

专题报告：解读历史波动率，发现交易机会

2022年11月1日

本文提要：

陈蔚文

量化研究员

从业资格号：F03086968

联系电话：0571-28132535

邮箱：

chenweiw@cindasc.com

刘开友

量化研究员

从业资格号：F03087895

联系电话：0571-28132535

邮箱：

liukaif@cindasc.com

信达期货有限公司

CINDA FUTURES CO., LTD

杭州市萧山区钱江世纪城天

人大厦19、20楼

全国统一服务电话：

4006-728-728

信达期货网址：

www.cindaqh.com

1. 波动率是金融资产价格的波动程度，衡量了金融资产的风险水平。可以分为历史波动率和预测波动率两大类，历史波动率是通过历史价格数据计算的波动率，包括标准差波动率、极差波动率和已实现波动率。预测波动率包括通过 EWMA 和 GARCH 模型预测得到的波动率以及期权价格包含的隐含波动率，本文以历史波动率为例开展研究。
2. 波动率具有聚集性、均值回归、长记忆性等特点。聚集性是指高低波动率各自聚集以及周期性。均值回归是指波动率没有长期上涨或者下跌的趋势，而是围绕均值上下波动。长记忆性指波动率存在较高的自相关特性，现在的波动率在很大程度上取决于过去的波动率。
3. 波动率的位置有高低之分，变化有涨跌之分。波动率的高低通常使用百分位表示，而且可以根据总体或滚动计算时间百分位或区间百分位。波动率上升的原因包括价格加速上涨或者下跌，以及上涨或下跌行情发生反转；波动率下降的原因包括价格减速上涨或者下跌。我们可以在历史波动率当前水平处于长期低位时参与到未来较大概率发生的行情中。

一、波动率的概念

1. 波动率的定义

波动率是金融资产价格的波动程度，衡量了金融资产的风险水平。波动率越高，金融资产标的价格波动越剧烈，金融资产收益的不确定性就越强；波动率越低，金融资产标的价格波动越平缓，金融资产收益的确定性就越强。

2. 波动率的类别

波动率主要可以分为历史波动率和预测波动率。历史波动率是基于金融资产标的价格的历史价格数据计算的波动率，包括标准差波动率、极差波动率和已实现波动率，由于使用最多的是标准差波动率，通常历史波动率指的就是标准差波动率。预测波动率是通过计量统计方法对波动率进行预测得到的波动率，包括使用指数加权平均模型（EWMA）、广义自回归条件异方差模型（GARCH）进行预测得到的波动率和通过 Black-Scholes 期权定价模型计算得到的隐含波动率。

接下来介绍历史波动率，包括标准差波动率、极差波动率和已实现波动率。

2.1 标准差波动率

标准差波动率是通过计算过去一段时间（如 20 天，40 天等）标的价格的对数收益率的标准差，公式如下：

$$r_i = \ln\left(\frac{p_i}{p_{i-1}}\right), \quad \bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{\sum (r_i - \bar{r})^2}{n-1}}, \quad \sigma_n = \sigma_n \sqrt{T}$$

其中， p_i 表示第 i 天标的价格， r_i 表示第 i 天标的对数收益率， \bar{r} 表示过去 n 天的平均对数收益率， σ_n 表示根据过去 n 天计算的标准差波动率，通常使用的是年化标准差波动率，计算得到的结果还要乘天数的开方。

2.2 极差波动率

极差波动率考虑了最高价、最低价、隔夜价，开盘价和收盘价等指标。Yang-Zhang (2000) 给出的公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{隔夜}}^2 + k\sigma_{\text{当天}}^2 + (1-k)\sigma_{RS}^2}, \quad \sigma_{\text{隔夜}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[\ln\left(\frac{o_i}{c_{i-1}}\right) - \overline{\ln\left(\frac{o_i}{c_{i-1}}\right)} \right]^2$$

$$k = \frac{0.34}{1 + \frac{N+1}{N-1}}, \quad \sigma_{\text{当天}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[\ln\left(\frac{c_i}{o_i}\right) - \overline{\ln\left(\frac{c_i}{o_i}\right)} \right]^2$$

$$\sigma_{RS}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\ln\left(\frac{h_i}{l_i}\right) \ln\left(\frac{h_i}{o_i}\right) + \ln\left(\frac{l_i}{c_i}\right) \ln\left(\frac{l_i}{o_i}\right) \right], \quad \sigma = \sigma\sqrt{T}$$

其中， σ 表示极差波动率，是对隔夜波动率、当天波动率和价格漂移波动率的加权。 $\sigma_{隔夜}^2$ 表示通过前一天收盘价和当天开盘价计算得出的隔夜波动率。 k 是加权系数。 $\sigma_{当天}^2$ 表示通过当天收盘价和开盘价计算得出的当天波动率。 σ_{RS}^2 表示通过当天开盘价、收盘价、最高价和最低价计算得出的价格漂移波动率。如果年化也要乘天数的开方。

2.3 已实现波动率

已实现波动率的计算方式比较简单，即日内所有高频数据（通常为 5 分钟）的收益率平方和的开方，公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2}, \quad \sigma = \sigma\sqrt{T}$$

其中， σ 表示已实现波动率， n 表示将日内所有交易时间分隔成的份数。如果年化也要乘天数的开方。

接下来介绍预测波动率，包括 EWMA 模型、GARCH 模型和隐含波动率。

2.4 EWMA 模型

EWMA 模型即指数加权移动平均模型，通过给予前段时间的数值给予不同的权重进行预测，以每日收益率的平方和为例，公式如下：

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{t-1} \alpha_i r_{t-i}^2, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{t-1} = 1$$

其中， σ_t^2 表示预测的第 t 天的波动率， α_i 表示对 1 至 $t-1$ 天的数值赋予的权重。EWMA 模型的优点是所需数据量小，计算方便，缺点在于确定权重 α_i 具有一定的主观性，此外没有考虑到波动率均值回归的特征。

2.5 GARCH 模型

GARCH 模型即广义自回归条件异方差模型，考虑了波动率均值回归，长记忆性等特征，GARCH(p,q)的公式如下：

$$\begin{cases} y_t = \sigma_t \varepsilon_t \\ \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j y_{t-j}^2 \end{cases}$$

其中 y_t 表示对数收益率与均值之差, σ_t^2 表示条件方差, ε_t 是服从零均值单位方差的标准正态分布序列, $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i, \beta_i \geq 0$, $0 < \sum_{i=1}^p \alpha_i + \sum_{j=1}^q \beta_j < 1$ 。GARCH 模型的优点在于考虑了波动率的特征, 而且具有很好的扩展性, 可以根据情况扩展为 IGARCH、TGARCH、EGARCH 和 PARCH 等模型。GARCH 模型的缺点在于确定阶数较难, 因此一般采用的是低阶, 而且对于数据的分布有一定要求等。

2.6 隐含波动率

隐含波动率是将期权价格、标的价格、行权价格、无风险利率和期权到期时间等参数通过 Black-Scholes 期权定价模型计算得到的波动率, 反映了市场对于标的资产未来波动率的看法。隐含波动率也通常被认为是衡量市场情绪的指标, VIX 指数就是通过标普 500 指数期权的隐含波动率构建。BS 模型的公式如下:

$$C = S * N(d_1) - Ke^{-rT} * N(d_2), \quad d_1 = \frac{\ln \frac{S}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}, \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

其中, C 表示看涨期权价格, S 表示标的资产价格, K 表示行权价格, r 表示无风险利率, T 表示期权到期时间, σ 表示隐含波动率。BS 模型的优点是除了波动率以外其他参数都可以直接从市场上获得, 而且期权价格不依赖于投资者的风险偏好, 而且可以通过改进模型计算分发股利的期权。BS 模型的缺点在于推导过程过于复杂, 此外假定的金融资产价格服从对数正态分布与真实情况中尖峰厚尾分布存在较大差距等。

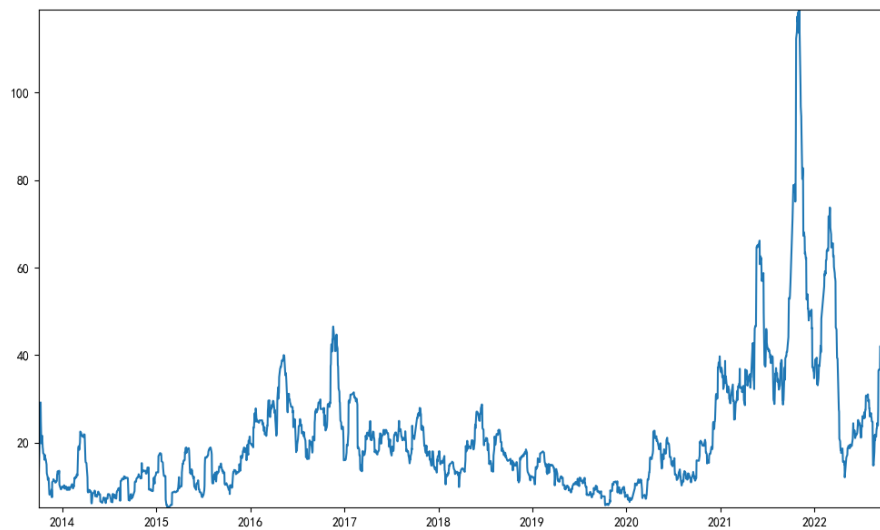
二、波动率的特征

波动率具有聚集性、均值回归、长记忆性等特征, 下面以波动较大的能源品种动力煤指数和原油指数为例展示历史波动率的分布特征。

1. 聚集性

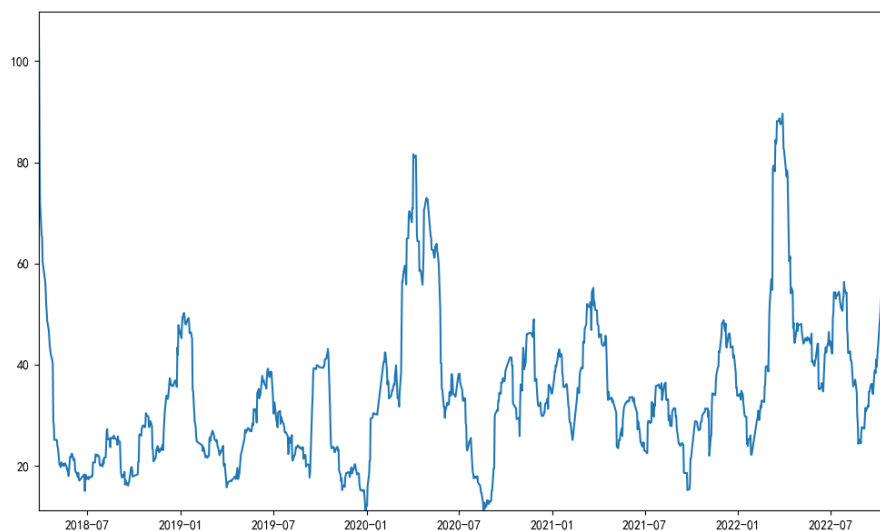
聚集性是指波动率具有高低波动率各自聚集的特征, 即高波动率之后大概率还是高波动率, 低波动率之后大概率还是低波动率, 而且高波动率和低波动率聚集的时期会交替出现, 呈现出的就是周期性, 见图 1 和图 2。

图 1. 动力煤指数 20 日历史波动率



数据来源：Wind、信达期货研究所

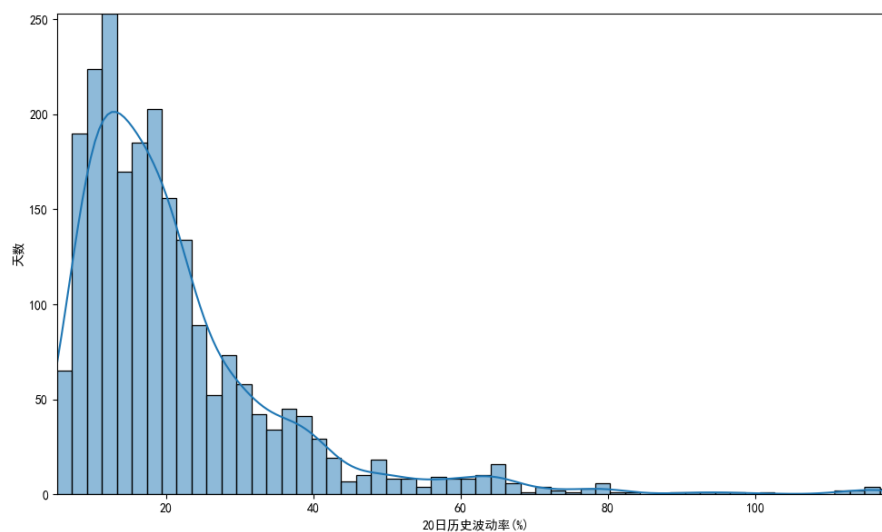
图 2. 原油指数 20 日历史波动率



数据来源：Wind、信达期货研究所

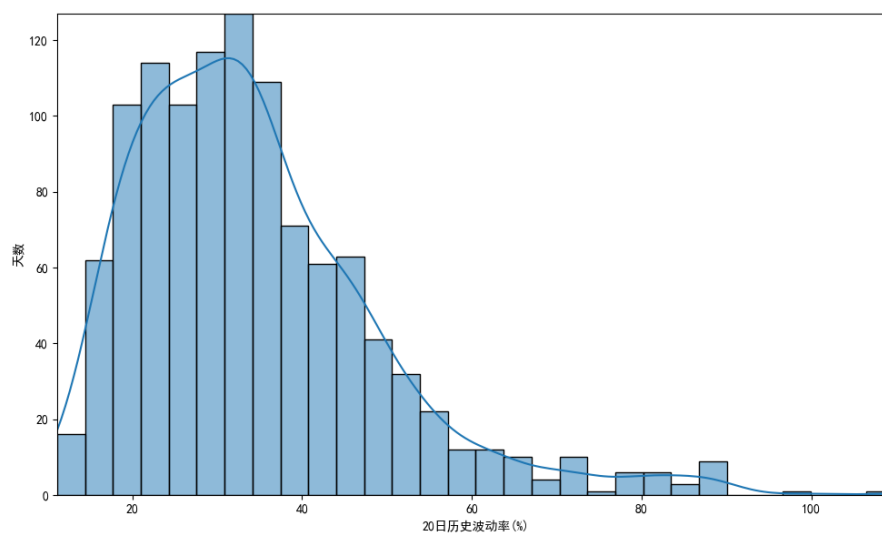
上图中动力煤指数展示了高低波动率各自聚集的特征，今年以来的 20 日历史波动率是处于绝对高位水平，而 2019-2020 年的 20 日历史波动率是处于绝对低位水平。而原油指数展示了波动率具有周期性的特征，2018 年 3 月至今共 1117 个交易日，经历了大约 22 个周期，平均每个周期为 51 天左右。

图 3. 动力煤指数 20 日历史波动率分布情况



数据来源：Wind、信达期货研究所

图 4. 原油指数 20 日历史波动率分布情况



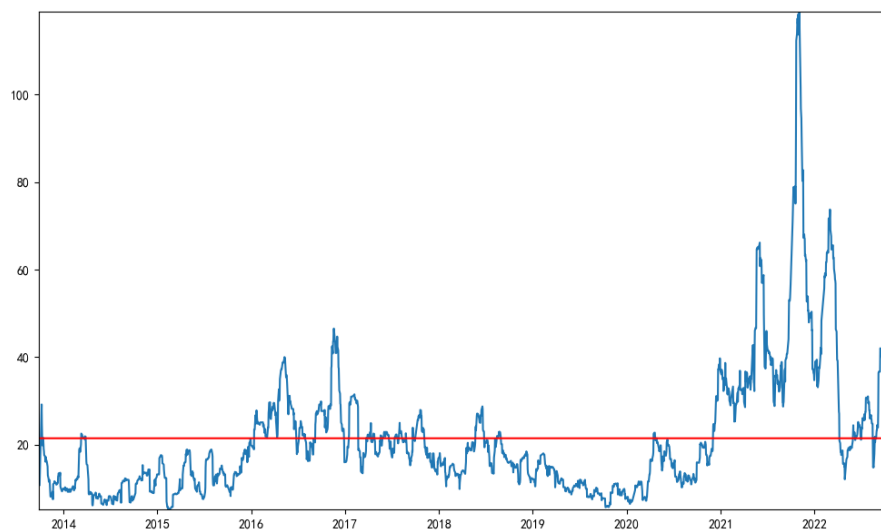
数据来源：Wind、信达期货研究所

从上图可以看出，从动力煤指数和原油指数 20 日历史波动率分布情况可以看出波动率呈现尖峰右偏的分布形态，即发生极端高波动率的情况的概率较大。

2. 均值回归

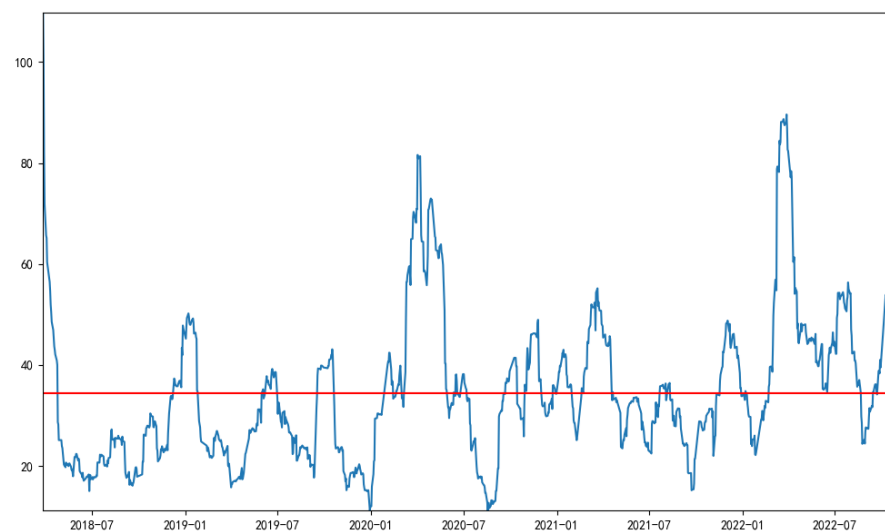
均值回归是指波动率没有长期上涨或者下跌的趋势，而是围绕均值上下波动，见下图。

图 5. 动力煤指数 20 日历史波动率和均值



数据来源：Wind、信达期货研究所

图 6. 原油指数 20 日历史波动率和均值

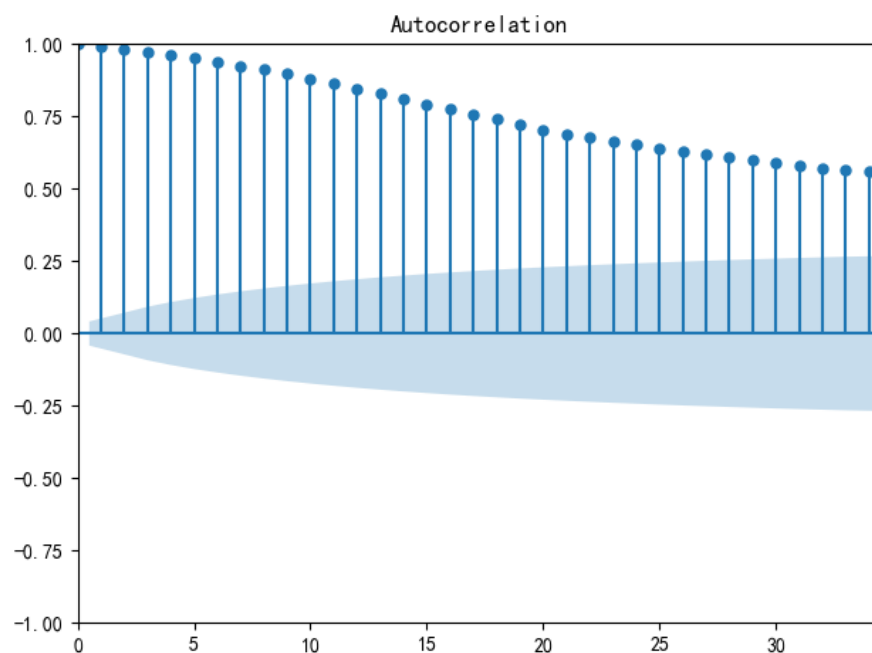


从图中可以看出，动力煤指数的 20 日历史波动率在 2021 年以前展现出一定的均值回归特征，原油指数的 20 日历史波动率在所有时间段上均表现出明显的均值回归特征。

3. 长记忆性

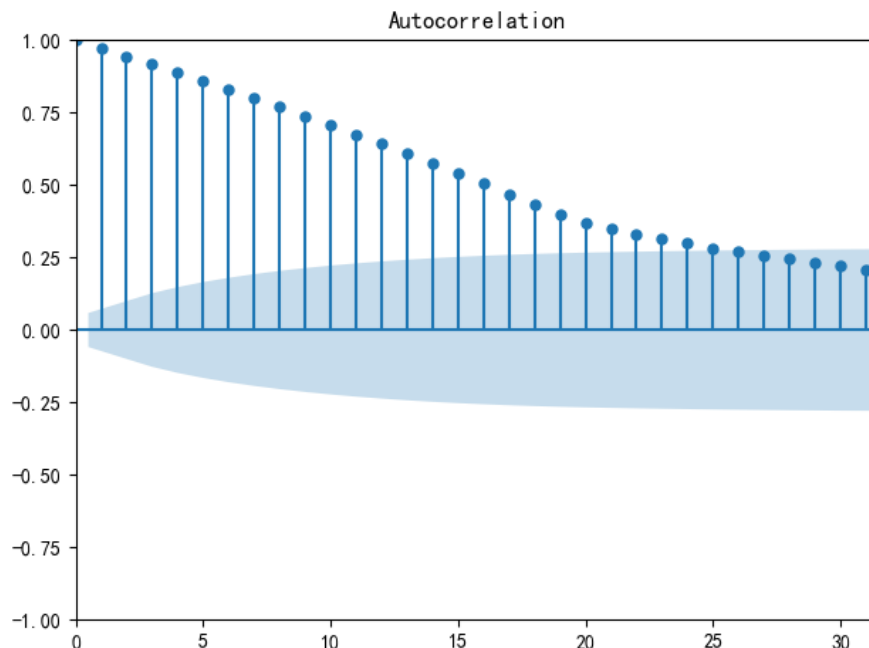
长记忆性指波动率存在较高的自相关特性，现在的波动率在很大程度上取决于其过去的波动率，见下图。

图 7. 动力煤指数 20 日历史波动率自相关图



数据来源：Wind、信达期货研究所

图 8. 原油指数 20 日历史波动率自相关图



数据来源：Wind、信达期货研究所

从动力煤指数和原油指数的 20 日历史波动率自相关图中可以看出，自相关系数长期大于零，表明波动率存在明显的长记忆性。

三、判断波动率的位置和变化

波动率从位置来看有高低的区别，从变化来看有涨跌的区别。首先介绍如何判断波动率的高低，通常计算百分位进行判断。但是百分位的计算方式和计算范围区别均会导致得到的结果不同。

从计算方式来看，可以分为时间百分位和区间百分位。时间百分位是计算某一数值于所在序列进行从小到大排序后相应的百分位，公式如下：

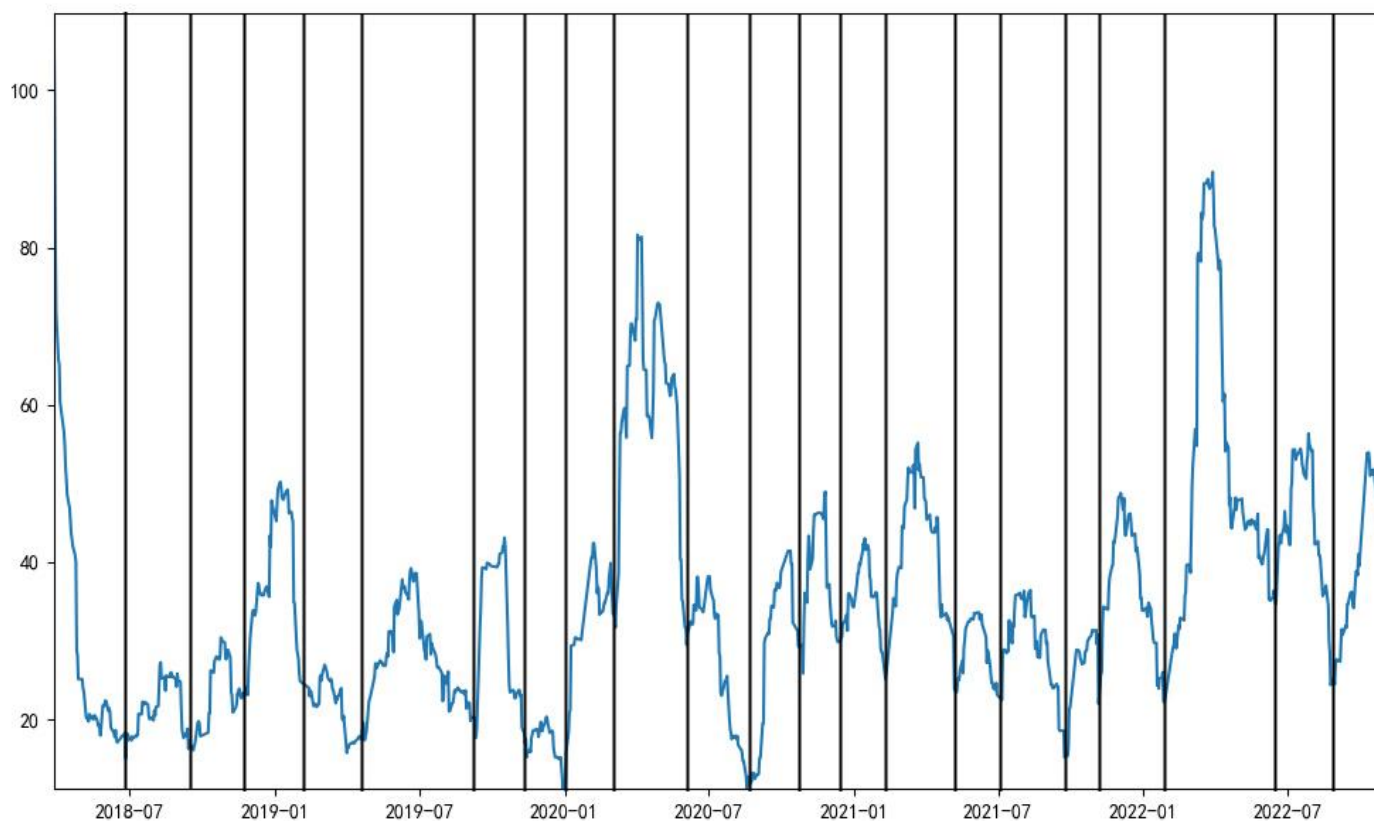
$$Percent = RANK(X, Values, 1) / COUNT(Values)$$

区间百分位是将某一数值与所在序列的最小值和最大值进行比较计算得到的百分位，公式如下：

$$Percent = (X - MIN(Values)) / (MAX(Values) - MIN(Values))$$

从计算范围来看，可以分为总体百分位和滚动百分位。总体百分位是根据所有数据进行计算。滚动百分位则设定一个时间段作为周期滚动计算百分位，下面以波动率周期性较明显的原油指数为例进行说明，见图 9。

图 9. 原油指数 20 日历史波动率



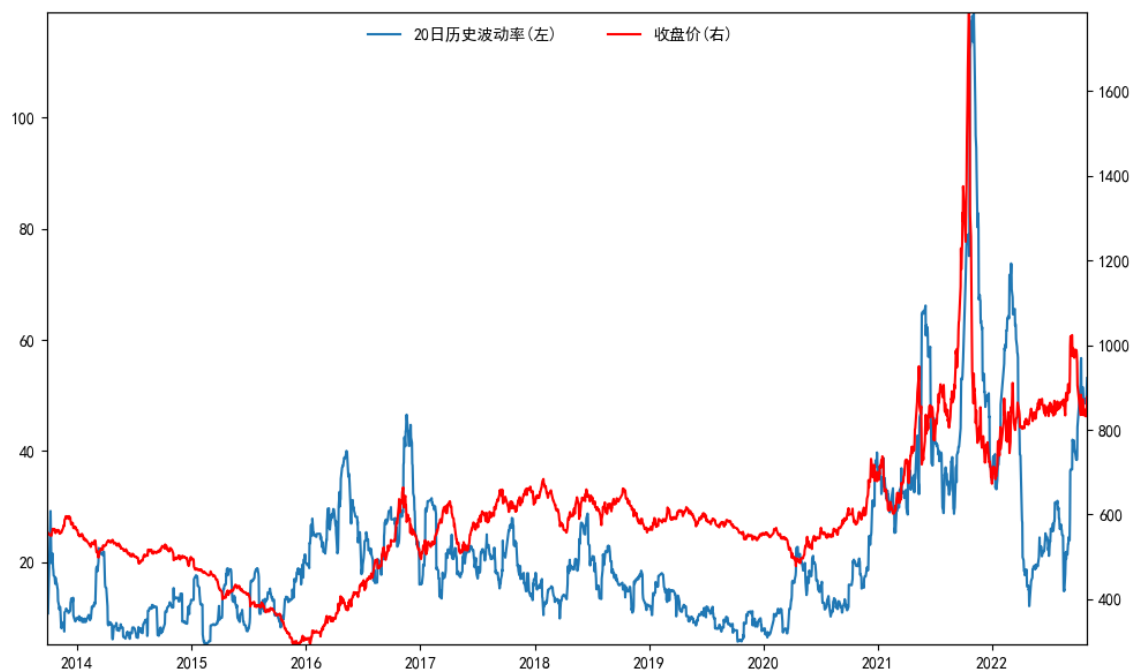
数据来源：Wind、信达期货研究所

原油指数基于所有历史数据计算最新的 20 日历史波动率为 42.19%，时间百分位为 76.16%，区间百分位为 31.48%，以 51 个交易日左右的周期计算则滚动时间百分位为 60.29%，滚动区间百分位为 70.59%，从不同的计算方式中可以看出，时间百分位衡量了历史总体数据的情况，而区间百分位更关注历史极值数据的情况，而且由于滚动计算剔除了过于久远的历史数据的影响，所以两者滚动百分位相差不大。值得注意的是，有些品种上市时间较短无法观察到波动率是否存在较为稳定的周期现象，因此当前的波动率绝对值水平并不能作为衡量当前波动率百分位水平高低的依据。

四、波动率上升和下降的原因

波动率有高低之分，那么是什么原因导致波动率上升和波动率下降呢？总体来看，波动率上升的情况以上涨为例，包括价格从此前的震荡或者缓慢上涨转变为加速上涨或者经过一段时间或一定幅度的下跌确认反转这两种情况，下跌同理；波动率下降的情况以上涨为例，即价格的在一段时间或一定幅度的上涨速度放缓甚至转为震荡，下跌同理。

图 10. 动力煤指数收盘价和 20 日历史波动率



数据来源：Wind、信达期货研究所

以动力煤指数为例，从 2014 年到 2016 年经历了长期下跌的行情并且 2015 年末至 2016 年初收盘价经历了加速下跌和反转导致 20 日历史波动率大幅上升。从 2016 年初到 2016 年下半年收盘价持续上涨，波动率也随之从低位逐渐走高，并且出现了两次波动率高位剧烈波动的情况。从 2016 年下半年到 2020 年收盘价经历了长期震荡上涨到震荡下跌的行情，20 日历史波动率也从历史高位逐渐走低。而从 2020 年至今收盘价则经历了大幅下跌和大幅上涨的剧烈行情，波动率也随之从历史低位快速上升突破历史新高达到极高的水平。总体来看，当波动率处于长期低位水平时，未来产生大行情的概率较高，比较容易参与其中，而当波动率处于高位水平时，短期行情的波动非常剧烈，较难参与其中。

【重要声明】

- 报告中的信息均来源于公开可获得的资料，信达期货有限公司力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不做任何保证，据此投资，责任自负。本报告不构成个人投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财政状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定情况。期市有风险，入市需谨慎。未经信达期货有限公司授权许可，任何引用、转载以及向第三方传播本报告的行为均可能承担法律责任。

【信达期货简介】

信达期货有限公司是专营国内期货业务的有限责任公司，系经中国证券监督管理委员会核发《经营期货业务许可证》，浙江省工商行政管理局核准登记注册（统一社会信用代码：913300001000226378），由信达证券股份有限公司全资控股，注册资本 5 亿元人民币，是国内规范化、信誉高的大型期货公司之一。公司现为中国金融期货交易所全面结算会员单位，为上海期货交易所、郑州商品交易所、大连商品交易所全权会员单位，为中国证券业协会观察员、上海国际能源交易中心会员、中国证券投资基金业协会观察会员。

【全国分支机构】

