

文章编号:1005-2542(2021)02-0253-11

基于信息融合和策略转换的商品期货量化投资策略

周志中, 俞祖卿

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030)

【摘要】在协整理论和分形市场理论基础上,构建一种新的基于信息融合和策略转换的商品期货量化投资策略,并通过实证检验了该策略的有效性和稳健性。部分大宗商品间存在价格联动关系(同涨同跌或A涨B跌)。以往研究基于价格联动,设计并验证了商品期货的跨品种统计套利策略,而本文则利用价格联动设计并验证了基于信息融合的趋势跟踪策略。在此基础上,基于分形市场理论,增加了策略转换环节:在趋势性市场使用趋势跟踪策略,在均值回复性市场使用统计套利策略。实证结果表明,信息融合能够提升趋势跟踪策略的表现,而应用策略转换能进一步提升投资绩效。最后,使用蒙特卡洛模拟验证了实证结果的稳健性,并给出了不同模型假设下的最优交易策略。

关键词:信息融合;策略转换;商品期货;量化投资

中图分类号:F 830.9

文献标志码:A

DOI: 10.3969/j.issn.1005-2542.2021.02.005

Commodity Futures Quantitative Investment Strategies Based on Information Fusion and Strategy Switching

ZHOU Zhizhong, YU Zuqing

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200030, China)

【Abstract】Based on the cointegration theory and the fractal market theory, this paper constructed a new quantitative investment strategy for commodity futures based on information fusion and strategy switching. It verified the effectiveness and robustness of the strategy by empirical analysis. Price linkages are common among commodities. Previous studies have constructed statistical arbitrage strategies for commodity futures based on price linkages. However, this paper used price linkages to construct trend-following strategies based on information fusion. Moreover, it designed a strategy switching regime based on the fractal market theory, i.e., using trend-following strategies in trending markets and switching to statistical arbitrage strategies in mean-reverting markets. The empirical results show that information fusion can improve the performance of trend-following strategies, while applying strategy switching can further improve the investment performance. Furthermore, this paper uses Monte Carlo simulation to verify the robustness of the empirical results, and gives optimal trading strategies in different model assumptions.

Key words: information fusion; strategy switching; commodity futures; quantitative investment

收稿日期:2020-06-29 修订日期:2020-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71771148, 71371121, 71531010, 71421002)

作者简介:周志中(1975-),男,博士,副教授。研究方向为金融科技、量化投资和算法交易、信息系统经济学。

E-mail:zhouzhzh@outlook.com

随着金融科技的迅猛发展,量化投资在以商品期货为代表的金融市场中占据了愈发重要的地位。据统计,在发达国家的商品期货市场中,量化投资约占非商业持仓量的70%以上,是套期保值交易的成熟对手方。研究者大量实证证据和行为金融^[1]、分

形市场假说^[2]等理论支持了量化投资的有效性。商品期货量化投资策略主要有两类:一类是通过捕捉并跟随市场趋势来获利的趋势跟踪策略,即在判定一种商品期货的市场趋势为上行(或下行)时买多(或卖空)该期货,待市场趋势结束时平仓获利;另一类是利用市场均值回复特性来获利的统计套利策略,即构造商品期货投资组合,当该组合的价格偏离其均衡水平达到一定阈值时买多(或卖空)该组合,待价格回归均衡水平时平仓获利。商品期货量化投资建立在对价格走势规律的发掘之上,不仅能提升投资者的投资质量,同时能增加市场流动性,有助于发挥期货市场的套期保值功能和价格发现功能。我国商品期货量化投资起步较晚,规模也相对较小,对商品期货量化投资策略的研究有利于我国商品期货市场的发展。

一种商品的价格不是独立的,多个相关商品间通常会存在价格联动现象,包括产业链上下游中的相关商品(如原油及其精炼产品之间)和有替代关系的相关商品(如黄金和白银之间)等。商品期货的跨市场套利策略利用了此类价格联动关系来盈利,而信息融合在趋势跟踪策略中的应用则有待探究。具有协整关系的多个商品价格间具有共同的趋势因子^[3],因此在理论上,融合跨市场信息能够提升趋势跟踪的效果,从而给投资者带来额外的经济价值。经过文献检索,未发现有关构造基于信息融合的趋势跟踪策略的深入研究。为此,本文研究了跨市场信息融合是否有助于提高趋势跟踪策略的收益,在一定程度上填补了趋势跟踪策略研究方面的空白。

分形市场假说认为市场可能会存在趋势性、均值回复等不同的市场状态。已有学者验证了我国商品期货市场符合分形市场假说^[4]。由于策略本身的特点,趋势跟踪策略在趋势性市场中能够获得大幅收益,而在均值回复性市场中则难以获利。相反,统计套利策略在均值回复性市场中能够稳定获利,却会错失趋势性行情中的大幅收益。为了发挥两类策略的优势、进一步提升投资绩效,本文在基于信息融合的趋势跟踪策略基础上,进一步设计了策略转换的商品期货量化投资策略,并考察其在我国商品期货市场中的表现。

本文主要探索如下4个研究问题:①信息融合能否提升趋势跟踪策略的表现?②基于信息融合的趋势跟踪策略和统计套利策略的表现有何差异?③在信息融合基础上应用策略转换能否提升投资绩效?④不同情形下何种交易策略最优?

为此,本文构建了基于信息融合的趋势跟踪策

略、统计套利策略以及根据市场状态进行转换的商品期货量化投资策略,并在大连商品交易所两组具有产业链上下游关系的商品期货的历史数据上进行实证分析。结果表明,信息融合能够提升趋势跟踪策略的效果,且表现出比统计套利策略更高的盈利能力和更大的风险。应用策略转换后,投资绩效得以进一步提高,取得了比两种单一策略更高的经风险调整后的收益率。最后,用蒙特卡洛模拟验证了实证结果的稳健性,并探究了不同模型假设下最优的交易策略。

1 文献回顾

传统的有效市场假说认为投资者无法通过对市场信息的分析获得超额回报,在此假说下量化投资是无效的。但近几十年来研究者在股票、期货和外汇等市场中发现了大量支持量化投资能够获得超额回报的实证证据^[5-8]。行为金融理论^[1,9]、分形市场假说^[2]以及适应性市场假说^[10]等也为量化投资的有效性提供了理论支撑。商品期货市场具有流动性高、做空便利等特点,商品期货量化投资策略的研究涵盖了趋势跟踪策略^[11-13]、跨期限的统计套利策略^[14-16]以及跨品种的统计套利策略^[17-19]等。这类研究的主要关注点在于不同的量化投资策略在商品期货市场中能否获得超额回报,较少关注如何构造更有效的量化投资策略。本文则关注如何通过信息融合和策略转换来构造更有效的商品期货量化投资策略。

大宗商品间的价格联动现象得到了学者们的广泛研究。Granger提出的协整概念^[20]为价格联动分析提供了理论框架,根据该理论,协整的多个变量间存在一个或多个长期均衡关系,并且存在共同的趋势因子^[3]。Asche等^[21]研究发现,欧洲市场中原油与其精炼产品的期货价格间存在协整关系,并将其解读为供应驱动市场的一体化。方燕等^[22]研究了中国大豆压榨产业链中大豆、豆粕和豆油期货之间的价格联动关系,发现三者之间存在协整关系和非对称的价格传导机制。利用协整系统会在偏离长期均衡后进行回复的特性,投资者和学者们构建了商品期货跨品种统计套利策略。Girma等^[23]利用美国原油市场中原油和其精炼产品间期货价格的协整关系开发了统计套利策略,发现策略在历史数据上获得了显著的收益。周亮^[24]利用中国炼钢产业链上下游的铁矿石、焦炭和螺纹钢期货之间的协整关系构造了跨品种套利策略,并探究了开仓阈值与策略期望收益率的关系。协整系统中存在共同趋势因

子,因此理论上融合多种相关商品的价格信息能够提升趋势提取的准确性。然而,已有的商品趋势跟踪策略大都仅从交易品种自身的信息中提取趋势,没有利用跨市场信息。本文提出的基于信息融合的趋势跟踪交易策略则利用了跨市场信息来构建策略,相较于以往研究提出了新的量化交易策略。

除了单一策略,国内外学者还对不同量化投资策略的组合进行了探究。Hsu 等^[25]研究发现,基于多个技术指标投票的组合策略能够获得高于单一策略的收益。Serban^[26]通过收益率预测模型对均值回复策略和动量策略进行组合,发现其在外汇市场中能够获得优于单一交易策略的表现。Clare 等^[27]通过线性叠加的方式对动量策略和趋势跟踪策略进行组合,发现组合策略获得了优于单一动量策略的表现,并且发现等权重组合和风险平价组合没有显著差别。Bianchi 等^[28]通过双重排序方式对动量策略和反转策略进行组合,发现其在商品期货市场上能取得优于单一策略的表现。国内学者对于组合策略的研究较少,张明^[29]研究了基于多品种多策略组合的商品期货量化投资策略,表明通过多市场多策略的组合投资,可以满足投资者低风险、高收益的要求。然而,上述研究大都通过线性叠加的方式对多种投资策略进行组合,实质上是在多个独立的投资策略间进行资金分配。本文基于分形市场理论,通过对市场状态的判断,在市场呈现趋势性时应用趋势跟踪策略,而在市场呈现震荡时转换为统计套利策略,是一种基于市场择时的策略组合方式。

2 研究方法

2.1 商品期货价格联动的分析

协整理论为商品期货价格联动分析提供了理论框架。商品期货的价格通常是一阶单整的非平稳的时间序列,无法直接用线性回归分析它们之间的关系。对于多个非平稳的时间序列(其差分平稳),如果存在平稳的线性组合,则称这些非平稳的时间序列是协整的,满足此条件的线性组合的系数即为协整向量,线性无关的协整向量的个数称为协整阶数。下式为含常数项的协整方程:

$$U_t = \beta' X_t + C \quad (1)$$

式中: X_t 为 n 个商品价格序列组成的向量; β 是协整向量; C 为常数项; U_t 是维度为协整阶数 r 且均值为 0 的平稳序列。

在对商品期货价格联动进行分析时,首先用单位根检验确定商品组合中每个价格序列的平稳性,如果原序列非平稳而差分后平稳,则可进一步用协

整检验确定是否存在协整关系以及协整阶数。采用 ADF 单位根检验^[30]来检验平稳性,用 Johansen 协整检验^[31]来检验协整关系。根据协整理论,如果 n 个商品价格间存在 r 个协整关系,则该系统中具有 $n-r$ 个非平稳的共同趋势因子和 r 个平稳的因子,并可进行如下分解^[32]:

$$X_t = \beta_{\perp} P_t + \beta T_t = \beta_{\perp} \beta'_{\perp} X_t + \beta \beta' X_t \quad (2)$$

式中: $\beta_{\perp} \beta'_{\perp} X_t$ 是非平稳项; $P_t = \beta'_{\perp} X_t$ 为 $n-r$ 维的非平稳的共同趋势因子,因子载荷为 β_{\perp} ; $\beta \beta' X_t$ 是平稳项, $T_t = \beta' X_t$ 为 r 维的平稳因子,因子载荷为 β 。其中, β 是正规化后的协整向量, β_{\perp} 为 β 的正交补向量,且满足 $\beta' \beta = I$, $\beta_{\perp}' \beta_{\perp} = I$ 的正规化条件。

$n-r$ 维的共同趋势因子 P_t 决定了组合中 n 个商品期货价格的趋势, r 维平稳因子 T_t 则表示 r 个协整关系围绕均衡水平的短期波动。趋势跟踪策略的效果取决于共同趋势因子的形式(例如,如果共同趋势因子服从随机游走,则理论上趋势跟踪策略将失效),并且共同趋势因子的存在使得投资者有可能通过融合多种价格信号来提高趋势跟踪的效果。在对组合中的 n 个商品价格序列进行分解后,可对共同趋势因子和平稳因子分别建立时间序列模型,分析因子的时间序列特点。

2.2 基于信息融合的商品期货趋势跟踪型量化交易策略

趋势跟踪量化交易策略通过预先设定的规则界定市场趋势的方向,通过跟随趋势方向开仓来获得收益。如前所述,协整关系的存在意味着多个商品价格中存在共同的趋势因子。当协整阶数 $r=0$,即不存在协整关系时,每种商品价格的趋势由其自身独立的趋势因子所决定,此时融合其他商品的价格信息不能提升趋势跟踪的效果。当协整阶数 $0 < r < n$ 时, n 种商品的价格趋势由 $n-r$ 个共同趋势因子所决定,此时融合其他商品的价格信息有利于提取共同趋势因子,因而有可能提升趋势跟踪策略的效果。

因此,本文构建基于信息融合的商品期货趋势跟踪型量化交易策略(下称“融合趋势”策略)。该策略用双移动平均线交叉方法分别提取多个商品期货的价格趋势,随后以投票方式确定市场的共同趋势方向,根据共同趋势的方向开仓交易。与之相比,传统的趋势跟踪量化交易策略(下称“单信号趋势”策略)仅仅依据交易品种自身的趋势方向进行开仓交易,没有利用跨市场信息。

双移动平均线交叉是相关研究中最常用的趋势信号提取方法之一^[5,32-33],它由一组短期和长期移

动平均线构成,当短期移动平均线高于长期移动平均线时,视为多头趋势信号;反之,则视为空头趋势信号。对于第 i 种商品的价格序列,由双移动平均交叉方法提取的趋势信号为

$$F_i = \begin{cases} \text{多头, 若价格 } x_i \text{ 的短期移动} \\ \text{平均 } MA(x_i, s) \geq \\ \text{长期移动平均 } MA(x_i, l) \\ \text{空头, 若价格 } x_i \text{ 的短期移动} \\ \text{平均 } MA(x_i, s) < \\ \text{长期移动平均 } MA(x_i, l) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $MA(x, k) = \sum_{i=t-k+1}^t \frac{x(i)}{k}$ 表示价格序列 x 在 t 时刻的 k 期移动平均; s 与 l 分别为短期和长期移动平均的窗口长度。

用 5 日和 20 日分别作为短期和长期移动平均的窗口长度,即 $s=5, l=20$ 。假设交易品种为第 j 种商品,传统的“单信号趋势”策略仅根据交易品种自身的趋势信号 F_j 进行交易,其交易信号如下式所示:

t 交易日的持仓方向 =

$$\begin{cases} \text{多头, 若 } t-1 \text{ 日 } F_j \text{ 为多头信号} \\ \text{空头, 若 } t-1 \text{ 日 } F_j \text{ 为空头信号} \end{cases} \quad (4)$$

不同于传统的单信号趋势策略,本文构建的融合趋势策略用投票方法对交易品种及其相关品种的趋势信号进行融合,即以商品组合中多数商品的趋势信号作为商品组合的共同趋势信号,再基于共同趋势信号的方向进行对应的开仓操作。两种趋势跟踪策略都没有空仓期,多头(或空头)开仓后继续持有该合约直至策略产生新的空头(或多头)信号。融合趋势策略的交易信号如下式所示:

t 交易日的持仓方向 =

$$\begin{cases} \text{多头, 若 } t-1 \text{ 日 } F_1, F_2, \dots, F_n \text{ 中} \\ \text{的多头信号数} \geq \text{空头信号数} \\ \text{空头, 若 } t-1 \text{ 日 } F_1, F_2, \dots, F_n \text{ 中} \\ \text{的多头信号数} < \text{空头信号数} \end{cases} \quad (5)$$

当趋势信号中多头信号数量多于空头信号时,认为此时商品组合的共同趋势为多头,在 t 日多头持有第 j 种商品的期货合约;反之,则认为此时商品组合的共同趋势为空头,在 t 日空头持有第 j 种商品的期货合约。以 A、B、C 这 3 种商品的价格联动为例(其中 A 为交易品种),用双移动平均交叉法(式(3))分别计算 3 种商品在 $t-1$ 交易日的趋势信号 F_A, F_B 和 F_C ,若 F_A, F_B 和 F_C 中有两者或两者以上为多头信号,则在 t 交易日多头持有商品 A 的期货合约;反之,若 F_A, F_B 和 F_C 中有两者或两者以上为

空头信号,则在 t 交易日空头持有商品 A 的期货合约。与式(4)直接根据交易品种商品 j 自身的趋势信号生成交易信号相比,式(5)通过多数投票方式对交易品种及其关联品种的趋势信号进行融合,再基于融合后的信号生成交易信号。这种做法的优势在于,其利用了与交易品种相关联的其他品种的市场信息,有助于更准确地把握市场的趋势方向,从而提升趋势跟踪量化交易的效果。这一优势也在本文的实证结果中得到了支持,融合趋势策略取得了优于单信号趋势策略的表现(见 3.2 节)。

多种商品的趋势信号可以由不同方式进行融合,包括多数投票、决策树、随机森林和遗传算法等。本文关注信息融合能否提升趋势跟踪策略的表现,而非寻找最优的信息融合方式,因此选用了最为简单直观的多数投票方法进行趋势信号融合。另一方面,决策树、随机森林和遗传算法等复杂的信号融合方法容易产生过拟合问题,且不适合处理非平稳的金融数据^[34-36]。因此,直接采用简单的多数投票方法不失为一种合理的办法,更复杂的信号融合方式有待未来进一步研究。

2.3 商品期货跨品种统计套利型量化交易策略

由式(1)可知,对于有 r 个协整关系的 n 种商品期货,可定义 r 个价差变量 u_1, u_2, \dots, u_r ,

$$[u_{1,t}, u_{2,t}, \dots, u_{r,t}]' = U_t = \beta' X_t + C$$

这些变量定义了每个协整关系与均衡水平的偏差,由于 U_t 是均值为 0 的平稳序列,这些价差变量具有均值回复特性,且均衡位置为 0。商品期货的跨品种统计套利策略(下称“统计套利”策略)利用价差变量的均值回复特性,当价差的绝对值高于一定阈值时,买入相应的套利投资组合,等待价差返回均值 0 附近时平仓。套利投资组合中每种商品的权重与协整向量 β 一致。对于第 i 个协整关系,统计套利策略可描述为:当价差 $u_i < -k_1$ 时,买入套利投资组合;当 $u_i > k_1$ 时,卖空套利投资组合。当价差 u_i 回复到 0 附近一定区间内($\pm k_2$)时,认为价差回复均衡,进行止盈平仓。为控制交易风险,避免过度波动造成损失,当价差 u_i 的绝对值大于阈值 k_3 ,则认为波动超出一定的范围,此时对投资组合进行止损平仓。策略的交易信号如下式所示:

t 交易日的交易信号 =

$$\begin{cases} \text{买多(或卖空)套利投资组合,} \\ \quad u_i < -k_1 \text{ (或 } u_i > k_1) \\ \text{止盈平仓, } u_i > -k_2 \text{ (或 } u_i < k_2) \\ \text{止损平仓, } u_i < -k_3 \text{ (或 } u_i > k_3) \end{cases} \quad (6)$$

参考文献[19],设置开仓交易阈值 $k_1 = 0.75\sigma$,

止盈阈值 $k_2 = 0.05\sigma$, 止损阈值 $k_3 = 2\sigma$ (σ 是价差序列的标准差)。当协整系数 $r > 1$ 时, 对每个协整关系分别应用上述交易策略, 资金在 r 个套利投资组合间平均分配。

2.4 基于信息融合和策略转换的商品期货量化交易策略

根据分形市场理论, 市场会呈现出趋势性或均值回复性等不同状态, 根据市场状态切换到合适的交易策略能够最大化投资绩效。在分形市场理论框架下, 资产价格随机序列的分形维在 $1 \sim 2$ 之间。当分形维等于 1.5 时, 资产价格服从标准布朗运动, 其收益率不存在长期相关性; 当分形维不等于 1.5 时, 资产价格服从分形布朗运动, 其收益率具有长期相关性。其中, 当分形维在 $1 \sim 1.5$ 之间时, 资产收益率存在正持续性, 对应趋势性市场; 当分形维在 $1.5 \sim 2$ 之间时, 资产收益率存在反持续性, 对应均值回复性市场。Hurst 指数是测定市场分形特征的常用方法。对于一维时间序列, Hurst 指数 H 与市场分形维数 D 具有一一对应的关系, 即 $D = 2 - H$ 。因此, 可以通过测算 Hurst 指数得出市场分形维数, 从而判断市场的状态。采用重标极差 (R/S) 方法计算局部 Hurst 指数^[2], 进而对市场当前状态进行判断。对于长度为 n 的一维时间序列, 其前 t 个样本 X_1, X_2, \dots, X_t 组成的子序列的离差序列和 $Z_t = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X})$, 离差序列和的极差

$R_t = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_t) - \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_t)$
子序列的标准差

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{t-1} \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X})^2}$$

重标极差 $(R/S)_t = R_t/S_t$ 。对于 t 的不同取值 ($t = 2, 3, \dots, n$), 分别计算对应的重标极差 $(R/S)_t$, 可得到重标极差序列。将 $\log((R/S)_t)$ 作为因变量、 $\log(t)$ 作为自变量进行最小二乘回归, 估计得到的斜率即为 Hurst 指数 H 。当只取时间序列中某一段样本进行重标极差法计算时, 得到的是该段样本的局部 Hurst 指数。用宽度为 q 个交易日的时间窗口滚动计算每个交易日附近的局部 Hurst 指数, 由此得到的由局部 Hurst 指数组成的序列即为动态 Hurst 指数, 本文采用的时间窗口宽度为 100 个交易日。动态 Hurst 指数的值 H_t 有 3 种取值区间, 如果 $H_t = 0.5$, 表明当前市场走势可以用随机游走来描述; 如果 $0.5 < H_t < 1$, 表明当前市场走势存在趋势性; 如果 $0 \leq H_t < 0.5$, 表明当前市场走势符合均值回复过程。

趋势跟踪策略适用于趋势性市场, 它能够把握市场的整体趋势性波动, 而当市场呈现震荡状态时, 趋势跟踪策略容易产生较多无效的开仓信号从而产生损失。统计套利策略适用于均值回复性市场, 它通过捕捉市场偏离均衡状态的机会能够获得较为稳定的收益, 但无法从整体趋势性的走势中获利。因此, 本文构造基于策略转换的商品期货量化交易策略 (下称“Hurst 转换”策略), 在市场体现为趋势性时 ($0.5 < H_t < 1$) 使用融合趋势策略获取趋势性收益; 而当市场体现为震荡走势时 ($0 \leq H_t < 0.5$) 切换到统计套利策略获取稳定回报, 这样就能够提升交易策略的收益能力, 同时控制风险和回撤。

2.5 回测方法与评估指标

为避免在一个历史样本上比较不同策略效果的偶然性因素, 对历史样本进行重采样, 通过比较各个策略在重采样样本上的平均表现进行评估和比较。对于长度为 m 的价格序列, 用长度为 w 、步长为 1 的滑动时间窗口进行重采样, 可得到 $m - w + 1$ 个重采样样本。参考交易所的实际情况, 回测时交易手续费设定为 8 元/手。此外, 由于杠杆因素对各交易策略间的相对表现没有影响, 故在回测时统一将保证金比率设定为 100% 。

采用累计收益率、最大回撤率、夏普比率、月度收益率均值和月度收益率标准差共 5 项指标对交易策略的表现进行评估。其中: 累计收益率和月度收益率均值用于评估交易策略的盈利能力; 最大回撤率和月度收益率标准差用于评估交易策略的风险水平, 回撤越大或收益标准差越大, 则表明策略的风险越大; 夏普比率用来评估交易策略经风险调整后的盈利能力。

3 实证分析

3.1 商品期货价格联动的实证分析

本文选取两组产业链上下游商品中的价格联动进行实证分析, 分别为大豆压榨产业链中的“大豆-豆粕-豆油”价格联动和 PVC (聚氯乙烯) 生产产业链中“PVC-焦炭-焦煤”价格联动。在大豆压榨产业链中, 大豆被加工成豆粕和豆油; 在我国的 PVC 生产中, 主要采用“电石法”制造工艺, 焦炭和焦煤是生产 PVC 的主要原料。这种产业链上下游关系使得每个组合内的 3 种商品价格相互关联。上述两个组合中 6 种商品的期货: 大豆 (DD)、豆粕 (DP)、豆油 (DY)、焦炭 (JT)、焦煤 (JM) 和 PVC 均在大连商品交易所上市交易, 收集了这 6 种商品期货在 2014-02-28~2018-12-28 之间 1 184 个交易日的主力合约

收盘价序列¹⁾(数据来自 Wind 金融终端)。两个组合的商品期货价格时序图如图 1 所示,由图中可以看出,两组商品的价格走势各自存在一定的价格联动现象。为进一步分析价格联动,对两组商品期货价格序列进行平稳性检验和协整关系检验。

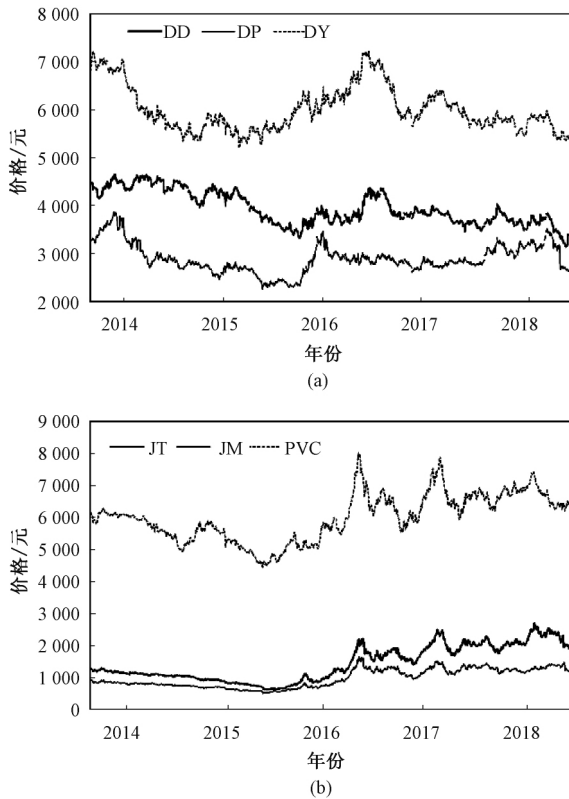


图 1 商品期货价格时序图

6 种商品期货价格序列及其一阶差分的平稳性检验结果如表 1 所示。在 0.05 显著性水平下,所有商品期货价格序列都是一阶单整的,即原序列非平稳,一阶差分序列平稳,因此可以进行协整检验。两组商品期货的 Johansen 协整检验结果如表 2 所示。

表 1 6 种商品期货价格序列及一阶差分的平稳性检验结果

变量	ADF 检验统计量	p
DD	-3.138 4	0.097 9
DP	-2.456 7	0.349 9
DY	-2.352 1	0.404 8
JT	-2.355 3	0.403 1
JM	-2.612 2	0.274 9
PVC	-2.457 7	0.349 4
d(DD)	-34.022 9	0.000 0
d(DP)	-33.773 4	0.000 0
d(DY)	-33.505 0	0.000 0
d(JT)	-35.033 0	0.000 0
d(JM)	-36.576 6	0.000 0
d(PVC)	-34.045 0	0.000 0

表 2 两个商品期货组合的 Johansen 协整检验结果

商品期货组合	原假设	迹统计量	p
大豆-豆粕-豆油	没有协整关系*	24.861 9	0.042 2
大豆-豆粕-豆油	存在至多一个协整关系	3.980 2	0.713 7
PVC-焦炭-焦煤	没有协整关系*	40.266 9	0.002 2
PVC-焦炭-焦煤	存在至多一个协整关系*	18.984 9	0.014 3
PVC-焦炭-焦煤	存在至多两个协整关系	1.444 2	0.229 5

注:* 在 0.05 显著性水平拒绝原假设

迹统计量显示,“大豆-豆粕-豆油”存在一个协整关系,协整方程为

$$DD = 0.297 6DP + 0.208 1DY + 1 849.773 0 \quad (7)$$

“PVC-焦炭-焦煤”存在两个协整关系,协整方程为

$$\left. \begin{aligned} JT &= 0.820 2PVC - 3 495.501 2 \\ JM &= 0.424 2PVC - 1 584.972 3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

由协整理论可知,“大豆-豆粕-豆油”3 种商品的价格走势由 2 个非平稳的共同趋势因子和 1 个平稳因子构成,而“PVC-焦炭-焦煤”3 种商品的价格走势则由 1 个非平稳的共同趋势因子和 2 个平稳因子构成。共同趋势因子的存在表明了有可能通过融合多种关联商品的价格信息来提高对交易品种市场趋势方向的判断,从而提升投资绩效。

3.2 基于信息融合的商品期货趋势跟踪型量化交易策略的表现

为验证信息融合在商品期货的趋势跟踪量化交易中的作用,在两种价格联动上分别对单信号趋势和融合趋势交易策略进行历史回测(交易品种分别为大豆期货和 PVC 期货;重采样的滑动窗口宽度为 730 个交易日,重采样样本数为 455 个,下同)。表 3 展示了各交易策略在历史数据的重采样样本上的回测表现平均值,该表还列出了“买入并持有”的表现作为参照。在大豆压榨产业链上下游商品的价格联动中,传统的单信号趋势策略在重采样样本上平均产生 8.698% 的损失,而利用信息融合的融合趋势交易策略则能够平均产生 57.445% 的收益。同时,融合趋势交易策略的平均最大回撤也更小,夏普比率更大。这表明,在大豆压榨产业链上下游的价格联动中,信息融合能够提高趋势跟踪量化交易的效果,提升策略的盈利能力,同时控制风险。在 PVC 生产产业链上下游商品的价格联动中,传统的单信号趋势策略在重采样样本上平均产生 51.127% 的收益,而融合趋势交易策略平均产生 111.470% 的收益。同时,

1) 主力合约指持仓量最大的合约,商品期货的连续价格序列由主力合约拼接得到

融合趋势交易策略的平均最大回撤也更小,夏普比率更大。这表明,在 PVC 生产产业链上下游的价格联动中,信息融合也能够提高趋势跟踪量化交易的效果。由此可见,对于本文选取的两种价格联动,基于信息融合的商品期货趋势跟踪策略均取得了优于传统趋势跟踪量化交易策略的表现,融合多种商品价格信息的交易策略能够在取得更高收益的同时表现出更小的回撤和更高的夏普比率。这表明,信息融合能够提升趋势跟踪型量化交易策略的表现。对此,本文认为可能的解

释是:一方面,由于协整关系的存在,一种商品的价格趋势是由多种商品的共同趋势因子所决定的,因而从多种商品价格信息中提取的趋势信号更为准确;另一方面,一种商品的价格走势除了趋势之外还存在短期波动(噪声),如果仅基于其自身的价格信息进行趋势跟踪,交易系统容易被短期波动误导,发出错误的开仓信号而导致损失;而在融合多个商品期货价格信息进行趋势跟踪时,则能够有效减少短期波动对交易策略表现的负面影响。

表 3 趋势跟踪型交易策略的历史回测结果*

价格联动	交易策略	累计收益率/%	最大回撤/%	夏普比率	月度收益率均值/%	月度收益率标准差/%
大豆压榨产业链上下游	买入并持有	-14.319	-31.652	-0.043	-0.232	5.643
	单信号趋势	-8.698	-23.957	-0.043	-0.192	4.853
	融合趋势	57.445	-21.791	0.221	1.363	6.236
PVC 生产产业链上下游	买入并持有	26.555	-31.219	0.110	0.838	7.626
	单信号趋势	51.127	-28.989	0.172	1.455	8.491
	融合趋势	111.470	-20.930	0.283	2.367	8.347

注:*该表中显示的均为重采样样本上的平均值

3.3 趋势跟踪型策略与统计套利型策略的比较

为了比较信息融合趋势跟踪交易策略与统计套利策略在商品期货量化交易中的表现,在两个价格联动中对统计套利策略进行历史回测。其中:大豆压榨产业链上下游的价格联动中有一个协整关系,根据协整方程式(7)构造一个套利投资组合,即卖空 1 份大豆期货合约,同时买入 0.2976 份豆粕期货合约和 0.2081 份豆油期货合约;PVC 生产产业链上下游的价格联动中有两个协整关系,根据协整方程式(8)构造两个套利投资组合,其一为卖空 1 份焦炭期货合约并买入 0.8202 份 PVC 期货合约,其二为卖空 1 份焦煤期货合约并买入 0.4242 份 PVC 期货合约,回测时将资金平均分配在两个套利投资组合之间。统计套利策略在两种价格联动中的表现如表 4 所示,为便于比较,该表中同时列出了融合趋势

策略的表现。在大豆压榨产业链上下游的价格联动中,统计套利策略平均产生 12.870% 的收益,低于融合趋势策略产生的 57.445% 的收益。从衡量策略风险的月度收益率标准差和最大回撤率指标来看,统计套利策略比融合趋势策略的风险更小。用夏普比率衡量经风险调整的收益率,统计套利策略低于融合趋势策略。在 PVC 生产产业链上下游的价格联动中,统计套利策略同样表现出比融合趋势策略更低的收益和更小的风险。不同的是,此时统计套利策略经风险调整的收益率优于融合趋势策略。由此可见,在两类价格联动中,统计套利策略可以获得的收益较小,但风险也更小。在大豆压榨产业链上下游的价格联动中,融合趋势策略具有更高的经风险调整的收益率,而在 PVC 生产产业链上下游的价格联动中则是统计套利策略更高。

表 4 趋势跟踪型策略与统计套利型策略的历史回测比较*

价格联动	交易策略	累计收益率/%	最大回撤/%	夏普比率	月度收益率均值/%	月度收益率标准差/%
大豆压榨产业链上下游	统计套利	12.870	-7.791	0.129	0.384	2.910
	融合趋势	57.445	-21.791	0.221	1.363	6.236
PVC 生产产业链上下游	统计套利	36.751	-9.186	0.287	0.910	3.224
	融合趋势	111.470	-20.930	0.283	2.367	8.347

注:*该表中显示的是重采样样本上的平均值

3.4 基于信息融合和策略转换的商品期货量化交易策略的表现

前文对趋势跟踪和统计套利这两类商品期货量

化交易策略进行了回测和比较,趋势跟踪策略表现出了更大的盈利能力,但风险较高;统计套利策略的风险较小,但其盈利能力不足。理论上,趋势跟踪策

略适合应用在趋势性市场中,统计套利策略适合应用于均值回复性市场。本文构造的基于信息融合及策略转换的商品期货量化投资策略(Hurst 转换策略)通过计算局部 Hurst 指数判断市场状态,并根据市场状态在趋势跟踪策略和统计套利策略之间进行策略转换。为评估这种策略转换的有效性,在两种价格联动中对策略进行历史回测,结果如表 5 所示。与表 4 相比,Hurst 转换策略在两种价格联动中均取得了比“统计套利”和“融合趋势”更高的累计收益率,同时取得了比“融合趋势”更小的波动和回撤。以夏普比率来衡量,基于 Hurst 转换策略取得了比两种单一策略都更高的经风险调整后的收益率。这表明,根据市场状态在趋势跟踪和统计套利策略之间切换能够在取得趋势性收益的同时降低风险,这体现了基于市场择时进行策略切换的作用。

表 5 基于策略转换的商品期货量化交易策略的历史回测结果*

价格联动	累计收益率/%	最大回撤/%	夏普比率	月度收益率均值/%	月度收益率标准差/%
大豆压榨产业链上下游	58.857	-19.812	0.230	1.410	6.220
PVC 生产产业链上下游	124.296	-20.930	0.303	2.532	8.338

注: * 该表中显示的是重采样本上的平均值

4 蒙特卡洛模拟

为进一步探究不同情形下采用何种交易策略最优,同时验证实证分析结论的稳健性,本文用蒙特卡洛模拟方法进行模拟研究。为便于分析,考虑 3 种商品中具有两个协整关系的情形(与“PVC-焦炭-焦煤”的情形相同),此时 3 种商品价格由一个共同趋势因子 P_t 决定。首先提取实证数据中的共同趋势因子 P_t , 对其进行时序模型估计;随后模拟生成符合不同模型假设的 P_t , 以及相对应的模拟价格序列 X_t , 通过在模拟价格序列上测试交易策略来探究不同情形下的最优策略。

首先提取实证数据中的共同趋势因子 P_t , 并对其建模。经协整检验,“PVC-焦炭-焦煤”的价格序列 $X_t = [JT_t \quad JM_t \quad PVC_t]'$ 具有两个协整关系(见式(8)),协整向量

$$\beta_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.8202 \\ 0 & 1 & -0.4242 \end{bmatrix},$$

由条件 $\beta'\beta = I, \beta'_\perp\beta_\perp = I$ 规范化后的

$$\beta = \begin{bmatrix} 0.7907 & -0.1083 & -0.6026 \\ -0.1083 & 0.9440 & -0.3117 \end{bmatrix},$$

$$\beta_\perp = [0.6026 \quad 0.3117 \quad 0.7347]'$$

对“PVC-焦炭-焦煤”商品组合的价格序列进行分解: $X_t = \beta_\perp \beta'_\perp X_t + \beta\beta'X_t$, 得到共同趋势因子 $P_t = \beta'_\perp X_t$ 和平稳因子 $T_t = \beta'X_t$, 如下式所示:

$$P_t = \beta'_\perp X_t = 0.6026JT_t + 0.3117JM_t + 0.7347PVC_t \quad (9)$$

$$T_t = \beta'X_t = \begin{bmatrix} 0.7907JT_t - 0.1083JM_t - 0.6026PVC_t \\ -0.1083JT_t + 0.9440JM_t - 0.3117PVC_t \end{bmatrix} \quad (10)$$

提取后的共同趋势因子 $P_t = \beta'_\perp X_t$ 的时序图如图 2 所示。

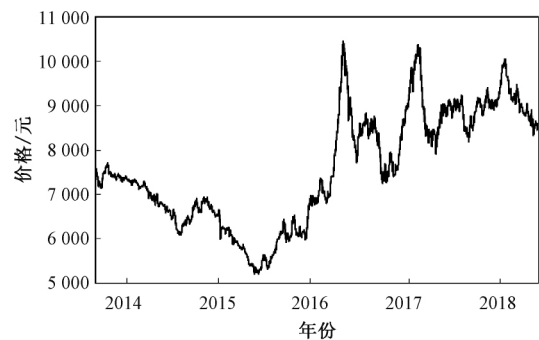


图 2 共同趋势因子 P_t 的时序图

经单位根检验, P_t 是一阶单整的。通过自相关分析和最小二乘回归, P_t 符合 ARIMA(10,1,0) 过程,如下式所示(参数估计结果见表 6):

$$\left. \begin{aligned} p_t &= P_t - P_{t-1} \\ p_t &= \phi_2 p_{t-2} + \phi_3 p_{t-3} + \phi_{10} p_{t-10} + \epsilon_t \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

表 6 共同趋势因子的 ARIMA(10,1,0) 模型参数估计结果

参数	估计值	t 统计量
ϕ_2	0.04797	1.65321
ϕ_3	0.05914	2.03925
ϕ_{10}	0.09878	3.40392

对平稳因子 $T_t = \beta'X_t$, 令

$$T_t = [v_{1,t} \quad v_{2,t}]'$$

$$w_{1,t} = v_{1,t} - \bar{v}_{1,t}, \quad w_{2,t} = v_{2,t} - \bar{v}_{2,t}$$

通过自相关分析和最小二乘回归, $w_{1,t}$ 和 $w_{2,t}$ 均为平稳的 AR(1) 过程,如下式所示(参数估计结果见表 7):

$$\left. \begin{aligned} w_{1,t} &= \rho_1 w_{1,t-1} + \eta_{1,t} \\ w_{2,t} &= \rho_2 w_{2,t-1} + \eta_{2,t} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

表 7 平稳因子的 AR(1) 模型参数估计结果

参数	估计值	t 统计量
ρ_1	0.97564	153.9977
ρ_2	0.96903	135.3107

生成模拟价格序列的步骤为:① 按适当的模型

假设生成共同趋势因子 P_t 的模拟序列;② 用实证数据拟合得到的 AR(1)模型(式(12))生成平稳因子 T_t 的模拟序列;③ 合成得到模拟价格序列 $X_t = \beta_{\perp} P_t + \beta T_t$ 。本文分别模拟如下情形:① P_t 服从随机游走;② P_t 服从 ARIMA(1,1,0)模型, AR(1)系数 ϕ 分别为 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5;③ P_t 服从实证数据拟合得到的 ARIMA(10,1,0)模型。对每种模拟情形用蒙特卡洛方法生成 100 组模拟的价格序列,测试各个交易策略在这些模拟价格序列上的表现,以此来考察不同模拟情形下何种交易策略最优。

表 8、9 分别列出了各交易策略在 100 组模拟数据上的夏普比率和累计收益率的均值。由表中可以

看出:当价格联动中的共同趋势因子服从随机游走时,趋势跟踪策略无法获得盈利,此时最优的策略是统计套利;当共同趋势因子服从一阶自相关系数 ϕ 较小的 ARIMA(1,1,0)模型时,Hurst 转换策略能获得最高的收益,但从经风险调整后的收益率看,统计套利仍是最优策略;当共同趋势因子服从一阶自相关系数 ϕ 较大的 ARIMA(1,1,0)模型时,最优的策略是 Hurst 转换。由此得到在不同模拟情形下最优的量化交易策略。即当共同趋势因子服从随机游走或自相关系数较小的 ARIMA(1,1,0)模型时,应使用统计套利策略;当其服从自相关系数较大的 ARIMA(1,1,0)模型时,应使用 Hurst 转换策略。

表 8 各交易策略在模拟数据上的夏普比率*

策略	随机游走	ARIMA(1,1,0)模型					ARIMA(10,1,0)模型
		$\phi=0.1$	$\phi=0.2$	$\phi=0.3$	$\phi=0.4$	$\phi=0.5$	
买入持有	0.0507	0.0450	0.0508	0.0562	0.0703	0.0537	0.0827
统计套利	0.2719	0.2953	0.3102	0.3145	0.2654	0.2443	0.3111
单信号趋势	-0.0779	0.0669	0.2317	0.3798	0.5141	0.6535	0.3029
融合趋势	-0.0553	0.1240	0.2486	0.4030	0.5363	0.6795	0.3350
Hurst 转换	-0.0127	0.1599	0.2862	0.4322	0.5531	0.6912	0.3682

注:*该表中显示的是 100 组模拟价格序列上的平均值

表 9 各交易策略在模拟数据上的累计收益率*

%

策略	随机游走	ARIMA(1,1,0)模型					ARIMA(10,1,0)模型
		$\phi=0.1$	$\phi=0.2$	$\phi=0.3$	$\phi=0.4$	$\phi=0.5$	
买入持有	4.55	5.01	7.16	8.92	14.82	11.66	11.87
统计套利	20.95	21.90	23.50	23.73	17.85	15.74	23.32
单信号趋势	-10.99	11.25	45.79	89.00	167.17	304.85	61.61
融合趋势	-7.91	20.57	50.70	99.85	181.49	331.43	69.81
Hurst 转换	-1.81	28.45	60.95	111.70	193.18	349.07	80.38

注:*该表中显示的是 100 组模拟价格序列上的平均值

此外,由模拟结果得出如下结论:① 当共同趋势因子服从实证数据拟合得到的 ARIMA(10,1,0)模型时,最优的策略是 Hurst 转换,这与实证数据上的历史回测结果一致,验证了实证分析结果的稳健性。② 各个模拟情形下,融合趋势总是优于单信号趋势。这表明,信息融合的效果是稳健的。③ 各个模拟情形下,Hurst 转换总是优于融合趋势。这表明,在市场进入震荡状态时,将趋势跟踪策略切换为统计套利策略总是能够提升投资绩效。

5 结 论

本文基于协整理论和分形市场理论,构建了一个新的基于信息融合和策略转换的商品期货量化投资策略,并考察了其在两组商品期货历史数据上的表现。进一步,通过蒙特卡洛模拟验证了实证结果的稳健性,并给出了不同模型假设下的最优交易策

略。主要发现包括:

(1) 对于我国大豆压榨产业链和 PVC 生产产业链上下游的商品期货,信息融合能够提升趋势跟踪策略的表现。

(2) 对于同样的商品期货组合,相比于跨品种统计套利策略,基于信息融合的趋势跟踪策略表现出更大的盈利能力,但策略风险也更高。

(3) 对于本文选取的商品期货组合,在信息融合基础上应用策略转换能够进一步提升投资绩效,基于信息融合及策略转换的策略取得了比两种单一策略都更高的经风险调整后的收益率。

(4) 蒙特卡洛模拟研究表明本文实证分析的结果是稳健的,并得出了不同模型假设下的最优交易策略,即当共同趋势因子服从随机游走或自相关系数较小的 ARIMA(1,1,0)模型时,统计套利策略最优;当共同趋势因子服从自相关系数较大的

ARIMA(1,1,0)模型时,基于信息融合及策略转换的策略最优。

本文利用大宗商品价格联动的特点,提出了一种新的基于信息融合的趋势跟踪策略,这和以往利用价格联动所设计的统计套利策略或仅利用单品种价格趋势所设计的趋势跟踪策略有所不同。在此基础上,基于分形市场理论增加了策略转换环节:在趋势性市场使用趋势跟踪策略,在均值回复性市场使用统计套利策略。本文提出的整个策略未在以往文献当中进行过深入研究。本文实证结果表明,信息融合能够提升趋势跟踪策略的表现,而应用策略转换能进一步提升投资绩效。

作为应用型研究,本文提出的基于信息融合及策略转换的商品期货量化投资策略充分利用了市场中的信息,探索了不同类型量化投资策略间的择时转换,丰富了商品期货量化投资策略以及大宗商品价格联动的研究,为投资者提供了富有经济价值的参考,有利于我国商品期货投资基金和商品期货市场的发展。进一步的研究问题包括此类策略在国内外不同市场中的适用程度、不同信息融合方式和策略转换的应用等。

参考文献:

- [1] DE LONG J B, SHLEIFER A, SUMMERS L H, *et al.* Positive feedback investment strategies and destabilizing rational speculation [J]. *The Journal of Finance*, 1990, 45(2): 379-395.
- [2] PETERS E E. *Fractal market analysis: Applying chaos theory to investment and economics* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- [3] ESCRIBANO A, PEÑA D. Cointegration and common factors [J]. *Journal of Time Series Analysis*, 1994, 15(6): 577-586.
- [4] 张玉波. 基于分形市场理论的大宗商品期货市场风险测度与防范[J]. *统计与决策*, 2015(10): 140-143.
- [5] BROCK W, LAKONISHOK J, LEBARON B. Simple technical trading rules and the stochastic properties of stock returns [J]. *The Journal of Finance*, 1992, 47(1): 1731-1764.
- [6] LAI M M, LAU S H. The profitability of the simple moving averages and trading range breakout in the Asian stock markets [J]. *Journal of Asian Economics*, 2006, 17(1): 144-170.
- [7] MARSHALL B R, NGUYEN N H, VISALTANACHOTI N. Time series momentum and moving average trading rules [J]. *Quantitative Finance*, 2017, 17(3): 405-421.
- [8] RAD H, LOW R K Y, FAFF R. The profitability of pairs trading strategies: Distance, cointegration and copula methods [J]. *Quantitative Finance*, 2016, 16(10): 1541-1558.
- [9] BARBERIS N, SHLEIFER A, VISHNY R. A model of investor sentiment [J]. *Journal of Financial Economics*, 1998, 49(3): 307-343.
- [10] LO A W. The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective [J]. *The Journal of Portfolio Management*, 2004, 30(5): 15-29.
- [11] HAN Y, HU T, YANG J. Are there exploitable trends in commodity futures prices? [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2016, 70(1): 214-234.
- [12] 李斌, 张迪, 周洋. 中国商品期货市场存在趋势吗? [J]. *证券市场导报*, 2017(1): 43-51.
- [13] 邢天才, 蒋晓杰, 武军伟. TRB 技术分析规则在期货市场的有效性检验[J]. *财经问题研究*, 2008(6): 54-59.
- [14] 陈桂军. 我国农产品期货套利效率实证研究[J]. *价格理论与实践*, 2015(2): 91-93.
- [15] 戴锋, 梁玲, 姬广坡. 金融衍生商品市场中跨期套利交易的风险极小化模型与方法[J]. *系统管理学报*, 1999, 8(4): 7-14.
- [16] 景楠, 王彤. 商品期货市场跨期套利研究[J]. *统计与决策*, 2012(11): 171-174.
- [17] LIU Q W, SONO H H. Empirical properties, information flow, and trading strategies of China's soybean crush spread [J]. *Journal of Futures Markets*, 2016, 36(1): 1057-1075.
- [18] 丁秀玲, 华仁海. 大连商品交易所大豆与豆粕期货价格之间的套利研究[J]. *统计研究*, 2007, 24(2): 55-59.
- [19] 顾全, 雷星晖. 基于协整的豆类期货统计套利实证研究[J]. *统计与决策*, 2015(7): 151-154.
- [20] GRANGER C W J. Some properties of time series data and their use in econometric model specification [J]. *Journal of Econometrics*, 1981, 16(1): 121-130.
- [21] ASCHE F, GJØLBERG O, VOLKER T. Price relationships in the petroleum market: An analysis of crude oil and refined product prices [J]. *Energy Economics*, 2003, 25(3): 289-301.
- [22] 方燕, 高翔宇. 大豆压榨产业链价格传导的非对称性研究[J]. *价格理论与实践*, 2015(3): 48-50.
- [23] GIRMA P B, PAULSON A S. Risk arbitrage opportunities in petroleum futures spreads [J]. *The Journal of Futures Markets*, 1999, 19(8): 931-955.
- [24] 周亮. 基于协整的期货跨品种套利研究——以黑色系期货为例[J]. *价格理论与实践*, 2017(4): 112-

- 115.
- [25] HSU P H, KUAN C M. Reexamining the profitability of technical analysis with data snooping checks [J]. *Journal of Financial Econometrics*, 2005, 3(4): 606-628.
- [26] SERBAN A F. Combining mean reversion and momentum trading strategies in foreign exchange markets [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2010, 34(11): 2720-2727.
- [27] CLARE A, SEATON J, SMITH P N, *et al.* Trend following, risk parity and momentum in commodity futures [J]. *International Review of Financial Analysis*, 2014, 31(1): 1-12.
- [28] BIANCHI R J, DREW M E, FAN J H. Combining momentum with reversal in commodity futures [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2015, 59(1): 423-444.
- [29] 张明. 基于多市场多策略趋势跟随的投资组合研究 [D]. 重庆: 重庆工商大学, 2016.
- [30] DICKEY D A, FULLER W A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1979, 74(366a): 427-431.
- [31] JOHANSEN S. Statistical analysis of cointegration vectors [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 1988, 12(2-3): 231-254.
- [32] 孙碧波. 移动平均线有用吗?——基于上证指数的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2005(2):149-156.
- [33] SZAKMARY A C, SHEN Q, SHARMA S C. Trend-following trading strategies in commodity futures: A re-examination [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2010, 34: 409-426.
- [34] CHANG P-C, FAN C-Y, LIN J-L. Trend discovery in financial time series data using a case based fuzzy decision tree [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 6070-6080.
- [35] ADYŻYŃSKI P, ŻBIKOWSKI K, GRZEGORZEWSKI P. Stock trading with random forests, trend detection tests and force index volume indicators [C]// *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*, F, 2013. [s.l.]: Springer, 2013.
- [36] TUIE C, AGAPITOS A, O'NEILL M, *et al.* A preliminary investigation of overfitting in evolutionary driven model induction: Implications for financial modelling [C]// *Proceedings of the European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*, F, 2011. [s.l.]: Springer, 2011.