

# 使用 Copula 函数套利的发散性思考

## ——配对交易专题报告（三）

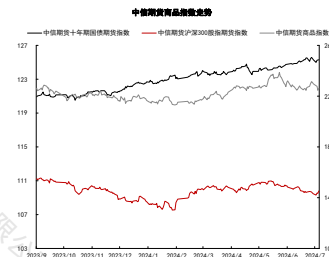
投资咨询业务资格：  
证监许可【2012】669号

### 报告要点

本报告在商品/股指期货中使用 Copula 设计了 4 种新的配对交易方案，聚焦 Copula 关于主/副腿的一阶偏导设计信号产生机制，发散性地探讨了**阈值择时、仓位强弱、止盈止损和最大持有期**等新技巧。策略均表现良好，如混合 Copula 方案 3 “**固定阈值及仓位强弱进场、止盈止损或超时出场**”中：全区间软商品获得年化收益 38.07%、夏普 1.74、胜率 50.96%、赔率 2.22；股指期货则以胜率 53.25% 领衔，夏普 1.45、赔率 1.68、合理的交易次数（4 年半 265 次）和平均持仓（4 天左右）。

### 金融工程研究团队

研究员：  
熊鹰  
从业资格号 F3075662  
投资咨询号 Z0018946



### 摘要：

本篇研报关注商品/股指期货，聚焦“**单一与混合 Copula 函数**”以设计相应的信号产生机制，进而提出了 4 种配对交易的新思路。回测区间自 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 8 日，“**定长窗口滚动式**”回溯产生的每轮周期中仅交易 1 对品种。这 4 种方案综合考虑了 Copula 生成的分布函数关于主/副腿期货（两个品种）的一阶偏导，并基于此发散性地探讨了**阈值择时、仓位强弱、止盈止损和最大持有期**等新概念与技巧。

- 单一筛选 Copula 的固定阈值法：**有色金属表现最优——年化收益 21.07%、夏普 1.61、胜率 56%、赔率 4.67、4 年半交易 141 次、6 个月滚动一次，能源化工和农产品叠加合适倍数杠杆后表现可期；
- 混合 Copula 的固定阈值法：**该方案普遍收获较高的夏普（如农产品夏普 1.64、黑色夏普 1.43），持仓短（绝大部分不超过一周）、交易少，且半数板块“鱼与熊掌可以兼得”——胜率与赔率在农产品板块两者皆优（分别为 53.44% 和 2.67）、黑色建材和能源化工 2 个板块也较为均衡；
- 混合 Copula 的“固定阈值及仓位强弱进场、止盈止损出场”：**规则内不同板块的横向对比——软商品（夏普 1.79、胜率 51.76%）和能源化工（夏普 1.39、胜率 53.02%）相对较优，有色金属和黑色建材板块表现一般；同板块与上一规则的纵向对比——赔率相对偏低（1.45 左右）、交易次数明显下降、平均持仓有所延长；
- 混合 Copula 的“固定阈值及仓位强弱进场、止盈止损或超时出场”：**软商品“一枝独秀”——年化收益 38.07%、夏普 1.74、胜率 50.96%、赔率 2.22，股指期货“脱颖而出”——胜率 53.25% 领衔、夏普 1.45 和赔率 1.68 均较为亮眼、合理的交易次数（4 年半 265 次）和平均持仓（4 天左右）。

**风险提示：**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:	1
一、 回顾及思考	4
(一) 配对交易品种	5
(二) 配对品种的筛选规则	5
二、 单一 Copula 函数策略	6
(一) 方案 A: 固定阈值	7
(1) 进出场规则	7
(2) 回测结果	7
三、 混合 Copula 函数策略	9
(一) 方案 B: 固定阈值	10
(1) 进出场规则	10
(2) 回测结果 (净值统计/走势/敏感性检验/分析)	10
(二) 方案 C: 仓位强弱+止盈止损	14
(1) 进出场规则	15
(2) 回测结果	16
(三) 方案 D: 仓位强弱+止盈止损+持有期	17
(1) 进出场规则	17
(2) 回测结果	17
四、 总结	19

## 图表目录

图表 1: 配对品种库 .....	5
图表 2: 商品期货分板块与股指期货最优配对净值统计 (平均持仓: 天, 轮动周期: 月) .....	8
图表 3: 配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 4: 配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 5: 配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 6: 配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 7: 配对交易软商品自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 8: 配对交易股指自 2020 年始的敏感性分析 .....	8
图表 9: 有色金属板块应用单一 Copula 筛选分阶段对应明细 .....	9
图表 10: 进出场规则示意图 (以 0.2/0.9 作为低/高阈的绝对值为例) .....	10
图表 11: 商品期货分板块与股指期货最优配对净值统计 (平均持仓: 天, 轮动周期: 月) .....	11
图表 12: 商品期货分板块与股指期货最优配对净值曲线汇总 .....	11
图表 13: 配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析 .....	12
图表 14: 配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析 .....	12
图表 15: 配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析 .....	12
图表 16: 配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析 .....	12
图表 17: 配对交易软商品自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 18: 配对交易股指自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 19: 配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 20: 配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 21: 配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 22: 配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析 .....	13
图表 23: 配对交易软商品自 2020 年始的敏感性分析 .....	14
图表 24: 配对交易股指自 2020 年始的敏感性分析 .....	14
图表 25: 进出场规则示意图 .....	15
图表 26: 商品期货分板块与股指期货 (仓位强弱+止盈/损) 最优配对净值曲线汇总 .....	16
图表 27: 分板块 (仓位强弱+止盈/损) 最优配对净值统计 (平均持仓: 天, 轮动周期: 月) .....	16
图表 28: 分板块 (仓位强弱+止盈/损+最大持有) 最优配对 (平均持仓: 天, 轮动周期: 月) .....	17
图表 29: 商品期货分板块与股指期货 (仓位强弱+止盈/损+最大持有) 最优配对净值曲线汇总 .....	18
图表 30: 配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析 .....	18
图表 31: 配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析 .....	18
图表 32: 配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析 .....	19
图表 33: 配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析 .....	19
图表 34: 配对交易软商品自 2020 年始的敏感性分析 .....	19
图表 35: 配对交易股指自 2020 年始的敏感性分析 .....	19

这是我们“**配对交易**”专题系列的第 3 篇。该专题系列针对不同场景——跨品种（特指商品期货同一板块内不同品种）、跨期指（特指股指期货 4 个品种）、跨期（特指基差分析）等展开讨论，挖掘套利类策略的设计新思路。配对交易的关键步骤在于两点——**如何选择配对品种和建/平仓信号如何生成**，在此过程中会涉及多类（经典/新兴）工具及其使用新范式的探讨，包括但不限于，经典/Copula 相关性、协整法、滤波类算法（如 Kalman）、量价指标（如波动率类与流动性类）等。我们在本专题系列中都会逐一进行全方位的覆盖。

## 一、回顾及思考

在我们团队“配对交易”专题系列（一）《**基于 Copula 函数的配对交易研究**》（以下简称“**系列一**”）中，我们探讨了使用协整、单一 Copula 和混合 Copula 函数 3 种方法在商品期货和股指期货上进行配对交易的应用模式，前者“协整法”作为对比的基准、后两者作为主要考察的方法论对象，该篇研报**仅仅采用 Copula 函数生成的分布函数关于主腿期货（单品种）的一阶偏导设计了类似于“阈值择时”的进出场规则**。

接续“系列一”作出的有益尝试，本篇研报再次尝试多维度拓展 Copula 函数在配对交易当中的应用方式。本篇研报与“系列一”相同的地方在于——同样聚焦于商品期货和股指期货两大品类当中流动性较好的品种、同样从单一 Copula 函数与混合 Copula 函数两个维度切入，不同点则是——（无论单一/混合）均综合考虑了**Copula 生成的分布函数关于主/副腿期货（两个品种）的一阶偏导**，并基于此在策略中发散性地探讨了**阈值择时、仓位强弱、止盈止损和最大持有期**等新概念与新技巧。本篇研报的回测区间自 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 8 日，“**定长窗口滚动式**”回溯中产生的每轮周期仅交易 1 对品种，各品种**等额分配资金**。

受益于“系列一”对 Copula 相关理论的详尽展示，本篇研报较少出现数学公式，更多地专注于交易策略的设计与实现。先简介扼要的回顾一下 Copula 函数：**该函数用于描述多个随机变量之间相关性，它将这些变量的联合分布与其边缘分布连接起来**。其定义的本源来自 Sklar 定理——对于 N 个随机变量的联合分布，可以将其分解为这 N 个变量各自的边缘分布和一个 Copula 函数。这样可以有效分离变量的随机性和耦合性——前者由边缘分布描述，后者由 Copula 函数描述。

从实际操作的角度来看，该定理也给出了一种利用边际分布对多元联合分布建模的方法——首先，生成每个变量的边际分布；其次，寻找一个恰当的 Copula 函数及可以对其进行唯一刻画的参数，作为描述各个变量之间相关关系的工具。



## （一）配对交易品种

配对交易品种池的初步筛选主要是选取流动性较好的品种，这一点在“系列一”中有着明确的衡量标准。我们大致沿用了“系列 1”相关品种样本池（部分品种存在出入），最终用于回测的配对品种库如下。

图表1：配对品种库

板块	期货品种	上市时间	板块	期货品种	上市时间
农产品	豆油 Y	2006/1/9	黑色建材	螺纹钢 RB	2009/3/27
	棕榈油 P	2007/10/29		热卷 HC	2014/3/21
	豆粕 M	2000/7/17		硅铁 SF	2014/8/8
	豆一 A	2002/3/15		锰硅 SM	2014/8/8
	菜油 OI	2007/6/8		铁矿石 I	2013/10/18
	菜粕 RM	2012/12/28		焦煤 JM	2013/3/22
	玉米 C	2004/9/22		焦炭 J	2011/4/15
	玉米淀粉 CS	2014/12/19		玻璃 FG	2012/12/3
有色金属	沪铜 CU	1993/3/31	能源化工	沥青 BU	2013/10/9
	沪铝 AL	1992/5/28		聚丙烯 PP	2014/2/28
	沪锌 ZN	2007/3/26		聚乙烯 L	2007/7/31
	沪锡 SN	2015/3/27		甲醇 MA	2011/10/28
	沪铅 PB	1992/5/28		PTA TA	2006/12/18
	沪镍 NI	2015/3/27		PVC V	2009/5/25
软商品	白糖 SR	2006/1/6	股指期货	IF	2010/4/16
	棉花 CF	2004/6/1		IH	2015/4/16
	橡胶 RU	1993/3/27		IC	2015/4/16

资料来源：中信期货研究所

## （二）配对品种的筛选规则

“系列一”第四节第 1 部分详细罗列了三种经典相关性——皮尔逊相关系数（Pearson）、斯皮尔曼秩相关系数（Spearman）和肯德尔秩相关系数（Kendall）的数学公式及理论含义，我们不再重复。

实际操作中，我们只需对此有一个最基本的认知，即：**3 种相关性计算方式的侧重点和适用场景各异**——线性关系、单调关系的强弱和一致对/分歧对的数量对比，我们希望利用这 3 种相关性系数**尽可能全面地**捕捉相关性较高的 2 个期货品种进行交易。

因此，针对上述 3 类经典相关性的使用，我们沿用“系列一”的大致思路、仅作部分调整，具体来讲：本轮研究中所有配对采用“**定长窗口滚动式**”进行筛选，本轮窗口期中用于交易的配对品种依据上轮窗口期中以**日度收盘价**为底层标的计算得到的**复合相关性**进行判断。原则上，轮动窗口期以首月 15 日为起点、

末月 15 日为终点，实际操作中可能因为部分月份 15 日不为交易日，从而使得当前窗口期结束日**提前**至离末月 15 日最近的交易日，而紧邻的下一轮窗口期起始日**延后**至离上轮窗口期末月 15 日最近的交易日；最后一个轮动窗口期的最后交易日默认设置为“当日强平”所有仓位；此外，不同长度的轮动窗口期都有进行考察。

上述“复合相关性”的判断方式对应的具体筛选规则如下：首先，计算期货品种日度收盘价的对数（注意：非对数收益率）作为后续相关性计算的底层标的；其次，同板块内全体品种两两配对分别算出 3 类经典相关性（Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数和 Kendall 秩相关系数）并进行相应降序排列；再者，将三种相关系数的排序值相加，仅取排名第一的配对进行交易。

## 二、单一 Copula 函数策略

在“系列一”的第三节中，我们看到 3 种 Copula 函数具有各自不同的适用场景——Clayton 适用于描述下尾明显而上尾不明显的相关性，Gumbel 适用于描述上尾明显而下尾不明显的相关性，而 Frank 更适合于描述具有对称结构的相关性。

本小节的思路则是，“**定长窗口滚动式**”地在每个轮动周期中对 3 种 Copula 函数进行最优筛选、并进一步基于 Copula 函数设计相应的信号。对于上述步骤，我们使用 python 安装包 copulas，它具备一系列已经封装好的函数、能为使用 Copula 函数提供极大的便利。简而言之，**最优筛选**的过程是通过使用 copulas 包中的 select\_copula() 函数来进行的，它的底层逻辑是基于即将配对交易的期货品种在上一区间的对数收益率，生成相应 Copula 函数的似然值（从而又称为对数似然值 log-likelihood），越大的对数似然值对应越好的拟合效果。

具体则是对应如下步骤：

1. **生成 ECDF 函数和 ECDF 序列**：利用旧区间主/副腿品种的对数收益率分别拟合出两个品种的 ECDF 函数，即 `ecdf_U_old()` 和 `ecdf_V_old()`，再将这两个函数重新作用在主/副腿期货品种的对数收益率上生成 ECDF 序列： $U\_old = ecdf\_U\_old(\text{主腿旧对数收益率})$  和  $V\_old = ecdf\_V\_old(\text{副腿旧对数收益率})$ ；
2. **选择并拟合 Copula 模型**：用  $U\_old$  和  $V\_old$  来拟合并选择最佳的模型 `best_copula`（共有三种模型可选：Clayton, Gumbel, Frank Copula）；
3. **计算偏导**：将当前新区间的对数收益率代入到旧区间的 ECDF 函数得到相应的 ECDF 序列，即  $U\_new = ecdf\_U\_old(\text{主腿新对数收益率})$  和  $V\_new = ecdf\_V\_old(\text{副腿新对数收益率})$ ，利用  $U\_new$ ,  $V\_new$  和 `best_copula` 计算出  $C(u, v)$  关于  $u$  和  $v$  的偏导序列，即  $dC(u, v)/du$  和  $dC(u, v)/dv$ ；

4. 后续：这些偏导（或条件概率）将作为信号机制设计的底层标的来判断买入和卖出条件。

## （一）方案 A：固定阈值

### （1）进出场规则

考虑到 Copula 函数的性质之一“在每个维度上都是单调递增函数”，我们的进出场规则聚焦于两者的条件概率。具体而言，对于  $0 < a < 0.5$ （我们后续将  $a$  称作“进场阈值”或“进出阈值”），

- 开多头仓位条件：  
 $dC(u, v)/du < a$  并且  $dC(u, v)/dv > 1 - a$ ，此时代表主腿被低估，同时副腿被高估，所以做多配对；
- 开空头仓位条件：  
 $dC(u, v)/du > 1 - a$  并且  $dC(u, v)/dv < a$ ，此时代表主腿被高估，同时副腿被低估，所以做空配对；
- 平多头仓位条件：  
 $dC(u, v)/du > 0.5$  或者  $dC(u, v)/dv < 0.5$ ，此时代表异常估值已回归，所以平仓；
- 平空头仓位条件：  
 $dC(u, v)/du < 0.5$  或者  $dC(u, v)/dv > 0.5$ ，此时代表异常估值已回归，所以平仓。

我们可以明显的看到这是一个位于纵坐标轴的上半部分（正轴）且类似于经典阈值择时的策略设计。这样的便利性操作是由于我们通过“直接调包 copulas”进而获取了“在每个维度上都是单调递增函数”的 Copula 函数的一阶偏导（非负数）。但是在后面的 3 个策略方案中，我们并没有延续这种“图方便”的做法，而是**更贴近实际情况地观察其离散形式——用分子分母对应差分的除法形式来逼近偏导**，相应的“偏导数非负”不再处处成立，进而相应的阈值设计也需要作进一步的适配性处理，这里先埋下伏笔。

### （2）回测结果

我们对轮动周期和进出阈值（或记作进场阈值）进行了寻参——轮动周期样本池为 3/4/5/6 月，进出阈值样本池为 0.1/0.2/0.3/0.4。从下述净值统计汇总表格来看，仅有色金属板块表现较为突出——各类正向指标（年化收益、夏普、卡玛、胜率、赔率）均领衔其他板块，其“双低”的低交易次数和低平均持仓也表明在全区间无持仓的时间段出现较为频繁。

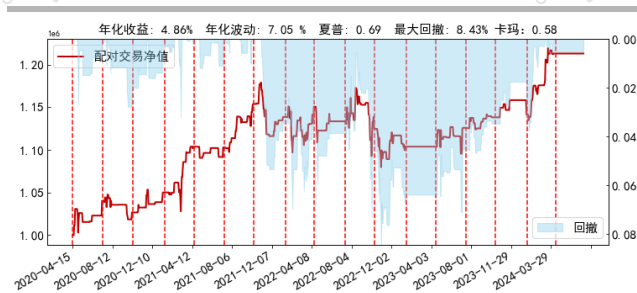
图表2：商品期货分板块与股指期货最优配对净值统计（平均持仓：天，轮动周期：月）

	年化收益%	年化波动%	夏普	最大回撤%	卡玛	胜率%	胜率	交易次数	平均持仓	轮动周期	进出阈值
农产品	4.86	7.05	0.69	8.43	0.58	49.64	2.21	267	2	3	0.1
黑色建材	7.39	12.99	0.57	18.88	0.39	47.09	2.47	552	2	3	0.4
有色金属	21.07	13.1	1.61	6.93	3.04	56.03	4.67	141	1	6	0.1
能源化工	3.87	3.84	1.01	3.85	1.01	47.92	3.05	153	2	5	0.1
软商品	0.73	12.61	0.06	26.98	0.03	47.55	2.24	394	1	3	0.3
股指	0.78	3.31	0.24	6.29	0.12	46.64	2.27	284	2	6	0.1

资料来源：中信期货研究所

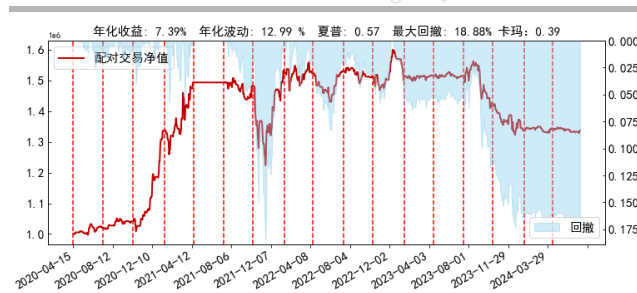
我们在下方给出各自的净值曲线，可以发现：能源化工和农产品两个板块再叠加合适倍数杠杆后，可以有一个不错的表现。

图表3：配对交易农产品自 2020 年起的敏感性分析



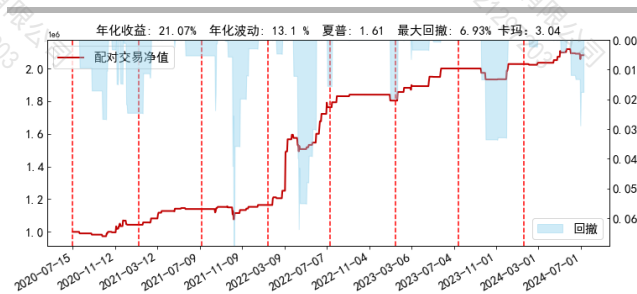
资料来源：中信期货研究所

图表4：配对交易黑色建材自 2020 年起的敏感性分析



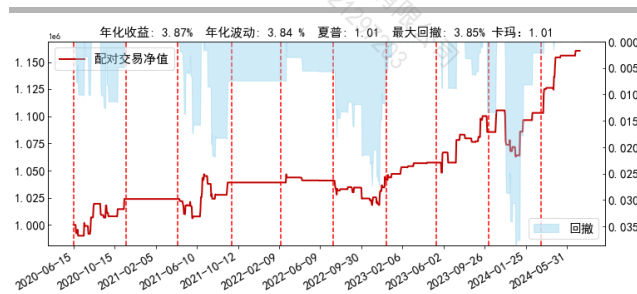
资料来源：中信期货研究所

图表5：配对交易有色金属自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

图表6：配对交易能源化工自 2020 年起的敏感性分析



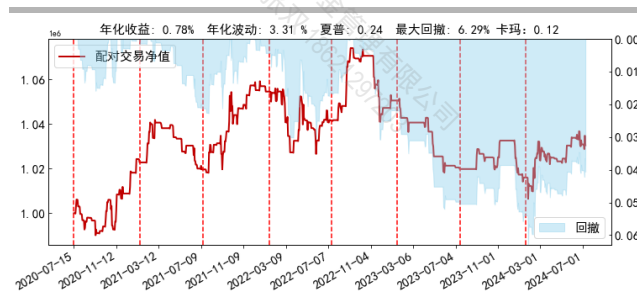
资料来源：中信期货研究所

图表7：配对交易软商品自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

图表8：配对交易股指自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所



在上方净值统计表里针对有色金属板块的一栏中，可以看到其轮动周期为 6 个月。基于此，我们也进一步在下图中列明了全区间（自 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 8 日）不同轮动周期的起始时间点和筛选出来的、用在当期轮动周期中的最优 Copula 函数。

图表9：有色金属板块应用单一 Copula 筛选分阶段对应明细

轮动周期起始日	单一copula筛选
2020/1/15	/
2020/7/15	gumbel
2021/1/15	clayton
2021/7/15	gumbel
2022/1/17	frank
2022/7/15	clayton
2023/1/16	gumbel
2023/7/17	gumbel
2024/1/15	frank

资料来源：中信期货研究所

显然上述单一 Copula 函数策略存在较大的优化空间，所以下面我们将聚焦于对 3 者进行有效混合的多元方案。

### 三、混合 Copula 函数策略

本部分受“系列一”启发，我们也将同时考虑 3 种 Copula 函数的综合作用模式，但是基于此生成信号的处理方式与“系列一”**存在较大的区别**。

首先，筛选得出每个区间的配对交易品种，该步对应方法已在本篇报告第一节的末尾段落详细阐明；

其次，“定长窗口滚动式地”将上一个区间的线性拟合参数套用在下一个区间。具体来讲，我们以（上一步选出来的）下一区间将要进行配对交易的品种为“铆”，算出其在前后两个区间的对数收益率及相应 3 种 Copula 函数的分布函数，进而在上一个区间中通过线性回归的方式使用 3 种 Copula 函数的分布函数来拟合经验 Copula（通过随机变量的样本数据构建，用来近似变量联合分布的真实 copula），得到斜率和截距项后，再将其用在下一个区间对应品种的 3 种 Copula 函数的分布函数，得到拟合值——这是生成日频信号的关键。在此过程中，我们沿用了“系列一”将相关序列转换成  $(-1, 1)$  之间分布的标准化处理；

再者，我们依据上述拟合值的偏导（离散形式并进行标准化处理）设计了若

干种区分于“系列一”的不同进出场信号产生模式。

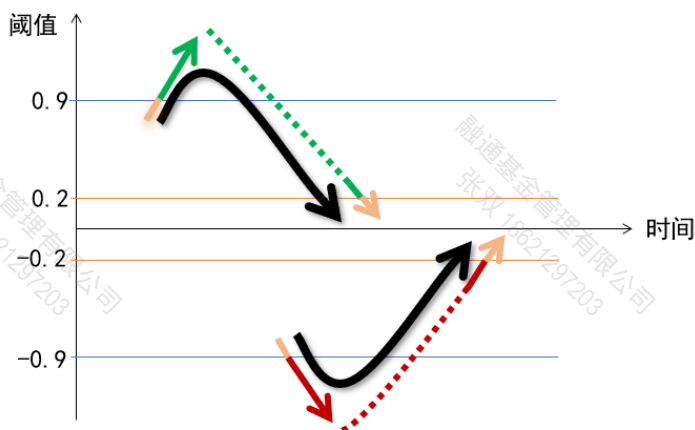
## (一) 方案 B：固定阈值

### (1) 进出场规则

类似于经典的阈值择时，我们综合考虑拟合值的偏导上下穿特定阈值的表现，相较于前面单一筛选 Copula 最优的固定阈值法有所细微调整，体现在此处的基本原则是相对宽松的建仓条件和相对严苛的平仓条件，目的是为了便于降低交易频率吃到更多的持仓收益。具体来讲，

- 建仓-主腿偏导值过大**或者**副腿偏导值过小：做空主腿、做多副腿；
- 建仓-主腿偏导值过小**或者**副腿偏导值过大：做多主腿、做空副腿；
- 平仓-主腿偏导值回落至较低**以及**副腿偏导值回升至较高：平配对空头；
- 平仓-主腿偏导值回落至较高**以及**副腿偏导值回升至较低：平配对多头；

图表10：进出场规则示意图（以 0.2/0.9 作为低/高阈的绝对值为例）



资料来源：中信期货研究所

### (2) 回测结果（净值统计/走势/敏感性检验/分析）

基于相应的净值曲线和净值统计汇总，我们整体对比一下商品期货 5 个板块和股指期货（视作 1 个板块）各自自 2020 年年初至 2024 年 7 月配对交易的最优结果。

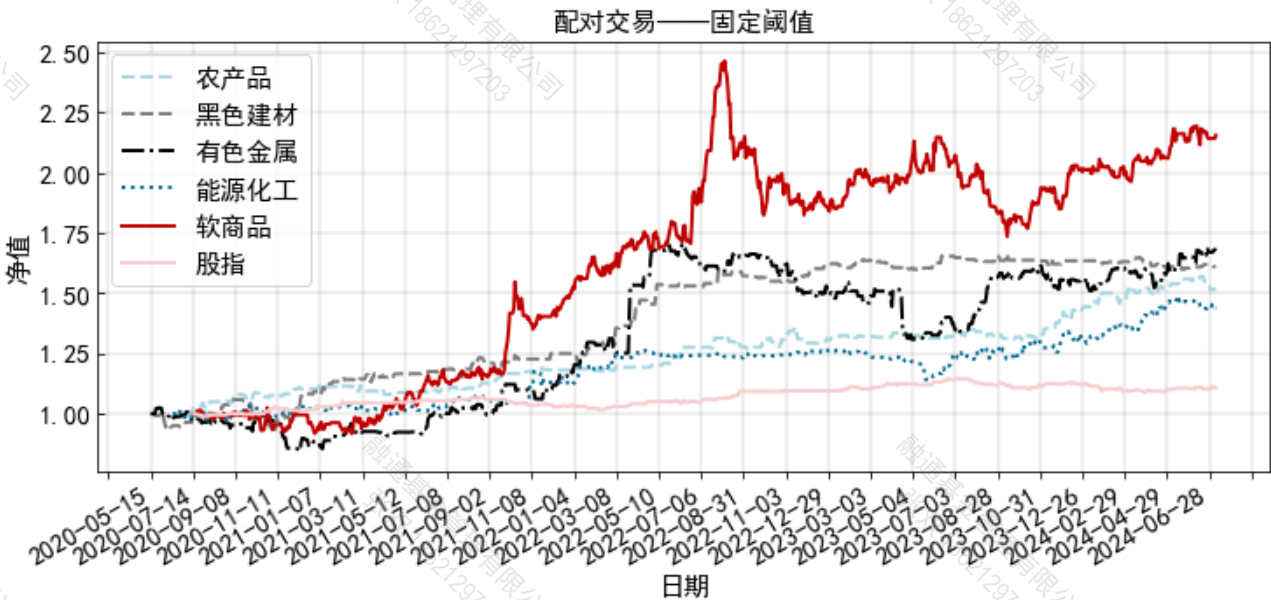
图表11：商品期货分板块与股指期货最优配对净值统计（平均持仓：天，轮动周期：月）

	年化收益%	年化波动%	夏普	最大回撤%	卡玛	胜率%	赔率	交易次数	平均持仓	轮动周期	极大界	极小界
农产品	11.25	6.87	1.64	4.83	2.33	53.44	2.67	293	2	5	0.7	0.4
黑色建材	12.67	8.85	1.43	12.77	0.99	50.72	2.73	311	2	4	0.5	0.4
有色金属	13.8	16.13	0.86	23.33	0.59	47.6	2.54	424	2	4	0.5	0.4
能源化工	9.74	9.94	0.98	9.96	0.98	51.74	1.85	299	3	5	0.7	0.2
软商品	22.18	20.11	1.1	29.58	0.75	50.32	1.5	208	7	6	0.7	0
股指	2.7	3.3	0.82	4.99	0.54	50	1.82	217	3	6	0.9	0.2

资料来源：中信期货研究所

**整体分析 6 大板块：**首先，**该方案普遍收获较高的夏普**——较高的集中在农产品和黑色建材、较低的有色金属和股指；其次，**持仓短、交易少**——所有板块平均持仓时间普遍较短（其中 5 个不超过一周）、绝大部分板块（除有色金属）交易次数适中或偏低；再者，**半数板块“鱼与熊掌可以兼得”**——胜率与赔率在农产品板块两者皆优、黑色建材和能源化工 2 个也较为均衡，但是有色金属、软商品和股指 3 大板块上两者难以共振。较高的胜率往往表明赚钱的概率更高，但可能每次获得较低的收益；较高的赔率往往表明即便存在更大的潜在风险，但可以期待每次更高的收益弹性。从当下的回测结果来看，针对农产品、黑色建材和能源化工的板块内配对交易兼具“高胜率”和“高赔率”，鱼与熊掌得兼——既有收益确定性、又有收益弹性，这无疑是投资中较为理想的状况。

图表12：商品期货分板块与股指期货最优配对净值曲线汇总



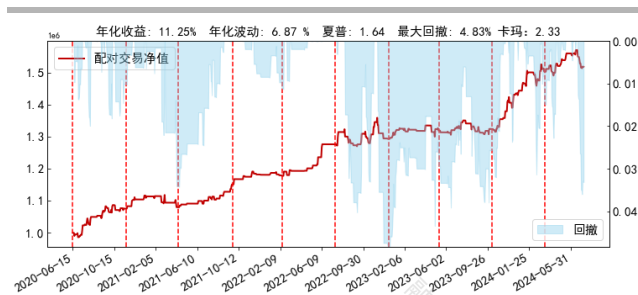
资料来源：Wind、中信期货研究所

**单独看到各个板块：**农产品表现最优，不仅仅是夏普、卡玛、胜率、赔率和交易次数这些正向指标领衔其他所有板块，还包括相对较低的年化波动和最大回

撤；不同投资风险偏好下的选择自由也被充分允许，譬如软商品尽管获得最高的年化收益，但是相伴而言的是其高波动、高回撤以及过于频繁的交易次数，当然这对实际投资体验是一个极大的挑战。

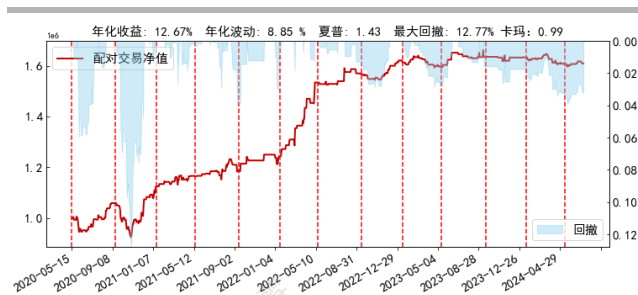
**侧重“回撤”的视角：**下方我们也从侧重“回撤”的视角详细列出了各板块的净值走势图，当中红色垂直虚线对应着轮动周期切换的时间点。“净值上行”趋势走的较为顺畅的为农产品和能源化工，但两者在 2022 年中旬到 2023 年中旬的走势偏横盘；“震荡上行”的板块则包括有软商品和股指，尽管部分阶段存在“回吐”（如软商品对应的 2022 年 3 季度、股指对应的 2021 年下半年等），但瑕不掩瑜——软商品全区间的上扬趋势明显，股指端相对“高夏普、低波动、低回撤”的特点也使得加杠杆之后的表现值得期待；同时，黑色建材和有色金属板块自 2022 年 5 月以来的或横盘企稳或横盘震荡的走势，也将我们引领向对模型参数**敏感性分析**以及参数衰减期的思考之中。

图表13：配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

图表14：配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析



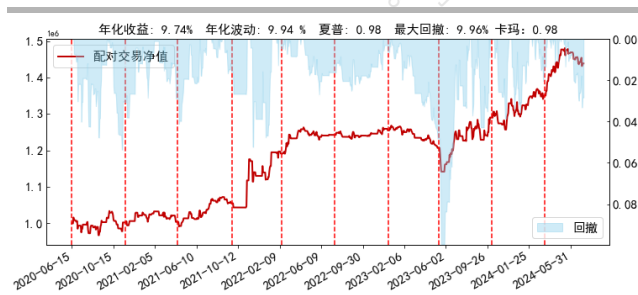
资料来源：中信期货研究所

图表15：配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

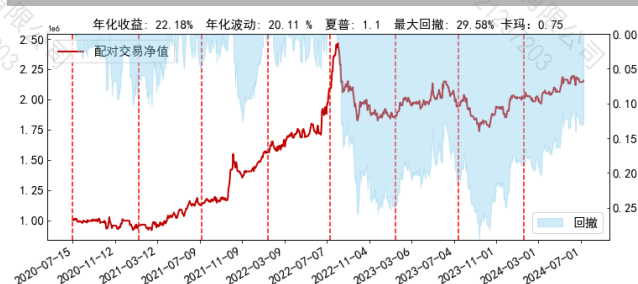
图表16：配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

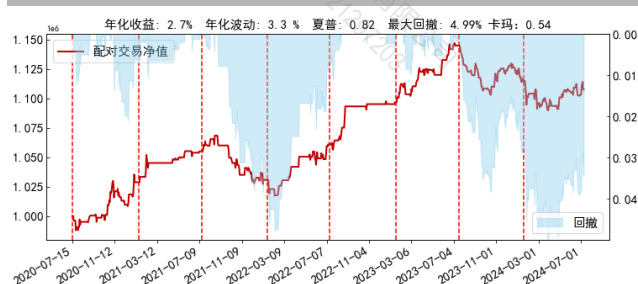


图表17：配对交易软商品自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

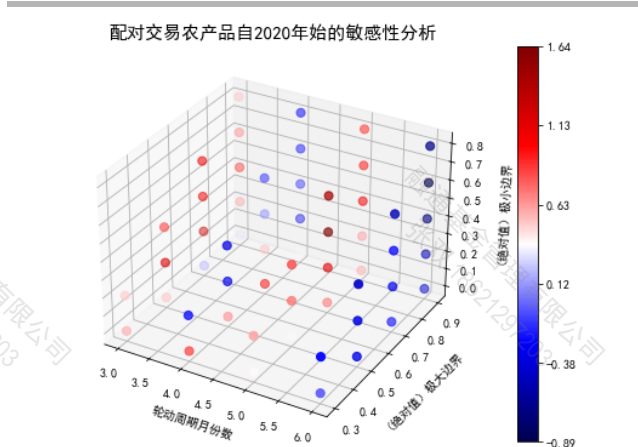
图表18：配对交易股指自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

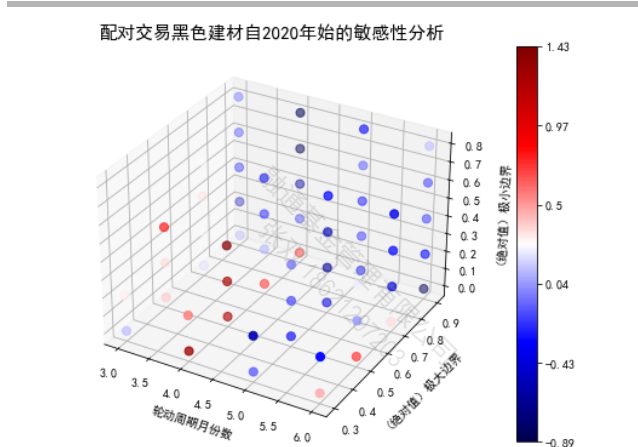
**敏感性分析：**承接上一段最后的落脚点，下面给出了商品期货 5 个板块和股指期货配对交易的敏感性分析结果。其中，农产品、有色金属、能源化工和股指的高夏普红色点成“簇状”分布——表明参数低敏感，也就是较高的稳定性；而剩余的另外 2 个板块“黑色建材和软商品”，也不至于悲观——两种对应高夏普的红色点成“片状”分布，具体来讲就是固定“轮动周期月份数”这个维度之后，这个模型的良好表现也无惧另外两个变量“极大/小边界”的影响。

图表19：配对交易农产品自 2020 年起的敏感性分析



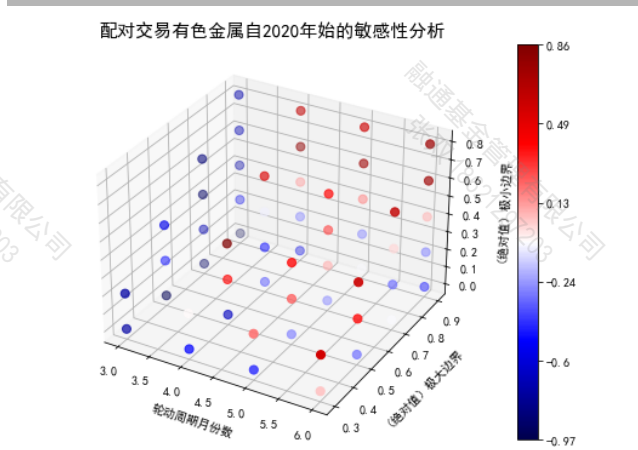
资料来源：中信期货研究所

图表20：配对交易黑色建材自 2020 年起的敏感性分析



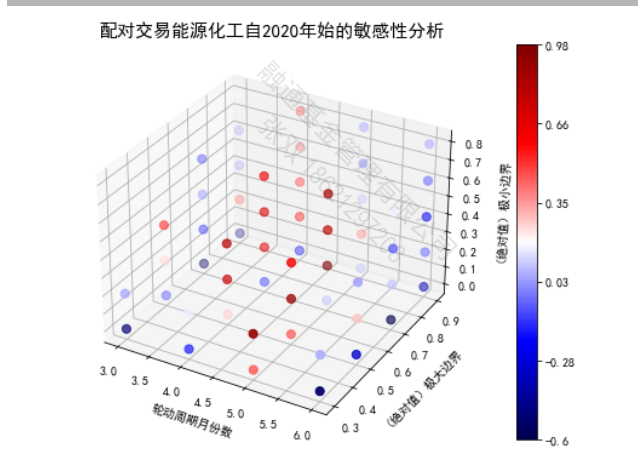
资料来源：中信期货研究所

图表21：配对交易有色金属自 2020 年起的敏感性分析



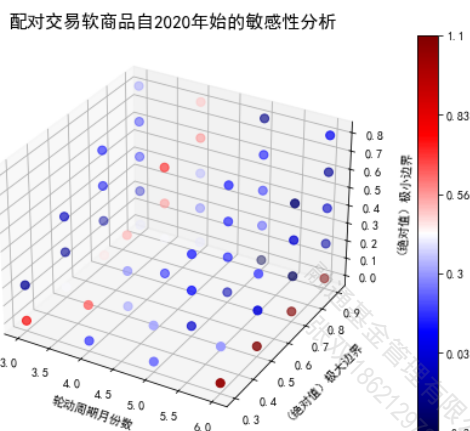
请务必阅读正文之后的免责声明

图表22：配对交易能源化工自 2020 年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

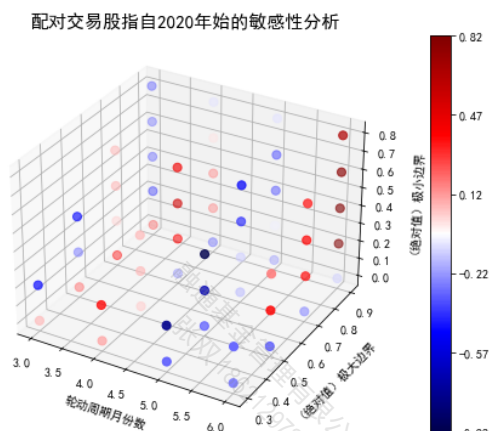
图表23：配对交易软商品自2020年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

资料来源：中信期货研究所

图表24：配对交易股指自2020年起的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

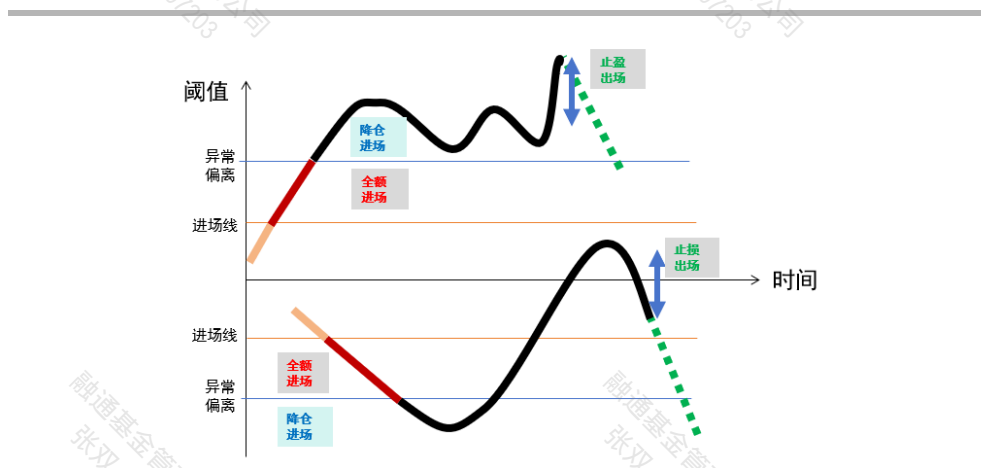
## （二）方案 C：仓位强弱+止盈止损

**最初设想（效果欠佳）：**这一部分最初的设想其实较为简单常见，就是把“进出场规则全部依赖于固定阈值的上下穿”改为“进场依赖上下穿阈值、出场改为止盈止损（2%）”，在此过程中都是按照**全额**资金量进行交易。也就是说，相较于前一个方案，我们沿用其进场规则，但是出场规则进行了新的更改。但是上述初步尝试效果一般，从而让我们对上述**全额**交易进行重新审视。

**新的思考**则是说，对于出场信号的产生，我们希望在止盈止损的基础之上再叠加上“根据**信号的强弱**对仓位进行精细化的区分”（注意我们信号的绝对值是介于0到1之间）。那么，如何划分与对应才是有效的？实际回测下来，我们观察到：除了上述全额交易效果一般以外，按**直接使用**“两个信号绝对值的乘积、两个信号绝对值中的最大值/最小值”，或者“根据两个信号强弱正相关地分档”**间接使用**等方式效果表现均一般。

**最终我们的落脚点**在于：当两个信号中只要有一个超过某个极值（譬如0.9），那么我们认为当前处于一个异常的偏离，相应的“均值回归”的反转逻辑**即便存在但是存疑**，所以我们会**降仓**入场（譬如强制降至分配资金的30%）以降低风险，未交易的资金放入闲置账户；其余情况视作正常，仍然**全额**资金量操作。

图表25：进出场规则示意图



资料来源：中信期货研究所

### (1) 进出场规则

通过回顾经典的“事件驱动型”回测的逻辑，我们说明实现仓位强弱对应的具体设置环节。在日频配对交易策略中：

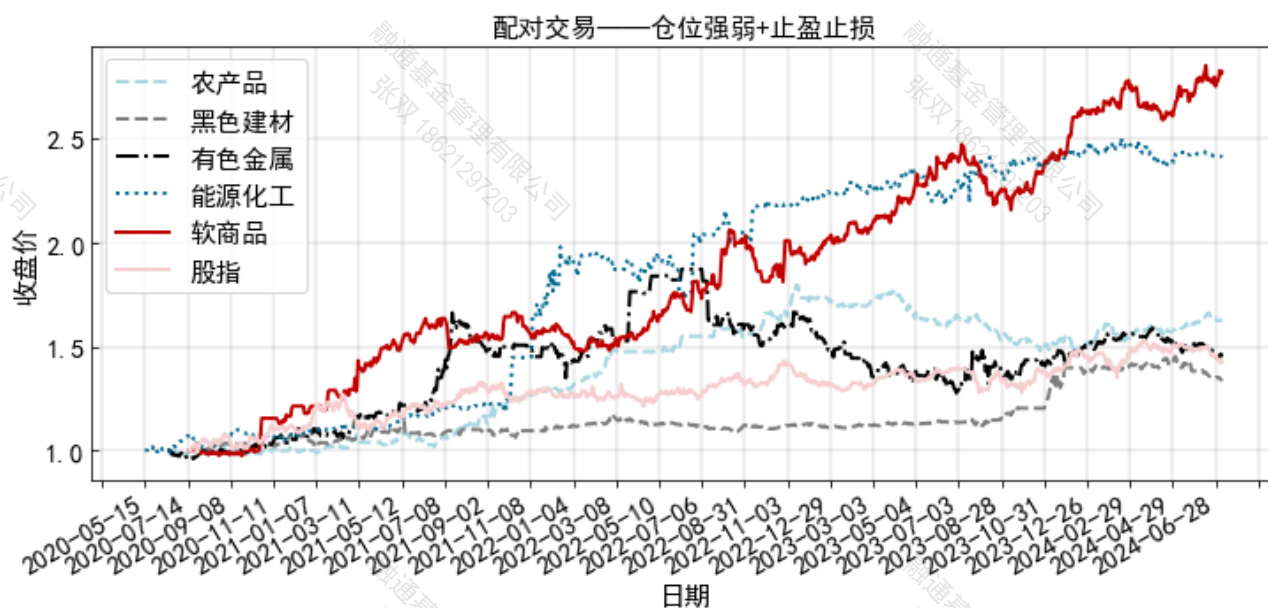
- 首先，全区间的最后一个交易日“平仓”（默认强平）——手续费依据配对品种的前一日持仓量和当日价格计算，净值变动依据前一日持仓量和前后两日价格变动计算并剔除手续费；
- 其次，仅在“空仓”的前提下才会依据进出场规则给出“做多/做空”信号，因此，当日净值无变动，下一日建仓时——依据出信号当日盘后的资金量初步在配对对数及每对的两个品种之间均分，接着视信号强弱或全额或线性或分档对初始均分的资金进行折价，然后依照折价后的分配资金以及品种价格“向下取整”计算实际交易手数，再以此实际交易手数和交易资金计算出下一日正式入场“做多/做空”的手续费，这就是我们“仓位强弱”的含义及实践环节；
- 进一步，“持仓不变”的信号下，若前一日是“做多/做空”信号，当日净值变动对应手续费的扣减（注意，扣除手续费后的资金含两部分——实际配对交易和为参与交易的账户闲置资金）；否则，净值变动依据前一日持仓量和前后两日价格变动计算，在此过程中无交易从而无手续费；
- 再者，“平多头或平空头”的信号下，若前一日是“做多/做空”信号，当日净值变动对应手续费的扣减；否则，当日为持仓日，净值变动依据前一日持仓量和前后两日价格变动，无交易从而无手续费；

- 最后，“不交易”的信号下，若前一日为“平多头/平空头”，净值变动对应手续费的扣除；其余情况则延续前一日资金即可，无变动；

## (2) 回测结果

这里给出相应的回测结果。其中，商品期货的 5 大板块的降仓处理均是固定为 30% 的资金量入场，而股指期货按照 90% 的资金量入场，作此调整的原因在于股指期货对参数敏感性较高。至于“异常偏离”的衡量标准则存在寻参的过程。

图表26：商品期货分板块与股指期货（仓位强弱+止盈/损）最优配对净值曲线汇总



资料来源：Wind、中信期货研究所

从上方的净值曲线中，软商品和能源化工这两个板块较为突出——前者震荡上扬、尽显收益昂扬上行之势，后者在 2021 年年底“陡升”之后含蓄地“一步一步往上爬”。我们再在下方给出全体回测的净值统计汇总表格。

图表27：分板块（仓位强弱+止盈/损）最优配对净值统计（平均持仓：天，轮动周期：月）

	年化收益%	年化波动%	夏普	最大回撤%	卡玛	胜率%	赔率	交易次数	平均持仓	轮动周期	进场阈	异常阈
农产品	13.13	10.01	1.31	17.95	0.73	51.7	1.22	60	27	5	0.8	0.9
黑色建材	8.06	9.42	0.86	7.73	1.04	51.08	1.17	42	39	6	0.6	0.7
有色金属	9.95	19.03	0.52	31.86	0.31	49.63	1.47	216	6	5	0.6	0.7
能源化工	24.63	17.68	1.39	12.8	1.92	53.02	1.35	96	17	4	0.5	0.9
软商品	31.1	17.34	1.79	12.8	2.43	51.76	1.58	182	8	6	0.7	0.8
股指	9.67	14.5	0.67	13.34	0.72	51.15	1.06	16	118	6	0.8	0.9

资料来源：中信期货研究所

可以有如下几点观察：规则内不同板块的横向对比发现，软商品和能源化工



相对较优——年化收益、夏普、胜率和赔率出现“四高”，有色金属和黑色建材板块表现一般；同板块与上一规则的纵向对比发现，该方案赔率相对偏低——表明当前收益弹性偏弱——成也萧何败萧何，这与我们“异常偏离出现时降仓进场”的设置脱不了干系，此外交易次数明显下降、平均持仓有所延长，这一点也是符合我们的经验认知——“避免进出场同时使用阈值”可以有效降低交易频次及压降交易成本。

### （三）方案 D：仓位强弱+止盈止损+持有期

#### （1）进出场规则

这个方案比较简单，就是在上述方案的基础之上，平仓条件中新增了“最大持有期”的限定，与原有的平仓条件是“或”的关系。

为了突出考察重点（如最大持有期的长短），部分重要性较弱的参数为固定设置：“异常偏差”的阈值为 0.9，商品板块轮动周期固定为 5 个月或 6 个月，股指期货轮动周期固定为 3 个月。

#### （2）回测结果

在当前方案的回测结果中，2 点新观察最为明显：首先，软商品走出了“一枝独秀”的净值攀升势——收益、夏普、卡玛、赔率都领衔其他板块，但是高波动和交易次数较频繁也不容忽视；其次，股指期货终于在这个策略方案中脱颖而出——领衔其他板块的胜率，亮眼的夏普和赔率，也包括合理的交易次数和平均持仓。

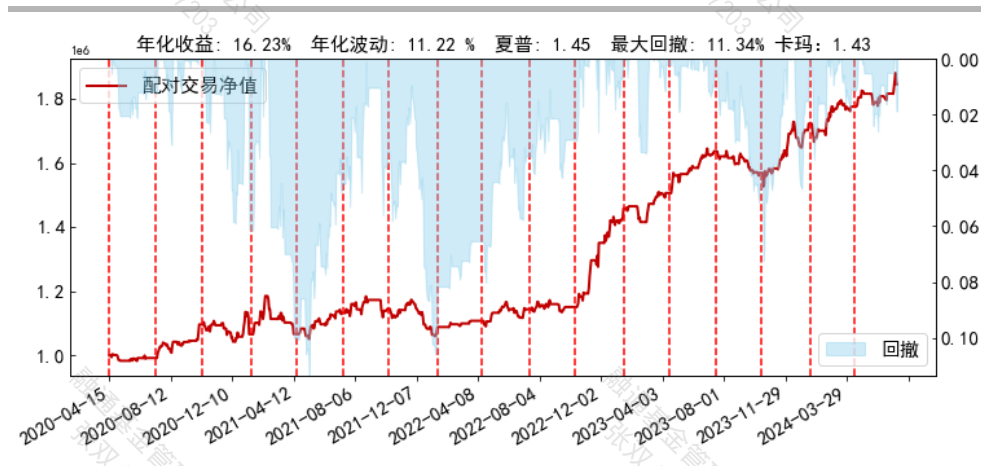
图表28：分板块（仓位强弱+止盈/损+最大持有）最优配对（平均持仓：天，轮动周期：月）

	年化收益	年化波动	夏普	最大回撤	卡玛	胜率	赔率	交易次数	平均持仓	轮动周期	进场阈值	最大持有期
农产品	8.73	6.19	1.41	5.4	1.62	52.93	1.86	192	4	5	0.9	3
黑色建材	6.41	12.38	0.52	17.03	0.38	52.12	1.15	88	14	6	0.8	15
有色金属	10.79	14.02	0.77	17.26	0.62	49.5	1.64	234	5	5	0.9	10
能源化工	17.3	16.94	1.02	11.76	1.47	50.36	1.72	256	5	5	0.5	5
软商品	38.07	21.88	1.74	15.68	2.43	50.96	2.22	373	3	6	0.5	3
股指	16.23	11.22	1.45	11.34	1.43	53.25	1.68	265	4	3	0.6	3

资料来源：中信期货研究所

这里，我们单独给出针对股指期货使用本方案进行配对交易的策略净值走势，可以看到，一路走来净值形态越发向好。

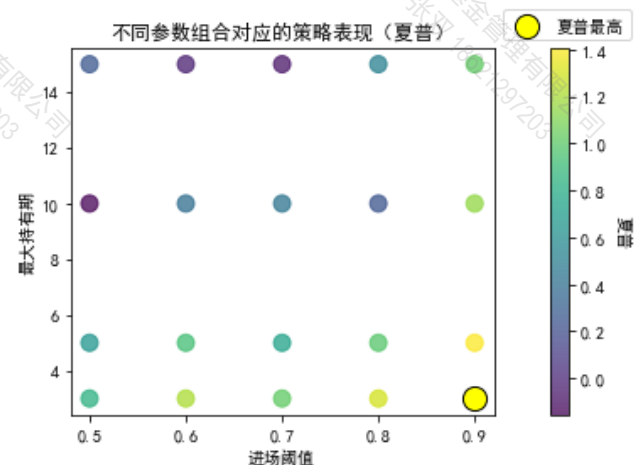
图表29：商品期货分板块与股指期货（仓位强弱+止盈/损+最大持有）最优配对净值曲线汇总



资料来源：中信期货研究所

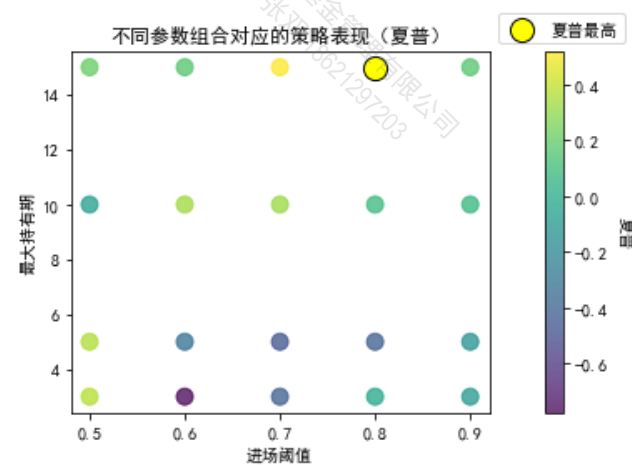
当然我们也对这里关注的 2 个变量——**进场阈值**和**最大持有期**做了敏感性分析。从下述热图中可以发现：商品期货的不同板块均具备高夏普“黄色/青黄色”圆点聚集的现象——表明其较高的稳定性，但不同板块的形状各异、需要酌情加以区分；相对而言，配对交易股指期货的较好表现倾向于出现在较低的进场阈值和较短的最大持有期，可以在此基础之上再去“轮动周期”这个维度发觉更多的优质交易机制。

图表30：配对交易农产品自 2020 年始的敏感性分析



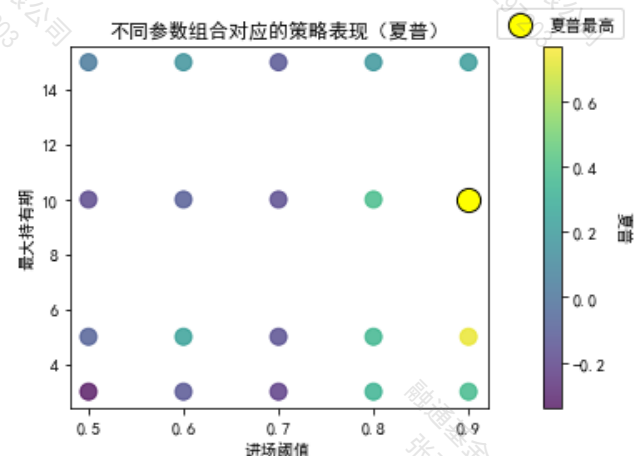
资料来源：中信期货研究所

图表31：配对交易黑色建材自 2020 年始的敏感性分析



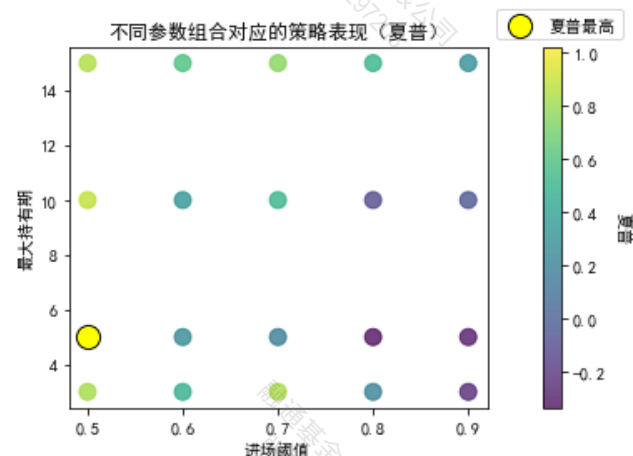
资料来源：中信期货研究所

图表32：配对交易有色金属自 2020 年始的敏感性分析



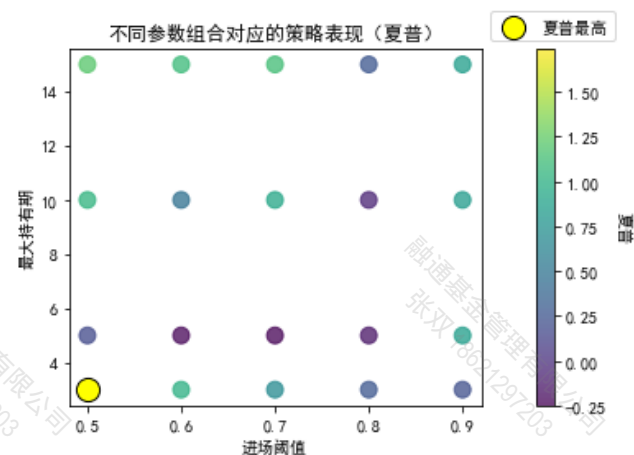
资料来源：中信期货研究所

图表33：配对交易能源化工自 2020 年始的敏感性分析



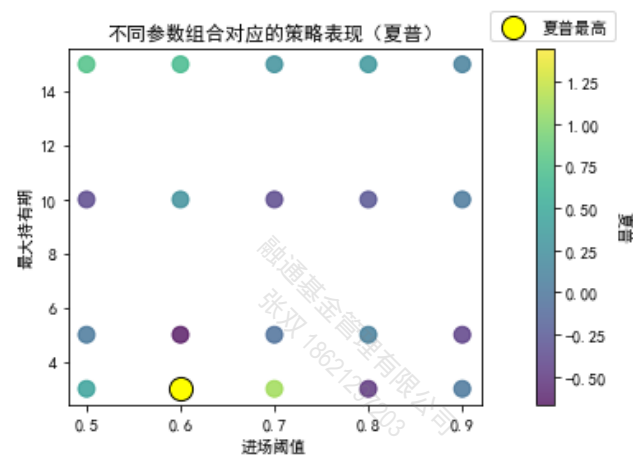
资料来源：中信期货研究所

图表34：配对交易软商品自 2020 年始的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

图表35：配对交易股指自 2020 年始的敏感性分析



资料来源：中信期货研究所

## 四、总结

基于“系列一”对 Copula 函数理论要点的详细介绍，本篇研报再度在商品期货和股指期货两大品类中聚焦于“单一与混合 Copula 函数”，以此设计相应的信号产生机制，进而提出 4 种配对交易的新思路。回测区间自 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 8 日，“定长窗口滚动式”回溯产生的每轮周期中仅交易 1 对品种。这 4 种方案综合考虑了 Copula 生成的分布函数关于主/副腿期货（两个品种）的一阶偏导，并基于此发散性地探讨了阈值择时、仓位强弱、止盈止损和最大持有期等新概念与技巧。

配对筛选阶段，我们沿用 3 种经典相关性进行最优组合遴选；配对建/平仓阶段，我们以“单一/合成 Copula（2 种不同形式的）一阶偏导”为信号构建的新基础，多维度发散关于平仓的设置——仓位强弱、止盈止损和预设持有期；各类方案都进行了敏感性分析用以监测过拟合风险与考察策略稳定性。

这里对 4 种方案汇总做一个简要的对比。

1. **单一筛选 Copula 的固定阈值法：**有色金属表现最优——年化收益 21.07%、夏普 1.61、胜率 56%、赔率 4.67、4 年半交易 141 次、6 个月滚动一次，能源化工和农产品叠加合适倍数杠杆后表现可期；
2. **混合 Copula 的固定阈值法：**该方案普遍收获较高的夏普——农产品夏普 1.64、黑色夏普 1.43，持仓短（普遍不超过一周）、交易少，且半数板块“鱼与熊掌可以兼得”——胜率与赔率在农产品板块两者皆优（分别为 53.44%和 2.67）、黑色建材和能源化工 2 个也较为均衡；
3. **混合 Copula 的“固定阈值及仓位强弱进场、止盈止损出场”：**规则内不同板块的横向对比——软商品（夏普 1.79、胜率 51.76%）和能源化工（夏普 1.39、胜率 53.02%）相对较优，有色金属和黑色建材板块表现一般；同板块与上一规则的纵向对比——赔率相对偏低（1.45 左右）、交易次数明显下降、平均持仓有所延长；
4. **混合 Copula 的“固定阈值及仓位强弱进场、止盈止损或超时出场”：**软商品“一枝独秀”——年化收益 38.07%、夏普 1.74、胜率 50.96%、赔率 2.22，股指期货“脱颖而出”——胜率 53.25%领衔、夏普 1.45 和赔率 1.68 均较为亮眼、合理的交易次数（4 年半 265 次）和平均持仓（4 天左右）。

此外，回测区间拉长引发的“路径依赖与否”和配对组数的增加导致的“信号有效性淡化与否”这两个问题，会在后续研究中进一步探讨。



## 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>