

基于贝叶斯统计的套利策略

套利策略研究之五

报告摘要:

● 数理统计有助于投资决策

本文是贝叶斯统计学在期货套利投资中应用的一个尝试。我们冀望通过引入贝叶斯统计等数理方法，以帮助投资者解决投资中的认知偏差、情绪偏差和意志偏差，减少人为干扰，提高投资决策的理性。

● 基于贝叶斯统计的 BSW 套利策略

基于贝叶斯统计法，我们设计了 BSW 套利策略。该策略主要分为三步。第一步，通过贝叶斯公式对未来价差做出预测；第二步，计算当前价差与预测价差的距离，如果当前价差明显低于预测价差，做多价差实施套利，反之则做空价差实施套利；第三步，更新数据调整价差预测值，当价差达到预测值时，套利头寸平仓。

● BSW 套利策略实证效果显著

我们在沪深 300 股指期货、上海期货交易所的铜、铝、锌等品种上对 BSW 套利策略做了实证检验。实证表明，BSW 套利策略的收益非常高。自 2012 年以来，BSW 套利策略在期指、沪铜、沪铝、沪锌上分别获得了 218.26%、66.24%、268.04%、545.81% 的累积收益。且策略的风险极低，所有品种的最大回撤均不超过 3%，胜率则大多高于 90%。但是，BSW 套利策略的 SR 较低，平均收益不高，实际投资中对于交易操作的要求较高，资金容量会有较大限制。

● BSW 套利策略的模型风险

虽然 BSW 套利策略在数个期货品种上的实证检验均取得了很好的效果，但我们仍需警惕模型风险。BSW 套利策略的核心是基于贝叶斯统计法对于价差的预测，故预测值依赖历史数据与样本信息。当价差走势出现结构性变化时，BSW 套利策略的效果或大大减弱

● 核心假设风险:

历史表现不代表未来，未来市场结构改变有可能导致模型失效。

图 1 策略在期指套利上的表现

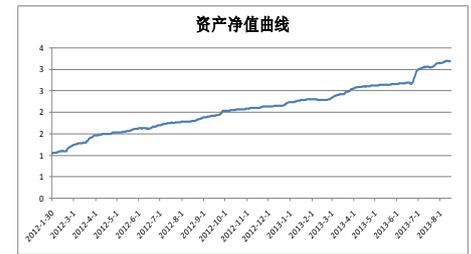


图 2 策略在期指套利上的整体表现

品种	IF
年化收益	218.26%
最大回撤	-2.19%
胜率	90.24%
SR	0.47

分析师：蓝昭钦 S0260512060001



020-87555888-8667



lzq3@gf.com.cn

相关研究:

基于伊藤引理的股指期货跨期套利策略	2010-12-02
沪深 300 股指期货高频跨期套利策略研究	2012-06-13
趋强避弱 商品期货套利策略跨品种套利策略研究	2012-09-13
	2012-06-17

目录索引

一、贝叶斯统计简介.....	4
(一) 数理统计的艺术.....	4
(二) 贝叶斯统计简介.....	5
(三) 贝叶斯公式.....	5
二、BSW 套利策略.....	6
(一) 价差波动特点分析.....	6
(二) 贝叶斯统计在价差预测上的应用.....	7
(三) BSW 套利策略.....	9
三、套利策略的实证分析.....	9
(一) 沪深 300 股指期货的套利.....	9
(二) 沪铜的套利.....	12
(三) 沪铝的套利.....	14
(四) 沪锌的套利.....	16
四、总结.....	19

图表索引

图 1: IF1308-IF1307 的价差走势图 (20130715 ~ 20130718)	6
图 2: 沪铜主力合约与次主力合约的价差走势图(20130104-20130131)	7
图 3: BSW 套利策略在沪深 300 股指期货上的每日资产净值走势图	11
图 4: BSW 套利策略在沪深 300 股指期货上的每个交割周期收益	11
图 5: BSW 套利策略在沪深 300 股指期货上的每个交割周期最大回撤	12
图 6: BSW 套利策略在沪铜期货上的每日资产净值走势图	13
图 7: BSW 套利策略在沪铜期货上的每月收益	14
图 8: BSW 套利策略在沪铝期货上的每日资产净值走势图	15
图 9: BSW 套利策略在沪铝期货上的每月收益	16
图 10: BSW 套利策略在沪锌期货上的资产净值走势图	18
图 11: BSW 套利策略在沪锌期货上的每月收益	18
表 1: BSW 套利策略在股指期货上的整体表现 (20120123 ~ 20130816)	10
表 2: BSW 套利策略在沪铜期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)	13
表 3: BSW 套利策略在沪铝期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)	15
表 4: BSW 套利策略在沪锌期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)	17

一、贝叶斯统计简介

(一) 数理统计的艺术

人的直观感受总是与实际情况相差较大。一般人总喜欢“选择性记忆”，比如津津乐道于自己曾经买中的涨停股，却不愿提起多次“买在山顶”的痛苦经历，从而导致在投资上“一错再错”，不断重复错误的经验。这是人性使然，目前已经有行为金融学专门研究这一领域。行为金融学否定理性人的假设。行为金融学认为投资的过程是一个认知过程、情绪过程和意志过程，而这必将导致认知偏差、情绪偏差和意志偏差。巴菲特那句著名的“市场恐惧的时候我们应该贪婪，当市场贪婪时我们应该多一点恐惧。”说的正是人在认识投资上的偏差。

我们不妨先来看一个生活中的例子。医院拟采用W法诊断疾病P。根据资料统计，每千人中约有5人患P病。而W法能够检查出95%的真实患者，但也可能将5%的非P病患者误诊为患病。现有一人不幸被W法诊断为患有P病，请问此人确实患P病的概率？

如果是这位“不幸被诊断患病”的人，听到结果时估计会五雷轰顶。若此种疾病就是癌症，估计第二天就想着准备后事了。但实际中，确实患病的概率是多大呢？我们下面做一个简单的数理统计推理。

用A表示事件：被检验者患有P病，B表示事件：用W法诊断出被检验者患有P病。那么，求被检验者确实患病的概率就是求条件概率 $P(A|B)$ 。根据上文易知

$$P(A)=0.005, P(B|A)=0.95, P(B|\bar{A})=0.05$$

那么可求得

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(A)P(B|A) + P(\bar{A})P(B|\bar{A})} = 0.0872$$

可见，确实患病的概率尚不足一成，并不能轻易下结论。上面的计算用到的是贝叶斯公式，下文我们再做详细介绍。

投资中也常常遇到类似的问题。某投资经理结合宏观经济环境以及自己的择时方法，判断大盘方向的把握性很大（不妨假设有80%的准确度）。但此后却连续3次判断错误。问，该投资经理是否应该坚持自己的择时体系？

上述的困境几乎是每以为投资者都会碰到的问题。原先把握性很大的投资体系，在连续出现错误后，是应该坚持，熬过“黎明前的黑暗”，还是修正或抛弃原先体系呢？如果是感性做出判断，很可能出现案例一中的类似偏差。我们可以运用数理统计的知识，计算一个科学的概率，为我们的投资提供一个理性的依据。

综合历史信息以及最新信息的统计推断，在统计学中有一个分支——贝叶斯统计。贝叶斯统计已被广泛应用于日常生活中，包括金融投资领域。国内外诸多学者做出了非常多的研究。本文主要讨论一个基于贝叶斯统计的套利策略，为贝叶斯统计在金融投资中应用抛砖引玉。接下来，我们先简单介绍贝叶斯统计。

(二) 贝叶斯统计简介

贝叶斯统计起源于英国学者贝叶斯(Bayes,T.R.)的一篇论文《论有关机遇问题的求解》。贝叶斯在此论文中提出了著名的贝叶斯公式以及一种归纳推理方法,这是贝叶斯统计的雏形。二次大战后,瓦尔德(Wald.A.)提出了统计决策函数论,该理论认为贝叶斯解是一种最优决策函数,这大大激发了人们对贝叶斯统计的研究兴趣。随着贝叶斯统计在工业、经济、管理等领域的成功应用,贝叶斯统计的研究论文与著作越来越多。如今,贝叶斯统计已发展成为一个重要的统计学派。

贝叶斯统计最基本的一个观点是:任一个未知量 x 都可看作一个随机变量,应用一个概率分布去描述对 x 的未知状况。这个概率是在抽样前就有的关于 x 的先验信息的概率陈述,称为先验分布。

贝叶斯统计的另一个基本概念是后验分布。后验分布是根据样本分布和未知参数的先验分布,用概率论中求条件概率分布的方法,求出的在样本已知下,未知参数的条件分布。因为这个分布是在抽样以后才得到的,故称为后验分布。贝叶斯推断方法的关键是任何推断都必须且只须根据后验分布,而不能再涉及样本分布。

关于贝叶斯统计的详细内容,有兴趣的读者可参阅相关的文献。下文仅简单介绍实际应用中的核心工具——贝叶斯公式。

(三) 贝叶斯公式

首先,用 $p(x|\theta)$ 表示在随机变量 θ 给定某个值时,总体指标 X 的条件分布。

第二步,根据参数 θ 的先验信息确定先验分布 $\pi(\theta)$ 。

第三步,产生样本 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。设想从先验分布 $\pi(\theta)$ 产生一个样本 θ' ,

再从总体分布 $p(x|\theta')$ 中产生一个样本 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。显然,样本 x 的发生概率与如下联合密度函数成正比:

$$L(\theta') = p(x|\theta') = \prod_{i=1}^n p(x_i|\theta')$$

此联合密度函数综合了总体信息与样本信息,称为似然函数。在有了样本观察值后,总体和样本中所含的关于 θ 的信息都包含在似然函数中。

第四步,联合分布。由于 θ' 是未知的,它是按先验分布 $\pi(\theta)$ 产生的,故还应对一切可能 θ' 的进行统计。因此,我们通过样本 x 和参数 θ 的联合分布(如下)把三种信息都综合起来。

$$h(x, \theta) = p(x|\theta)\pi(\theta)$$

第五步，边缘密度函数。在有样本观察值 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 后，我们应该依据 $h(x, \theta)$ 对 θ 做出推断。我们令

$$m(x) = \int_{\Theta} h(x, \theta) d\theta = \int_{\Theta} p(x | \theta) \pi(\theta) d\theta$$

$m(x)$ 称为 x 的边缘密度函数，它与 θ 无关。

最后，可得贝叶斯公式（后验分布）：

$$\pi(\theta | x) = \frac{h(x, \theta)}{m(x)} = \frac{p(x | \theta) \pi(\theta)}{\int_{\Theta} p(x | \theta) \pi(\theta) d\theta}$$

后验分布综合了总体信息、样本信息以及先验信息三种信息，根据此式对 θ 做出的推断应该是最可靠的。下文，我们将以贝叶斯公式为计算基础，将贝叶斯统计法应用到期货套利投资中。

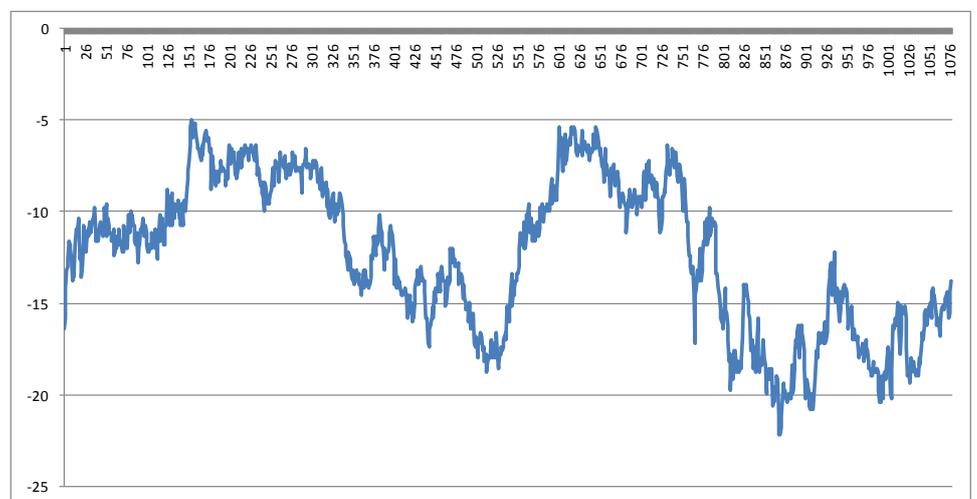
二、BSW 套利策略

（一）价差波动特点分析

套利交易的本质是价差交易，对于价差走势的准确预判是套利成功的关键。不管是均值回复型的套利策略，还是趋势型的套利策略，其本质都是预判未来价差将处于一个特定的水平，从而结合当前价差情况来执行套利。

下文，我们先来观察沪深300股指期货当月合约与次月合约的价差波动特点。

图1：IF1308-IF1307的价差走势图（20130715 ~ 20130718）

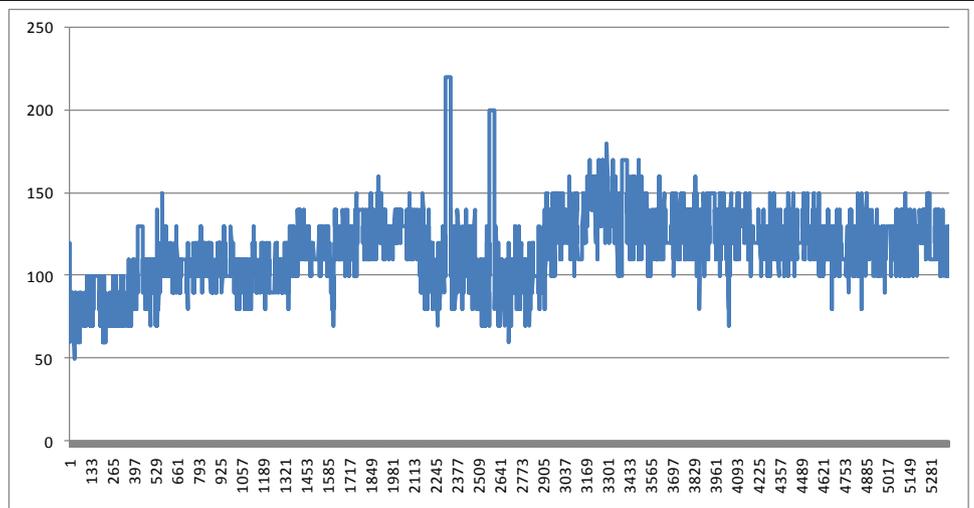


数据来源：天软科技、广发证券发展研究中心

观察上图，我们发现要想在此时间段获得较好的套利收益，难度较大。首先，价差的波动较大，对于价差的震荡重心较难把握。我们前期的研究中，提出过系列套利策略，大多是基于历史数据的情况，以均值回复思想为主。但在上图中，价差的震荡重心是时变的，根据历史数据得到的“价差均值”往往在下一时间段不适用。其次，价差的波动区间也不稳定。我们看到，每个时间段，价差都大体有一个波动区间，但不同时间段的波动区间相差较大。

但如果价差过于稳定时，我们的套利策略会面临“无利可套”的困境。如下图中2013年1月份的沪铜主力合约与次主力合约的价差走势图。绝大部分价差都是在100到150的狭窄区间内震动。如果按照传统的均值回复策略，理想情况下约可获得25个价差的收益，即使以万分之一的单边交易佣金计算套利成本，一不小心便难以覆盖成本，“无利可套”。

图2：沪铜主力合约与次主力合约的价差走势图(20130104-20130131)



数据来源：天软科技、广发证券发展研究中心

因此，我们需要对价差的未来走势做出更准确的预估。当价差的短期走势与长期走势出现较大变化时，我们需要做出调整，平衡两种信息，以得到更好的预判。下面，我们将从贝叶斯统计学的角度出发，看看可以在套利方面做些什么。

（二）贝叶斯统计在价差预测上的应用

从价差长期的历史数据来看，整体走势较为平稳。不妨假设价差总体满足正太分布 $N(\theta, \sigma^2)$ 。其中 σ^2 已知（可根据历史数据确定），期望 θ 就是我们对价差的预测。我们结合总体分布、抽样信息以及先验分布，通过贝叶斯公式推导出 θ 的最终预估值。

设样本 x_1, x_2, \dots, x_n 是价差最新的 n 个值。根据正太分布概率函数，可得样本的

似然函数:

$$p(x|\theta) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\right)^n e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \theta)^2}$$

根据贝叶斯公式, 我们还需要给出正太均值 θ 的先验分布。可以根据历史数据的情况统计得到, 也可以根据自身的主观经验设定。此处, 我们设另一个正太分布 $N(\mu, \tau^2)$ 为 θ 的先验分布, 即

$$\pi(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\tau} e^{-\frac{(\theta - \mu)^2}{2\tau^2}}$$

那么, 样本 x 与参数 θ 的联合密度函数为

$$h(x, \theta) = k_1 e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{n\theta^2 - 2n\theta\bar{x} + \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sigma^2} + \frac{\theta^2 - 2\mu\theta + \mu^2}{\tau^2} \right)}$$

$$\text{其中 } k_1 = \frac{(2\pi)^{(n+1)/2}}{\tau\sigma^n}, \bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}。$$

为方便起见, 我们记

$$\sigma_0^2 = \frac{\sigma^2}{n}, A = \frac{1}{\sigma_0^2} + \frac{1}{\tau^2}, B = \frac{\bar{x}}{\sigma_0^2} + \frac{\mu}{\tau^2}, C = \frac{1}{\sigma_0^2} \sum_{i=1}^n x_i^2 + \frac{\mu^2}{\tau^2}$$

则有

$$h(x, \theta) = k_1 e^{-\frac{1}{2}(A\theta^2 - 2\theta B + C)}$$

再求样本 x 的边缘分布

$$m(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x, \theta) d\theta = k_1 \left(\frac{2\pi}{A}\right)^{1/2} e^{-\frac{1}{2}(C - \frac{B^2}{A})}$$

根据贝叶斯公式, 我们可得的后验分布

$$\pi(\theta|x) = \left(\frac{2\pi}{A}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{A(\theta - \frac{B}{A})^2}{2}}$$

上述后验分布的期望 $\frac{B}{A}$, 就作为我们对价差的预测值。

(三) BSW 套利策略

根据贝叶斯公式，对未来价差做出预测后，接下来的工作就简单了。我们对当前价差与预测价差，如果当前价差明显低于预测价差，我们就做多价差；反之，则做空价差。待价差达到预测值后，平仓离场。该种套利策略我们称之为BSW套利策略。

BSW套利策略的详细步骤:

第一步，根据贝叶斯公式预测价差，求得预测值ES；

第二步，产生套利信号。对比当前价差 S_0 与预测值ES，记套利成本为Fee，期望收益为r，则按如下情况产生套利信号（1，表示开多仓，做多价差；-1，表示开空仓，做空价差）：

$$\text{开仓信号} = \begin{cases} 1, & \text{if } ((S_0 - ES) < -\max(Fee, r)) \\ -1, & \text{if } ((S_0 - ES) > \max(Fee, r)) \end{cases}$$

第三步，盘中监控与平仓。开仓后，将最新观察的数据纳入样本中，根据贝叶斯公式更新价差预测值 ES' 。如果最新价差 S'

$$\begin{cases} S' \geq ES' \rightarrow \text{多仓平仓} \\ S' \leq ES' \rightarrow \text{空仓平仓} \end{cases}$$

三、套利策略的实证分析

(一) 沪深300股指期货的套利

1、实证说明

我们首先在沪深300股指期货当月合约与次月合约的跨期套利中检验BSW套利策略也的效果。我们对时间区间内的每一个交割周期（如2013年7月19日IF1307交割后，自7月22日至8月16日为一个交割周期）进行了测算。在当月合约的交割日，我们强制平掉所有未平仓套利合约。最后综合所有交割周期的表现，得到总体表现。其中

数据频率：1分钟数据；

时间区间：2012年1月23日至2013年8月16日；

交易成本：单边万分之一；

保证金比例：12%；

成交价格：交易信号出现的K线收盘价；

累积收益率以单利统计。

2、实证效果

BSW套利策略在沪深300股指期货当月合约与次月合约的跨期套利上效果很好，具体请看下文的表1、图3、图4、图5。

首先，BSW套利策略的收益高。在2012年1月23日至2013年8月16日期间，不到2年时间，累积收益高达218.26%。如果考虑到累积收益是以单利统计，套利交易的实际杠杆不断减小，套利收益仍存在放大空间。而从各个交割周期的收益来看，全部获得正的绝对收益，最高的是IF1307周期的38.65%，最低的则是IF1302周期的0.56%。虽然相差较大，但大部分周期的绝对收益都是在5%至20%之间，收益较为稳定。

其次，BSW套利策略风险小，各时间区间表现稳定。整个检验时间区间内，最大回撤仅有2.19%，非常小。我们估计这主要得益于BSW套利策略超过九成的高胜率，策略出现连续大幅亏损的情况很少。分交割周期来看，约一半的交割周期的最大回撤在2%上下，另一半的交割周期的最大回撤更是不到0.5%，风险控制非常好。实际上，即使相对于保证金而言，策略的最大亏损也仅有1.58%，配合高胜率，自然会在回撤方面有很好的控制。

最后，BSW套利策略的弱项在于资金容量。我们看到BSW套利策略的交易次数很高，平均每次交易周期不到12，是一个中高频的交易策略。同时，单次的平均收益很低，仅有0.07%，实际交易中容易受到冲击成本影响，因此，此种类型策略往往在资金容量上会有大限制。

表 1: BSW 套利策略在沪深 300 股指期货上的整体表现(20120123 ~ 20130816)

时间区间	2012-01-30~2013-08-16
价差	次月-当月
累积收益	218.26%
最大回撤	-2.19%
平均收益	0.07%
交易次数	2919
平均交易周期	11.8
盈利次数	2634
胜率	90.24%
最大盈利	1.62%
最大亏损	-1.58%
SR	0.47

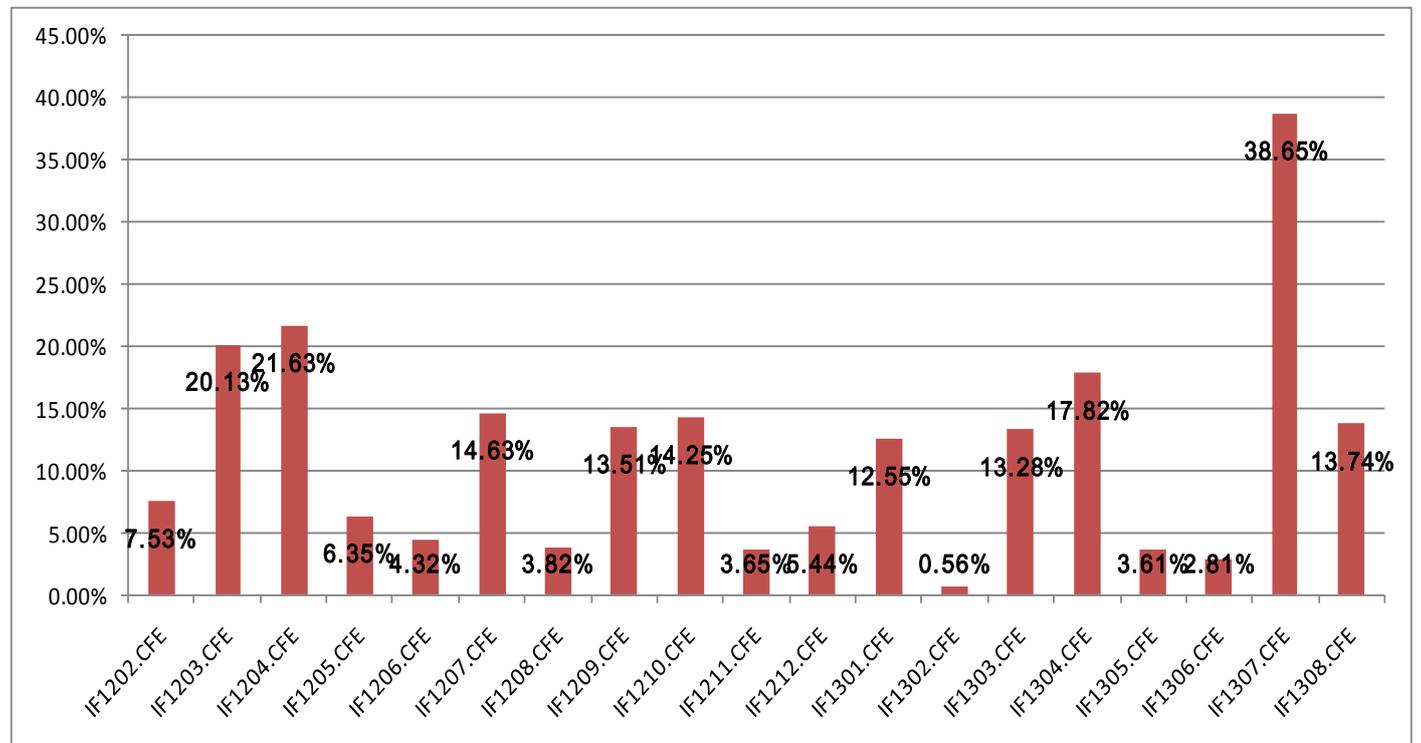
数据来源：天软科技、广发证券发展研究中心

图3: BSW套利策略在沪深300股指期货上的每日资产净值走势图



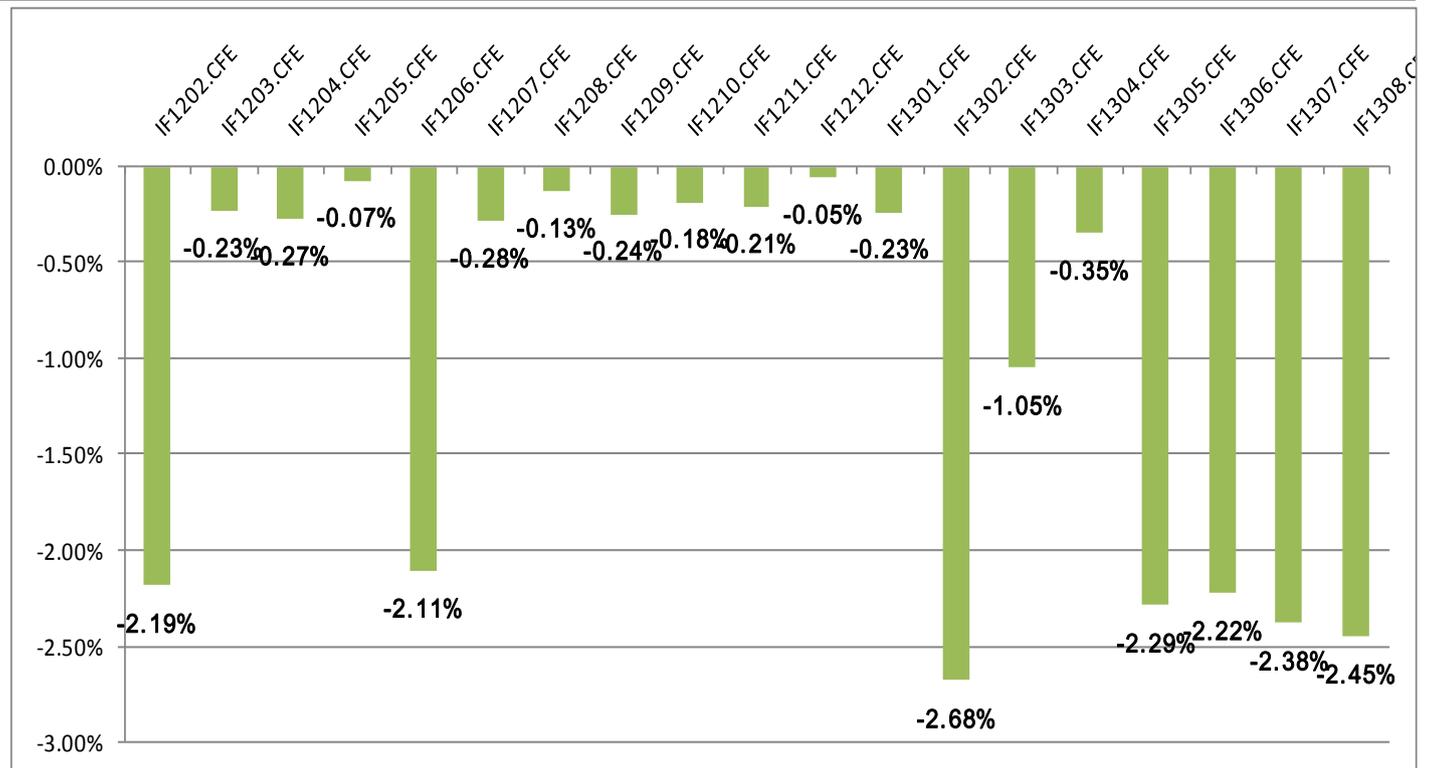
数据来源: 广发证券发展研究中心

图4: BSW套利策略在沪深300股指期货上的每个交割周期收益



数据来源: 广发证券发展研究中心

图5: BSW套利策略在沪深300股指期货上的每个交割周期最大回撤



数据来源: 广发证券发展研究中心

(二) 沪铜的套利

1、实证说明

接下来,我们将在上海期货交易所的金属期货品种沪铜(Cu)、沪铝(Al)、沪锌(Zn)上验证BSW套利策略的效果。由于金属期货的主力合约一般每隔一个月就转移一次,不用担心合约交割问题,因此我们选择上述品种的主力合约与次主力合约——连三与连四合约进行跨期套利。我们先来看沪铜上的实证效果,其中

数据频率: 1分钟数据;

时间区间: 2012年1月1日至2013年7月31日;

交易成本: 单边万分之二;

保证金比例: 10%;

成交价格: 交易信号出现的K线收盘价;

累积收益率以单利统计。

2、实证效果

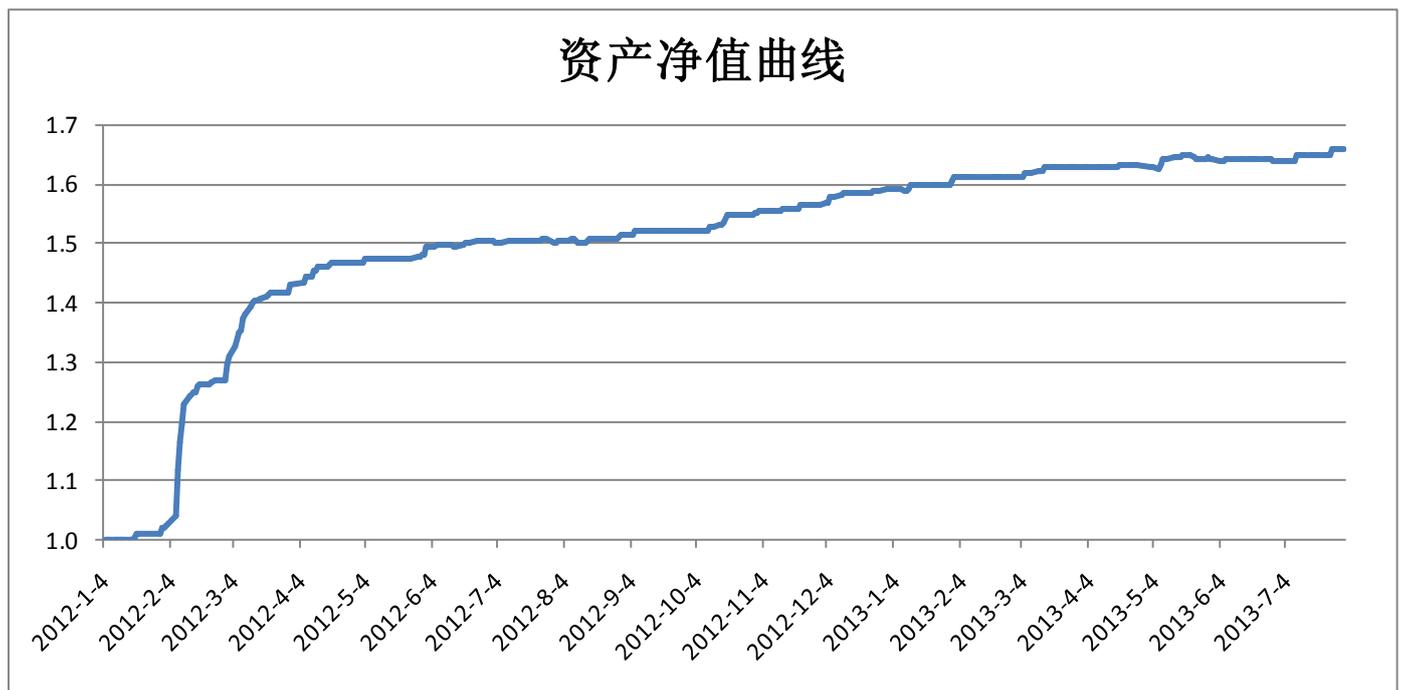
BSW套利策略在沪铜期货主力合约与次主力合约的跨期套利上的表现,如表2、图6、图7所示。

表 2: BSW 套利策略在沪铜期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)

时间区间	2012-01-01~20130731
价差	LXCU04-LXCU03
累积收益	66.24%
最大回撤	-0.67%
平均收益	0.17%
交易次数	399
平均交易周期	19.9
盈利次数	338
胜率	84.71%
最大盈利	2.33%
最大亏损	-0.67%
SR	0.65

数据来源: 天软科技、广发证券发展研究中心

图6: BSW套利策略在沪铜期货上的每日资产净值走势图



数据来源: 广发证券发展研究中心

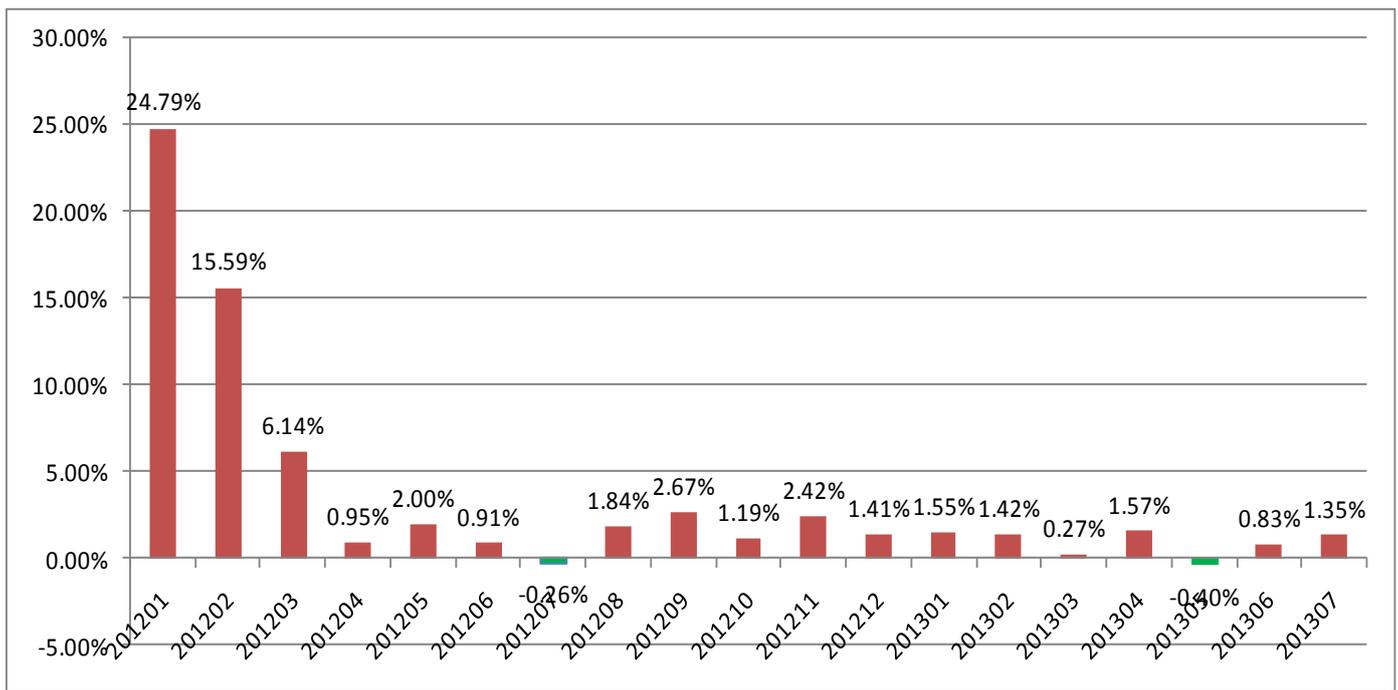
首先, BSW套利策略在沪铜上的收益依然让人满意。虽然累积收益66.24%, 差于策略在沪深300股指期货上的收益, 但从绝对收益来看, 仍然不低。在一共19个月的收益中, 仅有2个月出现了微幅下跌。不过2012年年初几个月份的收益极高, 远远超过其他月份, 或与当时沪铜合约间的价差走势非常符合BSW套利策略有关, 可遇不可求。

其次, BSW套利策略在沪铜跨期套利上的风险极小。策略的最大回撤仅有0.67%,

可见风险控制非常好。此外，策略保持了较高的胜率，接近85%。而总交易次数仅有399次，平均交易周期接近20，说明策略在沪铜上的交易远没有在沪深300股指期货市场上频繁，交易操作风险自然更低。

最后，BSW套利策略的SR更高。BSW套利策略在沪铜上的SR达到了0.65，虽然仍没有十分令人满意，但已经比策略在沪深300股指期货市场上的SR有了明显改善。我们认为其改善的主要原因在于平均收益的提升。策略在沪铜上的平均收益为0.17%，单次套利的收益空间有了明显改善。

图7: BSW套利策略在沪铜期货上的每月收益



数据来源：广发证券发展研究中心

（三）沪铝的套利

1、实证说明

类似地，我们选择上海期货交易所的铝期货进行跨期套利。选择合约沪铝连三合约与沪铝连四合约。其中

数据频率：1分钟数据；

时间区间：2012年1月1日至2013年7月31日；

交易成本：单边万分之二；

保证金比例：10%；

成交价格：交易信号出现的K线收盘价；

累积收益率以单利统计。

2、实证效果

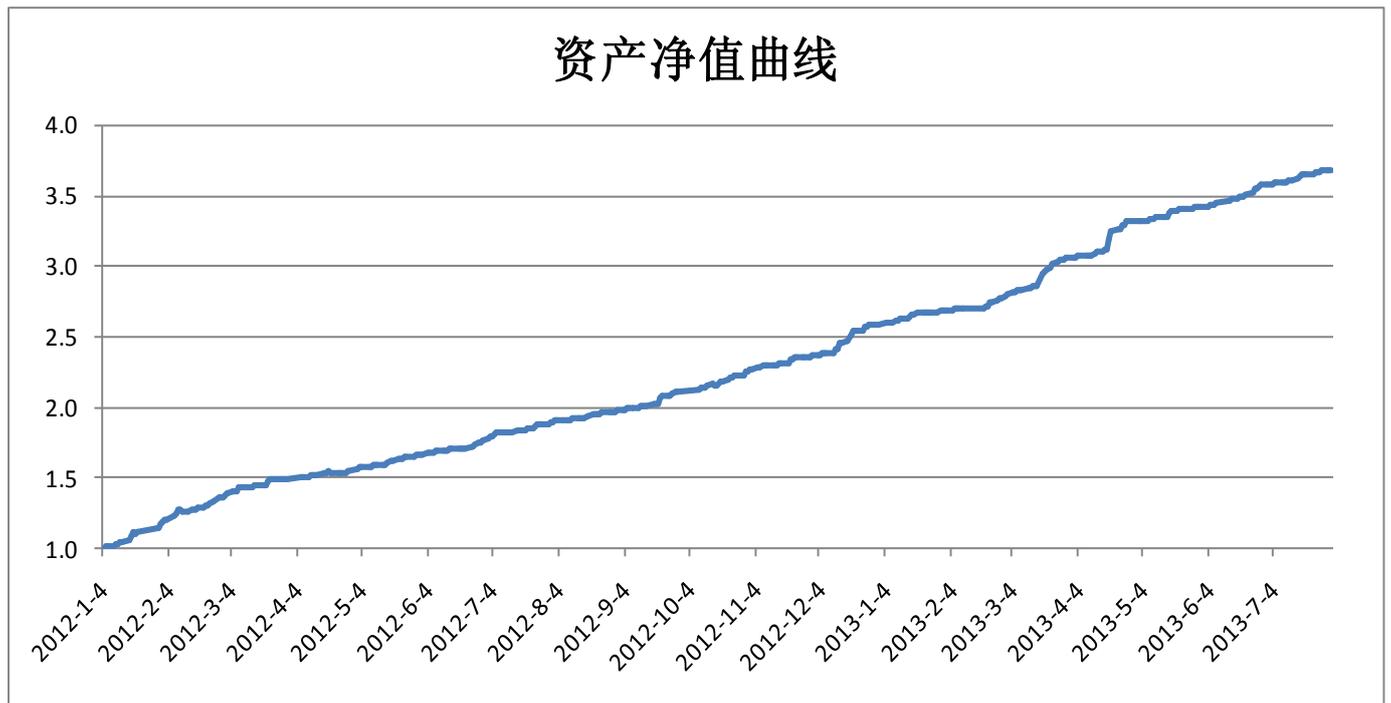
BSW套利策略在沪铝期货跨期套利上具体表现，请参阅下文的表3、图8、图9、图5。

表 3: BSW 套利策略在沪铝期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)

时间区间	2012-01-01~2013-07-31
价差	LXAL04-LXAL03
累积收益	268.04%
最大回撤	-1.85%
平均收益	0.25%
交易次数	1058
平均交易周期	12.0
盈利次数	999
胜率	94.42%
最大盈利	3.81%
最大亏损	-2.23%
SR	0.61

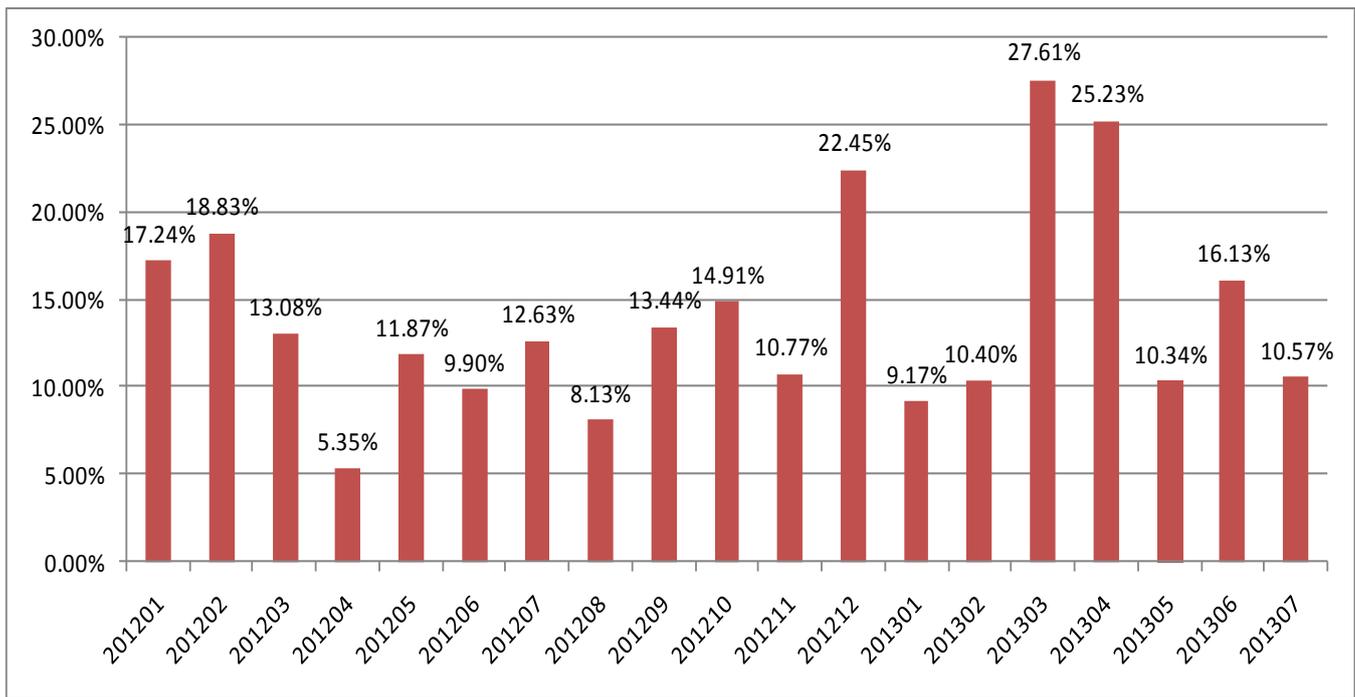
数据来源：天软科技、广发证券发展研究中心

图8: BSW套利策略在沪铝期货上的每日资产净值走势图



数据来源：广发证券发展研究中心

图9: BSW套利策略在沪铝期货上的每月收益



数据来源: 广发证券发展研究中心

首先, BSW套利策略在沪铝跨期套利上的收益很高。测试期间, 策略的累积收益高达268.04%, 目前为止最高。且在全部19个月的套利中, 全部取得正的绝对收益。单月最低收益是2012年4月的5.35%, 单月最高收益是2013年3月的27.61%, 大部分月份的月收益高于10%。策略的平均收益进一步提升, 提高到0.25%; 最大盈利3.81%, 也是三个品种中最高。

其次, BSW套利策略在沪铝上的风险较低。最大回撤1.85%, 胜率则高达94.42%。高胜率保证了策略很少出现连续的下跌, 风险较低。从资产净值曲线走势图上看, 则可谓完美, 平稳光滑。

第三, BSW套利策略在沪铝上的SR仍没有达到满意程度。策略在沪铝跨期套利上的SR为0.61, 没有达到我们期望的水平。在价格波动较大的商品期货市场, 在平均收益不高的前提下, 要降低收益的波动, 难度较大。

(四) 沪锌的套利

1、实证说明

最后, 我们看看BSW套利策略在上海期货交易所锌期货的主力合约与次主力合约跨期套利上的效果。选取的同样是沪锌连三与连四合约, 其中

数据频率: 1分钟数据;

时间区间: 2012年1月1日至2013年7月31日;

交易成本：单边万分之二；

保证金比例：10%；

成交价格：交易信号出现的K线收盘价；

累积收益率以单利统计。

2、实证效果

BSW套利策略在沪锌期货跨期套利上的效果如表4、图10、图11所示。

BSW套利策略在沪锌跨期套利上的表现堪称完美。策略的累积收益高达545.81%，效果之好出乎意料之外。观察每个月的收益，19个月中大部分月份收益超过10%，最高的月份更是高达77.23%，最低的月份也有8.27%。BSW套利策略在沪锌上的收益，所有品种中最高。

再者，**BSW套利策略在沪锌上的风险控制同样出色，SR高达0.8，有明显提升。**策略的最大回撤仅有1.36%，依然保持在很低的水平。而策略的胜率则高达97.95%，几乎“百发百中”。如此高的胜率，我们认为或是检验区间内，沪深合约间的价差走势刚好极为符合BSW套利策略所致。

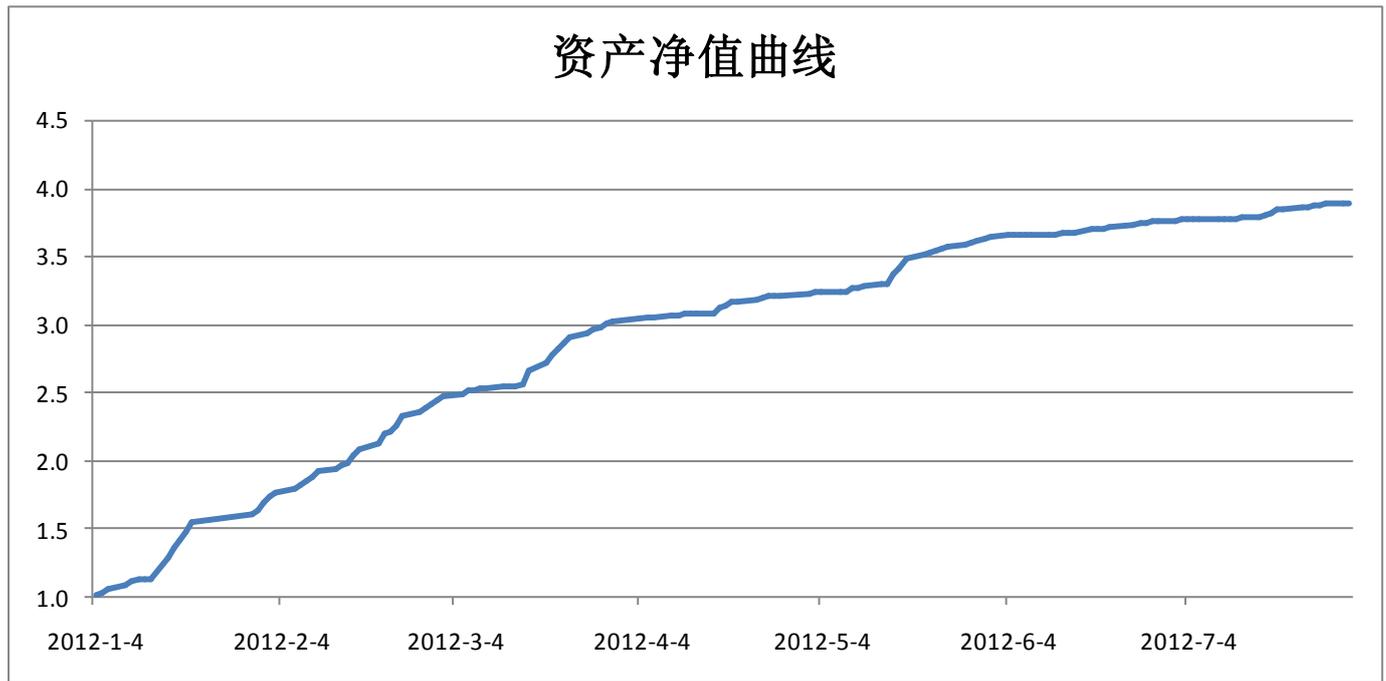
最后，**BSW套利策略在沪锌跨期套利上的操作风险更大。**我们注意到策略的平均交易周期仅有6.1，在所有品种中最低。说明BSW套利策略在沪锌上的交易更加频繁，实际投资中对交易的要求更高，这必然带来更大的操作风险。同时，我们发现沪锌合约的次主力合约流动性较差，这或者也是策略表现完美的原因之一。

表 4: BSW 套利策略在沪锌期货上的整体表现 (20120101 ~ 20130731)

时间区间	2012-01-01~20130731
价差	LXZN04-LXZN03
累积收益	545.81%
最大回撤	-1.36%
平均收益	0.25%
交易次数	2198
平均交易周期	6.1
盈利次数	2153
胜率	97.95%
最大盈利	4.15%
最大亏损	-2.31%
SR	0.80

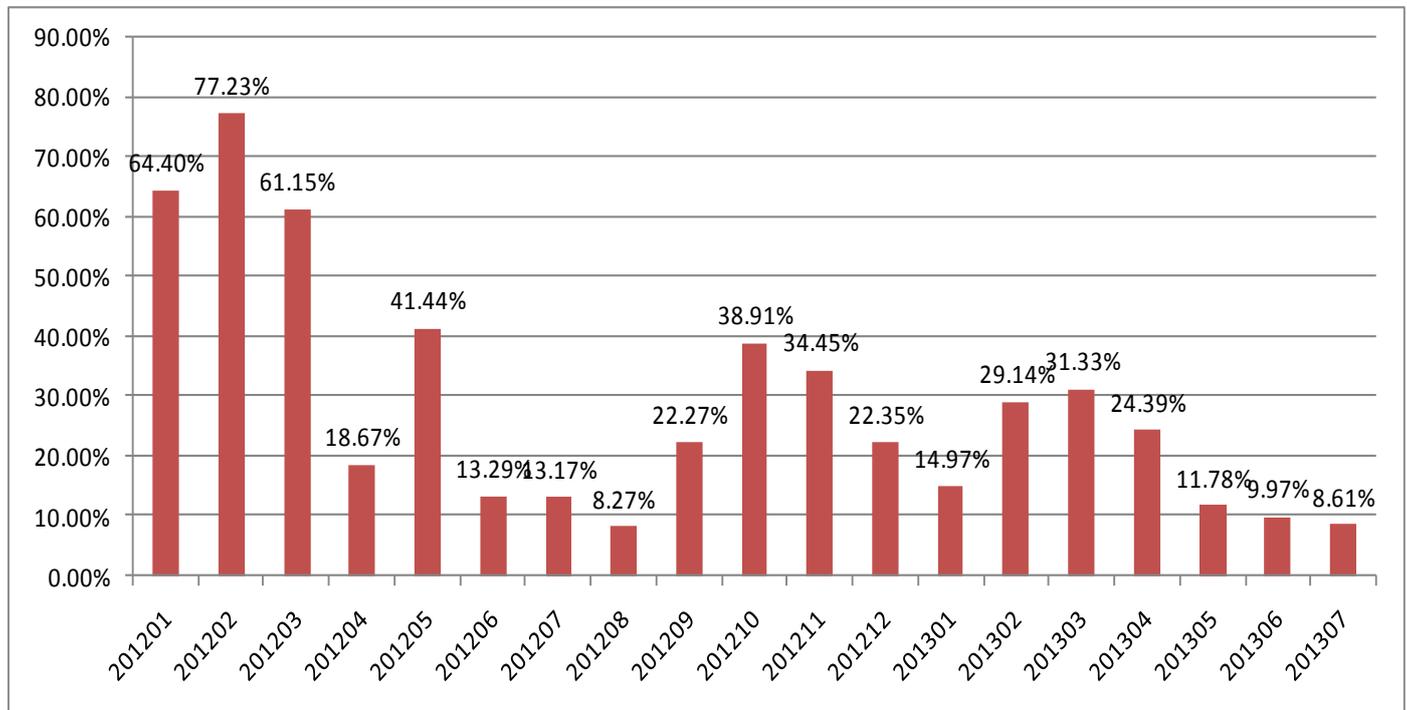
数据来源：天软科技、广发证券发展研究中心

图10: BSW套利策略在沪锌期货上的资产净值走势图



数据来源: 广发证券发展研究中心

图11: BSW套利策略在沪锌期货上的每月收益



数据来源: 广发证券发展研究中心

四、总结

本文是贝叶斯统计学在期货套利投资中应用的一个尝试。我们冀望通过引入贝叶斯统计等数理方法，以帮助投资者解决投资中的认知偏差、情绪偏差和意志偏差，减少人为干扰，提高投资决策的理性。

基于贝叶斯统计法，我们设计了BSW套利策略。该策略主要分为三步。第一步，通过贝叶斯公式对未来价差做出预测；第二步，计算当前价差与预测价差的距离，如果当前价差明显低于预测价差，做多价差实施套利，反之则做空价差实施套利；第三步，更新数据调整价差预测值，当价差达到预测值时，套利头寸平仓。

我们在沪深300股指期货、上海期货交易所的铜、铝、锌等品种上对BSW套利策略做了实证检验。实证表明，BSW套利策略的收益非常高。自2012年以来，BSW套利策略在期指、沪铜、沪铝、沪锌上分别获得了218.26%、66.24%、268.04%、545.81%的累积收益。且策略的风险极低，所有品种的最大回撤均不超过3%，胜率则大多高于90%。但是，BSW套利策略的SR较低，平均收益不高，实际投资中对于交易操作的要求较高，资金容量会有较大限制。

虽然BSW套利策略在数个期货品种上的实证检验均取得了很好的效果，但我们仍需警惕模型风险。BSW套利策略的核心是基于贝叶斯统计法对于价差的预测，故预测值依赖历史数据与样本信息。当价差走势出现结构性变化时，BSW套利策略的效果或大大减弱。

风险提示

历史表现不代表未来，未来市场结构改变有可能导致模型失效。

广发金融工程研究小组

- 罗 军: 首席分析师, 华南理工大学理学硕士, 2010 年进入广发证券发展研究中心。
俞文冰: 首席分析师, CFA, 上海财经大学统计学硕士, 2012 年进入广发证券发展研究中心。
叶 涛: 资深分析师, CFA, 上海交通大学管理科学与工程硕士, 2012 年进入广发证券发展研究中心。
安宁宁: 资深分析师, 暨南大学数量经济学硕士, 2011 年进入广发证券发展研究中心。
胡海涛: 分析师, 华南理工大学理学硕士, 2010 年进入广发证券发展研究中心。
夏潇阳: 分析师, 上海交通大学金融工程硕士, 2012 年进入广发证券发展研究中心。
蓝昭钦: 分析师, 中山大学理学硕士, 2010 年进入广发证券发展研究中心。
史庆盛: 分析师, 华南理工大学金融工程硕士, 2011 年进入广发证券发展研究中心。
汪 鑫: 研究助理, 中国科学技术大学金融工程硕士, 2012 年进入广发证券发展研究中心。
张 超: 研究助理, 中山大学理学硕士, 2012 年进入广发证券发展研究中心。

广发证券—行业投资评级说明

- 买入: 预期未来 12 个月内, 股价表现强于大盘 10%以上。
持有: 预期未来 12 个月内, 股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。
卖出: 预期未来 12 个月内, 股价表现弱于大盘 10%以上。

广发证券—公司投资评级说明

- 买入: 预期未来 12 个月内, 股价表现强于大盘 15%以上。
谨慎增持: 预期未来 12 个月内, 股价表现强于大盘 5%-15%。
持有: 预期未来 12 个月内, 股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。
卖出: 预期未来 12 个月内, 股价表现弱于大盘 5%以上。

联系我们

	广州市	深圳市	北京市	上海市
地址	广州市天河北路 183 号 大都会广场 5 楼	深圳市福田区金田路 4018 号安联大厦 15 楼 A 座 03-04	北京市西城区月坛北街 2 号 月坛大厦 18 层	上海市浦东新区富城路 99 号 震旦大厦 18 楼
邮政编码	510075	518026	100045	200120
客服邮箱	gfyf@gf.com.cn			
服务热线	020-87555888-8612			

免责声明

广发证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本报告只发送给广发证券重点客户, 不对外公开发布。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券股份有限公司认为可靠, 但广发证券不对其准确性或完整性做出任何保证。报告内容仅供参考, 报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任, 除非法律法规有明确规定。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法, 并不代表广发证券或其附属机构的立场。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断, 可随时更改且不予通告。

本报告旨在发送给广发证券的特定客户及其它专业人士。未经广发证券事先书面许可, 任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用, 否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、刊登、转载和引用者承担。