

# 卡尔曼滤波在价差套利中的应用 (基于 Backtrader 回测框架)

## ——配对交易专题报告（二）

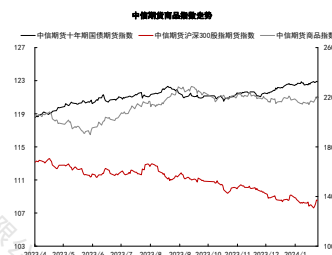
投资咨询业务资格：  
证监许可【2012】669号

### 报告要点

本报告处理金融期货的价差套利。我们引入“卡尔曼滤波”并设计了3种进出场规则，回测表现如下：**IF & IM 搭配规则1**——表现较好，如年化收益16.39%、夏普2.43、卡玛5.73、胜率50.45%和赔率1.17，但该策略的调仓频率可能过高；**IF & IM 搭配规则2**——表现较好，如样本外年化收益19.1%、夏普2.2、卡玛3.83、胜率54.5%和赔率0.97，且调仓频率适中；**T & TS 搭配规则3**——中规中矩。上述策略的参数敏感性均较低。

### 金融工程研究团队

研究员：  
熊鹰  
021-80401732  
xiongying@citicsf.com  
从业资格号 F3075662  
投资咨询号 Z0018946



### 摘要：

本报告处理金融期货的价差套利。基于均值回归的基本原理，我们针对部分金融期货品种讨论了价差套利策略，在此过程中引入了“卡尔曼滤波”；关于价差套利中进出场规则的设计，我们考虑了3种思路并举例针对部分金融期货品种进行测试，异同并存；此外，我们使用开源回测框架 Backtrader 进行回测，这使我们能更多、更好地去关注生成交易信号的策略设计；再者，我们也进行了参数的敏感性检验，防止过拟合现象。

上述3种价差套利中的进出场规则的设计，具体表现如下：

- **IF & IM 搭配规则1**（建仓仅依赖固定阈值上下穿与否）：表现较好，如年化收益16.39%、夏普2.43、卡玛5.73、胜率50.45%和赔率1.17，但该策略的调仓频率可能过高；
- **IF & IM 搭配规则2**（建仓依赖固定阈值上下穿与否和价格历史分位区间、平仓设止盈止损和预计持有期）：表现较好，如样本外年化收益19.1%、夏普2.2、卡玛3.83、胜率54.5%和赔率0.97，且调仓频率适中；
- **T & TS 搭配规则3**（建仓仅依赖固定阈值上下穿与否、平仓设止盈止损和预计持有期）：中规中矩，如夏普1.24、卡玛1.71和赔率1.14。

提示：本报告中所涉及的资产配置和模型应用仅为回溯举例，并不构成推荐建议。

重要提示：本报告非期货交易咨询业务项下服务，其中的观点和信息仅作参考之用，不构成对任何人的投资建议。中信期货不会因为关注、收到或阅读本报告内容而视相关人员为客户；市场有风险，投资需谨慎。如本报告涉及行业分析或上市公司相关内容，旨在对期货市场及其相关性进行比较论证，列举解释期货品种相关特性及潜在风险，不涉及对其行业或上市公司的相关推荐，不构成对任何主体进行或不进行某项行为的建议或意见，不得将本报告的任何内容据以作为中信期货所作的承诺或声明。在任何情况下，任何主体依据本报告所进行的任何作为或不作为，中信期货不承担任何责任。

## 目 录

摘要:	.....
一、 研究出发点与数据说明	.....
二、 卡尔曼滤波	.....
(一) “两个数据组合”	.....
(二) 离散线性动态系统	.....
三、 策略设计及回测框架	.....
(一) 策略构建	.....
1. 策略进出场规则设定	.....
2. 做多/做空价差	.....
(二) 回测框架 Backtrader 简介	.....
(三) 策略在不同品类的回测结果	.....
1. 股指期货 IF & IM 搭配规则 1	.....
2. 股指期货 IF & IM 搭配规则 2	.....
3. 国债期货 T & TS 搭配规则 3	.....
四、 总结	.....

## 图表目录

图表 1: 配对交易的金融期货品种.....	
图表 2: 使用 Backtrader 两大核心自定义模块.....	
图表 3: 使用 Backtrader 回测整体框架.....	
图表 4: 使用 Backtrader 回测的交易明细举例.....	
图表 5: 配对交易 IF 与 IM 回测结果.....	
图表 6: 基于规则 1 配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析.....	
图表 7: 配对交易 IF 与 IM 回测结果.....	
图表 8: 配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析 (x: 固定阈值、y: 回看期、z: 持有期).....	
图表 9: 配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析.....	
图表 10: 配对交易 T 与 TS 回测结果.....	
图表 11: 配对交易 T 与 TS 的参数敏感性分析.....	
图表 12: 配对交易回测净值统计表.....	

这是我们“配对交易”专题系列的第二篇。该系列以股指/国债/商品期货为讨论标的，基于不同数据颗粒度合成高/中/低频底层数据，来探讨各维度的配对交易方案。我们将涉猎多类机器学习方法（如 Copula 相关性、卡尔曼滤波器、强化学习等），思考（包含但不限于）跨期套利和价差套利等新的解决方案。本篇报告着眼于两个组合——股指期货（IF&IM）和国债期货（T&TS），尝试使用卡尔曼滤波器来设计价差套利的新思路。

## 一、研究出发点与数据说明

两个不同期货品种之间的价差是我们本次研究关注的对象，基于此可以设计相应的做多或做空信号产生机制。在此过程中，我们将使用卡尔曼滤波器，用于动态跟踪两者之间的对冲比率，以保持价差稳定。该作法的原理是均值回归类策略，该类型策略的运行方式遵循“金融资产价格将趋向于回归历史均值”的基本概念。在时间足够长等理想情况下，标的资产价格原则上不会无限上涨或者无限下跌，总会在某个时间回归到价值中枢水平。

这里初步介绍一下数据的大致情况，具体细节将在后文“策略设计”部分进行详细探讨。本次回测品种覆盖股指期货和国债期货。我们以主力合约 30min 线作为回测数据，其中每日主力合约的构造出发点是使用之前的量价类数据信息（成交量/成交额最大等）来推断得到之后流动性最大的相关期货品种，具体逻辑可以参考我们团队“期货多因子”系列的相关专题报告。此外，手续费单边万 3；考虑到股指期货平今仓的手续费过高，我们在本次研究中采用锁仓处理。考虑到股指期货 12% 的交易保证金交易，期货公司出于风控目的，给到交易者约为 15%。此外，由于配对交易时只需按单边计算，那么单个交易日建（多/空）仓次数不允许超过 6 次，这一点限制其实对于每个交易日 8 条 30min 颗粒度的回测数据来讲影响并不大，因为极限开平仓也只有 8 次。

图表1：配对交易的金融期货品种

类别	配对交易品种
股指期货	沪深 300 股指期货（IF）& 中证 1000 股指期货（IM）
国债期货	10 年期国债期货（T）& 2 年期国债期货（TS）

资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

## 二、卡尔曼滤波

卡尔曼滤波的主要思想是：通过对系统状态进行“估计”和“测量”，得到这两个结果后再对其进行组合，从而来准确估计系统状态。

下面的行文逻辑也就以此展开：我们首先将介绍一个直观的例子理解“两个数据组合”这一点；然后引入一个离散线性动态系统，将其与之前的直观例子联

系起来——目的是粗略解释“两个数据组合”为何能达到对系统状态的准确估计。

同时，作为一篇金工研报，我们对理论的解释也止步于此，这已经足够让我们对卡尔曼滤波有一个“粗线条”的观感。如果投资者对理论上应紧随该阐述逻辑之后的卡尔曼滤波的数学推导感兴趣，可以联系研究员交流相应细节。

## （一）“两个数据组合”

介绍“两个数据组合”的目的在于：组合两个对真实值含有偏差/噪声的观测值，能得到对真实值更好的估计。

下面我们来证明这一点。每一个观测数据（如气温、位置等），严谨地来说都应该会有一些的偏差值。例如某座高山的海拔为  $y$ ，雷达高度计测量得到的海拔为  $y_1$ ，气压计测量得到的海拔为  $y_2$ 。这两种测量方法都受到噪声影响、存在误差，我们假设这两个误差都是依正态分布的：

$$\bullet \quad bias_{1-\text{雷达计}} \sim \mathcal{N}(\mu_1, \sigma_1^2) \quad bias_{2-\text{气压计}} \sim \mathcal{N}(\mu_2, \sigma_2^2)$$

对这两个测量值通过待求的权重因子  $K$  进行如下组合，

$$\hat{y} \triangleq y_1 + K(y_2 - y_1) \quad (*)$$

我们希望求出合适的  $K$  由此来对真实值  $y$  进行最优估计。注意到两个观察值相互独立，所以估计值与真实值的误差  $e$  的方差为

$$\begin{aligned} \text{var}(e) &\triangleq \text{var}(\hat{y} - y) = \text{var}[y_1 + K(y_2 - y_1) - y] \\ &= K^2 \text{var}(y_2) + (K - 1)^2 \text{var}(y_1) + 0 = K^2 \sigma_2^2 + (K - 1)^2 \sigma_1^2 \end{aligned}$$

我们对该误差方差  $\text{var}(e)$  关于权重因子  $K$  求导并使该导数为 0，并可求得使方差最小化的最优的  $K$  值为

$$K = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

上面就是最小化方差估计的方法；此外使用这个  $K$  计算得到的最优估计值与真实值的误差方差比两个测量值与真实值的方差都要小，也就是更准确。

## （二）离散线性动态系统

上述例子的出发点是：对某山峰海拔有两个观测值——雷达计得到的观测值  $y_1$  的和气压计得到的观测值  $y_2$ 。如果我们更广义的来看对于含有偏差或者噪声的信号，其实都可以有类似  $y_1$  和  $y_2$  的“两个数据”——先验信息和实际测量，具体如下：

- 先验状态估计方程（对照上述  $y_1$ ）：

$$x_k = Sx_{k-1} + Fu_{k-1} + \omega_{k-1}$$

- 实际测量方程（对照上述  $y_2$ ）：

$$z_k(x_k) = Bx_k + v_k$$

针对上述方程中符号的说明：在  $k$  时刻， $x_k$  为系统状态向量； $z_k(x_k)$  为状态向量  $x_k$  的观测向量，状态观测矩阵  $B \triangleq (\varepsilon_0, \beta_1, \dots, \beta_d)$  表示截距  $\varepsilon_0$  和斜率  $\beta_i$ ，这里  $i = 1, \dots, d$ ； $S$  为状态矩阵， $F$  为输入矩阵； $\omega_{k-1}$  和  $v_k$  分别指代误差项或噪声，通常被认为是正态分布。

相应的“两个数据组合”则变成了

$$\hat{x}_k \triangleq x_k + G(z_k - x_k) \quad (**)$$

至此，我们可以看到(\*)与(\*\*)能工整得对照起来。那么当我们说“卡尔曼滤波的原理就是利用卡尔曼增益来修正状态预测值，使其逼近真实值”时，实质上我们能与上面的步骤对上：

- 首先，对系统状态进行“先验估计”和“实际测量”，得到两个方程；
- 然后，进行“两个数据组合”；
- 再者，类似用最小方差法寻找  $K$  值一样来寻找最优卡尔曼增益  $G$ 。

### 三、策略设计及回测框架

我们将介绍价差套利的常见操作，在此基础上提出了新的思考并以此针对多对期货品种进行回测；回测环节我们将使用基于 python 的开源回测框架 Backtrader 来实现该策略。这一尝试的初衷在于：Backtrader 将执行（包括但不限于）数据提取、投资组合处理和头寸跟踪等细致具体的工作，而我们则是更多地关注生成交易信号的代码。

#### （一）策略构建

##### 1. 策略进出场规则设定

前面已经提到“价差套利的底层逻辑是均值回归”，那么进出场规则的设定就涉及到确定价差何时偏离其预期值“太远”。

如何衡量偏离值是否“太远”？



- **规则 1：**首先，我们介绍价差套利经典的做法，常见的思考有两种。第一种方法是利用固定的阈值，该阈值的设定凭经验而定、见仁见智，可能存在过拟合的风险，我们认为相对应的解决方案则是统计样本内外的表现；第二种方法则是考虑价差的标准差的倍数并将其用作边界。无论是哪种方法，它们都是根据“均值回归”的基本原理，具体的使用逻辑是这样的：如果预测误差低于低阈值/价差的（若干倍）负标准差，我们应当尝试“做多价差”；如果预测误差高于高阈值/价差的（若干倍）正标准差，我们应当尝试“做空价差”。退出规则与进入规则完全相反。

上述两类经典的做法其实存在有待斟酌之处，故我们这边报告中进行了信号生成（即进出场设置）的新尝试。

- **规则 2：**我们认为上述建仓信号的产生标准过于“单薄片面”、平仓信号的生成标准过于“急迫笼统”，针对这两点我们设计了新的建仓与平仓方式。

沿用上文符号，我们将  $k$  时刻价差的预测误差记作  $e_k$ ，并对其基于过去一段时间的移动平均及标准差作  $zscore$  的标准化处理，记作  $z(e_k)$ 。在此基础上，具体的建仓与平仓规则如下：

- $z(e_k) < -$  固定阈值 & 配对的两期货品种 < 各自历史高分位阈值：  
做多价差；
- $z(e_k) \geq$  固定阈值 & 配对的两期货品种 > 各自历史低分位阈值：  
做空价差；
- 盈利或亏损达到一定幅度 or 超过预定的持有期：平仓。

如何来理解我们的新尝试？首先，我们摒弃了经典的使用原始价差或者卡尔曼滤波处理后的价差，因为这两类时间序列无法充分承载市场的中长期趋势或者短期震荡。对此进行的处理是使用到了过去一段时间的信息来对当前卡尔曼滤波处理后的价差进行相应的标准化处理，尽可能避免极端值的产生干扰整体的进出场逻辑；其次，从上面的“做多价差”规则来看，我们的修改是在“偏离负的固定阈值”的基础之上，叠加了更强的信号判断——两个品种当前价格尚未达到它们的历史高分位区间，这两种信号的“双重肯定”会让我们认为均值回归的逻辑支撑更稳健，进而才开始“买入建仓‘被减数’期货、卖出建仓‘减数’期货”；“做空价差”的规则也与此类似，当我们确认了标准化价差“偏离正的固定阈值”且两个品种当前价格已经脱离他们的历史低分位区间时，我们才会开始“卖出建仓‘被减数’期货、买入建仓‘减数’期货”；再者，平仓条件我们使用了全新的思考——一定幅度的止盈、止损条件搭配上“超出该持有期限就抛”的持有区间。

- 规则 3: 建仓逻辑沿用规则 1, 平仓逻辑沿用规则 2。

## 2. 做多/做空价差

至于上述规则中都提到的多空价差, 具体来讲: “做多价差”是指买入  $N$  单位的“被减数”期货品种和卖出  $\lfloor \beta N \rfloor$  的“减数”期货品种 (这里  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整, 因为实际中我们交易整数手数的期货品种), 其中对冲比率  $\beta$  可以类比作线性回归中的“斜率”来进行简单理解, 卡尔曼滤波的作用就是用来计算这个对冲比率  $\beta$ ; 相反的, “做空价差”是指卖出  $N$  单位的“被减数”期货品种和买入  $\lfloor \beta N \rfloor$  的“减数”期货品种。

## (二) 回测框架 Backtrader 简介

这一部分仅仅根据我们的回测需求来提供使用开源回测框架 Backtrader 的思路, 并不是对使用该框架一个完整的操作手册。简要地来讲, 使用 Backtrader 只比把大象装进冰箱复杂一点, 所以总共 4 点: 初始化 Cerebro 交易引擎、设计并导入策略、导入并加载数据和执行。

下方的图表则是为了理解、使用该框架而展示的伪代码。譬如其中最重要的两大核心自定义模块——手续费和交易策略类的设置, 后者就包含了我们在前面一小节讨论的“策略进出场规则设定”, 它更多的体现在下述图表所示代码框架中的 `next()` 函数部分。

图表2: 使用 Backtrader 两大核心自定义模块

```
import backtrader as bt

''' 定义Backtrader的交易策略类'''
class KalmanPairsTradingStrategy(bt.Strategy):
    ...
    def log_trade_info(self, *args):
        ''' 提供记录功能'''
    ...
    def __init__(self):
        ''' 策略初始化'''
    ...
    def get_trade_size(self, *args):
        ''' 根据资金的一定比例计算交易大小'''
    ...
    def next(self):
        ''' 策略细节: 建仓、平仓等'''
    ...
    ''' 设置手续费'''
class BuyOnlyCommissionScheme(bt.CommInfoBase):
```

资料来源: 中信期货研究所

定义完关键的两个类之后, 我们也在展示整体代码框架。



图表3：使用 Backtrader 回测整体框架

```
if __name__ == '__main__':
    ...
    ''' 初始化backtrader的交易引擎'''
    cerebro = bt.Cerebro()
    ...
    ''' 增加一个策略'''
    cerebro.addstrategy(KalmanPairsTradingStrategy)
    ...
    ''' 获取数据data并将数据传入回测系统'''
    cerebro.adddata(data)
    ...
    ''' 设置初始资金'''
    cerebro.broker.setcash(10000000000)
    ...
    ''' 设置手续费'''
    cerebro.broker.addcommissioninfo(BuyOnlyCommissionScheme())
    ...
    ''' 设置滑点'''
    cerebro.broker.set_slippage_fixed(fixed=0.005)
    ...
    ''' 运行引擎'''
    cerebro.run()
```

资料来源：中信期货研究所

这里也展示 Backtrader 基于我们设计的策略自动生成的交易明细表，我们可以清楚地看到交易操作、手数和总金额等等。

图表4：使用 Backtrader 回测的交易明细举例

Date	Type	Size	Price	Total Value	Code	7
2022-09-07 10:35:00	卖出建仓	-491880000	101.65	1e+11	t	0.989834
2022-09-07 10:35:00	买入对冲建仓	486930000	101.27	1e+11	ts	0.989834
2022-09-07 11:05:00	持仓	-491880000	101.715	9.99704e+10	t	-0.914691
2022-09-07 11:05:00	持仓	486930000	101.285	9.99704e+10	ts	-0.914691
2022-09-07 13:05:00	持仓	-491880000	101.73	9.99655e+10	t	-1.01466
2022-09-07 13:05:00	持仓	486930000	101.29	9.99655e+10	ts	-1.01466
2022-09-07 13:35:00	持仓	-491880000	101.71	9.99729e+10	t	-0.355369
2022-09-07 13:35:00	持仓	486930000	101.285	9.99729e+10	ts	-0.355369
2022-09-07 14:05:00	持仓	-491880000	101.635	1e+11	t	1.22973
2022-09-07 14:05:00	持仓	486930000	101.265	1e+11	ts	1.22973

资料来源：中信期货研究所

### （三）策略在不同品类的回测结果

我们在不同的金融期货品种上对上述策略进行了测试，具体分为股指期货和国债期货两大类。

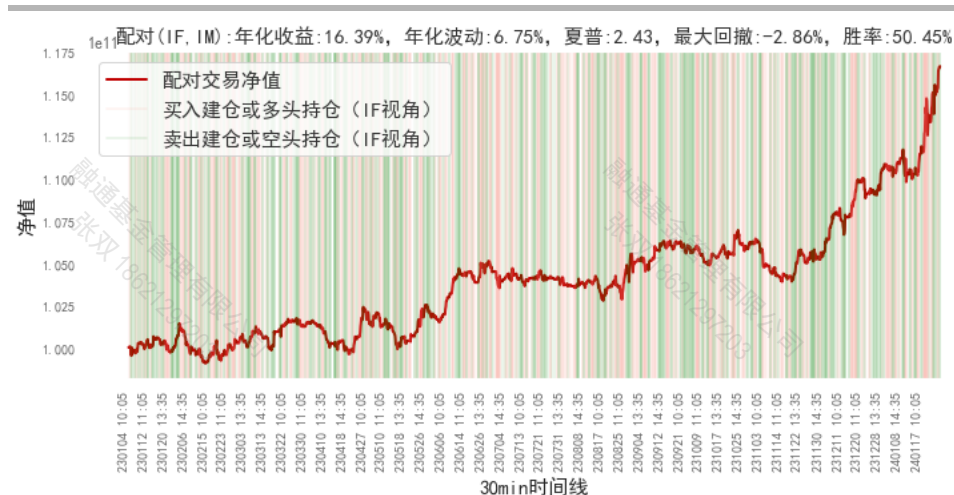
#### 1. 股指期货 IF & IM 搭配规则 1

在本部分针对沪深 300 股指期货（IF）和中证 1000 股指期货（IM）的配对交易中，回测标的是 IF 和 IM 的 5min 行情数据；回测区间是 2022 年 9 月 19 日~2024 年 1 月 24 日，而下方展示回测结果是 2023 年 1 月 1 日~2024 年 1 月 24 日的结果，这一点其实是为了便于与后面的结果横向对比。因为下文的其他回测我们把 2023 年 1 月 1 日作为样本内、外的划分，譬如规则 2 我们就需要使用样本

内两个品种收盘价的 75%和 25%分位值作为样本外多空价差时需要用到的高低阈值。

基于进一步观察，我们对价差误差的标准化涉及到的回看窗口设置为过去 10 期 30min 数据；固定阈值为 0.6（注意：规则 1 不涉及预定持有期的概念）。

图表5：配对交易 IF 与 IM 回测结果

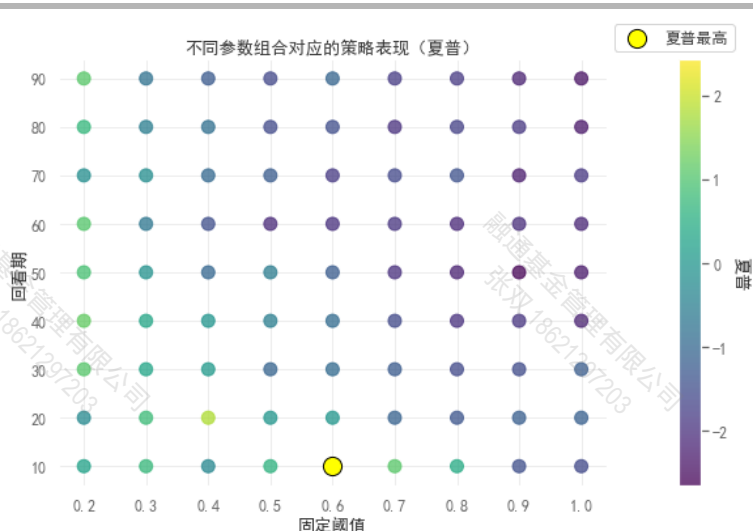


资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

从上述净值图中可以看到策略表现较好，除了年化收益 16.39%、夏普 2.43 和胜率 50.45%外，我们还观察到卡玛 5.73，索提诺比率 0.08 以及赔率 1.17。但是也需要注意到，该策略的调仓频率可能过高。

考虑到预定持有期和固定阈值的选取存在较大的主观性，为了避免过拟合，我们这里也进行参数的敏感性分析。其中，回看期（期）的样本池为 10、20、30、40、50、60、70、80 和 90，固定阈值的样本池为 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 和 1.0。相关参数敏感性检测结果如下：

图表6：基于规则 1 配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析



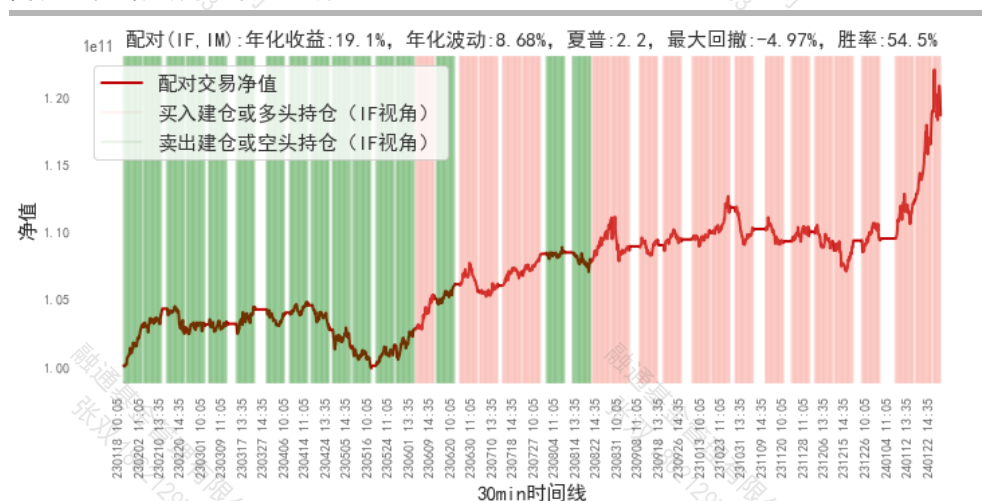
资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

## 2. 股指期货 IF & IM 搭配规则 2

同样，在本部分针对沪深 300 股指期货（IF）和中证 1000 股指期货（IM）的配对交易中，回测标的是 IF 和 IM 的 5min 行情数据；回测区间是 2022 年 9 月 19 日~2024 年 1 月 24 日，区别于前面一小节——我们这里将 2023 年 1 月 1 日前作为样本内、外的划分，我们将使用样本内两个品种收盘价的 75%和 25%分位值作为样本外多空价差时需要用到的高低阈值。

此外，基于进一步观察，我们对价差误差的标准化涉及到的回看窗口设置为过去 90 期 30min 数据；预定持有期为 45 期；固定阈值为 1.2；规则 2 平仓逻辑中的止盈止损设置为 5%。

图表7：配对交易 IF 与 IM 回测结果

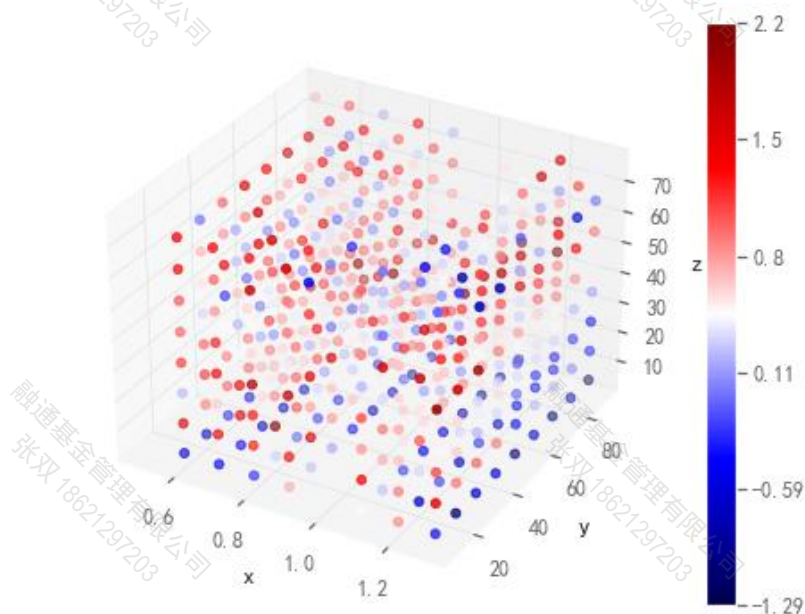


资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

从上述净值图中可以看到策略表现较好，除了年化收益 19.1%、夏普 2.2 和胜率 54.5%外，我们还观察到卡玛 3.83，索提诺比率 0.07 以及赔率 0.97。尤其是在 2024 年 1 月 8 日到回测截止的 2024 年 1 月 24 日这 3 周内，我们经历了主流宽基指数的较强震荡以及股指期货端的较为罕见的深度贴水，而在此期间该配对交易策略也是展现出了良好的表现。

同样，考虑到预定持有期、回看期和固定阈值的选取存在较大的主观性，为了避免过拟合，我们这里也进行参数的敏感性分析。首先展示 3 维视角的敏感性检验，其中：回看期（期）的样本池为 10、20、30、40、50、60、70、80 和 90，固定阈值的样本池为 0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 和 1.3，预定持有期（期）的样本池为 5、15、25、35、45、55、65 和 75。

图表8：配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析（x：固定阈值、y：回看期、z：持有期）

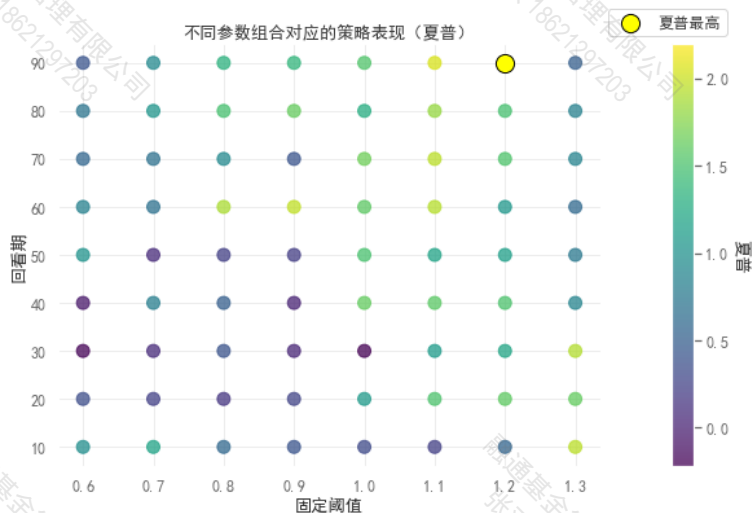


资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

从上图中我们可以看到红色圆点（高夏普）的分布范围较为集中。如果我们希望得到一个更明确的观察，那么也可以切换到 2 维视角。因此接下来展示的，就是持有期为 45 期、回看期和固定阈值维持上述设置的 2 维视角敏感性分析。

相关参数敏感性检测结果如下：

图表9：配对交易 IF 与 IM 的参数敏感性分析



资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

### 3. 国债期货 T & TS 搭配规则 3

在本部分针对 10 年期国债期货（T）和 2 年期国债期货（TS）的配对交易中，回测标的是 T 和 TS 的 5min 行情数据；回测区间是 2018 年 8 月 17 日~2024 年 1

月 24 日，下方展示回测结果是 2022 年 9 月 1 日~2024 年 1 月 24 日的结果，这一点其实是为了便于与后面的结果横向对比，同时也考虑到了该配对交易组合更长的回测区间这一点。

此外，基于进一步观察，我们对价差误差的标准化涉及到的回看窗口设置为过去 30 期 30min 数据；预定持有期为 80 期；固定阈值为 0.1；规则 2 平仓逻辑中的止盈止损设置为 1%。

图表10：配对交易 T 与 TS 回测结果

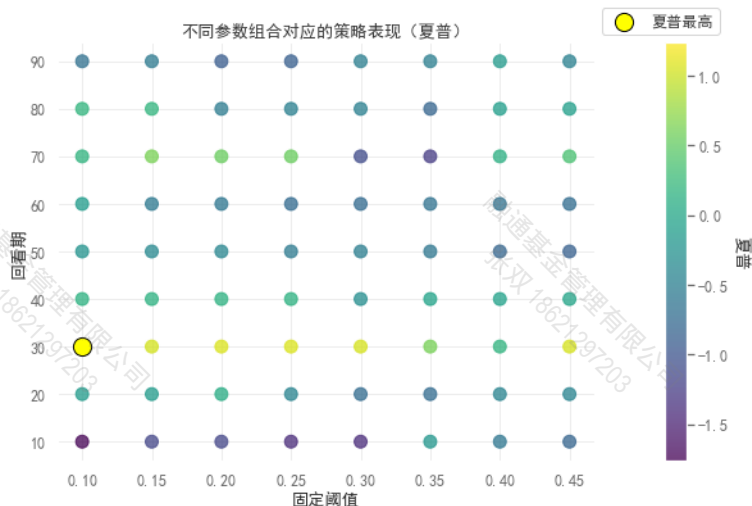


资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

从上述净值图中可以看到策略表现中规中矩，除了图中 5 个净值统计观察指标外，我们还测到卡玛 1.71，索提诺比率 0.05 以及赔率 1.14。

同理，我们这里也进行参数的敏感性分析。其中，预定持有期（期）的样本池为 10、20、30、40、50、60、70、80 和 90，固定阈值的样本池为 0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4 和 0.45。相关参数敏感性检测结果如下：

图表11：配对交易 T 与 TS 的参数敏感性分析



资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所



## 四、总结

本篇报告是“配对交易”中的第二篇。基于均值回归的基本原理，我们针对部分金融期货品种讨论了价差套利策略，在此过程中引入了“卡尔曼滤波”这一工具；关于价差套利中涉及的进出场规则的设计，我们考虑了 3 种思路，并举例针对部分金融期货品种进行测试，异同并存；此外，我们使用开源回测框架 Baketrader 进行回测，其负责执行（包括但不限于）数据提取、投资组合处理和头寸跟踪等细致具体的工作，这使我们能更多、更好地去关注生成交易信号的策略设计；再者，我们也进行了参数的敏感性检验，防止过拟合现象。

前面提到的 3 种价差套利中的进出场规则的设计，具体表现如下：

1. IF & IM 搭配规则 1（建仓仅依赖固定阈值上下穿与否）：表现较好，如年化收益 16.39%、夏普 2.43、卡玛 5.73、胜率 50.45%和赔率 1.17，但该策略的调仓频率可能过高；
2. IF & IM 搭配规则 2（建仓依赖固定阈值上下穿与否和价格历史分位区间、平仓设止盈止损和预计持有期）：表现较好，如样本外年化收益 19.1%、夏普 2.2、卡玛 3.83、胜率 54.5%和赔率 0.97，且调仓频率适中；
3. T & TS 搭配规则 3（建仓仅依赖固定阈值上下穿与否、平仓设止盈止损和预计持有期）：中规中矩，如夏普 1.24、卡玛 1.71 和赔率 1.14。

图表12：配对交易回测净值统计表

进出场	配对品种	年化收益%	年化波动%	夏普	最大回撤%	卡玛	胜率%
规则 1	IF&IM	16.39	6.75	2.43	2.86	5.73	50.45
规则 2	IF&IM	19.1	8.68	2.2	4.97	3.83	54.5
规则 3	T&TS	1.09	0.89	1.24	0.64	1.71	49

资料来源：同花顺 iFind、中信期货研究所

上述 3 个回测结果均具有较低的参数敏感性。此外，关于该方法论框架在其他期货品种配对上的回测表现，可联系研究员进一步交流。

## 免责声明

除非另有说明，中信期货有限公司拥有本报告的版权和/或其他相关知识产权。未经中信期货有限公司事先书面许可，任何单位或个人不得以任何方式复制、转载、引用、刊登、发表、发行、修改、翻译此报告的全部或部分材料、内容。除非另有说明，本报告中使用的所有商标、服务标记及标记均为中信期货有限公司所有或经合法授权被许可使用的商标、服务标记及标记。未经中信期货有限公司或商标所有权人的书面许可，任何单位或个人不得使用该商标、服务标记及标记。

如果在任何国家或地区管辖范围内，本报告内容或其适用与任何政府机构、监管机构、自律组织或者清算机构的法律、规则或规定内容相抵触，或者中信期货有限公司未被授权在当地提供这种信息或服务，那么本报告的内容并不意图提供给这些地区的个人或组织，任何个人或组织也不得在当地查看或使用本报告。本报告所载的内容并非适用于所有国家或地区或者适用于所有人。

此报告所载的全部内容仅作参考之用。此报告的内容不构成对任何人的投资建议，且中信期货有限公司不会因接收人收到此报告而视其为客户。

尽管本报告中所包含的信息是我们于发布之时从我们认为可靠的渠道获得，但中信期货有限公司对于本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性以及完整性不作任何明确或隐含的保证。因此任何人不得对本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性及完整性产生任何依赖，且中信期货有限公司不对因使用此报告及所载材料而造成的损失承担任何责任。本报告不应取代个人的独立判断。本报告仅反映编写人的不同设想、见解及分析方法。本报告所载的观点并不代表中信期货有限公司或任何其附属或联营公司的立场。

此报告中所指的投资及服务可能不适合阁下。我们建议阁下如有任何疑问应咨询独立投资顾问。此报告不构成任何投资、法律、会计或税务建议，且不承担任何投资及策略适合阁下。此报告并不构成中信期货有限公司给予阁下的任何私人咨询建议。

## 深圳总部

地址：深圳市福田区中心三路 8 号卓越时代广场（二期）北座 13 层 1301-1305、14 层

邮编：518048

电话：400-990-8826

传真：(0755) 83241191

网址：<http://www.citicsf.com>