



华泰期货
HUATAI FUTURES

期货研究报告|量化专题报告 2024-06-30

橡胶跨境套利实证研究（下篇）

研究院 量化组

研究员

高天越

☎ 0755-23887993

✉ gaotianyue@htfc.com

从业资格号: F3055799

投资咨询号: Z0016156

联系人

李逸资

☎ 0755-23887993

✉ liyizi@htfc.com

从业资格号: F03105861

李光庭

☎ 0755-23887993

✉ liguangting@htfc.com

从业资格号: F03108562

麦锐聪

☎ 0755-23887993

✉ mairuicong@htfc.com

从业资格号: F03130381

黄煦然

☎ 0755-23887993

✉ huangxuran@htfc.com

从业资格号: F03130959

投资咨询业务资格:

证监许可【2011】1289号

摘要

本文为橡胶跨境套利实证研究的下篇，上篇已论述验证过 JPX 橡胶与 INE 橡胶之间的（1）线性相关性（2）交叉相关性（3）超额相关性及其对称性，为套利交易的可行性提供了坚实的理论支撑。

本篇将进一步探讨两种橡胶期货之间的协整关系，验证长期均衡模型的有效性，并据此设计出三种稳健的统计套利交易策略。其中等价值配比策略提供了理想持仓比例的计算方法，在扣除交易成本后，策略夏普达到 1.35，年化收益率接近 10%，最大回撤为 5.81%，盈利效果最好但现实实操难度较高；贝塔系数配比弥补了等价值配比在实操方面的局限性，便于操作；动态切换配比则是在贝塔系数配比的基础上，更灵活地捕捉由于上涨或下跌行情切换而引起的 JPX 与 INE 橡胶相关关系强度的变化，从而实现策略表现的优化。

目录

摘要 1

实证研究 4

 ■ 长期均衡 4

策略实操 8

 ■ 基本逻辑 8

 ■ 参数设定 8

 ■ 交易设定 8

 ■ 手数配比 9

 ■ 等价值配比 9

 ■ 参数遍历 10

 ■ 最佳策略 11

 ■ 贝塔系数配比 12

 ■ 参数遍历 13

 ■ 最佳策略 14

 ■ 动态切换配比 16

 ■ 参数遍历 18

 ■ 最佳策略 19

结论 21

参考文献 22

图表

图 1: 协整关系拟合图 单位: 无	7
图 2: 最优参数下等价值配比策略净值和最大回撤 单位: 无	11
图 3: 等价值配比交易成本影响 单位: 无	11
图 4: 最优参数下贝塔系数配比策略净值和最大回撤 单位: 无	14
图 5: 贝塔系数配比交易成本及保证金占用情况 单位: 无	15
图 6: 最优参数下动态切换配比策略净值和最大回撤 单位: 无	19
图 7: 动态切换配比交易成本及保证金占用情况 单位: 无	20
图 8: 贝塔系数 vs 动态切换策略净值 单位: 无	21
表 1: 平稳性检测 单位: 无	5
表 2: 格兰杰因果检测 单位: 无	6
表 3: 回归效果对比 单位: 无	6
表 4: 不同参数组合的等价值配比套利策略夏普 单位: 无	10
表 5: 等价值配比套利策略盈亏分析 单位: 无	12
表 6: 等价值配比套利策略持仓分析 单位: 无	12
表 7: 不同参数组合的贝塔系数配比套利策略夏普 单位: 无	13
表 8: 贝塔系数配比套利策略盈亏分析 单位: 无	15
表 9: 贝塔系数配比套利策略持仓分析 单位: 无	15
表 10: 引入虚拟变量前后的协整关系式拟合结果 单位: 无	16
表 11: 动态切换斜率截距变化对比 单位: 无	17
表 12: 不同参数组合的动态切换配比套利策略夏普 单位: 无	18
表 13: 动态切换配比套利策略盈亏分析 单位: 无	20
表 14: 动态切换配比套利策略持仓分析 单位: 无	20
表 15: 贝塔系数 vs 动态切换策略收益 单位: 无	21

实证研究

上篇已经详细地验证了 JPX 橡胶与 INE 橡胶的相关关系，说明二者相关关系足够强且稳定，为挖掘套利机会奠定了理论基础。

而统计套利的基本逻辑在于在二者价差偏离较大时开仓，后续价差回归正常水平时平仓。这就需要二者价格之间存在协整关系，能满足处于一种长期均衡状态，才能保证偏离的价差终将均值回归，统计套利策略也才能从中获利。

■ 长期均衡

为了能精确找到价差偏离点，我们着眼去挖掘二者之间的协整关系式，由此可以通过一方的价格来推算出另一方的合理价格范围，从而判断当前的价差是否偏离均衡水平。

Ding (2020)认为相比起相关性或格兰杰因果关系，协整关系是一种更强的关系界定，协整产生的结构化线性方程，可以从其他商品的价格中预测一种商品的价格，并证明了流动性在价格预测中的作用。

流动性：是通过有效价差（effective spread）来定义和衡量的，此概念最早由 Roll (1984) 提出，通过用日度价格变化的自协方差作为有效价差的估计，Ding (2020) 在其基础上提出流动性的修改版定义：

$$l_t = spread = \begin{cases} 2\sqrt{-Cov(\Delta S_t, \Delta S_{t-1})}, & Cov(\Delta S_t, \Delta S_{t-1}) \leq 0 \\ 0, & Cov(\Delta S_t, \Delta S_{t-1}) > 0 \end{cases}$$

其中 S_t 代表第 t 个交易日的收盘价， $\Delta S_t = S_t - S_{t-1}$ ；

为了数据平滑，取滚动 21 个交易日（约一月）为窗口，计算每日的流动性指标，并为了消除不同市场的量纲影响，将流动性指标归一化处理，即将计算出来的

$l_t^{INE}, l_t^{Rate}, l_t^{JPX}$ 分别减去自身的均值再除以标准差，数据留作后续分析备用。根据 Ding (2020) 定义， l_t 值越大，说明该商品的流动性越差。

协整关系：根据 Engle (1987) 提出的，若两个非平稳时间序列回归后的残差是平稳的，即说明二者之间存在协整关系；接下来我们挖掘二者之间的协整关系式：

Step 1: 对 JPX 橡胶与 INE 橡胶的收盘价取对数，日度收益率则可表示为两日收盘价的对数之差：

$$r_t^i = \ln P_t^i - \ln P_{t-1}^i$$

Step 2: 在做协整检测之前，先进行数据平稳性检测 (Dickey-Fuller Test)，发现价格序列均不平稳，取一阶差值后达到平稳状态，即原价格序列不平稳，收益率序列平稳；

表 1: 平稳性检测 | 单位：无

	$\ln P_t^{INE}$	$\ln P_t^{Rate}$	$\ln P_t^{JPX}$
DF	-2.50	-0.60	-1.76
	(0.11)	(0.87)	(0.40)
收盘价取一阶差值后			
	$\ln r_t^{INE}$	$\ln r_t^{Rate}$	$\ln r_t^{JPX}$
DF	-20.60***	-25.65***	-28.15***
	(0.00)	(0.00)	(0.00)

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

括号内数字代表 P 值，星号代表显著性水平，*, **, *** 分别代表 10%, 5%, 1% 的显著性水平。

Step 3: 对差分后平稳的序列进行格兰杰因果检测，发现 INE 橡胶、汇率、JPX 橡胶两两之间均满足至少一个方向的格兰杰原因关系；

表 2: 格兰杰因果检测 | 单位: 无

	INE	Rate	JPX
INE	-	3.52** (0.06)	4.94*** (0.03)
Rate	4.07*** (0.04)	-	4.37*** (0.04)
JPX	1.53 (0.22)	12.41*** (0.00)	-

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

表格内为 F 统计值, 括号内数字代表 P 值, 星号代表显著性水平, *, **, ***分别代表 10%, 5%, 1%的显著性水平。

Step 4: 建立 OLS 模型来拟合协整关系式;

$$\ln P_t^{JPX} = \alpha + \beta_1 \ln P_t^{INE} + \beta_2 \ln P_t^{Rate} + \varepsilon_t$$

加入各自的流动性指标, 再次回归;

$$\ln P_t^{JPX} = \alpha + \beta_1 \ln P_t^{INE} + \beta_2 \ln P_t^{Rate} + \gamma_1 L_t^{INE} + \gamma_2 L_t^{Rate} + \varepsilon_t$$

表 3: 回归效果对比 | 单位: 无

	无流动性指标回归方程	有流动性指标回归方程
R^2	0.687	0.712
残差平稳性检测DF	-2.42 (0.14)	-2.98*** (0.04)

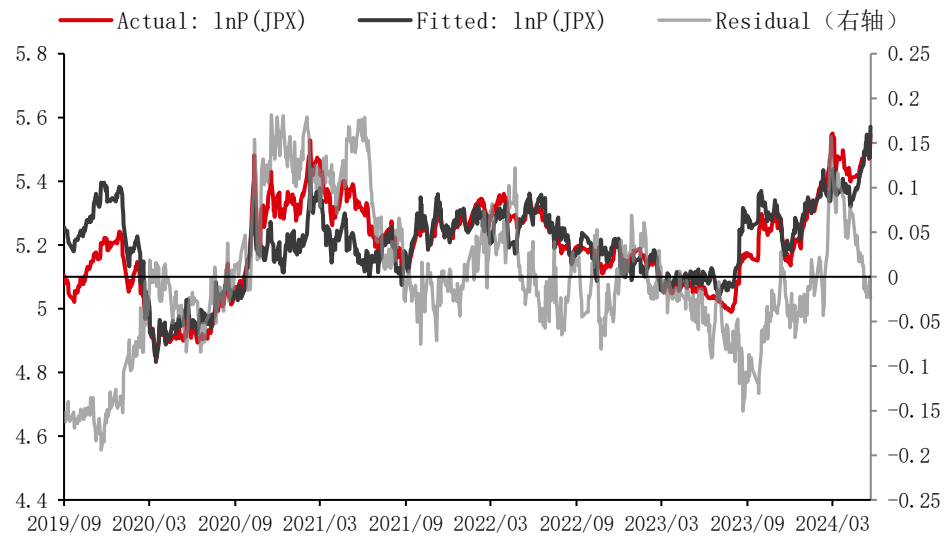
数据来源: Wind, 华泰期货研究院

括号内数字代表 P 值, 星号代表显著性水平, *, **, ***分别代表 10%, 5%, 1%的显著性水平。

对两次回归后的残差分别进行平稳性检验,从表 3 可以看出在控制各自的流动性后,回归方程的残差从不平稳变成平稳状态,所以我们将流动性指标纳入 JPX 橡胶与 INE 橡胶的协整关系式中,从而拟合出二者的长期均衡模型:

$$\ln P_t^{JPX} = -8.892 + 1.273 \ln P_t^{INE} + 0.887 \ln P_t^{Rate} - 0.002 L_t^{INE} + 0.017 L_t^{Rate} + \varepsilon_t$$

图 1: 协整关系拟合图 | 单位: 无



数据来源: Wind, 华泰期货研究院

策略实操

基于上述协整关系式，我们便可以推算出 JPX 与 INE 之间价差的合理范围，并及时捕捉到价差偏离较大时产生的套利机会。

基本逻辑

当拟合模型的残差偏离其均值的程度超过一定阈值时，产生套利信号；若残差过高，则意味着 JPX 被高估，则多 INE 空 JPX；反之则多 JPX 空 INE。

参数设定

为了更精准地定义“超过一定阈值”，我们提出两个关键参数来量化残差的偏离程度：

- 观察窗口 (X)：回看 X 天的 JPX 与 INE 回归模型残差
- 阈值设定 (K)：滚动标准差的倍数

在确定了参数组合之后，开仓信号的触发规则便随之确定：

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 } X \text{ 日均值} > K * \text{滚动 } X \text{ 日标准差}$ -> 多 INE 空 JPX

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 } X \text{ 日均值} < -K * \text{滚动 } X \text{ 日标准差}$ -> 多 JPX 空 INE

开仓信号触发的条件越“宽松”，意味着策略能尽可能捕捉到更多的套利机会，但交易次数越多的同时势必会带来更高的摩擦成本；但信号触发的条件越“严苛”，又不可避免会错过一些机会。如何权衡好机遇与成本就成了一个难题。

后续我们将通过参数遍历的办法，来找寻一个最佳平衡点。

交易设定

- 信号生成时间：JPX 交易所收盘后（北京时间 14:15）根据最新收盘价计算当日的模型残差，若残差偏离合理范围，则生成开仓信号；
- 开平仓时间：产生信号的下一交易日 T+1 开仓，再下一交易日 T+2 平仓；
- 持仓周期：固定 1 天；
- 交易价格：统一使用收盘价计算，滑点手续费设定为 0.01%；
- 回测周期：2019-09 至 2024-06，复利计算策略净值。

■ 手数配比

在确定了（1）多空信号的判定规则和（2）开平仓时间点后，我们进一步需要明确（3）持仓手数的配比设定。这涉及到在开仓一个单位的 JPX 橡胶合约同时，相应地反向开仓多少单位的 INE 橡胶合约。下文将详细探讨三种不同的持仓手数配比方法在橡胶跨境套利策略中的应用及其效果：

- （1）等价值配比：根据持仓合约价值相等原则，反推持仓手数；
- （2）贝塔系数配比：根据协整关系式的贝塔系数来确定持仓手数配比；
- （3）动态切换配比：根据上涨或下跌不同状态下的贝塔系数来动态确定持仓手数。

■ 等价值配比

等价值配比是一种基于持仓合约价值对等原则的持仓手数配比策略。该方法通过计算 JPX 和 INE 橡胶合约的当前价格、合约乘数，并结合汇率折算，来推算出等价值的持仓手数比例。这种方法的特点在于，无论市场如何波动，套利组合的日收益率总是稳定地反映为 JPX 与 INE 橡胶合约收益率的均值。

以 2024 年 6 月 7 日的收盘数据为例，次日交易的持仓手数配比计算如下：

1 手 JPX 合约价值（日元）= JPX 最新收盘价 * 合约乘数

$$= 357.2 * 5000 = 1,786,000$$

1 手 INE 合约价值（日元）= INE 最新收盘价 * 合约乘数 * 最新汇率

$$= 13710 * 10 * 21.537 = 2,952,723$$

根据计算结果，最新的持仓手数配比应调整至 **JPX : INE = 1 : 0.605**。

不难看出，在真实交易中要实现完美的等价值持仓交易，需要满足的条件较为严苛，因为合约价值会随着市场行情和两国汇率的实时波动而变化，其中隐含的风险敞口除了 JPX 与 INE 橡胶市场的波动外，还有外汇市场的波动。

策略回测过程中，我们设定每次触发开仓信号后，都以开仓日的最新价格和最新汇率计算当下的持仓手数，如此往复，滚动计算手数比例。

■ 参数遍历

在确定完交易所需的所有要素之后，我们采用参数遍历的办法在确定最优的参数组合：将观察窗口 X 取值范围定为 2 天到 100 天，阈值设定 K 的取值范围从 0.1 倍到 2 倍，计算每个参数组合下等价值配比套利策略在同一回测周期内的夏普值，来评估策略表现。结果如下：

表 4: 不同参数组合的等价值配比套利策略夏普 | 单位：无

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
2	-0.11	-0.14	-0.20	-0.28	-0.36	-0.24	-0.28	-0.21	-0.10	0.10	0.04	-0.02	-0.05	-0.16	-0.08	-0.16	-0.40	-0.50	-0.26	-0.14
3	0.19	0.32	0.22	0.34	0.17	0.08	-0.02	-0.17	-0.23	-0.12	-0.13	-0.03	-0.12	-0.10	0.01	0.16	0.13	0.12	0.19	0.20
5	0.87	0.73	0.55	0.46	0.54	0.54	0.30	0.33	0.22	-0.13	-0.25	-0.43	-0.32	-0.45	-0.34	-0.32	-0.38	-0.40	-0.48	-0.57
10	0.88	0.92	0.81	0.75	0.85	0.86	0.90	0.93	0.88	0.79	0.65	0.53	0.20	0.22	0.28	-0.06	0.11	0.27	0.00	0.06
15	0.70	0.59	0.71	0.67	0.66	0.78	0.79	0.65	0.42	0.60	1.02	0.66	0.45	0.42	0.72	0.89	0.57	0.60	0.21	0.38
20	0.35	0.38	0.57	0.63	0.61	0.83	1.00	0.92	0.84	0.85	0.91	0.82	0.95	0.74	0.66	0.71	0.70	0.82	0.91	0.64
25	0.25	0.36	0.53	0.59	0.60	0.82	0.89	1.09	1.06	1.18	0.98	1.10	0.99	0.71	0.66	0.61	0.65	0.82	0.86	0.66
30	0.21	0.50	0.48	0.45	0.66	0.85	0.71	0.96	1.15	1.35	1.17	1.05	0.95	0.86	0.54	0.46	0.70	0.59	0.65	0.59
40	0.13	0.20	0.24	0.32	0.54	0.59	0.64	0.72	0.67	0.97	1.10	1.00	0.84	0.67	0.47	0.54	0.22	0.33	0.57	0.74
50	-0.07	0.02	0.20	0.12	0.14	0.41	0.45	0.51	0.63	0.94	0.77	0.79	0.93	0.95	0.91	0.79	0.39	0.56	0.73	0.59
60	-0.38	-0.19	-0.13	0.14	0.09	0.16	0.15	0.37	0.63	0.64	0.86	0.93	0.62	0.87	1.04	1.00	0.75	0.47	0.61	0.81
70	-0.39	-0.37	-0.27	-0.19	0.12	0.18	0.14	0.11	0.37	0.64	0.68	0.89	1.00	1.06	1.16	1.01	0.80	0.53	0.50	0.33
80	-0.32	-0.34	-0.36	-0.38	-0.25	-0.03	0.28	0.22	0.22	0.67	0.66	0.91	1.15	1.32	1.06	0.95	0.84	0.52	0.33	0.34
90	-0.32	-0.35	-0.38	-0.35	-0.36	-0.11	0.17	0.33	0.34	0.38	0.71	0.97	0.92	1.13	1.29	0.80	0.71	0.90	0.68	0.57
100	-0.34	-0.39	-0.33	-0.14	-0.42	-0.31	0.02	0.34	0.39	0.47	0.62	0.82	0.64	0.83	1.05	0.99	0.64	0.83	0.95	0.74

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

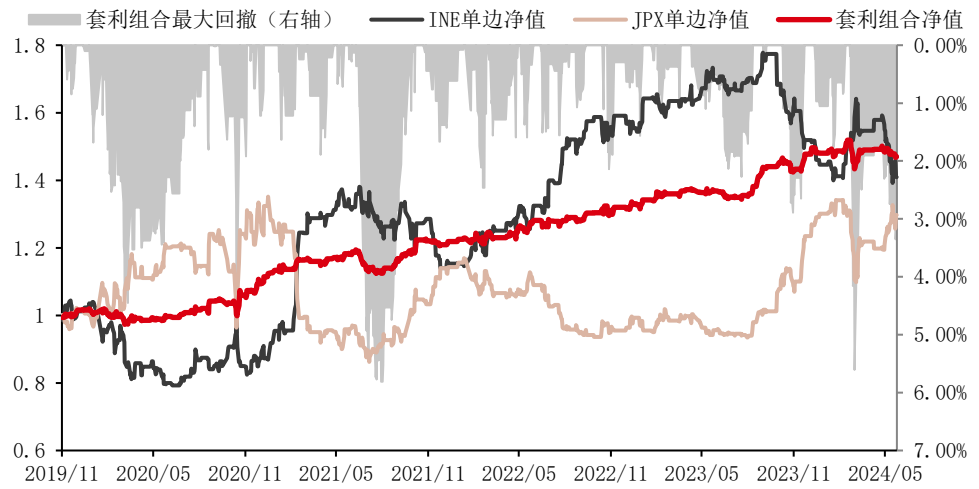
■ 最佳策略

从表 4 结果可知开仓信号的触发规则设置为 $X=30, K=1$ 时，策略表现最佳：

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 30 日均值} > 1 * \text{滚动 30 日标准差}$ -> 多 INE 空 JPX

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 30 日均值} < 1 * \text{滚动 30 日标准差}$ -> 多 JPX 空 INE

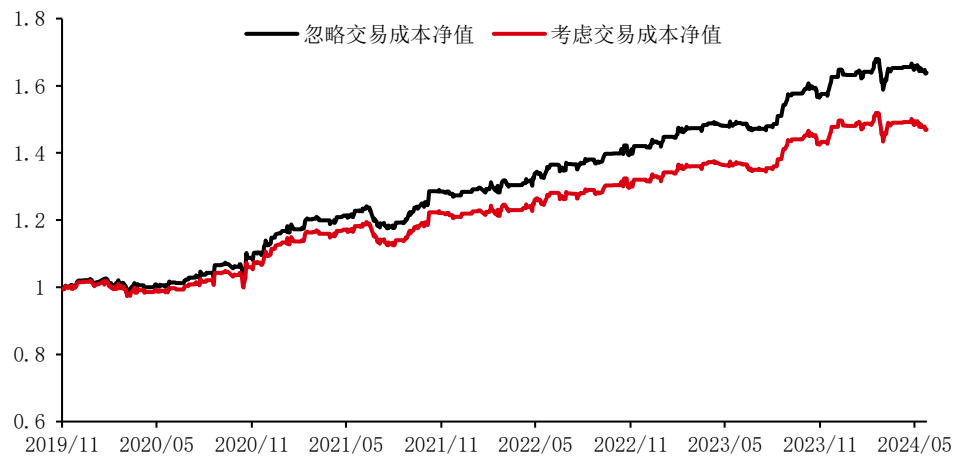
图 2: 最优参数下等价值配比策略净值和最大回撤 | 单位：无



数据来源：Wind, 华泰期货研究院

为了对交易产生的成本有更直观的了解，图 3 黑线还原了忽略滑点手续费可获得的套利收益。整体上看，策略开仓信号触发的比例为 52.1%，交易成本在可接受的范围内，期间产生的日度盈亏比为 1.36，最大回撤只有 5% 左右，属于稳健性策略。

图 3: 等价值配比交易成本影响 | 单位：无



数据来源：Wind, 华泰期货研究院

表 5: 等价值配比套利策略盈亏分析 | 单位: 无

	年化收益率	年化波动率	最大回撤	最大回撤 持续天数	夏普值	卡玛值
忽略交易 成本	12.72%	7.31%	5.46%	10	1.74	2.33
考虑交易 成本	9.83%	7.30%	5.81%	34	1.35	1.69

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

表 6: 等价值配比套利策略持仓分析 | 单位: 无

	交易次数	持仓天数占比	方向准确率	盈亏比
套利策略	544	52.1%	55.5%	1.36

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

局限性: 尽管等价值配比方法易于理解和计算, 但它忽略了两个不同市场的合约价格波动敏感度的差异。此外, 由于根据等价值原则计算出的持仓手数比例往往并非整数, 而这在真实交易中无法执行, 所以等价值配比方法虽提供了理想持仓比例的计算方法, 但其测算所得的盈亏收益仅作理论参考。在实际操作中, 投资者需要结合市场情况与资金量大小, 对理论比例进行适当的调整。

■ 贝塔系数配比

贝塔系数配比方法则是基于 JPX 和 INE 橡胶价格之间的协整关系, 根据贝塔系数来确定持仓头寸的比例。这种方法考虑了不同市场的期货合约间价格波动差异, 并根据各自的波动敏感度来确定相对权重。尽管计算过程较为复杂, 且对数据质量有较高要求, 需要充足的历史数据来支撑协整检验和模型拟合, 但贝塔系数配比能够弥补等价值配比方法的局限性。

回看实证研究部分提出的 JPX 橡胶和 INE 橡胶之间的协整关系式:

$$\ln P_t^{JPX} = -8.892 + 1.273 \ln P_t^{INE} + 0.887 \ln P_t^{Rate} - 0.002 L_t^{INE} + 0.017 L_t^{Rate} + \varepsilon_t$$

INE 的贝塔系数的含义为: 在保持其他变量不变的情况下, INE 橡胶价格每变动 1% 会引起 JPX 橡胶价格 1.273% 的变动。

应用到套利策略上，持仓手数比例则为 JPX : INE = 1 : 1.273，为解决小数位的问题，我们近似取 JPX : INE = 10 : 13，即每开仓 10 手的 JPX 橡胶合约，同时反向开仓 13 手的 INE 橡胶合约。

■ 参数遍历

在策略回测过程中，我们假设初始本金总共为 8 千万日元，其中 INE 为 5 千万，JPX 为 3 千万，其他设定维持不变。

同样是采用参数遍历的办法，将观察窗口 X 取值范围定为 2 天到 100 天，阈值设定 K 的取值范围从 0.1 倍到 2 倍，计算每个参数组合下贝塔系数配比套利策略的夏普值，来确定最优参数组合，结果如下：

表 7: 不同参数组合的贝塔系数配比套利策略夏普 | 单位：无

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
2	0.01	0.00	-0.02	0.01	-0.01	0.10	0.03	0.08	0.11	0.29	0.31	0.21	0.13	0.10	0.15	0.13	-0.18	-0.20	-0.06	0.07
3	0.47	0.50	0.47	0.41	0.38	0.13	0.10	-0.13	-0.21	-0.19	-0.30	-0.23	-0.13	-0.06	0.04	0.20	0.07	0.09	-0.02	0.14
5	0.93	0.71	0.62	0.63	0.58	0.59	0.43	0.49	0.47	0.11	0.08	-0.21	-0.01	-0.07	-0.02	0.02	-0.06	-0.09	-0.19	-0.22
10	0.53	0.72	0.73	0.68	0.80	0.66	0.65	0.48	0.51	0.54	0.38	0.48	0.34	0.34	0.60	0.16	0.39	0.57	0.13	0.17
15	0.41	0.33	0.43	0.40	0.40	0.68	0.70	0.74	0.47	0.47	0.91	0.72	0.68	0.52	0.77	0.99	0.89	0.65	0.25	0.39
20	0.12	0.12	0.18	0.29	0.21	0.37	0.56	0.55	0.66	0.77	0.97	0.89	0.92	0.85	0.72	0.79	0.67	0.76	1.05	0.83
25	-0.16	-0.04	0.18	0.19	0.29	0.43	0.66	0.77	0.93	1.01	0.87	1.07	1.07	0.76	0.61	0.61	0.49	0.67	0.77	0.56
30	-0.19	0.07	0.11	0.16	0.34	0.59	0.46	0.68	0.91	0.97	0.89	0.87	0.82	0.71	0.43	0.29	0.51	0.35	0.47	0.67
40	-0.14	-0.06	-0.05	-0.08	0.09	0.19	0.18	0.40	0.35	0.61	0.66	0.76	0.59	0.52	0.38	0.61	0.22	0.36	0.62	0.69
50	-0.33	-0.19	-0.02	-0.05	0.02	0.23	0.22	0.26	0.36	0.59	0.52	0.72	0.90	0.85	0.68	0.66	0.42	0.56	0.56	0.52
60	-0.31	-0.22	-0.16	0.11	0.03	0.04	0.08	0.16	0.48	0.37	0.56	0.80	0.58	0.78	0.92	0.89	0.57	0.40	0.58	0.66
70	-0.25	-0.29	-0.30	-0.45	-0.06	0.05	0.13	0.13	0.13	0.41	0.45	0.58	0.86	1.11	1.28	1.11	0.66	0.18	0.21	-0.07
80	-0.11	-0.23	-0.25	-0.36	-0.31	-0.10	0.27	0.28	0.34	0.42	0.48	0.80	0.98	1.25	1.08	0.85	0.70	0.11	-0.31	-0.22
90	-0.22	-0.19	-0.17	-0.23	-0.24	-0.09	0.13	0.25	0.38	0.46	0.43	0.74	0.61	0.93	1.16	0.70	0.48	0.72	0.28	-0.06
100	-0.19	-0.17	-0.07	0.03	-0.22	-0.20	-0.08	0.21	0.46	0.50	0.59	0.59	0.50	0.61	1.01	0.91	0.50	0.41	0.61	0.17

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

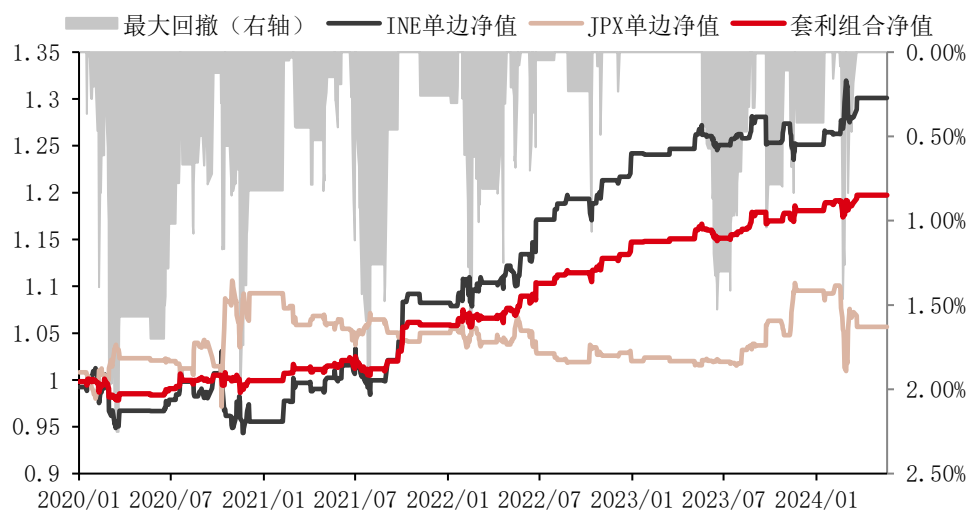
■ 最佳策略

由于持仓手数比例发生了变化，贝塔系数配比法测算出的最佳参数组合与等价值配比法的不同。从表 7 的结果看出，当开仓信号的触发规则设置为 $X=70, K=1.5$ 时，策略表现最佳：

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 70 日均值} > 1.5 * \text{滚动 70 日标准差}$ -> 多 13 手 INE 空 10 手 JPX

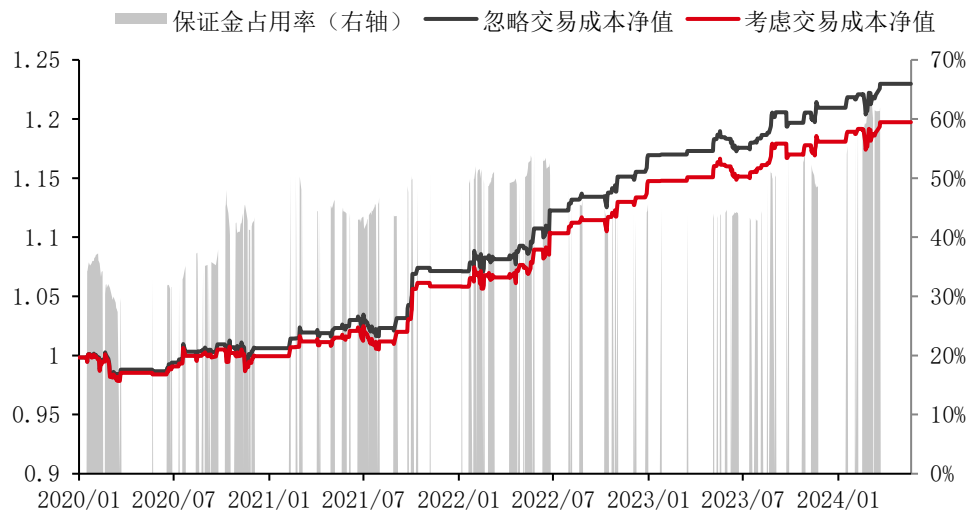
当 $\varepsilon_t - \text{滚动 70 日均值} < 1.5 * \text{滚动 70 日标准差}$ -> 多 10 手 JPX 空 13 手 INE

图 4: 最优参数下贝塔系数配比策略净值和最大回撤 | 单位：无



数据来源：Wind, 华泰期货研究院

图 5: 贝塔系数配比交易成本及保证金占用情况 | 单位: 无



数据来源: Wind, 华泰期货研究院

由于开仓条件较为苛刻, 开仓频率降低, 仅有大约 30%的交易日触发了开仓信号, 净值曲线呈现阶段型波动, 保证金占比峰值在大约 65%, 均值为 13.35%, 资金占用方面较为保守, 扣除交易成本后的策略最终夏普值为 1.28。

表 8: 贝塔系数配比套利策略盈亏分析 | 单位: 无

	年化收益率	年化波动率	最大回撤	最大回撤持续天数	夏普值	卡玛值
忽略交易成本	5.33%	3.62%	2.15%	17	1.47	2.49
考虑交易成本	4.64%	3.61%	2.25%	37	1.28	2.06

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

表 9: 贝塔系数配比套利策略持仓分析 | 单位: 无

	交易次数	持仓占比	方向准确率	盈亏比	总成本占比	保证金占用均值	保证金占用峰值
套利策略	301	29.95%	56.19%	1.52	2.68%	13.35%	64.89%

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

动态切换配比

在上篇的超额相关性部分，我们已证明在统计学上 JPX 橡胶与 INE 橡胶的正超额相关性与负超额相关性并无显著差别，但同时也观察到在用滚动样本检验时，个别时间段会出现涨跌情况不对称的情况，而且往往下跌时期相关性会略高于上涨时期。

根据这一观察，我们尝试在协整关系式中引入虚拟变量，用来区分上涨或下跌的不同状态，分析随着状态切换，INE 橡胶波动对 JPX 橡胶波动的影响程度是否有不同。

原协整关系式为：

$$\ln P_t^{JPX} = \alpha + \beta_1 \ln P_t^{INE} + \beta_2 \ln P_t^{Rate} + \gamma_1 L_t^{INE} + \gamma_2 L_t^{Rate} + \varepsilon_t$$

将虚拟变量同时作为独立变量和结合变量引入模型：

$$\begin{aligned} \ln P_t^{JPX} = & \alpha + \beta_1 \ln P_t^{INE} + \beta_2 \ln P_t^{Rate} + \gamma_1 L_t^{INE} + \gamma_2 L_t^{Rate} \\ & + \beta_3 D_t^{INE} + \beta_4 D_t^{INE} * \ln P_t^{INE} + \varepsilon_t \end{aligned}$$

其中 D_t^{INE} 为虚拟变量，当 INE 价格对比前一日上涨时 $D_t^{INE} = 1$ ，下跌时 $D_t^{INE} = 0$

将 $D_t^{INE} * \ln P_t^{INE}$ 作为结合变量引入模型，我们实际上是在允许 INE 橡胶价格的波动对 JPX 橡胶价格的波动（即斜率）可以根据涨跌状态而有所不同；将 D_t^{INE} 作为独立变量引入模型，可以捕捉 INE 涨跌状态切换本身对于 JPX 橡胶价格的直接影响。

需要验证的是，当虚拟变量取值不同时，模型方程的斜率和截距是否发生显著变化：

当 INE 价格上涨时， $D_t^{INE} = 1$ ， $\ln P_t^{INE}$ 对 $\ln P_t^{JPX}$ 的斜率为 $\beta_1 + \beta_4$ ，截距为 $\alpha + \beta_3$ ；

当 INE 价格下跌时， $D_t^{INE} = 0$ ， $\ln P_t^{INE}$ 对 $\ln P_t^{JPX}$ 的斜率为 β_1 ，截距为 α

表 10: 引入虚拟变量前后的协整关系式拟合结果 | 单位：无

	C	$\ln P_t^{INE}$	$\ln P_t^{Rate}$	L_t^{INE}	L_t^{Rate}	D_t^{INE}	$D_t^{INE} * \ln P_t^{INE}$	R ²	残差 DF
原关系式	-8.892***	1.273***	0.887***	-0.002	0.017***			0.712	-2.98**
	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.46)	(0.00)				(0.04)
引入虚拟 变量后	-8.305***	1.208***	0.889***	-0.002	0.017***	-1.202***	0.133***	0.714	-3.17**
	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.51)	(0.00)	(0.01)	(0.01)		(0.02)

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

除最后两列外，表格内的值为 OLS 模型拟合系数，括号内数字代表 P 值，星号代表显著性水平，*, **, ***分别代表 10%，5%，1%的显著性水平。

从拟合结果可以发现，虚拟变量作为独立变量引入的 D_t^{INE} 和作为结合变量引入的 $D_t^{INE} * \ln P_t^{INE}$ 均在 1% 的显著性水平下显著，说明 INE 价格的涨跌情况的不同确实对 JPX 的价格波动会产生结构性影响。

更新后的协整关系式为：

$$\ln P_t^{JPX} = -8.305 + 1.208 \ln P_t^{INE} + 0.889 \ln P_t^{Rate} - 0.002 L_t^{INE} + 0.017 L_t^{Rate} - 1.202 D_t^{INE} + 0.133 D_t^{INE} * \ln P_t^{INE} + \varepsilon_t$$

表 11: 动态切换斜率截距变化对比 | 单位：无

	状态	斜率	截距
原关系式	所有	1.273	-8.892
	上涨	1.341	-9.507
	下跌	1.208	-8.305
引入虚拟变量后			
	所有	1.273	-8.892
	上涨	1.341	-9.507
	下跌	1.208	-8.305

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

此时 INE 的贝塔系数的含义为：在保持其他变量不变的情况下，若 INE 橡胶价格相比前一日上涨了，此时 INE 橡胶价格每变动 1% 会引起 JPX 橡胶价格 1.341% 的变动；若 INE 橡胶价格相比前一日下跌了，此时 INE 橡胶价格每变动 1% 会引起 JPX 橡胶价格 1.208% 的变动。斜率变小也印证了当价格下跌时，二者相关性更高的结论。

应用到套利策略上，我们按照动态的贝塔系数将持仓手数比例取整。当上涨时，持仓手数近似取 JPX : INE = 11 : 15，当下跌时，持仓手数近似取 JPX : INE = 10 : 12。

■ 参数遍历

初始本金保持一致，仍然为总共 8 千万日元，其中 INE 为 5 千万，JPX 为 3 千万。

同样是采用参数遍历的办法，将观察窗口 X 取值范围定为 2 天到 100 天，阈值设定 K 的取值范围从 0.1 倍到 2 倍，计算每个参数组合下动态切换配比套利策略的夏普值，来确定最优参数组合，结果如下：

表 12: 不同参数组合的动态切换配比套利策略夏普 | 单位：无

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
2	0.03	0.01	0.00	0.03	0.01	0.12	0.05	0.10	0.14	0.35	0.39	0.30	0.21	0.18	0.21	0.19	-0.14	-0.17	-0.03	0.07
3	0.49	0.53	0.52	0.46	0.41	0.18	0.14	-0.09	-0.17	-0.17	-0.29	-0.20	-0.09	0.02	0.12	0.27	0.15	0.15	0.01	0.17
5	1.01	0.80	0.71	0.72	0.65	0.64	0.51	0.55	0.50	0.15	0.11	-0.19	0.04	-0.05	-0.02	0.04	-0.02	-0.05	-0.14	-0.16
10	0.61	0.82	0.82	0.76	0.90	0.77	0.75	0.55	0.56	0.54	0.40	0.52	0.37	0.38	0.61	0.20	0.43	0.60	0.15	0.20
15	0.49	0.42	0.51	0.48	0.48	0.76	0.79	0.81	0.52	0.49	0.93	0.76	0.68	0.53	0.79	0.97	0.90	0.68	0.30	0.42
20	0.19	0.19	0.23	0.36	0.28	0.43	0.63	0.65	0.72	0.80	0.97	0.89	0.93	0.87	0.75	0.81	0.69	0.74	1.02	0.84
25	-0.08	0.03	0.25	0.25	0.35	0.47	0.72	0.81	0.99	1.06	0.88	1.07	1.07	0.78	0.63	0.62	0.49	0.67	0.75	0.55
30	-0.14	0.13	0.16	0.22	0.40	0.62	0.50	0.75	0.98	1.03	0.92	0.91	0.83	0.73	0.47	0.34	0.51	0.36	0.47	0.65
40	-0.10	-0.02	0.00	-0.04	0.12	0.23	0.25	0.47	0.41	0.68	0.72	0.77	0.60	0.52	0.40	0.60	0.24	0.37	0.59	0.66
50	-0.31	-0.16	0.01	-0.02	0.06	0.27	0.24	0.31	0.42	0.67	0.58	0.73	0.91	0.86	0.71	0.71	0.46	0.60	0.60	0.56
60	-0.29	-0.21	-0.15	0.13	0.05	0.07	0.14	0.22	0.53	0.45	0.61	0.84	0.61	0.79	0.99	0.96	0.66	0.49	0.65	0.74
70	-0.24	-0.27	-0.28	-0.43	-0.04	0.09	0.18	0.20	0.21	0.49	0.52	0.63	0.90	1.18	1.33	1.17	0.72	0.30	0.31	0.08
80	-0.13	-0.22	-0.26	-0.34	-0.32	-0.09	0.31	0.35	0.40	0.51	0.60	0.87	1.04	1.32	1.14	0.90	0.77	0.19	-0.22	-0.09
90	-0.24	-0.20	-0.18	-0.24	-0.23	-0.07	0.15	0.31	0.46	0.54	0.52	0.79	0.64	0.96	1.18	0.72	0.51	0.78	0.35	0.02
100	-0.21	-0.17	-0.06	0.02	-0.21	-0.17	-0.04	0.24	0.53	0.56	0.66	0.66	0.51	0.61	1.03	0.94	0.53	0.44	0.70	0.25

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

■ 最佳策略

最佳参数组合未变，仍然是当开仓信号的触发规则设置为 $X=70, K=1.5$ 时，策略表现最佳，但持仓手数比例会根据上涨或下跌状态有所改变：

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 70 日均值} > 1.5 * \text{滚动 70 日标准差} \rightarrow$

若 INE 对比上一交易日上涨 \rightarrow 多 15 手 INE 空 11 手 JPX；

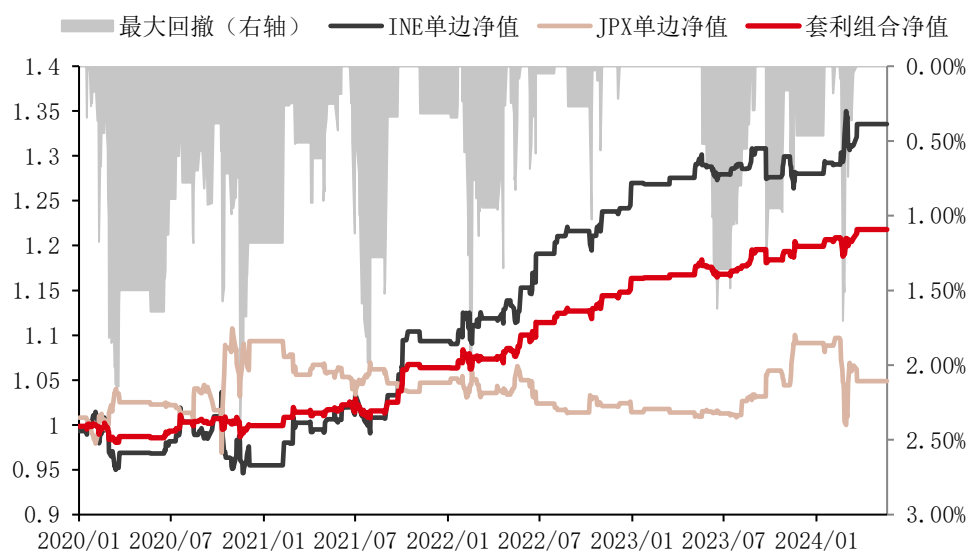
若 INE 对比上一交易日下跌 \rightarrow 多 12 手 INE 空 10 手 JPX。

当 $\varepsilon_t - \text{滚动 70 日均值} < 1.5 * \text{滚动 70 日标准差} \rightarrow$

若 INE 对比上一交易日上涨 \rightarrow 多 11 手 JPX 空 15 手 INE；

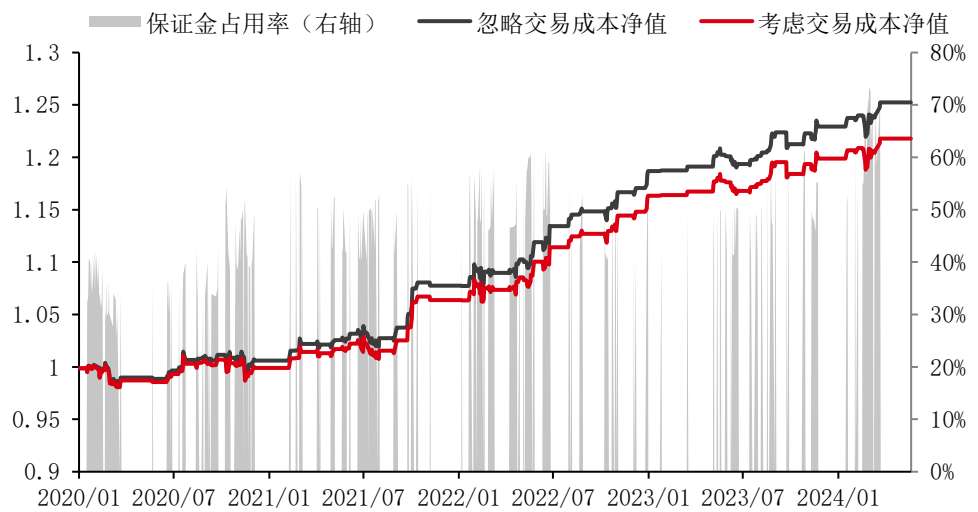
若 INE 对比上一交易日下跌 \rightarrow 多 10 手 JPX 空 12 手 INE。

图 6: 最优参数下动态切换配比策略净值和最大回撤 | 单位：无



数据来源：Wind, 华泰期货研究院

图 7: 动态切换配比交易成本及保证金占用情况 | 单位: 无



数据来源: Wind, 华泰期货研究院

表 13: 动态切换配比套利策略盈亏分析 | 单位: 无

	年化收益率	年化波动率	最大回撤	最大回撤持续天数	夏普值	卡玛值
忽略交易成本	5.81%	3.83%	2.12%	5	1.51	2.74
考虑交易成本	5.07%	3.82%	2.38%	74	1.33	2.13

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

表 14: 动态切换配比套利策略持仓分析 | 单位: 无

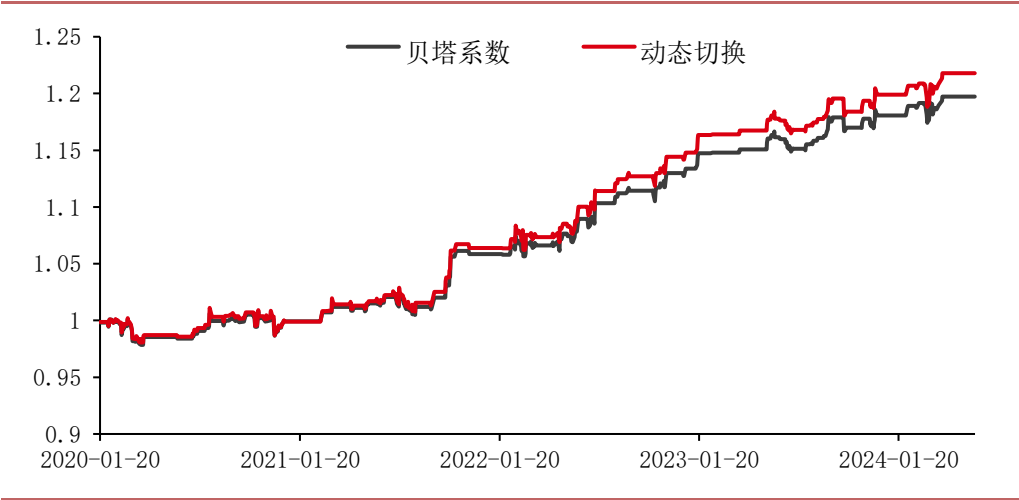
	交易次数	持仓占比	方向准确率	盈亏比	总成本占比	保证金占用均值	保证金占用峰值
套利策略	301	29.95%	55.18%	1.55	2.80%	13.95%	73.60%

数据来源: Wind, 华泰期货研究院

贝塔系数 vs 动态切换：

在加入对上涨或下降行情的判断后,动态切换 JPX 橡胶与 INE 橡胶的持仓手数比例,可以更好地捕捉二者之间的相关关系,得以优化策略表现。

图 8: 贝塔系数 vs 动态切换策略净值 | 单位：无



数据来源：Wind, 华泰期货研究院

表 15: 贝塔系数 vs 动态切换策略收益 | 单位：无

	年化收益率	年化波动率	最大回撤	最大回撤持续天数	夏普值	卡玛值
贝塔系数	4.64%	3.61%	2.25%	37	1.28	2.06
动态切换	5.07%	3.82%	2.38%	74	1.33	2.13

数据来源：Wind, 华泰期货研究院

结论

作为橡胶跨境套利实证研究的下篇,本篇在上篇的实证研究理论基础上,从实操层面出发,验证了 JPX 橡胶与 INE 橡胶价格之间存在的协整关系,满足长期均衡状态,意味着偏离的价差终将均值回归。基于协整关系式,设计出三种不同的统计套利交易策略,其中等价值配比策略提供了理想持仓比例的计算方法,在扣除交易成本后,策略夏普达到 1.35,年化收益率接近 10%,最大回撤为 5.81%,盈利效果最好但现实实操难度较高;贝塔系数配比弥补了等价值配比在实操方面的局限性,便于操作;动态切换配比则是在贝塔系数配比的基础上,更灵活地捕捉由于上涨或下跌行情切换而引起的 JPX 与 INE 橡胶相关关系强度的变化,从而实现策略表现的优化。

参考文献

S. Ding, Y. Zhang. Cross market predictions for commodity prices. *Economic Modelling*, 91 (2020) 455-462.

<https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.06.019>.

Roll, Richard. A simple implicit measure of the effective bid-ask spread in an efficient market. *J. Finance* 39 (1984) 1127–1139.

<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1984.tb03897.x>

Engle, R.F., C.W.J., Granger, 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica* 35, 251–276.

<https://doi.org/10.2307/1913236>

免责声明

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、结论及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，投资者并不能依靠本报告以取代行使独立判断。对投资者依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华泰期货研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权力。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

华泰期货有限公司版权所有并保留一切权利。

公司总部

广州市天河区临江大道1号之一2101-2106单元 | 邮编：510000

电话：400-6280-888

网址：www.htfc.com