

基于非参数估计的趋势线系统构建



报告日期：2017年3月31日

★用滤波的方式得到去噪后的趋势线：

对于任何的金融市场中的时间序列其实都是可以被分解成趋势和噪音。趋势其实是一种长期行为，尽管更多地受到基本面信息以及外部政策的影响，但仍可以通过纯量化的方法将长期趋势抓取到。因为无法获取未来的信息，获取趋势的过程可等同于信号处理领域中的滤波器，用过去和当前的数据对当前进行估计，比如传统的移动平均线可被称为移动平均滤波器。但实际上不同滤波器的本质是以不同形式的权重分布对过去和当前数据加权平均。

★k 最近邻核回归滤波与局域线性核回归滤波：

我们将k 最近邻核回归（KR）以及局域线性核回归（LLKR）方法转换成滤波器以获取信号序列的趋势线，并用量化的方式定义了趋势线的延迟与平滑，发现 LLKR 能够处理好 KR 滤波器甚至其他滤波器存在的“边界效应”，因此具有显著降低延迟性的特点，而 KR 则更偏助于提高平滑性。

★历史回测表现：

我们用趋势线切线方向作为简单地趋势策略进行回测，用上述方法找到了比移动平均线延迟低且更平滑的趋势线，回测收益也表现得比移动平均线更优。以螺纹钢为例，使用 Ep 核的 KR 趋势线有比移动平均线延迟性更低、平滑度更高，不加杠杆时年化收益 21.04%，夏普比率 1.06。而将不同品种构建一个等权组合得到的年化收益率 19.76%，夏普比率 1.43，收益率最大回撤比 2.43。另外，用低延迟性的 LLKR 趋势线搭配其他类型的趋势线构成复合趋势线组合也能得到较为理想的收益表现。

★致谢：

感谢东方证券研究所金融工程首席分析师朱剑涛老师的指导与帮助。

★风险提示：

量化模型失效风险；市场极端环境的冲击

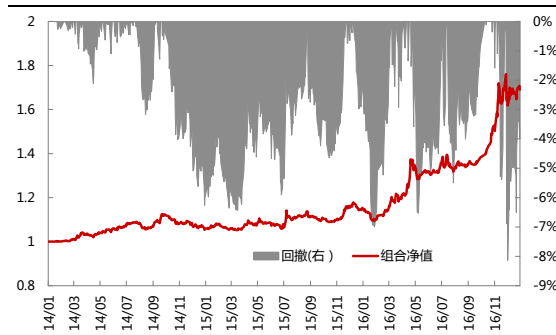
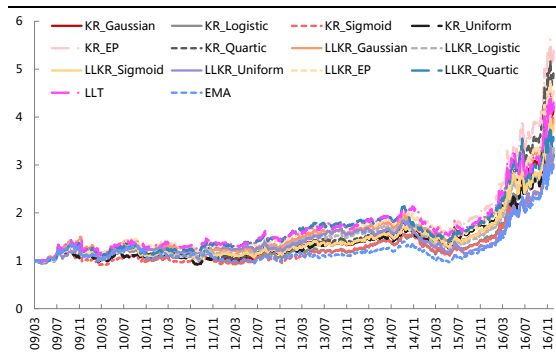
李晓辉

助理分析师（金融工程）

从业资格号：F3022611

Tel: 8621-63325888-1585

Email: xiaohui.li@orientfutures.com



相关报告

《国内商品期货常用日内 CTA 策略测试》——2016.10.14

《机器学习方法系列之一：基于单特征因子的隐马尔科夫模型在商品期货上的应用》——2016.12.29

《商品期货套利实证》——2017.01.17

目录

1、价格时间序列的分解.....	5
1.1、趋势与噪声.....	5
1.2、平滑、滤波还是预测?	7
2、滤波器和趋势线.....	9
2.1、基于移动平均的经典趋势线.....	9
2.2、基于 k 最近邻核回归与局域线性核回归方法的趋势线.....	10
3、不同趋势线延迟性与平滑性的对比分析.....	13
3.1、k 最近邻核回归与局域线性核回归趋势线.....	13
3.2、移动平均类趋势线.....	19
4、基于切线方向的交易策略.....	20
4.1、不同形式的趋势线.....	20
4.2、趋势线的窗口长度.....	22
4.3、不同品种的趋势线.....	28
5、交易策略的拓展.....	29
5.1、复合趋势线.....	29
5.2、趋势线切线阈值.....	31
6、总结.....	33

图表目录

图表 1: 螺纹钢主力合约收盘价的趋势及噪声	6
图表 2: 螺纹钢趋势的一阶差分散点图	6
图表 3: 以 20 日均线做趋势信号的一阶差分的自相关性	6
图表 4: 线性信号转换系统	7
图表 5: 不同的信号转换系统 (平滑、滤波和预测) 对一段随机信号的估计	8
图表 6: 一般较常用的核函数	11
图表 7: KR 与 LLKR 在随机信号边界处的平滑对比	12
图表 8: Gaussian 核 KR 与 LLKR 在真实价格序列上的平滑对比	13
图表 9: 用 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 在真实价格序列上的趋势线	14
图表 10: 用 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	14
图表 11: KR 和 LLKR 趋势线的延迟性受延迟长度的影响	16
图表 12: KR 和 LLKR 趋势线的平滑度受差分阶数的影响	16
图表 13: 用 Logistic 核的 KR 与 LLKR 的趋势线	17
图表 14: 用 Logistic 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	17
图表 15: 用 Sigmoid 核的 KR 与 LLKR 的趋势线	17
图表 16: 用 Sigmoid 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	17
图表 17: 用 Uniform 核的 KR 与 LLKR 的趋势线	17
图表 18: 用 Uniform 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	17
图表 19: 用 Epanechnikov 核的 KR 与 LLKR 的趋势线	18
图表 20: 用 Epanechnikov 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	18
图表 21: 用 Quartic 核的 KR 与 LLKR 的趋势线	18
图表 22: 用 Quartic 核的 KR 与 LLKR 的权重分布	18
图表 23: 采用不同核函数的 KR 与 LLKR 所得趋势线的延迟性和平滑性的量化结果	18
图表 24: 采用不同指数移动平均类趋势线所得趋势线的延迟性和平滑性的量化结果	19
图表 25: 移动平均类趋势线	20
图表 26: 移动平均类趋势线的权重分布	20
图表 27: 不同趋势线的切线方向交易策略回测结果的净值表现	21
图表 28: 回测年化收益率从大到小排序的不同趋势线	21
图表 29: 不同趋势线的回测指标统计结果	21
图表 30: 不同窗口长度的 Epanechnikov 核 KR 的回测结果的净值表现	22
图表 31: Gaussian 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	23
图表 32: Gaussian 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	23
图表 33: Logistic 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	23

图表 34: Logistic 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	23
图表 35: Sigmoid 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 36: Sigmoid 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 37: Uniform 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 38: Uniform 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 39: Epanechnikov 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 40: Epanechnikov 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	24
图表 41: Quartic 核 KR 回测结果受窗口长度的影响	25
图表 42: Quartic 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响	25
图表 43: LLT 回测结果受窗口长度的影响	25
图表 44: EMA 回测结果受窗口长度的影响	25
图表 45: 不同趋势线在各自最优窗口长度下的回测指标统计结果	25
图表 46: 窗口长度为 20 日时的延迟长度与最优窗口长度之间的对比	26
图表 47: 不同趋势线各自最优窗口长度回测结果的净值表现	27
图表 48: 不同趋势线各自最优窗口长度所构建的等权组合的净值表现	27
图表 49: 不同品种各自最优窗口长度的 KR_EP 趋势线回测结果的净值表现	28
图表 50: 不同品种各自最优窗口长度的 KR_EP 趋势线所构建的等权组合的净值表现	28
图表 51: 不同复合趋势线组合回测的年化收益率的热力图	29
图表 52: 窗口长度为 20 日时不同趋势线所对应的能够获得最大收益的趋势线组合	30
图表 53: 不同复合趋势线组合延迟性与平滑性的量化结果	30
图表 54: 使用固定窗口长度和最优窗口长度时组合的年化收益率统计分布	31
图表 55: 依据趋势线切线阈值的第一种交易策略	31
图表 56: 第一种交易策略的不同上下阈值组合的回测年化收益率热力图	32
图表 57: 依据趋势线切线阈值的第二种交易策略	33
图表 58: 第二种交易策略的不同上下阈值组合的回测年化收益率热力图	33

1、价格时间序列的分解

1.1、趋势与噪声

在金融市场当中，趋势主要是指价格或者指数等的时间序列的动量特性的反映，在向上的动量形成之后就会有较高的概率仍继续向上，同样地在向下的动量形成之后，也会有继续向下的潜能。对于商品期货来说，长线的趋势本质上受长期的供需基本面信息的影响，而对于股票来说其长线趋势所受的影响因素，则更多地来自于公司的经营状况、行业环境等一系列反映在资产负债表上的数据而产生的长期的价值预期。但是，无论期货还是股票，在更短周期内的趋势的形成则更多的是由市场参与者（主要是投机者）的情绪性“追涨杀跌”的羊群行为所导致的。不管怎样，对于不同的时间序列，总会在某些周期内寻找到趋势。基于对趋势的分析而形成的趋势理论，也成为了很重要的技术分析理论。

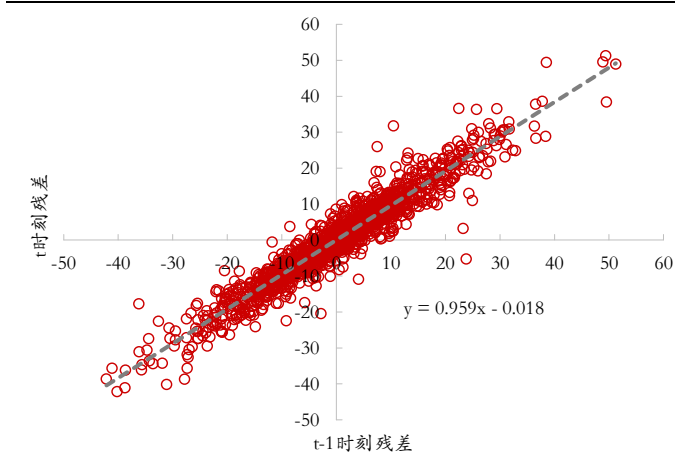
众所周知，金融市场中参与者的博弈行为其实是对资本资源的再分配过程，市场中那只“看不见的手”会使得资本配置的均衡过程最终映射到资产的价格变动上面。如果从物理学的角度来看待市场有效性行为的话，我们把金融市场看做是一个庞大的复杂系统，那么市场最有效的状态其实就是它的平衡态，也就是系统热力学熵达到最大时的状态，此时市场均衡。而其它任何的非平衡态都具有一定的非有效性，那么在这种状态下系统总会找得到可套利的机会。但我们知道复杂系统中的个体之间的相互作用会导致复杂系统的自我调节功能的实现，即从非平衡位置恢复到平衡位置，并满足热力学第二定律的熵增过程。

总之，市场价格的变动是周期性的，如果按照不同的周期来看，价格的趋势性存在于更长的周期内，因为在较长的周期内系统的均衡位置会不断发生变化；而在价格趋势之外的“噪声”波动，则是系统在不同时段的均衡位置附近所形成更小周期的波动。由上面的理解我们可以看出，对于任何的金融市场中的时间序列其实都是可以被分解成具有不同周期的趋势和噪音。

如果以 $\{y_t\}$ 表示金融市场中的价格的时间序列，其中 $t=1,2,\dots,T$ ，那么该信号可以表示为 $y_t = \hat{y}_t + \varepsilon_t$ ，其中趋势部分由 \hat{y}_t 来表示，而残差项也就是所谓的噪声部分，则用 ε_t 进行表示。噪声信号常常是指一些短周期的波动，它的产生是主要由短期内市场参与者的“情绪”等即时性行为所决定的；而趋势信号则常常是一些由具有更长周期的波动所构成的，在短期内这种波动反映出一定的趋势，本质上趋势信号是由市场中的基本面信息所决定的。噪声波动是不可避免的，是大量的服从各种行为规律的个体的综合体所对外表现出来的随机性过程；而趋势性波动则是系统整体宏观基本特征的改变所引起的内在变化，这中波动预示着整体的中长期运行方向。在与其匹配的周期内，我们总会找到一个较为平滑的趋势部分，以及满足 $E(\varepsilon) = 0$ 、 $E(\varepsilon^2) \leq \alpha$ （ α 为具有某大小的标准差阈值）的噪声部分。由于我们常把简单移动平均线作为一种趋势线，因此我们便在图表1中以20日均线为例展示了金融市场中价格时序的趋势，以及去趋势之后的噪声。

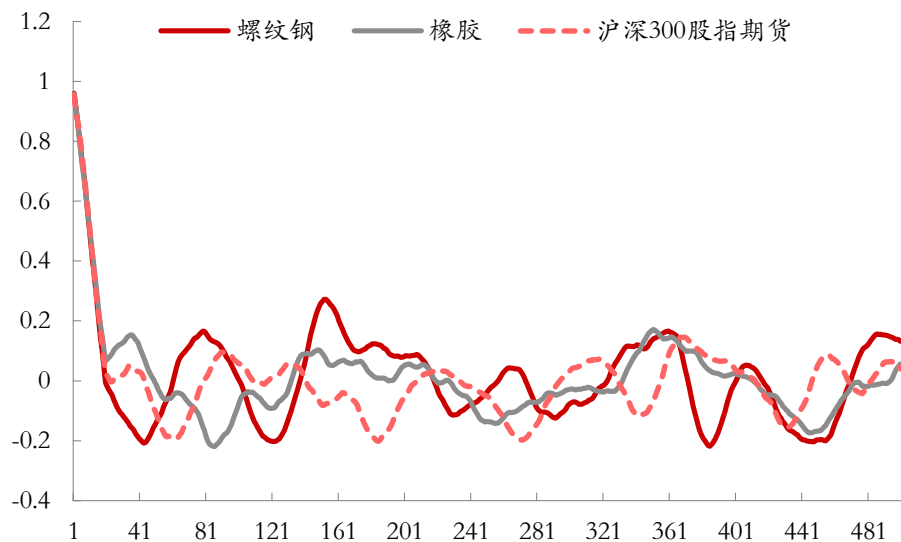
图表 1：螺纹钢主力合约收盘价的趋势及噪声


资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 2：螺纹钢趋势的一阶差分散点图


资料来源：Wind，东证衍生品研究院

以螺纹钢自上市以来的主力合约日度收盘价时间序列为例，而我们需要观察的是价格趋势信号的一阶差分 $\Delta\hat{y}_t$ ($\Delta\hat{y}_t = \hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}$)，计算之后便可以通过画散点图的形式得到差分从t-1时刻到t时刻的一阶时间自相关性（如图表2所示）。这种相关性为正值时，对比前面的式子，我们会发现时间序列在剔除了噪音之后的趋势部分所反映出来的正是一种正向反馈的变化。而当阶数增加时这种正向反馈也将会变弱，直至相关性逐渐地降至负值（如图表3所示），对于不同期货品种均是如此。这也解释了为何我们可以在一定周期之内观察到“趋势”（正反馈作用），而当周期拉大时，却看到了平稳的周期性波动（正反馈和负反馈同时作用）。我们可以这么认为，其实趋势信号在较短周期内，的确存在“趋势”，而在较长周期内，趋势信号则是一种“波动”。

图表 3：以 20 日均线做趋势信号的一阶差分的自相关性


资料来源：Wind，东证衍生品研究院

1.2、平滑、滤波还是预测？

但是以 20 日的移动平均线是否能够真正准确地描述价格时间序列的趋势呢？所以我们在本文中更重要地是通过介绍可以用来“描述”趋势的不同方法来更好地识别趋势开始与结束的时间点，并构建相应的趋势策略来得到更好的入场和出场点。在开始对价格的时间序列进行分析之前，我们首先需要明白几个重要的概念：平滑、滤波和预测。其实在时间序列分析或信号处理中，那些我们所见到的不管是简单还是复杂的各种各样的模型和方法，基本上都是在解决平滑、滤波和预测这三个当中的一个或多个问题。假如仍以 $\{y_t\}$ 表示金融市场中的价格的时间序列，其中 $t=1,2,\dots,T$ ，而 $\{m_t\}$ 表示为某信号线性转换系统 H_t （平滑、滤波、预测）所得到的估计值，因此便可得到对估计值的表示，

图表 4：线性信号转换系统



资料来源：东证衍生品研究院

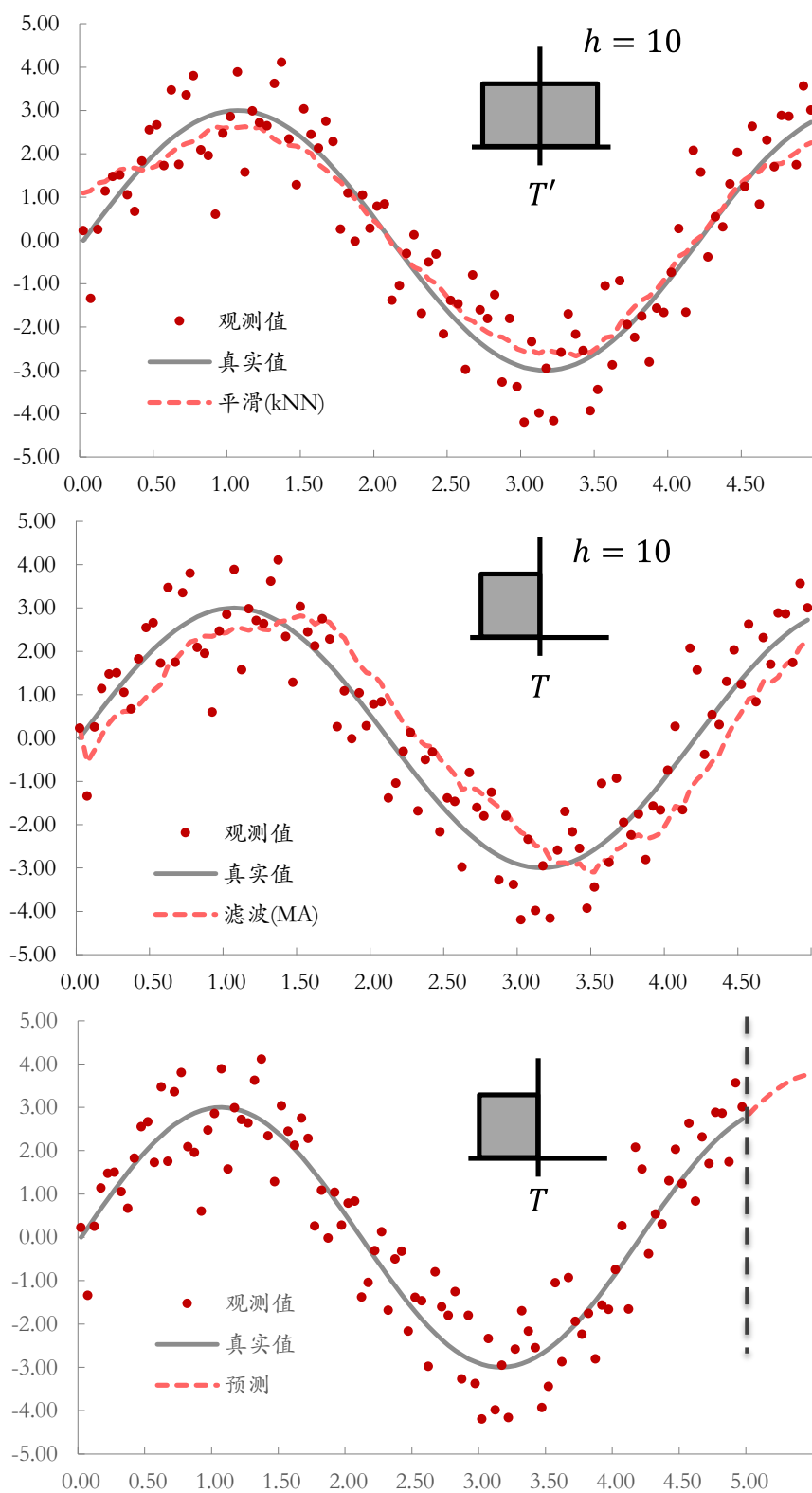
$$m_t = \mathbf{H}(L) \cdot y_t = \sum_i H_i y_{t-i} \quad (1)$$

$$\mathbf{H}(L) = \{\dots + H_{-2}L^{-2} + H_{-1}L^{-1} + H_0 + H_1L + H_2L^2 + \dots\} \quad (2)$$

其中 L 为迟滞算子， $L^n y_t = y_{t-n}$ 。从 (1) 和 (2) 式中也可以看到不管这种信号转换系统是做什么的，只要传输函数是线性的，那么所得到的对原始观测序列的估计值总是和该序列的线性叠加相关。但是，它们的区别在于所考察的数据范围和估计目标是不同的。假设当前时刻为 T ，如果从过去的观测数据 $y_{T-n}, \dots, y_{T-2}, y_{T-1}$ ($t < T$) 估计过去的信号值 $\hat{y}_t = m_t$ ($t < T$)，则该信号转换系统被称为平滑器 (Smoother)；如果从当前和过去的观测数据 $y_{T-n}, \dots, y_{T-1}, y_T$ 中估计出当前的信号值 $\hat{y}_T = m_T$ ($t = T$)，则该系统称之为滤波器 (Filter)；而如果从过去的观测数据 $y_{T-n}, \dots, y_{T-2}, y_{T-1}$ ($t < T$) 估计当前或未来的信号值 $\hat{y}_t = m_t$ ($t \geq T$)，则称该系统为预测器 (Predictor)。所以当我们在处理时间序列问题的时候，首先就需要搞清楚输入变量和输出变量的时间范围，否则就容易产生混淆。

我们以计算“平均值”这种最简单的线性算法为例（以图表 5 为例），来阐述一下这三种不同的信号转换系统的区别。在平滑器当中，如果只考虑估计点的左右最近邻的 k 个观测值的话，这种平滑器也被称为 kNN 平滑器；而在过滤器中却只能使用当前或过去的观测数据来对当前时点进行估计的话，实际上此时该过滤器和移动平均 (Moving Average) 是完全一致的，所以也可称为 MA 滤波器 (MA filter)；预测器也是使用过去的观测数据，但是却对当前和未来进行预测，如简单的 $ARMA$ 回归预测模型等。从图中平滑器和滤波器对比来看，我们可以得到如下一些结论：(1) 平滑器和滤波器的区别就在于所使用数据的范围，平滑器用到了估计点前后的数据，而滤波器只用到了估计点之前的数据；(2) 平滑器能够得到和原始真实信号最接近的估计值序列，几乎没有延迟，并且使得估计误差序列趋近于白噪声，其标准差的值也很小；(3) 平滑器在处理时间序列的

图表 5: 不同的信号转换系统（平滑、滤波和预测）对一段随机信号的估计



资料来源：东证衍生品研究院

起始点和结束点时会产生较明显的“边界效应”，这是由于平滑器在对边界进行估计时所使用数据是“残缺”的；(4) 正是由于这种“边界效应”，对于滤波器来说，只考虑估计点左侧的历史数据的话就会不可避免地产生滞后性，而且这种滞后性所产生的噪音实际上就不再是平稳的白噪声了。由于判断真实信号的趋势是即时 $T+0$ 的行为，而不是一种事后 $T+N$ 的行为，所以在这篇报告中对时间序列进行趋势和噪声的分解，实际上更应该是一种滤波器的做法，因为我们无法像平滑器那样能够使用 T 时刻之后的数据来对当前时点的估计平滑、修正。

2、滤波器和趋势线

那么根据滤波器的特点以及信号转换系统的线性作用（式子 (1) 和 (2)），对于 t 时刻的价格趋势的估计实际上是前 n 个历史价格的线性叠加。这就是说对于任意一种基于价格的趋势线来说，其本质就是对前 n 个历史价格的加权平均，

$$m_t = \sum_{i=0}^{n-1} w_i y_{t-i} \quad (3)$$

换句话说，实际上滤波器通过加权叠加的方式将价格信号中的高频波动给过滤掉，而只保留低频的部分，这一部分便是我们所想得到的趋势。我们看到不同种类的趋势线的区别其实就在于权重 w_i 的分布特征不同，比如 MA 滤波器的权重分布是等权的。那么实际上如果我们相应地调整权重 w_i 的分布的话，便可以得到具有不同滞后性和平滑性特征的趋势线。下面我们将首先介绍一下传统的均线类趋势线，然后着重介绍基于非参数估计方法改善而来的趋势线的构建，并对不同的趋势线的特征进行对比。

2.1、基于移动平均的经典趋势线

在技术分析当中均线理论是最为广大投资者所熟知并使用的一种分析工具，是判断市场价格运行趋势的最简单却又重要的方法。事实上，均线其实反映的是某一段时间内市场价格的平均成本的变化，在上行的市场环境下，价格往往会在均线的上方，价格的上涨会带动成本均线的上升，但由于价格的平均值包含了历史的价格信息，因此均线的变化常常比真实市场价格的变化缓慢。一般情况下，均线对价格的敏感程度都会受到窗口长度的大小的影响，如果长度较长，那么均线就相对平缓、受短期内的价格波动的影响较小；而如果长度较小，那么均线就更易受短期价格波动的影响，因此平滑性就不够，但滞后性又会提高。

在这些常见的均线理论中，最最简单和常见的方法是移动平均线 (Moving Average, MA) 是一段时间内的市场价格的简单移动平均值，一般会选取 5 天、10 天、20 天、30 天、60 天等窗口长度进行移动平均计算，计算平均值的方式就相当于给当前日期之前的 n 个价格赋予相同的权重，

$$MA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_{t-i} \quad (4)$$

由于 MA 只限定于包括当前价格在内的 n 个历史价格，所以 MA 是一种有限脉冲响应滤波器 (Finite Impulse Response, FIR)。另外一种较常见的传统均线是指数移动平均 (Exponential Moving Average, EMA)，通过递归式的计算方式迭代得到趋势线，所以这

种滤波器就不限定历史价格的长度了，因而也被称为无限脉冲响应滤波器（Infinite Impulse Response, IIR）。另外由于 EMA 赋予了较临近当前日期的价格更高的权重，使得这种计算方式在一定程度上改善了 MA 均线的滞后性，

$$EMA_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) EMA_{t-1} \quad (5)$$

其中 α 为平滑参数，大小由计算窗口长度 n 有关，且 $\alpha = \frac{2}{n+1}$ 。如果选取的窗口越长，则计算得到的 EMA 均线就相对更加平滑一些，反之则平滑度下降，但是滞后性就会有一定程度改善。虽然式子（5）为递归式的计算方法，但如果一次次迭代的话便可以得到以历史各期价格序列和权重序列计算得到的 EMA 均线，

$$EMA_t = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha (1 - \alpha)^i y_{t-i} \quad (6)$$

从式子（6）中便可以看出 EMA 均线的权重随与当前日期的距离而成幂指数衰减。

在技术分析领域中，除了 MA 和 EMA 这两种经典的趋势线之外，也有一些其他的均线，比如瀑布线和顾比均线，但这都是在 MA 和 EMA 基础上叠加或者复合而形成的均线系统，本质上还是这两种均线。

EMA 的更新迭代计算只用到了当前时刻的价格，因而该指标可以被认为是一种一阶的低通滤波器。低延迟趋势线(Low Lag Trendline, LLT)则是另外一种识别趋势的方法，这种方法使用了信号处理理论中的 Z 变换方法，基于一阶的改进 EMA 的滤波器传输函数串联得到了一个二阶的低通滤波器的传输函数，整合之后得到了 LLT，

$$LLT_t = (\alpha - \frac{\alpha^2}{4})y_t + \frac{\alpha^2}{2}y_{t-1} - (\alpha - \frac{3\alpha^2}{4})y_{t-2} + 2(1 - \alpha)LLT_{t-1} - (1 - \alpha)^2LLT_{t-2} \quad (7)$$

二阶滤波器的特点是原始信号中相对高频一些的信号也能保留下来。在相同的衰减因子下，趋势线 LLT 相比于 MA 和 EMA 具有更低的延迟性，这是因为 LLT 在较近的日期上的权重会更高一些。但实际上这带来的一个缺点就是平滑性就未必有所改善了。

2.2、基于 k 最近邻核回归与局域线性核回归方法的趋势线

我们从前文的分析中可以看到，趋势线其实往往由一段窗口长度为 n 的价格序列的进行加权计算而来，所以说趋势一般和两个因素相关，一个是权重的分布特征，而另一个则是移动窗口的长度。在机器学习中我们知道 k 最近邻 (k-Nearest Neighbors, kNN) 算法做回归是考虑和当前点“距离”最近的 k 个点的平均值可以近似地作为对该点的估计。kNN 回归算法是计算 k 个近邻的平均值，每个窗口内的样本数据是等权的，但是等权的结果往往会放大“距离”较远的近邻数据的噪声，使得回归结果不够平滑或不够连续。因此一般情况下我们都会通过选择核函数来给这些近邻数据分配权重，距离较近的数据权重高一些，而距离较远的权重就低一些。而核函数 (Kernel function) 一般来说是非负实值可积函数，具有以下两个特点，

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(u)du = 1, \quad K(u) = K(-u) \quad (8)$$

而且 $\sigma_k^2 = \int_{-\infty}^{\infty} u^2 K(u)du$ 和 $c_k = \int_{-\infty}^{\infty} K^2(u)du$ 均是不发散的。一般较常用的核函数有 Uniform

核、Guassian 核、Logistic 核、Epanechnikov 核等。

图表 6：一般较常用的核函数

核函数名称	公式	边界是否无限
Uniform	$K(u) = \frac{1}{2} I_{\{ u \leq 1\}}$	是(FIR)
Gaussian	$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2}$	否(IIR)
Epanechnikov	$K(u) = \frac{3}{4}(1-u^2) I_{\{ u \leq 1\}}$	是(FIR)
Logistic	$K(u) = \frac{1}{e^u + 2 + e^{-u}}$	否(IIR)
Quartic	$K(u) = \frac{15}{16}(1-u^2)^2 I_{\{ u \leq 1\}}$	是(FIR)
Sigmoid	$K(u) = \frac{2}{\pi} \frac{1}{e^u + e^{-u}}$	否(IIR)

资料来源：东证衍生品研究院

这种 kNN 核加权平均 (kernel weighted average) 算法中，有一种估计方法是由 Nadaraya 和 Watson 分别提出的，其形式如下

$$\hat{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{K_h(t_0, t) y_i}{\sum_{i=1}^n K_h(t_0, t)}}{\sum_{i=1}^n K_h(t_0, t)} \quad (9)$$

其中 $K_h(t_0, t) = K\left(\frac{t_0 - t}{h}\right)$ ， h 是选择 k 近邻范围的带宽长度，决定了局部回归的样本数据量。但是这种核加权平均方法最大的缺点是存在较明显的边界效应，即对时间序列边界处数据点的估计偏差比较大，如图表 5 中的平滑结果所示，这是因为数据在边界处的分布不具有对称性，从而产生了偏差。对于 k 最近邻核回归 (kNN Kernel Regression，以下简称 KR) 算法来说，尽管它作为平滑器需要基于全样本空间的数据进行“距离”的统计计算，但是我们仍然可以借用平滑器的算法来做到滤波的效果。由于无法前视到未来的数据，在使用 kNN 核回归的时候实际只能选取当前时点及其左侧的数据，即对于每个待估计的数据来说都存在着类似的“边界效应”，因此导致了回归结果具有延迟滞后特征。

为了能够尽可能地降低边界偏差，降低滞后性，我们还可以使用线性回归的方式对局域的数据进行核回归，这种方法称之为局域线性核回归 (Local Linear Kernel Regression，以下简称 LLKR)。由于 kNN 核加权平均的方法只是计算出加权后的平滑值来作为估计值，其实并没有考虑到样本点本身分布的作用对估计的影响，相当于只用了一条平行于时间轴的直线对实际具有某种形态的样本数据点集进行拟合。所以我们可以使用局域线性核回归来减小局部的偏差，从而降低延迟滞后性。假设当前时间为 t_0 ，则可以对包括当前数据在内的 n 个近邻样本数据点进行 p 阶线性回归， $\hat{y}_0 = \sum_{i=0}^p \beta_i(t_0)(t_i - t_0)^i$ ，其中 $\beta_i(t_0)$ 是

第 i 阶的回归系数 ($i=0$ 时为常数项), 那么拟合结果可由最小二乘法求得,

$$\min_{\beta(t_0)} \sum_{i=1}^n K_h(t_0, t_i) \left[y_i - \sum_{j=0}^p \beta_j(t_0) (t_i - t_0)^j \right]^2 \quad (10)$$

求解式子 (10) 得到系数 $\beta(t_0)$ 的矩阵计算形式,

$$\beta(t_0) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{y} \quad (11)$$

$\mathbf{X}^T = (x(t_1) \ x(t_2) \ \cdots \ x(t_n))$ 是一个 $(p+1) \times n$ 阶的矩阵, 且 $x(t_i) = (1 \ t_i - t_0 \ \cdots \ (t_i - t_0)^p)^T$, 而 \mathbf{W} 代表核函数权重分布对角阵, \mathbf{y} 表示为由 n 个近邻数据点的值组成的列向量,

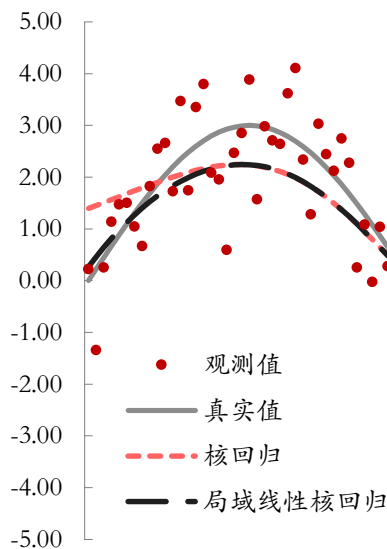
$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} K_h(t_1, t_0) & & & \\ & K_h(t_2, t_0) & & \\ & & \ddots & \\ & & & K_h(t_n, t_0) \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{y}^T = (y_1 \ y_2 \ \cdots \ y_n) \quad (13)$$

最终可得到对当前时点 t_0 的估计值为,

$$\hat{y}_0 = x^T(t_0) \beta(t_0) = (1 \ 0 \ \cdots \ 0) \begin{pmatrix} \beta_0(t_0) \\ \beta_1(t_0) \\ \vdots \\ \beta_p(t_0) \end{pmatrix} = \beta_0(t_0) \quad (14)$$

图表 7: KR 与 LLKR 在随机信号边界处的平滑对比



资料来源: 东证衍生品研究院

这里我们以 $p=1$ ($\hat{y}_0 = \beta_0(t_0) + \beta_1(t_0)(t_i - t_0)$) 为例, 通过计算可以得到

$$\hat{y}_0 = \sum_{i=1}^n \frac{(S_2 - S_1 \times (t_i - t_0)) K_h(t_i, t_0)}{S_2 S_0 - S_1^2} y_i = \sum_{i=1}^n a_i(t_0) y_i \quad (15)$$

该式中 $S_0 = \sum_{i=1}^n K_h(t_i, t_0)$, $S_1 = \sum_{i=1}^n (t_i - t_0) K_h(t_i, t_0)$, $S_2 = \sum_{i=1}^n (t_i - t_0)^2 K_h(t_i, t_0)$ 为只和核函数有关的变量, 可以看到用这种局域线性核回归的方法实际上也是一种对历史数据点的加权平均, 只不过权重系数的分布是和最小二乘法以及核函数共同决定的。而从两者的对比结果来看 (如图表 7 所示), 局域线性核回归比单独只使用核函数对边界的数据处理得更好, 能明显改善“边界效应”所造成的偏差。

3、不同趋势线延迟性与平滑性的对比分析

3.1、k 最近邻核回归与局域线性核回归趋势线

类似于图表 7, 我们这里以螺纹钢一段真实的主力合约价格为例来展示了 kNN 核回归与局域线性核回归在处理信号的平滑问题时的结果对比 (如图表 8), 其中的核函数选用了 Gaussian 核。LLKR 其实是为了解决和改善 kNN 在对信号平滑处理时出现的“边界效应”问题而被提出来的, 因为它在处理边界处的观测点邻域数据分布“残缺”不完整的情况下, 能通过最小二乘法的方式来体现原始数据分布的特点, 并尽可能地解决平滑信号与原始信号的严重偏差的现象。

图表 8: Gaussian 核 KR 与 LLKR 在真实价格序列上的平滑对比

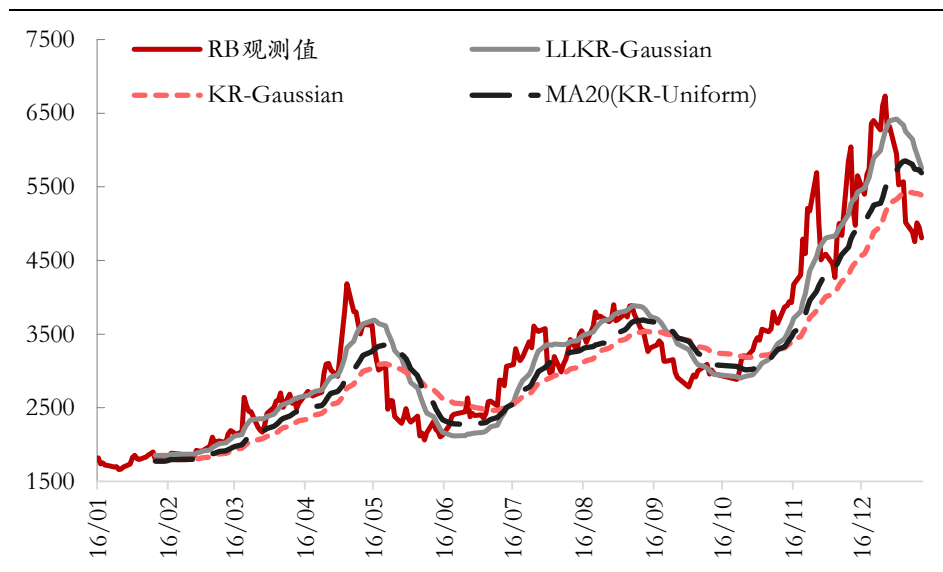


资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

我们在前文中也提到了, 趋势线是通过某种滤波器获得的, 比如移动平均线是由移动平均滤波器 (Moving Average Filter) 计算得到的, 因为趋势线和滤波器一样是通过历史和当前的信号来对当前的价格进行估算而来。然而在做平滑处理时, 时间序列最右侧的边界处所用来进行平滑计算的数据却只有左侧的历史数据, 对比滤波器处理数据的特点, 因此我们便可以借用 LLKR 的方式来进行滤波以得到价格序列的趋势线。我们在图表 9

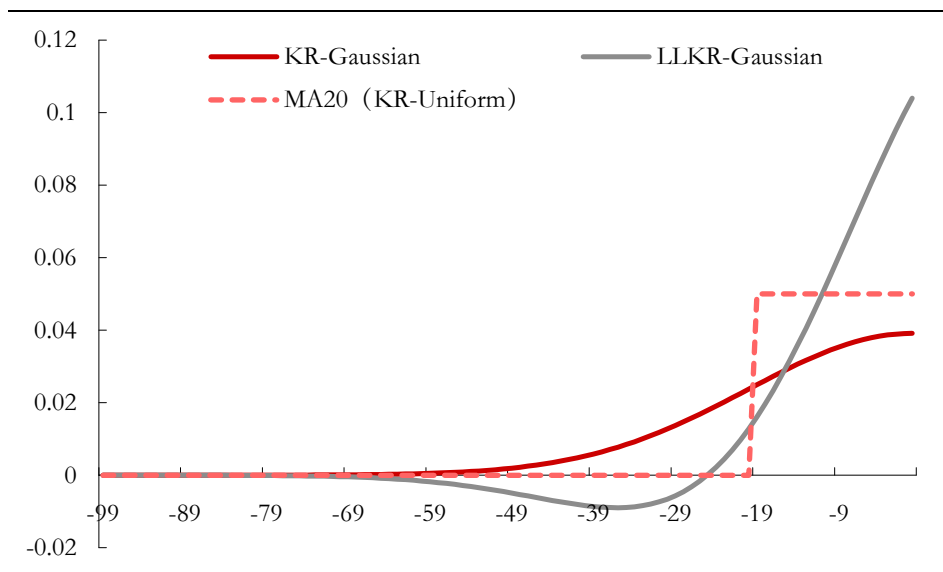
中展示了用 KR 和 LLKR 的方法进行滤波的结果，其中核函数仍选用 Gaussian 核，而且窗口长度也均选择为 20 日，同时也展示了 20 日的移动平均线作为对比。

图表 9：用 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 在真实价格序列上的趋势线



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 10：用 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

从实际滤波的效果上来看，相比于传统的移动平均滤波器而言 LLKR 做滤波器所得到的趋势线具有较明显的低延迟特点，同时又能够满足一定的平滑性。这是由于 LLKR 实际上具有与移动平均显著不同的权重分布，与当前时间较近的权重高，而较远的权重低。KR 滤波器同样采用了具有远低近高分布的 Gaussian 核，然而为何并没有得到较显著的低延迟性呢？这是因为这种 KR 滤波器采用的是 Gaussian 核，是一种 IIR 型的核函数，

因此其在估计计算时所覆盖的数据范围更广（尽管其窗口长度为 20 日），这样使得其相比移动平均滤波器在窗口长度内的数据点的权重就低了一些。图表 10 以更直观的方式展示了使用 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 在进行滤波时的权重分布，并与移动平均滤波器（等价于采用平均值计算的 KR 滤波器）的等权权重进行了对比。采用 Gaussian 核的 KR 滤波器的权重分布更宽更广，导致权重在窗口长度之内的数据点的权重比移动平均滤波器的权重低，从滤波的效果上来看，导致了 KR 得到的趋势线的平滑性虽然较好，但是延迟性稍差。而 LLKR 的方法使原来在窗口长度之内的 Gaussian 型分布变得更“瘦高”，近期的权重更高一些，但同时又不失权重分布的广度，因此使得 LLKR 在具有了低延迟性之外也兼具了一定的平滑性特征。

但是上述对平滑性与延迟性的考量可能较过于主观性，下面我们就用量化的方式来统计出采用同一种 Gaussian 核的 KR 与 LLKR 的趋势线对比。在一般情况下，我们会根据均方误差（Mean Squared Error）的最小值来选择和估计一个模型的最优参数，而对于判定时间序列的趋势线（去噪）来说，均方误差实际上同时反映了滤波信号的偏差影响和其方差影响，而偏差（Bias）在这里实际反映的便是趋势线的延迟性，偏差越高延迟也就越高，趋势线的方差则体现了其本身的平滑程度。在对经济周期的研究中，Hodrick-Prescott 滤波器（H-P Filter）是一种用的比较多的方法来得到经济信号的趋势，其本质便是寻找一条趋势线以使得两项之和最小，而这两项分别是噪声信号（即真实值与趋势之间的差值）的平方和、趋势线的二次差分的平方和乘以平滑参数 λ 。

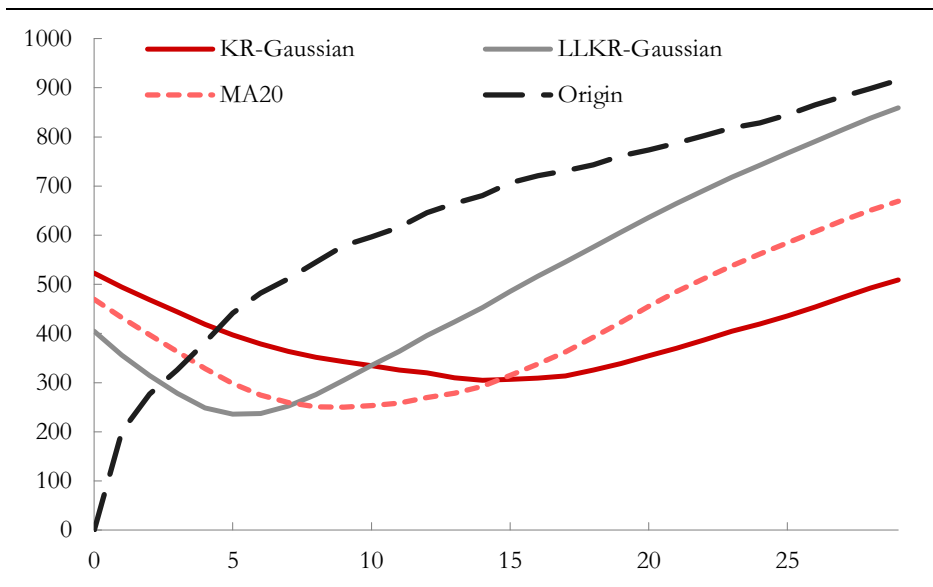
$$\min_{\{\hat{y}_t\}} \left\{ \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 + \lambda \sum_{t=3}^T [(\hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}) - (\hat{y}_{t-1} - \hat{y}_{t-2})]^2 \right\} \quad (16)$$

受这种方法的启发，在本篇报告中，我们一方面用考虑了延迟的均方误差来对实际的延迟长度进行了量化，即求使得原始观测值序列与趋势序列之差的标准差最小的延迟长度， $\arg \min_L \sigma(y_{t-L} - \hat{y}_t)$ ，因为如果将延迟性去除的话，真实观测值与趋势线之间的差值的标准差应该是最小的，所以可以据此反推出实际的滞后周期。而另一方面我们则是通过计算一阶差分的正负符合的变动次数， $\frac{1}{2} \sum_{t=3}^T |\text{sign}(\hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}) - \text{sign}(\hat{y}_{t-1} - \hat{y}_{t-2})|$ ，来量化平滑度（这只是反映平滑程度的其中一种方法）。因为如果是较平滑的趋势线的话，从趋势信号的“峰”到“顶”之间的一阶差分值的正负值应该是一致的，所以这种符合的变动次数越少则表明趋势线越相对平滑。

我们对延迟特性的分析结果展示在图表 11 中，首先对于原始的观测值序列来说，增加延迟的话一定会导致均方误差增大，如图中黑色线所示。而当我们计算原始序列与之前所得到的各种趋势线之间的均方误差时，结果正如我们前文所分析的，它们之间的延迟长度可以从出现最小的均方误差的位置来判断。对于采用 Gaussian 核的 LLKR 滤波器来说，其延迟长度是 5 天，20 日移动平均线的延迟长度为 9 天（约等于 John F. Ehlers 在其著作《Cycle Analytics for Traders》中所给出理论值 $\frac{N-1}{2}$ ， N 是窗口的长度），而采用同样核函数的 KR 滤波器的延迟长度为 14 天。除此之外，图表 12 则展示了不同趋势线的平滑度的计算结果，因为我们认为具有相对平滑的序列其差分序列的正负符号应不会太过频繁，所以我们这里着重以这个值来衡量趋势线是否具有一定的平滑性。原始的观测值序列差分序列的变动方向比较频繁，而经过过滤之后得到的趋势线则基本上都具有一

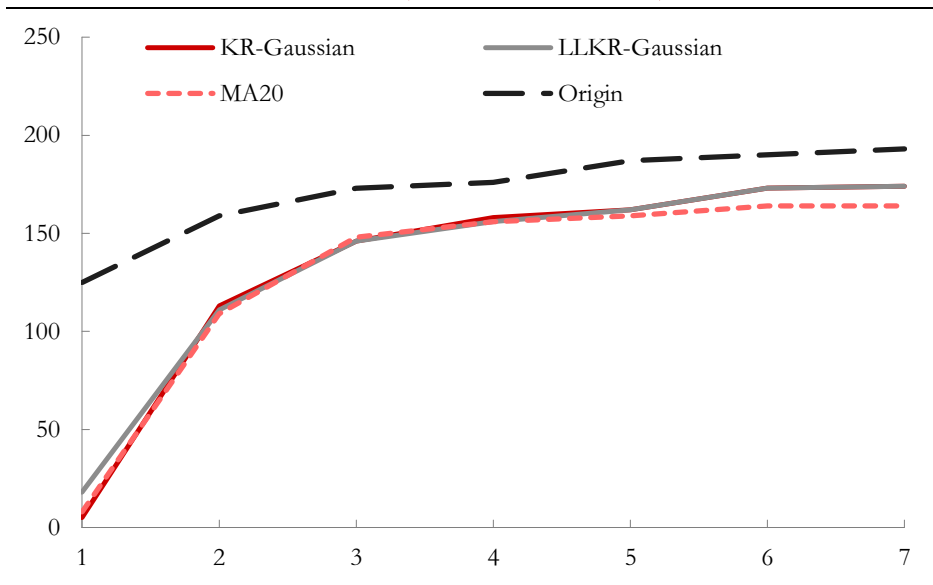
定程度的平滑性特点，尤其对于一阶差分序列，KR 的表现更好。但是我们也看到尽管 LLKR 滤波所得到的趋势线具有较低的延迟性，但是并没有以严重地丢失平滑性为代价，而是也具有比原始观测序列显著的平滑性特点。这里需要指出的是，我们所提出的这些衡量方法所得到的结果只是趋势线真实的延迟性和平滑性的一种充分反映的结果，我们只能说通过这些衡量方法来表示延迟性和平滑性的相对变化，而不是绝对的值的大小。

图表 11: KR 和 LLKR 趋势线的延迟性受延迟长度的影响



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 12: KR 和 LLKR 趋势线的平滑度受差分阶数的影响

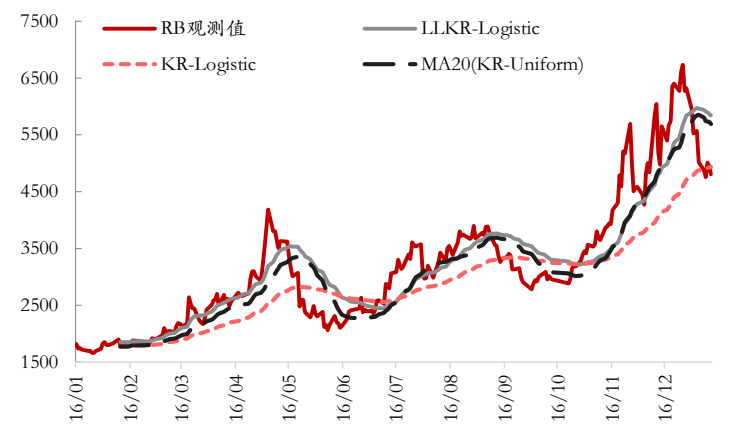


资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

除了 Gaussian 核之外我们也同样尝试采用其他一些如图表 6 所列出的较常用的核函数，以观察 KR 与 LLKR 在螺纹钢主力期货合约上面的趋势线，并对比得到可能在延迟性和

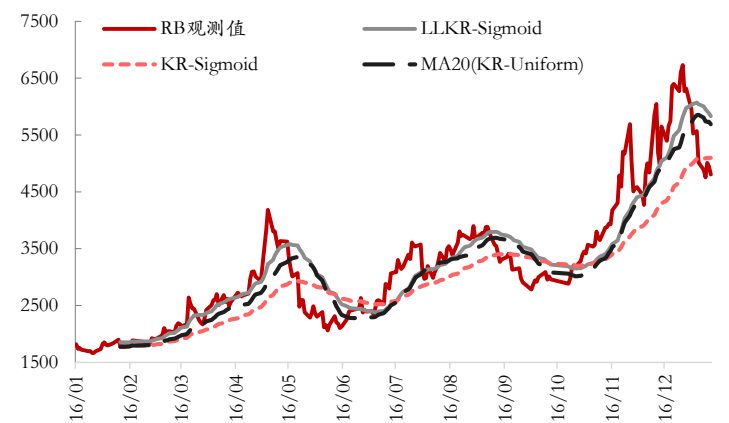
平滑性都相对出色的趋势线。

图表 13: 用 Logistic 核的 KR 与 LLKR 的趋势线



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图表 15: 用 Sigmoid 核的 KR 与 LLKR 的趋势线



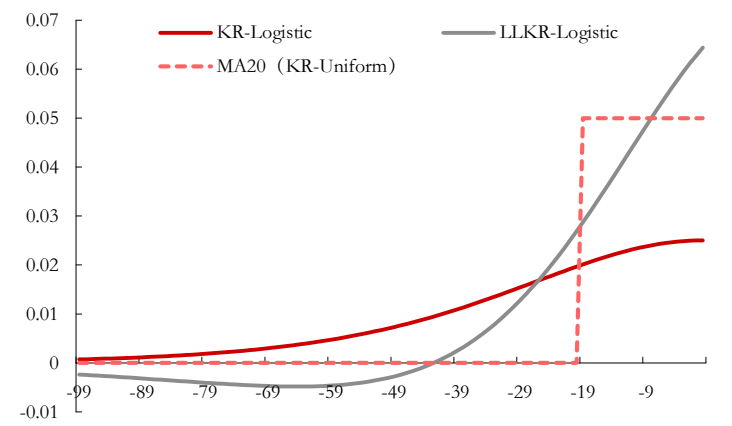
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图表 17: 用 Uniform 核的 KR 与 LLKR 的趋势线



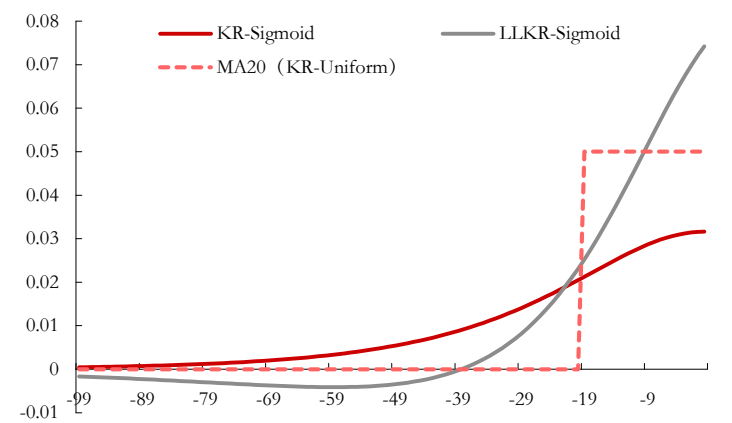
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图表 14: 用 Logistic 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



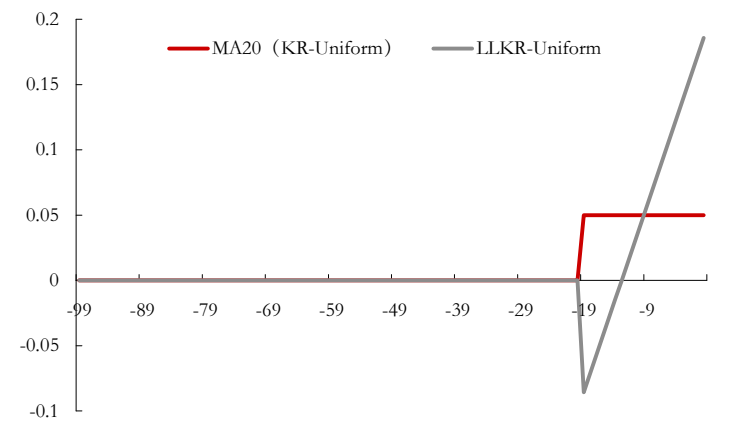
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 16: 用 Sigmoid 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



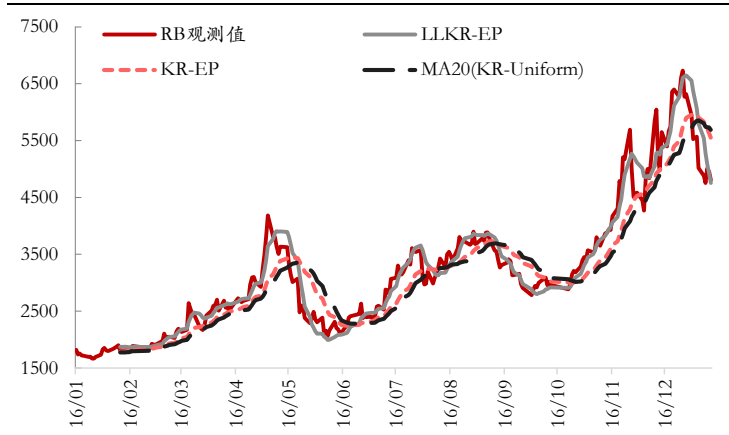
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 18: 用 Uniform 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图 19: 用 Epanechnikov 核的 KR 与 LLKR 的趋势线



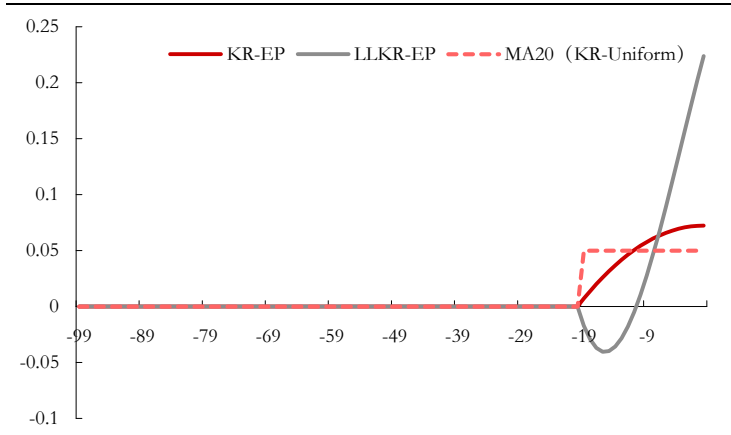
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图 21: 用 Quartic 核的 KR 与 LLKR 的趋势线



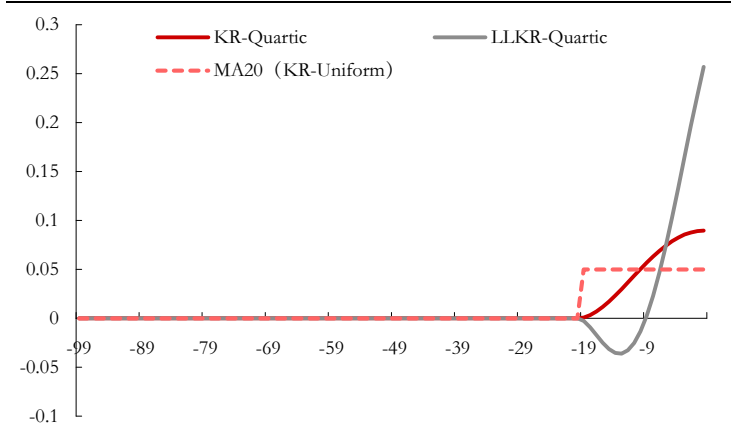
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图 20: 用 Epanechnikov 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图 22: 用 Quartic 核的 KR 与 LLKR 的权重分布



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图 23: 采用不同核函数的 KR 与 LLKR 所得趋势线的延迟性和平滑性的量化结果

核函数		延迟性 (出现最小均方误差的延迟长度)				平滑性 (一阶差分序列符号变动次数)				相对于 MA20 的 综合表现	
		原始 序列	趋势线			原始 序列	趋势线				
			KR	LLKR	MA20		KR	LLKR	MA20	KR	LLKR
IIR	Gaussian	0	13	5	9	958	98	144	143	2.13	<i>1.56</i>
	Logistic	0	19	10	9	958	81	92	143	2.68	<i>1.75</i>
	Sigmoid	0	16	8	9	958	88	120	143	2.39	<i>1.73</i>
FIR	Mean	0	9	2	9	958	144	254	143	2.01	2.00
	Quartic	0	5	2	9	958	144	276	143	<i>1.56</i>	2.15
	Epanechnikov	0	7	2	9	958	118	258	143	<i>1.60</i>	2.03

资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图 13-22 展示了不同形式的核函数 (窗口长度都选择 20 日) 在 KR 滤波和 LLKR 滤波

下所分别得到的趋势线以及根据各自的核函数和回归方法所计算出来的包括当前时点在内的左侧 100 个数据的权重分布，并且各自都与 20 日的移动平均线做对比。结合图表 23 对延迟性和平滑性的量化结果来看，我们发现 LLKR 最大的特点是对于不同的核函数基本上都能够通过该方法获得延迟性较低的趋势线，而 KR 最大的特点择时基本上都能够得到相对较平滑的趋势线。对于 IIR 型的核函数来说，由于不含示性函数，所以其对应的权重分布就相对来说范围更广，因此能够得到更加平滑的趋势线，但缺点则是大大增加了其延迟性；而对于 FIR 型的核函数来说，它们含有示性函数，权重分布的范围就是 20 日，LLKR 使得更近日期的权重更高一些，这样就使得权重分布变得更偏斜，而总面积是固定为 1 的，因此较远日期的权重就成为了负值，这就使得延迟性降低了许多，但却以降低了平滑性为代价。图表 23 中最后两列给出了不严格的综合判断结果，是每种趋势线的延迟长度与移动均线延迟长度的比值（数值越小延迟越低），再加上对一阶差分序列的符合变动次数与移动均线的比值（数值越小平滑性越好），而这两个比值之和可以和 2 来进行比较（因为移动平均线得到的结果就是 $1+1=2$ ）。根据这个结果整体来看，如果和移动平均线做对比的话，如果以降低延迟性为主的话，可以选择 IIR 型核函数的 LLKR 滤波来做到这点，而如果以提高平滑性为侧重的话，则可以选择 FIR 型核函数的 KR 滤波来做到。

3.2、移动平均类趋势线

以上是对基于回归方法得到的趋势线的延迟性和平滑性的讨论，这里我们还要对经典的移动平均类趋势线（主要是指指数移动平均 EMA、基于 EMA 发展而来的低延迟趋势线 LLT）也作出其延迟性和平滑性的量化对比，其中窗口长度也同样地选取为 20 日，量化的结果如图表 24 所示。

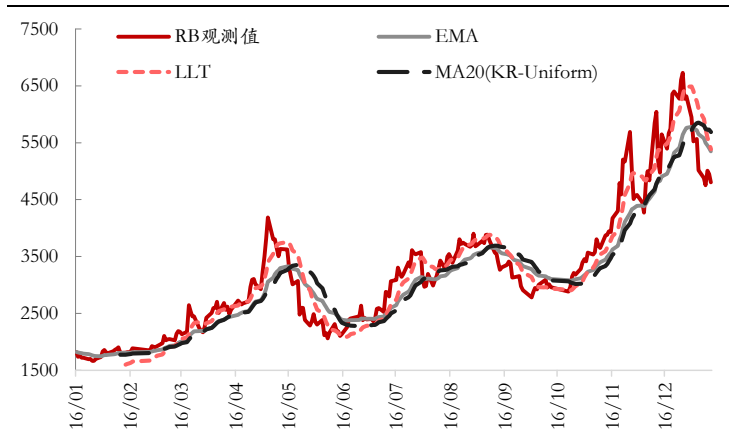
图表 24：采用不同指数移动平均类趋势线所得趋势线的延迟性和平滑性的量化结果

趋势线	延迟性 (出现最小均方误差的延迟长度)	平滑性 (一阶差分序列符号变动次数)	相对于 MA20 的 综合表现
EMA	6	194	2.02
LLT	3	182	1.61
MA20	9	143	2.00

资料来源：Wind，东证衍生品研究院

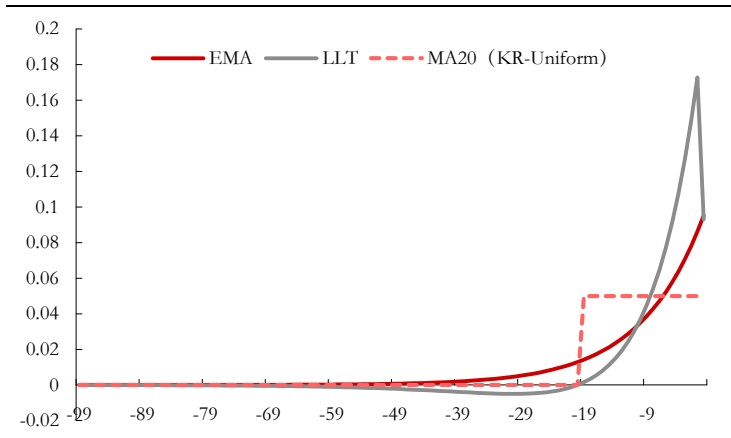
图表 25 和 26 分别展示了这类传统的移动平均类趋势线及各自的权重分布，并结合图表 24 中给出的延迟性和平滑性的量化结果来看，EMA 和 LLT 均明显地将较近期的权重赋予较高的值，而较远期的权重则赋更低的值，因此趋势线的延迟性表现均优于相应窗口长度的移动平均线，但是在平滑度方面却都不如最简单的移动平均线。

图表 25: 移动平均类趋势线



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院 (注: 2016.01.01-2016.12.31)

图表 26: 移动平均类趋势线的权重分布



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

4、基于切线方向的交易策略

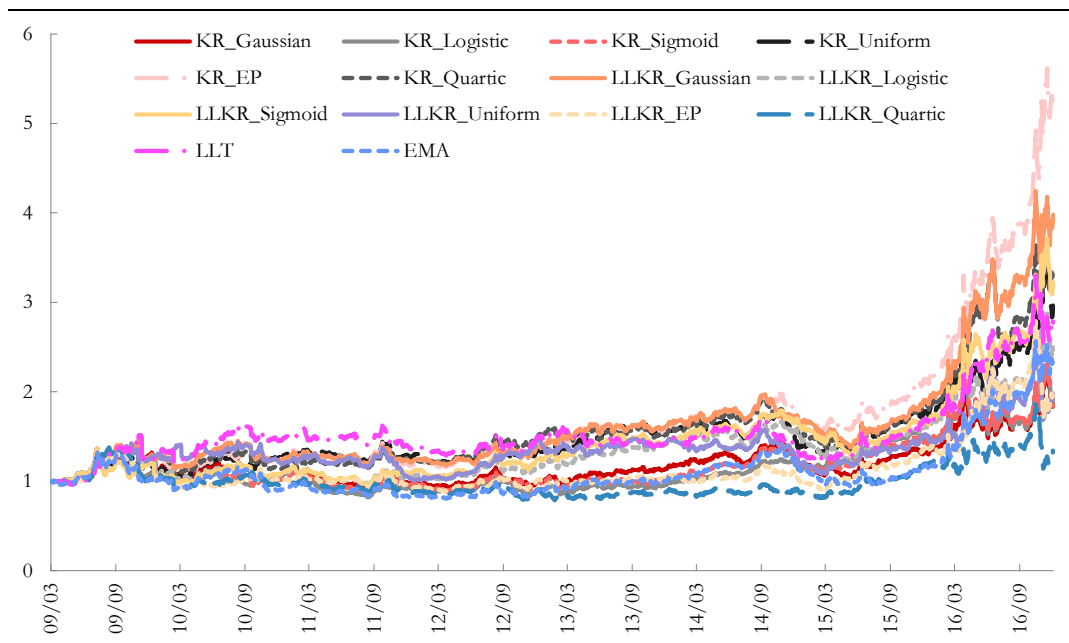
我们在本篇报告中着重以找出合适的趋势线为主要目的, 前文中虽然已对不同的趋势线的延迟性和平滑性做了量化对比 (如图表 23、24 所示), 但是仍然需要从实际的回测结果中才能判断趋势线的延迟性及平滑性对收益情况的影响, 以及什么样的趋势线才是“最优”的。为了简化问题, 我们这里统一采用由切线方向决定开仓方向的方法来构建交易策略, 具体的回测设置如下 (以螺纹钢主力合约为例):

1. 当趋势线的切线方向 (一阶导数的符号) 为正时, 说明此时具有向上的趋势, 应开仓做多; 相反地, 若切线方向为负时判断趋势向下, 就应该开仓做空
2. 持有多仓时出现做空信号, 就先平仓再开空仓; 持有空仓时出现做多信号也同样先平仓再反向开仓。全部交易行为是在信号发生之后的次日进行
3. 交易信号及开平仓的价格全部采用开盘价
4. 回测区间为 2009 年 3 月 27 日至 2016 年 12 月 31 日
5. 判断交易信号 (计算趋势线) 时采用经收益率调整过的主力合约序列, 开仓和平仓交易时则采用实际的主力合约数据, 并考虑移仓换月时的成本影响
6. 1 倍杠杆 (保证金比例 10%, 资金使用占比 10%), 复利投资, 手续费万分之五, 滑点数为 3 (3 个最小价格变动单位)
7. 为了直观反映策略本身的有效程度, 暂不考虑止损

4.1、不同形式的趋势线

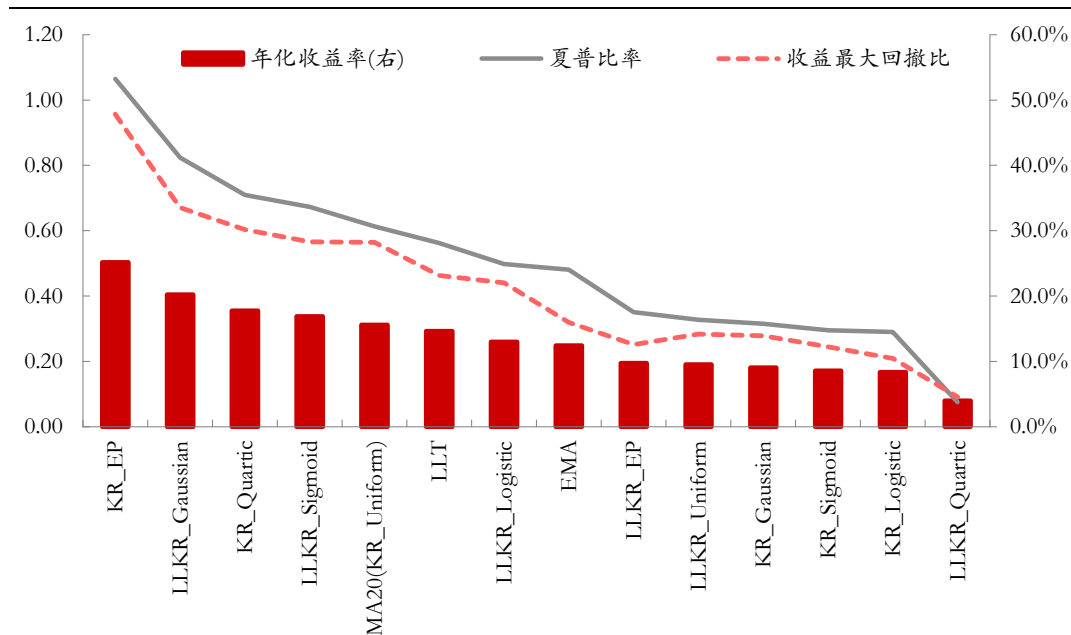
由于我们这里所使用的策略是需要判定趋势线的切线方向, 因此如果趋势线不够平滑的话, 其一阶导数就会变得比较杂乱, 使得开仓信号就会很多。我们已经展示了 14 种具有不同平滑性的趋势线, 而平滑性又直接影响开仓信号的多与少 (平滑度低与高), 但是对于策略收益的影响, 则需要需通过上述回测的方式来判断。

图表 27：不同趋势线的切线方向交易策略回测结果的净值表现



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 28：回测年化收益率从大到小排序的不同趋势线



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 29：不同趋势线的回测指标统计结果

趋势线	交易次数	年化收益率	年化波动率	夏普比率	最大回撤率	收益最大回撤比	胜率	赔率
KR_EP	119	25.2%	21.4%	1.06	-26.3%	0.96	36.1%	3.86

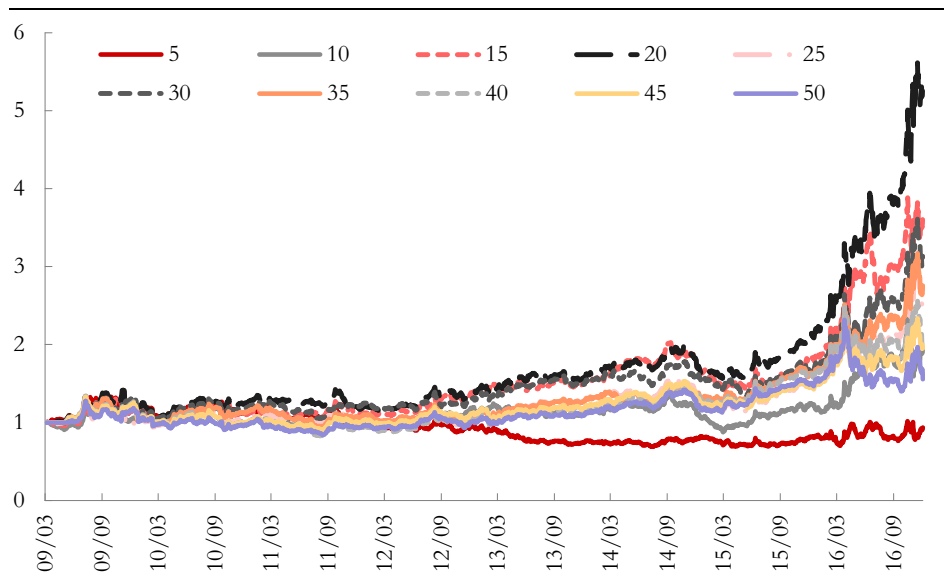
LLKR_Gaussian	145	20.2%	21.6%	0.82	-30.1%	0.67	34.5%	3.35
KR_Quartic	145	17.8%	21.7%	0.71	-29.5%	0.60	33.8%	3.23
LLKR_Sigmoid	121	16.9%	21.5%	0.67	-29.8%	0.57	27.3%	4.65
KR_Uniform	145	15.6%	21.5%	0.61	-27.6%	0.56	36.6%	3.00
LLT	183	14.6%	21.8%	0.56	-31.6%	0.46	35.0%	2.61
LLKR_log	93	13.0%	21.2%	0.50	-29.4%	0.44	26.9%	4.48
EMA	196	12.4%	20.8%	0.48	-38.9%	0.32	26.0%	3.79
LLKR_EP	259	9.7%	20.9%	0.35	-38.7%	0.25	32.1%	2.48
LLKR_Uniform	255	9.5%	21.8%	0.33	-33.6%	0.28	34.9%	2.21
KR_Gaussian	99	9.0%	21.1%	0.32	-32.5%	0.28	25.3%	4.19
KR_Sigmoid	89	8.6%	20.9%	0.30	-35.0%	0.24	28.1%	3.67
KR_Logistic	82	8.4%	20.6%	0.29	-40.0%	0.21	22.0%	5.25
LLKR_Quartic	277	4.0%	21.1%	0.07	-43.4%	0.09	31.8%	2.22

资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 27-29 分别展示了这 14 种趋势线（窗口长度选择 20 日）在简单切线方向交易策略下回测的结果，具有不同形式的趋势线的回测结果之间的区别还是挺明显的。我们发现其中回测结果表现较好的一些趋势线，恰好基本上都是在图表 23、24 当中的量化结果相比移动均线表现更优的趋势线（粗体加斜体区别出来的，但如前文所提，这种量化结果其实只是一种侧面反映延迟与平衡性的简化版指标），也就是说不仅延迟性能够影响到策略收益，而且平滑性的高低也对策略收益有较明显的作用，所以需要综合考虑两个方面以及实际的回测结果来判断趋势线孰“优”孰“劣”。

4.2、趋势线的窗口长度

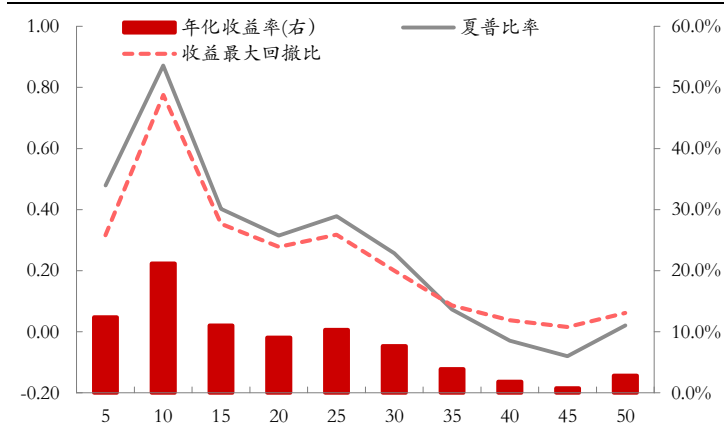
图表 30：不同窗口长度的 Epachenikov 核 KR 的回测结果的净值表现



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

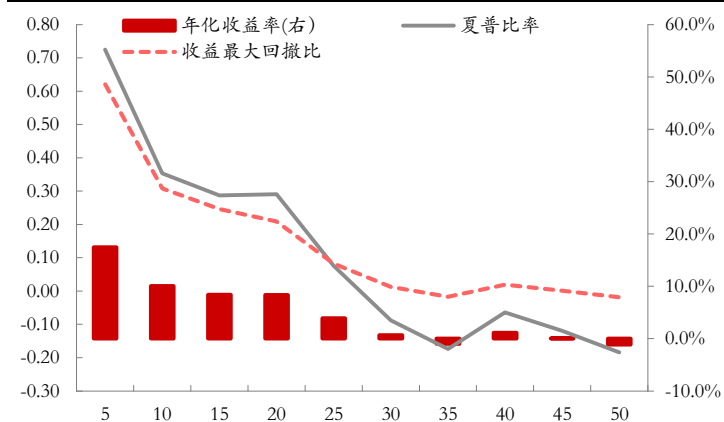
我们之前的计算以及回测结果都是固定了 20 日的窗口长度，很明显地，窗口长度决定了计算时所能涵盖的数据范围，范围越大则覆盖数据量越多使得趋势线的平滑性升高但却也提高了它的延迟程度，而如果范围越小则能够降低延迟却也同时损失了平滑性，因此窗口长度也是个很重要的参数。图表 30 展示了以 Epachenikov 核 KR 方法所得的趋势线在不同的窗口长度下回测的结果，我们发现的确对于某种趋势线来说存在着可能与原始序列相匹配的最优窗口长度。于是，我们计算出不同的趋势线在改变窗口长度时的回测收益的变化（窗口长度从 5 到 50，间隔长度为 5），并找出了各自的最优的窗口长度，如图表 31-44。

图表 31: Gaussian 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



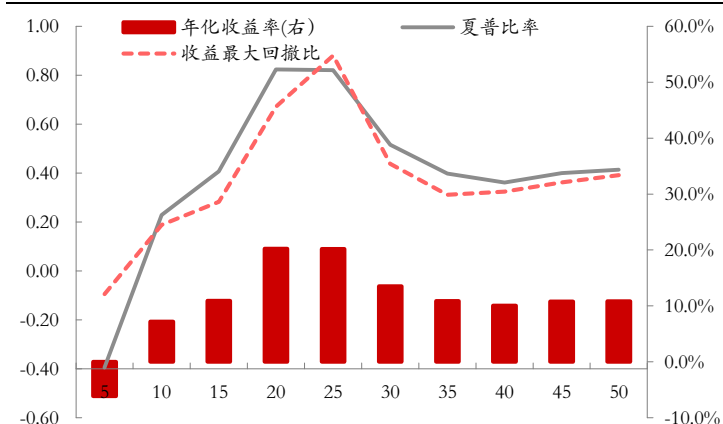
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 33: Logistic 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



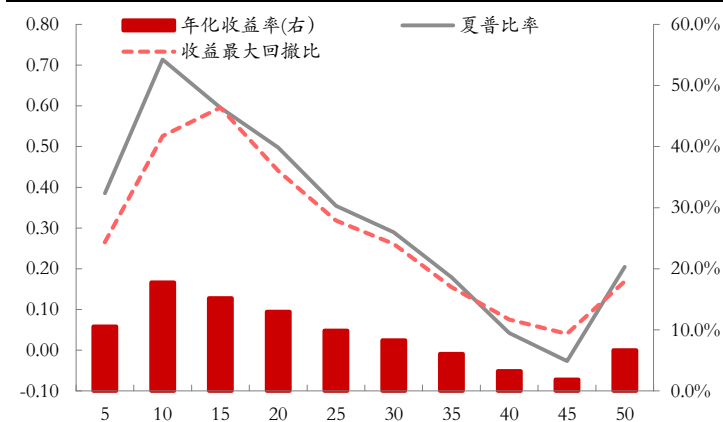
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 32: Gaussian 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



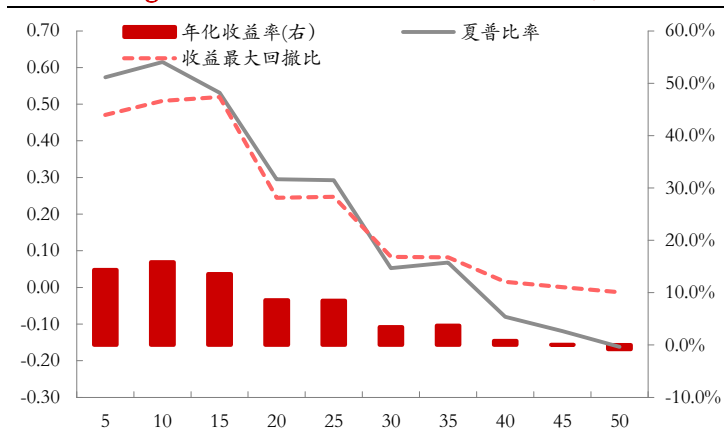
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 34: Logistic 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



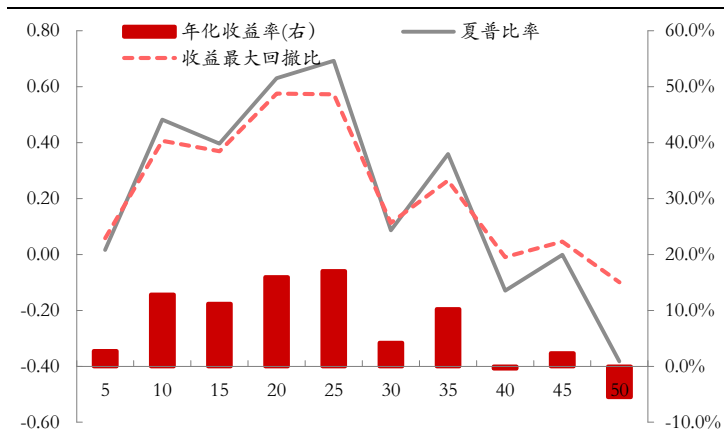
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 35: Sigmoid 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



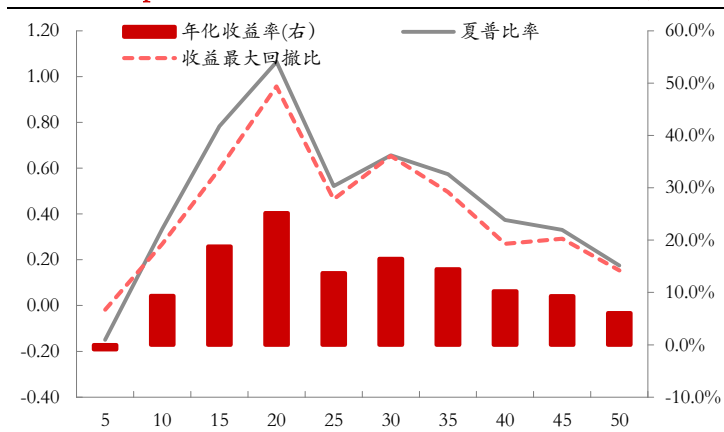
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 37: Uniform 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



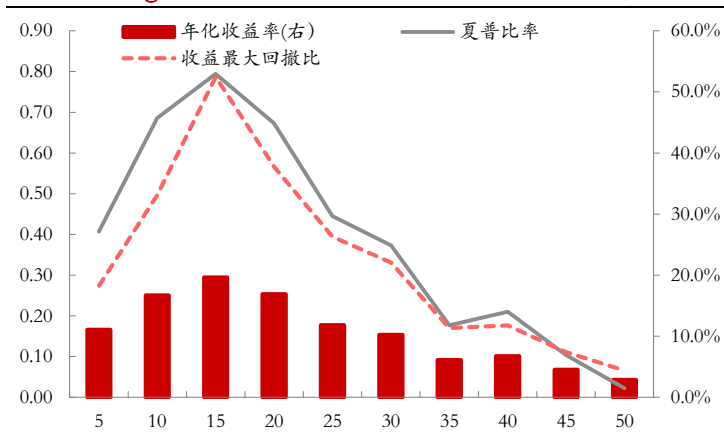
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 39: Epanechnikov 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



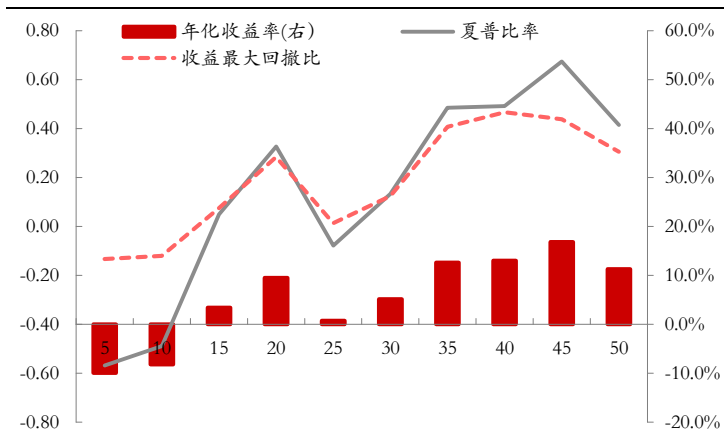
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 36: Sigmoid 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



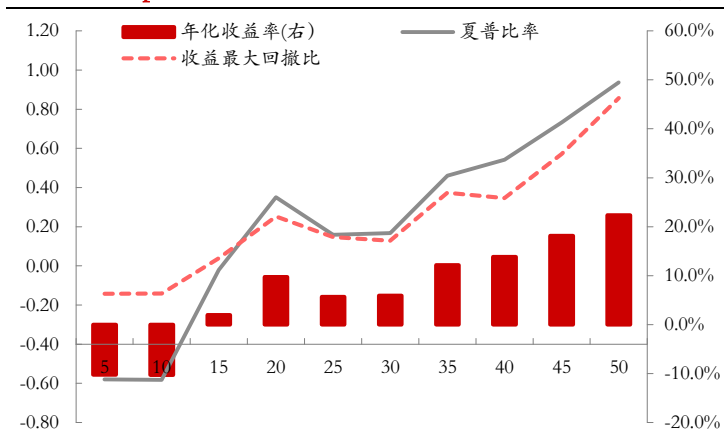
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 38: Uniform 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



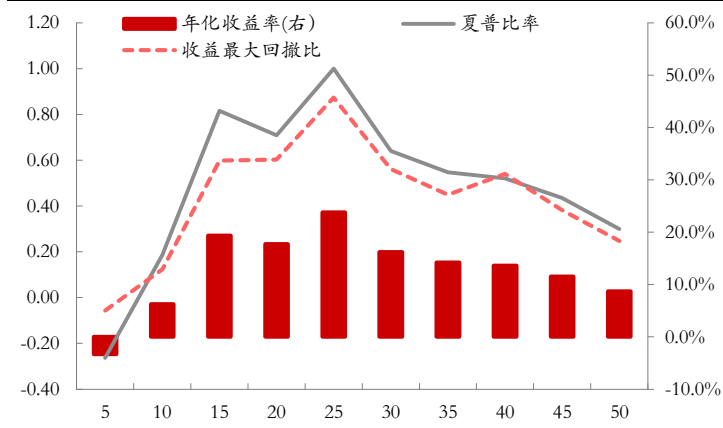
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 40: Epanechnikov 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



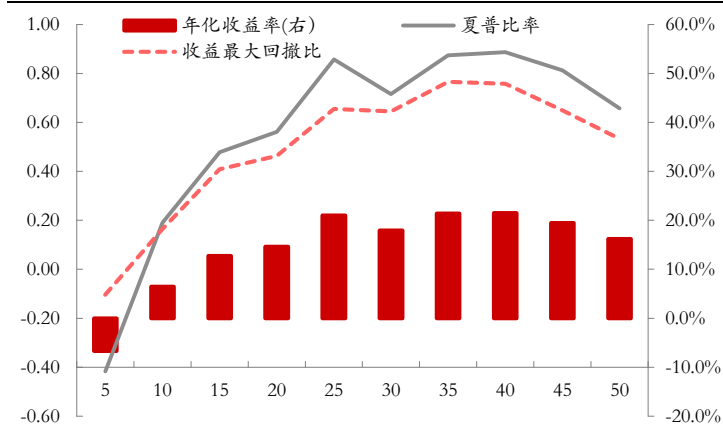
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 41: Quartic 核 KR 回测结果受窗口长度的影响



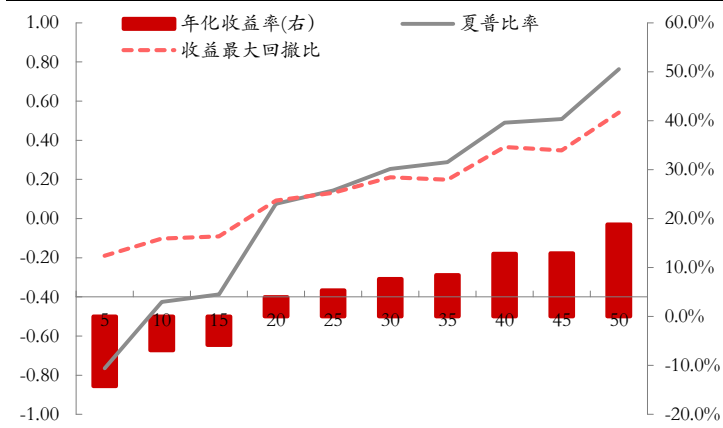
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 43: LLT 回测结果受窗口长度的影响



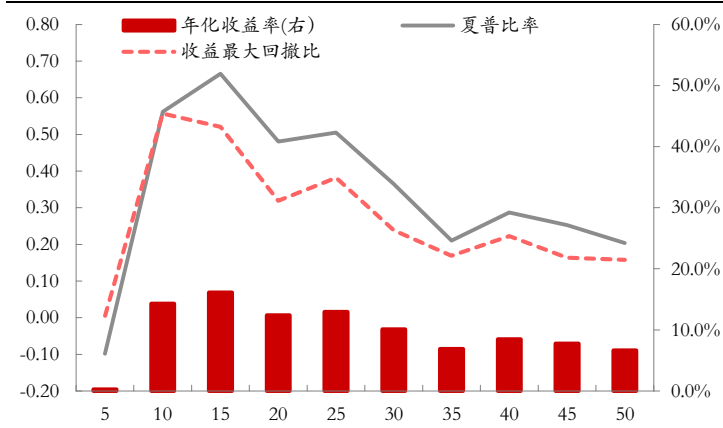
资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 42: Quartic 核 LLKR 回测结果受窗口长度的影响



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 44: EMA 回测结果受窗口长度的影响



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 45: 不同趋势线在各自最优窗口长度下的回测指标统计结果

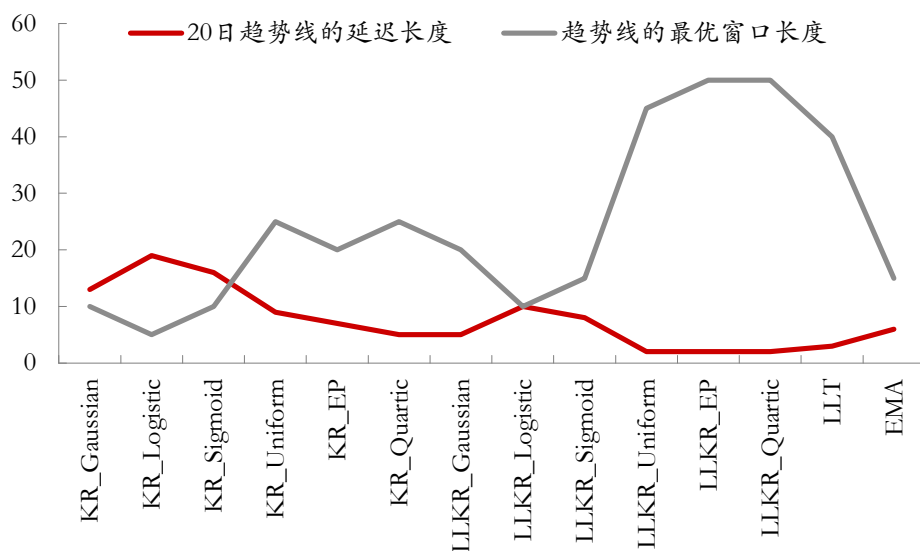
趋势线	最优窗口长度	延迟性	平滑性	交易次数	年化收益率	年化波动率	最大回撤率	夏普比率	收益最大回撤比	胜率	赔率
KR_Gaussian	10	7	134	135	21.2%	21.6%	-27.3%	0.87	0.78	32.6%	4.43
KR_Logistic	5	5	158	159	17.5%	20.8%	-28.1%	0.72	0.62	32.1%	3.83
KR_Sigmoid	10	8	130	131	15.8%	21.8%	-31.1%	0.62	0.51	29.0%	4.53
KR_Uniform	25	12	135	134	16.8%	21.1%	-29.8%	0.68	0.56	37.3%	3.70
KR_EP	20	7	118	119	25.2%	21.4%	-26.3%	1.06	0.96	36.1%	4.58
KR_Quartic	25	7	113	114	23.8%	21.4%	-27.3%	1.00	0.87	38.6%	3.97
LLKR_Gaussian	20	5	144	145	20.2%	21.6%	-30.1%	0.82	0.67	34.5%	3.91
LLKR_Logistic	10	5	171	172	17.8%	21.6%	-33.8%	0.71	0.53	32.0%	3.87
LLKR_Sigmoid	15	6	145	146	19.7%	21.7%	-25.0%	0.79	0.79	30.8%	4.59

LLKR_Uniform	45	6	137	138	16.8%	21.4%	-38.5%	0.67	0.44	29.7%	4.54
LLKR_EP	50	6	125	126	22.4%	21.3%	-26.1%	0.94	0.86	31.8%	5.16
LLKR_Quartic	50	5	143	144	18.8%	21.5%	-34.7%	0.76	0.54	33.3%	4.04
LLT	40	7	113	114	21.5%	21.5%	-28.4%	0.89	0.76	32.5%	4.71
EMA	15	5	224	226	16.1%	20.6%	-31.0%	0.67	0.52	27.9%	4.23

资料来源：Wind，东证衍生品研究院

我们从图表 45 中发现不同的趋势线在选取各自的最优窗口长度之后，其延迟长度基本稳定在 5-12 之间，而且通过一阶差分符号变动次数（在不考虑止损时的该策略条件下实际约等于回测的交易次数）所衡量的平滑性也大都稳定在 110-160 之间，所以我们认为不管采用哪种形式的趋势线，其表现最好时（选取最优窗口长度）都基本刻画出了一条比较相近的“理想”趋势线，而该“理想”趋势线应该是由期货品种本身所决定的。除此之外，如图表 46 所示，我们对比了不同趋势线在窗口长度为 20 日时的延迟长度（表征了各自的延迟能力），以及各自的最优窗口长度，二者呈现出相反的关系，即趋势线本身能够得到较低延迟的，其最优的窗口长度就会较长，这一点也从侧面反映了“理想”趋势线的延迟性基本上应是统一和确定的。

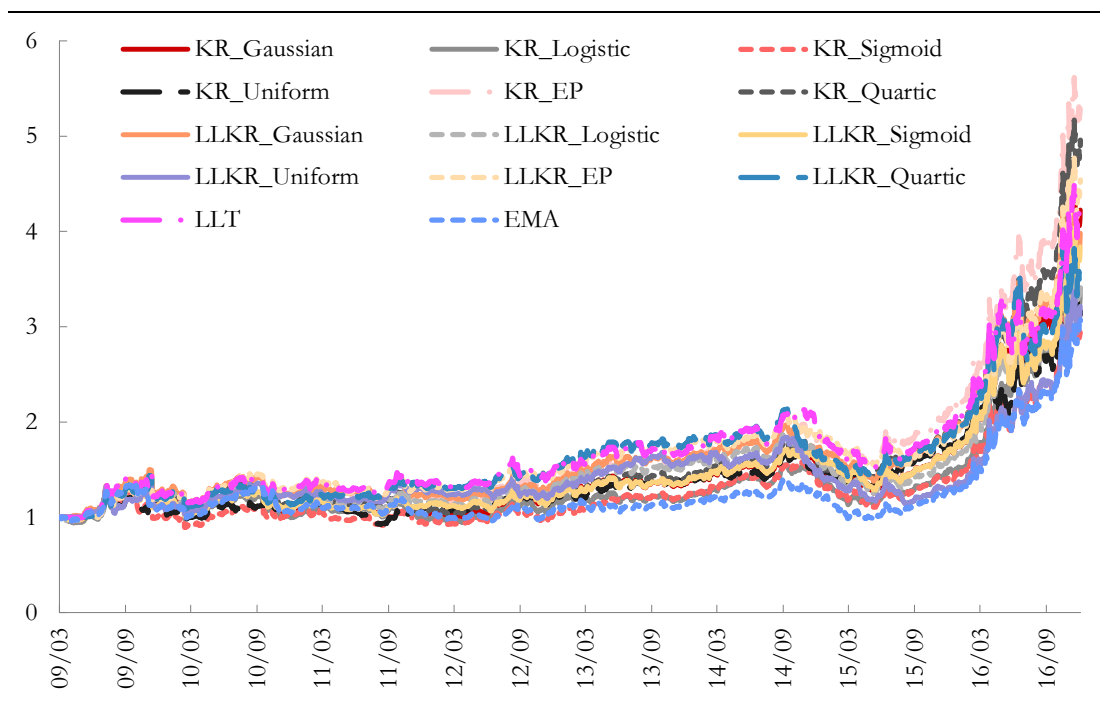
图表 46：窗口长度为 20 日时的延迟长度与最优窗口长度之间的对比



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

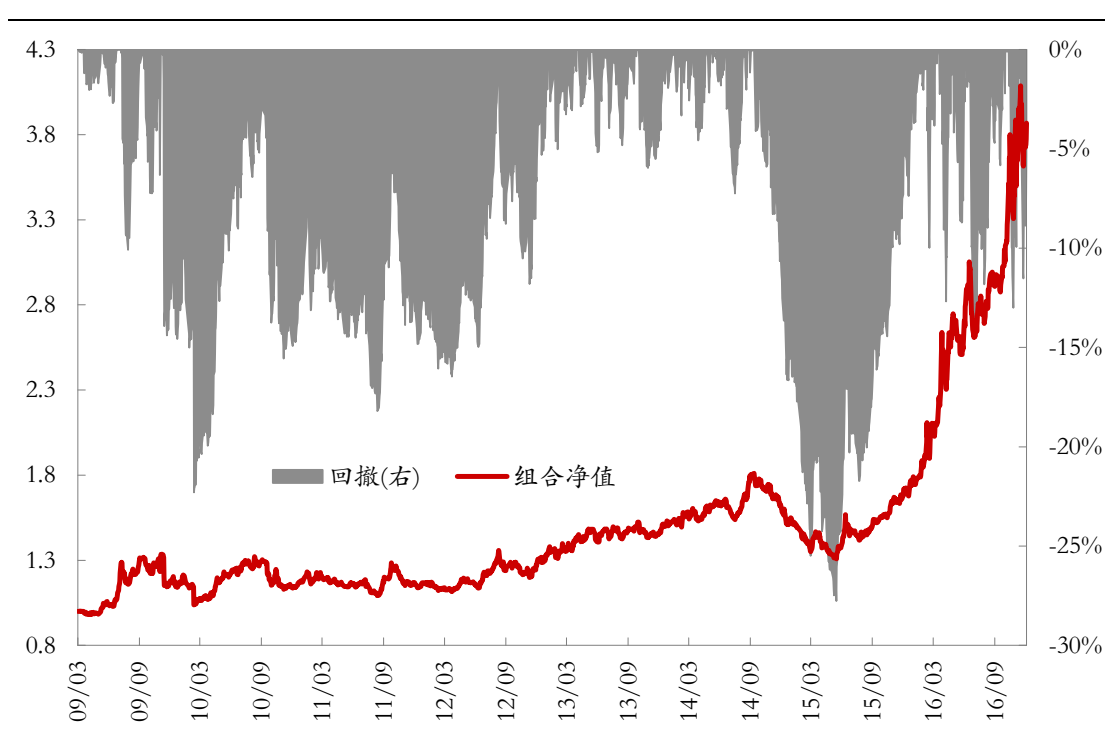
我们又将不同趋势线在各自最优窗口长度下的回测结果进行了等权组合，其年化收益率为 19.76%，夏普比率 0.88，收益最大回撤比为 0.71。但组合的表现并没有其中表现最好的趋势线（KR_EP）更优，这是由于不同趋势线的本质仍是依据趋势变化进行交易的，因此各趋势线之间的相关性较高，这就导致组合的收益表现并没有较明显改善。

图表 47: 不同趋势线各自最优窗口长度回测结果的净值表现



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 48: 不同趋势线各自最优窗口长度所构建的等权组合的净值表现

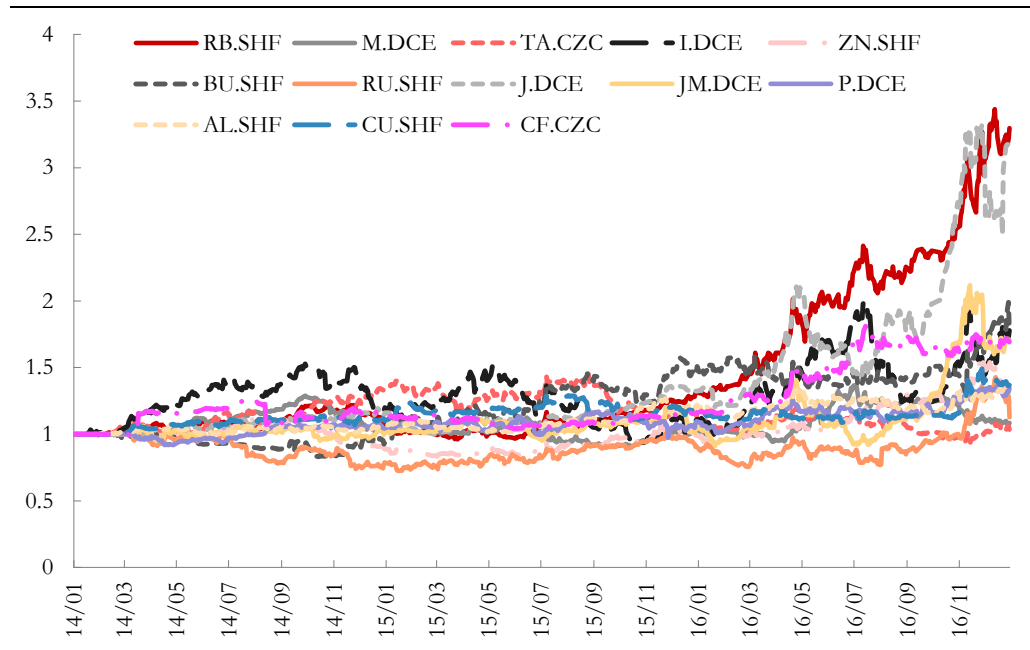


资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

4.3、不同品种的趋势线

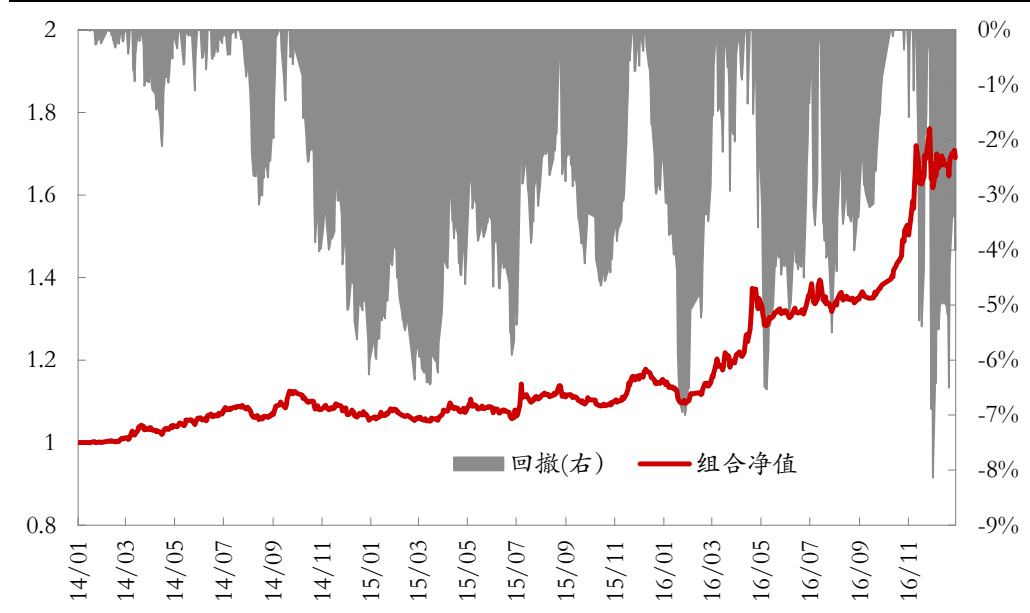
除了螺纹钢我们也对其他品种做了回测。为了简单对比，这里仍然以 KR_EP 方法所得的趋势线为例（实际上不同品种都会有各自表现最好的趋势线），并得到不同品种在该趋势线上的最优窗口长度。

图表 49：不同品种各自最优窗口长度的 KR_EP 趋势线回测结果的净值表现



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

图表 50：不同品种各自最优窗口长度的 KR_EP 趋势线所构建的等权组合的净值表现



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

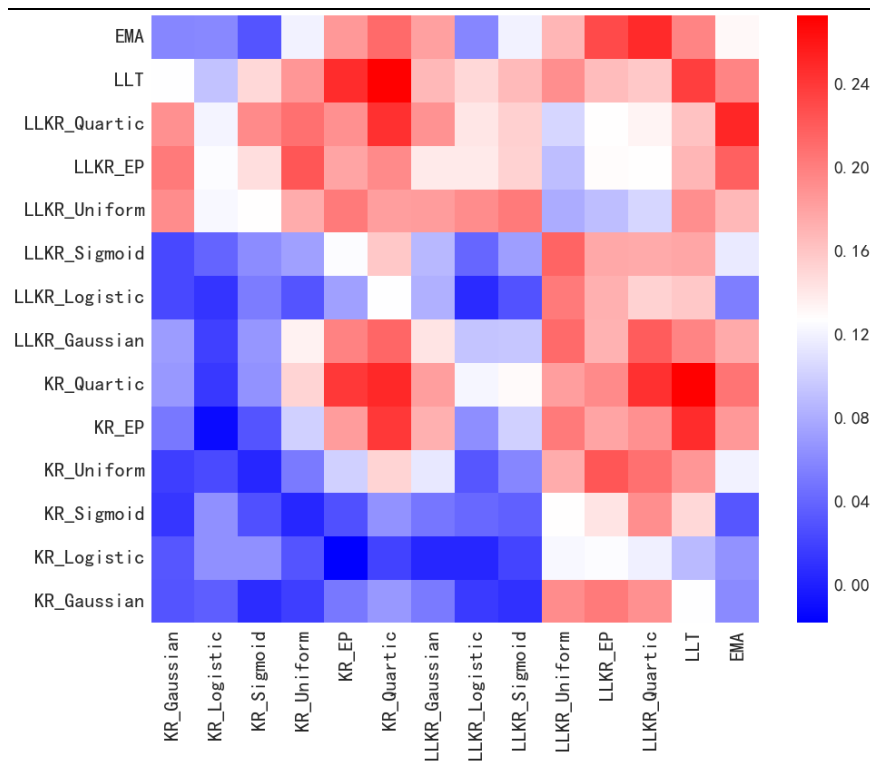
同样地，我们也构建了不同品种的等权组合，每一个品种都采用了其最优的窗口长度。由于这些品种上市日期有先后，我们就统一采用 2014 年初至 2016 年底之间的样本数据进行回测。该组合的回测表现为，年化收益率 19.78%，夏普比率 1.43，收益率最大回撤比 2.43。

5、交易策略的拓展

5.1、复合趋势线

前文中我们曾分析得出这样的结论，对于采用 IIR 型核函数的 KR 方法来说，其特点是能够得到较平滑的趋势线，但缺点是延迟性较高；而对于采用 FIR 型核函数的 LLKR 方法来说，其特点是得到的趋势线延迟性较低，却具有较差的平滑性。LLKR 方法因为将临近区域内的数据点的权重拉得很高，所以使得延迟长度很低，比如 20 日的 LLKR_EP 趋势线，其延迟长度仅仅为 2，LLT 趋势线的延迟性也同样很低。所以，我们猜想如果将两种趋势线复合在一起考虑的话，得到的复合趋势线（趋势线的趋势线），可能就能在一定程度上兼具低延迟和高平滑的特点。具体的方法为，先把原始的价格信号序列计算出一种趋势线 trend1，然后再把 trend1 序列计算出其另一种趋势线 trend2，而 trend2 就是最终的复合趋势线。我们首先固定窗口长度为 20 日，计算出 $14 \times 14 = 196$ 种趋势线组合（因为有先后顺序）的回测收益情况，以观察结果受趋势线本身形式的影响。

图表 51：不同复合趋势线组合回测的年化收益率的热力图

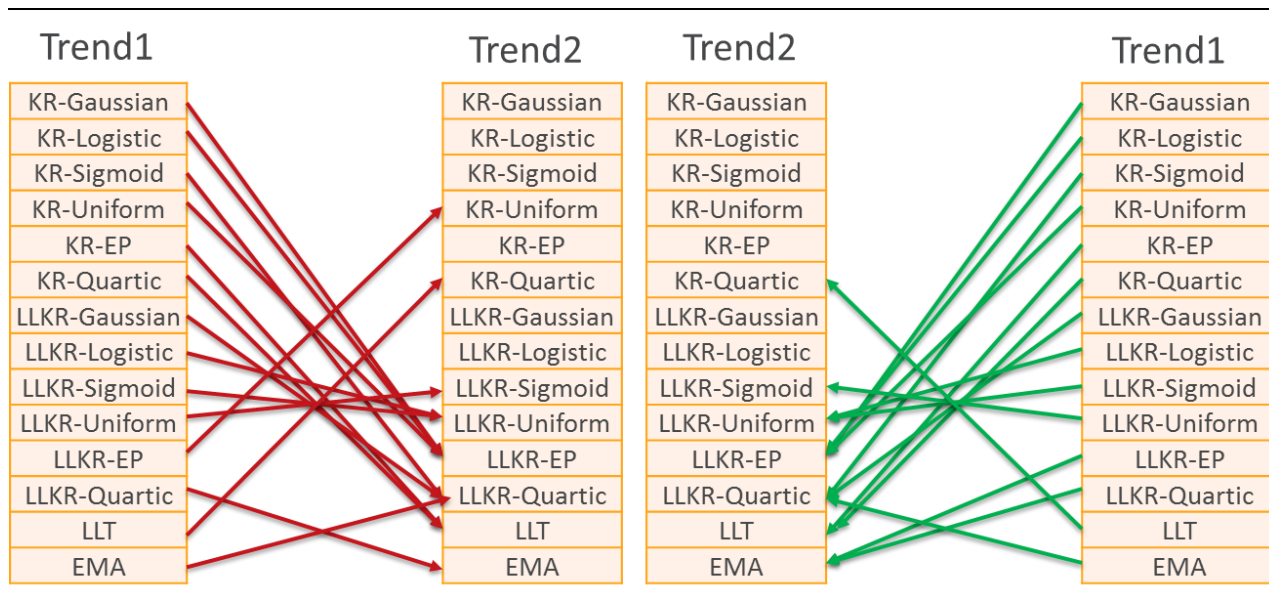


资料来源：Wind，东证衍生品研究院

从图表 51 所展示的复合趋势线组合年化收益率热力图来看，该热力图基本上呈现对称

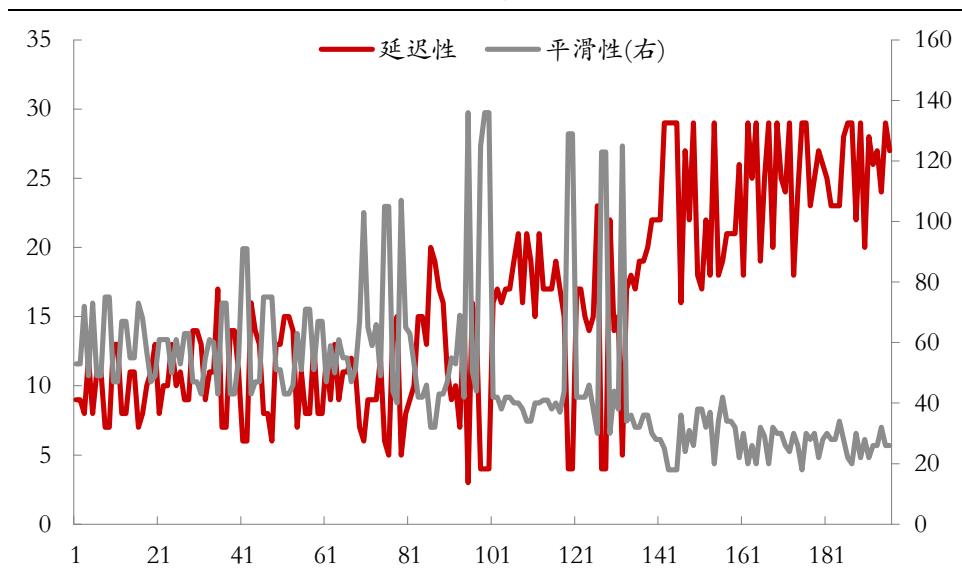
的形式，也就是说组合的年化收益率受两条趋势线先后计算顺序的影响较小。所有的组合中年化收益率最高的是 KR_Quartic 与 LLT 之间的组合，为 27.29%。如果我们将每种趋势线所对应的最大年化收益的趋势线连接起来的话，就得到图表 52。从结果上来看，年化收益率表现较好的复合组合中往往含有低延迟的趋势线，比如 LLKR 方法以及 LLT 计算出来的趋势线。

图表 52：窗口长度为 20 日时不同趋势线所对应的能够获得最大收益的趋势线组合



资料来源：东证衍生品研究院

图表 53：不同复合趋势线组合延迟性与平滑性的量化结果



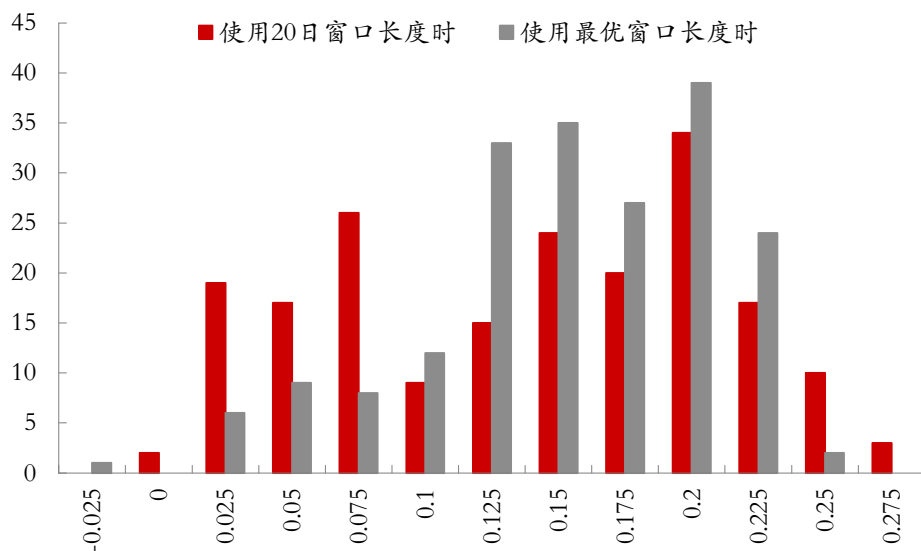
资料来源：Wind，东证衍生品研究院

如果我们把不同组合按其回测结果的年化收益率从大到小排列，再计算各自对应的延迟性和平滑性的量化结果，结果发现排名较高的组合的延迟性相对较低，平滑性则处于相

对适中的水平。也就是说，对于复合趋势线来说，影响其回测收益的最大影响因素就应该是组合趋势线的延迟程度了。

最后，我们也计算了当每种趋势线在计算时使用最优窗口长度时的不同复合趋势线组合的回测结果，这两种采用固定窗口长度及最优窗口长度的方法所得的 196 种组合的年化收益率的统计分布如图表 54 所示。整体上，当使用最优窗口长度时，大多数的复合趋势线组合的表现都比采用固定窗口为 20 日时所得的收益高。

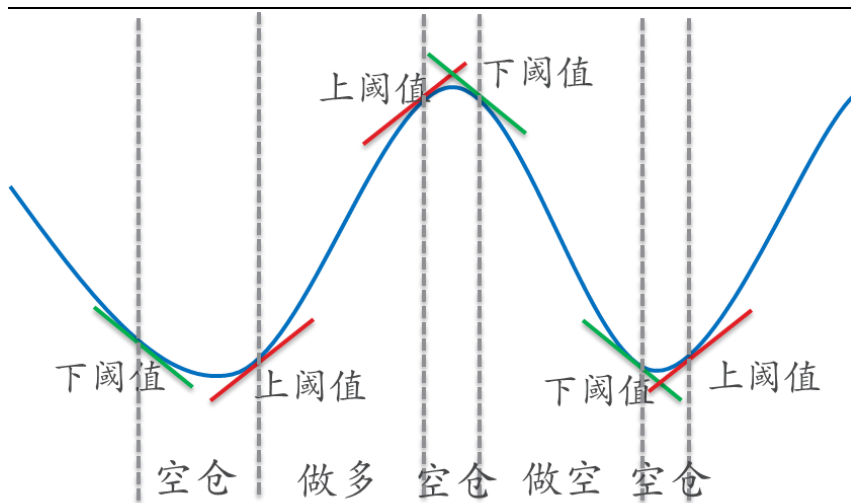
图表 54：使用固定窗口长度和最优窗口长度时组合的年化收益率统计分布



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

5.2、趋势线切线阈值

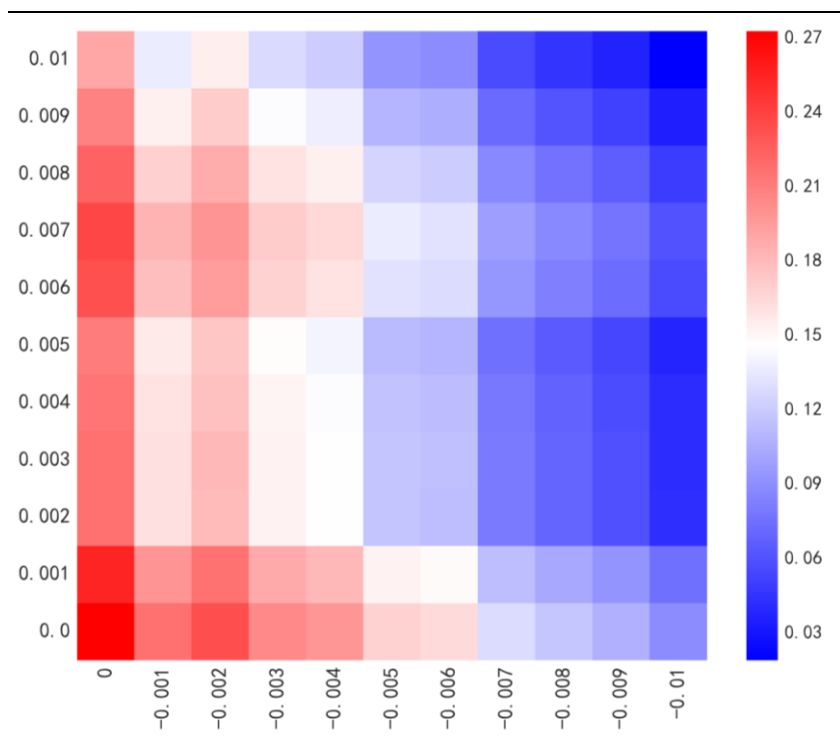
图表 55：依据趋势线切线阈值的第一种交易策略



资料来源：东证衍生品研究院

因为之前的策略是依据切线的方向而判断交易的方向，所以在趋势线的顶部和底部才会产生交易方向的变化。但是为了能够避免一些假的信号，比如在原始信号序列一阶导数从正值变为0时，趋势线并未开始大转向，而是仅仅在顶点处有一个小波动，那么可能在此时并不适合做空，所以我们就采用空仓的办法避免假信号造成的波动，一旦趋势明显了才开始进场。图表 56 展示了不同大小的切线阈值（一阶导数）组合的年化收益率的表现，其中横轴代表下边界（down），纵轴代表上边界（up），表示一阶导数上边界之上的做多，一阶导数在下边界之下的做空，在两者之间则空仓。从结果上来看，上下阈值越大，由于交易次数过少，回测的收益也越低，而在某些组合下调整做多的阈值也能够获得较为不错的回测收益。

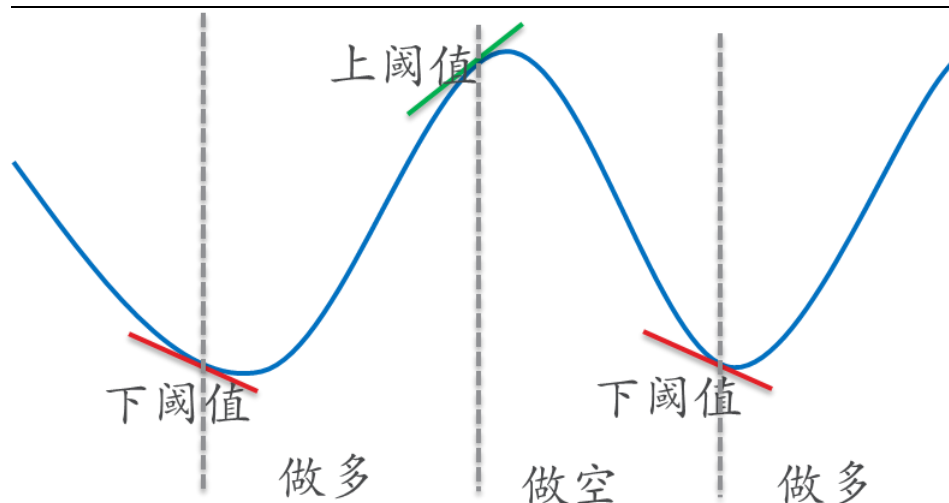
图表 56：第一种交易策略的不同上下阈值组合的回测年化收益率热力图



资料来源：Wind，东证衍生品研究院

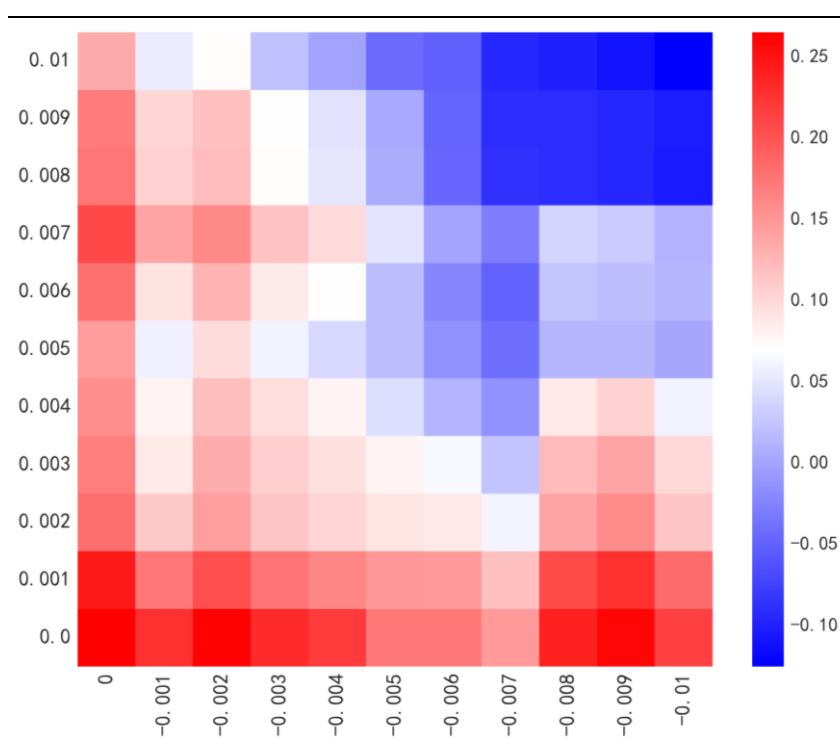
另外我们也根据第一种交易策略进行适当的调整得到了第二种交易策略，出发点是考虑到第一种交易方式会增加交易的延迟性，因为它需要等待趋势确立了（超过阈值）才开始入场。那么我们可以设计第二种交易策略，即略去空仓的时间，而在趋势开始转变的时候提前入场（如图表 57 所示），并开与之前仓位相反的仓位。这种策略尽管可能在某些连续的上行趋势和下行趋势转换的时候能降低入场时机的延迟性，但是其缺点是还是会受到假信号的影响，因为不是所有的上行趋势结束之后就一定是下行趋势。图表 58 也同样展示了不同的切线阈值组合回测的年化收益率表现。虽然整体上回测收益表现不如第一种交易策略，但仍然有些组合能够获得不错的回测收益，这些组合受下边界阈值的影响较大，这可能和第一种交易策略的结果是类似的，因为下边界的位置实际决定了开多仓的时机。

图表 57: 依据趋势线切线阈值的第二种交易策略



资料来源: Wind, 东证衍生品研究院

图表 58: 第二种交易策略的不同上下阈值组合的回测年化收益率热力图



资料来源: 东证衍生品研究院

6、总结

实际上对于市场中的大多具有非平稳特征的价格序列来说,其本质就是不同周期的波动的叠加,当我们以短线的视角观察这不同周期的波动时,就会发现原来长周期的波动信号在我们看来成为了趋势,这大多是由市场结构、外部政策或者标的物本身的基本面因

素等条件所决定的，而短周期的波动则是由市场参与者的交易行为所引起的，因为参与者们会根据市场中的新增信息来决定自己的交易方向，而当参与者又经常愿意追涨杀跌，这种群体性的羊群行为就会造成价格短期内的波动。如果我们从长线出发进行交易的话，那么就应该忽略短期内的价格波动，而尽可能地抓住信号序列的长期趋势。虽然准确地判断长期趋势可能需要基本面的数据支持，但是我们也想通过纯量化的方式来试图实现“完美”地判断信号的 trend 变化的目标。我们在本篇报告中实际上就考虑了这样一件事情，如何得到关于价格序列的一条较为“理想”的 trend 线，而这条 trend 线是相比于简单的移动平均线具有更低的延迟性同时也具有更高的平滑度，更为重要的是这样的 trend 线能够方便地让我们判断 trend 的变化时间点，以得到更高的收益。

对于价格信号 trend 的判断并不能用到未来的数据，因此按照信号处理理论中的说法，我们所想要得到的 trend 线应该是一种滤波器，该滤波器能够将原始信号序列中的短期波动（也可称为“噪音”）去除掉，而得到一条较为平滑的 trend 线。但由于滤波器本身只能使用历史数据进行计算，因此 trend 线一定会有一定程度的延迟性。滤波器的本质其实是一种权重分配器，给一定窗口长度内的历史数据分配一定的权重。为了能够得到更优的 trend 线，我们这里将一般用于回归的 k 近邻核回归方法（KR）以及局域线性核回归方法（LLKR）转换成滤波器，并得到了滤波之后的 trend 线。经过统计发现，KR 方法对于核函数为 IIR 型的其平滑性的表现不错，而 LLKR 方法则能够降低 trend 线的延迟，尤其对于 FIR 型的核函数来说，其延迟程度更低，但缺点则是平滑度更差。我们用不同的核函数以及 EMA、LLT 对螺纹钢的主力合约进行了 trend 判断，从回测结果上来看，同时具有比移动平均线延迟性更低以及平滑度更高的 trend 线基本上都能得到较为不错的回测收益表现。除此之外，由于窗口长度既能够影响延迟性也影响平滑性，所以我们也对不同 trend 线的最优窗口长度进行了分析讨论。我们将不同品种构建了一个等权组合，每个品种依据各自最优窗口长度上的 KR_EP trend 线进行交易方向的判断，最终得到的结果是年化收益率 19.76%，夏普比率 1.43，收益率最大回撤比 2.43。最后，我们也分析了 trend 策略的两种拓展策略，其一是利用复合 trend 线（即 trend 线的 trend 线）进行回测，其二是增加切线的阈值并以此判断交易方向，均在某些条件组合下能够得到较为不错的收益表现。

总体来看，我们认为通过这种纯量化的方式进行长期 trend 的判断，可能对于某些商品期货来说表现还很不错，但是对于像股指期货这种短期波动占据主导的品种来说，长期 trend 策略的表现就差强人意了。另外，trend 策略的胜率本身就不高，在本篇报告中我们暂未考虑止损，但是胜率仍低至 30%-40%，而盈亏比则相对较高。除此之外，我们在回测时使用了较为简单的切线判断法，尽管也提出了复合 trend 线以及阈值调整过的 trend 线交易策略，但实际上仍有一些交易策略可能有待尝试开发整理，比如利用快慢 trend 线进行交易，由于报告中所提及的 LLKR 的延迟性很低，故也有可能适用制定相关的日内 trend 交易策略。

期货走势评级体系（以收盘价的变动幅度为判断标准）

走势评级	短期（1-3 个月）	中期（3-6 个月）	长期（6-12 个月）
强烈看涨	上涨 15%以上	上涨 15%以上	上涨 15%以上
看涨	上涨 5-15%	上涨 5-15%	上涨 5-15%
震荡	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%
看跌	下跌 5-15%	下跌 5-15%	下跌 5-15%
强烈看跌	下跌 15%以上	下跌 15%以上	下跌 15%以上

上海东证期货有限公司

上海东证期货有限公司（简称东证期货）是东方证券股份有限公司全资子公司，注册资本达10亿元，系国内四家期货交易所的结算会员。

东证期货专注于金融期货和商品期货的研究与服务，提供权威、及时的研发产品服务和投资策略；专注于信息技术的创新，创建安全、快捷的交易通道，开发多样化、个性化的交易系统；专注于构筑全面的风险管理和客户服务平台。

东证期货管理团队管理经验丰富，业绩出众，在业内享有盛誉。人才管理及激励机制完善，公司拥有硕士学历以上人员占比30%，具有海外证券和期货经历的高端人才占比10%。

2010年，东证期货发展迅猛，成绩斐然，成为业内进步最快、最受瞩目的期货公司之一。2011年初，东证期货荣获2010年度中国金融期货交易所年度会员金奖，同时获投资者教育奖、客户管理奖、技术管理奖和功能发挥奖等四项单项大奖；荣获上海期货交易所优胜会员第七名，铜、橡胶和燃料油三项企业服务奖；荣获大连商品交易所优秀会员第九名；东证衍生品研究院（原东证期货研究所）荣获大连商品交易所、和讯网第二届全国“十大期货研发团队”农产品团队全国第二名、化工团队全国第五名；荣获郑州商品交易所行业进步奖等。

东证期货全年无风险事故，充分体现了公司稳健经营，稳步发展的经营宗旨。

分析师承诺

李晓辉

本人具有中国期货业协会授予的期货执业资格或相当的专业胜任能力，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收到任何形式的报酬。

免责声明

本报告由上海东证期货有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本研究报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本研究报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的报告之外，绝大多数研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买投资标的的邀请或向人作出邀请。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为东证衍生品研究院，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

东证衍生品研究院

地址：上海市中山南路318号东方国际金融广场2号楼22楼

联系人：梁爽

电话：8621-63325888-1592

传真：8621-33315862

网址：www.orientfutures.com

Email：research@orientfutures.com