



## 东兴证券-金融工程 CTA 系列深度报告之二

2014 年 12 月 16 日

### 基于冲击成本分析的股指期货套利策

金融工程 研究报告

#### 略

#### 核心观点：

- 以 mean-reverting 模型为指导，描述了在合理基差附近波动的基差走势，为股指期货套利提供了理论依据。
- 提出了通过对比多空单寻找合理基差的方法，并与 EMA 结合，说明了构造合理基差走势的过程。
- 通过测算目标市场的冲击成本函数从而得到模型参数，并通过模拟寻找合理的交易入场点，止盈线和交易周期。
- 实证对比了本文策略与均值偏差套利法的策略表现。在严格的交易成本下，相比于负收益的均值偏差法，本文策略能获得一定的正收益。
- 全篇报告，提出一些股指期货套利的思路和想法。还有未深入之处将在未来的报告中研究。

#### 张 胜

电话：010-66555446  
手机：18518050961  
邮件：[zhangsheng@dxzq.net.cn](mailto:zhangsheng@dxzq.net.cn)  
[Zhang\\_sheng\\_zju@163.com](mailto:Zhang_sheng_zju@163.com)

#### 姜 力

电话：010-66554012  
邮件：[jiangli@dxzq.net.cn](mailto:jiangli@dxzq.net.cn)  
执业证书编号：S 1480514030003

#### 最近研究报告

1. 东兴证券-金融工程 2014 年投资策略报告：基于情景特征和时变特征的多因子投资策略  
20140125
2. 东兴证券-金融工程期权系列深度报告（4）：基于波动率的期权交易策略  
20140228
3. 东兴证券-金融工程期权系列深度报告（5）：指数、股指期货与指数期权的内在关系与交易策略研究  
20140327
4. 东兴证券-金融工程新股深度报告（1）：无边落木萧萧下 新股申购上上签  
20140513
5. 东兴证券-金融工程新股深度报告（1）：无边落木萧萧下 新股询价上上签  
20140612
6. 金融工程的新主场—结构化产品系列研究之一  
20140829
7. 期权推出对现货市场的影响—韩国指数期权系列研究之二  
20140903
8. 亚洲衍生品市场的开拓者：日本期权市场研究之一  
20141017

## 目录

0、引言.....	3
1、模型建立.....	4
2、模型的模拟与实证.....	8
3、研究总结.....	11

## 图目录

图表 1 Mean-Reverting 基差波动过程的模拟.....	4
图表 2 不同合理基差下对应的市场趋于合理基差力度.....	5
图表 3 不同 $\alpha$ 下的合理基差 EMA 对应的市场趋于合理基差力度.....	6
图表 4 当月主力合约交易量与价格波动关系图.....	7
图表 5 下月合约交易量与价格波动关系图.....	8
图表 6 华泰柏瑞沪深 300ETF 交易量与价格波动关系图.....	8
图表 7 当月主力合约与下月合约净交易量与基差偏离的关系.....	9
图表 8 基差触碰止盈线概率的模拟.....	9
图表 9 交易策略流程.....	11
图表 10 策略在 0.52 点基差成本下 15 天交易日的表现.....	12
图表 11 均值偏离策略于测试日交易结果（无交易成本和有交易成本的比较）.....	12

## 表目录

表格 1 基差走势触碰止盈线概率表.....	10
表格 2 不同情况下策略单日表现.....	11

## 0. 引言

股指期货套利作为 CTA 重要策略之一，包括股指期货现套利和股指跨期合约套利。按照套利理论，投资者可以通过持有成本法估算出无套利区间的上下边界，当基差偏离边界时，反向操作两种目标标的，以期基差回归理性，从而获利。此策略并非无风险的套利策略，除了期现套利自身存在的跟踪误差风险（投资者的现货组合无法跟踪匹配真实现货组合的风险则称为跟踪误差风险）外，主要存在以下两大风险：（1）基差风险。有时基差的走势会大大偏离于投资者们估计的合理值，而导致投资者的投资以负收益收场（例如长期资本管理公司 LTCM 的失败）。股指期货由于交割期的存在，相比于一般统计套利，其基差风险要小得多。然而在合约终止前，基差往往可能在较长一段时间内偏离合理值，由于日内结算机制的存在，套利投资者往往需要进行补仓，从而面临被强行平仓的风险。（2）冲击成本风险。市场价格由于投资者交易的影响产生波动，导致投资者的交易结果比预期交易多付出的隐性成本被称为冲击成本。市场给股指期货套利者们的套利空间有限，自身交易带来的市场价格冲击往往抹平这个空间，甚至出现与套利逻辑相反的操作结果。

本报告基于以上两种风险，对秒级别股指期货套利进行相关方面的探索。股指期货高频套利交易往往需要在严格的开仓平仓信号和止盈止损线下进行快速地建仓平仓，以捕获有限的非理性基差。因此，作为这方面的投资者有两个问题需要回答：1. 如何定义理性基差？我们知道对于股指期货，无套利基差的设定是基于无风险利率与股息率。然而在交易时间里，现期与远期的无风险利率也在不断地变化（例如 shibor），且短期的基差往往表现出更多的市场情绪。因此，这个所谓的瞬时理性基差不能用简单的公式去计算。2. 自身的交易带来的隐形成本有多大？正确地衡量交易成本与捕获的基差点数，是一笔交易是否能取得正收益的关键。许多套利投资者在捕获微小的套利空间时，往往自身成本位已经使得套利空间消失或者对手盘过少使得无法在预期价位成交。因此，由于忽视市场冲击与市场流动性，股指期货套利交易里普遍存在着“美好的理论与残酷的现实”的案例。本报告基于理论和实证对以上两个问题进行探索，对秒级别的股指期货套利交易有一定的启示作用。（注：为便于描述，以下例子基于 2014 年 1 月至 11 月间的当月主力合约 IF1411 和下月合约 IF1412 秒级数据和分钟数据）

## 1. 模型建立

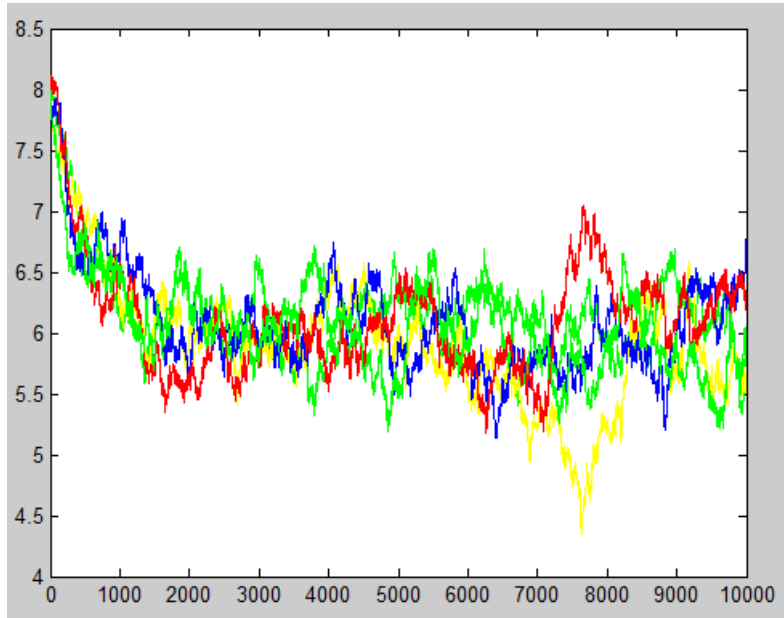
### 1.1 基差模型

对于股指期货套利，我们关注的是股指期货与现货之间的价格走势关系，也就是两者的基差（现货价格减去期货价格）走势。基差套利理论基础是，基差在偏离理性基差时，将有回归理性基差的趋势。如果没有这个理论基础，高频套利的逻辑也就无法成立。因此，基差走势可以看成是一个围绕合理基差波动的 mean-reverting 过程（如图 1）

$$dBS_t = -k(BS_{t-1} - \bar{BS})dt + \sigma_{BS} BS_{t-1} dW_t$$

其中， $\bar{BS}$  指的是理性基差，在一定时间段内，可以认为依据市场信息判断的理性基差为恒定值。上述过程，使得当前基差高于或低于理性基差时，市场产生反向作用，且反向力度随着偏离程度的增大而增大。也就是市场有修复不合理基差的功能。将基差描述为上述过程也符合基差不合理时，市场上价值投资者修正不合理区间，其他套利投资者参与套利使得套利空间减小的实际情况。（如图 1 为合理基差为 6 时基差趋于合理基差的模拟，此处波动设置较小）

图 1 Mean-Reverting 基差波动过程的模拟（合理基差为 6）



数据来源：东兴证券研究所

那么如何来确定理性基差  $\bar{BS}$ 。基于市场冲击理论，价格波动是由于交易造成的。

我们可以通过交易多空的对比来反向推导出  $\bar{BS}$ 。以范例日的主力合约 IF1411 和下月合约 IF1412 为例（注，为简化描述以下实例均为这两个合约），当我们认

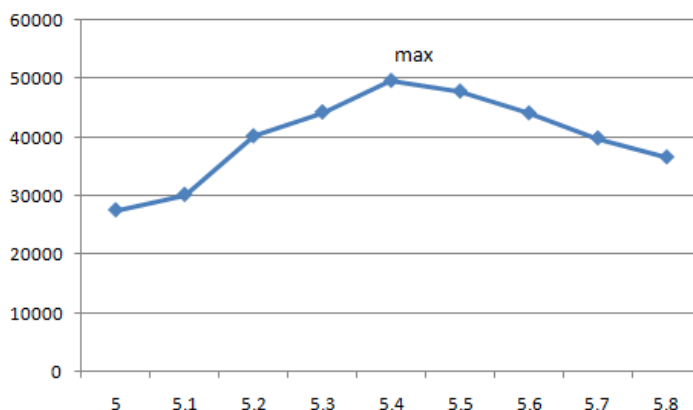
为  $IF1411-IF1412$  大于  $\overline{BS}$  时，市场应该表现出降低  $IF1411$  价格（空单大于多单）和抬高  $IF1412$ （多单大于空单）的趋势，反之，趋势相反。如果符合上述趋势的市场表现认定为正确的市场表现，我们应该找到一个合理的  $\overline{BS}$  去最大化这种正确的市场表现。

$$\max_{BS \in \{ \}} \sum_{t=1}^N \beta_t \left( \frac{\text{现货卖一量} - \text{现货买一量}}{\min(\text{现货卖一量}, \text{现货买一量})} + \frac{\text{期货买一量} - \text{期货卖一量}}{\min(\text{期货买一量}, \text{期货卖一量})} \right)$$

$$\text{If } (BS_t > \overline{BS}) \quad \beta_t = 1 \quad \text{Else } \beta_t = -1$$

上述优化公式，通过净多单和净空单的对比去寻找能最准确描述市场动态的合理基差。我们将上述公式的终值定义为市场趋于合理基差的力度，通过历史数据，寻找一个合理的基差去最大化上述公式的终值。以一段交易时间的数据为数据拟合区，我们得到的最优合理基差为 5.4。（如图 2）

图 2 不同合理基差下对应的市场趋于合理基差力度



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

然而对于较长的交易周期，合理基差将是一个随着时间和市场的预期不断变化的一个过程。对于较长的交易时间区间，固定的合理基差显然不合理，我们需要寻找一个描述合理基差走势的过程。一个简单的方法就是运用指数平均数指标 EMA 来描述这个过程。

$$EMA_t = \alpha BS_t + (1 - \alpha) EMA_{t-1}$$

对于  $EMA_0$ ，可以通过第一种方法取之前一段时间的数据进行计算。现在的问题

就是寻找合理的  $\alpha$  来最大化市场趋于动态合理基差的力度。对于  $\alpha$  的优化

模型，同理则为

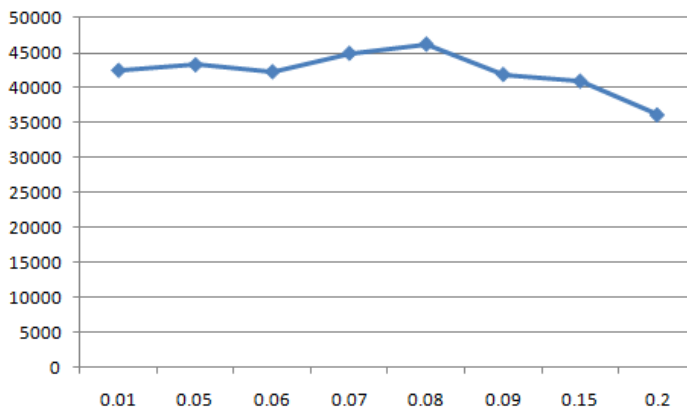
$$\max_{\alpha \in \{1\}} \sum_{t=1}^N \beta_t \left( \frac{\text{现货卖一量} - \text{现货买一量}}{\min(\text{现货卖一量}, \text{现货买一量})} + \frac{\text{期货买一量} - \text{期货卖一量}}{\min(\text{期货买一量}, \text{期货卖一量})} \right)$$

$$\text{If } (BS_t > EMA_t) \quad \beta_t = 1 \quad \text{Else} \quad \beta_t = -1$$

实验数据的优化结果为  $\alpha = 0.08$ 。运用上述方法，我们可以在交易的过程

中确定根据市场实时变化的理性基差（如图 3）。

图 3 不同  $\alpha$  下的合理基差 EMA 对应的市场趋于合理基差力度



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

## 1.2 市场冲击

根据市场冲击理论，基差的定向漂移来自于市场交易的结果，漂移的

速度取决于交易的冲击力度  $g(v)$  和交易速度  $v$ 。

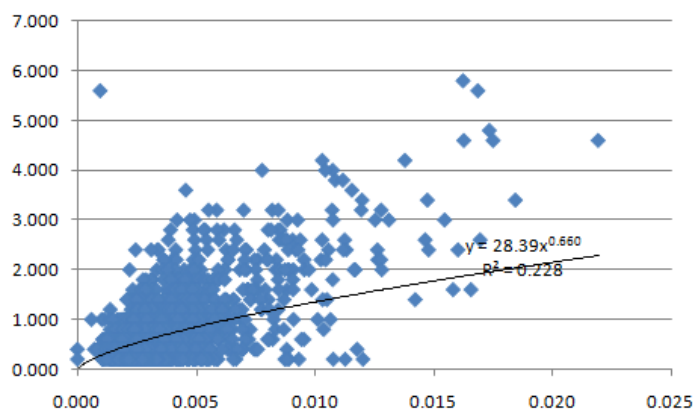
$$dS_t = S_{t-1} g(v) dt + \sigma S_{t-1} dW_t$$

对于股指期货套利交易，交易的标的来自于两个不同的市场，了解交易量在两个市场的冲击程度，不仅有助于我们判断交易产生的隐性成本，而且能帮住测算仓单交易下基差趋于理性的速度。从已有的学术界研究来看，永久冲击成本函数和暂时冲击成本函数为幂指数形式：

$$g(v) = \text{sgn}(X)\gamma|v|^\alpha \quad h(v) = \text{sgn}(X)\eta|v|^\beta$$

关于冲击函数的拟合研究较多，过程也较为简单，在此不再叙述拟合过程。我们在拟合冲击函数的过程中，发现了如下几个问题：1.股指期货秒级别的交易数据分布无规则，而分钟级别的数据则符合幂指数的假设。我们的理解是，期货市场交易速度与价格变化确实是符合幂指数形式，但在秒级别的数据下，瞬时交易量往往不只是代表当前时间点的市场交易速度，未找到对收盘的交易单将会进入下一时刻的交易，因此交易速度与价格波动的关系在秒级别的视角来看不明显。2.作为股指期货较为匹配的现货标的华泰柏瑞沪深 300ETF，其交易速度与价格波动关系也处于无规则关系。这点可以理解为沪深 300ETF 的价格主要受到沪深 300 指数的影响，因此价格的变化往往不是通过交易冲击逐渐形成而是指向性的一步到位。3.当月主力合约的冲击力度小于下月合约冲击力度。在我们的例子中当月主力合约 10 手/秒的交易速度将造成 0.0045/秒的价格变化，而下月合约 10 手/秒的交易速度将造成 0.0296/秒的价格变化。这一点也符合相同的交易速度下，市场流动性大冲击程度小的逻辑。

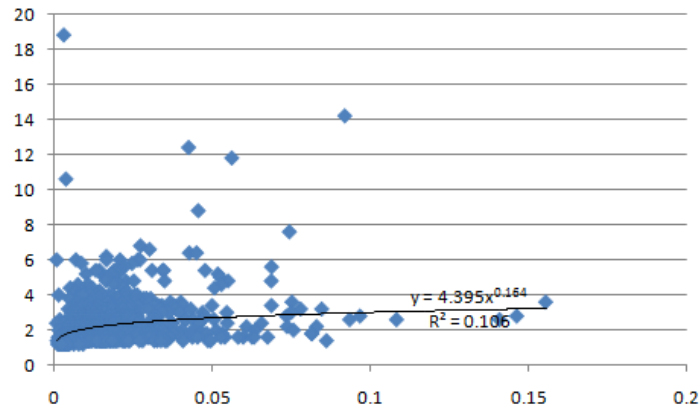
图 4 当月主力合约交易量与价格波动关系图



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

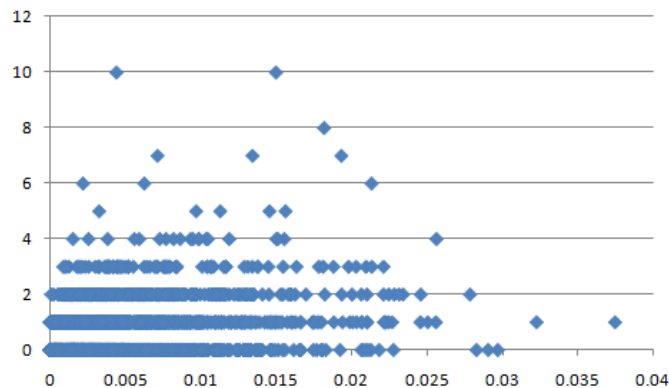


图 5 下月合约交易量与价格波动关系图



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

图 6 华泰柏瑞沪深 300ETF 交易量与价格波动关系图



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

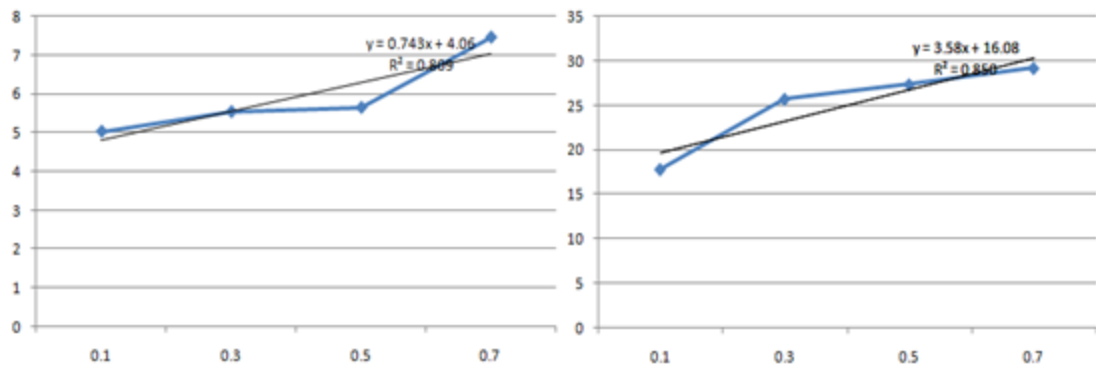
基于之前的结论，不合理基差的扩大带来了更大的市场修复力度，而市场修复的力度来源于市场的净多单或者净空单的交易速度。从以下几个图表我们可以看出，净多（净空单）量与基差偏离合理基差的程度成正比相关，此处合理基差以上文提及的 EMA 优化方法（ $a=0.08$ ）进行测算。

我们通过线性拟合，刻画了基差偏离度与市场交易速度的关系。有

助于我们之后进行模型的模拟。

图 7 当月主力合约与下月合约净交易量与基差偏离的关系



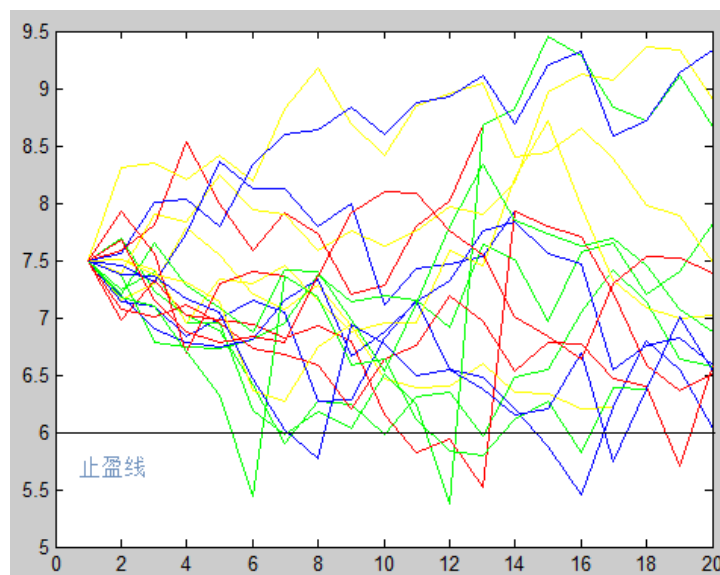


数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

## 2.模型的模拟与实证

统计了历史的基差波动率之后（在例子中，基差波动率为 0.367），我们对 mean-reverting 模型的参数估计也已经完成。通过模型，我们可以根据不同的入场时机和止盈止损指标进行模拟探索。我们模拟了  $EMA(0) = 5.6$ ，止盈线为 5.8，交易周期为 20s，（如图 8）在不同的基差偏离程度下，基差能触碰到止盈线的概率（如表 1）。

图 8 基差触碰止盈线概率的模拟



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

表 1 基差走势触碰止盈线概率表

当前基差	6	6.5	7	7.5	8
合理基差					
恒定值=5.6	89%	64%	49%	33%	15%
EMA(0)=5.6	87%	62%	42%	23%	9%

我们可以从模拟实验中，选取合理的基差偏离入场点和止盈线。从表 1 中我们可以看出当基差偏离合理基差过大时，基差在 20s 内触碰止盈线的几率较低。在合理基差为固定值和合理基差服从 EMA 过程的情形下，我们看出固定值下的触碰概率较高的，因为 EMA 下允许理性基差自身产生偏移，因此交易结果会相对偏离于预期。通过对比表 2 的策略实测结果也可以看出，当基差偏离合理基差 0.4-0.5 个点作为入场点时，策略的测试效果达到最佳。当偏离程度过小时入场，策略失去了意义，因此取得负收益。当偏离程度过大入场，策略过于保守交易次数过少，交易效果也不佳。在此，我们通过万一五的手续费和冲击成本估算出每手的交易成本消耗 0.52 个点。

在此，我们的模拟没有考虑自身交易带来的市场冲击。我们需要考虑永久冲击成本  $J$  带来的平均冲击  $J/2$  和瞬时冲击成本  $I$  带来的成本位变化，而忽略瞬时冲击的消失，因为我们之前已经假定 mean-reverting 过程调节着市场。投资者可通过冲击成本和交易费用估算出总的交易成本，通过交易成本和预期收益确定止盈线。同时，对于高频交易，交易周期的延长带来的是基差走势更大的不确定性。因此投资者应选择适当的交易周期，之后根据模型确定交易成功的概率确定不同的入场点。具体的交易过程可归结为：

图 9 交易策略流程



数据来源：东兴证券研究所 Wind 数据整理

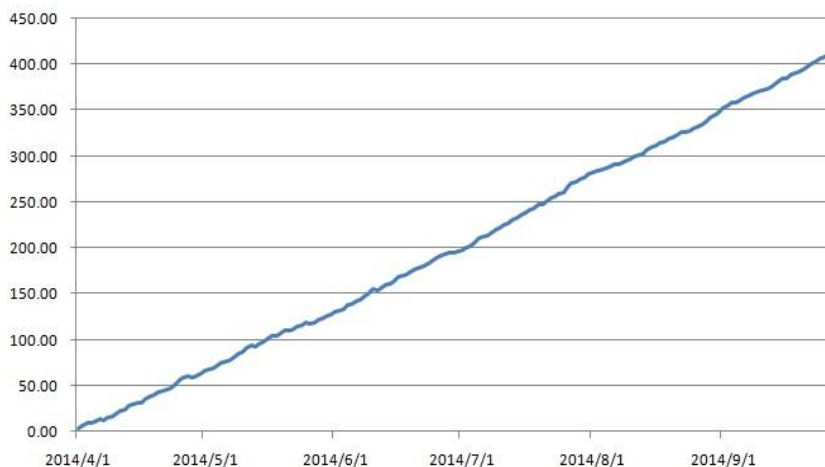
在不考虑交易成本下,大多数的套利策略都能表现出良好的盈利结果,当考虑交易成本时,尤其是套利交易双向建仓的情况下,高频套利的盈利能力就要大打折扣。随着,期货市场的逐步成熟,近年来套利空间也一直在缩小。根据我们的实验结果,通过优化期的数据对止盈线和入场点进行优化我们得到如下的 30000s 平均的净套利空间点 (扣除交易成本) 捕获情况:

表 2 不同情况下策略单日报表

入场基差偏离								
止损线		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.55		-42.92	12.24	13.96	7.52	5.72	1.4	0.64
0.65	显	-52.64	7.68	9.8	6.72	1.4	1.24	1.44
	然							

交易手续费是影响策略表现重要的因素之一,微小的交易手续费改变也能很大程度上影响策略结果,为了更好地应对手续费的影响,我们尽量选择较不激进 (即交易次数较少) 的交易策略。如图 12 是我们的优化策略在 180 个交易日历史数据的回测结果 (假设一次交易双向开仓 20 手)。180 天时间共进行 1402 次的交易,最大回撤点数仅为 1.65,捕获基差点数的过程平稳,共捕获 410.56 点。而对于均值偏离策略,每日平均 600 次的交易次数,当交易手续费较低时,则有很好的表现,然而对于稍微严格的交易费则只能产生负收益。

图 10 策略在 0.52 点基差成本下 180 个交易日的回测结果 (秒级别)

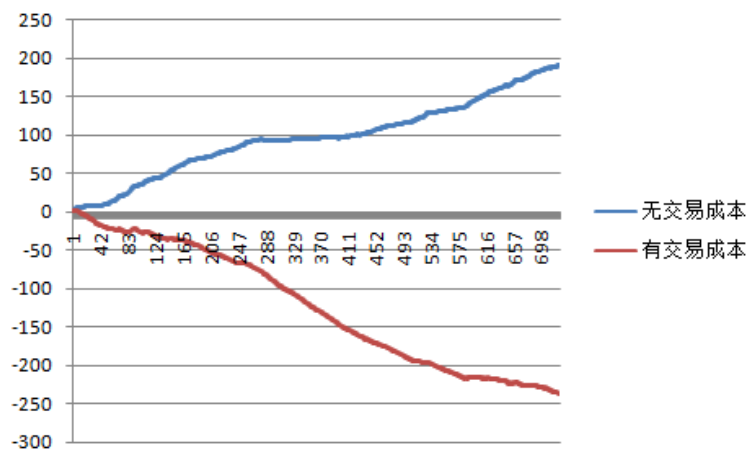


策略回测时间180天  
单次套利交易双向各20手  
共发出1402次交易信号

以一个交易日为时间窗口  
(平均每手):  
共捕获基差点数: **410.56**  
交易胜率: **92.7%**  
最大回撤基差点数: **1.65**

数据来源: 东兴证券研究所 Wind 数据整理

图 11 均值偏离策略于测试日交易结果（无交易成本和有交易成本的比较）



数据来源: 东兴证券研究所

### 3.研究总结

本研究主要探索了股指期货套利的两个主要问题：如何在交易过程中定义合理的基差；如何衡量交易量和基差变化对市场带来的影响。并通过模拟解释了如何确定入场时机，止盈线和交易周期。在实证测试中，考虑到交易成本的影响，我们可以看出在本研究指导下的策略优于一般的策略效果。

股指期货套利尚有許多可深入研究之处，例如如何更精确地通过秒级数据判断一笔交易在不同的基差偏离下可能带来的滑价，如何合理优化交易周期。因此，我们将在未来的工作中，逐步展开研究。



## 分析师简介

### 张胜

本科毕业于浙江大学计算机科学与技术专业，于英国爱丁堡大学获金融数学硕士学位，2014年8月加入东兴证券研究所，从事金融工程研究。

### 姜力

中国人民大学金融工程博士，FRM，2013年7月加盟东兴证券研究所，从事股票、基金、金融衍生品等的资产定价、交易策略和风险管理研究。

## 分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告的观点、逻辑和论据均为分析师本人研究成果，引用的相关信息和文字均已注明出处。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

## 免责声明

本研究报告由东兴证券股份有限公司研究所撰写，东兴证券股份有限公司是具有合法证券投资咨询业务资格的机构。本研究报告中所引用信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

我公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本报告版权仅为我公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为东兴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本研究报告仅供东兴证券股份有限公司客户和经本公司授权刊载机构的客户使用，未经授权私自刊载研究报告的机构以及其阅读和使用者应慎重使用报告、防止被误导，本公司不承担由于非授权机构私自刊发和非授权客户使用该报告所产生的相关风险和责任。

## 行业评级体系

公司投资评级（以沪深 300 指数为基准指数）：

以报告日后的 6 个月内，公司股价相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

强烈推荐：相对强于市场基准指数收益率 15% 以上；

推荐：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15% 之间；

中性：相对于市场基准指数收益率介于 -5% ~ +5% 之间；

回避：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

行业投资评级（以沪深 300 指数为基准指数）：

以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5% 以上；

中性：相对于市场基准指数收益率介于 -5% ~ +5% 之间；

看淡：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。