

金融工程

股指期货量化交易策略研究

——基于价差交易的高频统计套利 03：CUSCORE 模型（2012-08-28）

金融工程报告

◆ 内容提要

CUSCORE 模型针对股指期货当月合约和次月合约构建价差套利结合，在从 2010 年 4 月 16 日至 2012 年 6 月 15 日，共 498 个交易日期间，在考虑交易成本和滑价影响的前提下，无杠杆，获得 179.96% 的绝对收益，年化绝对收益率为 73.06%，年化 SHARPE 比率达到 8.19，最大回撤只有 3.73%。模型在获得高收益和风险控制方面的表现均比较出色。

我们对模型模拟交易结果进行了深入分析，总结出该模型的适用范围如下：

模型适用于由两只证券构建的套利组合，这两只证券的收益率长期存在较大的相关性，但是短期存在相互波动，即存在价差。

模型通过引入 cuscore 统计量对趋势进行了较好的识别，但对行情和交易的速度提出了较高要求。通过调整模型参数，CUSCORE 模型仍有进一步优化的可能。

分析师

冯 剑

(执业证书编号：S0930511090001)

021-22169176

fengj@ebscn.com

金融工程研究团队：刘道明；冯剑；于栋华；
倪蕴韬；张美云；张斯会

◆ 目录

- 一、价差套利模型简介
- 二、股指期货的价差套利策略：CUSCORE 模型
- 三、价差套利策略模拟交易
- 四、价差交易（CUSCORE 模型）分析总结

图表目录

- 表 1：价差套利日内交易清单
- 表 2：单日期差套利交易汇总（节选）
- 表 3：价差套利策略表现
- 表 4：价差套利日内交易清单（2010 年 11 月 15 日，部分）

图 1：价差套利交易信号（2010 年 11 月 15 日）

图 2：无时滞价差套利交易信号（2010 年 11 月 15 日）

一、价差套利模型简介

价差套利，又称配对交易，它是最早和最具代表性的统计套利方法。价差套利的思想和实践源于华尔街，它曾经创造了历时 15 年的投资传奇。

一般认为，当两只证券的收益率长期存在较大的相关性，但是短期存在相互波动，即存在价差，往往可以通过构建价差交易组合进行套利。其机理是，两只证券的长期收益率存在较大的相关性，说明它们的长期平均增长率比较接近，但是这两只证券短期收益率存在相互波动，又说明其短期涨幅和短期增速存在差异，这种长期一致但短期背离的矛盾的必然推论就是，短期波动必然存在一种反向的回复机制。因此如果能够在短期卖出涨幅过高或增速过快的证券，买入涨幅较低和增速较慢的证券，待其收益率回复之后再反向操作回复仓位配比，就可以获得其中的价差收益。这就是价差套利。

现实中的价差交易有两个难点，一个是套利组合的构建，另一个是交易信号的识别。

所谓套利组合的构建，就是寻找长期相关，短期背离的证券。现代统计分析方法和高速计算机的运用，可以为我们的构建套利组合提供便利。

所谓交易信号的识别模式，是指如何根据价差的波动出发出买卖信号，以实现相对稳定的获利。价差交易并不是无风险套利，它也有可能导致投资者出现账面亏损。我们会在第四部分详细讨论价差交易亏损的来源。

二、股指期货的价差套利策略：CUSCORE 模型

前期报告中，我们建立了价差套利 EMA 模型和协整模型。经过对两种模型套利结果的细致分析，我们发现，EMA 模型通过引入第 2 条 EMA 曲线对短期强趋势进行过滤，虽然计算迅速，但其过滤效果不甚理想；而通过协整进行趋势消除，继而进行价差交易的协整模型，对于短期趋势处理较好，在长期趋势面前仍无法杜绝交易亏损。

针对上述不足，我们提出 CUSCORE 模型，对趋势进行识别，尽可能去除由于趋势造成的信号失真。

1、价差交易 cuscore 统计量

cuscore 统计量源于工业过程控制中，用于对趋势变化的监控。顾名思义，该统计量取累计 (cumulate) 和分值 (score) 之意，即通过引入时间变量 t 对偏差进行加权，cuscore 统计量可以迅速揭示机器的磨损。

可以将 cuscore 统计量引入价差交易模型，监控价差趋势的变化。

考虑机器磨损与价差变化存在不同，前者的趋势变化往往是线性的，而后者则呈现非线性特征，因此我们对原始 cuscore 统计量进行了变化，构建价差交易 cuscore 统计量，

其公式如下：

$$cuscore = \sum_t (pl - ema2) \cdot t$$

其中，pl 为价差，ema2 为周期为 20 秒的价差 ema 曲线，t 为时间权。

价差交易 cuscore 统计量可以非常迅速地对价差趋势的变化作出反应，其数值越大，表明对原有趋势的偏差越明显。

2、信号识别模式

在 EMA 模型的基础上，我们将 cuscore 统计量对于趋势的判断加入信号识别模式，建立 CUSCORE 模型：

```
h$sig[(h$cuscore<c)&(h$pl>= h$ema+vp)] <- -1
```

```
h$sig[(h$cuscore<c)&(h$pl<=h$ema-vp)] <- 1
```

在上述 R 语言代码中，h 是我们的数据源矩阵，其中 pl、ema、cuscore、sig 分别代表价差、100 秒 EMA 曲线、价差交易 cuscore 统计量、交易信号。我们使用参数 c 来控制趋势变化的阈值，参数 vp 来控制信号发出的阈值。

前期研究表明，短期强趋势会导致信号失真从而导致亏损。在本模型中，我们运用 cuscore 统计量，对趋势发生变化的情况加以识别，只有在趋势未发生变化时，才会发出价差交易信号。

三、价差套利策略模拟交易

运用 CUSCORE 模型的算法，我们进行了价差套利模拟交易。

交易的参数设定如下：

价差交易套利组合：沪深 300 股指期货当月合约和次月合约

时间段：2010 年 4 月 16 日至 2012 年 6 月 15 日，扣除掉 26 个合约结算日，共 498 个交易日

数据频率：1 秒

交易成本：双边万二；因为每次价差套利交易包括开仓和平仓两笔，所以每次套利的成本是万四

成交价格：信号发出后 3 秒均价；因为在信号发出后才能进行交易，所以我们不能直接使用产生信号的价格，必须用后续价格

交易数量：3 手

杠杆率：0

隔夜持仓：无

另外，因为开盘价差波动过大，我们还去除了开盘集合竞价的价格。

表 1: 价差套利日内交易清单

time	p01	p02	m01	m02	sig	d.fund	stageWin	rate
2010-12-08 09:23:32	3213.0	3243.8	-3	3	-1	0.00	begin	0%
2010-12-08 09:48:29	3221.6	3256.4	3	-3	1	238.57	TRUE	0%
2010-12-08 10:07:27	3214.0	3240.2	-3	3	-1	5560.01	TRUE	0.1%
2010-12-08 10:24:13	3213.4	3247.0	3	-3	1	9799.76	TRUE	0.17%
2010-12-08 10:26:15	3215.8	3245.2	-3	3	-1	11608.78	TRUE	0.2%
2010-12-08 10:27:13	3216.0	3250.0	3	-3	1	13327.12	TRUE	0.23%
2010-12-08 10:30:08	3216.8	3246.6	-3	3	-1	13200.50	FALSE	0.23%
2010-12-08 10:38:26	3212.4	3247.0	3	-3	1	12714.08	FALSE	0.22%
2010-12-08 10:59:32	3207.6	3237.4	-3	3	-1	11373.20	FALSE	0.2%
2010-12-08 13:12:54	3203.8	3236.6	3	-3	1	8818.34	FALSE	0.15%
2010-12-08 13:16:47	3205.4	3232.6	-3	3	-1	10717.72	TRUE	0.18%
2010-12-08 13:46:49	3202.0	3233.8	3	-3	1	11896.62	TRUE	0.2%
2010-12-08 13:47:46	3195.4	3223.4	-3	3	-1	11365.74	FALSE	0.2%
2010-12-08 14:10:29	3203.0	3236.0	3	-3	1	12769.30	TRUE	0.22%
2010-12-08 14:32:58	3189.8	3220.0	-3	3	-1	12418.00	FALSE	0.21%
2010-12-08 14:33:45	3189.0	3223.8	3	-3	1	11347.12	FALSE	0.2%
2010-12-08 14:35:05	3191.4	3221.2	-3	3	-1	11131.34	FALSE	0.19%
2010-12-08 14:44:29	3177.6	3210.2	3	-3	1	9206.32	FALSE	0.16%
2010-12-08 14:45:07	3181.8	3209.2	-3	3	-1	8046.77	FALSE	0.14%
2010-12-08 15:06:53	3170.6	3203.4	3	-3	1	9091.80	TRUE	0.16%
2010-12-08 15:14:11	3160.2	3188.4	-3	3	-1	9056.84	FALSE	0.16%
2010-12-08 15:15:00	3159.6	3190.0	0	0	0	8072.29	FALSE	0.14%

表格各列的含义如下:

time: 交易时刻

p01: 当月合约价格

p02: 次月合约价格

m01: 当月合约持仓量

m02: 次月合约持仓量

sig: 交易信号

d.fund: 累计盈亏

stageWin: 上一笔价差交易是否获利, 第一行表示多空建仓

rate: 当日累计收益率

没有隔夜持仓, 我们在每日收盘时会有一个多空平仓的操作, 如表 1 中最后一行所示。

从表 1 中可知, 在 2010 年 12 月 8 日当天, 共进行了 22 笔交易, 最终收益为 0.14%。

针对上述 498 个交易日, 我们都可以给出如表 1 所示的价差套利交易清单。我们对这 498 张交易清单进行汇总, 得到表 2。

表 2：单日期差套利交易汇总（节选）

date	min	max	return	StgWin	StgLose	StgWinRt	Win
2010/4/16	-0.092%	0.170%	0.112%	24	20	55%	TRUE
2010/4/19	-0.322%	0.222%	-0.009%	64	59	52%	TRUE
2010/4/20	-0.100%	0.080%	-0.014%	40	29	58%	TRUE
2010/4/21	-0.025%	0.066%	-0.005%	14	13	52%	FALSE
2010/4/22	-0.076%	1.063%	1.063%	85	25	77%	TRUE
...
2012/6/14	-0.026%	0.029%	-0.026%	1	1	50%	FALSE

表格各列的含义如下：

date：交易日期

min：日内最低收益率

max：日内最高收益率

return：当日最终收益率

StgWin：日内获利交易次数

StgLose：日内未获利交易次数

StgWinRt：日内交易胜率

Win：最终收益率是否为正，NO TRADE 表示当日无价差交易机会

表 2 是整张汇总表的节选，完整的汇总表请参见附录。

表 3：价差套利策略表现

交易概况	总交易天数	有套利交易天数	交易参与率	盈利天数	胜率
	498	473	94.98 %	309	65.33%

日内交易情况	单日最大盈利	单日最大亏损	日内最大盈利	日内最大亏损
	3.55%	1.17%	3.58%	1.35%

收益率指标	累计盈利	年化收益率	年化夏普比率	最大回撤	止损次数占比
无止损	151.95%	63.61%	6.66	13.35%	-
0.5‰止损	149.41%	62.73%	7.52	1.05%	33.40%
1‰止损	169.97%	69.74%	8.03	1.88%	17.97%
2‰止损	179.96%	73.06%	8.19	3.73%	8.88%

四、价差交易（CUSCORE 模型）分析总结

1、模型特征分析

CUSCORE 模型最大单日亏损产生于 2010 年 11 月 15 日，当日净值亏损 1.17%。我们可以将该日作为典型案例，深入分析价差套利的亏损原因。

首先，我们给出当日价差套利日内交易清单。

可以发现，在当日共进行了 127 次价差交易中，引起亏损的交易有 74 次，占比较大。

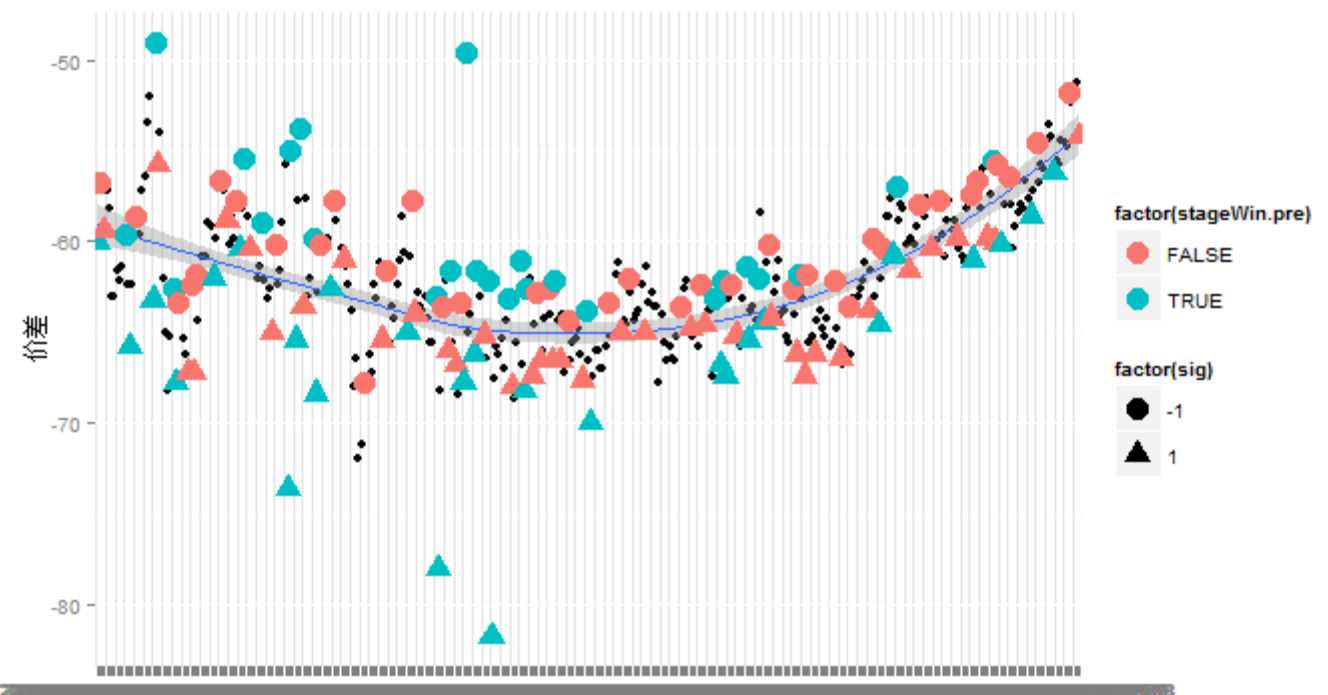
表 4：价差套利日内交易清单（2010 年 11 月 15 日，部分）

time	p01	p02	m01	m02	sig	fund	stageWin	rate	
2010-11-15 09:16:38	3301.8	3361.8		3	-3	1	0	begin	0%
2010-11-15 09:17:09	3306.6	3363.4		-3	3	-1	569.79	TRUE	0.01%
2010-11-15 09:18:25	3306.8	3366.2		3	-3	1	-884.838	FALSE	-0.01%
2010-11-15 09:25:18	3311.8	3371.4		-3	3	-1	-4722.93	FALSE	-0.08%
2010-11-15 09:25:43	3308.8	3374.6		3	-3	1	-4421.14	TRUE	-0.07%
2010-11-15 09:26:53	3316.4	3375		-3	3	-1	-3849.58	TRUE	-0.06%
2010-11-15 09:32:49	3306	3369.2		3	-3	1	-8856.02	FALSE	-0.15%
2010-11-15 09:32:52	3317.6	3366.6		-3	3	-1	-6888.25	TRUE	-0.11%
2010-11-15 09:32:54	3311.8	3367.6		3	-3	1	-6675.56	TRUE	-0.11%
2010-11-15 09:37:51	3309.4	3372		-3	3	-1	-16089.1	FALSE	-0.27%
2010-11-15 09:38:10	3310.8	3378.6		3	-3	1	-14433.3	TRUE	-0.24%
2010-11-15 09:38:35	3311.6	3375		-3	3	-1	-13452.9	TRUE	-0.22%
2010-11-15 09:40:57	3316	3383.2		3	-3	1	-13687.4	FALSE	-0.23%
2010-11-15 09:41:14	3310.8	3373.2		-3	3	-1	-13966.8	FALSE	-0.23%
2010-11-15 09:41:17	3309.4	3376.6		3	-3	1	-14965.8	FALSE	-0.25%
2010-11-15 09:41:20	3313	3374.8		-3	3	-1	-15334.6	FALSE	-0.26%
2010-11-15 09:47:12	3315.6	3377.6		3	-3	1	-20381.5	FALSE	-0.34%
2010-11-15 09:48:15	3317.2	3373.8		-3	3	-1	-19668.6	TRUE	-0.33%
2010-11-15 09:50:10	3315.2	3374		3	-3	1	-20665.3	FALSE	-0.34%
2010-11-15 09:54:10	3310.6	3368.4		-3	3	-1	-21886.5	FALSE	-0.36%
2010-11-15 09:55:10	3311.6	3372		3	-3	1	-21937.7	FALSE	-0.37%
2010-11-15 09:56:29	3312.6	3368		-3	3	-1	-21089.3	TRUE	-0.35%
2010-11-15 09:58:11	3314	3374.4		3	-3	1	-19971.3	TRUE	-0.33%
2010-11-15 10:01:40	3318.6	3377.6		-3	3	-1	-22047.4	FALSE	-0.37%
2010-11-15 10:04:44	3312.6	3377.6		3	-3	1	-20569.2	TRUE	-0.34%
2010-11-15 10:05:02	3312	3372.2		-3	3	-1	-20980.8	FALSE	-0.35%
2010-11-15 10:08:56	3271	3344.6		3	-3	1	-25125.7	FALSE	-0.42%
2010-11-15 10:08:57	3289.8	3344.8		-3	3	-1	-23691.2	TRUE	-0.39%
2010-11-15 10:09:36	3282.6	3348		3	-3	1	-21312.6	TRUE	-0.36%
2010-11-15 10:11:12	3280	3333.8		-3	3	-1	-19070	TRUE	-0.32%
2010-11-15 10:11:17	3274.2	3337.8		3	-3	1	-16738.3	TRUE	-0.28%
2010-11-15 10:14:02	3270.2	3330		-3	3	-1	-18320.9	FALSE	-0.31%
2010-11-15 10:14:09	3261.2	3329.6		3	-3	1	-15089.9	TRUE	-0.25%
2010-11-15 10:14:47	3273.4	3333.6		-3	3	-1	-12264.9	TRUE	-0.2%
2010-11-15 10:17:27	3280	3342.6		3	-3	1	-13939.3	FALSE	-0.23%
2010-11-15 10:17:53	3281	3338.8		-3	3	-1	-13858.8	TRUE	-0.23%
2010-11-15 10:20:25	3277.8	3338.8		3	-3	1	-15847.4	FALSE	-0.26%
2010-11-15 10:27:51	3271.4	3339.2		-3	3	-1	-27326.5	FALSE	-0.46%
2010-11-15 10:34:01	3273.6	3339		3	-3	1	-32818.3	FALSE	-0.55%

2010-11-15 10:35:00	3276.6	3338.2	-3	3	-1	-33315	FALSE	-0.56%
2010-11-15 10:41:50	3285	3350	3	-3	1	-34801	FALSE	-0.58%
...
2010-11-15 15:14:18	3296.8	3351	3	-3	1	-69569.2	FALSE	-1.16%
2010-11-15 15:14:59	3298	3351	0	0	0	-69945	FALSE	-1.17%

图 1 画出了当日的交易信号示意。图中三角形状表示做多当月合约，做空次月合约；圆圈形状表示反向操作；绿色表示获利交易，红色表示亏损交易。

图 1：价差套利交易信号（2010 年 11 月 15 日）



根据我们在 EMA 模型中的研究，价差交易的亏损原因主要来自滑价、信号阈值和短期强趋势 3 个方面。对于 CUSCORE 模型，我们目前只分析滑价的影响。

如前所述，价差交易只有在交易信号发出后才能进行，因此实际成交价格与信号发生时点的价格有可能存在偏差，这就是滑价。

在模拟交易中我们已经考虑了滑价的影响。在价格方面我们引入了成交价时滞，我们所采用的成交价格，是信号发出后 3 秒内的成交均价。为了分离滑价导致的亏损，我们对成交价时滞进行了测试。当成交价时滞为 0 的时候，收益将由亏损 1.17% 变成盈利 3.75%。由此可见，跟其他价差套利模型相比，CUSCORE 模型在交易速度方面的要求更高。我们分析其原因在于，cuscore 统计量对于时间反应极为灵敏所致。

图 2：无时滞价差套利交易信号（2010 年 11 月 15 日）

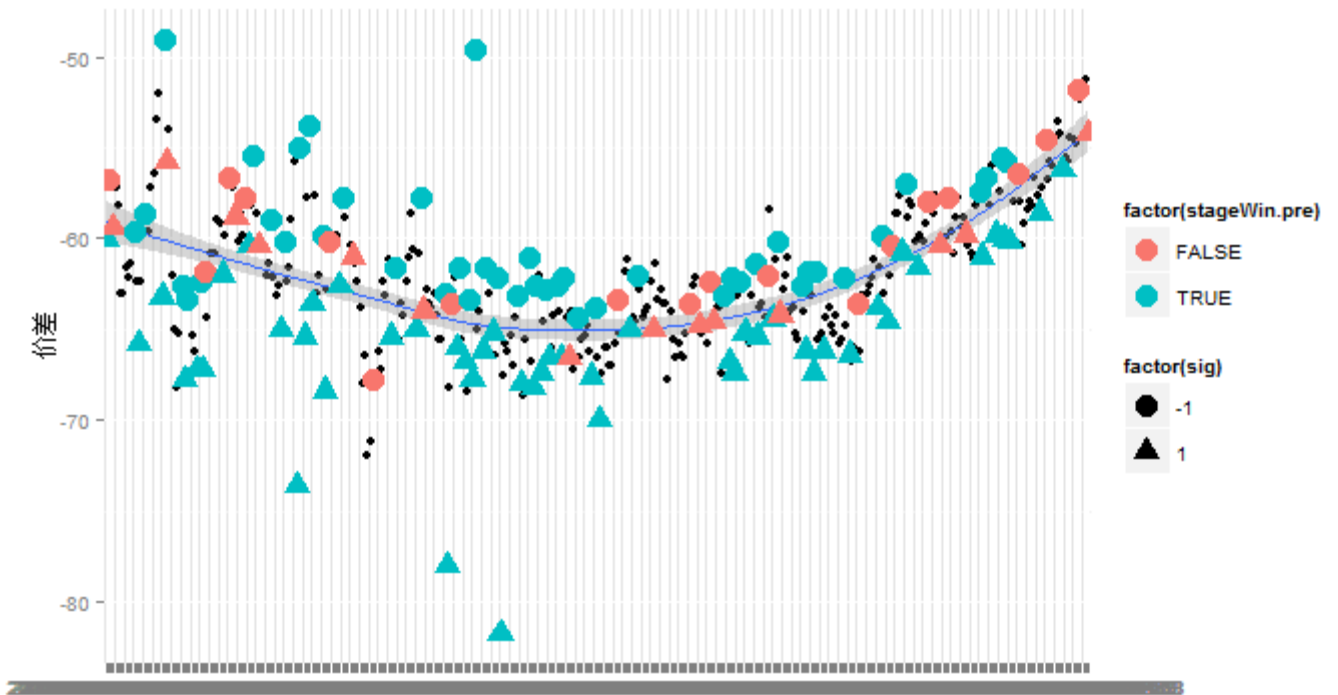


图 2 是无成交价时滞的模拟交易信号。可见，如果没有滑价影响，CUSCORE 模型的日内胜率将大幅提升。同时，我们还发现一个新的现象，此时亏损交易点大多集中于价差均值平滑曲线附近。可知，通过调整信号阈值 vp ，CUSCORE 模型仍有进一步优化的可能。我们的三个价差交易模型都没有刻意地进行参数优化，以反映价差交易算法本身的一般特征。对于价差交易的参数设置和调试，我们会专门撰写报告加以分析。

2、模型总结

模型针对股指期货当月合约和次月合约构建价差套利组合，在从 2010 年 4 月 16 日至 2012 年 6 月 15 日，共 498 个交易日期间，在考虑交易成本和滑价影响的前提下，无杠杆，获得 179.96% 的绝对收益，年化绝对收益率为 73.06%，年化 SHARPE 比率达到 8.19，最大回撤只有 3.73%。模型在获得高收益和风险控制方面的表现均比较出色。

我们对模型模拟交易结果进行了深入分析，总结出该模型的适用范围如下：

模型适用于由两只证券构建的套利组合，这两只证券的收益率长期存在较大的相关性，但是短期存在相互波动，即存在价差。

模型通过引入 cuscore 统计量对趋势进行了较好的识别，但对行情和交易的速度提出了较高要求。通过调整模型参数，CUSCORE 模型仍有进一步优化的可能。

分析师声明

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

分析师介绍

冯剑，复旦大学经济学博士，7年金融研究经验，3年证券市场研究经验，2011年8月加盟光大证券研究所，现任金融工程研究部分析师，主要从事择时和统计套利等量化交易策略研究。

行业及公司评级体系

买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15% 以上；
增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5% 至 15%；
中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差 -5% 至 5%；
减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5% 至 15%；
卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15% 以上。
市场基准指数为沪深 300 指数。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于1996年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。公司经营业务许可证编号：z22831000。

本公司已获业务资格：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；证券资产管理；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。

本证券研究报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅供本公司的客户使用。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整。报告中的信息或所表达的意见不构成任何投资、法律、会计或税务方面的最终操作建议，本公司不就任何人依据报告中的内容而最终操作建议作出任何形式的保证和承诺。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，不应视本报告为作出投资决策的唯一参考因素。

在任何情况下，本报告中的信息或所表达的建议并不构成对任何投资人的投资建议，本公司及其附属机构（包括光大证券研究所）不对投资者买卖有关公司股份而产生的盈亏承担责任。

本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理部和投资业务部可能会作出与本报告的推荐不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在作出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

本报告的版权仅归本公司所有，任何机构和个人未经书面许可不得以任何形式翻版、复制、刊登、发表、篡改或者引用。

光大证券股份有限公司研究所

上海市新闻路1508号静安国际广场3楼 邮编200040

总机：021-22169999 传真：021-22169114

销售小组	姓名	办公电话	手机	电子邮件
北京	王汗青	010-68567189	13501136670	wanghq@ebsecn.com
	郝辉	010-68561722	13511017986	haohui@ebsecn.com
	黄怡	010-68567231	13699271001	huangyi@ebsecn.com
企业客户	孙威	010-68567231	13701026120	sunwei@ebsecn.com
	吴江	010-68561595	13718402651	wujiang@ebsecn.com
	杨月		18910037319	yangyue1@ebsecn.com
上海	李大志	021-22169128	13810794466	lidz@ebsecn.com
	周薇薇	021-22169087	13671735383	zhouww1@ebsecn.com
	严非	021-22169086	13127948482	yanfei@ebsecn.com
	王宇	021-22169131	13918264889	wangyu1@ebsecn.com
	韩佳	021-22169491	13761273612	hanjia@ebsecn.com
	徐又丰	021-22169082	13917191862	xuyf@ebsecn.com
深圳	冯诚	021-22169083	18616830416	fengcheng@ebsecn.com
	黎晓宇	0755-83024434	13823771340	lixyl@ebsecn.com
	黄鹂华	0755-83024396	13802266623	huanglh@ebsecn.com
	张晓峰	0755-83024431	13926576680	zhangxf@ebsecn.com
富尊财富中心	江虹	0755-83024029	13810482013	jianghong1@ebsecn.com
	濮维娜	021-62152373	13301619955	puwn@ebsecn.com
	陶奕	021-62152393	13788947019	taoyi@ebsecn.com
	戚德文	021-22169152	15821755866	qidw@ebsecn.com
	郑锐	021-22169080	13761361968	zhui@ebsecn.com