	0.36	0.66	0.00	1.46	58.21	1397	926	10.39	73.44
甲醇	3828	0.29	0.67	0.01	1.66	79.33	1904	1284	3.92	38.19
白糖	4072	0.15	0.61	0.00	1.54	83.67	2008	1226	5.80	56.36
棉花	27357	1.31	0.66	0.01	1.67	66.21	1589	1050	5.69	37.95
玻璃	19172	1.67	0.70	0.06	1.63	75.58	1814	1261	5.22	29.90
菜油	31840	1.80	0.67	0.03	1.51	67.50	1620	1093	14.01	65.22

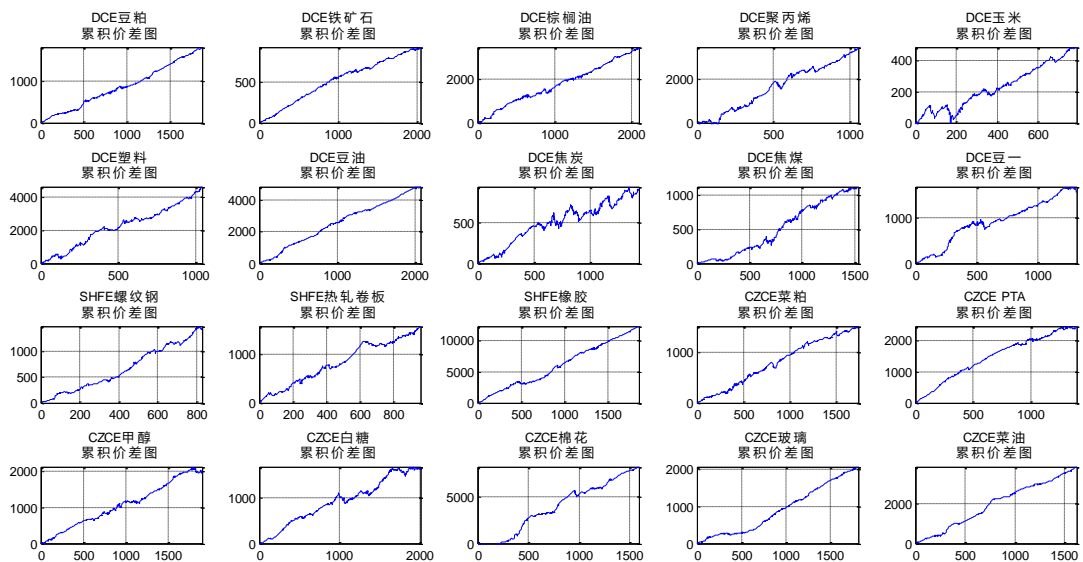


图 11 15 分钟频度下各品种累积价差图

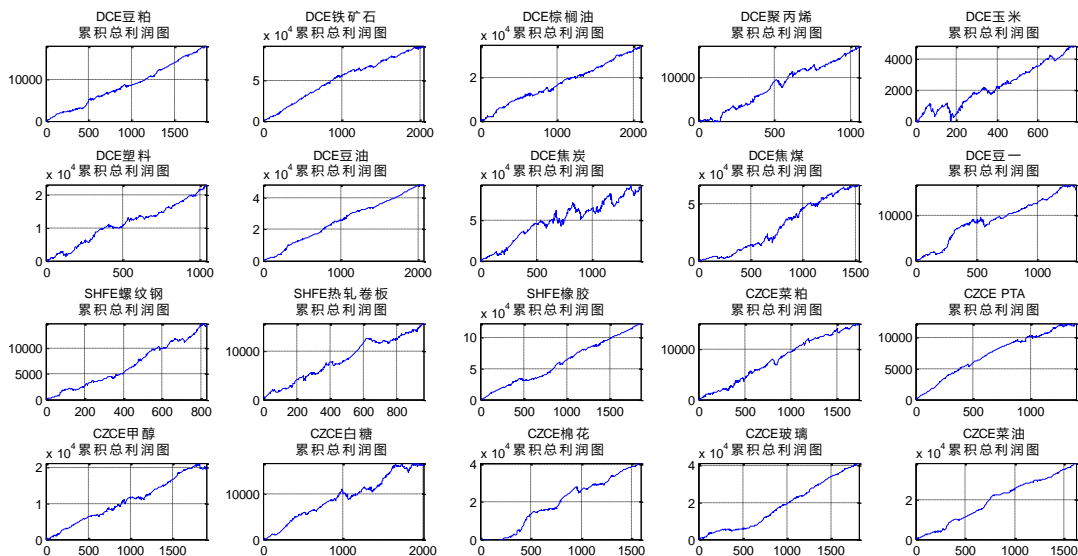


图 12 15 分钟频度下各品种累积总利润图

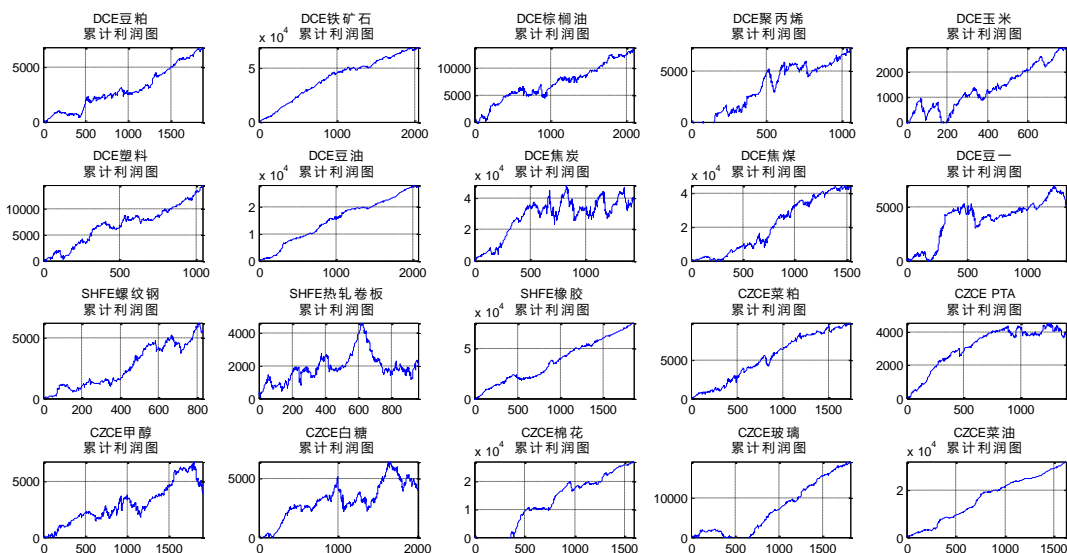


图 13 15 分钟频度下各品种累积净利润图

表 9 列式了 30 分钟频度下，该策略在不同期货对上的具体表现。图 14 至图 16 展现了各品种期货对在 30 分钟频度下的累积价差、累积总利润和累积净利润。类似于 1 分钟、5 分钟和 15 分钟频度下的情况，年化收益率最高的依旧是铁矿石期货对，高达 107%。年化收益率超过 50% 还有菜油（76%）、玻璃（74%）、棉花（72%）、豆油（59%）。热轧卷板表现有所提升，其年化收益率为 24%。胜率方面，有 2 个品种的胜率超过 70%，分别为豆油（70%）、橡胶（72%）。剩下

有 17 个品种均在 60% 以上。仅塑料低于 60%，其胜率为 59%。每次交易的平均回报率最高为铁矿石的 32% 以及焦煤的 32%，其余品种均在 1%-3% 左右。平均持仓时间较为平均，所有的品种都在 1.4-1.8 个单位时间之间。总交易次数方面，棕榈油、铁矿石、豆油期货对的交易总次数最高，分别为 1,139 次、1,097 次和 1,037 次；焦煤交易次数最少，仅为 342 次。夏普比率方面，超过 10 的品种有橡胶（14.17）、豆油（13.71）、菜油（12.72）以及铁矿石（11.58）。甲醇垫底，夏普比率仅为 2.07。信息比率方面，区别较大。热轧卷板期货对的信息比率最高，为 82.25，甲醇期货对的信息比率最低，为 27.37。

从表 9 中不难发现，在 30 分钟频度上，铁矿石的表现依旧较好，而甲醇的表现较差。

表 9 30 分钟频度策略回测结果

	净收 益	年化收 益率		平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	2702	0.19	0.65	0.01	1.55	40.13	963	622	6.04	57.19
铁矿石	30551	1.07	0.66	0.32	1.69	45.71	1097	725	11.58	63.00
棕榈油	6110	0.20	0.63	0.01	1.63	47.46	1139	713	5.02	51.27
聚丙烯	4130	0.18	0.60	0.01	1.58	26.00	624	375	3.23	36.37
玉米	2052	0.23	0.61	0.02	1.65	20.79	499	304	4.31	44.97
塑料	4198	0.14	0.59	0.01	1.59	25.79	619	368	4.21	48.02
豆油	17590	0.59	0.70	0.02	1.45	43.21	1037	721	13.71	75.05
焦炭	28615	0.26	0.67	0.12	1.88	36.71	881	590	3.21	35.08
焦煤	28072	0.50	0.65	0.32	1.66	14.25	342	224	6.64	50.97
豆一	3560	0.15	0.62	0.01	1.62	24.79	595	366	5.97	59.61
螺纹钢	4538	0.23	0.62	0.02	1.79	20.38	489	304	5.80	55.03
热轧卷板	4921	0.24	0.62	0.01	1.55	26.63	639	394	5.45	52.25
橡胶	34747	0.26	0.72	0.02	1.55	23.75	570	408	14.17	82.25
菜粕	4341	0.42	0.65	0.02	1.73	33.04	793	519	4.67	40.88
PTA	646	0.05	0.69	0.00	1.58	21.21	509	349	5.15	59.23
甲醇	1006	0.05	0.68	0.01	1.74	22.21	533	363	2.07	27.37
白糖	5442	0.21	0.61	0.01	1.64	41.58	998	610	6.18	56.21
棉花	17295	0.72	0.64	0.01	1.54	35.63	855	551	5.10	40.87
玻璃	8792	0.74	0.64	0.06	1.54	37.88	909	581	6.18	45.27
菜油	16184	0.76	0.66	0.03	1.44	37.67	904	598	12.72	73.32

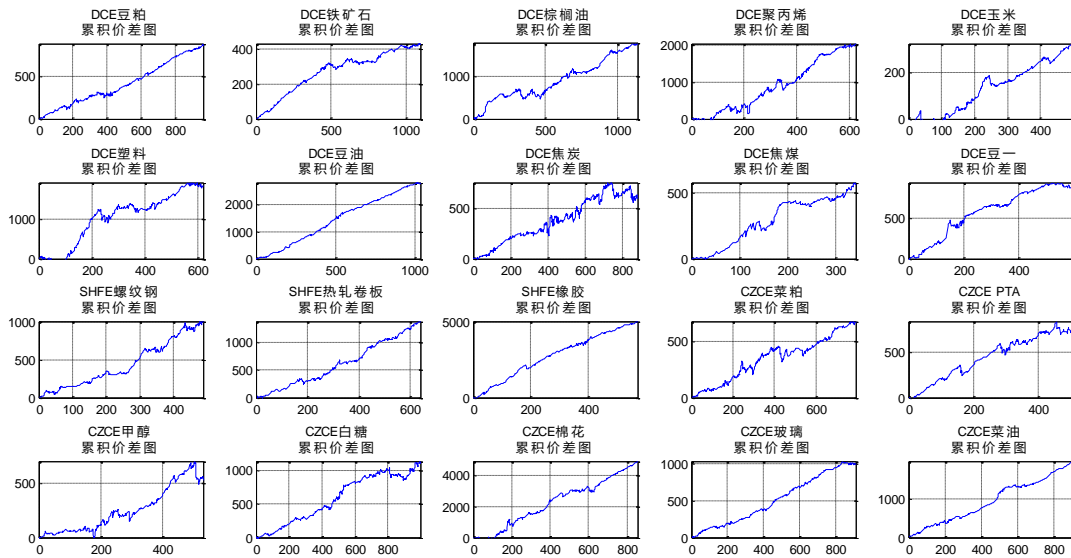


图 14 30 分钟频度下各品种累积价差图

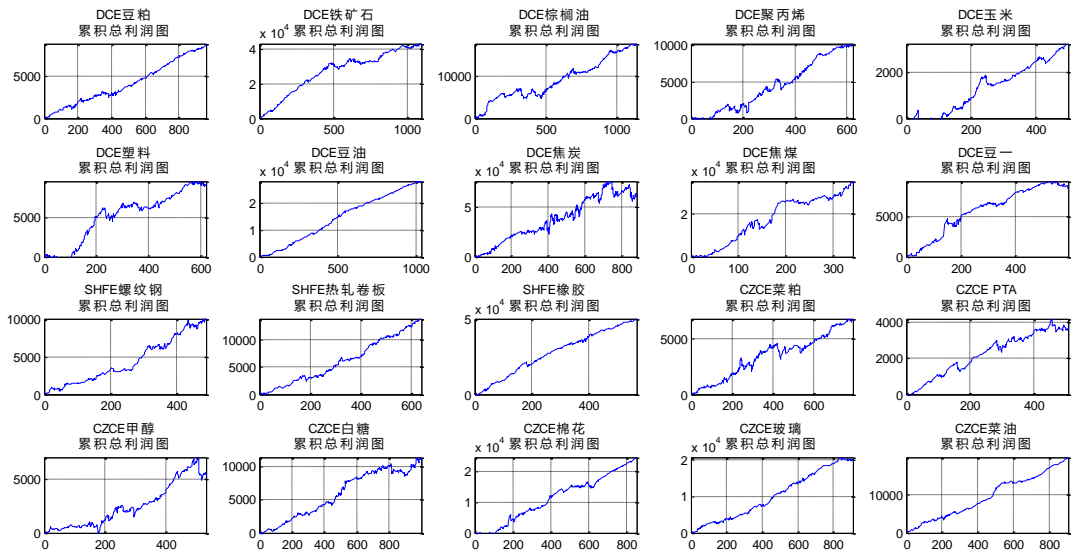


图 15 30 分钟频度下各品种累积总利润图

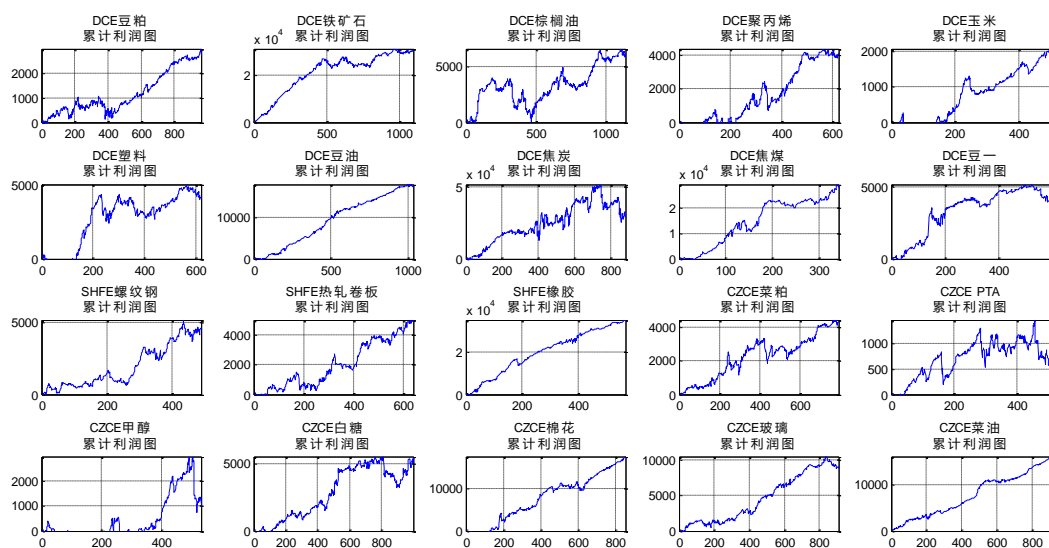


图 16 30 分钟频度下各品种累积净利润图

综上所述,本文基于 Kalman 滤波的中高频跨期套利策略在所筛选的 20 个商品期货品种对上均取得正收益。虽然采用相同的参数优化方法,但是不同品种之间的表现的确存在差异。各合约在不同频度下表现排名大致类似,没有大幅度波动。综合而言,铁矿石期货对在各个频度表现均最为优异,这与其合约特性以及交易活跃度紧密相关。有关合约特性的解释将会在下一节稳健性检验中详细解释。另一方面,热轧卷板在较高频度上(1 分钟、5 分钟、15 分钟)表现较差,在 30 分钟频度上表现相对而言有所改善。而甲醇期货对在 15 分钟和 30 分钟频度上的表现较差。

二、同品种不同频度交易结果比较

表 10 列示了相同品种期货在不同时间频度情况下的表现,样本时间范围为 2016 年至 2017 年。更加详细的分年度结果可参见附录。

总体而言,随着时间频度的提高,由 30 分钟提升至 1 分钟,期货对的净收益提升,年化收益率也大幅度提升。仅热轧卷板在 30 分钟频度的表现比其在 15 分钟频度的表现更佳,且 30 分的年化收益率是 15 分钟频度下的两倍多。白糖品种在 30 分钟频度下净收益也比 15 分钟频度下更高,但是差距不大。

胜率方面,随着时间频度的降低,套利系统的交易胜率逐渐降低,但并不绝

对。例如螺纹钢和热轧卷板两个品种的期货对的胜率在四个时间频度下，基本上保持一致，表现为来回波动的情况。其他品种从整体上仍呈现下降趋势。

每笔交易平均回报率并未随着交易频度的下降而增大，相反，大部分品种会随着时间频度的下降而下降。值得注意的是，大部分品种的每笔交易平均回报率约为 1% 左右，这一方面与跨期套利策略本身对冲市场风险的策略属性有关，另一方面也与中高频交易的快进快出策略紧密联系。从而达到少量多次，稳定盈利的目的。

平均持仓时间方面，随着 1 分钟、5 分钟、15 分钟的时间间隔增大，各品种的平均持仓时间也有显著的增大。但是 30 分钟频度下，其持仓时间并没有持续增长，而是有所衰减。持仓时间过长，会导致风险的增大。而在套利交易中，标准残差信号长久未发出平仓信号，可能是由于均值回复过程长久未发生，残差一直在平仓阈值和开仓阈值之间游走，表现在实际价差之上，便是价差往不利方向震荡扩大。这种情况往往会造成较大的损失。

交易次数方面，各品种均随着时间频度的增加，交易机会逐步增加，且增加的倍数与时间频度增加倍数之间有一定的关联。

综上所述，随着时间频度的增加，各品种期货对的表现提升的原因主要有以下 4 点：（1）每次交易的胜率不断提升；（2）每次交易平均回报率不断提升；（3）平均持仓单位时间不断下降；（4）相同时间内，总交易次数不断提升。

表 10 同品种不同频度交易结果

	年化收			平均回	平均持	每月交	总交易	获利次	SR	IR	
	净收益	益率	胜率	报率	仓时间	易次数	次数	数			
豆粕											
1min	127146	47.40	0.77	0.01	1.45	1088.08	26114	20186	33.20	63.06	
5min	26192	2.75	0.69	0.01	1.53	277.83	6668	4602	19.37	69.66	
15min	6610	0.49	0.68	0.01	1.64	77.92	1870	1263	8.20	60.53	
30min	2702	0.19	0.65	0.01	1.55	40.13	963	622	6.04	57.19	
铁矿石											
1min	1043989	984.65	0.85	0.54	1.51	900.96	21623	18289	41.75	50.04	
5min	209007	21.78	0.74	0.44	1.68	221.83	5324	3951	31.00	67.43	
15min	69256	3.11	0.70	0.38	1.76	84.96	2039	1426	19.39	68.66	
30min	30551	1.07	0.66	0.32	1.69	45.71	1097	725	11.58	63.00	
棕榈油											
1min	306400	78.62	0.73	0.01	1.40	1117.08	26810	19686	34.31	58.85	
5min	56670	3.09	0.67	0.01	1.61	244.13	5859	3938	15.51	62.89	
15min	13090	0.49	0.65	0.01	1.72	87.38	2097	1357	7.37	57.82	
30min	6110	0.20	0.63	0.01	1.63	47.46	1139	713	5.02	51.27	
聚丙烯											
1min	97972	11.24	0.67	0.01	1.47	344.96	8279	5565	17.45	51.08	
5min	35202	2.41	0.66	0.01	1.58	113.96	2735	1814	14.23	62.73	
15min	7282	0.34	0.61	0.01	1.67	43.83	1052	645	4.81	44.19	
30min	4130	0.18	0.60	0.01	1.58	26.00	624	375	3.23	36.37	
玉米											
1min	115498	118.91	0.78	0.04	1.46	593.21	14237	11070	33.73	54.81	
5min	20635	3.94	0.70	0.03	1.56	125.92	3022	2127	15.72	66.48	
15min	2883	0.35	0.61	0.02	1.70	32.92	790	483	5.29	49.85	
30min	2052	0.23	0.61	0.02	1.65	20.79	499	304	4.31	44.97	
塑料											
1min	256226	79.64	0.74	0.01	1.38	565.75	13578	10031	34.33	61.94	
5min	39497	2.45	0.65	0.01	1.63	117.33	2816	1817	13.87	61.48	
15min	14663	0.65	0.67	0.01	1.75	43.29	1039	692	7.18	51.70	
30min	4198	0.14	0.59	0.01	1.59	25.79	619	368	4.21	48.02	
豆油											
1min	311800	61.65	0.76	0.01	1.33	1101.25	26430	20003	38.82	65.91	
5min	67820	3.46	0.71	0.02	1.45	214.25	5142	3676	20.91	70.49	
15min	27140	0.99	0.69	0.01	1.52	86.17	2068	1430	16.51	76.51	
30min	17590	0.59	0.70	0.02	1.45	43.21	1037	721	13.71	75.05	
焦炭											
1min	1544863	110.40	0.80	0.33	1.54	705.21	16925	13495	30.44	55.45	
5min	325660	5.32	0.75	0.32	1.59	155.13	3723	2804	17.06	61.61	
15min	38768	0.39	0.69	0.10	1.74	59.63	1431	992	4.35	43.44	
30min	28615	0.26	0.67	0.12	1.88	36.71	881	590	3.21	35.08	

(续下页)

表 10 同品种不同频度交易结果（续）

	净收益	年化收		平均回	平均持	每月交	总交易	获利次	SR	IR	
		益率	胜率	报率	仓时间	易次数	次数	数			
焦煤											
1min	722475	128.84	0.80	0.23	1.56	599.00	14376	11562	38.82	61.99	
5min	146380	5.05	0.73	0.19	1.61	147.54	3541	2575	15.54	57.34	
15min	43058	0.80	0.66	0.11	1.69	64.00	1536	1007	6.02	43.09	
30min	28072	0.50	0.65	0.32	1.66	14.25	342	224	6.64	50.97	
豆一											
1min	72380	8.14	0.73	0.01	1.50	636.25	15270	11156	21.61	64.46	
5min	22364	1.43	0.71	0.01	1.56	153.42	3682	2606	11.67	60.71	
15min	5110	0.25	0.69	0.01	1.63	54.79	1315	906	5.23	50.62	
30min	3560	0.15	0.62	0.01	1.62	24.79	595	366	5.97	59.61	
螺纹钢											
1min	56824	5.36	0.62	0.01	1.48	790.04	18961	11783	26.67	73.36	
5min	8485	0.50	0.61	0.01	1.63	119.00	2856	1749	8.78	64.63	
15min	5576	0.31	0.61	0.01	1.73	34.50	828	502	7.73	63.67	
30min	4538	0.23	0.62	0.02	1.79	20.38	489	304	5.80	55.03	
热轧卷板											
1min	61374	2.56	0.58	0.02	1.51	333.83	8012	4659	15.30	55.25	
5min	14151	0.65	0.60	0.01	1.62	92.96	2231	1336	11.19	66.97	
15min	2005	0.10	0.58	0.01	1.69	39.96	959	554	4.27	50.53	
30min	4921	0.24	0.62	0.01	1.55	26.63	639	394	5.45	52.25	
橡胶											
1min	1105627	49.22	0.76	0.01	1.37	1084.04	26017	19698	37.44	66.57	
5min	238493	2.93	0.72	0.01	1.47	227.25	5454	3921	24.90	80.64	
15min	75116	0.66	0.70	0.01	1.57	77.21	1853	1293	14.97	75.64	
30min	34747	0.26	0.72	0.02	1.55	23.75	570	408	14.17	82.25	
菜粕											
1min	225146	447.34	0.78	0.03	1.46	1089.50	26148	20272	40.70	55.10	
5min	41736	10.41	0.71	0.03	1.58	227.83	5468	3897	22.08	64.23	
15min	9781	1.13	0.67	0.02	1.67	72.63	1743	1175	7.40	47.13	
30min	4341	0.42	0.65	0.02	1.73	33.04	793	519	4.67	40.88	
PTA											
1min	114910	66.59	0.78	0.01	1.34	861.46	20675	16083	30.56	56.06	
5min	17864	2.18	0.72	0.01	1.40	156.08	3746	2682	17.58	72.34	
15min	3928	0.36	0.66	0.00	1.46	58.21	1397	926	10.39	73.44	
30min	646	0.05	0.69	0.00	1.58	21.21	509	349	5.15	59.23	
甲醇											
1min	101568	44.21	0.78	0.02	1.46	797.88	19149	14897	27.81	58.44	
5min	17248	1.89	0.70	0.01	1.60	184.96	4439	3096	9.31	50.74	
15min	3828	0.29	0.67	0.01	1.66	79.33	1904	1284	3.92	38.19	
30min	1006	0.05	0.68	0.01	1.74	22.21	533	363	2.07	27.37	

(续下页)

表 10 同品种不同频度交易结果（续）

	年化收			平均回	平均持	每月交	总交易	获利次	SR	IR	
	净收益	益率	胜率	报率	仓时间	易次数	次数	数			
白糖											
1min	118192	15.31	0.72	0.01	1.47	935.54	22453	16191	28.35	65.92	
5min	21470	1.11	0.64	0.01	1.49	245.00	5880	3778	16.31	73.56	
15min	4072	0.15	0.61	0.00	1.54	83.67	2008	1226	5.80	56.36	
30min	5442	0.21	0.61	0.01	1.64	41.58	998	610	6.18	56.21	
棉花											
1min	413243	186.50	0.74	0.02	1.42	723.38	17361	12887	34.08	52.96	
5min	94636	7.69	0.71	0.02	1.54	169.88	4077	2886	17.72	59.56	
15min	27357	1.31	0.66	0.01	1.67	66.21	1589	1050	5.69	37.95	
30min	17295	0.72	0.64	0.01	1.54	35.63	855	551	5.10	40.87	
玻璃											
1min	247968	276.25	0.80	0.07	1.53	881.08	21146	16894	44.22	58.10	
5min	57060	11.56	0.75	0.07	1.57	209.17	5020	3755	22.53	60.84	
15min	19172	1.67	0.70	0.06	1.63	75.58	1814	1261	5.22	29.90	
30min	8792	0.74	0.64	0.06	1.54	37.88	909	581	6.18	45.27	
菜油											
1min	404504	222.61	0.75	0.03	1.36	913.92	21934	16409	39.28	56.92	
5min	86308	8.18	0.71	0.03	1.44	188.67	4528	3228	26.31	67.53	
15min	31840	1.80	0.67	0.03	1.51	67.50	1620	1093	14.01	65.22	
30min	16184	0.76	0.66	0.03	1.44	37.67	904	598	12.72	73.32	

三、不同市场环境下交易结果比较

为了检验本策略在不同市场环境下的表现，截取了 2016 年至 2017 年内三段不同市场表现情况下的交易情况，对策略表现进行具体分析。如图 17 所示，本文选取了 wind 商品指数 CCFI 作为整体期货市场走势的参照^①。其中分别截取震荡行情、上涨行情和下跌行情三段行情，每段均为 60 个交易日，以利于对策略表现进行比较分析。具体时间段日期可参见表 11。

① Wind 商品指数 CCFI 是 Wind 公司编纂的国内期货市场的大盘指数，反映了国内商品市场的整体走势。



图 17 商品指数 CCFI 走势图

由图 17 可知，我国商品期货市场整体在震荡行情区间处于上下波动阶段，接近三个月的时间内，市场上下波动剧烈，区间初始和结束时指数点位相近。第二段持续下跌区间内，市场由高点一直持续下跌将近 3 个月的时间。第三段持续上涨区间，及牛市区间，市场从 6 月中旬起一直保持持续上涨态势，到 9 月初截止。

表 11 震荡市、牛市、熊市时间区间段

市场表现类型	时间段	交易日天数
震荡行情	2016.7.22-2016.10.24	60 天
持续下跌行情	2017.3.1-2017.5.26	60 天
持续上涨行情	2017.6.14-2017.9.5	60 天

表 12 展现了在 5 分钟时间频度下，三种市场行情趋势下，策略在各个期货全品种对上的具体表现。表 13 展现了根据 60 个交易日回测数据对净利润及胜率进行排名，三种行情下，各种排名的数量统计表。

首先对净利润指标进行分析。从表 13 可知，在震荡行情中，有 5 种期货品种表现最佳，9 种表现中等，6 种表现最差；在持续下跌行情中，有 8 中期货品种表现最佳，6 种期货品种表现一般，6 种期货品种表现最差；在持续上涨行情中，有 7 中期货品种表现最佳，有 5 种期货行情表现中等，有 8 种期货品种表现最差。可以发现，本文策略更适合在持续下跌的市场环境中（熊市）中进行套利，

在震荡市场中表现一般，而在持续上涨（牛市）行情中会出现两极分化的现象，有可能表现最佳，也有可能表现最差。但总体而言，其实各合约在三种市场行情中的表现差距不大，即使是表现最差的时间段，也能获得正收益。

接着，对胜率指标进行分析，可以发现，震荡行情中，有 9 种期货品种获得最高的胜率，中等胜率与最差胜率则分别为 6 种和 5 种。说明在震荡行情中，策略的信号精确度较高，能够提高品种的胜率。在持续下跌行情中，三种情况分配比较均匀，分别为 6 种、7 种和 7 种。而在持续上涨行情中，三种情况依此为 5 种、7 种和 8 种。说明在上涨行情中，策略信号的准确度下降，套利成功概率下降。

综合净收益指标和胜率指标分析，不难发现，本文策略在三种行情中的表现优劣排序为：持续下跌行情、震荡行情、持续上涨行情，但差距并不明显。

而其他指标，例如平均回报率、平均持仓时间、总交易次数等并未展现出明显的规律性。这也印证了本策略在三种不同的市场行情中，均能获得较为良好的表现，不会受到市场大环境的过多干扰。

表 12 不同市场环境下 5 分钟频度交易结果对比

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕										
震荡	1470	2.22	0.64	0.01	1.60	140.00	420	269	34.12	98.32
熊市	4312	6.51	0.72	0.01	1.53	327.67	983	704	51.11	156.44
牛市	3292	5.08	0.70	0.01	1.50	306.00	918	644	78.43	160.37
铁矿石										
震荡	23411	15.49	0.79	0.47	1.54	192.67	578	457	85.83	125.69
熊市	20933	11.65	0.69	0.26	1.66	268.33	805	556	63.94	145.85
牛市	26182	15.81	0.73	0.36	1.68	249.33	748	544	123.58	147.74
棕榈油										
震荡	4920	3.85	0.66	0.01	1.76	270.67	812	539	20.51	86.50
熊市	3040	2.36	0.64	0.00	1.62	334.67	1004	645	39.50	132.99
牛市	7300	5.87	0.68	0.01	1.57	260.67	782	529	57.06	129.25
聚丙烯										
震荡	4048	4.41	0.67	0.01	1.47	123.33	370	248	19.07	87.72
熊市	1572	1.65	0.65	0.00	1.68	107.67	323	209	43.27	128.42
牛市	1097	1.15	0.74	0.02	1.50	15.33	46	34	131.91	148.19
玉米										
震荡	2491	7.32	0.75	0.04	1.63	102.67	308	232	23.72	75.92
熊市	1733	4.51	0.69	0.03	1.60	92.67	278	191	59.45	149.32
牛市	4186	10.58	0.74	0.03	1.60	193.67	581	429	56.73	139.30
塑料										
震荡	7869	7.64	0.65	0.01	1.52	152.33	457	298	18.63	78.87
熊市	3369	3.19	0.63	0.01	1.73	102.33	307	194	36.72	142.39
牛市	4400	4.00	0.68	0.01	1.56	75.00	225	154	46.07	135.48
豆油										
震荡	10060	6.85	0.75	0.03	1.44	152.00	456	341	17.86	73.09
熊市	8600	6.02	0.68	0.01	1.43	300.67	902	615	79.74	171.02
牛市	5610	3.94	0.71	0.01	1.39	153.00	459	325	126.37	139.14
焦炭										
震荡	36711	7.82	0.77	0.34	1.60	130.67	392	302	34.84	98.58
熊市	39857	6.03	0.77	0.42	1.42	81.00	243	188	45.56	138.02
牛市	29764	4.20	0.75	0.46	1.52	51.67	155	116	64.64	125.42
焦煤										
震荡	13862	6.97	0.70	0.17	1.71	127.33	382	269	27.37	91.73
熊市	17974	6.26	0.75	0.19	1.58	106.67	320	239	35.69	123.48
牛市	7636	2.65	0.69	0.11	1.74	88.67	266	184	50.42	128.28
豆一										
震荡	2418	2.81	0.83	0.03	1.32	46.33	139	115	22.42	93.80
熊市	2156	2.43	0.74	0.01	1.53	121.00	363	268	28.96	131.71
牛市	2062	2.29	0.70	0.01	1.58	183.67	551	387	34.18	124.80

(续下页)

表 12 不同市场环境下 5 分钟频度交易结果对比 (续)

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
螺纹钢										
震荡	1273	1.86	0.63	0.01	1.66	194.67	584	366	8.44	73.36
熊市	1387	1.44	0.58	0.01	1.72	122.33	367	212	9.25	75.18
牛市	8	0.01	0.49	0.00	1.74	88.00	264	130	9.76	72.95
热轧卷板										
震荡	439	0.59	0.56	0.01	1.45	45.00	135	75	16.37	98.38
熊市	1732	1.96	0.58	0.03	1.50	46.33	139	81	23.81	124.52
牛市	1174	1.21	0.67	0.02	1.64	41.00	123	83	39.62	125.72
橡胶										
震荡	20481	3.97	0.68	0.01	1.60	268.67	806	550	26.24	91.77
熊市	35720	5.43	0.75	0.01	1.43	245.33	736	549	51.99	154.93
牛市	19881	3.43	0.67	0.01	1.55	208.00	624	415	52.20	134.54
菜粕										
震荡	4341	9.36	0.68	0.03	1.65	187.67	563	382	19.50	65.63
熊市	5801	12.17	0.78	0.04	1.48	167.67	503	394	63.77	143.52
牛市	5580	12.48	0.69	0.02	1.56	316.67	950	652	69.26	150.32
PTA										
震荡	1478	3.11	0.73	0.01	1.34	89.00	267	196	33.63	100.80
熊市	2920	5.80	0.77	0.01	1.25	191.67	575	443	58.05	158.88
牛市	3418	6.67	0.68	0.01	1.42	315.67	947	640	26.69	109.64
甲醇										
震荡	826	1.76	0.68	0.01	1.54	176.00	528	359	17.53	83.44
熊市	2586	4.47	0.69	0.01	1.66	254.33	763	524	11.16	65.20
牛市	4058	6.83	0.71	0.02	1.55	216.33	649	464	16.82	98.49
白糖										
震荡	3434	3.34	0.69	0.01	1.47	180.33	541	375	25.43	106.07
熊市	2282	2.06	0.65	0.01	1.62	134.33	403	261	21.73	110.61
牛市	666	0.63	0.61	0.00	1.56	361.33	1084	663	17.49	93.51
棉花										
震荡	10383	8.65	0.78	0.03	1.41	93.67	281	220	38.41	95.52
熊市	5816	4.41	0.72	0.01	1.48	94.33	283	204	94.56	167.50
牛市	14015	11.10	0.68	0.01	1.62	262.00	786	533	49.61	117.20
玻璃										
震荡	2744	5.22	0.70	0.02	1.64	242.67	728	512	21.57	64.10
熊市	7364	12.46	0.79	0.08	1.58	174.33	523	411	62.63	128.96
牛市	5512	8.62	0.74	0.07	1.60	134.67	404	300	102.09	153.77
菜油										
震荡	12596	12.05	0.75	0.04	1.37	187.00	561	422	34.97	95.48
熊市	10812	10.19	0.66	0.02	1.53	270.67	812	535	54.04	130.98
牛市	15420	13.89	0.72	0.03	1.42	276.67	830	594	82.45	132.34

表 13 三种行情下净利润排名统计

	震荡行情	持续下跌行情	持续上涨行情
净利润			
表现最优	5	8	7
表现中等	9	6	5
表现最差	6	6	8
胜率			
表现最优	9	6	5
表现中等	6	7	7
表现最差	5	7	8

第二节 稳健性探讨

一、交易费用影响

对中高频交易获取高额收益造成最大阻碍的便是交易费用。由于中高频交易遵从每次少量盈利且多次交易的思想,这种策略思想虽然很好地规避了市场行情变化所带来的冲击(如上一节所述),但是却面临着高额交易费用对盈利的削弱效应。本小节将考察各个期货品种对其交易费用的敏感程度以及在目前盈利情况下,所能承受的最高交易费用。

期货交易费用目前有两种标准,一种是固定费用制度,例如每手豆粕合约交易费用为 1.5 元;另一种为比例制度,按照交易合约的面值的固定比例收取交易费用,例如螺纹钢期货合约的交易费用为交易额的万分之一。对于第二种类型的交易费用,本文采用回测结果中的所有交易价格数据,获取平均价格,并乘以费率以求得该品种的平均交易成本。

如表 14 所示,列示了各品种对交易费用的敏感程度。第(1)列显示的是各期货合约每次的交易费用除以其最小变动价格。例如豆粕合约的交易费用为每手 1.5 元,最小变动价格为 1 人民币/吨,合约乘数为 10,那么其值为 $1.5/(1*10)=0.15$ 。

第(1)列显示了每次交易,至少需要获取的最小价格变动单位,即盈亏平衡点。由于跨期套利策略每完成一次完整交易需要进行4次交易,因此,其值应该为第一列结果的4倍(不考虑部分期货合约存在平今免费的情况)。

为了更加清楚地分析交易费用对结果的影响,第(2)列显示了最小变动价格与交易费用的比。从结果可以发现,20个品种中,有15个品种的最小变动价格/交易费用大于4,说明只需在交易中获得一个正向的最小变动价格,此次套利交易便可盈利。其中,铁矿石期货与塑料期货的比值均达到了10以上,这也从另一个角度解释了铁矿石期货与塑料期货在表现较为良好的原因。而另外5个品种的比值低于4,分别为聚丙烯、热轧卷板、PTA、白糖、螺纹钢,说明需要获得超过1个最小变动价格才能盈利。聚丙烯的最小变动价格交易费用比最小,仅为2.12,需要获得至少两个最小变动价格才能盈利,盈利难度较大。热轧卷板排名倒数第二,其最小变动价格交易费用比为2.94。这也和第一节所示的结果相吻合,热轧卷板和聚丙烯的表现相对其他品种较差。

表14第(3)列为目前净利润水平下个品种在4中时间频度下所能承受的所有交易费用的倍数,衡量各品种期货的交易费用承受能力。采用净利润计算,便于理解每个期货品种所能承受的额外交易费用倍数。从表中可知,虽然随着时间频度的降低,各品种的总交易次数逐渐下降,但是净利润的下降幅度更快。总体而言,净利润与总交易费用比会随着时间频度的降低而降低。当然,个别品种存在特殊性。例如螺纹钢、热轧卷板、橡胶品种等均存在时间频度较低反而比率较高的现象。说明这些品种在低频度进行交易有更大的盈利空间及安全边际。

纵向比较而言,铁矿石、塑料、焦煤、菜油在4个频度上均保持较高的净利润总交易费用比,说明这些品种非常适宜进行跨期套利策略交易,且其净利润受交易费用冲击的较小。而焦炭品种在1分钟、5分钟频度上的净利润总交易费用比非常高,但是在15分钟和30分钟频度上该比率下降幅度非常大,说明该品种较为适合在1分钟和5分钟频度下进行套利交易,在15分钟和30分钟频度下,交易费用会对盈利造成较大的阻碍。另一方面,豆粕、棕榈油、豆一、热轧卷板、PTA、甲醇和白糖品种在4个时间频度下的净利润与总交易费用比均低于1,说

明其受到交易费用的影响非常大。一旦这些品种的交易费用提高,这些品种对的套利策略有可能将会失效。

综合而言,交易费用对本策略的影响将是不可避免的。在目前的交易费用情况下(交易所 2018 年 1 月公布的最新交易费用),本策略能够在这 20 个品种上达到盈利,但不同品种对交易费用的承受能力差距加大。15 个品种只需获得一个最小价格变动即可盈利,而另外 5 个品种需要达到 2 个最小价格变动才可盈利,盈利难度较大。且随着时间频度的降低,大体上其交易费用安全边际会下降,但个别品种在低频度表现优于高频度。

表 14 交易费用影响

	(1)	(2)	(3) 净利润/(4*交易次数*交易费用)			
	交易费/最小变动价格	最小变动价格/交易费用	1 分钟频度	5 分钟频度	15 分钟频度	30 分钟频度
豆粕	0.15	6.67	0.81	0.65	0.59	0.47
铁矿石	0.06	17.94	4.33	3.43	2.94	2.41
棕榈油	0.13	8.00	1.14	0.97	0.62	0.54
聚丙烯	0.47	2.12	1.26	1.34	0.72	0.69
玉米	0.12	8.33	1.69	1.42	0.76	0.86
塑料	0.08	12.50	2.36	1.75	1.76	0.85
豆油	0.13	8.00	1.18	1.32	1.31	1.70
焦炭	0.15	6.60	3.01	2.73	0.77	0.90
焦煤	0.11	9.11	3.81	3.02	1.90	5.08
豆一	0.20	5.00	0.59	0.76	0.49	0.75
螺纹钢	0.27	3.66	0.27	0.28	0.62	0.82
热轧卷板	0.34	2.94	0.56	0.45	0.15	0.56
橡胶	0.12	8.03	1.71	1.73	1.60	2.23
菜粕	0.15	6.67	1.44	1.27	0.94	0.91
PTA	0.30	3.33	0.46	0.40	0.23	0.11
甲醇	0.20	5.00	0.66	0.49	0.25	0.24
白糖	0.30	3.33	0.44	0.30	0.17	0.45
棉花	0.17	5.81	1.38	1.35	1.00	1.18
玻璃	0.15	6.67	0.98	0.95	0.88	0.81
菜油	0.20	5.00	2.31	2.38	2.46	2.24

二、交易滑点影响

如第二章所述,高频交易必须考虑对市场的冲击造成的冲击成本,及所谓的

交易滑点。交易滑点是指由于市场流动性不足，导致不能够按照所需的价格成交报单，而导致最终成交价格与目标价格之间存在微小差距的情况。与交易费用类似，良好的交易策略必须考虑交易滑点的存在。

就目前的研究表明，克服交易滑点对量化套利策略盈利削弱的思路主要有两个。第一是通过提高交易下单速度，运用高速计算机与网络服务，以最快的速度进行下单，按照交易所“价格优先、时间优先”的撮合规则，获得最优交易价格，从而减少交易滑点的发生。这种思路对硬件要求较高，且不再本文讨论范围之内。第二种思路是提高交易策略的盈利能力，一方面提高每次交易盈利，另一方面优化下单策略，提高成功率。本小节将先对滑点数对本策略盈利影响进行分析，下一小节将对下单策略进行具体分析。

表 15 列示了目前净盈利所能承受的最大滑点数。其计算公式为：净盈利/(合约乘数*最小价格变动*总交易次数)。在 1 分钟频度下，有四个品种的期货对其最大可承受滑点数超过 1，从高到低分别为聚丙烯、焦炭、菜油、焦煤。这四个品种对能够承受每次交易，价差在不利方向变动 1-2 个最小变动价格。聚丙烯品种所能承担的最大滑点数最大，为 2.37 个。这主要是由于聚丙烯品种最小变动价格为 1 元/吨，合约乘数为 5，也就是每次变动合约价值仅变化 5 元，是 20 个品种中变化最小的，可参见表 16。也是因为这一缘由，在表 14 第（2）列中可以发现聚丙烯期货品种的最小变动价格/交易费用值最小。当合约的最小变动价格对合约价值影响较小时，会直接导致两个结果，一方面是其交易费用对盈利冲击会增大，另一方面是该品种合约可以承受更多的交易滑点数。与之相对，每单位最小价格变动引起合约总价值变动最大的品种为铁矿石，焦炭和橡胶品种，均为 50 元。这一方面导致其更容易获得盈利（相对于交易成本而言，策略交易胜率更高），另一方面也导致每一次交易出现滑点，带来的损失也越大。而最终的交易结果是两个因素综合作用后的结果。另一方面，低于 0.5 的品种有豆粕、豆一和螺纹钢三个品种，这三个品种每单位价格变动所引起的合约总价值变动均为 10 元，但是由于其盈利能力较弱，因此净盈利/(合约乘数*最小价格变动*总交易次数)的比例值偏小。

横向比较来看,随着时间频度的下降,总体上平均利润滑点比呈现逐步下降的趋势。在实际交易中,这也较为符合实盘操作的规律。随着时间频度的增大,交易下单后所能给予的撮合成交时间区间较短,以1分钟频度为例,至多30秒时间内必须成交或者放弃此次交易机会。因此,在这种情况下其交易滑点出现的概率较大。而在30分钟频度下,能够给予定价单等待潜在交易对手方的时间更长,及时是设定的成交手数较大,依旧可以完成成交。在这种情况下,其出现交易滑点的概率较小。

表 15 最大可承受滑点数

	1 分钟频度	5 分钟频度	15 分钟频度	30 分钟频度
豆粕	0.49	0.39	0.35	0.28
铁矿石	0.97	0.79	0.68	0.56
棕榈油	0.57	0.48	0.31	0.27
聚丙烯	2.37	2.57	1.38	1.32
玉米	0.81	0.68	0.36	0.41
塑料	0.75	0.56	0.56	0.27
豆油	0.59	0.66	0.66	0.85
焦炭	1.83	1.75	0.54	0.65
焦煤	1.68	1.38	0.93	2.74
豆一	0.47	0.61	0.39	0.60
螺纹钢	0.30	0.30	0.67	0.93
热轧卷板	0.77	0.63	0.21	0.77
橡胶	0.85	0.87	0.81	1.22
菜粕	0.86	0.76	0.56	0.55
PTA	0.56	0.48	0.28	0.13
甲醇	0.53	0.39	0.20	0.19
白糖	0.53	0.37	0.20	0.55
棉花	0.95	0.93	0.69	0.81
玻璃	0.59	0.57	0.53	0.48
菜油	1.84	1.91	1.97	1.79

表 16 最小价格变动引起合约价值变动

期货简称	最小变动价位	合约乘数	价格变动（元）
豆粕	1 人民币元/吨	10.00	10.00
铁矿石	0.5 人民币元/吨	100.00	50.00
棕榈油	2 人民币元/吨	10.00	20.00
聚丙烯	1 人民币元/吨	5.00	5.00
玉米	1 人民币元/吨	10.00	10.00
塑料	5 人民币元/吨	5.00	25.00
豆油	2 人民币元/吨	10.00	20.00
焦炭	0.5 人民币元/吨	100.00	50.00
焦煤	0.5 人民币元/吨	60.00	30.00
豆一	1 人民币元/吨	10.00	10.00
螺纹钢	1 人民币元/吨	10.00	10.00
热轧卷板	1 人民币元/吨	10.00	10.00
橡胶	5 人民币元/吨	10.00	50.00
菜粕	1 人民币元/吨	10.00	10.00
PTA	2 人民币元/吨	5.00	10.00
甲醇	1 人民币元/吨	10.00	10.00
白糖	1 人民币元/吨	10.00	10.00
棉花	5 人民币元/吨	5.00	25.00
玻璃	1 人民币元/吨	20.00	20.00
菜油	1 人民币元/吨	10.00	10.00

三、单脚成交问题探讨

进行跨期套利交易时，在捕捉到合适的交易机会后，需要及时通过交易系统进行精准的下单，以获得预期的价差。然而，由于标的产品流动性的问题，以及下单价格可能导致的市场冲击效应，并不总是能够成功获得需要的价差组合。对于跨期套利组合而言，主力合约与次主力合约的交易活跃度有所区别，次主力合约的价格波动与交易量普遍低于主力合约。因此，次主力合约的合约单较难成交，导致单脚成交现象的出现。而本文研究中高频期货跨期套利策略所追求的“少量多次”目标，会因为交易的不成功而削弱盈利能力。为此，本小节将对期货跨期套利策略的实际交易下单策略进行研究，力求探索最有利于提高策略盈利能力的下单步骤。

大连商品交易所为部分其上市的商品期货品种提供了现成的跨期套利价差

合约（豆粕、铁矿石、棕榈油、聚丙烯、玉米、塑料、豆油、焦炭、焦煤、豆一），因此，对这些品种进行交易时，可以防止单脚成交现象——即仅一个合约顺利成交的现象。而上海期货交易所和郑州商品交易所均未提供成对的期货跨期价差合约，因此，仍需要通过对下单流程进行优化。随着各大期货交易所纷纷引入做市商制度，一些不太活跃的月份的合约，未来也能够具有一定的活跃度，将会大大改善期货跨期套利策略的可实施性。

具体而言，图 18 以卖出一个价差为例，具体阐述了优化后的期货跨期套利交易下单策略及后续止损策略。卖出一个价差组合，其相当于卖出远期合约，买入近期合约，按照本文的规则，即卖出次主力合约，买入主力合约各 N 手。当交易系统给出卖空价差信号后，可按照信号给出的价格下定价单。等待 30 秒（根据具体交易频度的不同，可适当调整等待时间）后，检查合约成交情况。若如情况①所示，两合约均有成交并持仓，判断其具体持仓数量。若两合约均完全成交，则顺利完成此价差的建仓任务。若没有完全成交，说明有 1 个或两个合约只成交了部分。此时，撤销原单，以两合约中成交手数较多的合约为标准，补齐另一合约。此时，以该合约市场价格下单，补齐缺失手数。再等待 30 秒后，再次查询新报单是否交易成功。若完全成交，则建仓完毕，若仍只有部分成交或未成交，则获取现有两合约具体持仓手数，判断持仓手数较少的合约目前市场价格与最初构成价差的价格之间的差距是否符合要求：即是否在此品种平均每次交易能够承受的最大滑点数的范围之内。如果仍旧能够承受，则以市价单建仓。如果不在承受范围之内，可将多余头寸平仓。

若在初始下单后 30 秒检查成交情况后，发现仅有一个合约持仓，或均无持仓。那么当仅有一个合约有持仓时，比较没有持仓的合约现价与原下单价格之间的差值是否在不利的方向上小于或等于该品种的最大交易滑点承受度。若仍旧在可承受的范围之内，判断已建仓合约的持仓数量 X 与原单数量 N 之间的关系，若少于 $N/3$ ，则对已建仓合约进行平仓处理。若大于 $N/3$ ，则以最新价报定价单，数量为已建仓合约的持仓数量。接下去的流程将与情况①下的操作类似，再等待 30 秒后，判断新订单是否完全成交，成交则完成交易。未完全成交，则继续根据

不同情况进行后续操作。当两个合约在第一次下单后 30 秒内均无成交，则可以撤销原单，放弃此次套利机会。

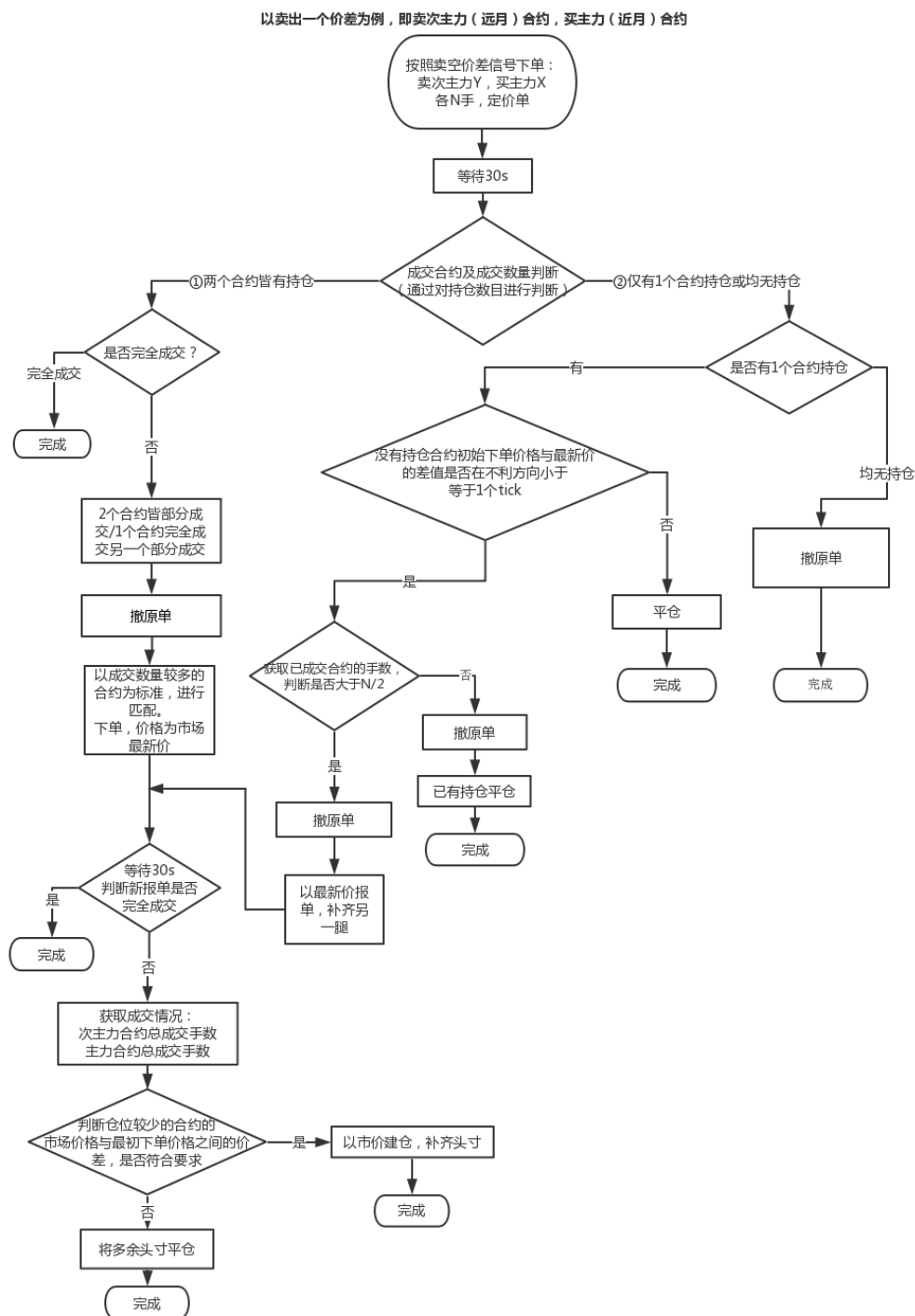


图 18 建仓下单流程优化图

当进行平仓下单时，其基本思路与建仓下单流程类似，也是在提交平仓单后

等待 30 秒，然后根据不同的成交情况进行判断，参见图 19。但步骤更加简单。30 秒后，检查平仓结果，一般分为三种情况：（1）成功按照指定价格完成平仓；（2）仅一种合约全部完成平仓；（3）两个合约都未完全平仓。第（1）种情况即完成平仓交易。第（2）种情况下，另一合约调整一个最小价格变动，重新下单，等待成交。第（3）种情况，以剩余数量较少的合约为准，重新设定价差（同方向变动一个最小价格变动），重新下单。剩余手数较多的合约，多余的合约可以按照一个滑点的价格重新下单。

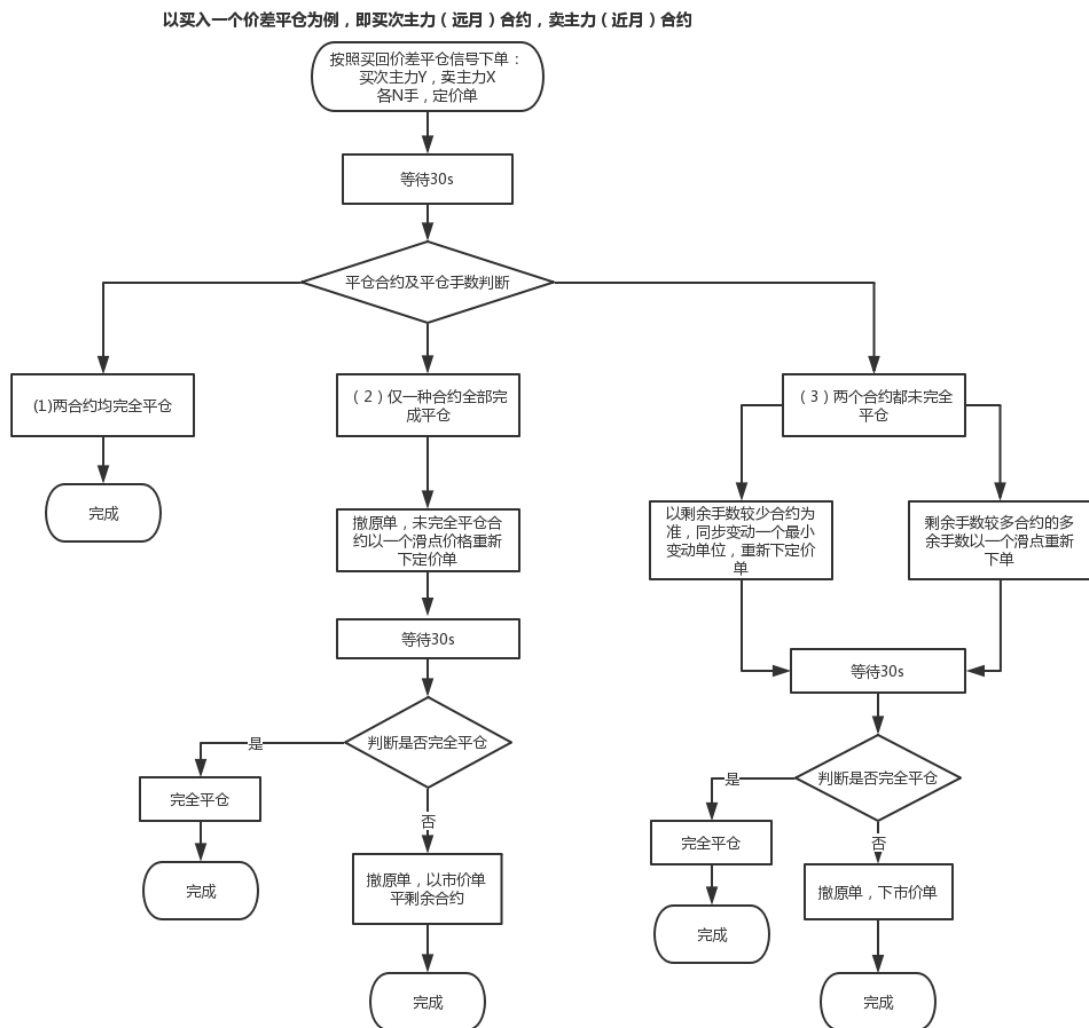


图 19 平仓下单流程优化图

第六章 结论及研究展望

第一节 研究结论

本文基于我国商品期货市场，从期货套利交易策略入手，研究中高频商品期货跨期套利策略。以往研究的中高频交易策略往往集中于金融期货或者是单边策略。本文首次将中高频交易技术应用于跨期套利策略之上，并在我国商品期货市场上进行实证检验。此外，不同于以往传统的套利策略，运用无套利区间原理或者 O-U 过程进行信号的生成，本文采用 Kalman 滤波方式生成时变性系数，并根据计算得到的标准残差获得交易信号。交易策略方面，设定开平仓阈值，以及对应的止损方案，并通过样本内数据进行参数优化，并用样本外数据进行实证回测。实证结果证明跨期套利策略在 20 个商品期货对品种的 4 个时间频度上均取得了良好的正收益，说明本策略具有较强的普适性及有效性。

对于实证检验样本的选择，本文首先从交易活跃度、主力合约与次主力合约更迭规则角度对 48 个合约进行筛选，然后进行协整检验与 O-U 过程回复强度检验，最后筛选得到的 20 个品种期货对。选择其 2016 年至 2017 年的 1 分钟、5 分钟、15 分钟和 30 分钟频度数据为样本进行实证回测。

文章通过构建回测系统，对实证结果进行详尽的分析。从同频度不同品种角度分析，各品种期货对的表现较大，其中铁矿石在各个频度上表现均最优，获得最大的年化收益率及胜率，热轧卷板表现较为差劲。这种现象的出现，与各品种期货合约的合约参数关系密切。从同品种不同频度角度分析，随着时间频度的增加，各品种期货对的综合表现总体上提升，其主要原因为：（1）交易胜率不断提升；（2）每次交易平均回报率不断提升；（3）平均持仓单位时间不断下降；（4）相同时间内，总交易次数不断提升。从不同市场环境角度分析，本策略在震荡行情、持续上涨行情和持续下跌行情中，均能获得较为良好的表现，不会受到市场大环境的过多干扰。但是相比较而言，策略更适合在持续下跌的市场环境中（熊市）中进行套利，在震荡市场中表现一般，而在持续上涨（牛市）行情中会出现

两极分化的现象。

此外，针对交易费用、交易滑点等问题，进行稳健性分析。发现合约最小价格变动对策略的表现有两个相反的作用。一方面，最小价格变动越大，其为了抵消交易费用所需要获得的有利最小价格变动单位就越少，即交易越容易获得正的收益。另一方面，最小价格变动越大，说明若出现交易滑点现象，其所带来的损失也越大，会对盈利有较大的削弱作用。

最后，针对跨期套利交易特有的单脚成交问题，本文对传统的下单流程进行了优化，考虑到各种可能出现的情况，给出了改进后的建仓下单和平仓下单流程，以保证最大程度上以较少的交易滑点完成合约单的成交。

本文从各个角度对基于商品期货的中高频跨期套利策略进行完善与提升，以求最大限度提高策略的盈利表现以及可复制性。本文目前呈现的策略方案较为完善且具有实际操作意义，能够为后续研究者及业界从业人员提供一定的研究思路 and 方向。

第二节 研究展望

就目前本文研究而言，在以下几个方向，仍有需要改进与继续深入研究的需要：

首先，本文目前仅采用历史数据进行实证回测，尚未进行模拟盘交易验证。历史数据回测能够在一定程度上证明策略的有效性。但是历史回测结果可能会存在过度优化等问题，导致结果的不可信。运用模拟盘交易数据，以检测套利策略表现及下单优化流程的有效性将更具有说服力。

其次，从本文实证研究结果可知，虽然跨期套利策略在三种不同的市场行情中均可取得正收益，且表现差距不大。但是的确存在在持续下跌行情中表现更优的情况。因此，可以尝试在基础 Kalman 滤波期货跨期套利策略的基础之上，叠加一个趋势行情指示性指标。当趋势行情指示性指标显示出现特定的有利趋势行情时，开始交易。以此提升本策略的表现，降低可能的损失。

最后，本文未能够结合下单价格与市场实时买卖挂单量等信息综合建立一套

成交价模型：即根据市场上买卖价挂单情况（价格及数量），分析最优可能成交的价格，并下单的系统。中高频套利交易遵循“少量多次”的原则进行交易，因此对价格十分敏感。过多的交易滑点会侵吞策略盈利。除了通过对下单步骤的优化外，还可以根据盘口信息对下单价格进行优化。这种优化思路将在未来的研究中进一步完善。

参考文献

- [1]蔡艳萍, 杨招军. 回报率的滤波与极大似然估计[J]. 系统工程理论与实践, 2007(12): 139–144.
- [2]曹广福, 路群. Kalman 滤波在股票交易模型中的应用[J]. 松辽学刊(自然科学版), 1999(04): 9–12.
- [3]陈百硕等. 天气衍生品中时变均值回复的气温预测模型研究[J]. 管理工程学报, 2014(02): 145–150.
- [4]池丽旭等. 投资者情绪指标与股票市场——基于扩展卡尔曼滤波方法的研究[J]. 管理工程学报, 2012(03): 122–128+165.
- [5]仇中群, 程希骏. 基于协整的股指期货跨期套利策略模型[J]. 系统工程, 2008(12): 26–29.
- [6]董乐. 我国短期利率均值回复假设的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2006(11): 151–160.
- [7]郭哲琦. 基于高频数据的统计套利策略分析及实证研究[D]. 山东大学, 2016.
- [8]何树红等. 基于 GARCH 模型的股指期货协整跨期套利实证研究[J]. 数学的实践与认识, 2013(20): 274–279.
- [9]金瑶, 蔡之华. 基于 AR 模型的 Kalman 滤波在股票价格预测中的应用[J]. 统计与决策, 2013(06): 80–82.
- [10]景楠, 王彤. 商品期货市场跨期套利研究[J]. 统计与决策, 2012(11): 171–174.
- [11]雷井生, 林莎. 基于高频数据的统计套利策略及实证研究[J]. 科研管理, 2013(06): 138–145.
- [12]李传峰. 沪深 300 股指期货跨期套利实证研究——基于真实交易数据的计量分析[J]. 金融理论与实践, 2011(04): 92–96.
- [13]李乐等. 基于沪深 300 股指期货合约的日内高频跨期统计套利策略[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014(08): 1080–1086.
- [14]李梦花, 聂思玥. 人民币汇率的均值回复过程与局部非平稳性——基于

- SETAR 模型的实证研究[J]. 上海经济研究, 2014(09): 19–30.
- [15]李启才, 顾孟迪. 指数均值回复金融市场下的最优投资和最优再保险策略[J]. 管理工程学报, 2016(04): 79–84.
- [16]李世伟. 基于协整理论的沪深 300 股指期货跨期套利研究[J]. 中国计量学院学报, 2011(02): 198–202.
- [17]梁建峰, 徐小婷. 中国国债期货套利机会实证研究[J]. 中国管理科学, 2015(S1): 459–463.
- [18]刘永辉, 张帝. 基于协整-OU 过程的配对交易策略研究[J]. 管理评论, 2017(09): 28–36.
- [19]刘畅, 郑伟安. 成交价在高频交易中的分析与应用[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2013(6): 14–21.
- [20]刘海燕. 基于 O-U 过程的统计套利策略研究[D]. 浙江工商大学, 2011.
- [21]卢慰庭. 浅析美国市场中性策略基金对中国的启示[J]. 经贸实践, 2017(09): 62.
- [22]鹿屹, 刘杨. 基于 ou 过程的上证 50 期货与期权统计套利研究[J]. 财经界: 学术版, 2016(27).
- [23]宋福铁, 陈浪南. 卡尔曼滤波法模拟和预测沪市国债期限结构[J]. 管理科学, 2006(06): 81–88.
- [24]宋玉臣. 股票价格均值回归理论研究综述[J]. 税务与经济(长春税务学院学报), 2006(01): 73–74.
- [25]汤乐明, 肖明. 我国螺纹钢期货跨期套利研究——来自上海期货交易所数据分析[J]. 价格理论与实践, 2010(04): 69–70.
- [26]王蕾, 顾孟迪. 均值回复市场下的最优再保险与投资决策[J]. 上海交通大学学报, 2013(03): 438–443.
- [27]王美今, 陈锐. 有效市场就没有收益率的均值回复吗?——基于理性资产定价模型的研究[J]. 中山大学学报(社会科学版), 2010(06): 182–191.
- [28]闫琦. 中国国债期货高频跨期套利分析[D]. 山东大学, 2017.

- [29]杨晓光等. 市场中性策略简介[J]. 管理评论, 2004(09): 25–28+63.
- [30]叶峰等. 股指期货价格非线性均值回复特性实证研究[J]. 管理科学学报, 2003(05): 40–45.
- [31]张群. 沪深股市股价收益率均值回复实证研究[J]. 工业技术经济, 2010(09): 152–158.
- [32]周佰成, 王建飞. 基于 OU 过程的中房指数期权定价[J]. 管理世界, 2013(04): 176–177.
- [33]周惠来. Kalman 滤波在证券投资组合 VaR 计量中的应用[J]. 河南科学, 2008(02): 198–200.
- [34]周明华等. 基于动态均衡价差的股指期货的跨期套利研究[J]. 浙江工业大学学报, 2016(01): 111–118.
- [35]周洲密. 股指期货跨期套利的模型与方法——基于持有成本定价理论和均值回复理论[J]. 山西财经大学学报, 2012(S5): 10–11.
- [36]朱丽蓉等. 基于我国期货市场的跨期套利研究[J]. 运筹与管理, 2015(03): 179–188.
- [37]ALEXANDER C, DIMITRIU A. The Cointegration Alpha: Enhanced Index Tracking and Long-Short Equity Market Neutral Strategies[R]. ID 315619, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2002.
- [38]ANDRADE S 等. Understanding the profitability of pairs trading[J]. Unpublished working paper, UC Berkeley, Northwestern University, 2005.
- [39]BARNDORFF-NIELSEN O E, SHEPHARD N. Non-Gaussian Ornstein–Uhlenbeck-based models and some of their uses in financial economics[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 2001, 63(2): 167–241.
- [40]BENTH F E 等. A Non-Gaussian Ornstein–Uhlenbeck Process for Electricity Spot Price Modeling and Derivatives Pricing[J]. Applied Mathematical Finance, 2007, 14(2): 153–169.
- [41]BOWEN D A, HUTCHINSON M C. Pairs trading in the UK equity market: risk

- and return[J]. *The European Journal of Finance*, 2016, 22(14): 1363–1387.
- [42]BOWEN D 等. High frequency equity pairs trading: transaction costs, speed of execution and patterns in returns[J]. *Journal of Trading*, 2010, 5(3): 31–38.
- [43]CALDEIRA J, MOURA G V. Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy[J]. Available at SSRN 2196391, 2013.
- [44]CHEN H 等. Empirical investigation of an equity pairs trading strategy[J]. *Management Science*, 2017.
- [45]CHEN Y. An Empirical Study on Shfe Copper Futures Calendar Spread Arbitrage Based on Co-Integration Rule[J]. 第十一届全国经济管理院校工业技术学研究会论文集, 2012: 5.
- [46]CORNELL B, FRENCH K R. The pricing of stock index futures[J]. *Journal of Futures Markets*, 1983, 3(1): 1–14.
- [47]CUMMINS M, BUCCA A. Quantitative spread trading on crude oil and refined products markets[J]. *Quantitative Finance*, 2012, 12(12): 1857–1875.
- [48]DICKEY D A 等. A Primer on Cointegration with an Application to Money and Income[G]//Cointegration. Springer, 1994: 9–45.
- [49]DO B 等. A new approach to modeling and estimation for pairs trading[C]//Proceedings of 2006 Financial Management Association European Conference. Citeseer, 2006: 87–99.
- [50]DUNIS C L, HO R. Cointegration portfolios of European equities for index tracking and market neutral strategies[J]. *Journal of Asset Management*, 2005, 6(1): 33–52.
- [51]DUNIS C L 等. Modelling and trading the gasoline crack spread: A non-linear story[J]. *Derivatives Use, Trading & Regulation*, 2006, 12(1–2): 126–145.
- [52]DUNIS C, LEQUEUX P. Intraday data and hedging efficiency in interest spread trading[J]. *The European Journal of Finance*, 2000, 6(4): 332–352.
- [53]ELLIOTT R J 等. Pairs trading[J]. *Quantitative Finance*, 2005, 5(3): 271–276.

- [54]EMERY G W, LIU Q W. An analysis of the relationship between electricity and natural-gas futures prices[J]. *Journal of Futures Markets*, 2002, 22(2): 95–122.
- [55]ENGELBERG J 等. An anatomy of pairs trading: the role of idiosyncratic news, common information and liquidity[C]//Third Singapore International Conference on Finance. 2009.
- [56]ENGLE R F 等. Merging short-and long-run forecasts: An application of seasonal cointegration to monthly electricity sales forecasting[J]. *Journal of Econometrics*, 1989, 40(1): 45–62.
- [57]ENGLE R F, GRANGER C W J. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing[J]. *Econometrica*, 1987, 55(2): 251–276.
- [58]GATEV E 等. Pairs Trading: Performance of a Relative-Value Arbitrage Rule[J]. *Review of Financial Studies*, 2006, 19(3): 797–827.
- [59]GIRMA P B, PAULSON A S. Risk Arbitrage Opportunities in Petroleum Futures Spreads[J]. *Journal of Futures Markets*, 1999, 19(8): 931–955.
- [60]HENDERSON G. Fundamentals of Kalman Filtering: a Practical Approach—Third edition. Progress in Aeronautics and Astronautics series Vol. 232ZarchanP. and MusoffH. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1801 Alexander Bell Drive, Suite 500, Reston, VA 20191-4344, USA. 2009. Distributed by Transatlantic Publishers Group, Unit 242, 235 Earls Court Road, London, SW5 9FE, UK.(Tel: 020-7373 2515; e-mail:-richard@ tpgltd. co. uk). 853pp. Illustrated.\pounds 100.[10% discount available to RAeS members on request]. ISBN 978-1-60086-718-7.[J]. *The Aeronautical Journal*, 2010, 114(1152): 121–122.
- [61]HUCK N, AFAWUBO K. Pairs trading and selection methods: is cointegration superior?[J]. *Applied Economics*, 2015, 47(6): 599–613.
- [62]JACOBS H. What explains the dynamics of 100 anomalies?[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2015, 57: 65–85.
- [63]JACOBS H, WEBER M. On the determinants of pairs trading profitability[J].

Journal of Financial Markets, 2015, 23: 75–97.

[64]JOHANSEN S. Statistical analysis of cointegration vectors[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1988, 12(2): 231–254.

[65]JOHANSEN S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1991: 1551–1580.

[66]JOHANSEN S, JUSELIUS K. Identification of the long-run and the short-run structure an application to the ISLM model[J]. Journal of Econometrics, 1994, 63(1): 7–36.

[67]KALMAN R E. A new approach to linear filtering and prediction problems[J]. Journal of basic Engineering, 1960, 82(1): 35–45.

[68]KIM K. Performance analysis of pairs trading strategy utilizing high frequency data with an application to KOSPI 100 equities[J]. Available at SSRN 1913707, 2011.

[69]KRAUSS C. Statistical arbitrage pairs trading strategies: Review and outlook[J]. Journal of Economic Surveys, 2016.

[70]LINTILHAC P S, TOURIN A. Model-based pairs trading in the bitcoin markets[J]. Quantitative Finance, 2017, 17(5): 703–716.

[71]MACKINNON J G. Critical values for cointegration tests[M]. Department of Economics, University of California San Diego, 1990.

[72]MEUCCI A. Review of Statistical Arbitrage, Cointegration, and Multivariate Ornstein-Uhlenbeck[R]. ID 1404905, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2009.

[73]MUDCHANATONGSUK S 等. Optimal pairs trading: A stochastic control approach[C]//2008 American Control Conference. IEEE, 2008: 1035–1039.

[74]NATH P. High Frequency Pairs Trading with U.S. Treasury Securities: Risks and Rewards for Hedge Funds[R]. ID 565441, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2003.

- [75]NICHOLAS J G. Market neutral investing[M]. Bloomberg Press Princeton, NJ, 2000.
- [76]NICOLATO E, VENARDOS E. Option Pricing in Stochastic Volatility Models of the Ornstein-Uhlenbeck type[J]. Mathematical finance, 2003, 13(4): 445–466.
- [77]PAPADAKIS G, WYSOCKI P. Pairs trading and accounting information[J]. Boston University and MIT Working Paper, 2007.
- [78]RAD H 等. The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods[J]. Quantitative Finance, 2016, 16(10): 1541–1558.
- [79]SIMON D. Optimal state estimation: Kalman, H infinity, and nonlinear approaches[M]. John Wiley & Sons, 2006.
- [80]SIMON D P. The soybean crush spread: Empirical evidence and trading strategies[J]. Journal of Futures Markets, 1999, 19(3): 271–289.
- [81]VAN DER MERWE R, WAN E A. The square-root unscented Kalman filter for state and parameter-estimation[C]//Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings.(ICASSP'01). 2001 IEEE International Conference on. IEEE, 2001, 6: 3461–3464.
- [82]VIDYAMURTHY G. Pairs Trading: quantitative methods and analysis[M]. John Wiley & Sons, 2004, 217.
- [83]WANG Z, ZHENG W. High-Frequency Trading and Probability Theory[M]. World Scientific, 2014.
- [84]YANG H, YAN H. Comparative empirical study on the margin setting of stock index futures calendar spread trading[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(8): 132–138.
- [85]ZARCHAN P. Progress In Astronautics and Aeronautics: Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach[M]. Aiaa, 2005, 208.

附录

表 17 中国已上市商品期货品种

NO.	期货代码	交易品种	交易所	合约上市日
1	M.DCE	豆粕	大连商品交易所	2000-07-17
2	I.DCE	铁矿石	大连商品交易所	2013-10-18
3	P.DCE	棕榈油	大连商品交易所	2007-10-29
4	PP.DCE	聚丙烯	大连商品交易所	2014-02-28
5	C.DCE	黄玉米	大连商品交易所	2004-09-22
6	L.DCE	线型低密度聚乙烯	大连商品交易所	2007-07-31
7	Y.DCE	大豆原油	大连商品交易所	2006-01-09
8	CS.DCE	玉米淀粉	大连商品交易所	2014-12-19
9	J.DCE	冶金焦炭	大连商品交易所	2011-04-15
10	JM.DCE	焦煤	大连商品交易所	2013-03-22
11	A.DCE	黄大豆 1 号	大连商品交易所	1999-01-04
12	JD.DCE	鲜鸡蛋	大连商品交易所	2013-11-08
13	V.DCE	聚氯乙烯	大连商品交易所	2009-05-25
14	B.DCE	黄大豆 2 号	大连商品交易所	2004-12-22
15	FB.DCE	中密度纤维板	大连商品交易所	2013-12-06
16	BB.DCE	细木工板	大连商品交易所	2013-12-06
17	RB.SHF	螺纹钢	上海期货交易所	2009-03-27
18	BU.SHF	石油沥青	上海期货交易所	2013-10-09
19	NI.SHF	镍	上海期货交易所	2015-03-27
20	RU.SHF	天然橡胶	上海期货交易所	1995-05-16
21	AG.SHF	白银	上海期货交易所	2012-05-10
22	ZN.SHF	锌	上海期货交易所	2007-03-26
23	CU.SHF	阴极铜	上海期货交易所	1995-04-17
24	HC.SHF	热轧卷板	上海期货交易所	2014-03-21
25	AU.SHF	黄金	上海期货交易所	2008-01-09
26	AL.SHF	铝	上海期货交易所	1995-04-17
27	PB.SHF	铅	上海期货交易所	2011-03-24
28	SN.SHF	锡	上海期货交易所	2015-03-27
29	FU.SHF	燃料油	上海期货交易所	2004-08-25
30	WR.SHF	线材	上海期货交易所	2009-03-27
31	RM.CZC	菜籽粕	郑州商品交易所	2012-12-28
32	TA.CZC	精对苯二甲酸 (PTA)	郑州商品交易所	2006-12-18
33	MA.CZC	甲醇	郑州商品交易所	2014-06-17
34	SR.CZC	白砂糖	郑州商品交易所	2006-01-06

NO.	期货代码	交易品种	交易所	合约上市日
35	CF.CZC	一号棉花	郑州商品交易所	2004-06-01
36	FG.CZC	平板玻璃	郑州商品交易所	2012-12-03
37	ZC.CZC	动力煤	郑州商品交易所	2015-05-18
38	OI.CZC	菜籽油	郑州商品交易所	2012-07-16
39	WH.CZC	优质强筋小麦	郑州商品交易所	2012-07-24
40	SM.CZC	锰硅	郑州商品交易所	2014-08-08
41	SF.CZC	硅铁	郑州商品交易所	2014-08-08
42	RS.CZC	油菜籽	郑州商品交易所	2012-12-28
43	LR.CZC	晚籼稻	郑州商品交易所	2014-07-08
44	RI.CZC	早籼稻	郑州商品交易所	2012-07-24
45	JR.CZC	粳稻谷	郑州商品交易所	2013-11-18
46	PM.CZC	普通小麦	郑州商品交易所	2012-01-17
47	CY.CZC	棉纱	郑州商品交易所	2017-08-18
48	AP.CZC	鲜苹果	郑州商品交易所	2017-12-22

数据来源：三大交易所官网

表 18 2016 年 1 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	59824	40.38	0.73	0.01	1.50	1082.58	12991	9530	25.50	49.23
铁矿石	477672	949.13	0.87	0.64	1.48	763.92	9167	7937	32.22	39.04
棕榈油	148230	73.41	0.73	0.02	1.44	978.08	11737	8619	26.53	45.71
聚丙烯	54099	14.89	0.66	0.01	1.51	454.75	5457	3582	12.89	38.58
玉米	52408	87.98	0.72	0.03	1.51	588.92	7067	5099	25.70	42.27
塑料	118248	70.54	0.72	0.02	1.40	522.42	6269	4529	26.41	48.58
豆油	161160	66.27	0.74	0.01	1.37	1144.17	13730	10193	31.33	52.49
焦炭	924727	294.35	0.82	0.37	1.55	905.33	10864	8889	23.87	43.75
焦煤	357066	182.39	0.81	0.24	1.60	699.42	8393	6767	31.28	49.81
豆一	46646	13.95	0.73	0.01	1.50	743.58	8923	6486	16.46	50.37
螺纹钢	48657	23.02	0.69	0.01	1.47	1026.33	12316	8453	23.25	60.49
热轧卷板	46602	20.67	0.64	0.03	1.47	294.00	3528	2271	11.63	43.02
橡胶	585732	66.01	0.75	0.01	1.38	1102.25	13227	9944	30.72	53.59
菜粕	125625	607.47	0.76	0.03	1.46	1167.92	14015	10706	32.51	44.24
PTA	59400	73.58	0.81	0.01	1.27	725.42	8705	7049	23.30	43.35
甲醇	52116	60.83	0.78	0.02	1.46	968.58	11623	9055	21.23	45.46
白糖	68122	21.25	0.75	0.01	1.38	886.92	10643	7980	22.43	52.04
棉花	238266	317.88	0.72	0.02	1.47	856.42	10277	7388	26.72	41.54
玻璃	146124	567.76	0.80	0.07	1.54	1070.67	12848	10302	37.35	47.58
菜油	193116	202.25	0.74	0.03	1.40	853.42	10241	7568	30.65	44.66

表 19 2016 年 5 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	12668	2.64	0.68	0.01	1.59	245.17	2942	1993	14.38	53.22
铁矿石	106822	28.28	0.77	0.58	1.61	185.67	2228	1719	24.50	53.18
棕榈油	37030	4.81	0.68	0.02	1.63	244.42	2933	2007	11.56	48.38
聚丙烯	24476	4.34	0.67	0.01	1.58	144.67	1736	1169	10.62	48.44
玉米	8773	3.21	0.68	0.03	1.64	112.00	1344	916	11.39	50.61
塑料	24835	3.63	0.65	0.01	1.58	131.67	1580	1030	10.27	46.78
豆油	38810	4.23	0.72	0.02	1.48	189.25	2271	1645	15.62	54.45
焦炭	195480	10.83	0.79	0.39	1.58	184.42	2213	1745	13.00	47.97
焦煤	78000	7.16	0.72	0.21	1.60	163.83	1966	1420	11.62	43.63
豆一	13484	1.81	0.70	0.01	1.57	154.33	1852	1304	8.67	46.51
螺纹钢	5891	0.84	0.64	0.01	1.60	161.25	1935	1232	7.73	55.80
热轧卷板	11245	1.77	0.63	0.03	1.54	73.17	878	551	10.42	58.55
橡胶	131878	3.73	0.71	0.02	1.50	219.92	2639	1884	19.41	64.10
菜粕	23203	13.07	0.70	0.03	1.62	246.58	2959	2071	16.74	49.86
PTA	9754	2.74	0.77	0.01	1.29	96.33	1156	893	13.90	57.10
甲醇	7370	1.84	0.69	0.01	1.59	172.92	2075	1432	7.34	39.77
白糖	14366	1.72	0.66	0.01	1.43	266.17	3194	2110	14.69	61.32
棉花	61277	14.57	0.71	0.02	1.54	204.67	2456	1736	13.24	45.92
玻璃	31316	15.18	0.74	0.07	1.60	242.67	2912	2160	17.05	47.09
菜油	46848	10.07	0.72	0.03	1.45	189.00	2268	1629	20.51	52.82

表 20 2016 年 15 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	2558	0.39	0.65	0.01	1.69	86.00	1032	675	6.32	47.08
铁矿石	44544	5.28	0.73	0.55	1.68	81.92	983	715	16.20	55.62
棕榈油	5970	0.44	0.66	0.01	1.76	79.92	959	635	6.31	47.74
聚丙烯	5117	0.54	0.60	0.01	1.68	52.67	632	378	3.58	33.47
玉米	1372	0.34	0.59	0.01	1.75	39.17	470	276	3.84	37.16
塑料	7927	0.73	0.67	0.01	1.73	46.33	556	370	5.48	39.62
豆油	17380	1.36	0.69	0.02	1.53	91.33	1096	758	12.65	59.88
焦炭	26755	0.70	0.72	0.17	1.70	62.00	744	533	4.27	40.08
焦煤	13969	0.60	0.65	0.10	1.68	62.17	746	485	4.85	34.28
豆一	3046	0.31	0.69	0.01	1.68	47.33	568	393	4.31	42.02
螺纹钢	3357	0.43	0.61	0.02	1.82	41.58	499	305	7.24	55.75
热轧卷板	1500	0.19	0.60	0.01	1.66	29.00	348	209	4.52	48.32
橡胶	37481	0.72	0.69	0.01	1.61	74.42	893	616	12.62	61.10
菜粕	5660	1.38	0.68	0.02	1.72	75.83	910	615	5.59	35.97
PTA	3028	0.62	0.73	0.01	1.40	42.67	512	375	11.05	63.79
甲醇	3316	0.67	0.67	0.01	1.66	79.83	958	646	3.73	34.94
白糖	2556	0.24	0.62	0.00	1.55	91.58	1099	678	5.84	50.62
棉花	14840	1.60	0.63	0.01	1.68	67.92	815	511	4.13	27.82
玻璃	6052	0.81	0.68	0.04	1.67	74.92	899	612	3.79	21.82
菜油	17976	2.20	0.67	0.04	1.51	63.00	756	506	10.54	50.01

表 21 2016 年 30 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	436	0.07	0.60	0.00	1.58	37.00	444	267	5.05	46.67
铁矿石	22673	1.99	0.71	0.51	1.60	44.42	533	376	10.80	53.28
棕榈油	1850	0.12	0.63	0.00	1.68	42.08	505	316	4.45	43.95
聚丙烯	985	0.08	0.57	0.00	1.59	29.33	352	201	2.56	28.78
玉米	892	0.21	0.59	0.02	1.70	21.08	253	150	3.27	34.27
塑料	3802	0.27	0.60	0.01	1.58	25.50	306	185	3.36	38.50
豆油	11060	0.77	0.70	0.02	1.46	45.67	548	382	10.59	58.46
焦炭	23549	0.54	0.68	0.22	1.80	38.42	461	314	3.15	33.92
焦煤	11820	0.48	0.67	0.37	1.48	12.50	150	100	5.45	41.26
豆一	3404	0.33	0.59	0.03	1.54	16.83	202	119	4.70	47.25
螺纹钢	2586	0.30	0.60	0.01	1.81	30.75	369	223	5.14	46.51
热轧卷板	666	0.08	0.58	0.01	1.64	19.42	233	136	6.19	50.53
橡胶	16169	0.26	0.77	0.03	1.47	14.33	172	133	13.45	67.12
菜粕	2288	0.44	0.66	0.02	1.78	38.67	464	305	3.69	32.30
PTA	352	0.06	0.72	0.00	1.51	14.42	173	125	7.87	62.21
甲醇	400	0.04	0.67	0.00	1.72	20.42	245	165	1.95	25.16
白糖	4580	0.38	0.64	0.01	1.59	45.42	545	348	6.61	52.95
棉花	8225	0.74	0.61	0.02	1.53	33.67	404	248	3.77	30.49
玻璃	4564	0.83	0.65	0.06	1.55	39.00	468	306	4.90	35.92
菜油	10064	1.03	0.67	0.03	1.44	42.42	509	341	9.77	57.39

表 22 2017 年 1 分钟频度策略回测结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	67322	55.62	0.81	0.01	1.40	1093.58	13123	10656	257.54	151.62
铁矿石	566317	1021.51	0.83	0.46	1.53	1038.00	12456	10352	372.54	150.04
棕榈油	158170	84.20	0.73	0.01	1.37	1256.08	15073	11067	292.33	154.36
聚丙烯	43873	8.43	0.70	0.01	1.38	235.17	2822	1983	79.40	136.85
玉米	63090	160.59	0.83	0.04	1.41	597.50	7170	5971	305.30	151.12
塑料	137978	89.90	0.75	0.01	1.37	609.08	7309	5502	241.51	149.95
豆油	150640	57.36	0.77	0.01	1.30	1058.33	12700	9810	344.84	156.63
焦炭	620136	41.01	0.76	0.25	1.51	505.08	6061	4606	180.45	149.53
焦煤	365409	90.93	0.80	0.22	1.50	498.58	5983	4795	170.47	142.75
豆一	25734	4.59	0.74	0.01	1.49	528.92	6347	4670	109.60	146.12
螺纹钢	8167	0.68	0.50	0.00	1.51	553.75	6645	3330	52.58	127.88
热轧卷板	14772	-0.41	0.53	0.01	1.54	373.67	4484	2388	43.84	119.39
橡胶	519895	36.63	0.76	0.01	1.35	1065.83	12790	9754	171.51	146.77
菜粕	99521	329.35	0.79	0.03	1.47	1011.08	12133	9566	447.16	153.72
PTA	55510	60.26	0.75	0.01	1.39	997.50	11970	9034	194.03	145.09
甲醇	49452	32.05	0.78	0.02	1.45	627.17	7526	5842	133.64	142.82
白糖	50070	10.95	0.70	0.01	1.55	984.17	11810	8211	98.58	142.32
棉花	174977	109.25	0.78	0.02	1.35	590.33	7084	5499	363.46	154.99
玻璃	101844	134.15	0.79	0.06	1.51	691.50	8298	6592	353.36	152.77
菜油	211388	245.01	0.76	0.03	1.33	974.42	11693	8841	337.76	150.60

表 23 2017 年 5 分钟频度策略回测结果

5 分钟频 度	净收 益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	13524 10218	2.87	0.70	0.01	1.49	310.50	3726	2609	61.57	147.51
铁矿石	5	16.72	0.72	0.34	1.72	258.00	3096	2232	100.25	146.19
棕榈油	19640	1.88	0.66	0.01	1.59	243.83	2926	1931	53.25	135.92
聚丙烯	10726	1.18	0.65	0.01	1.58	83.25	999	645	47.16	132.48
玉米	11862	4.81	0.72	0.03	1.50	139.83	1678	1211	62.70	140.05
塑料	14662	1.57	0.64	0.01	1.69	103.00	1236	787	44.19	137.29
豆油	29010 13018	2.81	0.71	0.01	1.43	239.25	2871	2031	87.33	146.72
焦炭	0	2.37	0.70	0.21	1.61	125.83	1510	1059	42.46	121.56
焦煤	68380	3.48	0.73	0.15	1.62	131.25	1575	1155	42.72	128.89
豆一	8880	1.09	0.71	0.01	1.55	152.50	1830	1302	29.99	120.48
螺纹钢	2219	0.19	0.60	0.01	1.59	27.42	329	197	8.32	76.60
热轧卷板	2906 10661	-0.02	0.58	0.01	1.68	112.75	1353	785	13.11	84.48
橡胶	5	2.26	0.72	0.01	1.44	234.58	2815	2037	60.97	142.95
菜粕	18533	8.26	0.73	0.03	1.53	209.08	2509	1826	81.18	145.46
PTA	8110	1.71	0.69	0.01	1.44	215.83	2590	1789	33.27	126.56
甲醇	9878	1.95	0.70	0.01	1.60	197.00	2364	1664	14.95	84.29
白糖	7104	0.64	0.62	0.00	1.55	223.83	2686	1668	19.95	103.75
棉花	33359	3.85	0.71	0.01	1.53	135.08	1621	1150	78.00	139.59
玻璃	25744	8.75	0.76	0.07	1.54	175.67	2108	1595	86.62	137.87
菜油	39460	6.61	0.71	0.03	1.44	188.33	2260	1599	79.71	137.71

表 24 2017 年 15 分钟频度策略回测结果

15 分钟	净收	年化收		平均回	平均持	每月交	总交易	获利次		
频度	益	益率	胜率	报率	仓时间	易次数	次数	数	SR	IR
豆粕	4052	0.60	0.70	0.01	1.57	69.83	838	588	14.40	102.38
铁矿石	24712	1.69	0.67	0.22	1.84	88.00	1056	711	32.07	115.82
棕榈油	7120	0.53	0.63	0.01	1.68	94.83	1138	722	9.69	81.01
聚丙烯	2165	0.17	0.64	0.00	1.66	35.00	420	267	11.22	91.36
玉米	1511	0.35	0.65	0.02	1.63	26.67	320	207	15.86	110.92
塑料	6736	0.56	0.67	0.01	1.77	40.25	483	322	13.42	96.23
豆油	9760	0.68	0.69	0.01	1.51	81.00	972	672	39.15	136.85
焦炭	12013	0.14	0.67	0.02	1.77	57.25	687	459	4.43	47.77
焦煤	29089	1.02	0.66	0.13	1.70	65.83	790	522	8.83	66.09
豆一	2064	0.20	0.69	0.00	1.60	62.25	747	513	7.23	69.27
螺纹钢	2219	0.19	0.60	0.01	1.59	27.42	329	197	8.32	76.60
热轧卷板	505	0.03	0.56	0.00	1.71	50.92	611	345	4.05	52.92
橡胶	37635	0.60	0.71	0.01	1.54	80.00	960	677	19.59	111.77
菜粕	4121	0.91	0.67	0.02	1.62	69.42	833	560	14.95	90.61
PTA	900	0.15	0.62	0.00	1.49	73.75	885	551	9.91	90.74
甲醇	512	-0.01	0.67	0.00	1.66	78.83	946	638	4.44	45.83
白糖	1516	0.07	0.60	0.00	1.53	75.75	909	548	6.03	67.95
棉花	12517	1.05	0.70	0.01	1.65	64.50	774	539	18.06	108.21
玻璃	13120	2.94	0.71	0.08	1.59	76.25	915	649	16.13	85.86
菜油	13864	1.45	0.68	0.02	1.52	72.00	864	587	31.48	125.74

表 25 2017 年 30 分钟频度策略回测结果

	净收 益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕	2266	0.31	0.68	0.01	1.52	43.25	519	355	8.00	80.42
铁矿石	7878	0.43	0.62	0.13	1.78	47.00	564	349	13.28	86.58
棕榈油	4260	0.30	0.63	0.01	1.59	52.83	634	397	5.90	63.76
聚丙烯	3145	0.29	0.64	0.01	1.55	22.67	272	174	5.01	56.71
玉米	1160	0.25	0.63	0.02	1.59	20.50	246	154	8.35	85.07
塑料	396	0.03	0.58	0.00	1.59	26.08	313	183	6.38	72.21
豆油	6530	0.43	0.69	0.02	1.43	40.75	489	339	25.35	130.89
焦炭	5066	0.04	0.66	0.01	1.97	35.00	420	276	3.28	36.36
焦煤	16252	0.52	0.65	0.28	1.81	16.00	192	124	9.14	73.88
豆一	156	0.00	0.63	0.00	1.66	32.75	393	247	9.62	94.50
螺纹钢	1952	0.16	0.68	0.02	1.71	10.00	120	81	6.80	71.41
热轧卷板	4255	0.42	0.64	0.02	1.50	33.83	406	258	4.94	54.25
橡胶	18578	0.27	0.69	0.01	1.58	33.17	398	275	14.96	115.97
菜粕	2053	0.41	0.65	0.02	1.67	27.42	329	214	7.39	64.86
PTA	294	0.04	0.67	0.00	1.61	28.00	336	224	4.10	56.50
甲醇	606	0.06	0.69	0.01	1.75	24.00	288	198	2.22	30.39
白糖	862	0.07	0.58	0.00	1.70	37.75	453	262	6.27	63.10
棉花	9070	0.70	0.67	0.01	1.55	37.58	451	303	12.15	92.30
玻璃	4228	0.66	0.62	0.05	1.52	36.75	441	275	10.02	72.13
菜油	6120	0.53	0.65	0.02	1.43	32.92	395	257	24.78	125.60

表 26 2016 年同品种不同频度交易结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕										
1min	59824	40.38	0.73	0.01	1.50	1082.58	12991	9530	25.50	49.23
5min	12668	2.64	0.68	0.01	1.59	245.17	2942	1993	14.38	53.22
15min	2558	0.39	0.65	0.01	1.69	86.00	1032	675	6.32	47.08
30min	436	0.07	0.60	0.00	1.58	37.00	444	267	5.05	46.67
铁矿石										
1min	477672	949.13	0.87	0.64	1.48	763.92	9167	7937	32.22	39.04
5min	106822	28.28	0.77	0.58	1.61	185.67	2228	1719	24.50	53.18
15min	44544	5.28	0.73	0.55	1.68	81.92	983	715	16.20	55.62
30min	22673	1.99	0.71	0.51	1.60	44.42	533	376	10.80	53.28
棕榈油										
1min	148230	73.41	0.73	0.02	1.44	978.08	11737	8619	26.53	45.71
5min	37030	4.81	0.68	0.02	1.63	244.42	2933	2007	11.56	48.38
15min	5970	0.44	0.66	0.01	1.76	79.92	959	635	6.31	47.74
30min	1850	0.12	0.63	0.00	1.68	42.08	505	316	4.45	43.95
聚丙烯										
1min	54099	14.89	0.66	0.01	1.51	454.75	5457	3582	12.89	38.58
5min	24476	4.34	0.67	0.01	1.58	144.67	1736	1169	10.62	48.44
15min	5117	0.54	0.60	0.01	1.68	52.67	632	378	3.58	33.47
30min	985	0.08	0.57	0.00	1.59	29.33	352	201	2.56	28.78
玉米										
1min	52408	87.98	0.72	0.03	1.51	588.92	7067	5099	25.70	42.27
5min	8773	3.21	0.68	0.03	1.64	112.00	1344	916	11.39	50.61
15min	1372	0.34	0.59	0.01	1.75	39.17	470	276	3.84	37.16
30min	892	0.21	0.59	0.02	1.70	21.08	253	150	3.27	34.27
塑料										
1min	118248	70.54	0.72	0.02	1.40	522.42	6269	4529	26.41	48.58
5min	24835	3.63	0.65	0.01	1.58	131.67	1580	1030	10.27	46.78
15min	7927	0.73	0.67	0.01	1.73	46.33	556	370	5.48	39.62
30min	3802	0.27	0.60	0.01	1.58	25.50	306	185	3.36	38.50
豆油										
1min	161160	66.27	0.74	0.01	1.37	1144.17	13730	10193	31.33	52.49
5min	38810	4.23	0.72	0.02	1.48	189.25	2271	1645	15.62	54.45
15min	17380	1.36	0.69	0.02	1.53	91.33	1096	758	12.65	59.88
30min	11060	0.77	0.70	0.02	1.46	45.67	548	382	10.59	58.46
焦炭										
1min	924727	294.35	0.82	0.37	1.55	905.33	10864	8889	23.87	43.75
5min	195480	10.83	0.79	0.39	1.58	184.42	2213	1745	13.00	47.97
15min	26755	0.70	0.72	0.17	1.70	62.00	744	533	4.27	40.08
30min	23549	0.54	0.68	0.22	1.80	38.42	461	314	3.15	33.92

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
焦煤										
1min	357066	182.39	0.81	0.24	1.60	699.42	8393	6767	31.28	49.81
5min	78000	7.16	0.72	0.21	1.60	163.83	1966	1420	11.62	43.63
15min	13969	0.60	0.65	0.10	1.68	62.17	746	485	4.85	34.28
30min	11820	0.48	0.67	0.37	1.48	12.50	150	100	5.45	41.26
豆一										
1min	46646	13.95	0.73	0.01	1.50	743.58	8923	6486	16.46	50.37
5min	13484	1.81	0.70	0.01	1.57	154.33	1852	1304	8.67	46.51
15min	3046	0.31	0.69	0.01	1.68	47.33	568	393	4.31	42.02
30min	3404	0.33	0.59	0.03	1.54	16.83	202	119	4.70	47.25
螺纹钢										
1min	48657	23.02	0.69	0.01	1.47	1026.33	12316	8453	23.25	60.49
5min	5891	0.84	0.64	0.01	1.60	161.25	1935	1232	7.73	55.80
15min	3357	0.43	0.61	0.02	1.82	41.58	499	305	7.24	55.75
30min	2586	0.30	0.60	0.01	1.81	30.75	369	223	5.14	46.51
热轧卷板										
1min	46602	20.67	0.64	0.03	1.47	294.00	3528	2271	11.63	43.02
5min	11245	1.77	0.63	0.03	1.54	73.17	878	551	10.42	58.55
15min	1500	0.19	0.60	0.01	1.66	29.00	348	209	4.52	48.32
30min	666	0.08	0.58	0.01	1.64	19.42	233	136	6.19	50.53
橡胶										
1min	585732	66.01	0.75	0.01	1.38	1102.25	13227	9944	30.72	53.59
5min	131878	3.73	0.71	0.02	1.50	219.92	2639	1884	19.41	64.10
15min	37481	0.72	0.69	0.01	1.61	74.42	893	616	12.62	61.10
30min	16169	0.26	0.77	0.03	1.47	14.33	172	133	13.45	67.12
菜粕										
1min	125625	607.47	0.76	0.03	1.46	1167.92	14015	10706	32.51	44.24
5min	23203	13.07	0.70	0.03	1.62	246.58	2959	2071	16.74	49.86
15min	5660	1.38	0.68	0.02	1.72	75.83	910	615	5.59	35.97
30min	2288	0.44	0.66	0.02	1.78	38.67	464	305	3.69	32.30
PTA										
1min	59400	73.58	0.81	0.01	1.27	725.42	8705	7049	23.30	43.35
5min	9754	2.74	0.77	0.01	1.29	96.33	1156	893	13.90	57.10
15min	3028	0.62	0.73	0.01	1.40	42.67	512	375	11.05	63.79
30min	352	0.06	0.72	0.00	1.51	14.42	173	125	7.87	62.21
甲醇										
1min	52116	60.83	0.78	0.02	1.46	968.58	11623	9055	21.23	45.46
5min	7370	1.84	0.69	0.01	1.59	172.92	2075	1432	7.34	39.77
15min	3316	0.67	0.67	0.01	1.66	79.83	958	646	3.73	34.94
30min	400	0.04	0.67	0.00	1.72	20.42	245	165	1.95	25.16
白糖										

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
1min	68122	21.25	0.75	0.01	1.38	886.92	10643	7980	22.43	52.04
5min	14366	1.72	0.66	0.01	1.43	266.17	3194	2110	14.69	61.32
15min	2556	0.24	0.62	0.00	1.55	91.58	1099	678	5.84	50.62
30min	4580	0.38	0.64	0.01	1.59	45.42	545	348	6.61	52.95
棉花										
1min	238266	317.88	0.72	0.02	1.47	856.42	10277	7388	26.72	41.54
5min	61277	14.57	0.71	0.02	1.54	204.67	2456	1736	13.24	45.92
15min	14840	1.60	0.63	0.01	1.68	67.92	815	511	4.13	27.82
30min	8225	0.74	0.61	0.02	1.53	33.67	404	248	3.77	30.49
玻璃										
1min	146124	567.76	0.80	0.07	1.54	1070.67	12848	10302	37.35	47.58
5min	31316	15.18	0.74	0.07	1.60	242.67	2912	2160	17.05	47.09
15min	6052	0.81	0.68	0.04	1.67	74.92	899	612	3.79	21.82
30min	4564	0.83	0.65	0.06	1.55	39.00	468	306	4.90	35.92
菜油										
1min	193116	202.25	0.74	0.03	1.40	853.42	10241	7568	30.65	44.66
5min	46848	10.07	0.72	0.03	1.45	189.00	2268	1629	20.51	52.82
15min	17976	2.20	0.67	0.04	1.51	63.00	756	506	10.54	50.01
30min	10064	1.03	0.67	0.03	1.44	42.42	509	341	9.77	57.39

表 27 2017 年同品种不同频度交易结果

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
豆粕										
1min	67322	55.62	0.81	0.01	1.40	1093.58	13123	10656	257.54	151.62
5min	13524	2.87	0.70	0.01	1.49	310.50	3726	2609	61.57	147.51
15min	4052	0.60	0.70	0.01	1.57	69.83	838	588	14.40	102.38
30min	2266	0.31	0.68	0.01	1.52	43.25	519	355	8.00	80.42
铁矿石										
1min	566317	1021.51	0.83	0.46	1.53	1038.00	12456	10352	372.54	150.04
5min	102185	16.72	0.72	0.34	1.72	258.00	3096	2232	100.25	146.19
15min	24712	1.69	0.67	0.22	1.84	88.00	1056	711	32.07	115.82
30min	7878	0.43	0.62	0.13	1.78	47.00	564	349	13.28	86.58
棕榈油										
1min	158170	84.20	0.73	0.01	1.37	1256.08	15073	11067	292.33	154.36
5min	19640	1.88	0.66	0.01	1.59	243.83	2926	1931	53.25	135.92
15min	7120	0.53	0.63	0.01	1.68	94.83	1138	722	9.69	81.01
30min	4260	0.30	0.63	0.01	1.59	52.83	634	397	5.90	63.76
聚丙烯										
1min	43873	8.43	0.70	0.01	1.38	235.17	2822	1983	79.40	136.85
5min	10726	1.18	0.65	0.01	1.58	83.25	999	645	47.16	132.48
15min	2165	0.17	0.64	0.00	1.66	35.00	420	267	11.22	91.36
30min	3145	0.29	0.64	0.01	1.55	22.67	272	174	5.01	56.71
玉米										
1min	63090	160.59	0.83	0.04	1.41	597.50	7170	5971	305.30	151.12
5min	11862	4.81	0.72	0.03	1.50	139.83	1678	1211	62.70	140.05
15min	1511	0.35	0.65	0.02	1.63	26.67	320	207	15.86	110.92
30min	1160	0.25	0.63	0.02	1.59	20.50	246	154	8.35	85.07
塑料										
1min	137978	89.90	0.75	0.01	1.37	609.08	7309	5502	241.51	149.95
5min	14662	1.57	0.64	0.01	1.69	103.00	1236	787	44.19	137.29
15min	6736	0.56	0.67	0.01	1.77	40.25	483	322	13.42	96.23
30min	396	0.03	0.58	0.00	1.59	26.08	313	183	6.38	72.21
豆油										
1min	150640	57.36	0.77	0.01	1.30	1058.33	12700	9810	344.84	156.63
5min	29010	2.81	0.71	0.01	1.43	239.25	2871	2031	87.33	146.72
15min	9760	0.68	0.69	0.01	1.51	81.00	972	672	39.15	136.85
30min	6530	0.43	0.69	0.02	1.43	40.75	489	339	25.35	130.89
焦炭										
1min	620136	41.01	0.76	0.25	1.51	505.08	6061	4606	180.45	149.53
5min	130180	2.37	0.70	0.21	1.61	125.83	1510	1059	42.46	121.56
15min	12013	0.14	0.67	0.02	1.77	57.25	687	459	4.43	47.77
30min	5066	0.04	0.66	0.01	1.97	35.00	420	276	3.28	36.36

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
焦煤										
1min	365409	90.93	0.80	0.22	1.50	498.58	5983	4795	170.47	142.75
5min	68380	3.48	0.73	0.15	1.62	131.25	1575	1155	42.72	128.89
15min	29089	1.02	0.66	0.13	1.70	65.83	790	522	8.83	66.09
30min	16252	0.52	0.65	0.28	1.81	16.00	192	124	9.14	73.88
豆一										
1min	25734	4.59	0.74	0.01	1.49	528.92	6347	4670	109.60	146.12
5min	8880	1.09	0.71	0.01	1.55	152.50	1830	1302	29.99	120.48
15min	2064	0.20	0.69	0.00	1.60	62.25	747	513	7.23	69.27
30min	156	0.00	0.63	0.00	1.66	32.75	393	247	9.62	94.50
螺纹钢										
1min	8167	0.68	0.50	0.00	1.51	553.75	6645	3330	52.58	127.88
5min	2219	0.19	0.60	0.01	1.59	27.42	329	197	8.32	76.60
15min	2219	0.19	0.60	0.01	1.59	27.42	329	197	8.32	76.60
30min	1952	0.16	0.68	0.02	1.71	10.00	120	81	6.80	71.41
热轧卷 板										
1min	14772	-0.41	0.53	0.01	1.54	373.67	4484	2388	43.84	119.39
5min	2906	-0.02	0.58	0.01	1.68	112.75	1353	785	13.11	84.48
15min	505	0.03	0.56	0.00	1.71	50.92	611	345	4.05	52.92
30min	4255	0.42	0.64	0.02	1.50	33.83	406	258	4.94	54.25
橡胶										
1min	519895	36.63	0.76	0.01	1.35	1065.83	12790	9754	171.51	146.77
5min	106615	2.26	0.72	0.01	1.44	234.58	2815	2037	60.97	142.95
15min	37635	0.60	0.71	0.01	1.54	80.00	960	677	19.59	111.77
30min	18578	0.27	0.69	0.01	1.58	33.17	398	275	14.96	115.97
菜粕										
1min	99521	329.35	0.79	0.03	1.47	1011.08	12133	9566	447.16	153.72
5min	18533	8.26	0.73	0.03	1.53	209.08	2509	1826	81.18	145.46
15min	4121	0.91	0.67	0.02	1.62	69.42	833	560	14.95	90.61
30min	2053	0.41	0.65	0.02	1.67	27.42	329	214	7.39	64.86
PTA										
1min	55510	60.26	0.75	0.01	1.39	997.50	11970	9034	194.03	145.09
5min	8110	1.71	0.69	0.01	1.44	215.83	2590	1789	33.27	126.56
15min	900	0.15	0.62	0.00	1.49	73.75	885	551	9.91	90.74
30min	294	0.04	0.67	0.00	1.61	28.00	336	224	4.10	56.50
甲醇										
1min	49452	32.05	0.78	0.02	1.45	627.17	7526	5842	133.64	142.82
5min	9878	1.95	0.70	0.01	1.60	197.00	2364	1664	14.95	84.29
15min	512	-0.01	0.67	0.00	1.66	78.83	946	638	4.44	45.83
30min	606	0.06	0.69	0.01	1.75	24.00	288	198	2.22	30.39
白糖										

	净收益	年化收 益率	胜率	平均回 报率	平均持 仓时间	每月交 易次数	总交易 次数	获利次 数	SR	IR
1min	50070	10.95	0.70	0.01	1.55	984.17	11810	8211	98.58	142.32
5min	7104	0.64	0.62	0.00	1.55	223.83	2686	1668	19.95	103.75
15min	1516	0.07	0.60	0.00	1.53	75.75	909	548	6.03	67.95
30min	862	0.07	0.58	0.00	1.70	37.75	453	262	6.27	63.10
棉花										
1min	174977	109.25	0.78	0.02	1.35	590.33	7084	5499	363.46	154.99
5min	33359	3.85	0.71	0.01	1.53	135.08	1621	1150	78.00	139.59
15min	12517	1.05	0.70	0.01	1.65	64.50	774	539	18.06	108.21
30min	9070	0.70	0.67	0.01	1.55	37.58	451	303	12.15	92.30
玻璃										
1min	101844	134.15	0.79	0.06	1.51	691.50	8298	6592	353.36	152.77
5min	25744	8.75	0.76	0.07	1.54	175.67	2108	1595	86.62	137.87
15min	13120	2.94	0.71	0.08	1.59	76.25	915	649	16.13	85.86
30min	4228	0.66	0.62	0.05	1.52	36.75	441	275	10.02	72.13
菜油										
1min	211388	245.01	0.76	0.03	1.33	974.42	11693	8841	337.76	150.60
5min	39460	6.61	0.71	0.03	1.44	188.33	2260	1599	79.71	137.71
15min	13864	1.45	0.68	0.02	1.52	72.00	864	587	31.48	125.74
30min	6120	0.53	0.65	0.02	1.43	32.92	395	257	24.78	125.60

表 28 震荡市、熊市、牛市表现对比（一）

	绝对净收益			年化收益率			胜率		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
1 分钟频度									
豆粕	11362	18184	17592	17.03	27.44	27.14	0.73	0.81	0.82
铁矿石	152507	141428	116849	103.60	79.06	71.30	0.87	0.80	0.84
棕榈油	35710	37120	45700	27.87	28.96	36.49	0.72	0.71	0.75
聚丙烯	6163	10052	4653	6.72	10.37	4.85	0.69	0.67	0.78
玉米	10238	17486	15354	29.82	45.62	38.79	0.83	0.82	0.84
塑料	27944	38440	28126	27.16	36.17	26.23	0.74	0.74	0.79
豆油	43380	39270	39810	29.51	27.58	27.73	0.74	0.76	0.78
焦炭	216797	127321	73515	47.92	19.63	10.00	0.83	0.82	0.77
焦煤	76796	90744	47716	38.17	32.53	17.27	0.82	0.82	0.79
豆一	9908	7478	8328	11.50	8.42	9.24	0.81	0.78	0.76
螺纹钢	7437	4862	2106	10.72	5.07	2.01	0.67	0.51	0.54
热轧卷板	3683	9483	1503	4.87	10.79	1.63	0.53	0.68	0.55
橡胶	92068	191271	93722	17.80	29.62	16.21	0.71	0.79	0.69
菜粕	33302	22546	28929	72.83	47.99	64.37	0.77	0.79	0.75
PTA	12234	14410	14342	25.44	28.61	28.00	0.83	0.82	0.72
甲醇	8856	15142	14226	19.11	26.07	24.12	0.77	0.76	0.78
白糖	11322	13664	17064	10.98	12.29	16.31	0.77	0.76	0.67
棉花	54625	33370	39150	45.52	25.42	30.98	0.81	0.83	0.73
玻璃	26884	20408	12004	51.23	34.68	18.52	0.80	0.81	0.80
菜油	46396	55764	55452	44.31	52.25	49.81	0.76	0.74	0.76
5 分钟频度									
豆粕	1470	4312	3292	2.22	6.51	5.08	0.64	0.72	0.70
铁矿石	23411	20933	26182	15.49	11.65	15.81	0.79	0.69	0.73
棕榈油	4920	3040	7300	3.85	2.36	5.87	0.66	0.64	0.68
聚丙烯	4048	1572	1097	4.41	1.65	1.15	0.67	0.65	0.74
玉米	2491	1733	4186	7.32	4.51	10.58	0.75	0.69	0.74
塑料	7869	3369	4400	7.64	3.19	4.00	0.65	0.63	0.68
豆油	10060	8600	5610	6.85	6.02	3.94	0.75	0.68	0.71
焦炭	36711	39857	29764	7.82	6.03	4.20	0.77	0.77	0.75
焦煤	13862	17974	7636	6.97	6.26	2.65	0.70	0.75	0.69
豆一	2418	2156	2062	2.81	2.43	2.29	0.83	0.74	0.70
螺纹钢	1273	1387	8	1.86	1.44	0.01	0.63	0.58	0.49
热轧卷板	439	1732	1174	0.59	1.96	1.21	0.56	0.58	0.67
橡胶	20481	35720	19881	3.97	5.43	3.43	0.68	0.75	0.67
菜粕	4341	5801	5580	9.36	12.17	12.48	0.68	0.78	0.69
PTA	1478	2920	3418	3.11	5.80	6.67	0.73	0.77	0.68
甲醇	826	2586	4058	1.76	4.47	6.83	0.68	0.69	0.71
白糖	3434	2282	666	3.34	2.06	0.63	0.69	0.65	0.61
棉花	10383	5816	14015	8.65	4.41	11.10	0.78	0.72	0.68

	绝对净收益			年化收益率			胜率		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
玻璃	2744	7364	5512	5.22	12.46	8.62	0.70	0.79	0.74
菜油	12596	10812	15420	12.05	10.19	13.89	0.75	0.66	0.72
15 分钟频度									
豆粕	558	1310	1392	0.85	1.98	2.15	0.67	0.72	0.74
铁矿石	10951	3497	6812	7.28	1.87	3.98	0.74	0.65	0.68
棕榈油	20	780	3790	0.02	0.61	3.03	0.65	0.62	0.68
聚丙烯	1614	-840	308	1.76	-0.88	0.32	0.60	0.58	0.61
玉米	904	377	188	2.63	0.98	0.47	0.68	0.65	0.59
塑料	3173	-404	2325	3.06	-0.38	2.13	0.66	0.55	0.74
豆油	5810	1860	3490	3.98	1.32	2.44	0.74	0.65	0.72
焦炭	880	-9199	4159	0.18	-1.31	0.56	0.67	0.66	0.64
焦煤	5294	7615	4097	2.50	2.65	1.37	0.64	0.65	0.65
豆一	1016	438	1020	1.18	0.49	1.13	0.73	0.73	0.70
螺纹钢	743	29	1275	1.06	0.03	1.23	0.61	0.57	0.63
热轧卷板	-94	-223	1551	-0.13	-0.26	1.66	0.56	0.56	0.60
橡胶	-1284	10245	7921	-0.25	1.54	1.36	0.66	0.73	0.65
菜粕	1811	1625	564	3.90	3.41	1.26	0.72	0.74	0.59
PTA	514	748	-166	1.08	1.49	-0.32	0.65	0.69	0.56
甲醇	16	-128	2102	0.03	-0.22	3.55	0.62	0.66	0.72
白糖	760	918	3332	0.74	0.83	3.17	0.63	0.67	0.62
棉花	1444	494	4333	1.19	0.38	3.43	0.72	0.68	0.68
玻璃	-2412	3740	3112	-4.56	6.34	4.84	0.61	0.71	0.72
菜油	3196	4116	4248	3.04	3.86	3.84	0.67	0.68	0.66
30 分钟频度									
豆粕	242	720	908	0.37	1.09	1.40	0.63	0.66	0.71
铁矿石	4955	-62	3664	3.22	-0.03	2.17	0.69	0.64	0.61
棕榈油	-770	760	3360	-0.60	0.59	2.69	0.61	0.57	0.72
聚丙烯	1630	1576	1139	1.79	1.65	1.17	0.59	0.67	0.81
玉米	397	236	238	1.16	0.62	0.60	0.70	0.65	0.60
塑料	3862	-918	714	3.72	-0.86	0.66	0.71	0.54	0.63
豆油	2980	1680	2040	2.03	1.18	1.42	0.75	0.67	0.71
焦炭	-401	10375	6404	-0.08	1.48	0.86	0.66	0.67	0.70
焦煤	3833	5049	5501	1.46	1.72	1.73	0.74	0.70	0.92
豆一	202	352	772	0.23	0.40	0.86	0.62	0.65	0.65
螺纹钢	162	1033	462	0.23	1.02	0.45	0.60	0.77	0.63
热轧卷板	267	1373	628	0.37	1.61	0.68	0.55	0.71	0.64
橡胶	5005	6493	3974	0.87	0.96	0.68	0.75	0.73	0.61
菜粕	1048	-100	1355	2.22	-0.21	3.02	0.68	0.66	0.68
PTA	370	246	178	0.78	0.49	0.35	0.76	0.67	0.64
甲醇	-376	-350	1466	-0.79	-0.61	2.47	0.62	0.70	0.71
白糖	688	578	-352	0.66	0.52	-0.33	0.66	0.61	0.53
棉花	448	865	858	0.36	0.66	0.68	0.58	0.66	0.61

	绝对净收益			年化收益率			胜率		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
玻璃	452	2028	1396	0.85	3.44	2.16	0.63	0.66	0.67
菜油	1956	172	2500	1.85	0.16	2.26	0.68	0.53	0.70

表 29 震荡市、熊市、牛市表现对比（二）

	平均每次交易回报率			平均持仓单位时间			每月交易次数		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
1 分钟频度									
豆粕	0.01	0.01	0.01	1.47	1.43	1.42	916.00	1188.67	1077.67
铁矿石	0.59	0.44	0.48	1.45	1.50	1.52	1003.00	1008.67	832.00
棕榈油	0.01	0.01	0.02	1.49	1.43	1.37	1241.67	1409.33	1318.00
聚丙烯	0.01	0.01	0.02	1.40	1.46	1.25	226.00	338.00	56.33
玉米	0.04	0.04	0.04	1.46	1.36	1.45	383.67	661.67	588.33
塑料	0.01	0.01	0.02	1.38	1.41	1.32	535.67	723.33	434.33
豆油	0.01	0.01	0.01	1.37	1.31	1.28	1184.67	1106.33	1072.33
焦炭	0.42	0.40	0.44	1.49	1.45	1.39	641.67	285.00	139.33
焦煤	0.28	0.30	0.25	1.59	1.48	1.50	470.67	367.00	237.33
豆一	0.02	0.01	0.01	1.43	1.40	1.46	399.67	361.33	561.33
螺纹钢	0.01	0.00	0.00	1.50	1.53	1.46	1022.67	862.67	252.33
热轧卷板	0.02	0.03	0.02	1.44	1.41	1.52	176.67	173.33	47.00
橡胶	0.01	0.01	0.01	1.46	1.30	1.47	1220.33	1272.67	925.33
菜粕	0.03	0.03	0.03	1.47	1.45	1.51	1248.67	832.67	1325.67
PTA	0.01	0.01	0.01	1.33	1.26	1.40	638.67	846.67	1116.00
甲醇	0.01	0.02	0.02	1.49	1.52	1.45	952.67	865.33	661.00
白糖	0.01	0.01	0.00	1.35	1.47	1.60	499.33	555.33	1865.33
棉花	0.02	0.02	0.01	1.36	1.27	1.47	541.67	350.00	583.33
玻璃	0.06	0.09	0.06	1.46	1.53	1.53	957.67	435.33	354.33
菜油	0.03	0.03	0.03	1.39	1.37	1.34	747.00	1104.67	990.67
5 分钟频度									
豆粕	0.01	0.01	0.01	1.60	1.53	1.50	140.00	327.67	306.00
铁矿石	0.47	0.26	0.36	1.54	1.66	1.68	192.67	268.33	249.33
棕榈油	0.01	0.00	0.01	1.76	1.62	1.57	270.67	334.67	260.67
聚丙烯	0.01	0.00	0.02	1.47	1.68	1.50	123.33	107.67	15.33
玉米	0.04	0.03	0.03	1.63	1.60	1.60	102.67	92.67	193.67
塑料	0.01	0.01	0.01	1.52	1.73	1.56	152.33	102.33	75.00
豆油	0.03	0.01	0.01	1.44	1.43	1.39	152.00	300.67	153.00
焦炭	0.34	0.42	0.46	1.60	1.42	1.52	130.67	81.00	51.67
焦煤	0.17	0.19	0.11	1.71	1.58	1.74	127.33	106.67	88.67
豆一	0.03	0.01	0.01	1.32	1.53	1.58	46.33	121.00	183.67
螺纹钢	0.01	0.01	0.00	1.66	1.72	1.74	194.67	122.33	88.00
热轧卷板	0.01	0.03	0.02	1.45	1.50	1.64	45.00	46.33	41.00
橡胶	0.01	0.01	0.01	1.60	1.43	1.55	268.67	245.33	208.00
菜粕	0.03	0.04	0.02	1.65	1.48	1.56	187.67	167.67	316.67
PTA	0.01	0.01	0.01	1.34	1.25	1.42	89.00	191.67	315.67
甲醇	0.01	0.01	0.02	1.54	1.66	1.55	176.00	254.33	216.33
白糖	0.01	0.01	0.00	1.47	1.62	1.56	180.33	134.33	361.33
棉花	0.03	0.01	0.01	1.41	1.48	1.62	93.67	94.33	262.00

	平均每次交易回报率			平均持仓单位时间			每月交易次数		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
玻璃	0.02	0.08	0.07	1.64	1.58	1.60	242.67	174.33	134.67
菜油	0.04	0.02	0.03	1.37	1.53	1.42	187.00	270.67	276.67
15 分钟频度									
豆粕	0.01	0.02	0.02	1.67	1.69	1.55	54.00	71.67	71.00
铁矿石	0.53	0.12	0.32	1.63	1.90	1.84	80.00	83.00	70.00
棕榈油	0.00	0.00	0.02	1.87	1.68	1.64	93.33	111.33	103.00
聚丙烯	0.01	-0.01	0.01	1.64	1.94	1.57	48.67	41.00	14.67
玉米	0.06	0.02	0.01	1.61	1.76	1.63	23.00	24.00	33.67
塑料	0.02	0.00	0.01	1.64	1.99	1.66	48.00	37.67	41.67
豆油	0.02	0.01	0.02	1.47	1.58	1.49	97.67	106.00	89.67
焦炭	0.01	-0.16	0.00	1.69	1.89	1.93	55.33	49.33	40.33
焦煤	0.12	0.14	0.08	1.68	1.69	1.78	57.00	60.33	52.00
豆一	0.04	0.01	0.01	1.52	1.65	1.60	16.00	48.00	76.67
螺纹钢	0.02	0.00	0.05	1.72	1.73	1.35	42.33	61.00	14.33
热轧卷板	0.00	0.00	0.03	1.62	1.74	1.46	25.67	38.00	31.33
橡胶	0.00	0.01	0.01	1.73	1.44	1.76	89.67	69.00	68.00
菜粕	0.03	0.02	0.01	1.70	1.54	1.80	67.67	78.33	87.33
PTA	0.01	0.01	0.00	1.50	1.29	1.45	42.00	55.67	122.00
甲醇	0.00	0.00	0.02	1.69	1.67	1.65	92.67	92.00	92.00
白糖	0.01	0.01	0.02	1.66	1.53	1.42	61.67	50.67	114.33
棉花	0.01	0.00	0.01	1.49	1.74	1.81	28.33	39.00	104.33
玻璃	-0.06	0.08	0.09	1.90	1.63	1.56	87.00	91.67	58.00
菜油	0.03	0.02	0.02	1.42	1.56	1.57	52.00	93.67	104.33
30 分钟频度									
豆粕	0.01	0.01	0.02	1.59	1.44	1.44	24.33	50.00	39.00
铁矿石	0.47	0.00	0.34	1.44	1.74	1.75	39.00	49.33	38.00
棕榈油	-0.01	0.00	0.03	1.85	1.55	1.50	49.67	63.33	58.00
聚丙烯	0.02	0.02	0.03	1.48	1.55	1.52	28.33	27.33	10.33
玉米	0.04	0.02	0.01	1.58	1.73	1.71	14.33	20.00	28.00
塑料	0.04	-0.01	0.01	1.40	1.83	1.57	28.67	23.67	22.33
豆油	0.02	0.01	0.02	1.29	1.41	1.44	45.33	46.67	45.33
焦炭	-0.06	0.20	0.09	1.86	1.93	1.86	38.67	36.33	30.67
焦煤	0.55	0.89	1.48	1.45	1.95	1.17	10.33	6.67	4.00
豆一	0.01	0.01	0.01	1.69	1.67	1.75	8.67	15.33	47.00
螺纹钢	0.00	0.08	0.03	2.00	1.55	2.04	33.00	7.33	9.00
热轧卷板	0.01	0.03	0.02	1.72	1.49	1.61	21.33	33.33	22.33
橡胶	0.04	0.02	0.01	1.63	1.56	1.74	16.00	33.00	28.33
菜粕	0.04	-0.01	0.04	1.78	1.64	1.71	31.33	26.67	38.33
PTA	0.01	0.01	0.00	1.51	1.28	1.68	15.00	13.00	59.00
甲醇	-0.02	-0.01	0.05	1.86	1.81	1.58	25.67	30.00	31.00
白糖	0.01	0.01	0.00	1.71	1.64	1.65	35.67	30.67	49.00
棉花	0.01	0.01	0.00	1.47	1.38	1.73	12.67	22.67	52.00

	平均每次交易回报率			平均持仓单位时间			每月交易次数		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
玻璃	0.02	0.10	0.08	1.71	1.39	1.51	51.33	37.00	29.00
菜油	0.03	0.00	0.03	1.40	1.51	1.40	37.00	42.33	38.33

表 30 震荡市、熊市、牛市表现对比（三）

	总交易次数			获利次数			SR			IR		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
1 分钟频度												
豆粕	2748	3566	3233	1994	2871	2661	125.67	194.94	378.81	108.19	163.66	146.62
铁矿石	3009	3026	2496	2617	2420	2090	192.88	259.88	581.35	112.70	164.33	144.03
棕榈油	3725	4228	3954	2682	2984	2959	124.26	260.92	341.51	131.21	169.29	145.39
聚丙烯	678	1014	169	469	682	132	44.88	102.38	249.38	93.26	155.68	150.67
玉米	1151	1985	1765	957	1624	1474	106.92	295.88	504.53	123.24	170.78	143.43
塑料	1607	2170	1303	1196	1605	1024	142.80	225.53	252.46	122.23	168.66	145.72
豆油	3554	3319	3217	2645	2530	2503	105.26	401.46	454.11	115.10	181.44	148.05
焦炭	1925	855	418	1589	702	320	162.41	245.35	345.47	110.21	170.56	145.94
焦煤	1412	1101	712	1155	898	562	131.70	173.93	277.73	114.20	161.94	144.77
豆一	1199	1084	1684	966	845	1276	47.23	99.63	160.86	96.01	156.18	146.54
螺纹钢	3068	2588	757	2068	1315	406	46.65	61.20	93.12	119.73	136.43	150.99
热轧卷板												
板	530	520	141	282	355	78	70.20	69.72	174.68	118.49	137.43	143.38
橡胶	3661	3818	2776	2599	3019	1926	122.30	105.25	291.58	117.53	145.94	150.11
菜粕	3746	2498	3977	2896	1981	2993	195.23	374.50	587.23	113.64	173.70	149.51
PTA	1916	2540	3348	1597	2083	2397	116.68	243.04	142.60	113.21	164.24	139.64
甲醇	2858	2596	1983	2189	1979	1555	101.33	102.54	137.49	106.13	150.29	136.82
白糖	1498	1666	5596	1160	1271	3754	92.97	77.47	80.69	117.64	137.56	141.11
棉花	1625	1050	1750	1315	874	1281	87.74	398.50	428.42	101.74	176.27	149.41
玻璃	2873	1306	1063	2287	1059	848	145.31	322.55	508.29	119.11	171.25	146.30
菜油	2241	3314	2972	1714	2444	2255	121.39	332.04	350.53	116.94	165.22	144.34
5 分钟频度												
豆粕	420	983	918	269	704	644	34.12	51.11	78.43	98.32	156.44	160.37
铁矿石	578	805	748	457	556	544	85.83	63.94	123.58	125.69	145.85	147.74
棕榈油	812	1004	782	539	645	529	20.51	39.50	57.06	86.50	132.99	129.25
聚丙烯	370	323	46	248	209	34	19.07	43.27	131.91	87.72	128.42	148.19
玉米	308	278	581	232	191	429	23.72	59.45	56.73	75.92	149.32	139.30
塑料	457	307	225	298	194	154	18.63	36.72	46.07	78.87	142.39	135.48
豆油	456	902	459	341	615	325	17.86	79.74	126.37	73.09	171.02	139.14
焦炭	392	243	155	302	188	116	34.84	45.56	64.64	98.58	138.02	125.42
焦煤	382	320	266	269	239	184	27.37	35.69	50.42	91.73	123.48	128.28
豆一	139	363	551	115	268	387	22.42	28.96	34.18	93.80	131.71	124.80
螺纹钢	584	367	264	366	212	130	8.44	9.25	9.76	73.36	75.18	72.95
热轧卷板												
板	135	139	123	75	81	83	16.37	23.81	39.62	98.38	124.52	125.72
橡胶	806	736	624	550	549	415	26.24	51.99	52.20	91.77	154.93	134.54
菜粕	563	503	950	382	394	652	19.50	63.77	69.26	65.63	143.52	150.32
PTA	267	575	947	196	443	640	33.63	58.05	26.69	100.80	158.88	109.64
甲醇	528	763	649	359	524	464	17.53	11.16	16.82	83.44	65.20	98.49

	总交易次数			获利次数			SR			IR		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
白糖	541	403	1084	375	261	663	25.43	21.73	17.49	106.07	110.61	93.51
棉花	281	283	786	220	204	533	38.41	94.56	49.61	95.52	167.50	117.20
玻璃	728	523	404	512	411	300	21.57	62.63	102.09	64.10	128.96	153.77
菜油	561	812	830	422	535	594	34.97	54.04	82.45	95.48	130.98	132.34
15 分钟频度												
豆粕	162	215	213	108	154	158	9.79	9.11	22.03	86.67	86.20	123.16
铁矿石	240	249	210	177	161	142	23.91	24.60	32.84	89.47	106.38	108.41
棕榈油	280	334	309	183	206	209	7.14	7.03	13.06	64.13	60.39	99.52
聚丙烯	146	123	44	87	71	27	4.71	7.41	19.86	42.90	69.68	121.11
玉米	69	72	101	47	47	60	5.44	16.84	11.91	52.11	133.13	94.80
塑料	144	113	125	95	62	93	6.06	11.67	12.84	47.98	87.52	89.61
豆油	293	318	269	216	208	195	18.74	30.72	54.43	87.69	141.90	140.25
焦炭	166	148	121	112	98	78	6.90	4.28	4.34	67.72	47.66	46.38
焦煤	171	181	156	110	117	101	5.33	6.50	10.10	40.67	52.56	72.65
豆一	48	144	230	35	105	160	8.27	10.03	9.95	70.18	90.37	89.56
螺纹钢	127	183	43	77	105	27	6.05	5.34	11.78	59.27	54.58	87.58
热轧卷板	77	114	94	43	64	56	4.83	4.04	7.47	55.86	53.06	90.00
橡胶	269	207	204	177	152	133	10.19	20.80	15.71	64.46	130.46	95.79
菜粕	203	235	262	146	174	154	4.69	11.28	11.63	32.40	74.60	73.26
PTA	126	167	366	82	116	204	14.65	24.23	6.56	102.07	145.66	64.11
甲醇	278	276	276	173	181	198	5.25	3.80	6.20	53.71	40.38	61.38
白糖	185	152	343	117	102	211	10.20	9.97	4.46	83.26	96.56	52.39
棉花	85	117	313	61	80	214	14.29	14.64	12.27	75.47	93.82	84.71
玻璃	261	275	174	160	194	125	3.01	12.67	22.38	17.93	74.58	97.51
菜油	156	281	313	104	190	206	31.38	26.12	40.54	109.37	119.29	142.73
30 分钟频度												
豆粕	73	150	117	46	99	83	11.69	7.60	13.18	91.76	80.36	97.09
铁矿石	117	148	114	81	95	69	16.30	10.48	12.78	88.55	77.62	77.80
棕榈油	149	190	174	91	109	126	4.53	4.31	7.47	53.39	51.10	71.92
聚丙烯	85	82	31	50	55	25	1.68	4.42	13.22	19.96	50.65	118.62
玉米	43	60	84	30	39	50	5.50	10.15	8.12	55.86	94.14	86.33
塑料	86	71	67	61	38	42	3.46	6.89	6.00	43.10	78.01	64.52
豆油	136	140	136	102	94	97	13.80	22.21	48.05	87.04	139.77	139.51
焦炭	116	109	92	76	73	64	4.74	2.35	4.33	52.00	26.64	45.43
焦煤	31	20	12	23	14	11	11.07	7.20	15.26	74.04	59.18	108.47
豆一	26	46	141	16	30	92	24.19	21.65	9.10	114.86	134.91	106.95
螺纹钢	99	22	27	59	17	17	5.29	22.96	14.88	54.06	163.40	103.70
热轧卷板	64	100	67	35	71	43	6.76	3.62	7.45	62.50	39.55	77.85
橡胶	48	99	85	36	72	52	13.53	24.51	11.72	100.61	151.99	101.77
菜粕	94	80	115	64	53	78	3.13	6.12	7.57	29.75	54.94	65.17

	总交易次数			获利次数			SR			IR		
	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市	震荡	熊市	牛市
PTA	45	39	177	34	26	113	8.87	13.88	2.70	91.55	131.64	36.54
甲醇	77	90	93	48	63	66	5.03	1.85	3.23	59.74	25.30	43.10
白糖	107	92	147	71	56	78	9.83	14.42	5.28	75.93	130.09	55.16
棉花	38	68	156	22	45	95	29.29	14.18	7.26	121.20	108.86	62.86
玻璃	154	111	87	97	73	58	3.68	8.43	11.34	30.67	64.36	79.68
菜油	111	127	115	76	67	81	18.53	16.94	24.58	96.23	109.02	119.67

后记

三年学硕生涯如白驹过隙，转瞬即逝。在这人生宝贵的三年时间里，我经历了学海求索的冥思，也体验了业界实习的艰辛，更是参加了多个课题的研究，不断拓展自己的知识面与人生经历。三年虽短，但是学到的金融知识，懂得的人生道理，交到的一生挚友却都是受用一生的宝贵财富。

首先要诚挚地感谢我的导师潘志斌副教授。与潘老师初识于本科金融工程课堂，在成功直研后，是他引导着我不断钻研金融领域的各个方向。在潘老师的指导下，我的学术能力有了大幅度的提升，对专业知识的掌握也更加全面深入，为我未来的职业发展打下了坚实的基础。潘老师不但在学术上给予我指导与帮助，更是给我传授了非常多的业界经验，帮助我获得了许多难得的锻炼机会。更是在我苦苦冥思择业方向时，给予我思路与帮助。

其次，还要感谢同学张东、傅开波、陈吉、陈萌、郭全毓、金琪、李满胜男等人，以及本科室友与同学，师门的师兄弟们，给予我的专业上的帮助与生活上关怀。是他们的优秀，敦促我不断提高自己；是他们的善良与热情，让孤身一人求学的我倍感温馨。

最后，感谢我的父母及妹妹，正是他们多年来对我无微不至的关爱与支持，才促使我不断努力提升自我，逐渐变得能够独当一面。也是在他们的支持下，我才能够顺利完成研究生三年的学业。

郑伟东

二零一八年二月